

**İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN ZAMANA BAĞLI DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Amanullah ZAMANI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAYIS 2020

İZMİR KATİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN ZAMANA BAĞLI DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Amanullah ZAMANI
(Y160227005)

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mutlu SEÇER
İkinci Danışmanı: Doç. Dr. Yalçın İŞLER

MAYIS 2020

İKÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsünün Y160227005 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Amanullah Zamani, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN ZAMANA BAĞLI DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Mutlu SEÇER
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi



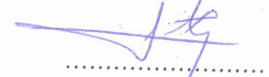
İkinci Danışmanı:

Doç. Dr. Yalçın İŞLER
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi



Jüri Üyeleri :

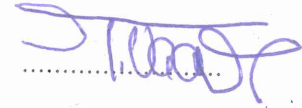
Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi



Prof. Dr. Mehmet ÇEVİK
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi



Doç. Dr. Taner UÇAR
Dokuz Eylül Üniversitesi



Teslim Tarihi : 27.04.2020
Savunma Tarihi : 14.05.2020

İnşaat yüksek mühendisliği eğitimine başladığım andan itibaren her zaman yanımda olan ve beni destekleyen aileme çok teşekkür ederim.

ÖNSÖZ

Öncelikle bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili ailem özellikle anne ve babama canı gönülden teşekkür ederim. İnşaat Mühendisliği programında aldığım eğitim ve tez çalışmam sırasında bilgi ve tecrübesinden yararlandığım, aynı zamanda eğitimimin ders aşamasında Çelik Yapıların İleri Tasarımı ve İleri Yapı Analizi dersleri hocalığımı yapan tez danışmanı hocam Dr. Öğr. Üyesi Mutlu SEÇER'e saygılarımı ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez aşamasında çalışmaya katkı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen ikinci tez danışmanı hocam Doç. Dr. Yalçın İŞLER'e de en kalpten teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda, tez çalışmamda incelediğim binanın bilgilerini sağlayan İnş. Yük. Müh. Emirhan SARAL'a da teşekkür ederek hayatında başarılar dilerim. 2016 yılından itibaren birlikte çalışma fırsatı bulduğum Prof. Dr. Mehmet ÇEVİK ve diğer tüm değerli hocalarıma da bu süreç içerisindeki desteğinden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, üniversite öğrenimim sırasında tanıdığım ve bu zamana kadar birlikte yol aldığım aynı zamanda meslektaşlarım olan arkadaşlarıma da teşekkür ederim. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi merkez kütüphanesinde tez çalışmalarımıyla beraber tanışmış olduğum personellerine sağladıkları imkânlar için teşekkür ederim. Son olarak güzel Türkiye'ye gelmeme, iyi insanların ve kültürünüzü tanımama fırsatlar sağlayan ve yüksek lisans programını tamamlama şansı veren Türkiye Hükümetine özellikle Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2020

Amanullah ZAMANI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
TABLO LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xxv
ABSTRACT	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Hedef.....	3
1.2 Yöntem	3
1.3 Çalışmanın Kapsamı	4
1.4 Literatür İncelemesi.....	5
2. BETONARME ELEMANLARDA ŞEKİL DEĞİŞTİRMELERİN	
İNCELENMESİ	11
2.1 Betonun Şekil Değiştirilmesi.....	11
2.2 Ani Şekil Değiştirme	12
2.3 Sünme Şekil Değiştirilmesi	14
2.3.1 Sünme bileşenleri	15
2.3.2 Yaş etkisi	17
2.3.3 Sünme katsayısı.....	17
2.3.4 Süperpozisyon prensibi	18
2.4 Büzülme Şekil Değiştirilmesi	18
2.5 Zamana Bağlı Davranışın İncelenmesi için Kullanılan Yönetmelikler	19
2.5.1 CEB- FIP 2010 Yönteminin İncelenmesi	20
2.5.1.1 Basınç dayanımı ve elastisite modülünün zamana bağlı değişimi	21
2.5.1.2 Sünme davranışının zamana bağlı değişimi	22
2.5.1.3 Büzülme davranışının zamana bağlı değişimi	25
3. BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN ZAMANA BAĞLI DAVRANIŞI. 27	
3.1 Giriş	27
3.2 Betonarme Yüksek Binanın Genel Özellikleri.....	27
3.3 Betonarme Yüksek Binanın Zamana Bağlı Davranışının İncelenmesinde	
Kullanılan Hesap Modeli	34
3.4 Betonarme Yüksek Binanın İnşaat Adımları ve Zaman Bağlı Davranışın	
Seçilen Elemanlar İçin İncelenmesi	36
3.4.1 Seçilen kolon ve perdelerin eksenel kuvvetleri.....	39
3.4.2 Seçilen kirişin kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri	41
3.5 Betonarme Yüksek Binanın Düşey Elemanlarının Zamana Bağlı Eksenel	
Kısalmaları	43
3.5.1 Seçilen kolon elemanların eksenel kısalmalarının incelenmesi	43
3.5.2 Betonarme yüksek binanın kule kısmındaki tüm kolon ve tüm perdelerin	
eksenel kısalmaları	46
4. BETONARME YÜKSEK BİNANIN ZAMANA BAĞLI DAVRANIŞININ	
ÇEŞİTLİ DURUMLAR İÇİN İNCELENMESİ	50
4.1 Giriş.....	50

4.2 Farklı Bağlı Nem Yüzdesinin Kolon Eksenel Kısalmaları Üzerine Etkisi.....	50
4.3 Farklı Yönetmeliklere Göre Kolonların Eksenel Kısalmalarının İncelenmesi.	52
4.4 Farklı Zaman Dilimlerine Göre Düşey Elemanların Eksenel Kısalmalarının İncelenmesi.....	54
4.5 Farklı Donatı Oranlarına Göre Düşey Elemanların Eksenel Kısalmalarının İncelenmesi.....	57
4.6 İnşaatin Durdurulmasının Eksenel Kısalmalar Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi.....	60
5. YÜKSEK BİNALARDA EKSENEL KISALMALARIN DÜZELTİLMESİ.	64
5.1 Eksenel Kısalmaların Düzeltilmesi	65
5.1.1 Eksenel kısalmaların imalata yönelik düzeltme yöntemleri ile incelenmesi	66
5.1.1.1 Doğrudan Düzeltme Yöntemi	66
5.1.1.2 Sabit Ortalama Düzeltme Yöntemi	66
5.1.1.3 Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi	66
5.1.1.4 Optimal Düzeltme Yöntemi	67
5.2 Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin Betonarme Yüksek Binada Uygulanması.....	68
5.2.1 Binanın tamamlandığı zaman dikkate alınarak eksenel kısalmaların tekdüze gruplu yöntemi kullanılarak düzeltilmesi	69
5.2.2 50 yıl için eksenel kısalmaların tekdüze gruplu düzeltilmesi.....	87
5.3 Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi	106
5.3.1 Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi'nin uygulanması	108
5.3.2 Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ile eksenel kısalmaların düzeltilmesi	110
5.3.3 Binanın kule kısmındaki tüm kolon ve perdelerin gruplanarak birlikte düzeltilmesi	144
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	149
REFERANSLAR.....	154
ÖZGEÇMİŞ.....	157

KISALTMALAR

ACI	: American Concrete Institute
CEB	: Comité européen du béton
FIB	: Fédération Internationale Du Béton
TS	: Türk Standardı
CTBUH	: Council on Tall Buildings and Urban Habitat
RC	: Reinforcement Concrete
AS 3600	: Australian Standard
CSA	: Construction Sequence Analysis

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: s değerinin kullanılan çimento tipine göre değişimi.	21
Tablo 2.2: β_{sc} değerinin kullanılan çimento tipine göre değişimi.	25
Tablo 3.1: Bina özellikleri ve hesaplarda kullanılan veriler.	33
Tablo 3.2: Kolonların en kesit boyutları ve donatıları.	33
Tablo 3.3: Binanın kule kısmındaki kolon ve yapısal perdelerin boyutları ve boyuna donatıları.	34
Tablo 5.1: Her düşey elemanın düzeltilmesi için gerekli olan hesaplama süresi.	143
Tablo 5.2: Farklı yaklaşımlar için Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini kullanarak kolonlarının düzeltilmesi (8 grup).	144
Tablo 5.3: Farklı yaklaşımlar için Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini kullanarak perdelerin hatalarının düzeltilmesi (8 grup).	144

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: CTBUH tarafından yüksek binalar üzerinde yapılmış olan çalışma [1].....	1
Şekil 1.2: 2019 yılında tamamlanan yüksek binalar [1].....	2
Şekil 2.1: Sabit gerilme altındaki betonun şekil değiştirme bileşenleri.....	11
Şekil 2.2: Basınç etkisi altındaki betonda gerilme – şekil değiştirme ilişkisi.....	13
Şekil 2.3: Sembolik ve gerçek şekil değiştirme bileşenleri.....	14
Şekil 2.4: Elastik ve plastik sünme bileşenleri.....	15
Şekil 2.5: Kurumaya maruz kalan bir numunedeki sünme bileşenleri.....	16
Şekil 2.6: İlk yükleme anındaki beton yaşının sünme şekil değiştirmesine etkisi.....	17
Şekil 3.1: İncelenen binanın 3., 2. ve 1. bodrum kat planı.....	29
Şekil 3.2: İncelenen binanın zemin kat planı.....	30
Şekil 3.3: İncelenen binanın 1., 2., 3., 4. ve 5. kat planı.....	31
Şekil 3.4: İncelenen binanın 6. – 28. kat planı.....	32
Şekil 3.5: İncelenen binanın üç boyutlu modeli.....	35
Şekil 3.6: Betonarme binanın inşaat adımlarını dikkate alan analizin şematik gösterimi.....	36
Şekil 3.7: Betonarme yüksek binanın A-A aksı çerçevesi.....	37
Şekil 3.8: Binanın kolonlarındaki eksenel kuvvetlerin şematik gösterimi.....	38
Şekil 3.9: Binanın kirişleri üzerindeki eğilme momentlerinin şematik gösterimi.....	38
Şekil 3.10: S-24 kolonu için eksenel kuvvetler.....	39
Şekil 3.11: S-33 kolonu için eksenel kuvvetler.....	40
Şekil 3.12: W-3 perdesi için eksenel kuvvetler.....	40
Şekil 3.13: W-4 perdesi için eksenel kuvvetler.....	41
Şekil 3.14: Binanın 1. katındaki B-63 kirişinde meydana gelen kesme kuvvetleri.....	42
Şekil 3.15: Binanın 1. katındaki B-63 kirişinde meydana gelen eğilme momentleri.....	42
Şekil 3.16: S-25 kolonun eksenel kısalmaları.....	44
Şekil 3.17: S-24 kolonun eksenel kısalmaları.....	44
Şekil 3.18: S-33 kolonun eksenel kısalmaları.....	45
Şekil 3.19: W-3 yapısal perdenin eksenel kısalmaları.....	45
Şekil 3.20: W-4 yapısal perdenin eksenel kısalmaları.....	46
Şekil 3.21: Yüksek binanın kule kısmındaki kolonların inşaat tamamlandığı andaki eksenel kısalmaları.....	47
Şekil 3.22: Yüksek binanın kule kısmındaki perdelerin inşaat tamamlandığı andaki eksenel kısalmaları.....	47
Şekil 3.23: Yüksek binanın kule kısmındaki kolonların 50 yıldaki eksenel kısalmaları.....	48
Şekil 4.1: Bağlı nem oranının değişmesi nedeniyle S-25 kolonun eksenel kısalmaları.....	51
Şekil 4.2: Bağlı nem oranının değişmesi nedeniyle S-24 kolonun eksenel kısalmaları.....	51

Şekil 4.3: Farklı yönetmeliklere göre sünme katsayısının zamanla değişimi.	52
Şekil 4.4: Farklı yönetmeliklere göre büzülme şekil değiştirmesinin zamanla değişimi.	53
Şekil 4.5: Farklı yönetmeliklere göre S-33 kolonun eksenel kısaltmalarının incelenmesi.	53
Şekil 4.6: Farklı yönetmeliklere göre S-24 kolonun eksenel kısaltmalarının incelenmesi.	54
Şekil 4.7: S-24 kolonun farklı yıllara göre eksenel kısaltması.	55
Şekil 4.8: S-25 kolonun farklı yıllara göre eksenel kısaltması.	55
Şekil 4.9: S-33 kolonun farklı yıllara göre eksenel kısaltması.	56
Şekil 4.10: W-3 perdesinin farklı yıllara göre eksenel kısaltması.	56
Şekil 4.11: W-4 perdesinin farklı yıllara göre eksenel kısaltması.	57
Şekil 4.12: Eksenel kısaltmalar üzerinde donatı oranının etkisi (S-24).	58
Şekil 4.13: Eksenel kısaltmalar üzerinde donatı oranının etkisi (S-25).	58
Şekil 4.14: Eksenel kısaltmalar üzerinde donatı oranının etkisi (S-33).	59
Şekil 4.15: İnşaatın farklı sürelerde durdurulması durumu için S-24 kolonun eksenel kısaltmasının incelenmesi.	61
Şekil 4.16: İnşaatın farklı sürelerde durdurulması durumu için S-33 kolonun eksenel kısaltmasının incelenmesi.	62
Şekil 4.17: İnşaatın farklı sürelerde durdurulması durumu için S-25 kolonun eksenel kısaltmasının incelenmesi.	62
Şekil 4.18: İnşaatın farklı sürelerde durdurulması durumu için S-26 kolonun eksenel kısaltmasının incelenmesi.	63
Şekil 4.19: İnşaatın farklı sürelerde durdurulması durumu için W-4 perdesinin eksenel kısaltmasının incelenmesi.	63
Şekil 5.1: Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile eksenel kısaltmalar gösterimi.	65
Şekil 5.2 : S-24 kolonunun eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	70
Şekil 5.3 : S-24 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	70
Şekil 5.4 : S-25 kolon eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	71
Şekil 5.5 : S-25 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	71
Şekil 5.6 : S-26 kolon eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	72
Şekil 5.7 : S-26 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	72
Şekil 5.8: S-27 kolon eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	73
Şekil 5.9: S-27 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	73
Şekil 5.10: S-28 kolon eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	74
Şekil 5.11: S-28 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	74
Şekil 5.12: S-32 kolon eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	75

Şekil 5.13: S-32 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	75
Şekil 5.14: S-33 kolon eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	76
Şekil 5.15: S-33 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	76
Şekil 5.16: S-39 kolon eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	77
Şekil 5.17: S-39 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	77
Şekil 5.18: S-40 kolon eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	78
Şekil 5.19: S-40 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	78
Şekil 5.20: W-1 perdesinin eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	79
Şekil 5.21: W-1 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	79
Şekil 5.22: W-2 perde eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	80
Şekil 5.23: W-2 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	80
Şekil 5.24: W-3 perde eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	81
Şekil 5.25: W-3 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	81
Şekil 5.26: W-4 perde eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	82
Şekil 5.27: W-4 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	82
Şekil 5.28: W-5 perde eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	83
Şekil 5.29: W-5 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	83
Şekil 5.30: W-6 perde eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	84
Şekil 5.31: W-6 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	84
Şekil 5.32: Binanın kule kısmındaki tüm kolonların eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	85
Şekil 5.33: Binanın kule kısmındaki tüm kolonların düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	85
Şekil 5.34: Binanın kule kısmındaki tüm perdelerin eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	86
Şekil 5.35: Binanın kule kısmındaki tüm perdelerin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	86
Şekil 5.36: Kule kısmındaki kolonlarda Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi için grup sayısı ve düzeltme hataları ilişkisi (inşaat sonunda).	87

Şekil 5.37: Kule kısmındaki perdelerde Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi için grup sayısı ve düzeltme hataları ilişkisi (inşaat sonunda).	87
Şekil 5.38: S-24 kolonun 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	89
Şekil 5.39: S-24 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	89
Şekil 5.40: S-25 kolonun 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	90
Şekil 5.41: S-25 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	90
Şekil 5.42: S-26 kolonun 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi n uygulanması.	91
Şekil 5.43: S-26 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	91
Şekil 5.44: S-27 kolonun 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	92
Şekil 5.45: S-27 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	92
Şekil 5.46: S-28 kolonun 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	93
Şekil 5.47: S-28 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	93
Şekil 5.48: S-32 kolonun 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	94
Şekil 5.49: S-32 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	94
Şekil 5.50: S-33 kolonun 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	95
Şekil 5.51: S-33 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	95
Şekil 5.52: S-39 kolonun 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	96
Şekil 5.53: S-39 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	96
Şekil 5.54: S-40 kolonun 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	97
Şekil 5.55: S-40 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	97
Şekil 5.56: Binanın kule kısmındaki tüm kolonların 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	98
Şekil 5.57: Binanın kule kısmındaki tüm kolonların düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	98
Şekil 5.58: W-1 perdenin 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	99
Şekil 5.59: W-1 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	99
Şekil 5.60: W-2 perdenin 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	100

Şekil 5.61: W-2 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	100
Şekil 5.62: W-3 perdenin 50 yıl eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	101
Şekil 5.63: W-3 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	101
Şekil 5.64: W-4 perdenin 50 yıl eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	102
Şekil 5.65: W-4 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	102
Şekil 5.66: W-5 perdenin 50 yıl eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	103
Şekil 5.67: W-5 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	103
Şekil 5.68: W-6 perdenin 50 yıl eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	104
Şekil 5.69: W-6 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	104
Şekil 5.70: Binanın kule kısmındaki tüm perdelerin 50 yıl eksenel kısaltmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.	105
Şekil 5.71: Binanın kule kısmındaki tüm perdelerin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.	105
Şekil 5.72: Kule kısmındaki kolonlarda Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi için grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkisi (50 yıl eksenel kısaltmalar).	106
Şekil 5.73: Kule kısmındaki perdelerde Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi için grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkisi (50 yıl eksenel kısaltmalar).	106
Şekil 5.74: Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin akış şeması.	109
Şekil 5.75: binanın tamamlandığı andaki S-25 eksenel kısaltmanın düzeltmesi 2 ila 5 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.	110
Şekil 5.76: binanın tamamlandığı andaki S-25 eksenel kısaltmanın düzeltmesi 6 ila 9 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.	111
Şekil 5.77: binanın tamamlandığı andaki eksenel kısaltmanın düzeltmesi 2 ila 5 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.	111
Şekil 5.78: binanın tamamlandığı andaki eksenel kısaltmanın düzeltmesi 6 ila 9 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.	112
Şekil 5.79: Binanın kule kısmındaki kolonlar için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri (inşaat tamamlandığı andaki eksenel kısaltmalar).	112
Şekil 5.80: Binanın kule kısmındaki kolonlar için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri (inşaat tamamlandığı andaki eksenel kısaltmalar).	113
Şekil 5.81: binanın tamamlandığı andaki W-1 eksenel kısaltmanın düzeltmesi 2 ila 5 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.	113

Şekil 5.82: binanın tamamlandığı andaki W-1 eksenel kısılmanın düzeltilmesi 6 ila 9 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.	114
Şekil 5.83: binanın tamamlandığı andaki W-1 eksenel kısılmanın düzeltilmesi 2 ila 5 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.	114
Şekil 5.84: binanın tamamlandığı andaki W-1 eksenel kısılmanın düzeltilmesi 6 ila 9 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.	115
Şekil 5.85: Binanın kule kısmındaki perdeler için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri (inşaat tamamlandığı andaki eksenel kısılmalar).	115
Şekil 5.86: Binanın kule kısmındaki perdeler için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri (inşaat tamamlandığı andaki eksenel kısılmalar).	116
Şekil 5.87: Sekiz grup için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi dikkate alınarak düzeltme miktarı S-25 kolon eksenel kısılmaları üzerinde gösterimi.	117
Şekil 5.88: Sekiz grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi dikkate alınarak düzeltme miktarı S-25 kolon eksenel kısılmaları üzerinde gösterimi.	117
Şekil 5.89: Sekiz grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi dikkate alınarak düzeltme miktarı S-25 kolon eksenel kısılmaları üzerinde gösterimi.	118
Şekil 5.90: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile düzeltme hatalarının karşılaştırılması (S-25).	118
Şekil 5.91: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-24 kolonun eksenel kısılmalarının düzeltilmesi.	120
Şekil 5.92: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-24 kolonun eksenel kısılmalarının düzeltilmesi.	120
Şekil 5.93: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-24 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.	121
Şekil 5.94: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-26 kolonun eksenel kısılmalarının düzeltilmesi.	121
Şekil 5.95: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-26 kolonun eksenel kısılmalarının düzeltilmesi.	122
Şekil 5.96: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-26 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.	122
Şekil 5.97: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-27 kolonun eksenel kısılmalarının düzeltilmesi.	123

Şekil 5.98: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-27 kolonun eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	123
Şekil 5.99: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-27 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.	124
Şekil 5.100: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-28 kolonun eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	124
Şekil 5.101: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-28 kolonun eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	125
Şekil 5.102: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-28 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.	125
Şekil 5.103: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-32 kolonun eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	126
Şekil 5.104: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-32 kolonun eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	126
Şekil 5.105: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-32 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.	127
Şekil 5.106: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-33 kolonun eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	127
Şekil 5.107: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-33 kolonun eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	128
Şekil 5.108: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-33 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.	128
Şekil 5.109: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-39 kolonun eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	129
Şekil 5.110: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-39 kolonun eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	129
Şekil 5.111: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-39 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.	130
Şekil 5.112: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-40 kolonun eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	130
Şekil 5.113: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-40 kolonun eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	131

Şekil 5.114: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-40 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.	131
Şekil 5.115: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-1 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	132
Şekil 5.116: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-1 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	132
Şekil 5.117: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-1 perdenin düzeltme hatalarının karşılaştırılması.	133
Şekil 5.118: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-2 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	133
Şekil 5.119: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-2 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	134
Şekil 5.120: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-2 perdenin düzeltme hatalarının karşılaştırılması.	134
Şekil 5.121: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-3 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	135
Şekil 5.122: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-3 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	135
Şekil 5.123: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-3 perdenin düzeltme hatalarının karşılaştırılması.	136
Şekil 5.124: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-4 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	136
Şekil 5.125: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-4 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	137
Şekil 5.126: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-4 perdenin düzeltme hatalarının karşılaştırılması.	137
Şekil 5.127: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve tekdüze gruplu düzeltme yöntemi ile W-5 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	138
Şekil 5.128: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-5 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	138
Şekil 5.129: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-5 perdenin düzeltme hatalarının karşılaştırılması.	139

Şekil 5.130: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-6 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	139
Şekil 5.131: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-6 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	140
Şekil 5.132: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-6 perdenin düzeltme hatalarının karşılaştırılması.	140
Şekil 5.133: Binanın kule kısmındaki kolonlar için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hataların ilişkileri (50 yıl boyunca eksenel kısaltmaları).	141
Şekil 5.134: Binanın kule kısmındaki kolonlar için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hataların ilişkileri (50 yıl boyunca eksenel kısaltmaları).	142
Şekil 5.135: Binanın kule kısmındaki perdeler için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hataların ilişkileri (50 yıl boyunca eksenel kısaltmaları).	142
Şekil 5.136: Binanın kule kısmındaki perdeler için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hataların ilişkileri (50 yıl boyunca eksenel kısaltmaları).	143
Şekil 5.137: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ile tüm kolonların eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	145
Şekil 5.138: Binanın kule kısmındaki bir katın tüm kolonlar için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hataların ilişkileri.	145
Şekil 5.139: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ile tüm kolonların eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	146
Şekil 5.140: Binanın kule kısmındaki bir katın tüm kolonları için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hataların ilişkileri.	146
Şekil 5.141: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ile tüm perdelerin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	147
Şekil 5.142: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ile tüm perdelerin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.	147
Şekil 5.143: Binanın kule kısmındaki bir katın tüm perdeleri için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri.	148
Şekil 5.144: Binanın kule kısmındaki bir katın tüm perdeleri için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri.	148

BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN ZAMANA BAĞLI DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ÖZET

Sünme ve büzülme gibi zamana bağlı deformasyonlardan dolayı yüksek katlı binaların düşey elemanlarında eksenel kısalmalar meydana gelmektedir. Düşey elemanların eksenel kısalmaları yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda beklenmedik hasarlara neden olabildiğinden yapı mühendislerinin araştırması gereken bir konu olmuştur. Eksenel kısalmaların miktarını belirlemek için çeşitli hesap yöntemleri mevcuttur. Binaların statik hesaplarında, geleneksel bir yaklaşım olarak, bina inşaatının tamamlanmasından sonra dış yüklerin yapıya doğrudan ve tek bir adımda uygulandığı varsayılarak yapılar modellenip incelenmektedir. Ancak bu hesap yöntemine zamana bağlı deformasyonlar dahil olmadığı için düşey elemanların eksenel kısalmaları doğru şekilde belirlenememekte ve binanın davranışı gerçekçi şekilde hesaplanamamaktadır. Bu çalışmada, inşaat aşamalarının yanı sıra sünme ve büzülme gibi zamana bağlı etkiler de dikkate alınarak betonarme yüksek bir binanın yapısal davranışı detaylı şekilde incelenmiştir. Hesaplarda dikkate alınan yaklaşımların yapı davranışı üzerine olan etkileri değerlendirebilmek için elde edilen hesap sonuçları ile geleneksel analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. ACI 209R-92, CEB-FIP 2010, AS 3600-2009, Eurocode 2-2004 ve GL2000 gibi modern yönetmeliklerde yer alan yöntemler kullanılarak zamana bağlı parametreler hesaplanmış ve düşey taşıyıcı elemanlardaki eksenel kısalmalar değerlendirilmiştir. Farklı zaman dilimlerine göre düşey taşıyıcı elemanlardaki eksenel kısalmalar incelenerek binanın eksenel kısalmalarının zamana bağlı değişimi araştırılmıştır. Ayrıca, zamana bağlı davranış nedeniyle binanın seçilen birtakım elemanlarında meydana gelen eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti değişimleri de gösterilmiştir. Diğer taraftan, inşaat adımları ve zamana bağlı davranış dikkate alınarak düşey elemanlardaki boyuna donatı oranının değişiminin yapı davranışına olan etkileri de dikkate alınmış ve analizin sonuçları üzerindeki etkiler incelenmiştir. Aynı zamanda, bu çalışmada inşaatın herhangi bir nedenle durdurulmasının eksenel kısalmalar üzerindeki etkisi de sayısal olarak araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, düşey elemanlar arasındaki eksenel kısalmaların farklarından kaynaklanabilecek yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki beklenmedik hasarları sınırlamak için, betonarme yüksek binaların kolon ve perdelerindeki eksenel kısalmaların azaltılabilmesi için pratik bir düzeltme yöntemi önerilmiştir. Önerilen düzeltme yönteminde, düşey elemanlar gruplandırılmış ve gruplardaki hataların cezalandırılmasıyla toplam kısalma farklılıklarının en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada önerilen yöntemin değerlendirilebilmesi için 32 katlı betonarme bina modeli dikkate alınmış ve düşey elemanların eksenel kısalmaları araştırılmıştır. Tekdüze gruplu düzeltme yöntemi ve önerilen Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi farklı sayıda eleman grubunu dikkate alınarak kolon ve perdelerin eksenel

kısaltmaları üzerinde uygulanmıştır. Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminde hatalar L1-norm ve L2-norm yaklaşımları kullanılarak kendi içerisinde değerlendirilmiştir. Her bir düzeltme yöntemi için düzeltilmiş hatalarının büyüklüğü sunulmuş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada önerilen Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin sayısal sonuçları, maksimum hataları verimli bir şekilde en aza indirerek düşey elemanlar için düzeltme hatalarının miktarını tespit edebilmiştir.

INVESTIGATION OF TIME-DEPENDENT BEHAVIOR OF A HIGH-RISE REINFORCED CONCRETE BUILDING

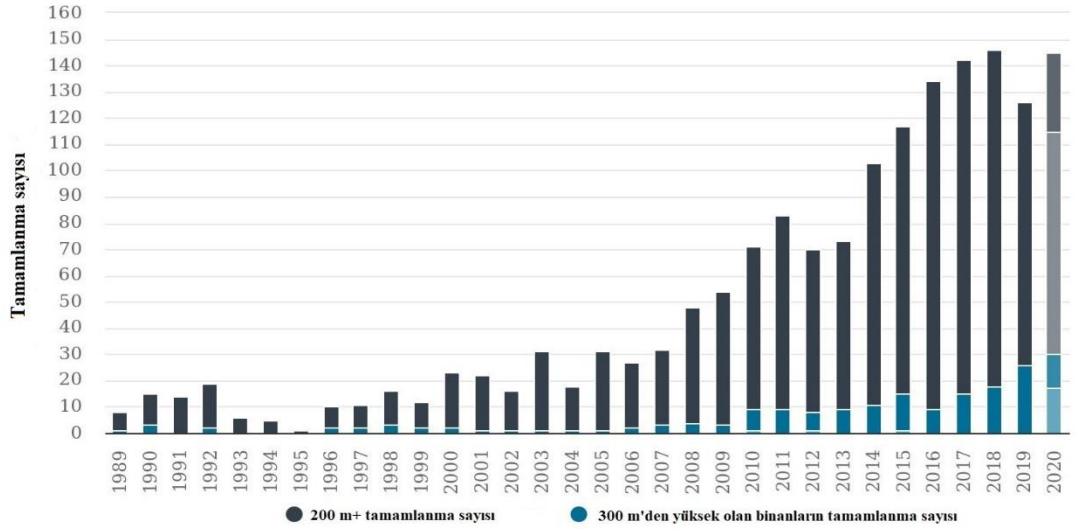
ABSTRACT

Axial shortening occurs in vertical members of high-rise buildings due to time dependent deformations such as creep and shrinkage. Structural engineers have been investigating axial shortening of vertical elements since it can cause unexpected damages in structural and non-structural elements. Several calculation methods are available to determine the amount of axial shortening. In the static analysis of buildings, as a traditional approach, after the completion of the building construction, structures are modeled and examined, assuming that external loads are applied directly and in one step. However, since time-dependent deformations were not included in this analysis method, the axial shortening of the vertical elements cannot be determined accurately and the behavior of the building cannot be calculated realistically. In this study, the structural behavior of a high-rise reinforced concrete building was investigated in details by taking into consideration of the time-dependent effects such as creep and shrinkage as well as construction phases. In order to evaluate the effects of the approaches taken into account in the structural behavior, the results of the calculations were compared with the traditional analysis results. Time dependent parameters were calculated using analytical methods in modern standards such as ACI 209R-92, CEB – FIP 2010, AS 3600-2009, Eurocode 2-2004 and GL2000 and axial shortenings in vertical load carrying members were evaluated. The axial shortenings of the vertical load carrying members according to different time periods were examined and the time-dependent changes of the axial shortenings of the building were evaluated. Also, axial force, shear force and bending moment variations in some selected members of the building due to time-dependent behavior were shown. On the other hand, considering the construction sequence and time-dependent behavior, the effects of the variation of longitudinal reinforcement on vertical members to the structural behavior were also taken into consideration and the effects on the results of the analysis were examined. The effect of stopping the construction for any reason was investigated numerically considering axial shortening. Within the scope of the study, a practical compensation method has been proposed to reduce the unexpected damages in the structural and non-structural elements that may arise from the differences of the axial shortenings between the vertical members. In the proposed correction method, vertical elements are grouped and it is aimed to minimize total shortening differences by punishing the errors in the groups. In order to evaluate the proposed method, the 32-storey reinforced concrete building model was taken into consideration and axial shortening of vertical members was investigated. Uniform-Grouped Correction Method and the proposed Penalized Errors Correction Method were applied on axial shortening of columns and

shear walls considering different number of element groups. In the Penalized Errors Compensation Method, errors were evaluated within themselves by using L1-norm and L2-norm approaches. For each correction method, the size of the corrected errors is presented and the results obtained were compared. The numerical results of the Penalized Errors Compensation Method proposed in the study were able to determine the amount of correction errors for vertical elements by efficiently minimizing the maximum errors.

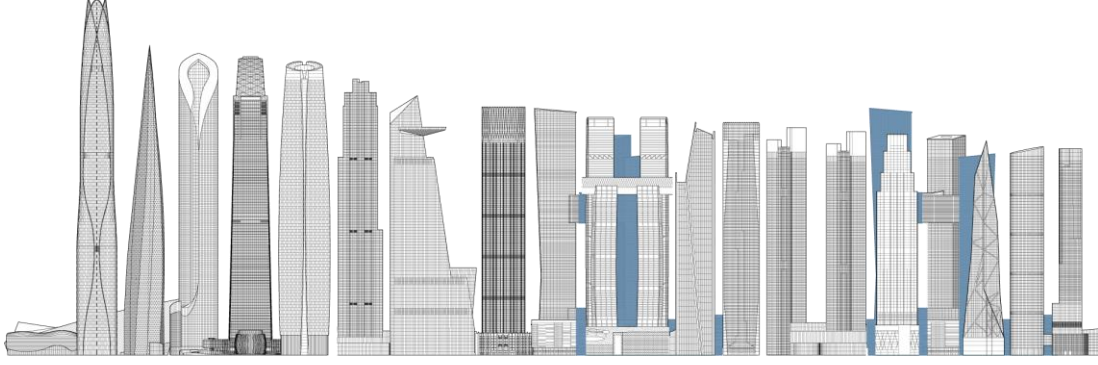
1. GİRİŞ

Her geçen gün biraz daha gelişen teknoloji, hayatın diğer alanlarında olduğu gibi yapı endüstrisinde özellikle yüksek binaların tasarım ve yapım aşamalarında etkilerini göstermektedir. Özellikle inşaat mühendisliği alanında teknolojinin gelişmesiyle birlikte, yüksek binaların sayısı tüm dünyada artmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin büyük şehirlerinde, çoğunlukla betonarme olmak üzere çok sayıda yüksek bina inşa edilmektedir. 2019 yılında Yüksek Binalar ve Kentsel Yaşam Alanı Konseyi (CTBUH) [1] tarafından verilen rapora göre; 2019 yılında 300 metre veya daha yüksek 26 binanın tamamlandığı belirtilmiştir. Aynı zamanda, 2018 ve 2020 yılları arasında 500 metre yüksekliği olan bir tane bina yapıldığı bilinmektedir. CTBUH tarafından yüksek binalar üzerinde yapılmış olan çalışmanın verileri Şekil 6.1’de gösterilmiştir [1].



Şekil 1.1: CTBUH tarafından yüksek binalar üzerinde yapılmış olan çalışma [1]

CTBUH tarafından yapılan çalışmada 2019 yılında tamamlanan en çok bilinen 20 adet yüksek bina Şekil 1.2’de gösterilmiştir [1].



Şekil 1.2: 2019 yılında tamamlanan yüksek binalar [1].

Yüksek binaların yapısal tasarımlarında servis (kullanım) yükleri gereksinimleri çok önemlidir. Yüksek binaları tasarlanırken, binanın en yüksek noktasındaki yatay yer değiştirme, görelî kat yer değiştirmeleri, hareketli yüklerden kaynaklanan bina titreşimleri, rüzgâr kaynaklı bina ivmeleri ve düşey elemanların aksel kısılmaları gibi servis (kullanım) yüklerin gereksinimlerini dikkate alınması gerekmektedir.

Yüksek binaların düşey elemanlarında, önemli mertebelerde aksel kısılmalar meydana gelmektedir. Binanın zati ve hareketli yükleri, zamana bağılı sünme ve büzülme gibi etkiler nedeniyle düşey elemanlarda büyük aksel kısılmalar oluşmaktadır. Yüksek binaların taşıyıcı elemanlarının öz ağırlıkları, dış ve iç duvar yükleri, yapısal olmayan diğer kalıcı yükler ve ilave gelen hareketli yüklerin binanın ömrü boyunca uzun süreli olarak etki etmesi söz konusudur. Bu yüklerin genelde yapıya aynı anda etkilendiği varsayılarak yapı hesapları yapılmaktadır. Ancak, özellikle yüksek bina inşaatlarında inşaatın adım adım yükselişinin tasarım esnasında ihmal edilmesi, binanın gerçek davranışını modellenememesine sebep olur. Özellikle zati yüklerin inşaat sırasını dikkate alan analize göre bina üzerinde katların inşaatından sonra sıralı bir şekilde uygulanması gerekir. Bu durum, hesap sonuçları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Düşey elemanlarda meydana gelen aksel kısılmalar ihmal edilerek tasarım yapıldığında, düşey elemanlara bağılı elemanlarda aşırı yer değiştirmeler sebebiyle kabul edilemez çatlaklar oluşabilir. Aynı zamanda düşey elemanlarda meydana gelen aksel kısılmalar yapısal olmayan elemanlara da hasar verebilmektedir.

Yüksek dayanımlı betonların ve yüksek kalitede donatı çeliklerinin kullanılmaya başlanması ile birlikte, gelişen bilgisayar uygulamaları kullanılarak daha hassas yapısal analizlerin gerçekleştirilmeye başlanması, daha hafif ve malzemedan tasarruf

edilmesine olanak tanıyan yapısal eleman ve yapı sistemlerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu durum, servis yükleri altındaki betonarme yapıların kısa ve uzun süreli davranışlarının daha detaylı incelenmesi gerekliliğini doğurmuştur [2]. Ayrıca, sünme ve büzülme etkileri yapısal elemanlarda önemli yer değiştirmelere neden olabileceği gibi, kılcal çatlakların meydana gelmesine ve durabilite problemlerine yol açarak yapının servis ömrünü etkileyeceği de unutulmamalıdır [3]. Bu nedenlerle, özellikle yüksek binaların düşey elemanlarında meydana gelen aksel kısılmalar yapısal olmayan elemanlar üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması ve aksel kısılmaların kontrol altında tutulabilmesi için çalışmalar yapılması gereği ortaya çıkmıştır.

1.1 Amaç ve Hedef

Bu çalışmanın amacı, betonarme yüksek binalar için inşaat aşamalarının dikkate alınarak, sünme ve büzülme nedeniyle oluşacak zamana bağlı davranışın modellenmesi ve seçilen yüksek bir bina üzerinde davranışın sayısal olarak araştırılmasıdır. Çalışmada, seçilen yüksek binanın düşey elemanlarında meydana gelen aksel kısılmalar üzerine yoğunlaşmış ve farklı hesap yaklaşımları ile çeşitli modern yönetmelikler kullanarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Düşey elemanların aksel kısılmalarının kontrol altında tutulabilmesi için hataları cezalandıran bir hata düzeltme yöntemi önerilmiş ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile karşılaştırılarak düşey elemanlar için uygulanmıştır.

1.2 Yöntem

Betonarme yüksek binaların hesaplarında; inşaat adımlarının dikkate alınması, zamana bağlı sünme ve büzülme gibi etkilerin incelenebilmesi gelişen teknoloji ile birlikte önem kazanmıştır. Betonarme yüksek binaların inşaatı esnasında katların sırayla ve zaman içerisinde bir önceki katın üzerinde inşa edildiği dikkate alınır, yapısal elemanların zati yüklerinin ayrı aşamalarda sisteme uygulandığı anlaşılmaktadır. Yüklerin bir adımda binaya uygulandığı varsayılan geleneksel hesap yaklaşımlarının bu nedenle gerçek davranışı tam yansıtmadığı açıktır. Bu nedenle, binanın inşaatı sırasındaki gerçek davranışı hesaplara yansıtmak için, öncelikle inşaat sırasını ve her katın inşaat süresini ve yükünü dikkate alan inşaat adımları analizi uygulanmıştır. Ayrıca, sünme ve büzülme gibi zamana bağlı etkilerin betonarme

yüksek bina davranışı üzerine olan etkileri CEB-FIP 2010 yönetmeliği ve ETABS 16.2.1 yazılımı ile hazırlanan bir hesap modeli kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmada, betonarme yüksek binaların düşey taşıyıcı elemanlarının eksenel kısaltmalarına yoğunlaşmış ve inşaat adımları ile zamana bağlı davranış birlikte dikkate alınarak yapı hesapları yapılmıştır. Düşey elemanların eksenel kısaltmalarının sınırlandırılabilmesi için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ve çalışmada önerilen Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi L1-norm ile L2-normları ayrı ayrı kullanılarak sunulmuştur. Tez çalışmasında yapılan tüm analizlerden elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar kullanılarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

1.3 Çalışmanın Kapsamı

Tez çalışması beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tezin amacı, yöntemi ve kapsamı açıklanmış, konu ile ilgili daha önce yapılan literatür çalışmaları özetlenmiş ve bu çalışmaya neden gerek duyulduğu açıklanmıştır. İkinci bölümde, malzemenin zamana bağlı davranışıyla ilgili genel bilgiler verilmiş, sünme ve büzülme etkileyen faktörler özetlenmiştir. Üçüncü bölümde, çalışmada incelenmiş olan betonarme yüksek bina ile ilgili genel bilgileri verilmiş, yapı elemanlarının geometrileri ve özellikleri sunulmuştur. Betonarme yüksek bina; inşaat adımları, sünme ve büzülme gibi zamana bağlı etkiler dikkate alınarak incelenmiştir. Kule bölümünün tüm düşey taşıyıcı elemanların eksenel kısaltmaları detaylı şekilde incelenmiş ve bir takım seçilmiş elemanlar için iç tesirler verilmiştir. Dördüncü bölümde, betonarme yüksek binanın düşey taşıyıcı elemanlarında zaman içerisinde meydana gelen eksenel kısaltmalar çeşitli durumlar göz önüne alınarak araştırılmıştır. İlk olarak, farklı bağıl nem yüzdelerinin düşey elemanların eksenel kısaltmalarının üzerinde etkisi incelenmiştir. Akabinde, günümüzde kullanılan çeşitli hesap yönetmeliklerine göre zamana bağlı eksenel kısaltmaların hesabı yapılmış ve hesap sonuçları karşılaştırılmıştır. Betonarme yüksek binanın kolon ve perdeler gibi düşey elemanların davranışları çeşitli zaman dilimleri göz önüne bulundurularak incelenmiştir. Bunların yanı sıra, düşey taşıyıcı elemanlardaki farklı donatı oranlarının eksenel kısaltmalar üzerinde etkisi de araştırılmıştır. Ayrıca, inşaatın herhangi bir nedenle durdurulmasının kolonların eksenel kısaltmaları üzerine ne tür bir etki yapacağı araştırılmıştır. Çalışmanın beşinci bölümünde 32 katlı betonarme

binadaki düşey elemanların aksenal kısalmalarını düzeltmek için farklı düzeltme yöntemleri sunulmuştur. Çalışmada, Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi önerilmiş ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi makine öğrenme literatüründe yer alan L1-normu ve L2-normu yaklaşımları dikkate alınarak ayrı ayrı incelenmiştir.

1.4 Literatür İncelemesi

Au ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, betonarme çerçevelerin zamana bağlı davranışının verimli değerlendirilmesi için iki yeni fonksiyon sunulmuştur. Yapının geçmişine göre ayarlanmış elastisite modülü HAEM (history-adjusted elasticity modulus), inşaat sırasını daha doğru bir şekilde modellenbilmesi için kullanılmıştır. Aynı şekilde, büzülme analizi tek bir adım kullanılarak gerçekleştirilebilmesi için büzülme-ayarlanmış elastisite modülü SAEM (shrinkage-adjusted elasticity modulus) eklenmiştir. Bu yöntemler, birkaç aşamada inşa edilmiş ve yüklenmiş çerçeve yapılara uygulanmıştır. Sıkı zaman entegrasyonu kullanmak yerine sadece birkaç zaman aralığı göz önünde bulundurularak doğru sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada sunulan yöntemlerin verimliliğini göstermek için sayısal örnekler sunulmuştur [4].

Sharma ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, betonarme çerçevelerinin kolonları arasındaki düşey aksenal kısalmalar ve aksenal kuvvet transferi, kolonlardaki donatı yüzdesine ve kirişlerin rijitliğine bağlı olduğunu gösterilmiştir. Aynı zamanda, sünme ve büzülmenin kolon aksenal kuvvetleri üzerindeki etkisi incelenmiş, binaların alt ve orta kısımlarının tasarım açısından önemi gösterilmiştir. Rijitlik faktörünün ve kolonların donatı yüzdesinin etkileri incelenmiştir [5].

Choi ve Kim tarafından yapılan bir çalışmada, yapı analizlerinde yapı ağırlığını ve sırayla diğer zati yüklerin uygulanmasını dikkate alarak, çerçeve elemanlarında kolon aksenal kısalması nedeniyle oluşan eğilme momentleri ve kesme kuvvetlerini araştırmıştır. Düşey yükler için, inşaat sırasını dikkate alan basit ve yeni bir çerçeve analiz tekniği sunmuştur. Bu çalışmanın yapısal modelinde, inşa edildiği zamanın gerçek koşullarının yeterince temsil edilmeye çalışıldığı belirtilmiştir. Çalışmada önerilen yüksek çerçeve analiz tekniğinin uygulanmasının pratik olduğu ve düşey yükler nedeniyle bir binadaki kolonların aksenal kısalmalarının gerçekçi şekilde hesaplaması için etkili olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada sunulan teknik, 60 katlı

kompozit kolonlu çelik bina çerçevesine ve 10 katlı betonarme bina çerçevelerine uygulanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre; tüm çerçevenin analizinde diferansiyel kolon kısalması ve bunun neden olduğu eğilme momentlerinin çok önemli olduğu ve yüksek binaların analizinde ihmal edilmemesi gerektiği belirtilmiştir [6].

Choi ve diğerleri tarafından yapılan başka bir çalışmada, yapının katlarının sırayla imal edilmesi nedeniyle zati yüklerin sıralı olarak uygulanmasının etkisi araştırılmış ve yüksek çerçeve analizinde dikkate alınması gereken önemli bir faktör olduğu gösterilmiştir. Bu etkiyi hesaplara doğru bir şekilde dahil etmenin yollarından biri, inşaat ilerledikçe zati yüklerin sıralı uygulanmasına uygun olarak hesap adımlarını adım adım prosedürlerle yürütülmesi olduğu belirtilmiştir. Ancak bu yöntemler ayrıntılı hesap yapılmasını ve daha fazla çözüm süresi ayrılmasını gerektirmektedir. Bu makalede, inşaat sırasını dikkate alan analizleri dikkate alabilmek için düzeltme faktörü yöntemi olarak adlandırılan basitleştirilmiş bir yaklaşım önerilmiştir. Yöntemin geçerliliğini ve etkinliğini göstermek için bazı sayısal uygulamalar araştırmacılar tarafından sunulmuştur [7].

Fintel ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek binalardaki düşey elemanların önemli mertebelerdeki eksenel kuvvetleri taşıması gerektiğinden büyük miktarlarda eksenel yer değiştirmelerin olduğu 80 katlı kompozit ve 70 katlı betonarme bina üzerinde gösterilmiştir. Düşey elemanların kısalmalarına bağlı olarak, binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarı en aza indirmek için eksenel kısalmaların düzeltilmesi gerektiği belirtilmiştir. Düşey elemanların eksenel kısalmalarını düzeltmek için, düşey elemanlarda meydana gelen eksenel kısalmaların imalata sırasında düzeltilmesi gerektiği belirtilmiştir [8].

Gao ve Bradford tarafından yapılan bir çalışmada, yaşa göre ayarlanmış etkin modül yöntemi AEMM kullanılarak betonarme kolonların kısa süreli ve zamana bağlı davranışları için bir analiz yöntemi sunulmuştur. Zamana bağlı davranışı hesaplayabilmek amacıyla geliştirilmiş yazılım ayrıntılı olarak açıklanmıştır [9].

Pan ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, betonarme yüksek binaların kolonlarını uzun süreli eksenel deformasyonlarının tahmini için 30 kattan daha az katlı binalar için pratik bir artım esasına dayanan süperpozisyon yöntemi önerilmiştir. Yöntemde, sünme ve büzülmeden kaynaklanan eksenel kısalmalar

seçilen zaman dilimlerinde ayrı ayrı değiştiği varsayılan artım yöntemine dayanmaktadır. Yöntem ile tahmin edilen değerlerin, yüksek bir binada ölçülen kolon kısalmaları ile uyumlu olduğu gösterilmiştir [10].

Kwak ve Kim tarafından yapılan bir çalışmada, inşaat adımlarını dikkate alan analiz yapılmış ve zamana bağlı etkileri incelemek amacıyla ACI 209R-92 yöntemini kullanılmıştır. Çalışmada 10 katlı betonarme bir binada kısa ve uzun süreli yüklemeler altındaki davranış üzerine çalışmışlardır. İnşaat adımları sırasının betonarme çerçevelerin iç kuvvetlerini nasıl etkilediğine dair ayrıntılı bir yöntem sunmuştur. Zamana bağlı etkiler ve yapı inşaat adımları göz önüne alındığında daha fazla eğilme momentinin ve kolon eksenel kısalmalarının elde edildiği belirtilmiştir [11].

Kim ve Shin tarafından yapılan bir çalışmada, pratik bir yaklaşım geliştirmek amacıyla yüksek binaların kolon eksenel kısalması için yığılı model esasına dayanan bir yaklaşımla inşaat adımları için bir analiz yöntemi önerilmiş ve verimliliği araştırılmıştır. Çalışmaya göre, yığılı model inşaat sonrası kısalmanın yanı sıra toplam kısalma konusunda da tam modele yakın sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Her ne kadar bu yaklaşım hesaplama süresinde azalma sağladığı ifade edilse de yığılmış katlar ile ilgili birtakım özel sınırlar gerektiği belirtilmiştir [12].

Kim ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek binaların kolon kısalmalarının hesabı için yığılı inşaat sırası modellenmesi yöntemi önerilmiş ve verimliliği araştırılmıştır. Yığılı model için farklı düzeltme yöntemleri araştırılmıştır. Yığılıma boyutu incelenmiş ve modelin verimliliği göz önünde bulundurularak katsayı önerilmiştir. Yığılmış modeller, üç boyutlu ve düzlem çerçeve analizleri için verimli bir şekilde kullanılmıştır. Önerilen yöntemin, yüksek binaların tasarım aşamasında daha etkili bir şekilde kullanılabileceği belirtilmiştir [13].

Kurc ve Lulec tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek binalarda kolonların ve perdelerin eksenel kuvvetleri hesaplanmış ve bina tasarımında yaygın olarak kullanılan çeşitli analiz yaklaşımları araştırılmıştır. İnşaat adımları ve zamana bağlı deformasyonların hesabında kolon boyuna donatı oranları dikkate alınmış ve donatı oranlarının sonuçlar üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Ankara'da inşaatı tamamlanmış 37 katlı bir binanın basitleştirilmiş modeli kullanılmıştır. Kolon ve perde eksenel

kısalmalarının analiz türüne ve dikkate alınan etkilere bağlı olarak önemli mertebelerde değişebileceğini göstermiştir [14].

Kim ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek bir binanın tasarım aşamasında kullanılacak kolon aksel kılma analizi yöntemi önerilmiştir. Önerilen analiz yönteminde, inşaat adımları, yatay elemanların sınırlayıcı etkisi, sünme ve büzülme gibi zamana bağlı etkiler dikkate alınmıştır. Analiz süresi, inşaat tamamlamadan önce ve inşaat tamamlandıktan sonra olmak üzere iki aşamaya ayrılmıştır. Analiz yönteminde önerilen düzeltme faktörleri, inşaat adımlarını gerçekçi şekilde dikkate almak için sadece inşaatın tamamlaması öncesindeki aşamaya uygulanmıştır. Yapı elemanlarının yaşa göre ayarlanmış etkin modülleri dikkate alınarak uzun süreli davranış hesaplanmıştır. 70 katlı betonarme bir binanın kolon ve perdelerindeki aksel kılmalara sayısal örnek olarak incelenmiştir. Önerilen analiz yönteminin, diferansiyel kolon kılmasının tasarım aşamasında yatay elemanlara etkilerini değerlendirmek için etkili bir şekilde kullanılacağı gösterilmiştir [15].

Kim tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek binalar için geliştirilmiş bir analiz yöntemi önerilmiştir. Analiz yönteminde, yatay elemanların ve donatı miktarlarının kısıtlayıcı etkileri göz önünde bulundurulmuştur. İnşaatın tamamlanmasından sonra seçilen bir süre için yer değiştirme ve iç kuvvetlerin hesabı bu yöntem ile adım adım uygulanmıştır. 80 katlı betonarme çerçeve-perde binanın kolon kılmaları sayısal örnek olarak incelenmiştir [16].

Afshari ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, sünme ve büzülme gibi zamana bağlı etkilerin neden olduğu kolon kılmasını tahmin etmek için farklı geometrik özelliklere sahip yapılar üzerinde çok sayıda modelleme ve inşaat adımlarını kapsamlı biçimde dikkate alan analizler yapılmıştır. Aksel kılma tahmininde ACI209R-92 yaklaşımı dikkate alınmıştır. Çalışmada önerilen pratik denklemlerin kullanımından elde edilen sonuçlar, 30 kata kadar olan yapılar için yapı davranışı ile uyumlu olduğu ifade etmiştir [17].

Afshari ve Kheyroddin tarafından yapılan bir çalışmada çeşitli yapıların inşaat adımlarını dikkate alan analizler ile birlikte zamana bağlı davranışı incelemiştir. Sünme ve büzülme gibi zaman bağlı davranıştan kaynaklanan kolonların düşey yer

değiştirmesini tahmin etmek için belirli sınırları dikkate alan pratik denklemler önermiştir [18].

Li ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, Ping-An Ticari Merkezi (PAFC)'de kurulu bir yapısal sağlık izleme sisteminin çıktılarını dikkate alınmıştır. Çalışmada, süper yüksek binanın düşey taşıyıcı elemanlarındaki eksenel kısalmaları çeşitli inşaat aşamalarını dikkate alınarak incelenmiştir. Hem yerinde ölçüm alınmış hem de sayısal hesaplar gerçekleştirmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, zamana bağlı etkiler dikkate alınmadan hesaplanan eksenel kısalmaların ölçülen değerlere göre önemli ölçüde az hesaplandığı, zamana bağlı davranışın hesaplarda dikkate alınmasının gerekli olduğu ortaya çıkmıştır. İnşaat adımlarının, büzölme ve sünme gibi etkilerin PAFC'nin düşey elemanlarındaki eksenel kısalmalar üzerinde önemli etkilere sahip olduğu gösterilmiştir [19].

Kim tarafından yapılan bir başlıklı çalışmada, geleneksel olarak yüksek bir binanın yanal rijitliğini arttırmak için kullanılan yapı elemanlarının düşey elemanlardaki eksenel kısalma üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Bu yapı elemanlarındaki birleşim tipleri, kesit alanları ve donatı miktarlarının eksenel kısalma üzerindeki etkileri incelenmiştir [20].

Kim ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, 2017 yılındaki yapılan çalışmasını geliştirerek eksenel kısalma azalmasına bağlı olarak davranışı tahmin etmek için analitik denklemler önerilmiştir [21].

Choi ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, inşaatı devam eden yüksek bir binada kolon eksenel kısalmasını izlemek için pratik bir sistem sunulmuştur. Önerilen izleme sistemi; kablosuz algılama sistemi ve ilgili izleme yazılımı bileşenleri içermektedir. Önerilen izleme sistemi ile 66. ve 72. katlardaki davranış incelenmiştir. Kurulan sistem ile düşey elemanların eksenel kısalmaları otomatik ve gerçek zamanlı ölçümler ile izlenmiştir [22].

Pendharkar ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek kompozit çerçevelerde elastik olmayan momentlerin hızlı bir şekilde tahmin edilmesi için yapay sinir ağı modelleri geliştirilmiştir [23].

Park tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek bir binada diferansiyel kolon kısalması için önerilen bir düzeltme yöntemi optimizasyon problemine dönüştürülmüştür. Optimal çözümler bulmak için benzetilmiş tavlama algoritmasına (simulated

annealing algorithm) kullanılmıştır. Önerilen yöntem, 70 katlı betonarme ve 63 katlı kompozit binaların düşey elemanlardaki eksenel kısalmaların düzeltilmesi için uygulanmıştır. Binaların eksenel kısalmaları, Optimum Düzeltme Yöntemi ile etkili bir şekilde kontrol edilmiştir [24].

Park ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, sünme ve büzülme nedeniyle yüksek bir binadaki düşey elemanların eksenel kısalmalarının yapısal ve yapısal olmayan elemanlar üzerinde beklenmedik hasarlara neden olabileceğini belirtmiştir. Çalışmada hareketli ortalama yaklaşımı kullanılarak pratik bir düzeltme yöntemi sunulmuştur. Önerilen yöntem, 70 katlı bir binadaki düşey elemanlarında meydana gelen diferansiyel eksenel kısalmaların düzeltilmesi için uygulanmıştır. Hareketli ortalama düzeltme yönteminin sonuçları, benzetilmiş tavlama algoritmasına dayanan optimum düzeltme yönteminin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır [25].

Kompozit yapısal sistemlerdeki zamana bağlı davranışı izlemek için, Samarakkody ve diğerleri, çalışmalarında 60 katlı bir bina kullanarak kompozit beton dolgulu tüp kolonlu yüksek binalarda eksenel kısalmaları hesaplarda dikkate alabilmek için bir yöntem sunmuşlardır [26].

Literatürde yer alan çalışmaların ışığında, tez çalışması kapsamında yüksek binaların inşaat adımlarını, büzülme ve sünme gibi zamana bağlı etkilerin yapı davranışı üzerine olan etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle, bu davranışları dikkate alabilen sonlu elemanlar yazılımı kullanarak, 32 katlı bir betonarme binanın düşey elemanlarının eksenel kısalmaları çeşitli zaman aralıkları için nümerik olarak incelemiştir. Zamana bağlı meydana gelen eksenel kısalmaların düzeltilebilmesi amacıyla bir düzeltme yöntemi önerilmiş ve diğer düzeltme yaklaşımları ile birlikte değerlendirilmiştir.

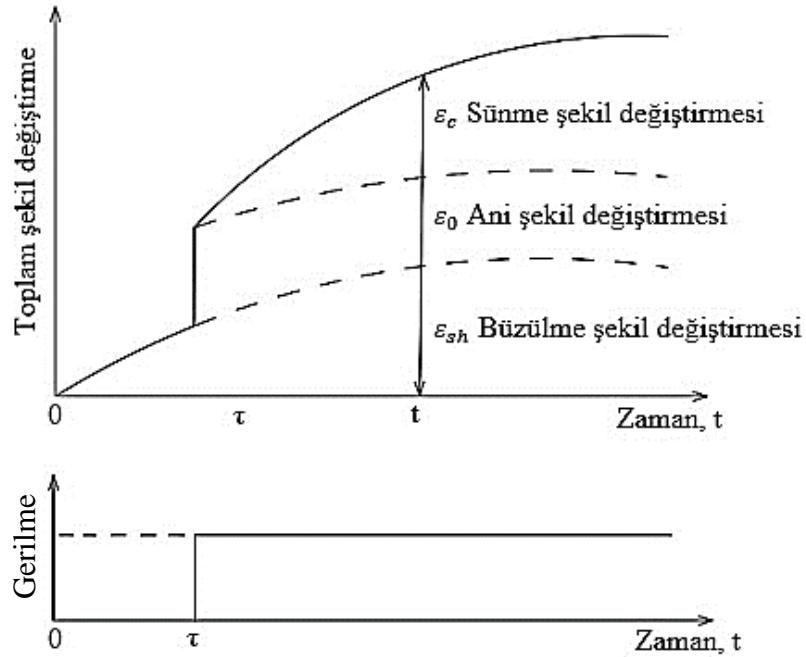
2. BETONARME ELEMANLARDA ŞEKİL DEĞİŞTİRMELERİN İNCELENMESİ

2.1 Betonun Şekil Değişirilmesi

Sabit sıcaklık altında tek eksenli olarak yüklenmiş bir numunenin herhangi bir t anında, bir noktasındaki toplam şekil değiştirme ani, sünme ve büzölme şekil değiştirilmesi olarak değerlendirilmektedir. Bu durum denklem 2.1 ile gösterilmiştir.

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0(t) + \varepsilon_c(t) + \varepsilon_{sh}(t) \quad (2.1)$$

Burada $\varepsilon(t)$ toplam şekil değiştirme gösterirken, $\varepsilon_0(t)$ ani şekil değiştirilmesi, $\varepsilon_c(t)$ sünme şekil değiştirilmesi ve $\varepsilon_{sh}(t)$ büzölme şekil değiştirilmesine gösteriyor.



Şekil 2.1: Sabit gerilme altındaki betonun şekil değiştirme bileşenleri.

τ zamanında yüklenmiş bir numunenin, kalıcı yük altındaki şekil değiştirme bileşenleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir [3]. Beton sertliğini kazandıktan sonra büzölme meydana gelir ve azalan bir şekilde artmaya devam eder. Yükün uygulandığı anda ise

şekil değiştirme grafiğinde ani bir artış görölmektedir ve bu ani şekil değiştirme olarak bilinmektedir. Yük sabit bir şekilde uygulanması devam edilirse şekil değiştirme grafiğinde görölecek artışlar sünme şekil değiştirmesi olarak adlandırılır [3]. Elemanın zamana bağlı davranışının tahmininde büyük bir öneme sahip olan husus betonarme elemanın kritik noktalarında ölçölen bu şekil değiştirme bileşenlerinin belirli bir doğrulukla hesaplanmasıdır. Bu şekil değiştirme bileşenlerinin doğru bir şekilde hesaplaması için de malzeme davranışı ve gerilme geçmişı hakkında yeterince bilgi gerekmektedir. Gerilme geçmişı, problemin sınır koşullarına ve uygulanan yüke bağlıdır [3].

Sünme ve rölaksasyon betonun şekil değiştirme davranışı üzerinde yapılan çalışmalarda ortaya çıkan problemlerdir. Sünme probleminde, kalıcı yük uygulanarak sünme şekil değiştirmenin yavaşça artışı hesaplanırken rölaksasyon probleminde ise şekil değiştirme sabit tutularak zamana bağlı bir şekilde gerilmede görölen azalma belirlenmektedir. Sınır koşullarına göre sünme ve rölaksasyon problemleri farklılık göstermektedir. Aşağıda denklem 2.2’de gösterilmiş olan rölaksasyon problemi, herhangi bir t anında şekil değiştirme bileşenlerinin toplamı sıfır olduğunu göz önüne almaktadır [3].

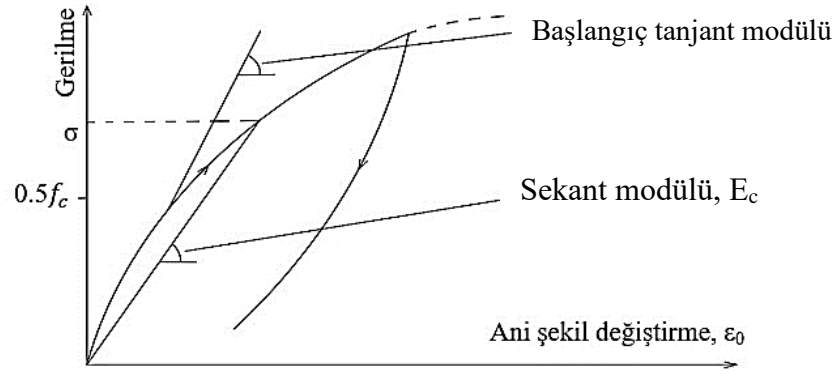
$$\Delta\varepsilon_0(t) + \Delta\varepsilon_c(t) + \Delta\varepsilon_{sh}(t) = 0 \quad (2.2)$$

Burada $\Delta\varepsilon_0(t)$ ani şekil değiştirme, $\Delta\varepsilon_c(t)$ sünme şekil değiştirmesi ve $\Delta\varepsilon_{sh}(t)$ büzölme şekil değiştirmenin bileşenlerini göstermektedir.

2.2 Ani Şekil Değiştirme

Yük uygulandığı anda meydana gelen ani şekil değiştirme ε_0 , yükün büyüklüğüne, uygulanma hızına ve betonun yaşına bağlıdır [3]. Ani şekil değiştirme elastik ve plastik türlerden şekil değiştirmeye karşılık gelmektedir [3].

Şekil2.2’ de basınç gerilmesi etkisindeki betonun gerilme – şekil değiştirme ilişkisi gösterilmiştir [27]. Betonarme bir yapının servis yükleri altındaki herhangi bir noktadaki basınç gerilmesi, nadiren kullanılan betonun karakteristik basınç dayanımının %0,5’ini ($0,5f_c$) aşar.



Şekil 2.2: Basınç etkisi altındaki betonda gerilme – şekil değiştirme ilişkisi.

Bu küçük gerilme aralığında, ani şekil değiştirmenin plastik kısmı düşük bir değer alır. Bu nedenle betonun ani deformasyonunu servis yükleri altında elastik olarak kabul etmek makul bir yaklaşımdır. Herhangi bir t anında ani şekil değiştirmesi aşağıdaki denklem 2.3'te gösterilmiştir.

$$\varepsilon_0 = \frac{\sigma(t)}{E_c(t)} \quad (2.3)$$

Burada $E_c(t)$ 'nin değeri yükleme hızına da bağlı olup zamanla artar. $E_c(t)$ betonun elastisite modülünü (sekant modülü) göstermektedir. Yük ne kadar hızlı uygulanırsa $E_c(t)$ 'nin değeri de o kadar büyük olabilmektedir.

Pauw tarafından geliştirilen elastisite modülünün zamanla değişimi ve birçok yönetmelikte de yer alan aşağıdaki denklem 2.4 ile hesaplanabilmektedir [28].

$$E_c(t) = \rho^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f_c(t)} \quad (MPa) \quad (2.4)$$

Bu denklemde ρ betonun birim hacim ağırlığını (normal ağırlıktaki beton için yaklaşık 2400 kg/m³) ve $f_c(t)$ değeri sonucun arandığı gündeki ortalama basınç dayanımı değerini MPa cinsinden göstermektedir. Gerilmenin bir gün gibi daha uzun süre boyunca uygulandığı durumlarda sünmenin erken yaştaki hızlı değişimi nedeniyle şekil değiştirmede büyük artışlar gözlenmektedir. Sünme etkisi dikkate alınmadığı zaman bir güne kadar olan gerilme uygulama süreleri genellikle kısa süreli olarak sınıflandırılmaktadır. Bu durum da önemli hesaplarda önemli hatalara neden olabilir. Dolayısıyla bir gün gibi gerilme uygulama sürelerinin mevcut olduğu durumlarda denklem 2.4 ile hesaplanan değer 0,8 ile çarpılması önerilmektedir [3].

Rüsch ve diğerleri tarafından ortaya konan ve agrega tipinin de etkisini göz önüne bir bağıntıda elastisite modülünün zamanla değişimini hesaplamaya yarayan diğer bir yöntem aşağıdaki denklem 2.5'te gösterilmiştir [29].

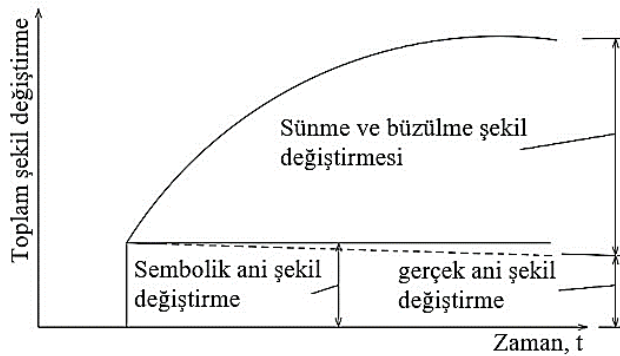
$$E_c(t) = 4,3 \times \beta_a \times \rho \times \sqrt[3]{f_c(t)} \quad (2.5)$$

Burada β_a agrega tipiyle ilgili bir katsayı olup kumtaşı için 0,7, kireçtaşı ve granit için 0,9, kuvarsit için 1,0 ve bazalt için 1,1 değerlerini almaktadır.

Gerilme sabit olduğu zaman denklem 2.3 ile hesaplanan ani şekil değiştirme elastisite modülünün zamanla artması sebebiyle yavaşça azalmaktadır. Ancak ani şekil değiştirmenin zamanla değişmediği ve başlangıç değerine eşit olduğu kabul edilir ve yapılan hesaplarda kolaylık sağlamak amaçlanır. Teorik ve gerçek şekil değiştirme bileşenleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir [3]. İlk olarak bir τ anında uygulanmaya başlanan σ_0 büyüklüğündeki bir gerilme etkisiyle herhangi bir $t > \tau$ anında ortaya çıkan ani şekil değiştirmesi aşağıdaki denklem 2.6 ile hesaplanmıştır.

$$\varepsilon_0(t) = \varepsilon_0(\tau) = \frac{\sigma_0}{E_c(t)} \quad (2.6)$$

Burada $\varepsilon_0(t)$ ve $\varepsilon_0(\tau)$, t ve τ anında ortaya çıkan ani şekil değiştirmesi, σ_0 gerilme ve $E_c(t)$ elastisite modülüne göstermektedir.



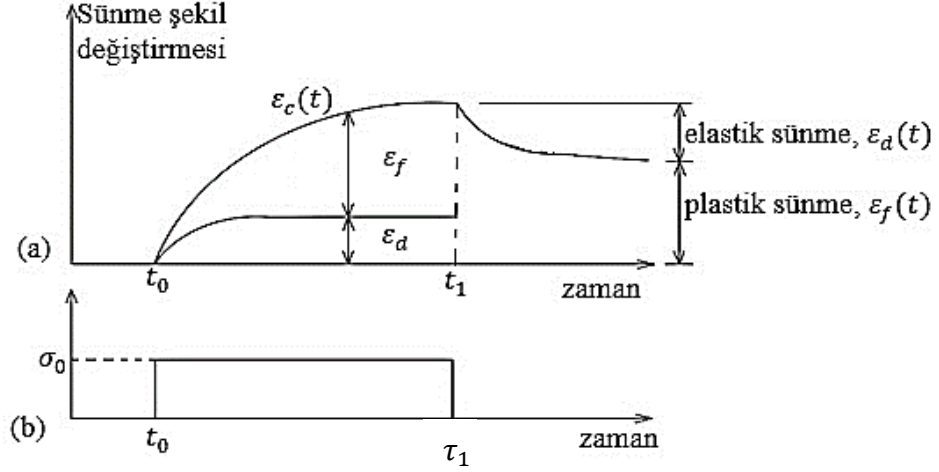
Şekil 2.3: Sembolik ve gerçek şekil değiştirme bileşenleri.

2.3 Sünme Şekil Değiştirmesi

Sünme şekil değiştirmesi üzerinde etkili olan beş ana faktör bu başlığın altında incelenmiştir.

2.3.1 Sünme bileşenleri

Sünme şekil değiştirmesi birçok bileşene ayrılmış ve sünme davranışının fiziksel olarak daha iyi anlaşılabilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 2.4: Elastik ve plastik sünme bileşenleri.

Elastik ve plastik sünme bileşenleri Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Sürekli olarak uygulanan σ_0 gerilmesi etkisiyle sünme azalan bir şekilde artmaktadır. Gerilme τ_1 anında kaldırıldığında, sünme şekil değiştirmesinde ani bir değişimden ziyade zamanla gözlenen yavaş bir azalma gözlemlenir. Sünme şekil değiştirmesinin büyük bir kısmı plastik karakterdeyken bir kısmı elastik karakterdedir.

Sünme şekil değiştirmesinin geçici olarak kabul edilen elastik kısmı gecikmiş elastik şekil değiştirme olarak adlandırılmaktadır ve $\epsilon_d(t)$ ile gösterilmektedir. Uzun süreden beri yüklü tutulan bir beton numunesinden yük kaldırılırsa ortaya çıkacak gecikmiş elastik şekil değiştirme toplam elastik şekil değiştirmenin %50'sini oluştururken toplam sünme şekil değiştirmesinin %10 ila %30'una denk gelmektedir [3]. Her ne kadar yük kaldırıldıktan sonra gözlemlense de yük altında geçen süre boyunca da aynı büyüklüğe sahip olduğu ve yüklemmeden hemen sonraki zaman aralığında hızlı bir şekilde arttığı düşünülmektedir bu durum gecikmiş elastik şekil değiştirmesi için geçerlidir. Rüşch'e göre gecikmiş elastik şekil değiştirme eğrisinin şekli numune yaşından, boyutlarından ve beton karışımından bağımsızdır [29].

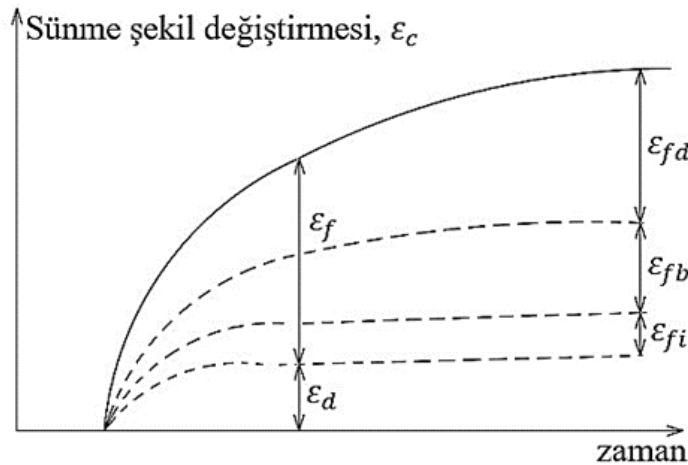
Büyük bir kısmı plastik karakterde olan sünme şekil değiştirmesi, yayılma olarak tanımlanır ve $\varepsilon_f(t)$ ile gösterilmektedir. Bundan dolayı herhangi bir t andaki sünme şekil değiştirmesi aşağıdaki denklem 2.7 ile gösterilir.

$$\varepsilon_c(t) = \varepsilon_d(t) + \varepsilon_f(t) \quad (2.7)$$

Sünmenin yayılma bileşenini alt gruplara ayırmak için yüklemekten sonraki ilk 24 saatte görülen hızlı ilk yayılma olarak tanımlanmıştır ve $\varepsilon_{fi}(t)$ ile gösterilmiştir [29]. Hızlı ilk yayılma kalıcı şekil değiştirmeler doğmasına sebep olurken büyük ölçüde ilk yüklenme anındaki beton yaşına bağlı olmaktadır. $\varepsilon_{fi}(t)$ değeri o kadar büyük olur eğer numune ne kadar erken yüklenirse. Yüklemekten bir gün sonra görülmeye başlanan ve yavaş bir şekilde gelişen yayılma şekil değiştirme bileşeni ortamın bağlı nemine bağlı olup kendi içerisinde basit yayılma bileşenini, $\varepsilon_{fb}(t)$ ve kuruma yayılma bileşenini $\varepsilon_{fd}(t)$ olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kuruma yayılması, kuruyan bir ortamda yüklü olan numunede görülmeleri mümkün kalıcı sünme şekil değiştirmesidir. Denklem 2.7, sünme bileşenlerini kullanarak aşağıdaki denklem 2.8 gibi düzenlenebilmektedir:

$$\varepsilon_c(t) = \varepsilon_d(t) + \varepsilon_{fi}(t) + \varepsilon_{fb}(t) + \varepsilon_{fd}(t) \quad (2.8)$$

Sünme bileşenleri Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

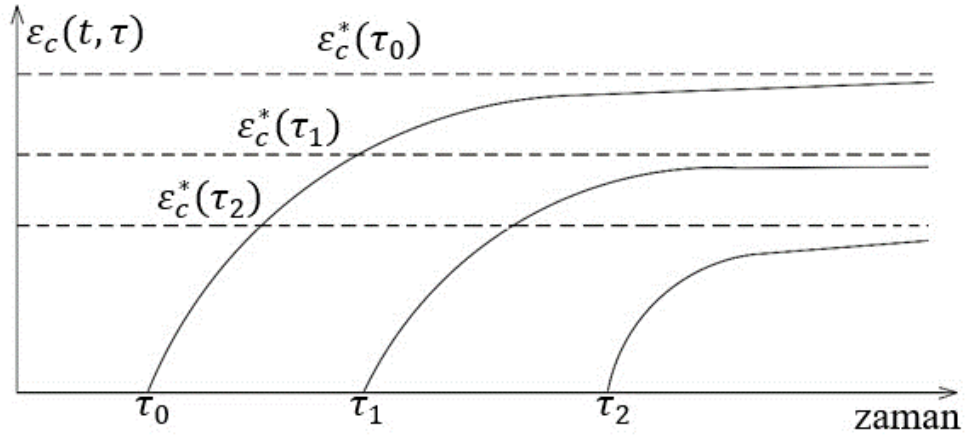


Şekil 2.5: Kurumaya maruz kalan bir numunedeki sünme bileşenleri.

$\varepsilon_{fb}(t)$ Basit yayılma bileşeni, beton dayanımına, agrega türüne, miktarına, büyüklüğüne ve yükleme anındaki beton yaşına bağlıdır. $\varepsilon_{fd}(t)$ Kuruma yayılma bileşeni ise numune şekli, boyutlarına ve nem miktarına bağlıdır [3].

2.3.2 Yaş etkisi

Sünme şekil değiştirmesinin bileşenleri, ilk yükleme anında betonun yaşında olduğu gibi bir dereceye kadar hidrasyon derecesinden etkilenirler. Bu bileşenlerden en çok etkilenenler, hızlı ilk yayılma ε_{fi} ve basit yayılma ε_{fb} 'dir.



Şekil 2.6: İlk yükleme anındaki beton yaşının sünme şekil değiştirmesine etkisi.

Aynı özelliklere sahip fakat τ_0, τ_1 ve τ_2 gibi farklı zamanlarda yüklenen numunelerde gözlenen sünme davranışının zamana bağlı değişimi Şekil 2.6'de gösterilmiştir. $\varepsilon_c^*(t)$, τ_0, τ_1 ve τ_2 farklı zamanlarda meydana gelen sünme şekil değiştirmesine göstermektedir. İlk olarak τ anında uygulanan ve uygulanmasına devam edilen bir yük etkisiyle t anında ölçülen sünme şekil değiştirmesi $\varepsilon_c(t, \tau)$ ile gösterilmektedir [3]. Yaş etkisi, zamanla birlikte değişen gerilme geçmişi altında sünme şekil değiştirmelerinin tahmin edilmesini zorlaştıran bir etmendir [3].

2.3.3 Sünme katsayısı

Devamlı olarak sabit gerilme altında tutulan bir numunenin herhangi bir t anındaki sünme şekil değiştirmesinin ani şekil değiştirmesine oranı sünme katsayısı olarak tanımlanır ve $\phi(t, \tau)$ olarak gösterilmiştir.

Sünme katsayısının büyüklüğü ilk yükleme anındaki beton yaşına bağlı olduğu gibi Sünme şekil değiştirmesinin ilk yükleme anındaki de buna bağlıdır.

Sünme ve ani şekil değiştirme bileşenleri gerilmeyle orantılı olduğundan $\phi(t, \tau)$ sadece zamana bağlı bir fonksiyondur ve uygulanan gerilmeden bağımsızdır. $\phi^*(\tau)$ ile gösterilen zaman sonsuza yaklaştıkça sünme katsayısı da belirli bir son değere ulaşır ve bu da son sünme katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Bu ulaşılan son değer betonun sünme kapasitesinin ifade edilmesinde kullanılan bir büyüklüktür.

Sünme katsayısının da bilindiği düşünülerek herhangi bir t anında hızlı bir şekilde sünme şekil değiştirmesine ulaşmak mümkündür bu da denklem 2.9 yardımıyla gösterilmiştir.

$$\phi(t, \tau) = \frac{\varepsilon_c(t, \tau)}{\varepsilon_0(\tau)} \quad (2.9)$$

Burada $\phi(t, \tau)$, sünme katsayısına gösterirken, $\varepsilon_c(t, \tau)$, sünme şekil değiştirmesi ve $\varepsilon_0(\tau)$ ani şekil değiştirmesine göstermektedir.

2.3.4 Süperpozisyon prensibi

Süperpozisyon prensibi, betonarmedeki yüke bağlı olan şekil değiştirmeler gerilmeyle benzer olduğundan zamanla değişen gerilme altındaki yer değiştirmeleri tahmin edebilmek amacıyla süperpozisyon prensibinden yararlanmaktadır. İlk olarak McHenry tarafından süperpozisyon prensibinin betonarme uygulanması yapılmış olup bu prensip, τ_1 anında uygulanan bir gerilme artımının etkisiyle ortaya çıkan şekil değiştirmenin diğer zamanlarda uygulanan gerilmelerden bağımsız olduğu düşüncesine dayanmaktadır [30].

2.4 Büzülme Şekil Değiştirmesi

Yük uygulanmamış, sabit sıcaklıkta tutulan ve şekil değiştirmesi kısıtlanmamış bir numunede zamanla ölçülen şekil değiştirme büzülme şekil değiştirmesi olarak bilinmektedir. Büzülme büyük ölçüde kurumayla ilişkili olduğundan büzülme şekil değiştirmeleri yapı elemanlarının kalınlıkları boyunca farklı büyüklüklerde ölçülür ve atmosfere açık yüzeylerde en büyük değerlerini almaktadır [3].

Betonun kurummasına etki eden bütün faktörler tarafından büzülme etkilenmektedir. Bu faktörler arasında; karışımın su / çimento oranı, betonun su içeriği, elamanın şekli ve boyutları ve ortamın bağıl nemi sayılabilir. Diğer bütün faktörler aynıyken, su /

çimento oranının artması, ortamın bağıl neminin azalması ve atmosfere maruz kalan yüzey alanının toplam hacme oranının artması ölçülen büzülme şekil değiştirmesini arttırmaktadır. Sıcaklık artışı da kurumayı hızlandırdığından büzülme arttırıcı yönde etki yapmaktadır [3].

Etki edenlerden eleman boyutlarının büzülme üzerindeki etkisi önemlidir. Döşeme gibi ince bir elemanda kurumunun tamamlanması birkaç yıl alabileceken daha kalın bir elemanın iç bölgesindeki kuruma yapının bütün ömrü boyunca devam edebilmektedir [3].

Büzülme aynı zamanda kullanılan agrega tipinden ve karışımdaki agrega hacminden etkilenmektedir. Betonda kullanılan agrega, çimento hamurunun büzülmesini engelleyici yönde etki yapar dolayısıyla kullanılan agrega hacmindeki artış daha düşük büzülme şekil değiştirmelerinin ölçülmesine neden olmaktadır. Aynı şekilde daha büyük elastisite modülüne sahip olan agregaların kullanılması da görülecek büzülme azaltmaktadır [3].

2.5 Zamana Bağlı Davranışın İncelenmesi için Kullanılan Yönetmelikler

Zamana bağlı davranışların incelenmesi için çeşitli yönetmelikler kullanılmaktadır. Bu yönetmeliklerde kullanılan parametreler ve kabuller farklılık gösterdiğinden elde edilen sonuçlarda bir miktar fark içerebilmektedir. Bu bölümde başlıkları verilmiş olan yönetmelikler dikkate alınarak yüksek bir binanın incelenmesi tez çalışmasının sayısal örnek kısmında ayrıca yapılmıştır.

ACI 209R-92 (1992), Amerikan Beton Enstitüsü (American Concrete Institute) tarafından geliştirilmiş olup, beton malzemedan üretilmiş yapı elemanlarının büzülme ve sünme davranışlarının incelenmesi için kullanılmaktadır. Büzülme ve sünme davranışının modellenmesi için çeşitli denklemler içermektedir. Yönetmelik kapsamında yer alan modeller, 20 MPa ile 70 MPa aralığında 28 günlük ortalama basınç silindirik dayanımına sahip betonlara yöneliktir [31].

CEB-FIP Model Code (2010), Avrupa Beton Komitesi (Comité européen du béton-European Committee for Concrete ve Fédération Internationale de la Précontrainte-International Federation for Prestressing) tarafından geliştirilen bir yönetmeliktir. Betonun uzun süreli davranışını modellenmesine yönelik çeşitli formüller

içermektedir. Normal mukavemetli beton için sünme ve büzülme etkilerini belirlemek için pratik ve uygulanabilir olmasından dolayı genel kullanım alanı bulmuştur [32, 33].

AS3600 (2009) standardı, Avustralya Standartlar Komitesi BD-002 tarafından geliştirilmiştir. Standardın temel amacı, kullanıcılara yapısal mühendislik mekaniği prensiplerine dayanarak, çelik takviye veya ön gerilmeli tendonları olsun veya olmasın, beton yapıların ve elemanların tasarımı ve detaylandırılması için ulusal olarak kabul edilebilir birleşik kurallar sağlamaktır. Standartta aynı zamanda sünme ve büzülme gibi zamana bağlı deformasyonların hesaplanması için bir yöntem de sunulmuştur [34].

Eurocode 2 (2004) betonarme yapıların tasarımı ile ilgili bir standarttır. Sünme ve büzülme gibi zamana bağlı deformasyonları hesaplanması için sayısal bir yöntem sunulmuştur. Bu standart kapsamında, beton içeren yapılarda büzülme ve sünme davranışlarının zamana bağlı önemli özellikler olduğu vurgulanmaktadır [35].

GL2000 yöntemi, N. J. Gardener ve M. J. Lockman tarafından yaptıkları bir çalışmada 2000 yılında geliştirilmiştir. Bu çalışma, tasarımda mevcut olan bilgileri, 28 günlük basınç dayanımını, yükleme sırasında beton mukavemetini, eleman boyutunu ve bağıl nemi kullanarak betonun büzülme ve sünme gibi zamana bağlı yer değiştirmelere hesaplamak için bir yöntem sunmaktadır. Yöntem, zamana bağlı şekilde büzülme ve sünmeyi tahmin etmek için çeşitli denklemler içermektedir [36].

Bu çalışmada, temel olarak seçilen yüksek binanın zamana bağlı davranışının belirlenmesinde CEB-FIP 2010 yönetmeliğinde yer alan analitik yönteminden faydalanmıştır. Bu nedenle, CEP-FIP 2010 yöntemi detaylı şekilde incelenmiştir.

2.5.1 CEB- FIP 2010 Yönteminin İncelenmesi

CEB-FIP 2010 yönetmeliğinin zamana bağlı etkiler bölümünde; sünme katsayısı ve büzülme şekil değiştirmesi değerlerinin hesaplanması için gerekli olan parametrelere etkiyen faktörler açıklanmış, bunların hesaplanmasında kullanılan denklemler verilmiştir [33].

2.5.1.1 Basınç dayanımı ve elastisite modülünün zamana bağlı değişimi

Herhangi bir t zamanındaki beton basınç dayanımı; kullanılan çimento tipine, kür koşullarına ve sıcaklığa bağlıdır. Ortalama 20°C sıcaklık ve standart kür koşullarında tutulan bir beton numunesi için farklı betonarme zamanlarında ortalama betonarme basınç dayanımı olan f_{cm} 'nin herhangi bir beton yaşındaki değeri denklem 2.10 ile hesaplanır.

$$f_{cm}(\tau) = \beta_{cc}(\tau) \times f_{cm} \quad (2.10)$$

Burada, τ ilk yüklemenin yapıldığı andaki beton yaşını gösterirken f_{cm} değeri ise betonun 28 günlük ortalama basınç dayanımını gösterir. Denklem 2.10'deki $\beta_{cc}(\tau)$ ise beton yaşına bağlı bir fonksiyon olup denklem 2.11'de gösterilmiştir.

$$\beta_{cc}(\tau) = \exp \left\{ s \times \left[1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right] \right\} \quad (2.11)$$

Burada s değeri kullanılan çimento tipiyle ilgili bir katsayı olup alabileceği değerler Tablo 2.1' de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: s değerinin kullanılan çimento tipine göre değişimi.

Kullanılan Çimento Tipi	s
R tipi yüksek mukavemetli çimento	0.20
N ve R tipi çimento	0.25
SL tipi çimento	0.38

Elastisite modülünün zamana bağlı değişimini elde edebilmek amacıyla ilk olarak elastisite modülünün 28 günlük değerini belirlemek gerekmektedir. $E_c(28)$ olarak gösterilen bu değeri hesaplayabilmek için denklem 2.12 kullanılır.

$$E_c(28) = 21500 \times \left[\frac{f_{ck} + \Delta f}{f_{cm}} \right]^{1/3} \quad (2.12)$$

Bu hesaplarda bulunan değer tanjant modülünü verir. Denklem 2.12'de bulunan f_{ck} değeri 28 günlük karakteristik basınç dayanımını gösterirken Δf ve f_{cm} değerleri, sabit değerler olup sırasıyla 8 ve 10 MPa'ya eşittir. Sünme analizi dışındaki elastik analizlerde bu değerlerin 0.85 ile azaltılması gerekmektedir. $E_c(28)$ değeri elde edildikten sonra elastisite modülünü herhangi bir beton yaşında belirlemek mümkün

olup denklem 2.13 kullanılarak elastisite modülü herhangi bir yaş için hesaplanabilmektedir.

$$E_c(t) = \beta_e(t) \times E_c(28) \quad (2.13)$$

Bu denklemde yer alan $E_c(28)$ ifadesi 28 günlük betonun tahmini elastisite modülü değeri iken $\beta_e(t)$ ifadesi denklem 2.14 ile gösterilmiştir.

$$\beta_E(t) = \sqrt{\beta_{cc}(t)} \quad (2.14)$$

2.5.1.2 Sünme davranışının zamana bağlı değişimi

Betonarmenin sünme davranışının zamanla değişimi, elde edilecek bir sünme katsayısının zamana bağlı alacağı değerler ile belirlenir. Sünme katsayısı, ilk yükleme anındaki beton yaşına bağlı olan teorik bir sünme katsayısıyla sünmenin zamanla değişimini gösteren bir fonksiyonun çarpımından oluşmaktadır. Sünme katsayısını hesaplamakta kullanılacak bağıntılar deneyseldir. Bu deneysel ifadeler, laboratuvar koşullarındaki beton numunelerin basınç altındaki sünme davranışlarını elde etmek için uygulanan testlere dayandırılmaktadır.

t_0 anında uygulanan kalıcı yük için sünme şekil değiştirmesi denklem 2.15 ile gösterilmektedir.

$$\varepsilon_c(t, t_0) = \frac{1}{E_c(28)} + \frac{1}{E_c(t_0)} [\phi_{bc}(t, t_0) + \phi_{dc}(t, t_0)] \quad (2.15)$$

Burada, $E_c(t_0)$ ilk yükleme anındaki elastisite modülü değerini, $E_c(28)$ 28 günlük betonun elastisite modülü değerini, $\phi_{bc}(t, t_0)$ ve $\phi_{dc}(t, t_0)$ ise sırayla temel sünmesi ve kuruma sünmesinin katsayıları olup $\phi(t, t_0)$ ifade edilip yöntemle hesaplanan sünme katsayısını göstermektedir.

Sünme katsayısı denklem 2.16 ile hesaplanabilmektedir:

$$\phi(t, t_0) = \phi_{bc}(t, t_0) + \phi_{dc}(t, t_0) \quad (2.16)$$

Denklem 2.16'de, t gün cinsinden betonun yaşı, t_0 yükleme anındaki gün cinsinden betonun yaşıdır. $\phi_{dc}(t, t_0)$ kuruma sünme katsayısı ve $\phi_{bc}(t, t_0)$ temel sünme katsayısı olup denklem 2.17 ile hesaplanır.

$$\phi_{bc}(t, t_0) = \beta_{bc}(f_{cm}) \beta_{bc}(t - t_0) \quad (2.17)$$

Burada, $\beta_{bc}(t - t_0)$ temel sünmenin bir fonksiyonunu gösterir. $\beta_{bc}(f_{cm})$ temel sünmenin ortalama basınç dayanımı değerine bağlı bir fonksiyon olup denklem 2.18 ile hesaplanmaktadır.

$$\beta_{bc}(f_{cm}) = \frac{1,8}{(f_{cm})^{0,7}} \quad (2.18)$$

Burada, f_{cm} değeri MPa olarak betonun ortalama basınç dayanımı değeridir. $\beta_{bc}(t - t_0)$ temel sünmenin bir fonksiyonu olup denklem 2.19 ile hesaplanır.

$$\beta_{bc}(t - t_0) = \ln \left[\left(\frac{30}{\frac{t_0}{t_1}} + 0,035 \right)^2 (t - t_0) + 1 \right] \quad (2.19)$$

$\phi_{dc}(t, t_0)$ kuruma sünmesinin katsayısı denklem 2.20 ile hesaplanmaktadır.

$$\phi_{dc}(t, t_0) = \beta_{dc}(f_{cm}) \beta(RH) \beta_{dc}(t_0) \beta_{dc}(t, t_0) \quad (2.20)$$

Burada, $\beta(RH)$ ortam koşulları, eleman şekli ve boyutlarıyla ilgili olup, $\beta_{dc}(t_0)$ kuruma sünme katsayısı hesabında ilk yükleme anındaki beton yaşının göz önüne alınmasını, $\beta_{dc}(t, t_0)$ kuruma sünmenin bir fonksiyonunu gösterir. $\beta_{dc}(f_{cm})$ kuruma sünmenin ortalama basınç dayanımı değerine bağlı bir fonksiyon olup denklem 2.21 ile hesaplanmaktadır.

$$\beta_{dc}(f_{cm}) = \frac{412}{(f_{cm})^{1,4}} \quad (2.21)$$

Burada, f_{cm} değeri MPa olarak betonun ortalama basınç dayanımı değeridir.

Denklem 2.20'de yer alan $\beta(RH)$ ortam koşulları, eleman şekli ve boyutlarıyla ilgili olup denklem 2.22'ye kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\beta(RH) = \frac{1 - RH/100}{\sqrt[3]{0,1h/100}} \quad (2.22)$$

Burada h elemanın itibarı kalınlığını, RH ise bağıl nemi göstermektedir.

Kuruma sünme katsayısı olan $\phi_{dc}(t, t_0)$ 'ın hesabında ilk yükleme anındaki beton yaşı da göz önüne alınır ve bu etki denklem 2.23 ile hesaplanmaktadır.

$$\beta_{dc}(t_0) = \frac{1}{0,1 + \left(\frac{t_0}{t_1}\right)^{0,2}} \quad (2.23)$$

$\beta_{dc}(t, t_0)$ kuruma sünmenin bir fonksiyonunu olup denklem 2.24 ile hesaplanır.

$$\beta_{dc}(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{\beta_n + (t - t_0)} \right]^{\gamma(t_0)} \quad (2.24)$$

Burada, β_n ifadesi teorik kalınlık ve ortamın bağıl nem değerine bağlı bir fonksiyondur ve $\gamma(t_0)$ değeri denklem 2.25 ile hesaplanır.

$$\gamma(t_0) = \frac{1}{2,3 + \frac{3,5}{\sqrt{\frac{t_0}{t_1}}}} \quad (2.25)$$

β_n ifadesi teorik kalınlık ve ortamın bağıl nem değerine bağlı bir fonksiyon olup denklem 2.26 ile hesaplanır.

$$\beta_n = 1,5h + 250 \alpha f_{cm} \leq 1500 \alpha f_{cm} \quad (2.26)$$

Burada αf_{cm} basınç dayanımını bağlı bir fonksiyon olup denklem 2.27 ile hesaplanır.

$$\alpha f_{cm} = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,5} \quad (2.27)$$

Denklem 2.22'de yer alan h değeri itibarı kalınlık olup elemanın kesit, şekli ve boyutlarıyla ilgilidir. Bu değeri hesaplamak için denklem 2.28 kullanılmaktadır.

$$h = 2 \times \frac{A_c}{u} \quad (2.28)$$

Burada, A_c değeri atmosfere maruz kalan kesit alanının mm^2 olarak büyüklüğünü gösterirken u ise atmosfere bağlı olan kesit çevresinin mm olarak büyüklüğünü göstermektedir.

2.5.1.3 Büzülme davranışının zamana bağlı değişimi

Betonarmeye uygulanan kürün tamamlandığı zaman olan t_s 'den sonra görülen davranış büzülme olarak adlandırılır. Herhangi bir t zamanındaki büzülme şekil değiştirmesi denklem 2.29 ile hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_{sh}(t, t_s) = \varepsilon_{cs0} \times \beta_s(t - t_s) \quad (2.29)$$

Burada ε_{cs0} ifadesi teorik büzülme değerini gösterir ve denklem 2.30 ile hesaplanır.

$$\varepsilon_{cs0} = \varepsilon_s(f_{cm}) \times \beta_{RH} \quad (2.30)$$

Burada; $\varepsilon_s(f_{cm})$ ortalama beton basınç dayanımı olup f_{cm} 'e bağlı olan bir fonksiyondur. Denklemde yer alan β_{RH} ifadesi ise ortamın bağıl nem oranına bağlı bir fonksiyondur ve denklem 2.31 ile hesaplanır.

$$\varepsilon_s(f_{cm}) = [160 + 10\beta_{sc}(9 - f_{cm}/f_{cm0})] \times 10^{-6} \quad (2.31)$$

Burada, β_{sc} ifadesi kullanılan çimento tipine bağlı bir katsayı olup alabileceği değerler Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2: β_{sc} değerinin kullanılan çimento tipine göre değişimi.

Çimento Tipi	β_{sc}
SL tipi çimento	4
N veya R tipi çimento	5
R tipi yüksek mukavemetli çimento	8

Tablo 2.2'nin yardımıyla denklem 2.31 kullanılarak $\varepsilon_s(f_{cm})$ 'yi hesaplamak mümkün olur.

$$\beta_{RH} = 1 - \left(\frac{RH}{RH_0}\right)^3 \quad (2.32)$$

Denklem 2.32 kullanılarak ortamın yüzdece bağıl neminin büzülme üzerindeki etkisi hesaplanmaktadır. Denklem 2.32, bağıl nem değeri $\%40 \leq RH < \%99$ aralığındayken geçerli olur.

Herhangi bir t zamanıyla krn uygulanmasının bittiği zaman arasında geçen süre için eleman Şekli ve boyutlarına bağlı olan $\beta_s(t - t_s)$ fonksiyonu denklem 2.33 ile hesaplanır.

$$\beta_s(t - t_s) = \left[\frac{(t - t_s)/t_1}{350(h/h_0)^2 + (t - t_s)/t_1} \right]^{0,5} \quad (2.33)$$

Burada; h_0 değeri bir sabit olup 100 mm' ye eşittir. Denklemden yer alan h değeri ise itibarı kalınlık olup denklem 2.28 yardımıyla hesaplanmaktadır.

3. BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN ZAMANA BAĞLI DAVRANIŞI

3.1 Giriş

Bu bölümde, inşaat adımlarını ve zamana bağlı davranışı inceleyebilmek amacıyla betonarme yüksek bir bina incelenmiştir. Betonarme yüksek binanın genel özellikleri, taşıyıcı elemanların geometrik özellikleri ve malzeme bilgileri ilk olarak verilmiştir. İnşaat adımlarını, büzülme ve sünme gibi zamana bağlı etkileri dikkate alan sayısal hesaplamalar yapılmış ve geleneksel hesap yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Binanın kule bölümündeki düşey taşıyıcı elemanlarında meydana gelen zamana bağlı aksenal kısaltmalar ve seçilen bir takım elemanların iç tesirlerindeki zamana bağlı değişimler bu bölümde verilmiştir.

3.2 Betonarme Yüksek Binanın Genel Özellikleri

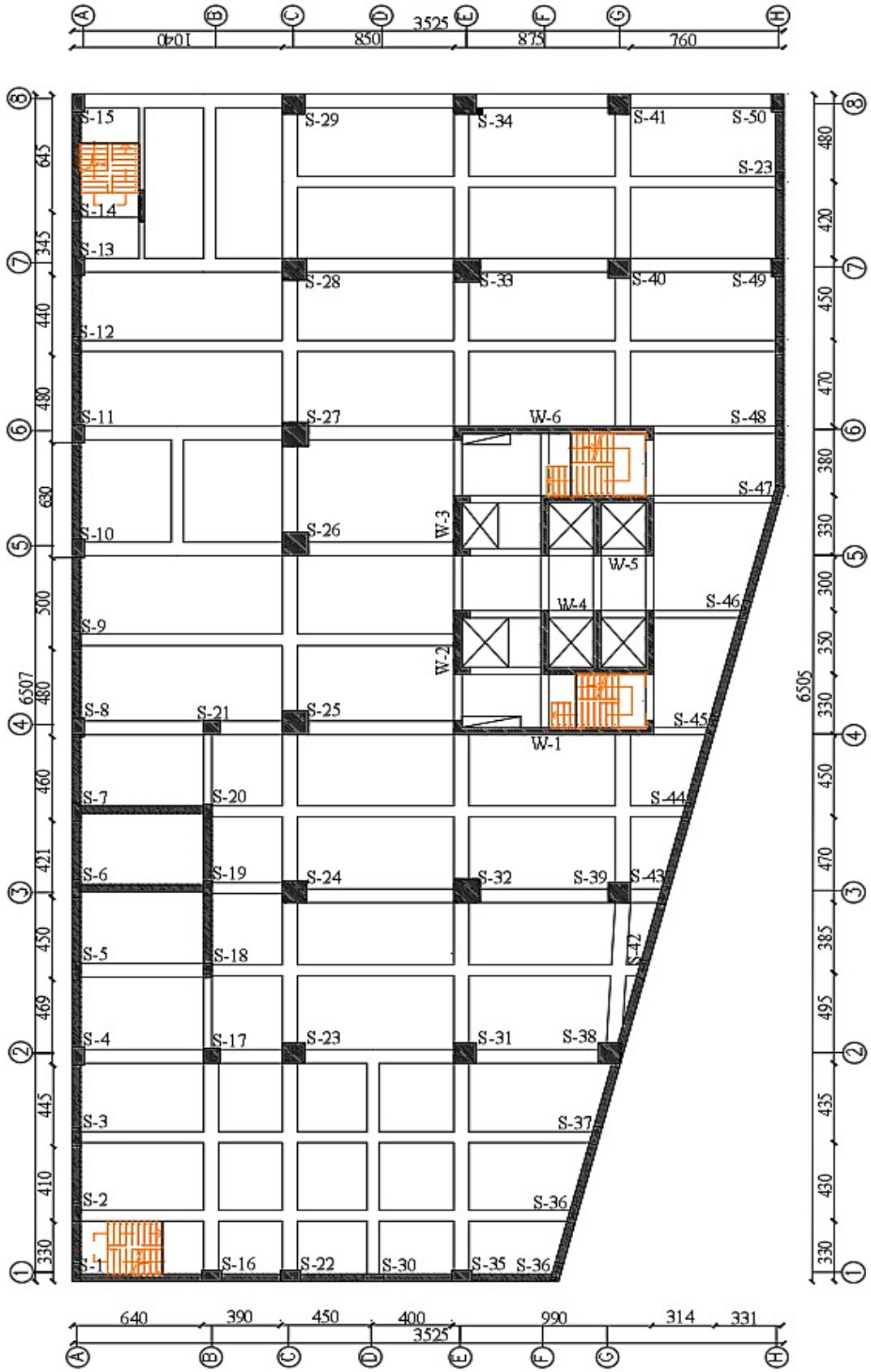
Çalışmada inşaat adımlarını ve zamana bağlı davranışın betonarme yüksek binalara olan etkilerini inceleyebilmek amacıyla literatürde yer alan [37] ve İzmir’de inşa edilmiş betonarme yüksek bir bina seçilmiş ve modelde sınırlı birtakım değişiklikler yapılarak sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir. Betonarme yüksek bina 32 katlı olup binada 3 bodrum, 1 zemin ve 28 normal kat yer almaktadır. Çalışmada kullanılan betonarme yüksek binanın bodrum katları dahil temel üstünden toplam yüksekliği 114,5 m’dir. Kolonların beton sınıfı C40/50 ($E_c= 34000\text{MPa}$; $F_{ck}= 40\text{ MPa}$) ve binanın tasarımında kullanılan çelik donatı sınıfı S420 ($E_s= 200000\text{ MPa}$; $F_y= 420\text{ MPa}$)’dir. Betonarme yüksek binanın kat planları Şekil 3.1- 3.4’te verilmiştir.

Betonarme yüksek bina, zemin kattan 28. kata kadar dikdörtgen şekildedir. Kule kısmında; 1. kattan 5. kata kadar 53,10-m×8,40-m boyutlarında, 6. kattan 28. kata kadar 35,4 m×18,4 m boyutlarındadır. Birinci bodrum katın yüksekliği 3,5 m, 2. ve 3. bodrum katlarının yüksekliği 3 m, zemin kat için ise kat yüksekliği 7 m ve normal katlar için ise kat yüksekliği 3,5 m’dir. Betonarme yüksek binanın incelenmesinde ETABS (2016) Ver. 16.2.1 kullanılmıştır [38]. Betonarme döşemelerin kalınlıkları genel olarak 130 mm ile 150 mm arasında değişecek şekildedir. Kat döşemelerindeki hareketli yükler 3,5 kN/m² şeklinde kabul edilmiştir. Duvar yükleri ise hafif duvar

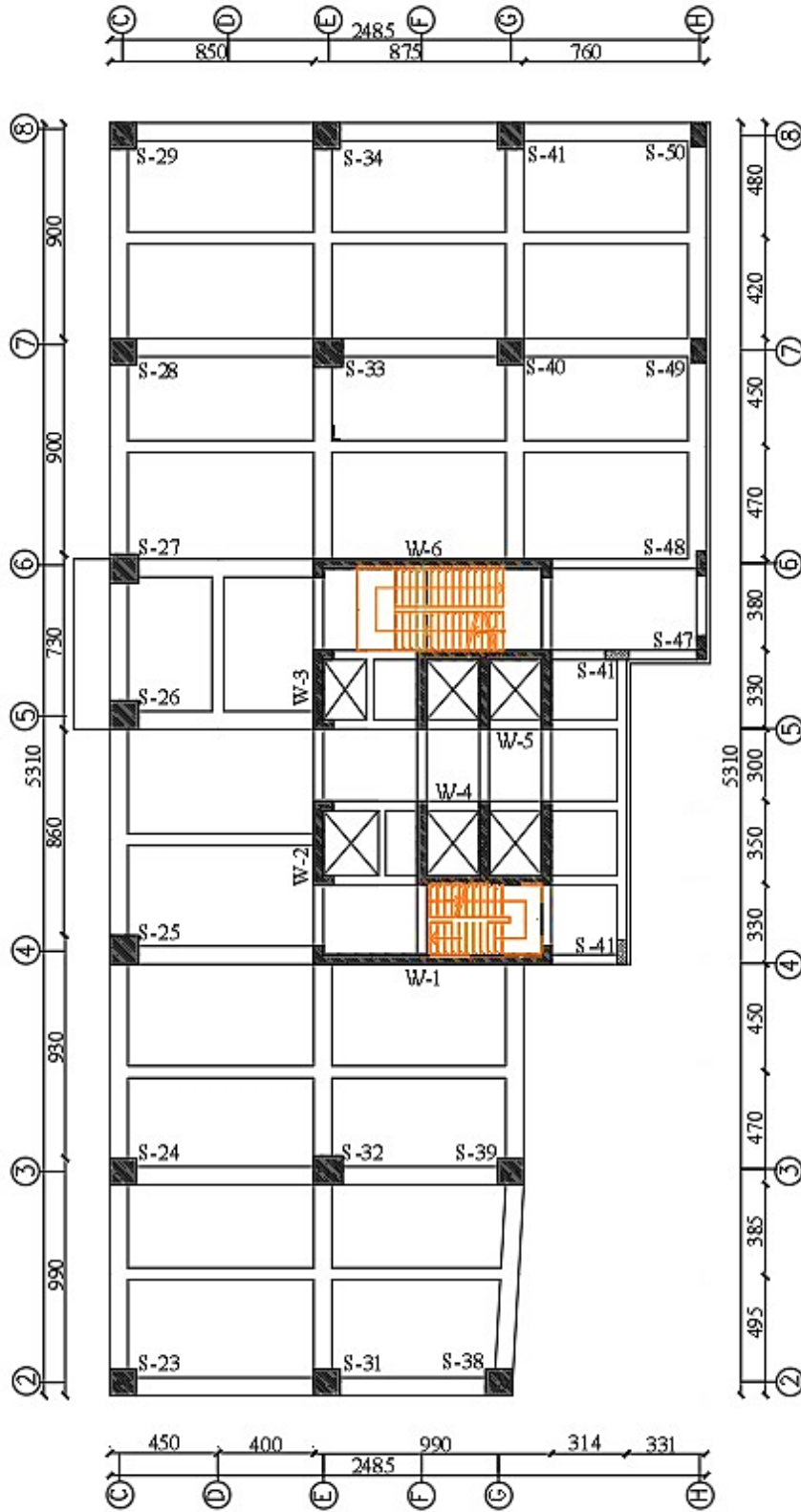
malzemesi kullanıldığı kabul edilerek; dış duvarlarda 3,5 kN/m ve iç duvarlar 2,5 kN/m olarak bina kirişleri üzerine tanımlanmıştır.

Betonarme yüksek binanın modellenmesi, binanın düşey taşıyıcı elamanları üzerinde çeşitli analizler yapılarak zamana bağlı etkilerinin incelenmesi için aşağıda verilen binanın genel özellikleri ve bilgileri kullanılmıştır. Bina düşey taşıyıcıları ile ilgili en kesit boyutları ve donatı bilgileri sırayla Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verilmiştir.

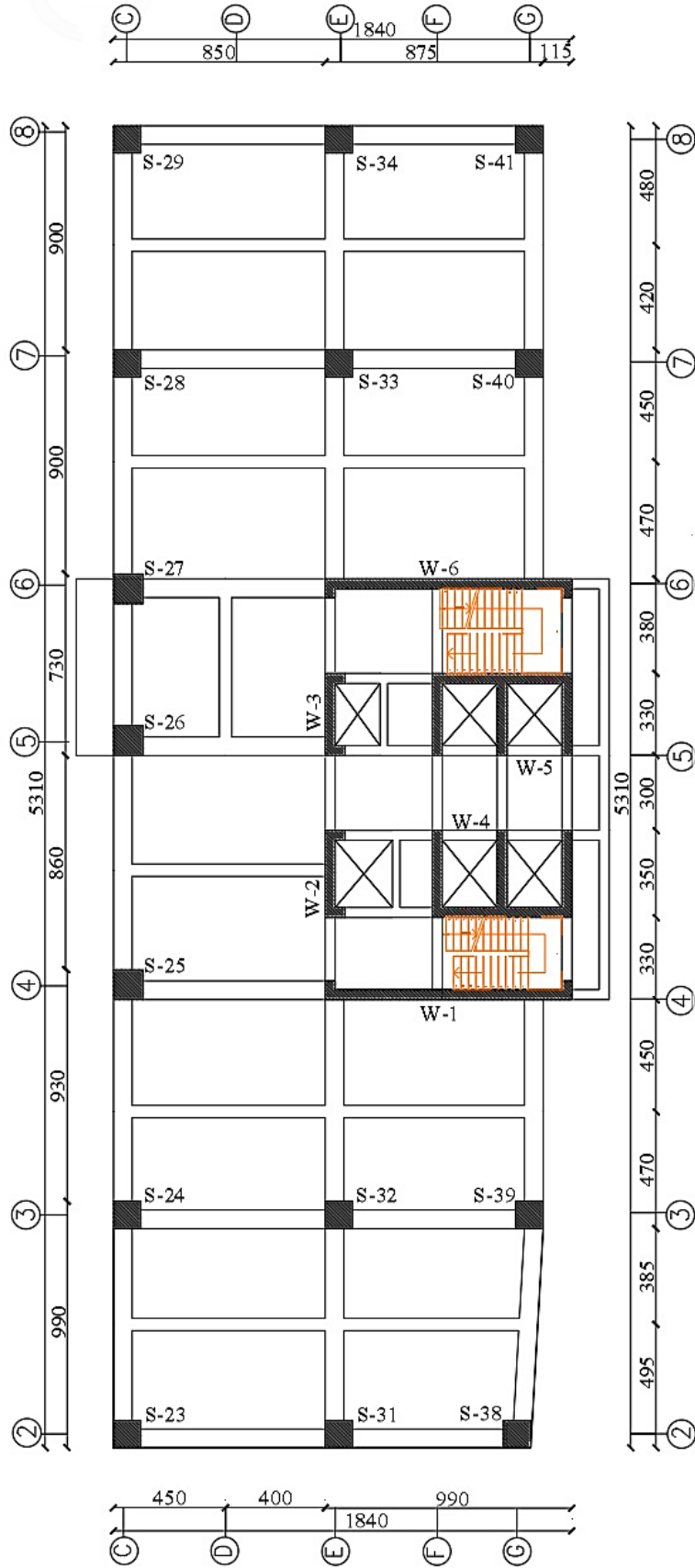
Binanın özellikle kule kısmındaki kolonları ve yapısal perdeleri önemli mertebelerde eksenel kuvvet etkisinde olduğundan dolayı kule kısmındaki düşey taşıyıcı elemanlar bu çalışma kapsamında detaylı şekilde incelenmiştir. Bu nedenle, binanın kule kısmındaki kolon ve yapısal perdelerin boyutları ve seçilen donatılar Tablo 3.3’te detaylı şekilde gösterilmiştir.



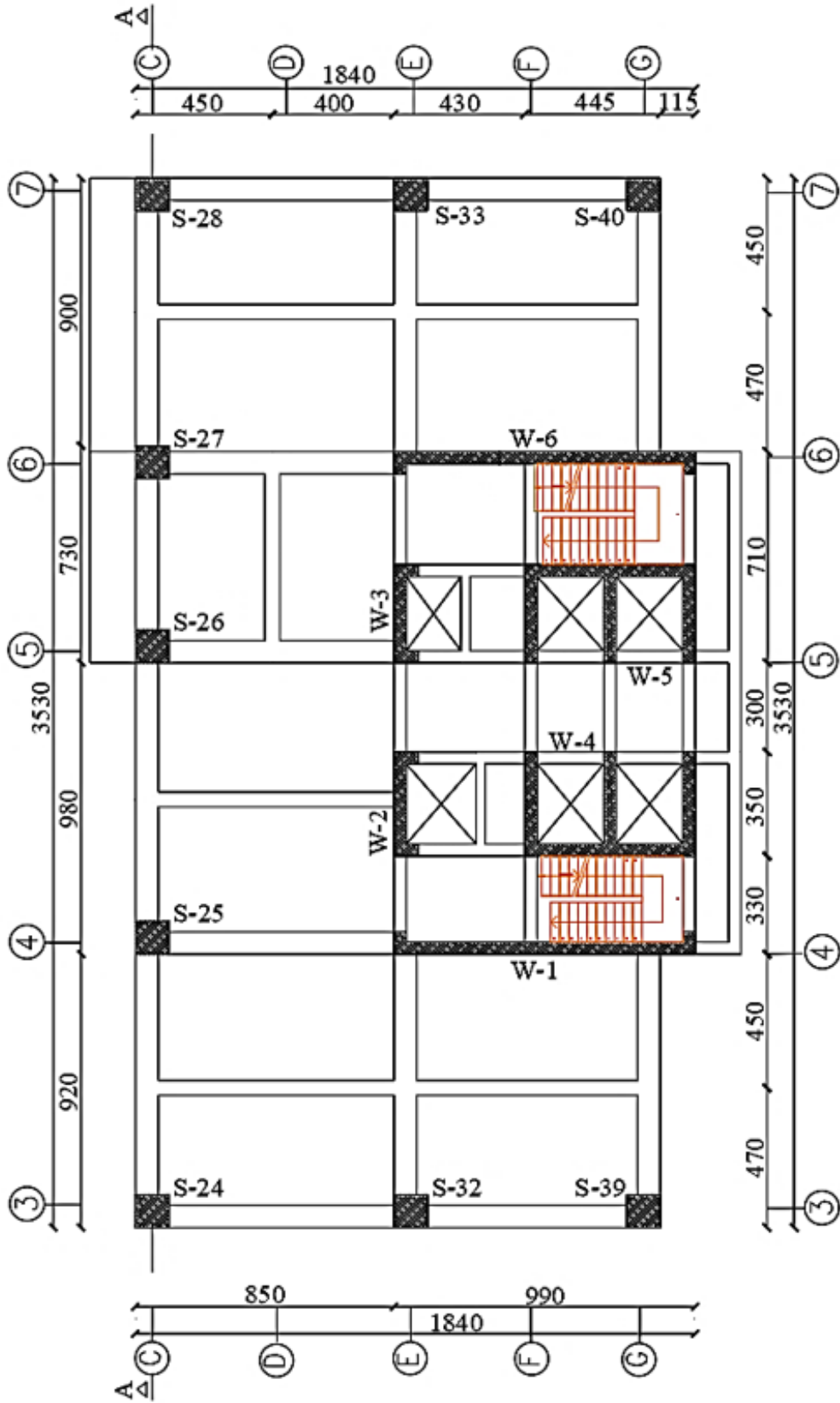
Şekil 3.1: İncelenen binanın 3., 2. ve 1. bodrum kat planı.



Şekil 3.2: İncelenen binanın zemin kat planı.



Şekil 3.3: İncelenen binanın 1., 2., 3., 4. ve 5. kat planı.



Şekil 3.4: İncelenen binanın 6. – 28. kat planı.

Tablo 3.1: Bina özellikleri ve hesaplarda kullanılan veriler.

Binanın Genel Özellikleri		
Kat sayısı		3 Bodrum +1 Zemin + 28 Normal
Kat Yükseklikleri	3. ve 2. bodrum kat	3,0 m
	1. bodrum kat	3,5 m
	Zemin kat	7,0 m
	1-28 normal kat	3,5 m
Toplam Bina Yüksekliği		114,5 m
Bina Taşıyıcı Sistemi		Betonarme Perde Çerçeve
Kullanım Amacı		Konut
Bina Oturma Alanı		2150 m ²
Binanın Taşıyıcı Sisteminin Malzeme Özellikleri		
Beton Sınıfı	C40 ($E_c= 34000$ MPa; $f_{ck}= 40$ MPa)	
Çelik Sınıfı	S420 ($E_s= 200000$ MPa; $f_{yk}= 420$ MPa)	

Tablo 3.2: Kolonların en kesit boyutları ve donatıları.

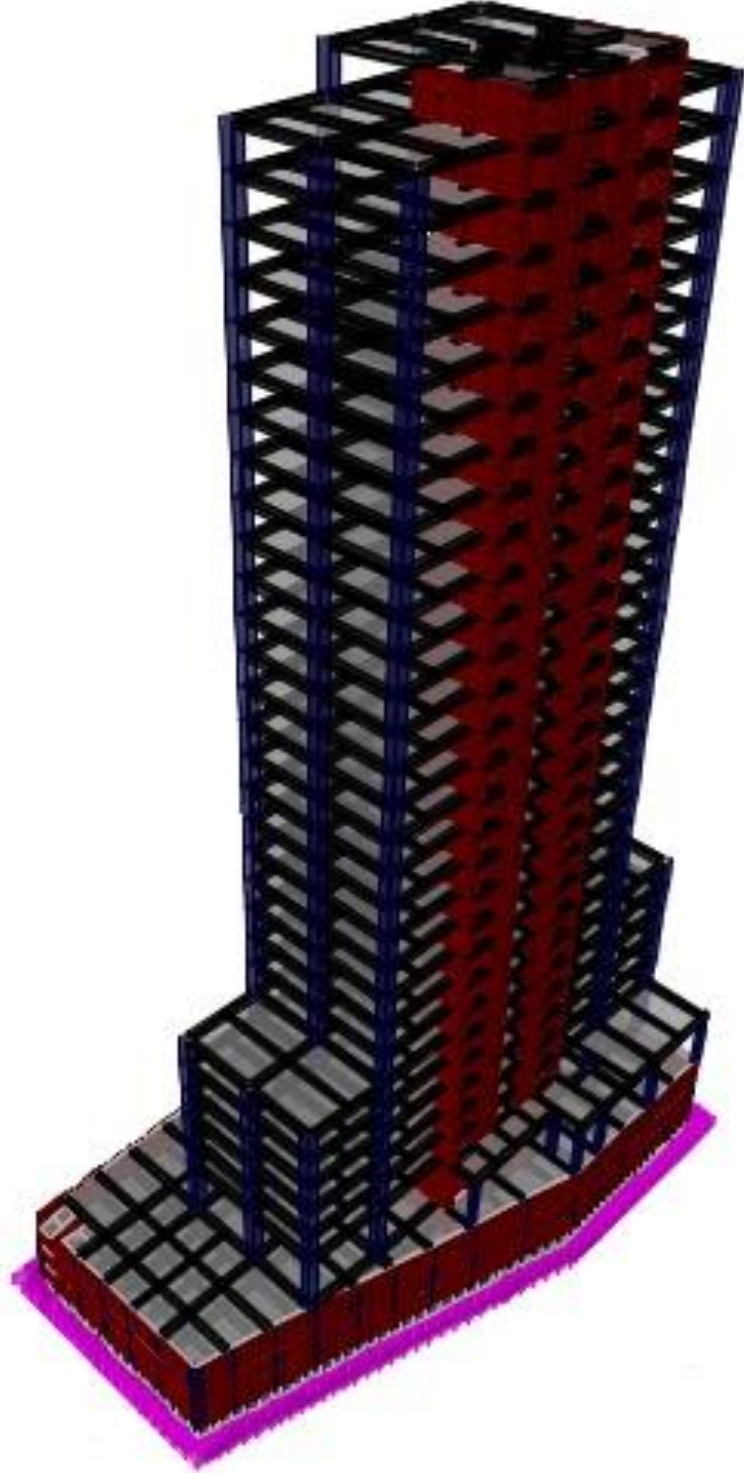
Kolon Boyutu (cm)	Donatı
100/40	12 Φ 22
100/60	16 Φ 22
80/40	10 Φ 22
80/80	20 Φ 22
120/40	14 Φ 22
175/25	14 Φ 22
110/110	32 Φ 22
120/120	40 Φ 22
130/130	48 Φ 22

Tablo 3.3: Binanın kule kısmındaki kolon ve yapısal perdelerin boyutları ve boyuna donatıları.

Kolon ve perde	Boyutlar (cm)	Katlar	Donatı
S-24, S-28	110×110	1. bodrum-28 kat	40Φ22
	120×120	3. ve 2. bodrum kat	32Φ22
S-25, S-26, S-27	110×110	6. kat-28. kat	48Φ22
	120×120	1. bodrum-5. kat	40Φ22
	130×130	3. ve 2. bodrum kat	32Φ22
S-32, S-33	110×110	1. kat- 28. kat	48Φ22
	120×120	1. bodrum ve zemin kat	40Φ22
	130×130	3. ve 2. bodrum kat	32Φ22
S-39, S-40	110×110	3. bodrum- 28. kat	32Φ22
W-1	990×40	Tüm katlar	94Φ16+ 44Φ14
W-2	350×40	Tüm katlar	68Φ14
W-3	330×40	Tüm katlar	58Φ14
W-4	(560+3×350) ×40	Tüm katlar	119Φ18+ 64Φ14
W-5	(560+3×290) ×40	Tüm katlar	119Φ18+ 64Φ14
W-6	990×40	Tüm katlar	94Φ16+ 44Φ14

3.3 Betonarme Yüksek Binanın Zamana Bağlı Davranışının İncelenmesinde Kullanılan Hesap Modeli

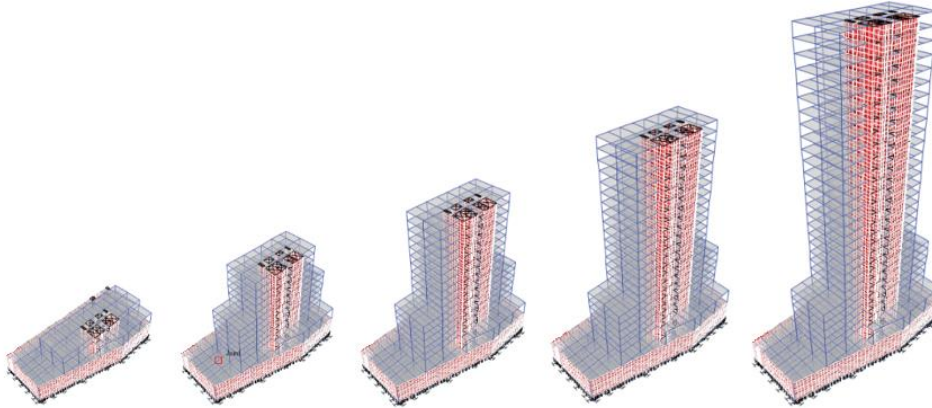
Betonarme yüksek binanın zamana bağlı davranışının incelenmesi için ETABS V16.2.1 bilgisayar programı kullanılmıştır [37]. Yapısal modelde kolon ve kirişler çubuk eleman, perdeler ise çok katmanlı kabuk eleman, döşemeler ise kabuk eleman olarak alınmıştır. Tüm düşey taşıyıcı elemanların temelle birleşim uçları tam ankastre mesnet tanımlanmıştır. Yapı modelinin üç boyutlu görünüşü Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5: İncelenen binanın üç boyutlu modeli.

3.4 Betonarme Yüksek Binanın İnşaat Adımları ve Zaman Bağlı Davranışın Seçilen Elemanlar İçin İncelenmesi

Betonarme binalar genelde inşaat tamamlandığında binaların tam yüke tek bir adımda maruz kaldığı varsayımına dayalı olarak doğrusal statik analiz yöntemiyle incelenirler. Ancak bilindiği üzere, binalar Şekil 3.6'de gösterildiği gibi binanın katları sırayla zaman içerisinde bir önceki kat üzerine inşa edilerek imal edildiğinden, yapı elemanlarının zati yükleri farklı aşamalarda sisteme uygulanmaktadır. Yüklerin bir adımda uygulandığı geleneksel yaklaşım ile inşaat adımlarının dikkate alındığı yaklaşım arasında bina davranışı açısından farklar bulunmaktadır. Bu nedenle, binanın inşaat adımlarını ve inşaat sırasını kapsayan gerçek durumu hesaplara yansıtmak için, inşaat adımlarını dikkate alan analizler uygulanır. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte yapım aşamaları ve katların inşa sürelerini pratik olarak dikkate alabilen inşaat adımları analizi kullanılarak yapı modelleri kurulabilmektedir. Bu tip analizlerde, her katın inşa süresi dikkate alınarak her katın yükü ayrı ayrı uygulanabilmektedir. Böylece binanın tamamlanmasına kadar olan asıl durum doğru bir şekilde modellenebilmektedir.

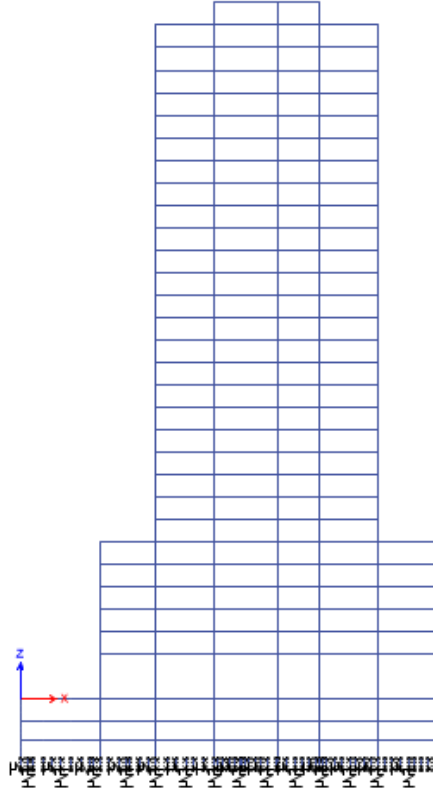


Şekil 3.6: Betonarme binanın inşaat adımlarını dikkate alan analizin şematik gösterimi.

Betonarme yapılarda inşaat adımlarının modellenmesi, kolon aksenal kısaltmalarını gerçekçi olarak belirlenmesine imkân verir. Bir kattaki kolon aksenal kısaltmaları, iç ve dış kaplamaları, boruları, ara bölmeleri ve diğer yapısal olmayan bileşenlerini etkileyebilir. Bu elemanlar genellikle düşey yükleri taşımak için tasarlanmadığından, herhangi bir aşırı kısaltmaya maruz bırakılmamalıdır. Bu nedenle, yapısal olmayan elemanlarda oluşacak deformasyonlar kontrol edilmelidir.

Ayrıca, sünme ve büzülme gibi zamana bağlı etkilerin de yapısal davranış üzerinde önemli etkileri vardır. Bundan dolayı, inşaat adımlarını dikkate alan analizle birlikte sünme ve büzülme gibi zamana bağlı etkilerin de hesaba katılarak binanın düşey elemanlarındaki eksenel kısalmaların daha gerçekçi şekilde tahmin edilmesi mümkün olabilmektedir.

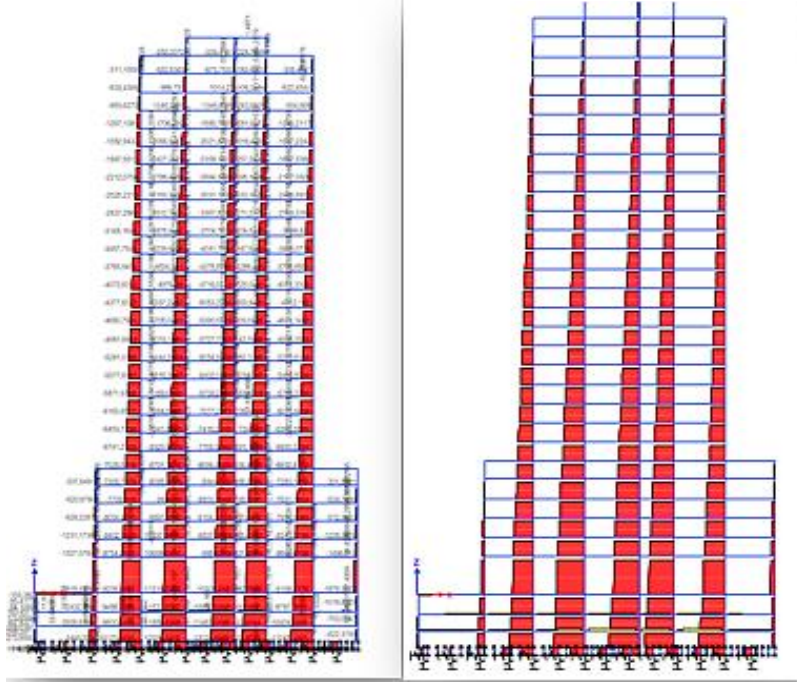
Betonarme yüksek binanın A-A aksı çerçevesi bahsi geçen davranışlarını genel olarak ifade edebilmek için Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Bu çerçeve üzerinde; doğrusal statik hesap ve inşaat adımları ile birlikte inşaat tamamlandığı andaki zamana bağlı sünme ve büzülme davranışlarını dikkate alan hesap sonuçları birlikte incelendiğinde, düşey elemanların aktardığı eksenel kuvvetlerin farklılık gösterdiği Şekil 3.8’den anlaşılmaktadır. Burada, binanın her katı için inşaat süresi 10 gün olarak tanımlanmış, büzülme ve sünme etkileri için CEB - FIP 2010 Model yönetmeliği kullanılmıştır. Doğrusal statik analiz ve İnşaat adımlarını ve zamana bağlı etkileri dikkate alan analizinde hesaba dahil yükler binaya etki eden tüm kalıcı yükler üzerinde şekillerdeki eksenel kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Betonarme yüksek binanın A-A aksı çerçevesi.

Doğrusal statik analiz

İnşaat adımlarını ve zamana bağlı etkileri dikkate alan analiz

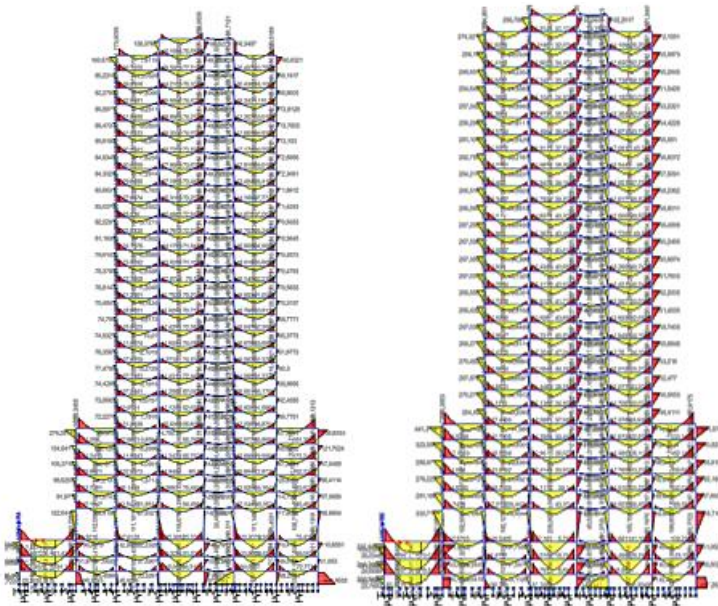


Şekil 3.8: Binanın kolonlarındaki aksel kuvvetlerin şematik gösterimi.

Benzer şekilde, doğrusal statik hesap ve inşaat adımları ile birlikte inşaat tamamlandığı andaki zamana bağlı sünme ve büzülme davranışlarının dikkate alan hesap sonuçları birlikte incelendiğinde, ikinci yaklaşımla kiriş uç momentlerinin bir miktar arttığı Şekil 3.9'dan anlaşılmaktadır.

Doğrusal statik analiz

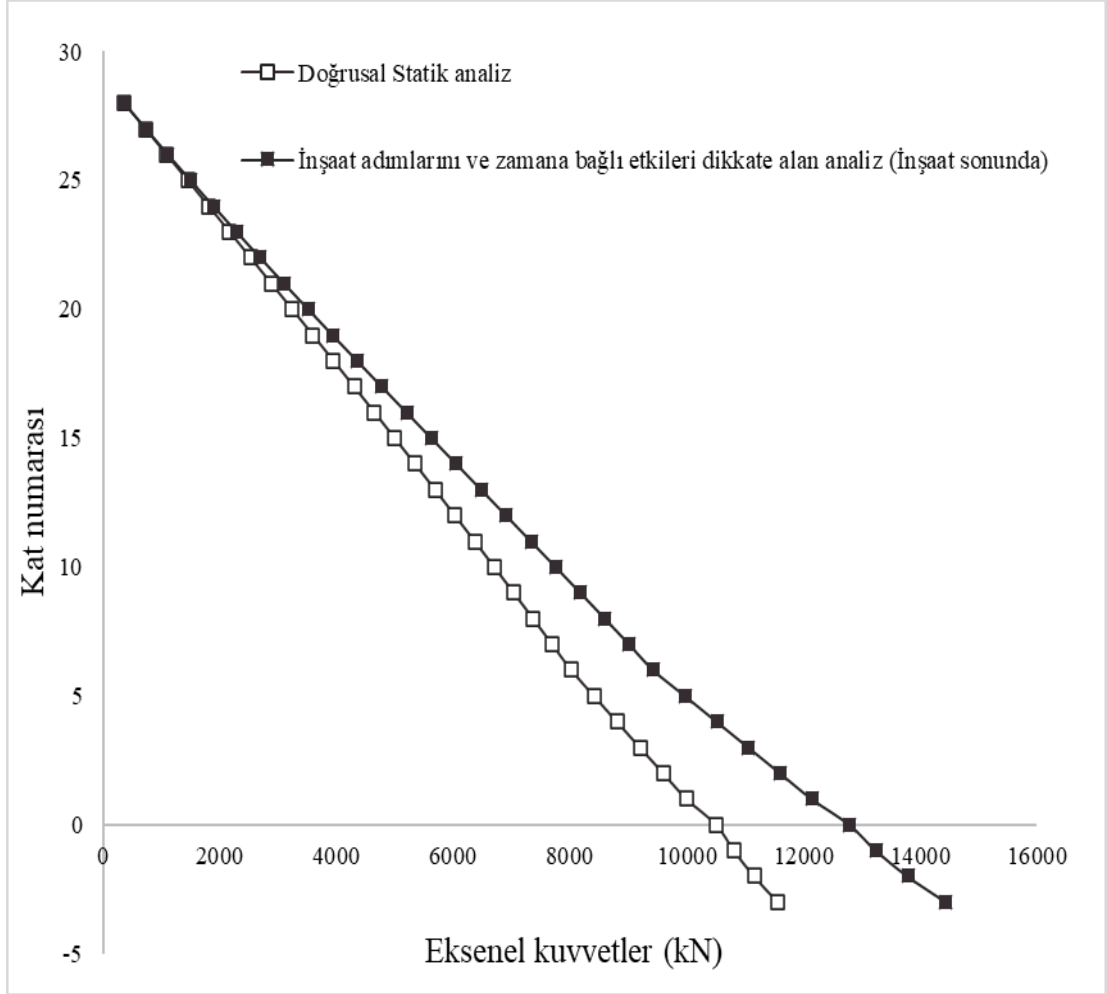
İnşaat adımlarını ve zamana bağlı etkileri dikkate alan analiz



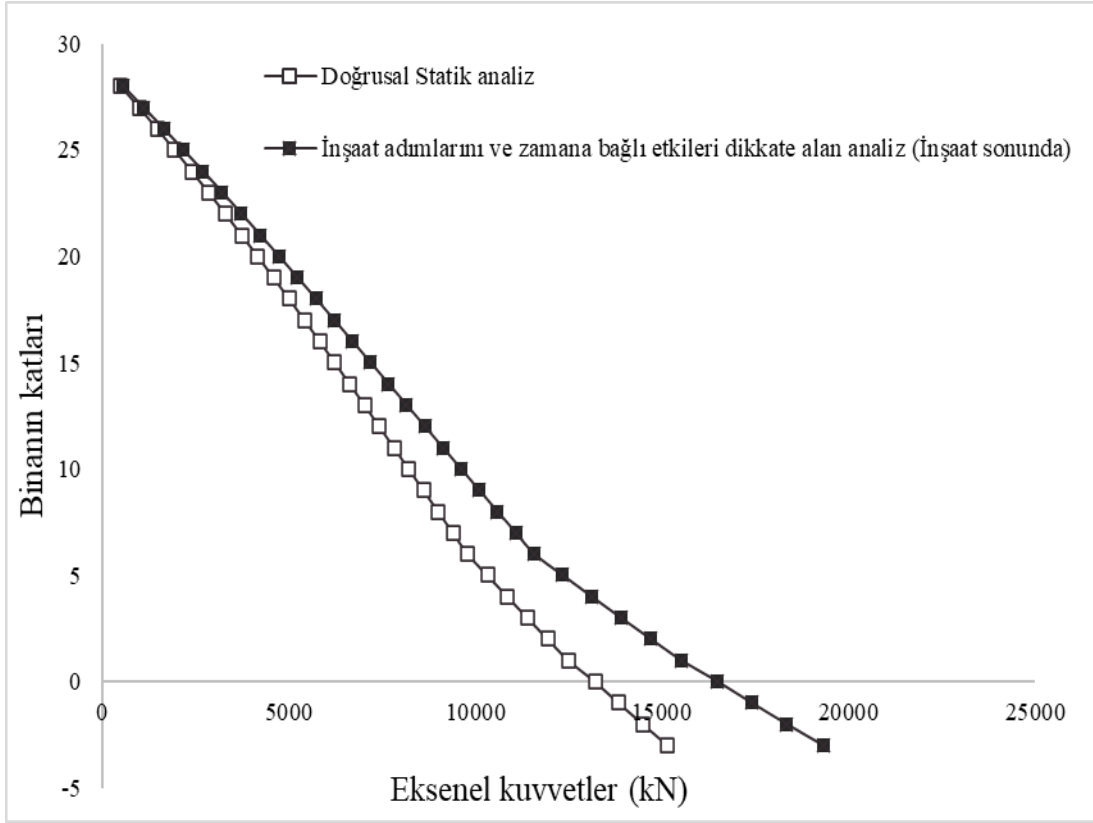
Şekil 3.9: Binanın kirişleri üzerindeki eğilme momentlerinin şematik gösterimi

3.4.1 Seçilen kolon ve perdelerin aksenal kuvvetleri

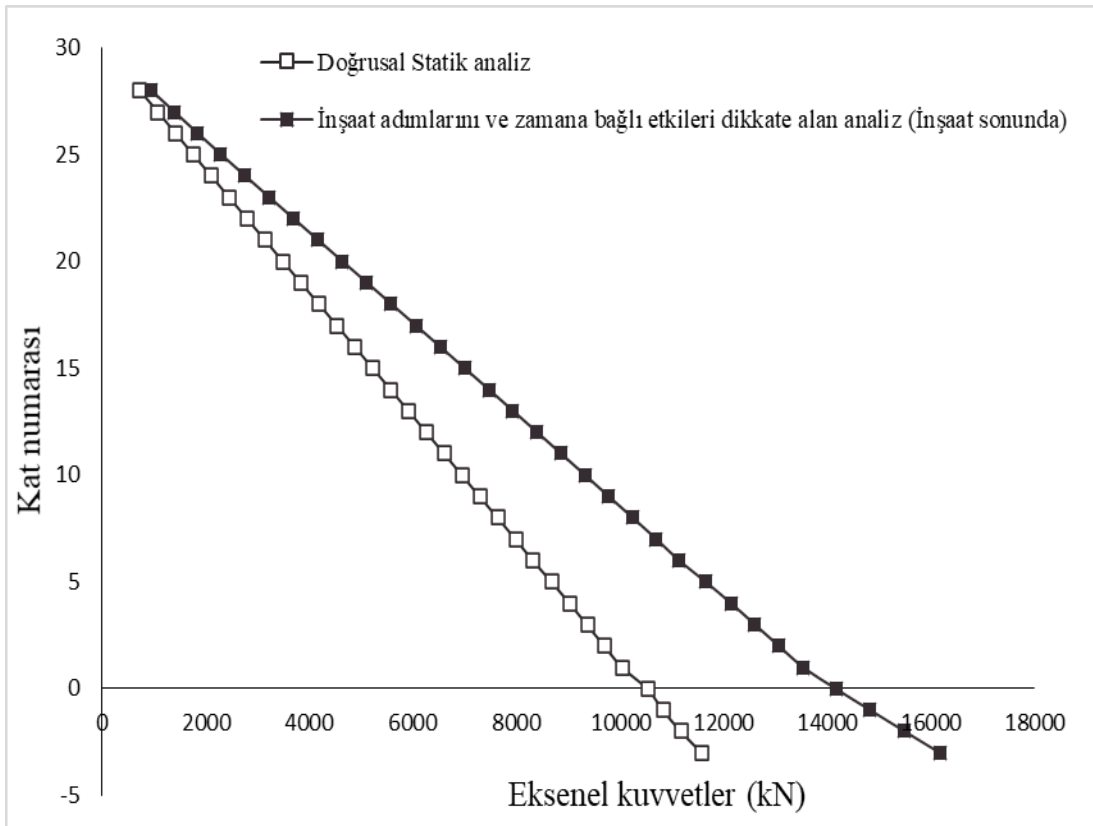
Çalışmada incelenen yüksek binanın bir takım kolon ve perdeleri seçilmiş ve aksenal kuvvet değerlerindeki değişim gösterilmiştir. Yüksek binanın kule kısmında yer alan S-24 ile S-33 kolonları ve W-3 ile W-4 perdeleri aksenal kuvvetleri sırasıyla Şekil 3.10- 3.13 ile gösterilmiştir. Burada doğrusal statik hesap sonuçları ve inşaat adımları ile birlikte inşaat tamamlandığı andaki zamana bağlı sünme ve büzülme davranışlarını dikkate alan hesap sonuçları sunulmuştur.



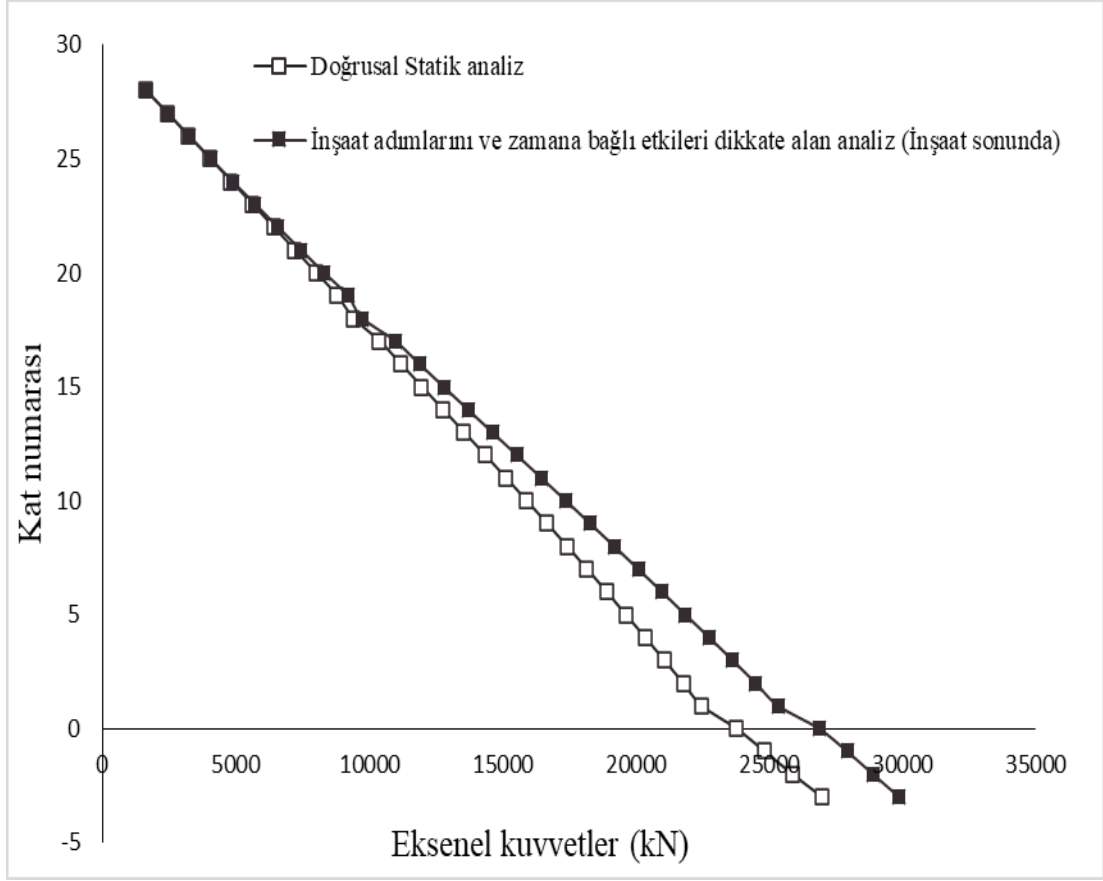
Şekil 3.10: S-24 kolonu için aksenal kuvvetler.



Şekil 3.11: S-33 kolonu için eksenel kuvvetler.



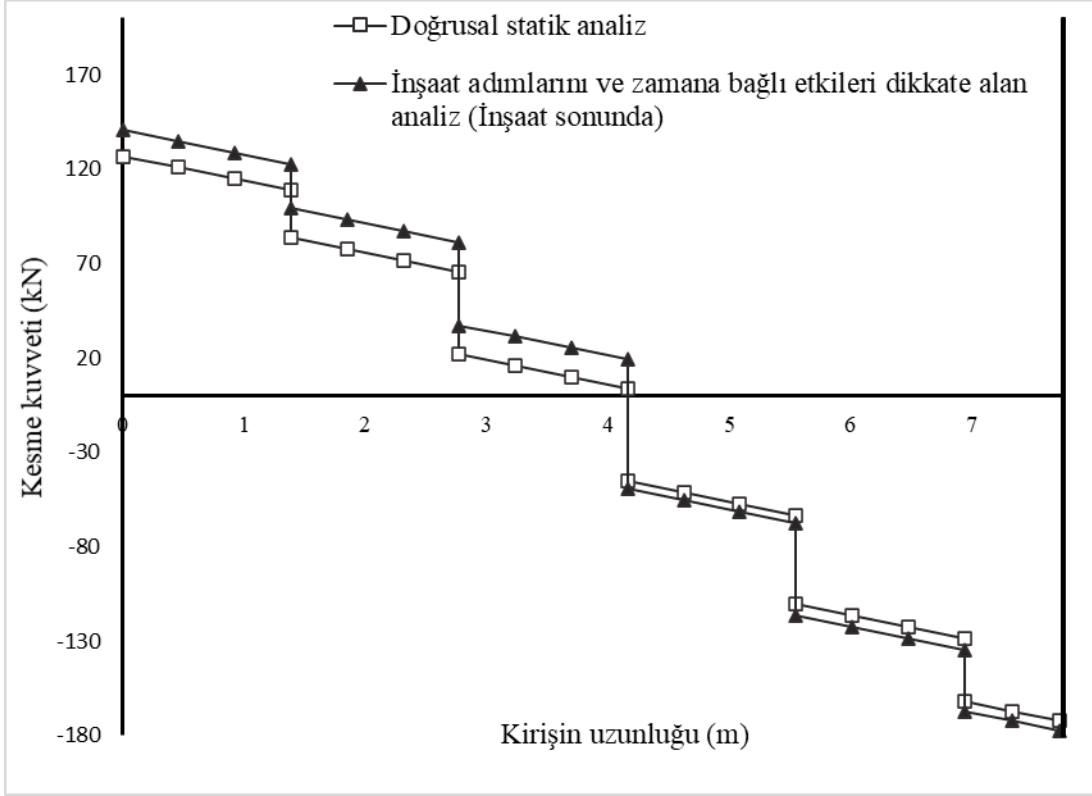
Şekil 3.12: W-3 perdesi için eksenel kuvvetler.



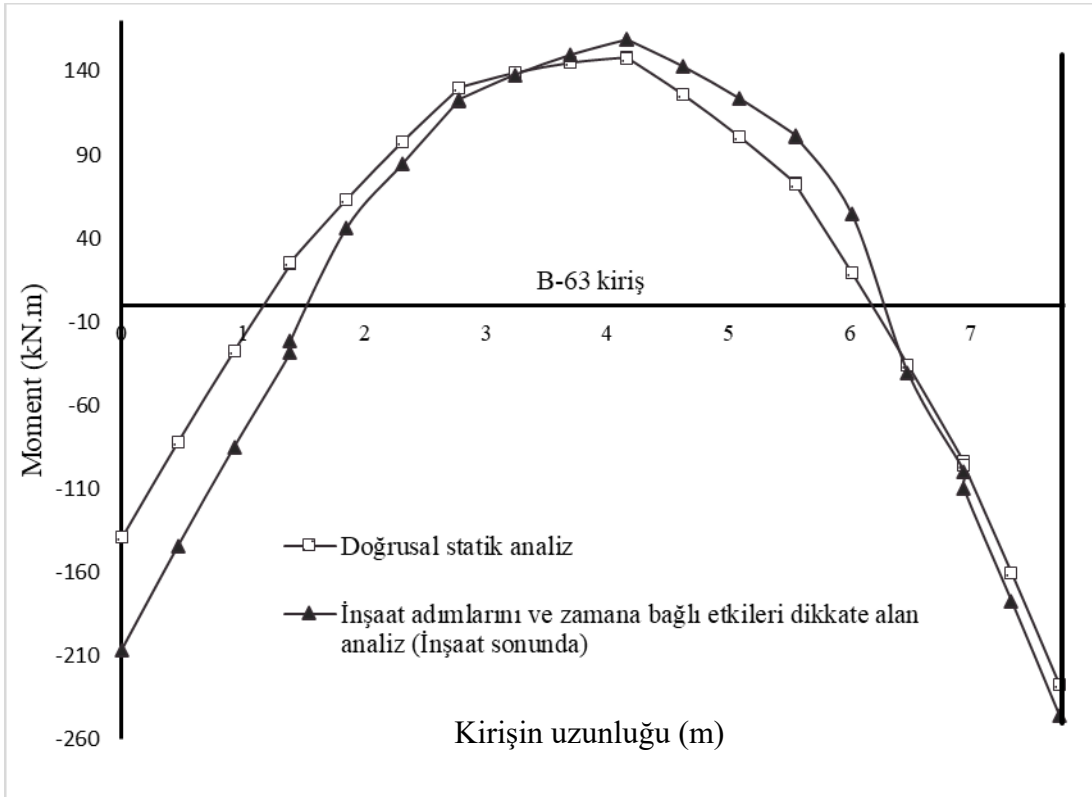
Şekil 3.13: W-4 perdesi için eksenel kuvvetler.

3.4.2 Seçilen kirişin kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri

Çalışmada incelenen yüksek binanın kirişleri incelenmiştir. Benzer sonuçlar görülmesi nedeniyle, binadan seçilen bir kiriş eleman üzerinde kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Yüksek binanın birinci katında yer alan ve S-25 kolonu ile W-1 perdesi arasında yer alan B-63 kirişi için kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları sırasıyla Şekil 3.14 ve Şekil 3.15 ile gösterilmiştir. Burada doğrusal statik hesap sonuçları ve inşaat adımları ile birlikte inşaat tamamlandığı andaki zamana bağlı sünme ve büzülme davranışlarını dikkate alan hesap sonuçları sunulmuştur.



Şekil 3.14: Binanın 1. katındaki B-63 kirişinde meydana gelen kesme kuvvetleri.



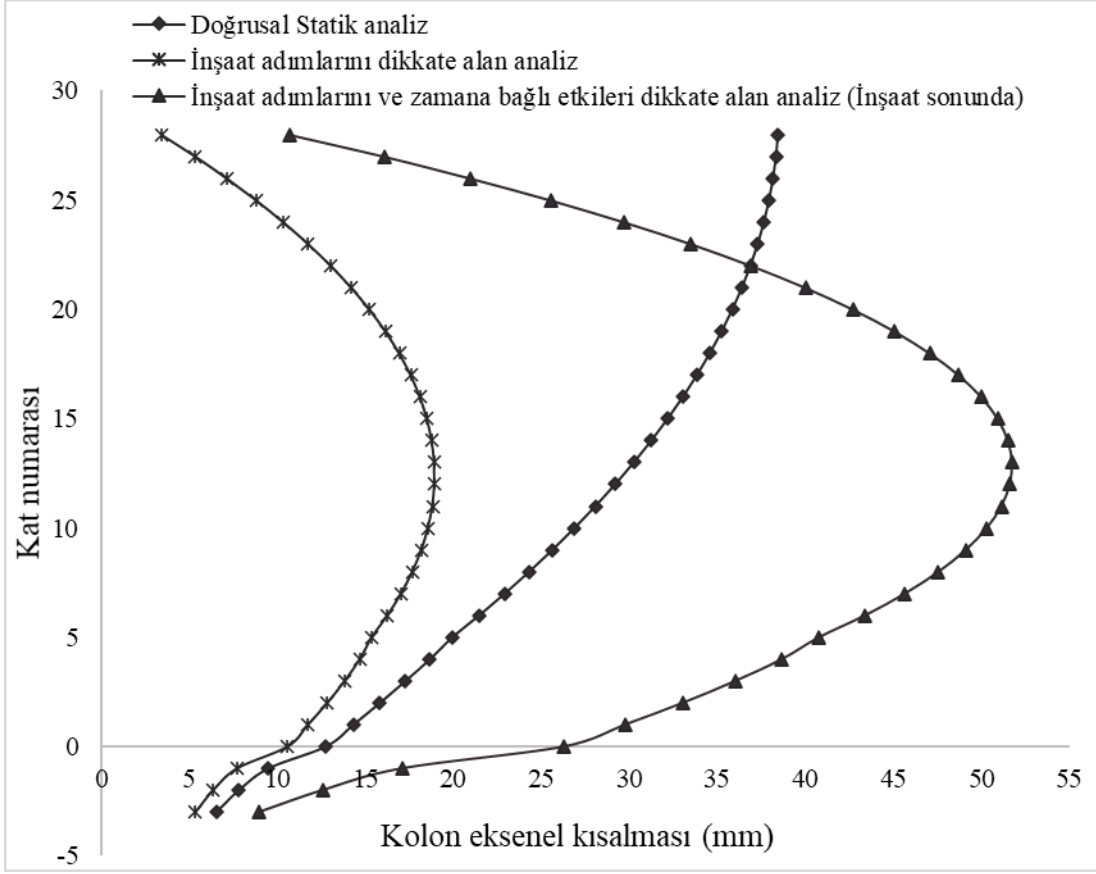
Şekil 3.15: Binanın 1. katındaki B-63 kirişinde meydana gelen eğilme momentleri.

3.5 Betonarme Yüksek Binanın Düşey Elemanlarının Zamana Bağlı Eksenel Kısalmaları

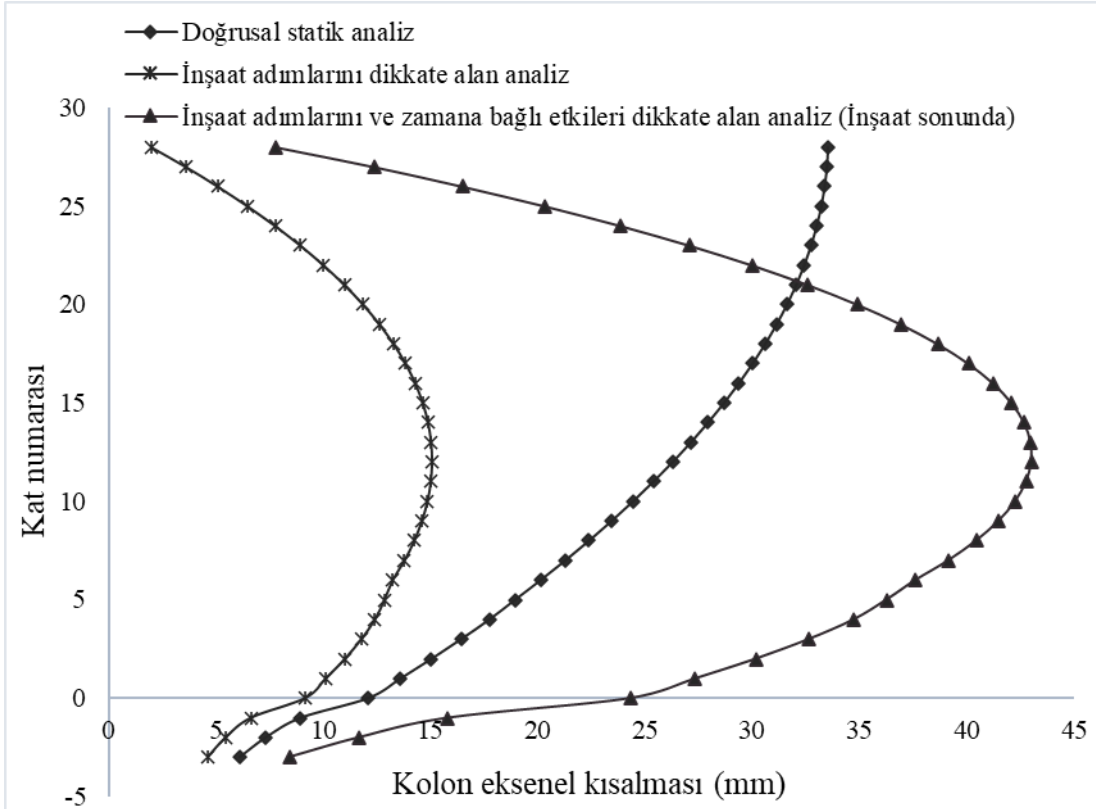
3.5.1 Seçilen kolon elemanların eksenel kısalmalarının incelenmesi

Betonarme yüksek binanın düşey taşıyıcı elemanlarındaki eksenel kısalmaları araştırmak amacıyla; doğrusal elastik hesap, inşaat adımlarını dikkate alan hesap ve inşaat adımları ile birlikte zamana bağlı etkileri de dikkate alan hesap yapılmıştır. Burada binanın kule kısmında yer alan ve en büyük eksenel kuvvet aktarılan S-25, en az eksenel kuvvet aktarılan kenar kolon S-24 ve binanın kule kısmındaki S-33 kolonları ile birlikte W-3 ve W-4 perdeleri incelenmek üzere seçilmiştir. Seçilen kolon ve perdelerin eksenel kısalmaları sırasıyla Şekil 3.16- 3.20'de gösterilmiştir. Burada; S-24 kolonu 3. ve 2. bodrum kata 120 cm×120 cm, 1. bodrum kattan 28. kata kadar 110 cm×110 cm boyutlarına sahiptir. S-25 kolonu; 3. ve 2. bodrum kata 130 cm×130 cm, 1. bodrum kattan 5. kata kadar 120 cm×120 cm boyutlarına, 6. kattan 28. kata kadar 110 cm×110 cm boyutlarına sahiptir. S-33 kolonu; 3. ve 2. bodrum kata kadar 130 cm×130 cm, 1. bodrum ve zemin kata kadar 120 cm×120 cm, 1. kattan 28. kata kadar ise 110 cm×110 cm şeklindedir. Perde boyutları ise yapı yüksekliği boyunca sabit şekildedir.

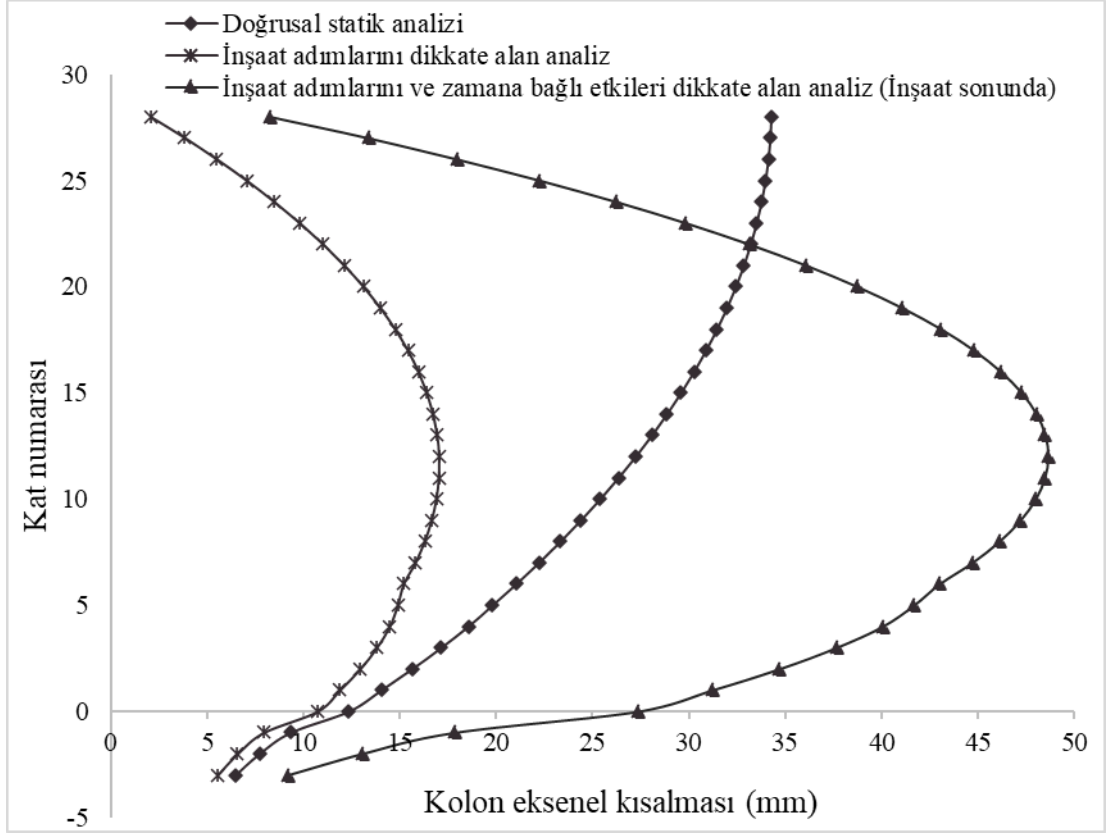
Analize başlamadan önce başlangıç koşullarını tanımlamak mümkündür. Bu analizin gerçekleşmesi için sıfır başlangıç koşulunu kullanarak, binanın gerilme geçmişi bulunmadığı durum ile hesaplar başlatılmıştır. Zamana bağlı sünme ve büzülme davranışının modellenmesi için CEB-FIP 2010 yönetmeliği seçilmiştir. Bu yönetmelikte yer alan temel parametrelerin hesaplardan önce belirlenmesi gereklidir. Bu parametreler; bağıl nem yüzdesi (β_{RH}), kullanılan çimento tipi, büzülmenin başlangıç yaşı ve itibari kalınlıktır. Bunlar sırasıyla; %50 (normal çevre koşulları), 42,5N (normal sertleşen çimento), sıfır gün ve her kolon ve perde için itibari kalınlık $h = 2 \frac{A_c}{u}$ denklemi kullanılarak belirlenmiştir. Burada A_c elemanın kesit alanıdır ve u atmosfer ile temas halinde olan elemanın çevresidir. Ayrıca, çalışmada her katın inşaat süresi 10 gün ve her katın kalıpları beton döküldükten 3 gün sonra kaldırması dikkate alınmıştır.



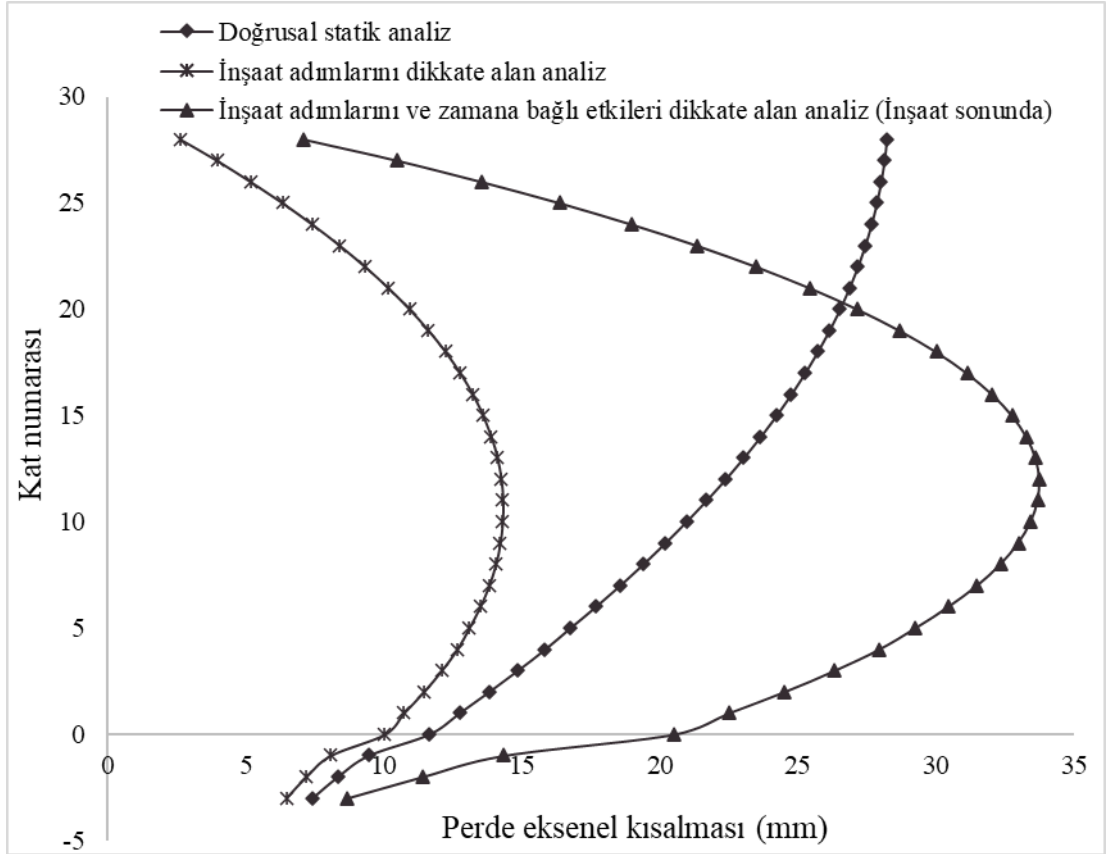
Şekil 3.16: S-25 kolonun aksel kısılmaları.



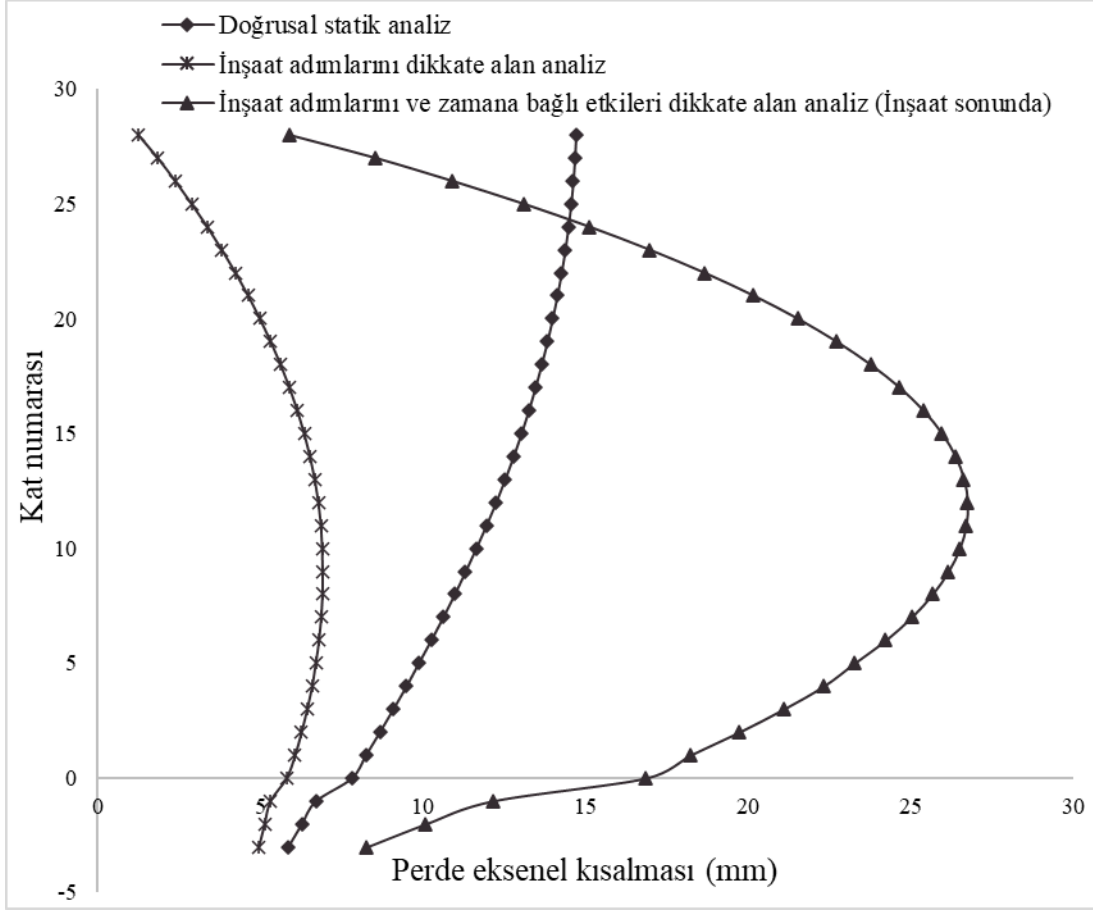
Şekil 3.17: S-24 kolonun aksel kısılmaları.



Şekil 3.18: S-33 kolonun eksenel kısalmaları.



Şekil 3.19: W-3 yapısal perdenin eksenel kısalmaları.



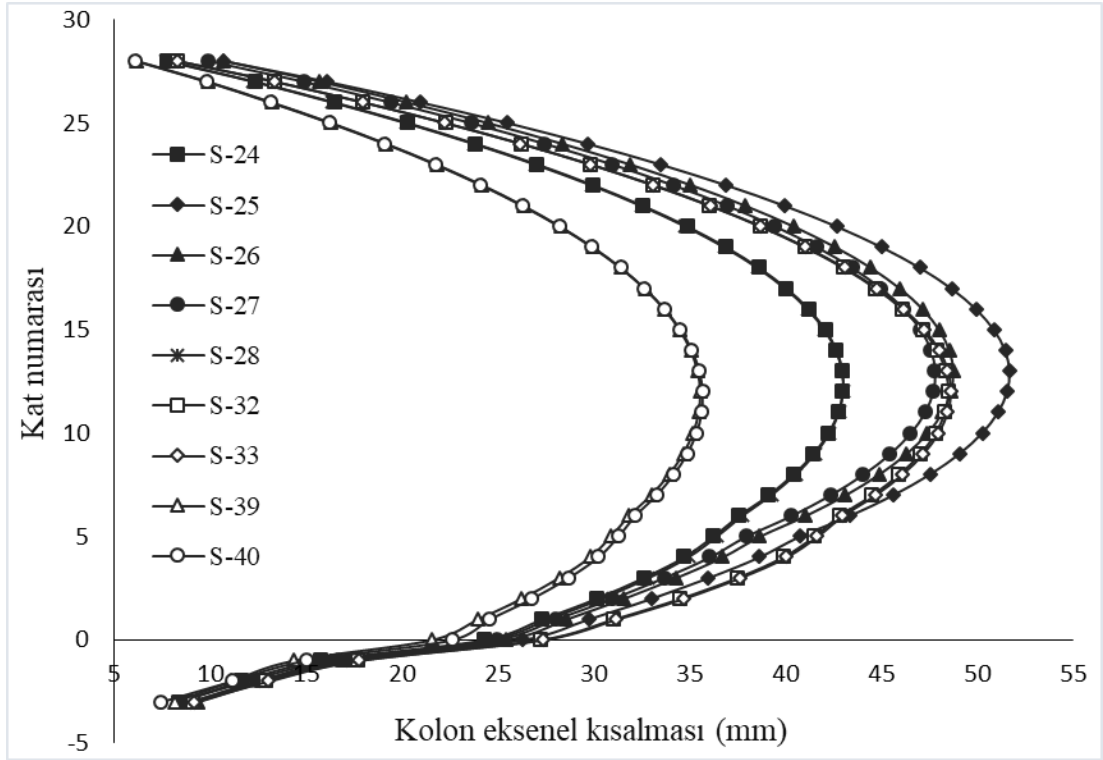
Şekil 3.20: W-4 yapısal perdenin eksenel kısalmaları.

Kolon ve perde elemanların eksenel kısalmaları incelendiğinde inşaat adımları ile zamana bağlı sünme ve büzülme etkilerinin dikkate alındığı durumun doğrusal elastik hesap sonuçlarından farklı olduğu görülmüştür. İnşaat sırasını dikkate alan hesap sonuçlarının bir miktar daha az olmasının nedeni, hareketli yüklerin henüz yapıya etki etmemiş olması nedeniyledir. Burada bir başka durum; binanın düşey elemanlarının, alt ve üst katlarında eksenel kısalmalar nispeten az olup, orta katlarda en yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür.

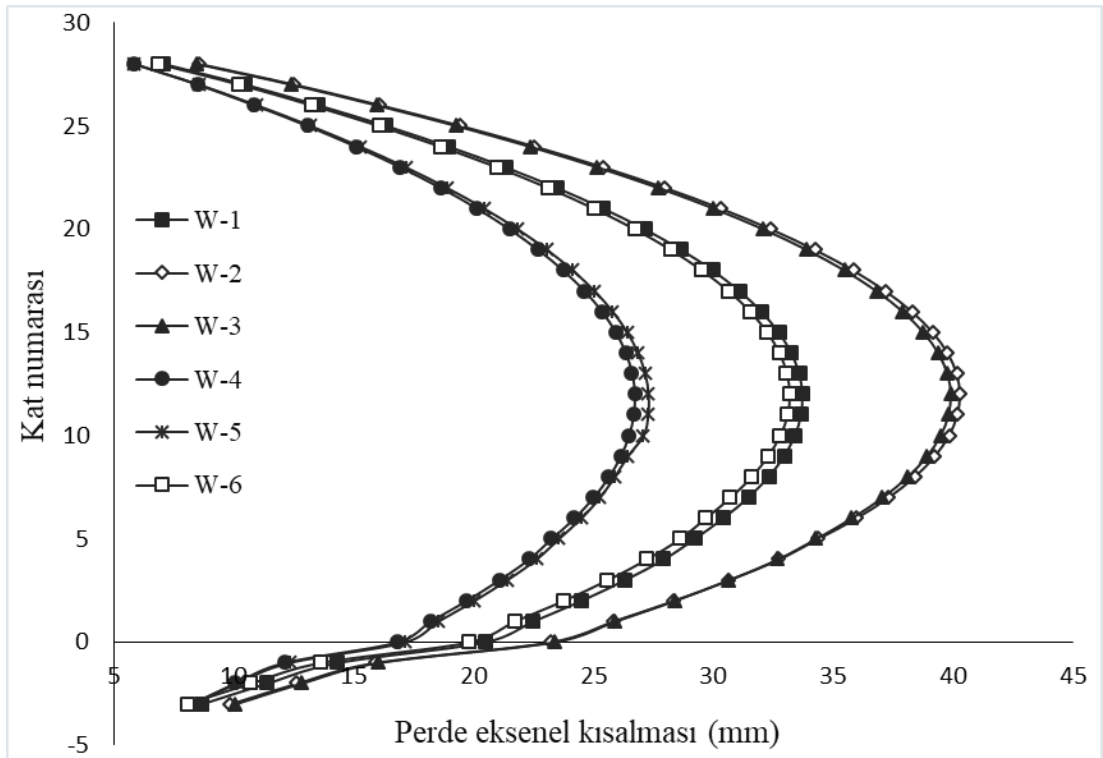
3.5.2 Betonarme yüksek binanın kule kısmındaki tüm kolon ve tüm perdelerin eksenel kısalmaları

Betonarme yüksek bina 32 kattan oluşmakta olup binanın 6. katından 28. kata kadar kule kısmında toplam 9 kolon ve 5 yapısal perde yer almaktadır. Zamana bağlı etkilerin en fazla yüksek binalar üzerinde etki gösterdiği için bu çalışmada binanın kule kısmındaki tüm kolon ve perdelerin eksenel kısalmaları incelenmiştir. İnşaatın

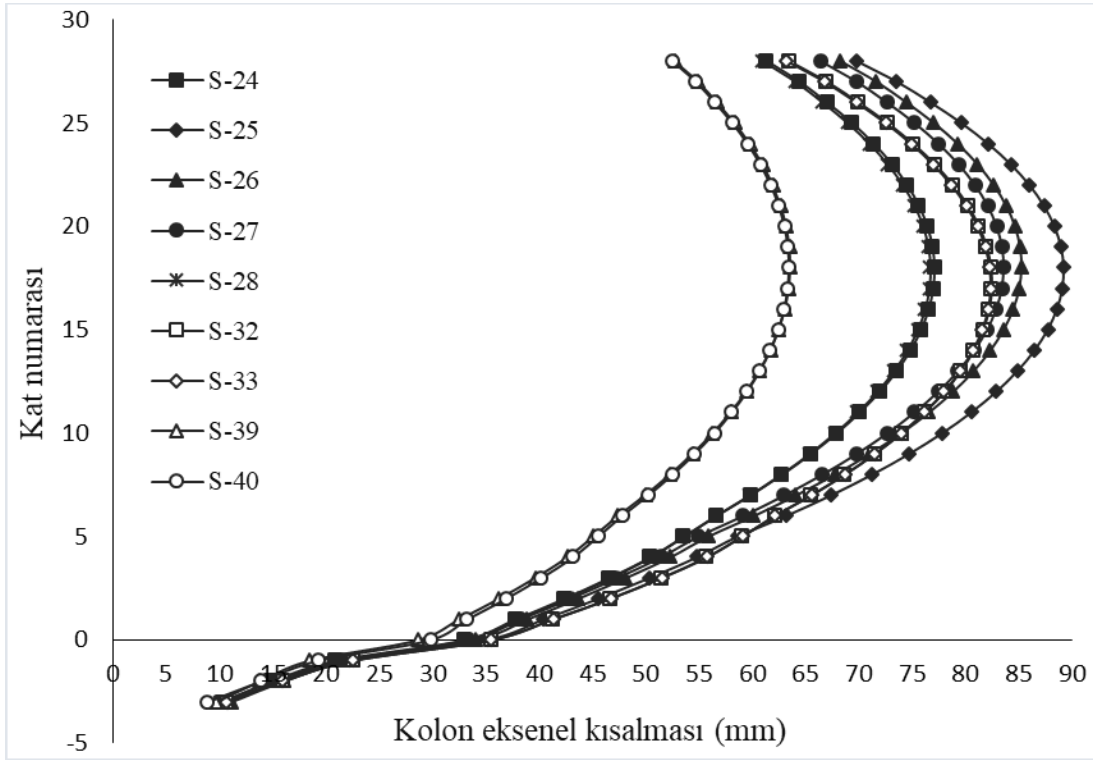
tamamlandığı 320. gün ve inşaatın başlangıcından 50 yıl sonraki eksenel kısaltmalar kolon ve perdeler için sırasıyla Şekil 3.21- 3.24'de gösterilmiştir.



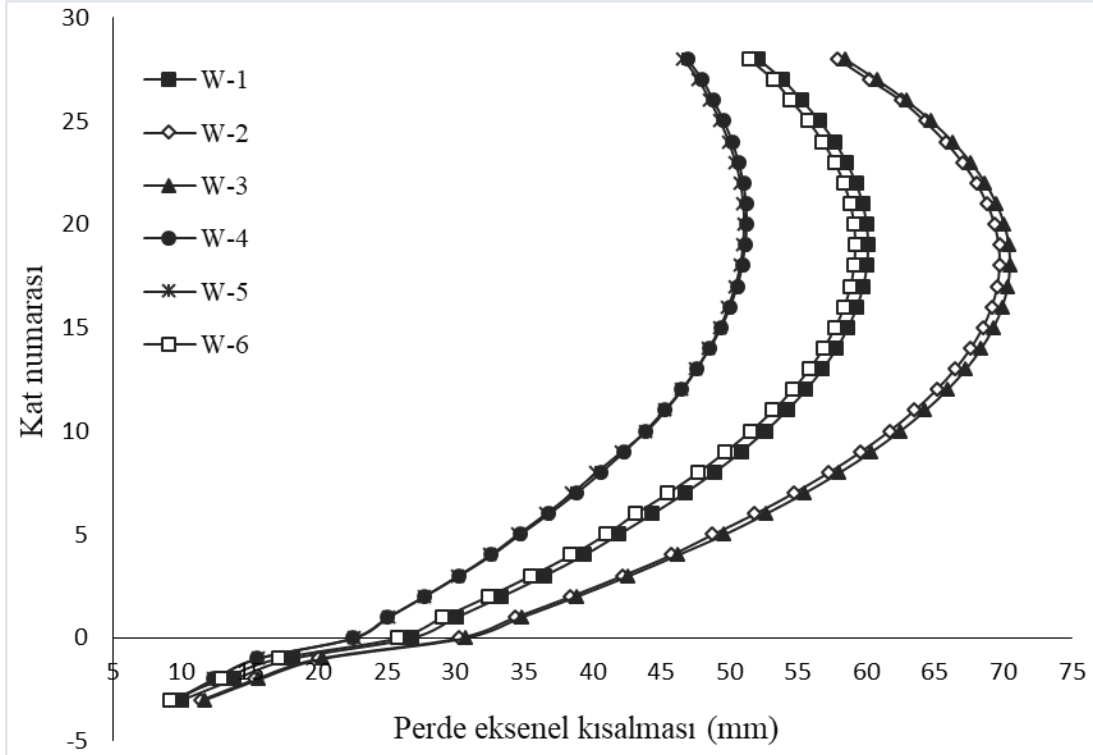
Şekil 3.21: Yüksek binanın kule kısmındaki kolonların inşaat tamamlandığı andaki eksenel kısaltmaları.



Şekil 3.22: Yüksek binanın kule kısmındaki perdelerin inşaat tamamlandığı andaki eksenel kısaltmaları.



Şekil 3.23: Yüksek binanın kule kısmındaki kolonların 50 yıldaki aksel kısılmaları.



Şekil 3.24: Yüksek binanın kule kısmındaki perdelerin 50 yıldaki aksel kısılmaları.

Şekil 3.4'te gösterildiği gibi S-39 ve S-40 kenar kolonları bir kiriş ile perdelerle bağlı olduğu için tüm kolonlar arasında en az ve yaklaşık eşit miktarda kısılmaya maruz kalmaktadır. Benzer şekilde, S-24 ve S-28 binanın diğer iki kenar kolonları olduğu için bu kolonlarda yaklaşık aynı derecede kısılmaya maruz kalmaktadır. Böylece binanın kule kısmındaki dört kenar kolon diğer kolonlardan daha az kısılmaya maruz kalmaktadır. S-25 kolonu binanın en fazla aksenal kuvvetini temele aktarıldığı için tüm kolonlar arasında en çok kısılmaya maruz kalan kolonlardan birisidir.

Perdeler arasında en küçük boyutlara sahip olan W-2 ve W-3 elemanları en fazla kısılmaya maruz kalmaktadır. W-4 ve W-5 perdeleri ise tüm yapısal perdeler arasında en az kısılmaya maruz kalmaktadır.

4. BETONARME YÜKSEK BİNANIN ZAMANA BAĞLI DAVRANIŞININ ÇEŞİTLİ DURUMLAR İÇİN İNCELENMESİ

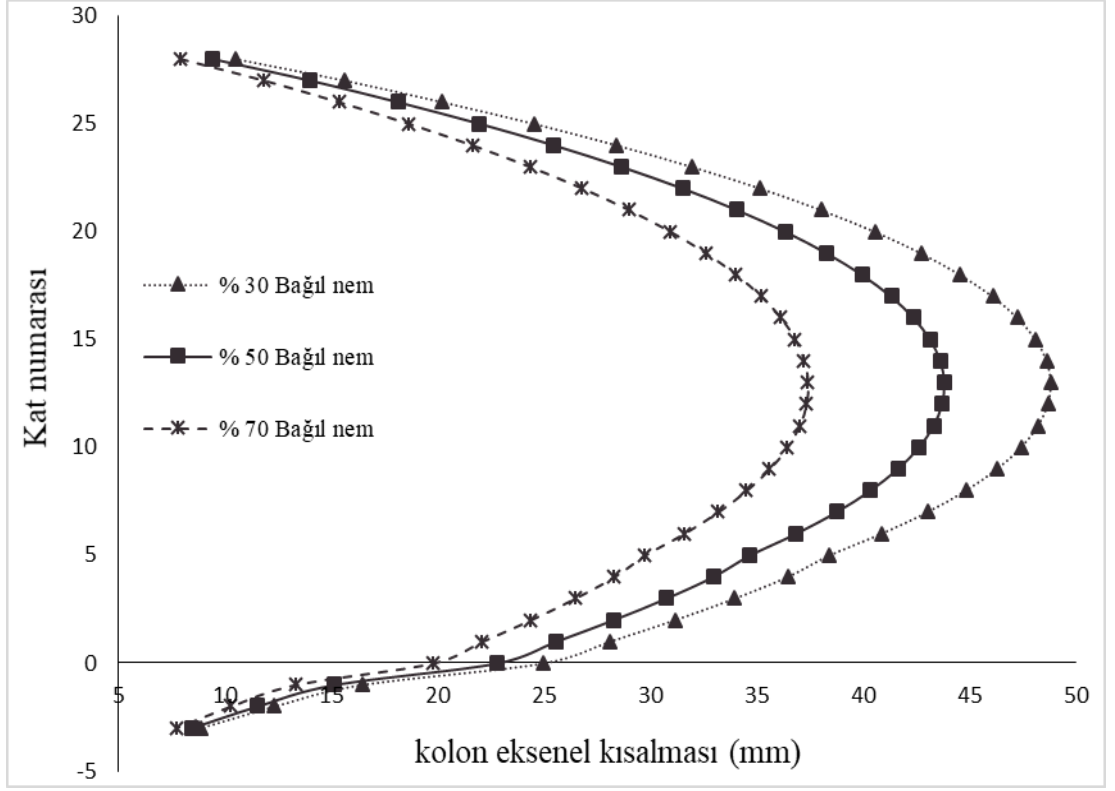
4.1 Giriş

Bu bölümde, betonarme yüksek binanın düşey taşıyıcı elemanlarında zaman içerisinde meydana gelen aksel kısılmalar çeşitli durumlar göz önüne alınarak incelenmiştir. Bu bölümdeki amaç, çeşitli parametrelerdeki değişimlerin yapı davranışı üzerine olan etkilerini araştırmaktır.

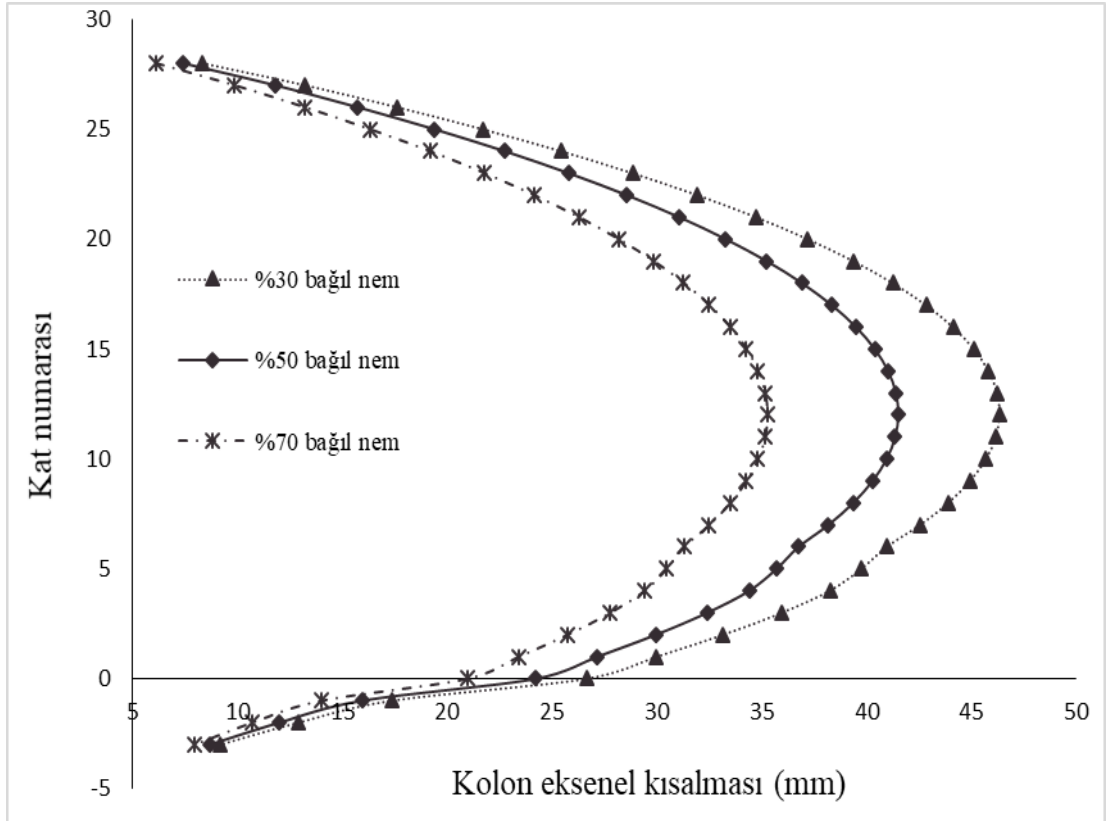
Burada ilk olarak farklı bağıl nem yüzdesinin düşey elemanların aksel kısılmaları üzerine olan etkisi incelenmiştir. Farklı yönetmeliklere göre zamana bağlı aksel kısılmalar incelenmiştir. Akabinde, farklı zaman dilimleri göz önüne bulundurularak binanın kolon ve perde gibi düşey taşıyıcı elemanlarının davranışları incelenmiştir. Bunun yanı sıra, kolonlardaki farklı donatı oranlarının düşey elemanların kısılmaları üzerine olan etkisi incelenmiş, aksel kısılmalar için çeşitli sınır değerler bu perspektiften değerlendirilmiştir. Son olarak, herhangi bir sebeple inşaatın durdurulması nedeniyle aksel kısılmalardaki değişimler incelenmiştir.

4.2 Farklı Bağıl Nem Yüzdesinin Kolon Aksel Kısılmaları Üzerine Etkisi

CEB-FIP 2010 yönetmeliği hesabında dikkate alınan dört parametreden bir tanesi bağıl nem yüzdesi (β_{RH})'dir. Bu parametre düşey elemanların aksel kısılmalarında önemli rol oynamaktadır. Bu bölümde, betonarme yüksek bina hesapları yapılırken üç farklı bağıl nem yüzdesi dikkate alınmıştır. S-25 ve S-24 kolonları sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterildiği gibi incelenmiş ve bağıl nemin artmasıyla düşey elemanların aksel kısılmalarında azalma olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın sayısal sonuçlarına göre %30 bağıl nem oranı ile düşey elemanlarda meydana gelen aksel kısılmalar %50 ve %70 bağıl nem oranlarından daha fazla çıkmaktadır. Aynı zamanda %70 nem oranı ile düşey elemanlarda en az aksel kısılmalar meydana gelmektedir.



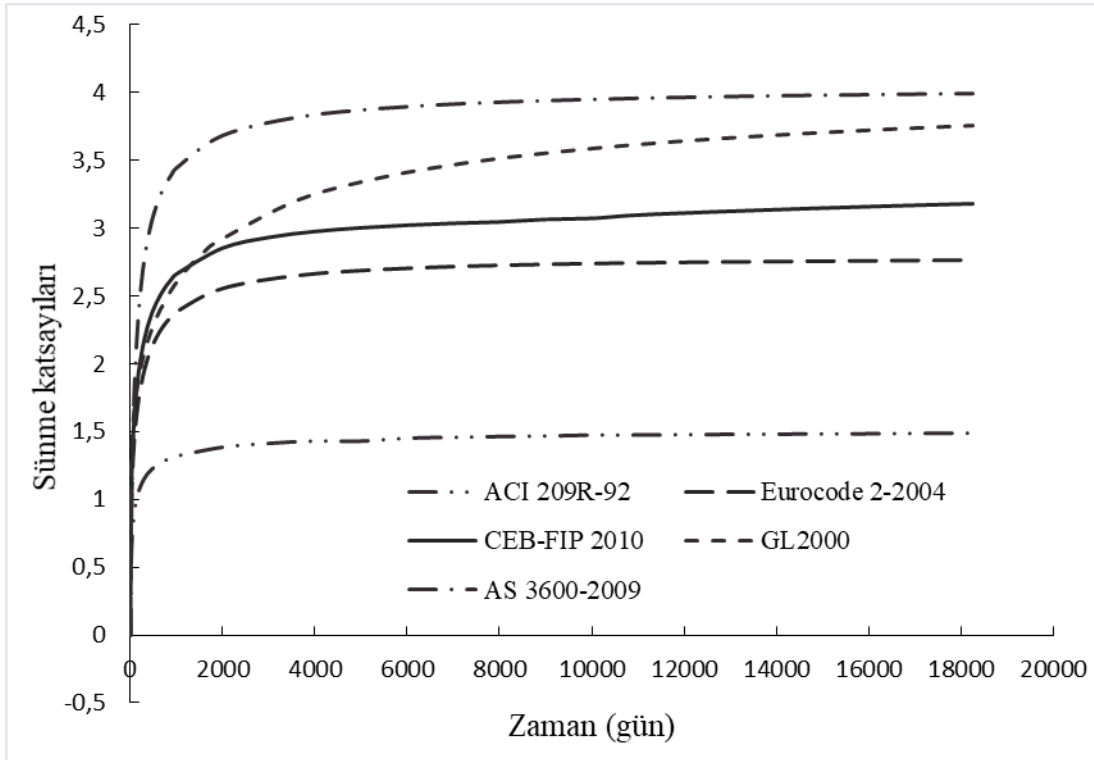
Şekil 4.1: Bağıl nem oranının değişmesi nedeniyle S-25 kolonun eksenel kısalmaları.



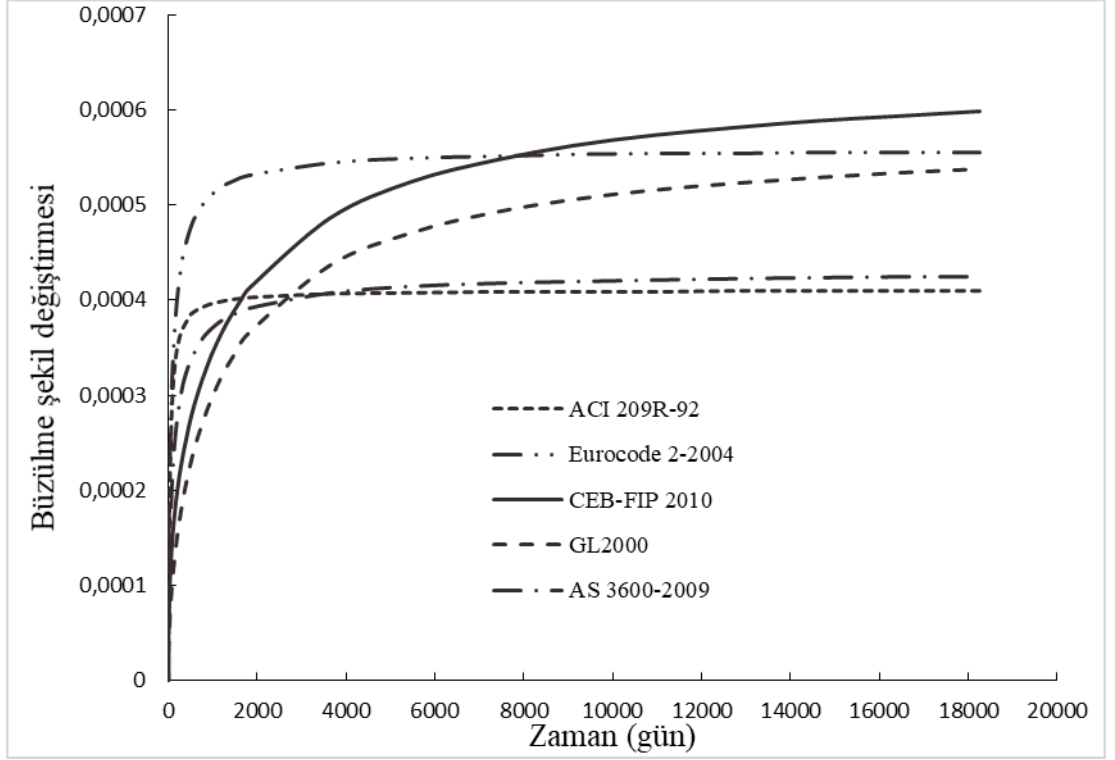
Şekil 4.2: Bağıl nem oranının değişmesi nedeniyle S-24 kolonun eksenel kısalmaları.

4.3 Farklı Yönetmeliklere Göre Kolonların Eksenel Kısalmalarının İncelenmesi

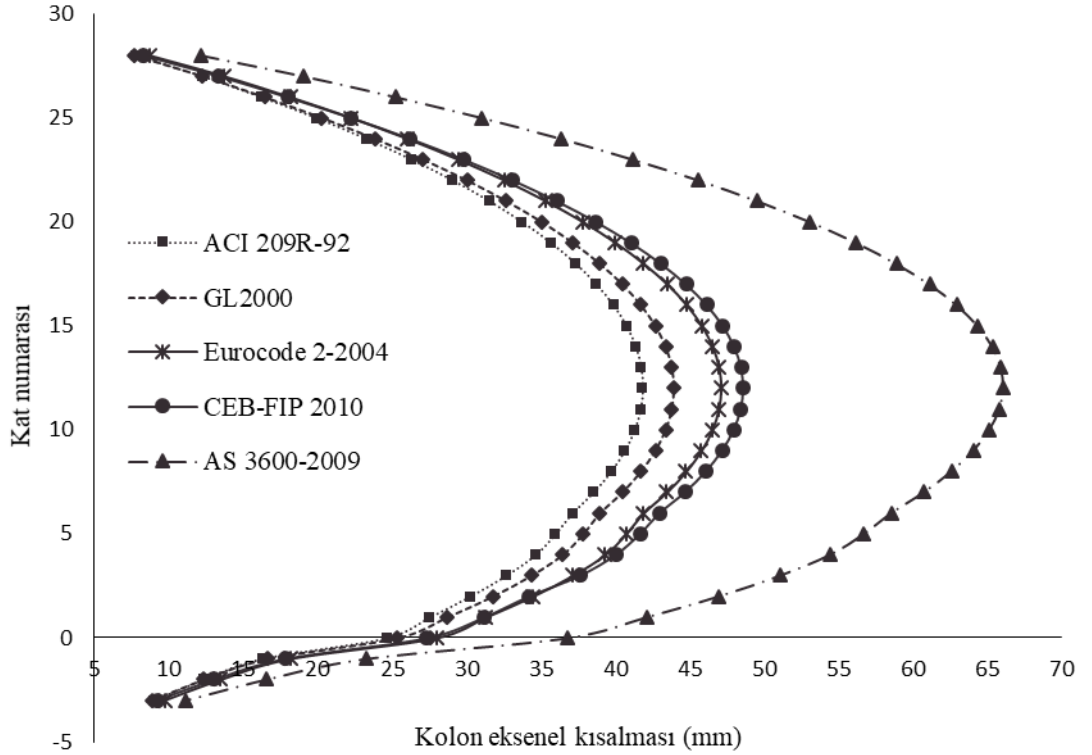
Betonarme yüksek bina üzerinde ACI 209R-92 [32], CEB-FIP 2010 [33], AS3600-2009 [34], Eurocode 2-2004 [35] ve GL2000 [36] gibi modern yönetmeliklerde yer alan yöntemler kullanılarak zamana bağlı etkilerin tesiri düşey elemanların eksenel kısalmaları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Farklı yönetmeliklere göre sünme ve büzülme katsayıları zamanla değişimi Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Aynı zamanda, farklı yönetmeliklere göre S-33 ve S-24 kolonlarının eksenel kısalmalar sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; elemanların eksenel kısalmaları AS 3600-2009 yöntemiyle en fazla olarak tahmin edilmektedir. ACI 209R-92 yöntemiyle ise elemanların eksenel kısalmaları en az tahmin edilmektedir. Tez çalışması kapsamında, CEB-FIB 2010 daha pratik bir yöntem olarak uygulanabildiği ve ortalama değerler verdiği için esas alınmış ve zamana bağlı analizler daha ayrıntılı şekilde incelenmiştir.



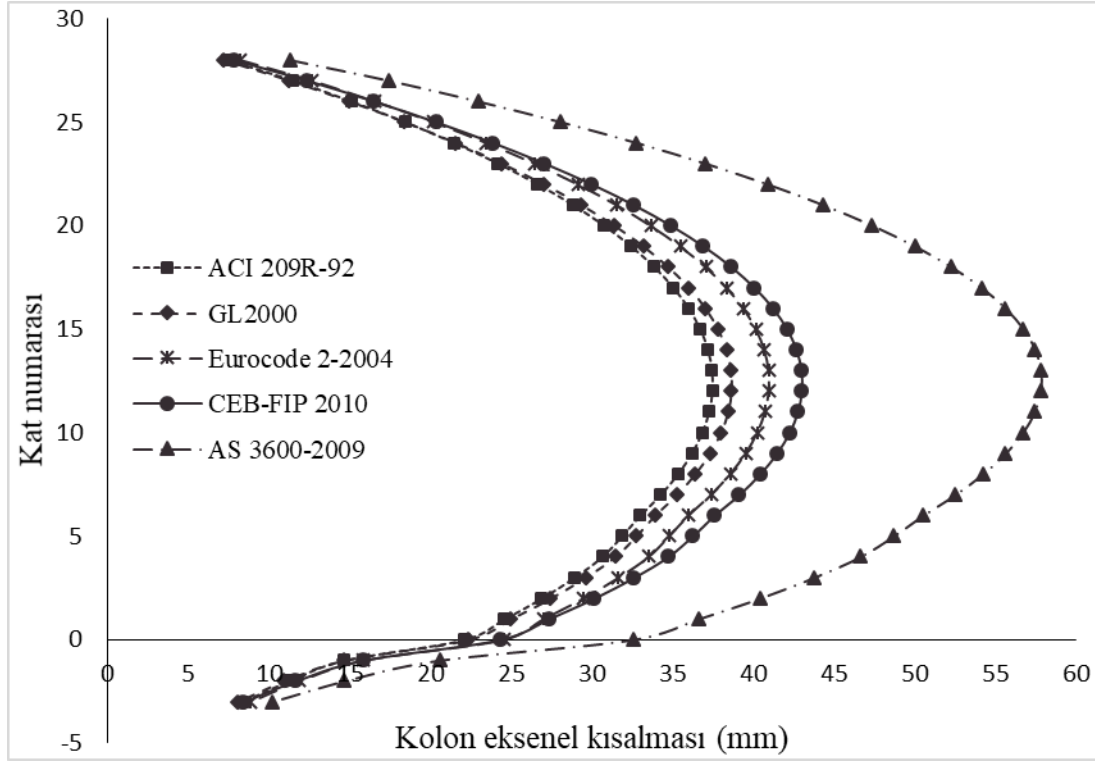
Şekil 4.3: Farklı yönetmeliklere göre sünme katsayısının zamanla değişimi.



Şekil 4.4: Farklı yönetmeliklere göre büzülme şekil değıştirmesinin zamanla değışimi.



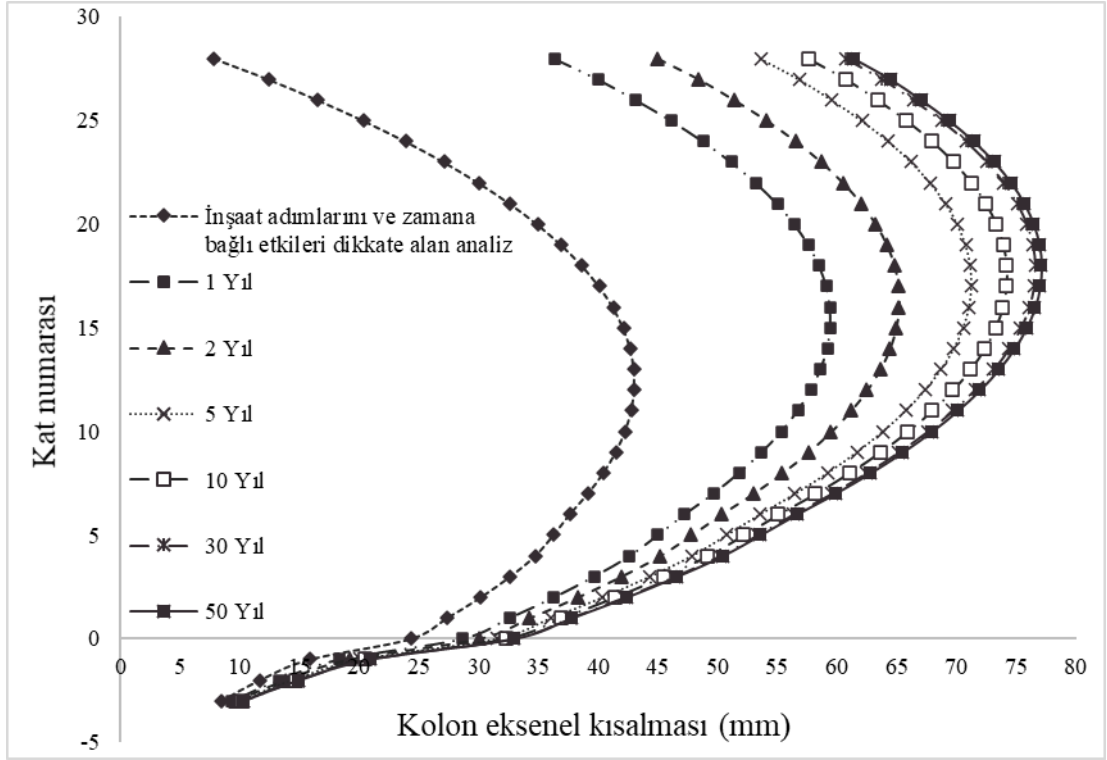
Şekil 4.5: Farklı yönetmeliklere göre S-33 kolonun eksenel kısaltmalarının incelenmesi.



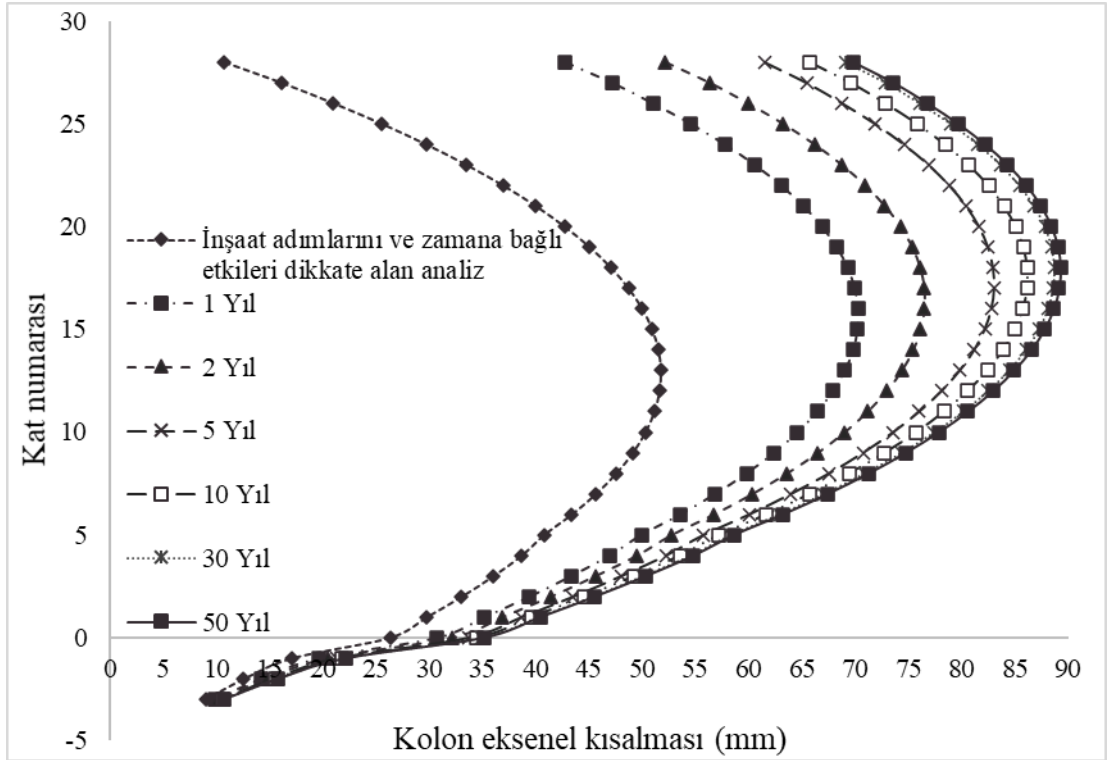
Şekil 4.6: Farklı yönetmeliklere göre S-24 kolonun aksel kısılmalarının incelenmesi.

4.4 Farklı Zaman Dilimlerine Göre Düşey Elemanların Aksel Kısılmalarının İncelenmesi

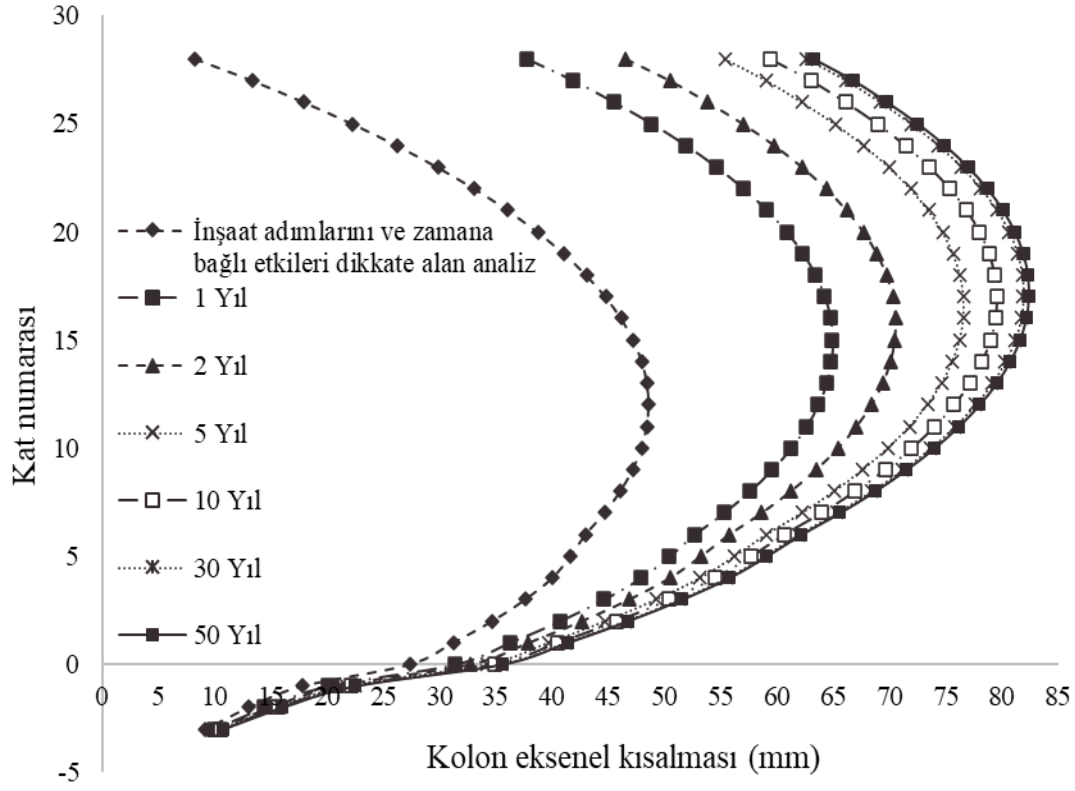
Betonarme yüksek binadan seçilmiş bir takım kolon ve perdelerinin aksel kısılmaları farklı süreler dikkate alınarak en fazla 50 yıla kadar incelenmiştir. S-24, S-25 ve S-33 kolonları ile W-3 ve W-4 perdeleri farklı yıllar dikkate alınarak incelenmiş ve aksel kısılmaları sırasıyla Şekil 4.7- 4.11'de gösterilmiştir. Şekillerde; inşaatı tamamlandığı 320 gün, 1. yıl, 2. yıl, 5. yıl, 10. yıl, 30. yıl ve 50. yıl için seçilen kolon elemanlar için aksel kısılmalar verilmiştir. Buradan görülebileceği üzere; ilk yıllarda düşey elemanların aksel kısılmaları fazla olup zaman içerisinde giderek farklar azalmaktadır. Böylece, 30 yıldaki elemanların aksel kısılmaları 50 yıldaki aksel kısılmalarına çok yakındır. Bundan dolayı, zamana bağlı deformasyonlar için 50 yıl sınır çizgisi olarak kabul edilerek bu yıla kadar binanın aksel kısılmaları verilmiştir.



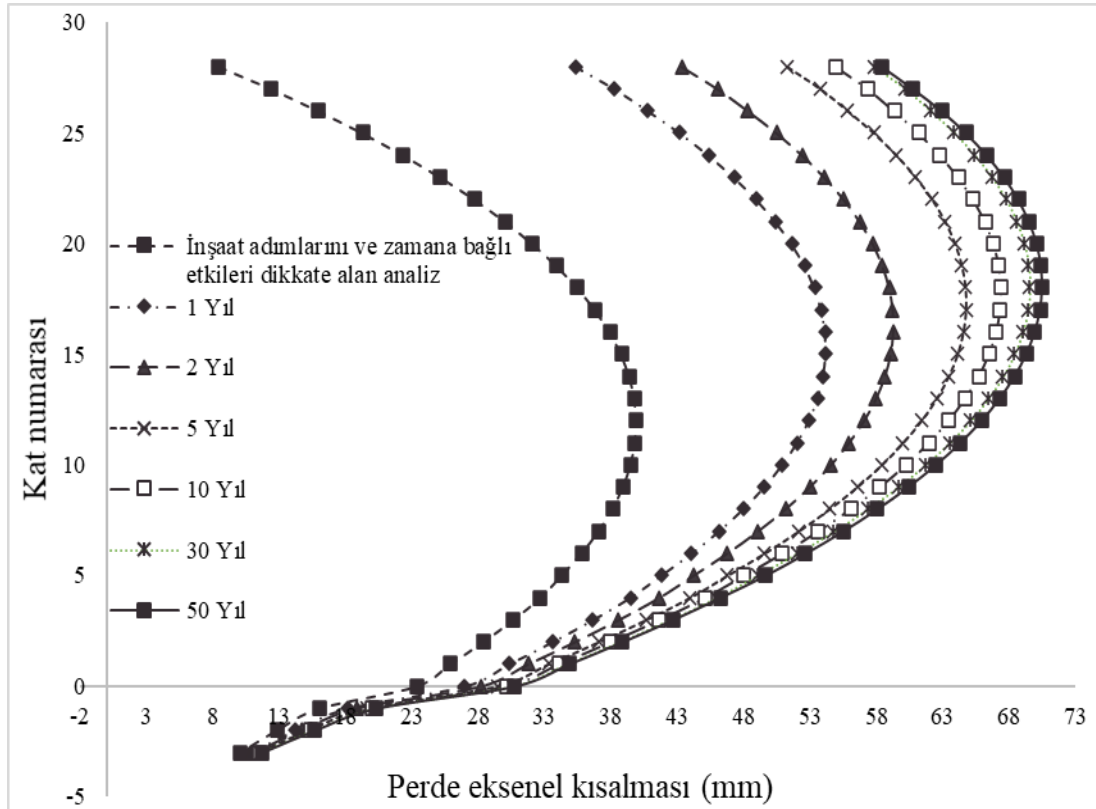
Şekil 4.7: S-24 kolonun farklı yıllara göre aksel kısılması.



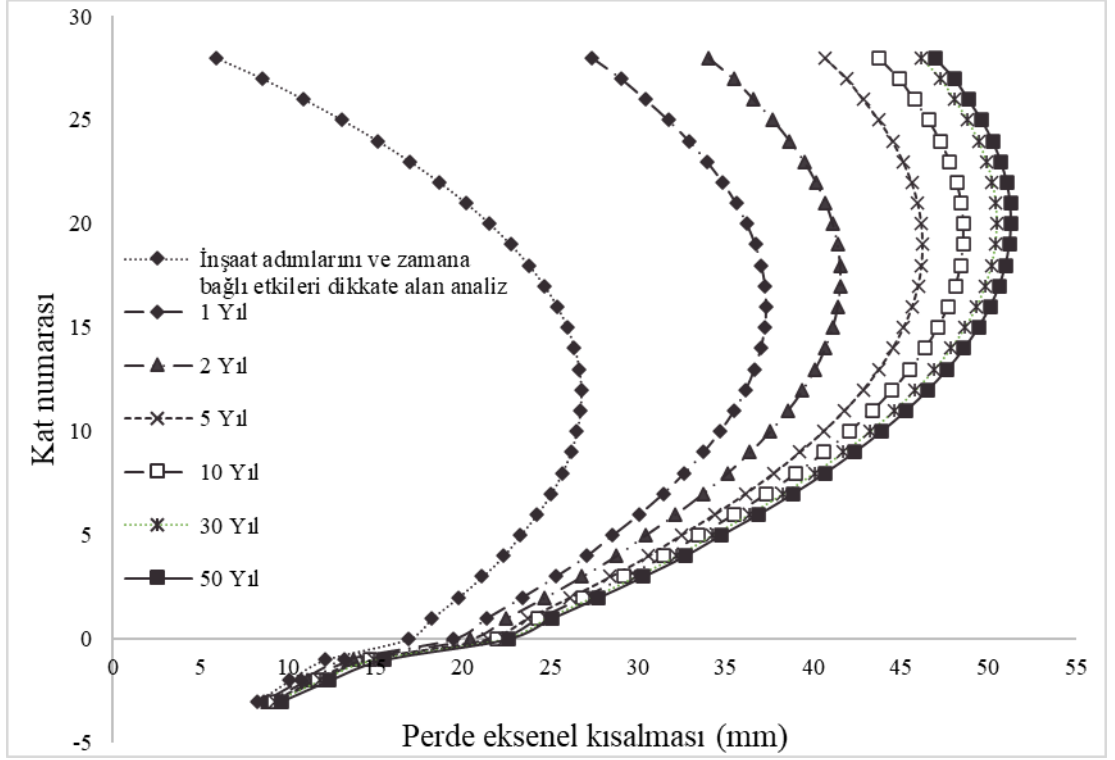
Şekil 4.8: S-25 kolonun farklı yıllara göre aksel kısılması.



Şekil 4.9: S-33 kolonun farklı yıllara göre eksenel kısalması.



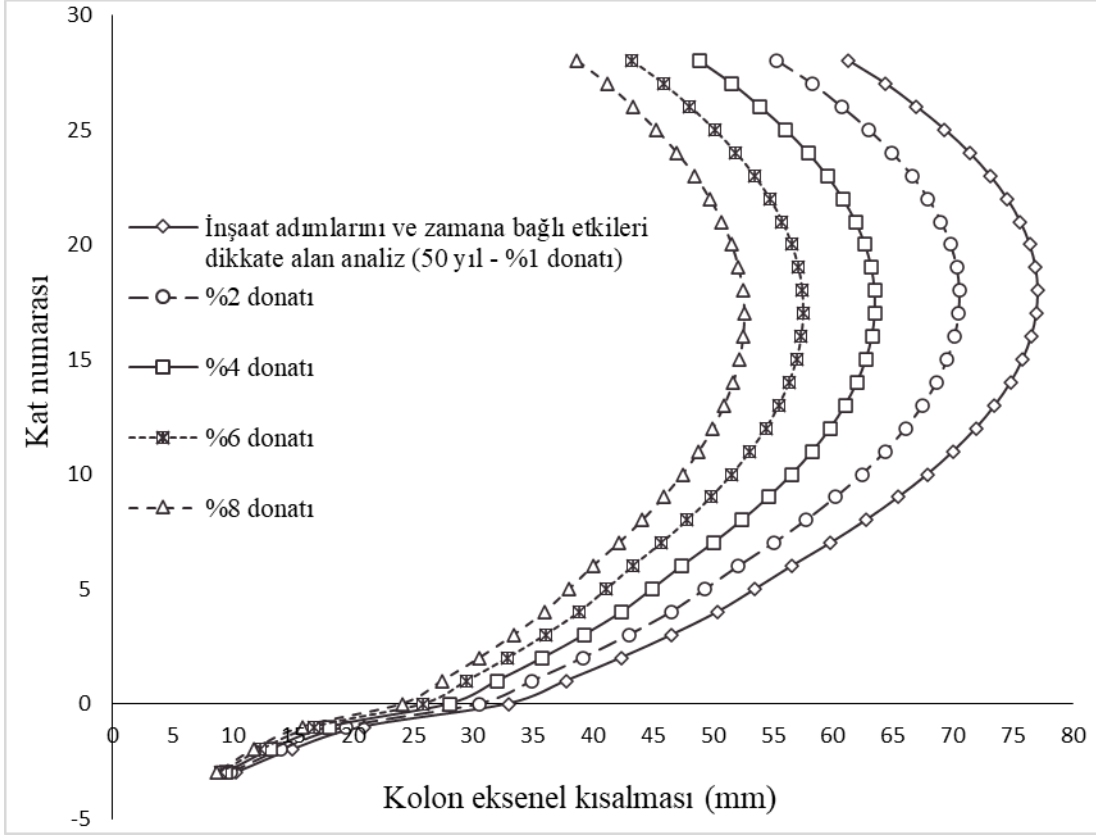
Şekil 4.10: W-3 perdesinin farklı yıllara göre eksenel kısalması.



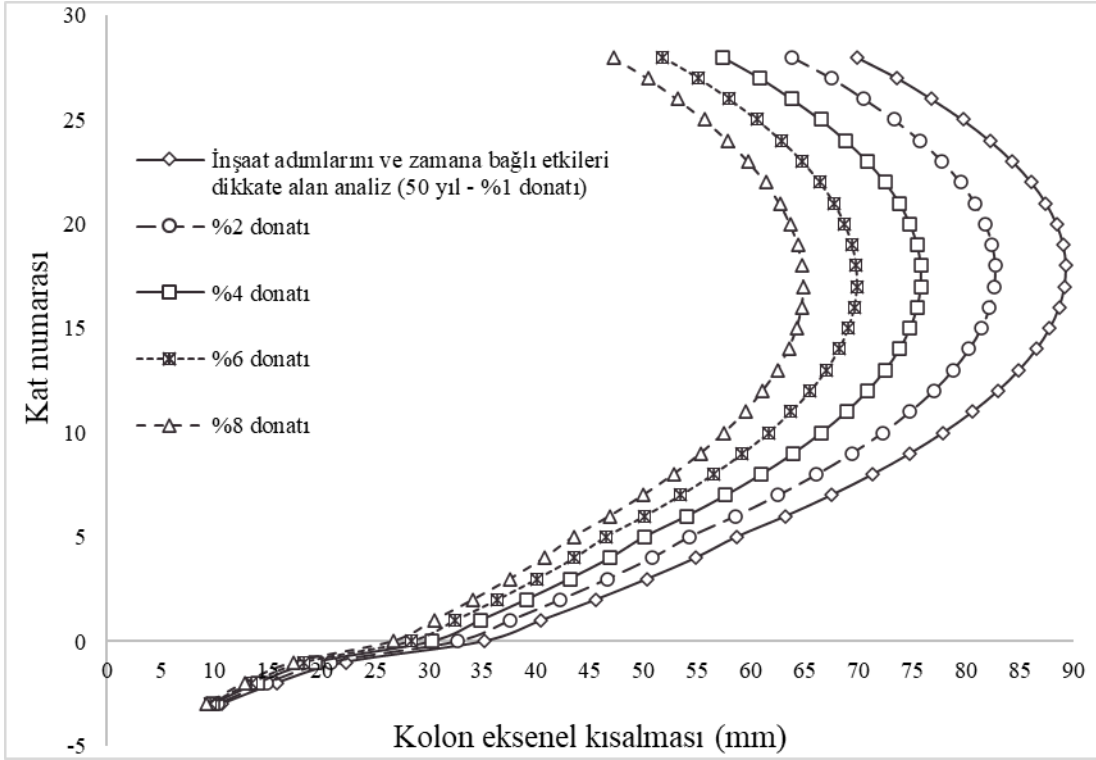
Şekil 4.11: W-4 perdesinin farklı yıllara göre eksenel kısalması.

4.5 Farklı Donatı Oranlarına Göre Düşey Elemanların Eksenel Kısalmalarının İncelenmesi

Düşey taşıyıcı elemanlardaki donatı oranlarının eksenel kısalmalar üzerine olan etkisini incelemek amacıyla betonarme yüksek binanın kolon ve perdelerini donatı oranları değiştirilmiştir. Burada, emniyetli durum asgari kabul edilmiş ve donatı oranlarının artırılması yoluna gidilmiştir. Birinci modelde, kolonlarda boyuna donatı oranı %1, ikinci modelde ise boyuna donatı oranı %2'dir. Üçüncü modelde, kolonlarda boyuna donatı oranı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde verilen maksimum %4 oranına sahiptir [39]. ACI 318-08 (2008)'de kolonların boyuna donatı oranı için %8 oranına kadar izin vermekte ancak %4 önermektedir [40]. Dördüncü modelde, kolon boyuna donatı oranı %6 ve beşinci modelde kolonlarda boyuna donatı oranı %8 seçilmiştir. Bu farklı modeller ile donatı takviye miktarlarının eksenel kısalmalar üzerine olan etkileri incelenmiştir. Donatı oranlarının düşey elemanların eksenel kısalmaları üzerine olan etkileri Şekil 4.12-4.14'te gösterilmiştir. Burada, donatı oranlarının düşey elemanların eksenel kısalmaları üzerine önemli derecede etkili olduğu görülmektedir.

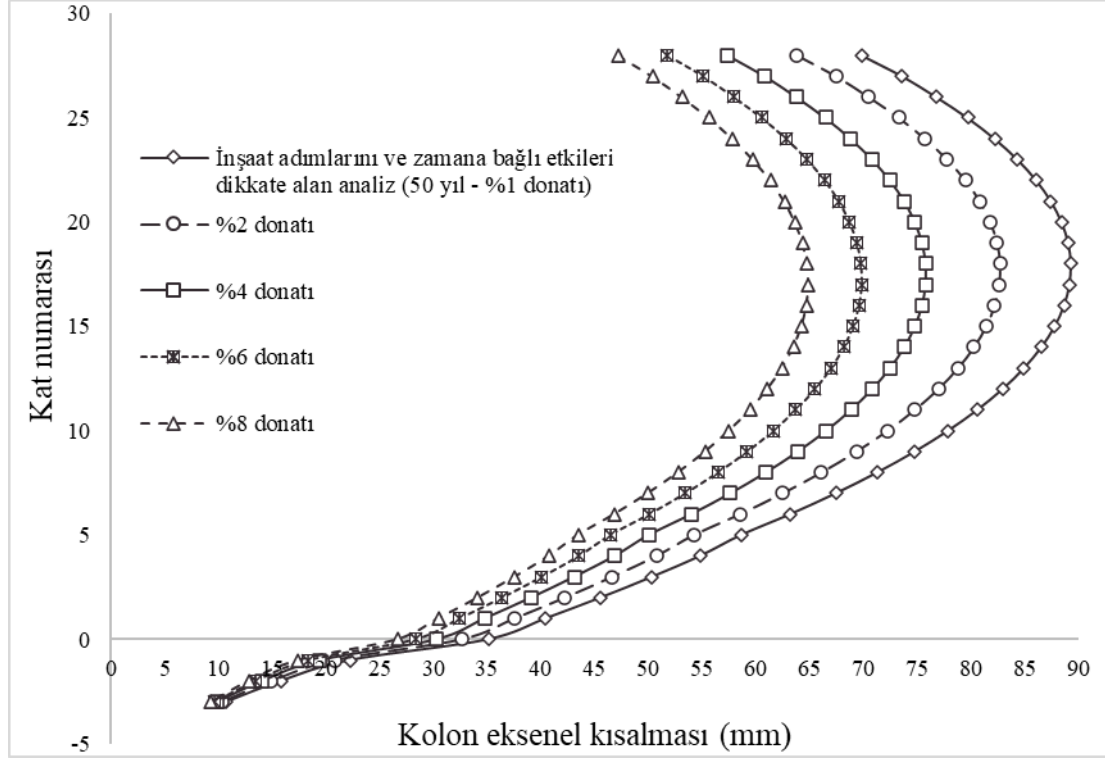


Şekil 4.12: Eksel kısılmalar üzerinde donatı oranının etkisi (S-24).



Şekil 4.13: Eksel kısılmalar üzerinde donatı oranının etkisi (S-25).

Şekil 4.13'ten görülebileceği üzere S-25 Kolonu %1 ve %8 donatı oranları için meydana gelen en büyük eksenel kısalma değerleri arasındaki fark 25 mm olup yaklaşık %30 civarındadır.



Şekil 4.14: Eksenel kısaltmalar üzerinde donatı oranının etkisi (S-33).

Kolon ve perde eksenel kısaltmalarının doğru hesaplanması, yapısal olmayan elemanlara olası herhangi bir zararın tahmin edilmesi için oldukça önemlidir. Maksimum eksenel kısaltmaların sınırları genellikle açıklık ve yer değiştirme arasındaki oranı olarak tanımlanmaktadır.

Bu tür sınırların sağlanamadığı durumlarda, kolon elemanların donatı oranları artırılarak bina yeniden çözülür ise yapı elemanı boyutlarında herhangi bir değişikliğe gidilmeden bu tür sınırlar pratik bir şekilde sağlanabilir.

4.6 İnşaatın Durdurulmasının Eksenel Kısılmalar Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Bir inşaat ruhsat alınmadan başlanmışsa veya inşaat ruhsata aykırı şekilde devam edilirse imar kurallarına aykırı bir inşaatın yani kaçak inşaatın varlığı söz konusu olur. Bu durumda inşaat durdurulabilir. Benzer şekilde, inşaat işlerinde anlaşmazlıklar oluşması, binanın inşaatından sorumlu olan firmanın ekonomik olarak yeterliliğini kaybetmesi gibi nedenlerden dolayı inşaat durdurulabilir. Bu bölümde, inşaatın farklı zaman dilimleri için durdurulması durumu dikkate alınarak binanın zamana bağlı davranışı incelenmiştir. İnşaat durdurulması ile ilgili 3194 sayılı İmar Kanunu'nun 32. maddesi aşağıdaki hükmü ihtiva etmektedir [41]:

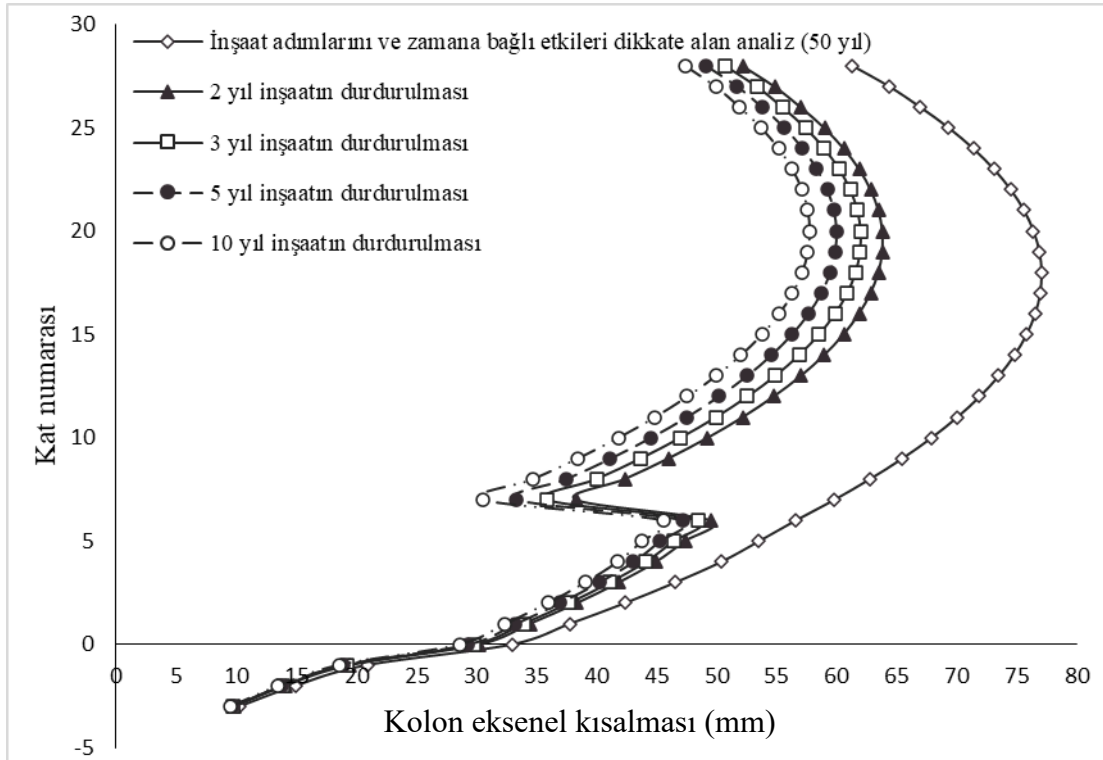
(Madde 32 – Bu Kanun hükümlerine göre ruhsat alınmadan yapılabilecek yapılar hariç; ruhsat alınmadan yapıya başlandığı veya ruhsat ve eklerine aykırı yapı yapıldığı ilgili idarece tespiti, fenni mesulce tespiti ve ihbarı veya herhangi bir şekilde bu duruma muttali olunması üzerine, belediye veya valiliklerce o andaki inşaat durumu tespit edilir. Yapı mühürlenerek inşaat derhal durdurulur.

Durdurma, yapı tatil zaptının yapı yerine asılmasıyla yapı sahibine tebliğ edilmiş sayılır. Bu tebligatın bir nüshasında muhtara bırakılır. Bu tarihten itibaren en çok bir ay içinde yapı sahibi, yapısını ruhsata uygun hale getirerek veya ruhsat alarak, belediyeden veya valilikten mühürün kaldırılmasını ister.

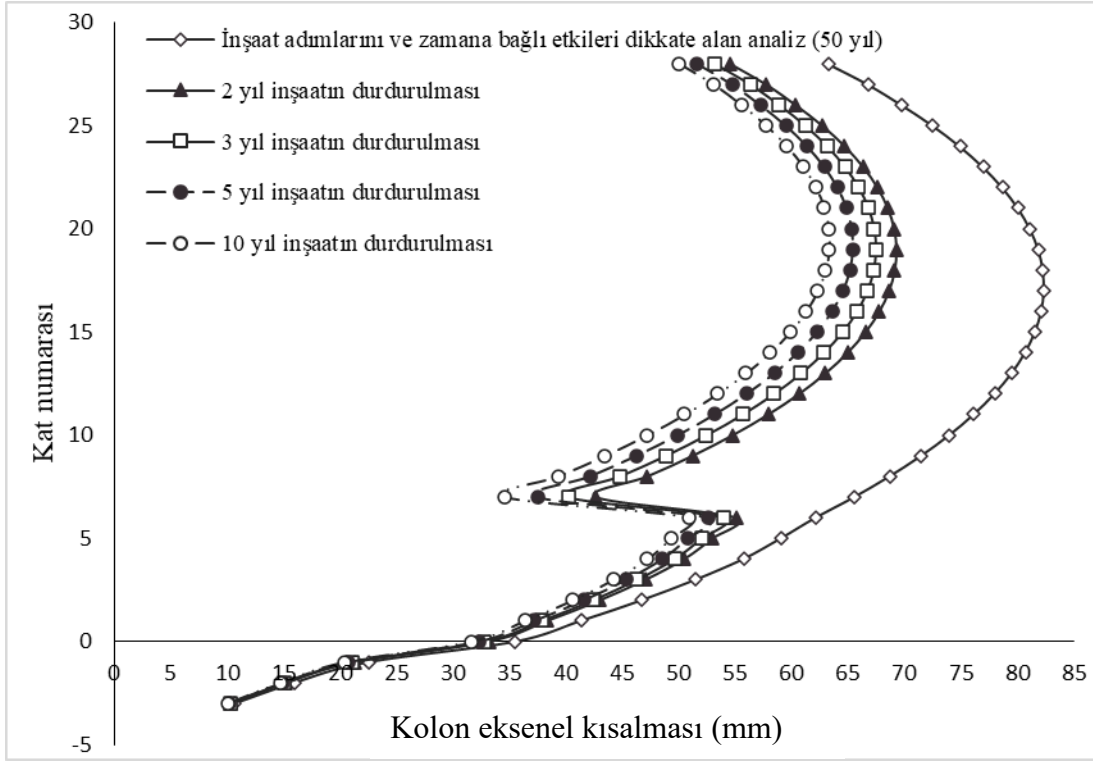
Ruhsata aykırılık olan yapıda, bu aykırılığın giderilmiş olduğu veya ruhsat alındığı ve yapının bu ruhsata uygunluğu, inceleme sonunda anlaşılırsa, mühür, belediye veya valilikçe kaldırılır ve inşaatın devamına izin verilir. Aksi takdirde, ruhsat iptal edilir, ruhsata aykırı veya ruhsatsız yapılan bina, belediye encümeni veya il idare kurulu kararını müteakip, belediye veya valilikçe yıktırılır ve masrafı yapı sahibinden tahsil edilir.)

Çalışmanın bu bölümünde inşaatın durdurulması durumunun incelenebilmesi amacıyla bir kabul yapılmıştır. Bu kabule göre; inşaat binanın beşinci katında durdurulmuştur. İnşaatın durdurulma süreleri 2, 3, 5 ve 10 yıl olarak varsayılmış ve hesaplar bu doğrultuda yapılarak bu durum araştırılmıştır.

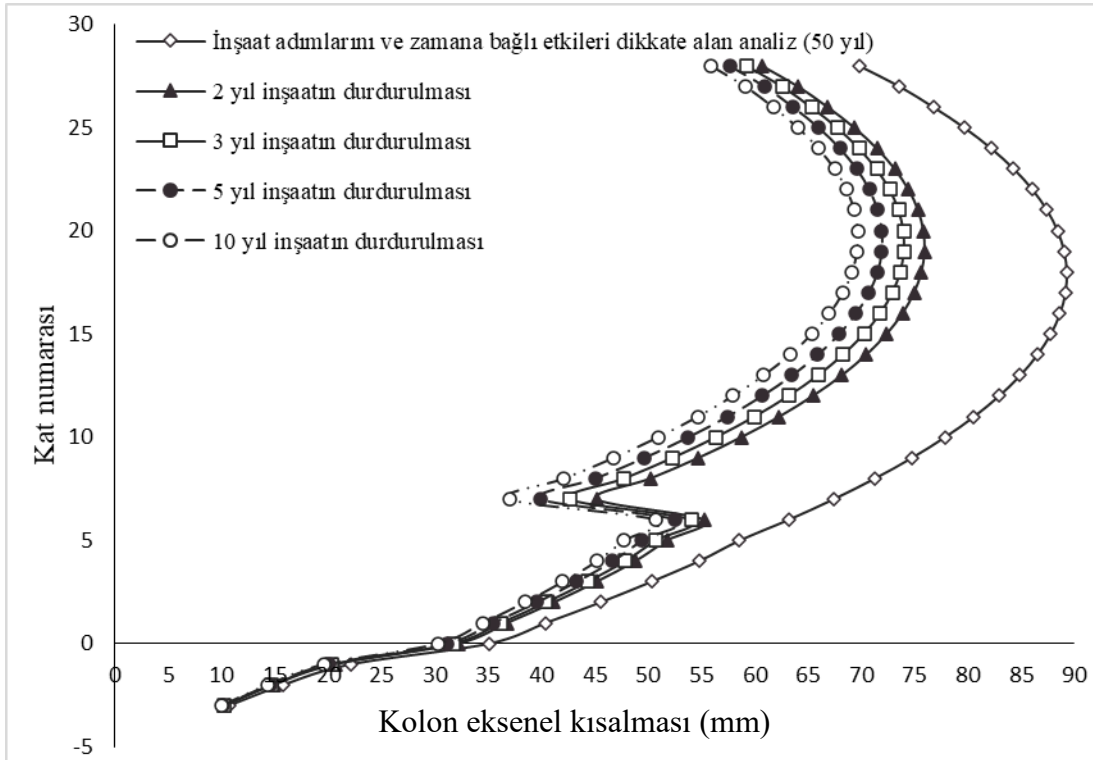
Düşey taşıyıcı elemanların aksel kısılmaları toplam 50 yıllık süre dikkate alınarak inşaatın durdurulması için kabul edilen süreler dikkate alınarak incelenmiştir. İnşaatın durdurulduğu sırada imalatın binanın 5. katında olduğu dikkate alınarak inşaatın 2, 3, 5 ve 10 yıl boyunca durdurulduğu durumlar için S-24, S-33, S-25, S-26 kolonları ve W-4 perdeleri sırasıyla Şekil 4.15- 4.19'de incelenmiştir. İnşaat durdurulması ile binanın beşinci kata kadar meydana gelen aksel kısılmalar 50 yıl boyunca meydana gelen aksel kısılmalara göre daha azdır. Bunun sebebi, bu katlardaki düşey elemanların aksel kısılmaları inşaatın durdurulmasının süresinden zamana bağlı deformasyon etkilerini aldığından dolayı daha az aksel kısılmalar meydana gelmesidir. Bina inşaatının durdurulduğu anda üst katların düşey yükler inşaat tekrar başlayana kadar aktif olmadığı için aksel kısılmalarda ani bir azalma meydana gelmektedir. İnşaat tekrar başladığı andan sonra ise bina tamamlanana kadar düşey yükler etki etmekte ve geri kalan sürede zamana bağlı etkilerden dolayı meydana gelen aksel kısılmaların daha az olmasına sebep olmaktadır. Burada, inşaatın durdurulması aksel kısılmaları olumsuz yönde etkilememektedir. Ancak, ekonomi değeri yüksek binalar için bu tür senaryolara tasarım mühendisleri dikkat etmeli ve gerekli durumlarda sayısal analizlerin tekrarlanması sağlanmalıdır.



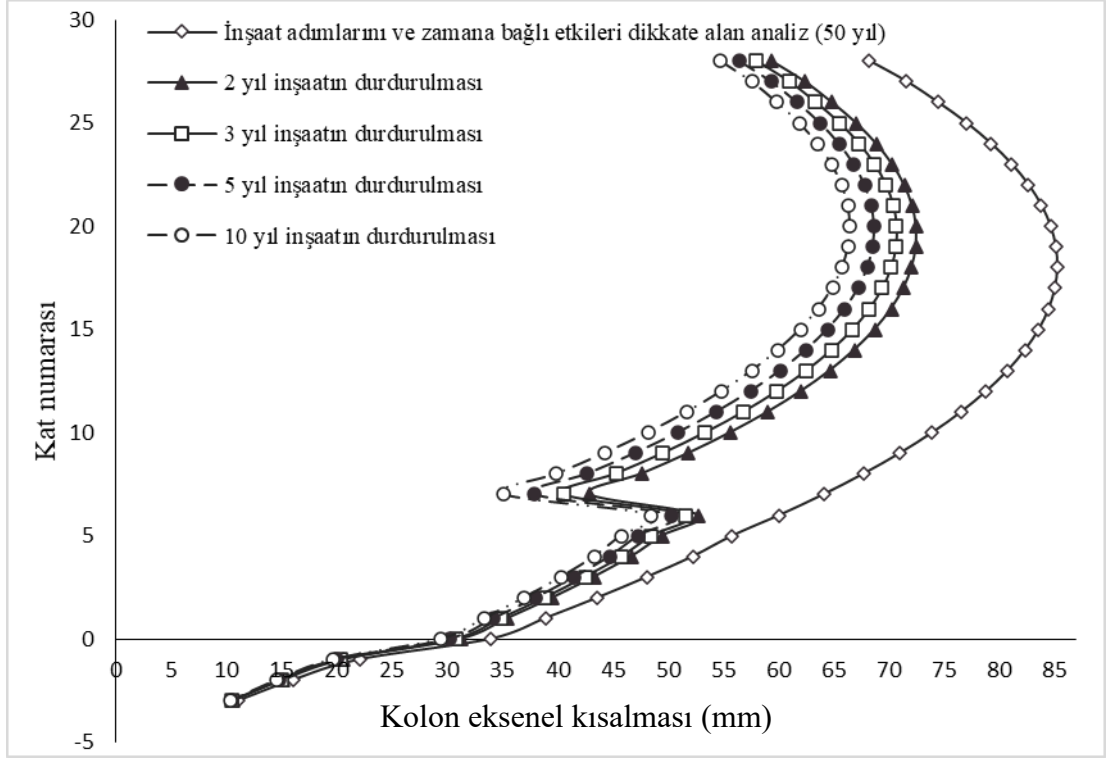
Şekil 4.15: İnşaatın farklı sürelerde durdurulması durumu için S-24 kolonunun aksel kısılmasının incelenmesi.



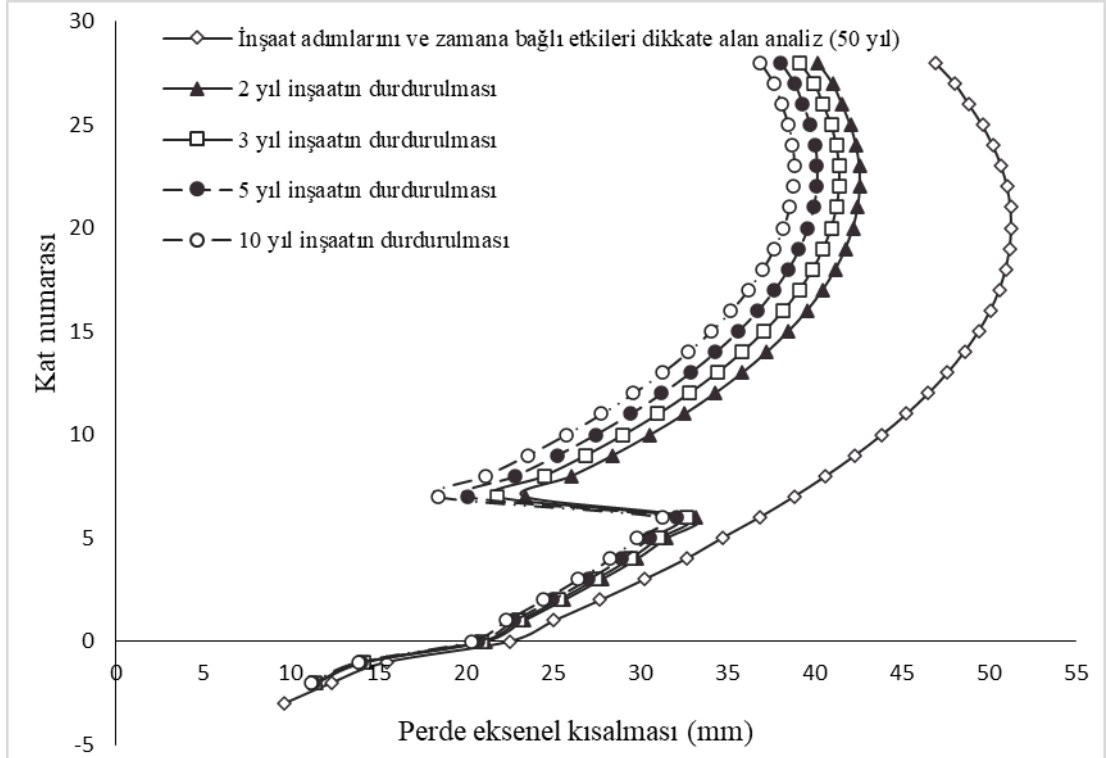
Şekil 4.16: İnşaatın farklı sürelerde durdurulması durumu için S-33 kolonun aksel kısılmasının incelenmesi.



Şekil 4.17: İnşaatın farklı sürelerde durdurulması durumu için S-25 kolonun aksel kısılmasının incelenmesi.



Şekil 4.18: İnşaatın farklı sürelerde durdurulması durumu için S-26 kolonun aksel kışalmasını inceleyen.



Şekil 4.19: İnşaatın farklı sürelerde durdurulması durumu için W-4 perdesinin aksel kışalmasını inceleyen.

5. YÜKSEK BİNALARDA EKSENEL KISALMALARIN DÜZELTİLMESİ

Yapı mühendisliğinde, yatay yüklere dayanıklı taşıyıcı sistemlerin geliştirilmesi ve yüksek mukavemetli malzemelerin kullanımı gibi yüksek binaların analizi ve tasarımı ile ilgili birçok gelişme olmuştur. Yüksek binaların yapı tasarımlarında özellikle servis (kullanım) koşullarının kontrol edilmesi öne çıkmaktadır. Bu tip yapılarda servis koşulları; binanın en yüksek noktasının yatay yer değiştirmesi, görelî kat ötelenmeleri, insan veya makine kaynaklı titreşimleri, rüzgâr ve deprem kaynaklı dinamik etkileri ve zamana bağılı etkilerin bir sonucu olarak düşey elemanların aksenel kısıalmalarının kontrol edilmesi gibi pek çok kriteri içermektedir. Düşey elemanların aksenel kısıalmaları, sünme ve büzülme kısıalmaları gibi iki ana bileşenden meydana gelmektedir. Yüksek bir binada, düşey elemanlar aynı miktarda kısıalmayacaktır. Bunun nedeni, tüm düşey elemanlar farklı yükleme koşullarına, kesitin rijitliklerine ve kesit alanları gibi farklı tasarım bileşenlerine sahip olmasıdır. Sünme ve büzülmeden kaynaklanan düşey elemanların aksenel kısıalmalarının değişimleri oldukça önemlidir. Düşey elemanların aksenel kısılması, düşey elemanlarda ilave aksenel kuvvetlere ve döşemelerde veya bağlantı kirişlerinde ilave eğilme momentlerine neden olabilmektedir. Binalardaki yapısal hasarlara ek olarak, düşey elemanlardaki aksenel kısıalmaların farklılığından dolayı döşemelerde dönme meydana gelebilir. Ayrıca, birçok farklı amaçlar kullanılan yapısal olmayan elemanlar üzerinde de birçok olumsuz etki görülebilir. Bu nedenle, düşey elemanların aksenel kısıalmaları ile ilgili problemleri imalat aşamasında önlemek için, düşey elemanların zamana bağılı aksenel kısıalmalarını doğru bir şekilde tahmin edilmesi ve uygun şekilde düzeltilmesi önem taşımaktadır.

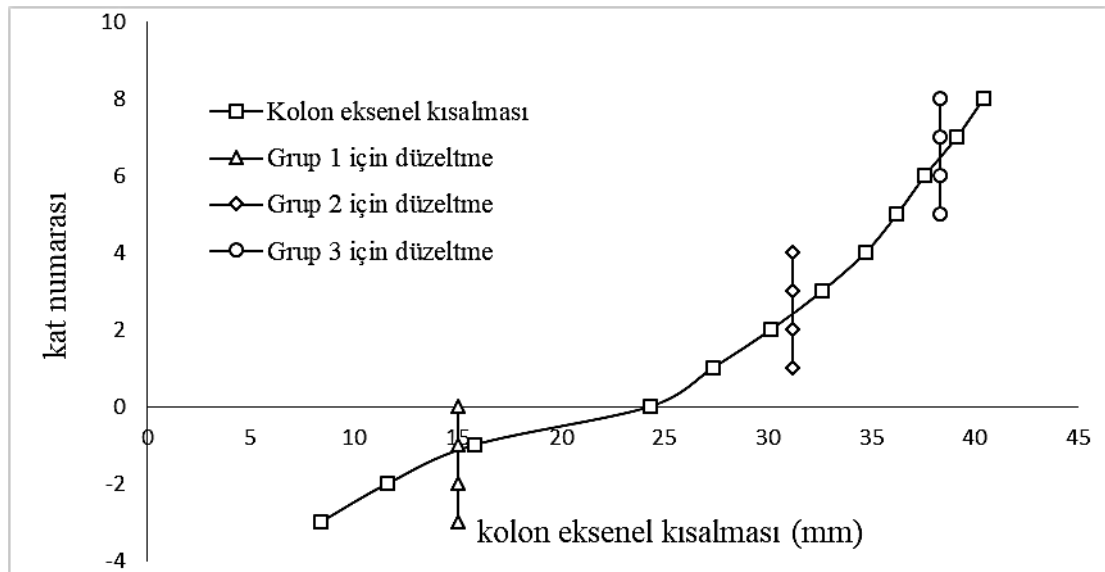
Düşey elemanların kısıalmalarını belirlemek için bilimsel çalışmalar mevcuttur [4-24]. Düşey elemanların öngörülen kısıalmalarına bağılı olarak, binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarı en aza indirmek için aksenel kısıalmaların düzeltilmesi ile ilgili oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunduğundan bu konunun detaylı şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde önceden bu çalışma için seçilen 32 katlı yüksek binadaki düşey elemanların aksenel kısıalmalarını düzeltmek için tekdüze (üniform) gruplu

düzeltilme yöntemi, Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi L1-norm ve L2-normu kullanarak sunulmuştur. Önerilen düzeltilme yöntemleri binadaki düşey elemanlar için ayrı ayrı uygulanmıştır. Aynı zamanda, bu çalışmada geliştirilen düzeltilme yöntemleri kullanarak binanın kule kısmındaki düşey elemanlarını tümünü bir arada dikkate alınmış ve düzeltilmeler bu şekilde de yapılmıştır.

5.1 Eksenel Kısalmaların Düzeltilmesi

Betonarme yüksek binalarda zamanla oluşması beklenen eksenel kısalmalar dikkate alınarak inşaat sırasında düzeltilmesi, oluşabilecek yapısal veya yapısal olmayan hasarların önlenmesi için gereklidir. Her kat seviyesinde düşey bir eleman için gereken düzeltilme miktarı Şekil 5.1'de gösterildiği gibi inşaat sırasında düzeltilme grupları tahmin edilmektedir. Ancak, düşey elemanların uzunluklarının her kattaki tam kısalma değerini dikkate alarak öngörülen eksenel kısalmaların düzeltilmesi her ne kadar doğru değer elde etmek için öngörülmüşse de pratik olmaktan uzaktır.



Şekil 5.1: Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile eksenel kısalmalar gösterimi.

Bu nedenle, betonarme yüksek bir binanın yapımında her kat içerisinde düşey elemanların uzunluklarını düzeltmek yerine düzeltilmelerin birkaç katı aynı anda kapsayacak bir grup şeklinde yapılması daha uygun olacaktır. Bu durumda bir gruptaki tüm katlar aynı miktarda düzeltilmektedir. Tez çalışması kapsamında seçilen yüksek bina bodrum katlarla birlikte toplam 32 kat olup farklı gruplar dikkate alınarak düzeltilme yöntemleri uygulanmıştır.

5.1.1 Eksenel kısalmaların imalata yönelik düzeltme yöntemleri ile incelenmesi

Betonarme yüksek binaların kolon ve perdelerinin eksenel kısalmaları düzeltilmesi gerekmektedir. Düşey elemanlara bağlı olan döşeme ve kirişlerde eksenel kısalmalardan dolayı önemli miktarda dönmelerin oluşmaması için, katların inşaatından sonra oluşması beklenen eksenel kısalmaların düzeltilmesi için dört yöntem kullanılmaktadır.

5.1.1.1 Doğrudan Düzeltme Yöntemi

Doğrudan Düzeltme Yönteminde, her kattaki düşey bir eleman için gerekli olan düzeltme miktarı, o kattaki düşey eleman için öngörülen kısalma miktarıdır. Bu şekilde Doğrudan Düzeltme Yöntemi ile oldukça hassas düzeltme yapılabilir. Ancak bu durumda her kattaki her bir düşey eleman için farklı uzunluklarda kalıp kullanılması gerekir. Bu nedenle, her kattaki düşey eleman için uygulanacak mutlak düzeltme yöntemi maliyeti yüksek bir yöntemdir. Ayrıca, çok sayıda düşey elemanı olan binalar için pratik ve uygulanabilir değildir.

5.1.1.2 Sabit Ortalama Düzeltme Yöntemi

İnşaat sırasındaki farklı düzeltme değerlerinin sayısını en aza indirmek amacıyla, her kat için gerekli olan düzeltme miktarının ortalaması alınarak tüm katlarda aynı düzeltme uygulanabilir. Bu şekilde, düşey elemanların uzunlukları her kat için aynı miktarda sabit ortalama düzeltme miktarı ile arttırılmaktadır. Ancak, bu yöntem farklı kalıp kullanımını en aza indirir, ancak telafi sonrası öngörülen kısalma değerleri ile düzeltme değerleri arasında önemli farklılıklar getirecektir.

5.1.1.3 Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi

Tekdüze (üniform) Gruplu Düzeltme Yönteminde yukarıda bahsedilen yöntemlerin avantajlarını kullanmak için düşey elemanlar gruplandırılır ve gruptaki kat sayısı dikkate alınarak her grup için düzeltme miktarının ortalaması alınır. Grupların sayısı arttıkça gruptaki eleman sayısının azaldığı ve buna bağlı olarak farklılıkların giderek azaldığı görülmektedir. Tekdüze gruplu düzeltme yönteminde, düşey elemanların eksenel kısalmaları birkaç kat için tekdüze gruplu düzeltme miktarı ile düzeltilebilir. Tekdüze gruplu düzeltme yöntemiyle, katların düşey elemanlarında öngörülen eksenel kısalmaları düzelttikten sonra eksenel kısalma değerleri ile

düzeltilme değerleri arasında birtakım farklar bulunmaktadır. Bir gruba dahil olan kat sayısı arttıkça, farklar giderek artar. Benzer şekilde, bir grupta dahil olan kat sayısı azaldıkça farklar giderek azalır ve böylece ortaya çıkan hatalar azalacaktır. Tekdüze gruplu düzeltilme yönteminin verimini gruplanan kat sayısını bağlıdır. Bir başka açıdan, daha düşük aksel kısılma hataları elde etmek için farklı sayıda elemandan oluşan gruplar oluşturulursa, gruplar artık tekdüze olamaz ve bu tür bir durumda, düşey elemanları gruplarını verimli bir şekilde oluşturmak için bir optimizasyon tekniği gerekmektedir.

5.1.1.4 Optimal Düzeltilme Yöntemi

Çeşitli çözümler arasında belirli bir probleme en etkili ve verimli çözümleri bulmak için optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır [42]. Bu yöntemler, çeşitli uygulama alanlarında çok kullanışlı araçlar haline gelmiştir [43, 44]. Mekanik rezonatör tasarımının optimum mikro yapı parametreleri [45], optimum aerodinamik şekil [46], elektrot tasarımı için en uygun devre elemanları [47], mobil otonom robotlar için en uygun yol [48] bunlardan bazılarıdır. Yapı mühendisliği açısından ise, yüksek binalarda düşey elemanların aksel kısılmalarının düzeltilmesi için optimizasyon yöntemleri, düzeltilme sürecinin sahada uygulanabilirliğini dikkate alarak minimum sayıda düşey eleman grubunu bulmayı amaçlamaktadır. Böylece, düzeltilme hatalarının optimizasyon teknikleri ile en aza indirilmesi hedeflenmektedir [24]. Optimal düzeltilme yönteminde, bir binadaki düşey eleman gruplarının sayısını inşaat sırasında düzeltilme sürecini basitleştirmek için en aza indirilmektedir. Bunun üzerinde, her kattaki ve her bir gruptaki düzeltilme hatalarının büyüklükleri üzerinde limit belirleyerek, aksel kısılmanın büyüklüğü veya bir kattaki döşemenin dönmesi kontrol edilebilir. Düzeltilme gruplarının sayısı, her gruptaki katların sayısı ve her grup için ortalama düzeltilme değerinden oluşan optimal çözümler, benzetilmiş tavlama algoritması (simulated annealing algorithm) kullanılarak hesaplanmış olup literatürde bulunmaktadır [24].

5.2 Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin Betonarme Yüksek Binada Uygulanması

İnşaat sırasında Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemiyle öngörülen eksenel kısılma değerlerine düzeltilmesi için binanın tüm katlarındaki kısılmaları tekdüze bir şekilde gruplara bölerek ortalaması alınmıştır. Böylece her katın düşey elamanlarındaki eksenel kısılmalar bu miktarlar kullanılarak düzeltilmiş olacaktır. Binanın katlarını gruplara bölmesi için aşağıdaki denklem (5.1) dikkate alınmıştır.

$$\sum_{i=1}^g N_i \delta_i^u - \sum_{k=1}^s \delta_k^p = 0 \quad (5.1)$$

Burada g ve s sırayla binadaki grup numarası ve katların sayısıdır. N_i , i grubundaki kat sayısıdır, δ_i^u Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemiyle i grubundaki düzeltmesi gereken eksenel kısılma miktarı ve δ_k^p , k kat yüksekliğindeki amaçlanmış zamanda beklenen eksenel kısılma miktarıdır.

Elde edilen gerçek kısılma değerleri ve gruplarda aldığımız tekdüze gruplu ortalama düzeltme değerleri arasında fark bulunmakta olup fark düzelttikten sonra gerçekte geri kalan düşey elemanın eksenel kısılmaları (düzeltme hatası) olarak denklem (5.2) ile gösterilmiştir.

$$|\delta_k^p - \delta_i^u| \rightarrow i = 1, \dots, s \quad (5.2)$$

Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile düşey eksenel kısılmaları en aza indirmek için betonarme yüksek binanın kule kısmındaki tüm kolon ve perdeler incelenmiştir. Bu inceleme esnasında farklı sayıda gruplar kullanılmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Tüm düşey eleman için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin ayrı ayrı uygulanması uygulamada birtakım problemler oluşturabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle bir başka yaklaşım olarak, uygulamada kolaylık sağlamak için binanın tüm kolon ve perde grupları için kendi içerisinde incelenmiştir. Bu elemanlar için ortak bir eksenel kısılma hesaplanmış ve daha sonra Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemiyle hataların düzeltilmesi ayrıca uygulanmıştır.

5.2.1 Binanın tamamlandığı zaman dikkate alınarak aksenal kısalmaların tekdüze gruplu yöntemi kullanılarak düzeltilmesi

Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi, düşey elemanların aksenal kısalmalarını en aza indirmek için binanın kule kısmındaki tüm kolon ve perdeler üzerinde uygulanmıştır. Binanın kule kısmında toplam 9 kolon ve 5 perde mevcuttur. S-24, S-25, S-26, S-27, S-28, S-32, S-33, S-39 ve S-40 kolonların Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemiyle düzeltilmesi ve düzeltme gruplarının hataları Şekil 5.2- 5.19'da gösterilmiştir.

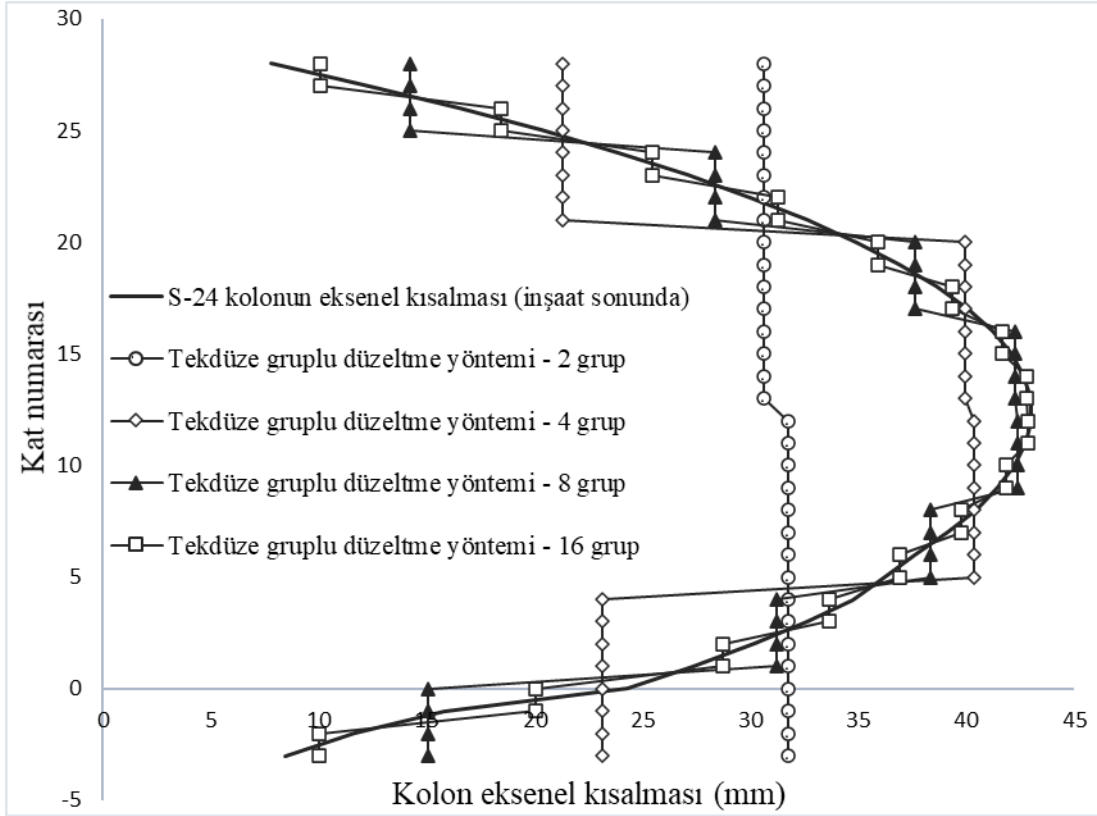
W-1, W-2, W-3, W-4, W-5 ve W-6 perdelerinin Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemiyle düzeltilmesi ve düzeltme gruplarının hataları Şekil 5.20-5.31'de gösterilmiştir.

Binanın kule kısmındaki tüm kolonların aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması ve binanın kule kısmındaki tüm kolonların düzeltme hataları üzerinden karşılaştırılması sırayla Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'te gösterilmiştir.

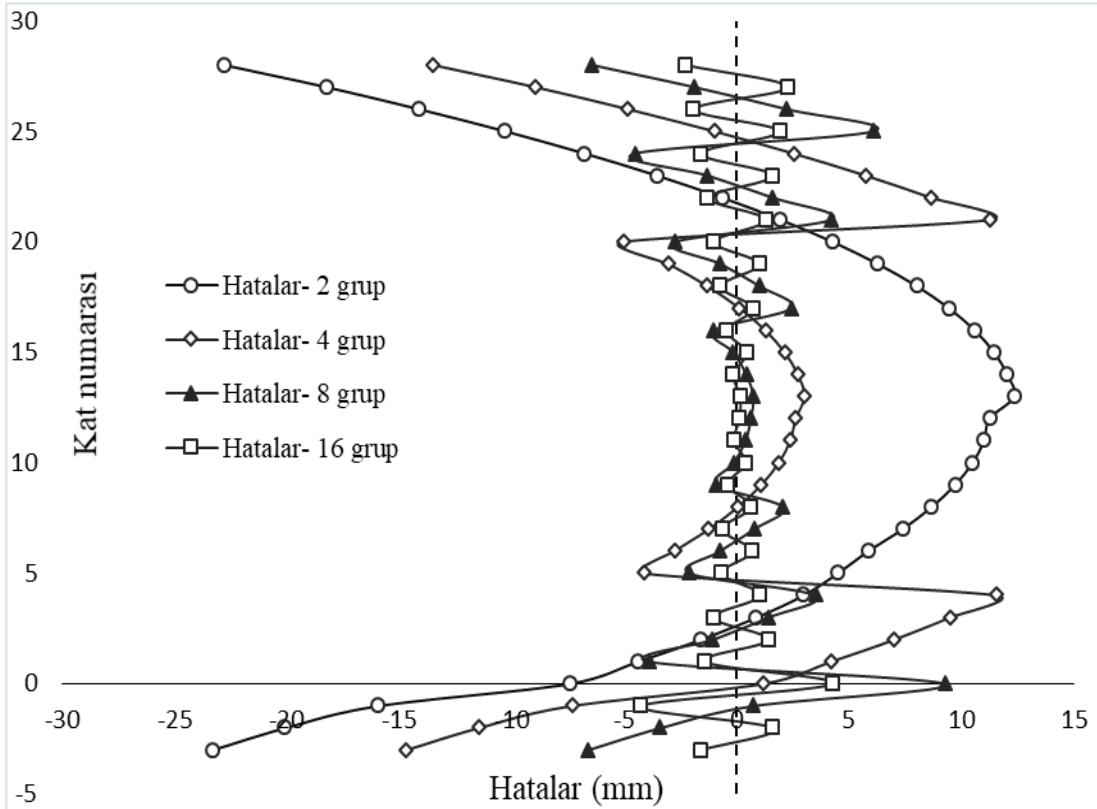
Binanın kule kısmındaki tüm yapısal perdelerin aksenal kısalmaları üzerinde Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması ve binanın kule kısmındaki tüm kolonların düzeltme hataları üzerinden karşılaştırılması sırayla Şekil 5.34 ve Şekil 5.35'te gösterilmiştir.

Kule kısmındaki kolonlarda Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi için grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkisi binanın tamamlandığı andaki aksenal kısalmalar için Şekil 5.36'de gösterilmiştir.

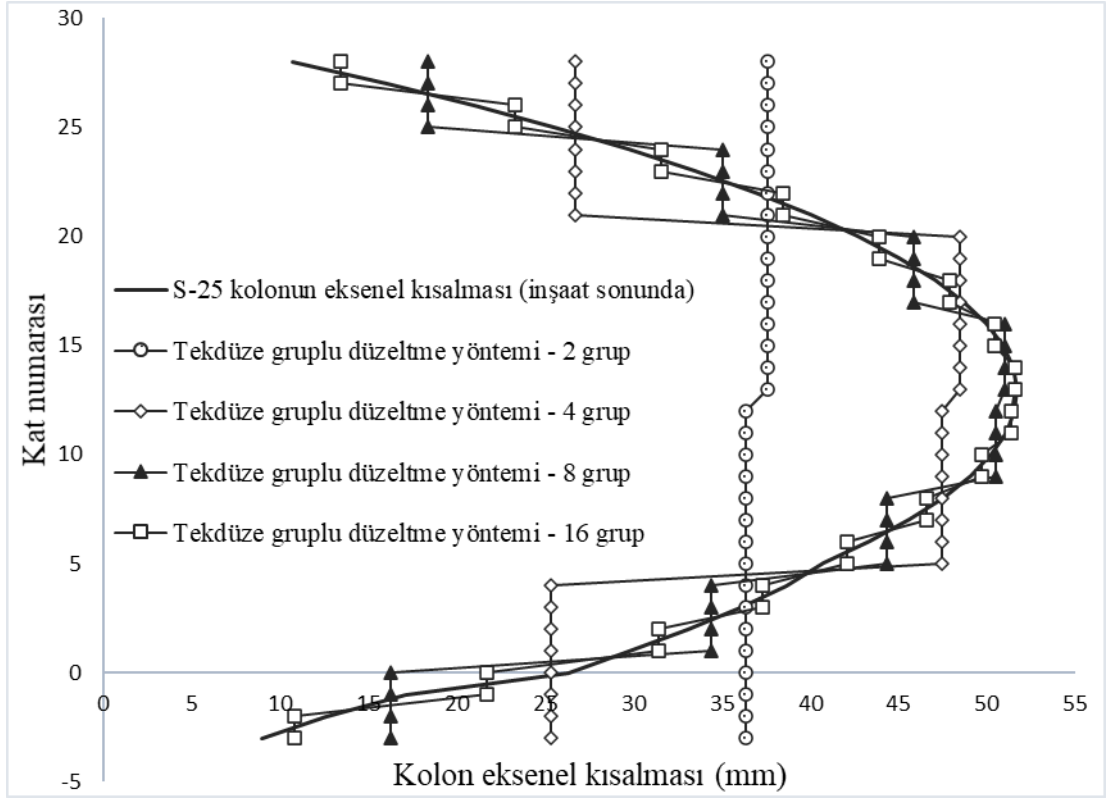
Kule kısmındaki perdelerde Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi için grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkisi binanın tamamlandığı andaki aksenal kısalmalar için Şekil 5.37'de gösterilmiştir.



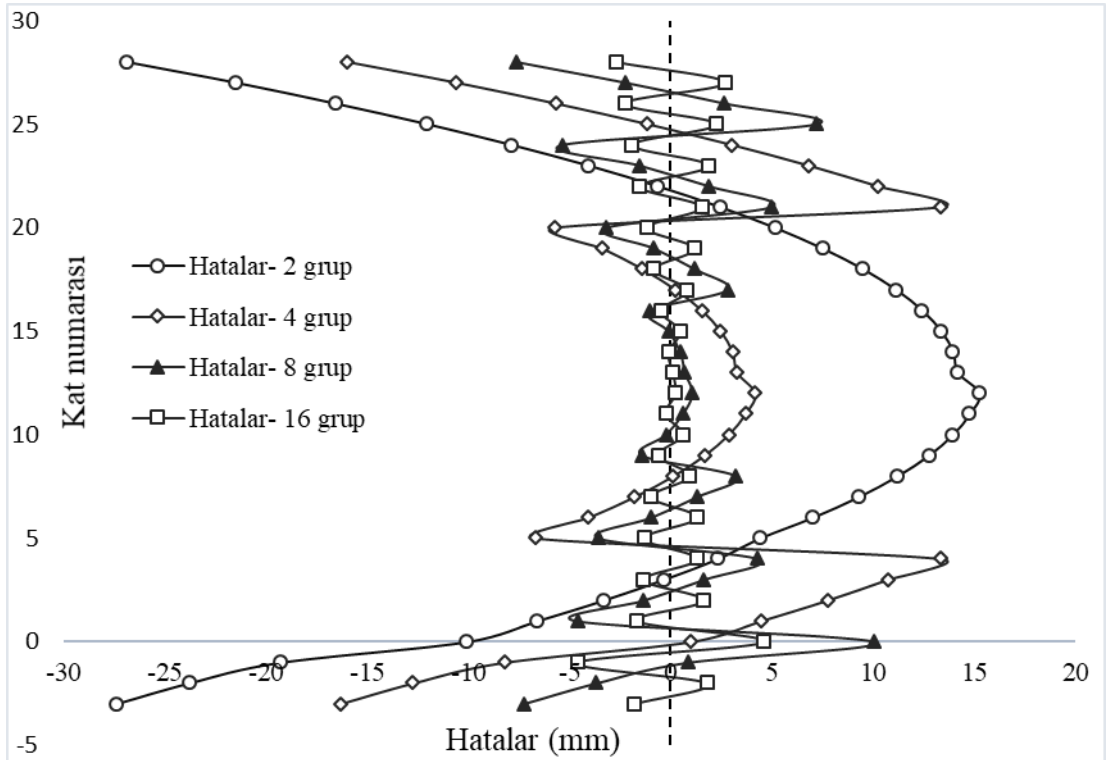
Şekil 5.2 : S-24 kolonunun eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



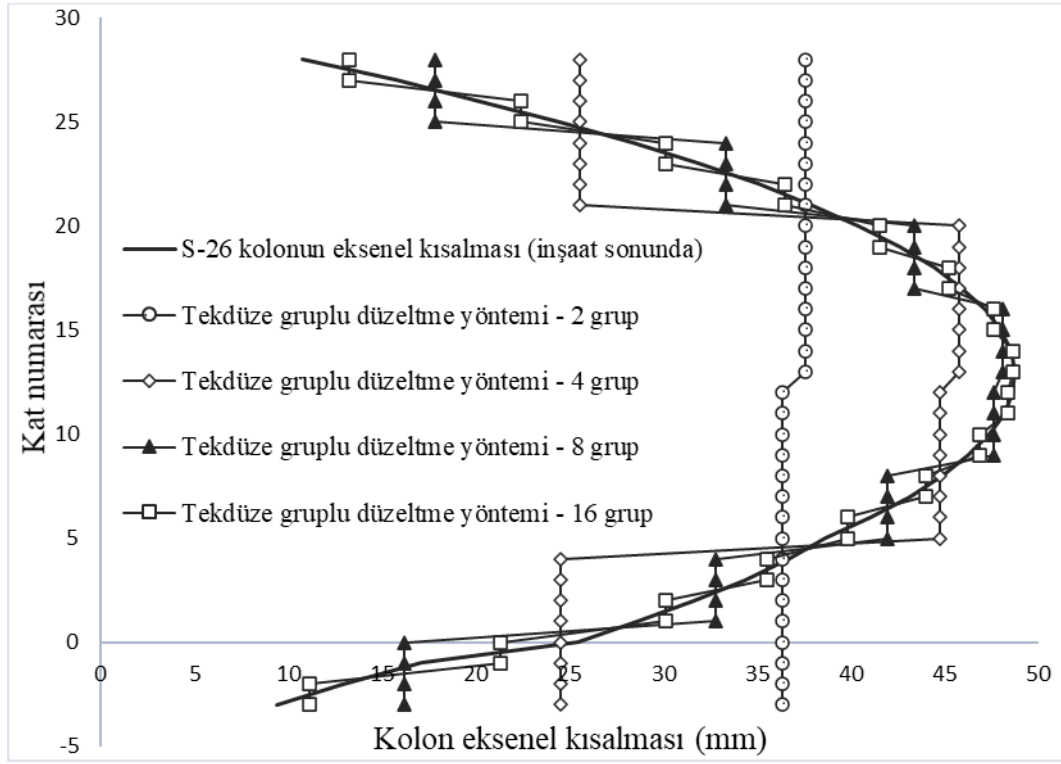
Şekil 5.3 : S-24 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



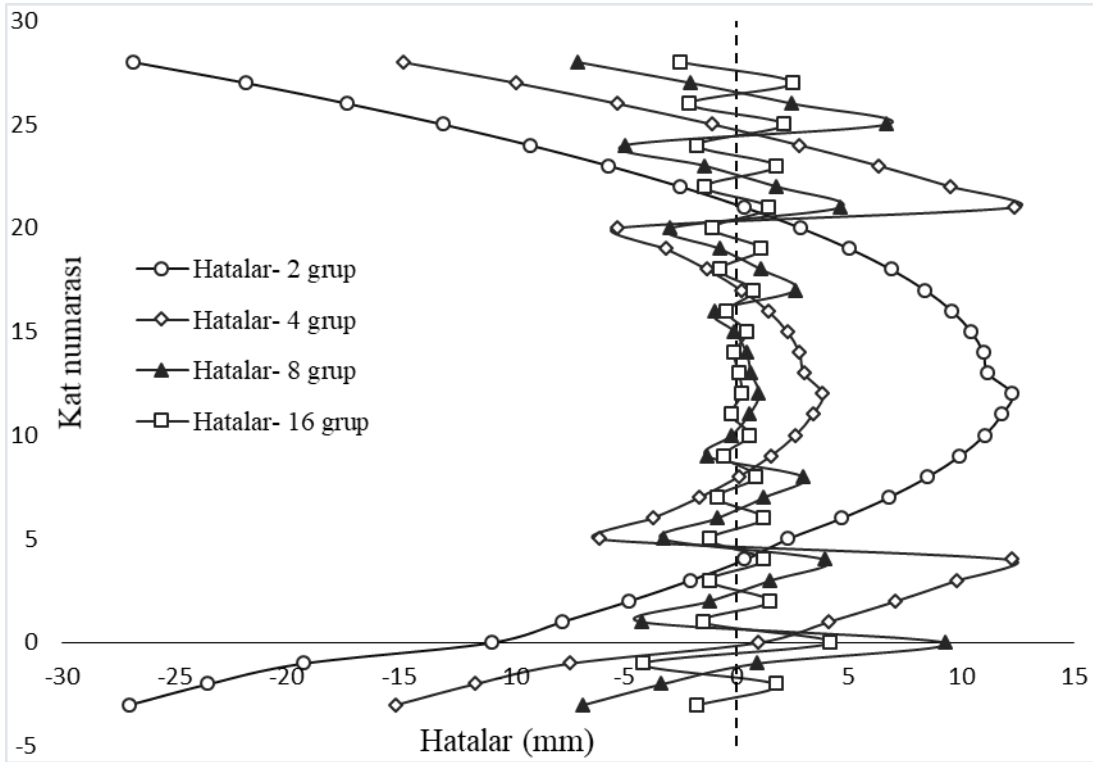
Şekil 5.4 : S-25 kolon aksel kısılmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



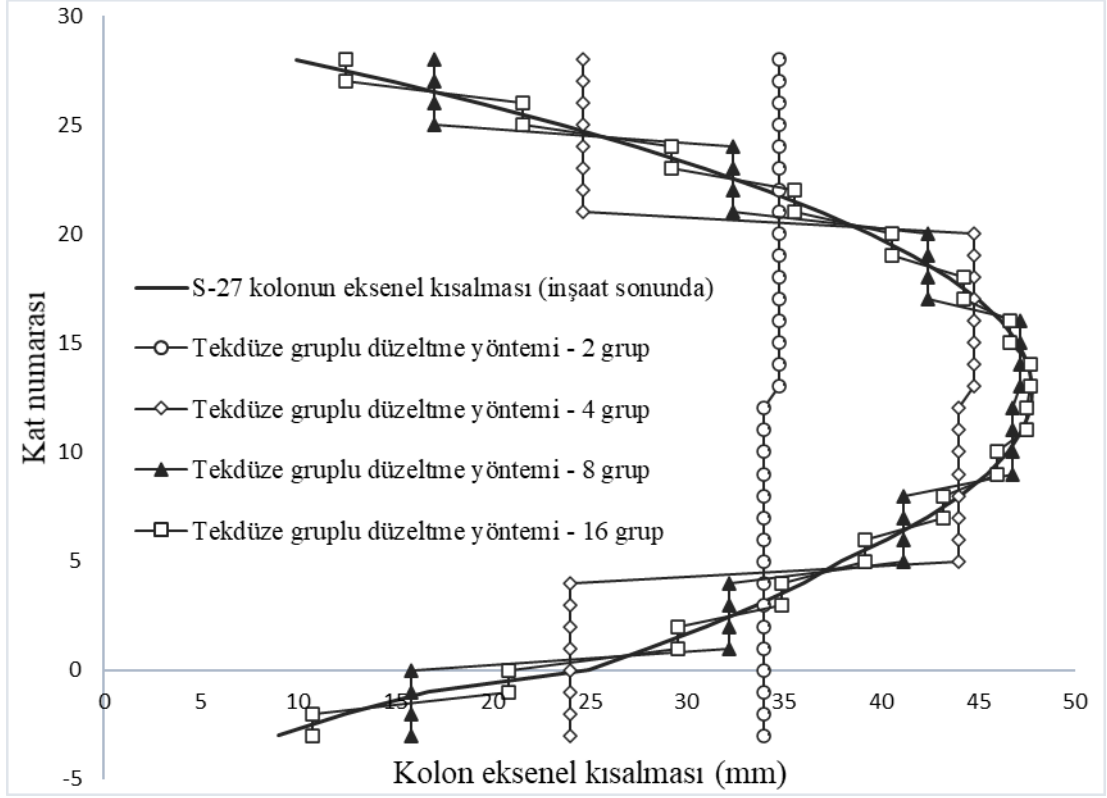
Şekil 5.5 : S-25 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



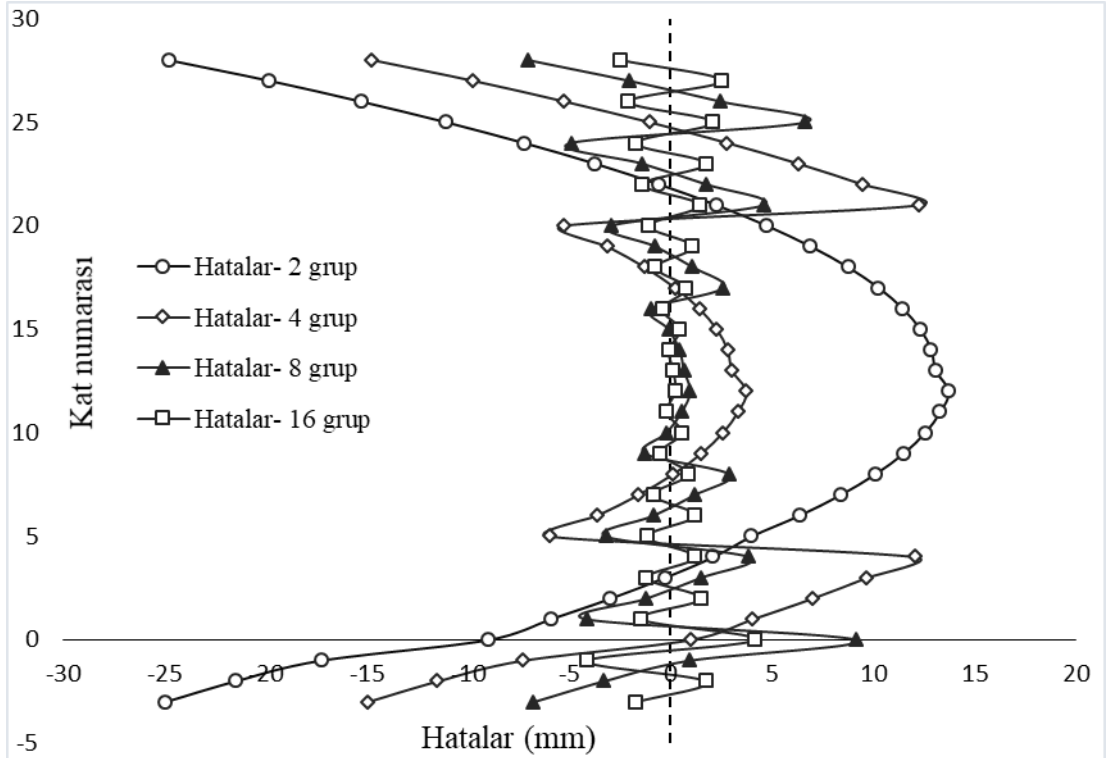
Şekil 5.6 : S-26 kolon eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



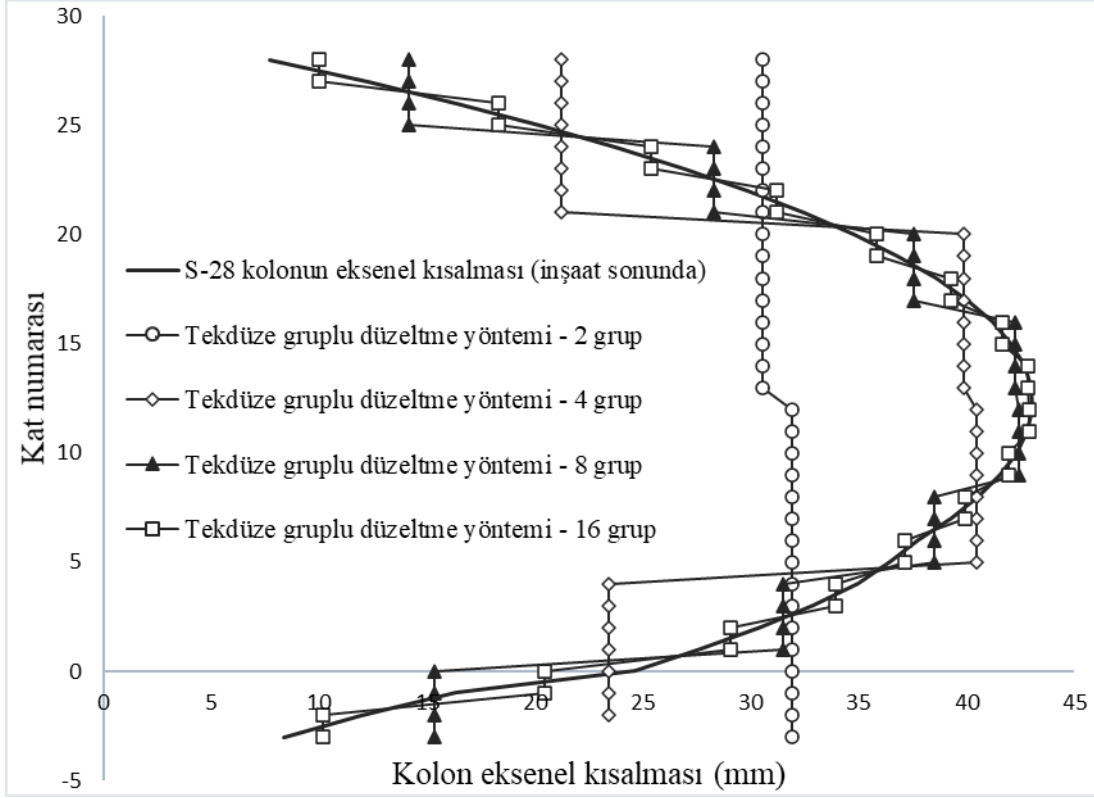
Şekil 5.7 : S-26 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



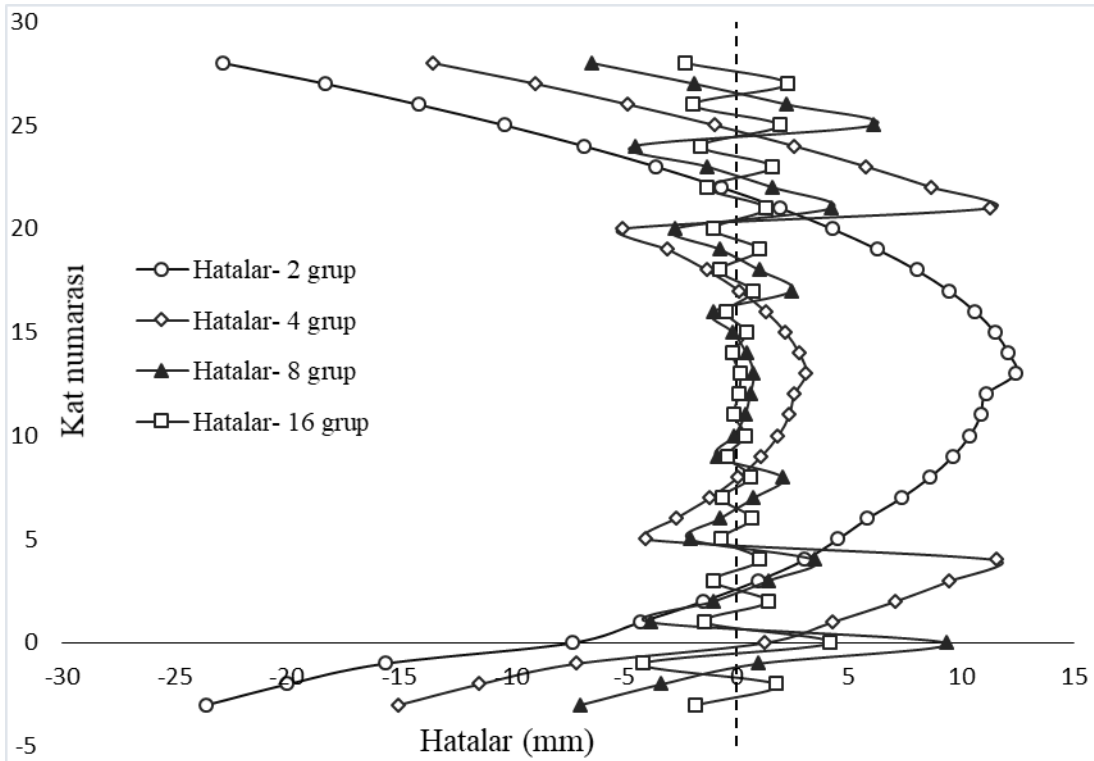
Şekil 5.8: S-27 kolon aksel kısılmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



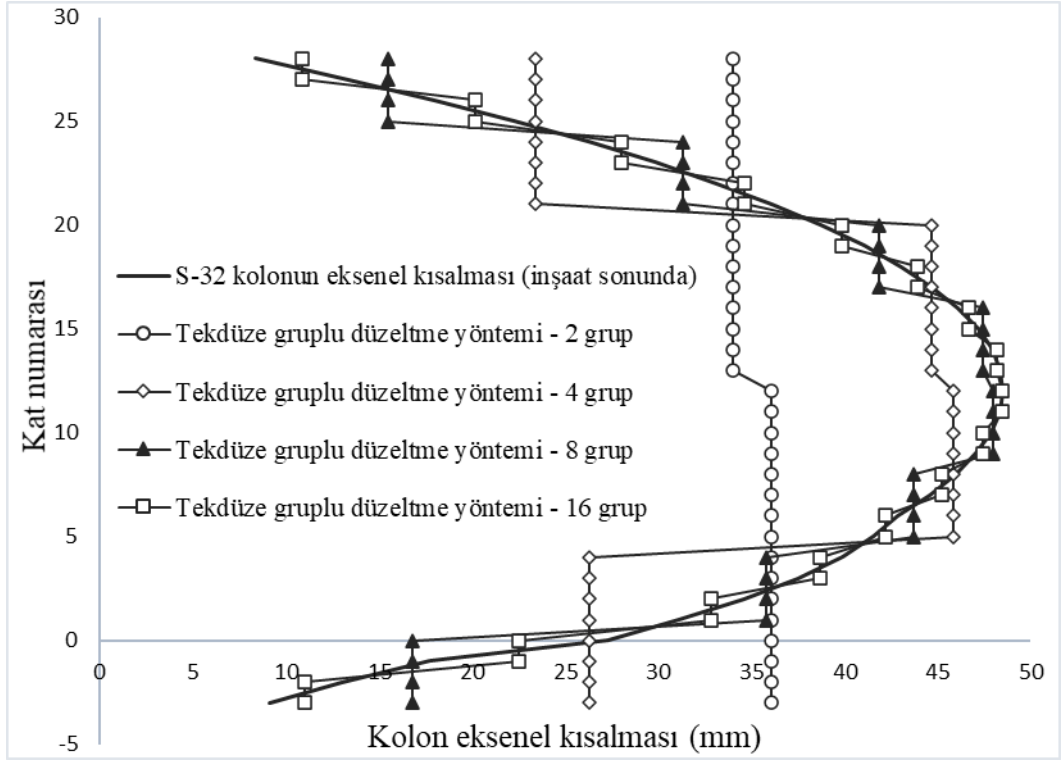
Şekil 5.9: S-27 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



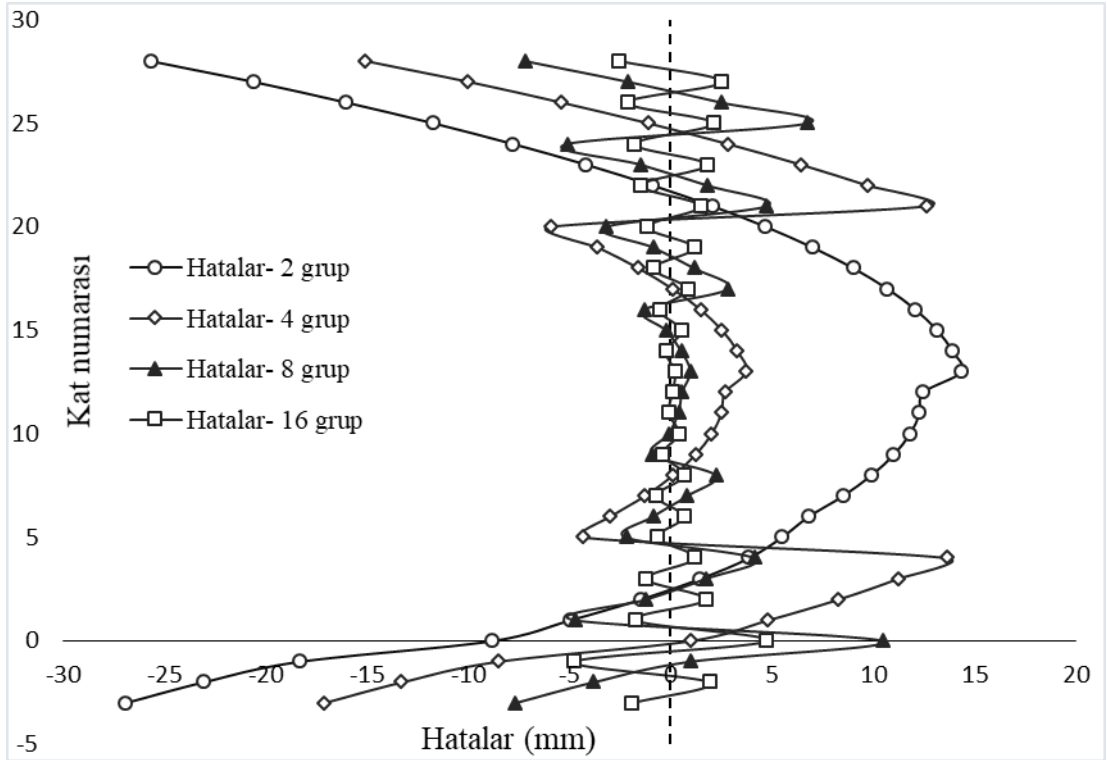
Şekil 5.10: S-28 kolon aksel kısılmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



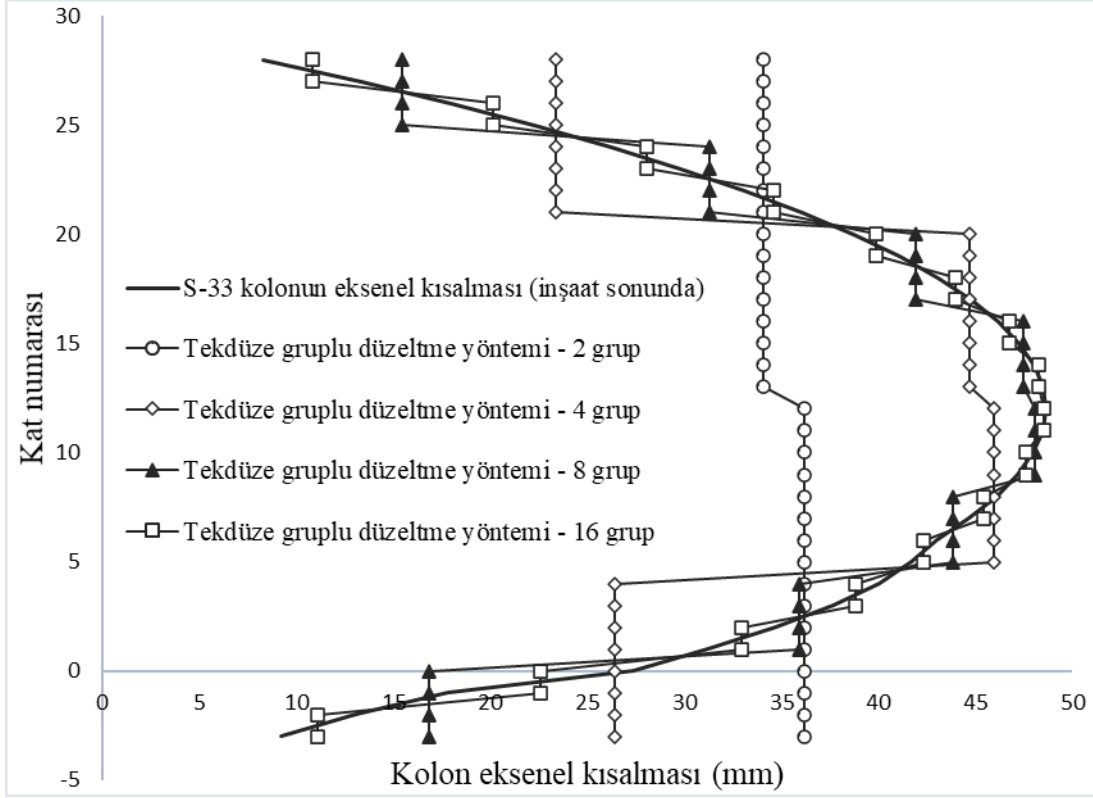
Şekil 5.11: S-28 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



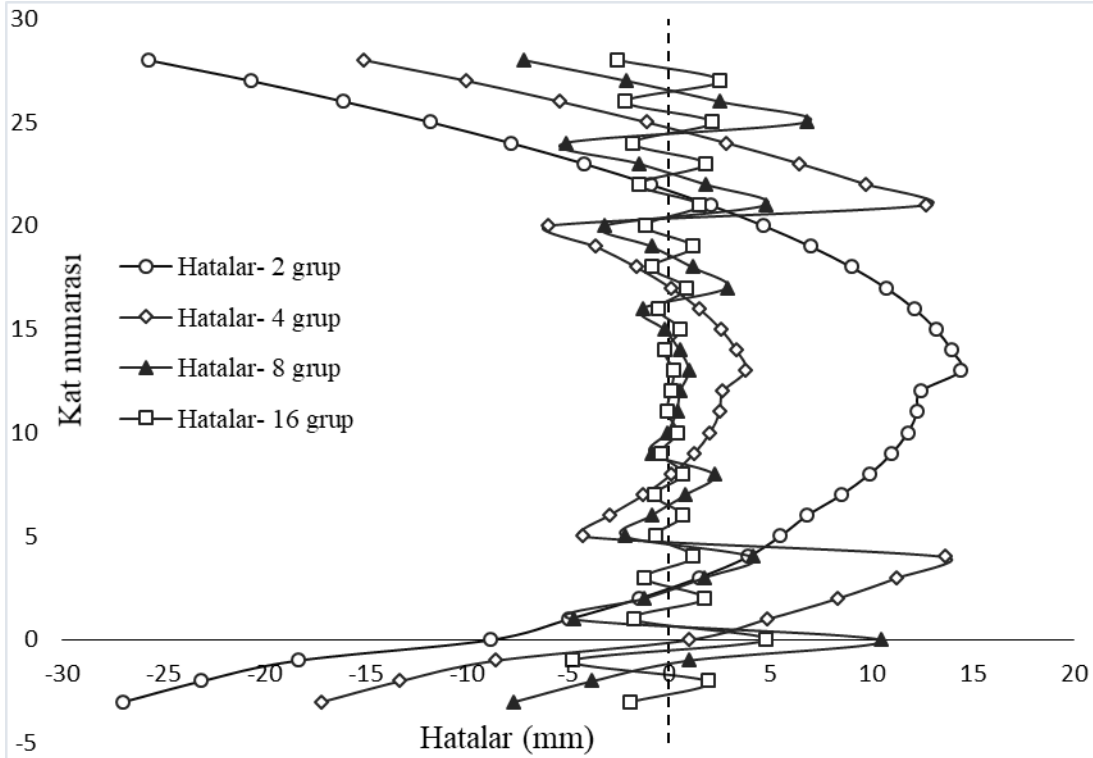
Şekil 5.12: S-32 kolon aksel kısılmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



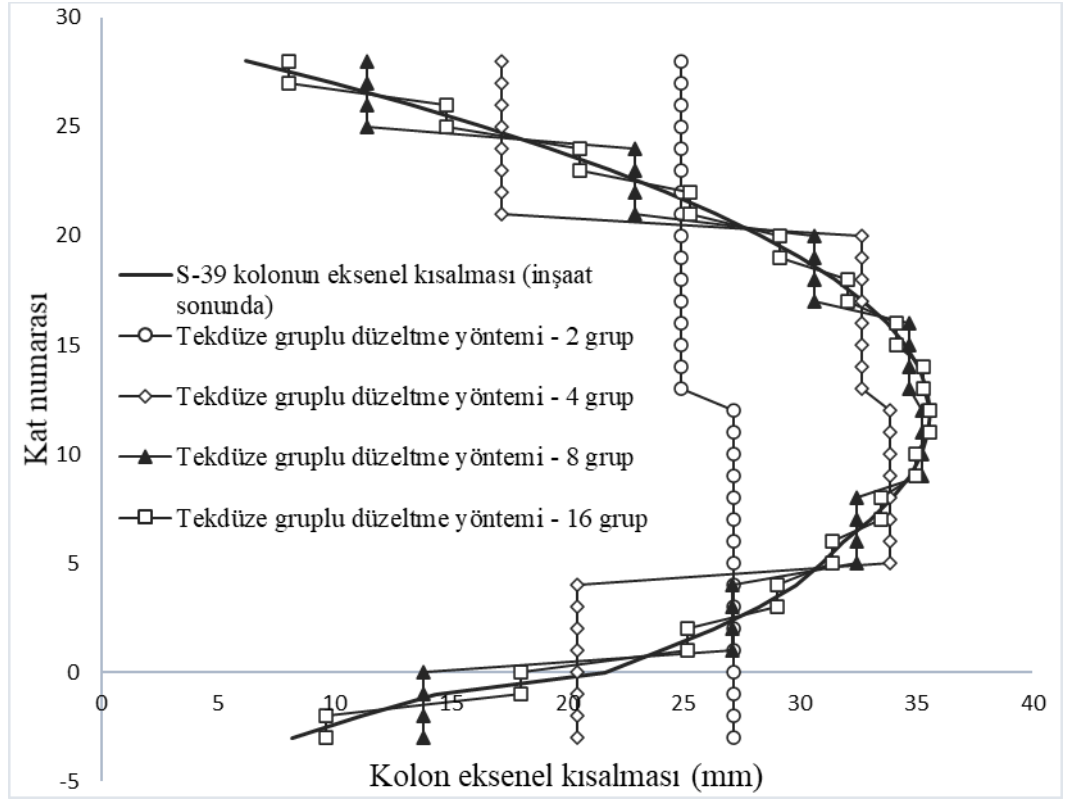
Şekil 5.13: S-32 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



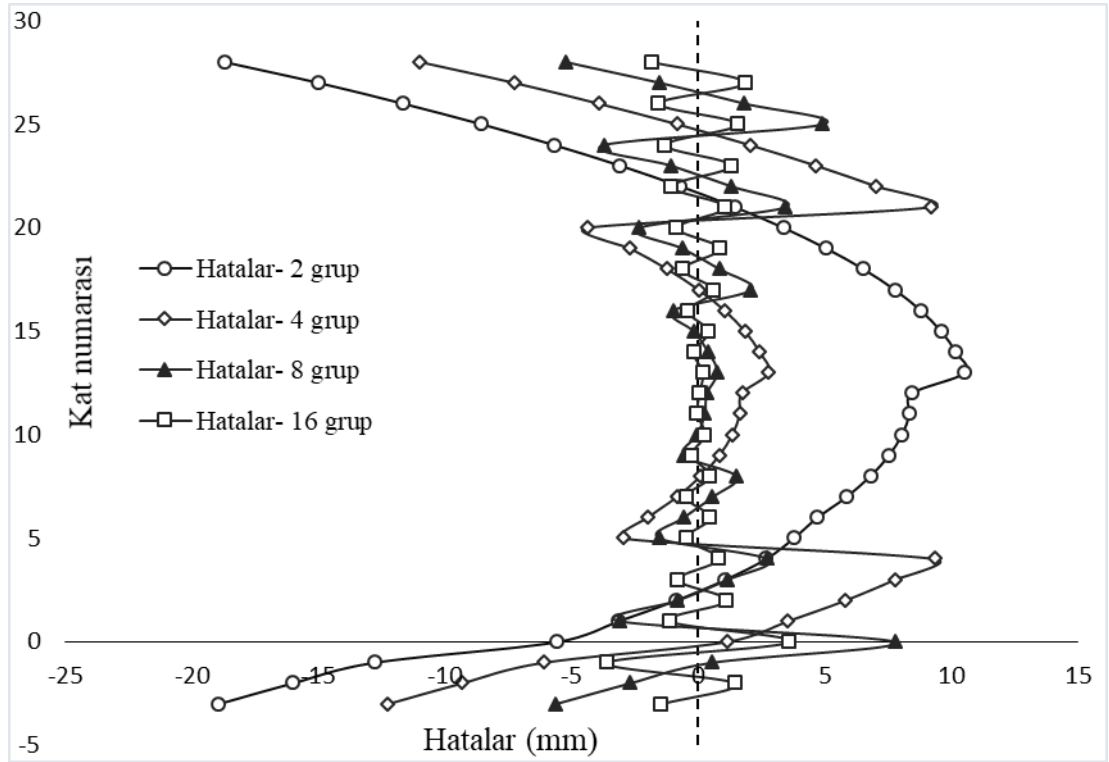
Şekil 5.14: S-33 kolon aksel kısılmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



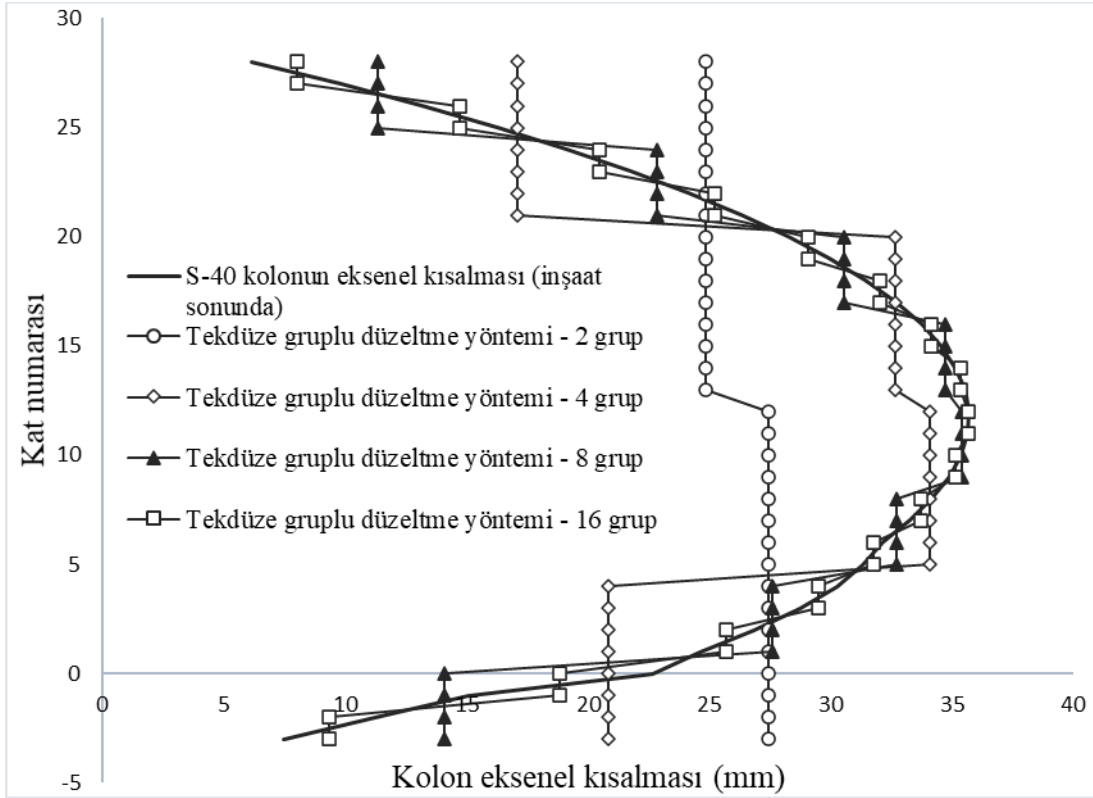
Şekil 5.15: S-33 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



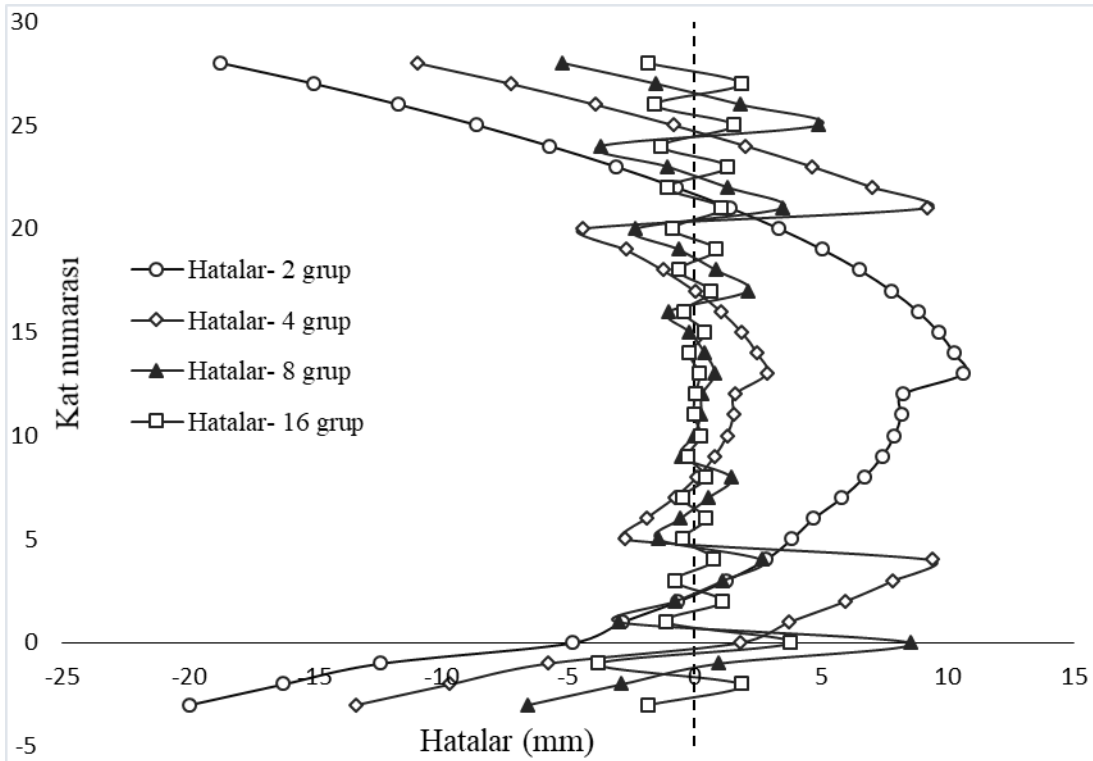
Şekil 5.16: S-39 kolon aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



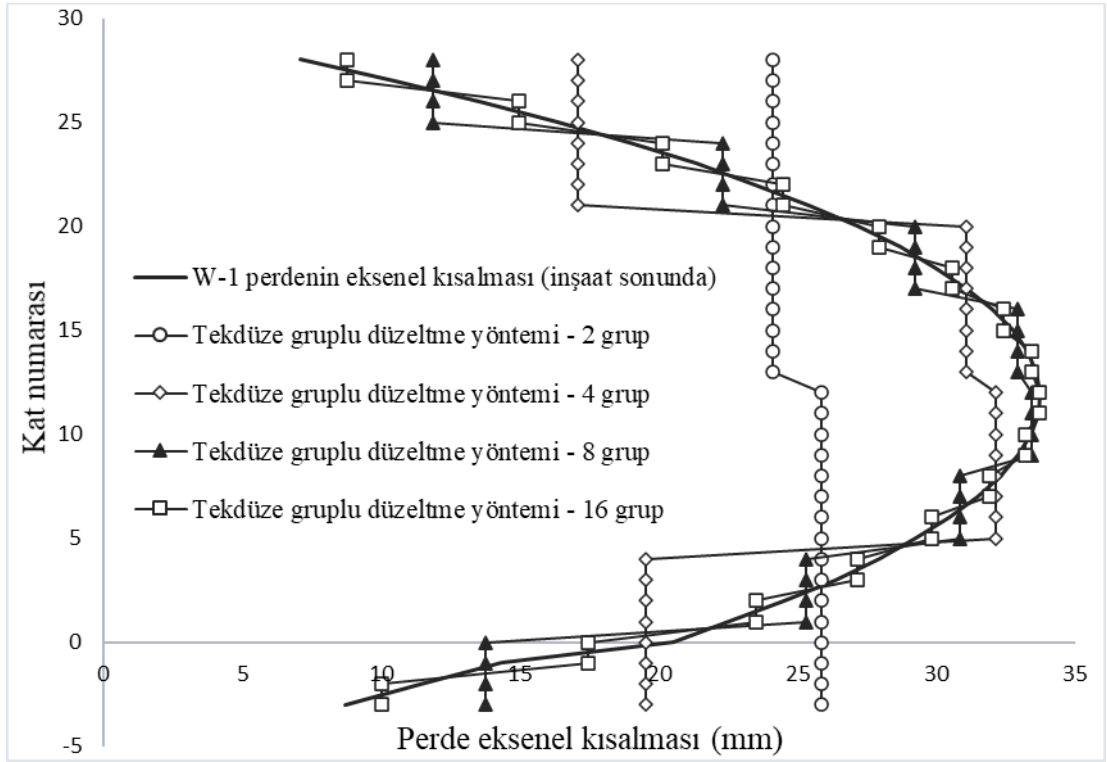
Şekil 5.17: S-39 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



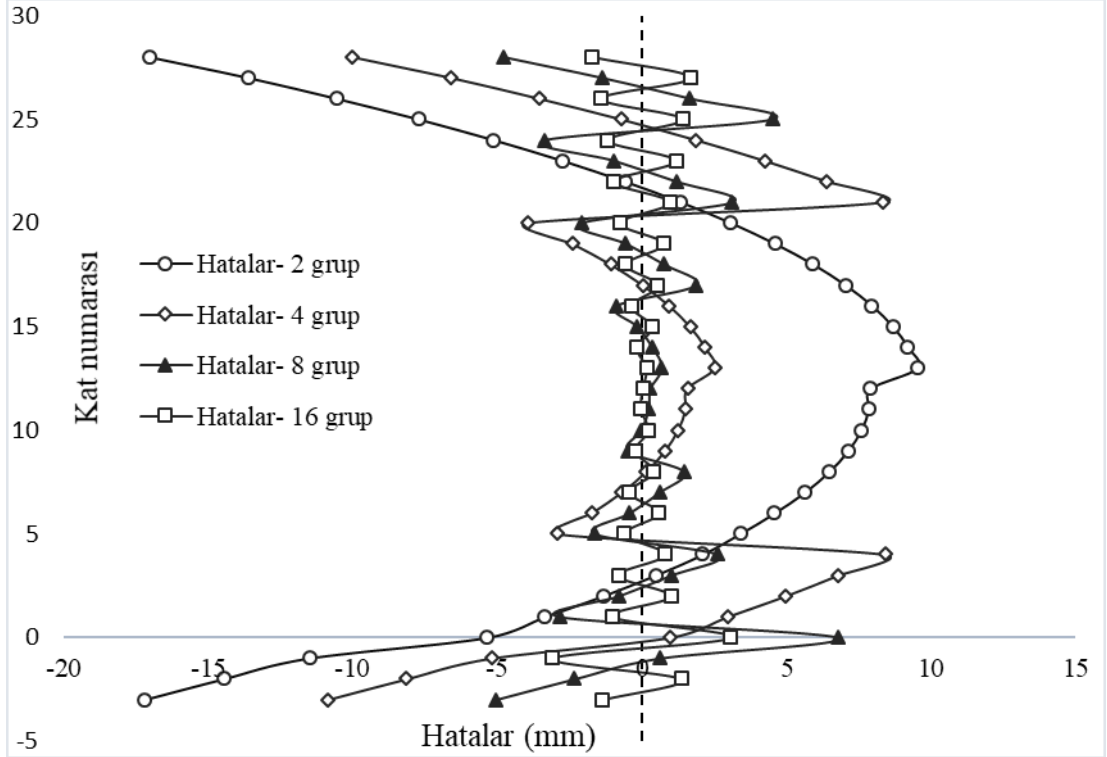
Şekil 5.18: S-40 kolon aksel kısılmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



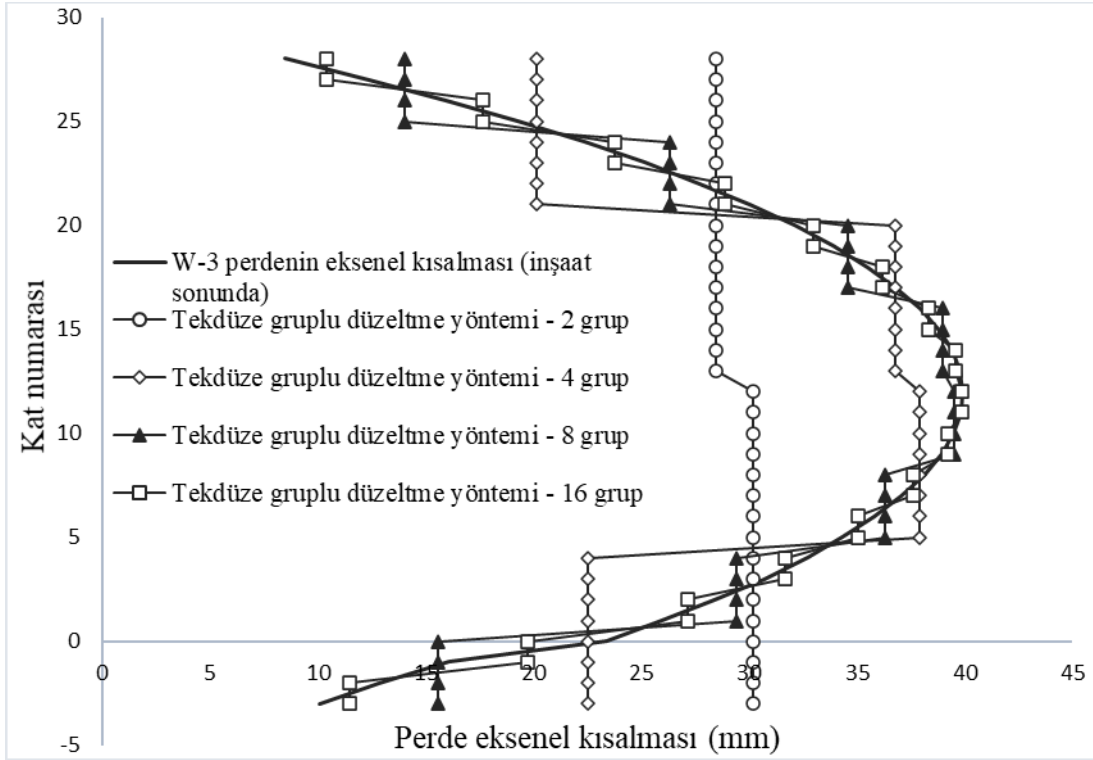
Şekil 5.19: S-40 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



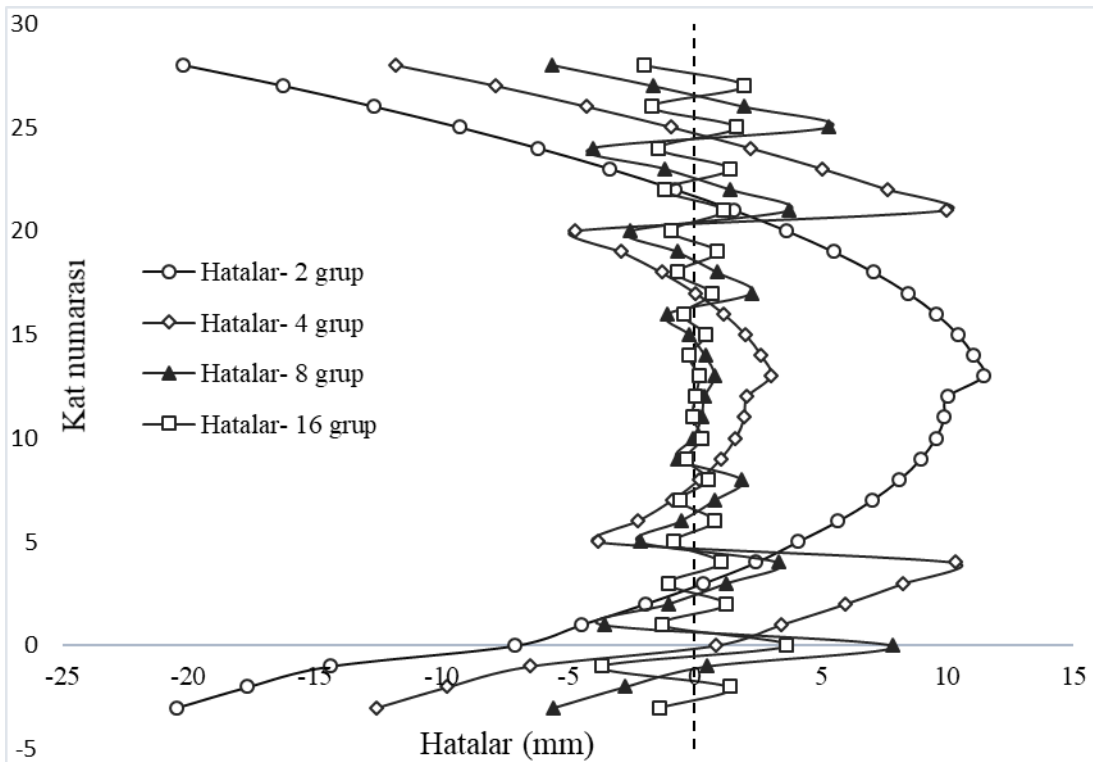
Şekil 5.20: W-1 perdesinin aksel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



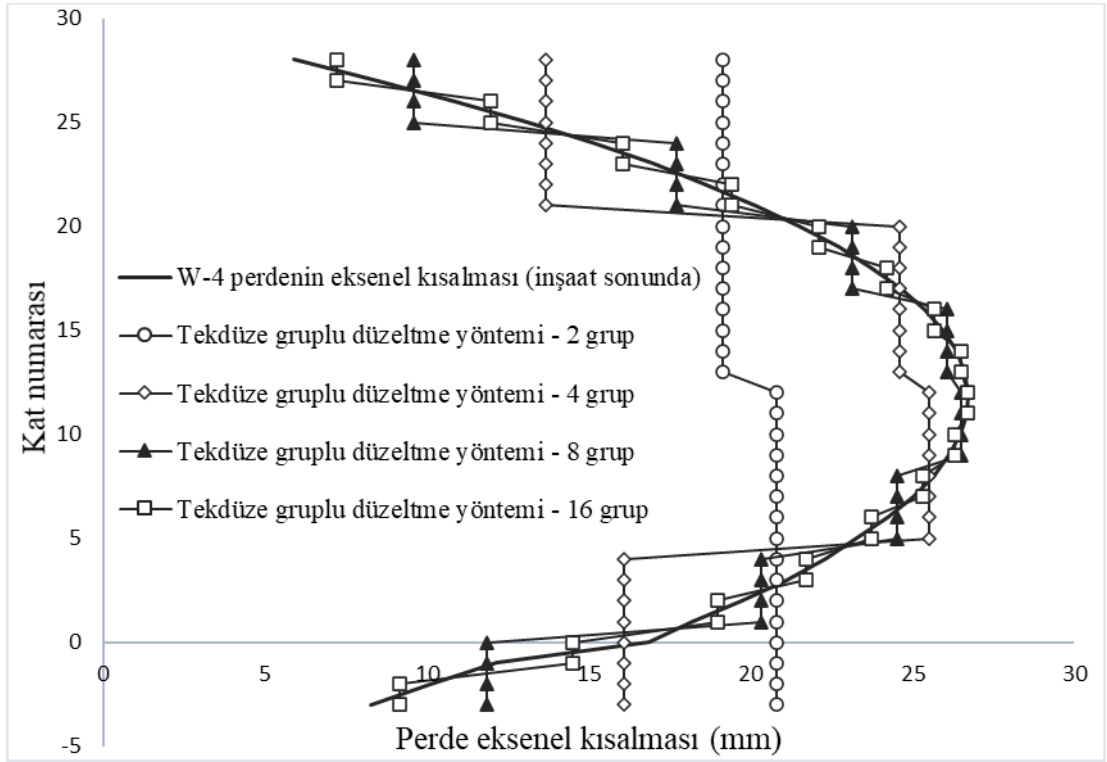
Şekil 5.21: W-1 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



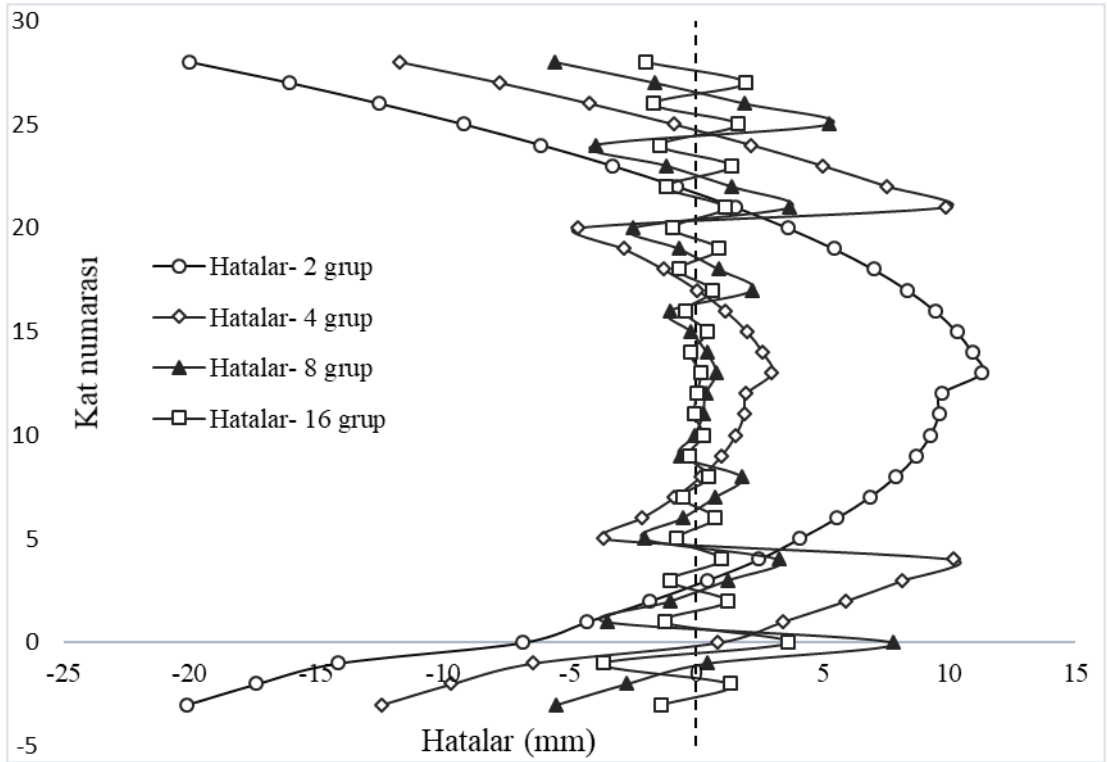
Şekil 5.22: W-2 perde eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



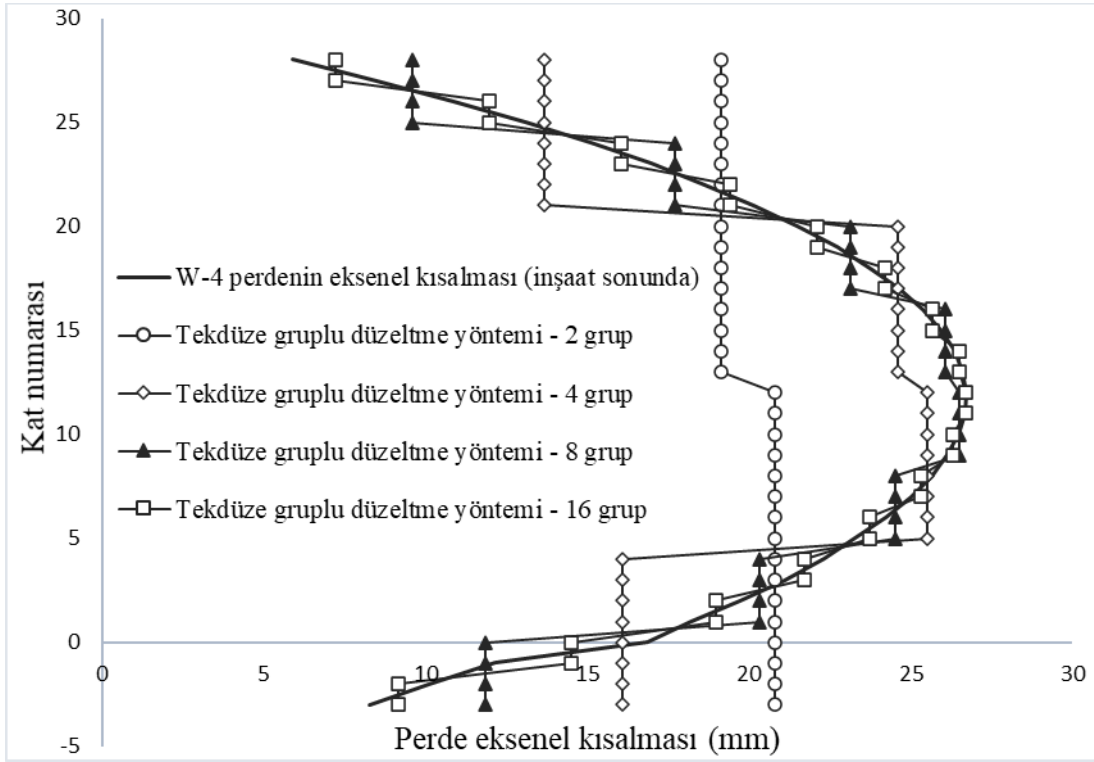
Şekil 5.23: W-2 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



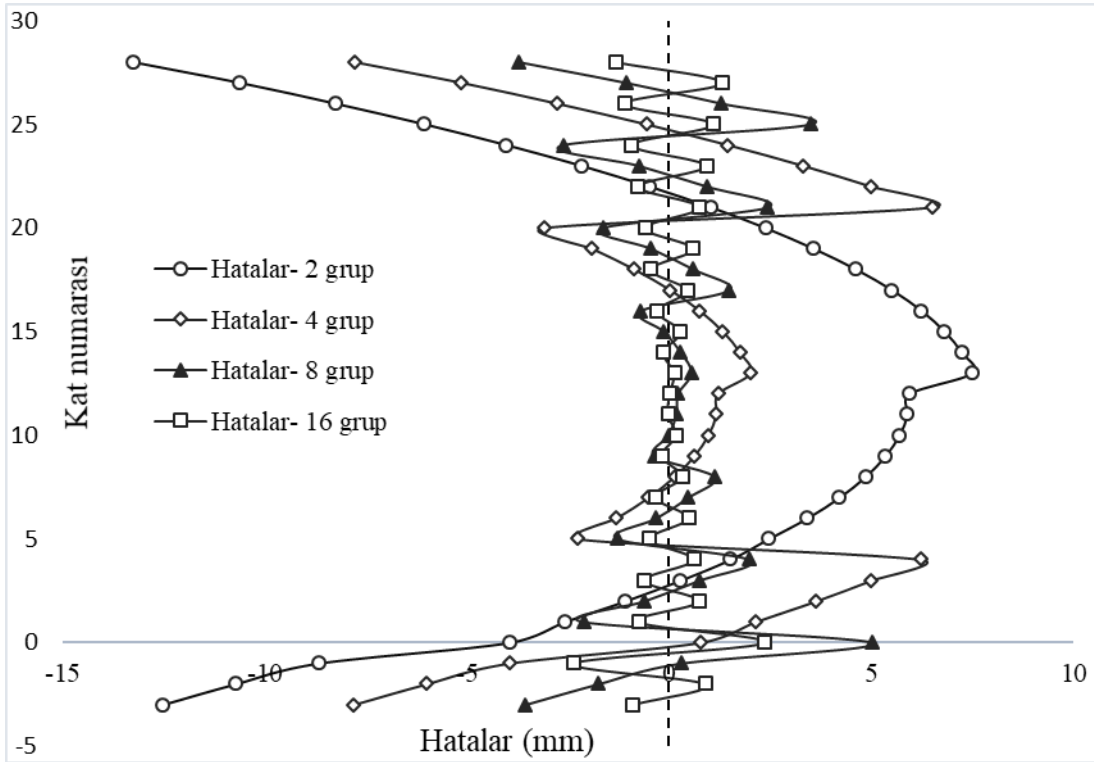
Şekil 5.24: W-3 perde aksel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



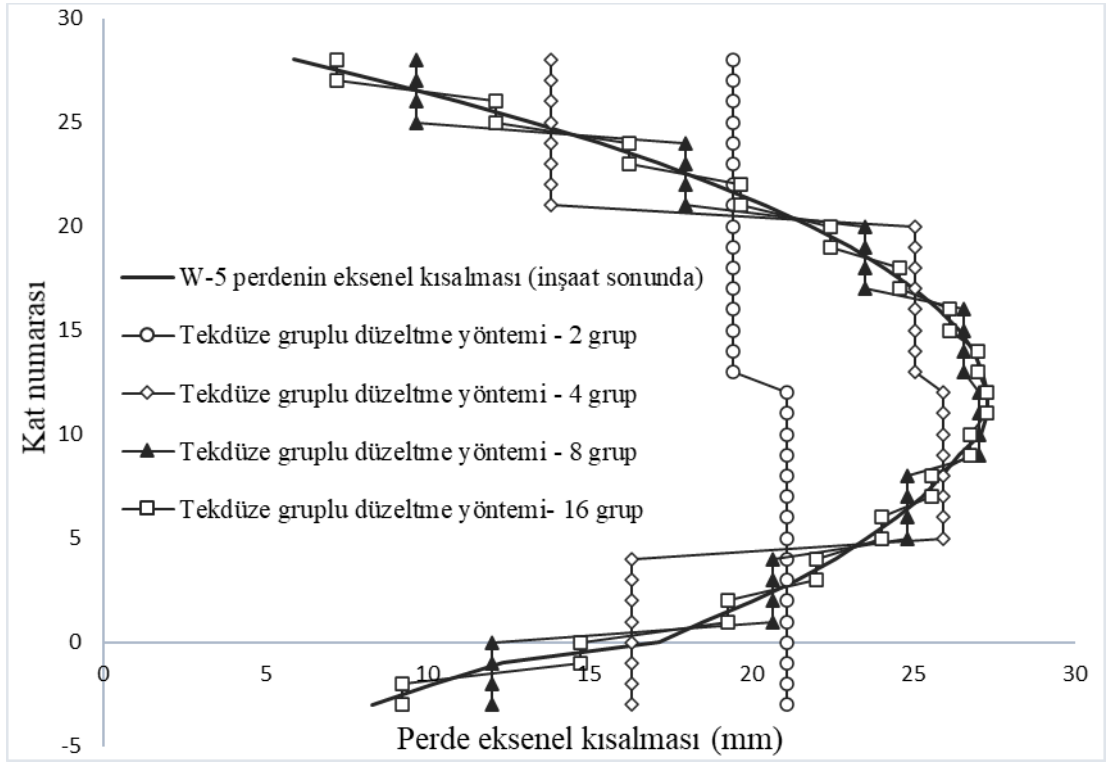
Şekil 5.25: W-3 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



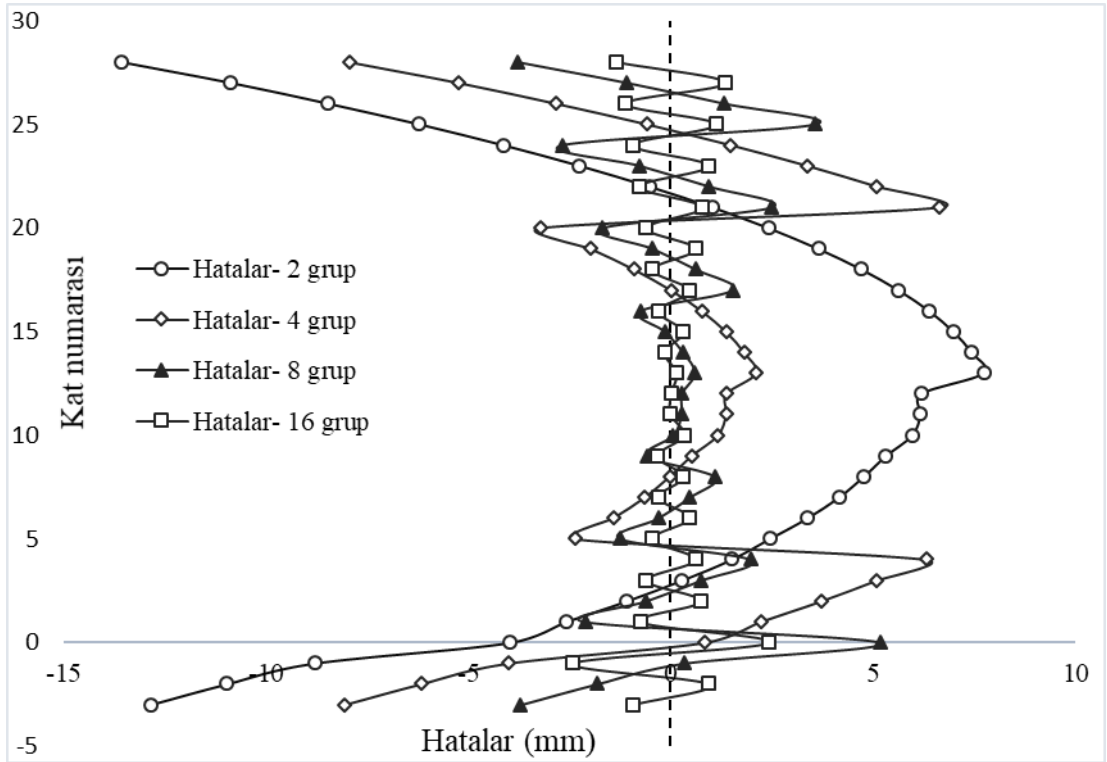
Şekil 5.26: W-4 perde eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



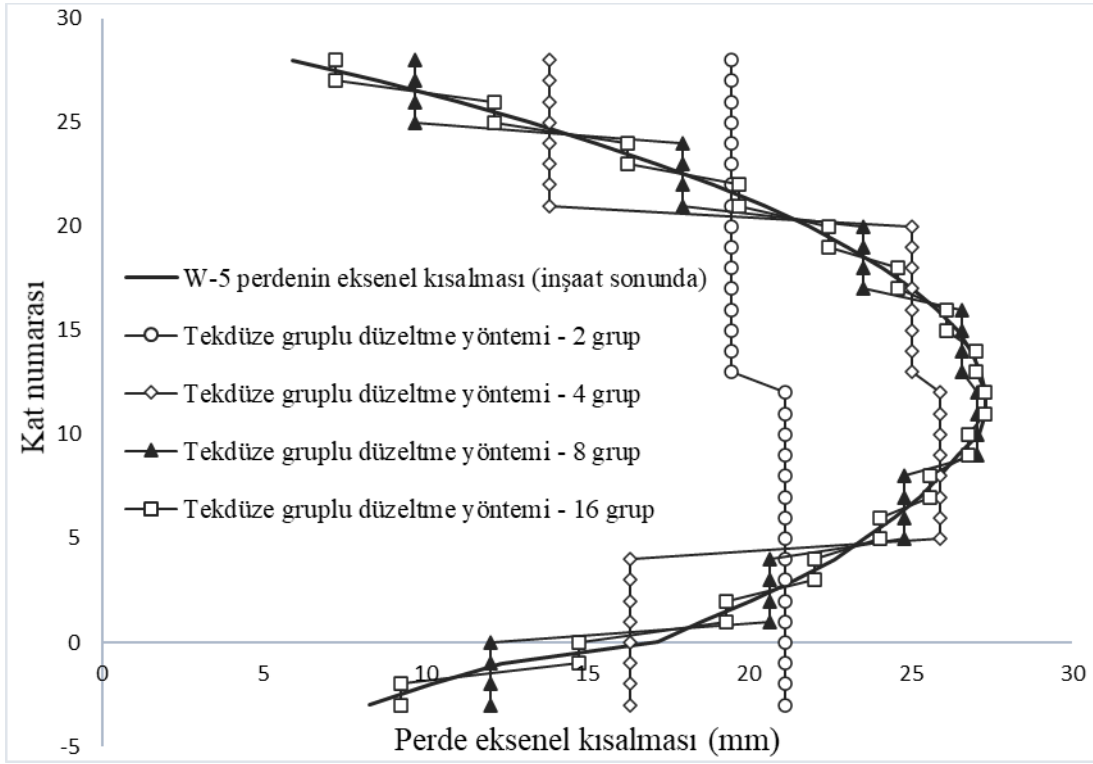
Şekil 5.27: W-4 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



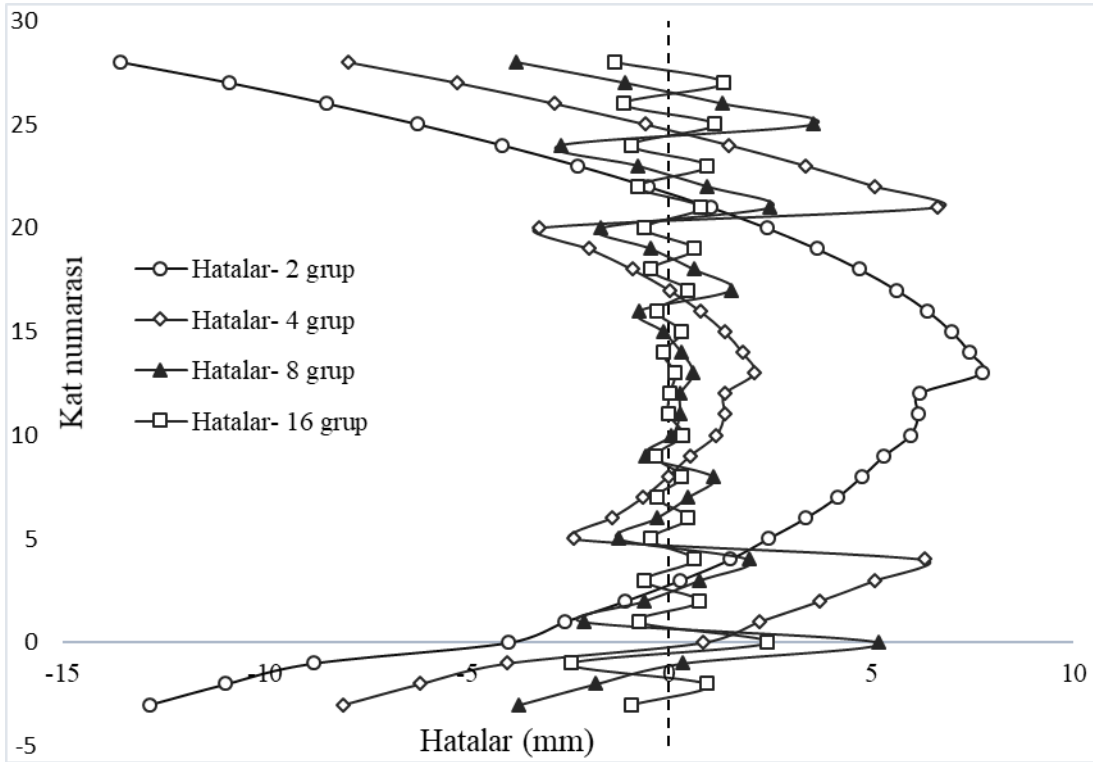
Şekil 5.28: W-5 perde aksel kısılmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



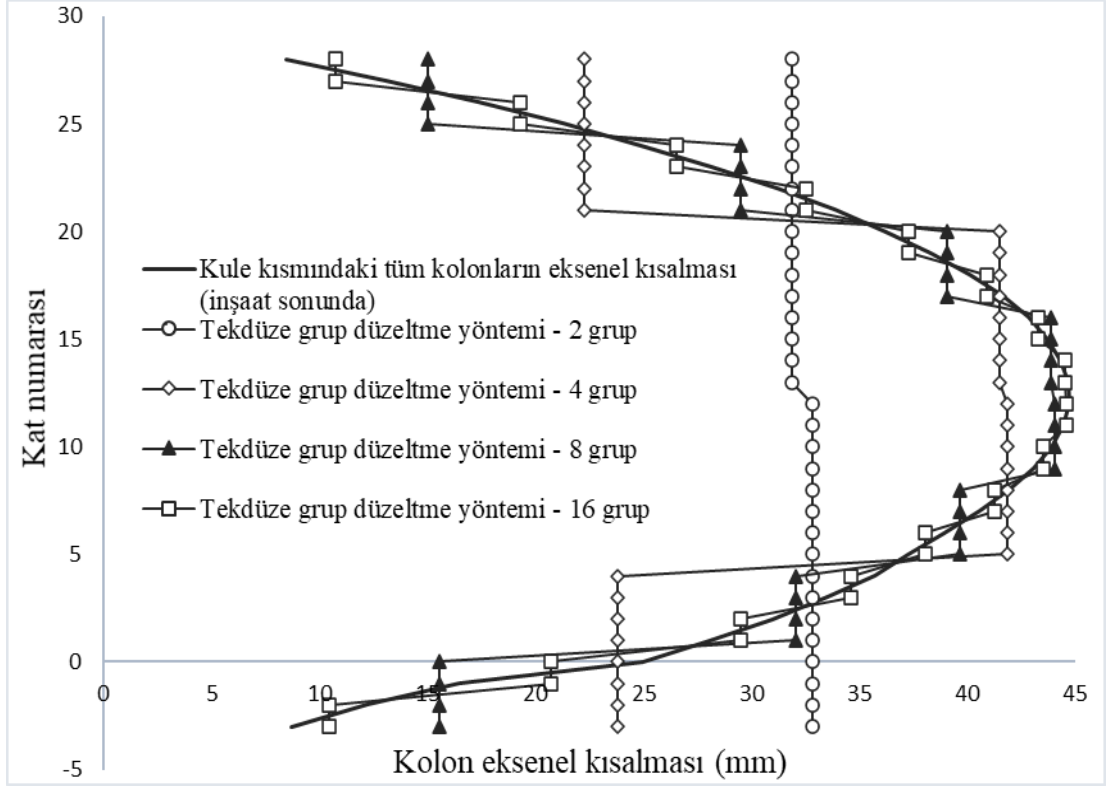
Şekil 5.29: W-5 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



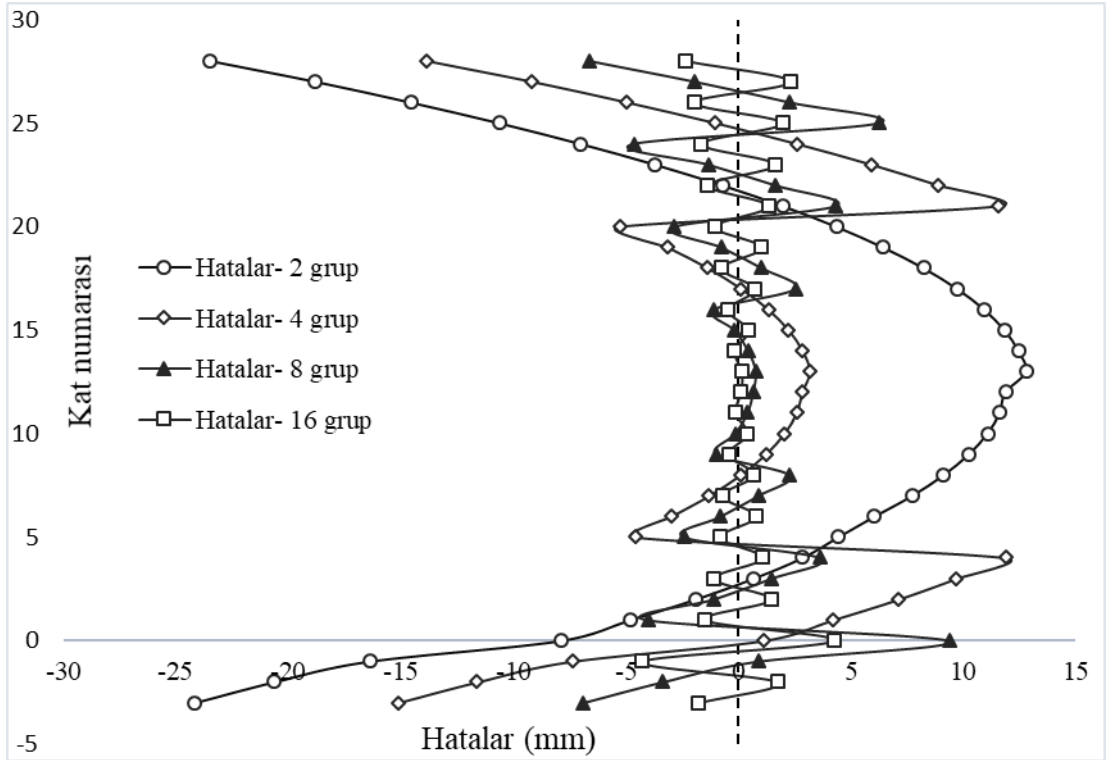
Şekil 5.30: W-6 perde eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



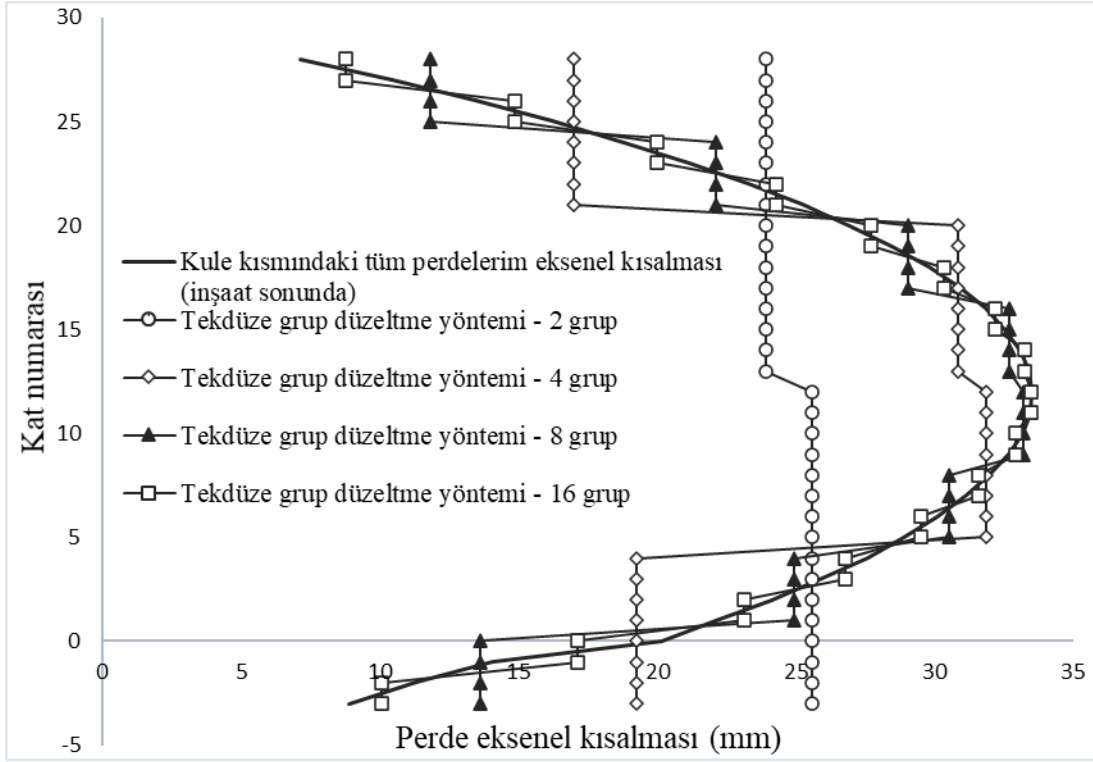
Şekil 5.31: W-6 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



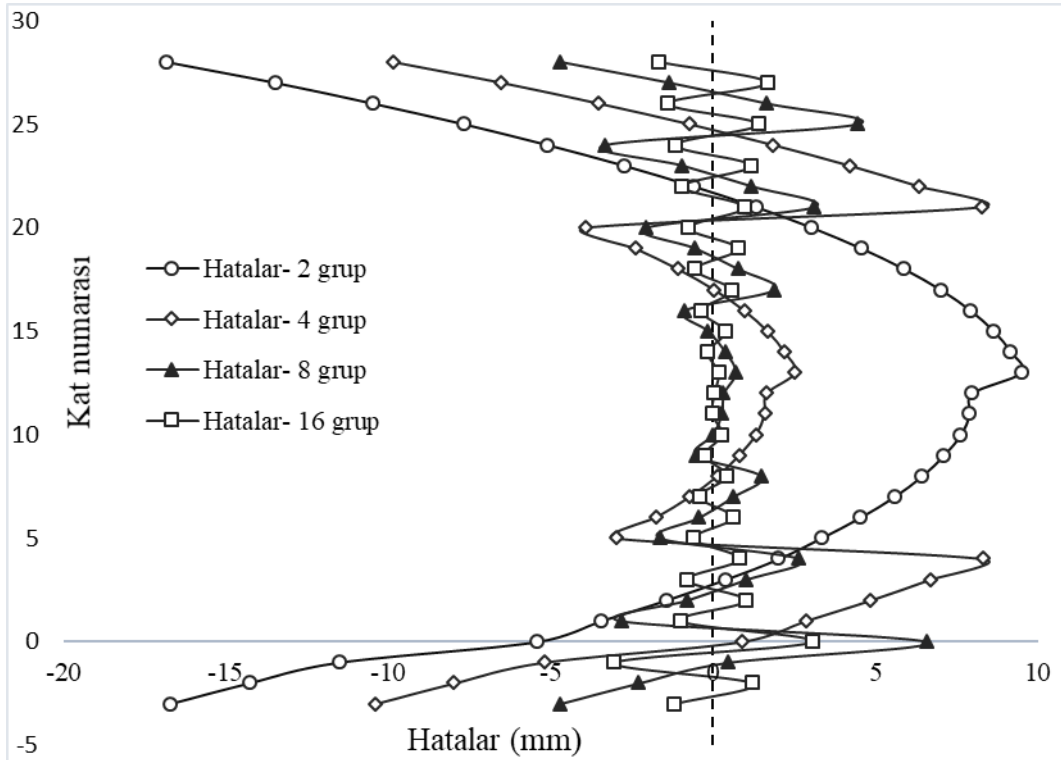
Şekil 5.32: Binanın kule kısmındaki tüm kolonların aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



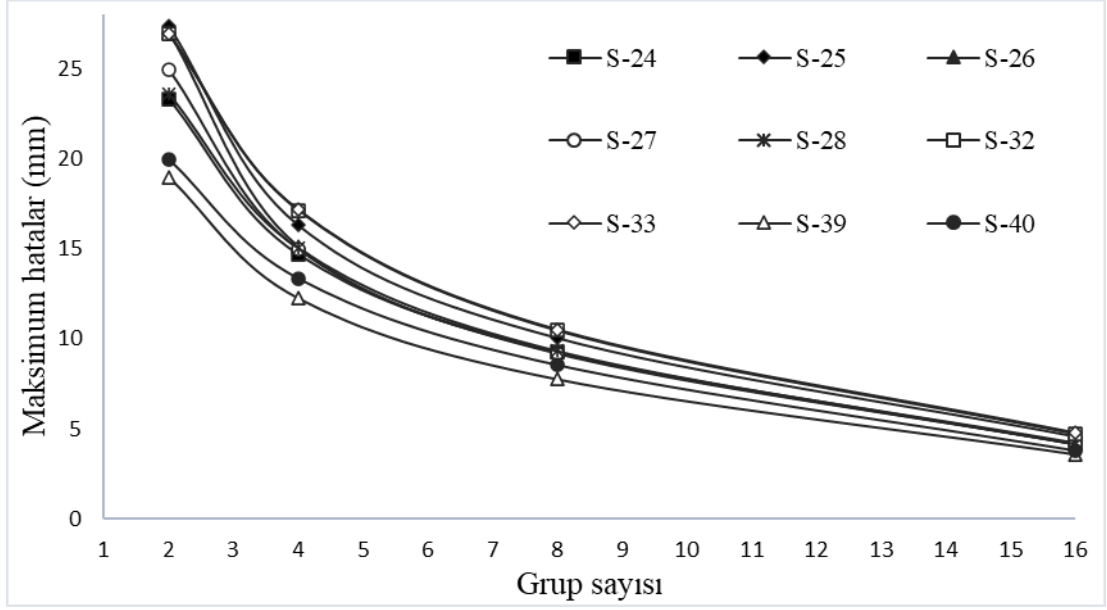
Şekil 5.33: Binanın kule kısmındaki tüm kolonların düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



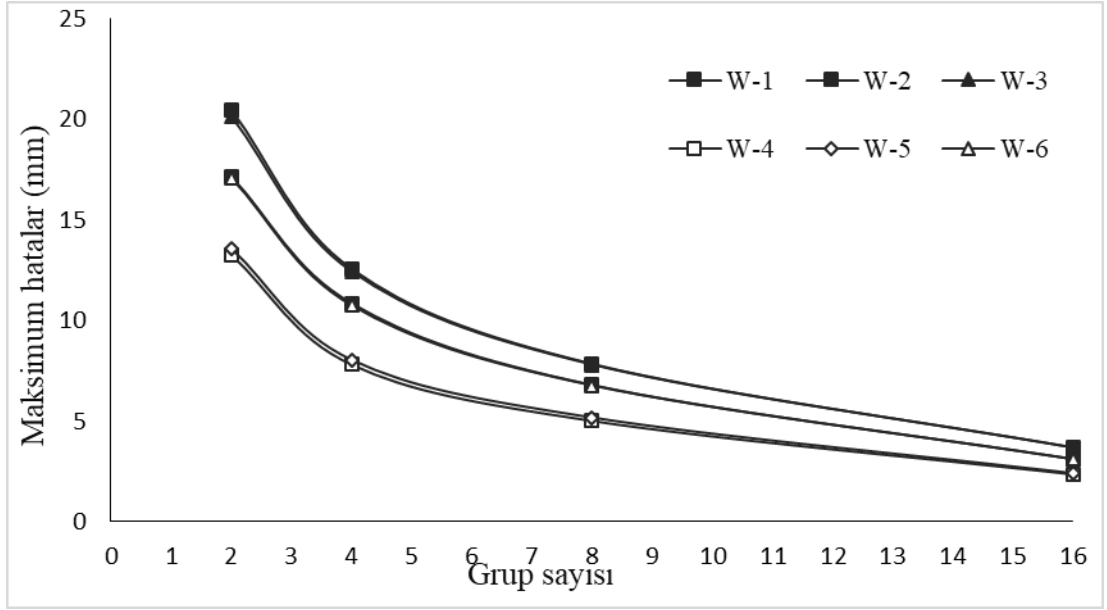
Şekil 5.34: Binanın kule kısmındaki tüm perdelerin eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



Şekil 5.35: Binanın kule kısmındaki tüm perdelerin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



Şekil 5.36: Kule kısmındaki kolonlarda Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi için grup sayısı ve düzeltme hataları ilişkisi (inşaat sonunda).



Şekil 5.37: Kule kısmındaki perdelerde Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi için grup sayısı ve düzeltme hataları ilişkisi (inşaat sonunda).

5.2.2 50 yıl için aksel kısılmaların tekdüze gruplu düzeltmesi

Tekdüze gruplu düzeltme metodu ile düşey elemanların aksel kısılmalarını en aza indirmek için binanın kule kısmındaki tüm kolon ve perdeler üzerinde uygulanmıştır. S-24, S-25, S-26, S-27, S-28, S-32, S-33, S-39 ve S-40 kolonların tekdüze gruplu düzeltme metoduyla kat başına düzeltmesi ve düzeltme hataları Şekil 5.38-5.55'te gösterilmiştir.

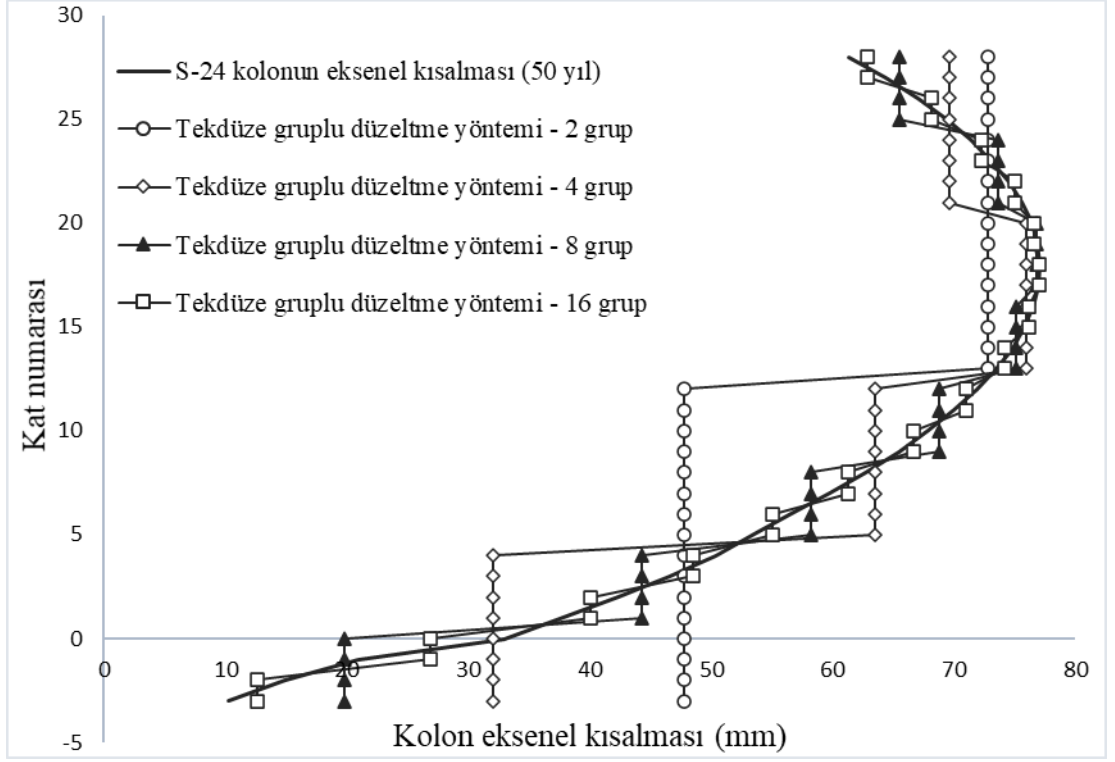
Binanın kule kısmındaki tüm kolonların aksenal kısalmaları üzerinde Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması ve binanın kule kısmındaki tüm kolonların düzeltme hataları gruplar üzerinden karşılaştırılması 50 yıl dikkate alınarak sırayla Şekil 5.56 ve Şekil 5.57’de gösterilmiştir.

W-1, W-2, W-3, W-4, W-5 ve W-6 perdelerin Tekdüze Gruplu Düzeltme Metoduyla kat başına düzeltmesi ve düzeltme grupların hataları sırayla Şekil 5.58- 6.69’de 50 yıl dikkate alınarak gösterilmiştir.

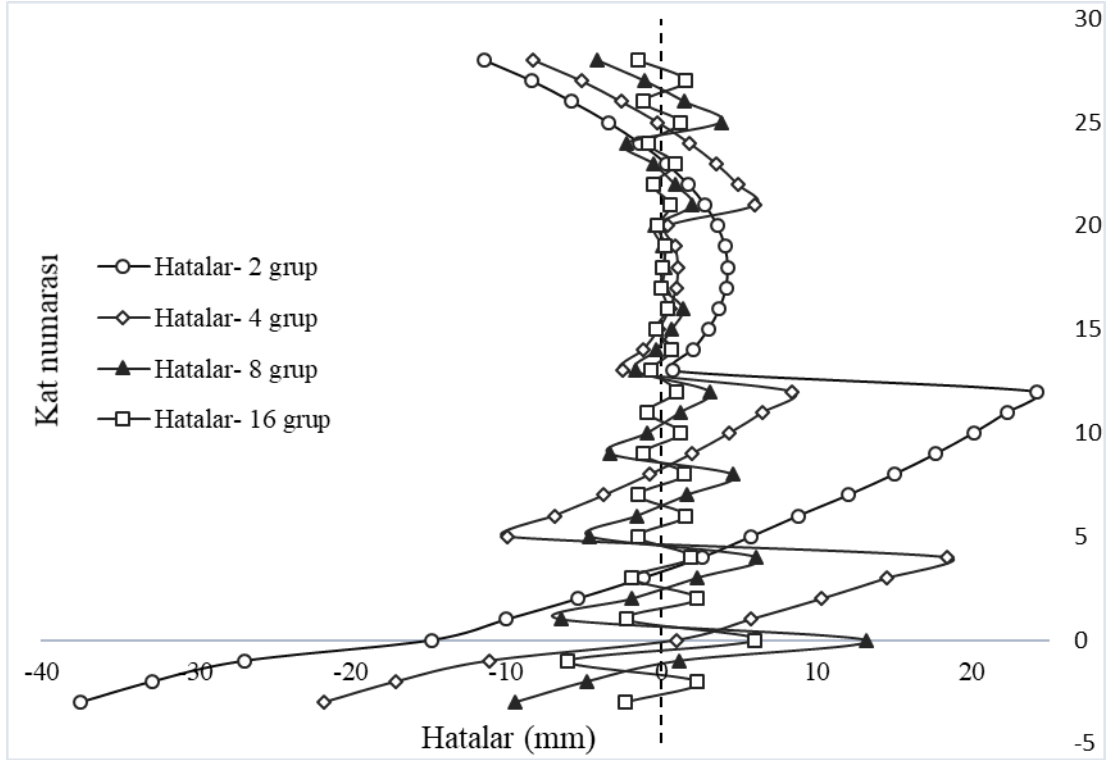
Binanın kule kısmındaki tüm yapısal perdelerin aksenal kısalmaları üzerinde Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması ve binanın kule kısmındaki tüm kolonların düzeltme hataları gruplar üzerinden karşılaştırılması sırayla Şekil 5.70 ve Şekil 5.71’de 50 yıl dikkate alınarak gösterilmiştir.

Kule kısmındaki kolonlarda Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi için grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkisi 50 yıl dikkate alınarak Şekil 5.72’de gösterilmiştir.

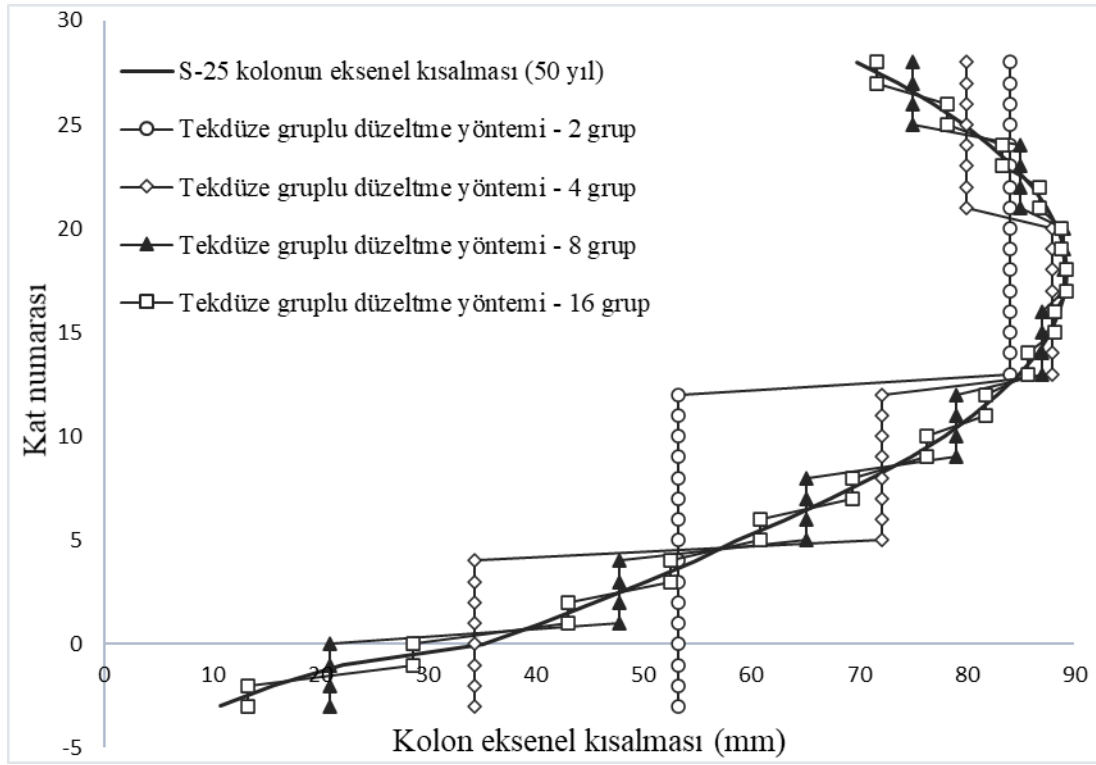
Kule kısmındaki perdelerde Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi için grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkisi 50 yıl dikkate alınarak Şekil 5.73’te gösterilmiştir.



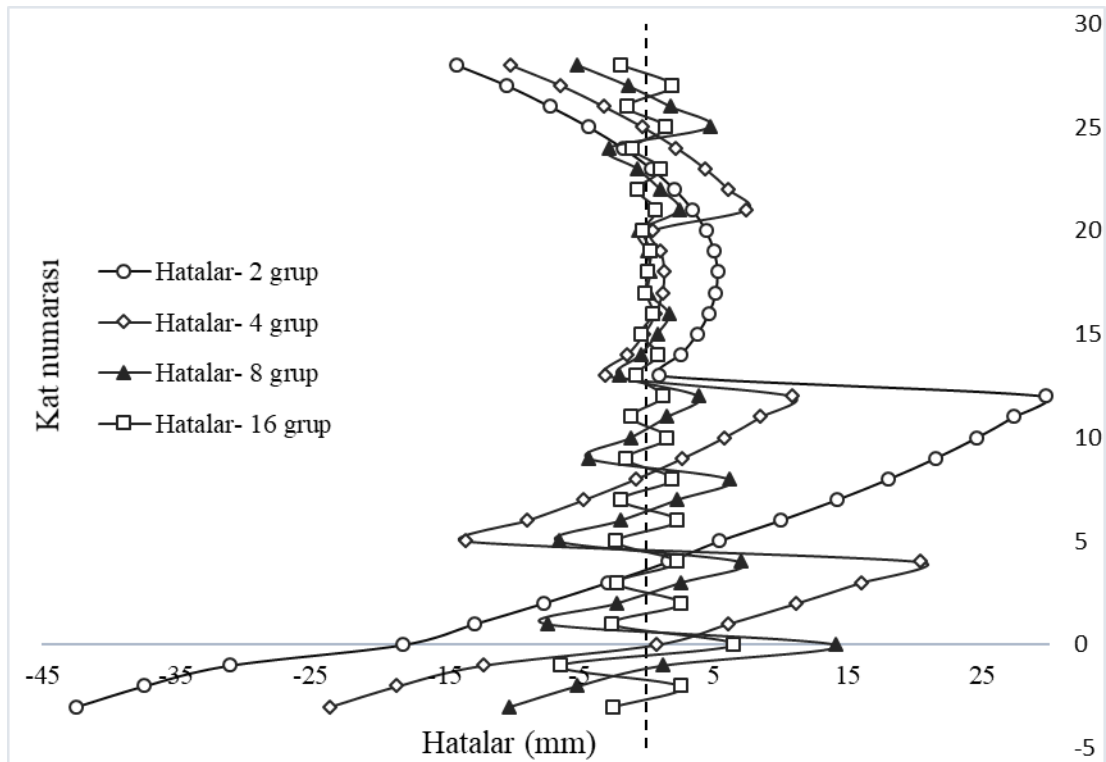
Şekil 5.38: S-24 kolonun 50 yıl eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



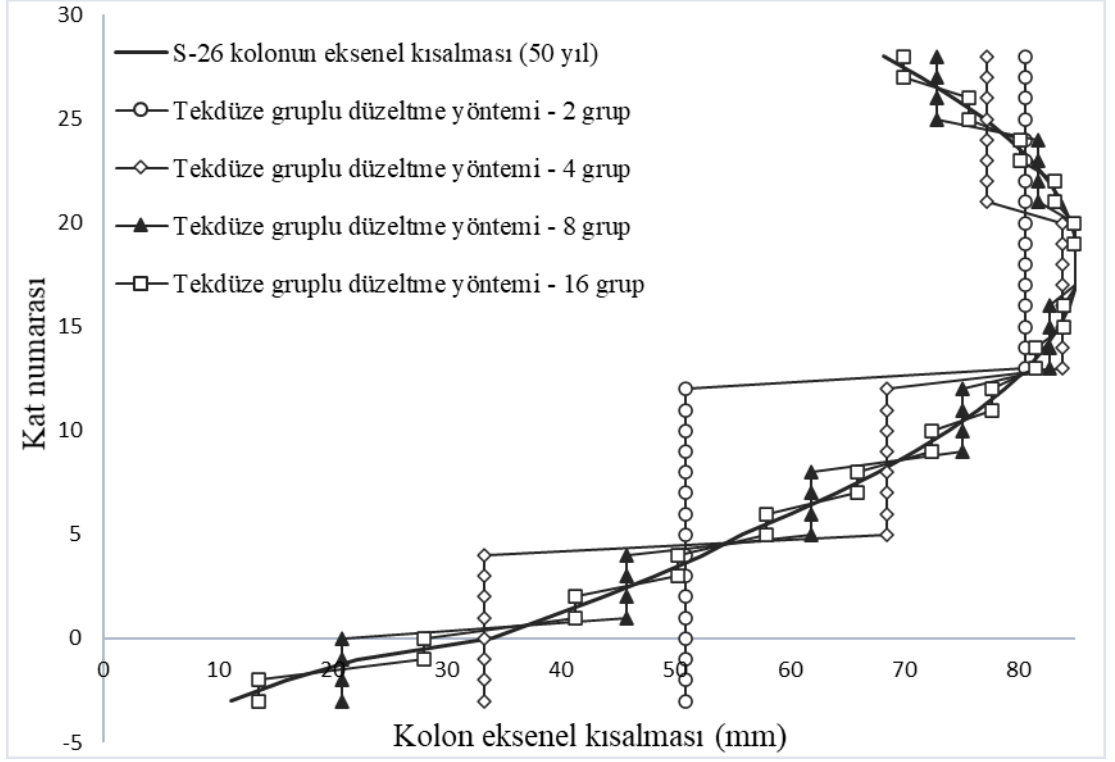
Şekil 5.39: S-24 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



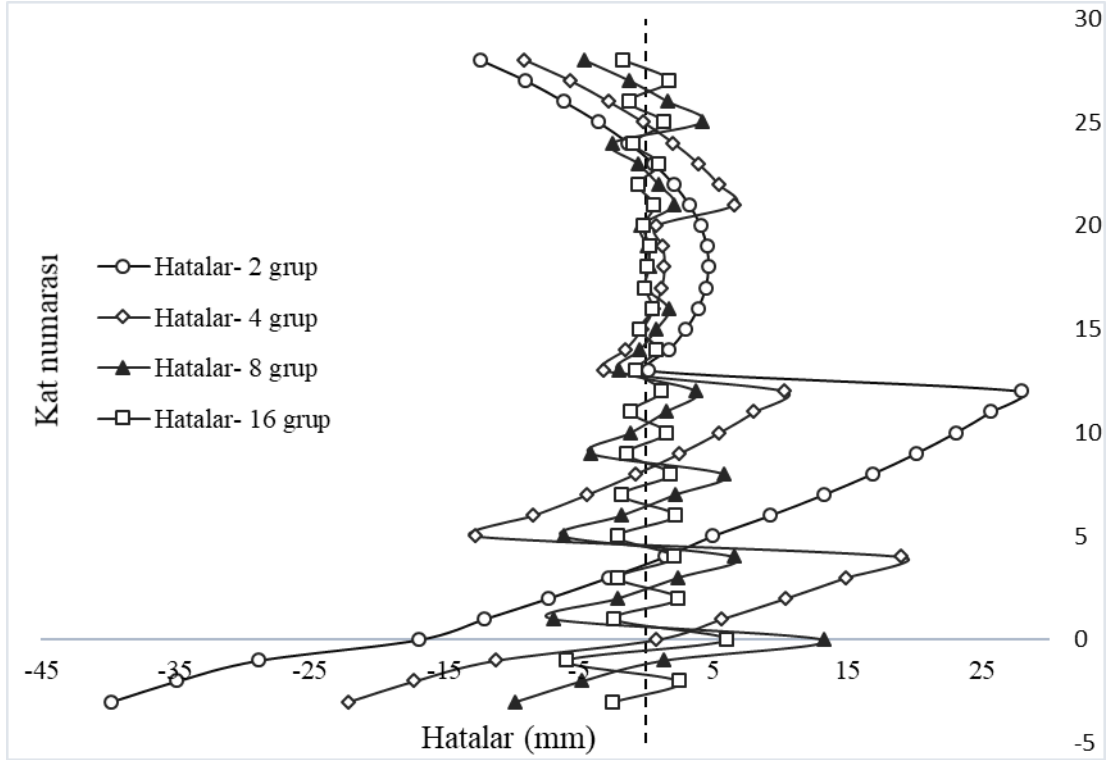
Şekil 5.40: S-25 kolonun 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



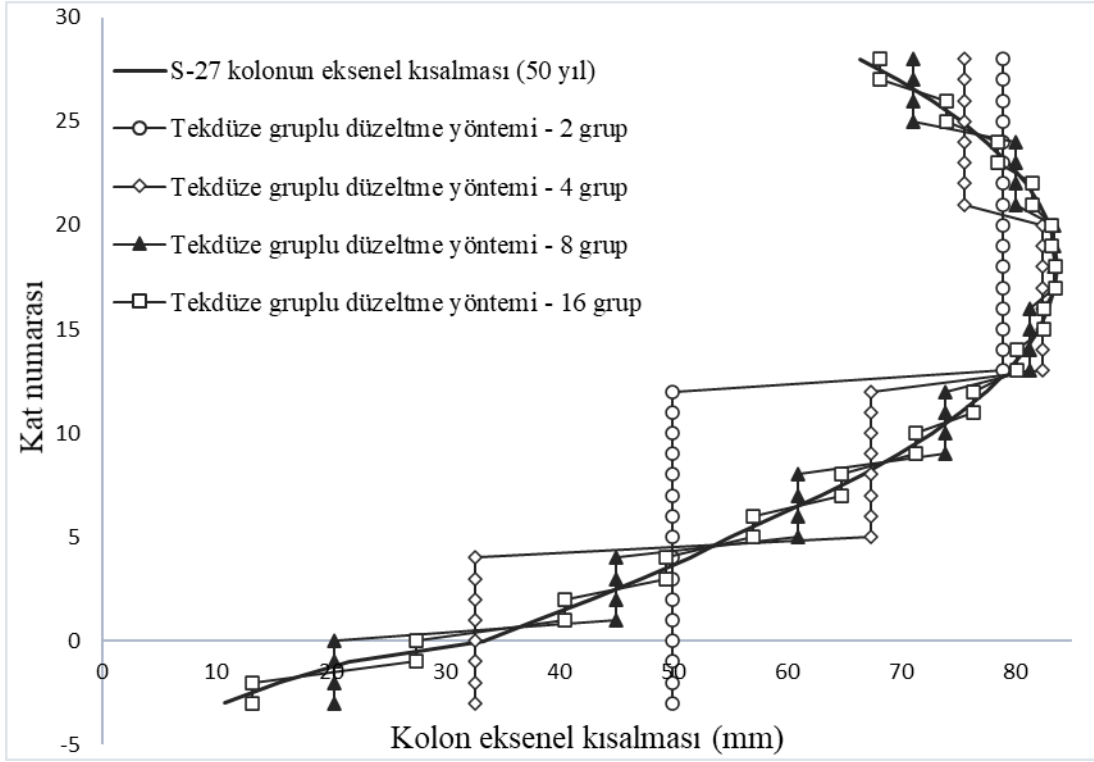
Şekil 5.41: S-25 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



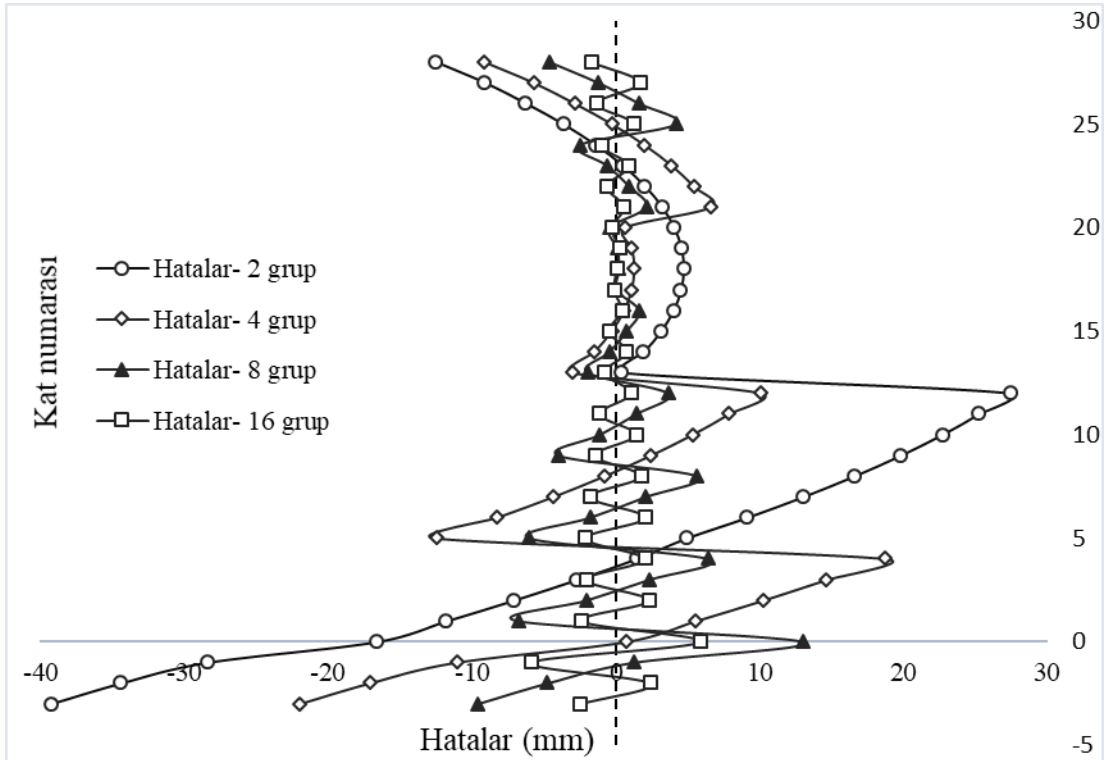
Şekil 5.42: S-26 kolonun 50 yıl aksel kısılması için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi'nin uygulanması.



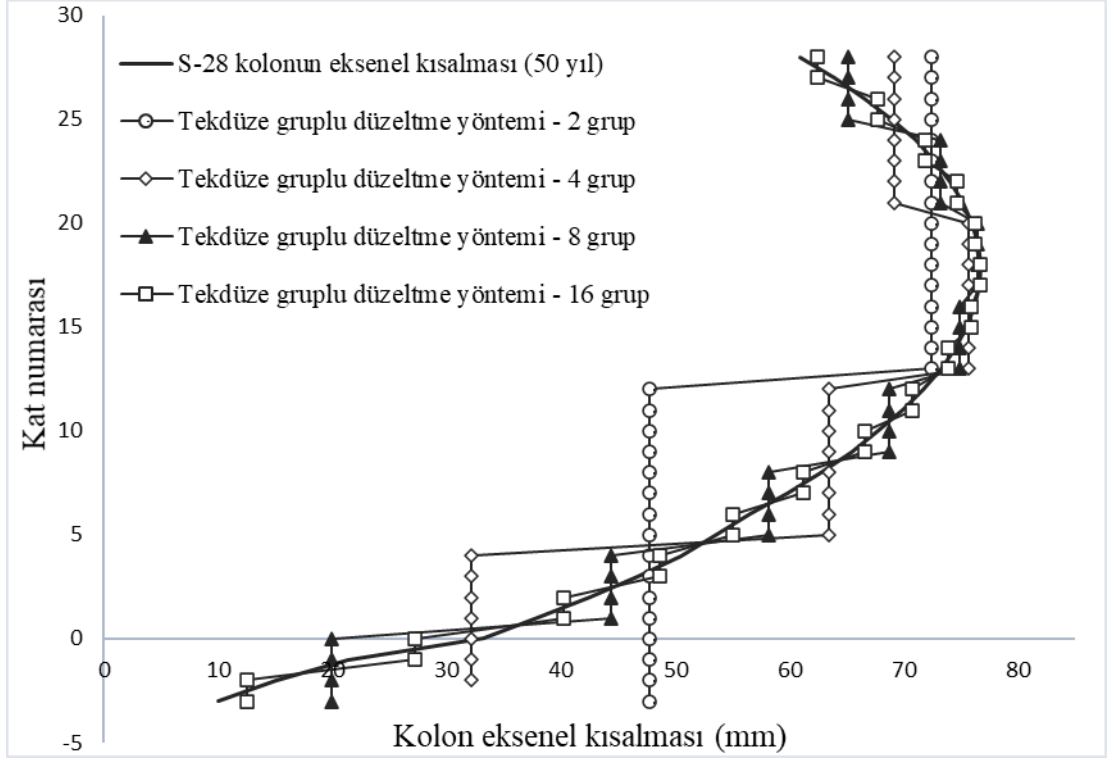
Şekil 5.43: S-26 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



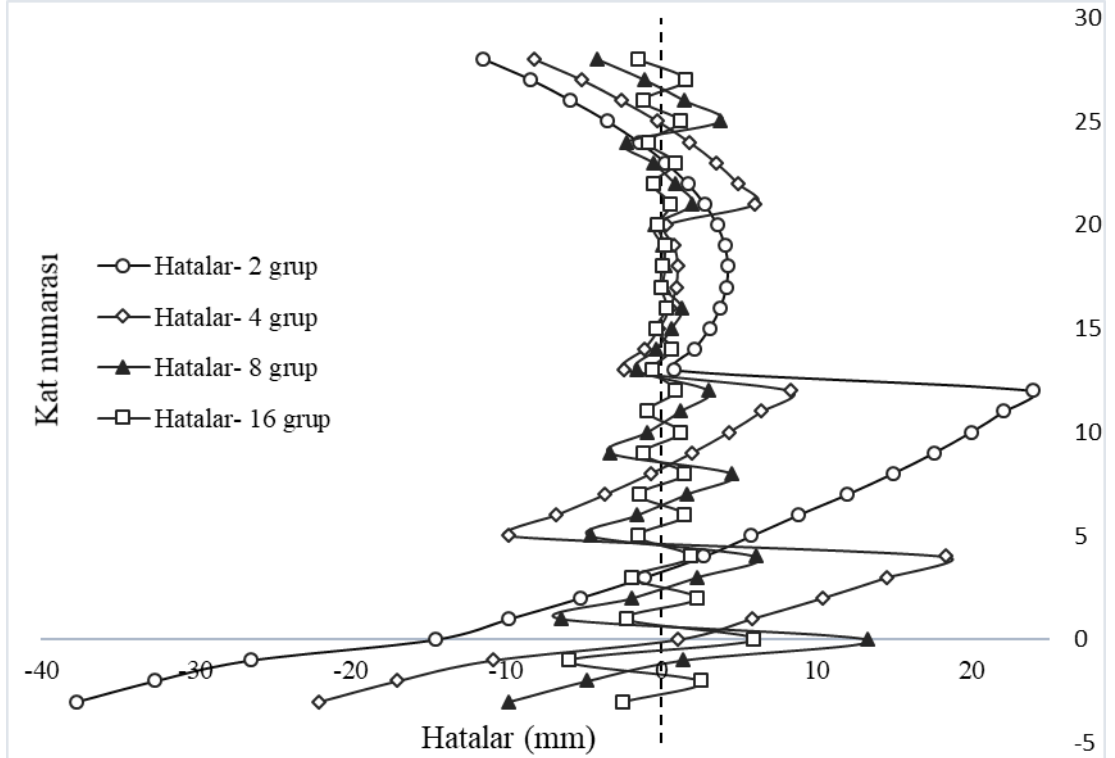
Şekil 5.44: S-27 kolonun 50 yıl eksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



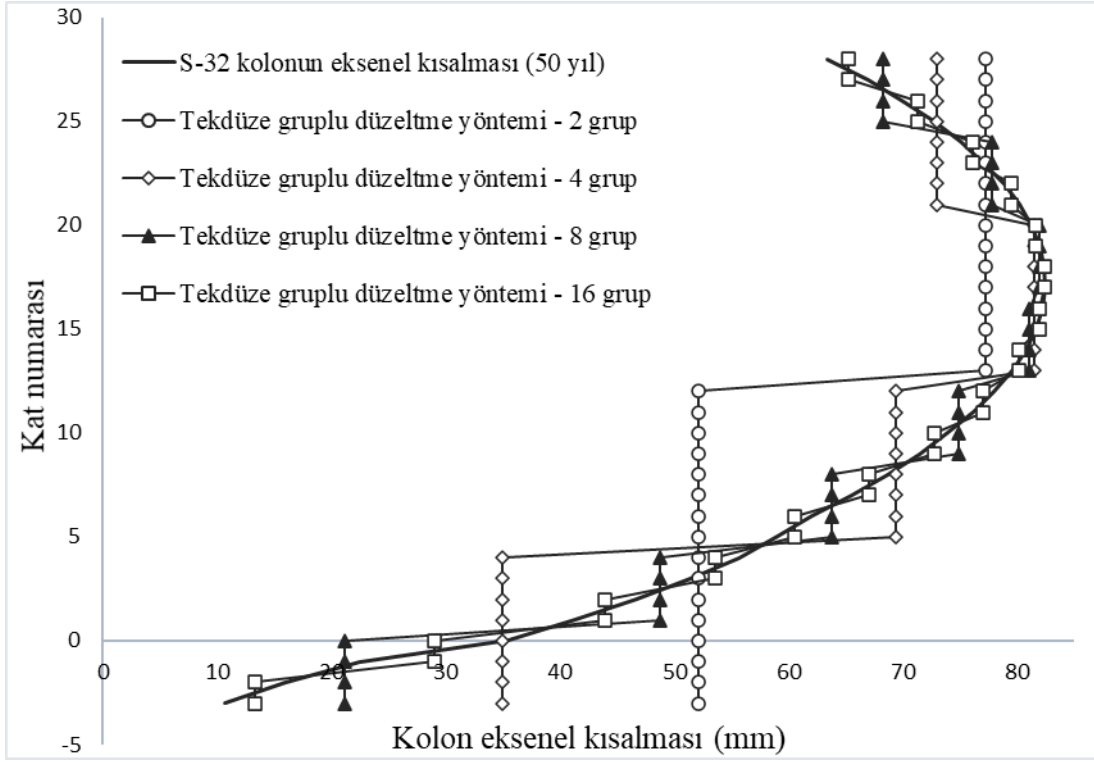
Şekil 5.45: S-27 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



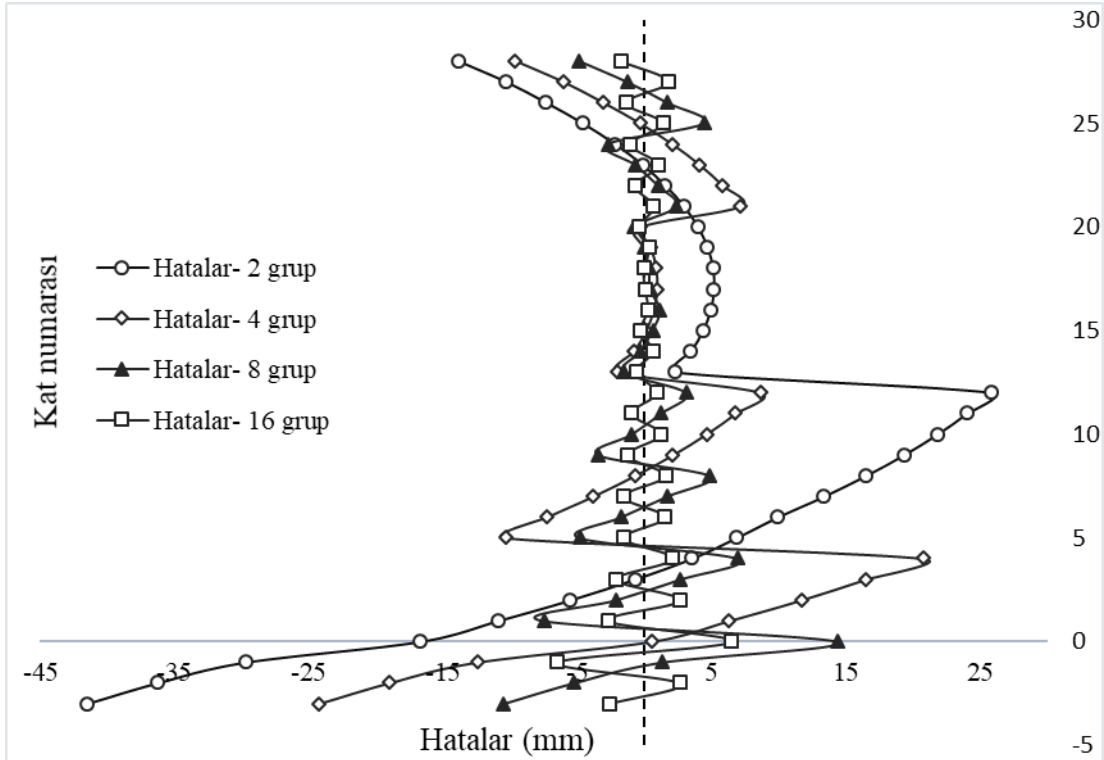
Şekil 5.46: S-28 kolonun 50 yıl eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



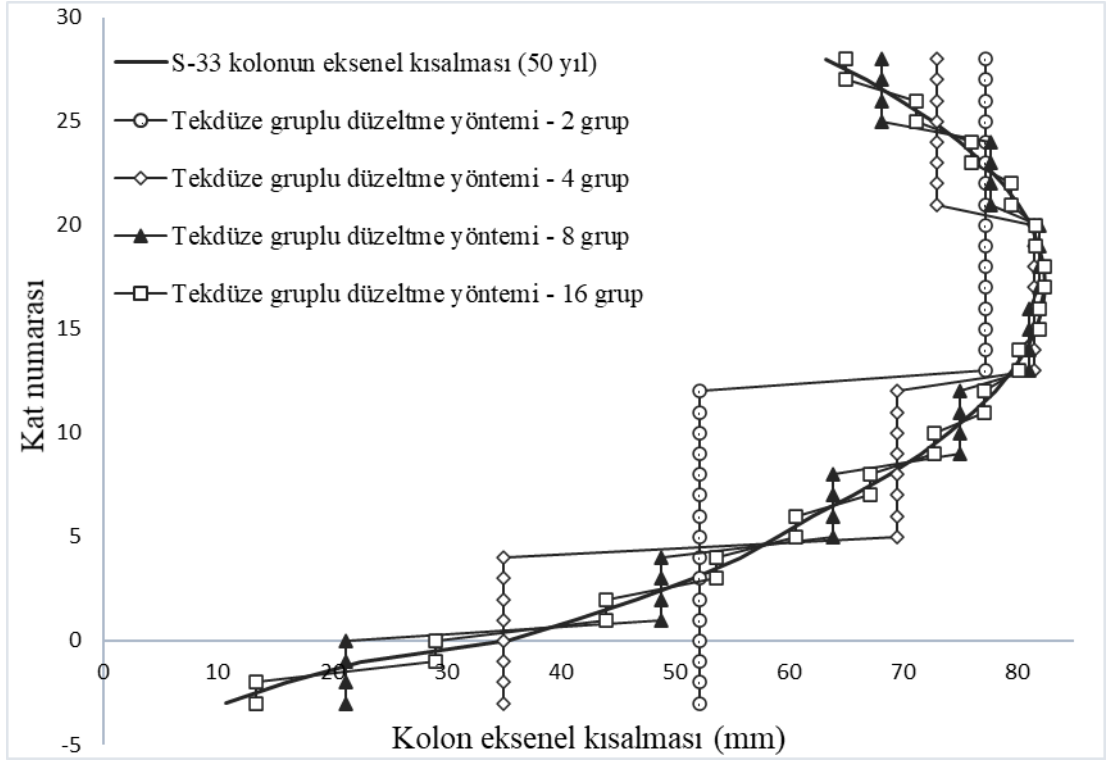
Şekil 5.47: S-28 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



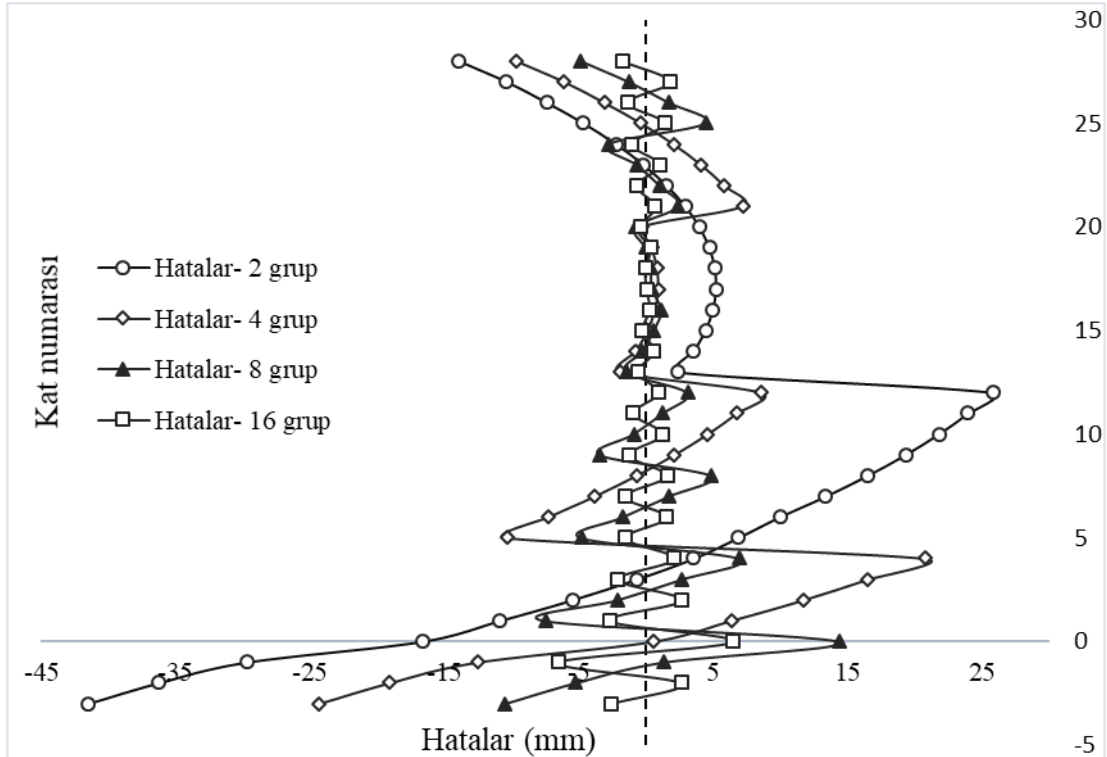
Şekil 5.48: S-32 kolonun 50 yıl aksel kısılmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



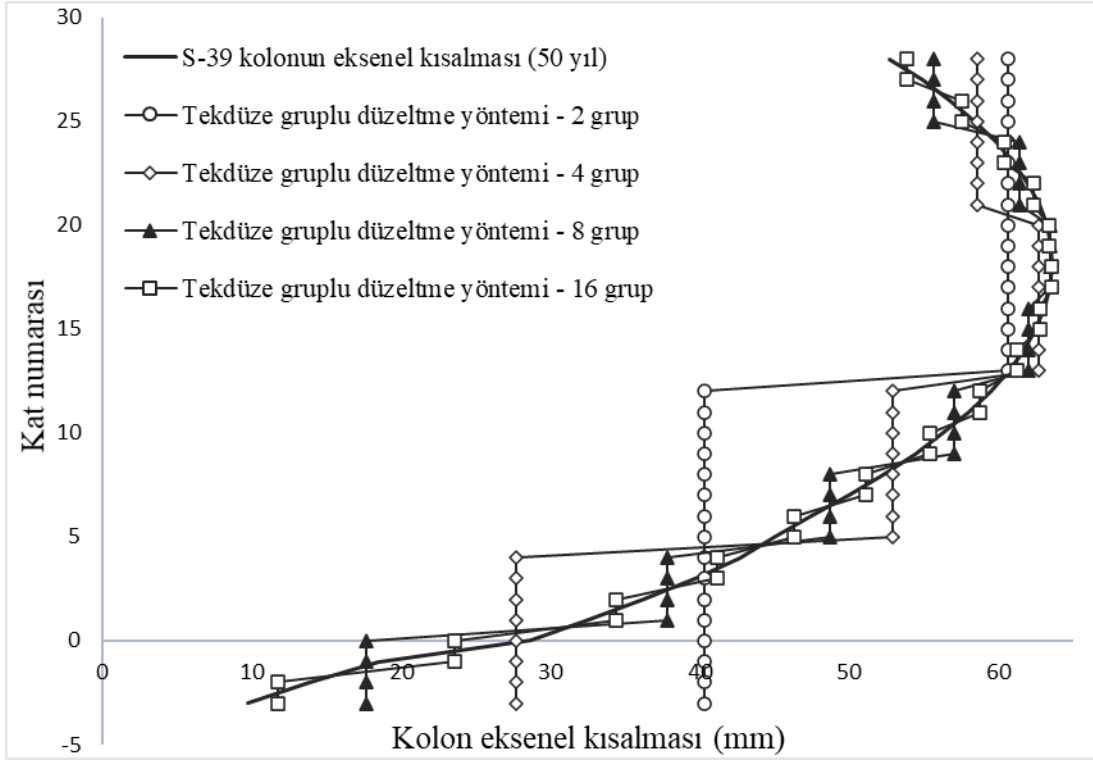
Şekil 5.49: S-32 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



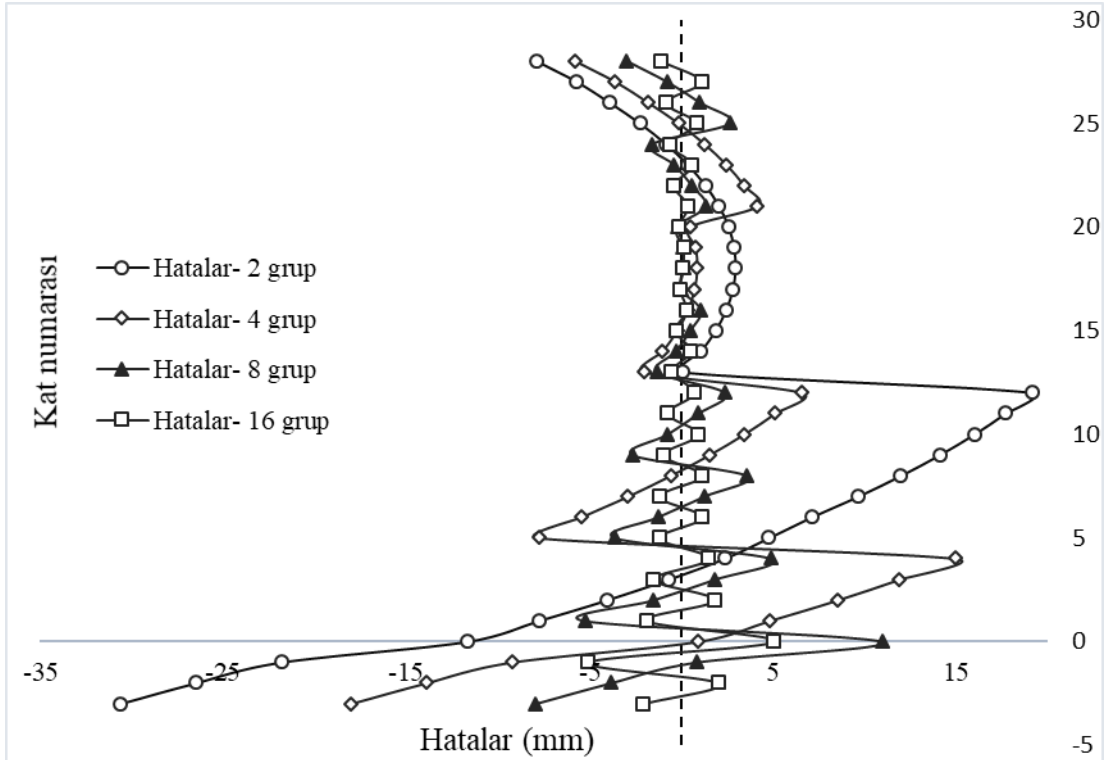
Şekil 5.50: S-33 kolonun 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



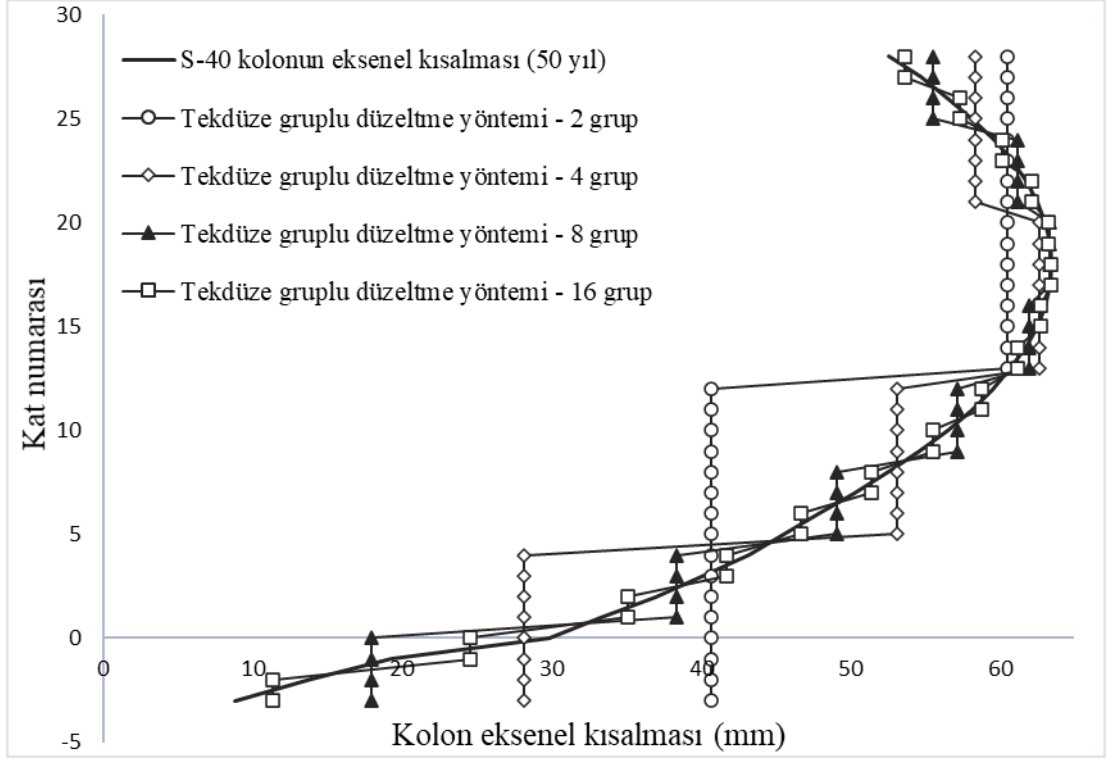
Şekil 5.51: S-33 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



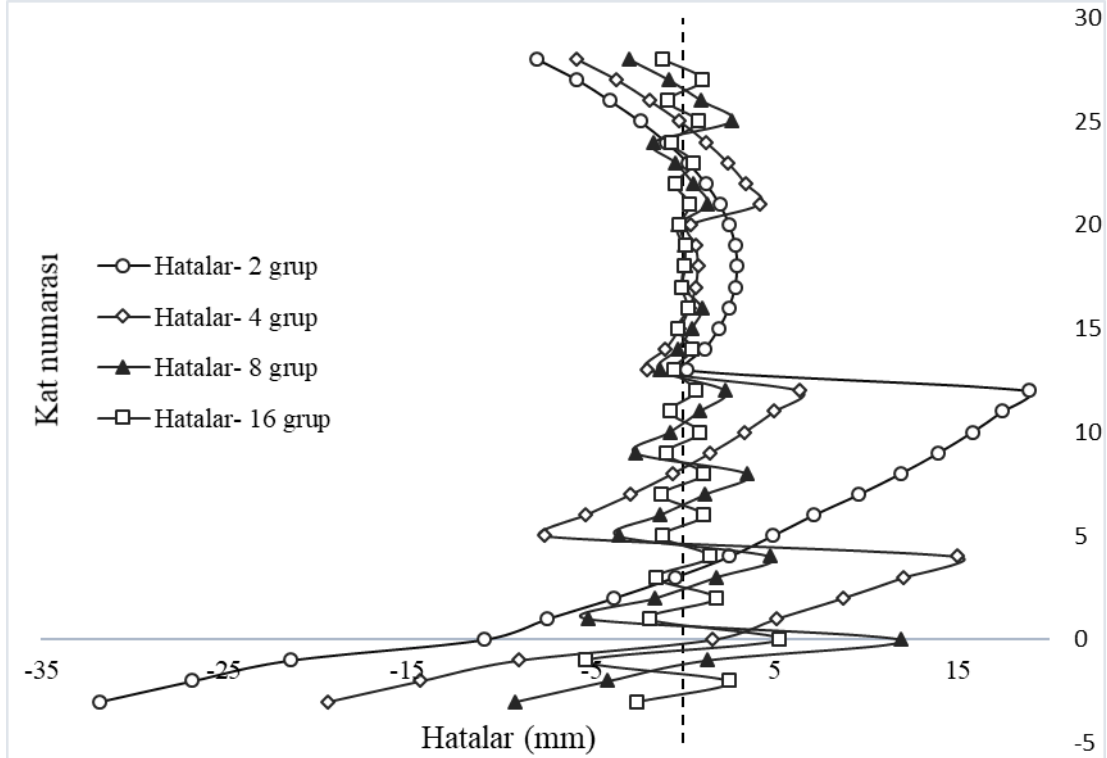
Şekil 5.52: S-39 kolonunun 50 yıl eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



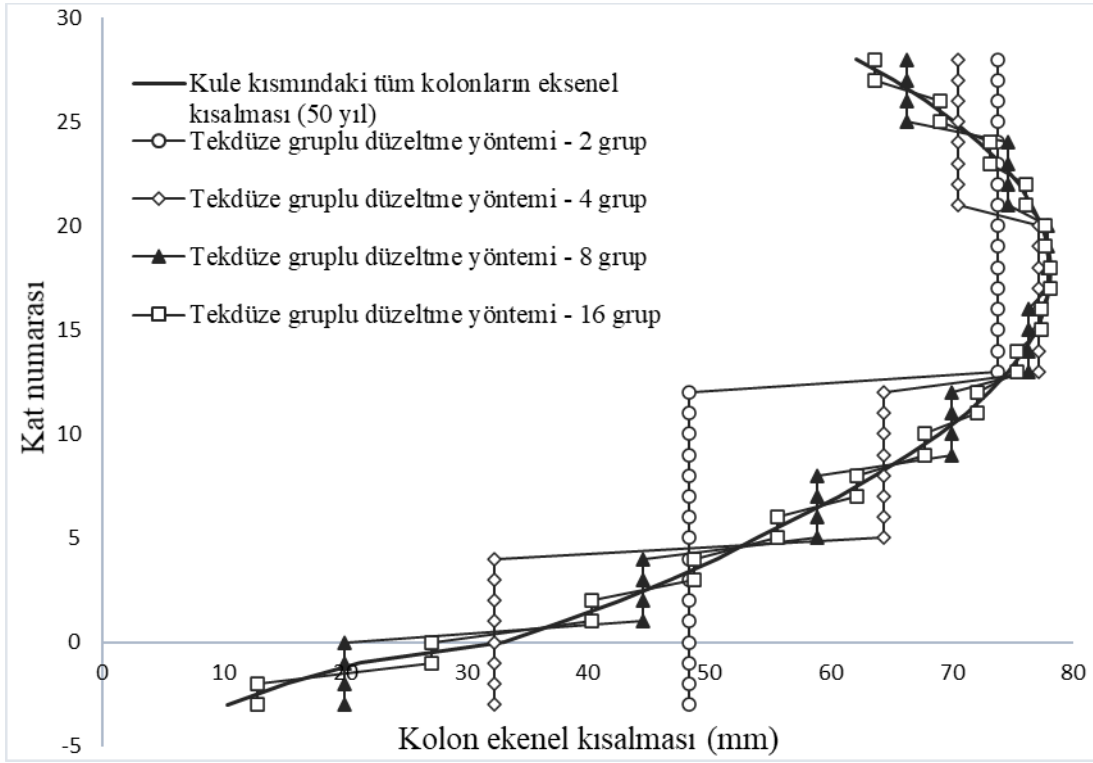
Şekil 5.53: S-39 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



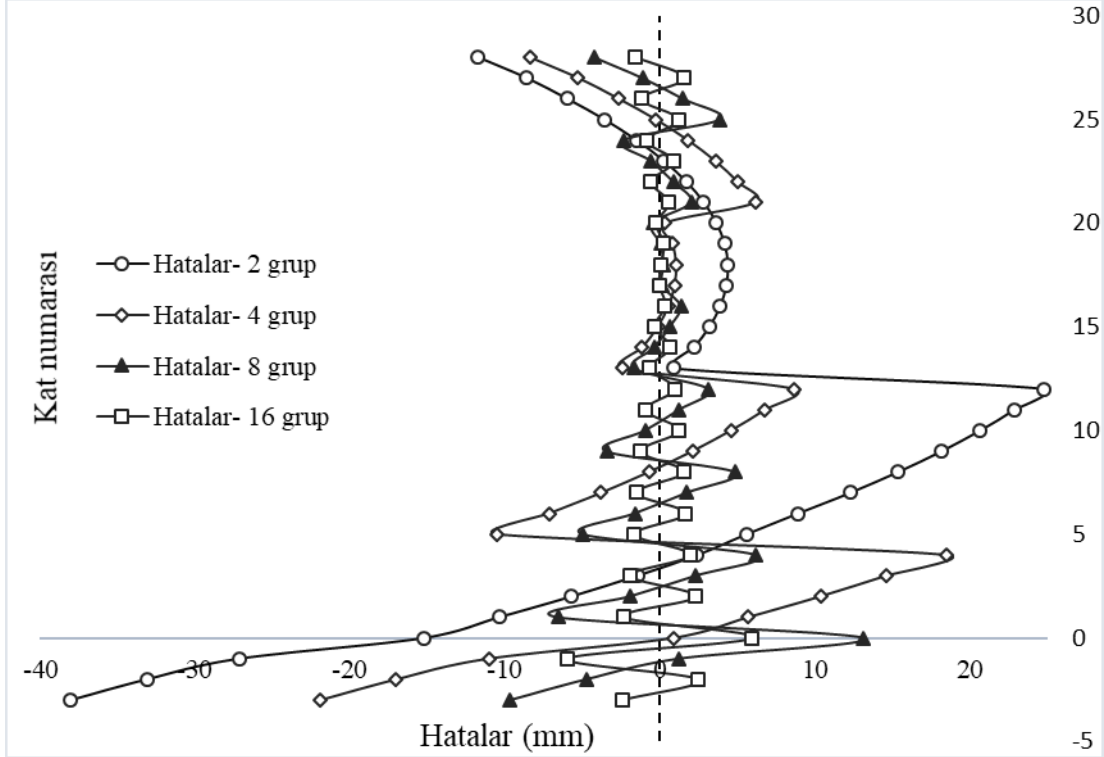
Şekil 5.54: S-40 kolonun 50 yıl aksenal kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



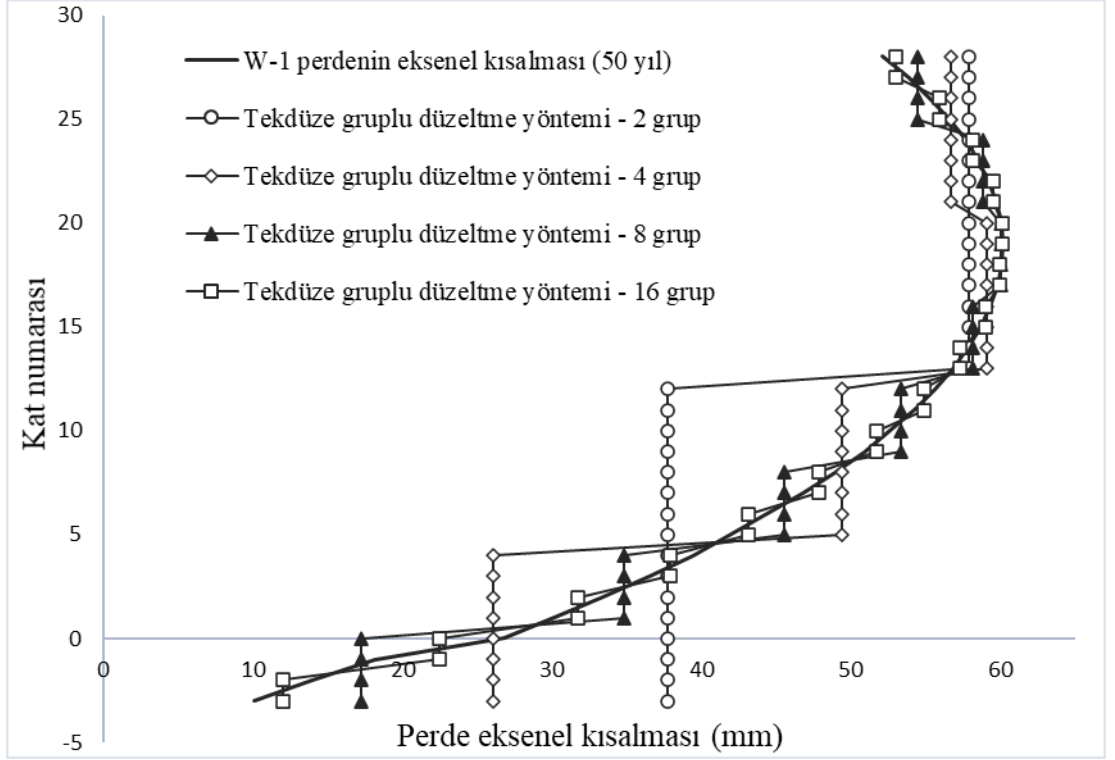
Şekil 5.55: S-40 kolonunun düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



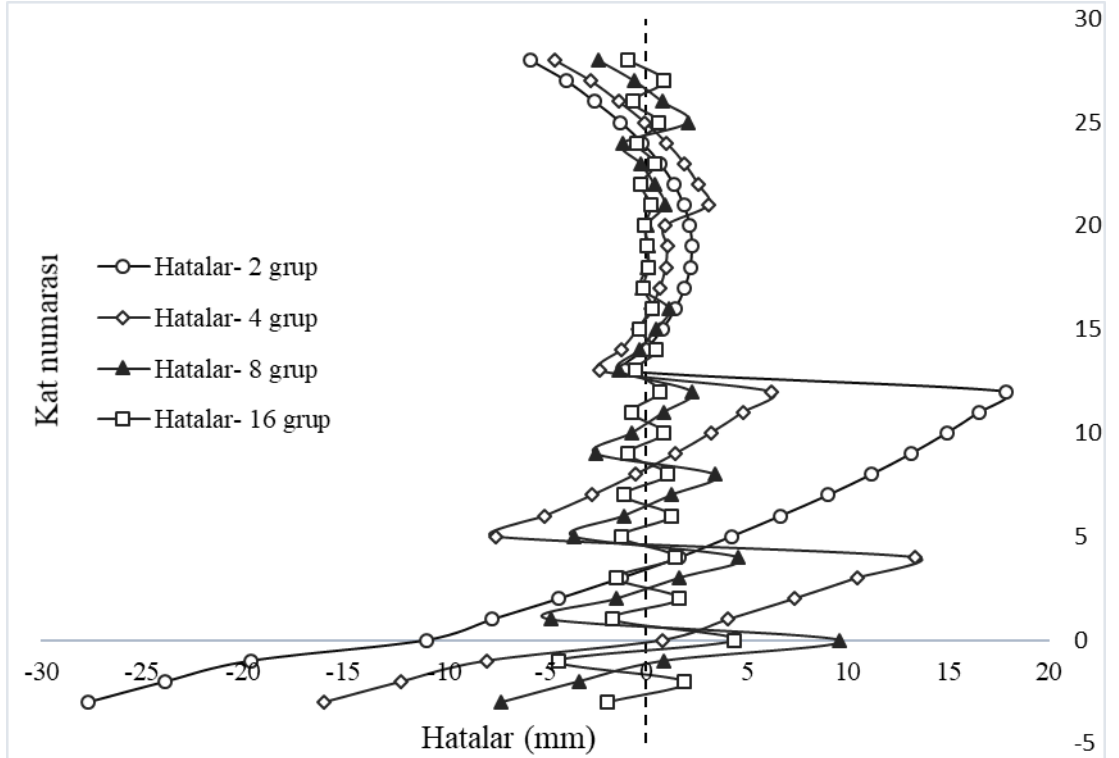
Şekil 5.56: Binanın kule kısmındaki tüm kolonların 50 yıl eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yönteminin uygulanması.



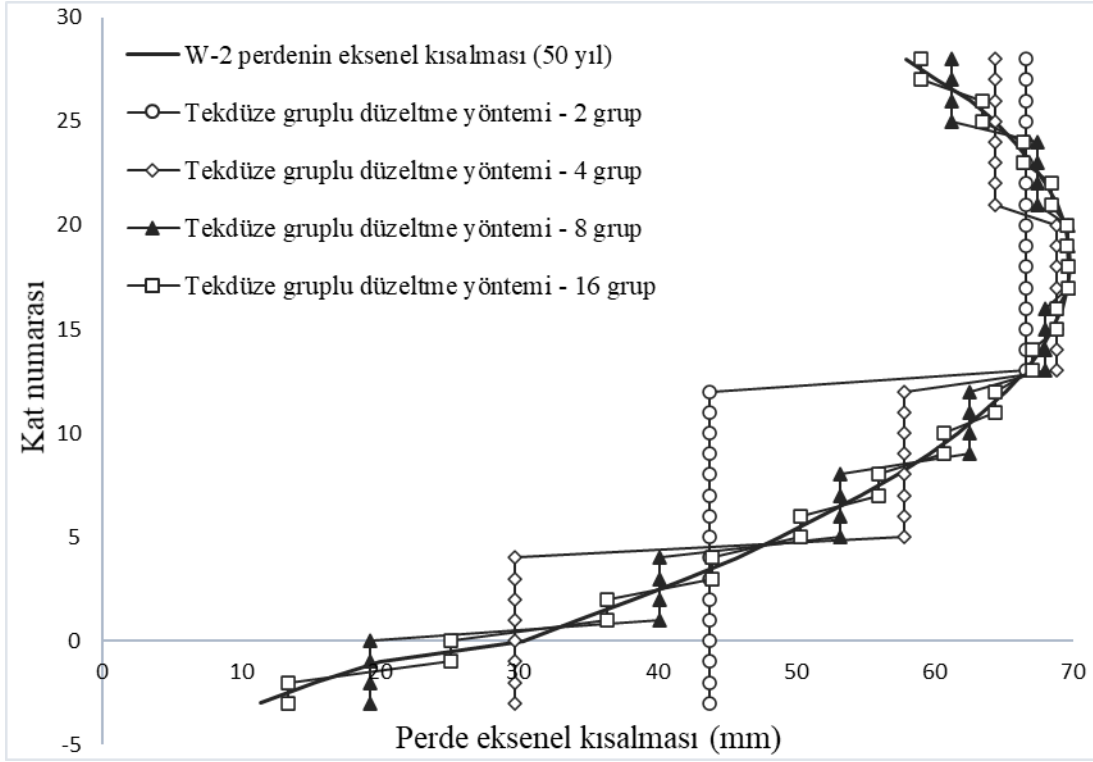
Şekil 5.57: Binanın kule kısmındaki tüm kolonların düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



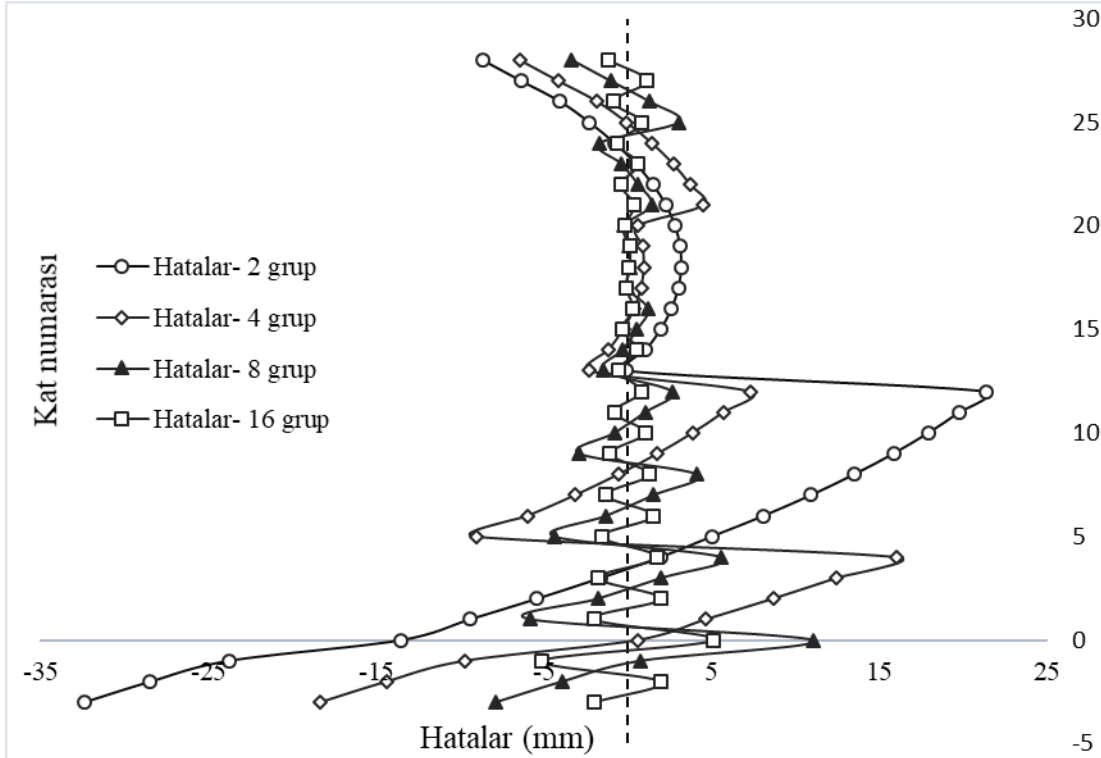
Şekil 5.58: W-1 perdenin 50 yıl eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



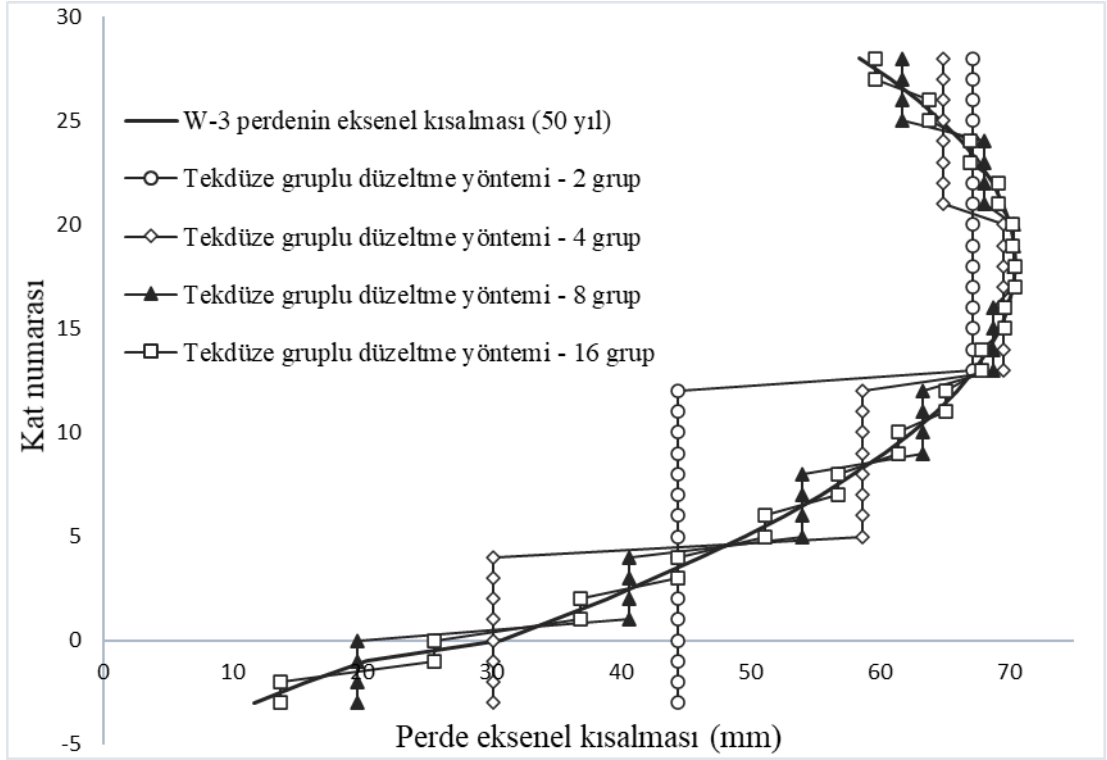
Şekil 5.59: W-1 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



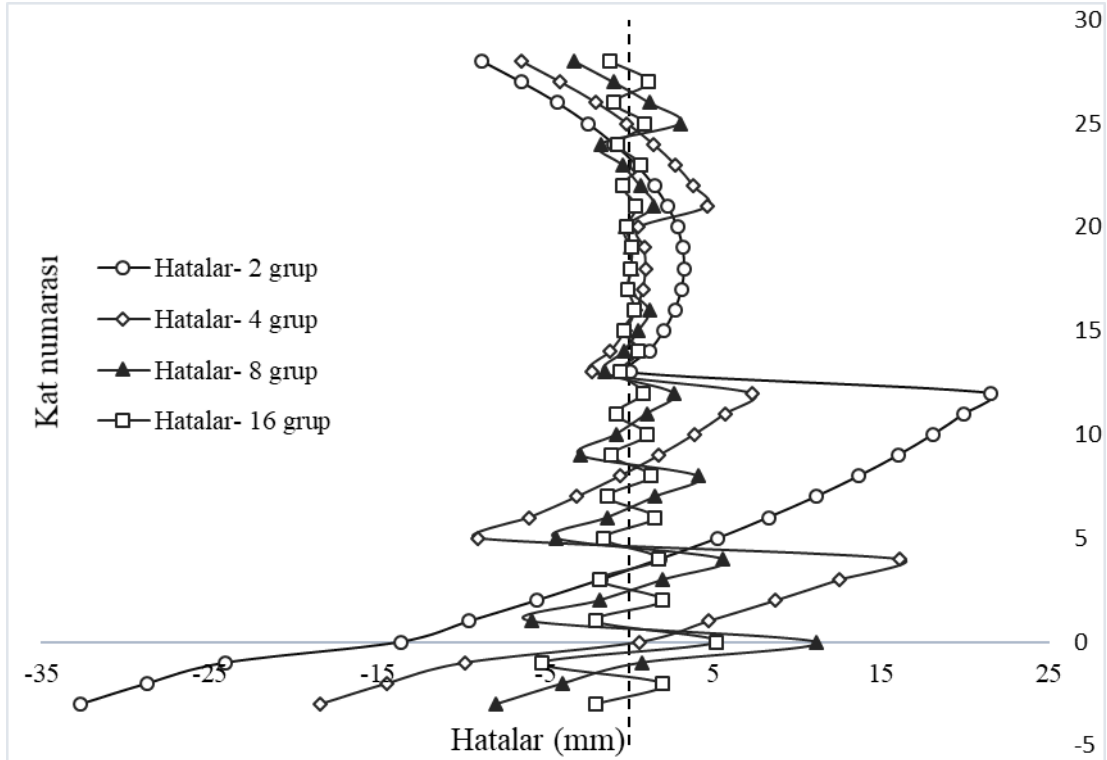
Şekil 5.60: W-2 perdenin 50 yıl aksel kısılmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



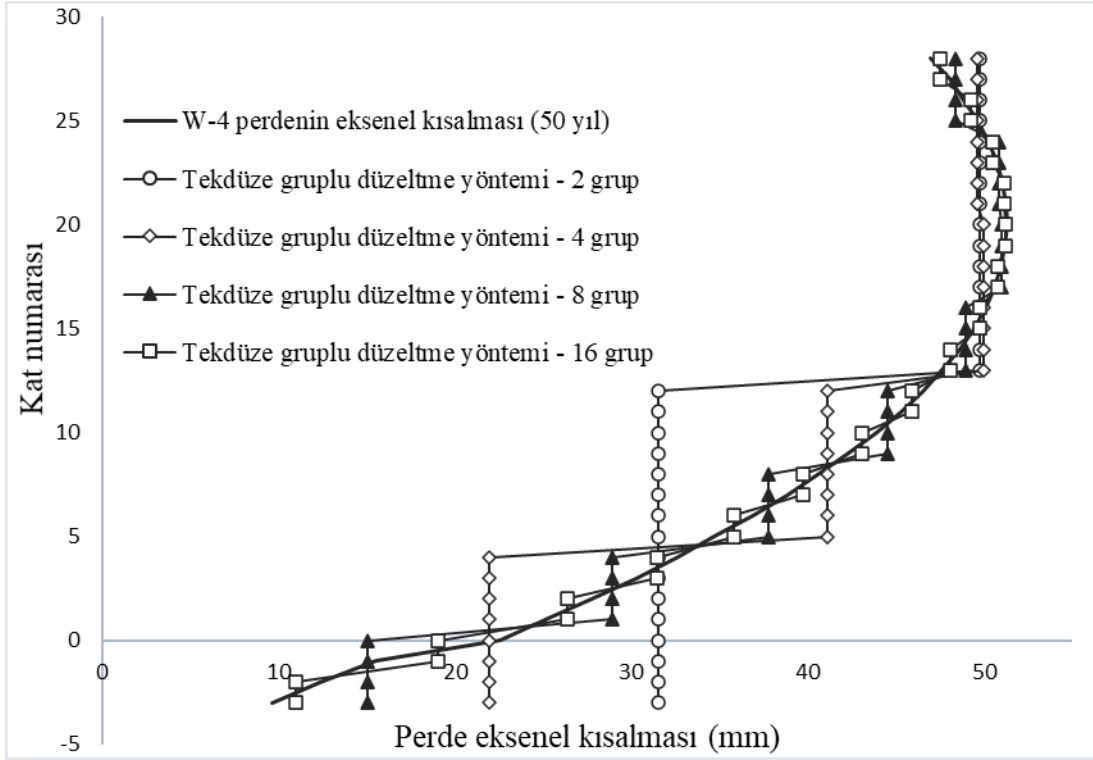
Şekil 5.61: W-2 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



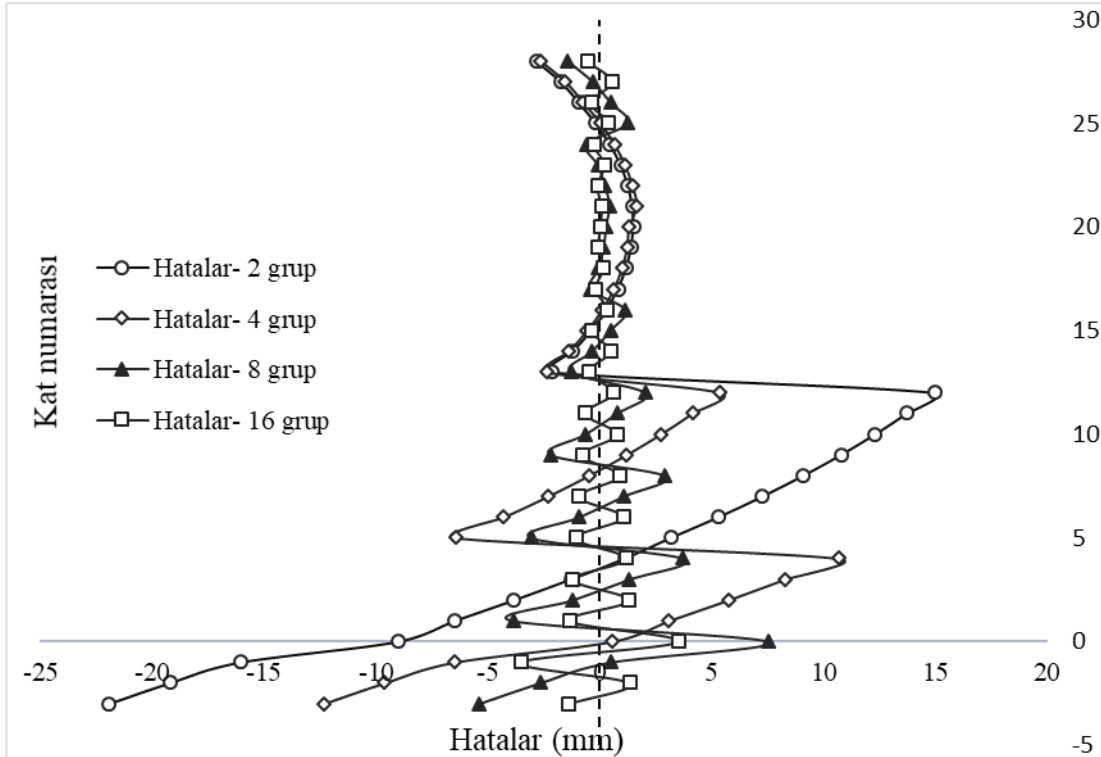
Şekil 5.62: W-3 perdenin 50 yıl aksel kısılmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



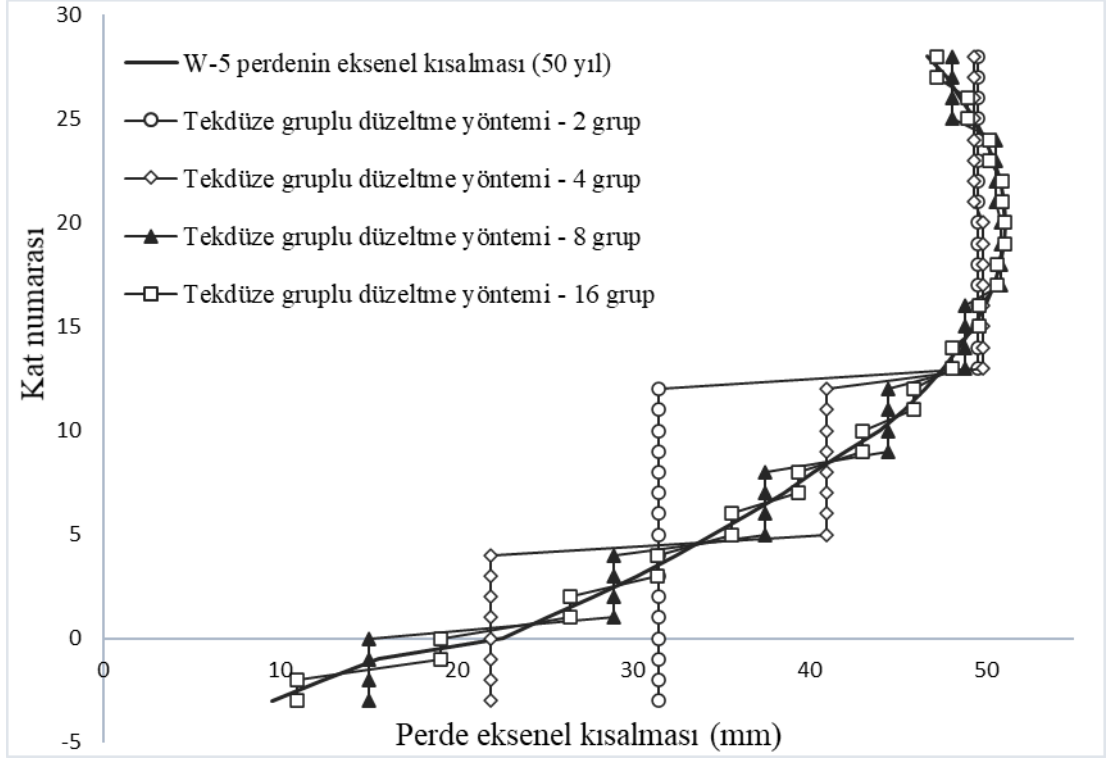
Şekil 5.63: W-3 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



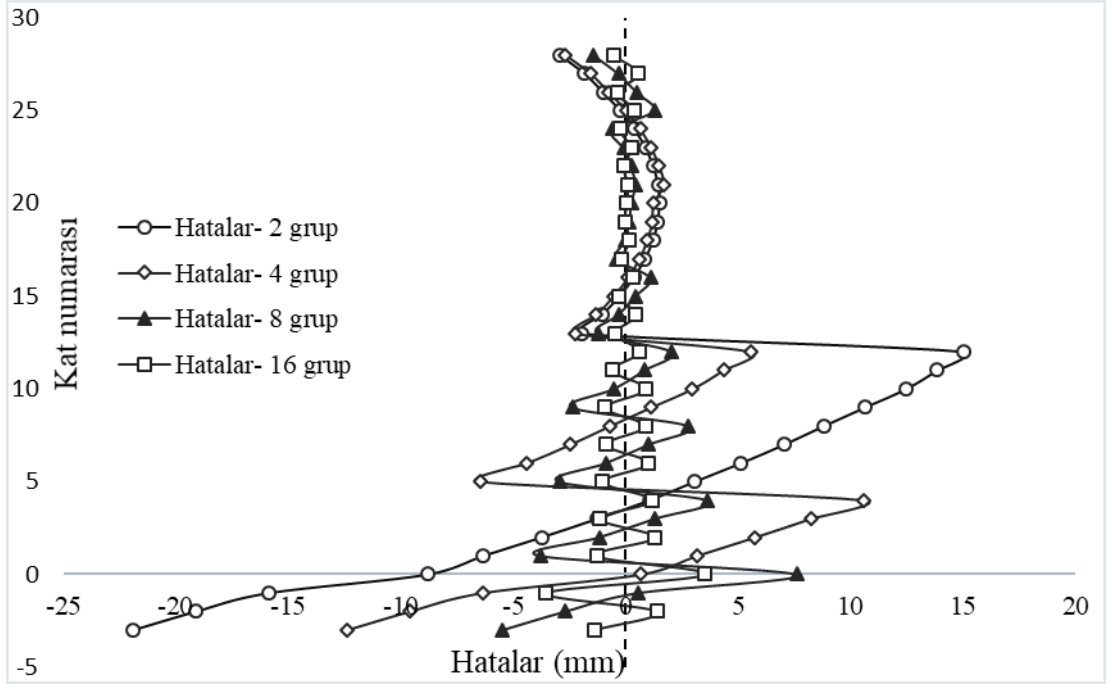
Şekil 5.64: W-4 perdenin 50 yıl eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



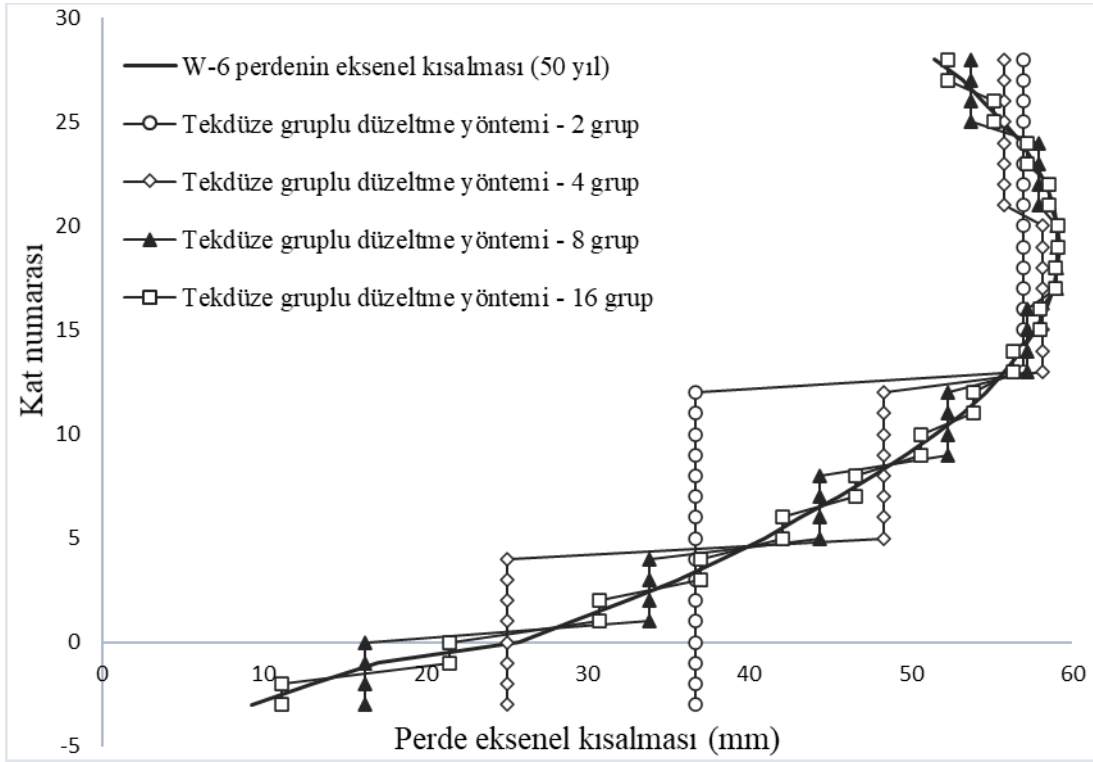
Şekil 5.65: W-4 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



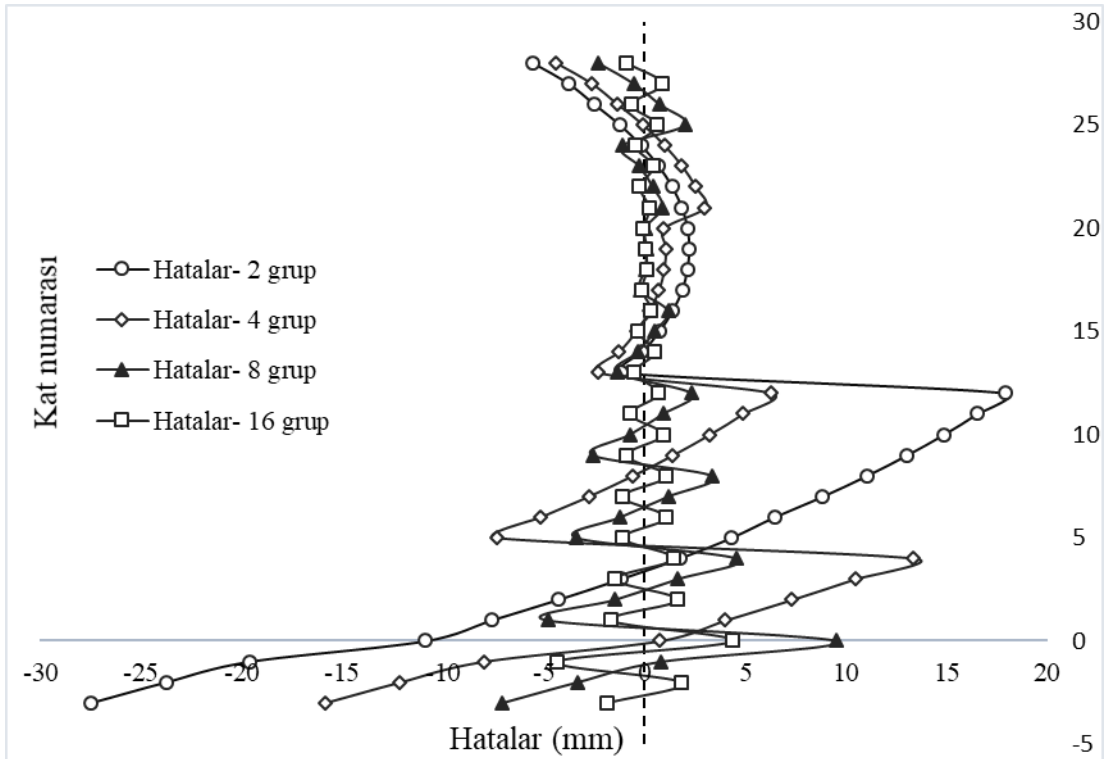
Şekil 5.66: W-5 perdenin 50 yıl eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



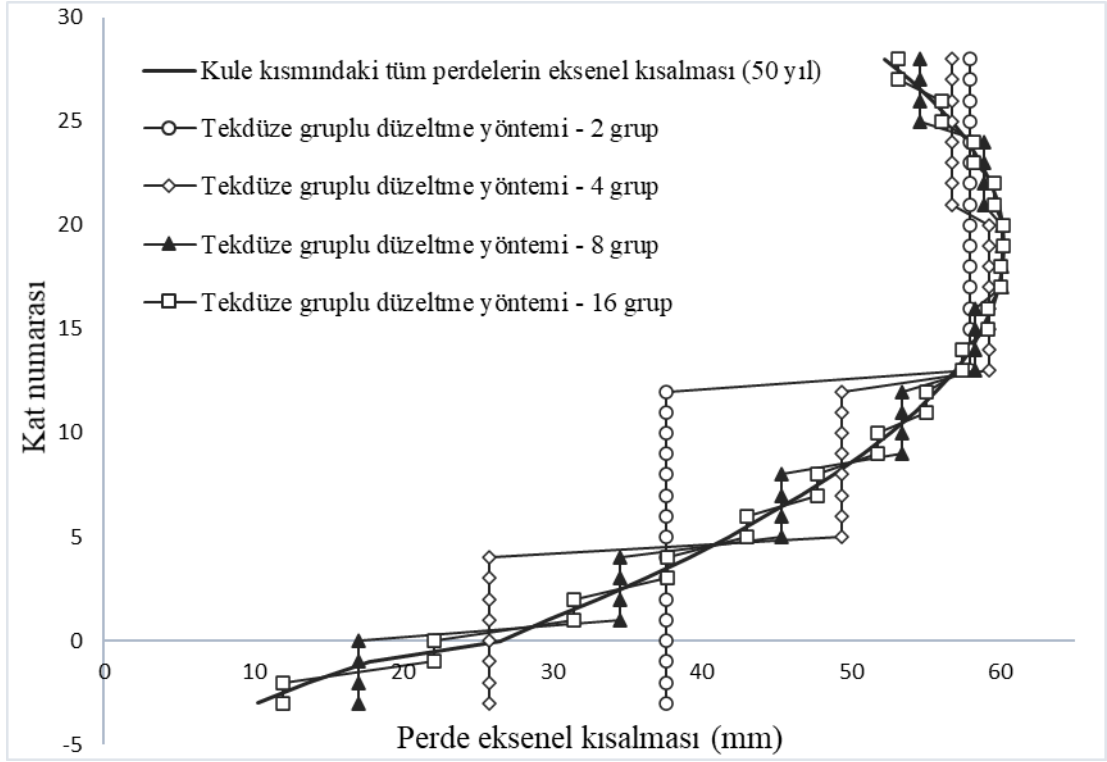
Şekil 5.67: W-5 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



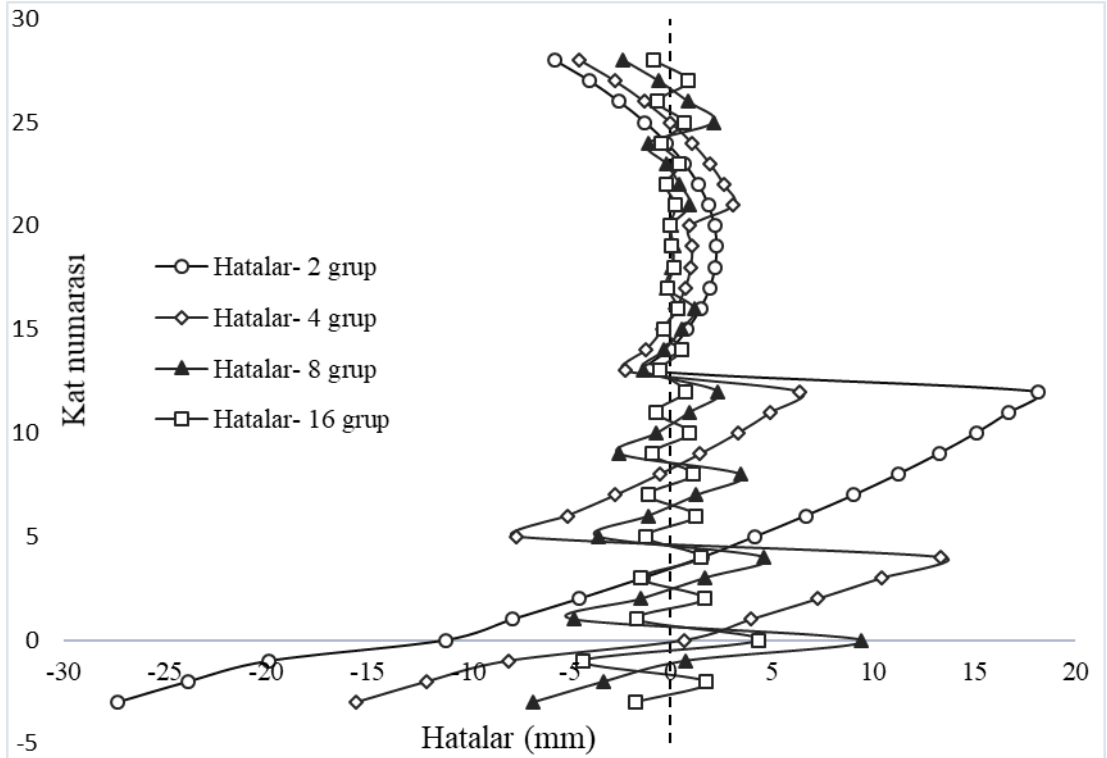
Şekil 5.68: W-6 perdenin 50 yıl eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Güzeltme Yöntemin uygulanması.



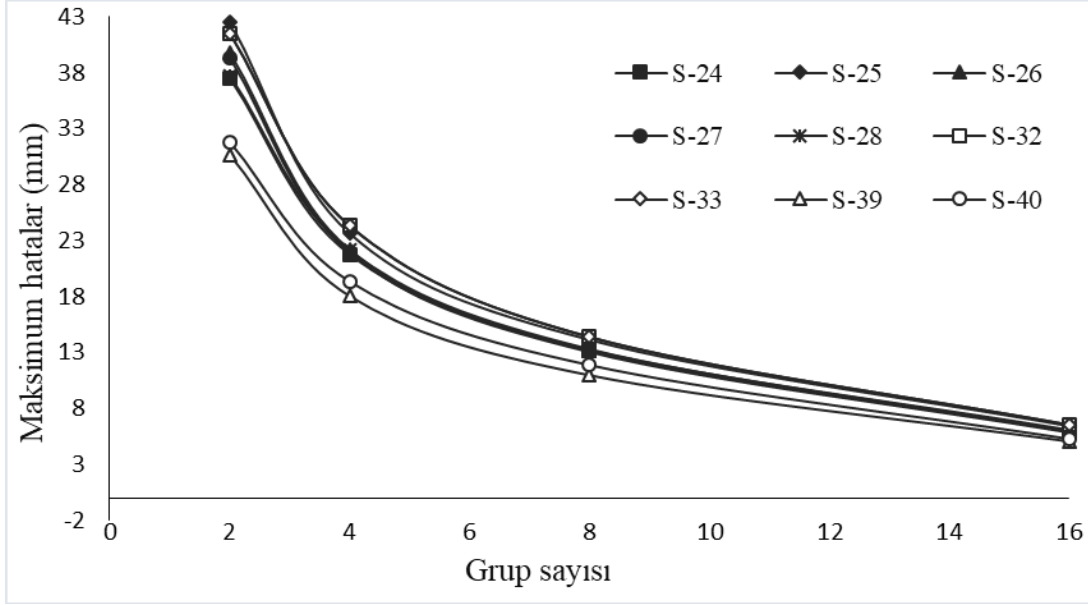
Şekil 5.69: W-6 perdesinin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



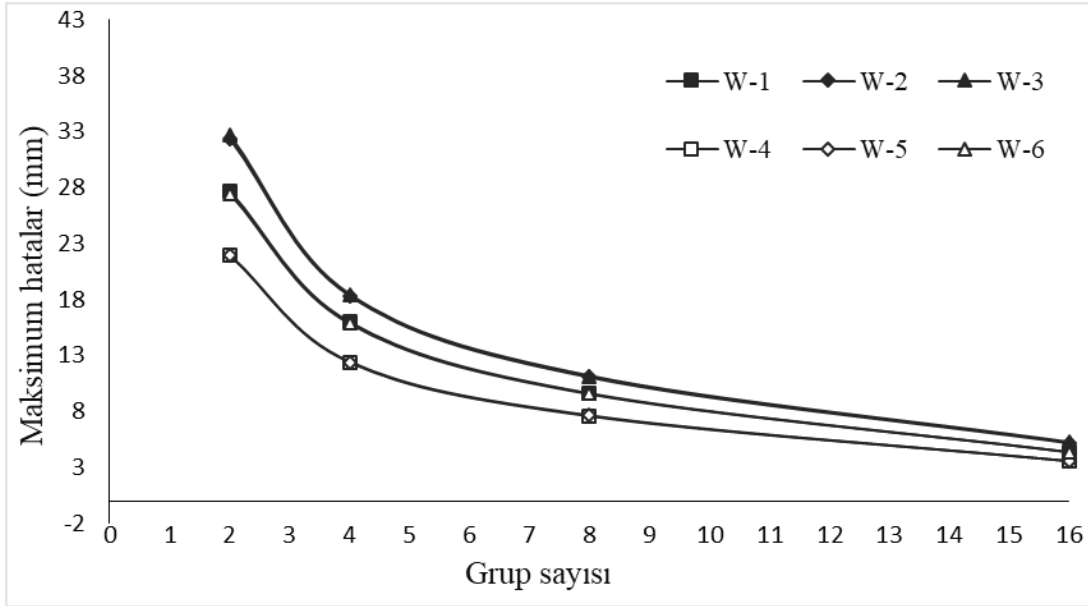
Şekil 5.70: Binanın kule kısmındaki tüm perdelerin 50 yıl eksenel kısalmaları için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemin uygulanması.



Şekil 5.71: Binanın kule kısmındaki tüm perdelerin düzeltme hatalarının farklı gruplar için karşılaştırılması.



Şekil 5.72: Kule kısmındaki kolonlarda Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi için grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkisi (50 yıl eksenel kısaltmalar).



Şekil 5.73: Kule kısmındaki perdelerde Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi için grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkisi (50 yıl eksenel kısaltmalar).

5.3 Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi

Optimizasyonun ilk adımı uygun bir hata fonksiyonu bulmaktır. Eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi ile ilgili çalışmalarda, her gruptaki en büyük hatanın en aza indirilmesi, problemi daha karmaşık hale getiren optimizasyon problemine bir kısıtlama olarak eklenmiştir [24].

Özellikle makine öğrenimi literatüründe, daha büyük farkları cezalandırmak için hatanın karesi (L2-norm) tercih edilmektedir [49]. Bu nedenle, bu çalışmada, ilave kısıtlama gerekliliğini ortadan kaldırarak hata fonksiyonundaki daha büyük değerlerin etkilerini indirmek için Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi önerilmiştir. i Gruptaki ortalama düzeltme miktarı yani δ_i^c denklem (5.3) ile hesaplanmıştır.

$$\delta_i^c = \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} \delta_k^p \quad (5.3)$$

Burada N_i , i grubundaki eleman sayısı ve δ_k^p , i grubundaki k elemanın öngörülen aksel kısılmasıdır. Hata fonksiyonu denklem (5.4) ile hesaplanmıştır.

$$\min. \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{k=1}^{N_i} |\delta_i^c - \delta_k^p|^2 \quad (5.4)$$

Öngörülen aksel kısılmalar ve düzeltme miktarlarının hataları denklem (5.5) ile hesaplanmıştır.

$$\min. |\delta_i^c - \delta_k^p| \forall i, k \quad (5.5)$$

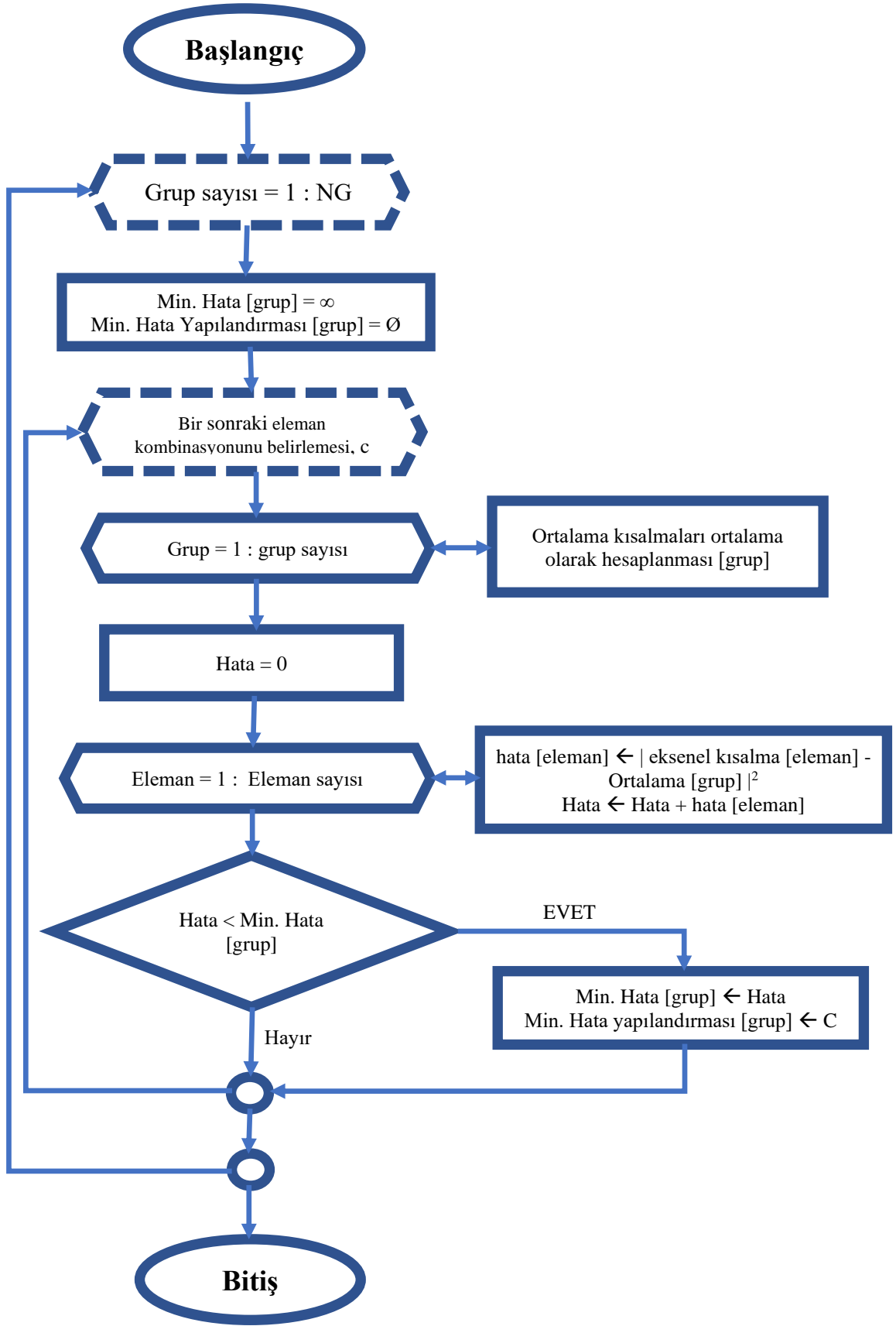
Alternatif olarak, bazı özel durumlarda, mutlak değer yaklaşımı (L1-norm) güçlü çözümler sağladığı için kullanılabilir. Yakın tarihli bir çalışmada, Moravec [48] her iki norm için kapsamlı bir karşılaştırma sunulmuştur. L2-norm kararlı çözümler sunmaktadır, ancak L1-norm asla kararlılığı garanti edemez. Buna ek olarak, L2-norm her zaman benzersiz bir çözüm sunarken L1-norm birden fazla çözüm verebilir. Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi L1-norm ve L2-norm'ları için ayrı ayrı kullanılarak aksel kısılmaların düzeltilmesindeki başarıları araştırılmıştır. Bu yöntem ile elde edilen sonuçlar ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak ayrıca incelenmiştir.

Aslında, doğrudan düzeltme ve sabit-ortalama düzeltme yöntemleri burada önerilen Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin özel durumlarıdır. İdeal bir durumda, eğer gruplar sayısı (N_g), katların sayısına (N) eşit olursa hata fonksiyonu sıfır olur ve her gruptaki kat sayısı (N_i) 1'e eşit olur ki bu durum Doğrudan Düzeltme Yöntemini temsil eder. Benzer şekilde, grup sayısı (N_g), 1'e eşit olursa bu durum da sabit-ortalama düzeltme yöntemini ifade etmektedir.

5.3.1 Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi'nin uygulanması

Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini L1-norm ve L2-norm kullanarak ayrı ayrı uygulamak amacıyla Matlab 2019'da [50] 168 satırlık bir kod geliştirilmiştir. L2-norm için algoritmanın akış şeması Şekil 5.74'te gösterilmiştir.

Önerilen algoritma, 1'den fazla grup sayısına (NG) farklı grup sayıları için tekrarlayarak karşılık gelen eleman kombinasyonları ile minimum hataları raporlamaktadır. Sonuçlar incelenerek maksimum grup sayısına karar verilebilmektedir. Bu tip analizler zaman alıcı olduğundan, grup sayısını sınırlamak önemlidir. Her grup döngüsü minimum hatayı sonsuz olarak ayarlayarak başlar ve ilgili gruplaşma boş bir kümedir. Akabinde, her elemanın düzeltilmesi için, ortalama düzeltme her bir grupta hesaplanmıştır. Bununla birlikte, ortalama düzeltmeler ve öngörülen aksel kısılmalar arasındaki farklar, L1 norm veya L2 normu kullanılarak elemanların hataları olarak hesaplanmıştır. Bu hataların toplamı, bu konfigürasyonun hatasıdır. Bu hata, grubun yukarıda belirtilen minimum hatasından az ise, hata yeni minimum hata olarak ayarlanır ve ilgili konfigürasyon kaydedilir. Bu algoritma tüm gruplar ve konfigürasyon için bir bütün olarak tekrarlanmıştır.

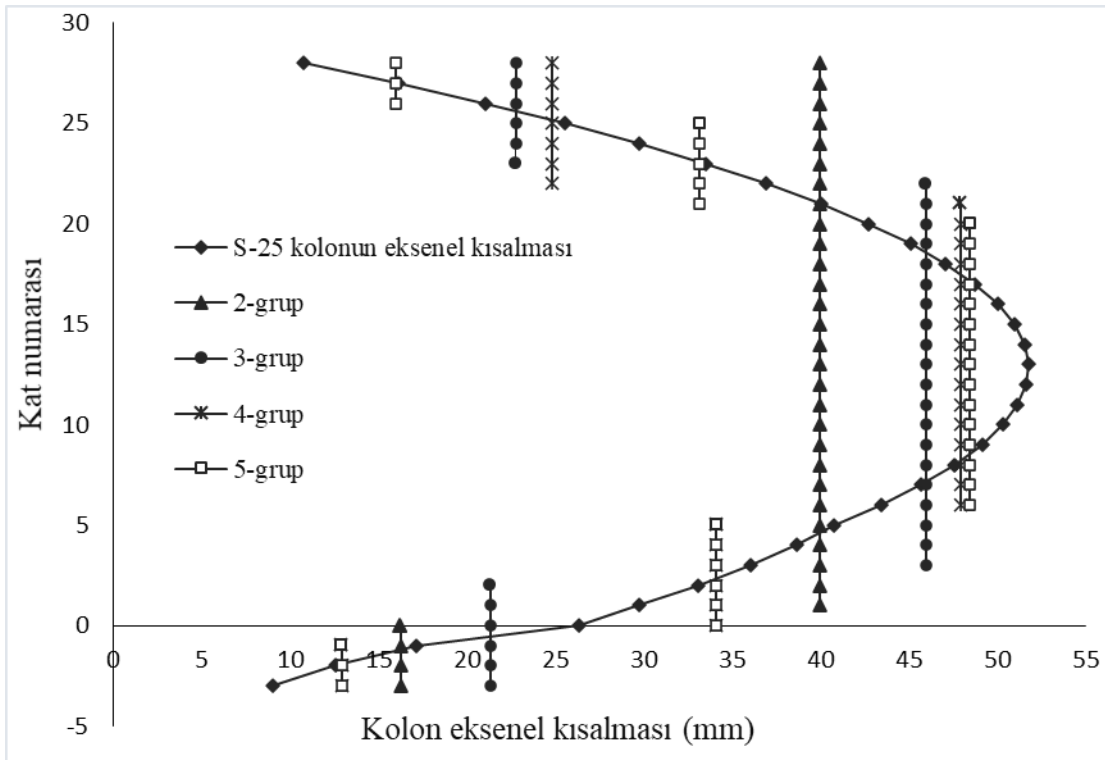


Şekil 5.74: Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin akış şeması.

5.3.2 Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ile eksenel kısalmaların düzeltilmesi

Sünme ve büzülme kısalmaları nedeniyle betonarme yüksek binalarda kolon ve perdelerin farklı uzunluk değişimleri oluşur ve yapısal ve/veya yapısal olmayan elemanlarda beklenmedik hasarlara neden olabilir. Bu nedenle, bu tür hasarları önlemek veya azaltmak için her kat seviyesindeki düşey elemanlar için düzeltme miktarları hesaplanmıştır.

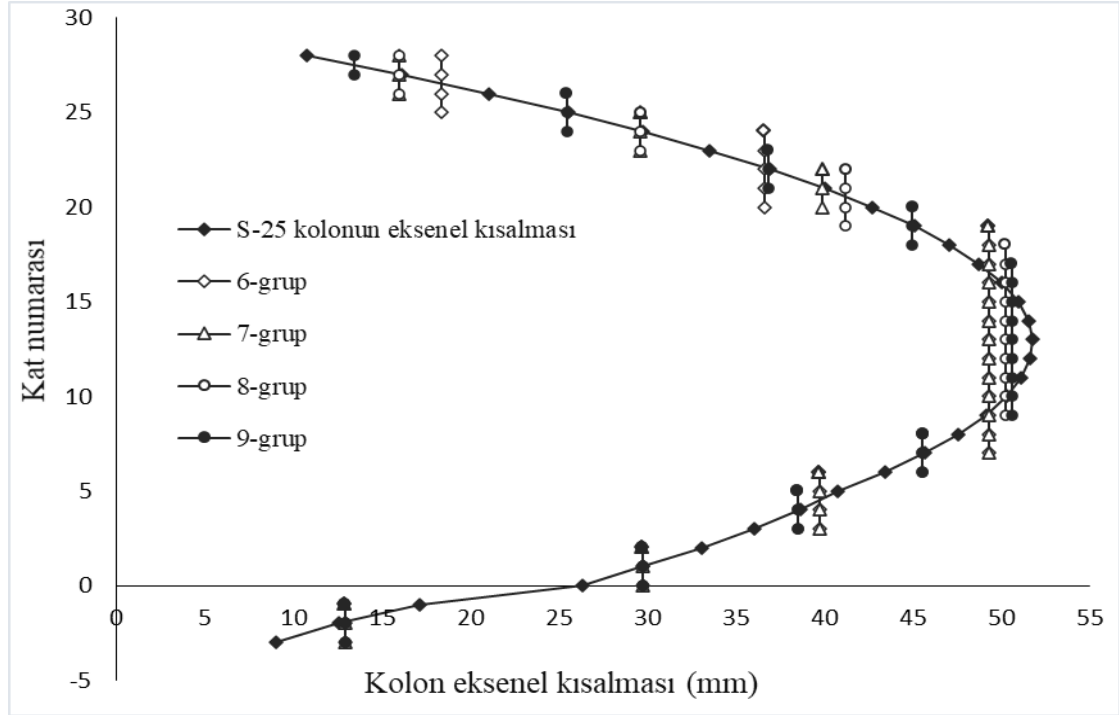
Tez kapsamında sunulan yöntemlerin betonarme yüksek binaya uygulanması ile elde edilecek sonuçları karşılaştırmak için örnek olarak S-25 kolonunun ve W-1 perdenin eksenel kısalmaları detaylı olarak incelenmiştir. Burada, S-25 kolonlarda, W-1 ise perdeler arasında en büyük eksenel kısalma yaptığı için seçilmiştir. Çalışmada, Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi L1-norm ve L2-norm kullanılarak uygulanmıştır. Ayrıca, buradan elde edilen sonuçlar Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi sonuçlarıyla da karşılaştırılmıştır.



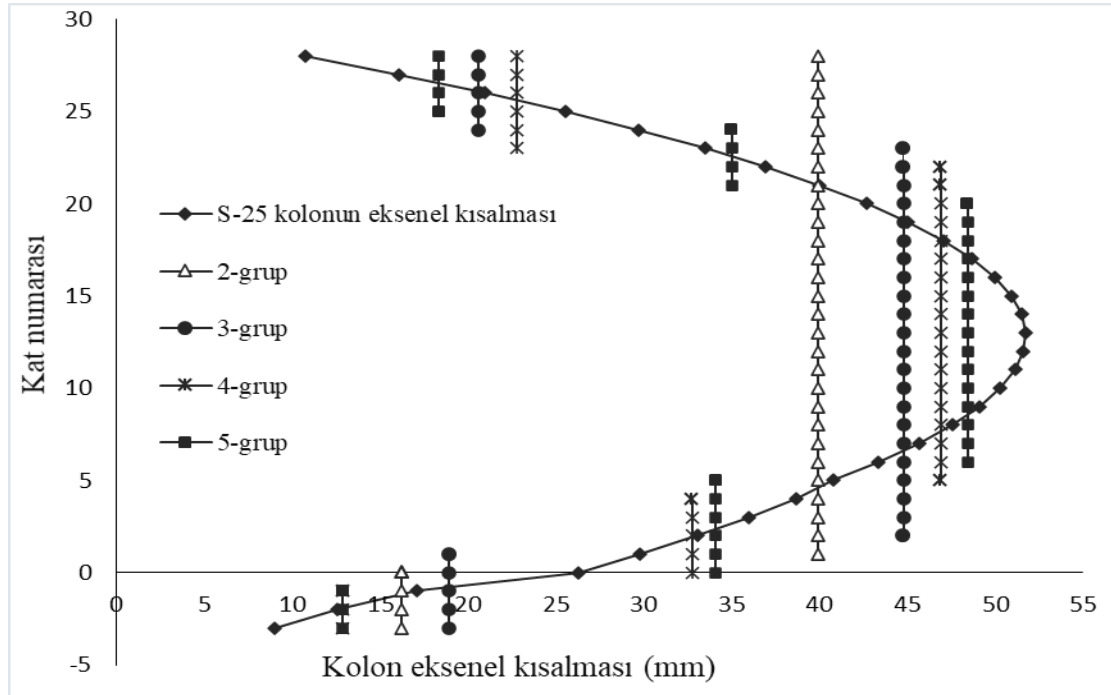
Şekil 5.75: binanın tamamlandığı andaki S-25 eksenel kısalmanın düzeltilmesi 2 ila 5 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.

S-25 kolonun binanın tamamlandığı andaki eksenel kısalmaya L1-norm kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi uygulanmış ve analiz sonuçları Şekil

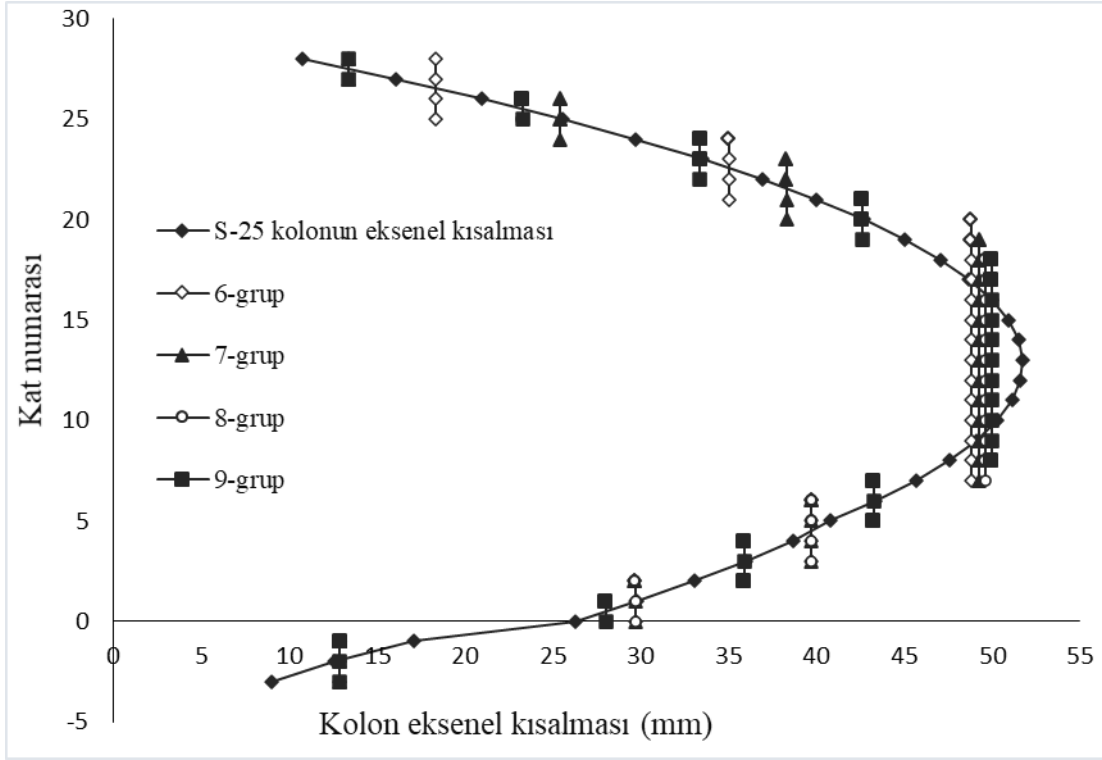
5.75 ve Şekil 5.76’de gösterilmiştir. Ayrıca, S-25 kolonun binanın tamamlandığı andaki aksenal kısalmaya L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi uygulanmış ve analiz sonuçları Şekil 5.77 ve Şekil 5.78’de gösterilmiştir.



Şekil 5.76: binanın tamamlandığı andaki S-25 aksenal kısalmanın düzeltmesi 6 ila 9 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.

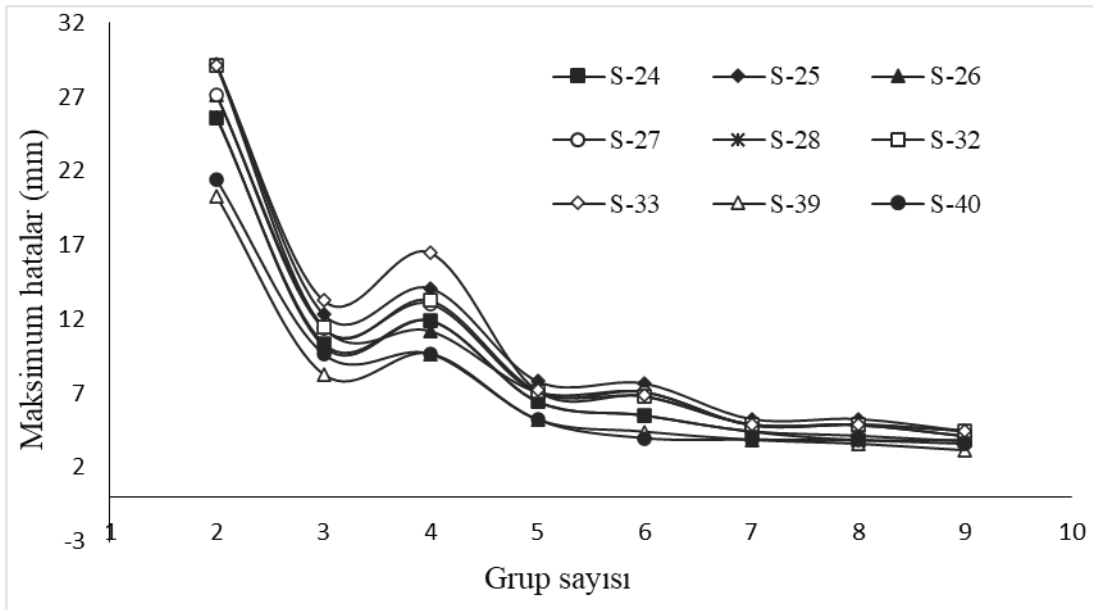


Şekil 5.77: binanın tamamlandığı andaki aksenal kısalmanın düzeltmesi 2 ila 5 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.

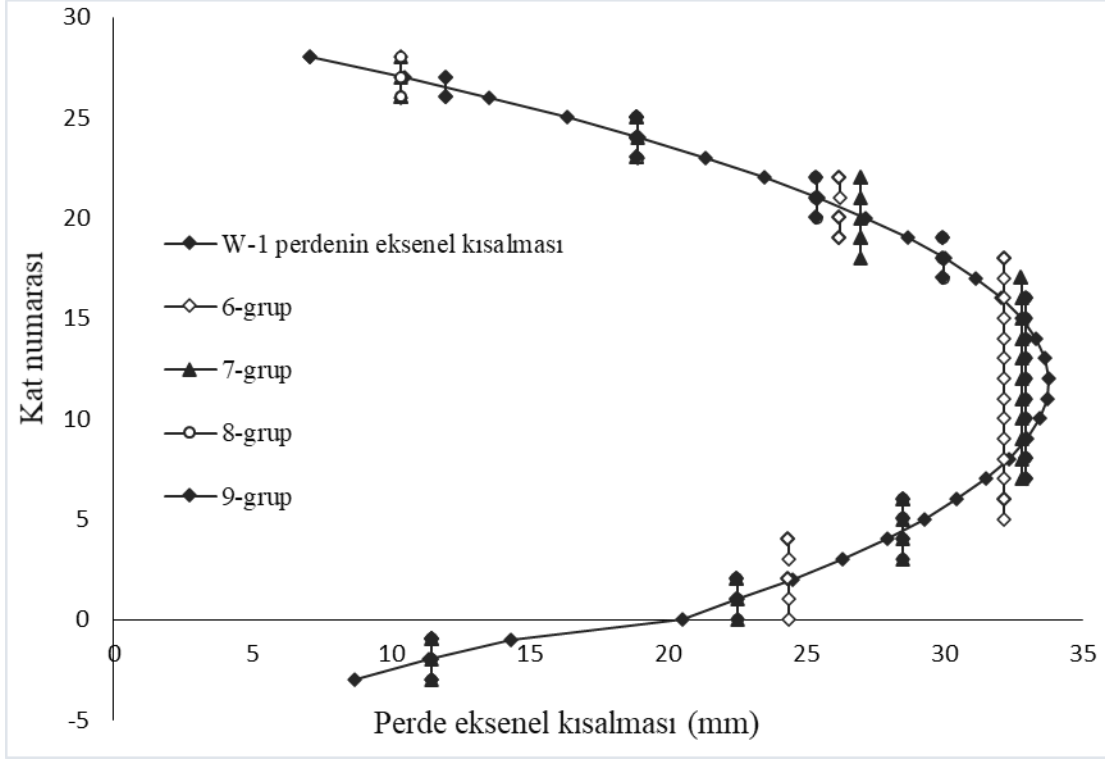


Şekil 5.78: binanın tamamlandığı andaki eksenel kısılmanın düzeltmesi 6 ila 9 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.

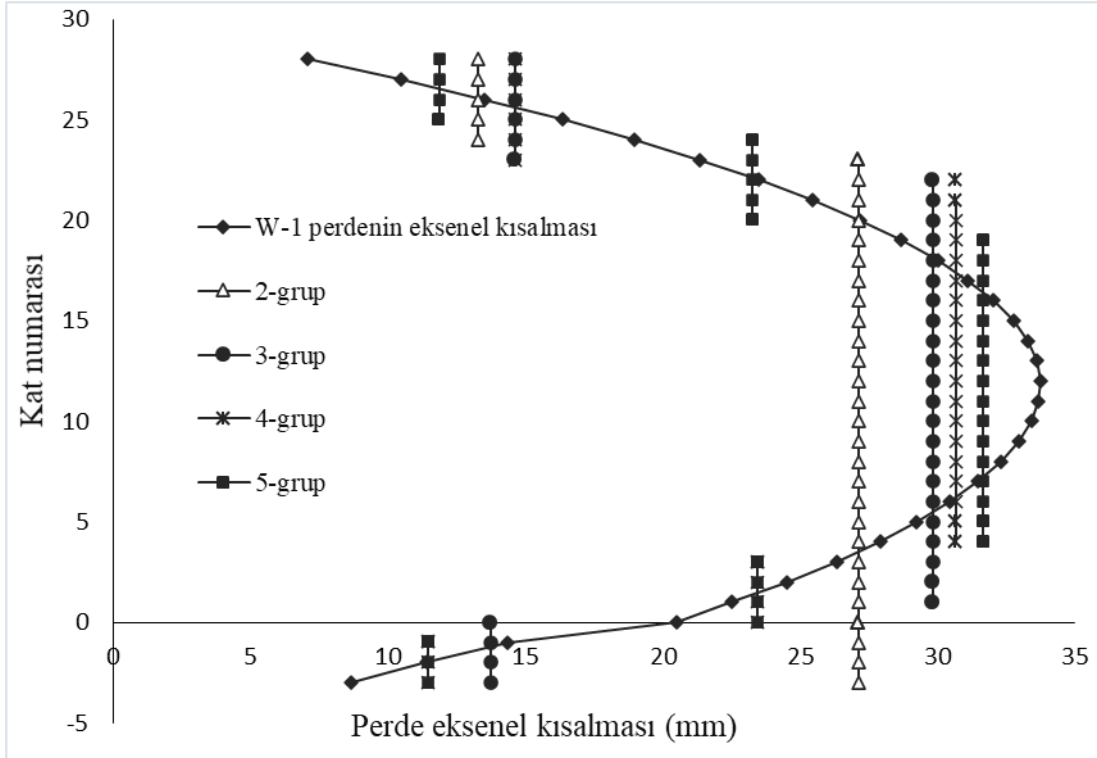
Binanın kule kısmındaki kolonlar için L1-norm ve L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve maksimum hatalar arasındaki ilişkiler sırayla Şekil 5.79 ve Şekil 5.80'de gösterilmiştir.



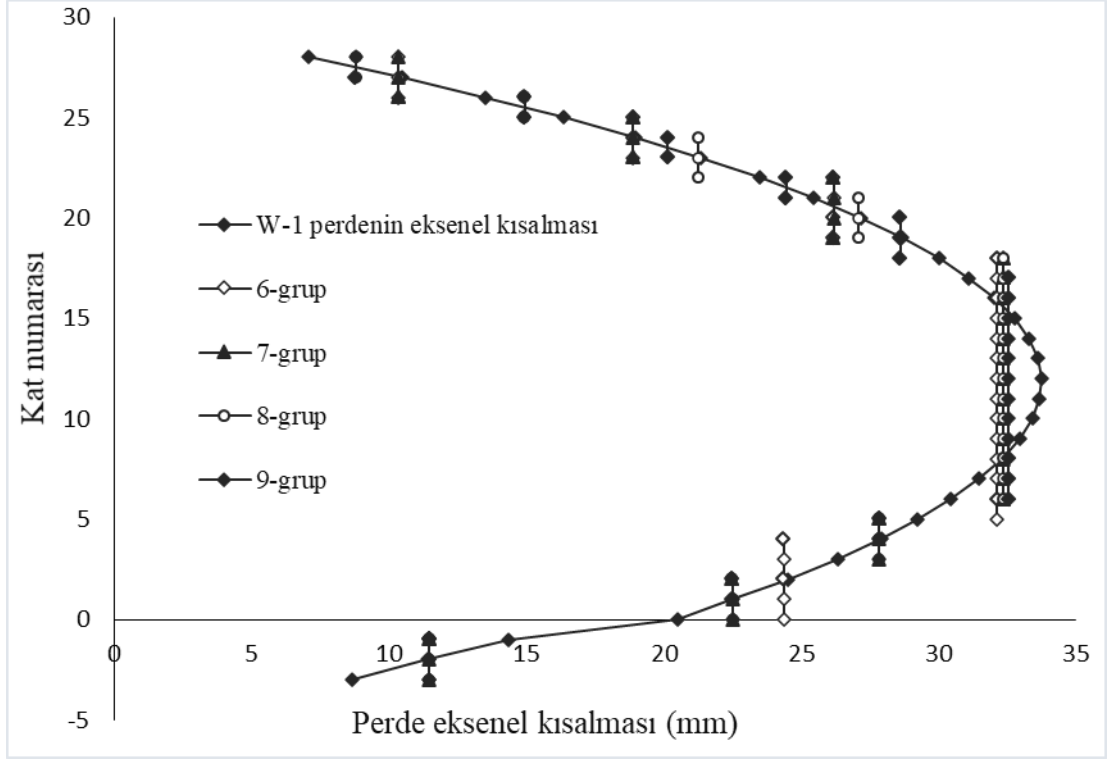
Şekil 5.79: Binanın kule kısmındaki kolonlar için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri (inşaat tamamlandığı andaki eksenel kısılmalar).



Şekil 5.82: binanın tamamlandığı andaki W-1 eksenel kısılmanın düzeltilmesi 6 ila 9 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.

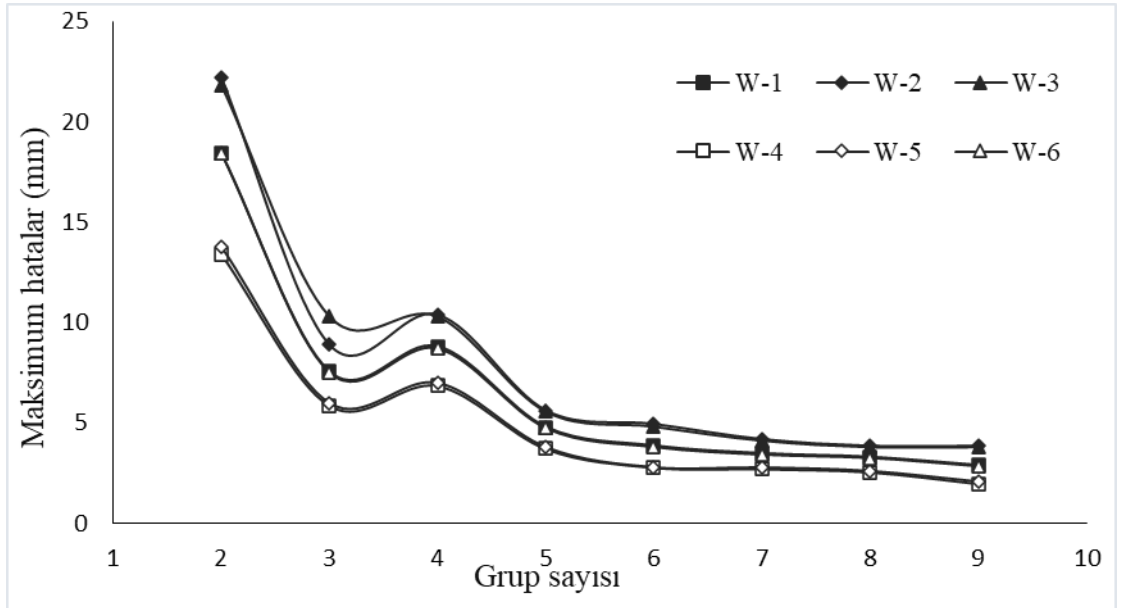


Şekil 5.83: binanın tamamlandığı andaki W-1 eksenel kısılmanın düzeltilmesi 2 ila 5 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.

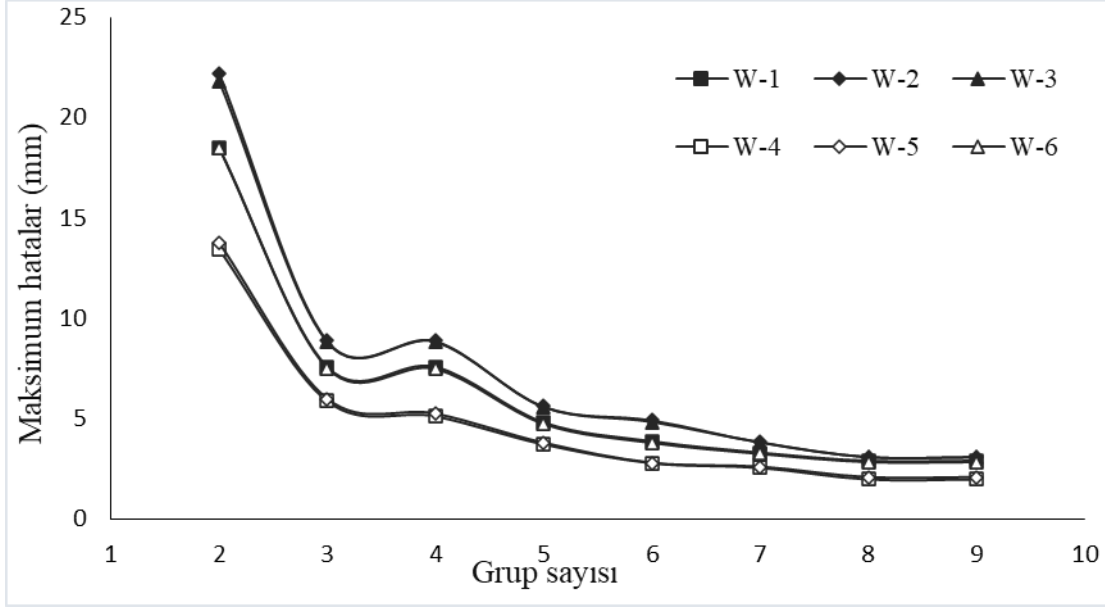


Şekil 5.84: binanın tamamlandığı andaki W-1 eksenel kısılmanın düzeltilmesi 6 ila 9 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini dikkate alan düzeltme eğrileri.

Binanın kule kısmındaki perdeler için L1-norm ve L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve maksimum hatalar arasındaki ilişkiler sırayla Şekil 5.85 ve Şekil 5.86’de gösterilmiştir.



Şekil 5.85: Binanın kule kısmındaki perdeler için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri (inşaat tamamlandığı andaki eksenel kısılmalar).



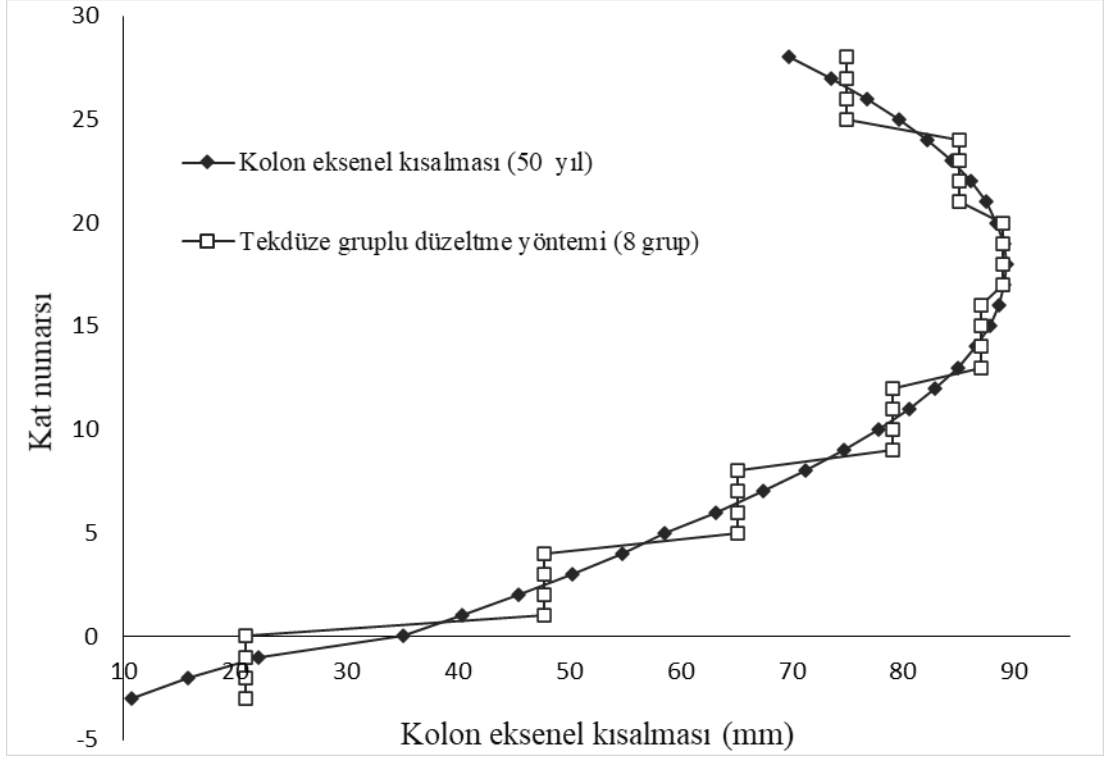
Şekil 5.86: Binanın kule kısmındaki perdeler için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri (inşaat tamamlandığı andaki eksenel kısaltmalar).

Binanın kule kısmındaki tüm kolon ve perdeler için L1-norm ve L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi, Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemiyle karşılaştırmak amacıyla düşey elemanların 50 boyunca ortaya çıkan zamana bağlı eksenel kısaltmaları üzerinde uygulanmıştır. Sunulan yöntemlerin düzeltme analiz sonuçları, grup sayısı ve düzeltme hataları arasındaki ilişkiler örnek olarak, 8 grup kullanılarak Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile incelenmiştir. Tekdüze gruplandırılmış düzeltme yöntemi kullanılarak S-25 kolonunun 50 yıl boyunca meydana gelen eksenel kısaltmaları için analiz sonuçları Şekil 5.87’de gösterilmiştir.

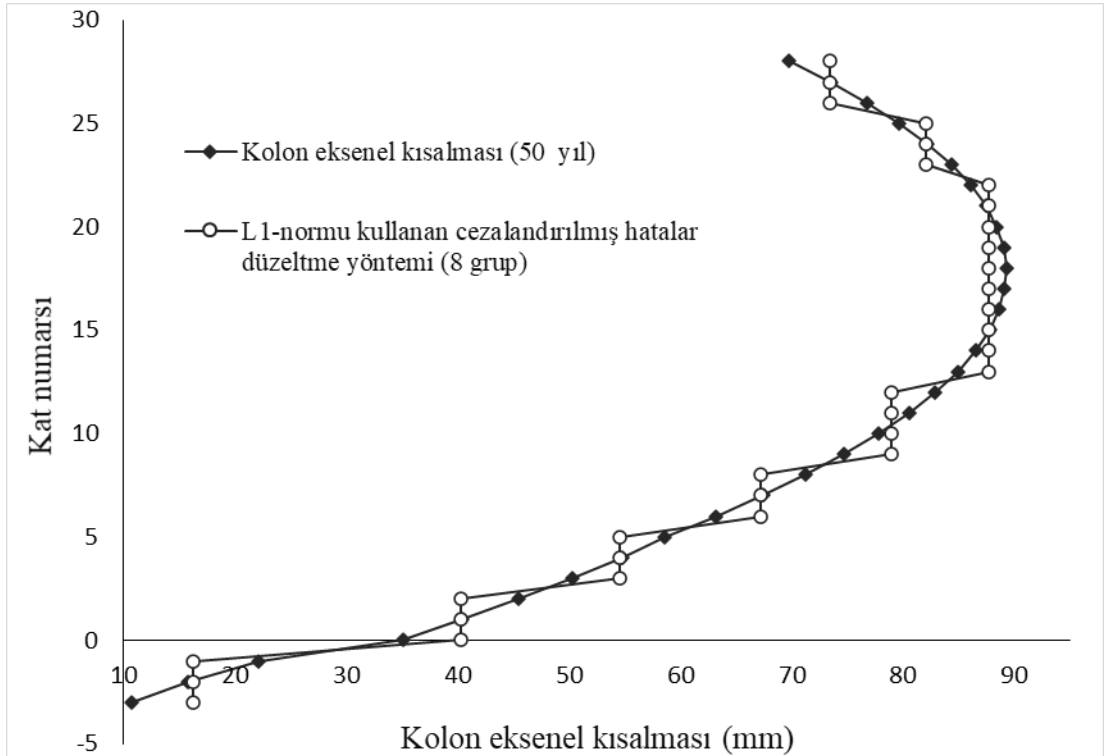
Aynı şekilde, S-25 kolonuna L1-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi uygulanmış ve analiz sonuçları Şekil 5.88’de gösterilmiştir.

Ayrıca, S-25 kolonuna L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi uygulanmış ve analiz sonuçları Şekil 5.89’da gösterilmiştir.

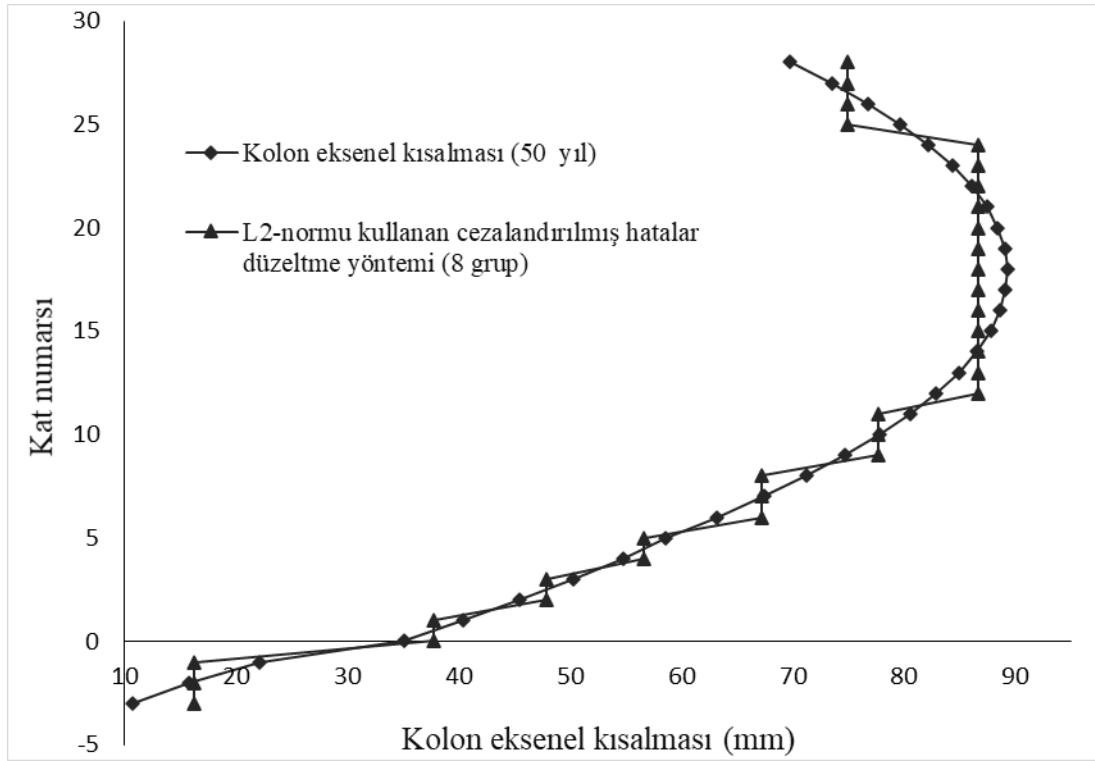
L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi, Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile düzeltme hatalarının karşılaştırılması Şekil 5.90’da gösterilmiştir.



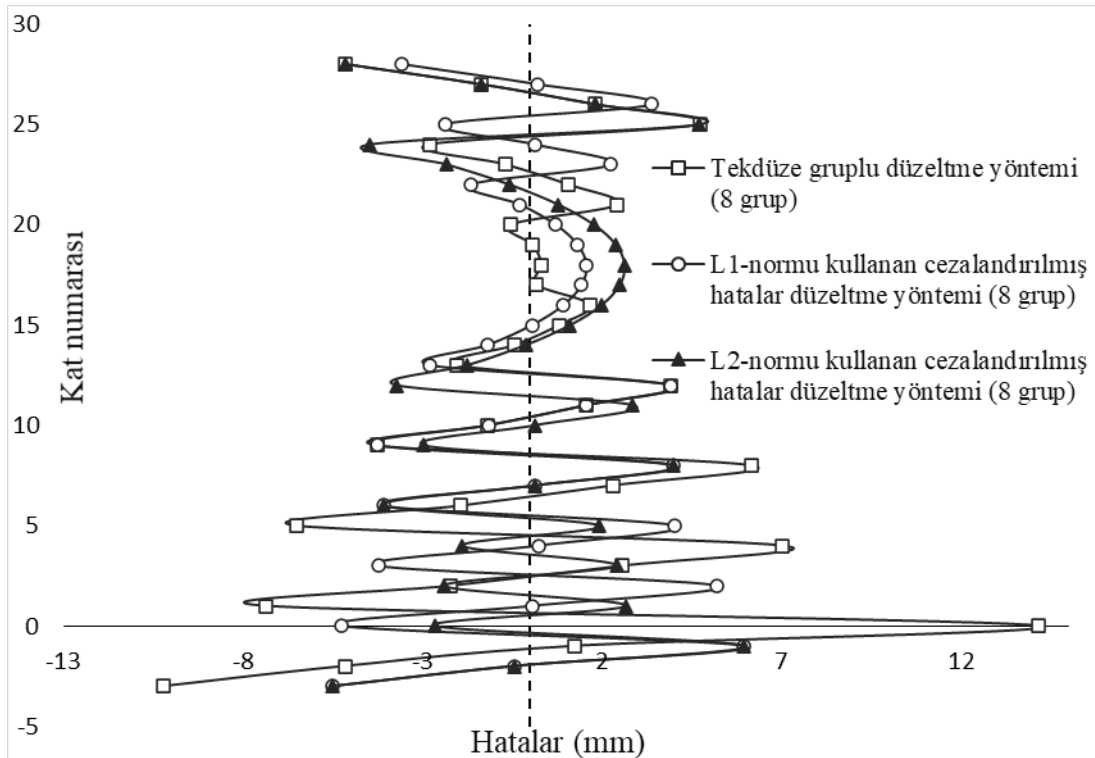
Şekil 5.87: Sekiz grup için Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi dikkate alınarak düzeltme miktarı S-25 kolon eksenel kısalmaları üzerinde gösterimi.



Şekil 5.88: Sekiz grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi dikkate alınarak düzeltme miktarı S-25 kolon eksenel kısalmaları üzerinde gösterimi.



Şekil 5.89: Sekiz grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi dikkate alınarak düzeltme miktarı S-25 kolon eksenel kısaltmaları üzerinde gösterimi.

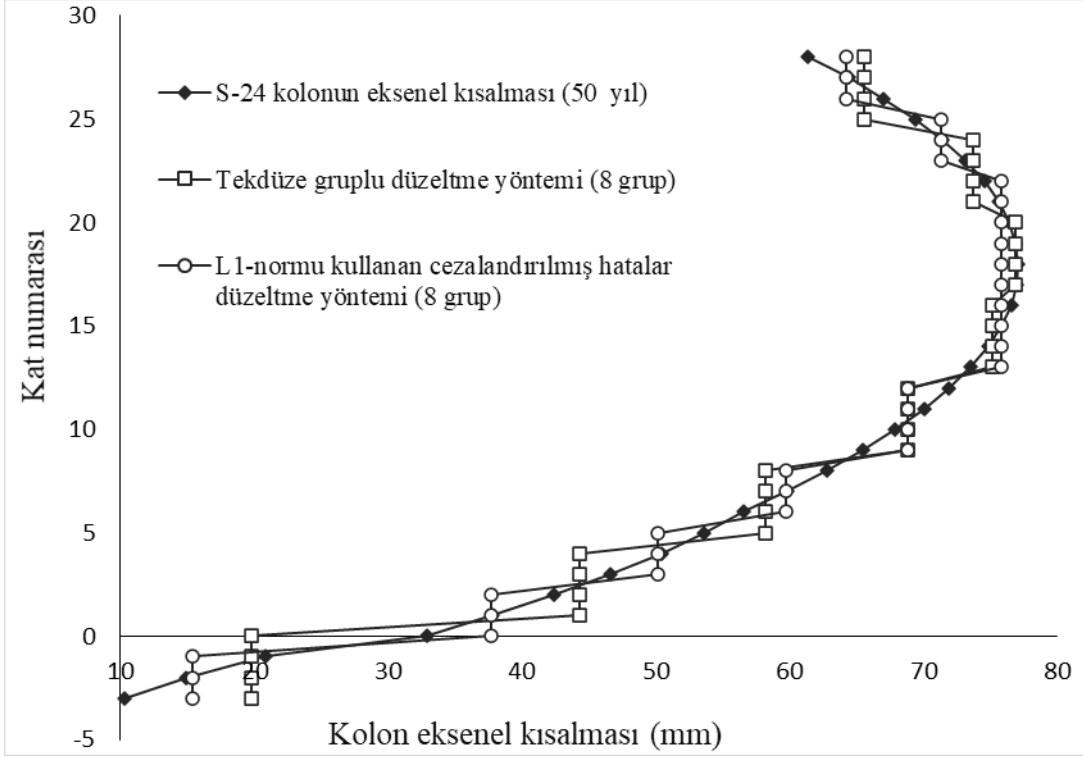


Şekil 5.90: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile düzeltme hatalarının karşılaştırılması (S-25).

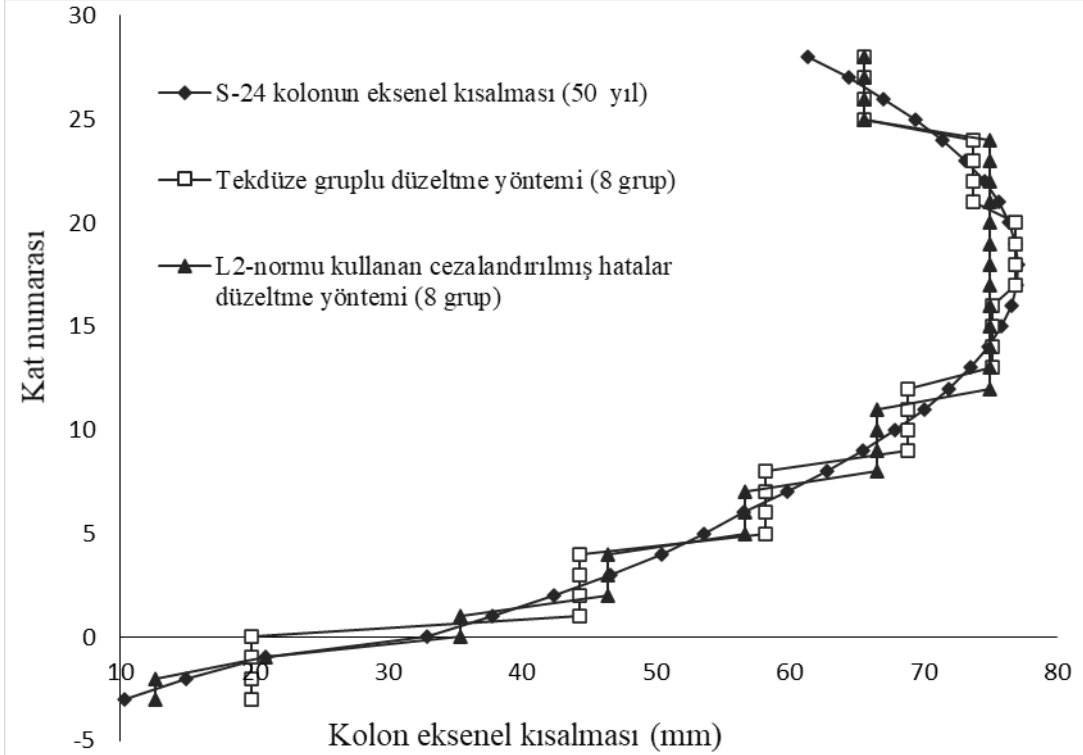
Sekiz grup için S-25 kolonun aksenal kısalmalarına Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ve L1-norm ve L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi kullanılarak düzeltilen hataların karşılaştırılması yapılmıştır. Grup sayısı sabit tutularak her düzeltme yöntemindeki hataları karşılaştırarak değerlendirilmiştir. Yönteme göre, sadece Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi sabit sayıda grup elemanları sahiptir ve her gruptaki eleman sayısı dört seçilmiştir. L1-norm veya L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminde gruptaki eleman sayısı değişmektedir ancak toplam grup sayısı sekiz seçilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, Şekil 5.86'de gösterildiği gibi, Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi diğer iki yöntemlerden önemli ölçüde daha yüksek hatalar vermiştir. Ayrıca, önerilen Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi sonuçları L1-norm ve L2-norm kullanımıyla sekiz grup için karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları, L2-normu kullanıldığında hataların bir miktar daha küçük olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Aynı şekilde, S-24, S-26, S-27, S-28, S-32, S-33, S-39, S-40, W-1, W-2, W-3, W-4, W-5 ve W-6 düşey elemanlarına L1-normu ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi 8 grup için uygulanmış ve analiz sonuçları sırasıyla; Şekil 5.91, Şekil 5.92, Şekil 5.94, Şekil 5.95, Şekil 5.97, Şekil 5.98, Şekil 5.100, Şekil 5.101, Şekil 5.103, Şekil 5.104, Şekil 5.106, Şekil 5.107, Şekil 5.109, Şekil 5.110, Şekil 5.112, Şekil 5.113, Şekil 5.115, Şekil 5.116, Şekil 5.118, Şekil 5.119, Şekil 5.121, Şekil 5.122, Şekil 5.124, Şekil 5.125, Şekil 5.127, Şekil 5.128, Şekil 5.130, Şekil 5.131'de gösterilmiştir.

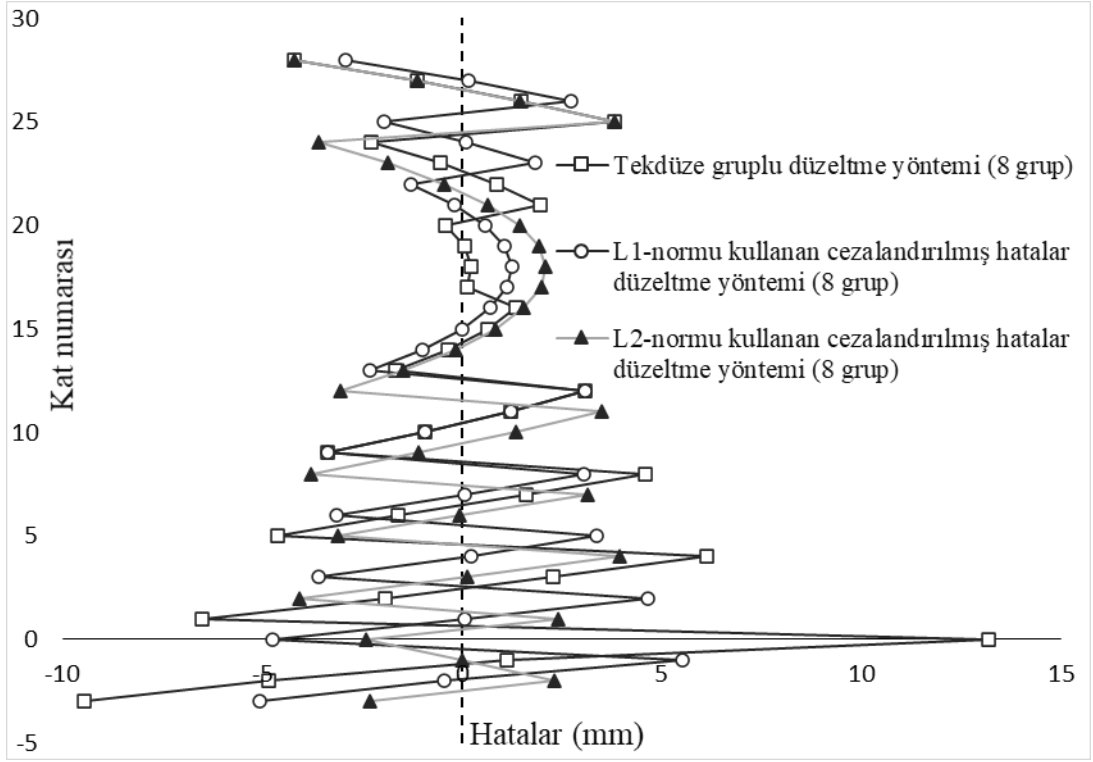
L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi, Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile düzeltme hatalarının karşılaştırılması; Şekil 5.93, Şekil 5.96, Şekil 5.99, Şekil 5.102, Şekil 5.105, Şekil 5.108, Şekil 5.111, Şekil 5.114, Şekil 5.117, Şekil 5.120, Şekil 5.123, Şekil 5.126, Şekil 5.129, Şekil 5.132'de gösterilmiştir.



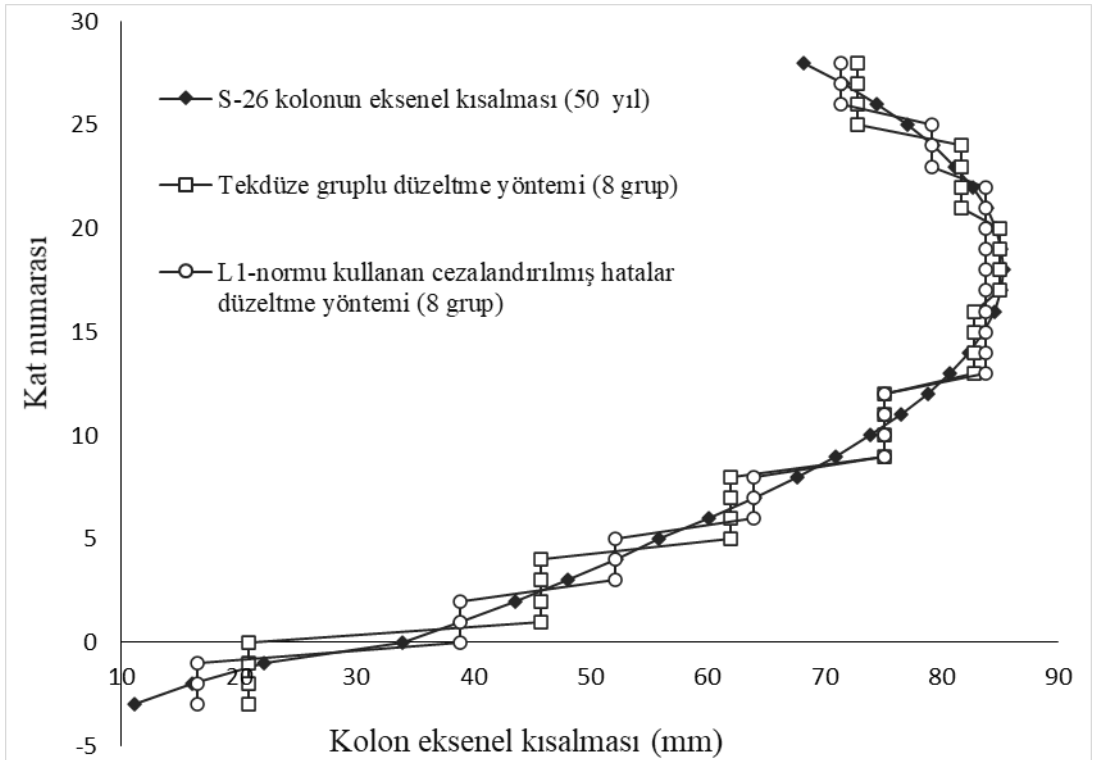
Şekil 5.91: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-24 kolonun aksenal kısaltmalarının düzeltilmesi.



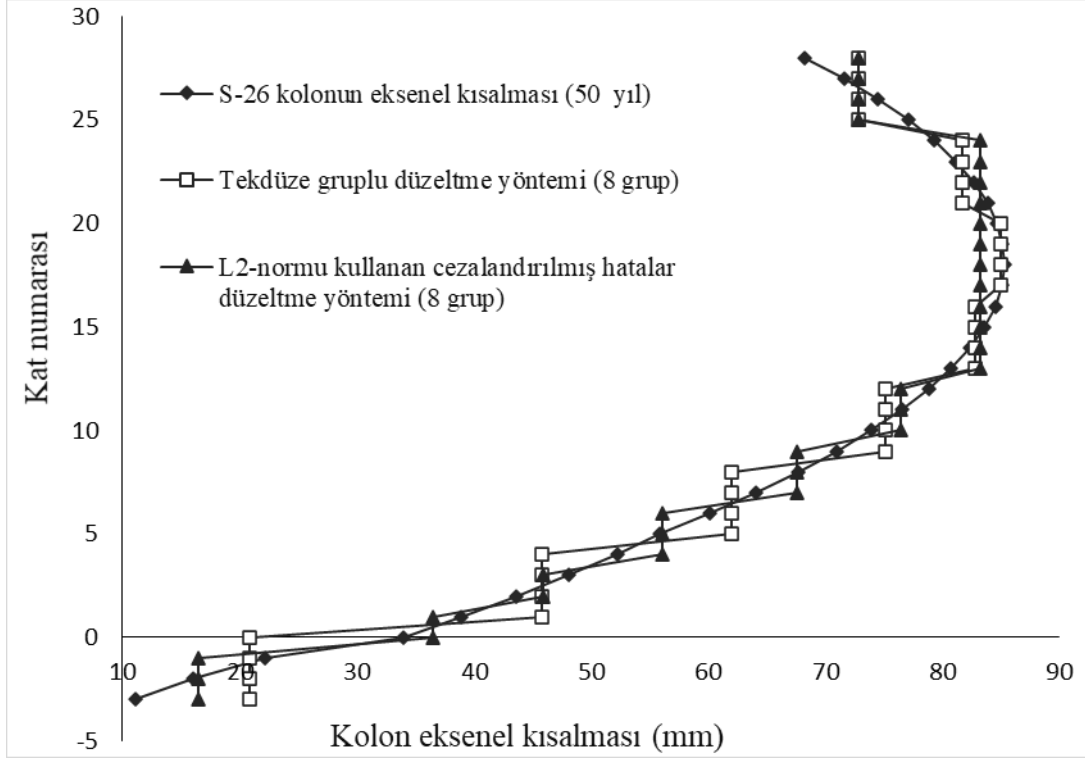
Şekil 5.92: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-24 kolonun aksenal kısaltmalarının düzeltilmesi.



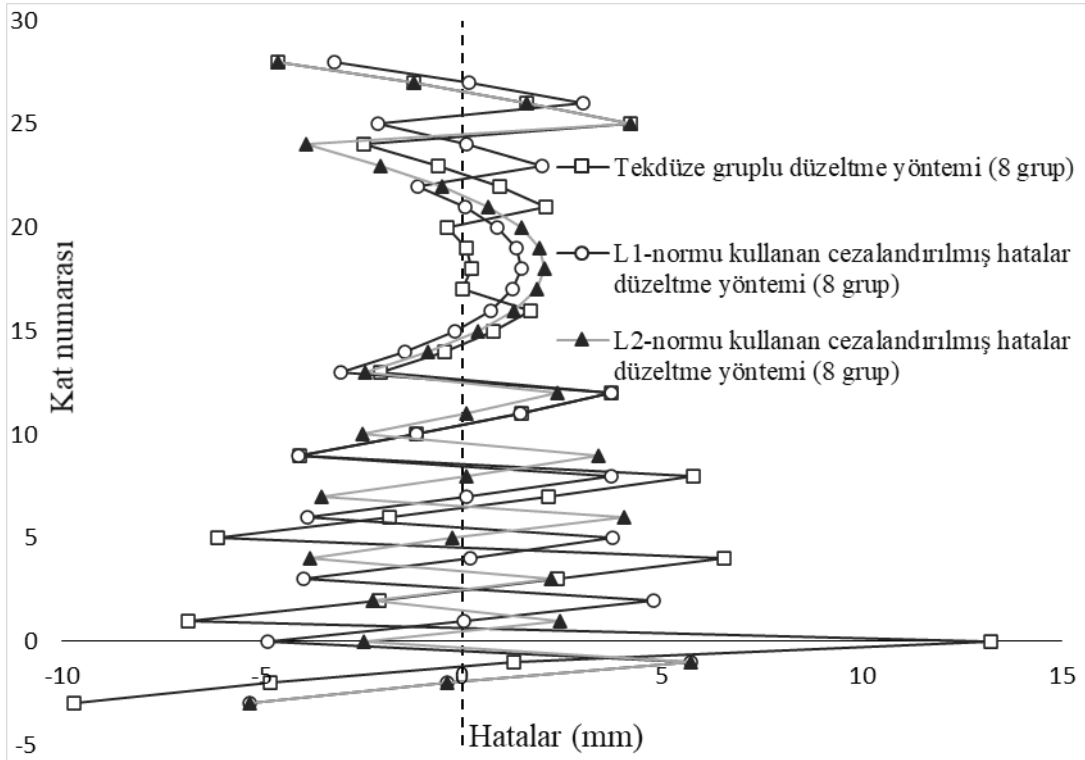
Şekil 5.93: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-24 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.



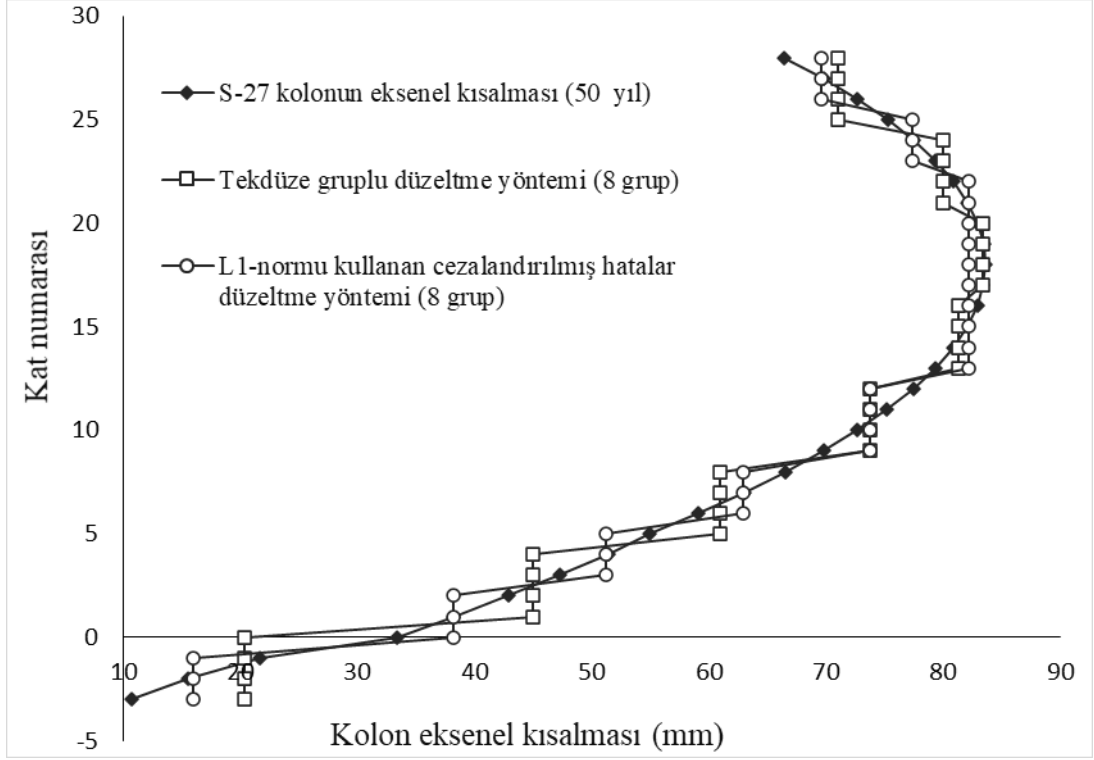
Şekil 5.94: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-26 kolonun aksenal kısalmalarının düzeltilmesi.



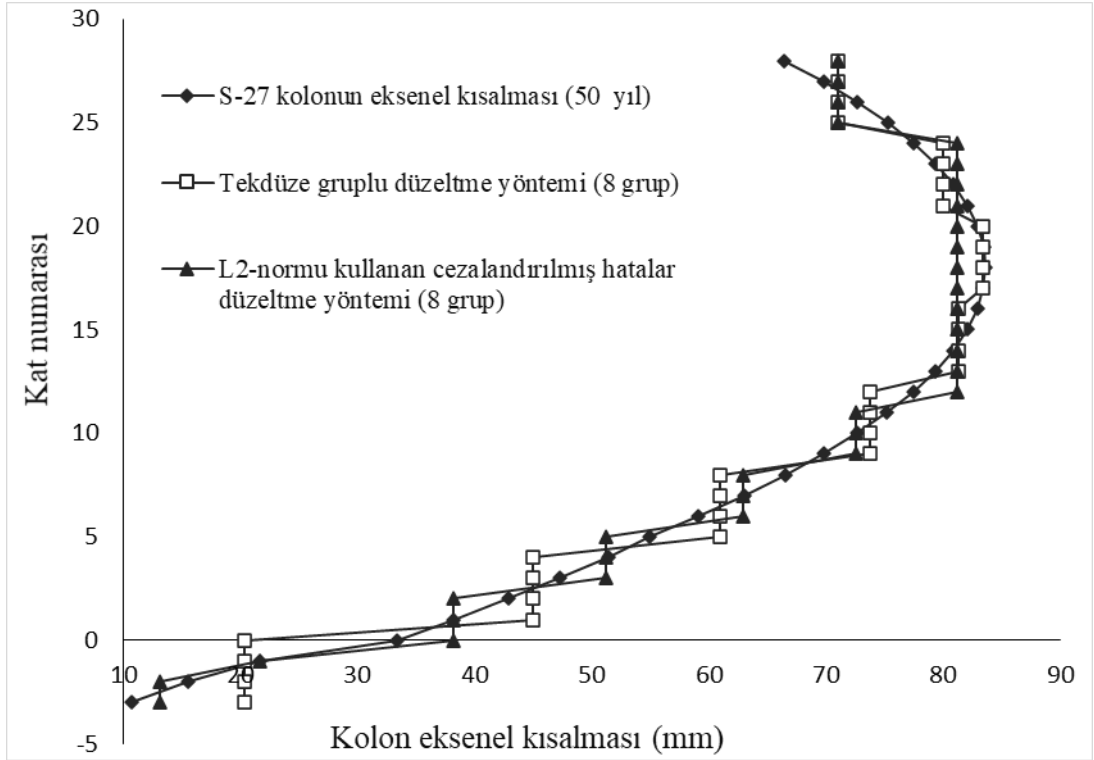
Şekil 5.95: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-26 kolonun eksenel kısılmalarının düzeltilmesi.



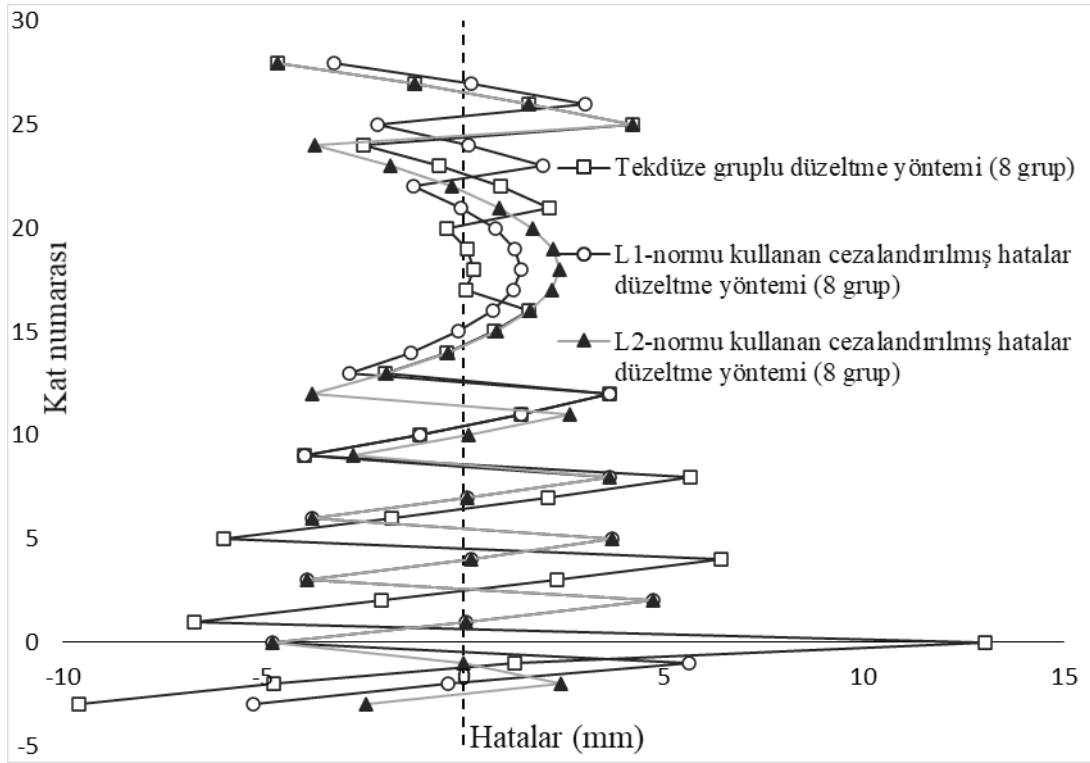
Şekil 5.96: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-26 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.



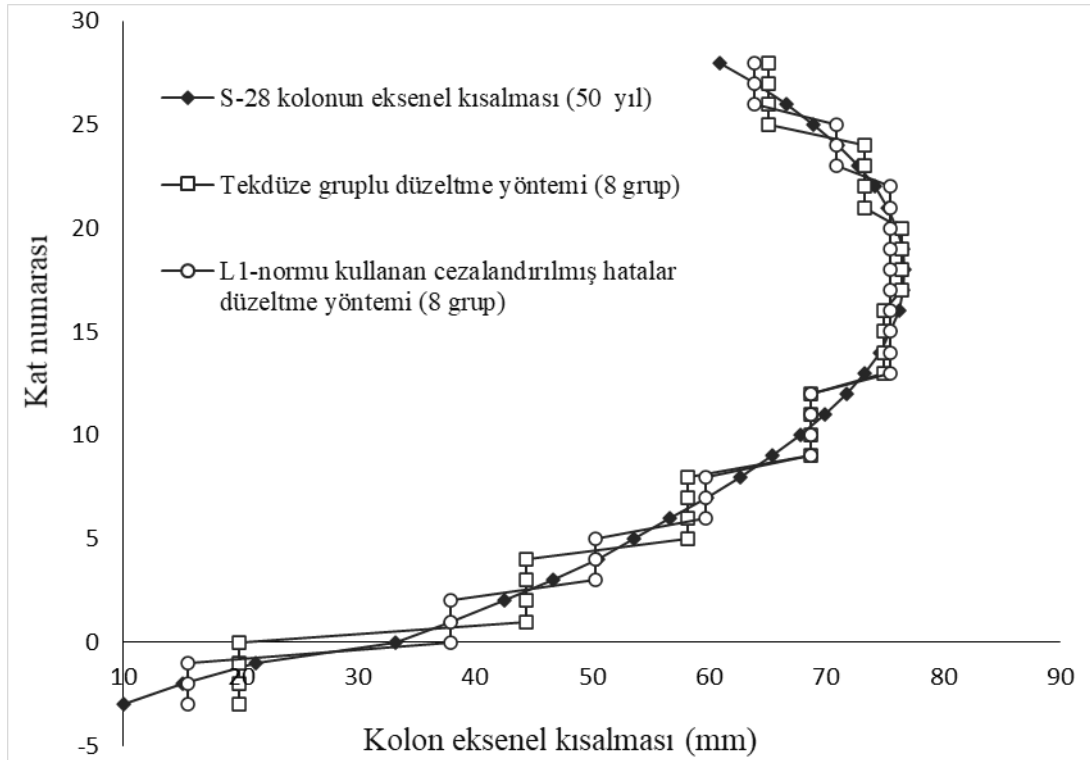
Şekil 5.97: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-27 kolonun eksenel kısalmalarının düzeltilmesi.



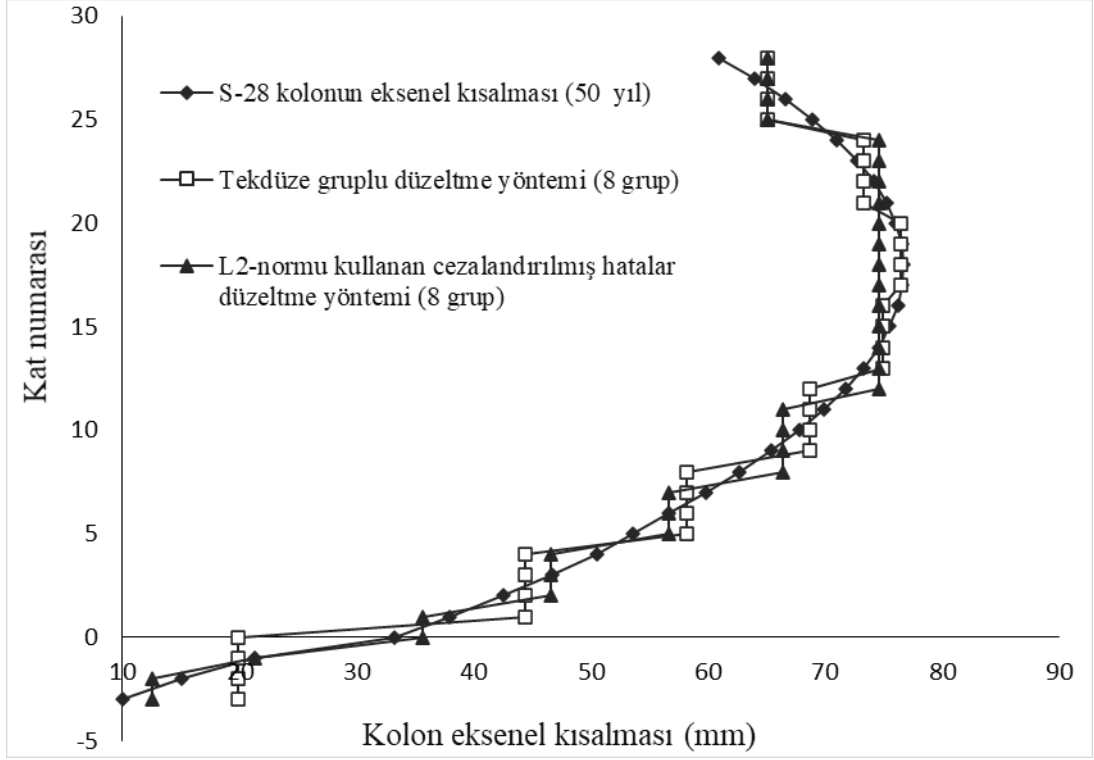
Şekil 5.98: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-27 kolonun eksenel kısalmalarının düzeltilmesi.



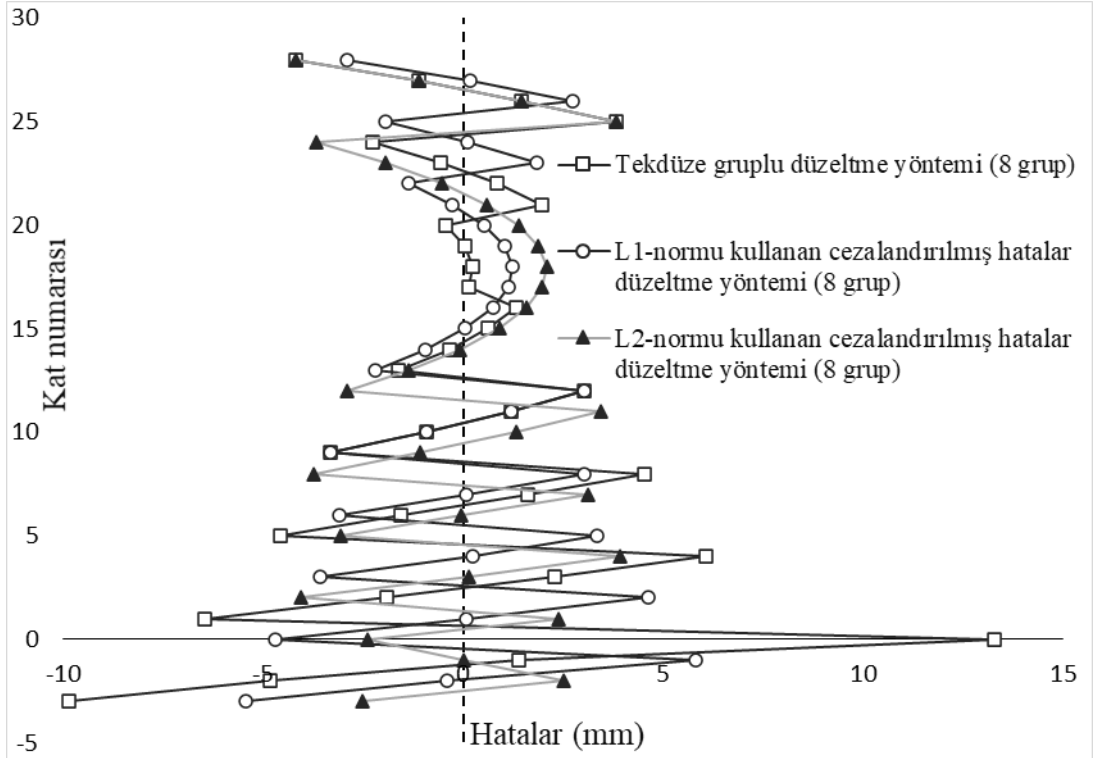
Şekil 5.99: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-27 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.



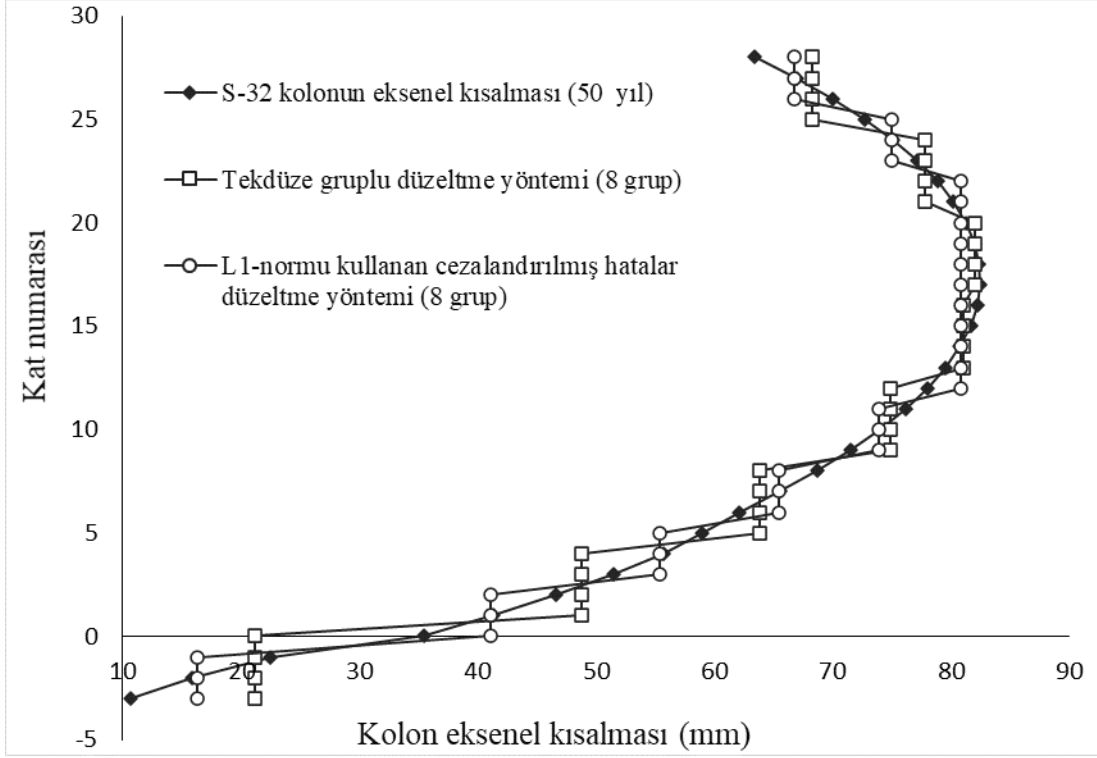
Şekil 5.100: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-28 kolonun aksenal kısaltmalarının düzeltilmesi.



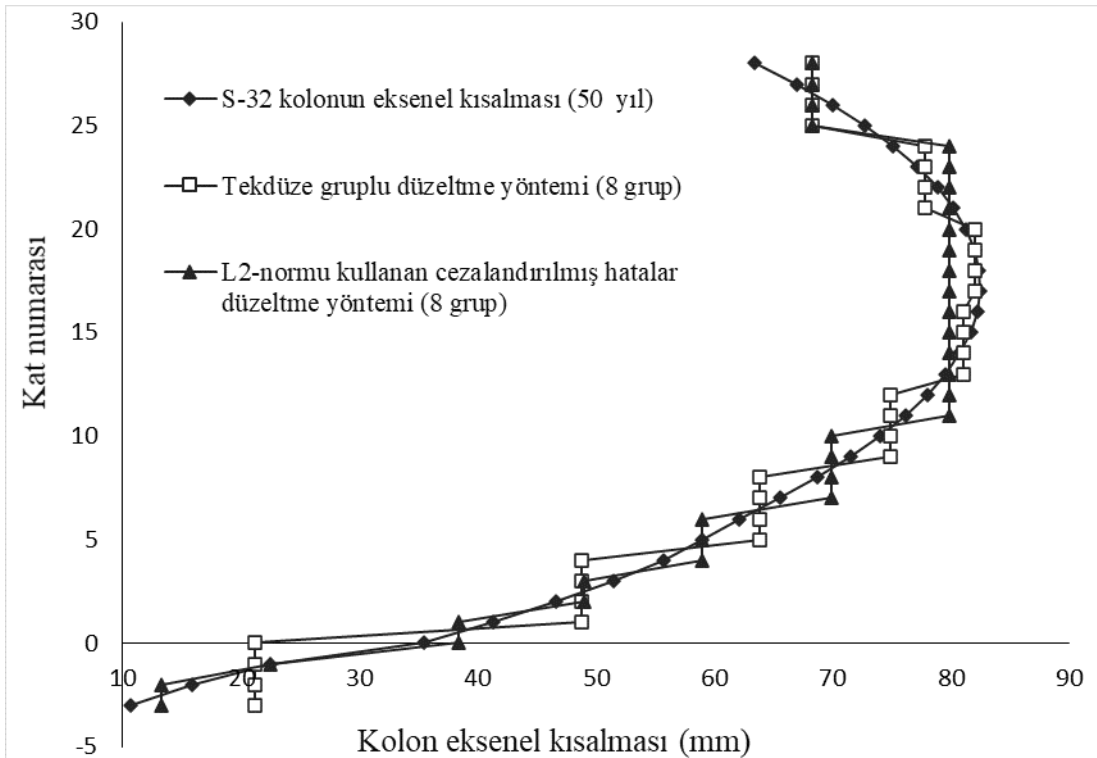
Şekil 5.101: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-28 kolonun eksenel kısılmalarının düzeltilmesi.



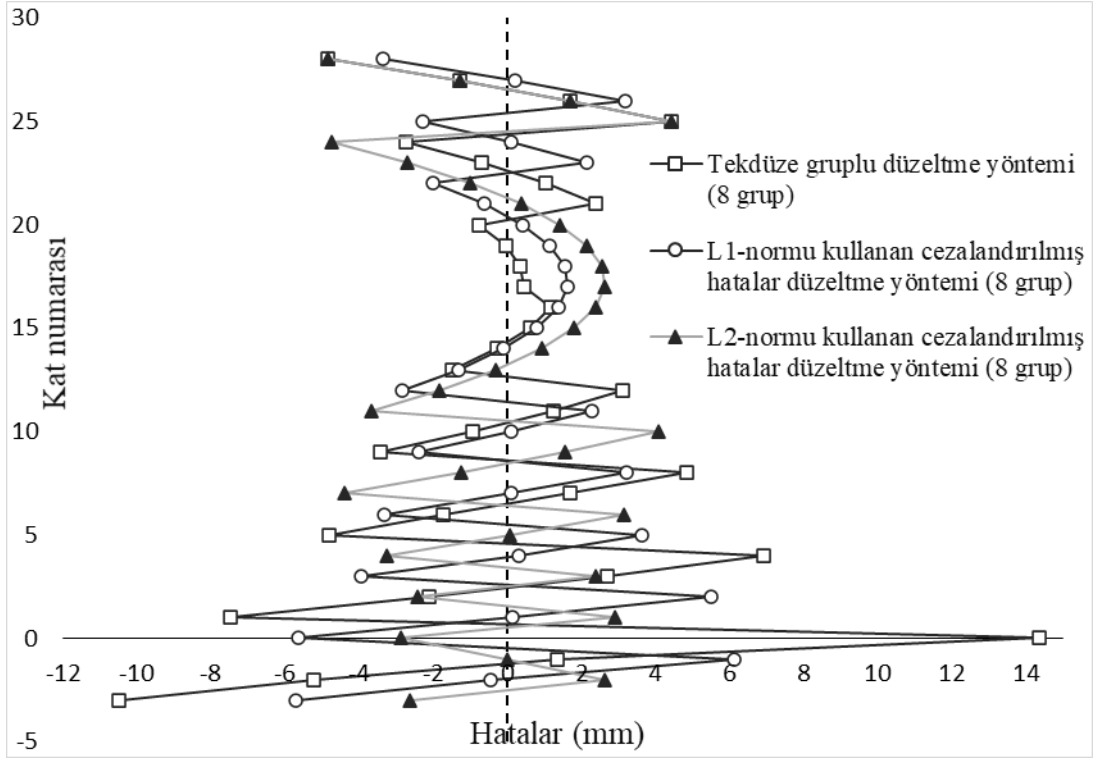
Şekil 5.102: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-28 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.



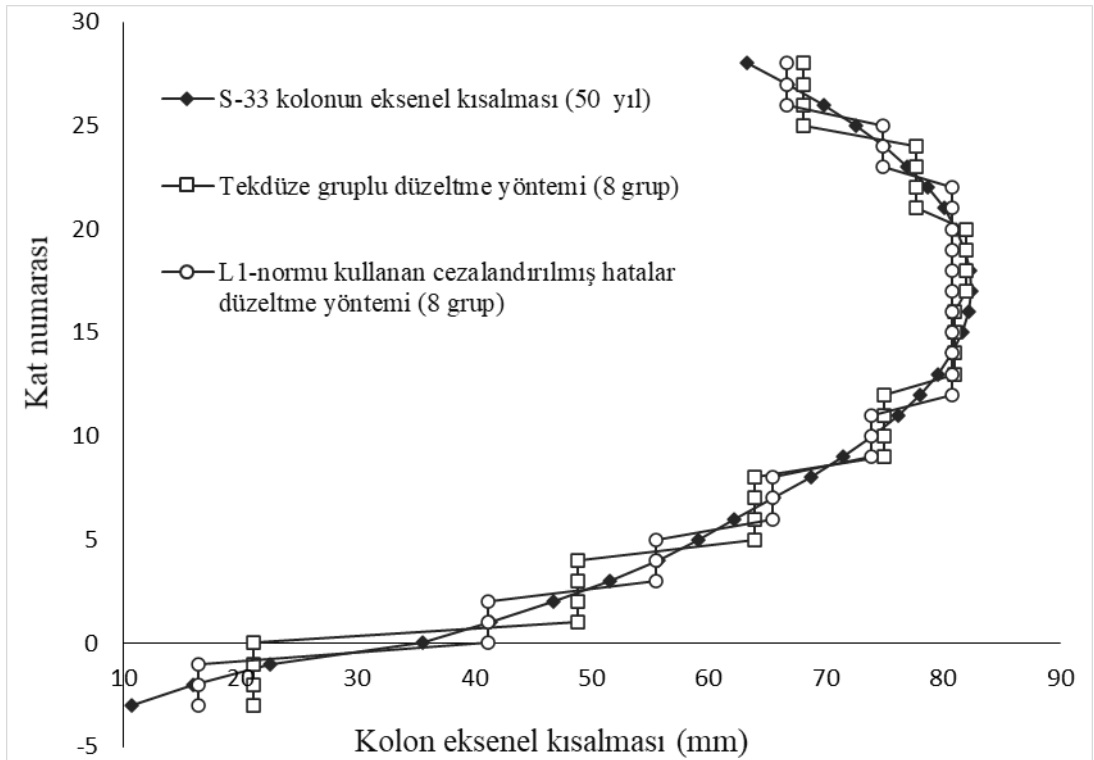
Şekil 5.103: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-32 kolonun aksel kısılmalarının düzeltilmesi.



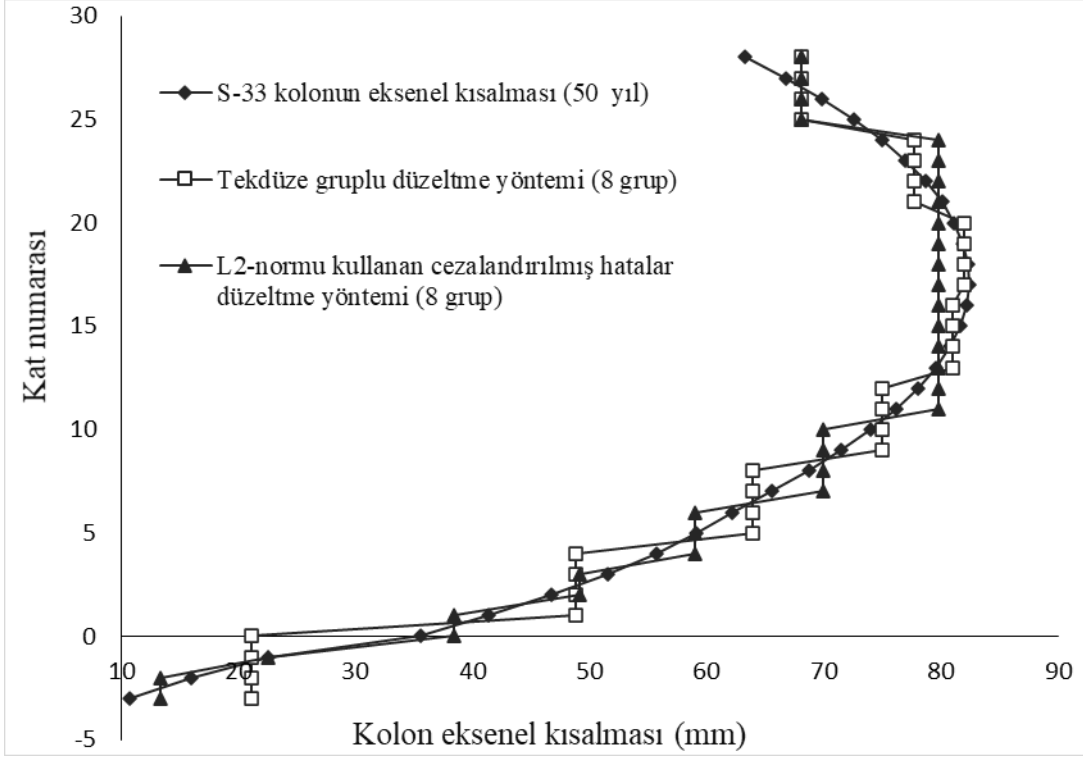
Şekil 5.104: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-32 kolonun aksel kısılmalarının düzeltilmesi.



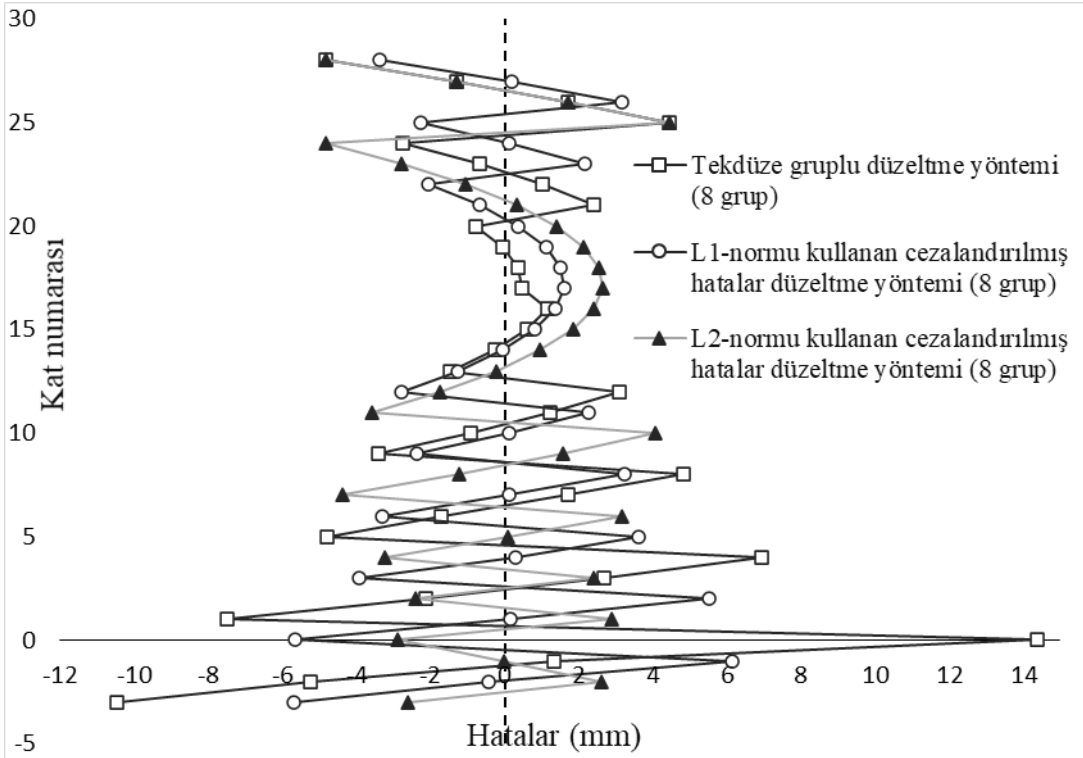
Şekil 5.105: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-32 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.



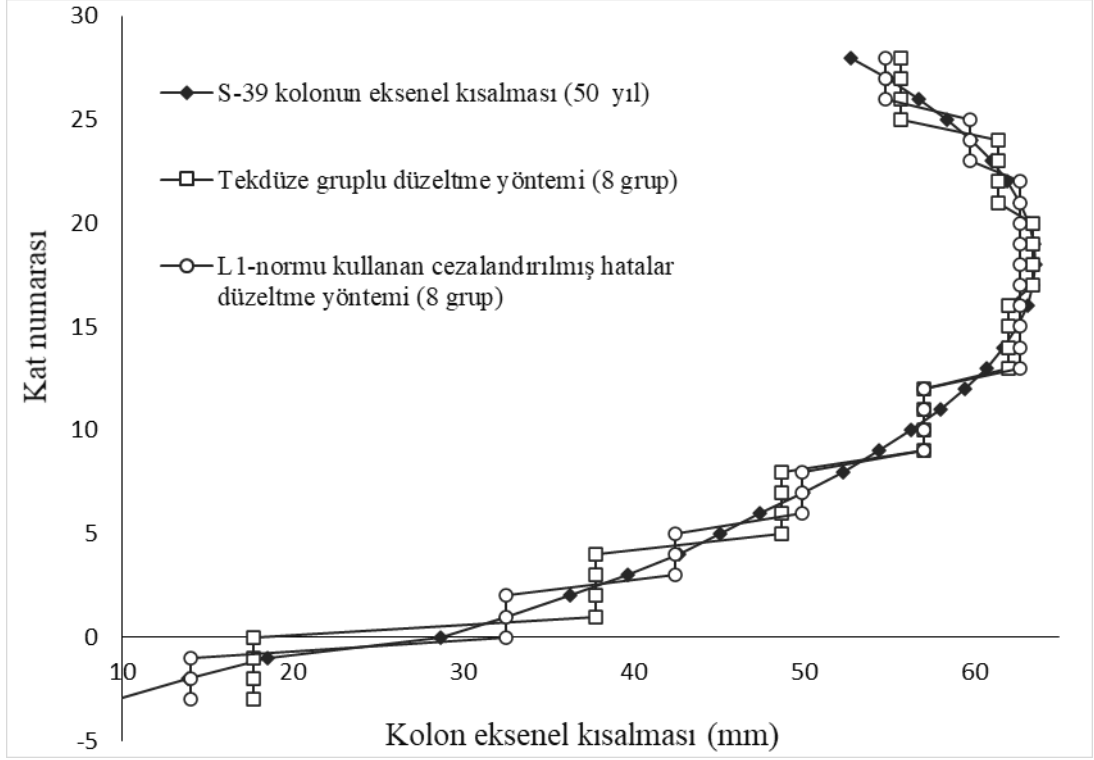
Şekil 5.106: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-33 kolonun eksenel kısılmalarının düzeltilmesi.



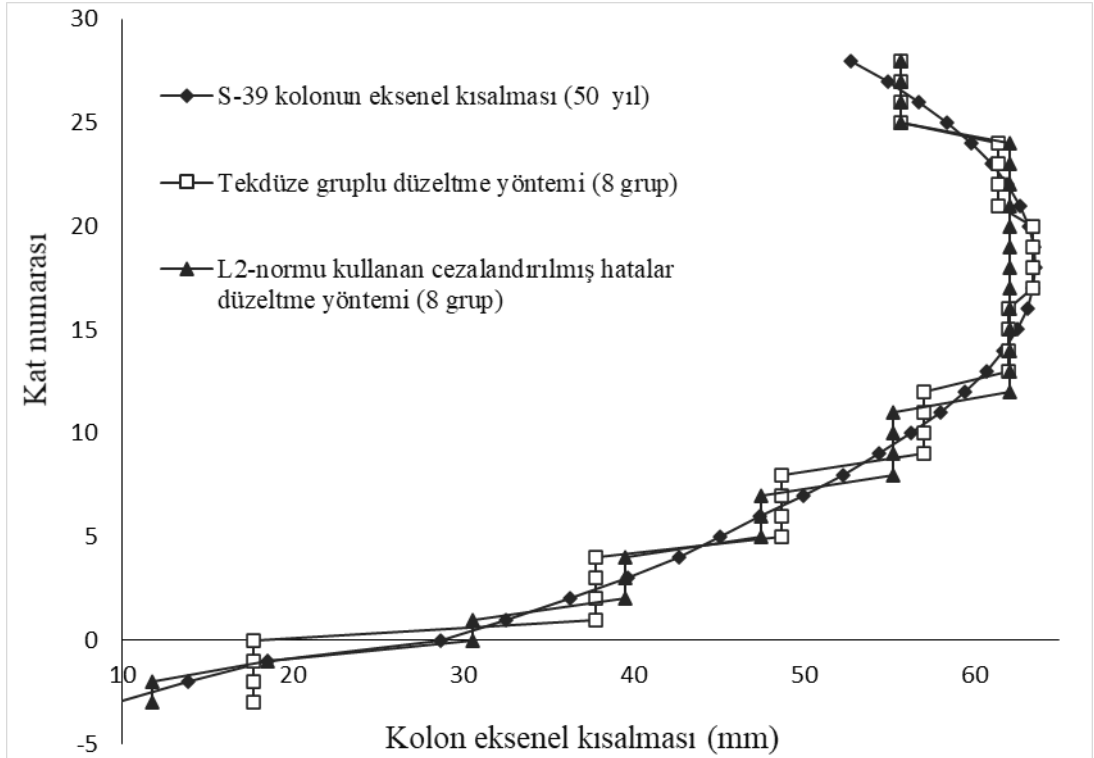
Şekil 5.107: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-33 kolonun aksel kısılmalarının düzeltilmesi.



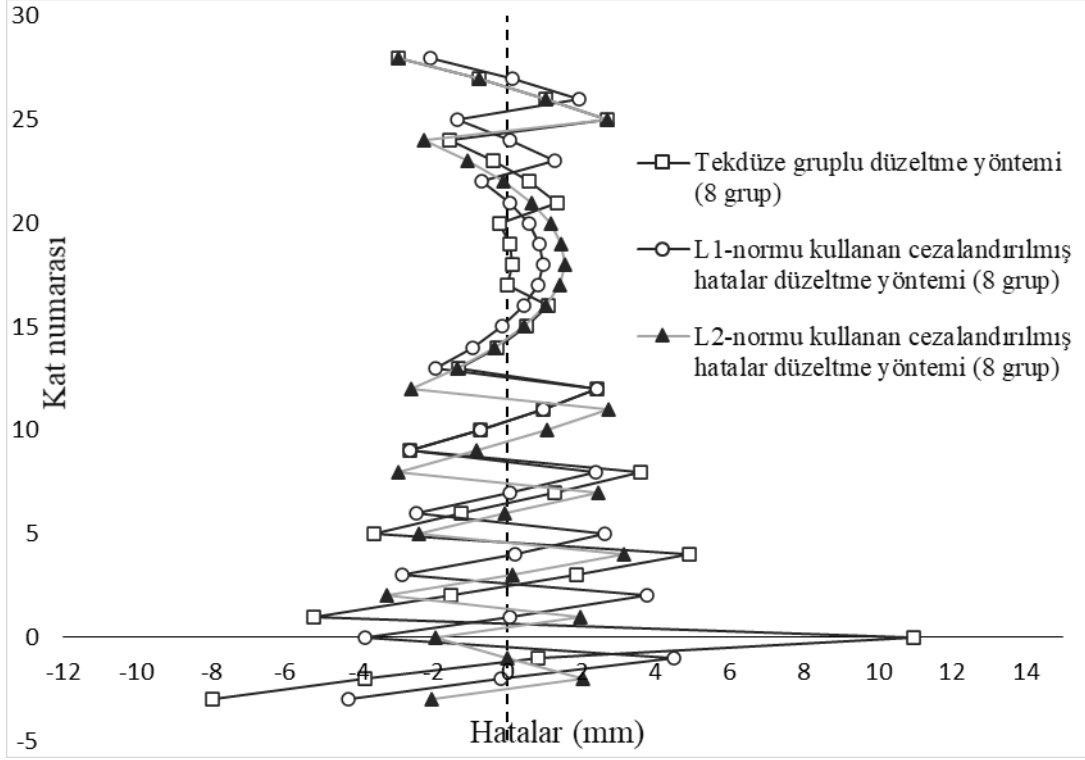
Şekil 5.108: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-33 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.



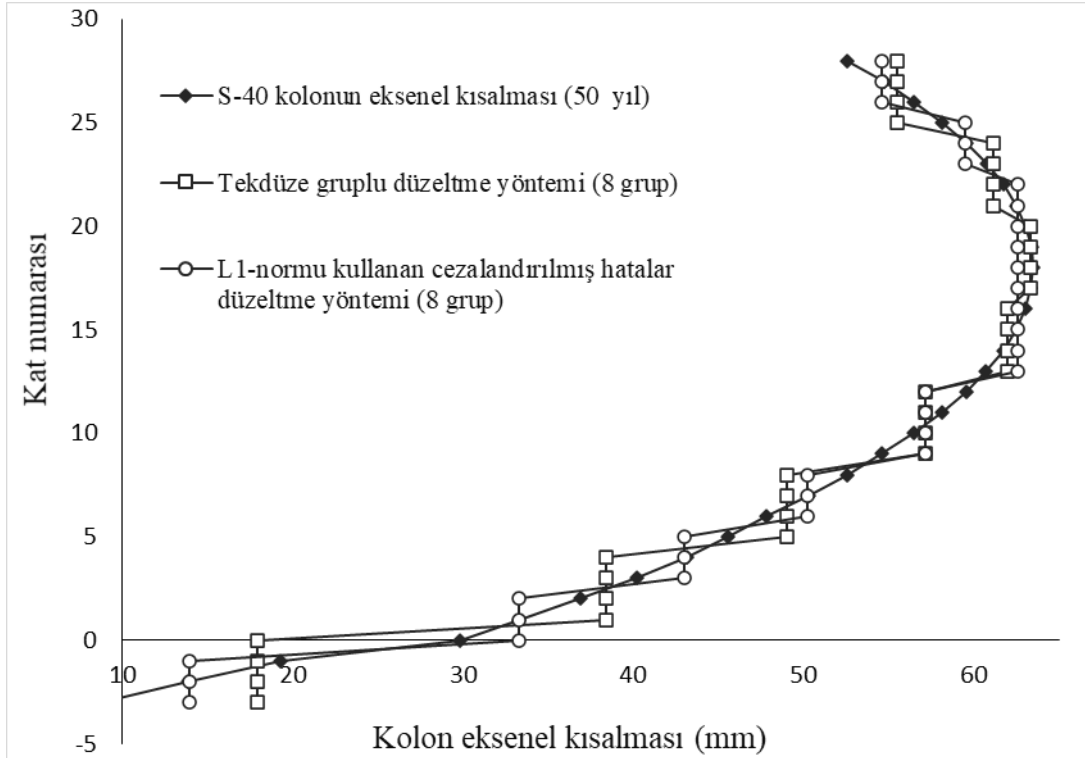
Şekil 5.109: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-39 kolonun aksenal kısalmalarının düzeltilmesi.



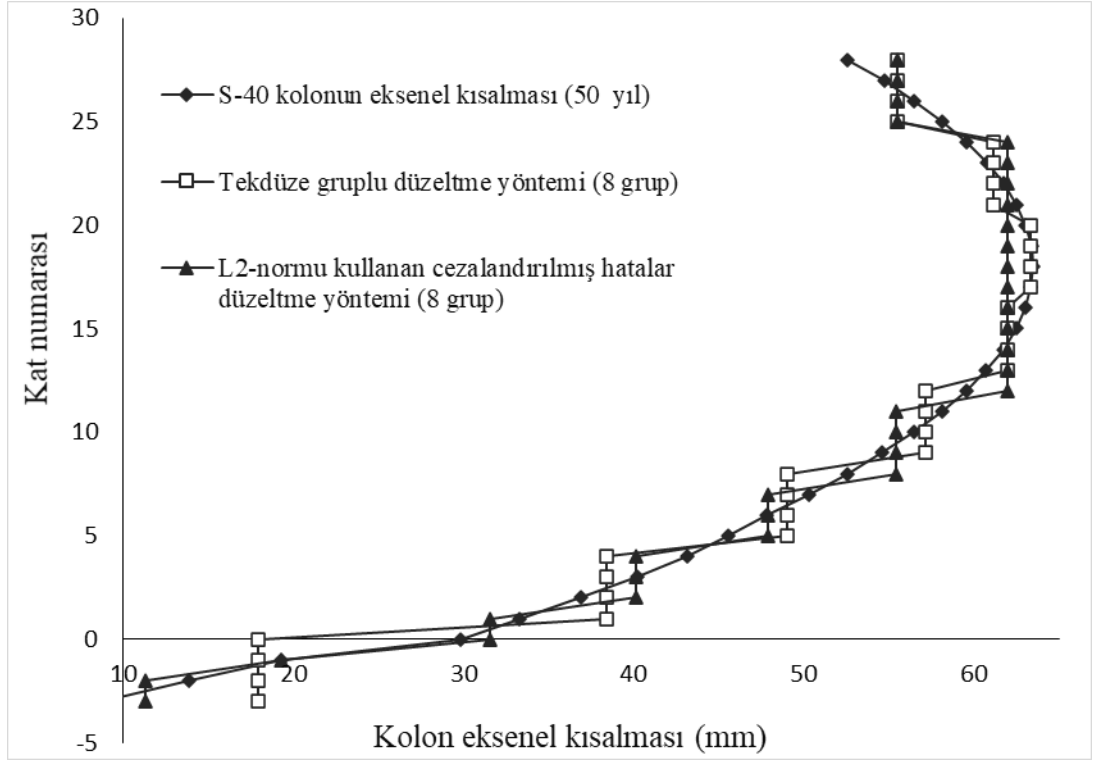
Şekil 5.110: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-39 kolonun aksenal kısalmalarının düzeltilmesi.



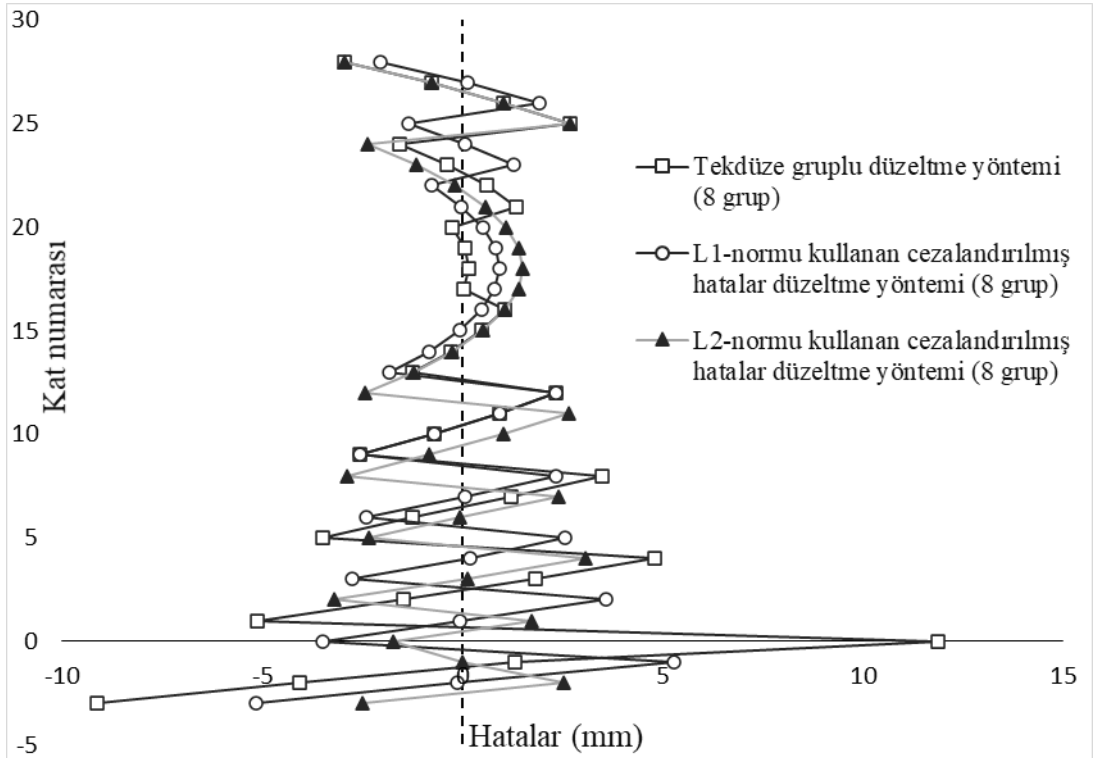
Şekil 5.111: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-39 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.



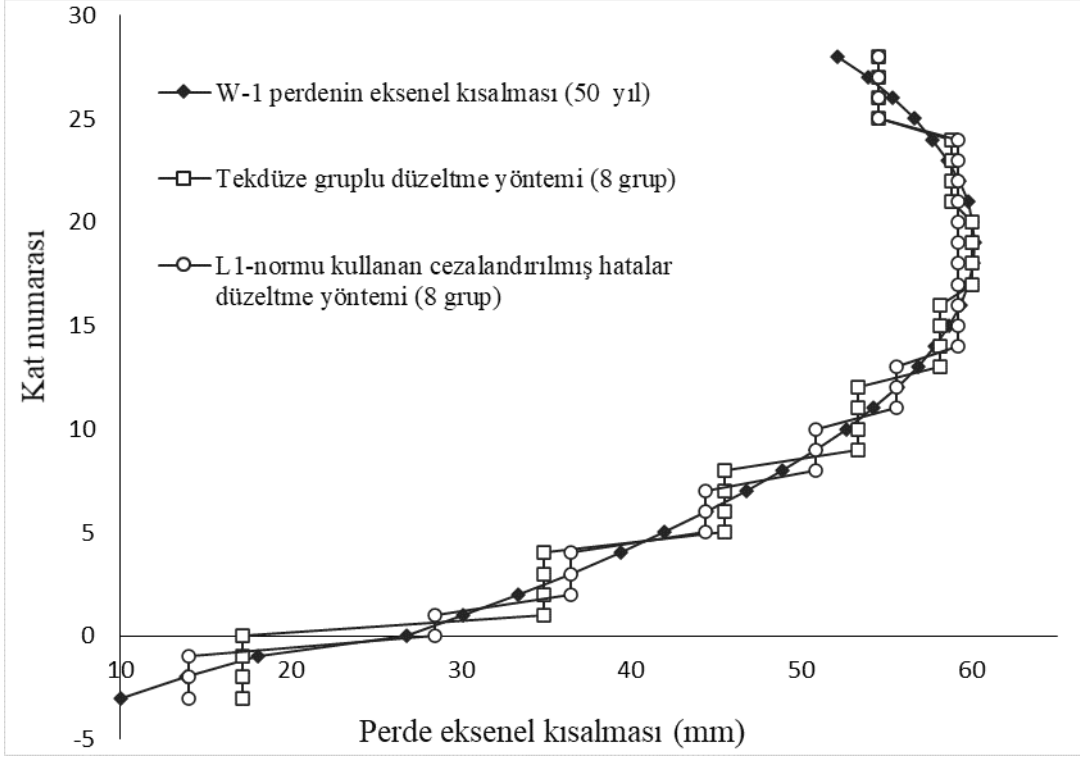
Şekil 5.112: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-40 kolonun aksenal kısalmalarının düzeltilmesi.



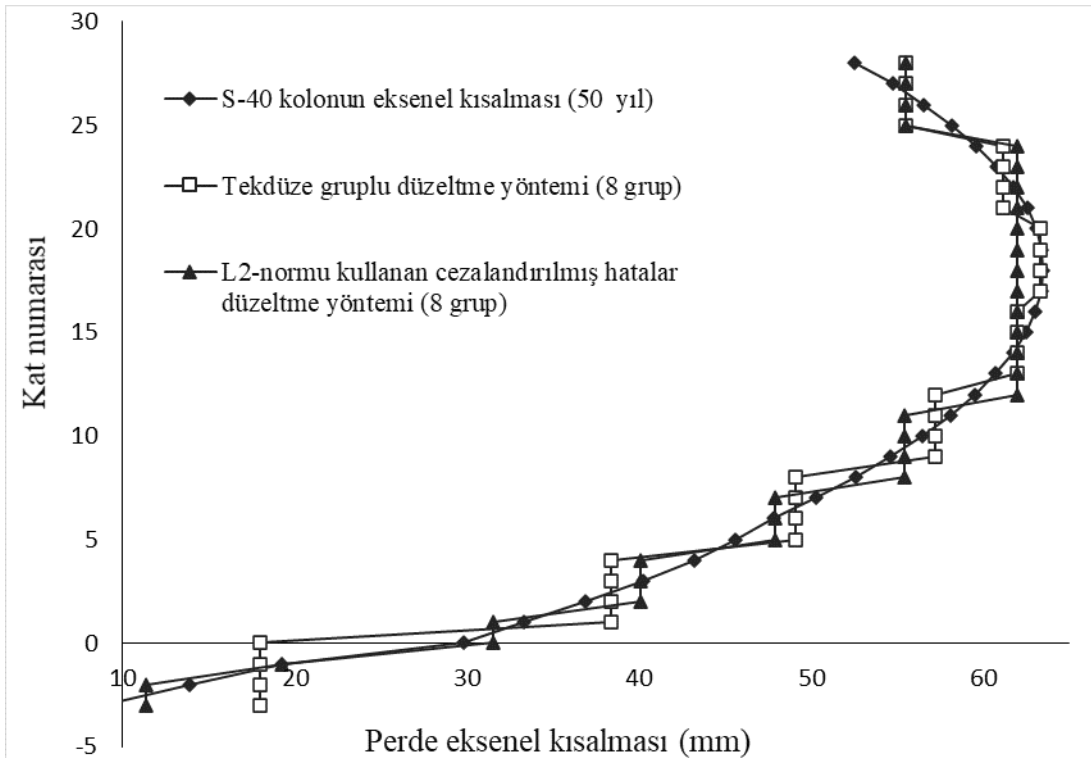
Şekil 5.113: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-40 kolonun aksel kısılmalarının düzeltilmesi.



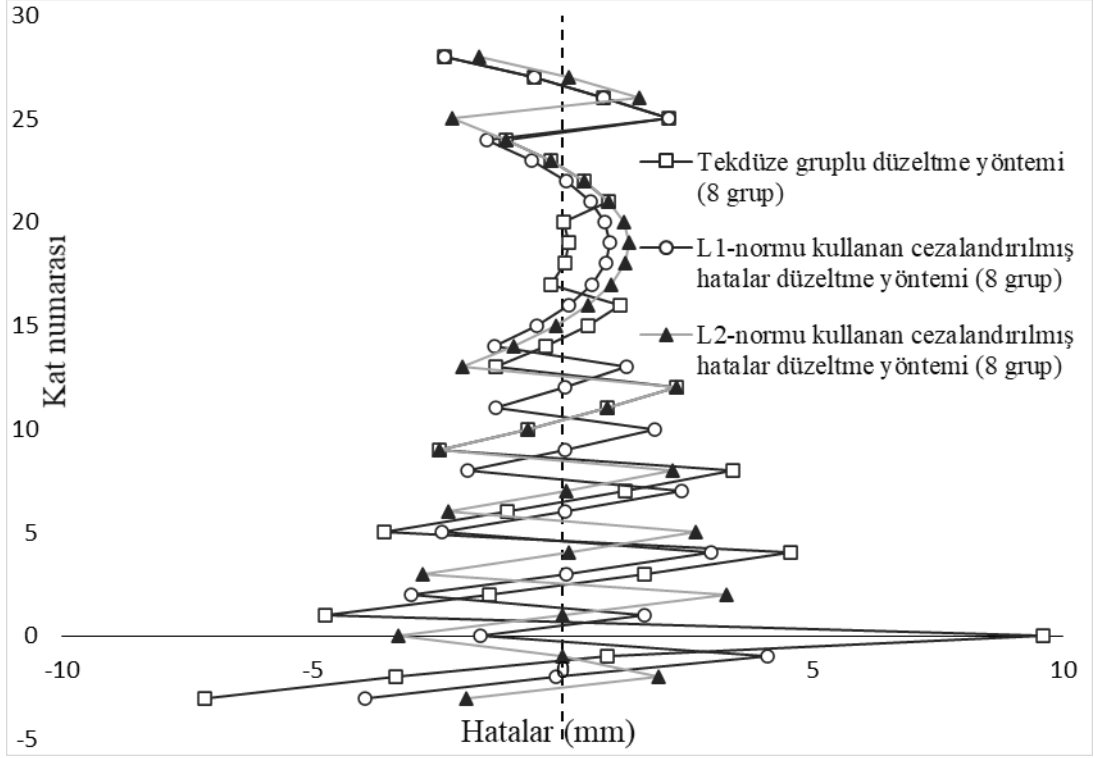
Şekil 5.114: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile S-40 kolonun düzeltme hatalarının karşılaştırılması.



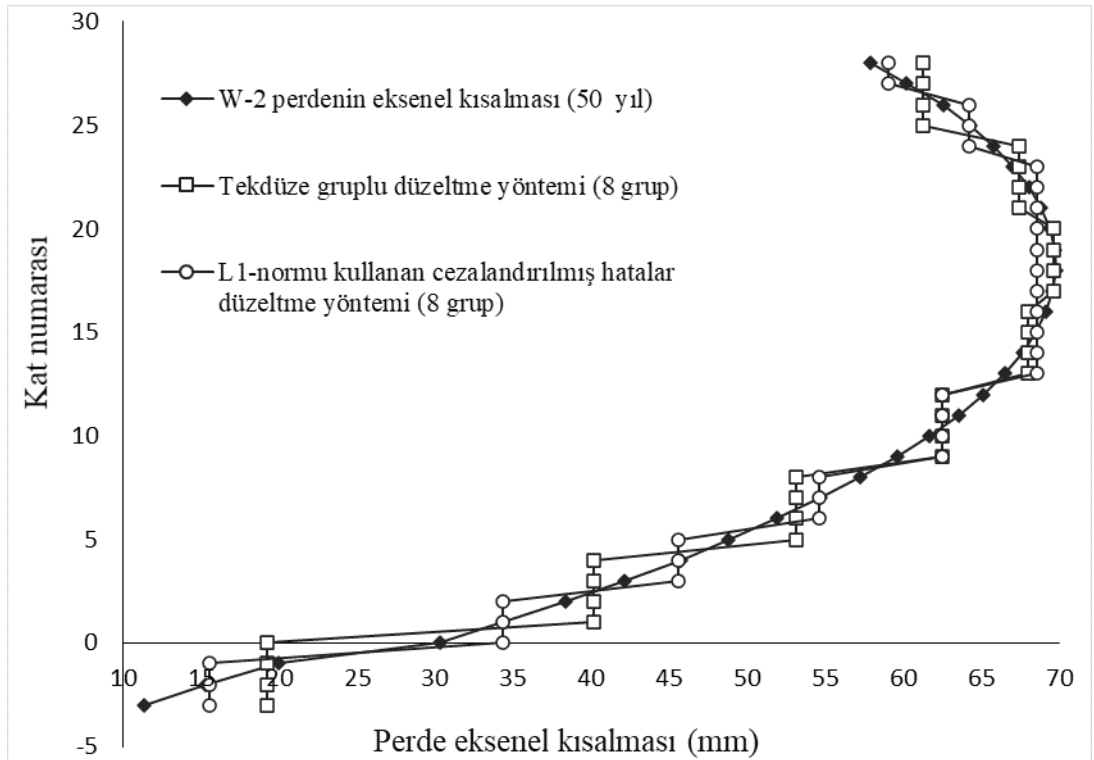
Şekil 5.115: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-1 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.



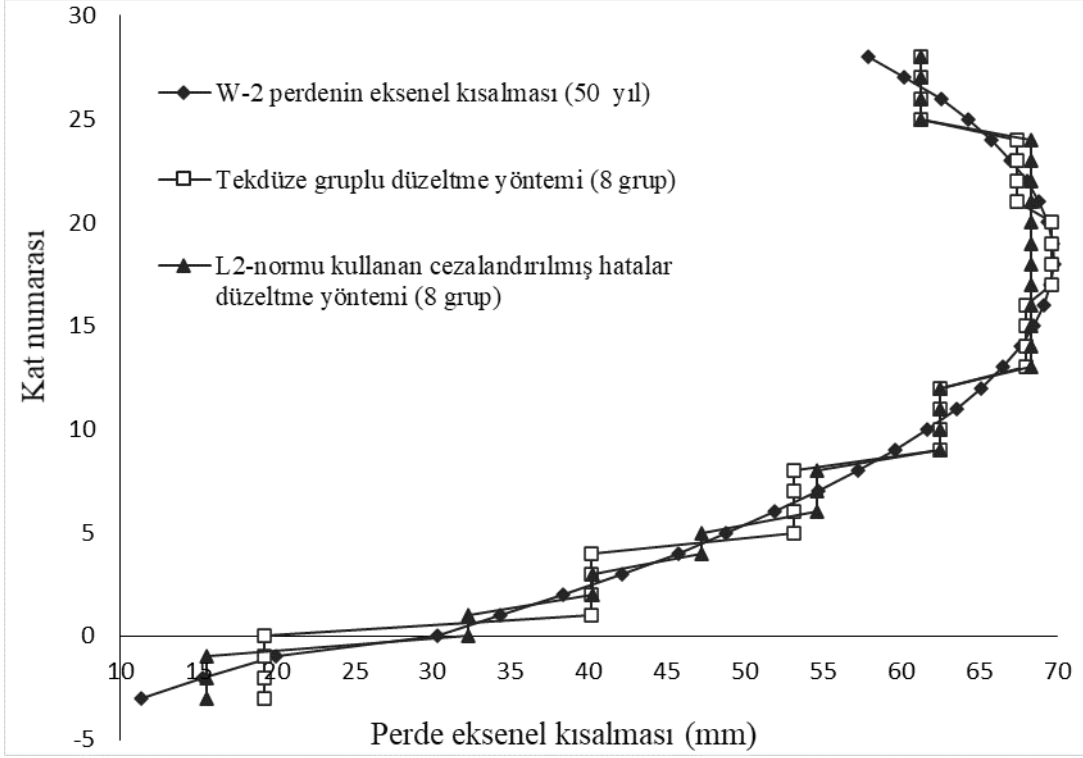
Şekil 5.116: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-1 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.



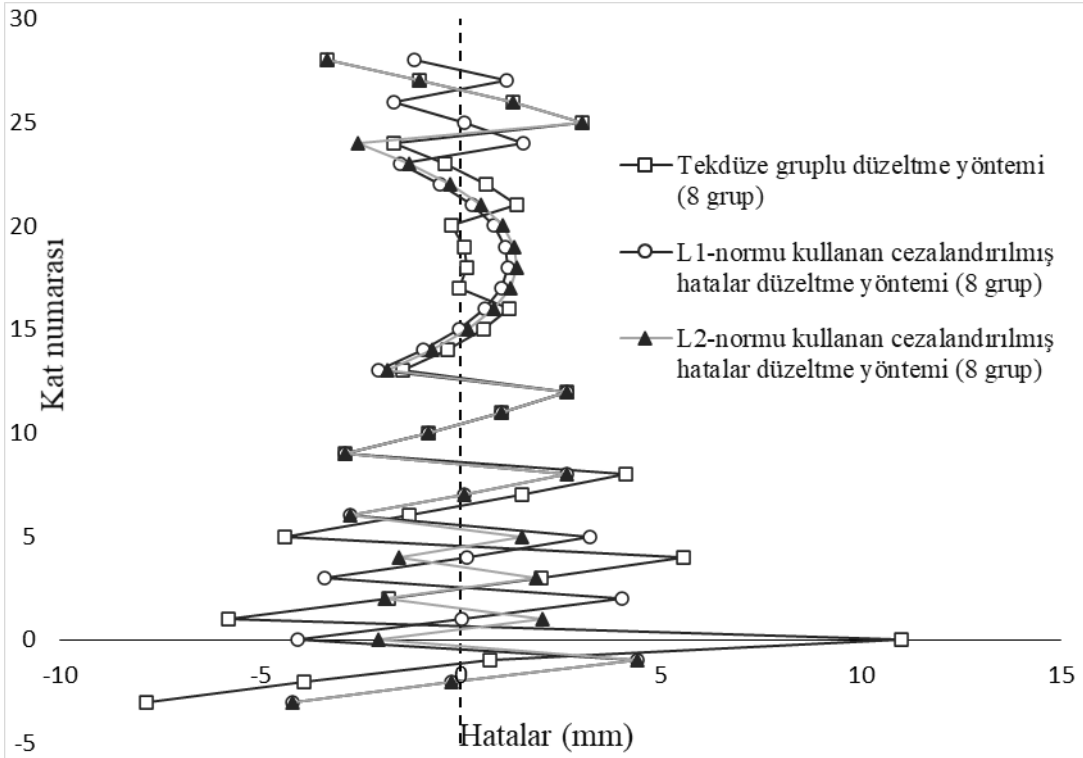
Şekil 5.117: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-1 perdenin düzeltme hatalarının karşılaştırılması.



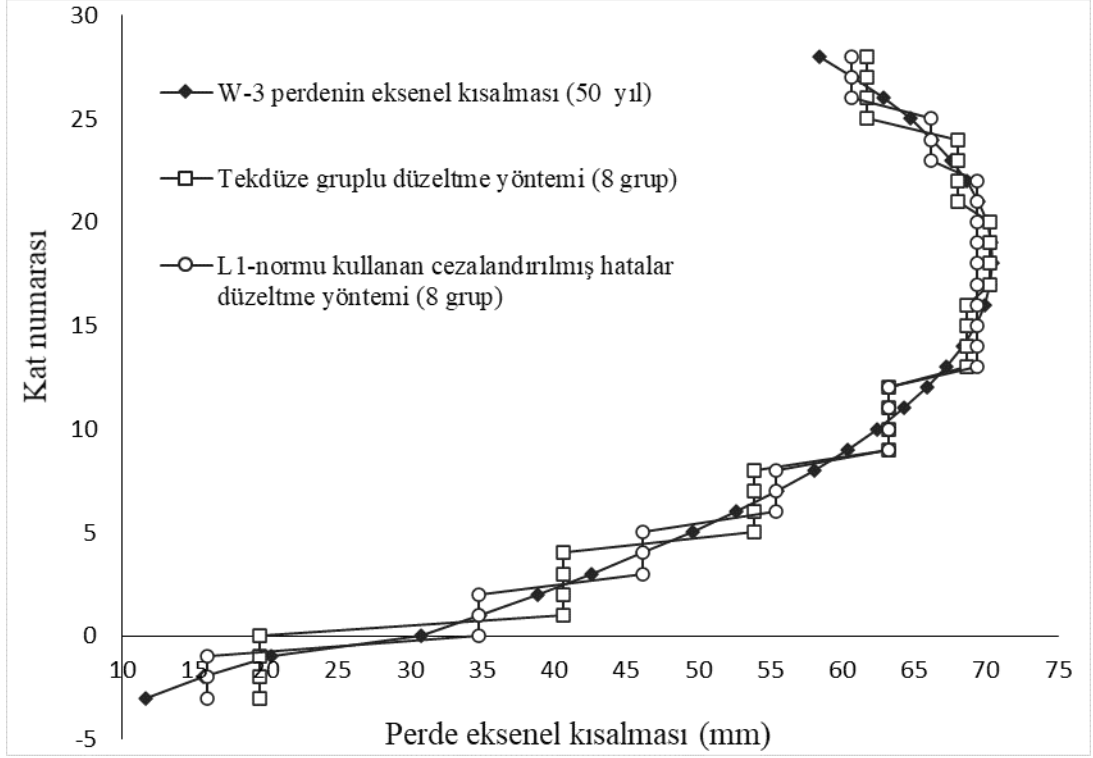
Şekil 5.118: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-2 perdenin eksenel kısılmalarının düzeltilmesi.



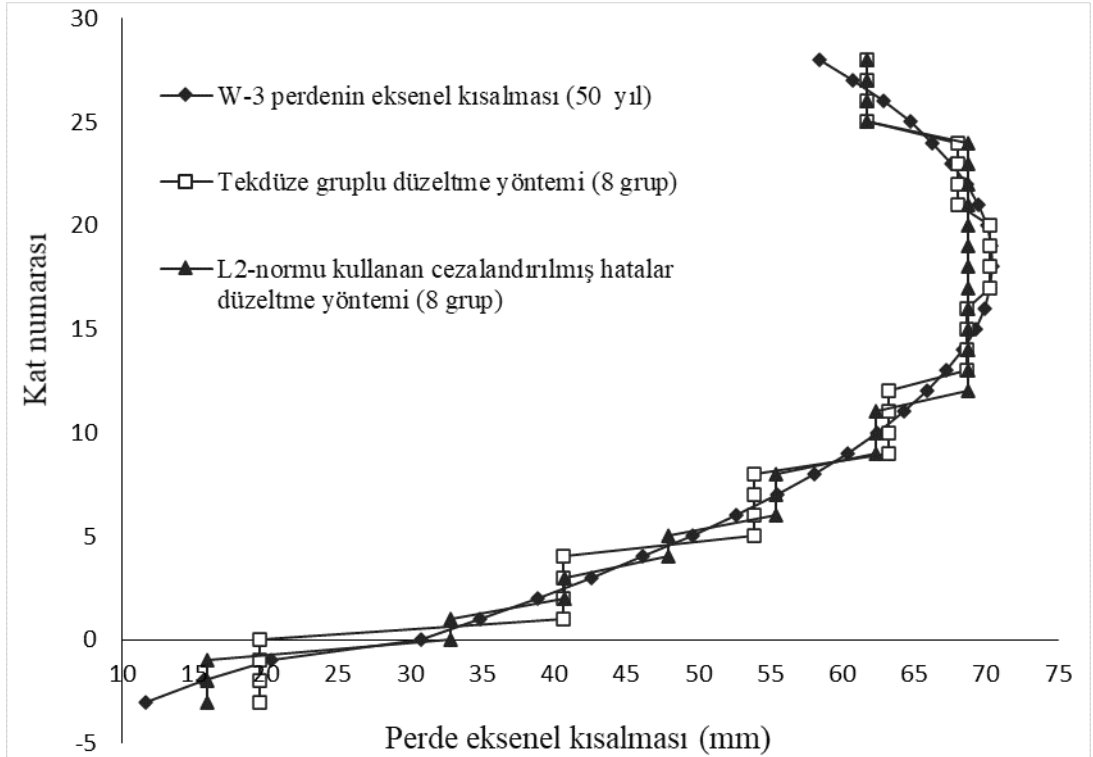
Şekil 5.119: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-2 perdenin eksenel kısılmalarının düzeltilmesi.



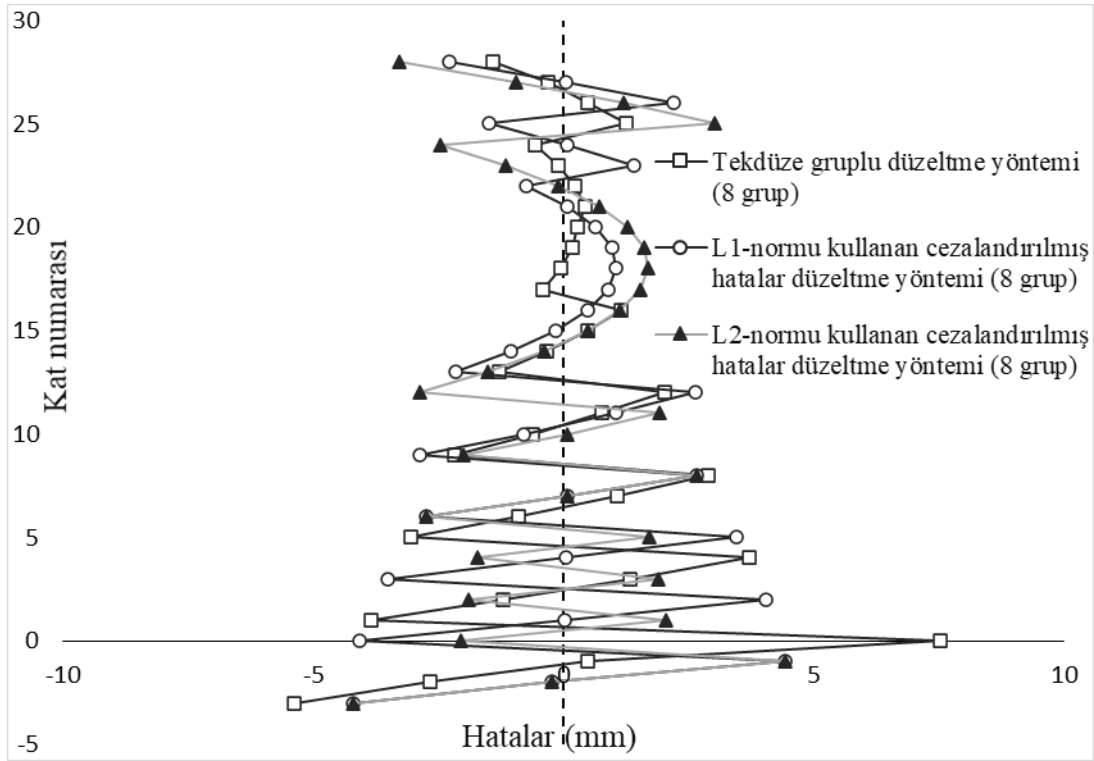
Şekil 5.120: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-2 perdenin düzeltme hatalarının karşılaştırılması.



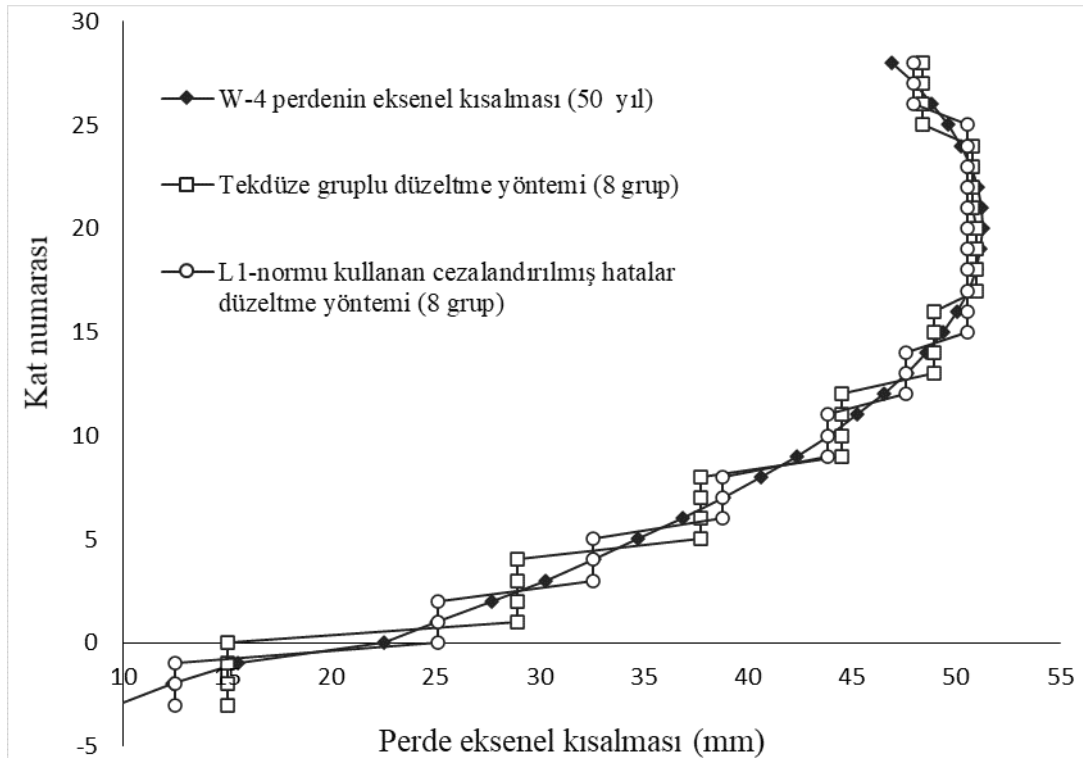
Şekil 5.121: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-3 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.



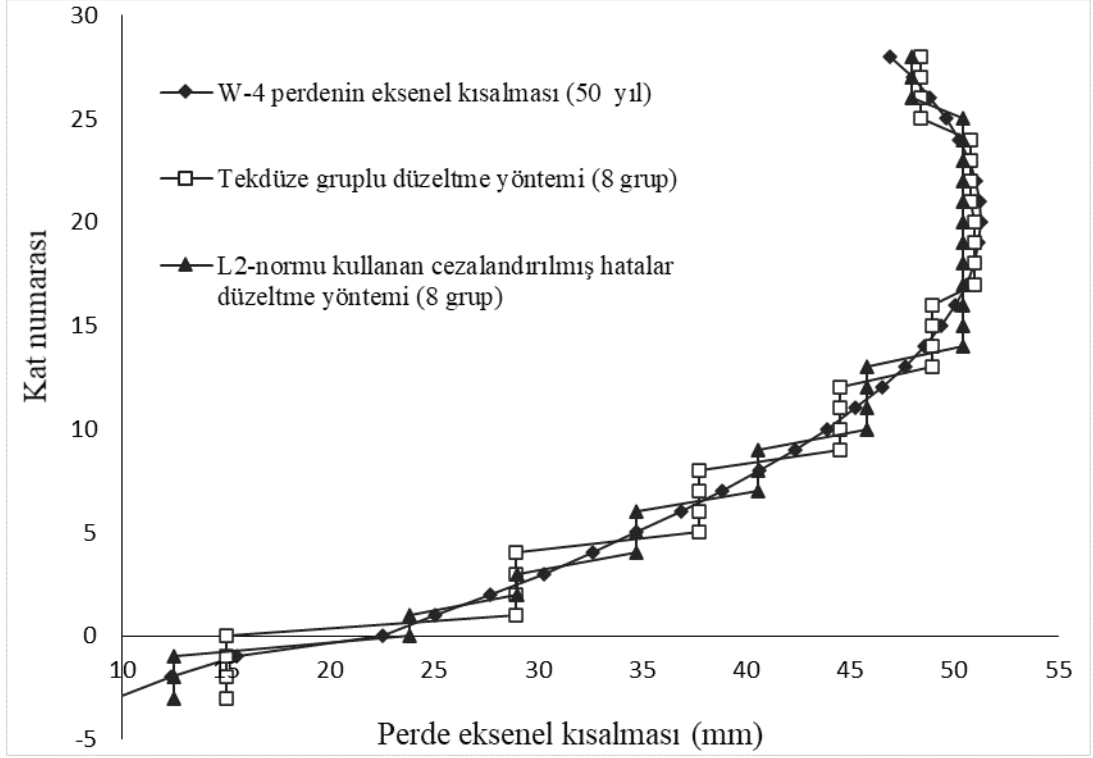
Şekil 5.122: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-3 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.



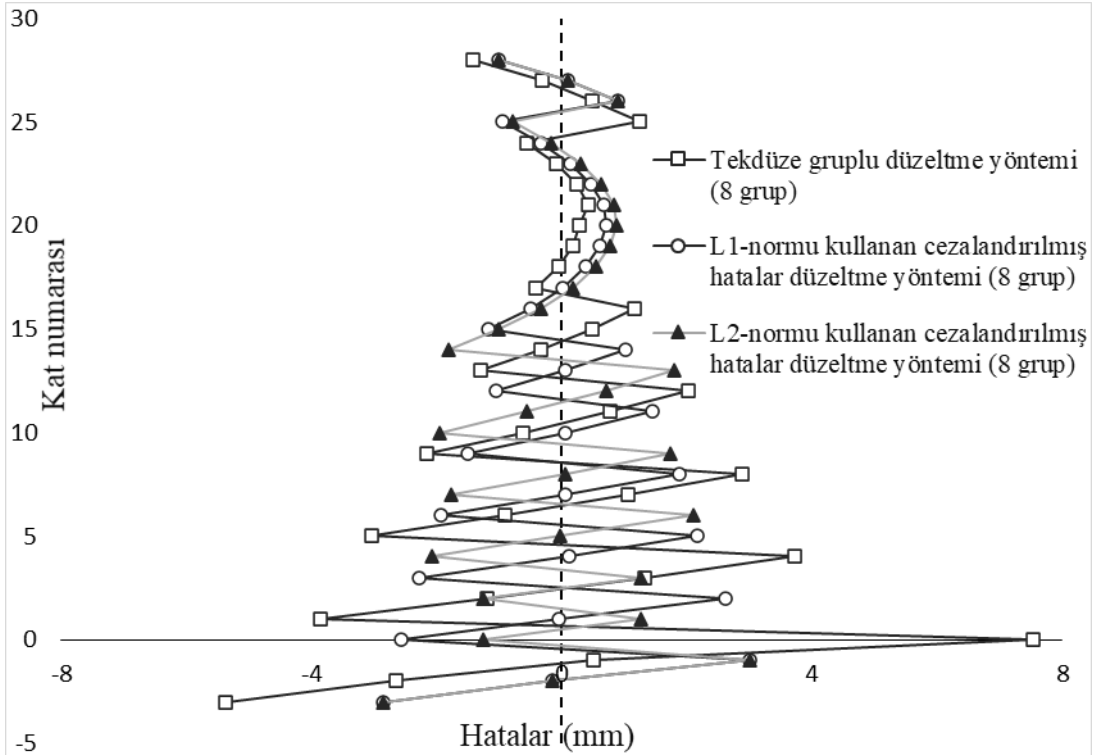
Şekil 5.123: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-3 perdenin düzeltme hatalarının karşılaştırılması.



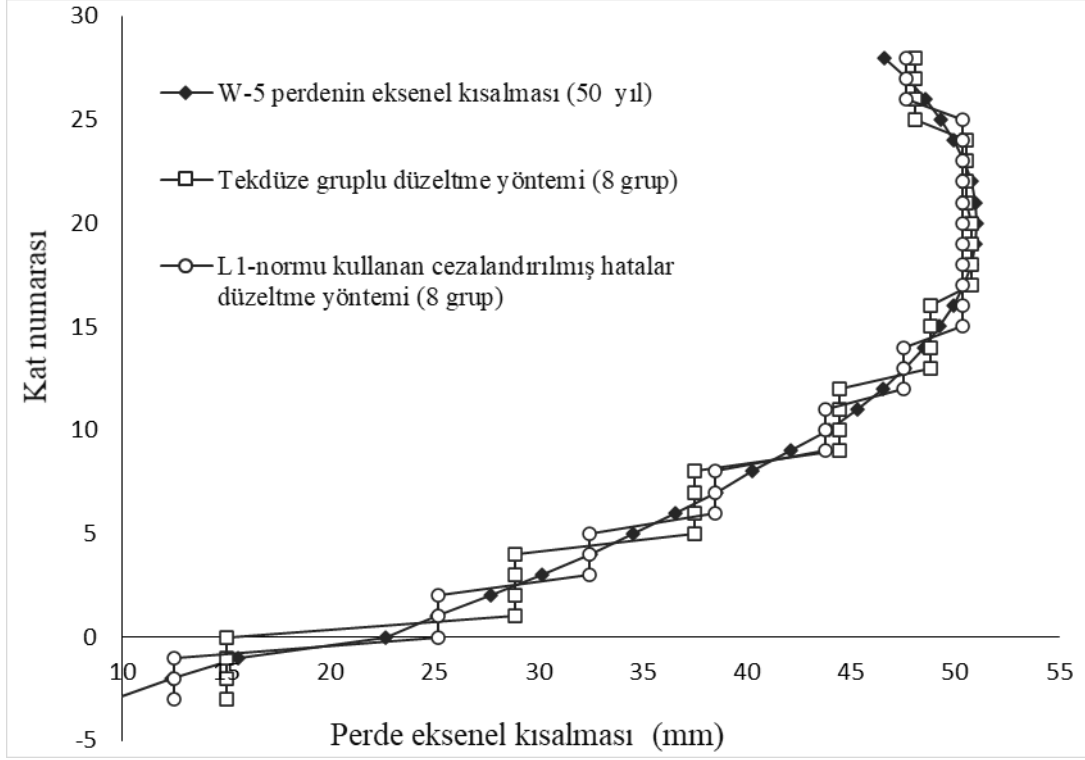
Şekil 5.124: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-4 perdenin eksenel kısılmalarının düzeltilmesi.



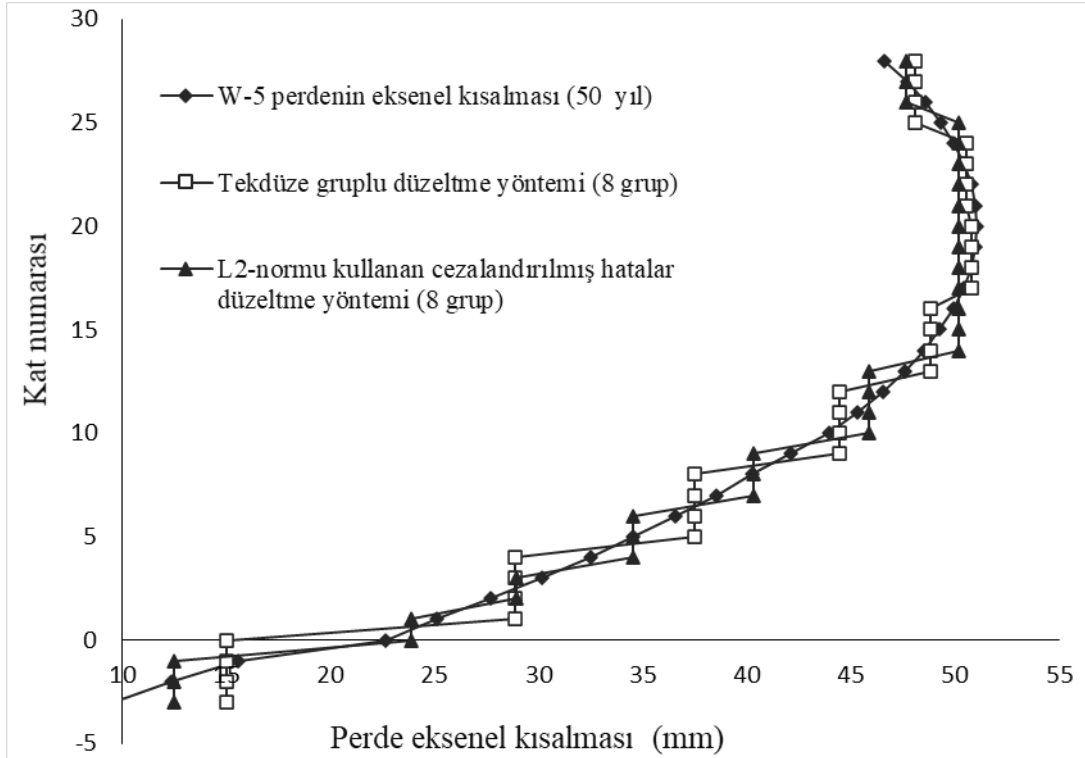
Şekil 5.125: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-4 perdenin eksenel kısılmalarının düzeltilmesi.



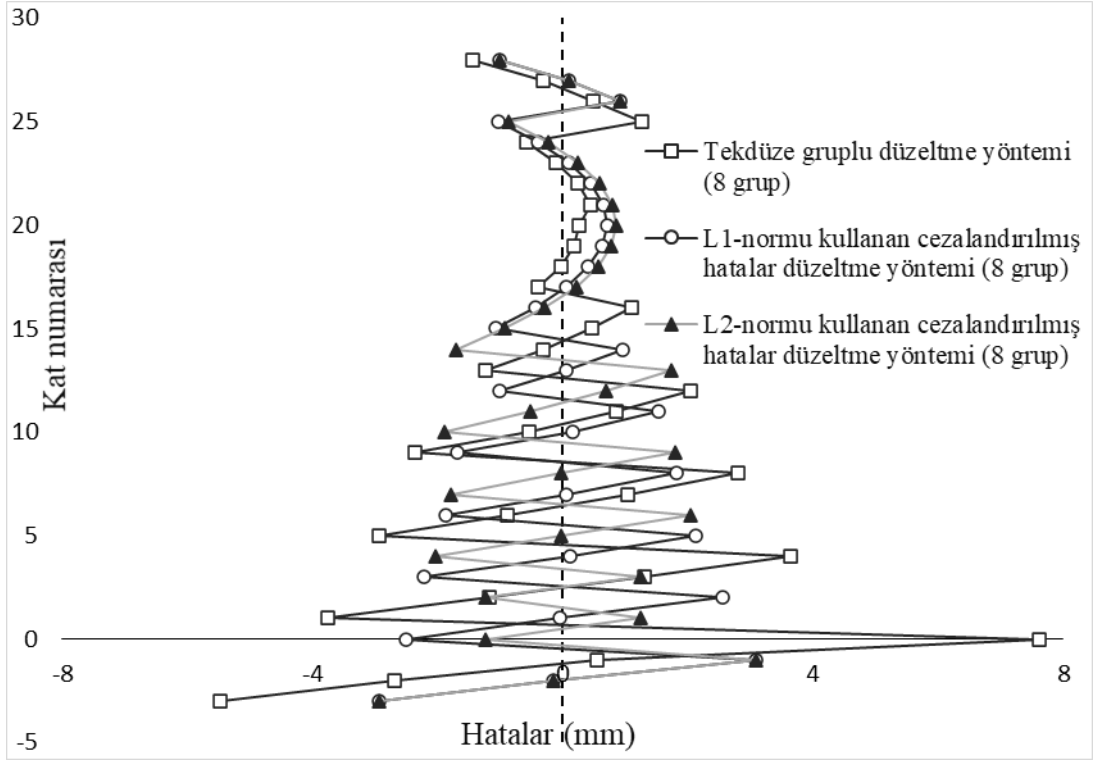
Şekil 5.126: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-4 perdenin düzeltme hatalarının karşılaştırılması.



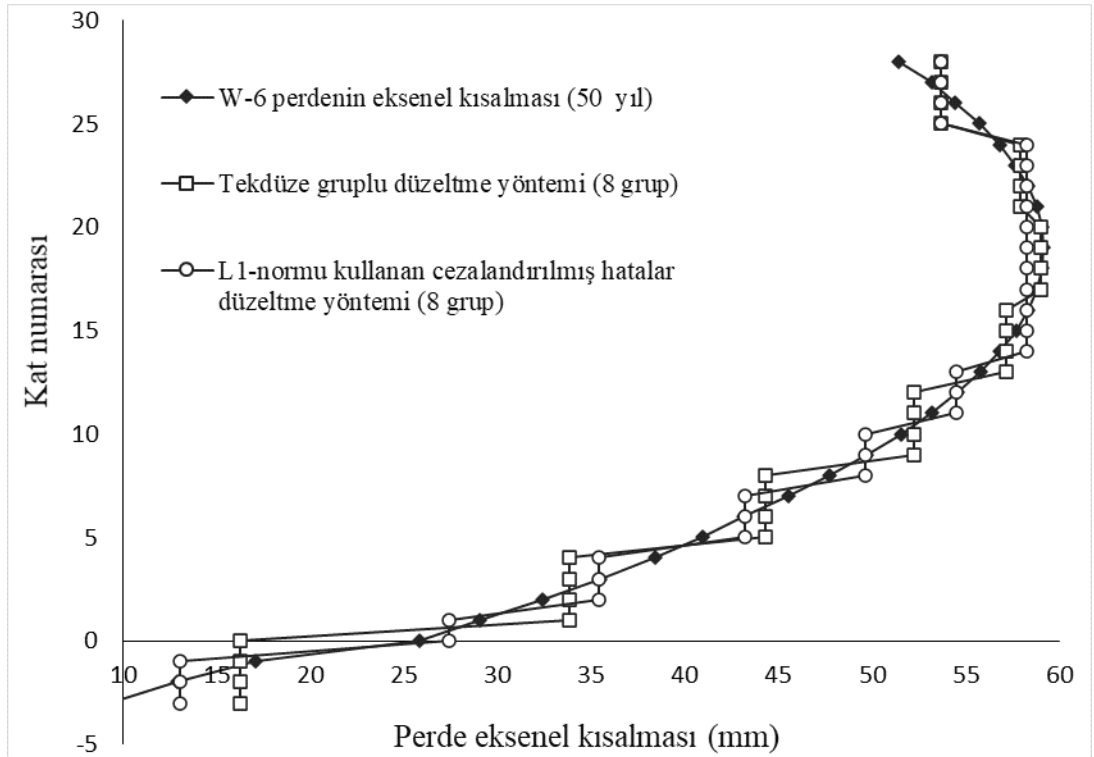
Şekil 5.127: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve tekdüze gruplu düzeltme yöntemi ile W-5 perdenin aksel kısılmalarının düzeltilmesi.



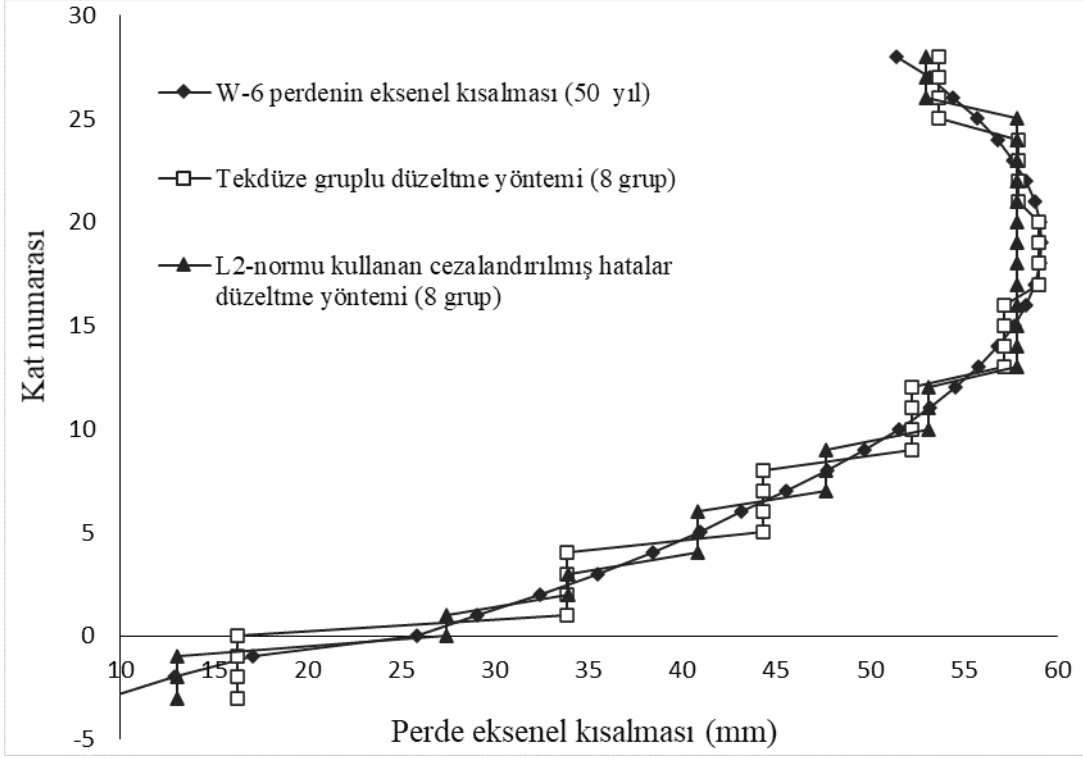
Şekil 5.128: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-5 perdenin aksel kısılmalarının düzeltilmesi.



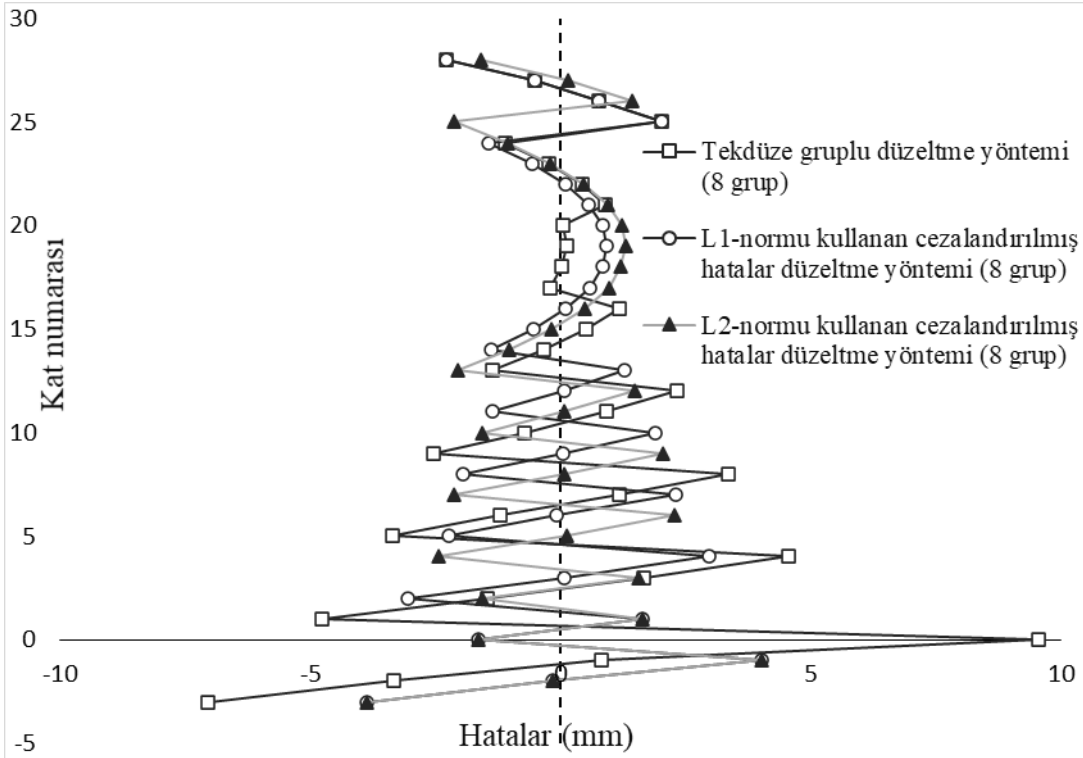
Şekil 5.129: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-5 perdenin düzeltme hatalarının karşılaştırılması.



Şekil 5.130: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-6 perdenin eksenel kısaltmalarının düzeltilmesi.



Şekil 5.131: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-6 perdenin eksenel kısılmalarının düzeltilmesi.



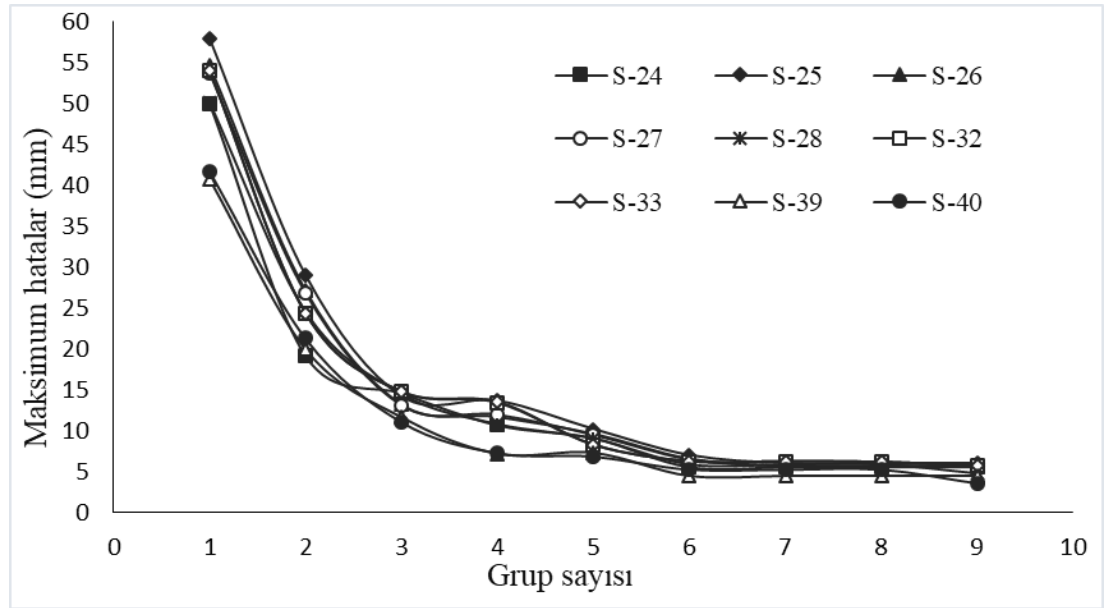
Şekil 5.132: L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile W-6 perdenin düzeltme hatalarının karşılaştırılması.

Grup sayısının etkilerini göstermek amacıyla, kule kısmındaki tüm kolon ve pederler için farklı grup sayıları kullanarak ve düzeltme yöntemleri dikkate alınarak çeşitli analizler yapılmıştır.

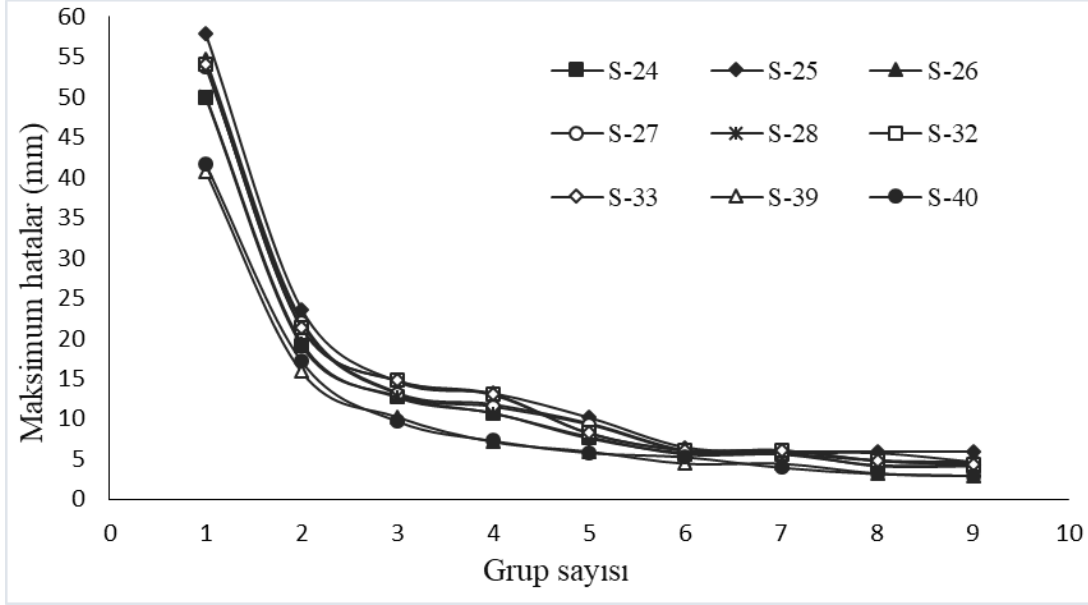
Farklı gruplara L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi uygulanmıştır. 32 Katlı binanın düşey elemanların aksel kısılmalarının düzeltme yöntemlerin gruplama analizi dokuzda durdurulmuştur. Bunun nedeni hata miktarlarının düşük ve kararlı hale gelmesidir. Binanın kule kısmındaki kolonlar için L1-norm ve L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hataların ilişkileri sırayla Şekil 5.133 ve Şekil 5.134'de gösterilmiştir.

Benzer şekilde, binanın kule kısmındaki tüm perde duvarları için L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltilen hataların ilişkileri sırasıyla Şekil 5.135 ve Şekil 5.136'da gösterilmiştir.

Düzeltilme analizlerinin sonuçları, kule kısmının tüm kolonlar ve perde duvarları için grup sayısı arttıkça maksimum hataların azaldığını göstermiştir.

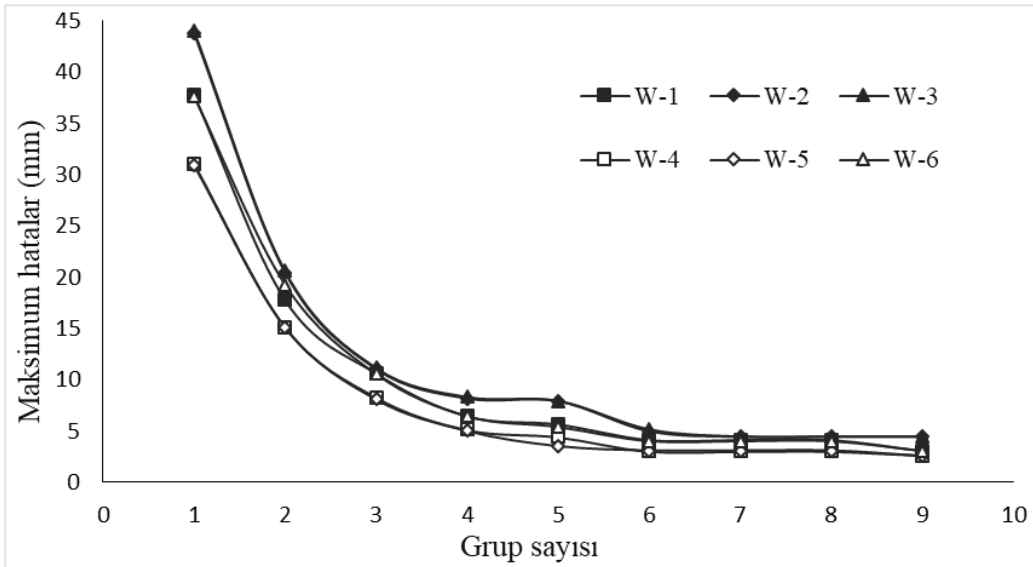


Şekil 5.133: Binanın kule kısmındaki kolonlar için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hataların ilişkileri (50 yıl boyunca aksel kısılmaları).

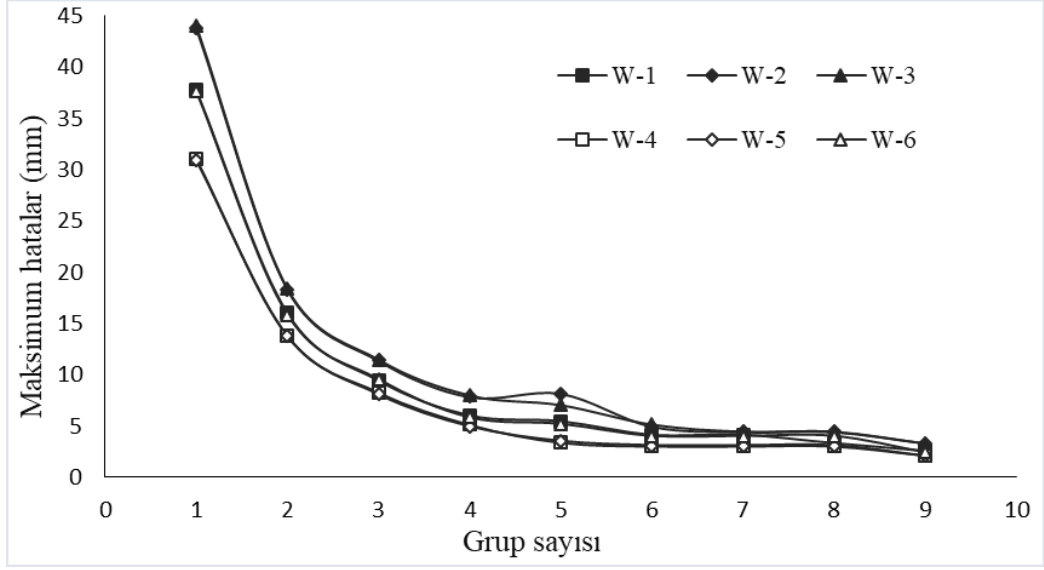


Şekil 5.134: Binanın kule kısmındaki kolonlar için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri (50 yıl boyunca aksenal kısalmaları).

L1-norm ve L2-normu kullanılarak önerilen Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi gruplarındaki Eleman sayılarının esnek olması ve buna bağlı olarak verimli grupların oluşturulması nedeniyle tekdüze gruplu düzeltme yönteminden daha iyi performans göstermiştir.



Şekil 5.135: Binanın kule kısmındaki perdeler için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri (50 yıl boyunca aksenal kısalmaları).



Şekil 5.136: Binanın kule kısmındaki perdeler için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hataların ilişkileri (50 yıl boyunca eksenel kısaltmaları).

Bu analizler için gerekli süre Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminde grup sayısını dikkate alınarak izlenmiş ve sonuçlar Tablo 5.1'de gösterilmiştir. Gerekli analiz süresi grup sayısının artışıyla birlikte büyük ölçüde artmıştır. Öte yandan, çok sayıda grubun seçilmesi inşaat programlama zorluklarına neden olabilir. Bu iki nedenle yüksek binaların düşey elemanlarındaki eksenel kısaltmaya düzeltilmesi için yeterli sayıda grup seçmenin önemini ortaya koymuştur.

Tablo 5.1: Her düşey elemanın düzeltilmesi için gerekli olan hesaplama süresi.

Grup sayısı (N_g)	Her eleman için hesaplama süresi (saniye cinsinden ortalama \pm standart sapması)
1	0,0892 \pm 0,0016
2	0,0902 \pm 0,0032
3	0,1284 \pm 0,0022
4	0,5420 \pm 0,0149
5	3,5815 \pm 0,0539
6	20,8805 \pm 0,4762
7	99,3688 \pm 2,8286
8	384,8728 \pm 6,9591
9	1278,6038 \pm 31,3292

5.3.3 Binanın kule kısmındaki tüm kolon ve perdelerin gruplanarak birlikte düzeltilmesi

Son olarak, kule kısmındaki bir katın tüm kolonları dikkate alınarak başka bir düzeltme yaklaşımı gerçekleştirilmiş ve buna göre düzeltme grupları oluşturulmuştur. Bu yaklaşımda, bir katın tüm kolonları için hem L1-norm hem de L2-normu kullanılarak önerilen Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi uygulanmıştır. Bu yaklaşım aynı zamanda bir katın tüm kolonlarının düzeltilmesini bir arada bulundurmayı amaçlandığı için yaklaşımın sonuçları Tablo 5.2'de gösterildiği gibi nispeten daha yüksek hatalar meydana gelmiştir. Her düşey eleman için ve kule kısmındaki tüm düşey elemanlar için Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi kullanarak 8 grup için sonuçlar sırayla Tablo 5.2, Tablo 5.3'te gösterilmiştir.

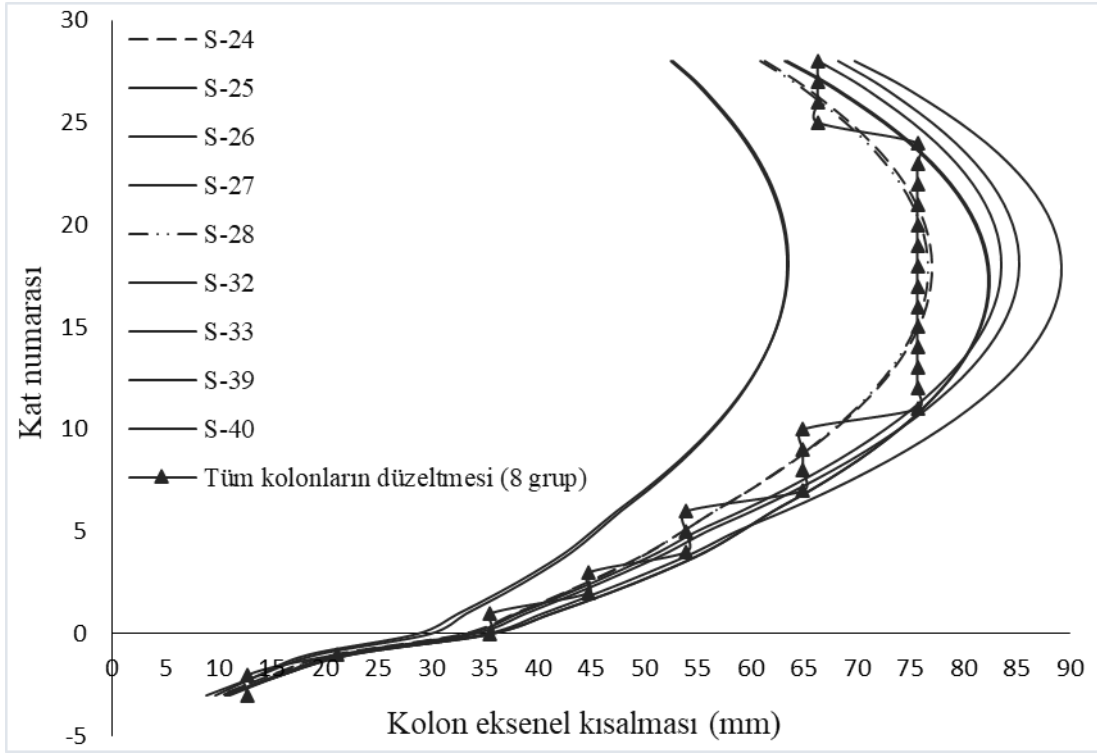
Tablo 5.2: Farklı yaklaşımlar için Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini kullanılarak kolonlarının düzeltilmesi (8 grup).

Kolonlar	Her kolonun düzeltilmesi		Katlardaki tüm kolonların ortalamasının düzeltilmesi	
	L1-norm	L2-norm	L1-norm	L2-norm
	Maks. Hata	Maks. Hata	Maks. Hata	Maks. Hata
S-24	5,5	4,2	5,7	5,0
S-25	6,0	6,0	13,6	13,3
S-26	5,7	5,7	10,7	10,7
S-27	5,6	4,8	8,9	8,9
S-28	5,8	4,2	5,8	5,4
S-32	6,1	4,8	9,0	8,9
S-33	6,1	4,8	9,1	9,0
S-39	4,5	3,3	17,7	16,6
S-40	5,3	3,2	17,6	16,5
Ortalama	5,6	4,6	10,9	10,5

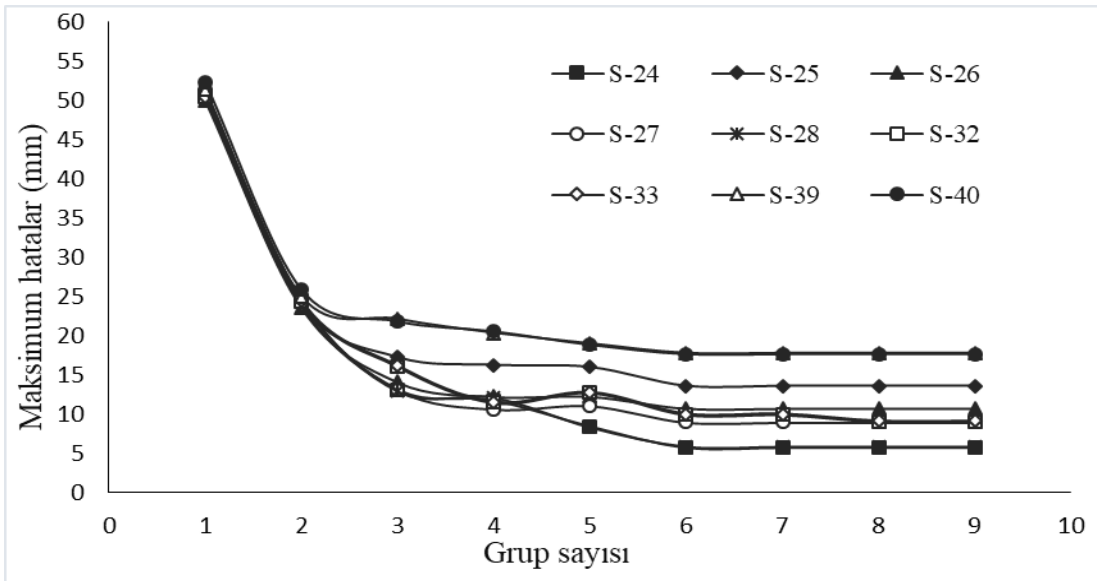
Tablo 5.3: Farklı yaklaşımlar için Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemini kullanılarak perdelerin hatalarının düzeltilmesi (8 grup).

Perdeler	Her perdenin düzeltilmesi		Katlardaki tüm perdelerin ortalamasının düzeltilmesi	
	L1-norm	L2-norm	L1-norm	L2-norm
	Maks. Hata	Maks. Hata	Maks. Hata	Maks. Hata
W-1	4,1	3,3	5,3	4,1
W-2	4,4	4,4	11,0	9,9
W-3	4,4	4,4	11,7	10,6
W-4	3,0	3,0	14,3	12,3
W-5	3,0	3,0	11,3	11,3
W-6	4,0	4,0	3,9	4,7
Ortalama	3,8	3,7	9,6	8,8

Binanın kule kısmındaki bir katın tüm düşey elemanları için hem L1-norm hem de L2-normu kullanılarak önerilen Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin 8 grup için analiz sonuçları tüm kolonlar ve perder için sırasıyla Şekil 5.137, Şekil 5.139, Şekil 5.141, Şekil 5.142’de gösterilmiştir.

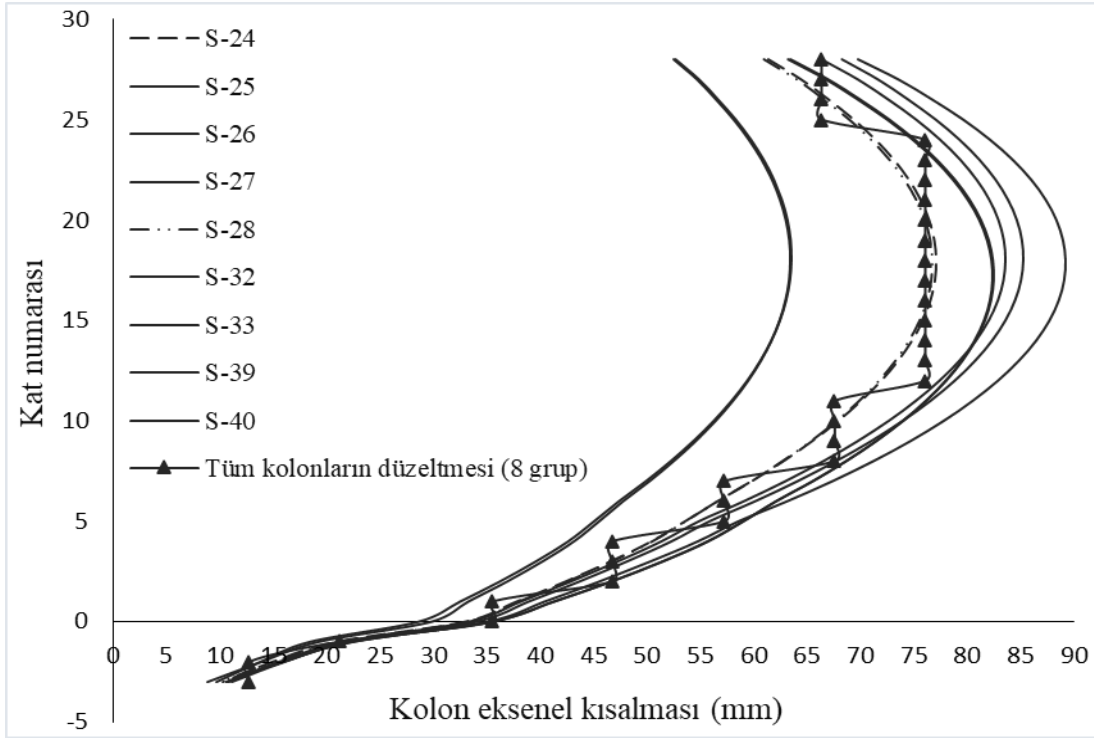


Şekil 5.137: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ile tüm kolonların aksenal kısalmalarının düzeltilmesi.

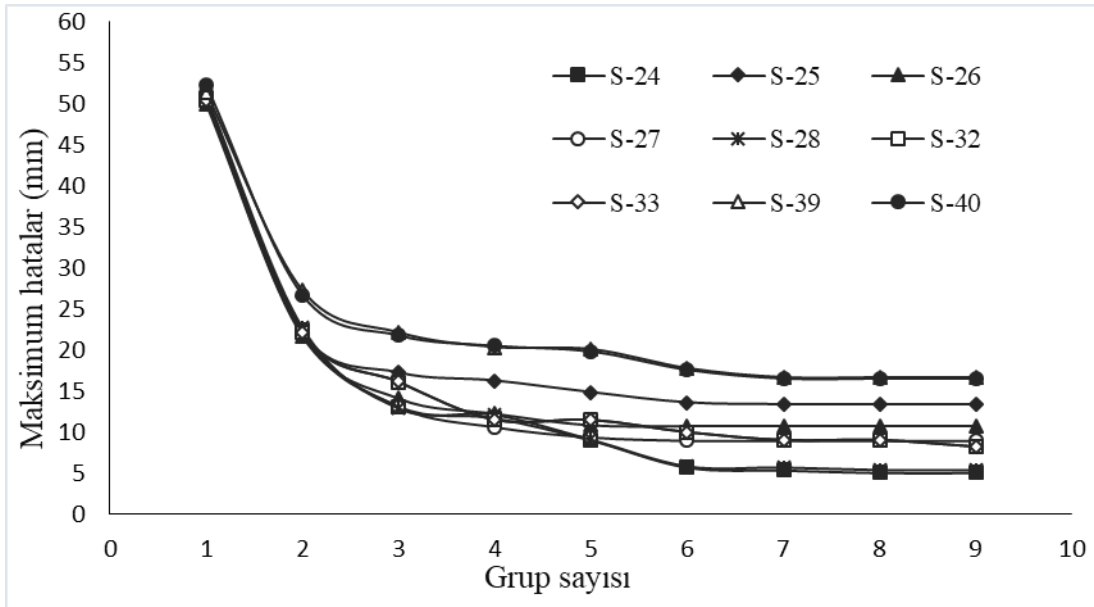


Şekil 5.138: Binanın kule kısmındaki bir katın tüm kolonlar için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri.

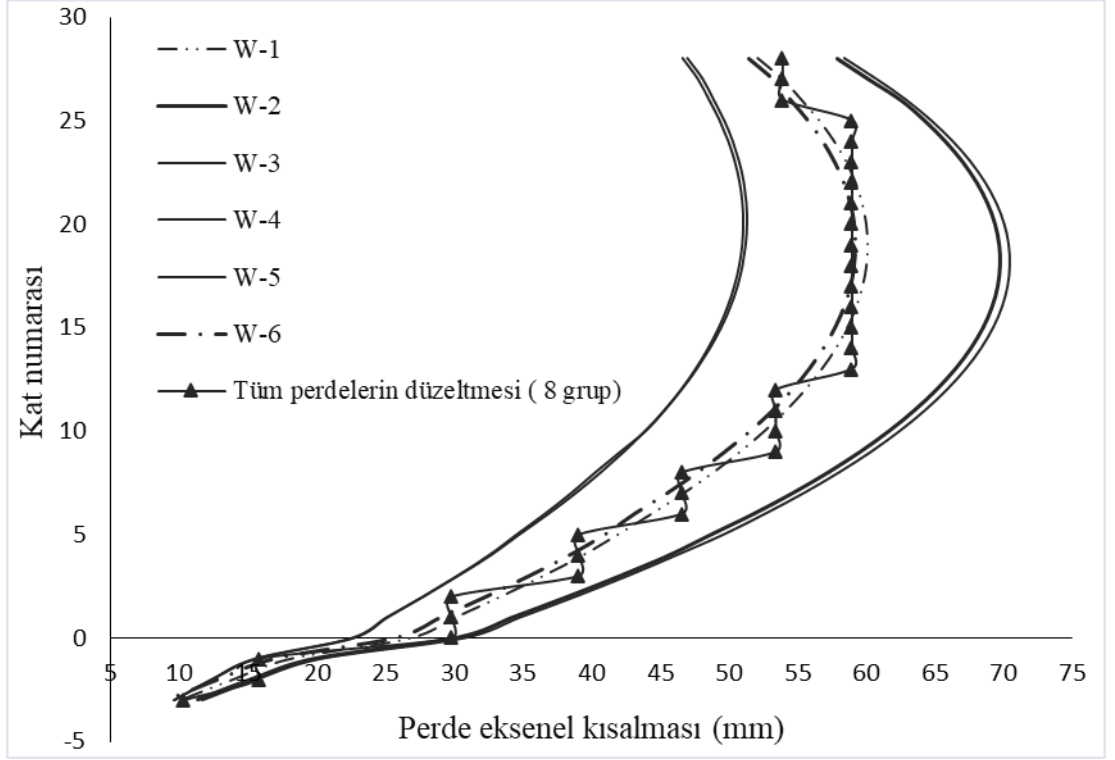
Aynı şekilde binanın kule kısmındaki kolonlar ve perdeler için L1-norm ve L2-normu kullanılarak Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri sırasıyla Şekil 5.138, Şekil 5.140, Şekil 5.143, Şekil 5.144’de gösterilmiştir.



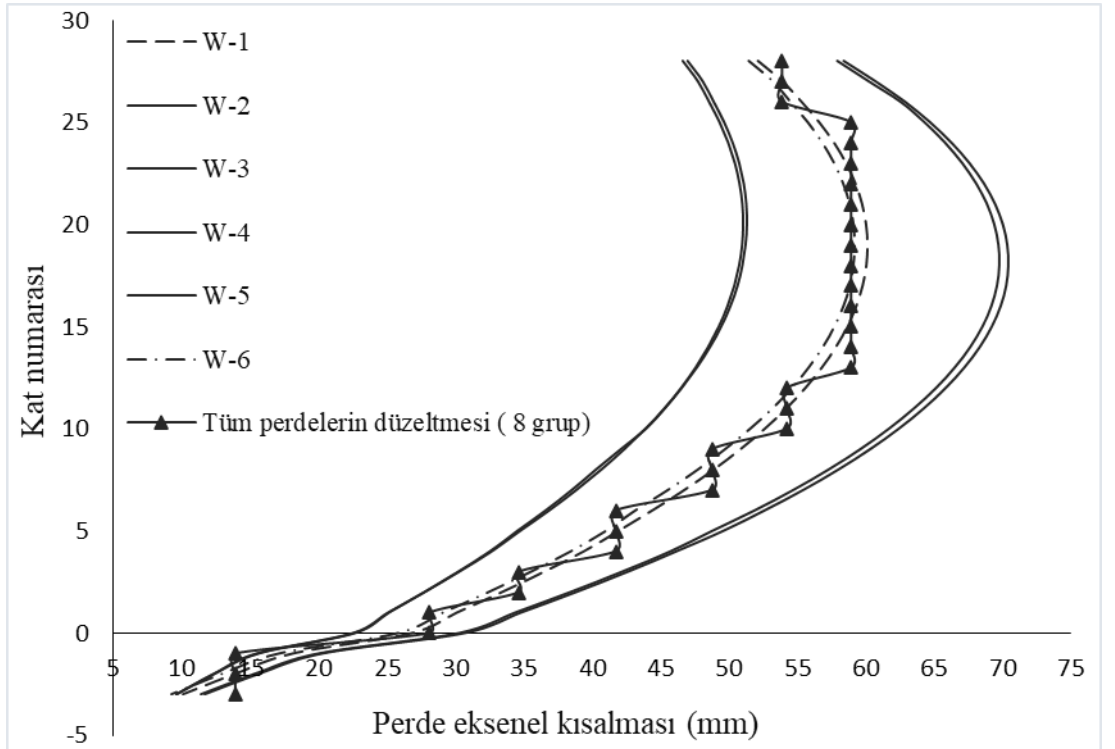
Şekil 5.139: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ile tüm kolonların aksenal kısaltmalarının düzeltilmesi.



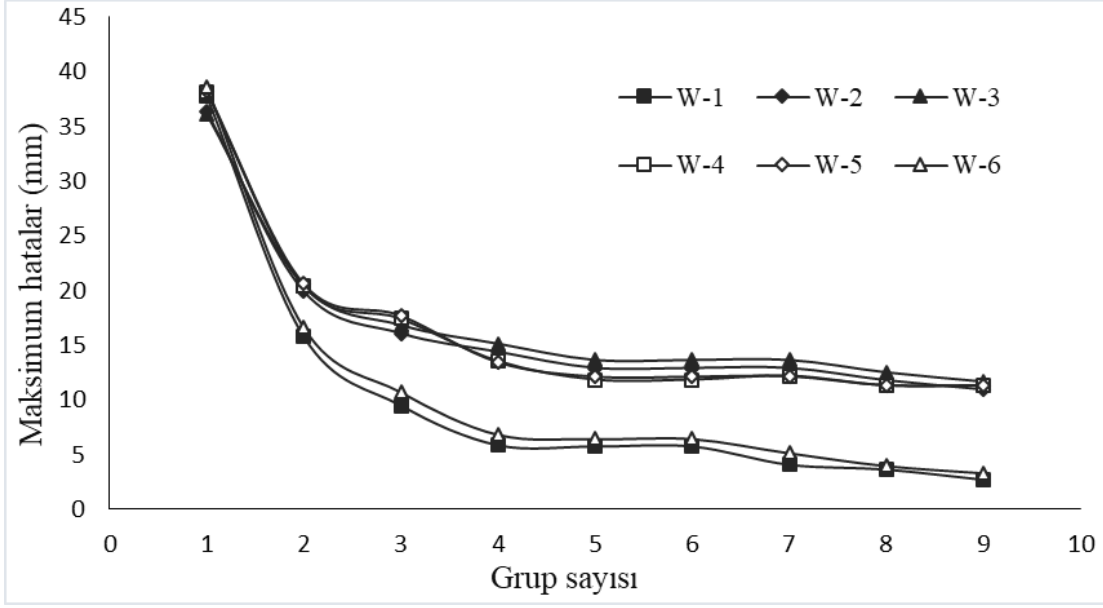
Şekil 5.140: Binanın kule kısmındaki bir katın tüm kolonları için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri.



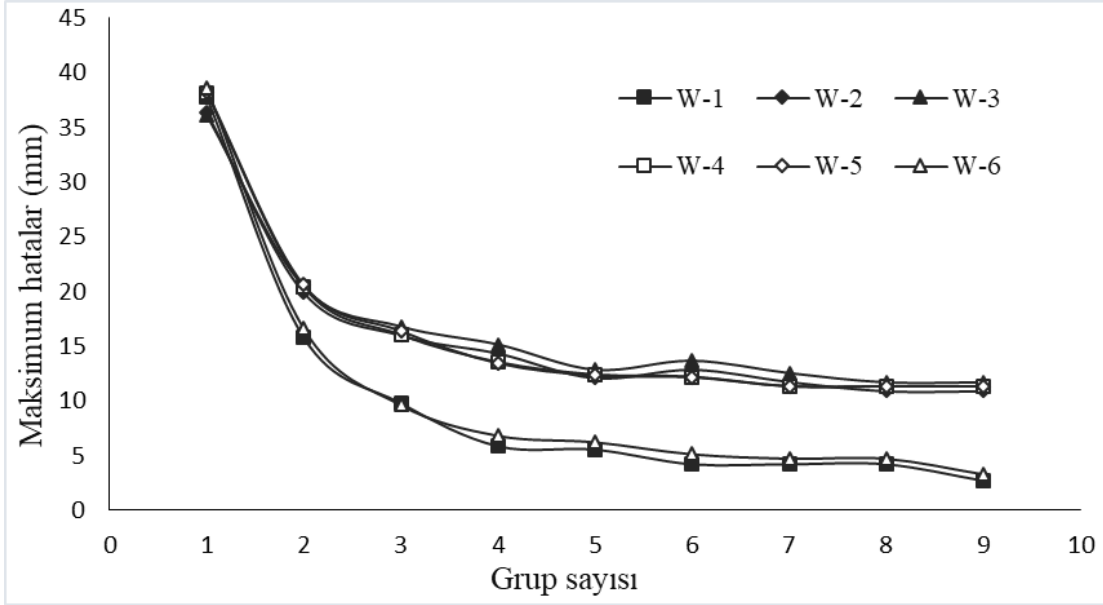
Şekil 5.141: 8 grup için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ile tüm perdelerin eksenel kısalmalarının düzeltilmesi.



Şekil 5.142: 8 grup için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ile tüm perdelerin eksenel kısalmalarının düzeltilmesi.



Şekil 5.143: Binanın kule kısmındaki bir katın tüm perdeleri için L1-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri.



Şekil 5.144: Binanın kule kısmındaki bir katın tüm perdeleri için L2-normu kullanan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminin grup sayısı ve düzeltme hatalarının ilişkileri.

Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi ile kule kısmındaki tüm kolonlar veya perdeler kendi içlerinde birlikte düzeltilmiştir. Bu nedenle, tüm düşey elemanların aynı zamanda dikkate alınmasından dolayı, ayrı ayrı alındığı duruma göre daha yüksek hatalar ortaya çıkmıştır. Ancak tüm elemanları birlikte değerlendirmek ve tüm kat için düzeltmenin uygulanması inşaat tekniği açısından avantajlar sağlayacaktır.

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, betonarme yüksek binalar için inşaat aşamaları dikkate alınarak sünme ve büzülme nedeniyle oluşacak zamana bağlı davranış modellenmiş ve seçilen betonarme yüksek bir bina üzerinde davranış sayısal olarak araştırılmıştır. Çalışmada seçilen yüksek binanın düşey elemanlarında meydana gelen eksenel kısaltmalar üzerine yoğunlaşmış ve farklı hesap yaklaşımları ile çeşitli modern yönetmelikler kullanarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Düşey elemanların eksenel kısaltmalarının kontrol altında tutulabilmesi için hataları cezalandıran bir hata düzeltme yöntemi önerilmiş ve Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile karşılaştırılarak düşey elemanlar için uygulanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen betonarme yüksek bina hesaplarından elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Bina hesaplarında inşaat adımlarının ve zamana bağlı sünme ve büzülme gibi etkilerin modellenmesi, betonarme yapıların imalat ve zamana bağlı tesirlerinin dikkate alınabilmesi nedeniyle geleneksel doğrusal statik hesap yaklaşımına göre yapısal davranışın temsili açısından daha gerçekçi bir yaklaşım olduğu kanaati oluşmuştur.
- Betonarme yüksek binanın sayısal hesapları incelendiğinde, doğrusal statik hesap sonuçları ile inşaat adımlarını dikkate alan hesap sonuçları karşılaştırıldığında, düşey elemanların eksenel kısaltmalarının önemli ölçüde değiştiği ve sonuç grafiklerinin oldukça farklı olduğu görülmüştür.
- Sünme ve büzülme gibi zamana bağlı etkiler ile inşaat adımlarının dikkate alan hesaplar göz önüne alındığında, düşey elemanların eksenel kısaltmalarının önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Sünme ve büzülme nedeniyle düşey elemanların eksenel kısaltmalarındaki değişimlerin önemi sayısal olarak tespit edilmiştir. Düşey elemanların eksenel kısaltması zaman içerisinde artması, düşey elemanlarda ilave eksenel kuvvetlere, döşemelerde veya bağlantı kirişlerde ilave kesme kuvvetlerine ve eğilme momentlerine

neden olmaktadır. Bu tür ilave yer değiştirmeler binaların yapısal olmayan elemanları üzerinde birçok olumsuz etkiye neden olabilir. Bu sebeplerden dolayı özellikle yüksek binaların hesaplarında inşaat adımlarını dikkate alan hesapların yanı sıra sünme ve büzülme gibi zamana bağlı etkileri de tasarım aşamasında göz önünde bulundurulması faydalı olacaktır.

- CEB-FIP 2010 yönetmeliği hesabında dikkate alınan dört önemli parametrelerinden birisi bağlı nem yüzdesi (β_{RH}) olup düşey elemanların aksenal kısalmalarında bu değer önemli rol oynamaktadır. Bağlı nemin artmasıyla elemanların aksenal kısalmalarında azalmalar görülmüştür.
- Betonarme yüksek bina, günümüzde kullanılmakta olan ACI 209R-92, CEB–FIP 2010, AS 3600-2009, Eurocode 2-2004 ve GL2000 gibi modern yönetmeliklerde yer alan yöntemler kullanılarak da incelenmiş, elde edilen sonuçlar düşey elemanların aksenal kısalmaları üzerinden değerlendirilmiştir. İncelenen bina örneği sonuçlarına göre düşey elemanların aksenal kısalmalarının AS 3600-2009 yönetmeliği ile nispeten en büyük, ACI 209R-92 yönetmeliği ile nispeten en küçük hesaplandığı görülmüştür. Tez çalışmasının diğer kısımlarında kullanılan CEB-FIP 2010 Yönetmeliği'ne göre hesaplanan düşey elemanların aksenal kısalmaları değerlendirildiğinde elde edilen sonuçların yukarıdaki iki hesap yönetmeliği sonuçlarının arasında yer aldığı görülmüştür. Yönetmeliklerin farklı sonuçlar vermesi hesap yöntemlerinde kullanılan parametrelerin sayılarının ve niteliklerinin birbirlerinden farklı olmasına bağlı olduğu düşünölmektedir.
- Betonarme yüksek bina, farklı süreler için de ayrı ayrı incelenmiştir. Düşey elemanların aksenal kısalmaları ilk yıllarda hızlı bir artış gösterirken zaman içerisinde bu hızın düştüğü sayısal olarak görülmüştür. İncelenen bina örneği sonuçları değerlendirildiğinde; 30. yıl için elde edilen düşey elemanların aksenal kısalmalarının 50. yıl için elde edilen değerlere oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir.
- Bir başka inceleme konusu da inşaatın herhangi bir nedenle durdurulmasıdır. Betonarme yüksek bina inşaatı, herhangi bir nedenden dolayı beşinci kat seviyesindeyken durdurulması durumu çeşitli süreler dikkate alınarak incelenmiş ve bu senaryonun düşey elemanların kısalmaları üzerine olan

etkileri araştırılmıştır. İnşaatın durdurulduğu kata kadar olan düşey elemanların aksenal kısaltmaları inşaatın durduğu süreden etkilendiği ve bir miktar azaldığı görülmüştür. Bu tür durumlar bina davranışını etkilediğinden özellikle yüksek binaların tasarım sürecine dahil edilmesinin faydalı olabileceği değerlendirilmiştir.

- Düşey elemanların boyuna donatı oranlarının betonarme yüksek bina düşey elemanlarının davranışları üzerine olan etkilerini araştırmak amacıyla çalışmada kullanılan betonarme yüksek bina kolonlarının donatı oranları arttırılarak düşey elemanların aksenal kısalma miktarı incelenmiştir. Donatı oranlarındaki artış, düşey elemanların aksenal kısaltmalarını azaltmaktadır. Aksenal kısaltmalarla ilgili servis koşullarının sağlanamadığı durumlarda düşey elemanların donatı oranlarının arttırılması ekonomik bir çözüm olmamasına rağmen, eleman kesit boyutlarını değiştirmeden ve mimari projeyi etkilemeden çözüm sunabilmektedir. Bu nedenle, bina tasarım aşamasında bu durumun değerlendirileceği düşünülmektedir.
- Betonarme yüksek binanın kule kısmındaki tüm kolon ve tüm perdelerin aksenal kısaltmaları hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde; S-39 ve S-40 kolonlarının yapı planına göre köşede kaldığı ve kiriş ile perdelerle yük aktarması nedeniyle kolonlar arasında en az kısılmaya maruz kaldığı görülmüştür. S-25 kolonu incelendiğinde planda binanın orta kısmında kaldığı ve yük aldığı alanın büyük olması nedeniyle en büyük aksenal kısalmanın bu kolonda gerçekleştiği görülmüştür. Bu nedenle, tez kapsamında bir çok inceleme için S-25 kolonu verileri dikkate alınmıştır. Binada yer alan perdeler incelendiğinde; enkesit boyutları en küçük olan W-2 ve W-3 perdelerinin perdeler arasındaki en büyük aksenal kısaltmaları yaptığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, W-4 ve W-5 perdeleri en büyük en kesit alanına sahip oldukları için perdeler arasındaki en az kısılmaya sahip elemanlar olduğu görülmüştür.
- Betonarme yüksek binanın düşey elemanlarının aksenal kısaltmalarının düzeltilmesi için çalışmada bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi adı verilmiş olup yöntemin uygulanması ile elde edilen sonuçlar Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

- Betonarme yüksek binanın kule kısmındaki tüm kolon ve perdelerinin aksel kısılmaları ilk olarak Tekdüze Gruplu Düzeltme Yöntemi ile incelenmiştir. Elde edilen aksel kısılma sonuçları çalışmada sunulmuş olan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmış ve çalışmada önerilen yöntemle göre daha yüksek hatalar verdiği görülmüştür. Ayrıca, çalışmada sunulan Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi L1-normu ve L2-normu kullanılarak ayrı ayrı yaklaşımlara da uygulanmıştır. Cezalandırılmış hatalar düzeltme yönteminde L2-normu kullanıldığında L1-normuna göre nispeten daha küçük düzeltme hataları verdiği görülmüştür. Bu nedenle, incelenen yüksek bina hesap sonuçlarına göre Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yönteminde L2-normu yaklaşımının kullanılması önerilmiştir.
- Tüm düzeltme yöntemlerinde düzeltme hataları genellikle grup sayısındaki artışa bağlı olarak azalmıştır. Grup sayısının artması hesap hassasiyetini arttırırken hesap süresini de uzattığı ve imalat aşaması düşünüldüğünde daha çok sayıda grup ile çalışmanın nispeten zorluk getireceği unutulmamalıdır. İncelenen betonarme yüksek bina özelinde, Cezalandırılmış Hataları Düzeltme Yöntemi sonuçları hem L1-normu hem de L2-normu için değerlendirildiğinde sekizden fazla grup oluşturulmasının düzeltme sonuçlarını iyileştiremediği görülmüştür. Bu nedenle, çalışmada sekiz grup sonuçları detaylı şekilde verilmiştir.
- Çalışmada önerilen düzeltme yöntemleri, binanın inşaatı bittikten hemen sonra veya herhangi bir hedef süre dikkate alınarak uygulanabilir. Çalışmada, inşaatın tamamlanmasından hemen sonraki durum ve bina inşaatının başlamasından 50 yıl sonraki durum sonuçları değerlendirilmiştir.
- Çalışmada uygulanan düzeltme yöntemleri her bir düşey eleman için ayrı ayrı olacak şekilde verilmiştir. İnşaat aşamaları ve imalat kolaylığı sağlaması açısından bir başka yaklaşım daha düşünülmüştür. Bu yaklaşıma göre; kolonlar ve perdeler kendi içlerinde her kat içerisinde birlikte dikkate alınmış ve Cezalandırılmış Hatalar Düzeltme Yöntemi kullanarak çözülmüştür. Bu yaklaşımdan elde edilen sonuçlar, düşey elemanların ayrı ayrı ele alındığı yaklaşım sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre; aksel kısılmaların düzeltilmesi için düşey elemanların her kat için birlikte değerlendirildiğinde

düzeltilme hatalarının belirgin şekilde arttığı, ancak inşaat aşamalarını net bir şekilde azalttığı ve kolaylık sağladığı sonucuna varılmıştır. Bu hassas denge gözetilerek betonarme yüksek binaların düşey elemanlarındaki aksel kısılmaları değerlendirilmelidir.

REFERANSLAR

- [1] Skyscraper center, (2019). Tall Buildings In 2019: Another Record Year for Supertall Completions, Counsel on Tall Buildings and Urban Habitat, (10.12.2019). CTBUH
- [2] ACI 435R – 95 (1995). *Control of Deflections in Concrete Structures*. ACI Committee 435: American Concrete Institute.
- [3] Gilbert, R. (1988). *Time effects in concrete structures*. Amsterdam: Elsevier Science publishers B.V.
- [4] Au, F.T.K., Liu, C.H., Lee, P.K.K. (2009). Creep and shrinkage analysis of reinforced concrete frames by history-adjusted and shrinkage -adjusted elasticity moduli. *The Structural design of Tall and Special Buildings*, 18(pp), 13-35.
- [5] Sharma, R.K., Maru, S., Nagpal, A.K. (2009). Effect of beam stiffness-column reinforcement on creep and shrinkage behavior of RC frames. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 18(pp), 327-339.
- [6] Choi, C.K., Kim, E.D. (1985). Multistory frames under sequential gravity loads. *Journal of Structural Engineering-ASCE*, 111(11), 2373-2384.
- [7] Choi, C.K., Chung, H.K., Lee, D.G., Wilson, E.L. (1993). Simplified building analysis with sequential dead loads - CFM. *Journal of Structural Engineering-ASCE*, 119(7), 2273-2274.
- [8] Fintel M, Ghosh SK, Iyengar H. (1986). Column shortening in tall structures-prediction and compensation. *Portland Cement Association*, 8(2), 34pp.
- [9] Gao, Z., Bradford, M.A. (1993). Time-dependent shortening of slender RC columns. *Journal of Engineering Mechanics-ASCE*, 119(10), 2036-2051.
- [10] Pan, L.B., Liu, P.C., Bakoss, S.L. (1993). Long-term shortening of concrete columns in tall buildings. *Journal of Structural Engineering- ASCE*, 119(pp), 2258-2262.
- [11] Kwak, H.G., Kim, J.K. (2005). Time-dependent analysis of RC frame structure considering construction sequences. *Building and Environment*, 41(10), 1423-1434.
- [12] Kim, H.S., Shin, S.H. (2011). Column shortening analysis with lumped construction sequences. *Procedia Engineering*, 14(pp), 1791-1798.
- [13] Kim, H.S., Jeong, S.H., Shin, S.H. (2010). Column shortening analysis of tall buildings with lumped construction sequences. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 21(10), 764-776.
- [14] Kurc, O., Lulec, A. (2013). A comparative study on different analysis approaches for estimating the axial loads on columns and structural walls at tall buildings. *The Structural Design of Tall and Special*

- Buildings*, 22(pp), 485-493.
- [15] Kim, H.S., Jeong, S.H., Shin, S.H., Park, J.P. (2012). Simplified column shortening analysis of a multi-storey. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 20(8), 405-415.
 - [16] Kim, H.S. (2013). Effect of horizontal members on column shortening of reinforced. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22(5), 440-453.
 - [17] Afshari, M.J., Kheyroddin, A. (2019). A predicting method for long-term behavior of reinforced concrete moment frames. *ACI Structural Journal*, 116(6), 195-211.
 - [18] Afshari, M.J., Kheyroddin, A., Gholhaki, M. (2018). Simplified Time-dependent column shortening analysis in special reinforced concrete moment frames. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(1), pp. 232-249.
 - [19] Li, Q., Yinghou, H., Wang, H., Zhou, K., Yan, B. (2016). Monitoring and time-dependent analysis of vertical deformations of the tallest building in China. *Structural Control and Health Monitoring*, 24(7), 1-16.
 - [20] Kim, H.S. (2017). Effect of outriggers on differential column shortening in tall buildings. *International Journal of High-Rise Buildings*, 6(1), 90-99.
 - [21] Kim, H.S., Lim, Y.J., Lee, H.L. (2019). Strength demand of dual-purpose outrigger system for reducing lateral displacement and differential axial shortening in a tall building. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 29(4), 1-19.
 - [22] Choi, S.W., Kim, Y., Kim, J.M., Park, H.S. (2013). Field monitoring of column shortenings in a high-rise building during Construction. *Sensors*, 13(11), 14321-14338.
 - [23] Pendharkar, U., Patel, K.A., Chaudhary, S., Nagpal, A.K. (2017). Rapid prediction of moments in high-rise composite frames considering cracking and time-effects. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 61(2), 282-291.
 - [24] Park, H.S. (2003). Optimal compensation of differential column shortening in high-rise buildings. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 12(1), 49-66.
 - [25] Park, S.W., Choi, S.W., Park, H.S. (2013). Moving average correction method for compensation of differential column shortenings in high-rise buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22(9), 718-728.
 - [26] Samarakkody, D. I., Thambiratnam, D. P., Chan, T. H., Moragasipitiya, P. H. (2017). Differential axial shortening and its effects in high rise buildings with composite concrete filled tube columns. *Construction and Building Materials*, 143(pp), 659-672.
 - [27] Bazant, Z. (1982). *Creep and Shrinkage in Concrete Structures*. (F. H. Wittmann, Dü.) California: John Wiley and Sons Ltd.
 - [28] Pauw, A. (December 1960). *Static Modulus of Elasticity of Concrete as Affected by Density*. 157(pp), 679-687.
 - [29] Rüsçh, H. J. (1983). *Creep and shrinkage – their effect on the behaviour of concrete structures*. Amsterdam: Springer – Verlag.
 - [30] Henry, M. (1943). A new Aspect of Creep in Concrete and its Application to Design. *Proc. ASTM*, 1069-1084.

- [31] ACI 209R-92 (1992). *Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures*. St. Louis, Missouri, ABD: American Concrete Institute.
- [32] CEB-FIP 90. (1990). *Model Code for Concrete Structures*. London, UK: FIB-Fédération Internationale du Béton.
- [33] CEP-FIP 2010. (2012). *Model Code 2010, Final Draft*, fib bulletins 65 and 66. Lausanne, FIB: International Federation for Structural Concrete.
- [34] AS3600. (2009). *AS3600-2009 Concrete Structures*. Sedny: Standards Australia.
- [35] Eurocode 2-2004, (2004). *Design of concrete structures*. London: European Committee for Standardization.
- [36] Gardener, N., & Lockman, M. (2001). Design Provisions for Drying Shrinkage and Creep of Normal-Strength Concrete. *ACI Martials Journal*, 98(2), 159-167.
- [37] Saral, E. (2016). *Betonarme yüksek binaların doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile deprem performansının belirlenmesi* (427994: Yüksek lisans tezi): Dokuz Eylül Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [38] Computers and Structures, Inc. (2019). *CSI Analysis reference manual for ETABS*. Berkeley, California.
- [39] TBDY 2018 (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Ankara.
- [40] ACI 318-08 (2008). *Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 318-08) and Commentar. USA: American Concrete Institute.
- [41] İmar kanunu, 3194 (Mayıs 3, 1985). *Türkiye İmar Kanunu*, Ankara.
- [42] Glandt, E.D., Klein, M.T., Edgar, T.E. (2001). *Optimization of chemical processes*. ISBN 0-07-039359-1, 2nd Edition: McGraw-Hill Higher Education.
- [43] Narin, A., Isler, Y., Ozer, M., Perc, M. (2018). Early prediction of paroxysmal atrial fibrillation based on short-term heart rate variability. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 509(pp), 56-65.
- [44] Narin, A., Isler, Y., Ozer, M. (2014). Investigating the performance improvement of HRV Indices in CHF using feature selection methods based on backward elimination and statistical significance. *Computers in Biology and Medicine*, 45(pp), 72-79.
- [45] He, W., Bindel, D., Govindjee, S. (2012). Topology optimization in micromechanical resonator design. *Optim. Eng.*, 13, 271-292.
- [46] Gauger, N., Walther, A., Özkaya, E. et al. (2012). Efficient aerodynamic shape optimization by structure exploitation. *Optim. Eng.*, 13, 563-578.
- [47] Zhou, D., Sharma, S. K., Lüttgen A., Sarris, C.D. (2020). Systematic design optimization of capacitive touch sensor electrode patterns. *IEEE Sensors Journal*, 20(4, pp), 1962-1970.
- [48] Moravec, J. (2015). A comparative study: L1-norm vs. L2-norm; point-to-point vs. point-to-line metric; evolutionary computation vs. *gradient search*. *Applied Artificial Intelligence*, 29(pp), 164-210.
- [49] Duda, R.O., Hart, P.E., Stork, D.G. (2000). *Pattern classification*. ISBN: 978-0-471-05669-0.: 2nd Edition.
- [50] MathWorks "Matlab R2019a", [computer program] Available at: <https://www.mathworks.com/videos/release-2019ahighlights-1551299250379.html> [Accessed: 06 March 2020].

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Amanullah ZAMANI
Doğum Yeri ve Tarihi: Samangan, Afganistan, 26.05.1992
Adres: İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çiğli Ana Kampüs, İzmir, Türkiye
E-posta: amanullahzamani28@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

- Lisans: 2015, Jawzjan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Jawzjan, Afganistan.
- Türkçe Eğitimi: 2016, Başkent Üniversitesi Türkçe Eğitimi Uygulama ve Araştırma Merkezi (BÜTEM- BAŞKENT), Ankara, Türkiye.
- İngilizce Hazırlık: 2017, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Yabancı Diller Yüksek Okulu, İzmir, Türkiye.

Yayın Listesi:

- Zamani, A. ve Nazari, N. Afganistan Kuzey Bölgesinin İnşaat Sektöründe İş Güvenliği Eğitimi, 2. Uluslararası Öğrenciler Fen Bilimleri Kongresi Bildiriler Kitabı, 4-5 Mayıs 2018, İzmir– Türkiye
- Zamani, A. ve Seçer, M. Betonarme Bina Kolonları için Sünme ve Büzülme Parametrelerinin İncelenmesi, 3. Uluslararası Öğrenciler Fen Bilimleri Kongresi Bildiriler Kitabı, 3-4 Mayıs 2019, İzmir- Türkiye
- Secer, M. Zamani, A. İslar, Y. A Practical Compensation Method for Differential Column Shortenings in High-Rise Reinforced Concrete Buildings. (Makale çalışması Mart 2020’de Uluslararası bir dergiye gönderilmiş olup, henüz inceleme aşamasındadır.)