

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KISMİ BOŞLUKLU DOLGU DUVARLI
BETONARME ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL
OLMAYAN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Onur ÖZTÜRKÖĞLU

Haziran, 2016
İZMİR

KİSMİ BOŞLUKLU DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı**

Onur ÖZTÜRKÖĞLU

Haziran, 2016

İZMİR

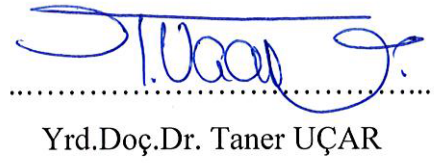
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ONUR ÖZTÜRKÖĞLU, tarafından DOÇ.DR. YUSUF YEŞİLCE ve YRD.DOÇ.DR. TANER UÇAR yönetiminde hazırlanan “KISMİ BOŞLUKLU DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç.Dr. Yusuf YEŞİLCE

Yönetici



Yrd.Doç.Dr. Taner UÇAR

Yönetici



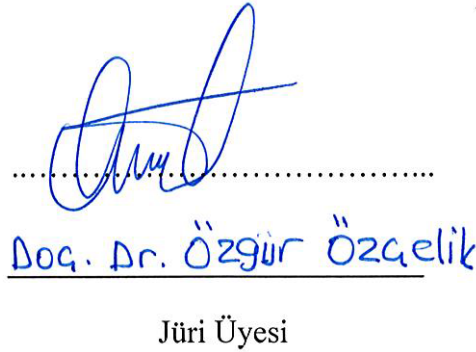
Doç. Dr. Oktay DEMİRDAG

Jüri Üyesi



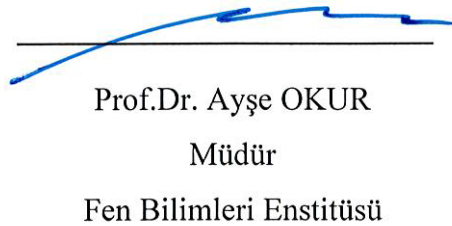
Prof. Dr. Yıldırım Ertutur

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Özgür Özçelik

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca çalışmalarına yön veren, kendilerinden çok şey öğrendiğim değerli danışmanlarım Sayın Yrd.Doç.Dr. Taner UÇAR'a ve Sayın Doç.Dr. Yusuf YEŞİLCE'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Kendisinden öğrendiğim değerli bilgiler için, tavsiyelerine her zaman güvendiğim Sayın Prof.Dr. Hikmet Hüseyin ÇATAL'a, birçok konuda fikirleriyle bana yardımcı olan değerli arkadaşım Arş.Gör. Baran BOZYİĞİT'e, yanımda olduğu sürece kendimi mutlu hissettiğim, verdiği manevi destek ile yolumda ilerlememde büyük katkısı olan, sevgili Esra SANDAL'a çok teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca hep yanımda olan, beni ve verdiğim kararları destekleyen, ailem oldukları için kendimi şanslı hissettiğim ve onlara olan borcumu asla ödeyemeyeceğim annem Naziye ÖZTÜRKOĞLU'na, babam Mustafa ÖZTÜRKOĞLU'na ve ablam Yasemin ÖZTÜRKOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Onur ÖZTÜRKOĞLU

KİSMİ BOŞLUKLU DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ÖZ

Dolgu duvarlar, yapıyı dış ortamdan izole etmek ve farklı iç mekanları birbirinden ayırmak amacıyla betonarme binalarda sıkça kullanılmaktadır. Analiz modelinde genellikle taşıyıcı eleman olarak tanımlanmayan dolgu duvarlar, düşey yayılı yük olarak dikkate alınmaktadırlar. Buna karşın, dolgu duvarlarda deprem etkisi altında hasarların oluşması, dolgu duvarın çerçeve elemanlarıyla etkileşim halinde olduğunu ve yük aktarımı gerçekleştirdiğini göstermektedir. Aydınlatma ve giriş-çıkış gibi fonksiyonel ve mimari gereksinimlerden dolayı açılan kısmi boşluklar da, dolgu duvarlı betonarme yapıların yatay rijitlik ve dayanımını azaltarak deprem davranışını etkileyen önemli parametredir.

Çalışmada, farklı kat ve açıklık sayısına sahip 12 adet düzlem çerçeve dolgu duvarsız, kısmi boşluklu dolgu duvarlı ve tam dolgulu olarak modellenmiştir. Farklı konum ve boyutlardaki boşlukların neden olduğu rijitlik kaybı, rijitlik azaltma faktörleri yardımıyla göz önünde bulundurulmuştur. Bu faktörler, çerçeve-duvar etkileşiminin dikkate alındığı ve dolgu duvarların sonlu elemanlarla modellendiği analizlerden elde edilmiştir. Eşdeğer basınç çubuğunun doğrusal elastik olmayan davranışını tanımlayan aksenal basınç kuvveti-kısalma ilişkisine ait parametreler, dikkate alınan tüm boşluk konumları ve oranları için elde edilmiş ve bu özellikler eşdeğer basınç çubuklarının orta noktasında tanımlanan plastik kesitlere atanmıştır. Betonarme elemanların doğrusal elastik olmayan davranışı ise yığılı plastik davranış modeli esas alınarak idealleştirilmiş ve plastik mafsallar kiriş ve kolonların uç kesitlerine atanmıştır. Dolgu duvar kalınlığının etkisini gözlemleyebilmek için, kısmi boşluklu dolgu duvarlı çerçeveler farklı duvar kalınlığı ile tekrar modellenmiş ve toplamda 48 adet hesap modeli oluşturulmuştur.

Çerçevelerin doğal titreşim periyotları ve itme eğrileri karşılaştırmalı olarak sunulup yorumlanmıştır. Seçilen bir çerçeve için artımsal itme analizinin ilk

adımından itibaren ortaya çıkan plastik kesit dağılımı, itme eğrisi üzerindeki artımlarla birlikte gösterilerek boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler etkisinde genel davranışı irdelenmiştir. Çerçevelerin akma noktalarındaki tepe yerdeğiştirmesi değerleri ve taban kesme kuvveti katsayıları belirlenmiştir. Çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemleri Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğe göre hesaplanmış ve bu noktadaki taban kesme kuvvetleri, kat yatay yerdeğiştirmeleri, göreli kat ötelemesi oranları ve seçilen bir plastik mafsaldaki plastik dönme değerleri tablolar ve grafikler ile sunulmuştur. Sonuçlar yorumlanarak dolgu duvarların, dolgu duvar düzleminde açılan kısmi boşlukların ve dolgu duvar kalınlığının betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan davranışına etkisi değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kısmi boşluklu dolgu duvar, rijitlik azaltma faktörü, doğrusal olmayan davranış, betonarme çerçeve, artımsal itme analizi, tepe yerdeğiştirmesi istemi

INVESTIGATION OF NONLINEAR BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE FRAMES WITH PARTIALLY INFILLED WALLS

ABSTRACT

Infill walls are widely used as exterior walls and interior partitions in reinforced concrete (RC) buildings. Infill walls are generally not taken into account in structural analysis and design and treated as non-structural components acting as a distributed gravity load. However, several damages occurred in infill walls when structures are subjected to earthquakes have definitely demonstrated that infill walls interact with the bounding frame and a part of the lateral load is transferred through infills. Furthermore, prevalent openings within the infill wall due to functional needs and architectural considerations, such as daylighting and entrances and exits, are significant parameter affecting the seismic behavior of infilled frame thereby decreasing the lateral stiffness and strength.

In this study, twelve plane frames with different number of stories and bays are considered. Analyses of bare frames, partially infilled frames with various percentage and configurations of openings and fully infilled frames are performed. Stiffness reduction factors obtained from finite element analysis considering infill wall-frame interaction are used to estimate the strength and stiffness degradation due to opening. Parameters of nonlinear force-displacement relationships of equivalent compression struts are calculated for considered opening positions and percentages and are assigned to diagonal struts. Nonlinear behavior of RC members is considered by adopting a lumped plasticity model. Plastic hinges are assigned at both ends of elastic beam and columns. Partially infilled frames are remodelled considering different thickness of infill in order to investigate the effect of infill thickness to seismic response of partially infilled RC frames. Totally, forty eight analytical models are created.

Structural periods obtained from modal analysis are tabulated and pushover curves obtained from nonlinear static analysis, or so-called pushover, are shown and

the results are discussed. Nonlinear structural behavior of partially infilled RC frames has been analytically studied considering formation of plastic hinges at each lateral load increment and the corresponding incremental top displacement of a particular frame. Yield displacements and resulting yield base shear coefficients are estimated from pushover curves. Additionally, inelastic displacement demands of the frames are calculated in accordance with the procedure given in Turkish Seismic Design Code and corresponding base shears, lateral top displacements, interstory drift ratios of frames and plastic hinge rotations of a particular RC member are given in details. The effect of infill walls, particularly with partial openings, and infill wall thickness to nonlinear seismic response on partially infilled RC frames is evaluated based on the results of the present study.

Keywords: Infill walls with partial opening, stiffness reduction factor, nonlinear behavior, reinforced concrete frame, pushover analysis, inelastic displacement demand

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZ SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xviii
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Giriş	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.3 Literatürde Bulunan Çalışmalar	4
BÖLÜM İKİ - KISMİ BOŞLUKLU DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN DAVRANIŞI VE DOLGU DUVARLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	14
2.1 Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Davranışı	14
2.2 Dolgu Duvarların Mekanik Özellikleri.....	18
2.2.1 Dolgu Birimleri.....	19
2.2.2 Bağlayıcı Harç	21
2.2.3 Dolgu Duvar	24
BÖLÜM ÜÇ - DOLGU DUVARLARIN MODELLENMESİ	28
3.1 Dolgu Duvarların Eşdeğer Basınç Çubuğu ile Modellenmesi	28
3.1.1 Çoklu Eşdeğer Basınç Çubuklarıyla Modelleme	32
3.2 Dolgu Duvarların Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi	34
3.3 Dolgu Duvarlardaki Kısmi Boşlukların Hesap Modeline Dahil Edilmesi	36

3.3.1 Kısmi Boşlukların Eşdeğer Basınç Çubuğu Yaklaşımında Dikkate Alınması	36
3.3.2 Kısmi Boşlukların Sonlu Elemanlar Yaklaşımında Dikkate Alınması	42
3.4 Dolgu Duvarların Doğrusal Elastik Olmayan Davranışının Modellenmesi	43
BÖLÜM DÖRT - BETONARME YAPILARIN DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN DAVRANIŞI VE ARTIMSAL İTME ANALİZİ.....	47
4.1 Plastik Mafsal Hipotezi.....	50
4.2 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi	52
4.3 Binaların Tepe Yerdeğiştirmesi İstemlerinin Belirlenmesi	54
BÖLÜM BEŞ - SAYISAL UYGULAMALAR	62
5.1 Modellerin Tanıtılması	62
5.2 Betonarme Çerçevelerin Hesap Modellerinin Oluşturulması	65
5.2.1 Betonarme Elemanların Modellenmesi	65
5.2.2 Dolgu Duvarların Modellenmesi	85
5.2.2.1 Dolgu Duvarların Elastisite Modülünün Belirlenmesi	86
5.2.2.2 Eşdeğer Basınç Çubuğu Genişliklerinin Belirlenmesi	86
5.2.2.3 Kısmi Boşlukların Hesap Modeline Dahil Edilmesi	88
5.2.2.4 Dolgu Duvarların Doğrusal Elastik Olmayan Davranışının Tanımlanması.....	95
5.3 Seçilen Çerçevelerin Artımsal İtme Analizleri	96
5.3.1 Çerçevelerin İtme Eğrilerinin Elde Edilmesi.....	96
5.3.2 Çerçevelerin Tepe Yerdeğiştirmesi İstemlerinin Belirlenmesi.....	117
5.4 Dolgu Duvar Kalınlığının Kısmi Boşluklu Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Davranışına Etkisi	139
BÖLÜM ALTI - SONUÇLAR.....	166
KAYNAKLAR.....	171

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Farklı dolgu duvar dağılımlarına sahip çerçevelerin yatay yükler etkisi altındaki davranışları.....	15
Şekil 2.2 Kısmi boşlukların çerçeve rijitliğine etkisi	16
Şekil 2.3 Kısmi boşluklu dolgu duvarın sebep olduğu kısa kolon davranışı	18
Şekil 2.4 Tuğla birimlerinin gerilme - birim şekil değiştirme grafikleri	19
Şekil 2.5 Tuğla birimlerinin basınç dayanımları ve elastisite modülleri arasındaki ilişki.....	20
Şekil 2.6 Bağlayıcı harçların gerilme - birim şekil değiştirme grafikleri	23
Şekil 2.7 Bağlayıcı harçların basınç dayanımları ve elastisite modülleri arasındaki ilişki.....	23
Şekil 2.8 Dolgu duvarların gerilme - birim şekil değiştirme grafikleri	25
Şekil 2.9 Dolgu duvarların basınç dayanımları ile elastisite modülleri arasındaki ilişki.....	26
Şekil 3.1 Yatay yük etkisindeki dolgu duvarlı betonarme bir çerçevenin deforme olmuş durumu	28
Şekil 3.2 Eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin hesabında kullanılan bazı parametreler	32
Şekil 3.3 Çoklu eşdeğer basınç çubuğu modelleri. a) İkili paralel eşdeğer basınç çubuğu modeli. b) İkili çapraz eşdeğer basınç çubuğu modeli. c) Üçlü eşdeğer basınç çubuğu modeli.....	33
Şekil 3.4 Dolgu duvarın boyutları arasındaki ilişki.....	34
Şekil 3.5 Dolgu duvarların sonlu elemanlar yaklaşımıyla modellenmesi	35
Şekil 3.6 Dolgu duvarsız bir çerçevenin deforme olmuş hali	37
Şekil 3.7 Tam dolgulu bir çerçevenin deforme olmuş hali.....	38
Şekil 3.8 Kısmi boşluklu bir çerçevenin deforme olmuş hali	38

Şekil 3.9	Kısmi boşlukların çerçeve düzleminde farklı konumlarda olması durumları. a) Boşluğun ortada yer alması durumu. b) Boşluğun sağ üstte yer alması durumu. c) Boşluğun sol üstte yer alması durumu40
Şekil 3.10	Farklı boşluk konumları için rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi42
Şekil 3.11	Kısmi boşluklu dolgu duvarlı betonarme bir yapının hesap modeli43
Şekil 3.12	Eşdeğer basınç çubuğunun doğrusal elastik olmayan davranışı44
Şekil 3.13	Eşdeğer basınç çubuğunun doğrusal elastik olmayan davranışı46
Şekil 3.14	Eşdeğer basınç çubuğunun doğrusal elastik olmayan davranışı46
Şekil 4.1	Betonarmeyi oluşturan malzemelerin gerilme - birim şekil değiştirme eğrileri. a) Beton. b) Çelik48
Şekil 4.2	Farklı eğilme momentleri altında betonarme bir kesitte meydana gelen gerilme ve birim şekil değiştirmeler49
Şekil 4.3	Betonarme bir kesitin eğilme momenti-eğrilik ilişkisi49
Şekil 4.4	Kirişin mesnet bölgesinde elastik ve plastik eğrilik ve plastik mafsallık kabulü51
Şekil 4.5	Yapıya ait itme eğrisinin elde edilmesi54
Şekil 4.6	Spektrum katsayısının periyoda bağlı değişimi55
Şekil 4.7	Elastik ivme spektrumunun spektral ivme - spektral yerdeğiştirme formatına dönüştürülmesi56
Şekil 4.8	İtme eğrisinin modal kapasite diyagramına dönüştürülmesi58
Şekil 4.9	İvme spektrumu ile modal kapasite diyagramının aynı grafikte gösterilmesi58
Şekil 4.10	$T_1 \geq T_B$ olması durumunda modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi 60
Şekil 4.11	$T_1 < T_B$ olması durumunda yapılacak olan ardışık yaklaşımın ilk adımı 61
Şekil 4.12	$T_1 < T_B$ olması durumunda modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi 61
Şekil 5.1	İki açıklıklı betonarme çerçeveler63
Şekil 5.2	Üç açıklıklı betonarme çerçeveler64

Şekil 5.3	Dört açıklıklı betonarme çerçeveler.....	64
Şekil 5.4	Betonarme elemanların eğilme momenti - plastik dönme ilişkisi	85
Şekil 5.5	Rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi ($L=4$ m, $b=h=40$ cm)	90
Şekil 5.6	Rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi ($L=4$ m, $b=h=45$ cm)	90
Şekil 5.7	Rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi ($L=4$ m, $b=h=50$ cm)	91
Şekil 5.8	Rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi ($L=5$ m, $b=h=40$ cm)	91
Şekil 5.9	Rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi ($L=5$ m, $b=h=45$ cm)	92
Şekil 5.10	Rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi ($L=5$ m, $b=h=50$ cm)	92
Şekil 5.11	Bir açıklıkta tanımlanan eşdeğer basınç çubuğunun kuvvet - şekil değiştirme grafiği.....	96
Şekil 5.12	İki açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri	97
Şekil 5.13	İki açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri.....	98
Şekil 5.14	İki açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri.....	98
Şekil 5.15	İki açıklıklı altı katlı betonarme çerçevelerin itme eğriler	99
Şekil 5.16	Üç açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin itme eğriler	99
Şekil 5.17	Üç açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri	100
Şekil 5.18	Üç açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri.....	100
Şekil 5.19	Üç açıklıklı altı katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri.....	101
Şekil 5.20	Dört açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri	101
Şekil 5.21	Dört açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri.....	102
Şekil 5.22	Dört açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri.....	102
Şekil 5.23	Dört açıklıklı altı katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri	103
Şekil 5.24	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin artımsal itme analizi başlangıç durumu.....	105
Şekil 5.25	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin birinci itme adımı.....	106
Şekil 5.26	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin ikinci itme adımı	106
Şekil 5.27	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin üçüncü itme adımı.....	107

Şekil 5.28	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin dördüncü itme adımı	107
Şekil 5.29	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin beşinci itme adımı	108
Şekil 5.30	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin altıncı itme adımı	108
Şekil 5.31	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin yedinci itme adımı.....	109
Şekil 5.32	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin sekizinci itme adımı	109
Şekil 5.33	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin dokuzuncu itme adımı	110
Şekil 5.34	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin onuncu itme adımı.....	110
Şekil 5.35	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin on birinci itme adımı	111
Şekil 5.36	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin on ikinci itme adımı	111
Şekil 5.37	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin on üçüncü itme adımı	112
Şekil 5.38	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin on dördüncü itme adımı.....	112
Şekil 5.39	BÇ_2A4K-2 çerçevesinin on beşinci itme adımı	113
Şekil 5.40	Çerçevelerin akma noktasındaki taban kesme kuvveti katsayıları ve birinci moda ait periyotları	117
Şekil 5.41	Z3 yerel zemin sınıfı için spektrum katsayısının periyoda bağlı değişim	118
Şekil 5.42	Z3 yerel zemin sınıfına ait elastik ivme spektrumu.....	118
Şekil 5.43	Spektral formattaki elastik ivme spektrumu.....	119
Şekil 5.44	İki açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.....	125
Şekil 5.45	İki açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.....	125
Şekil 5.46	İki açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.....	126
Şekil 5.47	İki açıklıklı altı katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.....	126
Şekil 5.48	Üç açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.....	127
Şekil 5.49	Üç açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.....	127
Şekil 5.50	Üç açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.....	128

Şekil 5.51	Üç açıklıklı altı katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.....	128
Şekil 5.52	Dört açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.....	129
Şekil 5.53	Dört açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.....	129
Şekil 5.54	Dört açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.....	130
Şekil 5.55	Dört açıklıklı altı katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.....	130
Şekil 5.56	İki açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin görelî kat öteleme oranları	131
Şekil 5.57	İki açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin görelî kat öteleme oranları	131
Şekil 5.58	İki açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin görelî kat öteleme oranları	132
Şekil 5.59	İki açıklıklı altı katlı betonarme çerçevelerin görelî kat öteleme oranları	132
Şekil 5.60	Üç açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin görelî kat öteleme oranları	133
Şekil 5.61	Üç açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin görelî kat öteleme oranları	133
Şekil 5.62	Üç açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin görelî kat öteleme oranları	134
Şekil 5.63	Üç açıklıklı altı katlı betonarme çerçevelerin görelî kat öteleme oranları	134
Şekil 5.64	Dört açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin görelî kat öteleme oranları	135
Şekil 5.65	Dört açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin görelî kat öteleme oranları	135
Şekil 5.66	Dört açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin görelî kat öteleme oranları	136

Şekil 5.67	Dört açıklıklı altı katlı betonarme çerçevelerin görelî kat ötelemesi oranları	136
Şekil 5.68	İki açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri	139
Şekil 5.69	İki açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri	140
Şekil 5.70	İki açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri	140
Şekil 5.71	İki açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri	141
Şekil 5.72	Üç açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri	141
Şekil 5.73	Üç açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri	142
Şekil 5.74	Üç açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri	142
Şekil 5.75	Üç açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri	143
Şekil 5.76	Dört açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri	143
Şekil 5.77	Dört açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri	144
Şekil 5.78	Dört açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri	144
Şekil 5.79	Dört açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri	145
Şekil 5.80	Farklı dolgu duvar kalınlığına sahip çerçevelerin akma noktasındaki taban kesme kuvveti katsayıları ve birinci moda ait periyotları	149
Şekil 5.81	İki açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri	152
Şekil 5.82	İki açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri	152

Şekil 5.83	İki açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.....	153
Şekil 5.84	İki açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.....	153
Şekil 5.85	Üç açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.....	154
Şekil 5.86	Üç açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.....	154
Şekil 5.87	Üç açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.....	155
Şekil 5.88	Üç açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.....	155
Şekil 5.89	Dört açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.....	156
Şekil 5.90	Dört açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.....	156
Şekil 5.91	Dört açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.....	157
Şekil 5.92	Dört açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.....	157
Şekil 5.93	İki açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat öteleme oranları.....	158
Şekil 5.94	İki açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat öteleme oranları.....	158
Şekil 5.95	İki açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat öteleme oranları.....	159
Şekil 5.96	İki açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat öteleme oranları.....	159
Şekil 5.97	Üç açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat öteleme oranları.....	160
Şekil 5.98	Üç açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat öteleme oranları.....	160

Şekil 5.99	Üç açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat ötelemesi oranları.....	161
Şekil 5.100	Üç açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat ötelemesi oranları.....	161
Şekil 5.101	Dört açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat ötelemesi oranları.....	162
Şekil 5.102	Dört açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat ötelemesi oranları	162
Şekil 5.103	Dört açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat ötelemesi oranları	163
Şekil 5.104	Dört açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat ötelemesi oranları	163

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Tuğla birimleri için test sonuçları özeti	20
Tablo 2.2 Tuğla birimlerinin basınç dayanımları ve elastisite modülleri	21
Tablo 2.3 Tuğla çeşitleri ve özellikleri	21
Tablo 2.4 Harç sınıfları ve basınç dayanımları	22
Tablo 2.5 Harç sınıfları ve mekanik özellikleri.....	22
Tablo 2.6 Harç sınıfları ve mekanik özellikleri.....	23
Tablo 2.7 Farklı tuğla türleri ve farklı kalitedeki harçlardan oluşturulan dolgu duvarların mekanik özellikleri.....	27
Tablo 3.1 Kısmi boşluğun ortada olması durumunda rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi.....	40
Tablo 3.2 Kısmi boşluğun sağ üstte olması durumunda rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi.....	41
Tablo 3.3 Kısmi boşluğun sol üstte olması durumunda rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi.....	41
Tablo 4.1 Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B)	56
Tablo 5.1 Betonarme çerçevelerin tasarım parametreleri.....	63
Tablo 5.2 Çerçevelerin açıklık uzunlukları.....	63
Tablo 5.3 Betonarme çerçevelerin isimlendirilmesi.....	65
Tablo 5.4 Çerçeve kolonlarının enkesit boyutları, boyuna donatıları ve kapasiteleri.....	66
Tablo 5.5 İki açıklıklı üç katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri.....	67
Tablo 5.6 İki açıklıklı dört katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri	68

Tablo 5.7	İki açıklıklı beş katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri.....	69
Tablo 5.8	İki açıklıklı altı katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri.....	70
Tablo 5.9	Üç açıklıklı üç katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri.....	71
Tablo 5.10	Üç açıklıklı dört katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri.....	72
Tablo 5.11	Üç açıklıklı beş katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri.....	73
Tablo 5.12	Üç açıklıklı altı katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri.....	74
Tablo 5.13	Dört açıklıklı üç katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri.....	75
Tablo 5.14	Dört açıklıklı dört katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri.....	76
Tablo 5.15	Dört açıklıklı beş katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri.....	77
Tablo 5.16	Dört açıklıklı altı katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri.....	78
Tablo 5.17	İki açıklıklı üç katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri	79

Tablo 5.18	İki açıklıklı dört katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri	79
Tablo 5.19	İki açıklıklı beş katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri	80
Tablo 5.20	İki açıklıklı altı katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri	80
Tablo 5.21	Üç açıklıklı üç katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri	80
Tablo 5.22	Üç açıklıklı dört katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri	80
Tablo 5.23	Üç açıklıklı beş katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri	81
Tablo 5.24	Üç açıklıklı altı katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri	81
Tablo 5.25	Dört açıklıklı üç katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri	81
Tablo 5.26	Dört açıklıklı dört katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri	81
Tablo 5.27	Dört açıklıklı beş katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri	82
Tablo 5.28	Dört açıklıklı altı katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri	82
Tablo 5.29	Çerçevelerin çatlamamış kesitlere ait eğilme rijitliği (EI) kullanılarak elde edilen birinci moda ait doğal titreşim periyotları	83
Tablo 5.30	Çerçevelerin çatlamış kesitlere ait etkin eğilme rijitliği ((EI) _e) kullanılarak elde edilen birinci moda ait doğal titreşim periyotları	84
Tablo 5.31	Betonarme elemanların eğilme momenti - plastik dönme ilişkisine ait sayısal değerler	85
Tablo 5.32	Boşluksuz dolgu duvarlar için eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri (t _{inf} =20 cm)	87
Tablo 5.33	Boşluksuz dolgu duvarlar için eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri (t _{inf} =10 cm)	87

Tablo 5.34	Boşluk eleman rijitlikleri ve hesapta kullanılan parametreler ($t_{inf}=20$ cm)	88
Tablo 5.35	Boşluk eleman rijitlikleri ve hesapta kullanılan parametreler ($t_{inf}=10$ cm)	89
Tablo 5.36	Boşlukların eşdeğer basınç çubuğu genişliğine etkisi (açıklık uzunluğu=4 m, $t_{inf}=20$ cm)	93
Tablo 5.37	Boşlukların eşdeğer basınç çubuğu genişliğine etkisi (açıklık uzunluğu=5 m, $t_{inf}=20$ cm)	94
Tablo 5.38	Boşlukların eşdeğer basınç çubuğu genişliğine etkisi (açıklık uzunluğu=4 m, $t_{inf}=10$ cm)	94
Tablo 5.39	Boşlukların eşdeğer basınç çubuğu genişliğine etkisi (açıklık uzunluğu=5 m, $t_{inf}=10$ cm)	95
Tablo 5.40	Çerçevelerin yatay yük taşıma kapasiteleri	104
Tablo 5.41	Çerçevelerin akma noktasındaki tepe yerdeğiştirmesinin çerçeve yüksekliğine oranı.....	115
Tablo 5.42	Çerçevelerin akma noktasındaki taban kesme kuvveti katsayıları	116
Tablo 5.43	Çerçevelerin birinci moda ait etkin kütleleri ($t_{inf}=20$ cm).....	120
Tablo 5.44	Çerçevelerin en üst katındaki birinci moda ait genlikleri ($t_{inf}=20$ cm)	121
Tablo 5.45	Birinci moda ait katkı çarpanları ($t_{inf}=20$ cm)	122
Tablo 5.46	Çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemleri ($t_{inf}=20$ cm)	123
Tablo 5.47	Çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemlerine karşılık gelen taban kesme kuvvetleri.....	124
Tablo 5.48	Çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemindeki en büyük plastik dönmeye sahip giriş ucundaki plastik dönme değerleri.....	138
Tablo 5.49	Farklı dolgu duvar kalınlığına sahip çerçevelerin yatay yük kapasiteleri.....	146
Tablo 5.50	Farklı dolgu duvar kalınlığına sahip çerçevelerin akma noktasındaki tepe yerdeğiştirmesinin çerçeve yüksekliğine oranı	147
Tablo 5.51	Farklı dolgu duvar kalınlığına sahip çerçevelerin akma noktasındaki taban kesme kuvveti katsayısı	148

Tablo 5.52	10 cm kalınlığında dolgu duvarlara sahip çerçevelerin itme eğrilerinin modal kapasite diyagramlarına çevrilmesinde kullanılan parametreler.....	150
Tablo 5.53	Farklı dolgu duvar kalınlığına sahip çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemleri ve bu yerdeğiştirmelere karşılık gelen taban kesme kuvvetleri.....	151
Tablo 5.54	Farklı dolgu duvar kalınlığına sahip çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemlerindeki en büyük plastik dönmeye sahip kiriş ucundaki plastik dönme değeri.....	165



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Giriş

Ülkemizde ve dünyada farklı taşıyıcı sistemlere sahip yapılarda, mekanlar oluşturmak ve farklı kullanım amaçlarına sahip mekanları birbirinden ayırmak amacıyla çeşitli malzemelerden yapılmış dolgu duvarların kullanılması yaygın bir uygulamadır. Dolgu duvarlar, nadiren bölücü eleman olarak döşemeler üzerinde konumlandırılrsa da, genellikle taşıyıcı çerçeve sistem düzleminde bulunmaktadır. Dolgu duvarlar; çerçeve düzlemini tamamen kapatabildiği gibi, giriş - çıkış ve aydınlatma gibi farklı mimari ihtiyaçlardan dolayı düzlemlerinde farklı şekil, konum ve büyüklüklerde kısmi boşluklar bulundurabilir.

Betonarme binaların yapısal analizinde genellikle hesap modeline dahil edilmeyen dolgu duvarlar kirişler üzerinde yayılı ağırlık olarak dikkate alınmaktadır. Homojen ve izotrop olmayan tuğla duvarların hesap modelinin oluşturulması birçok değişkeni içerdiğinden dolayı oldukça karmaşık ve kesin değildir. Ayrıca dolgu duvar ile ilgili tüm değişkenleri kapsayacak şekilde basit bir analitik hesap modelinin önerilmesi de kolay değildir. Bununla birlikte, dolgu duvarların analizlerde dikkate alınmaması, betonarme çerçevelerde yatay rijitlik, dayanım, yerdeğiştirme sünekliği, enerji tüketimi, göçme mekanizması gibi doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal davranış ile doğrudan alakalı birçok parametrenin hassas bir şekilde belirlenememesine neden olmaktadır. Ayrıca rijitlikteki artışa bağlı olarak yapının dinamik özellikleri de değişmektedir.

Genellikle yapısal olmayan eleman olarak dikkate alınsalar bile deprem etkileri altında dolgu duvarların kendisini sınırlayan betonarme çerçeve ile etkileşimi söz konusudur. Bu etkileşimin çerçevenin yapısal davranışına ve performansına olumlu ya da olumsuz bir takım etkilerinin olması kaçınılmazdır. Depremlerde dolgu duvarlarda oluşan hasarlar bu etkileşimin bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Dolgu duvarlarda oluşan hasar, yatay yüklere direnme ve enerji sönmleme anlamına gelir

ki bu da dolgu duvarların analitik modellerde hesaba katılmasını gerektirir (Sayın ve Kaplan, 2005; Yakut, Binici, Demirel, ve Özcebe, 2013; Öztürkoğlu, Uçar, ve Yeşilce, 2015).

Birçok değişkene bağlı hassas bir hesap modeli oluşturulması oldukça güç olan dolgu duvarların modellenmesine yönelik literatürde ‘eşdeğer basınç çubuğu’ ve ‘sonlu elemanlar’ olmak üzere iki ana yaklaşım bulunmaktadır (Asteris, 2003; Kaushik, Rai, ve Jain, 2008; Köse, 2009; Allouzi, İrfanoğlu, ve Haikal, 2014). Bu yaklaşımlar kullanılarak dolgu duvarların analiz modellerine dahil edileceği çalışmalarda, bina rijitliği ve buna bağlı olarak değişen birçok parametrenin daha hassas olarak elde edileceği aşikardır. Bununla birlikte dolgu duvar düzleminde açılan boşluklar dolgu duvarın deprem davranışını etkileyen en önemli parametredir (Federal Emergency Management Agency [FEMA], 1998). Dolgu duvarların düzlemlerinde bulunan farklı şekil, konum ve boyuttaki kısmi boşluklar, duvar rijitliğini ve dolayısıyla bina rijitliğini farklı oranlarda etkileyeceğinden; analiz modellerinde doğru olarak dikkate alınmalıdır (Asteris, 2003; Dolšek ve Fajfar, 2008).

Bina davranışına olumlu etkilerinin yanı sıra dolgu duvarların, katlar arasındaki düzensiz dağılımından veya düzlemlerinde bulunan boşluklardan kaynaklanan; yumuşak kat, zayıf kat ve kısa kolon oluşturma gibi olumsuz etkilerinin de olabileceği göz ardı edilmemelidir (Negro ve Colombo, 1997).

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmada; kısmi boşluklu dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan davranışının incelenmesi amacıyla, farklı kat ve açıklıklara sahip 12 adet betonarme düzlem çerçeve model olarak seçilmiştir. Seçilen çerçeveler; dolgu duvarsız, kısmi boşluklu dolgu duvarlı ve boşluksuz dolgu duvarlı olarak modellenerek; dolgu duvarların ve düzleminde yer alan boşlukların, betonarme çerçevelerin deprem davranışına olan etkisi doğrusal olmayan analizlerle incelenmiştir.

Farklı açıklık ve kat sayısına sahip düzlem çerçeveler ilk olarak dolgu duvarsız hali ile Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'yle analiz edilmiş ve yüksek süneklikli yapı koşullarını sağlayacak şekilde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı [BİB], 2007)'e ve TS500 (Türk Standartları Enstitüsü [TSE], 2000)'e göre boyutlandırılmıştır. Daha sonra dolgu duvarlar, eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı ile analiz modeline dahil edilmiştir. Kısmi boşluklardan dolayı dolgu duvarda oluşan rijitlik kaybını dikkate almak adına, boşluksuz dolgu duvar için hesaplanan eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri, her açıklık için ayrı olarak elde edilen rijitlik azaltma faktörü ile çarpılarak azaltılmıştır. Rijitlik azaltma faktörünün eldesinde, tek katlı tek açıklıklı çerçevelerin düzlemlerinde bulunan dolgu duvarlar, çerçeve-duvar etkileşiminin de dikkate alındığı sonlu elemanlar yaklaşımı ile modellenmiştir. Bu şekilde duvar üzerinde istenilen şekil, konum ve boyutlarda kısmi boşluklar açılarak, bu boşlukların duvar rijitliğine etkisi dikkate alınmıştır. Dolgu duvarların doğrusal elastik olmayan davranışını tanımlayabilmek adına, eşdeğer basınç çubuklarının orta noktalarına, eksenel basınç kuvveti ile plastik şekil değiştirmeler yapabilen, plastik kesitler tanımlanmıştır. Son olarak dolgu duvar kalınlığının, çerçevelerin doğrusal olmayan davranışına etkisini incelemek adına boşluklu dolgu duvarlı çerçeveler farklı duvar kalınlığı ile tekrar modellenmiş ve bu çerçeveler ile birlikte 48 adet hesap modeli oluşturulmuştur.

Oluşturulan modellerde Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile itme analizi gerçekleştirilmiş ve çerçevelerin itme eğrileri elde edilmiştir. Kısmi boşluklu dolgu duvarlı bir çerçevede plastik mafsall oluşum sırası itme eğrisi ile birlikte adım adım izlenerek genel davranış değerlendirilmiştir. Çerçevelerin global akma noktaları tespit edilip bu noktalardaki tepe yerdeğiştirmelerinin çerçeve yüksekliğine oranı ve taban kesme kuvveti katsayıları belirlenmiştir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem düzeyi (tasarım depremi) esas alınarak hazırlanan elastik ivme spektrumu ile çerçevelerin itme eğrilerinin spektral formatı aynı grafik üzerinde çizilerek, çerçevelerin modal yerdeğiştirme istemleri Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (BİB, 2007)'e göre bulunmuştur. Daha sonra modal yerdeğiştirme istemleri, tepe yerdeğiştirmesi istemine çevrilmiş ve çerçeveler için

itme analizleri tepe yerdeğiştirmesi istemine kadar tekrarlanmıştır. Çerçeveslerin tepe yerdeğiştirmesi istemleri, bu yerdeğiştirmelere karşılık gelen taban kesme kuvvetleri, kat yatay yerdeğiştirmeleri, göreli kat ötelemesi oranları ve seçilen bir plastik mafsal bölgesindeki plastik dönme değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar dikkate alınarak; dolgu duvarların, dolgu duvar düzleminde bulunan kısmi boşlukların ve dolgu duvar kalınlığının çerçeveslerin doğrusal olmayan davranışına etkisi değerlendirilmiştir.

Literatürde dolgu duvarlar ile ilgili yapılmış çoğu çalışmada, boşluksuz dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme çerçeveslerin doğrusal-elastik veya doğrusal olmayan davranışları kıyaslanmaktadır. Dolgu duvar düzleminde açılan boşlukların etkisini dikkate alabilmek için ise genellikle kimi açıklıkların tamamen dolgusuz bırakılması yoluna gidilmiş veya laboratuvar ortamında küçük ölçekli deneyler yapılmıştır. Dolgu duvarların düzleminde bulunan kısmi boşlukların dikkate alınarak modellenip, doğrusal olmayan davranışının incelendiği çok az sayıda analitik çalışma bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında kısmi boşluklu dolgu duvarlı betonarme çerçeveslerin doğrusal olmayan davranışı detaylı bir biçimde incelenmiş, kısmi boşluklar bulundukları konum ve oranları dikkate alınarak hesap modeline dahil edilmiştir. Kısmi boşlukların modellenmesine olanak sağlayan rijitlik azaltma faktörünün eldesine yönelik duvar-çerçeve etkileşimini de kapsayan yeni bir yaklaşım sunulmuştur.

1.3 Literatürde Bulunan Çalışmalar

Dolgu duvarın çerçeve sistemlere katkısının incelendiği ilk çalışmalar yirminci yüzyılın ortalarında Polyakov (1950, 1952, 1957, 1960) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda dolgu duvarların çerçevenin rijitliğine, yatay yük altında yaptığı yerdeğiştirmesine, yük taşıma kapasitesine, kayma etkileri altındaki davranışına katkıları ve çerçeve ile dolgu duvar arasındaki etkileşim incelenmiştir (Polyakov, 1950, 1952, 1957, 1960).

Holmes (1961), düzlemlerinde farklı türlerde dolgu duvar bulunan, küçük ölçekli 13 adet tek katlı, tek açıklıklı çelik çerçeveye yatay ve düşey bileşeni bulunan yükler uygulayarak deneyler gerçekleştirmiştir. Bu çerçevelerin taşıyabilecekleri en büyük yük ve bu yük altındaki yerdeğiştirmeleri elde edilmiştir. Daha sonra dolgu duvarları eşdeğer basınç çubuğu olarak tanımlanarak, deney çerçevelerinin matematiksel modelini oluşturulmuştur. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile analitik çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır (Holmes, 1961).

Stafford Smith ve Carter (1969), dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımıyla modellenmesi sırasında eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin; yatay yük altında, çerçeve elemanlar ile dolgu duvarın etkileşim uzunluğuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu uzunluğun hesaplanması için dolgu duvarın ve çerçeve elemanların rijitliklerine bağlı olan bir denklem geliştirilmiştir. Üç katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı bir çerçeveye yatay yükler etkililerek elde edilen yatay yük - yatay yerdeğiştirme eğrileri, bu çerçevenin eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımından yararlanarak hazırlanan hesap modelinden elde edilen eğriler ile karşılaştırılmıştır (Stafford, Smith, ve Carter, 1969).

Mainstone (1971), dolgu duvarlı çok katlı çerçeveler ile yatay yüklerin etkisi altında bir dizi deneyler gerçekleştirmiştir. Bu deneyler sonucunda dolgu duvarların, yatay rijitliği ve çerçevelerin yatay yük kapasitelerini arttırdığı belirtilmiş ve dolgu duvarları modellemek için eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Mainstone, 1971).

Dawe ve Seah (1989), tek katlı, tek açıklıklı ve dolgu duvarlı 28 adet çelik çerçeveyi yatay yükler altında test etmişlerdir. Çalışmada dolgu duvar ile çelik çerçeve elemanları arasındaki etkileşimin, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine ve davranışına etkisinin büyük olduğu vurgulanmıştır. Dolgu duvarın üst kenarı ile kiriş arasında bırakılan küçük boşlukların, bu iki yüzey arasındaki etkileşimi ortadan kaldırdığından, çerçevenin yük taşıma kapasitesini büyük ölçüde düşürdüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca dolgu duvar düzleminde bulunan kısmi boşlukların; dolgu

duvarın ilk çatlama kuvvetini düşürdüğü belirtilirken, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır (Dawe ve Seah, 1989).

Negro ve Colombo (1997), yaptıkları çalışmada yapısal eleman olmayan dolgu duvarların, yapıların deprem davranışına etkisini araştırmışlardır. Tam ölçekli dört katlı bir yapının, farklı dolgu duvar dağılımları ile elde edilen test sonuçları analitik çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Düzensiz dolgu duvar dağılımlarının, çerçeve elemanlarda büyük hasarlara yol açtığı sonucuna ulaşılmıştır. Buna ek olarak, yapıya düzenli dağılan dolgu duvarların bile, yapının davranışında düzensizliklere yol açabildiği belirtilmiştir (Negro ve Colombo, 1997).

Demir ve Sivri (2002), dört katlı betonarme bir yapıyı dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve sadece ilk katı dolgu duvarsız olarak modellerken, dolgu duvarları yapısal analize dahil etmek için eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımını tercih etmişlerdir. Zaman tanım alanındaki analizlerinde 1992 Erzincan ve 1999 Düzce depremlerine ait kayıtlar kullanılmıştır. Üç modelin her iki deprem kaydından elde edilen zaman - tepe noktası yerdeğiştirmesi ve zaman - taban kesme kuvveti grafikleri ile modal analizden elde edilen periyotları sunulmuştur. Dolgu duvarların bulunması yapılarındaki deprem davranışını önemli ölçüde değiştirebileceği ve dolgu duvarların katlarda düzensiz dağılmasının yumuşak katlarda kabul edilemez elastik yerdeğiştirmelere sebep olabileceği vurgulanmıştır (Demir ve Sivri, 2002).

Asteris (2003) tarafından yapılan çalışmada ilk olarak tek katlı tek açıklıklı betonarme bir çerçevede dolgu duvar sonlu elemanlar ile modellenip, duvar düzleminde bulunan boşlukların oranının ve yerinin rijitliğe olan etkisi incelenmiştir. Yük aktarımının yoğun olduğu diyagonal üzerinde bulunan boşlukların rijitliğe etkisinin diğer boşluklara göre daha büyük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Daha sonra üç katlı çerçevelerde yapılan analizlerde dolgu duvarların yatay yerdeğiştirmeleri ve kolonlarda oluşan kesme kuvvetlerini azalttığı belirlenmiştir (Asteris, 2003).

Korkmaz ve Uçar (2006), yumuşak kat düzensizliğinin betonarme yapıların deprem davranışına etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada, diğer katlara göre

yüksekliği fazla olan alt katlarda dolgu duvarın bulunma ve bulunmama durumu ele alınmış ve artımsal itme analizleri yapılmıştır. Yapıların hesap modelinde dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımıyla tanımlanmıştır. İlk katta dolgu duvar bulunmamasının yapı davranışını olumsuz yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır (Korkmaz ve Uçar, 2006).

Sivri, Demir ve Kuyucular'ın (2006) yapmış olduğu çalışmada, dolgu duvarların çerçeve yapının davranışına ve göçme mekanizmasına etkisi araştırılmıştır. Dört katlı ve üç boyutlu yapının modellemesinde dolgu duvarları hesap modeline dahil etmek için eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı kullanılmıştır. Dolgu duvar bulunmayan (temel çerçeve), yalnızca ilk katında dolgu duvar bulunmayan (yumuşak katlı çerçeve) ve her katında dolgu duvar bulunan (dolgulu çerçeve) üç adet hesap modeli bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Modeller, 1992 Erzincan ve 1999 Düzce depremlerine ait ivme kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında ve modal analize tabi tutulmuştur. Dolgu duvarların yönetmeliklerde dikkate alınmamasına rağmen; farklı dolgu duvar yerleşimlerinin yapının deprem davranışını ve göçme mekanizmasını önemli şekilde değiştirdiği sonucuna ulaşılmıştır (Sivri, Demir, ve Kuyucular, 2006).

Köse ve Karşlıoğlu (2007), mevcut üç adet çok katlı binanın dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız modellerinde modal analizler gerçekleştirmişlerdir. Modellerde duvar üzerinde bulunan boşluklar, eşdeğer basınç çubuğunun genişliğinin rijtlik azaltma faktörü adı verilen bir katsayı ile çarpılarak revize edilmesi ile hesap modelinde dikkate alınmıştır. Dolgu duvarların bina periyotlarını kısalttığı gözlenirken; mod şekillerini değiştirmedeği sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu çalışmada tek eşdeğer basınç çubuğu kullanımının çift eşdeğer basınç çubuğuna göre daha doğru sonuçlar verdiği öne sürülmüştür (Köse ve Karşlıoğlu, 2007).

Korkmaz, Demir ve Sivri (2007), üç katlı betonarme bir binayı farklı dolgu duvar dağılımları kullanılarak modellemişlerdir. Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuklarıyla temsil edildiği bu modellerin artımsal itme analizleri sonucunda elde edilen itme eğrileri, kat yatay yerdeğiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri ve betonarme elemanlarda oluşan en büyük plastik dönmeler grafikler halinde sunulmuştur.

Çalışmada, dolgu duvarların deprem etkisi altında bina davranışına etkisinin önemli olduğu vurgulanmıştır (Korkmaz, Demir, ve Sivri, 2007).

Kaushik, Rai ve Jain (2008), tek katlı tek açıklıklı bir çerçevenin hesap modelini dolgu duvarsız ve beş farklı yaklaşımla dolgu duvarlı olarak oluşturmuşlardır. Bu altı modelin artımsal itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen itme eğrilerindeki ilk sert düşüşlerin dolgu duvar hasarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Çalışmada, üçlü eşdeğer basınç çubuğu modelinin yeterince yakın sonuçlar elde ettiği belirtilmiştir (Kaushik ve diğer., 2008).

Kakaletsis ve Karayannis (2008), dolgu duvar dayanımının ve duvar düzlemindeki boşlukların, betonarme çerçevelerin davranışına etkisini araştırmak amacıyla tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarsız, pencere boşluklu dolgu duvarlı ve kapı boşluklu dolgu duvarlı çerçevelere tekrarlı yükler uygulamışlardır. Çalışmadaki dolgu duvarlar düşük ve yüksek dayanımlı iki tuğla türünden oluşturulmuştur. Test sonuçlarında dolgu duvarların çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Ayrıca yüksek dayanımlı tuğla kullanılan çerçevelerin deprem performansları, beklendiği gibi, düşük dayanımlı tuğla kullanılan çerçevelere göre daha yüksek elde edilmiştir (Kakalesis ve Karayannis, 2008).

Dolšek ve Fajfar (2008), dolgu duvarların deprem davranışına etkisini araştırmak amacıyla dört katlı betonarme bir çerçeveyi dolgu duvarsız, dolgu duvarlı ve kısmi boşluklu dolgu duvarlı olarak modellemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda dolgu duvarların yük taşıma kapasitesi aşılmadıkça, betonarme çerçeve dayanımını ve rijitliğini yüksek oranda arttırdığı; yük taşıma kapasitelerinin aşılması durumunda ise çerçevelerin rijitlikleri ve dayanımlarının keskin bir biçimde düştüğü gözlemlenmiştir. Çerçevelerin deprem davranışlarının daha gerçekçi bir biçimde elde edilmesi için dolgu duvarların hesap modeline katılması gerektiği savunulmuştur (Dolšek ve Fajfar, 2008).

İnel ve Özmen (2008) tarafından yapılan çalışmada dolgu duvarların, betonarme binaların yumuşak kat davranışına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla ilk önce düzenli

kat yüksekliği ve dolgu duvar dağılıma sahip modeller referans olarak kullanılmıştır. Dört ve yedi katlı modellerin sadece ilk katları yükseltilerek, sadece ilk kattaki dolgu duvarları kaldırılarak ve hem ilk kat yüksekliği arttırılarak hem de ilk kattaki dolgu duvarlar kaldırılarak yumuşak kat etkisi oluşturulmuştur. İlk katı yüksek ve dolgu duvarsız olan modellerin deprem performansı diğer modellere göre daha düşük bulunmuştur. Ayrıca ilk kattaki dolgu duvar eksikliğinin, yumuşak kat davranışına etkisinin ilk katın daha yüksek olmasından daha fazla olduğu çalışmadan çıkan sonuçlar arasındadır (İnel ve Özmen, 2008).

Köse (2009), doğrusal olmayan modal analiz yöntemi kullanarak dolgu duvarların, bina yüksekliğinin, açıklık sayısının ve binadaki betonarme perde oranının bina doğal titreşim periyoduna etkisini araştırmıştır. Çok sayıda üç boyutlu bina modellerinden elde edilen sonuçlara göre, bu parametrelere bağlı olarak yaklaşık bir periyot formülü elde edilmiştir (Köse, 2009).

Beklen ve Çağatay (2009), dolgu duvarları modellerken eşdeğer basınç çubuğu ve sonlu elemanlar yaklaşımlarını kullanmışlardır. Modelleme tekniklerinin karşılaştırıldığı bu çalışmada, dolgu duvarların kat yatay yerdeğiştirmelerini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır (Beklen ve Çağatay, 2009).

Dorji ve Thambiratnam 2009 yılında yaptıkları çalışmada dolgu duvarların sonlu elemanlar ile modellenmesinde, duvar ile çerçeve elemanı arasına boşluk elemanı tanımlanması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Boşluk elemanının eksenel rijitliğinin hesaplanması için, dolgu duvarın elastisite modülüne ve kalınlığına bağlı bir bağıntı elde edilmiştir. Bu bağıntı kullanılarak oluşturulan modeller ile zaman tanım alanında doğrusal elastik analizler gerçekleştirilerek dolgu duvar dayanımının, duvar düzlemindeki boşlukların ve yumuşak kat etkisinin; yapı periyoduna, göreli kat ötelemelerine ve betonarme elemanlarda oluşan iç kuvvetlere olan etkisi araştırılmıştır (Dorji ve Thambiratnam, 2009).

Sevil, Baran ve Canbay (2010) tek katlı iki açıklıklı üç çerçeveyi ilk önce laboratuvar ortamında 1/3 oranında oluşturmuş ve tekrarlı yüklere maruz

bırakmışlardır. Bu çerçevelerden birinde dolgu duvar bulunmazken, diğerlerinde sıvalı ve sıvasız dolgu duvarlar kullanılmıştır. Daha sonra bu üç çerçeve bilgisayar ortamında modellenerek artımsal itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları ile analiz sonuçlarının karşılaştırılması neticesinde eşdeğer basınç çubuğu ile dolgu duvar modellemesinin yeterince yakın sonuçlar verdiği kanaatine varılmıştır. Ayrıca test sonuçları yalın çerçeveye göre sıvasız dolgu duvarlı çerçevenin 3,5 kat, sıvalı dolgu duvarlı çerçevelerin ise 4,5 kat yatay yük taşıyabildiğini göstermiştir (Sevil, Baran, ve Canbay, 2010).

Karasu, Erdem, Demir ve Bağcı (2011) yaptıkları çalışmada dolgu duvarsız, dolgu duvarlı ve sadece ilk katı dolgu duvarsız üç boyutlu yapı modellerinde duvarları eşdeğer basınç çubukları ile modelleyip doğrusal ve doğrusal olmayan analizler gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada dolgu duvarların, binaların deprem performansına olumlu etkilerinin olduğu gözlenmiştir (Karasu, Erdem, Demir, ve Bağcı, 2011).

Rabinovitch ve Madah (2011), dolgu duvarın düzlem dışı dinamik yükler altındaki davranışını deneysel ve analitik olarak incelemişlerdir. Tek katlı, tek açıklıklı ve boşluksuz dolgu duvarlı çelik bir çerçeve laboratuvar ortamında test edilmiş ve sonuçlar sonlu elemanlar ile hazırlanmış bilgisayar modelinin doğrusal olmayan dinamik analizinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Rabinovitch ve Madah, 2011).

Tsai ve Huang (2011), dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde kolon hasarlarını incelemişlerdir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız modeller ile artımsal itme analizleri yapılmıştır. Dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu ile hesap modeline dahil edilmiş ve bu çubukların eksenel yük-deformasyon ilişkisini belirleyen çeşitli parametrelere bağlı denklemler sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre dolgu duvarların elastik olmayan deformasyonları azaltmalarına rağmen, büyük yükler altında gevrek olarak hasar gördükleri için kolon kayıplarına etkisinin düşük olduğu sonucuna varılmıştır (Tsai ve Huang, 2011).

Uva, Porco ve Fiore (2011), dolgu duvarların betonarme binaların deprem davranışına katkısını incelemek amacıyla deprem bölgesinde bulunan bir yapı üzerinde çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Yapıdaki betonarme elemanların ve dolgu duvarların durumunu ve kalitesini belirlemek amacıyla yapı üzerinde geniş çaplı testler yapılmıştır. Bu testlerden elde edilen veriler ile hazırlanan dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız hesap modelleri ile dolgu duvarların göçme mekanizmalarına etkisini araştırmak amacıyla artımsal itme analizleri yapılmıştır. Binalardaki dolgu duvarların varlığının, yapının beklenen davranışını büyük ölçüde değiştirdiği sonucuna varılmıştır (Uva, Porco, ve Fiore, 2011).

Baran (2012), iki katlı tek açıklıklı bir adet dolgu duvarsız ve beş adet tam dolgulu çerçeveyi tekrarlı yatay yükler altında test ederek; delikli tuğladan yapılmış dolgu duvarların, betonarme çerçevelerin dayanım ve davranışına etkisini araştırmıştır. Çalışmanın analitik kısmında ise dolgu duvarların basitçe modellenebileceği bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem ile hazırlanan modellerden elde edilen sonuçlar, deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Baran, 2012).

Valante (2012), dolgu duvarlı betonarme yapıların deprem davranışını değerlendirmek amacıyla dört katlı dolgu duvarlı bir yapının analitik modelini analiz etmiş ve sonuçları deneysel veriler ile kıyaslamıştır. Çalışmada dolgu duvarların ve duvar düzlemindeki kısmi boşlukların yapıdaki hasar dağılımını önemli ölçüde değiştirdiği vurgulanmıştır. Dolgu duvarsız çerçevede en büyük görelî kat ötelemesi ikinci katta oluşurken, dolgu duvarlı çerçevede birinci katta meydana geldiği belirtilmiştir. Dolgu duvarların yatay rijitliğe önemli ölçüde katkısının bulunmasına karşın; duvarlar, taşıma kapasitelerine ulaştıktan sonra yatay rijitlikte ani azalmalar gözlemlenmiştir (Valante, 2012).

Jamnekar ve Durge (2013), tuğladan yapılan dolgu duvarların yapı davranışına etkisini araştırmak için üç boyutlu bir yapıyı dolgu duvarsız ve açıklıklarının %40'ı dolgu duvarlı şekilde bilgisayar ortamında modellemişlerdir. Dolgu duvar modellemesinde eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımından faydalanılmıştır. Analizler sonucunda duvarların yapının doğal titreşim periyodunu %33 oranında, kat yatay

yerdeşiştimelerini %33 oranında azalttığı ve taban kesme kuvvetini %27 oranında arttırdığı görülmüştür (Jamnekar ve Durge, 2013).

Markulak, Radić ve Sigmund (2013), dolgu duvarlı  elik çerçevelerin davranışını incelemek amacıyla tek katlı tek açıklıklı ve farklı dolgu malzemeleri ile oluşturulmuş çerçeveler üzerinde yarı statik periyodik yatay yükler ile testler yapmışlardır.  er evelerde dolgu malzemesi olarak sadece delikli tuğla, sadece gazbeton ve delikli tuğla ile gazbeton birlikte kullanılmıştır. Delikli tuğla ve gazbetonun birlikte kullanıldığı çerçevelerde belirli kat  telemelerinde dolgu duvarın çerçeveden ayrılmasıyla, dolgu duvarın olumsuz etkilerinin  nlendięini belirtilmiştir (Markulak, Radić, ve Sigmund, 2013).

Prasad, Rahman ve Chandradhara (2014), dolgu duvar düzlemindeki boşlukların duvar rijitliğine olan etkisini incelemişlerdir. Dolgu duvarlar sonlu elemanlar yaklaşımıyla modellenirken dolgu duvar ile betonarme elemanlar arasında moment aktarmayan sonsuz rijit bir bağlantı elemanı konulmuştur. Yük aktarımının yoğun olduğu diyagonal bölgede, bu bölgenin üzerinde ve altında boşluklar açılarak analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda diyagonal üzerindeki boşlukların diğer boşluklara göre dolgu duvar rijitliğini daha fazla etkilediği gözlenmiştir. Diyagonal üzerinde ve altındaki boşluk oranları arttıka, boşluklar diyagonal üzerine taşmaya başladığından üç durum için de rijitliğin aynı oranda değişim gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada, dolgu duvar üzerinde bulunan boşluk alanının dolgu duvar alanına oranı %50'yi aştığında dolgu duvar etkisinin ihmal edilmesi önerilmiştir (Prasad, Rahman, ve Chandradhara, 2014).

Furtado, Rodrigues, Arede ve Varum (2015), dolgu duvarların düzlem içi ve düzlem dışı davranışını tanımlamak amacıyla 1/1 ölçekli üç adet tek katlı, tek açıklıklı ve tam dolu dolgu duvarlı çerçevede üçer adet deney yapmışlardır. Bu deneylerin birinde, diğer iki deneyden farklı olarak, test modeline deneye başlamadan önce  er eve düzleminde %0,5 yatay öteleme uygulanmıştır. Daha sonra tüm modeller düzlem dışı yüklemeye maruz bırakılmıştır. Yatay ötelenmesi bulunmayan çerçevelerin,  telemeli çerçeveye göre dört kat daha fazla düzlem dışı

yük taşıma kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada ayrıca yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi eğrileri ile hasar mekanizmalarının gözlemlenebildiği fotoğraflar sunulmuştur (Furtado ve diğ er., 2015).

Martinelli, Lima ve Stefano (2015), üç ve beş açıklıklı, farklı kat sayılı ve farklı dolgu duvar dağılımına sahip betonarme yapılar da bulunan dolgu duvarları eşdeğ er basınç çubuğ u yaklaşımı ile modellemişlerdir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları incelendiğ inde, basit sayısal parametreler ile yapının dinamik tepkileri arasında kararlı bir ilişki elde edilmiştir. Bu ilişki den yararlanarak dolgu duvarlı betonarme çerçeveler için doğrusal olmayan analiz yöntemi önerilmiştir (Martinelli, Lima, ve Durge, 2015).

Schwarz, Hanaor ve Yankelevsky (2015), 1/2 ölçekli, tek katlı tek açıklıklı dokuz adet dolgu duvarlı çerçeve ile deneyler gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, dolgu duvarlar gazbetondan oluşturulmuş ve bazı deneylerde duvar düzleminde pencere boşlukları açılmıştır. Deneyler sonucunda; dolgu duvarların, çerçevelerin, yük taşıma kapasitelerini %200 arttırdığını ve sünekliğini %60 azalttığı sonucuna varılmıştır. Boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin davranışının, boşluksuz dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçeveler arasında olduğu belirtilmiştir (Schwarz, Hanaor, ve Yankelevsky, 2015).

Li, Shan, Zhai ve Xie (2016), yaptıkları çalışmada dolgu duvarların betonarme çerçevelerin göçme performansına etkisini araştırmışlardır. Çalışmada 1/3 ölçeğ inde iki katlı dört açıklıklı dolgu duvarsız ve ikinci katı dolgu duvarlı çerçeveler kullanılmıştır. Deney sonuçları, çerçevelerin yük taşıma kapasitesinin ve göçme mekanizmasının dolgu duvardaki ana çatlağın oluşmasına bağı olduğunu ortaya koymuştur. Dolgu duvarların deney sırasında eşdeğ er basınç çubuğ u gibi davranarak, çerçevenin başlangıç rijitliğini ve yük taşıma kapasitesini arttırdığı, ancak kirişlerin sünekliğini azalttığı vurgulanmıştır. Deney sonuçları sonlu elemanlar yöntemi ile hazırlanan analiz modelleri ile desteklenmiştir (Li, Shan, Zhai, ve Xie, 2016).

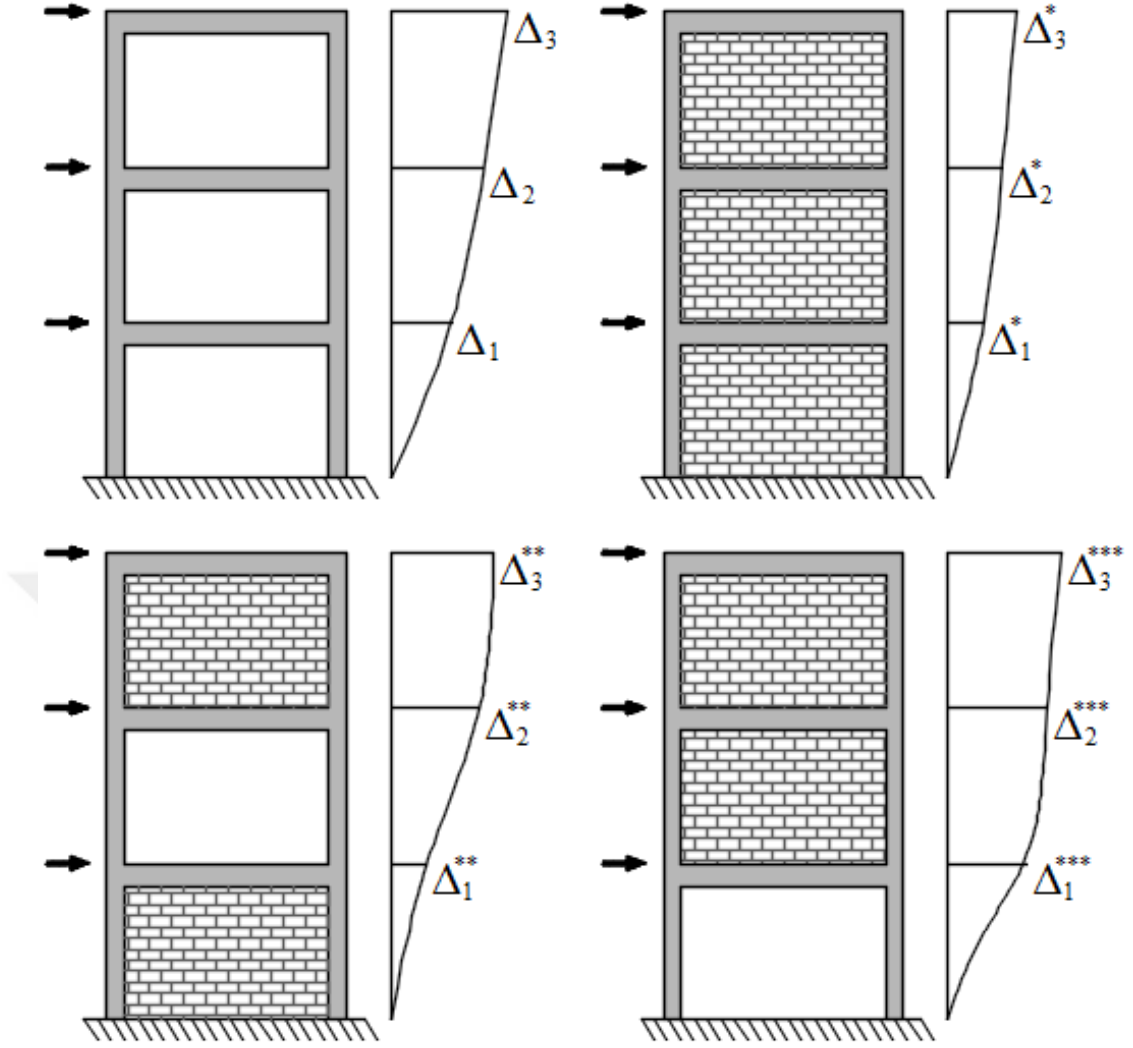
BÖLÜM İKİ

KISMİ BOŞLUKLU DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN DAVRANIŞI VE DOLGU DUVARLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

2.1 Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Davranışı

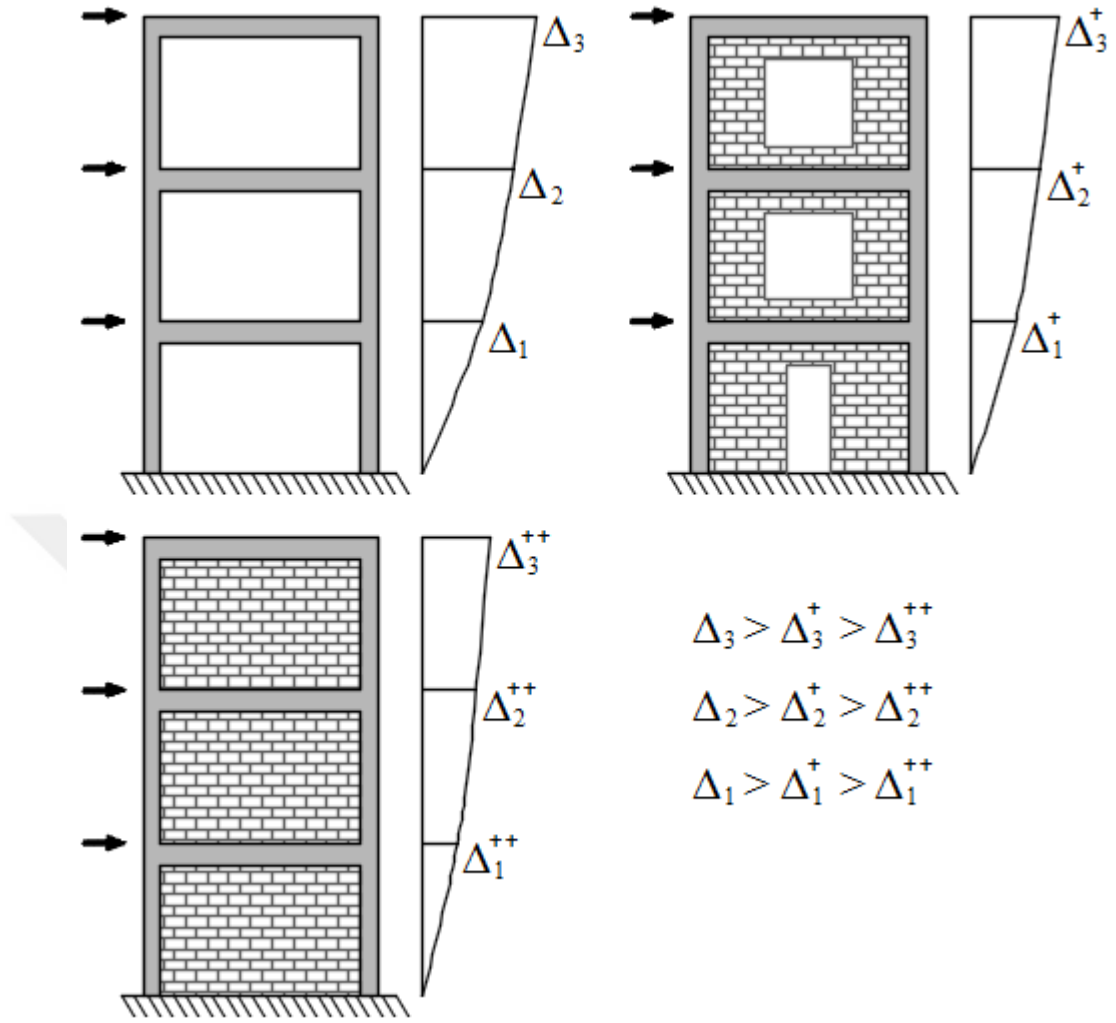
Farklı amaçlar için tasarlanan yapılarda, yapıyı dış ortamdan izole etme ve iç mekanları birbirinden ayırmak için kullanılan dolgu duvarlar, mimari sebeplerden dolayı, genellikle betonarme çerçeve sistem düzleminde bulunurlar. Çerçeve düzleminde dolgu duvar bulunan yapıların yatay yükler altındaki davranışı dolgu duvar bulunmayan yapılarınkinden oldukça farklıdır. Bu durum, dolgu duvarların düzleminde bulundukları çerçeve ile etkileşime girerek, çerçevelerin yatay rijitliklerini attırmasıyla açıklanabilir. Dolgu duvarların yapıdaki dağılımı, yapıldıkları malzemeler, mekanik özellikleri ve dolgu duvar üzerinde bulunan kısmi boşluklar bu davranış farkını doğrudan etkileyen faktörlerdir.

Betonarme bir çerçevenin herhangi bir katında bulunan dolgu duvarlar, o katta yatay yükler sebebiyle meydana gelen görelî kat ötelemelerini sınırlandırmaktadırlar. Üç katlı, tek açıklıklı bir çerçevenin, düşeyde farklı dolgu duvar dağılımları için yatay yükler altında, katlarında meydana gelen yatay yerdeğıştirmeler (Δ_1 , Δ_2 ve Δ_3) Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Çerçevede her katta dolgu duvar olması durumunda, kat yatay yerdeğıştirmeleri ve dolayısıyla görelî kat ötelemeleri, boş çerçeveye göre belirgin oranda azdır. Bunun sebebi, dolgu duvarların, kat rijitliklerini homojen olarak her katta arttırmasıdır. Sadece bir katta dolgu duvarın bulunmaması durumunda, bu kattaki görelî kat ötelemeleri, diğer katlara göre belirgin şekilde fazla meydana gelmektedir (Durmazgezer, 2013). Bu tip dolgu duvar düzenlemeleri genellikle istenmeyen ve sünek olmayan bölgesel göçme mekanizmalarına sebep olmaktadır.



Şekil 2.1 Farklı dolgu duvar dağılımlarına sahip çerçevelerin yatay yükler etkisi altındaki davranışları.

Dolgu duvar üzerinde farklı mimari ihtiyaçlardan dolayı açılan pencere, kapı gibi kısmi boşluklar; dolgu duvarın, dolayısıyla çerçevenin rijitliğini düşürmektedir. Bu yüzden kısmi boşluklara sahip dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yerdeğiştirmeleri (Δ_1 , Δ_2 ve Δ_3); boş çerçevelerde elde edilenlerden daha az, tam dolu çerçevelerden elde edilen yerdeğiştirmelerden ise daha fazla bulunmaktadır (Şekil 2.2). Diğer bir ifadeyle dolgu duvar üzerinde kısmi boşluklar bulunan çerçevelerin yatay yük etkisindeki davranışı, boşluksuz dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçevelerin davranışı arasındadır. Ortaya çıkan yatay yerdeğiştirme profili bir katında hiç dolgu duvar bulunmayan çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilinden farklı olup klasik çerçeve davranışından elde edilen profile benzerdir.



Şekil 2.2 Kısmi boşlukların çerçeve rijitliğine etkisi.

Taşıyıcı çerçeve sistemlerin düzlemlerinde bulunan dolgu duvarların dağılımının düzensiz olması veya kısmi boşlukların yük aktarımını düzensiz etkileyecek şekilde ve boyutta olması; çerçevelerde yumuşak kat ve zayıf kat gibi düzensizlikler ile kısa kolon davranışını meydana getirerek, göçme mekanizmalarını doğrudan etkileyebilmektedir.

Dolgu duvarların katlar arasında düzenli dağılmamasından kaynaklanan, komşu katlar arasında farklı göreceli kat ötelemelerinin bulunması, yapılarda yumuşak kat düzensizlikleri ortaya çıkabilmektedir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (BİB, 2007)'e göre yumuşak kat düzensizliği, herhangi bir

katın ortalama görelî kat ötelemesi oranının, altındaki veya üstündeki katın ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesiyle elde edilen rijitlik düzensizliğı katsayısının (η_{ki}) 2,0'dan büyük olması durumu olarak tanımlanmaktadır.

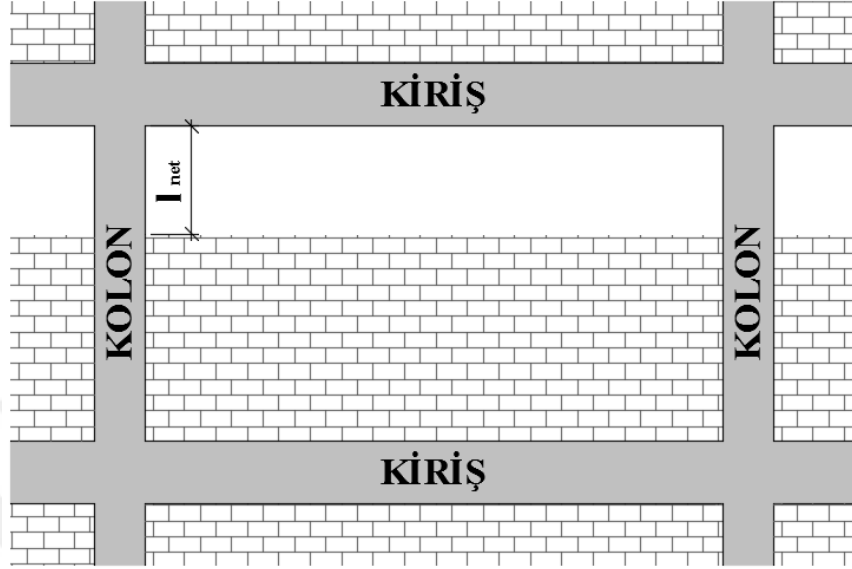
Dolgu duvarlar, çerçevelerde bulunan kolon ve perdeler gibi, katlara gelen kesme kuvvetlerine karşı direnç göstermektedirler. Ancak yük taşıma kapasiteleri betonarme elemanlardan oldukça düşük olduğundan, kata etki eden kesme kuvvetini, kolon ve perdelerle göre daha düşük oranda karşılarlar. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (BİB, 2007)'e göre dolgu duvarların katlar arasında homojen olmaması zayıf kat düzensizliğine de yol açabilmektedir. Zayıf kat düzensizliğı, komşu katlar arasındaki etkili kesme alanı oranının 0,80'den küçük olma durumu olarak tanımlanır. Etkili kesme alanın ise Denklem (2.1) ile hesaplanmaktadır.

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0,15 \cdot \sum A_k \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'de $\sum A_e$ herhangi bir katta göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanını, $\sum A_w$ herhangi bir katta kolon enkesiti etkin gövde alanlarının toplamını, $\sum A_g$ herhangi bir katta göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamını, $\sum A_k$ herhangi bir katta göz önüne alınan deprem doğrultusunda paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamını göstermektedir.

Dolgu duvar üzerinde bulunan pencere ve kapı gibi boşluklar, duvar üzerindeki yük aktarımını değıştirdiğinden çerçeve davranışını da değıştirmektedir. Dolgu duvarın üst kısmında, dolgu duvar uzunluğı boyunca bırakılacak bir pencere boşluğı, kısa kolon davranışına sebep olmaktadır (Şekil 2.3). Bilindiğı üzere kolonlardaki kesme kuvveti, kolon uç momentleri toplamının kolon serbest açıklığına (l_{net}) bölünmesi ile elde edilmektedir. Şekil 2.3'de de görüldüğü gibi dolgu duvarlar ve üzerinde bırakılan kısmi boşluklar kolon serbest açıklığını düşürebilir.

Bu durumda kolonlar üzerindeki kesme etkileri dolgu duvarsız duruma göre çok daha fazla etkin olacaktır.



Şekil 2.3 Kısmi boşluklu dolgu duvarın sebep olduğu kısa kolon davranışı.

2.2 Dolgu Duvarların Mekanik Özellikleri

Dolgu duvarlar tuğla, gazbeton ve bims gibi çeşitli dolgu malzemelerinin bir bağlayıcı ile bir araya getirilmesiyle oluşur. Gerek dolgu birimleri gerekse bu birimleri bir arada tutan bağlayıcı harçlar, çekme gerilmelerinden çok, basınç gerilmelerine karşı mukavemet gösterebilmektedir. Bu yüzden tıpkı beton gibi dolgu duvarların da çekme dayanımları, mühendislik hesaplamalarında ihmal edilebilir. Dolgu duvarlar, üzerlerine gelen yükler arttıkça, ilk önce çatlamaya başlar ve çatlamadan kısa süre sonra fazla şekil değiştiremeye uğramadan gevrek olarak kırılır.

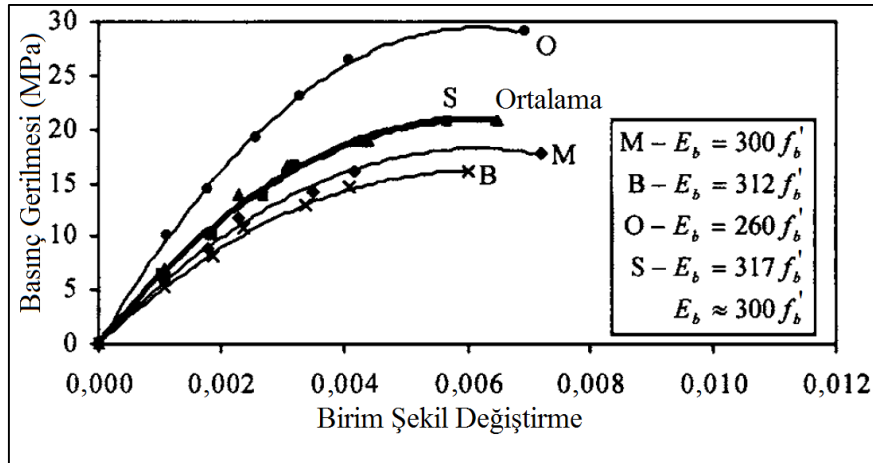
Dolgu duvarların mekanik özelliklerinin doğru elde edilebilmesi için dolgu birimlerinin ve bağlayıcı harçların mekanik özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

2.2.1 Dolgu Birimleri

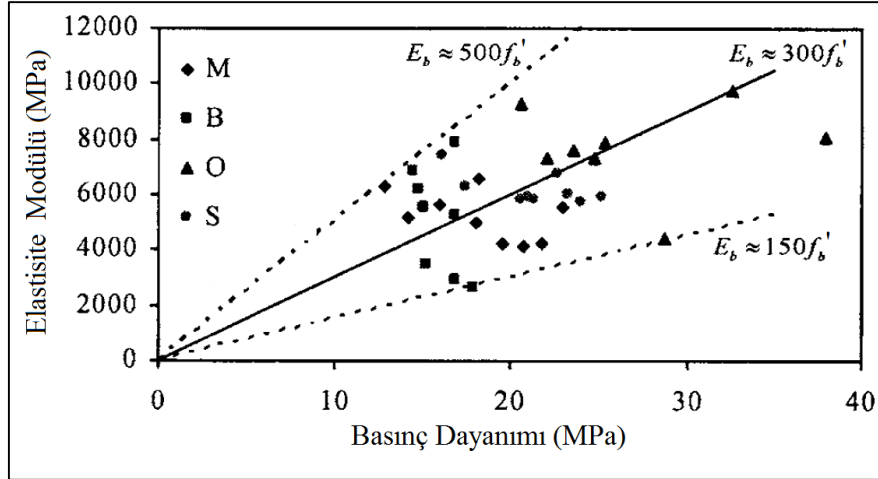
Dolgu duvar yapımında genellikle delikli (yatay/düşey) tuğla, gazbeton ve bims birimleri kullanılmaktadır. Bunlar arasında geleneksel tuğla birimleri en yaygın kullanıma sahiptir.

Kilden yapılmış olan tuğla birimleri dolgu duvar yapımında, dolgu malzemesi olarak en çok kullanılan dolgu birimlerdir. Tuğlalar çeşitli şekil ve boyutlarda üretilirler. Genel olarak boyutları 120x90x45 mm ile 300x180x120 mm arasında değişmektedir. Deliksiz tuğlaların birim hacim ağırlıkları ise 13 kN/m³ ile 22 kN/m³ arasındadır (Sahlin, 1971). Tuğla birimlerinin basınç dayanımı, kırılmadan önce yapabildiği en büyük birim şekil değiştirmesi ve elastisite modülü gibi mekanik özellikleri farklı tuğla tiplerinde çeşitlilik göstermektedir.

Kaushik, Rai ve Jain (2007), yaptıkları çalışmada dört farklı üreticiden (M, B, S ve O) 10'ar adet temin ettikleri deliksiz tuğlalarla basınç kuvveti altında kırılma deneyi yapmışlardır. Bu deneylerden elde edilen basınç gerilmesi - birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 2.4'de, basınç dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişki Şekil 2.5'de, çalışmanın özet sonuçları ise Tablo 2.1'de sunulmuştur.



Şekil 2.4 Tuğla birimlerinin gerilme - birim şekil değiştirme grafikleri.



Şekil 2.5 Tuğla birimlerinin basınç dayanımları ve elastisite modülleri arasındaki ilişki.

Tablo 2.1 Tuğla birimleri için test sonuçları özeti

Tuğla türü	f'_b (MPa)	ϵ'_b	E_b (MPa)
M (10 numune)	17,7	0,0072	5300
B (10 numune)	16,1	0,0060	5030
O (10 numune)	28,9	0,0070	7516
S (10 numune)	20,6	0,0057	6534
Ortalama (40 numune)	20,8	0,0065	6095

Bu şekillerde ve tabloda f'_b , ϵ'_b ve E_b ; sırasıyla, tuğla biriminin basınç dayanımını, en büyük birim şekil değiştirmesini ve elastisite modülünü göstermektedir. Deney sonuçlarına göre tuğla birimlerinin elastisite modülü, basınç dayanımlarının 150 ile 500 katı arasında değişmektedir ve hesaplarda yaklaşık 300 katı alınabilir (Denklem 2.2).

$$E_b \cong 300 \cdot f'_b \quad (2.2)$$

Gumaste, Nonjunda Rao, Venkatayama Reddy ve Jagadish'in (2007), dolgu duvarların dayanımı ve elastikliği ile ilgili yaptıkları çalışmada, kullandıkları dökme ve kesme tipi tuğlaların basınç dayanımları ve elastisite modülleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2 Tuğla birimlerinin basınç dayanımları ve elastisite modülleri

Tuğla türü	Boyutları (mm)	f'_b (MPa)	E_b (MPa)
Dökme tipi	228 x 108 x 75	5,7	976
Kesme tipi	235 x 111 x 75,5	23,0	3372

Türkiye’de tuğla satışı olan bir firmanın düşey delikli izo tuğlalarının bazıları ve özellikleri Tablo 2.3’de sunulmuştur.

Tablo 2.3 Tuğla çeşitleri ve özellikleri (Kudret Tuğla Sanayii ve Tic. A.Ş., 2009)

Tuğla birimi özelliği	11,5’lik tuğla	14,5’luk tuğla	17,5’lik tuğla
Yükseklik x en x boy (mm)	240x115x235	240x145x235	240x175x235
Basınç dayanımı (MPa)	9	10	9
Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	7,5	7,5	7,5
			

2.2.2 Bağlayıcı Harç

Dolgu birimlerini bir arada tutmak için kullanılan harçlar çimento, kireç, kum ve suyun farklı oranlardaki karışımlarından yapılmaktadır. Bu karışımdaki çimento, bağlayıcı harcın dayanımını ve kalıcılığını; kireç, şekil alabilme özelliğini; su ise hidrasyonunu sağlamaktadır. Farklı karışım oranlarına göre harç türleri ve basınç dayanımları (f'_j) Tablo 2.4’de sunulmuştur (Amrhein, 1998).

Tablo 2.4 Harç sınıfları ve basınç dayanımları (Amrhein, 1992)

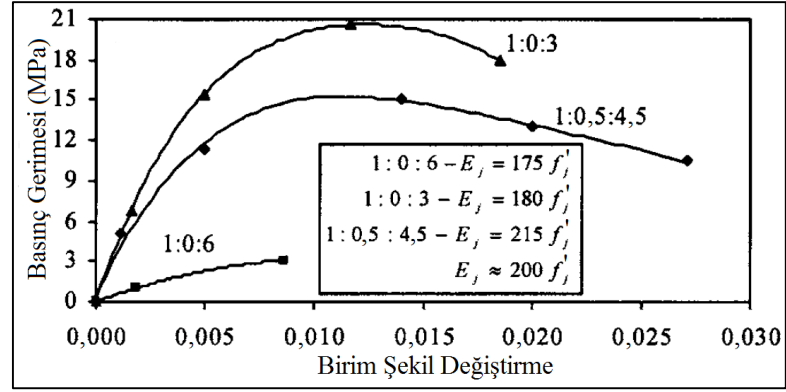
Harç tipi	Karışım oranları (hacimsel) (çimento : kireç : kum)	f'_j (MPa)
M	$1 : \frac{1}{4} : 3 \frac{1}{2}$	14,5
S	$1 : \frac{1}{2} : 4 \frac{1}{2}$	10,3
N	1 : 1 : 6	4,3
O	1 : 2 : 9	-

2007 yılında yapılan başka bir çalışmada ise, bağlayıcı harçların mekanik özellikleri Tablo 2.5’de görüldüğü gibi verilmiştir (Gumeste ve diğer., 2007). Bu tabloda E_j , bağlayıcı harcın elastisite modülüdür.

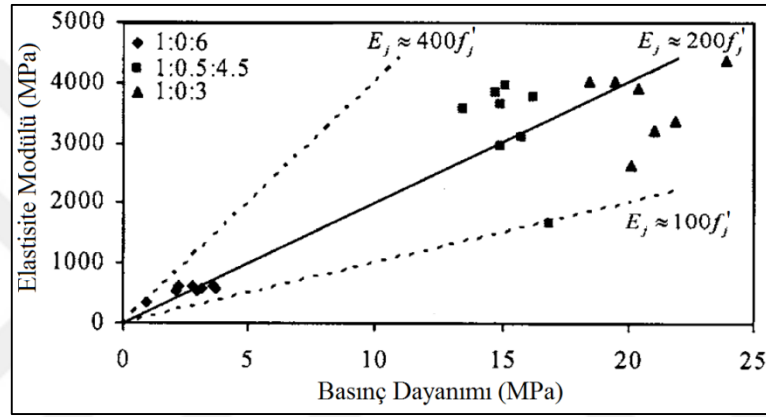
Tablo 2.5 Harç sınıfları ve mekanik özellikleri (Gumaste ve diğer., 2007)

Karışım oranları (hacimsel) (çimento : kireç : kum)	Su/çimento oranı	f'_j (MPa)	E_j (MPa)
1 : 0 : 6	1,1	6,60	8568
$1 : \frac{1}{2} : 4$	1,1	12,21	7083
1 : 0 : 7	1,2	5,93	5450
1 : 0 : 15	2,55	1,82	1500
1 : 0 : 20	4,32	0,86	238

2007’de yapılan bir çalışmada üç farklı karışım oranında hazırlanmış 27 harç numunesi, basınç dayanımlarının, kırılma anındaki birim şekil değiştirmelerinin ve elastisite modüllerinin bulunması amacıyla deneylere tabi tutulmuştur. Bu deneylerden elde edilen gerilme - birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 2.6’da, basınç dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişki Şekil 2.7’de ve özet sonuçlar Tablo 2.6’da verilmiştir (Kaushik ve diğer., 2007).



Şekil 2.6 Bağlayıcı harçların gerilme - birim şekil değiştirme grafikleri.



Şekil 2.7 Bağlayıcı harçların basınç dayanımları ve elastisite modülleri arasındaki ilişki.

Tablo 2.6 Harç sınıfları ve mekanik özellikleri (Kaushik ve diğer., 2007)

Harç sınıfı	Karışım oranları (hacimsel) (çimento : kireç : kum)	f'_j (MPa)	ϵ'_j	E_j (MPa)
Zayıf harç	1 : 0 : 6	3,1	0,0087	545
Ortalama harç	1 : 0,5 : 4,5	15,2	0,0270	3300
Güçlü harç	1 : 0 : 3	20,6	0,0185	3750

Yukarıdaki tablolarda ϵ'_j , bağlayıcı harcın en büyük birim şekil değiştirme miktarını göstermektedir. Deney sonuçlarına göre bağlayıcı harçların elastisite modülü, basınç dayanımının 100 ile 400 katı arasında değişmektedir ve hesaplarda yaklaşık 200 katı alınabilir (Denklem 2.3).

$$E_j \cong 200 \cdot f'_j \quad (2.3)$$

2.2.3 Dolgu Duvar

Dolgu duvarların yapımında kullanılan farklı tuğla birimlerinin ve bağlayıcı harçların çeşitli mekanik özellikler göstermesi ve uygulanmasındaki farklılıklar nedeniyle, çok farklı mekanik özelliklere sahip olabilmektedirler. Bu özellikleri belirlemek amacıyla birçok araştırmacı çalışmalarıyla literatüre katkıda bulunmuşlardır.

Paulay ve Priestley (1992), dolgu duvarların gerilme - şekil değiştirme ilişkisini tanımlayabilmek için üç kısımdan oluşan bir model önermişlerdir. Bu modele göre; herhangi bir birim şekil değiştirmeye karşılık gelen gerilme; birim şekil değiştirmenin 0,0015'den küçük olma durumu için Denklem (2.4)'da tanımlanın parabol ile bulunur. Birim şekil değiştirmenin 0,0015'den büyük olması durumunda; gerilme, dolgu duvarın basınç dayanımının beşte birine düşene kadar Denklem (2.5) ve (2.6) ile hesaplanabilir ve daha sonra birim şekil değiştirme arttıkça gerilme bu değerde sabit kalır (Denklem 2.7).

$$f_m = 1,067 \cdot f'_m \cdot \left[\frac{2 \cdot \epsilon_m}{0,002} - \left(\frac{\epsilon_m}{0,002} \right)^2 \right] \quad 0 \leq \epsilon_m \leq 0,0015 \quad (2.4)$$

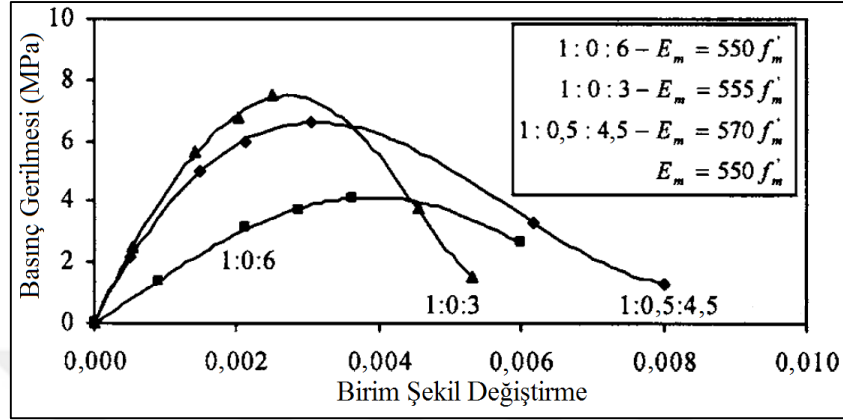
$$f_m = f'_m \cdot [1 - Z_m \cdot (\epsilon_m - 0,0015)] \quad f_m < 0,2f'_m \quad (2.5)$$

$$Z_m = \frac{0,5}{\left[\frac{3 + 0,29 \cdot f'_j}{145 \cdot f'_j - 1000} \right] - 0,002} \quad (2.6)$$

$$f_m = 0,2 \cdot f'_m \quad (2.7)$$

Bu denklemlerde f_m dolgu duvarın gerilmesini, ϵ_m bu gerilmeye karşılık gelen birim şekil değiştirmesini, f'_m ise dolgu duvarın basınç dayanımını göstermektedir.

Kaushik ve diğer. (2007), farklı tuğla türleri ve harç kaliteleri kullanarak oluşturdukları dolgu duvarlar ile yaptıkları çalışmada Şekil 2.8’de sunulan gerilme - birim şekil değiştirme grafiklerini elde etmişlerdir.



Şekil 2.8 Dolgu duvarların gerilme - birim şekil değiştirme grafikleri.

Dolgu duvarın elastisite modülünü elde etmek için birçok araştırmacı ve yönetmelik, basınç dayanımına bağlı olan farklı denklemler önermişlerdir.

FEMA (1998, 2000) ve Kaushik ve diğer. (2007) göre dolgu duvarın elastisite modülü (2.8) numaralı denklem ile hesaplanabilir.

$$E_{me} = 550 \cdot f'_m \quad (2.8)$$

Paulay ve Priestley (1992), European Committee of Standardization [CEN] (1996), Masonry Standards Joint Committee [MSJC] (1999), ve Canadian Standards Association [CSA] (2004) dolgu duvarın elastisite modülünün, sırasıyla; (2.9), (2.10), (2.11) ve (2.12) numaralı denklem ile hesaplanması gerektiğini belirtmişlerdir.

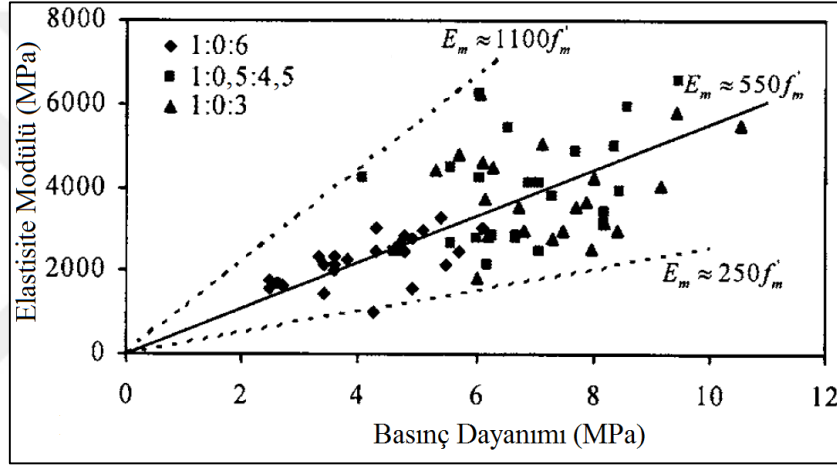
$$E_{me} = 750 \cdot f'_m \quad (2.9)$$

$$E_{me} = 1000 \cdot f'_m \quad (2.10)$$

$$E_{me} = 700 \cdot f'_m \quad (2.11)$$

$$E_{me} = 850 \cdot f'_m \quad E_{me} \leq 2000 \text{ MPa} \quad (2.12)$$

Dört farklı tuğla türü ve üç farklı harç kalitesinden oluşturulan 84 adet dolgu duvar numunesiyle gerçekleştirilen deneyler sonucunda, Şekil 2.9'da verilen ve dolgu duvarların basınç dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişkiyi gösteren grafik elde edilmiştir. Bu çalışmanın özet sonuçları ise Tablo 2.7'de verilmiştir (Kaushik ve diğer., 2007)



Şekil 2.9 Dolgu duvarların basınç dayanımları ile elastisite modülleri arasındaki ilişki.

Tablo 2.7 Farklı tuğla türleri ve farklı kalitedeki harçlardan oluşturulan dolgu duvarların mekanik özellikleri

Tuğla türü	f'_m (MPa)	ϵ'_m	E_{me} (MPa)
Zayıf harç – 1 : 0 : 6 (4x7 numune)			
M	4,0	0,0052	2239
B	2,9	0,0034	1795
O	5,1	0,0086	2630
S	4,3	0,0065	2355
Ortalama	4,1	0,0059	2300
Ortalama harç – 1 : 0,5 : 4,5 (4x7 numune)			
M	6,5	0,0102	3542
B	5,9	0,0062	3509
O	7,2	0,0092	4712
S	6,8	0,0066	3325
Ortalama	6,6	0,0080	3800
Güçlü harç – 1 : 0 : 3 (4x7 numune)			
M	7,4	0,0067	3585
B	6,5	0,0041	3592
O	8,5	0,0057	5219
S	7,6	0,0050	4250
Ortalama	7,5	0,0023	4200

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar için regresyon analizi yapılmış ve dolgu duvarın basınç dayanımının, tuğla biriminin ve bağlayıcı harcın basınç dayanımına bağlı olarak (2.13) numaralı denklem ile hesaplanabileceği ileri sürülmüştür (Kaushik ve diğer., 2007).

$$f'_m = 0,63 \cdot (f'_b)^{0,49} \cdot (f'_j)^{0,32} \quad (2.13)$$

Bu denklemde f'_b , f'_j ve f'_m sırasıyla; tuğla biriminin, bağlayıcı harcın ve dolgu duvarın basınç dayanımını göstermektedir.

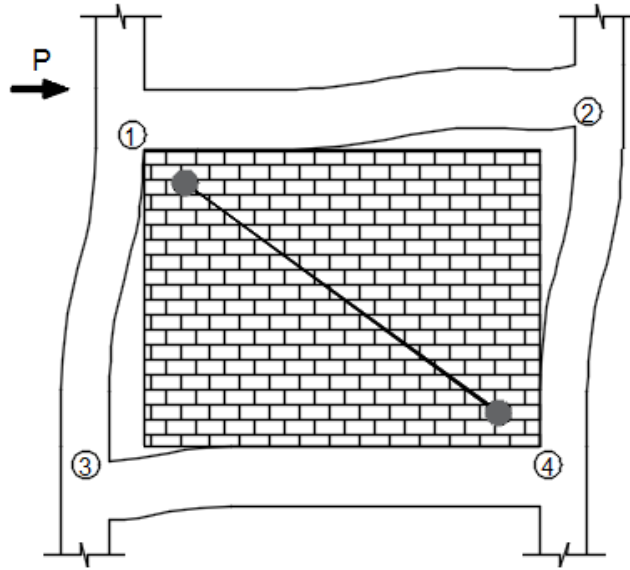
BÖLÜM ÜÇ

DOLGU DUVARLARIN MODELLENMESİ

Dolgu duvarlar için hassas bir hesap modeli oluşturmak; yapımında çeşitli malzemeler (tuğla, gazbeton, bims vb.) kullanıldığından, homojen ve/veya izotrop olmadığından ve uygulamasında birçok farklılık bulunduğundan oldukça zordur. Geleneksel malzemeler kullanılarak oluşturulan dolgu duvarların çekme dayanımları, basınç dayanımlarının yanında ihmal edilebilecek kadar küçük olduğundan; dolgu duvarlar modellenirken yalnızca basınç kuvvetleri taşıyan elemanlar kullanılmasına dikkat edilmektedir. Literatürde dolgu duvar modellemesi için kullanılan iki yaklaşım öne çıkmaktadır.

3.1 Dolgu Duvarların Eşdeğer Basınç Çubuğu ile Modellenmesi

Eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımıyla modelleme dolgu duvar modellemeleri arasında en sık rastlanan yaklaşımdır ve ilk olarak Polyakov (1950) tarafından kullanılmıştır. Bu yaklaşımın temelinde dolgu duvarlı çerçevenin yatay yük altındaki davranışı yatmaktadır. Şekil 3.1’de yatay yük altında deforme olmuş dolgu duvarlı bir çerçeve gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Yatay yük etkisindeki dolgu duvarlı betonarme bir çerçevenin deforme olmuş durumu.

Yatay yük altında çerçevenin deforme olmuş durumunda dolgu duvar ile çerçeve elemanlar arasındaki temas 2 ve 3 numaralı köşelerde kaybolmuş olup, dolgu duvar üzerindeki yük aktarımı 1 ve 4 nolu köşeler arasındaki diyagonal hat üzerinde gerçekleşmektedir (Şekil 3.1). Bu yüzden dolgu duvar, bu hat üzerinden geçen bir çubuk ile modellenebilmektedir. Bu çubuğun yalnızca eksenel basınç yükü taşıması için basınç kuvvetlerinin aktarım doğrultusunda yer alması ve çerçeve elemanlarına bağlanan iki ucunun mafsallı tanımlanması gerekmektedir. Şekilde görülen bu çerçevede, yatay yükün sol taraftan değil de, şeklin sağ tarafından etkidiği varsayılırsa; eşdeğer basınç çubuğunun, 2 ve 3 numaralı köşeler arasındaki diyagonal hat üzerinde tanımlanması gerekmektedir.

Eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımında; çubuğun kalınlığı ve elastisite modülü, dolgu duvarın kalınlığı ve elastisite modülüne eşit alınmaktadır. Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği (a) ise birçok araştırmacı tarafından önerilen denklemler ile hesaplanabilir.

Stafford Smith ve Carter (1969), eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin, duvar ile çerçeve elemanları arasındaki temas uzunluğu ile doğrudan bağlantılı olduğunu ve bu temas uzunluğunun ise dolgu duvar ile çerçevenin görelî rijitliğini temsil eden bir parametreye (λ) göre değiştiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılara göre çerçeve ile dolgu duvar temas uzunluğu (3.1) numaralı denklem ile, dolgu duvar ile çerçevenin görelî rijitliği ise (3.2) numaralı denklem ile hesaplanabilir.

$$\frac{d}{h_{col}} = \frac{\pi}{2 \cdot \lambda \cdot h_{col}} \quad (3.1)$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_{me} \cdot t_{inf} \cdot \sin(2\theta)}{4 \cdot E_{fe} \cdot I_{col} \cdot h_{inf}}} \quad (3.2)$$

Yukarıdaki denklemlerde; d dolgu duvar ile çerçeve arasındaki temas uzunluğunu, h_{col} giriş orta aksları arasında kalan kolon yüksekliğini, I_{col} kolon atalet momentini, λ dolgu duvar ile çerçevenin görelî rijitliğini gösteren parametre, E_{fe} ve E_{me} çerçeve ve

dolgu duvarın elastisite modülünü, h_{inf} ve t_{inf} dolgu duvarın yüksekliğini ve kalınlığını, θ eşdeğer basınç çubuğunun yatay ile yaptığı açının derece cinsinden değerini ifade etmektedir.

Mainstone (1971), tuğla ve beton dolgu duvarlar ile yaptığı deneyler sonucunda eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin aşağıdaki denklemler ile hesaplanabileceğini belirtmiştir.

$$\begin{array}{lll} \text{tuğla duvar} & 4 \leq \lambda \cdot h_{col} \leq 5 & \frac{a}{r_{inf}} = 0,175 \cdot (\lambda \cdot h_{col})^{-0,4} \end{array} \quad (3.3)$$

$$\begin{array}{lll} \text{beton duvar} & 4 \leq \lambda \cdot h_{col} \leq 5 & \frac{a}{r_{inf}} = 0,115 \cdot (\lambda \cdot h_{col})^{-0,4} \end{array} \quad (3.4)$$

$$\begin{array}{lll} \text{tuğla duvar} & \lambda \cdot h_{col} > 5 & \frac{a}{r_{inf}} = 0,160 \cdot (\lambda \cdot h_{col})^{-0,4} \end{array} \quad (3.5)$$

$$\begin{array}{lll} \text{beton duvar} & \lambda \cdot h_{col} > 5 & \frac{a}{r_{inf}} = 0,110 \cdot (\lambda \cdot h_{col})^{-0,4} \end{array} \quad (3.6)$$

Yukarı denklemlerde kullanılan r_{inf} eşdeğer basınç çubuğunun uzunluğunu ifade etmektedir.

Moghaddam ve Dowling (1988), dolgu duvarlı çerçeveler ile yaptıkları çalışmalar sonucunda eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin (3.7) numaralı denklem ile hesaplanabileceğini öne sürmüşlerdir.

$$a = \frac{r_{inf}}{6} \quad (3.7)$$

Eurocode 8 (1998)'e göre eşdeğer basınç çubuğu genişliği (3.8) numaralı denklem ile hesaplanabilir.

$$a = 0,15 \cdot r_{inf} \quad (3.8)$$

Paulay ve Priestley (1992), çalışmalarında Eurocode 8 (1998)'in de önerdiği gibi eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin Denklem (3.8) ile hesaplanmasının mühendislik hassasiyeti açısından yeterli olacağını belirtmişlerdir.

Durrani ve Luo (1994), dolgu duvar ile çerçeve rijitliğine bağlı bir parametre yardımıyla eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin (3.9), (3.10) ve (3.11) numaralı denklemler ile hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.

$$a = \gamma \cdot r_{inf} \cdot \sin(2 \cdot \theta) \quad (3.9)$$

$$\gamma = 0,32 \cdot \sqrt{\sin(2 \cdot \theta)} \left[\frac{h_{col}^4 \cdot E_{me} \cdot t_{inf}}{m \cdot E_{fe} \cdot I_{col} \cdot h_{inf}} \right]^{-0,1} \quad (3.10)$$

$$m = 6 \cdot \left[1 + \frac{6 \cdot \tan \left[\frac{E_{fe} \cdot I_{col} \cdot h_{col}}{E_{fe} \cdot I_b \cdot L_{inf}} \right]}{\pi} \right] \quad (3.11)$$

Bu denklemlerde öncekilere ek olarak; γ çerçeve ve dolgu duvar göreceli rijitliğiyle ilgili bir parametreyi, m kiriş ve kolonun göreceli rijitliğiyle ilgili bir parametreyi, I_b kiriş atalet momentini, L_{inf} dolgu duvar uzunluğunu göstermektedir.

Bennett, Fisher, Flanagan ve Tenbus (1996), eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin (3.12) numaralı denklem ile hesaplanabileceğini öne sürmüşlerdir.

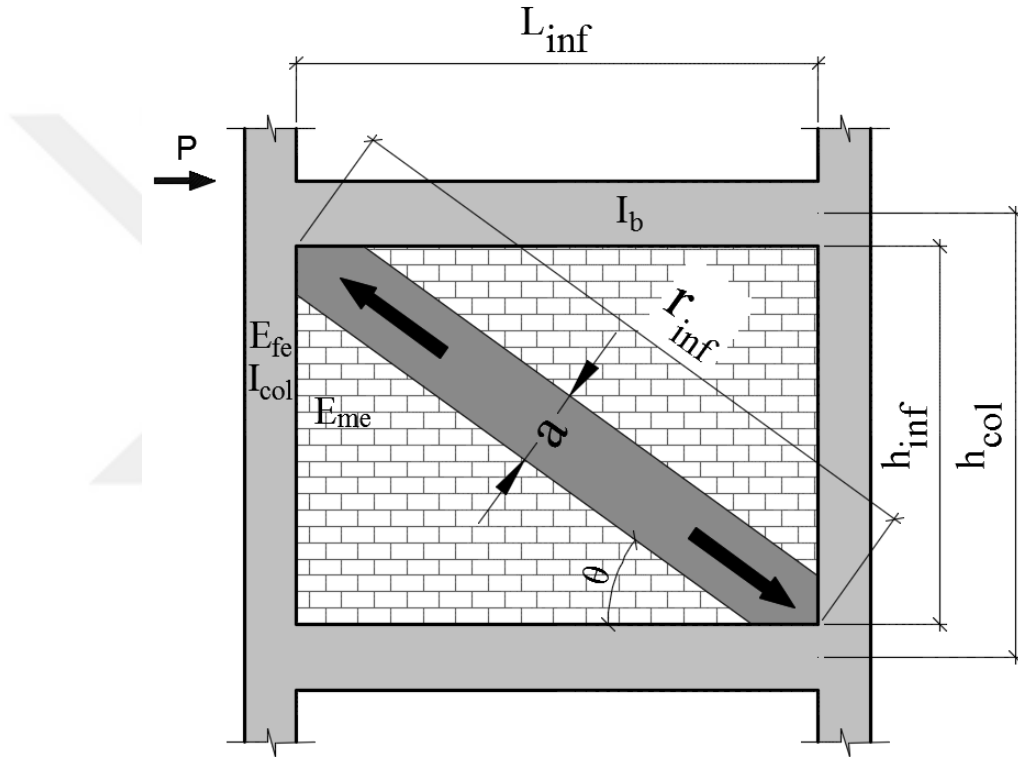
$$a = \frac{\pi}{C \cdot \lambda \cdot \cos \theta} \quad (3.12)$$

Burada C , dolgu duvar hasar derecesine bağlı olan deneysel bir sabittir ve çerçeve türüyle dolgu duvar malzemesine göre değişmektedir.

BİB (2007) ve FEMA (2000)'e göre Denklem (3.2) ile hesaplanan λ yardımıyla eşdeğer basınç çubuğu genişliği Denklem (3.13) ile hesaplanmaktadır.

$$a = 0,175 \cdot (\lambda \cdot h_{col})^{-0,4} \cdot r_{inf} \quad (3.13)$$

Yukarıdaki denklemlerde geçen ve eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin hesaplanmasında kullanılan bazı parametreler Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

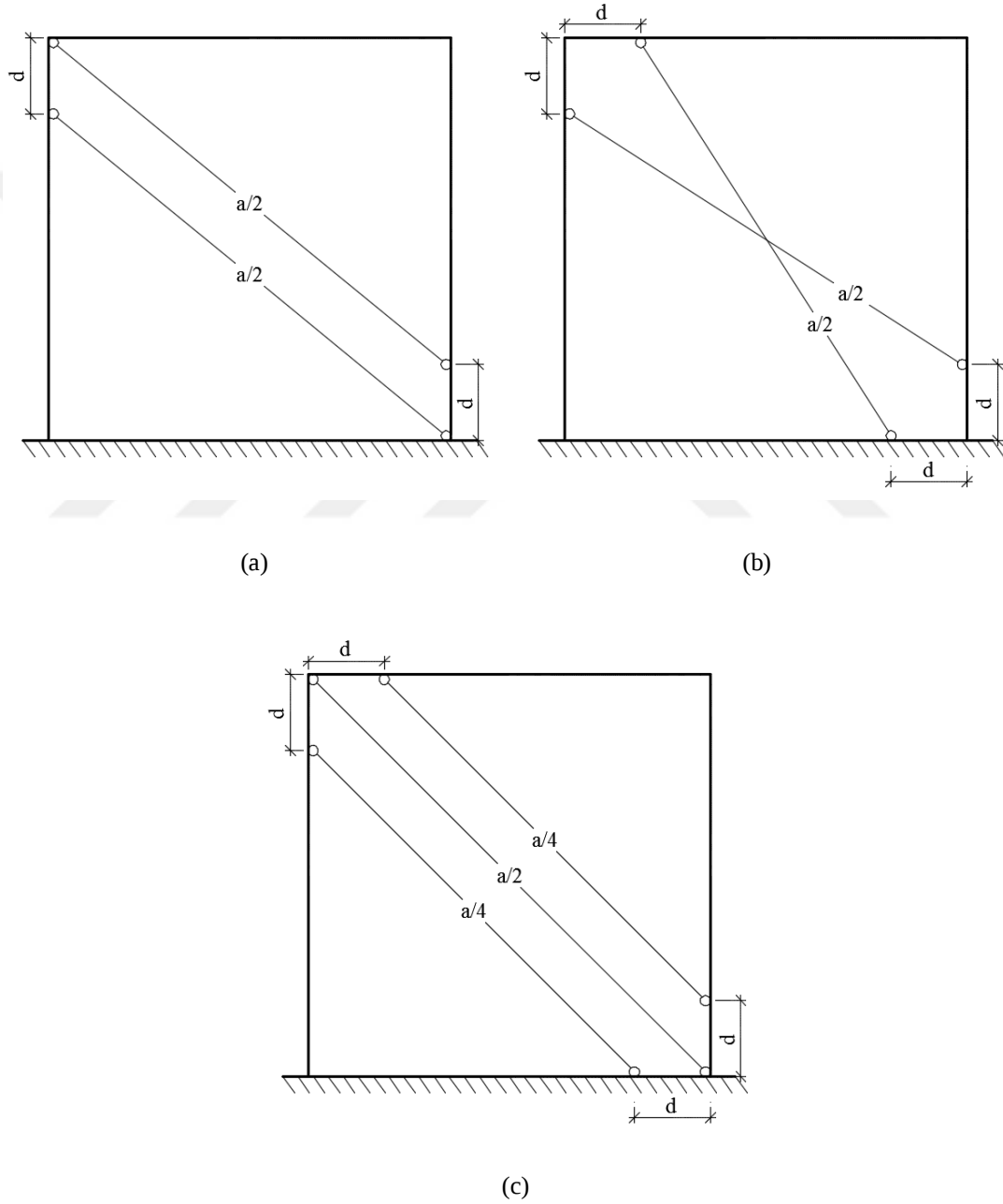


Şekil 3.2 Eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin hesabında kullanılan bazı parametreler.

3.1.1 Çoklu Eşdeğer Basınç Çubuklarıyla Modelleme

Tekli eşdeğer basınç çubukları sistemin rijitliğini yeterince doğru olarak temsil etse de; yatay yük etkisinde çerçeve elemanlarının uç kesitleri dışındaki kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri çoklu eşdeğer basınç çubuğu modelinden farklı elde edilmektedir (Durmazgezer, 2013). Bu nedenle çeşitli araştırmacılar tarafından çoklu eşdeğer basınç çubukları dolgu duvar modellemesinde kullanılmıştır.

Çoklu eşdeğer basınç çubuğuyla modellemede, çubukların kalınlıkları ve elastisite modülü dolgu duvarın kalınlığı ve elastisite modülüyle aynıyken; tekli eşdeğer basınç çubuğu için hesaplanan çubuk genişliği, çoklu eşdeğer çubuklara uygun oranda paylaştırılmaktadır. İkili çubuklar eşit oranda genişliklere sahipken, üçlü eşdeğer basınç çubuklarında gerilmenin daha yoğun aktarıldığı orta bölgedeki çubuk diğer çubukların iki katı genişliğinde olmaktadır. Bazı çoklu eşdeğer basınç çubuğu modelleri Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



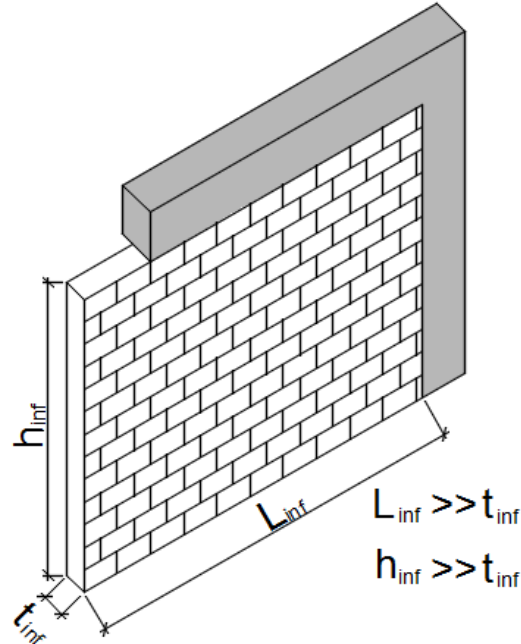
Şekil 3.3 Çoklu eşdeğer basınç çubuğu modelleri. a) İkili paralel eşdeğer basınç çubuğu modeli. b) İkili çapraz eşdeğer basınç çubuğu modeli. c) Üçlü eşdeğer basınç çubuğu modeli.

Dolgu duvarların çoklu eşdeğer basınç çubuklarıyla modellenmesinde öne çıkan bir diğer parametre de çubukların duvar düzleminde tanımlanacakları yerlerin belirlenmesinde kullanılacak olan, duvar-çerçeve temas uzunluğudur (d). Bu uzunluk (3.1) ve (3.2) denklemleri kullanılarak Denklem (3.14)'daki gibi hesaplanabilir.

$$d = \frac{\pi}{2} \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E_{fe} \cdot I_{col} \cdot h_{inf}}{E_{me} \cdot t_{inf} \cdot \sin(2\theta)}} \quad (3.14)$$

3.2 Dolgu Duvarların Sonlu Elmanlar ile Modellenmesi

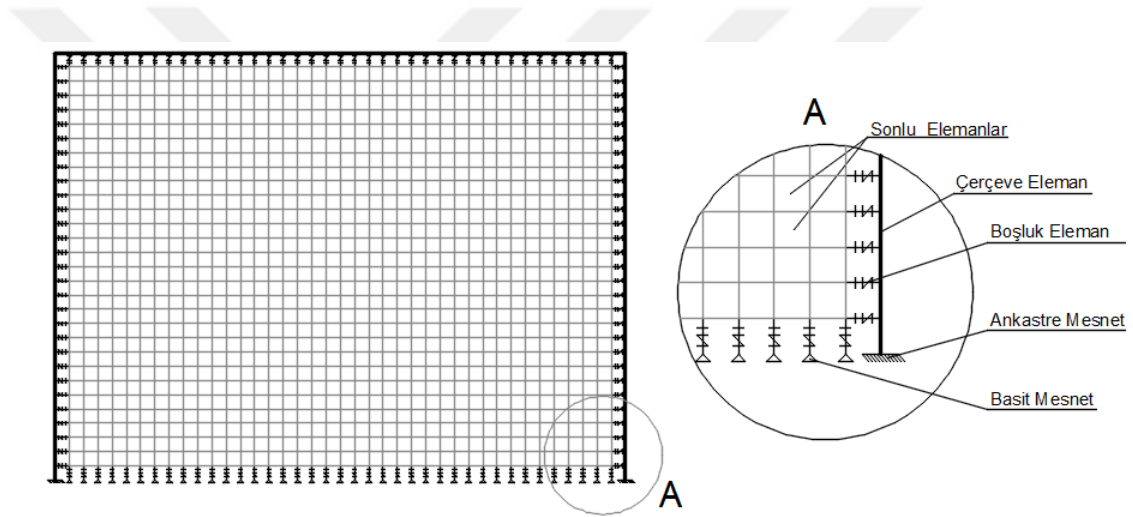
Dolgu duvarlar; yataydaki ve düşeydeki boyutları, kalınlıklarına göre oldukça büyük olduğundan; iki boyutlu kabuk eleman olarak göz önüne alınmaktadır (Şekil 3.4). Bu yaklaşımda, kabuk eleman “sonlu eleman” adı verilen küçük parçalara bölünerek hesap modeline tanımlanabilir. Seçilen sonlu eleman boyutları küçüldükçe daha hassas analiz sonuçları elde edilmekte; ancak bununla birlikte işlem yükü ve analiz süresi uzamaktadır.



Şekil 3.4 Dolgu duvarın boyutları arasındaki ilişki.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, dolgu duvar ile çerçeve elemanı arasındaki etkileşimin farklı şekillerde modellendiği ve bunlara bağlı olarak da sonuçların değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Sonlu elemanlar yaklaşımında dolgu duvar ile çerçeve elemanı arasında, duvar-çerçeve ilişkisini tanımlamak için, yalnızca aksenal basınç yükü aktaran boşluk (*gap*) eleman kullanmak uygun olacaktır. Boşluk elemanın bu özelliğinden dolayı dolgu duvar üzerinden yalnızca basınç kuvvetleri aktarılacak olup, çekme veya moment etkilerine rastlanmayacaktır.

Dolgu duvarların sonlu elemanlar yaklaşımıyla modellenmesi Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Dolgu duvarların sonlu elemanlar yaklaşımıyla modellenmesi.

Dolgu duvar-çerçeve etkileşiminin boşluk eleman kullanılarak modellenmesinde boşluk elemanın rijitliğinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Fakat literatürde, boşluk elemanın rijitliğinin hesaplanması için öneride bulunan çalışmalar çok kısıtlıdır. Dorji ve Thambiratnam (2009) boşluk elemanı rijitliği için (3.15) ve (3.16) numaralı denklemleri önermiştir.

$$k_i = t_{inf} \cdot E_{me} \quad (3.15)$$

$$k_g = 0,0378 \cdot k_i + 347 \quad (3.16)$$

Yukarıdaki denklemlerde; k_i dolgu duvar rijitliğini ve k_g ise boşluk elemanın rijitliğini temsil etmektedir.

Ayrıca boşluk elemanın rijitliği için, eşdeğer basınç çubuğu rijitliğinin (k_a) hesaplandığı (3.17) numaralı denklem de kullanılabilir (Durmazgezer, 2013).

$$k_a = k_g = \frac{t_{inf} \cdot a \cdot E_{me}}{r_{inf}} \quad (3.17)$$

3.3 Dolgu Duvarlardaki Kısmi Boşlukların Hesap Modeline Dahil Edilmesi

Yapıların büyük bir çoğunluğundan bulunan dolgu duvarlar iç mekanları dış mekanlardan izole etmek ve farklı fonksiyonlardaki mekanları birbirinden ayırmak amacıyla kullanılmaktadırlar. Mekanlar arasında geçişi sağlamak, güneş ışığını iç mekanlara ulaştırmak ve daha bir çok mimari gereksinimlerden dolayı dolgu duvar düzleminde kısmi boşluklar bırakılabilir. Dolgu duvarın ve dolayısıyla sistemin rijitliğini değiştiren bu kısmi boşlukları analizlerde göz önüne almak daha hassas sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

3.3.1 Kısmi Boşlukların Eşdeğer Basınç Çubuğu Yaklaşımında Dikkate Alınması

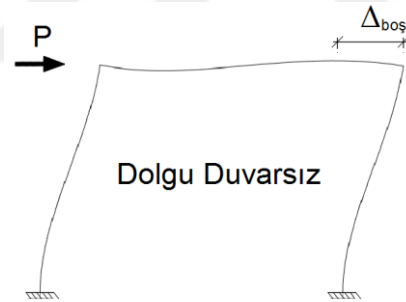
Eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı ve elastisite modülü, dolgu duvarın kalınlığı ve elastisite modülüyle aynı olduğundan, kısmi boşluklardan dolayı dolgu duvarda meydana gelen rijitlik kaybını hesap modelinde dikkate almak için çubuğun genişliği, rijitlik azaltma faktörü adı verilen ve 0 ile 1 arasında değişen bir katsayı ile çarpılmalıdır. Bu durumda kısmi boşluklu dolgu duvarlarda eşdeğer basınç çubuğu genişliği (3.18) numaralı denklemlle hesaplanabilir (Asteris, 2003; FEMA, 2000).

$$a = k \cdot 0,175 \cdot (\lambda \cdot h_{col})^{-0,4} \cdot r_{inf} \quad 0 \leq k \leq 1 \quad (3.18)$$

Denklem (3.18)'de k , rijitlik azaltma faktörünü göstermektedir ve 0'a eşit olması dolgu duvar olmama durumunu, 1'e eşit olması dolgu duvarda boşluk bulunmaması durumunu göstermektedir.

Rijitlik azaltma faktörü, dolgu duvar düzleminde bulunan boşluğun büyüklüğüne, konumuna ve şekline; dolgu duvarın elastisite modülüne ve kalınlığına göre değişim göstermektedir. Bu yüzden rijitlik azaltma faktörü, bu parametrelerin en az birinin farklı olduğu her açıklık için ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Çalışmada, kısmi boşlukların neden olduğu rijitlik kaybının hesaplanmasında aşağıdaki yaklaşım uygulanmıştır.

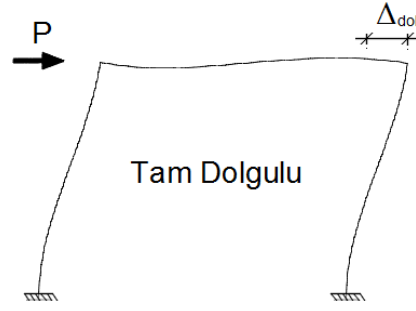
- Bir açıklıktaki rijitlik azaltma faktörünün hesabı için ilk önce o açıklık tek katlı, tek açıklıklı ve dolgu duvarsız olarak modellenir ve çerçeveye kat seviyesinden yatay bir yük (P) uygulanır. Bu yük, kat seviyesinde oluşan yerdeğiştirmeye ($\Delta_{\text{boş}}$) bölünerek boş çerçevenin yatay rijitliği ($k_{\text{boş}}$) elde edilir (Şekil 3.6 ve Denklem 3.19).



Şekil 3.6 Dolgu duvarsız bir çerçevenin deforme olmuş hali.

$$k_{\text{boş}} = \frac{P}{\Delta_{\text{boş}}} \quad (3.19)$$

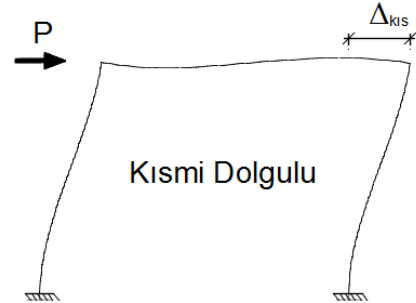
- Daha sonra çerçeve, dolgu duvar-çerçeve etkileşiminin de dikkate alındığı sonlu elemanlar yaklaşımı kullanılarak tam dolu şekilde modellenir ve aynı yük uygulanarak, kat seviyesinde okunan yerdeğiştirmeye (Δ_{dol}) da yardımıyla, boşluksuz dolgu duvarlı çerçevenin de yatay rijitliği (k_{dol}) elde edilir (Şekil 3.7 ve Denklem 3.20).



Şekil 3.7 Tam dolgulu bir çerçevenin deforme olmuş hali.

$$k_{dol} = \frac{P}{\Delta_{dol}} \quad (3.20)$$

- Üçüncü adımda ise çerçeve, kısmi boşluklu dolgu duvarlı olarak modellenir ve aynı yükün tepe noktası yerdeğiştirmesine (Δ_{kis}) bölünmesiyle bu çerçevenin yatay rijitliği (k_{kis}) elde edilir (Şekil 3.8 ve Denklem 3.21).



Şekil 3.8 Kısmi boşluklu bir çerçevenin deforme olmuş hali.

$$k_{kis} = \frac{P}{\Delta_{kis}} \quad (3.21)$$

- Bu üç çerçevenin yatay rijitlikleri elde edildikten sonra, tam dolu ve kısmi dolu çerçevenin rijitliklerinden boş çerçevenin rijitliği çıkarılarak; boşluksuz dolgu duvarın rijitliği (k_{dold}) ve kısmi boşluklu dolgu duvarın rijitliği (k_{kisd}) hesaplanır (Denklem 3.22 ve 3.23).

$$k_{dold} = k_{dol} - k_{bos} \quad (3.22)$$

$$k_{kisd} = k_{kis} - k_{bos} \quad (3.23)$$

- Son olarak kısmi boşluklu dolgu duvarın rijitliği, boşluksuz dolu dolgu duvarın rijitliğine bölünerek, rijitlik azaltma faktörü (k) elde edilir (Denklem 3.24).

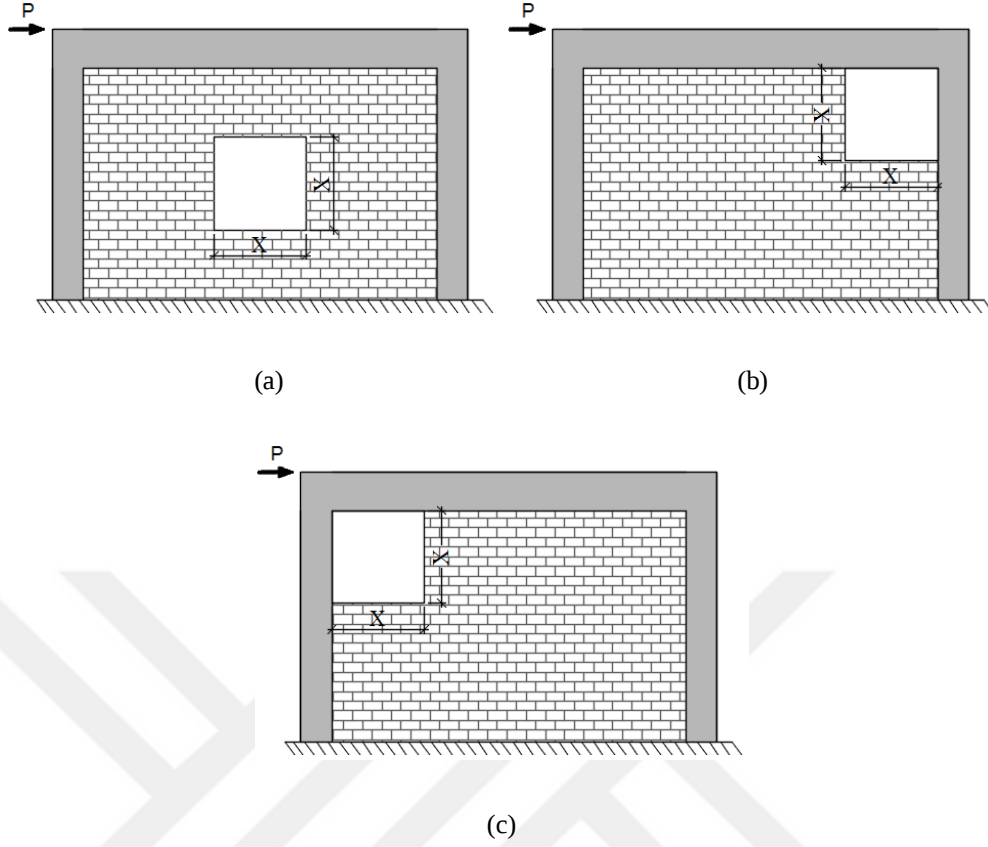
$$k = \frac{k_{kisd}}{k_{dold}} \quad (3.24)$$

Dolgu duvarın ve üzerinde bulunan kısmi boşlukların çeşitli durumları için rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimini elde etmek; bu faktörlerin çerçeve rijitliğini nasıl etkileyeceğini öğrenebilmek için önemlidir.

Herhangi bir açıklıktaki rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimini görebilmek için, boşluğun konumu ve şekli değiştirilmemek koşuluyla farklı boşluk oranları için (3.19) - (3.24) denklemleri uygulanmalı ve sonuçlar grafik haline getirilmelidir. Grafikte yatay eksen boşluk oranı, düşey eksen ise rijitlik azaltma faktörü (k) yer almaktadır.

Açıklığı 4 m, yüksekliği 3 m, kolon boyutları 40x40 cm, kiriş boyutu 25x50 cm ve C30 beton sınıfına sahip olan dolgu duvarlı bir çerçeve, rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimini görebilmek için model olarak seçilmiştir. Dolgu duvarın kalınlığı 20 cm alınmış ve elastisite modülü 1661 MPa olarak hesaplanmıştır.

Bu çerçevedeki kısmi boşluğun çerçevenin ortasında -diyagonal hattın üzerinde- olması durumu (Şekil 3.9a) için rijitlik azaltma faktörü ve eldesinde kullanılan parametreler Tablo 3.1’de sunulmuştur. Aynı çerçevede kısmi boşluğun sağ üst bölgede yer alması durumu (Şekil 3.9b) için değerler Tablo 3.2’de, sol üst bölgede yer alması durumu (Şekil 3.9c) için değerler Tablo 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.9 Kısmi boşlukların çerçeve düzleminde farklı konumlarda olması durumları. a) Boşluğun ortada yer alması durumu. b) Boşluğun sağ üstte yer alması durumu. c) Boşluğun sol üstte yer alması durumu.

Tablo 3.1 Kısmi boşluğun ortada olması durumunda rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi

Boşluk Oranı (%)	Yerdeğiştirme (mm)	Çerçeve Rijitliği (kN/mm)	Duvar Rijitliği (kN/mm)	Rijitlik Azaltma Faktörü
0,0	1,44	69,3	31,7	1,00
0,3	1,45	69,0	31,4	0,99
1,3	1,47	68,0	30,4	0,96
3,0	1,51	66,3	28,7	0,91
5,3	1,64	60,9	26,3	0,83
8,3	1,74	57,3	23,3	0,73
12,0	1,87	53,5	19,7	0,62
16,3	2,01	49,7	15,9	0,50
21,3	2,16	46,3	12,1	0,38
27,0	2,30	43,5	8,7	0,27
33,3	2,42	41,3	5,8	0,18
40,3	2,51	39,8	3,7	0,12
48,0	2,58	38,8	2,2	0,07
56,3	2,65	37,7	1,2	0,04
75,0	2,66	37,6	0,0	0,00
100	2,66	37,6	0,0	0,00

Tablo 3.2 Kısmi boşluğun sağ üstte olması durumunda rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi

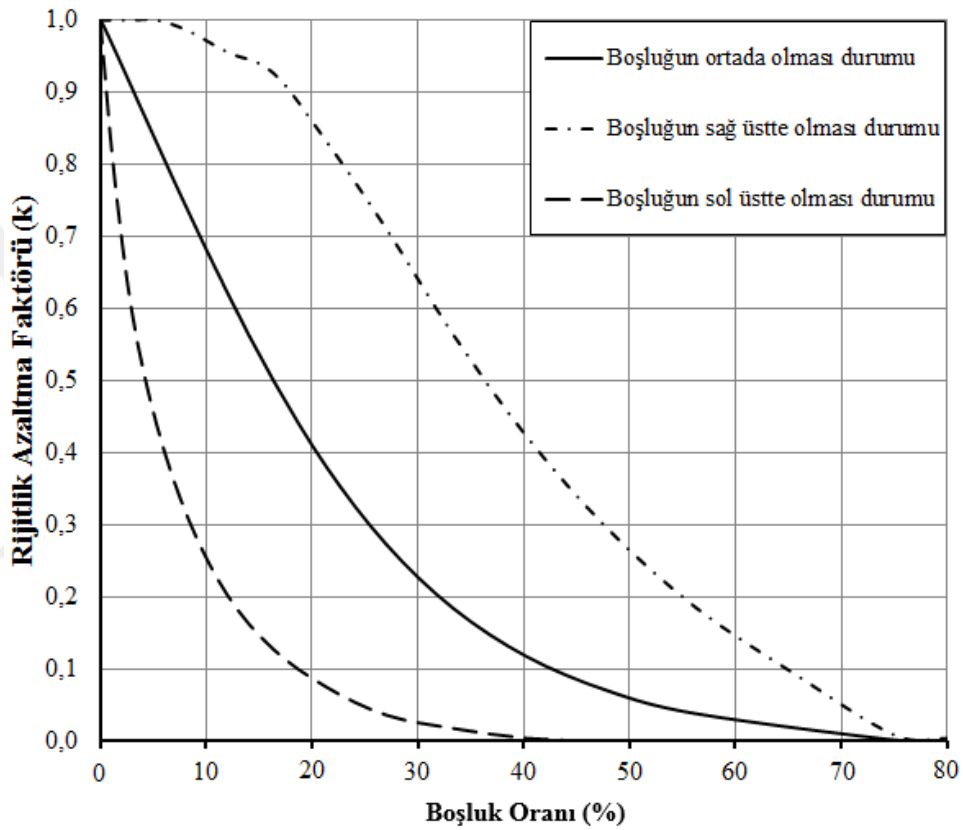
Boşluk Oranı (%)	Yerdeğiştirme (mm)	Çerçeve Rijitliği (kN/mm)	Duvar Rijitliği (kN/mm)	Rijitlik Azaltma Faktörü
0,0	1,44	69,4	31,9	1,00
0,3	1,44	69,4	31,9	1,00
1,3	1,44	69,4	31,9	1,00
3,0	1,44	69,4	31,9	1,00
5,3	1,44	69,4	31,9	1,00
8,3	1,45	69,0	31,4	0,98
12,0	1,47	68,0	30,4	0,96
16,3	1,49	67,1	29,5	0,93
21,3	1,56	64,1	26,5	0,83
27,0	1,66	60,2	22,6	0,71
33,3	1,80	55,6	18,0	0,56
40,3	1,96	51,0	13,4	0,42
48,0	2,13	46,9	9,4	0,29
56,3	2,30	43,5	5,9	0,18
75,0	2,64	37,9	0,3	0,01
100	2,66	37,6	0,0	0,0

Tablo 3.3 Kısmi boşluğun sol üstte olması durumunda rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi

Boşluk Oranı (%)	Yerdeğiştirme (mm)	Çerçeve Rijitliği (kN/mm)	Duvar Rijitliği (kN/mm)	Rijitlik Azaltma Faktörü
0,0	1,44	69,4	31,9	1,00
0,3	1,48	67,6	30,0	0,94
1,3	1,60	62,5	24,9	0,78
3,0	1,77	56,5	18,9	0,59
5,3	1,94	51,5	14,0	0,44
8,3	2,11	47,4	9,8	0,31
12,0	2,27	44,1	6,5	0,20
16,3	2,40	41,7	4,1	0,13
21,3	2,50	40,0	2,4	0,08
27,0	2,58	38,8	1,2	0,04
33,3	2,62	38,2	0,6	0,02
40,3	2,65	37,7	0,1	0,00
48,0	2,66	37,6	0,0	0,00
56,3	2,66	37,6	0,0	0,00
75,0	2,66	37,6	0,0	0,00
100	2,66	37,6	0,0	0,00

Bu üç durum için elde edilen rijitlik azaltma faktörlerinin boşluk oranına göre değişimi Şekil 3.10'daki grafikte gösterilmiştir. Yükün geldiği köşeye yakın, yani sol üst tarafta açılan boşluklarda rijitlik azaltma faktörü, diğer iki boşluk konumuna daha

düşük elde edilmektedir. Bunun sebebi, bu konumdaki boşlukların, çerçeve ile dolgu duvar arasında yük aktaran yüzeyleri azaltmasıdır. Rijitlik azaltma faktörü, kısmi boşlukların sağ üst tarafta bulunması durumunda, aynı boşluk oranları göz önüne alındığında daha büyük bulunmaktadır. Bu konumdaki boşluklar dolgu duvarın yoğun yük aktarım bölgesi olan diyagonal hat üzerinde yer almadığından, yatay rijitlik için diğer iki durum kadar önem arz etmemektedir.

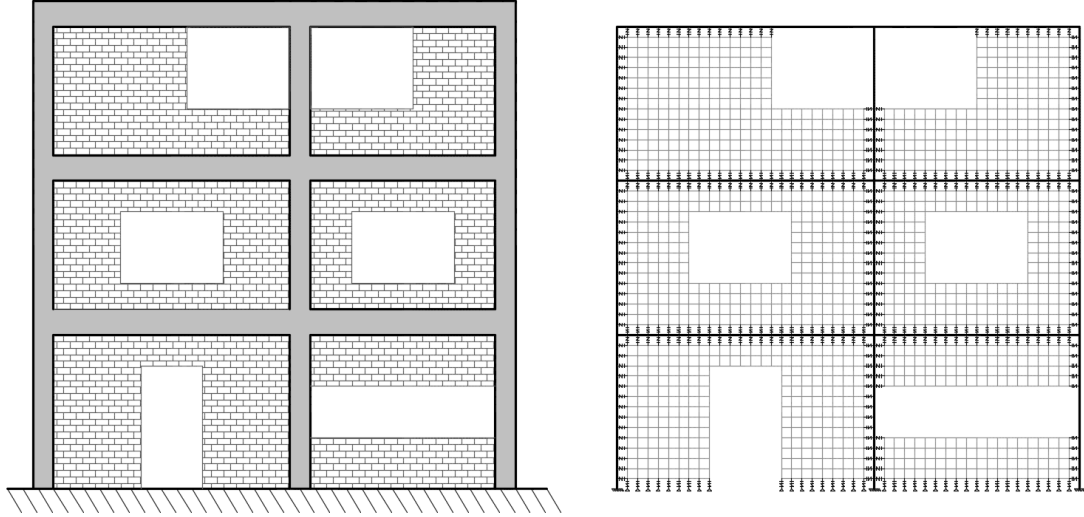


Şekil 3.10 Farklı boşluk konumları için rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi.

3.3.2 Kısmi Boşlukların Sonlu Elemanlar Yaklaşımında Dikkate Alınması

Dolgu duvar düzlemindeki kısmi boşlukların sonlu elemanlar ile modelleme sırasında hesap modeline dahil edilmesi oldukça kolaydır. Çeşitli şekil ve boyutta olabilen bu boşlukları modellemek için hesap modelinde ilgili yerlerde tanımlanan sonlu elemanları silmek yeterli olacaktır. Ancak kısmi boşlukların şeklini ve boyutunu tam olarak hesap modeline yansıtabilmek için modellemede uygun sonlu eleman boyutları seçmek gerekmektedir. Örneğin 20x20 cm boyutlarında sonlu

elemanlar; 200x200 cm boyutlarındaki bir boşluğu tanımlayabilmek için kullanılabilecekken, 150x150 cm boyutlarındaki boşluğu tanımlamada yetersiz kalacaktır. Kısmi boşluklu dolgu duvarlı betonarme bir çerçeve ve sonlu elemanlar ile modellenmesi Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

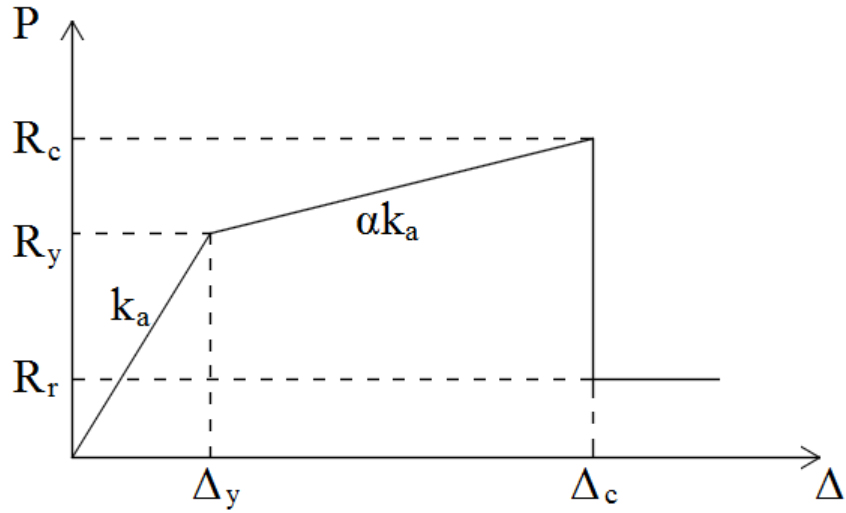


Şekil 3.11 Kısmi boşluklu dolgu duvarlı betonarme bir yapının hesap modeli.

3.4 Dolgu Duvarların Doğrusal Elastik Olmayan Davranışının Modellenmesi

Dolgu duvarın küçük yükler altında çerçeve rijitliğine katkısı oldukça fazladır. Üzerindeki yük arttıkça dolgu duvar hasar görmeye başlar ve yük taşıma kapasitesine ulaştığı an itibarıyla büyük bir rijitlik kaybına uğrar.

Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu modellemesindeki doğrusal elastik olmayan davranışını temsil etmek üzere literatürde birkaç farklı modele rastlamak mümkündür. Çalışma kapsamında da esas alınan kuvvet - şekil değiştirme ilişkisi Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Eşdeğer basınç çubuğunun doğrusal elastik olmayan davranışı (Tsai ve Huang, 2011).

Bu modelde R_c , eşdeğer basınç çubuğunun en büyük taşıyabileceği kuvvet olup (3.25) numaralı denklem ile; Δ_c ise bu kuvvete karşılık gelen şekil değiştirme olup (3.28) numaralı denklem ile hesaplanabilir (FEMA, 1998; Madan, Reinhorn, Mander, ve Valles, 1997).

$$R_c = a \cdot t_{inf} \cdot f'_{me90} \quad (3.25)$$

Bu denklemde f'_{me90} dolgu duvarın yatay doğrultudaki beklenen basınç dayanımı olup, (3.26) ve (3.27) numaralı denklemler ile hesaplanabilir.

$$f'_{me90} = 0,5 \cdot f'_{me} \quad (3.26)$$

$$f'_{me} = 1,3 \cdot f'_m \quad (3.27)$$

$$\Delta_c = \epsilon'_m \cdot r_{inf} \quad (3.28)$$

(3.28) numaralı denklemdeki dolgu duvar en büyük birim şekil değiştirmesi (ϵ'_m); dolgu duvarın dayanımına, elastisite modülüne ve bağlayıcı harcın dayanımına bağlı olarak; (3.29) numaralı denklem ile hesaplanabilir (Kaushik ve diğer., 2007).

$$\varepsilon'_m = \frac{0,27 \cdot f'_m}{f_j^{0,25} \cdot E_{me}^{0,7}} \quad (3.29)$$

Eşdeğer basınç çubuğunun doğrusal olmayan davranışını tanımlayan P-Δ grafiğindeki R_y , dolgu duvarın çatlamaya başladığı kuvveti, Δ_y ise buna karşılık gelen şekil değiştirmeyi temsil etmekte olup; (3.30) ve (3.31) numaralı denklemler ile hesaplanabilirler.

$$R_y = \frac{R_c - \alpha \cdot k_a \cdot \Delta_c}{1 - \alpha} \quad (3.30)$$

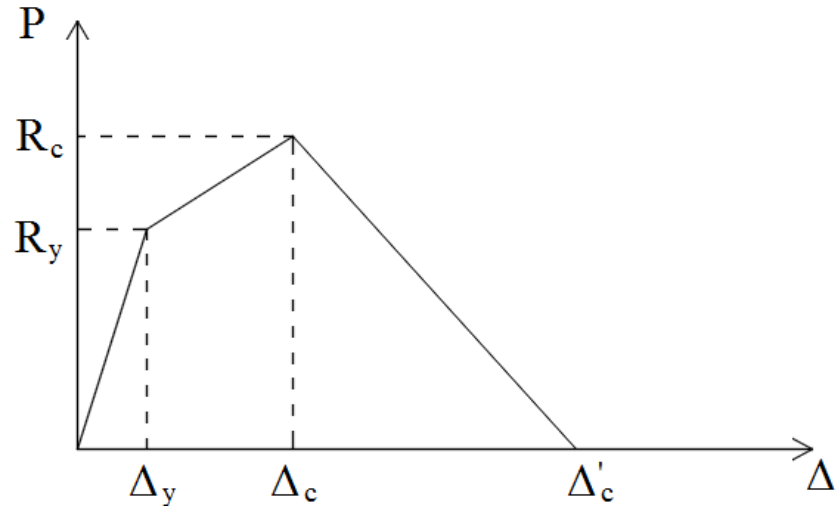
$$\Delta_y = \frac{R_y}{k_a} \quad (3.31)$$

Bu denklemlerdeki k_a , dolgu duvarın başlangıçtaki rijitliği olup (3.17) numaralı denklem ile hesaplanırken; α , duvarın çatladıktan sonraki rijitliğinin başlangıçtaki rijitliğine oranını temsil eden parametredir ve hesaplarda 0,2 olarak kullanılabilir.

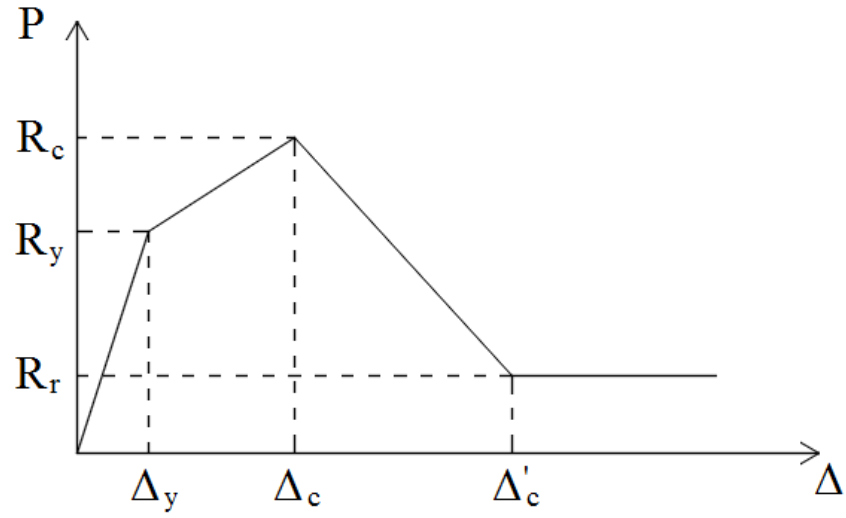
Dolgu duvarlar yük taşıma kapasitelerine ulaştıktan sonra rijitliklerinin büyük bir bölümünü bir anda kaybeder; fakat dolgu duvarların düşük ve sabit bir yük (R_r) etkisi altında yerdeğiştirme yapabildikleri kabul edilir. Bu yük, Denklem (3.32) ile hesaplanabilir (Mostafaei ve Kabeyasawa, 2004).

$$R_r = 0,3 \cdot R_y \quad (3.32)$$

Literatürde dolgu duvarın doğrusal elastik olmayan davranışını eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımında modellemek amacıyla Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'deki modeller de kullanılmıştır.



Şekil 3.13 Eşdeğer basınç çubuğunun doğrusal elastik olmayan davranışı (Dolšek ve Fajfar, 2001).



Şekil 3.14 Eşdeğer basınç çubuğunun doğrusal elastik olmayan davranışı (Hanoğlu, 2002).

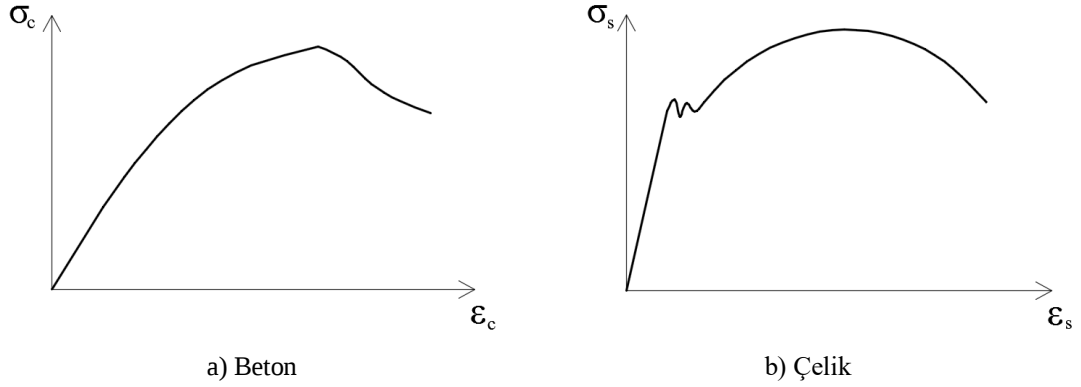
BÖLÜM DÖRT

BETONARME BİNALARIN DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN DAVRANIŞI VE ARTIMSAL İTME ANALİZİ

Betonarme binalarda doğrusal olmayan davranış genellikle iki unsura bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birincisi artan yükler altında sistem geometrisinde meydana gelen önemli değişimler, diğeri ise malzemenin doğrusal elastik olmayan gerilme - birim şekil değiştirme ilişkisidir.

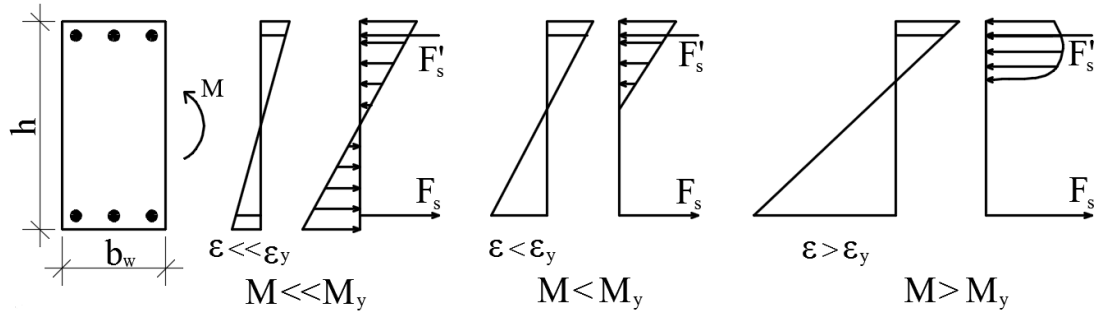
Düşük deprem yükleri altında betonarme binalarda meydana gelen yerdeğiştirmeler ihmal edilebilecek kadar küçük olduğundan, denge denklemleri şekil değiştirmemiş sistem üzerinden oluşturulabilir (1. mertebe teorisi). Ancak; yükler ve buna bağlı olarak yerdeğiştirmeler büyüdükçe, bir başka deyişle taşıyıcı sistem geometrisi ilk halinden uzaklaştıkça, denge denklemleri ve bazı durumlarda geometrik süreklilik denklemleri şekil değiştirmiş sistem üzerinden yazılmalıdır (2. mertebe teorisi). Bu durumda taşıyıcı sistemdeki yük dağılımı değişmekte ve ilave tesirler meydana gelmektedir. Yük dağılımı ve yerdeğiştirmelerin birbirine bağımlı olması, doğrusal olmayan davranışın gözlenmesine yol açmaktadır.

Betonarme elemanların yapımında kullanılan beton ve çelik malzemeleri küçük gerilmeler altında elastik, görel olarak daha büyük gerilmeler altında ise plastik şekil değiştirme yapmaktadır (elastoplastik davranış). Bu malzemelerin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.1'de sunulmuştur. Düşük gerilmeler altında betonun gerilme - birim şekil değiştirme ilişkisinin çok küçük bir kısmı doğrusal kabul edilebilir. Bunun dışında kalan gerilme - birim şekil değiştirme ilişkisi doğrusal ve elastik değildir. Betonarme çeliğinin gerilme - birim şekil değiştirme ilişkisi ise akma sınırı olarak adlandırılan belli bir noktaya kadar doğrusal elastiktir. Bu sınırın ötesinde plastik şekil değiştirmeler söz konusudur. Doğal olarak bu iki malzemedan meydana gelen betonarme kesitlerin artan yükler altında davranışının doğrusal - elastik olamayacağı aşikardır.



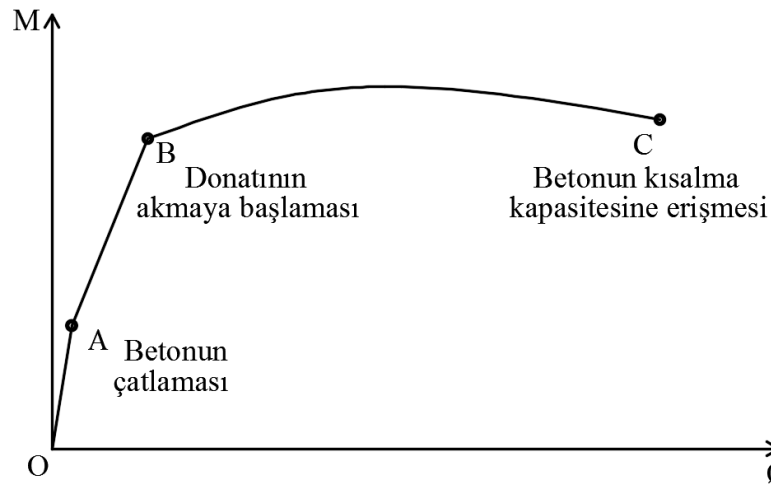
Şekil 4.1 Betonarmeyi oluşturan malzemelerin gerilme - birim şekil değiştirme eğrileri.

Eğilme momenti etkisi altındaki kesitlerde dönmeler meydana gelmektedir. Basınç ve çekme donatısının birlikte bulunduğu, dikdörtgen ve sünek bir kesitin farklı eğilme momenti değerleri altında oluşan gerilme ve şekil değiştirmeleri Şekil 4.2’de; eğilme momenti-eğrilik ($M-\theta$) ilişkisi ise Şekil 4.3’de sunulmuştur. Eğilme momentinin düşük değerleri için, kesitte oluşan gerilmeler de küçük olduğundan kesit doğrusal elastik sınırlar içerisinde kalmaktadır. Bu durumunda kesitte oluşan çekme ve basınç gerilmeleri beton ve donatılar ile birlikte karşılanır (O-A noktaları arası). Eğilme momenti değerinin artmasıyla çekme bölgesindeki beton çatlak ve çekme gerilmelerinin tamamı donatılar ile karşılanmaya başlar. Bu noktada eğilme momenti-eğrilik ilişkisi doğrusallıktan ayrılmış olur (A noktası). Eğilme momenti artarken betonun doğrusal olmayan davranışı belirginleşmeye başlar ve üzerinde oluşan basınç gerilmeleri basınç bloğu boyunca doğrusal olmayan bir şekilde oluşur (A-B noktaları arası). Çekme donatısındaki birim şekil değiştirmenin akma birim şekil değiştirmesine (ϵ_y) ulaştığı andaki eğilme momenti değerine ‘akma momenti’ (M_y) adı verilir. Eğilme momenti değerinin akma momentine ulaşması durumunda çekme bölgesindeki donatı akmaya başlar ve kesitte plastik şekil değiştirmeler meydana gelir (B noktası). Bu noktadan sonra eğilme momentindeki küçük artışlara karşılık eğrilik değişimi yüksek miktarda oluşur (B-C noktaları arası). Basınç bölgesindeki beton, şekil değiştirme kapasitesine ulaştığında (C noktası) ise kesit taşıma kapasitesine ulaşmış olur (Celep, 2008).



Şekil 4.2 Farklı eğilme momentleri altında betonarme bir kesitte meydana gelen gerilme ve birim şekil değiştirmeler.

Yukarıdaki şekilde b_w ve h kesit genişliğini ve yüksekliğini, M eğilme momentini, M_y akma momentini, ε birim şekil değiştirmeyi, ε_y donatının akma birim şekil değiştirmesini, F_s' ve F_s donatının basınç ve çekme kuvvetini göstermektedir.



Şekil 4.3 Betonarme bir kesitin eğilme momenti-eğrilik ilişkisi.

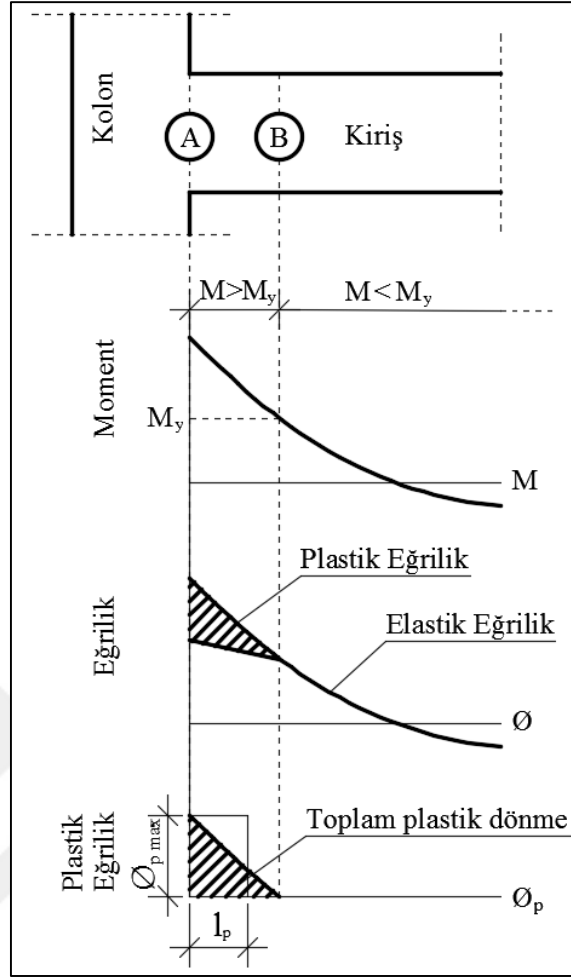
1. mertebe teorisinin geçerli olduğu ve gerilmelerin elastik sınırlar içinde kaldığı yükler altındaki betonarme yapıların, doğrusal elastik davranış gösterdiği kabul edilebilir. Ancak büyük yer ivmelerine sahip depremlerin, yapı üzerinde oluşturdukları eylemsizlik kuvvetler de fazla olduğundan, bu kuvvetler altında oluşan gerilmeler doğrusal elastik sınırı aşmakta ve yapıda oluşan şekil değiştirmeler ihmal edilemeyecek değerlere ulaşmaktadır. Bu durumda yapı sistemi doğrusal elastik olmayan davranış biçimi sergilemektedir.

4.1 Plastik Mafsal Hipotezi

Betonarme elemanlarda düşük eğilme momenti etkisi altındaki kesitler doğrusal - elastik davranış gösterirken; eğilme momentinin akma momenti değerini aştığı kesitlerde plastik şekil değiştirme meydana gelmektedir. Göreli olarak daha çok zorlanan kesitlerde oluşan bu plastikleşmenin, akma momentinin aşıldığı tüm kesitlerde sürekli olarak yayılması durumu hesaplarda göz önüne alınabilmektedir. Bununla birlikte, toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin sınırlı bir bölgeye yayıldığı sistemlerde yığılı plastik davranış modeli esas alınarak doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi mümkündür. Bu tip sistemlerde, çubuk olarak modellenen elemanlardaki doğrusal olmayan şekil değiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı ve bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davrandığı kabul edilebilir. Yeterli süneklik düzeyine sahip sistemlerde hesapları önemli ölçüde kısaltarak mühendislik uygulamalarında pratiklik sağlayan bu varsayıma dayanan hipotez, plastik mafsal hipotezi olarak adlandırılmaktadır (Uçar, 2005).

İki ucundan kolona mesnetli betonarme bir kirişin eğilme momenti diyagramı, elastik ve plastik eğrilik grafikleri Şekil 4.4’de sunulmuştur. Bu kirişin B kesitine etki eden eğilme momenti değeri akma momentine eşit olduğu varsayılmıştır. Kirişin açıklıktan B kesitine kadar olan bölümünde eğilme momenti değerleri akma momentinden düşük olduğundan, bu kesitlerde plastikleşme gerçekleşmez ve eğilme momenti ile doğru orantılı elastik eğrilik ortaya çıkmaktadır. Eğilme momentinin, akma momentinden büyük olduğu kesitlerde plastikleşme meydana gelir. (Celep, 2008). Şekil 4.4’de bulunan B kesiti, Şekil 4.3’de bulunan eğilme momenti-eğrilik grafiğinde B noktasında; A kesiti ise grafiğin B ile C noktası arasında yer almaktadır.

Betonarme elemanlarda plastik davranan bölgenin uzunluğu kesitin yüksekliğine ve momentin değişimine bağlıdır. Konsol kirişin mesnet bölgesi gibi eğilme momentinin hızlı değiştiği bölgelerde plastik bölge kısa iken, basit kirişin açıklık bölgesi gibi eğilme momentinin yavaş değiştiği bölgelerde daha uzundur.



Şekil 4.4 Kirişin mesnet bölgesinde elastik ve plastik eğrilik ve plastik mafsallı kabulü (Celep, 2008).

Şekil 4.4’de bulunan B kesitinin, A kesitine göre dönmesi (θ_{BA}), plastik eğrilik (θ_p) iki kesit arasındaki integrasyonu ile hesaplanır (Denklem 4.1).

$$\theta_{BA} = \int_A^B \theta_p dx \quad (4.1)$$

(4.1) numaralı denklem ile hesaplanan dönmenin, kirişin mesnedinde bulunan en büyük eğrilik (θ_{pmax}) bölünmesiyle eşdeğer plastik mafsallı boyu (l_p) elde edilir (Denklem 4.2).

$$l_p = \frac{\theta_{BA}}{\phi_{p \max}} \quad (4.2)$$

Eşdeğer plastik mafsalsal boyu, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (BİB, 2007)'e göre (4.3) numaralı denklem ile hesaplanmaktadır.

$$l_p = 0,5 \cdot h \quad (4.3)$$

Kirişlerde düşey yükler altında en büyük eğilme momenti değerleri açıklık ortalarında ve mesnetlerde meydana gelmektedir. Bu yüzden yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik kesitler bu bölgelerde tanımlanabilir. Yatay yükler altında ise genellikle kirişlerin mesnetleri zorlanmaktadır. Kolonlarda ise iki yükleme durumunda da kritik kesitler alt ve üst uçlarda oluşmaktadır.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (BİB, 2007)'e göre plastik kesitler, kolon ve kirişlerin net açıklıklarının uçlarına tanımlanabilir. Sadece eksenel yük altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların eşdeğer plastik mafsalsal boyu elemanın serbest boyu kadar alınıp, orta noktasına tanımlanabilir.

4.2 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi

Yapıların yatay yükler altında doğrusal elastik olmayan davranışını elde etmek için kullanılan artımsal itme analizi, apsisi tepe yerdeğiştirmesi ve ordinatı taban kesme kuvveti olan itme eğrisinin elde edilmesi ve değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır.

Katlar arasında farklı yatay yük dağılımları sonucunda farklı itme eğrileri elde edileceğinden, artımsal itme analizi yönteminde kullanılacak yük dağılımının seçimi önem arz etmektedir. Bu yatay yükler, yer ivmesinden dolayı Newton'un birinci kanunu olan eylemsizlik kanunu gereğince yapıda oluşacak atalet kuvvetlerini doğru temsil etmelidir. Genellikle birinci mod etkilerinin hakim olduğu düzgün ve çok yüksek olmayan yapılarda, yatay yük dağılımı Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile

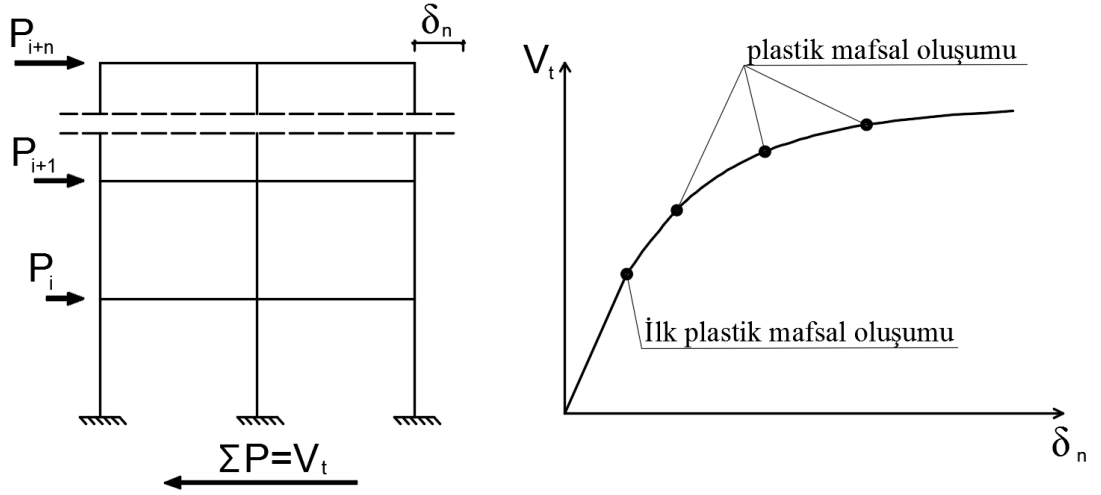
hesaplanmaktadır. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile itme analizinin yapılabilmesi için binanın;

- Toplam kat adedinin bodrum hariç 8'den fazla olmaması,
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te (BİB, 2007) tanımlanan burulma düzensizliği katsayısının 1,4'den küçük olması,
- Birinci titreşim moduna ait etkin kütesinin, bina toplam kütesine oranının 0,70'den büyük olması

gerekmektedir.

Yöntemde ilk olarak binanın hesap modeli oluşturulur ve plastik şekil değiştirmelerin oluşabileceği kritik kesitlerde (kolon-kiriş birleşim bölgeleri, kat seviyesindeki perde kesitleri) yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik kesitler tanımlanır. Doğrusal olmayan hesap modeli tamamlanan binanın düşey yükler altında statik analizi yapılır ve bu analizin sonuçları itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır. Daha sonra, artımsal itme analizi sırasında kullanılacak yatay yüklerin katlara göre dağılımı, doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlelerin çarpılması ile elde edilen değerle orantılı olacak şekilde belirlenir. Elde edilen eşdeğer deprem yükü dağılımı, itme analizi boyunca sabit kalabileceği gibi; her itme adımı öncesinde, o itme adımına kadar oluşan plastik mafsallar da göz önüne alınarak hesaplanan birinci doğal titreşim mod şekli genlikleri kullanılarak da hesaplanabilir.

Hazırlanan doğrusal olmayan hesap modeli üzerinde düşey yükler sabit kalacak şekilde, yatay yükler belirli bir tepe yerdeğiştirmesi değerine veya binanın göçme durumuna kadar adım adım arttırılır. Her itme adımı sonucunda elde edilen tepe yatay yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvvetleri değerleri grafik ortamında işaretlenip birleştirilerek yapının itme eğrisi elde edilir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Yapıya ait itme eğrisinin elde edilmesi.

Artımsal itme analizinin itme adımlarında, elemanların kritik kesitlerinde meydana gelen plastik mafsalların sırası incelenerek, yapının yatay yükler altındaki davranışı değerlendirilebilir. Yapıda oluşabilecek kısmi ve toptan göçme mekanizmaları belirlenebilir.

4.3 Binaların Tepe Yerdeğiştirmesi İstemlerinin Belirlenmesi

Bir binanın en üst katında, belirli bir yer hareketi altına gerçekteşmesi beklenen yerdeğiştirmeye, o binanın tepe yerdeğiştirmesi istemi adı verilir. Tepe yerdeğiştirmesi istemi belirlenen binalarda, artımsal itme analizi bu değere kadar sürdürölür ve analiz sonunda depremin talep ettiği çeşitli istem büyüklükleri değeriendirilerek binanın deprem performansı hakkında karar verilir.

Betonarme binaların tepe yerdeğiştirmesi isteminin belirlenmesi için ilk adım, %5 sönüm oranı için tanımlanan apsisi periyot (T), ordinatı spektral ivme (S_a) olan elastik ivme spektrumunun elde edilmesidir. Bu spektrum farklı zeminler için süre ve genlik bakımından belirli özelliklere sahip deprem kayıtlarından elde edilebileceği gibi Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (BİB, 2007)'deki elastik tasarım ivme spektrumu olarak da seçilebilir. Bu durumda spektral ivme (4.4) numaralı denklem ile belirlenir.

$$S_a(T) = A(T) \cdot g \quad (4.4)$$

Burada $S_a(T)$ periyoda bağılı olarak değişen elastik spektral ivmeyi ve g yerçekimi ivmesini temsil etmektedir. Spektral ivme katsayısı, $A(T)$, Denklem (4.5) ile hesaplanmaktadır.

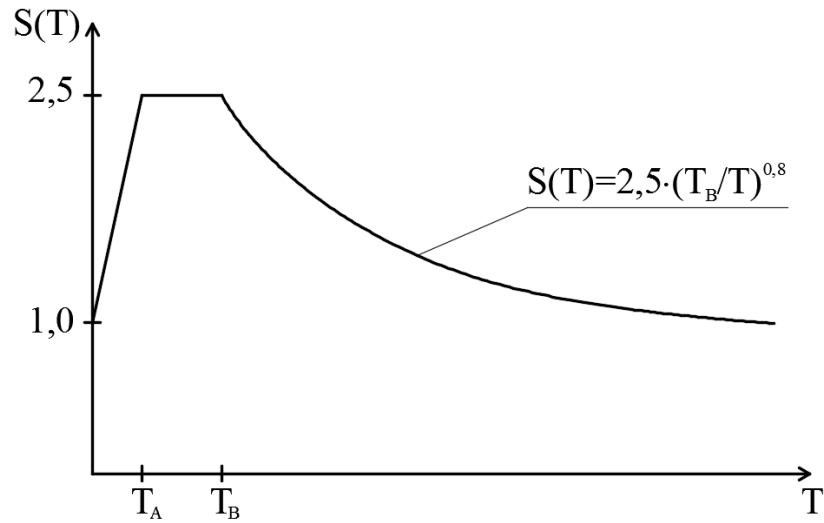
$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (4.5)$$

Yukarıdaki denklemde A_0 etkin yer ivmesi katsayısı olup, deprem bölgesine göre değişmekte; I bina önem katsayısı olup, binanın kullanım amacı veya türüne göre değişmekte; $S(T)$ ise periyoda bağılı olarak değişen spektrum katsayısı olup (4.6-4.8) numaralı denklemleri hesaplanmaktadır (Şekil 4.6).

$$S(T) = 1 + 1,5 \cdot \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (4.6)$$

$$S(T) = 2,5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (4.7)$$

$$S(T) = 2,5 \cdot \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0,8} \quad (T_B < T) \quad (4.8)$$



Şekil 4.6 Spektrum katsayısının periyoda bağılı değişimi.

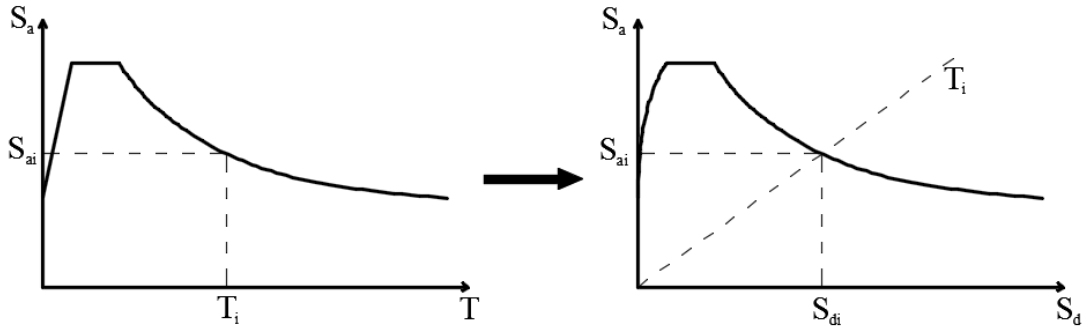
Denklem 4.8’de bulunan T_A ve T_B spektrum karakteristik periyotları olup, yerel zemin sınıfına göre farklılık göstermektedir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B)

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0,10	0,30
Z2	0,15	0,40
Z3	0,15	0,60
Z4	0,20	0,90

Elde edilen elastik ivme spektrumu spektral ivme - periyot ($S_a - T$) formatından Denklem (4.9) ile verilen temel yapı dinamiği bağıntısı kullanılarak, spektral ivme - spektral yerdeğiştirme ($S_a - S_d$) dönüştürülmektedir (Şekil 4.7).

$$S_{di} = S_{ai} \cdot \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (4.9)$$



Şekil 4.7 Elastik ivme spektrumunun spektral ivme - spektral yerdeğiştirme formatına dönüştürülmesi.

Elastik ivme spektrumu tek serbestlik dereceli sistemler için elde edilmektedir. Tepe yerdeğiştirmesi istemi aranan yapı ise çok serbestlik dereceli bir sistem olduğundan bu spektrumla uyumlu olabilmesi için eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme çevrilmelidir. Artımsal itme analizinden elde edilen itme eğrisinin modal kapasite diyagramına çevrilmesi; bu eğrinin talep spektrumu ile karşılaştırılmasını sağladığı gibi, çok serbestlik dereceli sisteminde eşdeğer tek serbestlik dereceli

sistem olarak modellenmesini de sağlayacaktır. Bu işlem (4.10) ve (4.11) numaralı denklemler ile gerçekleştirilir.

$$a_1 = \frac{V_t}{M_1} \quad (4.10)$$

$$d_1 = \frac{\delta_n}{\phi_{n,1} \cdot \Gamma_1} \quad (4.11)$$

(4.10) numaralı denklemde a_1 modal ivmeyi, V_t taban kesme kuvvetini temsil etmektedir. M_1 ise birinci moda ait etkin kütle olup, (4.12) numaralı denklem ile hesaplanmaktadır.

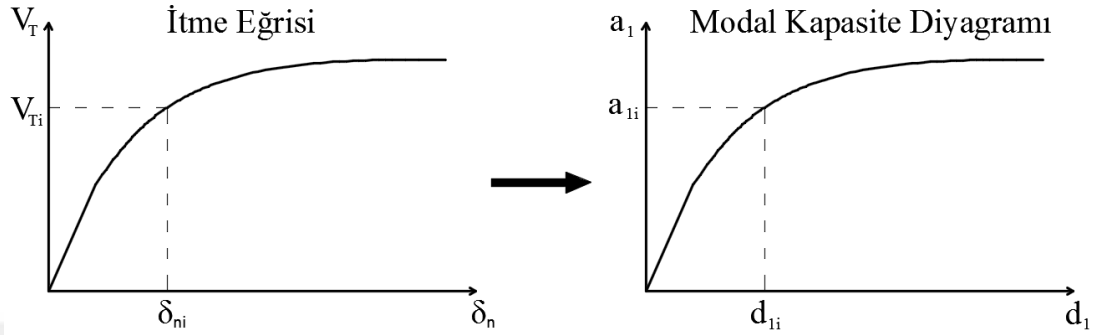
$$M_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \left(w_i \cdot \phi_{i,1} / g \right) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n \left(w_i \cdot \phi_{i,1}^2 / g \right) \right]} \quad (4.12)$$

Yukarıdaki denklemde w_i i'inci katın toplam ağırlığını, $\phi_{i,1}$ i'inci kattaki birinci moda ait genlik değerini, g yerçekimi ivmesini, n ise yapıdaki kat adedini göstermektedir.

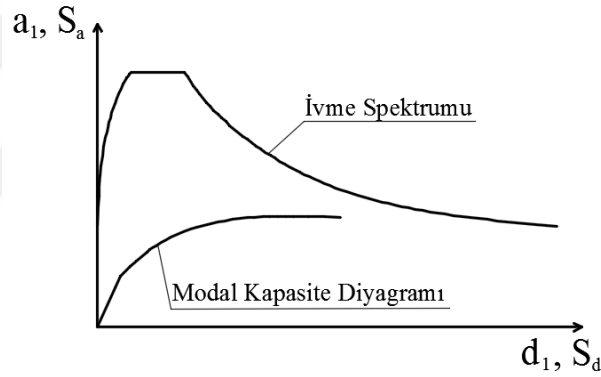
(4.11) numaralı denklemde bulunan d_1 modal yerdeğiştirmeyi, δ_n yapının tepe noktası yerdeğiştirmesini, $\phi_{n,1}$ en üst kattaki birinci moda ait genlik değerini göstermektedir. Γ_1 ise birinci moda ait katkı çarpanı olup, (4.13) numaralı denklem ile elde edilmektedir.

$$\Gamma_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \left(w_i \cdot \phi_{i,1} / g \right) \right]}{\left[\sum_{i=1}^n \left(w_i \cdot \phi_{i,1}^2 / g \right) \right]} \quad (4.13)$$

Artımsal itme analizinden elde edilen yapının itme eğrisinin, modal kapasite diyagramına dönüştürülmesinin ardından (Şekil 4.8), bu eğri ile ivme spektrumu aynı grafik üzerinde çizilmelidir (Şekil 4.9).



Şekil 4.8 İtme eğrisinin modal kapasite diyagramına dönüştürülmesi.



Şekil 4.9 İvme spektrumu ile modal kapasite diyagramının aynı grafikte gösterilmesi.

Daha sonra bu iki eğriden yararlanarak binanın modal yerdeğiştirme istemi (d_{1p}) elde edilecektir. Modal yerdeğiştirme istemi, tanım olarak doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirmeye (S_{di}) eşittir (Denklem 4.14). Bu yerdeğiştirme değeri (4.15) numaralı denklem ile hesaplanmaktadır.

$$d_{1p} = S_{di} \quad (4.14)$$

$$S_{di} = C_R \cdot S_{de} \quad (4.15)$$

(4.15) numaralı denklemde S_{de} , birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme olup, birinci moda ait elastik spektral ivmenin (S_{ae}) ve birinci titreşim moduna ait doğal açısal frekansın (ω_1) yardımıyla (4.16) numaralı denklem kullanılarak hesaplanır.

$$S_{de} = \frac{S_{ae}}{(\omega_1)^2} \quad (4.16)$$

(4.15) numaralı denklemde bulunan spektral yerdeğiştirme oranı (C_R), yapının periyodu ile yerel zemin periyotlarına göre (4.17) veya (4.18) numaralı denklemler ile elde edilir.

$$C_R = 1 \quad T_1 \geq T_B \quad (4.17)$$

$$C_R = \frac{1 + (R_{y1} - 1) \cdot T_B / T_1}{R_{y1}} \geq 1 \quad T_1 < T_B \quad (4.18)$$

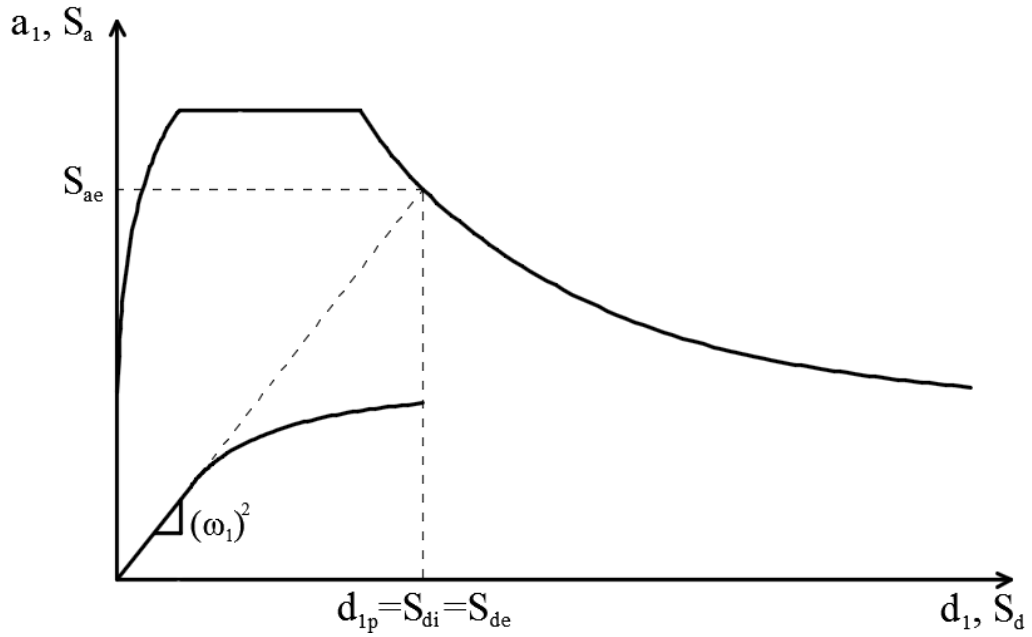
Burada R_{y1} dayanım azaltma katsayısı olup, elastik spektral ivmenin ve eşdeğer akma ivmesinin (a_y) yardımıyla (4.19) numaralı denklem ile elde edilir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae}}{a_y} \quad (4.19)$$

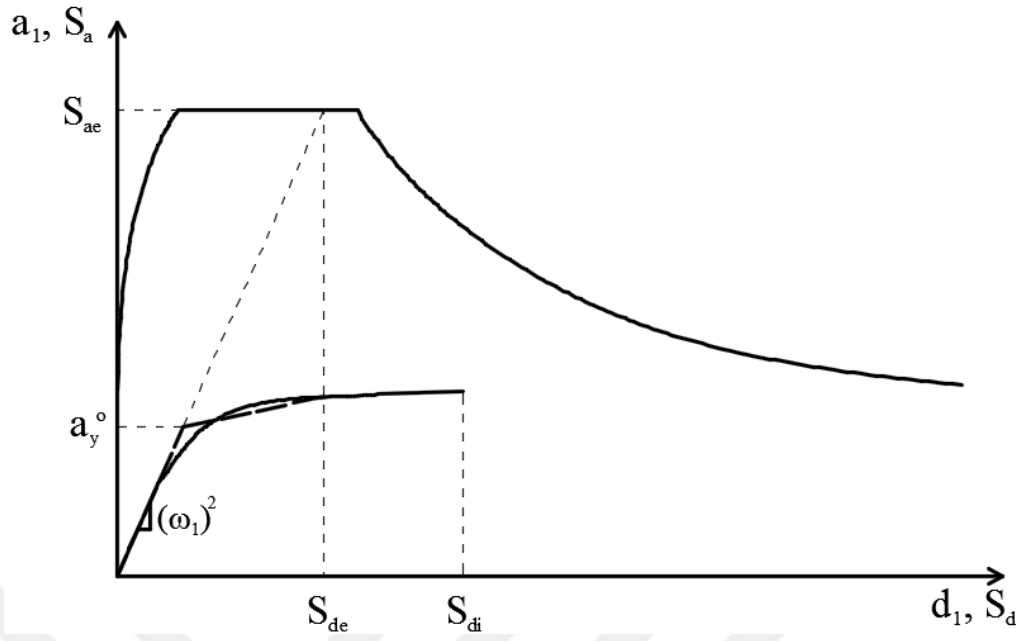
$T_1 \geq T_B$ olması durumunda doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme (S_{di}), eşit yer değiştirme kuralı uyarınca, periyodu yine T_1 olan eşlenik doğrusal elastik sisteme ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirmeye (S_{de}) eşittir (Şekil 4.10).

$T_1 < T_B$ olması durumunda doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme ardışık yaklaşım ile belirlenecektir. Bunu için ilk olarak, artımsal itme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı Şekil 4.11’de görüldüğü gibi, iki doğrulu bir diyagram ile yaklaşık olarak idealleştirilir. Bu iki doğrulu diyagramın başlangıç

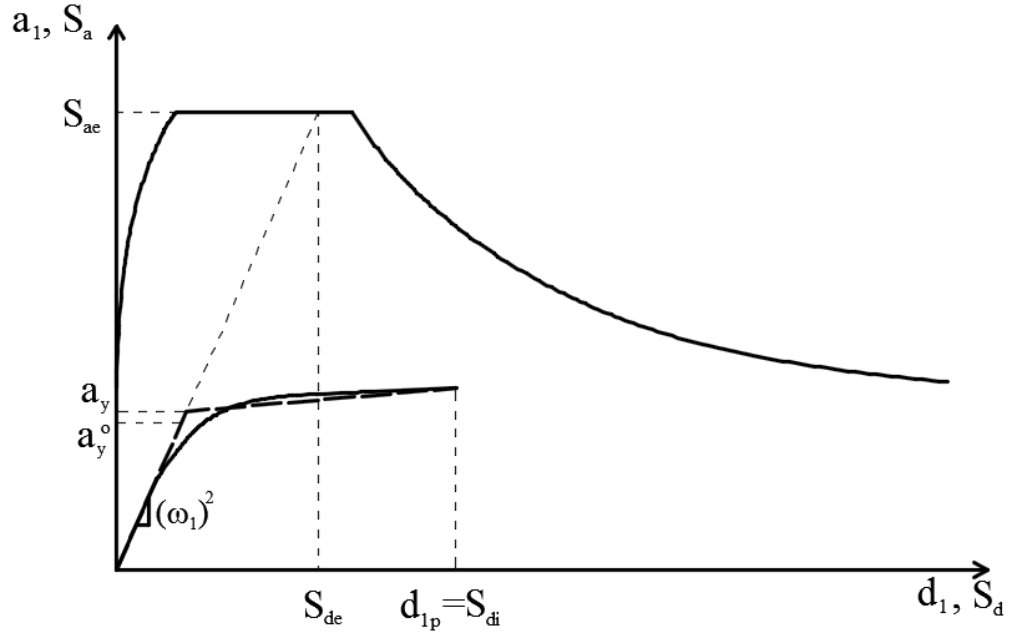
doğrusunun eğimi itme analizinin ilk adımındaki doğrunun eğimi olan, birinci moda ait özdeğere, $(\omega_1)^2$, eşit alınır. İdealleştirme işlemi yapılırken doğru parçaları ile modal kapasite diyagramı arasında oluşan iki alanın birbirine eşit olmasına dikkat edilmelidir. Ardışık yaklaşımın ilk adımında (4.17) numaralı denklem kullanılarak eşdeğer akma noktasının koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Daha sonra Şekil 4.11’de görülen a_y^0 esas alınarak, spektral yer değiştirme oranı (4.18) numaralı denklem ile hesaplanır. Bulunan bu değer (4.15) numaralı denklemde yerine yazılır ve bulunan S_{di} değeri kullanılarak eşdeğer akma noktasının koordinatları Şekil 4.12’de gösterildiği üzere eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_y , R_y ve C_R tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda işlem sonlandırılır ve doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme (S_{di}), dolayısıyla yapının modal yerdeğiştirme istemi (d_1) elde edilir.



Şekil 4.10 $T_1 \geq T_B$ olması durumunda modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi.



Şekil 4.11 $T_1 < T_B$ olması durumunda yapılacak olan ardışık yaklaşımın ilk adımı.



Şekil 4.12 $T_1 < T_B$ olması durumunda modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi.

Modal yerdeğiştirme istemi elde edildikten sonra (4.20) numaralı denklemde yerine koyularak, çerçevenin tepe yerdeğiştirmesi istemi (δ_{n1}) bulunur.

$$\delta_{n1} = \phi_{n,1} \cdot \Gamma_1 \cdot d_{1p} \quad (4.20)$$

BÖLÜM BEŞ

SAYISAL UYGULAMALAR

Kısmi boşluklu dolgu duvarların, betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan davranışına etkisini incelemek amacıyla; üç, dört, beş ve altı katlı; iki, üç ve dört açıklık sayısına sahip 12 adet çerçeve, model olarak seçilmiştir. Dolgu duvar dağılımı düzenli, planda simetrik veya simetriğe yakın, düşey doğrultuda düzensizlik içermeyen üç boyutlu yapıların düzlem çerçevelerle temsil edilebileceği kabul edildiğinden, model olarak seçilen yapıların hesap modelleri düzlem çerçeveler şeklinde oluşturulmuştur. Dolgu duvarların ve düzlemlerinde bulunan kısmi boşlukların, betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan davranışına etkisini belirleyebilmek için, bu düzlem çerçeveler dolgu duvarsız, kısmi boşluklu dolgu duvarlı ve boşluksuz dolgu duvarlı olarak modellenerek, 36 adet hesap modeli elde edilmiştir. Bunlara ek olarak, dolgu duvar kalınlığının davranışa etkisinin araştırılması amacıyla, boşluklu dolgu duvarlı çerçeveler farklı duvar kalınlığı ile tekrar modellenmiş ve toplamda 48 adet hesap modeli oluşturulmuştur. Bu hesap modelleri ile, SAP2000 (2013) yazılımında doğrusal elastik olmayan artımsal itme analizleri gerçekleştirilerek, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Analizlerde ikinci mertebe etkileri dikkate alınmamıştır.

5.1 Modellerinin Tanıtılması

Analizlerde kullanılan çerçevelerin tamamı; C20 beton sınıfına, S420 donatı sınıfına sahip, 1. derece deprem bölgesinde ve yerel zemin sınıfı Z3 olan bir bölgede bulunan, yüksek süneklik düzeyine sahip konut yapılarının dış çerçeveleridir (Tablo 5.1). Kat yükseklikleri her modelde ve katta aynı olup 3m'dir. Düzlem çerçevelerin açıklıkları Tablo 5.2'de sunulmuştur.

Düzlem çerçevelerin her açıklığında pencere veya kapı için bırakıldığı düşünülen kısmi boşluklara sahip, 20 cm ve 10 cm kalınlığında dolgu duvarlar bulunmaktadır. Pencere boşluklarının boyutları 2x2 m, kapı boşluklarının boyutları ise 1x2,5 m'dir. Kısmi boşluklu dolgu duvarlara sahip iki açıklıklı çerçeveler Şekil 5.1'de, üç

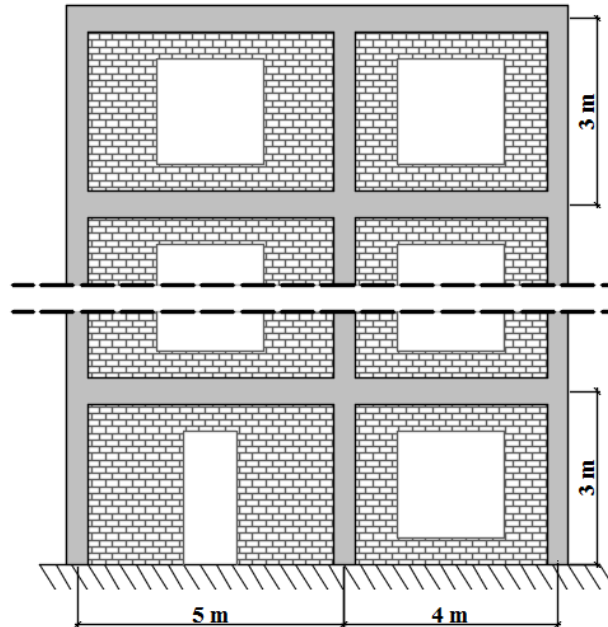
açıklıklı çerçeveler Şekil 5.2’de, dört açıklıklı çerçeveler Şekil 5.3’de sunulmuştur. Çerçevelerin orta katlarındaki kat yükseklikleri ve kısmi boşluklar, en üst kattaki kısmi boşluklar ile özdeştir.

Tablo 5.1 Betonarme çerçevelerin tasarım parametreleri

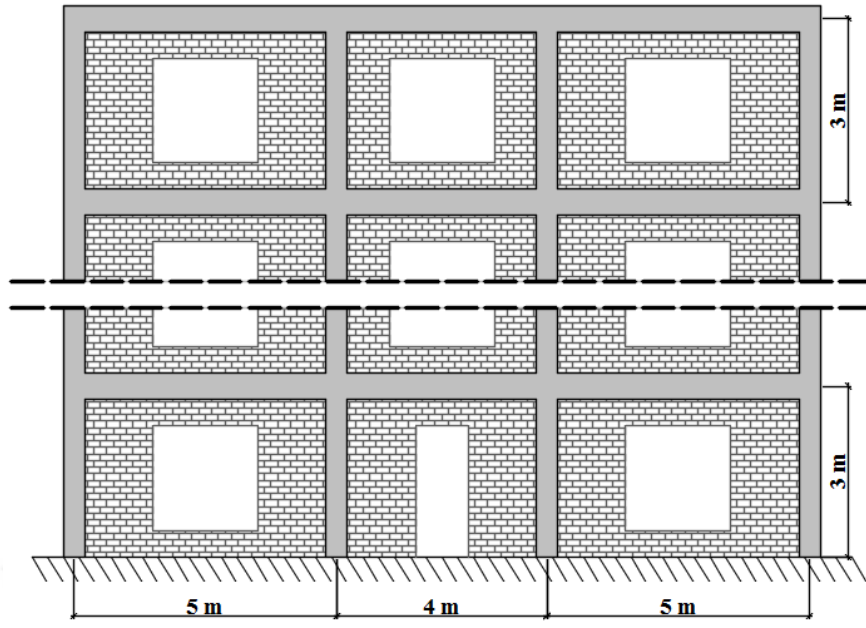
Beton Sınıfı	C20
Donatı Sınıfı	S420
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)	0,4
Spektrum Karakteristik Periyotları ($T_A - T_B$)	0,15 - 0,60
Yapı Önem Katsayısı (I)	1
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	8

Tablo 5.2 Çerçevelerin açıklık uzunlukları

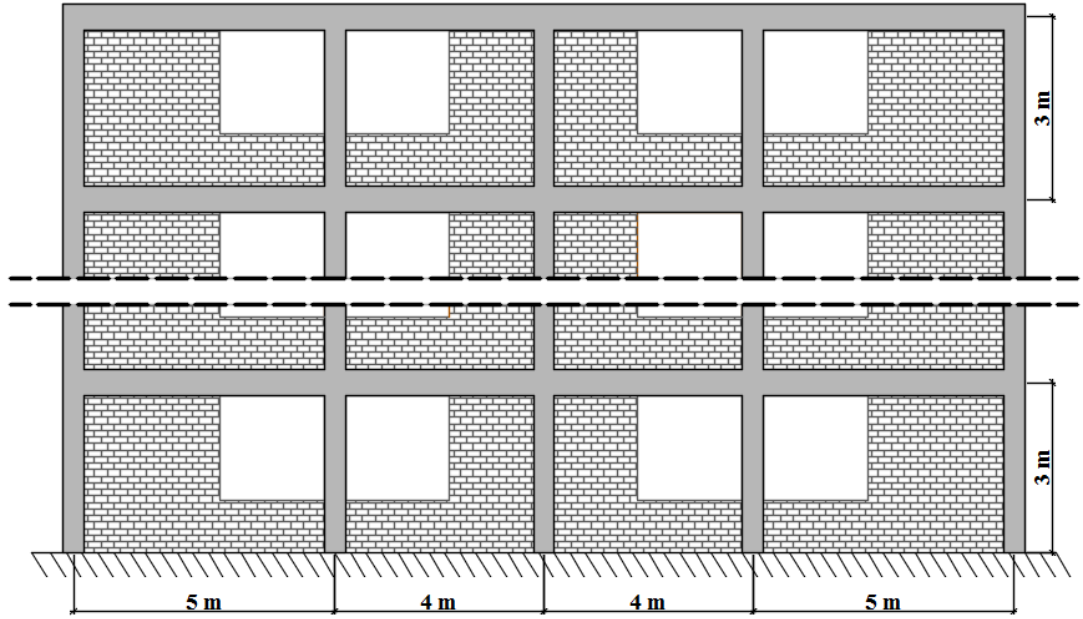
	2 Açıklıklı		3 Açıklıklı		4 Açıklıklı	
	Sol Açıklık	Sağ Açıklık	Dış Açıklıklar	İç Açıklık	Dış Açıklıklar	İç Açıklıklar
Açıklık	5 m	4 m	5 m	4 m	5 m	4 m



Şekil 5.1 İki açıklıklı betonarme çerçeveler.



Şekil 5.2 Üç açıklıklı betonarme çerçeveler.



Şekil 5.3 Dört açıklıklı betonarme çerçeveler.

Betonarme çerçeveler; açıklık ve kat sayılarına, düzlemlerinde dolgu duvarların varlığına ve boşluk duruma göre Tablo 5.3’de gösterildiği üzere isimlendirilmiştir. Bu tabloda, iki açıklıklı (2A), üç katlı (3K) ve dolgu duvarsız (1) betonarme çerçeve (BÇ); BÇ_2A3K-1 olarak isimlendirilmiştir. Kısaltmadaki son rakamın (2) olması durumu kısmi boşluklu dolgu duvarı, (3) olması durumu ise boşluksuz dolgu duvarı

temsil etmektedir. Çerçeveler tezin geri kalan kısmında bu kısaltmalar kullanılarak anılacaktır.

Tablo 5.3 Betonarme çerçevelerin isimlendirilmesi

Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Dolgu Duvarsız	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı		Boşluksuz Dolgu Duvarlı
			$t_{inf} = 20 \text{ cm}$	$t_{inf} = 10 \text{ cm}$	$t_{inf} = 20 \text{ cm}$
2	3	BÇ_2A3K-1	BÇ_2A3K-2	BÇ_2A3K-2 _(t10)	BÇ_2A3K-3
	4	BÇ_2A4K-1	BÇ_2A4K-2	BÇ_2A4K-2 _(t10)	BÇ_2A4K-3
	5	BÇ_2A5K-1	BÇ_2A5K-2	BÇ_2A5K-2 _(t10)	BÇ_2A5K-3
	6	BÇ_2A6K-1	BÇ_2A6K-2	BÇ_2A6K-2 _(t10)	BÇ_2A6K-3
3	3	BÇ_3A3K-1	BÇ_3A3K-2	BÇ_3A3K-2 _(t10)	BÇ_3A3K-3
	4	BÇ_3A4K-1	BÇ_3A4K-2	BÇ_3A4K-2 _(t10)	BÇ_3A4K-3
	5	BÇ_3A5K-1	BÇ_3A5K-2	BÇ_3A5K-2 _(t10)	BÇ_3A5K-3
	6	BÇ_3A6K-1	BÇ_3A6K-2	BÇ_3A6K-2 _(t10)	BÇ_3A6K-3
4	3	BÇ_4A3K-1	BÇ_4A3K-2	BÇ_4A3K-2 _(t10)	BÇ_4A3K-3
	4	BÇ_4A4K-1	BÇ_4A4K-2	BÇ_4A4K-2 _(t10)	BÇ_4A4K-3
	5	BÇ_4A5K-1	BÇ_4A5K-2	BÇ_4A5K-2 _(t10)	BÇ_4A5K-3
	6	BÇ_4A6K-1	BÇ_4A6K-2	BÇ_4A6K-2 _(t10)	BÇ_4A6K-3

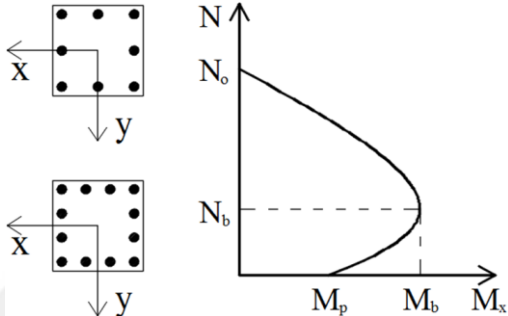
5.2 Betonarme Çerçevelerin Hesap Modellerinin Oluşturulması

5.2.1 Betonarme Elemanların Modellenmesi

Çerçeveler ilk olarak, SAP2000 ortamında dolgu duvarsız olarak modellenip, ölü ve hareketli yükler kiriş ve kolonlara yüklenmiştir. Daha sonra Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak katlara gelen deprem yükleri elde edilmiş ve kat seviyelerinden sisteme etkilmiştir. Bu yükler altında doğrusal elastik hesap yapılarak, betonarme elemanlar Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (BİB, 2007)'e ve TS500 (TSE, 2000)'e uygun olarak boyutlandırılmıştır.

Çerçevelerdeki kolonların enkesit boyutları, boyuna donatı miktarları ve kapasiteleri Tablo 5.4’de sunulmuştur. Kirişlerin enkesit boyutları, boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri Tablo 5.5 - Tablo 5.16’da verilmiştir.

Tablo 5.4 Çerçeve kolonlarının enkesit boyutları, boyuna donatıları ve kapasiteleri

Çerçeve							
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Enkesit Boyutları (cm)	Boyuna Donatı	N_{ob} (kN)	N_b (kN)	M_b (kNm)	M_p (kNm)
2	3	40x40	8Ø16	-3363	-1236	216	113
	4	40x40	8Ø16	-3363	-1236	216	113
	5	45x45	12Ø16	-4407	-1573	324	191
	6	50x50	12Ø16	-5215	-1936	414	218
3	3	40x40	8Ø16	-3363	-1236	216	113
	4	40x40	8Ø16	-3363	-1236	216	113
	5	45x45	12Ø16	-4407	-1573	324	191
	6	50x50	12Ø16	-5215	-1936	414	218
4	3	40x40	8Ø16	-3363	-1236	216	113
	4	40x40	8Ø16	-3363	-1236	216	113
	5	45x45	12Ø16	-4407	-1573	324	191
	6	50x50	12Ø16	-5215	-1936	414	218

Burada; N_o salt eksenel basınç kapasitesini, M_p kesitin salt eğilme momenti kapasitesini, N_b ve M_b sırasıyla dengeli durumdaki eksenel basınç kapasitesini ve eğilme momenti kapasitesini ifade etmektedir.

Tablo 5.5 İki açıklıklı üç katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri

BÇ_2A3K-1 / BÇ_2A3K-2 / BÇ_2A3K-2 _(t10) / BÇ_2A3K-3						
Kat	Enkesit Boyutları 25 cm X 50 cm		1. Açıklık		2. Açıklık	
			Sol	Sağ	Sol	Sağ
3	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	339	804	339	616
		Alt	339	452	339	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	72	54	54
		Negatif	54	125	54	97
2	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	616	226	616
		Alt	339	339	339	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	54	54
		Negatif	72	97	37	97
1	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	339	804	339	616
		Alt	339	452	339	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	72	54	54
		Negatif	54	125	54	97

Tablo 5.6 İki açıklıklı dört katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri

BÇ_2A4K-1 / BÇ_2A4K-2 / BÇ_2A4K-2 _(t10) / BÇ_2A4K-3						
Kat	Enkesit Boyutları: 25 cm X 50 cm		1. Açıklık		2. Açıklık	
			Sol	Sağ	Sol	Sağ
4	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	339	452	339	339
		Alt	226	339	226	226
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	37	54	37	37
		Negatif	54	72	54	54
3	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	616	226	616
		Alt	339	339	339	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	54	54
		Negatif	72	97	37	97
2	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	804	226	804
		Alt	339	339	452	452
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	72	72
		Negatif	72	124	37	125
1	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	339	804	339	1005
		Alt	452	452	616	616
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	72	72	97	97
		Negatif	54	125	54	155

Tablo 5.7 İki açıklıklı beş katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri

BÇ_2A5K-1 / BÇ_2A5K-2 / BÇ_2A5K-2 _(t10) / BÇ_2A5K-3						
Kat	Enkesit Boyutları: 25 cm X 50 cm		1. Açıklık		2. Açıklık	
			Sol	Sağ	Sol	Sağ
5	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	452	226	452
		Alt	339	339	339	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	54	54
		Negatif	72	72	37	72
4	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	616	226	804
		Alt	339	339	452	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	72	54
		Negatif	42	97	37	124
3	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	804	226	1005
		Alt	339	452	616	616
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	72	96	97
		Negatif	72	125	37	155
2	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1005	226	1270
		Alt	616	616	804	616
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	97	97	124	97
		Negatif	72	155	37	194
1	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1005	452	1270
		Alt	616	452	804	804
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	97	72	125	126
		Negatif	72	155	125	196

Tablo 5.8 İki açıklıklı altı katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri

BÇ_2A6K-1 / BÇ_2A6K-2 / BÇ_2A6K-2 _(t10) / BÇ_2A6K-3						
Kat	Enkesit Boyutları: 25 cm X 50 cm		1. Açıklık		2. Açıklık	
			Sol	Sağ	Sol	Sağ
6	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	452	226	452
		Alt	339	339	226	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	37	54
		Negatif	72	72	37	72
5	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	616	616	226	804
		Alt	339	339	452	452
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	72	72
		Negatif	97	97	37	125
4	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	804	226	1005
		Alt	452	452	616	616
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	72	72	96	97
		Negatif	72	125	37	155
3	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1005	226	1270
		Alt	616	616	804	616
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	97	97	124	97
		Negatif	72	155	37	194
2	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1270	226	1527
		Alt	616	616	1005	804
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	97	97	151	126
		Negatif	72	193	37	232
1	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1270	339	1270
		Alt	616	804	804	804
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	97	126	124	126
		Negatif	72	196	54	196

Tablo 5.9 Üç açıklıklı üç katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri

BÇ_3A3K-1 / BÇ_3A3K-2 / BÇ_3A3K-2 _(t10) / BÇ_3A3K-3								
Kat	Enkesit Boyutları: 25 cm X 50 cm		1. Açıklık		2. Açıklık		3. Açıklık	
			Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
3	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	339	452	339	339	452	452
		Alt	226	339	226	226	226	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	37	54	37	37	37	54
		Negatif	54	72	54	54	72	72
2	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	616	339	616	452	804
		Alt	339	339	339	339	339	452
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	54	54	54	72
		Negatif	72	97	54	97	72	125
1	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	339	804	339	616	452	804
		Alt	339	452	339	339	339	452
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	97	54	54	54	97
		Negatif	54	125	54	54	72	125

Tablo 5.10 Üç açıklıklı dört katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri

BÇ_3A4K-1 / BÇ_3A4K-2 / BÇ_3A4K-2 _(t10) / BÇ_3A4K-3								
Kat	Enkesit Boyutları: 25 cm X 50 cm		1. Açıklık		2. Açıklık		3. Açıklık	
			Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
4	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	339	452	339	339	339	452
		Alt	226	339	226	226	226	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	37	54	37	37	37	54
		Negatif	54	72	54	54	54	72
3	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	616	339	616	339	804
		Alt	339	339	339	339	339	452
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	54	54	54	72
		Negatif	72	97	54	97	54	125
2	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	804	339	804	339	1005
		Alt	452	452	616	452	339	616
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	72	72	97	72	54	155
		Negatif	72	125	54	125	54	97
1	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	339	1005	339	1005	452	1005
		Alt	452	616	616	616	452	616
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	72	97	97	97	72	97
		Negatif	54	155	54	155	72	155

Tablo 5.11 Üç açıklıklı beş katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri

BÇ_3A5K-1 / BÇ_3A5K-2 / BÇ_3A5K-2 _(t10) / BÇ_3A5K-3								
Kat	Enkesit Boyutları: 25 cm X 50 cm		1. Açıklık		2. Açıklık		3. Açıklık	
			Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
5	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	452	339	452	339	452
		Alt	226	339	226	226	226	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	37	54	37	37	37	54
		Negatif	72	72	54	72	54	72
4	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1005	339	616	339	804
		Alt	339	339	339	339	339	452
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	54	54	54	72
		Negatif	72	153	54	97	54	125
3	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1005	339	1005	339	1005
		Alt	452	616	616	616	452	616
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	72	97	97	97	72	97
		Negatif	72	155	54	155	54	155
2	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1005	339	1270	339	1270
		Alt	616	616	804	804	616	616
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	97	97	124	126	97	97
		Negatif	72	155	54	196	54	194
1	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1270	339	1270	452	1270
		Alt	616	804	804	804	616	804
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	97	126	124	126	97	126
		Negatif	72	196	54	196	72	196

Tablo 5.12 Üç açıklıklı altı katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri

BÇ_3A6K-1 / BÇ_3A6K-2 / BÇ_3A6K-2 _(t10) / BÇ_3A6K-3								
Kat	Enkesit Boyutları: 25 cm X 50 cm		1. Açıklık		2. Açıklık		3. Açıklık	
			Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
6	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	452	339	452	339	616
		Alt	339	339	226	339	226	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	37	54	37	54
		Negatif	72	72	54	72	54	97
5	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	616	339	616	339	804
		Alt	339	339	452	339	339	452
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	72	54	54	72
		Negatif	72	97	54	97	54	125
4	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1005	339	1005	339	1005
		Alt	452	616	616	616	452	452
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	72	97	97	97	72	72
		Negatif	72	155	54	155	54	155
3	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1270	339	1270	339	1270
		Alt	616	804	804	804	616	804
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	97	126	124	126	97	126
		Negatif	72	196	54	196	54	196
2	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	339	1270	339	1270	339	1270
		Alt	804	804	1005	804	804	804
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	124	126	153	126	124	126
		Negatif	54	196	54	196	54	196
1	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1270	339	1270	339	1270
		Alt	616	804	1005	804	616	804
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	97	126	153	126	97	126
		Negatif	72	196	54	196	54	196

Tablo 5.13 Dört açıklıklı üç katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri

BÇ_4A3K-1 / BÇ_4A3K-2 / BÇ_4A3K-2 _(t10) / BÇ_4A3K-3										
Kat	Enkesit Boyutları: 25 cm X 50 cm		1. Açıklık		2. Açıklık		3. Açıklık		4. Açıklık	
			Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
3	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	339	452	339	339	339	339	452	452
		Alt	226	339	226	226	226	226	339	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	37	54	37	37	37	37	54	54
		Negatif	54	72	54	54	54	54	72	72
2	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	616	339	616	339	616	452	616
		Alt	339	339	339	339	339	339	226	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	54	54	54	54	37	45
		Negatif	72	97	54	97	54	97	72	97
1	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	339	804	339	616	339	616	452	804
		Alt	339	452	339	339	339	339	339	452
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	72	54	54	54	54	54	72
		Negatif	54	125	54	97	54	97	72	125

Tablo 5.14 Dört açıklıklı dört katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri

BÇ_4A4K-1 / BÇ_4A4K-2 / BÇ_4A4K-2 _(t10) / BÇ_4A4K-3										
Kat	Enkesit Boyutları: 25 cm X 50 cm		1. Açıklık		2. Açıklık		3. Açıklık		4. Açıklık	
			Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
4	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	339	452	339	339	339	339	339	452
		Alt	226	339	226	226	226	226	226	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	37	54	37	37	37	37	37	54
		Negatif	54	72	54	54	54	54	54	72
3	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	616	339	452	339	452	339	616
		Alt	339	339	339	339	226	339	226	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	54	54	37	54	37	54
		Negatif	72	97	54	72	54	72	54	97
2	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	616	339	616	339	616	339	804
		Alt	339	339	339	339	339	339	339	452
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	54	54	54	54	54	72
		Negatif	72	97	54	97	54	97	54	125
1	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	339	804	339	616	339	616	452	804
		Alt	339	452	339	339	339	339	339	452
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	72	54	54	54	54	54	72
		Negatif	54	125	54	97	54	97	72	125

Tablo 5.15 Dört açıklıklı beş katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri

BÇ_4A5K-1 / BÇ_4A5K-2 / BÇ_4A5K-2 _(t10) / BÇ_4A5K-3										
Kat	Enkesit Boyutları: 25 cm X 50 cm		1. Açıklık		2. Açıklık		3. Açıklık		4. Açıklık	
			Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
5	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	452	339	339	339	339	339	452
		Alt	226	339	226	226	226	226	226	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	37	54	37	37	37	37	37	54
		Negatif	72	72	54	54	54	54	54	72
4	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	616	226	616	339	616	339	804
		Alt	339	339	339	339	339	339	339	452
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	54	54	54	54	54	72
		Negatif	72	97	37	97	54	97	54	125
3	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	804	339	804	339	804	339	1005
		Alt	452	452	616	452	616	452	452	616
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	72	72	97	72	97	72	72	97
		Negatif	72	125	54	125	54	125	54	155
2	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1005	339	1005	339	1005	339	1270
		Alt	616	616	804	616	804	616	616	804
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	97	97	124	97	124	97	97	126
		Negatif	72	155	54	155	54	155	54	196
1	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1005	339	1005	339	1005	452	1270
		Alt	616	616	804	616	804	616	616	616
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	97	97	124	97	124	97	97	97
		Negatif	72	155	54	155	54	155	72	194

Tablo 5.16 Dört açıklıklı altı katlı çerçevelerde kirişlerin enkesit boyutları, mesnetlerindeki boyuna donatı alanları ve eğilme momenti kapasiteleri

BÇ_4A6K-1 / BÇ_4A6K-2 / BÇ_4A6K-2 _(t10) / BÇ_4A6K-3										
Kat	Enkesit Boyutları: 25 cm X 50 cm		1. Açıklık		2. Açıklık		3. Açıklık		4. Açıklık	
			Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
6	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	452	339	452	339	339	339	616
		Alt	339	339	226	339	226	226	226	339
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	37	54	37	37	37	54
		Negatif	72	72	54	72	54	54	54	97
5	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	616	226	616	339	616	339	804
		Alt	339	339	452	339	339	339	339	452
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	54	72	54	54	54	54	72
		Negatif	72	97	37	97	54	97	54	125
4	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	804	339	1005	339	1005	339	1005
		Alt	339	452	616	616	616	616	452	616
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	54	72	97	97	97	97	72	97
		Negatif	72	125	54	155	54	155	54	155
3	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1005	339	1270	339	1270	339	1270
		Alt	616	616	804	804	804	804	616	804
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	97	97	124	126	124	126	97	126
		Negatif	72	155	54	196	54	196	54	196
2	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	452	1270	339	1270	339	1270	339	1270
		Alt	616	804	1005	804	1005	804	616	804
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	97	126	153	126	153	126	97	126
		Negatif	72	196	545	196	54	196	54	196
1	Donatı Alanı (mm ²)	Üst	616	1270	339	1270	339	1270	339	1270
		Alt	616	804	804	804	804	804	616	804
	Moment Kapasitesi (kNm)	Pozitif	97	126	124	126	124	126	97	126
		Negatif	97	196	54	196	54	196	54	196

Tablo 5.4 - Tablo 5.16’de bulunan donatılar SAP2000 (2013) yazılımında oluşturulan hesap modellerinde tanımlandıktan sonra, artımsal itme analizinde kullanılmak üzere çatlamış kesitlere ait etkin eğilme rijitlikleri, $(EI)_e$; kirişler için (5.1) numaralı denklem ile, kolonlar için (5.2) ve (5.3) numaralı denklemler ile hesaplanmıştır.

$$(EI)_e = 0,4 \cdot EI \quad (5.1)$$

$$N_D / (A_c \cdot f_{cm}) \leq 0,10 \quad (EI)_e = 0,4 \cdot EI \quad (5.2)$$

$$N_D / (A_c \cdot f_{cm}) \geq 0,40 \quad (EI)_e = 0,8 \cdot EI \quad (5.3)$$

Bu denklemlerde; sadece N_D düşey yükler altındaki kolonlarda oluşan eksenel kuvveti, A_c kolonların brüt kesit alanını, f_{cm} ise beton dayanımını göstermektedir. N_D ’nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılmıştır. Kolonlar için hesaplanan çatlamış kesitlere ait etkin eğilme rijitlikleri Tablo 5.17 - Tablo 5.28’de verilmiştir.

Tablo 5.17 İki açıklıklı üç katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri

Kat	Kolon Etkin Eğilme Rijitlikleri (EI)			A	B	C
	A aksı	B aksı	C aksı			
3	0,40	0,40	0,40			
2	0,40	0,40	0,40			
1	0,40	0,45	0,40			

Tablo 5.18 İki açıklıklı dört katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri

Kat	Kolon Etkin Eğilme Rijitlikleri (EI)			A	B	C
	A aksı	B aksı	C aksı			
4	0,40	0,40	0,40			
3	0,40	0,40	0,40			
2	0,40	0,44	0,40			
1	0,41	0,51	0,40			

Tablo 5.19 İki açıklıklı beş katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri

Kat	Kolon Etkin Eğilme Rijitlikleri (EI)			A	B	C
	A aksı	B aksı	C aksı			
5	0,40	0,40	0,40			
4	0,40	0,40	0,40			
3	0,40	0,44	0,40			
2	0,40	0,46	0,40			
1	0,42	0,51	0,40			

Tablo 5.20 İki açıklıklı altı katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri

Kat	Kolon Etkin Eğilme Rijitlikleri (EI)			A	B	C
	A aksı	B aksı	C aksı			
6	0,40	0,40	0,40			
5	0,40	0,40	0,40			
4	0,40	0,40	0,40			
3	0,40	0,42	0,40			
2	0,40	0,47	0,40			
1	0,42	0,51	0,40			

Tablo 5.21 Üç açıklıklı üç katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri

Kat	Kolon Etkin Eğilme Rijitlikleri (EI)				A	B	C	D
	A aksı	B aksı	C aksı	D aksı				
3	0,40	0,40	0,40	0,40				
2	0,40	0,40	0,40	0,40				
1	0,40	0,45	0,45	0,40				

Tablo 5.22 Üç açıklıklı dört katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri

Kat	Kolon Etkin Eğilme Rijitlikleri (EI)				A	B	C	D
	A aksı	B aksı	C aksı	D aksı				
4	0,40	0,40	0,40	0,40				
3	0,40	0,40	0,40	0,40				
2	0,40	0,45	0,45	0,40				
1	0,41	0,51	0,51	0,41				

Tablo 5.23 Üç açıklıklı beş katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri

Kat	Kolon Etkin Eğilme Rijitlikleri (EI)				A	B	C	D
	A aksı	B aksı	C aksı	D aksı				
5	0,40	0,40	0,40	0,40				
4	0,40	0,40	0,40	0,40				
3	0,40	0,41	0,41	0,40				
2	0,40	0,46	0,46	0,40				
1	0,42	0,51	0,51	0,42				

Tablo 5.24 Üç açıklıklı altı katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri

Kat	Kolon Etkin Eğilme Rijitlikleri (EI)				A	B	C	D
	A aksı	B aksı	C aksı	D aksı				
6	0,40	0,40	0,40	0,40				
5	0,40	0,40	0,40	0,40				
4	0,40	0,40	0,40	0,40				
3	0,40	0,42	0,42	0,40				
2	0,40	0,47	0,47	0,40				
1	0,42	0,51	0,51	0,42				

Tablo 5.25 Dört açıklıklı üç katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri

Kat	Kolon Etkin Eğilme Rijitlikleri (EI)					A	B	C	D	E
	A aksı	B aksı	C aksı	D aksı	E aksı					
3	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40					
2	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40					
1	0,40	0,45	0,42	0,45	0,40					

Tablo 5.26 Dört açıklıklı dört katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri

Kat	Kolon Etkin Eğilme Rijitlikleri (EI)					A	B	C	D	E
	A aksı	B aksı	C aksı	D aksı	E aksı					
4	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41					
3	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40					
2	0,40	0,45	0,42	0,44	0,40					
1	0,41	0,51	0,47	0,51	0,41					

Tablo 5.27 Dört açıklıklı beş katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri

Kat	Kolon Etkin Eğilme Rijitlikleri (EI)					A	B	C	D	E
	A aksı	B aksı	C aksı	D aksı	E aksı					
5	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40					
4	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40					
3	0,40	0,41	0,40	0,41	0,40					
2	0,40	0,46	0,43	0,46	0,40					
1	0,42	0,51	0,48	0,51	0,42					

Tablo 5.28 Dört açıklıklı altı katlı çerçevelerdeki kolonların etkin eğilme rijitlikleri

Kat	Kolon Etkin Eğilme Rijitlikleri (EI)					A	B	C	D	E
	A aksı	B aksı	C aksı	D aksı	E aksı					
6	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40					
5	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40					
4	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40					
3	0,40	0,43	0,40	0,43	0,40					
2	0,40	0,47	0,44	0,47	0,40					
1	0,42	0,51	0,48	0,51	0,42					

Kesitlerin eğilme rijitliği (EI) ve çatlama kesitlere ait etkin eğilme rijitlikleri ((EI)_e) kullanılarak yapılan modal analizler sonucunda çerçevelerin birinci moda ait doğal titreşim periyotları sırasıyla Tablo 5.29 ve Tablo 5.30’de sunulmuştur.

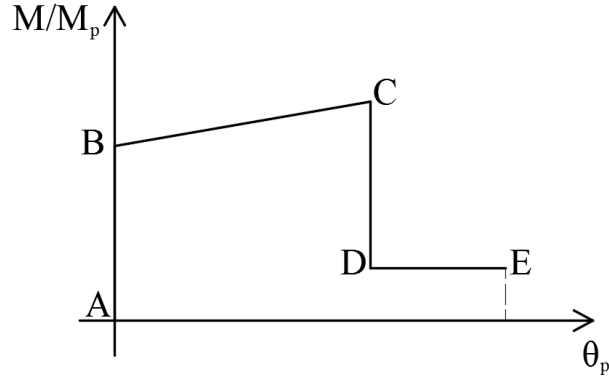
Tablo 5.29 Çerçevelerin çatlamamış kesitlere ait eğilme rijitliği (EI) kullanılarak elde edilen birinci moda ait doğal titreşim periyotları

Çerçeve		T (sn)			
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Dolgu Duvarsız	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı (t=10 cm)	Dolgu Duvarlı (t=20 cm)	Boşluksuz Dolgu Duvarlı
2	3	0,36	0,34	0,32	0,25
	4	0,48	0,45	0,43	0,34
	5	0,55	0,52	0,51	0,40
	6	0,63	0,60	0,57	0,47
3	3	0,39	0,36	0,33	0,26
	4	0,51	0,47	0,44	0,34
	5	0,58	0,54	0,51	0,41
	6	0,65	0,61	0,58	0,47
4	3	0,38	0,34	0,32	0,26
	4	0,50	0,45	0,42	0,34
	5	0,56	0,52	0,49	0,40
	6	0,64	0,58	0,55	0,46

Tablo 5.30 Çerçevelerin çatlamış kesitlere ait etkin eğilme rijitliği $((EI)_e)$ kullanılarak elde edilen birinci moda ait doğal titreşim periyotları

Çerçeve		T (sn)			
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Dolgu Duvarsız	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı (t=10 cm)	Dolgu Duvarlı (t=20 cm)	Boşluksuz Dolgu Duvarlı
2	3	0,56	0,49	0,45	0,30
	4	0,74	0,64	0,58	0,39
	5	0,84	0,74	0,68	0,47
	6	0,95	0,85	0,77	0,56
3	3	0,59	0,50	0,44	0,31
	4	0,78	0,65	0,57	0,39
	5	0,88	0,75	0,68	0,48
	6	0,99	0,86	0,77	0,56
4	3	0,58	0,47	0,42	0,30
	4	0,75	0,62	0,54	0,39
	5	0,85	0,72	0,65	0,47
	6	0,96	0,82	0,73	0,55

Malzemenin doğrusal elastik olmayan davranışını dikkate almak üzere için plastik mafsallı hipotezi kullanılmıştır. Kiriş ve kolon elemanların başlangıç ve bitiş noktalarında plastik kesitler tanımlanmıştır. Bu bölgeler dışında kalan bölgelerde malzemenin doğrusal elastik davrandığı varsayılmıştır. Eğilme momenti - plastik dönme ilişkisinde pekleşmeler göz önüne alınıp, FEMA 356 (2000)'daki verilerden yararlanılmıştır. Kirişler ve kolonlar için eğilme momenti - plastik dönme (θ_p) ilişkisi Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Bu grafikteki değerler ise Tablo 5.31'de sunulmuştur.



Şekil 5.4 Betonarme elemanların eğilme momenti - plastik dönme ilişkisi.

Tablo 5.31 Betonarme elemanların eğilme momenti - plastik dönme ilişkisine ait sayısal değerler

Nokta	Kirişler-Kolonlar	Kirişler	Kolonlar
	M/M_p	θ_p (radyan)	θ_p (radyan)
E-	-0,2	-0,050	-0,025
D-	-0,2	-0,025	-0,015
C-	-1,2	-0,025	-0,015
B-	-1,0	0	0
A	0,0	0	0
B	1,0	0	0
C	1,2	0,025	0,015
D	0,2	0,025	0,015
E	0,2	0,050	0,025

Plastikleşmenin kirişlerde tek eksenli eğilme momenti etkisiyle, kolonlarda ise tek eksenli eğilme momenti ile normal kuvvetin etkileşiminden meydana geldiği kabul edilmiştir.

5.2.2 Dolgu Duvarların Modellenmesi

Model olarak seçilen betonarme çerçevelerin her açıklığında pencere veya kapı boşluklu dolgu duvarlar mevcuttur (Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3). Bu dolgu duvarlar, tekli eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı kullanılarak çerçevelerin hesap modeline dahil edilmiştir. Kısmi boşlukların, çerçeve rijitliğine etkisini analizlerde

dikkate alabilmek için, boşluksuz dolgu duvar için hesaplanan eşdeğer basınç çubuğu genişliği, rijitlik azaltma faktörü ile çarpılarak düşürülmüştür. Rijitlik azaltma faktörünün hesabı için ise, dolgu duvarlar sonlu elemanlar yaklaşımıyla modellenmiş ve bu model üzerinde kısmi boşluklar açılarak doğrusal elastik analizler yapılmıştır. Son olarak dolgu duvarların doğrusal elastik olmayan davranışını temsil edebilmek adına, hesap modellerinde tanımlanan eşdeğer basınç çubuklarının orta noktasında, basınç kuvvetine bağlı plastik şekil değiştirmeler yapabilen plastik kesitler oluşturulmuştur.

5.2.2.1 Dolgu Duvarların Elastisite Modülünün Belirlenmesi

Bu tez çalışmasında dikkate alınan dolgu duvarların, basınç dayanımı 10 MPa olan düşey delikli tuğlaların ve basınç dayanımı 15,2 MPa olan bağlayıcı harç ile bir araya getirilerek oluşturulduğu varsayılmıştır.

Dolgu duvarın basınç dayanımı, (2.13) numaralı denklem kullanılarak; $f'_b = 10$ MPa, $f'_j = 15,2$ MPa olmak üzere; $f'_m = 4,65$ MPa olarak bulunmuştur.

Daha sonra (3.26) ve (3.27) numaralı denklemler ile dolgu duvarın yatay doğrultuda beklenen basınç dayanımı, $f'_{me90} = 3,02$ MPa olarak elde edilmiştir.

Son olarak, (2.10) numaralı denklemde dolgu duvarın basınç dayanımı yerine 3,02 MPa yazılarak; dolgu duvarın elastisite modülü $E_{me} = 1661$ MPa olarak bulunmuştur.

5.2.2.2 Eşdeğer Basınç Çubuğu Genişliklerinin Belirlenmesi

Eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımında, çubuğun elastisite modülü ve kalınlığı, dolgu duvarın elastisite modülü ve kalınlığı ile aynıdır. Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği (3.2) ve (3.13) numaralı denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada kullanılan çerçeve ve dolgu duvar parametreleri ile boşluksuz dolgu duvar için elde edilen eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri (a); duvar kalınlığının 20

cm olması durumu için Tablo 5.32’de, duvar kalınlığının 10 cm olması durumu için Tablo 5.33’da sunulmuştur. Eşdeğer basınç çubuğu genişliği; kolon atalet momentine ve dolgu duvar uzunluğuna göre değişken olduğu için; farklı kolon boyutları ve açıklık uzunlukları için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Tablo 5.32 Boşluksuz dolgu duvarlar için eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri ($t_{inf}=20$ cm)

Kolon Boyutları (cm)	40x40		45x45		50x50	
Açıklık Uzunluğu (m)	4	5	4	5	4	5
h_{inf} (mm)	2500	2500	2500	2500	2500	2500
L_{inf} (mm)	3600	4600	3550	4550	3500	4500
r_{inf} (mm)	4383	5235	4342	5192	4301	5148
t_{inf} (mm)	200	200	200	200	200	200
E_{me} (MPa)	1661	1661	1661	1661	1661	1661
h_{col} (mm)	3000	3000	3000	3000	3000	3000
I_{col} (mm ⁴)	2,13x10 ⁹	2,13x10 ⁹	3,42x10 ⁹	3,42x10 ⁹	5,21x10 ⁹	5,21x10 ⁹
E_{fe} (MPa)	28000	28000	28000	28000	28000	28000
θ (°)	34,8	28,5	35,1	28,8	35,5	29,1
λ (1/mm)	8,50x10 ⁻⁴	8,27x10 ⁻⁴	7,56x10 ⁻⁴	7,35x10 ⁻⁴	6,81x10 ⁻⁴	6,63x10 ⁻⁴
a (mm)	528	637	548	662	566	684
Eşdeğer Basınç Çubuğu Boyutları (mm)	528x200	637x200	548x200	662x200	566x200	684x200

Tablo 5.33 Boşluksuz dolgu duvarlar için eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri ($t_{inf}=10$ cm)

Kolon Boyutları (cm)	40x40		45x45		50x50	
Açıklık Uzunluğu (m)	4	5	4	5	4	5
h_{inf} (mm)	2500	2500	2500	2500	2500	2500
L_{inf} (mm)	3600	4600	3550	4550	3500	4500
r_{inf} (mm)	4383	5235	4342	5192	4301	5148
t_{inf} (mm)	100	100	100	100	100	100
E_{me} (MPa)	1661	1661	1661	1661	1661	1661
h_{col} (mm)	3000	3000	3000	3000	3000	3000
I_{col} (mm ⁴)	2,13x10 ⁹	2,13x10 ⁹	3,42x10 ⁹	3,42x10 ⁹	5,21x10 ⁹	5,21x10 ⁹
E_{fe} (MPa)	28000	28000	28000	28000	28000	28000
θ (°)	34,8	28,5	35,1	28,8	35,5	29,1
λ (1/mm)	7,15x10 ⁻⁴	6,95x10 ⁻⁴	6,36x10 ⁻⁴	6,19x10 ⁻⁴	5,73x10 ⁻⁴	6,20x10 ⁻⁴
a (mm)	565	637	587	709	606	733
Eşdeğer Basınç Çubuğu Boyutları (mm)	565x100	637x100	587x100	709x100	606x100	733x100

5.2.2.3 Kısmi Boşlukların Hesap Modeline Dahil Edilmesi

Eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı ve elastisite modülü, dolgu duvarın kalınlığı ve elastisite modülüyle aynı olduğundan, kısmi boşluklardan dolayı dolgu duvarda meydana gelen rijitlik kaybını hesap modelinde dikkate almak için çubuğun genişliğinin, rijitlik azaltma faktörü (k) adı verilen ve 0 ile 1 arasında değişen bir katsayı ile çarpılması gerekmektedir.

Rijitlik azaltma faktörünün hesabı için dolgu duvarlar, sonlu elemanlar yaklaşımıyla modellenmiştir. Bu yaklaşımda kullanılan kabuk elemanların kalınlığı ve elastisite modülü, dolgu duvarların kalınlığı ve elastisite modüllerine eşit alınırken; sonlu eleman boyutlarının 10x10 cm boyutlarında seçilmesi, mühendislik yaklaşımı açısından yeterli hassaslıkta olacağı düşünülmüştür. Dolgu duvar ile çerçeve arasında tanımlanan boşluk elemanların rijitlikleri (3.17) numaralı denklem ile elde edilmiş ve bu denklemde boşluksuz dolgu duvarlar için hesaplanan eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri kullanılmıştır. Tablo 5.34 ve Tablo 5.35’de, elde edilen boşluk eleman rijitlikleri sunulmuştur.

Tablo 5.34 Boşluk eleman rijitlikleri ve hesapta kullanılan parametreler ($t_{inf}=20$ cm)

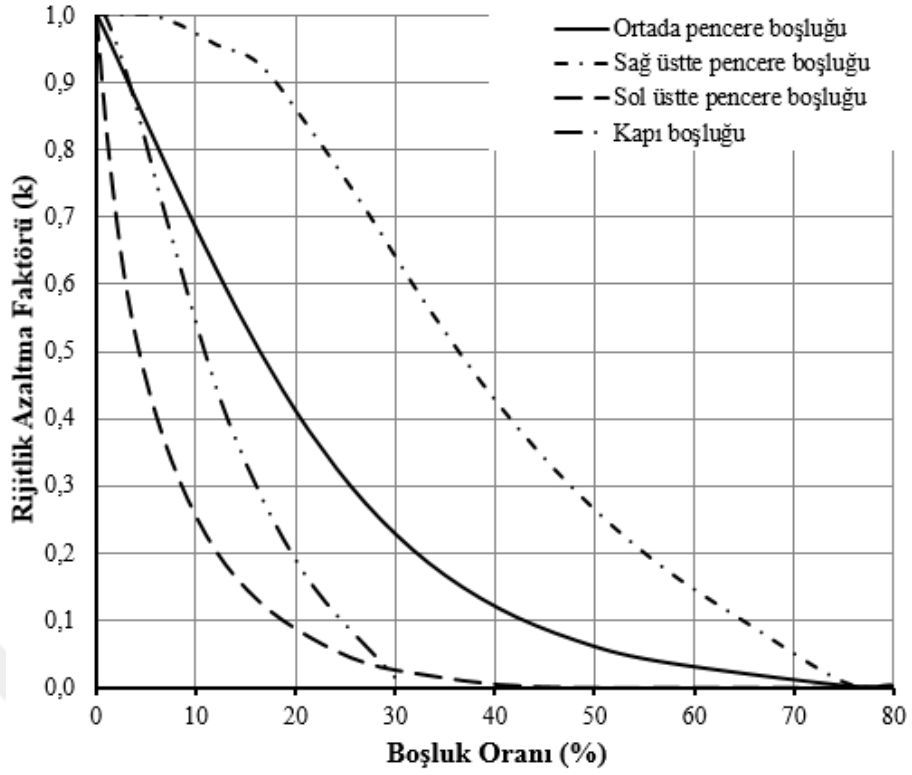
Kolon Boyutları (cm)	40x40		45x45		50x50	
	Açıklık	Uzunluğu (m)	4	5	4	5
h_{inf} (mm)	2500	2500	2500	2500	2500	2500
L_{inf} (mm)	3600	4600	3550	4550	3500	4500
r_{inf} (mm)	4383	5235	4342	5192	4301	5148
t_{inf} (mm)	200	200	200	200	200	200
E_{me} (MPa)	1661	1661	1661	1661	1661	1661
a (mm)	528	637	548	662	566	684
Boşluk Eleman Rijitliği (N/mm)	40019	40422	41927	42357	43717	44138

Tablo 5.35 Boşluk eleman rijitlikleri ($t_{inf}=10$ cm)

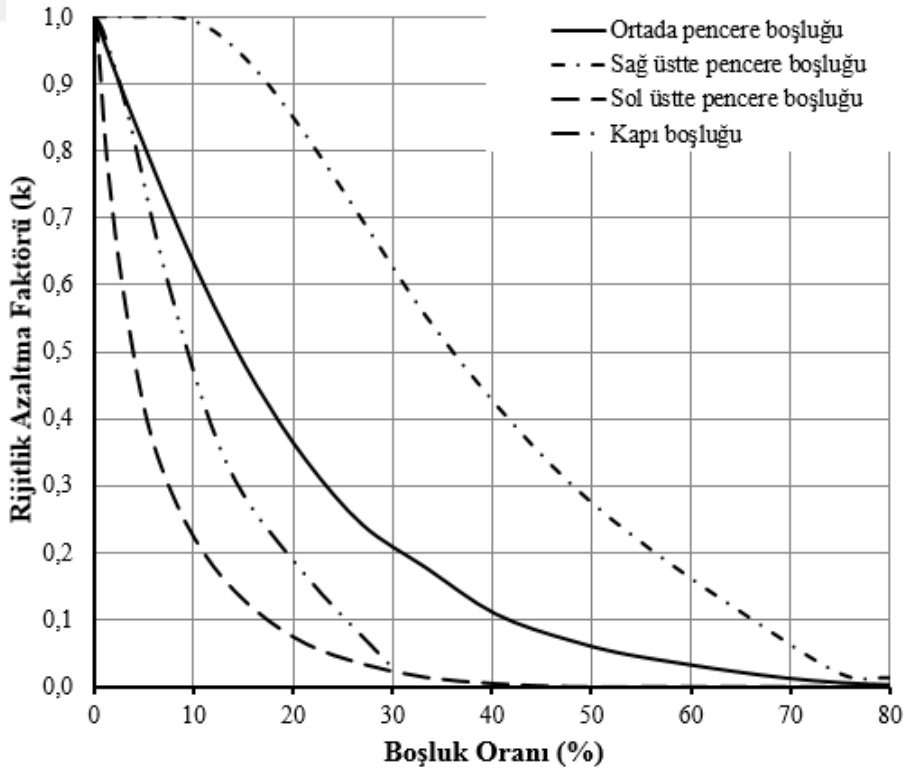
Kolon Boyutları (cm)	40x40		45x45		50x50	
Açıklık Uzunluğu (m)	4	5	4	5	4	5
h_{inf} (mm)	2500	2500	2500	2500	2500	2500
L_{inf} (mm)	3600	4600	3550	4550	3500	4500
r_{inf} (mm)	4383	5235	4342	5192	4301	5148
t_{inf} (mm)	100	100	100	100	100	100
E_{me} (MPa)	1661	1661	1661	1661	1661	1661
a (mm)	565	683	587	709	606	733
Boşluk Eleman Rijitliği (N/mm)	21411	21671	22455	22682	23403	23650

Rijitlik azaltma faktörü, dolgu duvar düzleminde bulunan boşluğun büyüklüğüne, konumuna ve şekline; dolgu duvarın elastisite modülüne ve kalınlığına; çerçeve elemanların elastisite modülüne ve boyutlarına göre değişim göstermektedir. Bu yüzden rijitlik azaltma faktörü, bu parametrelerin en az birinin farklı olduğu her açıklık için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

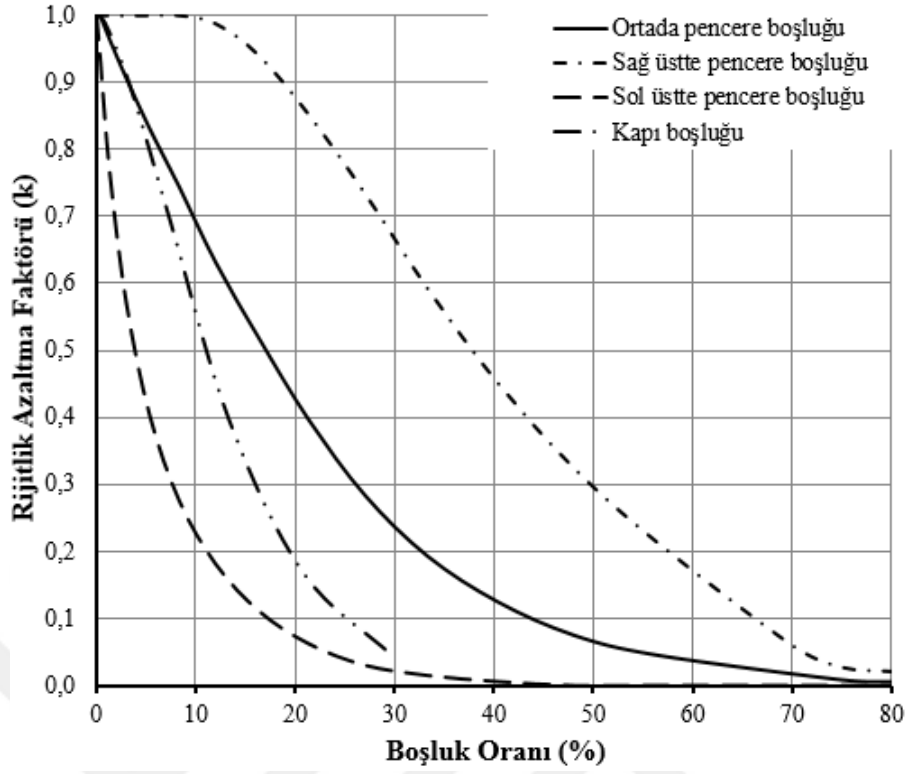
Tez çalışmasında model olarak seçilen çerçevelerin her açıklığı için rijitlik azaltma faktörleri, (3.19) - (3.24) numaralı denklemler ile hesaplanmıştır. Rijitlik azaltma faktörlerinin boşluk oranına göre değişimi, dolgu duvarın 20 cm kalınlığında olması durumunda, farklı açıklık uzunlukları (L) ve kolon boyutları (b , h) için Şekil 5.5 - Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Bu grafikler elde edilirken çerçevelere yatay yük, kat seviyesinden ve sağ tarafa doğru etkilmiştir. Dolgu duvarın 10 cm kalınlığında olması durumunda da 20 cm duvar kalınlığı için oluşturulan aşağıdaki grafiklere benzer şekiller elde edilmiştir.



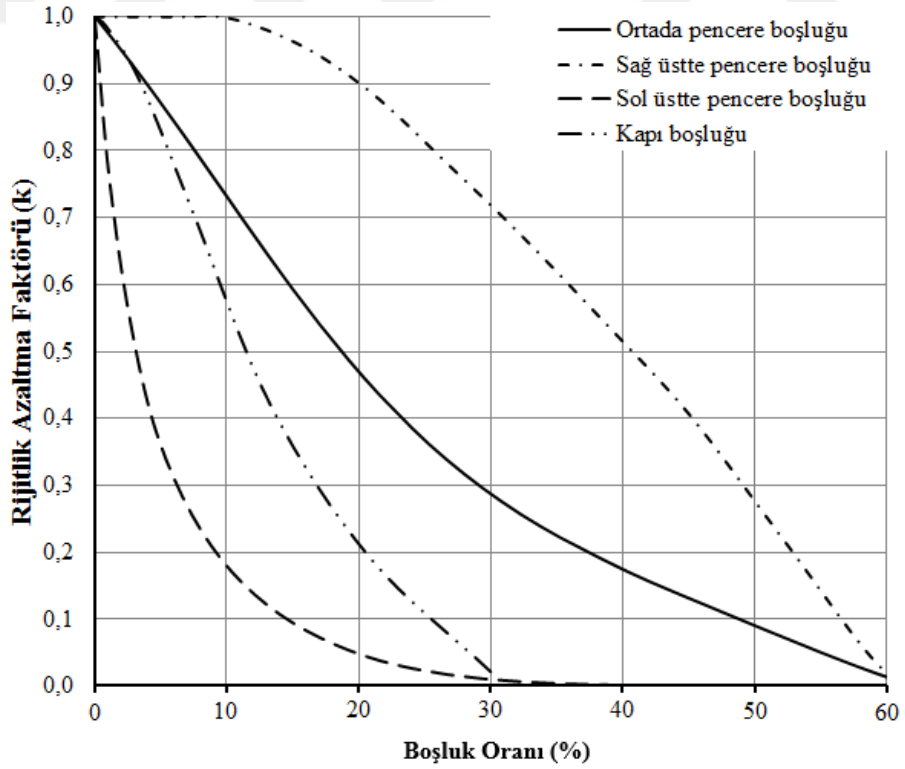
Şekil 5.5 Rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi (L=4 m, b=h=40 cm).



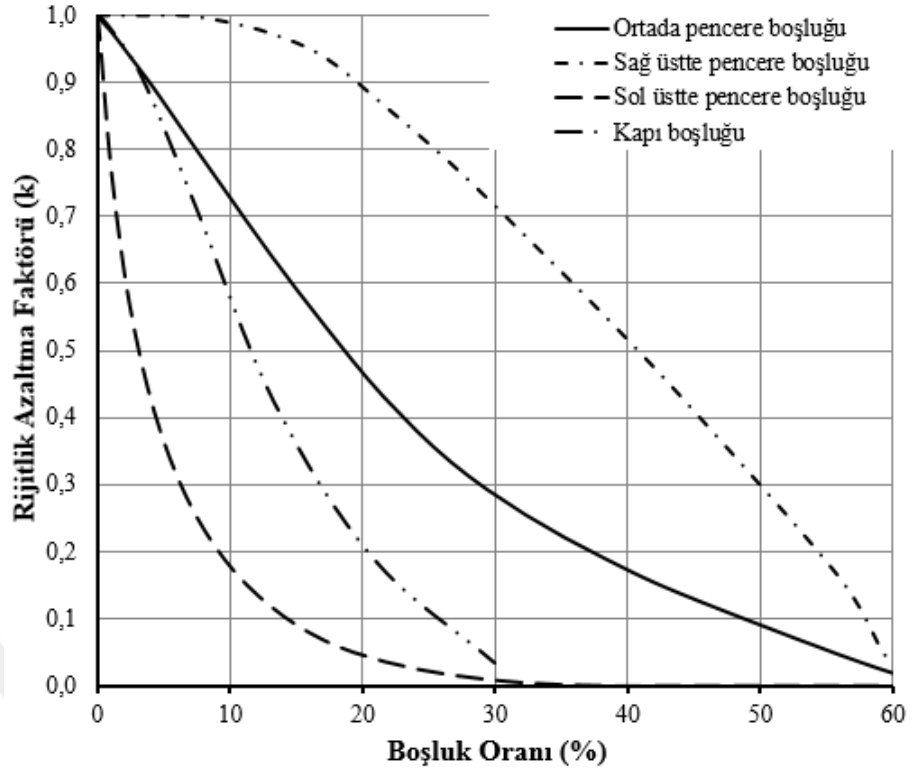
Şekil 5.6 Rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi (L=4 m, b=h=45 cm).



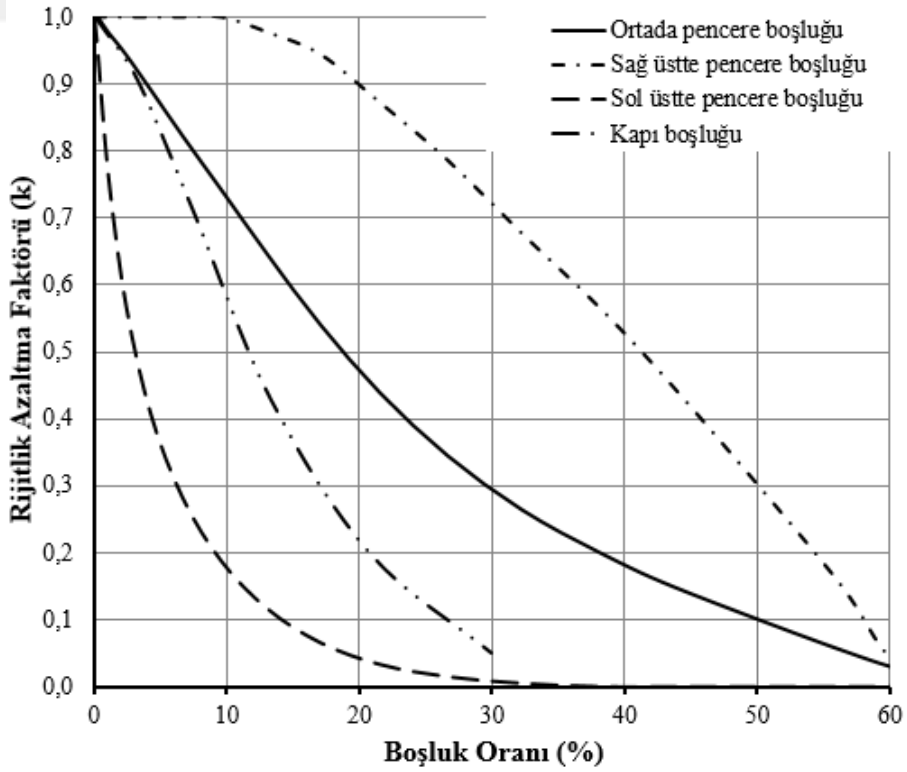
Şekil 5.7 Rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi ($L=4$ m, $b=h=50$ cm).



Şekil 5.8 Rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi ($L=5$ m, $b=h=40$ cm).



Şekil 5.9 Rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi (L=5 m, b=h=45 cm).



Şekil 5.10 Rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi (L=5 m, b=h=50 cm).

Bu grafiklerden, her açıklık için dolgu duvar düzleminde bulunan boşluk oranına göre, rijitlik azaltma faktörleri okunmuş ve boşluksuz dolgu duvar için elde edilen eşdeğer basınç çubuğu genişliği ile çarpılarak; o açıklığın eşdeğer basınç çubuğu genişliği belirlenmiştir. Kısmi boşluklu açıklıklar için eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri; açıklık uzunluğu 4 m ve dolgu duvar kalınlığı 20 cm olan açıklıklar için Tablo 5.36’de, açıklık uzunluğu 5 m ve dolgu duvar kalınlığı 20 cm olan açıklıklar için Tablo 5.37’de, açıklık uzunluğu 4 m ve dolgu duvar kalınlığı 10 cm olan açıklıklar için Tablo 5.38’de, açıklık uzunluğu 5 m ve dolgu duvar kalınlığı 10 cm olan açıklıklar için Tablo 5.39’de verilmiştir. Bu tablolarda görüldüğü gibi rijitlik azaltma faktörü, farklı kolon boyutu ve dolgu duvar kalınlığına göre çok az değişim göstermektedir. Bu yüzden rijitlik azaltma faktörünün kolon boyutuna ve dolgu duvar kalınlığına bağlı olmadığı söylenebilir.

Tablo 5.36 Boşlukların eşdeğer basınç çubuğu genişliğine etkisi (a açıklık uzunluğu=4 m, t_{inf} =20 cm)

	Ortada Pencere Boşluğu	Sağ Üstte Pencere Boşluğu	Sol Üstte Pencere Boşluğu	Kapı Boşluğu
40 x 40 cm Kolon Boyutları				
a (mm)	528	528	528	528
Boşluk oranı	%33	%33	%33	%21
k	0,18	0,56	0,02	0,17
a·k (mm)	95	296	11	90
45 x 45 cm Kolon Boyutları				
a (mm)	548	548	548	548
Boşluk oranı	%33	%33	%33	%21
k	0,18	0,55	0,01	0,17
a·k (mm)	99	301	6	93
50 x 50 cm Kolon Boyutları				
a (mm)	566	566	566	566
Boşluk oranı	%33	%33	%33	%21
k	0,19	0,59	0,01	0,17
a·k (mm)	108	334	6	96

Tablo 5.37 Boşlukların eşdeğer basınç çubuğu genişliğine etkisi (açıklık uzunluğu=5 m, $t_{inf}=20$ cm)

	Ortada Pencere Boşluğu	Sağ Üstte Pencere Boşluğu	Sol Üstte Pencere Boşluğu	Kapı Boşluğu
40 x 40 cm Kolon Boyutları				
a (mm)	637	637	637	637
Boşluk oranı	%27	%27	%27	%17
k	0,34	0,78	0,02	0,19
a·k (mm)	217	497	13	121
45 x 45 cm Kolon Boyutları				
a (mm)	662	662	662	662
Boşluk oranı	%27	%27	%27	%17
k	0,33	0,78	0,02	0,19
a·k (mm)	219	516	13	126
50 x 50 cm Kolon Boyutları				
a (mm)	684	684	684	684
Boşluk oranı	%27	%27	%27	%17
k	0,34	0,78	0,01	0,20
a·k (mm)	233	534	7	137

Tablo 5.38 Boşlukların eşdeğer basınç çubuğu genişliğine etkisi (açıklık uzunluğu=4 m, $t_{inf}=10$ cm)

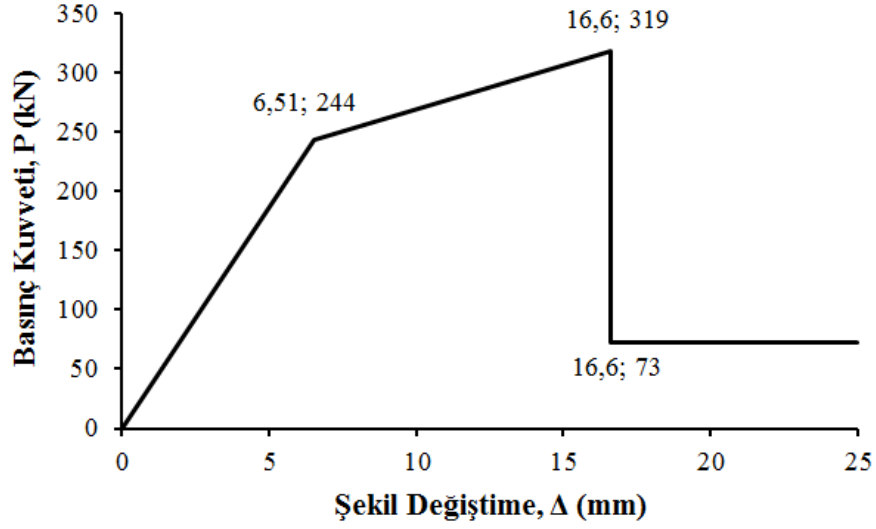
	Ortada Pencere Boşluğu	Sağ Üstte Pencere Boşluğu	Sol Üstte Pencere Boşluğu	Kapı Boşluğu
40 x 40 cm Kolon Boyutları				
a (mm)	565	565	565	565
Boşluk oranı	%33	%33	%33	%21
k	0,17	0,54	0,01	0,17
a·k (mm)	96	304	6	96
45 x 45 cm Kolon Boyutları				
a (mm)	587	587	587	587
Boşluk oranı	%33	%33	%33	%21
k	0,16	0,54	0,01	0,15
a·k (mm)	94	317	6	88
50 x 50 cm Kolon Boyutları				
a (mm)	606	606	606	606
Boşluk oranı	%33	%33	%33	%21
k	0,18	0,55	0,01	0,17
a·k (mm)	109	333	6	103

Tablo 5.39 Boşlukların eşdeğer basınç çubuğu genişliğine etkisi (açıklık uzunluğu=5 m, $t_{inf}=10$ cm)

	Ortada Pencere Boşluğu	Sağ Üstte Pencere Boşluğu	Sol Üstte Pencere Boşluğu	Kapı Boşluğu
40 x 40 cm Kolon Boyutları				
a (mm)	683	683	683	683
Boşluk oranı	%27	%27	%27	%17
k	0,32	0,76	0,02	0,20
a·k (mm)	219	519	14	137
45 x 45 cm Kolon Boyutları				
a (mm)	709	709	709	709
Boşluk oranı	%27	%27	%27	%17
k	0,32	0,76	0,01	0.20
a·k (mm)	227	539	7	142
50 x 50 cm Kolon Boyutları				
a (mm)	733	733	733	733
Boşluk oranı	%27	%27	%27	%17
k	0,33	0,78	0,02	0,20
a·k (mm)	242	572	15	147

5.2.2.4 Dolgu Duvarların Doğrusal Elastik Olmayan Davranışının Tanımlanması

Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımıyla modellendiği bu çalışmada; malzemeden kaynaklanan doğrusal elastik olmayan davranışı tanımlamak üzere, eşdeğer basınç çubuklarının orta noktalarına eksenel basınç yüküne bağlı olarak plastik şekil değiştirmeler yapabilen, plastik kesit bölgeleri tanımlanmıştır. Bu işlem sırasında Şekil 3.11'deki model esas alınmıştır. Bölüm 5.2.2.2 ve 5.2.2.3'de elde edilen her eşdeğer basınç çubuğu genişliği için; eşdeğer basınç çubuğunun yük taşıma kapasitesi (R_c) Denklem (3.25) ile, bu kuvvete karşılık gelen şekil değiştirme (Δ_c) Denklem (3.28) ile, dolgu duvarın çatlama kuvveti (R_y) Denklem (3.30) ile, bu kuvvete karşılık gelen şekil değiştirme (Δ_y) Denklem (3.31) ile, eşdeğer basınç çubuğunun taşıma kapasitesini aştıktan sonra taşıyabileceği artık kuvvet (R_r) Denklem (3.32) ile hesaplanmıştır. Örnek olarak açıklık uzunluğu 4 m, 40x40 cm kolon boyutlu ve dolgu duvar kalınlığı 20 cm olan boşluksuz dolgu duvarlı bir açıklıkta, eşdeğer basınç çubuğunun basınç kuvveti - şekil değiştirme grafiği Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 Bir açıklıkta tanımlanan eşdeğer basınç çubuğunun kuvvet - şekil değiştirme grafiği.

Parametreleri farklı her açıklık için elde edilen bu doğrusal elastik olmayan kuvvet - şekil değiştirme ilişkisinin, SAP2000 yazılımında ilgili eşdeğer basınç çubuklarına tanımlanması ile betonarme çerçevelerin modellenmesi tamamlanmıştır.

5.3 Seçilen Çerçevelerin Artımsal İtme Analizleri

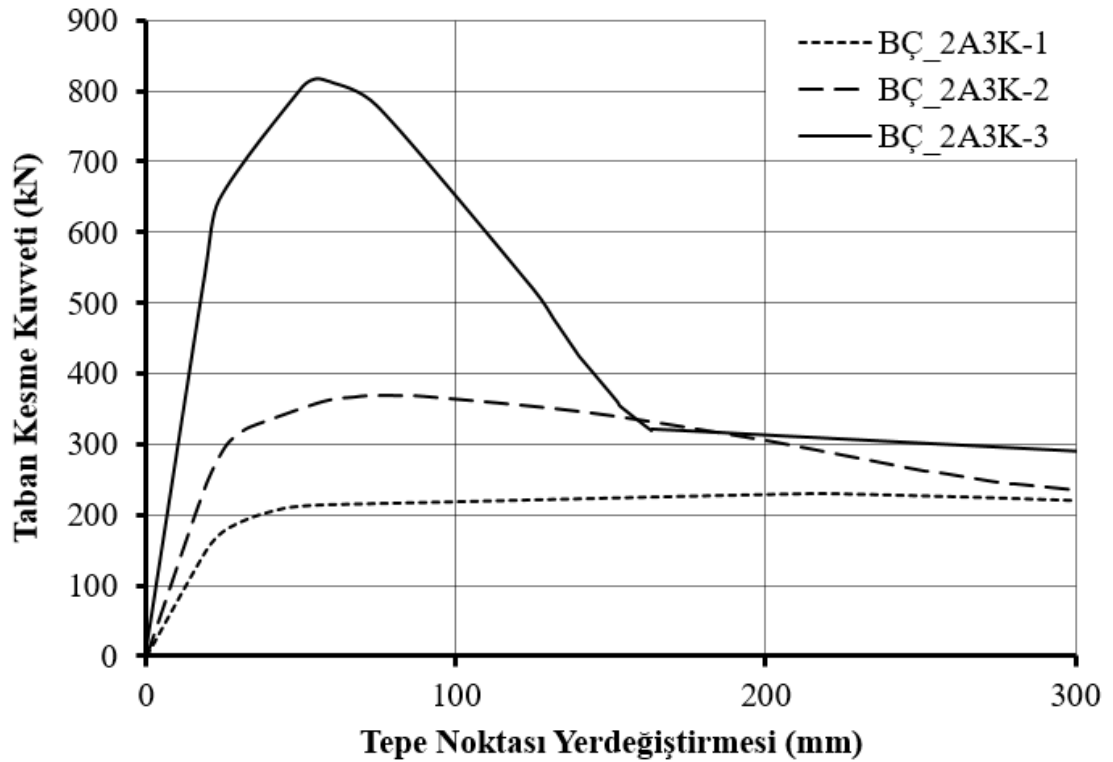
Bölüm 5.1’de tanıtılan dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan davranışının incelenmesi için ilk olarak, yalnızca ölü ve hareketli yükler altında analizler yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılan itme analizinin başlangıç durumu olarak tanımlanmıştır. Daha sonra, kat seviyelerine aralarındaki oran değişmeyecek şekilde yatay yükler, her itme adımında arttırılarak etkilmiştir. Kat seviyelerine etkitilen yatay yükler, her çerçeve için ayrı olarak hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinden yararlanarak hesaplanmıştır. Artımsal itme analizlerinde ikinci mertbe etkilerinden oluşan doğrusal olmayan davranış göz önüne alınmamıştır.

5.3.1 Çerçevelerin İtme Eğrilerinin Elde Edilmesi

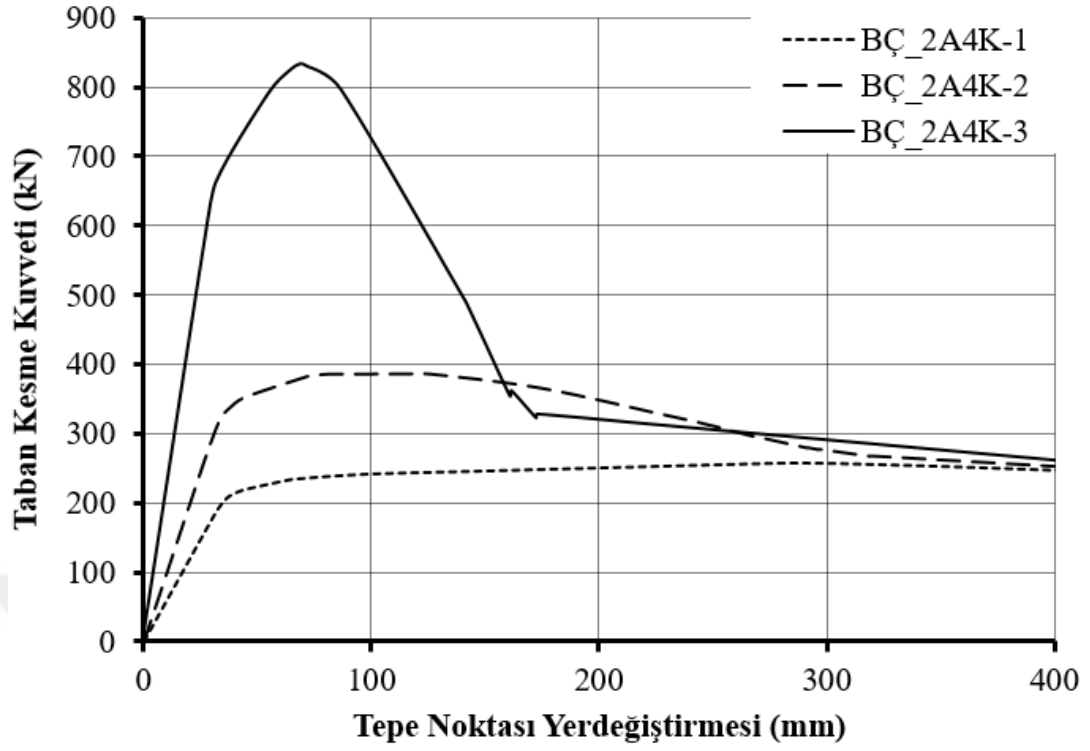
Artımsal itme analizlerinin her itme adımının sonunda bulunan tepe noktası yerdeğiştirmeleri ve taban kesme kuvvetleri grafik haline getirilerek, çerçevelerin

itme eğrileri elde edilmiştir. 20 cm duvar kalınlığına sahip çerçeveler ve dolgu duvarsız çerçeveler için elde edilen itme eğrileri Şekil 5.12 - Şekil 5.23’de sunulmuştur.

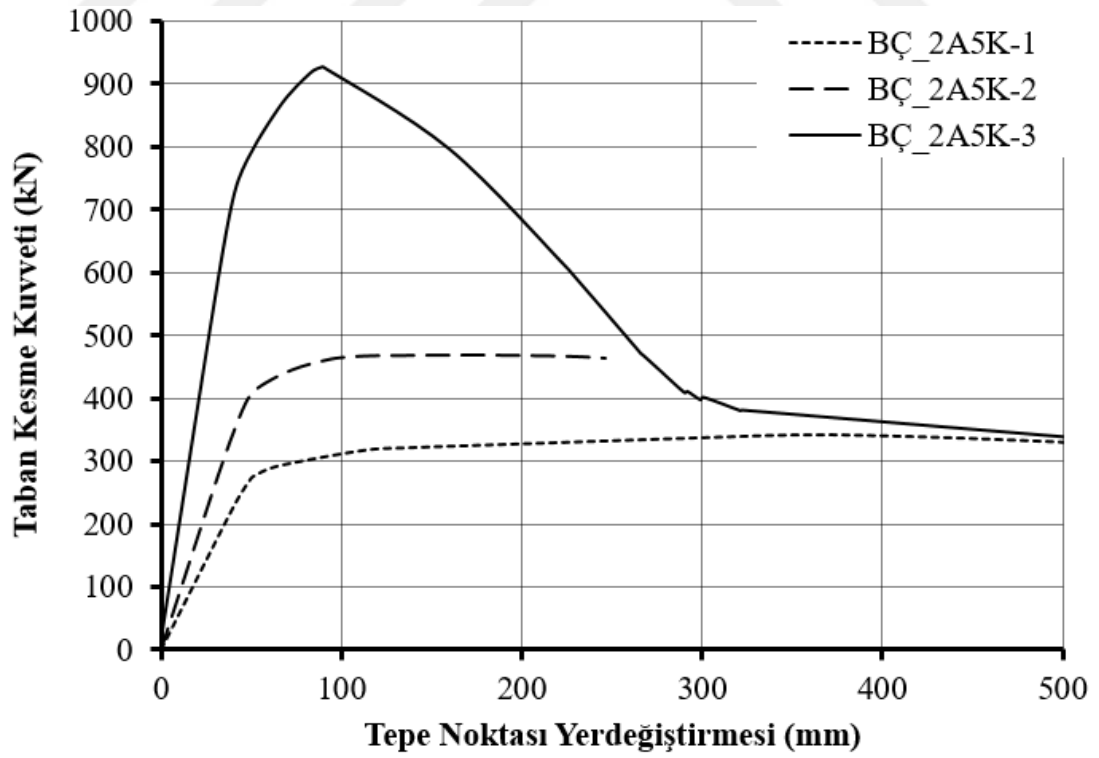
Bazı modellerde artımsal itme analizi diğer modellere göre erken sonlanmış ve kapasite eğrisi diğer modellere göre geride kalmıştır. Bunun sebebi, negatif eğimi bulunan plastik kesitler sistemde bulunurken yapılan artımsal itme analizlerinde herhangi bir itme adımında kararsız sonuçların elde edilebilmesidir. Bu konudaki ayrıntılı bilgiye SAP2000 bilgisayar yazılımının yardım kısmında, ‘*Hinge Unloading Method*’ konu başlığı altında ulaşılabilir. Bu sorunun yaşanmadığı modellerdeki itme eğrileri, davranışı yorumlayabilmek için yeterli görüldüğünden ve tüm çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemleri, elde edilen kapasite eğrileri sınırlarını aşmadığından analizlerin yeterli olduğu kanaatine varılmıştır.



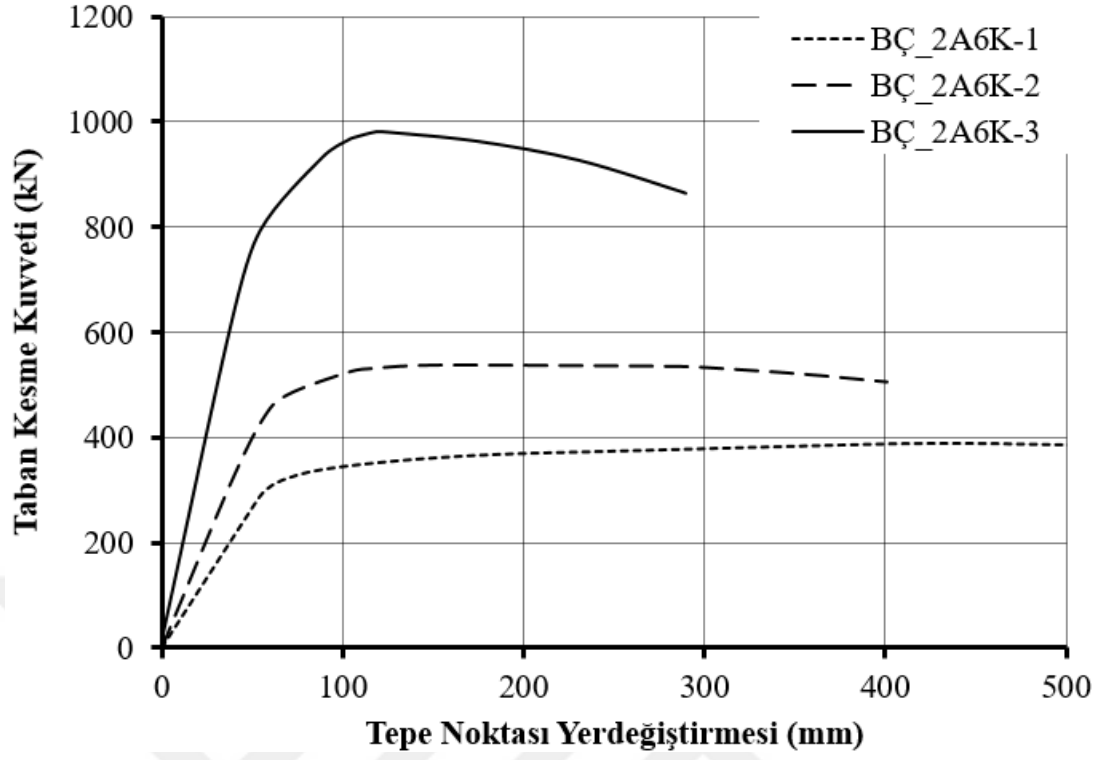
Şekil 5.12 İki açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri.



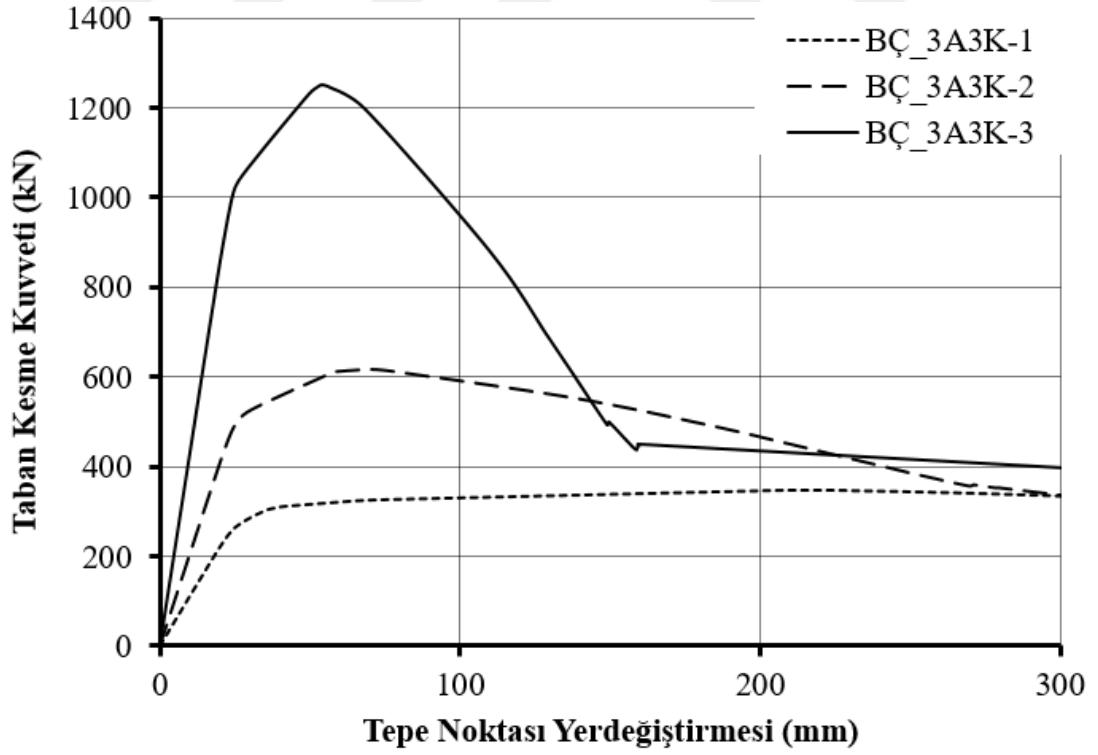
şekil 5.13 İki açıklıklı dört katlı betonarme çerçeveslerin itme eğrileri.



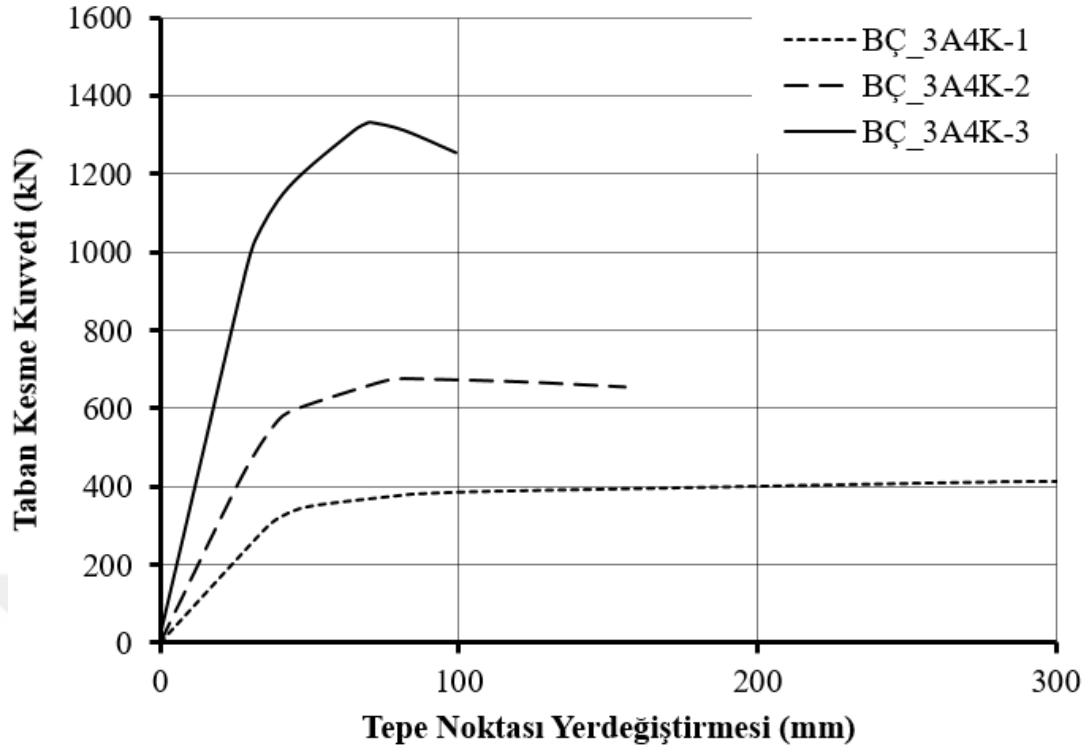
şekil 5.14 İki açıklıklı beş katlı betonarme çerçeveslerin itme eğrileri.



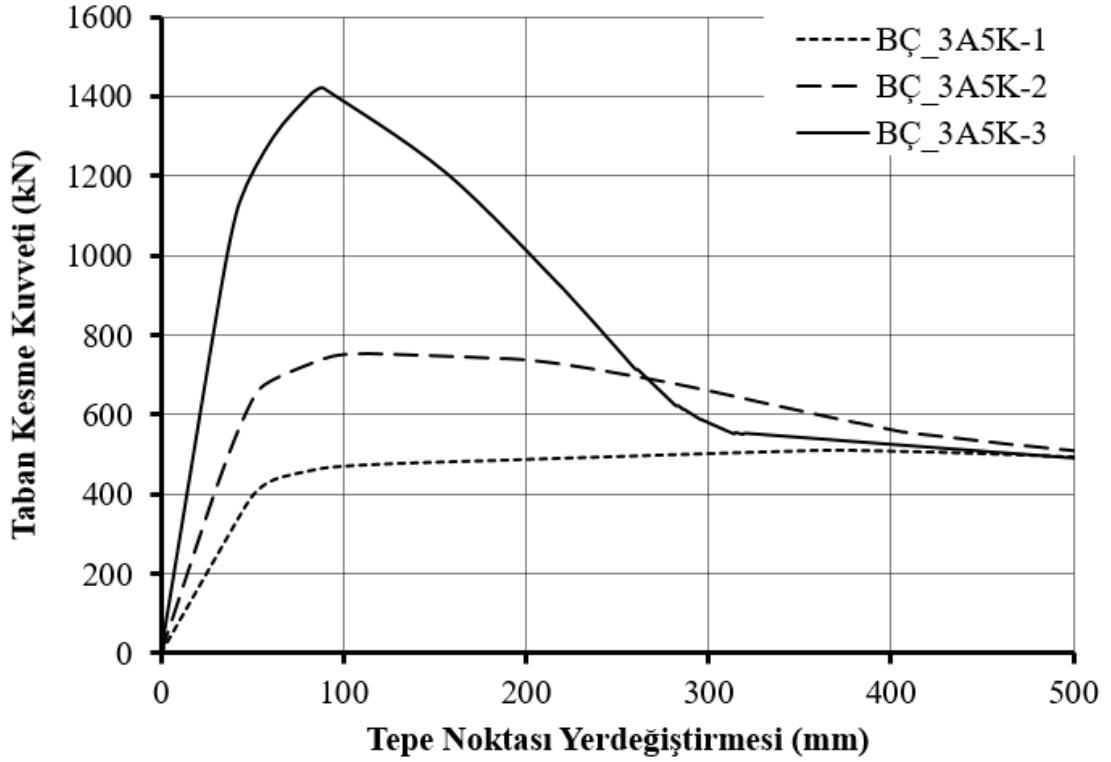
şekil 5.15 İki açıklıklı altı katlı betonarme çerçeveslerin itme eğrileri.



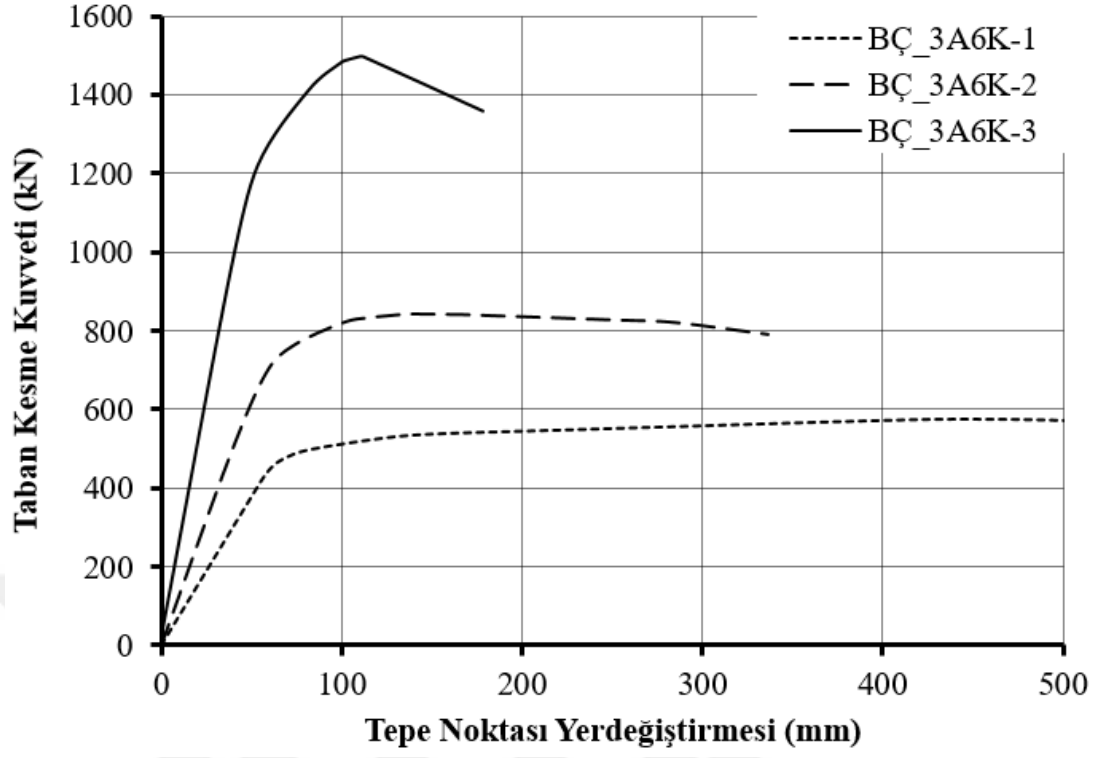
şekil 5.16 Üç açıklıklı üç katlı betonarme çerçeveslerin itme eğrileri.



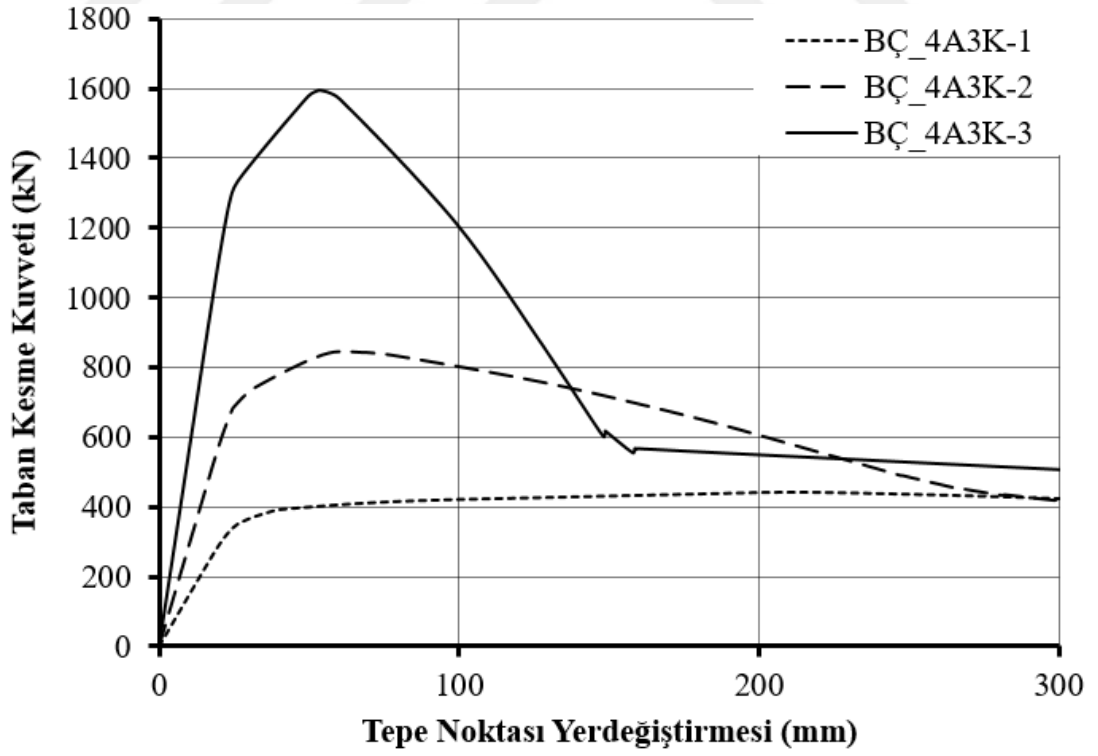
şekil 5.17 Üç açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri.



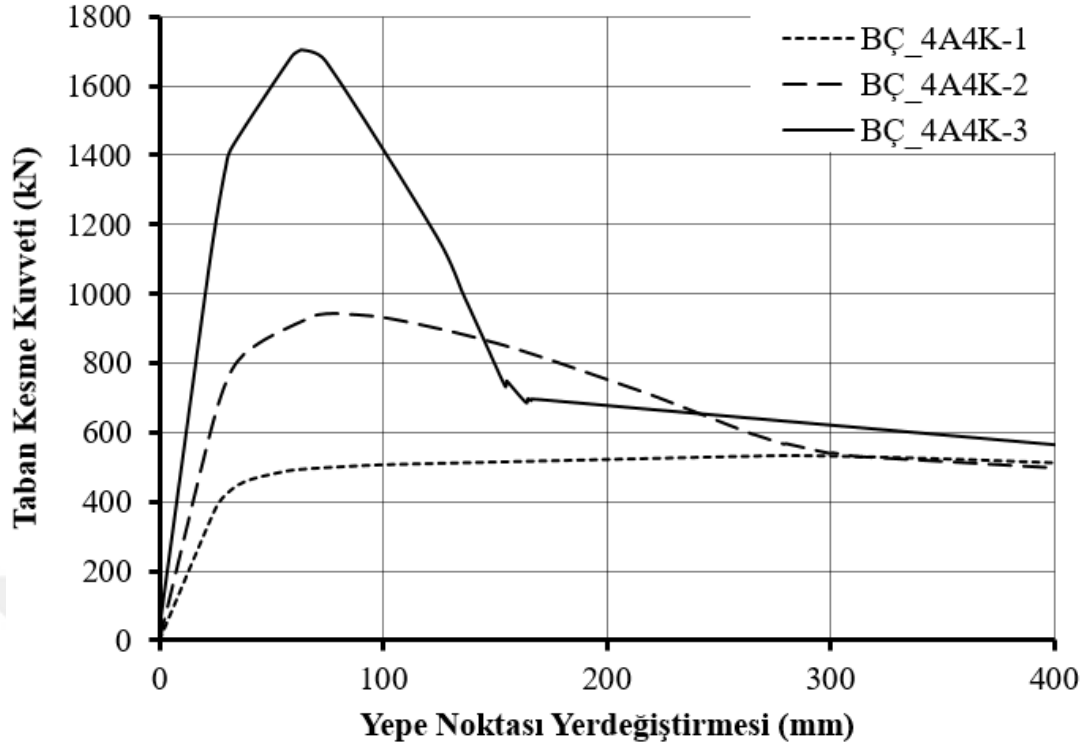
şekil 5.18 Üç açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri.



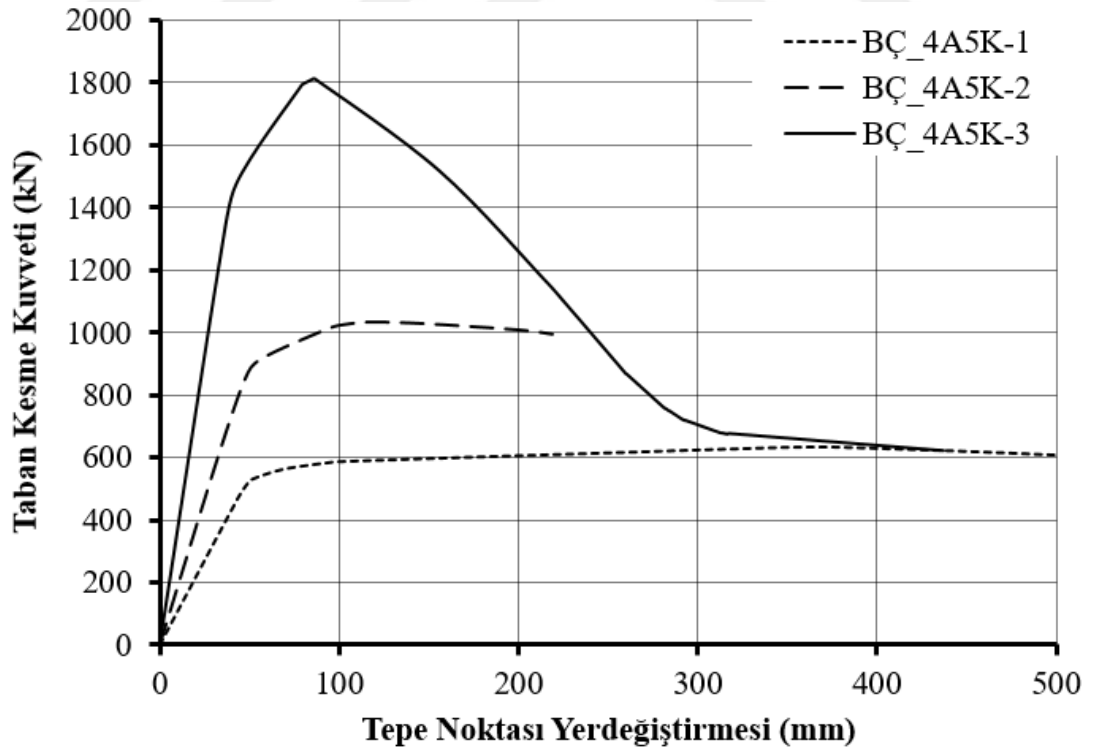
Şekil 5.19 Üç açıklıklı altı katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri.



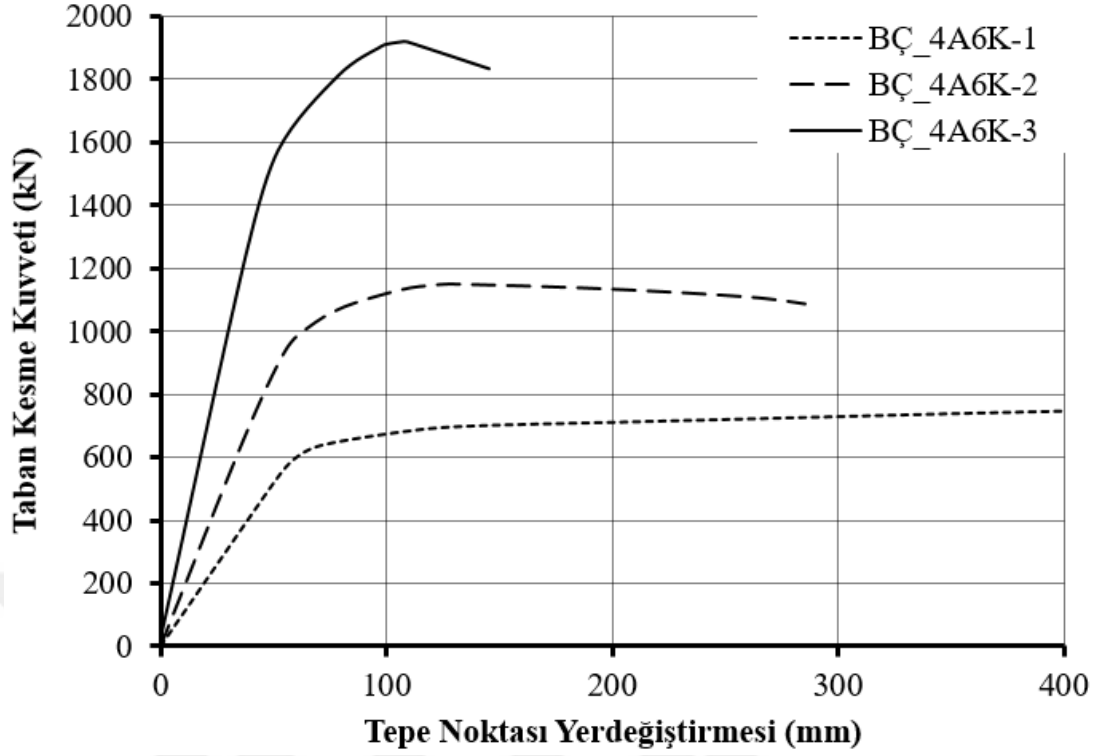
Şekil 5.20 Dört açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri.



Şekil 5.21 Dört açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri.



Şekil 5.22 Dört açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin itme eğrileri.



şekil 5.23 Dört açıklıklı altı katlı betonarme çerçeveslerin itme eğrileri.

İtme eğrileri, çerçeveslere etkiyen yüklerin küçük olduğu başlangıç kısımlarında doğrusal olarak yükselmektedir. Elemanlar üzerinde plastik mafsallar oluşmaya başladıktan sonra bu doğrusallık kaybolmakta ve eğriler yataylaşmaya başlamaktadır. Boşluksuz dolgu duvarlara sahip çerçeveslerin itme eğrilerinin doğrusal kısımları, boşluklu dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçeveslere göre düşeye daha yakın bulunmakta; bir başka deyişle boşluksuz dolgu duvarlı çerçevesler dış yükler etkisine, daha düşük yerdeğiştirmelerle cevap vermektedir. Bu sonuçlar, boşluksuz dolgu duvarlı çerçeveslerin diğeri çerçeveslere göre daha yüksek rijitliğe sahip olduğunu gösterir. Kısmi boşluklu dolgu duvarlı çerçeveslerin rijitliği ise; dolgu duvarsız çerçeveslerin rijitliğinden yüksek, boşluksuz dolgu duvarlı çerçeveslerin rijitliğinden düşük elde edilmiştir. Bu grafiklerden; duvar düzleminde bulunan kısmi boşlukların, çerçeve rijitliğine olan etkisinin ihmal edilmemesi gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.

İtme eğrisinin tepe noktasındaki taban kesme kuvveti değeri, çerçevesin en fazla taşıyabileceği yükü gösterir. Tablo 5.40'da 20 cm kalınlığında dolgu duvara sahip çerçeveslerin ve dolgu duvarsız çerçeveslerin yatay yük kapasiteleri sunulmuştur. Bu

tabloda, dolgu duvarların ve düzleminde bulunan kısmi boşlukların yatay yük kapasitesine etkisini gözlemleyebilmek adına; dolgu duvarlı çerçevelerin kapasiteleri, aynı kat ve açıklığa sahip dolgu duvarsız çerçevelerin yatay yük kapasiteleri cinsinden verilmiştir.

Tablo 5.40 Çerçevelerin yatay yük taşıma kapasiteleri

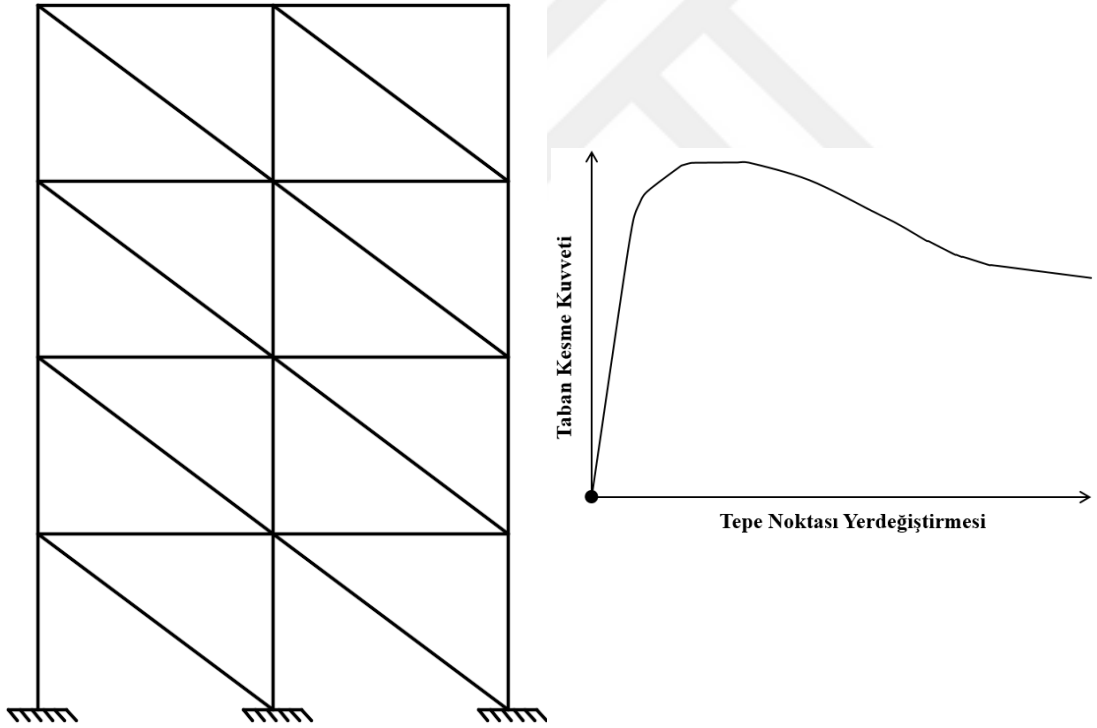
Çerçeve		Yatay Yük Taşıma Kapasitesi (kN)		
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Dolgu Duvarsız	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı	Boşluksuz Dolgu Duvarlı
2	3	231	1,60 · 231	3,45 · 231
	4	257	1,50 · 257	3,25 · 257
	5	341	1,37 · 341	2,72 · 341
	6	389	1,38 · 389	2,52 · 389
3	3	347	1,78 · 347	3,61 · 347
	4	414	1,64 · 414	3,22 · 414
	5	509	1,48 · 509	2,79 · 509
	6	577	1,46 · 577	2,59 · 577
4	3	443	1,91 · 443	3,60 · 443
	4	533	1,77 · 533	3,20 · 533
	5	635	1,63 · 635	2,85 · 635
	6	750	1,54 · 750	2,56 · 750

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi, boşluksuz dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük kapasiteleri, dolgu duvarsız çerçevelerin yatay yük kapasitelerinin ortalama 3,03 katıdır. Beklenildiği gibi kısmi boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin yük taşıma kapasiteleri diğer iki tip çerçevenin kapasiteleri arasında kalmış olup, dolgu duvarsız çerçevelerin yük taşıma kapasitelerinin ortalama 1,59 katı değerlere sahiptir. Ayrıca açıklıklarda bulunan dolgu duvarlar ve kısmi boşluklar, yük taşıma kapasitesi

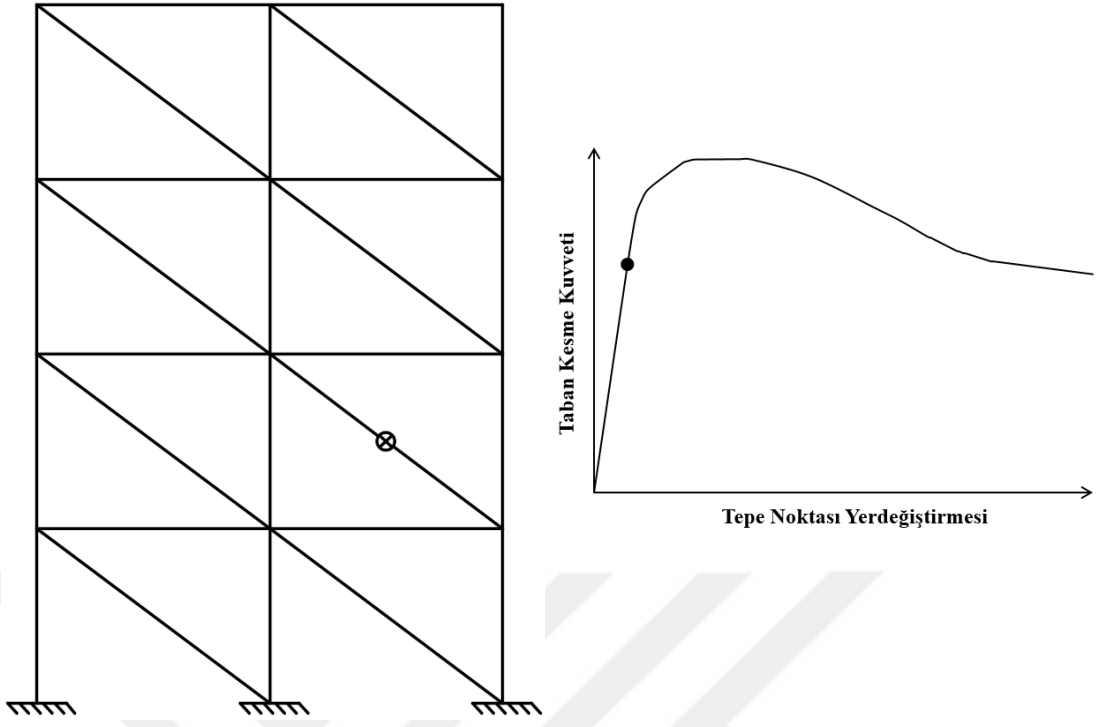
üzerinde; çerçevedeki açıklık sayısı arttıkça daha etkili olmakta, kat sayısı arttıkça etkisini yitirmektedir.

Kısmi boşluklu dolgu duvarlı betonarme bir çerçevenin artan yatay yükler altında davranışı ilk itme adımından mekanizma durumuna kadar izlenmiştir. Örnek olarak seçilen BÇ_2A4K-2 çerçevesinde, artımsal itme analizi sırasında adım adım plastik kesit oluşumu ve gösterilen her adımın itme eğrisinde hangi noktaya denk geldiği Şekil 5.24 - Şekil 5.39’da sunulmuştur. Bu anlatımın davranış açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Bu şekilde;

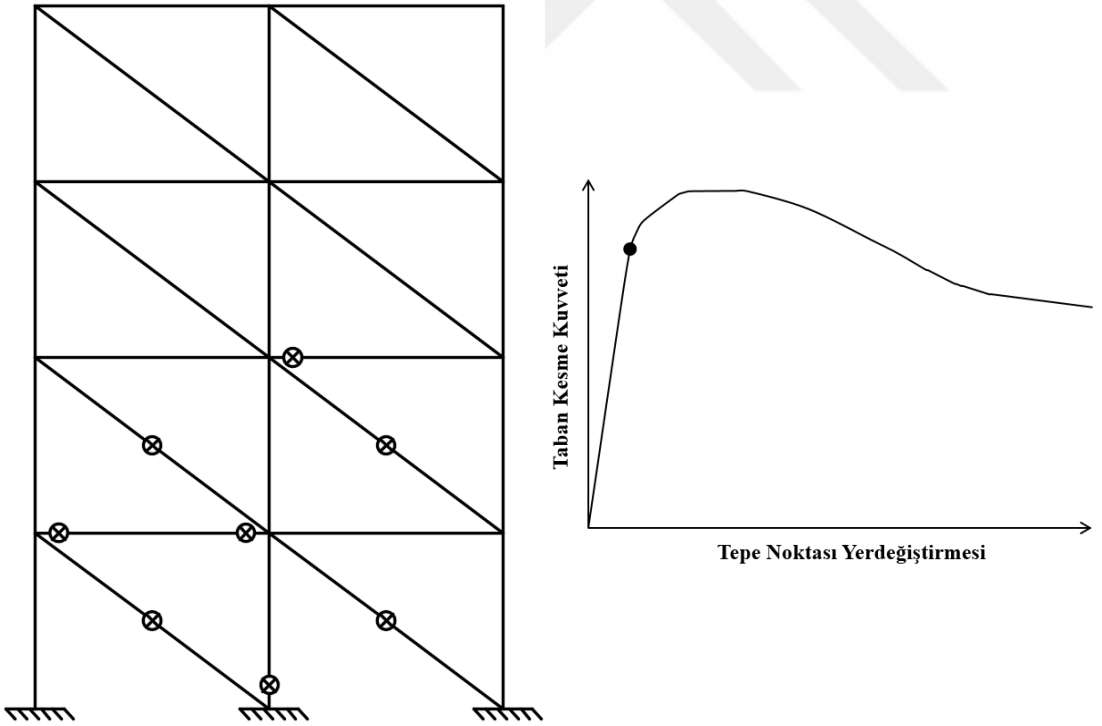
- ⊗ kapasitesine ulaşmamış plastik kesitleri,
 - kapasitesini aşmış plastik kesitleri
- temsil etmektedir.



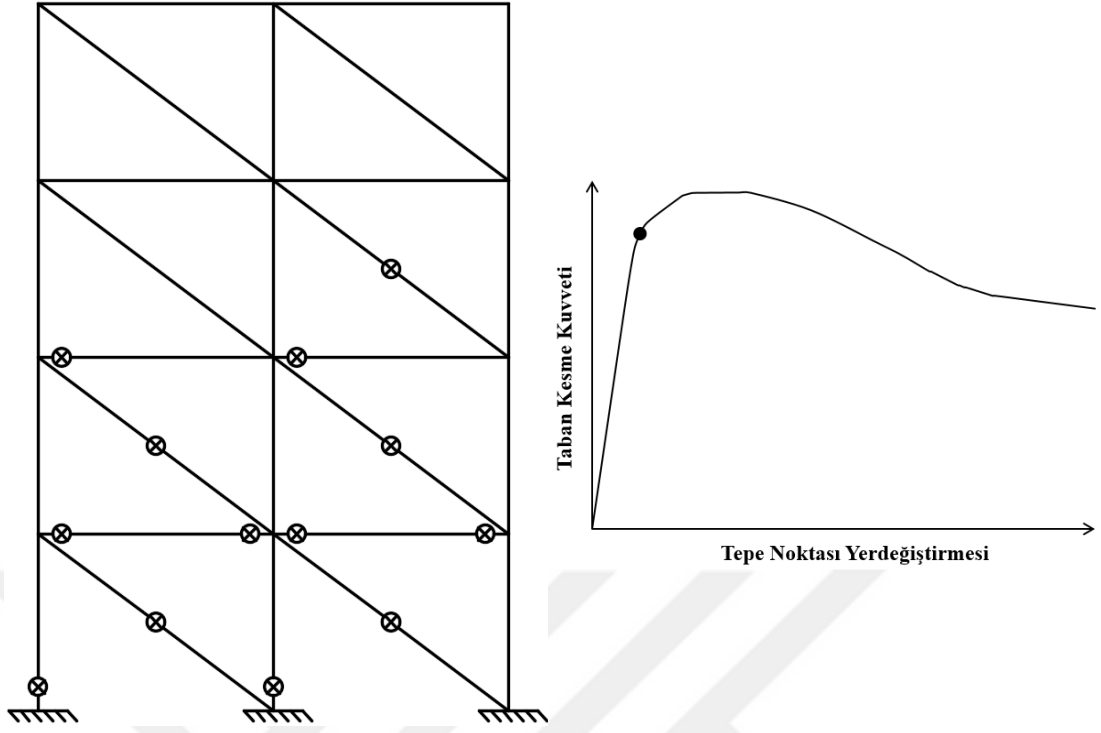
Şekil 5.24 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin artımsal itme analizi başlangıç durumu.



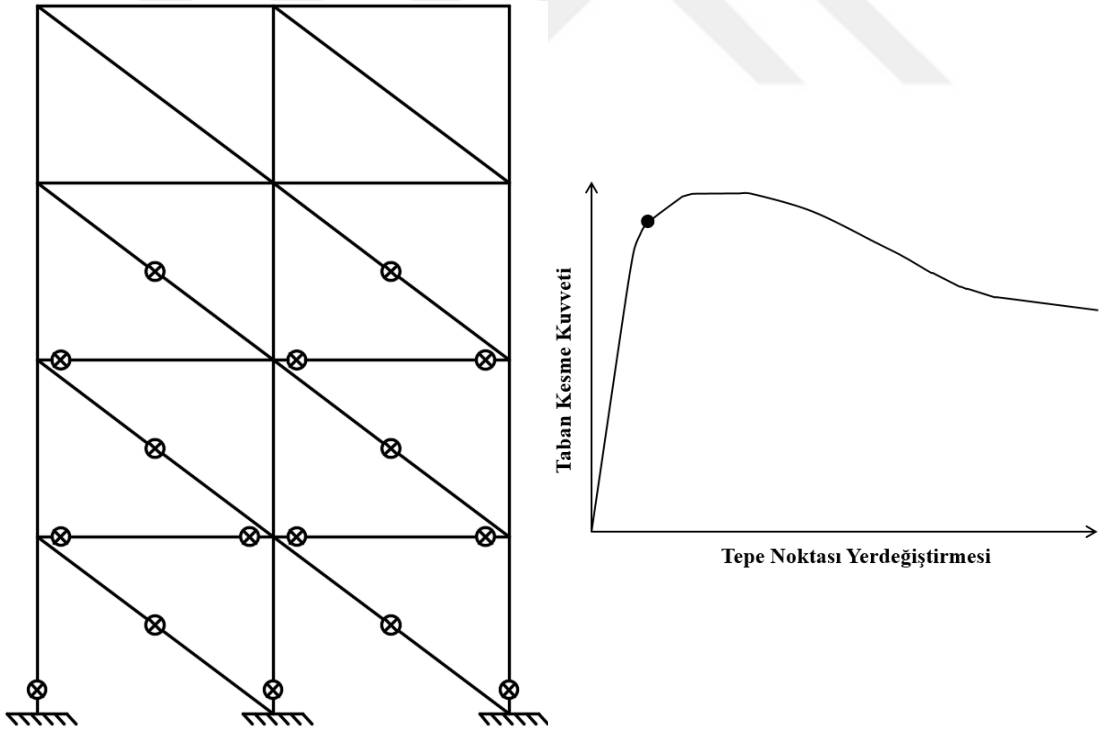
şekil 5.25 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin birinci itme adımı.



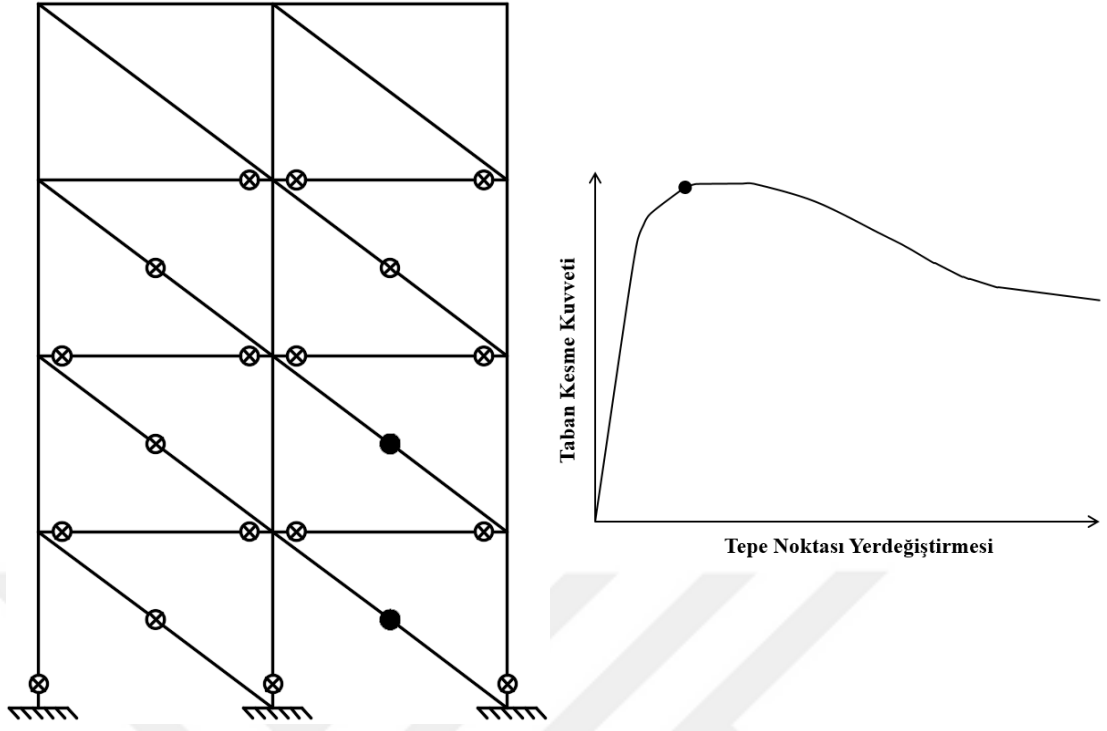
şekil 5.26 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin ikinci itme adımı.



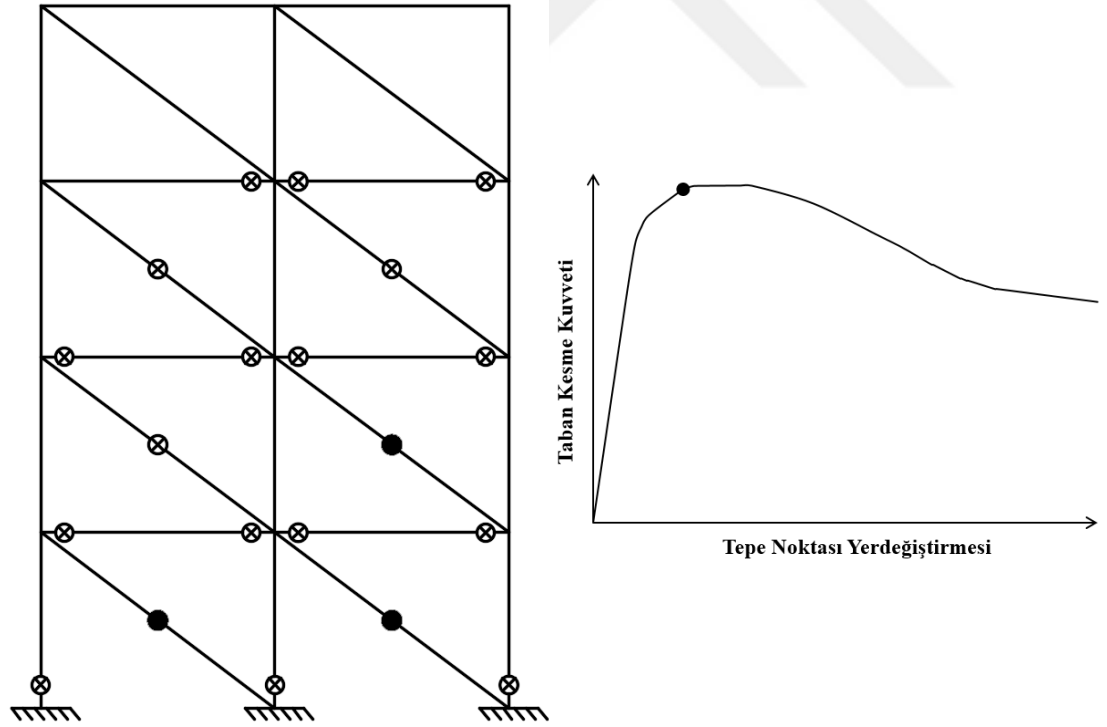
Şekil 5.27 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin üçüncü itme adımı.



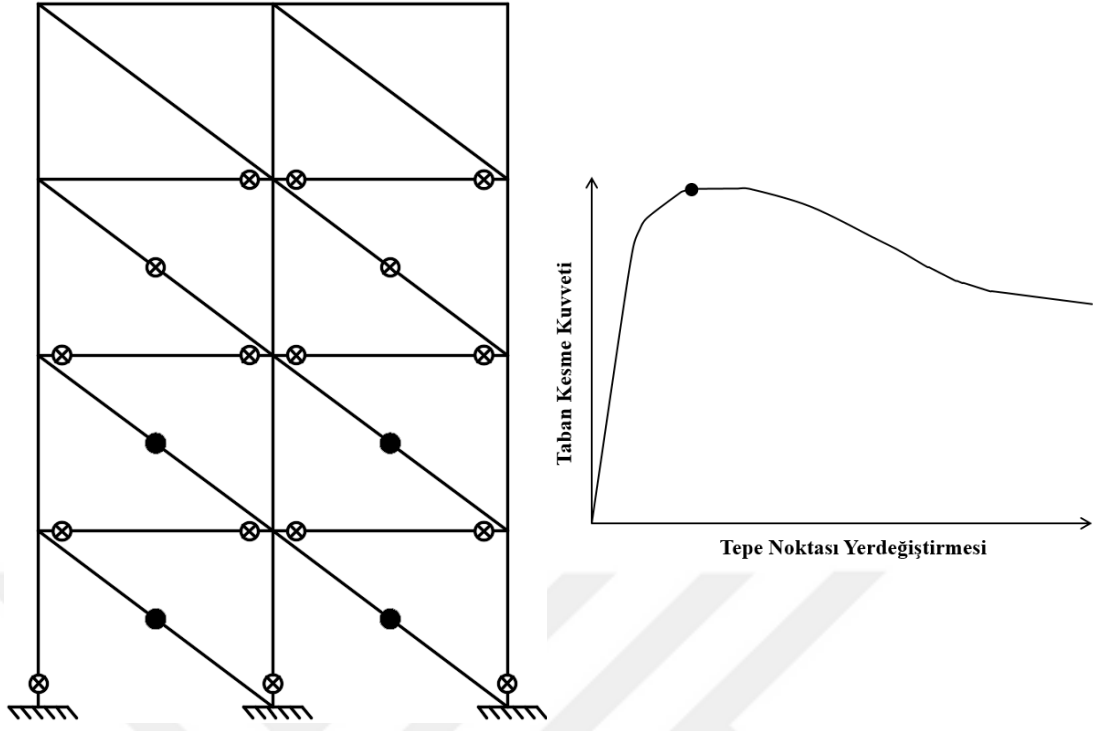
Şekil 5.28 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin dördüncü itme adımı.



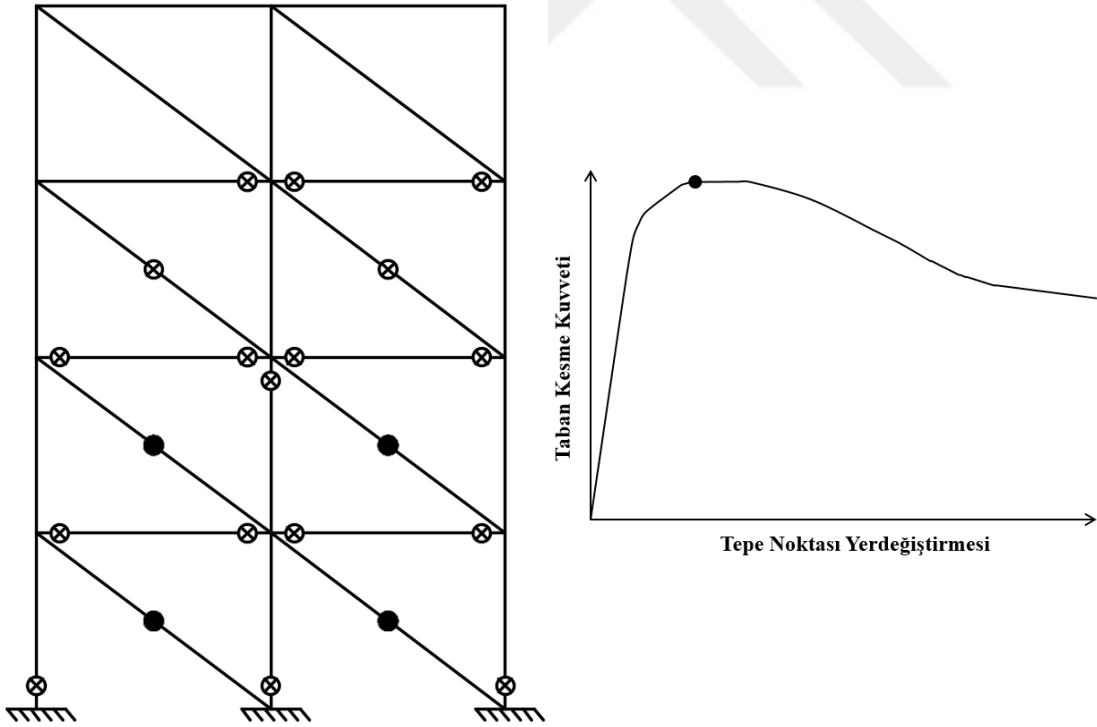
şekil 5.29 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin beşinci itme adımı.



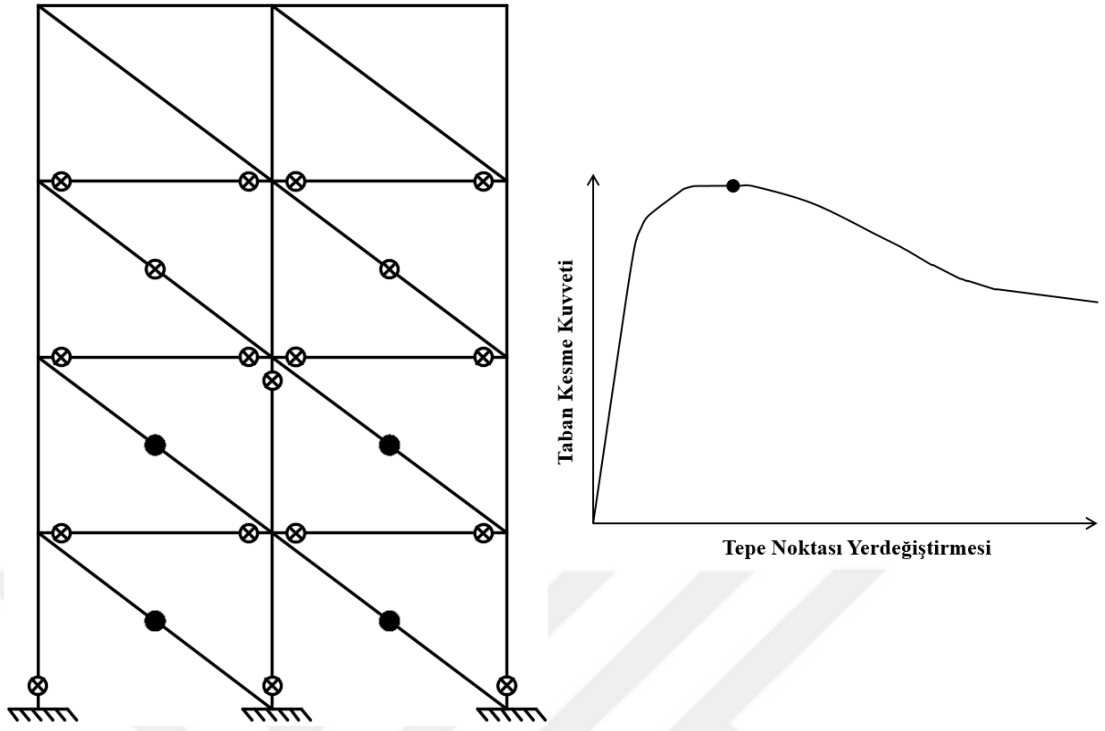
şekil 5.30 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin altıncı itme adımı.



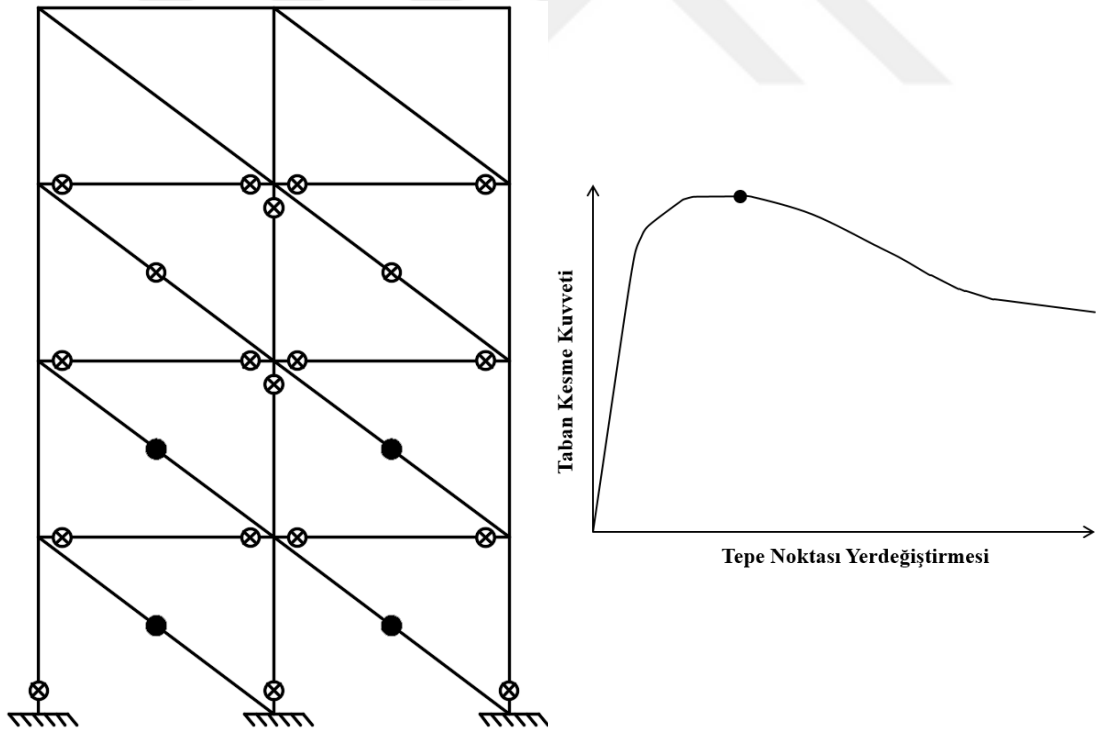
Şekil 5.31 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin yedinci itme adımı.



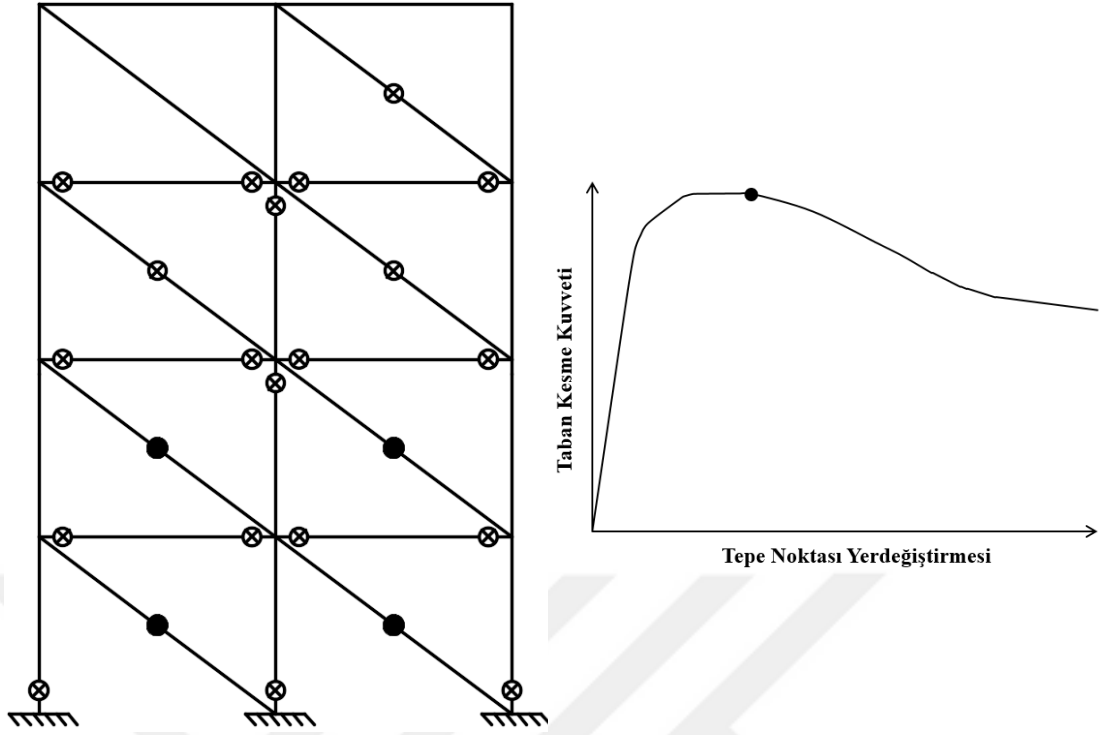
Şekil 5.32 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin sekizinci itme adımı.



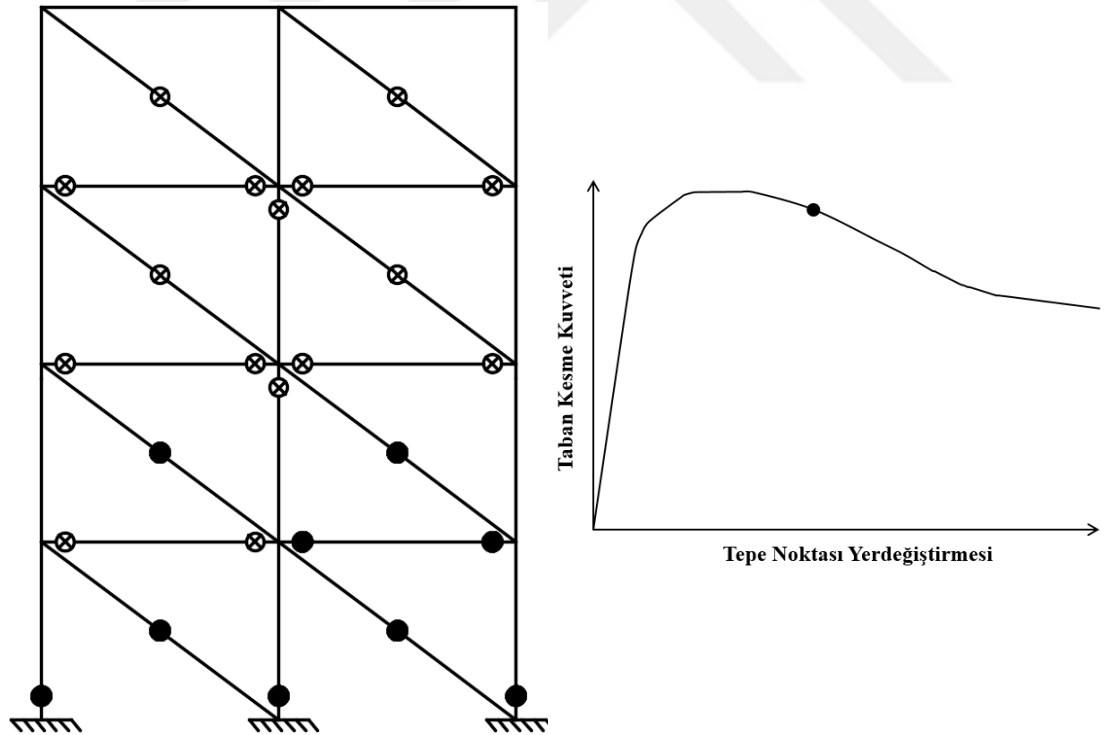
şekil 5.33 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin dokuzuncu itme adımı.



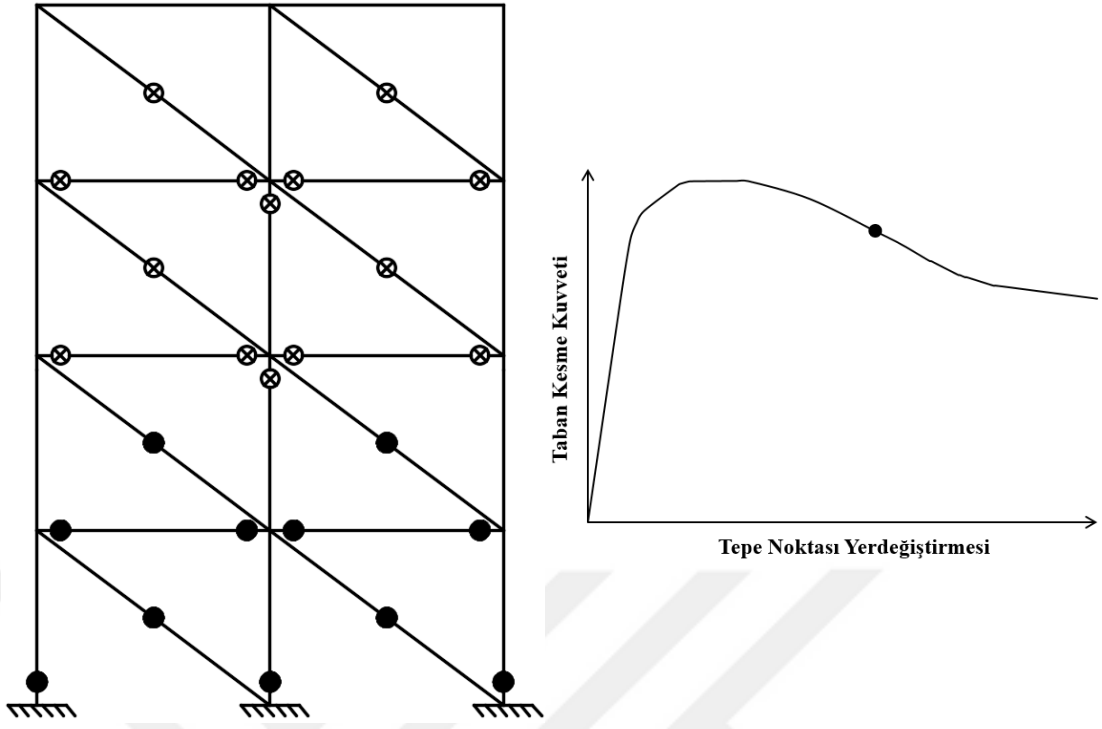
şekil 5.34 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin onuncu itme adımı.



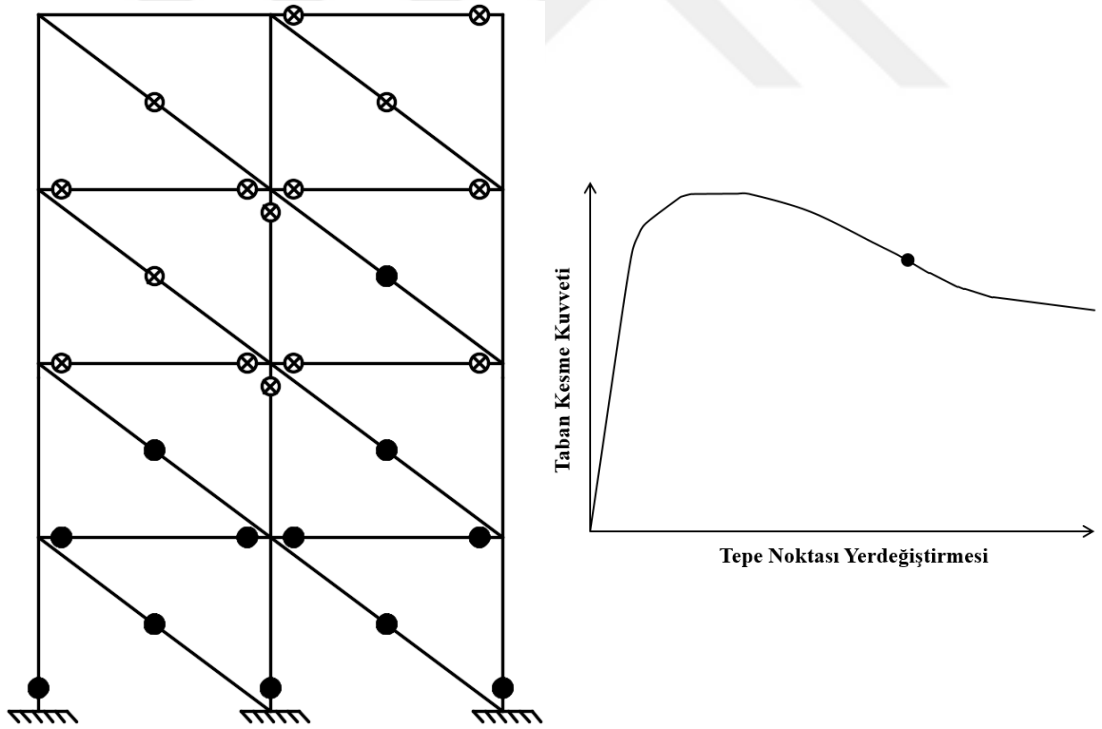
Şekil 5.35 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin on birinci itme adımı.



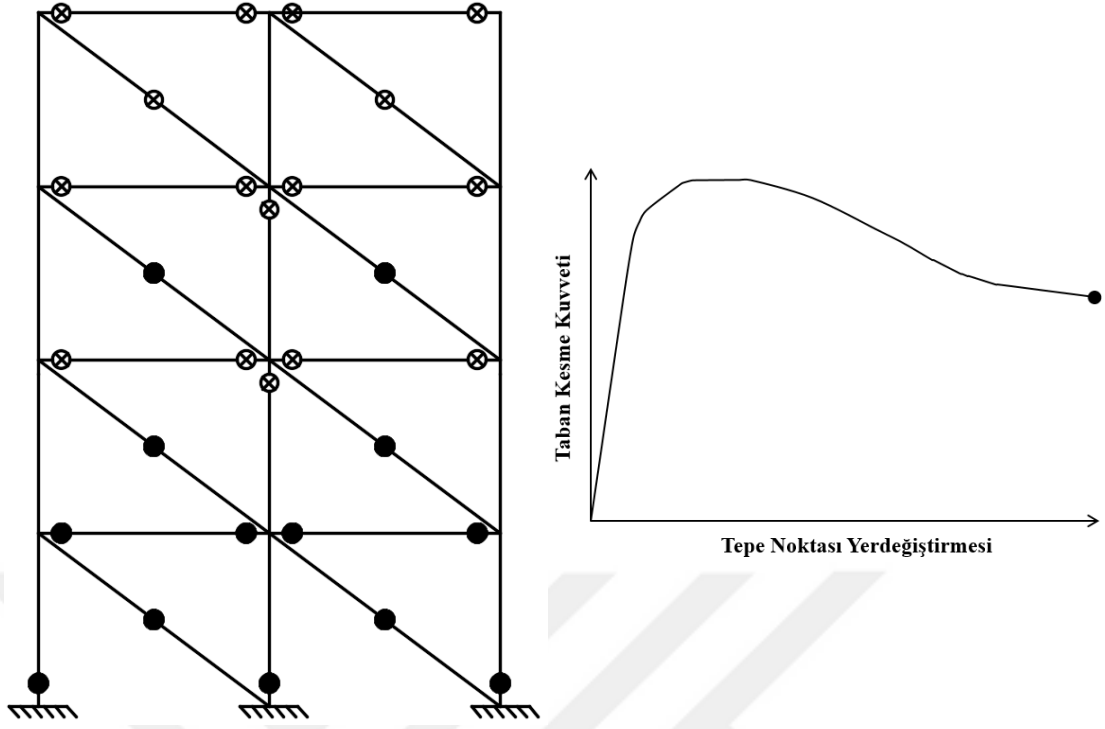
Şekil 5.36 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin on ikinci itme adımı.



şekil 5.37 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin on üçüncü itme adımı.



şekil 5.38 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin on dördüncü itme adımı.



Şekil 5.39 BÇ_2A4K-2 çerçevesinin on beşinci itme adımı.

Artımsal itme analizinin başlangıcında düşey yükler altında çerçevedeki herhangi bir elemanda plastik kesit oluşmamıştır. Bu durumda taban kesme kuvveti değeri sıfır iken, tepe noktası düşey yükler altında ihmal edilebilecek kadar düşük yer değıştirme yapmaktadır (Şekil 5.24). Artımsal itme analizinde ilk plastik şekil değıştirme birinci adımında, ikinci kattaki dolgu duvarda gerçekleşmiştir. İtme eğrisindeki bu nokta, eğrinin doğrusallıktan küçük de olsa saptığı ilk noktadır (Şekil 5.25). Artımsal itme analizinin ilerleyen adımlarında, çerçeve elemanlarda ve dolgu duvarlarda plastik kesitler oluşmaya devam ettikçe sistem rijitliği azalmakta ve itme eğrisi yataylaşmaktadır (Şekil 5.26 - Şekil 5.28). Analizin beşinci adımında, birinci ve ikinci kattaki birer dolgu duvar yük taşıma kapasitelerine ulaşmış ve taşıyabilecekleri yükler önemli ölçüde azalmıştır (Şekil 5.29). Analizde altıncı adıma gelindiğinde, birinci kattaki duvarlar devre dışı kalmıştır ancak itme eğrisi yükselmeye devam etmektedir (Şekil 5.30). İtme analizinin yedinci adımında çerçevenin ilk iki katındaki tüm dolgu duvarlar yük taşıma kapasitelerini aşmıştır ve itme eğrisi bu noktada zirve yapmıştır. İtme eğrisi küçük de olsa negatif bir eğime geçmiştir (Şekil 5.31). Artımsal itme analizi yapılan 36 dolgu duvarlı çerçevede, itme eğrileri; ilk katın, ilk iki katın veya ilk üç katın dolgu duvarların tamamının yük

taşıma kapasitelerini aştıkları noktalarda zirve yapmış ve düşüşe geçerek ilerleyen adımlarda dolgu duvarsız çerçevelerin itme eğrilerine yaklaşmışlardır. Analiz devam ettirildiğinde plastikleşen ve yük/moment taşıma kapasitelerini aşan eleman sayısı artmakta ve itme eğrisi yataya yaklaşmaktadır (Şekil 5.32 - Şekil 5.37). Çerçevedeki plastik mafsalları dağılımının değişmediği ve itme eğrisinin yataya çok yaklaştığı noktada artımsal itme analizi sonlandırılmıştır (Şekil 5.39).

Çerçevelerin, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (BİB, 2007)'e göre boyutlandırılması yapılırken kullanılan deprem yükleri, çerçevenin akma noktasına ulaştığı yatay yüklerin dayanım fazlalığı katsayısına bölünmüş hali olarak alınmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında önemli yere sahip akma noktası, bu tez çalışmasında kullanılan çerçeveler için belirlenmiş ve bu noktadaki; tepe noktası yerdeğiştirmesinin (δ_y) çerçeve yüksekliğine (H) oranı Tablo 5.41'de, taban kesme kuvvetinin (V_y) çerçeve ağırlığına (W) oranı olan taban kesme kuvveti katsayısı ise Tablo 5.42'de 20 cm kalınlığında çerçeveler için sunulmuştur. Çerçevelerin Tablo 5.30 da bulunan periyotları ile Tablo 5.42'de sunulan taban kesme kuvveti katsayıları, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (BİB, 2007)'e göre tasarımda esas alınan ve periyoda göre değişen taban kesme kuvveti katsayıları ile kıyaslanmak üzere Şekil 5.40'daki grafik üzerinde gösterilmiştir.

Çerçevelerin akma noktasındaki δ_y/H oranı Tablo 5.41'de de görüldüğü gibi, aynı kat ve açıklık sayısına sahip çerçeveler için; dolgu duvarsız çerçevelerde en düşük, kısmi boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerde en büyük değerlere sahiptir. Şekil 5.12 - Şekil 5.23'de bulunan itme eğrileri irdelendiğinde, dolgu duvarsız çerçevelerde akmanın, itme eğrisi doğrusallıktan ayrıldıktan kısa bir yerdeğiştirme sonrasında gerçekleştiği görülmektedir. Buna ek olarak dolgu duvarlar, çerçevelerin itme eğrilerinin doğrusallıktan ayrıldığı nokta ile akma noktası arasındaki yerdeğiştirme değerini arttırmakta ve dolayısıyla akmayı geciktirmektedir. Buna rağmen boşluksuz dolgu duvarlı çerçevelerin başlangıç rijitlikleri diğer çerçevelere göre çok yüksek olduğundan akma noktasındaki δ_y/H oranı kısmi boşluklu dolgu duvarlarınkinden daha düşük elde edilmiştir.

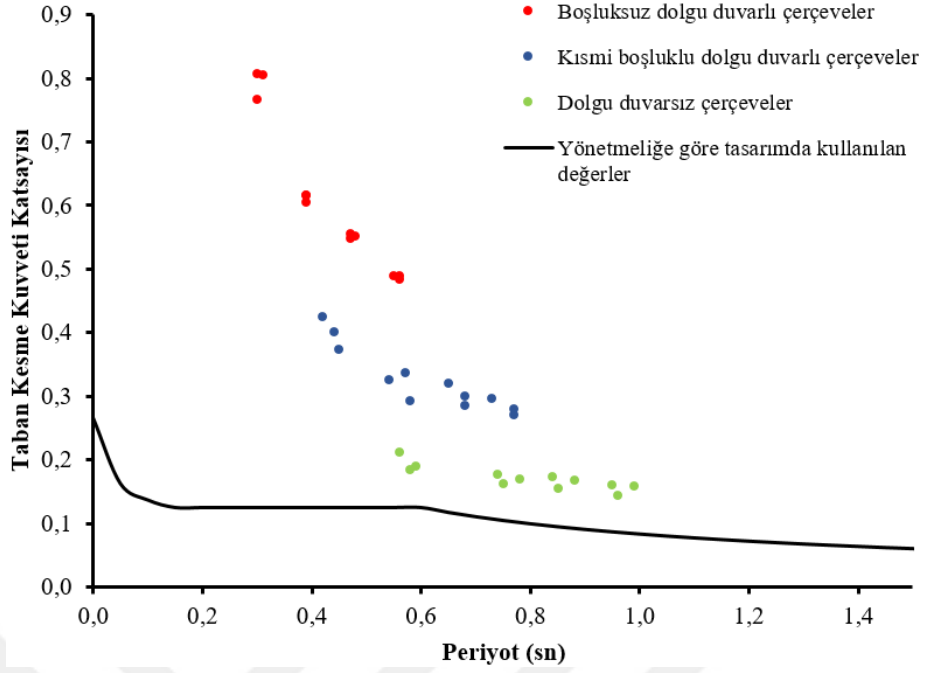
Tablo 5.41 Çerçevelerin akma noktasındaki tepe yerdeğiştirmesinin çerçeve yüksekliğine oranı

Çerçeve		$\frac{\delta_y}{H} \cdot 10^{-3}$		
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Dolgu Duvarsız	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı	Boşluksuz Dolgu Duvarlı
2	3	3,78	5,44	3,92
	4	3,67	4,25	4,00
	5	3,27	4,40	4,20
	6	3,17	4,72	4,33
3	3	3,00	4,89	4,44
	4	3,42	5,17	3,75
	5	3,47	5,00	4,33
	6	3,44	5,06	4,33
4	3	2,67	4,33	4,22
	4	3,25	4,50	3,92
	5	2,93	5,07	2,27
	6	3,28	4,50	4,17

Tablo 5.42 Çerçevelerin akma noktasındaki taban kesme kuvveti katsayıları

Çerçeve		V_y/W		
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Dolgu Duvarsız	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı	Boşluksuz Dolgu Duvarlı
2	3	0,213	0,374	0,768
	4	0,177	0,293	0,616
	5	0,174	0,286	0,549
	6	0,161	0,272	0,489
3	3	0,190	0,401	0,806
	4	0,171	0,338	0,616
	5	0,169	0,301	0,552
	6	0,160	0,281	0,485
4	3	0,184	0,426	0,807
	4	0,163	0,327	0,606
	5	0,156	0,321	0,556
	6	0,144	0,297	0,490

Düzlemlerinde bulundukları çerçevelerin başlangıç rijitliklerini önemli ölçüde yükselten dolgu duvarlar, aynı zamanda bu çerçevelerin doğrusal elastik sınırlar içinde taşıyabilecekleri yükleri de arttırmaktadırlar. Aynı kat ve açıklığa sahip çerçeveler için; kısmi boşluklu dolgu duvarlı ve boşluksuz dolgu duvarlı çerçevelerde akma noktasındaki taban kesme kuvveti katsayıları, dolgu duvarsız çerçevelerde edilen değerlerin; sırasıyla, ortalama 1,90 ve 3,56 katıdır. Dolgu duvarların bu değerlere etkisi genel olarak açıklık sayısı arttıkça artmakta, kat sayısı arttıkça azalmaktadır.



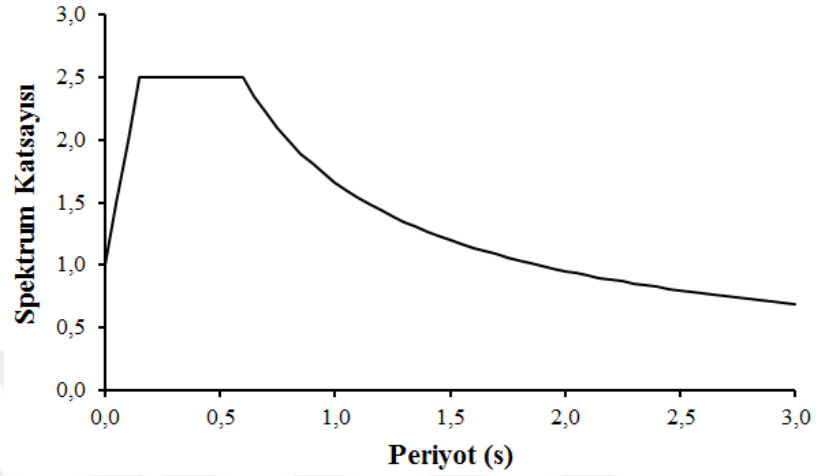
Şekil 5.40 Çerçevelerin akma noktasındaki taban kesme kuvveti katsayıları ve birinci moda ait periyotları.

Yukarıdaki grafikte de görüldüğü gibi, tüm çerçevelerin artımsal itme analizinden elde edilen itme eğrilerine göre belirlenen akma noktalarındaki taban kesme kuvveti katsayıları, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'e (BİB, 2007) göre tasarımda kullanılan değerlerden daha yüksek elde edilmiştir. Çerçevelerin açıklıklarındaki dolgu duvar oranı arttıkça periyotlarının kısaldığı ve akma noktalarındaki taban kesme kuvveti değerlerinin arttığı bu grafikte daha net görülmektedir. Aynı kat sayısı ve dolgu duvar oranına sahip çerçeveler grafik üzerinde üçerli gruplar halinde yer almakta ve çerçeve periyodu arttıkça akma noktasındaki taban kesme kuvveti katsayısı değerleri genel olarak azalmaktadır.

5.3.2 Çerçevelerin Tepe Yerdeğiştirmesi İstemlerinin Belirlenmesi

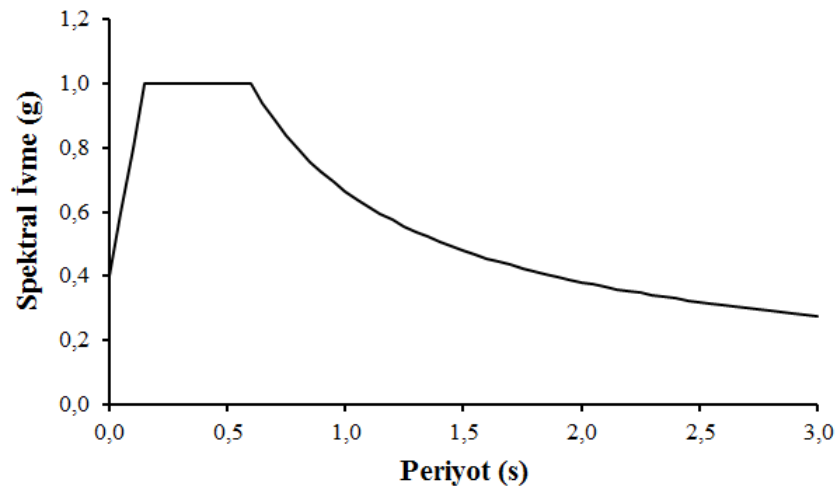
Bu tez çalışmasında seçilen dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemleri Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (BİB, 2007)'te yer alan yaklaşımla belirlenmiştir. Bu yaklaşım Bölüm 4.3'de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

%5 sönüm oranı için tanımlanan elastik ivme spektrumunun oluşturulmasında esas alınan olan spektrum katsayısı - periyot grafiği, Z3 yerel zemin sınıfı ($T_A=0,15$ sn; $T_B=0,60$ sn) için Şekil 5.41’de gösterilmiştir.



Şekil 5.41 Z3 yerel zemin sınıfı için spektrum katsayısının periyoda bağlı değişimi.

Elastik ivme spektrumu; Şekil 5.41’deki grafikten de yararlanarak (4.4) ve (4.5) numaralı denklemler ile, Tablo 5.1’deki A_0 ve I değerleri kullanılarak elde edilmiş ve Şekil 5.42’de verilmiştir.



Şekil 5.42 Z3 yerel zemin sınıfına ait elastik ivme spektrumu.

Şekil 5.43 Spektral formattaki elastik ivme spektrumu.



119

Tablo 5.43 Çerçevelerin birinci moda ait etkin kütleleri ($t_{inf}=20$ cm)

Çerçeve		M_1 (ton)		
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Dolgu Duvarsız	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı	Boşluksuz Dolgu Duvarlı
2	3	83,08	84,97	84,97
	4	107,00	110,77	113,29
	5	132,17	133,75	133,75
	6	154,83	156,72	158,61
3	3	128,54	130,00	131,46
	4	165,55	169,44	171,39
	5	219,11	206,93	209,37
	6	244,48	247,46	245,40
4	3	162,97	162,97	166,67
	4	212,35	214,82	217,29
	5	259,27	262,35	265,44
	6	303,71	307,42	311,12

Tablo 5.44 Çerçevelerin en üst katındaki birinci moda ait genlikleri ($t_{inf}=20$ cm)

Çerçeve		$\phi_{n,1}$ (mm)		
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Dolgu Duvarsız	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı	Boşluksuz Dolgu Duvarlı
2	3	13,79	13,50	13,48
	4	12,21	11,98	11,98
	5	11,01	10,83	10,81
	6	10,50	9,90	9,88
3	3	11,02	10,86	10,75
	4	9,79	9,65	6,57
	5	8,84	8,72	8,64
	6	8,08	7,97	7,90
4	3	9,75	9,73	9,53
	4	8,67	8,57	8,48
	5	7,83	7,75	7,65
	6	7,15	7,08	6,99

Tablo 5.45 Birinci moda ait katkı çarpanları ($t_{inf}=20$ cm)

Çerçeve		Γ_1 (1/mm)		
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Dolgu Duvarsız	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı	Boşluksuz Dolgu Duvarlı
2	3	0,090	0,091	0,091
	4	0,103	0,105	0,105
	5	0,116	0,117	0,117
	6	0,128	0,129	0,129
3	3	0,113	0,114	0,114
	4	0,129	0,130	0,131
	5	0,144	0,145	0,146
	6	0,159	0,160	0,161
4	3	0,127	0,127	0,128
	4	0,145	0,146	0,147
	5	0,163	0,164	0,165
	6	0,179	0,180	0,181

Elde edilen modal kapasite diyagramları, spektral formattaki ivme spektrumu ile aynı grafik üzerinde çizilmiştir. Çerçevelerin modal yerdeğiştirme istemleri bu iki eğriden yararlanarak, (4.14) ve (4.15) numaralı denklemlerin de yardımı ile; $T_1 \geq T_B$ olması durumunda Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, $T_1 < T_B$ olması durumunda ise Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de görülen ardışık yaklaşımla elde edilmiştir. Hesaplanan modal yerdeğiştirme istemleri (4.20) numaralı denklemde yerine yazılarak, çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemleri elde edilmiştir. Tablo 5.46'da, 20 cm dolgu duvar kalınlığına sahip dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemleri sunulmuştur. Daha sonra tüm çerçeveler için, artımsal itme analizi, hesaplanan tepe yerdeğiştirmesi istemine kadar tekrarlanmıştır.

Tablo 5.46 Çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemleri ($t_{inf}=20$ cm)

Çerçeve		Tepe Yerdeğiştirmesi İstemi (mm)		
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Dolgu Duvarsız	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı	Boşluksuz Dolgu Duvarlı
2	3	104,25	73,75	33,19
	4	144,70	110,09	59,36
	5	171,01	131,72	81,53
	6	208,69	154,11	105,91
3	3	111,26	69,11	30,00
	4	152,40	106,18	59,70
	5	180,31	131,44	81,58
	6	209,60	153,89	104,21
4	3	109,05	69,02	33,13
	4	151,71	96,81	56,34
	5	173,41	125,16	84,97
	6	201,24	144,25	101,32

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi; dolgu duvarsız olarak modellenen çerçevelerin yatay rijitlikleri diğer iki tip çerçeveye göre daha düşük olduğundan tepe yerdeğiştirmesi istemleri, diğer iki tip çerçeveye göre büyük elde edilmiştir. Dolgu duvarsız çerçevelere göre; kısmi boşluklara sahip dolgu duvarlı çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemleri ortalama %29, boşluksuz dolgu duvarlı çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemleri ortalama %58 daha küçük bulunmuştur. Kat sayısı arttıkça dolgu duvarların ve kısmi boşlukların, tepe yerdeğiştirmesi istemlerine etkilerinin azaldığı görülmüştür.

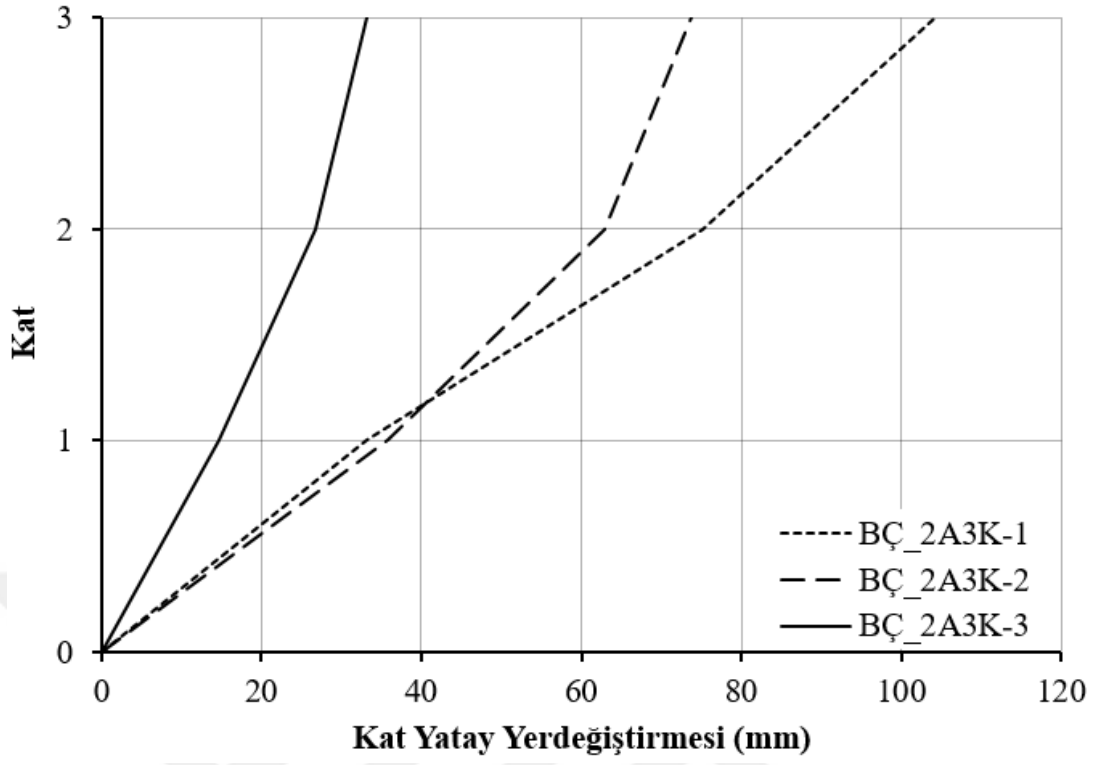
Tepe yerdeğiştirmesi istemine kadar itilen çerçevelerde, elde edilen taban kesme kuvvetleri, duvar kalınlığı 20 cm olan çerçeveler için Tablo 5.47’de verilmiştir.

Tablo 5.47 Çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemlerine karşılık gelen taban kesme kuvvetleri

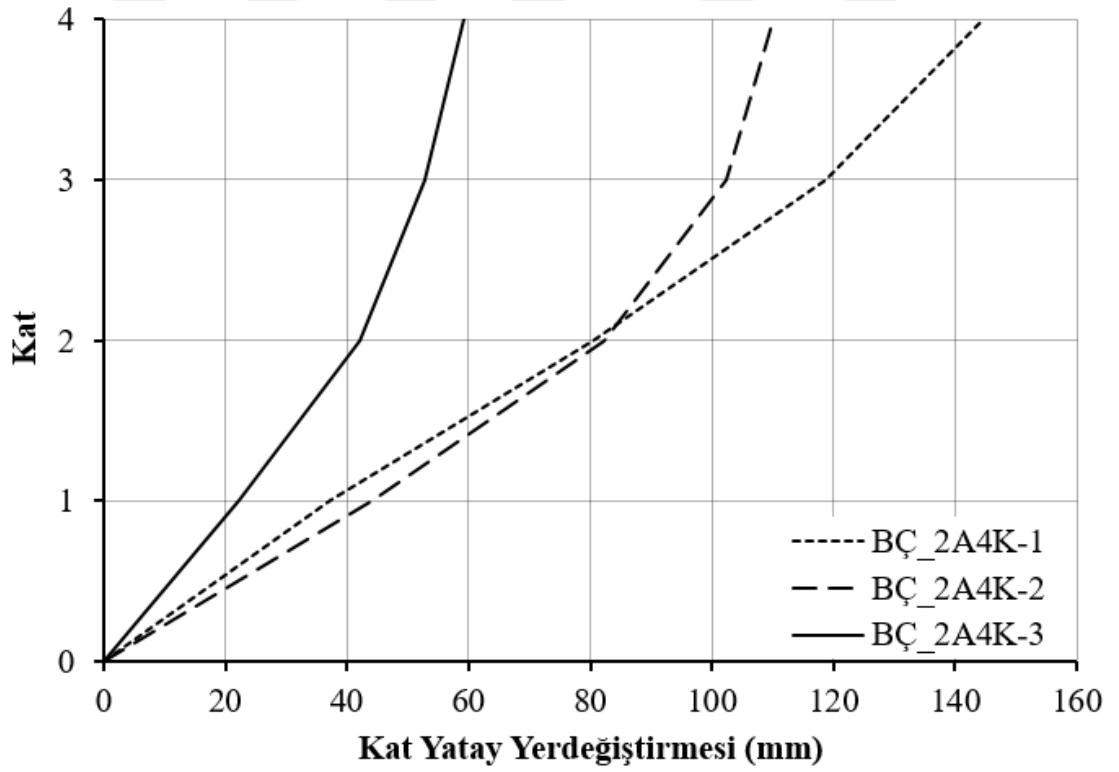
Çerçeve		Taban Kesme Kuvveti (kN)		
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Dolgu Duvarsız	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı	Boşluksuz Dolgu Duvarlı
2	3	219,78	369,85	718,45
	4	245,23	386,83	806,48
	5	323,98	467,63	910,73
	6	369,80	537,02	974,97
3	3	331,34	616,65	1072,36
	4	394,20	672,93	1278,32
	5	483,22	750,51	1403,55
	6	547,68	842,63	1488,14
4	3	423,70	842,94	1415,00
	4	514,84	930,92	1655,80
	5	602,03	1032,20	1806,66
	6	711,23	1148,43	1911,28

Dolgu duvarlar ile çerçeve sistemin rijitliğinin artışının bir sebebi olarak, aynı yer hareketi için eşit açıklık ve kat sayısına sahip çerçeveler arasından taban kesme kuvveti en büyük olan çerçeve, boşluksuz dolgu duvarlı çerçevelerdir. Dolgu duvarların kısmi boşluklar ile beraber dikkate alındığı çerçevelerin taban kesme kuvvetleri, dolgu duvarın hesap modeline dahil edilmediği çerçevelerin taban kesme kuvvetlerinin ortalama 1,68 katı olarak bulunmuştur. Bu oran, boşluksuz dolgu duvarlı çerçeveler ile dolgu duvarsız çerçeveler arasında ortalama 3,07’dir.

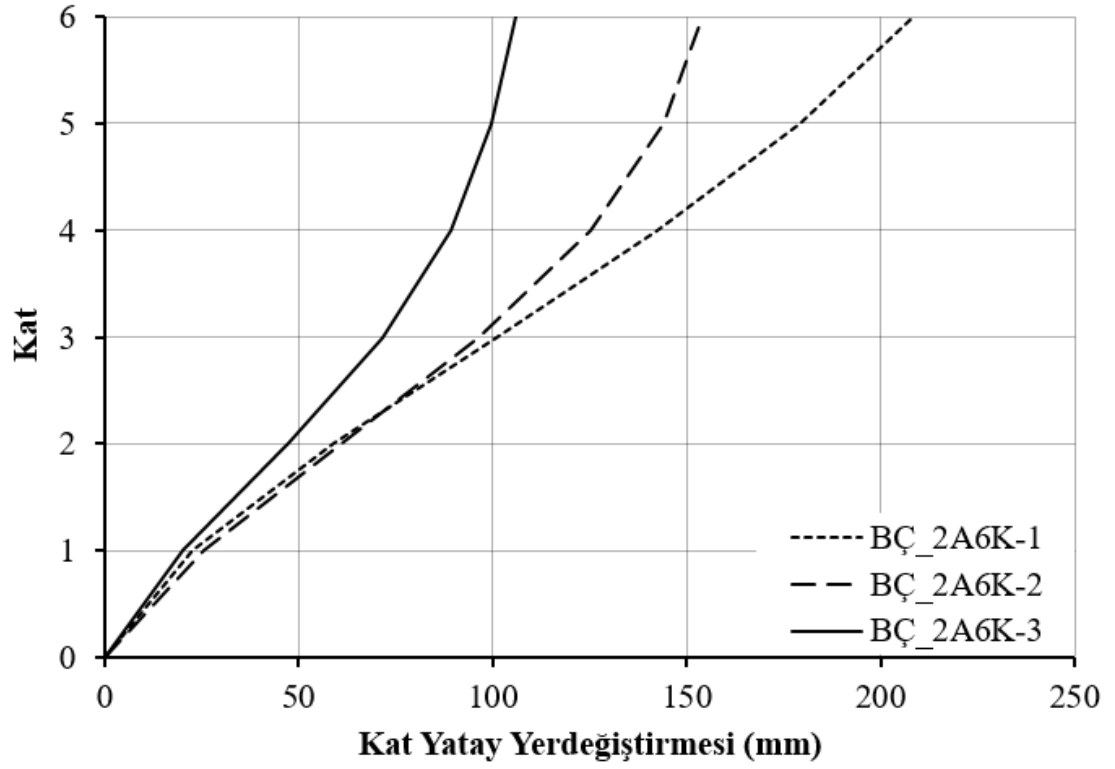
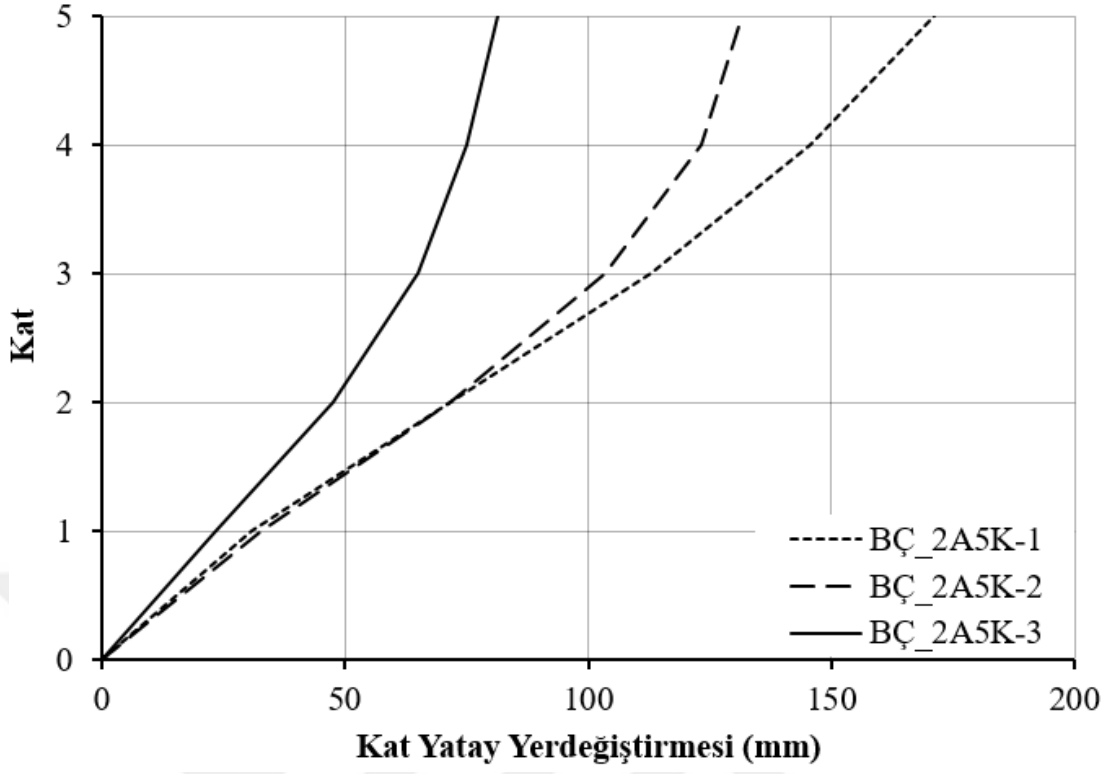
Tepe yerdeğiştirmesi isteminde, 20 cm kalınlığında dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçevelerin kat yatay yerdeğiştirmeleri Şekil 5.44 - Şekil 5.55’de, görel kat ötelemesi oranları ise Şekil 5.56 - Şekil 5.67’de sunulmuştur.

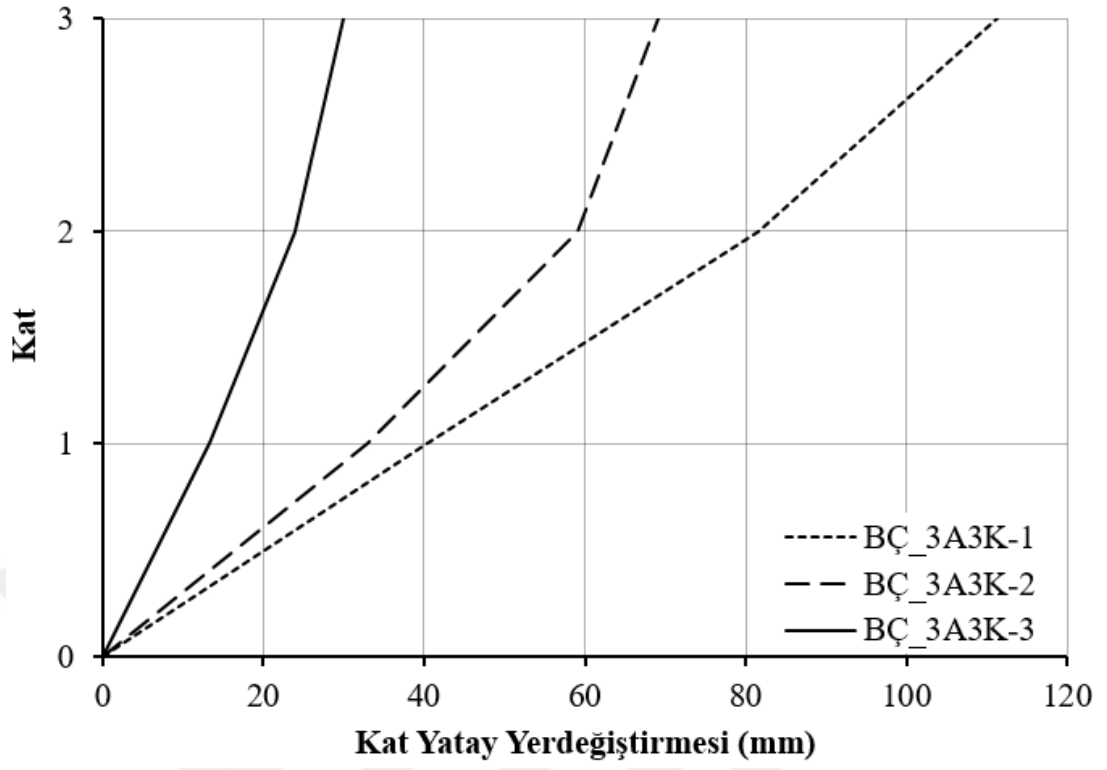


Şekil 5.44 İki açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.

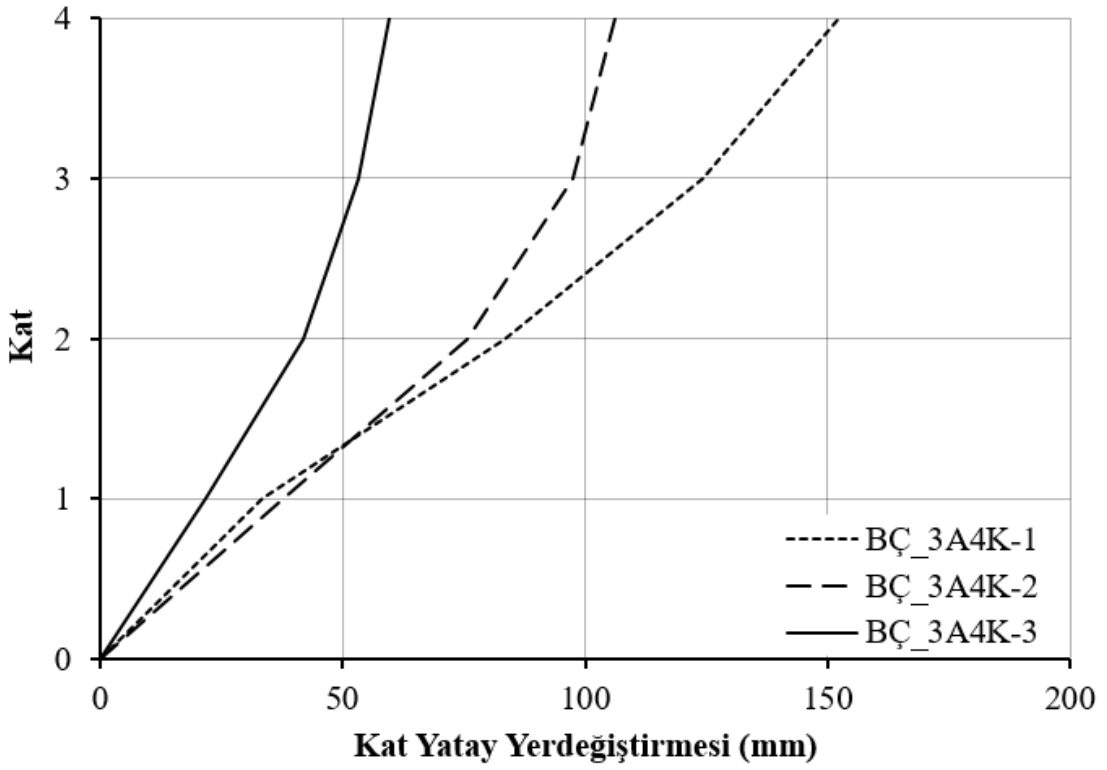


Şekil 5.45 İki açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.

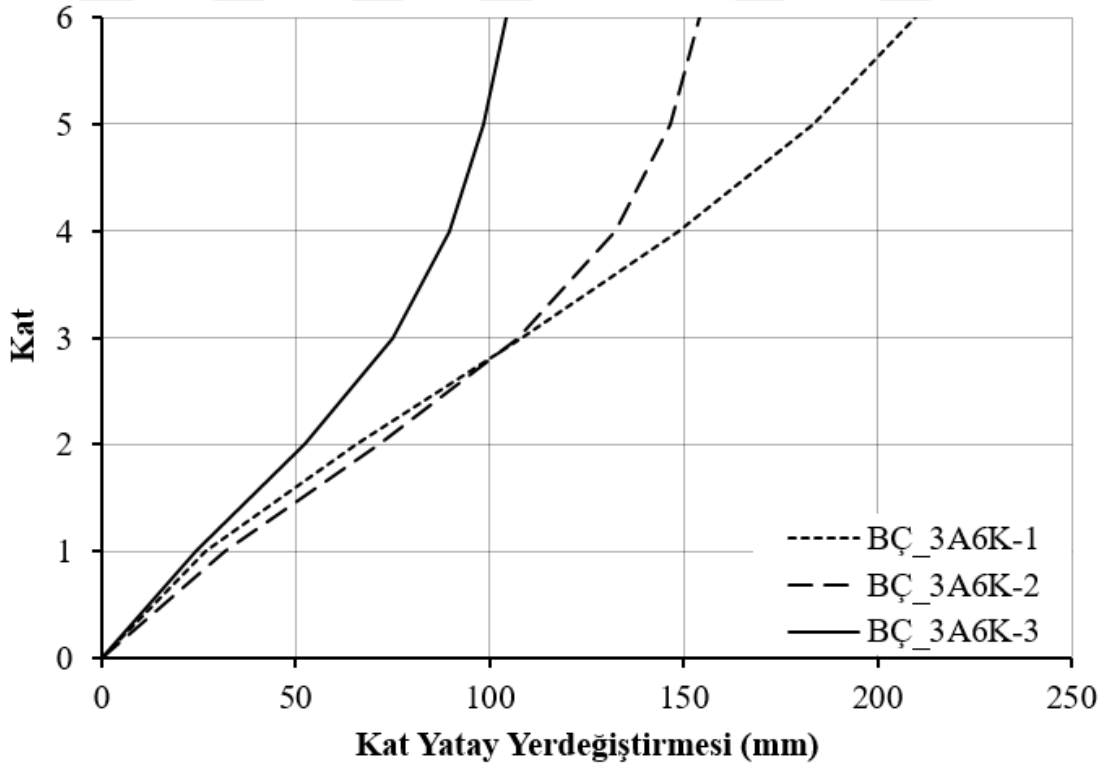
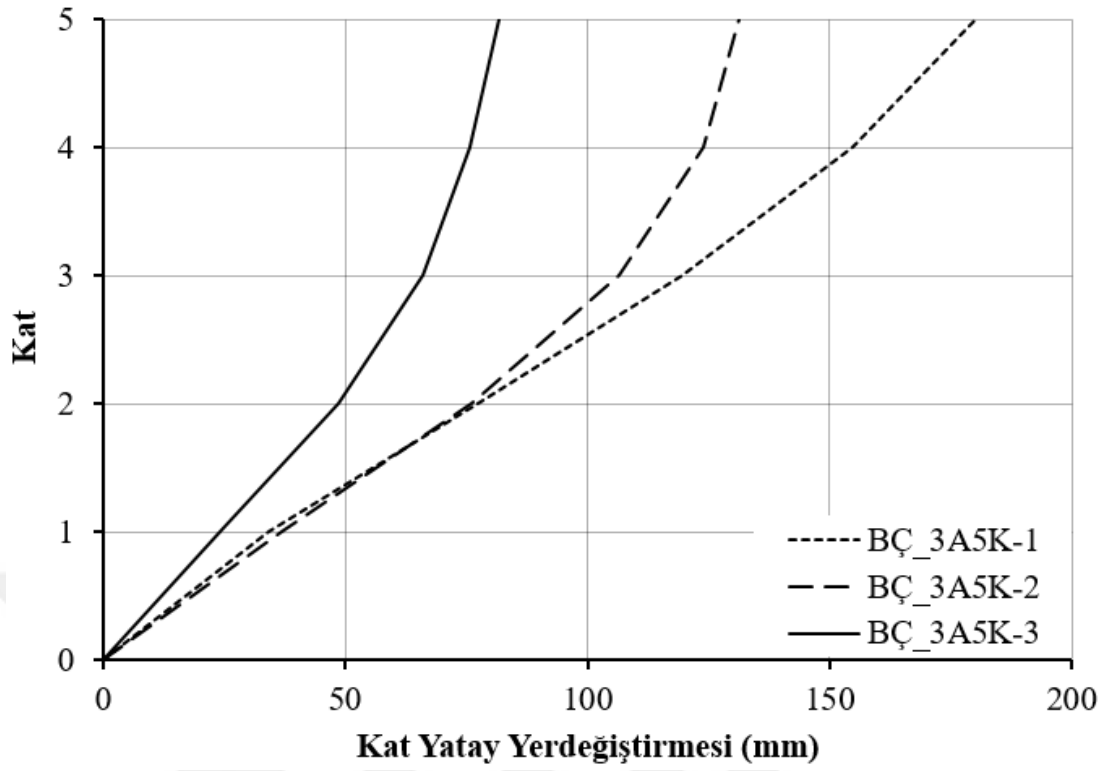


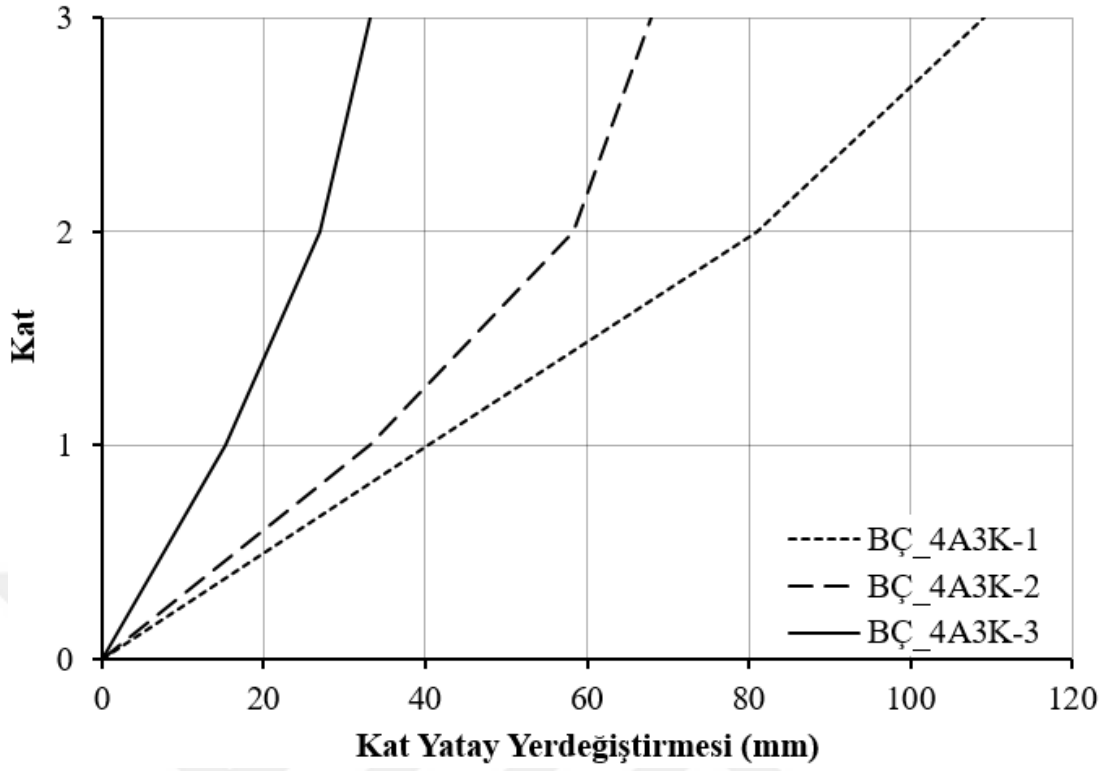


Şekil 5.48 Üç açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.

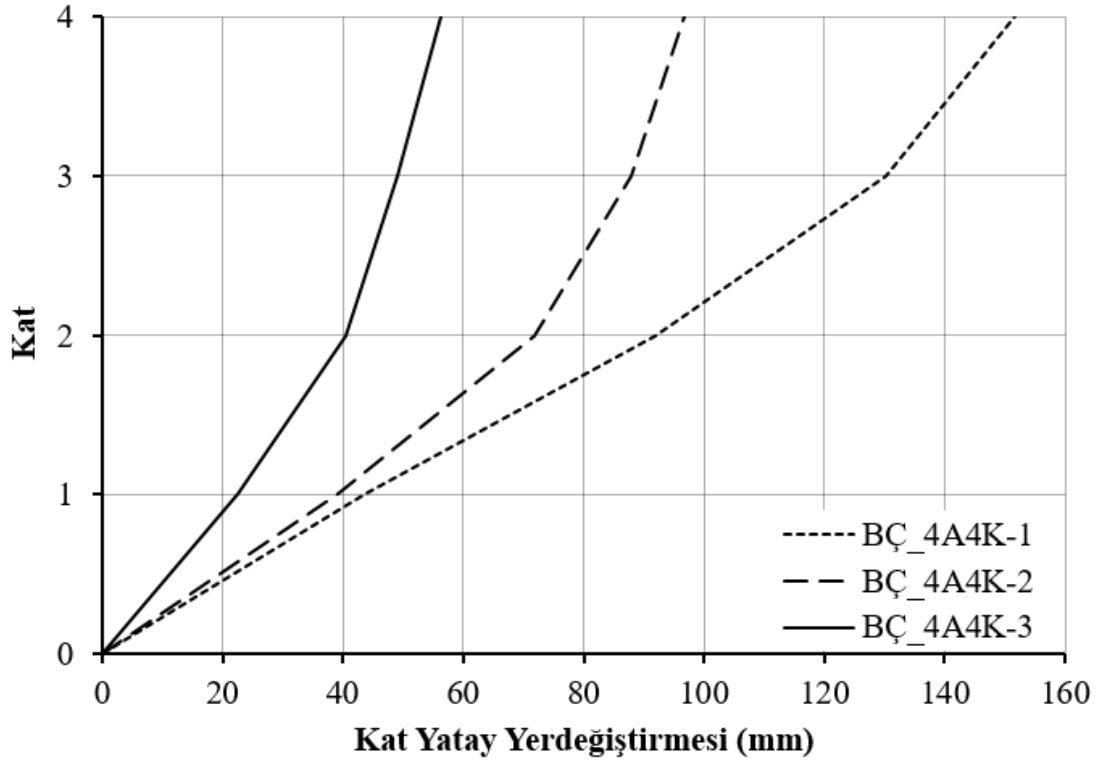


Şekil 5.49 Üç açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.

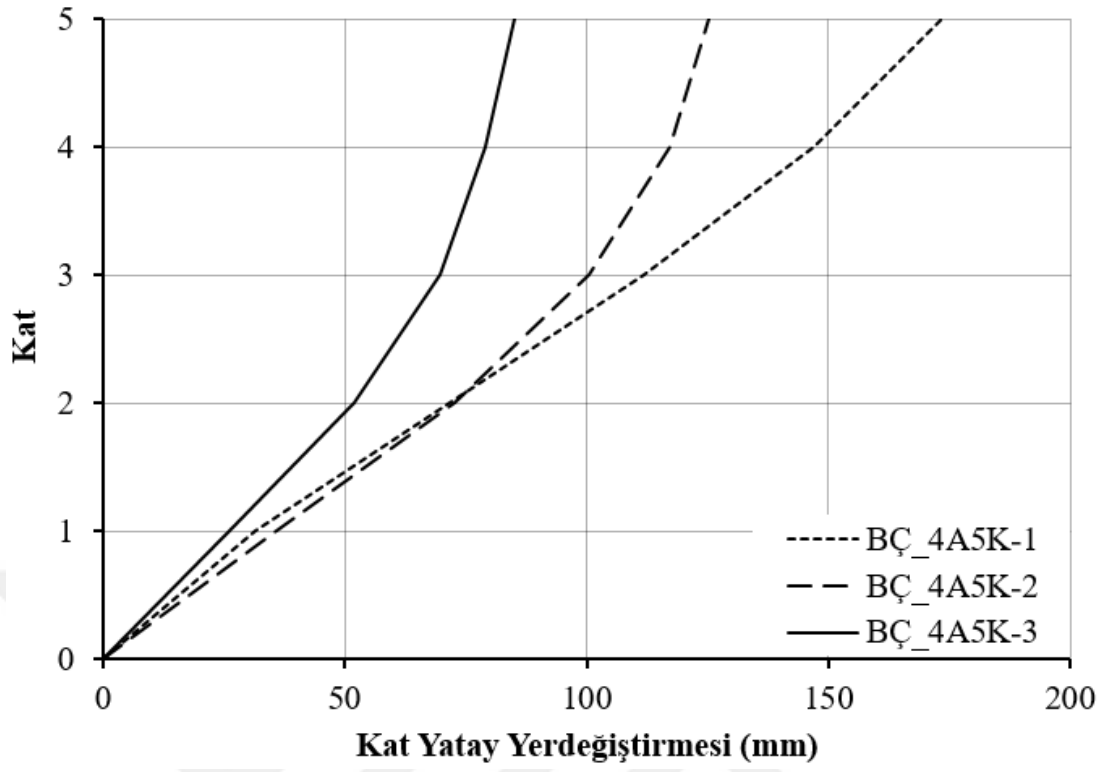




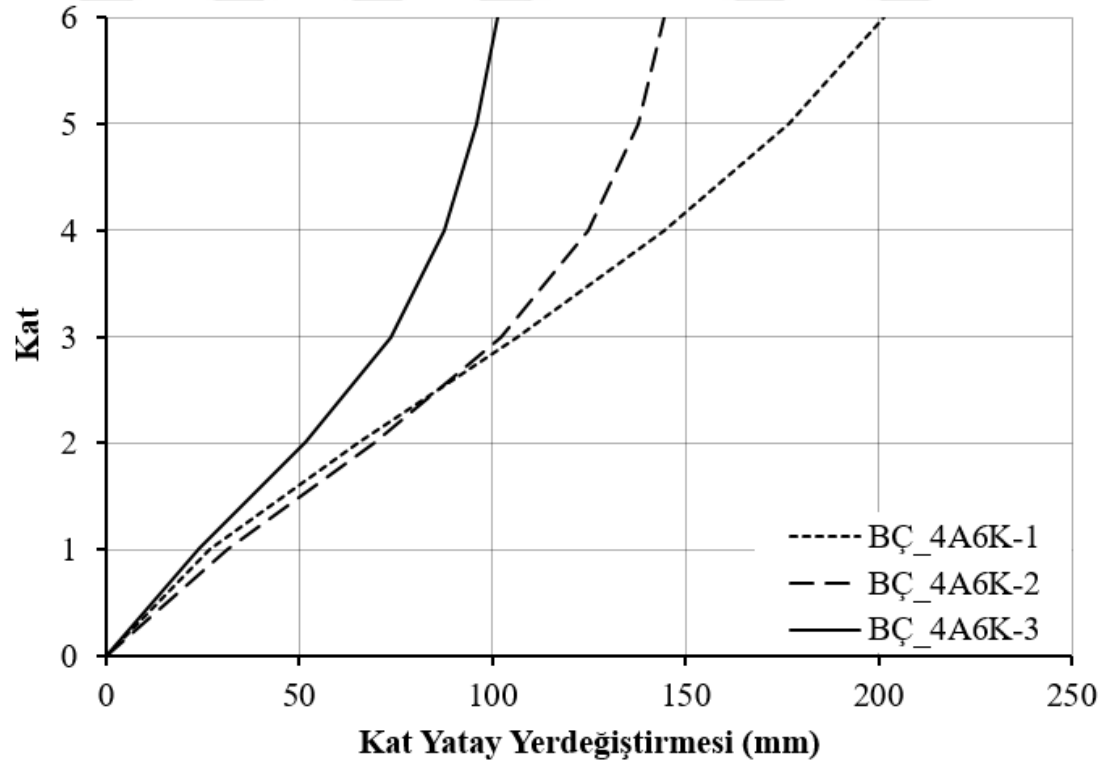
Şekil 5.52 Dört açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.



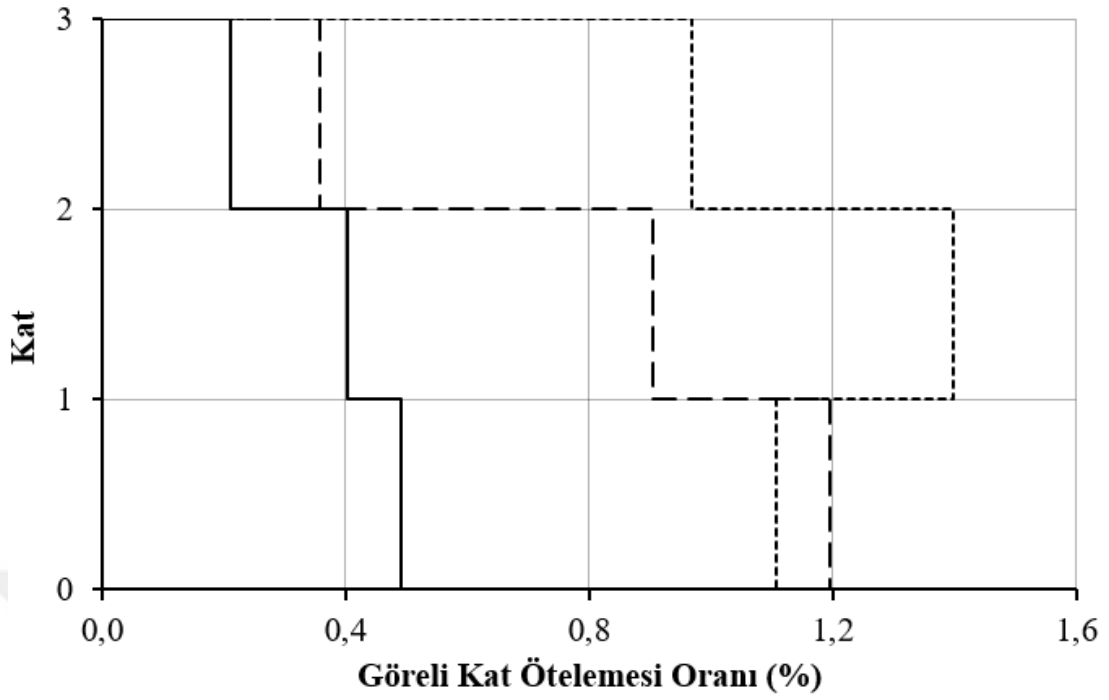
Şekil 5.53 Dört açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.



Şekil 5.54 Dört açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.

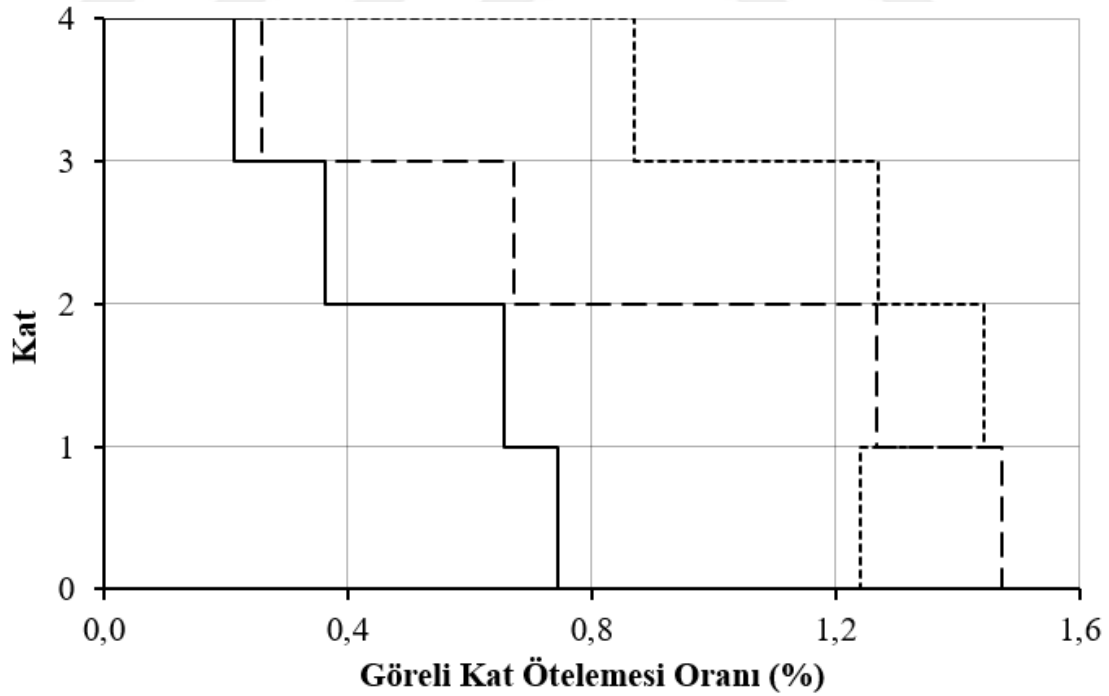


Şekil 5.55 Dört açıklıklı altı katlı betonarme çerçevelerin yatay yerdeğiştirme profilleri.



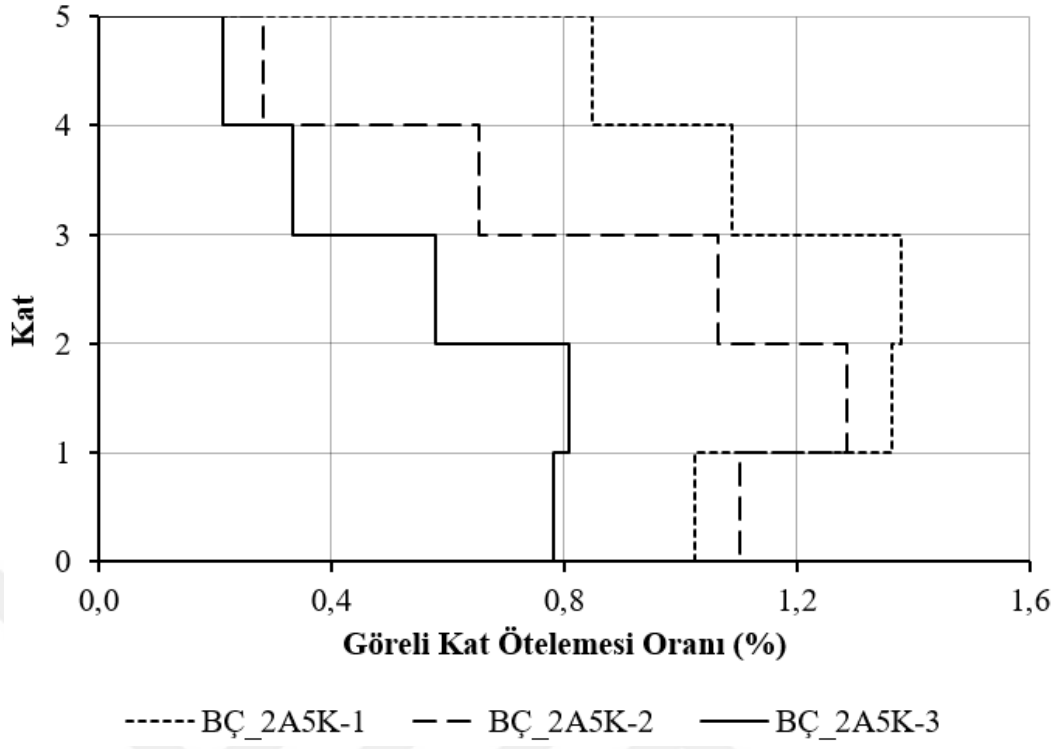
-----BÇ_2A3K-1 - - BÇ_2A3K-2 — BÇ_2A3K-3

Şekil 5.56 İki açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin görel kat öteleme oranları.

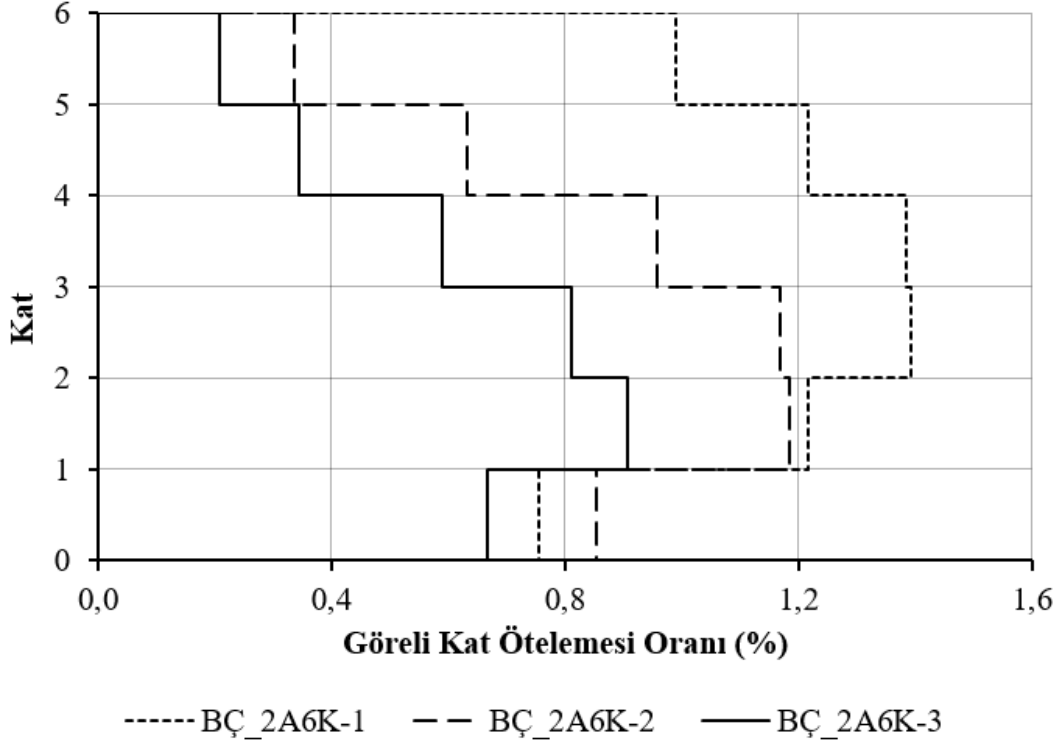


-----BÇ_2A4K-1 - - BÇ_2A4K-2 — BÇ_2A4K-3

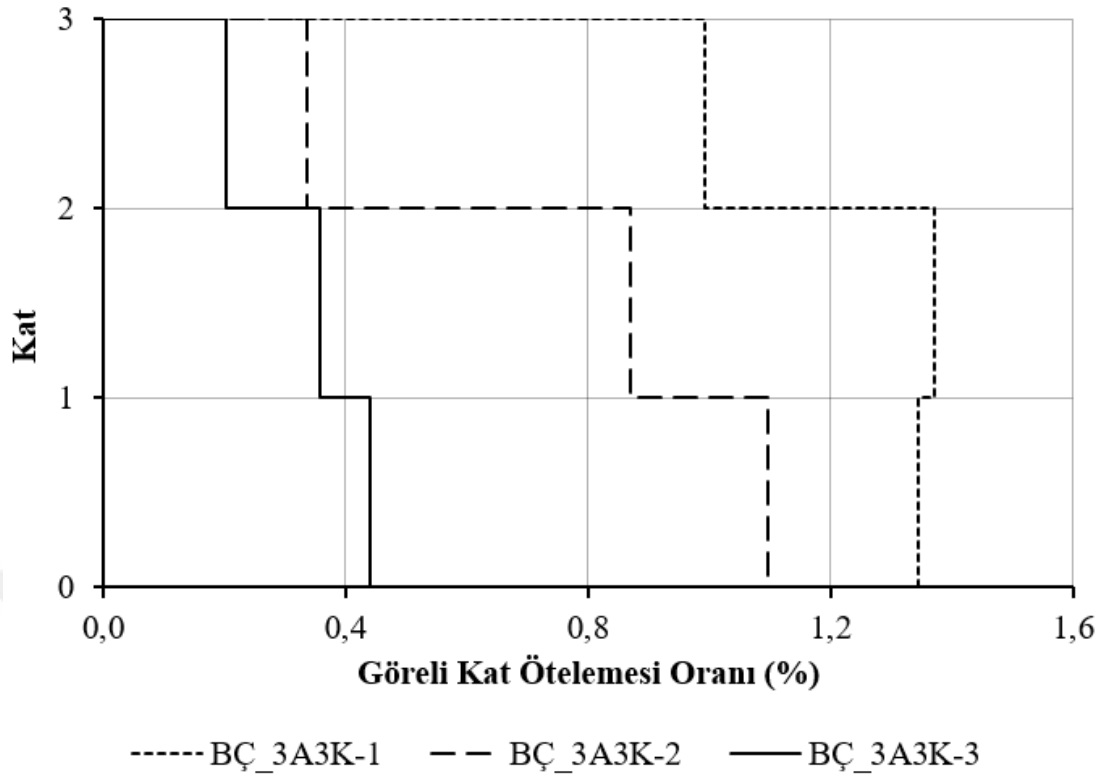
Şekil 5.57 İki açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin görel kat öteleme oranları.



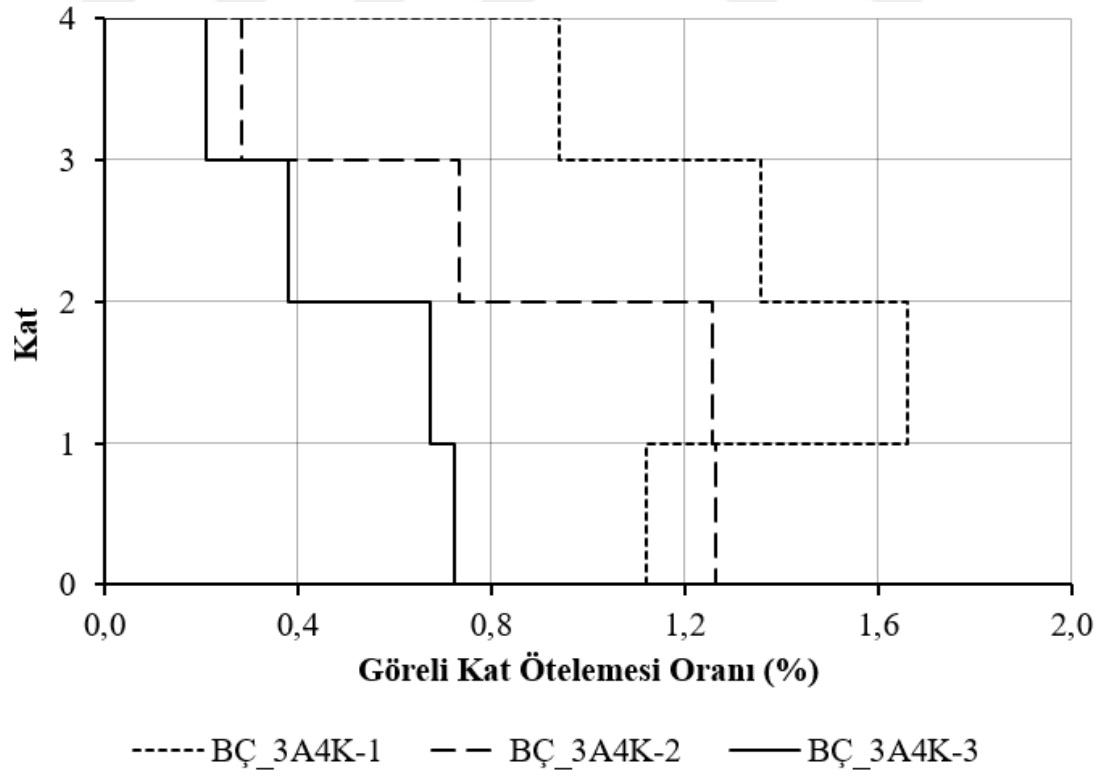
Şekil 5.58 İki açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin görelî kat ötelemesi oranları.



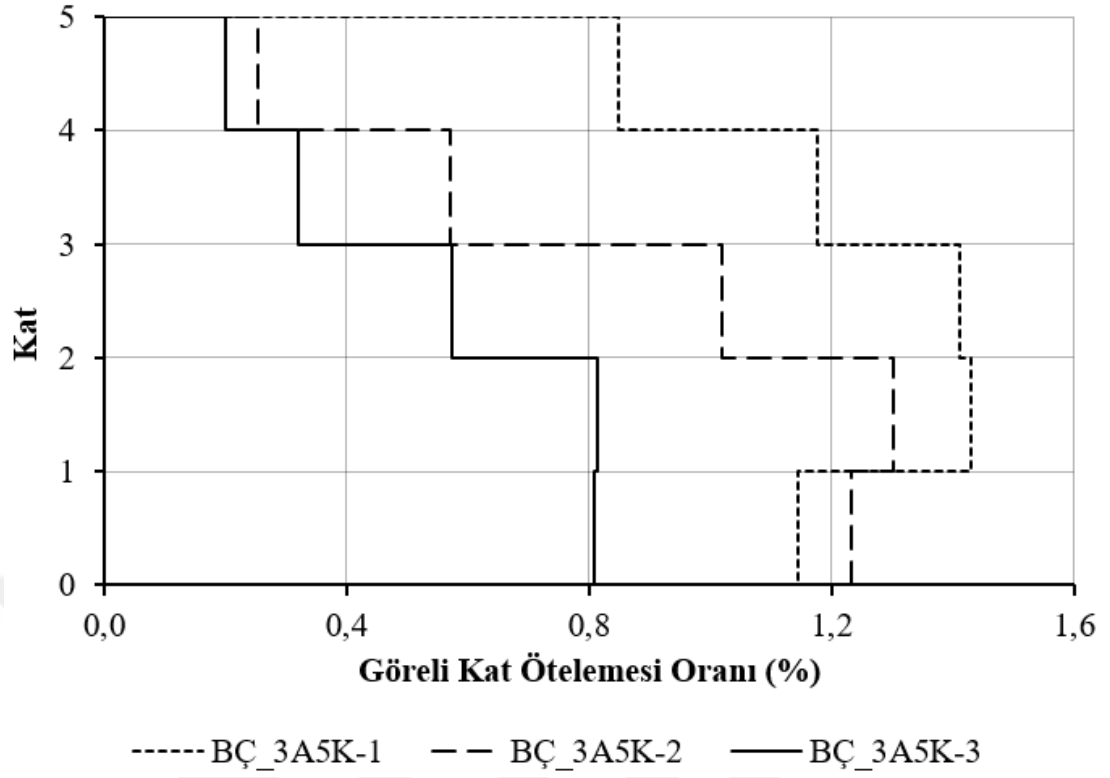
Şekil 5.59 İki açıklıklı altı katlı betonarme çerçevelerin görelî kat ötelemesi oranları.



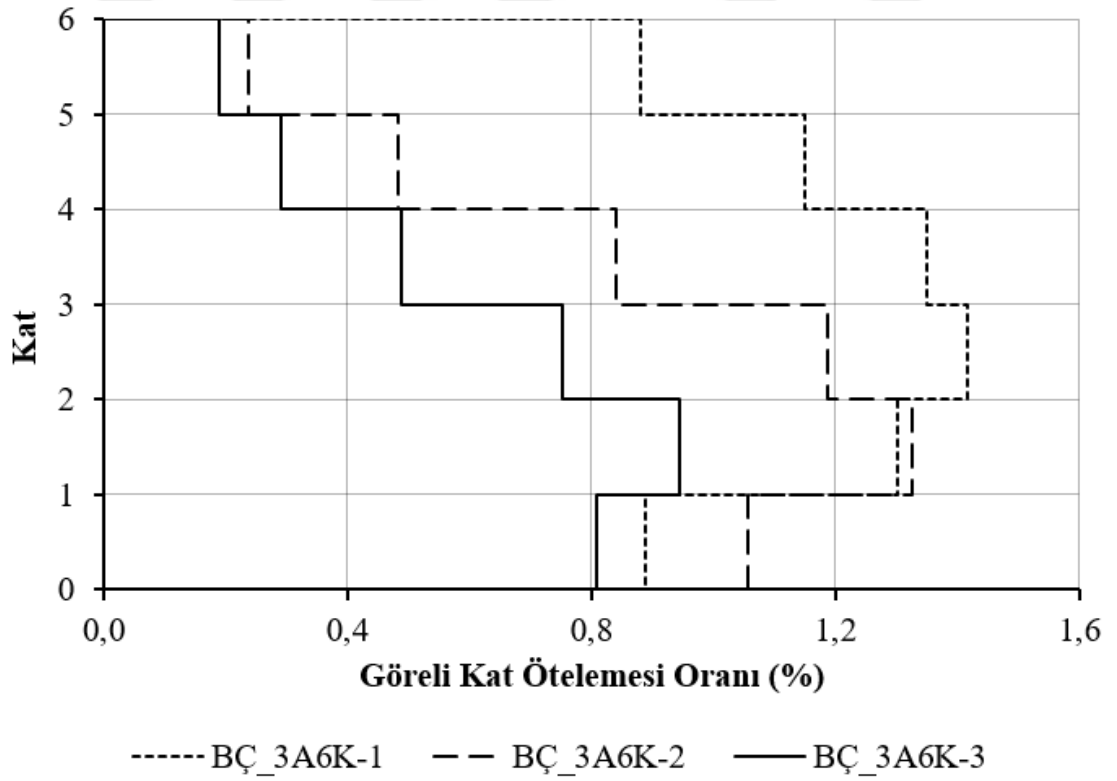
Şekil 5.60 Üç açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin görelî kat ötelemesi oranları.



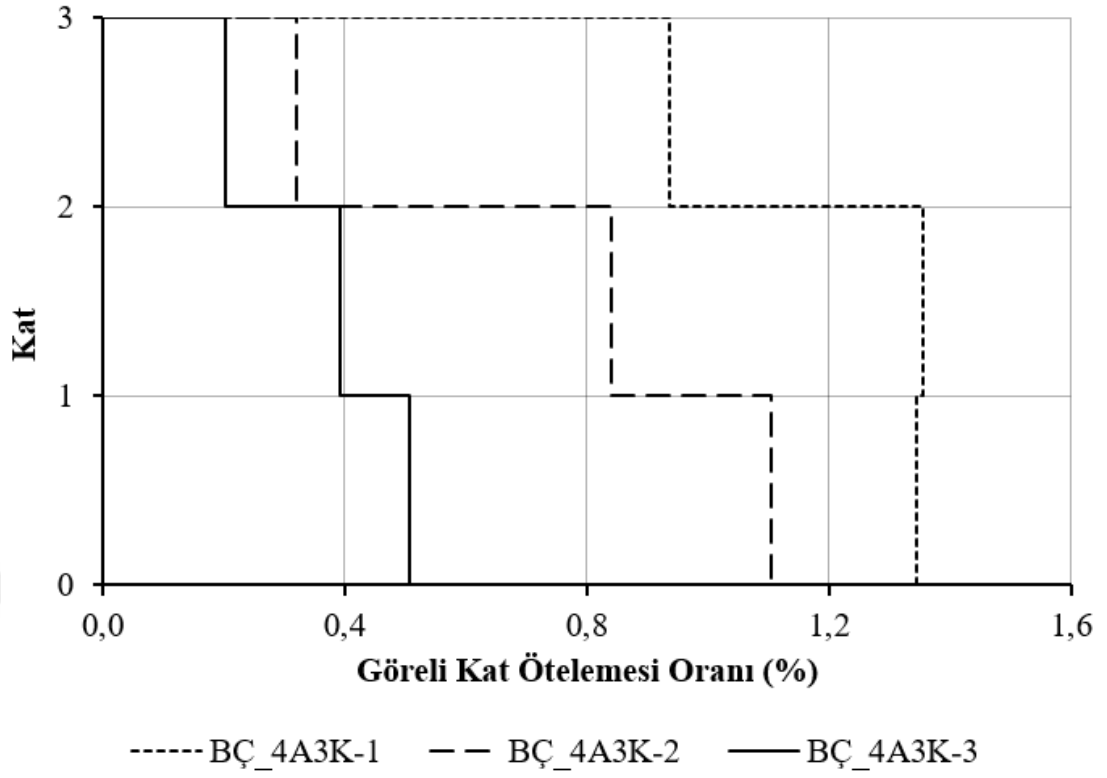
Şekil 5.61 Üç açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin görelî kat ötelemesi oranları.



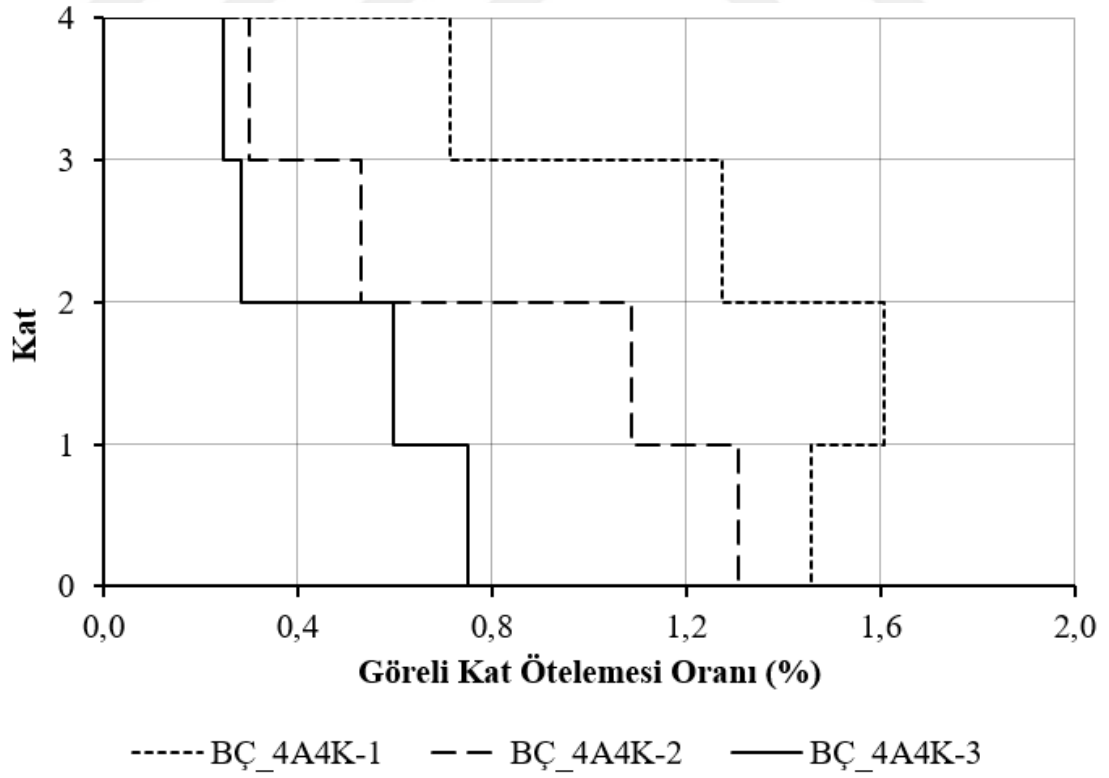
Şekil 5.62 Üç açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin görelî kat ötelemesi oranları.



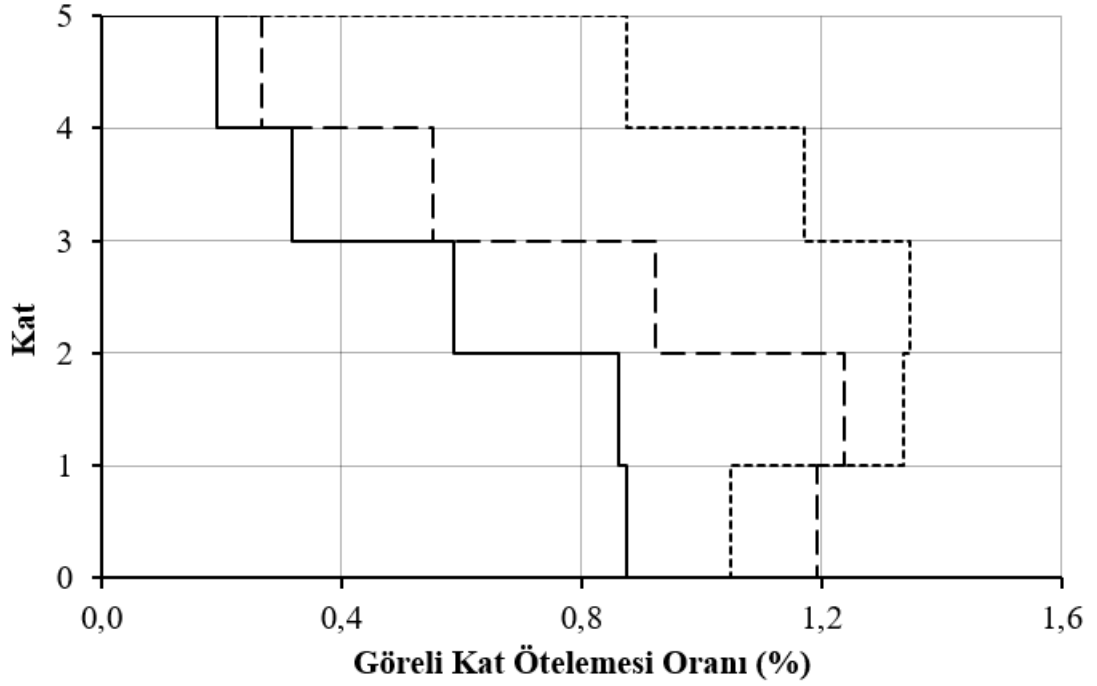
Şekil 5.63 Üç açıklıklı altı katlı betonarme çerçevelerin görelî kat ötelemesi oranları.



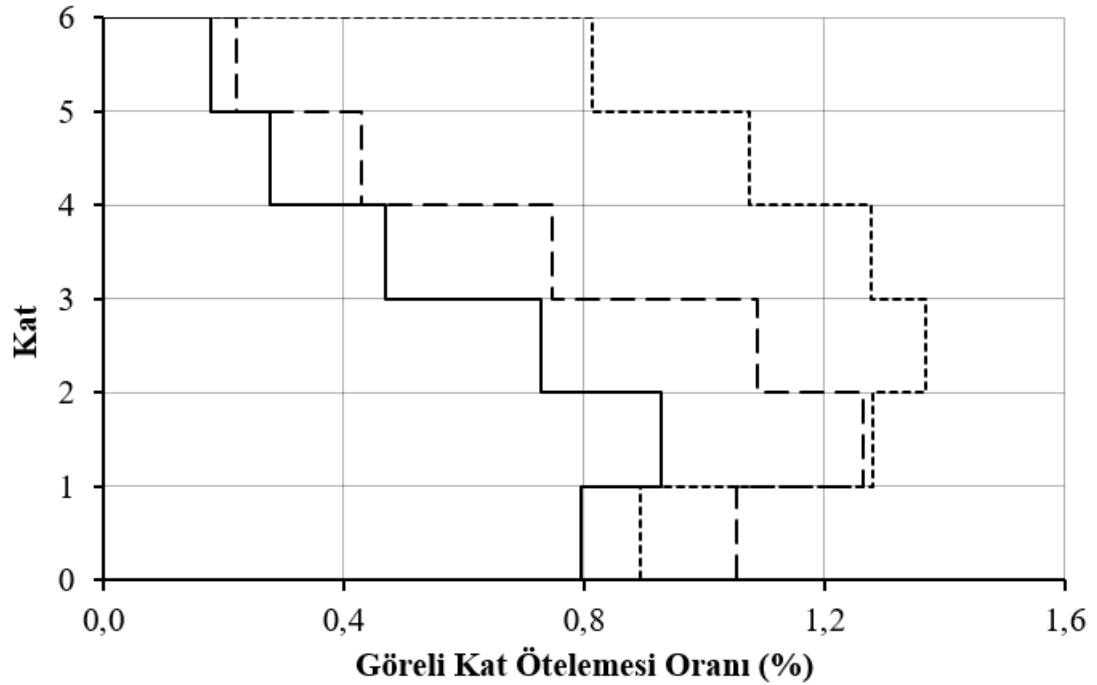
Şekil 5.64 Dört açıklıklı üç katlı betonarme çerçevelerin görel kat öteleme oranları.



Şekil 5.65 Dört açıklıklı dört katlı betonarme çerçevelerin görel kat öteleme oranları.



Şekil 5.66 Dört açıklıklı beş katlı betonarme çerçevelerin görel kat öteleme oranları.



Şekil 5.67 Dört açıklıklı altı katlı betonarme çerçevelerin görel kat öteleme oranları.

Tepe yerdeğiştirmesi istemlerine kadar itilen boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin, ilk katlarındaki dolgu duvarların tamamı yük taşıma kapasitelerine ulaşmış ve duvarlar devre dışı kalmıştır. Bu yüzden, boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin ilk katlarının yatay yerdeğiştirmeleri ve buna bağı olarak görel kat ötelemeleri, dolgu duvarsız çerçevelerinkiler ile yakın elde edilmiştir. Bu çerçevelerin üst katlarındaki dolgu duvarlar tepe yerdeğiştirmesi isteminde henüz yük kapasitelerine ulaşmadıkları için bulundukları katların yatay rijitliklerini arttırmaya ve yatay yerdeğiştirmeler ile görel kat ötelemelerini sınırlamaya devam etmektedir.

Boşluksuz dolgu duvarlı çerçevelerde ise; duvarların rijitliklerini azaltan kısmi boşluklar bulunmadığı için, yük taşıma kapasiteleri boşluklu dolgu duvarlara göre daha fazladır. Buna bağı olarak, tepe yerdeğiştirmesine kadar itilen boşluksuz dolgu duvarlı çerçevelerin ilk katlarındaki tüm dolgu duvarlar yük taşıma kapasitelerine ulaşmamış ve katların rijitliklerini dolgu duvarsız ve boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerinkine göre daha yüksek tutmaya devam etmişlerdir. Analizler sonucunda, bu çerçevelerin kat yatay yerdeğiştirmeleri ve görel kat ötelemeleri diğr çerçevelere göre daha az elde edilmiştir.

Dolgu duvarların ve düzlemlerinde bulunan kısmi boşlukların, çerçevelerin analiz modeline tanımlanmasıyla değışkenlik gösteren bir başka parametre ise, betonarme elemanlarda oluşan plastik şekil değıştirmelerdir. Tablo 5.48’de model olarak seçilen çerçevelerin en büyük plastik dönmeye sahip kiriş uçlarının, tepe yerdeğiştirmesi istemindeki plastik dönme değışerleri verilmiştir. Dolgu duvar durumuna göre en büyük plastik dönmenin bulunduğu bölge modeller arasında farklılık gösterdiğinden, dolgu duvarsız modeldeki en büyük plastik dönmeye sahip kiriş ucu tespit edilmiş; boşluklu dolgu duvarlı ve boşluksuz dolgu duvarlı modellerde bu kirişin plastik dönme değışerleri okunmuştur. Artımsal itme analizinde, çerçevedeki dolgu duvar durumun değışmesi ile birlikte, betonarme elemanların kesitlerinin plastikleşme sırasında önemli bir değışme gözlenmemiştir.

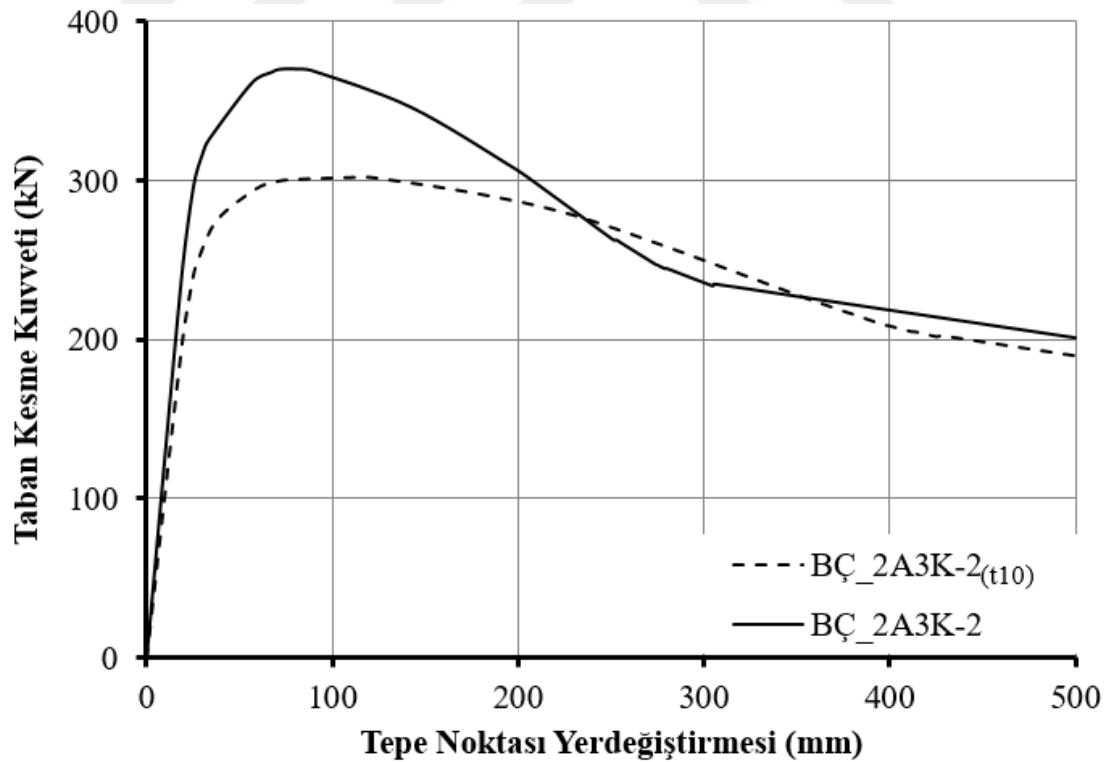
Tablo 5.48 Çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemindeki en büyük plastik dönmeye sahip kiriş ucundaki plastik dönme değerleri

Çerçeve		Plastik Dönme ($\times 10^{-3}$ radyan)		
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Dolgu Duvarsız	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı	Boşluksuz Dolgu Duvarlı
2	3	12,03	10,25	3,09
	4	12,24	6,63	1,36
	5	11,68	9,52	3,55
	6	12,29	7,93	3,26
3	3	13,18	9,11	1,78
	4	13,36	8,15	2,04
	5	12,25	9,53	3,85
	6	11,99	7,89	2,97
4	3	13,29	8,42	2,79
	4	13,90	11,13	5,77
	5	10,89	7,46	3,80
	6	11,57	7,45	2,98

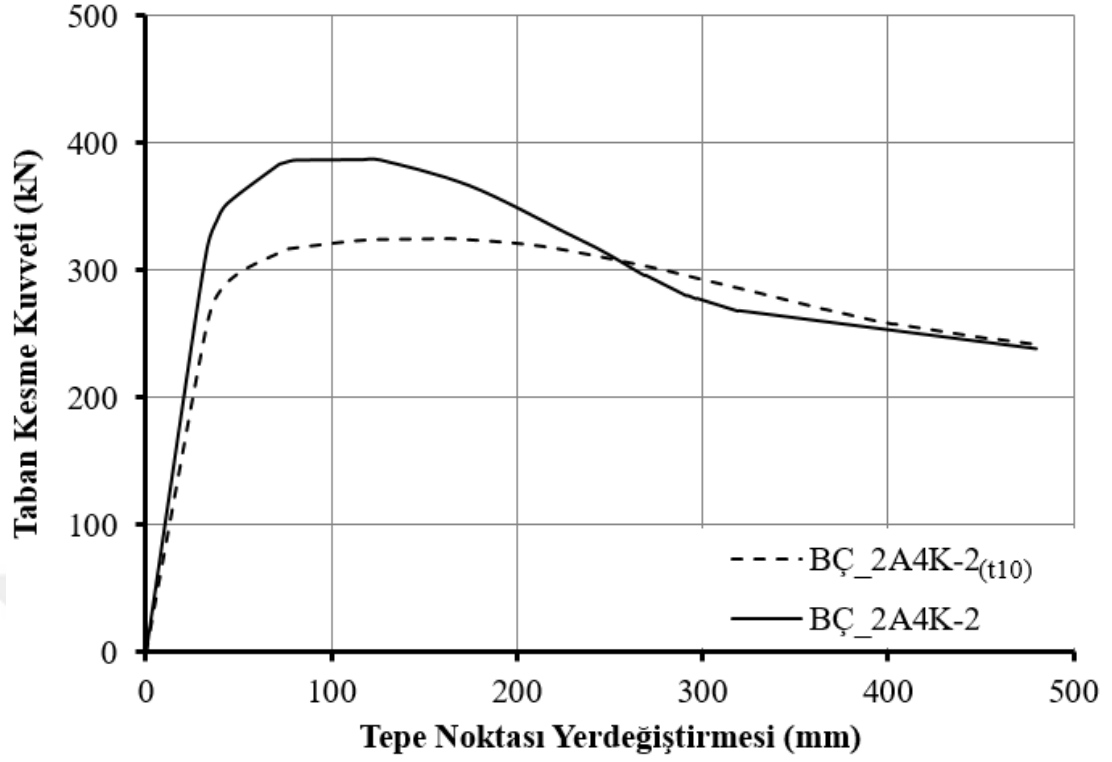
Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi, dolgu duvarsız çerçevelerin kirişlerinde bulunan plastik dönmeler diğer iki tip çerçeveye göre daha yüksek değerlere sahiptir. Tespit edilen bu sonuç, dolgu duvarların kirişlerde hasar seviyelerini düşürmede etkili olduğunu göstermiştir. Dolgu duvar düzleminde bulunan kısmi boşluklar ise dolgu duvarın bu etkisini azaltmaktadır.

5.4 Dolgu Duvar Kalınlığının Kısmi Boşluklu Betonarme Çerçeveslerin Doğrusal Olmayan Davranışına Etkisi

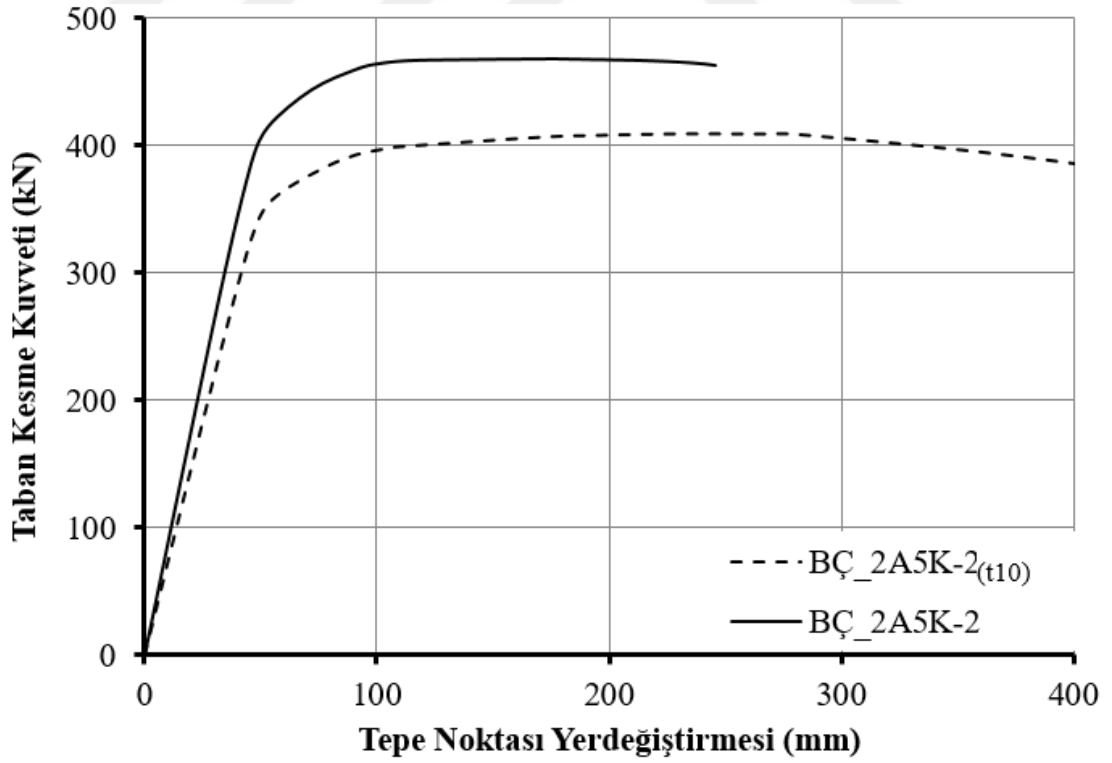
Dolgu duvar kalınlığının betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan davranışına etkisinin incelenmesi için; 20 cm kalınlığında boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin tüm özellikleri aynı bırakılarak; 10 cm dolgu duvar kalınlığı ile modellenmiştir. Çerçevelerin açıklıklarında dolgu duvarları temsil etmek amacıyla tanımlanan eşdeğer basınç çubuklarının genişlikleri için Tablo 5.38 ve Tablo 5.39’de bulunan değerler kullanılmıştır. Bu eşdeğer basınç çubuklarının orta noktalarına, tıpkı 20 cm kalınlığında dolgu duvara sahip çerçevelerde yapıldığı gibi, Şekil 3.12’deki model esas alınarak; yığılı plastik davranışı temsil eden plastik kesitler tanımlanmıştır. Çerçevelerin hesap modelleri oluşturulduktan sonra Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile itme analizleri gerçekleştirilmiş ve itme eğrileri elde edilmiştir. Bu itme eğrileri Şekil 5.68 - Şekil 5.79’da 20 cm kalınlığındaki dolgu duvarlara sahip çerçevelerin kapasite diyagramları ile aynı grafiklerde çizilmiştir.



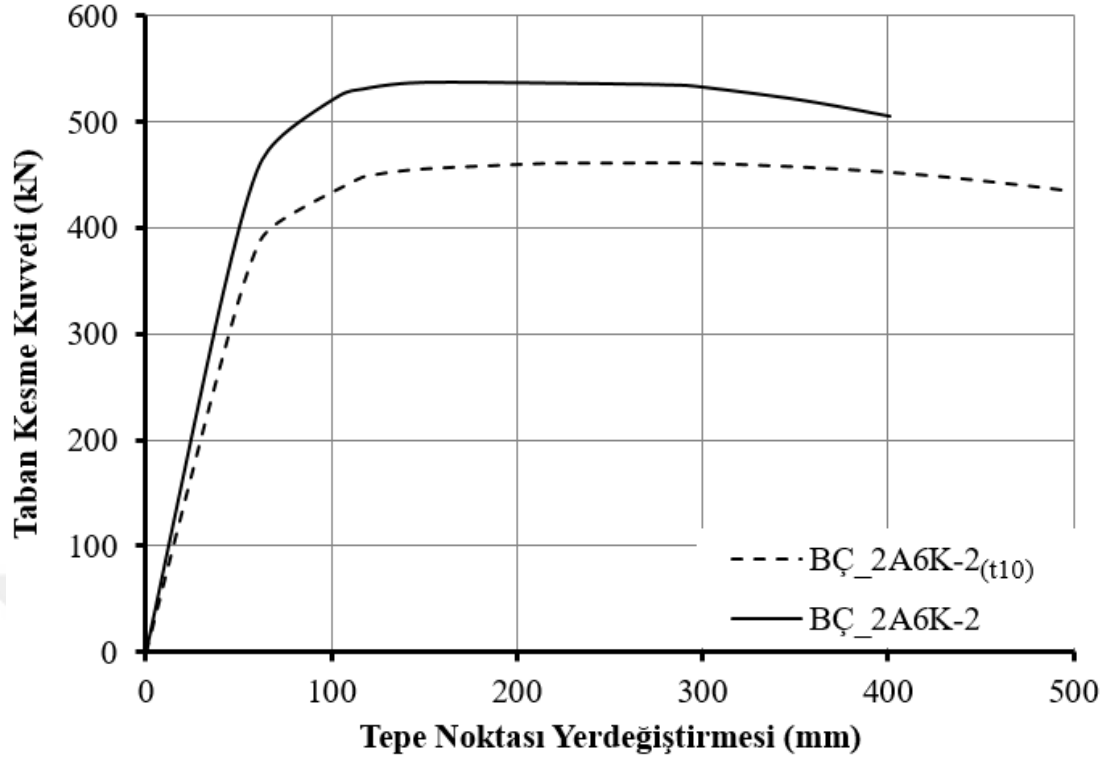
Şekil 5.68 İki açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri.



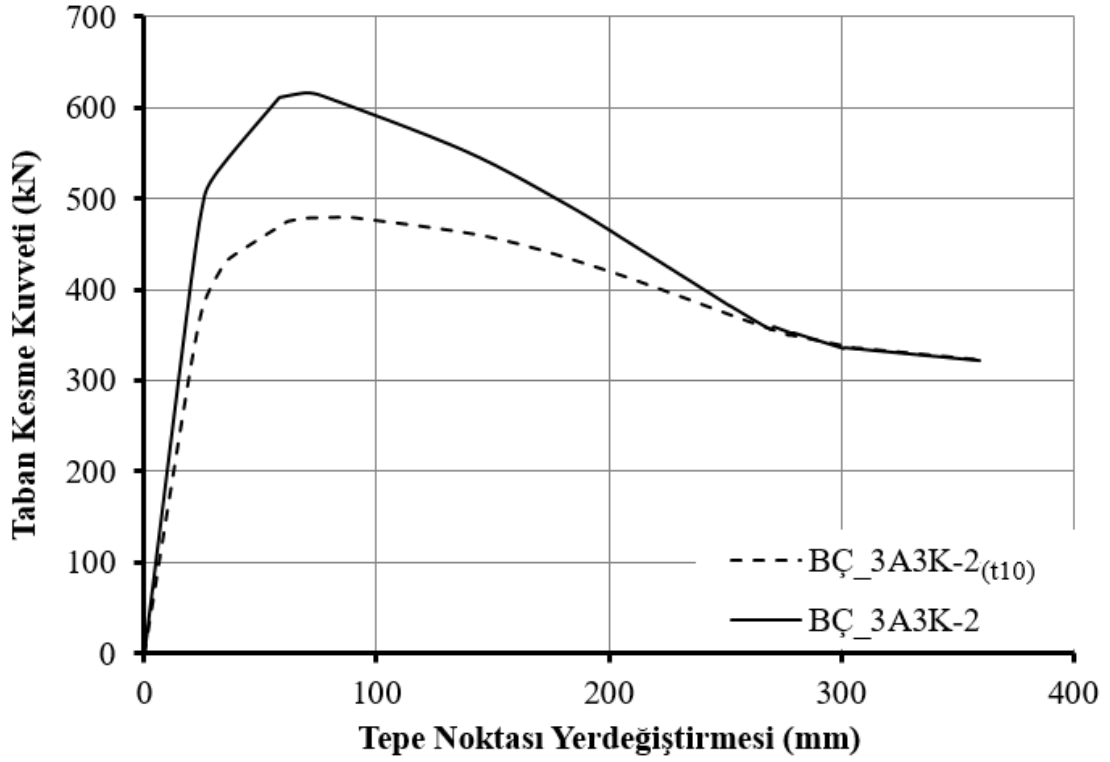
şekil 5.69 İki açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri.



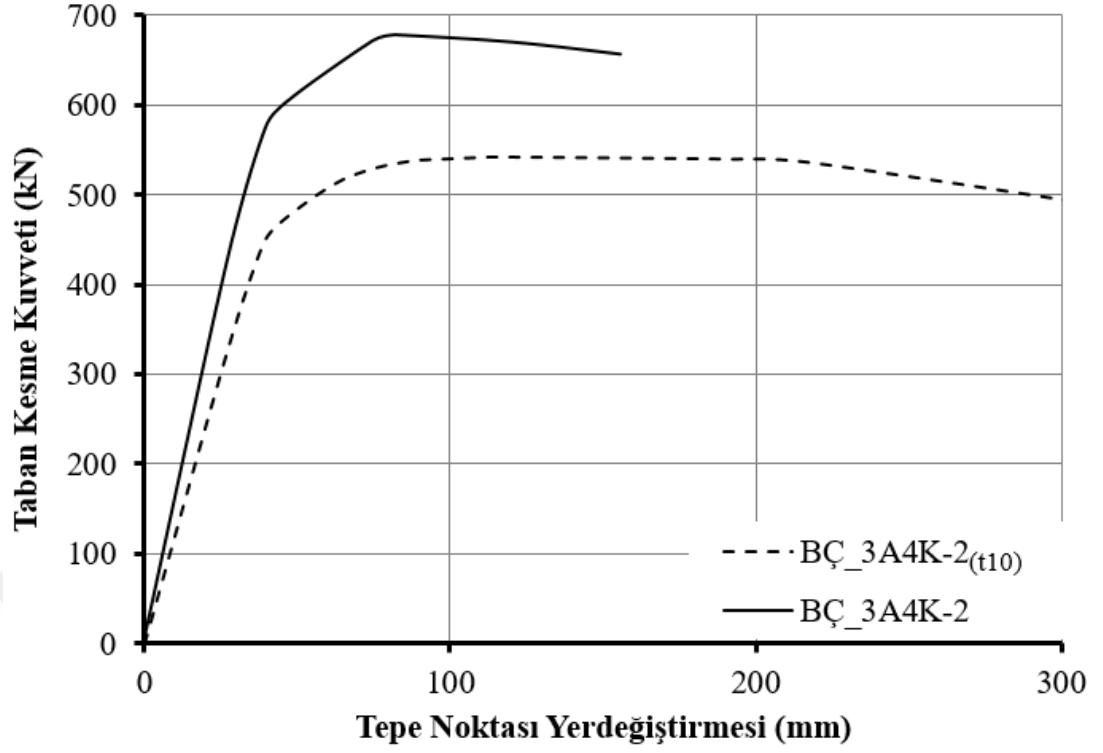
şekil 5.70 İki açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri.



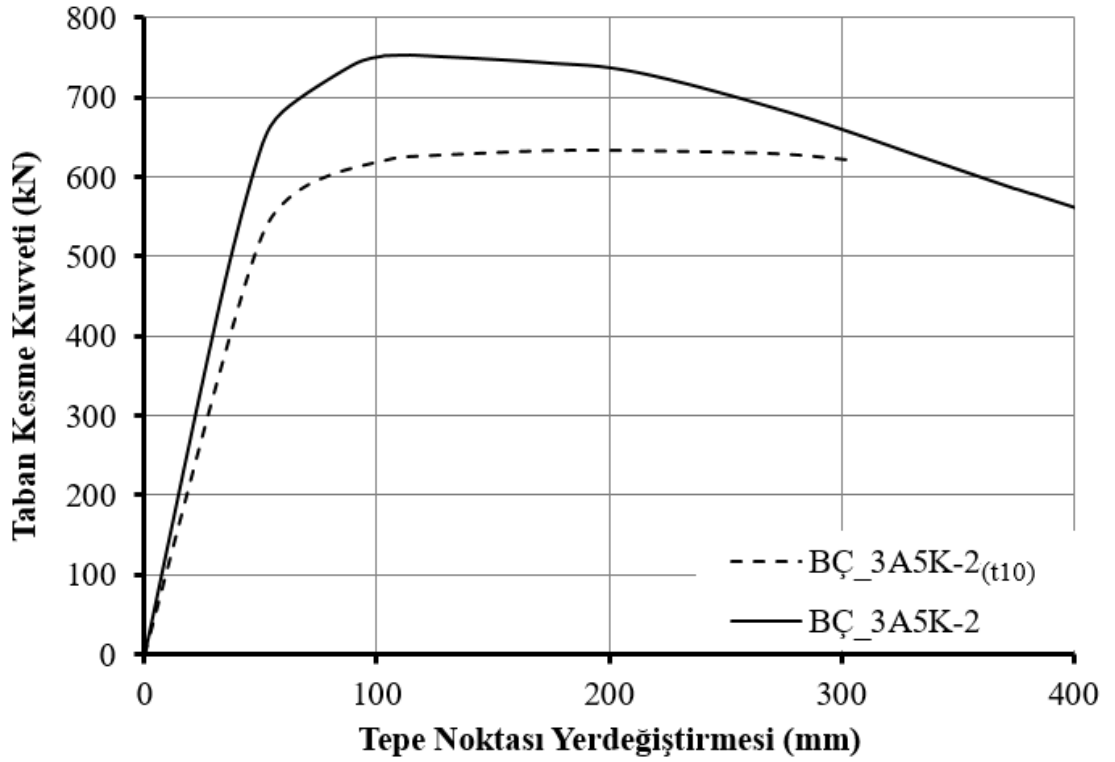
şekil 5.71 İki açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri.



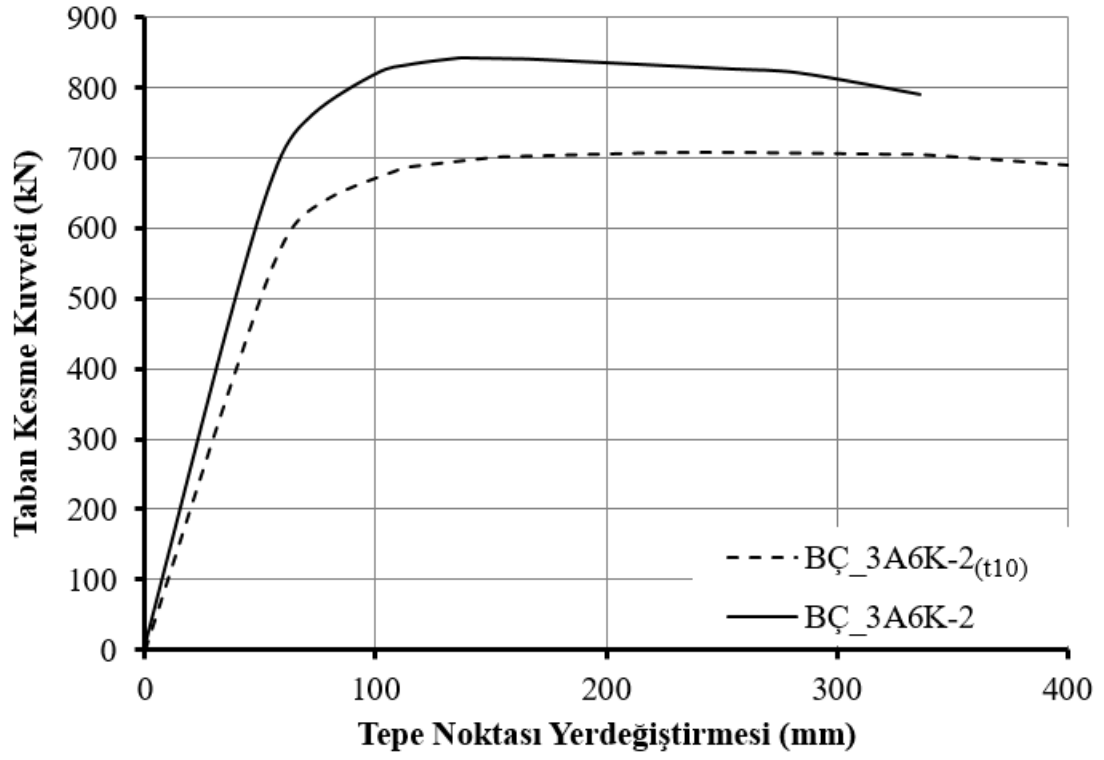
şekil 5.72 Üç açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri.



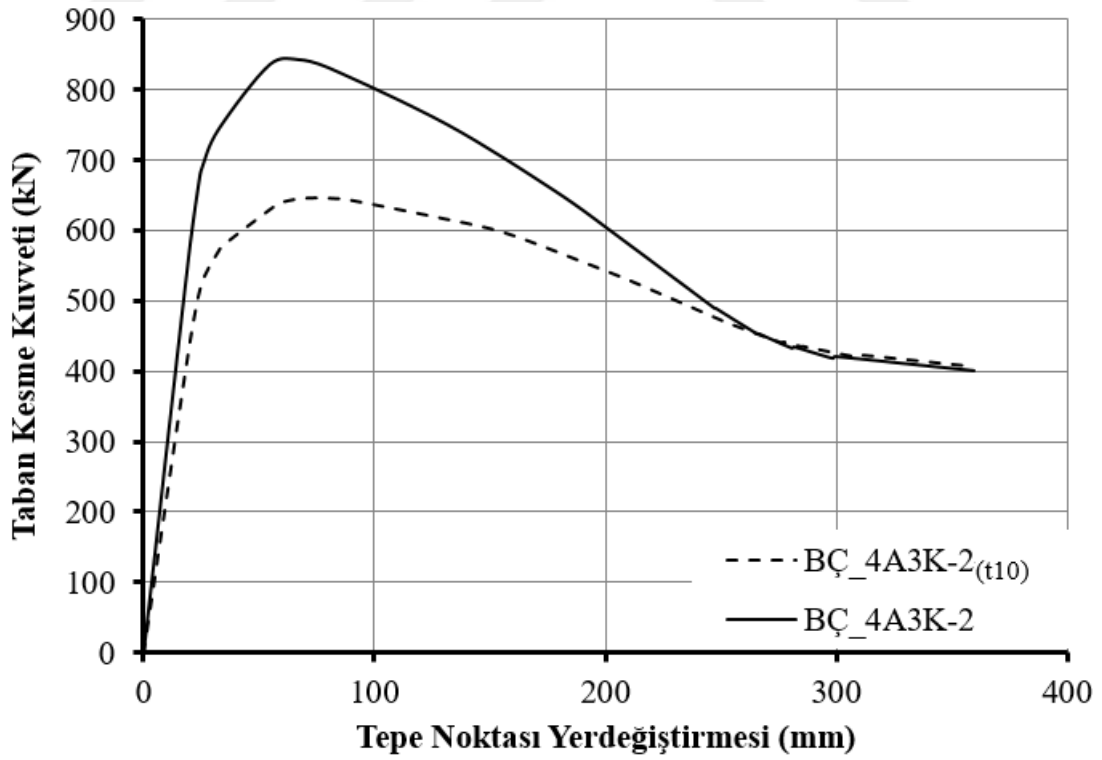
şekil 5.73 Üç açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri.



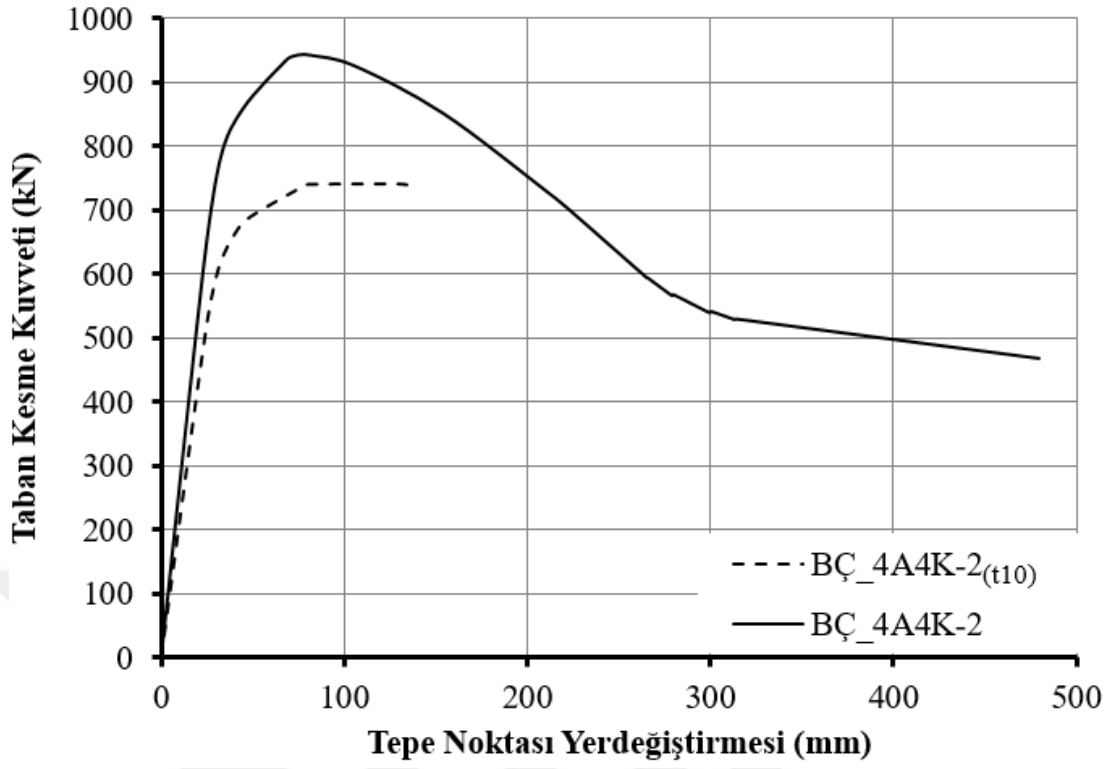
şekil 5.74 Üç açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri.



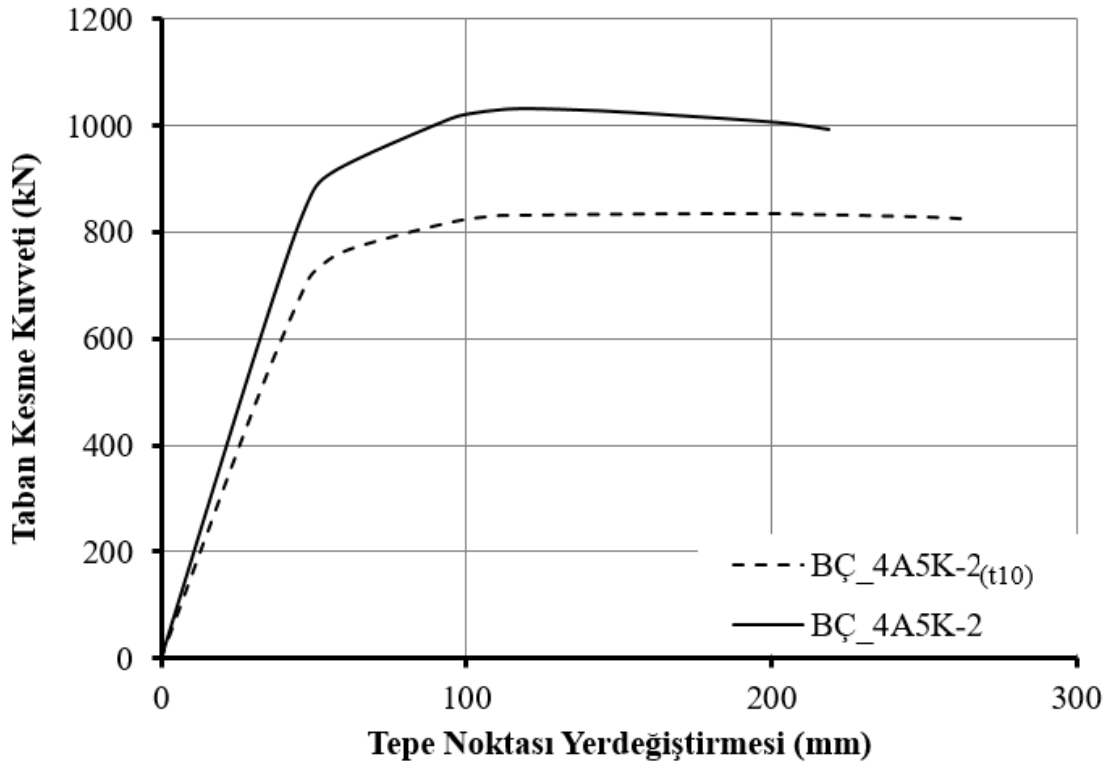
şekil 5.75 Üç açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri.



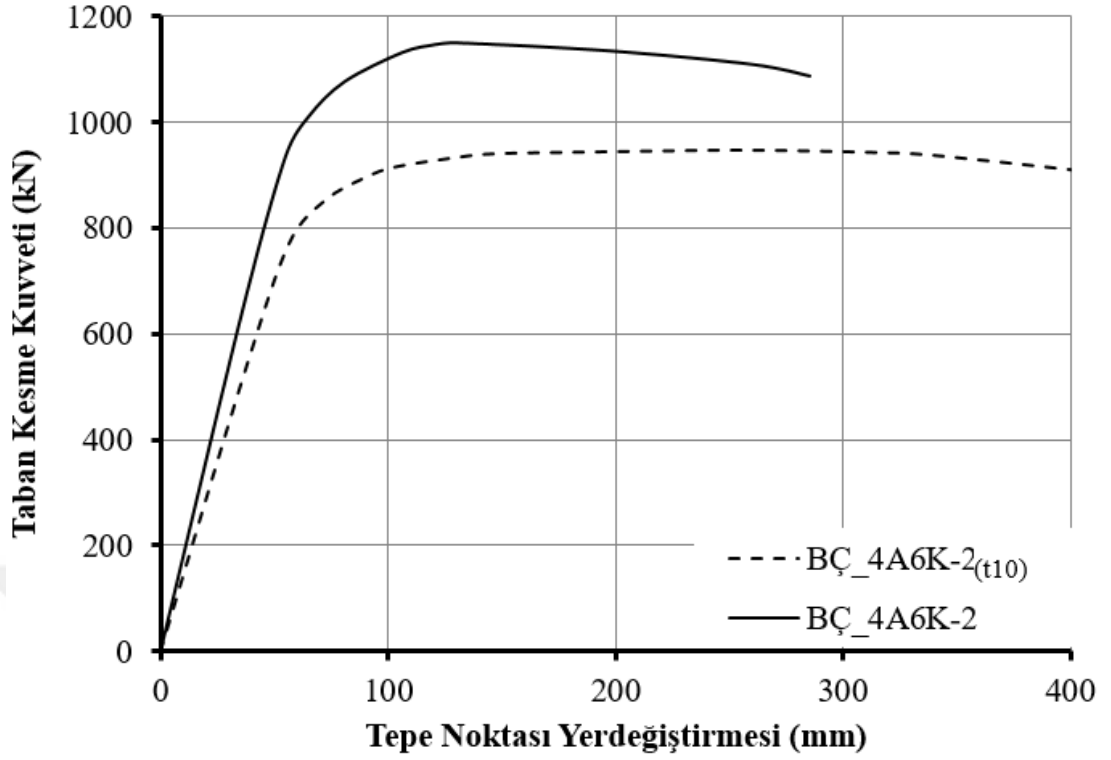
şekil 5.76 Dört açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri.



şekil 5.77 Dört açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri.



şekil 5.78 Dört açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri.



şekil 5.79 Dört açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı duvar kalınlıkları için elde edilen itme eğrileri.

İtme eğrilerinin doğrusal kısımlarının, 20 cm kalınlığında dolgu duvara sahip çerçevelerde, 10 cm kalınlığında dolgu duvara sahip çerçevelere göre düşeye daha yakın olması; bu çerçevelerin başlangıç rijitliğinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Farklı dolgu duvar kalınlığına sahip bu çerçevelerin yatay yük taşıma Tablo 5.49’da sunulmuştur. Dolgu duvar kalınlığının, çerçevelerin yük taşıma kapasitelerine etkisini daha net görebilmek adına duvar kalınlığı 20 cm olan çerçevelerin yük taşıma kapasiteleri, duvar kalınlığı 10 cm olan çerçevelerin yük taşıma kapasiteleri cinsinden verilmiştir.

Tablo 5.49’da görüldüğü üzere 20 cm kalınlıklı dolgu duvarlı çerçevelerin yük taşıma kapasiteleri 10 cm kalınlıklı çerçevelerin yük taşıma kapasitelerinin ortalama 1,22 katıdır. Dolgu duvar kalınlığının yük taşıma kapasitesine etkisi, kat sayısı arttıkça azaldığı, açıklık sayısı arttıkça arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 5.49 Farklı dolgu duvar kalınlığına sahip çerçevelerin yatay yük kapasiteleri

Çerçeve		Yatay Taşıma Kapasitesi (kN)	
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı ($t_{inf}=10$ cm)	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı ($t_{inf}=20$ cm)
2	3	302	$1,22 \cdot 302$
	4	325	$1,19 \cdot 325$
	5	409	$1,14 \cdot 409$
	6	461	$1,16 \cdot 461$
3	3	479	$1,29 \cdot 479$
	4	541	$1,26 \cdot 541$
	5	634	$1,19 \cdot 634$
	6	708	$1,18 \cdot 708$
4	3	647	$1,31 \cdot 647$
	4	741	$1,27 \cdot 641$
	5	835	$1,24 \cdot 835$
	6	947	$1,22 \cdot 947$

20 cm ve 10 cm kalınlığında dolgu duvarlara sahip çerçevelerin akma noktasındaki tepe noktası yerdeğiştirmesinin (δ_y) çerçeve yüksekliğine (H) oranı Tablo 5.50’de, taban kesme kuvvetinin (V_y) çerçeve ağırlığına (W) oranı olan taban kesme kuvveti katsayısı ise Tablo 5.51’de sunulmuştur. Farklı dolgu duvar kalınlıklarına sahip boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin Tablo 5.30 da bulunan periyotları ile Tablo 5.42 ve Tablo 5.51’de sunulan taban kesme kuvveti katsayıları, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (BİB, 2007)’e göre tasarımı esas alınan ve periyoda göre değişen taban kesme kuvveti katsayıları ile kıyaslanmak üzere Şekil 5.80’deki grafik üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5.50 Farklı dolgu duvar kalınlığına sahip çerçevelerin akma noktasındaki tepe yerdeğiştirmesinin çerçeve yüksekliğine oranı

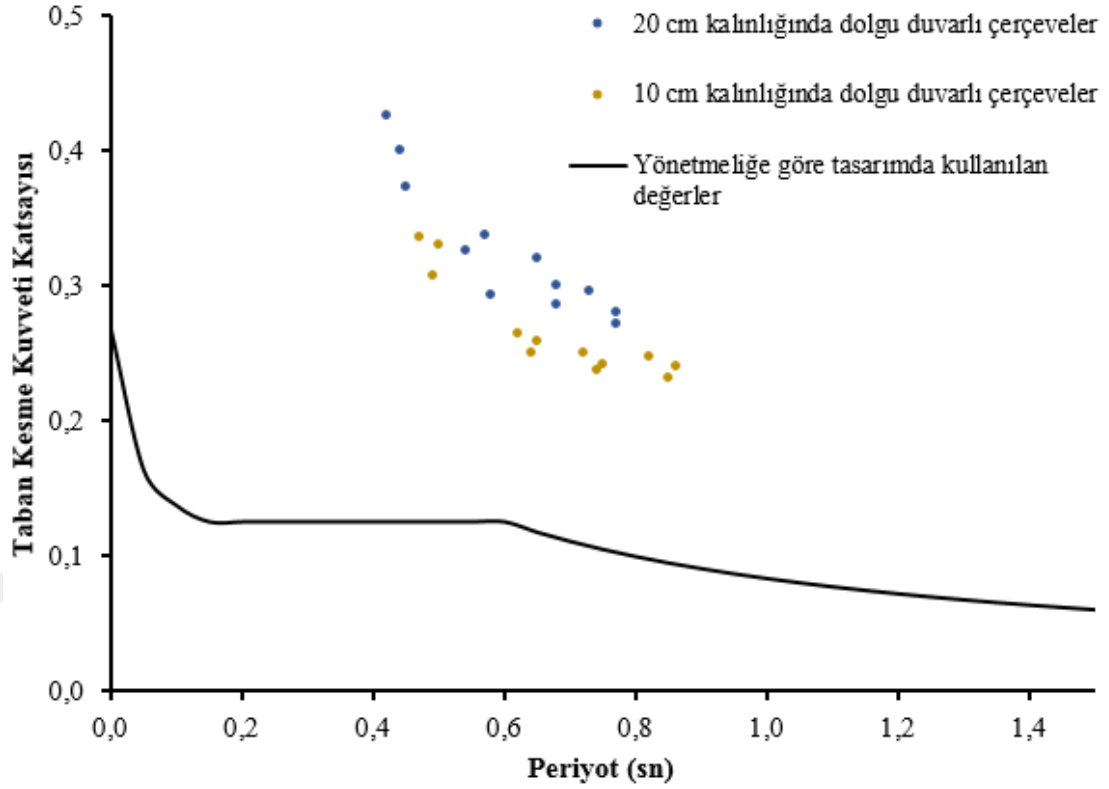
Çerçeve		$\frac{\delta_y}{H} \cdot 10^{-3}$	
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı ($t_{inf}=10$ cm)	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı ($t_{inf}=20$ cm)
2	3	5,33	5,44
	4	5,50	4,25
	5	5,47	4,40
	6	5,22	4,72
3	3	6,67	4,89
	4	4,48	5,17
	5	4,27	5,00
	6	4,22	5,06
4	3	5,22	4,33
	4	5,00	4,50
	5	5,40	5,07
	6	5,28	4,50

Aynı kat ve açıklığa sahip çerçeveler için; akma noktasındaki δ_y/H oranı farklı dolgu duvar kalınlıklarına göre belli bir düzen içerisinde değişim göstermemiştir. Bunun sebebi dolgu duvarın kalınlığının artması sonucunda; itme eğrisinin doğrusallıktan ilk ayrıldığı noktayla akma noktası arasındaki yerdeğiştirme değerinin uzaması ve çerçevenin başlangıç rijitliğinin artmasından kaynaklı akma noktası yerdeğiştirmesinin azalması durumlarının herhangi birinin diğere baskın gelmemesidir.

Tablo 5.51 Farklı dolgu duvar kalınlığına sahip çerçevelerin akma noktasındaki taban kesme kuvveti katsayısı

Çerçeve		Akma Noktasındaki Taban Kesme Kuvveti Katsayısı	
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı ($t_{inf}=10$ cm)	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı ($t_{inf}=20$ cm)
2	3	0,308	0,374
	4	0,251	0,293
	5	0,238	0,286
	6	0,232	0,272
3	3	0,331	0,401
	4	0,260	0,338
	5	0,242	0,301
	6	0,241	0,281
4	3	0,337	0,426
	4	0,265	0,327
	5	0,251	0,321
	6	0,248	0,297

Dolgu duvar kalınlığının artmasıyla beraber çerçevelerin başlangıç rijitliklerinin yükselmesinin bir sonucu olarak; görelî olarak kalın dolgu duvara sahip çerçevelerin akma noktasındaki taban kesme kuvveti katsayılarının, ince dolgu duvarlı çerçevelerden elde edilen değerlerin ortalama 1,22 katı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.80 Farklı dolgu duvar kalınlığına sahip çerçevelerin akma noktasındaki taban kesme kuvveti katsayıları ve birinci moda ait periyotları.

Farklı dolgu duvar kalınlığına sahip boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin tümünde, akma noktalarındaki taban kesme kuvveti katsayıları Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (BİB, 2007)'e göre tasarımda kullanılan değerlerden daha yüksek elde edilmiştir. Düzlemlerinde daha kalın dolgu duvar bulunan çerçevelerin akma noktasındaki taban kesme kuvveti katsayıları, ince dolgu duvarlı çerçevelere göre daha yüksek değerlere sahiptir. Ancak çerçevelerin periyotları uzadıkça, dolgu duvarların kalınlık farkından dolayı ortaya çıkan taban kesme kuvveti katsayıları arasındaki farkların da azaldığı gözlemlenmiştir.

Duvar kalınlığı 10 cm olan çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemleri, Bölüm 5.3.2'de duvar kalınlığı 20 cm olan çerçeveler için yapıldığı gibi; Bölüm 4.3'de anlatılan yöntemle göre bulunmuştur. Artımsal itme analizinden elde edilen çerçevelerin itme eğrilerinin modal kapasite diyagramlarına dönüştürülmesi sırasında kullanılan; birinci moda ait etkin kütle (M_1), en üst kattaki birinci moda ait genlik ($\phi_{n,1}$) ve birinci moda ait katkı çarpanı (Γ_1) Tablo 5.52'de verilmiştir. Elde edilen

tepe yerdeğiştirmesi istemleri ve bu yerdeğiştirmelere karşılık gelen taban kesme kuvvetleri Tablo 5.53’de 10 cm ve 20 cm duvar kalınlıklı çerçevesler için sunulmuştur.

Tablo 5.52 10 cm kalınlığında dolgu duvarlara sahip çerçeveslerin itme eğrilerinin modal kapasite diyagramlarına çevrilmesinde kullanılan parametreler

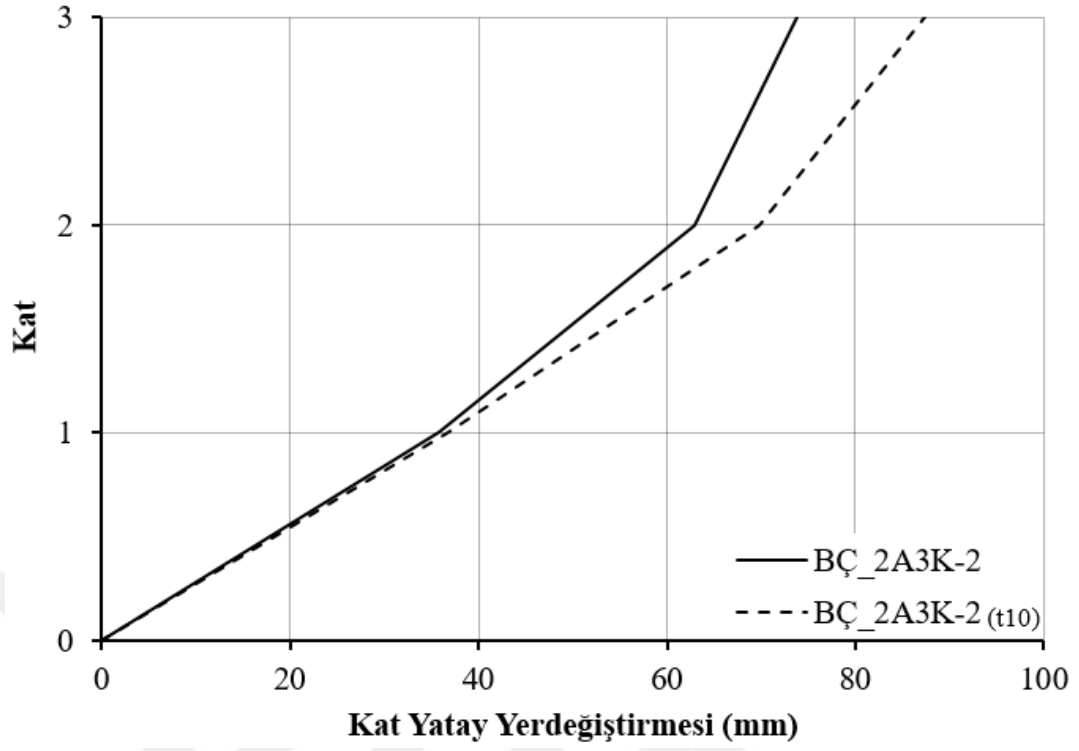
Çerçeve		Parametre		
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	M_1 (ton)	$\phi_{n,1}$ (mm)	Γ_1 (1/mm)
2	3	84,02	13,62	87,39
	4	109,03	12,06	121,23
	5	132,56	10,90	146,73
	6	156,01	9,95	174,40
3	3	130,00	10,93	87,60
	4	171,96	9,70	124,18
	5	204,74	8,76	148,52
	6	241,31	8,00	176,39
4	3	164,82	9,66	83,46
	4	213,83	8,59	116,69
	5	260,50	7,76	140,82
	6	307,05	7,09	166,08

Tablo 5.53 Farklı dolgu duvar kalınlığına sahip çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemleri ve bu yerdeğiştirmelere karşılık gelen taban kesme kuvvetleri

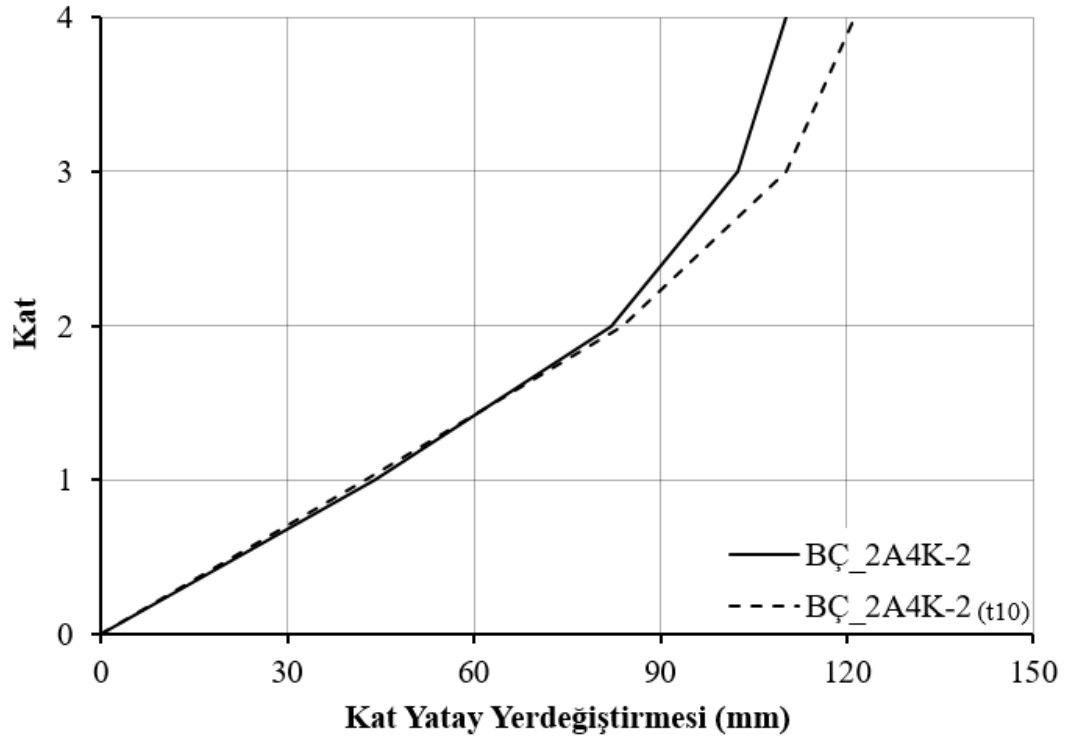
Çerçeve		Tepe Yerdeğiştirmesi İstemi (mm)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı (t _{inf} =10 cm)	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı (t _{inf} =20 cm)	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı (t _{inf} =10 cm)	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı (t _{inf} =20 cm)
2	3	87,39	73,75	301,16	369,85
	4	121,23	110,09	323,99	386,83
	5	146,73	131,72	404,21	467,63
	6	174,40	154,11	457,23	537,02
3	3	87,60	69,11	478,59	616,65
	4	124,18	106,18	540,98	672,93
	5	148,52	131,44	630,30	750,51
	6	176,38	153,89	703,57	842,63
4	3	83,46	69,02	646,19	842,94
	4	116,69	96,81	741,19	930,92
	5	140,82	125,16	833,19	1032,20
	6	166,08	144,25	841,88	1148,43

Aynı yer hareketinin, kalın dolgu duvarlı çerçevelerden talep ettiği yerdeğiştirme, ince dolgu duvarlı çerçevelerden talep ettiği yerdeğiştirmeden daha küçük değerlere sahiptir. Bunun sebebi duvar kalınlığının artmasıyla birlikte çerçevelerin rijitliğini artmasıdır. Yine aynı sebepten dolayı; 20 cm kalınlıklı dolgu duvarlara sahip çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemlerine karşılık gelen taban kesme kuvvetleri, 10 cm kalınlıklı dolgu duvarlara sahip çerçevelere göre büyük elde edilmiştir.

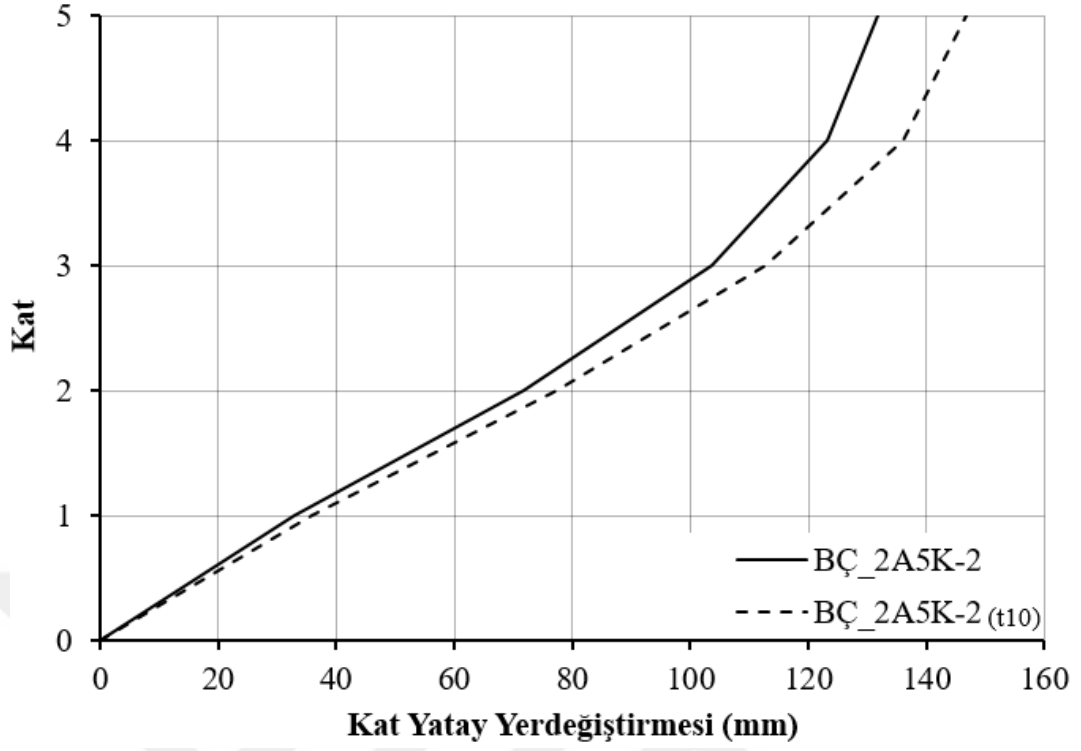
Tepe yerdeğiştirme istemine kadar itilen farklı dolgu duvar kalınlığına sahip çerçevelerin kat yatay yerdeğiştirmeleri Şekil 5.81 - Şekil 5.92’de, görelî kat öteleme oranları Şekil 5.93 - Şekil 5.104’de verilmiştir.



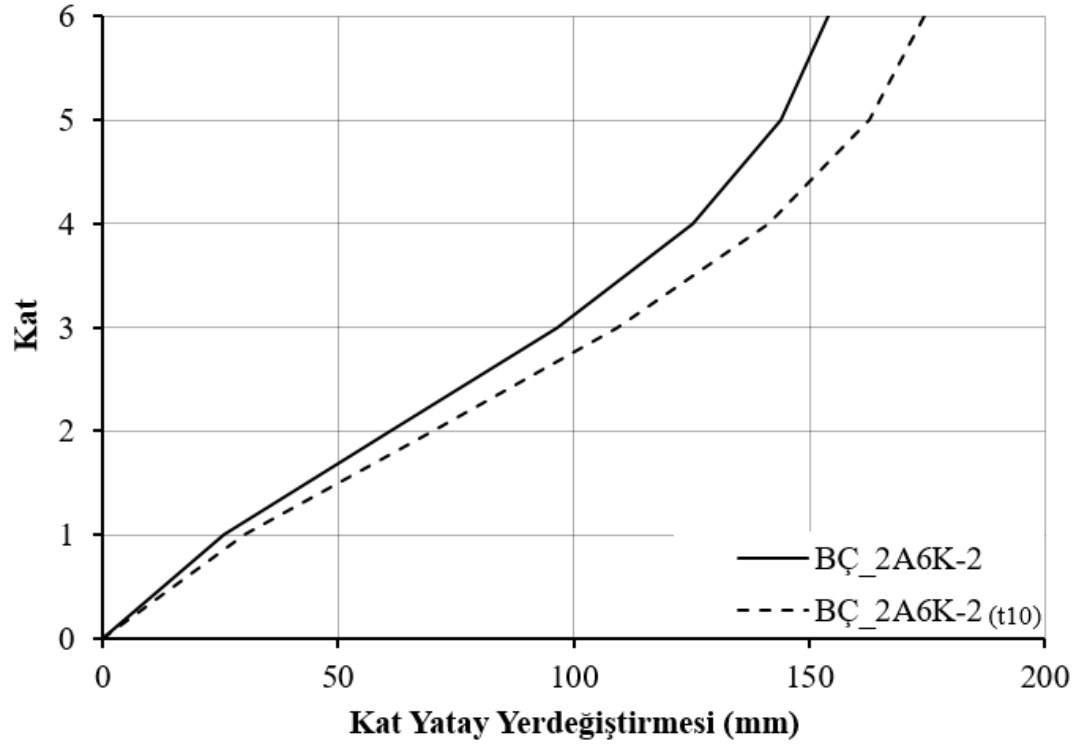
Şekil 5.81 İki açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.



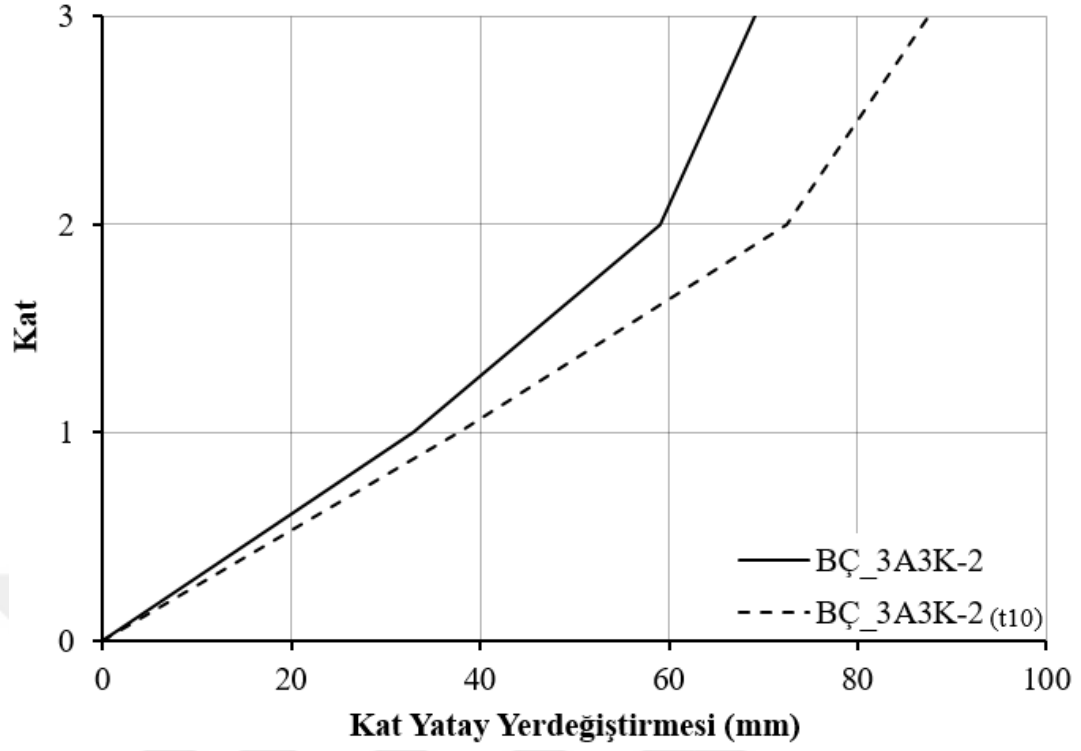
Şekil 5.82 İki açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.



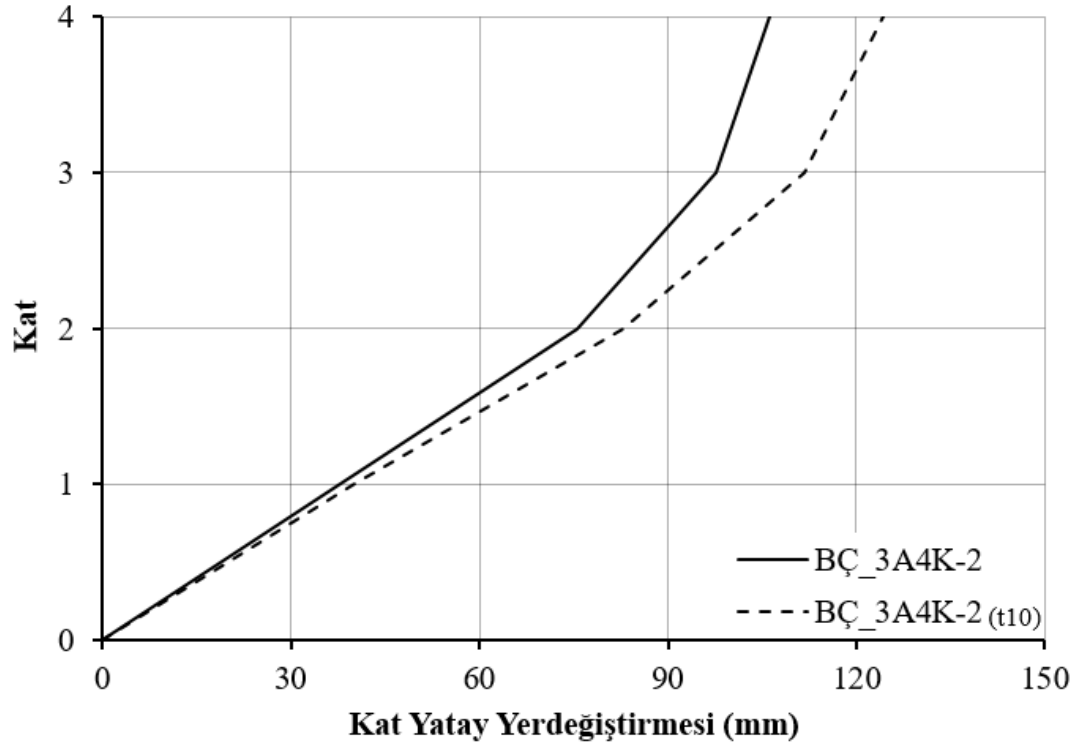
Şekil 5.83 İki açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.



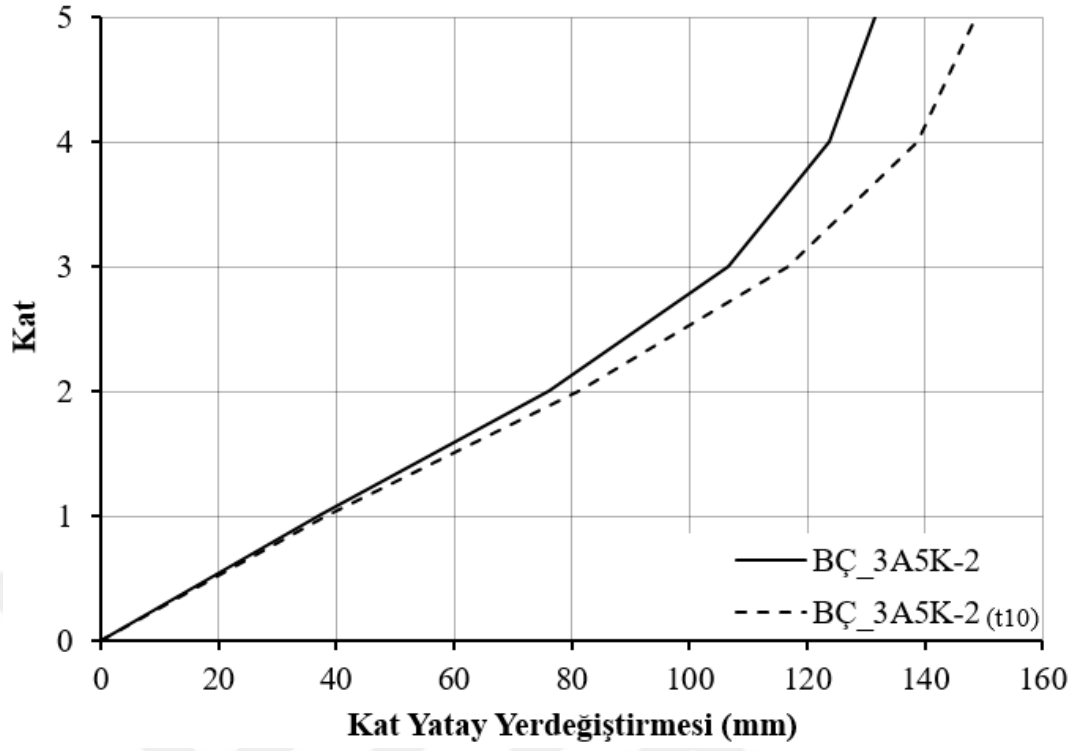
Şekil 5.84 İki açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.



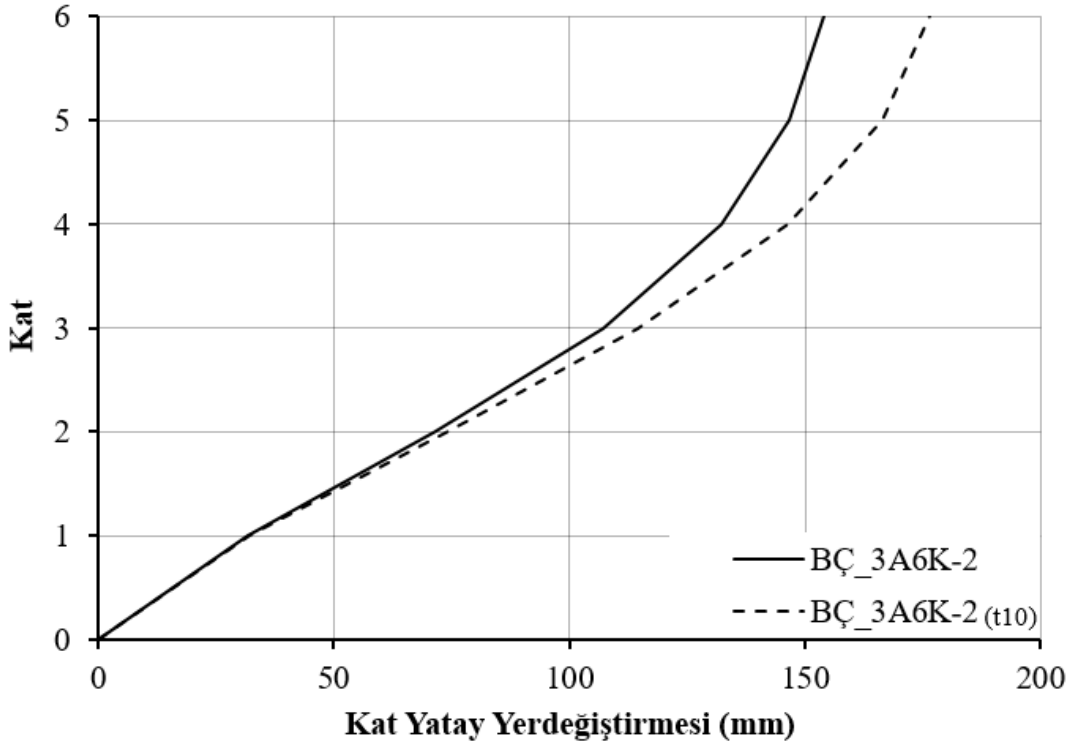
Şekil 5.85 Üç açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.



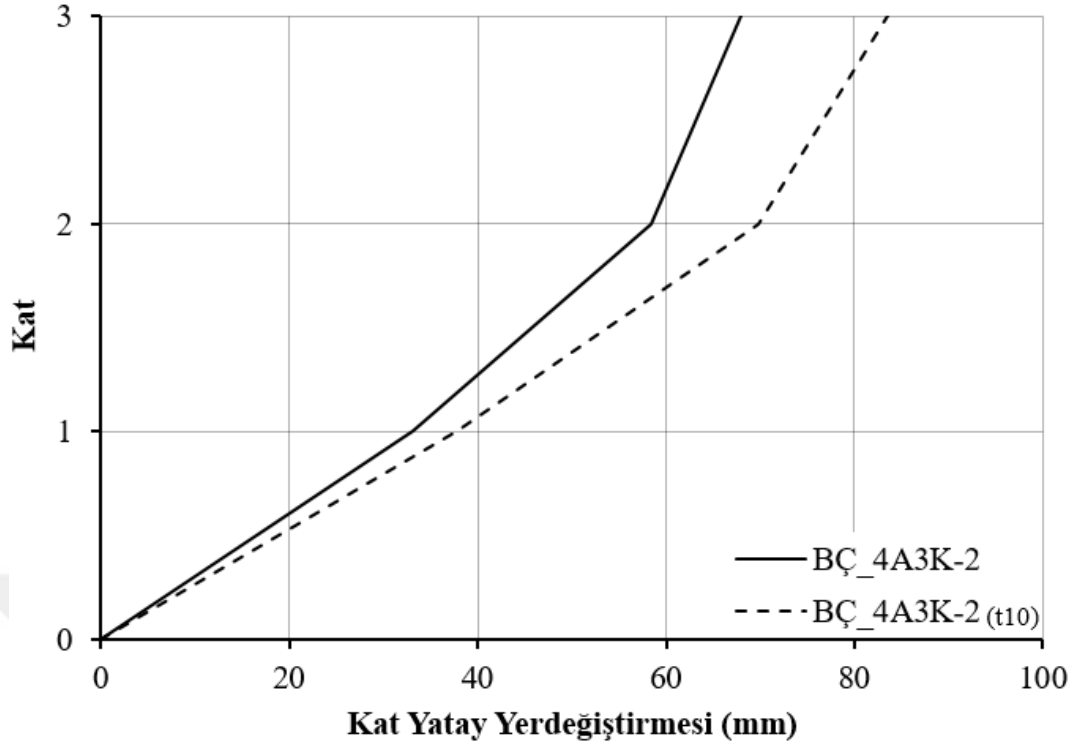
Şekil 5.86 Üç açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.



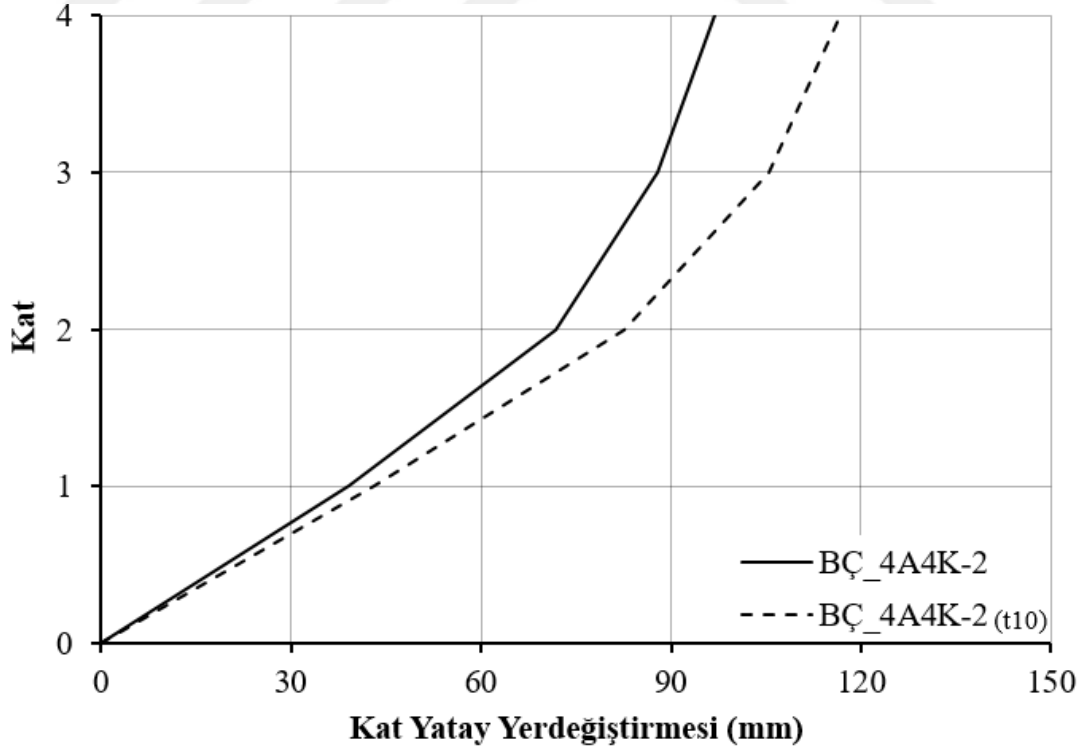
Şekil 5.87 Üç açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.



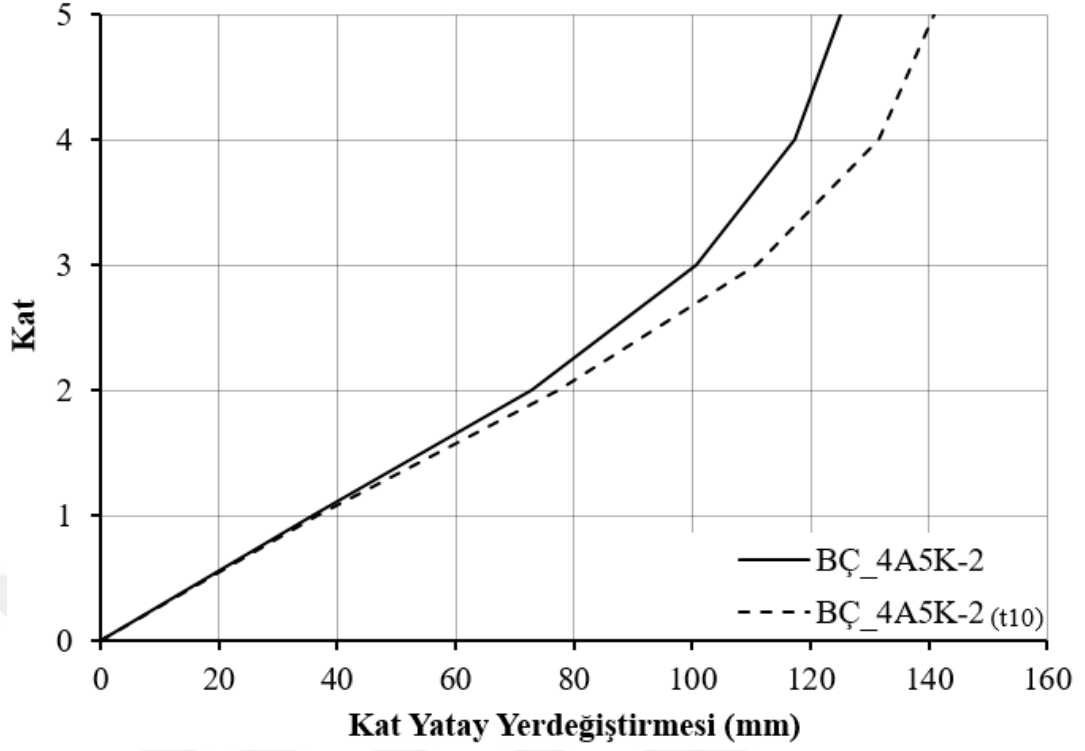
Şekil 5.88 Üç açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.



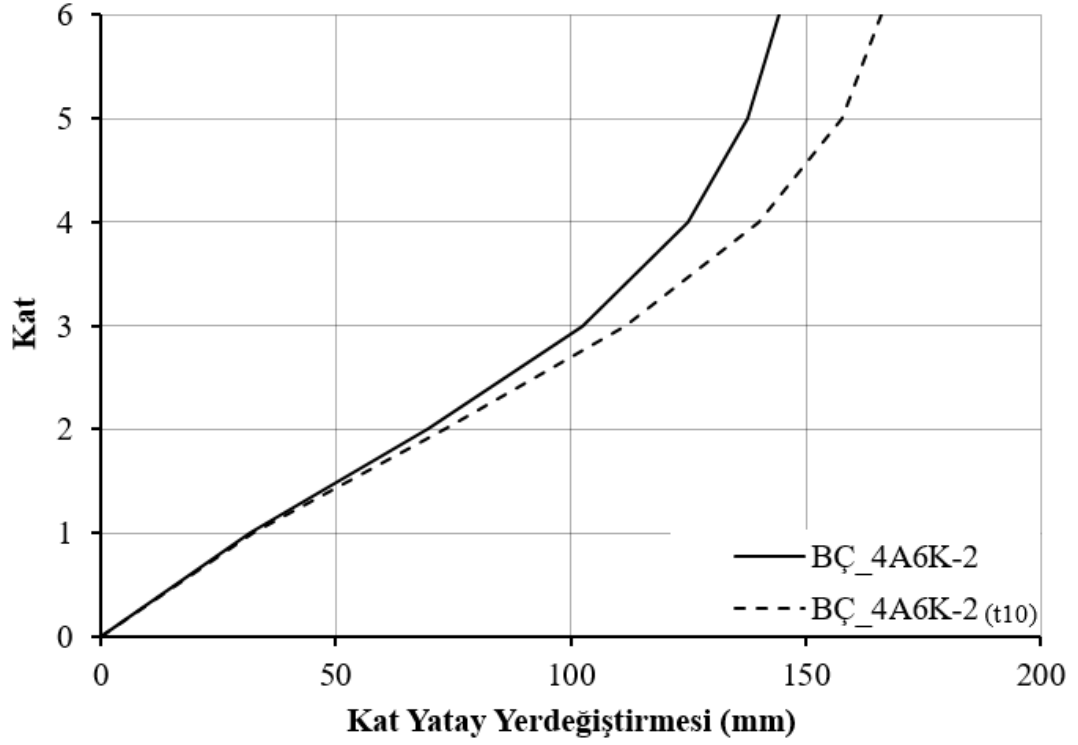
Şekil 5.89 Dört açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.



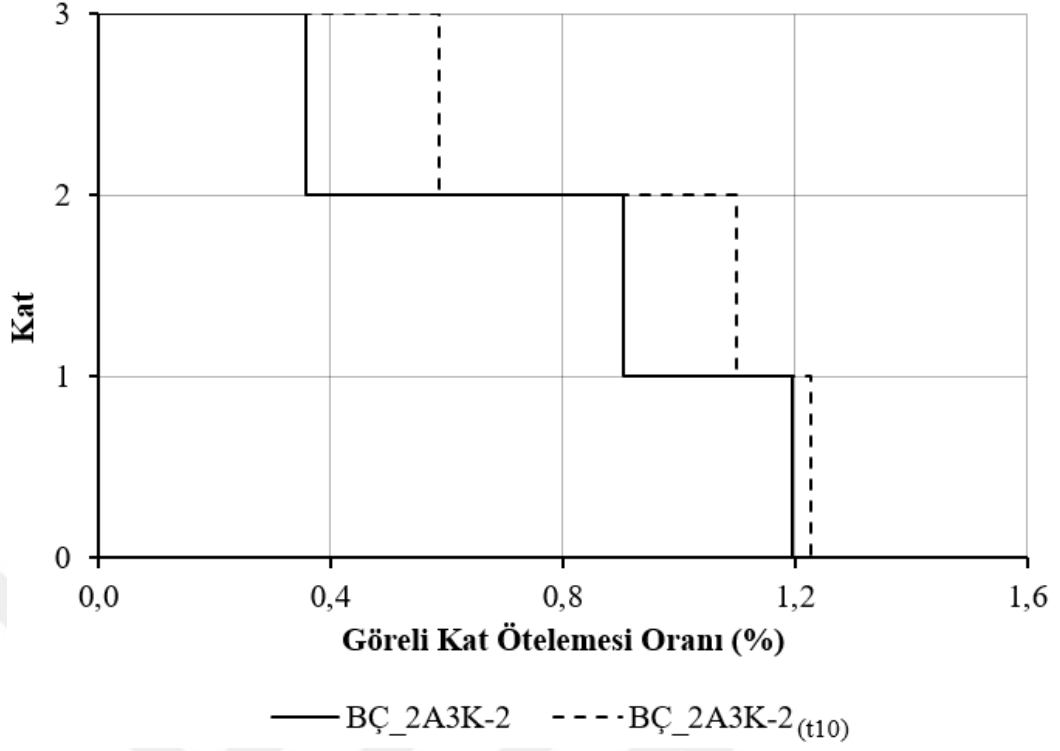
Şekil 5.90 Dört açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.



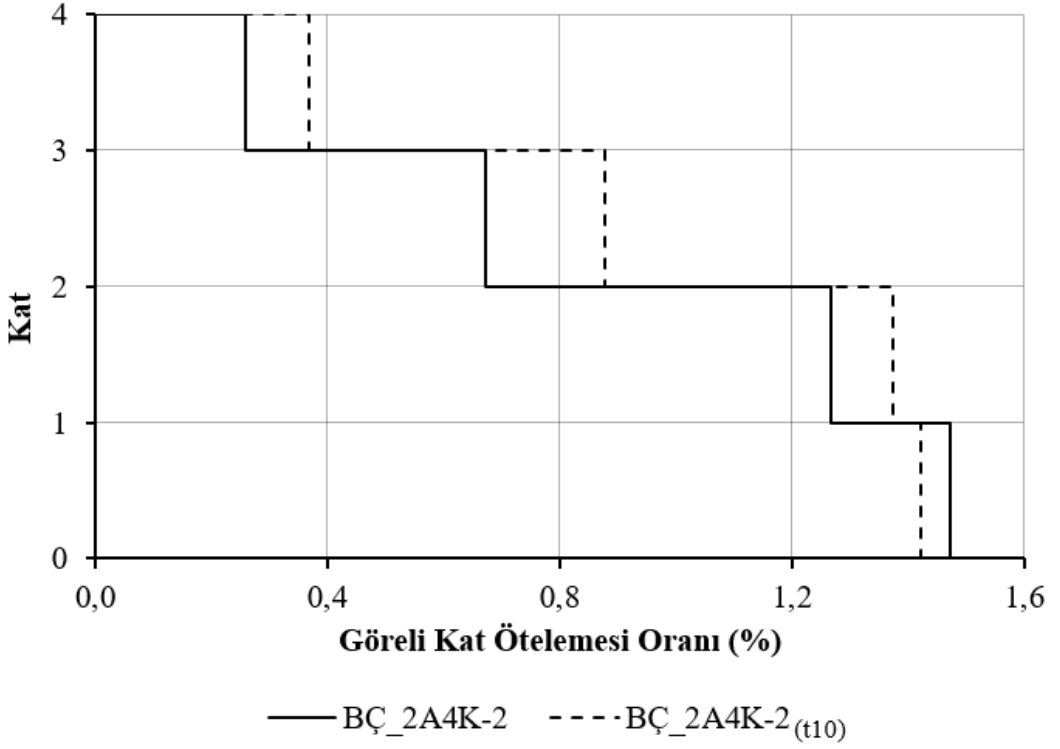
Şekil 5.91 Dört açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.



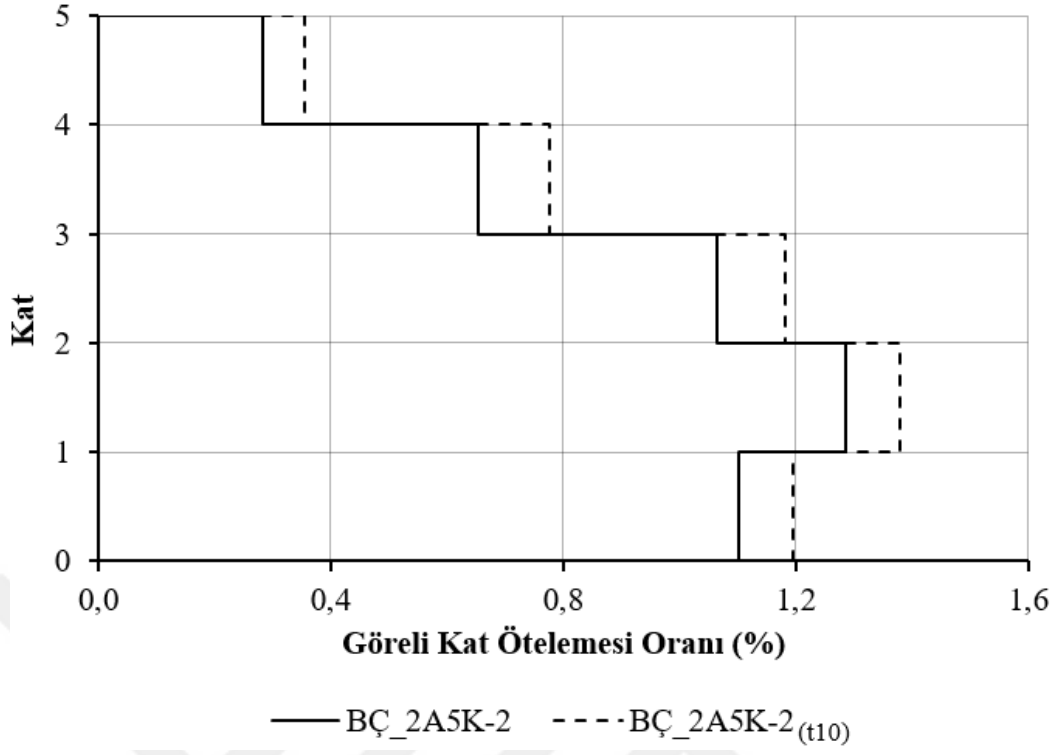
Şekil 5.92 Dört açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen yatay yerdeğiştirme profilleri.



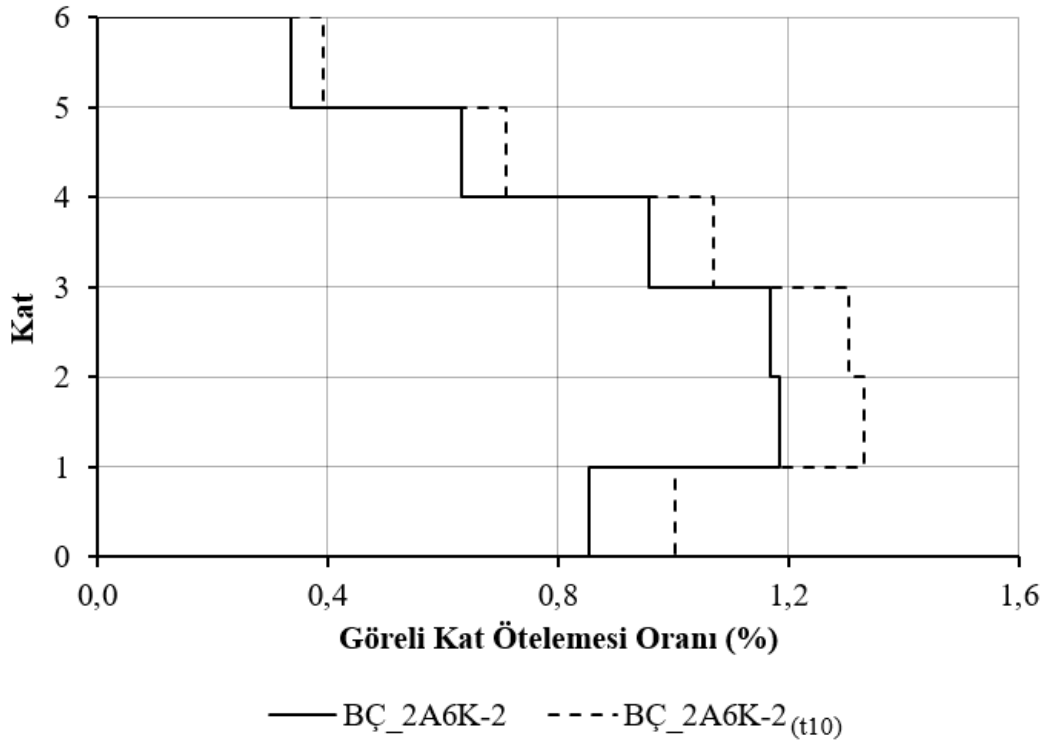
Şekil 5.93 İki açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat ötelemesi oranları.



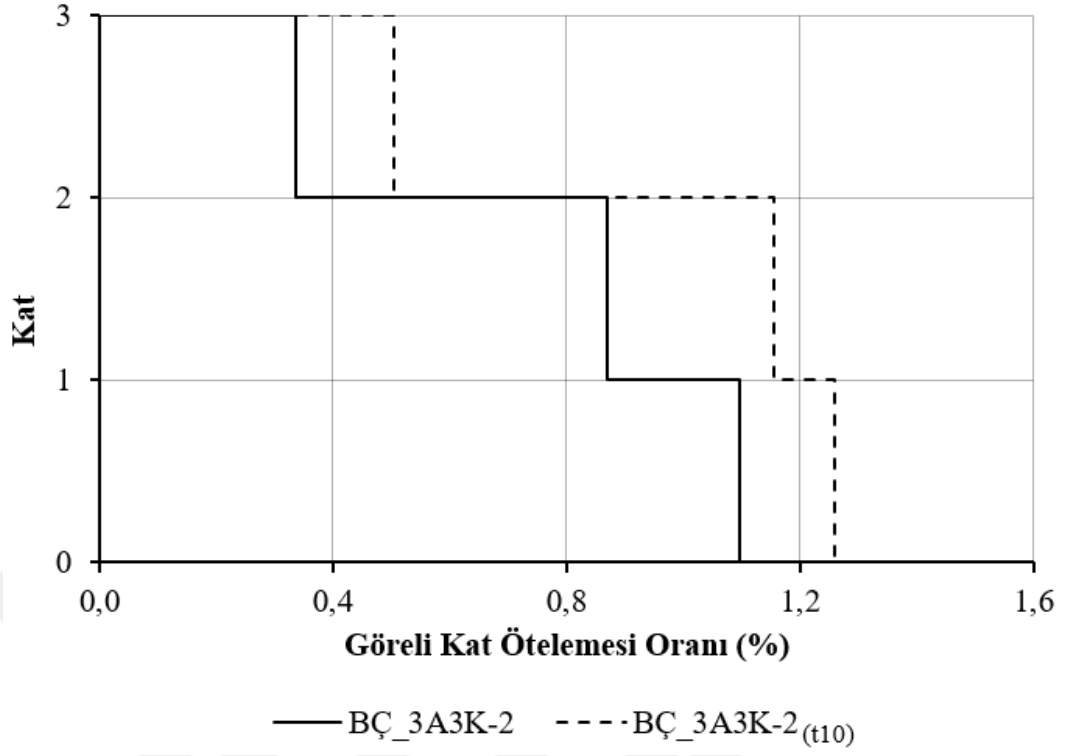
Şekil 5.94 İki açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat ötelemesi oranları.



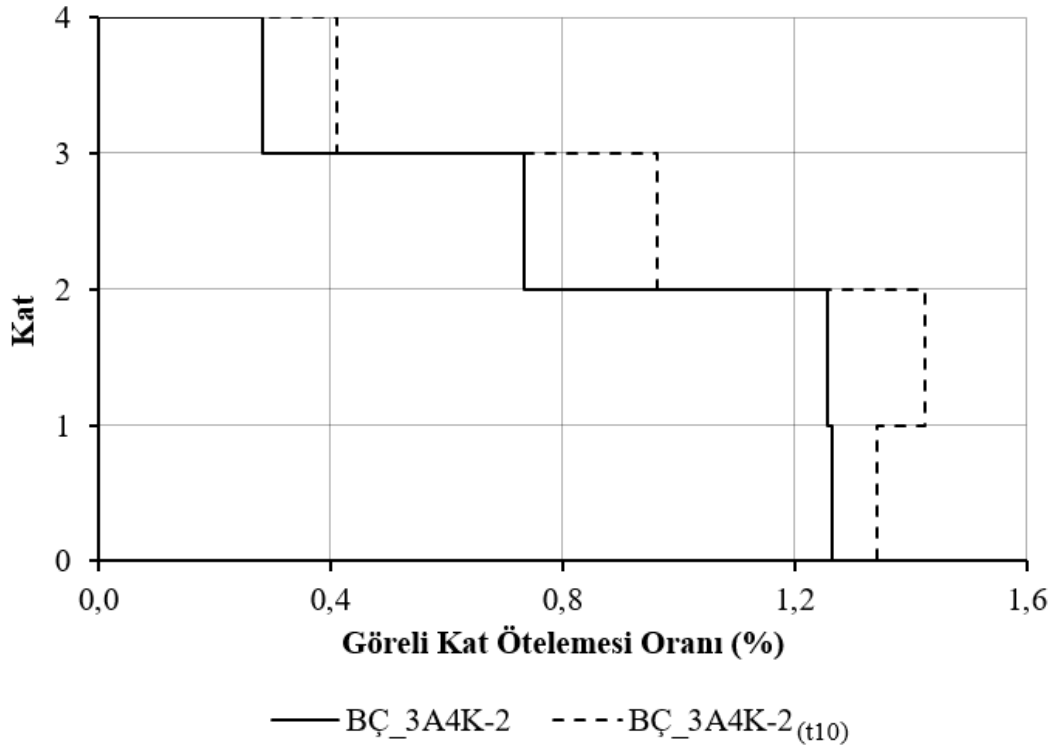
Şekil 5.95 İki açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat öteleme oranları.



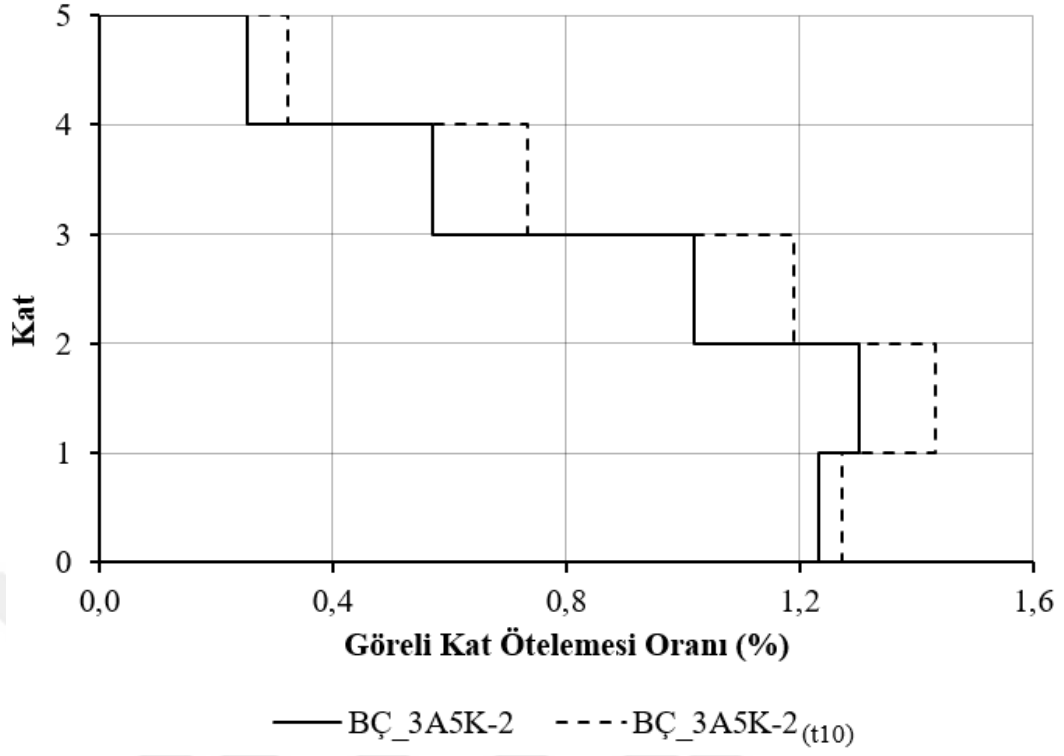
Şekil 5.96 İki açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat öteleme oranları.



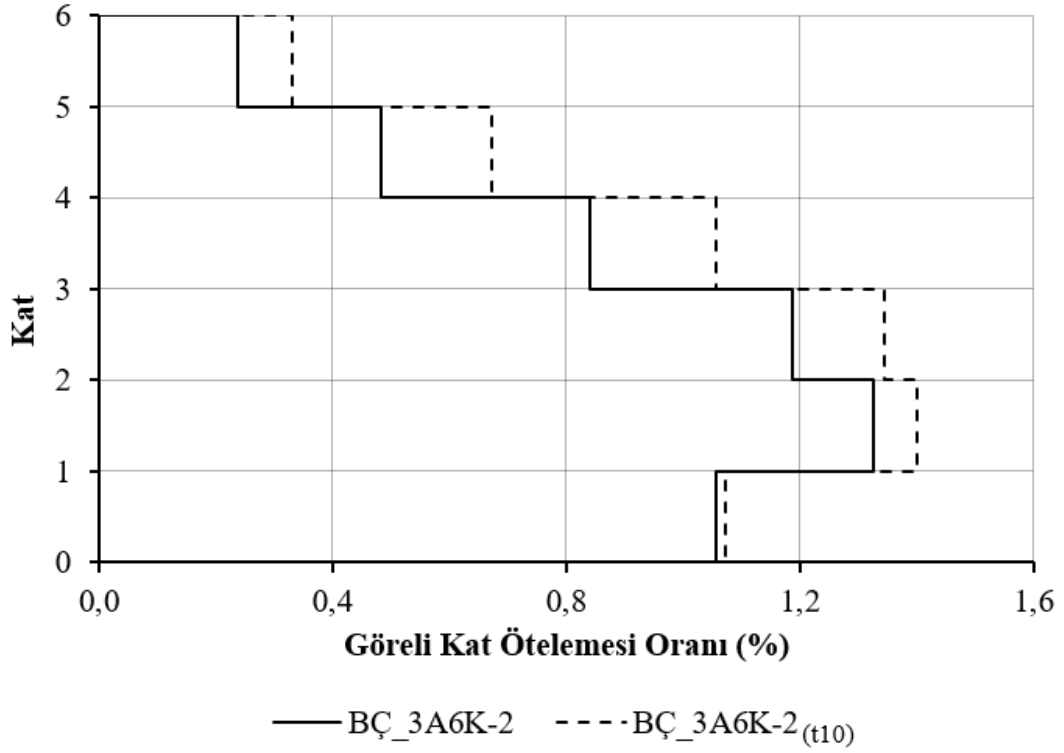
Şekil 5.97 Üç açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat ötelemesi oranları.



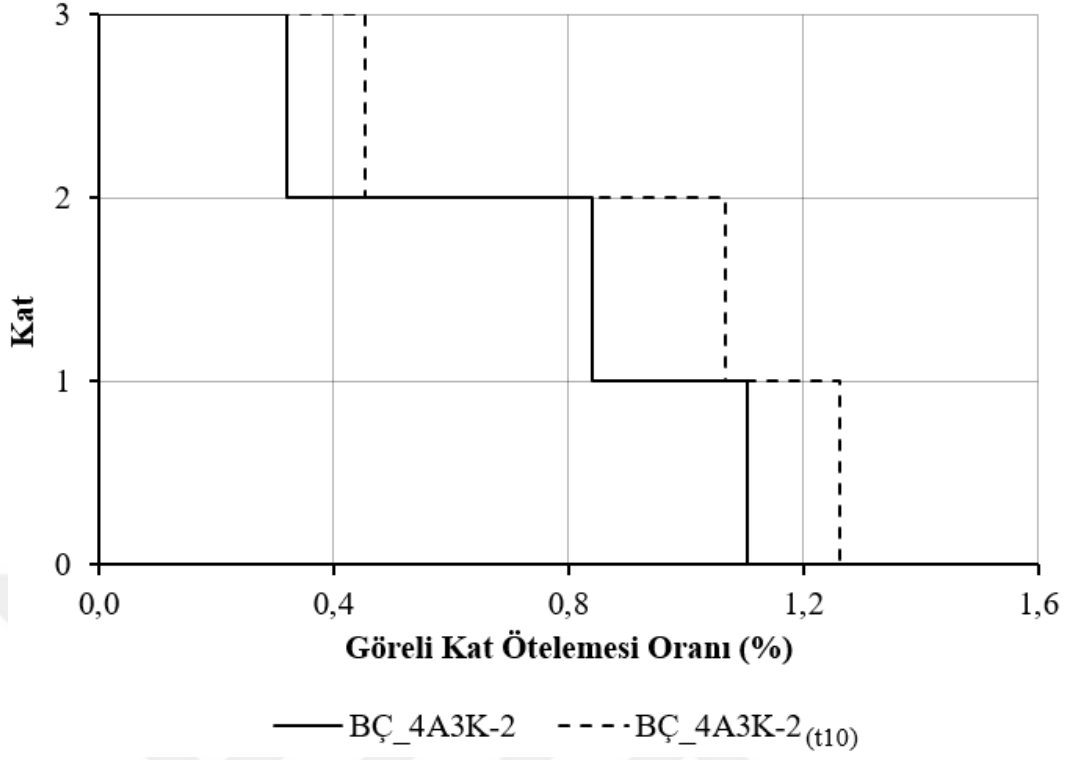
Şekil 5.98 Üç açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görelî kat ötelemesi oranları.



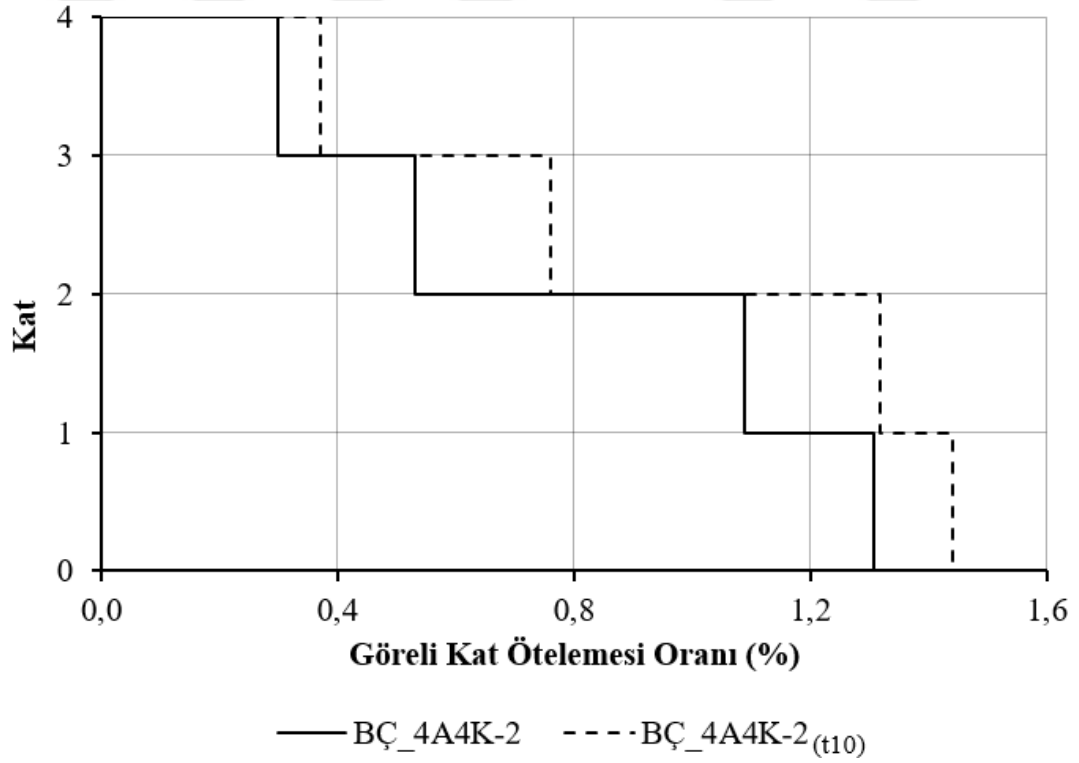
Şekil 5.99 Üç açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görel kat ötelemesi oranları.



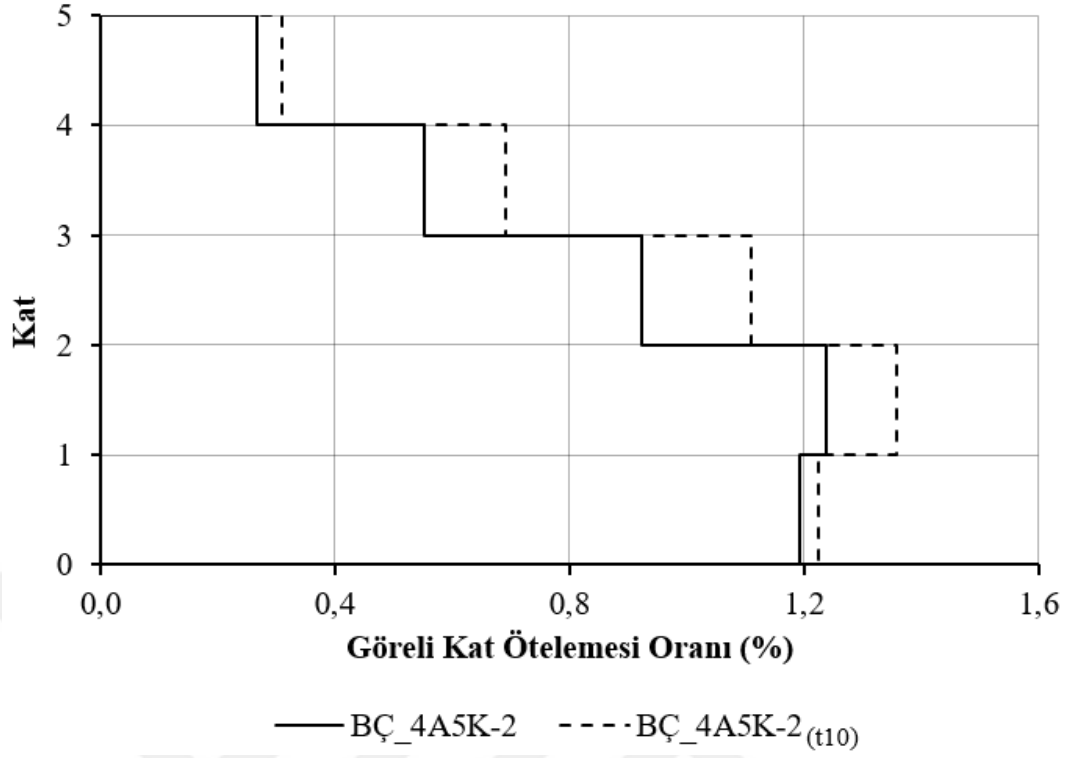
Şekil 5.100 Üç açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görel kat ötelemesi oranları.



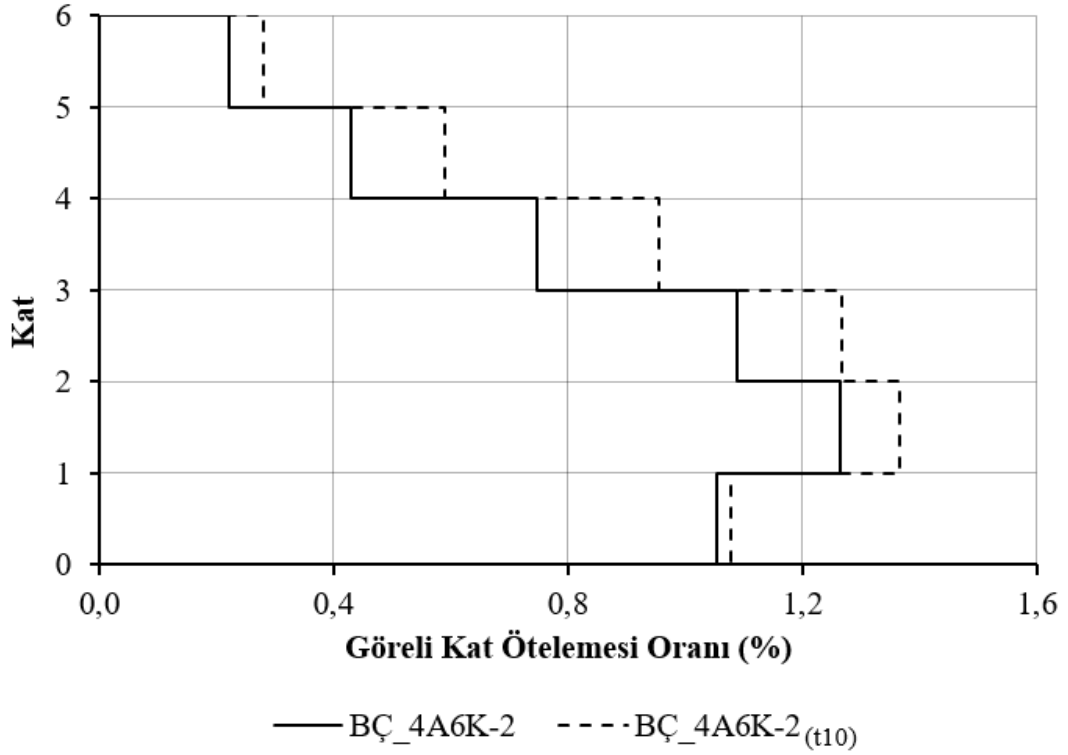
Şekil 5.101 Dört açıklıklı üç katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görel kat öteleme oranları.



Şekil 5.102 Dört açıklıklı dört katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görel kat öteleme oranları.



Şekil 5.103 Dört açıklıklı beş katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görel kat ötelemesi oranları.



Şekil 5.104 Dört açıklıklı altı katlı çerçevenin farklı dolgu duvar kalınlıkları için elde edilen görel kat ötelemesi oranları.

Tepe yerdeğiştirmesi istemlerine kadar itilen, 10 cm ve 20 cm dolgu duvar kalınlığına sahip boşluklu dolgu duvarlı çerçeveslerin ilk katlarındaki dolgu duvarlar, taşıma kapasitesine ulaşmış ve taşıdıkları yük büyük oranda azalmıştır. Bu yüzden kat yatay yerdeğiştirmeleri ve buna bağlı olarak görelı kat ötelemeleri ilk katlarda iki farklı duvar kalınlığı için yakın değerlere sahiptir. Bu çerçeveslerin üst katlarında yük taşıma kapasitesine ulaşmamış ve yatay rijitliğe etkisi devam etmekte olan dolgu duvarlar bulunmaktadır. 20 cm kalınlığındaki dolgu duvarların yatay rijitliğe etkisi, 10 cm kalınlığındakilere göre daha büyük olduğundan ve üst katlarda henüz yük taşıma kapasitelerine ulaşmadıklarından; bu katlarda farklı dolgu duvar kalınlıklarına sahip iki çerçeve arasındaki yatay yerdeğiştirmeler ve görelı kat ötelemeleri arasındaki fark daha belirgindir. Kalın dolgu duvarlı çerçeveslerde, ince dolgu duvarlı çerçeveslere göre daha az kat yatay yerdeğiştirmeleri ve görelı kat ötelemeleri elde edilmiştir.

Tablo 5.54’de, Tablo 5.48 için seçilen kiriş uçları esas alınarak, farklı dolgu duvar kalınlıkları için çerçeveslerin tepe yerdeğiştirmesi istemlerindeki plastik dönme değerleri sunulmuştur.

Tablo 5.54 Farklı dolgu duvar kalınlığına sahip çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemlerindeki en büyük plastik dönmeye sahip kiriş ucundaki plastik dönme değerleri

Çerçeve		Plastik Dönme ($\times 10^{-3}$ radyan)	
Açıklık Sayısı	Kat Sayısı	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı ($t_{inf}=10$ cm)	Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı ($t_{inf}=20$ cm)
2	3	11,53	10,25
	4	9,03	6,63
	5	10,69	9,52
	6	10,00	7,93
3	3	11,76	9,11
	4	10,59	8,15
	5	11,32	9,53
	6	10,02	7,89
4	3	10,97	8,42
	4	13,48	11,13
	5	9,49	7,46
	6	9,38	7,45

Açıklıklarında 20 cm kalınlığında dolgu duvar bulunan çerçevelerde, kirişler için elde edilen plastik dönme değerleri, 10 cm kalınlığından dolgu duvarlı çerçevelere göre daha düşüktür. Bu durum; dolgu duvarların kalınlığının artması ile kirişlerde meydana gelebilecek hasarların daha düşük seviyelerde kalabileceği anlamına gelmektedir.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında kısmi boşluklu dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan davranışının incelenmesi amacıyla, açıklıklarında kısmi boşluklu dolgu duvarlar bulunan, farklı kat ve açıklıklara sahip 12 adet çerçeve seçilmiştir. Bu çerçevelerin; birinci derece deprem bölgesinde, Z3 türü zemin üzerinde bulunan konut yapılarının dış çerçeveleri olduğu varsayılmıştır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (BİB, 2007)'ye ve TS500 (TSE, 2000)'e uygun olarak boyutlandırılan betonarme çerçeveler; dolgu duvarların ve düzlemlerinde bulunan kısmi boşlukların davranışına etkisini gözlemleyebilmek için; dolgu duvarsız, kısmi boşluklu dolgu duvarlı ve boşluksuz dolgu duvarlı olarak modellenmiştir. Dolgu duvarların tekli eşdeğer basınç çubuğu ile modellendiği bu çalışmada, kısmi boşlukları hesap modeline dahil etmek amacıyla her açıklık için ayrı hesaplanan rijitlik azaltma faktörleri kullanılmıştır. Daha sonra dolgu duvar kalınlığının, çerçevelerin doğrusal olmayan davranışına etkisini incelemek amacıyla kısmi boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin hesap modelleri farklı duvar kalınlığına göre yeniden oluşturulmuştur. Toplamda 48 adet olan hesap modelleri ile yapılan artımsal itme analizlerinden elde edilen sonuçlar yorumlanarak aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

1. Düzlemlerinde boşluksuz dolgu duvar bulunan çerçevelerin başlangıç rijitlikleri, kısmi boşluklu dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçevelerinkine göre daha yüksek olduğundan doğal titreşim periyotları daha kısa elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan çerçeveler arasında en uzun periyotlara sahip çerçeveler dolgu duvarsız modellenen çerçevelerdir ve kısmi boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin periyotları boşluksuz dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçevelerin periyot değerleri arasında kalmaktadır. Ayrıca dolgu duvar kalınlığının artmasıyla çerçevelerin periyotlarının kısaldığı görülmüştür.

2. Dolgu duvar düzleminde bulunan kısmi boşlukların farklı konumlarda bulunması çerçeve rijitliğini farklı oranlarda etkilemektedir. Çalışmadaki açıklıklar için, dolgu duvar üzerinden yük aktarımının başladığı köşe olan, sol üst köşede bulunan kısmi boşlukların çerçeve rijitliğini en çok etkileyen boşluklar olduğu görülmüştür. Yük aktarımının düşük olduğu sağ üst köşede bulunan boşluklar küçük boşluk oranlarında çerçeve rijitliğini önemli ölçüde etkilememiştir. Bu köşede bulunan boşluklar, dolgu duvar alanının %20'sini geçtikten sonra yük aktarım bölgelerine girmeye başladığından çerçeve rijitliğinde etkili olmaya başlamıştır. Dolgu duvar üzerinden yükün aktarıldığı diyagonal hattın ortasında yer alan boşluklar ise sol üstteki ve sağ üstteki boşlukların etkisinin arasında bir etkiye sahiptir. Kısmi boşlukların, dolgu duvar alanının; boşluğun sol üstte olması durumunda %30'nu geçmesi, boşluğun ortada ve sağ üstte olması durumunda ise %60'ı geçmesi halinde; dolgu duvarların, analiz modelinde tanımlanmamasının, hesap sonuçlarına önemli bir etkisi olmayacaktır.
3. Eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımında, kısmi boşlukların hesap modeline dahil edilmesi için kullanılan rijitlik azaltma faktörü, aynı boşluk oranı ve konumu dikkate alındığında farklı duvar kalınlıkları ve farklı kolon boyutları için oldukça yakın değerlere sahip olduğundan; dolgu duvar kalınlığından ve çerçeveyi oluşturan kolonların boyutlarından bağımsız olduğu söylenebilir.
4. Aynı kat ve açıklığa sahip çerçevelerin karşılaştırılan itme eğrilerine göre; boşluksuz dolgu duvarlı çerçeveler diğer iki tip çerçeveye göre daha rijit çerçevelerdir. Aynı kat ve açıklık sayısına sahip çerçeveler arasında rijitliği en düşük olan çerçeveler dolgu duvarsız çerçevelerdir. Duvar düzleminde kısmi boşluklar bulunan çerçevelerin rijitlikleri ise diğer iki tip çerçeve rijitliklerinin arasında kalmaktadır. Çerçevelerde bulunan dolgu duvarlar, yük taşıma kapasitelerini aşınca, rijitlikleri ani bir şekilde azaldığı için taşıyabildikleri yatay yük değerlerindeki de azalma görülmektedir. Artan yatay yerdeğiştirmeler altında dolgu duvarlar yük

taşıma kapasiteleri aşıldığında, dolgu duvarlı çerçeveler, dolgu duvarsız çerçeve davranışına yakın bir davranış sergilemektedir.

5. Boşluksuz dolgu duvarlı çerçeveler, dolgu duvarsız olarak modellenen çerçevelerin ortalama 3,03 katı yük taşıma kapasitesine sahipken, kısmi boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerde bu oranın ortalama 1,59 olduğu görülmektedir. Bu durum dolgu duvarların çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitesi üzerinde önemli etkisi olduğunu gösterirken, duvar üzerinde bulunan kısmi boşlukların bu etkiyi azalttığını aşıkardır.
6. Dolgu duvarlar çerçevelerin akma noktasındaki taban kesme kuvvetini belirgin bir şekilde etkilemektedir. Aynı kat ve açıklık sayısına sahip çerçevelerin akma noktasındaki taban kesme kuvveti katsayısı değerleri dolgu duvarlı çerçevelerde en fazla, dolgu duvarsız çerçevelerde ise en az elde edilmiştir. Buna ek olarak; akma noktasındaki en küçük tepe yerdeğiştirmesi değerleri dolgu duvarsız çerçevelerde elde edilirken, en büyük değerler kısmi boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerde gözlenmiştir. Ancak bu sıralamanın; dolgu duvarın malzeme kalitesine, düzleminde bulunan boşluk oranına ve konumuna göre değişiklik gösterebileceği tahmin edilmektedir.
7. Aynı açıklık ve kat sayısına sahip çerçevelerde, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (BİB, 2007)'e göre hesaplanan çerçevelerin tepe yerdeğiştirmesi istemleri arasında en büyük değerler, dolgu duvarsız modeller için bulunmuştur. Boşluksuz dolgu duvarlı modellerde elde edilen tepe yerdeğiştirmesi istemleri en düşük değerlere sahipken, boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin hesaplanan tepe yerdeğiştirmesi istemi değerleri diğer iki tip çerçeve için hesaplanan değerlerin arasında kalmaktadır. Bu sonuçlar dolgu duvarların çerçeve rijitliğini arttırırken, kısmi boşlukların düşürdüğünü bir kez daha göstermektedir.

8. Dolgu duvarların, çerçevelerin yatay rijitliğini arttırmasının bir sonucu olarak; aynı yer hareketi etkisinde olan betonarme çerçevelerin boşluksuz dolgu duvarlı olanına daha büyük deprem yükleri etkimektedir. Kısmi boşluklu dolgu duvarlı çerçevelere etki eden deprem yükü dolgu duvarsız çerçevelerinkinden fazla, boşluksuz dolgu duvarlı çerçeveninkinden ise azdır.
9. Dolgu duvarlar, betonarme çerçevelerin yatay yükler altında yaptığı kat yatay yerdeğiştirmelerini ve görelı kat ötelemelerini kısıtlamaktadır. Dolgu duvarların düzlemlerinde bulunan kısmi boşluklar ise bu etkiyi azaltarak; boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin kat yatay yerdeğiştimelerini ve görelı kat ötelemelerini, diğır iki tip çerçeveden elde edilen değırlerin arasında elde edilmesini sağlamıştır. Fakat tepe yerdeğiştirmesi istemine kadar itilen boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin ilk katlarında dolgu duvarların tamamı yük taşıma kapasitelerine ulaşır devre dışı kaldığından; boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin ilk katlarının yatay yerdeğiştirmeleri ve buna bağlı olarak görelı kat ötelemeleri, dolgu duvarsız çerçevelerinkiler ile yakın elde edilmektedir. Bununla birlikte dolgu duvarların, çerçevelerin görelı kat ötelemesi profillerini değıştirdiği gözlenirken; dolgu duvar kalınlığındaki değışimin görelı kat ötelemesi profillerine önemli etkisinin bulunmadığı sonucuna varılmıştır.
10. Çerçeve düzleminde bulunan dolgu duvarlar kirişlerde oluşan plastik şekil değıştirmeleri azaltan etkiye sahiptir. Dolgu duvar düzleminde bulunan boşluklar ise bu etkiyi kısıtlamaktadır. Aynı kat ve açıklığa sahip çerçevelerden seçilen bir kiriş ucunda oluşan plastik mafsall bölgesindeki plastik dönme değeri; boşluksuz dolgu duvarlı çerçevelerde ve kısmi boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerde; dolgu duvarsız olarak modellenen çerçevelerden elde edilen değırlerin, ortalama olarak ve sırasıyla, %25'i ve %70'i değırlere sahiptir. Bu değırlerden de görüldüğü gibi dolgu duvarlar, çerçevelerdeki kiriş elemanların hasar seviyelerini sınırlayarak çerçevenin deprem performansını arttırıcı etkiye sahiptirler.

11. 20 cm kalınlığındaki dolgu duvarlara sahip çerçevelerin kapasite eğrilerinin doğrusal kısmının eğimi, 10 cm kalınlığında dolgu duvara sahip çerçevelerinkinden daha fazladır. Bu durum, beklenildiği üzere dolgu duvar kalınlığının artması ile çerçeve rijitliğinin arttığını göstermektedir. Çerçeveye etki eden yatay yüklerin arttırılmasıyla birlikte çerçeve açıklıklarında bulunan dolgu duvarlar yük taşıma kapasitelerini aştıkça, çerçeve rijitliği azalmakta ve kapasite diyagramları negatif eğim kazanmaktadır. Dolgu duvar kalınlığı 20 cm olan çerçevelerde bu eğim mutlak değer olarak daha büyük değerlerde olmakta ve ilerleyen itme adımlarında daha fazla dolgu duvarın kapasitesinin aşılmasıyla beraber farklı kalınlıklardaki dolgu duvarlara sahip çerçevelerin davranışları birbirlerine yaklaşmaktadır.
12. 20 cm kalınlığında boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük kapasiteleri, 10 cm kalınlığında boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük kapasitelerinin ortalama 1,23 katı değerlere sahiptir. Dolgu duvar kalınlığının çerçevelerin yatay yük kapasitesine etkisi, çerçevedeki kat sayısı arttıkça azalmakta, açıklık sayısı arttıkça yükselmektedir.
13. 20 cm kalınlığında dolgu duvarlara sahip çerçevelerin akma noktasındaki taban kesme kuvveti katsayısı değerleri, 10 cm kalınlığında dolgu duvarlara sahip çerçevelerinkinden daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Bu durum, çerçeve düzleminde bulunan dolgu duvarların kalınlığının artmasıyla beraber, çerçevelerin doğrusal-elastik olarak taşıyabileceği yatay kuvvetlerin de arttığını göstermektedir.
14. Kalın dolgu duvarlı çerçevelerin rijitliklerinin ince duvarlı çerçevelere göre daha fazla olmasının bir sonucu olarak, 20 cm kalınlığında dolgu duvarlı çerçevelerin, 10 cm kalınlığında dolgu duvarlı çerçevelere göre tepe yerdeğiştirmesi istemleri daha düşük değerlere, taban kesme kuvveti değerleri ise daha yüksek değerlere sahip elde edilmiştir.

15. Aynı kat ve açıklık sayısına sahip çerçevelerde, kalın dolgu duvara sahip çerçevelerin kat yatay yerdeğiştirmelerinin ve görelî kat ötelemelerinin daha düşük elde edilmesi; dolgu duvar kalınlığındaki artışın çerçevelerin yatay rijitliğini arttırdığını göstermektedir.
16. Dolgu duvar kalınlığının fazla olduğu çerçevelerde, ince dolgu duvarlı çerçevelere göre; seçilen kiriş ucalarında tanımlanan plastik mafsâl bölgelerinde elde edilen plastik dönme değeri daha düşük bulunmuştur. Bu durumda dolgu duvar kalınlığının artması ile birlikte, aynı yer hareketi etkisi altında daha düşük kiriş hasarlarının oluşmasının beklendiğini söylenebilir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda; çerçeve düzlemlerinde yer alan dolgu duvarların ve düzleminde bulunan kısmî boşlukların, betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan davranışını büyük ölçüde etkilediğı görülmüştür. Genel olarak kısmî boşluklu dolgu duvarların doğrusal olmayan davranışı tam dolgulu ve dolgu duvarsız çerçevelerin davranışı arasındadır. Bununla birlikte kısmî boşluklu çerçevelerin doğrusal olmayan davranışına ait çeşitli yapısal parametreler birçok etkene bağılı olarak kimi durumlarda dolgu duvarsız çerçeve için hesaplanan parametrelere yaklaşırken, kimi durumlarda ise boşluksuz dolgu duvarlı çerçeve için hesaplanan parametrelere yakın elde edilmiştir. Bu nedenle betonarme binalar için oluşturulan hesap modellerinde dolgu duvarları dikkate almamak veya çoğu durumda kaçınılmaz olarak bulunan kısmî boşlukları görmezden gelip dolgu duvarları analiz modeline boşluksuz olarak dahil etmek çeşitli yapısal büyüklüklerin ve yatay yükler altında davranışın değişmesine sebep olacaktır. Belirli bir noktaya kadar yapısal davranışa olumlu katkıları bulunan kısmî boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarların, kısmî hasarlar görmesinden dolayı oluşabilecek kısa kolon etkileri veya taşıma kapasitelerine ulaştıktan sonra çerçevede ve düğüm noktasında yaşanan ani rijitlik kaybı gibi olumsuz etkileri de olabileceğı unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- Allouzi, R., Irfanoglu A. ve Haikal G. (2014). Non-linear finite element modeling of RC frame-masonry wall interaction under cyclic loadings. *National Conference on Earthquake Engineering, Alaska*.
- Amrhein, J. E. (1998). *Reinforced masonry engineering handbook: clay and concrete masonry; Fifth edition*. Los Angeles: CRC Press.
- Asteris, P. G. (2003). Lateral stiffness of brick masonry infilled plane frames. *Journal of Structural Engineering*, 129(8), 1071-1079.
- Baran, M. (2012). Dolgu duvarların betonarme çerçeveseli yapıların davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), 275-284.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (2007). *Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik*. 26454 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Beklen, C. ve Çağatay, İ. H. (2009). Çerçevelerde dolgu duvar modellerinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(1-2), 77-90.
- Bennett, R. M., Fischer, W. L., Flanagan, R. D. ve Tenbus, M. A. (1996). *Evaluation and analysis of the performance of masonry infills during the Northridge Earthquake*. Oak Ridge National Lab, Tennessee.
- Canadian Standards Association (2004). Design of masonry structures. CSA S304, Mississauga.
- Celep, Z. (2008). *Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümleme* (2. Baskı). İstanbul: Beta Dağıtım.

- Computers and Structures Inc. (2013). Integrated finite element analysis and structural design of structures. *SAP2000 V16.0.0., USA*.
- Dawe, J. L. ve Seah, C. K. (1989). Behaviour of masonry infilled steel frames. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 16(6), 865-876.
- Demir, F. ve Sivri, M. (2002). Earthquake response of masonry infilled frames. *ECAS 2002 International Symposium on Structural and Earthquake Engineering, Ankara*, 151-158.
- De Normalisation, C. E. (1998). Eurocode 8-Design of structures for earthquake resistance-*Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. *European Standard NF EN*, 1.
- Dolšek, M. ve Fajfar, P. (2008). The effect of masonry infills on the seismic response of a four-storey reinforced concrete frame - a deterministic assessment. *Engineering Structures*, 30(7), 1991-2001.
- Dorji, J. ve Thambiratnam, D. P. (2009). Modelling and analysis of infilled frame structures under seismic loads. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 3, 119-126.
- Duranni, A. J. ve Luo Y. H. (1994). Seismic retrofit of flat-slab buildings with masonry infills (*Technical Report*). National Center for Earthquake Engineering Research.
- Durmazgezer, E. (2013). *Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin deprem etkileri altındaki davranışının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

- European Committee of Standardization (1996). Design of masonry structures. Part 1-1: General rules for buildings - reinforced and unreinforced masonry. *Eurocode 6* , Brussels.
- Federal Emergency Management Agency (1998). Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings. *FEMA-306, Washington*.
- Federal Emergency Management Agency (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. *FEMA-356, Washington*.
- Furtado, A., Rodrigues, H., Arêde, A. ve Varum, H. (2015). Experimental characterization of the in-plane and out-of-plane behaviour of infill masonry walls. *Procedia Engineering*, 114, 862-869.
- Gumaste, K. S., Nanjunda Rao, K. S., Venkatarama Reddy, B. V. ve Jagadish, K. S. (2007). Strength and elasticity of brick masonry prisms and wallettes under compression. *Materials and Structures*, 40, 241-253.
- Hanoğlu, K. B. (2002). *Fiber reinforced plastic overlay retrofit of hollow clay tile masonry infilled reinforced concrete frames*. Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Holmes, M. (1961). Steel frames with brickwork and concrete infilling. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 19, 473-478.
- İnel, M. ve Özmen, H. B. (2008). Effect of infill walls on soft story behavior in mid-rise RC buildings. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing*.
- Jamnekar, V. P. ve Durge, P. V. (2013). Seismic evaluation of brick masonry infill. *International Journal of Emerging Trends in Engineering & Technology*, 02(01), 1-6.

- Kakaletsis, D. J. ve Karayannis, C. G. (2008). Influence of masonry strength and openings on infilled R/C frames under cycling loading. *Journal of Earthquake Engineering*, 12(2), 197-221.
- Karasu, T. O., Erdem, R. T., Demir A. ve Bağcı M. (2011). Yumuşak kat düzensizliği bulunan bir binanın performansının incelenmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 61-69.
- Kaushik, H. B., Rai, D. C. ve Jain, S. K. (2007). Stress-strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(9), 728-739.
- Kaushik, H. B., Rai, D. C. ve Jain, S. K. (2008). A rational approach to analytical modeling of masonry infills in reinforced concrete frame buildings. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing*.
- Korkmaz, A. ve Uçar, T (2006). Yumuşak kat düzensizliğinin betonarme binaların deprem davranışında etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(2), 65-76.
- Korkmaz, K. A., Demir, F. ve Sivri, M. (2007). Earthquake assessment of R/C structures with masonry infill walls. *International Journal of Science & Technology*, 2(2), 155-164.
- Köse, M. M. ve Karşlıoğlu, Ö. (2007). Dolgu duvarların bina doğal modal periyot ve mode şekillerine olan etkileri. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul*.
- Köse, M. M. (2009). Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls. *Engineering Structures*, 31(1), 93-102.

Kudret Tuğla Sanayi ve Tic. A.Ş. (2009). *İzo tuğla petek serisi*. 24 Eylül 2015, <http://www.kudret.com/products.php?cat=14>.

Li, S., Shan, S., Zhai, C. ve Xie, L. (2016). Experimental and numerical study on progressive collapse process of RC frames with full-height infill walls. *Engineering Failure Analysis*, 59, 57-68.

Madan, A., Reinhorn A. M., Mander, J. B. ve Valles, R. E. (1997). Modelling of masonry infill panels for structural analysis. *Journal of Structural Engineerings*, 123(10), 1295-1302.

Mainstone, J. R. (1971). On the stiffnes and strenght of infilled frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 49(2).

Markulak, D., Radić I. ve Sigmund V. (2013). Cyclic testing of single bay steel frames with various types of masonry infill. *Engineering Structures*, 51, 267-277.

Martinelli, E., Lima, C. ve De Stefano, G. (2015). A simplified procedure for nonlinear static analysis of masonry infilled RC frames. *Engineering Structures*, 101, 591-608.

Masonry Standarts Joint Committee (1999). Building code requirements for masonry structures. *American Concrete Institute, Detroit*.

Moghaddam, H. A. ve Downling, P. (1988) Earthquake resistant design of brick infilled frames. *Brick and Block Masonry (8th IBMAC) London, Elsevier Applied Science*.

Mostafaei, H. ve Kabeyasawa, T. (2004). Effect of infill masonry walls on the seismic response of reinforced concrete buildings subjected to the 2003 Bam earthquake strong motion: A case study of Bam telephone center. *Bulletin of Earthquake Research Institute University Tokyo*, 79, 133-156.

- Negro, P. ve Colombo, A. (1997). Irregularities induced by nonstructural masonry panels in framed buildings. *Engineering Structures*, 19(7), 576-585.
- Öztürkoğlu, O., Uçar T. ve Yeşilce Y. (2015). Kısmi boşluklu dolgu duvarların betonarme binaların deprem davranışına etkisinin incelenmesi. *International Burdur Earthquake & Environment Symposium, Burdur*, 123-133.
- Paulay, T. ve Priestley, M.J.N. (1992). *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. USA: John Wiley & Sons Inc..
- Prasad, R. M. D., Rahman, S. S. ve Chandradhara, G. P. (2014). Single equivalent diagonal strut analysis for infilled frames with openings using finite element analysis. *Journal of Civil Engineering Technology and Research*, 2(1), 277-283.
- Polyakov, S. V. (1950). Investigation of the strength and of the deformational characteristics of masonry filler walls and facing on framed structures, *Stroitel'naya Promyshlennost (Construction Industry)*, 5.
- Polyakov, S. V. (1952). On the strength and deformation of stone masonry filling in framed walls under shearing load. *Stroitel'naya Promyshlennost (Construction Industry)*, 3.
- Polyakov, S. V. (1957). Masonry in the walls of frame structures (investigation of strength and rigidity). *State Publishing House of Literature on Building and Architecture*.
- Polyakov, S. V. (1960). On the interaction between masonry filler walls and enclosing frame when loaded in the plane of the wall. *Translations in Earthquake Engineering*, 36-42.

- Rabinovitch, O. ve Madah, H. (2011). Finite element modeling and shake-table testing of unidirectional infill masonry walls under out-of-plane dynamic loads. *Engineering Structures*, 33, 2683-2696.
- Sahlin, S. (1971). *Structural masonry*. New Jersey: Prentice-Hall Inc..
- Sayın, B. ve Kaplan, S. A. (2005). Deprem etkisi altındaki betonarme yapılarda dolgu duvarların modelleme teknikleri. *Deprem Sempozyumu, Kocaeli*, 474-480.
- Sevil, T., Baran, M. ve Canbay, E. (2010). Tuğla dolgu duvarların B/A çerçeveli yapıların davranışına etkilerinin incelenmesi; deneysel ve kuramsal çalışmalar. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2(2), 35-42.
- Sivri, M., Demir, F. ve Kuyucular, A. (2006). Dolgu duvarların çerçeve yapının deprem davranışına ve göçme mekanizmasına etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(1), 109-115.
- Stafford Smith, B. ve Carter, C. (1969). A method of analysis for infilled frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 44(1), 31-48.
- Schwarz, S., Hanaor, A. ve Yankelevsky, D. Z. (2015). Experimental response of reinforced concrete frames with AAC masonry infill walls to in-plane cyclic loading. *Structures*, 3, 306-319.
- Tsai, M., ve Huang, T. (2011). Numerical investigation on the progressive collapse resistance of an RC building with brick infills under column loss. *World Academy of Science Engineering and Technology*, 58, 27-34.
- Türk Standartları Enstitüsü (2000). TS500-Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. Ankara.

Uçar, T. (2005). *Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizinde çözüm yöntemleri*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Uva, G., Porco, F. ve Fiore, A. (2012). Appraisal of masonry infill walls effect in the seismic response of RC framed buildings: A case study. *Engineering Structures*, 34, 514-526.

Valente, M. (2012). Seismic performance assessment of a masonry infilled ductile RC structure. *International Journal of Engineering and Technology*, 4(6), 701-704.

Yakut, A., Binici, B., Demirel, İ. O. ve Özcebe, G. (2013). Dolgu duvarların deprem davranışına etkisi. 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay.