



**ÇOK KATLI BETONARME YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞINDA
DOLGU DUVAR ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İnş. Müh. Tuba DEMİR
131115107**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Mekanik
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Erkut SAYIN
AĞUSTOS-2016**

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI BETONARME YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞINDA
DOLGU DUVAR ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Tuba DEMİR
131115107

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Temmuz 2016

Tezin Savunulduğu Tarih : 5 Ağustos 2016

Tez Danışmanı :

Yrd. Doç. Dr. Erkut SAYIN (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri :

Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ (F.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Burak YÖN (TÜ.)

AĞUSTOS – 2016

ÖNSÖZ

Çalışmam süresince bana yol gösteren, değerli bilgilerinden faydalandığım, hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Erkut SAYIN'a ve benden maddi manevi desteklerini eksik etmeyen aileme, teşekkür ederim.

Tuba DEMİR
ELAZIĞ – 2016



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	IV
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLOLAR LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR	IX
SEMBOLLER LİSTESİ	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Önceki Çalışmalar	2
1.2. Çalışmanın Kapsamı.....	7
2. DOLGU DUVAR ÖZELLİKLERİNİN VE DOLGU DUVAR DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ	8
2.1. Dolgu Duvarın Yapısı.....	8
2.2. Dolgu Duvarın Modellenmesi	9
2.2.1. Boşluksuz Dolgu Duvarın Modellenmesi	10
2.2.2. Dolgu Duvar Basınç Çubuğu Özellikleri	12
2.3. Dolgu Duvarın Dayanımı	12
2.3.1. Dolgu Duvarın Kesme Dayanımı	12
2.3.2. Dolgu Duvarın Basınç Dayanımı	12
2.4. Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Taşıma Kapasitesi	13
3. PERFORMANSA DAYALI TASARIMDA KULLANILAN HESAP YÖNTEMLERİ	14
3.1. SAP2000 Yapı Analiz Programı.....	14
3.2. Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri	15
3.2.1. Yöntemin Esasları	15
3.2.2. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	15
3.2.3. Mod Birleştirme Yöntemi.....	15
3.3. Dolgu Duvarlı Yapıların Modelleme Aşamaları	16
3.4. Performansa Dayalı Analizin Temel Aşamaları	16
3.4.1. Performansa Dayalı Analizde Deprem Etki Seviyeleri	17
3.4.2. Yapısal Elemanlar İçin Hedeflenen Deprem Performans Seviyeleri	18
3.4.3. Yapısal Olmayan Elemanlar İçin Hedeflenen Deprem Performans Seviyeleri.....	20
3.5. Taşıyıcı Sistem Elemanlarına Ait Şekil Değiştirme Sınırları.....	21
3.5.1. Betonarme Elemanlarının Etki/Kapasite Oranlarının Sınır Değerleri	22
4. SAYISAL UYGULAMA.....	24
4.1. Sistemin Boyutlandırılması	24
4.2. Boyutlandırmada Esas Alınan Yükler	25
4.3. Çatlamış Kesite Ait Eğilme Rijitliklerinin Belirlenmesi	28
4.4. Yapının Analiz Aşamaları	31
4.4.1. Kirişlerde Moment Kapasiteleri	32
4.4.1.1. Kirişlerin Kesme Dayanımı	35
4.4.2. Kolonlarda Moment Kapasiteleri	36
4.4.2.1. Karşılıklı Etki Diyagramıyla Çözüm.....	39

4.4.3. Yapı Modellerinin Yer Değiştirme Değerlerinin Karşılaştırılması	53
4.4.4. Yapı Modellerinin Görelı Kat Öteleme Oranlarının Karşılaştırılması	55
5. SONUÇLAR.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	64



ÖZET

Bu çalışmada, dolgu duvarların betonarme yapı sistemine olan katkısını belirlemek amaçlanmıştır. Bunun için 3 katlı, 5 katlı ve 7 katlı betonarme yapılar modellenmiştir. Bu modeller kendi içinde üç farklı şekilde yeniden tasarlanmıştır. Birinci model tüm katlarının, tamamen dolgu duvarsız olduğu çerçeve modelidir. İkinci model ilk katında dolgu duvarların olmadığı, diğer katlarında ise dolgu duvarların olduğu çerçeve modelidir. Üçüncü model ise tüm katlarında dolgu duvarların olduğu modeldir. Bu şekilde dokuz farklı yapı modellenmiştir. Bu modellerin tümü, her iki yönde iki açıklığa sahip olup, TS500 ve Türk Deprem Yönetmeliği 2007’de esas alınarak tasarlanmış ve SAP2000 programı kullanılarak üç boyutlu şekilde modellenmesi yapılmıştır. Dolgu duvarlı olarak tasarlanan modellerde, dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu şeklinde tanımlanmıştır. Tüm modeller için doğrusal elastik hesap yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır. Analiz sonucunda yapıların görelî kat ötelemeleri, yer değiştirme değerleri belirlenmiş ve tüm modeller için ayrı ayrı kıyaslama yapılarak grafikler çizilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre de dolgu duvarların sistemin rijitliğini ve dayanımını değiştirdiği görülmüştür. Bu doğrultuda, yapının performansının belirlenmesinde dolgu duvarların dikkate alınması gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Betonarme Yapı, Dolgu Duvarlar, Eşdeğer Basınç Çubuğu

SUMMARY

Investigation of Effect of Infill Walls in Earthquake Behavior of Multi-Storey Concrete Structures

In this study, we aimed to determine the contribution to the reinforced concrete structure of the infill walls. For numerical application, three-storeys five-storeys and seven-story concrete structures were modeled in order to determine the contribution to the building system of infill walls. These models has been redesigned in three different type in itself. The first model is the frame model without completely infill walls of all story. The second model is the frame model which is absence of infill walls on the first floor and have infill walls on other floors. The third model is the frame model having infill walls on all floors. Nine different structures have modeled in this study. The scope of this study, the building models which has two apertures in both directions was modeled as three dimensions by using a computer program called SAP2000 on the basis of TS500 and Turkish Seismic Code, 2007. The infill walls were defined as the equivalent compression strut in the model which is designed as bare frame and infill walls. Linear analysis method was used for analyses of the models. For this purpose, the structure of interstory drifts, displacement values were determined and made separate comparisons were drawn graphics for all models. According to these results, infill walls have changed the rigidity and strength of the system. In this regard, it was determined that the infill walls must be considered in the determining of performance of structure.

Key Words : Reinforced Concrete Structure, Infill Walls, Equivalent Pressure Bar

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Yatay delikli tuğla	8
Şekil 2.2. Gazbeton (Ytong).....	9
Şekil 2.3. Dolgu duvarın eşdeğer diyagonal çubuk ile gösterilmesi	10
Şekil 3.1. Performansa dayalı analizin temel aşamaları	17
Şekil 3.2. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri	22
Şekil 4.1. Kat Kalıp Planı.....	24
Şekil 4.3. Üç katlı dolgu duvarsız yapının üç boyutlu modeli	26
Şekil 4.4. (a) Üç katlı dolgu duvarsız çerçeve (b) Üç katlı ilk katı dolgu duvarsız çerçeve (c) Üç katlı dolgu duvarlı çerçeve	27
Şekil 4.5. (a) Beş katlı dolgu duvarsız çerçeve (b) Beş katlı ilk katı dolgu duvarsız çerçeve (c) Beş katlı dolgu duvarlı çerçeve	27
Şekil 4.6. (a) Yedi katlı dolgu duvarsız çerçeve (b) Yedi katlı ilk katı dolgu duvarsız çerçeve (c) Yedi katlı dolgu duvarlı çerçeve	28
Şekil 4.7. (1-1) Aksı çerçevesi kolon ve giriş yerleri	31
Şekil 4.9. Kolonlarda karşılıklı etki diyagramı ve kapasite hesabı	42
Şekil 4.10. Üç katlı çerçeve modellerinin yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması	53
Şekil 4.11. Beş katlı çerçeve modellerinin yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması ...	54
Şekil 4.12. Yedi katlı çerçeve modellerinin yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması .	55
Şekil 4.13. Üç katlı çerçeve modellerinin görelî kat öteleme oranlarının karşılaştırılması	56
Şekil 4.14. Beş katlı çerçeve modellerinin görelî kat öteleme oranlarının karşılaştırılması	57
Şekil 4.15. Yedi katlı çerçeve modellerinin görelî kat öteleme oranlarının karşılaştırılması.....	58

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Farklı deprem düzeyinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri	18
Tablo 3.2. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r) ..	22
Tablo 3.3. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r)	23
Tablo 4.1. Kolonlara ait eğilme rijitlikleri	30
Tablo 4.2. Kirişlerin en kesit boyutları ve donatıları	32
Tablo 4.3. Kirişlerin en kesit boyutları ve donatı alanları	32
Tablo 4.4. Kiriş kapasite kuvvetleri	33
Tablo 4.5. Kirişlerin G+0.3Q yüklemesi altındaki analiz sonuçları	34
Tablo 4.6. Kirişlerin E yüklemesi altındaki analiz sonuçları	34
Tablo 4.7. Kirişlerin Etki \ Kapasite oranları	36
Tablo 4.8. Kolonların G+0.3Q yüklemesi altındaki analiz sonuçları	37
Tablo 4.9. Kolonların E yüklemesi altındaki analiz sonuçları	38
Tablo 4.10. Kolonların deprem yüklemesi altındaki analiz sonuçları ve etki/kapasite oranları	43
Tablo 4.11. Kolonlar için hasar bölgeleri	44
Tablo 4.12. Kirişler için hasar bölgeleri	45
Tablo 4.13. Kolonlar için hasar bölgelerinin karşılaştırılması	46
Tablo 4.14. Kirişler için hasar bölgelerinin karşılaştırılması	47
Tablo 4.15. Kolonlar için hasar bölgelerinin karşılaştırılması	48
Tablo 4.16. Kirişler için hasar bölgelerinin karşılaştırılması	49
Tablo 4.17. Kolonlar için hasar bölgelerinin karşılaştırılması	50
Tablo 4.18. Kirişler için hasar bölgelerinin karşılaştırılması	52
Tablo 4.19. Üç katlı çerçeve modellerine ait yer değiştirme değerleri	53
Tablo 4.21. Yedi katlı çerçeve modellerine ait yer değiştirme değerleri	55
Tablo 4.22. Üç katlı çerçeve modellerine ait görel kat öteleme oranları	56
Tablo 4.23. Beş katlı çerçeve modellerine ait görel kat öteleme oranları	56
Tablo 4.24. Yedi katlı çerçeve modellerine ait görel kat öteleme oranları	57

KISALTMALAR

ATC 40	: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings
CG	: Can güvenliği
DBYBHY	: Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
FEMA 356	: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
G	: Sabit yük
GÇ	: Göçme sınırı
GÖ	: Göçme öncesi
GV	: Güvenlik sınırı
HK	: Hemen kullanım
MN	: Minimum hasar sınırı
SAP	: Integrated Software for Structural Analysis and Design

SEMBOLLER LİSTESİ

a	: Çubuk kalınlığı
A_c	: Kolon en kesit alanı
A_{sb}	: Çekme donatısı alanı
A_{st}	: Çekme donatısı alanı
A_{sw}	: Etriye alanı
E_m	: Dolgu duvar elastisite modülü
E_s	: Çerçeve elastisite modülü
f_{cm}	: Mevcut beton basınç dayanımı
f'_m	: Dolgu duvar basınç dayanımı
f_{ctm}	: Mevcut betonun çekme dayanımı
h	: Kat yüksekliği
h'	: Net duvar yüksekliği
I_c	: Kolonların eylemsizlik momenti
I	: Açıklık
I'	: Net açıklık
M_E	: Deprem etkisindeki eğilme momenti
M_r^-	: Negatif kapasite momenti
M_r^+	: Pozitif kapasite momenti
N_D	: Düşey yükten oluşan aksenal kuvvet
N_r	: Aksenal kuvvet
Q	: Hareketli yük
r	: Etki/Kapasite oranı
R	: Yapı davranış katsayısı
t	: Dolgu duvar kalınlığı
T_A	: Spektrum karakteristik periyodu
T_B	: İvme spektrumundaki karakteristik periyod
V_r	: Kirişlerin kesme dayanımı
θ	: Basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı
W	: Elastik duvar genişliği

1. GİRİŞ

Yapı sistemlerinin iç kısımlarının kullanım şeklini belirlemek için düşey düzlemde çeşitli şekillerde dolgu duvarlar kullanılmaktadır. Betonarme yapıların iç kısımlarında ve dış bölümlerinde kullanılan dolgu duvarlar, yapının dış ortamla bağlantısını kesen yapı elemanlarıdır. Bununla birlikte yapılarda, farklı mekanların oluşturulmasına da olanak sağlayan yapı elemanlarıdır. Ülkemizde yapılan projelerde en çok ihmal edilen etkenlerden biri de, bu dolgu duvarların yapı davranışına olan etkisinin gözardı edilmesidir. Dolgu duvarların bu etkisinin ihmal edilmesinin nedeni; bu duvarların katkısını analiz eden ve çözümleyen modellerin oluşturulmasının karmaşık ve zor olması, proje tasarım seviyesinde henüz yer almaması öte yandan bu elemanların, yapının enerji yutma kapasitesine ve dayanımına olan katkısının bilinmesine rağmen, çözümleme için emniyetli tarafta kalınmak istenmesidir.

Araştırmacılar, yapı sistemlerinin deprem anındaki davranışlarını incelemek ve bu davranışlara karşı alınacak önlemler hakkında çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Mevcut analiz ve tasarım programlarında çerçeve sistemli betonarme binaların sadece kolon, kiriş ve döşemelerinin sistemde taşıyıcı oldukları, dolgu duvarların yatay yükler altında taşıyıcı etkilerinin ihmal edildiği analizler yapılmaktadır. Yapısal olmayan eleman olarak kabul edilen dolgu duvarlar, deprem yüklerine maruz kaldığında çerçeveye birlikte çalışmaktadır. Öyle ki dolgu duvar bulunan ve bulunmayan çerçevelerle yapılan deneyler dolgu duvarların özellikle çerçeve rijitliğini büyük ölçüde arttırdığını göstermiştir.

Bununla birlikte dolgu duvarlar, depremde ilk olarak hasarı alan eleman olmasına rağmen, deprem sırasında, bu elemanlar deprem kuvvetine karşı koyarak ve çatlayarak enerjinin belli bir kısmının sönmelenmesini sağlamaktadırlar. Dolgu duvarlar bir yandan yapı kütesinin artmasına neden olurken, diğer yandan doğal titreşim periyotlarının küçülmesini sağlamaktadır. Ancak herhangi bir deprem sırasında, depremin başlangıcından bir süre sonra gevrek olan dolgu duvarların, çatlayarak devreden çıkma olasılığı yüksektir. Bu aşamadan sonra betonarme çerçeve depreme karşı koyacak, dolgu duvarların etkisi ise sadece kütle yönünden devam edecektir.

Dolgu duvarlarla ilgili 50 yıldan fazla süredir birçok deneysel ve analitik çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda, betonarme çerçeveler için önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu ilerlemelerin birçoğu rijitlik kavramı üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu

konuyla ilgili ilk çalışmalar ise 1950’li yıllarda Polyakov tarafından, dolgu duvarların diyagonal basınç çubuğuyla gösterilmesi şeklinde düşünülmüştür. Daha sonra da araştırmacılar tarafından bu düşünce kabul görmüş ve çeşitli şekillerde geliştirilmiştir. İlk araştırmalardan bu yana hesap kolaylığı açısından tercih edilen basınç çubuğu yöntemi, gerçek davranışı temsil etmenin en basit yöntemlerinden biridir. Yük taşıdığı kabul edilmeyen bu duvarlar düşey yükler açısından bir probleme sebebiyet vermese de yatay yükler ve bilhassa deprem yükleri altında taşıyıcı sistemin davranışını etkilemektedir.

1.1. Önceki Çalışmalar

Smith (1962, 1969), yatay yükler etkisi altında, dolgu duvarların davranışını tespit etmek için analitik ve deneysel çalışmalar yapmıştır. Polyakov (1950)’ un ortaya attığı basınç çubuğu yöntemini daha ayrıntılı olarak ele almıştır. Dolgu duvarlı çerçevelerin, rijitlik ve dayanımının sadece fiziksel özelliklere bağlı değil, bununla beraber dolgu duvar ve çevresindeki çerçeve ile olan temas yüzeyine bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Temas uzunluğunun dolgu duvar ve çerçevenin bağlı rijitlikleri ile değiştiğini belirterek dolgu duvar davranışını belirleyen göreceli rijitlik kavramını tanımlamıştır. Öte yandan kuvvet, çerçeveye uygulandığında dolgu duvar, kolon veya kirişin belli bir uzunluğu boyunca ayrılmakta ve çerçeve ile dolgu duvar arasındaki temas diğer iki karşı köşede devam etmektedir. Bu seviyede, temasın devam ettiği bir köşeden öteki köşeye çizilen bir çizgi basıncın tarafını göstermektedir. Dolgu duvar, bu çizgi boyunca basıncı aktarmaktadır. Bu sonuçlar dolgu duvarın, eşdeğeri olan sanal bir basınç çubuğuyla modellenebileceğini göstermiştir. Basınç çubuğu genişliği değerinin ise, çerçevenin değişik (yükseklik/açıklık) oranlarına göre diyagonal basınç çubuğu uzunluğunun 1/4 ile 1/11’i arasında değişim gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Bertero vd. (1978), dolgu duvarların, betonarme çerçevelerin deprem davranışına olan etkisini incelemişlerdir. Bunun için 11 katlı ve 3 açıklığa sahip model seçmişlerdir. Bu model üzerinde de dört tür dolgu malzemesi kullanmışlardır. Sonuç olarak boş çerçeveye eklenen dolgu duvar sistemi, yatay rijitliği önemli ölçüde arttırmıştır. Tüm modellerde hasarlar ilk katlarda oluşmuştur. Boş çerçeveye dolgunun eklenmesi sistemin dinamik özelliklerini de etkilemiştir. Çünkü dolgu duvarların eklenmesi, maksimum deplasmanların da azalmasına neden olmuştur.

Govindan vd. (1986), yedi katlı dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçeve modelleyip, bu iki yapı sisteminin davranışlarını karşılaştırmışlardır. Dolgu duvarın yapının

performansına olan etkisini belirlemek amacıyla yapmış oldukları deneysel çalışmalarında, süneklik, göçme y  k , y  k taşıma kapasitesi ve enerji yutma kapasitesi parametreleri, yatay y  klere maruz olan bu yedi katlı, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız  er eve modelleri üzerinde kar ıla tırmı  ve dolgu duvarın etkisi belirlemişlerdir. Deprem gibi yatay y  kler etkisi altında kalan yapının, dolgu duvarlı olması durumunda b  y k bir kesme kuvvetini kar ıladı ını ortaya çıkarmışlardır.

Achyutha vd. (1986), çalışmalarında, tu la dolgu duvarlı  er eve yapıların analizi için sonlu eleman yöntemini kullanmışlardır. Çerçeveli yapıları tamamı dolgu duvarlı veya boşluklu  er eve olarak analiz etmişlerdir. Kullanmış oldukları sonlu eleman modelinde dolgu ve  er eve arasındaki sürtünme, kayma ve ayrılma kaybını dikkate almışlardır. Dolgu duvarda yer alan bir adet bo lu un b  y kl k olarak değişimi ve boşluk etrafına yerleştirilen rijit çubukların yerleşim şeklindeki değişimin, sistemin yanal rijitlik ve dolgu içindeki gerilme dağılımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Model ve deneysel sonuçları kar ıla tırarak her iki model arasındaki yapısal performansı belirlemişlerdir.

Bayülke vd. (1992), yapıların artan tek yönlü yanal y  kler altındaki yatay y  k ötelenme ilişkisinin belirlenmesinde kullanılan doğrusal olmayan itme analizini, değişik zamanlarda yapmış ve deprem hasarı görmüş ve görmemiş    betonarme yapıya uygulamışlardır. Araştırmacıların bu çalışmalarındaki amaç, yapıların yatay y  k ötelenme ilişkisini ve dolgu duvarların yatay y  k etki şeklini belirlemektir.

Saneijad vd. (1995), çalışmalarında yatay y  klere maruz kalan yapılarda, dolgu duvarların gerçek dayanım ve rijitli e etkisinin önemli olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılara göre, uzun yıllardır yapılan yoğun çalışmalara rağmen dolgu duvarlar, yapısal davranışın çözümlenmesinde ayrı elemanlar olarak hala göz önüne alınmamaktadır. Bu da tasarımının karı ıklı ı ve uygun bir teorinin geli tirilememesinden kaynaklanmaktadır. Son zamanlarda çok katlı yapıların tasarımı ve çözümlenmesi hızlı bir şekilde geli mi  ve P-  etkilerinin sınırlanması temel tasarım felsefesi haline gelmiştir.  er eveseler ne kadar esnekse ikincil eğilme momentleri de o kadar fazla olduğundan dolayı, geçmişe oranla günümüzde dolgu duvarların etkisi daha önemlidir. Çünkü dolgu duvarlar yatay rijitliği arttırarak P-  etkisini de minimize etmektedirler.

Negro vd. (1997), dolgu duvarın yapı sistemine olan etkisini belirlemek için dört katlı bir yapı modelleyip, bu model üzerinde çeşitli testler yapmışlardır. Bu dört katlı yapıyı dolgu duvarsız  er eve, dolgu duvarlı  er eve ve ilk kat y  sekli i arttırılmış olan model şeklinde tasarlayıp, her bir modele testler uygulamıştır. Dolgu duvarın varlığı ve dağılım

düzeni, yapının davranışını ve yer değiştirmesini farklı etkilemiştir. Örneğin dolgu duvarsız çerçevede meydana gelen yer değiştirme, diğer iki modelden daha fazla olmuştur. En az yer değiştirme ise dolgu duvarın üniform dağıldığı sistemde oluşmuştur. Bu yer değişim farkı, dolgu duvarı bulunmayan çerçeveden 2.5 kat daha azdır. Maksimum taban kesmesi, yine dolgulu yapıda oluşmuştur. Yumuşak katlı yapının taban kesme değeri ise, dolgu duvarsız çerçeveninkinden daha büyüktür. Diğer yandan dolgu duvarlardaki hasar, yükseklik fonksiyonuna bağlı olarak azalmıştır. İlk katta dolgu duvarlarda hasar meydana gelmiştir, ikinci katta dolgu duvar köşelerinde ezilme ve çatlama gibi büyük hasarlar oluşmuştur. Üçüncü katta dolgu duvarlarda bazı çatlaklar oluşmuş, ancak ezilme gözlenmemiştir. Üst kat dolguları ise hemen hemen aynı kalmıştır.

İrtem vd. (2004), betonarme binaların performansına dolgu duvarın katkısını belirlemek için çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Bunun için Türk Deprem Yönetmeliğine uygun bina tasarlayıp, bu yapıyı dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız modelleyerek analizler yapmışlardır. Dolgu duvarı fiktif çubuklarla tanımlamışlardır. Ayrıca, dolgu duvarların basınç kırılması davranışı gösterdiğini kabul ederek, yapı sistemini iki ucu mafsallı çubuk elemanlarla temsil etmişlerdir. Bununla birlikte dolgu duvarın harçlı boşluklu tuğladan oluştuğunu kabul etmişlerdir. Bu iki farklı özellikteki yapı için, orantılı olarak artan deprem yükleri ve sabit düşey yükler altında lineer olmayan teoriye göre analizler yapmışlar ve bu iki yapıyı karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda, taşıyıcı sistemde dolgu duvarların dikkate alınması ile yapının performansının arttığını belirlemişlerdir. Ayrıca dolgu duvarın yapıdaki konum dağılımına göre, bu performansta değişiklikler olduğunu da belirlemişlerdir.

Celep vd. (2004), beş katlı bir yapı modelleyerek, taşıyıcı sistemde dolgu duvarların, binanın yatay yük davranışına olan etkisi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yapıda daha çok deprem doğrultusundaki dolgu duvarların, deprem kesme kuvvetinin kolonlarla olan paylaşımının ve bu paylaşıma duvar alanının etkisinin, duvarın üst ve alt kirişlerle ve iki yandaki kolonlarla olan bağlantısının etkisini araştırmışlardır. Bu inceleme sonucunda, dolgu duvarların kat kesme kuvvetinin büyük bir kısmını karşıladığını gözlemlemişlerdir. Bu durum yapılarda dolgu duvarların yatay yük kapasitelerinin dikkate alınmasının önemini göstermiştir. Dolayısıyla yapıların depreme karşı kapasitelerinin artırılmasının, dolgu duvarların iyileştirilmesi ile de sağlanabileceği, dolgu duvarların doğrudan komşu olan kolonların kat kesme kuvvetlerinin önemli bir kısmını karşıladığı da belirlenmiştir.

Karslıoğlu (2005), çalışmasında çok katlı binalarda yer alan tuğla dolgu duvarların, yapının davranışına olan etkisini araştırmıştır. 2 bodrum katı, 1 zemin katı, 1 asma katı ve 10 normal katı bulunan betonarme binanın çerçeve sistemini, SAP2000 programında üç boyutlu olarak modellemiş ve bu model doğrultusunda, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız iki ayrı modelin dinamik analizini yapmış ve sonuçlarını karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, dolgu duvarın yapıya eklenmesiyle, yatay deplasman, periyot, taban kesme kuvveti ve yumuşak kat oluşumunda farklılıklar olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca boş çerçeveye dolgu duvarın eklenmesi, sistemin dinamik özelliklerini de etkilemiştir. Sistemin yatay rijitliği artmış dolayısıyla periyodu da azalmıştır.

Sivri vd. (2006), deprem etkisi altındaki dolgu duvarların, yapı davranışına olan katkısını belirlemek için eşdeğer diyagonal eleman kullanmışlardır. Yapmış oldukları analizlerde Düzce ve Erzincan deprem kayıtlarını yer hareketi olarak kullanmışlardır. Analiz için dört katlı yapı olmak üzere, dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve zemin katı duvarsız üç tip yapı modelleyip, bu modellerin çatı yer değiştirmelerini, taban kesme kuvveti değerlerini deprem kayıtlarını da kullanarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak dolgu duvarların, yapının dinamik davranışını büyük ölçüde etkilediğini göstermişlerdir. Yapının dayanım ve güvenirliliğinin dolgu duvarlardan dolayı değiştiğini, dolgu duvarlı yapının yer değiştirme ve taban kesme kuvvetinin dolgu duvarsız yapıdan daha farklı olduğunu belirlemişlerdir.

Demir vd. (2006), depremin dolgu duvara olan etkisini araştırmak için doğrusal olmayan yapısal analizler yapmışlardır. Doğrusal olmayan bu analizin amacı deprem etkisi altındaki yapıların performansını kontrol etmektir. Analiz için eşdeğer diyagonal çubuk yöntemi kullanılarak dolgu duvar modellemişlerdir. Yapılan itme analizinde, yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisi ve yatay kuvvetler altında yapının kapasitesi gösterilmiştir. Bunun yanında kapasite eğrilerini tanımlamak için, düşey yükler ve artan deprem kaynaklı yanal kuvvetleri dikkate almışlar ve yapının doğrusal davranışını yakalamak için plastik mafsallı hipotezini kullanmışlardır. Bu hipoteze göre plastik deformasyonlar, plastik mafsallarda toplanıp, sistemin geri kalanı ise elastik doğrusal davranış gösterir. Analiz sonuçlarına bakıldığında, çerçevelerde yapısal olmayan dolgu duvarların varlığı, çerçevelerin taban kesme kuvvetini ve deplasmanları değiştirmektedir. Ayrıca ilk plastik mafsallı oluşumu da dolgu duvarlarda meydana gelmiştir. Plastik mafsallı dönmelerine ait dolgu duvarlı çerçevelerin plastik dönme seviyelerinin, dolgu duvarsız çerçevelerden daha az değerde olduğu da belirlenmiştir.

Korkmaz vd. (2006), betonarme yapıların deprem davranışlarında dolgu duvar etkisini incelemek amacıyla, çerçeve ve dolgu duvarların bulunduğu betonarme yapıların deprem davranışındaki değişikliklerini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında 10 katlı dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız bir çerçeve yapı sisteminin olduğu ve dolgu duvarların yapının tüm katlarında bulunduğu modellerin, analizlerini yaparak, deprem davranışına olan etkilerini incelemeye çalışmışlardır. Modellenen yapıda düşey yükler bulunurken, deprem yüklerini temsil eden yatay yükler de aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmıştır. Dolgu duvarları modellemede ise iki ucu mafsallı diyagonal çubuklar kullanılmış ve bu çubukların çekme dayanımları ihmal edilmiştir. Dolgu duvarların kapasitelerine basınç kırılmasıyla ulaşacakları kabul edilmiştir. Çalışma sonucunda; dolgu duvarlı çerçevede ilk plastik kesit dolgu duvar üzerinde meydana gelmiştir. Dolgu duvarların olmadığı çerçevede ise, taban kesme kuvvetinin daha düşük değerlerinde plastik mafsallar meydana gelmekte ve ilk plastik kesitler kirişlerde oluşmaktadır.

Tekin vd. (2007), modellemiş oldukları 4 katlı dolgulu ve dolgusuz düzlemsel betonarme çerçevelerin, doğrusal olmayan yöntemle çözümünü yapmışlardır. Bunun için, taşıyıcı sistemi oluşturan yapı elemanlarını diyagonal çubuklar ile dolgu duvarları ise eşdeğer basınç diyagonalleri şeklinde modellemişlerdir. Analiz sonucunda, elde edilen kapasite eğrileriyle, yapının dayanımını belirlemişlerdir. Pushover analizi de kullanarak yapmış oldukları bu çalışma sonucunda, dolgulu çerçevelerin, yatay yük taşıma kapasitelerinin, dolgusuz çerçevelere göre %40 daha fazla olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Genes vd. (2011), asmolen döşemeli, betonarme deprem perde ve çerçeve sistemlerinden oluşmuş, 6 katlı bir yapı modellemişlerdir. Bu yapının dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız durumlarına, zorlanmış titreşim testi uygulamış ve dinamik analizler yapmışlardır. Ayrıca seçilen betonarme yapıda, dış cephelerde dolgu duvar malzemesi olarak bims briket, iç duvarlarda içi boşluklu tuğla kullanmışlardır. Dolgu duvarların bina yatay rijitliğine etkisini belirlemek için de eşdeğer sanal basınç çubukları ile modelleme yapmışlardır.

Özcebe vd. (2013), yapı deprem davranışı üzerinde, dolgu duvar etkisini belirlemek amacıyla, ülkemizin farklı bölgelerinde bulunan, yaklaşık 28 adet betonarme binayı SAP2000 programı ile modellemişlerdir. Bu modelleri dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak analiz etmiş ve itme analizi uygulamışlardır. İtme analizleri sonucunda taban kesme kuvvetine karşılık tepe deplasman eğrilerini elde etmişlerdir. Yapısal bileşenlerin

modellenmesinde kirişler için kiriş elemanı, kolonlar için kiriş-kolon elemanı, dolgu duvarlar için çubuk elemanları ve döşemeler için rijit diyaframları kullanmışlardır. Her bina dolgu duvarların olduğu ve olmadığı durumlar için iki kez modellenmiştir. Doğrusal olmayan statik analizler sonucunda, dayanım, yerdeğiştirme, periyot ve rijitlik gibi kapasite eğrisi parametrelerini belirlemişlerdir.

Tekeli vd. (2015), yapmış oldukları çalışmalarında bina açıklık sayısı 5, kat adetleri 3 ve 5 olan modeller tasarlamışlardır. Bu binaları önce dolgu duvarsız olarak incelemişlerdir. Daha sonra oluşturdıkları bu modelleri kullanarak, dolgu duvarları bu yapının farklı farklı yerlerine yerleştirmişlerdir. Bunun sonucunda, dolgu duvar yerleşiminin ve miktarının, yapının davranışına ve performansına olan etkisini değerlendirmişlerdir. Kesite ait plastik mafsalların tanımlanmasında, moment-eğrilik ilişkisinden de faydalanarak, kesitin moment-dönme ilişkisini belirlemişlerdir. Araştırmacıların yapmış oldukları çözümlemeler sonucunda, dolgu duvarlı binaların kesme kuvveti kapasitesinde, dolgu duvarsız binaya göre önemli derecede artış görülmüştür. Öte yandan dolgu duvarın düzensiz yerleştirilmesi, kararlı bir kapasite eğrisi oluşumunu engellemiştir. Kapasite artışı ise daha düşük değerlerde kalmıştır. Doğrusal elastik olmayan yöntemle yapılan analiz sonucunda ise birinci kat kolon üst uç hasarı, tüm modeller için Minimum Hasar (MH) seviyesinde kalmıştır. Kolon alt ucu hasarı ise dolgu duvarın yerleşimine bağlı olarak değişim göstermiştir. Analiz sonuçlarına genel olarak bakıldığında, sisteme dolgu duvarın ilave edilmesi, yapıda hasar seviyesinin azalmasını sağlamıştır.

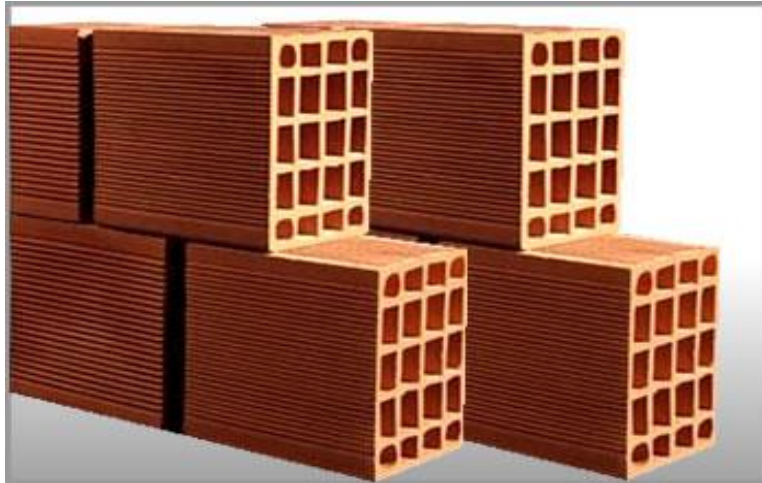
1.2. Çalışmanın Kapsamı

Dolgu duvarların bina davranışına olan etkisi kabul görse de, deprem yönetmelikleri bu durumu hesaplamalarda ihmal edip, genellikle duvarların yerleşimi ile ilgili kısıtlamalar getirmektedir. Sunulan bu çalışmada, dolgu duvarlı çerçeve, dolgu duvarsız çerçeve ve ilk katı dolgu duvarsız çerçeveden oluşan üç farklı yapı sistemi modellenmiştir. Bu çerçevelerin kat sayıları üç, beş ve yedi katlı olacak şekilde dikkate alınmıştır. Çerçevedeki dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu şeklinde tanımlanmıştır. Daha sonra bu üç yapı modeli üzerinde doğrusal elastik hesap yöntemiyle analizler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda, dolgu duvarların yapıya olan katkısı belirlenmeye çalışılmıştır.

2. DOLGU DUVAR ÖZELLİKLERİNİN VE DOLGU DUVAR DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ

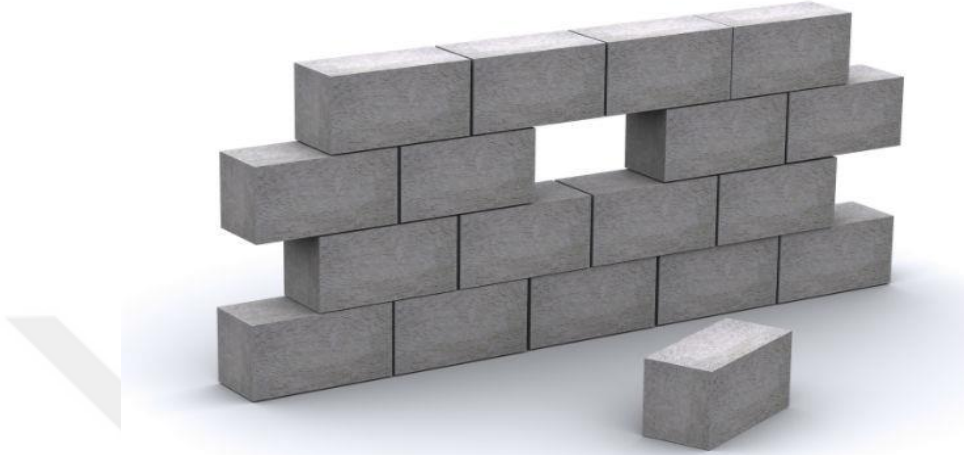
2.1. Dolgu Duvarın Yapısı

Dolgu duvar etkilerinin taşıyıcı sistemin modellenmesinde tanımlanabilmesi için, dolgu duvarın özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Ülkemizde yapılan dolgu duvar uygulamalarında, duvar malzemesi olarak harman tuğlası, düşey delikli tuğla, dolu fabrika tuğlası, yatay delikli dolgu tuğla ve gazbeton kullanılmaktadır. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de duvar yapımında kullanılan yatay delikli tuğla ve gazbeton örneği gösterilmiştir. Bu elemanları, uygulama sırasında birleştirmek için az çimentolu kireç harcı, gazbeton içinse özel yapıştırıcı malzemeler kullanılır. Dolgu duvarların karakteristik değerleri, kullanılan tuğla ve harcın çekme ve basınç dayanımlarına, harcın tuğlaya yapışma dayanımına, duvarın işçiliğine, derzlerin kalınlığına, tuğla elemanlarının boyutlarına, kullanılan harcın tazeliğine ve tuğlanın, harcın suyunu emme kapasitesine bağlıdır. Bunun yanı sıra yatay yüklemeler altında, dolgu duvarlarda harçlar ile dolgu malzemesi arasındaki aderans kuvveti, harçta basınç, dolgu malzemesinde ise çekme gerilmesi oluşturur.



Şekil 2.1. Yatay delikli tuğla

Bazı kaynaklarda ytong olarak da bilinen gazbeton, homojen gözeneklerden oluşan bir malzeme olup, hafif yapıya sahip bir malzemedir. Betonarme yapılarda iç ve dış dolgu duvar malzemesi, yığma yapılarda ise taşıyıcı duvar malzemesi olarak kullanılır.



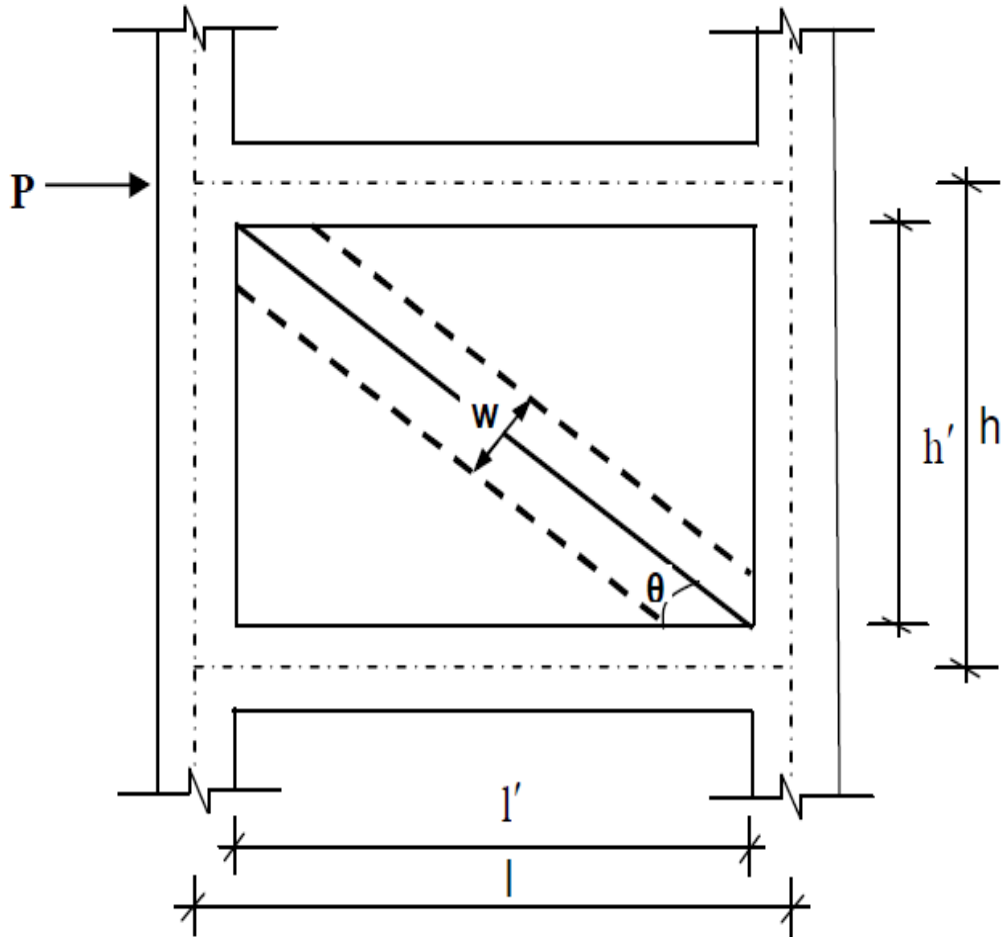
Şekil 2.2. Gazbeton (Ytong)

2.2. Dolgu Duvarın Modellenmesi

Yapı taşıyıcı sisteminin hesabında, dolgu duvarların etkisi nadiren göz önüne alınmaktadır. Bunun nedeni, yapı sisteminin üç boyutlu hesabında karışıklığa neden olmamaktır. Deprem yönetmeliklerinde, dolgu duvarların ağırlık olarak hesaba girmesi gerektiği, fakat hesaplamalarda dolgu duvar varlığının ihmal edilebileceği belirtilmektedir. Bununla birlikte Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007), çerçeve türünden betonarme taşıyıcı sistemlerin taşıma güçlerinin belirlenmesinde dolgu duvarların etkisini genel olarak hesaba katmazken, söz konusu duvarların etkisi yönetmelikte iki konuda göz önüne alınmaktadır. Bu konulardan birincisinde, mevcut binalarda yer alan bölme duvarların sonradan kaldırılmasına bağlı olarak oluşabilecek olumsuz durumları ve bu durumlardan dolayı binanın yatay yük taşıma kapasitesinin zayıflatılmaması için ek tedbir alınması şartı koşulur. Deprem yönetmeliğinde bölme duvarları ile ilgili diğer bir konu da, taşıyıcı sistemde tanımlanan komşu katlar arası dayanım düzensizliğinin kontrolünde bölme duvarların etkisinin hesaba katılmasıdır.

2.2.1. Boşluksuz Dolgu Duvarın Modellenmesi

Mainstone (1974) ve Stafford-Smith (1969), dolgu duvarların yapısal davranışlarını anlamak ve belirlemek için, yatay yükler altındaki çerçevelere, deneysel testler uygulamışlardır. Bunun için dolgu duvarı Şekil 2.3’de gösterildiği gibi eşdeğer diyagonal çubuk şeklinde modellemişlerdir. Belirlemiş oldukları modellerin test edilmesi esnasında dolgu duvarın merkezinde diyagonal çatlaklar gözlenmiş ve modelin karşılıklı çapraz yüklenmemiş köşelerinde çerçeveye dolgu arasında boşluklar oluşmuş, bu sırada yüklenmiş iki çapraz köşede de tam bir temas gözlenmiştir. Bu deneyler sonucunda, çerçevedeki dolgu duvarların, eşdeğer basınç çubukları ile temsil edilebileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.3. Dolgu duvarın eşdeğer diyagonal çubuk ile gösterilmesi

Mainstone (1974) yapmış olduğu çalışmasında, dolgu duvar özelliklerini eşdeğer sanal çapraz çubukla idealleştiren bir makro modelleme kullanmıştır. Bu modellemede kullandığı dolgu duvar parametreleri ve bağıntıları aşağıda verilmiştir.

$$d = \sqrt{h^2 + l^2} \quad (2.1)$$

$$W = 0.175 * (\lambda * h)^{-0.4} * d \quad (2.2)$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_m * t * \sin 2\theta}{4 * E_s * I_c * h}} \quad (2.3)$$

d: Diyagonal uzunluk

t: Dolgu duvar kalınlığı

W: Elastik duvar genişliği

h: Kat yüksekliği

h': Net duvar yüksekliği

l: Açıklık

l': Net açıklık

E_m: Dolgu duvar elastisite modülü

E_s: Çerçeve elastisite modülü

I_c: Kolonların eylemsizlik momenti

θ: Basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı

λ : Dolgu ile çerçevenin rijitlik parametresi

Dolgu duvar elastisite modülü, tuğla basınç dayanımına, tuğla yüksekliğine, harç tabakası basınç dayanımına, harç tabakası yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir.

Araştırmacılar, hesaplarda çeşitli elastisite modülü ve basınç dayanımı değerleri kullanmışlardır. Örneğin Paulay T. (1992)'ye göre dolgu duvar elastisite modülü, E_m = 8250 MPa ve dolgu duvar basınç dayanımı, f'_m = 3 MPa alınmaktadır. Öte yandan İTÜ (1999)'de yapılan çalışmada; E_m = 6000 MPa , f'_m = 2 MPa alınmıştır. Ayrıca dolgu duvardaki eşdeğer basınç çubuğunun kalınlık değerini Paulay ve Priestley (1992), yapmış oldukları çalışmalarda, dolgunun ve çerçevenin özelliklerini dikkate almaksızın sabit bir

değer olarak, dolgu duvarın diyagonal boyutlarının %12.5 ile %25' i arasında kabul etmişlerdir.

2.2.2. Dolgu Duvar Basınç Çubuğu Özellikleri

DBYBHY (2007)'e göre dolgu duvar modellenirken, bu dolgu duvarda kullanılacak eşdeğer basınç çubuğu:

- Köşegen uzunluğunun kalınlığına oranı 30' dan küçük olmalı
- İçerdiği boşluk oranı, duvar alanının %10' unu geçmemeli
- Boşluğun konumu, diyagonal basınç çubuğu oluşumunu engellememelidir.

2.3. Dolgu Duvarın Dayanımı

Dolgu duvarların dayanımı, duvardaki bloğun dayanımı ile duvarın bir bütün olarak dayanımını ifade eder. Çünkü duvardaki tuğla ile beton bloğun dayanımı ile tuğla, harç ve işçilikten oluşan duvarın dayanımı farklıdır. Dolgu duvarın düzlem içinde yatay derzlere dik ve paralel etkiyen yükler altında dayanımı önemlidir. Derzlere dik yönde gelen yüklere dayanım, duvarın “basınç” dayanımı, yatay yönde gelen yüklere dayanım ise “kesme” dayanımıdır. Deprem yükleri açısından duvarın kesme dayanımı önemlidir.

2.3.1. Dolgu Duvarın Kesme Dayanımı

Bir dolgu duvarın kesme dayanımı değeri, basınç dayanımı değerine bağlı olarak belirlenir. Kesme dayanımı, dolgu duvarın çatlaması sonucu, bu çatlak ara yüzünde tuğla ile blok arasındaki sürtünme kuvveti ile oluşur. Çatlak genişleyip, duvar blokları birbiri üzerine kaydıkça sürtünme alanı azalacağı için sürtünmeye bağlı kesme dayanımı da giderek azalır. Duvardaki düşey yük büyük ise sürtünmeye bağlı kesme dayanımı daha yüksek olur.

2.3.2. Dolgu Duvarın Basınç Dayanımı

Dolgu duvarın basınç dayanımı, duvardaki blok, harç dayanımı ve derzlere konulan harç kalınlığı ile yatay ve düşey derzlere harç konulmasına bağlıdır. Genellikle dolgu duvar basınç dayanımı tuğla ya da blok basınç dayanımının %25 - %50'si kadardır. Düşük basınç dayanımlı tuğladan yapılmış duvarın basınç dayanımı duvar bloğunun basınç

dayanımının %50'si, yüksek basınç dayanımlı tuğla ya da bloktan yapılmış duvarda ise duvar dayanımı, duvar bloğunun basınç dayanımının % 25'i kadardır.

2.4. Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Taşıma Kapasitesi

Yanal kuvvetlerin dolgu duvarlı çerçeveye uygulanmasıyla, dolgu ve çerçeve elemanlarında değişken gerilme dağılımı meydana gelir. Dolgu duvarlarda bozulma oluşana kadar bu gerilme dağılımı, yanal kuvvetlerin de artmasıyla, değişikliğe uğrar. Dolgu duvardaki bu bozulma ise yapı sisteminin, kesme ya da basınç dayanımına ulaşmasıyla meydana gelir.



3. PERFORMANSA DAYALI TASARIMDA KULLANILAN HESAP YÖNTEMLERİ

Betonarme yapıların deprem sırasındaki davranışlarının önceden belirlenmesi amacı ile performans dayalı hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda meydana gelen depremler, bu hesap yöntemlerinin kullanılmasını oldukça gerekli kılmıştır. Günümüzde birçok performans dayalı hesap yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en sık kullanılan hesap yöntemlerinden biri doğrusal elastik hesap yöntemidir.

3.1. SAP2000 Yapı Analiz Programı

SAP2000'nin 1996 da yapılan ilk sürümü, SAP serileri içerisinde tamamı Windows uyumlu olan ilk sürümüdür. Bu özellik sınırsız üretim ve kullanım özelliğine sahip olan çok güçlü bir ara yüze olanak tanır. Modelin oluşturulması ve geliştirilmesi, analizin yapılması, boyutlamanın kontrolü ve optimizasyonu ile çıktıları baskıya hazırlama, bu ara yüzle yapılabilmektedir. Tek bir yapısal model birçok farklı tipteki boyutlama ve hesaplama işleminde kullanılabilir. Modelleme bilgileri ve analiz sonuçları gibi tüm SAP2000 verileri tablo veri yapısında incelenebilir. Bu tablo yapısındaki veriler ara yüz içinde düzenlenip görüntülenebildiği gibi, Microsoft Access veritabanı formatına, Microsoft Excel hesap tablosuna veya düz metin biçimine dönüştürülebilir. Export edilen bilgileri raporlar oluşturmak veya özel hesaplamalar yapmak için kullanabilmektedir. Bu tablo verileri SAP2000 dışında yeniden düzenlenmiş ya da yeniden oluşturulmuş modelleri SAP2000 içine çağırabilmek amacıyla da kullanılabilir. Bu import ve export yetenekleri diğer çok bilinen boyutlama ve çizim programlarından veri alma veya gönderme konusunda da rahatlıkla kullanılabilir. SAP2000 yazılımı, yapı sistemi modellerinin boyutlandırılması, analizi ve geliştirilmesi için kullanılan genel amaçlı bir programdır. Program Windows ortamında çalışmakta ve tüm işlemler özel grafik kullanıcı ara yüzü yardımı ile SAP2000 ekranı üzerinde gerçekleştirilmektedir. Herhangi bir yapı sisteminin SAP2000 yardımı ile analizinde sistem modeli oluşturulup, malzeme özellikleri tanımlanır. Daha sonra kesit özellikleri belirlenip, yükler tanımlanır. Son olarak sistem çözümü (analizi) yapılır.

3.2. Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri

3.2.1. Yöntemin Esasları

Doğrusal elastik hesap yönteminde, yapı elemanlarının kapasiteleri, elemanın süneklik özelliklerine ve taşıma kapasitesine göre belirlenir. Süneklik özelliğinde, elemanın hasar sınırlarına bakılır. Betonarme yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesi için, etki/kapasite oranları (r) cinsinden ifade edilen sayısal değerler kullanılmaktadır. Kırılma türü eğilme olan sünek kolon, kiriş ve perde kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranları, sadece deprem yükü altında hesaplanan kesit eğilme momentinin kesit artık eğilme momenti kapasitesine bölünmesi ile bulunur. Kesit artık eğilme momenti kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan eğilme momentinin farkıdır. Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranlarının ilgili sınır değerler ile kıyaslanmasıyla, yapı elemanlarının kesit hasar bölgeleri bulunur ve bunlardan faydalanarak, bina düzeyinde performans değerlendirmesi yapılır. Doğrusal elastik hesap yöntemlerinin başlıcaları; Eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemidir.

3.2.2. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Bu yöntemde taşıyıcı sistemi kolon, kiriş ve perdelerden oluşan yapılara etkiyen deprem yükleri, yapının kat hizaları seviyesinde etkiyen yatay yükler olarak kabul edilir. Bu yatay yüklerin, binanın birbirine dik iki doğrultuda, ayrı ayrı etkidiği varsayılarak, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlarda kesit tesirleri bulunmaktadır.

Eşdeğer deprem yükü yönteminde yapının birinci modunun, ötelenme modu olduğu kabul edilerek, katlara etkiyen deprem kuvvetlerinin kat kütlesi ve katın temelden yüksekliği ile orantılı olduğu kabul edilir. Titreşim periyodunun hesabında ve deprem yükünün dağıtılmasında, yapının hakim ötelenme periyodu yani birinci mod periyodu esas alınmaktadır.

3.2.3. Mod Birleştirme Yöntemi

Yapı davranışının, her bir serbest titreşim modunun deprem hareketine olan etkisinin ayrı ayrı bulunmasından sonra, uygun bir şekilde birleştirilmesi ile elde edilen bir çözüm yöntemidir. Yöntemin hesap tekniği tamamen elastik davranışa dayanmaktadır. Mod

birleştirme yöntemi eşdeğer deprem yüküne göre daha hassastır. Eşdeğer deprem yükünde sadece birinci mod şekline ait periyot dikkate alınırken, mod birleştirme yönteminde ise belirlenen mod sayısına göre hesap yapılır.

Mod birleştirme yöntemi nispeten kolay uygulanabilir bir yöntem olmakla birlikte, yapı karmaşıktıkça ve bilinmeyen sayısı arttıkça hesap yükü de o oranda artmaktadır. El ile hesap yapılarak bu yöntemi uygulamak, az katlı ve basit binalarda mümkün olurken, çok katlı yapılarda, yapı sisteminin serbestlik derecesinin artmasından dolayı, çözüm için gerekli olacak sistem matrislerinin de mertebesi artacak ve bilinmeyen sayısının artmasına bağlı olarak, çözüm oldukça uzayacaktır.

3.3. Dolgu Duvarlı Yapıların Modelleme Aşamaları

- 1- Çerçeve elemanlarının geometrik ve yapı sistemindeki malzeme özellikleri verilmelidir. Genel olarak istenilen malzeme özellikleri, çerçeve ve dolgu duvarın elastisite modülü ve basınç dayanımlarıdır.
- 2- Dolgu duvarları temsil eden eşdeğer çubuklar belirlenmelidir. Bu eşdeğer diyagonallerin kalınlığı ile dolgu malzemesinin net kalınlığı aynı olmalıdır. Eşdeğer çubuk genişliği hesaplanır.
- 3- Dolgu duvarı oluşturan elemanların gerçeğe yakın olarak belirlenebilmesi için rijitlik bölge uzunlukları, çerçevenin düğüm noktalarında belirtilmelidir. Rijit bölge uzunluğu, düğüm noktasından başlayarak, kolon ve kiriş boyunca devam etmelidir.
- 4- Beklenen deprem kuvvetleri, yapıya eşdeğer deprem yükü olarak kat hizalarında etkililmelidir.

3.4. Performansa Dayalı Analizin Temel Aşamaları

Deprem mühendisliği yaklaşımı olan, performansa dayalı analiz, mevcut binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesi için beş ana aşamadan oluşmaktadır. Şekil 3.1’de gösterildiği gibi bu aşamalar; deprem etki seviyesi, hedeflenen performans seviyesi, deprem etkilerinin belirlenmesi, kesit hasar düzeylerinin ve yapı performans seviyesinin belirlenmesidir.



Şekil 3.1. Performansa dayalı analizin temel aşamaları

3.4.1. Performansa Dayalı Analizde Deprem Etki Seviyeleri

Bir deprem hareketi altında yapı için önerilen yapısal performans, performans hedefi olarak isimlendirilir. Yapısal performans, yapıyı meydana getiren taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri ile tanımlanır. Bir yapı için birden fazla deprem hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna çok seviyeli performans hedefi adı verilmektedir. DBYBHY, 2007’de farklı deprem düzeyinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Farklı deprem düzeyinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	-	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	-
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve Depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

HK: Hemen Kullanım; **CG:** Can Güvenliği; **GÖ:** Göçme Öncesi

3.4.2. Yapısal Elemanlar İçin Hedeflenen Deprem Performans Seviyeleri

DBYBHY’de (2007) tanımlanan, betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesi için uygulanacak kurallar aşağıda açıklanmıştır. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar için; 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem altında istenilen minimum performans hedefi “Hemen Kullanım”, %2 olan deprem altında ise “Can Güvenliği” seviyesidir.

● **Hemen Kullanım Performans Düzeyi:** Sınırlı bir takım yapısal hasarların meydana geldiği ve taşıyıcı sistemde çok az hasarın olduğu durumdur. Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10’u Belirgin Hasar Bölgesi’ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile bu durumdaki binaların Hemen Kullanım Performans Düzeyi’nde olduğu kabul edilir. Bu durumda, öncelikli olarak yer tutmayan bir takım küçük hasarlar onarımlarla giderilebilir.

● **Hasar Kontrol Performans Düzeyi:** Hasar kontrol performans aralığı, can güvenliği performans seviyesi ile hemen kullanım performans seviyesi arasındaki hasar durumlarının olduğu aralık olarak tanımlanır. Can güvenliğinin sağlanması ile birlikte hasar miktarının da belli ölçüde sınırlandırılmasına karşılık gelir. Yönetmeliklerde yeni yapılar için 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan deprem etkisinde ön görülen performans seviyesi yaklaşık olarak bu aralığa denk gelmektedir.

● **Can Güvenliği Performans Düzeyi:** Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile aşağıdaki şartları sağlayan binaların Can Güvenliği Performans Düzeyinde olduğu kabul edilir:

1- Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki 2. Maddede tanımlanan kadarı, İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.

2- İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

3- Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden, Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

Can güvenliği performans seviyesinde, deprem sırasında yaralanmalar meydana gelebilir; bununla beraber yapısal hasar sonucu can güvenliğini tehdit eden hasarların ortaya çıkması ihtimalinin düşük olması beklenir. Yapıyı komple onarmak mümkün olabilir; fakat ekonomik nedenlerden dolayı pratik olmayabilir. Yönetmelik esaslarına uygun olarak tasarlanan yeni yapıların, bu yapısal performans seviyesine ulaşmaması beklenir.

● **Göçme Öncesi Performans Düzeyi:** Yapının kısmen veya toptan göçme sınırına geldiği ağır hasar durumu demektir. Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

1- Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.

2- Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

3- Binanın mevcut durumunda kullanımı, can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

Göçme öncesi performans seviyesinde, yapı stabilitesini korumakla birlikte, yapısal yıkıntılardan dolayı çökme riskine bağlı olarak önemli yaralanmalar olabilir. Yapıyı teknik olarak onarmak pratik olmayabilir. Yapının içine tekrar yerleşmek güvenli olmayabilir; çünkü ana şok sonrası gelebilecek deprem aktiviteleri göçmeye neden olabilir. Bu seviyenin, yeni yapıların tasarımında en büyük deprem etkisi altında sağlanması önerilebilir.

• **Göçme Durumu:** Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa, Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

3.4.3. Yapısal Olmayan Elemanlar İçin Hedeflenen Deprem Performans Seviyeleri

Yapısal olmayan elemanlar için hedeflenen deprem performans seviyeleri FEMA 356 ön standardında NP-n ile simgelenmektedir. Yapısal olmayan performans seviyeleri yapı taşıyıcı sistemi dışındaki elemanların hasar düzeylerini tanımlarlar.

• **Kullanıma Devam Performans Seviyesi (N-A) :** Taşıyıcı olmayan elemanlar ile tesisatta ve diğer ekipmanlarda hasar oluşmaz veya oluşan hasar ihmal edilebilecek derecede azdır. Binanın normal kullanımı için gereksinim duyulan aydınlatma, su tesisatı, bilgisayar sistemleri gibi yapısal olmayan sistemler fonksiyoneldir.

• **Hemen Kullanım Performans Seviyesi (N-B) :** Bu performans seviyesinde, deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlarda hasarlar meydana gelebilir, fakat kapılar, merdivenler, asansörler, aydınlatma, yangın alarmları ve sığınak sistemleri gibi sistemler kullanılabilir ve çalışır durumdadır. Bazı kısımlarda cam kırılmaları ve ufak hasarlar meydana gelebilir. Bina yapısal olarak güvenlidir, normal kullanımın zayıflamasına ve

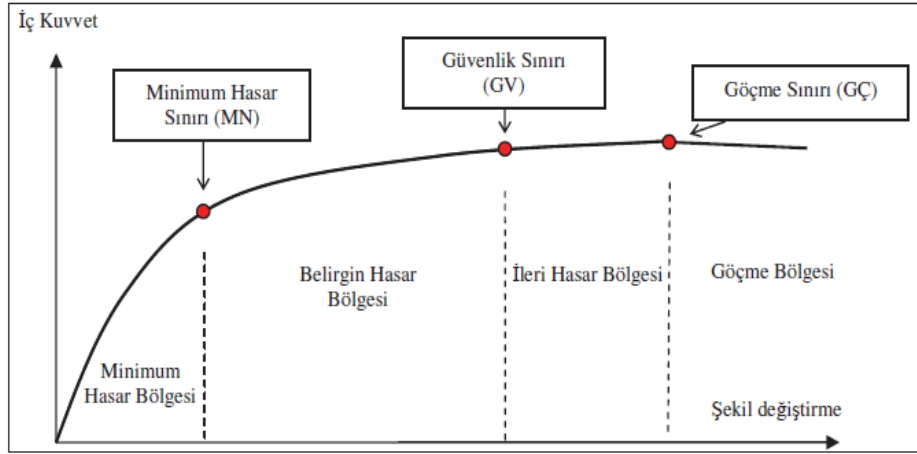
birtakım temizleme ve denetimler gerektirmesine rağmen bina sakinleri yapıda güvenli bir şekilde kalabilirler. Genel olarak, binadaki mekanik ve elektriksel sistemler gerekli onarımlar ve/veya değiştirmeler sonucu fonksiyonel duruma gelir. Bununla birlikte, bazı kısımlarda eksenden kaçmalar, bozulmalar, iç hasarlar oluşur ve bu kısımlar kullanım dışı kalır. Elektrik, su, doğalgaz, iletişim hatları ve bina için gerekli diğer hizmetler kullanım dışı olabilir fakat yapısal olmayan hasara bağlı olarak yaşamı tehdit eden yaralanma riski çok azdır. Kullanım bakımından ortaya çıkabilecek kısıtlamalar kısa zamanda giderilerek yapı kullanılmaya devam edilir.

- **Can Güvenliği Performans Seviyesi (N-C) :** Yapısal olmayan kısımlarda hasarların meydana geldiği fakat bunların yaşamı tehdit edecek boyutta olmadığı durumunu ifade eden deprem sonrası hasar durumu olarak tanımlanır. Binanın içinde veya dışındaki elemanlarda, yaralanmalara neden olabilecek şekilde ağır makinelerin devrilmesi, çeşitli elemanların yerinden çıkması, kopması veya düşmesi söz konusu değildir. Tesisat ve ekipmanlarda önemli hasarlar oluşur ve bu hasarlar onarımı gerektirir.

- **Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (N-D):** Yapısal olmayan elemanlarda, tesisatta ve diğer ekipmanlarda önemli hasarlar meydana gelebilir. Fakat binadaki korkulukların, giydirme panellerin, depolama raflarının ve asma tavanların düşmesi, cephe kaplamalarının dökülmesi gibi insanların toplu halde yaralanmalarına neden olabilecek hasarlar oluşmaz. Hafif, küçük veya zemine yakın yapısal olmayan elemanlarda kopmalar veya düşmeler olabilir fakat bunlar yaralanmalara neden olmayacak şekilde meydana gelir.

3.5. Taşıyıcı Sistem Elemanlarına Ait Şekil Değiştirme Sınırları

DBYBHY (2007)' de sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Şekil 3.2'de, Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ). Minimum hasar sınırı, kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını; Güvenlik Sınırı, kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını; Göçme Sınırı, ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır.



Şekil 3.2. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

3.5.1. Betonarme Elemanlarının Etki/Kapasite Oranlarının Sınır Değerleri

Doğrusal elastik hesap yöntemi ile sünek elemanlara ait hasar sınırlarının tanımında, kirişlerin ve kolonların etki/kapasite oranları (r) kullanılır. Kirişler için etki/kapasite oranlarının sınır değerleri Tablo 3.2’de, kolonlar için Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r)

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$V/b_w d f_{ctm}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.0	Var	≤ 0.65	3	7	10
≤ 0.0	Var	≥ 1.30	2.5	5	8
≥ 0.5	Var	≤ 0.65	3	5	7
≥ 0.5	Var	≥ 1.30	2.5	4	5
≤ 0.0	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≤ 0.0	Yok	≥ 1.30	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≤ 0.65	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4

Tablo 3.3. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r)

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N_k}{A_c f_{cm}}$	Sargılama	$V/b_w d f_{ctm}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
≥ 0.7	-	-	1	1	1

Kolon boyutları 40x40 cm ve kiriş boyutları 25x50 cm olup Şekil 4.2’de kesitleri verilmiştir. Ayrıca kolonların boyutlandırılmasında etriye aralıkları değeri, yönetmelikteki esaslar dikkate alınarak, kolon orta bölgesi ve sargı bölgesi için ayrı ayrı hesaplanıp, programa girilmiştir.



Şekil 4.2. Kolon ve Kiriş Kesitleri

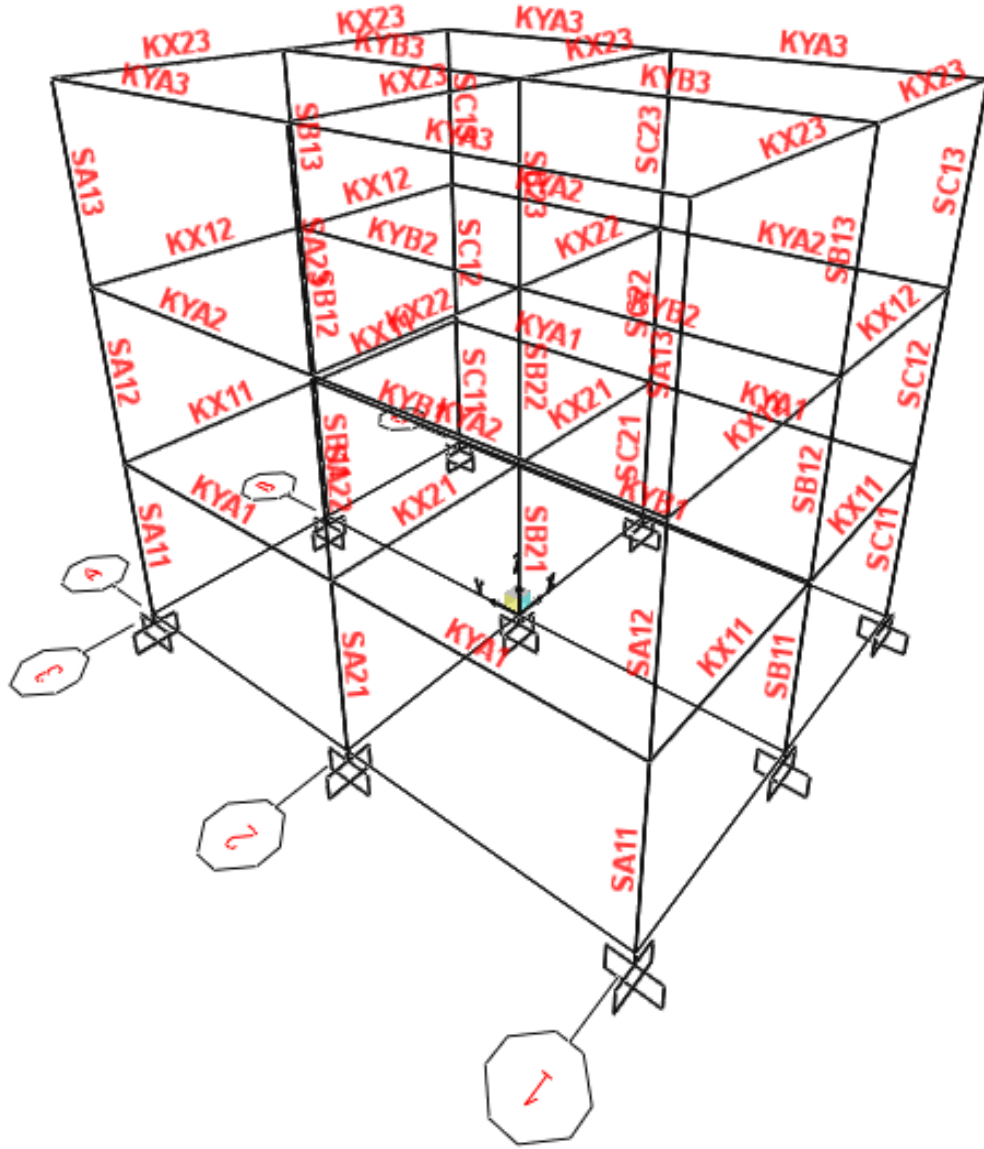
4.2. Boyutlandırmada Esas Alınan Yükler

Tüm yapı sisteminin boyutlandırılmasında aşağıdaki düşey yükler esas alınmıştır.

$$g = 4.9 \text{ kN/m}^2$$

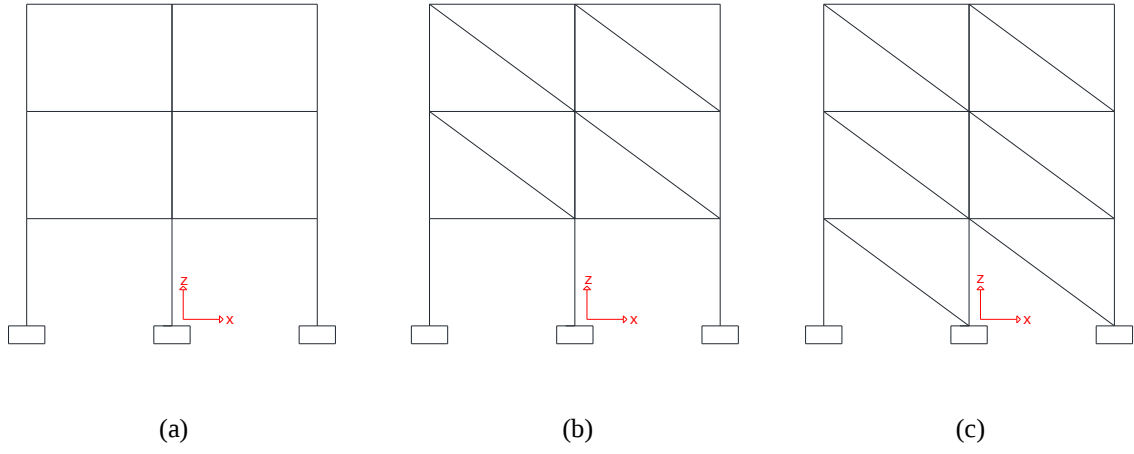
$$q = 3.5 \text{ kN/m}^2$$

Döşeme yükleri trapez ve üçgen yük olarak kirişlere aktarılmıştır. Döşemeler yatayda rijit diyafram olarak tanımlanmıştır. Üç katlı dolgu duvarsız yapının üç boyutlu modeli SAP2000 programıyla Şekil 4.3’de gösterildiği gibi oluşturulmuştur.

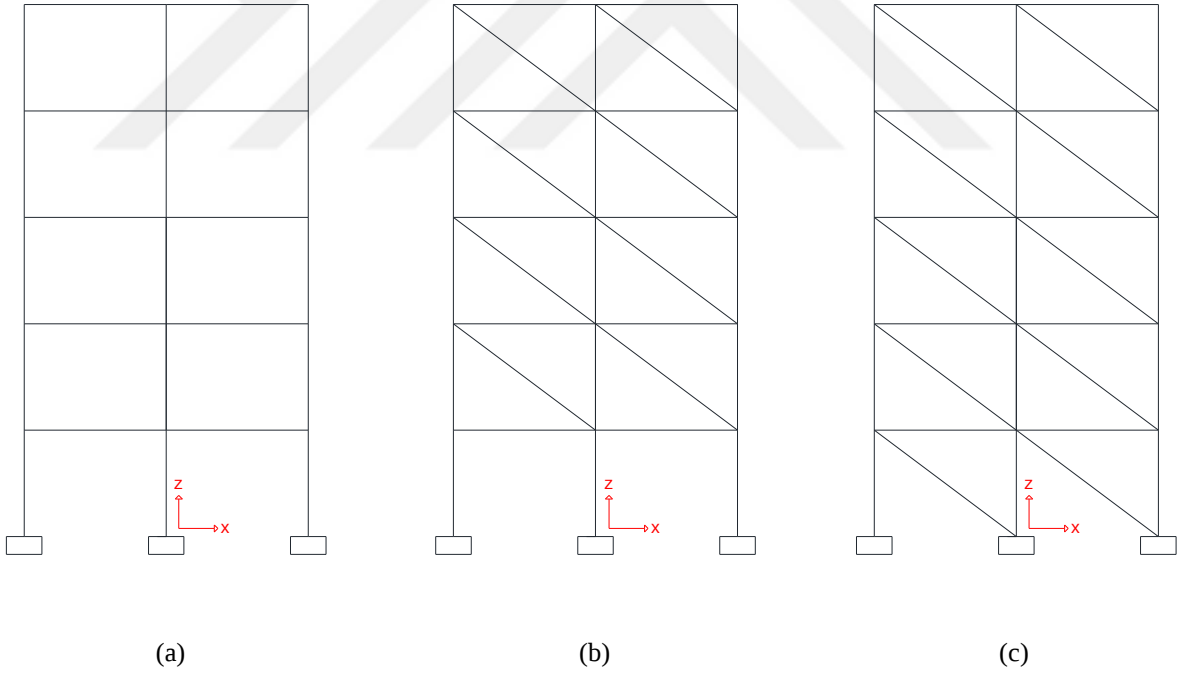


Şekil 4.3. Üç katlı dolgu duvarsız yapının üç boyutlu modeli

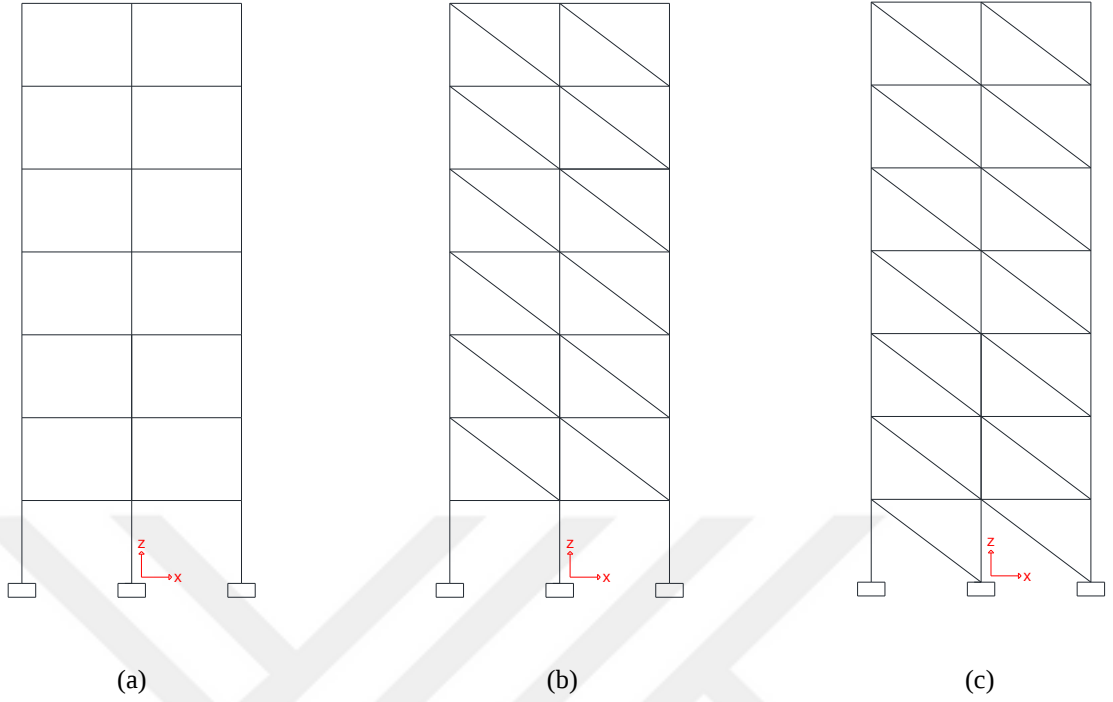
Performans değerlendirmesi için Şekil 4.3'te verilen üç katlı yapı, beş ve yedi katlı olarak yeniden düzenlenmiştir. Analiz için farklı şekilde düzenlenen diğer tüm çerçeve tipleri Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.4. (a) Üç katlı dolgu duvarsız çerçeve (b) Üç katlı ilk katı dolgu duvarsız çerçeve
(c) Üç katlı dolgu duvarlı çerçeve



Şekil 4.5. (a) Beş katlı dolgu duvarsız çerçeve (b) Beş katlı ilk katı dolgu duvarsız çerçeve
(c) Beş katlı dolgu duvarlı çerçeve



Şekil 4.6. (a) Yedi katlı dolgu duvarsız çerçeve (b) Yedi katlı ilk katı dolgu duvarsız çerçeve
(c) Yedi katlı dolgu duvarlı çerçeve

4.3. Çatlamış Kesite Ait Eğilme Rijitliklerinin Belirlenmesi

SAP2000 de oluşturulan üç katlı dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı modeller için, düşey yükler altında doğrusal elastik hesap yöntemiyle çözüm yapılmıştır. Analiz sonuçlarından alınan değerler doğrultusunda kolon ve kirişlerin çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri hesaplanmıştır. Aşağıda üç katlı yapının dolgu duvarsız modeline ait kirişlerinin ve bazı kolonlarının eğilme rijitliklerinin hesabı verilmiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız modellerin analiz sonuçları belirlenmiş ve bu değerler doğrultusunda sistemin çatlamış kesite ait eğilme rijitlik değerleri bulunmuştur. Şekil 4.7’de ise Şekil 4.3’te verilen üç boyutlu modelin (1-1) aksına ait kolon kiriş yerleri gösterilmiştir.

KX11 kirişi:

Kesit boyutları: $h = 50 \text{ cm}$, $b = 25 \text{ cm}$

$$I_o = 4.16 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$(0.40 \times E I_o) = 0.40 \times 30 \times 10^6 \times 4.16 \times 10^{-3} = 49920 \text{ kNm}^2$$

Diğer tüm kirişlerin de eğilme rijitlik değerleri : $(0.40 \times E I_o) = 49920 \text{ kNm}^2$ ’dir.

Yönetmeliğe göre :

Kirişlerde : $(EI)_e = (0.40 \times E I_o)$

Kolon ve perdelerde: $\frac{N_D}{A_c \times f_{cm}} \leq 0.10$ olması durumunda : $(EI)_e = (0.40 \times EI_o)$

$\frac{N_D}{A_c \times f_{cm}} \geq 0.40$ olması durumunda : $(EI)_e = (0.80 \times EI_o)$

SA11 = SA31 = SC11 = SC31 kolonu :

Kesit boyutları: 40x40 cm

$$I_o = 2.13 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$A_c = 1600 \text{ cm}^2$$

$$f_{cm} = 25 \text{ MPa}$$

$$N_D = -117.3 \text{ kN}$$

$$A_c \times f_{cm} = 4000 \text{ kN}$$

$$\frac{N_D}{A_c \times f_{cm}} = 0.029 \leq 0.10 \text{ olduğundan ;}$$

$$(0.40 \times E I_o) = 0.40 \times 30 \times 10^6 \times 2.13 \times 10^{-3} = 25560 \text{ kNm}^2$$

SB12 = SB32 kolonu :

Kesit boyutları: 40x40 cm

$$N_D = -117.3 \text{ kN}$$

$$\frac{N_D}{A_c \times f_{cm}} = 0.035 \leq 0.10 \text{ olduğundan ;}$$

$$(0.40 \times E I_o) = 0.40 \times 30 \times 10^6 \times 2.13 \times 10^{-3} = 25560 \text{ kNm}^2$$

Üç katlı dolgu duvarsız yapının diğer kolonlarına ait eğilme rijitlik değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Kolonlara ait eğilme rijitlikleri

Kat	Kolon	Yükleme	Kesit	N (kN)	$A_c(m^2)$	$f_{cm}(kN/m^2)$	$N/(A_c f_{cm})$	Çatlamış Kesit Rijitliği (kNm^2)
1	SA11	G+0.3Q	40x40	-117.23	0.16	25000	0.029	25560
	SB11	G+0.3Q	40x40	-208.85	0.16	25000	0.052	25560
	SC11	G+0.3Q	40x40	-117.23	0.16	25000	0.029	25560
	SA21	G+0.3Q	40x40	-223.72	0.16	25000	0.056	25560
	SB21	G+0.3Q	40x40	-383.73	0.16	25000	0.096	25560
	SC21	G+0.3Q	40x40	-223.72	0.16	25000	0.056	25560
	SA31	G+0.3Q	40x40	-117.23	0.16	25000	0.029	25560
	SB31	G+0.3Q	40x40	-208.85	0.16	25000	0.052	25560
	SC31	G+0.3Q	40x40	-117.23	0.16	25000	0.029	25560
2	SA12	G+0.3Q	40x40	-78.39	0.16	25000	0.02	25560
	SB12	G+0.3Q	40x40	-138.94	0.16	25000	0.035	25560
	SC12	G+0.3Q	40x40	-78.39	0.16	25000	0.02	25560
	SA22	G+0.3Q	40x40	-149.51	0.16	25000	0.037	25560
	SB22	G+0.3Q	40x40	-254.63	0.16	25000	0.064	25560
	SC22	G+0.3Q	40x40	-149.51	0.16	25000	0.037	25560
	SA32	G+0.3Q	40x40	-78.39	0.16	25000	0.02	25560
	SB32	G+0.3Q	40x40	-138.94	0.16	25000	0.035	25560
	SC32	G+0.3Q	40x40	-78.39	0.16	25000	0.02	25560
3	SA13	G+0.3Q	40x40	-37.84	0.16	25000	0.009	25560
	SB13	G+0.3Q	40x40	-69.48	0.16	25000	0.017	25560
	SC13	G+0.3Q	40x40	-37.84	0.16	25000	0.009	25560
	SA23	G+0.3Q	40x40	-75.47	0.16	25000	0.019	25560
	SB23	G+0.3Q	40x40	-131.26	0.16	25000	0.033	25560
	SC23	G+0.3Q	40x40	-75.47	0.16	25000	0.019	25560
	SA33	G+0.3Q	40x40	-37.84	0.16	25000	0.009	25560
	SB33	G+0.3Q	40x40	-69.48	0.16	25000	0.017	25560
	SC33	G+0.3Q	40x40	-37.84	0.16	25000	0.009	25560

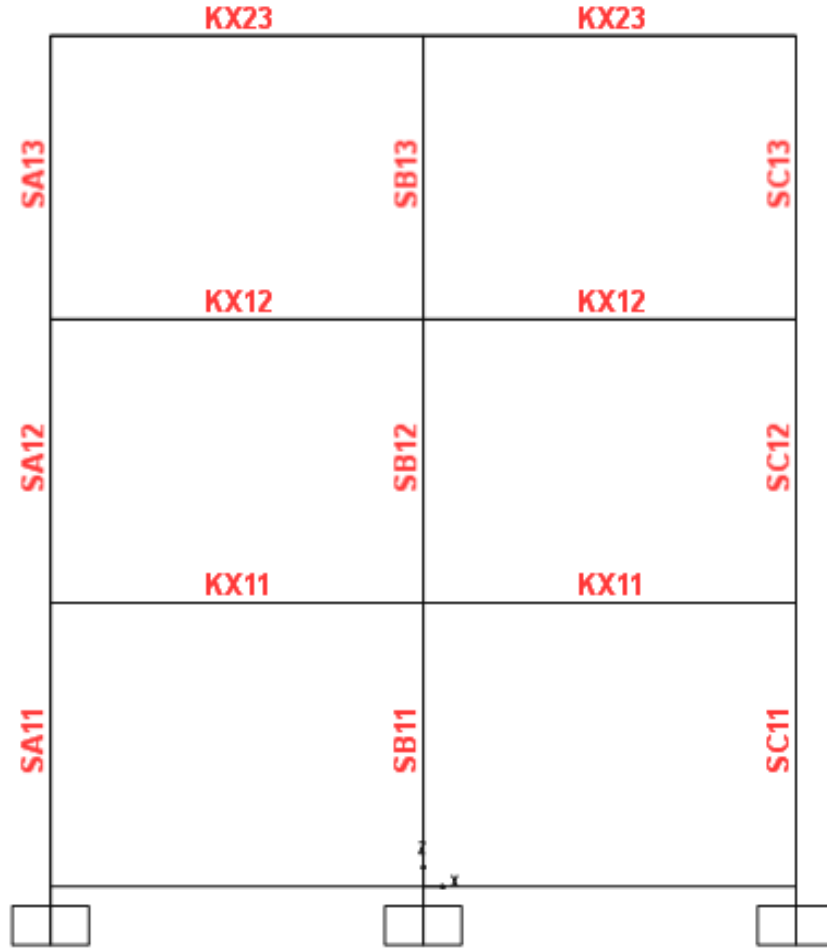
N : Kolona gelen normal kuvvet

A_c : Kolon Alanı

f_{cm} : Beton basınç dayanımı 25 MPa

Üç katlı dolgu duvarlı çerçeve için yapılan analiz sonuçlarına göre ise kolonlardaki çatlamış kesite ait eğilme rijitlik değeri:

$$(0.40 \times E I_0) = 0.80 \times 30 \times 10^6 \times 2.13 \times 10^{-3} = 51120 \text{ kNm}^2 \text{ bulunmuştur.}$$



Şekil 4.7. (1-1) Aksı çerçevesi kolon ve kiriş yerleri

4.4. Yapının Analiz Aşamaları

Betonarme binaların yapısal performanslarının belirlenmesi amacıyla, bu çalışmada izlenen yolun adımları şöyledir:

- 1) Yapı sistemi düşey yükler altında hesaplanarak, tüm kesitlerdeki eğilme momentleri, kesme kuvvetleri ve normal kuvvetler elde edilir.
- 2) Modellenen yapının kolon ve kirişlerinin eğilme momenti kapasiteleri hesaplanır. Bu kapasitelerin hesabında, beton sınıfının ve beton çeliğinin mevcut dayanımlarından yararlanılır.

4.4.1. Kirişlerde Moment Kapasiteleri

Yapı sisteminin eğilme momenti kapasitelerini belirlemek için, ilk olarak kirişlerin donatı hesabı yapılır. Bunun için kirişlerin statik sistemi belirlenmiş ve bu sistemin betonarme hesabı yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’de verilen değerler bulunmuştur. Kiriş kapasite kuvveti değerleri ise Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Kirişlerin en kesit boyutları ve donatıları

Kirişler	b/h	Alt Donatı	Montaj Donatısı	Dış Mesnet Üst Ek Donatı	İç Mesnet Üst Ek Donatı
KX11	25/50	2ø14	2ø12	1ø14	2ø12 + 2ø14
KX12	25/50	2ø14	2ø12	1ø14	2ø12 + 2ø14
KX13	25/50	2ø14	2ø12	1ø14	2ø12 + 2ø14
KX21	25/50	2ø14	2ø12	1ø14	2ø12 + 2ø14
KX22	25/50	2ø14	2ø12	1ø14	2ø12 + 2ø14
KX23	25/50	2ø14	2ø12	1ø14	2ø12 + 2ø14
KX31	25/50	2ø14	2ø12	1ø14	2ø12 + 2ø14
KX32	25/50	2ø14	2ø12	1ø14	2ø12 + 2ø14
KX33	25/50	2ø14	2ø12	1ø14	2ø12 + 2ø14

Tablo 4.3. Kirişlerin en kesit boyutları ve donatı alanları

Kesit Özellikleri			Donatı Alanları		
Kiriş No	b _w (cm)	h (cm)	Sol Mesnet A _{st} -A _{sb} (cm ²)	Sağ Mesnet A _{st} -A _{sb} (cm ²)	Kesme Donatısı A _{sw/s} (cm ² /cm)
KX11	25	50	3.80	7.60	ø8/23-12
KX12	25	50	3.80	7.60	ø8/23-12
KX13	25	50	3.80	7.60	ø8/23-12
KX21	25	50	3.80	7.60	ø8/23-12
KX22	25	50	3.80	7.60	ø8/23-12
KX23	25	50	3.80	7.60	ø8/23-12
KX31	25	50	3.80	7.60	ø8/23-12
KX32	25	50	3.80	7.60	ø8/23-12
KX33	25	50	3.80	7.60	ø8/23-12

Tablo 4.4. Kiriş kapasite kuvvetleri

Kesit Özellikleri			Kapasite Kuvvetleri		
Kiriş No	b _w (cm)	h (cm)	Sol Mesnet (M-) - -(M+) (kNm)	Sağ Mesnet (M-) - -(M+) (kNm)	Kesme Kuvveti V _r - - V _{rmax} (kN)
KX11	25	50	-71.02	137.24	184.92
KX12	25	50	-71.02	137.24	184.92
KX13	25	50	-71.02	137.24	184.92
KX21	25	50	-71.02	137.24	184.92
KX22	25	50	-71.02	137.24	184.92
KX23	25	50	-71.02	137.24	184.92
KX31	25	50	-71.02	137.24	184.92
KX32	25	50	-71.02	137.24	184.92
KX33	25	50	-71.02	137.24	184.92

Sistem kirişlerinin eğilme momenti kapasiteleri Denklem (4.1) – Denklem (4.2) formülleri yardımıyla bulunmuştur.

$$a = \frac{A_s \times f_{ym}}{0.85 \times f_{cm} \times b_w} \quad (4.1)$$

$$M_r = A_s \times f_{ym} \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (4.2)$$

Negatif Kapasite Momenti :

$$a = \frac{380 \times 420}{0.85 \times 25 \times 250} = 30.04 \text{ mm}$$

$$M_r^- = 380 \times 420 \times (460 - 30.04/2) = 71.02 \text{ kNm}$$

Pozitif Kapasite Momenti :

$$a = \frac{760 \times 420}{0.85 \times 25 \times 250} = 60.08 \text{ mm}$$

$$M_r^+ = 760 \times 420 \times (460 - 60.08/2) = 137.24 \text{ kNm}$$

Kirişlerin moment kapasiteleri bulunduktan sonra, modellenen sistemin SAP2000’de, düşey yükler altında yapılan analiz sonucunda elde edilen moment değerleri ile etki\kapasite oranları da bulunmuş olur.

Analiz sonucu düşey yükler altında bulunan normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment değerleri Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5. Kirişlerin G+0.3Q yüklemesi altındaki analiz sonuçları

Düşey Yükler Altında İç Kuvvetler (G+0.3Q)			
Elemanlar	Normal Kuvvet (kN)	Kesme Kuvveti (kN)	Eğilme Momenti (kNm)
KX11 (sol/sağ uç)	-	-15.63 / 17.75	-9.38
KX12 (sol/sağ uç)	-	-16.99 / 16.93	-10.93
KX13 (sol/sağ uç)	-	-15.10 / 18.28	-7.72
KX21 (sol/sağ uç)	-	-23.16 / 26.09	-14.73
KX22 (sol/sağ uç)	-	-23.98 / 25.26	-16.76
KX23 (sol/sağ uç)	-	-22.42 / 26.82	-12.44
KX31 (sol/sağ uç)	-	-15.63 / 17.75	-9.38
KX32 (sol/sağ uç)	-	-16.99 / 16.93	-10.93
KX33 (sol/sağ uç)	-	-15.10 / 18.28	-7.72

Deprem yükleri altındaki analiz sonuçları ise Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6. Kirişlerin E yüklemesi altındaki analiz sonuçları

Deprem Yükleri Altında İç Kuvvetler (E)			
Elemanlar	Normal Kuvvet (kN)	Kesme Kuvveti (kN)	Eğilme Momenti (kNm)
KX11 (sol/sağ uç)	-	175.05	376.60 / -323.42
KX12 (sol/sağ uç)	-	143.45	303.76 / -270.06
KX13 (sol/sağ uç)	-	68.54	151.11 / -123.06
KX21 (sol/sağ uç)	-	184.85	387.93/ -351.49
KX22 (sol/sağ uç)	-	153.55	315.01 / -299.19
KX23 (sol/sağ uç)	-	67.23	150.30 / -118.53
KX31 (sol/sağ uç)	-	175.05	376.60 / -323.42
KX32 (sol/sağ uç)	-	143.45	303.76 / -270.06
KX33 (sol/sağ uç)	-	68.54	151.11 / -123.06

4.4.1.1. Kirişlerin Kesme Dayanımı

Kirişlerin kesme dayanımı, aşağıdaki denklemler kullanılarak elde edilmiştir.

$$V_r = 0.8 \times V_{cr} + V_w \quad (4.3)$$

$$V_{cr} = 0.65 \times f_{ctm} \times b_w \times d \quad (4.4)$$

$$V_w = A_{sw} \times f_{yw} \times d / s \quad (4.5)$$

$$V_r = 0.8 \times 0.65 \times 1.8 \times 250 \times 460 + 50 \times 2 \times 420 \times 460 / 250$$

$$V_r = 184.92 \text{ kN}$$

$$V_{rmax} = 0.22 \times f_{cm} \times b_w \times d \quad (4.6)$$

$$V_{rmax} = 0.22 \times 25 \times 250 \times 460$$

$$V_{rmax} = 632.5 \text{ kN}$$

Kirişlerin etki \ kapasite oranları ise Denklem (4.7) bağıntısıyla hesaplanmış ve bulunan değerler Tablo 4.7’de gösterilmiştir.

$$r = \frac{M_E}{(M_r - M_d)} \quad (4.7)$$

Tablo 4.7. Kirişlerin Etki \ Kapasite oranları

Kirişler	M_r	$M_{(G+0.3Q)}$	$M_{(E)}$	r
KX11 sol uç	-71.02	-9.38	376.60	6.1097
KX11 sağ uç	137.24	-9.38	-323.42	2.2058
KX12 sol uç	-71.02	-10.93	303.76	5.0551
KX12 sağ uç	137.24	-10.93	-270.06	1.8226
KX13 sol uç	-71.02	-7.72	151.11	2.3872
KX13 sağ uç	137.24	-7.72	-123.06	0.8489
KX21 sol uç	-71.02	-14.73	387.93	6.8916
KX21 sağ uç	137.24	-14.73	-351.49	2.3129
KX22 sol uç	-71.02	-16.76	315.01	5.8056
KX22 sağ uç	137.24	-16.76	-299.19	1.9428
KX23 sol uç	-71.02	-12.44	150.30	2.5657
KX23 sağ uç	137.24	-12.44	-118.53	0.7919
KX31 sol uç	-71.02	-9.38	376.60	6.1097
KX31 sağ uç	137.24	-9.38	-323.42	2.2058
KX32 sol uç	-71.02	-10.93	303.76	5.0551
KX32 sağ uç	137.24	-10.93	-270.06	1.8226
KX33 sol uç	-71.02	-7.72	151.11	2.3872
KX33 sağ uç	137.24	-7.72	-123.06	0.8489

4.4.2. Kolonlarda Moment Kapasiteleri

Kesitin taşıyabileceği M_r eğilme momenti ve N_r normal kuvvet değerlerinin elde edilmesi için kullanılan çözüm yolu, tüm güç tükenmesi durumlarının taranarak, buna karşılık gelen değerlerin hesaplanması şeklindedir.

TS500’de, beton için en büyük kısalma değeri $\epsilon_{cu} = 0.003$ ve donatı için en büyük kısalma ise $\epsilon_s = 0.100$ değeri alınmıştır.

Kirişlerde olduğu gibi kolonlarda da moment kapasitesi bulunurken, ilk olarak kolonların düşey yükler ve deprem yükleri altında analizi yapılarak normal kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri elde edilmelidir. Bunun için SAP2000 programında, düşey yükler altında analiz yapılmış ve elde edilen değerler Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8. Kolonların G+0.3Q yüklemesi altındaki analiz sonuçları

Düşey Yükler Altında İç Kuvvetler (G+0.3Q)			
Elemanlar	Normal Kuvvet (kN)	Kesme Kuvveti (kN)	Eğilme Momenti (kNm)
SA11 (alt/üst uç)	-114.72	-2.04	-2.02 / 4.10
SB11 (alt/üst uç)	-210.63	-	-
SC11 (alt/üst uç)	-114.72	2.04	2.02 / -4.10
SA21 (alt/üst uç)	-225.65	-3.00	-2.97 / 6.03
SB21 (alt/üst uç)	-392.72	-	-
SC21 (alt/üst uç)	-225.65	3.00	2.97 / -6.03
SA31 (alt/üst uç)	-114.72	-2.04	-2.02 / 4.10
SB31 (alt/üst uç)	-210.63	-	-
SC31 (alt/üst uç)	-114.72	2.04	2.02 / -4.10
SA12 (alt/üst uç)	-76.23	-3.49	-5.53 / 4.93
SB12 (alt/üst uç)	-140.25	-	-
SC12 (alt/üst uç)	-76.23	3.49	5.53 / -4.93
SA22 (alt/üst uç)	-148.35	-5.17	-8.18 / 7.33
SB22 (alt/üst uç)	-261.94	-	-
SC22 (alt/üst uç)	-148.35	5.17	8.18 / -7.33
SA32 (alt/üst uç)	-76.23	-3.49	-5.53 / 4.93
SB32 (alt/üst uç)	-140.25	-	-
SC32 (alt/üst uç)	-76.23	3.49	5.53 / -4.93
SA13 (alt/üst uç)	-36.73	-4.77	-6.19 / 8.10
SB13 (alt/üst uç)	-70.20	-	-
SC13 (alt/üst uç)	-36.73	4.77	6.19 / -8.10
SA23 (alt/üst uç)	-75.24	-6.91	-9.05 / 11.68
SB23 (alt/üst uç)	-134.71	-	-
SC23 (alt/üst uç)	-75.24	6.91	9.05 / -11.68
SA33 (alt/üst uç)	-36.73	-4.77	-6.19 / 8.10
SB33 (alt/üst uç)	-70.20	-	-
SC33 (alt/üst uç)	-36.73	4.77	6.19 / -8.10

Deprem yükleri altındaki analiz sonuçları Tablo 4.9’da verilmiştir.

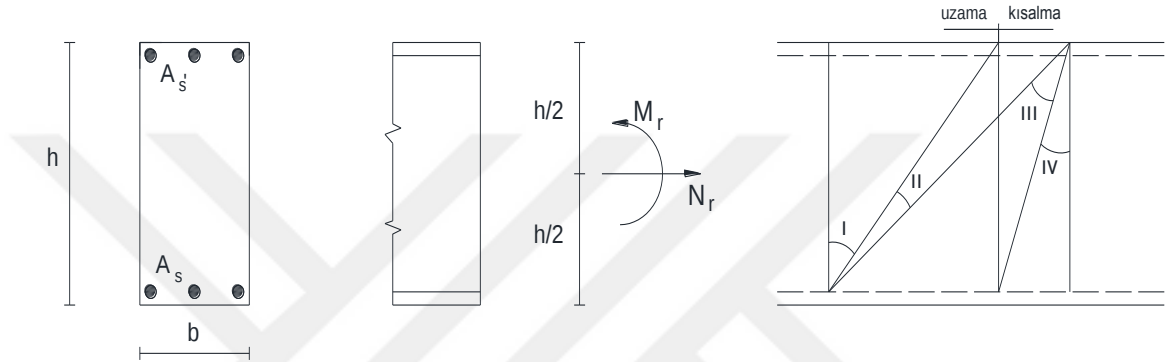
Tablo 4.9. Kolonların E yüklemesi altındaki analiz sonuçları

Deprem Yükleri Altında İç Kuvvetler (E)			
Elemanlar	Normal Kuvvet (kN)	Kesme Kuvveti (kN)	Eğilme Momenti (kNm)
SA11 (alt/üst uç)	387.16	185.92	358.84 / -198.91
SB11 (alt/üst uç)	-	243.01	415.35 / -313.69
SC11 (alt/üst uç)	-387.16	185.92	358.84 / -198.91
SA21 (alt/üst uç)	405.41	187.79	360.69 / -202.68
SB21 (alt/üst uç)	-	226.80	399.30 / -281.09
SC21 (alt/üst uç)	-405.41	187.79	360.69 / -202.68
SA31 (alt/üst uç)	387.16	185.92	358.84 / -198.91
SB31 (alt/üst uç)	-	243.01	415.35 / -313.69
SC31 (alt/üst uç)	-387.16	185.92	358.84 / -198.91
SA12 (alt/üst uç)	212.08	130.09	178.35 / -211.93
SB12 (alt/üst uç)	-	223.26	328.82 / -340.95
SC12 (alt/üst uç)	-212.08	130.09	178.35 / -211.93
SA22 (alt/üst uç)	220.63	134.13	184.25 / -211.93
SB22 (alt/üst uç)	-	291.57	284.70 / -222.09
SC22 (alt/üst uç)	-220.63	134.13	184.25 / -211.93
SA32 (alt/üst uç)	212.08	130.09	178.35 / -211.93
SB32 (alt/üst uç)	-	223.26	328.82 / -340.95
SC32 (alt/üst uç)	-212.08	130.09	178.35 / -211.93
SA13 (alt/üst uç)	68.58	81.08	92.40 / -150.83
SB13 (alt/üst uç)	-	147.14	194.62 / -246.88
SC13 (alt/üst uç)	-68.58	81.08	92.40 / -150.83
SA23 (alt/üst uç)	67.16	82.19	95.71 / -150.86
SB23 (alt/üst uç)	-	133.02	163.20 / -235.76
SC23 (alt/üst uç)	-67.16	82.19	95.71 / -150.86
SA33 (alt/üst uç)	68.58	81.08	92.40 / -150.83
SB33 (alt/üst uç)	-	147.14	194.62 / -246.88
SC33 (alt/üst uç)	-68.58	81.08	92.40 / -150.83

Eğilme etkisindeki dikdörtgen kesitlerin taşıma güçlerinin hesaplanmasında kullanılan yöntemlerden biri de karşılıklı etki diyagramı yardımıyla çözümdür. Bir kesitin taşıyabileceği eğilme momenti ve normal kuvvetin elde edilerek, bu iki etkinin karşılıklı etkileşimi bulunur. Bunun için $\epsilon_{cu} = 0.003$ ve $\epsilon_s = 0.100$ alınarak bu aralıkta farklı değerler verilip M_r ve N_r elde edilmiştir.

4.4.2.1. Karşılıklı Etki Diyagramıyla Çözüm

Kolon kapasitesini bulmak için aşağıda $\epsilon_{cu} = 0.003$ ve $\epsilon_s = 0.100$ değerlerini esas alan ve güç tükenmesine karşı gelen kesit şekil değiştirme durumları verilmiştir. Bu aralıkta farklı durumlarda hesaplamalar yapıp, normal kuvvet ve moment değerleri bulunmuştur. Bu değerler yardımıyla kolonlarda karşılıklı etki diyagramı elde edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 4.8’de de güç tükenmesine karşılık gelen kesit şekil değiştirme durumları verilmiştir.



Şekil 4.8. Güç tükenmesine karşılık gelen kesit şekil değiştirme durumları

1. Durum : Basit Basınc

$$\epsilon_{cu} = 0.003 ;$$

$$F'_s = A'_s \times f_{yd} \quad (4.8)$$

$$F_s = A_s \times f_{yd} \quad (4.9)$$

$$F_c = 0.85 \times f_{cd} \times b \times h \quad (4.10)$$

$$\frac{\sigma_s}{f_{yd}} = 1 ;$$

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E \times 1.15} \text{ ise } \epsilon_{yd} = \frac{420}{2.10^5 \times 1.15} = 1.826 \times 10^{-3}$$

$$N_r = - (F'_s + F_s + F_c + F''_s)$$

$$N_r = - (603 \times 420 + 402 \times 420 + 0.85 \times 25 \times 400 \times 400 + 603 \times 420)$$

$$N_r = -3822.1 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$M_r = 0$$

2. Durum : Basit Çekme

$$\varepsilon_s = 0.010 ;$$

$$N_r = F'_s + F_s$$

$$N_r = 2 \times (603 \times 420) + 402 \times 420$$

$$N_r = 675.36 \text{ N}$$

$$M_r = 0$$

3. Durum : Dengeli Şekil Değişirme

$$\frac{x}{d} = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_s}$$

$$\frac{x}{360} = \frac{3}{3 + 1.825} \text{ ise } x = 223.8 \text{ mm}$$

$$a = 0.85 \cdot x = 0.85 \times 223.8 = 190.3 \text{ mm}$$

$$\frac{\varepsilon'_s}{\varepsilon_{cu}} = \frac{x - d'}{x} \text{ ise } \varepsilon'_s = 0.003 \times \frac{223.8 - 40}{223.8} = 0.00246$$

$$\sigma'_s = 420 \text{ Mpa}$$

$$F_c = 0.85 \times f_{cd} \times b \times a$$

$$F_c = 0.85 \times 25 \times 400 \times 190.3$$

$$F_c = 1617.6 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F'_s = A'_s \times f_{yd}$$

$$F'_s = 804 \times 420 = 337.7 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\frac{\varepsilon''_s}{\varepsilon_{cu}} = \frac{x - h/2}{x} \text{ ise } 0.003 \times \frac{223.8 - 200}{223.8} = 0.000319$$

$$\sigma''_s = \varepsilon''_s \times E_s$$

$$\sigma''_s = 0.000319 \times 2 \times 10^5 = 63.8 \text{ MPa}$$

$$F''_s = A''_s \times \sigma''_s$$

$$F''_s = 402 \times 63.8 = 25.6 \times 10^3 \text{ N}$$

$$N_r = F''_s - F_c = (25.6 - 1617.6) \times 10^3$$

$$N_r = 1592 \times 10^3 \text{ N}$$

$$M_r = F'_s \times (h - h') + N_r \times (0.5 \times h - 0.85 \times 0.5 \times x)$$

$$M_r = 337.7 \times (0.400 - 0.030) + 1592 \times (0.200 - 0.85 \times 0.5 \times 0.223)$$

$$M_r = 292.5 \text{ Nm}$$

4. Durum : $\epsilon_c = 0.002$ ve $\epsilon_s = 0.010$ için

$$\frac{c}{h-d'} = \frac{2}{12}$$

$$\frac{c}{400-30} = \frac{1}{6} \text{ ise } c = 61.7 \text{ mm}$$

$$a = k_1 \times c$$

$$a = 0.85 \times 61.7 = 52.4 \text{ mm}$$

$$\frac{\epsilon'_s}{\epsilon_{su}} = \frac{c-d'}{d-c} \text{ ise } \epsilon'_s = 0.010 \times \frac{61.7-30}{340-61.7}$$

$$\epsilon'_s = 1.14 \times 10^{-3} < \epsilon_{yd} \text{ olduğundan ;}$$

$$\frac{\sigma'_s}{f_{yd}} = \frac{\epsilon'_s}{\epsilon_{yd}}$$

$$\frac{1.14 \times 10^{-3}}{1.82 \times 10^{-3}} = 0.626$$

$$\frac{\epsilon''_s}{\epsilon_s} = \frac{h/2-c}{h'-d'-c} \text{ ise } \frac{\epsilon''_s}{\epsilon_s} = \frac{200-61.7}{400-(30+61.7)}$$

$$\epsilon''_s = 4.48 \times 10^{-3} > \epsilon_{yd}$$

$$N_r = F_s + F'_s - F_c - F'_s$$

$$N_r = 603 \times 420 + 402 \times 420 - 0.85 \times 25 \times 400 \times 52.4 - 603 \times 420 \times 0.626$$

$$N_r = -181.84 \times 10^3 \text{ N}$$

$$M_r = (F_s + F'_s) \times (h/2 - d') + F_c \times \left(\frac{h}{2} - 0.5 \times a \right)$$

$$M_r = (253.26 + 158.54) \times (200 - 30) + 445.4(200 - 26.2)$$

$$M_r = 147.4 \times 10^3 \text{ Nm}$$

5. Durum : $\epsilon_c = 0.003$ ve $\epsilon_s = 0$ için

$$c = h - d'$$

$$c = 400 - 30 = 370 \text{ mm}$$

$$a = k_1 \times c$$

$$a = 0.85 \times 370 = 314.5 \text{ mm}$$

$$N_r = F_c + F'_s + F''_s - F_s$$

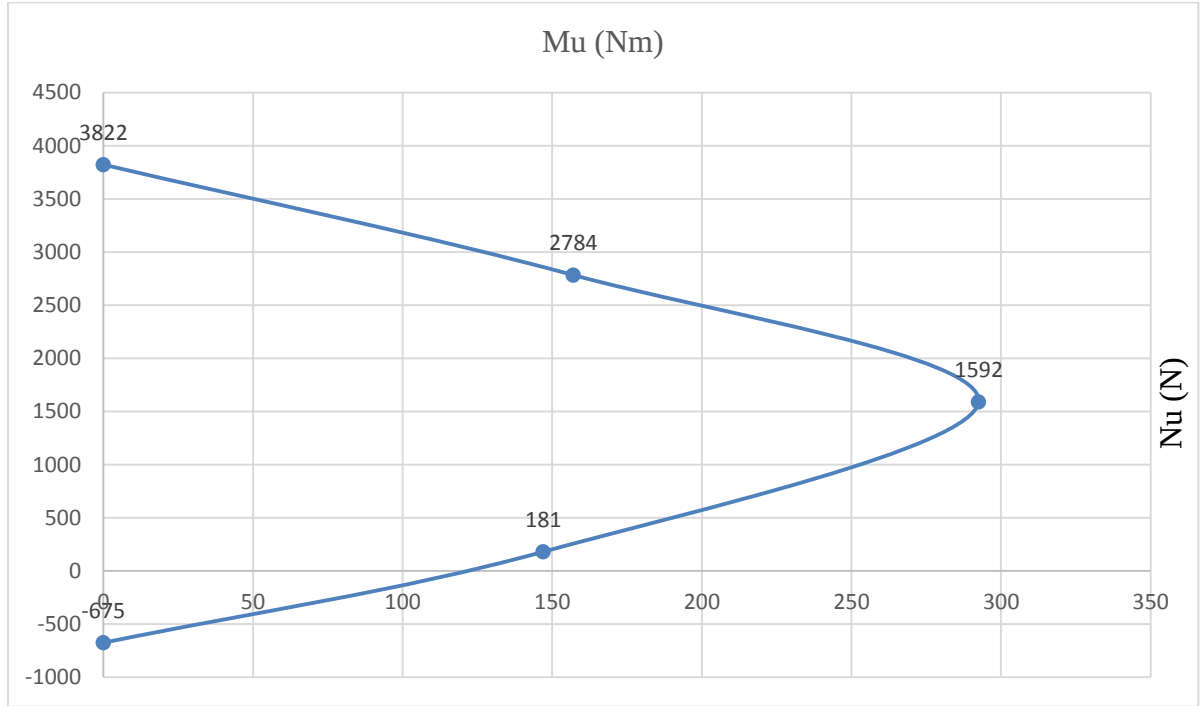
$$N_r = 0.85 \times 25 \times 400 \times 314.5 + 603 \times 420 + 402 \times 0.00138 \times 2 \times 10^5 - 603 \times 420$$

$$N_r = 2784.2 \times 10^3 \text{ N}$$

$$M_r = (F_s + F'_s) \times (h/2 - d') + F_c \times \left(\frac{h}{2} - 0.5 \times a \right)$$

$$M_r = 157.5 \times 10^3 \text{ Nm}$$

Yukarıdaki hesaplamalar sonucu bulunan N_r ve M_r değerleri diyagramda yerleştirilir. Daha sonra bu değerlere karşılık gelen kapasite değerleri Şekil 4.9'dan bulunur.



Şekil 4.9. Kolonlarda karşılıklı etki diyagramı ve kapasite hesabı

Diyagramda N_r ve M_r değerlerine karşılık gelen N_k ve M_k değerleri bulunup aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Kolon kapasiteleri bulunduktan sonra etki/kapasite oranları olan r değeri aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmıştır.

$$r = \frac{N_E}{N_k - N_{(g+q)}} \quad (4.11)$$

$$r = \frac{M_E}{M_k - M_{(g+q)}} \quad (4.12)$$

Tablo 4.10. Kolonların deprem yüklemesi altındaki analiz sonuçları ve etki/kapasite oranları

Kat	Kolon	G+0.3Q N (kN)	G+0.3Q M (kNm)	E N (kN)	E M (kNm)	G+0.3Q+E N (kN)	G+0.3Q+E M (kNm)	KAPASİTE		r	
		N (kN)	M (kNm)	N (kN)	M (kNm)	N (kN)	M (kNm)	N (kN)	M (kNm)	N	M
1	SA11	-114.72	4.33	392.15	358.80	506.88	364.75	294.3	167.5	2.29	2.25
	SB11	-210.63	-	-	415.35	210.63	415.35	210.63	151.4	-	2.75
	SC11	-114.72	4.33	392.15	358.80	506.88	364.75	294.30	167.5	2.29	2.25
	SA21	-225.65	6.54	392.15	360.69	604.85	366.96	418.60	180.0	1.90	2.08
	SB21	-392.72	-	-	399.30	392.72	399.30	392.71	175.5	-	2.37
	SC21	-225.65	6.54	392.15	360.69	604.85	366.96	418.6	180.0	1.90	2.08
	SA31	-114.72	4.33	392.15	358.80	506.88	364.75	294.3	167.5	1.33	2.25
	SB31	-210.63	-	-	415.35	210.63	415.35	210.63	151.4	-	2.75
	SC31	-114.72	4.33	392.15	358.80	506.88	364.75	294.30	167.5	2.29	2.25
2	SA12	-76.23	5.37	214.76	178.35	290.98	183.72	248.8	157.9	1.29	1.25
	SB12	-140.25	-	-	328.82	140.25	328.82	140.25	151.3	-	2.41
	SC12	-76.23	5.37	214.76	178.35	290.98	183.72	248.8	157.9	1.29	1.25
	SA22	-148.35	8.21	214.76	184.25	356.49	192.46	316.8	166.6	1.23	1.21
	SB22	-261.94	-	-	284.70	261.94	284.70	243.1	157.9	-	2.18
	SC22	-148.35	8.21	214.76	184.25	356.49	199.11	316.8	166.6	1.23	1.21
	SA32	-76.23	5.37	214.76	178.35	290.98	183.72	248.8	157.9	1.29	1.25
	SB32	-140.25	-	-	328.82	140.25	328.82	144.7	151.3	-	2.41
	SC32	-76.23	5.37	214.76	178.35	290.98	183.72	248.8	157.9	1.29	1.25
3	SA13	-36.73	9.08	68.54	92.40	106.17	101.48	-	-	1.68	1.17
	SB13	-70.20	-	-	194.62	70.20	194.62	70.20	132.7	-	1.45
	SC13	-36.73	9.08	68.54	92.40	101.17	101.48	-	-	1.68	10.17
	SA23	-75.24	13.7	68.54	95.71	14.79	101.33	-	-	0.98	6.99
	SB23	-134.71	-	-	163.2	13.71	163.20	123.0	138.2	-	1.18
	SC23	-75.24	13.7	68.54	95.71	14.79	109.40	-	-	0.98	6.99
	SA33	-36.73	9.08	68.54	92.40	101.17	101.48	-	-	1.68	10.17
	SB33	-70.20	-	-	194.62	70.20	194.62	70.20	132.7	-	1.45
	SC33	-36.73	9.08	68.54	92.40	106.17	101.48	-	-	1.68	10.17

Kirişler ve kolonlar için hesaplanan etki/kapasite oranları için, yönetmelikteki sınır değerlere bakılarak hasar bölgeleri belirlenmiştir. Elde edilen kesit hasar bölgeleri kolonlar için Tablo 4.11’de, kirişler için Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.11. Kolonlar için hasar bölgeleri

Kolonlar	$N/(A_c f_{ck})$	Sargılama	$V/(b_w d f_{ctm})$	r	Hasar sınırı
SA11	0.029	var	0.0646	2.25	MN
SB11	0.052	var	0.0844	2.75	MN
SC11	0.029	var	0.0646	2.25	MN
SA21	0.056	var	0.0652	2.08	MN
SB21	0.096	var	0.0788	2.37	MN
SC21	0.056	var	0.0652	2.08	MN
SA31	0.029	var	0.0646	2.05	MN
SB31	0.052	var	0.0844	2.75	MN
SC31	0.029	var	0.0646	2.25	MN
SA12	0.02	var	0.0452	1.25	MN
SB12	0.035	var	0.0775	2.41	MN
SC12	0.02	var	0.0452	1.25	MN
SA22	0.037	var	0.0466	1.21	MN
SB22	0.064	var	0.1012	2.18	MN
SC22	0.037	var	0.0466	1.21	MN
SA32	0.02	var	0.0452	1.25	MN
SB32	0.035	var	0.0775	2.41	MN
SC32	0.02	var	0.0452	1.25	MN
SA13	0.009	var	0.0282	10.17	GÇ
SB13	0.017	var	0.0511	1.45	MN
SC13	0.009	var	0.0282	10.17	GÇ
SA23	0.019	var	0.0285	6.99	GV
SB23	0.033	var	0.0462	1.18	MN
SC23	0.019	var	0.0285	6.99	GV
SA33	0.009	var	0.0282	10.17	GÇ
SB33	0.017	var	0.0511	1.45	MN
SC33	0.009	var	0.0282	10.17	GÇ

Kirişlerde donatı oranı hesabı:

ρ : Çekme donatısı oranı

ρ' : Basınç donatısı oranı

ρ_b : Dengeli donatı oranı

$$\rho_b = 0.85 \times k_1 \times k_x \times \frac{f_{cm}}{f_{ym}} \quad (4.13)$$

C25 için; $k_1=0.85$

$$\frac{x}{d} = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_y} \text{ ise; } \frac{x}{d} = \frac{3}{3 + 1.825} = 0.625$$

$$\rho_b = 0.85 \times 0.85 \times 0.625 \times \frac{25}{420} = 0.0269$$

Tablo 4.12. Kirişler için hasar bölgeleri

Kirişler	$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$V/(b_w d f_{ctm})$	r	Hasar sınırı
KX11 sol uç	0.123	var	0.092	6.563	GÇ
KX11 sağ uç	0.072	var	0.093	2.180	MN
KX12 sol uç	0.123	var	0.078	5.279	GÇ
KX12 sağ uç	0.072	var	0.077	1.835	MN
KX13 sol uç	0.123	var	0.040	2.578	MN
KX13 sağ uç	0.072	var	0.042	0.823	MN
KX21 sol uç	0.123	var	0.100	7.392	GÇ
KX21 sağ uç	0.072	var	0.102	2.089	MN
KX22 sol uç	0.123	var	0.086	5.958	GÇ
KX22 sağ uç	0.072	var	0.086	1.757	MN
KX23 sol uç	0.123	var	0.043	2.883	MN
KX23 sağ uç	0.072	var	0.045	0.790	MN
KX31 sol uç	0.123	var	0.092	6.563	GÇ
KX31 sağ uç	0.072	var	0.093	2.180	MN
KX32 sol uç	0.123	var	0.078	5.279	GÇ
KX32 sağ uç	0.072	var	0.077	1.836	MN
KX33 sol uç	0.123	var	0.040	2.578	MN
KX33 sağ uç	0.072	var	0.042	0.823	MN

Üç katlı dolgu duvarsız çerçeve için yapılan hesaplamalar, üç katlı dolgu duvarlı çerçeve için de yeniden yapılmıştır. Bunun için dolgu duvarlı çerçevenin analizi yapılmıştır. G+0.3Q yüklemesi altında ve E yüklemesi altında normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment değerleri elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak kolonlar ve kirişler için etki/kapasite oranları bulunmuştur. Yönetmelikteki hasar sınırlarına bakılarak, üç katlı

modele ait dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı çerçevelerin hasar bölgeleri Tablo 4.13’de kolonlar için, Tablo 4.14’de ise kirişler için karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Tablo 4.13. Kolonlar için hasar bölgelerinin karşılaştırılması

Kolonlar	Dolgu Duvarsız Çerçeveye ait Hasar Sınırı		Dolgu Duvarlı Çerçeveye ait Hasar Sınırı	
	r	Hasar sınırı	r	Hasar sınırı
SA11	2.25	MN	3.104	GV
SB11	2.75	MN	1.645	MN
SC11	2.25	MN	3.268	GV
SA21	2.08	MN	2.671	MN
SB21	2.37	MN	1.371	MN
SC21	2.08	MN	2.813	MN
SA31	2.05	MN	2.542	MN
SB31	2.75	MN	1.645	MN
SC31	2.25	MN	3.268	GV
SA12	1.25	MN	5.884	GV
SB12	2.41	MN	1.264	MN
SC12	1.25	MN	4.396	MN
SA22	1.21	MN	5.349	GV
SB22	2.18	MN	0.748	MN
SC22	1.21	MN	4.325	GV
SA32	1.25	MN	5.884	GV
SB32	2.41	MN	1.264	MN
SC32	1.25	MN	4.396	GV
SA13	10.17	GÇ	0.467	MN
SB13	1.45	MN	0.928	MN
SC13	10.17	GÇ	0.538	MN
SA23	6.99	GV	0.427	MN
SB23	1.18	MN	0.851	MN
SC23	6.99	GV	0.525	MN
SA33	10.17	GÇ	0.467	MN
SB33	1.45	MN	0.928	MN
SC33	10.17	GÇ	0.538	MN

Kolonlar için hasar bölgelerinin karşılaştırılmasında, dolgu duvarsız çerçeve modelinde kolonların % 77.8’i minimum hasar bölgesinde, % 7.4’ü belirgin hasar bölgesinde, %14.8’i ileri hasar bölgesinde kalmıştır. Dolgu duvarlı modelde ise kolonların % 77.8’i minimum hasar bölgesi, % 22.2’si belirgin hasar bölgesinde kalmıştır.

Tablo 4.14. Kirişler için hasar bölgelerinin karşılaştırılması

Kirişler	Dolgu Duvarsız Çerçeveye ait Hasar sınırı		Dolgu Duvarlı Çerçeveye ait Hasar sınırı	
	r	Hasar sınırı	r	Hasar sınırı
KX11 sol uç	6.563	GÇ	1.807	MN
KX11 sağ uç	2.180	MN	2.462	MN
KX12 sol uç	5.279	GÇ	0.722	MN
KX12 sağ uç	1.835	MN	1.006	MN
KX13 sol uç	2.578	MN	0.389	MN
KX13 sağ uç	0.823	MN	0.513	MN
KX21 sol uç	7.392	GÇ	1.826	MN
KX21 sağ uç	2.089	MN	2.464	MN
KX22 sol uç	5.958	GÇ	0.777	MN
KX22 sağ uç	1.757	MN	0.99	MN
KX23 sol uç	2.883	MN	0.363	MN
KX23 sağ uç	0.79	MN	0.642	MN
KX31 sol uç	6.563	GÇ	1.807	MN
KX31 sağ uç	2.180	MN	2.462	MN
KX32 sol uç	5.279	GÇ	0.722	MN
KX32 sağ uç	1.836	MN	1.006	MN
KX33 sol uç	2.578	MN	0.389	MN
KX33 sağ uç	0.823	MN	0.513	MN

Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçevelerin hasar bölgelerinin karşılaştırılmasında, her iki modelin hasar sınırlarında farklılıklar görülmüştür. Dolgu duvarsız çerçeve modelinde kirişlerin % 66.7'si minimum hasar bölgesinde, % 33.3'ü belirgin hasar bölgesinde kalmıştır. Dolgu duvarlı modelde ise kirişlerin tamamı minimum hasar bölgesinde kalmıştır.

Beş katlı modele ait dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı çerçevelerin hasar bölgeleri Tablo 4.15'de kolonlar için, Tablo 4.16'da ise kirişler için karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Tablo 4.15. Kolonlar için hasar bölgelerinin karşılaştırılması

Kolonlar	Dolgu Duvarsız Çerçeveye Ait Hasar Sınırları		Dolgu Duvarlı Çerçeveye Ait Hasar Sınırları	
	r	Hasar sınırı	r	Hasar sınırı
SA11	2.667	MN	5.682	GV
SB11	5.607	GV	2.271	MN
SC11	2.667	MN	5.682	GV
SA21	2.505	MN	7.251	GV
SB21	4.180	MN	1.895	MN
SC21	2.505	MN	7.251	GV
SA31	2.667	MN	5.682	GV
SB31	5.607	GV	2.271	MN
SC31	2.667	MN	5.682	GV
SA12	4.364	MN	2.031	MN
SB12	4.796	MN	3.762	MN
SC12	4.364	MN	2.031	MN
SA22	4.302	MN	2.352	MN
SB22	6.016	GV	5.071	GV
SC22	4.302	MN	2.352	MN
SA32	4.364	MN	2.031	MN
SB32	4.796	MN	3.762	MN
SC32	4.364	MN	2.031	MN
SA13	5.508	GV	2.756	MN
SB13	7.410	GV	5.444	GV
SC13	5.508	GV	2.756	MN
SA23	4.039	MN	1.835	MN
SB23	5.016	GV	4.531	MN
SC23	4.039	MN	1.835	MN
SA33	5.508	GV	2.756	MN
SB33	7.410	MN	5.444	GV
SC33	5.508	GV	2.756	MN
SA14	3.065	MN	1.087	MN
SB14	5.823	GV	6.331	GV
SC14	3.065	MN	1.087	MN
SA24	9.542	GÇ	4.868	MN
SB24	5.764	GV	2.036	MN
SC24	9.542	GÇ	4.868	MN
SA34	3.065	MN	1.087	MN
SB34	5.823	GV	6.331	GV
SC34	3.065	MN	1.087	MN
SA15	5.825	GV	2.390	MN
SB15	5.223	GV	2.579	MN
SC15	5.825	GV	2.390	MN
SA25	1.811	MN	2.511	MN
SB25	2.661	MN	1.547	MN
SC25	1.811	MN	2.511	MN
SA35	5.825	GV	2.390	MN
SB35	5.223	GV	2.579	MN
SC35	5.825	GV	2.390	MN

Tablo 4.16. Kirişler için hasar bölgelerinin karşılaştırılması

	Dolgu Duvarsız Çerçeveye ait Hasar Sınırı		Dolgu Duvarlı Çerçeveye ait Hasar Sınırı	
Kirişler	r	Hasar sınırı	r	Hasar sınırı
KX11 sol uç	5.622	GV	4.724	MN
KX11 sağ uç	1.327	MN	5.654	MN
KX12 sol uç	7.101	GV	5.496	MN
KX12 sağ uç	1.517	MN	4.293	MN
KX13 sol uç	5.187	GV	4.023	MN
KX13 sağ uç	1.681	MN	3.088	MN
KX14 sol uç	4.687	MN	3.286	MN
KX14 sağ uç	1.471	MN	1.549	MN
KX15 sol uç	4.758	MN	2.552	MN
KX15 sağ uç	1.195	MN	1.801	MN
KX21 sol uç	5.372	GV	5.115	GV
KX21 sağ uç	1.225	MN	4.228	MN
KX22 sol uç	7.182	GV	5.382	GV
KX22 sağ uç	1.743	MN	3.857	MN
KX23 sol uç	4.671	MN	5.114	MN
KX23 sağ uç	2.105	MN	2.990	MN
KX24 sol uç	3.400	MN	3.052	MN
KX24 sağ uç	2.523	MN	1.405	MN
KX25 sol uç	2.334	MN	1.080	MN
KX25 sağ uç	1.658	MN	1.883	MN
KX31 sol uç	5.622	GV	4.724	MN
KX31 sağ uç	1.327	MN	5.654	GV
KX32 sol uç	7.101	GV	5.496	GV
KX32 sağ uç	1.517	MN	4.293	MN
KX33 sol uç	5.187	GV	4.023	MN
KX33 sağ uç	1.681	MN	3.088	MN
KX34 sol uç	4.687	MN	3.286	MN
KX34 sağ uç	1.471	MN	1.549	MN
KX35 sol uç	4.758	MN	2.552	MN
KX35 sağ uç	1.195	MN	1.801	MN

Beş katlı yapıya ait hasar bölgelerinin karşılaştırılmasında, dolgu duvarsız modelde kolonların % 55.5'i minimum hasar, % 40'ı belirgin hasar ve % 4.5'i ileri hasar bölgesinde kalmıştır. Kirişlerin % 73.3'ü minimum hasar, %26.7'si belirgin hasar bölgesinde kalmıştır. Dolgu duvarlı modelde ise kolonların % 75.5'i minimum hasar, %24.5'i belirgin

hasar bölgesinde kalmıştır. Kirişlerin % 86.7'si minimum hasarı %13.3'ü belirgin hasar bölgesinde kalmıştır.

Yedi katlı modele ait dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı çerçevelerin hasar bölgeleri Tablo 4.17'de kolonlar için, Tablo 4.18'de ise kirişler için karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Tablo 4.17. Kolonlar için hasar bölgelerinin karşılaştırılması

Kolonlar	Dolgu Duvarsız Çerçeveye Ait Hasar Sınırları		Dolgu Duvarlı Çerçeveye Ait Hasar Sınırları	
	r	Hasar sınırı	r	Hasar sınırı
SA11	4.332	GV	5.124	GV
SB11	4.709	GV	4.101	MN
SC11	4.332	GV	5.124	GV
SA21	2.511	MN	4.108	MN
SB21	2.980	MN	2.561	MN
SC21	1.811	MN	6.231	GV
SA31	4.332	GV	5.124	GV
SB31	4.709	GV	4.101	MN
SC31	4.332	GV	5.124	GV
SA12	4.685	GV	5.165	GV
SB12	4.291	GV	4.105	MN
SC12	4.685	GV	5.165	GV
SA22	3.139	MN	3.563	MN
SB22	3.711	MN	2.154	MN
SC22	3.139	MN	3.563	MN
SA32	4.685	GV	5.165	GV
SB32	4.291	MN	4.105	MN
SC32	4.685	GV	5.165	GV
SA13	5.612	GV	3.215	MN
SB13	4.102	MN	6.158	GV
SC13	5.612	GV	3.215	MN
SA23	3.965	MN	2.526	MN
SB23	4.102	MN	5.023	GV
SC23	3.965	MN	2.526	MN
SA33	5.612	GV	3.215	MN
SB33	4.123	MN	6.158	GV
SC33	5.612	GV	3.215	MN
SA14	4.102	MN	2.514	MN
SB14	5.612	GV	7.109	GV
SC14	4.011	MN	2.514	MN
SA24	8.412	GÇ	5.417	GV
SB24	6.523	GV	3.612	MN

Tablo 4.17. Devamı

SC24	8.412	GÇ	5.417	GV
SA34	4.102	MN	2.514	MN
SB34	5.612	GV	7.109	GV
SC34	4.011	MN	2.514	MN
SA15	6.108	GV	5.156	GV
SB15	5.601	GV	3.687	MN
SC15	6.108	GV	5.156	GV
SA25	2.155	MN	2.987	MN
SB25	2.897	MN	2.105	MN
SC25	2.155	MN	2.987	MN
SA35	6.108	GV	5.156	GV
SB35	5.601	GV	3.687	MN
SC35	6.108	GV	5.156	GV
SA16	7.123	GV	4.132	MN
SB16	5.241	GV	3.016	MN
SC16	7.123	GV	4.132	MN
SA26	4.132	MN	3.952	MN
SB26	4.521	MN	3.047	MN
SC26	4.132	MN	3.952	MN
SA36	7.123	GV	4.132	MN
SB36	5.241	GV	3.016	MN
SC36	7.123	GV	4.132	MN
SA17	3.965	MN	2.417	MN
SB17	4.412	MN	3.005	MN
SC17	3.965	MN	2.417	MN
SA27	4.128	MN	3.001	MN
SB27	5.109	GV	3.541	MN
SC27	4.128	MN	3.001	MN
SA37	3.965	MN	2.417	MN
SB37	4.412	MN	3.005	MN
SC37	3.965	MN	2.417	MN

Yedi katlı yapıya ait hasar bölgelerinin karşılaştırılmasında, dolgu duvarsız modelde kolonların % 47.62'si minimum hasar, % 49.2'si belirgin hasar ve % 3.17'si ileri hasar bölgesinde kalmıştır. Kirişlerin % 61.9'u minimum hasar, % 11.9'u belirgin hasar, %26.2'si ileri hasar bölgesinde kalmıştır. Dolgu duvarlı modelde ise kolonların % 82.5'i minimum hasar, %17.5'i belirgin hasar bölgesinde kalmıştır. Kirişlerin % 52.4'ü minimum hasarı %42.9'u belirgin hasar ve % 4.7'si ileri hasar bölgesinde kalmıştır.

Tablo 4.18. Kirişler için hasar bölgelerinin karşılaştırılması

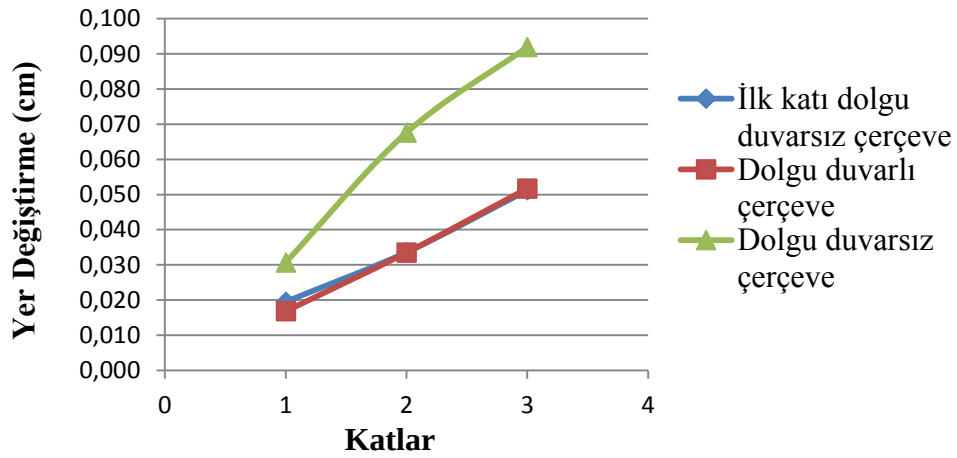
Kirişler	Dolgu Duvarsız Çerçeveye göre Hasar Sınırı		Dolgu Duvarlı Çerçeveye göre Hasar Sınırı	
	r	Hasar sınırı	r	Hasar sınırı
KX11 sol uç	6.097	GV	6.274	GV
KX11 sağ uç	1.780	MN	4.687	MN
KX12 sol uç	7.148	GÇ	6.022	GV
KX12 sağ uç	1.780	MN	8.716	GÇ
KX13 sol uç	7.950	GÇ	6.193	GV
KX13 sağ uç	6.167	GV	6.993	GV
KX14 sol uç	7.70	GÇ	5.541	GV
KX14 sağ uç	7.504	GÇ	5.182	GV
KX15 sol uç	4.818	MN	4.179	MN
KX15 sağ uç	3.221	MN	3.255	MN
KX16 sol uç	2.884	MN	2.207	MN
KX16 sağ uç	2.877	MN	1.972	MN
KX17 sol uç	2.694	MN	1.612	MN
KX17 sağ uç	3.385	MN	4.586	MN
KX21 sol uç	9.561	GÇ	3.885	MN
KX21 sağ uç	2.296	MN	6.719	GV
KX22 sol uç	7.578	GÇ	5.516	GV
KX22 sağ uç	2.087	MN	6.502	GV
KX23 sol uç	4.325	MN	5.705	GV
KX23 sağ uç	3.690	MN	6.137	GV
KX24 sol uç	2.719	MN	3.944	MN
KX24 sağ uç	7.044	GV	5.086	GV
KX25 sol uç	2.128	MN	2.514	MN
KX25 sağ uç	14.519	GÇ	2.180	MN
KX26 sol uç	2.385	MN	2.357	MN
KX26 sağ uç	4.643	MN	1.756	MN
KX27 sol uç	3.190	MN	1.677	MN
KX27 sağ uç	2.237	MN	0.972	MN
KX31 sol uç	6.097	GV	6.274	GV
KX31 sağ uç	1.780	MN	4.687	MN
KX32 sol uç	7.148	GÇ	6.022	GV
KX32 sağ uç	1.780	MN	8.716	GÇ
KX33 sol uç	7.950	GÇ	6.193	GV
KX33 sağ uç	6.167	GV	6.993	GV
KX34 sol uç	7.70	GÇ	5.541	GV
KX34 sağ uç	7.504	GÇ	5.182	GV
KX35 sol uç	4.818	MN	4.179	MN
KX35 sağ uç	3.221	MN	3.255	MN
KX36 sol uç	2.884	MN	2.207	MN
KX36 sağ uç	2.877	MN	1.972	MN
KX37 sol uç	2.694	MN	1.612	MN
KX37 sağ uç	3.385	MN	4.586	MN

4.4.3. Yapı Modellerinin Yer Değiştirme Değerlerinin Karşılaştırılması

Üç katlı dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve ilk katı dolgu duvarsız çerçevelere ait yer değiştirme değerleri Tablo 4.19’de, bu değerlerin grafiksel karşılaştırılması ise Şekil 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.19. Üç katlı çerçeve modellerine ait yer değiştirme değerleri

Katlar	İlk katı dolgu duvarsız çerçeve	Dolgu duvarlı çerçeve	Dolgu duvarsız çerçeve
1.kat	0.020	0.017	0.031
2.kat	0.034	0.034	0.068
3.kat	0.051	0.052	0.092

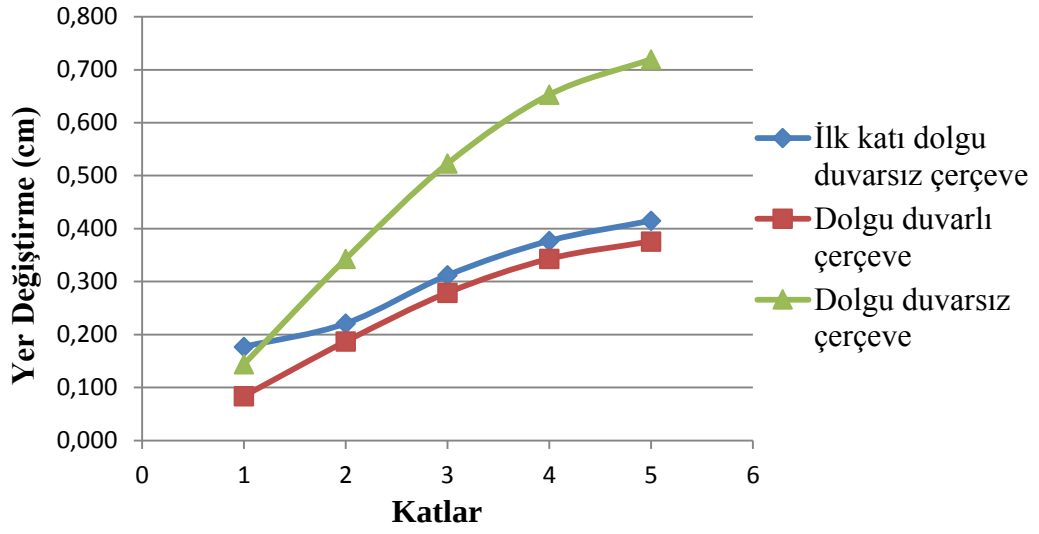


Şekil 4.10. Üç katlı çerçeve modellerinin yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması

Beş katlı dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve ilk katı dolgu duvarsız çerçevelere ait yer değiştirme değerleri Tablo 4.20’de, bu değerlerin grafiksel karşılaştırılması ise Şekil 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.20. Beş katlı çerçeve modellerine ait yer değiştirme değerleri

Katlar	İlk katı dolgu duvarsız çerçeve	Dolgu duvarlı çerçeve	Dolgu duvarsız çerçeve
1.kat	0.177	0.084	0.144
2.kat	0.221	0.187	0.343
3.kat	0.312	0.279	0.523
4.kat	0.377	0.343	0.653
5.kat	0.415	0.376	0.720

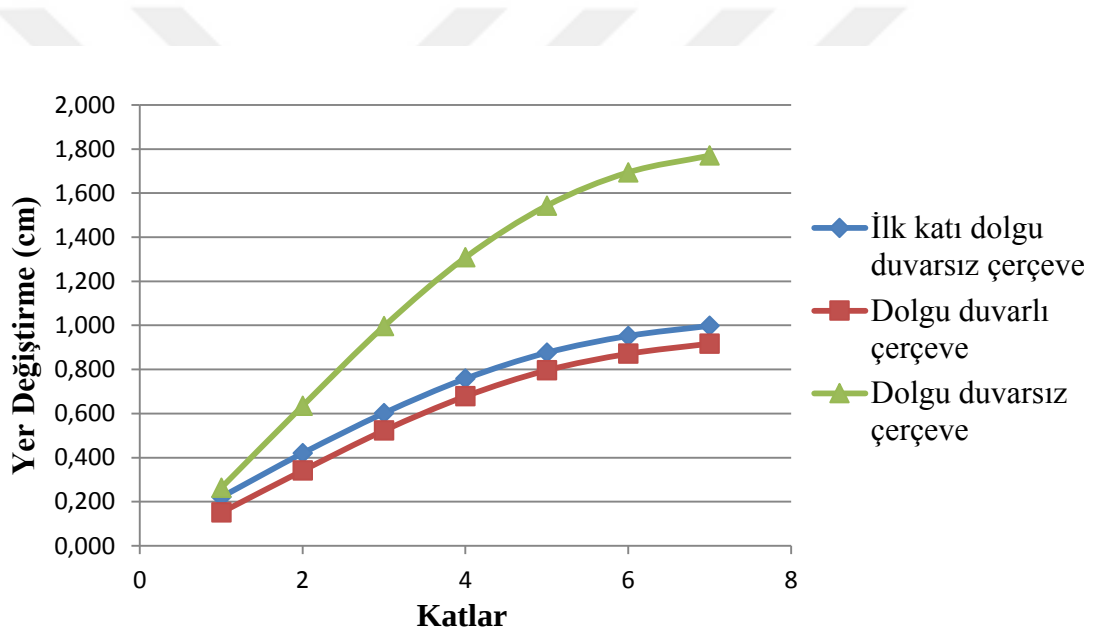


Şekil 4.11. Beş katlı çerçeve modellerinin yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması

Yedi katlı dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve ilk katı dolgu duvarsız çerçevelere ait yer değiştirme değerleri Tablo 4.21’de, bu değerlerin grafiksel karşılaştırılması ise Şekil 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.21. Yedi katlı çerçeve modellerine ait yer değıştirme değeri

Katlar	İlk katı dolgu duvarsız çerçeve	Dolgu duvarlı çerçeve	Dolgu duvarsız çerçeve
1.kat	0.221	0.151	0.263
2.kat	0.420	0.341	0.635
3.kat	0.602	0.523	0.996
4.kat	0.758	0.678	1.308
5.kat	0.876	0.796	1.543
6.kat	0.952	0.871	1.694
7.kat	0.998	0.917	1.77



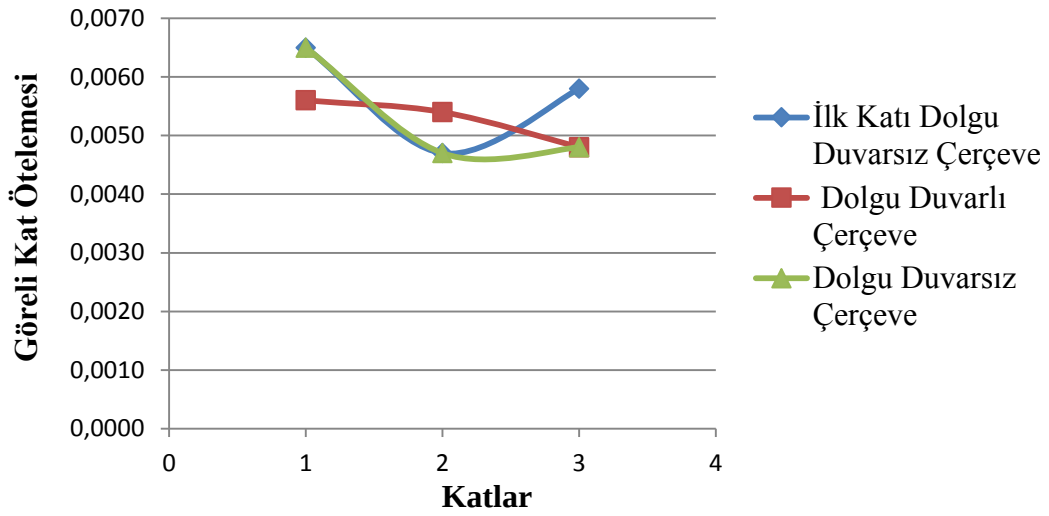
Şekil 4.12. Yedi katlı çerçeve modellerinin yer değıştirme değeri karşılaştırılması

4.4.4. Yapı Modellerinin Görelî Kat Öteleme Oranlarının Karşılaştırılması

Üç katlı dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve ilk katı dolgu duvarsız çerçevelele ait görelî kat öteleme oranları Tablo 4.22’de, bu değeriin grafikselle karşılaştırılması ise Şekil 4.13’de verilmiştir.

Tablo 4.22. Üç katlı çerçeve modellerine ait görelî kat ötelemesi oranları

Katlar	1	2	3
İlk Katı Dolgu Duvarsız Çerçeve	0.0065	0.0047	0.0058
Dolgu Duvarlı Çerçeve	0.0056	0.0054	0.0048
Dolgu Duvarsız Çerçeve	0.0065	0.0047	0.0048

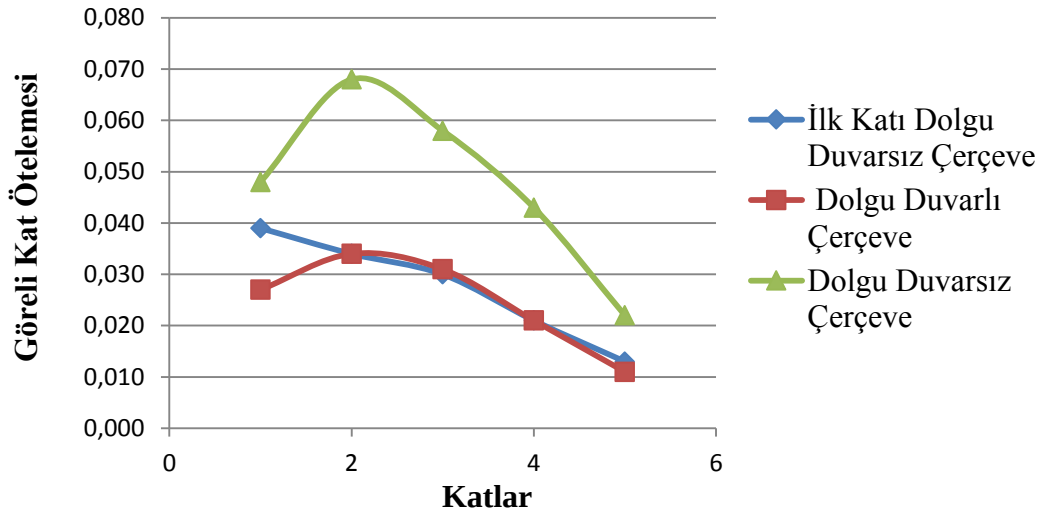


Şekil 4.13. Üç katlı çerçeve modellerinin görelî kat ötelemesi oranlarının karşılaştırılması

Beş katlı dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve ilk katı dolgu duvarsız çerçevelere ait görelî kat ötelemesi oranları Tablo 4.23’de, bu değerlerin grafiksel karşılaştırılması ise Şekil 4.14’de verilmiştir.

Tablo 4.23. Beş katlı çerçeve modellerine ait görelî kat ötelemesi oranları

Katlar	1	2	3	4	5
İlk Katı Dolgu Duvarsız Çerçeve	0.039	0.034	0.030	0.021	0.013
Dolgu Duvarlı Çerçeve	0.027	0.034	0.031	0.021	0.011
Dolgu Duvarsız Çerçeve	0.048	0.068	0.058	0.043	0.022

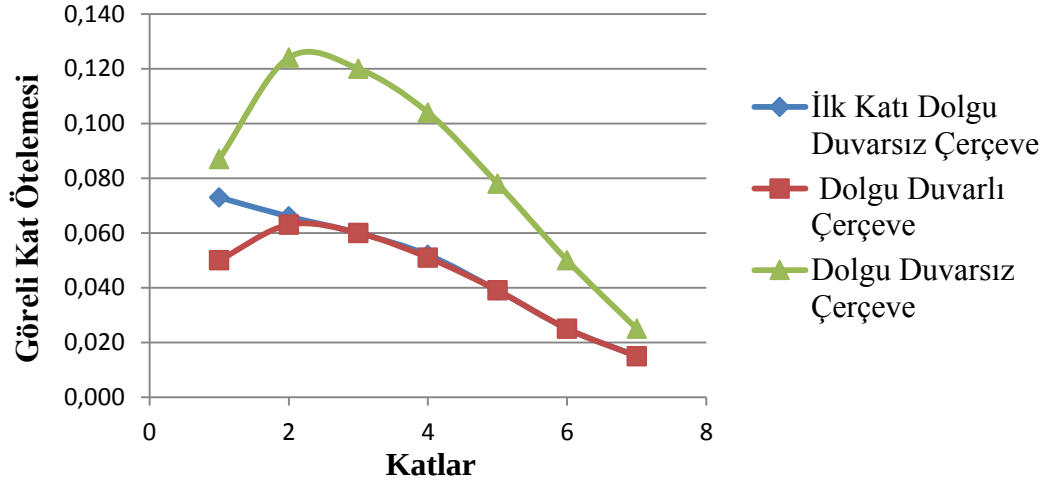


Şekil 4.14. Beş katlı çerçeve modellerinin görel kat ötelemesi oranlarının karşılaştırılması

Yedi katlı dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve ilk katı dolgu duvarsız çerçevelere ait görel kat ötelemesi oranları Tablo 4.24’de, bu değerlerin grafiksel karşılaştırılması ise Şekil 4.15’de verilmiştir.

Tablo 4.24. Yedi katlı çerçeve modellerine ait görel kat ötelemesi oranları

Katlar	1	2	3	4	5	6	7
İlk Katı Dolgu Duvarsız Çerçeve	0.073	0.066	0.060	0.052	0.039	0.025	0.015
Dolgu Duvarlı Çerçeve	0.050	0.063	0.060	0.051	0.039	0.025	0.015
Dolgu Duvarsız Çerçeve	0.087	0.124	0.120	0.104	0.078	0.050	0.025



Şekil 4.15. Yedi katlı çerçeve modellerinin görelî kat ötelemesi oranlarının karşılaştırılması

5.SONUÇLAR

Bu çalışmada, betonarme yapılarda dolgu duvarların, binanın dayanımı, rijitliği ve dinamik özelliklerine olan katkısı araştırılmıştır. Bunun için de en sık kullanılan eşdeğer çubuk yöntemi ile dolgu duvarlar modellenmiştir. Daha sonra tüm katları dolgu duvarlardan oluşan model, ilk katı dolgu duvarsız, diğer katları dolgu duvarlı olan model ve tüm yapının tamamen dolgu duvarsız olduğu modeller için ayrı ayrı analizler yapılarak yer değiştirme, kapasite eğrisi, görelî kat ötelemesi ve dayanım gibi parametreler elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Dolgu duvarların, yapının performansında, dayanımında ve deplasmanında değişiklik yaptığı görülmüştür. Dolgu duvarlı çerçevedeki yer değiştirme değeri, dolgu duvarsız çerçeveye göre daha az olmuştur.
- İlk katı dolgu duvarsız olan modelin yer değiştirme değeri ise dolgu duvarlı modelin yer değiştirme değerinden daha büyük değerde, dolgu duvarsız modelin yer değiştirme değerinden ise daha küçük bir değerde çıkmıştır.
- Dolgu duvarlı çerçeve daha rijit davranış göstermiştir.
- Analizleri yapılan tüm modellerin, bütün katlarına ait görelî kat öteleme değerleri de karşılaştırılmıştır. En büyük kat öteleme değeri dolgu duvarsız çerçevede görülmüştür.
- Daha sonra ilk katı dolgu duvarsız, yumuşak kat etkisi olan çerçeve modelinde ve en son dolgu duvarlı çerçeve modelinde oluşmuştur.
- Birinci katın öteleme değeri kıyaslandığında, ilk katı dolgu duvarsız çerçeve modelinin kat öteleme değeri, dolgu duvarlı çerçeve modelinin kat öteleme değerinden yaklaşık %28 oranında fazla olmuştur. Bununla birlikte yumuşak kat etkisi olan bu modelde, zorlanmaların daha çok olduğu ilk kattaki kat ötelemesi değeri, diğer katlara göre daha büyük olmuştur.
- Dolgu duvarsız çerçeve modelinin öteleme değeri ilk katı dolgu duvarsız modelin kat ötelemesi değerinden yaklaşık %23 oranında daha fazla olmuştur.
- Taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırıldığında, dolgu duvarlı modeller, dolgu duvarsız modellere göre daha büyük kesme kuvveti değeri almıştır. Bu kesme kuvvetine karşılık, yer değiştirme değerinde ise azalma görülmüştür.

- Böylece dolgu duvarların sisteme katılmasıyla, yapı sisteminde daha az yer değiştirme olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, araştırmacıların da yapmış oldukları deneysel ve analitik çalışmalar sonucunda da, dolgu duvarların kütlelerinden dolayı deprem kuvvetlerinin artmasına neden olduğu daha önce belirtilmişti. Dolayısıyla dolgu duvarların etkisi sistem çözümlemesinde dikkate alınmasa da yapı sisteminin yatay rijitliğini arttırtmasından dolayı tercih edilmelidir. Yapı sistemleri projelendirilirken, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak ayrı ayrı hesaplamalar ve analizler yapılmalıdır. Her iki durum için en elverişsiz koşullar altında eleman boyutlandırılması ve donatı seçimi yapılmalıdır. Bunun yanında, yapıların dolgu duvarlı çözümlemesi yapılırken duvarlardaki boşluk oranı, malzeme, harç ve işçilik kalitesi de ihmal edilmemelidir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız yapılan analizler sonucu elde edilen değerlerin, binanın deprem sırasındaki gerçek davranışına yakın olması sağlanmalı ve binaların daha güvenli ve ekonomik olarak projelendirilmesine çalışılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Bayülke, N.**, 2003. Betonarme Yapının Dolgu Duvarı. Türkiye Mühendislik Haberleri, 4, 426, 85-98.
- Beklen, C.**, 2009. Binalarda Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Brokken, S. and T. , Bertero, V.**, 1981. Studies on Effect of Infills in Seismic Resistant R/C Construction. Rep. EERC 81-12, Univ. Of California, Berkeley, Calif.
- Celep, Z. Ve Kumbasar, N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta dağıtım, İstanbul.
- Celep, Z.**, 2009 Betonarme Yapılar, İstanbul
- Celep, Z.**, 2014 Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış Ve Çözümleme, İstanbul
- Chopra, A. K.**, 2001. Dynamics of Structures: Theory and applications to earthquake engineering, Englewood Cliffs, NJ.
- Chopra, A.K.**, 2006. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Third Edition, Prentice Hall, USA.
- Çağlayan, E.**, 2006. Betonarme Çerçevelerin Yatay Yüklere Göre Analizinde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- DBYYHY** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara.
- Ersoy, U., ve Tankut, T.** (1992). Hysteretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames, ASCE Journal of Structural Engineering, vol. 118.
- FEMA-178**, 1989. A Handbook for Seismic Evaluation of Existing Buildings (Preliminary), *Earthquake Hazards Reduction Series*, 47.
- Fiorato, A. E., Sözen, M. A. and. Gamble, W. L.**, 1970. An Investigation of the Interaction of Reinforced Concrete Frames with Masonry Filler Walls. Univ. Of Illinois, Civ. Eng. Studies, Struct. Res. Series No.370.
- Govindan, P., Lakshmiapaty, M., Santhakumar, A. R.**, 1986. Ductility of Infilled Frames. A.C.I. Journal, pp. 567-576.
- İlki, A. ve Celep, Z.**, 2011. Betonarme Yapıların Deprem Güvenliği, ODTÜ, Ankara.

- İrtem E., Türker K. ve Hasgöl U.,** 2004. Türk Deprem Yönetmeliğinin Performans Hedeflerinin Lineer Olmayan Statik Analiz Yöntemleri ile Değerlendirilmesi
- Karadoğan, F. ve Yüksel, E.,** 2001 Bölme Duvarlı Betonarme Çerçeveler Üzerinde Gerçekleştirilen Bazı Deneysel Çalışmalar, İmo İstanbul Bülten Sayı 56.
- Karshoğlu, Ö.,** 2005. Çok Katlı Binalarda Bulunan Tuğla Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Klinger, R.E. and Bertero V.,** 1976. Infilled Frames in Earthquake-Resistant Construction
- Korkmaz, A., Uçar T. ve İrtem E.,** 2006. “Yumuşak Kat Düzensizliğinin ve Dolgu Duvarların Betonarme Binaların Deprem Davranışına Etkileri”, IMO Teknik Kongre, Antalya.
- Liau, T.C.,** 1980. An Effective Structural System Against Earthquakes- Infilled Frames, Proceeding of the 7th WCEE pp. 481-185, İstanbul, Turkey.
- Mainstone, R. J.,** 1974. Supplementary note on the stiffness and strengths of infilled frames, Building Research Station, Garston, UK.
- Meli, R., and Bazan, E.,** 1980. Seismic Analysis Of Structures with Masonary Walls. Proceedings of Seventh World Conference on Earthquake Engineering, pp. 633-640.
- Negro, P., Colombo, A.,** 1997. Irregularities Induced by Nonstructural Masonry Panels in Framed Buildings, Engineering Structures, Vol. 17, No.7, pp.576-585.
- Oğuz, Ş.,** 2005. Evaluation of Pushover Analysis Procedures for Frame Structures, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Özcebe, G., Yakut, A., Binici, B. ve Demirel, İ.O.,** 2013. Dolgu Duvarların Deprem Davranışına Etkisi, 2. Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay.
- SAP 2000 v15,** Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc. Berkeley, California.
- Sivri, M., Demir, F. ve Kuyucular, A.,** 2006. Dolgu Duvarlarının Çerçeve Yapının Deprem Davranışına ve Göçme Mekanizmasına Etkisi
- Stafford-Smith, B.,** 1962. “Lateral Stiffness of Infilled Frames,” Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 88.
- Tekeli, H., Demir, F. ve Akyürek, O.,** 2015. Betonarme Bina Performansa Dolgu Duvarların Etkisi, İstanbul.

- Tetik, D.,** 2007. Dolgu Duvarların Betonarme Yapıların Serbest Titreşimine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TS500** (2000), Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara.
- Zarnic, R., and Tomasevic, M.,** 1995. Modelling of Response of Masonry Infilled Frame, 10th European Conference on Earthquake Engineering, Rotterdam.



ÖZGEÇMİŞ

Tuba DEMİR, 1985 yılında Elazığ'da doğdu. İlköğrenimini Elazığ 60. Yıl İlkokulunda, ortaöğrenimini Elazığ İmam Hatip Ortaokulunda, lise öğrenimini ise Elazığ Anadolu İmam Hatip Lisesinde tamamladı. 2004 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliğine yerleşip, 2008 yılında mezun oldu. İki yıl aradan sonra 2010 yılında Öğrenci Seçme Sınavına girip Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliğine yerleşti. 2013 yılında mezun olduktan sonra yine aynı üniversitede Mekanik Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimime başladı. 2015 yılı şubat ayı itibariyle de Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Yazar evli olup iki çocuğu vardır.