DEU FMD 21(62), 379-393, 2019



Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi
Dokuz Eylul University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering

Basılı/Printed ISSN: 1302-9304. Elektronik/Online ISSN: 2547-958X

Betonarme Yurt Binasının Perde Duvar İle Güçlendirilmesinde Mevcut Duvarların Etkisinin İncelenmesi

The Effect of the Infill Walls in the Strengthening of the Reinforced Concrete Dormitory Building with the Shear Walls

Didem Dönmez[1*]

[1] İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü Deprem Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: anild@itu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 06.08.2018 *DOI:10.21205/deufmd.2019216206*
Kabul Tarihi / Accepted: 02.01.2019 *Araştırma Makalesi/Research Article*

Atıf şekli/ How to cite: DÖNMEZ, D. (2019). Betonarme Yurt Binasının Perde Duvar İle Güçlendirilmesinde Mevcut Duvarların Etkisinin İncelenmesi. DEUFMD, 21(62), 379-393.

Öz

Geçmişten günümüze gelen düşük kaliteli beton kullanılarak inşa edilen betonarme yapı ile mimari açıdan farklı mekanların oluşturulmasını sağlayan taş ve tuğla duvarların malzeme kalitesi, tasarım ve işçilik gibi hususlarda hatalı kurgulanması deprem etkilerine karşı yapıları zayıflatmaktadır. Bu yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde deprem perdelerinin yapıdaki dayanımı arttırıcı etkileri sebebiyle yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Deprem perdelerinin yapıyı güçlendirmedeki büyük etkisine ek olarak yapıdaki dolgu duvarların etkisini de göz önünde bulundurmanın önemli olduğu görülmektedir. Yapının mevcut duvarları gözönüne alınmadan yapılan hesaplarla binanın doğal periyodu, deprem yükü, her bir kolona ve kirişe transfer olan deprem yük miktarı, yapıdaki düzensizlik durumu, yapının deprem karşısında toplam gücü, deprem altında oluşabilecek göçme biçimi gibi önemli parametrelerin değerlendirilmesi eksik olabilmektedir. Bu çalışmada, bölme duvarların matematik modeli oluşturularak hesaplarda ve perde duvar güçlendirilmesi yapılan bir yapıda ne gibi etkileri olduğu incelenmektedir. Mevcut yapıda degişik bölme duvar alanına sahip modeller oluşturularak, deprem yükleri altında yapıya ve eleman hasar durumlarına olan etkisi ve düzensizlik durumları irdelenmiştir. Duvarlar gözönüne alındığında deprem perdeleri ile güçlendirilen bir yapıda etkileri incelenip duvarların hesaplara dahil edilmemiş haliyle karşılaştırmaları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Dolgu Duvar, Deprem Hasarı, Gevrek Göçme, Sünek Göçme, Hasar Dağılımı, Deplasman*

Abstract

Buildings weaken against earthquake effects due to the reinforced concrete structure constructed by using the low quality concrete from the past to the present and faulty design such as material, quality, design and workmanship of stone and brick walls ensuring the formation of the different spaces in architectural terms. For these buildings to be strengthened against the earthquake, shear walls are observed to be used commonly due to their effects on increasing the resistance on the building. It is important to consider the effect of the infill walls in addition to the great impact of the shear walls on strengthening the structure. With the calculations made without considering the infill walls of the

buildings, the evaluations of the important parameters such as the natural period of the building, earthquake load, earthquake load amount transferred to each column and beam, irregularity in the building, total strength of the building against the earthquake, the format of collapse that can occur under the earthquake can be missed. In this study, the mathematics model of the partition walls is formed and what kinds of effects there are available on a building whose curtain wall strengthening is made has been examined. The models having the different partition wall area in the current building have been formed and their effects on the buildings and the element damage situations under the earthquake loads and their irregularities have been analyzed. When the infill walls are considered, their effects on a building strengthened with the shear walls have been examined and their comparisons have been made with their situations in which the infill walls have not been included to the calculations.

Keywords: *Partition Wall, Earthquake Damage, Brittle Failure, Ductile Fracture, Damage Distribution, Displacement*

1. Giriş

Ülkemizin deprem kuşağında bulunması nedeniyle depreme dayanıklı yapıların yapılması ve güçlendirilmesi önem kazanmaktadır. Depremde hasar gören yapıların yerine yeni yapıların yapılması zaman ve para kaybı düşünüldüğünde kimi zaman doğru bir karar olmamaktadır. Bu sebeple yeni bir yapı yapmak kadar mevcut yapıların iyileştirme ve güçlendirilmesi üzerine çalışmalar önemli olmaktadır.

Hasar görmüş yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde deprem perdelerinin yapıdaki dayanımı arttırıcı etkileri sebebiyle yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Yapısal olmayan elemanlar olarak düşünülen dolgu duvarlar ise deprem yükleri etkisi altında çerçeveyle birlikte çalışmaktadır. Yapılan çalışmalara göre, deprem yükünün ilk etkilerini alarak çatlayan ve kalıcı şekil değiştirme yapan dolgu duvarlar, depremin ilk etkilerini sönümlemede rol oynamaktadır. Böylece, sistemdeki diğer taşıyıcı elemanlara gelen deprem yükünü azaltmaktadır. Orta şiddette bir depremin ilk saniyelerinde duvarın etkisi görülebilmektedir. Lineer analizlerle yapılan hesaplarda duvar yapıda devre dışı kalmadan taşıyıcı sisteme katkısını sürdürmektedir. Orta şiddette bir deprem için duvarın etkisini doğrusal hesap yöntemleri kullanılarak, duvarın çatlaması gerçekleşmeden, duvar etkiliyken sisteme katkısı inceleme kapsamında ele alınabilir. Bunun için geçmişten günümüze uzanan deneysel ve teorik bazı çalışmalar incelenmiştir. Ovidiu Bolea 2015 yılında yapmış olduğu çalışmada boş çerçeve sistem ile alçıpan ve dolgu duvarlı çerçeve sistemler arasındaki farklara değinmiş olup, Bükreş bölgesindeki yapılarda betonarme çerçeve sistem ve farklı dolgu duvar tipleri arasındaki etkileşimi Romanya Sismik Dizayn Kod P100-1/2013 'e göre araştırmıştır. Dolgu duvarların yapılarda dinamik ve sismik özelliklerini arttırdığı ve böylece diğer yapısal elemanlardaki hasar oranı ve deplasman talebini düşürdüğü sonucuna ulaşmıştır [1]. Benzer bir araştırma olarak Kareem ve Güneyisi'nin 2018 yılında 2, 4, 6 ve 8 katlı betonarme dolgu duvarlı ve duvarsız çerçeveler ile yapmış olduğu çalışma ile dolgu duvarların yapıların yanal yükleme altındaki tepkisini büyük ölçüde etkilediği ve yapının yük taşıma kapasitesini arttırdığı sonucuna varılmıştır [2]. Deprem yatay yükleri altında dolgu duvarın çerçeve ile birlikte çalışması başlangıç rijitliğini, yük dayanım kapasitesi ve deformasyon kapasitesinde artış meydana getirir. Dolgu duvarın sisteme sağladığı rijitlik, deformasyon kapasitesini azaltmamakta ve en az betonarme boş çerçevenin yapabileceği maksimum deplasmana ulaşmaktadır. Kai Qian ve Bing Li 2017 yılı çalışmalarında dolgu duvarlı ve duvarsız betonarme çerçeve sistemlerden altışar adet basma-çekme deneyi uygulamıştır. Dolgu duvarsız betonarme çerçevenin ve dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistemin göçme mekanizması ve hasar durumu irdelenmiştir. Dolgu duvarsız betonarme çerçeve sistemde açıklık/derinlik oranı arttıkça başlangıç rijitliği, akma dayanımı, maksimum yük dayanımı azalmaktadır. Dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistem ile dolgu duvarsız betonarme çerçeve sistem karşılaştırıldığında ise dolgu duvarların çerçeve sistem ile çalışması başlangıç rijitlik ve maksimum yük kapasitesini arttırdığı ve dolgu duvarsız betonarme çerçeveye benzer deplasman kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Dolgu duvarsız boş betonarme çerçeveye göre dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistem benzer maksimum deplasmanda daha

fazla yük kapasitesine sahip olduğu gözlenmiştir [3].

Bu çalışmalardan dolgu duvarın gelen deprem yükünü ilk karşılayan elemanlardan olduğu ve hesaplarda göz önüne alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Yapılardaki bütün duvarlar deprem yükleri karşısında ‘‘perde duvar’’dır ve bütün perde duvarlar gibi taşıma güçlerine ulaşana kadar yatay yük taşırlar. Yatay yük taşımayacağı varsayılan duvarlar da “perde duvar”dır. Betonarme çerçeveli yapılarda kolonlar arasındaki tuğla dolgu duvarların sınırlı da olsa yatay yük taşıma gücü vardır. Bu sınırın altındaki yük düzeylerinde tuğla dolgu duvar önemli rijitliği olan “perde duvar”dır (FEMA-178), [4]. Smith (1962,1969), yatay yükler uygulayarak dolgu duvarlı çerçevelerin davranışını hem deneysel hem de analitik olarak araştırmıştır. Araştırmaların sonucunda dolgu duvarlı çerçevelerin yatay rijitlik ve dayanımının duvar boyutları ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra duvar ile kolon arasındaki temas uzunluğuna bağlı olduğunu göstermiştir. Dolgu duvarını eşdeğer basınç çubukları şeklinde modellemiş, deneylerle bu sonuçların doğruluğunu kontrol etmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, basınç çubuğu genişliğinin, çerçevenin değişik açıklık/yükseklik oranına göre çubuk uzunluğunun 1/4’ü ile 1/11’i arasında değiştiği sonucuna varmıştır [5].

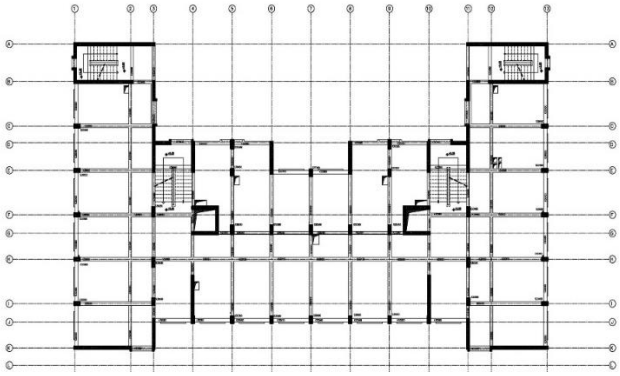
Karadoğan ve Yüksel (2001), yaklaşık 1/2 ölçeğiyle bir açıklıklı ve tek katlı dolgu duvarsız çerçeve numuneleri üzerinde deneysel olarak çalışmışlardır. Deneysel çalışma kapsamında; dolgu duvarsız çerçeveler, değişik türde bölme duvarlı çerçeveler, çevresiyle bütünleşik bölme duvarlı çerçeveler yatay yük taşıyabilmeleri, süneklilikleri ve göçme biçimlerinin gözlenebilmesi gibi amaçlarla denenmiştir. Çalışma sonunda, yapıların, depremin başlangıcında hesaba esas alınan deprem yüklerinden daha büyüğünün etkisinde kaldığı, bölme duvarların etkisi göz ardı edildiğinde, yapı davranışının gerçeğe yakın olmadığı ve ayrıca bölme duvarların güçlendirme amacıyla kullanılabileceği ortaya konmuştur [6]. Benzer çalışma olarak, Sevil, Baran ve Canbay (2010), uluslar arası makalede betonarme taşıyıcı sistemlerde bölme duvarı olarak ülkemizde yaygınca kullanılan boşluklu tuğla dolgu duvarların çerçeve davranışına olumlu etkilerini deneysel çalışmalarla desteklemiştir. Yapılan kuramsal çalışmalarla da boşluklu tuğla duvarların eş değer basınç çubukları ile modellendiği yapısal çözümlemeler karşılaştırılıp, benzer sonuçlar olduğu gözlenmiştir. Çerçevede tuğla dolgu duvarın bulunması, çerçevenin yanal yük taşıma kapasitesini 3,5 kat arttırdığı, tuğla dolgu duvarın üzerine sıva uygulanması ise 4,5 kat arttırdığı gözlenmiştir [7].

Bu çalışmada ise örnek bir yapı üzerinde yapının mevcut dolgu duvarları hesap modelinde dikkate alınarak incelenmiştir. Ayrıca, duvarlar dikkate alınmadan sismik dayanımı arttırmak için deprem perdesi ile güçlendirilen bu örnek yapının, duvarları dikkate alındığında güçlendirme için kullanılan deprem perdesi oranında değişim incelenmiş ve sistemin davranışı üzerindeki değişiklikler karşılaştırılmıştır.

Deprem perdeleri ve dolgu duvarların ilk olarak planda doğru yerleştirilmesi gerekmektedir. Düzensiz yerleştirilen elemanlar yapıda burulmaya, gevrekliğe ve dayanımda azalmaya sebep olmaktadır. Bu sebeple, betonarme yapıda dolgu duvarın yapının davranışına olumlu katkı yapacak özelliklerini tanımak ve bundan olabildiğince yararlanmak ya da olumsuz etkileri minimum düzeye indirmek için dolgu duvarların özellikleri incelenmelidir. Sistem modellenmesi ve hesaplarda yapıdaki mevcut dolgu duvarların da göz önüne alınarak hesaplanması ve hasarların doğru belirlenmesi önemlidir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada 2011 Van Depreminde zarar gören 200 öğrenci kapasiteli bir yurt binasının 2007 Deprem Yönetmeliği Bölüm 7'ye göre performans analizi, ilk olarak mevcut dolu duvarları gözönüne alınmadan yapılıp, deprem perdesi ile güçlendirmesi yapılacaktır. Daha sonra binanın mevcut dolu duvarlarınında etkisi gözönüne alınarak performans seviyesine bakılıp, ilk duruma göre ne gibi değişiklikler olduğu, güçlendirme esnasında deprem perdeleri sayısını nasıl etkilediği, taban kesme kuvveti, yanal ötelenmeler, kritik elemanlar üzerinde etki/kapasite oranında ne gibi etkisi olduğu incelenecektir. Sonuç olarak, mevcut dolu duvarların etkisini de hesaplarda gözönüne aldığımızda deprem perdeleri ile güçlendirilmek istenen binada etkileri ve sonuçları irdelenmiş olacaktır.



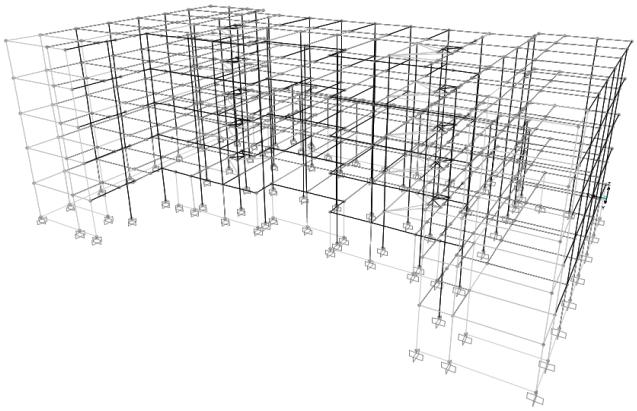
Şekil 1. Normal kat kalıp planı

Çalışma kapsamında ele alınan yapı Van İli Gevaş İlçesinde 2005 Yılında inşa edilen 200 kapasiteli bir öğrenci yurdudur. Yapı betonarme olup, bir bodrum kat, zemin kat ve 3 normal kattan oluşmaktadır. Şekil 1 de yapıya ait normal kat kalıp planı mevcuttur. Yapı x ve y yönünde 12 akstan oluşmaktadır.

Tablo 1. Yapıya ait genel bilgiler.

Kat Adedi	5
Kat Yüksekliği	3.30 m
Toplam Bina Yüksekliği	17 m
Kullanım Amacı	Öğrenci Yurdu

Yapıya ait genel bilgiler Tablo 1 ile verilmiştir. Yapının 1998 Deprem Yönetmeliğine göre yapılmış olduğu kabul edilmektedir. Yapı ile ilgili mevcut beton kalitesi 8 MPa, donatı kalitesi ise S420 olarak bilinmektedir. Donatı için C25 beton kalitesine göre minimum donatı kabulü yapılmıştır. Çünkü yapının uygulama esnasında yapılan hatalarda beton kalitesinin projede istenen kaliteden düşük olduğu varsayılmıştır. Ayrıca sargı donatılarının olduğu, fakat bağlantı detayları ve kanca detaylarında gerekli koşulların sağlanmadığı kabulü yapılmıştır. Dolgu duvar malzemesi ise tuğla olup ilk aşamada taşıyıcı sisteme katkısı sadece yük olarak ele alınmış olup, ikinci aşamada modellenip taşıyıcı sisteme katkısı irdelenmiştir. Şekil 2 de gösterilen yapının 3 boyutlu taşıyıcı sistem modeli SAP 2000 V.17'de modellenmiştir.



Şekil 2. Yapının 3 boyutlu taşıyıcı sistem modeli (SAP 2000 V.17)

Deprem performansı için 2007 Deprem Yönetmeliğine göre deprem yükü azaltma katsayısı R=1, deprem hesabında kullanılan bina önem katsayısı I=1 olarak alınmıştır.
Binanın deprem performansı, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında değerlendirilmiştir.

DBYBHY 2007, 7.4.13 maddesine göre eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılmıştır. Bu sebeple etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılmıştır:

(a) Kirişlerde: $(EI)_e = 0{,}40\ (EI)_o$

(b) Kolon ve perdelerde,

$N_d/(A_c f_{cm}) \leq 0{,}10$ olması durumunda:

$(EI)_e = 0{,}40\ (EI)_o$

$N_d/(A_c f_{cm}) \geq 0{,}40$ olması durumunda:

$(EI)_e = 0{,}80\ (EI)_o$ olarak dikkate alınmıştır.

Düşey taşıyıcı elemanlar için düşey kuvvet etkisinde $N_d/(A_c f_{cm})$ oranları 0,10 ile 0,40 arasında ise eğilme rijitlikleri katsayısı 0,40 ile 0,80 arasında enterpolasyon yapılarak bulunmuştur.

Tablo 2. Mevcut yapı periyotları.

Modlar	Mod No	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranı U_x	Kütle Katılım Oranı U_y
Mod	1	0,39862	0,475	0,0001152
Mod	2	0,33967	0,0001168	0,647
Mod	3	0,23741	0,159	1,397E-05
Mod	4	0,13074	3,078E-07	0,001595
Mod	5	0,12838	0,0001384	7,582E-05

Mevcut yapıya ait x ve y yönü periyotları Tablo 2'de gösterilmiştir. Dolgu duvarların yük olarak mevcut yapıya etkimesi halinde 30 modlu analiz sonucu periyodu X yönünde 0,40 sn, Y yönünde ise 0,34 sn bulunmuştur.

Tablo 3. Mevcut yapıya ait burulma düzensizliği katsayıları.

	X YÖNÜ (m)		Y YÖNÜ (m)	
Kat No	Δi ort	η_{bi}	Δi ort	η_{bi}
5. Kat	0,01	**1,29**	0,01	**1,01**
4. Kat	0,01	**1,30**	0,01	**1,01**
3. Kat	0,01	**1,27**	0,01	**1,01**
2. Kat	0,01	**1,30**	0,01	**1,00**
1. Kat	0,00	**1,00**	0,00	**1,01**

Yapı düzensizlikleri ele alındığında Tablo 3'de belirtildiği üzere burulma düzensizlikleri değerleri (1) Nolu Denklem ile belirtilen 1,4 değerinden daha azdır. Bu sebeple yapıda burulma düzensizliklerinin olmadığı, düşey taşıyıcı elemanların sürekli olduğu, döşeme boşluklarından meydana gelen düzensizliklerin olmadığı görülmektedir.

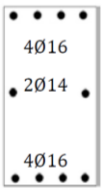
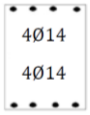
$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max}/(\Delta_i)_{ort} < 1{,}4 \qquad (1)$$

Tablo 4. Mevcut yapı göreli kat ötelemesi.

	X YÖNÜ (m)			Y YÖNÜ (m)		
Kat No	λ_i	λ_i / h_i	Sonuç	λ_i	λ_i / h_i	Sonuç
5	0,012	0,004	MN	0,007	0,002	MN
4	0,013	0,004	MN	0,008	0,003	MN
3	0,011	0,003	MN	0,008	0,003	MN
2	0,010	0,003	MN	0,007	0,002	MN
1	0,002	0,001	MN	0,002	0,001	MN

Tablo 4 ile belirtilen göreli kat ötelemelerinde yapının Minimum Hasar düzeyinde olduğu görülmektedir.

Kirişlerin, kolonların ve mevcut perdelerin etki/kapasite oranları bulunarak hasar düzeyleri belirlenmiştir.

Kiriş Mevcut Donatı					
Kiriş Boyutu	K30x60	K30x30	K30x42	K35x42	K30x54
Moment Kapasitesi M_u	212,65 kNm	47,33 kNm	70,62 kNm	93,90 kNm	93,90 kNm

Şekil 3. Kiriş moment kapasiteleri

Etki/kapasite oranlarını bulmak için kirişlerin artık moment kapasitesi hesabı DBYBHY 2007 Bilgilendirme Eki 7A Denklem 7A.1.a'dan yararlanılarak yapılmıştır. Yapıdaki farklı kiriş kesit modelleri Şekil 3'te tanımlanarak artık kapasite momentinin hesabında kullanılacak olan moment kapasiteleri hesaplanmıştır.

SAP 2000'de modellenen yapıda 1390 numaralı Şekil 4'de gösterilen K25x60 örnek kiriş üzerinde G+0,6Q yüklemesi için kiriş eğilme momenti M_D -26,26 kNm, +X yönü ile uyumlu kirişin sol ucu eğilme kapasite momenti M_u 166,21 kNm'dir.

Artık kapasite momenti,

$$M_A=M_U-M_D \quad (2)$$

M_A=166,21-(-26,26)=192,47 kNm olarak hesaplanır.

Etki/kapasite (r) oranları ise X yönü deprem kuvveti etkisinde M_e eğilme momentinin artık moment M_A 'ya oranıdır. 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için bu kirişi değerlendirecek olursak;

$$r = \frac{67,65}{192,47} = 0,35 \text{ bulunur.}$$

50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem için bu kirişi değerlendirecek olursak oran biraz daha farklı çıkmaktadır. Çünkü depremin ivme spektrumunun ordinatları, DBYBHY 2007 Tablo 2.4'de tanımlanan spektrumun ordinatlarının yaklaşık 1,5 katı kabul edilmektedir. Bu durumda;

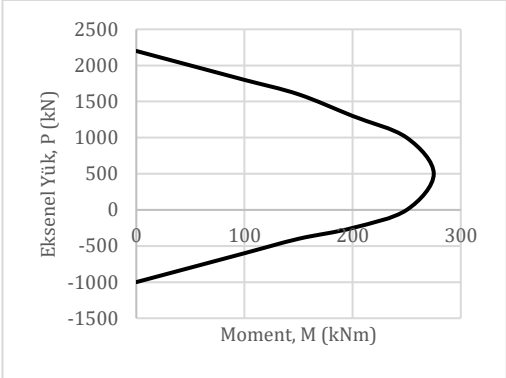
$$r = \frac{101,47}{192,47} = 0,53 \text{ bulunur.}$$

Bu işlemler Şekil 4'de kirişin sol uç üst, sol uç alt, sağ uç üst ve sağ uç alt olarak tekrarlanır. Bulunan etki/kapasite oranlarının en büyüğü kiriş hasar düzeyi saptaması için kullanılır.



Şekil 4. Kiriş uç noktaları tanımları

Kolonlarda etki/kapasite (r) hesabında ise izlenen yol kirişlerle benzerdir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için Şekil 7 örnek eleman olarak 56 numaralı S30x60 kolon incelenmektedir.



Şekil 5. 56 nolu kolon etkileşim diyagramı

Y yönü deprem kuvveti ile kolon güçlü yönü SAP 2000 analizi ile bulunan N_e=9,06kN, M_e=-75,44 kNm dir.

G+0,6Q yüklemesi ile bulunan, N_d=-203,57 kN, M_d=101,83kNm kullanılarak etki/kapasite (r) oranı bulunur.

İlk olarak, r_1=1 için,

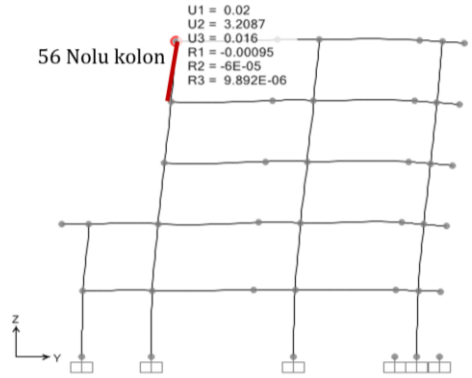
N_{k1}=-194,52kNm olarak bulunup, M_{k1} değerini SAP 2000 'section designer' dan N_{k1} değerine karşı gelen moment değeri bulunur. Aynı zamanda Şekil 5 ile gösterilen grafikte 56 nolu kolonun etkileşim diyagramından N_{k1} değerine karşı gelen moment değeri okunarak M_{k1} değeri elde edilebilir.

M_{k1}=235,401kNm

M_{k1}-M_d=235,40-101,83=133,57kNm

$$r_2 = \frac{M_e}{M_{k1} - M_d} = 0{,}56$$

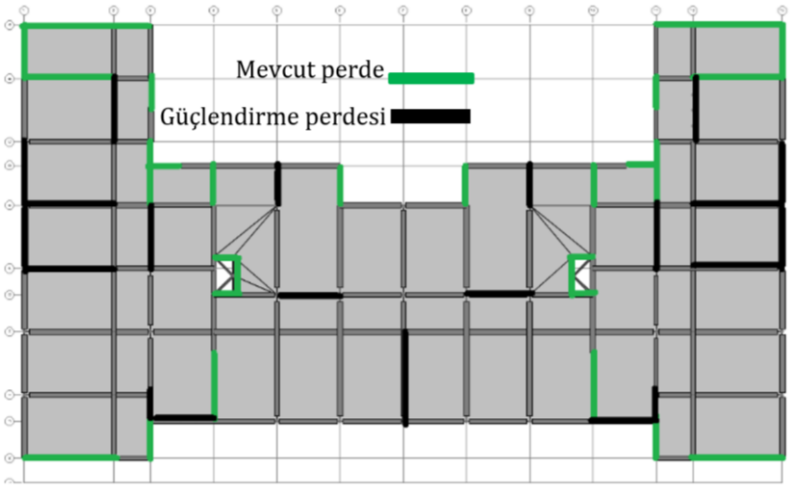
$r_1 \neq r_2$ olduğundan r_3=0,56 alınarak döngüye devam edilir. $r_{n-1} = r_n$ olduğu zaman döngü durdurulur. Kolon hasar bölgeleri belirlenir.



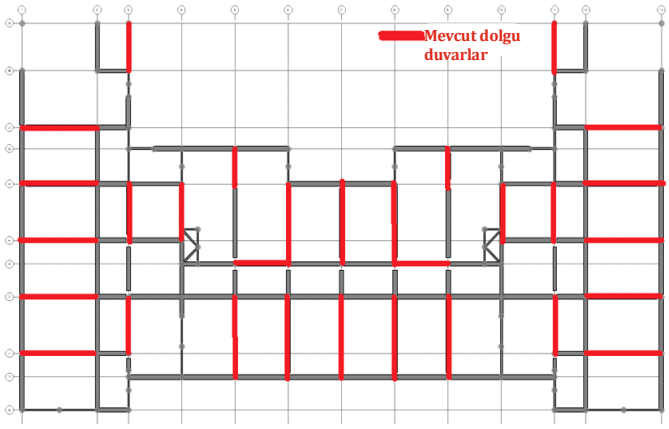
Şekil 6. Y yönü deprem etkisinde 56 nolu kolon (SAP 2000 V.17)

Yapıda maksimum deplasman en üst katta (5. Kat) meydana gelmektedir. Maksimum deplasman Şekil 6 ile gösterilen 56 nolu kolon üst ucundan okunabilmektedir. U2 ile belirtilen y doğrultusuna ait deplasman 3,2cm değerine ulaştığı görülmektedir.

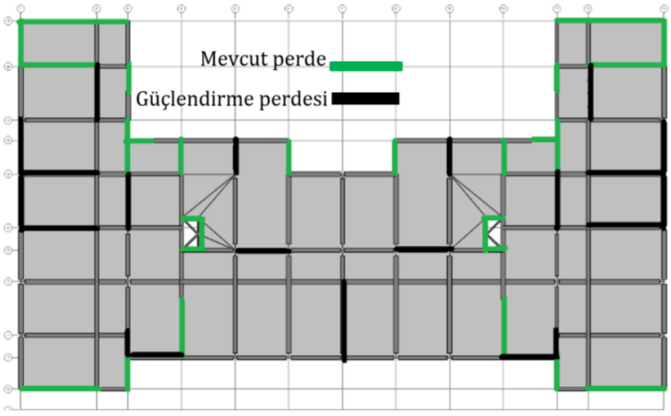
Perdelerin kapasite eğilme momentleri de kolonlarla benzer hesaplanır. Etki/kapasite oranları (r) perde uç bölgelerinin sargılanmış/sargılanmamış durumuna göre belirlenir. Bu şekilde taşıyıcı elemanların hasar dağılımı bulunarak depremin aşılma olasılığı 50 yılda %10 olan durum için yurt binasının hemen kullanım *'HK'* durumunu sağlayıp sağlamadığı ve depremin aşılma olasılığı 50 yılda %2 olan durum için can güvenliği koşullarına bakılıp, deprem perdeleri ile güçlendirilerek yapının mevcut dolgu duvarları dikkate alındığındaki etki karşılaştırılmıştır.



Şekil 7. Güçlendirme perdeleri ve mevcut perdelerin konumu (dolgu duvarsız, dolgu duvarlar yük olarak alınmış hali)



Şekil 8. Normal kat planında mevcut dolu dolgu duvarların konumu



Şekil 9. Güçlendirme perdeleri konumu (dolgu duvarlı)

Hesaplar ve kesme kontrolleri Şekil 7 deki mevcut perde ve güçlendirme perdeleri için, Şekil 8 deki mevcut dolgu duvarlar modellenmesi ve Şekil 9 da dolgu duvarlarda hesaba katıldığında tekrarlanarak ne kadar deprem perdesi ile güçlendirmenin sağlandığı tespit edilmiştir.

Burada dolgu duvarlar modellenirken eşdeğer sanal çapraz çubuğu SAP 2000'de modele yansıtılırken, iki ucu mafsallı, malzemesi duvar malzemesi ile aynı çerçeve elemanları kullanılmıştır [10].

Tuğla duvarı malzemesi olarak DBYBHY 2007 (7F.5a) ile tanımlanan boşluklu fabrika tuğlası kabul edilmiştir. Bu tuğla duvarının elastisite modülü E_d=1000MPa, basınç dayanımı f_d=2MPa, kesme dayanımı τ_d=0,15 MPa 'dır. 1-2 aks aralığındaki dolgu duvarların 2 aksına denk gelen uçlarına S30x30'luk düşey hatıl olduğu varsayılmış ve dolu dolgu duvarlar hesapta dikkate alınmıştır.

Dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubukları ile tanımlanırken Stafford-Smith tarafından önerilen yöntemin değiştirilmiş bir versiyonu FEMA 306 [11] uyarlanarak tuğla duvara karşılık gelen çubuk genişliği a_d'nin hesabı (3) Nolu Denklem ile hesaplanmaktadır.

$$a_d = 0{,}175(\lambda_d h_k)^{-0{,}4} r_{duvar} \quad (3)$$

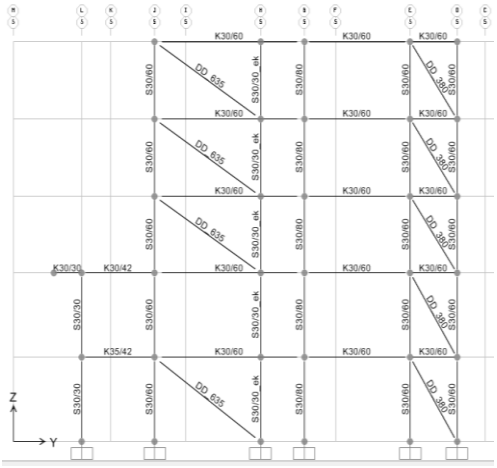
Burada h_k kolon boyu, r_{duvar} dolgu duvar köşegen uzunluğu, λ_d ise (4) Nolu Denklem ile tanımlanmaktadır [12].

$$\lambda_{duvar} = \left(\frac{E_{duvar} t_{duvar} sin2\theta}{4 E_c I_k h_{duvar}}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

Burada ise E_c çerçeve betonunun elastisite modülü, I_k kolonun atalet momenti ve θ köşegenin yatay ile olan açısıdır. Köşegen basınç çubuk elemanının eksenel rijitliği ise (5) Nolu Denklem ile verilmektedir.

$$k_{duvar} = \frac{a_{duvar} t_{duvar} E_{duvar}}{r_{duvar}} \quad (5)$$

(3), (4) ve (5) Nolu Denklemler kullanılarak α_{duvar} hesaplanarak SAP 2000 modelde malzeme olarak tanımlanıp, kesit tanımlarında *''section designer''* kısmında modellenmiş, eşdeğer çubuk elemana ataması yapılmıştır.



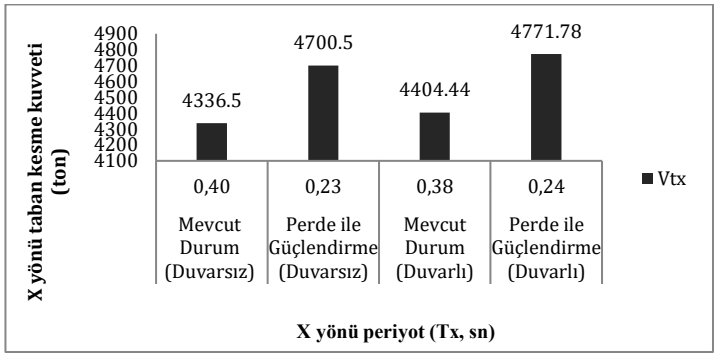
Şekil 10. Mevcut dolgu duvarların matematik modeli

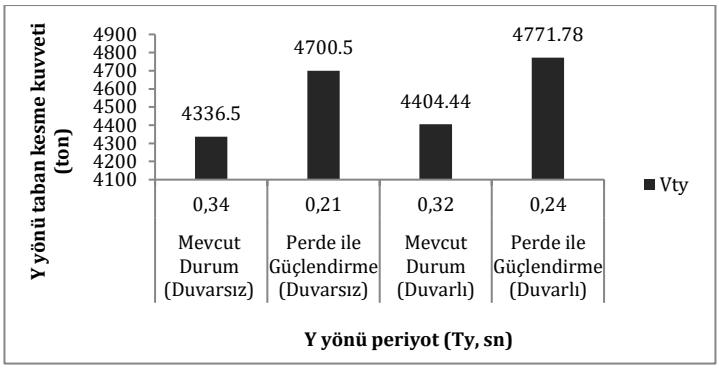
Örneğin Şekil 10'da DD_635 duvar S30x60 ve S30x30 kolonları arasında bulunmaktadır. Hesap her iki kolonun atalet momentine göre yapılıp α_{duvar} belirlenmiş, 635mm olarak alınmıştır. +X ve -X yönü için yapı simetrik olduğundan aynı sonuçlar çıkmaktadır. Bu sebeple duvarsız model ve diğer durumlar ile karşılaştırma yapabilmek için +X yönü için hesaplar yapılıp etki/kapasite oranları belirlenmiştir. -X yönü deprem etkisinde de yapı simetrik olduğundan benzer hasar bölgesinde kalmıştır. Daha sonraki adımda deprem perdeleri ile güçlendirirken tek bir yön ele alınarak Şekil 9 da güçlendirme perdesi yerleşimi yapılıp, simetrisine de aynı perde yerleşimi yapılarak ters yönde etki eden depreme karşı da güçlendirme sağlanmıştır.

3. Bulgular

Orta şiddette bir deprem için duvarın etkisini inceleme kapsamında eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak, duvarın çatlaması gerçekleşmeden sisteme katkısı incelenmiştir.

Bunun için dört durum ele alınmıştır. İlk olarak yapının mevcut durumu duvarlar dikkate alınmadan performans analizi yapılarak eleman hasar durumları X ve Y yönü deprem etkilerinde, D2 ve D3 deprem düzeylerine göre elde edilmiştir. 2. durumda planda ve kesitte düzensizliğe yol açmayacak şekilde perde duvar ile güçlendirmesi sağlanarak eleman hasar durumları minimuma indirilerek yurt binası için gerekli performans düzeyi sağlanmıştır. 3. durumda mevcut yapı mevcut dolgu duvarları dikkate alınarak tekrar irdelenmiştir. 3. durumda elde edilen eleman hasar düzeylerinde ilk duruma göre azalma olduğu tespit edilmiştir. 4. durumda duvarları gözönüne alınan yapının perde ile güçlendirmesi yapılmış ve %20 daha az güçlendirme perdesi etkili enkesit alanı kullanılarak yapı istenilen performans düzeyini sağlamıştır. Sistemde bölme duvarların da gözönüne alınmasıyla yapının yanal rijitliğinde artış meydana gelmiş, x ve y yönü titreşim periyodu azalmıştır (Şekil 11), [13].

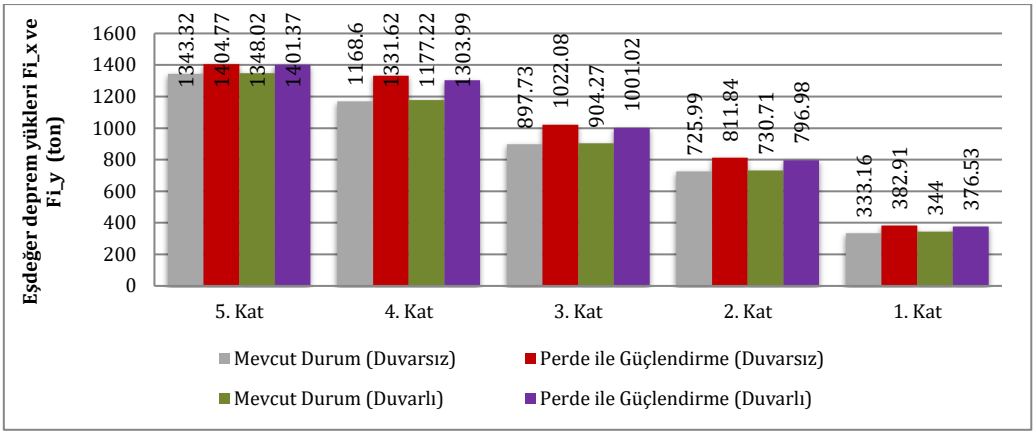




Şekil 11. 4 Durumun X ve Y yönü taban kesme kuvveti ve periyotlarının karşılaştırılması

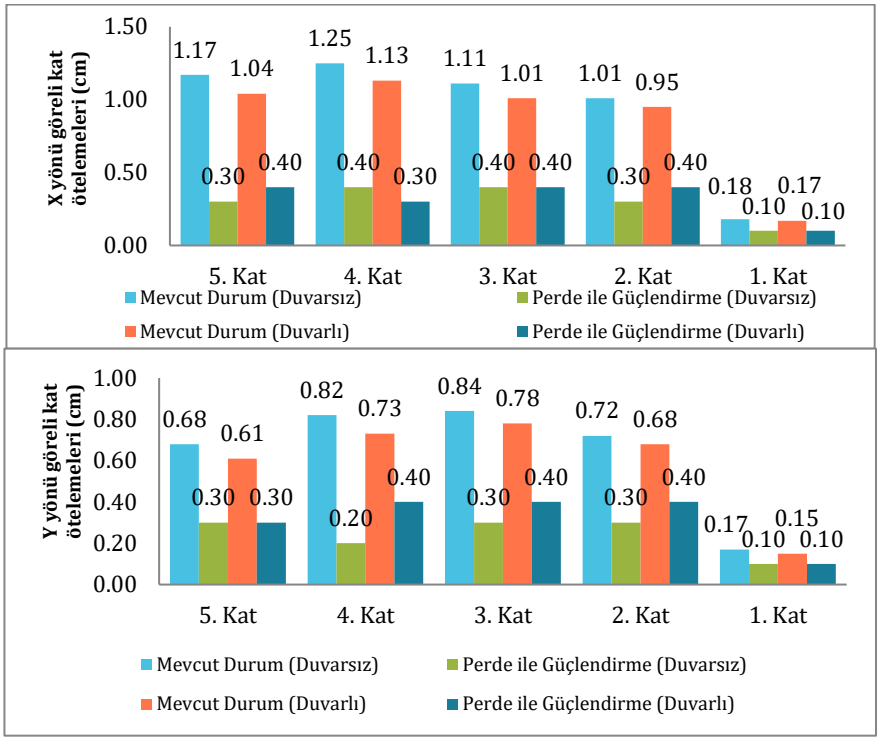
Bu durum, sisteme etkiyen deprem kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır (Şekil 12). Buna karşın hesaba kattığımız bölme duvarlar kapasiteleri ölçüsünde yatay kuvvet karşılayarak taşıyıcı sisteme etkiyen yükün bir kısmını almakta, çatlama ve göçme safhasında bu enerjinin bir kısmını tüketerek betonarme elemanların hasar durumunu hafifletmektedir. Buna karşın hesaba kattığımız bölme duvarlar kapasiteleri ölçüsünde yatay kuvvet karşılayarak taşıyıcı sisteme etkiyen yükün bir kısmını almakta, çatlama ve göçme safhasında bu enerjinin bir kısmını tüketerek betonarme elemanların hasar durumunu hafifletmektedir [14].

4 duruma ait eşdeğer deprem kuvvetleri dağılımı ise duvarlar gözönüne alındığında artmaktadır. Mevcut durum (duvarsız) ve mevcut duruma (duvarlı) Şekil 12'den bakıldığında duvarlı durumda artış görülmektedir. Perde ile güçlendirme durumunda ise duvarsız halde eşdeğer deprem yükleri duvarlı hale göre daha yüksektir. Çünkü duvarlar dikkate alındığında, duvarlar dikkate alınmadan hesap edilen güçlendirme perde oranında azalma olmaktadır (Şekil 12). Yapılan hesaplarda duvarın çatlaması gerçekleşmeden sisteme katkısı incelenmiştir. Duvarların devre dışı kaldığında, ilk çatlayan duvarın tespiti ve plastikleşme durumunu ele alan nonlineer analizlerle inceleme yapılmalıdır [15].



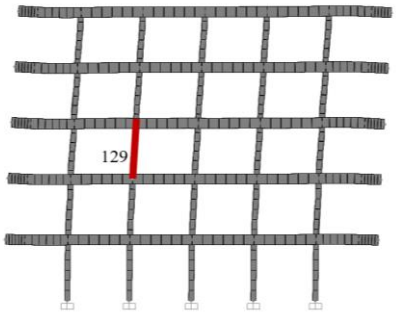
Şekil 12. 4 Durumun eşdeğer deprem yüklerinin katlara dağılımı

4 durum için de göreli kat ötelemelerine bakıldığında mevcut durumda duvarlar gözönüne alındığında X yönünde yaklaşık %9 civarı, Y yönünde yaklaşık %10 azalma görülmektedir. Güçlendirme durumunda ise perde etkili enkesit oranını düşürüp duvarlar dikkate alındığında göreli kat ötelemeleri az miktar artmaktadır. Duvarların yanal ötelenmeyi azaltma oranı, perde duvarlar kadar yüksek olduğu görülmektedir [16]. Ayrıca yapıda X yönünde yanal ötelenme daha fazladır (Şekil 13).

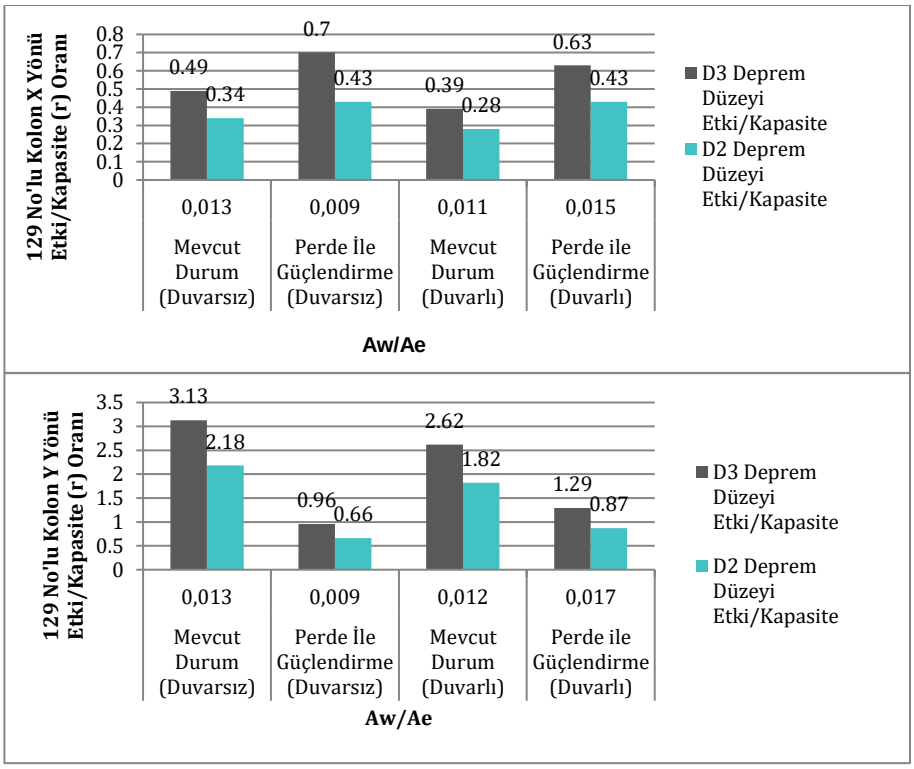


Şekil 13. 4 Durumun X ve Y yönü için göreli kat ötelemeleri

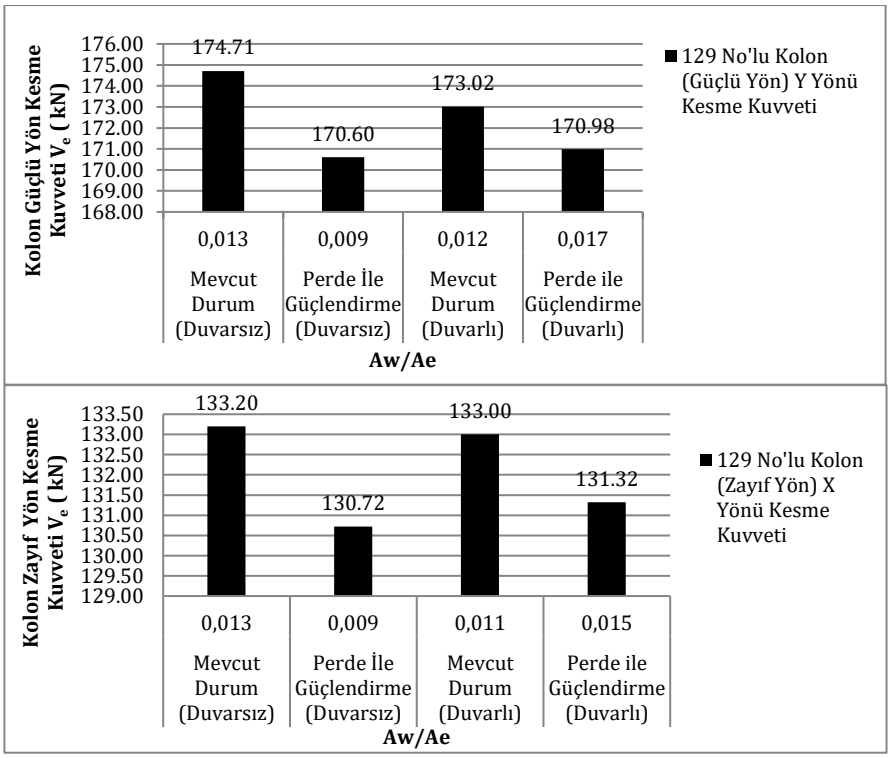
Perde elemanların deprem yüklerini karşılamada büyük etkisi olduğu, duvarların gözönüne alındığı durumda ise kolon ve perdelerin hasar oranlarının ve etki/kapasite oranlarının azaldığı görülmektedir.



Şekil 14. 129 Nolu S30x80 kolon (SAP 2000 V.17)



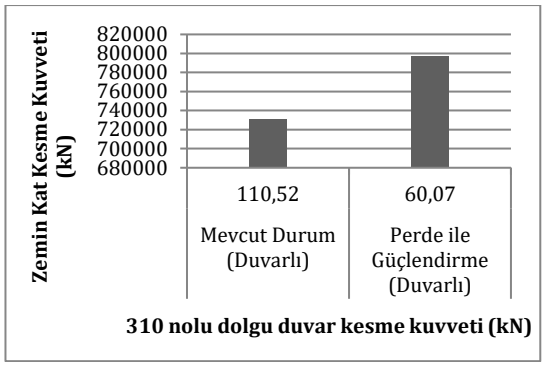
Şekil 15. 4 Durum için 129 nolu S30x80 kolonun enkesit alanının kat etkili kesme alanına oranı ile X ve Y yönü için etki/kapasite oranının karşılaştırması



Şekil 16. 4 Durum için 129 nolu S30x80 kolonun enkesit alanının kat etkili kesme alanına oranı ile X ve Y yönü için kesme kuvvetlerinin karşılaştırması

Yapıda hasar oranı yüksek göçme bölgesinde olan 129 nolu S30x80 kolon örnek alınarak etki/kapasite (r) oranı 4 durum içinde değerlendirilmiştir (Şekil 14). X ve Y yönünde güçlendirme öncesi ve sonrası duvarlar dikkate alındığında etki/kapasite oranları düşmektedir. 129 nolu kolon için X yönünde mevcut duvarlı ve duvarsız durumların perde ile güçlendirmesi durumunda etki/kapasite oranlarında her iki durum içinde artma görülürken, Y yönü deprem etkisinde azaldığı görülmektedir (Şekil 15). Kesme kuvvetinin ise güçlü yönü Y yönünde daha fazla, X yönünde ise daha az olduğu görülmektedir. Mevcut durum (duvarsız) ve mevcut durumun (duvarlı) her iki yönde kesme kuvveti karşılaştırıldığında, duvarlarında bir miktar kesme kuvvetini karşıladığı görülmektedir. Yapı perde ile güçlendirildiğinde kolona gelen kesme kuvveti perdelere de dağıldığından azalmaktadır. Duvarlar gözönüne alınıp güçlendirme perdeleri azaltıldığında ise kolona gelen kesme kuvvetinin bir miktar arttığı görülmektedir (Şekil 16). Böylece duvarların perdeler kadar olmasada kesme kuvveti taşımada da etkili olduğu belirlenmiştir. Duvarda çatlama ve hasar meydana gelerek, duvar taşıyıcı elemanlara gidecek yüklerin bir miktarını absorbe etmiş olmaktadır. Perdenin yoğun olduğu durumda duvar etkileri alınmayabilir. Şekil 16'da kolon güçlü yönünde perde ile güçlendirilmiş durumların duvarlı ve duvarsız hesaplarında kolona gelen kesme kuvvetinde etkili bir değişiklik gözlenmezken, mevcut yapının duvarlı ve duvarsız hesaplarında, perde oranı az iken duvarın etkisi açıkça görülmektedir.

Y yönü deprem etkisinde zemin katta DD_490 olarak tanımlanan, dolgu duvarı temsil eden 310 nolu eşdeğer basınç çubuğuna ait V_k kesme dayanımı 108 kN, mevcut duvarlı durumda etki eden yatay yük ise V_e 110,52 kN olarak bulunmaktadır. Güçlendirme perdesi ile duvar etkisi durumunda ise aynı duvar elemana gelen yatay yük V_e 60,07 kN olmakta ve azalmaktadır (Şekil 17). Duvara güçlendirme perdesi olmadığı durumda, yatay yük taşıma kapasitesinin üstünde yük etkidiğini görmekteyiz.



Şekil 17. 310 nolu DD_490 dolgu duvarına gelen kesme kuvveti ve kat kesme kuvveti

D3 Deprem düzeyi için elde edilen sonuçlar D2 Deprem düzeyine göre daha yüksek olmasının sebebi ise depremin ivme spektrumu ordinatlarının 1,5 katı kabul edilmesinden yapıya etkiyen kuvvetlerin de 1,5 kat büyümesidir. Ele alınan yapı güçlendirme sonrası D2 deprem düzeyi için *hemen kullanım* ve D3 Deprem düzeyi için *can güvenliği* performansını sağlamaktadır. Bölme duvarlar gözönüne alındığında perde oranında azalma sağlanarak daha optimum bir çözüme ulaşılmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Geçmişten günümüze, betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapılarda sistemin davranışına olan etkisi ihmal edilen bölme duvarlar, özellikle yüksek başlangıç rijitliği ile yatay kuvvetler altında sistemin davranışını etkilemektedir. Bu çalışmada ele alınan 4 durumdan elde edilen sonuçlarda dolgu duvarların depremin ilk saniyelerinde deprem yüklerinin büyük bir kısmını karşıladığı görülmektedir.

İlk durumda ele alınan yapının mevcut durumu modellenmiş ve duvarlar yük olarak etkitilmiştir. Bu durumda yapı depremin aşılma olasılığı 50 yılda %10 olan durum ve 50 yılda %2 olan durum için yurt binası hemen kullanım *'HK'* durumunu sağlamamaktadır.

İkinci durumda ilk durumda ele alınan yapı deprem perdeleri ilave edilerek güçlendirilmiştir (Şekil 7).

Üçüncü durumda, ilk durumda yük olarak etkitilen dolgu duvarlar basınç çubukları şeklinde modellenerek sistem modeli oluşturulmuştur (Şekil 8).

Dördüncü durumda ise üçüncü durumda ele alınan yapı deprem perdeleri ile güçlendirilmiştir (Şekil 9). Şekil 7'de siyah renk ile gösterilen güçlendirme amaçlı eklenen deprem perdelerinin, dolgu duvarların modellenerek hesaba dahil edildiği durumda azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 9'da sarı renk ile gösterilen deprem perdelerine ihtiyaç kalmadığı gözlenmiştir. Bu şekilde %20 daha az güçlendirme perdesi etkili enkesit alanı kullanılarak yapı istenilen performans düzeyini sağlamıştır.

Mevcut durumda duvarlar gözönüne alındığında X yönünde göreli kat ötelemeleri yaklaşık %9 civarı, Y yönünde yaklaşık %10 azaldığı görülmektedir. Dolgu duvarların yanal ötelenmeyi perde duvarlar kadar etkilediği ve azalttığı görülmektedir.

Dolgu duvarlar modellenerek hesaba dahil edildiğinde kolon ve perde hasar oranlarını ve etki/kapasite oranlarını azalttığı belirlenmiştir. Şekil 14'te ele alınan ve göçme bölgesinde bulunan 129 nolu kolonda duvarlar modellenerek hesaba dahil edildiğinde Şekil 15'te gösterilen x ve y yönü etki/kapasite oranlarında bir miktar azalma gözlenmiştir.

Yapının zemin katında ele alınan DD_490 olarak tanımlanan dolgu duvar elemanının y yönü deprem etkisinde V_k kesme dayanımı 108 kN, mevcut duvarlı durumda etki eden yatay yük ise V_e 110,52 kN olarak bulunmaktadır. Güçlendirme perdesi ile duvar etkisinin beraber buşunduğu dördüncü durumda ise aynı duvar elemana gelen yatay yük V_e 60,07 kN olmakta ve azalmaktadır (Şekil 17). Güçlendirme perdesi olmadığında dolgu duvara yatay yük taşıma kapasitesinden daha fazla yük etkidiği anlaşılmaktadır. Duvara etkiyen yatay yükün duvarın yük taşıma kapasitesini aştığından, depremin etkidiği ilk birkaç saniyeden sonra, aslında duvarın çatlayıp devre dışı kaldığını göz önünde bulundurmak gerekir. Bu çalışmada duvarların etkili olduğu durum irdelenmektedir.

Elde edilen sonuçlar gerek mevcut yapıların değerlendirilmesinde, gerekse yeni tasarımlarda bölme duvarların etkisini göz önünde bulundurarak beklenmeyen düzensizlik etkilerini de hesaba katarak daha doğru ve ekonomik çözümler elde edebileceğimizi göstermektedir. Ayrıca, güçlendirme uygulamalarında dolgu duvarlar güçlendirilerek daha az maliyetle sistem dayanımının arttırılmasına yönelik çalışmalar desteklenmelidir.

Kaynakça

[1] Bolea, O. 2016. The seismic behaviour of reinforced concrete frame structures with infill masonry in the Bucharest area. Energy Procedia, 85, 60-76.

[2] Kareem, K. M., & Güneyisi, E. M. 2018. Effect of Masonry Infill Wall Configuration and Modelling Approach on the Behaviour of RC Frame Structures. Arabian Journal for Science and Engineering, 1-16.

[3] Qian, K., & Li, B. 2017. Effects of Masonry Infill Wall on the Performance of RC Frames to Resist Progressive Collapse. Journal of Structural Engineering, 143(9), 04017118.

[4] FEMA 273, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D. C., USA.

[5] Smith, B. S. 1962. Lateral Stifness of Infilled Frames, ASCE Structural Division Journal, pp. 183- 199.

[6] Karadogan, F., Yuksel, E. 2001. "Recently Used Strengthening Techniques and the Altered Structural Behavior of RC Buildings", Greek-Turkish Joint Workshops on Seismic Assessment and Retrofit of Structures, Athens and Istanbul.

[7] Sevil, T, Baran, M., Canbay, E. 2010. Tuğla Dolgu Duvarların B/A Çerçeveli Yapılarının Davranışına Etkilerinin İncelenmesi; Deneysel ve Kuramsal Çalışmalar. International Journal of Engineering Research and Development, Vol.2, No.2.

[8] SAP 2000, Structural Analysis Program 2000, Computers and Structures, Inc. Berkeley CA.

[9] DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

[10] Öztürkoğlu, O., Uçar, T. & Yeşilce, Y. 2015. Betonarme Yapilarda Dolgu Duvar-Çerçeve Etkileşiminin İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 17(51), 109-121.

[11] The Federal Emergency Management Agency; 1998. FEMA 306 Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings – basic procedures manual. Prepared by ATC-43 Project.

[12] Al-Washali, H., Suzuki, Y., & Maeda, M. 2017. Seismic evaluation of reinforced concrete buildings with masonry infill wall. In 16th European conference on earthquake engineering, Santiago, Chile.

[13] Yakut, A., Binici, B., Demirel, İ. O., & Özcebe, G. 2013. Dolgu duvarların deprem davranışına etkisi. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27.

[14] Bikçe, M., & Bayrak, O. F. 2018. Analyzing the Effect of Infill Walls on a RC Structure. Disaster Science and Engineering, 4(1), 32-39.

[15] Korkmaz, A., & Uçar, T. 2006. Betonarme Binalarin Deprem Davranişinda Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 8(1), 101-108.

[16] Sağlıyan, S. 2018. Dolgu Duvarların Modellenme Yaklaşımlarının Betonarme Çerçeve Davranışına Etkisi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(2), 165-174.