

PERDELERİN DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMINDAKİ ETKİSİ

Ayten GÜNEYDİN^{1*}, Hande GÖKDEMİR²

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-8191-9080>

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-0478-8133>

Anahtar Kelimeler

Perde,
Kesme rijitliği,
Deprem yükü,
Süneklik,
Eğilme momenti

Öz

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY) göre perdeler, deprem yönüne paralel kenarı diğer yöndeki kenarının en az altı katı olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Yapıların depreme dayanımında yatay deplasman miktarı oldukça etkilidir. Çok katlı yapıların depreme dayanımının düşük olmasının nedenlerinden biri tepe deplasmanın büyük olmasındandır. Perdeler, deprem yönündeki rijitliklerinin kolonlara göre oldukça büyük olmasından dolayı, yapının deprem esnasındaki deplasmanını engellediği için yapının hasar görmesini önlemektedir. Çok katlı yapıların yapımında, dayanımı düşük yapıların güçlendirilmesinde ve otoparklar gibi hareketli ve aşırı yüklerin olduğu yapılarda perde yapımı yönetmeliklerce zorunlu hale getirilmiştir. Bir yapıda perde yapımı kadar bu perdelerin miktarı, yönleri, sayısı ve donatı düzenlemesi de önem arz etmektedir. Perdelerin özellikleri ülkelerin yönetmeliklerine göre değişik kriterleri içermektedir. Ülkemizdeki değişik zamanlarda yürürlüğe girmiş deprem yönetmelikleri de değişik özellikler içermektedir. Bu çalışmada perdelerin boyutlarındaki değişim kriterleri yönetmeliklere göre (1975, 2007 ve 2018) verilmiştir. TBDY-2018 göre yapılan sayısal örnek ile depreme dayanıklı yapı tasarımındaki etkisi, perde miktarı, perdenin deprem yüklerine, yapının deplasmanına ve yapının sünekliğine katkısı incelenmiştir.

THE EFFECT OF SHEAR WALLS ON THE DESIGN OF EARTHQUAKE RESISTANT BUILDING

Keywords

Shear Wall,
Shear rigidity,
Earthquake load,
Ductility,
Bending moment

Abstract

Turkey Earthquake Building Codes (TEBC) by shear walls, earthquake edge parallel to the direction vertical structural elements which are at least six times in the other direction of the edge. In earthquakes, The amount of horizontal displacement is very effective in the earthquake resistance of buildings. One of the reasons why the earthquake resistance of multi-storey buildings is low is that the top floor displacements are large. The stiffness of the shear walls in the direction of the earthquake is considerably greater than the columns, thus preventing the structure from being damaged during the earthquake. Shear wall construction has become mandatory by regulations in the construction of multi-storey buildings, in the reinforcement of low-strength structures, and in structures with live and excessive loads such as parking lots. The amount, direction, number and arrangement of these shear walls are as important as shear wall construction in a building. The features of the shear walls include different criteria according to the regulations of the countries. Earthquake codes that came into force at different times in our country also contain different features. In this study, the criterion for change in the dimensions of the shear walls are given according to the earthquake regulations (1975, 2007 and 2018). The numerical example made according to TBDY-2018, the effect on earthquake resistant structure design, the amount of shear wall, the contribution of the shear to the earthquake loads, the displacement of the structure and the ductility of the structure were examined.

Araştırma Makalesi

Research Article

* Sorumlu yazar; e-posta : ayteng@ogu.edu.tr



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Başvuru Tarihi : 15.02.2021
Kabul Tarihi : 24.09.2021

Submission Date : 15.02.2021
Accepted Date : 24.09.2021

1. Giriş

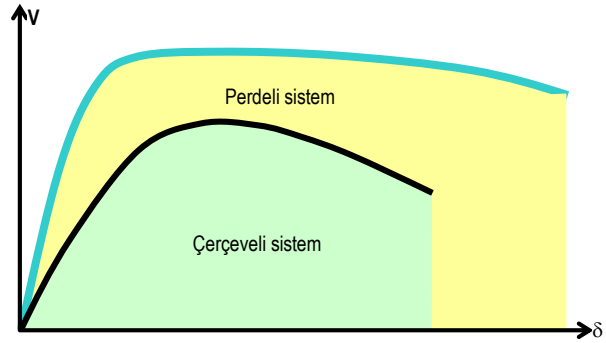
Betonarme yapılarda perde kullanımı zorunlu değildir. Ancak yapıların kat sayısı arttıkça yatay deprem kuvvetleri dolayısı ile görelî kat deplasmanları artmaktadır. Bu deprem etkilerinde ancak perdeler vasıtasıyla karşılanabilmektedir. Yüksek yapılarda çoğu zaman perde kullanmadan çözüm yapılması mümkün olmamaktadır. Kolonlar ve perdelerden meydana gelen taşıyıcı sistemlerde depremin oluşturduğu yatay kuvvetler kolonlar ve perdeler tarafından birlikte karşılanır. Kolonlar narin elemanlar olduğundan ve kapasiteleri nispeten daha düşük olduğundan hasar görmeleri daha kolaydır. Kolonların kesme kuvvetinden ve eğilmeden hasar görmemesi için bu etkilerin bir kısmının perdelerce karşılanması kaçınılmazdır. Yapıda meydana gelen toplam kesme kuvveti tabandaki kesme kuvvetidir. Perdelerin aldığı kesme kuvvetlerinin dışındaki kesme kuvvetleri kolonlar arasında rijitlikleri oranında paylaşılır. Yüksek rijitliğe sahip olan perdeler yapıya etki eden deprem ve rüzgâr gibi yatay kuvvetlerin önemli bir bölümünü karşılar ve sistemin rölatif kat ötelenmelerini sınırlayarak deprem kuvvetleri altında taşıyıcı sistem elemanlarının daha az hasar görmelerini sağlar. Aynı zamanda perdeler kat burulma ve devrilme momentlerinin taşınmasında da önemli katkı sağlamaktadırlar (Celep, 2020).

Yeni tasarlanan yapı projeleri ve mevcut yapılar genel olarak incelendiğinde,

1. Yüksek katlı yapılar planlanırken temel eleman perdelerin olması (12 kattan sonra perde olması gerekmektedir) (Doğan, 2020),
2. Yapıların tasarımı yapılırken esas elemanların perdeler olması,
3. Yapıların güçlendirilmesinde esas elemanların perdeler olması,
4. Yapıların deplasmanını azaltmak için perdeler ihtiyacı duyulması,
5. Hareketli yüklerin fazla olduğu yapı elemanlarının (merdiven, asansör vb.) çevrelerine perdeler yapılması,

perde olmadan depreme dayanıklı yapıların yapılmasının mümkün olmadığını göstermektedir. Eleman ve sistem bazında yapılan çalışmalardan perdeli sistemlerin kolonlu sistemlere göre depremde açığa çıkan enerjiyi tüketme kapasitesinin oldukça yüksek olduğunun görülmesi perdelerin yapıda kullanımını arttırmaktadır. V , taban kesme kuvveti ve δ ,

tepe deplasmanı olmak üzere Şekil 1'de perdeli ve kolonlu sistemlerin V - δ ilişkisi görülmektedir.



Şekil 1. Perdeli ve çerçevesel sistemlerde V - δ ilişkisi (Doğan, 2020)

2. Literatür Taraması

Perdeler hakkında yapılmış birçok çalışma vardır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir. Literatürde verilen çalışmalardan birinde betonarme perde duvarlı, çelik plaka perde duvarlı ve kompozit perde duvarlı yüksek katlı binalarda perde kalınlığının deprem performansına etkisi incelenmiştir. Değişen kalınlıktaki perde duvarların rölatif kat deplasmanlarına ve kat kesme kuvvetlerine etkisi araştırılmıştır. (Deepna, Menon ve Balamurugan, 2018). Diğer bir çalışmada da perde duvarların konumları, konfigürasyonları ve kullanılan farklı malzeme türleri gibi perde duvarın deprem performansını etkileyen faktörler üzerine yapılan çalışmalar derlenmiştir (Rajendran ve Selvaraju, 2016). Diğer bir çalışmada ise perde duvarlı çerçevesel binanın yapısal performansı analiz edilmiştir. Rüzgâr ve deprem yüküne karşı dayanıklılıkta perde duvarın önemi, perde duvarların geleneksel çerçeve sistemine etkisi incelenmiştir. Çerçeve sistemli yapının perde duvar kullanılarak yapısal performansının iyileştirilmesi çalışılmıştır (Hadihosseini, Hosseini ve Hossein, 2014). İki farklı tipte çelik çerçeve-çelik plaka perde duvar numunelerinin sismik performansı çalışılmış ve iki grup numunenin göçme modları, histeresis eğrisi, iskelet eğrisi ve sismik performans indeksi vb., Göçme çalışmaları ile birlikte elde edilmiştir. İki numunenin özellikleri, süneklik, enerji dağılımı ve sertlik bozulması incelenmiştir. Sonuçlar, her iki tarafa bağlı süreksiz kapak plakası (DCPC) ile çelik perde duvarın bağlantı ek yerlerine sahip monte edilmiş çelik çerçeve-çelik plaka perde duvarının iyi sismik performansına sahip olduğunu göstermiştir (Zhang ve Zhan, 2019). Yük-deplasman eğrisi, çatlak dağılımı, sınır

elemanları olmayan perde duvarın göçme modunu ele alınmış ve farklı donatı hizalama tipleri ile 200 mm kalınlığındaki üç numune incelenmiştir ve hem deneysel hem de perde duvarları analiz ederek sapma modellerini oluşturmuş ve daha fazla çatlakların dağılımının analizi için STAAD Pro kullanılarak perde duvarlarının analizi sonuçları karşılaştırılmıştır (Kollı ve Nagarathinam, 2019).

Binaların yüksekliği arttıkça yatay deplasmanlarında artması, yüksek binalarda bu deplasmanı sınırlayacak düşey taşıyıcı elemanların kullanımını gerektirir. Kolonlara göre kesiti büyük olan düşey taşıyıcı perde elemanlar, çerçevesel yapılarda yatay yükler altındaki aşırı deplasmanlarını kısıtlamak için değişik fiziksel özelliklerdeki sık kullanılan düşey taşıyıcılardır. Yüksek yapı tasarımının ana taşıyıcılarından olan perdeler gerek görünüm gerekse dayanım açısından tercih edildiği için perde tasarım şekli ve sınır değerleri yönetmeliklerce sınırlandırılmıştır. Perdelerin yapılmasındaki temel gereksinim binaya, rijitlik, mukavemet ve deplasman yapabilme kabiliyeti kazandırmak olarak da sayılabilir. Buna bakılırsa kolonların yapılmasındaki gereksinimde bunları içermektedir. Ancak kolonların boyutlarının özelliğinden dolayı binalarda bu fonksiyonları perdeler gibi karşılaması kesit alanı bakımından mümkün olamaz. Bu durum düşünüldüğünde, perde olmayan binalar depreme dayanamaz öngörüsü pek doğru değildir. Perdenin karşılayacağı normal kuvvet perdenin boyutlarına, deprem kuvveti karşılayan perdelerin her iki yönde düzenlenmesine, burulma ise perdelerin bina içindeki düzenlenmesine yakından bağlıdır. Perdeler binada sadece asansör kovası gibi bir bölgede yapılırsa burulmayı ortadan kaldırmak güçleşmektedir. Deprem hasarlarının incelenmesinden perde bulunan yapılar hasar görse bile can kaybının daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 2).

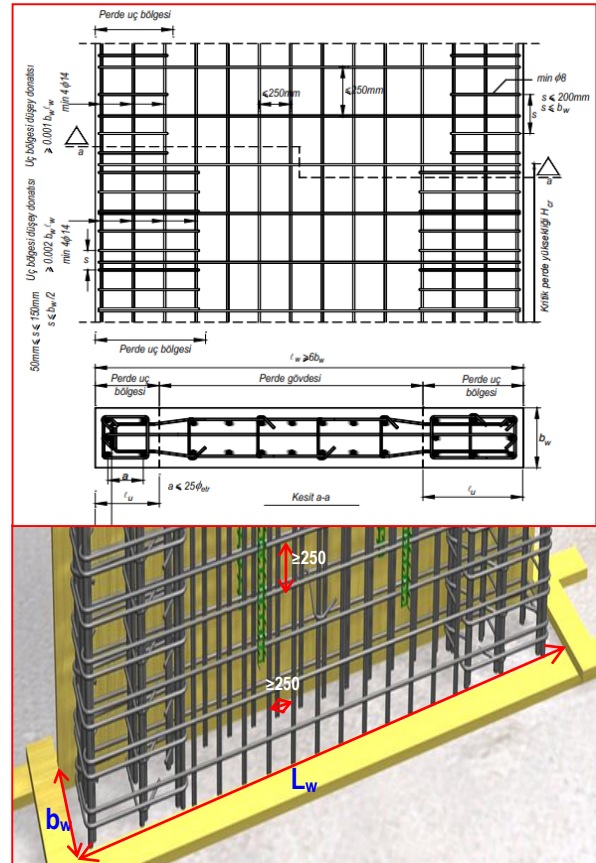


Şekil 2. Perdeli Yapı Deprem Hasarları (Doğan, 2013)

3. Betonarme Perdelerin Boyutları

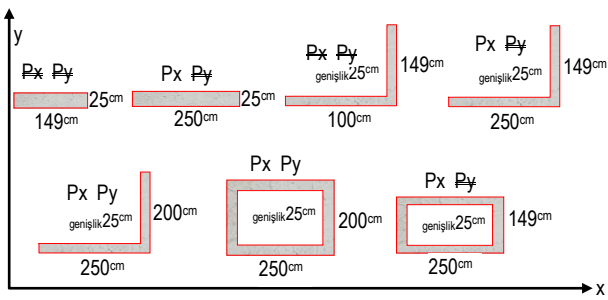
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre betonarme perdeler, kesitteki uzunluğunun kalınlığına oranı

(L_w/b_w) en az 6 olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. 1975 Deprem Yönetmeliğinde (ABYBHY, 1975) L_w/b_w oranı 5 iken 1998 ve 2007 Deprem Yönetmeliklerinde (ABYYHY, 1998; DBYBHY, 2007) bu oran 7'ye çıkmış 2018 Deprem Yönetmeliğinde (TBDY, 2018) ise 6'ya inmiştir (Şekil 3). Bununla birlikte yönetmelikte perdelerin yüksekliğine bağlı olarak perde olma koşulu tanımlanmamıştır. Sadece perde yüksekliğinin plandaki uzunluğuna olan oranı $(H_w/L_w) < 2.0$ olması durumunda perde eğilme perdesi olarak değil kesme perdesi olarak çalışmaktadır. Büyük depremlerde ilk olarak perde hasarı beklenmektedir. Perde duvarlarda hasar oluştuğundan sonra yaptığı ötelenmeler artacağı için, çerçeve elemanlarda hasar oluşmaya başlamaktadır. Perdelerin yaptığı ötelenmeyi kolon uç bölgelerinde karşılayacak güç yoksa bu bölgelerde mafsallaşma olabilmekte ve bu durum yapının göçmesine neden olmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için süneklik düzeyi yüksek perde tasarımında, kapasite ve plastik şekil değiştirmelerden oluşan enerji harcaması, plastik mafsallarda eğilmeden dolayı oluşan yer değiştirmenin miktarı dikkate alınmalıdır (Celep, 2020).



Şekil 3. Perde Kesit Özellikleri (TBDY, 2018)

Betonarme perdelerin enkesitleri dikdörtgen, L, U, T gibi farklı şekillere sahip olabilir. Düşey taşıyıcı bir betonarme kesitin perde olarak kabul edilmesi için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY) göre hesap yapılan deprem yönündeki boyu genişliğinin 6 katı olması gerekir. Burada perde genişliğinde TBDY verilen kriterleri sağlaması gerekir. Bir kesit bir yönde perde olarak hesaba katılırken diğer yönde perde boyu genişliğinin 6 katından küçükse perde olarak hesaba katılmaz. Bazı şekillerin boyutlarına göre hangi eksene göre perde kabul edilip edilmeyeceği Şekil 4'te görülmektedir. Şekil 4'te üzeri çizili yönler perde kabul edilmediği yönleri göstermektedir. Burada perde kalınlığının 25 cm olması durumunda minimum perde boyunun 150 cm olacağı düşünülmüştür.



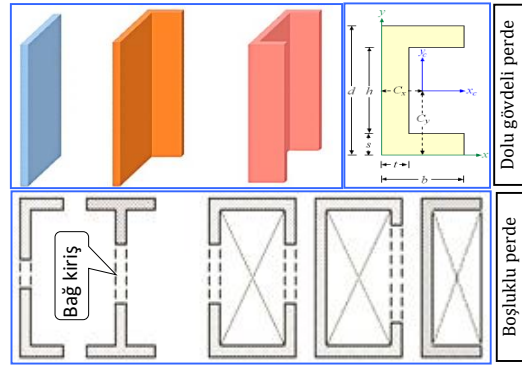
Şekil 4. Perdelerin Deprem Yönüne Göre Kesit Değişimi

4. Süneklik Düzeyi Yüksek Perdeler

Betonarme perdeleri,

1. Geometrik özelliklerine göre: Dolu gövdeli (boşluksuz) perdeler, bağ kirişli (boşluklu) perdeler,
2. Davranışına göre: Narin perdeler ve kısa perdeler,
3. Enkesit şekline göre: Dikdörtgen, L, T, I, U ve kutu (çekirdek) enkesitli perdeler

olarak gruplamak mümkündür. Boşluklu perde bir perde de kapı ve pencere boşluğu bulunan perde olmayıp iki perdenin zayıf (kiriş) bağ kirişleri ile bağlanması sonucu oluşan perde sistemidir (Şekil 5).



Şekil 5. Dolu ve Boşluklu Perde Enkesitleri

Perdeler kolonlara göre kenar oranlarının yüksek olmasından dolayı daha rijit kolonlar olarak kabul edilebilirler. Ancak burada perdeleri kolonlardan ayıran temel özellik veya perdelerin yapılaş amacı perdelerin boyutlarından ziyade taşıdıkları momentlerdir. Perdenin momenti yapı boyunca işaret değiştirmezken kolonlarda ise her katta moment işaret değiştirebilir. Perde düzenlemesindeki temel amaç yapının bir konsol gibi tüm katlarının kendi arasında işaret değiştirmeden tek bir konsol gibi çalışmasını sağlamaktır. Perdeler tek başlarına düşünüldüğünde bir konsol kiriş oldukları halde, taşıyıcı sistem içinde bağ kirişleri veya bu işlevi yapan döşeme elemanı, varsa çerçeve kolonları ile etkileşimi nedeni ile moment diyagramları bir konsolunkinden farklıdır. Konsol perde momentlerinin büyük olması temel boyutlandırılmasında önemli bir kriterdir. Bu durum perdenin birleştiği noktadaki temel sisteminin kolon altlarındaki temel sisteminin farklı olmasını gerektirebilir. Mesela bir perdenin altında tekil temel uygun bir çözüm olmayacaktır.

Perdeler, kolonlara göre eğilme rijitliklerinin büyük olması sebebiyle, yatay yüklerin önemli bir kısmını karşılar ve kesitlerinde önemli eğilme momenti meydana gelir. Buna karşılık kolon ve perdeler civarında bulunan açıklıkların birbirinden çok farklı olmaması durumunda, kolon ve perdede normal kuvvetlerin birbirine yakın olarak oluşmasına sebep olur. Sonuç olarak, deprem etkisinde kolon kesitlerinde normal kuvvet ve eğilme momenti beraberce etkili olurken, perde kesitlerinde esas olarak eğilme momenti etkili olur. Bu durum kolon ve perde temellerine de aynı şekilde yansır. Göreli olarak düşük normal kuvvet sebebiyle, perde temellerinin, zeminde çekme gerilmesi oluşmayacak biçimde düzenlenmesi mümkün olmayabilir. Eğer perde bir yapıya sonradan güçlendirme maksadıyla ilave edilmişse, perdenin normal kuvveti, sadece daha sonra gelecek hareketli yüklerden oluşacağı için, bu durum çok daha belirgin olarak ortaya çıkar. Güçlendirme yapılan yapılarda yatay rijitliği sağlamak için kolonları mantolamanın ekonomik olmaması ve istenilen yatay rijitliği sağlaması

nedeniyle perde yapımını uygun bir çözüm haline getirmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Güçlendirmede Perde Kullanımı

5. Betonarme Perdelerin Davranışı

TBDY deki depreme karşı olumsuz davranışları nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren "B3 türü düzensizliğin bulunduğu binalara ilişkin koşullar aşağıda (a) ila (d)'de belirtilmiştir: (a) Kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez. (b) Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, 4.4.3'e göre düşey deprem hesabı yapılması yeterlidir. (c) Üst katlardaki perdenin altta kolonlara oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez. (d) Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez." kriterleri perdelerin temel seviyesinden başlamasını öngörmektedir. Hatta temele mesnetlenmeyen perdelerin düzensizliğe sebep olacağı için yapımını yasaklamaktadır. Buna göre yapılarıdaki perdelerin belirli kriterlerde kullanılmaması durumunda yapıda düzensizlik oluşturduğu görülmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. B3 Düzensizliği Kriterleri ve Uygun Olmayan Perde Düzenlemeleri (TBDY, 2018; Doğan, 2020)

Depreme dayanıklı bina tasarımında düşey taşıyıcı sistemin ayakta kalacak şekilde ağır hasar görmemesi, mal ve can kaybı olmasının istenmemesi ana koşuldur. Bu durum binada deprem sırasında önemli miktarda enerji tüketilmesi gerekliliğini ortaya çıkarır. Bunun anlamı binanın hasar görmemesi için deprem anında yapının iki farklı yönde titreşimi esnasında oluşan enerjinin kolon ve perdeler gibi düşey taşıyıcı elemanlar ile tüketilmesi gerekmektedir. Bu konuda daha önce yapılmış çalışmalarda ve meydana gelen deprem hasarlarının araştırılması sonucunda perdelerin düzenlenmelerinin yapı davranışında etkili olduğu görülmüştür (Murty, 2005; Doğan, 2020).

Binaların deprem dayanımında perdelerin enkesit özelliklerinden daha çok bina içindeki düzenlenmesi ve dağılımları oldukça etkili olmaktadır. Perdelerin bina içinde düzenlenmeleri olabildiğince simetrik, eşit sayıda ve homojen olarak dağılmış olmalıdır. Perdelerin yapının rijitlik merkezini değiştirmede kolonlardan çok daha fazla etkili olması binaların depremde sırasında oldukça çok hasar görmesine sebep olmaktadır. Planda perde düzenlenmesinin yapının periyoduna ve tepe deplasmanına etkisi Tablo 1'de görülmektedir (Murty, Goswami, Vijayanarayanan ve Mehta, 2012).

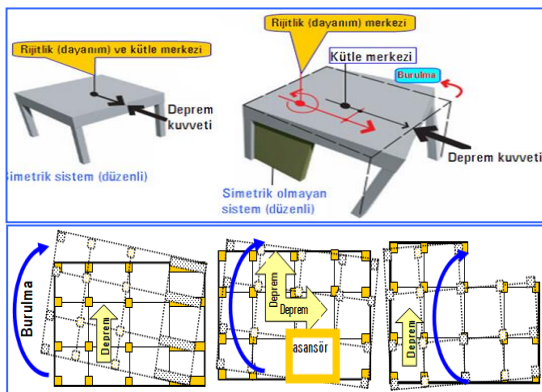
Tablo 1

Perde Düzenlemesinin Yapının Periyoduna ve Tepe Deplasmanına Etkisi

Perde düzenleme şekli (Tüm açıklıklar 4 ^m)				
1. mod	$T_y=0,74$ s	$T_x=0,48$ s	$T_0=0,37$ s	$T_x=0,91$ s
2. mod	$T_x=0,72$ s	$T_y=0,47$ s	$T_y=0,34$ s	$T_y=0,38$ s
3. mod	$T_0=0,65$ s	$T_0=0,47$ s	$T_x=0,33$ s	$T_0=0,30$ s
X (u_{tepe-x})	21,6 mm	11,5 mm	5,9 mm	-
Y (u_{tepe-y})	23,4 mm	10,9 mm	6,0 mm	8,1 mm

Depreme dayanıklı yapı tasarlanmanın temel kriterinin başında yapının gerek yatayda gerekse düşeyde simetrik olması gelir. Çünkü simetri yapının düşey ve deprem yükleri altındaki davranışının en sade olanıdır. Ayrıca simetri tasarımcı tarafından en karmaşık bulunan burulma etkilerini minimuma indirmektedir. Düşey taşıyıcı elemanların eşit ve simetrik olmaması durumunda yapı deprem yükleri altında rijitliğin büyük olduğu eksen etrafında burulma gösterecektir. Yapılarda düşey taşıyıcı elemanların özellikle mevcut yönetmelikten önce yapılmış yapılarda asansör, yangın merdiveni ve diğer bazı düzenlemelerle yapının belli bir yerinde toplanması yapının burulma kriterlerinin büyük olmasını sağlamaktadır (Şekil 8).

Eksantrisitesi büyük L, H, Π, III, † ve T planlı, düzensiz ve süreksizlik bulunan yapılarda burulma modlarının etkisi büyüktür. Burulma modlarının etkin kütle katkı oranları yüksek olur ve periyotları deprem ivmesinin yüksek olduğu bölgeye karşılık gelir. Bu nedenle burulmanın etkisini ortadan kaldırmak için, kütle merkezi ile rijitlik merkezleri arasındaki eksantrisiteyi olabildiğince düşey taşıyıcı elemanların boyutlarıyla minimuma indirmek gerekir.



Şekil 8. Perde Düzenlemesiyle Oluşan Burulma Etkisi

Perdeler yönetmeliklere uygun şekilde düzenlendiğinde yapının yatay rijitliğini arttıran düşey taşıyıcı elemanlardır. Şiddetli depremde çok katlı yapılarda aşırı hasarlara sebep olacak görelî kat deplasmanlarını azaltır. Kendi aralarında bağ kirişleriyle kat seviyelerinde bağlı perdeler birlikte düzenlenebilir. Böyle sistemlerde bağ kirişlerinde oluşan kesme hasarı ile deprem enerjisinin büyük bir bölümü karşılanır. Bağ kirişi hasarları, perdelerde meydana gelen hasarlara göre daha kolay onarılabilir ve binanın genel davranışında çok etkili olmadıklarından tercih edilir. Eğilmeye maruz kalan perdelerin kesit uç bölgelerinde büyük gerilmeler ortaya çıkar. Bundan dolayı perdelerde uç bölgeler oluşturulur. Bu uç bölgeleri, boyuna ve enine donatıların düzenlenmesi bakımından kolon boyutlandırılmasına çok benzerlik gösterir (Şekil 9). Konsol kiriş gibi davranış gösteren perdelerde temele birleşen kısımlar kesme kuvveti ve devrilme momentinden dolayı en çok zorlanan bölgelerdir. Bilindiği gibi moment ve kesme kuvvetinin birbirleri ile fonksiyonel olarak bağlı olmasından ötürü bu bölgeler hem kesme donatısı hem de eğilme donatısı ile düzenlenir. Bu sebeple temel üst kotundan itibaren toplam perde yüksekliğinin belirli bir kısmı perde kritik bölgesi adını alır ve bu bölgedeki kesit ve donatı miktarı için daha ağır koşullar göz önüne alınır. Perdelerde yeterli sünek davranış sağlanması için yeterli düzeyde sıklaştırılmış yatay ve düşey donatılara ihtiyaç vardır.



Şekil 9. Perde Donatı Detayı ve Muhtemel Hasar Bölgeleri

6. Deprem Yönetmeliklerinde Perdelerin Özellikleri

Uygulamadaki deprem yönetmeliklerinde göz önüne alınan temel kriterler süneklik, dayanım ve rijitliktir. Bu şartlar sağlandığında yapının deprem sırasında istenen davranışı sergileyeceği ve önemli oranda hasar görmeyeceği öngörülür. Perdeler, kesit geometrileri itibari ile bu kriterleri beraber sağlama kapasitesi en yakın elemanlardır. Bu nedenle depreme dayanıklı tasarım için üzerinde çalışılan en yaygın yapı elemanları perdelerdir. Dünyadaki yönetmeliklerde perde tanımları Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2

Yönetmeliklerdeki Perde Tanımları

Yönetmelik	Tanım
FEMA-356	$H_w/L_w \geq 3$ ise NARİN $H_w/L_w \leq 1,5$ ise KISA
ACI-318	$H_w/L_w \geq 2$ ise NARİN $H_w/L_w \leq 1,5$ ise KISA
IBC 2000	ACI-318 uygulanır
TBDY-2018	Böyle bir sınıflandırma yoktur.
EUROCODE 8	$H_w/L_w \geq 2$ ise NARİN $H_w/L_w < 2$ ise KISA

TBDY-2018 Planda uzun kenarı kalınlığının en az 6 ($L_w/b_w \geq 6$) katı olan düşey taşıyıcı elemanlardır.

FEMA-356 (ABD) Betonarme yapılarda yatay yükleri karşılaması amacıyla oluşturulan düzlemsel düşey taşıyıcı (düşey diyafram) elemanlardır.

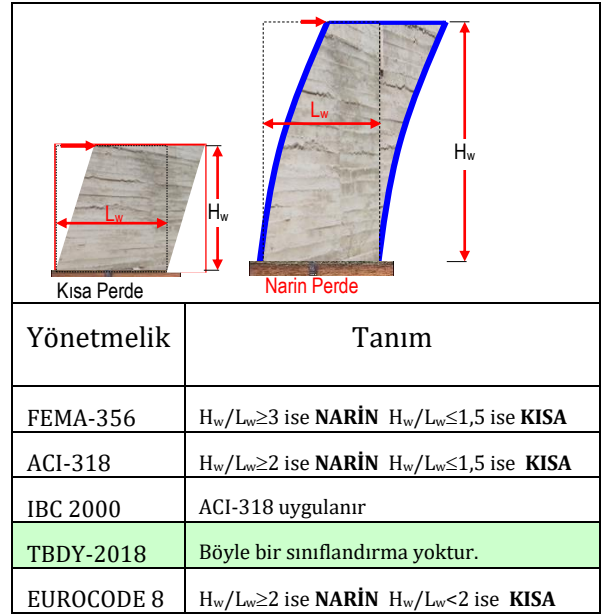
ACI-318 Yapılarda deprem etkilerinin oluşturduğu V, M ve N tesirlerinin kombinasyonlarının oluşturduğu etkileri karşılamak için düzenlenen yapı elemanlarıdır.

IBC 2000 Düzlemine paralel olan yatay yükleri karşılamak için tasarlanan yapı elemanlarıdır.

EUROCODE 8 Yatay kiriş yapısal elemanlarla mesnetlenmiş ve en kesit olarak uzunluğunun kalınlığına oranı 4’den büyük olan elemanlardır.

6.1. Narin ve Kısa Perdeler

Yapı yüksekliği büyük olan yapılardaki perdelerin davranışı ile yapı yüksekliği düşük olan yapılardaki perdelerin davranışı birbirinden farklıdır. Buna göre perdeler, narin (eğilme momenti etkili) ve kısa (kesme kuvveti etkili) perdeler olarak iki gruba ayrılır. Kısa perdelerin davranışlarında kesme kuvveti eğilme momenti kadar etkili olmaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. Yönetmeliklerdeki Narin ve Kısa Perde Kriterleri

Kesme kuvveti ile eğilme momenti etkileri birbiri ile etkileşimde olduğundan, bu etkilerin birlikte gözönüne alınması uygundur. Yüksekliği az olan perdelerde eğilme momenti az olduğu için, düşey donatıların enkesit içinde düzgün dağılımı önerilir. Bu tür perdelerin kesme kuvveti ve eğilme momenti dayanımı genellikle büyük olduğundan dolayı, davranışları elastik bölgede kaldığından konstrüktif donatı yeterli olmaktadır. Genellikle kısa perdelerde büyük kesit tesirleri meydana gelmez. Bu nedenle uç bölgelerinde düzenlenen konstrüktif donatıların yanında, en kesit yatay ve düşey donatıları gövdeye uygun bir şekilde dağıtılır. Yüksek ve orta yükseklikteki perdelerde taban devrilme momentleri etkisi ile donatılar perdelerine uç bölgelerine toplanarak dayanım momenti ve eğrilik artırılabilir. Böylece eğilme momentinden oluşan basınç kuvvetlerinin belirli bir bölümü donatı tarafından karşılanır (Doğan, 2020). Perdelerin, büyük eğilme momentleri ve normal kuvvetleriyle zorlanan temel kotundaki en kesitlerinde sünekliği arttırmak için perdelerin uç bölgelerinde enine donatı kullanmak önemlidir. Bu nedenle perde uç bölgelerinde enine donatılar, kolonlardakine benzer şekilde düzenlenir. Uç bölgelerinde düzenlenen enine donatılar, bu bölgedeki düşey donatıların burkulmalarını önlemek için de gereklidir. Genellikle perde kesitinde düşey yüklerden meydana gelen aksel kuvvetler dengeli durumdaki aksel kuvvetlerden küçüktür. Tasarımda öngörülen yüklerin üzerinde bir deprem yükü etkisi olması halinde, etkili olan eğilme momentinden dolayı, perde enkesitindeki çekme donatıları çoğu zaman akmaya ulaşır ve sünek bir davranış oluşur. Aksel kuvvetlerin büyük olması durumunda, dengeli kırılmanın üzerinde

kalınacağından çekme bölgesindeki donatılar akma durumuna ulaşmaz ve gevrek bir kırılma oluşur. Bu kırılma şekli perde kesitlerinde ortalama normal gerilmelerin sınırlandırılması ile önlenir.

6.2. Perdelerde Rijitliklerin ve Bağ Kirişlerinin Etkisi

Konsol kiriş davranışından dolayı perdeler çerçevelere göre üst katlarda daha fazla yerdeğiştirme ve dönme yapar. Perde sistemlerin statik hesabında genellikle brüt enkesitlerin rijitlikleri kullanılır. Katlar arası yerdeğiştirme hesabında ise eğilme momentlerinin etkili olması nedeniyle enkesitte çatlama meydana geleceği ve rijitliğin azalacağı (yaklaşık %40-50) göz önüne alınarak çatlama enkesit rijitliği kullanılır. Üst katlara çıkıldıkça eğilme momenti etkisi azaldığından azalma yavaşlamaktadır ve yaklaşık %80-90 olmaktadır. Bazı yönetmeliklere göre etkili eğilme rijitlikleri Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3

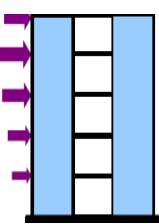
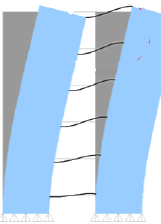
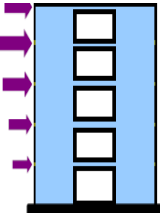
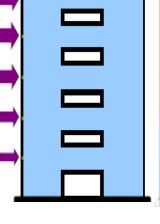
Perdelerin Etkili Eğilme Rijitlikleri

Yönetmelikler	Çatlamış	Çatlamamış
ACI 318-19	0,35EI	0,7EI
ATC-40	0,5EI	0,8EI
FEMA 356	0,5EI	0,8EI
EUROCODE 8	EI	EI
TBDY-2018	0,5EI	0,5EI
IBC 2000	ACI 318-19	

Perdeler üzerinde bırakılan boşluklardan veya perdelerin bağ kirişleriyle düzenlenmesi ile birlikte çalışan perde duvarları oluşur. Bağ kirişleri ile perde rijitliklerinin birbirlerinden çok farklı olması, klasik çerçeve çözümlemesinde hesaba katılmayan etkilerin göz önüne alınmasını gerektirir. Yeniden uyum kriterleri kullanılarak perdelerde denge şartlarının sağlanma koşulu ile eğilme momenti değişim oranının %30'u aşmaması, perdelerde oluşan çatlakların kabul edilebilir seviyede kalmasını sağlar. Kirişler için bu uyum TS500 de %15 ile sınırlandırılmıştır. (TS500, 2000). Perdeler arasındaki bağ kirişlerinin boyutlandırılmasında kesme kuvveti için elde edilen sürekli değişim yerine kademeli bir değişim kullanılabilir. Bu durumda, bağ kirişi kesme kuvvetlerinin kesit yükseklik boyunca toplamının her iki durumda eşit olmasına dikkat edilmelidir. Perde kesitindeki normal kuvvet, kat seviyelerindeki bağ kirişlerinin kesme kuvvetleri toplamından ve üst perdelerin normal kuvvetlerinden oluşur. Ayrıca, perdelerin arasındaki bağ kirişleri perde sisteminin rijitliğini artırarak yatay yerdeğiştirmeleri azaltır. Bağ kirişlerinin rijitliğinin artırılmasıyla bu kirişlerde oluşan eğilme momentleri artarken, perdeler arasındaki etkileşim de artar. Perde kesitlerinde oluşan aksel kuvvetle daha büyük momentin taşınması sağlanır. Buna karşın, rijitliğin artırılmasıyla yapı periyodunun azalacağı ve deprem kuvvetlerinde artabileceği unutulmamalıdır. Perdeler arasındaki etkileşim bağ kirişlerinden başka kendi düzlemleri içinde kalan rijit döşemeler tarafından da sağlanır (Tablo 4).

Tablo 4

Bağ Kirişi Boyutunun Periyoda ve Yatay Deplasmana Etkisi (Murty ve diğ., 2012)

			
Periyot (T)	0,38 s	0,30 s	0,19 s
Yatay deplasman	8,1 mm	4,4 mm	1,8 mm

7. Materyal ve Metod

Bu çalışmada salt kolonlu, sadece x ve y yönünde tek perdeli ve salt perdeli olmak üzere üç farklı tipte betonarme bina örnek olarak incelenmiştir. TBDY - 2018'e göre ve eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak üç farklı yapı modeli için hesaplanan periyotlar, kat deprem kuvvetleri ve kat deplasmanları sunulmuştur.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

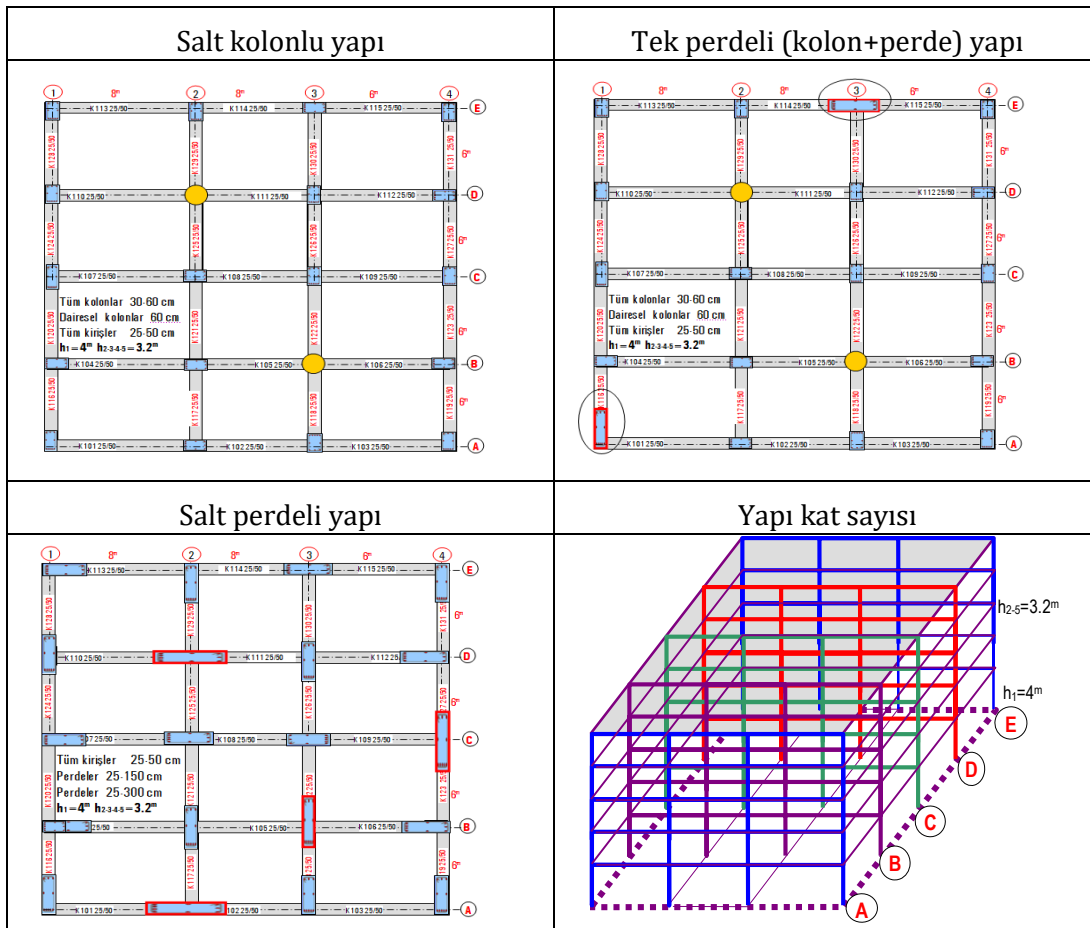
7.1. Sayısal Uygulama

TBDY-2018, kolon, kiriş, perde ve döşeme elemanlarının modellenerek yapı taşıyıcı sisteminin üç boyutlu çözümünü öngörmektedir. Hazır paket programlarında detaylı çözümler yapılarak yapıların deprem yükleri ve davranışı belirlenerek boyutlandırılması yapılmaktadır. Bu çalışmada ise yapının TBDY öngördüğü gibi

döşemeler sonsuz rijit alınarak kesme çerçevesi kabulü ile yapının periyodu, deprem kuvvetleri ve deplasmanları hesaplanmaktadır. Sayısal uygulama için plan boyutları $L_x=22$ m ve $L_y=24$ m olan betonarme 5 katlı bir yapının,

- Salt kolonlu,
- Sadece x ve y yönünde tek perdeli,
- Salt perdeli,

olarak çözümü yapılmıştır. Kat kütleleri $m_{1-2-3-4}=460$ kNs^2/m ve $m_5=328$ kNs^2/m dir. Elastisite modülü $E=32.10^6$ kN/m^2 . Depremin X-X yönünde etkimesi durumu için üç yapının deprem kuvvetleri ve deplasmanları hesaplanmıştır. Y-Y yönü içinde benzer çözümler yapılabilir. Bu çözümlerde perde miktarının etkisi dikkate alınmasına karşı perdenin yapı içindeki dağılımının yani burulmanın etkisi görülemez (Şekil 11).



Şekil 11. Sayısal Uygulamadaki Yapı Özellikleri

7.2. Kesme Rijitliği (k)

Yapılar yatay yüklere maruz kaldığında yapının kirişleri döşemelerle birlikte diğer yapı elemanı olan kolonlara göre oldukça rijit kalmaktadır. Bu durum rijit diyafram oluşturduğu için çerçevelerin yatay yükler altında çözümü kesme çerçevesi kriterlerine göre yapılır. Yatay yükler altında kirişlerle birlikte çalışan döşemelerin rijitliği kolonların rijitliğinden çok büyük olduğundan dolayı rijitlik sonsuz kabul edilerek çözüm yapılmıştır (Şekil 12). Kabul edilen bu çerçevelere de kesme çerçevesi denir. Kesme çerçevesinde bilinmeyen sayısı yatay deplasman sayısına inmektedir. Çünkü kolonların kirişlere ankastre bağlı olduğu kabul edildiği için düğüm dönüş açıları sıfır olmaktadır.

Salt kolonlu yapının çözümü için çerçevesinin kesme rijitlikleri döşemelerin kolonlara göre oldukça rijit olmasından dolayı tüm çubukların kesme rijitlikleri iki ucu moment taşıyan ($k=12EI/h^3$) olarak alınmıştır.

Deprem yönüne paralel kolon ve perde kenarlarının

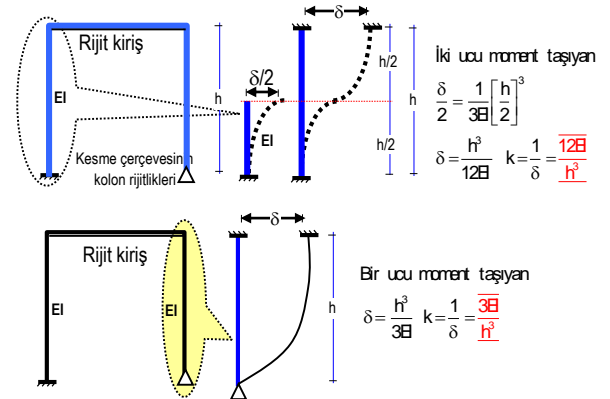
$$1. \text{ kat } K = \frac{12EI}{h^3} = \frac{12 \cdot 32 \cdot 10^6}{4^3} \left[7 \left(\frac{0,3 \cdot 0,6^3}{12} \right) + 11 \left(\frac{0,6 \cdot 0,3^3}{12} \right) + 2 \left(\frac{\pi \cdot 0,3^4}{4} \right) \right] = 392240,70 \text{ kN/m}$$

güçlü eksen Zayıf eksen Dairesel

$$2-5. \text{ kat } K = \frac{12EI}{h^3} = 392240,7 \cdot 4^3 / 3,2^3 = 766095 \text{ kN/m}$$

Tek perdeli yapı ve salt perdeli yapı için kesme rijitlikleri ve elde edilen periyotlar Tablo 5'te verilmiştir. Yapıların eşdeğer deprem yükü yöntemine

küp değerleri alınarak düşey taşıyıcı elemanların atalet momenti ve kesme rijitlikleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Chopra, 2015).



Şekil 12. Kolon Kesme Rijitliği (k) Değerleri

göre deprem yükleri hesaplandığı için sadece 1. periyotları Tablo 5'te hesaplanmıştır.

Tablo 5

Rijitlik ve Periyot Değerleri

Kat	Σk_i	F_i -kabul	V_i	$\delta_i = V/\Sigma k$	$u_i = \delta_i + \delta_{i-1}$	m_i	$m_i \cdot u_i^2$	$F_i u_i$	T (sn)
5	766095	25000	25000	25000/766095=0,03263	0,45227	328	67,092	11306,75	Salt kolonlu yapı $T=2\pi \left[\frac{\sum_{i=1}^N 261,562}{\sum_{i=1}^N 28894,9} \right]^{1/2} = 0.60 \text{sn}$
4	766095	20000	45000	45000/766095=0,05874	0,41964	460	81,005	8392,8	
3	766095	15000	60000	60000/766095=0,07832	0,3609	460	59,915	5413,5	
2	766095	10000	70000	70000/766095=0,09137	0,28258	460	36,732	2825,8	
1	392240,7	5000	75000	75000/392240=0,19121	0,19121	460	16,818	956,05	
						Σ	261,562	28894,9	
5	1224884	25000	25000	25000/1224884=0,02041	0,28287	328	26,2450	7071,75	Tek perdeli yapı $T=2\pi \left[\frac{\sum_{i=1}^N 102,3169}{\sum_{i=1}^N 18072,10} \right]^{1/2} = 0.47 \text{sn}$
4	1224884	20000	45000	45000/1224884=0,03674	0,26246	460	31,6872	5249,2	
3	1224884	15000	60000	60000/1224884=0,04898	0,22572	460	23,4367	3385,8	
2	1224884	10000	70000	70000/1224884=0,05715	0,17674	460	14,3690	1767,4	
1	627141	5000	75000	75000/627141=0,11959	0,11959	460	6,57881	597,95	
						Σ	102,316	18072,1	
5	20050049	25000	25000	25000/20050049=0,001247	0,017281	328	0,09795	432,025	Salt perdeli yapı $T=2\pi \left[\frac{\sum_{i=1}^N 0,381866}{\sum_{i=1}^N 1104,055} \right]^{1/2} = 0.12 \text{sn}$
4	20050049	20000	45000	45000/20050049=0,002244	0,016034	460	0,11826	320,68	
3	20050049	15000	60000	60000/20050049=0,002993	0,01379	460	0,08747	206,85	
2	20050049	10000	70000	70000/20050049=0,003491	0,010797	460	0,05362	107,97	
1	102656253	5000	75000	75000/10265625=0,007306	0,007306	460	0,02455	36,53	
						Σ	0,38186	1104,055	

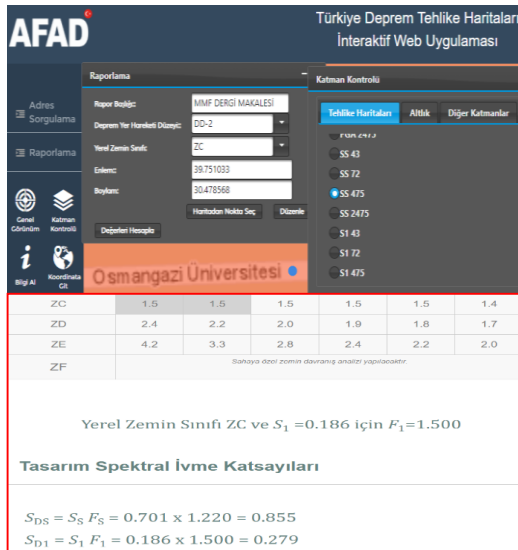
Yapının rijitlik ve periyot değerleri ayrıca aşağıdaki gibi mathematica programı kullanılarak da hesaplanabilir. Örnek olarak salt kolonlu yapı için Denklem (1)'de

$$[K] = \begin{bmatrix} \Sigma k_{1,KAT} + \Sigma k_{2,KAT} & -\Sigma k_{2,KAT} & 0 & 0 & 0 \\ -\Sigma k_{2,KAT} & \Sigma k_{2,KAT} + \Sigma k_{3,KAT} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\Sigma k_{3,KAT} & \Sigma k_{3,KAT} + \Sigma k_{4,KAT} & -\Sigma k_{2,KAT} & 0 \\ 0 & 0 & -\Sigma k_{4,KAT} & \Sigma k_{4,KAT} + \Sigma k_{5,KAT} & -\Sigma k_{5,KAT} \\ 0 & 0 & 0 & -\Sigma k_{5,KAT} & \Sigma k_{5,KAT} \end{bmatrix} \quad m = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[K - \omega^2 M] = \begin{bmatrix} 1158336 - 460\omega^2 & -766095 & 0 & 0 & 0 \\ -766095 & 1532190 - 460\omega^2 & -766095 & 0 & 0 \\ 0 & -766095 & 1532190 - 460\omega^2 & -766095 & 0 \\ 0 & 0 & -766095 & 1532190 - 460\omega^2 & -766095 \\ 0 & 0 & 0 & -766095 & 766095 - 328\omega^2 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{cases} \omega_1 = 10.47s^{-1} \\ T = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0.6 \text{ sn} \end{cases}$$

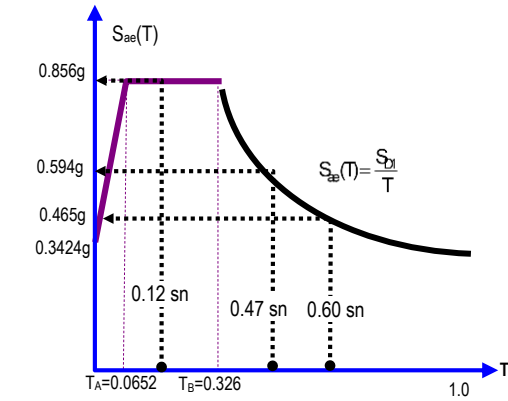
Yapının periyodu yukarıda hesaplanan yöntemlerden biri ile belirlendikten sonra deprem düzeyi DD2, zemin sınıfı ZC ve kısa periyot durumuna karşı gelen ivme spektrum değerleri Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD, 2020) sayfasından alınmıştır (Şekil 13).

$$S_{ae}(T) = \begin{cases} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\ \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \end{cases} \quad (2)$$



Şekil 13. İvme Spektrum Değerleri

S_{DS} , kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, S_{D1} , 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı, T_A ve T_B yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotları olmak üzere Denklem (2) den yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden hesaplanır (Şekil 14).








Şekil 14. İvme Spektrum Eğrisi

TBDY-2018, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) tanımlayarak yapı sistemine göre çeşitli değerler belirlemiş ve bunları tablo halinde kullanıma sunmuştur (Tablo 6). Bu R değerlerinin öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı Deprem Yükü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$ Denklem (3) ile hesaplanmaktadır.

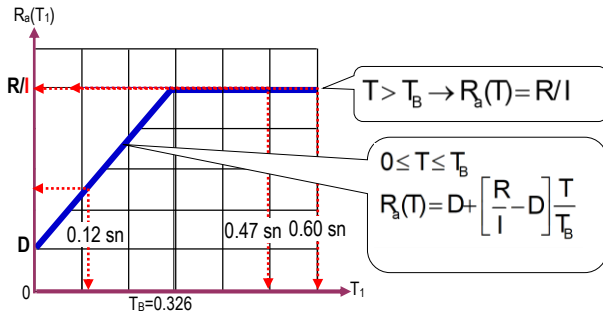
$$0 \leq T \leq T_B \rightarrow R_a(T) = D + \left[\frac{R}{I} - D \right] \frac{T}{T_B}$$

$$T > T_B \rightarrow R_a(T) = \frac{R}{I} \quad (3)$$

Tablo 6
Yerinde Dökme Betonarme Binalarda R ve D değerleri

Bina taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS	
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ				
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler				
	A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS≥3
	A12. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS≥2
	A13. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS≥2
	A14. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	2.5	BYS≥2
	A15. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	7	2.5	BYS≥2

Tablo 7 den R yapı davranış ve D dayanım fazlalığı katsayıları alınarak Denklem (3) ile denklem ile deprem yükü azaltma katsayısı yapının periyoduna bağlı olarak $R_a(T)$ hesaplanır (Şekil 15).



Şekil 15. Deprem Yükü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$ Grafiği

Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$, yatay ivme spektrum değeri $S_{ae}(T)$ ve kat kütleleri belirlendikten sonra,

$$V_{tE}^{(X)} = m_i S_{aR}(T_p^{(X)}) \quad (4)$$

Denklem (4) ile yapı toplam deprem yükü hesaplanır. Yapı hastane olduğu için yapı önem katsayısı $I=1.5$ alınmış ve toplam yapı kütlesi $m=460 \times 4 + 328 = 2168$ kNs²/m olarak hesaplanmıştır. Her üç sayısal uygulama için deprem yükleri aşağıdaki Tablo 7'de hesaplanmıştır.

Tablo 7

Kat Deprem Kuvvetleri

Yapı	I	R	D	R_a	$S_{ae}(T)$	$S_{aR}(T_1) = S_{ae}(T) / R_a(T)$	m	$V_{tE}^{(X)} = m_i S_{aR}(T_p^{(X)})$
Salt kolonlu yapı	1,5	8	3	5,33	0,465g	0,08724g	2168	$V_{tE}^{(X)} = 2168 \cdot 0,08724 \cdot 9,81 = 1856$ kN
Tek perdeli yapı	1,5	7	2,5	4,67	0,594	0,1272g	2168	$V_{tE}^{(X)} = 2168 \cdot 0,1272 \cdot 9,81 = 2714$ kN
Salt perdeli yapı	1,5	6	2,5	3,05	0,856	0,2800g	2168	$V_{tE}^{(X)} = 2168 \cdot 0,281 \cdot 9,81 = 5976$ kN

N yapı kat sayısı olmak üzere TBDY yapıların en üst kat olan tepe noktalarına,

$$\Delta F_{NE}^{(x)} = 0.0075 N V_{TE}^{(x)} \quad (5)$$

Denklem (5) ile hesaplanan bir tepe kuvveti eklenmesini öngörmektedir. Buna göre,

$$\text{Salt kolonlu yapı için } \Delta F_{NE}^{(x)} = 0,0075 \cdot 5 \cdot 1856 = 70 \text{ kN}$$

$$\text{Tek perdeli yapı için } \Delta F_{NE}^{(x)} = 0,0075 \cdot 5 \cdot 2714 = 102 \text{ kN}$$

$$\text{Salt perdeli yapı için } \Delta F_{NE}^{(x)} = 0,0075 \cdot 5 \cdot 5976 = 224 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır. Katlara etkiyen kat deprem kuvvetleri,

$$F_{iE}^{(x)} = (V_{TE}^{(x)} - \Delta F_{NE}^{(x)}) [m_i \cdot H_i] / \left[\sum_{j=1}^N m_j \cdot H_j \right] \quad (6)$$

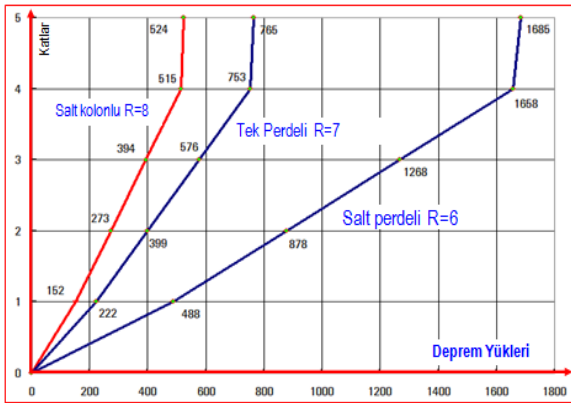
Denklem (6) ile hesaplanarak aşağıdaki Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8

Kat Deprem Kuvvetleri

KAT	h_i	m	$m_i \cdot h_i$	$F_{iE}^{(x)}$ (kN) Salt kolonlu yapı	$F_{iE}^{(x)}$ (kN) Tek perdeli yapı	$F_{iE}^{(x)}$ (kN) Salt perdeli yapı
5	16,8	328	5510,4	$1786 \times 5510,4 / 21702,4 = 454 + 70$	$2612 \times 5510,4 / 21702,4 = 663 + 102$	$5752 \times 5510,4 / 21702,4 = 1461 + 224$
4	13,6	460	6256	$1786 \cdot 6256 / 21702,4 = 515$	$2612 \cdot 6256 / 21702,4 = 753$	$5752 \cdot 6256 / 21702,4 = 1658$
3	10,4	460	4784	$1786 \cdot 4784 / 21702,4 = 394$	$2612 \cdot 4784 / 21702,4 = 576$	$5752 \cdot 4784 / 21702,4 = 1268$
2	7,2	460	3312	$1786 \cdot 3312 / 21702,4 = 273$	$2612 \cdot 3312 / 21702,4 = 399$	$5752 \cdot 3312 / 21702,4 = 878$
1	4	460	1840	$1786 \cdot 1840 / 21702,4 = 152$	$2612 \cdot 1840 / 21702,4 = 222$	$5752 \cdot 1840 / 21702,4 = 488$
			$\Sigma 21702,4$	1856	2714	5976

Çözümü yapılan üç farklı yapı modeli için Tablo 8'de hesaplanan kat deprem kuvvetlerinin katlara göre değişim grafiği Şekil 16'de çizilmiştir.

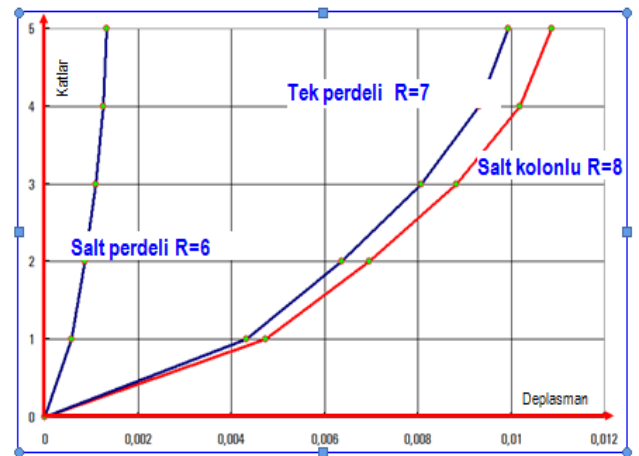


Şekil 16. Çözümü Yapılan Üç Farklı Yapı Modeli için Kat Deprem Kuvvetleri

Şekil 16'nın incelenmesinden perde miktarına bağlı olarak kat deprem kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Diğer bir deyişle perde yapılarak yapı rijit hale geldiği için deprem kuvvetleri de bu rijitlik oranında artmaktadır.

Üç farklı yapı modeli için Tablo 5'te verilen kesme rijitlikleri ile hesaplan kat deplasmanlarının (u) katlara göre değişim grafiği Şekil 17'de çizilmiştir.

Şekil 17'nin incelemesinden perde miktarı arttıkça kat deplasmanlarının azaldığı görülmektedir. Perdelerin yapılış amaçlarından biri olan bu durum yapının deplasman sünekliğini oldukça azaltarak deprem



Şekil 17. Çözümü Yapılan Üç Farklı Yapı Modeli için Kat Deplasmanları

kuvvetlerinin düzenlenecek kesit ve donatılarla karşılanmasına sebep olmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel amaçlarından olan sünek yapı yapılmasına ters bir durum ortaya çıkmaktadır. Ancak bazı durumlarda perde yapımı kaçınılmaz olmaktadır. Kat deplasman karşılaştırmaları aynı şekilde yapı periyotundan da yapılabilir. Periyot ne denli büyük

olursa deprem kuvvetinin o denli az dolayısı ile yapının sünek olacağını söylemek yanlış olmayacaktır.

Yapıların elastik olarak deprem yüklerinin hesaplanması ($R=R_a =1$) durumunda yani oluşacak

deprem kuvvetinin azaltılmaması halinde yapıda oluşan salt deprem kuvvetleri çözümü yapılan her üç durum için Tablo 9'da hesaplanmıştır.

Tablo 9

Azaltılmamış Salt Deprem Kuvvetleri

Yapı	I	R	R _a	S _{ae} (T)	S _{aR} (T ₁)=S _{ae} (T)/R _a (T)	m	V _{te} ^(x) = m _i S _{aR} (T _p ^(x))
Salt kolonlu yapı	1,5	1	1	0,465g	0,465g	2168	V _{te} ^(x) = 2168·0,465·9,81 = 9890 kN
Tek perdeli yapı	1,5	1	1	0,594g	0,594g	2168	V _{te} ^(x) = 2168·0,594·9,81 = 12633 kN
Salt perdeli yapı	1,5	1	1	0,856g	0,856g	2168	V _{te} ^(x) = 2168·0,856·9,81 = 18206 kN

Süneklikle karşılanan deprem kuvvetleri salt deprem kuvvetlerinden (Tablo 9) dayanımla karşılanan deprem kuvvetlerinin (Tablo 7) çıkarılması ile bulunan deprem kuvvetleridir (Tablo 10).

Yani elastik deprem kuvvetlerinden dayanımla karşılanan deprem kuvvetlerinin farkı süneklikle karşılanan deprem kuvvetleri olmaktadır.

Tablo 10

Azaltılmamış salt deprem kuvvetleri

Yapı	Salt deprem kuvveti V _{te} ^(x) = m _i S _{aR} (T _p ^(x))	-	Dayanımla karşılanan V _{te} ^(x) = m _i S _{aR} (T _p ^(x))	=	Süneklikle karşılanan V _{te} ^(x) = m _i S _{aR} (T _p ^(x))
Salt kolonlu yapı	V _{te} ^(x) = 9890 kN	-	V _{te} ^(x) = 1856 kN	=	9890-1856=8034
Tek perdeli yapı	V _{te} ^(x) = 12633 kN	-	V _{te} ^(x) = 2714 kN	=	12633-2714=9919
Salt perdeli yapı	V _{te} ^(x) = 18206 kN	-	V _{te} ^(x) = 5976 kN	=	18206-5976=12230

8. Tartışma ve Sonuçlar

Yapılarda perde kullanımı zorunlu olmamakla birlikte perdeli yapıların periyotlarının düşük olduğu görülmüştür. Genelde asansör, merdiven kenarlarında ve yapının diğer bölgelerinde simetrik olarak düzenlenmeyen perdelerin deprem esnasında yapıda burulma etkisi oluşturarak yapının deprem performansını olumsuz etkilediği bilinmelidir.

Depreme dayanıklı perdelerin tasarımında;

1. Yapılan sayısal uygulamanın sonuçları incelendiğinde perde miktarı arttıkça rijitlikten dolayı yapının periyodu, deplasmanı ve sünekliği azalırken buna karşı yapının karşılaması gereken deprem yüklerinin arttığı görülmüştür. Sünekliğin azalması sonucu süneklikle karşılanan deprem kuvveti azalırken dayanımla

karşılanan deprem kuvveti artmaktadır. Örnek olarak süneklikle karşılanan deprem yükleri elastik durumdakine göre karşılanmak istenirse oran salt kolonlu durumda %23,1 ve salt perdeli durumda %48,8 değerlerinde elde edilir. Buna göre bir yapıda perde miktarı azaldıkça süneklikle taşınan deprem yükü azalmaktadır.

2. Çok katlı yapılarda perde düzenlemesi tepe deplasmanını azalttığı için bu yapıların depreme dayanımı artırmaktadır. Aksi durumda bu yapıların üst katlarındaki deplasmanı istenilen düzeyde sınırlamak mümkün veya ekonomik olmayabilir.

3. Perdenin yapının deplasman sünekliğini azalttığı için yapının öngörülen zemin ve deprem düzeyindeki karşılaması gereken deprem kuvveti perde miktarına bağlı olarak artmaktadır. Diğer bir deyişle perde

düzenleyerek yapının deprem esnasında karşılaşması gereken deprem yükü artırılmış olmaktadır. Çözülen sayısal örnekte aynı yapının salt perdeli yapmakla salt kolonlu yapmaya göre $(100 \cdot (5976/1856) = \%321)$ oldukça arttırmaktadır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Ayten GÜNAYDIN, bilimsel yayın araştırması, sayısal uygulamanın hazırlanıp çözülmesi ve makalenin yazılmasına; Hande GÖKDEMİR, bilimsel yayın araştırması, sayısal uygulamanın hazırlanıp çözülmesi ve makalenin yazılması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- ABYBHY (1975). Afet bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskân Bakanlığı.
- ABYYHY (1998). Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskân Bakanlığı.
- ACI 318-19 (2019). Building code requirements for structural concrete. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- AFAD (2020). Erişim adresi: <https://tdth.afad.gov.tr>
- ATC-40 (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. California: Applied Technology Council.
- Celep, Z. (2020). *Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı*. İstanbul: Beta Basım Yayım.
- Chopra, A.K. (2015). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- DBYBHY (2007). Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Deepna, U., Menon, A.S. & Balamurugan, S. (2018). A comparative study on shear wall concept in accordance to its seismic behavior. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.5), 182-187. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.5.20041>
- Doğan, M. (2013). Failure of structural (RC, masonry, bridge) to Van earthquake. *Engineering Failure*

Analysis, 35, 489–498. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.05.010>

- Doğan, M. (2020). *Yapıların deprem analizi*. Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- EUROCODE 8 (1996). Design provisions for earthquake resistance of structures-Part 1-4: General rules-strengthening and repair of buildings. Brussels: European Committee for Standardization.
- FEMA-356 (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Washington (DC): Building Seismic Safety Council.
- Hadihosseini, D., Hosseini, M., & Hosseini, A. (2014). Study the effective of shear wall on behavior of beam in frame structure. *American Journal of Engineering Research*. 3(10), 188-202. Erişim adresi: <https://www.ajer.org>
- Kolli, R.K. & Nagarathinam, L. (2019). Experimental investigation and analysis on shear walls. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 7(6C2), 225-229. Erişim adresi: <https://www.ijrte.org>
- Murty, C.V.R. (2005). *Earthquake Tips - Learning Earthquake Design and Construction*. Kanpur, India: National Information Center of Earthquake Engineering, IITK.
- Murty, C.V.R., Goswami, R., Vijayanarayanan, A.R. & Mehta, V.V. (2012). *Some concepts in earthquake behavior of buildings*. Gandhinagar: Gujarat State Disaster Management Authority.
- Rajendran, R. & Selvaraju, Y.R. (2016). A review on performance shear wall. *International Journal of Applied Engineering Research*. 11(3), 369-373. Erişim adresi: <https://www.ripublication.com>
- TBDY (2018). Türkiye bina deprem yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı.
- TS500 (2000). Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- IBC (2000). International Building Code. California: International Conference of Building Officials.
- Wolfram Mathematica (2020). Wolfram Mathematica v.12.1.1.0.
- Zhang, Y. & Zhan, X. (2019). Study on seismic behavior of steel frame-steel shear wall with assembled two-side connections. *Mathematical Problems in Engineering*. Doi : <https://doi.org/10.1155/2019/3024912>