



**Makale
(Article)**

Planında Asimetrik Betonarme Yapıların Deprem Davranışının Enerji Sönümleyicilerle İyileştirilmesi

Mehmet K. DİRDİMAN*, **Zeynel Abidin MİRKELAM***

* Süleyman Demirel Üniversitesi Yalvaç Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü, ISPARTA
mehmetderdiman@sdu.edu.tr

Özet

Depreme dayanıklı yapı tasarımının geleneksel yaklaşımına göre yapıyı hasardan korumanın yolu, simetrisinin ve rijitlik merkezi ile kütle merkezinin yeter derecede çakıştırılmasıdır. Günümüzde, daha fazla uygulama alanı bulan modern yaklaşımda ise bu tür yapıların depremsel davranışı, yapısal kontrol mekanizmaları kullanılarak iyileştirilebilmekte ve yapıdaki hasar oluşma riski en aza indirilebilmektedir. Bu çalışmada, planda düzensiz binaların depremsel kuvvetlerin etkisi altındaki burulma davranışının, viskoz sönümleyiciler gibi pasif kontrol sistemleri kullanılarak iyileştirilebilirliği araştırılmıştır. Birbirinden farklı kat adedi ve sönümleyici özelliklerine sahip olan L tipi plana sahip bina modelleri tasarlanmış ve bu modeller değişik deprem hareketlerinin etkisi altında zaman tanım alanında çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ankastre tabanlı modellere ait sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Viskoz sönümleyici kullanılan modellerde burulma davranışının önemli ölçüde azaldığı ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Asimetrik Burulma Düzensizliği, Pasif Yapı Kontrolü, Sönümleyici

Improving the Earthquake Resistance of Multiple Story Buildings Without Regularity at the Plan Using Energy Dissipation

Abstract

Torsional behavior causes additional shear forces in the columns of the buildings. This additional shear forces can become a dominant component when the mass center digresses from the rigidity center because of asymmetry and inequality of mass dispersion. So, there will be damage on building via torsion when coerced. In order to prevent it, traditional quake tenacity philosophy is based on coinciding the rigidity center with mass center by supplying the symmetry. In this study the improvement of negativity in the torsional behavior, resulted from asymmetry using viscous dampers which are passive control systems, has been searched. For this aim, more than one hundred models, decked with viscous dampers having different parameters, have been projected and these models have been analyzed with different quake records. The results of models have been compared with the traditional model and their improvements have been examined. It has been appeared that torsional behaviour in models in which viscous damper was used has been decreased.

Key Words: Asymmetric Torsional Behavior, Passive Structural Control, Damper

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun büyük bir oranı deprem tehdidi altında yaşamaktadır. Geçmiş olduğumuz yüzyılda ortalama yılda 20.000 insan depremler sonucu hayatını kaybetmiştir. Bunun %90'ı gelişmekte olan ülkelerdedir. Depremi önlemek mümkün değildir fakat depremin öldürücü etkisinin azaltmak mümkündür [1].

Bu makaleye atf yapmak için

Derdiman M.K., Mirkelam Z.A., "Planında Asimetrik Betonarme Yapıların Deprem Davranışının Enerji Sönümleyicilerle İyileştirilmesi" Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2011, 7(2) 15-30

How to cite this article

Derdiman M.K., Mirkelam Z.A., "Improving the Earthquake Resistance of Multiple Story Buildings Without Regularity at the Plan Using Energy Dissipation" Electronic Journal of Construction Technologies, 2011, 7(2) 15-30

Deprem esnasında açığa çıkan enerji, yeraltı katmanlarından geçerek yapının temeline ulaşır ve yapıda değişik doğrultularda hareketlere neden olarak taşıyıcı sistemde ivmeler oluşturur. Bu ivmeler, taşıyıcı sistem içinde, $F=m.a$ ilişkisine bağlı olarak, kuvvetlerin oluşmasına neden olur. Bu kuvvetlere eylemsizlik kuvveti adı verilir. Yapı, deprem davranışı esnasında değişik şekillerde enerji tüketir. Yapı deprem enerjisini tüketirken, dinamik yatay ötelenmeler yapan taşıyıcı sistem, “salınım modları” oluşturur. Deprem etkisi altında yapı kendine özgü bir periyot oluşturarak dinamik tepki gösterir [2].

Salınım yapan bir sistemin viskoz, histeretik ve sürtünme yolu ile enerjii dağıtmasına sönümleme denir. Sönüm oranı ne kadar yüksek ise yapı ilk konumuna (hereketsiz durumuna) o kadar çabuk döner. Salınıma başlayan bir sistemin hereketsiz durumuna geri dönmelerini sağlayan sönümlemedir. Sönümlemenin olmaması demek titreşen sistemin durmaması anlamına gelir.

Yapının dinamik analizinde, sönümlemeye katkı yapan tüm etkilerin toplamı “kritik sönüm” ün bir oranı olarak ifade edilir. Sönümleme oranları taşıyıcı sistemin tipine göre değişir. Betonarme yapılar için yaygın olarak 0,05 değeri kullanılır [2].

Depreme karşı yapıların tasarımında geleneksel yaklaşım, her yapı elemanının sismik kuvvetlere direnç gösterebilecek dayanıma sahip olması ve sismik enerjii yutacak yeterli süneklik kapasitesini sağlamasıdır. Bu tasarım felsefesi benimsendiğinde, çok büyük bir enerji yapı tarafından yutulur ve bazı yapı elemanları çok büyük plastik deformasyon yapar. Bu yüzden modern yapı kontrol teknikleri kullanılarak binaların depreme karşı korunması son zamanlarda hızla yaygınlaşmıştır.

Yapıya gelen deprem kuvvetlerinin azaltılması için özel yapı elemanlarının kullanılması gerekir. Bu elemanlar sismik yalıtım ve enerji sönümleme yoluyla yapının titreşimini kontrol altına almaktadır [3].

Enerjinin dağıtılması ve yutulması aşağıda verilen dışsal ve içsel etkenlere bağlıdır:

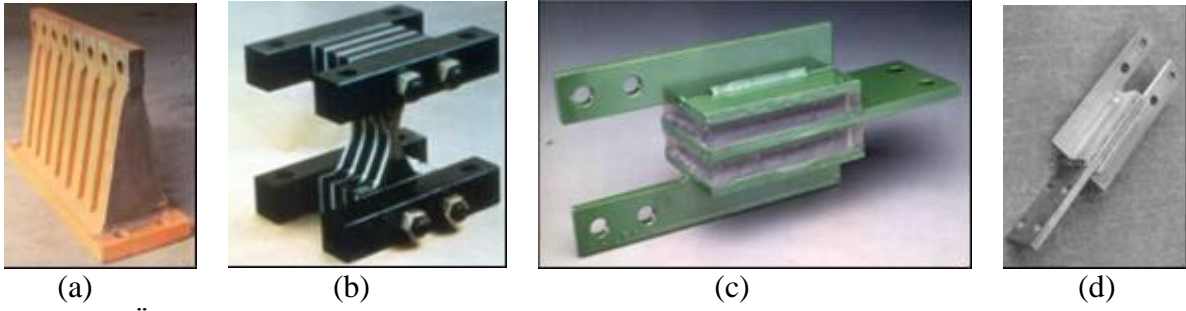
1. Enerjinin sönümlenme nedeni malzeme viskozitesidir. Bu işlem deformasyonların zamana göre değişim oranına (hıza) bağlıdır. Bu tür sönümlemeye malzeme sönümü de denilmektedir. *Viskoelastik sönümleme* bu gruba girer.

2. Enerji sönümlemesi, malzemede çevirimsel bir inelastik davranışı ve bazı artık deformasyonları sağlayarak davranışın sonlanmasını sağlar. Enerji dağıtmayı sağlayan çevirimsel inelastik deformasyon bir histeretik döngü biçimindedir. Ve artık deformasyonlar, yutulan enerjinin miktarını gösterir. Bu işlem genellikle *histeretik sönümleme* olarak adlandırılır.

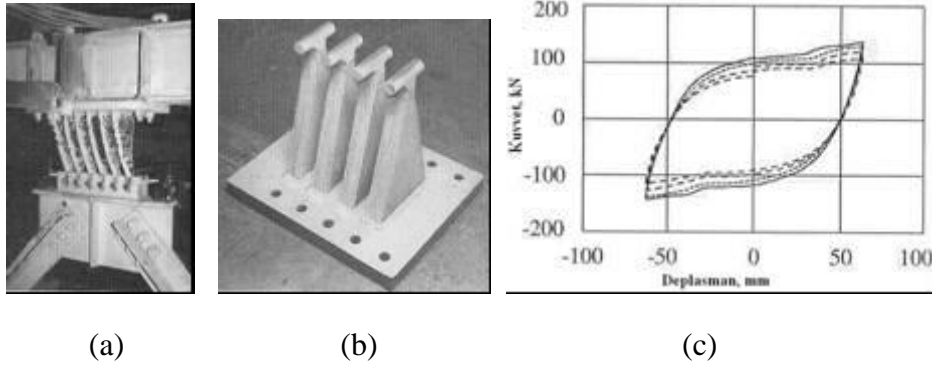
3. Enerjinin dağıtılması, birbiri ile esnek olarak temas halindeki iki malzemenin hareket etmesi ile sürtünmenin aşılması sonucu sağlanır. Sürtünme kuvveti büyüklüğünün sabit olduğu *Coulomb sönümü* bu duruma girer. *Yapısal sönümleme* daha genel *sürtünme sönümlemesi* mekanizmasıdır ki, bu değişken sürtünme kuvveti büyüklüğüne izin verir.

4. Enerji dağıtma, yapı ile onun çevresel unsurları arasındaki etkileşiminden ortaya çıkar. Yapının rölatif hareketi, harekete karşı koyan ve yapıdan enerjii çıkartan kuvvetleri üretir [4].

Enerjinin dağıtılması ve yutulması sönümleyici aygıtların kullanımı ile artırılabilir. Sönümleme aygıtları yapı içinde doğal enerji dağıtma ve yutma kapasitesini sağlayacak biçimde muhtelif yerlere yerleştirilir. Mekanizmaları pasif veya aktif olabilir. Pasif mekanizmalılar dışsal bir enerji harcaması gerektirmezler. Oysaki aktif mekanizmalılar dışsal bir enerji kaynağına ihtiyaç duyarlar. Pasif mekanizmalılar viskoz sönümleyicileri, sürtünme sönümleyicileri, histeretik sönümleyicileri, ayarlı kütle sönümleyicileri (TMD) ve ayarlı sıvı kütle sönümleyicileri (TLD) kapsar. Aktif sönümleme yapıya farklı zaman aralıklarında dışsal bir kuvvet uygulanarak başarılır. Uygulanacak kuvvetin büyüklüğü, kontrol algoritmalarına göre ayarlanır [4].



Şekil 1. a.Üçgen b.X Biçimli Metalik Sönümleyiciler c.Viskoelastik sönümleyici d.Viskoelastik sönümleyici [5].



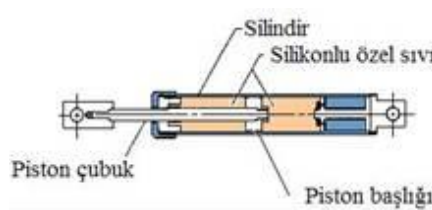
Şekil 2. a)Donanımın yük altındaki durumu; b)TADAS donanımı c)Kuvvet-Ötelenme diyagramı [6].

Pasif sönümlemede enerji tepki yoluyla atılır. Dolayısıyla stabiliteyi bozacak davranışa neden olmaz. Aktif sönümleyiciler dışsal bir enerji kaynağını içerirler. Burada sistem stabilitesini bozacak bir potansiyel mevcuttur. Stabiliteyi bozmayacak miktardaki gerekli dışsal enerji ile çalışan aygıtlar da mevcuttur. Bunlar *yarı aktif sönümleme* sistemi olarak adlandırılır [4].

Günümüzde sönümleyicilerin üç ana kategoride uygulamaları mevcuttur:

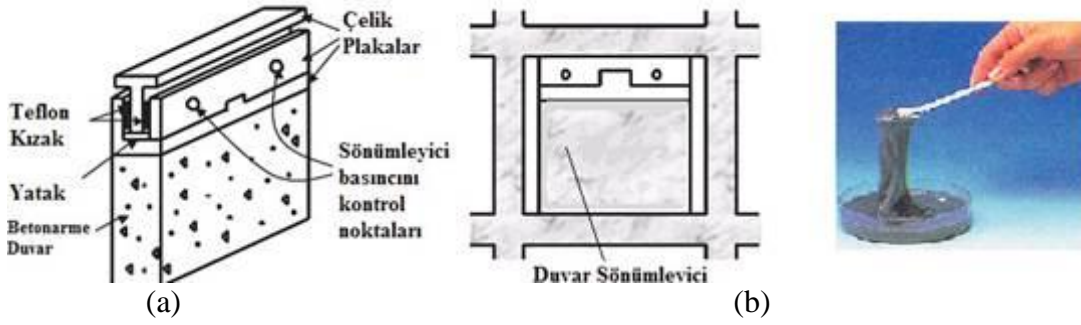
- Viskoelastik ve viskoz sönümleyiciler (Şekil 1),
- Metalik sönümleyiciler (Şekil 2),
- Sürtülmeli sönümleyiciler [4].

Yapıya ilave edilmiş viskoz sönümleyiciler (Şekil 3 ve 4) yapı ve deprem parametrelerine göre değişen %25-35 civarında bir kritik sönümleme sağlayabilir. Bu da yapıdaki deprem etkisini önemli bir derecede azaltır. Viskoz sönümleyici, monte edildiği bir yapıda kat ivmelerini ve katlar arası ötelenmeyi %50 den daha yüksek oranda azaltabilmektedir. Viskoz sönümleyiciler kuvvetin yarattığı etki ile bir delikten sıvıyı iterek enerjiyi dağıtır [5].



Şekil 3. Viskoz sönümleyici [9].

Bu sönümleyicilerde kuvvet, hareketle birlikte ortaya çıkar. Kuvveti veren eşitlik $F=CV^n$ şeklindedir. Burada F kuvveti, V hızı, n piston biçimine bağlı olarak 0,3 ile 1,0 arasında değişen üs sabitini ve C ise silindir çapı ve ağız alanına bağlı olarak değişen sönümleyici sabitini simgelemektedir [7].



Şekil 4. (a) Duvar üstü monte edilmiş viskoz sönümleyici (b) Viskoz sönümleyicide kullanılan sıvı yağın bir örneği [http://www.taylordevices.com, 27/7/05].

Kelly'nin [7] yaptığı araştırma çalışmalarına göre viskoz sönümleyicilerin seçiminde kullanılacak birkaç genel kuraldan bahsetmek mümkündür. Viskoz sönümleyiciler bütün yapılar için verimlidir. Kat ötelenmesinde orta derecede bir azaltma (en az %15) amaçlanmış ise 5 katlı yapı için, 3 veya 10 katlı yapıya nazaran daha küçük bir sönümleme sabiti gereklidir. %30 oranında veya daha fazla bir azaltma için artan yapı periyodu ile birlikte sönümleme sabiti artırılmalıdır. Kat ağırlığının en az %16 sı kadar sönümleme kuvveti sağlayacak şekilde yüksek sönümleme sabiti gereklidir. Bazı durumlarda bu değer %70'e kadar çıkabilir.

Burulma düzensizliği özellikle asimetrik plana sahip bir yapının deprem davranışı açısından oldukça önemli bir faktördür. Burulma etkisi çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilir. Burulmaya neden olan genellikle kütle ya da rijitlik dağılımındaki dengesizliktir. Aslında ideal ölçüde düzenli bir yapı neredeyse yok gibidir. Mimari bir zorunluluk olarak geometrik düzensizlik uygulamada çok sık karşılaşılan bir durumdur [8]. Burulma düzensizliği yapıyı kendi düşey eksenini etrafında dönmeye zorlayarak kolonlarda ek kesme kuvveti oluşmasına neden olur. Bu ek kuvvet düzensizliğin seviyesine göre baskın bir davranış ögesi haline gelebilir.

Bu çalışmada; El Centro (1940), Kobe (1995), Marmara (1999) ve Northridge (1994) deprem etkileri altında, planda düzensiz L biçimli betonarme yapılarındaki burulma etkileri araştırılmıştır. Ankastr tabanlı ve sönümleyici kullanılan modellerdeki burulma etkileri hesaplanarak sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sönümleyici parametrelerindeki değişimin, yapının burulma davranışını hangi ölçüde etkilediği araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Yapısal analiz

Yapısal analiz için m kütleli, k lineer rijitliğine ve c lineer sönümleme katsayısına sahip ağırlıksız çerçeve çubukları ile mesnetlenmiş tek serbestlik dereceli sistemi göz önüne alalım (Şekil 5). Yapının mutlak momentum değişim oranı $m\ddot{u}(t)$, yapının tepkisel kuvvetine eşit olacaktır. Çerçeve kütlelerinin yaptığı ötelenme $u(t)$, zeminin hareketi sonucu zeminde oluşan ötelenme $u_g(t)$ ve yapının tepkisel kuvveti R_F ile gösterilirse yapının tepkisel kuvveti ifadesi 1'deki gibi olacaktır:

$$R_F = c(\dot{u} - \dot{u}_g) + k(u - u_g) \quad (1)$$



Şekil 5. Tek serbestlik dereceli model [9].

Sistemin mutlak koordinatlarda hareket denklemi aşağıdaki gibidir:

$$m\ddot{u} + c(\dot{u} - \dot{u}_g) + k(u - u_g) = 0 \quad (2)$$

Kütlenin tabana göre rölatif ötelenmesi $v = u - u_g$ olarak tanımlanırsa, sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibi olur:

$$m\ddot{v} + c\dot{v} + kv = -m\ddot{u}_g \quad (3)$$

Denklemin her iki tarafı m 'ye bölünüp, $\omega^2 = \frac{k}{m}$ ve $\beta = \frac{c}{2\omega m}$ tanımlamaları kullanılarak sistemin hareket denklemi yeniden yazılacak olursa,

$$\ddot{v} + 2\omega\beta\dot{v} + \omega^2v = -\ddot{u}_g \quad (4)$$

elde edilir. Burada ω yapının sönümsüz doğal frekansını (radyan/saniye cinsinden) ve β sönümleme oranını gösterir. Eğer zemin hareketi sıfır ve sistem başlangıç şartları göz önüne alındığında (başlangıç şartları $v(0) = v_0$ ve $\dot{v}(0) = \dot{v}_0$ olarak tanımlanmıştır) (4) diferansiyel denkleminin çözümü,

$$v(t) = e^{-\beta\omega t} \left[v_0 \cos \omega_D t + \frac{1}{\omega_D} (\dot{v}_0 + \beta \omega v_0) \sin \omega_D t \right] \quad (5)$$

şeklinde olur. Burada şu tanım geçerlidir: $\omega_D = \omega\sqrt{1-\beta^2}$ Düşük sönümlü ($\beta < 0,2$) yapılar için ω ile ω_D arasındaki fark ihmal edilebilir. Örneğin $\beta = 0,2$ için $\omega_D = 0,98\omega$ olmaktadır. Yüksek sönümlü yapılarda ise ω_D nin gerçek değerini kullanmak gerekli olabilir. Zemin ivmesinin zamanla değişimi bilindiğinde ve başlangıç koşullarının her ikisi de sıfır ise çözüm şu şekilde olur:

$$v(t) = -\frac{1}{\omega_D} \int_0^t e^{-\beta\omega(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) \ddot{u}_g(\tau) d\tau \quad (6)$$

Belirli $\ddot{u}_g(t)$ bir ivme için davranış sonuçları uygun bir sayısal integrasyon taslağı kullanılarak bulunabilir. Birçok durumda da “Davranış Spektrumu” yaklaşımını kullanmak uygundur. $\ddot{u}_g(t)$ nin ötelenme davranış spektrumu S_D ile gösterilirse: $S_D = \max_{0 \leq t \leq t_d} |v(t)|$ şeklinde olur. Burada t_d ivme kayıt sürecini ifade etmektedir. Bu spektrum ω , β ve \ddot{u}_g ye bağlıdır, yani $S_D = S_D[\omega, \beta; \ddot{u}_g(t)]$ dir. Ötelenme spektrumundan yararlanılarak (S_D), yalancı hız spektrumu (S_V) ve yalancı ivme spektrumu (S_A) bulunabilir. Şöyle ki, $S_V = \omega S_D$ ve $S_A = \omega^2 S_D$ dir. Yalancı hız spektrumunun boyutu, hızın boyutu ile aynıdır fakat bu kütlenin maksimum hız değeri değildir. Yalancı ivme S_A 'nin gerçek ivme ile ilişkisi, denklem 4'ün aşağıdaki formda yeniden yazılması ile açıklığa kavuşur. Buradaki yalancı ivme S_A , maksimum mutlak ivme yaklaşımıdır. Çünkü v_{\max} da $\dot{v} = 0$ dir. Ötelenmenin maksimum olduğu zamanda kütle tarafından uygulanan tepkisel kuvvet $k v_{\max}$ dır ve bu da taban kesme kuvveti V_{\max} 'in tanımlanmasını sağlar:

$$V_{\max} = k|v|_{\max} = kS_D \quad (7)$$

Burada, $k = m\omega^2$ olduğuna göre, $V_{\max} = m\omega^2 S_D = mS_A$ olacaktır. Bu değer kuvvet boyutuna sahiptir ve yapı ağırlığına $W=mg$ bölüldüğü zaman, taban kesme kuvveti katsayısı veya sismik katsayı dediğimiz C_S değeri elde edilir. Çoğunlukla bir yüzde oranı ile ifade edilen bu değer boyutsuzdur: $C_S = \frac{S_A}{g}$

Maksimum taban kesmesi V_{\max} 'ın, kütle tarafından uygulanmış maksimum kuvvet olması gerekli değildir [9]. Örneğin, $t = t^*$ zamanında $v_{\max} = \bar{v}$ olduğu ve $\bar{\omega}$ frekansı ile sinüzoidale yakın bir hareketle salınım yaptığı varsayılırsa, $t = t^*$ 'a yakın zamanlar için hareket, $v = \bar{v} \cos \bar{\omega}(t - t^*)$ değerine yakın olacaktır. Tepkisel kuvvet aşağıdaki gibi olur:

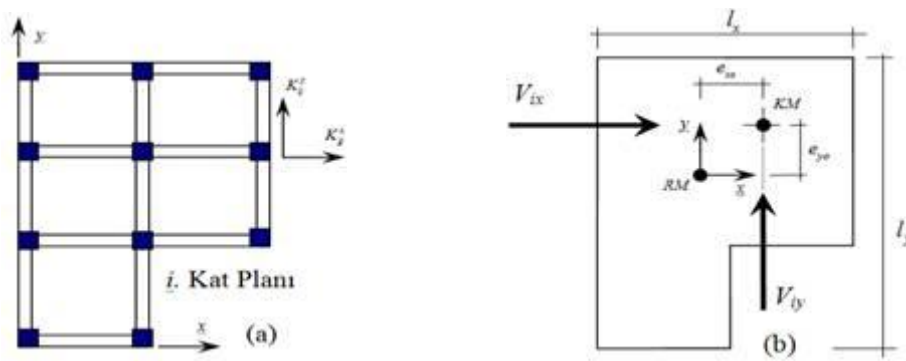
$$R_F = -c\bar{v}\bar{\omega} \sin \bar{\omega}(t - t^*) + k\bar{v} \cos \bar{\omega}(t - t^*) \quad (8)$$

Açıkça görülmektedir ki eğer $\beta \leq 0,2$ ise $R_F|_{\max} \approx V_{\max}$ dır. Ancak daha yüksek sönümleme durumlarında fark daha da az olacaktır [9].

2.2. Yapılarda Burulma Düzensizliği ve Yapı Elemanlarına Etkisi

Ortogonal yapıların yatay yükler altındaki davranışı, yapının taşıyıcı sistem düzenine ve yatay doğrultudaki dış yükün etkime biçimine önemli derecede bağlıdır. Taşıyıcı sistem belirli bir doğrultuda belirli bir düzleme göre simetrik ise, bu simetri düzlemi içerisinde etki eden yatay yükler altında yapı, sadece bu simetri düzlemine paralel ötelenme hareketi yapacak, düşey doğrultudaki bir z eksenini etrafında yapının dönmesi söz konusu olmayacaktır. Aksi durumda yapının düşey bir eksen etrafında dönme hareketi yapması beklenir. Yatay yük bileşmelerinin katlara etkime noktası, yatay yükün özelliğine bağlıdır. Rüzgâr yüklemesinden farklı olarak, deprem durumunda, yükler tek bir noktaya etkiyecektir [10]. Bu etkime noktası Kütle Merkezi (KM) olarak adlandırılır. Yatay yüklerden dolayı düşey taşıyıcı elemanlarda oluşan kesme kuvvetlerinin bileşke noktası ise Rijitlik Merkezi (RM) olarak adlandırılır. Taşıyıcı sistem simetrik bile olsa kütle dağılımında simetrisinin sağlanması çok güç olacağından KM ile RM çakışmayacak, bunun sonucu olarak yapıda bir burulma davranışı ortaya çıkacaktır. Kaldı ki çoğu zaman mimari gereksinimler taşıyıcı sistemde de simetriyi imkansızlaştırır. Bu durumda yapıda burulma davranışı, baskın bir unsura dönüşebilir. Ayrıca depremlerde kayıt altına alınamayan depremin döndürücü bir etkisi daha vardır ki bu etki, yapıda KM ve RM nin çakıştığı durumda bile burulma etkisini ortaya çıkartır [6].

Şekil 6'da bu tür bir düzensizliğe sahip asimetrik L biçiminde bir yapı örneği görülmektedir. Yapıya etkileyen burulma etkileri de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6. (a) Asimetrik bir yapıya ait plan, (b) Kat kesme kuvvetlerinin etki şekli [11].

Katlara etkiyen kuvvetler RM den gemiyorrsa kat kesme kuvvetinin meydana getirdiği yatay ötelenme yanında, kat burulma momentinden dolayı düşey eksen etrafında dönme de olur. Bunun yapıya olan etkisinin hesaplanabilmesi için öncelikle RM nin ve KM nin yerinin belirlenmesi gerekir. Kat rijitlik merkezinin belirlenmesi için şu işlemler yapılır: Kolonların iki doğrultudaki ötelenme rijitlikleri k_{ij}^x ve k_{ij}^y olsun. Burada i kat numarası ve j kolon numarasıdır. i katındaki kat kesme kuvveti RM den geçiyorsa, dönme olmaksızın sadece ötelenme meydana gelir ki bu KM ile RM nin aynı koordinat noktasında yer aldığı anlamına gelir. RM , seçilen herhangi bir koordinat sistemindeki yeri ise,

$$x_{RMi} = \frac{\sum_j k_{ij}^y x_j}{\sum_j k_{ij}^y} \quad y_{RMi} = \frac{\sum_j k_{ij}^x y_j}{\sum_j k_{ij}^x} \quad (9)$$

eşitlikleri ile bulunabilir. Bu noktanın kütle merkezine olan yatayda ve düşeyde uzaklığı bize burulma etkisini oluşturacak moment kolu mesafelerini verir. Bu durumda, i katında oluşan burulma zorlamasının değeri

$$M_{iz} = V_{ix} e_{yo} + V_{iy} e_{xo} \quad (10)$$

şeklinde olur. Kat burulma momentinin o katı rijitlik merkezi etrafında döndürmeye zorlaması, o kata ait kolonlarda kesme kuvveti oluşturur. Bu durumda kolonlardaki kesme kuvveti, kat kesme kuvvetinin, ve kat burulma momentinin doğurduğu kesme kuvvetinin toplamından (bileşkesinden) oluşur. Herhangi bir kolondaki kesme kuvveti bileşenleri,

$$V_{ij}^y = V_i^y \frac{k_{ij}^y}{\sum_j k_{ij}^y} + M_{iz} x_j \frac{k_{ij}^y}{\sum_j (x_j^2 k_{ij}^y + y_j^2 k_{ij}^x)}$$

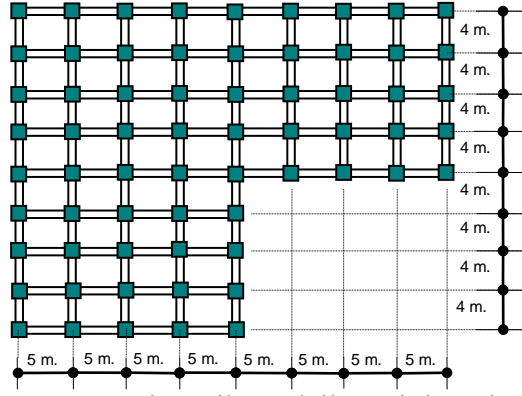
$$V_{ij}^x = V_i^x \frac{k_{ij}^x}{\sum_j k_{ij}^x} + M_{iz} y_j \frac{k_{ij}^x}{\sum_j (x_j^2 k_{ij}^y + y_j^2 k_{ij}^x)} \quad (11)$$

ifadelerinden hesaplanır. Bu eşitliklerde $\sum (x_j^2 k_{ij}^y + y_j^2 k_{ij}^x)$ ifadesi kat burulma rijitliğidir [11].

2.3. Bina Modellerinin Geometrik zellikleri

Bu çalışmada planında düzensiz asimetrik betonarme modeller hazırlanmıştır. Bu modellere ilişkin kat planı şekil 7’de verilmiştir.

Kirişilerin kesiti $50 \times 25 \text{ cm}^2$ dir. Döşemelerin kalınlığı 12 cm olup ‘‘kalın plak’’ olarak modellenmiştir. Döşemeler rijit diyafram olarak çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Kolon boyutlarında modellere göre değişiklik yapılmıştır. 1 katlı ve 5 katlı modellerde kolon kesiti $50 \times 50 \text{ cm}^2$, 10 katlı modellerde $60 \times 60 \text{ cm}^2$ ve 15 katlı modellerde $70 \times 70 \text{ cm}^2$ olup, tüm kolonlarda kesit kare şeklinde seçilmiştir. Bunun yanında tüm modellerde kat ykseklıği sabit olup 3 m dir. Modellerde yapılar 1, 5, 10, 15 ve 20 katlı olarak tasarlanmıştır.



Şekil 7. Tüm asimetrik modellere ait kat planı.

En yaygın kullanılan sönümleyiciler viskoz sönümleyiciler olduğundan modellerin tamamında bu tip sönümleyiciler kullanılmıştır. Modellerde kullanılan sönümleyici özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Modellerde kullanılan sönümleyici özellikleri [12-16]

Modellerde Kullanılan Sönümleyici Adı	Lineer Rijitlik Değeri (kN/m)	Lineer Sönümleme Katsayısı (kN.sn/m)	Nonlineer Rijitlik Değeri (kN/m)	Nonlineer Sönümleme Katsayısı (kN.sn/m)	Nonlineer Sönümleme Üssü, α
Sönümleyici1	0	0	175126,85	558,2125	0,5
Sönümleyici2	0	0	175126,85	1116,4251	0,5
Sönümleyici3	0	0	175126,85	837,3188	0,5

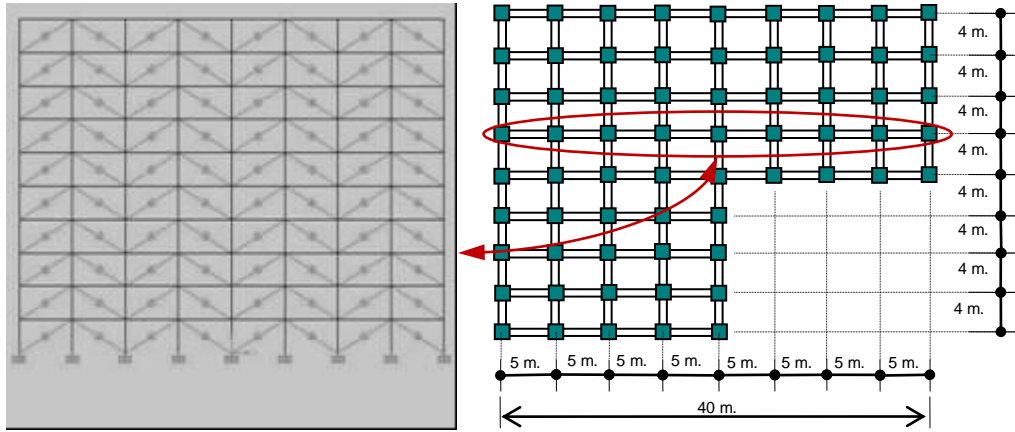
Analizlerde “zaman tanım alanında hesap (time history analysis)” yöntemi kullanılmıştır. Bu analiz türünde örnek bir deprem girdisine ihtiyaç duyulmaktadır. Dünyada en yaygın kullanılan deprem girdisi El Centro (1940) depremidir. Bu depremin en baskın unsuru derin kohezyonlu zeminlerde kaydedilmiş olması, spektrumunun yumuşak sertlikteki zeminlerin dışında bulunmasıdır. $T \geq 0,5$ s olan yapılar için dünyada en çok kullanılan deprem kaydı budur. Ayrıca çoklu şoklar içermektedir [10]. Dolayısıyla bu araştırmada El-Centro (1940) depremi SE bileşeni bütün modellerde kullanılmıştır. Asimetrisi artırılmış 10, 15 ve 20 katlı modellerde ise El Centro (1940 iki kat artırılmış), Marmara (1999), Northridge(1994) ve Kobe (1995) deprem kayıtları da kullanılmıştır.

2.4. Modellere İlişkin Detaylar

Modellerde sönümleyiciler tamamen yapı içinde ve diyagonal olarak yerleştirilmiştir. Yerleştirilen sönümleyiciler tüm katlara uygulanmıştır. Fakat tüm kolonlar arasında değil, belirli sıralara yerleştirilmiş ve bu belirli sıralara bir model ismi verilmiştir. Modellerde kullanılan sönümleyiciler tüm modellerde atıf yapılırken sönümleyici tipiyle birlikte kullanılmıştır. Örnek olması açısından Şekil 8’de yalnızca “model3 (3.Konum)” tipinde yerleşim gösterilmiştir. Bunun gibi “model1 (1.Konum)”, “model2 (2.Konum)”, “model4 (4.Konum)”, “model5 (5.Konum)” ve “model6 (6.Konum)” yerleşim türleri de mevcuttur. Yalnız 1 katlı modellerde “model4”, “model5” ve “model6” yerleşimleri uygulanmamış, diğer modellerde tamamı uygulanmıştır.

Modeller belirli bir algoritmaya göre türetilmiştir. Modellemede sönümleyici türleri ayrı ayrı kullanılarak üçlü gruplar oluşturulmuştur. Örneğin 14, 17, 20,... modellerinde Sönümleyici1 adlı sönümleyici kullanılmıştır. 15, 18, 21,... modellerde Sönümleyici2 adlı sönümleyici kullanılmıştır. 16, 19, 22,... Sönümleyici3 adlı sönümleyici kullanılmıştır. 1. model referans modeli olup, tabanı ankastre olan modeldir (Ankastre Mesnetli). 14, 15 ve 16. modellerde yapının X doğrultusundaki kenarlarında sönümleyici kullanılmıştır (1.Konum). 17, 18 ve 19. modellerde yapının X doğrultusundaki aks boyunca 1 kenarında sönümleyici kullanılmıştır (2.Konum). 20, 21 ve 22. modellerde yapının X doğrultusundaki

içerde kütle merkezine yakın 1 aksında sönümleyici kullanılmıştır (3.Konum). 23, 24 ve 25. modellerde yapının X doğrultusundaki aks boyunca düzensiz kenarında sönümleyici kullanılmıştır (4.Konum). 26, 27 ve 28. modellerde yapının X doğrultusundaki içerde kütle merkezine yakın 2 aksında sönümleyici kullanılmıştır (5.Konum). 29, 30 ve 31. modellerde yapının X ve Y doğrultusunda asimetriyi oluşturan kenarlarında sönümleyici kullanılmıştır (6.Konum). 32 ve 33 nolu modellerde asimetri arttırılmıştır. 32. model yapının X doğrultusunda asimetriyi oluşturan kenarı 3. tip sönümleyici ile kuşatılmış model (Sönümleyici3 (7.Konum)). 33. model yapının X doğrultusunda asimetriyi oluşturan kenarı 3. tip sönümleyici ile kuşatılmış model (Sönümleyici2 (7.Konum)).



Şekil 8. Modellerde yerleştirilen sönümleyicilerin konumu (burada örnek olarak "3.Konum" verilmiştir).

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapısal çözümlemede göz önüne alınan ve değerlendirilen davranışlar taban burulma momenti, kesme kuvveti değerleri, ötelenmeler, katlar arası görelî ötelenmeler ve kolonlara ait zorlamalardır.

Taban burulma momenti, iyileşme yüzdesi, taban kesme kuvveti ve iyileşme yüzdesi modeller için Tablo 2 ve 3 'de verilmiştir.

Tablo 2. Modellerin kat adetlerine göre burulma momenti ve azalma oranları (kN ve m)

Model No	Model Adı	1 Kat <i>M_z</i>	İyileşme %	5 Kat <i>M_z</i>	İyileşme %	10 Kat <i>M_z</i>	İyileşme %	15 Kat <i>M_z</i>	İyileşme %
14	Sönümleyici1 (1. Konum)	12376	43	23413	18	38020	29	22195	22
15	Sönümleyici2 (1. Konum)	16312	25	30337	-6	31988	40	29038	-2
16	Sönümleyici3 (1. Konum)	13944	36	27137	5	34590	35	25883	9
17	Sönümleyici1 (2. Konum)	34443	-59	57767	-101	39308	26	33460	-18
18	Sönümleyici2 (2. Konum)	52752	-143	89709	-212	55345	-4	49510	-74
19	Sönümleyici3 (2. Konum)	45032	-107	73471	-156	47879	10	41971	-48
20	Sönümleyici1 (3. Konum)	13726	37	24382	15	35699	33	24728	13
21	Sönümleyici2 (3. Konum)	16219	25	31800	-11	30417	43	30659	-8
22	Sönümleyici3 (3. Konum)	14600	33	27119	6	32284	39	27658	3
23	Sönümleyici1 (4. Konum)	---	---	61743	-115	61851	-16	35697	-26
24	Sönümleyici2 (4. Konum)	---	---	89442	-211	80887	-52	51095	-80
25	Sönümleyici3 (4. Konum)	---	---	60949	-112	61078	-15	35036	-23
26	Sönümleyici1 (5. Konum)	---	---	22956	20	43595	18	21913	23
27	Sönümleyici2 (5. Konum)	---	---	28429	1	39584	26	22234	22
28	Sönümleyici3 (5. Konum)	---	---	24758	14	43821	18	22011	23
29	Sönümleyici1 (6. Konum)	---	---	---	---	39579	26	21925	23
30	Sönümleyici2 (6. Konum)	---	---	---	---	33451	37	23018	19
31	Sönümleyici3 (6. Konum)	---	---	---	---	36081	32	22498	21

Tablo 3. Modellerin kat adetlerine göre taban kesme kuvveti ve azalma oranları (kN)

Model No	Model Adı	1 Kat İyileşme		5 Kat İyileşme		10 Kat İyileşme		15 Kat İyileşme	
		V _z	%	V _z	%	V _z	%	V _z	%
14	Sönümleyici1 (1.Konum)	5064	38	9467	17	14554	31	8615	9
15	Sönümleyici2 (1.Konum)	5704	31	9476	17	13302	37	9576	-1
16	Sönümleyici3 (1.Konum)	5209	37	8965	21	13566	36	9109	4
17	Sönümleyici1 (2.Konum)	5665	31	10240	10	16940	20	8308	13
18	Sönümleyici2 (2.Konum)	5738	30	9609	16	15789	25	8869	7
19	Sönümleyici3 (2.Konum)	5611	32	9848	14	16206	23	8570	10
20	Sönümleyici1 (3.Konum)	5907	28	10476	8	16407	22	8109	15
21	Sönümleyici2 (3.Konum)	6217	24	9877	13	15082	29	8616	9
22	Sönümleyici3 (3.Konum)	5987	27	10140	11	15575	26	8373	12
23	Sönümleyici1 (4.Konum)	---	---	10298	10	16489	22	8134	15
24	Sönümleyici2 (4.Konum)	---	---	9993	12	14954	29	8640	9
25	Sönümleyici3 (4.Konum)	---	---	10318	10	16581	21	8113	15
26	Sönümleyici1 (5.Konum)	---	---	10483	8	18066	14	8186	14
27	Sönümleyici2 (5.Konum)	---	---	9911	13	16757	21	8149	14
28	Sönümleyici3 (5.Konum)	---	---	10158	11	18140	14	8205	14
29	Sönümleyici1 (6.Konum)	---	---	---	---	16169	23	8101	15
30	Sönümleyici2 (6.Konum)	---	---	---	---	14398	32	8655	9
31	Sönümleyici3 (6.Konum)	---	---	---	---	15115	28	8384	12

Tablo 4. Ötelenme ile ilgili veriler (mm)

Model No	Kat Adedi	Model Tipi	En Üst Noktada Maksimum Ötelenme	En Üst Nokta İle Taban Arasında Görelî Ötelenme	İyileşme Yüzdesi	En üst iki kat düğümlerin ötelenme farkı	En alt iki kat düğümlerin Ötelenme Farkı
			Δ_{ist}	$\Delta_{ü}$	%	Δ_{d1}	Δ_{d2}
1	1 Katlı Modeller	Ankastre Mesnetli	-0,38	0,38	-	0,38	0,38
16		Sönümleyici3 (1. Konum)	-0,16	0,16	58	0,16	0,15
22		Sönümleyici3 (3. Konum)	-0,23	0,23	38	0,23	0,21
1	5 Katlı Modeller	Ankastre Mesnetli	4,77	4,77	-	0,71	0,73
15		Sönümleyici2 (1. Konum)	2,33	2,33	51	-0,07	0,46
21		Sönümleyici2 (3. Konum)	3,45	3,45	28	0,36	0,63
24		Sönümleyici2 (4. Konum)	3,93	3,93	18	0,26	0,42
1	10 Katlı Modeller	Ankastre Mesnetli	10,16	10,16	-	0,32	0,40
15		Sönümleyici2 (1. Konum)	-7,17	7,17	29	0,10	0,15
21		Sönümleyici2 (3. Konum)	-8,64	8,64	15	0,34	0,35
24		Sönümleyici2 (4. Konum)	-9,02	9,02	11	0,32	0,20
30		Sönümleyici2 (6. Konum)	-8,49	8,49	16	0,23	0,38
1	15 Katlı Modeller	Ankastre Mesnetli	6,2	6,2	-	0,3	0,3
15		Sönümleyici2 (1. Konum)	5,5	5,5	10	0,1	0,2
24		Sönümleyici2 (4. Konum)	6,7	6,7	-8	0,3	0,1
30		Sönümleyici2 (6. Konum)	6,4	6,4	-4	0,2	0,3

Tablo 5. Kolonlardaki maksimum iç kuvvet değerleri (kN, m)

Model No	Kat Adedi	Model Tipi	Taban Kolonlarındaki En Yüksek Kesme Kuvveti Ve İyileşme Yüzdesi		Alt Kattaki En Yüksek Eğilme momenti Ve Eksenel Kuvvet		Alt Kattaki En Yüksek Eksenel Kuvvet
			V _{max}	(%)	M _{max}	N _i	N _{max}
1	1 Katlı Modeller	Ankastre Mesnetli	-134,498	-	-237,110	6,570	38,440
15		Sönümleyici2 (1. Konum)	-60,351	55,1	83,320	2,610	17,680
22		Sönümleyici3 (3. Konum)	-84,985	36,8	128,190	3,930	25,270
1	5 Katlı Modeller	Ankastre Mesnetli	189,34	-	393,04	21,54	445,29
15		Sönümleyici2 (1. Konum)	124,72	34,13	253,47	62,50	425,63
27		Sönümleyici2 (6. Konum)	164,52	13,11	336,70	23,14	509,56
1	10 Katlı Modeller	Ankastre Mesnetli	348,27	-	795,72	1015,18	1022,22
14		Sönümleyici1 (1. Konum)	266,15	23,58	507,52	874,44	884,45
31		Sönümleyici3 (6. Konum)	266,19	23,57	545,19	918,94	918,34
1	15 Katlı Modeller	Ankastre Mesnetli	224,66	-	479,38	55,72	716,51
15		Sönümleyici2 (1. Konum)	162,67	27,59	343,87	134,90	753,07
30		Sönümleyici2 (6. Konum)	169,43	24,58	369,34	105,69	760,69

Ötelenme ile ilgili ortaya çıkan sonuçlar bazı modeller için Tablo 4’de verilmiştir.

Gevrek karakter taşıyan kesme kırılmasında süneklik olmadığı gibi enerji tüketimi de azdır. Kesme kırılması gösteren taşıyıcı eleman ve sistemde deprem dayanımı hızla düşer ve göçme ciddi bir olasılık haline gelir [2]. Bu nedenle taban kolonlarındaki kesme kuvveti değerleri incelemeye alınmıştır. Kolonlarda önemli diğer zorlamalar da eğilme momenti ve eksenel kuvvettir. Fakat kolonlarda bu değerleri birbirinden ayrı incelemek doğru olmaz. Kolonlardaki maksimum iç kuvvet değerleri Tablo 5’ de verilmiştir. Bu değerler mutlaka kolona ait karşılıklı etki diyagramında ele alınmalıdır.

Burulma momenti açısından 1. Konuma yerleştirilen sönümleyiciler büyük oranda iyileştirme yaptığı görülmektedir. Bunun yanında 2. Kaonuma yerleştirilen sönümleyicilerde yapı burulmasını olumsuz olarak etkilemiştir. Taban kesme kuvveti açısından ve eleman iç kuvvetleri açısından hemen hemen tüm modellerde iyileşme mevcuttur. Fakat 1. Konuma yerleştirilen sönümleyiciler daha yüksek oranda iyileşme sağlamıştır. Bazı modellerde %20 yi aşmayan bir kötüleşme görülmektedir. Yanlış konumlandırılan sönümleyicilerin yapı burulmasını arttırması ve bunun sonucu olarak yapı burulmasının kolonlara olumsuz yansımaları görülmüştür. Çünkü bu modellerde burulmayı artırıcı bir sistem oluşmuştur.

3.1. Farklı Deprem Etkilerinde Burulma Davranışı

Burada farklı deprem etkileri altında farklı modeller oluşturularak 10, 15 ve 20 katlı modellerin analizleri yapılmıştır. Yalnız El Centro depreminin NS bileşeni 2 kat arttırılmıştır. Modeller burulma olumsuzluğunu arttıracak şekilde düzenlenmiştir. Tablo 6’da 10, 15 ve 20 katlı modellerin maksimum ötelenme değerleri verilmiştir. Tablo 7’de 10, 15 ve 20 katlı modellerin taban kesme kuvvetleri ve Tablo 8’de aynı modellerin taban burulma momentleri verilmiştir.

Tablo 6. Maksimum Ötelenme Değerleri (cm)

Model İsmi	El Centro X 2			Kobe			Northridge			Marmara		
	10 kat	15 kat	20 kat	10 kat	15 kat	20 kat	10 kat	15 kat	20 kat	10 kat	15 kat	20 kat
Kıyas	47,8	44,4	65,3	63,8	32,5	52,7	15,7	27,2	16,0	17,5	64,0	51,4
32. Model	27,7	30,9	44,3	48,8	23,5	34,4	11,6	14,9	13,0	13,2	38,1	35,7
33. Model	23,1	28,7	41,1	45,3	22,5	30,1	10,3	13,8	12,9	12,5	33,5	34,8

Tablo 7. Taban Kesme Kuvveti (kN)

Modeller	15 kat Vx				Ortalama iyileşme yüzdesi
	El Centro x 2	Marmara	Kobe	Northridge	
Kıyas	22.996	33.726	18.760	13.976	
32. Model	16.994	20.594	14.558	10.828	29,6
33. Model	16.287	18.601	14.501	11.208	32,3
Modeller	20 kat Vx				Ortalama iyileşme yüzdesi
	El Centro x 2	Marmara	Kobe	Northridge	
Kıyas	30.461	18.868	26.296	11.458	
32. Model	22.466	16.119	20.167	9.756	21,3
33. Model	21.199	16.148	18.789	10.069	24,0

Tablo 8. Burulma Momenti (kN, m)

Modeller	15 kat Mz				Ortalama iyileşme yüzdesi
	El Centro x 2	Marmara	Kobe	Northridge	
Kıyas	117.075	113.398	145.180	81.551	
32. Model	133.054	114.263	172.019	87.365	-10,8
33. Model	129.525	117.767	172.123	87.807	-10,9
Modeller	20 kat Mz				Ortalama iyileşme yüzdesi
	El Centro x 2	Marmara	Kobe	Northridge	
Kıyas	111.557	110.305	79.865	54.595	
32. Model	125.733	150.673	112.506	65.810	-27,6
33. Model	126.106	151.388	112.150	67.783	-28,4

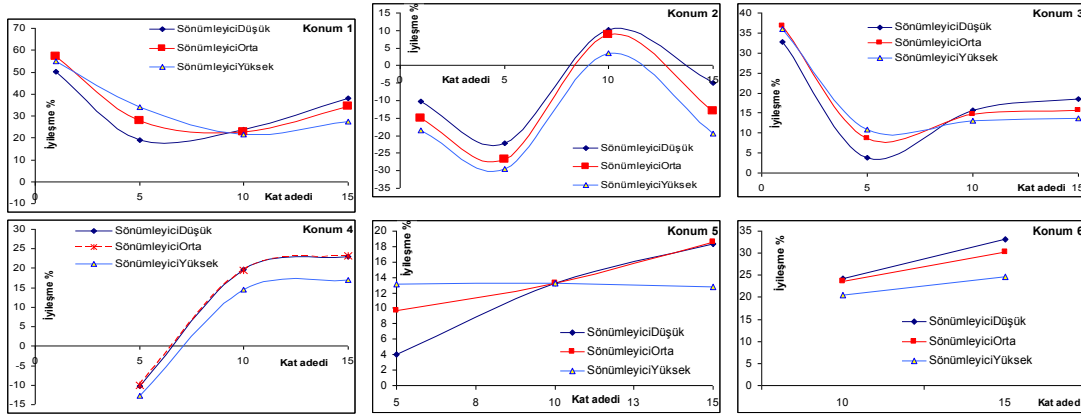
Tablo 7’de görüleceği üzere, taban kesme kuvveti açısından sönümleyici, konumuna bağlı olarak faydasında artış olmaktadır. Burulma momenti açısından ise bazı yerleşim konumları kötüleşmeye neden olabilmektedir. Fakat bu durumun kolon iç kuvvetlerine yansımaları söz konusu değildir. Burulma momenti açısından iyileşme, sönümleyicilerin konumuna bağlıdır. Rijitlik dağılımını kütle merkezine yaklaştıran konumlandırma burulma momenti açısından da iyileştirme sağlamaktadır. Doğal olarak, sönümleyiciler ancak sistemde bir hız var ise rijitlik kazanır. Hız yoksa yani statik durumda kuvvet taşımazlar. Kazandıkları bu rijitlik hızına bağlı olarak yapının rijitlik merkezini değişken hale getirmektedir. Farklı deprem etkileri yapıda farklı hızlara neden olduğu için bazı depremlerde iyileşme daha yüksek oranda olmuştur.

Şekil 9, 10 ve 11’deki grafiklerde sırasıyla maksimum kolon kesme kuvvetinin modellere göre iyileşme oranları, sönümleyicilerin kat adedine göre bina burulma momentinde sağladığı iyileşme oranları ve sönümleyicilerin kat adedine göre taban kesme kuvvetinde sağladığı iyileşme oranları görülmektedir.

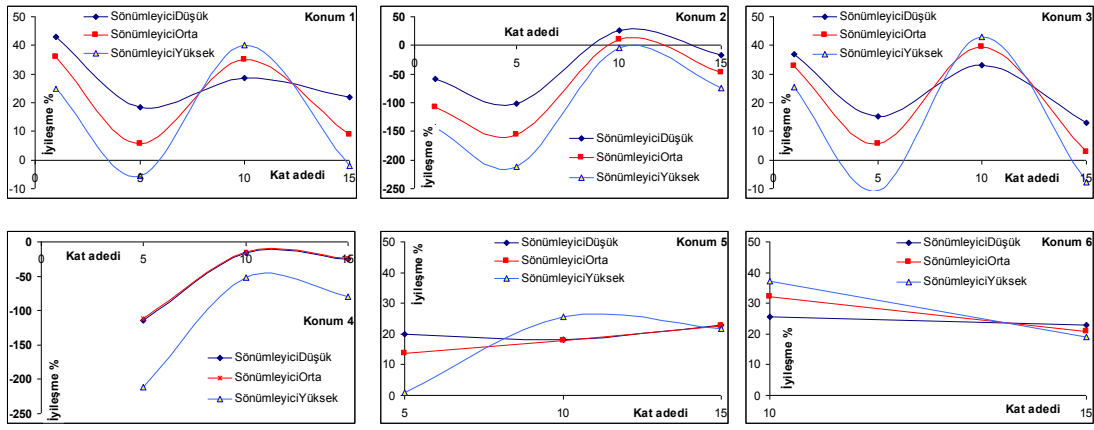
Şekil 9’da görüldüğü gibi, “Konum2” yerleşimi maksimum kolon kesme kuvvetinde %30’lara varan kötüleşmelere neden olmuştur. “Konum1” ve “Konum6” yerleşimi ise sırasıyla %50-%30 aralığında değişen iyileşmeleri sağlamıştır.

Şekil 9, 10 ve 11’de “Konum1” e dikkate edilecek olursa 5 katlı modellerde yüksek sönümleyici katsayısına sahip olanlar daha etkili bir iyileştirme sağlarken, 10 katlı modellerde düşük orta ve yüksek olanlar birbirine yakın iyileştirme sağlamış buna karşın 15 katlı modellerde (5 katlının tersine) düşük sönümleme katsayısına sahip sönümleyiciler daha etkili iyileştirme sağlamıştır.

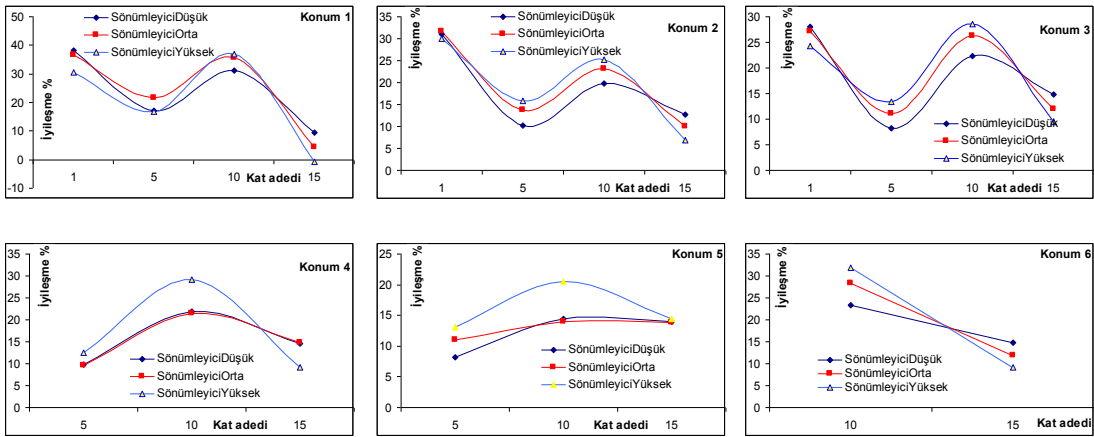
Bunun birincil etkeni düşük periyotlu yapıların yüksek hızda, yüksekliği fazla olan yapıların ise düşük hızda sahip olmasıdır. Bu durumda yapı periyoduna bağlı olarak sönümleme katsayıları değişken olan sönümleyiciler kullanılmalıdır.



Şekil 9. Maksimum kolon kesme kuvvetinin modellere göre iyileşme oranları.



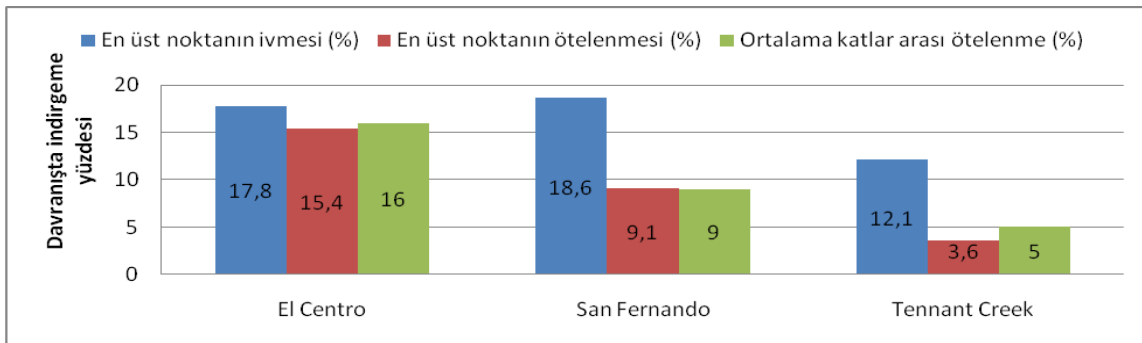
Şekil 10. Sönümleyicilerin kat adedine göre bina burulma momentinde sağladığı iyileşme oranları.



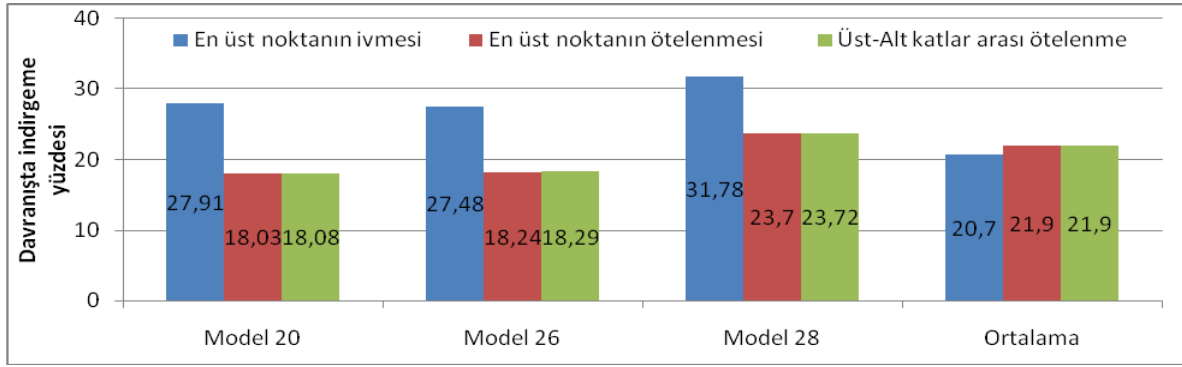
Şekil 11. Sönümleyicilerin kat adedine göre taban kesme kuvvetinde sağladığı iyileşme oranları.

4. ANALİZ SONUÇLARININ ÖNCEKİ ÇALIŞMALARLA KARŞILAŞTIRILMASI

Madsen [13] sönümleyicileri yapıda perde duvarlar içerisine yerleştirerek yapı davranışındaki değişimi araştırmıştır. İnceledikleri modeller 6 katlı yapı modelleri olup taban yalıtımı kullanmamışlardır. Elde ettikleri sonuçlar Şekil 12’de verilmiştir. Şekil 13’de ise bu çalışmadaki 5 katlı bazı modellerde elde edilen iyileştirme oranları verilmiştir. Buna göre bu çalışmada elde edilen iyileşme değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Fakat burada seçilen üç model iyileşmenin en yüksek olduğu modellerdir. Diğer modeller de dikkate alındığında ortalama değerin daha düşük çıkacağı unutulmamalıdır. Her iki çalışmanın karşılaştırılabilirliği de çok yüksek değildir. Çünkü kıyaslanan çalışmada perde kullanılmış ayrıca simetrik bir yapıda uygulanmıştır.



Şekil 12. Madsen’in [13] 6 katlı yapı modeli için elde ettiği iyileştirme oranları.



Şekil 13. Bu çalışmada 5 katlı bazı modellerde elde edilen iyileştirme oranları.

Lin ve diğerleri [14] düzensiz yapılarda sismik davranışın TMD denilen ayarlı kütle sönümleyicileri kullanılarak iyileştirilmesini araştırmışlardır. Bu çalışma ile kıyaslayabilmek için araştırmalarında elde ettikleri sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir. Bu çalışmadaki bazı modellere ait sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir.

Beş farklı gerçek deprem kaydı altında yapılan analizler sonucu %10 dan %30 kadar değişen oranlarda iyileşme görülmektedir. Bu çalışmada ise aşağıda görüldüğü gibi seçilen çeşitli modellerde %15 den %28 kadar değişen iyileşmeler olmuştur.

Tablo 9. Lin ve diğerleri'nin [14] B1 modeli için elde ettiği sonuçlar (RMS: root-mean-square) (cm)

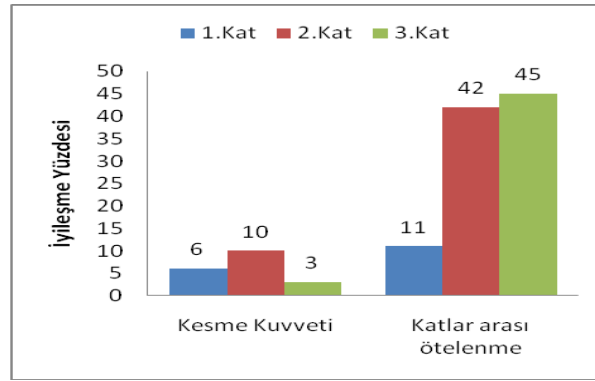
Deprem Kaydı	Pik Ötelenme (cm)		RMS Ortalama Ötelenme (cm)		Maksimum Ötelenmede iyileşme (%)	RMS Ortalama Ötelenmede iyileşme (%)
	Sönümleyici var	Sönümleyici yok	Sönümleyici var	Sönümleyici yok		
El Centro	15,75	23,10	2,69	4,96	31,82	45,77
Taft	13,56	17,15	1,74	3,13	20,93	44,41
San Fernando	5,46	6,31	0,76	0,95	13,47	20,00
Mexico	40,37	77,61	8,83	19,02	47,98	53,58
Kobe	15,85	22,17	2,36	4,88	28,51	51,64

Tablo 10. Bu çalışmada kullanılan çeşitli modellerdeki en üst noktanın ötelenmesindeki iyileşmeler

Davranıştaki iyileşme yüzdesi	En üst noktanın ötelenmesinde iyileşme yüzdesi (El Centro 1940-SE)				
	Model 20	Model 21	Model 26	Model 28	Ortalama
	18,03	27,70	18,24	23,70	21,9

Davranışı TMD kadar viskoz sönümleyicilerin de iyileştirdiğini bu sonuçlar göstermektedir. Bu iki çalışmanın karşılaştırılabilirliği diğerlerine göre yüksektir. Çünkü her iki çalışma da düzensiz yapı modellerini içermektedir.

Molina ve diğerleri [15] sönümleyicilerin etkisini ve takviye olarak betonarme ve çelik yapılarda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçları çalışmalarında kat ötelenmeleri, katlar arası ötelenme değerleri ve kat kesme kuvvetleri açısından davranış iyileşmeleri şeklinde vermişlerdir. Kat kesme kuvvetinin sönümleyicisiz sistemle, sönümleyicili sistemde değerleri Şekil 14'de verilmiştir. Bu çalışmada seçilmiş çeşitli modellerin katlar arası ötelenme farkları Tablo 11'de verilmiştir. Tablo 12'de ise bu çalışmada seçilmiş çeşitli modellerin taban kesme kuvveti ve indirgeme oranları verilmiştir.



Şekil 14. Molina ve diğerlerinin [15] elde ettikleri iyileşme yüzdeleri.

Katlar arası ötelenme farkı açısından iki çalışma karşılaştırıldığında sonuçların uyduğu görülmektedir. Ayrıca kat kesme kuvvetleri açısından da burada verilen modellerin Molina ve diğerlerinin [15] çalışmasıyla çok az bir farkla örtüştüğü görülmektedir. Şöyle ki, bu çalışmada ortalama 0,85 civarında olan indirgeme oranı, bahsi geçen çalışmada 0,94 olarak çıkmaktadır.

Tablo 11. Bu çalışmada seçilmiş çeşitli modellerin katlar arası ötelenme farkları (mm)

Kat No	Kontrol Modeli	Model 14	Model 17	Model 25	Model 28	Ortalama	Sönümleyicili/Sönümleyicisiz
1	7,3	5,6	6,7	6,3	6,2	6,2	0,85
2	11,2	8,7	10,4	10,0	9,6	9,7	0,87
3	11,6	8,0	9,5	9,3	8,8	8,9	0,77
4	10,2	6,1	7,4	7,2	6,7	6,9	0,68
5	6,6	3,4	4,6	4,4	3,9	4,1	0,62

Tablo 12. Bu çalışmada seçilmiş çeşitli modellerin taban kesme kuvveti ve indirgeme oranları

Model No	Model Tipi	Taban Kesme Kuvveti (kN)	İndirgeme Oranı
16	Sönümleyici3 (1. Konum)	8.965,17	0,77
29	Sönümleyici1 (6. Konum)	10.482,67	0,92
22	Sönümleyici3 (3. Konum)	10.139,68	0,89

5. SONUÇ

Optimal bir sönümleyici dağılımı ile yapıda büyük iyileştirmeler sağlanabilir. Maksimum kolon kesme kuvveti açısından “Konum2” yerleşimi %30 lara varan kötüleşmelere neden olmuştur. “Konum1” ve “Konum6” yerleşimi ise sırasıyla %50-%30 aralığında değişen iyileştirmeleri sağlamıştır. Ayrıtların yerleştirilmesinde mutlaka asimetrinin durumu dikkate alınmalı ve yapının yüksek hız davranışı gösteren esnek kenarına yakın bölgelere sönümleyici konulmalıdır.

Sönümleyicilerin yerleşim yerinin seçiminde çok duyarlı davranmak zorunlu değildir. Yerleşim yeri nokta olarak değil bölge olarak tanımlansa da, yeterli iyileşme sağlanmaktadır.

Sönümleyiciye gelen kuvvet, hız davranışının bir fonksiyonu olduğundan; çok katlı yapılarda kullanılan sönümleyicilerin sayısının ve özelliklerinin bina yüksekliği boyunca değişken olması uygundur.

Kat adedine ve yerleşime bağlı olarak sönümleyicinin tipi de davranışın iyileştirilmesinde etkili olmaktadır. Örneğin 5 katlı modellerde yüksek sönümleyici katsayısına sahip olanlar daha etkili bir iyileştirme sağlarken, 10 katlı modellerde düşük orta ve yüksek olanlar birbirine yakın iyileştirme sağlamış buna karşın 15 katlı modellerde (5 katlının tersine) düşük sönümleme katsayısına sahip sönümleyiciler daha etkili iyileştirme sağlamıştır.

Yapının asimetrisinden kaynaklanan burulma olumsuzlukları pasif kontrol sistemlerinden viskoz sönümleyiciler ile ortadan kaldırılabılır.

KAYNAKLAR:

1. Tsang, H.H., 2009, Earthquake Engineering:New Research (Chapter 3 :Geotechnical Seismic Isolation), Nova Science Publishers Inc., New York
2. Atımtay, E. , 2000, Betonarme Sistemlerin Tasarımı I-II, ODTÜ Yayını, Ankara.
3. Ristic, D., 1993, Control of Structural Behaviour-Part 2:Passive Structural Control, Lectures for the International Post Graduate Studies, Skopje.
4. Connor, J., J., 2000, Introduction to Structural Motion Control, Acrobar Reader dosyası olarak <http://moment.mit.edu/HPS/mbdTextbook/> adresinden 9-8-05 de alınmıştır.
5. Whittaker, A., Reinhorn, A., Seismic Rehabilitation Using Supplemental Damping Devices, <http://overlord.eng.buffalo.edu/ClassHomePages/cie619/Lectures/> adresinden 24/9/2001 tarihinde alınmıştır.
6. Chopra, A.K., 2001, Dynamics of Structures-Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
7. Kelly, T.E., 2001, In-Structure Damping and Energy Dissipation, Holmes Consulting Group Ltd, Wellington
8. Gülay, F.G., Çalım, G., 2003, A Comparative Study of Torsionally Unbalanced Multi-Storey Structures under Seismic Loading, Turkish J. Eng. Env. Sci., 27 (2003), 11-19, TÜBİTAK
9. Naeim, F., Kelly, J.M., 1999. Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice, John Wiley & Sons Inc., New York.
10. Hasgür, Z., Gündüz N., 1996, Betonarme Çok Katlı Yapılar, Beta Yayınları, İstanbul
11. Celep, Z., Kumbasar,N., 2000, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul
12. Karabörk, T., 2001, Titreşim Kontrol Sistemleri ve Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak Uygulamaları, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sakarya.
13. Madsen, L.P.B., Thambiratnam, D.P., Perera, N.J., 2003, Seismic response of building structures with dampers in shear walls, Computers and Structures 81 (2003) 239–253
14. Lin, C.C., Ueng, J.M., Huang, T.J. 1999, Seismic response reduction of irregular buildings using passive tuned mass dampers, Engineering Structures 22 (1999) 513–524
15. Molina, F.J., Sorace, S., Terenzi, G., Magonette, G., Viacoz, B., 2004, Seismic tests on reinforced concrete and steel frames retrofitted with dissipative braces, Earthquake Engineering And Structural Dynamics, 33:1373–1394
16. CSI, 2001, SAP 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Grafic User Interface Manual, Computers and Structures Inc., Berkley, California, USA