

## ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA YATAY DEPLASMANIN DİYAGONALLERLE KONTROLÜ

Hasan GÖNEN<sup>1</sup>

**ÖZET:** Dinamik yükler altında yapıların yanal deplasmanlarının kontrol edilmesi, taşıyıcı olmayan elemanların hasara uğramaması ve çalışma ve yaşam konforunun sağlanması açısından gereklidir. Çelik yapılar betonarme yapılara nazaran ağırlıkça daha hafif olduğundan daha düşük yanal rijitliğe sahiptir. Klasik kolon-kirli çelik çerçevelerde kirişlerin (EI/L) rijitlik oranları artırılarak yanal deplasmanlar kontrol edilirken, çerçeve-kesme kafes sistemlerde kat salınım faktörünün kontrolü diyagonal elemanların düğüm noktalarına konsantrik veya eksantrik olarak bağlanması yoluyla gerçekleştirilmektedir. En etkili kat salınım faktörü kontrolü konsantrik diyagonal elemanlı çerçevelerde mümkün olurken, eksantrik diyagonal çerçevelerde "kiriş bağlantı elemanı" (eksantrisite) boyu kısalıkça konsantrik diyagonal çerçeve sonuçlarına yaklaşıldığı görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELEER :** Çelik yapılar, yanal deplasman, diyagonal

## CONTROLS OF LATERAL DISPLACEMENTS OF MULTI- STOREY STEEL FRAMES BY DIAGONAL ELEMENTS

**ABSTRACT :** It is necessary to control the lateral displacements (drift) of structures under earthquake loads in aspects of not to damage to non-structural elements and realizing the work and living comfort. Because steel structures are lighter than reinforced concrete structures, they have less lateral stiffnesses. In moment resistant frames lateral stiffnesses are controlled by increasing the stiffness ratios (EI/L) of girders. In braced frames drifts are controlled by arranging the diagonal elements concentrically and eccentrically. The most effective story drift control realized in concentrically braced frames. In eccentrically braced frames, drift control becomes successful when the length of beam link goes shorter.

**KEYWORDS:** Steel structures, lateral displacements, drift, bracing

<sup>1</sup> Hasan GÖNEN, Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik, 26480 ESKİŞEHİR

## ***I.GİRİŞ***

Bir mil yüksekliğinde binaların tasarlanmak istendiği günümüzde modern yapılar, rüzgar ve deprem etkisinde, öncelikle konforun sonra da yapısal bütünlüğün ve taşıma gücünün yok olmasıyla neticelenen bir davranış gösterebilir.

Yapı yüksekliği arttıkça, teknolojik gelişmeler ekonomik gerekçelerle yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının toplam ağırlığının azalması sonucunu doğurmuştur. Bu yüzden, bina yüksekliğinin genişliğine oranı 4 veya 5'i aştığında yatay deplasmanı makul sınırlar içinde tutabilmek için ilave rijitliğe ihtiyaç duyulmaktadır.

A.B.D'de New York şehrinde rüzgara açık bir yüksek yapıda çalışanlarda öğleden sonraları hafif rahatsızlıklar [1] ve % 50 verim düşüklüğü görülmüş, sebebi araştırıldığında, rüzgar nedeniyle binanın salınım yaptığı tespit edilmiştir. Bina, çerçeve elemanları kuvvetli kiriş-zayıf kolon durumu ortaya çıkarmayacak şekilde, daha fazla rijitleştirilerek olumsuz etkiler ortadan kaldırılmıştır.

Yüksek yapılarda kiriş-kolon birleşimleri –dinamik etkilerden dolayı ortaya çıkan enerjiyi yutmak amacıyla- sünek bir davranış göstermelidir. Betonarme yapılarda kiriş-kolon birleşimlerinde sünek davranışa uygun donatı düzenlenmesi gerçekleştirilse de kritik noktalarda ciddi donatı yığılmaları yüzünden sünek davranıştan uzaklaşmaktadır. Diğer yandan, moment tipi kaynaklı çelik çerçevelerin [2] kolon-kiriş birleşimleri sünek bir moment-dönme davranışı sergilemektedir.

## ***II.YANAL DEPLASMAN KONTROL SİSTEMLERİ***

### ***II.1. Aktif Kontrol Sistemleri (Dışardan sağlanan enerjiyle çalıştırılan kontrol sistemleri)***

Aktif kontrol yöntemleri olarak, bilgisayarlarla kontrol edilen elektro-hidrolik mekanizmalarla, yapının önceden seçilen katlarına çelik kabloların gerilip gevşetilmesi (mevcut yapıların iyileştirilmesinde sıkça kullanılan aktif kablolu kontrol), yine özel mekanizmalarla binanın en üst katına yerleştirilmiş ağır beton blokların kontrol edilerek binanın dinamik yüklerden oluşan salınımlarının azaltılması (aktif kütleli kontrol), yüksek yapılarda rüzgardan kaynaklanan yanal hareketi azaltmak amacıyla, rüzgar enerjisinden yararlanılarak aerodinamik parçaların kullanılması ve asma köprülerde rüzgardan oluşan titreşimlerin jiroskoplara azaltılması ve aktif kontrol edilen hava odacıkları ile dalgalardan oluşan çelik odaların hareketini sağlama şeklinde yollar

izlenmektedir [3]. Aktif kontrol sistemleri, üç gruptan oluşmaktadır. Birinci grup yapının çeşitli bölgelerine yerleştirilmiş hassas alıcılar, dış yükleri veya yapının davranış parametrelerini veya her ikisini birden ölçmektedir. Ölçülen bilgiyi işlenen ve kullanılan kontrol algoritmasına göre gereken kontrol kuvvetlerini kapsayan aletler, sistemde ikinci grubu oluşturmakta, üçüncü grup olarak da; hesaplanan kütleleri dıştan verilen enerjiyle üretilen kuvvet-üreticileri, sistemi tamamlamaktadır.

Sadece yapı davranış parametreleri ölçülürse, bu parametreler sürekli izlenerek kontrol kuvvetlerinde düzeltmeler yapan algoritma kapalı-devre kontrolü, ölçülen dinamik etkilere göre düzenlenen kontrol kuvvetleri algoritması açık-devre kontrolü olarak adlandırılır. Her iki algoritmayı da içeren sistem de açık-kapalı devre kontrolü olmaktadır. Basit modeller kullanılarak geliştirilen yanal deplasman kontrol mekanizmaları gerçek yapıya uygulandığında kontrol ve izleme hataları ve stabilite bozuklukları ortaya çıkmaktadır.

Ölçülen bilgilerin işlenmesi, bilgisayardan geçip kontrol kuvvetlerinin uygulanması sırasında ortaya çıkan zaman gecikmesi ideal sisteme göre kontrolün uygulanmasını engellemektedir. Zaman gecikmesinin dengelenmesi ölçülen değişikliklere faz ötelemesi uygulayarak kontrol kazançlarını değiştirmek ya da ölçülen bilgileri dinamik veya kinematik olarak sisteme uygulanması yoluyla yapılmaktadır.

Kontrol elemanlarının sayısı yerleştirme ve binanın tümüne dağılımının zorluğu sebebiyle sınırlı olduğundan giriş-çıkış bilgilerinde gerçeğe yaklaşma problemi vardır.

Şiddetli etkilere maruz yapılarda, nonlineer ve zamana bağlı olarak bozulan bir yapı davranışı söz konusu olduğundan; zamana bağlı parametre değişimi ve sistemin bu şekilde tanınması ve kontrolü önemli bir problemdir.

Aktif kontrol sistemlerinin çok seyrek olarak görev yapacak olması yüzünden sistemin bakımı ve gerekli performans seviyesinde tutulması ve sistemin çalışması gerektiği zaman dış enerji kaynağının kesilmesi ihtimali güvenilirlik açısından ciddi problemdir.

### ***II.2. Pasif Kontrol Sistemleri (Dışardan ilave enerji gerektirmeyen sistemler)***

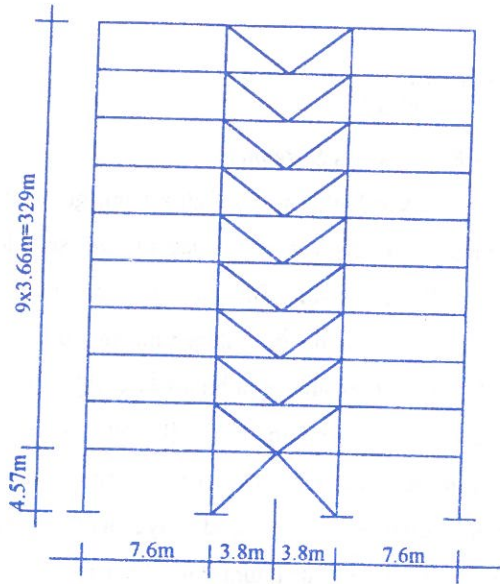
Çerçeve, perde ve tüp elemanlarının tek tek veya bunların değişik kombinezonları kullanılarak uygun yapı sisteminin seçimi; tercih edilmeyen bir metod olan yapı (kirişlerin) ağırlığının artırılması; dış kolonların eğimli olarak düzenlenmesi ve

prizmatik tüp formlarını kullanarak etkili bina formunun seçimi ve çerçeve-kesme kafes sistemi kullanılması yoluyla yapıların yatay deplasmanlarını kontrol etmek mümkündür. Bu çalışmada klasik kolon-kirişli rijit çerçeve ve diyagonalleri konsantrik ve eksantrik olarak düzenlenen çerçeve-kesme kafes sistemleri kullanılarak yapıların yanıl deplasman kontrolü ağırlıklı olarak incelenecektir.

### ***III. KLASİK KOLON-KİRİŞLİ RİJİT ÇERÇEVE SİSTEMİ***

Rijit çerçeve sisteminde düğüm noktalarında alt ve üst kolonların moment kapasiteleri toplam kiriş momentlerinden daha büyük olmalıdır. Böylece plastik moment ve plastik mafsalların oluşumu kolonlar yerine kirişlerde teşekkül etmesi sağlanarak çerçevenin stabilitesi tehlikeye düşürülmemiş olacaktır Fleming ve diğerleri [4] tarafından üç açıklıklı çerçeveler üzerinde yapılan bir incelemede, binada relatif kiriş rijitliklerinin (EI/L) artmasının, yapıya ait bir kat döşemesinin diğer (alt ve üst) döşemelere göre relatif yatay deplasmanın kat yüksekliğine oranı olarak tarif edilen kat salınım faktörünü oldukça azalttığını göstermiştir. Çalışma, kat salınım faktörünü % 50 azaltmak için, relatif kiriş rijitliğinin düşey yükleri karşılamak için gerekli rijitliğin üç katı olması gerektiğini göstermiştir. Bu da kirişlerin kolonlardan daha fazla rijit olmasını gerektirdiğinden çerçeve stabilitesi ve ekonomi açısından uygun görülmemektedir.

Klasik kolon-kirişli çerçeve sistemlerinin yatay deplasmanlarını incelemek üzere yüklemesi ve geometrisi Şekil 1'de literatürde verilen çerçevede [5] diyagonaller kaldırılarak rijit çerçeve elde edilmiş, bu çerçeve; statik analizlerinde  $P-\Delta$  tesirlerini göz önüne alan, kuvvetli kolon-zayıf kiriş prensibini kullanan ve maksimum kat salınım faktörünü kontrol eden, otomatik boyutlandırılmasında TS4561 (Çelik Yapılarda Plastik Hesap Kuralları) Standardının [6] ön gördüğü kuralları uygulayan ve çeşitli yük kombinasyonlarını göz önüne alan bir entegre (analiz ve boyutlandırma) bilgisayar programı [7] tarafından analiz edilip boyutlandırılmıştır. Kolonların ağırlığı 31.92 ton, kirişlerin ağırlığı 33.52 ton olmak üzere toplam çerçeve ağırlığı 65.44 ton olmuştur.

**DÜŞEY YÜKLER:**

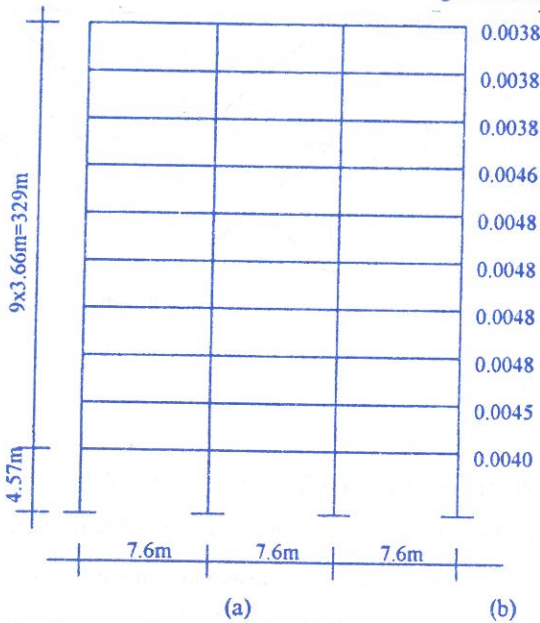
Zati yük:	Çatı katı	: 0.489 t/m <sup>2</sup>
	Diğer katlar	: 0.586 t/m <sup>2</sup>
Hareketli yük:	Çatı katı	: 0.078 t/m <sup>2</sup>
	Diğer katlar	: 0.342 t/m <sup>2</sup>

**YATAY YÜKLER**

Kat	Rüzgar	Deprem
10	4.08t	13.84t
9	4.08t	15.01t
8	7.48t	13.40t
7	6.80t	11.78t
6	6.80t	10.16t
5	6.80t	8.54t
4	6.23t	6.92t
3	5.44t	4.67t
2	4.43t	3.68t
1	5.44t	1.98t

Şekil 1. Çerçeve geometrisi ve yapıya etkiyen yükler.

Program, kat salınım faktörlerinin öngörülen maksimum değer olan 0.005'ten küçük olmasını sağlamak üzere kirişler, kolonlardan daha ağır olarak boyutlandırılmıştır. Şekil 2'de bu çerçevenin kat salınım faktörleri gösterilmiştir.

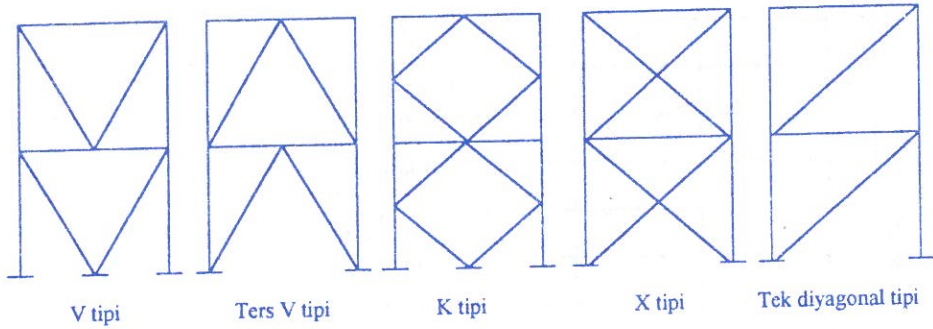


Şekil 2. a) Klasik kolon-kirişli rijit çerçeve, b) Kat salınım faktörleri

## IV. ÇERÇEVE-KESME KAFES SİSTEMİ

### IV.1. Diyagonalleri Konsantrik Çerçeve-Kesme kafes Sistemler

Prencip olarak Şekil 3'te gösterildiği gibi birkaç berkitme konfigürasyonu göz önüne alınabilir, fakat Şekil 3'teki konfigürasyonlar dışında daha değişik ve şekildeki konfigürasyonların kombinasyonları da kullanılmaktadır. Bu berkitme sistemleri tek açıklıkta düzenlendiği gibi, bitişik birkaç açıklıkta da düzenlenebilmekte, bazen de binanın yanal deplasmanını daha etkili kontrol etmek amacıyla bina yüksekliği boyunca birden fazla olmak üzere bütün açıklıklarda düzenlenebilmektedir [8]. Bu sistemlerde enerjinin yutulması, diyagonal elemanların tekrarlı burkulmaları ve boylarının uzaması yoluyla gerçekleşir. Enerjinin yutulması mertebesi büyük ölçüde diyagonal elemanın (KL/r) narinliğine bağlıdır. Narinliğin, TS 4561'de maksimum 250 olmasına müsaade edilmişse de 50 ile 100 arasında olması tavsiye edilir. Daha düşük narinlik, büyük toplam sistem rijitliğinin ortaya çıkmasına ve daha büyük deprem yükünün meydana gelmesine sebep olur.



Şekil 3. Konsantrik berkitme sistemleri.

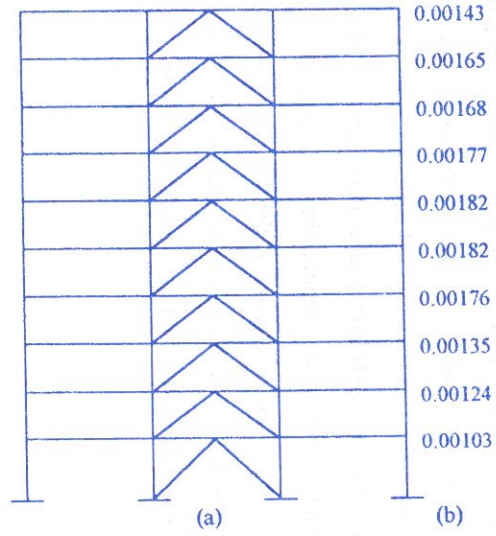
Diyagonalleri konsantrik berkitme sistemlerine örnek olarak V tipi, ters V tipi ve tek diyagonal berkitme sistemleri bölüm III'te kullanılan çerçeve ebadı ve yükleme, ağırlık ve yanal deplasman bakımından karşılaştırma yapmak üzere aynen alınmış, orta açıklığa yukarıda anılan berkitme sistemlerinden ters V tipi, V tipi ve tek diyagonal berkitme tipi ayrı ayrı yerleştirilerek analiz ve boyutlandırmaya tabi tutulmuştur. Ters V tipi

çerçeve toplam 50.87 ton ağırlıkla en hafifi ve en az yatay deplasman yapanı olmuş, V tipi çerçeve toplam 52.20 ton ağırlıkla ters V tipi çerçeveye göre çok az bir oranda ağırlaşırken kat salınım faktörü açısından tek diyagonalli çerçeveye yaklaşmıştır. Tek diyagonalli sistem ise 68.27 ton ağırlıkla en ağır ve yatay deplasmanı en fazla sistem olmuştur. Şekil 4, 5 ve 6'da ters V tipi, V tipi ve tek diyagonalli çerçeveler ve kat salınım faktörleri sırasıyla gösterilmiştir.

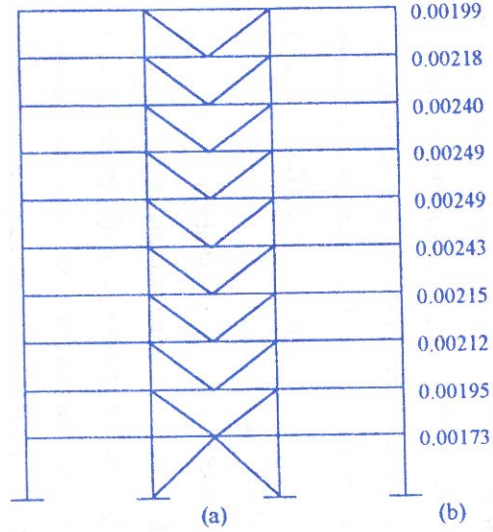
#### ***IV.2. Diyagonalleri Eksantrik Çerçeve-Kesme Kafes***

Sistemler Şekil 7'de görüldüğü gibi eksantrik diyagonalli çerçevelerde diyagonallerin en azından bir ucu düğüm noktasında birleşmez, düğüm noktasından e kadar eksantrik olarak kiriş üzerine oturur. Düğümünden sapma mesafesi e olan bu elemana "kiriş bağlantı elemanı" adı verilir. Bu tip sistemlerde büyük deprem yükünden ortaya çıkan enerjinin yutulması ve taşıma gücü kaybı olmadan büyük deformasyonların alınması kiriş bağlantı elemanı sayesinde gerçekleşir. Klasik kolon-kirişli rijit çerçevelerde enerji yutulması sünek-moment bölgeleri olan düğüm noktaları civarında sağlanırken, eksantrik diyagonalli çerçevelerde kiriş bağlantı elemanları tarafından gerçekleştirilir. Bu sistemlerle ilgili 1/1 ölçekli başarılı sonuçlar veren araştırmalar Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley'de E.P. Popov [9] tarafından gerçekleştirilmiştir.

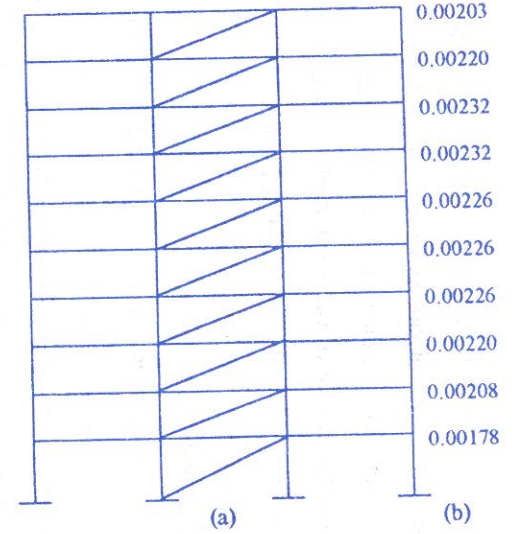
Eksantrik diyagonalli çerçevelerin potansiyel avantajlarını kestirmek için, bu çerçevelerin hem elastik rijitliği hem de göçme mekanizmaları incelenmelidir. Elastik açıdan bakıldığında eksantrik diyagonalli çerçeveler yanal rijitliği arttırmada mükemmel çözümler sunarlar. Gerçekte, bağlantı elemanının e uzunluğu bu sistemlerin elastik yanal rijitliğinde çok önemli etkiye sahiptir,  $e=0$  durumunda, yani konsantrik diyagonalli çerçevelerde, rijitlik açıkça optimum ve  $e=L$  durumunda, yani klasik kolon-kirişli rijit çerçevelerde, yanal rijitlik minimumdur. Bağlantı elemanı boyunun  $0.5L$ 'den büyük olduğu durumlarda eksantrik diyagonallemenin etkisi ihmal edilebilir. Fakat, kısa kiriş bağlantı elemanı boyu, rijitlik arttırmada göz önüne alınmalıdır ve eksantriklik mesafesi değiştirilerek öngörülen kat salınım faktörünün aşılması sağlanabilir. Eksantrik diyagonalli çerçevelere örnek olarak, önceki bölümlerde kullanılan çerçeve, boyutları ve yüklemesi aynen alınarak eksantrik diyagonal düzenlemeleri olarak Şekil 7 (a), (b) ve (d) formları uygulanmış ve yukarıda anılan entegre bilgisayar programı yoluyla boyutlandırılmıştır.



Şekil 4. Ters V tipi çerçeve ve kat salınım faktörleri.



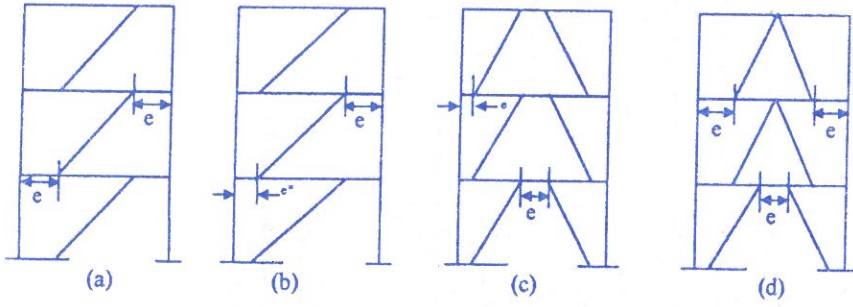
Şekil 5. V tipi çerçeve ve kat salınım faktörleri.



Şekil 6. Tek diyagonalli çerçeve ve kat salınım faktörleri.

Diyagonalleri konsantrik çerçeve-kesme kafes sistemler



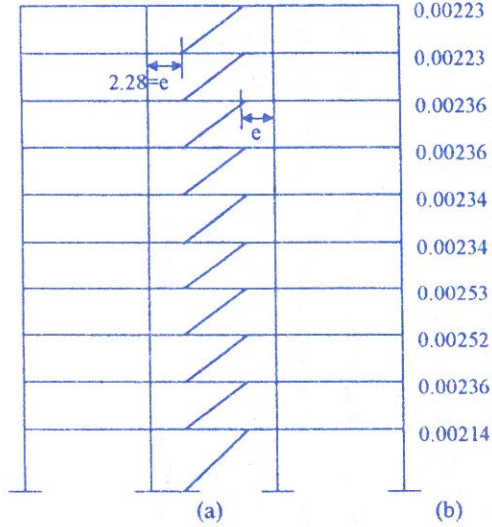


Şekil 7. Eksantrik diyagonalli çerçeveler için bazı düzenlemeler.

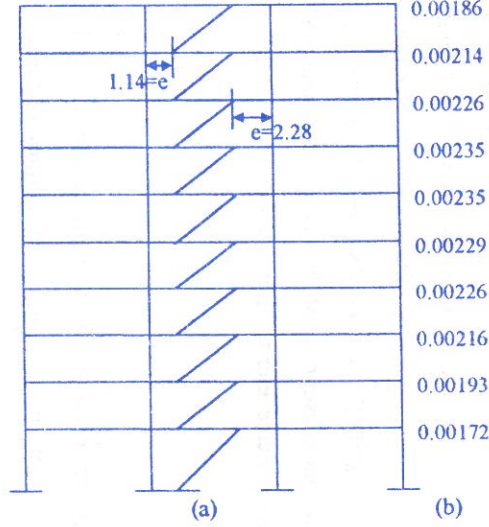
Eksantrisite mesafeleri eşit olan (a) formlu çerçevenin toplam ağırlığı 66.29 ton, soldaki eksantriklik mesafesinin sağdaki eksantrisite mesafesinin yarısına eşit olan (b) formlu çerçevenin toplam ağırlığı 65.67 ton ve (d) formlu eksantrik ters V çerçevesinin ağırlığı ise 62.15 ton olmuştur. Yanal deplasmanların büyüklüğü, çerçeve ağırlıklarıyla ters orantılı olarak gerçekleşmiş, yani en fazla kat salınım faktörü eksantrik ters V diyagonalli çerçevede meydana gelmiştir. Eksantrik tek diyagonalli çerçeveler karşılaştırıldığında  $e$  eksantrisite mesafesinin kısaltılmasıyla kat salınım faktörünün büyüklüğünde azalma gözlenmiştir. Çerçeveler ve ilgili kat salınım faktörleri Şekil 8,9 ve 10'a gösterilmiştir.

## V. SONUÇ

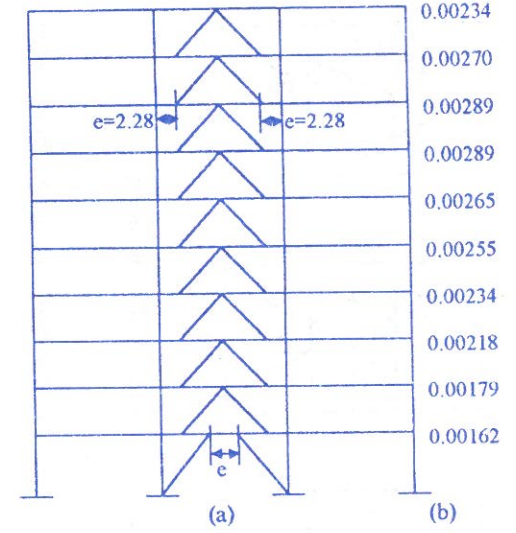
Klasik kolon-kirişli rijit çerçeveler, eksantrik diyagonalli çerçeveler ve konsantrik diyagonalli çerçeveler ağırlık ve yanal deplasmanlar (kat salınım faktörü) açısından incelenmiştir. Klasik kolon-kirişli rijit çerçeveler ağırlık bakımından eksantrik diyagonalli çerçevelerle yaklaşık olarak aynı ağırlığa sahip olurken, kat salınım faktörü açısından eksantrik diyagonalli çerçevelerin yanal deplasmanları rijit çerçeve yanal deplasmanlarının yaklaşık yarısına eşit olmaktadır. Kiriş bağlantı elemanı boyunun ( $e$ ) azaltılmasının yanal deplasmanı olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Konsantrik diyagonalli çerçeveler, hem ağırlık hem de yanal deplasman açısından rijit çerçeve ve eksantrik diyagonalli çerçeve sistemlerine nazaran beklendiği gibi daha olumlu sonuçlar vermiştir. Farklı diyagonalli sistemler için yanal deplasmanların karşılaştırılması Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Eşit eksantrisiteli tek diyagonalı çerçeve ve kat salınım faktörleri.



Şekil 9. Farklı eksantrisiteli tek diyagonalı çerçeve ve kat salınım faktörleri.

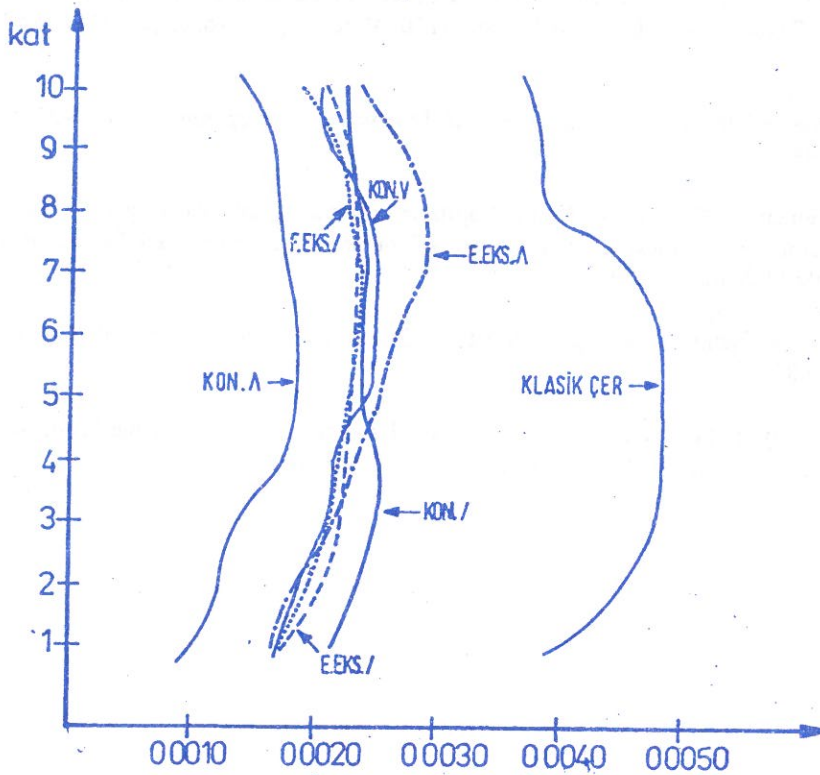


Şekil 10. Eşit eksantrisiteli ters V tipi çerçeve ve kat salınım faktörleri.

Diyagonalleri eksantrik çerçeve-kesme kafes sistemler

Aktif kontrol sistemlerinin;

- Şiddetli etkilere maruz yapılarda, nonlineer ve zamana bağlı olarak bozulan bir yapı davranışı söz konusu olduğundan, zamana bağlı parametre değişimi ve sistemin bu şekilde tanımlaması ve kontrolü,
- Kontrol elemanlarının sayısı sınırlı olduğundan giriş-çıkış bilgilerinde gerçeğe yaklaşma.
- Çok seyrek olarak görev yapacak olması yüzünden sistemin bakımı ve gerekli performans seviyesinde tutulması ve,
- Sistemin çalışması gerektiği zaman dış enerji kaynağının kesilmesi ihtimali, güvenilirlik açısından ciddi birer problem olduğundan divagonalli sistemler yanal deplasmanları kontrol açısından daha emniyetli ve yapı maliyetine de fazla yük getirmeyen düzenlemeler olduğundan tercih edilmelidir.



Şekil 11. Farklı sistemler için yanal deplasmanların karşılaştırılması.

## KAYNAKLAR

- [1] U. Ersoy, E. Çıtıptıoğlu, “Yüksek Yapıların Tasarımı ve Yapımında İzlenecek Temel İlkeler”, T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi 1988/1 Yayını.
- [2] J.G. Bouwkampf, “The Use of Structural Steel in Earthquake Resistant Design”, Çelik Konstrüksüyon Yapıların Dünyadaki Uygulaması ve Türkiye’de Yaygınlaştırılması Sempozyumu, Ankara , 1990.
- [3] G. Aşkar, “Yapıların Aktif Kontrolü”, IV. Çelik Yapılar Semineri, İ.T.Ü. Vakfı ve İnşaat Fakültesi, 27 Kasım-2 Aralık 1989, İstanbul, ss. 151-159.
- [4] Özgen, A., Uzgider, E., arda T.S., “Çok Katlı Çelik yapılar”,IV. Çelik Yapılar Semineri, İTÜ Vakfı ve İnşaat Fakültesi, 27 Kasım-2 Aralık 1989, İstanbul, ss. 205-400
- [5] J.C. Anderson, “Seismic Behavior of K-Braced Framing Systems”, Journal of the Structural Division, ASCE, vol.101, No. ST10, Proc. Paper 11636, pp. 2147-2159, 1975.
- [6] Türk Standartları, “Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları (TS4561)”, Ankara, 1985.
- [7] H. Gönen, “Çok Katlı Çelik Yapıların Plastik Hesabında Değişik Çözüm Yöntemlerinin İncelenmesi”, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1989.
- [8] F. Hart, W. Henn, H. Sontag, “Multi-Story Buldings in Steel, 2<sup>nd</sup> edition”, Collins, London, 1985.
- [9] J.O. Malley, and E.P. Popov, “Shear Links in Eccentrically Braced Frames”, *Journal of the Structural Division. ASCE*. Vol. 112, No. 3, September 1984.