

## SÜREKLİ SİSTEM YAPISI MODELLERİNDE İLERİ MODLARIN KATKISININ İNCELENMESİ

H. T. Türker<sup>1</sup> ve H. Çolak<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yardımcı Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, SSKÜ Teknik Üniversitesi, Hatay

<sup>2</sup> Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis  
Email: hacercolak@kilis.edu.tr

### ÖZET:

Bu çalışmada deprem yüklerinin yatay etkisi altında ileri modlara karşı binaların tepkisi çalışılmıştır. Bu amaçla sürekli yapı modellemesi (eğerdeer ankastre kiriş) kullanılmıştır.deal yapı olarak tanımladığımız, taşıyıcı sistemin iki sınır durumu olan kesme tipi davranış ve eilme tipi davranışlarını dikkate alarak sürekli kesme kiriş ile eilme kiriş modelleri dikkate alınmıştır. Bina tipi yapıların ön tasarımında ve mevcut yapıların durum değerlendirmesinde yaklaşıklık yöntemleri önemli yer tutmaktadır. Yüksekliği boyunca yapısal özellikleri çok fazla değerleyen çok katlı yapılar, uniform kütle ve rijitlik dağılımına sahip eğerdeer bir ankastre kiriş (sürekli sistem) olarak modellenebilmektedir. Sürekli sistem yapı modelleri ayrık sistemlere göre çok az parametre ile binaların dinamik davranışları hakkında çok kısa sürede bilgi verebilen yaklaşıklık yöntemlerdir. Bu çalışmada, çok katlı binaların ankastre kiriş sürekli sistem modellerinin olayı idare eden hareket denklemleri kapalı formda oluşturulmuştur. Serbest titreşim hareketi durumunda kirişlerin mod şekilleri, açısal frekans ve periyotları elde edilmiştir; tepki spektrumu dikkate alınarak deprem kuvveti altında zorlanmış titreşim hareketi incelenmiştir. Bu inceleme yapı periyodunun spektrum eğerisinin spektral deplasman ( $S_d$ ), spektral hız ( $S_v$ ) ve spektral ivmenin ( $S_a$ ) sabit olduğu bölgelerinde olması durumları için ayrı ayrı incelenerek modal analiz hesaplamaları yapılmıştır. Analizler sonucu her durum için kirişlerin modal katılım faktörleri, tepe deplasmanları, taban kesme kuvvetleri ve taban momentleri elde edilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesinde, SRSS - kareleri toplamının karekökü yöntemi kullanılarak modların süperpozisyonu gerçekleştirilmiştir. Modal kütle katılım oranı % 95 değerini sağlayacak hassasiyette yeterli mod sayısı belirlenerek modların katılımları incelenmiştir. Verilen örnek üzerinden sürekli sistemlerin mevcut binaların ön değerlendirmelerinde kullanılabilmesi gösterilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER :** Sürekli sistem, modal analiz, modal katılım faktörü, tepki spektrumu, spektral bölgeler

### 1. GİRİŞ

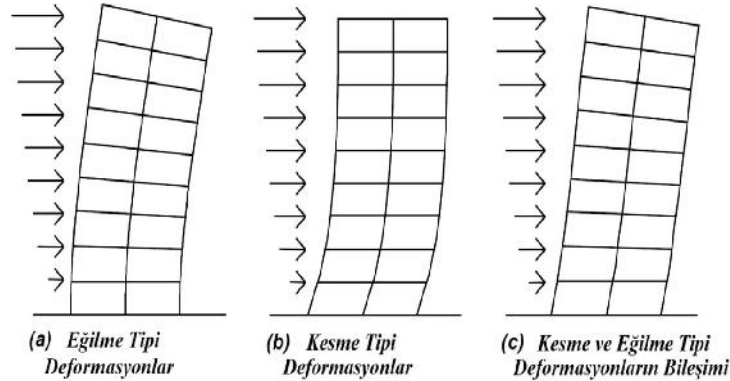
Yapıların dinamik analizi yapılırken davranışın doğru temsil edilebilmesi için yeterli ve gerekli mod sayısı belirlenmelidir. Yalnızca hâkim mod dikkate alınarak analiz yapılması hesaplarda bazen hatalı sonuç elde etme eğerilimine yol açabilmektedir. leri(yüksek) modların davranışını ne kadar ve nasıl etkilediği önemli bir amadır ve sonuçların gerçeğe yakın bir şekilde değerlendirilebilmesi için dikkate alınması gerekmektedir. Modal analiz yöntemiyle ileri modların yapı tepkisine katkısının araştırılması ve gerekli mod sayısının belirlenmesi konusunda literatürde bazı çalışmalar yapılmıştır. Clough (1955), ileri titreşim modlarının etkisini kesme kuvvetlerinin hesabına bağılı olarak değerlendirmiş ve özellikle üst katlarda oluşan kesme kuvvetleri üzerindeki 2. ve 3. modun etkilerini incelemiştir. Daha sonra Clough (1962) yaptığı çalışmada, titreşim periyodu arttıkça ileri modların katkısının önemli olduğu; deplasman analizi için sadece 1. moda ihtiyaç duyulduğunu ancak kesme kuvvetleri için sadece 1. modun yeterli olmadığına sonucuna varmıştır. Jennings (1969), tepe noktası ivmesinde ileri modların önemine değeri getirmiştir. Lopez ve Cruz (1996) deprem yer hareketi etkisine maruz kalan binaların maksimum tepkilerine ileri modların etkisini incelemiştir. Düzenli plan yerleşimine sahip farklı kat sayılarında çerçevesel ve çerçevesel-perdeli sistemde ideal bina modelleri ele alınmıştır. Kesme ve eilme tipi bina modelleri için ayrık

sistem hesap yöntemi ile elde ettikleri analitik sonuçları gerçek yapılardan aldıkları sonuçlarla kıyaslamalarıdır. Her bina türü için yapı periyodu, frekans, tepe deplasmanı modal katılım faktörü ve taban kesme kuvveti modal katılım faktörlerini hesaplayarak ileri modların katkısını incelemiştir. Özellikle çok katlı yüksek yapı modellerinde, bu çalışmada kullanılan sürekli sistem modelleri ile elde edilen sonuçlarda benzerlikler olduğu gözlemlenmiştir. Çolak (2010), yaptığı tez çalışmasında kesme ve eğilme tipi sürekli sistem yapı modelleri için analitik çözümleri ayrı ayrı yapmış ve analizler sonucu modal katılım faktörleri, tepe deplasmanları, taban kesme kuvvetleri ve taban momentlerini elde etmiştir. SRSS yöntemi ile modların süperpozisyonu gerçekleştirilerek sonuçların değerlendirildiği çalışmada, yeterli mod sayısı belirlenerek % 5 hassasiyetle modların katılımları incelenmiştir.

Bu çalışmada kapsamında da, çok katlı çerçeve sistem yapıları temsil eden, kesme ve eğilme davranışını sergileyen basitleştirilmiş yapı modelleri ele alınmıştır. Sürekli sistem kesme ve eğilme tipi yapı modellerinin öncelikli olarak serbest titreşim durumu incelenerek dinamik parametreleri elde edilmiş, tepki spektrumu analizi yapılarak yapıların tepkileri hakkında bilgi edinilmiştir. Yapı periyodunun spektrum eğrisinin farklı (spektral) bölgelerinde olması durumları için ayrı ayrı incelenerek modal analiz hesaplamaları yapılmış, ileri modların yapı davranışını üzerine etkileri karışık olarak değerlendirilmiştir. SAP2000 paket programıyla üç boyutlu 10 katlı bir örnek yapı modeli analiz edilerek analitik sonuçlarla kabul edilebilir oranlarda yakın sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir.

## 2. SÜREKLİ SİSTEM YAPI MODELLERİ

Sürekli sistem hesap modeli, çok katlı yapıların davranışlarını daha hızlı ve kolay bir biçimde incelemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde yapı, seçilen taşıyıcı sistemin durumuna göre gösterdiği davranışını temsil eden yüksekliğin boyunca kütlesi yayılı olarak kabul edilen tek serbestlik dereceli elemanlar bir ankastrer kiriş olarak modellenmektedir (Chopra, 2001). Çok serbestlik dereceli (ayrık) modellere göre eleman sayısının az olması, hesapların matematiksel işlemler açısından daha kolay olması gibi avantajlarının yanında, sonsuz sayıda serbestlik derecesine sahip olduklarından daha gerçekçi sonuçlara varılmaktadır. Taşıyıcı sistemin oluşumuna bağlı olarak yapılar eğilme tipi davranış, kesme tipi davranış ve bunların kombinasyonundan oluşan karma tipi davranış sergilemektedir (ekil 1). Bu çalışmada kapsamında, sınır durumlar dikkate alınarak eğilme ve kesme davranışını gösteren sürekli sistem yapı modelleri ele alınmış, serbest titreşim ve tepki spektrum analizleri yapılmıştır.



ekil 1. Çok katlı binaların yatay deformasyonları (eğilimleri) (a) eğilme tipi, (b) kesme tipi, (c) karma tipi

Deprem yer hareketine maruz kalan sürekli sistemlerde hareket denklemlerinin çözülmesiyle yatay deplasman ( $u$ ), taban kesme kuvveti ( $V_B$ ) ve taban momenti ( $M_B$ ) aşağıda verilen Denklem 1-3 kullanılarak elde edilmiştir.

$$u_n(\xi) = w_n(\xi) * \Gamma_{u,n} * S_{d,n} \quad (1)$$

$$V_{B,n} = m * H * w_n(\xi) * \Gamma_{VB,n} * S_{a,n} \quad (2)$$

$$M_{B,n} = m * H^2 * w_n(\xi) * \Gamma_{MB,n} * S_{a,n} \quad (3)$$

Burada;  $m$  uniform yapı kütleini,  $H$  yapı yüksekli ini,  $\xi$  normalize edilmi yapı yüksekli ini,  $w$  mod ekli ni,  $\Gamma$  modal katılım faktörünü,  $S_d$  ve  $S_a$  sırasıyla spektral deplasman ve ivmeyi ifade etmektedir.

### 2.1. Serbest Titre im Analizi

Sürekli sistem yapı modellerinin dinamik karakteristiklerini elde ederken sönümsüz serbest titre im analizi yapılmı tır. Kiri lere ait mod ekleri ( $w$  ve  $\xi$ ), özde er ( $\xi$ ), açısıl frekans ( $\xi$ ) ve periyotları ( $T$ ) elde edilmi tir. Denklemlerde indislerde kullanılan ‘ $s$ ’ kesme kiri ini, ‘ $f$ ’ e ilme kiri ini ve ‘ $n$ ’ de mod sayısını ifade etmektedir.  $GA$  kesme rijitli ini,  $EI$  ise e ilme rijitli ini göstermektedir.

Sürekli Kesme kiri i için;

$$n \geq 1 ; \xi_{s,n} = \frac{f}{2} (2n-1) , w_{s,n}(\xi) = \text{Sin}(\xi_{s,n} * \xi) \quad (4)$$

$$\xi_{s,n} = \xi_{s,n} \sqrt{\frac{GA}{mH^2}} , T_{s,n} = \frac{2}{\xi_{s,n}} \sqrt{\frac{mH^2}{GA}} \quad (5)$$

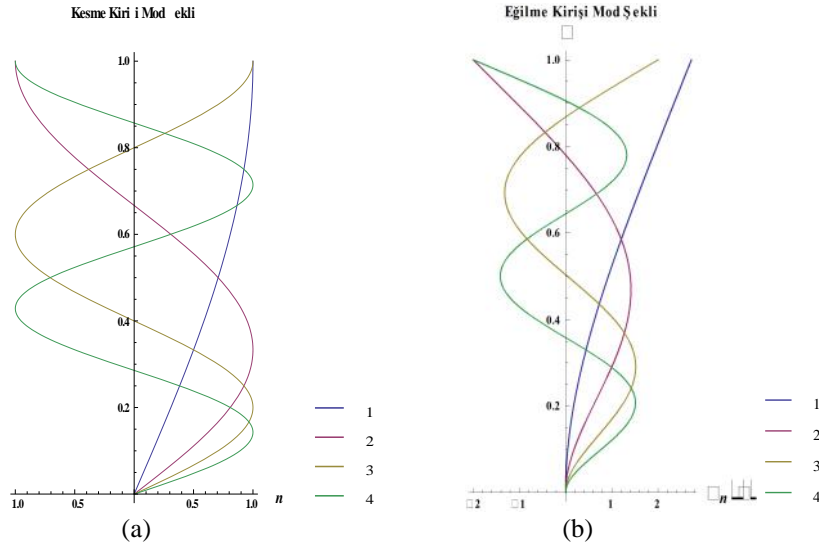
Sürekli E ilme kiri i için;

$$\xi_{f,1} = 1.875 , n \geq 2 ; \xi_{f,n} = \frac{f}{2} * (2*n-1) \quad (6)$$

$$g_n = \frac{\text{Sin}(\xi_{f,n}) + \text{Sinh}(\xi_{f,n})}{\text{Cosh}(\xi_{f,n}) + \text{Cos}(\xi_{f,n})} ; \xi_{f,n}(\xi) = \text{Sin}(\xi_{f,n} * \xi) - \text{Sinh}(\xi_{f,n} * \xi) + g_n (\text{Cosh}(\xi_{f,n} * \xi) - \text{Cos}(\xi_{f,n} * \xi)) \quad (7)$$

$$\xi_{f,n} = (\xi_{f,n})^2 \sqrt{\frac{EI}{mH^4}} , T_{f,n} = \frac{2f}{(\xi_{f,n})^2} \sqrt{\frac{mH^4}{EI}} \quad (8)$$

Normalize edilmi yapı yüksekli ine göre sürekli kesme ve e ilme kiri lerine ait ilk 4 mod ekli sırasıyla ekil 2.a ve ekil 2.b’de birlikte gösterilmi tir.



ekil 2. (a) Sürekli kesme kirişine ait ilk 4 mod şekli, (b) Sürekli eğilme kirişine ait ilk 4 mod şekli

Sürekli sistem yapı modelleri için modal katılım faktörleri, taşıyıcı sistemin türüne bağlı olarak özdeğerler cinsinden ifade edilmiştir. Yapının tepe noktasına göre normalize edilmiş mod şekline göre tepe deplasmanı, taban kesme kuvveti ve taban momenti modal katılım faktörleri Denklem (9) ve (10) ile hesaplanmıştır.

$$\Gamma_{s,n} = 2 / \{j_{s,n}\} ; \Gamma_{s,VB,n} = 2 / (j_{s,n})^2 ; \Gamma_{s,MB,n} = 2 / (j_{s,n})^3 \quad (9)$$

$$\Gamma_{f,n} = 4 / (j_{f,n} * g_n) ; \Gamma_{f,VB,n} = 4 / (j_{f,n} * g_n)^2 ; \Gamma_{f,MB,n} = 4 / (j_{f,n} * g_n)^3 \quad (10)$$

Her iki kiriş tipi için ileri modların katkısı, modal katılım faktörleri ve birinci moda göre normalize edilmiş oranları ekinde sayısal olarak Tablo 1 ve 2’de, birinci moda göre açılmal frekans oranları ise Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 1. Kesme kirişli modal katılım faktörleri ve 1. moda göre normalize edilmiş oranları

Modal Katılım Faktörleri			
n	$\Gamma_s$	$\Gamma_{s,VB}$	$\Gamma_{s,MB}$
1	1,27320	0,81057	0,51602
2	0,42441	0,09006	0,01911
3	0,25465	0,03242	0,00412
4	0,18189	0,01654	0,00150
5	0,14147	0,01000	0,00070
1. Moda Göre Normalize Edilmiş Modal Katılım Faktörü Oranları			
n	$\Gamma_{s,n}/\Gamma_{s,1}$	$\Gamma_{s,VB,n}/\Gamma_{s,VB,1}$	$\Gamma_{s,MB,n}/\Gamma_{s,MB,1}$
1	1,0000	1,0000	1,0000
2	0,3333	0,1111	0,0370
3	0,2000	0,0400	0,0080
4	0,1429	0,0204	0,0029
5	0,1111	0,0124	0,0014

Tablo 2. E ilme kiri i modal katılım faktörleri ve 1. moda göre normalize edilmi oranları

Modal Katılım Faktörleri			
n	$\Gamma_f$	$\Gamma_{f,VB}$	$\Gamma_{f,MB}$
1	1,56607	0,61314	0,44546
2	0,86450	0,18680	0,03893
3	0,50890	0,06474	0,00825
4	0,36379	0,03308	0,00300
5	0,28294	0,02001	0,00141
1. Moda Göre Normalize Edilmi Modal Katılım Faktörü Oranları			
n	$f_{n}/f_{1}$	$f_{VB,n}/f_{VB,1}$	$f_{MB,n}/f_{MB,1}$
1	1,0000	1,0000	1,0000
2	0,5520	0,3047	0,0874
3	0,3250	0,1056	0,0185
4	0,2323	0,0540	0,0068
5	0,1807	0,0326	0,0032

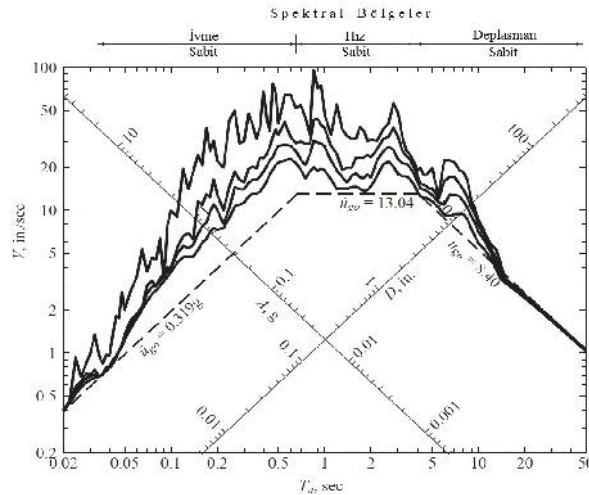
Tablo 3. Kesme ve e ilme kiri i açısal frekans oranları

n	$\omega_{s,n}/\omega_{s,1}$	$\omega_{f,n}/\omega_{f,1}$
2	3,000	6,317
3	5,000	17,546
4	7,000	34,390
5	9,000	56,849

Tablo 1 ve 2'den de görülece i üzere her iki kiri tipinde de tepe deplasmanının ileri modlara olan katkısı taban kesme kuvveti ve taban momenti katılımlarından daha fazladır. Sürekli kesme kiri inde ileri modların katılımı sürekli e ilme kiri ine göre daha küçüktür.

## 2.2. Tepki Spektrumu Analizi

Sürekli sistem yapı modellerinin dinamik analizi yapılırken 1940 El Centro deprem kaydı tepki spektrumu kullanılmı tır ( ekil 3). Tepki spektrumu  $A/\ddot{u}_{go}$ ,  $V/\dot{u}_{go}$  ve  $D/u_{go}$  ile normalize edilmi logaritmik dört yönlü grafik ile elde edilmi tir. Üç periyot bölgesine bölünmü idealize edilmi tepki spektrumu noktalı çizgi ile gösterilmi tir. Uzun periyot bölgesi 'deplasman sabit bölge', kısa periyot bölgesi 'ivme sabit bölge' ve orta periyot bölgesi 'hız sabit bölge' olarak adlandırılmaktadır (Chopra, 2001).

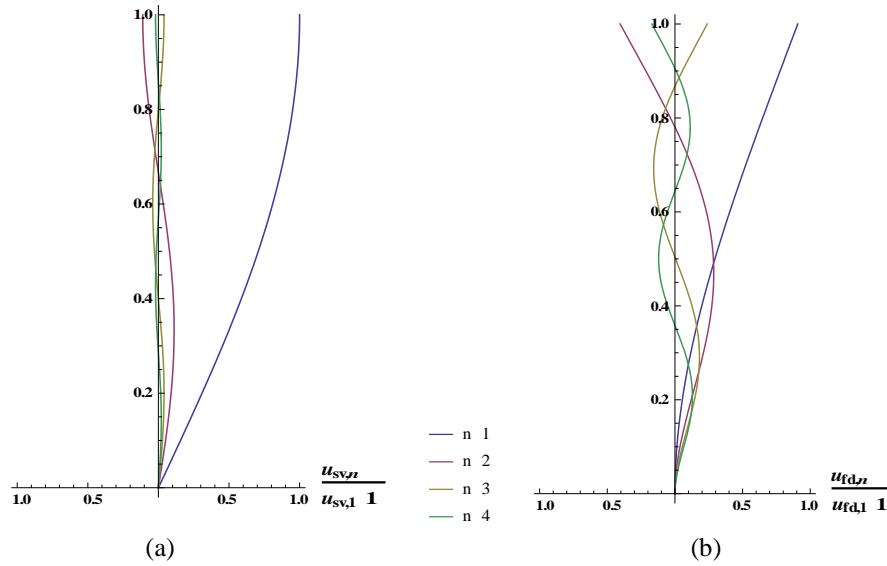


ekil 3. El Centro Depremine Ait Üçlü (Tripartite) Tepki Spektrumu

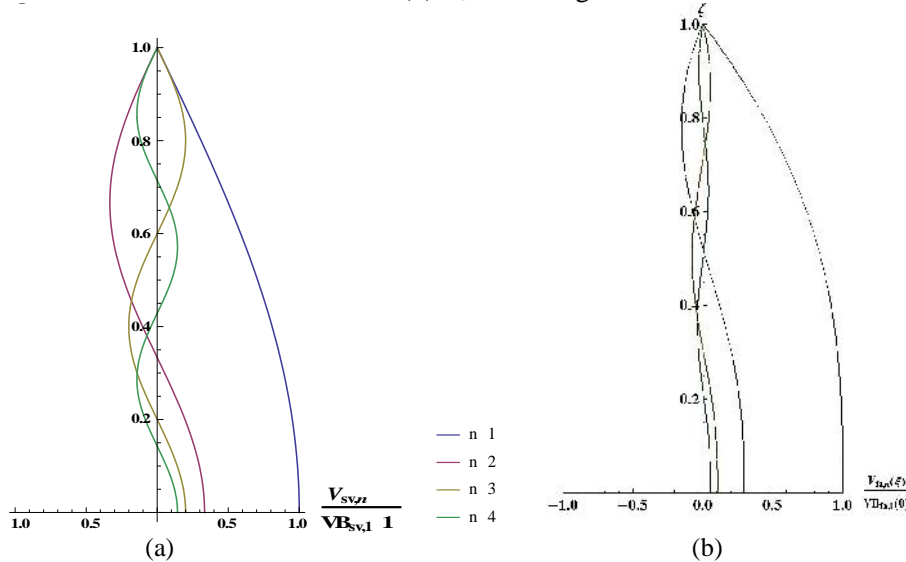
Bu çalışmada, elastik tepki spektrumunun spektral ivme( $S_a$ ), spektral hız( $S_v$ ) ve spektral deplasmanın( $S_d$ ) sabit olduğu bölgeler dikkate alınarak, yapı periyodunun bu bölgelerde olması durumlarındaki yapısal davranış ayrı ayrı incelenmiştir. Değerlendirme yapılırken normalize edilmiş tepe deplasmanı, taban kesme kuvveti ve taban momenti Denklem(11) ile hesaplanmıştır.

$$u_{top,N} = \frac{u(n,\zeta)}{u(1,1)} ; \quad V_{B,N} = \frac{V(n,\zeta)}{V(1,0)} ; \quad M_{B,N} = \frac{M(n,\zeta)}{M(1,0)} \quad (11)$$

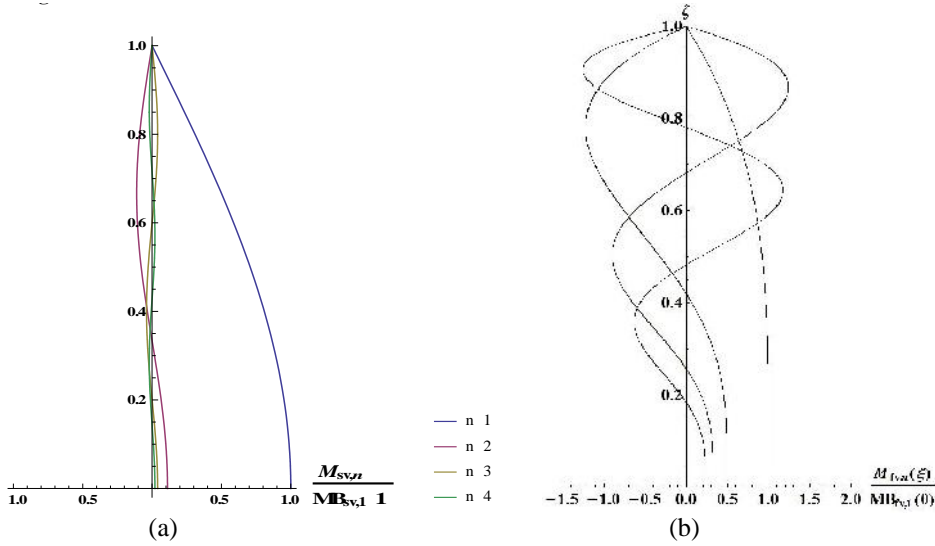
Her iki kırılma tipi için elde edilen sonuçlardan bir kısmı, birinci moda göre normalize edilmiş ilk 4 moda ait deplasman şekil 4'te, kesme kuvveti şekil 5'te ve moment şekil 6'da grafiklerle gösterilmiştir.



**ekil 4.** Tepe noktasına göre normalize edilmiş ilk 4 mod deplasman grafikleri (a)  $S_v$  sabit bölgede ankastre kesme kırılması, (b)  $S_d$  sabit bölgede eklemler kırılması



**ekil 5.** Taban kesme kuvvetine göre normalize edilmiş ilk 4 mod kesme kuvveti grafikleri (a)  $S_v$  sabit bölgede sürekli kesme kırılması, (b)  $S_a$  sabit bölgede sürekli eklemler kırılması



ekil 6. Taban momentine göre normalize edilmiş ilk 4 mod moment grafikleri (a)  $S_v$  sabit bölgede sürekli kesme kirişi, (b)  $S_v$  sabit bölgede sürekli e-tilme kirişi

Sürekli kesme kirişi modelinde yapı yüksekliği boyunca deplasman  $S_v$ 'nin sabit olduğu bölgede birinci modun ileri modlara göre etkisinin fazla olduğu görülürken; sürekli e-tilme kirişi modelinde  $S_d$ 'nin sabit olduğu bölgede özellikle alt katlarda ileri modların birinci moda göre daha etkili olduğu, üst katlara çıkıldıkça ileri modların azalmasıyla da olsa etki gösterdiği gözlemlenmektedir.  $S_v$ 'nin sabit olduğu bölgede kesme kirişi modelinde ve  $S_a$ 'nın sabit olduğu bölgede e-tilme kirişi modelinde kesme kuvvetleri üzerinde birinci modun etkisi daha büyükken; ileri modların kesme kirişi üzerinde katkıları e-tilme kirişine göre biraz daha fazladır.  $S_v$ 'nin sabit olduğu bölgede kesme kirişi ve e-tilme kirişi modellerinde taban momentinde birinci modun ileri modlara göre daha etkili olduğu; üst katlarda taban momentinde ileri modların etkisinin arttığı görülürken e-tilme kirişinde üst katlardaki momentte ileri modların birinci moda göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

### 3. İLERİ MODLARIN KATKISI

Depreme dayanıklı yapı tasarımı çerçevesinde DBYBHY 2007 'ye göre yapıların dinamik analizi için hesaba katılacak yeterli titreşim mod sayısı, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin % 90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmektedir. Bu çalışmada modal kütle katılım oranı % 95 hassasiyet göz önüne alınarak yeterli mod sayıları belirlenmiş ve modal katılımları her kiriş tipi için de ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Modların süperpozisyonu gerçekleştirilirken istatistiksel yöntemlerden olan Kareleri Toplamının Karekökü (SRSS) yöntemi kullanılmıştır. İleri modların katkısının değerlendirilmesi, Denklem (12)'de olduğu gibi sonsuz moddaki maksimum tepkilerin birinci moddaki maksimum tepkilere oranı olarak ele alınmıştır.

$$\frac{u_{top,SRSS,n}}{u_{top,SRSS,1}} = \frac{\sqrt{\sum (u_n)_{maks}^2}}{\sqrt{\sum (u_1)_{maks}^2}}, \quad \frac{V_{B,SRSS,n}}{V_{B,SRSS,1}} = \frac{\sqrt{\sum (V_{B,n})_{maks}^2}}{\sqrt{\sum (V_{B,1})_{maks}^2}}, \quad \frac{M_{B,SRSS,n}}{M_{B,SRSS,1}} = \frac{\sqrt{\sum (M_{B,n})_{maks}^2}}{\sqrt{\sum (M_{B,1})_{maks}^2}} \quad (12)$$

Sürekli kesme kirişi için örnek olarak  $S_v$ 'nin sabit olduğu bölgeyi ele alırsak tepe deplasmanı ( $u_{top}$ ) ve taban momenti ( $M_B$ )  $1/(2n-1)^2$  ile orantılı iken taban kesme kuvveti ( $V_B$ ) ise  $1/(2n-1)$  ile orantılıdır. Bu durum için ileri modların etkisi Tablo 4'te verilmektedir.  $u_{top}$  ve  $M_B$  hesabı için 1 mod yeterli iken  $V_B$  hesabı için 3 mod yeterli



olmaktadır. Genel olarak deplasman hesabı için taban kesme kuvvetine göre daha küçük mod sayıları yeterli gelmektedir.

Tablo 4. Sürekli kesme kirişli tepe deplasmanı, taban kesme kuvveti ve taban momenti için ileri modların katkısı ( $S_v$  sabit bölge)

Mod Sayısı (n)	$u_{top}$ ve $M_B$	$V_B$
1	0,9928 Yeterli	0,9003 De il
2	0,9989 Yeterli	0,9490 De il
3	0,9996 Yeterli	0,9659 Yeterli
4	0,9998 Yeterli	0,9745 Yeterli
5	0,9999 Yeterli	0,9796 Yeterli

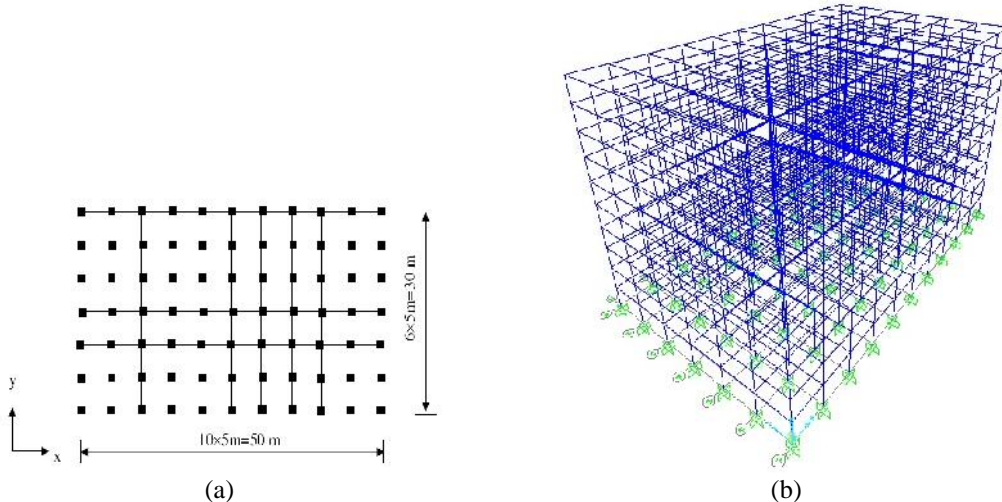
Sürekli e ilme kirişli için de  $S_v$ 'nin sabit olduğu bölgeyi ele alırsak tepe deplasmanı ( $u_{top}$ ) ve taban momenti ( $M_B$ ) için ileri modların etkisi Tablo 5'te verilmektedir.  $u_{top}$  hesabı için 2 mod yeterli iken  $M_B$  hesabı için 5 mod yeterli olmaktadır.

Tablo 5. Ankastre e ilme kirişli tepe deplasmanı ve taban momenti için ileri modların katkısı ( $S_v$  sabit bölge)

Mod Sayısı (n)	$u_{top}$	$M_B$
1	0,9221 De il	0,8002 De il
2	0,9620 Yeterli	0,8930 De il
3	0,9754 Yeterli	0,9297 De il
4	0,9822 Yeterli	0,9481 De il
5	0,9863 Yeterli	0,9590 Yeterli

#### 4. ÖRNEK YAPI MODELİ

Sürekli sistem yapı modelleri için geliştirilmiş olan analitik denklemlerin çözümünün doğrulamasını yapmak üzere sonlu elemanlar yöntemini dikkate alan yapısal analiz programlarından SAP2000 paket programı kullanılarak üç boyutlu betonarme bir örnek yapı modeli (ekil 7) oluşturulmuştur (Tekeli, 2006). Referans olarak alınan ve kesme tipi davranış gösteren örnek yapı modeline UBC97 Tepki Spektrumu kullanılarak deprem yükü uygulanmış ve Tepki Spektrum Analizi yapılmıştır. SAP2000 programı ile yapılan analiz sonucu yapının tepe deplasmanı, tabanda oluşan taban kesme kuvveti ve taban momenti değerleri alınmıştır. Analitik yöntemle elde edilen sonuçlar Tablo 6'da gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır.



ekil 7. Örnek yapı modeli (a) plan, (b) üç boyutlu model görüntüsü



Tablo 6. Örnek yapı modeline ait Analitik ve SAP2000 modeli sonuçları

	<b>Analitik</b>	<b>SAP2000</b>	<b>Hata Oranı (%)</b>
<b>Tepe Deplasmanı (mm)</b>	10,4943	10,661	1,56
<b>Taban Kesme Kuvveti (kN)</b>	2249	2237	-0,54
<b>Taban Momenti (kNmm)</b>	42961	43524,5	1,29

Sonuçlardan da görülece i üzere analitik çözüm ile sonlu elemanlar modelinin sonuçları çok küçük hata oranlarında birbirine yakın oldu u görülmektedir. Tepe deplasmanında % 1,56, taban kesme kuvvetinde % 0,54 ve taban momentinde % 1,29 hata oranlarında kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. Bu örnekle, sürekli sistemlerin mevcut binaların ön de erlendirmelerinde kullanılabilce i gösterilmiştir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada sürekli kesme kiri modeli ile sürekli e ilme tipi kiri modellerinin dinamik davranışları açısından kapsamlı karşılaştırılmaları yapılmış ve ileri modların katkısı irdelenmiştir. Sürekli kesme kiri i yapı modelinde tepe deplasmanı modal katılımı genel olarak sürekli e ilme kiri i yapı modellerinden fazla iken; taban kesme kuvveti ve taban momenti modal katılımı genel olarak sürekli e ilme tipi yapı modellerinden azdır. Her iki kiri modelinde de; tepe deplasmanı ve momentin ileri modlarda etkisi az iken, taban kesme kuvvetinin ileri modlardaki etkisi büyüktür. Sürekli kesme tipi kiri modelinde, taban kesme kuvveti için ileri modların katkısı tepe deplasmanı ve taban momentinkinden fazladır. Bir istisnaıyla aynı durum sürekli e ilme tipi kiri modelleri için de geçerlidir. Sürekli kesme kiri yapı modelinde tepe deplasmanı, taban kesme kuvveti ve taban momenti için modlar ilerledikçe etkileri azalmaktadır. Bir istisnaıyla aynı durum sürekli e ilme kiri yapı modelleri içinde geçerlidir. Genel olarak modlar büyüdükçe modal katılımlar azalmaktadır. Ancak  $S_v$  sabit bölgede sürekli e ilme kiri i yapı modelinde taban kesme kuvveti modal katılımının ( $u_{n,vB}$ ) artması bu durumun sadece bir istisnası olarak görülmektedir.  $S_v$  sabit bölgede elde edilen modal katılımlar,  $S_a$  sabit bölgede elde edilen modal katılımlardan daha büyüktür.

Sürekli e ilme kiri yapı modelinde  $S_v$  sabit bölgede taban kesme kuvveti için modal katılım, modlar arttıkça azalan e ilimde de ildir. Birinci modun katkısı diğer modlara göre en küçüktür. Bunun nedeni muhtemelen diğer modların  $S_v$  sabit bölgede olmamasındandır. Muhtemelen bu modlar ivmenin ( $S_a$ ) sabit olduğu bölgededir.

Deplasman hesabı için; sürekli kesme kiri modelinde  $S_v$  sabit bölgede yapı yüksekli i boyunca 1. modun ileri modlara göre etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir.  $S_a$  sabit bölgede e ilme kiri modelinde ise özellikle alt katlarda ileri modların 1. moda göre daha etkili olduğu gözlenirken, üst katlara çıkıldıkça ileri modların azalarak da olsa etki gösterdiği görülmektedir. Kesme kuvveti hesabı için;  $S_v$  sabit bölgede kesme kiri i ve  $S_a$  sabit bölgede e ilme kiri modelinde 1. modun etkisi daha büyükken; ileri modların kesme kiri i üzerinde katkıları e ilme kiri ine göre biraz daha fazladır. Moment hesabı için;  $S_v$  sabit bölgede her iki kiri modelinde tabanda oluşan moment üzerinde ileri modların etkisinin 1. moda göre daha az etkili olduğu ve üst katlarda oluşan momentte ileri modların etkisinde artış görülürken, e ilme kiri inde üst katlardaki momente ileri modların etkisinin 1. moda göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Örnek olarak ele alınan  $S_v$  sabit bölgede; sürekli kesme kiri modelinde  $u_{top}$  ve  $M_B$  hesabı için 1 mod yeterli iken  $V_B$  hesabı için 3 mod yeterli olmakta, sürekli e ilme kiri modelinde ise  $u_{top}$  hesabı için 2 mod,  $M_B$  hesabı için de 5 mod yeterli olmaktadır. Bu çalışmada kapsamında elde edilen bu sonuçlar değerlendirildi inde, deprem etkisi altındaki yapıların tepkileri incelenirken bazı durumlarda ileri modların etkisinin ihmal edilmemesi ve hesaplarda dikkate alınması gerekti i gözlemlenmiştir.

Sürekli sistem yapı modelleri için elde edilen analitik çözümler ile SAP2000 programı aracılığıyla oluşturulan sonlu elemanlar modeli sonuçlarının kabul edilebilir hata oranlarında birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Böylece, mevcut binaların on derlendirmelerinde ve yeni yapılacak yapıların ön tasarımında sürekli sistemlerin kullanılabilmesi gösterilmiştir.

#### KAYNAKLAR

Chopra, A.K. (2001), Dynamics of Structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ

Clough, R. W., (1955), 'On the importance of higher modes of vibration in the earthquake response of a tall building', Bulletin of the Seismological Society of America. 45, P: 289-302

Clough, R. W., (1962), 'Earthquake analysis by response spectrum superposition', Bulletin of the Seismological Society of America. 52, P: 289-301

Çolak, H., (2010), "Uniform Kesme Tipi Yapılarda A ırlık Etkisinin ncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik(DBYBHY 2007), Bayındırlık ve Şkan Bakanlığı, Ankara, 2007

Jennings, P. C., (1969), 'Spectrum technique for tall buildings', Proc. IV world cons. earthquake eng., Chile, Vol. 11, P: 61-74

Lopez, O., ve Cruz, M., (1996), Number of Modes for the Seismic Design of Buildings, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Volume 25, issue 8

SAP2000 v. 16.0.0. Computers and Structures Inc., Berkeley, USA

Tekeli, H., (2006), "Deprem Tasarımında Ötelenmenin ve Enerji Tüketiminin Kontrolü", Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta