



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Moment Taşıyan Çelik Çerçevesel Sistemlerin Titreşim Periyotları ve Deprem Yüklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir İrdeleme

Ahmet Hakan POLAT

*Mimarlık Bölümü, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*  
\* *hakanpolat@duzce.edu.tr*

### ÖZET

Bilindiği gibi taşıyıcı sistemlerin yatay deprem kuvvetlerinin bulunmasında en önemli parametre, sıfır sönüm oranında elastik sınırlar içerisinde kalmak kaydı ile serbest titreşim periyotlarını ve özellikle birinci doğal titreşim periyodunu bulmaktır. Şayet modal periyotlar belirlenebilirse ve standartlaştırılmış bir ivme spektrumu mevcut ise, bu spektrum yardımı ile ivme değeri ve bu ivmeye bağlı olarak da taban kesme kuvveti değeri bulunabilir.

Ülkemizde 2007 yılında yayınlanan ve halen yürürlükte olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte (DBYBHY 2007) açıklanan eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılması halinde hakim doğal periyodun nasıl belirleneceği açıklanmıştır. Bu yöntemde en büyük zorluk yatay fiktif yükler altında fiktif ötelenmeleri bulabilmektir. Bilgisayar ile hesap yapılmadığı durumda yaklaşık bir ötelenme fonksiyonu kullanılarak bulunacak ötelenme değerleri yardımı ile yaklaşık olarak doğal titreşim periyoduna ulaşılabilir.

Diğer bir yaklaşımda da, yalnız kolonların elastik sınırdaki yatay ötelenme rijitliklerini esas alarak kat ötelenme rijitlikleri yardımı ile sistemin rijitlik matrisini belirleyip, kütle matrisini de kullanarak öz değerler yardımı ile modal titreşim periyotları belirlenebilir. Bu yöntemde moment taşıyan düğümlerde kirişlerin dönme ve ötelenme rijitlikleri tamamen ihmal edilir ve sistemin bir kayma kirişi gibi davrandığı kabul edilir.

Bu çalışmada kolon-kiriş bağı rijit olan ve moment taşıyan, çapraz bağları bulunmayan, çelik çerçeve sistemlerde kiriş uçlarındaki rijitliklerin dikkate alınması ve alınmaması durumunda yatay yük taşıyıcı sistemin titreşim periyotlarında ki değişim ve buna bağlı olarak sisteme etki eden yatay yüklerin değişiminin mertebeleri analitik olarak incelenerek sonuçlar ortaya koyulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** *Titreşim periyodu, çelik moment taşıyan çerçeve, deprem yükü, modal analiz, rijitlik matrisi.*

## A discussion on determination of periods and seismic loads of systems carrying moment with plane steel frame

### ABSTRACT

As it is known, the most important parameter in detection of the horizontal earthquake forces of carrier systems is finding the free vibration periods and especially first natural vibration period, provided that one stay within the elastic borders in the zero damping ratio. If modal periods can be determined and there is a standardized acceleration spectrum, the acceleration value can be found with the help of this spectrum, and the value of base shear force can be found based on the acceleration.

In the Regulations on the Buildings to be Erected on the Earthquake Zones (DBYBHY 2007), which was issued in 2007 in Turkey and is still in effect, it is explained how to determine the dominant natural period in case of using the method of equivalent earthquake load. The biggest difficulty with this method is finding the fictive translations under the fictive loads. When the calculation is done without a computer, an approximate period of natural vibration can be found with the help of the translation values, which are found by using an approximate translation function. In another approach, the rigidity matrix of the system is defined with the help of floor translation rigidities by taking the rigidities that are in the elastic borders of the single colons and the modal vibration periods can be defined with the help of basic values by using the mass matrix. In this method, spin and translation rigidities of the beams are totally ignored in the nodes carrying moment and it is accepted that the system behaves like a headed beam.

In this study, the change in the vibration periods of the horizontal load carrying system in case of taking and not taking the rigidities in the beam tips of steel frame systems that have rigid post-beam bond, carry moment and have no cross bonds into consideration and, accordingly, the levels of the changes of the horizontal loads that affect the system are analyzed analytically and the results are presented

**Keywords:** *Vibration period, steel moment carrying frame, earthquake load, modal analysis, rigidity matrix.*

## I. GİRİŞ

**B**irçok modern modern deprem yönetmeliğinde olduğu gibi ülkemizde de halen kullanılmakta olan DBYBHY 2007’de eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılması halinde binaların birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi için aşağıda verilen formül 1 önerilmektedir.

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot \delta_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} \cdot \delta_{fi}}} \quad (1)$$

Burada  $m_i=i$ ’inci katın kütlesi,  $\delta_{fi}=i$ ’inci katın fiktif yatay ötelenmesi,  $F_{fi}=i$ ’inci kata etkiyen eşdeğer deprem yüküdür. American Society of Civil Engineering (ASCE 7-10) yönetmeliğinde, eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılması halinde birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi için aşağıda verilen formül 2 önerilmektedir.

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (2)$$

Burada moment taşıyan çelik çerçeveler için  $C_t=0.0724$ ,  $h_n$ =temel seviyesinden itibaren binanın toplam yüksekliği olup moment taşıyan çelik çerçeveler için  $x=0.8$  dir. Benzer şekilde Uniform Building Code (UBC-97) statik yatay deprem kuvvetlerinin bulunmasında, birinci doğal titreşim periyodunun bulunmasını metot A olarak tanımladığı yaklaşık bir metot da aşağıdaki formül 3 ile önermektedir.

$$T = C_t \cdot (h_n)^{\frac{3}{4}} \quad (3)$$

Burada moment taşıyan çelik çerçeveler için  $C_t=0.0853$ ,  $h_n$ =temel seviyesinden itibaren binanın toplam yüksekliğidir. Uniform Building Code (UBC-97) metot A olarak tanımladığı metottan başka formül 1 ile yapılan birinci doğal titreşim periyodu hesabını da metot B olarak önermektedir. ASCE 7-

10 ve UBC-97 tarafından önerilen formül 2 ve formül 3 moment taşıyan çelik çerçevelerin doğal titreşim periyotlarının bulunması için doğrudan kullanılacak yaklaşık ifadeler olmasına rağmen, formül 1 oldukça hassas sonuçlar vermektedir. Formül 1 oldukça hassas sonuçlar vermesine rağmen sonuçların hassaslığı doğru hesaplanmış kat yatay ötelenmelerine ve kat kesme kuvvetlerine bağlıdır. Bu değerlerin hassas bir şekilde hesaplanması zahmetli bir hesaplama süreci gerektirdiğinden tasarımcılar tarafından genellikle tercih edilmez.

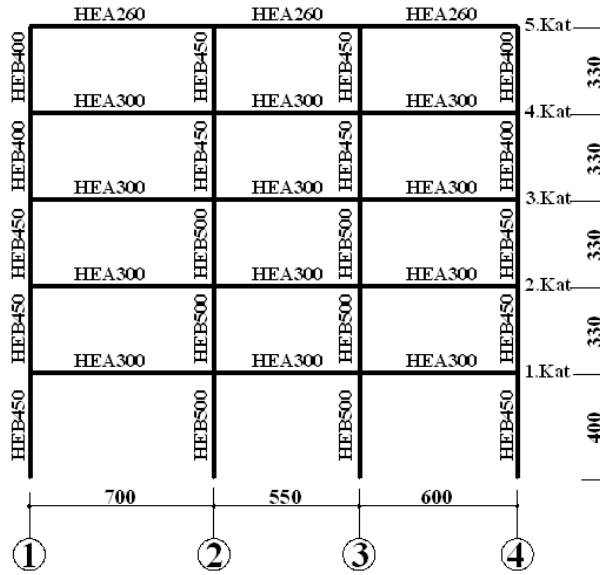
Bu çalışmada; formül 1'in pratik uygulamasını göstermek için örnek olarak seçilen çerçeve üzerinde kat yatay ötelenmelerinin ve kat kesme kuvvetlerinin hesaplamaları yapılmış ve doğal titreşim periyodu belirlenmiştir. Formül 1'in kullanılmasında kat yatay ötelenmelerine esas olan kat yatay ötelenme rijitlikleri ve kat kütleleri kullanılarak sistemin kayma kirişi davranışı göstermesi hali için sistemin öz değerleri ve öz vektörleri bulunarak modal titreşim periyodu hesaplanmıştır. Kayma kirişi yaklaşımı yerine sistemin eğilme rijitliklerini de dikkate alan yeni bir rijitlik matrisi oluşturularak oluşturulan bu rijitlik matrisi ve kat kütleleri de göz önüne alınarak sistemin öz değerleri ve öz vektörleri bulunup eğilme rijitliklerinin de göz önüne alındığı durum için modal periyotlar hesaplanmıştır. Her üç durum için hesaplanan doğal titreşim periyotları ve formül 2 ve formül 3 kullanılarak bulunan doğal titreşim periyotları karşılaştırılmıştır. Bulunan periyot değerleri ve kabul edilen ivme spektrumu da göz önüne alınarak sistemin elastik deprem dayanım talepleri karşılaştırılmıştır.

## II. MATERYAL VE METOT

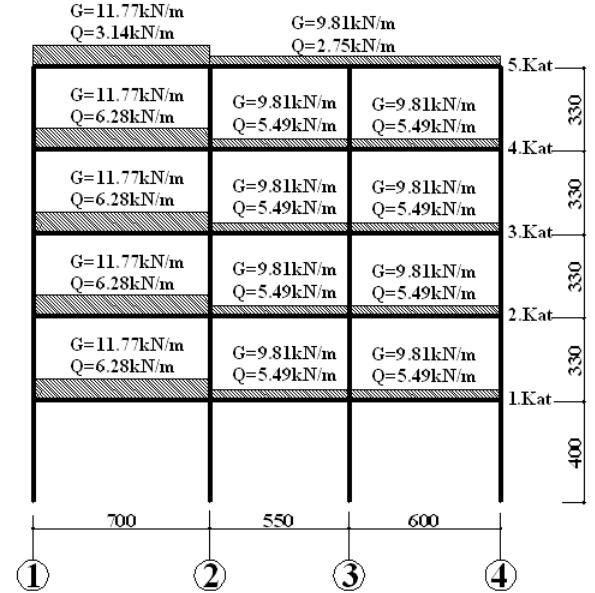
### *A. MATERYAL*

Çalışmanın materyali, beş katlı, temel seviyesinden itibaren yüksekliği 17.20m ve üç açıklıklı toplam genişliği 18.50m, genişlik ve yükseklik oranı 1.0755 olan moment taşıyan ve çapraz bağ içermeyen çelik çerçeve olarak seçilmiştir. Seçilen taşıyıcı sistem Şekil 1'de görülmektedir.

Sistemin kiriş elemanlarının sabit yükleri, Şekil 2'de görüldüğü gibi 1-2 aksları arasında tüm katlar boyunca  $G=11.77\text{kN/m}$ , 2-3 ve 3-4 aksları arasında  $G=9.81\text{kN/m}$ , hareketli yükleri ise 1-2 aksları arasında 1.,2.,3. ve 4. katlarında  $Q=6.28\text{kN/m}$  5.katında  $Q=3.14\text{kN/m}$  ,2-3 ve 3-4 aksları arasında 1.,2.,3. ve katlarında  $Q=5.49\text{kN/m}$ , 5. katında  $Q=2.75\text{kN/m}$  değerindedir. Sistemin kat seviyesinde kütleleri; elemanlarının birim boy ağırlıkları, sabit yüklerin tümü ve hareketli yüklerin %30'u alınarak hesaplanmış ve Tablo 1'de sunulmuştur. Sistemdeki tüm elemanların eğilme eksenleri kuvvetli eksenleridir. Elemanlara ait kesit ve malzeme özellikleri tablo 1 de verildiği gibidir. Sistemdeki tüm elemanların eğilme eksenleri kuvvetli eksenleridir. Elemanlara ait kesit ve malzeme özellikleri tablo 1 de verildiği gibidir.



Şekil 1. Sistem elemanları ve açıklık boyutları



Şekil 2. Sistem sabit ve hareketli yükleri

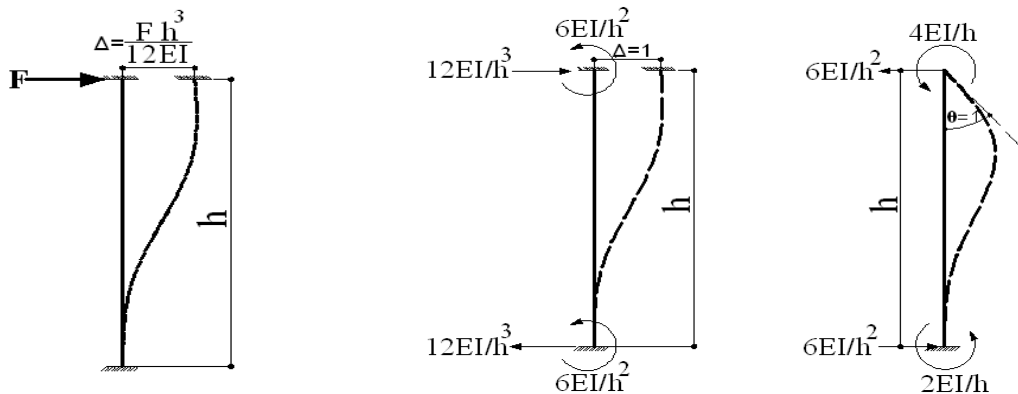
Tablo 1. Sistem elemanları kesit özellikleri ve kat kütleleri değerleri

Kesit Adı	$I_{xx}$ $m^4$	$I_{yy}$ $m^4$	Elastisite modülü $kN/m^2$	Kat no	Kat kütleleri Ton
HEA260	0.0001045	0.00003668	205939755	5	23.887
HEA300	0.0001826	0.0000631		4	26.978
HEB400	0.0005768	0.0001082		3	27.076
HEB450	0.0007989	0.0001172		2	27.193
HEB500	0.001072	0.0001262		1	27.448

## B. METOT

### B.1. KOLON ELEMANIN YATAY ÖTELENME ve UÇ DÖNME RİJİTLİĞİ

Kolon elemanın yatay ötelenme değeri moment alan teoremi yardımı ile Şekil 3'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Alt ve üst uçlarında ankastre ve moment taşıyabilen kirişlere bağlı olan kolon eleman için yatay ötelenme rijitliği Şekil 3 üzerinde ifade edilmiştir. Bu durumda kolon ucundaki yatay ötelenme miktarı formül 4 ile hesaplanır. Ankastre ucun bir birim yatay ötelenmesine karşılık bu uçlarda  $6EI/h^2$  kadar dönme rijitliği meydana gelir. Bu rijitlik değerinin  $\Delta$  yatay ötelenmesi ile çarpımı kadar eleman uçlarında eğilme momenti meydana gelir.



Şekil 3. İki ucu ankastre kolonun bir ucunda bir birim elastik yatay ötelenmesine ve  $\theta=1$  radyan dönmesine karşılık uç deplasman sabitleri

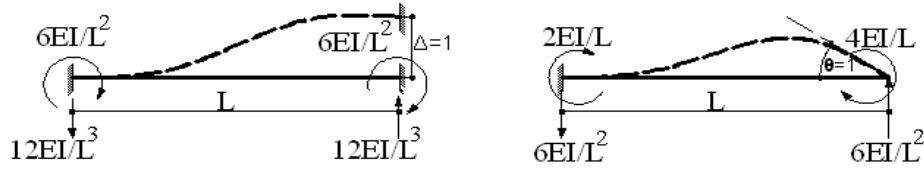
$$\Delta = \frac{F \cdot h^3}{12 \cdot E \cdot I} \quad (4)$$

Burada

F= Yatay kuvveti, h= kolon yüksekliğini, E.I= kolon eğilme rijitliğini göstermektedir.

### B.2. KİRİŞ ELEMENİN EĞİLME RİJİTLİĞİ

Kiriş elemanların eğilme rijitliği eleman uçlarından herhangi birine birim dönme ( $\theta$  radyan) uygulanması durumunda eleman uçlarında meydana gelen eğilme momentleri ve kesme kuvveti şeklinde oluşur. Bu tesirlere karşılık gelen uç sabitleri Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Bir ucunda birim deplasmana ve dönmeye serbest bir kirişte kiriş uçlarında birim deplasman sabitleri

### B.3. KAT KESME KUVVETLERİ

Kat seviyesindeki yatay kesme kuvveti ise kabul edilen fiktif taban kuvvetinin sistemin yüksekliği boyunca ters üçgen dağılım gösterdiği kabulüne göre formül 5 ile hesaplanmıştır.

$$F_i = \left( \frac{W_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^N W_i \cdot h_i} \right) \cdot V \quad (5)$$

Burada  $W_i$ = i’inci katın ağırlığı,  $h_i$ = i’inci katın temel seviyesinden yüksekliği, V= fiktif taban kesme kuvveti ve  $F_i$ = i’inci katın fiktif kesme kuvvetidir.

## III. SİSTEM PERİYOTLARININ HESAPLANMASI

### A. SİSTEM KAT KESME KUVVETLERİNİN BULUNMASI

Sistem üzerine etkiyen fiktif toplam taban kesme kuvvetinin  $V_1=1000\text{kN}$  olduğu kabul edilerek kat kesme kuvvetleri tablo 2’de hesaplanmıştır.

Tablo 2. Yatay fiktif kat kesme kuvvetleri

Kat No	W <sub>i</sub> (kN)	h <sub>i</sub> (m)	w <sub>i</sub> .h <sub>i</sub>	w <sub>i</sub> .h <sub>i</sub> /Σw <sub>i</sub> .h <sub>i</sub>	F <sub>i</sub> (kN)
5	234.335	17.20	4030.56	0.297	297.477
4	264.649	13.90	3678.625	0.272	271.503
3	265.612	10.60	2815.483	0.208	207.798
2	266.766	7.30	1947.395	0.144	143.728
1	269.269	4.00	1077.074	0.079	79.494
		Σ=	13549.14	Σ=	1000

### B. SİSTEMİN KAT SEVİYELERİNDEKİ YATAY ÖTELENMELERİNİN ve PERİYODUNUN BULUNMASI

Sistemin kat seviyelerindeki yatay ötelenme miktarları formül 4 ve formül 5 yardımı ile hesaplanabilir. Hesaplama birinci kat seviyesinden başlanarak yapılırsa rölatif ötelenmeler hesaplanmış olur. Rölatif ötelenmeler toplanarak en üst katın ötelenme değerine ulaşılır. Çalışmada incelenen taşıyıcı sistem için hesaplanan tüm kat kuvvetleri ve ötelenme değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Kat kuvvetleri ve buna bağlı olarak bulunan kat ötelenmeleri

Kat no	W <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	δ <sub>fi</sub>	W <sub>i</sub> .δ <sub>fi</sub> <sup>2</sup>	F <sub>i</sub> .δ <sub>fi</sub>
	kN	kN	mm	kN.mm <sup>2</sup>	kN.mm
5	234.255	297.477	18.096	76710.325	5383.148
4	264.559	271.503	16.524	72235.844	4486.307
3	265.521	207.798	13.517	48513.141	2808.805
2	266.675	143.728	10.498	29389.76	1508.86
1	269.177	79.494	6.921	12893.627	550.1776
			Σ=	239742.697	14737.298

Elde edilen bulgulara göre yapının doğal titreşim periyodu aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$T_n = 2.\pi \sqrt{\frac{239742.697}{(9810).14737.298}} = 0.256s$$

### C. SİSTEMİN PERİYODUNUN KAYMA KİRİŞİ DAVRANIŞI KABULUNE GÖRE BULUNMASI

Sistemin dinamik davranış parametreleri olan kat yatay ötelenme rijitlikleri ve kat kütleleri göz önüne alınarak dinamik analiz yöntemi ile periyot değeri belirlenebilmektedir. Yapı dinamiğinde serbest titreşim yapan çok serbestlik dereceli sistemin titreşime esas olan öz değerleri, diğer bir tanımla açılal frekansın karesi ve kat kütlelerinin birbirlerine göre serbest hareketini temsil eden öz vektörleri aşağıda ifade edilen formüller yardımı ile hesaplanabilmektedir.

$$[k-\omega^2 m] \varphi_n = 0 \quad (6)$$

$$\det[k-\omega^2 m] = 0 \quad (7)$$

Burada k= sistemin rijitlik matrisi, m=sistemin kütle matrisi,  $\varphi_n$  sistemin öz vektör matrisi,  $\omega$ =açısal hız değeridir.

Çalışmada ele alınan taşıyıcı sisteme ait kolonların toplam ötelenme rijitlikleri Tablo 4'de görülmektedir.

Tablo 4. Sistem kolonlarının katlardaki toplam ötelenme rijitlikleri

Kat no	Kat yüksekliği m	Aks no	Ix	12EI/h <sup>3</sup>	$\Sigma 12EI/h^3$
			m <sup>4</sup>	kN/m	kN/m
5	3.3	1	0.0005768	39664.76	189205.32
		2	0.0007989	54937.90	
		3	0.0007989	54937.90	
		4	0.0005768	39664.76	
4	3.3	1	0.0005768	39664.76	189205.32
		2	0.0007989	54937.90	
		3	0.0007989	54937.90	
		4	0.0005768	39664.76	
3	3.3	1	0.0007989	54937.90	257312.09
		2	0.001072	73718.15	
		3	0.001072	73718.15	
		4	0.0007989	54937.90	
2	3.3	1	0.0007989	54937.90	257312.09
		2	0.001072	73718.15	
		3	0.001072	73718.15	
		4	0.0007989	54937.90	
1	4	1	0.0007989	30848.49	144484.76
		2	0.001072	41393.89	
		3	0.001072	41393.89	
		4	0.0007989	30848.49	

Elde edilen rijitlik değerleri kullanılarak oluşturulan ve sistemin en üst katından itibaren oluşturulan sisteme ait rijitlik ve kütle matrisleri aşağıdaki gibidir.

$$k=1 \times 10^4 \begin{bmatrix} 18.921 & -18.921 & 0 & 0 & 0 \\ -18.921 & 37.841 & -18.921 & 0 & 0 \\ 0 & -18.921 & 44.652 & -25.731 & 0 \\ 0 & 0 & -25.731 & 51.462 & -25.731 \\ 0 & 0 & 0 & -25.731 & 40.179 \end{bmatrix} \text{ (kN/m)}$$

$$m= \begin{bmatrix} 23.887 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 26.978 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 27.076 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 27.193 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 27.448 \end{bmatrix} \text{ (Ton)}$$

MATLAB programı kullanılarak bulunan değerler açısal frekans değerleri ve özvektörler olup, açısal frekans değerinden sistemin her bir moduna karşılık gelen açısal hızlar ve periyotlar hesaplanmıştır. Rijitlik ve kütle matrisleri kullanılarak bulunan sisteme ait öz değerler ve özvektörler Tablo 5 ve 6'da sunulmuştur.

Tablo 5. Sistemin serbest titreşim modlarına karşılık gelen öz değerleri ve periyot değerleri

Mod no	Açısal frekans $\omega^2$	Açısal hız $\omega$	Periyot
	rad <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	rad/s	s
1	601.520	24.526	0.256
2	4783.797	69.165	0.091
3	13370.459	115.631	0.054
4	21589.953	146.935	0.043
5	31656.274	177.922	0.035

Tablo 6. Sistemin serbest titreşim modlarına karşılık gelen öz vektörler

Kat no	Mod no				
	1	2	3	4	5
5	0.11366	-0.11577	0.09773	-0.07570	0.01618
4	0.10502	-0.04585	-0.06725	0.13063	-0.04847
3	0.08739	0.05534	-0.01040	-0.06517	0.10567
2	0.06888	0.10189	0.01528	-0.06109	-0.13297
1	0.04600	0.09693	0.11300	0.08238	0.07325

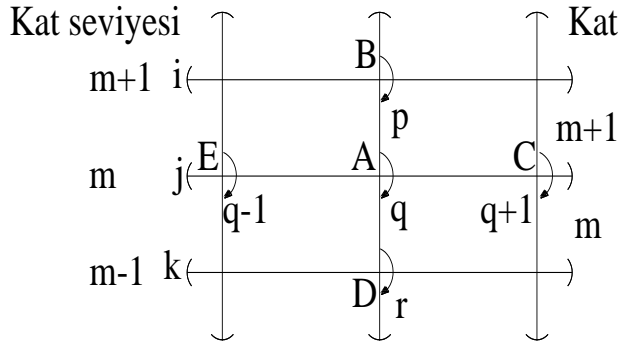
Dinamik analiz sonucunda sistemin doğal titreşim periyodu  $T_n=0.256s$  olarak bulunmuştur. Dinamik analiz sonucu bulunan bu değer, eşdeğer yatay yük yöntemi ile bulunan  $T_n$  doğal titreşim periyodu ile uyumludur.

#### D. SİSTEMİN PERİYODUNUN ELAMAN ÖTELENME ve DÖNME RİJİTLİKLERİNİN RİJİTLİK MATRİSİNDE KULLANILMASI DURUMUNA GÖRE BULUNMASI

Kayma kirişi davranışında çerçeve sistem elemanlarının sadece kolonlarının uçlarında bir birim yanal deformasyon yapması halinde gerekli olan yatay kuvveti veren rijitlik değerleri kullanılarak sistem rijitlik matrisi bulunmuştur. Yani sadece düğümün yanal deformasyonu ve deformasyona karşı sadece kolonların yanal ötelenme rijitlikleri göz önüne alınmıştır. Bu yaklaşımda ise kayma kirişi davranışından farklı olarak; düğümün yanal ötelenmesine ilave olarak düğümde bir birim ( $\theta=1$  radyan) açısal deformasyon veya açısal dönme olması durumu da göz önüne alınarak bu dönme etkisine karşı eleman uçlarında oluşan birim deplasman sabitleri de göz önüne alınmıştır.

Yanal ötelenme ve düğümün açısal deformasyonunu da göz önüne alarak oluşturulan matrisin oluşturulma mantığı Şekil 5'de sunulmuştur. Şekil 5'de i, j, k koordinatları sırası ile m+1inci, m inci ve m-1 inci katların yatay ötelenme koordinatlarını, p,q,r sırası ile m+1 inci, m inci ve m-1 inci katların dönme rijitliklerini, q koordinatı ise m inci katta çerçevenin herhangi bir iç düğümündeki birim dönme deformasyonunu ifade etmektedir.





Şekil 5. Çerçeve sistem rijitlik matrisinin oluşturulmasında kullanılan anahtar gösterim

#### D.1. DÜĞÜM YATAY ÖTELENMESİNDEN DOLAYI RİJİTLİK MATRİSİ ELEMANLARI

Şekil 5’de j koordinatına, diğer düğümlerde olmamak kaydı ile bir birim yanal ötelenme uygulandığı zaman m inci ve m+1 inci katlardaki kolonlar üst ve alt uçlarında şekil 3 de gösterildiği gibi deformasyon yapacaktır. Bu sebeple j koordinatını bir birim yanal deplasmanından dolayı rijitlik matrisinin i, j, k koordinatlarında oluşacak yanal ötelenme rijitliği aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$k_{ij} = \sum^{(m \text{ inci kat})} \frac{12EI}{h^3} + \sum^{(m+1 \text{ inci kat})} \frac{12EI}{h^3} \quad (8)$$

$$k_{ij} = - \sum^{(m+1 \text{ inci kat})} \frac{12EI}{h^3} \quad (9)$$

$$k_{kj} = - \sum^{(m \text{ inci kat})} \frac{12EI}{h^3} \quad (10)$$

Burada,

$$\frac{12EI}{h^3} \text{ Kolon uçlarındaki yatay ötelenme rijitliğini (kN/m)}$$

$k_{jj}$  j koordinatının bir birim yanal deplasmanından dolayı j koordinatındaki tüm kolonların yatay ötelenme rijitliklerini

$k_{ij}$  j koordinatının bir birim yanal deplasmanından dolayı i koordinatındaki tüm kolonların yatay ötelenme rijitliklerini

$k_{kj}$  j koordinatının bir birim yanal deplasmanından dolayı k koordinatındaki tüm kolonların yatay ötelenme rijitliklerini göstermektedir.

Statik denge gereği  $k_{ij} + k_{ji} + k_{kj} = 0$  olmalıdır. Ayrıca diğer tüm koordinatlardaki yatay ötelenme rijitliklerinin katkısı sıfırdır.

J koordinatının bir birim yanal deplasmanından dolayı p, q, r dönme koordinatlarındaki rijitlik matrisi elemanları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$k_{qj} = \frac{6EI_{AB}}{h_{AB}^2} - \frac{6EI_{AD}}{h_{AD}^2} \quad (11)$$

$$k_{pj} = \frac{6EI_{AB}}{h_{AB}^2} \quad (12)$$

$$k_{rj} = -\frac{6EI_{AD}}{h_{AD}^2} \quad (13)$$

Burada

$k_{qj}$  j düğümünün bir birim ötelenmesinden dolayı q koordinatında oluşan dönme rijitliği

$k_{pj}$  j düğümünün bir birim ötelenmesinden dolayı p koordinatında oluşan dönme rijitliği

$k_{rj}$  j düğümünün bir birim ötelenmesinden dolayı r koordinatında oluşan dönme rijitliği

Statik denge gereği  $k_{qi} = k_{pj} + k_{rj}$  olup m+1 inci, m inci ve m-1 inci katlarda kolon uçlarındaki dönme rijitlikleri sıfırdan farklıdır.

## D.2. DÜĞÜMÜN BİRİM DÖNMESİNDEN DOLAYI RİJİTLİK MATRİSİ ELEMANLARI

Şekil 5 de q koordinatına bir birim dönme ( $\theta=1$  radyan) uygulandığı zaman, rijitlik matrisinde i, j, k koordinatlarındaki rijitlik değerleri aşağıdaki gibi yazılabilir. Bu koordinatlardaki rijitlikler düğüm noktasına uygulanan birim dönme deformasyonundan dolayı kolon alt ve üst uçlarında oluşan dönme rijitlikleridir.

$$k_{jq} = \frac{6EI_{AB}}{h_{AB}^2} - \frac{6EI_{AD}}{h_{AD}^2} \quad (14)$$

$$k_{iq} = -\frac{6EI_{AB}}{h_{AB}^2} \quad (15)$$

$$k_{kq} = \frac{6EI_{AD}}{h_{AD}^2} \quad (16)$$

Burada,

$k_{jq}$  q düğümüne veya dönme koordinatına uygulanan bir birim dönmeden dolayı j koordinatındaki ötelenme rijitliği

$k_{iq}$  q düğümüne veya dönme koordinatına uygulanan bir birim dönmeden dolayı i koordinatındaki ötelenme rijitliği.

$k_{kq}$  q düğümüne veya dönme koordinatına uygulanan bir birim dönmeden dolayı k koordinatındaki ötelenme rijitliği.

Statik denge gereği  $k_{jq} + k_{iq} + k_{kq} = 0$  olmalıdır.

q koordinatına uygulanan bir birimlik dönme deformasyonu düğüme bağlı kiriş ve kolon uçlarında yani q koordinat noktasında ve düğüme bağlı kirişlerin diğer uçlarında yani (q-1) ve (q+1) koordinatlarında rijitlik matrisi elemanı olan dönme rijitlikleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$k_{qq} = \frac{4EI_{AB}}{h_{AB}} + \frac{4EI_{AC}}{L_{AC}} + \frac{4EI_{AD}}{h_{AD}} + \frac{4EI_{AE}}{L_{AE}} \quad (17)$$

$$k_{pq} = \frac{2EI_{AB}}{h_{AB}} \quad (18)$$

$$k_{rq} = \frac{2EI_{AD}}{h_{AD}} \quad (19)$$

$$k_{(q-1),q} = \frac{2EI_{AE}}{L_{AE}} \quad (20)$$

$$k_{(q+1),q} = \frac{2EI_{AC}}{L_{AC}} \quad (21)$$

Burada

$k_{qq}$  q düğümüne veya dönme koordinatına uygulanan birim dönme deformasyonundan dolayı q koordinatındaki tüm elemanların dönme rijitliklerini

$k_{pq}$  q düğümüne veya dönme koordinatına uygulanan birim dönme deformasyonundan dolayı p koordinatındaki kolon elemanın uç dönme rijitliğini

$k_{rq}$  q düğümüne veya dönme koordinatına uygulanan birim dönme deformasyonundan dolayı r koordinatındaki kolon elemanın uç dönme rijitliğini

$k_{(q-1),q}$  q düğümüne veya dönme koordinatına uygulanan birim dönme deformasyonundan dolayı (q-1) koordinatındaki kiriş elemanın uç dönme rijitliğini

$k_{(q+1),q}$  q düğümüne veya dönme koordinatına uygulanan birim dönme deformasyonundan dolayı (q+1) koordinatındaki kiriş elemanın uç dönme rijitliğini gösterir.

Kiriş ve kolon elemanların açıklık, yükseklik, atalet momenti ve elastisite modülleri göz önüne alınarak yukarıda anlatılan rijitlik değerleri Tablo 7 ve Tablo 8'da gösterilmiştir.

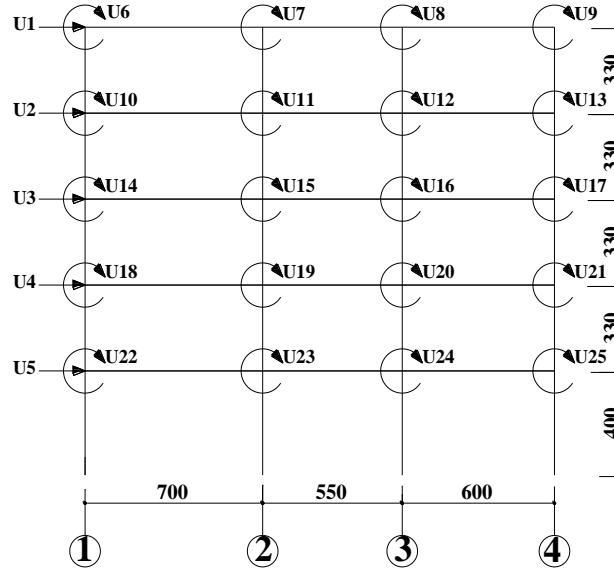
Tablo 7. Sistem kiriş elemanları uç birim deplasman sabiti değerleri

		Kiriş Açıklığı m					
		L=5.5		L=6.0		L=7.0	
Kesit Adı	Atalet Momenti $m^4$	4EI/L kNm			2EI/L kNm		
HEA260	0.0001045	15651.41	14347.13	12297.54	7825.707	4782.376	6148.77
HEA300	0.0001826	27348.79	25069.72	21488.33	13674.39	12534.86	10744.17

Tablo 8. Sistem kolon elemanları uç birim deplasman sabiti değerleri

		Kolon Yüksekliği m							
		h=3.3		h=4.0		h=3.3		h=4.0	
Kesit Adı	Atalet Momenti $m^4$	4EI/h kNm		2EI/h kNm		6EI/L <sup>2</sup> kN		12EI/h <sup>3</sup> kN/m	
HEA400	0.0005768	143983.02	118785.99	71991.51	59393.00	65446.83	44544.75	39664.74	22272.37
HEA450	0.0007989	199424.47	164525.19	99712.23	82262.59	90647.49	61696.94	54937.87	30848.47
HEA500	0.001072	267596.73	220767.30	133798.37	110383.65	121634.88	82787.74	73718.11	41393.87

Rijitlik matrisinin kurulmasında kullanılan serbestlik noktaları ve isimleri Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. Sistem düğüm deplasmanları ve dönmelerini gösteren serbestlik numaraları

Ayrıca sistemin rijitlik matrisinde Şekil 6’da gösterilen serbestliklerin matris formu da aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} k_{1,1} & k_{1,2} & k_{1,3} & \dots & k_{1,25} \\ k_{2,1} & k_{2,2} & k_{2,3} & \dots & k_{2,25} \\ \dots & & & & \\ \dots & & & & \\ k_{25,1} & k_{25,2} & k_{25,3} & \dots & k_{25,25} \end{bmatrix}$$

Matris formunda alt indisteki ikinci rakam ilgili düğümdeki serbestliği (bir birim dönme veya ötelenme etkisini), ikinci rakam ise bu etkiye karşılık o düğümdeki rijitlik veya kuvvet değerini ifade etmektedir. Tablo 7 ve tablo 8’ de verilen eleman uç deplasman sabitleri Şekil 6’da verilen rijitlik matrisi formunda yerine koyulduğu zaman sistem elemanlarının ötelenme ve dönme rijitliklerini içeren matris elde edilir. Bu matris formunda kolon elemanların aksenal deformasyon rijitlik sabitleri göz ardı edilmişlerdir. Sistem matrisine hem ötelenme hem de dönme rijitliklerinin dahil edilmesinin sebebi; sistemin titreşim periyoduna sadece, titreşim yaptığı doğrultudaki rijitlikleri değil, titreşim olmayan ötelenme ve dönme doğrultularındaki rijitliklerin de tesir etmesi esasına dayanır.

Oluşturulan sistem matrisi incelendiğinde; düğümün bir birim dönme etkisinden dolayı kolon uçlarındaki ötelenme rijitliğinin ifade edildiği kısım ile düğümün bir birim yatay ötelenme etkisinden dolayı düğümde meydana gelen dönme rijitliğinin ifade edildiği kısımdaki değerlerin birbirine eşit ve transpozeleri olduğu kolayca görülmektedir. Bu eşitlik Betti-Maxwell karşılıklılık teoremi gereğince

U1 ve U6 serbestliklerinin olduğu düğüm üzerinde  $k_{1,6} = k_{6,1}$  şeklinde örneklenebilir. Sistemin rijitlik matrisinin diğeri iki kısmı ise düğümün bir birim yatay ötelenmesinde dolayı kolon uçlarının yatay ötelenme rijitliğı ve düğümün bir birim dönme etkisinden dolayı düğümde birleşen elemanların dönme rijitliklerinin toplamı şeklindedir.

Bir taşıyıcı sistem herhangi bir doğrultuda titreşim yapabilir. Bu doğrultu taşıyıcı sistemin seçilen X,Y,Z eksen takımına göre eğik/açılı da olabilir. Fakat hesaplamalarda basitliğı sağlamak için titreşimin belirli bir eksen doğrultusunda olduğunu ve bu eksen dışındaki diğeri eksen doğrultularında titreşim olmadığını kabul edebiliriz. Gelişigüzel doğrultulardaki bir titreşim olayını, seçilen ortak eksen takımına izdüşürüp, her ekseninde titreşimi ayrı ayrı inceledikten sonra, sonuçlarını süperpoze etmek suretiyle inceleyebiliriz. Bu esas kabul doğrultusunda, taşıyıcı sistemin kütleleri üzerine tesir eden atalet kuvvetlerini yalnız bir doğrultuda etki ediyor olarak kabul edebiliriz. Oysa bir taşıyıcı sistemde titreşim yapmayan doğrultuda da, serbestlik dereceleri tanımlanmış olabilir. Bu sebeple, titreşim yapan bir sistemin serbestlik derecelerini, titreşim yapanlar ve titreşim yapmayanlar diye ikiye ayırabiliriz.

Sisteme ait matris formuna göre nümerik değerler ile oluşturulan gerçek matrisi formu aşağıdaki şekildedir.

	k1,1	k1,2	k1,3	k1,4	k1,5	k1,6	k1,7	k1,8	k1,9	k1,10	k1,11	k1,12	k1,13	k1,14	k1,15	k1,16	k1,17	k1,18	k1,19	k1,20	k1,21	k1,22	k1,23	k1,24	k1,25
k1,j	189.21	-189.21	0.00	0.00	0.00	-65.45	-90.65	-90.65	-65.45	-65.45	-90.65	-90.65	-65.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
k2,j	-189.21	378.41	-189.21	0.00	0.00	65.45	90.65	90.65	65.45	0.00	0.00	0.00	0.00	-65.45	-90.65	-90.65	-65.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K3,j	0.00	-189.21	446.52	-257.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	65.45	90.65	90.65	65.45	-25.20	-30.99	-30.99	-25.20	-90.65	-121.63	-121.63	-90.65	0.00	0.00	0.00	0.00
K4,j	0.00	0.00	-257.31	514.62	-257.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.65	121.63	121.63	90.65	0.00	0.00	0.00	0.00	-90.65	-121.63	-121.63	-90.65
K5,j	0.00	0.00	0.00	-257.31	401.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.65	121.63	121.63	90.65	28.95	38.85	38.85	28.95
K6,j	-65.45	65.45	0.00	0.00	0.00	156.28	6.15	0.00	0.00	71.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K7,j	-90.65	90.65	0.00	0.00	0.00	6.15	227.37	7.83	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K8,j	-90.65	90.65	0.00	0.00	0.00	0.00	7.83	229.42	7.17	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K9,j	-65.45	65.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.17	158.33	0.00	0.00	0.00	71.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
k10,j	-65.45	0.00	65.45	0.00	0.00	71.99	0.00	0.00	0.00	309.45	10.74	0.00	0.00	71.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
k11,j	k=10 <sup>3</sup> x	-90.65	0.00	90.65	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	10.74	447.69	13.67	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
k12,j	-90.65	0.00	90.65	0.00	0.00	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	13.67	451.27	12.53	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
k13,j	-65.45	0.00	65.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	71.99	0.00	0.00	12.53	313.04	0.00	0.00	0.00	71.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
k14,j	0.00	-65.45	-25.20	90.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	71.99	0.00	0.00	0.00	364.90	10.74	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
k15,j	0.00	-90.65	-30.99	121.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	10.74	515.86	13.67	0.00	0.00	133.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
k16,j	0.00	-90.65	-30.99	121.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	13.67	519.44	12.53	0.00	0.00	133.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
k17,j	0.00	-65.45	-25.20	90.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	71.99	0.00	0.00	12.53	368.48	0.00	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	0.00	0.00
k18,j	0.00	0.00	-90.65	0.00	90.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	0.00	420.34	10.74	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	0.00
k19,j	0.00	0.00	-121.63	0.00	121.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	133.80	0.00	0.00	10.74	584.03	13.67	0.00	0.00	133.80	0.00	0.00
K20,j	0.00	0.00	-121.63	0.00	121.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	133.80	0.00	0.00	13.67	587.61	25.07	0.00	0.00	133.80	0.00
K21,j	0.00	0.00	-90.65	0.00	90.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	25.07	423.92	0.00	0.00	0.00	99.71
K22,j	0.00	0.00	0.00	-90.65	28.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	0.00	385.44	10.74	0.00	0.00
K23,j	0.00	0.00	0.00	-121.63	38.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	133.80	0.00	0.00	10.74	537.20	13.67	0.00
K24,j	0.00	0.00	0.00	-121.63	38.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	133.80	0.00	0.00	13.67	540.78	12.53
K25,j	0.00	0.00	0.00	-90.65	28.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.71	0.00	0.00	12.53	389.02

### D.3. RİJİTLİK MATRİSİNİN İNDİRGENMESİ

Her düğüm noktasında, titreşim yapan serbestlik derecelerini 1, 2, 3 ... n<sub>1</sub> ve titreşim yapmayan serbestlik derecelerini de, ikinci grupta toplayıp (n<sub>1</sub>+1),(n<sub>1</sub>+2)...n şeklinde numaralandırıp sistemin dış yüklerini deformasyonlara bağlayan, F = k.u rijitlik denklemini aşağıdaki gibi yazabiliriz. Yukarıda verilen 25x25 boyutundaki rijitlik matrisinin indirgenmesi

$$\begin{bmatrix} k_{dd} & k_{dr} \\ k_{rd} & k_{rr} \end{bmatrix}_{(nxn)} \begin{Bmatrix} \{u\} \\ \{u_0\} \end{Bmatrix}_{(nx1)} = \begin{Bmatrix} \{F\} \\ \{F_0\} \end{Bmatrix}_{(nx1)}$$

Burada,

k<sub>dd</sub>= Kolonların, düğümün birim yanal ötelenmeden dolayı ötelenme rijitliğini

k<sub>dr</sub>= Kolonların, düğümün birim açısal deformasyon /dönmesinden dolayı ötelenme rijitliğini

k<sub>rd</sub>= Düğümün, bir birim yanal ötelenmesinden dolayı dönme rijitliğini

k<sub>rr</sub>= Düğümün, bir birim açısal deformasyondan dolayı dönme rijitliğini

{u} = Titreşim yapan serbestlik derecelerindeki deplasman kolon vektörünü

{u<sub>0</sub>} = Titreşim yapmayan serbestlik derecelerindeki kolon vektörünü

{F} = Titreşim yapan doğrultuda, kütlelerin sisteme yaptığı atalet kuvvetleri kolon vektörünü

{F<sub>0</sub>} = Titreşim yapmayan doğrultuda, kütlelerin sisteme yaptığı atalet kuvvetleri vektörünü

ifade etmekte olup, {F<sub>0</sub>} vektörünün tüm elemanları sıfır olup, k<sub>rd</sub>, k<sub>dr</sub> nin transpozesidir.

F<sub>0</sub> vektörünün tüm elemanlarının sıfır olmasından faydalanılarak indirgenmiş rijitlik matrisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$k_c = [k_{dd}] - [k_{rd}]^T [k_{rr}]^{-1} [k_{rd}]$$

İndirgenmiş rijitlik matrisinin en büyük özelliği, yalnız titreşim yapan doğrultudaki deformasyonları bunlara karşılık gelen kuvvetlere bağladığı halde, titreşim yapmayan doğrultudaki rijitlikleri de temsil ediyor olmasıdır.

$$k_c = 10^3 \times \begin{bmatrix} 44.85 & -78.50 & 42.57 & -11.04 & 2.59 \\ -78.50 & 197.01 & -175.06 & 69.94 & -16.41 \\ 42.57 & -175.06 & 279.68 & -212.50 & 80.03 \\ -11.04 & 69.94 & -212.50 & 313.06 & -224.41 \\ 2.59 & -16.41 & 80.03 & -224.41 & 308.13 \end{bmatrix} \text{ kN/m} \quad m = \begin{bmatrix} 23.887 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 26.978 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 27.076 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 27.193 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 27.448 \end{bmatrix} \text{ (Ton)}$$

Sistemin indirgenmiş rijitlik matrisi Sistem kütle matrisi

Yine MATLAB programı kullanılarak indirgenmiş matrislerdeki öz değerler ve öz vektörler bulunmuştur. Öz değerler yardımıyla da açısal hız ve periyoda ulaşılmıştır (Tablo 9 ve Tablo 10).

Tablo 9. Sistemin serbest titreşim modlarına karşılık gelen öz değerleri ve periyot değerleri

Mod no	Açısal frekans $\omega^2$	Açısal hız $\omega$	Periyot
	rad <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	rad/s	s
1	71.421	8.451	0.743
2	843.025	29.035	0.216
3	3801.672	61.658	0.102
4	11675.429	108.053	0.058

Tablo 10. Sistemin serbest titreşim modlarına karşılık gelen öz vektörler

Kat no	Mod No				
	1	2	3	4	5
5	0.130	0.121	-0.086	-0.049	0.018
4	0.110	0.003	0.095	0.112	-0.059
3	0.083	-0.089	0.068	-0.082	0.104
2	0.051	-0.110	-0.077	-0.044	-0.119
1	0.021	-0.062	-0.103	0.116	0.090

#### IV. BULGULAR ve TARTIŞMA

Oluşturulan çerçeve sistemim doğal titreşim periyotları farklı yöntemlere göre belirlenmiştir. Bu yöntemler ASCE/SEI 7-10, UBC-97, eşdeğer deprem yükü yöntemi, sadece kolonların yatay ötelenme rijitliğini göz önüne alan kayma kirişi modeli ve kolonların yatay ötelenme diğer bir deyimle katın yatay ötelenme rijitliğini ve kat düğüm noktalarının dönme rijitliğini de göz önüne alan ve indirgenmiş rijitlik matrisi kullanılan yöntemdir. SAP2000 yazılımı ile bulunan sonuç ise bir referans değer olarak kabul edilmiş olup, sonuçların birbirlerine göre mukayesesinde de temel alınmıştır.

Tablo halinde sunulan sonuçlar incelendiğinde sonuçların birbirinden farklı oldukları gözlemlenmektedir. Özellikle kayma kirişi modelinin dinamik analiz sonucu ve eşdeğer deprem yükü kullanılarak bulunan sonuçlar birbiri ile uyumludur. Fakat kayma kirişi modeli ile sistemin eğilme rijitliklerini de göz önüne alan modelin dinamik çözümleri arasındaki oldukça belirgin bir fark mevcuttur.

Ülkemizde kullanılan, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik içerisinde önerilmeyen ampirik yaklaşımlar kıyaslama amaçlı olarak değerlendirilmiştir. Bu iki ampirik yaklaşımın sonuçları arasında da belirgin bir fark bulunmamaktadır.

Tablo 11. Sistemin birinci doğal titreşim periyodunun farklı çözüm yöntemlerine göre değerleri

Periyot hesabı için uygulanan yöntem					
ASCE/SEI 7-10	UBC-97	KAYMA KİRİŞİ YÖNTEMİ EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ ÇÖZÜMÜ	KAYMA KİRİŞİ YÖNTEMİ DİNAMİK ÇÖZÜMÜ	DÜĞÜM NOKTALARININ ÖTELENME ve DÖNME RİJİTLİKLERİNİ KAPSAYAN İNDİRGENMİŞ MATRİS YÖNTEMİ DİNAMİK ÇÖZÜMÜ	SAP2000
Birinci moda ait temel titreşim periyodu s					
0.7049	0.7204	0.2562	0.256	0.7435	0.7270

İndirgenmiş matris yöntemi ve diğer yöntemlerle bulunan ve Tablo 11’de verilen periyot değerleri içerisinde en büyük değer 0.7435 olup bu değere göre kıyaslama yapıldığında oranlar;  $0.7435 / 0.7049 = 1.054$ ;  $0.7435 / 0.7204 = 1.032$ ;  $0.7435 / 0.256 = 2.902$ ;  $0.7435/0.727 = 1.022$  şeklinde ortaya çıkmaktadır. Oranlar dikkate alındığında, ampirik yaklaşımların ve SAP2000 referans değerinin, indirgenmiş rijitlik matrisinin dinamik çözümü ile oldukça uyumlu olduğu, fakat kayma kirişi yaklaşımının her iki çözüm yöntemi ile aralarında



2.9 kat gibi büyük bir fark olduğu gözlemlenmektedir. Kayma kirişi yöntemi, uygulamada kolaylığı bakımından tercih edilen bir yöntem olmasına rağmen her iki çözümü de gerçeğe en yakın değerlerden oldukça farklı sonuçlar vermektedir. Bu farklı sonuç yapılacak deprem yükü ve taban kesme kuvveti hesabında da oldukça farklı sonuçlar verecektir. Bu farklılığı göstermek amacı ile kayma kirişi modeli ve indirgenmiş matris yöntemine ait dinamik analiz sonuçları kullanılarak, DBYBHY 2007 içerisinde tanımlı olan deprem bölgeleri ve yerel zemin sınıfı göz önüne alınarak sistemin maruz kalabileceği elastik ivme spektrumu değerleri bulunmuş ve Tablo 12 ve Tablo 13’de sunulmuştur. Tablolar da verilen ivme değerleri incelendiğinde; kayma kirişi yaklaşımı ile yapılan çözümlemede bulunan elastik yani azaltılmamış deprem yükünün tüm deprem bölgeleri için Z1 zemin sınıfında 2.06 kat, Z2 zemin türünde 1.64 kat Z3 zemin türünde 1.19 olduğu ancak Z4 zemin türü için oranın 1.0 olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 12. Kayma kirişi yaklaşımı dinamik çözümü elastik spektrum ivme değerleri ( $T_n=0.2562s$ )

Zemin Sınıfı	Deprem Bölgesi			
	1	2	3	4
	Spektral ivme $m/s^2$			
Z1	9.81	7.36	4.91	2.45
Z2	9.81	7.36	4.91	2.45
Z3	9.81	7.36	4.91	2.45
Z4	9.81	7.36	4.91	2.45

Tablo 13. İndirgenmiş rijitlik matrisi yöntemi çözümü elastik spektrum ivme değerleri ( $T_n=0.7435s$ )

Zemin Sınıfı	Deprem Bölgesi			
	1	2	3	4
	Spektral ivme $m/s^2$			
Z1	4.75	3.56	2.37	1.19
Z2	5.98	4.48	2.99	1.49
Z3	8.27	6.20	4.13	2.07
Z4	9.81	7.36	4.91	2.45

Bu çalışmanın bir sonucu olarak düğüm noktalarında rijit bağlı diğer bir deyimle moment taşıyan çelik çerçeve sistemlerin birinci doğal titreşim periyodunun hesaplanmasında, kayma kirişi yaklaşımının; eşdeğer deprem yükü yöntemi ve dinamik analiz çözümü ile bulunan değerlerinin gerçekçi olmadığı, hesaplanan periyoda bağlı olarak elastik ivme spektrumu üzerinde gerçeğinden daha fazla ivme değerleri ile tasarım yapmaya zorladığı ve ekonomik olmayan çözümlere götürebileceği sonucuna varılmıştır. Moment taşıyan çerçeve sistemler için elemanların yanal ötelenme ve dönme rijitliklerini de içeren sistem rijitlik matrislerinin oluşturulup, oluşturulan bu matrisin indirgenerek sistemin tüm serbestliklerini içeren yeni bir rijitlik matrisi elde edilmesi ve dinamik analiz yardımı ile sistemin periyot ve modal genliklerinin hesaplanması daha gerçekçi bir yaklaşımdır.

## V. SONUÇ

Çalışmada elde edilen bulgulara göre düğüm noktalarında moment taşıyabilen ve çerçeve gözlerinde çapraz bağ içermeyen çelik çerçeve sistemlerin taban kesme kuvvetinin belirlenmesine esas teşkil eden kayma kirişi modeli gerçekçi bir model yaklaşımı olmayıp sonuçları tartışmaya son derece açıktır. Kayma kirişi modeli ile belirlenen periyot değeri ile bulunan taban kesme kuvvetinin daha küçük olması ve elastik ivme spektrumundan daha büyük kuvvetler taşınması sebebi ile bu periyot esas alınarak belirlenen eleman kesitleri gerekenden daha fazla büyük ve dolayısı ile ekonomik kesitler olmayacaklardır. Tasarım aşamasında; ön

tasarım amaçlı olarak ASCE7-10 ve UBC-97 de önerilen ampirik formüller kayma kirişi modeline göre gerçeğe daha yakın sonuçlar vermekte ve bu sebeple de hem sistemdeki taban kesme kuvveti için gerçeğe yakın sonuçlar hem de eleman iç tesirlerinin de yine gerçeğe yakın sonuçlar olması sebebi ile sistem daha ekonomik olarak tasarlanabilmektedir. Formül 1'in kullanılması durumunda, katların fiktif kat kesme kuvvetleri altında bulunacak yatay ötelenme değerleri " $\delta_{fi}$ " yalnızca kat kolonlarının yatay ötelenme rijitlikleri kullanılarak tablo 3 de sunulduğu gibi gerçekçi olmayan bir sonuca ulaşmaktansa, güvenilir bir bilgisayar yazılımı kullanarak bu fiktif yükleri sistem düğüm noktalarına etki ettirerek daha gerçek " $\delta_{fi}$ " değerleri ile formül 1' i kullanarak hesap yapmak veya sistemin serbest titreşim analizini yapmak daha doğru sonuçlar verecektir.

## V. KAYNAKLAR

- [1] American Society of Civil Engineering, *ASCE standart, minimum design loads for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-10)*, **American Society of Civil Engineers**, Reston, Va, (2010).
- [2] International Conference of Building Officials, *Uniform Building Code (UBC), volume 2, Structural engineering design provisions*, **International Conference of Building Officials**, Whittier, California, (1997).
- [3] A.K. Chopra, *Dynamics of structures: theory and applications to earthquake engineering*, Second edition, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey (2001).
- [4] G.S. Pandit, S.P. Gupta, *Structural Analysis: A matrix approach*, Second edition, The McGraw-Hill Companies.
- [5] S. Tezcan, *Çubuk Sistemlerin Elektronik Hesap Makinaları ile Çözümü (Stiffness Matrisleri Metodu)* İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi Elektronik Hesap Bilimleri Enstitüsü Yayınları, 12, Arı Kitabevi Matbaası, İstanbul-Türkiye, (1970).
- [6] Anonim, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, **T.C. Resmi Gazete**, 26454, (2007).
- [7] SAP2000, *Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structure Advanced 14.2.2.Computer and Structures, Inc 1995 University Avenue, Berkeley, California, USA 94704*.
- [8] MATLAB, R2009b *The Language of Technical Computing*, The Mathworks, Inc.