

TAŞIYICI SİSTEMİ ÇERÇEVELERDEN OLUŞAN YAPILARDA TEMEL BAĞ KİRİŞLERİNİN DEPREMDEKİ DAVRANIŞA ETKİSİNİ BELİRLEMeye YÖNELİK BİR PARAMETRİK ÇALIŞMA

Ali KOÇAK*, Mehmet Mete AYDOĞAN**

**Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL*

***İnşaat Müh., Erenköy-İSTANBUL*

Geliş Tarihi: 13.09.2002

A PARAMETRIC STUDY TO DETERMINE THE EFFECTS OF FOUNDATION TIE BEAMS TO EARTHQUAKE RESPONSE OF FRAME-TYPE BUILDING AND FACTORIES

ABSTRACT

In this study, effects of foundation tie beams to earthquake response of frame-type buildings and factories were parametrically examined with the help of numerical examples. In the examples used, effects of the presence and absence of tie beams and the effects of whether they are tie to upper or lower elevation were compared under earthquake loads. Construction and conditions effecting the tie beams were investigated for factory and warehouse type frames, the amplitudes and effect distances of forces acting on the tie beams were explored and some recommendations were made on them. Equivalent earthquake forces and acceleration spectrum given in the Turkish Building Code were used as the earthquake loads. SAP 90 structural analysis software was used for the numerical calculations.

ÖZET

Bu çalışmada, taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan bina ve fabrika türünden yapılarıdaki temel bağ kirişlerinin depremdeki davranışa etkisi sayısal örnekler yardımıyla parametrik olarak incelenmiştir. Kullanılan örneklerde, bağ kirişlerinin olması ve olmaması hâlleri ile temel alt kotundan ve temel üstünden bağlanmaları hâllerinin deprem etkileri altında karşılaştırılması yapılmıştır. Fabrika ve hal yapısı tipindeki çerçevelerde bağ kirişlerinin teşkili ve etkileri hususları incelenmiş, bağ kirişlerine gelen etkilerin değerleri ve etkime mesafeleri araştırılarak bazı önerilerde bulunulmuştur. Deprem etkileri olarak yönetmelikteki eşdeğer deprem yükleri ve ivme spektrumu kullanılmıştır. Sayısal uygulamalar için SAP90 yapı program paketi kullanılmıştır.

1. GİRİŞ

Betonarme ve çelik binalarda kolon altlarına yapılan tekil temelleri her iki doğrultuda, sürekli temelleri ise kolon veya perde hizalarında birbirlerine bağlayan elemanlara temel bağ kirişleri adı verilir. Bu kirişlerin ana işlevi atalet kuvvetlerinin kolondan kolona aktarılmasını sağlamak ve temel elemanlarının yanal doğrultuda farklı yer değiştirmelerini önlemektir. Yukarıdaki tariften temel bağ kirişlerinin esas itibarıyla eksenal yer değiştirmeye, dolayısıyla eksenal kuvvete maruz oldukları anlaşılmaktadır.

Bağ kirişlerinin hesabı için genel olarak herhangi bir özel hesap yöntemi verilmemekte, ancak deprem yönetmeliklerinde deprem risk bölgesi, zemin grubu ve zemin sınıfına bağlı olarak ampirik tarzda bağ kirişinin bağladığı düşey elemanların en büyük eksenal yükünün yüzdesi olarak bir kiriş eksenal kuvveti (basınç ya da çekme kuvveti) alınarak hesap yapılmaktadır. Genel

olarak pratikte yapılan ise yukarıda tanımlanan parametrelere göre verilmiş olan minimum boyut ve donatıların seçilmesi şeklinde olmaktadır.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğin (ABYYHY-98) 12.3.4. maddesinde temel bağ kirişlerine ilişkin esaslar verilmiştir [1]. Buna göre bu kirişlerin tüm deprem bölgelerinde A grubu dışında kalan tüm zemin grupları için yapılması zorunludur. İlgili zemin grupları adı geçen yönetmeliğin 12.1. no' lu çizelgesinde tanımlanmıştır. İlgili yönetmelik maddesinde bağ kirişlerinin temel kazısına uygun olarak temel alt kotundan kolon tabanına kadar olan yükseklikteki herhangi bir seviyede yapılabileceği belirtilmiştir. Keza binanın bulunduğu deprem bölgesine ve zemin gruplarına bağlı olarak, bağ kirişlerinin sağlaması gereken minimum koşullar aynı yönetmelikte Çizelge.12.3 de verilmiştir. İlgili yönetmelikte verilen Çizelge.12.3' deki 1. satır bağ kirişinin bağlandığı kolon veya perdedeki en büyük eksenel kuvvetin yüzdesi olarak ifade edilmiştir. Ayrıca minimum en kesit boyutu bağ kirişinin serbest açıklığının 1/30 'undan az olmamalıdır.

Yönetmelikte bağ kirişi en kesitinin basınca maruz kalması ve kirişin zemin ya da taban betonu tarafından sarılması hâlinde burkulma etkisinin göz önüne alınmayabileceği, çekme durumunda ise çekme kuvvetinin sadece donatı ile alınabileceği ve minimum etriye miktarının 20 cm ara ile 8 mm.' lik donatı ile teşkil edilebileceği belirtilmiştir. Yine yönetmeliğin ilgili maddesinde, bağ kirişleri yerine kalınlığı 15 cm.' den az olmayan betonarme döşemelerin kullanılabilmesi belirtilmiş ve bu döşemelerin Çizelge.1.2.3' de verilen yükleri aktardığının hesapla gösterilmesi gereğine işaret edilmiştir. Yönetmeliklerde ele alınan bağ kirişlerinin değerlendirilmesi ve modellenmesinde basit yapısal model önerileri de bulunmaktadır [2]. Bu çalışmada eksenel yük gerekliliğinin nispeten düşük olduğu, ancak temel pabucu ve zemin arasındaki kesme kuvvetlerinin, maksimum kolon yer değiştirmeleri ve üst yapı rijitliğine bağlı olarak büyüdüğü de belirtilmiştir. Bununla birlikte bağ kirişi burkulmasının incelendiği çalışmalar da olmasına karşın, bu çalışmada bağ kirişlerinin zemin içinde yatakladığı düşünülerek burkulmadığı varsayılmıştır.

Bu çalışmada çerçeve türü yapılarda temel bağ kirişlerinin yapının deprem davranışına etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Bu amaçla;

- Bağ kirişlerinin yapılması ve yapılmaması durumlarında etkilerdeki (maksimum yanal yer değiştirmeler, periyotlar, kesit tesirleri, reaksiyonlar v.b.) farklılıklar ,
- Kat adedi ve açıklık sayısının davranışa etkisi,
- Büyük açıklık geçen fabrika ve hal binası tipindeki yapılarda bağ kirişi teşkili ve etkileri

seçilmiş olan ve çok karşılaşılan boyut ve açıklıklardaki 3 ve 5 katlı betonarme çerçevelerden oluşan bina türü yapılarda, 3 boyutlu davranış ve hal yapılarında düzlem davranış göz önünde bulundurularak sayısal olarak incelenmiştir. Deprem etkileri olarak eşdeğer deprem kuvvetleri (EDY) alınarak statik analiz ve ayrıca deprem yönetmeliğinde verilmiş olan ivme spektrumu yardımıyla dinamik analiz (SA) yapılmıştır. Tüm analizlerde SAP90 (Structural Analysis Program) yapı program paketi [3] kullanılmıştır.

2. BİNA TÜRÜ ÖRNEK YAPILARIN SEÇİMİ, MODELLENMESİ ve DEPREM YÜKLERİNİN HESABI

I. bölümde açıklandığı üzere ilk olarak Şekil.1' de kat kalıp planı verilen ve çerçevelerden müteşekkil 3 ve 5 katlı betonarme yapılarda bağ kirişlerinin davranışı incelenecektir. İncelenen yapılarda çift simetri olup, temel ve kolon boyutları kat sayısına göre düzenlenmiştir (Çizelge 1.2). Kolon yerleşimi yapının her iki doğrultudaki yatay rijitlikleri birbirine yakın olacak şekilde düzenlenmiştir. Aynı şekilde şematik kesit ve kiriş en kesitleri de verilmiştir.

Söz konusu binanın konut amaçlı kullanılacağı, I. derece deprem bölgesinde olduğu, Z3 sınıfı bir zemine oturduğu düşünülmüştür. Buna göre; $A_0 = 0.40$, $T_a = 0.15 \text{ sn}$, $T_b = 0.60 \text{ sn}$, $I = 1$, $R = 8$ olmaktadır. Burada A_0 etkin yer ivmesi katsayısını, T_a ve T_b ilgili zemin sınıfına ait spektrum karakteristik periyotlarını, I yapı önem katsayısını, R taşıyıcı sistem davranış katsayısını

Taşıyıcı Sistemi Çerçevesinden Oluşan Yapılarda...

göstermektedir. Spektrum katsayısı $S_{(T)}$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T ' ye bağlı olarak aşağıdaki denklemle hesaplanır [1].

$$\begin{aligned} S_{(T)} &= 1 + 1,5(T/T_A) & (0 \leq T \leq T_A) \\ S_{(T)} &= 2,5 & (T_A \leq T \leq T_B) \\ S_{(T)} &= 2,5(T_B/T)^{0,8} & (T > T_B) \end{aligned} \quad (1)$$

Bu durumda yapıya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü [1]' den alınan sayısal değerlerle;

$$V_t = A_0 I S_{(T)} / R * \sum_{i=1}^N W_i \quad (2)$$

olarak elde edilir. Burada W_i , i. katın deprem hesabına esas olan ağırlığını, N ise bina kat adedini, V_t ise taban kesme kuvvetini göstermektedir.

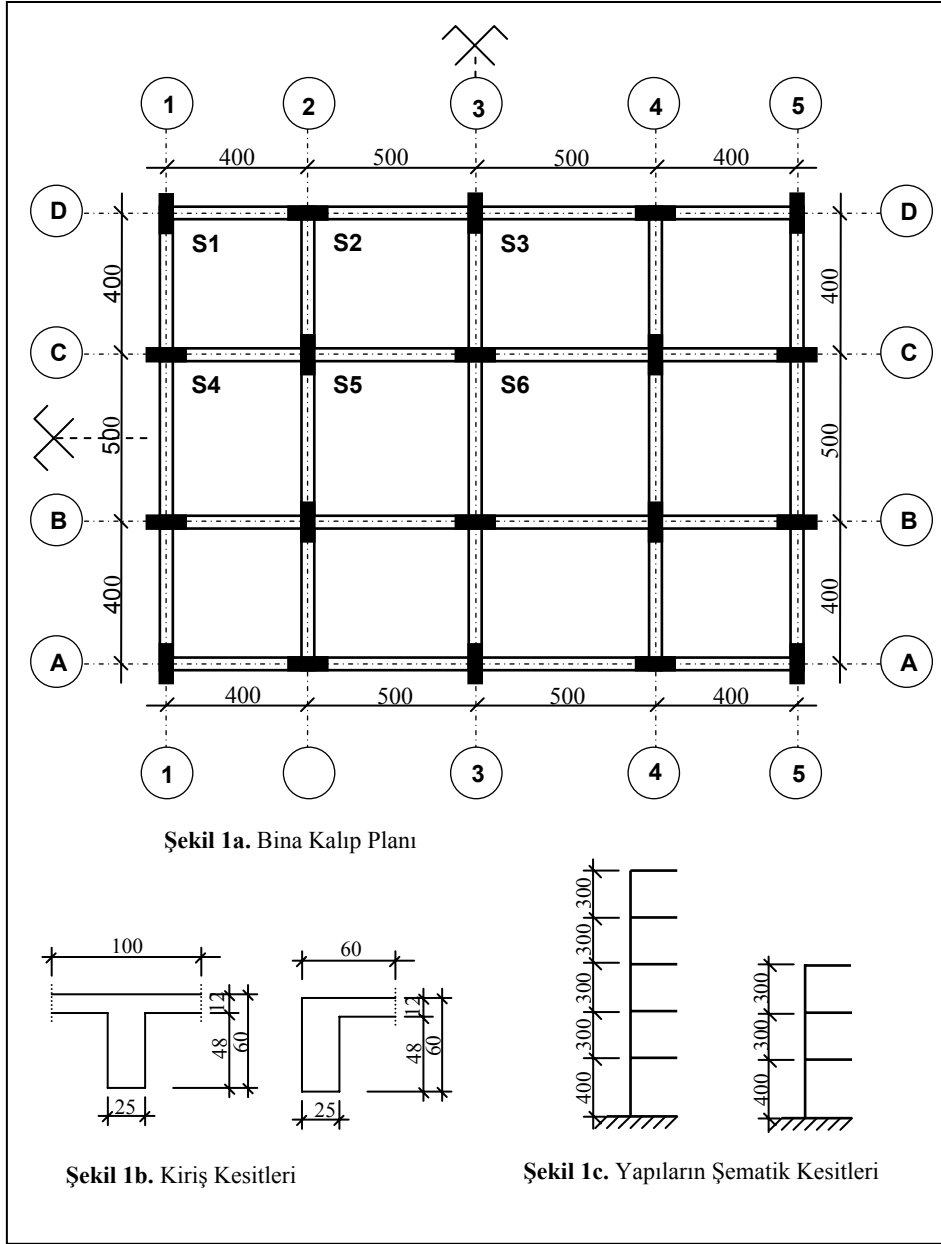
Çizelge 1.- (5) Katlı Yapıya Ait Kolon Boyutları

	1.KAT	2.KAT	3.KAT	4.KAT	5.KAT
S1	25/60	25/60	25/50	25/40	25/40
S2	60/30	60/30	50/30	40/30	40/30
S3	30/60	30/60	30/50	30/40	30/40
S4	60/25	60/25	50/25	40/25	40/25
S5	30/70	30/60	30/50	30/40	30/40
S6	70/30	60/30	60/30	50/30	40/30

Çizelge 2.- (3) Katlı Yapıya Ait Kolon Boyutları

	1.KAT	2.KAT	3.KAT
S1	25/50	25/40	25/40
S2	50/30	40/30	40/30
S3	30/50	30/40	30/40
S4	50/25	40/25	40/25
S5	30/50	30/40	30/40
S6	60/30	50/30	40/30

Bu verilerle ve alışımlı kaplama yükleri ve azaltılmış faydalı yükler alınarak binaya ait deprem yükleri hesaplanmış, yapı ilk olarak 3 boyutlu ve tüm kolonları temelden (alttan) ankastre olarak idealleştirilmiştir. Her iki yapının 1. moda ait titreşim periyotları ve kat deprem yükleri, yapısal modelleme ve alttan ankastre durumuna göre belirlenmiştir. Elde edilen değerler aşağıda verilmiştir.



Alttan ankastre 5 katlı binaya ait deprem kuvvetleri: $T_{1x}=0.681$ sn, $T_{1y}=0.691$ sn
 $S_x(T_1)=2.5*(0.60/0.681)^{0.8}=2.26$, $A_x(T_1)/R=0.40*1*2.26/8=0.113$, $\Sigma F_{i,x}=1498$ kN
 $S_y(T_1)=2.5*(0.60/0.691)^{0.8}=2.233$, $A_y(T_1)/R=0.40*1*2.233/8=0.112$, $\Sigma F_{i,y}=1485$ kN

Taşıyıcı Sistemi Çerçevesinden Oluşan Yapılarda...

Altan ankastre 3 katlı binaya ait deprem kuvvetleri: $T_{1x}=0.503$ sn, $T_{1y}=0.524$ sn

$S_x(T_1)=2.5$, $A_x(T_1)/R = 0.40*1*2.5/8 = 0.125$, $\Sigma F_{i,x}=955$ kN

$S_y(T_1)=2.5$, $A_y(T_1)/R = 0.40*1*2.5/8 = 0.125$, $\Sigma F_{i,y}=955$ kN

Aynı yapıların temeli zemin emniyet gerilmesi 150 kN/m^2 alınarak tekil temel sistemi olarak boyutlandırılmıştır. Şekil 2' de bina türü yapıya ait şematik temel planı ve temel kesiti, Çizelge.3' de ise 5 ve 3 katlı yapılara ait temel boyutları yer almaktadır.

Çizelge 3. Bina Türü yapıya ait temel boyutları

Temel Adı	5 Katlı Bina	3 Katlı Bina
T1	200/275/60	160/225/60
T1'	275/200/60	225/160/60
T2	275/325/60	225/275/60
T3	350/300/60	275/250/60

Zemin yatak katsayısı; oturma ve dönme için $K_0=30000 \text{ kN/m}^3$, yatay yer değiştirme için $K_0/2=15000 \text{ kN/m}^3$ alınmış ve her bir tip temel için çökme, iki doğrultudaki dönme ve iki doğrultudaki yatay yer değiştirme için (3~5) bağıntıları kullanılarak yer değiştirme ve dönmelere ait yay katsayıları (R_i değerleri) hesaplanmıştır. Her iki yapı temeline karşı gelen sayısal değerler Çizelge 4 ve Çizelge 5' de verilmiştir.

Temel taban boyutları a ve b ile yüksekliği h ile gösterilmiş olan bir temelde K_0 [kN/m^3] zemin yatak katsayısı ile;

$$\text{Çökme yay sabiti : } R_w = a \cdot b \cdot K_0 \quad (3)$$

$$\text{Dönme yay sabitleri : } R_{\alpha x} = \frac{ab^3}{12} K_0 \quad \text{ve} \quad R_{\alpha y} = \frac{a^3b}{12} K_0 \quad (4)$$

$$\text{Yatay yer değiştirme yay sabitleri : } R_{v_x} = a \cdot h \cdot (K_0/2) \quad \text{ve} \quad R_{v_y} = b \cdot h \cdot (K_0/2) \quad (5)$$

Temeli yukarıda hesaplanan yay sabitleri ile bağ kirişsiz elastik ankastre mesnetli olarak idealleştirilmiş yapıların 1.mod titreşim periyotları yeniden hesaplanmıştır. Bu değerlere göre (1) ve (2) denklemleri yardımıyla x ve y doğrultusundaki kat deprem kuvvetleri yeniden hesaplanarak aşağıda verilmiştir.

Altan elastik ankastre 5 katlı binaya ait deprem kuvvetleri: $T_{1x}=0.852$ sn, $T_{1y}=0.868$ sn

$S_x(T_1)=2.5 * (0.60/0.852)^{0.8} = 1.8875$, $A_x(T_1)/R = 0.40*1*1.8875/8 = 0.0944$, $\Sigma F_{i,x}=1252$ kN

$S_y(T_1)=2.5 * (0.60/0.868)^{0.8} = 1.86$, $A_y(T_1)/R = 0.40*1*1.86/8 = 0.093$, $\Sigma F_{i,y}=1234$ kN

Altan elastik ankastre 3 katlı binaya ait deprem kuvvetleri: $T_{1x}=0.691$ sn, $T_{1y}=0.697$ sn

$S_x(T_1)=2.5 * (0.60/0.691)^{0.8} = 2.233$, $A_x(T_1)/R = 0.40*1*2.233/8 = 0.112$, $F_{i,x}=856$ kN

$S_y(T_1)=2.5 * (0.60/0.697)^{0.8} = 2.218$, $A_y(T_1)/R = 0.40*1*2.218/8 = 0.111$, $F_{i,y}=848$ kN

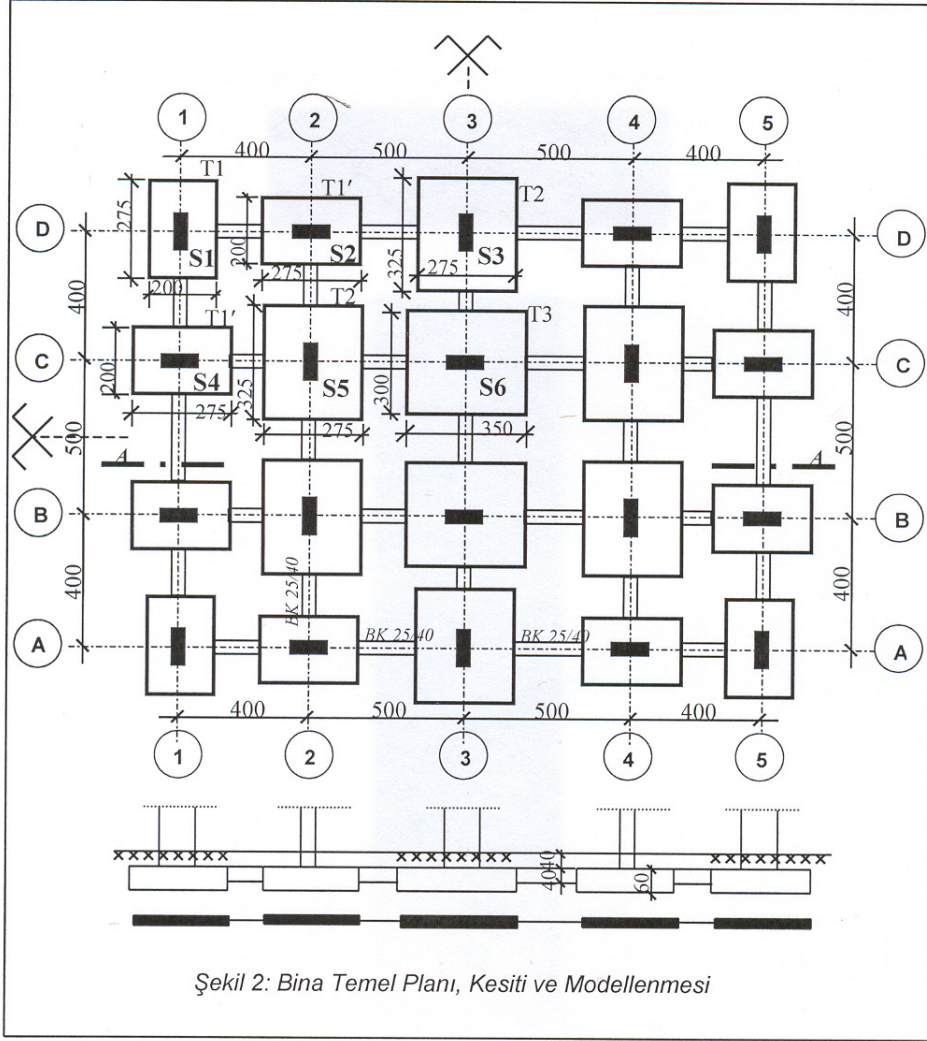
Aynı yapılar elastik ankastre mesnetli hâlde ancak $25/40 \text{ cm/cm}$ boyutunda bağ kirişleri ile her iki doğrultuda bağlı olarak idealleştirilmiş ve çözülmüştür. İdealleştirilmiş yapının 1. mod periyot değerleri, spektrum katsayıları ve deprem yükleri de aşağıda verilmiştir.

Altan elastik ankastre bağ kirişli 5 katlı binaya ait deprem kuvvetleri:

$T_{1x}=0.821$ sn, $T_{1y}=0.842$ sn

$S_x(T_1)=2.5 * (0.60/0.821)^{0.8} = 1.945$, $A_x(T_1)/R = 0.40*1*1.945/8 = 0.0975$, $\Sigma F_{i,x}=1293$ kN

$S_y(T_1)=2.5 * (0.60/0.842)^{0.8} = 1.9075$, $A_y(T_1)/R = 0.40*1*1.9075/8 = 0.0954$, $\Sigma F_{i,y}=1265$ kN



Çizelge 4. (5) katlı bina temellerine ait yay sabitleri

Tip No (b/a/h) [cm]	R_w [kN/m]	R_{α_x} [kNm]	R_{α_y} [kNm]	R_{v_x} [kN/m]	R_{v_y} [kN/m]
1 (200/275/60)	165000.	55000.	103984.	24750.	18000.
1' (275/200/60)	165000.	103984.	55000.	18000.	24750.
2 (275/325/60)	268125.	168975.	236006.	29250.	24750.
3 (350/300/60)	315000.	321563.	236250.	27000.	31500.

Taşıyıcı Sistemi Çerçevesinden Oluşan Yapılarda...

Çizelge 5. 3 katlı bina temellerine ait yay sabitleri

Tip No (b/a/h) [cm]	R_w [kN/m]	R_{α_x} [kNm]	R_{ϕ_y} [kNm]	R_{v_x} [kN/m]	R_{v_y} [kN/m]
1 (160/225/60)	108000.	23040.	45563.	20250.	14400.
1' (225/160/60)	108000.	45563.	23040.	14400.	20250.
2 (225/275/60)	185625.	78311.	116982.	24750.	20250.
3 (275/250/60)	206250.	129980.	107422.	22500.	24750.

Alttan elastik ankastre bağ kirişli 3 katlı binaya ait deprem kuvvetleri:

$$T_{ix} = 0.638 \text{ sn}, T_{iy} = 0.660 \text{ sn}$$

$$S_x(T_1) = 2.5 * (0.60/0.638)^{0.8} = 2,380, A_x(T_1) / R = 0.40 * 1 * 2.380/8 = 0.119, F_{ix} = 909 \text{ kN}$$

$$S_y(T_1) = 2.5 * (0.60/0.660)^{0.8} = 2,316, A_y(T_1) / R = 0.40 * 1 * 2.316/8 = 0.116, F_{iy} = 886 \text{ kN}$$

5 ve 3 katlı örnek yapılar alttan ankastre, elastik ankastre ve bağ kirişli elastik ankastre olarak hem eşdeğer deprem kuvvetleri ile statik ve hem de ABYYHY-98 de verilen ivme spektrumu kullanılarak dinamik analiz yapılarak çözümlenmiştir. Hesap çıktıları özet sonuçlar hâlinde 3. Bölümde verilmiştir.

3. BİNA TÜRÜ ÖRNEK YAPILARIN HESABI, YER DEĞİŞTİRMELER VE KESİT TESİRLERİ

Bu bölümde 5 ve 3 katlı binaların Ankastre (A), Elastik Ankastre (EA) ve bağ kirişli elastik ankastre (EABK) hâllerine ait yanal yer değiştirmeleri ile kolon dip kesitlerine ait kesit tesirleri hem eşdeğer deprem yükleri (EDY) ve hem de spektrum analizi (SA) ile bulunan değerler verilerek karşılaştırılacaktır.

Önce 5 katlı hâlde her kattaki kütle merkezi noktalarına ait yanal yer değiştirmeler her üç hâlde ve EDY ve dinamik analiz hâlleri için ayrı ayrı Çizelge.6' da, EDY yüklemesine ait yanal yer değiştirmelerin yükseklikle değişimi Şekil-3' de verilmiştir.

Çizelge 6. 5 katlı hâlde kat yanal yer değiştirmeleri

	A , EDY	A , SA	EA , EDY	EA , SA.	EABK ,EDY	EABK , SA
Kat	δ_x (m) δ_y (m)	δ_x (m) δ_y (m)	δ_x (m) δ_y (m)	δ_x (m) δ_y (m)	δ_x (m) δ_y (m)	δ_x (m) δ_y (m)
5	0.020234 0.021001	0.017404 0.017893	0.024387 0.025663	0.021731 0.022682	0.023838 0.025151	0.021062 0.022105
4	0.018243 0.018717	0.015795 0.016040	0.022395 0.023244	0.020155 0.020733	0.021766 0.022649	0.019410 0.020072
3	0.014388 0.014578	0.012571 0.012558	0.018822 0.019254	0.017227 0.017414	0.018065 0.018542	0.016361 0.016630
2	0.010294 0.010178	0.009070 0.008819	0.015037 0.015039	0.013989 0.013804	0.014145 0.014201	0.013010 0.012905
1	0.006081 0.005792	0.005392 0.005041	0.011082 0.010748	0.010407 0.009988	0.010032 0.009775	0.009345 0.008981
0	- -	- -	0.004617 0.001882	0.004375 0.001754	0.002818 0.002279	0.00300 0.002462

5 katlı hâlde kolon dip kesitlerinde bulunan kesit tesirleri (T kesme kuvveti, N eksenel kuvvet ve M eğilme momenti) B aksı kirişi ve 3 aksı kirişi için aşağıda çizelge hâlinde

çıkarılmıştır (Çizelge.7,8). Burada 4 açıklıklı ve 3 açıklıklı 2 ayrı kiriş incelenerek açıklık sayısının etkisi araştırılmaya çalışılmıştır. Simetri dolayısıyla kirişlerin yarısı alınmıştır.

Benzer olarak 3 katlı hâlde de her kattaki kütle merkezine ait yanal yer değiştirmeler her üç mesnetlenme hâli ve EDY ve dinamik analiz hâlleri için ayrı ayrı Çizelge.9' da, EDY yüklemesine ait yanal yer değiştirmeler Şekil-4' de verilmiştir.

Çizelge 7. 5 Katlı Bina B Aksı kolon dibi kesit tesirleri

Kesit Tesiri	T (kN)			N (kN)			M (kNm)		
	EDY SA			EDY SA			EDY SA		
	A	EA	EABK	A	EA	EABK	A	EA	EABK
B1 (S4)	89.4	65.6	64.6	241.7	167.1	166.9	215.2	128.9	135.5
	77.6	60.9	59.6	192.6	140.3	139.6	186.4	118.5	123.9
B2 (S5)	50.5	60.8	50.3	37.5	21.	27.4	101.8	117.1	99.1
	43.7	56.	45.9	33.3	18.1	24.1	88.	107.7	90.1
B3 (S6)	170.	128.1	146.9	0.1	0.5	0.6	406.6	264.8	310.8
	147.2	118.1	133.8	0.2	0.4	0.5	351.8	243.2	282.1

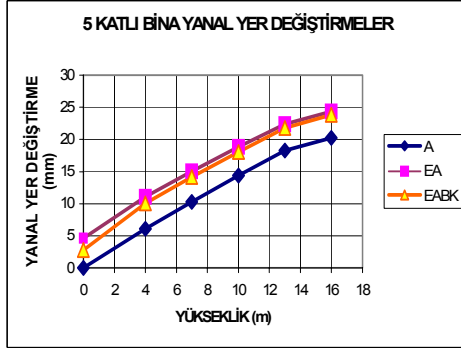
Çizelge 8. 5 Katlı bina 3 Aksı kolon dibi kesit tesirleri

Kesit Tesiri	T (Kn)			N (kN)			M (kNm)		
	EDY SA			EDY SA			EDY SA		
	A	EA	EABK	A	EA	EABK	A	EA	EABK
3A (S3)	94.1	85.3	86.2	271.7	233.6	166.9	232.5	188.7	194.2
	82.2	80.1	80.1	231.6	203.7	139.6	202.7	175.6	179.2
3B (S6)	44.7	59.3	49.9	130.5	18.9	17.4	91.5	117.0	99.7
	38.9	55.2	45.9	111.6	17.1	15.4	79.7	108.9	91.7

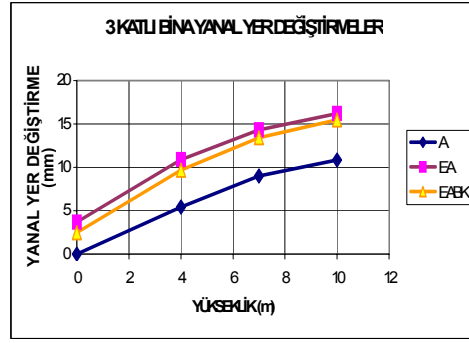
Çizelge 9. 3 katlı bina kat yanal yer değiştirmeleri

Kat	A, EDY	A, SA	EA,EDY	EA, SA.	EABK,EDY	EABK, SA
	δ_x (m) δ_y (m)	δ_x (m) δ_y (m)	δ_x (m) δ_y (m)	δ_x (m) δ_y (m)	δ_x (m) δ_y (m)	δ_x (m) δ_y (m)
3	0.010821	0.009814	0.016187	0.015510	0.015455	0.014422
	0.011766	0.010667	0.017184	0.015953	0.016378	0.015202
2	0.008990	0.008284	0.014322	0.014006	0.013429	0.012758
	0.009744	0.008975	0.014994	0.014171	0.014044	0.013259
1	0.005400	0.005048	0.010897	0.010878	0.009681	0.009392
	0.005851	0.005467	0.011073	0.010689	0.009931	0.009566
0	-	-	0.003700	0.003707	0.002490	0.002432
	-	-	0.002013	0.001948	0.002300	0.002235

Taşıyıcı Sistemi Çerçevesinden Oluşan Yapılarda...



Şekil 3. 5 Katlı Bina Yanal Yer Değiştirmeleri



Şekil 4. 3 Katlı Bina Yanal Yer Değiştirmeleri

3 katlı hâlde kolon dip kesitlerinde bulunan kesit tesirleri (T kesme kuvveti, N eksenel kuvvet ve M eğilme momenti) B aksı kirişi ve 3 aksı kirişi için aşağıda çizelge hâlinde çikarılmıştır (Çizelge.10,11). Simetri dolayısıyla kirişlerin yarısı ile çalışılmıştır.

Çizelge 10. 3 katlı bina B aksı kolon dibi kesit tesirleri

Kesit Tesiri	T (kN)			N (kN)			M (kNm)		
	EDY SA			EDY SA			EDY SA		
	A	EA	EABK	A	EA	EABK	A	EA	EABK
B1 (S4)	55.0	36.8	41.7	94.0	72.4	70.6	123.1	49.1	75.3
	50.2	36.2	40.0	76.9	63.5	61.1	112.1	47.8	71.7
B2 (S5)	32.7	44.8	38.8	11.7	8.8	15.8	65.4	85.2	76.4
	29.7	43.7	36.7	11.5	7.7	14.5	59.5	82.9	72.4
B3 (S6)	107.3	85.4	97.9	0.	0.	0.	244.9	147.0	186.8
	98.0	83.4	93.0	0.	0.	0.	223.1	142.9	177.0

Çizelge 11. 3 Katlı Bina 3 Aksı kolon dibi kesit tesirleri

Kesit Tesiri	T (kN)			N (kN)			M (kNm)		
	EDY SA			EDY SA			EDY SA		
	A	EA	EABK	A	EA	EABK	A	EA	EABK
3A (S3)	68.1	57.8	58.4	115.4	107.5	108.1	153.7	106.2	115.6
	63.9	56.3	56.9	103.6	96.4	97.5	144.0	102.8	111.9
3B (S6)	39.0	49.8	44.7	65.4	15.1	9.6	79.7	95.3	88.4
	36.5	48.2	43.2	59.0	13.8	8.4	74.5	92.0	85.2

4. HAL YAPISI VEYA FABRİKA TİPİ ÇERÇEVELERİN MODELLENMESİ VE ÇÖZÜMÜ

Bu bölümde büyük açıklıklı ve tek katlı hal yapısı veya fabrika tipi binalarda bağ kirişinin davranışını görmek amacıyla uygulamada çok kullanılan tipte çatısı ters V şeklinde ve %20 eğimli olan prefabrikte betonarme çerçevesel incelenmiştir. Çerçevenin moment aktaran birleşimlerle teşkil edildiği düşünölmüştür.

Çerçeveye dik düzlemde aks aralıkları 5~7.5 m civarında olup davranış binalardakine benzerdir. Burada çerçeve doğrultusundaki davranışının incelenmesi amaçlandığından yapı

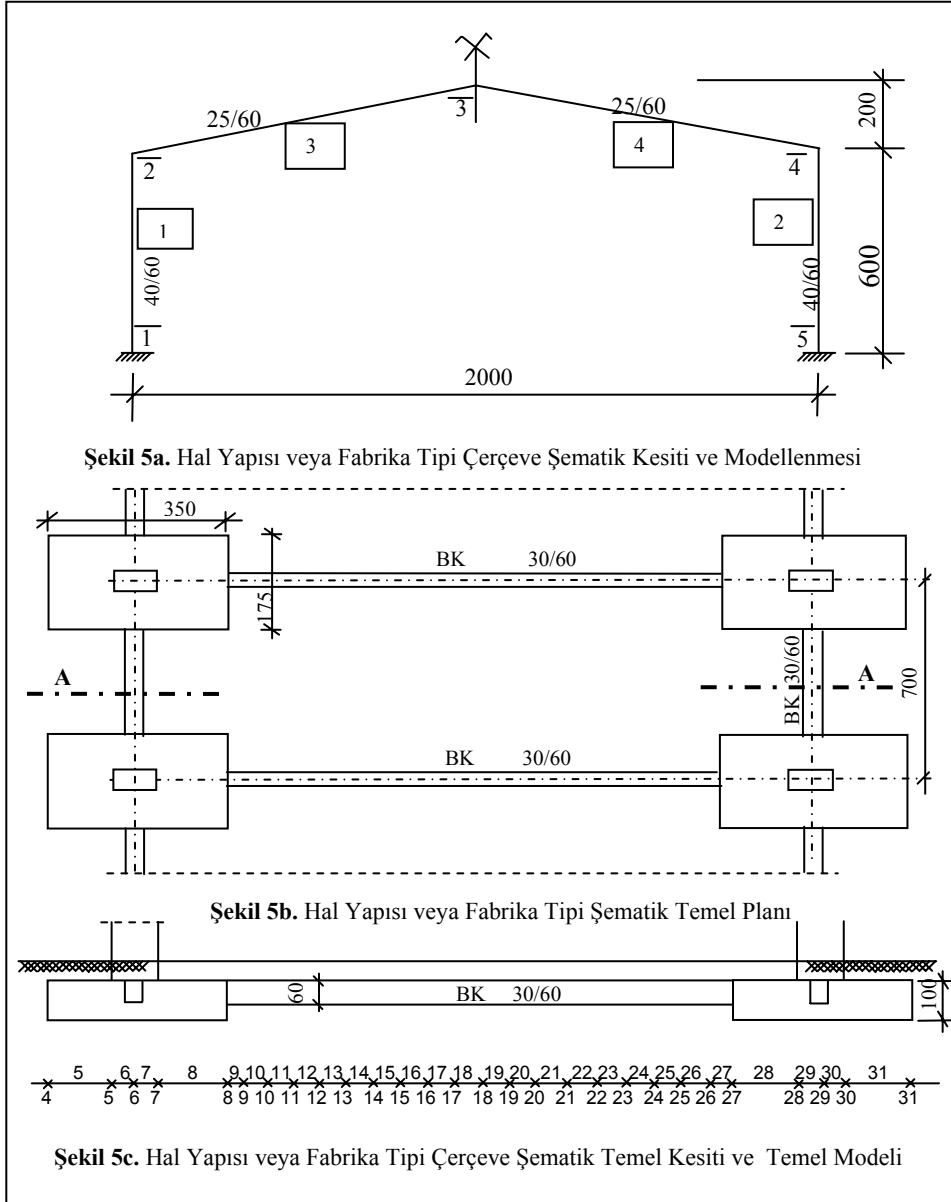
düzlem çerçeve olarak çözülmüştür. Bu hâlde de çerçevenin tabandan ankastre, elastik ankastre ve bağ kirişli elastik ankastre (bağ kirişleri de elastik yataklanmış olarak alınacaktır) mesnetlenme durumları için çözüm yapılmıştır.

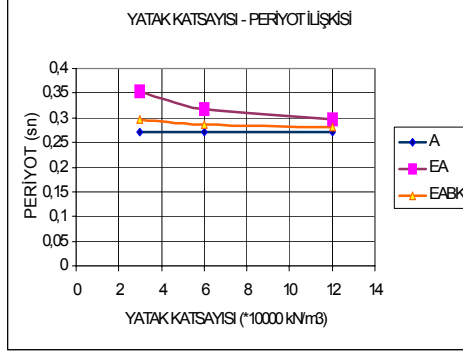
Burada çerçeve aks aralığı 7 m , kolon yüksekliği 6 m , kolon boyutu 40/60 cm/cm ve kiriş boyutu 25/60 cm/cm seçilmiştir. Çerçeve şematik kesiti ve şematik temel kalıp planı Şekil.5' de gösterilmiştir. Aynı şekilde eleman boyutları da verilmiştir. Üst yapıda beton kalitesi olarak C25 alınmıştır. Eternit, aşık ve kiriş ağırlığı sabit yük, kar yükü de hareketli yük olarak yapıya etki ettirilmiştir. Yapının I. derece deprem bölgesinde olduğu ve Z3 sınıfı bir zemine oturduğu düşünülerek $A_0=0.40$; $T_a=0.15s_n$, $T_b=0.60s_n$, $I=1$, $R=6$ alınmıştır [1]. Bu durumda deprem hesabına esas olan katsayı $S(T_1)=2.5$ ile 0.167 olmaktadır. Deprem kuvveti 21.8 kN olarak hesaplanmış ve kolon üst kenarlarından eşit olarak etkiltilmiştir. Temel boyutları zemin emniyet gerilmesi 150 kN/m² alınarak 1.75x3.50 mxm seçilmiş , temel kalınlığı normal kuvvet gereksinimi de düşünülerek 1.00 m alınmıştır.

Çerçeve önce alttan ankastre olarak çözülmüştür. Bu çözüm (A) ile gösterilecektir. Daha sonra zemin yatak katsayısının davranışa etkisini görmek amacıyla $K_0=30000$, 60000 ve 120000 kN/m³ değerleri ile bağ kirişsiz ve 30/60 cm/cm bağ kirişli olarak ayrı ayrı çözülmüştür. Önceki bölümde olduğu gibi alttan ankastre durum (A) ile, bağ kirişsiz çözüm (EA) ile bağ kirişli çözüm (EABK) ile gösterilecektir. Temele ait yay sabitleri (3), (4) ve (5) nolu bağıntılardan yararlanılarak hesaplanmıştır.

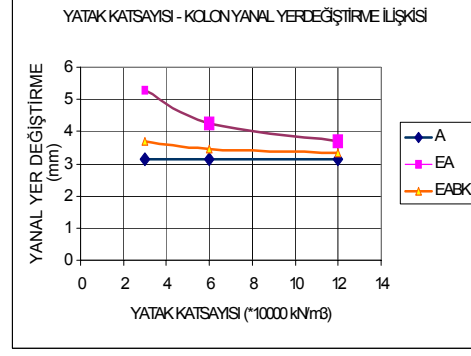
Hal yapısı Şekil 5' den de görüleceği gibi bağ kirişli hâl ve rijit hâl olmak üzere sonlu elemanlar yöntemine göre modellenmiştir. Şekil 5' de hal binasının çerçeve ve bağ kirişine ait düğüm noktaları ve çubuk numaraları da verilmiştir. Tüm hâllerde öncelikle yapı titreşim periyotları hesaplanmıştır. Periyot değerlerinin yatak katsayısı ile değişimi Şekil.6' da gösterilmiştir. Bu değişime ait yorumlar sonuç bölümünde verilecektir. Periyot değerleri spektrum katsayısını değiştirmemektedir.

Tüm hesaplamalarda ABYYHY-98 de verilen ivme spektrumu ve eşdeğer deprem yüküne göre analizler yapılmıştır. Ancak eşdeğer deprem yüklemesine ait analiz sonuçlarının daha elverişsiz olduğu görülerek tablolara sadece EDY hâline ait değerler işlenmiştir. Yatak katsayısı ile kolon tepe noktası yanal yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil.7' de gösterilmiştir. Çerçeve kesit tesirleri Çizelge.12' de özetlenmiştir. Keza elastik ankastre bağ kirişli hâlde bağ kirişine ait kesme kuvvetleri ve normal kuvvetler Çizelge.13' de, eğilme momentleri ise Çizelge.14' de, her üç yatak katsayısı değeri için verilmiştir. Çizelgelerde örneğin M(3), 30000 kN/m³ yatak katsayılı zemin için eğilme momenti değerlerini ifade etmektedir. Burada depremin soldan geldiği düşünülmüş olup değerler bağ kirişinin yarısı için verilmiştir. Sistem simetrik yükleme antimetrik olduğundan eğilme momenti ve normal kuvvetlerin antimetrik, kesme kuvvetinin ise simetrik olduğu açıktır.





Şekil 6. Hal Yapısı veya Fabrika Tipi Yapının Yatak Katsayısı-Periyot İlişkisi



Şekil 7. Hal Yapısı veya Fabrika Tipi Yapının Yatak Katsayısı-Yanal Yer Değiştirme İlişkisi

Çizelge 12. Çerçeve kesit tesirleri

HÂL	1 noktası	2 noktası	Kenar kolon	Kenar kolon	Tepe kirişi	Tepe kirişi
	M (kNm)	M (kNm)	T (kN)	N (kN)	T (kN)	N (kN)
A	71.75	25.46	16.2	2.55	2.50	0.50
EA3	64.87	32.33	16.2	3.23	3.17	0.63
EA6	68.13	29.07	16.2	2.91	2.85	0.57
EA12	69.89	27.31	16.2	2.73	2.68	0.54
EABK3	69.65	27.55	16.2	2.76	2.71	0.54
EABK6	70.49	26.71	16.2	2.67	2.62	0.52
EABK12	71.00	26.21	16.2	2.62	2.57	0.51

Çizelge 13. Bağ kirişi kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleri (kirişin yarısı için)

Çubuk	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
T(3)	-6.9	-6.34	-5.04	-3.30	-1.85	-0.78	-0.06	0.37	0.59	0.65
T(6)	-6.12	-5.47	-4.02	-2.27	-1.00	-0.21	0.19	0.36	0.41	0.42
T(12)	-5.21	-4.48	-2.96	-1.33	-0.34	0.12	0.25	0.23	0.18	0.15
N(3)	-2.50	-2.22	-1.94	-1.66	-1.38	-1.11	-0.83	-0.55	-0.28	0.
N(6)	-2.48	-2.20	-1.92	-1.64	-1.36	-1.09	-0.82	-0.54	-0.27	0.
N(12)	-2.43	-2.15	-1.87	-1.59	-1.32	-1.05	-0.79	-0.52	-0.26	0.

Çizelge 14. Bağ kirişi eğilme momenti değerleri (kirişin yarısı için)

Nokta	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
M(3)	14.66	12.93	9.76	4.72	1.42	-0.44	-1.22	-1.28	-0.91	-0.33
M(6)	10.58	9.05	6.32	2.30	0.03	-0.97	-1.18	-0.98	-0.62	-0.21
M(12)	7.30	6.02	3.77	0.83	-0.51	-0.85	-0.73	-0.48	-0.25	-0.08

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1) 5 katlı binada yapılan hesaplamalar sonucunda ankastre, elastik ankastre ve bağ kirişli elastik ankastre mesnetli durumlardaki periyot değerleri Çizelge.15’ de özetlenmiştir ve çizelgeden de görülebileceği gibi periyot değerleri ankastre hâle göre EA durumunda %25, EABK durumunda %20 fazla bulunmuştur. Keza Çizelge.6 ve Şekil.3’ den de görülebileceği gibi yanıl deplasmanlar, örneğin 5. kat yanıl yer değiştirmesi, ankastre hâle göre EA durumunda %21, EABK durumunda %18 daha fazladır. Gerçek durum EABK, hesaplar da genellikle A durumu

Taşıyıcı Sistemi Çerçevesinden Oluşan Yapılarda...

için yapıldığına göre bu hâl için periyotlar yaklaşık %20 mertebesinde daha fazla alınmalıdır. Relatif yanal kat yer değiştirmeleri her üç hâlde de birbirine yakın bulunmuştur. Yani mesnetlenme durumunun relatif kat ötelemelerine etkisi oldukça azdır. Benzer sonuçlar spektral analiz (SA) için de geçerlidir.

2) 3 katlı binada yapılan hesaplamalar sonucunda ankastre, elastik ankastre ve bağ kirişli elastik ankastre mesnetli durumlardaki periyot değerleri Çizelge.16' da özetlenmiştir ve çizelgeden de görülebileceği gibi periyot değerleri ankastre hâle göre EA durumunda %35, EABK durumunda %27 fazla bulunmuştur. Keza Çizelge.9 ve Şekil.4' den de görülebileceği gibi yanal deplasmanlar, örneğin 3.kat yanal yer değiştirmesi, ankastre hâle göre EA durumunda ~%50, EABK durumunda ~%40 daha fazladır. Gerçek durum EABK, hesaplar da genellikle A durumu için yapıldığına göre bu hâl için periyotlar yaklaşık %25 mertebesinde daha fazla alınmalıdır. 3 katlı hâlde yanal yer değiştirmelerindeki artış periyotların azalması nedeniyle deprem kuvvetlerinin artışından kaynaklanmaktadır. EABK hâlinde relatif yanal kat yer değiştirmeleri ankastre hâle yakın bulunmuştur. Yani mesnetlenme durumunun relatif kat ötelemelerine etkisi oldukça azdır. Benzer sonuçlar spektral analiz (SA) için de geçerlidir.

Çizelge 15. 5 Katlı Bina Periyot Değerleri

HÂL	T_{x1} (sn)	T_{y1} (sn)
A	0.681	0.691
EA	0.852	0.868
EABK	0.821	0.842

Çizelge 16. 3 Katlı Bina Periyot Değerleri

HÂL	T_{x1} (sn)	T_{y1} (sn)
A	0.503	0.524
EA	0.691	0.697
EABK	0.638	0.660

İlk iki maddedeki sonuçlara göre gerek periyotlarda ve gerekse mutlak yanal yer değiştirmelerde bağ kirişli durumda ankastre hâle nazaran kayda değer artışlar olmaktadır. Bu artışlar zayıf zeminlerdeki bina periyotları için %20~25 kat, mutlak yanal yer değiştirmeleri için %25~50 civarında alınabilir. Kat adedi azaldıkça artış oranları artmaktadır. Bu artışların zemin iyileştikçe, yani zemin yatak katsayısı arttıkça, azalacağı ve limit durumda çok kuvvetli bir zeminde (kaya gibi) sonuçların ankastre hâle yaklaşacağı açıktır.

Buradan hareketle önemli yapılarda bağ kirişlerinin modele katılması daha gerçekçi sonuçlara götüreceğinden önerilmektedir. Bu husus özellikle periyodu yüksek zeminlerde (zayıf zeminlerde) daha da önem kazanmaktadır.

Bunun yanı sıra bağ kirişleri kullanma amacına uygun olarak iki ucu mafsallı çubuk olarak idealleştirilmiş olsaydı periyotlar ve buna bağlı olarak relatif yanal yer değiştirmeler EABK durumuna göre daha yüksek sonuçlar verecek ve EA durumuna yaklaşacaktır.

3) 5 katlı bina örneğinde B ve 3 aksları kolon dibi kesit tesirleri Çizelge.7 ve Çizelge.8 incelendiğinde EABK hâlindeki kuvvetli doğrultusunda yerleştirilmiş kolon momentlerinin ankastre mesnetli hâle göre kenar kolonda %15~30 civarında azaldığı; keza normal kuvvetlerin %30~40 civarında, kesme kuvvetlerinin ise daha düşük oranlarda olmak üzere azaldığı ve zayıf doğrultusunda yerleşmiş kolon etkilerinde pek fazla bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Bu azalma açıklık sayısı arttıkça artmaktadır. Benzer durum 3 katlı bina için Çizelge.10 ve Çizelge.11' den görülmektedir.

4) 5 ve 3 katlı bina örneklerinde EABK hâlde bulunan bağ kirişlerine ait kesit tesirleri (moment, kesme kuvveti ve eksenel kuvvetler) de hesaplanarak incelenmiştir. Özel olarak 5 katlı bina örneğine ait 4 aksı üzerindeki C-B aksı arası bağ kirişinde $M=M_{maks} = \pm 38.7$ kNm ve buna karşı gelen donatı üstte altta BÇI için 6.1 cm^2 BÇIII için 3.3 cm^2 olmaktadır [4]. Bu da BÇI için en az $3\phi 16$ (ü,a) ve BÇIII için $2\phi 16$ (ü,a) demektir. ABYYHY 1998 Çizelge.12.3' de bu değer ilgili örnek verileri için toplam $4\phi 16$ (üst alt $2\phi 16$) olarak verilmiştir. Donatı olarak BÇI kullanılması hâlinde mesnet bölgelerinde üstte altta en az $3\phi 16$ (toplam $6\phi 16$) kullanılması, yani mesnet civarlarında birer $\phi 16$ eklenmesi uygun olacaktır. Keza benzer olarak 5 katlı örnekte en büyük normal kuvvet yine 4 aksı üzerindeki A-B ve C-D aksı arası elemanlarda ± 52.0 kN olarak

bulunmuştur. Bu elemanların uç kesitlerinde moment değeri ± 30.2 kNm olup bu değerlerle betonarme hesap yapıldığında BÇI donatısı ile bir yüzdeki donatı alanı çekmeli eğilme için 6.2 cm^2 , basınç+eğilme hâli için ise 3.25 cm^2 olmaktadır. Bu hâlde de mesnet bölgesinde bir yüzde en az $3\phi 16$ (BÇI) konulması gereklidir. 3 katlı bina hâlindeki bağ kirişi kesit tesirlerinin maksimum değerleri 5 katlı hâldekine yakın ve bir miktar daha az bulunmuştur.

Bu incelemelerden yönetmelik tarafından verilmiş olan minimum donatı miktarlarının iyi zeminlerde ve yüksek mukavemetli donatı kullanılması hâlinde yeterli olduğu, ancak zayıf zeminlerde ve BÇI kullanılması hâlinde boyuna donatı miktarlarının mesnetler e yakın yerlerde $\sim 50\%$ civarında artırılması gerektiği sonucu bulunmaktadır.

5) Çerçeve türü yapılarda 3 farklı zemin yatak katsayısı için A,EA ve EABK hâllerindeki periyot değerleri Şekil.6' da diyagramlar hâlinde sunulmuş, Çizelge.17' de sayısal olarak verilmiştir.

Çizelge 17. Çerçeve de $K_0 - T_1$ ilişkisi

	A	EA	EABK
$K_0 = 30000 \text{ kN/m}^3$	0.272 sn	0.353 sn	0.296 sn
$K_0 = 60000 \text{ kN/m}^3$	0.272 sn	0.317 sn	0.286 sn
$K_0 = 120000 \text{ kN/m}^3$	0.272 sn	0.296 sn	0.280 sn

Buradan EABK hâlinde 1.moda ait titreşim periyodu ankastre hâle göre zayıf zeminde %9, orta zeminde %5 ve iyi zeminde %3 daha fazla bulunmuştur. Periyot değerinin zemin iyileştikçe ankastre hâle hızla yaklaştığı ve tek katlı fabrika çerçevelerinde zemin durumunun periyoda etkisinin bina türü yapılara göre daha az olduğu görülmektedir. Keza yatak katsayısı-yanal deplasman değişimi Şekil.7' de diyagramlar hâlinde sunulmuş, Çizelge.18' de sayısal olarak verilmiştir.

Çizelge 18. Çerçeve de $K_0 - \text{kolon tepesi yanal yer değiştirme ilişkisi}$

	A	EA	EABK
$K_0 = 30000 \text{ kN/m}^3$	3.131 mm	5.283 mm	3.715 mm
$K_0 = 60000 \text{ kN/m}^3$	3.131 mm	4.246 mm	3.469 mm
$K_0 = 120000 \text{ kN/m}^3$	3.131 mm	3.699 mm	3.327 mm

Bu çizelgeden de EABK hâlinde kolon tepesi yanal yer değiştirmesi ankastre hâle göre zayıf zeminde %19 , orta zeminde %11 ve iyi zeminde %6 civarındadır.

Gerek periyot değerleri ve gerekse yanal deplasman değerleri, beklendiği gibi asimptotik olarak ankastre mesnetli hâle ya da çok kuvvetli zemin hâline yaklaşmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar yapılan örneklerden bulunan sayısal sonuçlar olup genellenebilmesi için çok sayıda örnek gerekmektedir. Ancak seçilen bina ve çerçeve örneklerinin uygulamadakilere oldukça benzer olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Burada önemli olan husus, gerçek periyot değerlerinin ve yanal yer değiştirmelerin ankastre halden daha büyük olduğunun dikkate alınmasıdır. Periyottaki ve yanal yer değiştirmelerdeki artış mertebeleri hakkında verilen örnekler iyi bir fikir vermektedir.

6) Çerçeve kesit tesirleri pratik olarak mesnetlenme şekline fazla etkilenmemektedirler.

7) Verilen örnekteki $L = 20\text{m}$ lik açıklığı geçen bağ kirişine ait eğilme momentleri zayıf zeminde kolon dibinden itibaren $4 \text{ m}'$ den yani $0.20L'$ den sonra çok küçük değerler almaktadır. Bu mesafe daha iyi olan diğer zeminlerde 2.75 m , yani $0.15L$ olmaktadır. Keza kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleri de $0.20L'$ den sonra ihmal edilebilecek mertebede değerler almaktadır.

Taşıyıcı Sistemi Çerçevesinden Oluşan Yapılarda...

Sonuç olarak bu tür fabrika çerçevelerinde bağ kirişlerinin çalışma boyu 0.20L alınabilir. Bu değer zemin iyileştikçe azalmaktadır. Pratik olarak bağ kirişleri bu mesafede teşkil edilecek olan bir beton bloğa ankre edilerek deprem itkileri bu bloğun sürtünmesi ile zemine aktarılabilir.

SEMBOLLER

A_0	: Etkin yer ivme katsayısı
a ve b	: Temel boyutları
F_i	: i. katın deprem yükü
h	: Temel yüksekliği
I	: Yapı önem katsayısı
K_0	: Zemin yatak katsayısı
M	: Eğilme momenti
N	: Aksenal kuvvet
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_w, R_v, R_θ	: Temel yaya sabitleri
$S_{(T1)}$: Spektrum katsayısı
T(s)	: Bina doğal periyodu
T(kN)	: Kesme kuvveti
T_a ve T_b	: Yerel zemin sınıfına ait spektrum karakteristik periyotları
V_t	: Bina taban kesme kuvveti
W_i	: i. katın deprem hesabına esas olan ağırlığı
δ	: Yanal yer değiştirme
ϕ	: Donatı çapı

TEŞEKKÜR

Bu makalenin hazırlanmasında yardım ve desteğini eksik etmeyen Prof. Dr. Sayın Metin AYDOĞAN' a yazarlar teşekkürü bir borç bilirler.

KAYNAKLAR

- [1] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998.
- [2] Heidebrecht, A.,C., Rutenberg, A., "Evaluation of Foundation Tie Requirements in Seismic Design", Canadian Journal OF Civil Engineering, Vol.20, pp 73-81, 1993.
- [3] E.L.Wilson, A Habibullah,"Structural Analysis Program Users Manual", (SAP90).
- [4] Berktaş,İ., "Betonarme I", TMMOB İstanbul Şubesi, 1995.