

ORTAK YALITIM DÜZLEMİNDE YER ALAN AYRIK BLOKLARDAKİ YÜKSEK TABAN KESME TALEPLERİNİN AZALTILMASINA YÖNELİK PRATİK MÜHENDİSLİK ÇÖZÜMLERİ

Çelik M.¹, Yıldız M.G.¹ ve Fahjan Y.M.²

¹ İnşaat Yük. Müh., Sismodinamik Müşavir Mühendisler, İstanbul

² Prof. Dr., Mimarlık Fakültesi, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze
Email: istanbul@sdesec.com

ÖZET:

Geniş oturma alanına veya planda değişik geometrik şekillere sahip büyük yapılar deprem, farklı oturma, büzülme, genişleme ve titreşimler nedeniyle oluşabilecek olumsuz etkilere karşı belirli aralıklarla (30m~40m) genişleme derzleri ile daha küçük bloklara bölünmektedir. Genelde konvansiyonel binalarda takip edilen bu tasarım yaklaşımı büyük ölçekli taban yalıtımlı binalarda da benzer şekilde devam ettirilebilmektedir. Bloklar arası esnek mekanik elektrik ekipman çözümlerinin zorluğu, cephe sistemleri, çatı ve döşeme geçişlerinde yüksek sismik derz boşluklarına ihtiyaç duyulması nedeniyle bu tip yapılarda genellikle izolasyon döşemesi ortak, üst yapılar ayırık olarak planlanmaktadır. Ortak izolasyon döşemesi üzerinde yer alan ancak üst yapıda genişleme derzleriyle ayrılmış bu tip sismik taban yalıtımlı üst yapı bloklarında deprem etkileri altında gerçekleşen karşılıklı etkileşim, bloklardaki taban kesme oranlarını artırabilmektedir. Taban yalıtım sisteminin tek serbestlik dereceli rijit cisim hareketi yaptığı kabulüne göre bloklarda belirlenen taban kesme oranları dinamik analiz sonuçlarına oranla çok düşük elde edilebilmektedir. Bu çalışma kapsamında örnek bir yapı modeli üzerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yürütülmüş ve ayırık bloklardaki taban kesme kuvvetlerinde oluşan artışların azaltılmasına yönelik geliştirilen pratik mühendislik çözümleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Sismik Taban Yalıtımı, Sürtünmeli Sarkaç Tip İzolatör, Zaman Tanım Alanında Hesap, Ortak Yalıtım Düzleminde Bulunan Ayırık Bloklar.

PRACTICAL ENGINEERING SOLUTIONS FOR REDUCING HIGH BASE SHEAR DEMANDS IN SEPARATE BLOCKS ON THE COMMON BASE ISOLATION PLANE

ABSTRACT:

Structures with large plan area or different geometric shapes are divided into smaller blocks with expansion joints at certain intervals (30m ~ 40m) against adverse effects caused by earthquakes, different settlements, shrinkage, expansion and vibrations. This design approach, which is generally followed in conventional buildings, is sometimes adopted in a similar manner in large-scale base isolated buildings. These types of structures are generally planned to have separated multiple superstructure blocks on a common isolation mat due to the difficulty of flexible mechanical/electrical equipment solutions between blocks, need for high seismic joint gap covers in the facade systems, roof and floor transitions. At the multiple blocks separated by the expansion joints located on the common isolation floor, design base shear may significantly increase in some of the relatively flexible blocks due to the heavy base mat and excitation of higher superstructure vibration modes. Equivalent single degree of freedom analysis of base isolation system may give smaller base shear ratios compared to the results of dynamic analysis of multiple blocks. In this study, nonlinear time history analyzes were carried out on a sample structure

model and state of art practical engineering solutions in order to reduce the base shear amplifications in discrete blocks were examined comparatively.

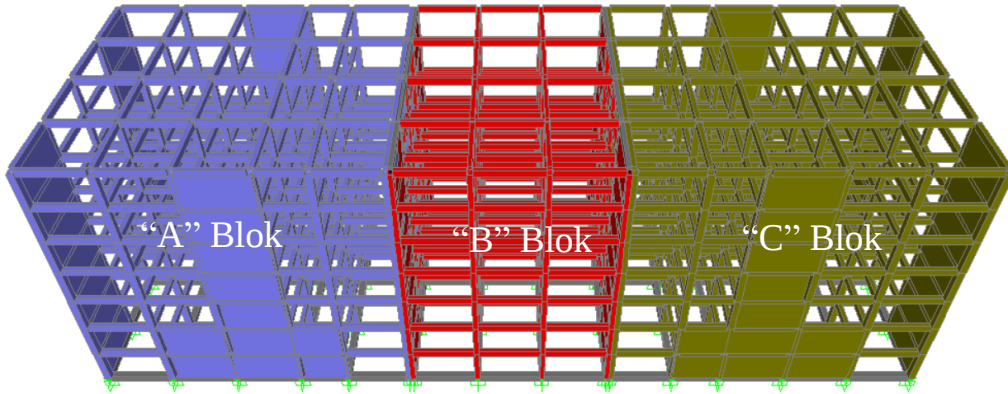
KEYWORDS: Seismic Isolation, Friction Pendulum Type Isolator, Time History Analysis, Multiple blocks on a common isolation floor.

1. GİRİŞ

Geniş oturum alanına veya planda değişik geometrik şekillere sahip büyük yapılar deprem, farklı oturma, büzülme, genleşme ve titreşimler nedeniyle oluşabilecek olumsuz etkilere karşı belirli aralıklarla (30m~40m) dilatasyon derzleri ile birbirinden ayrılmaktadır. Genelde konvansiyonel binalarda takip edilen bu tasarım yaklaşımı ülkemizde büyük ölçekli taban yalıtımlı binalarda da benzer şekilde devam ettirilebilmektedir. Bloklar arası mekanik elektrik ekipman çözümlerinin zorluğu, cephe sistemleri, çatı ve döşeme geçişlerinde yüksek sismik derz boşluklarına ihtiyaç duyulması nedeniyle bu tip yapılarda genellikle izolasyon döşemesi ortak, üst yapılar ayrı olarak planlanmaktadır. Ortak izolasyon döşemesi üzerinde yer alan ancak üst yapıda genleşme derzleriyle ayrılmış üst yapı bloklarında deprem etkisi altında gerçekleşen karşılıklı etkileşim, bloklardaki taban kesme oranlarını artırabilmektedir. Taban yalıtım sisteminin tek serbestlik dereceli rijit cisim hareketi yaptığı kabulüne göre ayrı bloklerde belirlenen taban kesme oranları dinamik analiz sonuçlarına oranla çok düşük elde edilebilmektedir. Bu bölümde örnek bir yapı modeli üzerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yürütülmüş ve ayrı bloklerdeki taban kesme kuvvetlerinde oluşan büyütme taleplerinin azaltılmasına yönelik geliştirilen pratik mühendislik çözümleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2. YAPISAL MODEL

Çalışma yapılan örnek bina birbirine izolasyon kotu döşemesinde bağlı, üstyapıda ise bağımsız üç bloktan oluşmaktadır. Bloklar arası boşluk 50 cm'dir. Taban yalıtım sisteminde toplamda 80 adet eğri yüzeyli sürtünme sarkaç izolatör kullanılmıştır. Yapısal model Sap2000 yapısal analiz programı kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 1: Yapısal analiz modeli

Bina blokları yedi kattan oluşmaktadır. Kat yükseklikleri tüm bloklarda 4.8m'dir. Blokların taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve (kolon-kiriş) ve perde duvarlardan oluşmaktadır. "A" ve "C" olarak adlandırılan blokların taşıyıcı sistemleri tamamen aynı olup birbirlerinin ayna simetriğidir. Bu bloklarda her iki plan doğrultusunda da rijit betonarme perdeler yer almaktadır. "B" blok taşıyıcı sistemi ise plan uzun doğrultusunda üç açıklıklı betonarme çerçevelerden, diğer doğrultuda ise betonarme perdelerden oluşturulmuştur. Tasarım ivme spektrumuna ilişkin karakteristik spektral ivmeler S_{ds} : 0.83g ve S_{d1} : 0.475g olarak belirlenmiştir.

2.1. İzolatör ve izolasyon sistemi eşdeğer özellikleri

Sismik yalıtım sisteminde iki yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler kullanılmış olup, izolatör efektif eğrilik yarıçapı R_{eff} :4.5m, izolatör başlangıç yatay rijitliği k_1 :7,700 kN/m, nominal sürtünme katsayısı $\mu_{nominal}$: 0.042 olarak seçilmiştir. Bina bloklarının toplam sismik ağırlık (G+0.5Q) W_T :498,400 kN, bir izolatör için ortalama düşey ağırlık W_i : 6230 kN olarak bulunmuştur. Tasarım deprem etkisi altında taban yalıtım sisteminde oluşan deplasman talepleri ve taban kesme oranı, izolatörlerin nominal özellikleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Seçilen izolatör özellikleri için tasarım deprem etkisi altında yürütülen eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem analizlerine göre taban yalıtım sistemi tasarım deplasman talebi D_D : 0.215 m, etkin sönüm ξ_D : %30, etkin periyot T_D : 3.10 s., taban kesme oranı ise V_D/W : %9.0 olarak hesaplanmıştır.

2.2. Taban yalıtımlı sistemin titreşim modları

Yapısal model üzerinde izolatörlerin tasarım deplasmanı için belirlenen eşdeğer sistem özellikleri dikkate alınarak yapılan modal analiz sonuçlarına göre ilk üç titreşim periyodu yalıtım sistemine ait ana titreşim modları olarak elde edilmiştir. Diğer yüksek modlar ise üst yapı bloklarına ait titreşim modlarıdır.

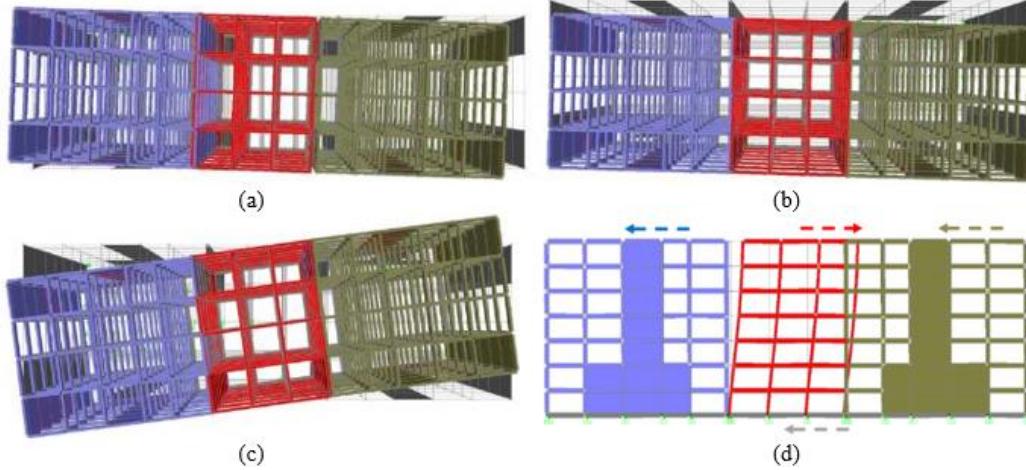
Tablo 1: Örnek yapı modal analiz sonuçları

Mod	Periyot (s.)	Modal Katkı Çarpanı Γ ve (Kütle Katılım Oranı)			Modal Kütle (ton)	Modal Rijitlik (kN/m)	Etkin Sistem
		UX	UY	RZ (Burulma)			
1	3.22	217.9 (%93.39)	7.0 (%0.09)	-6736.6 (%11.98)	1	3.81	İzolasyon Sistemi
2	3.20	-18.1 (%0.64)	220.3 (%95.50)	17259.1 (%78.62)	1	3.86	İzolasyon Sistemi
3	3.18	52.3 (%5.39)	46.8 (%4.31)	-5903.5 (%9.20)	1	3.89	İzolasyon Sistemi
4	1.27	16.6 (%0.54)	0.0 (%0.00)	-689.8 (%0.13)	1	24.31	B Blok X Yönü
9	0.48	0.0 (%0.00)	-3.7 (%0.03)	-249.6 (%0.02)	1	171.92	B Blok (Y Yönü) A-C Blok (Burulma)
11	0.47	-0.3 (%0.00)	5.5 (%0.06)	390.7 (%0.04)	1	180.73	A-B-C Blok (Y Yönü ve Burulma)
12	0.40	-3.8 (%0.03)	0.0 (%0.00)	136.5 (%0.00)	1	250.84	A-C Blok X Yönü
	Σ	99.99%	99.99%	99.98%			

Yapısal model üzerinde yapılan modal analiz sonuçlarına göre ilk üç titreşim periyodu yalıtım sistemine ait ana titreşim modları olarak elde edilmiştir. Diğer yüksek modlar ise üst yapı bloklarına ait titreşim modlarıdır.

Üst yapılara ait yüksek titreşim modları, yalıtım periyodundan yeterince ayrı değilse ($T_D/T_S < 3$), taban yalıtımlı üst yapıların dinamik davranışlarını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Özellikle izolasyon döşemesi kütesinin çok büyük olduğu bu tip bitişik düzende oluşturulmuş yapılarda yüksek modların etkinliği önemli ölçülerde artabilmektedir. Yüksek titreşim modlarının, üst yapıların taban kesme kuvvetine (V_{ixn}) olan etkisi ise titreşim moduna ilişkin modal katkı çarpanı (Γ_n), modal yerdeğiştirme genlikleri (Φ_{ixn}) ve titreşim moduna ilişkin spektral ivme ($S_a(T_n)$) büyüklükleriyle orantılı olarak artmaktadır (Denklem 1). Bu durum nispeten uzun periyotlara sahip üst yapı bloklarındaki taban kesme oranının, eşdeğer deprem yükü yöntemine göre hesaplanan değerlerden 2~3 kat mertebelerine varan oranlarda büyük olmasına neden olabilmektedir.

$$V_{txn}^X = \Gamma_n^{(X)} \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{ixn} S_a(T_n) \quad (1)$$



Şekil 2: Taban yalıtımlı yapının birinci (a), ikinci (b), üçüncü (c) ve dördüncü (d) mod şekilleri

İzolasyon döşeme kütlelerinin üst yapı toplam kütlelerine yakın olduğu, yatay rijitliği nispeten düşük olan, tek bloktan oluşan yapılarda da yüksek titreşim modlarının etkinliği önemli ölçüde artabilmektedir (Yatay rijitliği düşük moment çerçevesi az veya çok katlı yapılar vb). Buna ilaveten, seçilen ivme kayıtlarının izolasyonlu uzun periyot aralıklarında ölçeklendirilmesi gerçekleştirildiğinde ivme kaydının nispeten kısa periyotlarla ilişki genlikleri tanımlanan hedef tasarım spektrumundan daha büyük elde edilebilmektedir. Bu duruma yüksek modlardaki düşük sönüm oranlarının etkisi eklenince kısa periyotlarla ilişkili spektral ivmeler hedeflenenden çok daha büyük olabilmektedir.

2.3. Tabana ankastre üst yapı bloklarına ait titreşim modları

Üst yapı bloklarının tabana ankastre durumdaki doğal titreşim periyotları aşağıdaki tabloda verilmektedir. “B” blok yapısının “X” yönündeki doğal titreşim periyodu bu yönde yalnızca moment çerçevelerinin bulunması nedeniyle diğer bloklara göre daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 2: Blokların tabana ankastre durumdaki doğal titreşim periyotları (T_s)

Titreşim Modu	A Blok T_s	B Blok T_s	C Blok T_s
X Yönü	0.56 s.	1.40 s.	0.56 s.
Y Yönü	0.74 s.	0.74 s.	0.74 s.
R_z	0.43 s.	0.63 s.	0.43 s.

Yalıtımlı sistem periyodunun “B” blok yapısının “X” yönündeki doğal titreşim periyoduna oranı T_D/T_s : 2.2 olarak bulunmuştur (Tablo 5.7). Tasarım yönetmelikleri $T_D/T_s < 3$ olan sistemler için üst yapıda taban kesme oranlarının eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem kabulü yerine dinamik analizlerle belirlenmesini istemektedir.

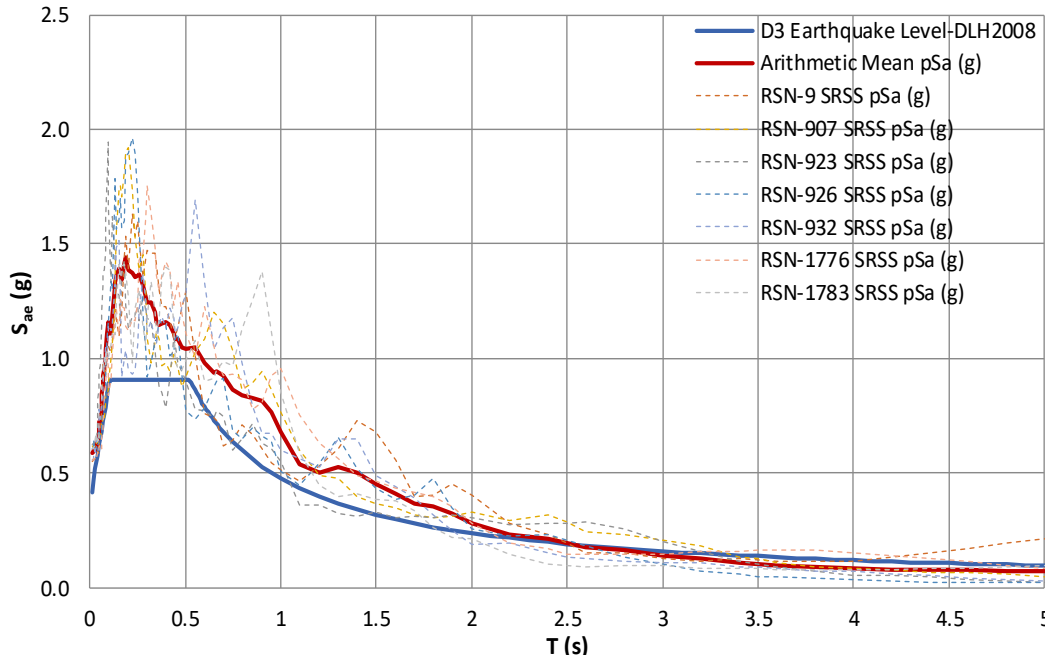
Tablo 3: Yalıtım periyodunun blokların doğal titreşim periyotlarına oranı (T_D/T_s)

Titreşim Modu	A Blok T_D/T_s	B Blok T_D/T_s	C Blok T_D/T_s
X Yönü	5.5	2.2	5.5
Y Yönü	4.2	4.2	4.2
R_z	7.2	4.9	7.2

Örnek bina modelinde 4. titreşim modunun (“B” blok “X” yönü ana periyodu) “B” blok yapısında taban kesme kuvvetlerinde büyütme yapabilecek etkide bir karakteristiğe sahip olduğu görülmektedir. Bu titreşim modunda “B” bloktaki kat deplasman genlikleri diğer blokların ve izolasyon döşemesinin genlikleri ile zıt yönlüdür (bkz. Şekil 2d). Söz konusu zıtlık nedeniyle bloklardaki ters yönlü taban kesmeleri toplamda birbirini elimine etmekte ve izolasyon sistemindeki taban kesme kuvveti önemli ölçüde değişmemektedir. Ancak, “B” blok zemin katındaki taban kesme kuvvetleri büyük kat genliklileri nedeniyle yüksek mertebelere ulaşabilmektedir

3. YAPISAL MODEL ve ANALİZ SONUÇLARI

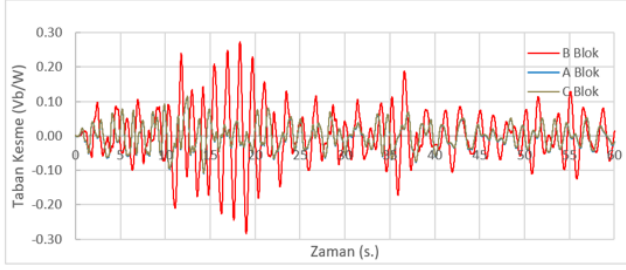
Bloklardaki taban kesme oranlarının zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerle belirlenmesi kapsamında tasarım spektrumuyla uyumlu ölçeklendirilmiş yedi adet yer hareketi seçilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler, ayrı bloklerde taban kesme oranlarındaki değişimlerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirileceğinden ölçeklendirilmiş yedi kayıt çifti yerine üç kayıt çiftinin (RSN-907, RSN-923 ve RSN 932 İvme Kayıtları) kullanılması yeterli görülmüştür.



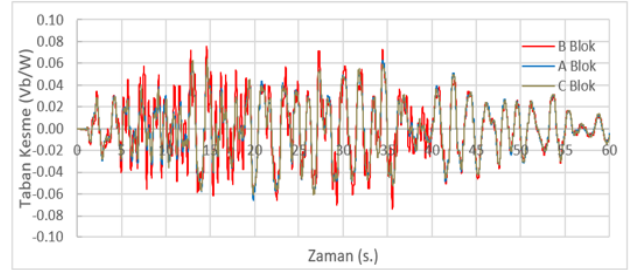
Şekil 3: Tasarım depremine uyumlu olarak seçilen yer hareketi kayıtları.

Zaman tanım alanında yürütülen analizler doğrusal olmayan “Modal Fast Nonlinear Time History Analysis” yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Deprem hareketinin bileşenleri iki doğrultuda eş zamanlı olarak sisteme etkilmiştir. İlk üç izolasyon titreşim modu sönümsüz olarak dikkate alınmıştır. İzolatörler doğrusal olmayan link elemanlarıyla modellendiğinden sönüm çevrimsel davranışla doğrudan temsil edilebilmektedir. Üst yapılarla ilişkili diğer titreşim modlarında %2 modal sönüm oranı kullanılmıştır.

Analizler sonucu bloklar için elde edilen “X” ve “Y” yönü taban kesme kuvveti-zaman grafikleri ve tüm blokların maksimum taban kesme kuvveti oranlarını içeren özet tablo aşağıda verilmiştir.

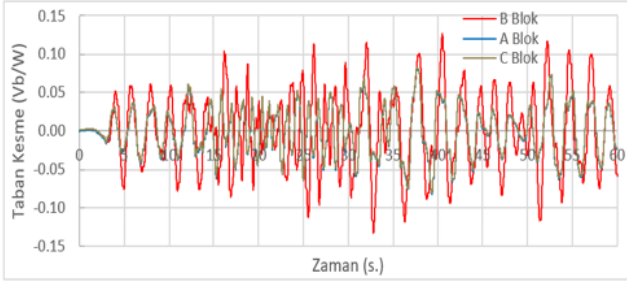


(a)

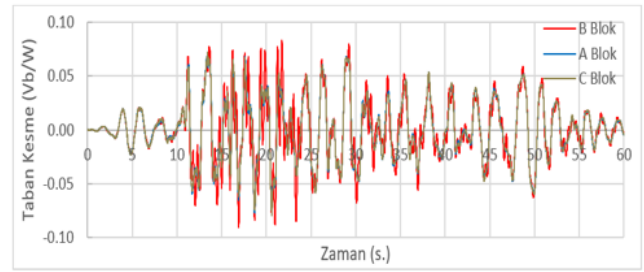


(b)

Şekil 4: RSN-932 yer kaydının blokların zemin katında oluşturduğu “X” Yönü (a) ve “Y” Yönü (b) taban kesme oranı

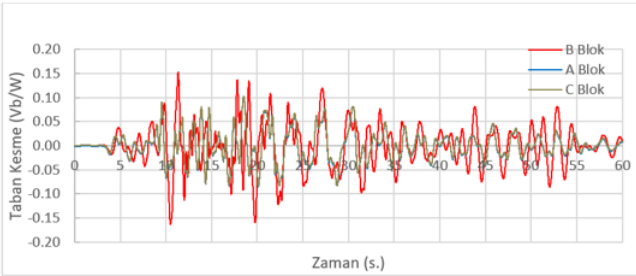


(a)

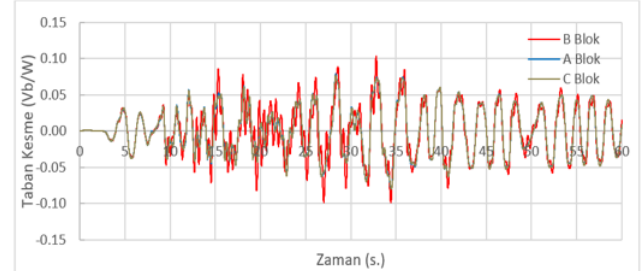


(b)

Şekil 5: RSN-923 yer kaydının blokların zemin katında oluşturduğu “X” Yönü (a) ve “Y” Yönü (b) taban kesme oranı



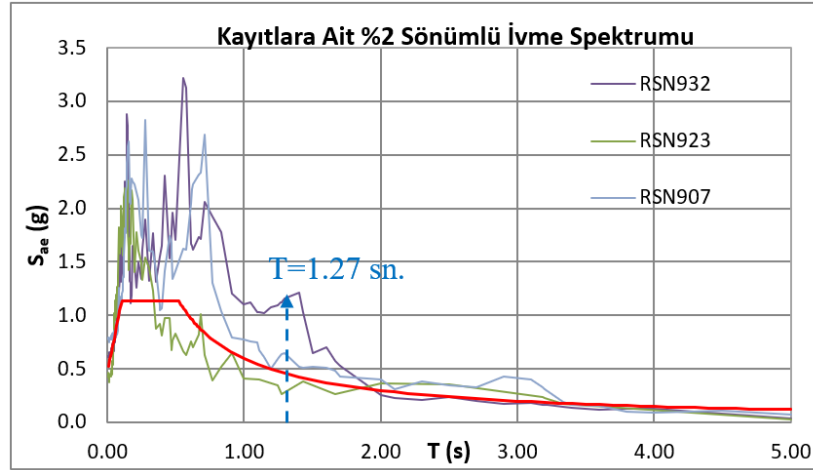
(a)



(b)

Şekil 6: RSN-907 yer kaydının blokların zemin katında oluşturduğu “X” Yönü (a) ve “Y” Yönü (b) taban kesme oranı

Zaman tanım alanında yürütülen doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre “B” blok yapısı “X” yönü için elde edilen maksimum zemin kat taban kesme oranları RSN-932 kaydı için %28, RSN-923 kaydı için %13.2 ve RSN-907 kaydı için %16.3 olarak elde edilmiştir. Bu oranlar eşdeğer yöntemle hesaplanan taban kesme oranından (%9.0) 1.5~3 kat büyük bulunmuştur. RSN-932 kaydı kullanılarak “B” blok için elde edilen maksimum taban kesme oranı diğer iki kayıt kullanılarak elde edilen oranlardan çok daha büyük bulunmuştur. Bu farklılık RSN-932 yer ivme kaydının “B” blok hakim titreşim periyodu ($T_{Mod4}=1.27s$) ile ilgili spektral genliklerinin diğer kayıtlara nispeten daha büyük olmasıyla ilişkilendirilebilir (bkz. Şekil 7). RSN-923 ve RSN-907 kayıtları için “Y” yönü zemin kat taban kesme oranı değişimleri incelendiğinde, analiz sonuçlarının RSN-932 kaydı analiz sonuçlarıyla benzerlik teşkil ettiği görülmektedir. “A”, “B” ve “C” bloklarının zemin katında elde edilen maksimum taban kesme oranları %8~%10 arasında elde edilmiştir. Bu değerler eşdeğer yöntemle hesaplanan (%9) taban kesme oranına yakın bulunmuştur.



Şekil 7: İvme kayıtların “X” bileşenine ait %2 sönümlü ivme spektrumu

Zaman tanım alanında yapılan analizlere ilave olarak yapı modeli mod birleştirme yöntemi kullanılarak da analiz edilmiştir. Üç farklı mod birleştirme yöntemi kullanılmış olup, analiz sonuçları zaman tanım alanında yapılan analiz sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Spektral ivmelerin belirlenmesinde yer kayıtlarının ivme spektrumları dikkate alınmış olup, bu ivme spektrumları %30 sönümlü (izolasyonlu mod) ve %2 (yüksek mod) sönümlü spektrumlar olarak elde edilmiştir.

Tablo 4: 4. Modun (yüksek mod) “B” blokta oluşturduğu kesme kuvvetleri

Kat	Modal Katkı Çarpanı Γ_4	Kat Kütlesi (KNs ² /m)	Modal Genlik Φ_{ix4}	TH932 Kat Kuvvetleri (KN) Sa(T ₄): 1.12g	TH923 Kat Kuvvetleri (KN) Sa(T ₄): 0.34g	TH907 Kat Kuvvetleri (KN) Sa(T ₄): 0.63g
7	16.6	1310	0.01279	3056	928	1719
6	16.6	1436	0.01202	3148	956	1771
5	16.6	1435	0.01065	2787	846	1568
4	16.6	1555	0.00870	2467	749	1388
3	16.6	1476	0.00616	1658	503	933
2	16.6	1504	0.00327	897	272	505
1	16.6	1564	0.00026	76	23	43
Σm_i		10280	Vb	14090	4277	7925
			Vb/W	%14.0	%4.2	%7.9

Tablo 5: 1. Modun (yalıtım modu) “B” blokta oluşturduğu kesme kuvvetleri

Kat	Modal Katkı Çarpanı Γ_4	Kat Kütlesi (KN s ² /m)	Modal Genlik Φ_{ix1}	TH932 Kat Kuvvetleri (KN) Sa(T ₁): 0.061g	TH923 Kat Kuvvetleri (KN) Sa(T ₁): 0.070g	TH907 Kat Kuvvetleri (KN) Sa(T ₁): 0.078g
7	217.86	1310	0.00522	891	1023	1140
6	217.86	1436	0.00517	968	1111	1238
5	217.86	1435	0.00508	950	1091	1215
4	217.86	1555	0.00495	1003	1152	1283
3	217.86	1476	0.00476	916	1051	1171
2	217.86	1504	0.00453	888	1019	1136
1	217.86	1564	0.00427	871	999	1113
Σm_i		10280	Vb	6488	7445	8296
			Vb/W	%6.4	%7.4	%8.2

Tablo 6: Analiz sonuçları kıyaslama tablosu.

Yer Kaydı	“1” & “4” Mod Birleştirme			Dinamik Analiz (g)	Eşdeğer Yöntem Analiz (g)
	“ABS Sum” (g)	“SSRS” (g)	“CQC” (g)		
TH932	%20.4	%15.4	%16.3	%28.4	%9.0
TH923	%11.6	%8.5	%9.1	%13.2	%9.0
TH907	%16.1	%11.4	%12.2	%16.3	%9.0

Üç ayrı ivme kaydı için yapılan analiz sonuçları “B” blok “X” yönü zemin kat taban kesme oranları, eşdeğer yöntemle göre hesaplanan orandan 1.5~3.0 kat daha büyük bulunmuştur. Tepki spektrumu yönteminde modlarda mutlak toplama (“ABS Sum”) yöntemi kullanıldığında zaman tanım alanında yapılan analiz sonuçlarına yakın sonuçlar elde edilmiştir. Mod birleştirme yönteminde “B” blokla ilişkili yüksek modun taban kesme kuvvetine katkısı izolatör modundan daha yüksek bulunmuştur. Sistemde izolatör sistemi titreşimleri dışındaki yüksek modların etkisi belirgin bir şekilde görülmektedir. İzolatörlerin rijit davranış gösterdiği yük boşalımı (“Unloading”) ve yeniden yükleme (“Reloading”) fazlarında yüksek titreşim modlarının da belli bir ölçüde (%10-%40) taban kesme kuvvetlerini artırdığı anlaşılmaktadır.

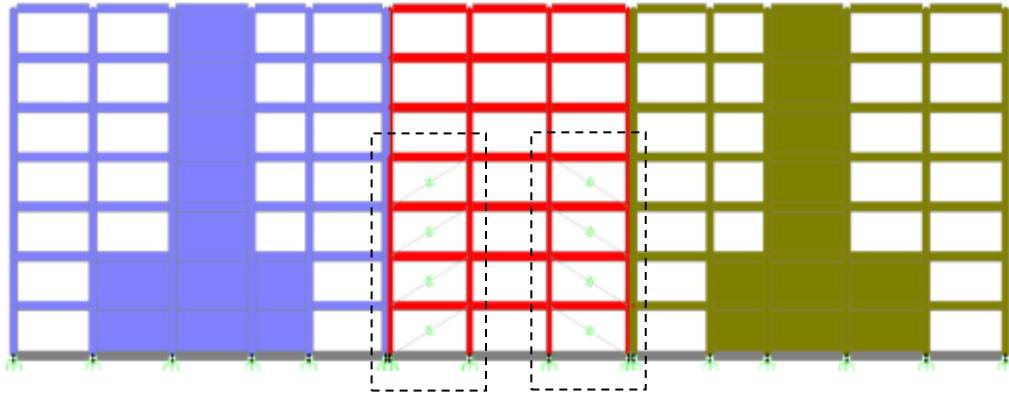
Netice itibarıyla ortak izolasyon döşemesi üzerinde yer alan ayrık yapı sistemlerinde mod birleştirme veya eşdeğer deprem yükü yöntemlerine göre taban kesme oranının belirlenmesi yetersiz tasarım yapılmasına neden olabilmektedir. Bu tip çoklu bloklar için tasarıma esas taban kesme kuvvetlerinin belirlenmesinde zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçlarının kullanılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir. Zaman tanım alanında yürütülen dinamik analizlerden bulunan maksimum taban kesme kuvvetlerinin ortalama değeri bina katlarına eşdeğer deprem yükü yöntemine göre dağıtılarak (ters üçgen) tasarımın güvenli yönde kalacak şekilde gerçekleştirilmesi mümkün görülmektedir.

Tablo 7: Bloklar bazında maksimum taban kesme oranları.

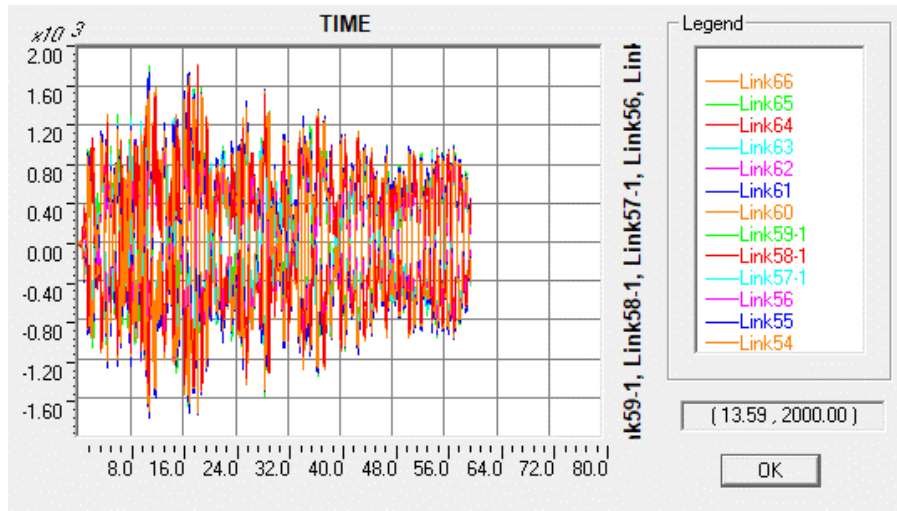
Blok Adı	RSN 932 Yer Hareketi		RSN 923 Yer Hareketi		RSN 907 Yer Hareketi		Eşdeğer Yöntem
	Maksimum Taban Kesme Oranı X Yönü (W)	Maksimum Taban Kesme Oranı Y Yönü (W)	Maksimum Taban Kesme Oranı X Yönü (W)	Maksimum Taban Kesme Oranı Y Yönü (W)	Maksimum Taban Kesme Oranı X Yönü (W)	Maksimum Taban Kesme Oranı Y Yönü (W)	Maksimum Taban Kesme Oranı X ve Y Yönü (W)
A	11.45%	6.55%	8.27%	7.73%	10.26%	8.01%	9.00%
B	28.44%	7.59%	13.23%	9.08%	16.34%	10.28%	9.00%
C	11.55%	6.34%	8.25%	7.99%	10.30%	8.00%	9.00%

4. YÜKSEK TİTREŞİM MODLARI NEDENİYLE OLUŞAN KESME TALEPLERİNİN AZALTILMASI

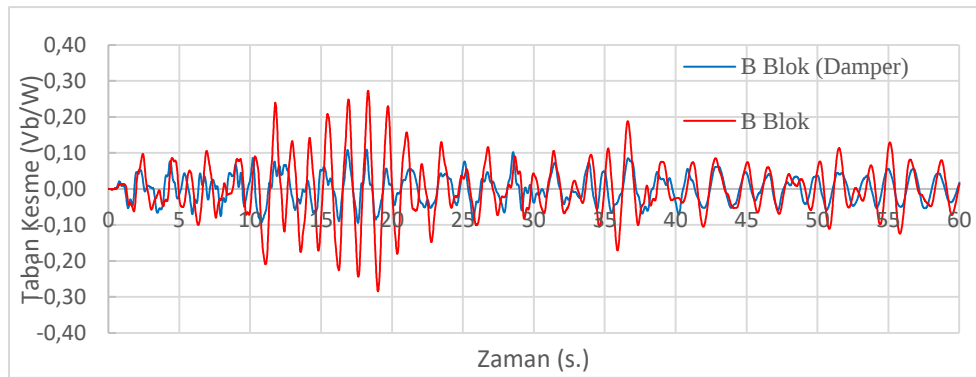
“B” blok “X” yönü taban kesme oranındaki yüksek titreşim modlarının etkinliğinin azaltılabilmesi için üst yapının sönüm oranı ilave sönümleyiciler kullanılarak artırılmıştır. Aşağıdaki konfigürasyonda çerçeve sistemine “X” yönünde çapraz konfigürasyonda sönümleyiciler ilave edilerek “B” bloktaki taban kesme büyütme oranı önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Modele toplamda sekiz adet ön cephe de sekiz adet ise arka cephede olmak üzere toplamda 16 adet viskoz damper kullanılmıştır. Damper hız çarpanı katsayısı ve üstel katsayı tüm damperlerde C: 10000 $\alpha=0.5$ kN.s/m olarak seçilmiştir. RSN932 kaydı için yapılan analizlerde maksimum damper kuvveti $F_{VD,max}$: 1800 kN olarak bulunmuştur. Söz konusu damperlerin sisteme ilavesiyle 4.Modu ait kritik sönüm oranı ξ : %2 iken ξ_{vd} : %10 mertebesine yükselmiş, taban kesme oranı ise V_B : %28W iken $V_{B,Damper}$: %9W mertebelerine gerilemiştir.



Şekil 8: Damper ilaveli yapısal model.

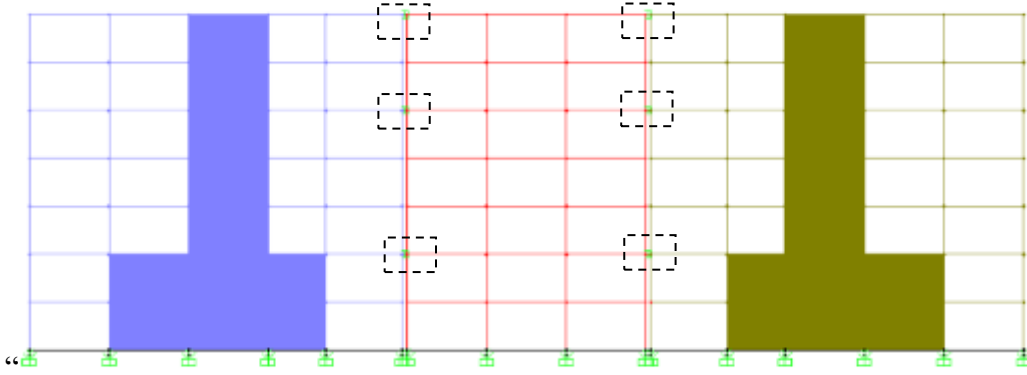


Şekil 9: RSN-932, damper kuvvetleri, $F_{VD,max}$: 1800 kN.

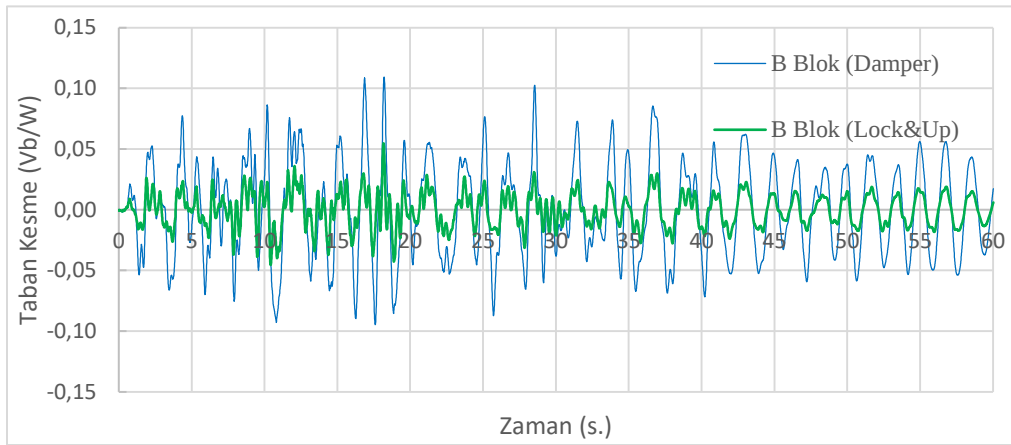


Şekil 10: RSN-932, damperli ve mevcut model zemin kat kesme oranı ("X")

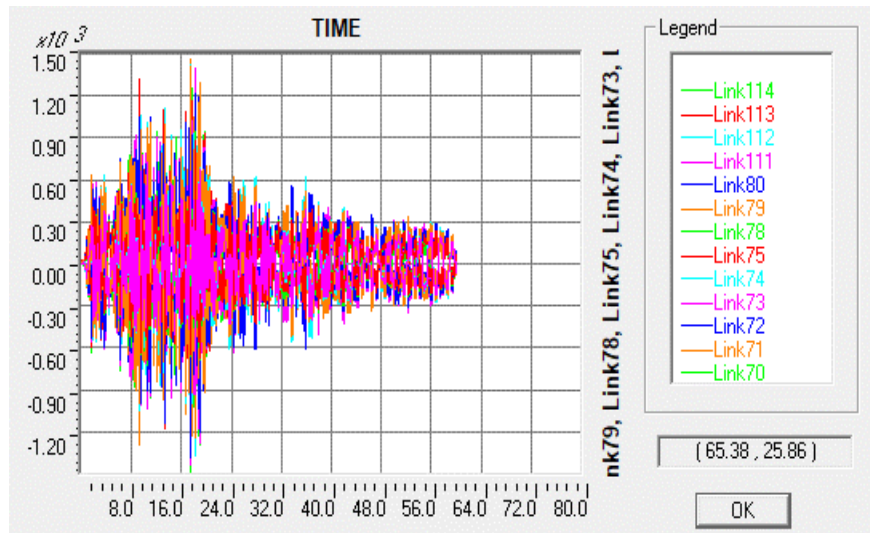
"B" blok "X" yönü taban kesme oranındaki yüksek titreşim modlarının etkinliğinin azaltılabilmesi için damperli çözüme alternatif olarak "B" blok yapısı diğer komşu bloklara belli kotlarda "Lock-Up" cihazlarıyla bağlanmıştır. Bu cihazların çalışma prensibi araçlardaki emniyet kemerlerine benzemektedir. Deprem hareketi gibi ani ve hızlı etkilerde cihaz kendini kitlemekte, ısı etkisiyle genişleme gibi yavaş etkilerde ise serbest harekete izin vermektedir. Modelde ikinci katta altı adet, beşinci katta altı adet ve son katta iki adet olmak üzere toplamda "16 adet" "Lock-Up" cihazı kullanılmıştır.



Şekil 11: “Lock-Up” ilaveli yapısal model.



Şekil 12: RSN-932, Damperli ve “Lock&Up” model z. kat kesme oranı(“X”)



Şekil 13: RSN-932, “Lock-Up” kuvvetleri (kN).

RSN932 kaydı için yapılan analizlerde maksimum “Lock&Up” kuvveti $F_{(Lock\&Up)}$: 1440 kN olarak bulunmuştur. Söz konusu cihazların sisteme ilavesiyle 4.Mod etkinliği tamamen ortadan kalkmıştır. “B” blok taban kesme oranları ise damperli modelin yarısı kadar ($V_{B,Lock\&Up}$: %5.4) elde edilmiştir. “Lock&Up” cihazları, montajda

damperler gibi ilave çelik çaprazlara ihtiyaç duymamakta olup, maksimum eksenel yük kapasite ihtiyacı damperlerden ~400 kN daha az bulunmuştur. Bu cihazların kullanımı, “B” blok taban kesme oranlarını önemli ölçüde düşürülerek üst yapı tasarımında ekonomi sağlayabilmiştir. Bu duruma göre bu tip bir yapıda damperli çözüm yerine “Lock&Up” kullanılmasının daha ekonomik olacağı görülmektedir. Damper ve “Lock&Up” cihazlarında deplasman taleplerinin nispeten düşük olması nedeniyle “Stroke” kontrolü yapılmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Blokların izolasyon döşemesinde de dilatasyon derzleri ile ayrılarak “Lock&Up” cihazlarıyla bağlanması, cihazlarda oluşacak eksenel yük taleplerinin azaltılması, izolasyon döşemesinde rötre ve genleşme nedeniyle oluşacak ilave taleplerin azaltılması ve yapıların statik durumda tamamen birbirinden bağımsız davranış gösterebilmesi bakımından daha uygun bir çözüm olarak görülmektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Ortak izolasyon döşemesi üzerinde genleşme derzleriyle birbirinden ayrılmış bina blokları incelenmiş, oluşturulan örnek modelde yatay rijitliği diğer bloklara nispeten az olan “B” blokta tasarım taban kesme kuvvetleri önemli mertebelerde (1.5~3 kat) artış göstermiştir.

B blok “X” yönü taban kesme oranındaki yüksek titreşim modlarının etkinliğinin azaltılabilmesi için üst yapının sönüm oranı (%10 C_{cr}) ilave damperler kullanılarak artırılmıştır. “B” blok yapısının ilk dört katındaki çerçeve sistemine “X” yönünde çapraz konfigürasyonda 16 adet 2000 kN kapasiteli damperler ilave edilerek “B” bloktaki taban kesme oranı önemli ölçüde (%28’den %10’a) azaltılabilmiştir.

Damperli çözüme alternatif olarak “B” blok yapısı diğer komşu bloklara belli kotlarda “Lock-Up” cihazlarıyla bağlanmıştır. Düzen olarak ikinci katta altı, beşinci katta altı ve son katta iki adet olmak üzere toplamda “16 adet” “Lock-Up” cihazı kullanılmıştır. Söz konusu cihazların sisteme ilavesiyle 4.Mod etkinliği tamamen ortadan kalkmıştır. “B” blok taban kesme oranları ise damperli modelin yarısı kadar ($V_{B,Lock\&Up}$: %5.4) elde edilmiştir.

“B” blok “X” yönü taban kesme oranındaki yüksek titreşim modlarının etkinliğinin azaltılabilmesi için “B” blok yapı sistemine “X” yönünde ilave betonarme perdeler (bina kullanımını önemli ölçülerde etkilemiyor ise) yerleştirilmesi de düşünülebilir. Ancak, bu yöntemle kesme büyütme oranının azaltılabilmesi her zaman mümkün olmayabilir. Örneğin ilgili blok yapısına komşu ve yatayda rijitliği düşük bir blok yapısına da perde ilave edilmesine ihtiyaç duyulabilmektedir. Taban yalıtımlı binalarda perde altlarında oldukça yüksek basınç ve çekme talepleri oluşabilmektedir. Özellikle yüksekliğinin genişliğine oranı büyük ($h/l_w > 3$) olan perdelerde (asansör perdeleri vb.) basınç ve çekme talepleri aşırı yüksek mertebelere ulaşabilmektedir.

İzolatörlerin sınırlı çekme (LRB vb.) veya kalkma (FPS vb.) kapasitesine sahip olması nedeniyle perde elemanının taşıyıcı sisteme olan yatay rijitlik katkısı büyük oranda izolasyon döşemesinin eğilme rijitliğine bağlı kalmaktadır. İzolasyon döşemesi eğilme rijitliğinin nispeten zayıf olduğu perdeli sistemlerde moment çerçevelerinde yüksek iç kuvvet talepleri oluşabilmektedir. Bu etkiler ise izolatörlerin çekme ve basınçtaki düşey rijitliklerinin farklı olması nedeniyle lineer analiz yapılarak belirlenmemektedir. Bu nedenle tüm tasarım yük kombinasyonlarının yatay yükler altında doğrusal olmayan statik analizlerle (Pushover) belirlenmesine ihtiyaç doğmaktadır. Uygulamada çoğu tasarımcı lineer yöntemlerle analiz ve tasarım gerçekleştirmekte, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerle de genel mühendislik parametrelerini (taban kesme oranı, ötelenmeler vb.) kontrol etmektedir. Zaman tanım alanında yapılan analiz sonuçlarına göre yapısal eleman bazında bir tasarım kontrolü genellikle gerçekleştirilmemektedir. Söz konusu bu durum çoğu moment çerçevelerinin yetersiz tasarımına neden olabilmektedir.

Çoklu bloklardan oluşan sistemlerin üst yapıda da birleştirilerek taşıyıcı sistemin perdelerin olmadığı rijit moment çerçevelerinden oluşturulması uygun bir çözüm olarak görülmektedir. Taşıyıcı sistemde üst yapı deformasyonlarının sınırlandırılması amacıyla perde kullanımı bir gereksinim oluşturuyor ise perdelerin mümkün

mertebelerde bina iç konumlarında yer almasına, perde toplam yüksekliğinin plandaki uzunluğuna oranının ikiden ($h/l_w < 2$) küçük olmasına veya perdelerin alt katlara doğru planda uzunluklarının artırılarak büyütülmesine dikkat edilmelidir. Sıcaklığa bağlı genleşme etkileri tasarım aşamasında dikkate alınarak gerekli önlemler (döşeme veya kiriş ilave genleşme donatıları) alınabilir. Isıl genleşme veya büzülme neticesinde hesaplanan ilave donatı maliyetleri bu tür bir yapıda çok beklenmese de nispeten daha büyük ölçekli yapılarda ciddi maliyetler doğurabilmektedir. Büyük ölçekli yapılarda (planda uzunlukları 80m'den büyük yapılar), rötre, ısı genleşme veya büzülme nedeniyle izolatörlerde kalıcı deplasmanlar oluşabilmektedir. Söz konusu kalıcı deplasmanlar nedeniyle oluşan "P-Delta" etkilerinin düşey yük kombinasyonları dahilinde kaide ve izolasyon döşemesi tasarımında dikkate alınması gerekebilir.

Zemin yapısının homojen olmadığı (zemin tabakalarının eğimli olması, yumuşak zemin ve sert zemin gibi farklı zemin yapıları) bölgelerde üst yapı bloklarının birleştirilmesi üst yapıda tasarım problemlerine neden olabilir. Böyle bir durumda farklı zemine oturan yapı gruplarının birbirinden temel düzeyinden itibaren ayrılarak bu binaların "Lock-Up" cihazlarıyla birbirine bağlanması düşünülebilir. Alternatif olarak zeminde farklı oturumları engelleyebilecek zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulabilir.

Bu nedenle bu tür büyük oturma alanlarına sahip yapılar için taban yalıtımlı yapıların tasarımı konusunda tecrübeli yapısal tasarım mühendisleri tarafından mimari tasarım aşamasında fizibilite çalışmaları yapılarak bina tasarımına ilişkin uygun ve ekonomik çözüm yollarının aranması en uygun yöntem olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

ASCE-7-16 (2016), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, United States of America

ASCE/SEI 41/17 (2017), Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, United States of America

Eurocode 8, Design of structures for earthquake resistance Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. EN 1998-1:2005. Comitee Europeen de Normalisation, Brussels; 2005

TBDY (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı Resmi Gazete

Architectural Institute of Japan, AIJ, (2016), Design Recommendation for Seismically Isolated Buildings, 5-26-20, Shiba

Chopra A. K. (2012), Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey