DEPREM YALITIMLI HASTANE TASARIMI UYGULAMASI: ERZURUM SAĞLIK KAMPÜSÜ

A. ÖZMEN[1], B. ŞADAN[2], J. KUBİN[1,3], D. KUBİN[1,2], S.AKKAR[4], O.YÜCEL[1], H. AYDIN[1], E. EROĞLU[2]

[1]*Yapısal Tasarım Bölümü, PROTA Mühendislik Proje ve Danışmanlık Hizmetleri A.Ş., Ankara*
[2]*Deprem Mühendisliği Bölümü, PROTA Mühendislik Proje ve Danışmanlık Hizmetleri A.Ş., İstanbul*
[3]*PROTA Yazılım Bilişim ve Mühendislik Hizmetleri Ltd.Şti., Ankara*
[4]*Yardımcı Doçent, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
Email: aydan.ozmen@prota.com.tr

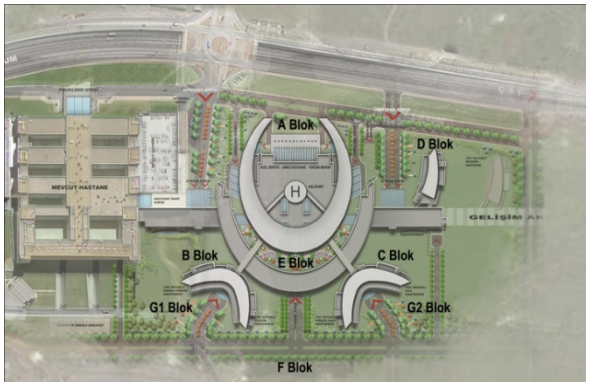
ÖZET:

Mevcut deprem yalıtımlı Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi yanına inşa edilecek yeni Erzurum Sağlık Kampüsü deprem yalıtımlı olarak tasarlanmış beş blok ile geleneksel metotlarla deprem yalıtımsız olarak tasarlanmış iki bloktan oluşmaktadır. Bu bildiride deprem yalıtımlı inşa edilecek olan bloklar tanıtılıp, deprem analizlerinden, analizlerde kullanılan deprem spektrumlarının oluşturulmasına esas sahaya özgü deprem risk analizinden, yapıya uygun yalıtım düzleminin seçilmesinden, izolatör teknik özelliklerinin seçilmesinden bahsedilmiştir. Seçilen iki blok deprem yalıtımlı ve deprem yalıtımsız olarak mod birleştirme yöntemi kullanılarak analiz edilerek analiz sonuçları (modal bilgiler, göreli ve mutlak ötelemeler, kat kesme kuvvetleri) karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER : Deprem, Yalıtım, İzolasyon, İzolatör, Hastane, Tasarım

1. KAMPÜSÜN TANITILMASI

Erzurum Merkez, Refik Saydam Caddesi üzerinde bulunan mevcut ve deprem yalıtımlı Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi yanına inşa edilecek Erzurum Sağlık Kampüsü deprem yalıtımlı 5 blok ile geleneksel metotlarla yalıtımsız olarak inşa edilecek 2 bloktan oluşmaktadır (*Şekil1*). Bu bildiri sadece deprem yalıtımlı bloklar ile ilgili bilgiler içermektedir.



Şekil 1. Erzurum Sağlık Kampüsü yerleşim planı

1.1. A Blok

A Blok acil servis, yoğun bakım ve ameliyathaneleri içermektedir. Toprak temaslı çevre perdeleri ile çevrili 2 bodrum kat, kat planları değişken olan 5 normal kat ve yapının belirli bir bölümünü kapatan değişken kotlara sahip betonarme bir çatısı bulunmaktadır. Betonarme taşıyıcı sisteme sahiptir. Tipik kat yüksekliği 4.80 m, en yüksek çatı kotu +32.0 m, en alçak çatı kotu +9.52 m ve temel kotu -10.60 m. dir.

Ana yalıtım düzlemi 1.bodrum kat kolonları üstü, zemin kat döşemesi altıdır. Bu seviyede toplam 224 adet izolatör kullanılacaktır. Yapıda bulunan asansör ve merdiven perdeleri zemin kat döşemesine asılarak serbest olarak temel kotunda 94 adet yatay rijitliği çok düşük izolatörlere oturacaktır. 2.bodrum kat tavanı döşemesinde, asılmış olan merdiven ve asansör perdeleri çevresinde, bu perdelerin serbest hareketini sağlayacak 50 cm genişliğinde boşluk bırakılmıştır. Bununla beraber zemin kat döşemesi dışında zemine oturan çatı ucunu destekleyen kolonlar, zemin kat döşemesine bağ döşemesi ile bağlanacak olup bu bağ döşemesi altında 12 adet yatay rijitliği düşük izolatör kullanılacaktır.

1.2. B ve C İkiz Blokları

B ve C bloklar aynı yapısal sisteme sahip ikiz bloklardır. Bloklardan biri 300 yataklı Kadın Doğum ve Çocuk Hastanesi, diğeri ise 300 yataklı KVC ve göğüs hastalıkları hastanesi olarak kullanılacaktır. Toplamda 13 katlı olan B ve C Bloklar betonarme taşıyıcı sisteme sahiptir. Toplam bina yüksekliği 56,90 m, tipik kat yüksekliği 4,80 m'dir. Yapılarda kullanılacak deprem izolatörleri -9.60m kotu döşemesi altına, radye temel sistemi üzerine yerleştirilecektir. B ve C blokların her birinde toplam 198 adet deprem izolatörü kullanılacaktır.

1.3. D Blok

D Blok'un 150 yataklı onkoloji hastanesi olarak kullanılması planlanmıştır. Toplamda 12 katlı olup betonarme taşıyıcı sisteme sahiptir. Toplam bina yüksekliği 50 m, tipik kat yüksekliği 4,80 m'dir. D Blok'ta iki farklı yalıtım düzlemi tasarlanmıştır. 114 adet deprem izolatörü -4.80 m kotu döşemesi altına (temel sistemi üzerine), 4 adet deprem izolatörü ise ±0.00 kotu döşemesi altına yerleştirilecektir.

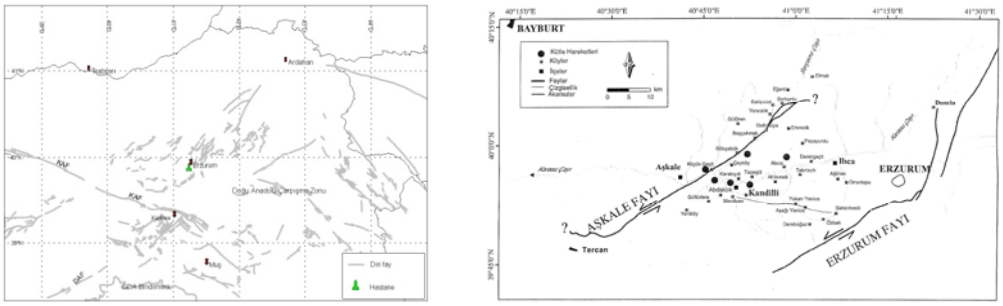
1.4. E Blok

E Blok, Atrium (bağlantı bloğu) ve radyoterapi merkezi olarak tasarlanmıştır. Beş ayrı bloğun birleşmesinden oluşmaktadır. İzolatör seviyesi döşemesi ve izolatörlerin altındaki radye temel plağı tüm E Bloklar için yekpare olarak tasarlanmıştır. İzolatör kotundan yukarıdaki katlarda bloklar arasında 15 cm dilatasyon derzi bulunmaktadır. Toplam bina yükseklikleri değişken olup, çatı kotu en yüksek +14.40 m olmaktadır. E Blok'ta tek bir yalıtım düzlemi bulunmaktadır. Deprem izolatörleri -9.60 m kotu döşemesi altına, genel olarak temel sistemi üzerine yerleştirileceklerdir. E3 Blok'ta -9.60 kotu altında bölgesel olarak imal edilecek bir bodrum kat bulunmaktadır. İzolatörler bu bölgede -9.60 döşemesi altındaki kolonların üzerine konacaktır. E Blok'ta toplam 404 adet deprem izolatörü kullanılacaktır.

2. SİSMİK TEHLİKE ANALİZLERİ

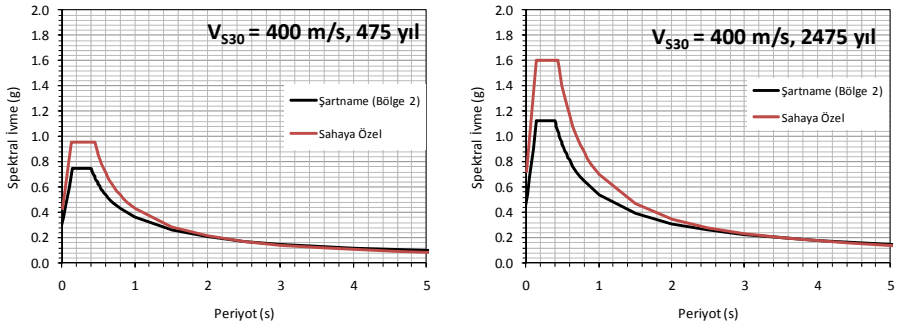
Türkiye'nin 2. Derece deprem bölgesinde bulunan Erzurum Sağlık Kampüsü sahası için olasılık yöntemlere dayalı sismik tehlike analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda %5 sönüm değeri için farklı periyot bantlarında ve farklı zemin sınıfları (V_{S30}=400, 470, 530 ve 760 m/s) için olasılık yöntemlerine göre hesaplanan 475 ve 2475 yıl tekrarlama periyotlarına uygun spektral ivme ve deplasman değerleri sunulmuştur. Sahada yapılan sismik çalışma sonucu tespit edilen ortalama kayma dalgası hız değerleri içinde V_{S30} = 400 m/s kritik olarak kabul edilmiş ve raporda bu saha koşulu için geçerli spektral değerler sunulmuştur. Hastane sahasına yaklaşık 3 km uzaklıkta bulunan Erzurum Fayının (*Şekil 2b*) sismotektonik özelliklerinin önemli belirsizlikler içermesine rağmen çalışmanın güvenilir tarafta sonuçlar içermesi gerektiği düşünülerek bu fayın sismisitesi olasılık hesaplarına dâhil edilmiştir. 2007 Deprem Yönetmeliği'nin önerdiği spektral ivme ve deplasman değerleri raporda sunulan ve aynı tekrarlama periyotlarına sahip spektral ordinatlarla karşılaştırılmış, sahaya özel hesaplamaların yönetmelik spektrumlarına nazaran daha büyük genliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu

durumda Türk Deprem Yönetmeliği'nin bağlayıcı 2.4.4 hükmü de göz önüne alınarak sağlık kampüsü için yapılacak tasarımlarda *Şekil 3*'deki sahaya özel tasarım spektrumları kullanılmıştır.



(a) (b)

Şekil 2. (a) Erzurum çevresinde belirgin faylar (Şaroğlu ve diğ. 1992) (b) Erzurum Fayının Erzurum şehir merkezine göre konumu (Doğan ve diğ., 2004)

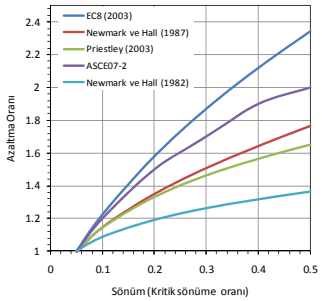


(a) (b)

Şekil 3. Sahaya özel (a) T_R = 475 yıl ve (b) T_R = 2475 yıl tekrarlama devirlerine karşılık gelen tasarım spektrumlarının (kırmızı çizgi) şartname spektrumları (siyah çizgi) ile karşılaştırılması.

Sunulan spektrum ordinatların farklı sönüm oranlarına karşılık gelen spektrumların hesabı için 5 ayrı amprik ifade incelenmiş (*Şekil 4*) ve bu ifadeler içinde pulse tipi yakın mesafe yer hareketleri için önerilmiş olan Priestley (2003) bağıntısı çalışmalarda kullanılmıştır.

$$B_D = \left(\frac{0.07}{0.02+\xi}\right)^{0.25} \quad (1)$$



Şekil 4. %5 sönüm oranı için hesaplanmış spektral ordinatların değişik sönüm oranları için farklı bağıntılar tarafından azaltılması.

3. İZOLATÖR TASARIMI VE YAPISAL ANALİZ

Erzurum Sağlık Kampüsü yapısal tasarımı izolatör tipinden bağımsız olarak tamamlanmıştır. Teknik şartnamede belirtilen koşulların sağlanması koşuluyla kurşun çekirdekli elastomer, yüksek sönümlü elastomer, düz yüzeyli sürtünmeli kayıcı, tek kademeli eğri yüzeyli sürtünmeli, çok kademeli eğri yüzeyli sürtünmeli deprem izolatörleri arasından biri veya bir kaçının birleşiminden oluşan tekil veya karma yalıtım sistemleri kullanılabilecektir. Raporda ve projelerde tanımlanan belirli bölgelerde ana izolatör sistemine uygun olarak seçilecek düşük sürtünmeli, düşük yatay rijitliğe sahip izolatörler kullanılacaktır.

Deprem yalıtımlı yapı tasarımında ilgili Türk standartları yanında her türlü izolatör ve sistem tasarımı ASCE/SEI 7-05 Bölüm 17'ye göre yapılması uygun görülmüştür.

3.1. Yalıtım Sistemi Performans Talebi

50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (475 yıl tekrarlama aralığına sahip) tasarım depremi (DBE; Design Basis Earthquake) altında tüm bloklarda kullanılan deprem yalıtımı sisteminin üst yapıya iletmesi istenen maksimum taban kesme kuvveti ($V_{b\text{-}D}$) belirlenmiştir. Üst yapıya iletilen kesme kuvveti hesabında taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R=1,5) alınmıştır. 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan (2475 yıl tekrarlama aralığına sahip) MCE (Maximum Credible Erathquake) depremi için izolatör sisteminin yapabileceği, ek dış merkezlik ve burulma etkileri dikkate alınarak hesaplanmış maksimum yer değiştirme miktarı (D_{TM}) tüm bloklar için 50 cm olarak belirlenmiştir. Her iki deprem seviyesi için belirtilen koşulların sağlanması koşuluyla, izolatör rijitliği, periyodu, sönüm oranı gibi parametrelerin seçilmesi izolatör üreticisine bırakılmıştır. Farklı sönüm oranları için spektrum hesabında kullanılacak azaltma katsayısı Denklem 1'de belirtilmiştir. Deprem yalıtım sistemi yapıda oluşabilecek burulma etkilerini en aza indirecek şekilde tasarlanacaktır.

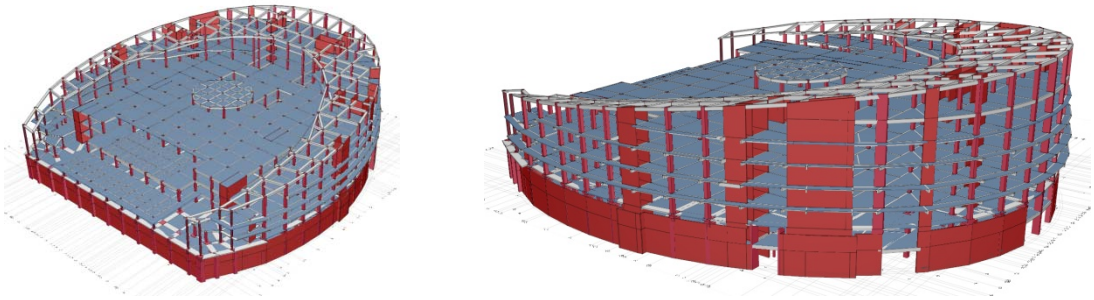
Tablo 1. Yalıtım sistemi performans talebi

	İzo. #	**$V_{b\text{-}D}$**	**D_{TM} (cm)**
A Blok	330	0.081W	50
B Blok	198	0.072W	50
C Blok	198	0.072W	50
D Blok	118	0.065W	50
E Blok	404	0.096W	50

3.2. A Blok Yapısal Analizi

A Blok yapısal modeli (*Şekil 5*), tüm kolon kiriş ve perdeler için çubuk elemanlar, döşemeler için plak elemanlar, izolatörler için ise elastik yay elemanlar kullanarak Probina Orion v16 ile oluşturulmuştur. Yalıtım düzlemi üstünün ve yalıtım düzlemi altının (bodrum katlar) yapısal tasarımı için iki farklı model oluşturulmuştur. Bodrum katların tasarımı için %5 sönüm oranına sahip, yalıtım düzlemi üstündeki sistemin tasarımı için %25 sönüm oranına sahip *Denklem 1* kullanılarak azaltılmış sahaya özel tasarım (DBE) spektrumu (*Şekil3a*) kullanılmıştır. Bodrum katların tasarımında taşıyıcı sistem davranış katsayısı R=1 alınmış olup, üst yapı tasarımı için R=1.5 kullanılmıştır. İzole edilmiş yapı tasarım hedef periyodu 2.5sn kabul edilerek, bu periyodu sağlayacak izolatör yatay rijitlikleri yapısal analizlerde kullanılmıştır. Tüm yapısal sistem tasarımı DBE spektrumu kullanılarak mod birleştirme analizi ile yapılmıştır. Aynı şekilde MCE spektrumu kullanılarak yalıtılmış sistemin yapabileceği maksimum yer değiştirmeler kontrol edilmiştir. MCE depremi izole edilmiş yapı tasarım hedef periyodu 3sn, yalıtım sistemi sönüm oranı %20 olarak kabul edilmiştir.

Karşılaştırma amaçlı olarak yapısal tasarımı tamamlanmış modelde kullanılan izolatörler iptal edilerek, geleneksel metotlarla inşa edilmiş yalıtımsız bina modeli oluşturulmuştur. Yalıtımlı ve yalıtımsız sistem modal (*Tablo2*) bilgileri, göreli ve mutlak kat ötelemeleri (*Şekil6,7,9*), kat kesme kuvvetleri (*Şekil8*) birbiri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. A Blok yapısal analiz modeli

Tablo 2. Yalıtılmış sistem DBE (a), MCE (b) modal bilgileri ile Yalıtımsız sistem modal bilgileri (c)

	T	%Mx	%My	%Mz
Mod 1	2.49	59.42	0.17	36.44
Mod 2	2.45	0.11	98.59	0.05
Mod 3	1.89	39.16	0.00	56.67
Mod 4	0.34	0.10	0.00	2.09
Mod 5	0.31	0.00	0.03	0.02
Toplam (5mod)		98.79	98.79	95.28
Analiz Toplamı		100.00	100.00	100.00

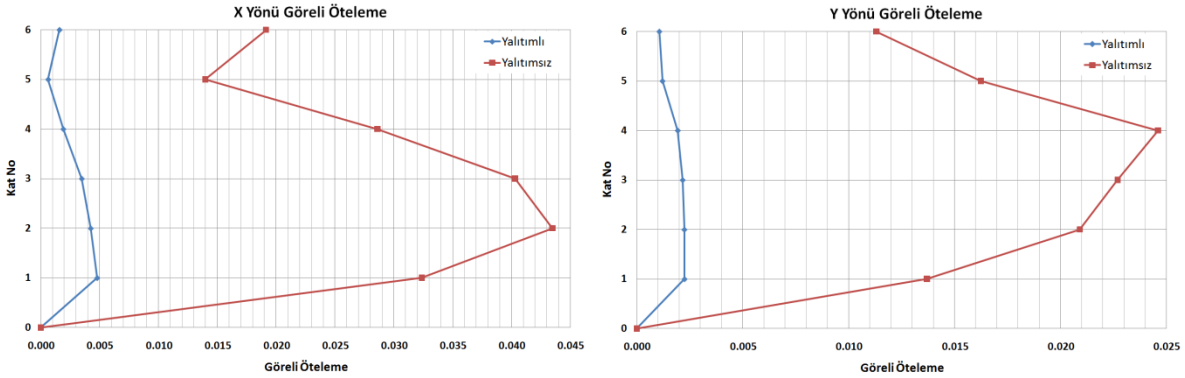
(a)

	T	%Mx	%My	%Mz
Mod 1	3.03	59.50	0.29	36.55
Mod 2	2.98	0.18	99.70	0.09
Mod 3	2.30	40.27	0.00	55.15
Mod 4	0.35	0.05	0.00	2.42
Mod 5	0.31	0.00	0.01	0.02
Toplam (5mod)		100.00	100.00	94.24
Analiz Toplamı		100.00	100.00	100.00

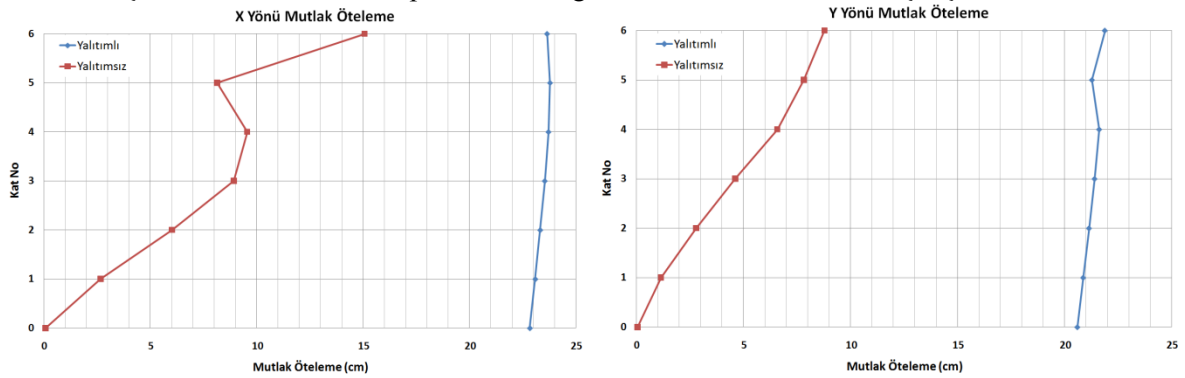
(b)

	T	%Mx	%My	%Mz
Mod 1	0.49	58.25	0.02	5.31
Mod 2	0.42	0.08	53.50	3.02
Mod 3	0.39	2.71	3.49	41.77
Mod 4	0.18	11.00	0.00	0.18
Mod 5	0.15	0.01	16.29	0.06
Toplam (5mod)		72.05	73.31	50.34
Analiz Toplamı		100.00	100.00	100.00

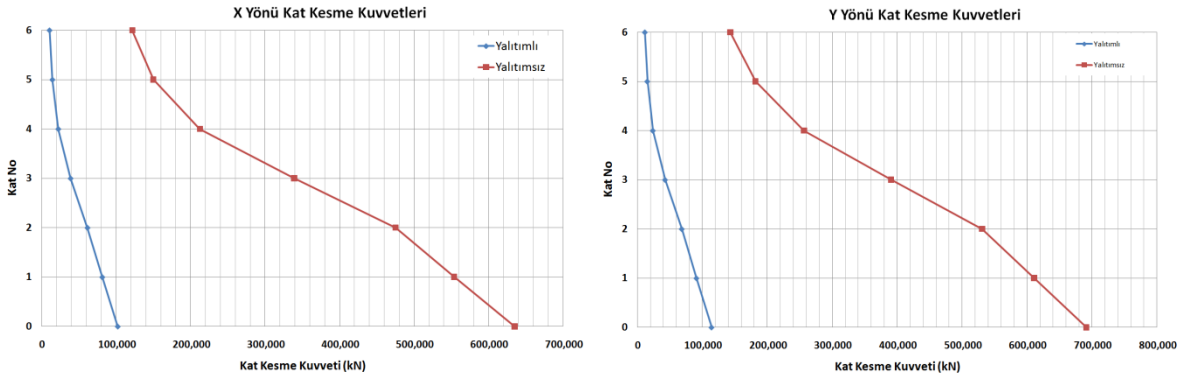
(c)



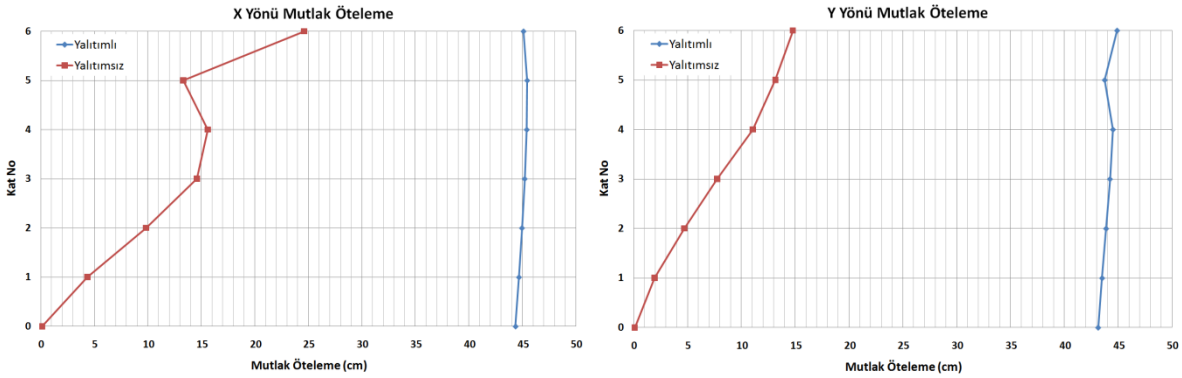
Şekil 6. A Blok DBE depremi altında göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 7. A Blok DBE depremi altında mutlak kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 8. A Blok DBE depremi altında kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (R=1)

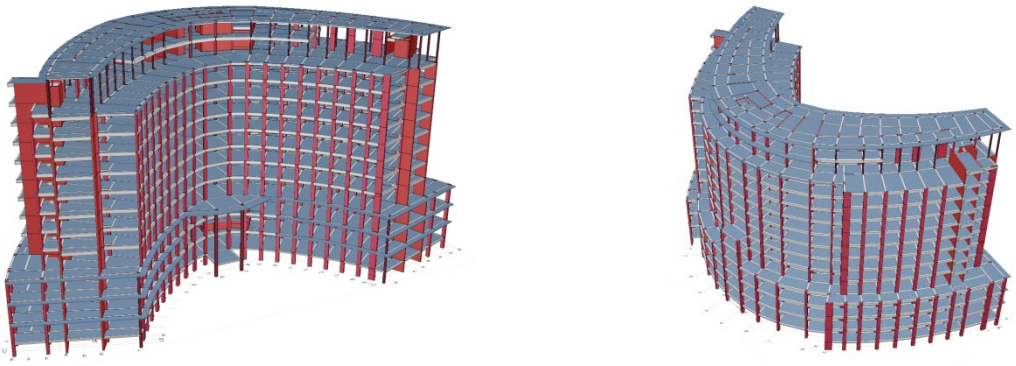


Şekil 9. A Blok MCE depremi altında mutlak kat ötelemelerinin karşılaştırılması

3.2. B Blok Yapısal Analizi

B Blok yapısal modeli (*Şekil 9*), tüm kolon kiriş ve perdeler için çubuk elemanlar, döşemeler için plak elemanlar, izolatörler için ise elastik yay elemanlar kullanarak Probina Orion v16 ile oluşturulmuştur. Yapılan deprem hesaplamalarında %20 sönüm oranına sahip *Denklem 1* kullanılarak azaltılmış sahaya özel tasarım (DBE) spektrumu (*Şekil3a*) kullanılmıştır. Yapı tasarımında taşıyıcı sistem davranış katsayısı olarak R=1.5 kullanılmıştır. Yapı tasarım hedef periyodu 3,0sn kabul edilerek, bu periyodu sağlayacak izolatör yatay rijitlikleri yapısal analizlerde kullanılmıştır. Tüm yapısal sistem tasarımı DBE spektrumu kullanılarak mod birleştirme analizi ile yapılmıştır. Aynı şekilde MCE spektrumu kullanılarak yalıtılmış sistemin yapabileceği maksimum yer değiştirmeler kontrol edilmiştir. MCE depremi izole edilmiş yapı tasarım hedef periyodu 3,5sn, yalıtım sistemi sönüm oranı %15 olarak kabul edilmiştir.

Karşılaştırma amaçlı olarak yapısal tasarımı tamamlanmış modelde kullanılan izolatörler iptal edilerek, geleneksel metotlarla inşa edilmiş yalıtımsız bina modeli oluşturulmuştur. Yalıtımlı ve yalıtımsız sistem modal (*Tablo3*) bilgileri, göreli ve mutlak kat ötelemeleri (*Şekil10,11,13*), kat kesme kuvvetleri (*Şekil12*) birbiri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 9. B Blok yapısal analiz modeli

Tablo 3. Yalıtılmış sistem DBE (a), MCE (b) modal bilgileri ile Yalıtımsız sistem modal bilgileri (c)

	T	%Mx	%My	%Mz
Mod 1	2.99	1.72	96.67	0.07
Mod 2	2.97	85.92	1.76	10.94
Mod 3	2.75	11.01	0.04	87.87
Toplam (3 mod)		98.66	98.47	98.88
Analiz Toplamı		100.00	100.00	100.00

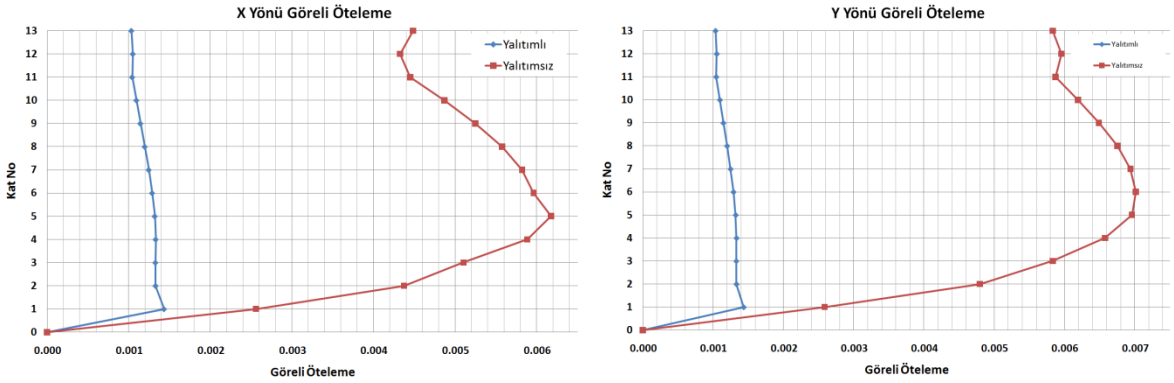
(a)

	T	%Mx	%My	%Mz
Mod 1	3.49	7.01	91.22	0.61
Mod 2	3.48	82.62	7.61	8.71
Mod 3	3.22	9.30	0.01	90.04
Toplam (3 mod)		98.93	98.83	99.36
Analiz Toplamı		100.00	100.00	100.00

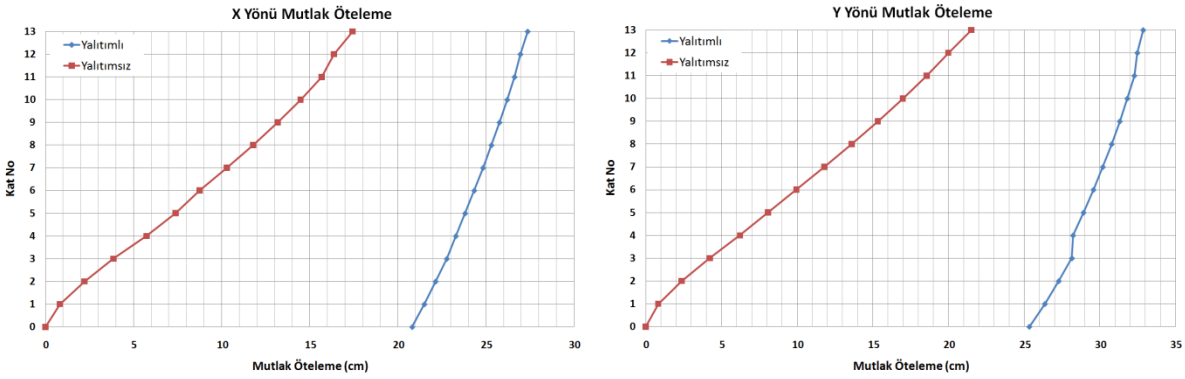
(b)

	T	%Mx	%My	%Mz
Mod 1	1.08	0.83	68.85	0.04
Mod 2	1.05	8.83	0.02	55.85
Mod 3	0.95	60.18	0.87	9.01
Toplam (3 mod)		69.83	69.75	64.90
Analiz Toplamı		100.00	100.00	100.00

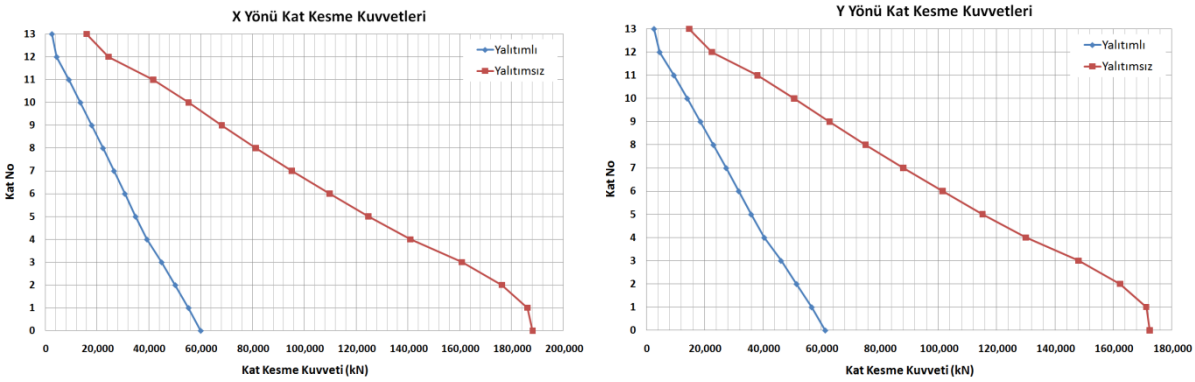
(c)



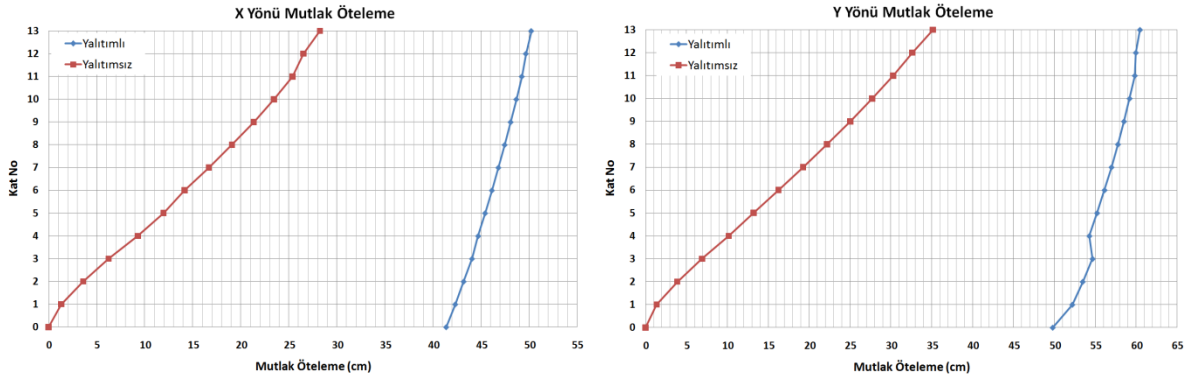
Şekil 10. B Blok DBE depremi altında göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 11. B Blok DBE depremi altında mutlak kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 12. B Blok DBE depremi altında kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (R=1)



Şekil 13. B Blok MCE depremi altında mutlak kat ötelemelerinin karşılaştırılması

4. SONUÇ

Bildiri hazırlanış tarihinde Erzurum Sağlık Kampüsü yapısal tasarımı tamamlanmış fakat bloklarda kullanılacak olan izolatör tipi ve teknik özellikleri belli olmamıştır. Yapılarda izolatör kullanımı yapısal sistemde göreli kat ötelemeleri ve kat kesme kuvvetlerini çok büyük oranda azaltmaktadır. Buna ek olarak izolatör kullanımı ile deprem esnasında ve sonrasında yapıda hizmet kesintiye uğramadan devam edebilmektedir. Yıkıcı bir deprem sonrasında yaralıların tedavisi için bunun ne kadar önemli olduğu açıktır.

KAYNAKLAR

Doğan A, Yıldırım C, Nefeslioğlu HA, ve Emre Ö (2004). 25 Mart (Mw5.5) ve 28 Mart (Mw5.5) 2004 Aşkale (Erzurum) Depremleri Değerlendirme Raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-05, American Society of Civil Engineers, Virginia, USA.

Probina Orion v16, Bina Sistemleri Analizi, Tasarımı ve Çizimi Amaçlı Bilgisayar Yazılımı, PROTA Yazılım Bilişim ve Mühendislik Hizmetleri Ltd.Şti.

Şaroğlu F, Emre Ö, ve Kuşçu I (1992). Türkiye Diri Fay Haritası, T.C. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.