SİSMİK İZOLATÖRLÜ ESKİŞEHİR ŞEHİR HASTANESİ YAPISAL TASARIMI

M. Hacıemiroğlu[1], D. Arslan[1] ve Y. Z. Gündoğdu[1]

[1] *İnşaat Yük. Müh, Miyamoto International, İstanbul*
Email: istanbul@miyamotointernational.com

ÖZET:

Bu çalışmada Eskişehir ili, 71 Evler ilçesinde yapılan 1081 yatak kapasiteli, betonarme taşıyıcı sistemli ve yalıtımlı olarak tasarlanmış Eskişehir Şehir Hastanesi Projesi tasarım sonuçları incelenmiştir. Tasarım kapsamında sahaya özgü deprem tehlike analizleri, yalıtım sistemi tasarımı ve üst yapı tasarımı yapılmıştır. Bu aşamada yapının kendisi için doğrusal ve yalıtım birimleri için doğrusal olmayan bir model oluşturulmuş ve zaman tanım aralığında çözümleme yapılmıştır. Tasarımda yalıtım kotunda toplamda 973 adet eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi kullanılmıştır. 330,000 m^2 kapalı inşaat alanına sahip yapı 4 ana bloktan oluşmaktadır. Ana blok yapısı dilatasyonsuz olarak imal edilmiş ve 557 adet yalıtım birimi kullanılmıştır. Tek blokta 557 adet yalıtım birimi kullanılan yapı tasarımı ile ilgili sonuçlar bu çalışma kapsamında sunulmaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: İzolatör, Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimi, FPS

STRUCTURAL DESIGN OF BASE ISOLATED ESKISEHIR CITY HOSPITAL

ABSTRACT:

Hospitals are at the high-risk of service interruption during and post-earthquake not only due to structural damage but also damage to sensitive equipment that they contain. In this study, seismic isolation design of 1081 bed capacity, reinforced concrete Eskişehir City Hospital is investigated. Within the scope of the design, site-specific seismic hazard analysis, seismic isolation system design and superstructure design were carried out. NLTHA (Nonlinear Time History Analysis) were performed considering nonlinear behavior of base isolators. However, the superstructure is assumed to be remain elastic. The building which is composed of 330,000 m^2 construction area, consists of 4 blocks and 973 double surface friction pendulum isolators were used in the base isolated system. 557 isolators were used as a single main block without expansion joint. Challenges faced using abundant amount of isolators in a single block and related findings are discussed in detail accordingly.

KEY WORDS: Isolator, Pendulum, Double Surface, Pendulum Isolator, FPS

1. GİRİŞ

Hastaneler gibi stratejik öneme sahip yapıların bünyelerinde barındırdıkları hassas cihazların deprem hareketlerinin oluşturduğu titreşimlerin zararlı etkilerinden korunmaları, hastane yapılarının yapısal bütünlüklerinin korunması kadar önemlidir. Bununla beraber, işlevleri bakımından, stratejik öneme sahip yapılarda bulunan cihazların kalıcı hasar görmelerinin hatta çalışmalarına kısa bir süreliğine de olsa ara vermemesi gerekmektedir. Büyük depremlerin oluşturduğu yüksek yer ivmelerin yapıya aktarımı kontrol edilebilir olmalıdır. Bu kontrol yalıtımlı yapı tasarımı ile gerçekleştirilebilir. Yalıtımlı yapı tasarımının ana prensibi yatay rijitliğin düşük ve düşey rijitliğin yüksek olmasıdır. Elastomer ve eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi kullanımı ile yapının doğal periyotu uzatılarak yapıya etki eden deprem kuvvetlerinin azaltılması sağlanabilir.

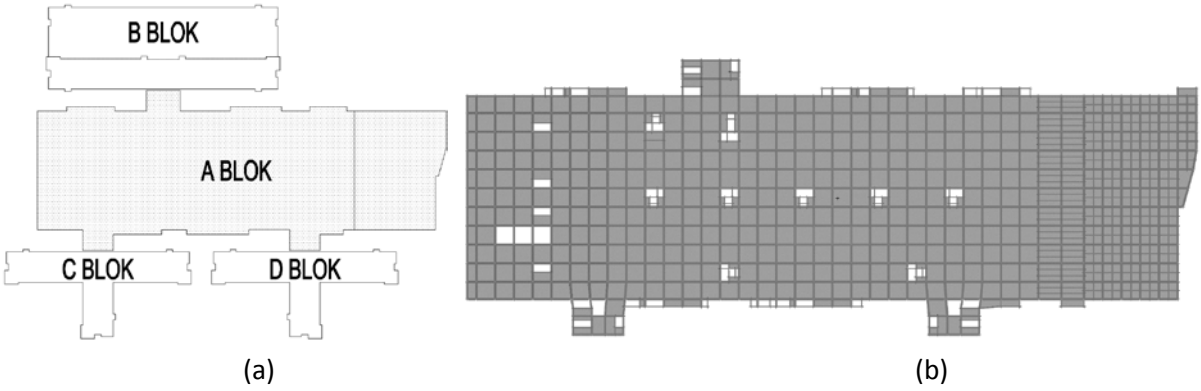
Bu çalışmada Eskişehir ili, Odunpazarı ilçesinde yapılan "1081 yataklı Eskişehir Şehir Hastanesi" bünyesindeki dört bloktan, plandaki boyutları itibari ile en büyük olan ve 557 adet yalıtım birimi kullanılarak tasarlanan A Blok yapısının yalıtım kotu altındaki bölümleri için (radye temel, izolatör taşıyıcı kolonlar, kirişler ve dış perde) taban yalıtımlı yapısal tasarım analizleri ve sonuçları sunulmaktadır.

2. YAPISAL MODELLEME

Hastane üst yapısında olası deprem etkilerinden oluşacak yapısal risklerin sismik yalıtım sistemi kullanılarak azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yapının 3-Boyutlu yapısal modelleri oluşturulmuş, doğrusal olmayan statik ve dinamik analizler yürütülmüştür. Dört bloktan oluşan hastane kompleksi içindeki ana blokta 557 adet eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi kullanılmıştır. İzolatör prototip testleri gerçekleştirilmiş olup yapılan testlerden çıkan sonuçların uygunluğu analizler ile kontrol edilmiştir.

İzolatör eksenel yüklerini belirleyebilmek için 3 boyutlu yapısal model hazırlanmış ve düşey yük analizi yapılmıştır. Üretici firmadan gelen eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi tasarım parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile izolatör maksimum deplasmanları ve tasarım depreminde öngörülen taban kesme kuvveti değerlerinin geçerliliği teyit edilmiştir.

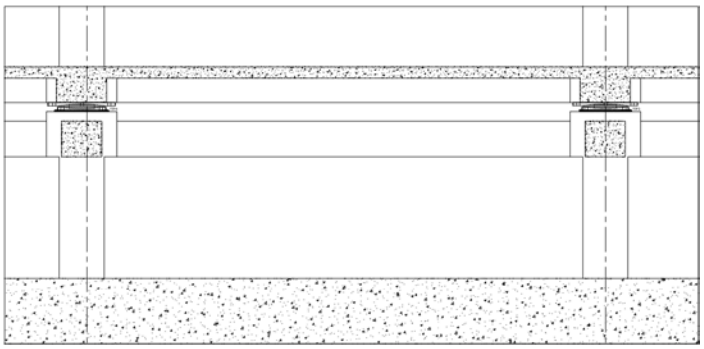
Analizi gerçekleştirilen yapının büyük bir kısmı 6 kat olup bina kat alanları üst katlarda azalmaktadır. Binadaki bazı kısımların toplam kat adedi 7, 8, 9 ve 10 kat olarak değişkenlik göstermektedir. Radye temel üzeri toplam yüksekliği 45.20 metredir. Binanın oturum alanı yaklaşık 33,550 m^2'dir.



Şekil 1. A Bloğun vaziyet planındaki yeri (a) ve A Blok genel kat planı (b)

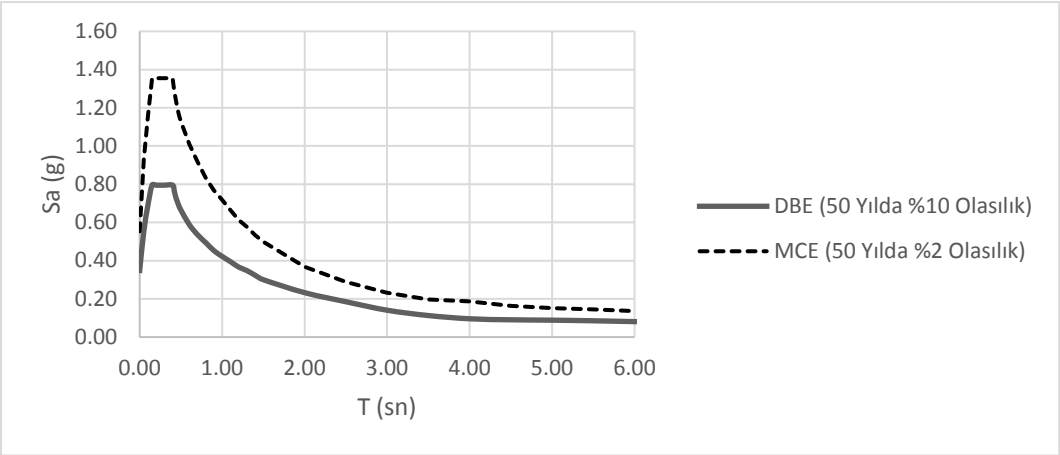
Şekil 2. A Blok 3 boyutlu yapı modeli

Taban yalıtımlı A blok izolasyon katı; izolatör üstü kirişli plak, izolatör altı kirişli çerçeve sistem ile tasarlanmıştır. Yalıtım kotu altında bulunan kolonlarının üst düğüm noktaları kirişler ile bağlanarak kolonların üstten mafsallı davranışından kaçınılmıştır. Yalıtım kotu taşıyıcı sistemi Şekil 3'de temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. Yalıtım kotu taşıyıcı sistemi

Bu çalışma kapsamında olasılıksal yöntemlerle deprem tehlike analizi yapılmıştır. Çalışma neticesinde 475 yıllık ortalama yinelenme süresine tekabül eden DBE (Design Basis Earthquake) ve 2475 yıllık ortalama yinelenme süresine tekabül eden MCE (Maximum Considered Earthquake) spektrumları elde edilmiştir.



Şekil 4. 50 Yılda %10/%2 (DBE-MCE) Deprem Düzeyleri %5 Sönümlü İvme Spektrumu (NERHP/C ve Z2/B Grubu Zemin)

3. TABAN YALITIMI ÖZELLİKLERİ

Eskişehir Şehir Hastanesi Sağlık Kompleksi sismik yalıtım sistemi eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinden (FPS) oluşmaktadır. İzolatörlerdeki eksenel yük taleplerine göre sistemde toplamda altı farklı tip FPS kullanılmıştır. Yalıtım birimi tasarımı izolatör üreticisi firma tarafından gerçekleştirilmiş olup, tiplere göre izolatör adetleri ve FPS izolatörlerinin karakteristik özellikleri Tablo 1'de verilmektedir. Yalıtım birimlerinin en büyük depremdeki deplasman talebi 43 cm'dir.

Tablo 1. Yalıtım birimi özellikleri

	Yerdeğiştirme (MCE)		Sönüm		Taban Kesme Oranı
Yön	**D_{CM} (m)**	**D_{TM} (m)**	**DBE**	**MCE**	**DBE**
X	~0.39	~0.43	~35%	~25%	0.10 (R=1.0)
Y	~0.39	~0.43	~35%	~25%	0.10 (R=1.0)

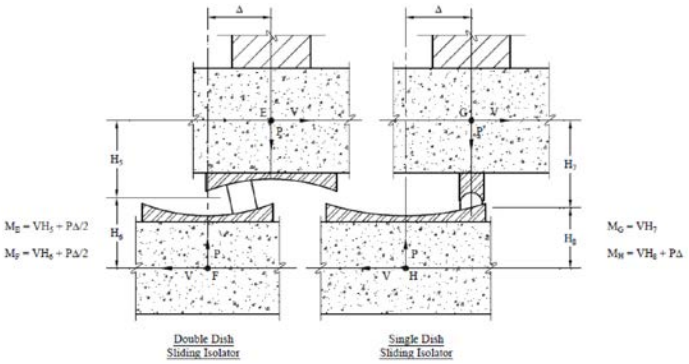
Tablo 1'e uygun olarak bina çevresinde 65cm, bağlantılı diğer bloklar arasında 86~100cm sismik boşluk bırakılmıştır. Yalıtım kotu altındaki yapısal elemanların tasarımı R=1 alınarak %10 taban kesme kuvveti oranına göre gerçekleştirilmiştir. MCE yatay yük kombinasyonları R=1 ve sahaya özgü MCE spektrumu kullanılarak oluşturulmuş ve maksimum deplasman için kullanılmıştır. Kombinasyonun matematiksel olarak elde edilmesi DBE yatay yük kombinasyonları ile aynıdır.

4. YAPISAL ANALİZLER

Yapısal analizler, DBE ve MCE depremleri için ayrı ayrı yürütülmüştür. Yapısal elemanların betonarme dizaynı için DBE depremi etkisi altında yalıtım birimlerinin üst limit özellikleri kullanılarak lineer olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Yalıtım birimlerinde oluşacak maksimum deplasman talebinin belirlenebilmesi için ise MCE depremi etkisi altında izolatörlerin alt limit özellikleri kullanılmıştır.

4.1 Yapısal Elemanların Modellenmesi

Yapının ETABS bilgisayar modelinde kolon ve kirişler çubuk eleman, döşeme ve temeller kabuk (shell) eleman olarak modellenmiştir. Yalıtım elemanları ise düşey ve yatay rijitlikleri kullanılarak bağlantı (link) elemanı olarak modellenmiştir. Bağlantı elemanının tanımlanmasında yalıtım birimi yüksekliklerine göre kayma deformasyonu noktası belirtilerek yalıtım katına gelen kesme kuvvetinden oluşan ekstra momentlerin bağlantı elemanının alt (temel) ve üst noktalarına dağıtılması sağlanmıştır. Söz konusu moment dağılımı ve uygulanan modellenme Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Moment Dağılımı Analitik Görünümü

4.2 Yapısal Tasarım (DBE) Analizleri

Yapısal elemanların betonarme dizaynı için ön hesap olarak eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Eşdeğer deprem yükü ile elde edilen taban kesme kuvveti Tablo 2'de verilmektedir. Elde edilen taban kesme kuvvetleri Lineer Olmayan Zaman Tanım Alanı Analizleri (NLTHA) neticesinde doğrulanmıştır. Bu doğrulama Tablo 3 ve 4'te görülmektedir.

Tablo 2. Bina Kütlesi ve Eşdeğer Deprem Yükü (R=1)

Bina Kütlesi (G+nQ) (kN)	X Yönü Taban Kesme Kuvveti Oranı	X Yönü Taban Kesme Kuvveti (kN)	Y Yönü Taban Kesme Kuvveti Oranı	Y Yönü Taban Kesme Kuvveti (kN)
2,930,457	11.0%	323,729	11.4%	334,865

Tablo 3. Pozitif Yön NLTHA Ortalama Taban Kesme Kuvveti

Taban Kesme Kuvvetleri				
	FX	**FY**		
	kN	**kN**		
187-1 Max	270,470	320,474		
187-2 Max	326,801	250,964		
457-1 Max	261,352	314,171		
457-2 Max	333,636	258,530		
549-1 Max	286,498	338,151		
549-2 Max	293,751	295,608		
725-1 Max	293,729	298,821		
725-2 Max	287,966	294,525		
882-1 Max	292,595	310,221		
882-2 Max	320,768	279,055		
1158-1 Max	277,485	248,694		
1158-2 Max	245,218	269,631		
6877-1 Max	308,111	279,402		
6877-2 Max	273,900	303,678		
		Ort.	307,754	307,878

Tablo 4. Negatif Yön NLTHA Ortalama Taban Kesme Kuvveti

Taban Kesme Kuvvetleri				
	FX	**FY**		
	kN	**kN**		
187-1 Min	-341,818	-338,946		
187-2 Min	-339,786	-354,674		
457-1 Min	-277,324	-280,857		
457-2 Min	-285,198	-283,884		
549-1 Min	-292,793	-228,376		
549-2 Min	-237,099	-301,745		
725-1 Min	-316,263	-255,088		
725-2 Min	-253,277	-315,154		
882-1 Min	-332,528	-305,373		
882-2 Min	-286,244	-321,405		
1158-1 Min	-234,637	-283,214		
1158-2 Min	-283,941	-220,389		
6877-1 Min	-367,452	-244,760		
6877-2 Min	-253,616	-360,713		
		Ort.	-317,142	-317,256

Bu doğrulamaya ilave olarak, kat kuvvetlerinin dağılımı NLTHA sonuçlarından elde edilerek yapısal elemanların betonarme dizaynı yapılmıştır.

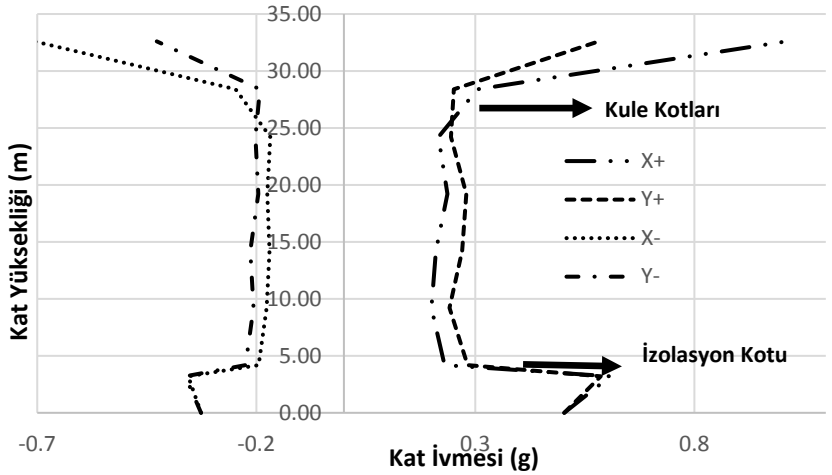
Tablo 5. NLTHA Sonuçlarına göre kat kuvvetlerinin dağıtılması

KAT KOTU	Pozitif Yön		Negatif Yön	
	X Yönü Kuvveti (kN)	Y Yönü Kuvveti (kN)	X Yönü Kuvveti (kN)	Y Yönü Kuvveti (kN)
KAT 9 (+846.00)	15,069	15,287	-11,978	-10,033
KAT 8 (+841.80)	34,131	36,708	-26,929	-23,764
KAT 7 (+837.60)	49,811	51,600	-37,422	-35,548
KAT 6 (+833.40)	79,107	70,716	-64,194	-54,068
KAT 5 (+829.20)	166,084	156,673	-131,852	-120,859
KAT 4 (+825.00)	241,101	231,973	-178,332	-180,823
KAT 3 (+820.00)	261,157	256,070	-198,945	-192,626
KAT 2 (+815.00)	291,161	283,006	-225,132	-218,033
KAT 1 (+810.00)	294,294	300,955	-239,848	-226,489

DBE analizleri kapsamında katlarda oluşabilecek maksimum ivmeler elde edilmiştir. Kat ivmeleri, kat kullanım amaçlarına ve kotlarına göre Tablo 6 ve Şekil 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Kat kotları ve kullanım amaçları

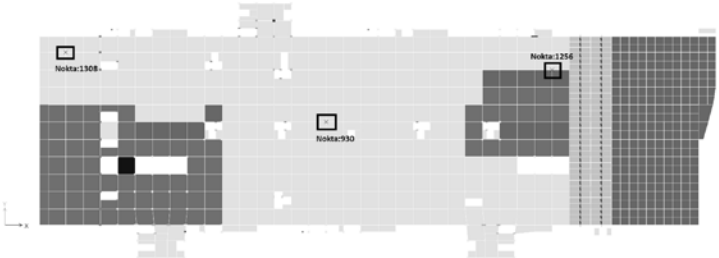
A Blok Kat Kullanım Amacı Tablosu		
Kot	Kat	Kullanım Amacı
846.00	ÇATI	Çatı (Kısmi)
841.80	6. NORMAL KAT	Merdiven - Asansör Kuleleri
837.60	5. NORMAL KAT	Merdiven - Asansör Kuleleri
833.40	4. NORMAL KAT	Merdiven - Asansör Kuleleri
829.20	3. NORMAL KAT	Santral odaları
825.00	2. NORMAL KAT	Eğitim Salonları - Yemekhane - Santral Odaları
820.00	1. NORMAL KAT	Ameliyathaneler
815.00	ZEMİN KAT	Muayene Odaları
810.00	1. BODRUM KAT	Otopark - Doktor Odaları - Elektrik
805.00	2. BODRUM KAT	Otopark - Mutfak - Mekanik
800.80	TEMEL	Otopark



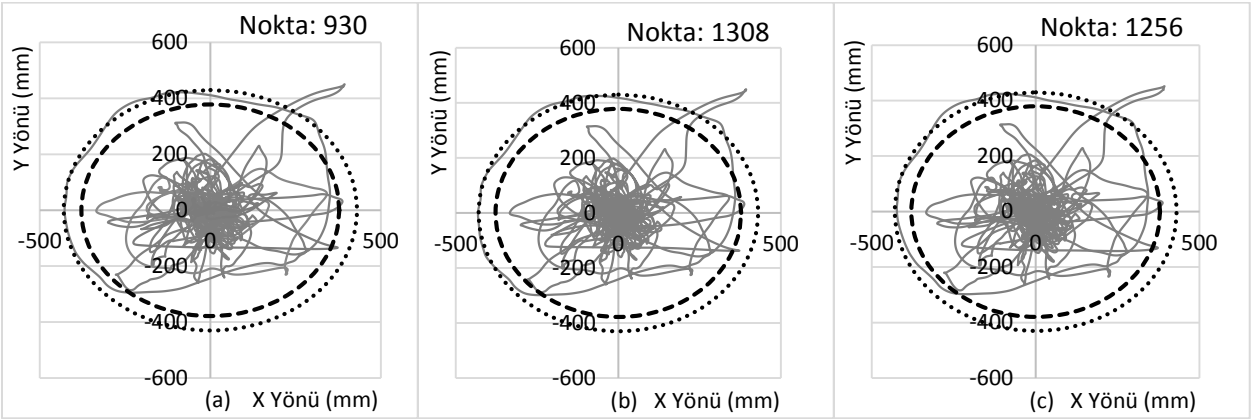
Şekil 6. Kotlara göre kat ivmelenmeleri

4.3 Yalıtım Birimi Tasarım (MCE) Analizleri

Yalıtım birimi deplasman kapasitelerinin belirlenmesi için, alt limit özellikleri kullanılarak MCE depremi etkisi altında lineer olmayan zaman tanım alanı analizleri yürütülmüştür. Yalıtım birimi deplasmanları, yapının uç noktaları ve merkezinde izlenmiştir. Plan uzunluğunun fazla olduğu taban yalıtımsız bu plandaki yapılarda ilk hakim periyodun burulma olması beklenirken yalıtımlı yapı davranışı simetrik taşıyıcılı bir yapıdan farksız sonuç vermiştir. Binanın köşe noktalarındaki hareket izlerinin birbiri ile olan ilişkisi oldukça benzerdir.



Şekil 7. Yalıtım birimlerinin deplasmanlarının izlendiği noktalar



Şekil 8. Yalıtım birimlerinin deplasmanlarının izleri (Kesik çizgiler deplasman izlerinin ortalamasını, noktalı çizgiler deplasman kapasitesini ifade etmektedir.)

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında, Eskişehir Şehir Hastanesi deprem yalıtımlı yapısal tasarım ilkeleri ve metodolojisi açıklanmıştır. Üretici firma tarafından tasarlanan yalıtım birimi özelliklerine göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler ile maksimum deplasman ve üst yapıya aktarılacak maksimum taban kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Yalıtım birimleri, temel ve izolasyon kotu döşemesi ile kaidelerin tasarımı bu sonuçlara göre yapılmıştır. Prototip test sonuçları, tasarımda kullanılan alt ve üst sınır değerler için kontrol edilmiştir. Alt limit sonuçları için 43 cm deplasman talebinin aşılmadığı, üst limit sonuçları için ise maksimum dinamik sürtünme katsayısının üst limit sürtünme katsayısını geçmediği teyidi yapılmıştır. Hastane yapısı gibi nitelikli ve deprem sonrası kesintisiz kullanım gerektiren yapılarda izolatör kullanımı yapının kat ivmelerini ve buna bağlı hasarları sınırlayabildiği için tercih edilmektedir. Oldukça kütleli, planda uzun olan A blok yapısında 557 adet eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi (FPS) kullanımı ile servis katlarında rijit blok hareketi sağlanmış ve kat ivme değerleri sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte ana kütleden bağımsız çıkan kule katlarında kat ivmelerinin üst katlara doğru çıktıkça arttığı görülmüştür ancak servis katları olmaması nedeniyle bu durumun varlığı göz ardı edilmiştir. Buna ek olarak plandaki uzunluğu düşünüldüğünde, yapının aynı kat seviyesinde izlenen farklı noktalarından anlaşıldığı üzere, izolatör kullanımının sonucu olarak yapıda olması beklenen burulma düzensizliği engellenmiştir.

6. KAYNAKLAR

ASCE 7-10 (2010), "Minimum design loads for buildings and other structures," American Society of Civil Engineers, ASCE Standard No. ASCE/SEI 7-10, Reston, VA.

ACI318-08 (2008), "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary", American Concrete Institute.

ASD89 (1989), "Specification for Structural Steel Buildings", American Institute Steel Construction.

CSI (2012), "ETABS 9.7.2: Linear and nonlinear static and dynamic analyses and design of building systems", Computers and Structures Inc., Berkeley, CA.

CSI (2012), "SAP2000 15.0.1: Integrated Software for Structural Analysis and Design", Computers and Structures Inc., Berkeley, CA.

CSI (2012), "SAFE 12.2.0: Integrated Design of Flat Slabs, Foundation Mats and spread Footings", Computers and Structures Inc., Berkeley, CA.

DBYBHY (2007), "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.

Deprem Yalıtımlı Yapılar ve Uygulamaları Çalıştayı (2013), "Sempozyum Sunumları", Sağlık Bakanlığı Sağlık Yatırımları Genel Müdürlüğü.

Erdik,M., M.B.Demircioğlu, K.Şeşetyan, E.Harmandar (2015), Malatya Hastanesi Deprem Tehlikesi Belirlemesi, Boğaziçi Üniversitesi-Kandilli Rasthanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü-Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı.

Eurocode 8 (2003), "Design of Structures For Earthquake Resistance Part 1: General Rules, Seismic Actions And Rules For Buildings".

FEMA-450 (2003), "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures", Federal Emergency Management Agency.

FEMA-451 (2006), "NEHRP Recommended Provisions, Design Examples", Federal Emergency Management Agency.

IBC (2012), "International Building Code, 2012", International Code Council, U.S.A.

TS500 (2000), "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü.

TS498 (1997), "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri", Türk Standartları Enstitüsü.

Naeim, F. and Kelly, J.M. (1999), Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice, John Wiley and Sons, Inc., New York.

Sağlık Bakanlığı Genelge (2013), "Deprem Yalıtımlı Olarak İnşa Edilecek Yapılara Ait Proje ve Yapım İşlerinde Uyulması Gereken Asgari Standartlar", Sağlık Bakanlığı Sağlık Yatırımları Genel Müdürlüğü.

UBC (1997), "Uniform Building Code," International Conference of Building Officials, Whittier, CA.