

TABAN YALITIMLI VERİ MERKEZİ TASARIMI

Y. Arslan¹, A.C. Özgeldi¹, Y. Z. Gündoğdu¹ ve Barış Erkuş²

¹ İnşaat Yük. Müh, Miyamoto International, İstanbul

² Yrd. Doç. Dr. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
Email: istanbul@miyamotointernational.com

ÖZET:

Veri merkezleri kesintisiz hizmet vermesi gereken önem derecesi yüksek yapılardır. Bu yüzden yapı tasarımında dikkat edilmesi gereken temel unsur bu yapıların olası depremde hasar almaması olmalıdır. Ülkemiz aktif fay hatları üzerinde bulunan deprem tehlikesi yüksek bir ülkedir. Bu tür operasyonel binaların tasarımında geleneksel yöntemler yetersiz kalmakta ve yenilikçi yöntemlere başvurma ihtiyacı doğmaktadır. Bu çalışma kapsamında çelik taşıyıcı sistemli bir veri merkezinin taban yalıtımlı tasarımından bahsedilecektir. Tasarım kapsamında sahaya özgü deprem tehlike analizleri, taban yalıtım sistemi tasarımı ve üst yapı tasarımı yapılmıştır. Tasarım aşamasında yapının sönümleyiciler ile birlikte 3 boyutlu doğrusal olmayan modeli oluşturulmuştur ve zaman tanım alanında çözüm yapılmıştır. Tasarımda eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi (üç yüzeyli) kullanılmıştır. Çalışma kapsamında taban yalıtım birimi seçimi konusunda edinilen tecrübeler ve analiz sonuçları sunulmaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Yalıtım Birimi, Pendulum, Üç Yüzeyli, Eğik Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimi

SEISMIC ISOLATION DESIGN OF A DATA CENTER STRUCTURE

ABSTRACT:

Data centers are exposed to high-risk of business interruption. Therefore, seismic design of such structures should target aim to damage. Turkey is a highly seismic prone country. Conventional methods are inadequate for the design of such structures that need to be operational after an earthquake. Thus, it is needed to utilize innovative methods for operational performance level. This study explores the effectiveness of seismic isolated system for a steel data center structure. In the scope of structural design works site-specific seismic hazard analysis, seismic isolation and superstructure design are carried out. 3D nonlinear time-history analysis is performed for the structure with the triple friction pendulum isolators. Acquired practical engineering experience on the selection of seismic isolators and analysis results are presented in this study.

KEY WORDS: Isolator, Pendulum, Triple Surface, Pendulum Isolator

1. GİRİŞ

Günümüz küresel dünyasında veri, en önemli unsurlardan biri haline gelmiştir. Tüm sektörler çeşitliliği ve hacmi hızla artan verilerini en doğru ve etkin şekilde yönetme ve saklama zorunluluğu hissetmektedir. Gün geçtikçe büyüyen veri hacminin güvenli şekilde depolanması ve verilere anlık erişim sağlanması tüm sektörler için hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle veri merkezi binalarının olası doğal afetler sonrasında kesintisiz hizmet vermesi gerekmektedir. Ülkemizde en fazla hasara yol açan doğal afetlerin başında deprem gelmektedir. Veri merkezi binası yapısal olarak hiç hasar almasa dahi içerisinde bulunan sunucuların ve ekipmanların fiziksel olarak hasar alması çok önemli kayıplara hatta işin tamamen durmasına sebep olabilir. Dolayısıyla aktif sismik bölgede bulunan veri merkezlerinde, yapısal olmayan elemanları korumak için önlem almak zorunlu hale gelmektedir.

Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımında yapı elemanlarında elastik ötesi davranışa izin verilmektedir ve buna uygun detaylandırma ile yapı davranışının sünek olması sağlanmaktadır. Böylece yapı elastik sınırın ötesine geçmektedir ve bu da yapısal elemanların hasar görmesini kabul etme anlamına gelmektedir.

Yapısal tasarımda görelî kat ötelemelerini azaltmak için yapılan rijitlik artışı kat ivmelerinin artmasına neden olmaktadır. Bu durumda katlara gelen görece yüksek ivmeler yapısal olmayan elemanlarda hasara sebep olabilmektedir. Kat ivmelerini azaltmanın yolu yapı periyodunu uzatmaktan geçmektedir. Fakat bu durum, katlarda yüksek deplasman oluşmasına izin verecek bir fedakarlıkla sağlanabilmektedir.

Sismik enerjiyi yapısal hasar ile tüketmek yerine ek sönüm sistemleri alternatif bir yaklaşım olarak görülmektedir. Ayrıca günümüzde sadece binanın göçmemesi değil olası bir depremde yapı içindeki yapısal olmayan elemanların da zarar görmemesi amacıyla alternatif bir depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımı ihtiyacı doğmuştur. Son dönemde depreme dayanıklı yapı tasarımı alanında, yukarıda anlatılan yaklaşımların yerine alternatif bir yaklaşım benimsenerek “yapısal kontrol sistemleri” şeklinde adlandırılan, deprem kuvvetlerine karşı yapının tek başına karşı koymasına yerine deprem kuvvetleri azaltılmış yapı yapma mantığı benimsenmiştir. Depreme dayanıklı veri merkezi binası tasarımında, depremden kaynaklı titreşimlerin kontrol altına alınması ve sadece yapının göçmemesi değil yapısal olmayan elemanların da hasar görmemesi için yenilikçi bir çözüm olan taban yalıtımlı yöntem kullanılmıştır.

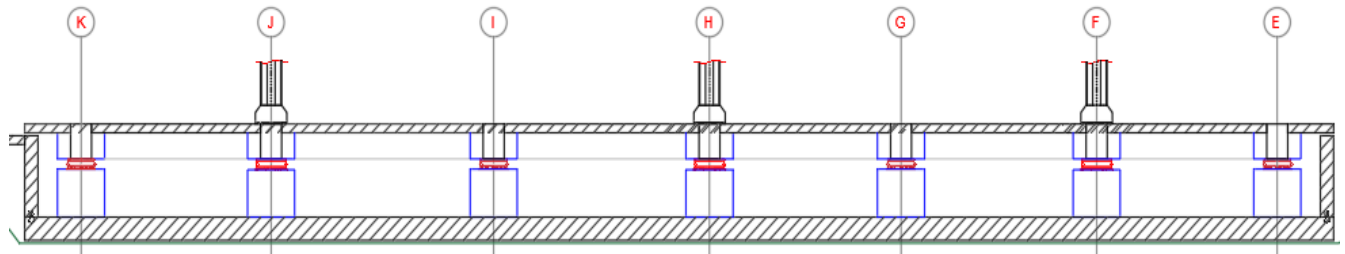
Yapının temelini taşıyıcı sistemden ayrılarak deprem kaynaklı titreşimin yapıya erişmesinin önlenmesi, depremde taban yalıtımlı tasarımın ana fikrini oluşturur. Ayrıca taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan sismik iç kuvvetler önemli ölçüde azaldığından bu elemanlarının boyutlarının küçültülmesine ve daha büyük açıklıklar yapılabilmesine imkân sağlanır.

Çalışmaya söz konusu veri merkezi tasarımında 112 adet yalıtım birimi kullanılmıştır. Hem yapısal elemanlar hem yapısal olmayan elemanlar için önemli kazanımlar elde edilen bu çalışmada yapısal tasarım analizleri ve sonuçları sunulmuştur. Bu proje bir Amerikan Müşavirlik Firması tarafından bağımsız olarak teknik bakımdan değerlendirilmiştir. Ayrıca, projenin üstyapı yapısal ve taban yalıtımı ile ilgili bölümlerinin tasarımı yerel danışmanlar tarafından denetlenmiştir.

2. VERİ MERKEZİ BİNASI

2.1. Yapı Tanıtımı

Üç boyutlu modeli Şekil 2a’da verilmiş olan veri merkezi yapısı tek katlı olarak planlanmıştır. Yapı boyutları planda 100m x 40 m olmak üzere zemin kat üzerinden itibaren kat yüksekliği yaklaşık 7.5 m’dir. Yapının zemin kat döşemesi betonarme karkas sisteme sahiptir. Bu kat döşemesi 80/120 cm boyutunda kirişler ve 30 cm kalınlığında plak döşemelerden oluşmaktadır. Zemin döşemesinin altı yalıtım katıdır. Yalıtım birimleri 80 cm kalınlığında radye temel üzerinde teşkil edilen kaidelere oturtulmuştur. Yalıtım katı kesiti Şekil 1’de gösterilmiştir.



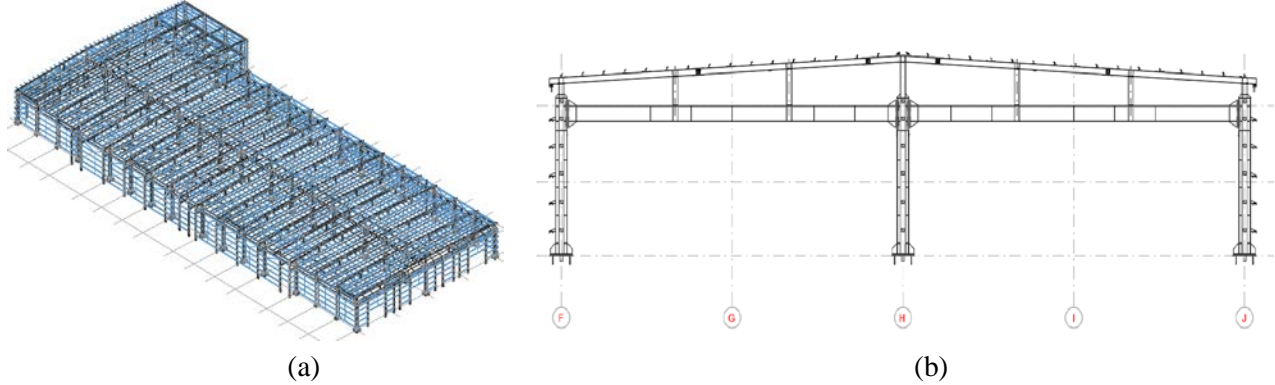
Şekil 1. Yalıtım Katı Kesit Görünüşü

Zemin kat döşemesi üzerinde teşkil edilen tek katlı yapının taşıyıcı sistemi, süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçevelerden oluşturulmuştur (Şekil 2b). Yapının her iki doğrultuda yeterli rijitlik ve dayanımı sağlayabilmesi amacıyla haç kolonlar tercih edilmiştir. Yapının çatı seviyesinin altında ana taşıyıcı kirişlerinin

kotunda bir ara kat döşemesi ile diyafram oluşturularak yatay yüklerin taşıyıcı elemanlar arasında düzgün paylaştırılması ve yapı davranışında bütünlük elde edilmesi hedeflenmiştir.

2.2. Performans Hedefi

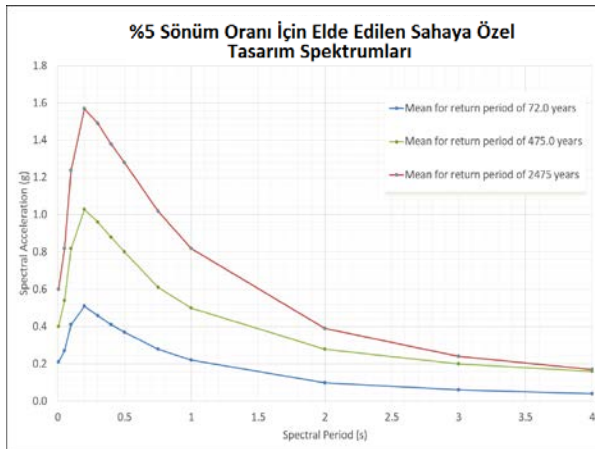
Veri merkezi binası, 2475 yıl dönüş periyoduna sahip 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremde “Hemen Kullanım” performans hedefini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.



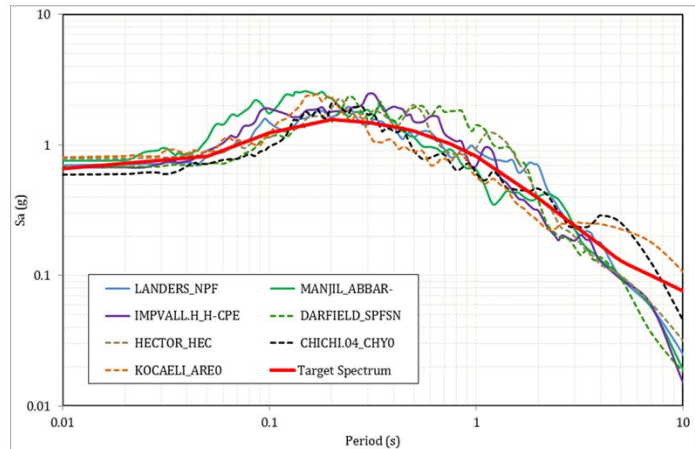
Şekil 2. Zemin Döşemesi Üzeri Perspektif Görünüşü (a) Zemin Döşemesi Üzeri Kesit Görünüşü (b)

2.3. Depremsellik

Yapıların tasarımında sahaya özel sismik tehlike analizi doğrultusunda belirlenen ivme spektrumu kullanılmıştır. Söz konusu çalışma kapsamında sahaya özgü sismik parametrelerin belirlenmesinde ilgili bölge için belirlenen segmentasyonda daha önce kaydedilen depremler, proje sahasındaki tektonik oluşum ve sismik aktivite göz önünde bulundurulmuş, deprem tehlikesi deterministik ve olasılıksal yöntemler ile irdelenmiştir. Yürütülen sahaya özgü sismik tehlike analizi çalışması sonucunda farklı deprem senaryoları için elde edilen spektral parametreler Şekil 3a’da gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3. %5 Sönümlü Sahaya Özel Tasarım Spektrumu (a) Yer Hareketlerinden Elde Edilen İvme Spektrumlarının Tasarım Spektrumu İle Karşılaştırılması (b)

Sahaya özgü sismik tehlike çalışması neticesinde elde edilen ivme spektrumu ile Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)’de verilen ivme spektrumları karşılaştırılmıştır. Tasarım ivme spektrumları 2007 Deprem Yönetmeliği’nde verilen tasarım spektrumundan daha küçük olmamalıdır. Sahaya özgü sismik

Şekil 4. A Tipi Yalıtım Birimi İçin Test Sonuçları ve Kuvvet Yer Değiştirme Eğrileri (a)
B Tipi Yalıtım Birimi İçin Test Sonuçları ve Kuvvet Yer Değiştirme Eğrileri (b)

Tablo 1. Yalıtım Birimi Karakteristik Özellikleri

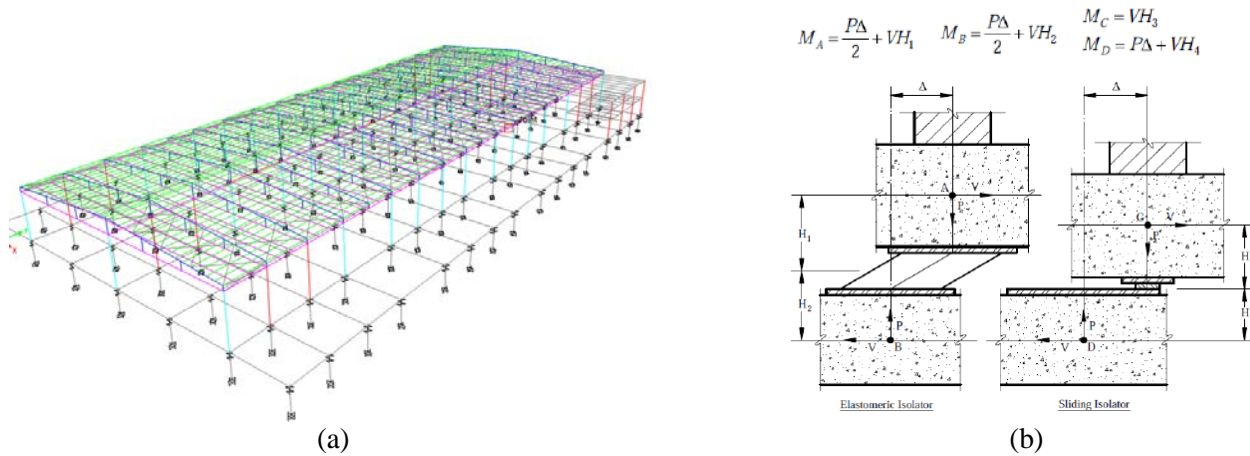
Yalıtım Birimi Kapasite Gereksinimleri		Tip A	Tip B
	D_{tmc}	736 mm	813 mm
	D_{mc}	660 mm	699 mm
	Elastik	8928 kN	13392 kN
	Maximum	13392 kN	20089 kN
	Elastik	223 kN	402 kN
	Maximum	357 kN	669 kN
Dönme Kapasitesi	Maximum	2 □	2 □

4. PERFORMANSA DAYALI TASARIM UYGULAMASI

4.1 Yapısal Elemanların Modellenmesi

Yapının bilgisayar modelinde kolon ve kirişler çubuk eleman, döşeme ve perdeler kabuk eleman olarak modellenmiştir (Şekil 5a). Yalıtım birimleri doğrusal olmayan düşey ve yatay rijitlikler kullanılarak bağlantı elemanı (link) olarak modellenmiştir. Bağlantı elemanın tanımlanmasında öngörülen yalıtım birimi boyutlarına göre kayma deformasyonu noktası belirtilerek yalıtım katına gelen kesme kuvvetinden oluşan ekstra momentlerin bağlantı elemanın alt (temel) ve üst noktasına (yalıtım kotu) eşit olarak dağıtılması sağlanmıştır.

Yalıtım kotunun nihai analizleri SAFE V14 bilgisayar yazılımı ile yapılmıştır. ETABS yazılımından aktarılan modele, eksenel yükler ve yatay yer değiştirmeler baz alınarak hesaplanan P-Delta momentleri harici olarak etkilmiştir. Temel modellenmesi ana binadan bağımsız olarak kabuk (shell) elemanlar ile SAFE V14 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ETABS yazılımından alınan yükler altında temel plağı çözülmüştür. Temelin zemine mesnetlenmesi, düşeyde yatak katsayısı ile uyumlu yaylar ile modellenerek sağlanmıştır.



Şekil 5. Yapı 3d Bilgisayar Modeli (a) İkinci Mertebe Etkileri Dağılımı (FEMA-451) (b)

4.2 Analiz Methodu

Analizlerde, yalıtım birimlerin düşey ve yatay doğrusal olmayan özellikleri göz önüne alınmıştır. Bilgisayar modelinde, öngörülen sönüm oranı ile indirgenen sahaya özgü spektrumdan elde edilen spektral ivme kullanılmıştır. Bu ivme değeri 0,18g olarak hedeflenmiştir. Seçilen efektif sönüm oranına göre spektrum azaltma katsayısı β_D veya β_M ASCE 07-10 Tablo 17-5-1'e göre belirlenmiştir. Analizlerde taban yalıtımlı yapıların

tasarımı için yapı önem katsayısı $I=1.0$ alınmıştır. Taban yalıtımlı olarak tasarlanan veri merkezi yapısında yalıtım birimi deplasmanından kaynaklı ikinci mertebe etkileri Şekil 5b’de görüldüğü gibi göz önüne alınmıştır.

4.3 Yapısal Tasarım (MCE) Analizleri

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları taban kesme kuvvetleri, kat ivmeleri ve maksimum yalıtım birimi düşey yükleri bakımından değerlendirilmiştir.



Şekil 6. Katı İvmesi İzleme Noktaları (a) Yapı Kat Seviyeleri (b)

Hesaplarda kullanılan yalıtım birimi parametreleri prototip test sonuçlarından alınmıştır. Yaşlanma, kirlenme ve sıcaklık etkileri, test sonuçlarından çıkan yaklaşık faktörlerin sürtünme değerlerine yansıtılması ile dikkate alınmıştır.

Yapıda kullanılan yalıtım birimi sürtünme tipi olduğundan üzerlerindeki eksenel yükten doğrudan etkilenmektedir. Düşey deprem hareketleri yalıtım birimi üzerindeki eksenel kuvvetleri değiştirdiğinden taban kesme kuvvetini önemli ölçüde etkilemektedir. Kat seviyeleri Şekil 6b’de gösterilmiş olup katlara gelen taban kesme kuvvetleri düşey yer hareketlerinin dikkate alındığı (Tablo 2) ve alınmadığı durum (Tablo 3) için aşağıda verilmiştir.

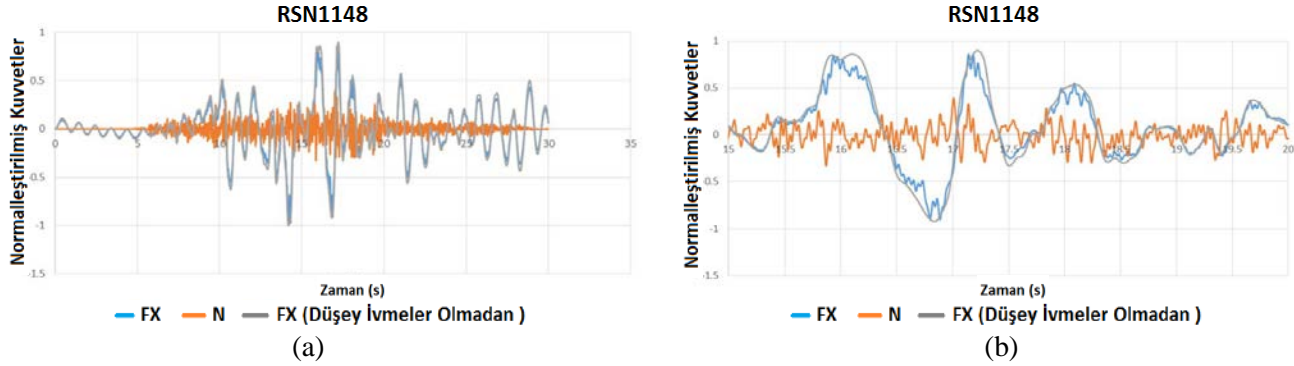
Tablo 2. Katlara Göre Taban Kesme Kuvvetleri Dağılımı (Düşey İvmelerin Etkisi İle)

with Vertical Excitation								
	Max. Axial (kN)	Min. Axial (kN)	Max VX (kN)	Min VX (kN)	Max VY (kN)	Min VY (kN)	Max SRSS	Max SRSS/Story Weight
Story 2	39125	15693	7861	-8078	8612	-8346	10775	0.393
Story 1	267388	81297	21867	-22841	25648	-26430	30337	0.177

Tablo 3. Katlara Göre Taban Kesme Kuvvetleri Dağılımı (Düşey İvmelerin Etkisi Olmadan)

without Vertical Excitation								
	Max. Axial (kN)	Min. Axial (kN)	Max VX (kN)	Min VX (kN)	Max VY (kN)	Min VY (kN)	Max SRSS	Max SRSS/Story Weight
Story 2	27402	27382	8095	-7898	8612	-8178	10624	0.388
Story 1	171181	171146	18303	-19266	19443	-20607	22334	0.130

Her kayıt için düşey yer hareketlerinin analizlere olan etkisini karşılaştırmalı olarak değerlendirmek için taban kesme kuvvetlerinin maksimum değeri göz önüne alınarak normalleştirme yapılmıştır. Düşey deprem hareketlerinin kat kesme kuvvetine etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için normalleştirilmiş kat kesme kuvvetleri elde edilmiş olup Şekil 7a’da RSN1148 kaydı için grafiksel olarak gösterilmiştir. Değerlerin maksimum olduğu aralık Şekil 7b’de sunulmuştur.



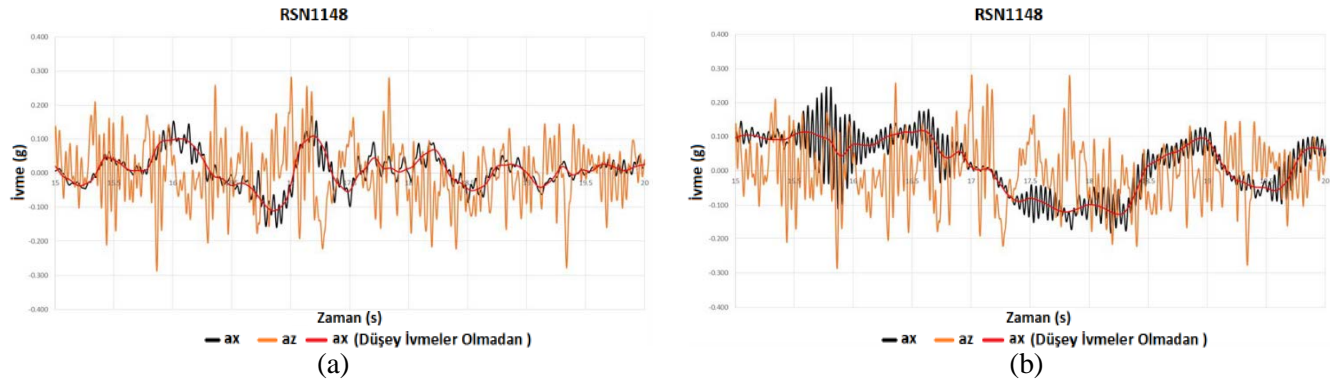
Şekil 7. RSN1148 Kaydı İçin Normalleştirilmiş Taban Kesme Kuvvetleri (a)
RSN1148 Kaydı İçin Maksimum Aralıkta Normalleştirilmiş Taban Kesme Kuvvetleri (b)

Yalıtım katında her bir yer hareketi için taban kesme kuvvetleri, bu değerlerin ortalamaları ve maksimum kesme kuvvetinin yapı ağırlığına oranları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Deprem Kayıtlarına Göre Taban Kesme Kuvvetleri

Story2	Max. Axial (kN)	Min. Axial (kN)	Max VX (kN)	Min VX (kN)	Max VY (kN)	Min VY (kN)	Max SRSS	Max SRSS/Story Weight
Vertical_RSN1148_KOCAELI_ARE000	35749	18765	7122	-7826	5200	-4660	8288	0.303
Vertical_RSN1633_MANJIL_ABBAR--L	44931	9331	6703	-6133	8604	-8306	9268	0.338
Vertical_RSN164_IMPVALH_H-CPE147	43345	12335	10700	-10979	8211	-8416	11681	0.426
Vertical_RSN1787_HECTOR_HEC000	35484	19057	6869	-7350	18839	-15296	18931	0.691
Vertical_RSN2893_CHICHI04_TCU122E	34911	20577	6197	-6647	5798	-7012	7910	0.289
Vertical_RSN3757_LANDERS_NPF090	40473	13975	9860	-10927	7960	-8538	11433	0.417
Vertical_RSN6928_DARFIELD_LPCCN80E	38980	15812	7579	-6681	5673	-6197	7917	0.289
Average	39125	15693	7861	-8078	8612	-8346	10775	0.393

Kat ivmeleri, Şekil 1’de işaretlenmiş olan biri merkezde diğeri ise yapı kenarında bulunan iki noktadan izlenmiştir. Şekil 8’de her iki deprem yönü için RSN1148 deprem kaydı dikkate alınarak kat ivmeleri verilmiştir. Görüldüğü üzere düşey ivmelerin dikkate alınmasının yalıtım katında önemli etkisi bulunmaktadır. Kat ivme değerleri 638 noktası için Tablo 5’de 936 noktası için Tablo 6’da düşey yer hareketlerinin etkisi dikkate alınacak şekilde verilmiştir.



Şekil 8. X Yönü İçin yalıtım Katı İvmeleri (a) Y Yönü İçin yalıtım Katı İvmeleri (b)

Tablo 5. 638 Noktasında Ortalama Kat İvmeleri (Düşey Yer Hareketleri İle)

	DC Center (point 632) with Vertical						
	Max UX (g)	Min UX (g)	Max UY (g)	Min UY (g)	Max SRSS	Max UZ (g)	Min UZ (g)
2N	0.286	-0.296	0.326	-0.312	0.408	0.440	-0.423
1N	0.338	-0.326	0.297	-0.297	0.386	1.328	-1.249

Tablo 6. 936 Noktasında Ortalama Kat İvmeleri (Düşey Yer Hareketleri İle)

	DC Corner (point 936) with Vertical						
	Max UX (g)	Min UX (g)	Max UY (g)	Min UY (g)	Max SRSS	Max UZ (g)	Min UZ (g)
2N	0.344	-0.336	0.348	-0.319	0.441	0.417	-0.381
1N	0.188	-0.221	0.177	-0.207	0.261	0.340	-0.326

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, veri merkezi binası taban yalıtımlı yapısal tasarım ilkeleri ve metodolojisi açıklanmıştır. Üretici firmaya uygun yalıtım birimi seçilebilmesi için hedeflenen değerler ve olması gereken tasarım esasları aktarılmıştır. Üretici firma tarafından tasarlanan yalıtım birimi özelliklerini dikkate alarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler ile maksimum deplasman ve üst yapıya aktarılacak maksimum taban kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Yalıtım birimi, çelik üst yapı, temel ve yalıtım kotu döşemesi ile kaidelerin tasarımı bu sonuçlara göre yapılmıştır. Prototip test sonuçları alt ve üst limitler için değerlendirilmiştir. Alt limit sonuçları için belirlenen deplasman talebinin aşılmadığı, üst limit sonuçları için ise maksimum dinamik sürtünme katsayısının üst limit sürtünme katsayısını geçmediği doğrulanmıştır. Veri merkezi yapısında 112 adet eğri yüzeyli sürtünmeli (üç yüzeyli) yalıtım birimi kullanımı ile servis katlarında rijit blok hareketi sağlanmış ve kat ivme değerleri sınırlandırılmıştır. Veri merkezi gibi deprem sonrası kesintisiz kullanım gerektiren yapıda yalıtım birimi kullanımının yapının kat ivmelerini ve buna bağlı hasarları sınırlayabildiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

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

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, 2010.

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.

Eurocode 8 (2003), “Design of Structures For Earthquake Resistance Part 1: General Rules, Seismic Actions And Rules For Buildings”, EUROPEAN STANDARD prEN 1998-1, Doc CEN/TC250/SC8/N335, DRAFT No 6.

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.

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

TS498 (1997), “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri”, Türk Standartları Enstitüsü

TS500 (2000), “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü

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