DOĞRUSAL OLMAYAN SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİNİN PERFORMANSLARININ YAPISAL PARAMETRELERE OLAN DUYARLILIĞI

Cenk Alhan[1] ve Kemal Hışman[2]

[1] *Yrd. Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul Üniversitesi, Avcılar, İstanbul*
[2] *Y. Lisans Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul Üniversitesi, Avcılar, İstanbul*
Email: cenkalhan@istanbul.edu.tr

ÖZET:

Sismik izolasyon, yatay rijitliği düşük düşey rijitliği yüksek kauçuk veya kayıcı mesnetler kullanılarak yapıların doğal titreşim periyotlarının uzatılması ve böylece deprem hakim periyodundan uzaklaştırılması esasına dayanır. Bu sayede yapıya aktarılan deprem kuvvetleri ve kat ivmeleri bir kaç kat azaltılabilir. Ancak, hastane, üniversite ve veri depolama merkezleri gibi yerlerde bulunan cihazların işleyişlerine ara vermeden dayanabilecekleri ivme seviyeleri oldukça düşük olduğundan, bulundukları sismik izolasyonlu yapıların depreme maruz kalmaları durumunda ortaya çıkacak kat ivmelerinin hassas ve doğru hesaplanması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, titreşime hassas cihazları barındıran yapısal sistemin tümünün güvenliği açısından izolasyon sistemi deplasmanı da önemli yapısal tepki parametreleri arasındadır. Doğrusal olmayan izolasyon sistemlerine sahip yapıların kat ivmelerini ve izolasyon sistemi deplasmanlarını içeren sismik performanslarını etkileyecek parametreler arasında üst yapı kütlesi, rijitliği ve modal sönüm oranı ile izolasyon sistemi akma deplasmanı, akma dayanımı ve akma sonrası rijitliğinin akma öncesi rijitliğine oranı bulunmaktadır. Bu parametrelerde nominal tasarım değerlerine göre meydana gelebilecek sapmaların yapının sismik performansını nasıl etkileyeceğinin araştırıldığı bu çalışmada, nominal izolasyon periyotları 2 s ve 3 s olan izolasyon sistemlerine sahip dört katlı kayma çerçeveleri kullanılarak duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılar, yukarıda sıralanan yapısal parametrelerde nominal tasarım değerlerinden ±%5, ±%15 ve ±%25 sapmaların olduğu durumlar için 1940 El Centro ve 1994 Sylmar depremlerine maruz bırakılarak sismik performanslarındaki değişim incelenmiştir. Analiz sonuçları, yapısal parametrelere olan duyarlılığın izolasyon sisteminin karakteristik özelliklerine bağlı olduğunu ve farklı yapısal parametrelerin farklı performans kriterlerini farklı derecelerde etkilediğini ortaya koymuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Sismik izolasyon, duyarlılık analizi, sismik performans

1. GİRİŞ

Hastane, üniversite ve veri depolama merkezleri gibi stratejik öneme sahip yapıların içlerinde barındırdıkları titreşime hassas cihazların deprem titreşimlerinin zararlı etkilerinden korunmaları, bu yapıların yapısal bütünlüklerinin korunması kadar önemlidir. Çoğu kez, bu tür yapılarda bulunan cihazların toplam değeri yapının kendi değerinin çok üzerindedir. Ayrıca, işlevleri bakımından, stratejik öneme sahip yapılarda bulunan cihazların kalıcı hasar görmelerinin hatta çalışmalarına kısa bir süreliğine de olsa ara vermelerinin engellenmesi gerekmektedir (Ramallo vd., 2002). Diğer yandan, pek çok titreşime hassas cihazın dayanabileceği ivme sınırı oldukça düşüktür. Örneğin, bazı disk sürücüleri 0.5 g üzerinde bir ivmeye maruz kaldığında kalıcı hasar görebilmekte veya veri kaybı oluşabilmektedir (Worksafe, 2010). Büyük depremler de rahatlıkla 0.5 g'den fazla pik yer ivmesi üretebildiğinden, taban ankastre yapıların böylesi depremlere maruz kalmaları durumunda içlerinde bulunan cihazların hasar görmeleri kaçınılmaz olacaktır. Bu durumda, yapıya aktarılan deprem titreşimlerinin mutlak suretle azaltılması gerekir ve bu da sismik izolasyon ile gerçekleştirilebilir. Sismik

izolasyon, yatay rijitliği düşük ve düşey rijitliği yüksek olan kauçuk veya kayıcı mesnetlerin genellikle yapı ile temel arasına yerleştirilmesi suretiyle oluşturulur. Böylece, yapının doğal periyodu uzatılır ve deprem hakim periyodundan uzaklaştırılarak yapıya aktarılan deprem kuvvetleri azaltılır. Dolayısıyla, kat ivmeleri çoğunlukla pik yer ivmesinin de altına inecek kadar azaltılabilir. Sismik izolasyon ile ilgili modelleme ve tasarım ilkeleri Kelly (1997) tarafından sunulmuştur. Yüksek sönümlü veya kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin kullanıldığı izolasyon sistemlerinin doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkileri vardır. Bu tür izolasyon sistemleri, izolasyon sistemin akma deplasmanı aşılana kadar yüksek yatay rijitliğe (akma öncesi rijitlik) sahipken bu akma deplasmanı değerinin ötesinde çok daha düşük bir yatay rijitlik (akma sonrası rijitlik) mevcuttur. Doğrusal olmayan izolasyon sistemlerinin belirleyici diğer karakteristik özellikleri arasında akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı ve akma kuvveti bulunmaktadır. Ayrıca, üst yapı kütlesi, üst yapı rijitliği ve üst yapı modal sönüm oranı da sismik izolasyonlu yapıların deprem davranışlarını etkileyebilecek parametreler arasındadır.

Yapısal güvenilirliğin tespiti için gerçekleştirilen Monte Carlo analizlerinde rastgele parametrelerin sayısının artmasıyla nümerik işlem hacmi de hızla büyümektedir. Dolayısıyla, doğrusal olmayan sismik izolasyon sistemlerine sahip yapıların sismik tepkilerini en çok etkileyecek parametrelerin belirlenmesi, bu tür çalışmalarda rastgele modellenecek parametrelerin sayısının ve dolayısıyla işlem hacminin önemli ölçüde azalmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca, sismik tepkiyi hangi parametrenin ne ölçüde etkileyeceğinin belirlenmesi, özellikle ön tasarım aşamasında mühendislere yardımcı olacaktır. Son olarak, özellikle sismik izolasyon platformlarının kullanıldığı durumlarda sıklıkla ortaya çıkabilen, üst yapı kütlesi ve üst yapı rijitliğindeki değişikliklerin de yapısal tepkiyi ne derece etkileyeceğinin tespiti önemlidir. Üst yapı kütlesi, rijitliği ve modal sönüm oranı ile izolasyon sistemi akma deplasmanı, akma dayanımı ve akma sonrası rijitliğinin akma öncesi rijitliğine oranı gibi yapısal parametrelerde nominal değerlere göre meydana gelebilecek sapmaların sismik tepkiyi nasıl etkileyeceği ise duyarlılık analizleri ile belirlenebilir. Doğrusal davranış gösteren veya eşdeğer doğrusal olarak modellenmiş olan (Matsagar ve Jangid 2004) sismik izolasyon sistemlerine sahip yapıların duyarlılık analizleri Alhan ve Hışman (2011) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise, doğrusal olmayan sismik izolasyon sistemlerine sahip yapılar ele alınmıştır. Sismik izolasyonlu yapıları içeren duyarlılık analizleri ile ilgili literatüre (Su vd., 1990; Politopoulos ve Pham, 2009) katkıda bulunmak ve yukarıda bahsedilen konulara ışık tutmak amacıyla bu çalışmada (Hışman, 2011), yukarıda listelenen yapısal parametrelerde hedeflenen nominal tasarım değerlerine göre meydana gelebilecek ±%5, ±%15 ve ±%25 sapmaların yapının sismik performansını nasıl etkileyeceğini belirlemek amacıyla duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir.

2. YAPISAL MODELLEME VE DEPREM KAYITLARI

Bu çalışmada, yazarların doğrusal sismik izolasyon sistemlerine sahip yapıların duyarlılık analizleriyle ilgili çalışmalarında da kullandıkları (Alhan ve Hışman 2011), kat kütleleri birbirine eşit ($m_1 = m_2 = m_3 = m_4$) ve kat rijitlikleri birbirine eşit ($k_1 = k_2 = k_3 = k_4$) olarak kabul edilen dört katlı bir kayma çerçevesi test yapısı olarak kullanılmıştır. Nominal kat kütleleri ve nominal kat rijitlikleri, çerçevenin taban ankastre birinci mod periyodu 0.4 s olacak şekilde ayarlanmıştır. Nominal üst yapı modal sönüm oranı ise tüm modlar için eşit ve ζ_S = %5 olarak kabul edilmiştir. Üst yapı kütle matrisi $[M_S]$ = diag (m_1, m_2, m_3, m_4) olup üst yapı rijitlik matrisi $[K_S]$ klasik kayma çerçevesi formülasyonuna göre (Chopra, 2006) kat rijitlikleri kullanılarak oluşturulmuştur. Sismik izolasyonlu model, üst yapıya kütlesi diğer kat kütlelerine eşit olan (m_b) taban katının eklenmesi ve bu kat ile temel arasına bir izolasyon sisteminin eklenmesiyle oluşturulmuştur. Taban katı dahil tüm katların sonsuz rijit diyafram olarak modellendiği yapıda beş adet serbestlik derecesi vardır.

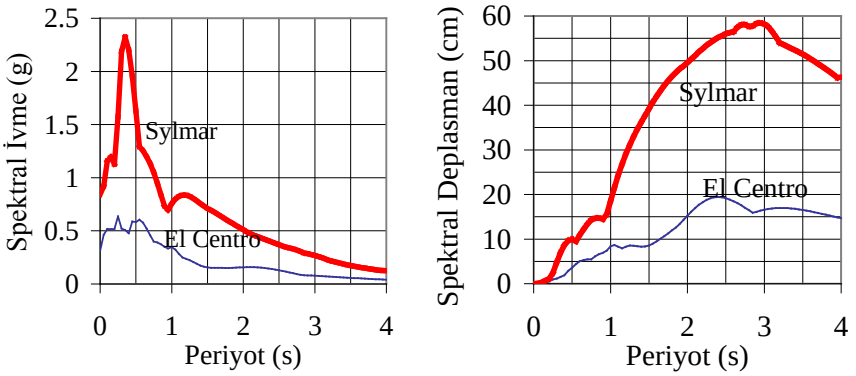
Sismik izolasyon teorisi ile ilgili önemli kaynaklar arasında Kelly (1997), Naeim ve Kelly (1999) ve Christopoulos ve Filiatrault (2006) sayılabilir. Yapı toplam kütlesi M ve akma sonrası rijitliği K_2 olan bir izolasyon sistemine sahip yapıda izolasyon periyodu $T_b = 2\pi(M/K_2)^{1/2}$ olarak verilir (Nagarajaiah ve diğ. 1991, Matsagar ve Jangid 2004). İzolasyon sistemi akma kuvveti F_y, izolasyon sistemi akma deplasmanı D_y, akma

öncesi rijitlik $K_1 = F_y/D_y$ ve akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı $\alpha = K_2/K_1$ olmak üzere, izolasyon sistemi için ikili doğrusal bir kuvvet-deplasman ilişkisi kabulü ile karakteristik kuvvet için $Q = (K_1-K_2)Dy$ bağıntısı geçerlidir (Naeim ve Kelly, 1999). Bu çalışmada, akma sonrası izolasyon periyotları T_b = 2 s ve 3 s olan yapılar incelenmişlerdir. İzolasyon sistemi karakteristik kuvvet oranının Q/W = %5 ve akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranının α = 0.1 olduğu kabul edilmiştir. Yer çekimi ivmesi *g* ve yapı toplam ağırlığı W=Mg olmak üzere, çalışma kapsamındaki izolasyon sistemlerine ait özellikler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. İzolasyon sistemlerine ait özellikler

İzolasyon Sistemi	T_b (s)	Q/W (%)	K_2 / W (1/m)	α (-)
Tb2	2.0	5	1.006	0.1
Tb3	3.0	5	0.447	0.1

Yapıların modellenmesi ve analizi 3DBASIS (Nagarajaiah vd. 1991) programında gerçekleştirilmiştir. Doğrusal elastik olarak kabul edilen üst yapının kayma çerçevesi olarak analitik modelinin teşkili, kullanıcı tarafından sağlanan kat kütleleri, kat rijitlikleri ve üst yapı modal sönüm oranları sayesinde gerçekleşir. Sismik izolasyon sistemi ise izolasyon elemanlarını birbirine bağlayan sonsuz rijit taban katının altına, kuvvet-deplasman özellikleri ile modellenen izolasyon cihazları ile teşkil edilir. Yüksek sönümlü kauçuk veya kurşun çekirdekli kauçuk gibi doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkilerine sahip izolatörler programdaki histeretik elemanlar kullanılarak tanımlanabilir. Analitik model, kullanıcı tarafından sağlanan bu elemanlara ait akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı, akma deplasmanı ve akma dayanımı özellikleri kullanılarak oluşturulur. Çalışmada pik yer ivmesi 0.313 g olan 1940 El Centro (IMPVALL I-ELC180) ve pik yer ivmesi 0.843 g olan 1994 Sylmar (NORTHRSYL360) kayıtları kullanılmış ve deprem kayıtları Peer Strong Motion Databank'tan (Berkeley, 2009) elde edilmiştir. %10 sönümlü spektral ivme ve deplasman grafikleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Deprem kayıtlarına ait %10 sönümlü ivme spektrumu ve deplasman spektrumu

3. DUYARLILIK ANALİZLERİ

İkinci kısımda Tb2 ve Tb3 izolasyon sistemlerine sahip yapıların nominal tasarım parametre değerleri sunulmuştur. Bunlardan üst yapı sönüm oranı (ζ_S), üst yapı rijitliği (K_S) ve üst yapı kütlesi (M_S) üst yapı ile ilgili parametreler iken akma deplasmanı (D_y), akma dayanımı (F_y) ve akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı (α) ise izolasyon sistemi ile ilgili parametrelerdir. Bu kısımda, ele alınan izolasyonlu yapıların sismik performanslarının bu parametrelere olan duyarlılığı zaman tanım analizleri yardımıyla irdelenmiştir. Bunun için, yapılar yapısal parametrelerde nominal tasarım değerlerinden ±%5, ±%15 ve ±%25 sapmaların

olduğu durumlar için ayrı ayrı modellenerek El Centro (EL) ve Sylmar (SYL) depremlerine maruz bırakılmış ve sismik performanslarındaki değişim karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Her analizde sadece incelenen parametredeki sapma göz önüne alınırken diğer parametreler için nominal değerler kullanılarak sadece incelenen parametreye olan duyarlılık tespit edilmiştir. Sismik performans kriterleri olarak taban deplasmanı (izolasyon sistemi deplasmanı) ve en üst kat ivmesi dikkate alınmıştır.

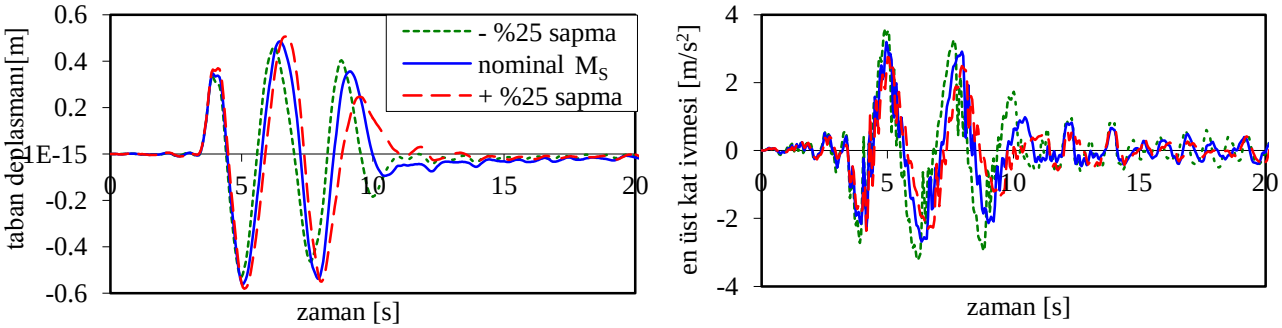
Şekil 3 - 6'da, kısıtlı yer sebebiyle örnek olarak sadece Tb3 izolasyon sistemine sahip yapının SYL depremi altındaki zaman tanım analizi grafikleri nominal ve ilgili parametrede ±%25 sapma olması halleri için sunulmuştur. Ayrıca, üst yapı rijitliği ve üst yapı modal sönüm oranı için sapma olan durumlarla nominal hale ait yapısal tepki grafikleri neredeyse üst üste çakıştığından bu parametrelerle ilgili grafiklere yer verilmemiştir. Şekil 3 - 6, taban deplasmanı ve en üst kat ivmesinin sırasıyla üst yapı kütlesine, izolasyon sistemi akma deplasmanına, izolasyon sistemi akma kuvvetine ve izolasyon sistemi akma sonrası rijitliğinin akma öncesi rijitliğine oranına olan duyarlılığını sergilemektedir. Bu parametrelerdeki ±%25 oranında sapmaların hem izolasyon periyodunda sapmaya sebebiyet verdiği hem de sismik performansta tüm simulasyon boyunca kayda değer sapmalara neden olduğu ve bu sapmaların farklı zaman anlarında farklı oranlarda oluştuğu görülmektedir.

Yapısal parametrelerde küçük (±%5), orta (±%15) ve büyük (±%25) oranlardaki sapmalara bağlı olarak Tb2 ve Tb3 izolasyon sistemlerine sahip yapıların pik en üst kat ivmesi (a) ve pik taban deplasmanı (d) değerlerindeki değişim EL ve SYL depremleri için sırasıyla Tablo 2 ve 3'te özetlenmiştir. Tablolarda, Denklem (1)'de tanımlanan pik en üst kat ivmesindeki ve pik taban deplasmanındaki hata oranları da (sırasıyla e_a ve e_d) sunulmuştur. Burada, alt indisler n ve s sırasıyla nominal ve sapma olan durumları temsil etmektedir. Tablolarda e_a ve e_d değerlerinin mutlak değerce en büyük olanları, rahatlıkla seçilebilmeleri için koyu olarak yazılmıştır.

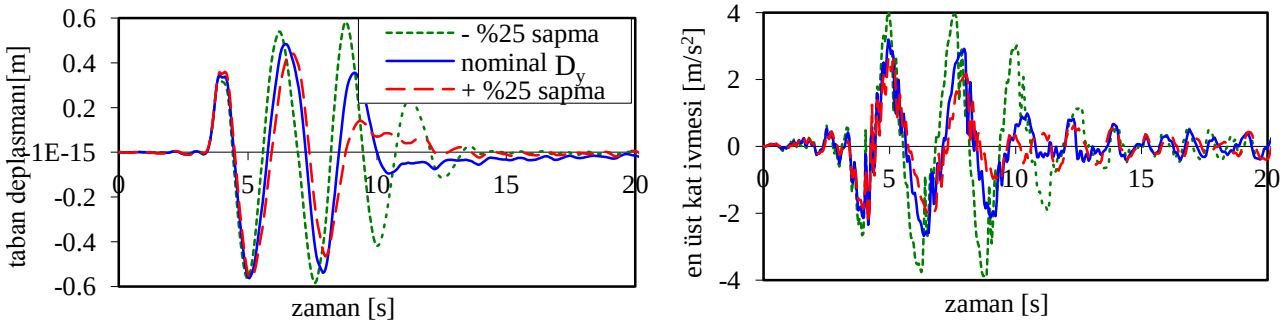
$$e_a = \frac{a_n - a_s}{a_n} \times 100 \qquad \text{ve} \qquad e_d = \frac{d_n - d_s}{d_n} \times 100 \tag{1}$$

Üst yapı sönüm oranındaki büyük (±%25) sapmalarda dahi pik en üst kat ivmelerindeki hata oranlarının az (mutlak değerce %8'den küçük) olduğu ve pik taban deplasmanında ise neredeyse hiç farklılık oluşmadığı (mutlak değerce %1'den küçük), dolayısıyla sismik performansın bu parametreye duyarsız olduğu görülmektedir. Üst yapı rijitliğinin ise taban deplasmanını çok fazla etkilemediği, ancak bu parametredeki sapmaların en üst kat ivmesini kayda değer bir şekilde etkileyebileceği EL depremi sonuçlarından anlaşılmaktadır. Buna göre, üst yapı rijitliğindeki %5~%25 oranındaki sapma EL depremi altında pik en üst kat ivmesinde mutlak değerce yaklaşık %5~%22 değişikliğe sebep olmaktadır. Sismik performansın üst yapı kütlesine olan duyarlılığının diğer üst yapı parametrelerine olan duyarlılığına göre belirgin şekilde fazla olduğu görülmektedir. Bu parametredeki (±%25) sapma, pik taban deplasmanında %27.71'e (EL-Tb2) ve pik en üst kat ivmesinde %14.06'ya (SYL-Tb2) varan hata oranına sebep olmuştur. Küçük (±%5) sapmalarda ise mutlak değerce en büyük hata oranları pik taban deplasmanında %6 ve pik en üst kat ivmesinde %2 civarında çıkmıştır.

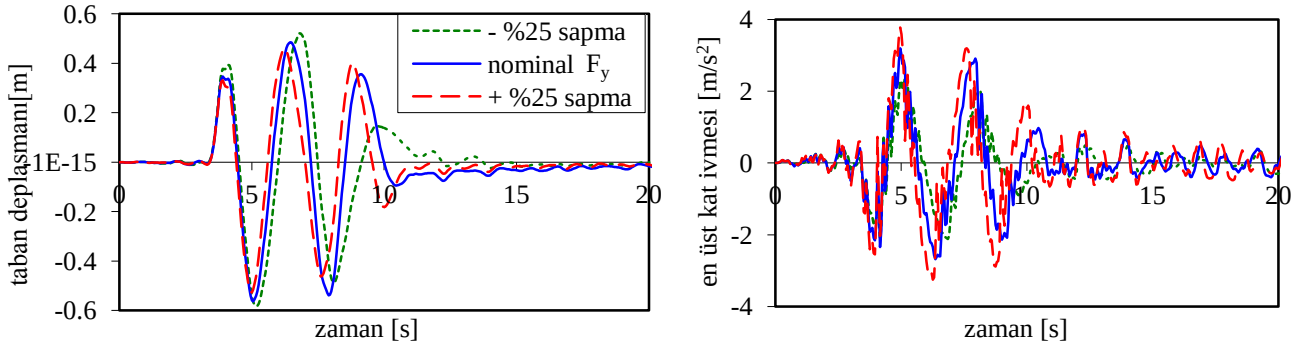
Sismik performansın izolasyon sistemi parametrelerine oldukça duyarlı olduğu görülmektedir. Pik taban deplasmanındaki mutlak değerce en büyük hata oranları ($|e_d|$), akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranında, akma deplasmanında ve akma dayanımında meydana gelebilecek büyük sapmalar (±%25) için, sırasıyla %14.31 (EL-Tb2), %11.33 (EL-Tb2) ve %42.92 (EL-Tb2) olurken küçük sapmalar (±%5) için ise, sırasıyla %2.58 (EL-Tb2), %2.68 (EL-Tb2) ve %7.07 (EL-Tb2) olmuştur. Pik en üst kat ivmesindeki mutlak değerce en büyük hata oranları ($|e_a|$), akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranında, akma deplasmanında ve akma dayanımında meydana gelebilecek büyük sapmalar (±%25) için, sırasıyla %22.94 (SYL-Tb2), %27.49 (SYL-Tb2) ve %25.96 (EL-Tb3) olurken küçük sapmalar (±%5) için ise, sırasıyla %3.50 (SYL-Tb3), %3.83 (SYL-Tb3) ve %5.29 (EL-Tb3) olmuştur.



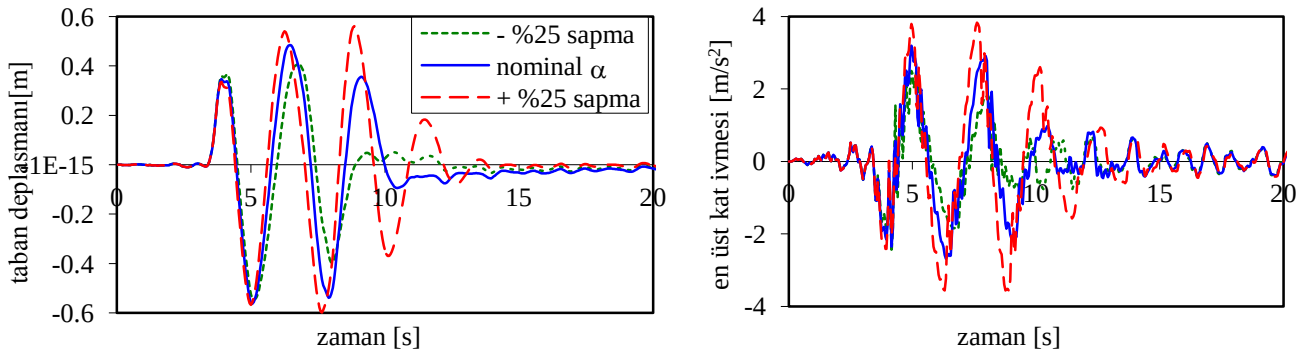
Şekil 3. Sismik performansın üst yapı kütlesine olan duyarlılığı (SYL-Tb3)



Şekil 4. Sismik performansın akma deplasmanına olan duyarlılığı (SYL-Tb3)



Şekil 5. Sismik performansın akma kuvvetine olan duyarlılığı (SYL-Tb3)



Şekil 6. Sismik performansın akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranına olan duyarlılığı (SYL-Tb3)

Tablo 2. EL depremi için pik yapısal tepki değerleri ve yapısal parametrelerdeki sapmalara bağlı olarak bu değerlerde meydana gelen hata oranları

		İzolasyon Sistemi							
		Tb2				Tb3			
Yapısal Parametre	Sapma %	*a* milli-g	e_a %	*d* cm	e_d %	*a* milli-g	e_a %	*d* cm	e_d %
K_s, M_s, ζ_s, α, D_y	0	211.12	0.00	6.56	0.00	151.40	0.00	7.81	0.00
	+5	201.80	-4.41	6.51	-0.82	144.84	-4.33	7.75	-0.79
	+15	182.88	-13.38	6.48	-1.34	131.91	-12.87	7.63	-2.30
K_s	+25	164.33	**-22.16**	6.53	-0.55	120.05	**-20.71**	7.56	**-3.23**
	-5	219.68	4.06	6.63	0.96	157.65	4.13	7.86	0.61
	-15	234.13	10.90	6.75	2.76	168.79	11.49	7.84	0.42
	-25	243.57	15.37	6.85	**4.36**	176.52	16.59	7.63	-2.35
	+5	209.56	-0.74	6.95	5.85	149.32	-1.38	7.95	1.83
	+15	205.76	-2.54	7.73	17.69	145.05	-4.19	8.81	12.79
M_s	+25	200.26	**-5.14**	8.38	**27.71**	140.71	**-7.06**	9.70	**24.18**
	-5	211.96	0.40	6.24	-4.96	153.22	1.20	7.66	-1.91
	-15	213.48	1.12	5.93	-9.73	156.55	3.40	7.33	-6.11
	-25	213.90	1.32	5.79	-11.80	159.07	5.06	6.96	-10.94
	+5	208.02	-1.47	6.57	0.04	149.68	-1.14	7.80	-0.13
	+15	202.08	-4.28	6.57	0.13	146.39	-3.31	7.78	-0.38
ζ_s	+25	196.46	-6.94	6.58	**0.23**	143.27	-5.37	7.76	-0.61
	-5	214.31	1.51	6.56	-0.04	153.17	1.17	7.82	0.14
	-15	220.81	4.59	6.56	-0.10	156.87	3.61	7.84	0.43
	-25	227.61	**7.81**	6.55	-0.16	160.80	**6.21**	7.87	**0.72**
	+5	210.24	-0.42	6.41	-2.41	150.90	-0.33	7.75	-0.75
	+15	208.13	-1.41	6.44	-1.92	149.91	-0.98	7.65	-2.09
α	+25	205.98	**-2.43**	6.52	-0.66	148.94	**-1.63**	7.56	-3.23
	-5	211.94	0.39	6.73	2.58	151.91	0.33	7.87	0.81
	-15	213.62	1.18	7.11	8.32	152.92	1.00	8.01	2.62
	-25	215.66	2.15	7.50	**14.31**	153.88	1.64	8.18	**4.68**
	+5	208.29	-1.34	6.74	2.67	146.29	-3.38	7.94	1.71
	+15	203.37	-3.67	7.06	7.58	136.94	-9.55	8.22	5.19
D_y	+25	199.01	-5.73	7.31	**11.33**	128.27	-15.28	8.58	**9.85**
	-5	213.49	1.12	6.39	-2.68	156.16	3.14	7.68	-1.70
	-15	218.87	3.67	6.28	-4.28	166.73	10.12	7.42	-4.97
	-25	224.49	**6.34**	6.29	-4.24	177.88	**17.49**	7.51	-3.82
	+5	219.79	4.11	6.24	-4.95	159.08	5.07	7.68	-1.65
	+15	237.67	12.58	6.05	-7.86	174.60	15.32	7.44	-4.72
F_y	+25	255.19	20.88	5.88	-10.37	189.52	25.18	7.22	-7.61
	-5	201.73	-4.45	7.03	7.07	143.40	-5.29	8.07	3.32
	-15	183.45	-13.10	8.17	24.49	127.76	-15.61	9.44	20.84
	-25	164.66	**-22.00**	9.38	**42.92**	112.10	**-25.96**	10.97	**40.43**

Tablo 3. SYL depremi için pik yapısal tepki değerleri ve yapısal parametrelerdeki sapmalara bağlı olarak bu değerlerde meydana gelen hata oranları

		İzolasyon Sistemi							
		Tb2				Tb3			
Yapısal Parametre	Sapma %	a milli-g	e_a %	d cm	e_d %	a milli-g	e_a %	d cm	e_d %
K_s, M_s, ζ_s, α, D_y	0	667.28	0.00	60.27	0.00	326.16	0.00	56.34	0.00
K_s	+5	675.81	1.28	60.36	0.16	320.94	-1.60	56.38	0.07
	+15	681.19	2.08	60.55	0.47	319.61	**-2.01**	56.42	0.14
	+25	677.18	1.48	60.73	0.77	321.19	-1.52	56.45	0.19
	-5	665.00	-0.34	60.15	-0.20	330.00	1.18	56.29	-0.10
	-15	677.09	1.47	59.89	-0.63	332.17	1.84	56.16	-0.32
	-25	691.00	**3.55**	59.56	**-1.17**	325.73	-0.13	56.12	**-0.41**
M_s	+5	652.29	-2.25	61.04	1.29	319.42	-2.07	56.95	1.07
	+15	617.82	-7.41	62.08	3.01	303.05	-7.09	57.78	2.55
	+25	577.79	-13.41	62.52	3.74	283.94	**-12.94**	58.10	3.12
	-5	682.76	2.32	59.31	-1.59	332.65	1.99	55.70	-1.14
	-15	734.24	10.04	57.01	-5.41	345.73	6.00	54.33	-3.58
	-25	761.12	**14.06**	53.96	**-10.46**	366.01	12.22	53.17	**-5.63**
ζ_s	+5	666.50	-0.12	60.26	-0.01	323.41	-0.85	56.34	0.00
	+15	665.12	-0.32	60.25	-0.02	318.80	-2.26	56.34	-0.01
	+25	664.22	-0.46	60.25	-0.03	315.09	-3.40	56.34	-0.02
	-5	668.25	0.15	60.27	0.01	329.22	0.94	56.35	0.00
	-15	670.42	0.47	60.28	0.02	336.39	3.14	56.35	0.02
	-25	673.05	**0.87**	60.29	**0.04**	345.23	**5.85**	56.36	**0.04**
α	+5	686.81	2.93	59.97	-0.49	337.59	3.50	56.40	0.10
	+15	747.40	12.01	59.27	-1.65	361.18	10.73	57.47	2.01
	+25	796.20	19.32	58.65	-2.68	390.58	19.75	59.88	**6.27**
	-5	648.44	-2.82	60.36	0.15	314.82	-3.48	56.30	-0.09
	-15	594.19	-10.95	59.56	-1.18	288.68	-11.49	55.85	-0.88
	-25	514.18	**-22.94**	57.21	**-5.08**	256.95	**-21.22**	54.59	-3.12
D_y	+5	649.39	-2.68	60.42	0.26	314.76	-3.50	56.43	0.15
	+15	607.35	-8.98	60.04	-0.38	292.52	-10.31	56.44	0.17
	+25	554.95	-16.83	58.95	-2.19	271.47	-16.77	56.20	-0.25
	-5	688.20	3.13	59.88	-0.65	338.64	3.83	56.27	-0.13
	-15	758.19	13.62	58.85	-2.34	368.10	12.86	57.00	1.17
	-25	850.74	**27.49**	57.21	**-5.07**	413.07	**26.64**	58.47	**3.77**
F_y	+5	679.19	1.78	58.97	-2.15	337.53	3.49	55.52	-1.46
	+15	721.65	8.15	56.42	-6.38	359.28	10.15	53.99	-4.18
	+25	759.83	13.87	53.91	-10.55	384.59	17.91	52.80	**-6.29**
	-5	655.74	-1.73	61.40	1.89	314.06	-3.71	57.19	1.50
	-15	612.48	-8.21	62.93	4.42	280.95	-13.86	58.24	3.36
	-25	564.56	**-15.39**	69.19	**14.80**	248.21	**-23.90**	58.22	3.34

4. SONUÇ

Doğrusal olmayan sismik izolasyon sistemlerine sahip yapıların pik taban deplasmanı ve pik en üst kat ivmesini içeren sismik performanslarının üst yapı kütlesi, rijitliği ve modal sönüm oranı ile izolasyon sistemi akma deplasmanına, akma dayanımına ve akma sonrası rijitliğinin akma öncesi rijitliğine oranına olan duyarlılığının belirlendiği bu çalışmada, nominal tasarım değerlerine göre ±%5, ±%15 ve ±%25 sapmaların olduğu durumlar incelenmiştir. Farklı deprem kayıtları ile gerçekleştirilen zaman tanım alanı analizleri sonucu:

- Yapısal parametrelere olan duyarlılığın izolasyon sisteminin karakteristik özelliklerine bağlı olduğu ve farklı yapısal parametrelerin farklı performans kriterlerini farklı derecelerde etkilediği görülmüştür;
- Pik taban deplasmanının üst yapı sönüm oranına ve üst yapı rijitliğine olan duyarlılığı yok denecek kadar azdır. Pik en üst kat ivmesinin özellikle üst yapı rijitliğine olan duyarlılığının ise oldukça yüksek olabileceği ortaya konmuştur;
- Sismik performansın üst yapı kütlesine; akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı, akma deplasmanı ve akma dayanımını içeren izolasyon parametrelerine çok duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği'nin 5284 numaralı projesi ile desteklenmiştir. Yazarlar, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

Alhan, C. ve Hışman, K. (2011). Doğrusal sismik izolasyon sistemlerinin performansının yapısal parametrelere olan duyarlılığı. (CD-ROM). *Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı,* 30 Mayıs - 03 Haziran, İstanbul.
Berkeley. (Ziyaret Tarihi: 2009). http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html, Peer Strong Motion Databank.
Chopra, A.K. (2006). Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey, U.S.A.
Christopoulos, C. ve Filiatrault, A. (2006). Principles of Passive Supplemental Damping and Seismic Isolation, IUSS Press, Pavia, Italy.
Hışman, K. (2011). Sismik İzolasyon Platformlarının Performanslarının Sismik İzolatörlerin Mekanik Özelliklerindeki Küçük Sapmalara Olan Duyarlılığı. Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
Kelly, J.M. (1997). Earthquake-Resistant Design with Rubber, Springer, U.K.
Matsagar, V.A. ve Jangid, R.S. (2004). Influence of isolator characteristics on the response of base-isolated structures. *Engineering Structures* **26:12**, 1735-1749.
Naeim, F. ve Kelly, J.M. (1999). Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice, John Wiley & Sons, New York, U.S.A.
Nagarajaiah, S., Reinhorn, A.M. ve Constantinou, M.C. (1991). 3D-BASIS: Nonlinear Dynamic Analysis of Three-Dimensional Base Isolated Structures, Part II, Techical Report NCEER-91-0005, National Center for Earthquake Engineering, State University of New York at Buffalo.
Politopoulos, I. ve Pham, H.K. (2009). Sensitivity of seismic isolated structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **38:8**, 989-1007.
Ramallo, J.C., Johnson, E.A. ve Spencer Jr, B.F. (2002). 'Smart' base isolation systems. *Journal of Engineering Mechanics* **128:10**, 1088-1099.
Su, L., Ahmadi, G., Tadjbakhsh, I.G. (1990). A comparative study of performances of various base isolation systems, Part II: Sensitivity Analysis," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **19:1**, 21-33.
Worksafe. (Ziyaret Tarihi: 2010). http://www.worksafetech.com/pages/ISO_Base1.html, ISO-Base Seismic Isolation Platform, Worksafe Technologies.