

Faya Uzak Yer Hareketi Kayıtları Etkisindeki Yapıların Deprem Davranışları ile Yer Hareketi Şiddet Ölçütlerinin Etkinliklerinin Değerlendirilmesi

Cengizhan DURUCAN^{*1}, Ahmet Nadir ÇAKILCIOĞLU²

¹ Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

^{*1} cdurucan@firat.edu.tr, ² ahmet.nadir23@gmail.com

(Geliş/Received: 12/07/2022;

Kabul/Accepted:15/09/2022)

Özet Bu çalışmada çok sayıda yer hareketi şiddet ölçütlerinin yapı davranışı ile deprem özellikleri arasında ilişki kurmadaki etkinlikleri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında yapıların orta periyot bölgelerinde bulunması durumları dikkate alınmıştır. Değerlendirme yapılırken; (i) hasara bağlı periyot uzaması ve, (ii) yüksek modların davranış üzerindeki etkilerini de dikkate alan yer hareketi şiddet ölçütleri kullanılmıştır. Ayrıca, istenmeyen plastik mekanizmaları en aza indiren, planda ve düşeyde düzenli, simetrik üç boyutlu yapı modelleri kullanılmıştır. Kurulan üç boyutlu yapı modellerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılmış ve elde edilen çatı deplasmanı değerleri, yer hareketi şiddet ölçütleri ile ilişkilendirilmiştir. Elde edilen ilişkiler Pearson Katsayısı, Belirlilik Katsayısı ve Spearman Katsayısı gibi istatistiksel parametreler ile değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar hangi özelliklere sahip olan yer hareketi şiddet ölçütlerinin en etkin olarak hangi yapı tipi için kullanılabileceği konusunda aydınlatıcı veriler sunmuştur. Orta periyot bölgesindeki yapılar için hız ve enerji tabanlı yer hareketi şiddet ölçütleri ile birlikte günümüz şartnamelerinde sıkça kullanılan, belirli bir periyot aralığında ölçeklendirilmiş spektral ivmeye dayalı yer hareketi şiddet ölçütlerinin de etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler; spearman katsayısı, pearson katsayısı, zaman tanım alanında analiz, deprem analizi,

Evaluation of Efficiency of Ground Motion Intensity Measures with The Earthquake Responses of Structures Subjected to Far Fault Ground Motion Records

Abstract The efficiencies of many ground motion intensity measures in terms of establishing a relationship between the earthquake response and earthquake properties were evaluated in this study. In scope of the study, the structures at medium period range were considered. The evaluation was performed by using ground motion intensity measures which consider; (i) period elongation due to structural damage and, (ii) the effects of higher modes on the structural response. Moreover, structures with regular plan and elevation geometries with three dimensional and symmetrical structural systems which minimize the unwanted plastic mechanisms were used in the study. The nonlinear time history analyses of the models were performed and the roof displacements of structural models were correlated with ground motion intensity measures. The obtained relationships were evaluated with statistical parameters such as Pearson's Coefficient, Determination Coefficient and Spearman's Coefficient. The results obtained from the study provided illuminating data on which ground motion intensity measures can be used most effectively with which type of structures. For structures in the medium period range, ground motion intensity measures based on velocity and energy are observed to be effective together with the ground motion intensity measures which are based on spectral acceleration scaled within a certain period range, which are frequently used in modern structural codes.

Keywords; Spearman coefficient, Pearson coefficient, time history analysis, earthquake analysis,

1. Giriş

Depremler, maddi ve manevi kayıplara sebep olan doğal afetlerin başında gelmektedir. Bu durum depreme dayanıklı tasarımlar yapılmasını elzem kılmaktadır. Bu sebeple depreme dayanıklı yapı tasarımı üzerine yapılan birçok çalışma vardır. Bu çalışmalar bugün dahi bütün hızıyla devam etmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarlayabilmek için iki temel adım vardır. Birinci adım yapıların maruz kalacağı deprem yüklerinin mümkün olan en büyük doğrulukla öngörülmesi, ikinci adım ise öngörülen deprem yükleri altında yapının istenen/hedeflenen performansı sergilemesi için tasarım yapılmasıdır. Bu çalışma kapsamında ise depreme dayanıklı yapı tasarımının birinci ayağı üzerinde durulacaktır: Yapılara gelen deprem yüklerinin mümkün olan en büyük doğrulukla öngörülmesi üzerine çalışılacaktır.

Yapılara gelen deprem yüklerinin öngörülmesi yer hareketi şiddet ölçütleri (YHŞÖ) kullanılarak yapılır. Bu ölçütler; depremin herhangi bir bilinen özelliği ile yapılara vereceği hasar arasında ilişki kurmak için kullanılır.

* Sorumlu yazar: cdurucan@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-1933-8218, ² 0000-0001-8368-9146

Eğer bir depremin vereceği hasarın o depremin hangi özelliğine bağlı olarak değiştiği ideal olarak bilinirse, o depreme maruz kalma ihtimali olan yapılar ona göre tasarlanabilir. Örneğin, "bir yer hareketi kaydında ölçülen en büyük ivme değeri arttıkça o yer hareketi kaydının yapıda meydana getirdiği hasar artacaktır" diyebilirsek, yapıları tasarlarken yer hareketi kaydında meydana gelebilecek en büyük ivme değerini baz alarak bir tasarım yapabiliriz. Böylece, daha büyük ivmeye maruz kalabilecek bölgelerdeki yapılar daha dayanıklı ve/veya daha sünek tasarlanabilir.

Deprem mühendisliği alanında yapılara iletilen deprem yüklerinin yer hareketinin özellikleri ile ilişkisinin belirlenmesi konusunda ciddi mesafe kaydedilmiştir. Modern yapı tasarım şartnameleri, yapının titreşim periyoduna bağlı olarak yapıya gelmesi olası olan en büyük ivmeleri dikkate alarak tasarım yaptırmaktadır. Bunun içinse tasarım ivme spektrumları kullanılmaktadır. Ancak, çok kullanışlı olsalar bile ivme spektrumlarının bazı eksik yönleri, kaybettikleri bazı bilgiler vardır. Bu sebeple alternatif YHŞÖ üzerinde yapılan çalışmalar halen devam etmektedir.

Deprem kayıtlarının en rahat elde edilebilen özellikleri en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı ve en büyük yer deplasmanı gibi üç temel parametredir. Bu parametreler çoğu zaman doğrudan ivmeölçerden alınan kayıtlar üzerinde yapılan basit matematiksel işlemler sonrası elde edilebilir. Parametrelerin elde edilmesinin çok pratik olması sebebiyle bu YHŞÖ'lerden bazıları sıkça kullanılmıştır. Ancak, bu ölçütlerin yapı özelliklerini dikkate almaması ve tek başlarına çok anlamlı olmamaları sebebiyle daha gelişmiş şiddet ölçütleri önerilmiştir. Yapı özelliklerini de dikkate alan yapının temel titreşim periyoduna denk gelen spektral ivme, spektral hız ve spektral deplasman gibi spektruma dayalı YHŞÖ oldukça kullanışlıdır. Çünkü deprem ile birlikte yapının özelliklerini de dikkate alırlar. Spektruma dayalı bu ölçütlerin yanında depremin süresini dikkate alan [1] YHŞÖ de vardır. Yer hareketi esnasında ortaya çıkan enerjiyi dikkate alan (HI) [2] en büyük ivme yerine sık tekrarlanan ivme (SMA)[3] veya hız değerlerini (SMV)[3] dikkate alan YHŞÖ de vardır. Bunun yanında, elastik ötesi davranışın meydana geldiği durumlarda, yapısal hasara bağlı olarak yapı periyodunda ki uzamayı dikkate alan[4,5], bir yerine birden çok yer hareketi özelliğini dikkate alan [1] YHŞÖ de vardır. Aşağıda YHŞÖ ile yapı davranışı arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalardan birkaçına yer verilmiştir.

Wu ve arkadaşları [6] PGA(en büyük yer ivmesi), PGV (en büyük yer hızı) ve 1.0 saniyedeki spektral ivme (S_a) değerinin, depremde oluşacak hasar ile yüksek ilişkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Fakat PGA değerinin deprem içeriğindeki büyük ivmeye sahip yüksek frekanslı tek bir dalga sebebiyle özellikle küçük depremler için kararsız kaldığını belirtmişler ve PGA yerine PGV'nin kullanılmasını önermişlerdir. Wu ve arkadaşları [7] başka bir çalışmada, yine benzer şekilde PGV'nin PGA'ya kıyasla deprem şiddetini temsil etmede daha başarılı olduğunu göstermişlerdir. Elenas [8] ise yaptığı çalışmada spektral ivmenin ve spektral deprem enerjisinin yapı davranışı ile arasındaki ilişkinin yüksek olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca, PGA ve bazı diğer indekslerin yapı hasarı ile ilişkisinin zayıf olduğunu söylemişlerdir. An ve arkadaşları [9] yaptıkları çalışmada, toprağa gömülü tüneller için YHŞÖ'leri incelemişlerdir. Bu araştırma sonucunda PGA'nın sismik analizlerde diğer YHŞÖ'ne göre yapı davranışı ile daha az ilişkili olduğu ve en büyük yer değiştirme (PGD), Ortalama Karekök Yer Değiştirme (RMSD), Ortalama Karekök Hız (RMSV) ve Özgül Enerji Yoğunluğunun (SED) yapı davranışı ile ilişkisinin daha güçlü olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır. Li ve arkadaşları[10], yaptıkları çalışmada iletişim kulelerinin yüksek katlı çelik yapısı için ideal olan YHŞÖ'nin belirlenmesini incelemişlerdir. Analizlerinde, faya yakın (darbe içeren kayıtlar) ve faya uzak kayıtlar kullanmışlardır. Analizler sonucunda faya uzak kayıtlar için en etkili parametreler; PGA, $S_a(T_1)$, EPA (etkili en büyük ivme) ve CAV (yığılımlı mutlak hız) olarak belirlenmiştir. Fakat, yer hareketi kaydından bağımsız olarak en etkili parametrenin $S_a(T_1)$ olduğunu ifade etmişlerdir. Yılmaz [11] yaptığı çalışmada, tek serbestlik dereceli sistemlerin en büyük deplasman değerleri ve çok serbestlik dereceli sistemlerin en büyük katlar arası ötelenme değerleri ile YHŞÖ arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Sonuç olarak yapı davranışı ile çerçeve yapıların periyot aralıklarını dikkate alan spektral şiddet parametreleri arasında, PGA, PGV ve $S_a(T_1)$ 'e göre daha kuvvetli bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Hancılar [12] yaptığı analizler sonucunda, genellikle analizini yaptığı bütün yapılarda yapı davranışı ile birinci periyottaki spektral ivmenin ilişkisinin güçlü olduğu sonucunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte yapı periyodunun uzamasıyla birlikte PGD' nin (en büyük yer deplasmanı) etkisinin arttığını göstermişlerdir. Analizlerini yaptıkları uzun periyotlu yapılarda, en etkin parametrenin PGV olduğunu ifade etmişlerdir. Lucchini ve arkadaşları [13] çalışmalarında, çatı deplasmanının 5 adet YHŞÖ ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Sonuç olarak yapı davranışı ile spektral ivmenin ilişkisinin zayıf olduğunu buna karşın bu çalışmada da kullanılan ve S^* olarak isimlendirilen, yapının elastik ve hasar görmüş durumdaki periyodunu dikkate alan parametrenin etkin olduğunu ortaya koymuşlardır. Kostinakis ve arkadaşları[14] yaptıkları çalışma sonucunda; $S_a(T_1)$ ile birlikte, hızla ilişkili parametrelerin yapısal davranış ile güçlü ilişki sergilediğini ortaya koymuşlardır. Akray [15], yaptığı çalışmada karayollarında bulunan köprülerin analizinde kullanılacak YHŞÖ'lerini incelemiştir. Sonuç olarak

diğer YHŞÖ'lerine kıyasla spektral ivmenin, Housner şiddetinin ve hıza bağlı parametrelerin daha isabetli sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır. Yukarıda görüldüğü gibi çok sayıda YHŞÖ geliştirilmesine rağmen, bu YHŞÖ'lerin yapısal hasar ile deprem tehlikesi arasındaki ilişkiyi kurmakta hangi şartlarda ne derece başarılı olduklarını inceleyen çalışmalardan elde edilen sonuçlar tam bir uyum halinde değildir. Kostinakis ve arkadaşları [16] yaptıkları çalışmada, YHŞÖ'ni karşılaştıran çalışmaların genellikle yeni bir YHŞÖ geliştirilmesini konu alan çalışmalar içinde oldukça kısıtlı şekilde yapıldığını belirtmiştir. Kostinakis ve arkadaşları [16]'ın yaptığı bu tespite bağlı olarak, bu araştırma kapsamında YHŞÖ'lerinin etkinliklerini karşılaştıran bir çalışma tasarlanmıştır.

Çalışma kapsamında, mevcut YHŞÖ olarak karşımızda duran birçok alternatifin, deprem koşullarında, hangi tip yapılar üzerinde daha etkin çalışarak yapısal hasarla hangi durumlarda net bir ilişki ortaya koyabildikleri incelenecektir. Bu incelemeyi yapmak için öncelikle, yirmi adet faya uzak deprem kaydı seçilmiştir.

Daha sonra analizlerde kullanılacak yapı modelleri oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında 5, 8 ve 10 katlı olmak üzere üç boyutlu, yapı modelleri oluşturulmuştur. Seçilen deprem kayıtları kullanılarak yapıların çatı deplasmanları elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen çatı deplasmanları ile incelenen YHŞÖ arasındaki ilişki ortaya çıkarılmıştır.

2. Kullanılan Yer Hareketi Kayıtları

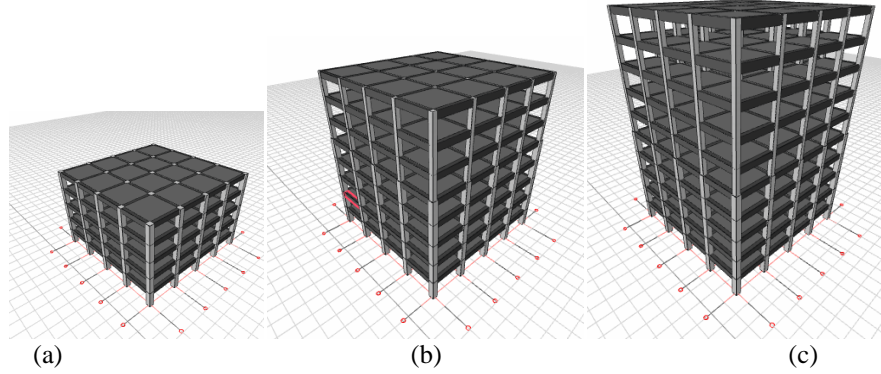
Çalışma kapsamında toplam 20 adet yer hareketi kaydı kullanılmıştır. Bu kayıtlar faya uzak bölgelerden elde edilmiştir. Bilindiği gibi faya yakın yer hareketleri yapılara sıra dışı deprem yüklerinin iletilmesini sağlayabilmektedir. Olası yakın saha fay etkilerini analiz sonuçlarından elemek için çalışma kapsamında seçilen yer hareketi kayıtlarının faya olan uzaklığının 20 km'den daha büyük olmasına dikkat edilmiştir. Seçilen deprem kayıtlarına ait bilgiler tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Analizlerde kullanılan yer hareketi kayıtlarının özellikleri

Deprem	Kayıt	PGA(g)	PGV(cm/s)	Vs(m/s)	Mesafe(km)	Mw
Northridge	MTW000	0.234	7.4	822	36	6.69
San Fernando 1971/02/09 14:00	PSL270	0.202	10.9	970	22	6.61
Whittier Narrows 1987/10/01 14:42	A-TUJ352	0.178	6.7	446	29	5.99
N. Palm Springs 1986/07/08 09:20	CFR315	0.169	11.7	371	28	6.06
Imperial Valley 1979/10/15 23:16	H-SUP135	0.195	8.8	362	25	6.53
Cape Mendocino 1992/04/25 18:06	SHL000	0.229	7.1	514	29	7.01
Cape Mendocino 1992/04/25 18:06	SHL090	0.189	6.6	514	29	7.01
Kern County 1952/07/21 11:53	TAF111	0.178	17.5	385	39	7.36
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	TCU095-W	0.378	62	447	45	7.62
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	CHY047-N	0.186	22.2	273	24	7.62
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	CHY088-N	0.216	20.5	273	37	7.62
Cape Mendocino 1992/04/25 18:06	EUR090	0.178	28.3	339	40	7.01
Kobe 1995/01/16 20:46	KAK000	0.251	18.7	312	23	6.9
Kobe 1995/01/16 20:46	KAK090	0.345	27.6	312	23	6.9
Loma Prieta 1989/10/18 00:05	A02043	0.274	53.6	133	43	6.93
Loma Prieta 1989/10/18 00:05	A02133	0.22	34.3	133	43	6.93
Kocaeli, Turkey 1999/08/17	ATS000	0.249	40	175	68	7.51
Kocaeli, Turkey 1999/08/17	ATS090	0.184	33.2	175	68	7.51
Loma Prieta 1989/10/18 00:05	A01000	0.2912	37.2	116	44	6.93
Loma Prieta 1989/10/18 00:05	A01090	0.2912	37.2	116	44	6.93

3. Analizlerde Kullanılan Yapı Modelleri

Çalışma kapsamında 3 boyutlu yapı modelleri oluşturulmuş ve analizler doğrudan bu modeller üzerinden gerçekleştirilmiştir. Modeller, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007 [17]'ye göre tasarlanmıştır. Yapı tasarımında kullanılan beton sınıfı C25/30 ve donatı çeliği ise S420'dir. Tasarım aşamasında, zemin sınıfı Z2, yapı önem katsayısı 1, deprem yükü azaltma katsayısı ise 8 olarak kullanılmıştır. Betonarme çerçeve elemanlar kullanılarak tasarlanan yapıların kat yüksekliği 3m olarak belirlenmiştir. Yapılar yatay düzlemde her iki doğrultuda 4 açıklıklı ve açıklık mesafesi 5m olacak şekilde tasarlanmıştır. Yapıların görünüşü Şekil 1'de verilmiştir.



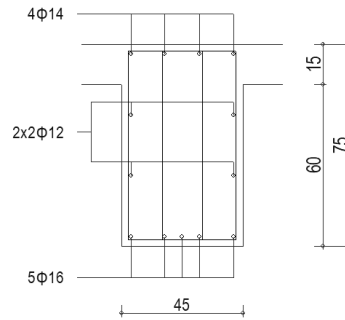
Şekil 1. Çalışmada kullanılan yapılar ait modeller; (a) 5 kat, (b) 8 kat, (c) 10 kat

Betonarme kolonların boyutları ve kullanılan donatı miktarları aşağıdaki tabloda (Tablo 2) sunulmuştur. Kiriş boyutları ise 45 cm x 75 cm olarak kullanılmıştır.

Tablo 2. Kolonların boyutları ve kullanılan donatı miktarı

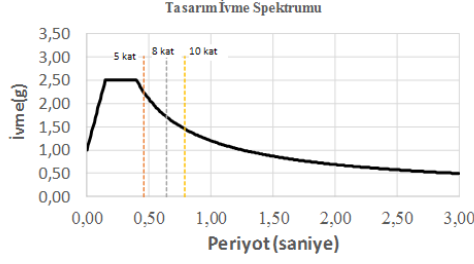
Kolon Boyutları (cm)	Boyuna Donatı		Etriye	
	Çap(mm)	Adet	Çap(mm)	Aralık (cm)
50/50 Kolon	20	8	8	15
60/60 Kolon	14	24	8	15
70/70 Kolon	16	28	8	15
80/80 Kolon	16	32	8	15

Kiriş donatılarına ait detaylı bilgi Şekil 2'de verilmiştir.



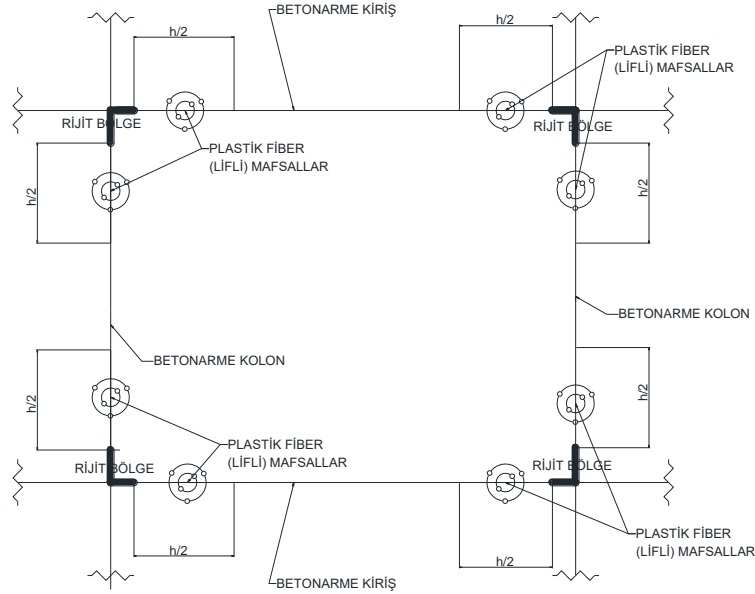
Şekil 2. Çalışmada kullanılan kirişlere ait detaylar.

Yapıların, çatlama kesit rijitlikleri kullanılarak elde edilen temel titreşim periyotları ise; (i) 5 katlı yapı için $T_1=0.46$ s, (ii) 8 katlı yapı için $T_1=0.64$ s ve (iii) 10 katlı yapı için ise $T_1=0.79$ s olarak hesaplanmıştır. Tasarımda kullanılan ivme spektrumu aşağıdaki şekilde (Şekil 3) verilmiştir. Binaların temel titreşim periyotları şekil üzerinde kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi binaların tamamı orta periyot bölgesinde bulunmakla birlikte 5 katlı bina kısa periyot bölgesine oldukça yakın bir konumdadır.



Şekil 3. Binaların tasarımında kullanılan ivme spektrumu

Yapı modellerinde doğrusal olmayan davranışı dikkate alabilmek için plastik mafsallar kullanılmıştır. Bu plastik mafsallar kolon ve kirişlerin uç bölgelerinde eleman yüksekliğinin yarısı kadar bir uzunlukta yerleştirilmiştir. Plastik mafsal tipi olarak ise lifli plastik mafsallar kullanılmıştır. Bu tip plastik mafsallar moment - aksenal yük etkileşimini dikkate almaktadır. Lifli plastik mafsallar modellenirken her bir mafsalda 5x5 lifler kullanılmıştır. Bu lifler; kabuk beton, çekirdek beton ve donatı için ayrı ayrı malzeme modelleri üzerinden gerilme - birim şekil değiştirme ilişkileri kullanarak kesitin toplam taşıma gücü kapasitesini hesaplamaktadır. Yapı modellerinde kolon-kiriş birleşim bölgeleri tam rijit kabul edilmiştir. Modellerde betonarme döşeme ayrıca modellenmemiş, bunun yerine rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Modellemeye ait detaylar Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Yapı elemanlarının modellenmesine ait detaylar.

4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler

Çalışma kapsamında modellenen üç boyutlu betonarme çerçeve yapıların öncelikle düşey yükler altında doğrusal olmayan statik analizleri yapılarak düşey yüklerin elemanlar üzerine etkimesi sağlanmıştır. Bu düşey yük analizlerinden sonra, onların kaldığı yerden devam eden yatay yönlü (tek yönde) doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Bu analizlerde yapının geometrik kaynaklı ve malzeme kaynaklı doğrusal olmayan davranışı dikkate alınmıştır. Analizler sonucunda yapılarda herhangi bir yumuşak kat oluşumu gözlenmemiştir. Bu sebeple yapısal hasar tek bir katta yoğunlaşarak o kattaki görece kat ötelenmeleri belirgin derecede daha yüksek hale getirmemiştir. Buna bağlı olarak katlar-arası ötelenmeler yapı yüksekliği boyunca

benzer değerlerde kalmıştır. Yapısal hasar ve şiddet ölçekleri arasındaki ilişkiyi kurmakta, deprem davranış parametresi olarak çatı deplasmanı kullanılmıştır.

5. İncelenen Yer Hareketi Şiddet Ölçekleri

Çalışma kapsamında incelenen YHŞÖ pratik şekilde elde edilebilenler arasından seçilmiştir. Bunun dışında elde edilmesi ve kullanılması oldukça zahmetli olan bazı yeni nesil şiddet ölçütleri bu çalışmanın kapsamına dahil edilmemiştir. Çalışma kapsamında; doğrudan yer hareketi kaydından elde edilebilen; (i) en büyük zemin ivmesi (PGA), (ii) en büyük zemin hızı (PGV) ve en büyük zemin yer değiştirmesi (PGD), (iv) Arias Şiddeti (AI) [18], (v) yığışlımlı mutlak hız (CAV) [19], (vi) Housner Şiddeti (HI) [2], (vii) korunan en büyük ivme (SMA) [3], (viii) korunan en büyük hız (SMV) [3], (ix) etkin tasarım ivmesi (EDA) [20], (x) A95 [21] parametresi yer hareketi şiddet ölçütleri kullanılmıştır. Bunun dışında doğrudan yer hareketi parametrelerinden değil, ancak yapıya ait bilgi içeren davranış spektrumlarından elde edilebilen; (i) $S_A(T_1)$, (ii) $S_V(T_1)$, (iii) $S_D(T_1)$ ve (iv) S^* [4] gibi şiddet ölçütleri de kullanılmıştır. Ayrıca son dönemde sıkça kullanılan ve yer hareketi ölçeklendirmesini yapının temel titreşim periyoduna bağlı bir aralık üzerinde gerçekleştiren, böylece yüksek mod etkileri ve hasara bağlı periyot uzamasını dikkate alan YHŞÖ de çalışma kapsamında incelenmiştir. Bu ölçütler; $S_{a,gm1}(T_1, 1.6T_1)$ [5], $S_{a,gm2}(0.2T, 1.6T_1)$ [6], Ortalama spektral ivme [22], İvme spektrumunun şekli ile deprem süresinin birleşik etkisi (Birleşik) [1] olarak listelenebilir. Bu YHŞÖ'ne ait detaylar ilgili referanslarda bulunabilir. Bununla birlikte, kullanılan YHŞÖ'ne ilişkin özet bilgi Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan YHŞÖ'lere ait özet bilgi

Yer Hareketi Şiddet Ölçeği (YHŞÖ)	Açıklama	Referans
PGA- Zemindeki en büyük ivme	İvme-zaman kaydından okunan en büyük ivme	-
PGV- Zemindeki en büyük hız	Hız-zaman kaydından okunan en büyük hız	-
PGD- Zemindeki en büyük deplasman	Deplasman-zaman kaydından okunan en büyük deplasman	-
AI- Arias Şiddeti	$AI = \frac{\pi}{2g} \int_0^t a(t)^2 dt$	Arias [18]
CAV- Yığışlımlı mutlak hız	$CAV = \int_0^t a(t) dt$	EPRI[19]
HI- Housner Şiddeti	$HI = \int_{0.1}^{2.5} PSV(\xi = 0.05, T) dT$	Housner[2]
SMA- Korunan en büyük ivme	İvme kaydındaki mutlak değerce en büyük üçüncü ivme	Nuttli[3]
SMV- Korunan en büyük hız	Hız kaydındaki mutlak değerce en büyük üçüncü hız	Nuttli[3]
EDA- Etkili tasarım ivmesi	9 Hz frekans ile düşük geçişli filtrelenmiş en büyük ivme	Benjamin vd [20]
A95-Arias Şiddeti'ne bağlı ivme değeri	Arias Şiddeti'nin %95'ini kapsayan ivme	Sarma ve Yang, [21]
$S_A(T_1)$ -Birinci periyottaki spektral ivme	Yapının birinci periyoduna karşılık gelen spektral ivme	-
$S_V(T_1)$ -Birinci periyottaki spektral hız	Yapının birinci periyoduna karşılık gelen spektral hız	-
$S_D(T_1)$ -Birinci periyottaki spektral deplasman	Yapının birinci periyoduna karşılık gelen spektral deplasman	-
S^* - Periyot uzamasını dikkate alan spektral ivme	$S^* = S_a(T_1) * \sqrt{\frac{S_a(2T_1)}{S_a(T_1)}}$	Cordova vd [4]
$S_{a,gm1}(T-1.6T)$ -Belli aralıktaki spektral ivmelerin geometrik ortalaması	$S_{a,gm1}(T - 1.6T) = \left(\prod_{i=1}^n S_a(T_i) \right)^{1/n}$	Adam vd. [5]
$S_{a,gm2}(0.2T-1.6T)$ -Belli aralıktaki spektral ivmelerin geometrik ortalaması	$S_{a,gm2}(0.2T - 1.6T) = \left(\prod_{i=1}^n S_a(T_i) \right)^{1/n}$	Adam vd. [5]
Ortalama spektral ivme-Belli aralıktaki spektral ivmelerin geometrik ortalaması	$S_{avg}(0.2T - 3T) = \left(\prod_{i=1}^n S_a(T_i) \right)^{1/n}$	Eads vd [22]
Birleşik-Deprem süresi ve spektrum şeklinin birleşik etkisi	$IM_{birleşik} = S_a(T) * IM_{süre}^{C_{süre}} * IM_{şekil}^{C_{şekil}}$	Marafi vd [1]

6. Sonuçların İncelenmesinde Kullanılan Parametreler

Bu çalışmada seçilen şiddet ölçütlerinin seçilen deprem davranış parametresi ile ilişkisini incelemek için sıkça başvurulan üç kriter kullanılmıştır. Çalışmada incelenen sismik talep parametresi ise çatı deplasmanıdır. Bölüm 6.1, Bölüm 6.2 ve 6.3' de modellenen yapıların, seçilen yer hareketi kayıtları etkisi altında yapılan doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerinden elde edilen çatı deplasmanları değerlerinin şiddet ölçütleri ile olan ilişkileri sırasıyla; (i) Pearson Katsayısı, (ii) Belirlilik Katsayısı ve (iii) Spearman Korelasyonu

kullanılarak sunulmuştur. Pearson Katsayısı kullanılarak bir korelasyon olup olmadığının incelenmesi için veri setinin normal dağılıma uygun olup olmadığının belirlenmesi gerekir. Pearson Katsayısı ancak normal dağılıma uygun bir veri seti kullanıldığında anlam kazanmaktadır. Bu sebeple analizi yapılacak olan çatı deplasmanı veri setlerinin normal dağılıma uyup uymadığı tek örneklem Kolmogorov-Smirnov [23] testi yapılarak kontrol edilmiştir. Yapılan test sonucu analizi yapılan bütün veri setlerinin normal dağılıma uyduğu tespit edilmiştir.

6.1. Pearson Katsayısı (r) kullanılarak sonuçların incelenmesi

Pearson Katsayısı (r) ; iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin mertebesini ve yönünü göstermektedir. -1 ile +1 arasında değerler alabilen bu katsayının -1 ve +1 olduğu durumlarda incelenen iki değişkenden bir tanesinin diğeri ile tamamen açıklanabileceği anlaşılmaktadır. Öte yandan Pearson Katsayısının sıfır olması durumunda ise incelenen iki değişken arasında hiç bir ilişki olmadığı kabul edilmektedir. Pearson Katsayısının pozitif olması, değişkenlerden biri artarken diğersinin de doğrusal biçimde arttığını, negatif olması ise bir değişken artarken diğersinin de doğrusal biçimde azaldığını göstermektedir. Pearson Katsayısının hesaplanmasında kullanılan eşitlik denklem 1'de verilmiştir. Denklem 1'de x ve y incelenen veri setlerini, \bar{x} ve \bar{y} bu veri setlerinin ortalama değerlerini, n veri sayısını, s_x ve s_y ise standart sapmaları temsil etmektedir. Bu katsayının verdiği sonuçların sağlıklı olabilmesi, ilişkisi incelenen değişkenlerin normal dağılıma uygun olması beklenir. Bu sebeple, bu çalışmada elde edilen ve mühendislik talep parametresi olarak seçilen çatı deplasmanı değerlerine Kolmogorov - Smirnov normallik testi uygulanmış ve değerlerin normal dağılıma uygun olduğu tespit edilmiştir.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \right)}{n-1} \quad (1)$$

6.2 Belirlilik Katsayısı (r²) kullanılarak sonuçların incelenmesi

Çalışmada kullanılan ikinci kriter ise belirlilik katsayısıdır (r²). Pearson katsayısı iki değişken arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü ortaya çıkarırken, belirlilik katsayısı ise bir değişkendeki değişimin ne ölçüde diğersine bağlı olduğunu [24] ve bir değişkeni kullanarak diğersinin ne ölçüde öngörülebileceğini ifade etmektedir [25]. Belirlilik katsayısı sıfır ile bir arasında değerler almaktadır. Katsayının diğersinin bir olması, bir değişken kullanılarak diğersinin alacağı diğersinin tamamen öngörülebileceğini göstermektedir. Katsayının birden küçük olması ise bir değişken kullanılarak diğersinin kısmen öngörülebileceğini gösterir. Akray [15] köprülerin talep parametrelerinin YHŞÖ ile ilişkisini incelemek için yaptığı çalışmada, belirlilik katsayısının (r²) 0.8'den büyük olduğu durumları kuvvetli korelasyon, 0.4'den küçük olduğu durumları zayıf korelasyon ara değerleri ise orta seviye korelasyon olarak tanımlamıştır. Kuvvetli korelasyon durumunda yalnızca şiddet ölçütleri kullanılarak bile sismik talep parametreleri hakkında tahmin yapılabileceğini, orta seviye korelasyon durumunda ise sonuçların temkinli olarak kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Zayıf korelasyon durumunda ise yalnızca ilgili şiddet ölçütüne bakarak talep değerleri üzerine yorum yapılamayacağını belirtmiştir.

6.3 Spearman Korelasyonu (ρ) kullanılarak sonuçların incelenmesi

Çalışmada kullanılan üçüncü kriter ise Spearman Korelasyonudur. Bu katsayı hesaplanırken değişkenlerin aldığı diğersinin büyüklüklerine (küçükten büyüğe veya büyükten küçüğe) göre bir sıralama yapılır. Daha sonra büyüklüklerine göre sıralanmış diğersinin arasındaki Pearson Katsayısı elde edilir. Böylece iki değişken arasında monotonik olarak artan veya azalan bir ilişki olup olmadığı ölçülür. Bu değişken de yine Pearson Katsayısı gibi -1 ile 1 arasında diğersinin alır. Spearman Korelasyonunu ifade etmekte kullanılan ρ (rho) diğersinin -1 veya 1 olduğunda diğersinin arasında kusursuz olarak, sırasıyla, monoton azalan veya azalan bir ilişki var demektir. Öte yandan ρ'nun mutlak diğersinin 0.9'dan büyük olması çok güçlü bir monotonluk ilişkisini, 0.7 - 0.9 arasında olması güçlü bir ilişkiyi, 0.5 - 0.7 arasında olması ise orta seviye bir monotonluk ilişkisini gösterir [25].

7. Karşılaştırma Sonuçları

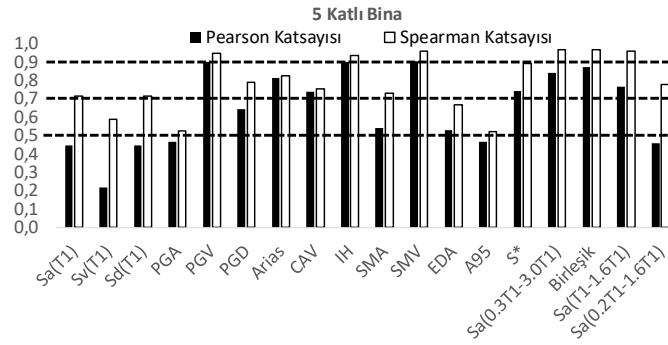
Bu bölümde analizi yapılan binalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Karşılaştırma için kullanılan grafiklerin sonunda yer alan 5 adet şiddet ölçütü (Grup 1); S*, S_a(0.3xT₁-3.0xT₁), Birleşik, S_a(1.0xT₁-1.6xT₁), S_a(0.2xT₁-1.6xT₁) günümüzde yapı şartnamelerinin deprem ölçeklendirmede kullandığı yöntemlerde kullanılan

YHŞÖ'ne benzer YHŞÖ'dir. Bunlar dışında, $S_a(T_1)$, $S_v(T_1)$ ve $S_d(T_1)$ deprem özelliklerinin yanı sıra yapının periyodunu ve sönüm oranını da dikkate alan spektrum tabanlı YHŞÖ'leri (Grup 2), PGA, PGV ve PGD (Grup 3) depremin ivme-zaman, hız- zaman ve deplasman – zaman kayıtlarından doğrudan okunabilen en pratik YHŞÖ'ni, bunların dışında kalan Arias, CAV, IH, SMA, SMV, EDA ve A95 (Grup 4) ise yine depremin ivme-zaman veya hız- zaman kayıtlarının işleme sokulmasıyla elde edilen YHŞÖ göstermektedir.

7.1. Beş Katlı Binanın Analiz Sonuçları

Şekil 5'de 5 katlı binanın analiz sonuçlarından elde edilen çatı deplasmanlarının YHŞÖ ile ilişkisini gösteren Pearson ve Spearman Katsayıları görülmektedir. Bu iki katsayı değerlendirilirken, 0.5'den küçük değerlerin anlamsızlığı, 0.5-0.7 arasındaki değerlerin orta seviyede ilişkiyi, 0.7-0.9 arası değerlerin güçlü ilişkiyi, 0.9'dan büyük değerlerin ise çok güçlü ilişkiyi temsil ettikleri kabul edilmiştir. Boslaugh ve Watters [25] tarafından Spearman Katsayısı için tanımlanan bu limit değerler, benzer ilişkileri göstermesi sebebiyle bu çalışmada Pearson Katsayısını yorumlamak için de kullanılmıştır. Şekil 5 Pearson Katsayısı açısından incelendiğinde çok güçlü ilişkiyi temsil eden (>0.9) 4 adet YHŞÖ'nden, 3 tanesinin PGV, IH, SMV depremin hız-zaman kaydından doğrudan ya da hız- zaman kaydının işleme sokulmasıyla elde edilen YHŞÖ'ler olduğu görülmektedir.

Bunun dışında, Grup 1 olarak isimlendirilen ve günümüz şartnamelerindeki yaklaşımlara benzer olan YHŞÖ'nin 5 katlı yapının çatı deplasmanı ile çok güçlü doğrusal ilişkiler kurmadığı (Pearson Katsayısı < 0.9) ancak, bir tanesi hariç olmak üzere, çatı deplasmanı ile monoton artan güçlü ilişki içinde olduğu söylenebilir (Spearman Katsayısı > 0.9). Bütün binalara ait ortalama, Pearson ve Spearman Katsayılarının birlikte gösterildiği Şekil 8 incelendiğinde bu durum daha kolay görülebilecektir.



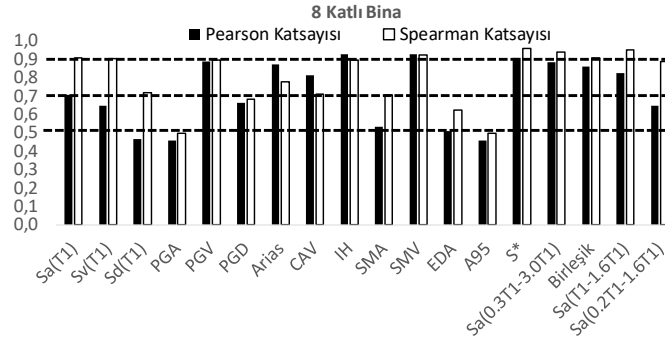
Şekil 5. 5 katlı binanın Pearson ve Spearman Katsayıları

Pearson Katsayısının karesinin alınmasıyla elde edilen belirlilik katsayıları da incelendiğinde (Şekil 9), aynı sonuç karşımıza çıkmaktadır. Anılan, 3 adet YHŞÖ'nin belirlilik katsayıları her zaman 0.8'in üzerinde kalarak bu YHŞÖ'lerin çatı deplasmanını tahmin etmekte büyük bir isabet oranıyla kullanılabilirliğini göstermiştir. Hızla ilgili YHŞÖ'nin başarı oranının büyük olmasında, analizi yapılan binaların orta periyot bölgesinde olmasının etkisi büyüktür. Bilindiği gibi orta periyot bölgesindeki binalar, yüksek frekanslı ivme dalgaları yerine orta frekanslı hız dalgaları ile rezonansa girme eğilimine sahiptir. Bu eğilim, hız dalgalarının genliği büyüdükçe ortaya çıkan deplasman değerlerinin büyümesine sebep olmaktadır. Aynı ilişki, Spearman Katsayısı açısından incelendiğinde yine benzer sonuçlar görülmektedir. Bunun anlamı ise hızla bağlı PGV, IH ve SMV YHŞÖ'nin büyük miktarda çatı deplasmanı ile doğrusal bir ilişki içinde olduğudur, çünkü, aradaki ilişkinin miktarını doğrusallık şartını ortadan kaldırarak ölçen Spearman Katsayısı değerleri Pearson Katsayısı değerlerinden çok az farklıdır.

7.2. Sekiz Katlı Binanın Analiz Sonuçları

Şekil 6'da 8 katlı binanın analiz sonuçlarından elde edilen çatı deplasmanlarının YHŞÖ ile ilişkisini gösteren Pearson ve Spearman Katsayıları görülmektedir. Sonuçların 5 katlı bina için elde edilenlere oldukça benzer olduğu görülmektedir. İki şekil arasında gözlenebilen en büyük fark, $S_a(T_1)$ ve $S_v(T_1)$ 'in Pearson ve Spearman Katsayılarındaki ciddi artış olarak karşımıza çıkmaktadır. Grafikler incelendiğinde bu iki YHŞÖ'nün Spearman Katsayılarının, çok güçlü ilişki bandına çıktığı görülmektedir. Bilindiği gibi spektruma dayalı bu

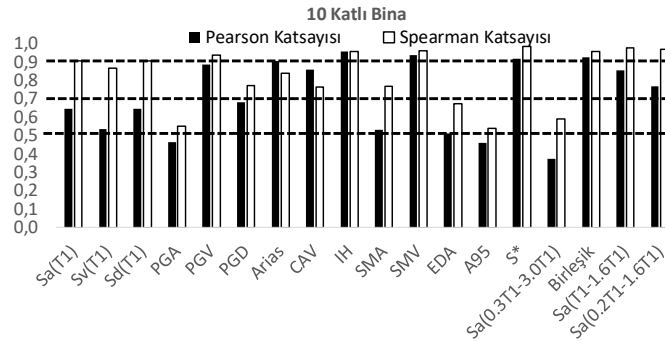
YHŞÖ binanın elastik davranması durumunda çok iyi çalışmaktadır. Ancak bina elastik davranışın ötesine geçtiğinde, binaya aktarılan ivme ve hız dalgalarının genliği ve bunlara bağlı ortaya çıkan deplasmanlar ciddi oranda değişmektedir. Bu değişim, orta ve uzun periyot bölgesindeki yapılar için daha öngörülebilir ve orantılı olarak karşımıza çıkar. Kısa periyot bölgesine yakın yapılarda ise bu konuda belirsizlik oldukça yüksektir. Son dönemde, elastik ötesi deplasman taleplerinin, elastik deplasman taleplerine oranı olarak tanımlanan C_1 katsayısı üzerine tek serbestlik dereceli sistemler kullanılarak yapılan bazı çalışmalar [26] bu durumu ortaya koymaktadır. Kısa periyot bölgesindeki yapılarda ki bu belirsizlik, elastik deplasmanlar için çok iyi çalışan $S_a(T_1)$ ve $S_v(T_1)$ 'nin etkinliğinin görece kısa periyotlu ve elastik ötesi deplasman yapan yapılarda düşük olmasına sebep olmaktadır. Yapı periyodu uzadıkça, belirsizlik azalmakta ve $S_a(T_1)$ ve $S_v(T_1)$ 'nin artışıyla birlikte, elastik deplasmanlar gibi plastik deplasmanlarda (doğrusal olarak olmasa da) artmaktadır. Şekil 6'da $S_a(T_1)$ ve $S_v(T_1)$ 'nin Spearman Katsayılarındaki ciddi artış bunu göstermektedir.



Şekil 6. 8 katlı binanın Pearson ve Spearman Katsayıları

7.3. On Katlı Binanın Analiz Sonuçları

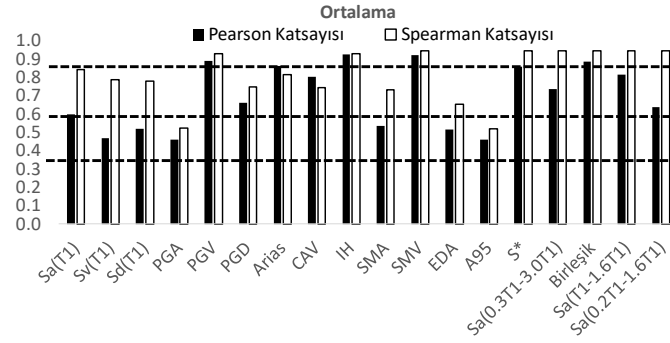
Şekil 7'de 10 katlı binanın analiz sonuçlarından elde edilen çatı deplasmanlarının YHŞÖ ile ilişkisini gösteren Pearson ve Spearman Katsayıları görülmektedir. Şekil 7 ve 6 arasında, Şekil 6 ve 5 arasındakine benzer bir fark olduğu rahatça görülebilir. Yapı periyodu, kısa periyot bölgesinden uzaklaştıkça az da olsa Spearman ve Pearson Katsayılarında bir artış olduğu gözlenmektedir. Bu durumun ciddi bir istisnası ise $S_a(0.3xT_1-3.0xT_1)$ 'in Pearson ve Spearman Katsayılarında görülmektedir. Bu YHŞÖ için diğerlerinin aksine Pearson ve Spearman Katsayılarında düşüş görülmektedir. Bunun sebebi ise $S_a(0.3xT_1-3.0xT_1)$ 'in üst periyot limiti $3.0xT_1$ olarak karşımıza çıkmaktadır. 10 katlı yapının periyot değeri daha önce 0.79 s olarak verilmişti, bu değeri 3 ile çarptığımızda 2.37 s karşımıza çıkmaktadır. Tasarım spektrumunun verildiği Şekil 3'e bakarsak bu periyot değerinde ivmelerin çok azaldığı açıkça görülmektedir. Gerçek deprem kayıtlarının ivme spektrumlarında bu düşüş daha yüksek olabilmektedir. Bu bölgedeki çok düşük ivme değerlerinin dikkate alınması, düşük ivmelerin ilgili şiddet ölçeğinin hesapladığı değerleri bozmasına ve bu değerlerin çok düşmesine yol açmaktadır. Bu yüzden daha düşük periyotlu yapılarda daha etkin olarak karşımıza çıkan bu şiddet ölçütü, görece olarak daha uzun periyotlu yapılarda etkinliğini büyük ölçüde kaybetmektedir.



Şekil 7. 10 katlı binanın Pearson ve Spearman Katsayıları

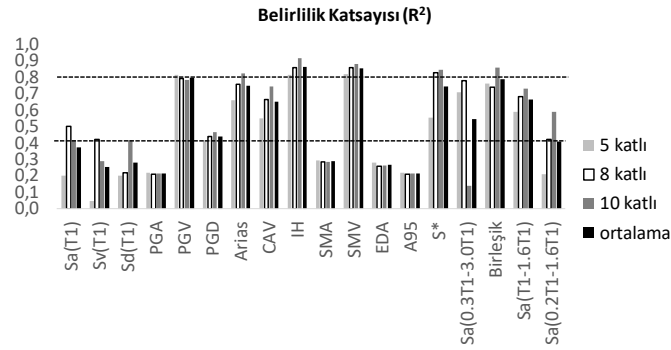
7.3. Bütün binalara ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Bu bölümde analizi yapılan bütün yapıların çatı deplasmanlarının YHŞÖ ile ilişkisinin değişimi incelenmiştir. Şekil 8’de bütün yapıların Pearson ve Spearman Katsayılarının ortalama değerleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, en etkili YHŞÖ enerji ve hız tabanlı; PGV, IH ve SMV ile birlikte günümüz şartnamelerinin kullandığına benzer şekilde tasarlanmış olan S*, S_a(0.3xT₁-3.0xT₁), Birleşik, S_a(1.0xT₁-1.6xT₁), S_a(0.2xT₁-1.6xT₁)’dir. Adı geçen bütün YHŞÖ’lerinin Spearman katsayıları hem 0.9’dan büyük değerler almakta hem de Pearson Katsayılarından daha büyük değerler almaktadır. Bunun anlamı, bu YHŞÖ’lerinin artışı ile çatı deplasmanı değerlerinin artacağı şeklinde bir önermenin çoğu zaman doğru olduğudur. Bunun yanında adı geçen YHŞÖ’nin bazılarının Pearson Katsayılarının da 0.9’dan büyük olduğu bazılarının da 0.7 ile 0.9 arasında değiştiği görülmektedir. Bunun anlamı ise; (i) Pearson Katsayıları 0.9’dan büyük olan YHŞÖ ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki doğrusaldır önermesinin çoğu zaman doğru olduğudur, (ii) ancak Pearson Katsayıları 0.7 ile 0.9 arasında olan YHŞÖ ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki doğrusaldır önermesinin her zaman doğru olmayabileceğidir.



Şekil 8. Bütün binaların ortalama Pearson ve Spearman Katsayıları

Şekil 9’da ise her bir şiddet ölçütünün her bir yapının çatı deplasmanı ile değişimi arasındaki belirlilik katsayısı görülmektedir. Bu grafikten ise, YHŞÖ kullanılarak çatı deplasmanına ilişkin bir tahmin yapılmak istendiğinde bu tahminin hangi yüzde ile isabetli olduğu anlaşılabilir. Şekilden görüldüğü gibi, PGV, IH, SMV gibi hız ve enerji tabanlı YHŞÖ’ler kullanılarak yapılacak tahminlerin isabet yüzdeleri her bir yapı için %80’in üzerindedir. Öte yandan, birçok şiddet ölçütünün belirlilik katsayılarının 0.4’ün altında kaldığı ve analizi yapılan yapılar için etkin olmadığı görülmüştür.



Şekil 9. Binaların belirlilik katsayısı değerleri

8. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında analizi yapılan 3 boyutlu betonarme çerçeveler, uzak saha depremlere maruz bırakıldığında, ortaya çıkan çatı deplasmanlarının seçilen çok sayıda ki YHŞÖ ile ilişkisi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Analizi yapılan yapıların tamamı orta periyot bölgesinde olduğundan bu yapıların yer hareketinin ivme dalgaları gibi yüksek frekanslı dalgalar yerine, yer hareketinin hız dalgaları gibi daha düşük frekanslı dalgalar ile rezonansa girdiği görülmüştür. Buna bağlı olarak hız ve enerji tabanlı YHŞÖ’nin analizi

yapılan yapıların çatı deplasmanları ile ilişkisinin diğer YHŞÖ'ne göre daha kuvvetli olduğu ortaya çıkmıştır.

- Spektrum yoluyla ve doğrudan yer hareketinin ivme ve deplasman kaydı üzerinden elde edilen YHŞÖ'lerin çoğu zaman etkin olmaktan uzak olduğu, ancak genelde, çatı deplasmanı ile monoton artan bir ilişkiyi tahmin etmekte başarılı oldukları görülmüştür.
- Bunun yanında, modern şartnamelerin önerdiğine benzer şekilde tasarlanmış olan spektral ivmeye dayalı YHŞÖ'lerin hız ve enerjiye dayalı YHŞÖ kadar olmasa da etkin oldukları görülmüştür.
- Bina periyodunun, kısa periyot bölgesinden uzaklaşmasıyla, YHŞÖ'nin etkinliklerinin genel olarak bir miktar arttığı bu artışın özellikle 5 ile 8 katlı yapılar arasındaki farktan daha net ortaya çıktığı görülmüştür.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, analizi yapılan orta periyot bölgesindeki betonarme çerçeve yapılar için geçerlidir. Daha kısa ve uzun periyot bölgesindeki yapılar için etkin olan YHŞÖ'leri değiştirebilir. Çalışmada kullanılan yer hareketi kayıtlarından farklı özellikteki, hız ivme ve/veya hız darbesi içeren yer hareketi kayıtları için de etkin olan YHŞÖ değişebilir. Bu tip değişimleri inceleyen çalışmaların yapılması faydalı olacaktır.

Referanslar

- [1] Marafi N.A., Berman J.W. and Eberhard, M.O. Ductility-dependent intensity measure that accounts for ground-motion spectral shape and duration. *Earthq. Eng. and Struct. D.* 2016;45(4):653-672.
- [2] Housner, G. W. Intensity of ground motion during strong earthquakes. California Institute of Technology. 1952.
- [3] Nuttli O.-W. The relation of sustained maximum ground acceleration and velocity to earthquake intensity and magnitude. *US Army Corps of Engineers.* 1979;16: 71-1.
- [4] Cordova P.P., Deierlein G.G., Mehanny S.S.F., Cornell C.A. Development of a two-parameter seismic intensity measure and probabilistic assessment procedure. 2nd U.S.-Japan Workshop on PBEE Methodology for Reinforced Concrete Building Structures. 2001.
- [5] Adam C., Tsantaki S., Ibarra L.F., Kampenhuber D. Record-to-record variability of the collapse capacity of multi-story frame structures vulnerable to P-delta. *Proc. of the Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (2ECEES).* 2014;August 24-29:12. Istanbul, Turkey, electronic volume (ISBN: 978-605-62703-6-9)
- [6] Wu Y. M., Hsiao N. C., Teng T. L. Relationships between strong ground motion peak values and seismic loss during the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake. *Natural Hazards.* 2004;32(3):357-373.
- [7] Wu Y. M., Teng T. L., Shin T. C., Hsiao N. C. Relationship between peak ground acceleration, peak ground velocity, and intensity in Taiwan. *Bulletin of the Seismological Society of America.* 2003;93(1): 386-396.
- [8] Elenas A. Correlation between seismic acceleration parameters and overall structural damage indices of buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering.* 2000;20(1-4):93-100.
- [9] An D., Chen Z., Cui G. Research on seismic ground motion parameters applicable to the safety of rectangular shallow tunnel. *Earthquake Engineering and Structural Mechanics.* 2022;14:1-10.
- [10] Li B., Lai Q., Guo E., Mao C., Li X. Determining the Optimal Scalar Intensity Measure of Floor Communication Towers. *Shock and Vibration.* 2022;12.
- [11] Yılmaz H. Correlation of Deformation Demands with Ground Motion Intensity. Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. 2007.
- [12] Hancılar U. Correlations between Ground Motion Intensity Measures and Structural Response Parameters through Nonlinear Dynamic Analyses. PhD Thesis. Bogazici University. Institute of Graduate Studies in Science and Engineering. 2009.
- [13] Lucchini A., Mollaioli F., Monti G. Intensity Measures For Response Prediction Of A Torsional Building Subjected To Bi-Directional Earthquake Ground Motion. *Bull Earthq Eng.* 2011; 9:1499-1518.
- [14] Kostinakis K., Athanatopoulou A., Morfidis K. Correlation between ground motion intensity measures and seismic damage of 3D R/C buildings. *Engineering Structures.* 2014;82:151-167.
- [15] Akray, A. Evaluation Of Intensity Measures For Ground Motion Selection To Be Used In The Analysis Of Highway Flyover Bridges. Middle East Technical University. Graduate School of Natural and Applied Sciences. 2019.
- [16] Kostinakis K., I.-K. Fontara, A.-M. Athanatopoulou. Scalar structure-specific ground motion intensity measures for assessing the seismic performance of structures: A review. *Journal of Earthquake Engineering.* 2018; 22 (4):630-65.
- [17] TDY 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 2007

- [18] Arias, A.: A measure of earthquake intensity, in: Seismic Design for Nuclear Power Plants, edited by: Hansen, R. J., MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 438–483, 1970.
- [19] EPRI. A criterion for determining exceedance of the operating basis earthquake. Report No. EPRI NP-5930, Palo Alto, CA.1988.
- [20] Benjamin J. R., Associates. A criterion for determining exceedances of the operating basis earthquake (EPRI Report NP-5930). Electric Power Research Institute. 1988.
- [21] Sarma S. K., Yang K. S. An evaluation of strong motion records and a new parameter A95. Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 1987;15(1): 119–132.
- [22] Eads L., Miranda E., Lignos D.G. Average spectral acceleration as an intensity measure for collapse risk assessment. Earthq Eng Struct Dyn. 2015;44(12):2057-2073.
- [23] Massey Jr, F. J. The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. Journal of the American statistical Association. 1951; 46: 68–78.
- [24] Boslaugh S, Watters P. Statistics in a nutshell. 1st ed. 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, USA: O'Reilly Media, Inc. 2008. [KİTAP]
- [25] Gravetter F. J., Wallnau L. B. Statistics for the behavioral sciences: A short course and student manual. University Press of America. 2004. [KİTAP]
- [26] Durucan C, Dicleli M. A_p/V_p specific inelastic displacement ratio for seismic response estimation of structures. Earthq Eng Struct Dyn. 2015;44(7):1075-1097.