Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
Cilt 23, Sayı 2, 329-337, 2019

Süleyman Demirel University
Journal of Natural and Applied Sciences
Volume 23, Issue 2, 329-337, 2019

DOI: 10.19113/sdufenbed.444017

Mevcut Okul Türü Binaların Deprem Güvenliğinin Pratik Bir Şeklide Belirlenmesi için Bir Yaklaşım: ATI

Hakan ULUTAŞ*[1], Hakan DİLMAÇ[2], Hamide TEKELİ[3], Fuat DEMİR[4]

[1]Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 15030, Burdur, Türkiye
[2,3,4]Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 15.07.2019, Kabul / Accepted: 30.04.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 30.08.2019)

Anahtar Kelimeler
Tip okul binaları,
Doğrusal elastik olmayan yöntem,
Deprem güvenliği,
Hızlı değerlendirme

Özet: Bu çalışma kapsamında, mevcut okul türü binaların deprem güvenliğinin pratik şekilde belirlenmesi için bir yaklaşım önerilmiştir. Bu amaçla 4,6 ve 8 derslikli olmak üzere üç tip model bina kalıp planı seçilmiştir. Seçilen 3 tip kalıp planının her birinin her iki yönüne simetrik 4 adet betonarme perde yerleştirilerek perdeli çerçeveli sistemler oluşturulmuştur. Seçilen 3 tip kalıp planının her biri 2, 3, 4 ve 5 katlı olarak modellenmiş, böylece toplamda 12 adet tip okul binası oluşturulmuştur. Seçilen 12 adet model binanın her biri aşılma olasılığına göre hedeflenen minimum hedef performans seviyelerini sağlayana kadar betonarme perdeler her iki yönde 5'er cm artırılarak DBYBHY [1]'de öngörülen performans seviyesini sağlayan en küçük perde duvar boyutları her iki doğrultu için elde edilmiştir. Model bina çözümleri kullanılarak önerilen pratik yaklaşımın sınır değerleri elde edilmiştir. Önerilen yaklaşımın sınır değerlerin tutarlılığının tespiti için Isparta bölgesinde bulunan 70 adet çerçeveli ve perdeli çerçeveli okul binası temin edilmiş bu binaların doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi ile ayrıntılı çözümü yapılmıştır. Önerilen yaklaşım ile elde edilen sonuçlar, DBYBYH [1] esasları ile uyumlu olarak ayrıntılı yapılan çözüm sonuçları ile kıyaslanmıştır.

An Approach in Order to Practically Identify the Seismic Safety of Existing School Buildings: ATI

Keywords
Typical school buildings,
Nonlinear analysis methods,
Seismic safety,
Rapid evaluation methods

Abstract: Within the scope of this study, an approach has been proposed to practically determine seismic safety of existing school buildings. For this purpose, three types of model building formwork plans with 4, 6 and 8 classrooms were selected. Shear wall- frame systems have been created by placing 4 reinforced concrete shear walls symmetrically on both sides of each of the 3 selected formwork plans. Each of the 3 types of selected formwork plans were modelled as 2, 3, 4 and 5 stories. Thereby, a total of 12 types of school buildings were created. The smallest reinforced concrete shear wall dimensions, provided the predicted performance level, are obtained by increasing by 5 cm the reinforced concrete shear walls in both directions. This process was carried out until each of the selected 12 model buildings provided the minimum target performance levels, is specified in Turkish Earthquake Code (TEC) [1], based on the probability of exceeding occurrence. The limit values of proposed practical approach are obtained by using model building analyses. In order to determine the consistency of the limit values in this proposed approach, 70 project data of framed and shear wall- framed systems school buildings where in Isparta region are obtained. The results obtained with the proposed approach were compared with the results of the detailed solutions in accordance with the TEC [1] guidelines.

*İlgili yazar: hakannulutas@gmail.com

1. Giriş

Ülkemizdeki mevcut betonarme okul binalarının büyük bir kısmı 2007 yılından önce inşa edildiği için 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) [1] esaslarını sağlamamaktadır. DBYBHY [1], okul türü binaları kullanım amacı veya türü bakımından, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyaların saklandığı binalar sınıfında değerlendirmektedir. Bina önem katsayısının konut türü binalara göre büyük olması da bu yapılara verilen önemi açıkça göstermektedir. Meydana gelen depremlerde çok sayıdaki okul binasının hasar görmesi ve deprem sonrasında kullanılamaması, bu tür binaların deprem güvenliklerinin incelenmesi ve gerekli olanların acilen güçlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Ülkemizdeki okul binalarının büyük bir çoğunluğu tip projeler kullanılarak inşa edilmektedir. Bu binaların çoğunun simetrik kalıp planına sahip olması ve benzer mimariye sahip olması ‘‘Acaba okul binalarının deprem güvenliklerinin incelenmesi uzun hesaplar yapılmadan pratik bir yaklaşım ile yapılabilir mi?’’ sorusunu akla getirmektedir.

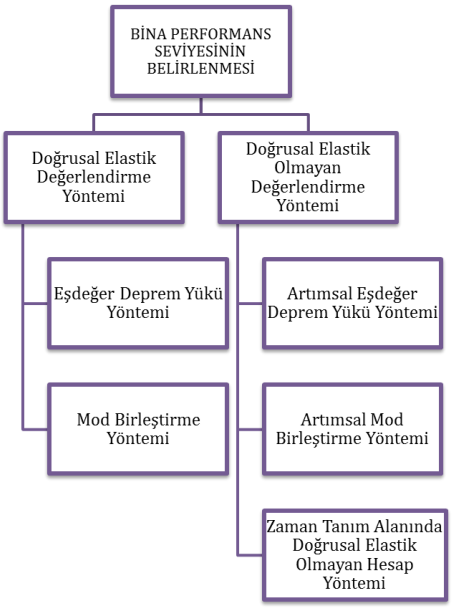
Literatürde bu tür pratik yaklaşımlar mevcuttur. Hassan ve Sözen [2], beş kata kadar olan betonarme binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi için basit bir yöntem, Gülkan ve Sözen [3], betonarme binaların deprem güvenliğinin belirlenebilmesi için kolon ve duvar alanlarının toplam kat alanına oranı kullanılarak teorik bir yaklaşım, Pay [4], betonarme binaların deprem güvenliği açısından hasar görebilirliğini tahmin edebilmek için istatistiksel analize dayanan bir yöntem, Aydoğan [5],mevcut betonarme binaların sismik hasar görebilirliğinin tahmini için istatistiksel bir model, Gülkan ve Utkutuğ [6], Milli Eğitim Bakanlığınca inşa ettirilecek betonarme bütün okul binalarının can güvenliğini artırmak amacıyla statik hesapları ne derse desin asgari miktarda perde duvarına sahip olacak şekilde boyutlandırılması için bir çalışma, Yakut [7], çalışmasında, betonarme binaların dayanımını esas alan bir hızlı değerlendirme yöntemi Akkar vd. [8], az ve orta katlı çerçeveli taşıyıcı sistem sahip betonarme binaların hasar görme olasılığını hesaplamak için bazı bağıntılar önerilmiştir.

Bu çalışmada okul türü binaların deprem güvenliğinin pratik şekilde belirlenebilmesi için pratik bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemin sınır değerleri seçilen ön çalışma model binaların minimum hedef performans seviyesini sağlayan en küçük kolon/perde duvar miktarları kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma kapsamında önerilen yaklaşımın tutarlığı 70 adet okul binası üzerinde incelenmiştir.

Bu çalışmanın bahsedilen pratik yaklaşımlardan farkı, hem oluşturulan model binaların hedef performans seviyesini sağlayan en küçük perde duvar boyutlarının bulunmasında hem de önerilen yaklaşımının geçerliliğinin kontrolü için mevcut okul türü binalara yapılan analizlerin yapılmasında doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi kullanılmış olmasıdır. Böylece daha önce deneysel, istatiksel ve doğrusal hesap yöntemleri ile belirlenen yaklaşımlara doğrusal olmayan hesap yöntemini esas alan yaklaşım da eklenmiş olacaktır. Ayrıca bu çalışmada okul türü binaların tipik özelikleri kullanıldığından ve analizler yapıldığından, okul türü binaların deprem güvenliğini belirlemede oldukça gerçeğe yakın sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

DBYBHY [1’]’de, mevcut binaların performans seviyelerinin belirlenmesi için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntem olmak üzere iki yöntem önerilmektedir. Önerilen iki yöntem de kendi içerisinde alt yöntemlere ayrılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Bina performans seviyesini belirlemede kullanılan yöntemler

Çalışma kapsamında eğitim binalarının deprem güvenliğinin belirlenmesi için yapılan bütün çözümlerde doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri arasından "Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi" kullanılarak itme analizi yapılmıştır.

"Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi" kullanılarak yapılan itme analizlerinde, binanın tepe yerdeğiştirme istemine kadar yatay yükün artırılması ile betonarme kesitlerde meydana gelen iç kuvvetlerin ve/veya şekildeğiştirmelerin Tablo 1’de tanımlanan birim şekildeğiştirme sınırları ile karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilir. Elemanın en fazla hasar gören kesiti eleman hasarı olarak tanımlanır.

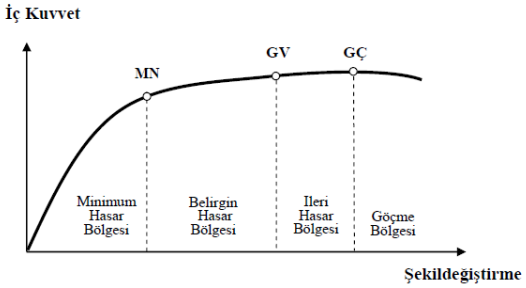
Tablo 1. Çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları [1]

Kesit hasar sınırı	Beton şekildeğiştirme üst sınırları	Donatı çeliği şekildeğiştirme üst sınırları
Minimum Hasar Sınırı	$(\varepsilon_{cu}) = 0.0035$	$(\varepsilon_s) = 0.010$
Güvenlik Sınırı	$(\varepsilon_{cg}) = 0.0035 + 0.01 (\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.0135$	$(\varepsilon_s) = 0.040$
Göçme Sınırı	$(\varepsilon_{cg}) = 0.004 + 0.014 (\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.018$	$(\varepsilon_s) = 0.060$

Burada, ε_{cu}, kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesini; ε_{cg}, etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesini; ε_s, donatı çeliği birim şekildeğiştirmesini; ρ_s, kesitte mevcut bulunan ve DBYBHY [1] Bölüm 3.2.8'e göre "özel deprem etriyeleri ve çirozları" olarak düzenlenmiş enine donatının hacimsel oranını; ρ_{sm}, DBYBHY [1] Bölüm 3.3.4, 3.4.4 veya 3.6.5.2'ye göre tanımlanan kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranını ifade etmektedir.

Binanın hedef yerdeğiştirme istemi sayesinde taşıyıcı elemanlarda meydana gelen şekildeğiştirme değerleri Tablo 1'e göre tanımlanan hasar sınırları ile kıyaslanarak eleman hasarları tanımlanır. Kritik kesitlerinin hasarı MN'yi geçmeyen elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar (Şekil 2).

Hasar bölgesine karar verilen taşıyıcı elemanların kat içerisindeki oransal dağılımı değerlendirilerek kat performans seviyesi belirlenir. Bina deprem performans düzeyi ise en kritik katın performans seviyesine göre belirlenir. DBYBHY [1]'de; Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG), Göçme Öncesi (GÖ) ve Göçme Durumu (GD) olmak üzere dört farklı performans düzeyi tanımlanmıştır.



Şekil 2. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri [1]

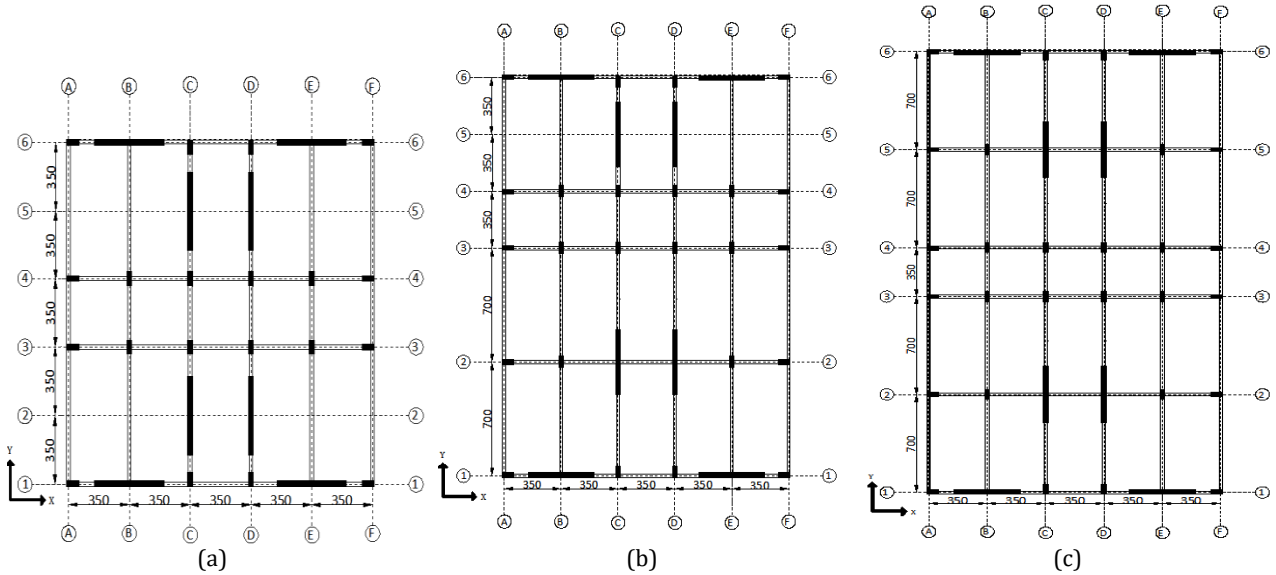
Performans seviyesi belirlenen binanın yeterli performans seviyesinde olup olmadığına, DBYBHY [1]'de farklı deprem düzeylerine göre verilen minimum performans hedeflerine göre karar verilir.

3. Model Binalar

Çalışma kapsamında KP1, KP2 ve KP3 isimli olmak üzere üç tip bina kalıp planı seçilmiştir. KP1 olarak adlandırılan model binanın taban alanı 300 m^2 ve her bir katta 4 adet dersliği bulunmakta olup kare şeklinde bir plana sahiptir. KP2 olarak adlandırılan model binanın taban alanı 430 m^2 ve her bir katta 6 adet derslik bulunmakta olup dikdörtgen şeklinde bir plana sahiptir. KP3 olarak adlandırılan model binanın ise taban alanı 550 m^2 ve her bir katta 8 adet derslik bulunmakta olup dikdörtgen şeklinde bir plana sahiptir. Model binaların özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Model binaların özellikleri ve adlandırılması

Model bina adı	Her bir kattaki derslik sayısı	Kat taban alanı (m^2)	Geometrik şekli
KP1	4	300	Kare/Simetrik
KP2	6	430	Dikdörtgen/ Simetrik değil
KP3	8	550	Dikdörtgen/ Simetrik

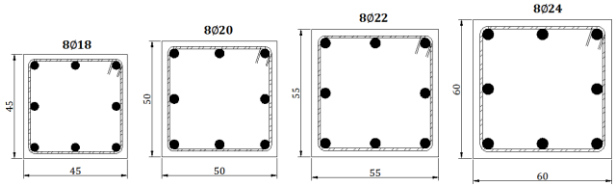


(a) (b) (c)

Şekil 3. KP1(a), KP2(b) ve KP3(c) isimli model binaların kalıp planları (ölçüler cm.)

Seçilen okul binalarının kalıp planları Şekil 3'te verilmiştir. Model binalarda perde yerleşimi tip okul binalarını yansıtacak şekilde seçilmiştir. Bu okul binalarında betonarme perdeler sınıf kullanım ve düzenini engellemeyecek şekilde yerleştirilmiştir.
Seçilen 3 tip kalıp planının her biri 2, 3, 4 ve 5 katlı olarak modellenmiş, böylece toplamda 12 adet tip okul binası oluşturulmuştur. Model binalarını kat yükseklikleri ise 3.5 m olarak belirlenmiştir. Model binalarda malzeme tipi olarak, yurdumuzdaki binaların genel malzeme durumlarını yansıtması açısından beton sınıfı C10, donatı sınıfı S220 ve mesnet bölgelerinde sargının bulunmadığı durum seçilmiştir. Model binaların 1. derece deprem bölgesinde ve Z4 sınıfı yerel zemin bölgesinde bulunduğu kabul edilmiştir. Döşeme sabit yük değeri (g) 4kN/m^2, hareketli yük değeri (q) ise sınıflarda 3.5kN/m^2, koridorlarda 5kN/m^2 olarak dikkate alınmıştır. Duvar sabit yükleri (g_{duvar}) ise 4kN/m ise olarak kirişler üzerine düzgün yayılı yük olarak aktarılmıştır. Hesaplamalarda hareketli yük azaltma katsayısı 0.6 alınmıştır.

Oluşturulan model binaların kolon boyutları kat adedine bağlı olarak değişmekte olup kolon kesitlerine ait görünümler Şekil 4'te verilmiştir. Kolon kesitlerinin donatı oranı; DBYBHY [1]'deki minimum donatı oranı olan %1 olarak seçilmiştir.



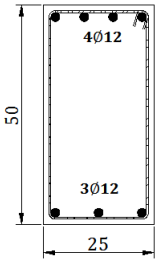
(a) 2 katlı (b) 3 katlı (c) 4 katlı (d) 5 katlı

Şekil 4. Model binalarda kullanılan kolon kesitleri(Ölçüler cm.)

Betonarme perdelerin kesitleri ise, başlangıçta 30×210 cm olarak seçilmiş ve binanın performans seviyesi belirlenmiştir. Hedef performans seviyesinin sağlanmaması durumunda perde boyutları minimum performans seviyesi sağlanana kadar hesap yapılan doğrultuda 5 cm arttırılarak tekrarlanmıştır. Böylece model binalarında hedef performans seviyesinin sağlanması için gerekli olan minimum betonarme perde miktarı belirlenmiştir. Perde duvar donatı oranı; DBYBHY [1]'de verilen minimum donatı oranı kullanılarak seçilmiştir. Bunun için uç kısımların her birinde %0.2, gövdeye %0.25 oranında donatı yerleştirilmiştir. Kiriş boyutları tüm modellerde aynı olacak şekilde 25×50 cm olarak hesaplara katılmıştır(Şekil 5).

Model binaların performans değerlendirmesinde yapılan kabuller aşağıdaki sıralanmıştır.

- Binaların bilgi düzeyleri ''kapsamlı'' olarak dikkate alınmıştır.
- Analizlerde kiriş, kolon ve perde duvarların çatlamış kesit eğilme rijitlikleri kullanılmıştır. Çatlamış kesit eğilme rijitlikleri DBYBHY [1]'e göre tanımlanmıştır.
- Moment–eğrilik ilişkisinden yararlanarak oluşturulan moment-dönme ilişkileri kullanılarak kesitlere ait plastik mafsallar tanımlanmıştır. Moment-dönme ilişkisinin elde edilmesinde DBYBHY [1]'de önerilen yığılı plastik davranış modeli kullanılmıştır. Çözümlemelerde DBYBHY [1]'de ifade edildiği gibi plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınmıştır (L_p = 0.5 h).
- BESAM [9] programı ile DBYBHY [1]'nin verdiği kesit hasar üst sınırlarına tekabül eden moment–dönme değerleri belirlenerek eleman hasar sınırları plastik mafsal üzerinde tanımlanmıştır.
- Plastik şekil değiştirmelerin, kolon ve kiriş elemanlarının her iki uç bölgesine, perde elemanların ise alt uç bölgesine tanımlanan plastik mafsallarda meydana geldiği kabul edilmiştir. Kirişlerde plastikleşmenin tek eksenli eğilme momenti ile (M3), kolon ve perdelerde ise iki eksenli eğilme momenti ve normal kuvvetin etkileşimi ile (P-M2-M3) meydana geldiği varsayılmıştır.
- Model binaların doğrusal elastik olmayan değerlendirmesi, artımsal eşdeğer deprem yükü hesap yöntemi kullanılarak SAP 2000 [10] programında yapılmıştır.



Şekil 5. Model binalarda kullanılan kiriş kesiti(Ölçüler cm.)

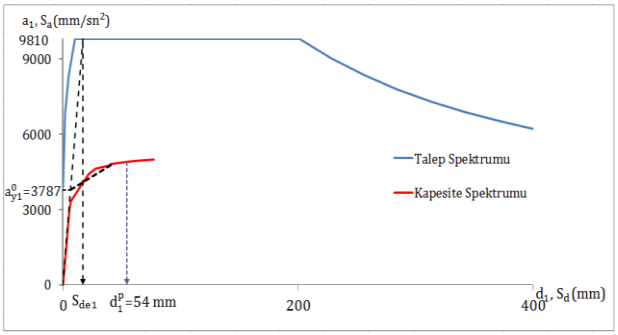
DBYBHY[1]'e göre, okul türü binaların 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremler için Hemen Kullanım, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremler için Can Güvenliği hedef performans seviyesini sağlaması gerekir. Çalışma kapsamında okul türü binalar incelendiği için model binaların hedeflenen performans seviyeleri belirtildiği gibi iki farklı şekilde tanımlanmıştır.

Yapılan doğrusal elastik olmayan çözümlerde binalar hedef deplasman seviyesine kadar itme analizlerine tabi tutulmuş, binaların her bir doğrultusu için hedef deplasmanlar DBYBHY [1]'de verilen esaslar doğrultusunda belirlenmiştir.

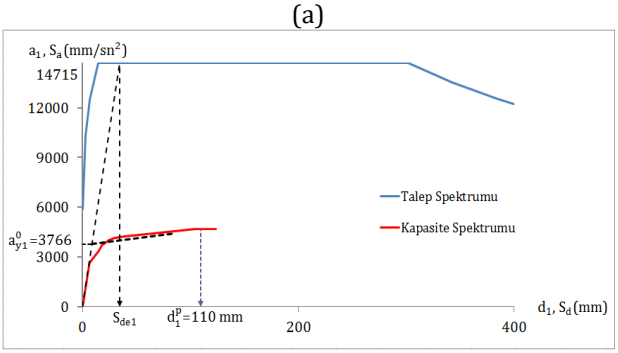
Hedef deplasmanların belirlenebilmesi için İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, yaklaşık olarak iki doğrulu (bi-lineer) bir

diyagrama dönüştürülmüştür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere eşit alınmıştır. Ardışık yaklaşımın ilk adımında *eşdeğer akma noktası*'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenmiştir.

KP2 kalıp planına ait 3 katlı model binanın X doğrultusunda 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremler için hedef deplasmanların elde edilmesi Şekil 6a ve Şekil 6b'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6. (a) 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremler için hedef deplasmanın belirlenmesi, (b) 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremler için hedef deplasmanın belirlenmesi

Diğer model binalar için aşılma olasılığına göre elde edilen hedef deplasman (tepe yer değiştirme) ve taban kesme kuvveti değerleri Tablo3'te verilmiştir.

Oluşturulan model binalardaki perde duvarların boyutları doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi kullanılarak minimum hedef performans seviyesini sağlayana kadar artırılmıştır. Buradaki amaç hedeflenen performans seviyesini sağlayan en küçük perde duvar boyutunu bulmaktır. Çözümler her iki doğrultu için de yapılmıştır.

Aranan perde duvarların boyutları model binalar için yaklaşık 8-15 denemede elde edilmiştir. Dolayısıyla, çalışma kapsamında model binalar için yapılan çözümlemelerle ilgili tam net bir sayı verilememekle birlikte sadece ön çalışma model binaları için yaklaşık olarak 400 adet doğrusal elastik olmayan çözüm yapıldığı söylenebilir.

Tablo 3. Model binalar için elde edilen tepe yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri

Kalıp planı	Kat adeti	50 yılda aşılma olasılığı	Hesap yönü	Tepe yer değiştirme (mm)	Akma anındaki taban kesme kuvveti (kN)
KP1	2	%2	X	75.62	3983.34
			Y	74.83	3327.84
		%10	X	44.53	3828.66
			Y	43.06	3285.36
	3	%2	X	112.12	6800.78
			Y	107.35	4912.99
		%10	X	74.47	6204.46
			Y	66.03	4555.65
	4	%2	X	140.80	8096.07
			Y	125.50	6914.84
		%10	X	82.96	6613.45
			Y	76.96	6417.29
	5	%2	X	183.86	9044.58
			Y	158.03	7974.21
		%10	X	109.72	7836.89
			Y	95.51	7558.76
KP2	2	%2	X	84.80	6470.68
			Y	83.00	5555.83
		%10	X	39.94	5199.72
			Y	41.07	4594.59
	3	%2	X	110.01	7569.89
			Y	110.51	7354.62
		%10	X	54.33	6534.02
			Y	63.04	6443.88
	4	%2	X	133.41	9270.10
			Y	143.23	8485.78
		%10	X	73.11	9208.10
			Y	77.40	8575.34
	5	%2	X	183.97	10715.3
			Y	155.63	10978.4
		%10	X	104.88	9994.66
			Y	94.14	9283.89
KP3	2	%2	X	78.92	5884.58
			Y	81.32	5294.93
		%10	X	44.64	6491.19
			Y	44.64	6491.19
	3	%2	X	110.82	8498.72
			Y	112.87	9742.94
		%10	X	65.54	8441.71
			Y	64.16	8431.36
	4	%2	X	142.65	12598.5
			Y	133.33	10093.6
		%10	X	78.42	10973.1
			Y	78.88	10063.1
	5	%2	X	191.06	12577.0
			Y	180.00	12204.0
		%10	X	102.47	12278.3
			Y	106.38	12255.7

Yapılan çözümlerde her bir kalıp planının her bir kat adeti için 4 adet (X ve Y doğrultuları ile aşılma olasılığı %10 ve aşılma olasılığı %2 olan depremler) toplamda 48 adet perde duvar boyutu elde edilmiştir. Her bir kalıp planının her bir kat adeti için belirlenen bu 4 adet perde duvar boyutlarından en elverişsiz olanı (en büyük perde boyuna sahip olan) bina deprem performansının sağlanması için gereken minimum perde duvar boyutu olarak tanımlanmıştır.

Böylece her bir kalıp planının her bir kat adeti için 1 adet perde duvar belirlenerek toplam perde boyutu 12 adete indirgenmiştir. Bina performansını pratik olarak belirlemek için çalışma kapsamında önerilen yaklaşımda, aşılma olasılığı ve doğrultuların en elverişsizi olarak elde edilen bu 12 adet perde boyutu etkin parametre olarak kullanılmıştır.

4. Mevcut Okul Binaları

Çalışma kapsamında, Isparta ilinde bulunan çerçeveli ve perdeli-çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip 30 adet betonarme okul binasına ait veriler temin edilmiştir. Belirlenen okul binalarının bazıları iki veya üç bloktan meydana geldiğinden ve her blok ayrı bir bina olarak modellediğinden toplamda 45 mevcut okul binası modellenmiştir. Bu binaların deprem güvenliği öncelikle DBYBHY[1] esasları ile uyumlu olarak incelenmiştir. Yapılan hesaplamalarda BESAM[9], DELOP [9] ve SAP 2000 [10] programları kullanılmıştır. Çözümlemeler binanın her iki doğrultusu (x ve y) ve iki performans hedefi (50 yılda aşılma olasılığı %10 ve %2 olan depremler) için tekrarlanmıştır. Seçilen mevcut okul binalarından hedef performans seviyesini sağlamayanlarının bazılarına, sağlamayan doğrultuda simetrik olarak perde duvar ilave edilmiştir. Seçilen mevcut bir okul binası planı Şekil 7a'da, bu okul binasına perde duvar ilave edilerek oluşturulan yeni plan ise Şekil 7b'de örnek olarak verilmiştir.

Hedef performans seviyesini sağlamayan okul binalarına perde duvar ilave edilmesindeki amaç binaları güçlendirmek değil, mevcut halindeki şartlarda bu perdeler bulunsaydı binanın deprem güvenliğinin nasıl etkileneceği sorusunu cevaplayabilmektir. Bu nedenle ilave edilen perde duvarların malzeme özelliği, mevcut binanın taşıyıcı sistem elemanlarının malzeme özelliklerine benzer seçilmiştir. Mevcut binaların incelenmesi kapsamında sonradan perde ilavesi yapılan binalarla birlikte incelenen bina sayısı 70'e çıkarılmıştır.

5. Önerilen Yaklaşım

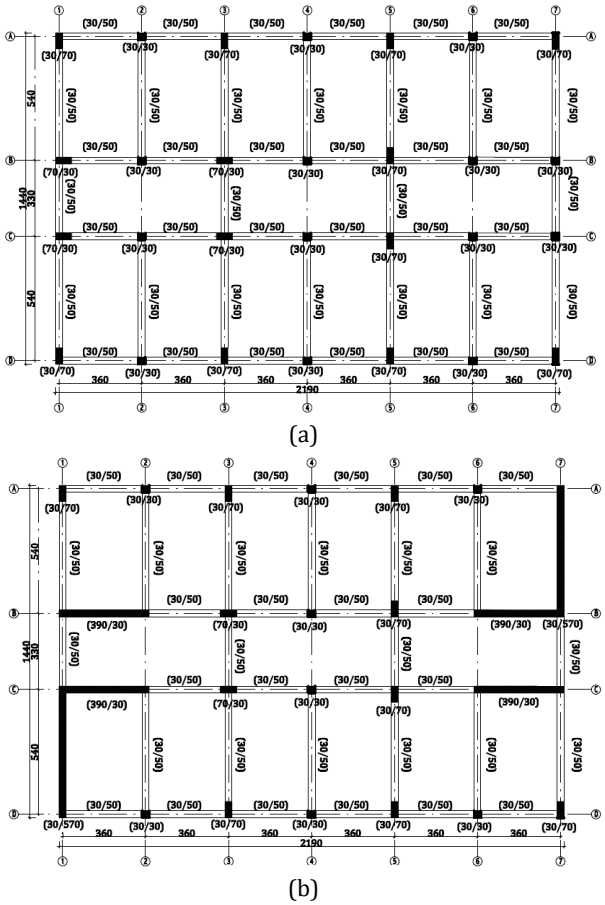
Özcebe vd. [11], mevcut betonarme binaların sismik hasar görebilirliğinin tahmini için 17 Ağustos 1999 Kocaeli ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerini geçirmiş çok sayıdaki hasarlı betonarme binaların tipik özelliklerini göz önüne alarak minimum normalize edilmiş yanal rijitlik indeksini (MNLSTFI) geliştirmişlerdir. Geliştirilen (MNLSTFI) indeks Denklem 1'de verilmiştir.

$$\mathrm{MNLSTFI} = \min(\mathrm{I_{nx}}, \mathrm{I_{ny}}) \qquad (1)$$

$$\mathrm{I_{nx}} = \frac{\sum(\mathrm{I_{col}})_x + \sum(\mathrm{I_{sw}})_x}{\mathrm{A_f}} \mathrm{x1000} \qquad (2)$$

$$\mathrm{I_{ny}} = \frac{\sum(\mathrm{I_{col}})_y + \sum(\mathrm{I_{sw}})_y}{\mathrm{A_f}} \mathrm{x1000} \qquad (3)$$

Burada; $\Sigma(I_{col})_x$ ve $\Sigma(I_{col})_y$, her bir kolonun x ve y eksenlerine göre atalet momentlerinin toplamını, $\Sigma(I_{sw})_x$ ve $\Sigma(I_{sw})_y$, her bir perdenin x ve y eksenlerine göre atalet momentlerinin toplamını; I_{nx} ve I_{ny}, x ve y eksenlerine göre normalize edilmiş toplam atalet momentini; A_f, kat alanını ifade etmektedir.



Şekil 7. (a) Isparta Halıkent lisesi B blok kalıp planı(ölçüler cm.), (b) Betonarme perde ilave edilen Isparta Halıkent lisesi B blok kalıp planı(ölçüler cm.)

Bu çalışma kapsamında, normalize edilmiş yanal rijitlik indeksi esas alınarak **AT**alet momenti esaslı **I**ndeks (ATI) hesaplanmaktadır (Denklem 4).

$$\mathrm{ATI} = \frac{\sum \mathrm{I_{kolon}} + \sum \mathrm{I_{perde}}}{\mathrm{A_f}} * 1000 \ (\mathrm{m^2}) \qquad (4)$$

Burada; ΣI_{kolon}, her bir kolonun deprem güvenliği belirlenecek doğrultuya bağlı olarak hesaplanan atalet momentleri toplamını (m^4); ΣI_{perde}, her bir perdenin deprem güvenliği belirlenecek doğrultuya bağlı olarak hesaplanan atalet momentleri toplamını (m^4); A_f, kat alanını (m^2) ifade etmektedir. Önerilen yaklaşımda indeks hesaplamaları kritik kat olarak kabul edilen birinci kat için yapılmıştır.

Minimum normalize edilmiş yanal rijitlik indeksininde (MNLSTFI) her iki asal doğrultu için I_{nx} ve I_{ny} değerleri elde edilip bunlardan küçük olan indeks değeri olarak belirlenmektedir(Denklem 1). Bu çalışmada ise her doğrultu bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. İki yön için elde edilen değer

tek bir değere(bina bazına) indirgenmediğinden yani deprem güvenliği incelenecek yapının hesap doğrultusuna bağlı olarak da sonuc verilmek istendiğinden Denklem 4'te hesaplanan değer ATI olarak isimlendirilmiştir.

Özcebe vd. [11], deprem geçirmiş çok sayıdaki hasarlı betonarme binaların tipik özelliklerini göz önüne alarak indeks geliştirmişlerdir. İndeks geliştirmede depremde meydana gelen hasarlar dikkate alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan yöntemde ise doğrusal elastik olmayan analize dayalı sınır değer denklemleri elde edilmiştir. Yapı elemanlarındaki hasarlar yapılan statik itme analizi sonucu DBYBHY [1]'de verilen esaslar neticesinde belirlenmiştir.

Bir yapının I_{nx} veya I_{ny} değeri ile ilgili hesap doğrultusunun ATI değeri aynı sonucu vermekte fakat kıyaslanan sınır değer denklemlerinin farklı olmasından dolayı aynı bina için MNLSTFI ve ATI güvenlik değerlendirmesi sonuçları farklı olabilmektedir. Hem I_{nx} veya I_{ny} değerinin minimum değeri alınmadığından ve bu değerlere ortak bir isim verilmesi gerektiğinden hem de binalar için Denklem 4'te elde edilen değerlerin kıyaslanacağı sınır değer denklemlerinin farklı olmasından dolayı Denklem 4 ATI olarak adlandırılmıştır. Bu çalışma, binalar için Denklem 4'te elde edilen değerlerin kıyaslanacağı sınır değer denkleminin($ATI_{sınır}$) doğrusal olmayan analizler ile bulunmasını amaçlanmaktadır.

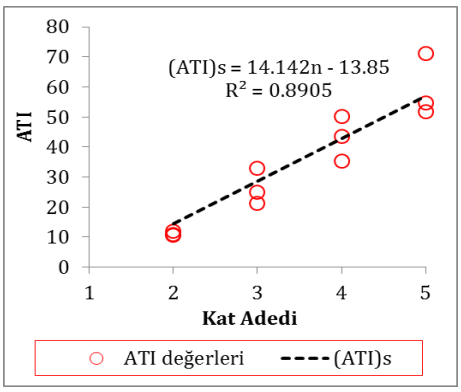
ATI yaklaşımı çalışmanın 3. bölümünde etkin parametre olarak belirlenen perde duvarların kullanıldığı ön çalışma model binalarına uygulanmıştır. Böylece performans seviyesinin sağlanması için gerekli olan en küçük indeks değerleri elde edilmiştir. Elde edilen ATI indeks sınır değerleri ($(ATI)_{sınır}$) bina kat adedine bağlı olarak Şekil 8'de verilmiştir.

Elde edilen grafiklerde $(ATI)_{sınır}$ değerleri ile kat adedi arasında korelasyon ilişkileri tanımlanmıştır. Buradaki amaç, grafikte tanımlanmayan kat adedine sahip betonarme binalar için de $(ATI)_{sınır}$ değerinin belirlenebilmesidir. Korelasyon sonunda elde edilen ilişkiler Denklem 5'te tanımlanmıştır.

$$(ATI)_{sınır} = 14.142 * n - 13.85 \qquad (5)$$

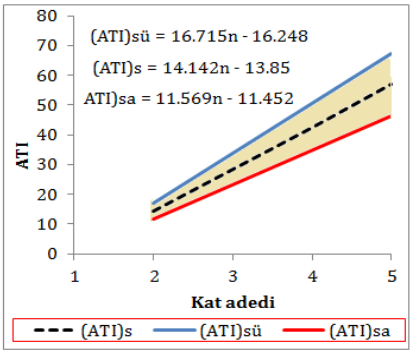
Burada, n binaya ait kat adedini ifade etmektedir. Bu denklemler iki ile beş kat arası binalarda kullanılabilmektedir.

Mevcut bir binanın deprem güvenliğinin önerilen yaklaşım ile belirlenmesinde; bina için hesaplanan ATI indeks değerinin kat adedine bağlı olarak belirlenen $(ATI)_{sınır}$ indeks değeri ile kıyaslanması gerekir. Eğer binadaki indeks değeri tanımlanan sınır değerden daha büyükse binanın "güvenli" olduğuna, aksi durumda "güvensiz" olduğuna karar verilir.



Şekil 8. Model bina çözümlerinden elde edilen $(ATI)_{sınır}$ değer çizgisi

Şekil 8'de görüldüğü üzere her bir kat adeti için belirlenen 3 adet (her kalıp planı için bir değer) ATI değerinin standart sapma miktarı normal dağılım kullanılarak elde edilmiştir. Her kat adeti için ATI sınır denklemi kullanılarak elde edilen değere o kat adeti için hesaplanan standart sapma miktarının eklenmesiyle üst sınır değerler, çıkartılmasıyla alt sınır değerleri elde edilmiştir. Üst sınır değerleri ile kat adedi arasında korelasyon ilişkileri tanımlanarak $(ATI)_{sü}$ denklemi, alt sınır değerleri ile kat adedi arasında korelasyon ilişkileri tanımlanarak $(ATI)_{sa}$ denklemi elde edilmiştir. Böylece sınır indeks değerine alt ve üst sınırlar tanımlanmıştır. Buradaki amaç, bina güvenliğine keskin sınır ile karar vermenin getireceği hata miktarını en aza düşürmektir. Bu nedenle alt ve üst sınır çizgileri arası gri bölge olarak tanımlanmıştır. Üst sınırın üzerinde kalan binalar "güvenli", alt sınırın altında kalan binalar "güvensiz" olarak sınıflandırılırken alt ve üst sınır arasında kalan binalar DBYBHY[1] esasları ile çözümlenerek detaylı olarak incelenmesi gereken binaları temsil etmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. ATI yaklaşımına göre gri bölgenin belirlenmesi

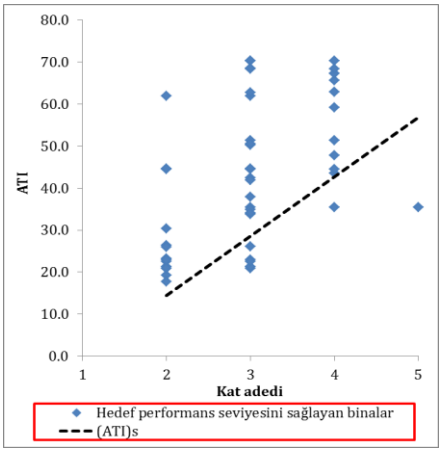
Grafiklerdeki $(ATI)_{sü}$ üst sınır değerini, $(ATI)_{s}$ ortalama sınır değerini ve $(ATI)_{sa}$ alt sınır değerini temsil etmektedir. Standart sapma ile belirlenen üst ve alt sınır değerlerine ait bağıntılar sırasıyla Denklem 6 ve Denklem 7'de verilmiştir.

$$(ATI)_{sü} = 16.715 * n - 16.248 \qquad (6)$$

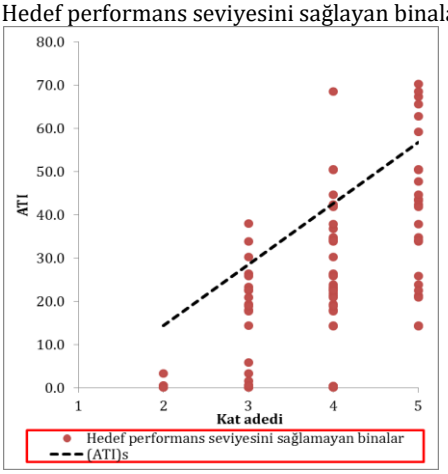
$$(ATI)_{sa} = 11.569 * n - 11.452 \qquad (7)$$

6. Önerilen Yaklaşımın Mevcut Eğitim Binalarına Uygulanması

Çalışmanın 4. Bölümünde verilen mevcut okul binalarının güvenlik incelemesi ATI yaklaşımı ile yapılmıştır. Bunun için binanın her iki doğrultusunda ATI indeks değerleri elde edilmiş ve doğrultuların her biri ayrı bir çözüm olarak değerlendirilmiştir. Her bir çözümün indeks değeri; kat adetine göre belirlenen sınır indeks değeri ile kıyaslanmıştır. Güvenlik değerlendirmesi yapılan doğrultunun indeks değerinin sınır indeks değerinden büyük olması durumunda ilgili doğrultu "güvenli" aksi durumda "güvensiz" olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 10). Bu grafiklerde sonuçlar hedef performans seviyesinin sağlandığı ve sağlanmadığı çözümler için ayrı ayrı verilmiştir. Şekil 10a'daki grafikte sınır çizgisinin üstünde olan bina verileri ATI yaklaşımının DBYBHY [1] esasları ile uyumlu sonuçlarını, altında kalan veriler ise uyumsuz sonuçlarını göstermektedir. Benzer olarak Şekil 10b'deki grafikte sınır çizgisinin altındaki veriler DBYBHY [1] esasları uyumlu olan sonuçları, üstündeki veriler ise uyumsuz sonuçları göstermektedir



a) Hedef performans seviyesini sağlayan binalar



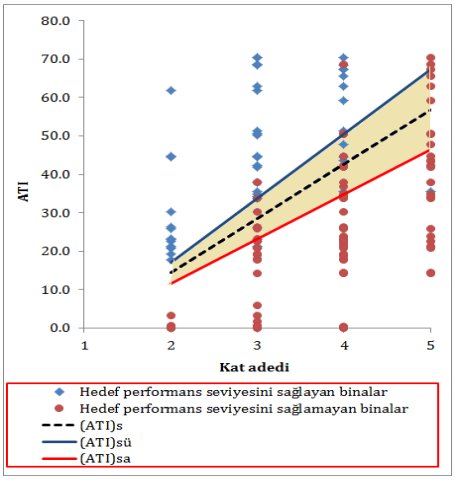
b) Hedef performans seviyesini sağlamayan binalar

Şekil 10. Mevcut okul binalarının ATI yaklaşımı ile değerlendirilmesi

Şekil 10'da tanımlanan hedef performans seviyesinin sağlanıp sağlanmaması ifadesi, DBYBHY [1] ile elde edilen çözümleri temsil etmektedir.

Mevcut okul binalarının ATI yaklaşımı ile belirlenen bina güvenliğinin DBYBHY [1] esaslarına göre elde edilen ayrıntılı sonuçlara göre uyumluluğu belirlenmiştir. Yapılan çözümlerde hem hedef performans seviyesinin DBYBHY [1] esaslarına göre sağlandığı hem de sağlanmadığı binalarda %86 oranında uyum elde edilmiştir.

ATI yaklaşımında, deprem güvenliği sağlanan ve sağlanmayan betonarme binaların $(ATI)_{sınır}$ değeri ile keskin bir sınırla ayrılmasının meydana getireceği hata oranını azaltmak için gri bir bölge tanımlanmıştır. Bu bölgedeki binaların deprem güvenliğine, DBYBHY [1] esaslarına göre ayrıntılı inceleme yapılarak karar vermek daha doğru olacaktır. Bina çözümlemelerinden elde edilen ATI yaklaşım değeri ile bu alt sınır $(ATI)_{sa}$ ve üst sınır $(ATI)_{sü}$ ile belirlenen aralık çizgileri Şekil 11'de grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 11. ATI yaklaşımı ile incelenen mevcut binaların gri bölge ile birlikte gösterimi

Gri bölge içerisindeki binaların ayrıntılı hesap yapılacağı düşünülürse tüm binalar için bu binaların değerlendirmeye alınmaması gerekmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmada ATI yaklaşımı ile DBYBHY [1] esasları sonuçlarının uyum oranı gri bölge dışındaki binalar için değerlendirilmiştir. Gri bölge dışında kalan tüm çözümler dikkate alındığında önerilen yaklaşımının uyum oranı % 92.5 olarak elde edilmiştir.

7. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada mevcut okul türü binaların deprem güvenliğinin pratik şekilde belirlenebilmesi için pratik bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemin sınır değerleri seçilen ön çalışma model binaların minimum hedef performans seviyesini sağlayan en küçük kolon/perde duvar miktarları kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma kapsamında önerilen yaklaşımın tutarlığı 70 adet okul binası üzerinde incelenmiştir. Yapılan çözümlemeler sonucunda aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

- Yapılan doğrusal elastik olmayan analizler sonucu deprem güvenliği belirlenen mevcut okul binalarının büyük bir çoğunluğu yönetmeliğin öngördüğü hedef performans seviyesini sağlayamamıştır.
- Mevcut okul binaları üzerinde yapılan analizler neticesinde; betonarme perde bulunmayan binalar ile her bir yönde bir perde duvar olan binaların hedef performans seviyelerini sağlayamadıkları ancak her bir yön için 2 ve daha fazla perde duvar olması durumunda perde duvarların ve kolonların boyutlarına bağlı olarak hedef performans seviyelerini sağlayabildikleri tespit edilmiştir. Yapılan bu tespitler ışığında yeni yapılacak olan okul binalarının tasarım aşamasında her iki doğrultuda en az 2 adet simetrik perde duvarın bulunması son derece önemli olduğu görülmüştür.
- Perde duvarların okul binalarında son derece gerekli olduğu, performans değerlendirmesi yapılacak mevcut okul binalarında betonarme perde olmaması durumunda binanın öngörülen minimum hedef performans seviyesini sağlamasının oldukça zor olduğu söylenebilir.
- Yapılan performans değerlendirmelerinde 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan depremler ile 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan depremlerin hangisinin daha kritik sonuçlar vereceği net olarak söylenememektedir.
- Mevcut okul binalarının ATI yaklaşımı ile belirlenen bina güvenliğinin DBYBHY [1] esaslarına göre elde edilen ayrıntılı sonuçlara göre uyumluluğu %86, Gri bölge dışında kalan tüm çözümler dikkate alındığında ise % 92.5 olarak elde edilmiştir.
- Yapılan değerlendirmeler sonucu önerilen yaklaşımın mevcut ve kabul edilebilir oranda tutarlı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Yaklaşımın son derece pratik ve uygulamada kolay olmasından dolayı mevcut okul binalarının deprem güvenliklerinin belirlenmesinde oldukça faydalı olacağı söylenebilir.
- DBYBHY 2007'de deprem sonrası kullanımı gereken binalar (hastaneler, sağlık tesisler, vb.) ile insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binaların (okullar, yatakhaneler, yurtlar, vb.) farklı aşılma olasılıkları için öngörülen minimum hedef performans seviyeleri aynı verildiğinden okul binaları için önerilen bu yaklaşım bu yapılar içinde kullanılabilir.
- Çalışmada, binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi için önerilen bu yaklaşım, bina düzensizliklerine, dolgu duvar etkisine, farklı zemin sınıfına, farklı sargı aralığına, farklı deprem bölgelerine, bina türüne göre ayrı ayrı bir şekilde geliştirilebilir.

Kaynakça

[1] DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 159s.

[2] Hassan, A. F. and Sozen, M. A. 1997. Seismic Vulnerability Assessment of Lowrise Buildings in Regions with Infrequent Earthquakes. ACI Structural Journal, 94(1), 31–39.

[3] Gülkan, P., Sözen, M. A. 1999. Procedure for Determining Seismic Vulnerability of Building Structures. ACI Structural Journal, 96(3), 336-342.

[4] Pay, A. C. 2001. New methodology for the seismic vulnerability assessment of existing buildings in Turkey. Middle East Technical University, Natural and Applied Sciences, Master Thesis, Ankara, Turkey.

[5] Aydoğan, V. 2003. Seismic vulnerability assessment of existing reinforced concrete buildings in Turkey. Middle East Technical University Natural and Applied Sciences, M. Sc. Thesis, 137s, Ankara, Turkey.

[6] Gülkan, P. L., Utkutuğ, D. 2003. Minimum Design Criteria for Earthquake Safety of School Buildings. Türkiye Mühendislik Haberleri, 425(3), 13-22.

[7] Yakut, A. 2004. Preliminary Seismic Assessment Procedure for Reinforced Concrete Buildings in Turkey. Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, 1-6 August, Vancouver, Canada.

[8] Akkar vd. 2005. Displacement-Based Fragility Functions for Low- and Mid-rise Ordinary Concrete Buildings. Earthquake Spectra, 21(4), 901–927.

[9] Demir, F., Tekeli, H., Güler, K., Celep, Z. 2013. Binaların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesinde Kullanılabilecek Yeni Bir Yaklaşım. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Grubu, 135s, Proje No, 111M119.

[10] SAP 2000, 2011. Computers and Structures, Inc., v.14.2.0, Structural Analysis Program, Berkeley, CA, USA.

[11] Özcebe, G., Yücemen S., Aydoğan, V., Yakut, A. 2003. Preliminary Seismic Vulnerability Assessment of Existing Reinforced Concrete Buildings in Turkey-Part I: Statistical Model Based on Structural Characteristics. NATO Science Series, 29(4), 29-42.