DÜMF Mühendislik Dergisi
web: http://dergipark.gov.tr/dumf

Araştırma Makalesi / Research Article

Mevcut atölye binalarının deprem güvenliğinin incelenmesi

Abdullah GÜNDOĞAY
Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta
abdullahgundogay@sdu.edu.tr ORCID: 0000-0002-5355-9014

Hakan ULUTAŞ
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur
hulutas@mehmetakif.edu.tr ORCID: 0000-0003-1721-7268

Hamide TEKELİ*
Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta
hamidetekeli@gmail.com ORCID: 0000-0002-3515-6836, Tel: (246) 211 11 90

Geliş: 08.06.2018 , Kabul Tarihi: 19.12.2018

Öz

Mevcut binaların deprem güvenliği incelemesi için uygulanabilecek yöntemler Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te (DBYBHY) sunulmuştur. Bir binanın deprem güvenliği, yapısal özelliklerine, düşey ve yatay taşıyıcı sistem elemanların dağılımı ile bu taşıyıcı elemanlarda bulunan boyuna ve enine donatı miktarına, deprem bölgesine, yerel zemin sınıfına, malzeme sınıfına ve kat adedine bağlıdır. Yapılan çalışmada, betonarme çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip 17 adet atölye binası, yapısal özellikleri dikkate alınarak deprem güvenliklerinin incelenmesi için model olarak seçilmiştir. Bu binaların deprem güvenliği DBYBHY 2007 esasları çerçevesinde sunulan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlar iki farklı malzeme sınıfı için sunulmuştur. Birinci sınıf, malzeme kalitesinin iyi olduğu ve taşıyıcı sistem elemanlarının mesnet bölgesinde yeterli sargılamanın bulunduğu durumu temsil ederken, ikinci sınıf ise, mevcut bina üzerinde yapılan deneyler ile tanımlanan malzeme dayanımlarını ve yerinde ölçülen aralıklarda enine donatının bulunduğu durumu temsil etmektedir. Elde edilen sonuçlar doğal periyod, kapasite eğrisi, hedef yerdeğiştirme istemi ve bina performans seviyesi açısından değerlendirilerek sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Atölye binası, betonarme, deprem güvenliği, doğrusal elastik olmayan yöntem*

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.432136

Giriş

Ülkemizde meydana gelen depremler, gelişmiş ülkelere oranla daha fazla can ve mal kaybına neden olmaktadır. Depremde meydana gelebilecek can ve mal kayıplarını önlemek amacıyla yapılması gereken en önemli uygulama depreme dayanıklı binaların inşa edilmesidir. Ülkemizde mevcut binaların deprem güvenliği incelemelerinin yapılarak gerekli tedbirlerin alınması deprem esnasındaki can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Demir vd., 2013). İncelenecek binaların sayı olarak çokluğu düşünüldüğünde, mevcut binalar içerisinden öncelikli öneme sahip binaların seçilmesi gerekmektedir. Okul ve hastane binaları bu kapsamda değerlendirilebilir. Okul binalarının deprem güvenliğinin incelendiği bazı çalışmalarda (Keskin ve Celep, 2013; Dinçer ve Mert, 2014), mevcut okul binalarının hedeflenen performans düzeyini sağlamadığı ve güçlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Yapılan bu çalışmalar, mevcut binaların deprem güvenliğinin incelenmesi aciliyetini ve önemini bir kez daha göstermektedir.

Binaların deprem güvenliğini etkileyen çok sayıda parametre bulunmaktadır. Beton basınç dayanımı, donatı akma dayanımı ve taşıyıcı sistem elemanlarının mesnetlerinde etriye sıklaştırmasının uygulanıp uygulanmaması durumu etkili parametrelerden bazıları olarak belirtilebilir. Literatürde, mevcut okul binalarının deprem güvenliği üzerine malzeme özelliklerinin etkisi ile ilgili yapılmış çalışmalar mevcuttur. Örneğin, İnel ve diğerleri (2006) ile İnel ve diğerleri (2007) tarafından yapılan çalışmalarda, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'nın okul binalarında yaygın olarak kullandığı tip projelere sahip binaların, uygulamada karşılaşılabilecek beton basınç dayanımları ve etriye aralıkları için doğrusal olmayan modelleme teknikleri kullanılarak performans düzeyleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan binalarda, beton sınıfı ve etriye aralığı özelliklerinin binanın deplasman kapasitesi üzerinde oldukça etkili olduğu ancak perdelerin bulunduğu binalarda bu etkinin sınırlı olduğu tespit edilmiştir.

Türkay ve Güler (2017) tarafından yapılan çalışmada, dört katlı ve perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip betonarme bir okul binasının tasarımı, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) ve Türk Standardı 500 (2000)'e göre yapılmıştır. Okul binasının deprem performansı 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve %2 olan deprem seviyeleri için Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi kullanılarak DBYBHY (2007) yönetmeliği ve Mevcut Binaların Sismik İyileştirilmesi (ASCE 41-06) standardına göre belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kıyaslanarak yorumlanmıştır.

Gündoğay ve Tekeli (2018) tarafından yapılan çalışmada mevcut atölye binalarının deprem güvenliği üzerinde beton dayanımı, donatı dayanımı, sargılama durumu gibi parametrelerin etkinliği incelenmiştir.

Bu çalışmada, Isparta ilinde bulunan bazı okul binalarına ait 17 adet çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip betonarme atölye binasının, DBYBHY (2007)'te yer alan doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden "Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi" kullanılarak performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Hesaplamalar, iki farklı malzeme grubu için tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar kıyaslanarak yorumlanmıştır.

Binaların Deprem Güvenliği

Belirli bir deprem etkisinde, taşıyıcı elemanların hasar seviyesine ve miktarına bağlı olarak belirlenen yapı güvenliği durumu, performans olarak tanımlanmaktadır. DBYBHY (2007), mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin kullanımını önermektedir. Bu çalışmada atölye binalarının deprem performansı, doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri arasından "Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi" kullanılarak yapılmıştır. DBYBHY (2007)'de bu yöntemin

uygulanabilmesi için, bina kat adedinin bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının 1.4 değerinden küçük olması gerekir. Ayrıca doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütlesine oranının en az 0.70 olması zorunludur.

Doğrusal elastik olmayan yöntemde, artan yük etkisi altında, kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarına ait kesitlerde plastik şekil değiştirmelerin belirli bölgelerde toplandığı ve bu bölgeler dışında sistemin elastik davrandığı varsayılır. Eğilme davranışının hakim olmasından ötürü bu bölgeye "plastik mafsal boyu" (L_p) denilir. Plastik mafsal boyu uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit olarak dikkate alınabilir.

Çalışma kapsamında yapılan çözümlemelerde, Mander sargılı beton modeli kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerine ait plastik mafsal tanımlamalarının yapılması ile doğrusal elastik olmayan yöntemde öncelikle binaya ait taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrisi elde edilmiştir. Bunun için, yatay yük adım adım artırılır. Her bir adımda elastik ötesi şekil değiştirmeler dikkate alınarak bina için çatı yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti eğrisi elde edilir. Elde edilen bina kapasite eğrisi ve spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde modal ivme - modal yerdeğiştirme grafiğine dönüştürülür.

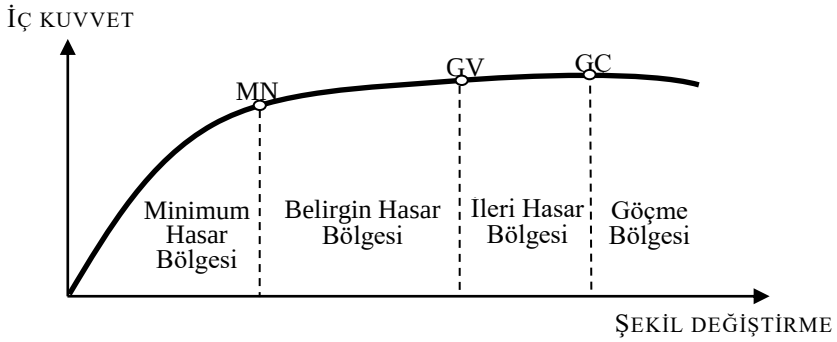
Doğrusal elastik olmayan çözümlemede; dönüştürülen bu grafikten yararlanılarak binanın hedef yerdeğiştirme istem seviyesindeki ötelenme değeri hesaplanır. Daha sonra binanın bu ötelenme seviyesindeki eleman kesitlerine ait beton ve donatı şekildeğiştirme değerleri elde edilir. Bu değerler yönetmelikte tanımlanan sınırlarla kıyaslanarak her bir elemanın hasar seviyelerine karar verilir. DBYBHY (2007)'de tanımlanan beton ve donatı çeliği şekil değiştirmelerinde izin verilen üst sınırlar, Denklem (1), (2) ve (3)'te verilmiştir.

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \; ; \; (\varepsilon_s)_{MN} = 0.010 \tag{1}$$

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01\,(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.0135 \; ; \; (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040 \tag{2}$$

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.0040 + 0.014\,(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.018 \; ; \; (\varepsilon_s)_{GC} = 0.060 \tag{3}$$

Burada MN minimum hasar sınırını, GV güvenlik hasar sınırını, GÇ göçme hasar sınırını, 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 olan ve ρ_{sm} ise kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranını göstermektedir. Taşıyıcı sistem elemanlarında belirlenen beton ve donatıya ait şekildeğiştirme değerlerinin, yönetmelikte verilen sınır değerler ile karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hasar seviyesine karar verilebilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Eleman hasarının belirlenmesi

Binanın deprem performansı, hedef yerdeğiştirme istem seviyesinde taşıyıcı sistem elemanlarında ortaya çıkan hasar dağılımına göre belirlenir. Binanın deprem güvenliğinin bulunup bulunmadığına, binanın belirlenen performans seviyesinin hedef performans seviyesi ile kıyaslanması sonucunda karar verilir.

Bina performansı, DBYBHY (2007)'de, Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG), Göçme Öncesi (GÖ) ve Göçme Durumu (GD) olmak üzere dört faklı seviyede tanımlanmıştır. Atölye binaları, okul binalarına ait tesisler olduğundan hedef performans seviyesi, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için "Hemen Kullanım", 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem için ise "Can Güvenliği" olarak seçilmiştir. Hedef performans seviyesinin sağlanması için gerekli koşullar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Performans seviyesi koşulları

Performans Seviyesi	Koşullar
Hemen Kullanım (HK)	*Her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir.* *Diğer taşıyıcı elemanların tamamı Minimum Hasar Bölgesi'nde olmalıdır.*
Can Güvenliği (CG)	*Her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %30'u İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.* *İleri hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta bu oran en fazla %40 olabilir.* *Diğer taşıyıcı elemanların tamamı Minimum Hasar Bölgesi'nde veya Belirgin Hasar Bölgesi'nde olmalıdır. Ancak, Herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.*

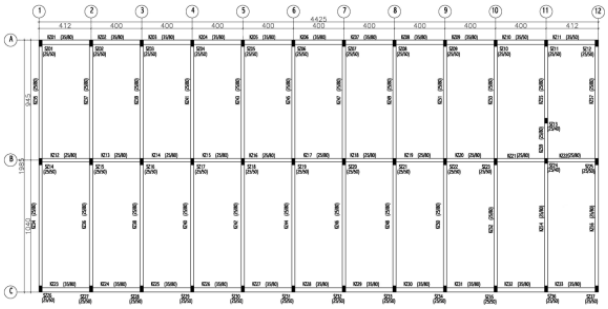
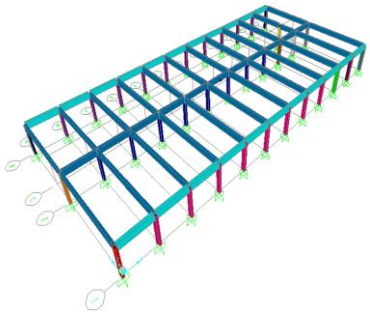
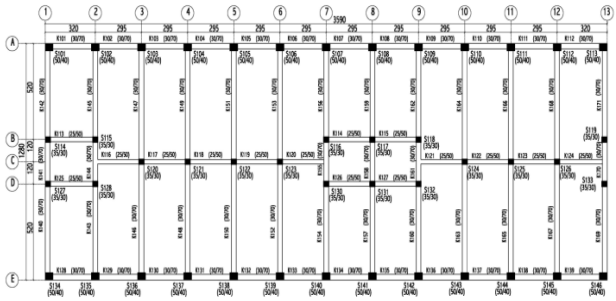
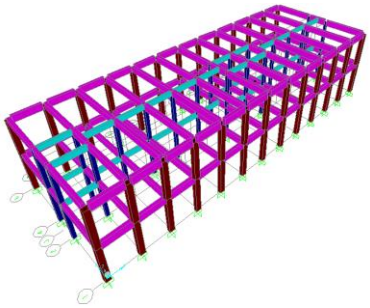
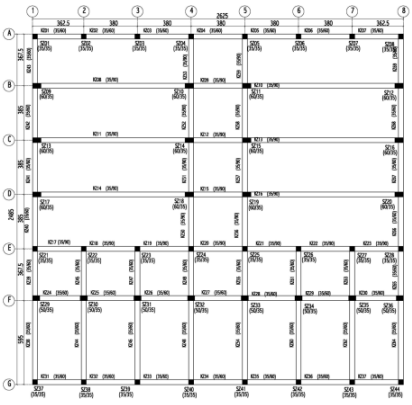
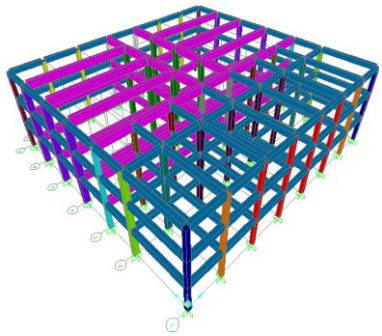
Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi elastik ötesi davranışı daha gerçekçi olarak yansıtmaktadır. Ancak bu yöntemin uygulanmasında iki bakımdan zorluk bulunmaktadır. Bunlardan ilki taşıyıcı sisteme ait daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmasıdır. Diğeri ise, piyasada bulunan doğrusal çözüm programlarının kullanılamaması ve çok daha ayrıntılı çözüm tekniklerini içeren programlara ihtiyaç duyulmasıdır (Uygun ve Celep, 2007). Bu ihtiyaçtan dolayı literatürde kullanıcıya sunulmuş çeşitli programlar bulunmaktadır. Bu çalışmada yapılan çözümlemelerde, betonarme elemanların davranışının tanımlanması için "Betonarme Elemanlarda Sargı ve Modelleme" (BESAM, 2013), statik çözümlemeler için "Structural Analysis Program" (SAP 2000, 2011) ve bina performans seviyesinin belirlenmesi için "Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Programı" ndan (DELOP, 2013) yararlanılmıştır. Bu programların, birbirleri ile koordineli olarak kullanımı sağlanmıştır.

Atölye Binalarının Tanıtılması

Çalışma kapsamında Isparta ilinde bulunan 17 adet betonarme atölye binasının (Gündoğay ve Tekeli, 2018) deprem güvenliği incelemesi yapılmıştır. İlk olarak binalara ait taşıyıcı sistem projeleri temin edilmiştir. Binalar ile ilgili yapılan deprem güvenliği incelemelerinde, bazı kiriş ve kolonlar üzerinde yapılan hasarlı ve hasarsız donatı tespitlerine ait raporlar ile beton basınç dayanımı tespit raporları kullanılmıştır. Ayrıca binalara ait sondajlı jeolojik-jeofizik zemin etüdü raporları da temin edilmiştir. Bu raporlarda temel sistemi; bloklarda temel çukurları açılarak kontrol edilmiş ve sürekli temel olduğu tespit edilmiştir. Binaların tamamının kapsamlı bilgi düzeyinde bulunduğu kabul edilmiştir. Farklı kat adedine sahip binalardan örnek olarak birer adet kalıp planları ve oluşturulan bilgisayar modellemeleri Tablo 2'de verilmiştir. Atölye binalarına ait kalıp planları genel olarak incelendiğinde, sürekli akslara sahip ve düzenli sistemler olduğu, ancak kolonların uzun kenarlarının çoğunlukla aynı

doğrultuda yerleştirildiği görülmüştür. Tüm bina modellerinin statik sistemleri SAP 2000 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Taşıyıcı sisteme ait kolon, kiriş ve perde duvar elemanlar çubuk eleman olarak modellenmiştir. Döşeme sabit yük değeri (g) 4.0 kN/m^2, hareketli yük değeri (q) ise Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri Standart'ında tanımlandığı gibi 5.0 kN/m^2 olarak dikkate alınmıştır. Duvar sabit yük değeri (g_{duvar}) ise 4.0 kN/m düzgün yayılı yük olarak kirişler üzerine aktarılmıştır. Döşeme, kiriş elemanlara yük olarak aktarılmış ve her kat seviyesinde rijit diyafram etkisi dikkate alınmıştır. Doğrusal olmayan çözümlemelerde kullanılmak üzere taşıyıcı sistem elemanlarına ait plastik mafsal özellikleri BESAM programında tanımlanarak kiriş elemanlara M_3, kolon ve perde elemanlara ise PM_2M_3 mafsalı atanmıştır. İncelenen tüm binalar 1. derece deprem bölgesi ve Z4 yerel zemin sınıfında bulunmaktadır. Dolayısıyla, etkin yer ivmesi katsayısı (A_o) 0.40 ve spektrum karakteristik periyodları (T_A, T_B) ise sırasıyla 0.2 ve 0.9 sn olarak dikkate alınmıştır.

Tablo 2. Farklı kat adedine sahip bazı binalara ait kalıp planları ve oluşturulan bilgisayar modelleri

Bina No	Kat Adedi	Kalıp Planı	Bilgisayar Modeli
1	1		
10	2		
11	3		

İncelenen tüm atölye binalarına ait taşıyıcı sistem bilgileri, yerinde belirlenen beton ve donatı sınıfı özellikleri, taşıyıcı sistem elemanlarının mesnet bölgelerinde uygulanan sargılama durumu bilgileri Tablo 3'te verilmiştir. Burada H_{bina}, bina yüksekliğini; ΣA_{kat}, toplam kat alanını; W_{bina}, bina ağırlığını; f_{cm}, beton basınç dayanımını; f_{ym}, donatı akma dayanımını; sargılama durumu ise taşıyıcı sistem elemanlarının mesnet bölgelerinde uygulanan etriye çapını (mm) ve aralığını (mm) ifade etmektedir.

Tablo 3. Atölye binalarının yapısal özellikleri

Bina No	Kat Adedi	H_{bina} (m)	ΣA_{kat} (m^2)	W_{bina} (kN)	f_{cm} (MPa)	f_{ym} (MPa)	Sargılama Durumu
1	1	3.8	878	9254	7	220	Ø8/200
2	1	3.8	697	7248	7	220	Ø8/200
3	1	2.9	184	2387	11	220	Ø8/200
4	1	2.9	184	2387	8	220	Ø8/200
5	1	3.9	265	2952	11	220	Ø8/200
6	1	3.9	265	2952	8	220	Ø8/200
7	1	6.0	252	3714	10	220	Ø8/200
8	3	9.0	1496	20575	14	220	Ø8/200
9	3	9.0	1957	22901	14	220	Ø8/200
10	2	7.9	919	11416	10	220	Ø8/200
11	3	9.0	1957	22901	11	220	Ø8/200
12	3	8.4	1166	16300	11	220	Ø8/200
13	1	3.9	281	3718	8	220	Ø8/200
14	2	7.8	562	7436	14	220	Ø8/200
15	1	4.0	112	1681	15	220	Ø8/200
16	1	4.0	320	4308	15	220	Ø8/200
17	1	3.9	478	6414	24	220	Ø8/200

Görüldüğü gibi incelenen binaların tamamında S220 donatı sınıfı kullanılmış ve taşıyıcı sistem elemanların mesnetlerinde etriye sıklaştırması uygulanmamıştır. Sadece bir adet binada beton basınç dayanımı 20 MPa üzerindedir. Diğer tüm binalarda beton basınç dayanımı 10 MPa civarındadır.

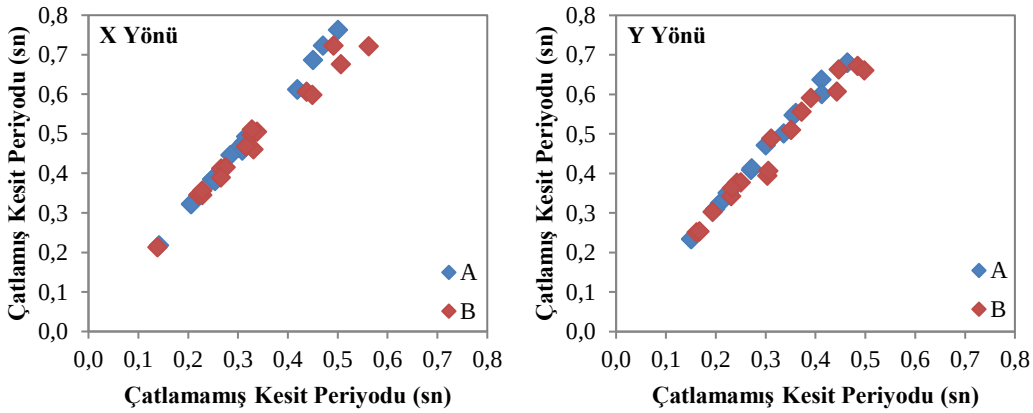
Atölye Binalarının Deprem Güvenliğinin İncelenmesi

Mevcut atölye binalarının deprem güvenliği, doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri arasından "Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi" kullanılarak, binaların her iki doğrultusu (x ve y), iki farklı malzeme sınıfı (A ve B) ve iki farklı deprem düzeyi (50 yılda aşılma olasılığı %10 ve %2 olan depremler) için incelenmiştir. Burada A malzeme sınıfı beton basınç dayanımının 20 MPa, donatı akma dayanımının 420 MPa ve taşıyıcı sistem elemanlarının mesnet bölgelerinde etriye sıklaştırmasının Ø8/100 olarak uygulandığı duruma karşılık gelmektedir. Malzeme sınıfının B olması ise, yerinde ölçümler ile belirlenen malzeme dayanım değerlerinin kullanıldığı duruma karşılık gelmektedir.

Binaların deprem davranışının belirlenmesinde en önemli parametrelerden biri binanın doğal titreşim periyodudur. Doğal periyod, binanın ağırlığına ve taşıyıcı sistemin yatay ötelenme rijitliğine bağlı olarak belirlenmektedir. İncelenen beton sınıfı, donatı sınıfı ve sargılama durumu parametrelerinden doğal periyodu etkileyen en önemli parametre beton basınç dayanımıdır. Çözümlemeler sonucunda mevcut atölye binalarının çatlamamış ve çatlamış kesit rijitliklerine ait elde edilen doğal periyod değerleri, bina çözümleme yönüne (x, y) ve malzeme sınıfına (A, B) bağlı olarak Tablo 4'te verilmiştir. Ayrıca çatlamamış ve çatlamış kesit periyodlarının ilişkisi Şekil 2'de grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 4. Çatlamamış ve çatlamış kesit rijitliklerine ait periyod değerleri

Bina No	Çatlamamış Kesit Periyodu				Çatlamış Kesit Periyodu			
	T_1^x (sn)		T_1^y (sn)		T_1^x (sn)		T_1^y (sn)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1	0.50	0.56	0.27	0.30	0.76	0.72	0.41	0.39
2	0.45	0.51	0.27	0.31	0.69	0.68	0.41	0.41
3	0.21	0.22	0.15	0.16	0.32	0.35	0.23	0.25
4	0.21	0.23	0.15	0.17	0.32	0.35	0.23	0.25
5	0.25	0.27	0.23	0.24	0.38	0.41	0.35	0.38
6	0.25	0.28	0.23	0.25	0.38	0.42	0.35	0.38
7	0.30	0.33	0.36	0.39	0.47	0.50	0.55	0.59
8	0.25	0.27	0.34	0.35	0.38	0.39	0.50	0.51
9	0.42	0.44	0.46	0.48	0.61	0.61	0.68	0.67
10	0.31	0.34	0.41	0.45	0.48	0.51	0.64	0.66
11	0.42	0.45	0.46	0.50	0.61	0.60	0.68	0.66
12	0.31	0.33	0.41	0.44	0.46	0.46	0.60	0.61
13	0.28	0.32	0.21	0.23	0.45	0.47	0.32	0.34
14	0.47	0.49	0.36	0.37	0.72	0.72	0.55	0.56
15	0.32	0.33	0.22	0.23	0.49	0.51	0.35	0.36
16	0.22	0.23	0.30	0.31	0.34	0.36	0.47	0.49
17	0.14	0.14	0.20	0.19	0.22	0.21	0.31	0.30

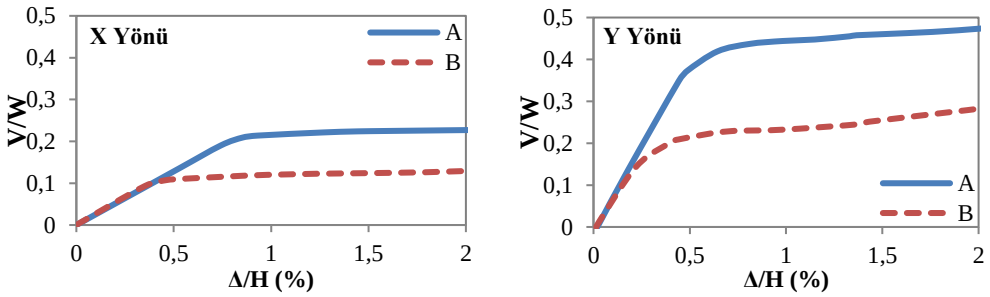


Şekil 2. Çatlamamış ve çatlamış kesit periyodları arasındaki ilişki

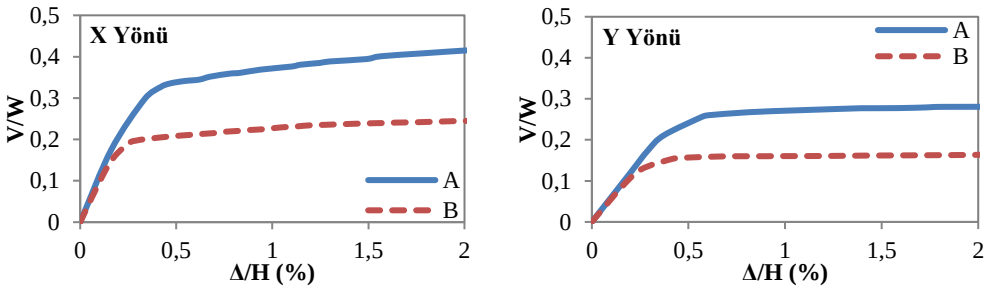
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, beton dayanımındaki azalma ile binadaki çatlamamış kesit doğal periyod değerlerinin tüm çözümlemeler için arttığı görülmektedir. Ancak beton dayanımının çatlamış kesite ait doğal periyod değerleri üzerindeki etkisi için, aynı yorumları yapmak tam olarak mümkün değildir. Örneğin 2 numaralı binanın x yönü çözümüne ait çatlamamış kesit doğal periyod değerleri; A (B) malzeme sınıfında beton dayanımının 20 (7) MPa olması durumunda 0.45 (0.51) sn. iken, çatlamamış kesit periyodları 0.69 (0.68) sn. olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla beton dayanımının, çatlamamış kesit periyodu üzerinde oldukça etkili olduğu, ancak çatlamış kesit periyodu üzerindeki etkisinin bazı durumlarda sınırlı seviyelerde kaldığı söylenebilir. Bu durum, DBYBHY (2007)'de taşıyıcı sistem elemanlarına ait çatlamış kesit periyod hesabında, çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliklerinin kullanılması ile açıklanabilir.

Binalara uygulanan artımsal itme analizi ile, koordinatları "tepe yerdeğiştirmesi–taban kesme kuvveti" olan kapasite eğrisi elde edilir. Tepe yerdeğiştirmesi, binanın en üst katında göz önüne alınan deprem doğrultusunda her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin deprem doğrultusundaki toplamıdır. Mevcut atölye binalarına ait elde edilen kapasite eğrilerinin düşey ekseni bina ağırlığına, yatay ekseni ise bina yüksekliğine oranlanmıştır.

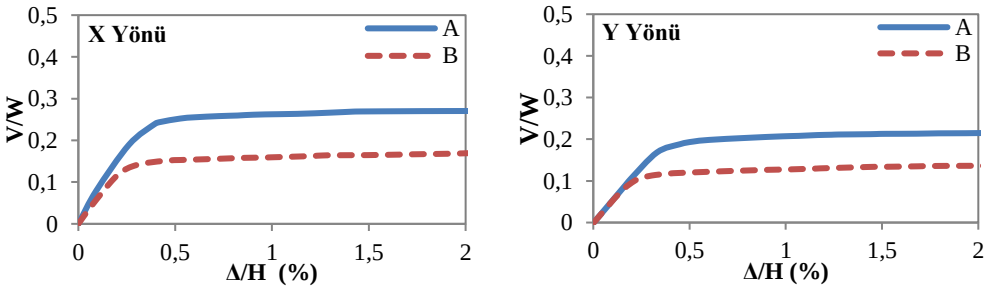
Tablo 2'de kalıp planları sunulan atölye binalarına ait boyutsuzlaştırılmış kapasite eğrileri Şekil 3'te verilmiştir.



a) 1 numaralı atölye binası



b) 10 numaralı atölye binası



c) 11 numaralı atölye binası

Şekil 3. Atölye binalarına ait boyutsuzlaştırılmış kapasite eğrileri

Kapasite eğrileri incelendiğinde; taban kesme kuvvetinin bina ağırlığına oranı (V/W) değerinin en büyük A malzeme sınıfında, en küçük ise B malzeme sınıfında ortaya çıktığı görülmüştür. Binalara ait kapasite eğrileri ve çatlamış kesite ait doğal titreşim periyodları kullanılarak, hedef yerdeğiştirme istem değerleri belirlenmiştir. Bina çatı katında, bu yerdeğiştirme değerine kadar ötelenmiş ve bu seviyedeki taşıyıcı sistem eleman kesitlerine ait beton ve donatı şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir. Binaların her iki deprem doğrultusu için HK ve CG performans düzeylerine ait elde edilen çatı katı hedef yerdeğiştirme istem değerleri (Δ_{hedef}) Tablo 5'te verilmiştir. Aynı zamanda, CG performans seviyesi için belirlenen hedef yerdeğiştirme istem değerleri HK performans seviyesi için belirlenen değere oranlanmıştır. Elde edilen bu oranlar, tüm binalar için toplanarak bina sayısına bölünmüş ve ortalama değerler bulunmuştur.

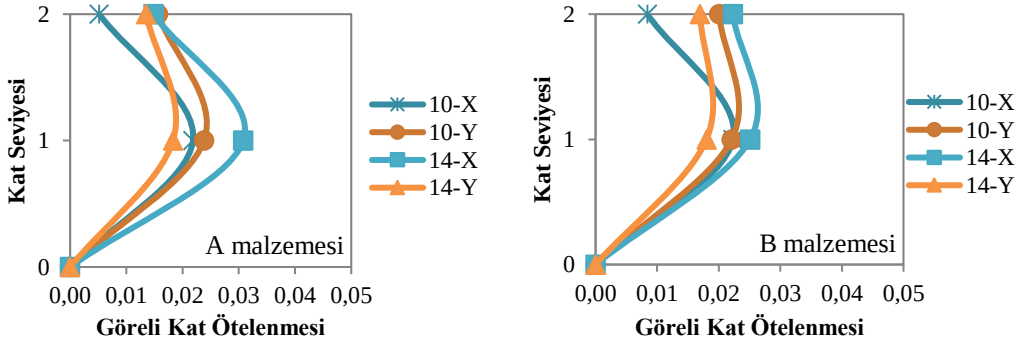
Tablo 5. Atölye binalarının HK ve CG performans seviyelerine ait belirlenen Δ_{hedef} değerleri

Bina No	HK						CG						$(\Delta^{CG}_{hedef})^x$ /$(\Delta^{HK}_{hedef})^x$		$(\Delta^{CG}_{hedef})^y$ /$(\Delta^{HK}_{hedef})^y$	
	Δ_{hedef}^x (mm)			Δ_{hedef}^y (mm)			Δ_{hedef}^x (mm)			Δ_{hedef}^y (mm)						
	A	B	B/A	A	B	B/A	A	B	B/A	A	B	B/A	A	B	A	B
1	165	158	0.96	72	79	1.10	250	238	0.95	117	121	1.04	1.52	1.51	1.63	1.54
2	141	144	1.02	65	77	1.18	218	219	1.01	111	122	1.10	1.54	1.52	1.70	1.58
3	53	67	1.25	27	42	1.56	89	105	1.17	53	70	1.33	1.67	1.57	1.94	1.65
4	53	66	1.24	27	43	1.57	89	105	1.18	53	70	1.34	1.67	1.58	1.94	1.65
5	57	77	1.35	62	75	1.22	102	123	1.20	99	116	1.17	1.78	1.58	1.61	1.55
6	57	80	1.40	62	76	1.24	102	124	1.21	99	117	1.18	1.78	1.55	1.61	1.54
7	76	96	1.26	108	123	1.14	129	152	1.18	169	189	1.12	1.69	1.59	1.57	1.53
8	85	95	1.12	119	130	1.09	136	149	1.10	188	200	1.07	1.59	1.56	1.57	1.54
9	154	161	1.04	178	182	1.02	239	246	1.03	273	275	1.01	1.55	1.53	1.53	1.52
10	107	121	1.14	156	169	1.09	169	188	1.11	240	257	1.07	1.58	1.55	1.54	1.52
11	154	158	1.03	178	179	1.01	239	243	1.01	273	272	1.00	1.55	1.53	1.53	1.52
12	101	114	1.13	149	160	1.07	163	178	1.09	232	245	1.05	1.61	1.56	1.55	1.53
13	71	90	1.27	39	59	1.52	119	142	1.19	74	96	1.31	1.68	1.58	1.90	1.64
14	178	185	1.04	124	136	1.10	273	280	1.03	195	210	1.08	1.53	1.52	1.57	1.54
15	86	101	1.17	49	63	1.29	141	158	1.12	87	103	1.19	1.64	1.56	1.78	1.64
16	50	63	1.27	84	98	1.16	87	102	1.18	136	153	1.13	1.75	1.62	1.61	1.56
17	19	30	1.59	42	51	1.21	42	54	1.27	75	85	1.12	2.24	1.80	1.80	1.66
Ort.	95	106	1.19	91	102	1.21	152	165	1.12	145	159	1.13	1.67	1.57	1.67	1.57

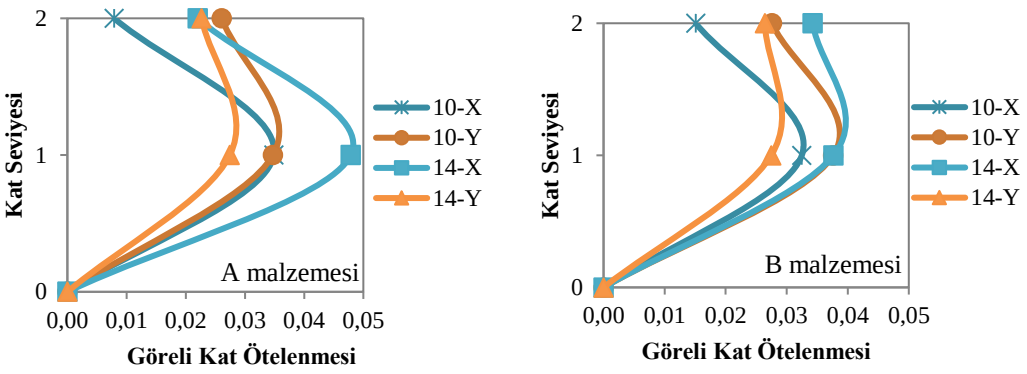
Elde edilen sonuçlara göre; B malzeme sınıfı için elde edilen Δ_{hedef} değerlerinin A malzeme sınıfı için elde edilenlere göre HK performans seviyesi çözümlerinde ortalama %20, CG performans seviyesi çözümlerinde ortalama %13 daha fazla olduğu görülmüştür. Örneğin 4 numaralı bina modelinde malzeme sınıfının etkisi, HK performans seviyesi için tanımlanan hedef yerdeğiştirme seviyesi değerini 1.57 kat değiştirirken, CG performans seviyesi için 1.34 kat değiştirmektedir. Dolayısıyla, malzeme sınıfı değişiminin Δ_{hedef} değerlerine etkisi, HK hedef performans seviyesinde, CG hedef performans seviyesinden daha belirgin olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tablo 5'teki değerler incelendiğinde CG hedef performans seviyesi için bulunan hedef yerdeğiştirme istem değerlerinin; HK performans seviyesi için belirlenen değerlerden ortalama 1.62 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Bu oran elastik spektrumdaki artış oranına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. İki performans seviyesi için belirlenen hedef yerdeğiştirme istemleri arasındaki en büyük fark genel olarak malzeme kalitesinin iyi olduğu A malzeme sınıfında, en küçük fark ise malzeme kalitesinin kötü olduğu B malzeme sınıfında ortaya çıkmıştır. Buradan elde edilen sonuçlar, malzeme dayanımlarındaki zayıflıkların hedef yerdeğiştirme istem değeri üzerindeki etkinliğinin fazla olmadığını göstermektedir.

Hedef yerdeğiştirme seviyesinde elde edilen kat ötelenmelerine ait göreli kat ötelenme oranları her kat seviyesinde hesaplanarak iki katlı atölye binaları için Şekil 4'te, üç katlı atölye binaları için ise Şekil 5'te grafik halinde binaların x ve y yönlerinde verilmiştir.

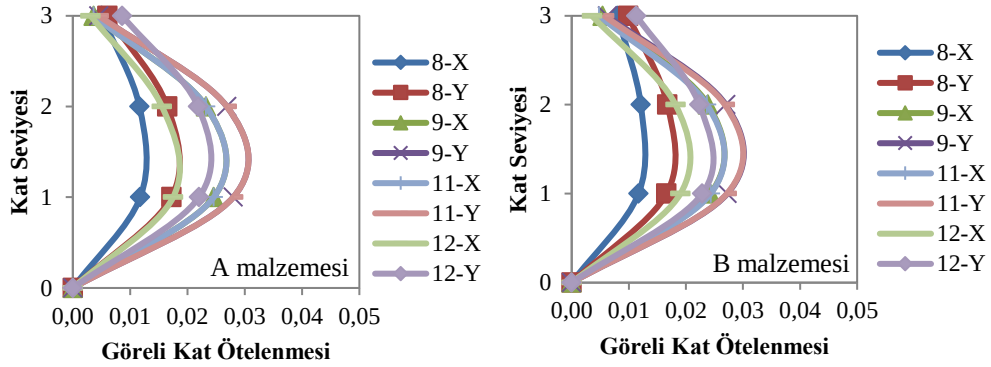


a) HK hedef performans seviyesi

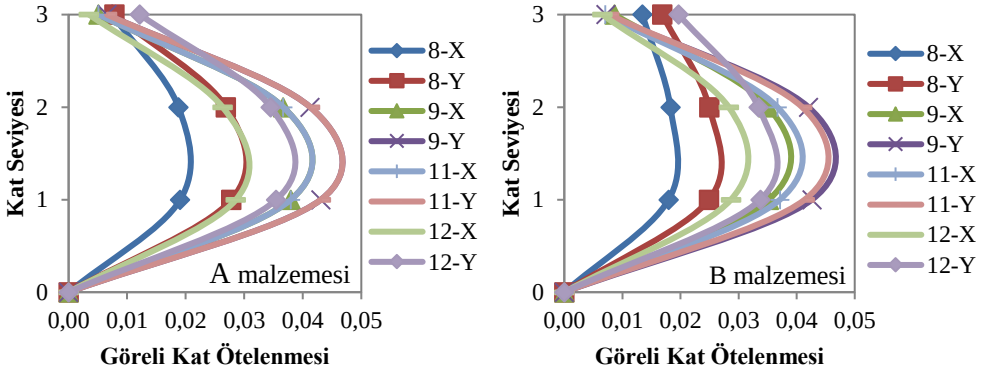


b) CG hedef performans seviyesi

Şekil 4. İki katlı binalar için elde edilen göreli kat ötelenmeleri



a) HK hedef performans seviyesi



b) CG hedef performans seviyesi

Şekil 5. Üç katlı binalar için elde edilen göreli kat ötelenmeleri

Grafikler incelendiğinde beklendiği gibi, en küçük göreli kat ötelenmesine en üst katın sahip olduğu görülebilir. Genel olarak A malzeme sınıfındaki göreli kat ötelemesi değerleri B malzeme sınıfından daha küçük olarak elde edilmiştir. Ancak bazı durumlarda birinci kata ait A malzeme sınıfındaki değerlerin B malzeme sınıfındaki değerlerden daha büyük olduğu dikkati çekmektedir. Bunun muhtemel nedeni; bahsedilen göreli kat ötelemesi değerlerinin, binanın hedef yerdeğiştirme istem seviyesindeki doğrusal elastik olmayan çözümlemelerden elde edilmiş olmasıdır. Dolayısıyla aynı bina, A ve B malzemesine sahip olması durumunda aynı kesme kapasitesine sahip değildir. A malzeme sınıfında daha büyük kesme kuvvetine maruz olan binada, birinci kat taşıyıcı elemanlarında daha büyük hasar ortaya çıkmakta, dolayısıyla kat ötelenmesi daha büyük değerlere ulaşabilmektedir.

Bina için tanımlanan hedef performans seviyesi, binanın kesme kapasitesini değiştirmez. Ancak hedef performansa bağlı olarak hedef yerdeğiştirme istem ötelenmesi değiştiği için, binanın hedef yerdeğiştirme istem değerine karşılık gelen kesme kapasitesi değeri (V_{hedef}) farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle değerler, her iki hedef performans seviyesi için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Atölye binalarının çatı katı hedef yerdeğiştirme istem değerlerine karşılık gelen kesme dayanımı değerleri (V_{hedef}), kapasite eğrileri üzerinden belirlenebilir. Elde edilen bu değerler, HK ve CG performans düzeyleri için bina ağırlığına oranlanarak (V_{hedef}/W_{bina}) Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Hedef performans seviyelerine göre elde edilen V_{hedef}/W_{bina} oranları

Bina No	HK				CG			
	V_{hedef}^{x}/W_{bina}		V_{hedef}^{y}/W_{bina}		V_{hedef}^{x}/W_{bina}		V_{hedef}^{y}/W_{bina}	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1	0.24	0.14	0.47	0.29	0.25	0.14	0.53	0.31
2	0.42	0.23	0.60	0.36	0.46	0.25	0.64	0.38
3	0.51	0.33	0.69	0.41	0.57	0.38	0.69	0.42
4	0.51	0.33	0.69	0.38	0.57	0.39	0.69	0.38
5	0.60	0.45	0.45	0.25	0.72	0.49	0.45	0.25
6	0.60	0.42	0.45	0.24	0.72	0.49	0.45	0.24
7	0.56	0.34	0.38	0.24	0.60	0.37	0.38	0.26
8	0.39	0.23	0.33	0.19	0.41	0.23	0.34	0.19
9	0.27	0.18	0.22	0.14	0.30	0.18	0.24	0.14
10	0.27	0.17	0.22	0.14	0.30	0.18	0.24	0.14
11	0.39	0.24	0.28	0.18	0.42	0.25	0.29	0.19
12	0.39	0.22	0.32	0.18	0.40	0.24	0.33	0.18
13	0.67	0.41	0.79	0.41	0.74	0.44	0.79	0.41
14	0.35	0.21	0.39	0.22	0.36	0.21	0.39	0.22
15	0.51	0.34	0.66	0.39	0.59	0.39	0.66	0.40
16	0.63	0.38	0.53	0.39	0.63	0.38	0.63	0.49
17	0.89	0.55	0.65	0.40	0.96	0.60	0.69	0.44
Ortalama	0.48	0.30	0.48	0.28	0.53	0.33	0.50	0.30

V_{hedef}/W_{bina} oranlarının ortalama değerleri yaklaşık olarak; A malzeme sınıfı için %48-53, B malzeme sınıfı için ise %28-33 mertebelerindedir. Malzeme kalitesinin düşmesi ile bu oranda önemli miktarda azalma görülmüştür.

İncelenen mevcut atölye binalarının, 50 yılda aşılma olasılığı %10 deprem için Hemen Kullanım (HK) ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem için ise Can Güvenliği (CG) hedef performans düzeyini sağlaması gerekir (DBYBHY, 2007). Yapılan değerlendirmeler sonucunda atölye binalarının her iki doğrultusu için elde edilen performans sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Atölye binalarının her iki doğrultusu için performans sonuçları

Bina No	X Yönü				Y Yönü			
	HK		CG		HK		CG	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
2	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
3	GD	GD	GD	GD	CG	CG	CG	GD
4	GD	GD	GD	GD	CG	GÖ	CG	GD
5	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
6	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
7	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
8	CG	GD	GD	GD	CG	GD	GD	GD
9	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
10	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
11	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
12	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
13	GD	GD	GD	GD	CG	GD	GD	GD
14	GD	GD	GD	GD	CG	GD	GD	GD
15	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
16	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
17	HK	CG	CG	CG	GD	GD	GD	GD

Mevcut binaların deprem güvenliğinin bulunduğu, ancak her iki hedef performans seviyesinin binanın her iki yönü için sağlanması durumunda söylenebilir. Bir performans hedefinin bile sağlanmaması durumunda binanın deprem yüklerine karşı "güvensiz" olduğu anlaşılır. Yapılan çözümlemeler sonucunda, mevcut atölye binalarının yerinde ölçülen malzeme dayanımları kullanılan değerlendirmelerde hiçbir binada deprem güvenliğinin sağlanmadığı görülmüştür. Dolayısıyla mevcut binaların büyük çoğunluğunun mühendislik hizmeti almadan inşa edildiği söylenebilir. Burada dikkat çeken husus, tek katlı atölye binalarında bile, beton dayanımının 20 MPa, donatı dayanımının 420 MPa olması ve taşıyıcı sistem elemanlarının mesnet bölgelerinde etriye sıklaştırılması yapılması durumundaki (A malzeme sınıfı) çözümlemelerde de hedeflenen performans seviyesinin sağlanmamasıdır.

Sonuçlar

Yapılan çalışma kapsamında, Isparta ilinde bulunan çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip 17 adet betonarme atölye binalarının deprem güvenliği, doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden "Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi" kullanılarak incelenmiştir. Çözümlemeler binaların her iki doğrultusunda (x ve y), iki farklı malzeme sınıfı (A ve B) ve iki farklı deprem düzeyi (50 yılda aşılma olasılığı %10 ve %2 olan depremler) için yapılmıştır. Çözümlemelerde BESAM, SAP 2000 ve DELOP programları koordineli olarak kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmelerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Beton dayanımı, çatlamamış kesit periyodu üzerinde oldukça etkili iken, çatlamış kesit periyodu üzerindeki etkisi sınırlı seviyelerde kalmaktadır. Bunun nedeni, DBYBHY (2007)'de taşıyıcı sistem elemanlarına ait çatlamış kesit periyod hesabında, çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliklerinin kullanılması ile açıklanmaktadır.
2. Kapasite eğrileri incelendiğinde taban kesme kuvvetinin bina ağırlığına oranının (V/W_{bina}) en büyük değerinin, malzeme kalitesi iyi olan A sınıfında, en küçük değerinin ise B malzeme sınıfında ortaya çıktığı görülmüştür.
3. Hedef yerdeğiştirme istem değerlerinin incelenmesi sonucunda, B malzeme sınıfı için elde edilen değerlerin A malzeme sınıfı için elde edilenlere göre HK performans seviyesi çözümlerinde ortalama %20, CG performans seviyesi çözümlerinde ortalama %13 daha fazla olduğu görülmüştür. Malzeme sınıfının değişiminin Δ_{hedef} değerlerinin oranına etkisi, HK hedef performans seviyesinde, CG hedef performans seviyesinden daha belirgin olarak karşımıza çıkmaktadır.
4. CG hedef performans seviyesi için bulunan hedef yerdeğiştirme istem değerlerinin HK performans seviyesi değerinden ortalama olarak 1.62 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Bu oran elastik spektrumdaki artış oranına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.
5. CG ve HK hedef performans seviyeleri için belirlenen hedef yerdeğiştirme istemleri arasındaki en büyük fark genel olarak malzeme kalitesinin iyi olduğu A malzeme sınıfında, en küçük fark ise malzeme kalitesinin kötü olduğu B malzeme sınıfında ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar, malzeme dayanım zayıflıklarının hedef yerdeğiştirme istem değeri üzerindeki etkinliğinin fazla olmadığını göstermektedir.
6. V_{hedef}/W_{bina} oranlarının ortalama değerleri; A malzeme sınıfı için yaklaşık olarak %48-53, B malzeme sınıfı için yaklaşık olarak %28-33 mertebelerindedir.
7. Deprem bölgelerinde, deprem güvenliği zayıf çok sayıda mevcut atölye binası bulunmaktadır. Bu binaların çoğu herhangi bir mühendislik hizmeti almadan inşa edilmiştir. Mevcut atölye binalarının yerinde ölçülen malzeme dayanımları (B sınıfı) ile yapılan değerlendirmelerinde; hiçbir binada deprem güvenliğinin bulunmadığı görülmüştür. Burada dikkat

çeken husus, tek katlı atölye binalarında bile, beton dayanımının 20 MPa, donatı dayanımının 420 MPa olması ve taşıyıcı sistem elemanlarının mesnet bölgelerinde etriye sıklaştırılmasının bulunması durumundaki (A malzeme sınıfı) çözümlemelerde de hedeflenen performans seviyesinin sağlanmamasıdır. Bunun sebeplerinden biri atölye binalarının kalıp planlarının genellikle dikdörtgen şeklinde ve düzenli olarak tasarlanmasına rağmen, düşey taşıyıcı elemanların tümü veya çoğunun uzun boyutunun, binanın tek bir yönünde yerleştirilmesi diğer yönün zayıf kalmasıdır.

Kaynaklar

BESAM, (2013). Betonarme elemanlarda sargı ve modelleme, Proje No:111M119, *Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu*.

DBYBHY, (2007). Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.

DELOP, (2013). Doğrusal elastik olmayan analiz programı, Proje No:111M119, *Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu*.

Demir, F., Tekeli, H., Güler, K. ve Celep, Z., (2013). Binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde kullanılabilecek yeni bir yaklaşım, 135, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Grubu, Proje No:111M119.

Dinçer, F. ve Mert, N., (2014). Betonarme okul binasının TDY 2007'ye göre nonlineer statik analizi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18, 1, 1-9.

Gündoğay, A. ve Tekeli, H., (2018). Atölye binalarının deprem performansını etkileyen bazı parametrelerin incelenmesi, 6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 929-938, Antalya.

İnel, M., Bilgin , H. ve Özmen, H., (2006). Mevcut kamu yapılarının performans değerlendirmesi, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 444-445, 64-71.

İnel, M., Bilgin, H. ve Özmen, H., (2007). Okul binalarının yeni deprem yönetmeliğine göre değerlendirilmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 257-267, İstanbul.

Keskin, İ. ve Celep, Z., (2013). Deprem yönetmeliğinde öngörülen taşıyıcı sistem güvenlik düzeyi konusunda karşılaştırmalı sayısal inceleme, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay.

SAP 2000, (2011). Structural analysis program, v14.0.0, *Computers and Structures Inc.*, CA, Berkeley, USA.

Türkay, A. ve Güler, K., (2017). Bir okul binasının tasarımı ve deprem performansının değerlendirilmesi, *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 1, 2, 27-37.

TS 498, (1997). Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, Türk Standardı, Ankara.

Uygun, G. ve Celep, Z., (2007). Betonarme bir binanın deprem güvenliğinin deprem yönetmeliği(2007)deki doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle karşılaştırmalı incelenmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 269-279, İstanbul.

Investigation of seismic safety of existing workshop buildings

Extended Abstract

Procedures for the seismic assessment of existing buildings are given in the 2007 Turkish Earthquake Code (TEC). Since Turkey is on active earthquake zone, performance evaluation of existing buildings is a need to minimize the possible casualties and economic losses. The seismic safety of a building depend on the structural configuration, on the layout of the columns and beams, seismic zone, soil type, material classification as well as on the number of stories. This paper deals with seismic assessment of existing reinforced concrete workshop buildings. In this study, the 17 workshop buildings having reinforced concrete frames are selected in order to investigate of seismic behavior of the buildings.

Nonlinear flexural behaviors in frame members are defined to plastic hinges, where the plastic hinge length L_p is assumed as half of the section depth for beam and column elements. The plastic hinge properties are described as depending on element size, material properties, longitudinal and confinement reinforcement amount and detailing and axial load level on the element. Performance level of the buildings was determined by using the procedure for the performance evaluation via incremental pushover analysis with incremental equivalent seismic load method given in seismic code of Turkey, where the seismic performance evaluation is similar to that of FEMA 356. The performances of workshop buildings carried out for earthquake with 2% probability of being exceeded in 50 years and 10% probability of being exceeded in 50 years.

Three-dimensional models of each of the buildings are developed and their analyses are performed by using SAP 2000 software program. These analyses are carried out for the buildings having the selected structural configuration by varying the number of story, the column sections, number of spans, concrete strength, steel yield strength, spacing of confinement reinforcements. The performance level of buildings were determined for two different material group in this study.

The obtained results from analysis are evaluated in term of fundamental period, capacity curve, target displacement and building performance level for two different material group. The results show that concrete strength is one of the important parameter effecting the fundamental period in cracked cross section. However the effect on the un-cracked cross section period of concrete strength is less than the effect on the cracked cross section.

The equivalent single degree of freedom approach is used to obtain target displacement according to 2007 TEC response spectrum. Target displacement requests in the direction of earthquake at the top of the buildings are obtained for two different material groups in the all buildings. The results show that the effect of material strength on target displacement value is quite little.

The base shear force versus roof displacement curves of buildings are obtained by using plastic hinges at the both ends of the beams and columns. The ratio of base shear force to building weight (V/W) in "material group A" was found to be larger than "material group B" values.

A large number of workshop buildings do not have enough seismic safety in "material group B", since the most of them have been constructed without receiving any structural engineering attention. The buildings do also not have enough seismic safety in "material group A", since the columns are generally replaced in one direciton in despite of regular design in the main structural system of the building.

Keywords: *Workshop building; reinforced concrete; seismic safety; nonlinear elastic method.*