

ÇERÇEVE DÜZLEMİ İÇİNDE EKLENEN PERDELERİN BETONARME BİNALARIN YAPISAL ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Taner UÇAR^{1*} Salar GHAFOURZADEH TOUMATARI² Yıldırım ERTUTAR²

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 35397, İzmir, TÜRKİYE

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fak., İnşaat Müh. Bölümü, 35397, İzmir, TÜRKİYE

Özet- Mevcut çerçeve düzlemi içinde betonarme perde eklenmesi ülkemizde en sık kullanılan sistem güçlendirmesidir. Betonarme sisteme eklenecek perdelerin, binanın çeşitli yapısal parametrelerine ve deprem güvenliğinin belirlenmesinde kullanılacak hesap yönteminin seçimine doğrudan etkileri olacaktır. Bu nedenle, güçlendirme perdelerinin mevcut binanın kat planı içerisinde uygun bir şekilde düzenlenmesi önemlidir. Bu çalışmada, yedi katlı, betonarme çerçeve sistemli mevcut bir binaya güçlendirme amacıyla eklenmesi düşünülen perdelerin üç farklı tip düzenlenmesinin binanın modal parametrelerine, görel kat ötelemelerine ve yapısal performans analizinde Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için sağlanması gereken koşullara etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, bu tip güçlendirme perdelerinin uygulanmasına yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler- Güçlendirme yöntemleri, betonarme güçlendirme perdeleri, modal parametreler, görel kat ötelemesi, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.

INVESTIGATION of the EFFECTS of SHEAR WALLS INSTALLED WITHIN the FRAME PLANE on STRUCTURAL CHARACTERISTICS of R/C BUILDINGS

Abstract- In Turkey, installation of reinforced concrete shear walls within the frame plane is the most popular one among the system strengthening methods. It is obvious that, the new shear walls added to the system will have direct effects on different structural characteristics of the building and the earthquake analysis method. Therefore, the proper configuration of shear walls installed to strengthen the building is an important issue. In this study, three different configurations of shear walls installed to strengthen the existing 7-story reinforced concrete building are taken into consideration and the effects of these configurations on modal characteristics, relative storey drifts and conditions required to use the Incremental Equivalent Earthquake Load Method are investigated. In consequence of the results obtained from this study, suggestions associated with installation of shear walls within the frame plane are made.

Key Words- Strengthening methods, reinforced concrete strengthening walls, modal parameters, relative storey drift, Incremental Equivalent Earthquake Load Method.

* taner.ucar@deu.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesine ve güçlendirilmesine yönelik çalışmalar, ülkemizde özellikle 1999 yılında meydana gelen yıkıcı depremlerden sonra gündeme gelmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Bu tip güçlendirme uygulamaları, genel anlamda mevcut 1998 yılı Deprem Yönetmeliği'nin revize edilmesi ve buna "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" başlıklı bölümün eklenmesi ile oluşturulan ve Mart 2007'de Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 hükümleri kapsamında belirli kurallara oturtulmuştur [1]. Ülkemizde mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesine ve güçlendirilmesine yönelik temel ilkeler ve hesap yöntemleri ilk olarak bu yönetmelikte tanımlanmıştır.

Güçlendirme, binaların deprem güvenliğini arttırmak için her taşıyıcı sistem türü için eleman ve bina sistemi düzeyinde yapılan bir mühendislik uygulamasıdır. Binaların güçlendirilmesi gereksinimi iki nedenden kaynaklanabilir. Bunlardan birincisi, yaşanan bir deprem sonucu ortaya çıkan hasarlardan dolayı güvenliğin artırılmasına ihtiyaç duyulmasıdır. İkincisi ise, herhangi bir hasar bulunmadığı halde, binanın depreme karşı yeterince güvenli olup olmadığının tespit edilmesidir [2]. Binaların güçlendirilmesine yönelik kararların teknik boyutu yanında sosyal, ekonomik ve hukuki boyutları da vardır. Bu nedenle, deprem bölgelerinde risk taşıyan binalara yapılacak müdahaleye karar verilirken, bütün bu boyutlar dikkate alınmalıdır.

Betonarme binalarda değişik güçlendirme yöntemleri uygulanabilmektedir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 kapsamında yer alan eleman ve sistem güçlendirme yöntemleri uygulamada sıkça kullanılan teknikleri kapsamaktadır [1]. Eleman ve sistem güçlendirmesinde amaç, eleman ve sistemin dayanım ve şekil değiştirme kapasitesine arttırmak ve böylece binanın deprem performansını Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen düzeye çıkartmaktır. Sistem bazındaki güçlendirme teknikleri arasında yanal rijitliği ve dayanımı yetersiz olan betonarme taşıyıcı sistemlerin, mevcut çerçeve düzlemi içinde veya çerçeve düzlemine bitişik olarak düzenlenen yerinde dökme betonarme perdelerle güçlendirilmesi ülkemizde yaygın olarak uygulanmaktadır.

Literatürde depremde hasar gören veya deprem performansı yetersiz binaların güçlendirilmesine yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, genellikle mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi ve pratikte sıkça kullanılan güçlendirme teknikleri üzerinde durulmuştur [3-9]. Ayrıca farklı güçlendirme tekniklerinin mevcut veya tipik betonarme binalarda uygulamalarına yer verilmiştir [10-16]. Betonarme sisteme eklenecek güçlendirme perdelerin, binanın çeşitli yapısal parametrelerine ve deprem güvenliğinin belirlenmesinde kullanılacak hesap yönteminin seçimine doğrudan etkilerinin olması kaçınılmazdır. Bu çalışmada, yedi katlı betonarme çerçeve sistemli mevcut bir binaya güçlendirme amacıyla eklenen perdelerin üç farklı tip düzenlemesinin binanın doğal titreşim periyodu, kütle katılım oranı gibi modal parametrelerine, görelî kat ötelemelerine ve yapısal performans analizinde Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için sağlanması gereken koşullara etkileri incelenmiştir.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. Binaların Deprem Performansının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler (Methods Used to Determine Earthquake Performance of Buildings)

Deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilecek tüm betonarme binaların deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallar DBYBHY 2007'de verilmektedir [1]. Mevcut veya

güçlendirilmiş bir binanın deprem etkileri altındaki performansını belirlemek amacıyla doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri kullanılabilir. Doğrusal elastik hesap yöntemleri Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi'dir. Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri ise Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir. Bunlar arasında ilk iki yöntem, DBYBHY 2007'de doğrusal olmayan deprem performansının belirlenmesi ve güçlendirme hesapları için temel alınan Artımsal İtme Analizi'nde kullanılan yöntemlerdir.

Günümüzde betonarme binaların doğrusal olmayan davranışının ve performansının belirlenmesi amacıyla Artımsal İtme Analizi çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Artımsal İtme Analizi'nde de genellikle mühendisler arasında daha iyi bilinen ve uygulanması doğrusal olmayan diğer yöntemlere göre daha kolay olan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi tercih edilmektedir. Bununla birlikte Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için sağlanması gereken bir takım koşullar vardır.

2.2. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Kullanılabilmesi İçin Gerekli Koşullar (Conditions Required to Use the Incremental Equivalent Earthquake Load Method)

Binanın birinci titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde eşdeğer deprem yüklerinin adım adım arttırıldığı Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması gerekir. Bu koşula ek olarak herhangi bir katta ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir. Burulma düzensizliği katsayısı (η_{bi}), birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranı olarak hesaplanmaktadır. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için sağlanması gereken üçüncü koşul ise, göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunluluğudur.

2.3. Güçlendirme Yöntemleri (Strengthening Methods)

Güçlendirme, binaların deprem güvenliğini arttırmak için her taşıyıcı sistem türü için eleman ve bina sistemi düzeyinde yapılan bir mühendislik uygulamasıdır. Buradaki amaç, gerçek bir deprem sonucu ortaya çıkan hasarlardan dolayı binanın deprem güvenliğinin artırılması veya ilgili yönetmeliklerde tanımlanan minimum performans hedeflerini sağlamayan binaların bir takım uygulamalar sonucunda hedeflenen deprem performansını sağlamasıdır.

Güçlendirme yöntemleri genel olarak iki başlık altında incelenebilir. Bunlardan birincisi taşıyıcı sistem elemanlarının bireysel olarak güçlendirilmesi ve ikincisi ise bina sisteminin tamamının güçlendirilmesidir. DBYBHY 2007'de verilen eleman ve sistem güçlendirme yöntemleri uygulamada sıkça kullanılan teknikleri kapsamaktadır.

Taşıyıcı sistem elemanlarının dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin arttırılmasına yönelik olarak uygulanan işlemler, eleman güçlendirmesi olarak tanımlanır [1]. Kolonların çelik veya lifli polimer sargı ile sarılması, kolon kesitlerinin büyütülmesi, kirişlerin sarılması ve dolgu duvarların güçlendirilmesi eleman bazında uygulanan güçlendirme türleridir. Yanal rijitliği ve dayanımı yetersiz olan betonarme taşıyıcı sistemlerin yerinde dökme betonarme perdelerle güçlendirilmesi ve betonarme sisteme yeni çerçevelerin eklenmesi ise sistem bazında yapılan

güçlendirme uygulamalarıdır. Betonarme perdeler mevcut çerçeve düzlemi içinde veya çerçeve düzlemine bitişik olarak düzenlenebilir [1].

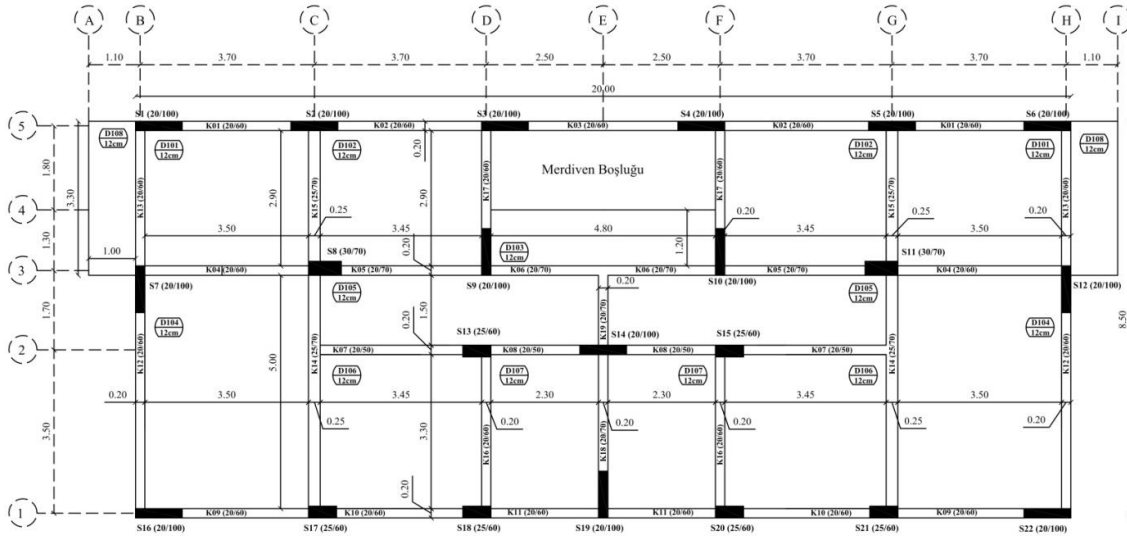
2.4. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Çerçeve Düzlemi İçinde Perde Eklenmesi (Installation of Shear Walls Within the Frame Plane of Reinforced Concrete Structural Systems)

Mevcut çerçeve düzlemi içinde eklenen betonarme perdeler ile güçlendirme yöntemi, ülkemizde en yaygın ve geleneksel güçlendirme yöntemidir. Bu yöntemle yapılacak güçlendirme uygulamasında, eklenecek perdelerin temelden başlayarak bina yüksekliği boyunca sürekli olması ve düzlemi içinde buldukları çerçeveye ankraj çubukları ile bağlanarak birlikte çalışmalarının sağlanması gerekmektedir. Çerçeve aksının içinde perde duvarın herhangi bir katta kesilmesi o katta gerilme birikimine ve deprem davranışının ani değişmesine sebep olacağından eklenen perde duvarlar binanın temelinden başlayarak en üst kata kadar aralıksız devam etmesi önemlidir [17]. Bu güçlendirme uygulamasında perde ucunda mevcut kolon bulunması durumunda mevcut kolondan uç bölgesi olarak yararlanılabilir, aksi durumda DBYBHY 2007’de tanımlanan esas dikkate alınarak perde uç bölgesi oluşturulmalıdır [1].

3. BULGULAR (FINDINGS)

3.1. Mevcut Betonarme Bina (Existing Reinforced Concrete Building)

Çalışmada kullanılan bina İzmir ili sınırları içerisinde bulunmakta olup 1985 yılında inşa edilmiştir. Binanın taşıyıcı sistemi betonarme çerçevedir. Kullanım amacı konut olan yedi katlı binanın tipik kat yüksekliği 2.70 m ve toplam yüksekliği 18.90 m’dir. Binanın oturma alanı 170 m²’dir. Mevcut binaya ait tipik kat planı Şekil 1’de gösterilmiştir. Mevcut bina çalışma kapsamında B1 olarak simgelenmiştir.



Şekil 1. Mevcut binanın (B1) tipik kat planı
(Typical floor plan of existing building (B1))

Mevcut binaya ait mimari ve betonarme proje bulunmakta olup binanın geometri ve malzeme özellikleri ile betonarme detaylarının mevcut projeye tamamen uyduğu kabul edilmiştir. Beton sınıfı C16, donatı çeliği sınıfı ise S220’dir.

...Çerçeve Düzlemi İçinde Eklenen Perdelerin Betonarme Binaların Yapısal Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi...

Binanın betonarme eleman boyutlarının tanımında, birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınmıştır. Binaların analitik modelleri oluşturulurken kiriş ve kolonlar çubuk eleman olarak modellenmiştir. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilmiştir ve sonlu elemanlarla modellenmiştir. Bu modellemede, bilgisayar programının yüzeysel taşıyıcı elemanları tanımlamak için kullanılan kabuk eleman özelliğinden faydalanılmış ve oluşturulan kabuk elemanlar dikdörtgen sonlu eleman ağlarına bölünmüştür. Oluşturulan sonlu eleman ağının boyutları küçük tutularak, döşemelerin davranışları daha hassas bir şekilde hesap modeline yansıtılmıştır. Binanın üç boyutlu hesap modeli SAP 2000 bilgisayar programı ile oluşturulmuştur [18].

Dinamik serbestlik derecesi olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay ötelenme ile kütle merkezinden geçen eksen etrafındaki dönme göz önüne alınmıştır. Kütleler düşey yüklerle uyumlu olarak belirlenmiştir (G+nQ). Kullanım amacı konut olan bina için hareketli yük katılım katsayısı $n=0.3$ alınmıştır.

Mevcut binada iç ve dış duvarların konumları binanın mimari projesinde belirtildiği şekilde alınmıştır. Duvar yükü olarak 20 cm tuğla+sıva için 3.80 kN/m^2 , 10 cm tuğla+sıva için 2.50 kN/m^2 alınmıştır. 12 cm kalınlığındaki plak döşemeler üzerinde düzgün yayılı 1.5 kN/m^2 ölü yük (sıva+kaplama) ve 2 kN/m^2 hareketli yük dikkate alınmıştır. Eleman öz ağırlıkları analizlerin gerçekleştirildiği bilgisayar programına tanımlanarak dikkate alınmıştır.

Yukarıda açıklanan kabuller altında SAP 2000 programı kullanılarak binanın dinamik analizi gerçekleştirilmiş ve bu analizin sonuçları olan periyot ve etkin kütle oranları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Mevcut binanın (B1) modal özellikleri
(Modal properties of existing building (B1))

Mod	Periyot (sn)	Etkin Kütle Oranları		
		X Doğrultusu	Y Doğrultusu	Burulma
1	0.778	0	0.817	0
2	0.633	0.058	0	0.770
3	0.553	0.762	0	0.056

Birinci derece deprem bölgesinde (etkin yer ivmesi $A_0=0.40$) ve Z2 yerel zemin sınıfı üzerinde bulunan binanın, birbirine dik deprem doğrultularının her biri için Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile hesaplanan deprem yükleri kullanılarak herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları (η_{bi}) Tablo 2 ve Tablo 3’de verilmiştir. Bu tablolarda; $\delta_{i,max}$ herhangi bir kattaki en büyük yatay yerdeğiştirmeyi, $\delta_{i,min}$ ise aynı katta o doğrultudaki en küçük yatay yerdeğiştirmeyi göstermektedir. $\Delta_{i,max}$ herhangi bir kattaki en büyük görelî kat ötelemesi, $\Delta_{i,min}$ en küçük görelî kat ötelemesi, $\Delta_{i,ort}$ ise o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemedir.

Tablo 2. B1 için X doğrultusunda hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları (Torsional irregularity factors calculated in X direction of B1)

Kat	$\delta_{i,max}$ (cm)	$\delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,max}$ (cm)	$\Delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,ort}$ (cm)	η_{bi}
7	4.52266	4.44965	0.16614	0.15612	0.16113	1.0311
6	4.36654	4.28351	0.37082	0.36758	0.36920	1.0044
5	3.99896	3.91269	0.60043	0.59875	0.59959	1.0014
4	3.39853	3.31394	0.79178	0.78700	0.78939	1.0030
3	2.60675	2.52694	0.92278	0.91325	0.91802	1.0052
2	1.68397	1.61369	0.96173	0.93767	0.94970	1.0127
1	0.72224	0.67602	0.72224	0.67602	0.69913	1.0331

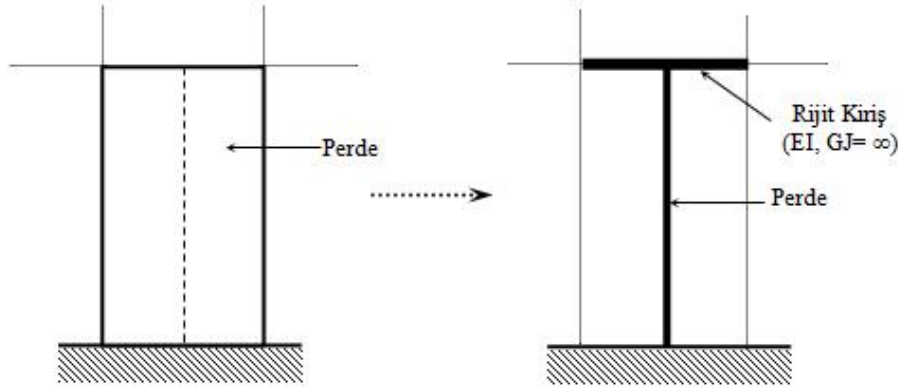
Tablo 3. B1 için Y doğrultusunda hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları (Torsional irregularity factors calculated in Y direction of B1)

Kat	$\delta_{i,max}$ (cm)	$\delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,max}$ (cm)	$\Delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,ort}$ (cm)	η_{bi} (cm)
7	6.70151	6.70151	0.29665	0.29665	0.29665	1.0000
6	6.40486	6.40486	0.58750	0.58750	0.58750	1.0000
5	5.81736	5.81736	0.90547	0.90547	0.90547	1.0000
4	4.91189	4.91189	1.16158	1.16158	1.16158	1.0000
3	3.75031	3.75031	1.33032	1.33032	1.33032	1.0000
2	2.41999	2.41999	1.38037	1.38037	1.38037	1.0000
1	1.03962	1.03962	1.03962	1.03962	1.03962	1.0000

3.2. Mevcut Binanın Çerçeve Düzlemi İçinde Eklenen Perdelerle Güçlendirilmesine Yönelik Alternatiflerin Değerlendirilmesi (Evaluation of Alternatives for Strengthening of Existing Building with Shear Walls Installed Within the Frame Plane)

Çalışmanın bu bölümünde mevcut binanın çerçeve düzlemi içinde eklenen perdeler ile güçlendirilmesine gidilmesi durumunda, binaya eklenecek perdelerin kat planında düzenlenmesine yönelik olası farklı alternatifler binanın mimari projesi de göz önünde bulundurularak ele alınmıştır. Mevcut binaya güçlendirme amacıyla eklenmesi düşünülen perdelerin üç farklı tip düzenlemesinin binanın doğal titreşim periyodu, kütle katılım oranı gibi modal parametrelerine, görelî kat ötelemelerine ve yapısal performans analizinde Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için sağlanması gereken koşullara etkileri incelenmiştir.

Çalışmanın bir önceki bölümünde açıklanan kabullere ve modelleme tekniklerine ilave olarak binaya eklenen güçlendirme perdeleri kendileriyle aynı enkesit özelliklerine sahip eşdeğer kolon olarak modellenmiştir. Söz konusu modellemede perde davranışının tam olarak elde edilebilmesi için eğilme rijitliği (EI) ve kayma rijitliği (GJ) büyük sanal rijit kirişler kullanılmıştır (Şekil 2).

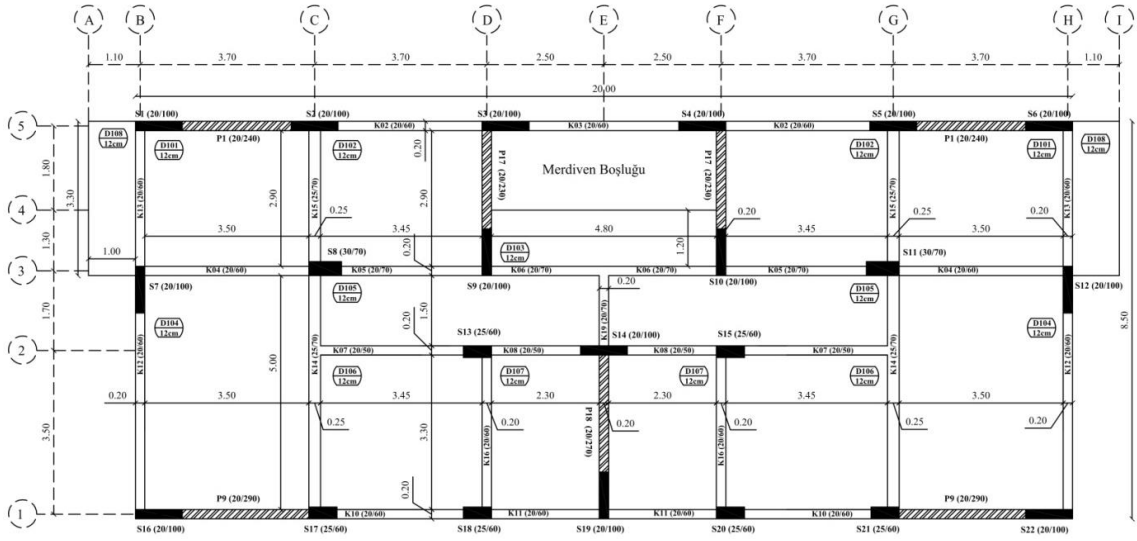


Şekil 2. Perdenin eşdeğer kolon olarak modellenmesi
(Equivalent column model of shear wall)

3.2.1. Birinci Alternatif (The First Alternative)

İlk alternatifte, binaya eklenmesi düşünülen güçlendirme perdeleri binanın kat planı içinde Şekil 3'de gösterildiği gibi düzenlenmiş ve perdeler kat planı üzerinde taralı olarak gösterilmiştir. Çalışma kapsamında binanın bu durumu B2 olarak simgelenmiştir.

...:Çerçeve Düzlemi İçinde Eklenen Perdelerin Betonarme Binaların Yapısal Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi::



Şekil 3. B2'nin kat planı (Floor plan of B2)

B2'ye ait periyot ve etkin kütle oranları Tablo 4'de, birbirine dik deprem doğrultularının her biri için hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları (η_{bi}) ise Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 4. B2'nin modal özellikleri (Modal properties of B2)

Mod	Periyot (sn)	Etkin Kütle Oranları		
		X Doğrultusu	Y Doğrultusu	Burulma
1	0.532	0	0.741	0
2	0.527	0.008	0	0.748
3	0.448	0.718	0	0.010

Tablo 5. B2 için X doğrultusunda hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları (Torsional irregularity factors calculated in X direction of B2)

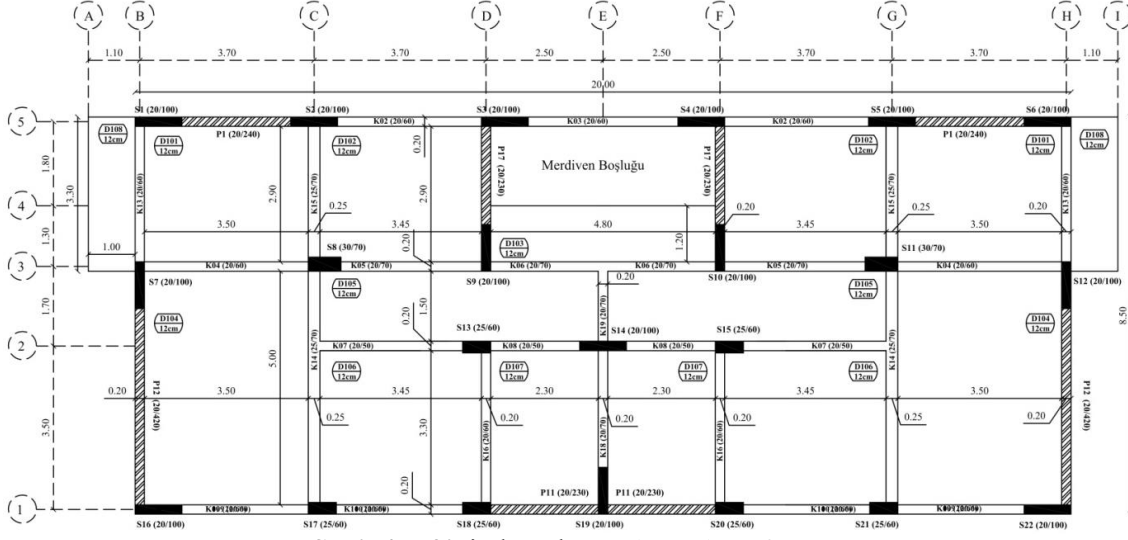
Kat	$\delta_{i,max}$ (cm)	$\delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,max}$ (cm)	$\Delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,ort}$ (cm)	η_{bi} (cm)
7	3.95917	3.71878	0.47322	0.42351	0.44837	1.0554
6	3.48595	3.29527	0.56526	0.51707	0.54117	1.0445
5	2.92069	2.77820	0.65472	0.60992	0.63232	1.0354
4	2.26597	2.16828	0.70688	0.66766	0.68727	1.0285
3	1.55909	1.50062	0.68788	0.65679	0.67234	1.0231
2	0.87121	0.84383	0.56532	0.54502	0.55517	1.0183
1	0.30589	0.29881	0.30589	0.29881	0.30235	1.0117

Tablo 6. B2 için Y doğrultusunda hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları (Torsional irregularity factors calculated in Y direction of B2)

Kat	$\delta_{i,max}$ (cm)	$\delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,max}$ (cm)	$\Delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,ort}$ (cm)	η_{bi} (cm)
7	4.62799	4.62799	0.47305	0.47305	0.47305	1.0000
6	4.15494	4.15494	0.60533	0.60533	0.60533	1.0000
5	3.54961	3.54961	0.74372	0.74372	0.74372	1.0000
4	2.80589	2.80589	0.83852	0.83852	0.83852	1.0000
3	1.96737	1.96737	0.84616	0.84616	0.84616	1.0000
2	1.12121	1.12121	0.72028	0.72028	0.72028	1.0000
1	0.40093	0.40093	0.40093	0.40093	0.40093	1.0000

3.2.2. İkinci Alternatif (The Second Alternative)

İkinci alternatif olarak dikkate alınan çözümde, binaya eklenmesi düşünülen güçlendirme perdeleri binanın kat planı içerisinde Şekil 4’de gösterildiği gibi düzenlenmiştir. Söz konusu perdeler kat planı üzerinde taralı olarak gösterilmiştir. Çalışma kapsamında binanın bu durumu B3 olarak simgelenmiştir.



Şekil 4. B3'nin kat planı (Floor plan of B3)

B3'e ait periyot ve etkin kütle oranları Tablo 7’de, birbirine dik deprem doğrultularının her biri için hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları (η_{bi}) ise Tablo 8 ve Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 7. B3'nin modal özellikleri (Modal properties of B3)

Mod	Periyot (sn)	Etkin Kütle Oranları		
		X Doğrultusu	Y Doğrultusu	Burulma
1	0.440	0	0.714	0
2	0.425	0.732	0	0.002
3	0.313	0.002	0	0.714

Tablo 8. B3 için X doğrultusunda hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları (Torsional irregularity factors calculated in X direction of B3)

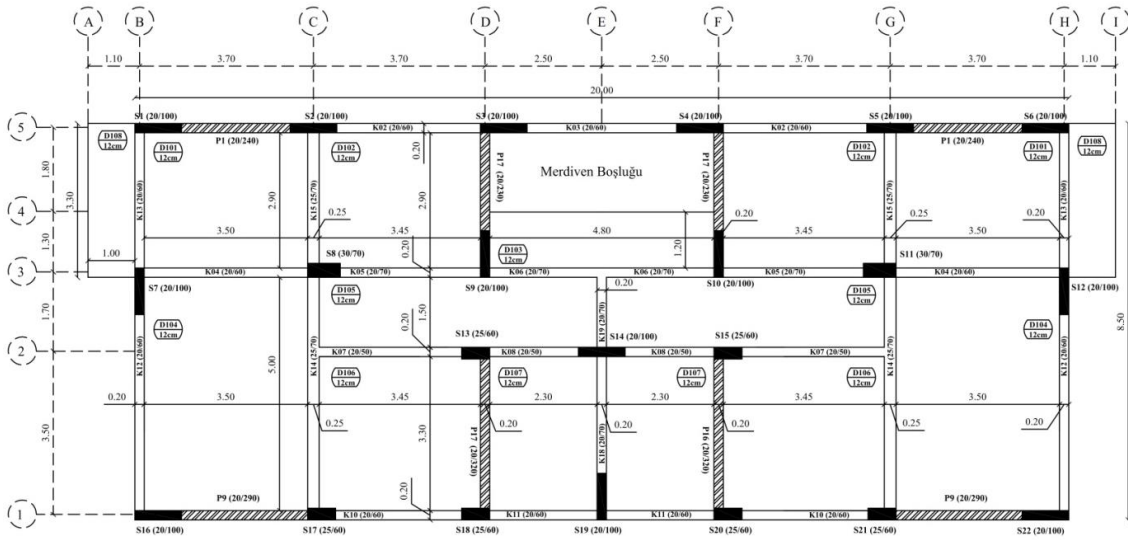
Kat	$\delta_{i,max}$ (cm)	$\delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,max}$ (cm)	$\Delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,ort}$ (cm)	η_{bi} (cm)
7	3.57551	3.44643	0.41115	0.39558	0.40337	1.0193
6	3.16436	3.05085	0.49851	0.47962	0.48907	1.0193
5	2.66585	2.57123	0.58205	0.55848	0.57027	1.0207
4	2.08380	2.01275	0.63291	0.60656	0.61974	1.0213
3	1.45089	1.40619	0.62206	0.59653	0.60930	1.0210
2	0.82883	0.80966	0.52245	0.50351	0.51298	1.0185
1	0.30638	0.30615	0.30638	0.30615	0.30627	1.0004

Tablo 9. B3 için Y doğrultusunda hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları (Torsional irregularity factors calculated in Y direction of B3)

Kat	$\delta_{i,max}$ (cm)	$\delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,max}$ (cm)	$\Delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,ort}$ (cm)	η_{bi} (cm)
7	3.72025	3.72025	0.48992	0.48992	0.48992	1.0000
6	3.23033	3.23033	0.56023	0.56023	0.56023	1.0000
5	2.67010	2.67010	0.62414	0.62414	0.62414	1.0000
4	2.04596	2.04596	0.65245	0.65245	0.65245	1.0000
3	1.39351	1.39351	0.61940	0.61940	0.61940	1.0000
2	0.77411	0.77411	0.50094	0.50094	0.50094	1.0000
1	0.27317	0.27317	0.27317	0.27317	0.27317	1.0000

3.2.3. Üçüncü Alternatif (The Third Alternative)

Üçüncü düzenlemede, binaya eklenmesi düşünülen güçlendirme perdeleri binanın kat planı içerisinde Şekil 5’de gösterildiği gibi konumlandırılmış ve bu perdeler kat planı üzerinde taralı olarak gösterilmiştir. Çalışma kapsamında binanın bu durumu B4 olarak simgelenmiştir.



Şekil 5. B4'nün kat planı (Floor plan of B4)

B4'e ait periyot ve etkin kütle oranları Tablo 10'da, birbirine dik deprem doğrultularının her biri için hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları (η_{bi}) ise Tablo 11 ve Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 10. B4'nün modal özellikleri (Modal properties of B4)

Mod	Periyot (sn)	Etkin Kütle Oranları		
		X Doğrultusu	Y Doğrultusu	Burulma
1	0.530	0.030	0	0.716
2	0.511	0	0.726	0
3	0.474	0.689	0	0.032

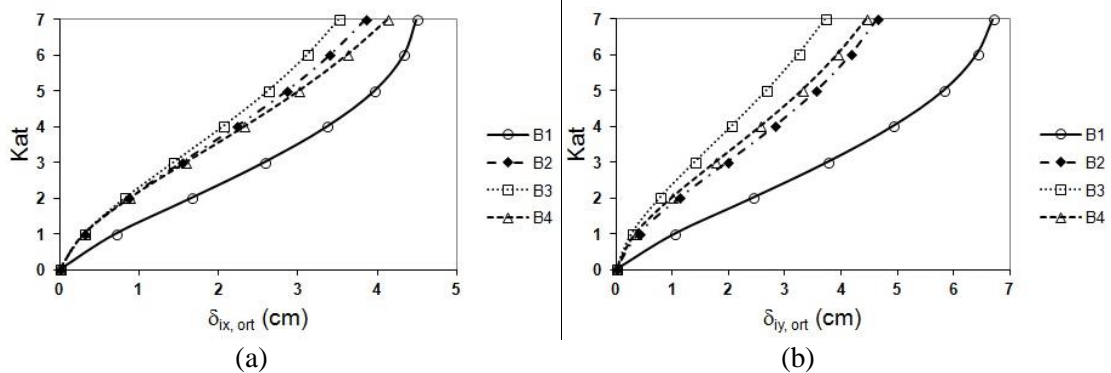
Tablo 11. B4 için X doğrultusunda hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları (Torsional irregularity factors calculated in X direction of B4)

Kat	$\delta_{i,max}$ (cm)	$\delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,max}$ (cm)	$\Delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,ort}$ (cm)	η_{bi} (cm)
7	4.16586	4.08369	0.51677	0.51322	0.51500	1.0034
6	3.65264	3.56692	0.60426	0.60106	0.60266	1.0027
5	3.04838	2.96586	0.69240	0.68282	0.68761	1.0070
4	2.35598	2.28304	0.74117	0.72592	0.73355	1.0104
3	1.61481	1.55712	0.71626	0.69667	0.70647	1.0139
2	0.89855	0.86045	0.58503	0.56369	0.57436	1.0186
1	0.31352	0.29676	0.31352	0.29676	0.30514	1.0275

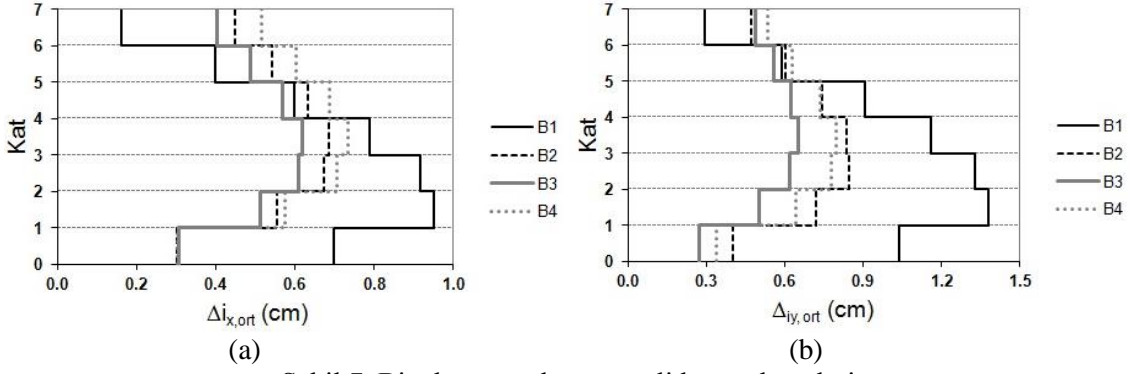
Tablo 12. B4 için Y doğrultusunda hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları (Torsional irregularity factors calculated in Y direction of B4)

Kat	$\delta_{i,max}$ (cm)	$\delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,max}$ (cm)	$\Delta_{i,min}$ (cm)	$\Delta_{i,ort}$ (cm)	η_{bi} (cm)
7	4.44666	4.44666	0.52343	0.52343	0.52343	1.0000
6	3.92323	3.92323	0.62810	0.62810	0.62810	1.0000
5	3.29513	3.29513	0.73427	0.73427	0.73427	1.0000
4	2.56086	2.56086	0.79803	0.79803	0.79803	1.0000
3	1.76283	1.76283	0.78026	0.78026	0.78026	1.0000
2	0.98257	0.98257	0.64235	0.64235	0.64235	1.0000
1	0.34022	0.34022	0.34022	0.34022	0.34022	1.0000

Çalışmada kullanılan tüm binaların birbirine dik iki deprem doğrultusu için burulma düzensizliği katsayısını hesaplamak amacıyla elde edilmiş kat yatay yerdeğiştirmelerinin ortalama değerleri kat seviyesine bağlı olarak Şekil 6’da gösterilmiştir. Birbirine dik iki deprem doğrultularının her biri için herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan göreceli kat ötelemelerinin ortalama değerlerinin kat seviyelerine göre değişimi ise Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 6. Binaların ortalama kat yatay yerdeğiştirmeleri
 (a) X doğrultusu (b)Y doğrultusu
 (Average lateral displacements of buildings)
 ((a) Direction X (b) Direction Y)



Şekil 7. Binaların ortalama görelî kat ötelemeleri
(a) X doğrultusu (b) Y doğrultusu
(Average storey drifts of buildings)
((a) Direction X (b) Direction Y)

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Mevcut bir binanın çerçeve düzlemi içinde eklenen betonarme perdeler ile güçlendirme yöntemi, ülkemizde en yaygın ve geleneksel olarak kullanılan güçlendirme yöntemidir. Bu çalışmada, yedi katlı, betonarme çerçeve sistemli mevcut bir binaya güçlendirme amacıyla eklenecek perdeler, binanın mimari projesi de göz önünde bulundurularak kat planı içerisinde üç farklı şekilde düzenlenmiştir. Pratikte uygulanması muhtemel bu farklı tip perde yerleşimlerinin binanın doğal titreşim periyodu, etkin kütle oranı gibi modal parametrelerine, görelî kat ötelemelerine ve yapısal performans analizinde Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için sağlanması gereken koşullara etkileri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen somut bulgular aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

1) Mevcut binaya güçlendirme perdelerinin eklenmesi durumunda binanın birinci doğal titreşim periyotlarının kısaldığı görülmüştür. Bu sonuç çalışmada dikkate alınan her üç durum için de geçerlidir. Güçlendirme perdelerinin eklendiği binaların yatay rijitlikleri artmış, periyotları kısalmıştır.

2) Y doğrultusunda etkili perde kesit alanı oldukça büyük olan B3'ün bu doğrultudaki birinci doğal titreşim periyodu, B2 ve B4'ün aynı doğrultudaki birinci doğal titreşim periyoduna göre daha çok kısalmıştır. Benzer nedenden dolayı, B4'ün Y doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyodu B2'ninkinden kısadır.

3) Her üç düzenlemede de, birbirine dik deprem doğrultularındaki etkin kütle oranları binanın mevcut durumda aynı doğrultulardaki etkin kütle oranlarına göre azalmıştır. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanmasında göz önünde bulundurulması gereken etkin kütle oranlarındaki bu azalmalara dikkat edilmelidir. Örneğin B4'ün X doğrultusundaki etkin kütle oranı %70'nin altında kalmıştır.

4) Çalışma kapsamında tablo ve grafik olarak sunulan kat yatay yerdeğiştirme değerleri incelendiğinde, güçlendirme amacıyla mevcut binanın çerçeve düzlemi içinde yerleştirilen perdelerin kat yatay yerdeğiştirmelerini belirgin bir şekilde azalttığı görülmektedir. Bu durum, güçlendirme perdelerinin binanın yatay rijitliğini arttırmasının bir sonucu olarak değerlendirilebilir.

5) Güçlendirme perdeleri kullanıldığında binanın mevcut durumu için hesaplanan kat yatay yerdeğiştirmelerindeki azalma oranı binanın en üst katından alt katlara inildikçe büyümektedir.

6) Çalışma kapsamında yapılan analiz sonuçları değerlendirildiğinde, güçlendirme perdelerinin binanın kısa doğrultusundaki kat yatay yerdeğiştirmelerini sınırlamada daha etkili oldukları görülmüştür.

7) Birbirine dik deprem doğrultularının her biri için B3'ün ortalama kat yatay yerdeğiştirme değerleri B2'ye ve B4'e göre daha küçüktür. Ayrıca, özellikle Y doğrultusunda, B3 için hesaplanan ortalama kat yatay yerdeğiştirmeleri mevcut binanın aynı doğrultusunda hesaplanan değerlere oranla çok küçülmüştür. Bu durum B3'ün Y doğrultusunda etkili perde kesit alanının oldukça büyük olmasının bir sonucudur.

8) Güçlendirme perdelerin her üç düzenlemede de kat planı içerisinde simetrik şekilde dağıtılmıştır. Böylece Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için kısıtlayıcı koşul olan burulma düzensizliği katsayısının 1.4'ün altında kalması sağlanmıştır. Simetrik olmayan düzenlemelerde bu koşulunun sağlanamayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçların, bu tip güçlendirme yöntemini kullanan mühendislere uygulamaya yönelik fikirler verebileceği düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. DBYBHY, (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [2]. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), (2011). *Depreme Karşı Yapısal Risklerin Azaltılması ve Yapısal Güçlendirme*, Editör: Prof.Dr. Mustafa Erdik, İstanbul.
- [3]. Rodriguez, M. and Park, R. (1994). Seismic load tests on reinforced concrete columns strengthened by jacketing, *ACI Structural Journal*, 91(2), 150-159.
- [4]. Celep, Z., (2002). Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesinde Genel Kurallar, *Prof. Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri*, İ.T.Ü., İstanbul.
- [5]. Xiao, Y. and Wu, H. (2002). Retrofit of reinforced concrete columns using partially stiffened steel jackets, *Journal of Structural Engineering*, (129), 6, 725-732.
- [6]. Köse, M. ve Özgen, K. (2003). Betonarme elemanların çelik lamalarla güçlendirilmesi, *İTÜ Dergisi Seri A: Mimarlık Planlama ve Tasarım*, 2(1), 41-50.
- [7]. Rizkalla, S., Hassan, T. and Hassan, N (2003). Design recommendations for the use of FRP for reinforcement and strenghtening of concrete structures, *Progress in Structural Engineering and Materials*, 5(1),16-28.
- [8]. Koçak, A. ve Önal, M., (2005). Betonarme Yapı Elemanlarında Kullanılan Onarım ve Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Bildiriler Kitabı 1. Cilt*, 109-121.
- [9]. Sucuoğlu H., (2007). Deprem yönetmeliği performans esaslı hesap yöntemlerinin karşılıklı değerlendirmesi, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 445, 25-36.
- [10]. Deneme, İ.Ö., ve Yerli, H.R., (2002). Betonarme yapılarda deprem hasarlarının belirlenmesi ve güçlendirme projesi uygulama örneği, *Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 17, 21–30.
- [11]. Arı, K., Elcuman, H., Uncuoğlu, E., Somuncu, B., Altun, F., Kara, H.B., Haktanır, T., (2006). Afyon depreminde hasar görmüş betonarme bir yapının güçlendirme çalışması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 81-96.

- [12]. Demir, F., Türkmen, M., Korkmaz, K.A., Tekeli, H., Çırak, İ., (2006). Betonarme Perdelerle Yapılan Güçlendirme Uygulamalarının Deprem Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi, *Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*, 211–217.
- [13]. Yön, B. ve Sayın, E., (2011). Betonarme Perdeler ve Çelik Çaprazlarla Yapılan Güçlendirmelerin Karşılaştırılması, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.
- [14]. Tekeli, H., Dilmaç, H., Türkmen, M., Demir, F., (2012). Güçlendirilmiş betonarme binaların deprem güvenliği, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2): 16-20.
- [15]. Kavşut, N. ve Yerli, H.R., (2012). Depremde hasar gören yapıların güçlendirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 167-174.
- [16]. Gürbüz, A. ve Tekin, M., (2013). Mevcut Betonarme Bir Binanın Perde Duvarlar Kullanılarak Deplasmana Dayalı Yöntemle Güçlendirilmesi, *2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay.
- [17]. İstanbul Sismik Riskin Azaltılması ve Acil Durum Hazırlık Projesi (İSMEP), (2009). *Depreme Karşı Yapısal Güçlendirme*, İstanbul.
- [18]. Computers and Structures, Inc., (2009). SAP 2000 Nonlinear, Version 14.0.0, Structural Analysis Program. Berkeley, CA.