Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(2), ss. 273-286, Haziran 2018
Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 33(2), pp. 273-286, June 2018

Betonarme Yapıların Deprem Etkisi Altında Performans Analizlerinin Yapılması ve Güçlendirilmesi

Jülide YÜZBAŞI[*1], Hüseyin R. YERLİ[1]

[1]*Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana*

Geliş tarihi: 25.06.2018 Kabul tarihi: 29.06.2018

Öz

Ülkemiz üzerinde etkin fay hatlarının bulunduğu bir yapıya sahiptir. Yaşanılan son depremler ülkemizde inşa edilmiş birçok yapının gerekli deprem güvenliği koşullarını sağlayamayacak düzeyde olduğunu göstermiştir [1-4]. Bu durum mevcut yapıların dinamik etki altındaki davranışlarını incelemeyi gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, mevcut yapılar sahip oldukları fiziksel koşullar göz önünde bulundurularak modellenmiş ve günümüz şartlarında farklı deprem düzeyleri etkisi altındaki performansları analiz edilmiştir. FEMA-356'ya paralel olarak revize edilen Türk Deprem Yönetmeliği'ne (TDY-2007) dayanan bir performans değerlendirmesi yapılmıştır [5-6]. Yapılan performans analizleri sonucunda yapıların depreme karşı yeterliliği ve yapıldığı dönem sonrasında meydana gelmiş olan gelişmelere uygunluğu irdelenmiştir. Performans yetersizliği durumunda, yapı emniyeti ve ekonomik koşullar dikkate alınarak, yapıya uygulanacak işlemler hakkında verilecek en uygun kararın ne olduğu belirlenmiştir. Mevcut yapıların deprem durumunda güvenli olup olmadığı kontrol edilmiştir. Gerekli hallerde güçlendirme çalışmalarının projelendirilmesi yapılmıştır [7]. Böylelikle ileride yaşanabilecek can ve mal kayıplarının önlenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapıların güçlendirilmesi, Deprem mühendisliği, Yapı dinamiği, Performans analizi, Yapı güvenliği

Performance Analysis and Strengthening of Reinforced Concrete Structures under Earthquake Impact

Abstract

Our country has a structure with active fault lines on it. Recent earthquakes have shown that many structures built in our country are not able to provide necessary earthquake safety conditions [1-4]. This makes it necessary to examine the behavior of existing structures under the dynamic influence. In this study, existing structures are modeled considering the physical conditions they have and their performances under different earthquake levels in today's conditions are analyzed. A performance assessment was performed based on the Turkish Earthquake Code (TEC-2007), which was revised in parallel on the FEMA-356 [5-6]. As a result of the performance analyzes made, the sufficiency of the structures against earthquakes and their suitability for the developments that took place after the time they were built was discussed. In case of performance inadequacy, it is determined what is the most appropriate decision to be taken regarding to the process that will be applied to the structure, taking into account the structural safety and economic conditions. Existing constructions have been checked to

[*]Sorumlu yazar (Corresponding author): Jülide YÜZBAŞI, *jyuzbasi@cu.edu.tr*

determine if they are safe in case of an earthquake. Projects of strengthening work have been carried out where it is necessary [7]. Thus, it is aimed to prevent any loss of life and property that can potentionally be experienced in the future.

Keywords: Strengthening of structures, Earthquake engineering, Structural dynamics, Performance analysis, Construction safety

1. GİRİŞ

Ülkemizin deprem kuşaklarının üzerinde bulunması, yapıların projelendirilmesi ve inşa edilmesi sırasında dinamik etkilerin göz önüne alınmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Geçmiş yönetmeliklere göre yapılan mevcut yapıların önemli bir kısmı günümüzde geçerli olan yönetmelik koşullarını sağlayamamaktadır. Ayrıca projesine uygun bir şekilde yapılmayan yapılar da günümüzde deprem performansı açısından yetersiz kalabilmektedir.

Türk deprem yönetmeliği, yeni yapılacak binalarda depreme dayanıklılığı esas alacak bir tasarım yapılmasını öngörmektedir [8]. Özellikle deprem sonrası ilk öncelikli kullanılacak yapıların (hastane, okul vs.) güvenliğinin ve deprem anındaki performanslarının bilinmesi gerekmektedir. Mevcut yapıların deprem güvenliğinin hedeflenen düzeye yükseltilebilmesi amacıyla onarım ve güçlendirme çalışmalarına başvurulmaktadır.

Deprem etkisi altındaki bir yapının davranışını belirleyebilmek için yapıya ait malzeme parametrelerinin tespiti ve sistem elemanlarının konumlarının belirlenmesi esastır. Doğru bir model kurulumu yapıya ait özelliklere olabildiğince yakın olan parametrelerin kullanılması ile mümkün olacaktır. Böylelikle model kurulum aşamasında girilen veriler yapının gerçek durumunu yansıttığı için binanın deprem etkisi altındaki davranışını en iyi şekilde sergileyecek sistem modeli elde edilmiş olacaktır.

Yapı hakkında bilgilerin toplanması ve model kurulumu aşamalarından sonra performans analizi gerçekleştirilir. Yapı deprem performansında yetersizlik söz konusu ise güçlendirme projesi hazırlanır. Ancak hazırlanan projenin uygulamaya konulması veya gerekirse yapının yıkılıp baştan yapılması, genel bir teamül çerçevesinde yapılacak ekonomik bir değerlendirme sonucu alınan karar ile mümkün olacaktır.

Yapılan çalışmada 1975 Deprem Yönetmeliğine göre projelendirilmiş ve inşa edilmiş olan Adana ili, Çukurova Sabancı İlkokulu ve Çukurova Vakıfbank Ortaokulu A Blok Binasının performans analizleri incelenmiştir. Elde edilen veriler sonucunda yapılar Türk Deprem Yönetmeliğinin ilgili hükümleri doğrultusunda değerlendirilecek, deprem tahkikinin yapılması ve revize edilmesi kapsamında yeniden hazırlanmış olan güçlendirme projelerinin uygulamaya geçirilip/geçirilmeyeceği konuları ele alınmıştır.

Çalışmada ele alınan her iki yapı da hâlihazırda okul binası olarak kullanılmaktadır. Söz konusu yapıların mevcut durum özellikleri ve modelde kullanılacak analiz parametrelerine ait şekil ve çizelgeler aşağıda verilmektedir.



Şekil 1. Sabancı İlkokulu ön cephe görünüşü



Şekil 2. Vakıfbank Ortaokulu ön cephe görünüşü

Çizelge 1. Yapı özellikleri ve analiz parametreleri

Yapının Adı:	Sabancı İlkokulu
Adresi:	Çukurova/Adana
Yapım Yılı:	1998 Öncesi
Kat Adedi (N):	Zemin kat+2 Normal kat
Kat Alanı (m^2):	Zemin Kat: 680 1. N. Kat: 680 2. N. Kat: 680
Toplam Yapı Alanı:	2040 m^2
Yapının İmal Ediliş Tarzı:	Betonarme Karkas
Okul Yapılarının TDY-2007'ye Göre Sağlaması Gereken Performans Düzeyleri:	**50 Yılda Aşılma Olasılığı:** *% 10 Hemen Kullanım Koşulu *% 2 Can Güvenliği Koşulu
Deprem Bölgesi:	2. Derece Deprem Bölgesi
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_o) :	0,30
Taban Kesme Kuvveti Katsayısı:	0,85
Hareketli Yük Katılım Katsayısı:	0,60
Spektrum Karakteristik Periyotları:	T_A=0,15, T_B=0,40
Yerel Zemin Sınıfı:	Z2
Sondaj Sonucu Elde Edilen Zemin Emniyet Gerilmesi Değeri (σ_{zem}) :	1,80 kgf/cm^2
Mevcut Bina Bilgi Düzeyi:	Orta Bilgi Düzeyi
Mevcut Bina Bilgi Düzeyi Katsayısı:	0,90
Mevcut Durum Beton Dayanımı (F_{ck}) :	6,26 MPa
Beton Elastisite Modülü Değeri:	221315 kg/cm^2
Mevcut Asal Donatı Sınıfı:	St I - St III
Mevcut Etriye Sınıfı:	St I (BÇI)
Taşıyıcı Elemanlarda Donatı Gerçekleşme Katsayısı:	Yatayda: 1,00 Düşeyde: 0,75
Mevcut Betonarme Perde En Kesit Alanı / Kat Alanı (Her İki Yön İçin)	X-Yönü:0,00688 Y-Yönü:0,00432

Çizelge 2. Yapı özellikleri ve analiz parametreleri

Yapının Adı:	Vakıfbank Ortaokulu
Adresi:	Çukurova/Adana
Yapım Yılı:	1998 Öncesi
Kat Adedi (N):	Zemin kat+2 Normal kat
Kat Alanı (m^2):	Zemin Kat: 321,93 1. N. Kat: 321,93 2. N. Kat: 321,93
Toplam Yapı Alanı:	965,79 m^2
Yapının İmal Ediliş Tarzı:	Betonarme Karkas
Okul Yapılarının TDY-2007'ye Göre Sağlaması Gereken Performans Düzeyleri:	**50 Yılda Aşılma Olasılığı:** *% 10 Hemen Kullanım Koşulu *% 2 Can Güvenliği Koşulu
Deprem Bölgesi:	2. Derece Deprem Bölgesi
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_o) :	0,30
Taban Kesme Kuvveti Katsayısı:	0,85
Hareketli Yük Katılım Katsayısı:	0,60
Spektrum Karakteristik Periyotları:	T_A=0,15, T_B=0,40
Yerel Zemin Sınıfı:	Z2
Sondaj Sonucu Elde Edilen Zemin Emniyet Gerilmesi Değeri (σ_{zem}) :	2,00 kgf/cm^2
Mevcut Bina Bilgi Düzeyi:	Orta Bilgi Düzeyi
Mevcut Bina Bilgi Düzeyi Katsayısı:	0,90
Mevcut Durum Beton Dayanımı (F_{ck}) :	7,77 MPa
Beton Elastisite Modülü Değeri:	230,500 kg/cm^2
Mevcut Asal Donatı ve Etriye Sınıfı:	St I (BÇI)
Taşıyıcı Elemanlarda Donatı Gerçekleşme Katsayısı:	Yatayda: 1,00 Düşeyde: 1,00
Mevcut Betonarme Perde En Kesit Alanı / Kat Alanı (Her İki Yön İçin)	X-Yönü: 0,0140 Y-Yönü: 0,0094

2. MATERYAL VE METOT

İncelenen okul yapılarının deprem tahkiki çalışmaları, Türk Deprem Yönetmeliğinde "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" bölümünde yer alan "Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri" esasları çerçevesinde sırasıyla, kısaca aşağıda verilen adımlar takip edilerek gerçekleştirilmiştir. [8]

İzlenen adımlar:

- Binanın Mevcut Durumunun Saptanması:
  - Röleve çalışmaları
  - Yapının mimari rölevesinin hazırlanması
  - Yapının taşıyıcı sistem rölevesinin hazırlanması
- Mevcut Malzeme Kalitesinin Belirlenmesi:
  - Beton Dayanımının Belirlenmesi
  - Donatı Sınıfı, Düzeni ve Miktarının Belirlenmesi

❖ Temel Sisteminin Belirlenmesi:

- Muayene çukurları açılması

❖ Binanın Oturduğu Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi:

- Sondaj çalışmalarının yapılması

❖ Yapıdan Bilgi Elde Edilmesi İşlemlerinin Sonucunda Oluşan Tahribatların Giderilmesi

- Sıyırma yapılan yerlerin sıva ile onarılması
- Beton numune alınan yerlerin özel tamir harcı (hacim alan, şişen) ile doldurularak kapatılması
- Temelde ve zeminde oluşan muayene/ sondaj çukurlarının kapatılması

❖ Elde Edilen Veriler Işığında Yapının 3 Boyutlu Modelinin Oluşturulması:

❖ İncelenen Okul Binaları İçin Yapı Performans Analizlerinin Gerçekleştirilmesi:

- Hemen kullanım koşulu
- Can güvenliği koşulu

❖ Performans Durumu İncelenerek Risk Değerlendirmesi Yapılması [9].

❖ Performans Yetersizliği Durumunda Yapı Güçlendirme Projesinin Hazırlanması

❖ Maliyet Analizi Sonucunda Güçlendirme veya Yeni Baştan Yapım Kararının Alınması

2.1. Yapı Beton Dayanımının Belirlenmesi

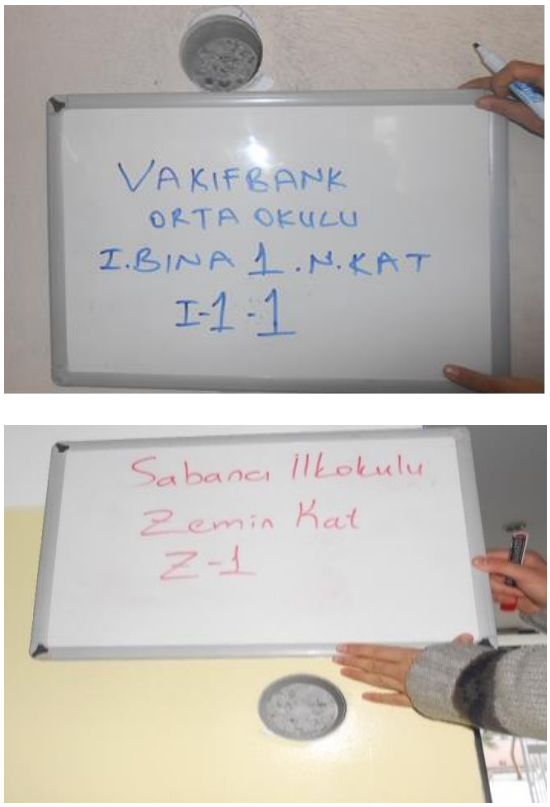
Yapıda kullanılmış olan mevcut beton kalitesinin bulunması amacıyla, binanın çeşitli yerlerindeki taşıyıcı sistem elemanlarından alınan beton numuneler basınç dayanımı testine tabi tutulmuş ve kullanılan beton sınıfı belirlenmiştir. Bu dayanım belirlenen standart sapma neticesinde ortalama bir değeri yansıtmaktadır.

2007 Deprem Yönetmeliğine göre "Orta Bilgi Düzeyinde" bilgi toplanırken binadan alınması gereken minimum beton numune sayısı aşağıda verilen şartlara göre belirlenmektedir [8].

- ✓ Her kattaki kolon veya perdelerden toplam 3 adetten az olmayacak,
- ✓ Binada toplam 9 adetten az olmayacak,
- ✓ Toplam alınan numune her 400 m^2'de 1 adetten az olmayacak şekilde beton numune alımı gerçekleştirilmiştir.

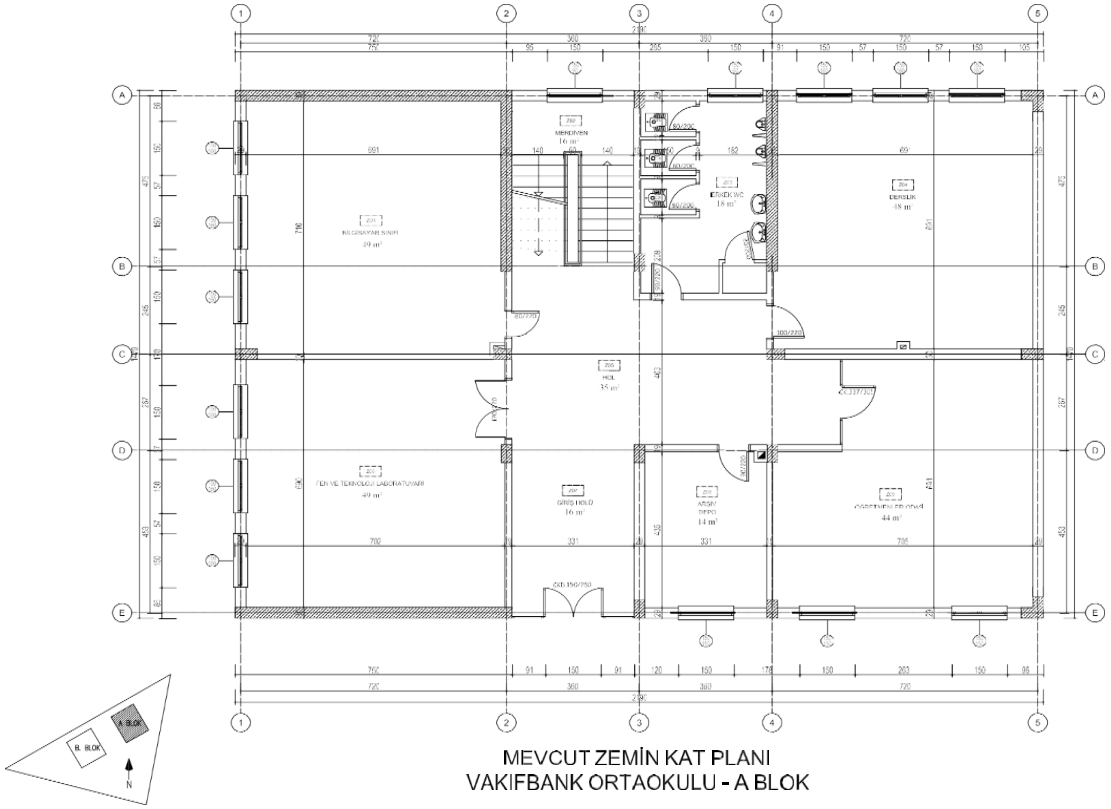
Çizelge 3. Beton numune değerleri

Yapının Adı:	Vakıfbank Ortaokulu	Sabancı İlkokulu
Kat Alanı (m^2):	322	680
Her Katta Alınan Beton Numune	9 adet	9 adet
Ortalama Beton Dayanımı (MPa)	7,77	6,26

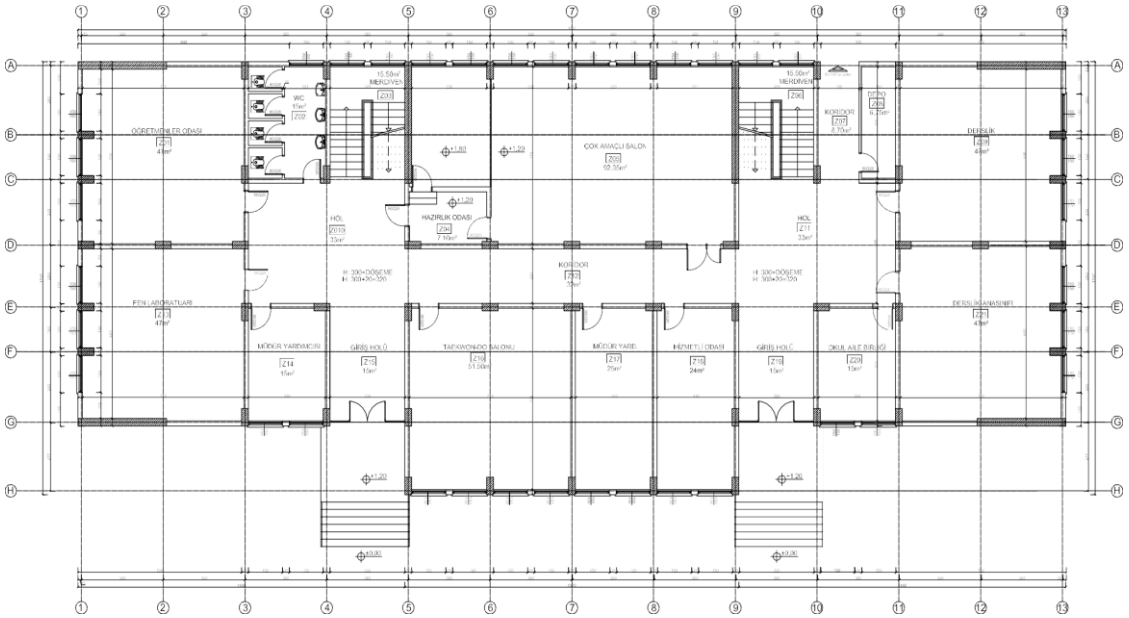


Şekil 3. Yapıdan beton numune alınması işlemleri

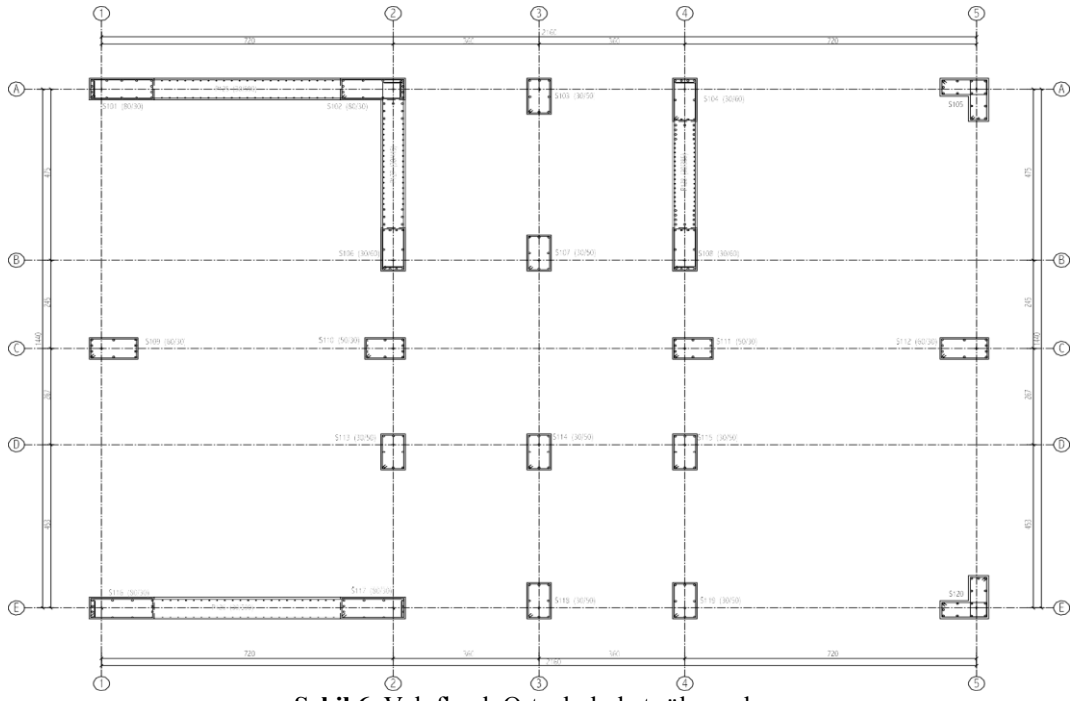
Bahsi geçen yapılara ait mimari planlar Şekil 4 ve Şekil 5'te, taşıyıcı sistem röleve planları ise Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.



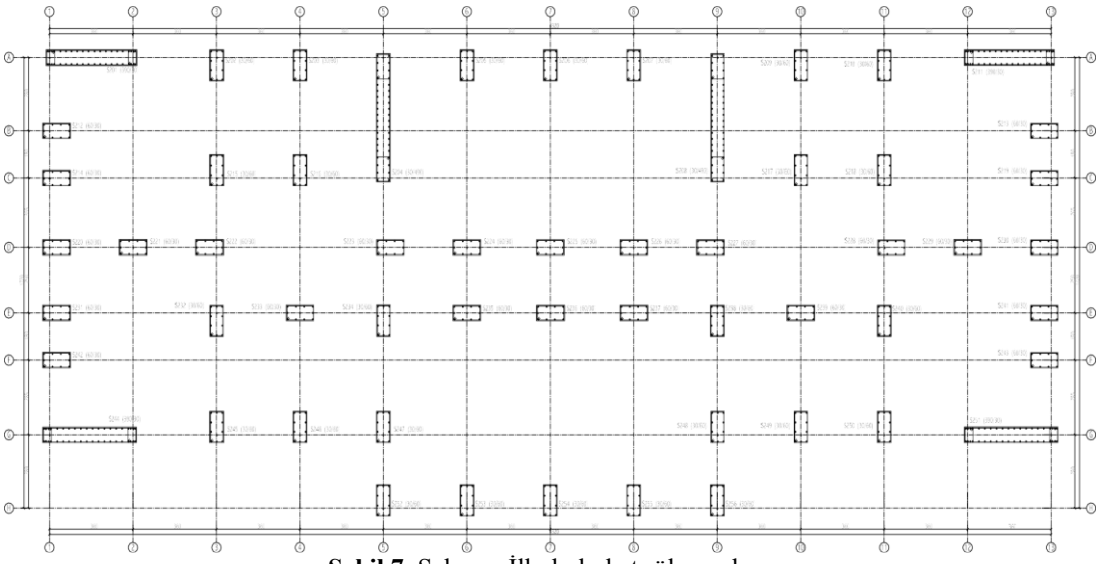
Şekil 4. Vakıfbank Ortaokulu kat mimari planı



Şekil 5. Sabancı İlkokulu kat mimari planı



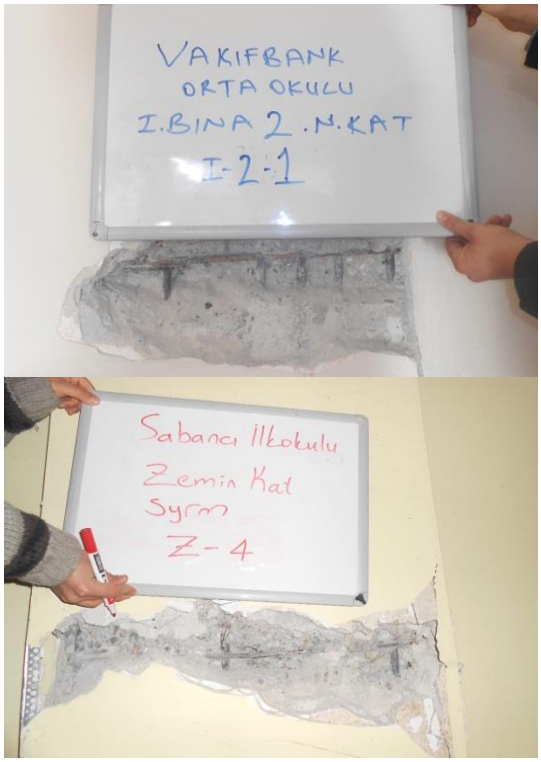
Şekil 6. Vakıfbank Ortaokulu kat röleve planı



Şekil 7. Sabancı İlkokulu kat röleve planı

2.1. Donatı Miktarı ve Sınıfının Belirlenmesi

Donatı kalite ve düzeninin belirlenebilmesi amacıyla binanın bazı kolon, perde ve kirişlerinde beton örtüsü sıyırma işlemi yapılmıştır. Ayrıca cihaz vasıtası ile hasarsız donatı taraması gerçekleştirilmiştir. Her iki yapıda belirlenen donatı sınıfları Çizelge 1 ve Çizelge 2' de verilmiştir.



Şekil 8. Donatı tespitinin yapılması işlemleri

Betonarme taşıyıcı elemanlar üzerinde yapılan sıyırma ve tarama işlemleri ile elde edilen verilerin sonucunda; taşıyıcı sistemde bulunan mevcut donatı miktarının, yapının yapıldığı yıl geçerli olan yönetmeliğin gerektirdiği minimum donatı miktarına oranıyla ortaya çıkan "***Donatı Gerçekleşme Katsayısı***" belirlenmiştir. Bu değer donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak mevcut durumdaki olası donatı miktarları belirlenir.

Bir tahmin durumu söz konusu olduğu için yönetmelikte de belirtildiği üzere hesaplamalarda kullanılan bu katsayı güvenli tarafta kalmak adına maksimum 1 (%100) değerini alabilir. Katsayının 1 değerini alması binanın yapıldığı yıl geçerli olan yönetmelik koşullarına göre elemanlarda olması gereken minimum donatı miktarının mevcut durumda sağlanmış olduğu anlamına gelmektedir.

Yapılan incelemeler sonucunda Vakıfbank Ortaokulu için düşey taşıyıcı elemanlarda donatı gerçekleşme katsayısı 1,07, yatay taşıyıcı elemanlarda ise 1,22 olarak belirlense de yönetmelik gereği bu değerler hesaplamalarda "1,00" olarak alınacaktır. Sabancı İlkokulu için düşey taşıyıcı elemanlarda donatı gerçekleşme katsayısı 0,75, yatay taşıyıcı elemanlarda ise 1,00 olarak belirlenmiştir.

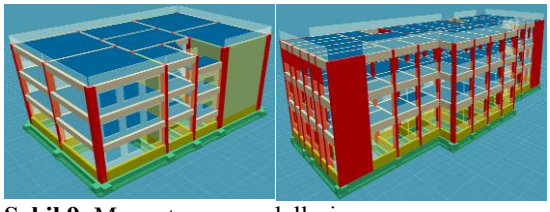
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapıların bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak modellenmesinden sonra, yapı kullanım amacı ve türüne göre belirlenen farklı büyüklükteki deprem etkileri altında, binaların performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapı kullanım amacı ve türüne bağlı olarak okullardan beklenen performans düzeyleri Çizelge 4'te verildiği gibidir.

Çizelge 4. Bina minimum performans koşulları

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	**Depremin Aşılma Olasılığı**		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: - Okullar, - Yatakhaneler, - Yurtlar/Pansiyonlar, - Askeri Kışlalar - Cezaevleri/Müzeler	-	**HK**	**CG**

Çizelgenin incelenmesinden de görüleceği üzere, bu çalışmada ele alınan binaların, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan bir deprem (orta ölçekli) için "***Hemen Kullanım***" performans düzeyini ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan bir deprem (büyük ölçekli) için "***Can Güvenliği***" performans düzeylerini sağlaması gerekmektedir [10].



Şekil 9. Mevcut yapı modelleri

3.1. Orta Ölçekli Bir Deprem Etkisi Altında Binaların Performans Analizinin Yapılması

Öncelikle, orta ölçekli bir deprem etkisinde binaların performans analizi yapılmıştır. Bu amaçla x- ve y- doğrultularında deprem analizleri, "Bina önem katsayısı" ve "Deprem yükü azaltma katsayısı" değerleri değiştirilmeden (I=1, R_a=1) gerçekleştirilmiştir. Yapılan performans analizleri sonucunda 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan orta ölçekli muhtemel bir deprem etkisi altında, binaya ait kiriş ve kolonlarda meydana gelen hasar yüzdeleri Vakıfbank Ortaokulu için Çizelge 5 ve Çizelge 6'da ve Sabancı İlkokulu için Çizelge 7 ve Çizelge 8'de belirtildiği gibidir.

Türk Deprem Yönetmeliğine göre herhangi bir katta, her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda Hemen Kullanım Performans Düzeyinin sağlanabilmesi için gerekli olan koşullar şunlardır:

- ✓ Kirişlerin %10'u Belirgin Hasar Bölgesine geçebilir.
- ✓ Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesinde olacaktır.
- ✓ Eğer gevrek olarak hasar gören elemanlar varsa bu elemanların güçlendirilmesi şartı ile söz konusu incelenen binanın Hemen Kullanım Performans Düzeyinde olduğu kabul edilir.

Her iki bina için de elde edilen veriler, bu yapıların orta ölçekli bir deprem etkisinde "Hemen Kullanım" performans düzeyini sağlayamadığını göstermektedir.

3.2. Büyük Ölçekli Bir Deprem Etkisi Altında Binaların Performans Analizleri

İncelenmekte olan yapılar insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar sınıfına girdiği için orta ölçekli bir deprem etkisinin yanı sıra, büyük ölçekli bir deprem etkisinde de performans analizleri yapılmıştır. Bu amaçla binanın x- ve y- doğrultularında, her iki yönde deprem analizleri, "Bina önem katsayısı" ve "Deprem yükü azaltma katsayısı" için sırasıyla I=1,5 ve R_a=1 değerleri kullanılarak yapılmıştır [11].

Türk Deprem Yönetmeliğine göre varsa gevrek olarak hasar gören elemanların onarılması ve güçlendirilmesi şartı ile aşağıda verilmiş olan koşulları sağlayan yapıların Can Güvenliği Performans Düzeyinde olduğu kabul edilmektedir. Bunun için gerekli olan koşullar şunlardır:

- ✓ Binada herhangi bir katta, sisteme uygulanan bütün deprem doğrultuları için yapılan hesap sonucunda, yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan (ikincil) kirişler hariç olmak üzere; kirişlerin en fazla %30'u, kolonların ise bir sonraki takip eden koşulda tanımlandığı kadarı İleri Hasar Bölgesine geçebilir.

- ✓ İleri Hasar Bölgesinde bulunan kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplamda yapmış oldukları katkı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta ise bu katta bulunan ve İleri Hasar durumunda olan kolonların kesme kuvvetleri toplamının, söz konusu kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en çok %40 olabilir.

- ✓ Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar bölgesi veya Belirgin Hasar bölgesindedir. 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.

- ✓ Deprem yönetmeliğinde kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulunun sağlanabilesi için: her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların alt ve üst ucundaki taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından %20 daha büyük olmalıdır.

Yapılan performans analizleri sonucunda 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan büyük ölçekli muhtemel bir deprem etkisi altında, binaya ait kiriş ve kolonlarda meydana gelen hasar yüzdeleri Vakıfbank Ortaokulu için Çizelge 9 ve

Çizelge 10'da Sabancı İlkokulu için ise Çizelge 11 ve Çizelge 12'de belirtildiği gibidir.

Her iki bina için de elde edilen veriler, bu yapıların büyük ölçekli bir deprem etkisinde "Can Güvenliği" performans düzeyini sağlayamadığı, dolayısı ile deprem etkisi altında **riskli** bina sınıfına girdiği anlaşılmaktadır [12].

Çizelge 5. Vakıfbank Ortaokulu için kiriş hasar yüzdeleri (Orta ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	90,9	9,1	0,0	0,0
2	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	91,7	8,3	0,0	0,0	91,7	8,3	0,0	0,0
1	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0
Max.	100,													9,1		

***MH: Minimum Hasar, BH: Belirgin Hasar**

Çizelge 6. Vakıfbank Ortaokulu için kolon hasar yüzdeleri (Orta ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	99,7	0,0	0,1	0,1	99,7	0,0	0,0	0,3	99,6	0,4	0,0	0,0	99,7	0,0	0,3	0,0
2	99,9	0,0	0,0	0,1	99,9	0,0	0,0	0,1	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0
1	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	99,1	0,0	0,0	0,9	99,1	0,0	0,0	0,9
Max.									100,	0,4					0,3	0,9

***IH: İleri Hasar, GB: Göçme Bölgesi**

Çizelge 7. Sabancı İlkokulu için kiriş hasar yüzdeleri (Orta ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	100,	0,0	0,0	0,0	96,0	0,0	4,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	95,1	0,0	0,0	4,9
2	78,0	22,0	0,0	0,0	84,0	12,0	4,0	0,0	75,6	24,4	0,0	0,0	70,7	17,1	0,0	12,2
1	91,7	8,3	0,0	0,0	89,6	29,2	4,2	0,0	75,6	22,0	0,0	2,4	73,2	19,5	2,4	4,9
Max.	100,						4,2			24,4						12,2

Çizelge 8. Sabancı İlkokulu için kolon hasar yüzdeleri (Orta ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	51,1	45,9	1,4	1,7	52,7	44,3	1,4	1,7	72,0	26,4	0,0	1,6	68,6	24,8	5,0	1,5
2	30,8	69,2	0,0	0,0	31,1	68,9	0,0	0,0	38,7	59,8	0,0	1,5	40,5	57,4	0,5	1,6
1	65,7	0,0	0,0	34,3	65,7	0,0	0,0	34,3	67,0	0,6	0,0	32,4	70,2	0,6	0,0	29,2
Max.		69,2		34,3					72,0						5,0	

Çizelge 9. Vakıfbank Ortaokulu için kiriş hasar yüzdeleri (Büyük ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	72,7	27,3	0,0	0,0	81,8	9,1	9,1	0,0
2	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	83,3	16,7	0,0	0,0	83,3	8,3	8,3	0,0
1	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	75,0	25,0	0,0	0,0	83,3	16,7	0,0	0,0
Max.	100,									27,3					9,1	

Çizelge10. Vakıfbank Ortaokulu için kolon hasar yüzdeleri (Büyük ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	99,7	0,0	0,0	0,3	99,7	0,0	0,0	0,3	97,9	1,7	0,4	0,0	98,9	0,7	0,0	0,3
2	99,7	0,2	0,0	0,1	99,9	0,0	0,0	0,1	94,9	5,1	0,0	0,0	96,5	3,5	0,0	0,0
1	99,8	0,0	0,0	0,2	99,8	0,0	0,0	0,2	15,5	83,6	0,0	0,9	15,9	83,2	0,0	0,9
Max.					99,9					83,6	0,4					0,9

Çizelge 11. Sabancı İlkokulu için kiriş hasar yüzdeleri (Büyük ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	80,0	20,0	0,0	0,0	90,0	6,0	0,0	4,0	78,0	22,0	0,0	0,0	75,6	19,5	0,0	4,9
2	38,0	48,0	14,0	0,0	38,0	48,0	10,0	4,0	36,6	34,1	22,0	7,3	36,6	36,6	14,6	12,2
1	54,2	41,7	4,2	0,0	60,4	29,2	6,3	4,2	36,6	39,0	22,0	2,4	36,6	36,6	19,5	7,3
Max.		48,0			90,0						22,0					12,2

Çizelge 12. Sabancı İlkokulu için kolon hasar yüzdeleri (Büyük ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	33,0	58,4	5,5	3,1	32,9	58,5	5,5	3,1	52,9	33,5	7,0	6,5	48,0	34,5	8,3	9,2
2	4,9	93,5	1,6	0,0	6,4	92,0	1,6	0,0	15,5	40,9	42,1	1,5	13,4	44,3	40,2	2,1
1	52,1	13,7	0,0	34,3	52,1	13,6	0,0	34,3	26,8	40,8	0,0	32,4	29,2	41,6	0,0	29,2
Max.		93,5		34,3					52,9		42,1					

3.3. Yapıların Güçlendirilmesi Çalışmaları

Çalışmada incelenen okul yapılarının güçlendirilmesinde takip edilen işlem adımları sırasıyla aşağıda verilmiştir. Bunlar:

- Yapılacak güçlendirme işleminin bilgisayar modeli üzerine işlenmesi
- Güçlendirilmiş yeni modelin performans analizlerinin gerçekleştirilmesi
- Güçlendirilmiş yapı performansının yeterlilik kontrolü
- Güçlendirme uygulama projesinin hazırlanması
- Proje inşaat maliyetinin hesaplanması ve bu sonucun incelenmesiyle yapının yıkılıp baştan yapılmasına veya daha uygun bir çözümse, hazırlanan güçlendirme projesinin hayata geçirilmesine karar verilmesi.

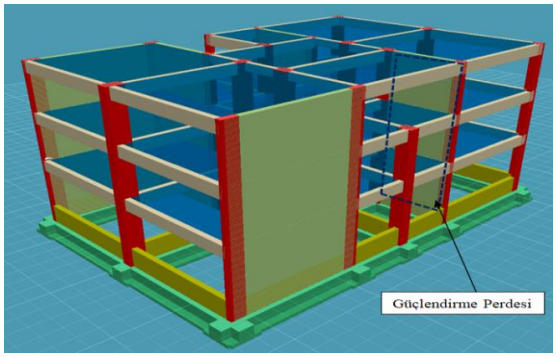
İncelenen binaların kullanım amacı ve mimari yapıları dikkate alındığında, mevcut betonarme çerçeveler içine betonarme perde ilavesi ile güçlendirilme yapılmasının ayrıca gevrek kolonların mantolama işlemi ile onarılmasının uygun bir yöntem olduğuna karar verilmiştir [13].

3.4. Orta ve Büyük Ölçekli Bir Deprem Etkisi Altında Güçlendirilmiş Yapıların Performans Analizleri

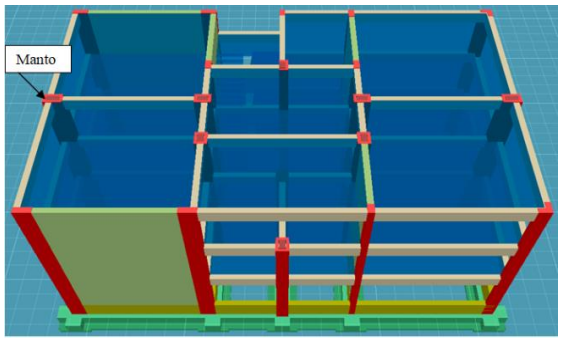
Güçlendirilmiş durum sonrasında yapılan performans analizleri sonucunda 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan *orta ölçekli* muhtemel bir deprem etkisi altında, binaya ait kiriş ve kolonlarda meydana gelen hasar yüzdeleri Vakıfbank Ortaokulu için Çizelge 13 ve Çizelge 14'de ve Sabancı İlkokulu için Çizelge 15 ve Çizelge 16'da belirtildiği gibidir.

Yine güçlendirilmiş durum sonrasında, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan *büyük ölçekli* muhtemel bir deprem etkisi altında, binaya ait kiriş ve kolonlarda meydana gelen hasar yüzdeleri Vakıfbank Ortaokulu için Çizelge 17 ve Çizelge 18'de Sabancı İlkokulu için ise Çizelge 19 ve Çizelge 20'de belirtildiği gibidir.

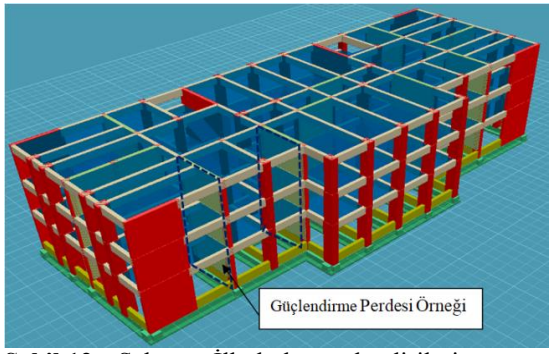
Betonarme perde ilavesi ve gevrek kolonların manto ile onarılması sonucu ortaya çıkan yapı modelleri ise Şekil 10-13'te verilmektedir.



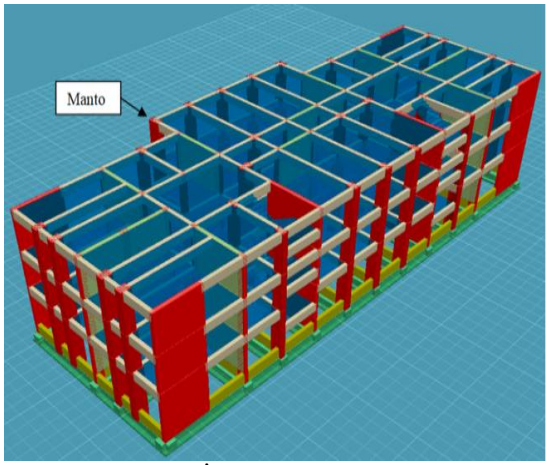
Şekil 10. Vakıfbank Ortaokulu güçlendirilmiş yapıya ait bilgisayar modeli



Şekil 11. Vakıfbank Ortaokulu onarım ve güçlendirme elemanları eklenmiş yapıya ait bilgisayar modeli



Şekil 12. Sabancı İlkokulu güçlendirilmiş yapıya ait bilgisayar modeli



Şekil 13. Sabancı İlkokulu onarım ve güçlendirme elemanları eklenmiş yapıya ait bilgisayar modeli

Çizelge 13. Vakıfbank Ortaokulu için kiriş hasar yüzdeleri (Orta ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	90,0	10,0	0,0	0,0	90,0	10,0	0,0	0,0
2	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0
1	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0
Max.	**100,**									**10,0**						

Çizelge 14. Vakıfbank Ortaokulu için kolon hasar yüzdeleri (Orta ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	99,8	0,2	0,0	0,0	99,7	0,3	0,0	0,0
2	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0
1	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0
Max.	**100,**													**0,3**		

Çizelge 15. Sabancı İlkokulu için kiriş hasar yüzdeleri (Orta ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0
2	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0
1	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0
Max.	**100,**															

Çizelge 16. Sabancı İlkokulu için kolon hasar yüzdeleri (Orta ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	99,9	0,1	0,0	0,0	99,9	0,1	0,0	0,0
2	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0
1	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0
Max.	**100,**													**0,1**		

Çizelge 17. Vakıfbank Ortaokulu için kiriş hasar yüzdeleri (Büyük ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	70,0	30,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	70,0	20,0	10,0	0,0	70,0	30,0	0,0	0,0
2	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	81,8	18,2	0,0	0,0	81,8	18,2	0,0	0,0
1	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	54,5	45,5	0,0	0,0	63,6	36,4	0,0	0,0
Max.					**100,**					**45,5**	**10,0**					

Çizelge 18. Vakıfbank Ortaokulu için kolon hasar yüzdeleri (Büyük ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	99,8	0,0	0,2	0,0	99,7	0,0	0,3	0,0
2	99,9	0,1	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	99,8	0,2	0,0	0,0	99,7	0,3	0,0	0,0
1	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	78,5	21,5	0,0	0,0
Max.	**100,**													**21,5**	**0,3**	

Çizelge 19. Sabancı İlkokulu için kiriş hasar yüzdeleri (Büyük ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	94,3	5,7	0,0	0,0	94,3	5,7	0,0	0,0
2	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	94,3	5,7	0,0	0,0	91,4	8,6	0,0	0,0
1	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	85,7	14,3	0,0	0,0
Max.	**100,**													**14,3**		

Çizelge 20. Sabancı İlkokulu için kolon hasar yüzdeleri (Büyük ölçekli deprem)

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	MH	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**	**MH**	**BH**	**IH**	**GB**
3	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	99,9	0,0	0,1	0,0	99,9	0,0	0,0	0,0
2	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0	100,	0,0	0,0	0,0
1	91,8	8,2	0,0	0,0	91,8	8,2	0,0	0,0	94,8	5,2	0,0	0,0	95,1	4,9	0,0	0,0
Max.	**100,**					**8,2**					**0,1**					

4. SONUÇLAR

Yapılan performans analizleri sonucunda ele alınan her iki yapının da mevcut halleriyle 2. derece deprem bölgelerinde [14] meydana gelmesi muhtemel orta ve büyük ölçekli deprem etkileri altında yeterli deprem güvenliğine sahip olmadığı anlaşılmıştır.

Elde edilen sonuçlar yönetmelik koşulları dikkate alınarak incelendiğinde, güçlendirilmiş binaların orta ölçekli bir deprem etkisi altında "Hemen Kullanım" performans düzeyini, büyük ölçekli bir deprem etkisinde ise "Can Güvenliği" performans düzeyini sağladığını göstermektedir.

Bahsi geçen yapılar için güçlendirme öncesi ve sonrası durum Çizelge 21 ve Çizelge 22'de belirtilmiştir.

Bakanlığın belirlediği 3B grubu yapılar kategorisinde olan yapıların yeniden yapım yaklaşık maliyetleri ve güçlendirilmeleri halinde maliyetleri hesaplanmıştır. Genel anlayış bu oranın 25-30 yıllık yapılar için %40'ı geçmesi durumunda yapının yıkılıp baştan yapılması, %40'ın altında kalması durumunda ise güçlendirme projesinin hayata geçirilmesi yönündedir [15].

Maliyetlerin birbirlerine oranlanması sonucunda:

Vakıfbank ortaokulunun yıkılıp yeni baştan yapılmasındansa, güçlendirme projesinin uygulamaya konulmasının daha uygun ve ekonomik bir çözüm olduğu anlaşılmaktadır.

Sabancı ilkokulunda ise belirlenen maliyet oranı dikkate alındığında güçlendirmenin uygun ve ekonomik bir çözüm olmayacağı, binanın yıkılıp yeni baştan yapılmasının daha uygun olacağı anlaşılmaktadır.

Son olarak; ülkemizde hızlı bir yöntem olan, patlayıcı kullanılarak yıkım yapılması yerine iş makineleriyle uzun bir süreç alan yıkım işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bahsi geçen maliyet oranlaması tam olarak %40 seviyesinde ise hangi seçeneğin daha fazla zaman alacağı vb. etmenler değerlendirilerek karşılaştırma yapılması mümkündür [16].

Çizelge 21. Güçlendirme çalışması sonuçları

Yapının Adı:	Vakıfbank
Güçlendirme ve Onarım Yöntemi	BA Perde İlavesi/Manto
Güçlendirme Elemanı Beton Kalitesi/Donatı Tipi	C30/BÇIII
Yapı Güçlendirme Maliyeti	120.000 TL
Yapı Yeniden Yapım Maliyeti	725.000 TL
Güçlendirme Maliyeti/Yeniden Yapım Maliyeti	**%16,55<%40**
Mevcut Betonarme Perde En Kesit Alanı/Kat Alanı	X Yönü:
	0,014
	Y Yönü:
	0,0094
Güçlendirme Perdesi En Kesit Alanı/Kat Alanı	X Yönü:
	-
	Y Yönü:
	0,0045
Güçlendirilmiş Durum Toplam Perde En Kesit Alanı/Kat Alanı	X Yönü:
	0,014
	Y Yönü:
	0,0139

Çizelge 22. Güçlendirme çalışması sonuçları

Yapının Adı:	Sabancı İlk.
Güçlendirme ve Onarım Yöntemi	BA Perde İlavesi/Manto
Güçlendirme Elemanı Beton Kalitesi/Donatı Tipi	C30/BÇIII
Yapı Güçlendirme Maliyeti	635.000 TL
Yapı Yeniden Yapım Maliyeti	1.530.000 TL
Güçlendirme Maliyeti/Yeniden Yapım Maliyeti	**%41,5>%40**
Mevcut Betonarme Perde En Kesit Alanı/Kat Alanı	X Yönü:
	0,00688
	Y Yönü:
	0,00432
Güçlendirme Perdesi En Kesit Alanı/Kat Alanı	X Yönü:
	0,00732
	Y Yönü:
	0,00935
Güçlendirilmiş Durum Toplam Perde En Kesit Alanı/Kat Alanı	X Yönü:
	0,0142
	Y Yönü:
	0,01367

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma "Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi" tarafından desteklenmiştir. (Proje No: FBA-2017-9411).

6. KAYNAKLAR

1. Arslan, M.H., Korkmaz, H.H., 2007. What is to be Learned from Damage and Failure of Reinforced Concrete Structures During Recent Earthquakes in Turkey? Engineering Failure Analysis 14, 1–22.

2. Sezen H., Whittaker AS., Elwood KJ., Khalid, M. 2003. Performance of Reinforced Concrete Buildings During the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake and Seismic Design and Construction Practise in Turkey. Eng Struct 25(1), 103–14.

3. Dogangun, A., 2004. Performance of Reinforced Concrete Buildings During the May 1, 2003 Bingol Earthquake in Turkey. Engineering Structures, 26(6), 841–56.

4. Bruneau M., 2002. Building Damage from the Marmara, Turkey Earthquake of August 17, 1999. Journal of Seismology, 6(3), 357–77.

5. FEMA 356 Prestandard and Commentary for the seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency, November 2000.

6. Japan International Cooperation Agency. Study on a Disaster Prevention/Mitigation Basic Plan in Istanbul Including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey. Report FEMA 273 (Guidelines) and Report 274 (Commentary), Washington, DC, 1997.

7. Deneme, İ.Ö., Yerli, H.R., 2002. Betonarme Yapılarda Deprem Hasarlarının Belirlenmesi ve Güçlendirme Projesi Uygulama Örneği, Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 17, 21–30.

8. Turkish Earthquake Code: Specifications for Structures to be Built in Disaster Areas. Ankara, Turkey: Earthquake Research Department, General Directorate of Disaster Affairs, Ministry of Public Works and Settlement; 2007.

9. Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI). The Novem- ber 09, 2011 Edremit-Van, Turkey earthquake (ML¼ 5.6). Preliminary report. Istanbul, Turkey: Department of Earthquake Engineering, Bogazici University, 2011.

10. Celep, Z., Kumbasar, N., 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İTÜ Yayınları, İstanbul, 596.

11. Hatzigeorgiou, GD., 2010. Ductility Demands Control under Multiple Earthquakes using Appropriate Force Reduction Factors. Journal of Earthquake and Tsunami, 4(3), 231–250.

12. Istanbul Technical University. Van Ilinde Bulunan MEB Okul Binalarının Hasar Durumlarına ait Rapor. ITU technical, report; 2011 [in Turkish].

13. Celep, Z., 2002. Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesinde Genel Kurallar, Prof. Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri, İ.T.Ü., İstanbul.

14. Earthquake Department of the Disaster and Emergency Management Pre-sidency (AFAD). Ankara, Turkey, 2018.

15. Mutlu, A.H., 2015. Mevcut Yapıların Güçlendirilmesi ya da Yıkılmasına Karar Verilmesi Aşamasında Göz Önüne Alınması Gereken Kriterler. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 14-16 Ekim 2015, DEÜ, İzmir.

16. Pun, S.K., Liu, C., Langston, C., 2006. Case Study of Demolition Costs of Residential Buildings, Construction Management and Economics, 24:(9), 967-976.