

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BETONARME OKUL BİNALARINDA
GÜÇLENDİRME PERDELERİNİN ETKİNLİĞİNİN
DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZ İLE İRDELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Orkun GÖRGÜLÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BETONARME OKUL BİNALARINDA
GÜÇLENDİRME PERDELERİNİN ETKİNLİĞİNİN
DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZ İLE İRDELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Orkun GÖRGÜLÜ
(501082011)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Beyza TAŞKIN

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501082011 numaralı Doktora Öğrencisi **Orkun GÖRGÜLÜ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MEVCUT BETONARME OKUL BİNALARINDA GÜÇLENDİRME PERDELERİNİN ETKİNLİĞİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZ İLE İRDELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Beyza TAŞKIN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Yasin FAHJAN
Gebze Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Kadir GÜLER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Güray ARSLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **12 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **22 Ocak 2015**

Teyzem Feruzan'a,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, mevcut betonarme okul binalarında kullanılan güçlendirme perdelerinin etkinliğine yönelik doğrusal olmayan dinamik analiz ile gerçekleştirilen çalışmalar yer almaktadır.

Tez çalışmam süresince, her türlü destek ve özverisini esirgemeyen, kıymetli bilgi ve önerileriyle tezin gelişimine büyük katkı sağlayan değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Beyza TAŞKIN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yorum ve tavsiyeleri ile tez çalışmama önemli katkıları olan tez izleme jürimdeki değerli hocalarım, Sayın Doç. Dr. Necmettin GÜNDÜZ ve Sayın Doç. Dr. Yasin FAHJAN'a teşekkür ederim. Ayrıca, öğrenim hayatım boyunca üzerimde büyük emekleri olan değerli hocalarıma şükranlarımı sunarım.

Çalışmam boyunca göstermiş oldukları desteklerden ötürü Sayın Araş. Gör. İnş. Yük. Müh. Ülgen Mert TUĞSAL ile Sayın İnş. Yük. Müh. Merih SÖZER'e teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere ulaşmamı sağlayan, maddi manevi her türlü desteği ve fedakarlığı normalin çok üstünde sağlayan ailem, annem Yasemin GÖRGÜLÜ, babam Ali GÖRGÜLÜ ve kardeşim Erman GÖRGÜLÜ ile Serkan ERDOĞAN'a şükranlarımı sunarım.

Doktora öğrenimim boyunca sağladıkları burstan dolayı tezin tamamlanmasında pay sahibi olan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Aralık 2014

Orkun Görgülü
(İnşaat Yüksek Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ	xxi
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	4
1.2.1 Sayısal çalışmalar.....	4
1.2.2 Deneysel çalışmalar	14
2. BETONARME PERDELERİN MATEMATİK MODELLENMESİ.....	29
2.1 Modelleme Yaklaşımları	29
2.1.1 Mikroskopik modeller.....	29
2.1.2 Makroskopik modeller	31
2.2 Yapısal Analiz Programı Perform-3D ile Perdelerin Modellenmesi.....	38
2.3 Yapısal Analiz Programı Perform-3D ile Malzemenin Doğrusal Olmayan Davranışının Modellenmesi	40
2.4 Perform-3D Yapısal Analiz Programında Yapılan Kabuller	43
3. PERDE MATEMATİK MODELİNİN DENEY VERİLERİ İLE KALİBRASYONU	45
3.1 Fiber Eleman Sıklığı ve Plastik Mafsallık Uzunluğu Bakımından Perde Matematik Modelinin Kalibrasyonu	45
3.2 Malzeme Davranışı Bakımından Matematik Model Kalibrasyonu.....	55
3.2.1 Matematik modelin SERIES deneyleri ile kalibrasyonu	55
3.2.2 Matematik modelin ODTÜ deneyleri ile kalibrasyonu.....	62
3.2.3 Matematik modelin literatürde sıklıkça kullanılan malzeme davranış modelleri ile analizi.....	67
4. PARAMETRİK ÇALIŞMADA KULLANILACAK OKUL BİNALARININ YAPISAL ÖZELLİKLERİ VE MATEMATİK MODELLENMESİ.....	73
4.1 Mevcut Betonarme Okul Binasının Yapısal Özellikleri.....	73
4.2 Parametrik Çalışma İçin Üretilen Okul Binaları	75
4.3 Okul Binalarının Matematik Modelinin Oluşturulması ve Optimizasyonu	76
4.4 DBYBHY-2007'de Tanımlı Performansa Dayalı Değerlendirme Esasları	83
4.4.1 Bilgi düzeyi katsayısı	83
4.4.2 Yapı elemanlarının hasar sınırları ve hasar bölgeleri.....	83
4.4.3 Mevcut okul binaları için öngörülen deprem düzeyleri ve performans seviyeleri	84
4.5 Sayısal Analizlerde Kullanılacak Yer Hareketlerinin Tayini.....	85

5. FARKLI YAPISAL ÖZELLİKLERE SAHİP OKUL BİNALARININ	
SAYISAL ANALİZLERİ İLE ELDE EDİLEN VERİLER	91
5.1 Betonarme Okul Binalarının Değişken Parametreler Altında Güçlendirme	
Perde Oranına Bağlı Sismik Performansı	91
5.1.1 Üç katlı okul binasının doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları	91
5.1.2 Dört katlı okul binasının doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları	103
5.1.3 Beş katlı okul binasının doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları	114
5.2 Dayanım Azaltma Katsayısının Betonarme Okul Binalarında Güçlendirme	
Perde Oranına Bağlı Değişimi	125
5.3 Betonarme Okul Binalarında Gerekli Güçlendirme Perde Oranlarını	
Hesaplamaya Yönelik Bilgisayar Programı	130
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	135
KAYNAKLAR.....	141
EKLER.....	147
ÖZGEÇMİŞ.....	175

KISALTMALAR

ACI-318	: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary
ASCE/SEI-41	: American Society of Civil Engineers/Seismic Rehabilitation of Existing Buildings
CG	: Can Güvenliği
DBYBHY-07	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EDF	: Energy Dissipation Factor
FEMA-356	: Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings
FRP	: Fiber Reinforced Polymer
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
MN	: Minimum Hasar Sınırı
SERFIN	: Seismic Retrofitting of RC Frames with RC Infilling
SERIES	: Seismic Engineering Research Infrastructures for European Synergies
TS-500	: Türk Standartları Enstitüsü, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
USF	: Unloading Stiffness Factor

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Perde oranının bulunmasında kullanılan parametre kabulleri (Atımtay, 2000b).....	5
Çizelge 1.2 : Binalarda gerekli perde oranının katlara bağlı değişimi (Atımtay, 2000b).....	5
Çizelge 1.3 : Kat sayısına bağlı perde oranı-1 (Tekel, 2006).	8
Çizelge 1.4 : Kat kesme kuvvetinin hesaplanmasında kullanılan parametre kabulleri (Tekel, 2006).	9
Çizelge 1.5 : Kat sayısına bağlı perde oranı-2 (Tekel, 2006).	9
Çizelge 1.6 : Kat sayısına bağlı perde oranı-3 (Tekel, 2006).	10
Çizelge 1.7 : Perde oranına bağlı yapı lineer ve lineer olmayan çatı katı ötelenme oranları (Soydaş, 2009)	12
Çizelge 1.8 : Yapı performansına bağlı önerilen perde oranı (Soydaş, 2009).....	12
Çizelge 1.9 : Test edilen kısmi dolgu duvarla güçlendirilen betonarme çerçevelerin özellikleri (Anıl ve Altın, 2007)	19
Çizelge 1.10 : Test edilen kısmi dolgu duvarla güçlendirilen betonarme çerçevelerin özellikleri (Kara ve Altın, 2006).	21
Çizelge 1.11 : Perde yatay yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması (Kara ve Altın, 2006).....	21
Çizelge 1.12 : Perde donatılarının katlara göre değişimi (Chrysostomou ve diğ, 2012)	24
Çizelge 1.13 : Betonarme çerçevelerin perdeler ile güçlendirilmesine yönelik yapılan deneyler.	28
Çizelge 3.1 : Betonarme çerçeve bindirme bölgesi gerilme kayıpları (Canbay ve diğ, 2003).....	64
Çizelge 4.1 : Okul binalarının oluşturulmasında kullanılan değişken parametreler..	76
Çizelge 4.2 : Yapı modellerinin farklı özellikteki bilgisayarlar ile analiz süreleri....	81
Çizelge 4.3 : Binalar için bilgi düzeyi katsayıları.....	83
Çizelge 4.4 : Parametrik analizlerde kullanılan betonarme okul binasının kesit hasar sınır değerleri.....	84
Çizelge 4.5 : Göreli kat ötelenmelerinin hasar sınırları için limit değerleri.	84
Çizelge 4.6 : Parametrik çalışmada kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri ve spektral ivme ölçekleme katsayıları	88
Çizelge 4.7 : Şiddetli depreme göre ölçeklendirilmiş ivme kayıtlarının sismolojik özellikleri.....	88
Çizelge 5.1 : 3KS220 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.....	93
Çizelge 5.2 : 3KS420 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.....	93
Çizelge 5.3 : 4KS220 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.....	103
Çizelge 5.4 : 4KS420 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.....	103
Çizelge 5.5 : 5KS220 yapısının betonarme kirişler açısından yapı performansı.....	114
Çizelge 5.6 : 5KS420 yapısının betonarme kirişler açısından yapı performansı.....	114
Çizelge 5.7 : Betonarme binaların yapısal özellikleri.....	130

Çizelge 5.8 : Okul binaları için yazılım ile hesaplanan gerekli güçlendirme perde oranları.	133
Çizelge 6.1 : Mevcut betonarme okul binaları için gerekli güçlendirme perde oranları.	136
Çizelge 6.2 : Gerekli güçlendirme perde oranlarının karşılaştırılması.	138
Çizelge A.1 : D3KS220 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.	148
Çizelge A.2 : D3KS420 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.	148
Çizelge A.3 : D4KS220 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.	157
Çizelge A.4 : D4KS420 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.	157
Çizelge A.5 : D5KS220 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.	166
Çizelge A.6 : D5KS420 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.	166

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tipik konsol perdeli yapının plan ve kesiti (Gülkan ve Utkutuğ, 2003)....	6
Şekil 1.2 : Duvar yüzdesine göre ortalama kat ötelenmesi (Gülkan ve Utkutuğ, 2003).	6
Şekil 1.3 : Duvar yüzdesine göre yerdeğiştirme süneklik oranı (Gülkan ve Utkutuğ, 2003).	7
Şekil 1.4 : Değişken eksenel yük ve H/D oranı altında perde oranı (Gülkan ve Utkutuğ, 2003).....	7
Şekil 1.5 : Tipik yapıda perde kesme kuvveti ile moment değişimi (Tekel, 2006)...	10
Şekil 1.6 : Parametrik çalışmada kullanılan tipik model planı (Soydaş, 2009).....	11
Şekil 1.7 : Perde oranına bağlı yapı parametreleri (Soydaş, 2009).	12
Şekil 1.8 : Parametrik incelemede kullanılan tipik yapı planları (Kazaz, 2010).	13
Şekil 1.9 : Perde oranına bağlı beton basınç birim şekildeğiştirmeleri (Kazaz, 2010).	14
Şekil 1.10 : Perde oranına bağlı taban dönmeleri (Kazaz, 2010).	14
Şekil 1.11 : Güçlendirme perdelerinin mevcut çerçeve içerisinde değişken konumu.	15
Şekil 1.12 : Tipik yük çevrim diyagramı (Türk ve diğ, 2003).....	17
Şekil 1.13 : Kısmi güçlendirilmiş betonarme perde çerçevelerinin deney sonu hasar durumları (Anıl ve Altın, 2002).	19
Şekil 1.14 : Dış perde duvar ile güçlendirme deneyleri, tipik deney düzenekleri (Kaplan ve diğ, 2009 ile Arslan ve diğ, 2010).....	22
Şekil 1.15 : Güçlendirilmiş betonarme perdelerden oluşan betonarme sistemin geometrisi (Chrysostomou ve diğ, 2012).....	23
Şekil 1.16 : Güçlendirilmiş betonarme perdelerden oluşan tam ölçek 3 katlı betonarme sistem (Chrysostomou ve diğ, 2012).....	24
Şekil 1.17 : Mevcut çerçeve sisteme betonarme perde ankraj tipleri (Chrysostomou ve diğ, 2012).....	24
Şekil 1.18 : Güney çerçevede kat hizasında eksik donatı bindirme boyu nedeniyle meydana gelen hasarlar (Chrysostomou ve diğ, 2012).....	25
Şekil 1.19 : Deney elemanlarının yapım aşamaları (Strepelias ve diğ, 2012).....	26
Şekil 1.20 : Deney elemanlarının test sonu hasar durumları (Strepelias ve diğ, 2012).	26
Şekil 2.1 : Sonlu elemanlar yöntemi ile perdelerin modellenmesi.	30
Şekil 2.2 : Çok katmanlı kabul eleman modeli (Fahjan ve diğ, 2011b).	31
Şekil 2.3 : Eşdeğer kiriş yöntemi ile modelleme (Wallace ve diğ, t.y.).	32
Şekil 2.4 : Perdeyi çevreleyen kirişlerin perde davranışına etkisi (Harris, 1999).	32
Şekil 2.5 : Kafes sistem benzeşim modeli (Oosterle ve diğ, 1984).	33
Şekil 2.6 : Üç doğrulu eleman modeli (TVLEM) (Kabeyasawa ve diğ, 1983).	34
Şekil 2.7 : Çok doğrulu eleman modeli (MVLEM) (Vulcano ve diğ, 1988).....	34
Şekil 2.8 : MVLEM modelinin deney verileri ile karşılaştırılması (Vulcano, 1992).35	
Şekil 2.9 : Çeşitli sıklıkta kurulan MVLEM (Jalali ve Dashti, 2010).	35

Şekil 2.10 : Çeşitli sıklıkta kurulan MVLEM modelinin yatay yük-tepe yerdeğiştirme eğrilerinin karşılaştırması (Jalali ve Dashti, 2010).....	36
Şekil 2.11 : Fiber eleman modeli (Spacone ve El-Tawil, 2004).....	37
Şekil 2.12 : Perde modellemesinde kullanılan beş farklı katman (Perform-3D, 2006).	39
Şekil 2.13 : Perdenin modellenmesi: (b)Beton kayma katmanı. (c)Diyagonal basınç katmanı.	40
Şekil 2.14 : Serbest cisim diyagramları: (a)Beton kayma katmanı. (b)Diyagonal basınç katmanı.	40
Şekil 2.15 : Malzeme gerilme şekildeğiştirme eğrilerinde eğri büküm noktaları...	41
Şekil 2.16 : USF parametresinin +1 ve -1 değeri arasındaki değişimi.	41
Şekil 2.17 : USF parametresinin malzeme davranış döngüsü üzerine etkisi.	42
Şekil 2.18 : EDF parametresinin malzeme davranış döngüsü üzerine etkisi : (a)EDF=1.00. (b) EDF<1.0.	42
Şekil 3.1 : RW2 Betonarme konsol perdenin test öncesi ve sonrası görünüşü (Thomsen ve Wallace, 1995).....	46
Şekil 3.2 : RW2 Betonarme konsol perde geometrisi (Thomsen ve Wallace, 1995).	46
Şekil 3.3 : RW2 Betonarme konsol perdenin donatı planı (Thomsen ve Wallace, 1995).....	47
Şekil 3.4 : RW2 Betonarme perdesinde eksenel yük değişimi (Thomsen ve Wallace, 1995).....	47
Şekil 3.5 : Test sonucu katlara göre elde edilen beton gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi (Thomsen ve Wallace, 1995).....	47
Şekil 3.6 : Matematik modelde tanımlanan beton ve donatı gerilme birim şekildeğiştirme eğrileri	48
Şekil 3.7 : Matematik modelde tanımlanan kayma gerilmesi birim şekildeğiştirme eğrileri.....	48
Şekil 3.8 : RW2 betonarme perdesinin sık ve seyrek fiber elemanlar kullanılarak oluşturulan matematik modeli.	49
Şekil 3.9 : RW2 perdesi sık ve seyrek fiber eleman modeli Perform-3D bilgi giriş görüntüsü.	49
Şekil 3.10 : RW2 perdesinin Perform-3D ile oluşturulmuş matematik modeli.	51
Şekil 3.11 : RW2 perdesi taban kesme kuvveti-perde uç yerdeğiştirme eğrileri.....	53
Şekil 3.12 : RW2 perdesi taban kesme kuvveti-kayma şekildeğiştirme eğrileri.	53
Şekil 3.13 : RW2 perdesi sık fiber elemanlı model ile elde edilen itme eğrisinin deney sonuçları ile karşılaştırılması.	54
Şekil 3.14 : Sık fiber elemanlı modelde elde edilen kesit birim şekildeğiştirmelerinin %2 kat ötelemesine göre deney sonuçları ile karşılaştırılması.....	54
Şekil 3.15 : Sık fiber elemanlı modelde elde edilen kesit birim şekildeğiştirmelerinin %1 kat ötelemesine göre deney sonuçları ile karşılaştırılması.....	54
Şekil 3.16 : SW1 betonarme deney numunesi (Strepelias ve diğ, 2012).....	56
Şekil 3.17 : SW1 betonarme dolgulu çerçevenin donatı planı: (a)Gövde donatıları. (b)Kiriş donatıları. (c)Kolon donatıları (Strepelias ve diğ, 2012).....	57
Şekil 3.18 : SW1 betonarme dolgulu çerçevenin: (a)Geometrisi. (b)Deney düzeneği. (c)Yük-Tepe noktası yerdeğiştirme eğrisi (Strepelias ve diğ, 2012).....	57
Şekil 3.19 : Matematik modelde SW1 perdesi için tanımlanan beton ve donatı malzeme davranış iskelet eğrileri	58
Şekil 3.20 : Matematik modelde tanımlanan kayma gerilme şekildeğiştirme eğrisi ile ideal elasto-plastik malzeme modeli histerik döngüsü.	58
Şekil 3.21 : SW1 test numunesinin Perform-3D ile oluşturulan matematik modeli..	59

Şekil 3.22 : Kalibrasyon sonucu elde edilen EDF değerleri: (a)Beton. (b)Çelik.	60
Şekil 3.23 : SW1 perdesi taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrisinin deney verileri ile karşılaştırılması.	61
Şekil 3.24 : SW1 perdesi taban momenti-kesit dönmesi eğrisinin deney verileri ile karşılaştırılması.	61
Şekil 3.25 : R1 betonarme deney numunesi eleman boyutları (Canbay, 2001).	63
Şekil 3.26 : R1 betonarme deney numunesi donatı planları: (a)Perde. (b)Kiriş. (c)Kolon. (Canbay, 2001).	63
Şekil 3.27 : R1 çerçeve-perde sisteminin: (a)Deney düzeneği. (b)Yük geçmişi (Canbay, 2001).	63
Şekil 3.28 : Matematik modelde R1 perdesi için tanımlanan beton ve donatı malzeme davranış iskelet eğrileri.	64
Şekil 3.29 : Matematik modelde tanımlanan kayma gerilme-şekildeğiştirme eğrisi.	65
Şekil 3.30 : R1 test numunesinin Perform-3D ile oluşturulan matematik modeli.	65
Şekil 3.31 : R1 perdesinin sayısal analizi sonucu elde edilen taban kesme kuvveti tepe yerdeğiştirme eğrisinin deney verileri ile karşılaştırılması.	66
Şekil 3.32 : Modifiye edilmiş beton modelleri: (a)Clough. (b)Takeda.	67
Şekil 3.33 : Modifiye edilmiş Kent-Park modeli.	68
Şekil 3.34 : Mander beton modeli.	68
Şekil 3.35 : Donatı davranış modelleri: (a)Menegotto-Pinto donatı modeli. (b)Modifiye edilmiş model.	69
Şekil 3.36 : Mander modeline karşı gelen EDF değerleri (Xuewei ve diğ, 2011). ...	70
Şekil 3.37 : Perform-3D ile oluşturulan Menegetto-Pinto modeli ile orijinal modelin karşılaştırılması.	70
Şekil 3.38 : Taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması (SW1 Perdesi).	71
Şekil 3.39 : Taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması (R1 Perdesi).	71
Şekil 4.1 : Kahraman Çocuklar İÖÖ donatı yerleşimi (a)Kolon. (b)Kiriş.	73
Şekil 4.2 : Kahraman Çocuklar İÖÖ kat kalıp planı.	74
Şekil 4.3 : Kısa doğrultuda farklı güçlendirme perde oranlarına (p) sahip yapı kat planları.	77
Şekil 4.4 : Uzun doğrultuda farklı güçlendirme perde oranlarına (p) sahip yapı kat planları.	78
Şekil 4.5 : Analizlerde kullanılan beton ve donatı malzeme gerilme - birim şekildeğiştirme eğrileri	79
Şekil 4.6 : Mevcut kat kirişlerinin analizler sonucu elde edilem moment-eğrilik grafiği.	81
Şekil 4.7 : Beton ve fiber modellerin kesit içerisindeki konfigürasyonu	81
Şekil 4.8 : Yapısal analiz programı Perform-3D ile oluşturulan 5 katlı yapı matematik modeli.	82
Şekil 4.9 : Çok serbestlik dereceli yapı sisteminin zorlanmış titreşimi.	85
Şekil 4.10 : Tasarım depremine göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumlarının tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.	88
Şekil 4.11 : Şiddetli depreme göre ölçeklenmiş ivme kayıtları.	89
Şekil 4.12 : Şiddetli depreme göre ölçeklenmiş ivme kayıtlarının Fourier genleşme spektrumları	90
Şekil 5.1 : 3KS220 okul binasında perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.	92

Şekil 5.2 : 3KS420 okul binasında perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.	92
Şekil 5.3 : 3KS220 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	95
Şekil 5.4 : 3KS420 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	96
Şekil 5.5 : 3KS220 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	97
Şekil 5.6 : 3KS420 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	98
Şekil 5.7 : 3KS220 ve 3KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu etki/kapasite oranları.	100
Şekil 5.8 : 3KS220 ve 3KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu gerekli kesme dayanımı - taban kesme kuvveti istemi oranı.	101
Şekil 5.9 : 3KS220 ve 3KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı doğrusal olmayan görelî kat ötelenmeleri.	102
Şekil 5.10 : 4KS220 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.	104
Şekil 5.11 : 4KS420 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.	104
Şekil 5.12 : 4KS220 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	106
Şekil 5.13 : 4KS420 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	107
Şekil 5.14 : 4KS220 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	108
Şekil 5.15 : 4KS420 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	109
Şekil 5.16 : 4KS220 ve 4KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu etki/kapasite oranları.	111
Şekil 5.17 : 4KS220 ve 4KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu gerekli kesme dayanımı-taban kesme kuvveti istemi oranı.	112
Şekil 5.18 : 4KS220 ve 4KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı doğrusal olmayan görelî kat ötelenmeleri.	113
Şekil 5.19 : 5KS220 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranına ilişkisi.	115
Şekil 5.20 : 5KS420 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.	115
Şekil 5.21 : 5KS220 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	117
Şekil 5.22 : 5KS420 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	118
Şekil 5.23 : 5KS220 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	119
Şekil 5.24 : 5KS420 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	120
Şekil 5.25 : 5KS220 ve 5KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu etki/kapasite oranları.	122

Şekil 5.26 : 5KS220 ve 5KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu gerekli kesme dayanımı-taban kesme kuvveti istemi oranı.	123
Şekil 5.27 : 5KS220 ve 5KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı doğrusal olmayan görel kat ötelenmeleri.	124
Şekil 5.28 : Dayanım azaltma katsayısının perde oranı ile değişimi (Soydaş, 2009)	125
Şekil 5.29 : Elastik deprem kuvvetlerinin yapı periyoduna göre değişimi.	126
Şekil 5.30 : Elastik deprem kuvvetlerinin güçlendirme perde oranı ile değişimi....	127
Şekil 5.31 : Elastik deprem kuvvetlerinin yapı periyoduna göre değişimi.	127
Şekil 5.32 : 5KS220 okul binasında elastik deprem kuvvetlerinin ve yapı performans noktasının elde edilmesi	128
Şekil 5.33 : Dayanım azaltma katsayısının güçlendirme perdesi oranı ile değişimi (S220 donatı sınıfına sahip okul binaları).	129
Şekil 5.34 : Dayanım azaltma katsayısının güçlendirme perdesi oranı ile değişimi (S420 donatı sınıfına sahip okul binaları).	129
Şekil 5.35 : Okul tipi betonarme binaların güçlendirilmesinde gerekli perde oranına yönelik programın akış şeması	131
Şekil 5.36 : Oluşturulan yazılım ile analizleri yapılan betonarme yapıların kat kalıp planları.....	132
Şekil 5.37 : Gerekli güçlendirme perdesi oranına yönelik hazırlanan yazılımın ekran görüntüsü	134
Şekil A.1 : D3KS220 okul binasında perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.	149
Şekil A.2 : D3KS420 okul binasında perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.	149
Şekil A.3 : D3KS220 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	150
Şekil A.4 : D3KS420 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	151
Şekil A.5 : D3KS220 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	152
Şekil A.6 : D3KS420 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	153
Şekil A.7 : D3KS220 ve D3KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu etki/kapasite oranları.....	154
Şekil A.8 : D3KS220 ve D3KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu gerekli kesme dayanımı-taban kesme kuvveti istemi oranı.	155
Şekil A.9 : D3KS220 ve D3KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı doğrusal olmayan görel kat ötelenmeleri.	156
Şekil A.10 : D4KS220 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.	158
Şekil A.11 : D4KS420 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.	158
Şekil A.12 : D4KS220 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	159
Şekil A.13 : D4KS420 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	160

Şekil A.14 : D4KS220 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	161
Şekil A.15 : D4KS420 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	162
Şekil A.16 : D4KS220 ve D4KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu etki/kapasite oranları.	163
Şekil A.17 : D4KS220 ve D4KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu gerekli kesme dayanımı-taban kesme kuvveti istemi oranı.	164
Şekil A.18 : D4KS220 ve D4KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı doğrusal olmayan görel kat ötelenmeleri.	165
Şekil A.19 : D5KS220 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.	167
Şekil A.20 : D5KS420 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.	167
Şekil A.21 : D5KS220 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	168
Şekil A.22 : D5KS420 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	169
Şekil A.23 : D5KS220 okul binasında kolon ve perde donatı birimşekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	170
Şekil A.24 : D5KS420 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.	171
Şekil A.25 : D5KS220 ve D5KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu etki/kapasite oranları.	172
Şekil A.26 : D5KS220 ve D5KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu gerekli kesme dayanımı-taban kesme kuvveti istemi oranı.	173
Şekil A.27 : D5KS220 ve D5KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı doğrusal olmayan görel kat ötelenmeleri.	174

SEMBOL LİSTESİ

A_0	: Etkin yer ivme katsayısı
A_{ch}	: Perde brüt enkesit alanı
A_{ck}	: Perde kesit alanı
AI	: Atrial şiddeti
A_{kat}	: Kat alanı
$b(x)$	: Kuvvet interpolasyon fonksiyonu
b_w	: Kesit genişliği
d_b	: Perde boyuna donatı çapı
d_u	: Maksimum yerdeğiştirme
e_{max}	: Negatif enerji azalması
e_{min}	: Pozitif enerji azalması
f_{ctd}	: Beton tasarım çekme dayanımı
f_{ctk}	: Beton karakteristik çekme dayanımı
f_y	: Donatı akma gerilmesi
f_{yd}	: Donatı tasarım akma dayanımı
H	: Perde yüksekliği
I	: Yapı önem katsayısı
L_w	: Perde boyu
n	: Kat adedi
p	: Perde oranı
Q	: Kuvvet vektörü
R_y	: Dayanım azaltma katsayısı
s	: Enine donatı aralığı
$S(T)$	: Spektrum katsayısı
$S_{ae}(T)$	: Spektral ivme katsayısı
$SI_{0.20}$	: Housner şiddeti
t_{eff}	: Etkin süre
V_t	: Taban kesme kuvveti
W	: Yapı toplam ağırlığı
W_k	: Kat ağırlığı
Z	: Şekildeğiştirme eğimi
α	: Yük boşatma rijitliği azaltma parametresi
α_{at}	: Spektral ivme ölçekleme katsayısı
α_{st}	: Spektrum ölçekleme katsayısı
$\delta_{uç}$	: Uç yerdeğiştirmesi
δ_y	: İlk akmanın olduğu andaki yerdeğiştirme
μ_{max}	: Maksimum yerdeğiştirme
ρ_{sh}	: Enine donatının hacimsel oranı
σ_c	: Beton basınç gerilmesi

MEVCUT BETONARME OKUL BİNALARINDA GÜÇLENDİRME PERDELERİNİN ETKİNLİĞİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZ İLE İRDELENMESİ

ÖZET

Türkiye’de mevcut betonarme yapı stoğunun büyük bir kısmı, öngörülen deprem yükleri altında yetersiz kapasiteye sahiptir. Mevcut yapı stoğu içerisinde yer alan okul binaları, gerek ihtiva ettiği insan yoğunluğu gerekse depremden sonra geçici barınma amaçlı kullanılmaları nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda, mevcut betonarme okul binalarının öngörülen deprem istemlerine karşın yeterli kapasiteyi sağlayabilmeleri için farklı yöntemler kullanılarak güçlendirme çalışmaları yapılmaktadır. Söz konusu yöntemler arasında, gerek pratik ve ekonomik olması, gerekse yapıya büyük rijitlik ve dayanım sağlaması sebebiyle, mevcut betonarme çerçevelerin bazılarının betonarme perdelerle dönüştürülmesi, en çok tercih edilen yöntemlerin başında gelmektedir. Bununla birlikte, betonarme güçlendirme perdelerinden optimum düzeyde faydalanılabilmesi için güçlendirilmiş sistemin değişen davranışının bilinmesi önemlidir. Güçlendirme perdelerinin yüksek oranda uygulanması, mevcut yapı kapasitesinin yeterli şekilde kullanılmamasına neden olacaktır. Az sayıda betonarme güçlendirme perdesi kullanımı ise, diğer taşıyıcı elemanların güçlendirilme ihtiyacının doğmasına sebebiyet verecek ve yapılan çalışma ekonomik olmaktan uzaklaşacaktır. Ayrıca, yapılan deneysel çalışmalara göre, mevcut çerçevelerin betonarme perdelerle dönüştürülmesi ile elde edilen betonarme perdeler ile yeni yapılarda monolitik döküm ile oluşturulan betonarme perdelerin, yatay yükler altında davranışı farklılık göstermektedir. Tüm bu sebeplerden ötürü, güçlendirme perdelerinin etkinliğinin irdelenmesi önem kazanmaktadır.

Yapılan bu çalışma ile mevcut okul binalarında güçlendirme perdelerinin etkinliği, doğrusal olmayan dinamik analiz ile incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, güçlendirme perdelerinin matematik modeli mevcut deney verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Perde matematik modelinin oluşturulmasında makroskopik modelleme yaklaşımlarından fiber elemanlar kullanılmıştır. Matematik model kalibrasyonu ilk aşamada kesit bazında fiber eleman sıklığı ile perde plastik mafsallık bölgesi boyunca meydana gelen birim şekildeğiştirmelere yönelik yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, fiber elemanlar ile oluşturulan perde matematik modellerinde doğrusal olmayan davranışın yeter derecede yaklaşıklıkla modellenebilmesi için seyrek fiber eleman kullanımından kaçınılması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca kalibre edilen perde matematik modelinin analizi ile elde edilen birim şekildeğiştirmelerin, deney verileri ile örtüştüğü görülmüştür. İlave olarak, perde matematik modelinin malzeme çevrimsel davranışına yönelik matematik model kalibrasyonu da yapılmıştır. Bu amaçla büyük ölçekli ve mevcut yapı stoğunu temsil eden deneylerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Analizler sonucu, betonarme güçlendirme perdelerinde kullanılmak üzere deney verileri ile uyumlu malzeme çevrimsel davranış modelleri elde edilmiştir. Ayrıca yapılan

çalışmalara ilave olarak, betonarme güçlendirme perdelerinin matematik modellenmesinde literatürde sıklıkça kullanılan malzeme davranış modellerinin uygunluğu da irdelenmiştir. Analizler neticesinde, söz konusu malzeme davranış modellerinin güçlendirme perdelerinin sismik yükler altında davranışını yansıtmada yetersiz kaldığı görülmüştür. Yapılan kalibrasyonlar sonucunda, betonarme güçlendirme perdelerinin doğrusal olmayan analizlerine yönelik pratik ve kullanışlı bir matematik model elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında kalibre edilmiş matematik model kullanılarak, tipik bir betonarme okul binasının Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) çerçevesinde yapısal performansı, değişken kat adedi, malzeme dayanımı ve güçlendirme perde oranı parametreleri kullanılarak, öngörülen iki farklı deprem düzeyi için değerlendirilmiştir. Analizler iki boyutlu düzlemde her iki ortogonal doğrultu için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş olup, üç boyutlu yapı davranışında oluşabilecek burulma gibi olumsuz etkiler ihmal edilmiştir. Parametrik inceleme, diğer analiz yöntemlerine nazaran daha gerçekçi sonuçlar veren ve hassas yaklaşımı literatürde de kabul edilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz ile yapılmıştır. Yapılan analizler ile kesit bazında mevcut kolon, kiriş ve perdelerin malzeme birim şekildeğiştirmeleri ile yapı bazında göreceli kat ötelenmeleri, taban kesme kuvveti gibi veriler her bir deprem kaydı için ayrı ayrı elde edilmiştir. Analizler sonucu elde edilen veriler ışığında, 3 katlı S220 donatı sınıfına sahip yapılarda %1.00 oranında güçlendirme perdesi kullanımı yeterli olurken, söz konusu değer S420 donatısına sahip okul binalarında %0.70'ye düşmektedir. Benzer şekilde 5 katlı okul binaları ile S220 donatı sınıfına sahip 4 katlı okul binalarında gerekli güçlendirme perde oranı %1.70 olarak hesaplanırken, S420 donatı sınıfına sahip 4 katlı okul binalarında söz konusu oran %1.40 olarak bulunmuştur. Ayrıca hemen kullanım performans seviyesinin daha zor sağlanabilmesi nedeniyle, yapılan doğrusal olmayan dinamik analizlerde şiddetli deprem istemi ile birlikte tasarım depremi de gerekli güçlendirme perde oranında belirleyici unsur olmaktadır. Dolayısıyla mevcut okul binalarının sismik kuvvetler altında yapı performanslarının irdelenmesinde, sadece şiddetli deprem düzeyine yönelik analiz ile yetinilmesinden kaçınılmalı, her iki deprem düzeyine göre de performans kontrolü yapılması gerekmektedir.

Yapılan çalışmada betonarme perdeler ile güçlendirilen mevcut okul binalarında, dayanım azaltma katsayısının (R_y) perde oranına bağlı değişimi doğrusal olmayan statik itme analizleri ile irdelenmiştir. Analizler sonucu elde edilen verilere göre, üç katlı okul binalarında kullanılan yüksek güçlendirme perde oranı yapıda enerji sönmülmesini önlemektedir. Dolayısıyla az katlı yapıların yüksek perde oranları kullanılarak güçlendirilmesi, gerek yapı kullanım alanını olumsuz etkilemesi gerekse ekonomik olmaması sebebiyle tercih edilmemelidir. Öte yandan beş katlı okul binalarının güçlendirilmesinde, %1.4 oranını aşan güçlendirme perde oranı, dayanım azaltma katsayısında ciddi anlamda bir değişiklik meydana getirmemektedir.

Çalışmanın son aşamasında, yapılan doğrusal olmayan dinamik analizler ile betonarme perdelerle güçlendirilen okul binalarından elde edilen verilerin, uygulamaya yönelik pratik kullanımı için bir yazılım hazırlanmıştır. Bu sayede yapılan çalışma ile oldukça detaylı olarak elde edilen sayısal sonuçların, okul tipi yapıların güçlendirilmesine yönelik bir ön değerlendirme aracı olarak kullanılması sağlanmıştır.

INVESTIGATION OF THE RC INFILL WALL EFFECTIVENESS IN THE REHABILITATION OF EXISTING RC SCHOOL BUILDINGS EMPLOYING NONLINEAR DYNAMIC ANALYSES

SUMMARY

Most of the existing reinforced concrete (RC) school buildings in Turkey do not have enough strength and displacement capacity due to the fact that they have not been designed according to the recent earthquake code regulations or worst, they have construction deficiencies. Among RC building structures, school buildings stand out by means of reducing the loss of life as well as serving as post-disaster shelters after an earthquake, which yields to the fact that, unlike the ordinary RC buildings such as condos or offices, higher seismic performance level should be considered for them during a destructive event. Increasing their seismic performance to acceptable levels, school buildings should be improved against structural damage by using one of the strengthening techniques such as steel bracing, column jacketing, addition of RC infill walls and increasing sectional ductility by Fiber Reinforced Polymer applications. RC infill walls have been commonly preferred in the last decade for seismic rehabilitation of existing school buildings due to its efficiency in decreasing the vulnerability of existing RC frames significantly. On the other hand, experiments in literature showed that RC infill walls have lower seismic strength when compared with the monolithic RC shear walls. Moreover, increasing the RC infill wall index will not only decrease the efficient utilization of building but also reduce the cost efficiency. Therefore, investigation of the RC infill wall effectiveness is becoming more of an issue especially for the preliminary assessment. For this purpose, seismic performance of typical RC school buildings, which have different material strengths and number of floors, are evaluated considering different RC infill wall indexes in terms of limit states such as interstory drifts, shear strength demand/capacity ratios, concrete and steel strains specified in Turkish Earthquake Resistant Design Code (TERDC-2007) within the study.

As the initial step of the study, mathematical model calibration of the RC infill wall is conducted by using the macroscopic modelling approach introducing fiber elements. For this purpose, cantilever wall specimen with rectangular cross section is used for the calibration of the RC infill wall in terms of the material strain along the plastic hinge length and the fiber section discretization. After that, measured structural responses of two selected well-known large-scale RC infill wall experiments subjected to displacement controlled cyclic loading are taken into account for the calibration of the material hysteretic behavior. In this regard, the unloading stiffness and the energy degradation factors in material model are adjusted according to the experimentally measured responses. As a result of the study, by calibrating the numerical model prepared in Perform-3D computer program utilizing fiber cross-sections, a practical and a compatible analytical model is obtained and proposed. During the mathematical model calibration of the RC infill walls, structural systems of the experiments are mathematically modelled by elements

consisting of vertical and horizontal fiber layers to represent the bending/axial behavior and to control the out of plane displacements, respectively. Nonlinear behavior of the reinforcing steel is represented by a tri-linear backbone curve without strength degradation, while a multi-linear hysteretic behavior considering the strength loss is utilized for the structural concrete.

Furthermore, those recently conducted experiments are simulated by a couple of widely used hysteretic models for comparative purposes, which are preferred in most cases by the researchers during the analytical investigation of RC structures, so that their adequacy for reflecting the nonlinear behavior of infill walls are also studied. It is shown with comparisons for the experimentally measured and the analytically derived results that the calibrated mathematical model proposed herein is more compatible with the measured values than the widely used hysteretic rules for capturing the behavior of these types of frames retrofitted by RC infill walls under reversed cyclic loading. Although numerical simulations are carried out for a limited number of tests, the proposed calibrated model conforms to both experiments measured responses by means of seismic behavior for not only the undamaged single bay frames converted to the RC infill wall, but also pre-damaged multi-bay strengthened structures. Thus, a realistic and a representative numerical model, which is compatible with the experimental evaluation and also practical for extensive use, is obtained for numerical simulation of RC infill walls.

As the second step of the study, school buildings, which have different structural characteristics in material strength and number of floors, are generated from an existing RC school building. These generated school buildings include the common negative features encountered in many existing RC buildings in Turkey, such as low concrete strength, inadequate stiffness and insufficient confinement. Thus, most realistic behavior of the existing building stock is taken into account during the analyses. Investigation of the RC infill wall effectiveness in RC school buildings are conducted by using the nonlinear dynamic analysis method due to its capability of producing results with relatively low uncertainty. Input ground motions for the time-history analysis of the structures is achieved from real (Historical) accelerograms since the usage of real recorded ground motions for dynamic analysis is more realistic than the other main sources like artificially generated or simulated accelerograms. According to the principles for employing real acceleration traces in structural analysis, selected real ground motions should be scaled in time or frequency domain to match the design spectrum characteristics provided in design codes. For this purpose, the earthquake ensemble consisting of seven earthquake motions recorded on Z2 soil class is selected from the real records which was scaled in time domain according to the TERDC-2007 requirements.

Numerical evaluation based on the nonlinear dynamic analysis results to estimate the convenient RC infill wall index for a typically applied existing RC school building is carried out utilizing the software Perform-3D by using the calibrated RC infill wall mathematical model. Since the immediate occupancy (IO) performance level for the contingency level earthquake (CLE) and life safety (LS) performance level for the maximum considered earthquake (MCE) are defined as the target structural performance levels for the school buildings in TERDC-2007, nonlinear dynamic analyses of the generated RC school building are conducted for two earthquake levels, separately. As a result of the analyses, minimum 0.70% and 1.00% RC infill wall ratio is required for the 3-story school buildings with rebar classes of S420 and S220 reinforcement, respectively. Similarly, 1.70% RC infill wall ratio is adequate

for 4-story school building detailed with S220 reinforcement and 5-story school buildings, while 1.40% RC infill wall ratios is required for the 4-story buildings detailed with S420 reinforcing steel. In addition, due to the conservative approach in immediate occupancy level, the analyses should be utilized for both contingency and maximum considered earthquake level, respectively.

Converting some of the existing RC frames into RC infill walls affects the seismic behavior of existing RC structure in terms of the energy dissipation capacity or in other words, ductility reduction factor. In this regard, as the third step of the study, investigation of the RC infill wall ratio effect on ductility reduction factor in terms of the seismic rehabilitation of the typical RC school buildings is conducted. For this purpose, nonlinear static pushover analyses are performed for RC school buildings which were rehabilitated with different RC infill wall ratio. Numerical analyses are carried out by using the fiber element based modelling approach in the software, Perform-3D. Based on these analytical results, correlation between the ductility reduction factor and the RC infill wall ratio is obtained for the seismic rehabilitation of the RC school buildings. In addition, mathematical expressions for the variation of the ductility reduction factor with RC infill wall ratios are proposed in terms of the preliminary seismic rehabilitation assessment of the existing RC school buildings. According to the conducted numerical investigation, using more RC infill wall ratio for the seismic strengthening of the 3-story RC school buildings prevents the energy dissipation during earthquake. Indeed, RC structural system with high RC infill wall ratio behaves elastically without any ductile response. Therefore, rehabilitation of the existing low story RC school buildings with high RC infill wall ratio is neither feasible nor economical. On the other hand, preferring more than 1.4% RC infill wall ratio for the 5-story RC school buildings will not change the ductility reduction factor significantly

In the light of the analyses results, software being capable of calculating the required convenient RC infill wall index for RC school buildings in different structural conditions is developed in C# language as the final step of this research. By this computer program, convenient infill wall index required for the structural safety of existing school buildings with different strength capacities is shortly predictable which yields to a fast preliminary seismic rehabilitation strategy.

1. GİRİŞ

Ülkemiz mevcut betonarme yapı stoğunun büyük bir kısmının deprem yükleri altında yetersiz kapasiteye sahip olduğu bilinen bir gerçektir. Yapılarda kullanılan malzeme kalitesinin düşük olması, taşıyıcı sistemdeki düzensizlikler, işçiliğin özensiz olması ile deprem yönetmeliğindeki gelişmeler, mevcut betonarme yapıların hasar görebilirliklerinin yüksek olmasının başlıca nedenleridir. Bu bağlamda, söz konusu betonarme yapıların öngörülen deprem yüklerine karşın güçlendirilmeleri gerekmektedir. Mevcut yapı stoğu içerisinde yer alan okul binaları, gerek ihtiva ettiği insan yoğunluğu gerekse depremden sonra geçici barınma amaçlı kullanılmaları sebebiyle önemli hale gelmektedir. Bu bakımdan 2007 yılında yayımlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) Bölüm-7 ile birlikte, konutlar için tek bir deprem performans seviyesi öngörülürken, okul binaları için iki ayrı deprem istemi altında farklı performans düzeyleri tanımlanmıştır. Böylelikle, şiddetli depremlerde dahi okul binaları yüksek dayanım kapasitesi göstererek amacına uygun olarak kullanılabilecektir. Bu amaca yönelik olarak, mevcut betonarme okul binalarının öngörülen deprem istemlerine karşın yeterli kapasiteyi sağlayabilmesi için çok sayıda güçlendirme projesi üretilmekte ve uygulanmaktadır.

Halihazırda yapılan güçlendirmeler, yapı taşıyıcı elemanlarının mantolanması, betonarme çerçeveler arasına çelik çaprazların teşkil edilmesi, fiber takviyeli polimer (FRP) uygulaması ve yapıya betonarme perde eklenmesi gibi çeşitli takviye yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır. Bununla birlikte geçmişten günümüze meydana gelen şiddetli depremler sonucu perde sistemli yapılarda önemli hasarların oluşmaması, betonarme yapılarda perdelerin deprem kuvvetlerine karşın çok daha güvenilir yatay yük taşıyıcı elemanlar olmasını sağlamıştır (Fintel, 1991; Gülkan ve Utku, 2003). Ayrıca mevcut yapıda yetersiz kapasiteye sahip yapı elemanı sayısının fazla olması ve bunların tek tek güçlendirilmesi gerekliliği, söz konusu yöntemi pratik ve ekonomik kılmaktadır. Bu sebeple mevcut betonarme okul

binalarının deprem yüklerine karşın güçlendirmesinde en sık başvurulanan yöntem yapı sistemine ilave betonarme perde eklenmesidir.

Çoğunlukla betonarme çerçevelerden teşkil edilen mevcut okul binalarının perdeler ile güçlendirilmesi, binanın mimari anlamda kullanımı da göz önünde tutularak, seçilen çerçevelerinin betonarme perdelerle dönüştürülmesi ile yapılmaktadır. Çerçeve ile beton dolgu duvar arasındaki bağlantıyı sağlamaya yönelik literatürde birçok yöntem olmasına karşın, uygulamada genellikle mevcut çerçevelere açılan deliklere epoksi'li harçlarla ekilen filizler kullanılmaktadır. Böylelikle taşıyıcı sisteme eklenen perdeler ile mevcut yapının yanal rijitliği ile birlikte dayanımında da büyük artış sağlanabilmektedir.

Literatürde yapılan deneysel çalışmalara göre, mevcut çerçevelerin betonarme perdelerle dönüştürülmesi ile elde edilen betonarme perdeler ile yeni yapılarda monolitik döküm ile oluşturulan betonarme perdelerin yatay yükler altında davranışı farklılık göstermektedir. Ayrıca, betonarme güçlendirme perdelerinden optimum düzeyde faydalanabilmesi için güçlendirilmiş sistemin değişen davranışının bilinmesi de önemlidir. Yapıdaki perde alanının toplam kat alanına oranı olarak tanımlanan güçlendirme perde oranının yüksek tutulması mevcut sistemin kapasitesinin yeterli şekilde kullanılmamasına neden olacak, düşük tutulması ise diğer taşıyıcı elemanların güçlendirilme ihtiyacının doğmasına sebebiyet verecektir. Böylelikle güçlendirme çalışması ekonomik olmaktan uzaklaşacaktır. Literatürde gerekli perde oranlarını veren bağıntılar ise güncel deprem yönetmeliğine uygun betonarme yapılara yönelik olup, mevcut yapı stoğunun güçlendirilmesinde kullanılan betonarme çerçevelerin dönüştürülmesi ile elde edilen perdelerle uygun değildir.

Tüm bu sebeplerden ötürü, yetersiz dayanıma sahip betonarme okul binalarında kullanılan betonarme güçlendirme perdelerinin etkinliğinin irdelenmesi önemli hale gelmektedir. Böylelikle elde edilecek veriler ışığında, betonarme güçlendirme perdelerinde optimum düzeyde faydalanabilecektir. Ayrıca mevcut okul binalarında gerekli güçlendirme perde oranlarına yönelik bir ön değerlendirme yaklaşımı, güçlendirme projelerinde zaman ve maliyet açısından da büyük avantaj sağlayacaktır.

1.1 Tezin Amacı

Mevcut betonarme okul binalarının güçlendirme perdeleri ile değişen davranışının, farklı yapısal parametreler altında irdelenmesi bu doktora tezinin amacını oluşturmaktadır. Bu amaca yönelik olarak, analizlerde kullanılacak betonarme perde modelinin, büyük ölçekli ve mevcut yapı stoğunu temsil eden farklı deney verileri kullanılarak matematik model kalibrasyonu yapılmıştır. Böylelikle, betonarme perde matematik modelinin tersinir yüklemeler altında fiber eleman sıklığı, plastik mafsal uzunluğu ve malzeme davranışı bakımından, deney sonuçlarını yeter yaklaşıklıkla yansıtması sağlanmıştır. Betonarme perdelerin matematik modellenmesinde, işlem süresini kısaltan, analiz sırasında hata olasılığını azaltan ve kesit bazında beton ile donatının ayrı ayrı modellenmesine imkan sağlayan makroskopik modelleme yaklaşımlarından fiber elemanlar kullanılmıştır. Böylelikle mevcut deney verileri ile uyumlu, güçlendirme perdelerinin tersinir tekrarlı yükler altında davranışını temsil eden pratik bir modelleme yaklaşımının literatüre kazandırılması amaçlanmıştır.

Tezin diğer bölümünde mevcut yapı stoğunun karakteristiklerini temsil eden bir betonarme okul binasının deprem istemine karşı değişen yapı performansı, farklı kat adedi, malzeme dayanımı ve güçlendirme perde oranı gibi değişen parametreler altında değerlendirilmiştir. Parametrik incelemeler, diğer yöntemlere nazaran daha gerçekçi sonuçlar veren ve hassas yaklaşımı literatürce de kabul edilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz ile DBYBHY-2007'de okul binaları için öngörülen iki farklı deprem düzeyine göre ayrı ayrı yapılmıştır. Böylelikle farklı kat sayısı ve malzeme özelliklerine sahip okul binalarının güçlendirme perde oranına bağlı değişen sismik kapasitesinin, kesit, eleman ve yapı bazında detaylı olarak irdelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, söz konusu okul binalarında taşıyıcı sistem davranış katsayısının güçlendirme perde oranına bağlı değişiminin de incelenmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışmasının sonunda, mevcut okul binalarının güçlendirilmesinde bir ön değerlendirme aracı olarak kullanılmak üzere, gerekli güçlendirme perde oranını hesaplamaya yönelik bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu sayede mevcut yapı stoğunda önemli bir yer tutan okul binalarının güçlendirilmesi projelerinde zaman ve maliyet açısından bir tasarruf sağlanması ve böylelikle betonarme güçlendirme perdelerinden optimum düzeyde faydalanılması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Literatürde betonarme güçlendirme perdelerin etkinliğine yönelik yapılan çalışmaları, deneysel ve sayısal olmak üzere iki ana grupta toplamak mümkündür. Sayısal çalışmalar genellikle mevcut yapılardan ziyade yeni yapılacak betonarme binalarda gerekli perde oranına yönelik olup, hesaplamalarda yönetmelikçe öngörülen kat ötelenmeleri, perde kesme kuvveti dayanımı ve kesit birim şekil değiştirme sınırları gibi parametreler değişken olarak alınmıştır. Deneysel çalışmalarda ise, perdelerin mevcut çerçeveye bağlantısında kullanılan ankraj tipleri, çerçeve içerisindeki perde doluluk oranları ile mevcut yapı durumunun malzeme özelliklerinin yapı davranışı üzerine etkisi irdelenmiştir.

1.2.1 Sayısal çalışmalar

Ersoy (1993, 2002) tarafından betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılan betonarme perdelerin sismik davranışının belirlenebilmesi için ODTÜ’de yapılan birçok deneyin sonuçları özetlenmiştir. Ayrıca betonarme güçlendirme perdeleri için bir alt sınır tanımlanmıştır. Buna göre Denklem 1.1 ve Denklem 1.2 ile gösterildiği üzere, güçlendirme amaçlı oluşturulacak betonarme perdelerin alanı (A_g), her bir doğrultuda binanın toplam kat alanının (A_p) %2’sinden az olmamalıdır. Ayrıca betonarme güçlendirme perdelerinin kat bazında kesit alanlarının, kat oturma alanına ($A_{tabanalani}$) oranı en az %1 olmalıdır. İlave olarak, güçlendirme perdelerinin kullanılması ile yapı rijitliğinin büyük oranda artacağı ve binanın çok daha büyük deprem yüklerine maruz kalacağı belirtilerek, güçlendirme sonucu yapıda sağlanan dayanımın, öngörülen deprem istemden büyük olduğunun kanıtlanmasının gerekliliği vurgulanmıştır.

$$\sum A_g \geq 0.002 \sum A_p \quad (1.1)$$

$$\sum A_{perde} \geq 0.01 A_{tabanalani} \quad (1.2)$$

Atımtay (2000a) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, yeni yapılacak binalar için gerekli perde oranı, bazı temel ve olumsuz kıstaslar altında kat sayısına bağlı olarak belirlenmiştir. Gerekli perde oranı, yapıya etkiyen yatay kuvvetin tamamının perdeler tarafından karşılandığı kabulü ile hesaplanmıştır. Kesit bazında dayanımın kullanıldığı hesaplamalarda, olumsuz malzeme karışımı, minimum donatı oranı ile

yapının 1.Derece deprem bölgesinde bulunması gibi kabuller kullanılmış olup, söz konusu değerler Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1 : Perde oranının bulunmasında kullanılan parametre kabulleri (Atımtay, 2000b).

S(T)	A ₀	I	W (t/m ²)	R	f _{ctd} (t/m ²)	f _{yd} (t/m ²)	ρ _{sh}
2.5	0.4	1	1	7	100	19100	0.0025

Çalışma sonucunda, perdelerin DBYBHY-2007’de tanımlanan kesme dayanımının, yapıya etkiyen deprem yatay kuvvetine eşitlenmesi ile kat adedine bağlı gerekli perde oranı Denklem 1.3’de gösterilen hesap adımları ile çıkarılmıştır. Söz konusu bağıntıda V_t binaya etkiyen toplam deprem yükü, f_{ctd} beton tasarım çekme dayanımını, f_{yd} donatı akma dayanımını, ρ_{sh} donatı pirsantajını ve A_g ise kat düzlemindeki perde enkesit alanını göstermektedir. Bağıntı yardımı ile hesaplanan gerekli perde oranı, kat adedine (n) bağlı olarak Çizelge 1.2’de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
 V_r &= \sum A_g (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{yd}) = \sum A_g \quad (113) \\
 V_t &= S(T) A_0 I W / R = \sum A_g / 7 \\
 V_r &= V_t \rightarrow \sum A_g \quad (113) = \sum A_p / 7 \\
 \frac{\sum A_g}{A_p} &= \frac{n}{791}
 \end{aligned} \tag{1.3}$$

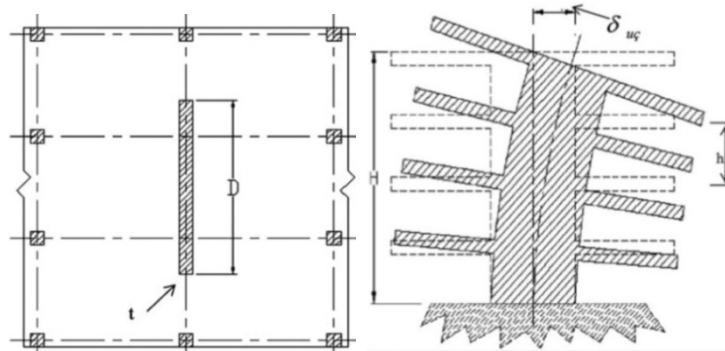
Çizelge 1.2 : Binalarda gerekli perde oranının katlara bağlı değişimi (Atımtay, 2000b).

n	1	2	3	4	5	6
ΣA _g /A _p	0.13%	0.25%	0.38%	0.50%	0.63%	77.00%

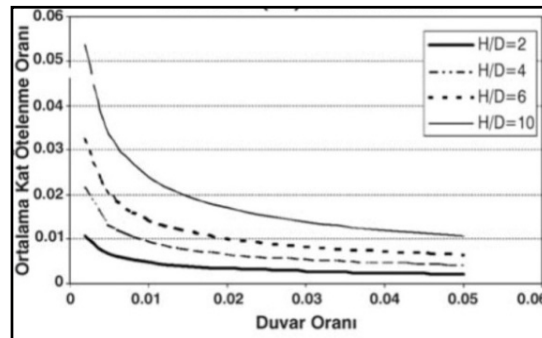
n	7	8	9	10	11	12
ΣA _g /A _p	0.88%	1.01%	1.14%	1.26%	1.90%	2.50%

Celep (2002) tarafından yapılan çalışmada, mevcut betonarme yapıların güçlendirilmesi sırasında kullanılacak perdelerin, deprem etkisinde oluşacak taban kesme kuvvetinin en az %70’lik bir bölümünü karşılaması gerekliliği belirtilmiştir. Söz konusu oranın çok üstüne veya altına inilmesinin çeşitli sorunlar doğuracağı vurgulanmıştır. Ayrıca, güçlendirme perdelerinin her iki doğrultuda en az iki tane olması ve özellikle büyük oturma alanına sahip binalarda perde sayısının fazla, perde boyutlarının ise küçük seçilmesi gerektiği aksi durumda ise mevcut yapı sisteminden yeteri kadar faydalanamayacağı belirtilmiştir.

Gülkan ve Utkuğu (2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, şekil 1.1'de verilen tipik konsol perdenin hasar durum kriterleri dikkate alınarak, perde oranı değişimi belirli deprem ve malzeme kabulleri altında incelenmiştir. Yapılan çalışmada perdedeki hasarın duvar uç yerdeğiştirmesi ile ortaya çıkacağı kabulü ile ortalama kat telenmesinin, Denklem 1.4'de verilen perde oranına bağlı değişimi şekil 1.2'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Söz konusu denklemde δ_{uc} tepe yerdeğiştirmesini, H perde yüksekliğini, D perde boyunu, ρ ise kat düzlemindeki perde alanının kat alanına oranını göstermektedir. Beklenildiği üzere perde oranı arttı katlar arası görel yereğiştirmeler azalmıştır. Ayrıca yapılan çalışmada, yeter derecede perde oranı kullanılarak kiriş ve kolon elemanlarının uç noktalarındaki kesit şekildeğiştirmesinin sınırlandırılması ve bu sayede söz konusu yapısal elemanların süneklik düzeyi normal tarzda detaylandırılmasının mümkün olacağı sonucuna da varılmıştır. Analizler ile elde edilen bir diğer sonuç ise narin perdelerin düşük oranda kullanımının yapısal anlamda etkisinin çok fazla olmadığıdır.



şekil 1.1 : Tipik konsol perdeli yapının plan ve kesiti (Gülkan ve Utkuğu, 2003).

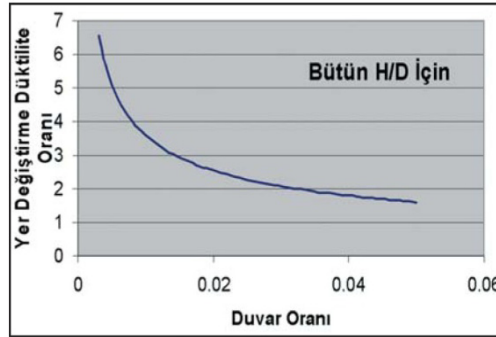


şekil 1.2 : Duvar yüzdesine göre ortalama kat telenmesi (Gülkan ve Utkuğu,2003).

$$\frac{\delta_{uc}}{H} = 0.00024 \frac{H}{D} \sqrt{\frac{1}{\rho}} \quad (1.4)$$

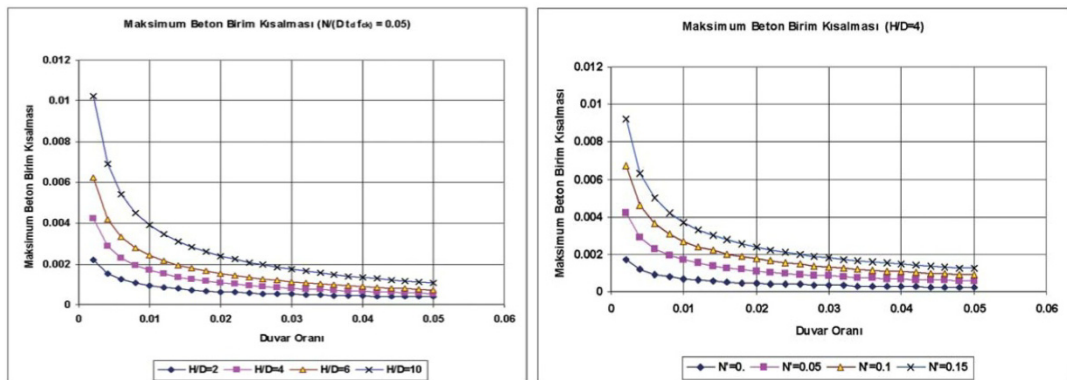
Aynı araştırmada ikinci bir çalışma olarak betonarme perde duvar süneklikleri incelenmiştir. Bu amaçla duvar uç yerdeğiştirmesinin (δ_{uc}), duvarda ilk akmanın olduğu andaki yerdeğiştirmeye (δ_y) oranının, belirli bir değerin üzerine çıkmaması gerektiği koşulu kullanılmıştır. Böylelikle, yer değiştirme süneklik oranının Denklem 1.5’de verilen perde oranına bağlı değişimi, Şekil 1.3’de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Belirli kabuller altında duvar yer değiştirme sünekliklerinin perde duvarın H/D oranından bağımsız olarak ortaya çıktığı belirlenmiştir.

$$\frac{\delta_{uc}}{\delta_y} = 0.36 \sqrt{\frac{1}{\rho}} \quad (1.5)$$



Şekil 1.3 : Duvar yüzdesine göre yer değiştirme süneklik oranı (Gülkan ve Utkuğ, 2003).

Yapılan çalışmada üçüncü bir parametre olarak, perde beton birim kısalmasının yatay kuvvetler altında değişimi irdelenmiştir. Bu amaçla perdede meydana gelecek hasarın kontrol altına alınmasında, beton basınç birim kısalmasının sınırlandırılması kabulü kullanılmıştır. Söz konusu yaklaşım altında farklı eksenel yükler ve H/D oranları için elde edilen perde oranları Şekil 1.4’de gösterilmiştir.



Şekil 1.4 : Değişken eksenel yük ve H/D oranı altında perde oranı (Gülkan ve Utkuğ, 2003).

Tekel (2006) tarafından yapılan çalışmada, 1992 Erzincan depreminden sonra incelenen birçok betonarme çerçeve sistem yapıların yeter süneklik sağlayamadığı görülmüştür. Dolayısıyla, yeni yapılacak yapılarda perdelerin büyük eğilme rijitlikleri ve kesme alanları nedeniyle bir güvenlik elemanı olarak kullanılması gerekliliği belirtilmiştir. Bu bağlamda betonarme yapıların boyutlandırılmasında, asgari %1 oranında perde oranı kullanılması gerektiği ile ilgili yaygın kanı, DBYBHY-2007 yönetmeliğinde betonarme perdeler için verilen üç bağıntı yardımıyla irdelenmiştir.

Betonarme yapıların boyutlandırılmasında gerekli perde oranının bulunmasına yönelik kullanılan ilk bağıntı, Denklem 1.6'da verilmiştir. Söz konusu bağıntı DBYBHY-2007 Madde 3.6.1.2'de taşıyıcı sistemi sadece betonarme perdelerden oluşan yapılar için tanımlanmış olup, n kat adedini, A_g kat düzlemindeki perde enkesit alanını ve A_p ise kat oturma alanını göstermektedir. Yapılan çalışmada söz konusu bağıntıdan yola çıkılarak, kat sayısına bağlı gerekli perde oranları hesaplanmış ve Çizelge 1.3'de gösterilmiştir. Çizelgeden görülebileceği üzere, önerilen %1 perde oranının, 5 katlı betonarme bir yapıda söz konusu bağıntıyı sağladığı görülmektedir.

$$\sum A_g / \sum A_p \geq 0.002 \rightarrow \sum A_g / A_p = 0.002n \quad (1.6)$$

Çizelge 1.3 : Kat sayısına bağlı perde oranı-1 (Tekel, 2006).

n	1	2	3	4	5
$\Sigma A_g / A_p$	0.20%	0.40%	0.60%	0.80%	1.00%
n	6	7	8	9	10
$\Sigma A_g / A_p$	1.20%	1.40%	1.60%	1.80%	2.00%

Betonarme yapıların boyutlandırılmasında, gerekli perde oranının bulunması için kullanılan ikinci bağıntı Denklem 1.7'de verilmiştir. DBYBHY-2007 madde 3.6.1.2'de yer alan söz konusu bağıntıda, V_t binaya etkiyen toplam deprem yükünü, f_{ctd} beton tasarım çekme dayanımını ve A_g ise kat düzlemindeki perde enkesit alanını göstermektedir.

$$V_t / \sum A_g \geq 0.5 f_{ctd} \quad (1.7)$$

Deprem etkisinde meydana gelen taban kesme kuvveti V_t , eşdeğer deprem yükü yöntemi ile DBYBHY-2007'de tanımlı ve Denklem 1.8'de verilen bağıntı yardımı ile hesaplanmıştır. Söz konusu denklemde, w_k kat ağırlığını, A_0 etkin yer ivme katsayısını, I yapı önem katsayısını, $S(T)$ spektrum katsayısını ve R yapı davranış katsayısını göstermekte olup, yapılan çalışma için kabul edilen değerler Çizelge 1.4'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} V_t &= WA(T) / R_a \\ V_t &= n A_p w_k A_0 I S(T) / R \\ V_t &= 0.25n A_p w_k \end{aligned} \quad (1.8)$$

Çizelge 1.4 : Kat kesme kuvvetinin hesaplanmasında kullanılan parametre kabulleri (Tekel, 2006).

S(T)	A_0	I	W (t/m ²)	R	f_{ctd} (t/m ²)	f_{yd} (t/m ²)	ρ_{sh}
2.5	0.4	1.5	0.75	6	100	36500	0.0025

Denklem 1.5 ile hesaplanan deprem kesme kuvvetinin, Denklem 1.6 ile verilen ifade de yerine konması ve kat ağırlığının yaklaşık 0.750 t/m² alınması ile kat adedine bağlı perde oranı hesaplanmış ve Denklem 1.9 ile verilmiştir. Bağıntıdan hareketle bulunan ve Çizelge 1.5'de verilen değerlere göre, önerilen %1.0 perde oranının 3 katlı yapıya denk geldiği görülmektedir.

$$\sum A_g / A_p = 0.0038n \quad (1.9)$$

Çizelge 1.5 : Kat sayısına bağlı perde oranı-2 (Tekel, 2006).

n	1	2	3	4	5
$\Sigma A_g / A_p$	0.38%	0.76%	1.14%	1.52%	1.90%

n	6	7	8	9	10
$\Sigma A_g / A_p$	2.28%	2.66%	3.04%	3.42%	3.80%

Gerekli perde alanının bulunması için kullanılan son koşul ise Atımtay (2000) tarafından yapılan çalışmanın parametre koşullarının Çizelge 1.4'de verilen değerler ile değiştirilmesiyle hesaplanmıştır. Böylelikle perde kesme kuvveti kapasitesine bağlı perde oranının, kat adedine bağlı değişimi elde edilmiş ve Denklem 1.10 ile gösterilmiştir. Kat adedine bağlı perde oranı değişimi ise Çizelge 1.6'da verilmiştir. Çizelgeden görülebileceği üzere, asgari %1 perde oranı kullanımı ancak 9 katlı yapıda sağlanabilmektedir.

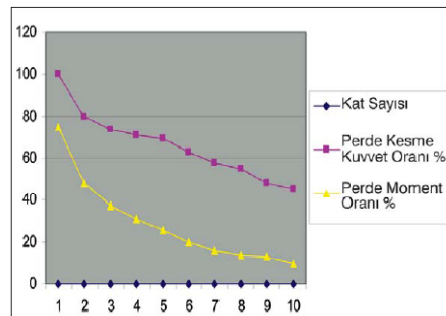
$$\sum A_g / A_p = 0.0012n \quad (1.10)$$

Çizelge 1.6 : Kat sayısına bağlı perde oranı-3 (Tekel, 2006).

n	1	2	3	4	5
$\Sigma A_g/A_p$	0.12%	0.24%	0.36%	0.48%	0.60%

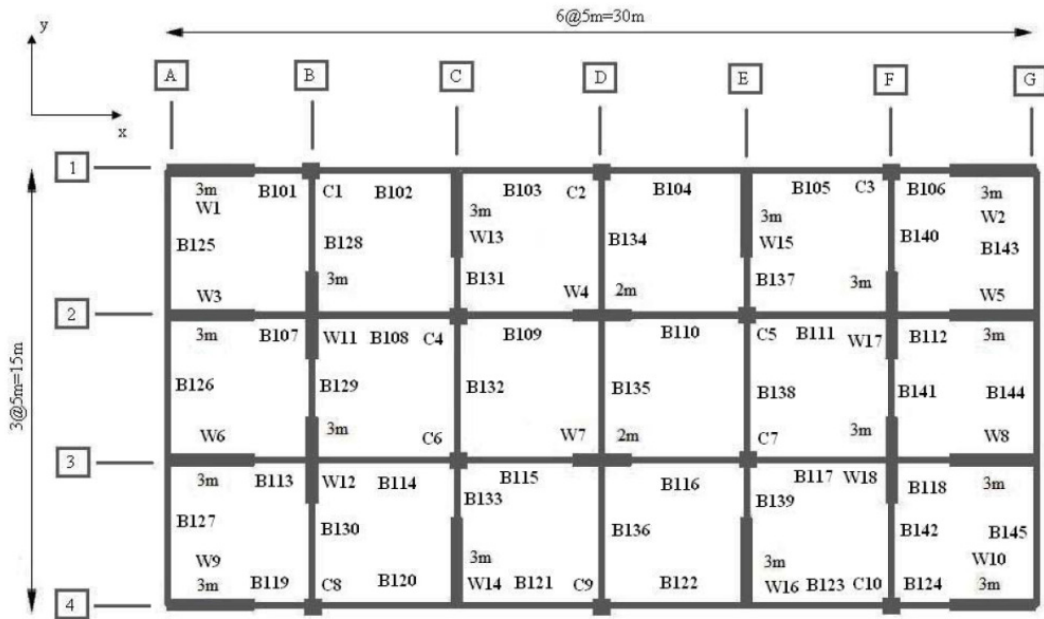
n	6	7	8	9	10
$\Sigma A_g/A_p$	0.72%	0.84%	0.96%	1.08%	1.20%

Perde oranını veren her üç bağıntı da, yapıda deprem sırasında oluşan yatay kuvvetin tamamının betonarme perdeler tarafından karşılanması durumu altında irdelenmiştir. Her üç bağıntı için elde edilen tabloların karşılaştırılmasından görülebileceği üzere, gerekli perde oranı sonuçları birbirinden farklılık göstermektedir. Önerilen bağıntıların irdelenmesi için Tekel (2006) tarafından oturma alanı 325 m² olan tipik bir yapı sistemi üzerinde sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde perde oranı %1.0 oranında sabit tutularak, kat sayısı 1’den 10’a kadar arttırılmıştır. Kat sayısına bağlı olarak perdeler düşen kat kesme kuvveti ve devrilme momentleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 1.5’de gösterilmiştir. Çalışmanın sonucunda DBYBHY-2007’de verilen üç bağıntı kullanılarak elde edilen sonuçlarla, tipik yapının analiz sonuçlarının farklılık gösterdiği, söz konusu farkın perde kesme kuvvetlerinden ziyade devrilme momentlerinden ileri geldiği belirtilmektedir. Yapılan analiz sonucu ile %1 oranında perde kullanımının, on katlı yapılara kadar deprem kesme kuvvetinin %40’nı karşıladığı görülmüştür. Söz konusu değerin sünek sistemler için öngörülen %75 oranının altında, karma sistemler için ise istenen düzeyde olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca çalışma sonucunda, söz konusu perde oranının uygulanması ile daha ekonomik olan normal süneklikli çerçeve ve yüksek süneklikli perdelerden oluşan karma sistemlerin kullanılmasının mümkün olacağı sonucuna varılmıştır.



Şekil 1.5 : Tipik yapıda perde kesme kuvveti ile moment değişimi (Tekel, 2006).

Soydaş (2009) tarafından gerçekleştirilen yüksek lisans çalışmasında, az ve orta katlı betonarme binalarda kullanılan değişken perde oranlarının, yapı deprem davranışına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, 2,5 ve 8 katlı betonarme binalar, farklı betonarme perde oranları altında üç boyutlu incelenmiştir. Analizde kullanılan söz konusu yapıların boyutlandırılması, DBYBHY-2007 yönetmeliğine uygun olarak yapılmıştır. Sadece yüksek süneklikli perdeler kullanılarak boyutlandırılan yapılar, 5 farklı kat planı, 3 farklı kat adedi ve 3 farklı perde duvar kalınlığı olmak üzere toplamda 45 tipte türetilmiştir. Bütün modellerde kolon ve kiriş boyutları sabit ve sırası ile $40 \times 40^{cm \times cm}$ ve $25 \times 40^{cm \times cm}$ olarak alınmıştır. Boyutlandırma, kolonlarda %1 donatı oranı ile yapılırken, kiriş ile perdelerde ise DBYBHY-2007’de verilen minimum donatı oranı koşuluna uyulmuştur. Perdelerin matematik modellenmesi eşdeğer kiriş yöntemi ile yapılmıştır. Yapı malzemesi olarak C20 sınıfı beton ve S420 sınıfı betonarme çeliği kullanılmıştır. Analizi yapılan yapının tipik kat planı Şekil 1.6’da gösterilmiştir.



Şekil 1.6 : Parametrik çalışmada kullanılan tipik model planı (Soydaş, 2009).

Çalışma sonucunda modellerin perde oranlarına bağlı elastik ve elastik olmayan ötelenmeleri ile yapı sismik performansı, DBYBHY-2007 yönetmeliğine göre hesaplanmıştır. Elastik ötelenmeler eş değer deprem yükü, elastik olmayan ötelenmeler ise statik itme analizi yöntemleri kullanılarak bulunmuştur. Yapı performans analizleri ise doğrusal elastik hesap yöntemlerinden eşdeğer statik hesap yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Çatı ve görel kat ötelemelerinin perde duvar

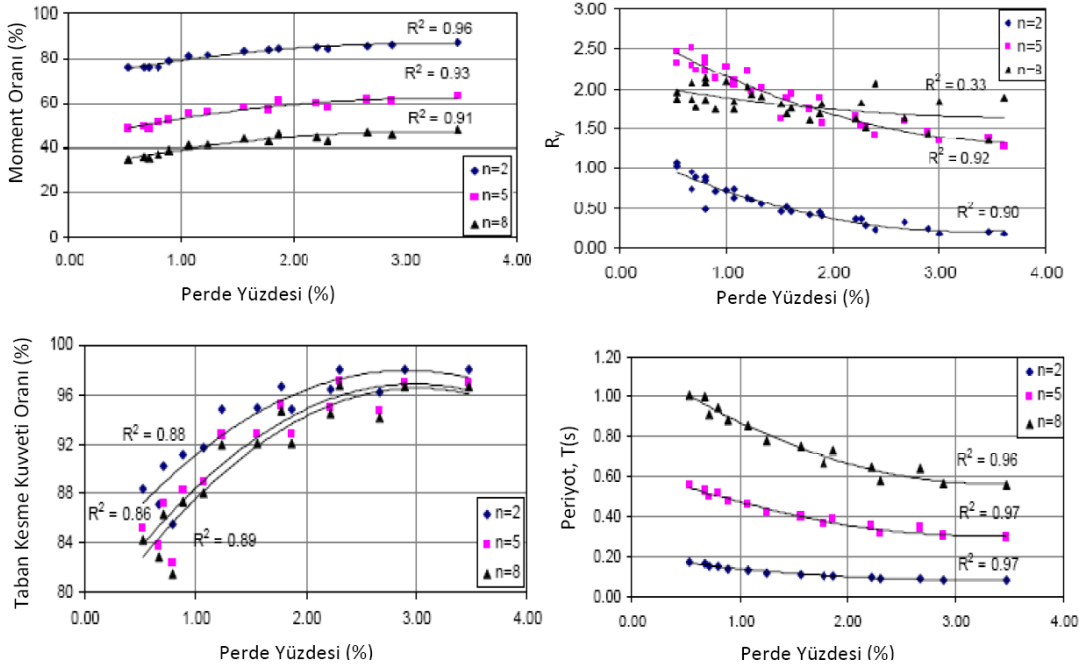
oranına göre değişimlerinin elde edildiği çalışmada, ötelenmenin az-orta katlı yapılarda birincil derecede sorun oluşturmadığı ve deprem yönetmeliğinde tanımlı performans kriterleri ile perde duvar oranları arasında direk bir ilişkinin kurulamadığı sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte ön tasarım aşamasında kullanılmak üzere perde duvar oranı limitleri önerilmiştir. Analiz sonuçlarına göre yapı ötelenmeleri Çizelge 1.7’de, yapı performans durumuna göre önerilen perde oranları ise Çizelge 1.8’de verilmiştir. Analiz sonucunda türetilmiş yapılara ait perde oranına bağlı süneklik katsayısı, yapı periyodu, taban kesme kuvveti değerleri hesaplanmış ve söz konusu değerler Şekil 1.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.7 : Perde oranına bağlı yapı lineer ve lineer olmayan çatı katı ötelenme oranları (Soydaş, 2009).

Kat Sayısı	2		5		8	
Perde Oranı (%)	0.53	3.60	0.53	3.60	0.53	3.60
Lineer Çatı Katı Ötelenme Oranı	1.83E-03	3.30E-04	6.10E-03	2.21E-03	7.77E-03	3.20E-03
Lineer Olm. Çatı Katı Ötelenme Oranı	2.08E-03	2.80E-04	5.46E-03	2.97E-03	6.06E-03	4.76E-03

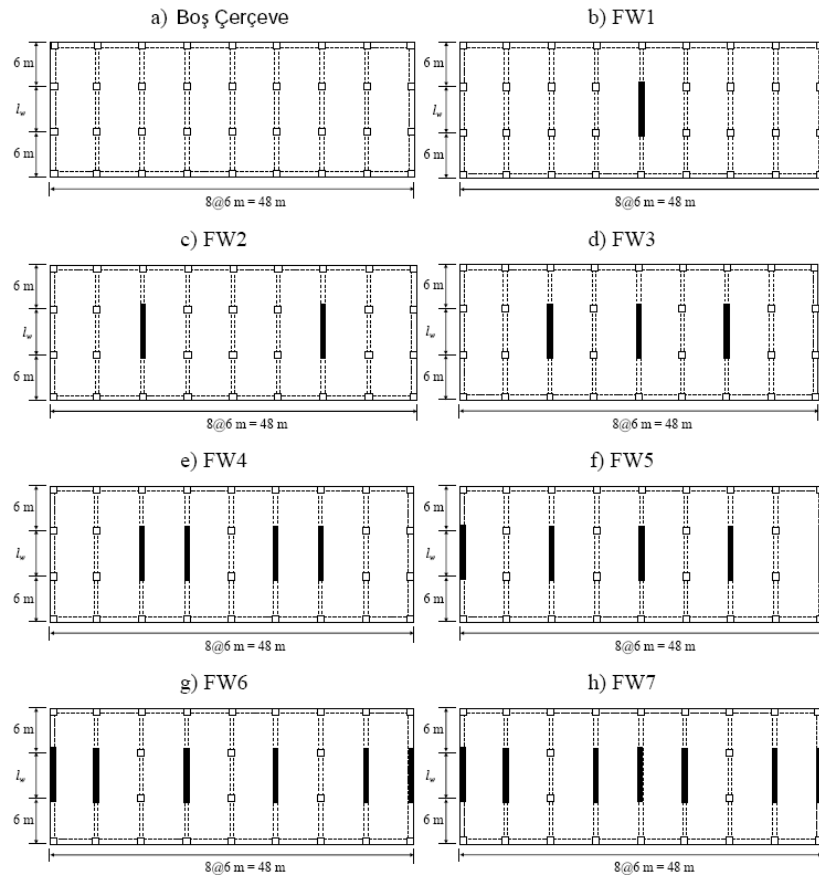
Çizelge 1.8 : Yapı performansına bağlı önerilen perde oranı (Soydaş, 2009).

n	Perde Oranı (%)		
	HK	CG	GÖ
2	0.50	0.50	0.50
5	1.00	1.30	1.30
8	1.00	1.30	1.60

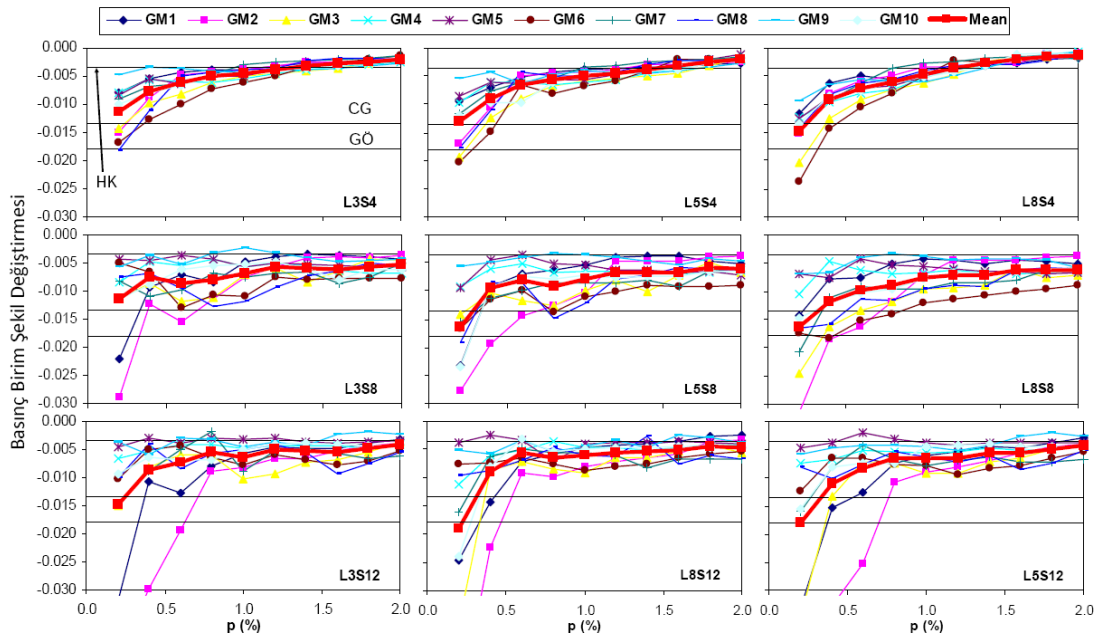


Şekil 1.7 : Perde oranına bağlı yapı parametreleri (Soydaş, 2009).

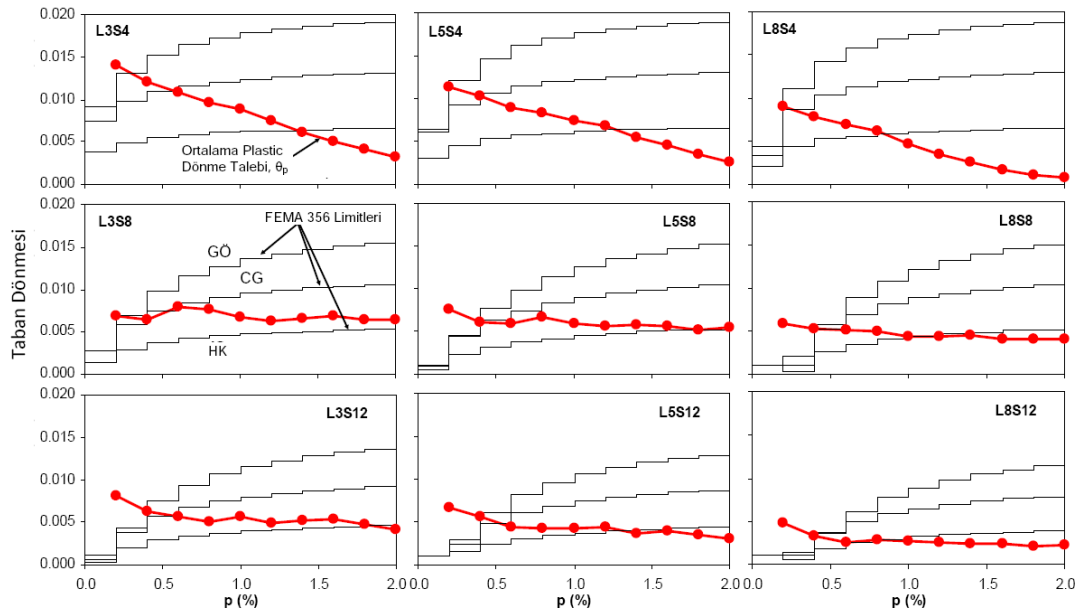
Kazaz (2010) tarafından gerçekleştirilen doktora çalışmasında, kalibre edilmiş bir sonlu elemanlar modeli kullanılarak dikdörtgen betonarme perdelerin ötelenme, eğrilik ve malzeme birim şekildeğiştirmeleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu amaçla, DBYBHY-2007 yönetmeliğine uygun olarak boyutlandırılmış 3, 5 ve 8 katlı yapılar, değişik perde oranları altında sayısal analizler ile irdelenmiştir. Söz konusu yapılarda, perde kalınlığı 25^{cm} alınmıştır. Beton ile donatı malzeme sınıfları ise sırası ile C25 ve S420 olarak kullanılmıştır. Parametrik çalışmada binaların DBYBHY-20007'ye göre Z3 zemin sınıfı ile 1.deprem bölgesinde yer aldığı kabul edilmiştir. Analizlere konu tipik yapının kat planları ise Şekil 1.8'de verilmiştir Doğrusal olmayan dinamik analizler ile irdelenen betonarme yapıların değişken perde oranları altında DBYBHY-2007 ve FEMA 356-2000 şartnamesine göre performans seviyeleri değerlendirilmiştir. Analiz sonucu söz konusu yapıların performans düzeyleri, beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile taban dönmesi açısından belirlenmiş ve Şekil 1.9 ile Şekil 1.10'da gösterilmiştir. Çalışma sonucunda modelleme parametreleri önerilmiş, ayrıca DBYBHY-2007 ve FEMA 356'da verilen hasar sınır durumlarının geçerliliği irdelenmiştir.



Şekil 1.8 : Parametrik incelemede kullanılan tipik yapı planları (Kazaz, 2010).



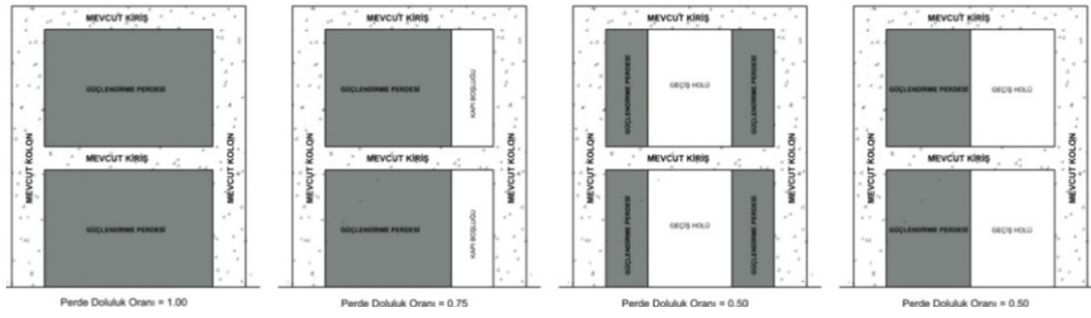
Şekil 1.9 : Perde oranına bağlı beton basınç birim şekildeğiştirmeleri (Kazaz, 2010).



Şekil 1.10 : Perde oranına bağlı taban dönmeleri (Kazaz, 2010).

1.2.2 Deneysel çalışmalar

Betonarme çerçevelerin betonarme perdeler ile güçlendirilmesi sonucu değişen davranışları literatürde yer alan birçok deney ile irdelenmiştir. Bu deneylerde betonarme güçlendirme perdelerinin çerçeve içerisinde Şekil 1.11’de gösterildiği üzere konumları ve doluluk oranlarının yanı sıra, çerçeveye bağlandığı ankraj tipi, mevcut çerçevenin ve güçlendirme perdelerinin yapısal özellikleri vb. etmenler değişken parametreler olarak kabul edilmiş ve incelenmiştir.



Şekil 1.11 : Güçlendirme perdelerinin mevcut çerçeve içerisinde değişken konumu.

Hayashi ve diğ. (1980) tarafından yapılan deneylerde betonarme dolgu duvarların mevcut çerçeve ile olan bağlantıları, belirli ankraj tipleri için incelenmiştir. Bu amaçla çerçeve içerisinde bütünüyle güçlendirme perdesi oluşturulan, tek açıklık ve tek katlı, 1/3 ölçeğinde 6 adet test numunesi çeşitli çerçeve-perde ankraj tipleri (kesme kaması, ankraj çubuğu vb.) için tersinir yüklemeye maruz bırakılmıştır. Çerçeve betonu C18, perde betonu ise C18~C30 sınıfı olan numunelerde, akma dayanımı $230\sim350 \text{ N/mm}^2$ olan çelik donatılar kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda güçlendirme perdelerinin kiriş ve kolona ankraj donatıları ile bağlandığı betonarme çerçeveler, diğer tipte ankrajlar ile güçlendirilmiş betonarme perde-çerçevelere göre daha yüksek dayanım göstermiştir.

Okhi ve Bessho (1980) tarafından yapılan deneylerde monolitik döküm ile oluşturulan betonarme dolgu duvarlı çerçeveler ile sonradan betonarme perdeler ile güçlendirilen çerçevelerin deprem istemine karşın yapısal davranışı araştırılmıştır. Bu amaçla tek açıklık ve tek katlı, 1/2 ölçeğinde hazırlanan betonarme dolgu duvarlı çerçeveler, tekrarlı tersinir yükler altında incelenmiştir. Betonarme betonu olarak basınç dayanımı 21 N/mm^2 , donatı olarak ise akma dayanımı 357 N/mm^2 olan malzemeler kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, sonradan betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilen çerçevelerin monolitik döküm ile oluşturulan çerçeve-dolgu duvarlara göre %36 daha az rijitlik ve %26 daha az dayanım gösterdiği görülmüştür.

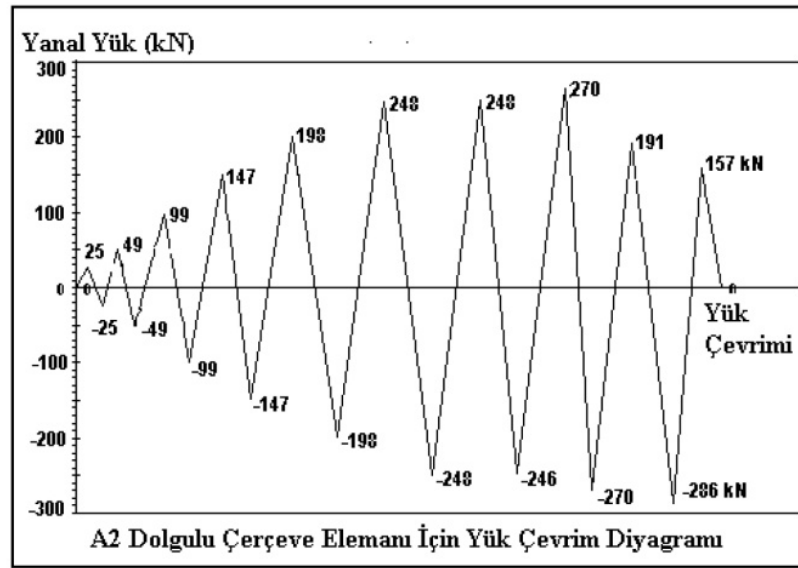
Higashi ve diğ. (1980) tarafından betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde sıkça uygulanan betonarme dolgu duvar, çelik çapraz ve prekast panellerin etkinliği, yapılan deneyler ile test edilmiştir. Bu amaçla, tek açıklıklı, bir ve üç katlı, 1/3 ölçeğinde betonarme çerçeveler, sözü edilen güçlendirme tipleri uygulanarak güçlendirilmiş ve tersinir yükleme altında sismik davranışları incelenmiştir. Kolonlara uygulanan aksenal kuvvetin sabit tutulduğu deneylerde, S220 ve S420

sınıfı donatı ile C14 sınıfı beton kullanılmıştır. Yükleme sonucunda en fazla dayanım, betonarme dolgu duvarlarla (perdelerle) güçlendirilen çerçevelerde meydana gelmiştir. Ayrıca göçme modları incelendiğinde, tek katlı çerçevelerin çoğunlukla kesme kırılması ile, üç katlı çerçevelerin ise eğilme kırılmasının hakim olduğu göçme mekanizmaları ile dayanım sınırına ulaştıkları görülmüştür.

Sugano ve Fujimura (1980) tek açıklık ve tek katlı 1/3 ölçekli güçlendirilmiş betonarme çerçeveleri, Higashi (1980, 1894) tarafından yapılan deneylere benzer şekilde, betonarme dolgu duvar bağlantı tipleri (kesme kaması, ankraj çubuğu vb.) için tersinir yükleme altında incelemiştir. Ayrıca betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilen çerçeveler ile monolitik perde sistemin yatay kuvvetler altında davranış farkı için de araştırma yapmıştır. Betonarme dolgu duvarlar basınç dayanımı 38 N/mm^2 olan betondan imal edilirken, çerçeveler basınç dayanımı 24 N/mm^2 olan betondan üretilmiştir. Çerçeve ve betonarme dolgu duvar için akma dayanımı ortalama 380 N/mm^2 olan donatı çeliği kullanılmıştır. Deney sonuçları Hayashi (1980) tarafından yapılan testlere benzer şekilde ortaya çıkmış, dayanımı en yüksek çerçeve perde bağlantı tipi ise donatı ankrajı ile sağlanmıştır. Ayrıca sonradan döküm betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçeveler, monolitik dökümlere oranla daha az dayanım göstermişlerdir.

Altın (1990) tarafından kuvvetli kiriş zayıf kolon özellikleri gösteren çerçevelerin betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi sonucu değişen davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla perde duvarlar ile güçlendirilmiş iki katlı tek açıklıklı dört çerçeve, farklı ankraj ve donatı düzeni altında tersinir yükleme maruz bırakılmıştır. Beton dayanımı $9.0\sim 30 \text{ N/mm}^2$ arasında değişen ve akma dayanımı ortalama 380 N/mm^2 olan donatıdan imal edilen betonarme dolgu çerçevelerin değişken parametreleri olarak, perde donatı düzeni, perde uç bölgesi teşkili ve ankraj tipi seçilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, yükleme yapılan bütün güçlendirilmiş betonarme çerçevelerde göçme modunun temele bağlantı noktasında perdelerde kesme ve eğilme etkisinde beraberce meydana geldiği, ayrıca kolonlarda bulunan eksenel kuvvetin betonarme dolgulu çerçevelerin dayanımını arttırdığı görülmüştür. Ayrıca, deney sonuçlarına ilave olarak, kolon ile kirişe donatılar ile ankre edilen betonarme dolgu duvarların, ankrajsız perdelere oranla deprem yükleri altında çok daha fazla dayanım sağladığı görülmüştür.

Türk (1998) tarafından pratikte sıkça karşılaşılan yetersizliklere sahip çerçevelerin betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi, kolon boyuna donatı oranı, çerçeve beton kalitesi, kolon bindirme bölgesi, kolon eksenel yükü vb. değişkenler altında incelenmiştir. Çalışmada tek açıklıklı, iki katlı ve 1/3 ölçekli 10 adet test numunesi çerçeve beton dayanımı $10\sim 23 \text{ N/mm}^2$, betonarme dolgu duvar beton dayanımı ortalama 22 N/mm^2 ve donatı çelikleri S420 sınıfı olacak şekilde ayrı ayrı hazırlanmıştır. Çerçevelerin bazıları yüklemeler sonucu hasarlı hale getirilmiş ve daha sonra hasarlı çerçevelere betonarme dolgu duvar ile güçlendirme uygulaması yapılmıştır. Ön hasarlı ve hasarsız güçlendirilmiş çerçeveler, depremi simule etmeyen ve Şekil 1.12’de verilen tersinir yüklemeye maruz bırakılmıştır. Deney sonuçlarına göre, hasarlı çerçeveler hasarsız çerçevelere göre yaklaşık %30 daha az dayanım göstermiştir. Ayrıca kolon boyuna donatı oranının, güçlendirilmiş çerçevenin eğilme kapasitesi üzerinde önemli katkısının olduğu vurgulanmıştır.



Şekil 1.12 : Tipik yük çevrim diyagramı (Türk ve diğ, 2003).

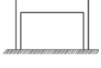
Sonuvar (2001) tarafından yapılan deneylerde hasar görmüş çerçeve sistemlerin betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi, kolon bindirme bölgesi zayıflığı esas alınarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada 5 adet güçlendirilmiş çerçeve, tek açıklık ve iki katlı, 1/3 ölçeğinde test numunesi olarak hazırlanmıştır. Türkiye'deki yapı stoğunda sıkça karşılaşılan C15 sınıfı betondan imal edilen çerçevelerde, güçlendirme perdeleri basınç dayanımı $22\sim 40 \text{ N/mm}^2$ arasında değişen beton ve akma dayanımı 320 N/mm^2 olan donatı çeliği kullanılarak imal edilmiştir. Deneylerde değişken parametre olarak kolon donatı bindirme boyu, yeni perde uç

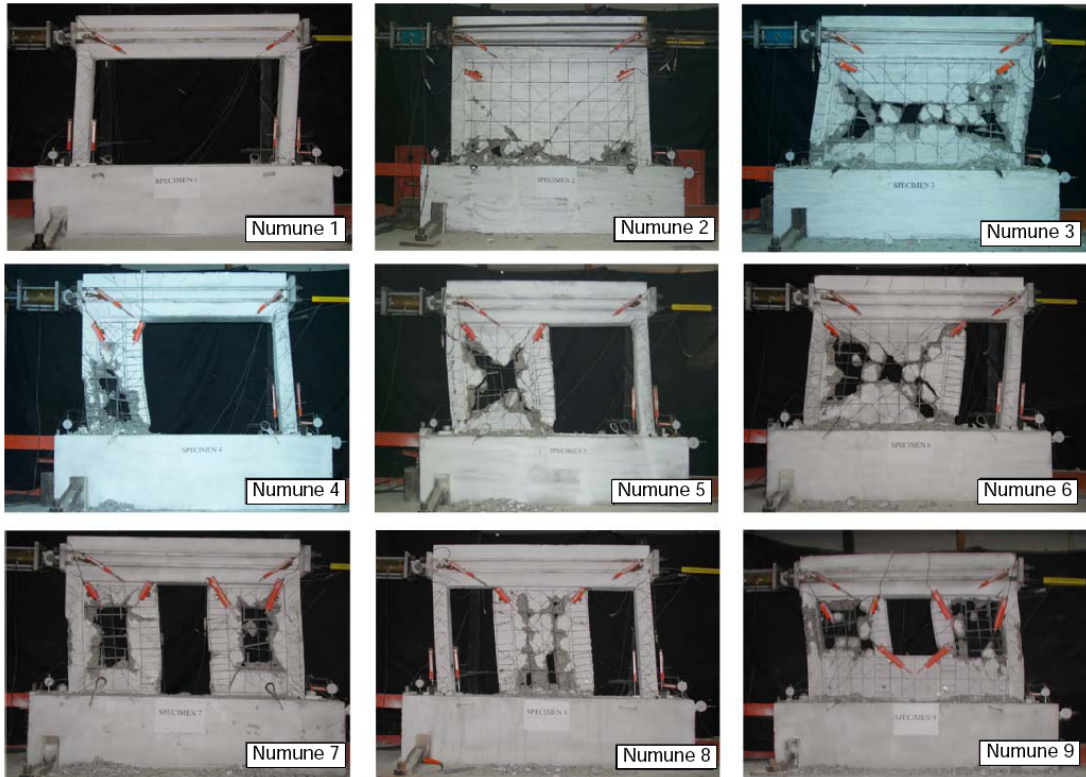
bölgesi oluşturulması ve bindirme bölgesi güçlendirilme biçimi seçilmiştir. Tersinir yükleme altında yapılan deneyler sonucunda, yetersiz bindirme bölgesine sahip kolonlardan oluşan çerçevelerin çelik mantolama ve perdelerde uç bölgesi oluşturma gibi yöntemlerle güçlendirilmesi neticesinde yeterli dayanım gösterdikleri görülmüştür. Donatı bindirme bölgesi zayıf kalacak şekilde güçlendirilmiş çerçevelerin ise deprem istemine karşın yeterli kapasiteyi gösteremediği belirtilmiştir. Sonuç olarak kolon bindirme bölgesi yetersizliğine sahip çerçevelerin dolgu duvarlarla güçlendirilmesi sonucu istenilen dayanıma ulaşamadığı, bu tür yetersizliklere sahip çerçevelerden tam kapasitede yararlanılabilmesi için bindirme bölgelerinde tedbirlerin alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Anıl ve Altın (2007) yaptıkları çalışmada betonarme dolgu duvarların çerçeveler içerisinde kısmen oluşturulması (kısmi betonarme dolgu duvarlı çerçeve) ile güçlendirilen sismik yetersizliğe sahip çerçevelerin, deprem yükleri altında değişen davranışlarını incelemişlerdir. Bu amaçla Çizelge 1.9’da verilen basınç dayanımı 23 N/mm² olan beton ile akma dayanımı ortalama 420 N/mm² olan donatıdan meydana gelen, tek açıklık ve tek katlı 1/3 ölçeğinde, farklı betonarme perde duvar doluluk oranlarına sahip 9 adet çerçeveyi tersinir yükleme altında test etmişlerdir.

Betonarme dolgulu çerçevelerin deney sonu görüntüleri Şekil 1.13’te verilmiştir. Buna göre çerçeve içerisinde perde doluluk oranı arttıkça rijitlik ve dayanım artmıştır. Ayrıca betonarme dolgu duvarların kolon ve kirişe beraber ankraj yapılması halinde güçlendirilmiş çerçeveden tam kapasite ile yararlanılabileceği ve perde uç bölgelerinin oluşturulması halinde kesme kırılmalarının çoğalmasının önüne geçilebileceğini belirtmişlerdir. Dayanım kayıpları, monolitik döküm ile meydana getirilen perde-çerçeve sistemde temele bağlantı noktasında kayma davranışı ile oluşurken, betonarme dolgu duvarların sonradan dökümü ile oluşturulan perde-çerçeve sistemlerde, doluluk oranı az olmamak kaydı ile genellikle perde duvar gövdesinde meydana gelen kesme kırılmaları ile oluşmuştur. Perde doluluk oranının az olduğu sistemde ise mevcut çerçeve kolonunun dayanımını yitirmesi ile taşıma gücüne ulaşılmıştır.

Çizelge 1.9 : Test edilen kısmi dolgu duvarla güçlendirilen betonarme çerçevelerin özellikleri (Anıl ve Altın, 2007).

Test Numune No	B.arme Dolgu Duvar Konfigürasyonu	B.arme Dolgu Duvar Uzunluğu (l_w),mm	B.arme Dolgu Duvar Yüksekliği (h_w), mm
1		-	750
2		1300	750
3		1300	750
4		325	750
5		650	750
6		975	750
7		2 x 487.5	750
8		650	750



Şekil 1.13 : Kısmi güçlendirilmiş betonarme perde çerçevelerinin deney sonu hasar durumları (Anıl ve Altın, 2002).

Kara ve Altın (2006) tarafından yapılan deneylerde betonarme dolgu duvarın çerçeve içerisinde kısmen oluşturulması ile dolgu duvar uç eleman mevcudiyeti incelenmiştir. Bu amaçla, C12 sınıfı düşük beton basınç dayanımına sahip çerçeveler, C25 sınıfı yüksek beton basınç dayanımına sahip güçlendirme perdeleri ile takviye edilerek, 9 adet kısmi dolgulu güçlendirilmiş çerçeve hazırlanmıştır. Ortalama 300 N/mm^2 akma dayanımına sahip donatıların kullanıldığı güçlendirilmiş betonarme çerçeveler, 1/3 ölçekli olarak tek açıklık ve iki katlı imal edilmiş olup, tersinir yüklemeye maruz bırakılmıştır (Çizelge 1.10). Deney sonuçlarına göre, çerçeve içerisinde perde doluluk oranı aynı olan sistemlerden, çerçevenin tam ortasında ve sadece kirişe ankraj yapılan dolgu duvarlı güçlendirme tipinin (Tip-9), kolon ve kirişe beraber ankraj yapılan dolgu duvar güçlendirme tipine (Tip-5) nazaran %45 daha az rijitlik gösterdiği vurgulanmıştır. Ayrıca beklenildiği üzere betonarme dolgu duvar doluluk oranının artması ile yapının sünekliği azalırken, enerji sönümleme kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak tam dolgulu güçlendirilmiş çerçeveye nazaran, %25 boşluklu kısmi dolgulu çerçevede %10, %50 boşluklu çerçevede %41 ve %75 boşluklu çerçevede ise %61 oranında daha az yatay yük taşıma kapasitesi elde edilmiştir.

Deneyleri yapılan dolgulu çerçevelerden Tip-6 ve Tip-7, uç elemanı mevcudiyetine göre çok farklı davranış göstermiştir. Uç elemanı bulunmayan dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçevede (Tip-6), kırılma diyagonal doğrultuda basınç ezilmesi ile meydana gelmiştir. Ayrıca, Tip-6 numunesinde yatay yük taşıma kapasitesi, uç elemanı bulunan ve aynı dolgu duvar oranına sahip çerçeveye (Tip-7) nazaran %7 azalmış, kat yatay ötelemesi ise %19 oranında artmıştır. Benzer şekilde başlangıç rijitliği %18, süneklik %38 ve enerji sönümü ise %28 oranında azalmıştır.

Deney elemanlarının itme analizi yapılarak elde edilen başlangıç rijitlikleri, monolitik döküm perde duvarlı çerçeve dışında, deney sonu elde edilen değerlerden daha fazla bulunmuştur. Ayrıca perdelerin yatay kuvvet taşıma kapasiteleri çeşitli araştırmacıların önerdiği bağıntılar yardımıyla hesaplanarak deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre güçlendirilmiş çerçevelerin yatay kuvvet taşıma kapasiteleri, kısmen matematiksel bağıntılar ile bulunan değerlere yakın olsa da, deney sonuçlarına gerçekte olduğundan çok daha az küçüktür (Çizelge 1.11).

Çizelge 1.10 : Test edilen kısmi dolgu duvarla güçlendirilen betonarme çerçevelerin özellikleri (Kara ve Altın, 2006).

Deney Elemanı No		Dolgu Duvarı				
		Kalınlık b_w (mm)	Uzunluk l (mm)	Yükseklik h (mm)	l/h	Uç Elemanı (mm)
1	Çerçeve	----	----	----	----	----
2	Bir döküm	50	1300	750	1,73	Yok
3	Güçlendirme	50	1300	750	1,73	Yok
4	Güçlendirme	50	325	750	0,43	130x50
5	Güçlendirme	50	650	750	0,87	130x50
6	Güçlendirme	50	975	750	1,3	130x50
7	Güçlendirme	50	975	750	1,3	Yok
8	Güçlendirme	50	2-487,5	750	1,3	130x50
9	Güçlendirme	50	650	750	0,87	130x50

Çizelge 1.11 : Perde yatay yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması (Kara ve Altın, 2006).

Deney Elemanı No:	Vallenas-Bertero-Popov	Barda	Benjamin-Williams	ABYYH Yönetmelik	Deneysel	Hesaplanan Deneysel			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	----	----	----	----	----	----	----	----	----
2	264	234	373	255	190	1,39	1,23	1,96	1,34
3	289	228	364	244	156	1,85	1,46	2,34	1,56
4	86	64	89	186	60	1,43	1,07	1,48	3,10
5	151	115	209	207	92	1,64	1,25	2,27	2,25
6	223	167	274	225	140	1,59	1,19	1,96	1,61
7	203	161	275	224	130	1,56	1,24	2,12	1,73
8	217	186	309	227	133	1,63	1,40	2,32	1,71
9	143	101	209	208	87	1,64	1,16	2,40	2,39

Kaltakçı ve Yavuz (2006) yaptıkları çalışmada, mevcut yapı stoğunda sıkça karşılaşılan düşük beton kaliteli, güçlü kiriş-zayıf kolonlu, nervürlü donatılı, yetersiz donatı bindirme boyuna ve etriyeye sahip, deprem yönetmeliğine uygun olmayan çerçevelerin betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesini incelemişlerdir. Bu amaçla, 1/3 ölçekli iki katlı ve iki açıklıklı kısmi dolgu betonarme çerçevelere,

belirli eksenel yük altında, tersinir yükleme uygulamışlardır. Güçlendirilen çerçeveler C14, perdeler ise C30 sınıfı betondan imal edilmiş olup, donatılarda ise S420 sınıfı çelik kullanılmıştır. Deney sonuçları Kara ve Altın (2006) tarafından bulunan sonuçlara benzer şekilde ortaya çıkmış ve dolgu duvar oranı artıkça, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi ile rijitliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

Kaplan ve diğ. (2009), Arslan ve diğ. (2010) ile Kaltakçı ve diğ. (2010) tarafından çerçevelerin betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirme deneylerinde, dış perde duvarların sismik davranış üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda, Arslan ve diğ. (2010) ile Kaltakçı ve diğ. (2010) tarafından iki açıklıklı ve iki katlı, Kaplan ve diğ. (2009) tarafından ise tek/üç açıklıklı iki katlı dış perde duvar ile güçlendirilmiş çerçeve sistemler tersinir yükleme altında test edilmiştir. Söz konusu dış perde duvarlar, Arslan ve diğ. (2010) ile Kaltakçı ve diğ. (2010) tarafından sistem aksı sonunda oluşturulurken, Kaplan ve diğ. (2009) tarafından aks düzleminde ve çerçevenin dışında oluşturulmuştur (Şekil 1.14).Yapılan deneylerin sonuçlarına göre, dış perde duvarlar ile güçlendirilmiş sistemlerin görelî kat ötelenmeleri %2 oranını aşınca etkinliklerini yitirmektedirler. Ayrıca aynı özelliklere sahip betonarme çerçevelerden, dolgu duvarlar ile güçlendirilen sistemin dayanımı 7-8 kat artmakta iken, dış perde ile güçlendirilen sistemin dayanımı yaklaşık 4-5 katına çıktığı gözlemlenmiştir. Bu durum çerçeve sistemlerinin güçlendirilmesinde betonarme dolgu duvarların dış perde duvarlara göre daha fazla dayanım sağladığını göstermektedir.



Kaplan (2009)

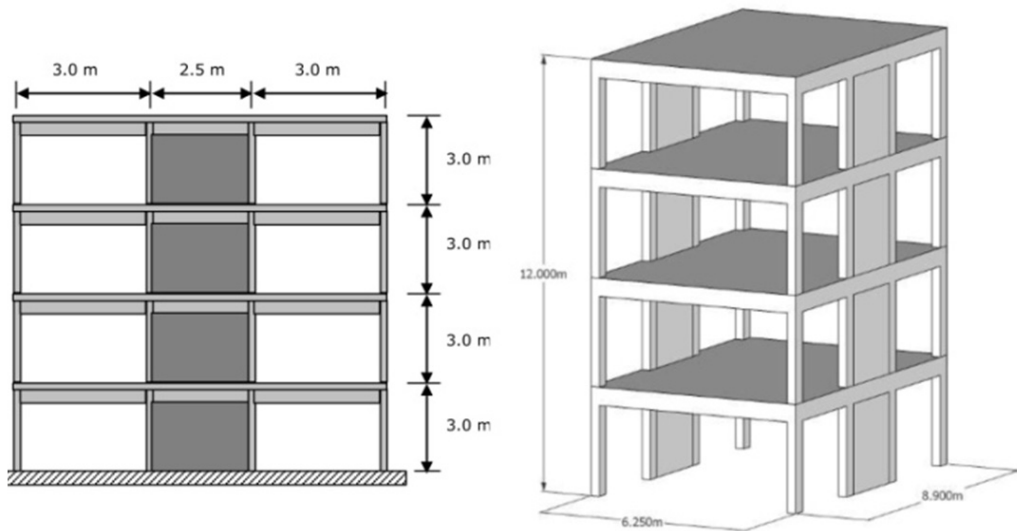


Arslan(2010)

Şekil 1.14 : Dış perde duvar ile güçlendirme deneyleri, tipik deney düzenekleri (Kaplan ve diğ, 2009 ile Arslan ve diğ, 2010).

Chrysostomou ve diğ. (2012) Avrupa Birliği SERIES çalışmaları içerisinde yer alan ve birçok ülkenin birliği ile oluşturulan SERFIN projesi kapsamında, betonarme güçlendirme perdelerinin etkinliği donatı miktarı ile çerçeve bağlantısında kullanılan ankraj tipi açısından tam ölçek bir yapıda deneysel olarak incelemişlerdir. Bu kapsamda kısa doğrultuda betonarme çerçeve, uzun doğrultuda ise perde ile güçlendirilmiş betonarme çerçevelerden oluşan 3 katlı yapı modeli teşkil edilmiştir (Şekil 1.15 ve Şekil 1.16).

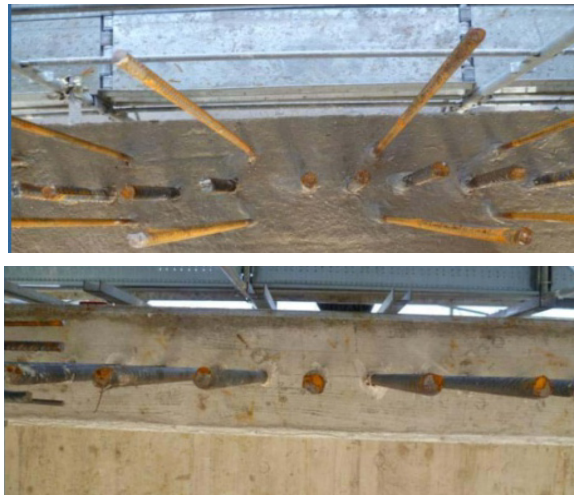
Betonarme perdeler ile güçlendirilen sistem, Kıbrıs'ta 1980 başlarında inşa edilen konut stoğunu temsil etmek üzere sadece düşey yükleri taşımak üzere boyutlandırılmıştır. Beton kalitesi olarak C20/C25 beton sınıfının kullanıldığı sistemde, mevcut çerçeve ve güçlendirme perdesi için sırası ile akma dayanımı 400MPa ve 450MPa olan donatı kullanılmıştır. Döşemelerin 15^{cm} kalınlığında kullanıldığı yapıda kolonlar 25x40^{cmxcm}, kirişler ise 25x50^{cmxcm} boyutlarında imal edilmiştir. Perde kalınlıkları ise kiriş kalınlıkları ile aynı ve 25^{cm} alınmıştır. Değişken parametrelerden biri olan perdenin mevcut sisteme bağlantı detayında ise sadece kesit ortasında yer alan ankraj çubukları ile perde gövde donatılarını karşılayan ilave ankraj filizleri olmak üzere iki tip ankraj kullanılmıştır (Şekil 1.17). Diğer değişken parametre olan perde donatı oranları ise, güney çerçevede kuzey çerçeveye nazaran daha az donatı oranı olacak şekilde her katta farklı alınmıştır. (Çizelge 1.12). Ayrıca bazı kolonların kat hizalarında bulunan donatı bindirme bölgeleri fiber takviyeli polimer (FRP) ile güçlendirilmiştir.



Şekil 1.15 : Güçlendirilmiş betonarme perdelerden oluşan betonarme sistemin geometrisi (Chrysostomou ve diğ, 2012).



Şekil 1.16 : Güçlendirilmiş betonarme perdelerden oluşan tam ölçek 3 katlı betonarme sistem (Chrysostomou ve diğ, 2012).



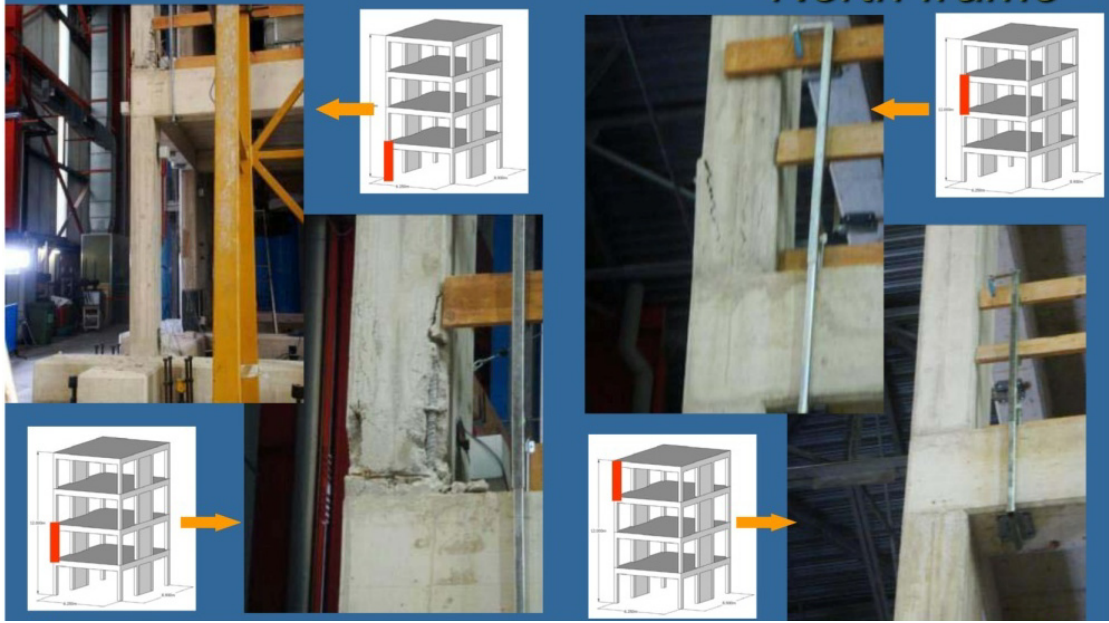
Şekil 1.17 : Mevcut çerçeve sisteme betonarme perde ankraj tipleri (Chrysostomou ve diğ, 2012).

Çizelge 1.12 : Perde donatılarının katlara göre değişimi (Chrysostomou ve diğ, 2012)

Kat	Kuzey Perdesi								Güney Perdesi							
	Gövde Donatıları	Ankraj Filiz Boyu		Ankrajlar				Gövde Donatıları	Ankraj Filiz Boyu		Ankrajlar					
				Gömme Derinliği (mm)							Gömme Derinliği (mm)					
				Çap (mm)	Alt ve Doğu Uç		Üst Batı Uç				Çap (mm)	Alt Doğu Uç		Üst Batı Uç		
		Perde	Çerçeve		Perde	Çerçeve	Perde		Çerçeve	Perde		Çerçeve				
1	φ12@200	600	230	φ20	160	160	600	190	φ10@200	500	170	φ20	160	160	500	160
2	φ10@200	500	170	φ20	160	160	500	160	φ8@200	400	1204	φ18	145	145	400	145
3	φ8@200			φ18	400	145	400	145	φ8@200			φ16	400	130	400	130
4	φ8@200			φ16	400	130	400	130	φ8@200			φ16	400	130	400	130

Sistem 0.25g maksimum ivme oluşturacak şekilde tersinir yüklemeye maruz bırakılmış ve tepe noktası yer değiştirmesi, çatlak oluşumu, kat kesme kuvvetleri vb. büyüklükler altında incelenmiştir. Güney çerçevede bulunan perdede bazı diyagonal kayma çatlakları meydana gelse de, betonarme perdeler genellikle eğilme etkin davranış göstermiştir. Perdeler ile çerçeve arasında kullanılan her iki ankraj tipinde de gözle görülür bir hasar ya da perdenin çerçeveden ayrılması durumu

gözlenmemiştir. Dış kirişlerin kolon ile bağlandığı noktalarda bazı düşey çatlaklar ile perdenin dayanımını kaybettiği güney çerçevenin perde temel birleşimlerinde yatay çatlaklar oluşmuştur. Betonarme yapıda hasarlar özellikle FRP ile güçlendirilmemiş kat hizalarında kolon donatı bindirme bölgelerinde meydana gelmiştir (Şekil 1.18). Bununla birlikte bazı kirişlerde de hasar oluşmasına karşın, yapı güçlendirilmiş hali ile yeterli dayanımı göstermiştir. Tüm bu bilgiler ışığında perdeler ile güçlendirilmiş çerçeve sistem tatmin edici bir deprem performansı göstermiştir.

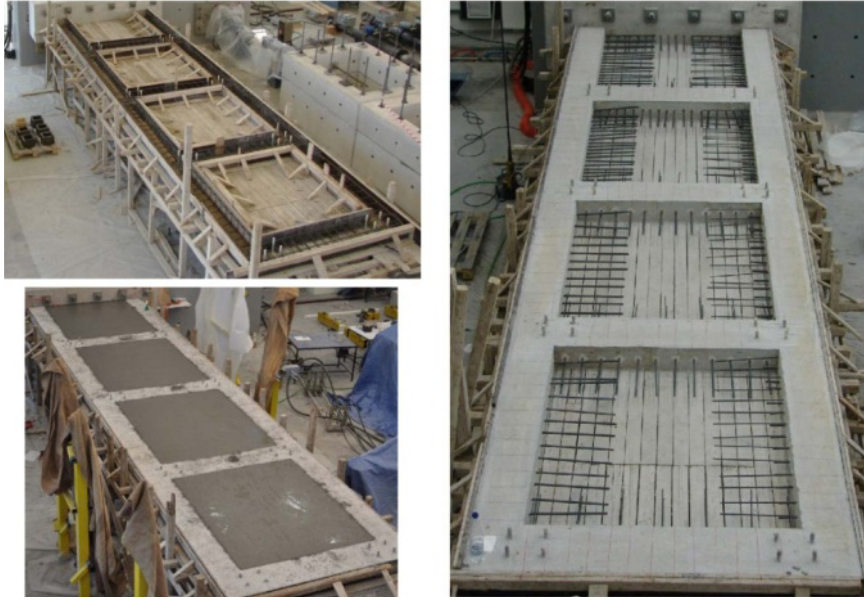


Şekil 1.18 : Güney çerçevede kat hizasında eksik donatı bindirme boyu nedeniyle meydana gelen hasarlar (Chrysostomou ve diğ, 2012).

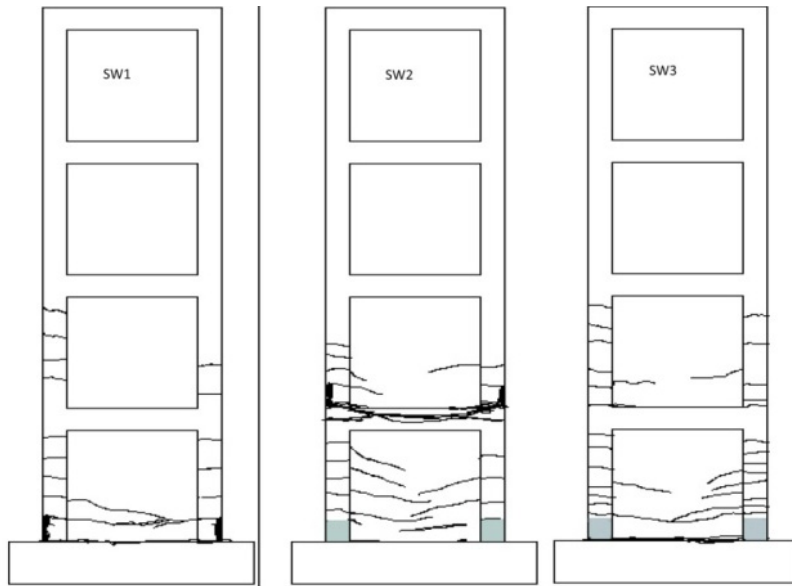
Strepelias ve diğ. (2012) yine Avrupa Birliği SERIES çalışmaları içerisinde dört katlı tek açıklı betonarme perdeler ile güçlendirilmiş çerçeveleri, dinamik benzeri (pseudo-dynamic) yükleme altında test etmişlerdir. Çalışmada perdelerin ankraj tipleri, perde gövdesi donatı oranları ve kolon bindirme bölgesi yetersizliği değişken parametreler olarak seçilmiştir. Sünek olmayan çerçeve özelliği gösteren deney elemanlarında C16/20 beton sınıfı ile etriyelerde S220, ana donatılarda ise S500 kalitesinde donatı çeliği kullanılmıştır (Şekil 1.19).

Farklı perde oranları ile güçlendirilmiş çerçevelerde, ankraj bağlantı tipleri, Chrysostomou ve diğ. (2012) yaptığı çalışmada olduğu gibi, sadece ankraj çubukları (kesit ortasında) veya ankraj çubuğu ile perde gövde donatısını karşılayan ankraj filizleri birlikte olmak üzere iki farklı tipte düzenlenmiştir (Şekil 1.17). Kolonların kat hizaları ile birleştiği bölgelerin bir kısmında FRP uygulaması yapılmış, ayrıca

bazı deney numunelerinde son iki katta (3. ve 4. kat) güçlendirme perdelerinin çerçeveye ankrajı yapılmamıştır. Analiz sonuçlarına göre, her iki ankraj tipinde de yeterli kenetlenmenin sağlanarak güçlendirme perdesi ile çerçevenin ayrılma göstermediği belirlenmiştir. Bununla birlikte, filiz ve ankraj donatısının birlikte kullanılarak betonarme perdenin çerçevelere bağlandığı durumun, sadece ankraj donatılı duruma oranla daha fazla kesme dayanımı gösterdiği belirlenmiştir. Deney numunelerinin test sonu hasar durumları Şekil 1.20’de verilmiştir.



Şekil 1.19 : Deney elemanlarının yapım aşamaları (Strepelias ve diğ, 2012).



Şekil 1.20 : Deney elemanlarının test sonu hasar durumları (Strepelias ve diğ, 2012).

Literatürde güçlendirme perdelerinin yatay yükler altında davranışını irdelemeye yönelik yapılan deneylerin genel özellikleri Çizelge 1.13'te verilmiştir. Deney sonuçlarından da görülebileceği üzere, betonarme dolgu duvarlarla yapılan güçlendirme neticesinde dayanım ve rijitliği etkileyen en efektif parametreler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Mevcut sistemin malzeme kalitesi
- Mevcut yapının kat adedi
- Mevcut donatılardaki eksik bindirme boyu
- Güçlendirme perdelerinin mevcut kiriş ve kolona ankraj tipi
- Güçlendirme perdesi oranı

Mevcut okul binalarının güçlendirilmesinde betonarme perdelerin etkinliği, kiriş ve kolona ankraj tipi dışında kalan söz konusu değişken parametreleri de kapsayacak şekilde irdelenmiştir. Bu sayede yapılan çalışma ile mevcut yapı stoğunda yer alan betonarme okul binalarının büyük bir kısmı analizlere dahil edilmiştir.

Çizelge 1.13 : Betonarme çerçevelerin perdeler ile güçlendirilmesine yönelik yapılan deneyler.

No	Araştırmacı	Üniversite	Yıl	Deney Ölçeği	Açıklık/Kat Adedi	Numune Adedi	Numune Özellikleri	Yükleme Tipi	Değişken Parametreler
1	Toshio Hayashi	Tokyo	1975	1/3	Tek Açıklık/ Tek Kat	6	Tam Dolgulu Çerçeve	Tersinir	Mevcut çerçeve - güçlendirme perdesi bağlantı tipleri (donatı ankrajı, betonarme kayma kaması vb.)
2	Kenji Ohki	Tokyo	1980	1/2	Tek Açıklık/ Tek Kat	5	Tam Dolgulu Çerçeve	Tersinir	Mevcut çerçeve - güçlendirme perdesi bağlantı tipleri (donatı ankrajı, betonarme kayma kaması vb.)
3	Yoichi Higashi	Tokyo	1980	1/3	Tek Açıklık/ Tek Kat	3	Tam Dolgulu Çerçeve	Tersinir	Betonarme çerçeve güçlendirme tipleri (çelik,prekast,yerinde dökme)
4	Shunsuke Sugano	Tokyo	1980	1/3	Tek Açıklık/ Tek Kat	10	Tam Dolgulu Çerçeve	Tersinir	Perde duvar kalınlığı, betonarme çerçeve güçlendirme tipi (çelik veya beton), Mevcut çerçeve - güçlendirme perdesi bağlantı tipleri (donatı ankrajı, betonarme kayma kaması vb.)
5	Sinan Altın	ODTÜ	1990	1/3	Tek Açıklık/ İki Katlı	14	Tam Dolgulu Çerçeve	Tersinir	Kolon eksenel yükü mevcudiyeti, perde donatı oranı ve düzeni, perde uç bölgesi mevcudiyeti
6	Murat Türk	Boğaziçi	1998	1/3	Tek Açıklık/ İki Katlı	10	Dolgusuz / Dolgulu Çerçeve	Tersinir	Kolon boyuna donatı oranı, çerçeve beton kalitesi, kolon bindirme bölgesi donatı etkisi, kolon eksenel yükü
7	Musa Onur Sonuvar	Boğaziçi	2001	1/3	Tek Açıklık/ İki Katlı	5	Tam Dolgulu Çerçeve	Tersinir	Kolon donatı bindirme boyu etkisi, perde uç bölgesi mevcudiyeti, Kolon bindirme bölgesi güçlendirilme biçimi
8	Özgür Anıl	Gazi	2002	1/3	Tek Açıklık/ Tek Kat	9	Tam/Kısmi Dolgulu Çerçeve	Tersinir	Betonarme dolgu duvar doluluk oranı, donatı oranları
9	Mehmet Emin Kara	Gazi	2006	1/3	Tek Açıklık/ İki Kat	9	Tam/Kısmi Dolgulu Çerçeve	Tersinir	Betonarme dolgu duvar doluluk oranı, donatı oranları
10	Günnur Yavuz	Balıkesir	2006	1/3	İki Açıklık/ İki Katlı	3	Tam/Kısmi Dolgulu Çerçeve	Tersinir	Betonarme dolgu duvar doluluk oranı, perde uç bölgesi mevcudiyeti
11	Hasan Kaplan	Pamukkale	2009	1/3	Üç açıklık+ Tek Açıklık / İki Kat	2	Dış Perde	Tersinir	Betonarme dış perde ile güçlendirme
12	Musa Hakan Arslan	Selçuk	2010	1/3	İki Açıklık/ İki Kat	4	Dış Perde	Tersinir	Kolon boyuna donatı oranı, dış perde ile güçlendirme
13	Murat Öztürk	Selçuk	2010	1/2	İki Açıklık/ İki Kat	3	Dış Perde	Tersinir	Bağ kirişi tipi (Çelik veya Beton), dış perde ile güçlendirme
14	C. Z. Chrysostomou	Avrupa Birliği	2012	Tam Ölçek	Üç Açıklık/ Dört Kat	1	Tam Dolgulu Çerçeve	Dinamik Benzeri (Pseudo-Dynamic) ve Tersinir	Kolon donatı bindirme boyu etkisi, donatı oranı, ankraj tipi, FRP ile güçlendirme
15	E. Strepelias	Avrupa Birliği	2013	Tam Ölçek	Tek Açıklık/ Dört Kat	3	Tam Dolgulu Çerçeve	Dinamik Benzeri (Pseudo-Dynamic)	Kolon donatı bindirme boyu etkisi, donatı oranı, ankraj tipi, FRP ile güçlendirme

2. BETONARME PERDELERİN MATEMATİK MODELLENMESİ

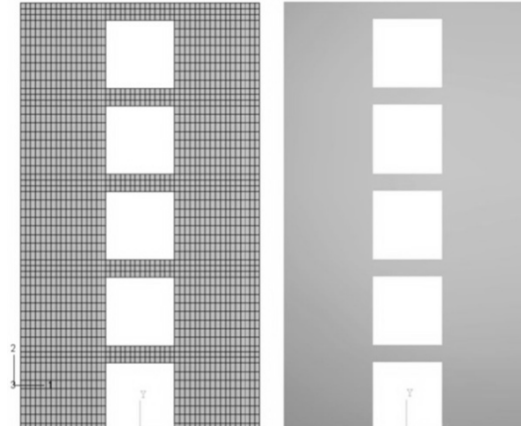
2.1 Modelleme Yaklaşımları

Betonarme perdelerin doğrusal olmayan davranışlarının matematik modellemesi, kolon ve kirişlere nazaran, çok daha detaylı bir süreç gerektirmektedir. Bu amaçla literatürde lineer olmayan perde davranışını temsil eden birçok matematiksel modelleme yaklaşımı mevcuttur. Bu yaklaşımları mikroskopik ve makroskopik olmak üzere iki ana başlık altında toplayabiliriz. Mikroskopik modeller ile sistemin çok detaylı lokal analizleri yapılırken, makroskopik modeller sistemin genel davranışını yeter yaklaşıklıkla sağlamaya yöneliktir.

2.1.1 Mikroskopik modeller

Betonarme perdelerin mikro modellenmesinde en fazla kullanılan yöntem sonlu elemanlar metodudur. Söz konusu modelde Şekil 2.1’de gösterildiği üzere perde duvarlar belirli sayıda küçük elemanlara bölünür ve bu sonlu elemanların birleştiği noktalarda düğüm noktaları oluşturulur. Çözüm ise düğüm noktalarındaki yerdeğiştirme gibi bilinmeyenlerin hesaplanması ile gerçekleşir. Bu sayede perde üzerinde istenilen noktada, iç kuvvet, birim uzama vb. büyüklükler elde edilebilir.

Sonlu elemanlar metodunda kullanılacak elemanların geometrisi (üçgen, dikdörtgen vb.) ile sonlu eleman sayısı ancak problemin fiziğinin anlaşılması ile mümkündür. Problemin çözümünü yansıtmayacak şekilde büyük boyutlu eleman kullanımı veya analiz süresini gereksiz yere uzatacak sık model ağı kullanımı etkin bir sonlu eleman modelinin şartlarını sağlamamaktadır (Ergin ve diğ, 2000).



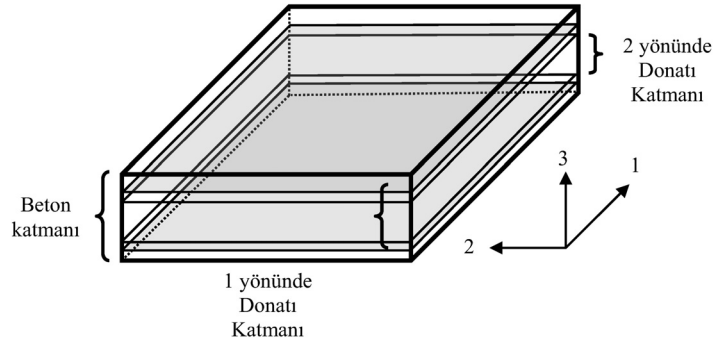
Şekil 2.1 : Sonlu elemanlar yöntemi ile perdelerin modellenmesi.

Sonlu eleman modelinin betonarme yapılar üzerinde uygulaması, Ngo ve Scordelis (1967) tarafından basit betonarme kirişin üçgen elemanlar kullanılarak modellenmesi ile başlamıştır. Bu modelde beton ve çelik arasındaki aderans-sıyrılma (bond-slip) etkisi iki materyal arasında link elemanı ile tanımlanmıştır. Lineer analiz sonucunda beton ve çelikteki gerilmeler ile aderans gerilmeleri hesaplanmıştır. Modelin başarısı ile sonlu elemanlar yöntemine duyulan ilgi giderek artmıştır. Yöntemin betonarme perdelerde kullanımı ise Cervenka ve Gerstle (1972) tarafından deneyleri yapılan birçok perdenin modellenmesi ile olmuştur. Yine aynı tarihlerde Nilson (1972) beton ve çeliğin lineer olmayan malzeme özelliklerini kullanarak sonlu eleman modeli oluşturmuştur (Kwak ve Filippou, 1990). Modelin geniş ölçekte asıl kullanımı ise bilgisayarların gelişmesi ve analiz süresinin kısalması ile mümkün olmuştur. Bu sayede yöntem birçok yapısal analiz paket programında (Sap2000, Staad, Lusas Adina vb.) kendine yer edinmiş ve gelişmiştir. Akkaya (2006) tarafından geliştirilen sonlu eleman modeli ile artan yük etkisi altında betonarme kiriş, yüksek kiriş ve perde gibi elemanların doğrusal olmayan davranışı oldukça başarılı şekilde yansıtılmıştır. Ayrıca, betonarme elemanların yük yerdeğiştirme eğrileri, güç tükenme şekli, çatlak yeri ile yük boşaltma eğrisinin doğrultusu, oluşturulan sonlu eleman modeli ile belirlenebilmektedir. Palermo ve Vecchio (2007) ise yaptıkları çalışmada, deneyleri yapılan birçok betonarme perdenin lineer olmayan analizini sonlu elemanlar metodu ile modellemiş ve başarılı şekilde deney sonuçlarını yaklaşık olarak elde etmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile mikro modelleme yapmanın avantajlarından bir tanesi, elemanın her noktasında gerilme ve birim şekildeğiştirme gibi büyüklüklerin hesaplanabilmesidir. Modelin diğer bir avantajı ise, eksenel yük-moment etkileşimi,

elastik olmayan kayma deformasyonları, donatı sargı etkisi, betonun yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra dayanımının azalması (concrete compression softening) ile çekme pekleşmesi (concrete tension stiffening) gibi durumları içerebilmesidir (Spacone ve El-Tawil, 2004). Bununla birlikte mikromodelleme tekniği olan sonlu elemanların parametrik (çok sayıda çözüm) incelemede kullanılabilirliği, gerek model ağının prezisyonundaki tecrübe, gerekse çözüm zamanının çok uzun olması nedeniyle pratik değildir.

Bir diğer mikromodelleme tekniği olan çok katmanlı kabuk eleman modelinde (Multi-Layer Shell Element Model) ise Şekil 2.2'de gösterildiği gibi çok katmanlı elemanların yayıldığı ağlar kullanılır. Kompozit malzeme mekaniği prensibine dayalı bu yöntemde, düzlem ve düzlem dışı eğilme ile düzlemsel eğilme-kesme kuvvetlerinin etkileşimleri simule edilebilir (Miao ve diğ, 2006). Kabuk elemanları donatı ve betonu tanımlayan birkaç katmandan oluşur. Sonlu elemanlar yöntemi ile orta katmanda eğrilik ile eksenel gerilmeler elde edilir. Diğer katmanların eğilme ile gerilmeleri ise düzlem kesitlerin düzlem kaldığı prensibi kullanılarak hesap edilebilir. Katmanlarda kullanılan malzeme yapısal özellikleri, elde edilen gerilmeler altında incelenerek perdelerin yapısal performansı malzemenin lineer olmayan davranışına bağlı olarak çıkarılır (Fahjan ve diğ, 2011b).

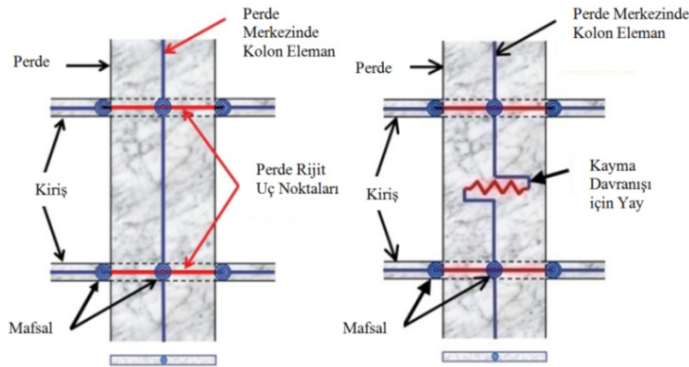


Şekil 2.2 : Çok katmanlı kabul eleman modeli (Fahjan ve diğ, 2011b).

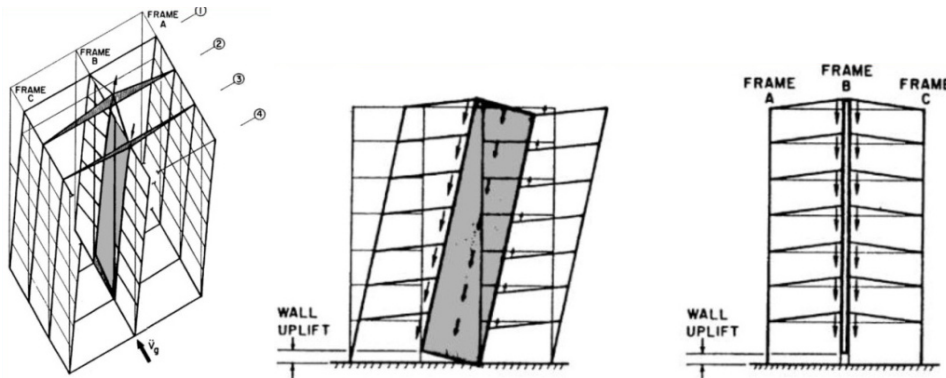
2.1.2 Makroskopik modeller

Makroskopik modeller genellikle lineer olmayan davranışa sahip yaylar kullanılarak perde davranışını idealize ederler. Başlıca makroskopik modeller eşdeğer kiriş yöntemi (Equivalent Beam-Column Element Model), kafes sistem benzeşimi modeli (Equivalent Truss Model / Strut and Tie Model), üç doğrulu eleman modeli (Three Vertical Line Element Model), çok doğrulu eleman modeli (Multiple Vertical Line Element Model) ve Fiber Model olarak sıralanabilir. Betonarme perdelerin

modellenmesinde kullanılan makro modellerden eşdeğer kiriş yöntemi (Equivalent Beam-Column Element Model), perde merkezinden geçen ve perdenin yapısal özelliklerinin tanımlı olduğu çubuk eleman ile lineer olmayan dönme ve ötelenmeyi temsil eden yaylardan oluşmaktadır. Eğilme etkisinde perdelerin modellenmesinde kullanılan bu yöntem, kesme kuvvetlerinin hakim olduğu kısa konsol perdelerin kayma davranışını tanımlamada yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple Şekil 2.3’de verildiği üzere modifiye edilmiş eşdeğer kiriş yönteminde diğer yaylara ek olarak kolon ortasında yatay hareketi (kesme kuvvetini) temsil eden ilave yaylar eklenmiştir (Wallace ve diğ, t.y.). Yığılı plastisite yaklaşımı ile kesit kapasitenin belirlendiği bu modelin en zayıf tarafı, perdenin dönme noktasının sabit ve merkezde meydana gelmesi ile tarafsız eksenin analiz boyunca değişmemesidir. Modeldeki diğer bir eksiklik ise, Şekil 2.4 ile gösterilen ve perdeyi çevreleyen kirişlerin perde dayanımına olan katkısının göz önüne alınmamasıdır (Vulcano, 1992). Ayrıca birbiriyle etkileşen çekirdek perde sistemlerinde, perde duvar uzunluğunun çok büyük ve yapı yüksekliği boyunca değiştiği durumlarda da güvenilir sonuçlar vermemektedir (Fahjan ve diğ, 2011).



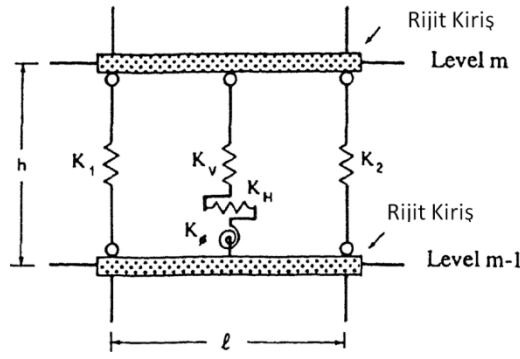
Şekil 2.3 : Eşdeğer kiriş yöntemi ile modelleme (Wallace ve diğ, t.y.).



Şekil 2.4 : Perdeyi çevreleyen kirişlerin perde davranışına etkisi (Harris, 1999).

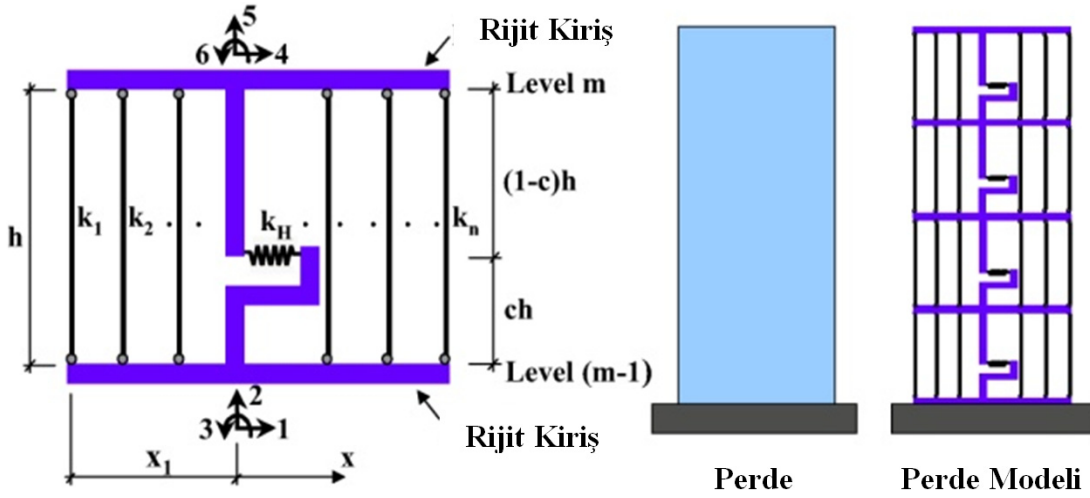
Kafes kiriş modeli veya diğer adıyla kafes sistem benzeşimi modeli betonarme perdelerin modellenmesinde kullanılan bir diğer makroskopik modelleme yaklaşımıdır. Söz konusu modelde perdeler Şekil 2.5'te gösterildiği üzere basınç ve çekme çubukları kullanılarak kafes sistem benzeşimi altında idealize edilmektedir. Bu modelleme tekniği ile bulunan betonarme sistemin dayanımı, her ne kadar deney sonuçları ile elde edilen dayanıma göre daha yüksek olsa da (ASCE-ACI Committee 445, 1998), söz konusu model tersinir yükleme altında çevrimsel davranışı yansıtmada yetersiz kalmakta, dolayısıyla deprem gibi dinamik yükler altında yeterli hassasiyeti gösterememektedir (Kazaz, 2010).

Şekil 2.5 : Kafes sistem benzeşim modeli (Oesterle ve diğ, 1984).



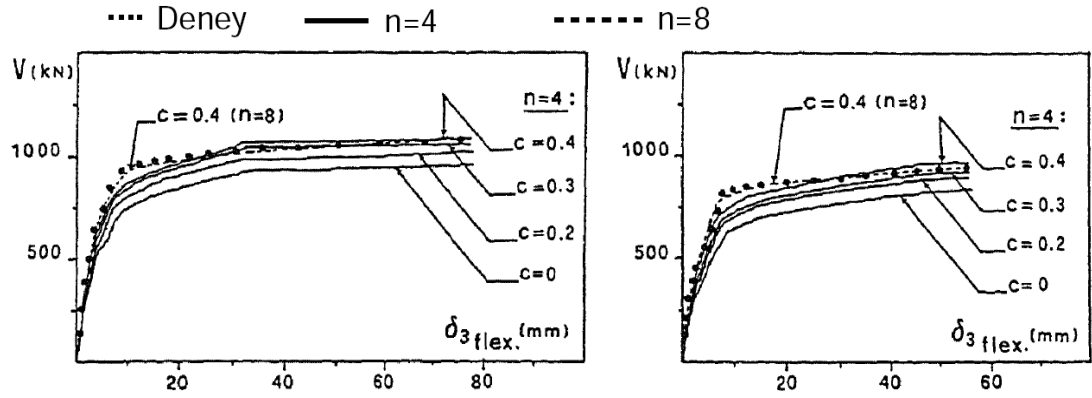
Şekil 2.6 : Üç doğrulu eleman modeli (TVLEM) (Kabeyasawa ve diğ, 1983).

Vulcano ve diğ. (1988) tarafından makroskopik modellerin basitliği ve mikroskopik modellerin hassasiyeti arasında bir dengede bulunan çok doğrulu eleman modeli oluşturulmuştur. Bu modelin ana çıkış noktası fiber modellere benzemektedir. Üç doğrulu eleman modelinden (TVLEM) farkı ise dönmeyi temsil eden ve model ortasında bulunan yayın kaldırılması ve düşey yay ile eleman sayısının arttırılmasıdır. Perdenin dönme noktası ise, model yüksekliğine bağlı bir c katsayısı ile temsil edilmiştir (Şekil 2.7).



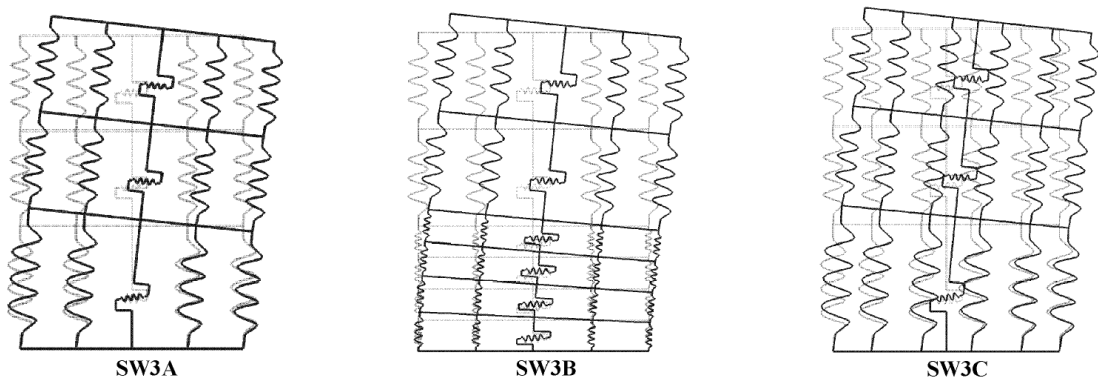
Şekil 2.7 : Çok doğrulu eleman modeli (MVLEM) (Vulcano ve diğ, 1988).

Vulcano (1992) yaptığı çalışmalarda deneylerden elde ettiği verileri, çok doğrulu eleman modeli (MVLEM) ile karşılaştırmıştır. Buna göre c katsayısını 0.4 ve n ile tanımlanan düşey yay adedini 4 almak koşuluyla, deney sonuçları MVLEM ile örtüşmektedir (Şekil 2.8). Bununla birlikte yaylarda kullanılan çevrimsel modelin (Origin-oriented hysteresis model, OOHM) yüksek kesme kuvvetleri altında yetersiz kalması, zemine bağlantının ankastre kabul edilmesi ve c katsayısının daha fazla deney sonucu ile kalibre edilmesi MVLEM zayıf yönleri olarak ortaya çıkmaktadır.

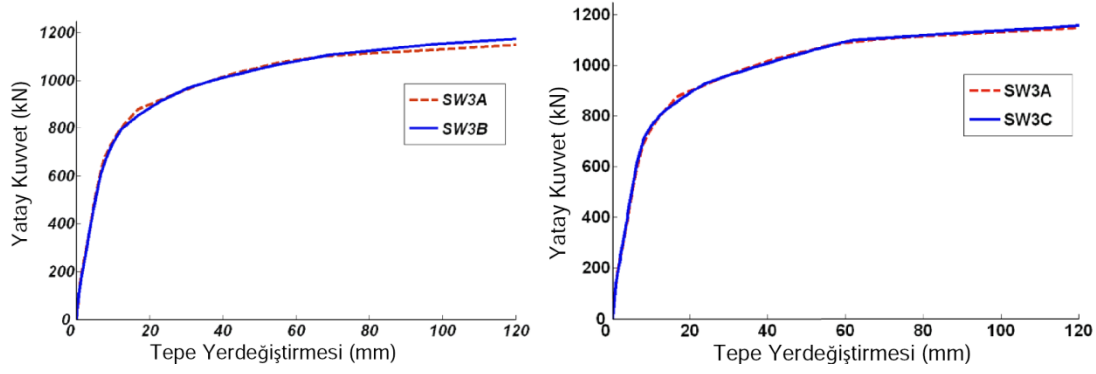


Şekil 2.8 : MVLEM modelinin deney verileri ile karşılaştırılması (Vulcano, 1992).

Jalali ve Dashti (2010) tarafından modelin hassasiyeti üzerine yapılan çalışmalarda SW3A olarak adlandırılan ve tipik MVLEM ile modellenen perde, daha sık MVLEM kullanılan SW3B ile daha fazla sayıda düşey doğrulu eleman kullanılan SW3C perde modeli ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2.9 ve Şekil 2.10). Çalışma sonucunda düşey elemanların sayısı ve sıklığının sistemin genel davranışından ziyade (kat kesme kuvveti-yerdeğiştirme eğrisi vb.) lokal etkileri yansıtmada daha etkin olduğu ortaya konmuştur. Aynı çalışmada, makroskopik ölçekte modellemede çok sık ve fazla sayıda MVLEM kullanmanın hem çözüm zamanını arttırdığı, hem de makroskopik modellemenin doğasına uymadığı sonucuna varılmıştır. Colotti (1993) yaptığı çalışma ile eksenel kuvvet ve kesme kuvveti arasındaki etkileşimi MVLEM'e ekleyerek modelin daha gerçekçi olmasını sağlamıştır. Orakçal ve Wallace (2006) ise MVLEM'de yay davranışını kuvvet-yerdeğiştirme yerine gerilme şekildeğiştirme olarak tanımlamışlardır. Bu sayede analitik davranış direk yaylarda tanımlı malzeme davranışı ile entegre hale gelmiştir.



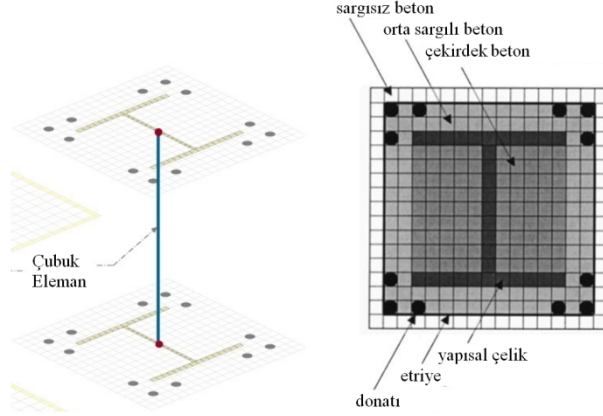
Şekil 2.9 : Çeşitli sıklıkta kurulan MVLEM (Jalali ve Dashti, 2010).



Şekil 2.10 : Çeşitli sıklıkta kurulan MVLEM modelinin yatay yük-tepe yerdeğiştirme eğrilerinin karşılaştırması (Jalali ve Dashti, 2010).

Düşey doğrulu eleman modellerinin ortak özelliği, eğilme etkisi altında yeterli yaklaşıklıkla perde davranışını idealize edebilmesi ve dolayısıyla performans tasarımında gerekli olan moment eğrilik ilişkisini ortaya koyabilmesidir. Bununla birlikte gerek üç doğrulu (TVLEM) gerekse geliştirilmiş çok doğrulu eleman modelinde (MVLEM), kesme kontrollü perdelerin (kısa konsol perdeler) davranışı yakalanamamaktadır. Kullanıcılar genellikle kalibre edecekleri test verilerine göre model parametrelerini değiştirerek (örneğin kesme kuvvetini temsil eden yayın düşeydeki konumu), kesme kuvveti altında perdenin davranışı yakalamaya çalışmaktadırlar (Kim ve diğ, 2005).

Perdelerin modellenmesinde kullanılan diğer bir makromodel ise fiber modellerdir. Bu modelde kesit Şekil 2.11’de gösterildiği üzere n sayıda fiber elemana bölünür ve donatı ile beton ayrı ayrı fiber elemanlar ile temsil edilir (Varum ve diğ, 2013). Söz konusu modelde donatı ve betonun malzeme karakteristikleri fiber elemanlara ayrı ayrı tanımlanır. Bu sayede kesit bazında kuvvet şekildeğiştirme eğrileri fiber elemanlardan integre edilir. Eğilme bazlı fiber elemanların kesit içerisindeki kuvvet dağılımları, Denklem 2.1 yardımı ile bulunabilir. Bu bağlamda Q eleman kuvvet vektörü ve $b(x)$ ise kuvvet interpolasyon fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Kuvvet interpolasyon fonksiyonu ise Denklem 2.2’de verilmiş olup, söz konusu eşitlikte x eleman üzerindeki uzun doğrultudaki konumu, L ise elemanın tüm boyutunu göstermektedir. Analiz sonucu fiber elemanların şekildeğiştirmeleri ile gerilme değerleri bulunarak kesit bazında iç kuvvet değerleri elde edilir. Böylelikle kesit kuvvetleri eleman kuvvetlerinden hesaplanmış olur. Ayrıca fiber elemanlar üzerindeki gerilme ile şekildeğiştirmelerde belirlenebilmektedir (Taucer ve diğ, 1991).



Şekil 2.11 : Fiber eleman modeli (Spacone ve El-Tawil, 2004).

$$D_x = b(x)Q \quad (2.1)$$

$$b_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ \left(\frac{x}{L}-1\right) & \left(\frac{x}{L}\right) & 0 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

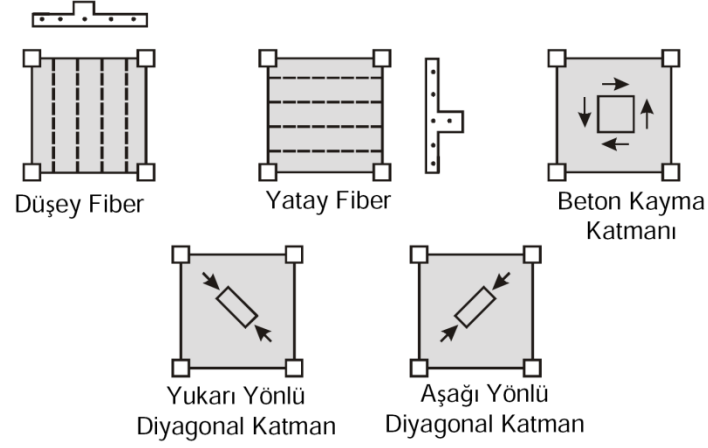
Fiber elemanlar kullanılarak yapılan betonarme perde modellemesinde, diğer modelleme tekniklerinde olduğu gibi avantaj ve dezavantajlar bulunmaktadır. Bu bağlamda fiber elemanlar ile perdelerin matematik modellenmesinde yapılan kabuller aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Düzlem kesit şekildeğiştirmeden sonrada düzlem kalır.
- Kesme ve burulma gerilmeleri ihmal edildiği için genellikle eğilme etkin perde modellemelerinde kullanılır.
- Her ne kadar tek eksenli gerilme durumları esas itibari ile kabul edilmiş olsa da, sargı etkisi gibi çok eksenli durumlar da modelde tanımlanabilir.
- Betonun çatlama etkisi, lokal burkulma ve termal etkiler modele dahil edilebilir.
- Analiz sırasında tarafsız eksen kaymasına müsaade edildiği için, kesitlerde etkin eğilme rijitliklerinin tanımlanmasına ihtiyaç yoktur.
- Boşluklu perde gibi değişken geometriye sahip perdelerin matematik modellemesi yapılabilir.
- Kesitteki her fiber elemana farklı malzeme özellikleri atandığı için kesitteki karmaşık gerilme şekildeğiştirme bağıntısı istikrarlı bir şekilde elde edilir.

Perdelerin makroskopik ve mikroskopik model olmak üzere iki ana başlıkta toplanan matematiksel modelleme yaklaşımlarından görüleceği üzere, iki modelleme tekniğinin birbirlerine göre farklılıkları bulunmaktadır. Mikroskopik modeller çok daha detaylı, lokal etkileri de kapsayacak analizleri yaparken, makroskopik modeller genellikle sistemin bütününe yönelik analizlerde kullanılmaktadır. Buna karşın mikroskopik modellerde, her ne kadar günümüzde gelişmiş bilgisayar teknolojisi kullanılıyor olsa da, analiz işlem süresi çok uzun olmakta ve programın analiz sırasında (örneğin iterasyon aşamasında) hata verme olasılığı artmaktadır. Makroskopik modellerde ise işlem süresi çok daha kısa ve programın hata verme olasılığı çok daha düşük olmaktadır. Bu bilgiler ışığında ve hesaplamaların birçok kere farklı parametreler altında tekrarlanması gerekeceği de göz önüne alınarak, betonarme okul binalarında güçlendirme perdelerinin etkinliğinin incelendiği bu çalışmada, makroskopik modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. Bu bağlamda gerek beton ve donatının ayrı ayrı tanımlanmasına olanak veren, gerekse analiz süresinde önemli bir avantaj sağlayan fiber elemanlar, betonarme okul binalarının matematik modelinin oluşturulmasında tercih edilmiştir. Analizler fiber elemanlar ile modellemeye olanak sağlayan ve doğrusal olmayan dinamik analizlerin doğasına yönelik sağlam bir matematiksel altyapısı bulunan analiz programı Perform-3D kullanılarak yapılmıştır.

2.2 Yapısal Analiz Programı Perform-3D ile Perdelerin Modellenmesi

Parametrik analizlerde kullanılan bilgisayar destekli analiz programı Perform-3D, California/Berkeley Üniversitesi Emekli Profesörlerinden Dr. Graham H. Powel öncülüğünde CSI firması tarafından geliştirilmiş üç boyutlu bir yapısal analiz programıdır. Analiz programında perdeler, beş farklı katmanın (layer) birlikte çalışması ile modellenmektedir. Bu katmanların iki tanesini, düşey (vertical) ve yatay (horizontal) yönde eğilme ile eksenel davranışı temsil eden fiber elemanlar oluşturmaktadır. Diğer üç katman ise perdenin kayma davranışını modelleyen, beton kayma katmanı (Concrete Shear Layer) ve diyagonal basınç katmanı (Diagonal Compression Layer) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.12).

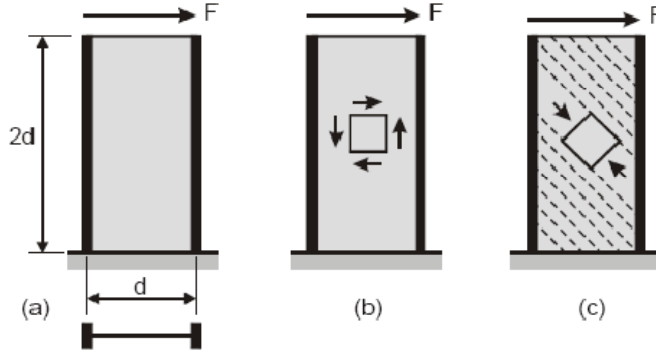


Şekil 2.12 : Perde modellemesinde kullanılan beş farklı katman (Perform-3D, 2006).

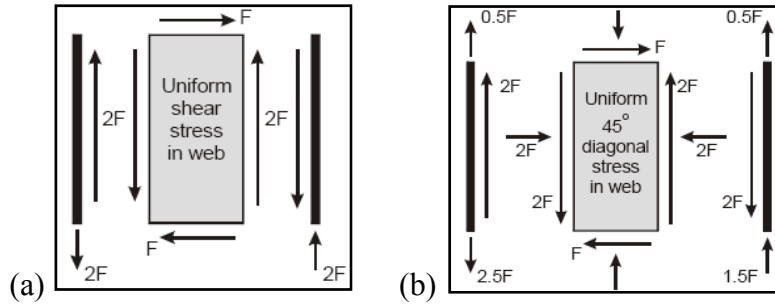
Perdelerin modellenmesi Perform-3D programı ile genel perde duvar elemanı (General Wall Element) ve özel perde duvar elemanı (Shear Wall Element) olarak iki farklı tipte yapılabilmektedir. Özel perde duvar elemanı genellikle eğilme etkisindeki perdelerin modellenmesinde kullanılırken, genel perde elemanı daha karmaşık ve içinde boşlukları olan perdelerin modellenmesinde tercih edilmektedir. Ayrıca özel perde eleman modeli ile perdelerde yalnızca düşey yönde fiber elemanlar tanımlanabilirken, genel perde eleman modelinde hem yatay hem de düşey yönde fiber elemanlar ile modelleme yapılabilmektedir.

Söz konusu iki model arasındaki diğer bir farklılık ise özel perde eleman modelinde kesme kuvveti için yalnızca betonun katkısı kullanılırken, genel perde eleman modelinde diyagonal basınç katmanlarının da modellemeye dahil edilmesidir. Söz konusu iki katman da perdelerin kesme kuvveti altında davranışını modellemekle birlikte, farklı çalışma prensipleri içermektedir. Diyagonal basınç katmanları kafes sistem benzeşim modelini (strut and tie model) temsil ederken, beton kayma katmanı perde gövdesinde sadece kayma gerilmelerinin olduğu klasik yaklaşımı temsil etmektedir. Örneğin, Şekil 2.13'te verilen yüksekliği $2d$, boyu d olan bir konsol perdenin, yatay F kuvveti altında beton kesme katmanlı ve diyagonal basınç katmanlı serbest cisim diyagramları Şekil 2.14'te verilmiştir. Bu diyagramlardan görüleceği üzere, diyagonal basınç katmanlı modelde beton kayma katmanlı modelin aksine perde gövdesinde kayma gerilmeleri ile birlikte düşey ve yatay asal gerilmelerde oluşmaktadır. Bu durum diyagonal basınç katmanlı modeli biraz daha karmaşık hale getirmektedir. Ayrıca kafes sistem benzeşim modeli olan diyagonal basınç katmanlı model ile perde kesme kuvveti dayanımı gerçek değer üzerine çıkabilmektedir. Bu sebeple birçok perde matematik modellemesinde, perde gövdesinde yalnızca kayma

gerilmelerinin oluştuğu beton kayma katmanlı model kullanılmaktadır. Ayrıca Amerikan şartnamesi FEMA-356’da da perde gövdelerinde yalnızca kayma gerilmelerinin oluştuğu model dikkate alınmaktadır.



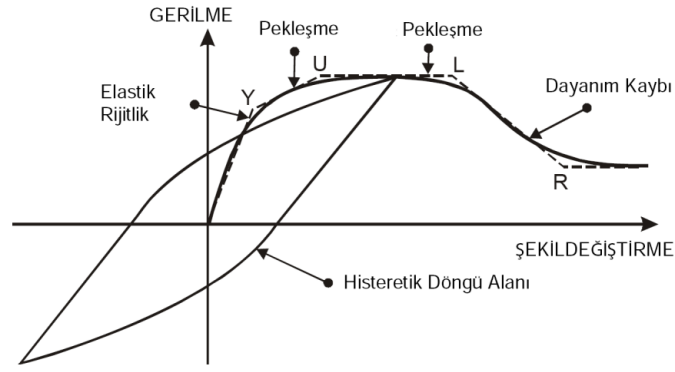
Şekil 2.13 : Perdenin modellenmesi: (b)Beton kayma katmanı. (c)Diyagonal basınç katmanı.



Şekil 2.14 : Serbest cisim diyagramları: (a)Beton kayma katmanı. (b)Diyagonal basınç katmanı.

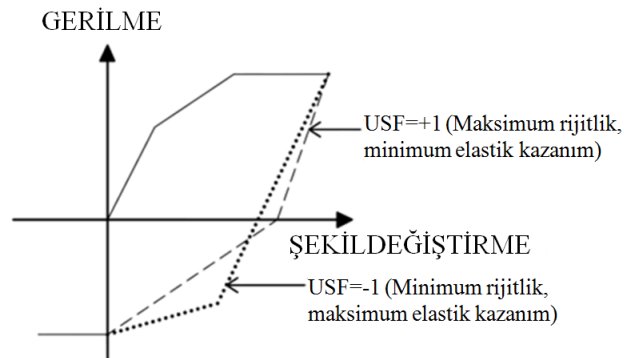
2.3 Yapısal Analiz Programı Perform-3D ile Malzemenin Doğrusal Olmayan Davranışının Modellenmesi

Beton ve donatının tersinir yüklemeler altında doğrusal olmayan davranışı, yapısal analiz programı Perform-3D ile geniş bir yelpazede tanımlanabilmektedir. Örneğin malzeme gerilme şekildeğiştirme davranışı, en basitinden iki doğrusal model ile belirlenebileceği gibi dayanım azalması ile beton çekme gerilmelerini de göz önüne alan, daha karmaşık modellerde malzeme davranışını tanımlamada kullanılabilir. Yapısal analiz programında malzeme gerilme şekildeğiştirme davranış eğrisi, Şekil 2.15’te gösterildiği üzere 5 farklı büküm noktası ile belirlenebilmektedir. Eğri büküm noktalarının (Y, U, L, R) tamamı kullanıcı tarafından tanımlandığı için halihazırda literatürde kullanılan beton ve donatı malzeme modellerinin kısıtlayıcı özellikleri ortadan kalkmaktadır.

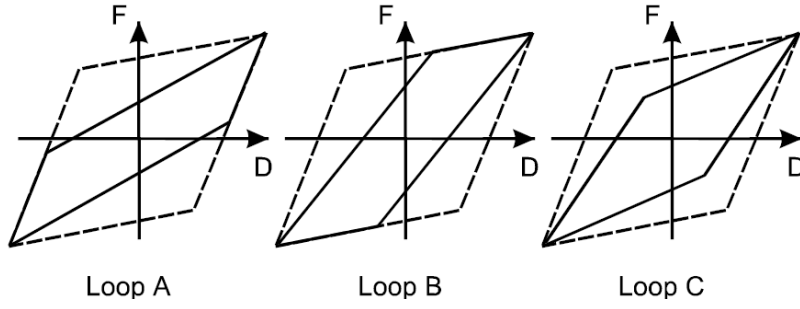


Şekil 2.15 : Malzeme gerilme şekildeğiştirme eğrilerinde eğri büküm noktaları.

Tersinir tekrarlı yükler altında malzeme davranışının tanımlanması yapısal analiz programı Perform-3D’de iki ana parametreye bağlı olarak belirlenmektedir. Bunlardan ilki yük boşaltma rijitlik faktörü (unloading stiffness factor - USF) olarak tanımlanan ve +1 ile -1 arasında değer alabilen parametredir. Söz konusu parametrede, -1 değeri çevrimsel harekette malzemede minimum rijitlik korunumu maksimum elastik kazanımı ifade ederken, +1 değerinde maksimum rijitlik korunumu minimum elastik kazanım tariflenmektedir (Şekil 2.16). Bu bağlamda üç tip çevrimsel döngü grafiği Şekil 2.17’de verilmiştir. Söz konusu grafikte, maksimum rijitliğin korunumu Loop-A, minimum elastik kazanım Loop-B ve her iki durumun arası ise Loop-C ile gösterilmiştir. Bu grafiklerde kesik çizgilerle gösterilen döngü enerji azalmasının meydana gelmediği durumu (non-degraded energy) göstermektedir. Düz çizgi ile gösterilen eğri ise enerji azalmasını (degraded energy) dikkate alan döngüyü ifade etmektedir. Her üç tip için döngü sırasında enerji azalması aynı olup yaklaşık %55 civarındadır. Bu oran Loop-A da maksimum rijitlik (USF=+1) ile sağlanırken, Loop-B de ise maksimum elastik kazanım (USF=-1) ile meydana gelmektedir.



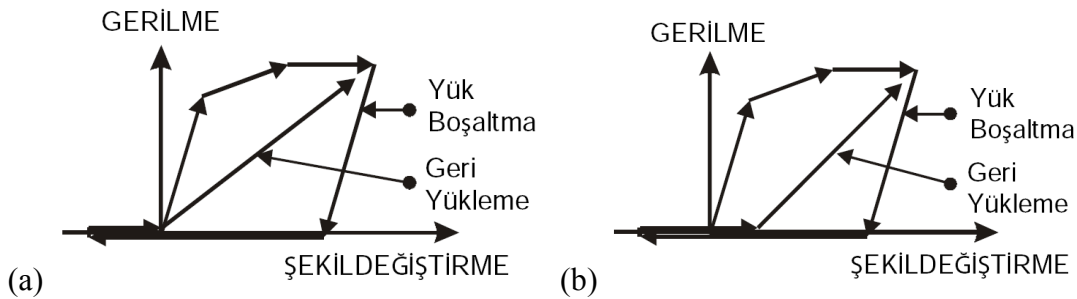
Şekil 2.16 : USF parametresinin +1 ve -1 değeri arasındaki değişimi.



Şekil 2.17 : USF parametresinin malzeme davranış döngüsü üzerine etkisi.

Çevrimsel yüklemede malzeme davranışının tanımlanmasında kullanılan ikinci parametre ise enerji azalmasının sayısal değeridir. Bu değer enerji sönümleme faktörü (Energy Dissipation Factor-EDF) olarak belirlenmiş olup 0.00 ile 1.00 arasında değer almaktadır. Çevrimsel döngü ve EDF parametresi arasındaki ilişki malzemedeki minimum ve maksimum deformasyonlar ile karşı gelen EDF değerine bağlıdır. Söz konusu EDF değeri, yapısal analiz programında Denklem 2.3 ile gösterilen bağıntı ile tanımlanmaktadır. Söz konusu bağıntıda w ağırlık faktörünü, e_{min} ve e_{max} ise sırasıyla *pozitif* ve *negatif* enerji azalmasını göstermektedir. Böylelikle EDF enerji azaltımı yapılmış ve yapılmamış histerik döngülerin altında kalan alanların oranı olarak ifade edilmektedir. EDF değerinin 1 ve 1'den küçük olduğu durumlara karşı gelen malzeme çevrimsel döngü davranışları Şekil 2.18'de gösterilmektedir. Aynı grafikte EDF değeri 0 olarak tanımlanırsa, malzeme yükleme ve boşaltma eğrileri üst üste düşeceği için eğrilerin altında kalan alanlar oranı 1'e eşit olacak ve dolayısıyla gerilme şekildeğiştirme davranışında herhangi bir enerji azalımı meydana gelmeyecektir.

$$e = we_{min} + (1 - w)e_{max} \quad (2.3)$$



Şekil 2.18 : EDF parametresinin malzeme davranış döngüsü üzerine etkisi :
(a)EDF=1.00. (b) EDF<1.0.

2.4 Perform-3D Yapısal Analiz Programında Yapılan Kabuller

Kiriş ve kolonların kesme kuvveti kapasiteleri eksenel kuvvet ile plastik mafsallık dönmesinin altında değişebilmektedir. Perform-3D programında ise bu etki eş zamanlı olarak modellenememektedir. Bununla birlikte kesitte lineer olmayan kayma deformasyonlarına izin verilmiyor ise, programda yer alan “*shear strenght section*” modülü ile söz konusu etkiler dikkate alınabilir. Böylelikle kesitte meydana gelen plastik mafsallık dönmelerinin ve eksenel kuvvetin, kesit kesme kuvveti dayanımına etkisi hesaplara dahil edilebilir. Bu sebeple perde matematik modeli oluşturulurken, kesme kuvveti kapasitesinin analiz sırasında eksenel yük değişimine karşın sabit kaldığı kabulü yapılmış ve “*shear strenght section*” modülü kullanılarak kesit kesme kuvveti kapasitesi tanımlanmıştır. Böylece kesitte meydana gelebilecek kayma mafsallarının izlenmesi sağlanmıştır.

Yapısal analiz programı Perform-3D 'de perde matematik modelinde kullanılan duvar elemanlarının birbirleri ile etkileşimi 4 düğüm noktası vasıtası ile sağlanmaktadır. Böylelikle her düğüm noktasında 6 tane olmak üzere perde elemanlarında toplamda 24 adet serbestlik derecesi bulunmaktadır. Ayrıca programda, duvar eleman yüksekliği boyunca kalınlığının sabit olduğu kabulü yapılmakta ve eleman mukavemet özellikleri bu sabit değer üzerinden hesaplanmaktadır. İlave olarak söz konusu elemanların düzlem dışı eğilme davranışları da sadece elastik davranışa sahip olarak tanımlanabilmektedir.

Perform-3D ile yapılan diğer bir kabul ise perde elemanının düşey ekseninin kesit ortası olmasıdır. Bu sebeple her ne kadar analiz sırasında tarafsız eksen kayması dikkate alınsa da, kesitte meydana gelen eksenel birim şekil değiştirmeler daima kesitin orta noktasından ölçülmektedir.

3. PERDE MATEMATİK MODELİNİN DENEY VERİLERİ İLE KALİBRASYONU

Parametrik analizlerde kullanılacak olan matematik modelin gerek plastik mafsal boyu ile fiber elemanların sıklığı, gerekse tersinir yükleme altında malzeme gerilme şekildeğiştirme davranışı açısından mevcut deney sonuçlarına göre kalibrasyonu yapılmıştır. Bu amaçla Thomsen ve Wallace (1995) tarafından deneyleri yapılan betonarme perde, plastik mafsal boyu ve fiber eleman sıklığı açısından, Strepelias ve diğ. (2012) ile Canbay ve diğ. (2002) tarafından deneyleri yapılan betonarme dolgu duvarlı çerçeveler ise malzeme davranışı bakımından matematik model kalibrasyonu için kullanılmıştır. Deneylerdeki, yük ve eleman ağırlıkları belirli olduğundan, kesitlerdeki eksenel kuvvetler dikkate alınarak doğrusal olmayan çevrim modelleri incelenmiştir. Yapılan analizlere ilave olarak literatürde sıklıkla kullanılan malzeme davranış modelleri, kalibre edilen malzeme model sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

3.1 Fiber Eleman Sıklığı ve Plastik Mafsal Uzunluğu Bakımından Perde Matematik Modelinin Kalibrasyonu

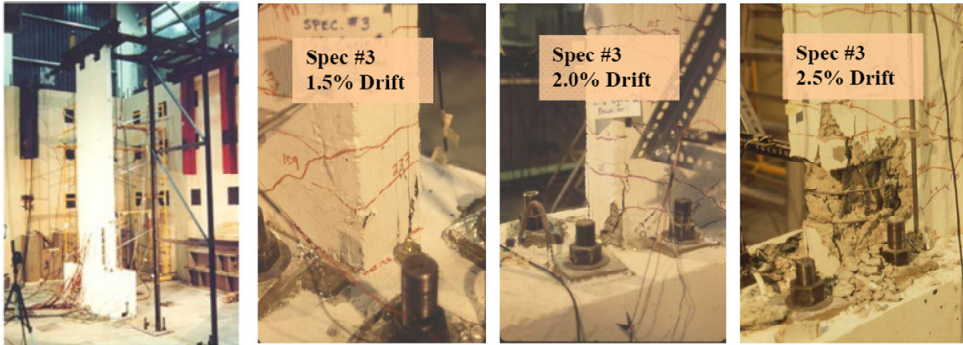
Betonarme perdenin fiber eleman sıklığı ile plastik mafsal uzunluğuna göre kalibrasyonunda, Thomsen ve Wallace (1995) tarafından tekrarlı tersinir yükler altında deneyleri yapılan konsol betonarme perde kullanılmıştır. Söz konusu deneylerde RW2 olarak adlandırılan dikdörtgen kesitli betonarme perdenin analitik modellemesi Perfom-3D programı ile yapılmış ve sonuçlar deney verileri ile karşılaştırılmıştır. Aynı perdenin test verileri, önceki yıllarda Orakçal ve Wallace (2006) ile Kazaz (2010) tarafından da analitik model kalibrasyonu için kullanılmıştır.

Test öncesi ve sonrası görünüşü Şekil 3.1’de verilen RW2 betonarme perdesi yaklaşık 1220^{mm} uzunluğunda, 102^{mm} kalınlığında ve 3660^{mm} yüksekliğindedir (Şekil 3.2). Donatı düzeni Şekil 3.3’de verilen RW2 perdesinin, perde uç bölgelerinde 8#3 (571mm²), perde gövdesinde ise 8#2 (253mm²) donatı kullanılmıştır. Deney sırasında test numunesi maksimum %2.5 görelî ötelenmesi yapacak şekilde çevrimsel yüklemeye maruz bırakılmış ve sabit ortalama 85kips (378.1kN) eksenel

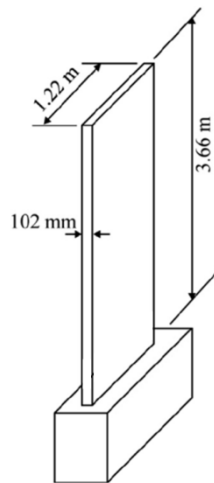
basınç kuvveti uygulanmıştır (Şekil 3.4). Deney numunesinin beton basınç mukavemeti, test günü ortalama 4500psi (42.8MPa) olarak ölçülmüştür.

Yapılan beton basınç testi sonucu elde edilen gerilme birim şekildeğiştirme grafiği Şekil 3.5'te verilmiş olup, 3 eksenli beton malzeme davranışı bu grafiğin ortalaması kullanılarak matematik modele entegre edilmiştir. Perdede kullanılan donatı ise akma dayanımı 60ksi (414 MPa) olan Grade 60 çeliğinden üretilmiştir. Matematik modelde kullanılan beton ve donatıya ait gerilme şekildeğiştirme grafikleri Şekil 3.6'da verilmiştir. Betonarme perde kesme kuvveti dayanımı Deprem Yönetmeliğinde yer alan ve aşağıda verilen Denklem 2.3 ile hesaplanmış, karşı gelen gerilme şekildeğiştirme eğrisi ise Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Söz konusu bağıntıda, A_{ch} perde brüt enkesit alanını, ρ_{sh} perde yatay donatılarının hacimsel oranını, f_{ctd} ve f_{ywd} ise sırası ile beton çekme dayanımı ile donatı akma dayanımını göstermektedir.

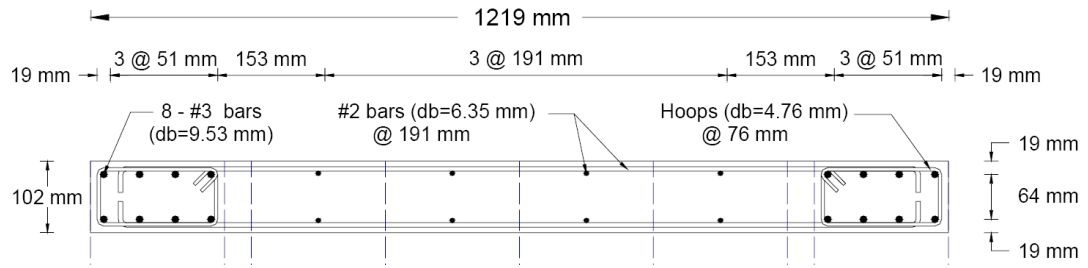
$$V_r = A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{ywd}) \quad (2.3)$$



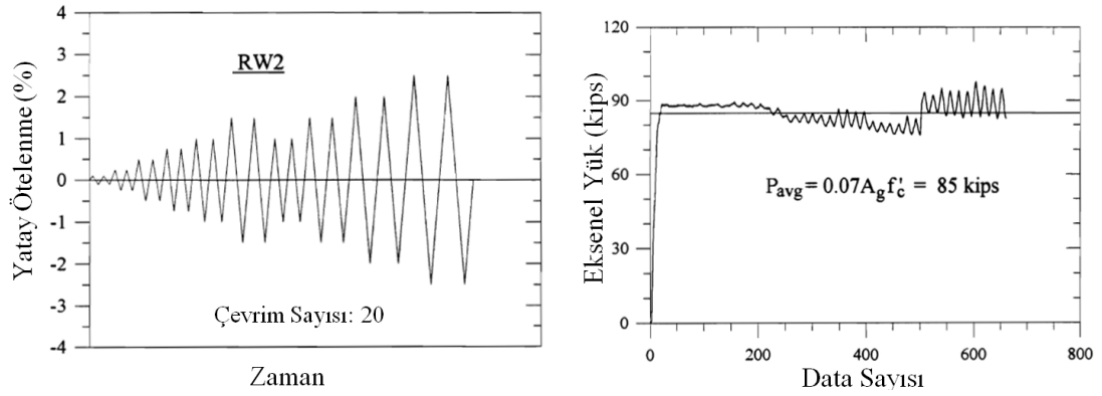
Şekil 3.1 : RW2 Betonarme konsol perdenin test öncesi ve sonrası görünüşü (Thomsen ve Wallace, 1995).



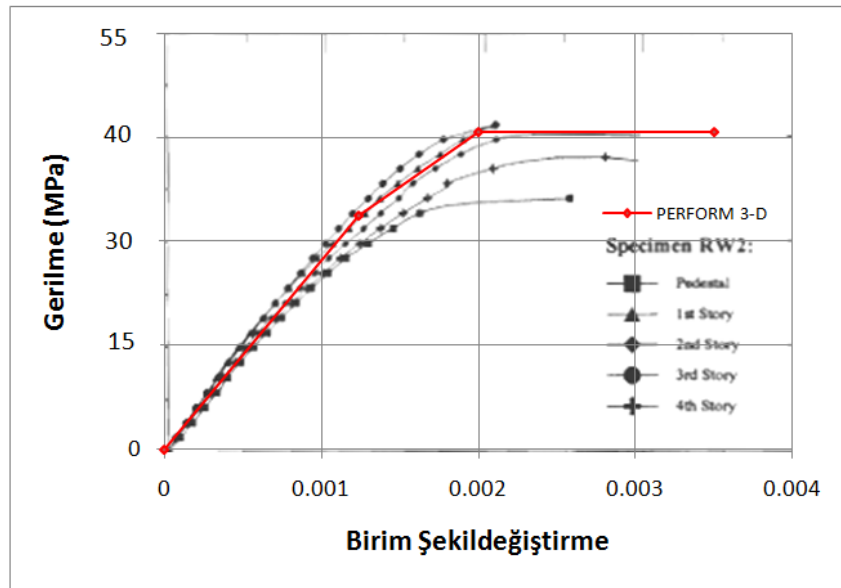
Şekil 3.2 : RW2 Betonarme konsol perde geometrisi (Thomsen ve Wallace, 1995).



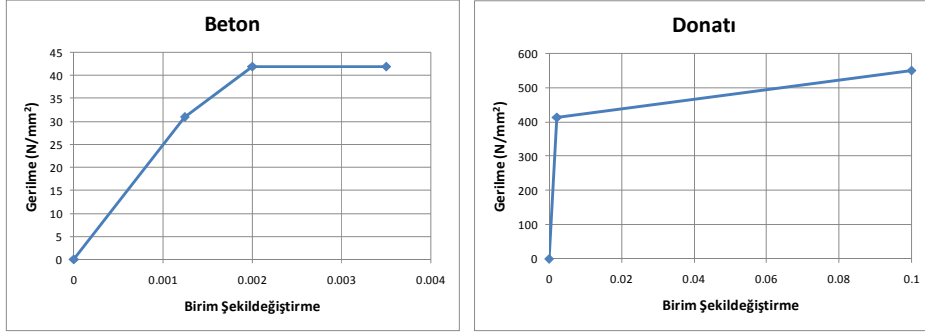
Şekil 3.3 : RW2 Betonarme konsol perdenin donatı planı (Thomsen ve Wallace, 1995).



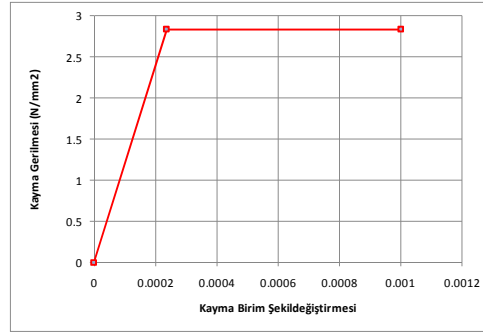
Şekil 3.4 : RW2 Betonarme perdesinde eksenel yük değişimi (Thomsen ve Wallace, 1995)



Şekil 3.5 : Test sonucu katlara göre elde edilen beton gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi (Thomsen ve Wallace, 1995).

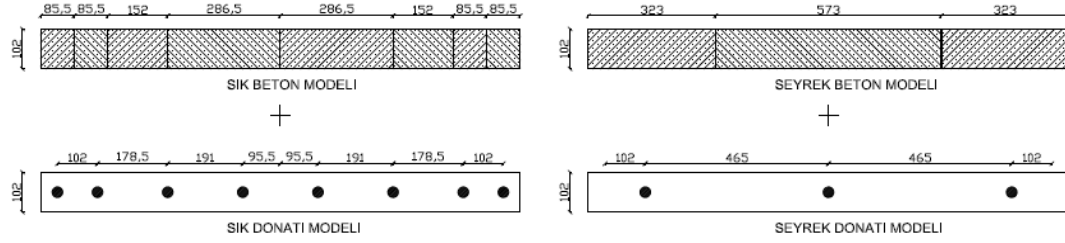


Şekil 3.6 : Matematik modelde tanımlanan beton ve donatı gerilme birim şekil değiştirme eğrileri.



Şekil 3.7 : Matematik modelde tanımlanan kayma gerilmesi birim şekil değiştirme eğrileri.

RW2 betonarme konsol perdesinin Perform-3D analiz programı ile matematik modellenmesi beton ve donatı için fiber elemanlar kullanılarak genel perde duvar elemanı ile yapılmıştır. Fiber eleman sıklığının analiz sonuçları üzerindeki etkisinin incelenebilmesi amacıyla betonarme perdenin sık ve seyrek fiber elemanlı iki ayrı matematik modeli oluşturulmuştur. Sık fiber elemanlı model, perde başlık bölgesinde en az iki, perde orta bölgesinde ise en az dört adet fiber eleman kullanılarak toplamda 16 farklı fiber eleman ile modellenmiştir. Seyrek fiber elemanlı modelde ise, perde başlık bölgesi ile perde ortası, üç adet beton ve donatı fiber elemanı kullanılarak toplamda 6 farklı fiber eleman ile oluşturulmuştur. Sık fiber elemanlı modelde perde orta bölgesi maksimum 30^{cm} uzunluğa sahip fiber elemanlar ile tanımlanırken, seyrek fiber elemanlı modelde söz konusu bölge 60^{cm} olarak düzenlenmiştir. Dolayısıyla seyrek fiber elemanlı modelde perdenin fiber eleman boyuna oranı 1/3 iken sık fiber elemanlı modelde aynı oran yaklaşık 1/6'dır. Düşey doğrultuda ise genel duvar elemanlar olası perde plastik mafsallık bölgesi boyunca daha sık üst katlarda ise daha seyrek oluşturulmuştur. Söz konusu perde kesitlerine karşı gelen beton ve donatı fiber elemanların kesit üzerindeki konumları Şekil 3.8'de, karşı gelen program ekran görüntüsü ise Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : RW2 betonarme perdesinin sık ve seyrek fiber elemanlar kullanılarak oluşturulan matematik modeli.

No.	Type	Name	Area	Coordinate
1	Concrete	Beton 42.8	8721	-568.75
2	Concrete	Beton 42.8	8721	-481.25
3	Concrete	Beton 42.8	15504	-362.5
4	Concrete	Beton 42.8	29223	-143.25
5	Concrete	Beton 42.8	29223	143.25
6	Concrete	Beton 42.8	15504	362.5
7	Concrete	Beton 42.8	8721	481.25
8	Concrete	Beton 42.8	8721	568.75
9	Steel	Grade 60	285	-567
10	Steel	Grade 60	285	-465
11	Steel	Grade 60	63.34	-286.5
12	Steel	Grade 60	63.34	-95.5
13	Steel	Grade 60	63.34	95.5
14	Steel	Grade 60	63.34	286.5
15	Steel	Grade 60	285	465
16	Steel	Grade 60	285	567

No.	Type	Name	Coordinate	Area	T-Draw
1	Inelastic 1D Concrete Material	Beton 42.8	-448	32946	
2	Inelastic 1D Concrete Material	Beton 42.8	0	58446	
3	Inelastic 1D Concrete Material	Beton 42.8	448	32946	
4	Inelastic Steel Material, Non-Bi	Grade 60	-465	571	
5	Inelastic Steel Material, Non-Bi	Grade 60	0	253	
6	Inelastic Steel Material, Non-Bi	Grade 60	465	571	

Şekil 3.9 : RW2 perdesi sık ve seyrek fiber eleman modeli Perform-3D bilgi girişi görüntüsü.

Perde plastik mafsallı bölgesinde meydana gelen malzeme birim şekildeğiştirmelerin ölçülebilmesi için perde plastik mafsallı uzunluğunun dikkate alınması gerekmektedir. Literatürde perdeler için birçok plastik mafsallı boyu tanımı olmasına karşın, genel görüş L_w perde boyunu göstermek üzere, plastik mafsallı boyunun $0.3L_w \sim 0.8L_w$ mertebesinde olacağı yönündedir. Bu bağlamda perde matematik modellemesi literatürde sıklıkça kullanılan ve birbirinden farklı sonuçlar veren Corley (1966) ile Paulay ve Priestley (1992) tarafından önerilen iki farklı plastik mafsallı uzunluğu göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Paulay ve Priestley (1992) tarafından önerilen plastik mafsallı uzunluğu, Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 ile verilen bağıntılardan değerice daha büyük olana göre hesaplanmaktadır. Verilen bağıntılarda h_n perde yüksekliğini, L_w perde boyunu, f_y donatı akma gerilmesini ve d_b ise boyuna donatı çapını göstermektedir. Yapılan hesaplamalar neticesinde plastik mafsallı boyu Denklem 3.1'e göre 284^{mm} ($0.23L_w$), Denklem 3.2'ye göre ise 354^{mm} ($0.30L_w$) olarak bulunmuştur. Bu değerlerden büyük olan 354^{mm} plastik mafsallı boyu olarak kabul edilmiştir.

$$l_p = 0.2l_w + 0.03h_n \quad (3.1)$$

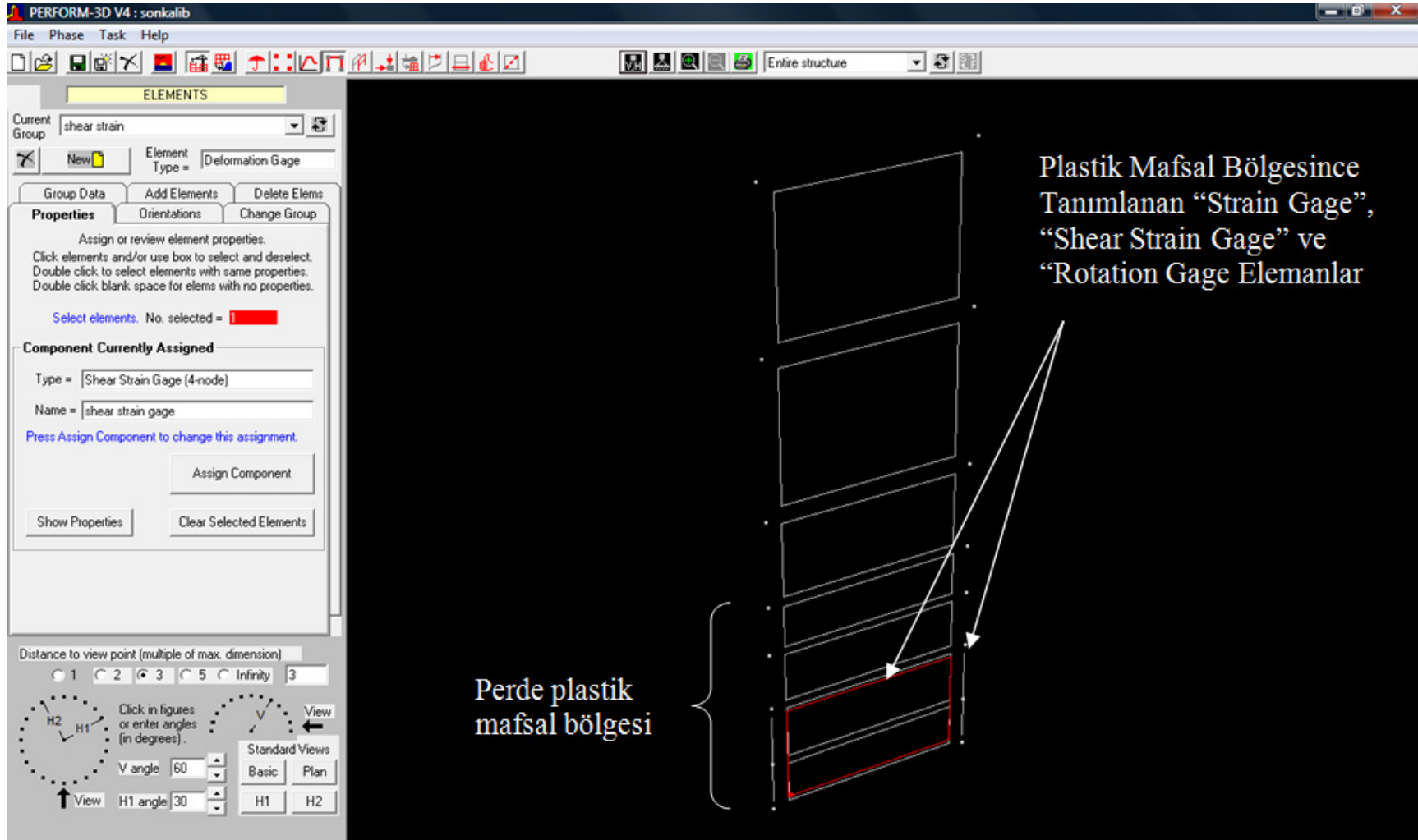
$$l_p = 0.054h_n + 0.022f_y d_b \quad (3.2)$$

Corley (1966) tarafından önerilen plastik mafsallık uzunluğu ise, d perde boyunu, z perde yüksekliğini ifade etmek üzere, Denklem 3.3 ile hesaplanmaktadır. Buna göre deneyi yapılan konsol perdenin plastik mafsallık boyu 673^{mm} ($0.55L_w$) olarak bulunmaktadır. Söz konusu değer Wallace ve Thomsen (1995) tarafından deney sonuçlarının matematik modellenmesinde de kullanılmıştır.

$$l_p = 0.5d + 0.2\sqrt{d} \frac{z}{d} \quad (3.3)$$

FEMA 356 ön standardında ve ASCE/SEI 41-06 standardında ise plastik mafsallık boyu, betonarme perde boyunun yarısı veya kat yüksekliğinden küçük olan değere göre belirlenmektedir. Dolayısıyla perde plastik mafsallık boyu, 610^{mm} ($0.50L_w$) olarak hesaplanmaktadır. Bu değer Corley (1966) tarafından önerilen perde plastik mafsallık boyuna çok yakındır. Perform-3D yapısal analiz programı kullanılarak oluşturulan ve Şekil 3.10'da verilen matematik modelde, plastik mafsallık uzunlukları ancak genel perde duvar elemanlarının düğüm noktaları arasında ölçülebilmektedir. Dolayısıyla, Corley (1966) ve ASCE/SEI 41-06 standardında önerilen plastik mafsallık boyu arasında yaklaşık 60^{mm} fark bulunmaktadır. Söz konusu değer için düşeyde ilave bir perde duvar elemanı oluşturulması, genel perde duvar elemanının en-boy oranının yapısal analiz programı tarafından önerilen $1/5$ değerinin altında kalmasına neden olacaktır. Bu sebeple matematik modelde, ASCE/SEI 41-06 standardında yer alan plastik mafsallık uzunluğu yerine, Corley (1966) ile Paulay ve Priestley (1992) tarafından önerilen plastik mafsallık uzunluklarına yönelik perde duvar elemanı düğüm noktası oluşturulmuştur.

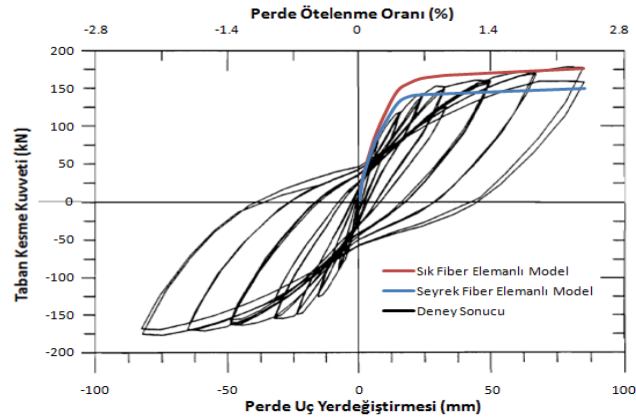
Deneyleri yapılan betonarme konsol perde RW2'nin düşey yük altında analizi başlangıç kabul edilerek, %2 göreceli kat ötelemesine karşı gelen statik itme analizi sık ve seyrek fiber elemanlı modellerde ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca perde matematik modelinde iki farklı plastik mafsallık uzunluğu dikkate alınmış ve malzeme birim şekil değiştirimleri deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler ile elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.



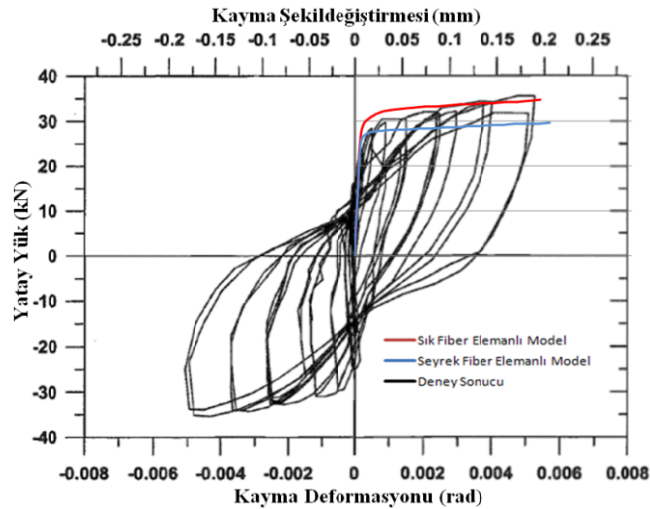
Şekil 3.10 : RW2 perdesinin Perform-3D ile oluşturulmuş matematik modeli.

- Sık ve seyrek eleman modellerinin %2 tepe ötelemesine karşı gelen taban kesme kuvvetleri incelendiğinde, sık fiber eleman kullanılarak modellenen perdede meydana gelen taban kesme kuvveti (153.56kN), deney sonucu elde edilen taban kesme kuvveti (155.69kN) ile örtüşmektedir. Yine deney sonucu elde edilen itme eğrisi ile sık fiber eleman kullanılarak yapılan analiz ile hesaplanan itme eğrisi benzer doğrultuyu izlemektedirler. Buna karşın seyrek fiber eleman modeli ile elde edilen taban kesme kuvveti (131.16kN) ile itme eğrisi doğrultusu, deney sonucu elde edilen değerler ile uyuşmamaktadır (Şekil 3.11 ve Şekil 3.13).
- Perdenin sık ve seyrek fiber eleman modellerinin kayma şekildeğiştirme grafiği incelendiğinde ise, deney sonuçları ile sık fiber elemanlı modelin uyumlu olduğu görülmektedir. Seyrek fiber elemanlı model ise özellikle elastik olmayan şekildeğiştirme bölgesinde deney sonuçlarından sapmaktadır (Şekil 3.12). Dolayısıyla, Perform-3D programının kayma deformasyonlarını yansıtmada başarılı olduğu söylenebilir.
- Sık fiber elemanlı modelde elde edilen malzeme birim şekildeğiştirmeleri iki farklı plastik mafsalsal boyu altında karşılaştırıldığında, Corley tarafından önerilen değerlerin deney verileri ile daha çok uyduğu görülmektedir (Şekil 3.14 ve Şekil 3.15). Wallace ve Thomsen (1995) tarafından yapılan analizler ile de benzer sonuçlar elde edilmiştir.
- Sık fiber elemanlı modelde analiz sonucu meydana gelen birim şekildeğiştirmeler, Corley (1966) tarafından önerilen plastik mafsalsal boyu dikkate alınarak incelendiğinde, kesit ucundaki donatı birim şekildeğiştirmesi 0.030 olarak bulunmuştur. Deney sonucunda ise elde edilen söz konusu değer 0.025'dir. Aynı şekilde beton birim şekildeğiştirmesi analitik modelde 0.005 değerinde iken, deney sonucu söz konusu birim şekildeğiştirme 0.012 olarak ölçülmüştür (Şekil 3.14). Gerek deney elemanında ölçülen noktada gerilme yığılması oluşma ihtimali, gerekse fiber elemanların gerçek değerlerden ziyade yaklaşık değerleri vermesi sebebiyle analitik modelden elde edilen kesit birim şekildeğiştirmeleri kabul edilebilir mertebededirler. Benzer durum Şekil 3.15'de verilen %1 görelî kat ötelemesi içinde geçerli olmakla birlikte, söz konusu görelî ötelenme değerinde deney ve analitik modelleme sonuçları birbirine çok daha yakındır.

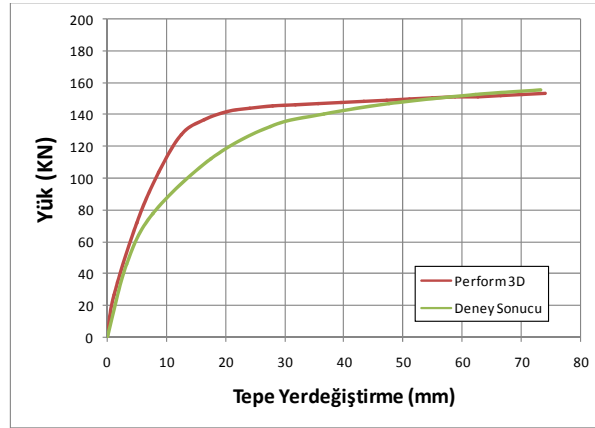
- Fiber elemanlar ile oluşturulan perde modellerinde perdenin doğrusal olmayan davranışının yeter derece yaklaşıklıkla modellenebilmesi için seyrek fiber eleman kullanımından kaçınılması gerektiği görülmektedir. Bu sebeple, perde matematik modelinde, başlık bölgelerinin en az iki farklı beton ve donatı fiber elemanı kullanılarak modellenmesi gerekmektedir. Perde orta bölgesinde ise maksimum 30^{cm} uzunluğundaki bölgeyi temsil eden fiber eleman kullanımı yeterli olmaktadır. Düşey doğrultuda ise plastikleşmenin meydana geleceği alt katlarda daha sık (0.5^m ~ 1.5^m ara ile) perde duvar elemanı kullanımı gerekmektedir.
- Plastik şekil değiştirmelerin perde üzerinde kısıtlı bir bölgeden ziyade üst katlara kadar yayıldığı ve bu durumda Corley (1966) tarafından önerilen plastik mafsal boyunun deney sonucu elde edilen kesit birim şekil değiştirmelerini yansıtmada daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu sebeple yapılan analizlerde, yönetmelikte belirtilen plastik mafsal uzunluk değerine uyumluluk açısından, ASCE/SEI 41-06 standardında belirtilen plastik mafsal boyunun kullanılmasına karar verilmiştir.



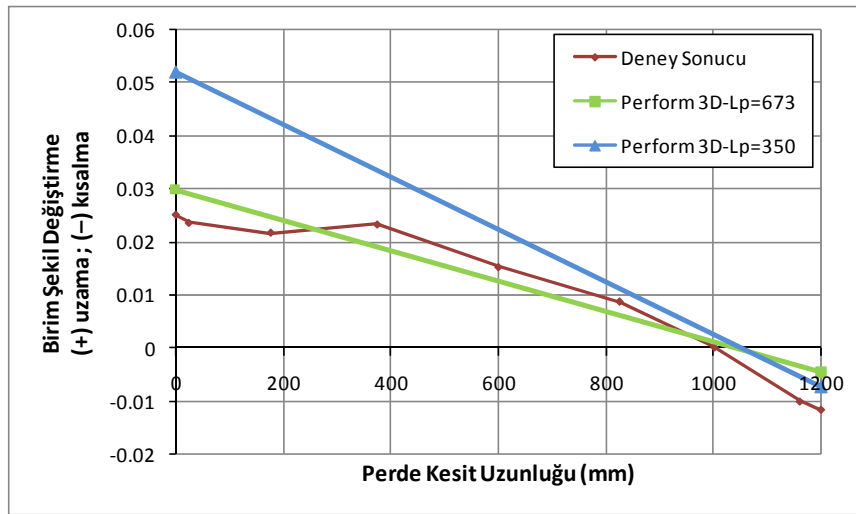
Şekil 3.11 : RW2 perdesi taban kesme kuvveti-perde uç yerdeğiştirme eğrileri.



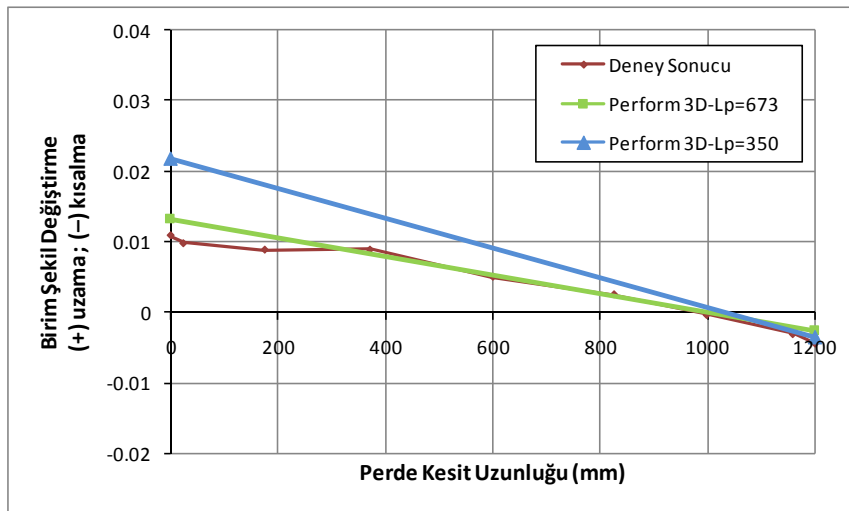
Şekil 3.12 : RW2 perdesi taban kesme kuvveti-kayma şekil değiştirmesi eğrileri.



Şekil 3.13 : RW2 perdesi sık fiber elemanlı model ile elde edilen itme eğrisinin deney sonuçları ile karşılaştırılması.



Şekil 3.14 : Sık fiber elemanlı modelde elde edilen kesit birim şekildeğiştirmelerinin %2 kat ötelemesine göre deney sonuçları ile karşılaştırılması.



Şekil 3.15 : Sık fiber elemanlı modelde elde edilen kesit birim şekildeğiştirmelerinin %1 kat ötelemesine göre deney sonuçları ile karşılaştırılması.

3.2 Malzeme Davranışı Bakımından Matematik Model Kalibrasyonu

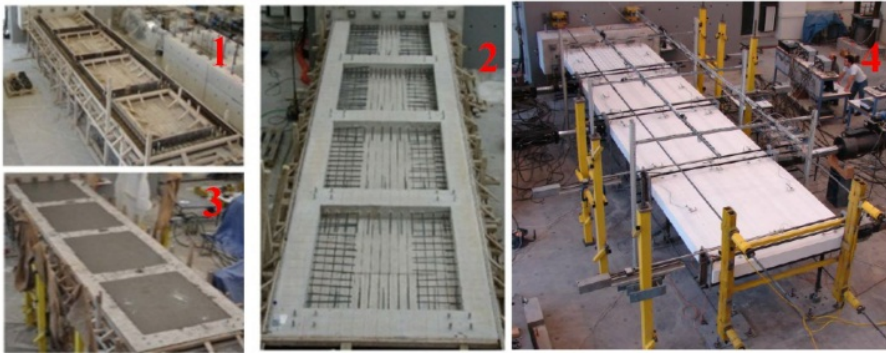
Betonarme yapılarda beton ve donatının tersinir yükler altında gerilme şekildeğiştirme ilişkisi doğrusal olmayıp, malzeme özelliğine bağlı olarak karmaşık bir değişim gösterir. Bu zorluğun üstesinden gelinebilmesi için literatürde idealize edilmiş gerilme şekildeğiştirme bağıntıları kullanılmaktadır. Söz konusu bağıntılar en basitinden iki doğrulu model ile tanımlanabileceği gibi üç doğrulu veya daha karmaşık modellemeler de literatürde yer almaktadır. Bununla birlikte iki doğrulu basit modeller özellikle tersinir yükleme altında malzeme çevrimsel davranışını yansıtmada yetersizdirler. Kompleks modellerinde birçoğu, monolitik betonarme yapılar için geçerli olup, mevcut yapıların güçlendirilmesinde kullanılan betonarme perdelerle uygulanabilirliği tartışmalıdır. Bu sebeplerden ötürü, betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmiş çerçevelerin malzeme davranışları açısından mevcut deneyler ile uyumlu olacak şekilde kalibre edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla parametrik çalışmalarda kullanılacak matematik modelin tersinir tekrarlı yükleme altında malzeme çevrimsel döngü davranış kalibrasyonu iki farklı deney kullanılarak yapılmıştır. Kalibrasyonda kullanılan ilk deney Strepelias ve diğ. (2012) tarafından tersinir tekrarlı yükler altında test edilen, betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmiş 4 katlı tek açıklıklı betonarme çerçevedir. Malzeme davranışının kalibrasyonu için kullanılan diğer deney ise Canbay ve diğ. (2002) tarafından deprem yüklemesi altında sismik davranışı irdelenen, orta açıklığı betonarme dolgulu çerçeve olan iki katlı üç açıklıklı yapı sistemidir. Yapılan çalışmaya ilave olarak, literatürde betonarme elemanlar için sıklıkla kullanılan beton ve donatı malzeme davranış modelleri söz konusu deney elemanlarının matematik modellerinin oluşturulmasında kullanılmış ve elde edilen sonuçlar kalibre edilen malzeme modelleri ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede genel anlamda literatürde betonarme perdeler için kullanılan malzeme davranış modellerinin mevcut yapıların sismik analizlerine uygunluğu araştırılmıştır.

3.2.1 Matematik modelin SERIES deneyleri ile kalibrasyonu

Strepelias ve diğ. (2012) Avrupa Birliği SERIES çalışmaları çerçevesinde betonarme dolgu ile güçlendirilmiş çerçevelerin, tersinir yükleme ve pseudo-dinamik yükleme altında test etmişlerdir. Üç farklı güçlendirilmiş çerçevenin ayrı ayrı deneylerinin yapıldığı çalışmada, SW1 olarak adlandırılan betonarme dolgulu çerçeve sonuçları,

beton ve donatı malzeme davranış kalibrasyonu için kullanılmıştır. Analizlerde deneyin ilk aşamasını oluşturan tersinir tekrarlı yükleme altında elde edilen deney verilerinden faydalanılmış, pseudo-dinamik yükleme aşaması kalibrasyona dahil edilmemiştir.

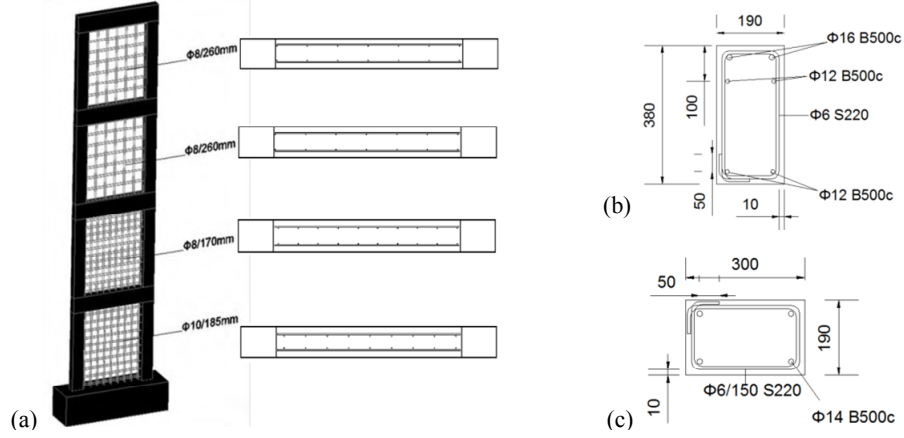
Yapım aşamaları Şekil 3.16'da verilen SW1 perdesi tek açıklıklı ve dört katlı olup, yaygın olarak kullanılan boyutlara göre $\frac{3}{4}$ ölçekli boş betonarme çerçevelerden teşkil edilmiştir. İkinci aşamada, betonarme çerçevelerin içerisine güçlendirme amaçlı betonarme dolgu duvarlar yerleştirilmiştir. Çerçeve ile beton dolgu duvarlar arasındaki bağlantı, çerçevelere açılan deliklere epoksi'li harçlarla ekilen filizler ile sağlanmıştır. Betonarme çerçeve kiriş ve kolonlar dikdörtgen geometriye sahip olup boyutları sırası ile $190^{mm} \times 300^{mm}$ ve $190^{mm} \times 380^{mm}$ 'dir. Deney numunesinin yatay uzunluğu 2200^{mm} olup, yüksekliği 9000^{mm} , kalınlığı ise 190^{mm} 'dir.



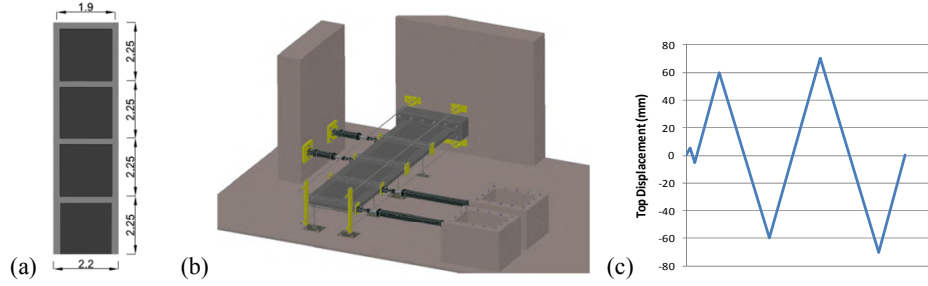
Şekil 3.16 : SW1 betonarme deney numunesi (Strepelias ve diğ, 2012).

Deney numunesi hazırlanırken betonarme çerçeve ve dolgu duvarda karakteristik basınç dayanımı 27MPa (C27) olan beton kullanılmıştır. Betonarme çerçeveyi oluşturan kolon ve kirişlerin boyuna donatıları karakteristik akma dayanımı 500MPa (B500c) olan nervürlü demirler ile teşkil edilirken, etriyelerde karakteristik akma dayanımı 220MPa (St-1) olan düz donatılar kullanılmıştır. SW1 perdesinde donatı düzeni, kolon, kiriş ve dolgu duvar için ayrı ayrı Şekil 3.17'de gösterilmiştir.

Yapılan deneylerde test numunesi yatay konumda tersinir tekrarlı yüklemeye maruz bırakılmıştır. Deplasman kontrollü yapılan yükleme deneyinde, test numunesine perde tepe noktası yerdeğiştirmesi $\pm 5mm$, $\pm 60mm$ and $\pm 70mm$ olacak şekilde ters üçgen benzeşimli yük dağılımlı yatay kuvvet uygulanmıştır. Deney süresince kolon başlarından sabit eksenel kuvvet olarak 465kN etkitilmiştir. Test numunesinin geometrisi ve uygulanan yerdeğiştirme kontrollü yük-tepe noktası yerdeğiştirme eğrisi Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 : SW1 betonarme dolgulu çerçevenin donatı planı: (a)Gövde donatıları. (b)Kiriş donatıları. (c)Kolon donatıları (Strepelias ve diğ, 2012).

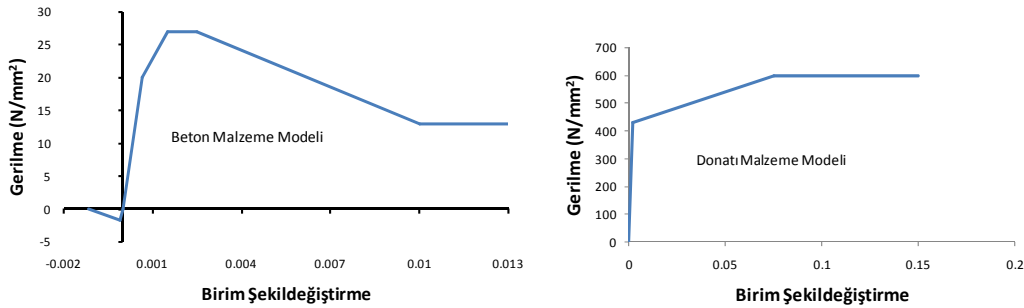


Şekil 3.18 : SW1 betonarme dolgulu çerçevenin: (a)Geometrisi. (b)Deney düzeneği. (c)Yük-Tepe noktası yerdeğiştirme eğrisi (Strepelias ve diğ, 2012).

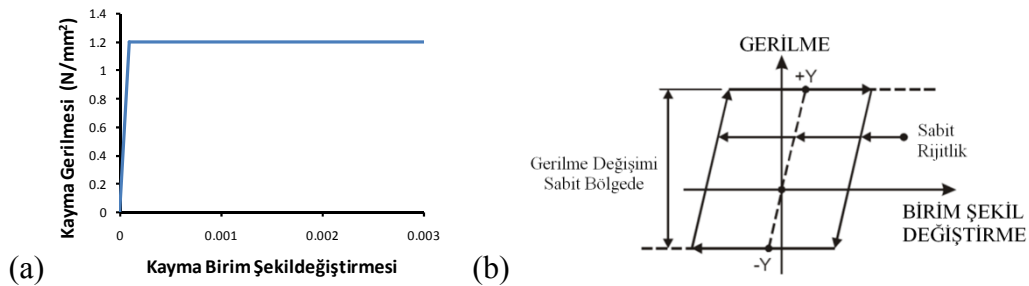
Yapısal analiz programı Perform-3D ile oluşturulan perde matematik modelinde, kolon, kiriş ve betonarme dolgu duvarlar genel perde duvar elemanı kullanılarak oluşturulmuştur. Bununla birlikte önceki bölümlerde bahsedildiği üzere, matematik modelde yalnızca betonun katkısı dikkate alınmış, diyagonal basınç katmanları devre dışı bırakılmıştır. Betonarme çerçeve elemanlarının etriyeleri ile perde yatay donatıları, donatı ve beton alanı oranı kullanılarak fiber elemanlara tanımlanmıştır. Betonarme çerçevedeki boyuna donatılar ile perde düşey donatıları ise kesit bazında gerçeğe yakın konumlarında fiber elemanlar ile modellenmiştir. Ayrıca kesit dönmesinin ölçülebilmesi amacıyla modelde "rotation gage" adı verilen ve yalnızca perde elemanını oluşturan iki düğüm noktası arasına tanımlanabilen modüller kullanılmıştır. Bu bağlamda, deney sonucu zeminden 450^{mm} ve 900^{mm} yükseklikte kesit dönmesi ölçüldüğü için, bu iki nokta arasında yer alan ve matematik modelin düğüm noktasını oluşturan yerden 630^{mm} yüksekliğe bir "rotation gage" elemanı tanımlanmıştır. Böylelikle deney sonucu elde edilen kesit dönmeleri ile matematik modelin analizi sonucu hesaplanan kesit dönmesinin sayısal karşılaştırılması yapılmıştır.

Beton malzeme modelinin iskelet eğrisinde dayanım azalması ve çekme dayanımı dikkate alınırken, çelik malzeme modeli iskelet eğrisi ise dayanım azalması olmayan üç doğrulu model ile tanımlanmıştır. Kayma gerilmesi şekildeğiştirme eğrisi ise programda iki doğrulu model ile ifade edilmiştir. Kesit kesme kuvveti dayanım hesabı ise TS 500'de verilen ve Denklem 3.4 ile tanımlanan bağıntı yardımı ile hesaplanmıştır. Söz konusu bağıntıda V_{cr} kesme kuvveti dayanımı, f_{ctk} beton karakteristik çekme dayanımı ve A_{ck} ise perde kesit alanı olarak tanımlanmaktadır. Deney numunesi geometrik özelliklerinden dolayı eğilme etkin bir perde olduğu için deney sonucunda kesitte kayma şekildeğiştirmesi ile oluşan bir hasar meydana gelmemiştir. Dolayısıyla matematik model analizinde de kesme kuvveti kaynaklı plastik şekildeğiştirme beklenmemektedir. Bu sebeple kayma gerilme şekildeğiştirme çevrimsel döngü modeli için ideal elasto-plastik malzeme modeli kullanılmıştır. Donatı ve beton malzeme gerilme şekildeğiştirme iskelet eğrisi Şekil 3.19'da, kayma gerilmesi şekildeğiştirmesi iskelet eğrisi ile ideal elasto-plastik malzeme modeli çevrimsel döngüsü ise Şekil 3.20'de verilmiştir.

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctk} A_{ck} \quad (3.4)$$

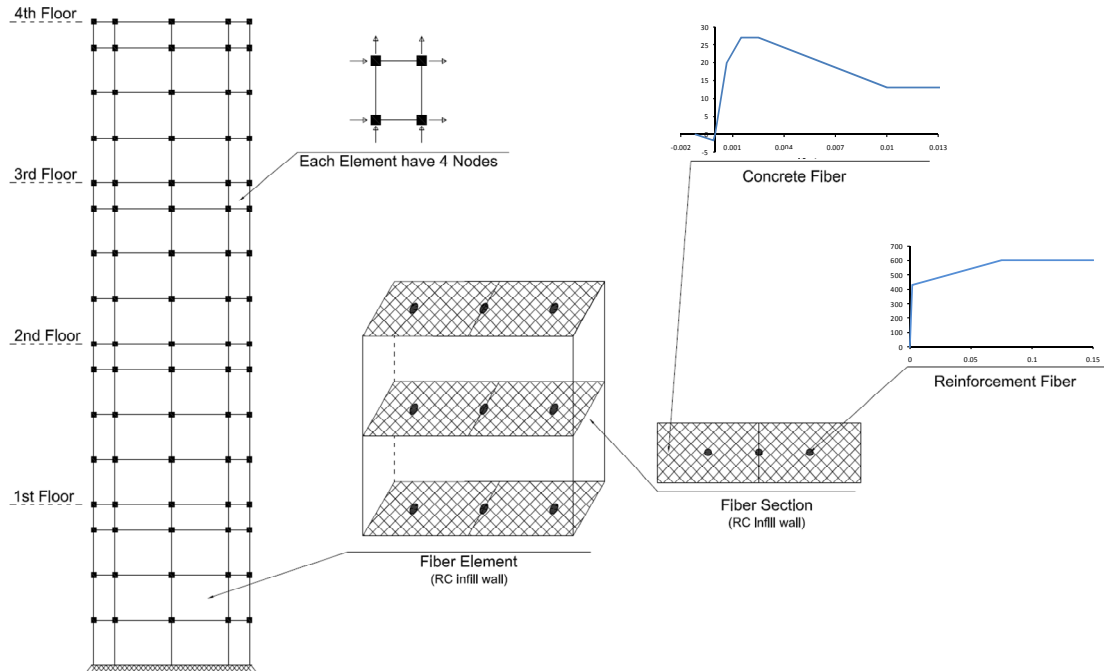


Şekil 3.19 : Matematik modelde SW1 perdesi için tanımlanan beton ve donatı malzeme davranış iskelet eğrileri.



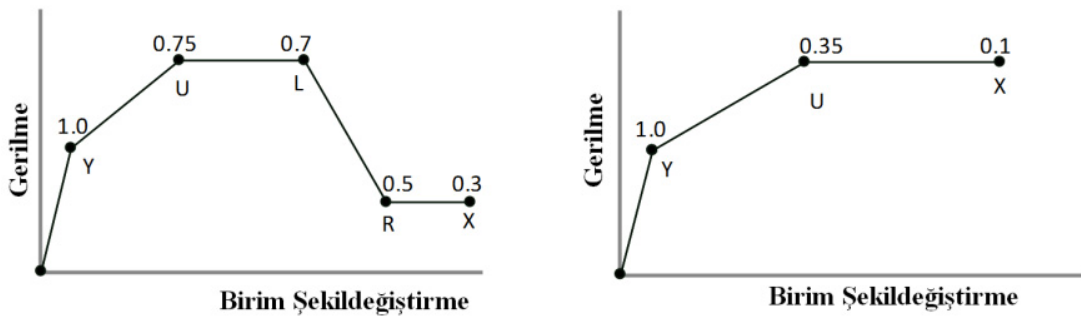
Şekil 3.20 : Matematik modelde tanımlanan kayma gerilme şekildeğiştirme eğrisi ile ideal elasto-plastik malzeme modeli histerik döngüsü.

Yapısal analiz programı Perform-3D kullanılarak matematik modeli oluşturulan SW1 deney numunesinin görünümü Şekil 3.21’de verilmiştir. Test numunesi yatay pozisyonda yüklemeye tabi tutulduğu için perde zati ağırlığı matematik modelde dikkate alınmamıştır. Bununla birlikte kolonlarda test sırasında sabit uygulanan 450kN düşey yük, matematik modelde de kolon başlarındaki düğüm noktalarına tanımlanmıştır. Test yüklemesine benzer şekilde yatay yük dağılımı ters üçgen yük dağılımı oluşturacak şekilde her kat hizasında kiriş düğüm noktalarına etkilmiştir. Programda yerdeğiştirme kontrollü analiz limit noktaları, test sırasında ulaşılan tepe yerdeğiştirme sınır değerleri ($\pm 5\text{mm}$, $\pm 60\text{mm}$ ve $\pm 70\text{mm}$) olarak alınmıştır. Çerçeve ve betonarme duvarların bağlantısını sağlayan epoksi dolgu ile çerçevelere ekilen filizlerin, makroskopik model yaklaşımı ile simüle edilmesi çok uygun değildir. İki yüz arasındaki etkileşimde gerek beton gerekse donatı katkısının ayrı ayrı mikroskopik ölçekte modellenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda yükleme sırasında çerçeve ile betonarme dolgu duvarlar arasında büyük deformasyonlar oluşmadığı kabulü ile söz konusu filizlerin modellenmesi yapılmamıştır. Zaten halihazırda elde edilen deney sonuçlarına göre de çerçeve-dolgu duvar birleşim bölgelerinde sistemin genel rijitlik ve davranışını etkileyecek büyüklükte bir hasar oluşmadığı gözlemlenmiştir.



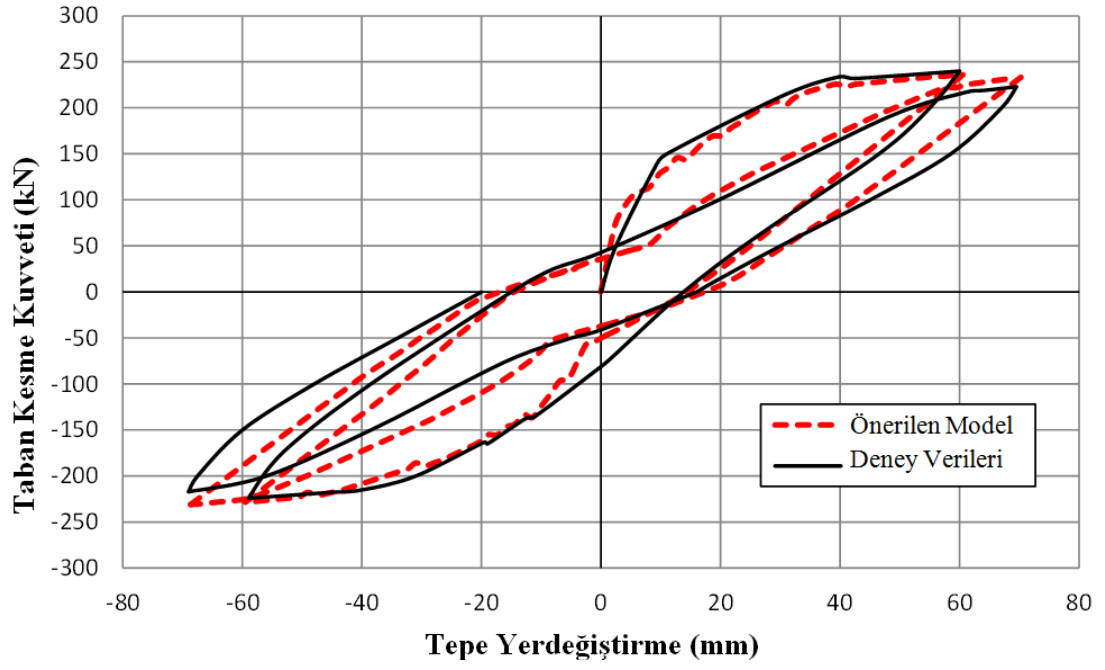
Şekil 3.21 : SW1 test numunesinin Perform-3D ile oluşturulan matematik modeli.

Oluşturulan matematik model bir seri ardışık analize tabi tutularak, hesaplanan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme eğrileri ile deney sonucu elde edilen veriler karşılaştırılmış ve birçok EDF/ USF parametresi denenmiştir. Örneğin deney verileri ile hesaplanan eğriler altında kalan alanlarda uyumsuzluk olması durumunda, EDF parametresi değiştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen eğride, rijitlik korunumu ve yük boşaltma eğrisinde bir uyumsuzluk meydana gelmesi durumunda ise USF parametresi kalibre edilmiştir. Böylelikle ardışık iterasyonlarla deney sonuçları ile uyumlu olan en uygun EDF ve USF parametreleri belirlenmiştir. Kalibrasyon sonucu elde edilen EDF değerleri beton ve çelik için Şekil 3.22'de gösterilmiştir.

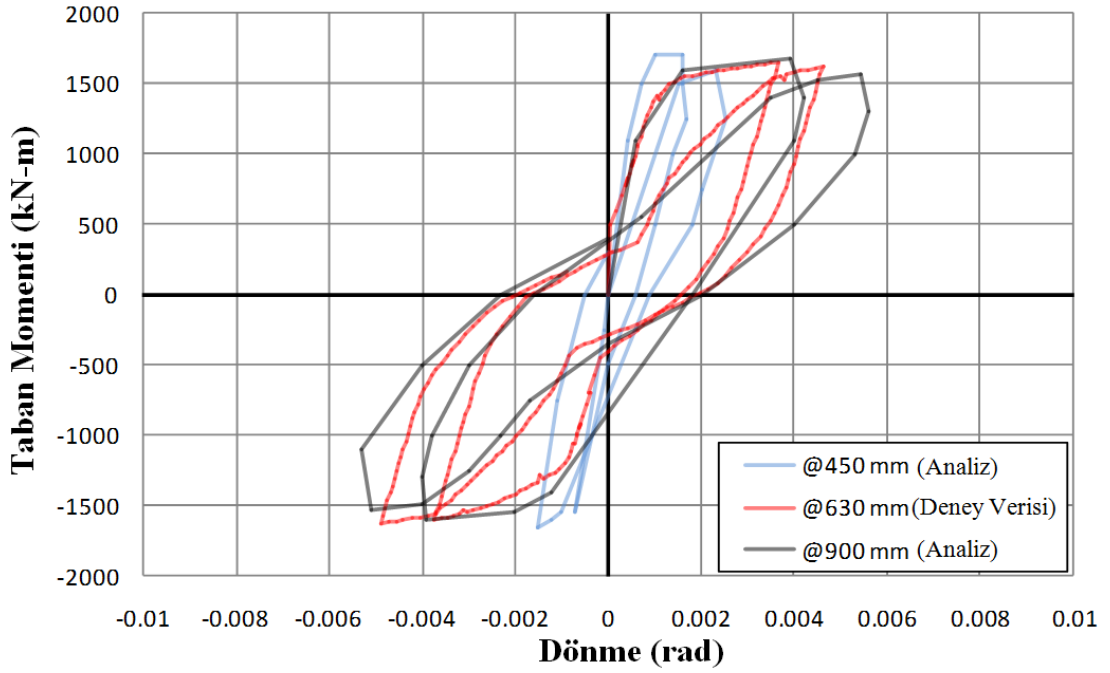


Şekil 3.22 : Kalibrasyon sonucu elde edilen EDF değerleri: (a)Beton. (b)Çelik.

Matematik modelin kalibre edilen malzeme modelleri ile yapılan analizi sonucu, tabanda meydana gelen toplam kesme kuvveti değeri 236kN olarak bulunmuştur. Söz konusu değer, Denklem 3.4 ile hesaplanan perde kesme kuvveti dayanımından (350kN) daha küçük olduğu için daha önce öngörüldüğü üzere perdede kesme kuvveti altında plastik şekildeğiştirme meydana gelmemiştir. Analizler sonucu elde edilen taban kesme-kuvveti tepe yerdeğiştirme eğrisi, deney verileri ile karşılaştırılmış ve Şekil 3.23'de verilmiştir. Eğriden görülebileceği üzere perdenin yatay yükler altında tepe yerdeğiştirmesi deney verileri ile hemen hemen aynı doğrultuyu izlemektedir. Ayrıca perde tabanından 630^{mm} yükseklikte hesaplanan kesit dönmeleri, deney sonucu ölçülen 450^{mm} ve 900^{mm} yükseklikteki kesit dönmelerinin arasında yer almakta ve deney verileri ile benzer doğrultuyu izlemektedir (Şekil 3.24). Sonuç olarak SW1 perdesinin kalibre edilen matematik modeli ile deney verilerinin yeter derecede uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 3.23 : SW1 perdesi taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrisinin deney verileri ile karşılaştırılması.

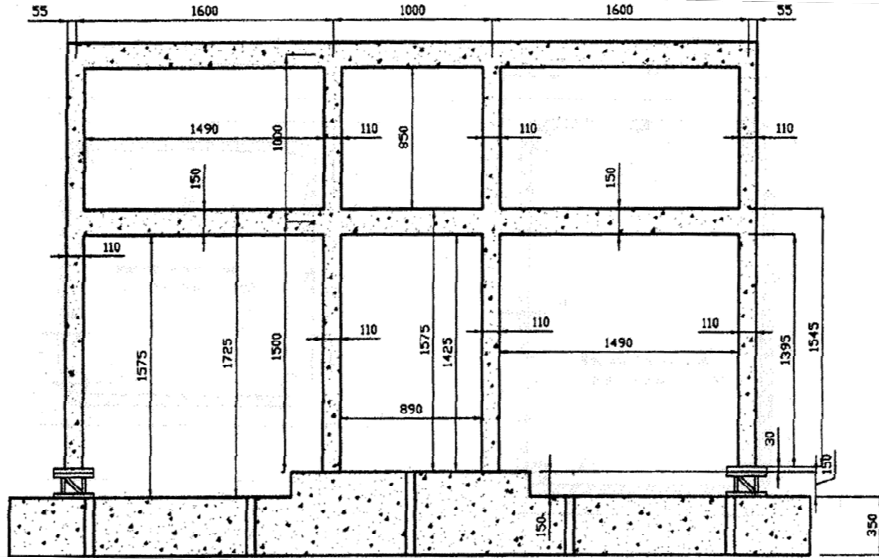


Şekil 3.24 : SW1 perdesi taban momenti-kesit dönmesi eğrisinin deney verileri ile karşılaştırılması.

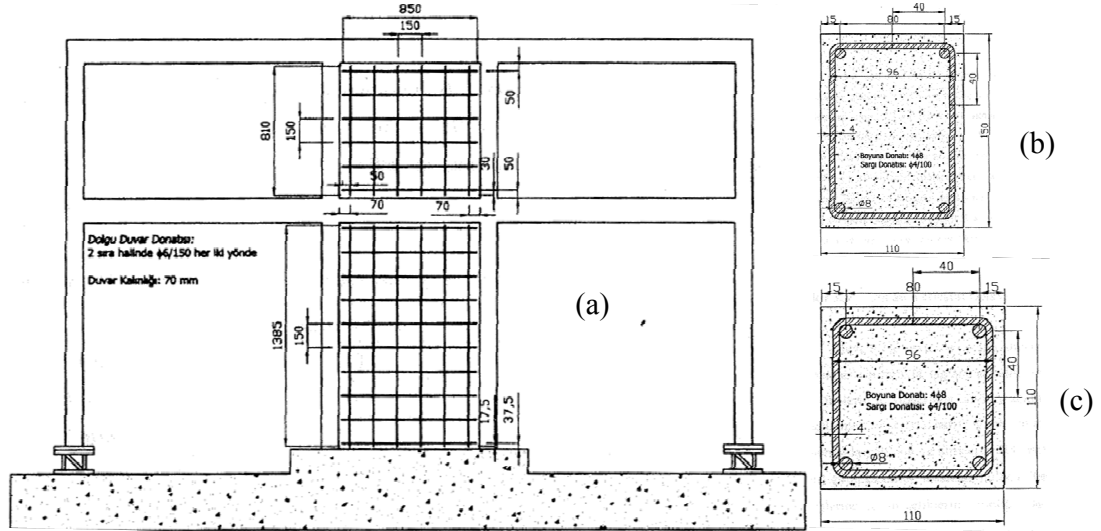
3.2.2 Matematik modelin ODTÜ deneyleri ile kalibrasyonu

Matematik modelin tersinir tekrarlı yükler altında malzeme davranışı açısından kalibrasyonunda kullanılan ikinci deney Canbay ve dig. (2003) tarafından yatay yükler altında test edilen betonarme çerçeve sistemidir. Söz konusu çerçeve, üç açıklıklı ve iki katlı olup yaygın kullanılan betonarme çerçeve boyutlarına göre 1/3 ölçekte imal edilmiştir. Deney çerçevesinin yapımı sırasında Türkiye'de bulunan yapı stoğunda sıklıkla karşılaşılan yapısal kusurlara (eksik bindirme boyu, yetersiz etriye, düşük malzeme dayanımı vb.) yer verilmiştir. Böylelikle mevcut betonarme yapıların betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi çalışmasında gerçekçi bir yol izlenmiştir. Eleman boyutlarının Şekil 3.25'de verildiği deney numunesinde, kolonlar $110^{mm} \times 110^{mm}$, kirişler ise $110^{mm} \times 150^{mm}$ boyutlarından teşkil edilmiştir. Betonarme çerçevenin dış açıklıkları 1600^{mm} , iç açıklığı ise 1000^{mm} olarak boyutlandırılmıştır. Yapılan deneyin ilk aşamasında, boş çerçeve yatay yükler altında test edilmiş ve daha sonra oluşan çatlaklar onarılacak orta açıklık 70^{mm} kalınlığında betonarme dolgu ile güçlendirilmiştir. Deneyin ikinci aşamasında ise, yeni oluşturulan ve R1 olarak adlandırılan betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmiş çerçevenin yatay yükler altındaki davranışı tersinir tekrarlı yükleme ile incelenmiştir. Matematik modelin kalibrasyonu için yapılan analizlerde boş çerçeve deneyi dikkate alınmamış, R1 perde-çerçeve sisteminden elde edilen veriler kullanılmıştır.

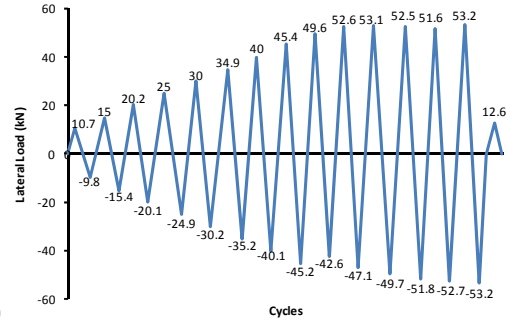
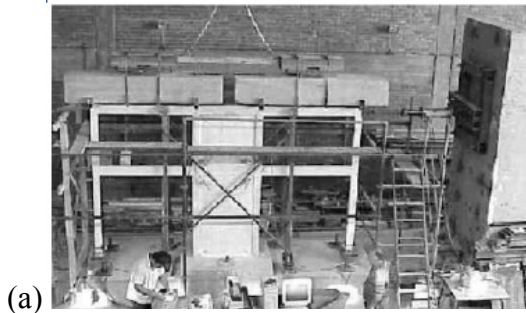
Donatı düzeni Şekil 3.26'da verilen deney numunesinde kolon ve kirişler ile betonarme perde, karakteristik akma dayanımı 322~400MPa arasında değişen düz donatılardan teşkil edilmiştir. Deney günü birinci kat betonunun karakteristik basınç dayanımı 13.8MPa, ikinci kat betonunun karakteristik basınç dayanımı ise 16.7MPa olarak ölçülmüştür. Betonarme dolgu duvarlar ise karakteristik basınç dayanımı 30.8MPa olan betondan imal edilmişlerdir. Betonarme çerçeve ile dolgu duvar arasındaki bağlantı, SW1 deney numunesinde olduğu gibi çerçevelere açılan deliklere epoksi dolgu ile ekilen filizler yardımı ile sağlanmıştır. Deney numunesi düşey pozisyonda üst kattan etkitilen yatay yük vasıtası ile tersinir tekrarlı yüklemeye maruz bırakılmıştır. Yatay yük ikinci kat hizasından 45kN yük düzeyine kadar kuvvet kontrollü, daha sonra ise yer değiştirme kontrollü olarak tanımlanmıştır. Deney düzeneği ve yük geçmişi Şekil 3.27'de verilen betonarme çerçevenin, test süresince kolon başlarına ayrıca sabit eksenel kuvvet olarak 9.0kN etkitilmiştir.



Şekil 3.25 : R1 betonarme deney numunesi eleman boyutları (Canbay, 2001).



Şekil 3.26 : R1 betonarme deney numunesi donatı planları: (a)Perde. (b)Kiriş. (c)Kolon (Canbay, 2001).

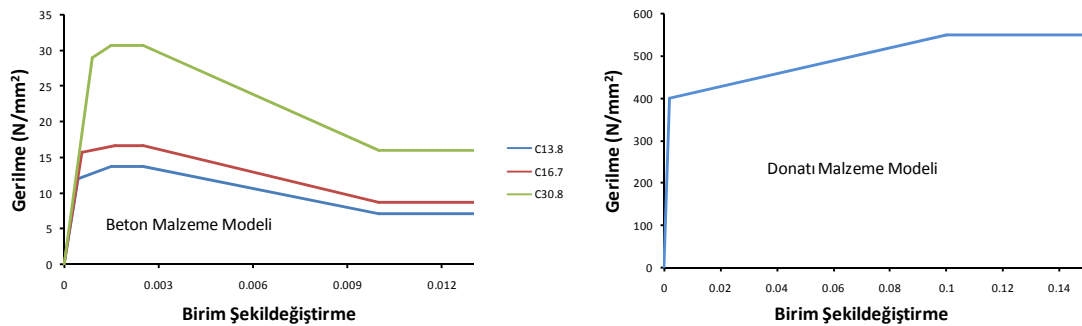


Şekil 3.27 : R1 çerçeve-perde sisteminin: (a)Deney düzeneği. (b)Yük geçmişi (Canbay, 2001).

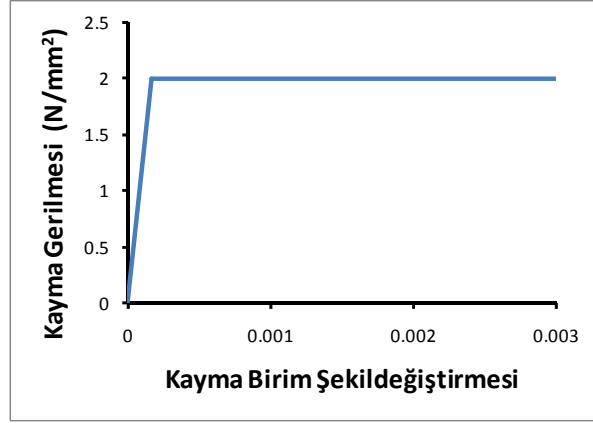
SW1 perde deneyinde olduğu gibi R1 betonarme dolgulu çerçevenin kolon, kiriş ve betonarme dolgu duvarları genel perde duvar elemanı kullanılarak oluşturulmuştur. Perdenin kayma davranışının tanımlanmasında ise yine SW1 perdesinde olduğu gibi, beton katkısı dikkate alınmış ve diyagonal katmanlar devre dışı bırakılmıştır. Matematik modelde donatı ve beton gerilme birim şekildeğiştirme eğrileri SW1 perdesinde olduğu gibi üç doğrulu model göz önüne alınarak tanımlanmıştır (Şekil 3.28). Beton malzeme modelinde ise, deney numunesi önceden bir çevrime maruz bırakıldığı için beton çekme gerilme kapasitesi ihmal edilmiştir. Ayrıca bindirme bölgelerinde meydana gelen gerilme kayıpları için Canbay ve diğ. (2003) tarafından hesaplanan ve Çizelge 3.1’de verilen azaltılmış donatı akma dayanımları kullanılmıştır. Betonarme perde kesme kuvveti dayanımı SW1 perdesine benzer şekilde Denklem 3.4 ile hesaplanmış ve karşı gelen gerilme şekildeğiştirme eğrisi Şekil 3.29’da gösterilmiştir. Kesme kuvveti altında gerilme şekildeğiştirme döngüsü ise SW1 perdesinde olduğu gibi ideal elasto-plastik davranış ile modellenmiştir.

Çizelge 3.1 : Betonarme çerçeve bindirme bölgesi gerilme kayıpları (Canbay ve diğ, 2003).

	Moment Kapasitesi (kN-m)	Donatı Akma Dayanımı (MPa)	Akma Gerilmesi (MPa)	Bindirme Boyu (Φ)	Ekte Oluşabilecek Gerilme (Mpa)	Hesaplanan Akmaya Oranı (%)	Yeni Moment Kapasitesi (kN-m)
Sol Dış Kolon	Ölçüldü	-	-	-	-	-	3.3
Sağ Dış Kolon	Ölçüldü	-	-	-	-	-	2.4
Kiriş İç Mesnetleri	5	400	Aderans Problemi Yok	-	-	-	5
Sol Kiriş Dış Mesnedi	5	400	1.7	11	75	19	0.9
Sağ Kiriş Dış Mesnedi	5	400	1.7	32	218	54	2.6
Dolgu: Köşe Kolonları	145	400	1.0	40	160	40	100
Dolgu: Duvar Donatısı		378	1.7	50	340	90	

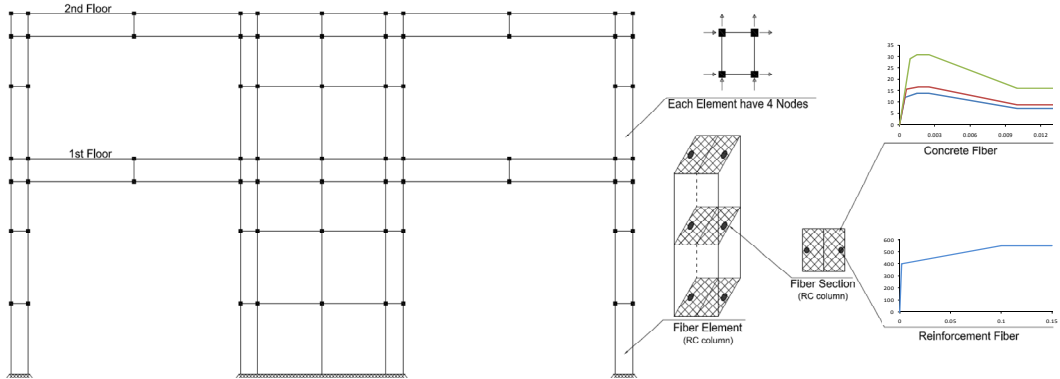


Şekil 3.28 : Matematik modelde R1 perdesi için tanımlanan beton ve donatı malzeme davranış iskelet eğrileri.



Şekil 3.29 : Matematik modelde tanımlanan kayma gerilme-şekildeğiştirme eğrisi.

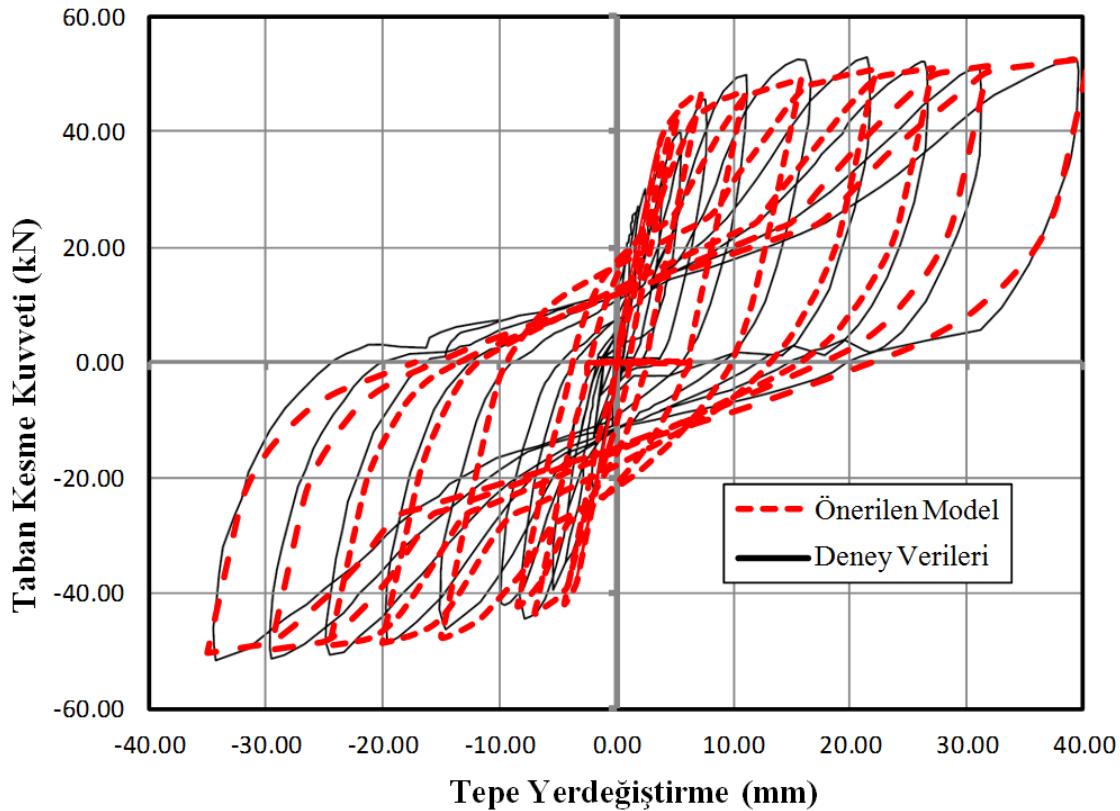
Test numunesi düşey pozisyonda test edildiği için perde zati ağırlığı programda dikkate alınmıştır. Ayrıca kolonlara deney süresince uygulanan sabit 9kN düşey yük, matematik modelde de kolon başlarındaki düğüm noktalarına tanımlanmıştır. Programda yatay yük önce kuvvet kontrollü, daha sonra ise yerdeğiştirme kontrollü olarak test yük geçmişini takip edecek şekilde belirlenmiştir. Test yüklemesine benzer şekilde yatay yük 2. kat hizasından oluşturulmuştur. Yapısal analiz programı Perform-3D ile matematik modeli oluşturulan R1 deney numunesinin görünümü Şekil 3.30'da verilmiştir.



Şekil 3.30 : R1 test numunesinin Perform-3D ile oluşturulan matematik modeli.

SW1 perdesinde olduğu gibi R1 perdesi de eğilme etkin perde davranışına sahip bir deney numunesidir. Dolayısıyla, yükleme sırasında çerçeve ile betonarme dolgu duvarlar arasında büyük deformasyonlar oluşmadığı kabulü ile filizlerin modellenmesi yapılmamıştır. Elde edilen deney verilerine göre de çerçeve-dolgu duvar birleşim bölgelerinde yer alan hasarların sistemin genel rijitlik ve davranışını etkileyecek büyüklükte oluşmadığı gözlemlenmiştir.

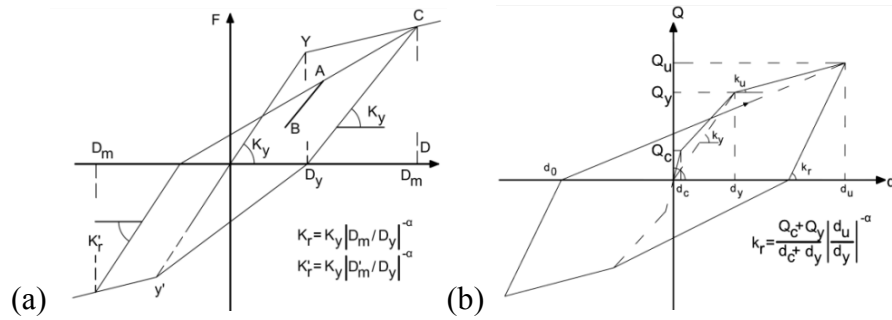
Oluşturulan matematik model, SW1 perdesinin kalibrasyonu ile elde edilen EDF ve USF parametreleri altında bir seri analize tabi tutulmuş ve söz konusu parametreler R1 perdesinin de yatay yükler altında davranışını yansıtacak şekilde tekrar kalibre edilmiştir. Böylelikle, her iki test numunesi için de geçerli olan nihai EDF ve USF parametre değerlerine ulaşılmıştır (Şekil 3.22). Analizler sonucu elde edilen perde kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme eğrisi R1 deney verileri ile karşılaştırılmış ve Şekil 3.31'de verilmiştir. Grafikten görülebileceği üzere, kalibre edilen parametreler ile elde edilen analiz sonuçları deney verileri ile uyuşmaktadır. Ayrıca, matematik modelin analizi sonucu tabanda meydana gelen toplam kesme kuvveti değeri (52kN), Denklem 3.4 ile hesaplanan perde kesme kuvveti dayanımından daha küçük olduğu için, öngörüldüğü üzere perdede kesme kuvveti altında plastik şekildeğiştirme meydana gelmemiştir. Sonuç olarak kalibre edilen matematik modelin, sık tekrarlı tersinir yükler altında güçlendirilmiş perde çerçeve sistemlerde de gerçek davranışı yakalamada başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 3.31 : R1 perdesinin sayısal analizi sonucu elde edilen taban kesme kuvveti tepe yerdeğiştirmesi eğrisinin deney verileri ile karşılaştırılması.

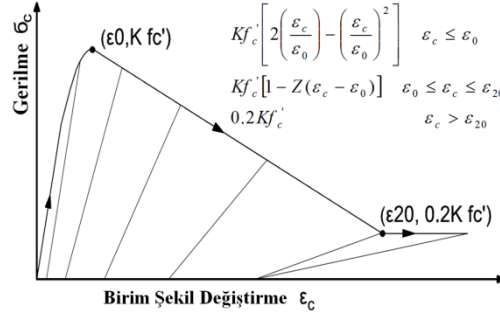
3.2.3 Matematik modelin literatürde sıklıkça kullanılan malzeme davranış modelleri ile analizi

Literatürde tersinir tekrarlı yükler altında betonun gerilme şekildeğiştirme davranışını tanımlaya yönelik birçok matematik model bulunmaktadır. Bu modellerden ilki Clough ve Johnston (1966) tarafından önerilen Clough modeli ile Takeda ve diğ. (1970) tarafından önerilen Takeda modelidir. İlk modelde yük boşaltma rijitliği kesitin elastik olmayan rijitliğine eşit kabul edilmiştir. Yeniden yükleme ise Otani (1981) tarafından daha hassas şekilde kalibre edilmiştir. Bu modifiye edilen modelde ilk rijitlik (K_y), yük boşaltma rijitliği (K_r), ile yük boşaltma rijitliği azaltma parametresi (α) ile yerdeğiştirmeye (D) bağlıdır (Şekil 3.31). İkinci beton modeli ise Otani (1981) ile Kabeyasawa ve diğ. (1983) tarafından deney sonuçlarına göre modifiye edilen Takeda modelidir. Modifiye edilmiş bu model pekleşme etkisi ile eğilme çatlaması ve akma noktasında rijitlik değişimini içermektedir. Söz konusu modellere ait yük boşaltma grafiği Şekil 3.32'de gösterilmiştir. Grafikte k_r rijitliği, Q yük değerini, d yerdeğiştirmeyi ve d_u bir önceki adımdaki maksimum yerdeğiştirmeyi ifade etmektedir.



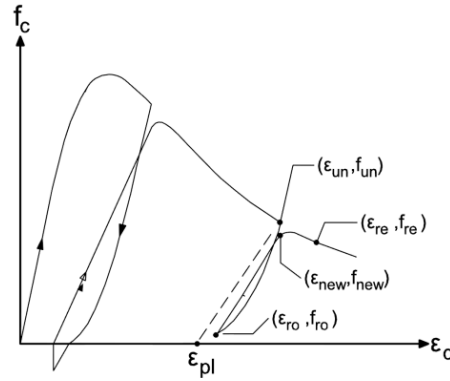
Şekil 3.32 : Modifiye edilmiş beton modelleri: (a)Clough. (b)Takeda.

Literatürde çok kullanılan bir diğer beton modeli ise Kent ve Park (1971) tarafından oluşturulan, ardından Scott (1982) tarafından geliştirilen modifiye Kent-Park beton modelidir. Söz konusu model Xiaolei ve diğ. (2008), Martinelli ve Filippou (2009) ile Zhou ve diğ. (2011) tarafından betonarme elemanların tersinir yükleme altında matematik model kalibrasyonları sırasında kullanılmıştır. Modifiye Kent-Park beton modelinde gerilme şekildeğiştirme eğrisi ($\sigma_c - \epsilon_c$), %20 şekildeğiştirmeye karşı gelen basınç dayanımı (ϵ_{20}) ve şekildeğiştirmenin maksimumum (ϵ_0) olduğu noktaya bağlı olarak üç bölgede tanımlanmıştır. Bu modele göre, beton basınç gerilmesi (σ_c) etriyeye bağlı dayanım artması (K) ile şekildeğiştirme eğimine (Z) bağlıdır. Söz konusu modelin gerilme şekildeğiştirme grafiği Şekil 3.33'de verilmiştir.



Şekil 3.33 : Modifiye edilmiş Kent-Park modeli.

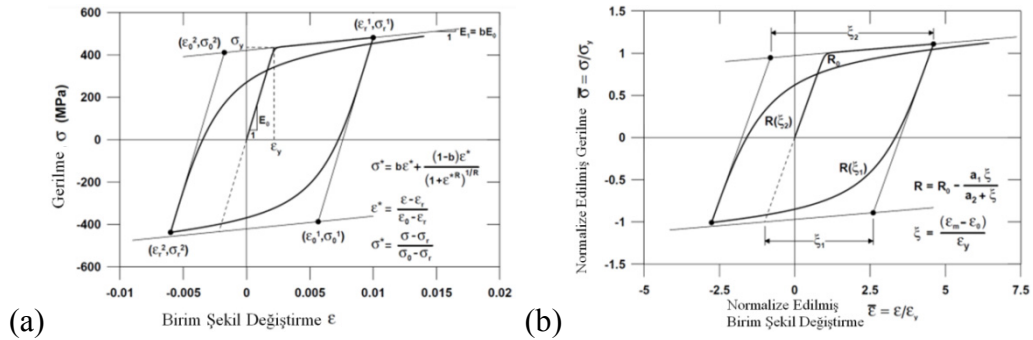
Diğer bir beton modeli olan Mander modeli, Mander ve diğ. (1988) tarafından önerilmiştir. Söz konusu model, Jalali ve Dashti (2010), Xuwei ve diğ. (2011), Jiang ve Liu (2011), Yin ve diğ. (2012) gibi birçok araştırmacı tarafından, tekrarlı tersinir yükler altında betonun gerilme şekil değiştirme davranışının modellenmesinde kullanılmıştır. Bu modelde yük boşaltma eğrisi deneysel araştırmalara dayanmış olup, sargılı ve sargısız beton modelini içermektedir. Yükleme eğrisi Şekil 3.34'te verilen modelde, parabolik azalım noktası (ϵ_{new} , f_{new}) ve dönme noktası arasındaki ilişki doğrusal gerilme şekil değiştirme ile tanımlanmıştır.



Şekil 3.34 : Mander beton modeli.

Literatürde tersinir tekrarlı yükler altında önerilen donatı modelleri, beton davranış modellerinin aksine çok daha kısıtlıdır. Donatının histerik davranışını idealize etmek için kullanılan en basit model iki doğrulu modeldir. Bu modelde tek değişken pekleşme parametresi olup, akma rijitliğinin elastik rijitliğe oranı olarak tanımlanır. İki doğrulu modelin aksine çok bilinen Menegotto-Pinto histerik donatı modeli ise birçok değişken parametre içermektedir. Adından anlaşılacağı üzere Menegotto ve Pinto (1973) tarafından önerilen donatı modeli, Şekil 3.35'te gösterildiği gibi donatı davranışını birçok yönden daha hassas tanımlayabilmektedir. Söz konusu model Filippou ve diğ. (1983) tarafından modifiye edilmiş ve Orakcal ve diğ. (2006),

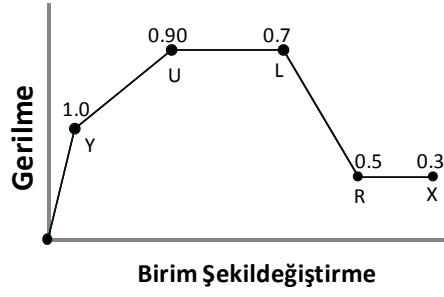
Martinelli ve Filippou (2009), Jalali ve Dashti (2010), Spyrakos ve diğ. (2012), Yang ve diğ. (2013) gibi birçok araştırmacı tarafından perdelerin matematik modellenmesinde kullanılmıştır. Bu modele göre beton davranışı çevrimsel eğrinin azalımı ayarlayan α_1 ve α_2 parametreleri ile Baushinger&Pinching etkisini içeren geçiş eğrisi parametresine (R_0) bağlı olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca modele Filippou ve diğ. (1983) tarafından α_3 ve α_4 parametreleri tanımlanarak pekleşme etkisi dahil edilmiştir.



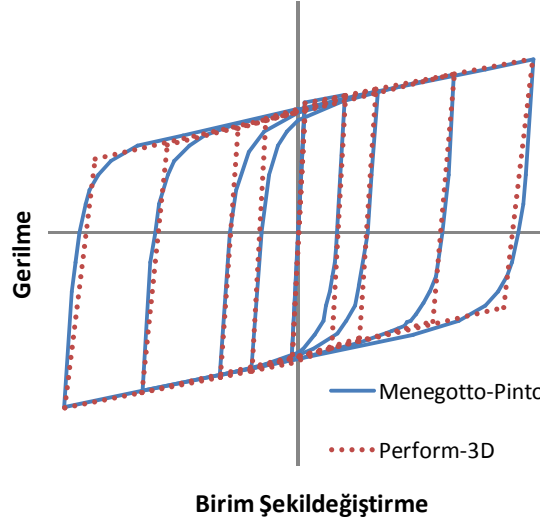
Şekil 3.35 : Donatı davranış modelleri: (a)Menegotto-Pinto donatı modeli. (b)Modifiye edilmiş model.

Detayları verilen beton ve donatı modellerinden beton için Mander, donatı için ise Menegetto-Pinto modeli literatürde en çok tercih edilen iki model olmaları dolayısıyla, SW1 ve R1 perdelerinin matematik modellenmesinde kullanılmıştır. Bu bağlamda Mander modeli Perform-3D analiz programına EDF değerleri ayarlanarak entegre edilmiştir. Söz konusu EDF değerleri Xuwei ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmalardan alınmıştır. Mander modeline karşı gelen EDF değerleri Şekil 3.36'da belirtilmiştir. Donatı histeretik davranış eğrisi için kullanılan Menegetto-Pinto modelinde ise Filippou ve diğ. (1983) tarafından önerilen parametreler ($R_0=20; a_1=18.5; a_2=0.15; a_3=0.01; a_4=7$) kullanılmıştır.

Perform-3D ile oluşturulan çevrimsel döngü ile orijinal Menegetto-Pinto modeli Şekil 3.37'de gösterilmiştir. Grafikten anlaşılabileceği üzere, Perform-3D modeline tanımlanan malzeme modelinin program limitlerinden dolayı lineer olması zorunluluğu bulunmasına karşın, elde edilen eğri ile orijinal model arasından çarpıcı bir fark ortaya çıkmamaktadır. Dahası programa tanımlanan model ile orijinal Menegetto-Pinto modeli arasında enerji sönümü açısından da uyum gözükmektedir. Perde matematik modeli oluşturulurken kullanılan diğer parametreler (fiber eleman sıklığı, geometri vb.) ise kalibre edilen model ile aynı alınmıştır.

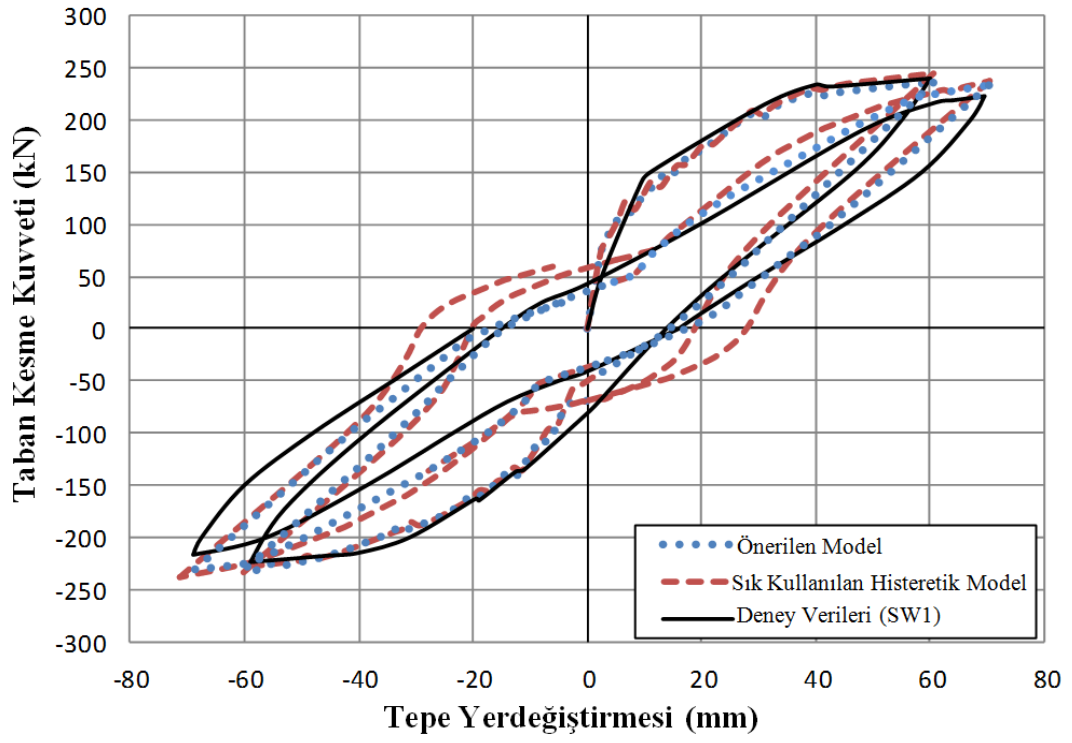


Şekil 3.36 : Mander modeline karşı gelen EDF değerleri (Xuewei ve dig, 2011).

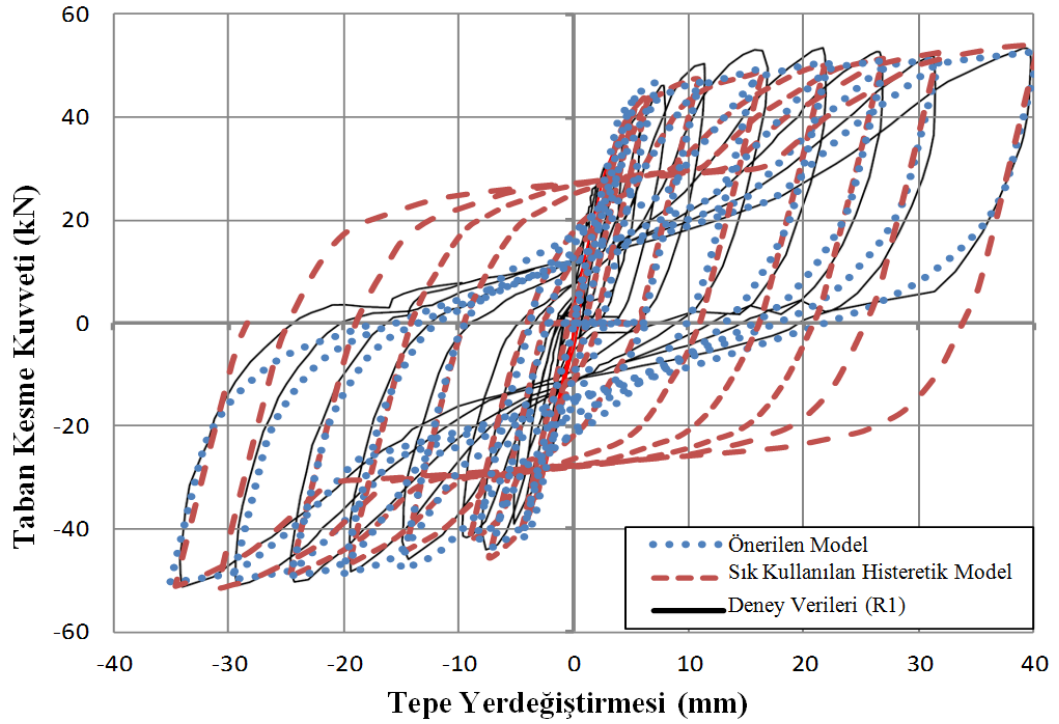


Şekil 3.37 : Perform-3D ile oluşturulan Menegetto-Pinto modeli ile orijinal modelin karşılaştırılması.

Her iki deney için literatürce sıklıkça tercih edilen beton Mander modeli ile donatı Menegetto-Pinto modelleri kullanılarak yapılan analizler neticesinde elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme eğrileri Şekil 3.38 ve Şekil 3.39'da verilmiştir. Aynı şekil üzerinde önceki bölümlerde kalibre edilmiş malzeme modelleri ile hesaplanan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme eğrileri de gösterilmiştir. Grafikten görülebileceği üzere, literatürde sık kullanılan malzeme modelleri ile elde edilen yükleme boşaltma eğrileri gerek rijitlik gerekse enerji sönümlemesi açısından deney verileri ile örtüşmemektedir. Örneğin araştırmacıların sıklıkla kullandığı beton ve donatı malzeme modelleri ile yapılan analiz neticesinde elde edilen enerji sönümlemesi deney verilerine göre çok daha fazla olmuştur. Dolayısıyla perdelerin matematik modellenmesinde sıklıkça tercih edilen beton ve donatı çevrimsel modelleri, betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmiş çerçevelerin deprem yükleri altında davranışını yansıtmakta yetersiz kalabilmektedir.



Şekil 3.38 : Taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması (SW1 Perdesi).

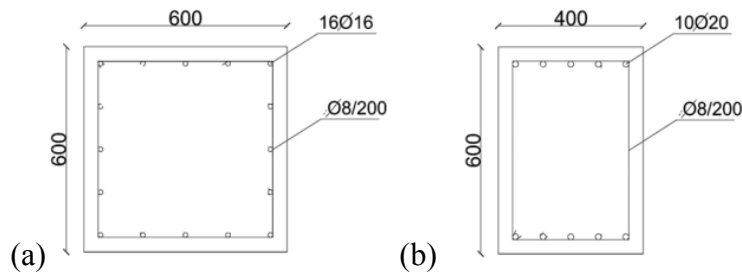


Şekil 3.39 : Taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması (R1 Perdesi).

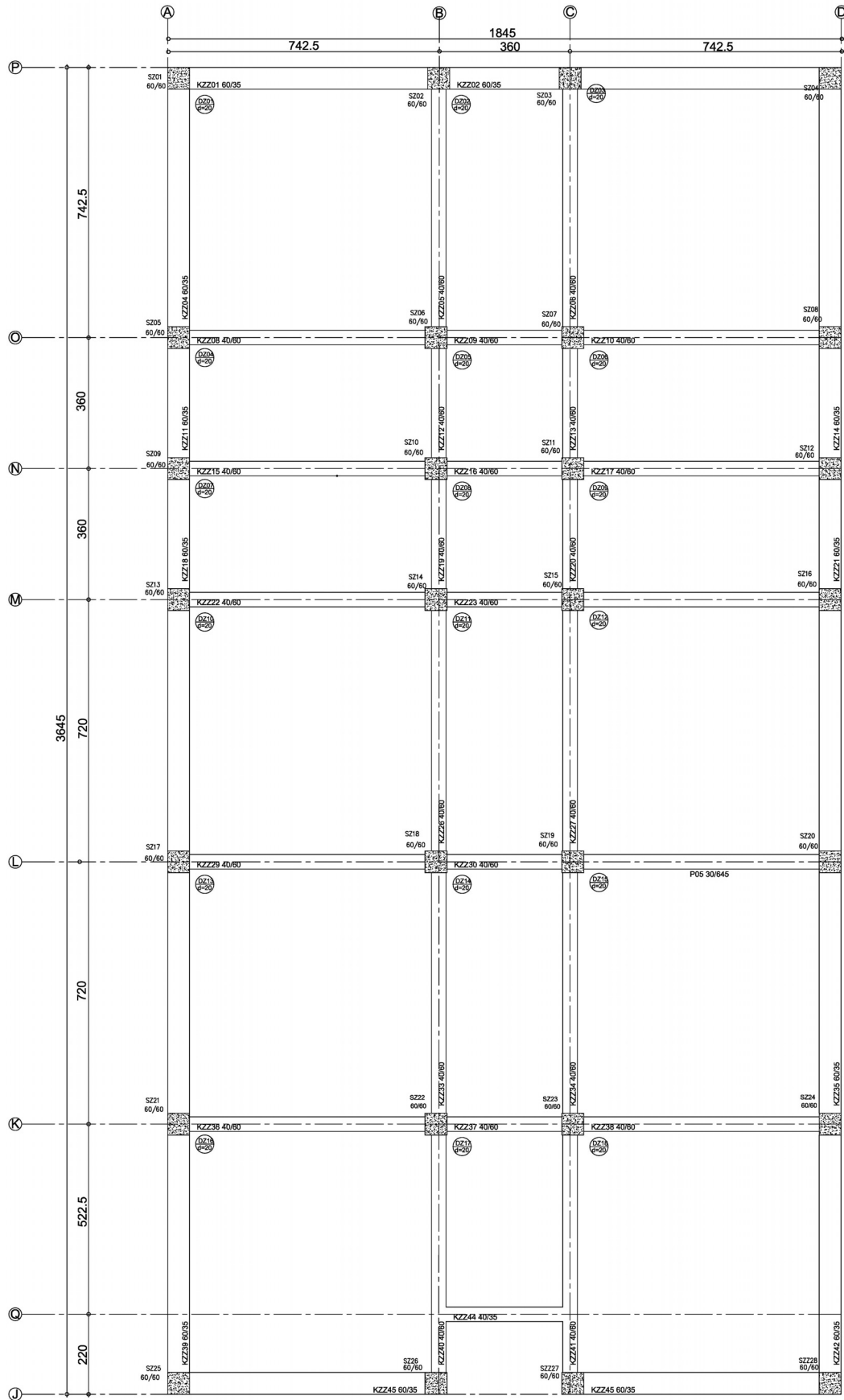
4. PARAMETRİK ÇALIŞMADA KULLANILACAK OKUL BİNALARININ YAPISAL ÖZELLİKLERİ VE MATEMATİK MODELLENMESİ

4.1 Mevcut Betonarme Okul Binasının Yapısal Özellikleri

Güçlendirme perdelerinin etkinliğinin parametrik incelemesinde kullanılacak okul binaları, mevcut betonarme yapı stoğunu temsil etmesi bakımından Kahraman Çocuklar İÖO binası örnek alınarak oluşturulmuştur. Söz konusu okul binası, her iki doğrultuda betonarme çerçevelerden meydana gelen üç katlı betonarme bir yapıdır. Kat kalıp planı Şekil 4.2'de verilen betonarme yapının, kısa doğrultuda 3, uzun doğrultuda ise 6 açıklığı bulunmaktadır. Dikdörtgen oturma planına sahip yapıda uzun doğrultu yaklaşık 36.45^m , kısa doğrultu ise yaklaşık 18.45^m uzunluğundadır. Tipik kat yüksekliğinin 3.40^m olduğu binada, düşeyde ve yatayda herhangi bir düzensizlik bulunmamaktadır. Kolonların tamamı 60^{cm} kenar uzunluğunda kare kesite sahip olup, kenar kirişler $60/35^{cm}$, iç kirişler ise $40/60^{cm}$ boyutlarındadır. Döşeme kalınlığı bütün katlarda aynı olup 20^{cm} civarındadır. Mevcut yapıda kolonlarda bulunan boyuna donatı $16\phi 16$ olup, etriyeler $\phi 8/200$ olarak teşkil edilmiştir. Kirişlerde ise üst ve alt donatı genellikle $5\phi 20$ olup, kolonlardakine benzer şekilde $\phi 8/200$ etriye donatısı kullanılmıştır. Dolayısıyla, kolonlarda bulunan donatı oranı DBYBHY-2007'de belirtilen %1 minimum donatı oranına denk gelmektedir. Kiriş boyuna donatı oranı ise minimum donatı oranının yaklaşık 2.5 katı civarındadır. Kolon ve kirişlerde teşkil edilen etriye oranı, DBYBHY-2007'ye göre bulunması gereken minimum etriye oranına göre çok daha azdır. Okul binasının kolon ve kirişlerinde bulunan donatıların şematik gösterimi Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 : Kahraman Çocuklar İÖO donatı yerleşimi (a)Kolon. (b)Kiriş.



Şekil 4.2 : Kahraman Çocuklar İÖO kat kalıp planı.

Mevcut okul binasının alınan karot numunelerine göre beton basınç dayanımı ortalama olarak 10MPa bulunmuştur. Boyuna ve enine donatılarda ise akma dayanımı 420MPa olan nervürlü S420 sınıfı çelik kullanılmıştır. Geoteknik incelemeler yapının DBYBHY-2007 sınıflandırılmasına göre Z2 zemin sınıfı içerisinde yer aldığını göstermektedir. Ayrıca betonarme okul binası konumu itibarıyla 1.derece deprem bölgesinde bulunmaktadır.

4.2 Parametrik Çalışma İçin Üretilen Okul Binaları

Güçlendirme perdelerinin etkinliğinin irdelenebilmesi için detayları verilen mevcut betonarme okul binası kullanılarak farklı parametrelere sahip okul tipi yapılar oluşturulmuştur. Bu amaçla, mevcut kat kalıp planları %0.35 ile %2.40 arasında değişen farklı perde oranları ile güçlendirilmiştir. Betonarme perdeler ile güçlendirilen yapıların kat kalıp planları kısa ve uzun doğrultular için sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

Mevcut yapının malzeme dayanımı analizlerde kullanılan diğer değişken parametre olarak alınmıştır. Türkiye'de 1960 ve 1970 yıllarında inşa edilen betonarme yapılarda genellikle düşük dayanımlı betonlar kullanılmıştır (Taşdemir ve Özkul, 1999). Bu sebeple güçlendirilmiş okul binalarının tümünde kolon ve kirişlerin karakteristik silindirik basınç dayanımı 10MPa olan betondan imal edildiği kabul edilmiştir. Donatılarda ise yapım yıllarına bağlı olarak S220 ve S420 malzeme sınıfı kullanılmıştır. Bu sebeple analizlerde donatı sınıfı ayrı bir parametre olarak düşünülmüş ve her iki donatı malzeme kalitesine göre de (S220/420) yapı davranışı ayrı ayrı incelenmiştir.

Analizlerde kullanılan son parametre ise kat adedi olarak alınmış ve farklı perde oranları ile güçlendirilen okul binalarının 3,4 ve 5 kat adedine sahip yapı modelleri oluşturulmuştur. Bu sayede perde davranışında önemli bir parametre olan perde boyu ve perde yüksekliği (H_w/L_w) oranı da değişkenlere dahil edilmiştir. Yapılan parametrik çalışmada kullanılan değişkenlerin tamamı Çizelge.4.1'de gösterilmiştir. Matematik modellerin tümünde örnek ilkökul binası ile uyumlu olarak 40/60^{cm} boyutlarında kiriş ve 60/60^{cm} ebatlarında kolonlar seçilmiştir. Oluşturulan modellerde kiriş ve kolonların donatı oranı ile oryantasyonu mevcut ilkökul binası ile aynı alınmıştır. Güçlendirme perdesi kalınlığı ise uygulamada sıklıkla başvurulduğu üzere bütün binalar için 30^{cm} kabul edilmiştir. Güçlendirme perdelerinin beton

kalitesi C30, donatı kalitesi ise S420 olarak seçilmiştir. Perdelerin uç bölgesi mevcut betonarme kolonlar olarak düşünülmüş, ayrıca perde içerisinde bir başlık bölgesi oluşturulmamıştır. Bu sayede perde matematik model kalibrasyonlarında kullanılan deney numuneleri ile uyum sağlanmıştır.

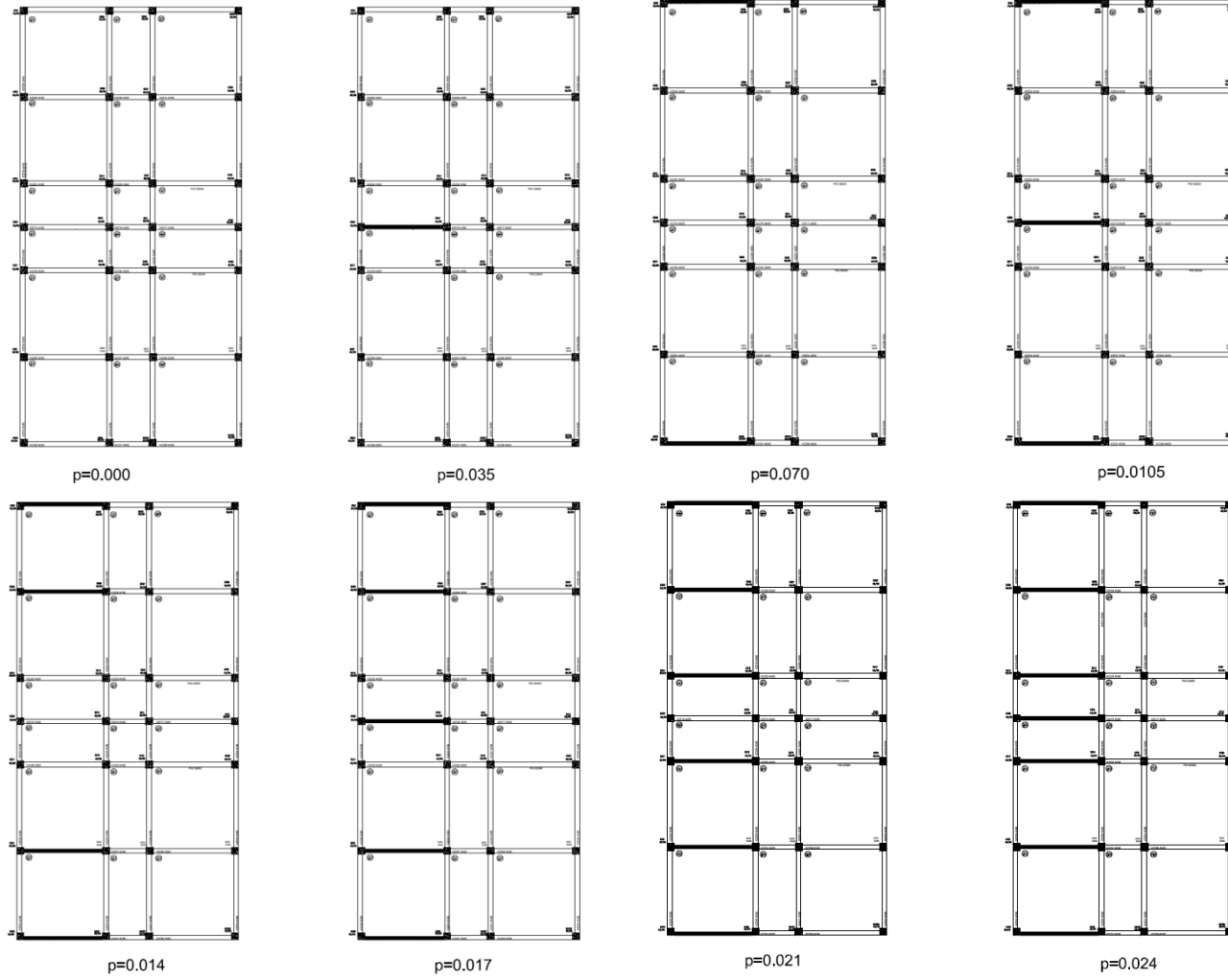
Çizelge 4.1 : Okul binalarının oluşturulmasında kullanılan değişken parametreler.

Perde Kalınlığı	Kiriş Boyutları	Kolon Boyutları	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Kat Adedi	Perde Oranı	H _w / L _w
30 ^{cm}	40x60 ^{cm}	60x60 ^{cm}	C10	S220 S420	3 4 5	0.35%	1.60 2.15 2.70
						0.70%	
						1.10%	
						1.40%	
						1.70%	
						2.10%	
						2.40%	

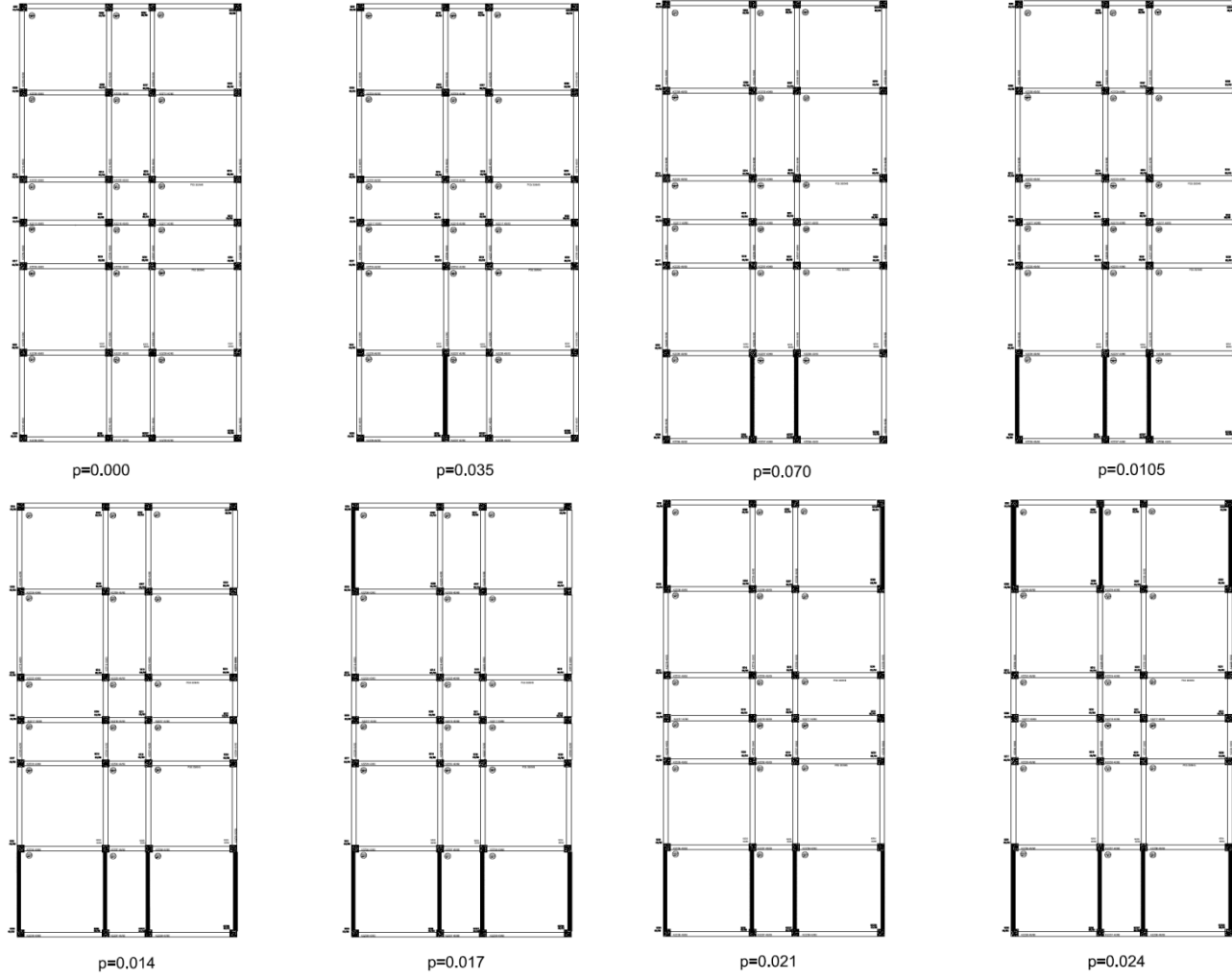
4.3 Okul Binalarının Matematik Modelinin Oluşturulması ve Optimizasyonu

Okul binalarının yapısal analiz programı Perform-3D ile matematik modelinin oluşturulmasında, analizi yapılan doğrultuda taşıyıcı sistem zati ağırlığı program tarafından otomatik olarak hesaplara dahil edilmiştir. Döşeme ve diğer doğrultu kiriş ağırlıkları ise düğüm noktalarına ilave yük olarak tanımlanmıştır. Yapı zati ağırlığına ek olarak, mevcut durum ile uyumlu olarak kaplama ağırlığı 200 kg/m² alınmıştır. Hareketli yük ise DBYBHY-2007'de tanımlı okul tipi binalara uygun olarak, normal ara katlarda 500 kg/m², en üst katta ise 150 kg/m² olarak etkilmiştir. Hareketli yükün deprem durumuna katılım oranı yine DBYBHY-2007'de verildiği üzere %60 olarak alınmıştır. Güçlendirme perdelerinin mevcut sistemden düşey yük almaması için perde ara kirişlerine gelen yükler kolon düğüm noktalarına dağıtılmıştır.

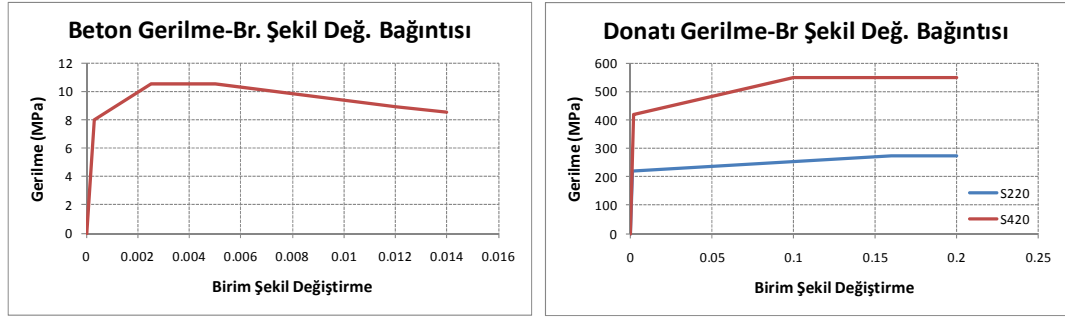
Analizlerde kullanılacak C10 kalitesinde beton ile S220/S420 sınıfı donatılara ait gerilme şekildeğiştirme bağıntıları Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Beton ve donatı malzemelerine ait çevrimsel döngü parametreleri ise deney sonuçları ile kalibre edilen matematik model kullanılarak düzenlenmiştir. Programda kolon, kiriş ve güçlendirme perdelerinin kesme kuvveti dayanımı ayrı ayrı modellenmiştir. Bu sayede analizlerde söz konusu yapı bileşenlerine ait dayanım kayıplarının izlenmesine olanak sağlanmıştır. Bununla birlikte önceki bölümlerde bahsedildiği üzere perdenin kesme kuvveti altında davranışında, diyagonal katmanlar devre dışı bırakılarak klasik yaklaşım ile sadece beton katkısı dikkate alınmıştır.



Şekil 4.3 : Kısa doğrultuda farklı güçlendirme perde oranlarına (p) sahip yapı kat planları.



Şekil 4.4 : Uzun doğrultuda farklı güçlendirme perde oranlarına (p) sahip yapı kat planları.



Şekil 4.5 : Analizlerde kullanılan beton ve donatı malzeme gerilme birim şekildeğiştirme eğrileri.

Yapısal elemanların kesme kuvveti kapasiteleri kolon ve kirişler için Betonarme Yapıların Tasarım ve Hesap Kuralları'nda (TS-500) tanımlı ve Denklem 4.1 ile verilen bağıntı ile hesaplanmıştır. Güçlendirme perdelerinin kesme kuvveti dayanımı ise DBYBHY-2007'de verilen ve Denklem 4.2 ile gösterilen bağıntı ile bulunmuştur. Söz konusu bağıntılarda f_{ctd} ve f_{ywd} sırası ile beton basınç dayanımı ile donatı akma dayanımını ifade etmektedir. Kesitin genişliği b_w , yüksekliği ise d ile tanımlanmıştır. Kesme kuvvetine betonun katkısı V_{cr} ile donatının katkısı ise V_w ile gösterilmiştir. Etriye donatı aralığının s ile verildiği ifadelerde, ρ_{sh} perde kesitinde bulunan enine donatının hacimsel oranını belirtmektedir. Kesme kuvveti kapasiteleri malzemelerin tasarım yerine karakteristik dayanımları kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V = 0.8V_{cr} + V_w ; V_{cr} = 0.65f_{ctd}b_wd ; V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd}d \quad (4.1)$$

$$V_r = A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{ywd}) \quad (4.2)$$

Parametrik analizlerde kullanılan program Perform-3D, önceki konu başlıklarında detaylıca açıklandığı üzere fiber elemanlar ile modelleme yapmaktadır. Bu durum özellikle doğrusal olmayan dinamik analizler altında bilgisayar hesaplama zamanını oldukça arttırmaktadır. Örneğin tamamı fiber elemanlardan oluşan beş katlı okul binasının matematik modelinin, yedi deprem hareketi altında çözüm süresi ortalama kapasiteye sahip bir bilgisayarda (Intel Core Duo CPU, 2.5GHz, 32Bit) dört günü bulmaktadır. Sürenin bu denli uzun olması yapılması düşünülen çok sayıda analiz için uygun olmadığından, çözüm süresinin daha makul seviyelere indirilmesi gerekmektedir.

Söz konusu analiz süresinin azaltılması amacıyla okul binası matematik modellerinde optimizasyona gidilmiştir. Analiz süresini etkileyen en önemli faktör fiber eleman adedi olduğu için, fiber elemanlar ile modellenen yapı elemanlarının azaltılması gerekmektedir. Bu sebeple kirişlerin fiber modelleme yerine plastik mafsal kabulü altında çubuk elemanlar ile modellenmesi yoluna gidilmiştir. Çubuk elemanların fiber elemana bağlantı noktasında, kuvvet aktarımının sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi için düşey ve yatayda fiktif elemanlar kullanılmıştır. Bu sayede çubuk elemanlar ile modellenen kirişlerden fiber elemanlar ile modellenen betonarme perdeler moment aktarımı sağlanmıştır. İki boyutlu oluşturulan modelde ardışık çerçeveler arası yük aktarımları ise kat hizalarında tanımlanan büyük eksenel rijitliği sahip, her iki ucu mafsal olan fiktif elemanlar ve her kat için düğüm noktalarına tanımlanan kat diyaframları ile sağlanmıştır. Optimize edilmiş modellerin farklı işlemci özelliklerine sahip bilgisayarlar ile kaydedilen çözüm süreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

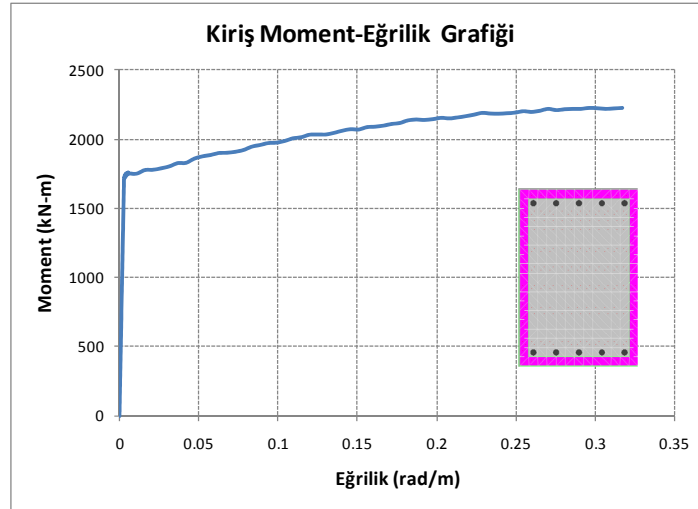
Eğilme etkisinde betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri kullanılmıştır. Kirişlerde etkin eğilme rijitliği DBYBHY-2007’de tanımlandığı üzere çatlamamış kesit eğilme rijitliğinin %40’ı olarak alınmıştır. Kolon ve perdelerde ise fiber elemanlar ile modelleme yapıldığı için, betondaki çatlama ile tarafsız eksen kayması dikkate alınmaktadır. Bu sebeple etkin eğilme rijitliği doğrudan program tarafından analizlere dahil edilmiştir. Böylelikle normal kuvvetin hakim olduğu düşey elemanlarda etkin eğilme rijitliğine yönelik bir ön hesap yapılmasına gerek kalmamıştır.

Analiz süresini azaltmak için çubuk elemanlar ile modellenen kirişlerin uçlarına plastik mafsallar tanımlanmış olup, moment-eğrilik bağıntıları X-tract programı ile hesaplanmış ve Şekil.4.6’da gösterilmiştir. Çubuk eleman olarak modellenen kirişlerde plastik mafsal boyu olarak kesit yüksekliğinin yarısı alınmıştır. Fiber elemanlar ile modellenen kolon ve güçlendirme perdelerinde ise plastik mafsal uzunluğu boyunca (kolonlarda kesitin yarısı güçlendirme perdelerinde kat yükseklikleri) meydana gelen birim uzama ve kısaltmalar doğrudan matematik modelden elde edilmiştir. Beş katlı okul binası için oluşturulan matematik model Şekil 4.8’de, güçlendirme perdelerin beton ve donatı fiber eleman konfigürasyonları ise Şekil 4.7’de verilmiştir.

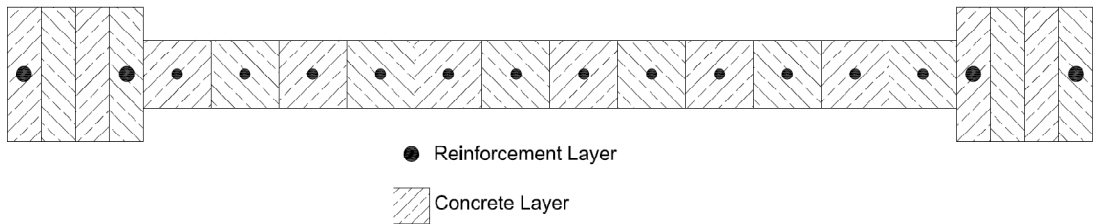
Analizlerde kullanılan bilgisayar programı Perform-3D her türlü analiz sonucunu (taban kesme kuvveti, yer değiştirme, vb.) metin belgesi (text) halinde vermektedir. Her analiz için bu dosyaların tek tek ele alınması ve çözüm sonuçlarının anlamlı hale getirilmesi büyük zaman kaybına yol açmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak amacıyla Excel programı içerisinde metin belgesinden okuma yapabilecek makrolar oluşturulmuştur. Böylelikle gerek program sonuçlarının anlamlı hale dönüştürülmesi hızlanmış, gerekse elde edilen verilerin işlenmesi sırasında hata yapma olasılığı azaltılmıştır.

Çizelge 4.2 : Yapı modellerinin farklı özellikteki bilgisayarlar ile analiz süreleri.

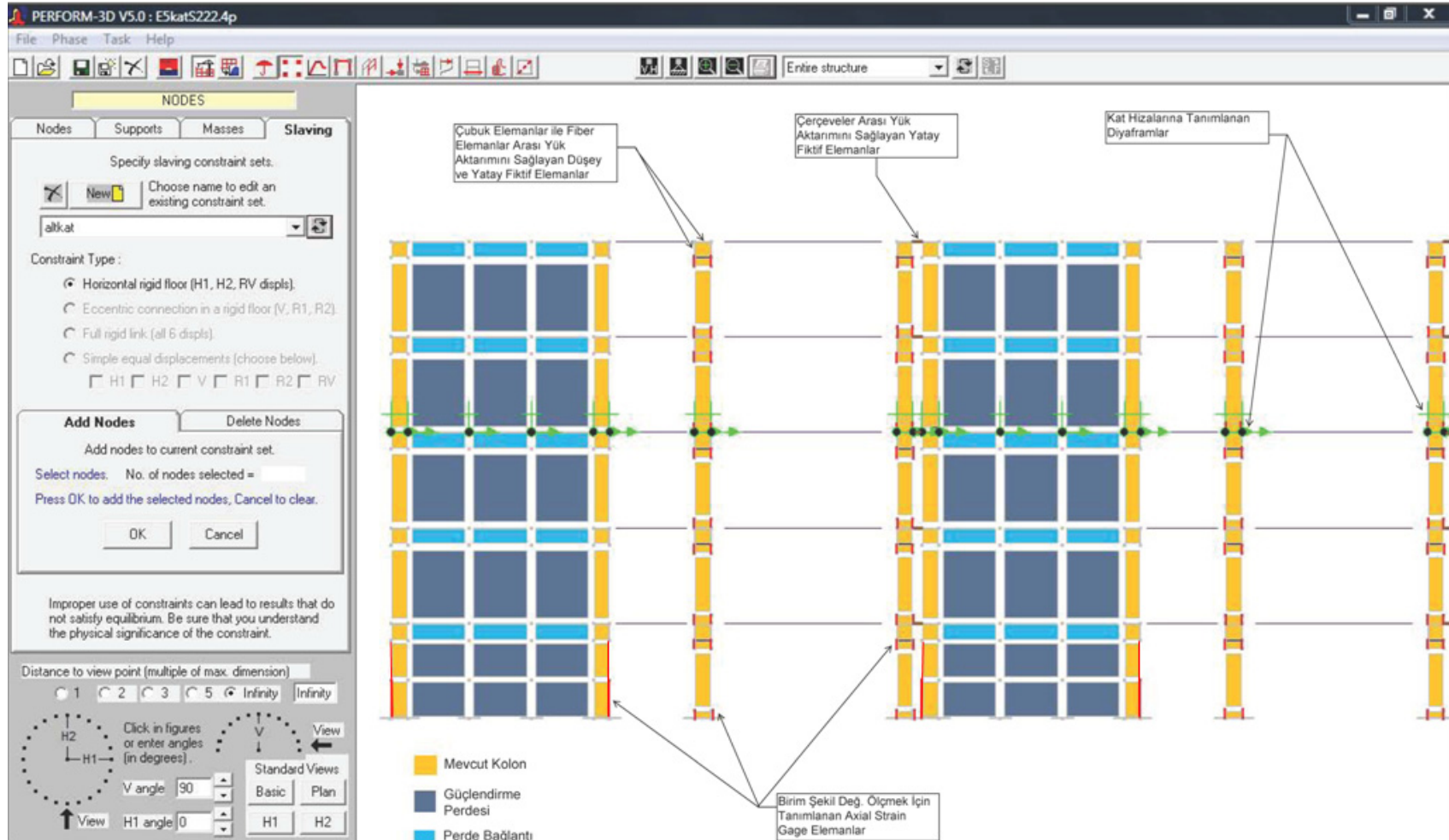
Yapı Modeli	İşlemci	Süre (saat)
3.Katlı Model	Intel Centrino	48
	Intel Centrino i2	32
	Intel Core i3	26
	Intel Core i7	22
5.Katlı Model	Intel Centrino	54
	Intel Centrino i2	48
	Intel Core i3	36
	Intel Core i7	28



Şekil 4.6 : Mevcut kat kirişlerinin analizler sonucu elde edilen moment-eğrilik grafiği.



Şekil 4.7 : Beton ve fiber modellerin kesit içerisindeki konfigürasyonu.



Şekil 4.8 : Yapısal analiz programı Perform-3D ile oluşturulan 5 katlı yapı matematik modeli.

4.4 DBYBHY-2007'de Tanımlı Performansa Dayalı Değerlendirme Esasları

DBYBHY-2007 yönetmeliği diğer uluslararası yönetmeliklere benzer şekilde, mevcut yapıların öngörülen deprem istemine karşın belirli bir yapısal performans hedefini sağlamasını beklemektedir. Mevcut yapıların performanslarının değerlendirilmesine yönelik uygulanacak kurallar, ilkeler ve tasarım esasları ilgili yönetmeliğin 7. bölümünden detayları ile belirtilmiştir. Bu bağlamda, okul binalarının doğrusal olmayan dinamik analizlerinde kullanılan tasarım parametreleri, DBYBHY-2007 çerçevesinde çalışmanın bu bölümünde irdelenmiştir.

4.4.1 Bilgi düzeyi katsayısı

Mevcut yapıların malzeme ve geometrik özellikleri çeşitli gözlemler, mevcut projelerin incelenmesi ve yapılan deneyler sonucu belirlenir. Bu değerlendirme sonucu elde edilen veriler ışığında DBYBHY-2007'de üç bilgi düzeyi ve bu bilgi düzeylerine karşı gelen katsayılar tanımlanmıştır (Çizelge 4.3). Elde edilen bilgi düzeyi katsayıları taşıyıcı elemanların kapasite hesaplarına yönelik uygulanmaktadır. Yapılan parametrik çalışmada kullanılan okul binasının gerek mevcut projelerinin halihazırda elde edilmiş olması, gerekse malzeme karakteristiklerinin yönetmelikte belirtilen esaslara uygun tanımlanmış olmasından dolayı kesit hesaplarında kapsamlı bilgi düzeyi katsayısı uygulanmıştır.

Çizelge 4.3 : Binalar için bilgi düzeyi katsayıları.

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

4.4.2 Yapı elemanlarının hasar sınırları ve hasar bölgeleri

Yapı elemanlarında hasar genel anlamda gevrek ve sünek olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Gevrek davranış ile kapasitelerine ulaşan elemanlar için DBYBHY-2007'de herhangi bir hasar sınırı belirtilmemiştir. Dolayısıyla gevrek davranış ile kapasitelerine ulaşan elemanların elastik ötesi davranış yapmasına izin verilmemektedir. Sünek davranış gösteren kesitler için ise beton ve donatının birim şekildeğiştirme durumlarına göre minimum (MN), güvenlik (GV) ve göçme (GÇ)

olmak üzere üç farklı hasar sınırı tanımlanmıştır. Minimum hasar sınırı kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcı olarak tanımlanmaktadır. Güvenlik sınırı kesitin dayanımını elastik ötesi davranışla sağlayabileceği sınırı gösterirken, göçme sınırı kesitte göçme öncesi davranışı tanımlamaktadır. Beton birim şekildeğiştirmesinin güvenlik ve göçme hasar sınır değerleri mevcut kesitte bulunan donatı oranı ile değişmektedir. Dolayısıyla parametrik analizlerde kullanılan mevcut betonarme okul binasının DBYBHY-2007 esaslarına göre elde edilen kesit hasar sınırları Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Parametrik analizlerde kullanılan betonarme okul binasının kesit hasar sınır değerleri.

	MN	GV	GÇ
Beton Birim Şekil Değiştirmesi (ϵ_{cu})	0.0035	$0.0035 + 0.01(\rho_s/\rho_{sm})$ = 0.0052 (S220) = 0.0067 (S420)	$0.004 + 0.014(\rho_s/\rho_{sm})$ = 0.0064 (S220) = 0.0085 (S420)
Donatı Birim Şekil Değiştirmesi (ϵ_{su})	0.010	0.040	0.060

Görelî kat ötelemelerinin hasar sınırlarına göre limit değerleri ise DBYBHY-2007'de yalnızca doğrusal elastik hesap yöntemleri için verilmiştir. Bu sebeple mevcut okul binalarının doğrusal olmayan dinamik analiz ile elde edilen görelî kat ötelemeleri, ASCE/SEI-41 (2006) standardında perdeli yapılar için tanımlı limit değerlere göre kontrol edilmiştir. Her iki yönetmelik ve standartta ait görelî kat ötelemeleri sınır değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 : Görelî kat ötelemelerinin hasar sınırları için limit değerleri.

Görelî Kat Ötelemelerinin Sınır Değerleri				
Hesap Yöntemi	Yönetmelik	HK	CG	GÖ
Doğrusal Hesap	DBYBHY-2007	1.0%	3.0%	4.0%
Doğrusal Olmayan Hesap	ASCE/SEI 41-06	0.40%	0.75%	-

4.4.3 Mevcut okul binaları için öngörülen deprem düzeyleri ve performans seviyeleri

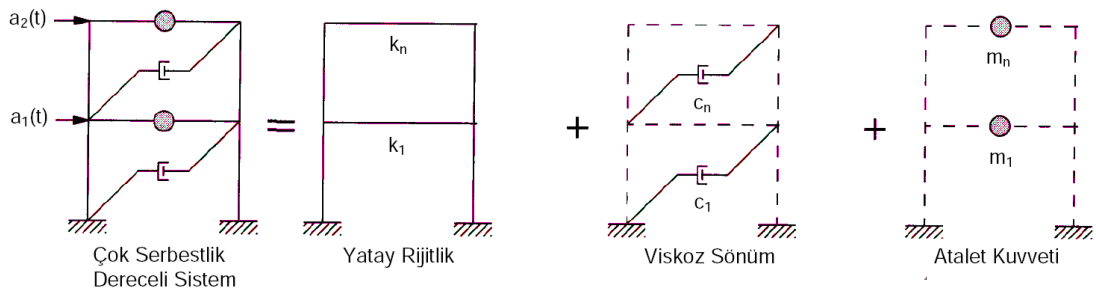
DBYBHY-2007'de dönüş periyodu ve aşılma olasılıklarına bağlı olarak üç farklı deprem düzeyi tanımlanmıştır. Kullanım depreminin (Operating Level Earthquake - D1) 50 yılda aşılma olasılığı %50, dönüş periyodu ise 72 yıl olarak ifade edilmiştir. İvme spektrumu ordinatları tasarım depreminin yaklaşık yarısıdır. Tasarım depremi (Contingency Level Earthquake - D2) ise 50 yılda aşılma olasılığı %10, dönüş

periyodu 475 yıl olan deprem düzeyidir. Şiddetli deprem (Maximum Considered Earthquake - D3) ise 50 yılda aşılma olasılığı %2, dönüş periyodu 2475 yıl olan depremi ifade etmektedir. Söz konusu şiddetli deprem düzeyinin ivme spektrumu ordinatları tasarım depreminin yaklaşık 1.5 katıdır.

Mevcut binanın kullanım amacı ve türüne bağlı olarak DBYBHY-2007'de her bir deprem düzeyine karşılık yapının sağlaması gereken minimum performans seviyeleri belirtilmiştir. Birden çok deprem düzeyi için yapının sağlaması gereken birden çok performans düzeyi olabilmektedir. Parametrik çalışmada kullanılan okul türü binalar için DBYBHY-2007'de tasarım depremi altında hemen kullanım performans düzeyi öngörülürken, şiddetli depremler için yapının sağlanması gereken minimum performans hedefi can güvenliğidir. Bu sebeple mevcut okul binaları için doğrusal olmayan dinamik analizler her iki deprem düzeyi için de ayrı ayrı yapılmıştır.

4.5 Sayısal Analizlerde Kullanılacak Yer Hareketlerinin Tayini

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizde yapı sistemi, Şekil 4.9'da gösterildiği üzere viskoz sönüm ve rijitlik matrislerini içerecek şekilde çok serbestlik dereceli bir sistemin zorlanmış titreşimi olarak ele alınır. Söz konusu sistemin diferansiyel hareket denklemi ise Denklem 4.3'te ile verilen bağıntı ile zamana bağlı olarak elde edilir. Hareket denkleminde, m kütle matrisini, c sönüm matrisini, k yanal rijitlik matrisini, v yanal kat yerdeğiştirme vektörünü, a_g ise deprem yer ivmesi ifade etmektedir. Yerdeğiştirme vektörünün çözümü için genellikle modların süperpozisyonu yönteminden faydalanılır. Bu yöntemde ilk olarak sistemin sönümsüz serbest titreşimi ele alınır, daha sonra ise sistemin sönümlü ve zorlanmış titreşim altındaki çözümü elde edilir (Celep ve Kumbasar, 2001).



Şekil 4.9 : Çok serbestlik dereceli yapı sisteminin zorlanmış titreşimi.

$$[m]\{\ddot{v}\} + [c]\{\dot{v}\} + [k]\{v\} = -[m]\{1\} \ddot{v}_g(t) = a_g(t) \quad (4.3)$$

Doğrusal olmayan dinamik analizde, sistemin zamana bağlı diferansiyel hareket denklemleri adım adım doğrudan integre edilerek her bir zaman artımında deprem hareketine karşı gelen sistemin iç kuvvetleri ile yerdeğiştirmeleri hesaplanır. Her bir yükleme adımında taşıyıcı sistem elemanları için tanımlanan çevrim modeline uygun olarak rijitlik matrisleri güncellenerek, kesitin doğrusal olmayan davranışı da göz önüne alınmış olur. Bununla birlikte doğrusal olmayan dinamik analizlerde kullanılan yer hareketinin özelliklerine göre yapının tepkisi çok değişkenlik göstereceği için, tek bir analizle yetinilmemesi ve değişik yer hareketlerine göre de ayrı ayrı analizlerin yapılması gereklidir. Bu bağlamda DBYBHY-2007'de zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yönteminin üç deprem kaydına göre yapılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketinin kullanılması durumunda ise sonuçların ortalamasının tasarımıda esas alınması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca analizlerde kullanılacak yer hareketlerinin aşağıda verilen özellikleri sağlaması gerekmektedir.

- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_0g 'den daha küçük olmayacaktır.
- Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

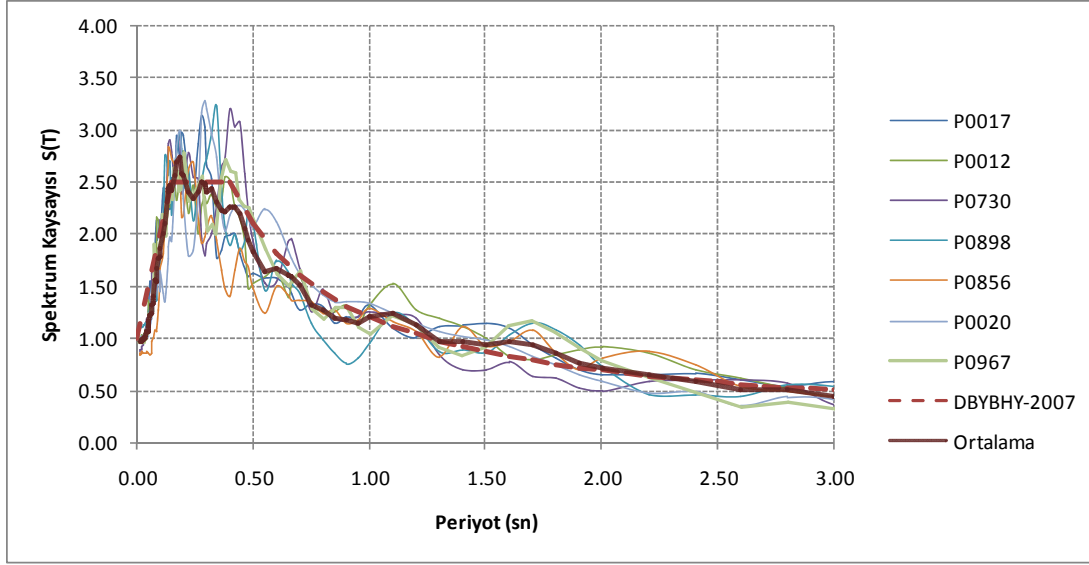
Doğrusal olmayan dinamik analizlerde kullanılacak ivme kayıtları, yapay yollarla oluşturulan ivme kayıtları, simüle edilmiş deprem kayıtları ve gerçek deprem ivme kayıtlarından elde edilen veriler olmak üzere üç farklı kaynaktan üretilebilir. Yapay yollarla üretilen ivme kayıtlarında, kuvvetli yer hareketinin çevrim içerisindeki sayısının artmasıyla yapının sönümlenmesi gereken enerji fazlaşmaktadır. Bu durum gerçeğe aykırı bir deprem istemi oluşturmakta ve yapı kapasitesi bu isteme cevap vermekte zorlanmaktadır. Dolayısıyla analiz sonucunda elde edilen yapı iç kuvvetleri

gerçekte olduğundan daha büyük değerler almakta ve çözüm ekonomik olmaktan uzaklaşmaktadır.

Simüle edilmiş bir başka ifade ile benzeştirilmiş deprem ivme kayıtlarında ise öngörülen deprem için dalga yayılımı, kaynak vb. özelliklerin mevcut tasarım yönetmeliklerinde bulunmaması büyük zorluk oluşturmaktadır. Bununla birlikte üçüncü yöntem olan gerçek deprem kayıtlarının kullanılması ise sismik hareketin karakteristiklerini ve zemin özelliklerini içerdiğinden, diğer iki yönteme göre çok daha sağlıklı bir yöntemdir (Fahjan, 2011a). Bu sebeple yapılan doğrusal olmayan dinamik analizlerde gerçek ivme kayıtlarından faydalanılmıştır. Bu amaçla, Fahjan (2008) tarafından DBYBHY-2007'de tanımlı elastik tasarım spektrumuna uygun olarak zaman tanım alanında ölçeklenen yedi adet gerçek ivme kaydı kullanılmıştır. Yapılan ölçeklemelerde spektral ivme ölçekleme katsayısı (α_{at}), Fahjan (2008) tarafından belirlenen ve Denklem 4.4'de verilen bağıntı ile elde edilmiştir. Söz konusu bağıntıda A_0 etkin yer ivme katsayısını, I yapı önem katsayısını ve α_{st} ise spektrum ölçekleme katsayısını ifade etmektedir.

$$\alpha_{AT} = \alpha_{ST} \cdot A_0 \cdot I \quad (4.4)$$

Spektrum ivme ölçekleme katsayıları hesaplanırken, Z2 sınıfı için üretilen spektrum ölçekleme katsayılarından faydalanılmıştır. Ayrıca analizleri yapılan okul binalarının 1. derece deprem bölgesinde yer almalarından dolayı, etkin yer ivme katsayısı 0.40 olarak hesaplara dahil edilmiştir. Bina önem katsayıları ise tasarım ve şiddetli deprem düzeyleri için sırası ile 1.00 ve 1.50 alınmıştır. Yapılan parametrik analizlerde kullanılan ölçekli ivme kayıtları ve spektral ivme ölçekleme katsayıları Çizelge 4.6'da, şiddetli depreme göre ölçeklenen kayıtların grafiksel gösterimi ise Şekil 4.11'de verilmiştir. Ayrıca, tasarım depremine göre ölçeklenmiş ivme kayıtlarının tepki spektrumları, DBYBHY-2007 yönetmeliğinde tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumu ile karşılaştırılmış ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Söz konusu ivme kayıtlarının şiddetli deprem için elde edilen sismolojik özellikleri ise Çizelge 4.7'de, Fourier spektrumları ise Şekil 4.12'de verilmiştir. Çizelgede yer alan t_{eff} etkin süreyi, $SI_{0.20}$ ve AI ise sırası ile Housner ve Aerial şiddetlerini göstermektedir.



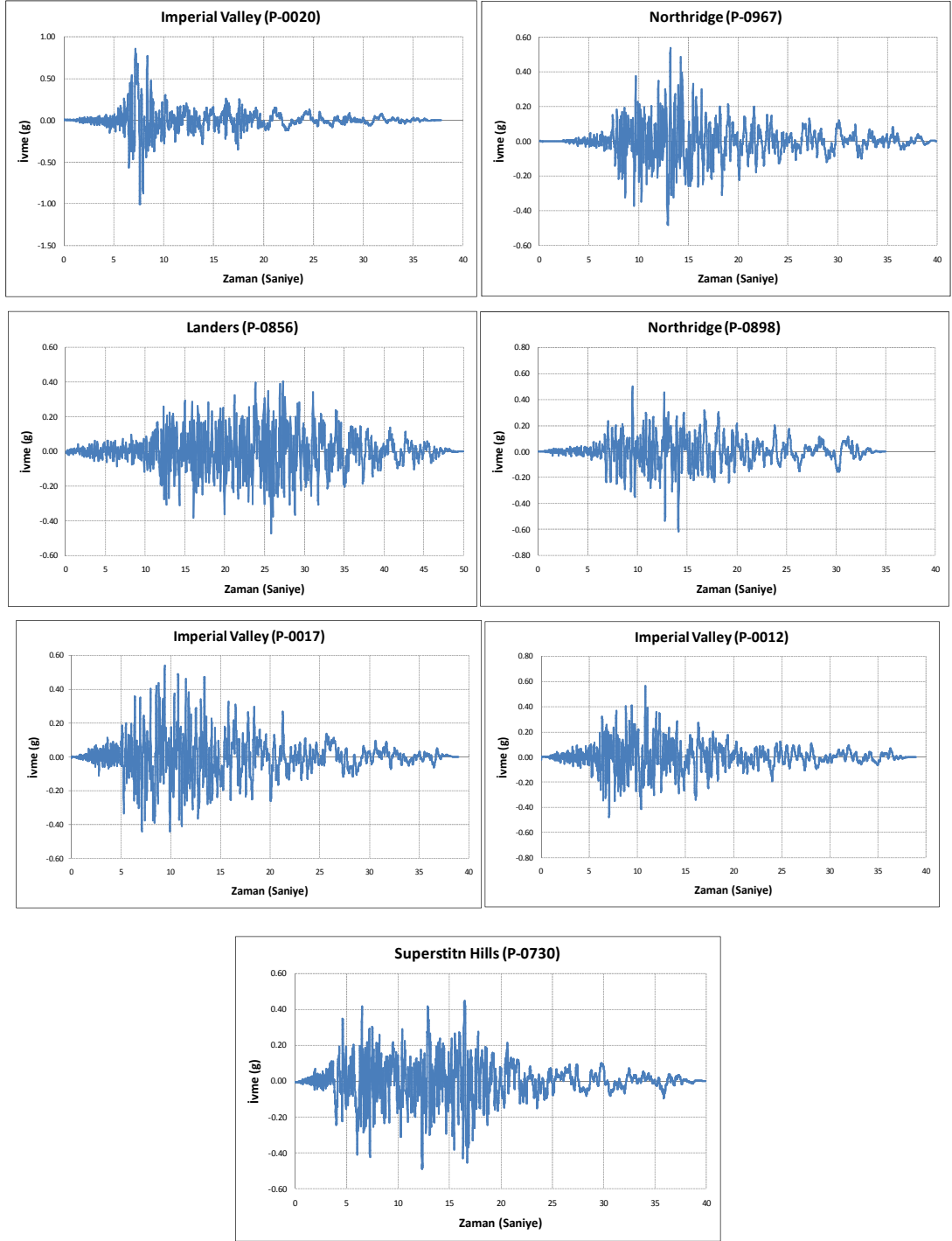
Şekil 4.10 : Tasarım depremine göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumlarının tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.

Çizelge 4.6 : Parametrik çalışmada kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri ve spektral ivme ölçekleme katsayıları.

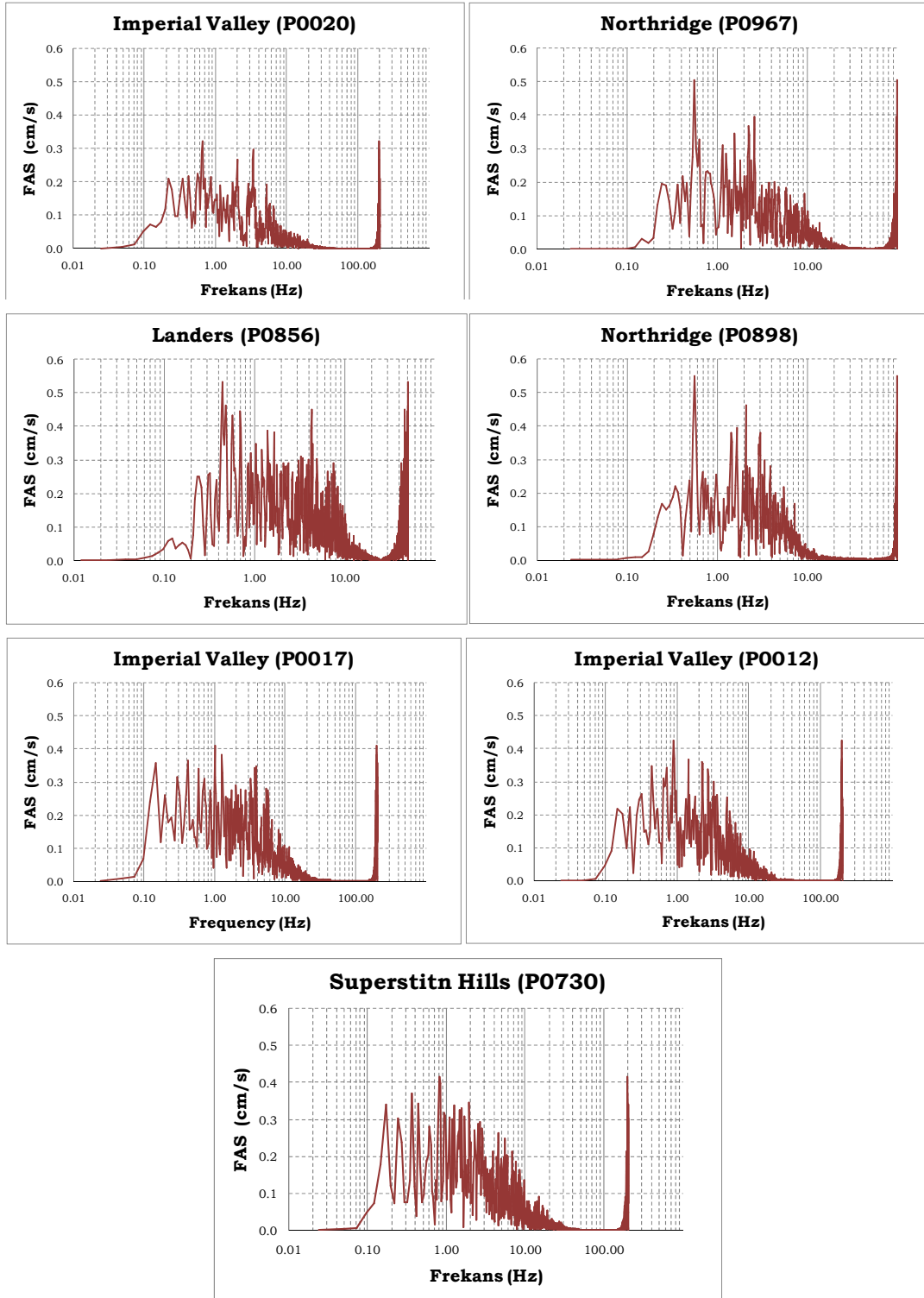
Eski Kayıt No	Yeni Kayıt No	Deprem	Tarih	Kayıt İstasyonu	Kayıt İsmi	Kayıt Süresi (sn)	Maksimum İvme (g)	Spektrum Ölçekleme Katsayısı (α_{5T})	Spektral İvme Ölçekleme Katsayısı (α_{5T})	
									Aşılma Olasılığı %10 Olan Deprem Düzeyi	Aşılma Olasılığı %2 Olan Deprem Düzeyi
P0017	NGA0175	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #2	H-E12230	39.00	0.116	8.31	3.324	4.986
P0012	NGA0175	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12140	39.00	0.143	7.01	2.804	4.206
P0730	NGA0728	Superstition Hills(B)	24.11.1987	11369 Westmorland Fire Sta	B-WSM090	40.00	0.172	5.10	2.040	3.060
P0898	NGA0970	Northridge	17.1.1994	90066 El Monte-Fairview Av	FA1095	34.99	0.122	8.99	3.596	5.394
P0856	NGA0832	Landers	28.6.1992	21081 Amboy	ABY090	50.00	0.146	5.76	2.304	3.456
P0967	NGA1000	Northridge	17.1.1994	24612 LA - Pico & Sentous	PIC090	40.00	0.103	9.34	3.736	5.604
P0020	NGA0161	Imperial Valley	15.10.1979	5060 Brawley Airport	H-BRA315	37.80	0.220	4.58	1.832	2.748

Çizelge 4.7 : Şiddetli depreme göre ölçeklendirilmiş ivme kayıtlarının sismolojik özellikleri.

Kayıt	A_{max}	V_{max}	D_{max}	$SI_{0.20}$	t_{eff}	AI	S_{amax}	S_{amax}/A_{max}
	(g)	(cm/s)	(cm)	(cm)	(s)	(m/s)	(g; $\xi=5\%$)	($\xi=5\%$)
P0020	0.564	99.82	34.60	244.945	14.04	2.902	1.841	3.264
P0967	0.538	63.96	19.44	258.319	20.19	5.071	1.569	2.916
P0856	0.471	64.48	24.17	267.074	24.24	7.854	1.579	3.353
P0898	0.617	49.00	21.24	241.435	20.91	5.722	1.818	2.947
P0730	0.491	67.03	37.30	229.604	19.56	6.55	1.795	3.656
P0012	0.563	69.02	44.42	279.794	19.075	5.877	1.571	2.790
P0017	0.541	101.50	55.74	258.439	19.43	7.1	1.804	3.334



Şekil 4.11 : Şiddetli depreme göre ölçeklenmiş ivme kayıtları.



Şekil 4.12 : Şiddetli depreme göre ölçeklenmiş ivme kayıtlarının Fourier genişleme spektrumları.

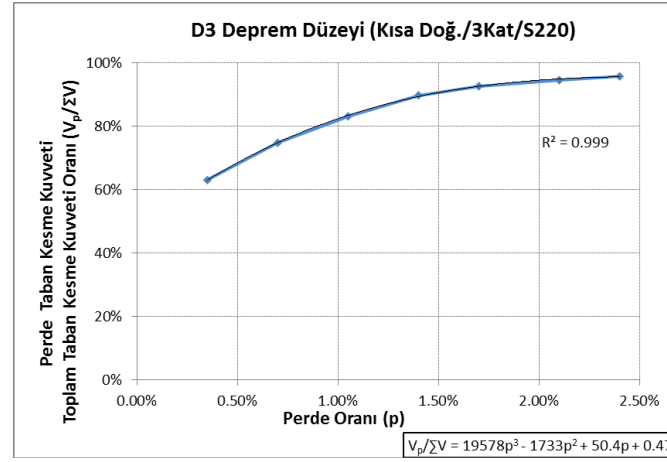
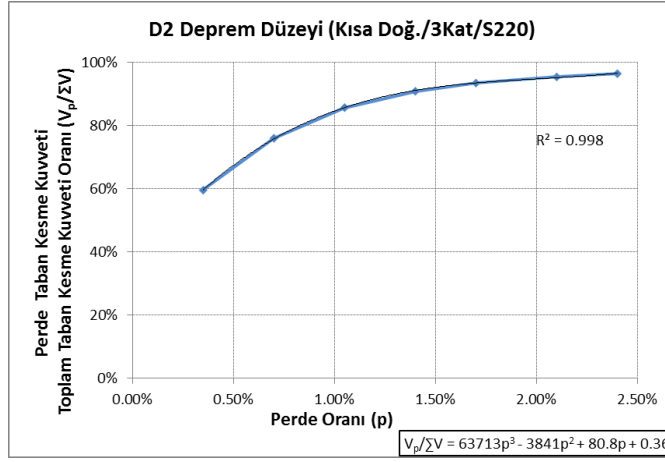
5. FARKLI YAPISAL ÖZELLİKLERE SAHİP OKUL BİNALARININ SAYISAL ANALİZLERİ İLE ELDE EDİLEN VERİLER

5.1 Betonarme Okul Binalarının Değişken Parametreler Altında Güçlendirme Perde Oranına Bağlı Sismik Performansı

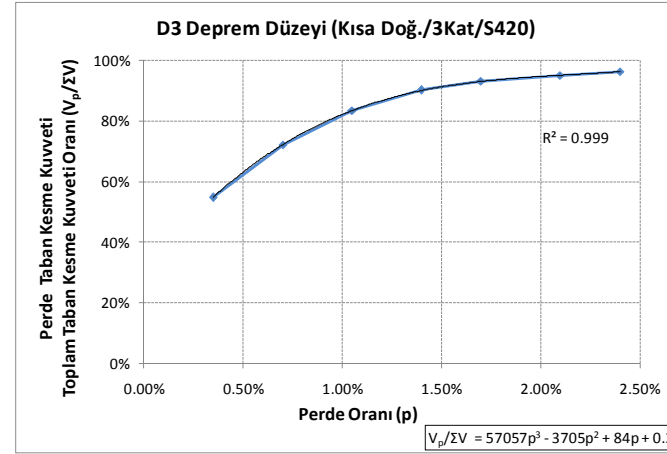
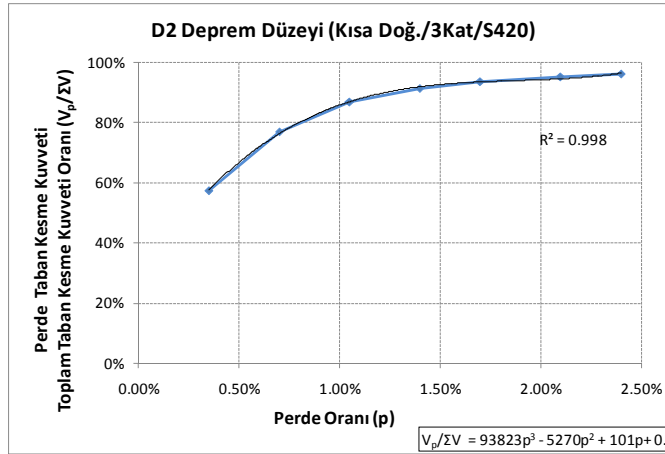
Örnek betonarme ilkokul binasından üretilen üç farklı kat adedi ve iki farklı donatı malzeme kalitesine sahip okulların, güçlendirme perdesi oranına bağlı deprem performansındaki değişim, toplamda yapılan 588 adet doğrusal olmayan dinamik analiz ile irdelenmiştir. Yapılan analizlerde DBYBHY-2007 uyarınca, tasarım deprem düzeyi (D2) için hemen kullanım (HK), şiddetli deprem (D3) düzeyi için ise can güvenliği (CG) performans seviyesi hedef alınmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler her iki doğrultu için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucu performans seviyesini belirleyen eleman hasar sınırlarının, güçlendirme perde oranına bağlı değişimi ilgili grafiklerde gösterilmiştir. Sayısal hesaplamalar neticesinde her iki ortogonal doğrultuda benzer sonuçlar ortaya çıktığı için, bu bölümde yapının yalnızca kısa doğrultusundan elde edilen veriler detaylıca irdelenmiştir. Yapıların uzun doğrultusundan elde edilen sonuçlar ise, EK-A'da verilmiştir. Ayrıca, analiz verilerinin irdelenmesinde kolaylık sağlaması bakımından okul binalarına kodlar verilmiştir. Kodun ilk iki harfi kat adedini, sonraki kısmı ise donatı kalitesini göstermektedir. Örneğin 3KS220 kodlu bina 3 katlı S220 donatı sınıfına sahip yapıyı temsil etmektedir. Ön harfi D olan bina kodları ise yapının uzun doğrultudaki analiz sonuçlarını ifade etmektedir.

5.1.1 Üç katlı okul binasının doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları

Matematik modeli oluşturulan S220 ve S420 donatı malzeme kalitesine sahip üç katlı okul binasının, farklı güçlendirme perde oranlarına (p) sahip yapı modelleri deprem performansları bakımından irdelenmiştir. Yapılan analizler sonucu elde edilen perde/çerçeve taban kesme kuvveti oranları, yedi deprem ivme kaydına göre elde edilen sonuçların ortalaması üzerinden Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : 3KS220 okul binasında perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.



Şekil 5.2 : 3KS420 okul binasında perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.

Beklenildiği üzere çok düşük perde oranında dahi toplam kesme kuvvetlerinin %60'dan fazlası güçlendirme perdeleri tarafından karşılanmaktadır. Özellikle %1.4 perde oranı ve üstünde perdeler tarafından taşınan taban kesme kuvveti, yapıya gelen deprem kuvvetinin %90'ı mertebesine ulaşmaktadır. Bununla birlikte donatı malzeme kalitesinin yükselmesine paralel olarak çerçevelerin taşıdığı taban kesme kuvveti oranında bir miktar artış meydana gelmektedir.

Betonarme kirişlerin DBYBHY-2007'de belirtilen sınır değerlere göre deprem performansı hesaplanmış ve elde edilen veriler S220 donatı sınıfına ait yapı modeli için Çizelge 5.1'de, S420 donatı sınıfına ait model için ise Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. Tablolardan görülebileceği üzere, dört katlı S220 donatı malzeme kalitesine sahip tipik betonarme okul binasında minimum %1.00 oranında güçlendirme perdesi kullanımı ile yönetmelikçe öngörülen her iki deprem performans seviyesi de sağlanmaktadır. Bununla birlikte söz konusu orandan daha az perde kullanımı ile yapılan güçlendirmelerde, betonarme kirişlerde yapısal önlem alınması gerektiği görülmektedir. Donatı malzeme kalitesi yükseldiğinde ise hedeflenen yapısal performans seviyesinin sağlanması için gerekli güçlendirme perde oranı %0.35' e kadar düşmektedir. Yapılan hesaplamalar neticesinde kirişlerde gevrek güç tükenmesinin meydana gelmediği görülmüştür.

Çizelge 5.1 : 3KS220 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.

Perde Yüzdesi	D2 Deprem Düzeyi (Kısa Doğ./3Kat/S220)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	57%	24%	19%	0%	CG
0.70%	75%	25%	0%	0%	CG
1.05%	100%	0%	0%	0%	HK
1.40%	100%	0%	0%	0%	HK
1.70%	100%	0%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu

Perde Yüzdesi	D3 Deprem Düzeyi (Kısa Doğ./3Kat/S220)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	0%	57%	5%	38%	GD
0.70%	40%	40%	10%	10%	GD
1.05%	42%	58%	0%	0%	CG
1.40%	83%	17%	0%	0%	CG
1.70%	100%	0%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu

Çizelge 5.2 : 3KS420 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.

Perde Yüzdesi	D2 Deprem Düzeyi (Kısa Doğ./3Kat/S420)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	95%	5%	0%	0%	HK
0.70%	100%	0%	0%	0%	HK
1.05%	100%	0%	0%	0%	HK
1.40%	100%	0%	0%	0%	HK
1.70%	100%	0%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu

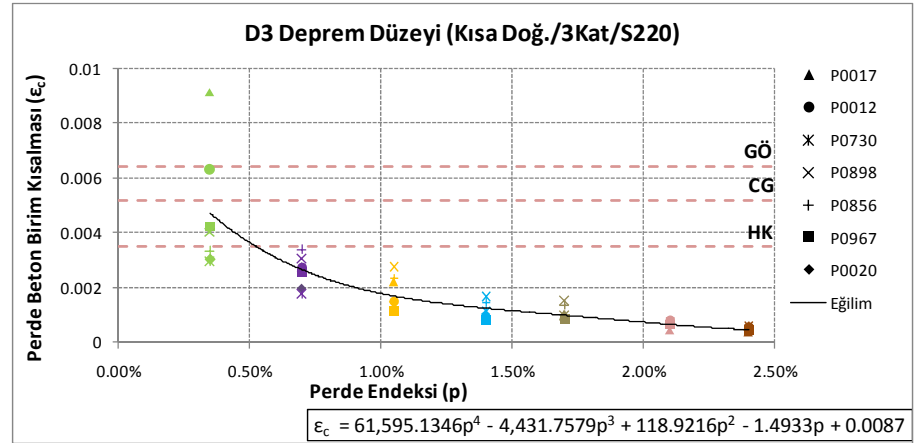
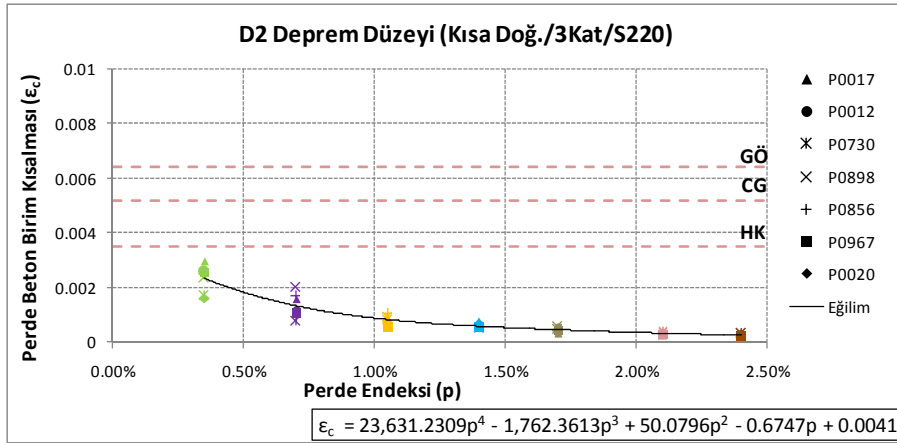
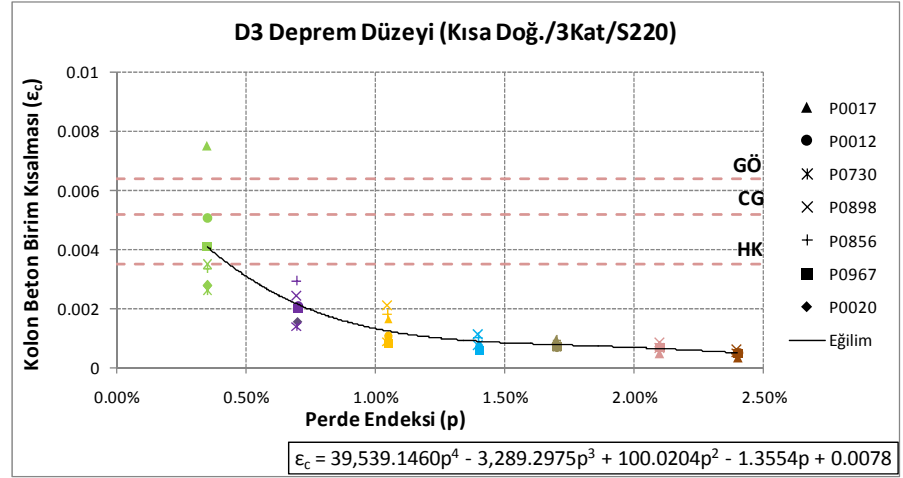
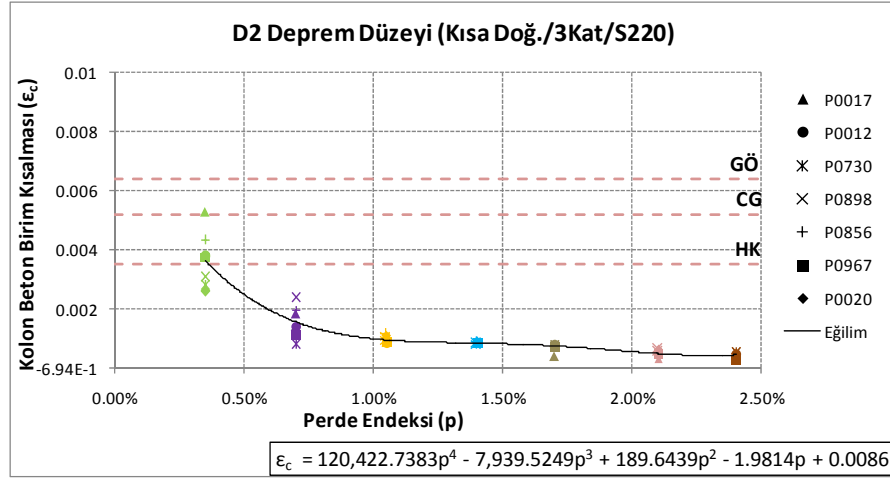
Perde Yüzdesi	D3 Deprem Düzeyi (Kısa Doğ./3Kat/S420)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	48%	52%	0%	0%	CG
0.70%	90%	10%	0%	0%	HK
1.05%	95%	5%	0%	0%	HK
1.40%	100%	0%	0%	0%	HK
1.70%	100%	0%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu

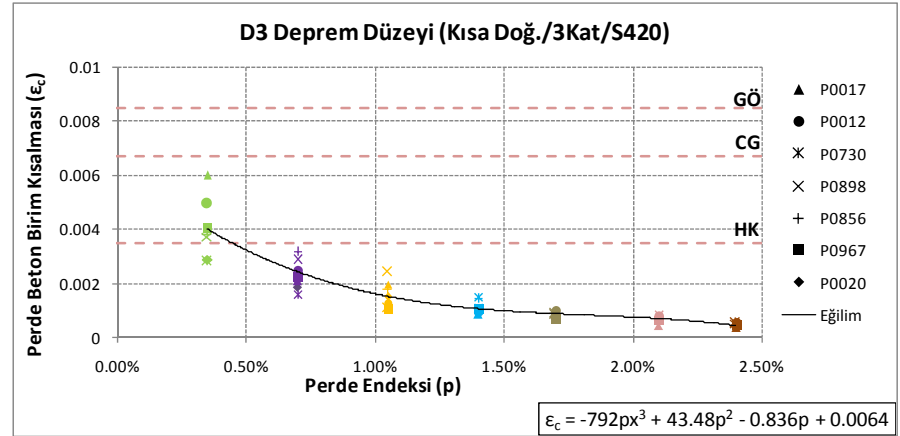
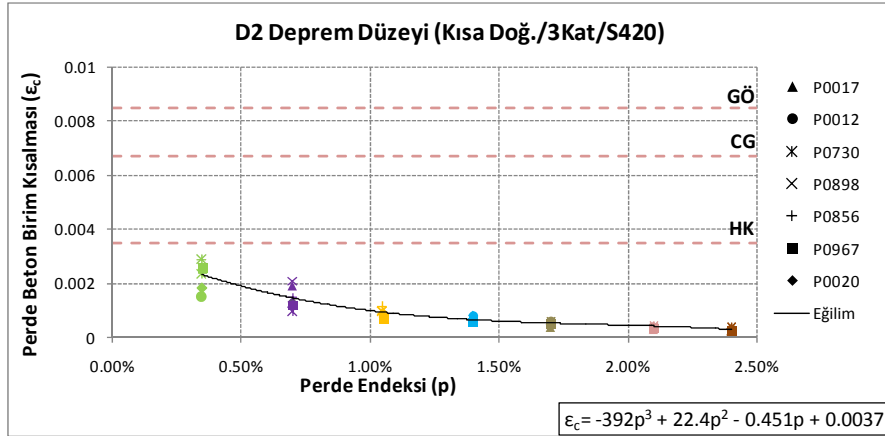
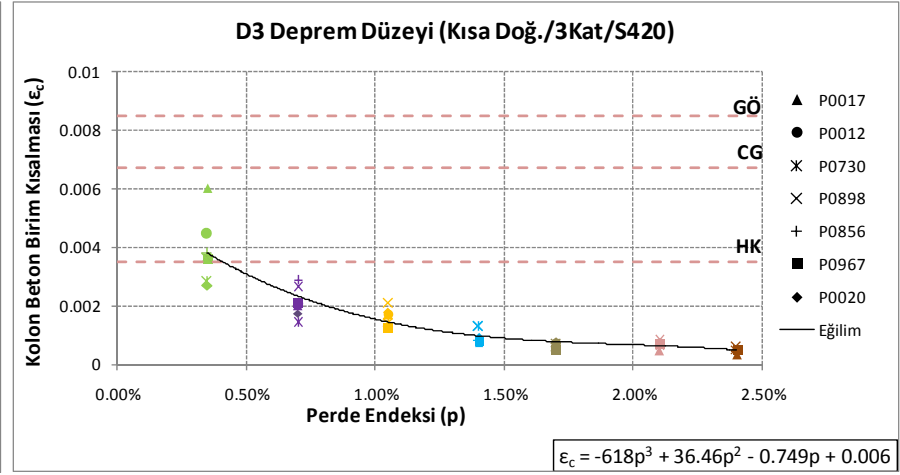
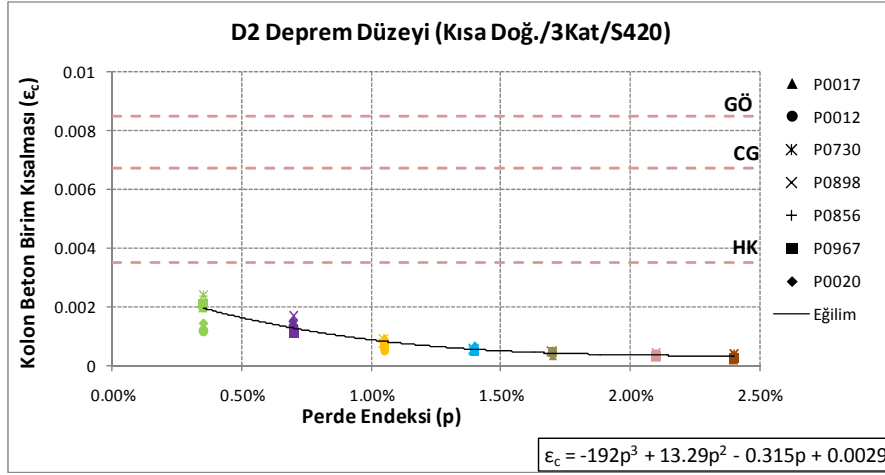
Modellemesi yapılan üç katlı okul binasında mevcut kolonlar ile güçlendirme perdeleri, DBYBHY-2007'de tanımlı betonarme elemanların kesit birim şekil değiştirme kapasite sınırlarına göre kontrol edilmiştir. Yığılı plastisite davranışın aksine yayılı plastisite teorisini kullanan fiber elemanlar yardımıyla, matematik modelde kesit bazında malzeme birim şekil değiştirmeler doğrudan ölçülmüştür. Dolayısıyla, plastik mafsallık boyunca meydana gelen malzeme birim şekil değiştirmelerin ortalaması, matematik modelden gerinim ölçer (strain gage) adı verilen elemanlar yardımıyla elde edilmiştir.

Yapılan analizler sonucu fiber elemanlardan doğrudan ölçülen beton birim kısaltmaları, her bir deprem yüklemesi için ayrı ayrı hesaplanmış ve S220 donatı ile boyutlandırılan okul binası için Şekil 5.3'te, S420 donatı kullanılan okul binası için ise Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Aynı şekilde donatı birim uzamaları da doğrudan fiber elemanlardan ölçülmüş ve S220 ile S420 sınıfı donatı kullanılarak modellenen okul binaları için sırası ile Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir. Söz konusu birim şekil değiştirmeler DBYBHY-2007'de belirtilen hasar sınırlarına göre incelendiğinde, her iki donatı kalitesine sahip okul binaları için de mevcut yapıya Can Güvenliği (CG) performans seviyesi için %0.35, Hemen Kullanım (HK) performans düzeyi için ise %0.70 oranında perde eklenmesi gerektiği görülmektedir.

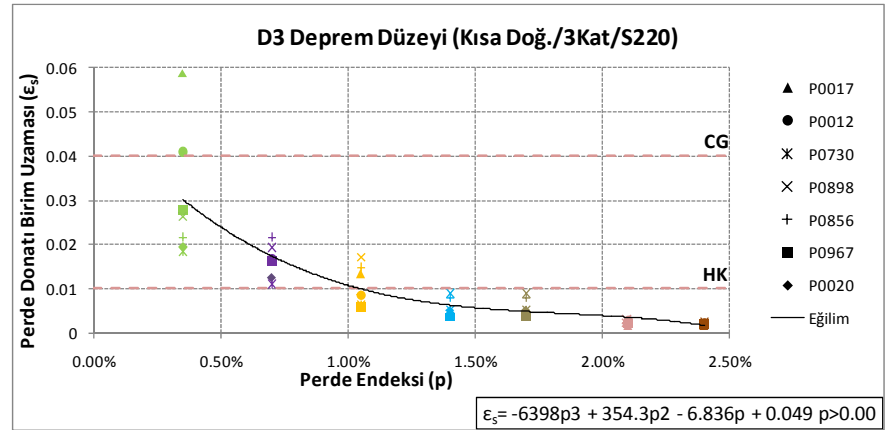
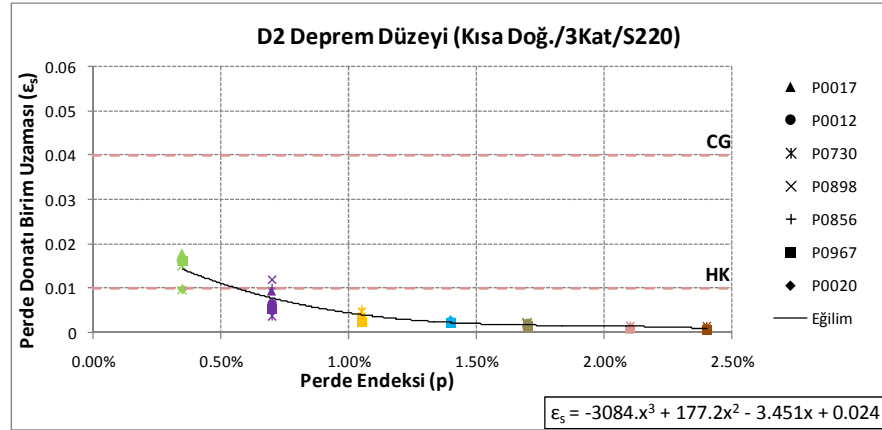
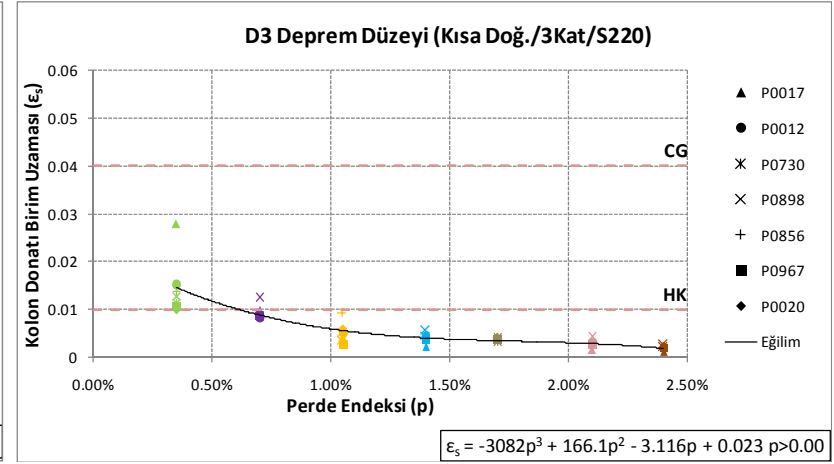
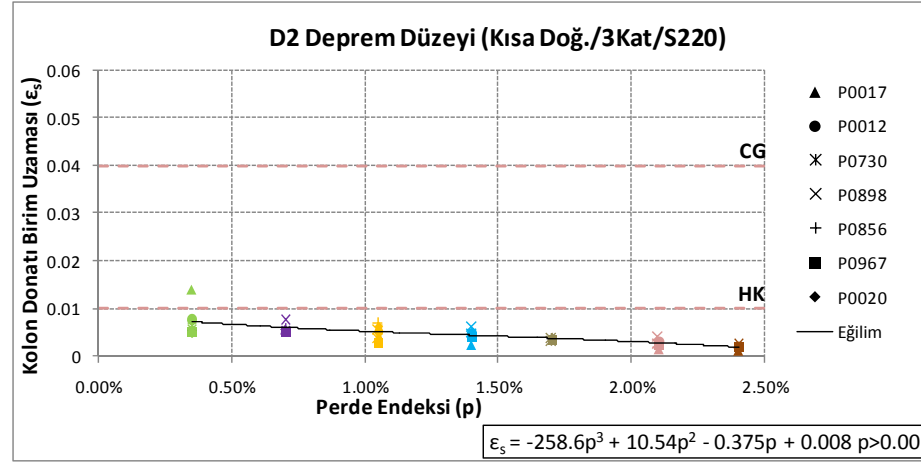
Analizler sonucu donatı ve beton birim şekil değiştirmelerin, perde oranı ile bağıntısı hesaplanmış ve ilgili grafiklerde gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 3 katlı okul binaları için %1.5 oranında perde kullanımını aşan durumlarda kesit birim şekil değiştirmeleri açısından büyük farklar ortaya çıkmamaktadır. Ayrıca, grafiklerden görülebileceği üzere, güçlendirme perdelerinde donatı birim uzaması, beton birim kısaltmasının aksine hasar sınırını belirleyen parametre olarak ön çıkmaktadır. Mevcut kolonlarda ise beton birim kısaltmaları hasar sınırını belirleyici unsur olmaktadır. Bunun sebebi mevcut kolonların yapı zati ağırlığı altında beton birim şekil değiştirme kapasitelerinin bir bölümünü kullanmaları ve halihazırdaki beton basınç dayanımının düşük olmasıdır. Mevcut kolonların perde uç bölgesi olarak kullanıldığı betonarme güçlendirme perdelerinde ise, kolonlarda bulunan donatının yetersiz olması sebebiyle donatı birim uzamaları hasar belirleyici faktör olarak ön plana çıkmaktadır.



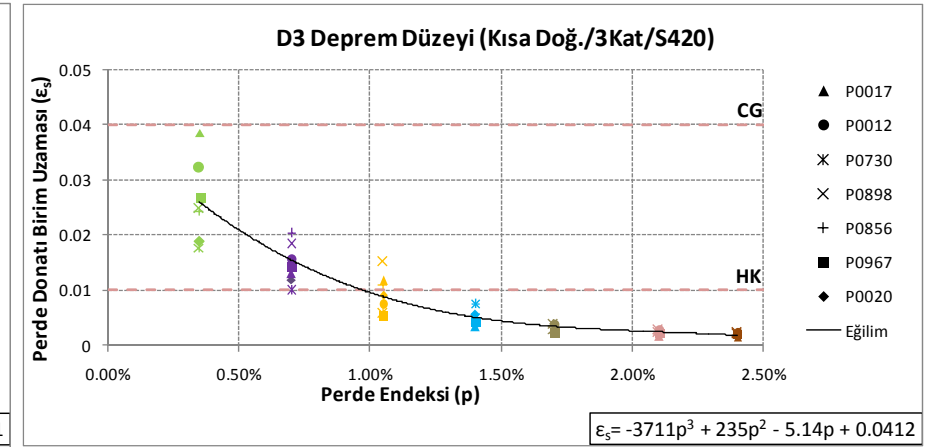
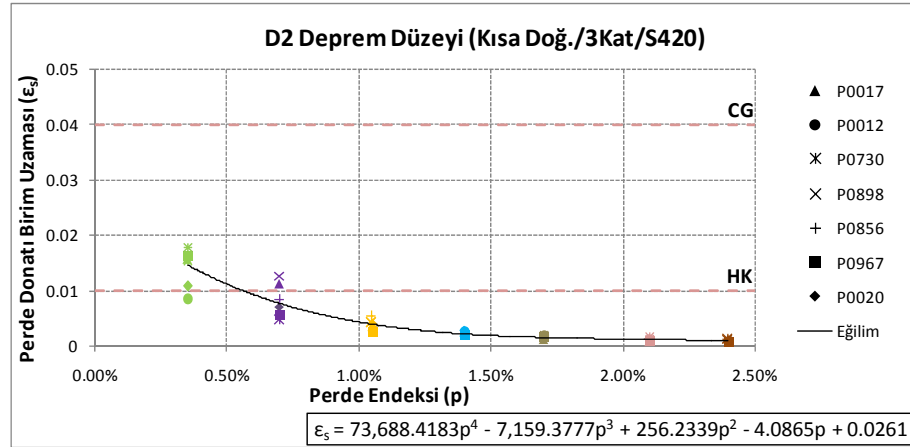
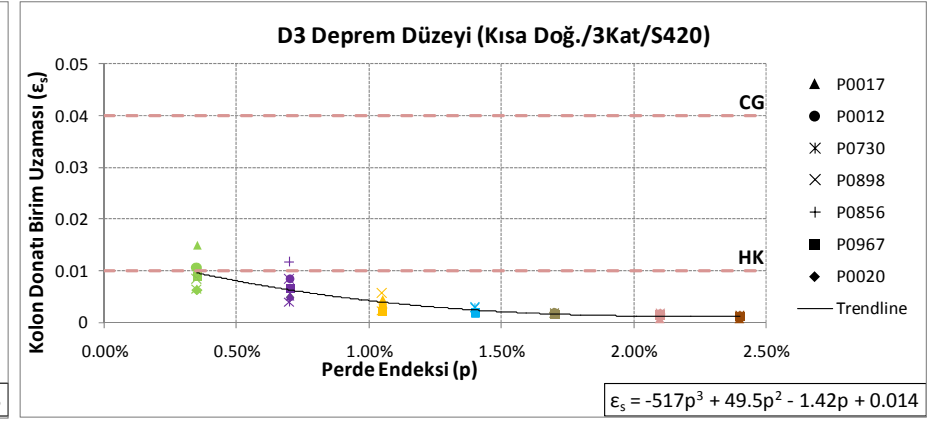
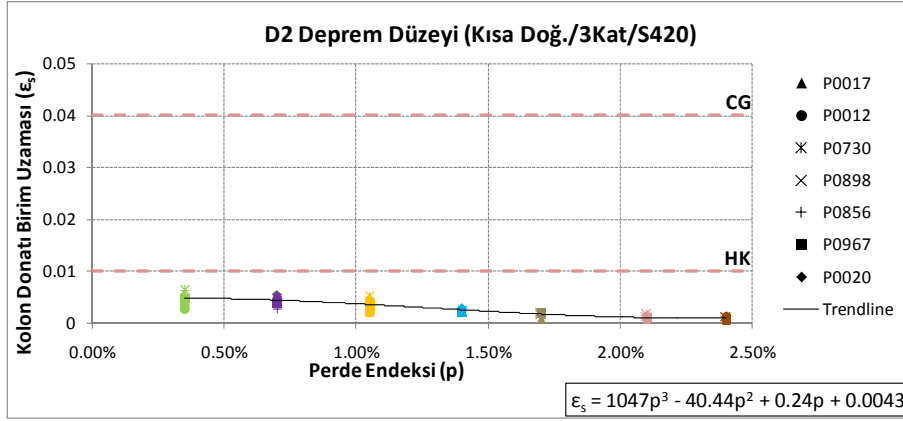
Şekil 5.3 : 3KS220 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.



Şekil 5.4 : 3KS420 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.



Şekil 5.5 : 3KS220 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.

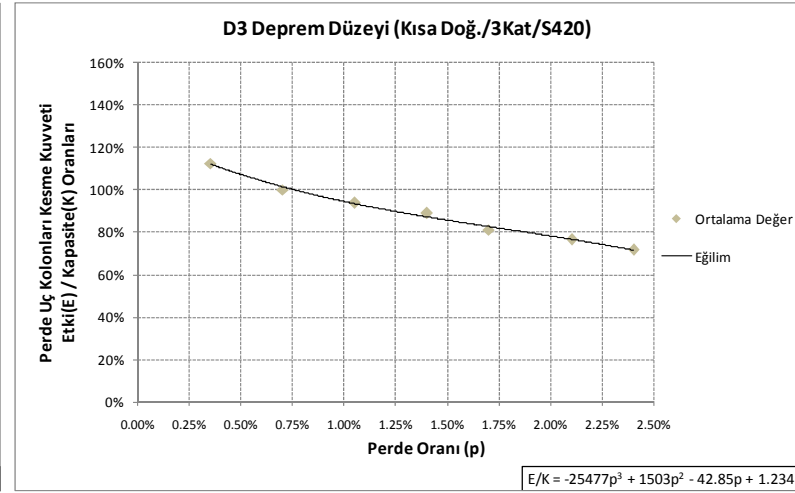
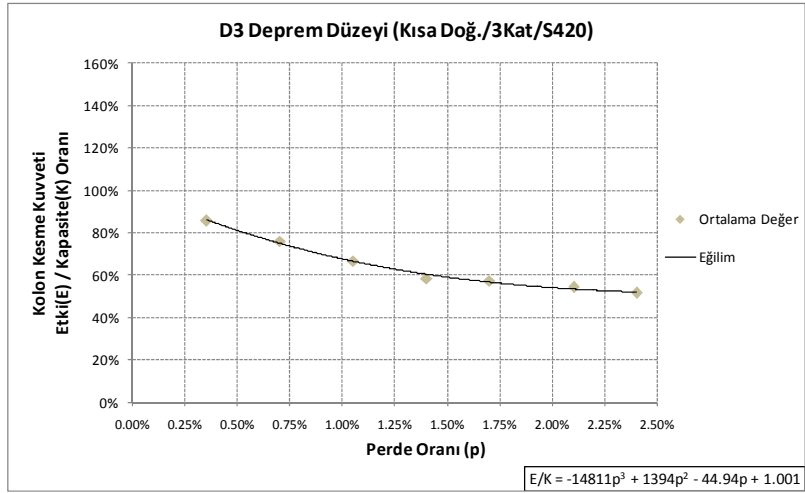
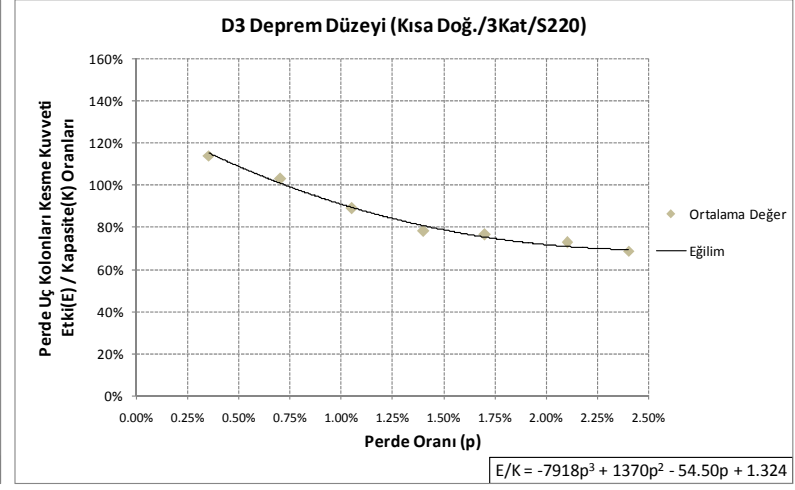
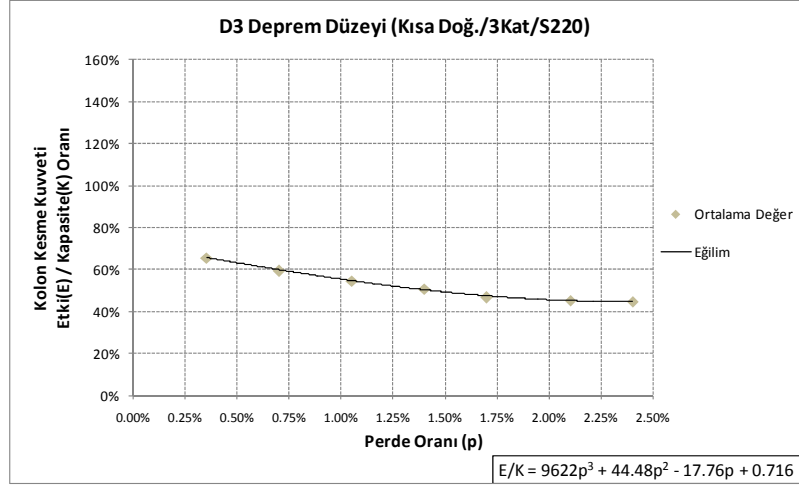


Şekil 5.6 : 3KS420 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.

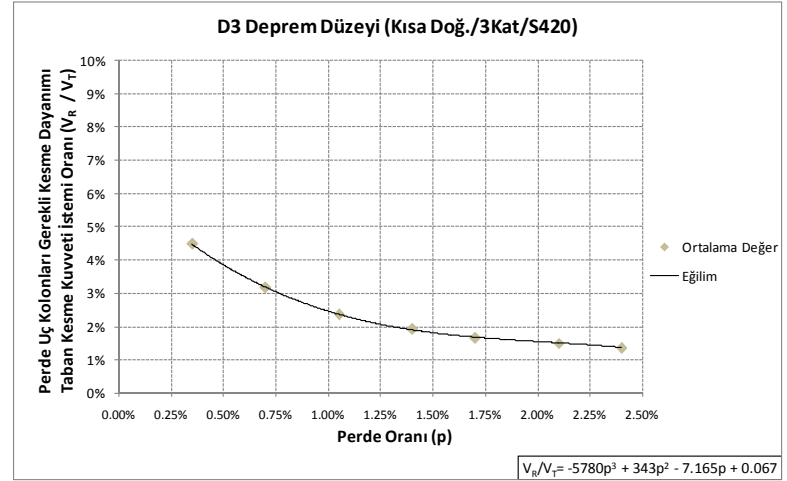
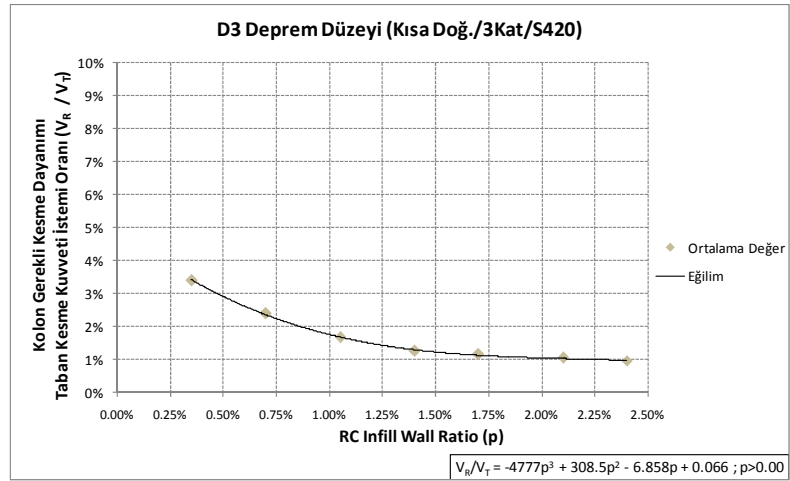
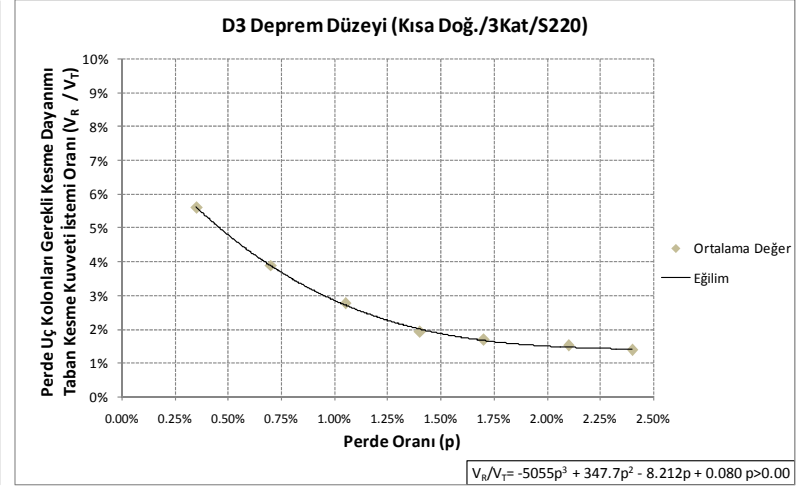
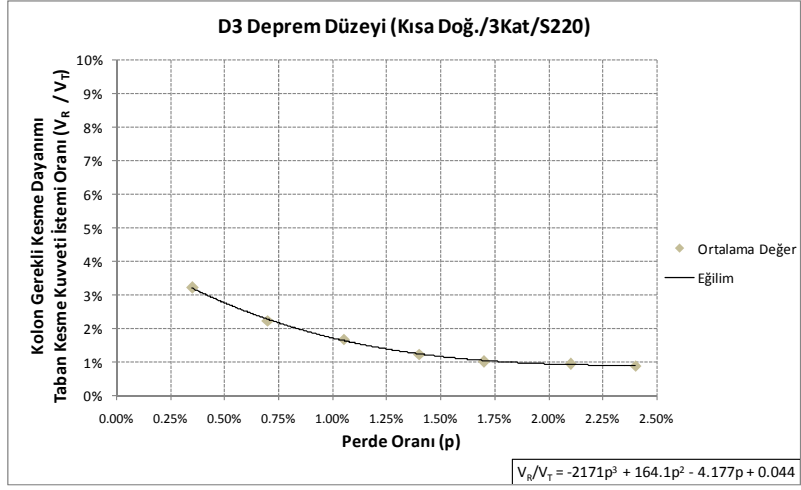
Kolonların ve perde uç kolonlarının gevrek güç tükenmesine ulaşmaması için şiddetli depremde dahi, kesme kuvveti kapasitelerinin öngörülen deprem isteminden daha yüksek olması gerekmektedir. Bu bağlamda, perde ve kolonların yönetmelikçe öngörülen şiddetli (D3) deprem altında kesme kuvveti kapasite/istem oranları belirlenmiş ve Şekil 5.7' de verilmiştir. Grafiklerden görülebileceği üzere perde ve kolonların kesme kuvveti etkisinde güç tükenmesi durumuna ulaşmaması için gerekli minimum güçlendirme perde oranı S220 donatı sınıfına sahip okul binasında %1.00 olarak bulunmuştur. Donatı kalitesinin yükselmesine paralel olarak artan taban kesme kuvveti ile S420 donatı kalitesine sahip okul binasında gerekli perde oranı %0.70' e düşmüştür. Ayrıca elde edilen güçlendirme perde oranına bağlı olarak hesaplanan, kolon ve perde uç kolonlarının kesme dayanımı ile taban kesme kuvveti istemi oranları Şekil 5.8'de gösterilmiştir.

Yapı performansının belirlenmesinde kullanılan parametrelerden bir diğeri olan görelî kat ötelenmeleri, ASCE/SEI-41 (2006) standardında verilen sınır değerler ile karşılaştırmalı olarak Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Grafiklerden görülebileceği üzere, her iki deprem durumu içinde görelî kat ötelenmelerine bağlı yapı performansı minimum perde oranında ($\rho=0.35$) dahi, öngörülen deprem performans seviyelerini sağlamaktadır. Bu durumun nedeni çok düşük perde oranlarında dahi yapı sisteminin kazandığı büyük rijitliklerdir. Dolayısıyla, üç katlı okul binalarının betonarme perdeler ile yapılacak güçlendirmelerinde, görelî kat ötelenmeleri hasar sınırını belirleyici bir etken olarak gözükmemektedir.

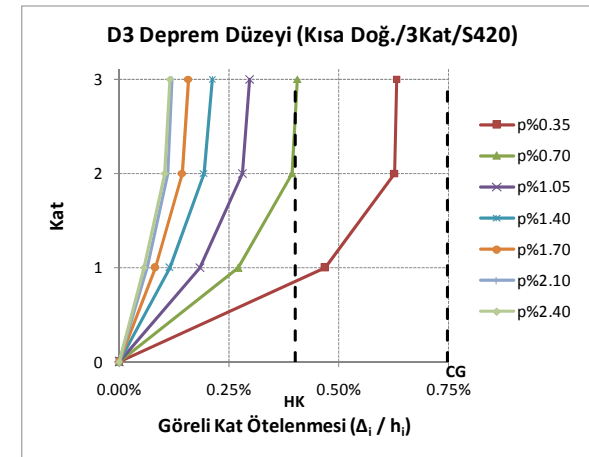
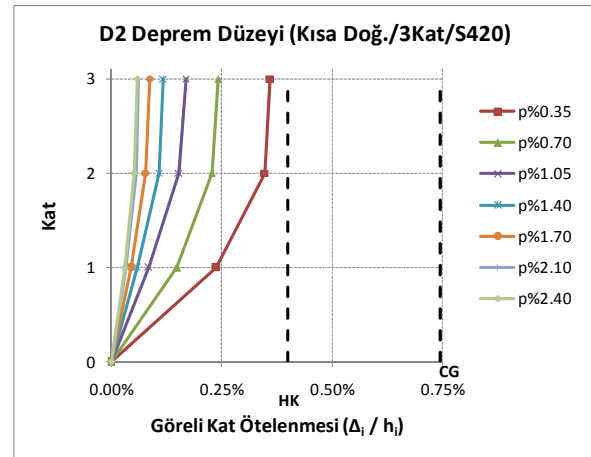
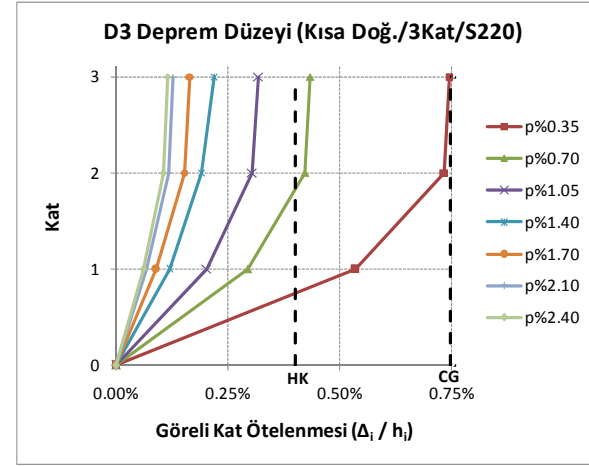
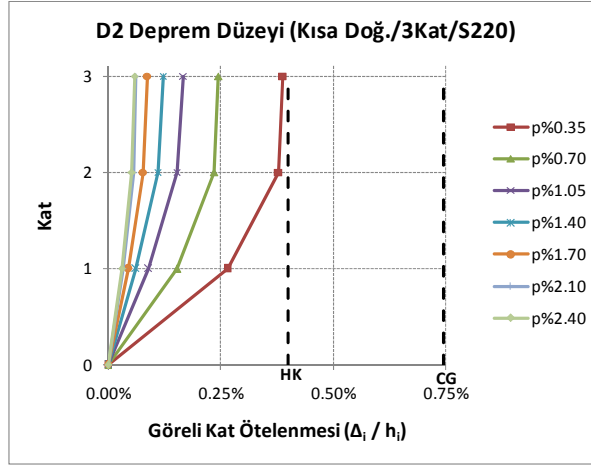
Sonuç olarak 3 katlı S220 malzeme kalitesine sahip tipik betonarme okul binasının güçlendirilmesi için gerekli minimum perde oranı %1.00 olarak bulunmuştur. Aynı okul binasının, S420 malzeme kalitesine sahip modelinde ise gerekli güçlendirme perde oranı %0.70 olarak belirlenmiştir. Her iki donatı sınıfına sahip üç katlı okul binasında da hasar sınırını belirleyici parametre, mevcut kirişlerin yetersiz kapasiteleri ile perde uç kolonlarının düşük kesme kuvveti kapasiteleri olarak çıkmıştır. Dolayısıyla söz konusu yapı elemanlarına yapılacak güçlendirmeler ile gerekli perde oranı azaltılabilir.



Şekil 5.7 : 3KS220 ve 3KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu etki/kapasite oranları.



Şekil 5.8 : 3KS220 ve 3KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu gerekli kesme dayanımı - taban kesme kuvveti istemi oranı.



Şekil 5.9 : 3KS220 ve 3KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı doğrusal olmayan görelî kat ötelenmeleri.

5.1.2 Dört katlı okul binasının doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları

Dört katlı okul binasının S220 ve S420 donatı sınıfına sahip modellerinin güçlendirme perde oranına bağlı deprem performansı doğrusal olmayan dinamik analiz ile irdelenmiştir. Yapılan analizler sonucu elde edilen perde/çerçeve taban kesme kuvveti oranları, yedi deprem ivme kaydına göre elde edilen sonuçların ortalaması üzerinden, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de ayrı ayrı gösterilmiştir. Betonarme çerçevelerin karşıladığı kesme kuvveti, üç katlı binadan elde edilen kesme kuvveti oranlarına göre bir miktar daha artmasına karşın, ilave edilen betonarme güçlendirme perdeleri yapıya etkiyen deprem yüklerinin büyük bir çoğunluğunu karşılamaktadırlar.

Betonarme kirişlerin deprem performansı ise üç katlı modelde olduğu gibi DBYBHY-2007’ye göre belirlenmiş ve Çizelge 5.3 ile Çizelge 5.4’te verilmiştir. Dört katlı yapıya ait mevcut betonarme kirişlerin deprem performansı incelendiğinde, S420 sınıfı donatı kalitesine sahip yapı modelinde HK performans seviyesini sağlayabilmek için, minimum %0.70 oranında güçlendirme perdesi kullanımı gerekirken, CG performans seviyesi için bu oran %0.35’e düşmektedir. Donatı malzeme kalitesi S220 olan betonarme okul binasında ise gerekli perde oranı HK performans seviyesi için %1.70 olarak hesaplanmıştır. Aynı yapıda şiddetli deprem altında öngörülen CG performans seviyesi için ise, gerekli güçlendirme perde oranı %1.40 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.3 : 4KS220 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.

Perde Yüzdesi	D2 Deprem Düzeyi (Kısa Doğ./4Kat/S220)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	0%	62%	19%	19%	GD
0.70%	0%	65%	20%	15%	GD
1.05%	42%	58%	0%	0%	CG
1.40%	83%	17%	0%	0%	CG
1.70%	94%	6%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu

Perde Yüzdesi	D3 Deprem Düzeyi (Kısa Doğ./4Kat/S220)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	0%	57%	5%	38%	GD
0.70%	10%	70%	0%	20%	GD
1.05%	37%	42%	0%	21%	GD
1.40%	50%	39%	11%	0%	CG
1.70%	59%	41%	0%	0%	CG
2.10%	69%	31%	0%	0%	CG
2.40%	80%	20%	0%	0%	CG

HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu

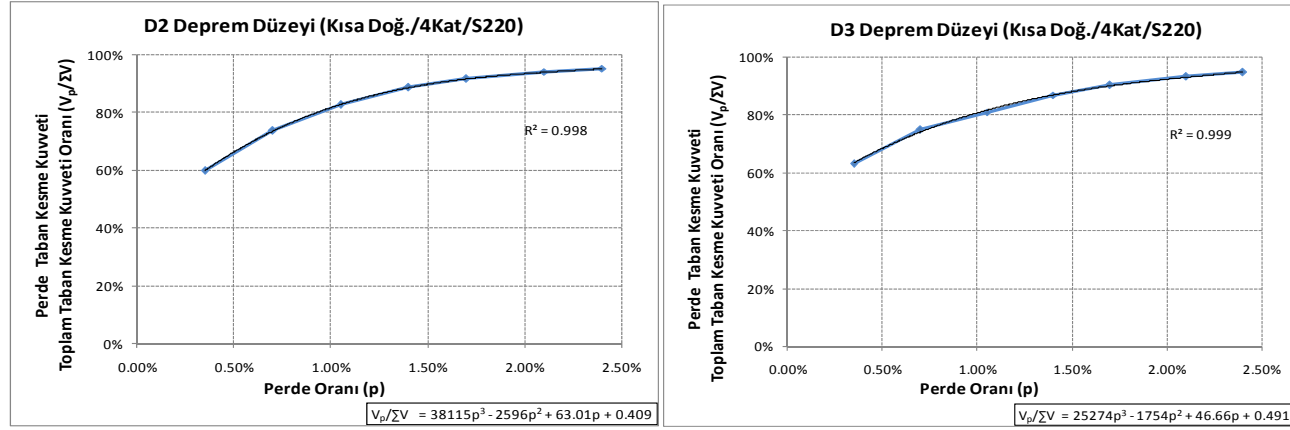
Çizelge 5.4 : 4KS420 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.

Perde Yüzdesi	D2 Deprem Düzeyi (Kısa Doğ./4Kat/S420)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	86%	14%	0%	0%	CG
0.70%	90%	10%	0%	0%	HK
1.05%	95%	5%	0%	0%	HK
1.40%	100%	0%	0%	0%	HK
1.70%	100%	0%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

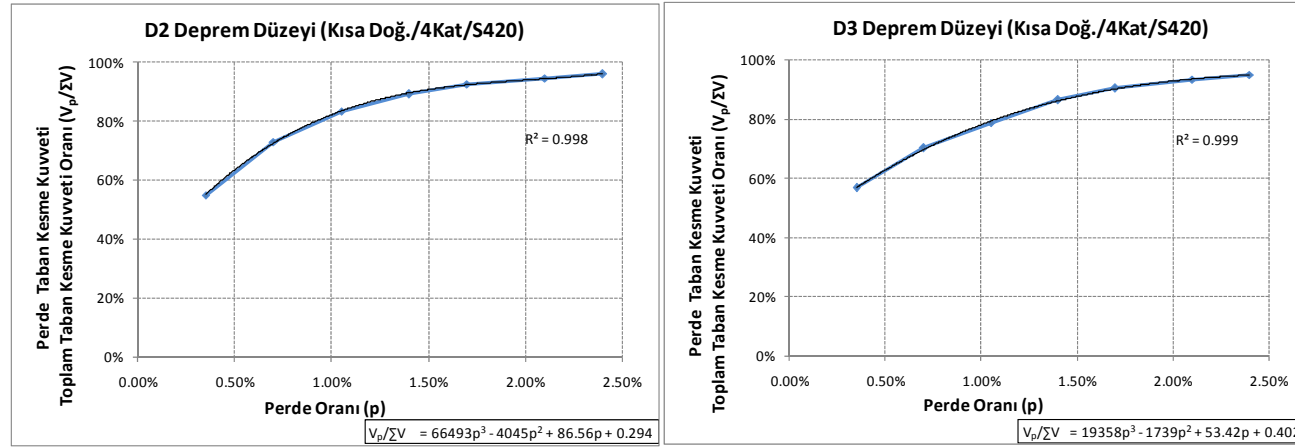
HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu

Perde Yüzdesi	D3 Deprem Düzeyi (Kısa Doğ./4Kat/S420)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	0%	100%	0%	0%	CG
0.70%	80%	20%	0%	0%	CG
1.05%	84%	16%	0%	0%	CG
1.40%	78%	22%	0%	0%	CG
1.70%	82%	18%	0%	0%	CG
2.10%	94%	6%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu



Şekil 5.10 : 4KS220 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.



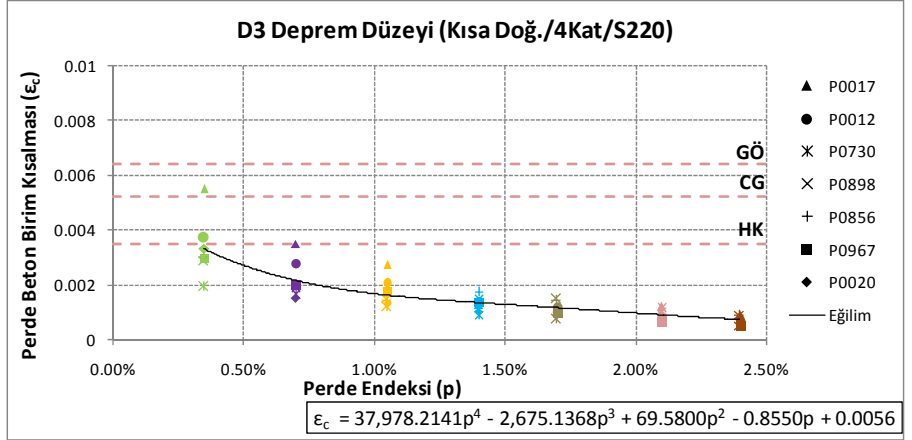
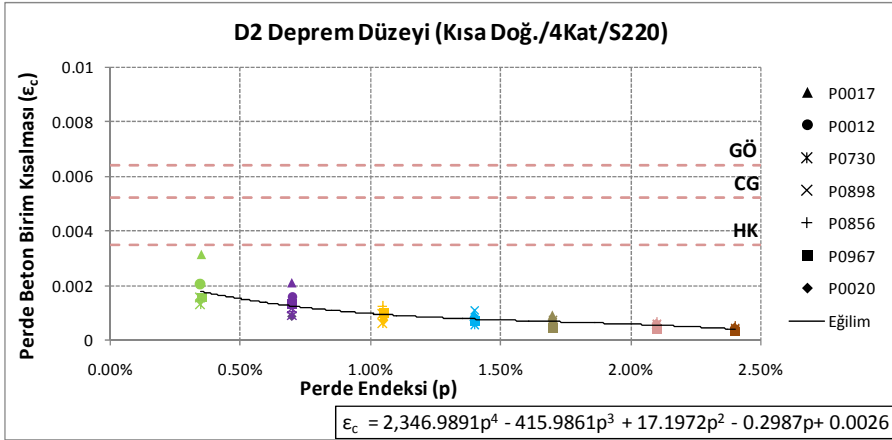
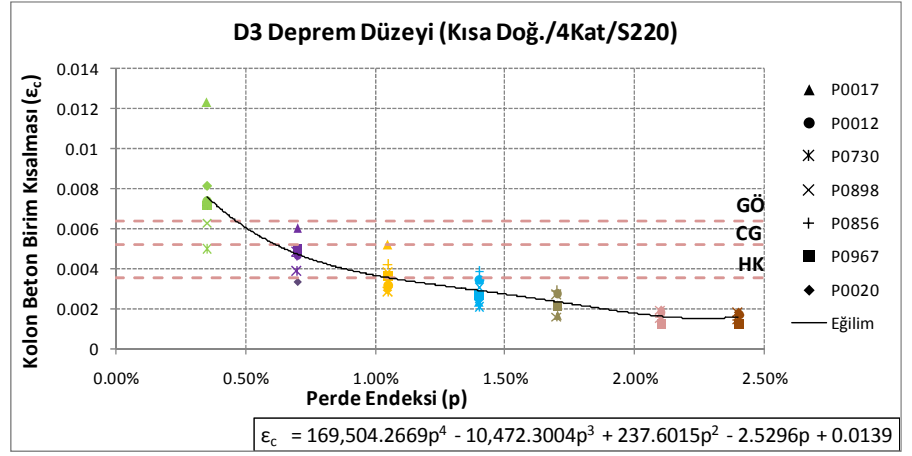
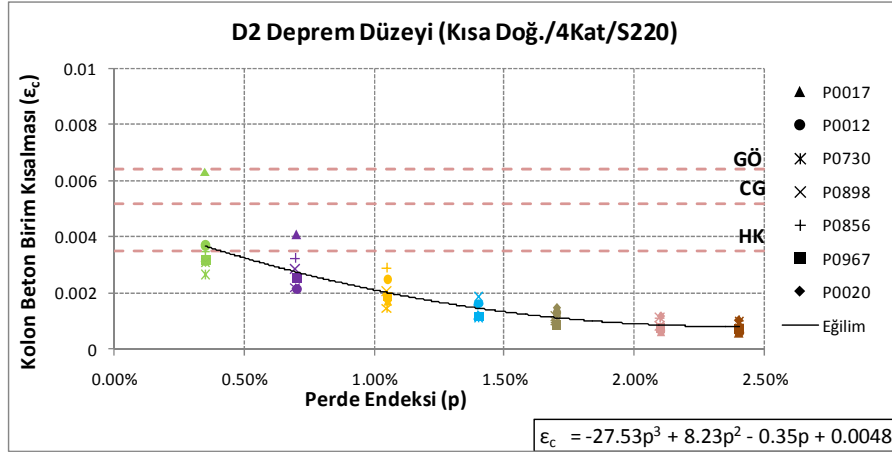
Şekil 5.11 : 4KS420 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.

Matematik modeli oluşturulan dört katlı okul binasının, farklı güçlendirme perde oranları altında yapılan doğrusal olmayan dinamik analizleri ile mevcut kolon ve güçlendirme perdelerinin kesit bazında malzeme birim şekildeğiştirmeleri ayrı ayrı incelenmiştir. Malzeme birim şekildeğiştirme hasarları, üç katlı okul binasında olduğu gibi DBYBHY-2007'de tanımlı hasar sınır değerlerine göre kontrol edilmiştir.

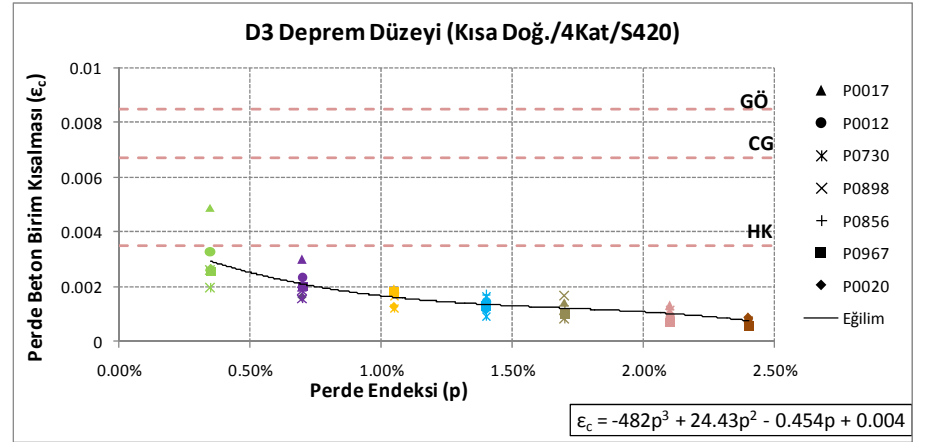
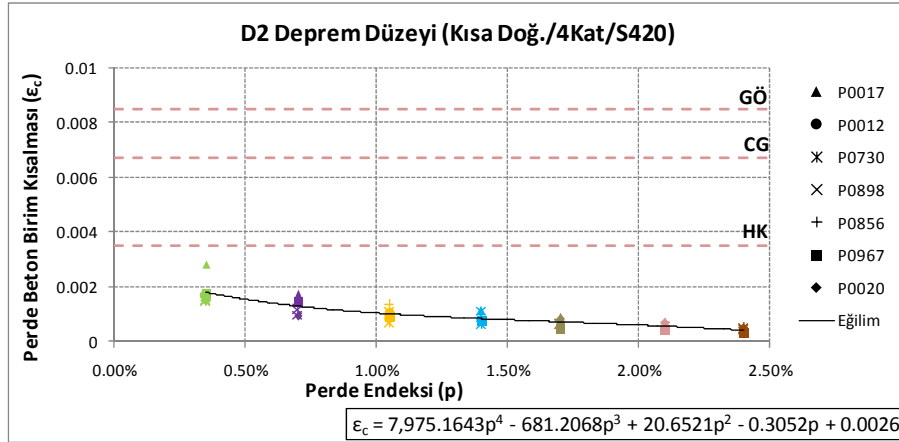
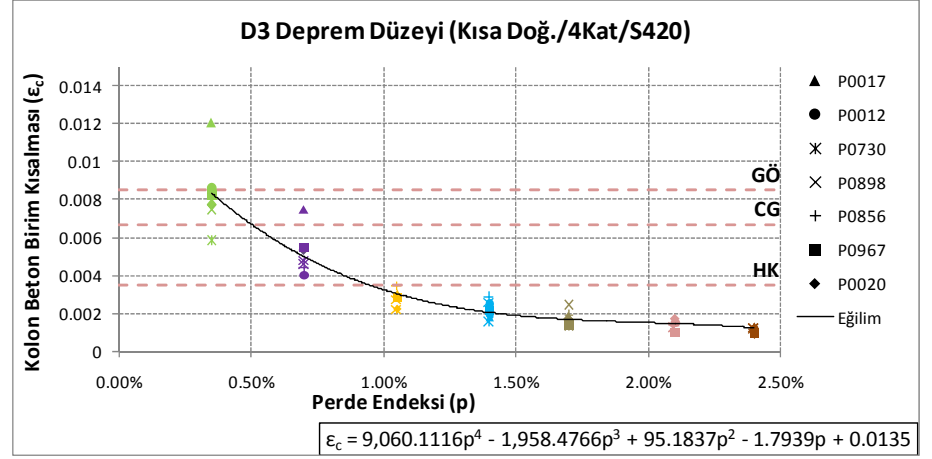
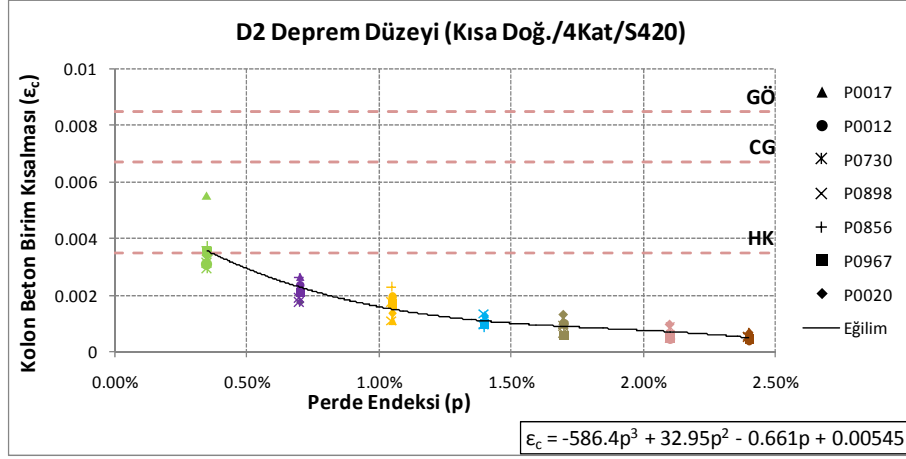
Yapılan analizler sonucu her bir deprem yüklemesi için ayrı ayrı elde edilen beton birim kısalmaları S220 donatı ile boyutlandırılan okul binası için Şekil 5.12'de, S420 donatı kullanılarak matematik modeli oluşturulan okul binası için ise Şekil 5.13'te gösterilmiştir. Söz konusu okul binalarında analiz sonucu elde edilen donatı birim uzamaları ise, S220 ve S420 donatı sınıfı kullanılan matematik modeller için Şekil 5.14 ile Şekil 5.15'te verilmiştir. Yapılan analizler neticesinde elde edilen verilere göre, mevcut yapıya eklenecek minimum %0.70 güçlendirme perdesi oranıyla gerek S220, gerekse S420 donatına sahip okul binalarında DBYBHY-2007'de öngörülen performans seviyelerinin her ikisi de malzeme birim şekildeğiştirme sınır değerleri açısından sağlanmaktadır.

Grafiklerden görülebileceği üzere, malzeme birim şekildeğiştirme kapasitesine göre hasar sınırını belirleyici unsur, kolonlarda beton birim kısalması, güçlendirme perdelerinde ise donatı birim uzaması ile meydana gelmiştir. Dört katlı okul binasında da üç katlı okul yapısına benzer bir durum oluşmaktadır. Bununla birlikte, S420 donatı sınıfına sahip üç katlı okul binasında beton birim şekildeğiştirmeleri bakımından %0.35 perde oranı yeterli olurken, aynı donatı kalitesine sahip dört katlı okul binasında gerekli güçlendirme perde oranı %0.70 olarak elde edilmiştir. Bunun nedeni kat adedinin artmasıyla, mevcut kolonlarda zati yükler altında kullanılan beton birim şekildeğiştirme değerlerinin, kesitin mevcut kapasitesine yaklaşmasıdır.

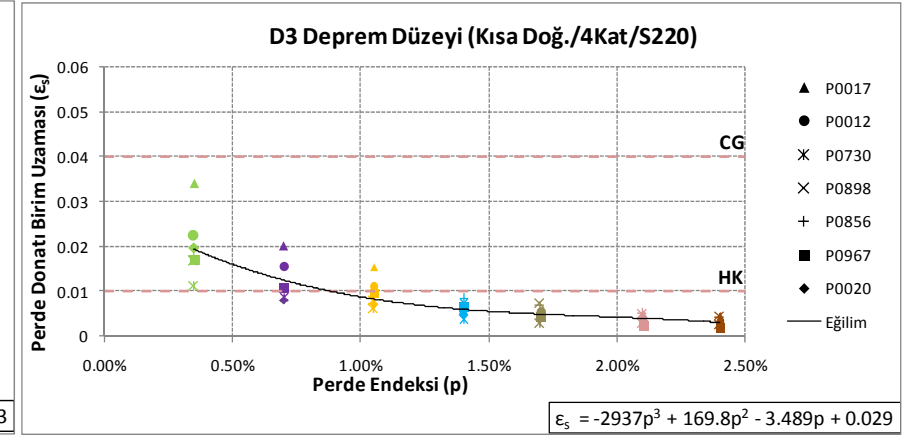
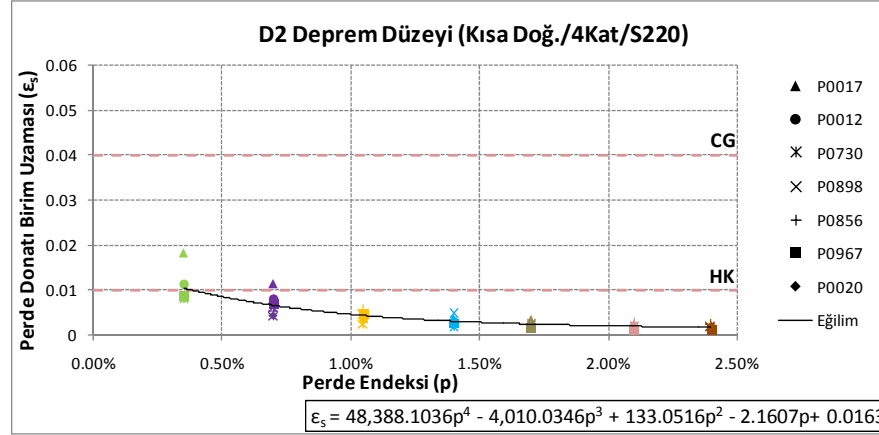
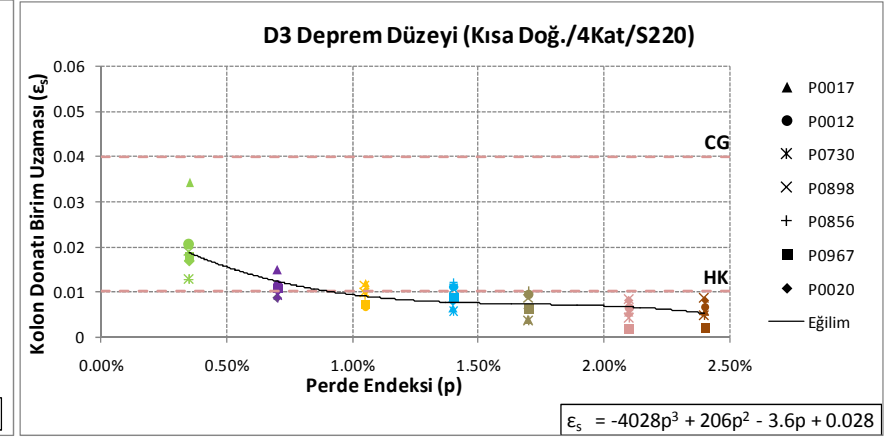
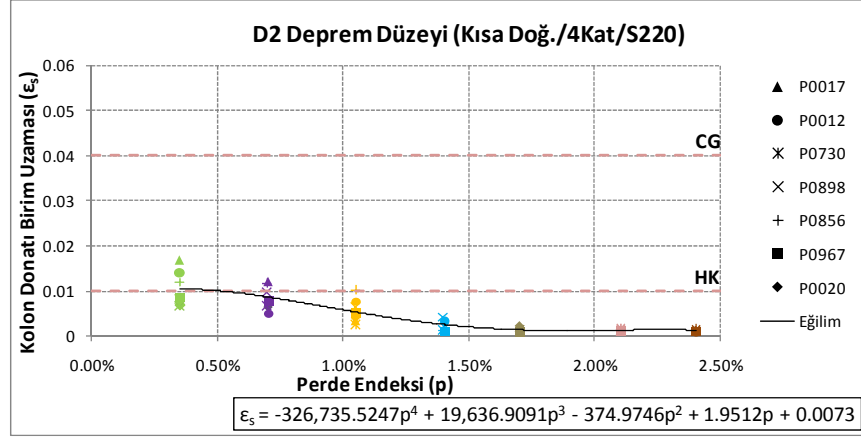
Analizler ile elde edilen bir diğer sonuç ise kesit birim şekildeğiştirme sınır değerleri bakımından gerekli güçlendirme perde oranının, Şiddetli Deprem (D3) düzeyinden ziyade, Tasarım Depremi (D2) altında öngörülen Hemen Kullanım (HK) performans seviyesini sağlamaya yönelik olduğudur.



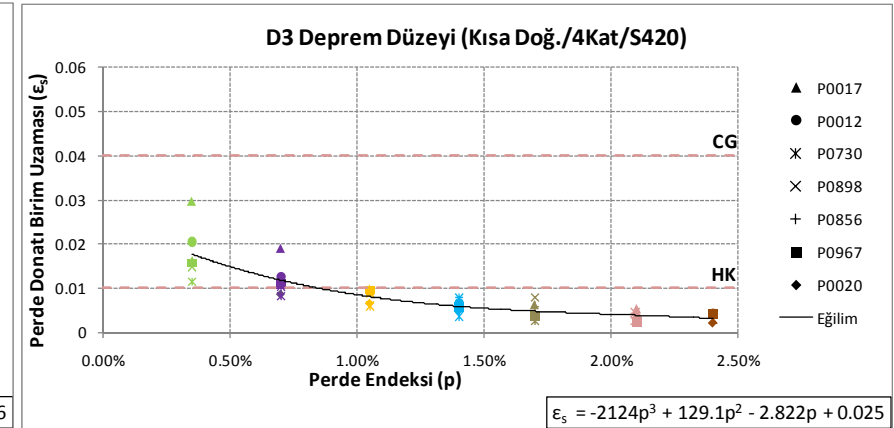
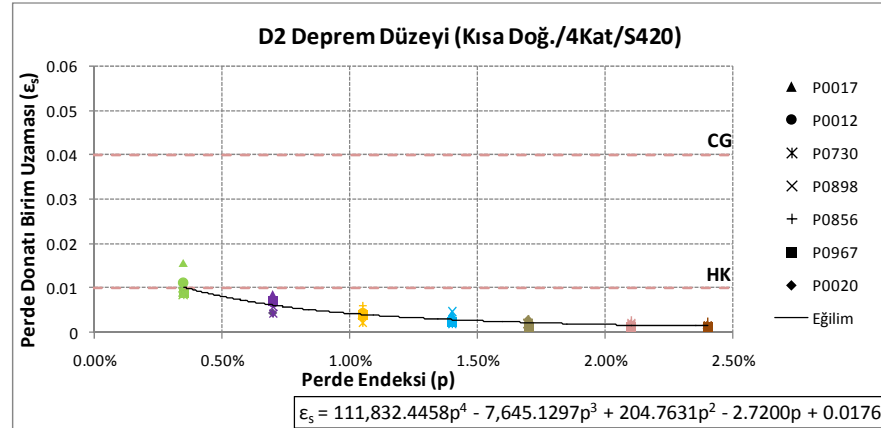
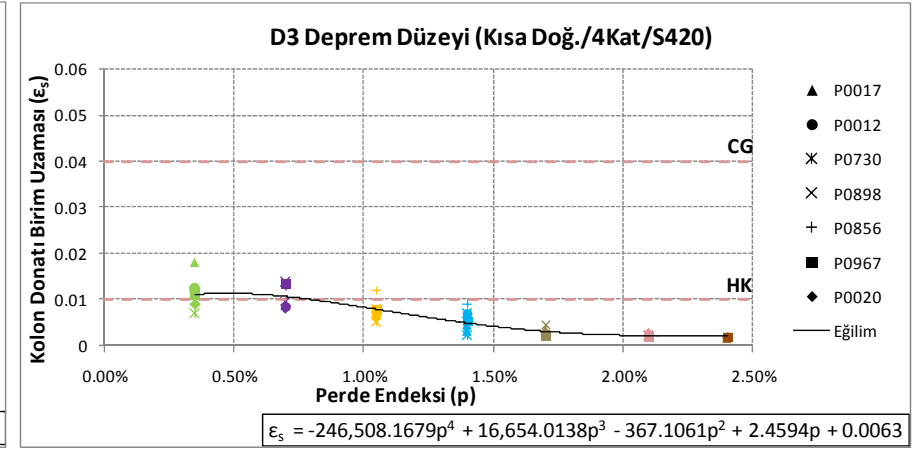
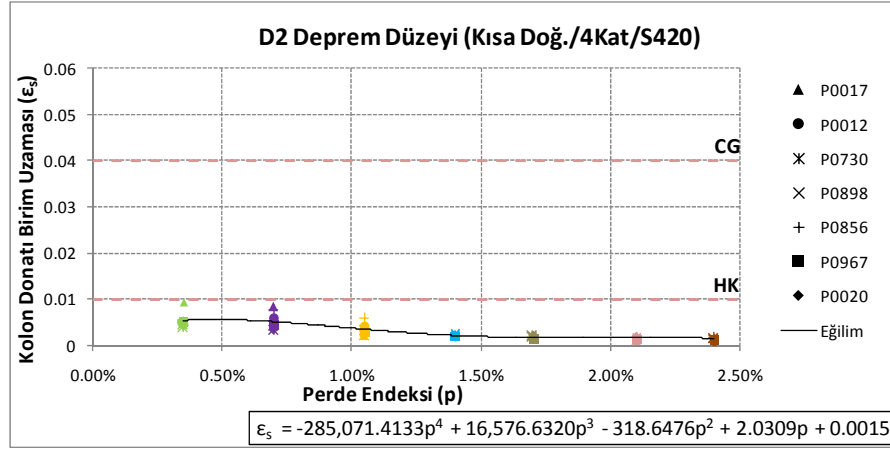
Şekil 5.12 : 4KS220 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.



Şekil 5.13 : 4KS420 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.



Şekil 5.14 : 4KS220 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.

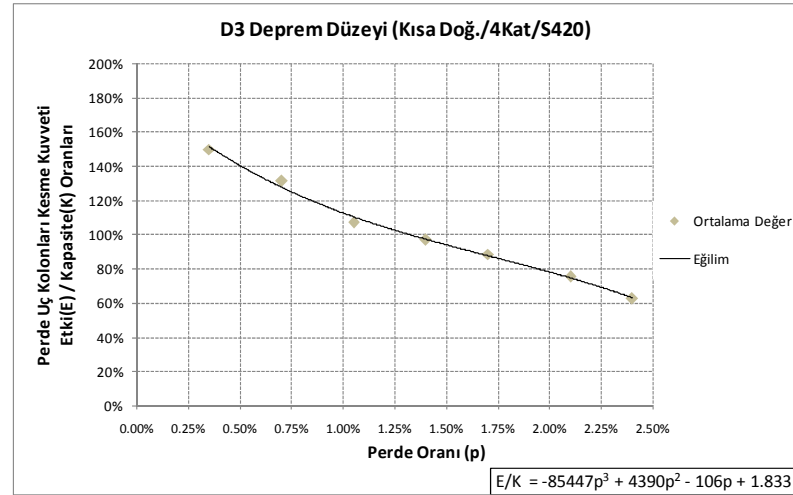
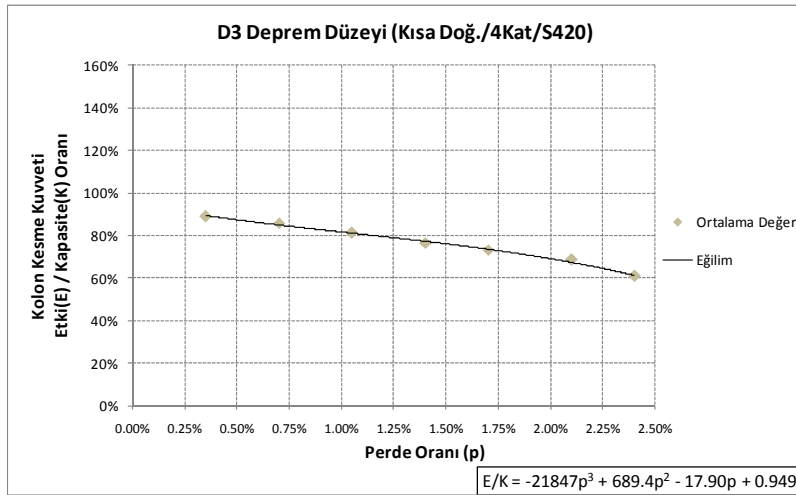
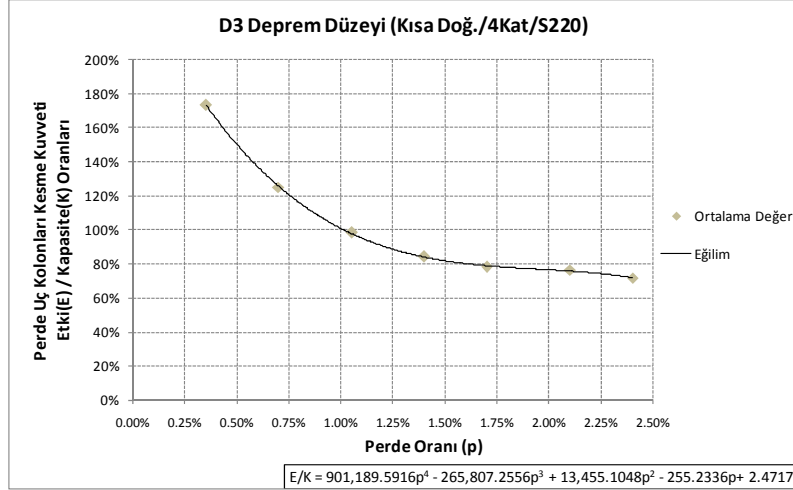
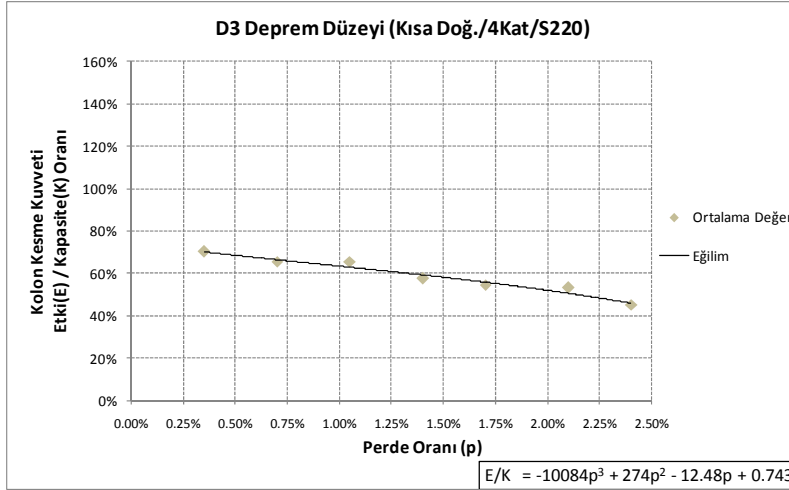


Şekil 5.15 : 4KS420 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.

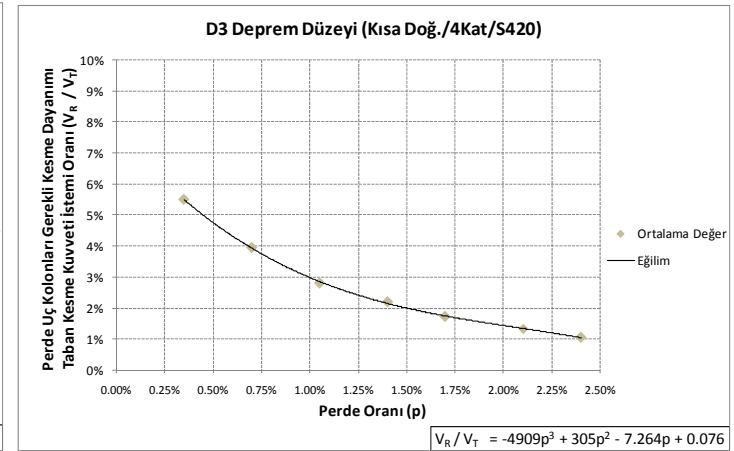
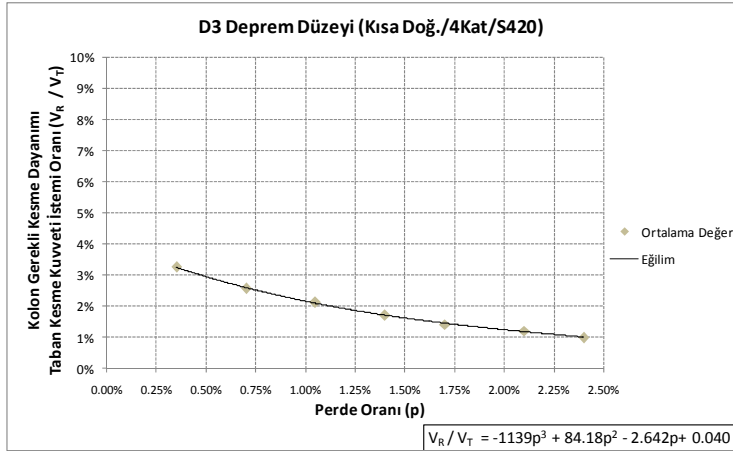
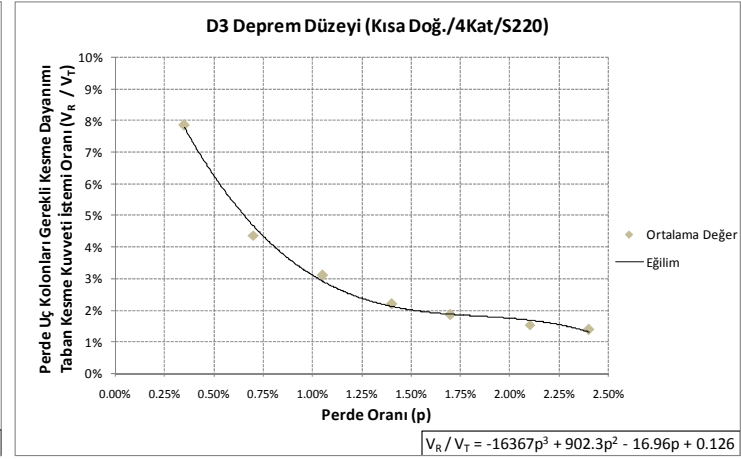
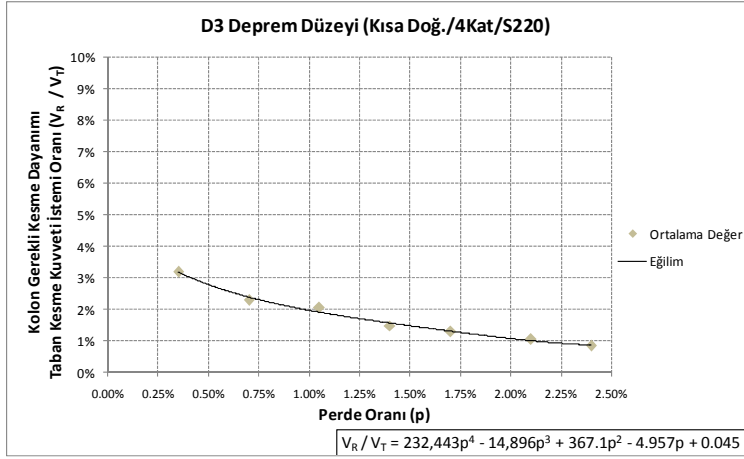
Dört katlı okul binasında kolonların ve perde uç kolonlarının D3 depremi için kesme kuvveti altında kapasite/istem oranları belirlenmiş ve Şekil 5.16'da verilmiştir. Grafikten görülebileceği üzere perde uç kolonlarının kesme kuvveti etkisinde güç tükenmesi durumuna ulaşmaması için S220 ve S420 malzeme kalitesine sahip dört katlı okul binalarında sırası ile %1.00 ve %1.40 oranında perde kullanılması gerekmektedir. Betonarme güçlendirme perdelerinin uç bölgeleri olarak düzenlenen mevcut kolonların beton basınç dayanımlarının düşük ve etriye sargısının az olması, gerekli perde güçlendirme perde oranını arttıran etmenlerin başında gelmektedir. Ayrıca yapılan analizler sonucu güçlendirme perde oranına bağlı olarak hesaplanan kolon ve perde uç kolonlarının kesme dayanımı taban kesme kuvveti istemi oranları da Şekil 5.17'de gösterilmiştir.

Dört katlı betonarme okul binası görelî kat ötelenmeleri bakımında incelendiğinde ise, ASCE/SEI-41 (2006) standardında verilen sınır değerlerin her iki deprem düzeyi içinde minimum %0.70 oranında güçlendirme perdesi ile sağlanabileceği görülmüştür. Dolayısıyla her ne kadar kat adedinin artmasıyla perde-çerçeve davranışı daha belirgin olsa da, kullanılacak düşük güçlendirme perde oranlarında dahi görelî kat ötelenmeleri bakımında dört katlı okul binaları yeterli kapasiteye sahip olmaktadır. Analizler sonucu elde edilen görelî kat ötelenmeleri ASCE/SEI-41 (2006) standardında verilen sınır değerler ile karşılaştırmalı olarak Şekil 5.18'de gösterilmiştir.

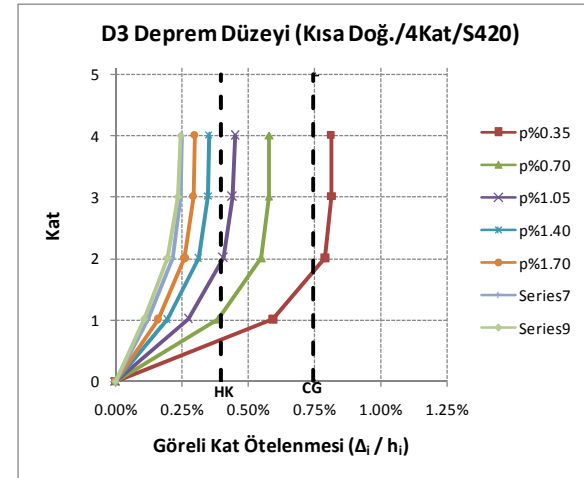
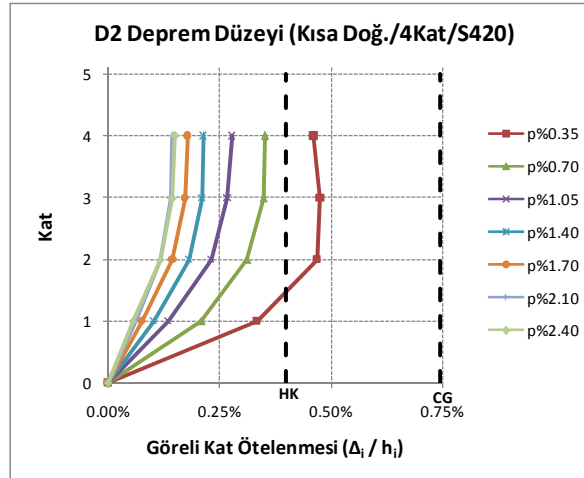
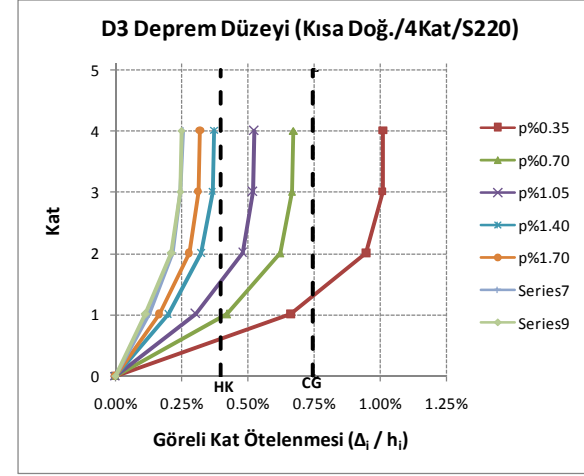
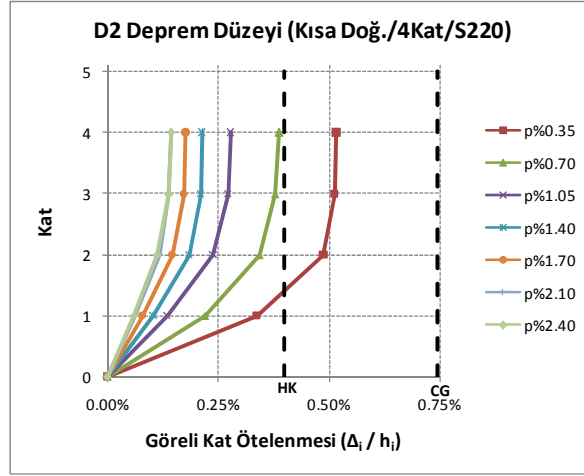
Sonuç olarak, öngörülen deprem performans seviyelerinde S220 malzeme kalitesine sahip dört katlı bir okul binasının güçlendirilmesi için gerekli perde oranı minimum %1.70 olarak hesaplanmıştır. Donatı kalitesinin S420 olarak modellenmesi durumunda aynı özelliklerdeki okul binası için söz konusu güçlendirme perde oranı %1.40 olarak belirlenmiştir. Analizlerin bir diğêr sonucu ise, mevcut kırışların hasar durumlarının, binanın sismik performansını belirleyici unsur olarak ön plana çıkmasıdır. Bunun nedeni deprem yükleri altında, yapısal sistemde perde-çerçeve davranışının etkin olmasıdır. Bu sebeple kırışler üç katlı okul binasından farklı olarak daha fazla deprem istemine maruz kalmışlardır.



Şekil 5.16 : 4KS220 ve 4KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu etki/kapasite oranları.



Şekil 5.17 : 4KS220 ve 4KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu gerekli kesme dayanımı - taban kesme kuvveti istemi oranı.



Şekil 5.18 : 4KS220 ve 4KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı doğrusal olmayan görelî kat ötelenmeleri.

5.1.3 Beş katlı okul binasının doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları

Beş katlı okul binasının S220 ve S420 donatı sınıfı ile farklı güçlendirme perdesi oranına sahip modellerinin yapılan analizleri sonucu, elde edilen perde/çerçeve taban kesme kuvveti oranları, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Beklenildiği üzere kat sayısının artmasıyla çerçevelerin taşıdığı yatay deprem yüklerinde artış meydana gelmiştir. Bununla birlikte özellikle yüksek güçlendirme perde oranına sahip yapı modellerinde yatay kuvvetin %80’inden fazlası güçlendirme perdeleri ile karşılanmıştır.

Beş katlı okul binasında mevcut betonarme kirişlerin DBYBHY-2007 Bölüm 7.7’de tanımlı sınır değerlere göre deprem performansı incelenmiş ve elde edilen veriler S220 donatı sınıfına ait model için Çizelge 5.5’de, S420 donatı sınıfına ait model için ise Çizelge 5.6’da gösterilmiştir. Tablolardan görülebileceği üzere, beş katlı ve S220 donatı malzeme kalitesine sahip tipik betonarme okul binasında, öngörülen deprem istemine karşı gelen yapı kapasiteleri ancak sisteme %1.70 oranında güçlendirme perdesi eklenmesi ile sağlanabilmektedir. Donatı kalitesinin artmasıyla söz konusu güçlendirme perde oranı, HK performans seviyesi için %1.40, CG performans seviyesi için ise %0.70’e olarak bulunmuştur. Bununla birlikte söz konusu oranın altında yapılan perde kullanımı ile yapılan güçlendirmelerde betonarme kirişlerde yapısal önlem alınması gerektiği görülmektedir.

Çizelge 5.5 : 5KS220 yapısının betonarme kirişler açısından yapı performansı.

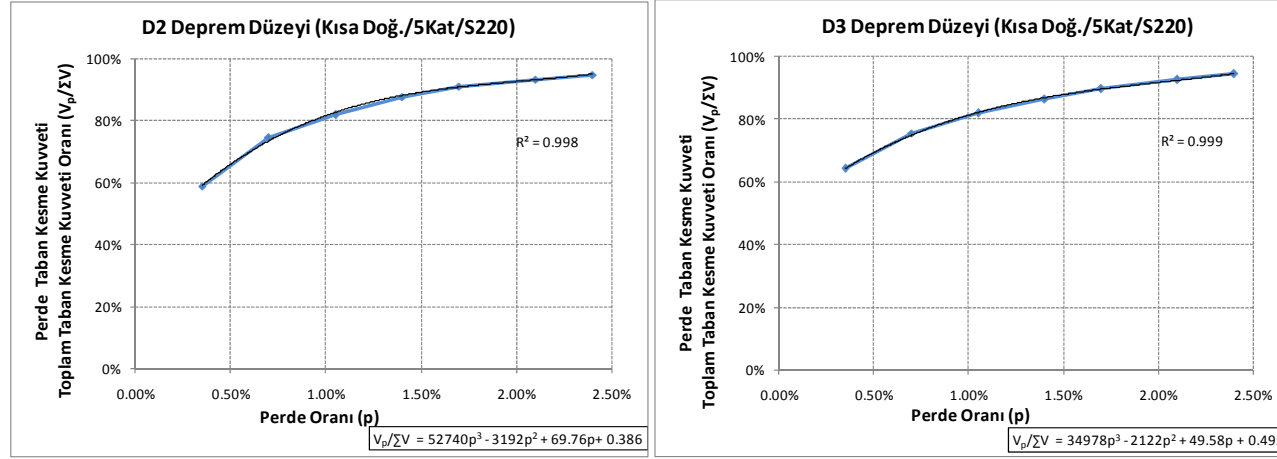
Perde Yüzdesi	D2 Deprem Düzeyi (Kısa Doğ./5Kat/S220)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	0%	62%	19%	19%	GD
0.70%	0%	65%	20%	15%	GD
1.05%	42%	58%	0%	0%	CG
1.40%	83%	17%	0%	0%	CG
1.70%	94%	6%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu

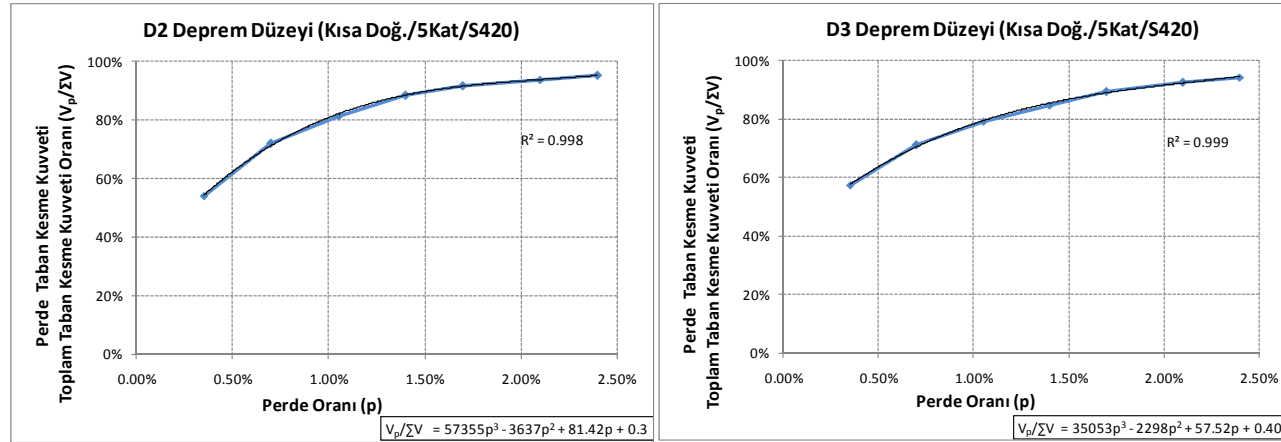
Çizelge 5.6 : 5KS420 yapısının betonarme kirişler açısından yapı performansı.

Perde Yüzdesi	D2 Deprem Düzeyi (Kısa Doğ./5Kat/S420)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	76%	24%	0%	5%	GD
0.70%	80%	20%	0%	0%	CG
1.05%	84%	16%	0%	0%	CG
1.40%	94%	6%	0%	0%	HK
1.70%	100%	0%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu



Şekil 5.19 : 5KS220 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.

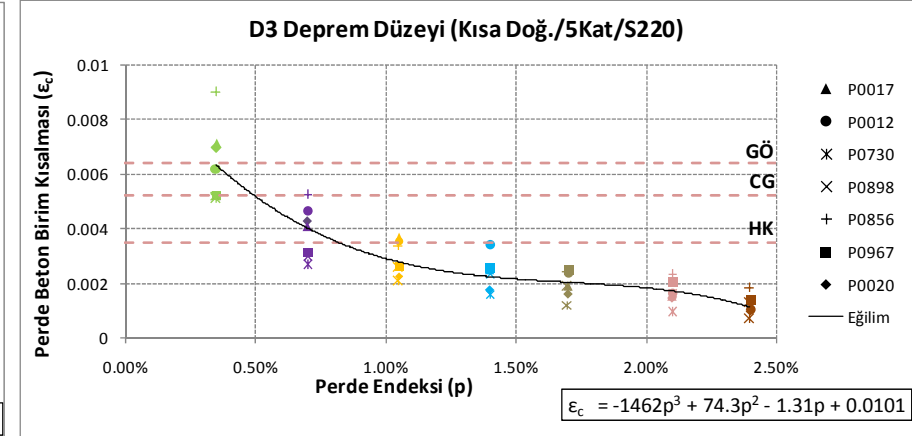
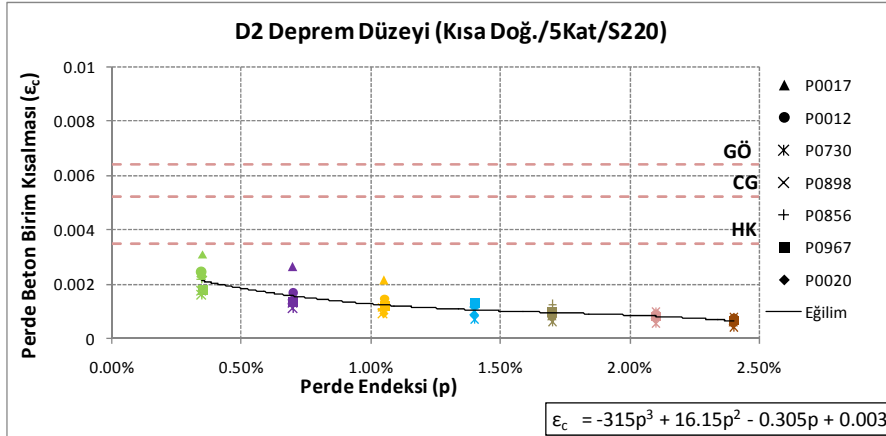
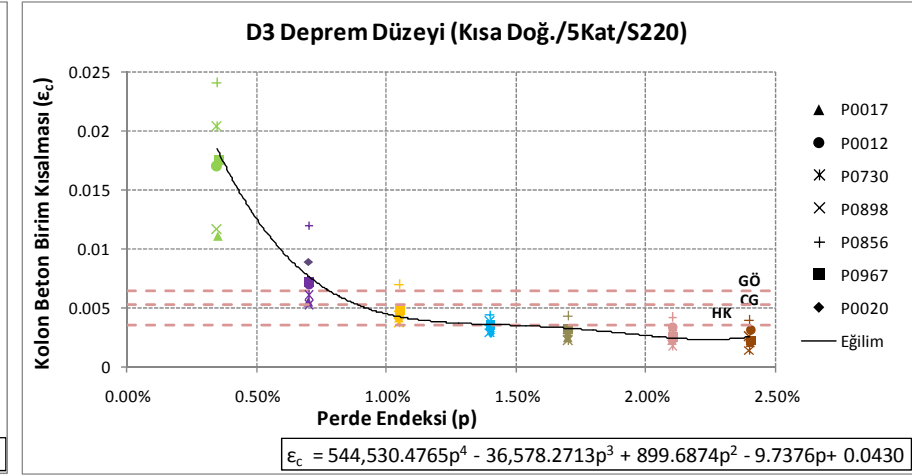
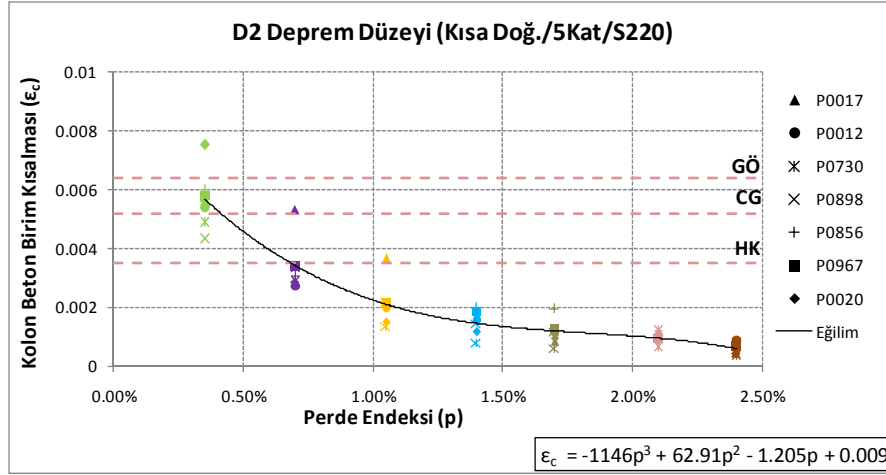


Şekil 5.20 : 5KS420 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.

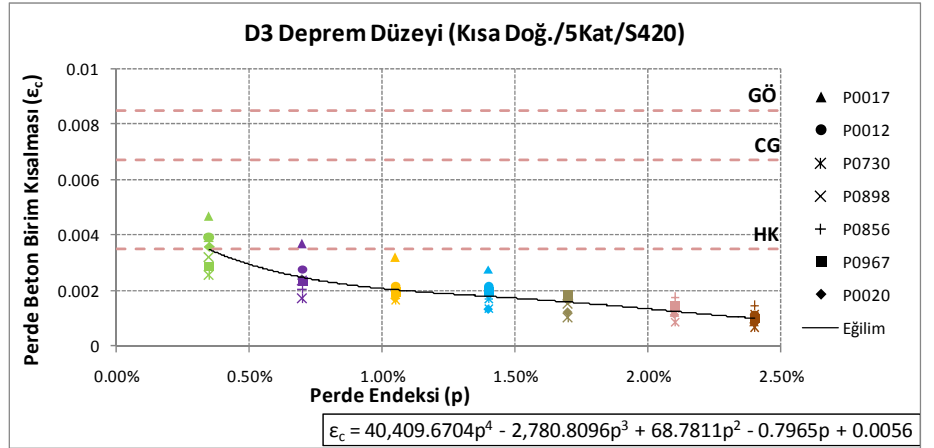
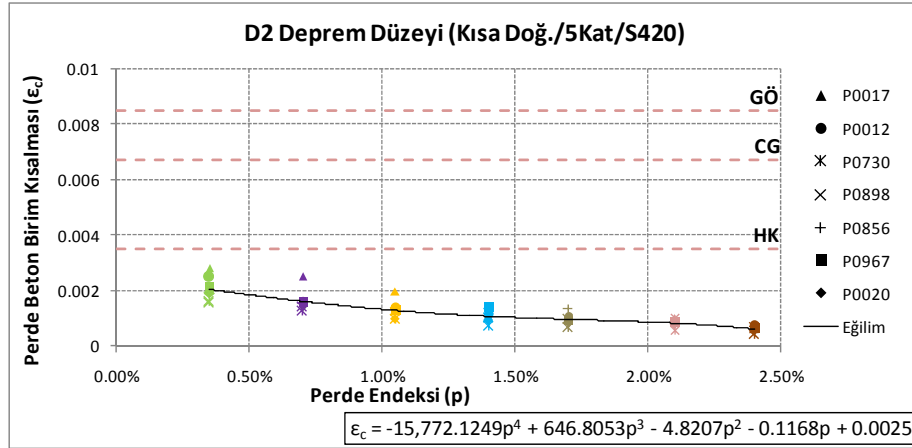
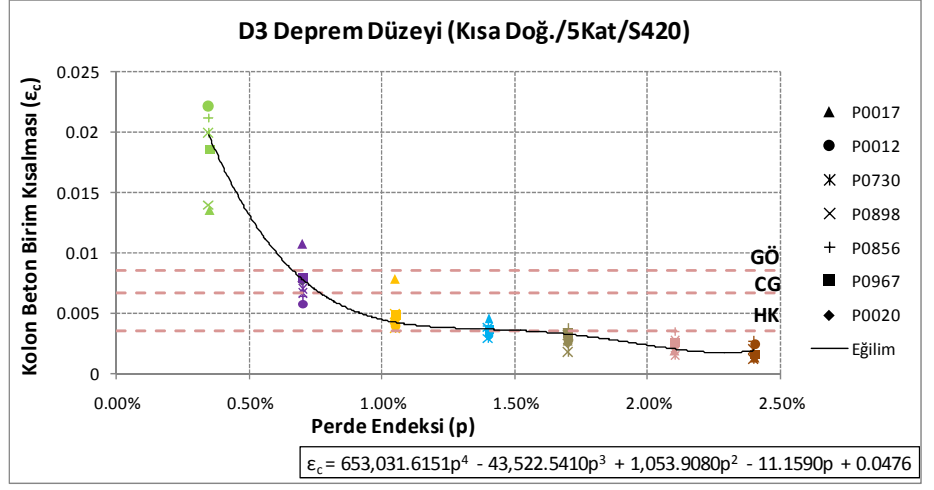
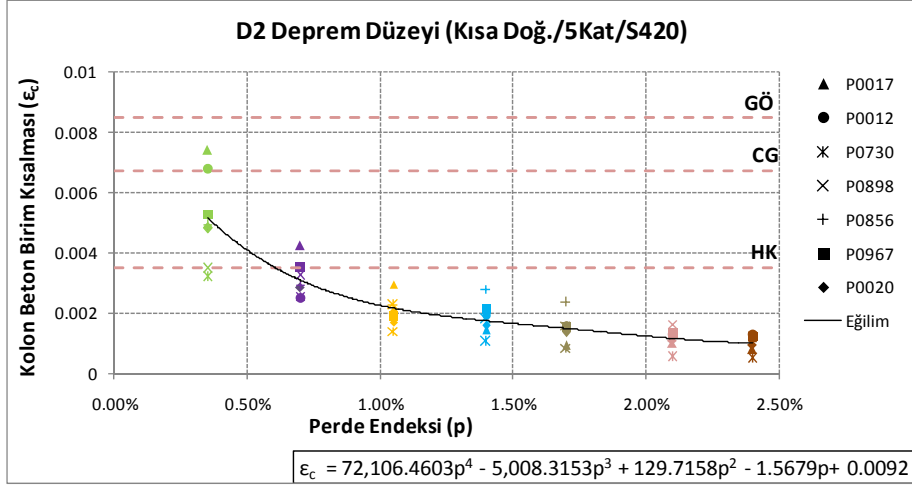
Beş katlı okul binasında kolon ve güçlendirme perdelerinin kesit bazında malzeme birim şekildeğiştirmeleri, DBYBHY-2007'de tanımlı hasar sınır değerlerine göre incelenmiştir. Dolayısıyla, özellikle perde-çerçeve davranışına paralel olarak, yönetmelikçe istenilen performans hedefi için gerekli güçlendirme perde oranı yükselmiştir.

Yapılan analizler neticesinde güçlendirme perde oranına bağlı elde edilen beton birim basınç kısalmaları, 5 katlı okul binaları için Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te gösterilmiştir. Söz konusu okul binalarında, analiz sonucu elde edilen donatı birim uzamaları ise, Şekil 5.14 ile Şekil 5.15'te verilmiştir. Grafiklerden görülebileceği üzere, kat sayısının artmasıyla mevcut kolonlarda beton birim kısalmaları kesit birim şekildeğiştirmeleri aısından hasar sınırını belirleyici unsur olarak öne çıkmaktadır. Özellikle düşük donatı kalitesine sahip yapılarda bu durum daha çok ön plana çıkmaktadır. Örneğin, malzeme birim şekildeğiştirme sınır değerleri aısından S420 donatı kalitesine sahip beş katlı okul binasında, minimum %70 oranında güçlendirme perde oranı gerekirken, S220 donatı kalitesi ile modellenen beş katlı okul binasında söz konusu gerekli perde oranı %1.00'e yükselmektedir. Dolayısıyla, kat adedinin artmasıyla beton birim şekildeğiştirme değerleri, donatı birim şekildeğiştirme sınır değerlerine göre gerekli güçlendirme perde oranını belirlemede etkin olmaktadır. Ayrıca mevcut kolonlarda donatı birim uzamaları özellikle S220 donatı sınıfına sahip yapılarda, D2 deprem düzeyi için ön plana çıkmaktadır.

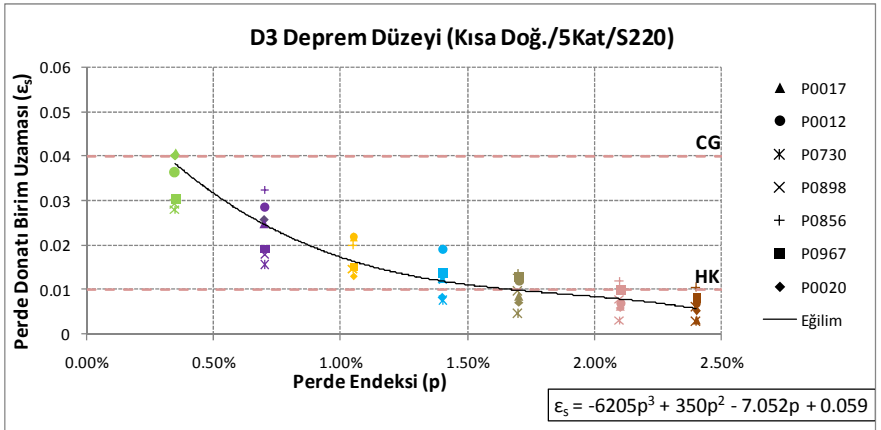
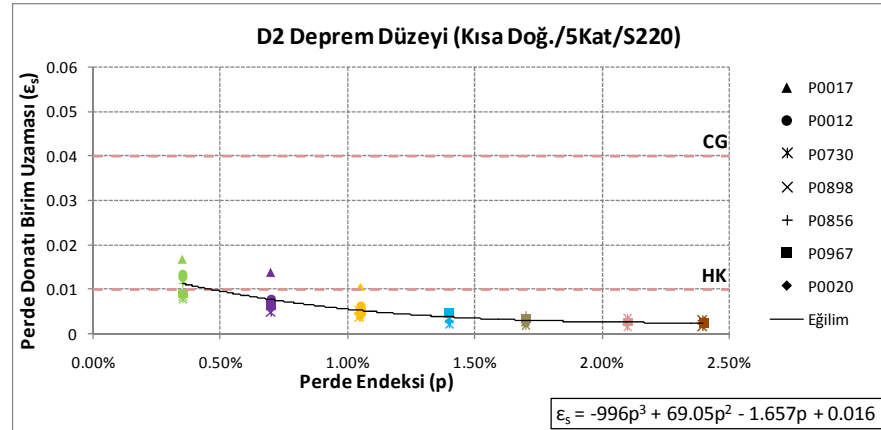
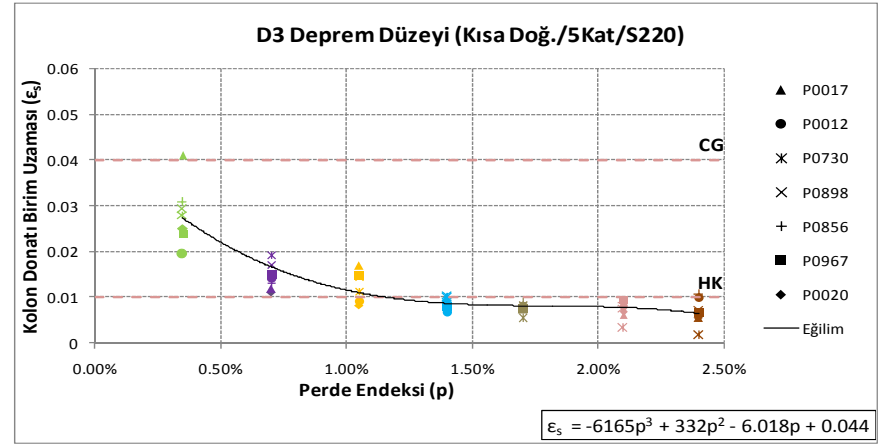
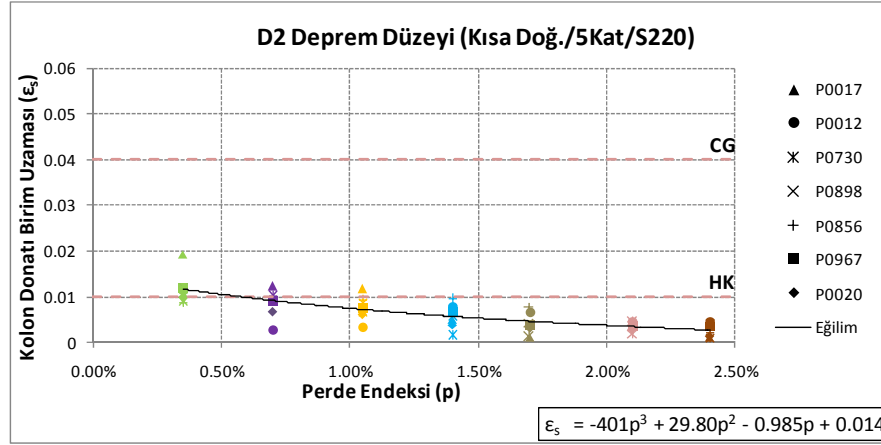
Analizler ile elde edilen bir diğer sonuç ise, kesit birim şekildeğiştirme sınır değerleri bakımından gerekli güçlendirme perde oranının, her iki deprem düzeyi için de aynı oranda çıkmasıdır. Bu bağlamda beş katlı okul binasında malzeme birim şekildeğiştirme sınır değerleri bakımından gerek HK, gerekse CG performans seviyeleri için %1.00 oranında güçlendirme perde oranı kullanımı gerekmektedir.



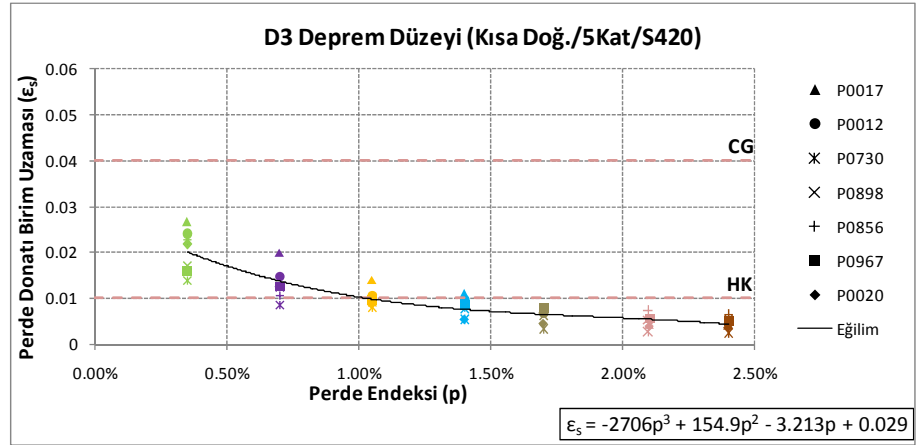
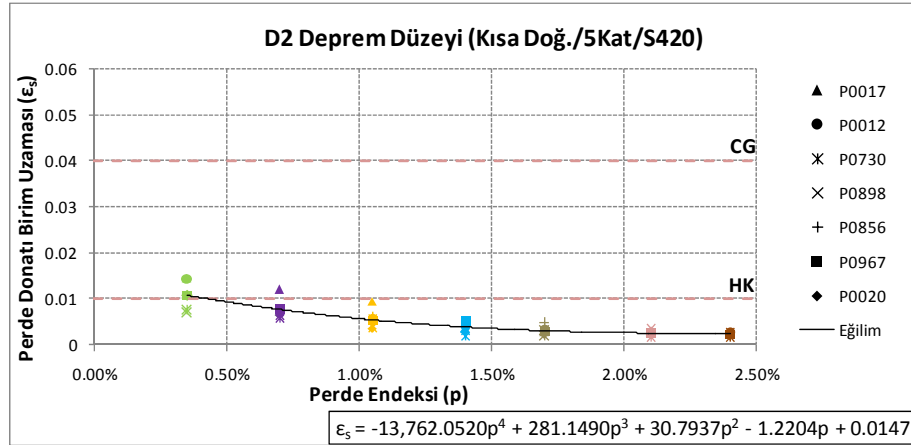
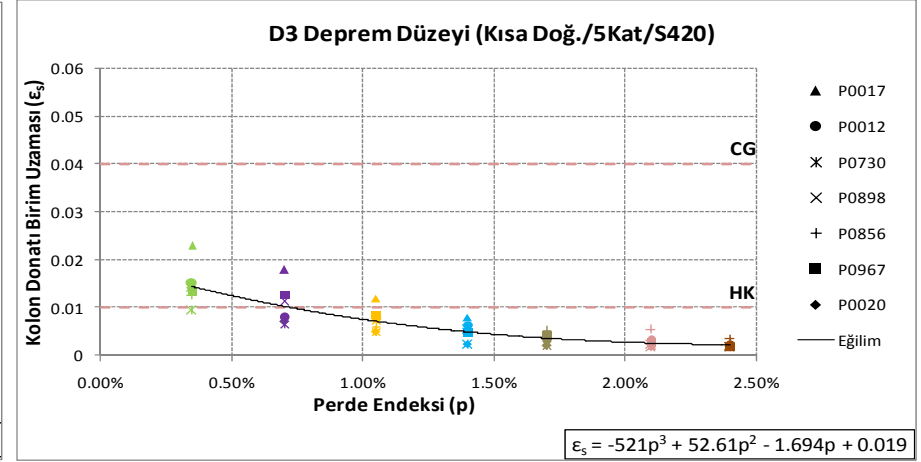
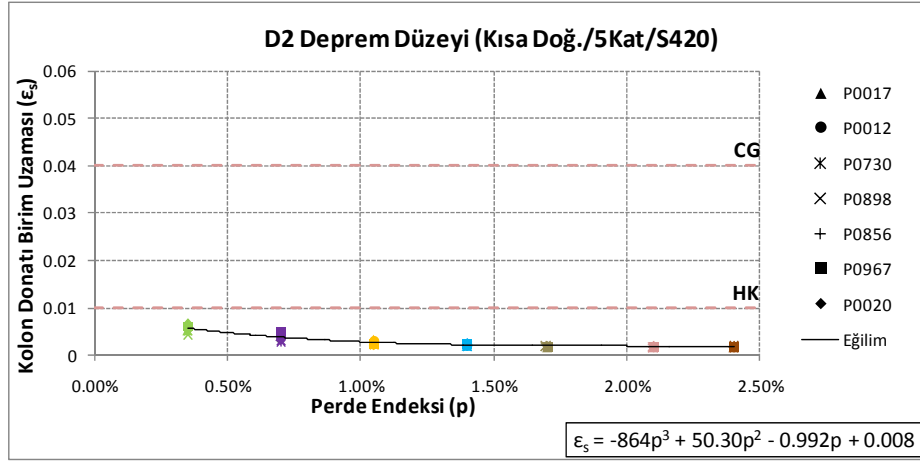
Şekil 5.21 : 5KS220 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.



Şekil 5.22 : 5KS420 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirilmesine bağlı performans seviyeleri.



Şekil 5.23 : 5KS220 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.

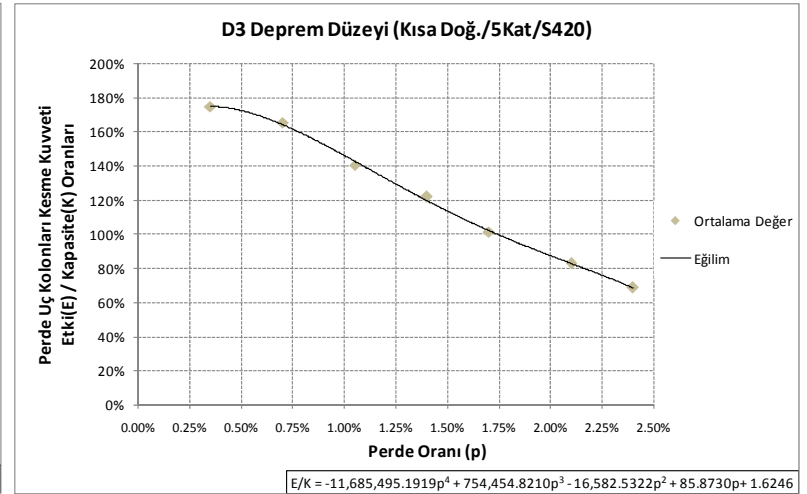
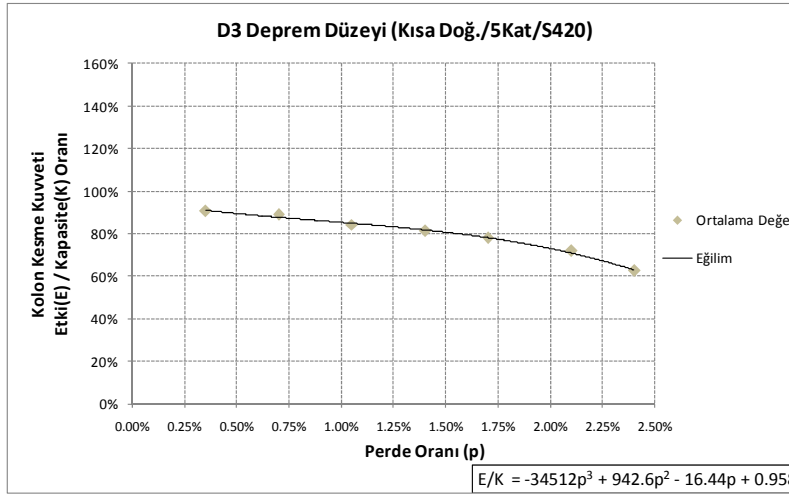
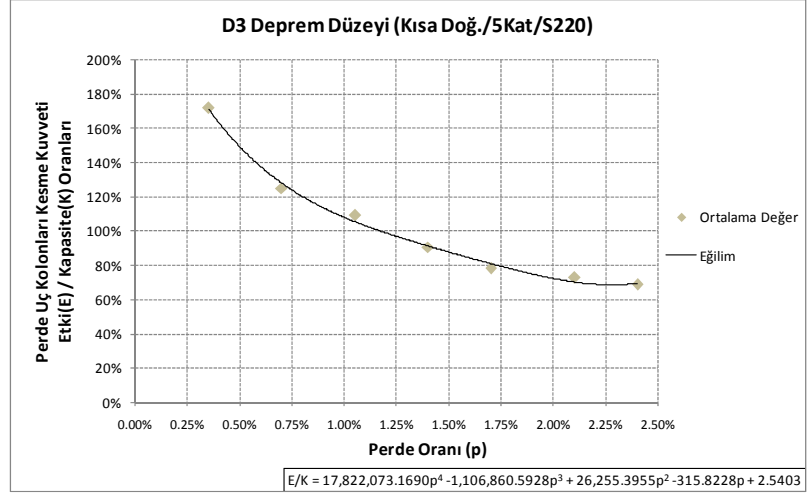
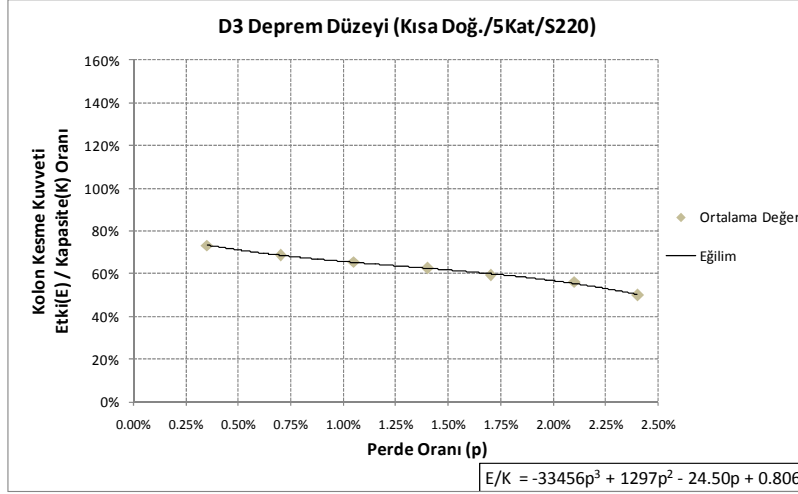


Şekil 5.24 : 5KS420 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.

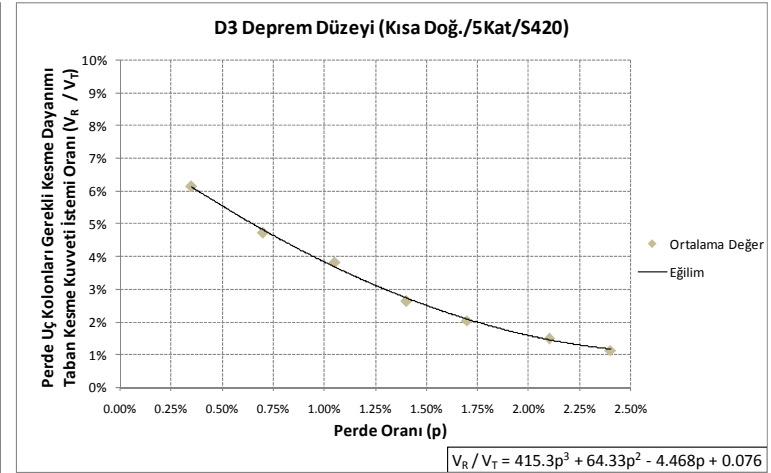
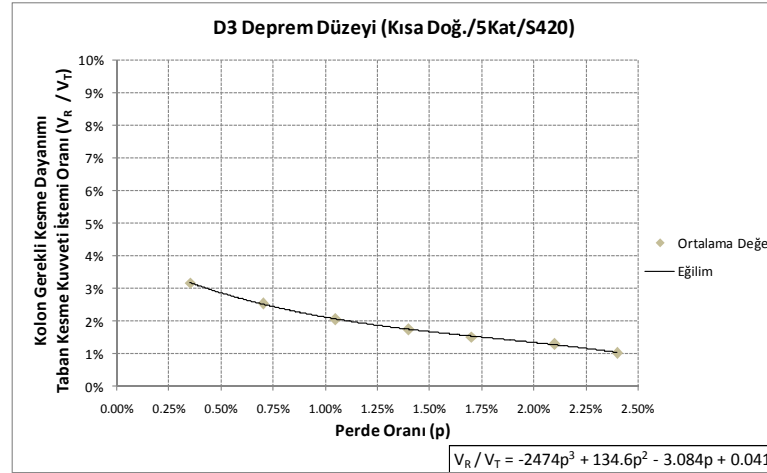
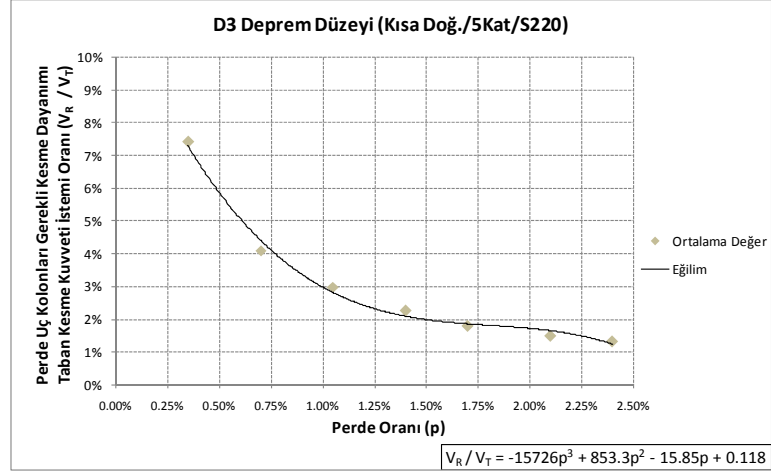
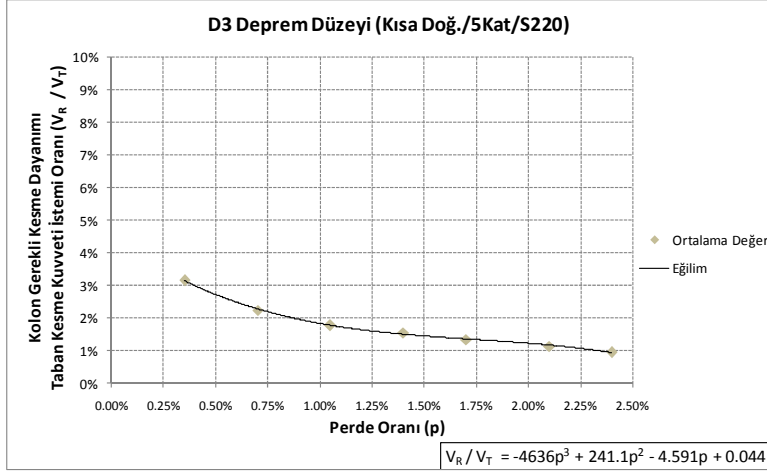
Beş katlı okul binasında kolonların ve perde uç kolonlarının, D3 depreminde elde edilen kesme kuvveti kapasite/istem oranları Şekil 5.25'de verilmiştir. Kesme kuvveti kapasite oranları incelendiğinde, S220 malzeme kalitesine sahip okul binasında %1.40, S420 malzeme kalitesine sahip donatının kullanıldığı betonarme okul binasında ise minimum %1.70 oranında güçlendirme perdesi eklenmesi gerektiği görülmüştür. Ayrıca yapılan analizler sonucu güçlendirme perde oranına bağlı olarak hesaplanan, kolon ve perde uç kolonlarının kesme dayanımı taban kesme kuvveti istemi oranları da Şekil 5.26'da gösterilmiştir.

Görelî kat ötelenmeleri ise yine ASCE/SEI-41 (2006) standardında verilen sınır değerler ile karşılaştırmalı olarak Şekil 5.27'de gösterilmiştir. Grafiklerden görülebileceği üzere, perde-çerçeve davranışının hakim olmasıyla, görelî kat ötelemeleri yapının öngörülen performans seviyelerini yakalamak için gerekli güçlendirme perde oranı üzerinde etkili olmaya başlamıştır. Dolayısıyla, her iki deprem talebine karşılık yeterli istem oranı S220 ve S420 donatı sınıfına sahip yapılarda minimum %1.00 güçlendirme perde oranı kullanılması ile sağlanmıştır.

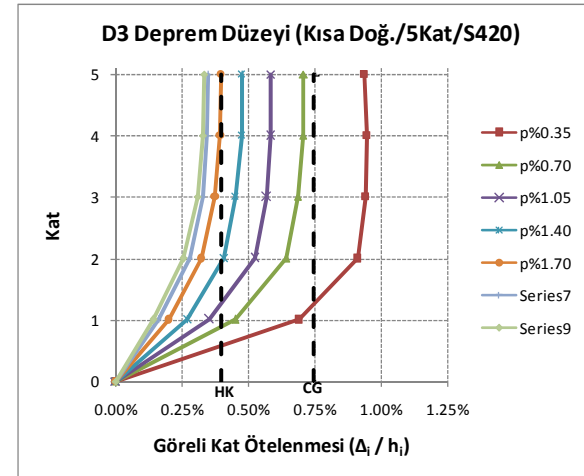
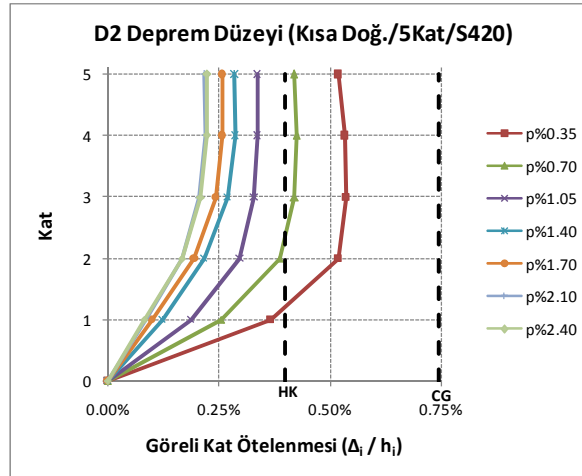
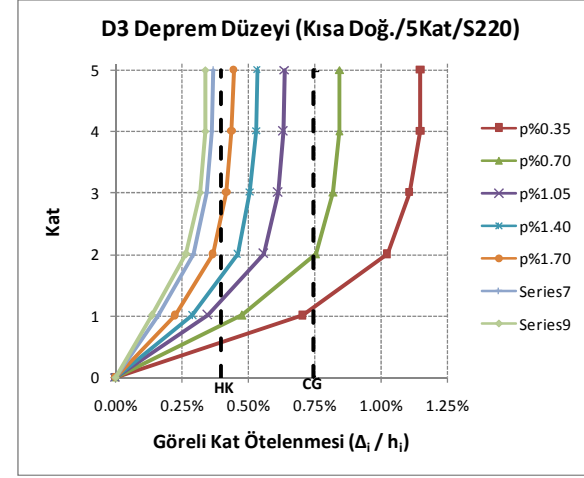
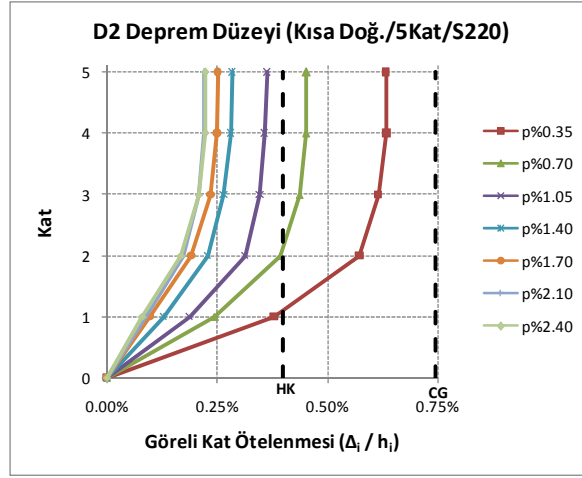
Sonuç olarak DBYBHY-2007 yönetmeliğince öngörülen deprem performans seviyelerinde beş katlı S220 ve S420 malzeme kalitesine sahip okul binalarının güçlendirilmesi için gerekli perde oranı minimum 1.70% olarak belirlenmiştir. Söz konusu oran, S220 donatı kalitesine sahip beş katlı okul binalarında kirişlerin yapısal performans düzeyini sağlamaya yönelik oluşurken, S420 donatı kalitesine sahip beş katlı okul binalarında perde uç bölgelerini oluşturan mevcut kolonların kesme kuvveti yetersizliği sonucu belirlenmiştir. Özellikle beş katlı okul binalarında düşük dayanımlı donatı bulunması, mevcut kirişlerde büyük zorlanmalara sebep olmaktadır. Kirişlerde deprem istemini karşılayacak kapasitede donatı bulunması halinde ise, yapının performans seviyesini belirleyici unsur güçlendirme perdeleri uç kolonları olmaktadır.



Şekil 5.25 : 5KS220 ve 5KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu etki/kapasite oranları.



Şekil 5.26 : 5KS220 ve 5KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu gerekli kesme dayanımı - taban kesme kuvveti istemi oranı.

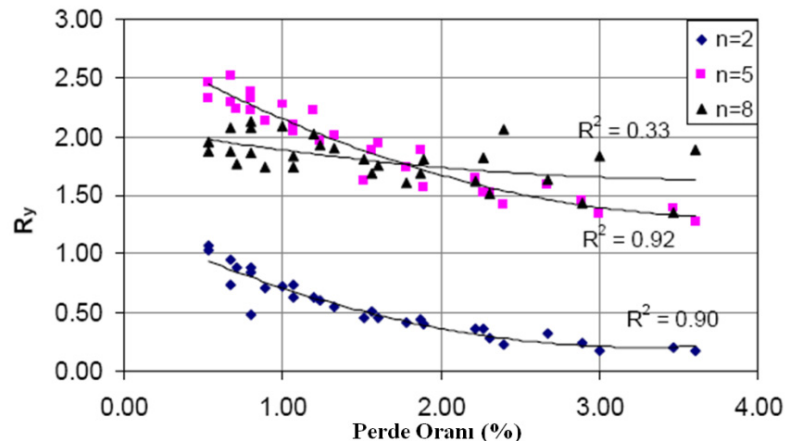


Şekil 5.27 : 5KS220 ve 5KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı doğrusal olmayan görelî kat ötelenmeleri.

5.2 Dayanım Azaltma Katsayısının Betonarme Okul Binalarında Güçlendirme Perde Oranına Bağlı Değişimi

Mevcut yapı stoğunun güçlendirme perdeleri kullanılarak rehabilite edilmesiyle değişen yapı davranışında, dayanım azaltma katsayısı (R_y) önemli bir yer tutmaktadır. Dayanım azaltma katsayısı Denklem 5.1'de verildiği üzere depremin elastik dayanım isteminin (V_e), yapının kapasitesine (V_y) oranı olarak tanımlanmaktadır. Literatürde yapılan araştırmalar söz konusu değerin perde oranına bağlı olarak azalabileceğini göstermiştir. Örneğin Soydaş (2009) tarafından yapılan çalışmada DBYBHY-2007 yönetmeliğine göre boyutlandırılmış C20/S420 malzeme kalitesine sahip beş katlı perde-çerçeve bir betonarme yapının dayanım azaltma katsayısı hesaplanmıştır. Analizler sonucu %0.5 gibi düşük bir güçlendirme perde oranında dahi dayanım azaltma katsayısı 2.5 olarak elde edilmiştir. Perde oranının %3 olduğu durumda ise söz konusu azaltma oranı 1.5 değerinin altına düşmüştür (Şekil 5.28).

$$R_y = \frac{V_e}{V_y} \quad (5.1)$$



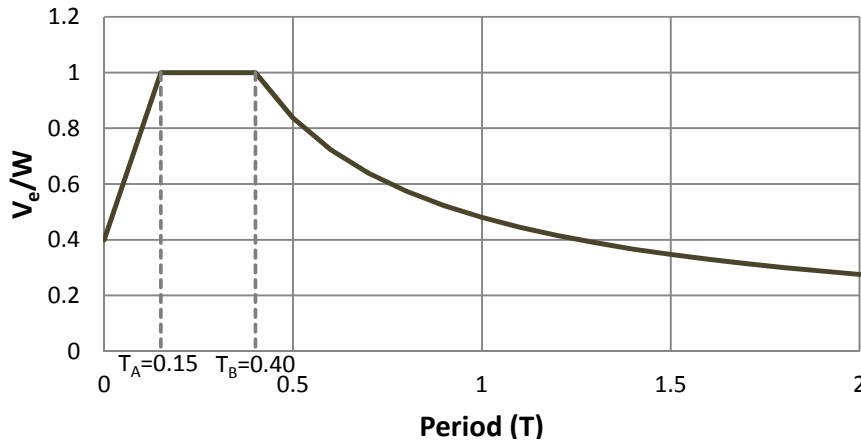
Şekil 5.28 : Dayanım azaltma katsayısının perde oranı ile değişimi (Soydaş, 2009).

Literatürde genellikle monolitik çerçeve ve perde-çerçeve sistemler için incelenen dayanım azaltma katsayılarının yerinde dökme betonarme perdeler ile güçlendirilen yapılarda da incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla matematik modellemeleri yapılan okul binalarının güçlendirme perde oranına bağlı değişen dayanım azaltma katsayıları doğrusal olmayan statik itme analizleri ile irdelenmiştir.

Dayanım azaltma katsayısının ilk parametresi olan depremin elastik dayanım istemi, yapının deprem süresince elastik kaldığı kabulü ile yapıda oluşan maksimum taban kesme kuvvetidir. Bir başka ifade ile yapı elastik istem kuvvetlerine göre tasarlanırsa, yapıda enerji sönümlenmesi meydana gelmeyecektir. Dolayısıyla, kesme kuvveti, W yapı ağırlığını, $S_{ae}(T)$ ise periyoda bağlı elastik ivme spektrumunu göstermek üzere Denklem 5.2 ile tanımlanabilmektedir.

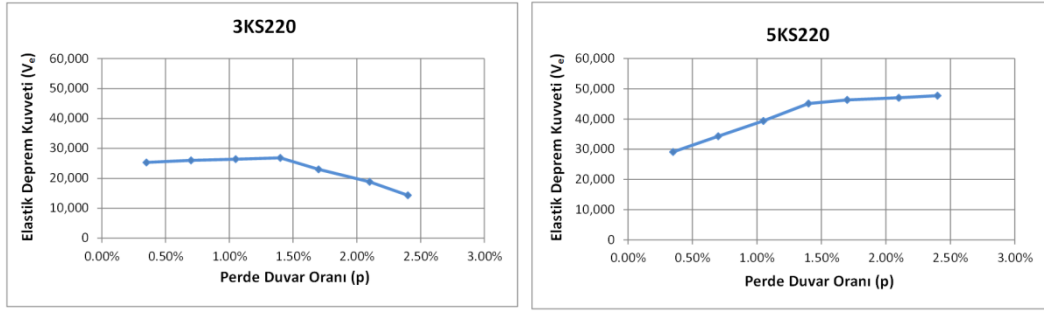
$$V_e = W.S_{ae}(T) \quad (5.2)$$

Normalize edilmiş elastik deprem kuvvetlerinin belirlenebilmesi için, DBYBHY-2007'de birinci deprem bölgesinde yer alan okul binası için elastik deprem talep eğrisi yapı ağırlığına bölünmüş ve yapı periyoduna göre değişimi Şekil 5.29'da gösterilmiştir. Böylelikle dayanım azaltma katsayısının ilk parametresi olan elastik deprem kuvvetleri elde edilmiştir. Analizlerde kullanılan okul binası DBYBHY-2007'ye göre Z2 sınıfında yer aldığı için, hesaplamalarda spektrum karakteristik periyotlar T_A ve T_B sırası ile 0.15 ve 0.40 alınmıştır.



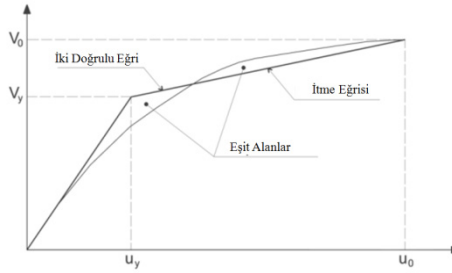
Şekil 5.29 : Elastik deprem kuvvetlerinin yapı periyoduna göre değişimi.

Yapılan analizler sonucu elde edilen elastik deprem kuvvetleri 3KS220 ve 3KS420 okul binaları için Şekil 5.30'da verilmiştir. Grafikten görülebileceği üzere güçlendirme perde oranının artmasıyla 3 katlı binada elastik deprem kuvvetleri azalırken, 5 katlı betonarme okul binasında ise artmaktadır. Bir başka ifade ile perde oranının artmasıyla 3 katlı okul binalarında yapı periyodu zemin karakteristik periyodu T_A 'nın altına düşmektedir. 5 katlı okul binalarında ise güçlendirme perde oranının artmasıyla yapı periyodu spektrum eğrisinde ivme kontrollü bölgeye bir başka ifade ile zemin karakteristik periyotları T_A ile T_B arasına gelmektedir.



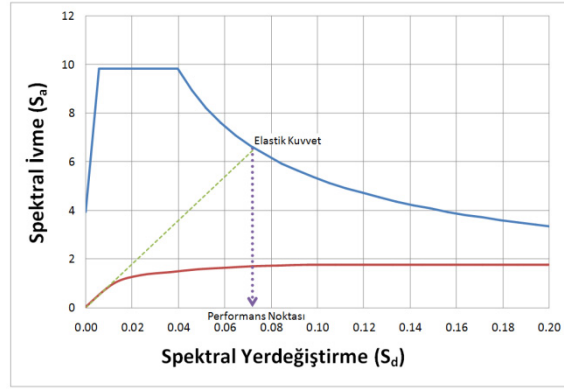
Şekil 5.30 : Elastik deprem kuvvetlerinin güçlendirme perde oranı ile değişimi.

Dayanım azaltma katsayısının ikinci parametresi olan yapı kapasitesi (V_y), yapıda elastik ötesi deformasyonların meydana geldiği yatay kuvvet sınırı olarak tanımlanabilir. Statik itme eğrisinin iki doğrulu idealize edilmesiyle yapı kapasitesi kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Bu yaklaşımda, statik itme eğrisi ve idealize edilmiş eğri altlarında kalan alanlar eşit enerji metoduna göre dengelenir (Kessler, 2010). İki doğrulu idealize edilmiş eğrinin uç noktası, sistemin stabilitesi bozulmadan varabileceği maksimum yerdeğiştirme (μ_{max}) olarak tanımlanmaktadır. Tipik bir itme eğrisinin iki doğrulu idealize edilmiş modeli Şekil 5.31'de gösterilmiştir.



Şekil 5.31 : Elastik deprem kuvvetlerinin yapı periyoduna göre değişimi.

Yapı kapasitesinin hesaplanması amacıyla farklı özellikteki betonarme okul binalarının düşey yük analizini başlangıç kabul eden statik itme analizleri DBYBHY-2007'de verilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sırasında maksimum yerdeğiştirme, yapı performans seviyesi olarak alınmıştır. Söz konusu performans seviyesi, detayları DBYBHY-2007 Bölüm-7'de verildiği üzere, statik itme eğrilerinin modal kapasite eğrilerine dönüştürülmesi ve elastik spektrum eğrisi ile kesiştirilmesi suretiyle hesaplanmıştır. Elastik deprem istemi ve yapı performans noktasının hesaplanmasına yönelik şematik gösterim, 5KS220 okul binasının %1.00 perde oranı ile güçlendirilmiş durumu için Şekil 5.32'de verilmiştir.



Şekil 5.32 : 5KS220 okul binasında elastik deprem kuvvetlerinin ve yapı performans noktasının elde edilmesi.

Yapı performans noktasının DBYBHY-2007'ye göre hesaplanmasıyla elde edilen statik itme eğrileri iki doğrulu eğri ile idealize edilmiş ve öngörülen deprem istemi altında yapı kapasitesi hesaplanmıştır. Böylelikle dayanım azaltma katsayılarının güçlendirme perde oranı ile değişimi elde edilmiş ve S220 donatı sınıfına sahip okul binaları için Şekil 5.33'te, S420 donatı sınıfına sahip okul binaları için ise Şekil 5.34'te verilmiştir. Beklenildiği üzere güçlendirme perde oranlarının artmasıyla yapının enerji sönümleme kapasitesi azalmıştır. Ayrıca minimum %1.5 perde oranı ile güçlendirilen 3 katlı betonarme okul binalarında, deprem istemine karşın yapıda enerji sönümleme neredeyse hiç meydana gelmemektedir. Aynı şekilde 5 katlı okul binalarında ise %1.5 güçlendirme perde oranından sonra dayanım azaltma katsayısında ciddi bir değişim olmamaktadır. Dört katlı okul binalarında dayanım azaltma katsayılarının değişimi ise, üç ve beş katlı okul binalarından elde edilen veriler arasında kalmaktadır. Ayrıca, S220 donatı sınıfına sahip yapılarda dayanım azaltma katsayısı için elde edilen değerler, S420 donatı sınıfına sahip yapıların analizi sonucu hesaplanan değerlerden bir miktar daha yüksek olmuştur. İlave olarak, yapıda perde olmaksızın boş betonarme çerçeveler üzerinde yapılan analizler neticesinde, S220 donatı sınıfına sahip okul binalarında ortalama 4.5 dayanım azaltma katsayısı hesaplanırken, S420 donatı sınıfına sahip yapılarda bu değer 3.5 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, elde edilen güçlendirme perde oranları ile dayanım azaltma katsayısı arasındaki bağıntı, her kat adedi ve donatı sınıfı için ayrı ayrı olmak üzere Denklem 5.3 ile Denklem 5.8 arasında gösterilmiştir.

$$R_y = -487446p^3 + 29000p^2 - 569p + 4.69.....p \geq 0.00....(3KS220) \quad (5.3)$$

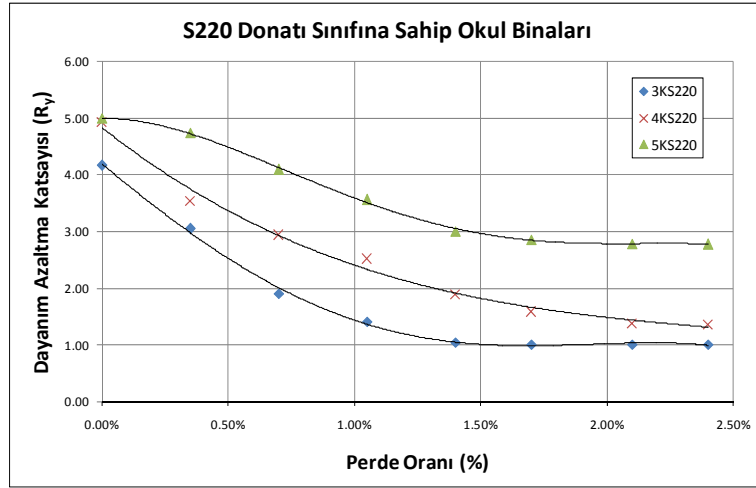
$$R_y = 252327p^3 - 5891p^2 - 113p + 3.975.....p \geq 0.00....(4KS220) \quad (5.4)$$

$$R_y = 72356p^3 + 3289p^2 - 234p + 5.52.....p \geq 0.00....(5KS220) \quad (5.5)$$

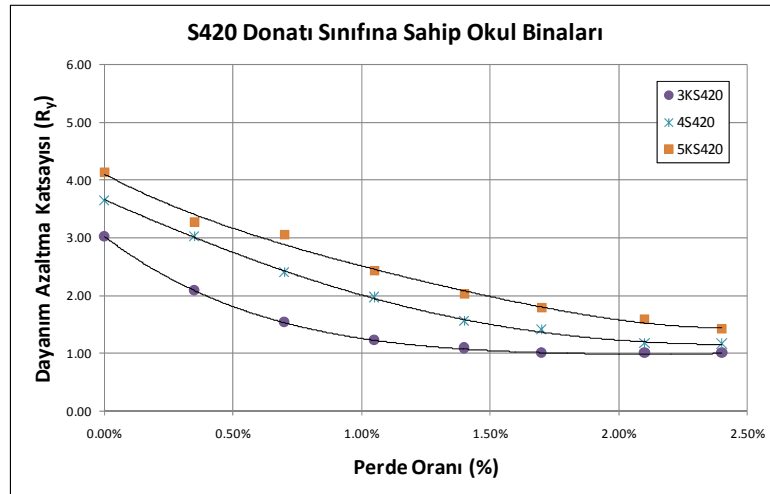
$$R_y = -21516p^3 + 13301p^2 - 274p + 2.887.....p \geq 0.00....(3KS420) \quad (5.6)$$

$$R_y = -33939p^3 + 5931p^2 - 231p + 3.749.....p \geq 0.00....(4KS420) \quad (5.7)$$

$$R_y = 206443p^3 - 5874p^2 - 67.46p + 3.607.....p \geq 0.00....(5KS420) \quad (5.8)$$



Şekil 5.33 : Dayanım azaltma katsayısının güçlendirme perdesi oranı ile değişimi (S220 donatı sınıfına sahip okul binaları).



Şekil 5.34 : Dayanım azaltma katsayısının güçlendirme perdesi oranı ile değişimi (S420 donatı sınıfına sahip okul binaları).

5.3 Betonarme Okul Binalarında Gerekli Güçlendirme Perde Oranlarını Hesaplamaya Yönelik Bilgisayar Programı

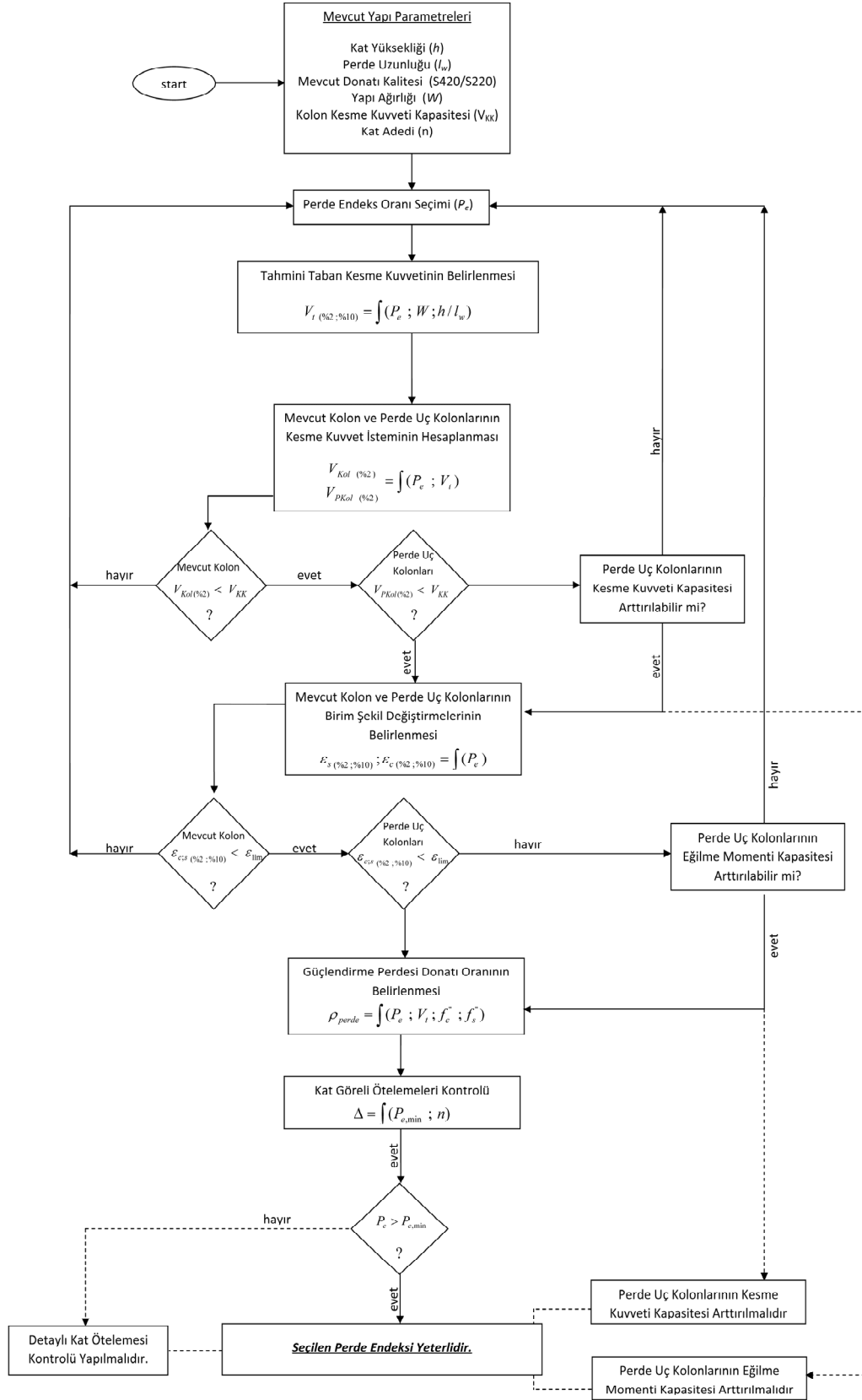
Yapılan doğrusal olmayan dinamik analizler ile okul binalarından elde edilen birim şekildeğiştirmeler, kat ötelenmeleri, deprem istemleri vb. karakteristiklerin, güçlendirme perde oranına bağlı değişimleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte elde edilen verilerin uygulamaya yönelik pratik kullanımına ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bu amaçla elde edilen sayısal sonuçlar C# programlama dili kullanılarak uygulamaya yönelik ve pratik hale getirilmiştir. Bu sayede elde edilen sayısal sonuçların okul tipi yapıların güçlendirilmesine yönelik bir ön değerlendirme aracı olarak kullanılması sağlanmıştır.

Betonarme okul binalarının güçlendirilmesinde gerekli perde oranını bulmaya yönelik hazırlanan programın kısaltılmış akış şeması Şekil 5.35'te verilmiştir. Değişken parametreleri girdi bilgileri olarak kullanan program, güçlendirme perde oranına bağlı deprem istemi ve buna karşı gelen iç kuvvet ile birim şekildeğiştirmeleri tez kapsamında elde edilen sonuçlar vasıtasıyla hesap etmektedir. Ayrıca program, yapı elemanlarının güçlendirilmesine yönelik gerekli betonarme perde oranını revize edebilmektedir. Örneğin gerekli perde oranı perde uç kolonlarının yetersiz olmasından kaynaklı ortaya çıkıyor ve kullanıcı bu bölgeleri güçlendireceğini taahhüt ediyorsa, program elde edilen sayısal sonuçlar ışığında ve en zayıf halka yaklaşımı ile perde oranını değiştirmektedir.

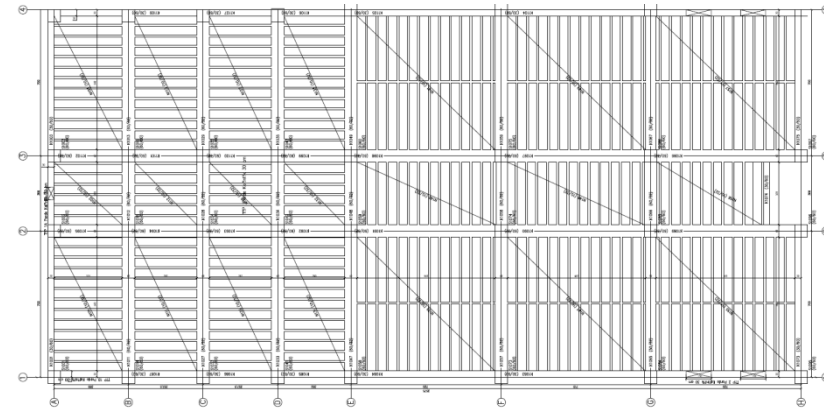
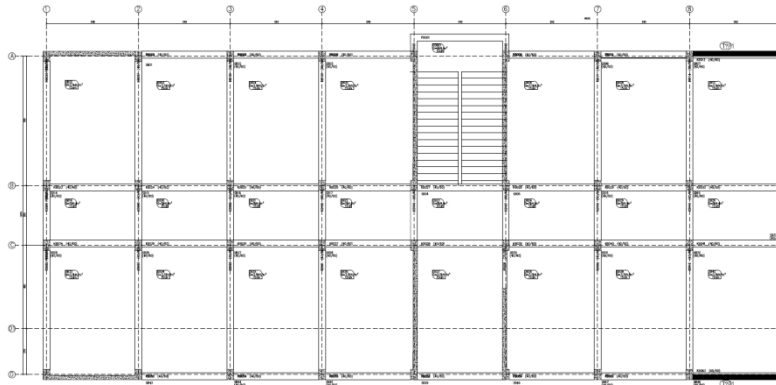
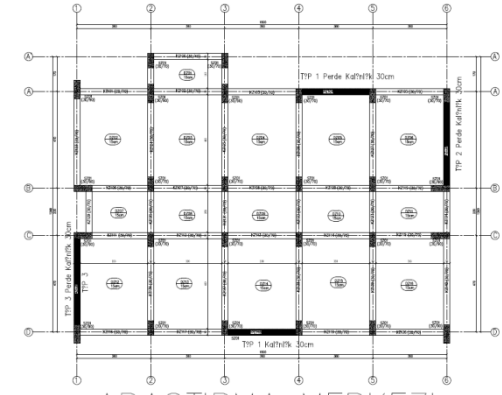
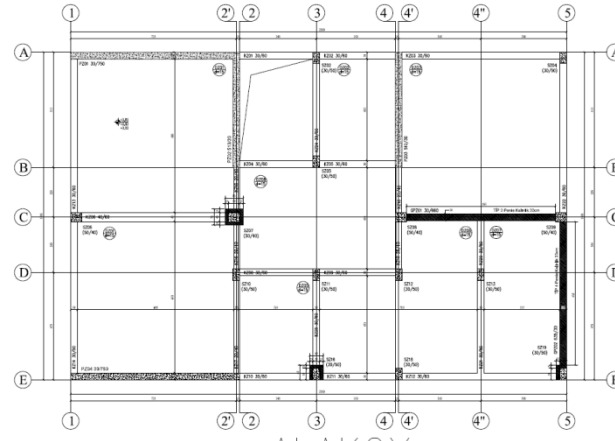
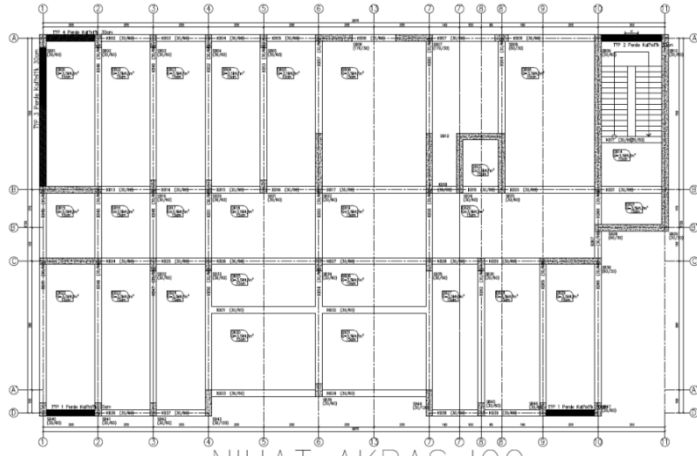
Yapılan çalışmaya ilave olarak, beş farklı mevcut betonarme yapısında gerekli güçlendirme perde oranı, hazırlanan yazılım kullanılarak hesaplanmıştır. Analize konu binalarda planda ve düşey doğrultuda düzensizlik olmadığı kabul edilmiştir. Söz konusu yapıların tümünde karakteristik akma dayanımı 220MPa olan donatı kullanılmış olup, beton basınç dayanımı değişkenlik göstermektedir. Binaların yapısal ve geometrik özellikleri Çizelge 5.7'de, tipik kat planları ise Şekil 5.36'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 : Betonarme binaların yapısal özellikleri.

Betonarme Yapı	Kat Adedi	Kolonlar (cm)	Kirişler (cm)	Kısa Doğrultu (m)	Uzun Doğrultu (m)	Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	Donatı Akma Dayanımı (Mpa)
Merkez Rekabet Kurumu	2	60x60	60x32	18.0	36.0	7	220
Alaköy İÖO	3	30x50	30x60	14.5	22.0	9	220
Haydar Bey Lisesi	4	40x60	40x60	19.0	43.0	10	220
Rehberlik Araş. Merkezi	5	30x70	30x70	13.5	18.0	12	220
Nihat Akbaş İÖO	5	30x60	30x60	17.0	29.0	10	220



Şekil 5.35 : Okul tipi betonarme binaların güçlendirilmesinde gerekli perde oranına yönelik programın akış şeması.



Şekil 5.36 : Oluşturulan yazılım ile analizleri yapılan betonarme yapıların kat kalıp planları.

Analiz programı, mevcut ilkokul binası örnek alınarak oluşturulduğu için söz konusu betonarme yapıların programa uyumu için bazı yaklaşımlar yapılmıştır. Örneğin karakteristik beton basınç dayanımı bütün yapılarda 10MPa olarak kabul edilmiştir. Ayrıca örnek ilkokul binasında olduğu gibi mevcut kolonlarda minimum boyuna donatının bulunduğu varsayılmıştır. Söz konusu betonarme binalarda gerekli güçlendirme perde oranlarına yönelik yazılım ve doğrusal analiz yöntem sonuçları Çizelge 5.8'de verilmiştir. Geliştirilmiş yazılım bulgularına göre taşıyıcı sisteme gereken perde oranı tüm yapı sistemine ait elemanların performanslarının yönetmelik koşullarını sağlaması durumunu dikkate almaktadır. Bu durumda, çizelgeden de görülebileceği üzere, gerekli güçlendirme perdesi oranı sonuçları birbirine yakın olmakla birlikte, Rehberlik Araştırma Merkezi binasında olduğu gibi zaman zaman sonuçlar birbirinden uzaklaşmaktadır. Ancak gerçek güçlendirme uygulamasında, mevcut okul binalarında kirişlerin yapısal performansları dikkate alınmadığından, Çizelge 5.6'da bu durum ile örtüşen gerekli perde oranı hesap bulguları da ayrıca verilmiştir.

Sonuç olarak girdi ve çıktı değerlerini içeren ekran görüntüsü Şekil 5.37'de verilen yazılım, yeterli yaklaşıklıkla ve detaylı sayısal analizlere bağlı bir ön değerlendirme yöntemi olup kesin sonuçları içermemektedir. Bununla birlikte, okul tipi yapıların güçlendirilmesinde mevcut yapı stoğunun büyüklüğü göz önüne alındığında, elde edilen programın pratik ve uygulamaya yönelik olması zaman-maliyet açısından büyük bir fayda sağlayacaktır.

Çizelge 5.8 : Okul binaları için yazılım ile hesaplanan gerekli güçlendirme perde oranları.

Betonarme Yapı	Gerekli Perde Oranı		
	Doğrusal Performans Analiz Sonuçları	Yazılım Sonuçları	
		Kirişler Hariç	Tüm Sistem
Merkez Rekabet Kurumu	%1.00	%0.70	%1.00
Alaköy İÖO	%2.00	%1.00	%1.00
Haydar Bey Lisesi	%1.20	%1.00	%1.70
Rehberlik Araş. Merkezi	%1.20	%1.00	%1.70
Nihat Akbaş İÖO	%1.60	%1.70	%1.70

Girdiler

Kat Yüksekliği (m) : 3.4 Kat Adedi : 3 Deprem Bölgesi : 1

Perde Uzunluğu (m) : 7.2 Kolon Adedi : 28 Yapı Tipi : Okul

Mevcut Beton Kalitesi : C10 Güçlendirme Perdesi Oranı : 0.35% Kaplama Ağırlığı (kg/m²) : 200

Mevcut Donatı Kalitesi : S220 Yapı Ağırlığı W (kN) : 27082 Hareketli Yük (kg/m²) : 500 (Normal Kat)

Yapı Plan Boyutları (m) : 18.5 x 36.5 Kolon Kesme Kuvveti Kapasitesi (kN) Hareketli Yük (kg/m²) : 150 (Çatı Katı)

Kolon Boyutları (m) : 0.6 x 0.6 365 Hesapla (0.2A_c / f_{ck})

Kiriş Boyutları (m) : 0.4 x 0.6

Kolon Kesme Kuvveti Kapasitesi Arttırılabilir mi? ☐ Evet ☒ Hayır

Perde Uç Kolonları Kesme Kuvveti Kapasitesi Arttırılabilir mi? ☐ Evet ☒ Hayır

Kiriş Eğilme Momenti Kapasitesi Arttırılabilir mi? ☐ Evet ☒ Hayır

Performans Seviyesi

D1 : -

D2 : HK

D3 : CG

Çalıştır

Designed by Orkun GÖRGÜLÜ

Çıktılar

Print Help

	D2	D3	D2	D3	D2	D3
Malzeme Birim Şekil Değişime Kontrolü	ec : 0.00366	0.00414	CG	CG	Yetersiz	OK!
	es : 0.00680	0.01399	HK	CG	OK!	OK!
Kiriş Kapasite Kontrolü	ec : 0.00228	0.00474	HK	CG	OK!	OK!
	es : 0.01395	0.02913	CG	CG	Yetersiz	OK!
Kat Ötelenmesi Kontrolü	---	---	CG	GD	Yetersiz	Yetersiz
	---	---	HK	CG	OK!	OK!
Kesme Kuvveti Kapasite Kontrolü	V _{kol} : 173.52	OK!	V _{TD2} (kN) : 8086.43			
	V _{per} : 304.66	OK!	V _{TD3} (kN) : 9391.91			
			R : 3.03			

Kısaltmalar

D2 : Tasarım Depremi

D3 : Şiddetli Deprem

ec : Beton Birim Kısılması

es : Donatı Birim Uzaması

V : Kolon Kesme Kuvveti

V_{per} : Perde Kesme Kuvveti

V : D2 ve D3 Depremi

V_{TD2} : Taban Kesme Kuv.

R : Dayanım Azaltma Katsayısı

Designed by Orkun GÖRGÜLÜ

Şekil 5.37 : Gerekli güçlendirme perdesi oranına yönelik hazırlanan yazılımın ekran görüntüsü.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, mevcut okul binalarında güçlendirme perdelerinin etkinliği, doğrusal olmayan dinamik analiz ile incelenmiştir. Çalışmada kalibre edilmiş matematik model kullanılarak tipik bir betonarme okul binasının yapısal performansı, değişken kat adedi, malzeme dayanımı ve güçlendirme perde oranı parametreleri kullanılarak, öngörülen iki farklı deprem düzeyi için değerlendirilmiştir.

Yapılan analizler ile elde edilen verilere göre, betonarme güçlendirme perdelerinin sık ve seyrek fiber eleman kullanılarak oluşturulan matematik modellerinden seyrek fiber elemanlı model, elastik olmayan şekildeğiştirmeleri yansıtmada yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla, fiber elemanlar ile oluşturulan perde matematik modellerinde, doğrusal olmayan davranışın yeter derece yaklaşıklıkla modellenebilmesi için seyrek fiber eleman kullanımından kaçınılması gerekmektedir. Ayrıca yapılan analizler sonucunda, fiber elemanlar ile oluşturulan perde matematik modelinin, plastik mafsallık bölgesi boyunca malzeme birim şekildeğiştirmelerini yansıtmada başarılı olduğu görülmektedir.

Betonarme güçlendirme perdelerinin tersinir yükler altında davranışı, beton ve donatı modelleri açısından büyük ölçekli farklı iki deney ile kalibre edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde sismik yükler altında beton ve donatı malzeme davranışları, enerji azaltım ile yük boşaltma rijitlik katsayıları deney bulguları ile uyarlanarak uyumlu bir davranış modeli belirlenmiştir. Böylelikle perdeler ile güçlendirilen betonarme çerçeve sisteme sahip mevcut okul binalarının sismik analizlerinde kullanılmak üzere beton ve donatı malzeme davranış modelleri elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar, literatürde sıklıkça kullanılan malzeme davranış modelleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucu söz konusu modellerin, güçlendirme perdelerinin sismik yükler altında davranışını yansıtmada yetersiz kaldığı görülmektedir. Bunun başlıca sebepleri olarak mevcut davranış modellerinin aderans kayması, yetersiz etriye ve bindirme boyu gibi yapısal özellikleri yeteri kadar göz önüne alınmaması olarak sıralanabilir.

Mevcut betonarme okul binalarının, DBYBHY-2007 yönetmeliğince öngörülen performans seviyelerini sağlamaları için gerekli güçlendirme perde oranları doğrusal olmayan dinamik analiz ile irdelenmiştir. Yapılan sayısal analizler ile elde edilen güçlendirme perdesi oranlarının, farklı yapısal özellikteki mevcut okul binalarına göre değişimi Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 : Mevcut betonarme okul binaları için gerekli güçlendirme perde oranları.

Değişken Parametrelere Bağlı Gerekli Güçlendirme Perdesi Oranları											
Tip	Deprem Sınıfı	Kiriş	Kolon		Perde		Kolon Kesme	Perde Uç Kolonu Kesme	Görelî Kat Ötelenmesi	Sonuç	
			Donatı Uzaması	Beton Kısılması	Donatı Uzaması	Beton Kısılması					
3KS220	D2	1.00%	0.35%	0.70%	0.70%	0.35%	-	-	0.35%	1.00%	1.00%
	D3	1.00%	0.35%	0.35%	0.35%	0.35%	0.35%	1.00%	0.35%	1.00%	
3KS420	D2	0.35%	0.35%	0.35%	0.70%	0.35%	-	-	0.35%	0.70%	0.70%
	D3	0.35%	0.35%	0.35%	0.35%	0.35%	0.35%	0.70%	0.35%	0.70%	
4KS220	D2	1.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.35%	-	-	0.70%	1.70%	1.70%
	D3	1.40%	0.35%	0.70%	0.35%	0.35%	0.35%	1.00%	0.70%	1.40%	
4KS420	D2	0.70%	0.35%	0.70%	0.70%	0.35%	-	-	0.70%	0.70%	1.40%
	D3	0.35%	0.35%	0.70%	0.35%	0.35%	0.35%	1.40%	0.70%	1.40%	
5KS220	D2	1.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.35%	-	-	1.00%	1.70%	1.70%
	D3	1.70%	0.35%	1.00%	0.35%	0.70%	0.35%	1.40%	1.00%	1.70%	
5KS420	D2	1.40%	0.35%	0.70%	0.70%	0.35%	-	-	1.00%	1.40%	1.70%
	D3	0.70%	0.35%	1.00%	0.35%	0.35%	0.35%	1.70%	0.70%	1.70%	

Mevcut okul binalarının deprem yükleri altında yapısal performansları DBYBHY-2007 yönetmeliğince öngörülen iki performans seviyesine göre yapılmaktadır. Buna göre şiddetli deprem düzeyinde (D3) Can Güvenliği performans seviyesi, tasarım depreminde (D2) ise Hemen Kullanım performans seviyesi hedeflenmektedir. Yapılan doğrusal olmayan dinamik analizlerde D3 deprem isteminden ziyade D2 depremi için öngörülen HK performans seviyesi analizlerin bir kısmında gerekli güçlendirme perde oranları belirleyici unsur olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca HK performans seviyesi için yönetmelikçe öngörülen sınır değerlerin CG performans seviyesine oranla çok daha olumsuz olması, D2 deprem isteminde yapının yetersiz kapasite göstermesine neden olan bir diğer unsurdur. Dolayısıyla mevcut okul binalarının sismik kuvvetler altında yapı performanslarının irdelenmesinde, sadece D3 deprem düzeyine yönelik analiz ile yetinilmesinden kaçınılması ve DBYBHY-2007’de öngörülen her iki deprem düzeyine göre de performans kontrolü yapılması gerekmektedir.

Mevcut betonarme okul binalarında kat adedinin artması ile beklenildiği üzere yapı sisteminde perde-çerçeve davranışı daha belirgin hale gelmiştir. Özellikle daha düşük perde oranına sahip yapılarda bu durum daha belirgin olmaktadır. Bununla birlikte, en düşük perde oranı (%0.35) ile güçlendirilen okul binalarında dahi betonarme çerçeveler deprem kuvvetlerinin yaklaşık %40’ını karşılamaktadırlar. Perde oranının

artmasıyla söz konusu oran %20'lere düşmektedir. Dolayısıyla beş kata kadar olan okul binalarının güçlendirilmesinde kullanılacak perdeler, mevcut yapı davranışını perde-çerçeve sistemden ziyade, sadece perde davranışının hakim olduğu sisteme dönüştürmektedir.

Mevcut okul binalarında kolon ve perdelerin malzeme birim şekildeğiştirmeleri incelendiğinde, güçlendirme perdelerinde donatı birim uzaması, beton birim kısılmasının aksine hasar sınırını belirleyen parametre olarak öne çıkmaktadır. Mevcut kolonlarda ise beton birim kısılmaları hasar sınırını belirleyici unsur olmaktadır. Özellikle kat adedinin artmasına bağlı olarak düşey yüklerdeki artış mevcut kolonlarda beton birim şekildeğiştirme kapasitesini azaltmaktadır. Dolayısıyla mevcut beton eksenel basınç dayanımı, birim şekildeğiştirme hasar sınırları için ön plana çıkmaktadır.

Şiddetli depremde (D3) yapısal elemanlarda kesme kuvveti etkisiyle meydana gelen gevrek güç tükenmesi, özellikle perde başlık bölgelerini oluşturan mevcut kolonlarda önemli hale gelmektedir. Çerçeve sistemini oluşturan diğer betonarme kolonlarda ise kesme kuvvetinin çoğunun perdeler tarafından karşılanması ile gevrek güç tükenmesine yönelik önemli bir sorun ortaya çıkmamaktadır. Dolayısıyla, perde uç bölgesi olarak kullanılan mevcut kolonların özellikle kesme kuvveti altında kontrolü önem kazanmaktadır.

Mevcut okul binalarının deprem yükleri altında görelî kat ötelenmeleri incelendiğinde ise, maksimum %1.00 güçlendirme perde oranının uygulanması durumunda öngörülen her iki performans seviyesinin de sağlandığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, beş kata kadar olan mevcut okul binalarında görelî kat ötelenmelerinin güçlendirme perde oranı üzerinde çok fazla etkisinin olmadığı söylenebilir. Beş katın üzerindeki okul binalarında ise perde-çerçeve davranışı artacağı için, gerekli perde oranının yükselmesi beklenmektedir.

Yapılan analizler sonucu elde edilen gerekli güçlendirme perdesi oranları, Atımtay (2000) ve Tekel (2006) tarafından yeni yapılacak binalara yönelik önerilen betonarme perde oranları ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 6.2). Beklenildiği üzere mevcut betonarme okul binalarının güçlendirilmesi için gerekli minimum perde oranı daha yüksek hesaplanmıştır. Bu sebeple, yapısal tasarımı güncel yönetmeliklere uygun, malzeme ve işçilik kalitesinin yüksek olduğu betonarme binalar için önerilen

gerekli betonarme perde oranlarının, mevcut yapıların güçlendirilmesine yönelik kullanımından kaçınılmalıdır.

Çizelge 6.2 : Gerekli güçlendirme perde oranlarının karşılaştırması.

	Kat Adedi	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Gerekli Perde Oranı
Görgülü (2014)	3	C10	S220	%1.00
	4	C10	S220	%1.70
	5	C10	S220	%1.70
	3	C10	S420	%0.70
	4	C10	S420	%0.70
	5	C10	S420	%1.40
Atımtay (2000)	3	C15	S220	%0.38
	4	C15	S220	%0.50
	5	C15	S220	%0.63
Tekel (2006)	3	C15	S420	%0.60
	4	C15	S420	%0.80
	5	C15	S420	%1.00

Betonarme çerçeve sistemi kullanılarak teşkil edilmiş mevcut okul binalarının, güçlendirme perde oranına bağlı değişen dayanım azaltma katsayısı (R_y), statik itme analizi ile irdelenmiştir. Analizlerden elde edilen verilere göre, üç katlı okul binalarında kullanılan yüksek güçlendirme perde oranı, mevcut yapıya büyük oranda rijitlik sağladığı için deprem sırasında enerji sönümlemesi meydana gelmemektedir. Ayrıca kullanılan yüksek perde oranı, söz konusu az katlı yapılarda sünek davranıştan ziyade deprem talebine karşılık elastik davranışın ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla az katlı yapıların yüksek perde oranları kullanılarak güçlendirilmesi gerek yapı kullanım alanı, gerekse maliyet açısından ekonomik olmamaktadır. Öte yandan beş katlı okul binalarının güçlendirilmesinde %1.4 oranını aşan güçlendirme perde oranı, dayanım azaltma katsayısında ciddi anlamda bir değişikliğe sebep olmamaktadır. Dört katlı okul binalarında dayanım azaltma katsayılarının değişimi ise, üç ve beş katlı okul binalarından elde edilen veriler arasında kalmaktadır.

Yapılan doğrusal olmayan dinamik analizler ile mevcut okul binalarının hasar sınırlarının güçlendirme perde oranına bağlı değişimi elde edilmiştir. Bununla birlikte her yapı elemanı için ayrı ayrı hesaplanan sayısal verilerin uygulamaya dönük olarak birleştirilmesine ihtiyaç olduğu görülmüştür. Bu amaçla mevcut okul tipi binaların güçlendirilmesinde ön tasarım aşamasında kullanılmak üzere, gerekli güçlendirme oranı bulmaya yönelik bir yazılım hazırlanmıştır. Böylelikle hazırlanan programın mevcut yapı stoğunda önemli bir yer tutan okul tipi binaların

güçlendirilmesi projelerinde zaman-maliyet açısından büyük yarar getirmesi düşünülmektedir.

Oluşturulan matematik modellerde, mevcut betonarme çerçeve ile perde duvar arasında büyük deformasyonlar oluşmadığı kabulü yapılmıştır. Dolayısıyla, betonarme çerçeve ve duvarların bağlantısını sağlayan epoksi dolgu ile çerçevelere ekilen filizlerin matematik modellenmesi yapılmamıştır. Ayrıca, iki yüz arasındaki etkileşim gerek beton gerekse donatı katkısı dikkate alınarak ayrı ayrı mikroskopik ölçekte modellenmesi gerekmektedir. Bu sebeple elde edilen güçlendirme perde oranları mevcut çerçeve perde duvar bağlantısının yeterli dayanım ile sağlandığı betonarme okul binaları için geçerlidir.

Yapılan analizler sonucu elde edilen sayısal veriler betonarme çerçevelerden oluşan, düşey ve planda düzensizliği bulunmayan okul binalarının, boşluksuz betonarme perdeler ile güçlendirilmesi için geçerlidir. Boşluklu perdelerde yer alan betonarme bağ kirişlerinin deprem yükleri altındaki davranışı ise göz önüne alınmamıştır. Ayrıca bütün analizler iki boyutlu düzlemde, her iki doğrultu için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla üç boyutlu yapı davranışının yaratacağı yeniden dağılım gibi olumlu etkiler ile burulma gibi olumsuz etkiler sayısal analizlerde ihmal edilmiştir. Bununla birlikte, gerçek üç boyutlu uygulamalarda taşıyıcı sistem düzenlenirken perde yerleşimi için en büyük burulma dayanımı, en fazla yük alma kapasitesi ve betonarme çerçevelerle en uygun birleşimin sağlanması, dikkate alınması gereken hususların başında gelmektedir. Ayrıca, perde akslarının bir noktada kesişmesinin önüne geçilmelidir. Bu sebeple ileride yapılacak araştırmaların üç boyutlu yapı modeli üzerinde ve hatta boşluklu güçlendirme perdelerini içerecek şekilde ele alınması hususu değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- ACI-318** (2008). *Building code requirements for structural concrete*. American Concrete Institute, USA.
- Akkaya, Y.** (2006). *Düzlem gerilme durumunda betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışının sonlu eleman yöntemiyle incelenmesi*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altın S.** (1990). *Strengthening of RC frames with RC infills*. (Doktora Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Anıl Ö. ve Altın S.** (2007). An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames. *Engineering Structures*, 29 (3), 449-460.
- Arslan, M. H., Yüksel, I. ve Kaltakçı, M. Y.** (2010). An investigation on global ductility of strengthened two-story two bay RC frames. *Structural Building*, 163, 177-194.
- ASCE-ACI Committee 445 on shear and Torsion** (1998). Recent approaches to shear design of structural concrete. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 124, 1375-1417.
- ASCE/SEI 41-06** (2006). *Seismic rehabilitation of existing buildings*. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- Atımtay, E.** (2000a). *Açıklamalar ve örneklerle afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmelik - 1*. Ankara: Bizim Büro Yayıncılık.
- Atımtay, E.** (2000b). *Açıklamalar ve örneklerle afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmelik - 2*. Ankara: Bizim Büro Yayıncılık.
- Canbay, E.** (2001). *Contribution of RC Infills to the Seismic Behavior of Structural Systems*. (Doktora Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara
- Canbay, E., Ersoy, U. ve Özcebe G.** (2002). *Betonarme Dolgu Duvarların Yapıların Sismik Davranışı Üzerine Etkileri*. (Rapor No. INTAG-563). Ankara: TÜBİTAK Araştırma Projesi.
- Canbay, E., Ersoy, U. ve Özcebe G.** (2003). Contribution of reinforced concrete infills to seismic behavior of structural systems. *ACI Structural Journal*, 100 (5), 637-643.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N.** (2001). *Yapı dinamiği*. İstanbul: Rehber Matbaacılık.
- Celep, Z.** (2002). Mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi genel kurallar. *Prof. Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri, Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi Alanında Gelişmeler*. İstanbul, Türkiye : İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Cervenka, V. ve Gerstle K. H.** (1972). Inelastic analyses of reinforced concrete panels: experimental verification and applications. *IABSE*, 32 (2), 25-39.

- Chrysostomou, C. Z., Kyriakides, P., Kotronis, P., Poljansek, M. ve Taucer, F.** (2012). RC infilling of existing RC structures for seismic retrofitting. *Series Workshop: "Role of research infrastructures in seismic rehabilitation"*. İstanbul, Türkiye : İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Clough, R. ve Johnston, S.** (1966). Effect of stiffness degradation on earthquake ductility requirements. *Proceedings of the 2nd Japan Earthquake Engineering Symposium*, Tokyo, Japan.
- Colotti, V.** (1993). Shear behavior of RC Structural Walls. *Journal of Structural Engineering*, 728-746.
- Corley W. G.** (1966). Rotational capacity of reinforced concrete beams. *Journal of Structural Division*, 121-146.
- DBYBHY** (2007). *Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik*. Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.
- Ergin, A., Bayraktarkatal. E. ve Ünsan Y.** (2000). Sonlu elemanlar metodu ve gemi inşaatı sektöründe uygulamaları. *Seminer*. İstanbul, Türkiye : İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Ersoy, U.** (1993). 1992 Erzincan depreminden alınması gereken dersler. *2.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. İstanbul, Türkiye : İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Fahjan, Y. M.** (2008). Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 292, 4423-4444.
- Fahjan, Y. M., Vatansever, S. ve Özdemir, Z.** (2011a). Ölçeklenmiş gerçek deprem kayıtları ile yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizleri. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Ankara.
- Fahjan, Y. M., Başak, K., Kubin, J. ve Tan, T. M.** (2011b). Perdeli betonarme yapılar için doğrusal olmayan analiz metotları. *7.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye : İstanbul Teknik Üniversitesi.
- FEMA 356** (2000). *NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings*. Federal Emergency Management Agency, Washington.
- Fintel, M.** (1991). Shearwall-An answer for seismic resistance. *Concrete International*, 13 (7), 48-53.
- Filippou, F. C., Popov, E. G. ve Bertero, V. V.** (1983). *Effects of bond deterioration on hysteretic behavior of reinforced concrete joints* (Report No. 83/19). USA : Earthquake Engineering Research Center, University of California.
- Galal K. ve Sokkary E.** (2008). Advancement in modeling of RC shear walls. *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*, China.
- Gülkan P. ve Utkuğ D.** (2003). Okul binalarının deprem güvenliği için minimum dizayn kriterleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 425 (3), 13-22.

- Harris G., ve Sabnis M.** (1999). *Structural Modeling and Experimental Techniques*. Second Edition, USA : CRC Press.
- Hayashi, T., Hideakira, N. ve Fukuhara M.** (1980). The Strengthening method of the existing RC buildings. *Proceedings of the 7th World Conference on Earthquake Engineering*, İstanbul.
- Higashi, Y., Endo, T., Okhubo M. ve Shimuzu, Y.** (1980). Experimental study on strengthening reinforced concrete structures by adding shear walls. *Proceedings of the 7th World Conference on Earthquake Engineering*, İstanbul.
- Higashi, Y., Endo, T. ve Shimuzu, Y.** (1984). Experimental studies on retrofitting of reinforced concrete frames by adding shear walls. *Proceedings of the 8th World Conference on Earthquake Engineering*, San Francisco.
- Jalali, A., ve Dashti, F.** (2010). Nonlinear behavior of reinforced concrete shear walls using macroscopic and microscopic models. *Engineering Structures*, 32 (9), 2959-2968.
- Jiang, H. ve Liu, L.** (2011). Numerical analysis of RC shear walls under cyclic loading by PERFORM-3D. *Advanced Materials Research*, 250, 2253-2257.
- Kabeyasawa, T., Shiohara H., Otani S. ve Aoyawa H.** (1983). Analysis of the full-scale seven-story reinforced concrete test structure. *Journal (B) of the Faculty of Engineering*, 2, 432-478.
- Kaltakçı, M. Y., Öztürk M. ve Arslan, M. H.** (2010). An experimental investigation for external RC shear wall applications. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, 10, 1941-1950.
- Kaltakçı, M. Y., ve Yavuz, G.** (2006). Sismik detayları yetersiz betonarme çerçevelerin tersinir tekrarlı yatay yük etkisindeki davranışının deneysel ve teorik olarak incelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Müh. Mim. Dergisi*, 21, 1-2.
- Kaplan, H., Yılmaz, S., Çetinkaya, N. ve Atımtay, E.** (2009). Seismic strengthening of RC structures with exterior shear walls. *Indian Scademy of Sciences*, 36, 17-34.
- Kara, M. E. ve Altın, S.** (2006). Behavior of reinforced concrete frames with reinforced concrete partial infills. *ACI Structural Journal*, 103 (5), 701-709.
- Kazaz, İ.** (2010). *Dynamic characteristics and performance assessment of reinforced concrete structural wall*. (Doktora Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara
- Kent, D. C. ve Park, R.** (1971). Flexural members with confined concrete. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 97 (7), 1969-1990.
- Kessler, S.** (2010). *A study of the seismic response modification factor for log shear walls*. (Yüksek Lisans Tezi). Kansas State Üniversitesi, Kansas.
- Kim, T.W., Foutch, D.A. ve Lafave J.** (2005). A Practical model for seismic analysis of reinforced concrete shear wall buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 9, 393-417.

- Kwak, H. ve Flippou, F. C.** (1990). *Finite element analysis of reinforced concrete structures under monotonic loads* (Report No. 90/14). USA : Earthquake Engineering Research Center, University of California.
- Martinelli, P. ve Filippou, F.C.** (2009). Simulation of the shaking table test of a seven-story shear wall building. *Earthquake Engineering and Dynamics*, 38, 587-607.
- Mander, J. B., Priestley, M. J. N. ve Park, R.** (1988). Theoretical stress strain model for confined concrete. *Structural Engineering*, 114 (8), 1804-1826.
- Menegotto, M. ve Pinto, E.** (1973). Method of analysis for cyclically loaded reinforced concrete plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under combined normal force and bending. *Proceedings of the IABSE Symposium*, Lisbon.
- Miao, Z. W., Lu X. Z., Jiang J. J. ve Ye L. P.** (2006). Nonlinear FE model for RC shear walls based on multi-layer shell element and microplane constitutive model. *Proceedings of the 10th International Conference on Enhancement and Promotion of Computational Methods in Engineering and Sciences*, China.
- Ngo, D. ve Scordelis, A. C.** (1967). Finite element analysis of reinforced concrete beams. *ACI Structural Journal*, 64 (3), 153-163.
- Nilson, A. H.** (1972). Internal measurement of bond slip. *ACI Structural Journal*, 69 (7), 439-441.
- Oesterle, R. G., Aristizabak J. D., Shiu, K. N. ve Corely, W. G.** (1984). Web crushing of reinforced concrete structural walls. *ACI Proceedings*, 81 (3), 231-241.
- Okhi, K. ve Bessho S.** (1980). Experimental investigation on a seismic strengthening for existing reinforced concrete frames. *Proceedings of the 7th World Conference on Earthquake Engineering*, İstanbul.
- Orakçıl, K. ve Wallace J.W.** (2006). Flexural modeling of reinforced concrete walls-experimental verification. *ACI Structural Journal*, 196-206.
- Orakçıl, K., Massone, L. M. ve Wallace, J. W.** (2006). *Analytical modeling of reinforced concrete walls for predicting flexural and coupled-shear-flexural responses* (Report No. 06/07). USA : Earthquake Engineering Research Center, University of California.
- Otani, S.** (1981). Hysteresis models of reinforced concrete for earthquake response analysis flexural modeling of reinforced concrete walls-experimental verification. *Journal of Faculty of Engineering Tokyo University*, 36 (2), 407-441.
- Palermo, D. ve Vecchio, F. J.** (2007). Simulation of cyclically loaded concrete structures based on finite element method. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 133 (5), 728-738.
- Paulay, T. ve Priestley, M. J. N.** (1992). *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. John Wiley and Sons, New York.

- Perform 3D** (2006). *Components and elements for Peform-3D and Perform-Collapse*. Computer and Structures Inc.
- Scott, B. D., Park, R. ve Priestley, M. J. N.** (1982). Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates. *ACI Structural Journal*, 79 (1), 13-27.
- Sonuvar, M. O.** (2001). *Hystretetic response of reinforced concrete infill walls*. (Doktora Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Soydaş O.** (2009). *Evaluation of shear wall indexes for reinforced concrete buildings*. (Yüksek Lisans Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Spacone, E. ve El-Tawil S.** (2004). Nonlinear analysis of steel-concrete composite structures: state of the art. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 130 (2), 159-168.
- Spyrakos, C. C., Maniatakis, C. A., Smyrou, E. ve Psycharis, I. N.** (2012). Strengthened brick-infilled RC frames: An approach for their proper consideration in design. *The Open Construction and Building Journal*, 6, 306-324.
- Strepelias, T., Fardis, M. N., Bousias, S., Palios, X. ve Biskinis, D.** (2012). RC Frames infilled into RC walls for seismic retrofitting: Design, experimental behavior and modeling. *Report Series in Structural and Earthquake Engineering*, University of Patras, Patras.
- Sugano, S. ve Fujimura M.** (1980). A seismic strengthening of existing reinforced concrete buildings. *Proceedings of the 7th World Conference on Earthquake Engineering*, İstanbul.
- Takeda, T., Sözen, M. A. ve Nielsen, N. N.** (1970). Reinforced concrete response to simulated earthquakes. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 96 (12), 2557-2573.
- Taşdemir, M. A. ve Özkul M.** (1999). Marmara depremi beton araştırması. *Hazır Beton Birliği*, 6 (36), 32-35.
- Taucer, F. F., Spacone, E. ve Filippou, F. C.** (1991). *A Fiber beam-column element for seismic response analysis of reinforced concrete structures* (Report No. 91/17). USA : Earthquake Engineering Research Center, University of California.
- Tekel, H.** (2006). Betonarme yapılarda %1 oranında perde kullanımının değerlendirilmesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 444 (4-5), 57-63.
- Thomsen, J.H. ve Wallace J. W.** (1995). Displacement-Based Design of Reinforced Concrete Structural Walls with Rectangular and T-Shaped Cross-Section. *Department of Civil and Environmental Engineering*, Clarksen University.
- TSE-500** (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türk, M.** (1998). *Rehabilitation of concrete infill walls*. (Doktora Tezi). Boğaziçi Üniversitesi, Ankara.

- Türk, M., Ersoy U. ve Özcebe G.** (2003). Betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlar ile onarımı ve güçlendirilmesi. *5.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.
- Varum H, Dias F. T, Marques P, Pinto A. V. ve Bhatti A. Q.** (2013). Performance evaluation of retrofitting strategies for non-seismically designed RC buildings using steel braces. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11, 1129-1156.
- Vulcano A., Bertero V.V. ve Colotti, V.** (1988). Analytical modeling of RC structural walls. *Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo.
- Vulcano A.** (1992). Use of wall macroscopic models in the nonlinear analysis of RC frame-wall structures. *Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering*, Italy.
- Wallace, J. W., Massone, L., Orakcal, K. ve Moehle, J. P.** (t.y.). Wall Modeling & Behavior. *University of California*, Los Angeles.
- Xiaolei, H., Xuewei, C., Cheang, J., Guiniu, M. ve Peifeng, W.** (2008). Numerical analysis of cyclic loading test of shear walls based on Open SEES. *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*, China.
- Xuewei, C., Xiaolei, H., Fan, L. ve Shuang, W.** (2011). Fiber element based elastic-plastic analysis procedure and engineering application. *Procedia Engineering*, 14, 1807-1815.
- Yang, J., Wallace, J. W. ve Lu, X.** (2013). Nonlinear analysis of reinforced concrete walls using new concrete model in opensees. *Proceedings of the 5th World Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, China.
- Yin, X. W., Jiang, H. J., Lu, W. S. ve Lu, X. L.** (2012). Shaking table model test of a super high-rise building with CFT frame and core wall. *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon.
- Zhou, Y., Ye, M., Yang, Z. ve Ou, L.** (2011). Hysteresis analysis of RC columns based on fiber cross section model. *Advanced Materials Research*, 255, 3770-3774.
- X-Tract** (2007). Cross Sectional Analysis Software for Structural and Earthquake Engineering.

EKLER

EK A: Betonarme okul binalarının uzun doğrultularında doğrusal olmayan dinamik analiz ile elde edilen veriler.

EK A

Çizelge A.1 : D3KS220 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.

Perde Yüzdesi	D2 Deprem Düzeyi (Uzun Doğ./3Kat/S220)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	65%	13%	22%	0%	CG
0.70%	77%	23%	0%	0%	CG
1.05%	100%	0%	0%	0%	HK
1.40%	100%	0%	0%	0%	HK
1.70%	100%	0%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu

Perde Yüzdesi	D3 Deprem Düzeyi (Uzun Doğ./3Kat/S220)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	9%	61%	0%	30%	GD
0.70%	64%	27%	0%	9%	GD
1.05%	57%	38%	5%	0%	CG
1.40%	85%	15%	0%	0%	CG
1.70%	100%	0%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu

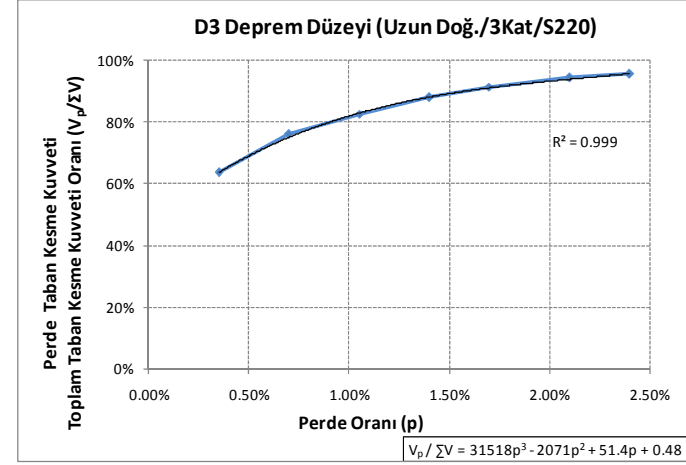
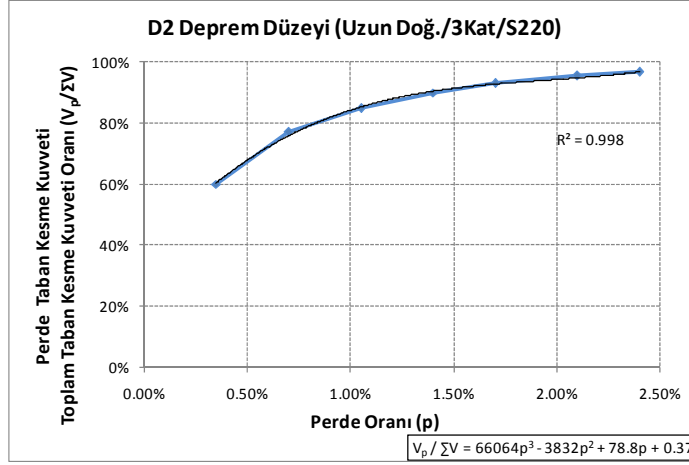
Çizelge A.2 : D3KS420 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.

Perde Yüzdesi	D2 Deprem Düzeyi (Uzun Doğ./3Kat/S420)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	95%	5%	0%	0%	HK
0.70%	100%	0%	0%	0%	HK
1.05%	100%	0%	0%	0%	HK
1.40%	100%	0%	0%	0%	HK
1.70%	100%	0%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

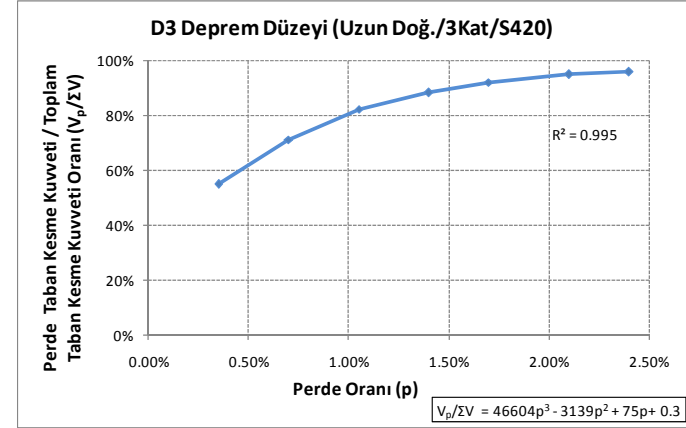
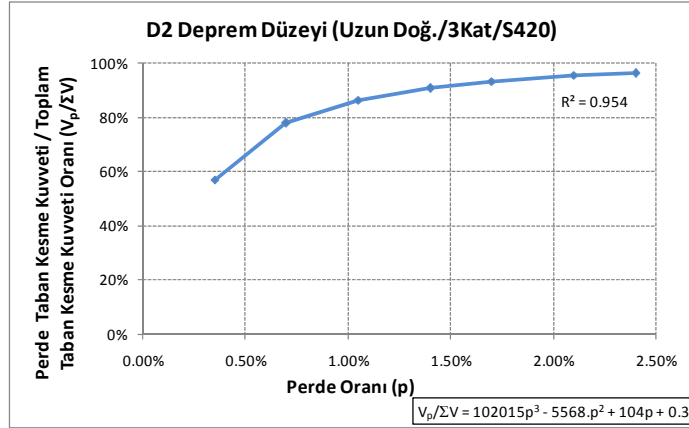
HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu

Perde Yüzdesi	D3 Deprem Düzeyi (Uzun Doğ./3Kat/S420)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	48%	52%	0%	0%	CG
0.70%	90%	10%	0%	0%	HK
1.05%	95%	5%	0%	0%	HK
1.40%	100%	0%	0%	0%	HK
1.70%	100%	0%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

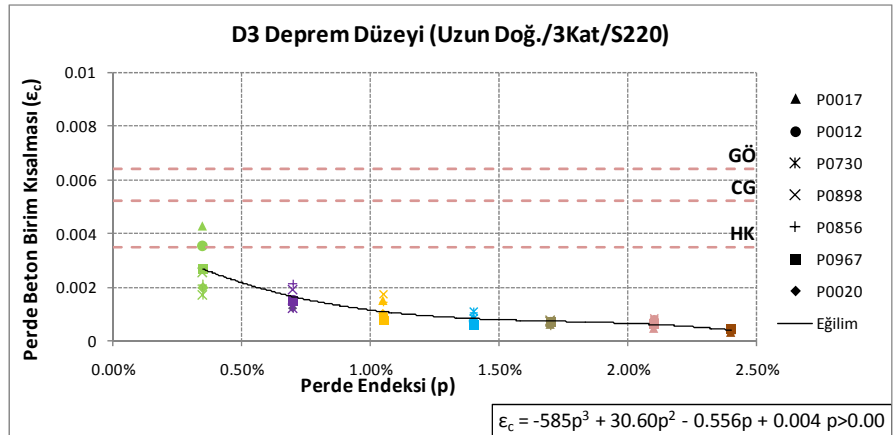
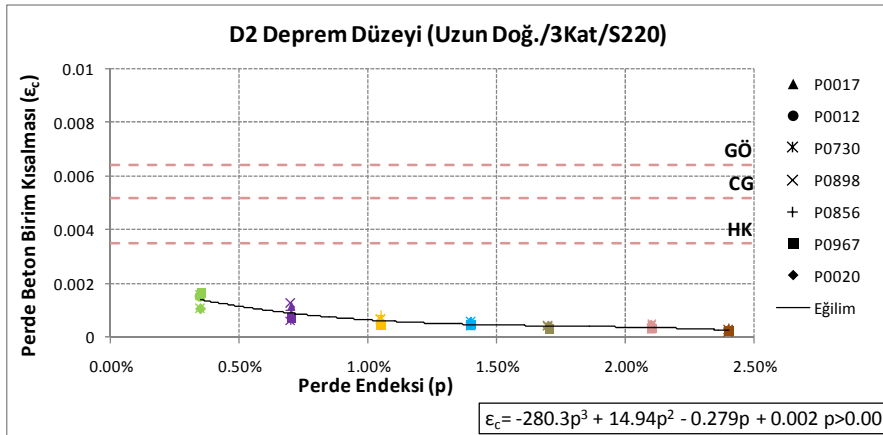
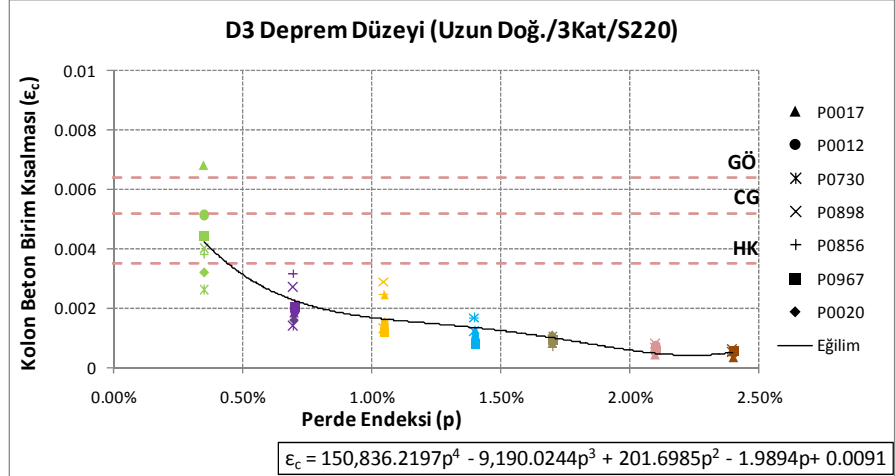
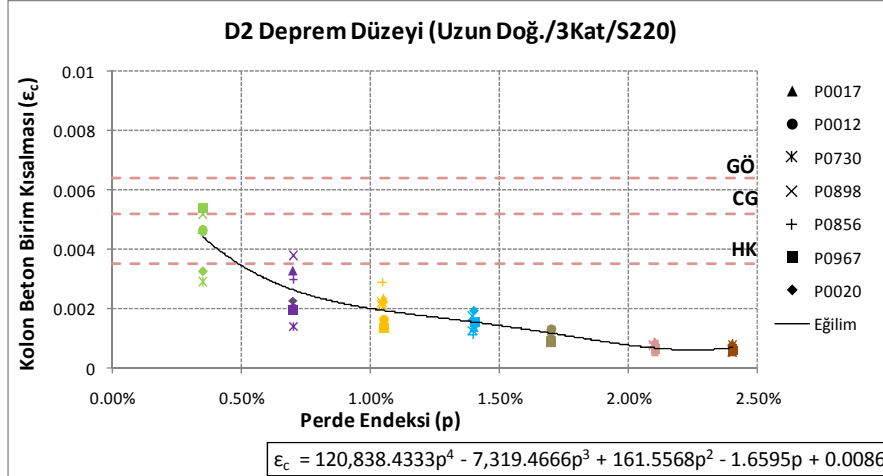
HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu



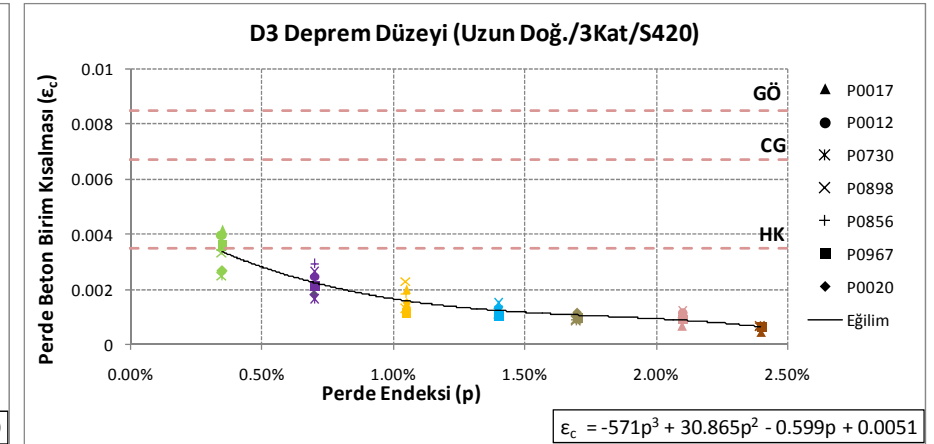
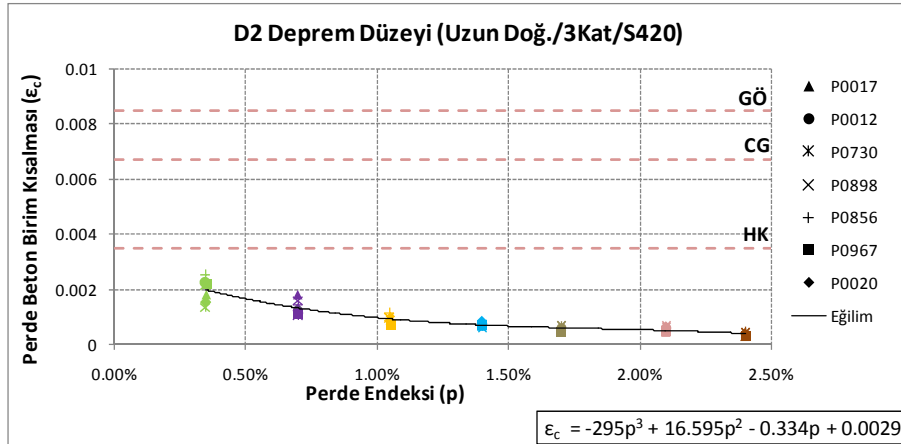
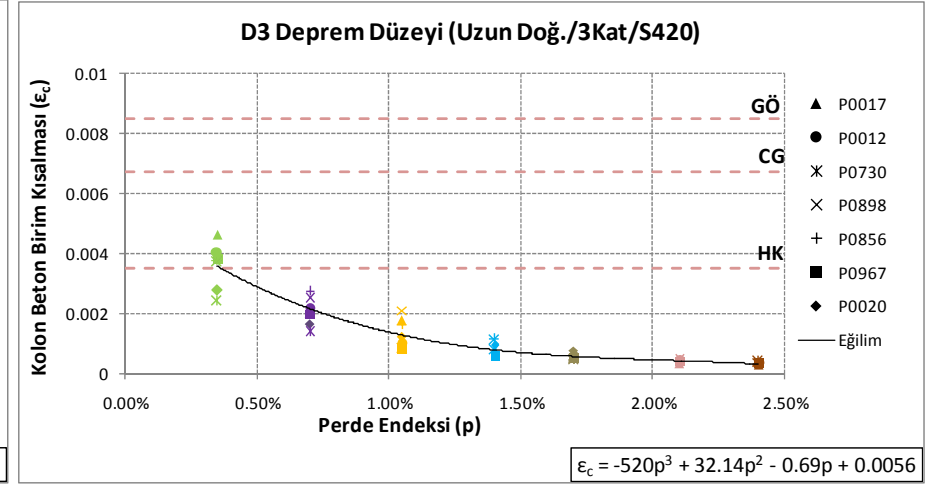
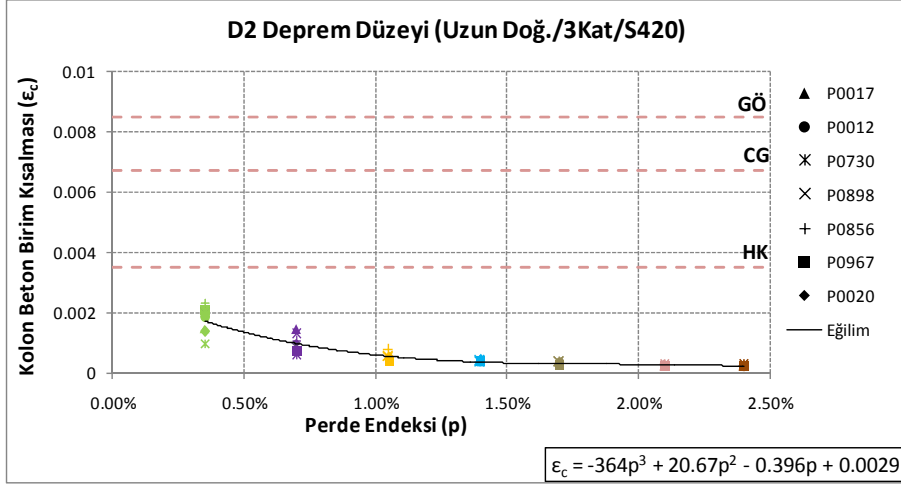
Şekil A.1 : D3KS220 okul binasında perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.



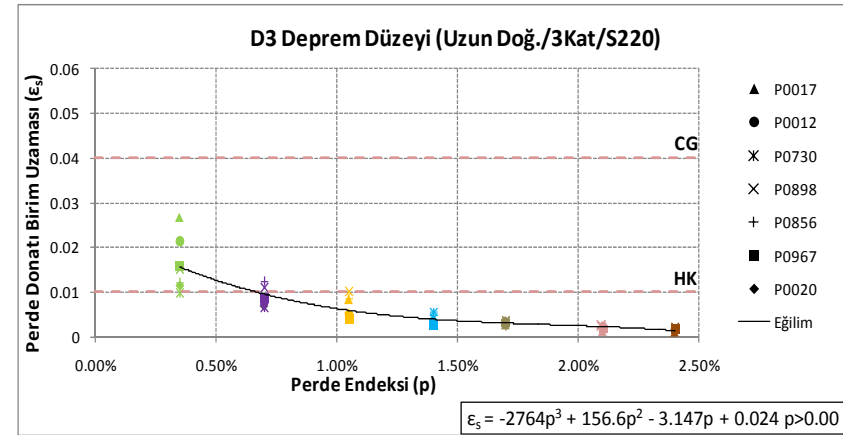
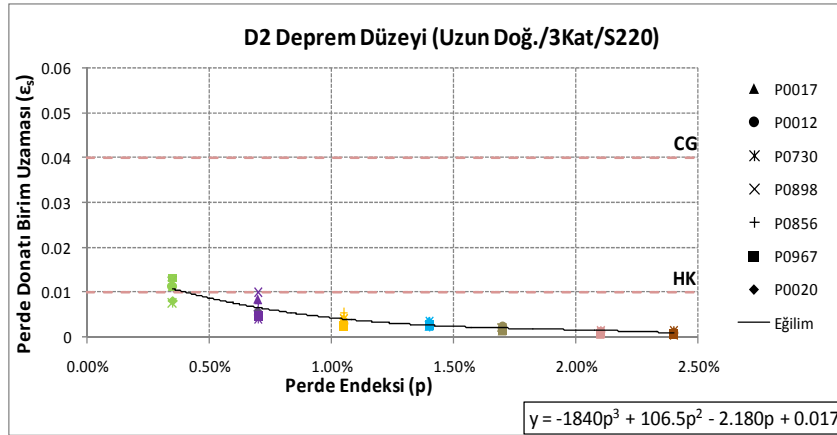
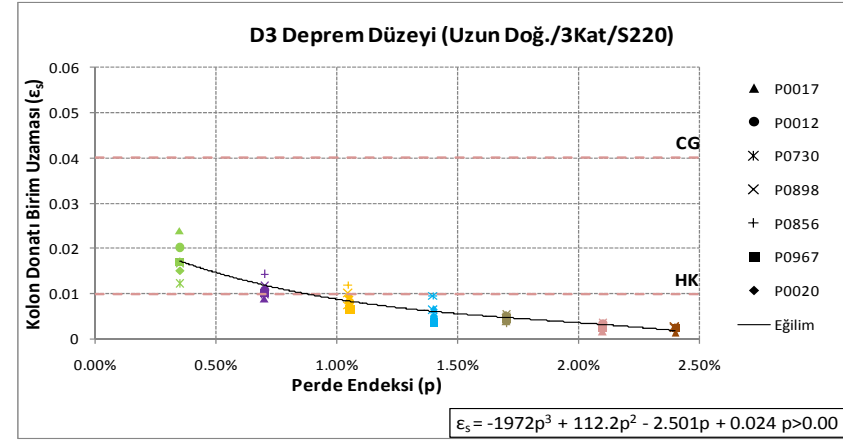
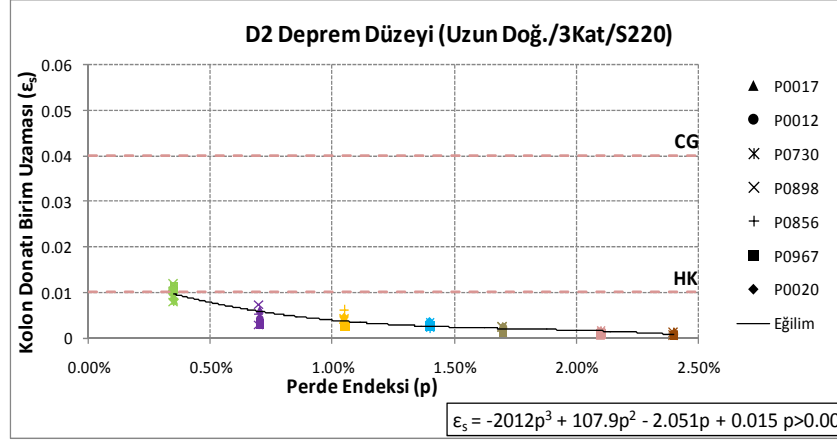
Şekil A.2 : D3KS420 okul binasında perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.



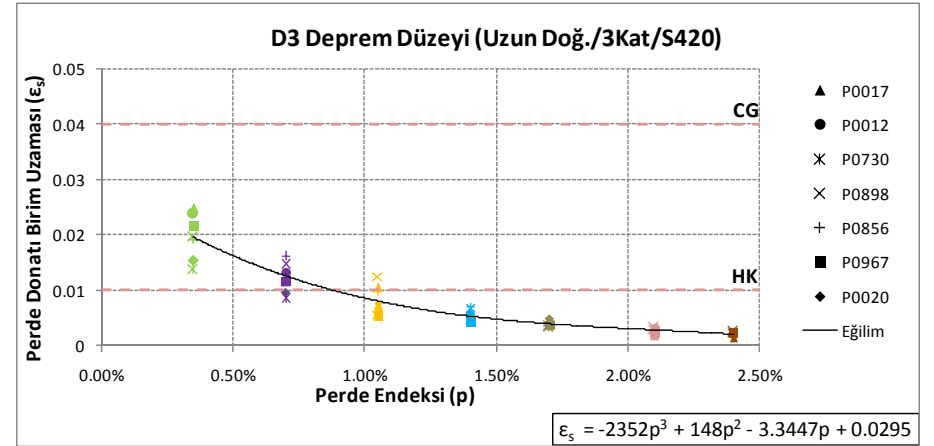
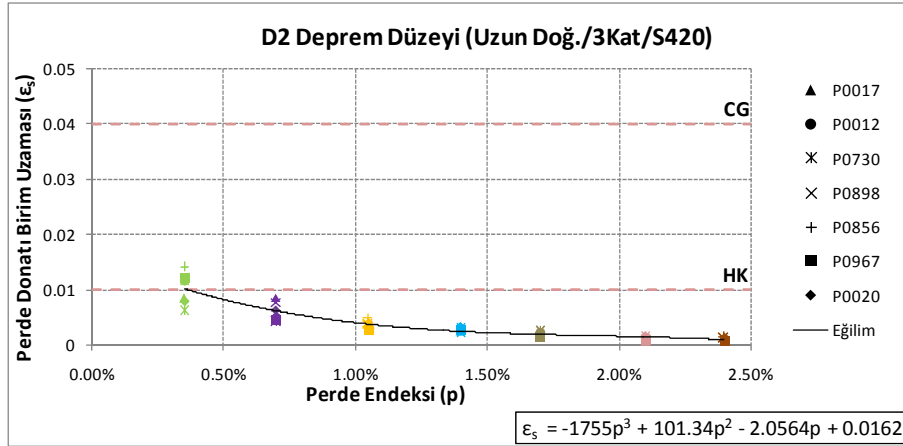
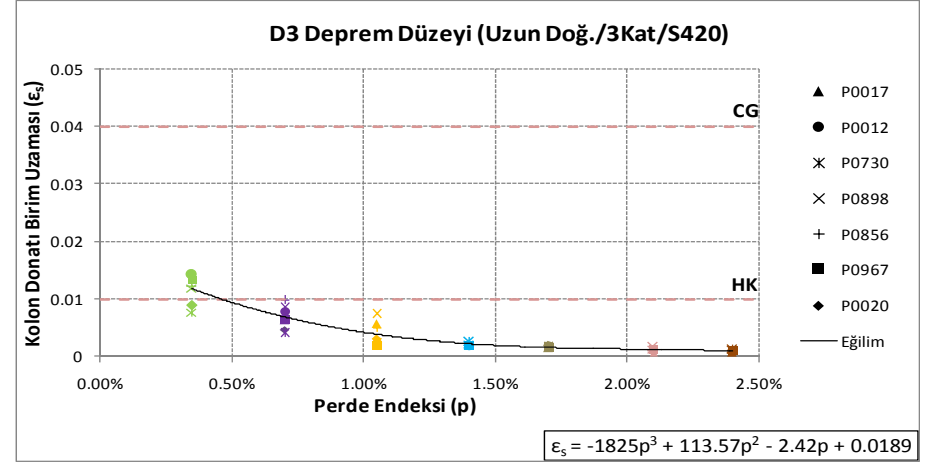
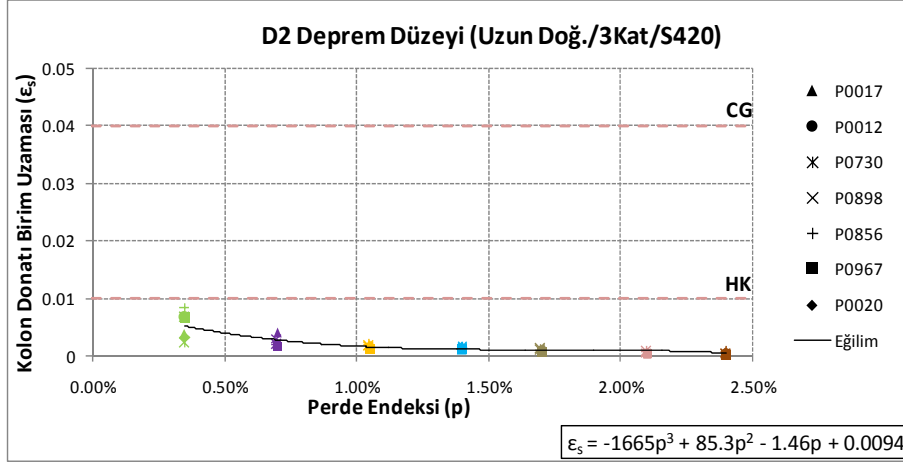
Şekil A.3 : D3KS220 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.



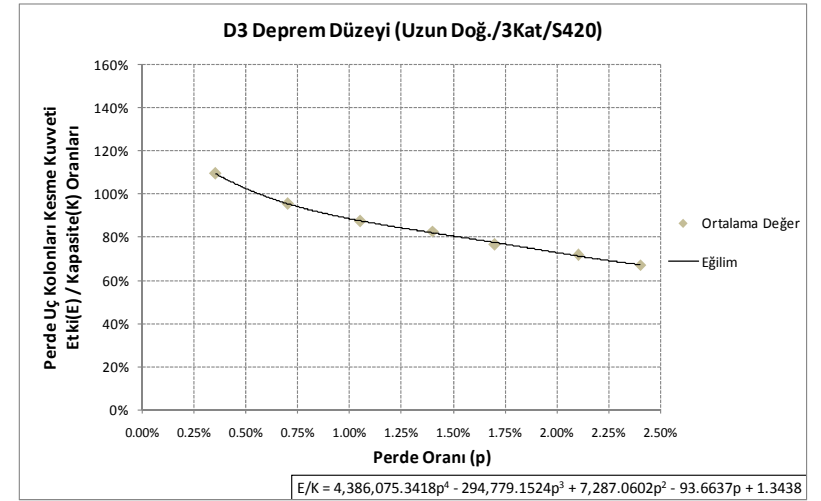
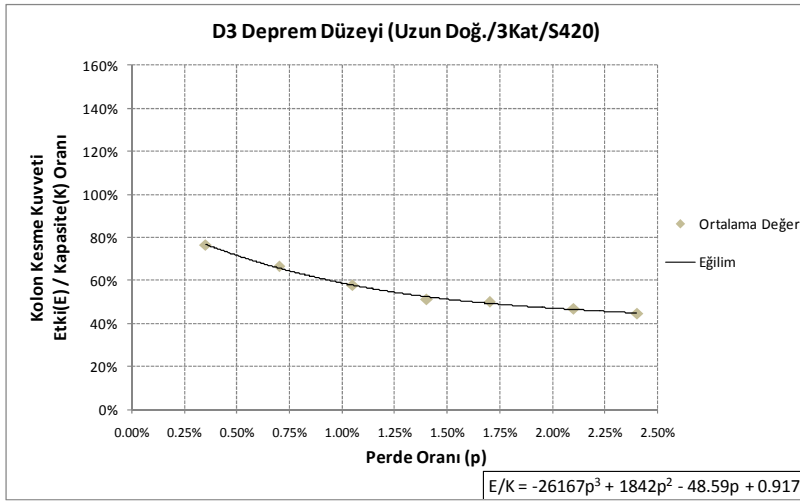
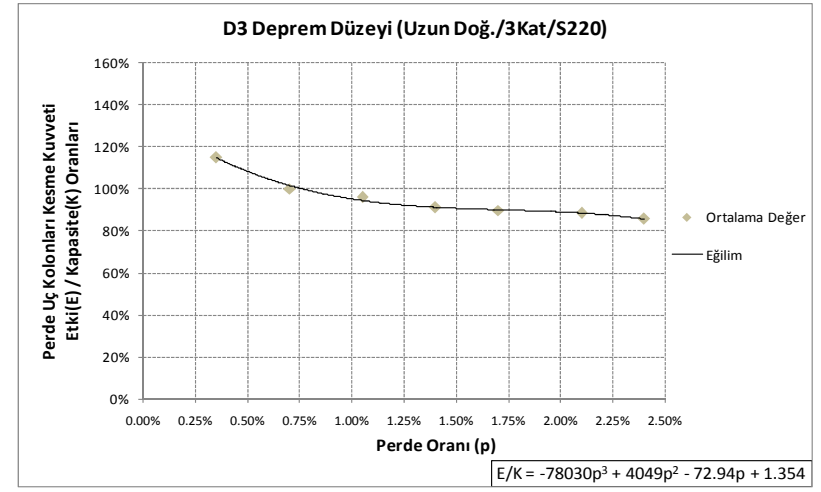
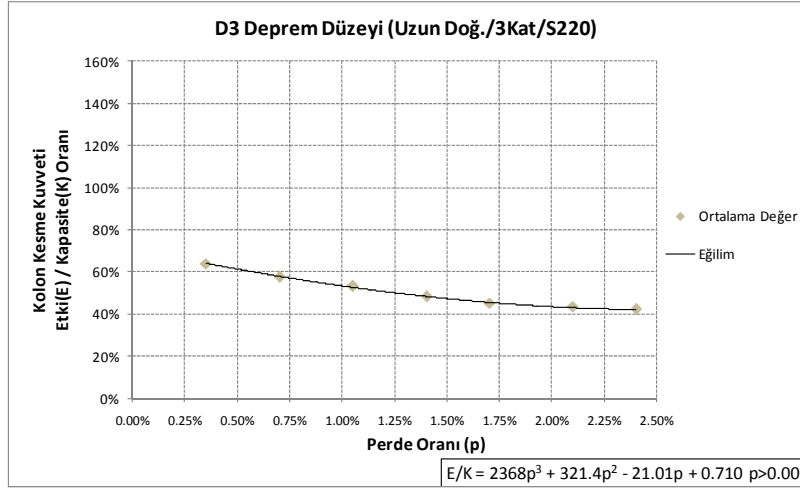
Şekil A.4 : D3KS420 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.



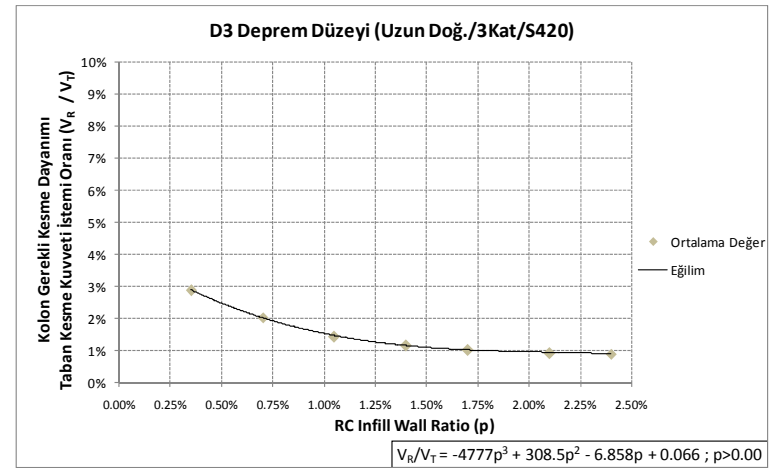
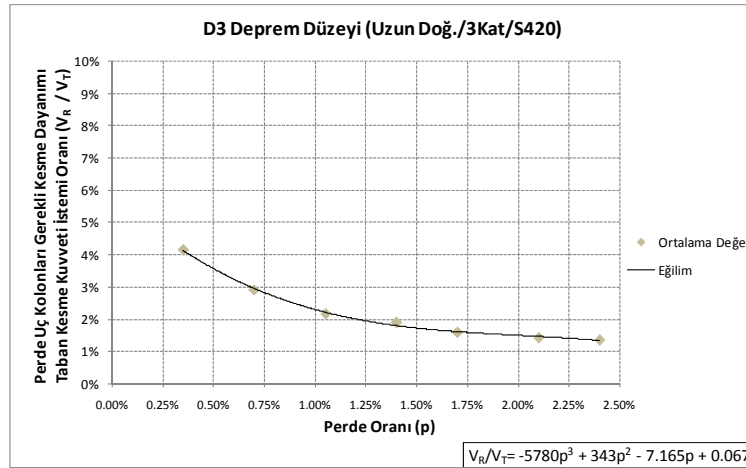
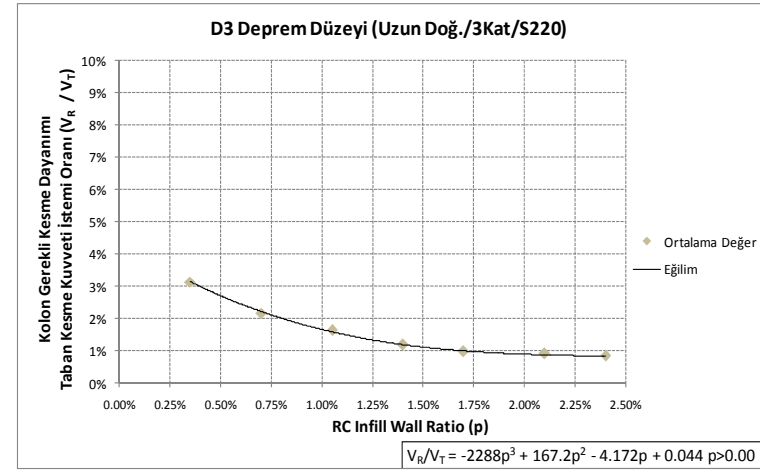
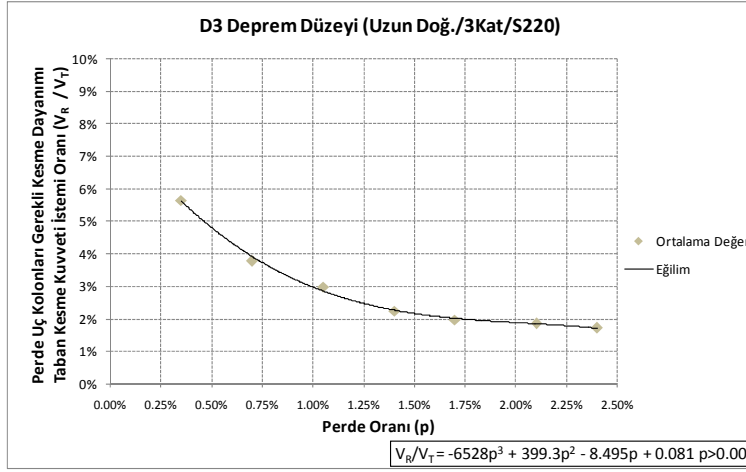
Şekil A.5 : D3KS220 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.



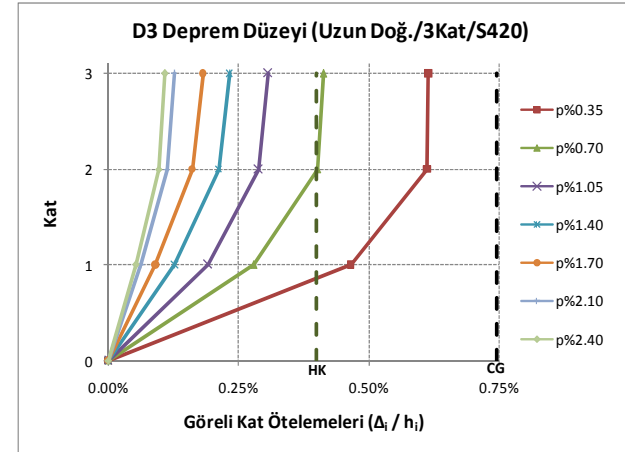
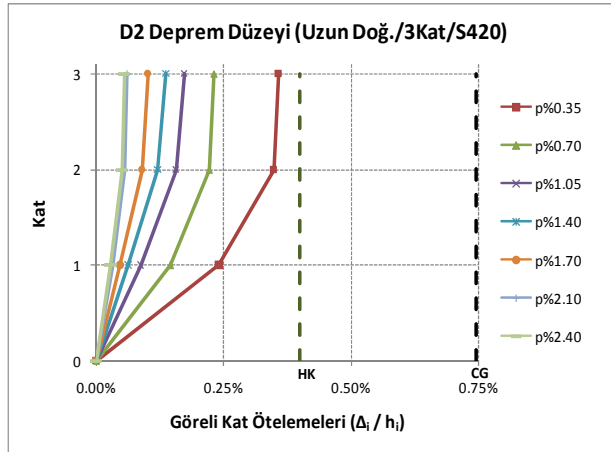
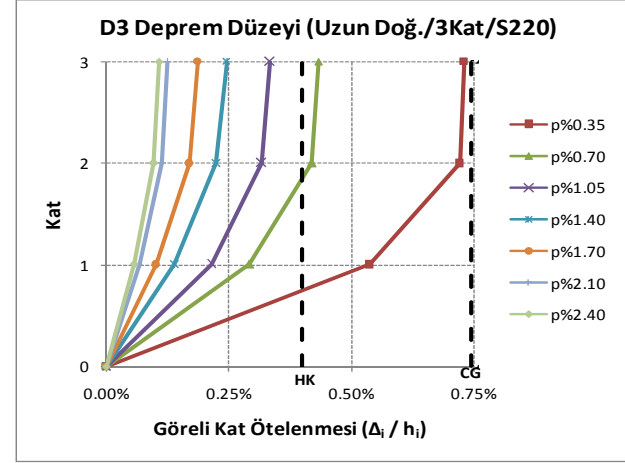
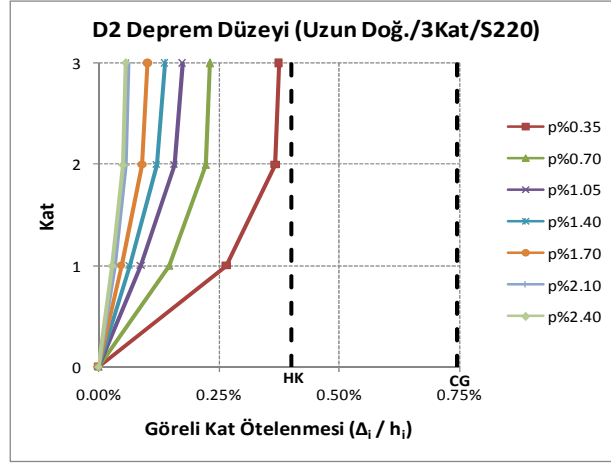
Şekil A.6 : D3KS420 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.



Şekil A.7 : D3KS220 ve D3KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu etki/kapasite oranları.



Şekil A.8 : D3KS220 ve D3KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu gerekli kesme dayanımı - taban kesme kuvveti istemi oranı.



Şekil A.9 : D3KS220 ve D3KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı doğrusal olmayan görelî kat ötelenmeleri.

Çizelge A.3 : D4KS220 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.

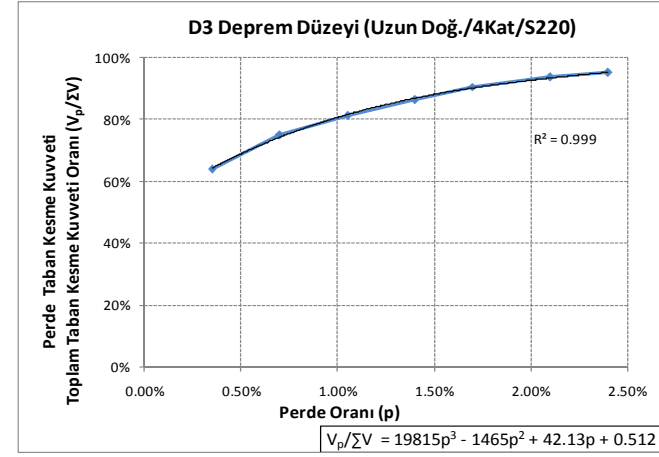
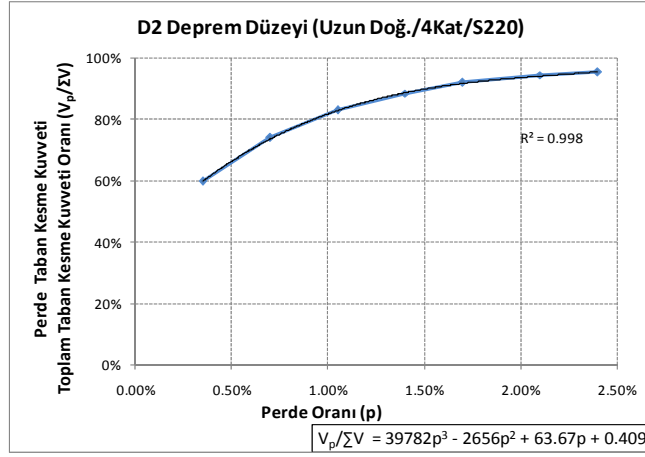
Perde Yüzdesi	D2 Deprem Düzeyi (Uzun Doğ./4Kat/S220)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	5%	57%	19%	19%	GD
0.70%	5%	60%	20%	15%	GD
1.05%	47%	53%	0%	0%	CG
1.40%	83%	17%	0%	0%	CG
1.70%	94%	6%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK
HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu					

Perde Yüzdesi	D3 Deprem Düzeyi (Uzun Doğ./4Kat/S220)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	0%	57%	5%	38%	GD
0.70%	10%	70%	0%	20%	GD
1.05%	32%	47%	0%	21%	GD
1.40%	50%	39%	11%	0%	CG
1.70%	65%	35%	0%	0%	CG
2.10%	69%	31%	0%	0%	CG
2.40%	80%	20%	0%	0%	CG
HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu					

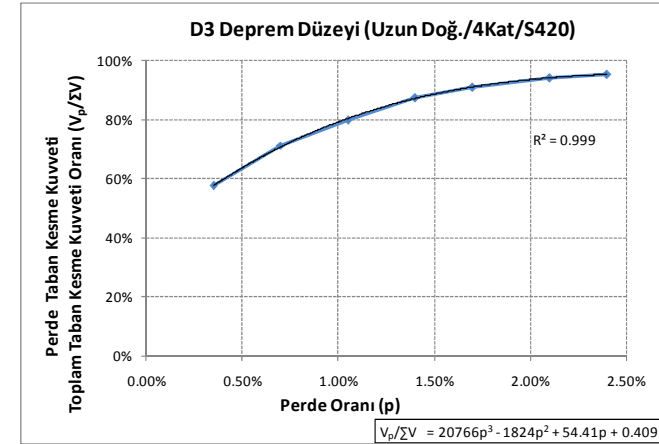
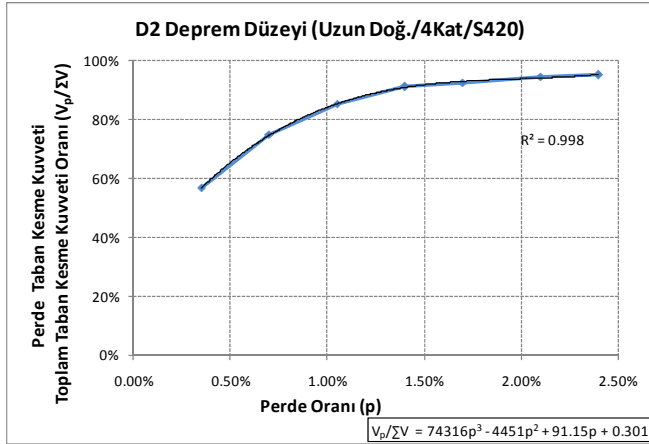
Çizelge A.4 : D4KS420 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.

Perde Yüzdesi	D2 Deprem Düzeyi (Uzun Doğ./4Kat/S420)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	81%	19%	0%	0%	CG
0.70%	90%	10%	0%	0%	HK
1.05%	95%	5%	0%	0%	HK
1.40%	100%	0%	0%	0%	HK
1.70%	100%	0%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK
HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu					

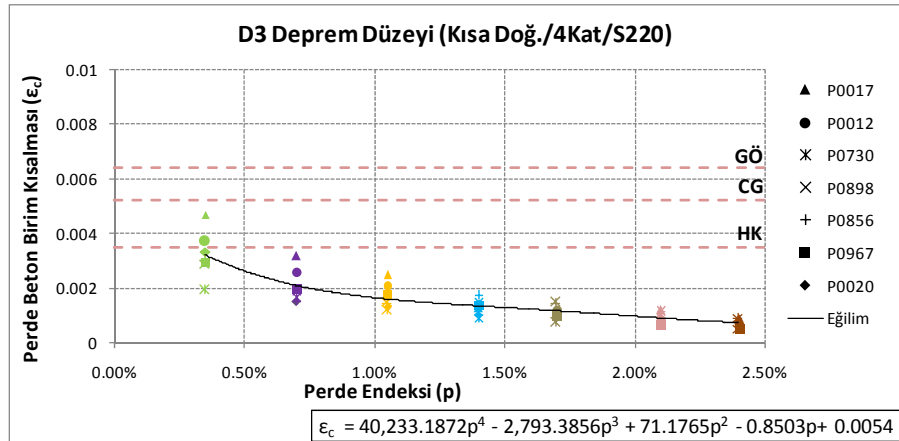
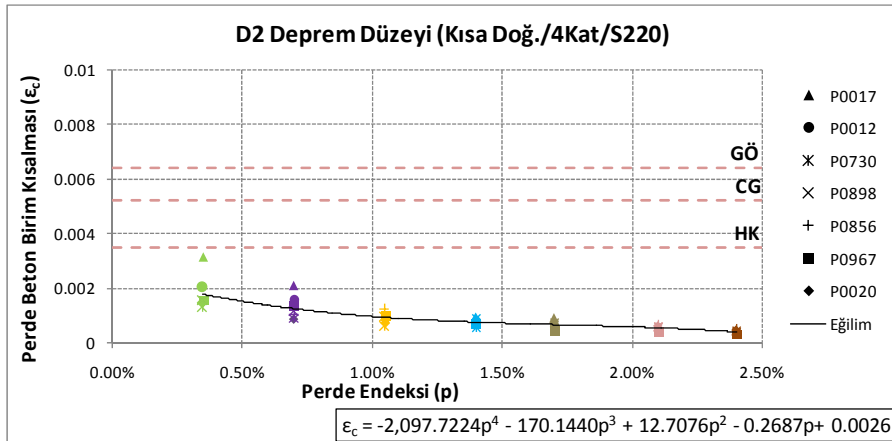
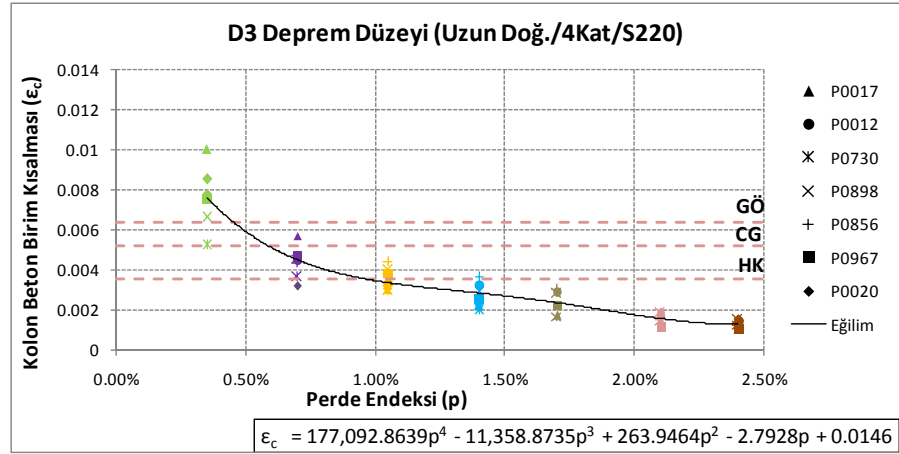
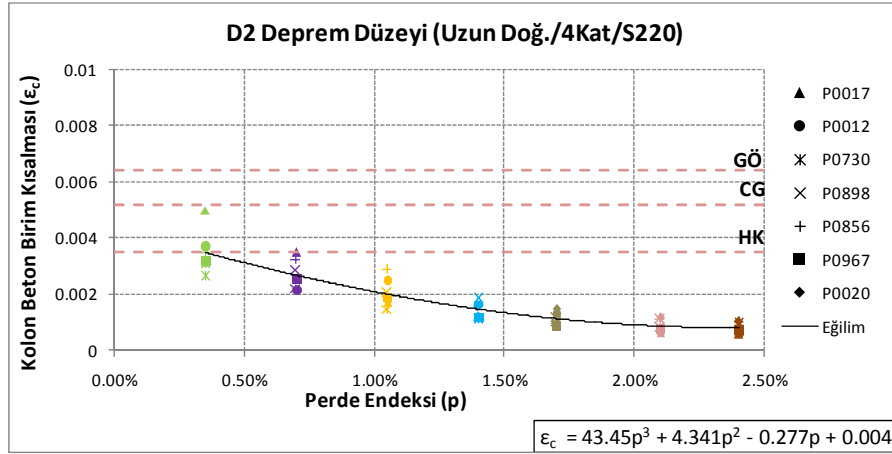
Perde Yüzdesi	D3 Deprem Düzeyi (Uzun Doğ./4Kat/S420)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	0%	95%	5%	0%	CG
0.70%	80%	20%	0%	0%	CG
1.05%	84%	16%	0%	0%	CG
1.40%	83%	17%	0%	0%	CG
1.70%	82%	18%	0%	0%	CG
2.10%	94%	6%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK
HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu					



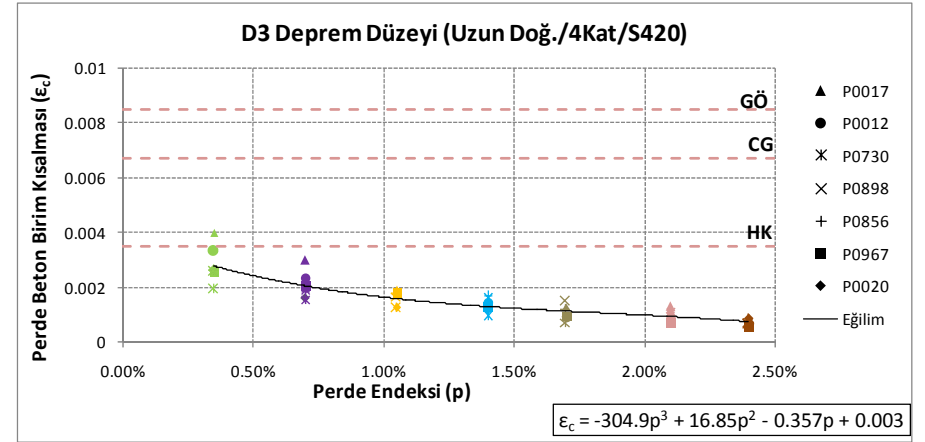
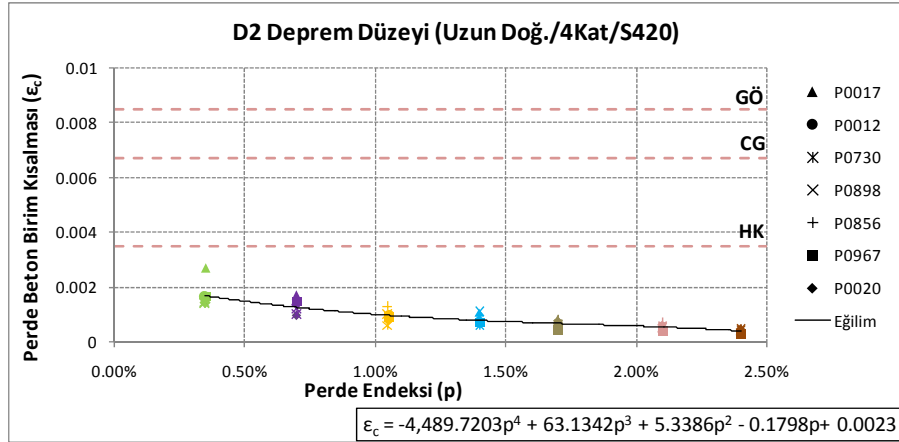
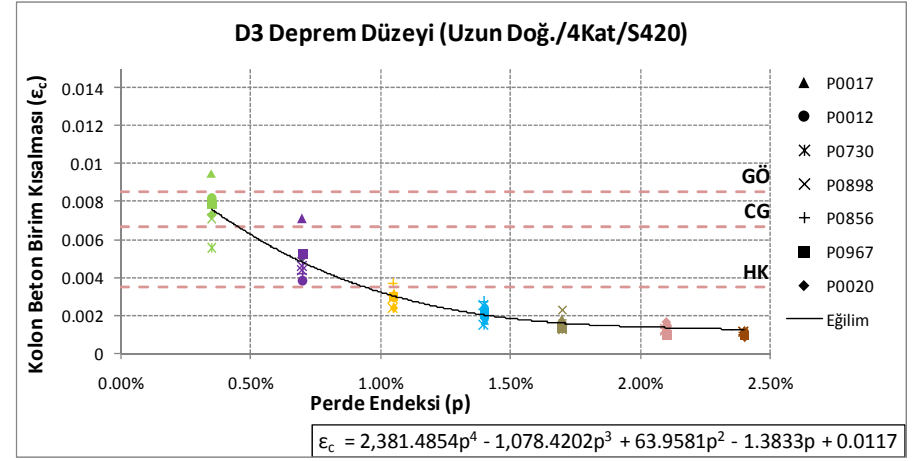
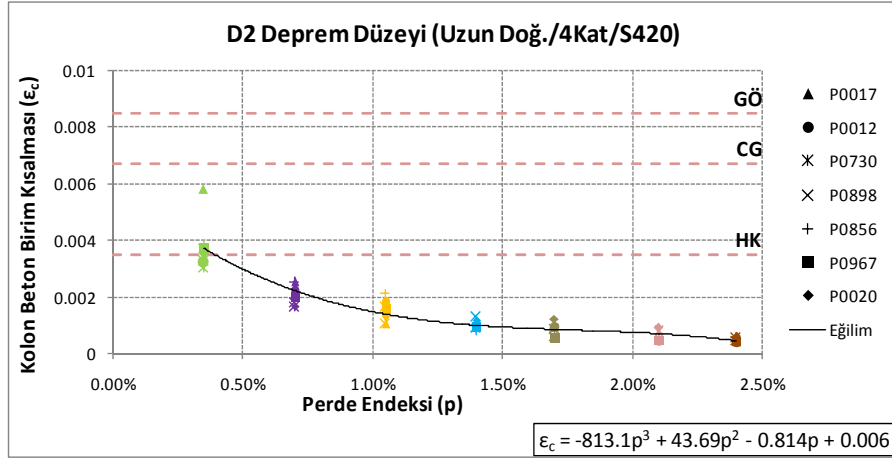
Şekil A.10 : D4KS220 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.



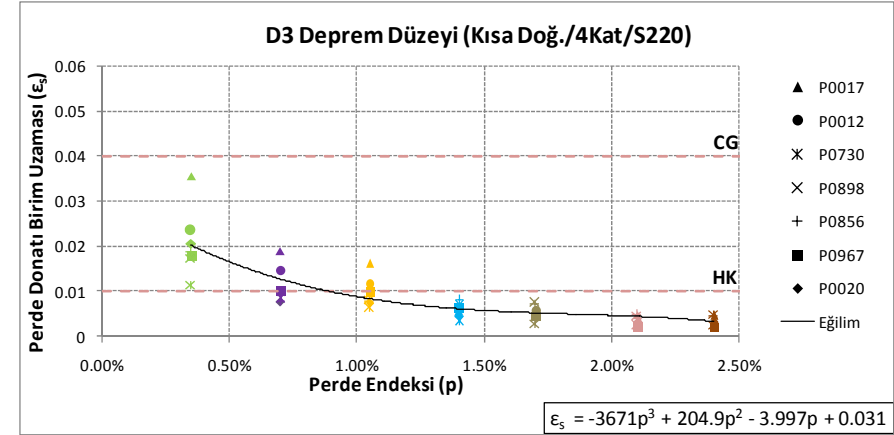
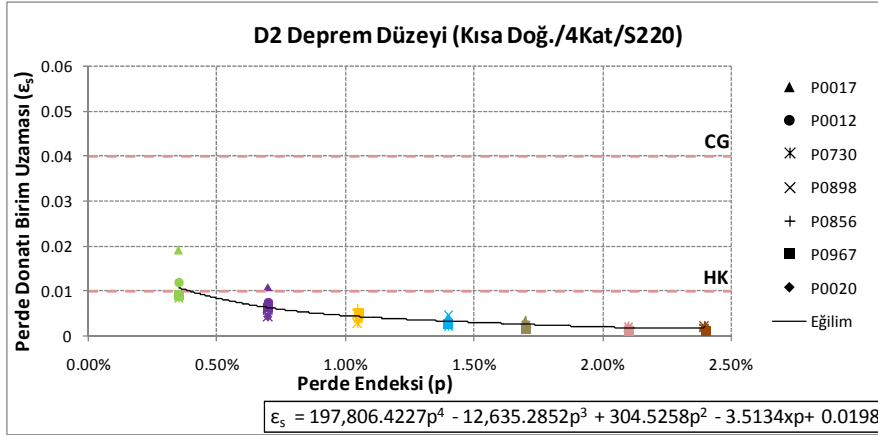
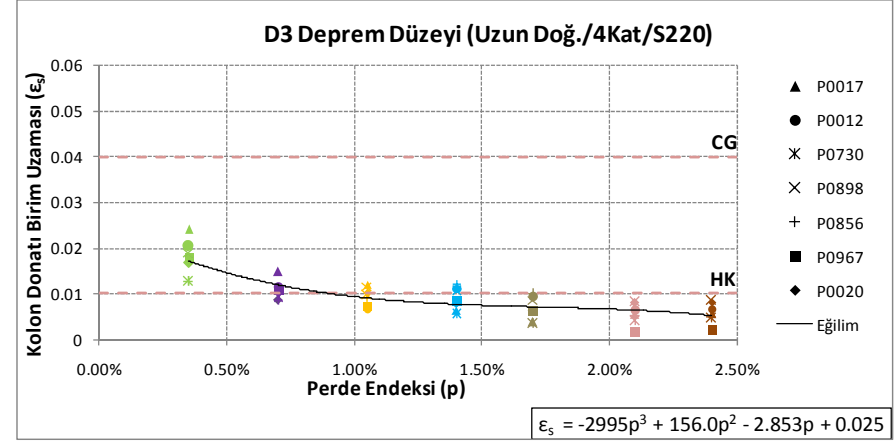
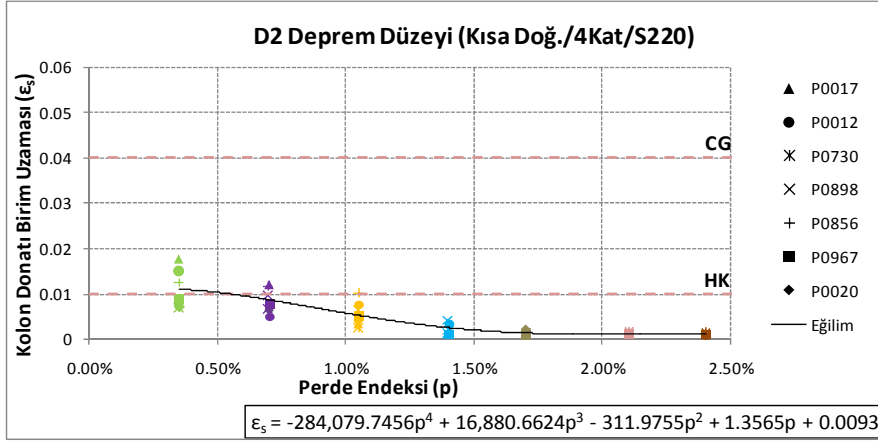
Şekil A.11 : D4KS420 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.



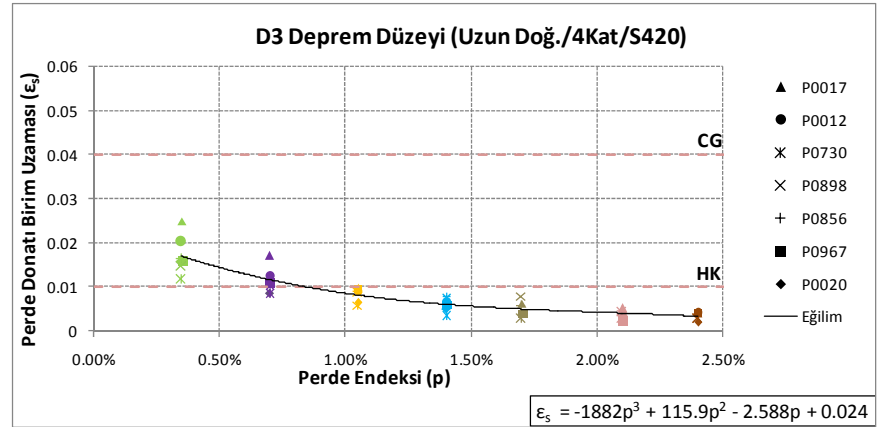
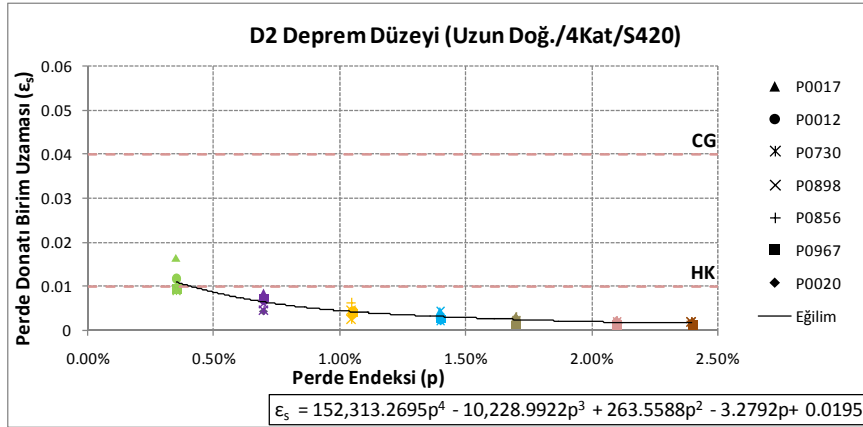
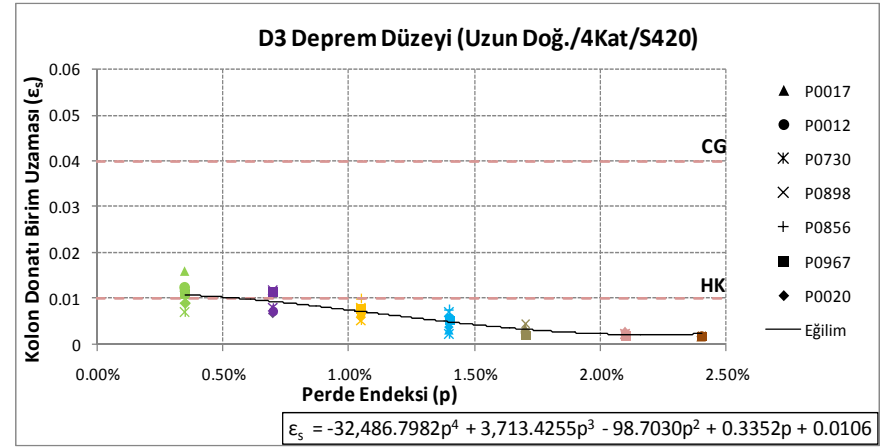
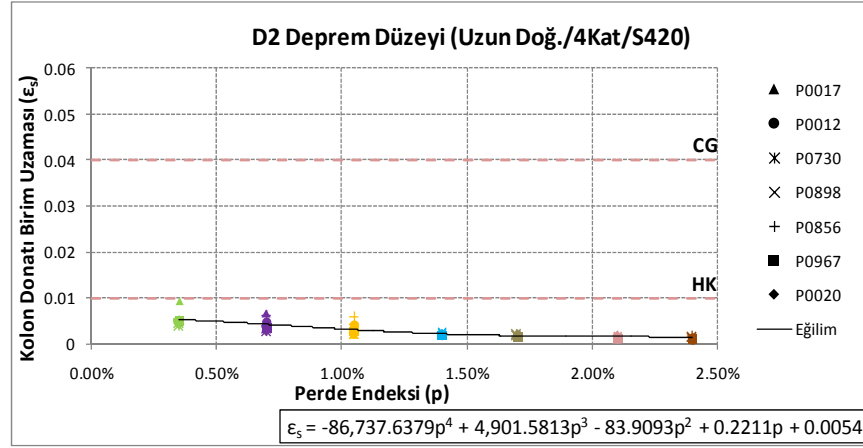
Şekil A.12 : D4KS220 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.



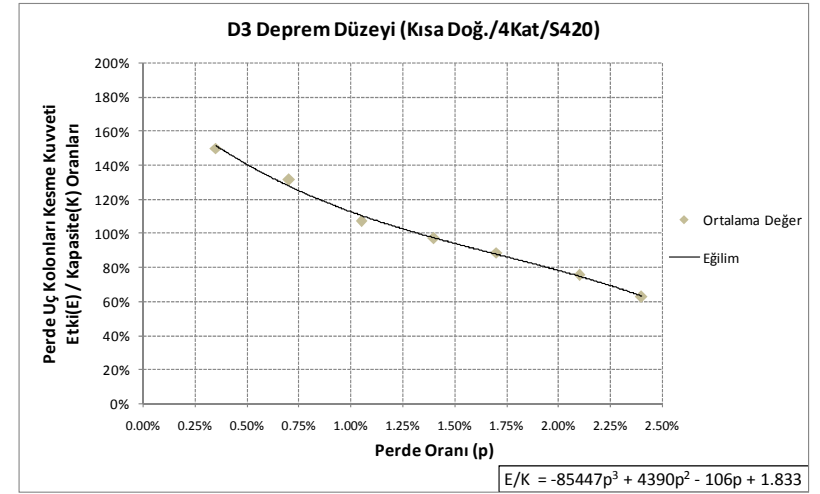
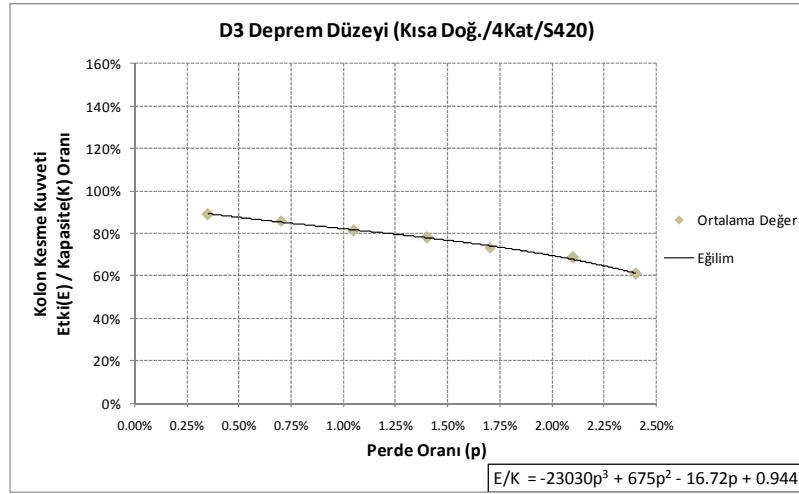
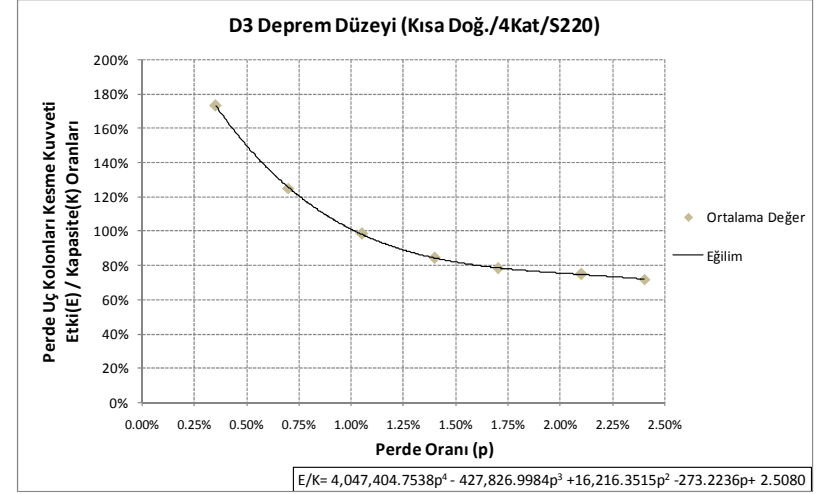
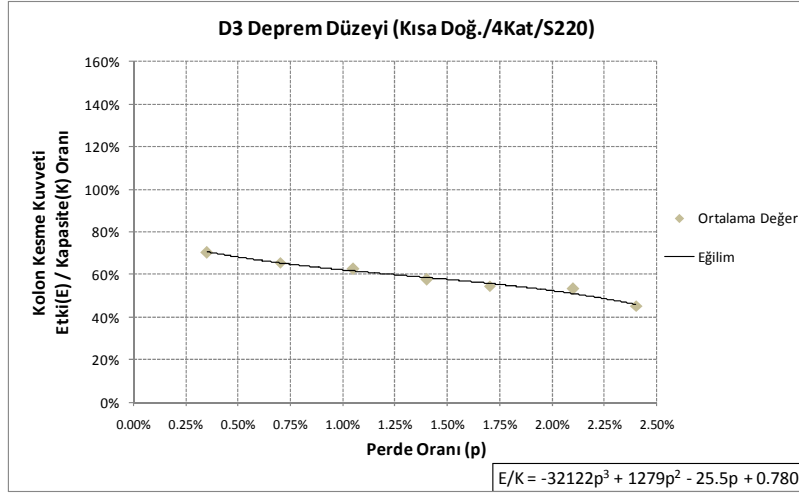
Şekil A.13 : D4KS420 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.



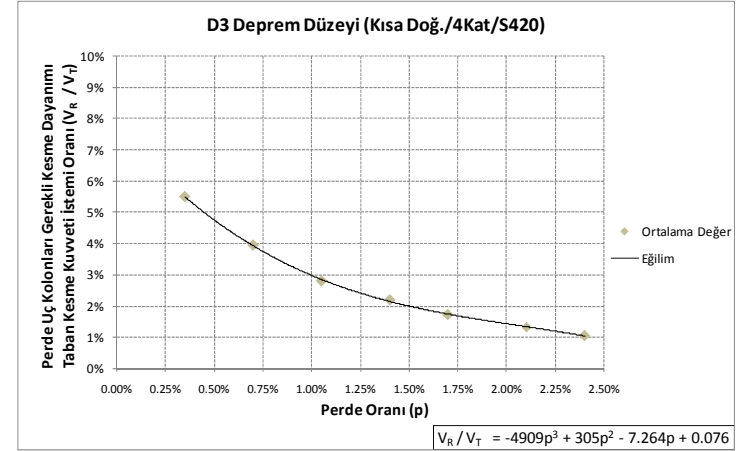
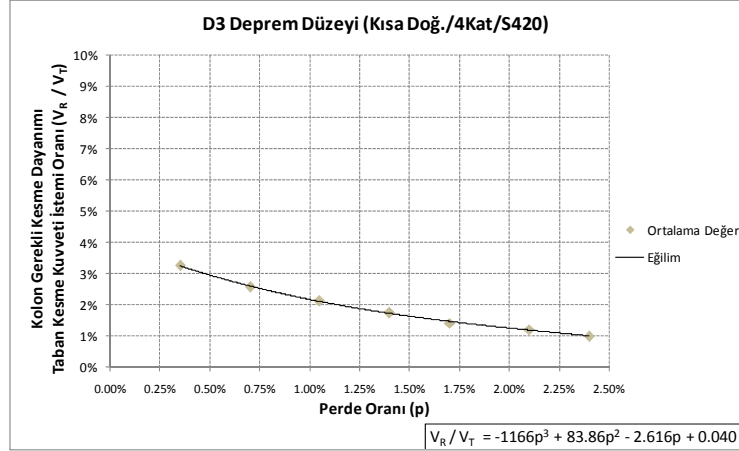
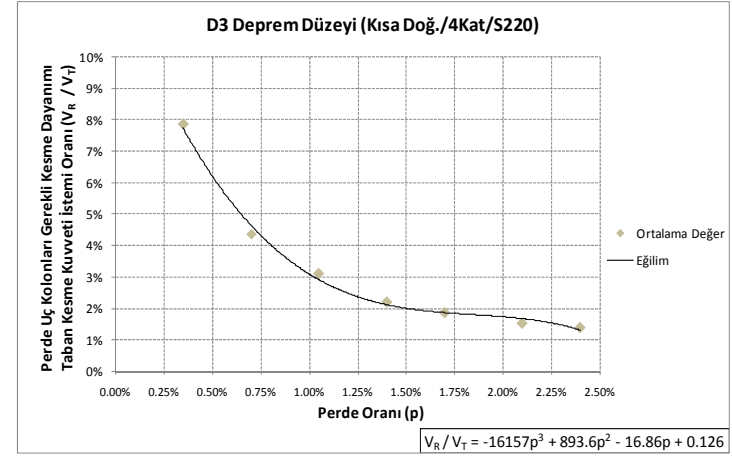
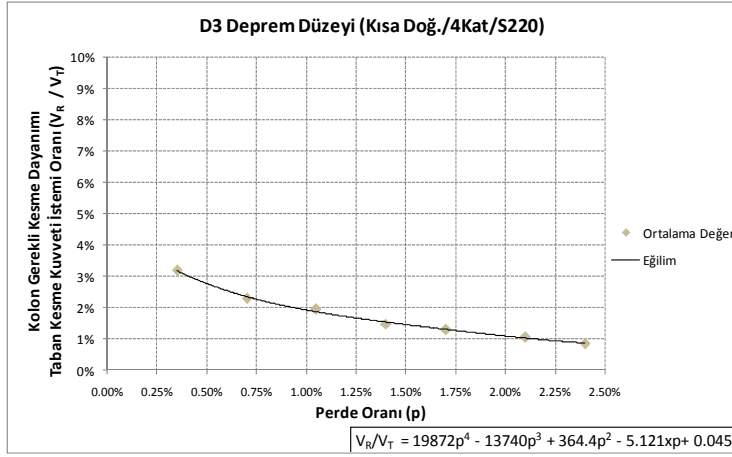
Şekil A.14 : D4KS220 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekil değişimlerine bağlı performans seviyeleri.



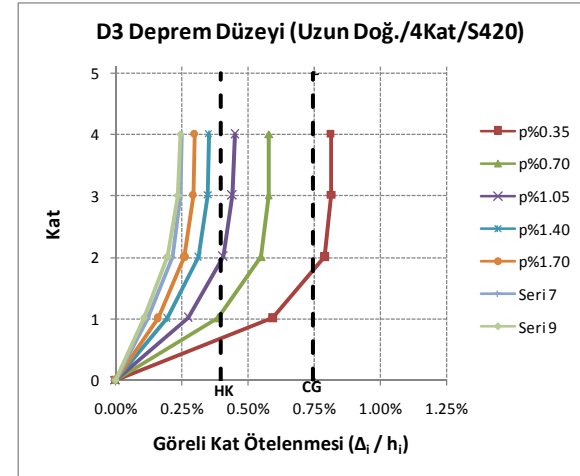
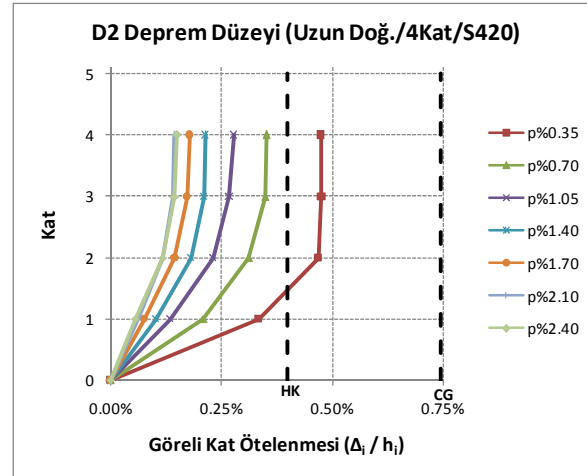
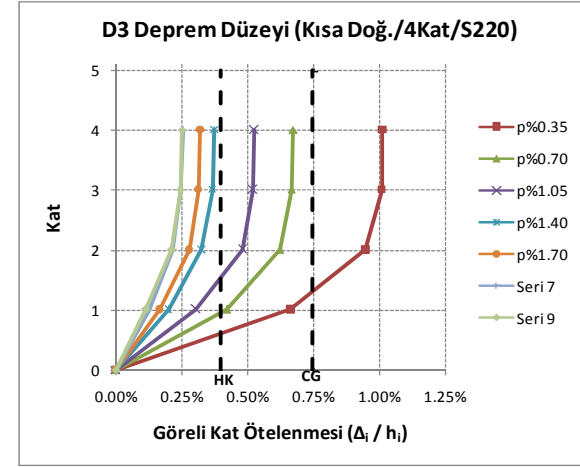
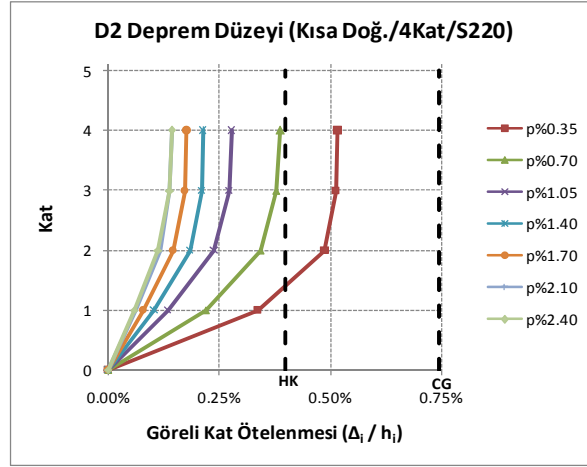
Şekil A.15 : D4KS420 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekil değiştirilmesine bağlı performans seviyeleri.



Şekil A.16 : D4KS220 ve D4KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu etki/kapasite oranları.



Şekil A.17 : D4KS220 ve D4KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu gerekli kesme dayanımı - taban kesme kuvveti istemi oranı.



Şekil A.18 : D4KS220 ve D4KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı doğrusal olmayan görel kat ötelenmeleri.

Çizelge A.5 : D5KS220 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.

Perde Yüzdesi	D2 Deprem Düzeyi (Uzun Doğ./5Kat/S220)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	0%	62%	19%	19%	GD
0.70%	10%	55%	20%	15%	GD
1.05%	47%	53%	0%	0%	CG
1.40%	83%	17%	0%	0%	CG
1.70%	94%	6%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu

Perde Yüzdesi	D3 Deprem Düzeyi (Uzun Doğ./5Kat/S220)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	0%	57%	5%	38%	GD
0.70%	0%	60%	0%	40%	GD
1.05%	5%	53%	0%	42%	GD
1.40%	11%	67%	11%	11%	GD
1.70%	18%	71%	12%	0%	CG
2.10%	38%	56%	6%	0%	CG
2.40%	67%	33%	0%	0%	CG

HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu

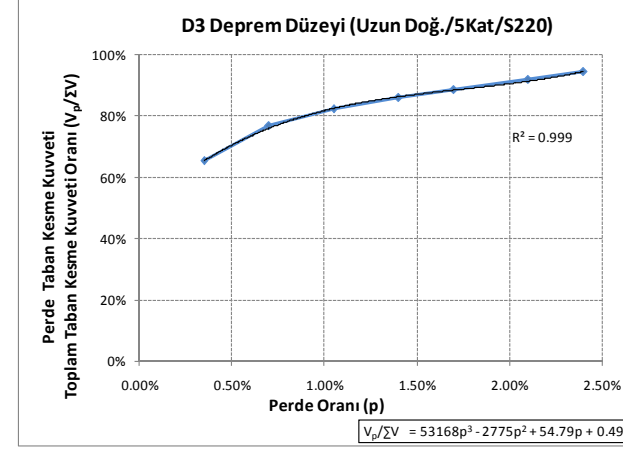
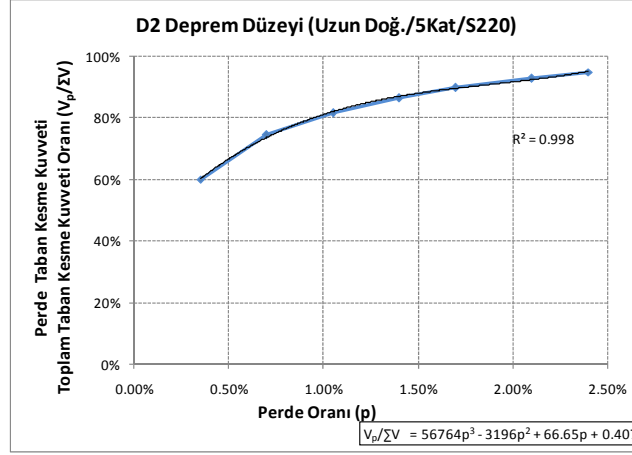
Çizelge A.6 : D5KS420 binasının betonarme kirişler açısından yapı performansı.

Perde Yüzdesi	D2 Deprem Düzeyi (Uzun Doğ./5Kat/S420)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	71%	29%	0%	5%	GD
0.70%	80%	20%	0%	0%	CG
1.05%	89%	11%	0%	0%	CG
1.40%	94%	6%	0%	0%	HK
1.70%	100%	0%	0%	0%	HK
2.10%	100%	0%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

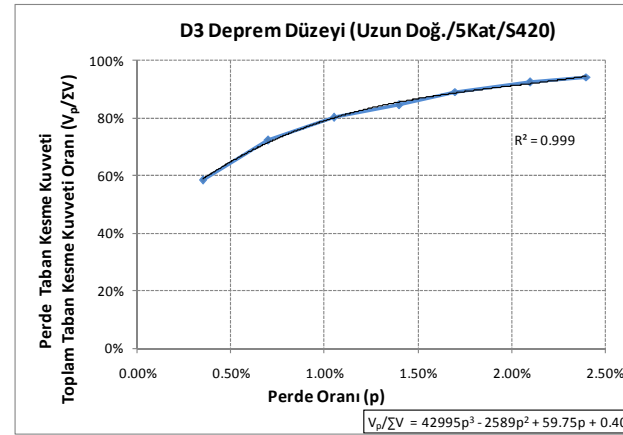
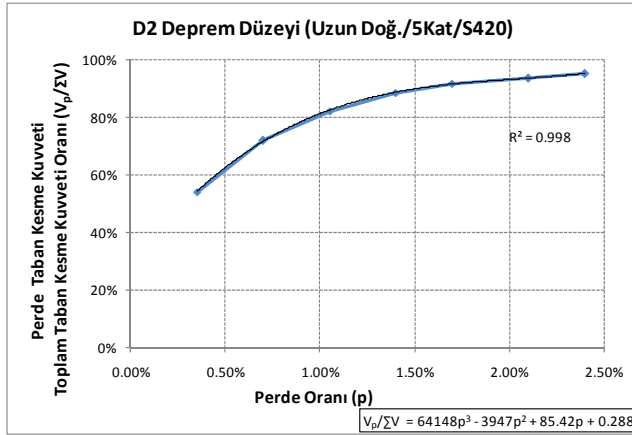
HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu

Perde Yüzdesi	D3 Deprem Düzeyi (Uzun Doğ./5Kat/S420)				Yapı Performansı
	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Durumu	
0.35%	5%	71%	19%	5%	GD
0.70%	35%	65%	0%	0%	CG
1.05%	63%	37%	0%	0%	CG
1.40%	78%	22%	0%	0%	CG
1.70%	82%	18%	0%	0%	CG
2.10%	94%	6%	0%	0%	HK
2.40%	100%	0%	0%	0%	HK

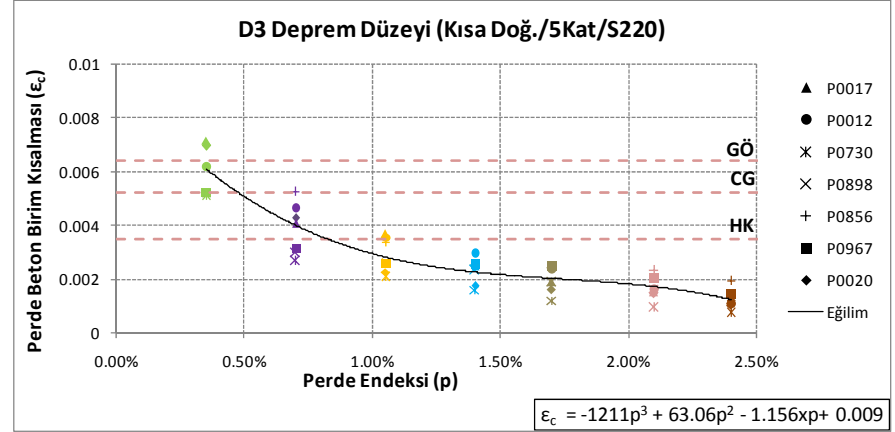
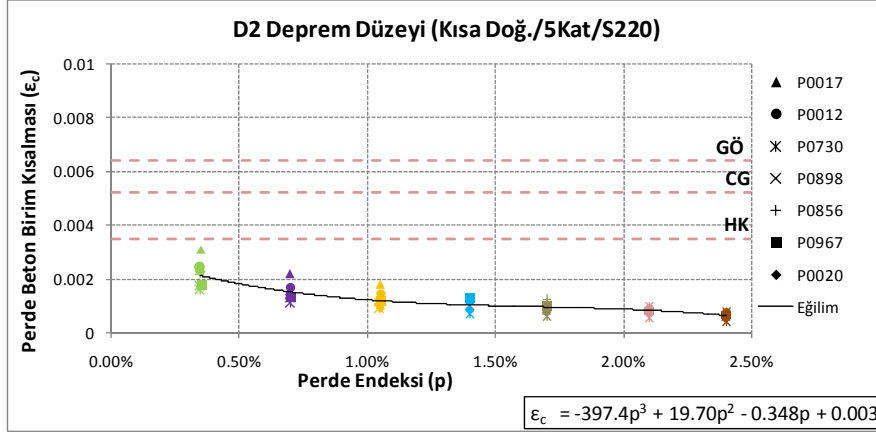
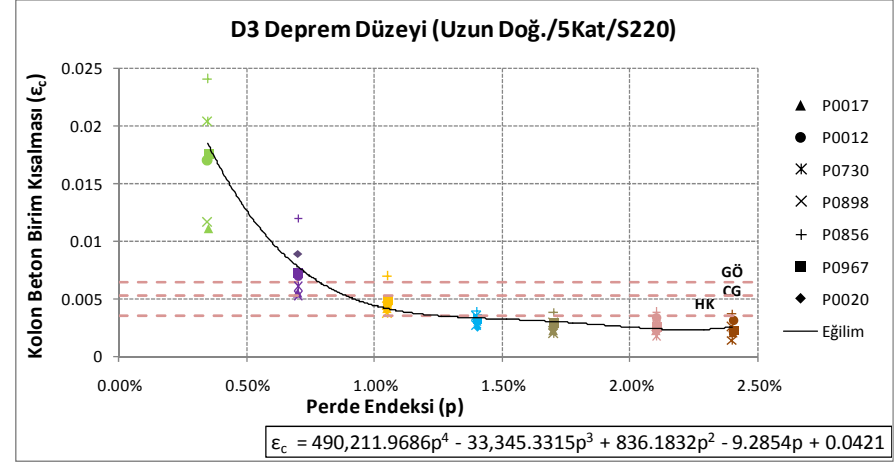
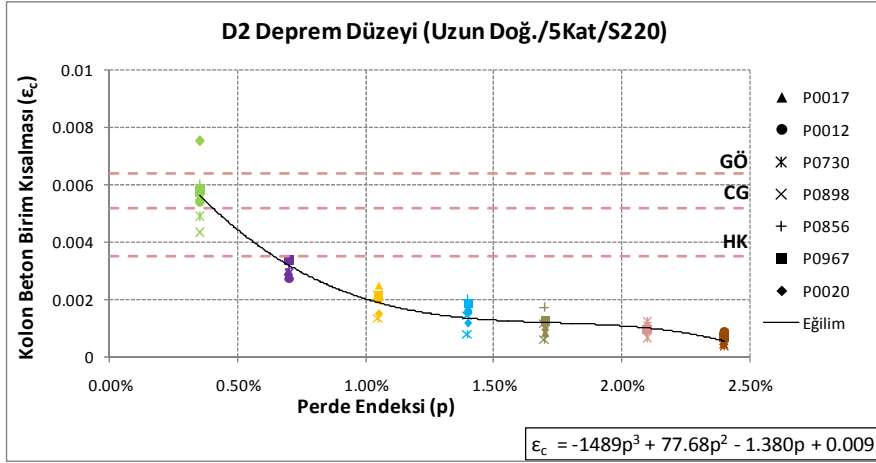
HK: Hemen Kullanım ; CG: Can Güvenliği ; GÖ: Göçme Öncesi ; GD: Göçme Durumu



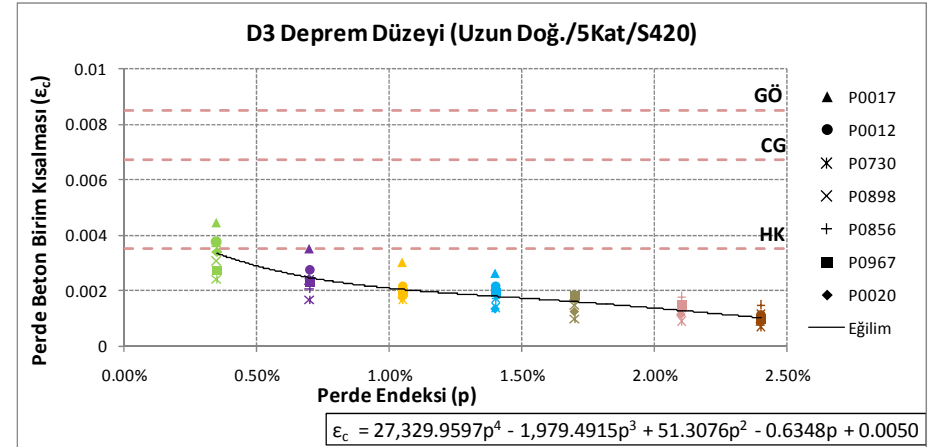
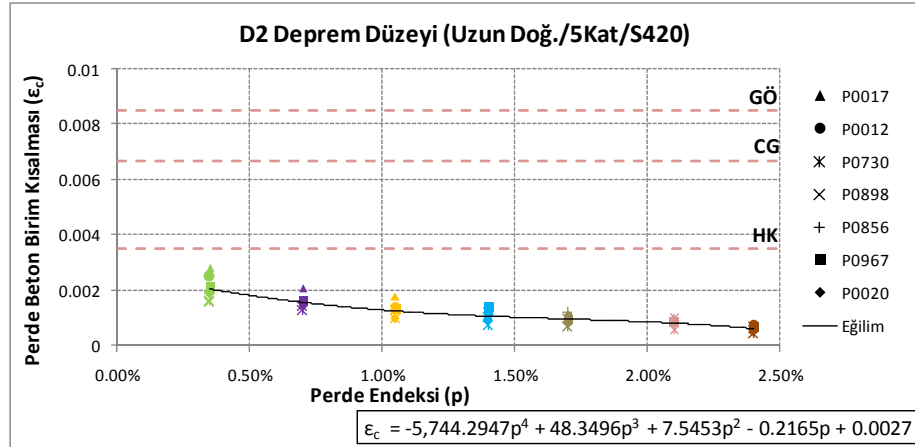
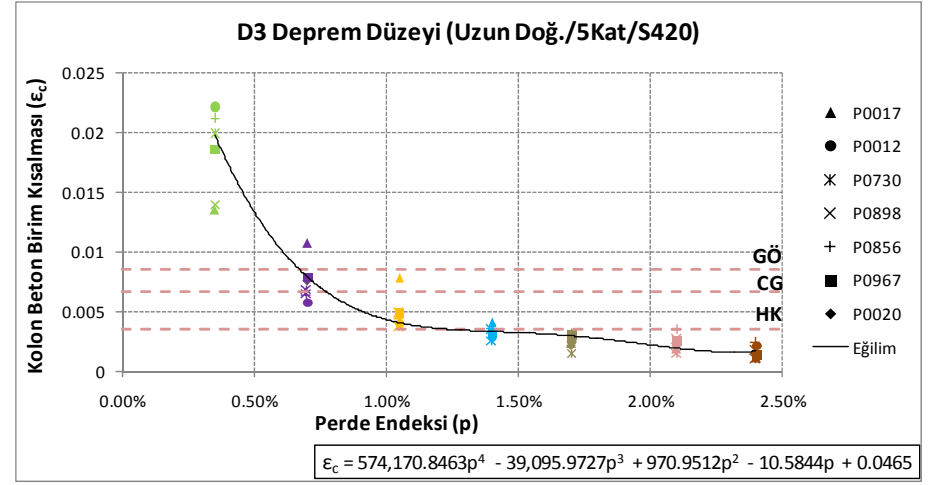
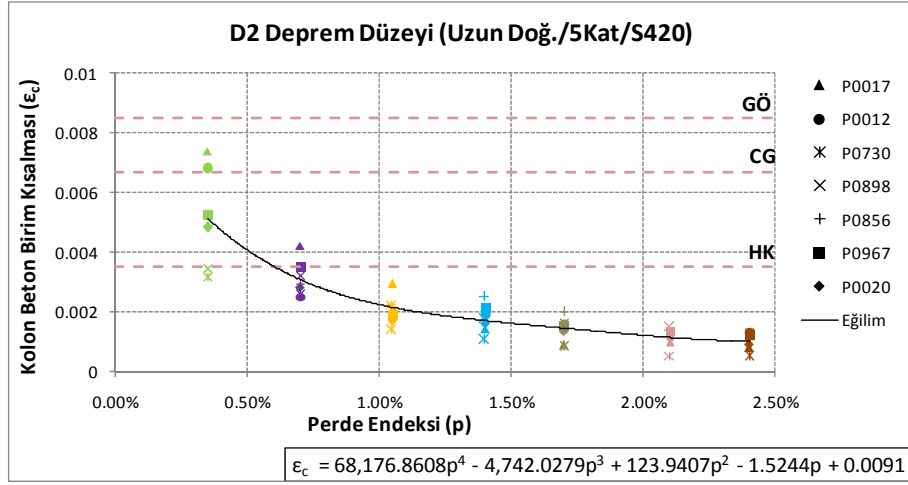
Şekil A.19 : D5KS220 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.



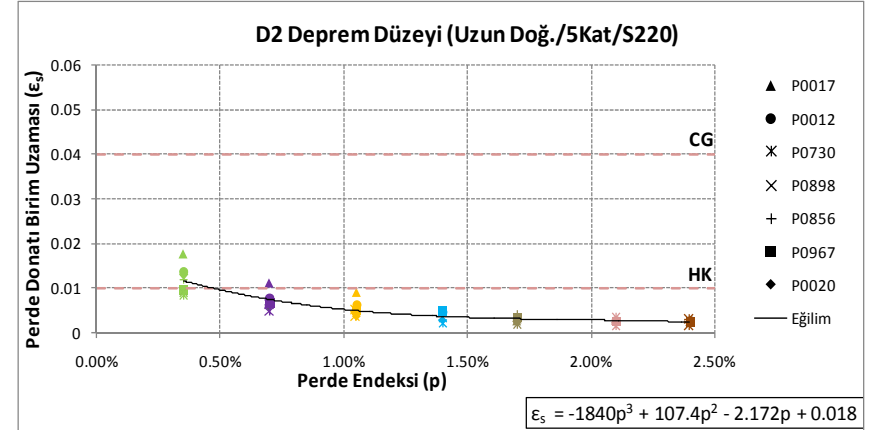
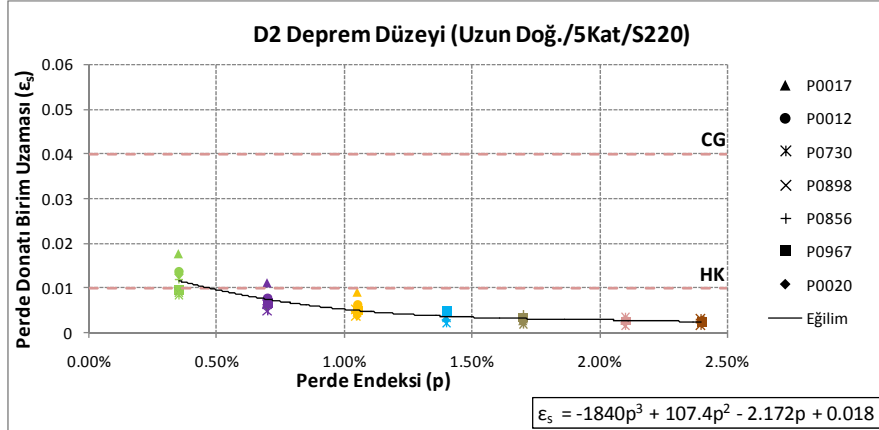
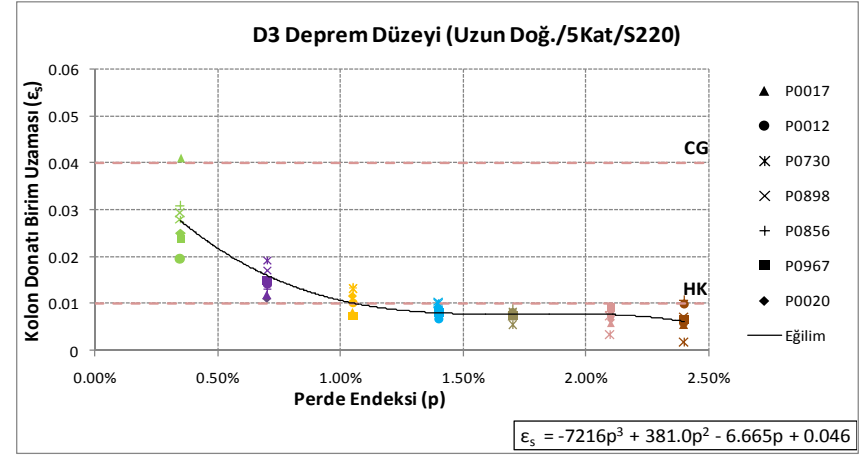
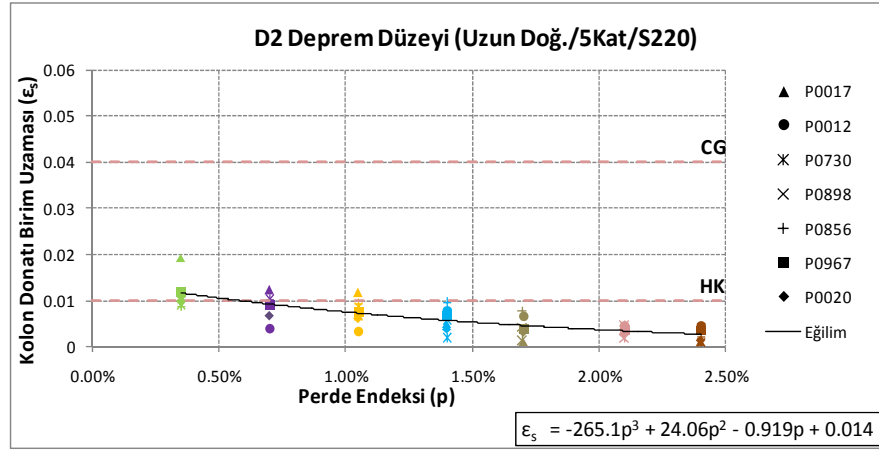
Şekil A.20 : D5KS420 okul binasında elde edilen perde kesme kuvveti - güçlendirme perde oranı ilişkisi.



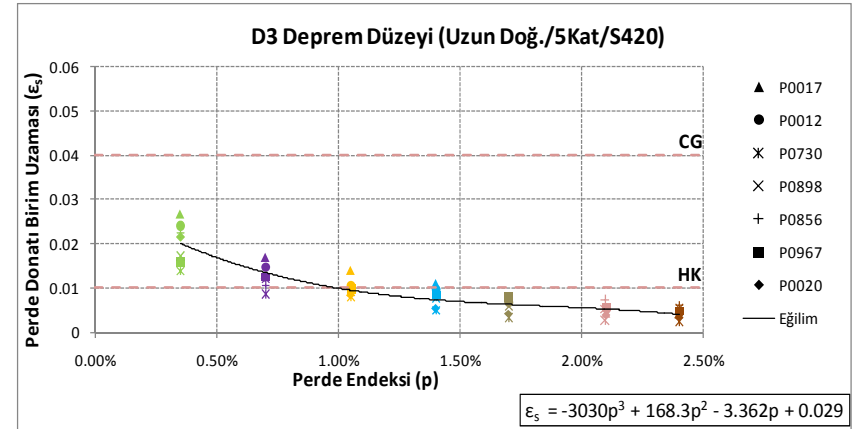
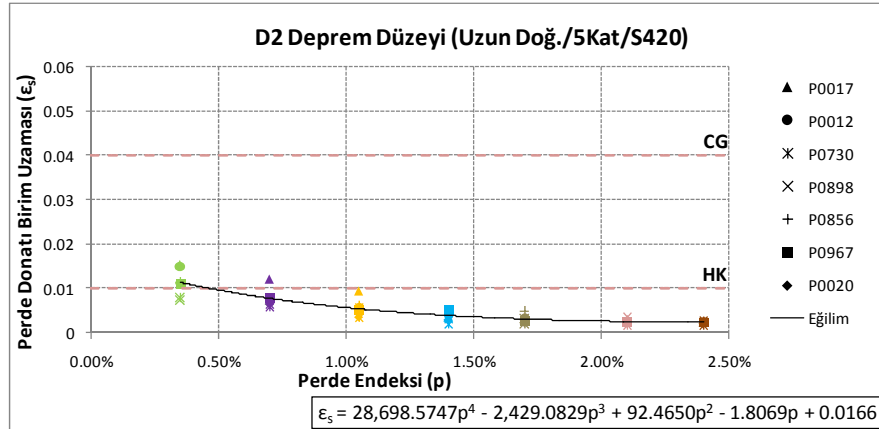
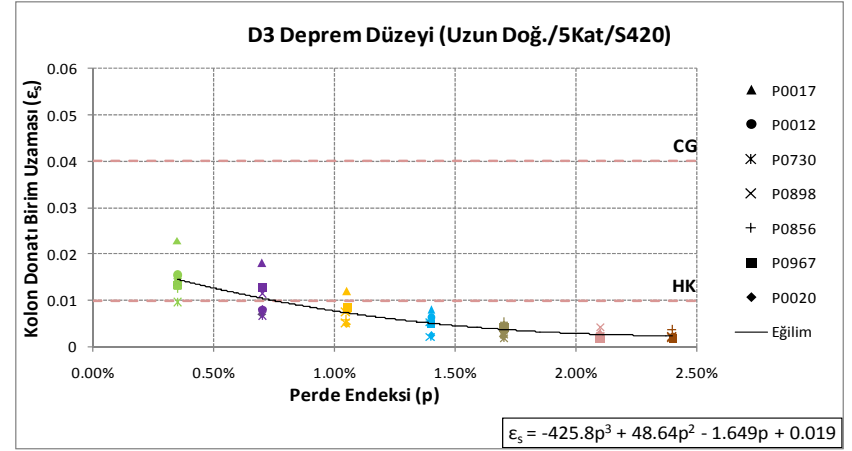
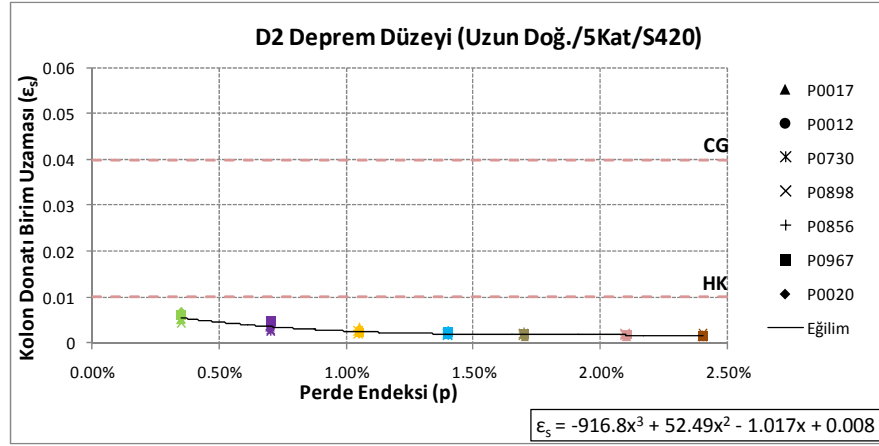
Şekil A.21 : D5KS220 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.



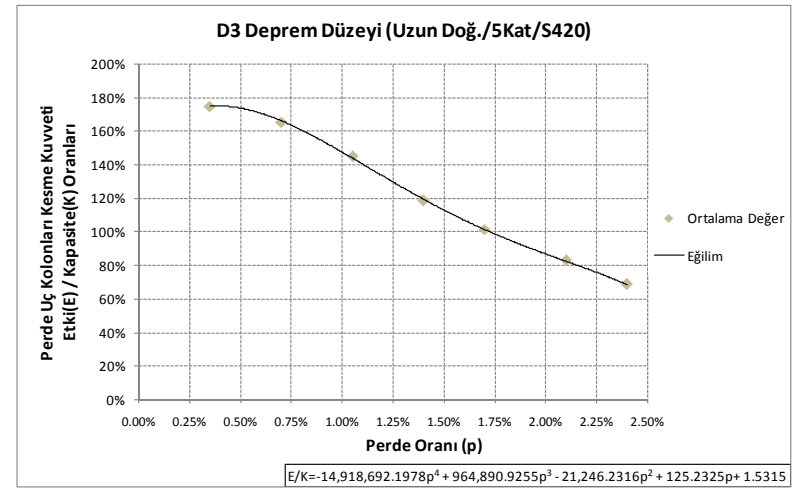
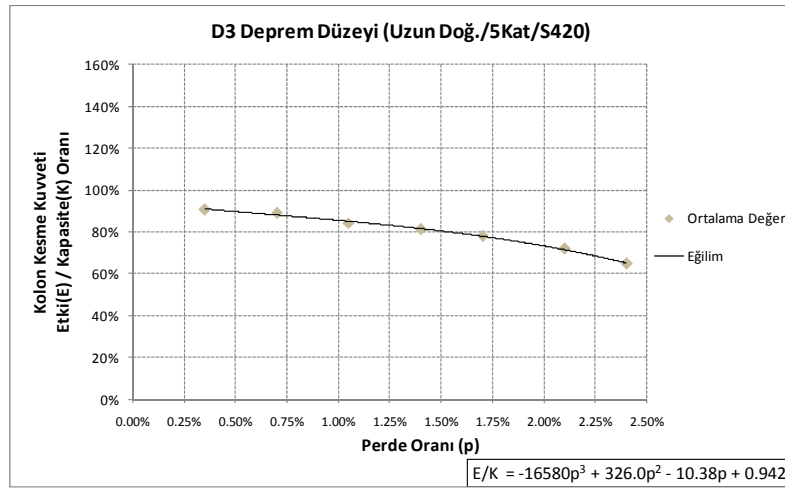
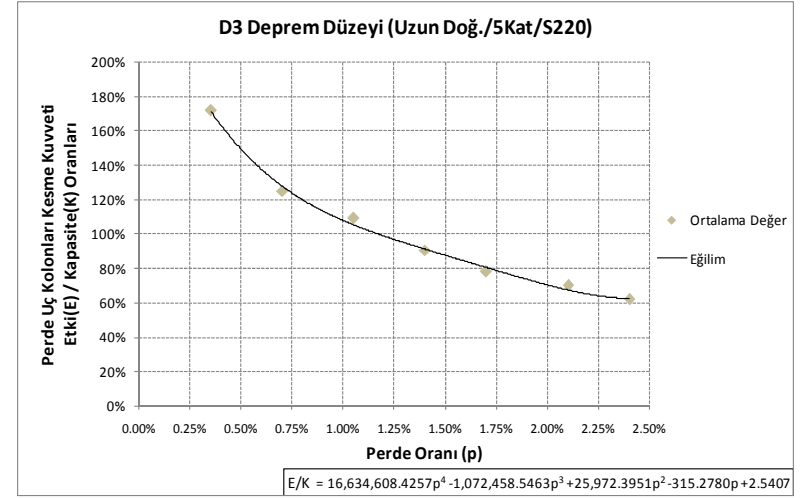
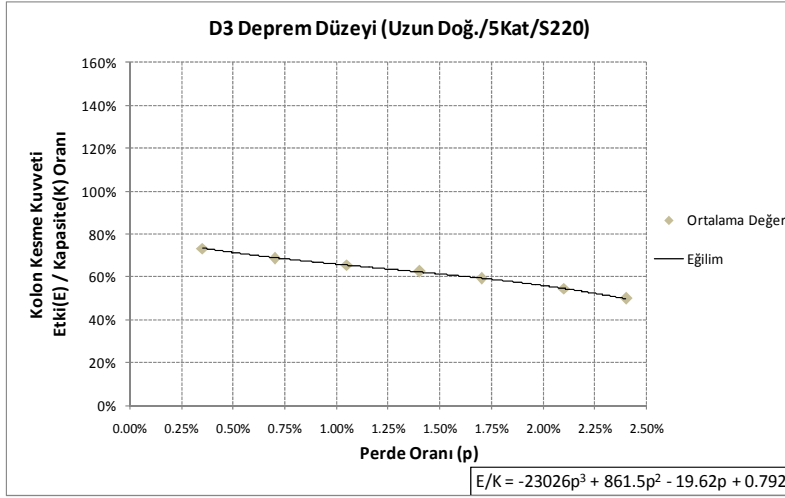
Şekil A.22 : D5KS420 okul binasında kolon ve perde beton birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.



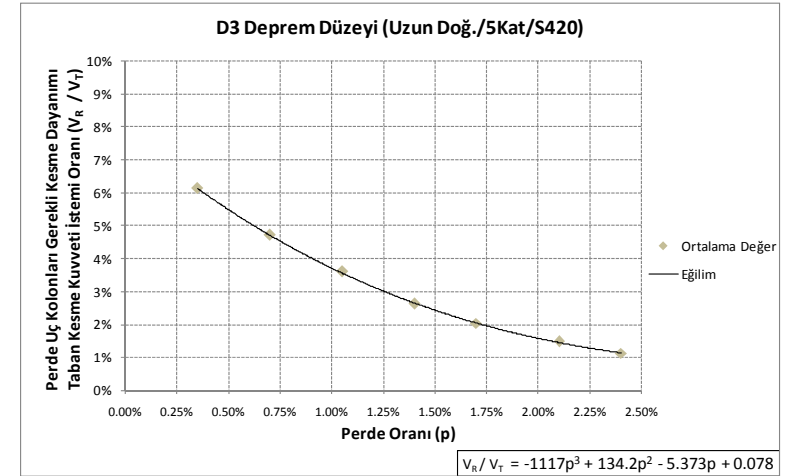
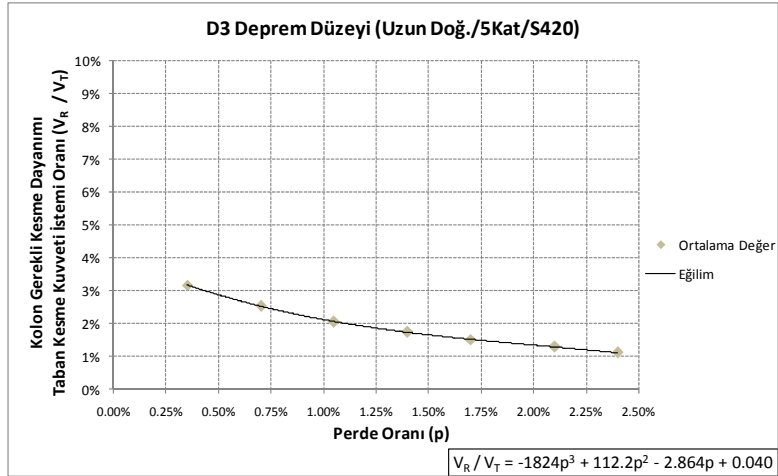
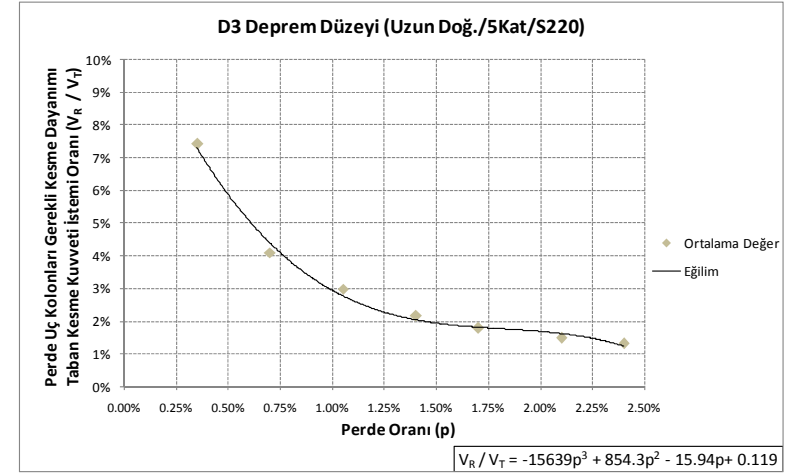
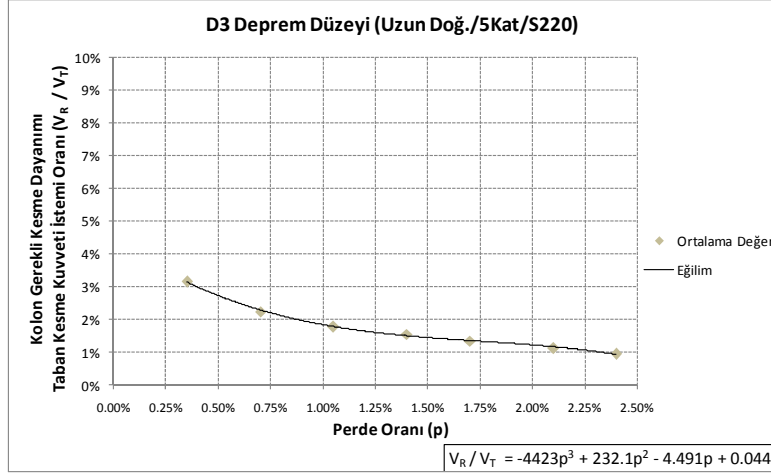
Şekil A.23 : D5KS220 okul binasında kolon ve perde donatı birimşekildeğiştirilmesine bağlı performans seviyeleri.



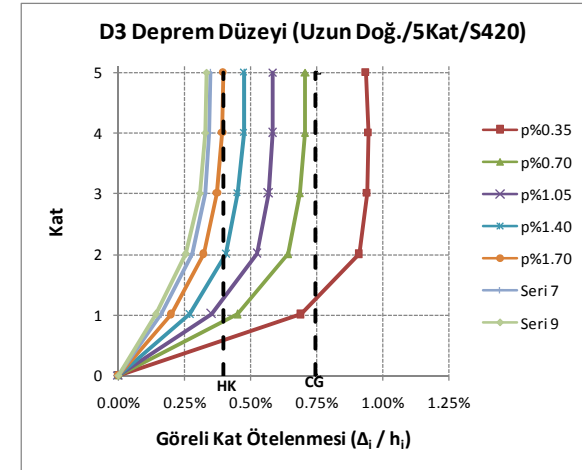
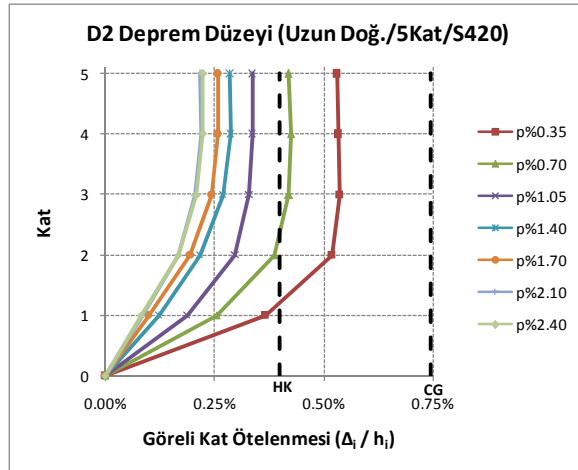
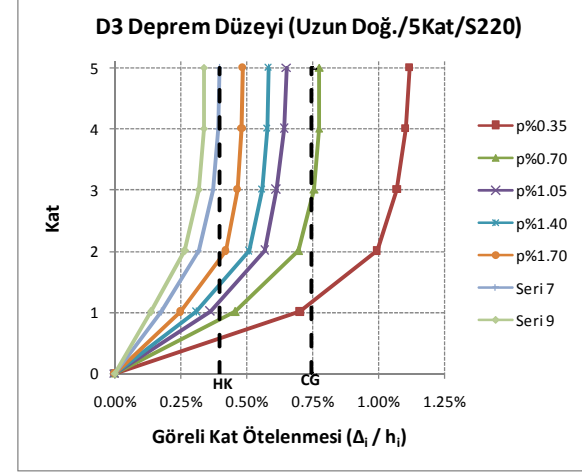
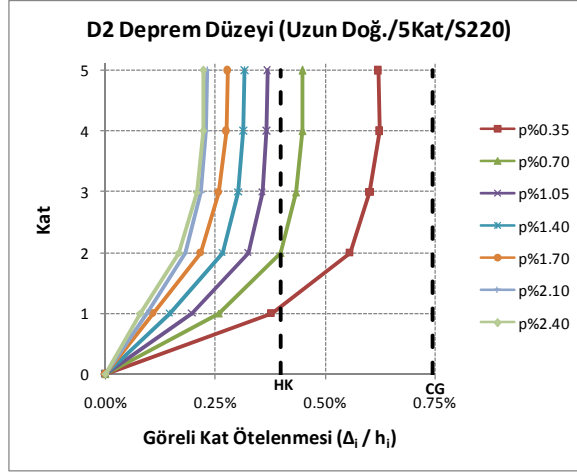
Şekil A.24 : D5KS420 okul binasında kolon ve perde donatı birim şekildeğiştirmesine bağlı performans seviyeleri.



Şekil A.25 : D5KS220 ve D5KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu etki/kapasite oranları.



Şekil A.26 : D5KS220 ve D5KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı kolon ve perde uç kolonu gerekli kesme dayanımı - taban kesme kuvveti istemi oranı.



Şekil A.27 : D5KS220 ve D5KS420 okul binalarında güçlendirme perde oranına bağlı doğrusal olmayan görelî kat ötelenmeleri.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Orkun GÖRGÜLÜ

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara / 23.09.1983

Adres: Oyak Sitesi 6.Blok Daire-7 Seyrantepe/İstanbul

E-Posta: orkungorgulu@yahoo.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği

Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi / Yapı Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Tekfen Mühendislik A.Ş. (Kıdemli Proje Mühendisi)

Yayın ve Patent Listesi:

- **Gorgulu, O. ve Baskan M.** (2011). The Seismic performance evaluation of typical jetty by means of linear and non-linear methods. *The 7th National Conferences on Earthquake Engineering*. İstanbul, Türkiye : İstanbul Teknik Üniversitesi.
- **Bal İ.H., Gülay G., Gorgulu, O. ve Baysal T.** (2007). Investigation on structural characteristics of RC buildings in Adana for use in loss estimation models. *The 6th National Conferences on Earthquake Engineering*. İstanbul, Türkiye : İstanbul Teknik Üniversitesi.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Gorgulu, O. ve Taskın B.** (2014). Evaluation of the convenient RC infill wall index for the strengthening of an existing school building. *The 11th International Congress on Advances in Civil Engineering*. İstanbul, Türkiye : İstanbul Teknik Üniversitesi.
- **Gorgulu, O. ve Taskın B.** (2015). Investigation of ductility reduction factor in seismic rehabilitation of existing reinforced concrete school buildings. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*.

