

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BETONARME PERDE KONUMUNUN YAPI TAŞIYICI
SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Mohammed KAMAL ALI ALI**

**Danışman
Prof. Dr. Fatih ALTUN**

Doktora Tezi

**Temmuz 2021
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BETONARME PERDE KONUMUNUN YAPI TAŞIYICI
SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ
(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan
Mohammed KAMAL ALI ALI**

**Danışman
Prof. Dr. Fatih ALTUN**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
FDK- 2017-7541 kodlu proje ile desteklenmiştir**

**Temmuz 2021
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Mohammed KAMAL ALI ALI

İmza :

YÖNERGEYE UYGUNLUK

Betonarme Perde Konumunun Yapı Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkilerinin İncelenmesi adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır

Hazırlayan

Mohammed KAMAL ALI ALI

Danışman

Prof. Dr. Fatih ALTUN

İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Ahmet Alper ÖNER

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Tez çalışmamı tamamlamamda bana her türlü teşvik ve desteği veren, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Fatih ALTUN hocama sonsuz teşekkür borçluyum.

Çalışmalarım sırasında her ihtiyacım olduğunda benden yardımlarını esirgemeyen sevgili hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÖZBAYRAK'a, Prof. Dr. Abdurrahman EYMEN'e ve Arş. Gör. Tolga KAYNAK'a çok teşekkür ederim.

Deprem Araştırma Laboratuvarındaki uzun deneysel çalışmalarım sırasında beni yalnız bırakmayan değerli arkadaşlarım Sayın İnş. Yük. Müh. Oğuzhan ATAŞ'a, Arş. Gör. Dr. Uğur DURAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince izleme komitesinde bulunan değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Ahmet Alper ÖNER'e, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tamer DİRİKGİL'e ve Sayın Prof. Dr. Cemal Eyyübov'a katkılarından dolayı teşekkür ederim. Çalışmalarımda daha ismini sayamadığım emeği geçen tüm firmalara ve çalışanlarına, üniversitemizin tüm akademik ve idari personeline kalpten teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje kodu: FDK- 2017-7541) teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde özellikle de bu zorlu doktora tez çalışmam sürecinde, benden her türlü desteklerini esirgemeyen sevgili eşime ve büyük sabır gösteren çocuklarım, Yusuf, Hüseyin ve Alperen'e anlayışlarından dolayı teşekkür ediyorum.

Bu çalışmayı beni bugünlere getiren ve hayatımda her zaman örnek aldığım merhum anneme ithaf ediyorum...

MOHAMMED KAMAL ALI ALI

Temmuz 2021, KAYSERİ

BETONARME PERDE KONUMUNUN YAPI TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

MOHAMMED KAMAL ALI ALI

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi, Temmuz 2021
Danışman: Prof. Dr. Fatih ALTUN**

ÖZET

Bu çalışma ile deprem etkisi altında betonarme çerçeve içerisindeki perde konumunun değişmesi sonucu, taşıyıcı sistemde oluşacak burulma etkilerinin ve taşıyıcı sistemin kuvvet-deplasman ilişkileri arasındaki değişiminin betonarme taşıyıcı sistem davranışına etkisinin deneysel ve sayısal olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, tek katlı, her iki yönde iki açıklığı bulunan üç boyutlu bir çerçeveye biri perdesiz diğer dört numune farklı konumlarda perdeli olarak tasarlanmıştır. Toplam 5 adet 1/2 ölçekli betonarme taşıyıcı sistem imal edilerek, deprem yükü etkisi altında laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Literatürde ise bu konuda daha çok nümerik olarak yapı davranışının anlaşılmasına dair çalışmalara rastlanmaktadır. Çalışma sonucunda, dayanım zarfı, rijitlik, enerji tüketimi, yapıdaki burulma, çatlak oluşumu, geliştirilen farklı bir yöntem ile alınan tepe deplasmanı, beton ve donatıdaki gerilme sonuçları, deneysel ve nümerik olarak değerlendirilmiştir. Betonarme perde konumuna bağlı olarak, deneysel modellerdeki akma yükü, tepe deplasman miktarı ve yapı burulmasında ciddi farklılıklar gözlenmiştir. Betonarme perdenin bulunup bulunmaması, perde konumunun simetrik olup olmaması ve yapı içerisindeki perdenin konumu, yatay kuvvetler etkisi altında yapı davranışını etkilemektedir. Depreme karşı dayanıklı yapı elde edebilmek için betonarme perdenin simetrik ve düzenli bir şekilde kullanılmasının son derece önemli olduğu deneylerle görülmüştür. Özellikle betonarme perdenin konumu olarak yapının dış aksında tek tarafta olması burulmaya yol açarken iç aksta bulunması yapı direncine daha fazla katkı sağlamaktadır. Buna ilaveten perdenin orta aksta bulunması halinde itme kuvveti tarafında bulunması çekme tarafında bulunmasından, sistem enerji yutma ve direnci bakımından daha etkili olduğu saptanmıştır. Deneysel çalışmalarda yapı deplasmanını ve burulmasını belirlemek için Total Station cihazı ile okuma yapmanın en az deplasman ölçerler kadar etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır. Bu sayede deneysel çalışmalar esnasında yapı hareketlerini saptamak için yeni, çok yaygın olmayan ve etkili

bir yöntem geliştirilmiştir. Yapı davranışını doğrudan etkileyen betonarme perdenin konumu sonlu elemanlar yönteminin kullanılması ile belirlenerek en iyi tasarımın ortaya konulabileceği çalışma ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem etkisi, Betonarme perde konumu, A1 düzensizliği, Perde-Çerçeve Sistemler.



INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF REINFORCED CONCRETE SHEAR WALL LOCATION ON STRUCTURAL SYSTEM BEHAVIOR

MOHAMMED KAMAL ALI ALI

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

PhD Thesis, July 2021

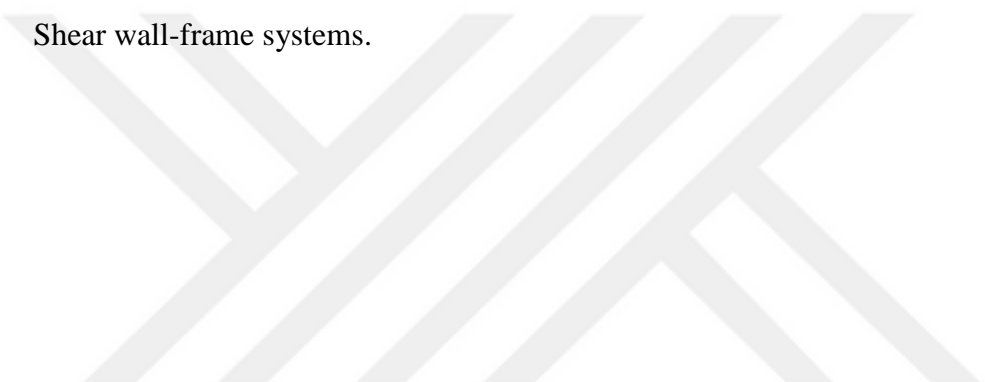
Supervisor: Prof. Dr. Fatih ALTUN

ABSTRACT

In this study, it is aimed to experimentally and numerically determine the torsional effects that will occur in the structural system and the change between the force-displacement relations of the behavior of the reinforced concrete structural system which occur as a result of the change in location of shear wall which is inside the reinforced concrete frame under the influence of the earthquake. For this purpose, a single story, three-dimensional frame with two openings in both directions was designed, one of them without shear wall and the other four samples with shear walls at different locations. A total of 5, 1/2 scale reinforced concrete structural systems were manufactured and the results obtained from the experiments carried out in the laboratory environment under the effect of earthquake load were compared. In the literature, as it is seen that there are studies in understanding of the building's behavior numerically on this subject. As a result of the study, strength envelope, stiffness, energy consumption, torsion in the structure, crack formation, floor displacement obtained with different methods developed, stress results in concrete and reinforcement were evaluated experimentally and numerically. Depending on the reinforced concrete shear wall's location, significant differences were observed in the yield load, floor peak's displacement amount and structure torsion in the experimental models. The presence or absence of reinforced concrete shear walls, whether the location of the shear wall is symmetrical or not, and the location of the shear wall inside the building which affects the behavior of the building's structural system under the influence of lateral forces. Experiments have shown that it is extremely important to use the reinforced concrete shear walls symmetrically and regularly in order to obtain an earthquake resistant structure, especially as the location of the reinforced concrete shear wall, it causes torsion while it is on the outer axis of the structure, while if it is on the inner axis, it contributes more to the resistance of the building. In addition, in case of the shear wall is on the middle axis and it is on the pushing force side instead of the pulling force side,

it is determined that the system is more effective in terms of energy absorption and resistance. The Total Station device has proven to be an effective method at least as Displacement Meters in order to determine the structural displacement and torsion in the experimental studies. In this way, a new, uncommon and effective method has been developed to detect the movements in building during experimental studies. In this study by using Finite Element method, it is aimed to determine the best design of the location of reinforced concrete shear wall, which directly affects the behavior of the building.

Keywords: Earthquake effect, Reinforced concrete shear wall location, A1 irregularity, Shear wall-frame systems.



İÇİNDEKİLER

BETONARME PERDE KONUMUNUN YAPI TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER	x
KISALTMALAR ve SİMGELER	xiv
TABLolar LİSTESİ.....	xv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvii

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Tez Konusu ile İlgili Temel Bilgiler	3
1.1.1. A1 Burulma Düzensizliği.....	4
1.1.2. Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler	6
1.1.2.1. Çerçeve Sistemler	6
1.1.2.2. Perdeli Sistemler.....	7
1.1.2.3. Karma Sistemler (Perde-Çerçeve Sistemler).....	7
1.1.2.4. Çekirdek Sistemler	8
1.1.2.5. Tüp Sistemler	9
1.1.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi	10
1.1.4. Betonarme Perdenin Eğik Çekme Güç Tükenmesi Mekanizması	12
1.1.5. Betonarme Perdede Eğik Basınç Güç Tükenmesi Mekanizması	13
1.1.6. Betonarme Perde Tabanında Kayma Güç Tükenmesi	14
1.1.7. Betonarme Perdelerin Tasarımı ve Mevcut Binada Yerlerinin Tespiti..	15
1.2. Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	16

1.3. Tezin Yapılan Çalışmalardaki Yeri.....	34
---	----

2. BÖLÜM

GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Deneysel Program.....	37
2.1.1. Deneysel Modellerin Geometrik ve Malzeme Özellikleri.....	38
2.1.2. Deneysel Modellerin Ölçeklendirilmesi	39
2.1.3. Deneysel Modellerin Projelendirilmesi	41
2.1.4. Deneysel Modellerin İmalatı	53
2.2. Deney Düzenliğinin Tasarımı	62
2.2.1. Eksenel Yükleme Düzenliği	63
2.2.2. Yatay Yükleme Düzenliği	65
2.2.3. Çelik Deney Düzenliğinin Projesi	66
2.3. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Aletleri ve Cihazlar	72
2.3.1. Total Station Cihazı	73
2.3.2. LVDT ve Potansiyometrik Cetvel	74
2.3.3. Strain Gauge.....	75
2.4. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	80
2.4.1. Beton Basınç Dayanımı	81
2.4.2. Beton Yarmada Çekme Dayanımı	86
2.4.3. Donatı Çeliği Akma Dayanımı.....	87
2.4.4. Karot Numune Alımı	89
2.5. Deney Düzenliğinin Kurulması ve Deneylerin Uygulanması.....	91
2.5.1. Deney Düzenliğinin Kurulması	93
2.5.2. Deneylerin Uygulama Adımları.....	99
2.6. Nümerik Simülasyonlar	100
2.6.1. ANSYS Programında Modelleme.....	100
2.6.2. Yükleme ve Analiz	110

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Deneysel Bulgular.....	119
3.1.1. Deneysel Yükleme Programları.....	120

3.1.2. Deneysel Kuvvet Deplasman İlişkisi	135
3.1.3. Deneysel Numunelerin Dayanım Zarfları	137
3.1.4. Deneysel Rijitlik Azalımı.....	139
3.1.5. Deneysel Tüketilen Enerji.....	141
3.1.6. Deneysel Düktilite Hesabı	143
3.1.7. Deneysel Çatlak Gelişimi	143
3.1.7.1. Model 1 Numunesi Deneysel Çatlak Gelişimi.....	145
3.1.7.2. Model 2 Numunesi Deneysel Çatlak Gelişimi.....	151
3.1.7.3. Model 3 Numunesi Deneysel Çatlak Gelişimi.....	161
3.1.7.4. Model 4 Numunesi Deneysel Çatlak Gelişimi.....	171
3.1.7.5. Model 5 Numunesi Deneysel Çatlak Gelişimi.....	182
3.1.8. Total Station Cihazı ile Deneysel Deplasman Ölçümü	194
3.1.9. Potansiyometrik Cetvel ile Total Station Okumalarının Karşılaştırılması	196
3.1.10. Deneysel Birim Deformasyon Ölçümü.....	202
3.2. Nümerik Bulgular.....	232
3.2.1. Nümerik Yükleme Programları	233
3.2.2. ANSYS'te Nümerik Yer değiştirmeler	233
3.2.3. ANSYS'te Nümerik Dayanım Zarfı	243
3.2.4. ANSYS'te Nümerik Rijitlik Azalımı	244
3.2.5. Nümerik Tüketilen Enerji.....	245
3.2.6. Nümerik Çatlak Gelişimi	247
3.2.7. Nümerik Gerilme Dağılımı	253
3.3. Deneysel ve Nümerik Bulguların Karşılaştırılması.....	263
3.3.1. Yükleme Programlarının Karşılaştırılması.....	263
3.3.2. Kuvvet Deplasman İlişkilerinin Karşılaştırılması	265
3.3.3. Dayanım Zarflarının Karşılaştırılması.....	267
3.3.4. Rijitlik Azalımları Karşılaştırılması	268
3.3.5. Tüketilen Enerjilerin Karşılaştırılması	269

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Deneysel Sonuçların değerlendirilmesi	270
--	-----

4.2. Nümerik Sonuçların Değerlendirilmesi.....	276
4.3. Deneysel ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması	277
4.4. Sonuç.....	278
KAYNAKÇA	281
EKLER.....	288
EK 1.	288
EK 2.	289
EK 3.	291
EK 4.	293
EK 5.	296
ÖZGEÇMİŞ.....	299

KISALTMALAR VE SİMGELER

F_y	Yayay deprem yükü,
M_z	Yatay deprem yükünde oluşan burulma momenti,
e	Dış merkezlik ,
$\Delta_{i \max}$	Binanın i'nci katındaki en büyük azaltılmış görelî kat ötelemesi,
$\Delta_{i \min}$	Binanın i'nci katındaki en küçük azaltılmış görelî kat ötelemesi,
$\Delta_{i \text{ort}}$	Binanın i'nci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi,
η_{bi}	i'nci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı,
TDY2007	2007 Türk Deprem Yönetmeliği,
TDY2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018,
TS500	Türk standartı betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları,
ℓ_w	Perdenin plandaki uzunluğu,
b_w	Kiriş gövde genişliği, Perdenin gövde kalınlığı,
A_g	Bir kattaki toplam perde alanı,
A_p	Katın toplam alanı,
A_c	Kolon kesit alanı,
A_s	Kesitteki donatı alanı,
f_{ck}	Karakteristik beton basınç dayanımı,
f_{cd}	Tasarım beton basınç dayanımı,
f_{yd}	Hesap çelik akma dayanımı,
N_d	TS500'e göre kesitin taşıyabileceği maksimum eksenel yük,
S_σ	Gerilme ölçeği faktörü
S_l	Uzunluk ölçeği faktörü
S_E	Elastisite modülü ölçeği faktörü
η_{bi}	i kattaki tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı,

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Pratik Gerçek Model Ölçekleme Katsayıları	40
Tablo 2.2.	Deneysel Modellerin Ölçeklenmesi	41
Tablo 2.3.	TS500'e Göre Temel Beton Sınıfı	81
Tablo 2.4.	TS EN 206-1'e Göre Temel Beton Sınıfı	81
Tablo 2.5.	TS500'e Göre Üst Yapı Beton Sınıfı	82
Tablo 2.6.	TS500'e Göre Üst Yapı Beton Sınıfı	82
Tablo 2.7.	TS EN 206-1'e Göre Üst Yapı Beton Sınıfı	83
Tablo 2.8.	TS EN 206-1'e Göre Üst Yapı Beton Sınıfı	83
Tablo 2.9.	TS EN 12390-6 'ya Göre Yarmada Çekme Dayanımı	87
Tablo 2.10.	Donatıların Akma Dayanımı Testindeki Ebatları ve Yüzde Uzamalar.....	89
Tablo 2.11.	Karot Numune Dayanım Deneyi Sonuçları.....	91
Tablo 2.12.	Deney Düzeneği Bileşenleri	99
Tablo 3.1.	Deneylerin Akma Yüğü ve Deplasmanları.....	136
Tablo 3.2.	Deney Numunelerinin Yatay Yük Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması.....	137
Tablo 3.3.	Deneysel Modellerin Rijitliklerinin Karşılaştırılması	139
Tablo 3.4.	Deneysel Modellerin Enerji Tüketim Kapasitelerinin Karşılaştırılması.....	141
Tablo 3.5.	Deney Modellerin Düktilite Katsayılarının Karşılaştırılması.....	143
Tablo 3.6.	İlk Çatlak Oluşumu.....	144
Tablo 3.7.	Model 1 Yükleme adımlarına göre çatlak ilerlemesi	145
Tablo 3.8.	Model 2 Adımlara göre Çatlak İlerlemesi	152
Tablo 3.9.	Model 3 Adımlara göre Çatlak İlerlemesi	162
Tablo 3.10.	Model 4 Adımlara göre Çatlak İlerlemesi	172
Tablo 3.11.	Model 5 Adımlara göre Çatlak İlerlemesi	183
Tablo 3.12.	Akma Döngüsü İtme Kuvvetindeki A1 Düzensizliği Kontrolü	198
Tablo 3.13.	Akma Döngüsü Çekme Kuvvetindeki A1 Düzensizliği Kontrolü	199
Tablo 3.14.	Deney Sonu İtme Kuvvetindeki A1 Düzensizliği Kontrolü.....	200
Tablo 3.15.	Deney Sonu Çekme Kuvvetindeki A1 Düzensizliği Kontrolü.....	201

Tablo 3.16.	TDY2007 Birim Şekil değiştirme ve Görelİ Kat Ötelemesi Sınırları ...	204
Tablo 3.17.	(Model 1) Deneyinde Farklı Hasar Sınırlarında Kolonlardaki Birim Deformasyonlar	230
Tablo 3.18.	(Model 2) Deneyinde Farklı Hasar Sınırlarında Kolonlar ve Perdelerdeki Birim Deformasyonlar.....	230
Tablo 3.19.	(Model 3) Deneyinde Farklı Hasar Sınırlarında Kolonlar ve Perdelerdeki Birim Deformasyonlar.....	231
Tablo 3.20.	(Model 4) Deneyinde Farklı Hasar Sınırlarında Kolonlar ve Perdelerdeki Birim Deformasyonlar.....	231
Tablo 3.21.	(Model 5) Deneyinde Farklı Hasar Sınırlarında Kolonlar ve Perdelerdeki Birim Deformasyonlar.....	232
Tablo 3.22.	Nümerik Yatay Yük Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması.....	244
Tablo 3.23.	Nümerik Rijitliklerinin Karşılaştırılması.....	245
Tablo 3.24.	Nümerik Modellerin Enerji Tüketim Kapasitelerinin Karşılaştırılması.....	246

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Yatay yük altında çerçeve ve perde duvar davranışı	4
Şekil 1.2.	(a) Deprem yüklerinin kütle merkezine etkimesi (b) rijitlik merkezi etrafında dönmesi ve (c) iki merkezin çakışması durumu	5
Şekil 1.3.	Döşemelerin rijit diyafram olarak çalıştığı yapılarda burulma	5
Şekil 1.4.	Kayma kirişi davranışını gösteren düzlem çerçeve	7
Şekil 1.5.	Eğilme kirişi davranışı gösteren düzlem perde	7
Şekil 1.6.	Perde çerçeve etkileşimi	8
Şekil 1.7.	Çekirdek perde sistemlerden örnekler	8
Şekil 1.8.	Çekirdek Çerçeve Sistemlere Örnekler	9
Şekil 1.9.	Tüp Sistemlerden Örnekler	10
Şekil 1.10.	Bir, İki ve Üç Boyutlu Sonlu Eleman Örnekleri	11
Şekil 1.11.	Düzensiz Geometriye Sahip Bir Levhanın Üçgen Sonlu Elemanlarla İdealleştirilmesi	11
Şekil 1.12.	Betonarme Perdelerde Eğik Çekme Güç Tükenmesi	13
Şekil 1.13.	Betonarme Perdelerde Eğik Basınç Güç Tükenmesi	14
Şekil 1.14.	Betonarme Perdelerde Kayma Güç Tükenmesi	15
Şekil 2.1.	Taşıyıcı Sistem Modeli	37
Şekil 2.2.	Referans Model (Model 1) Kalıp planı (ebatlar cm cinsindedir)	38
Şekil 2.3.	Perdeli Model (Model 2) Kalıp planı (ebatlar cm cinsindedir)	39
Şekil 2.4.	Referans Model (Model 1) Temel Aplikasyon Planı.....	42
Şekil 2.5.	A-A Temel Kesiti.....	42
Şekil 2.6.	Perdeli Model (Model 2) Temel Aplikasyon Planı.....	43
Şekil 2.7.	Temel Donatı Detayları	44
Şekil 2.8.	Referans Model Kolon Aplikasyon Planı	44
Şekil 2.9.	Perdeli Model (Model 2) Kolon Aplikasyon Planı.....	45
Şekil 2.10.	Referans Model Etriye Detayı	45
Şekil 2.11.	Perdeli Model (Model 2) Etriye Detayı	45
Şekil 2.12.	Referans Model Kolon Kesiti Donatı Detayı.....	46
Şekil 2.13.	Perdeli Model (Model 2) Kolon ve Perde Kesiti Donatı Detayı	47
Şekil 2.14.	Referans Model (Model 1) Kalıp Planı	48
Şekil 2.15.	Perdeli Model (Model 2) Kalıp Planı	49
Şekil 2.16.	Deneyisel Modellerin Kalıp Planları	50

Şekil 2.17.	Referans Model (Model 1) Kiriş Detayları.....	51
Şekil 2.18.	Perdeli Model (Model 2) Kiriş Detayları	52
Şekil 2.19.	Temel Kalıbı İmalatı.....	53
Şekil 2.20.	Temel Kalıbı Yağlanması ve Temel İmalatının Donatıları	54
Şekil 2.21.	Temel Altına Naylon Serilmesi ve Merkezlerin Belirlenmesi.....	54
Şekil 2.22.	Temel Donatılarının Yerleştirilmesi	55
Şekil 2.23.	Kolon ve Perde boyuna Donatı Yerleştirmesi	55
Şekil 2.24.	Plastik Boruların Yerleştirilmesi	55
Şekil 2.25.	Perdesiz Model (Model 1) Strain Gauge Yerleşim Detayı.....	56
Şekil 2.26.	Perdeli Model (Model 2) Strain Gauge Yerleşim Detayı	57
Şekil 2.27.	Temel Betonunun Dökülmesi ve Bakımı.....	58
Şekil 2.28.	Strain Gauge Montajı	59
Şekil 2.29.	Betonarme Taşıyıcı Sistem Numunelerinin İmalatı.....	60
Şekil 2.30.	Üst Yapı Betonunun Dökülmesi, Bakımı ve Numune alımı	61
Şekil 2.31.	Betonarme Taşıyıcı Sistem Numunelerinin Taşınması	61
Şekil 2.32.	Deney Düzeneği Üç Boyutlu Tasarımı	62
Şekil 2.33.	Kolona ve Perde Uç Bölgelerine Gelen Eksenel Yük Miktarı	64
Şekil 2.34.	Eksenel Yükleme Düzeneği	64
Şekil 2.35.	Eksenel Yükleme Çerçevesi	65
Şekil 2.36.	Yatay Yükleme Düzeneği	66
Şekil 2.37.	Eksenel Yükleme Düzeneği Kolon Aplikasyon Planı	67
Şekil 2.38.	Eksenel Yükleme Çelik Düzeneğinin Konstrüksiyon Planı	67
Şekil 2.39.	Eksenel Yükleme Düzeneği Kesit ve Detayları	68
Şekil 2.40.	Deneyin Yatay Yükleme Düzeneği Yan Görünüş	69
Şekil 2.41.	Yatay Yükleme Düzeneği Kesit ve Detayları	69
Şekil 2.42.	Yatay Yükleme Düzeneği Planı	69
Şekil 2.43.	Yatay Yükleme Düzeneği Ön Görünüş	69
Şekil 2.44.	Yatay Yükleme Düzeneği Arka Görünüş	70
Şekil 2.45.	Eksenel Yükleme Çerçevesi Planı	70
Şekil 2.46.	Eksenel Yükleme Çerçevesinin Mesnet Detayı	71
Şekil 2.47.	Temel Ankraj ve Yatay Yükleme Transmisyon Mili Detayı	72
Şekil 2.48.	Referans Model Cihaz ve Ölçüm Aletlerinin Yerleşim Planı.....	72
Şekil 2.49.	Veri Toplama Sistemi	73

Şekil 2.50.	Total Station cihazı ve Reflektörlü Kâğıt Detayı.....	73
Şekil 2.51.	Nivo Kullanımı ve Reflektörlü Kâğıt Yerleşim Planı	74
Şekil 2.52.	Potansiyometrik Cetvel ve LVDT	75
Şekil 2.53.	Potansiyometrik Cetvel, LVDT ve Ankraj Yerleşimi	75
Şekil 2.54.	Strain Gauge Yerleşimi.....	76
Şekil 2.55.	Model 1’de Strain Gauge ve Deplasman Ölçerlerin Yerleşimi	77
Şekil 2.56.	Model 2 (Perdeli Model)’de Strain Gauge ve Deplasman Ölçerlerin Yerleşimi.....	78
Şekil 2.57.	Strain Gaugelerin Direnç Kontrolü.....	78
Şekil 2.58.	Wheatstone köprüsü.....	79
Şekil 2.59.	Numune İmalatlarında Kullanılan Donatılar	80
Şekil 2.60.	Küp Numunelerin Basınç Dayanımını Ölçen Pres Cihazı.....	83
Şekil 2.61.	Beton Basınç Dayanımı ve Çekmede Yarma Deneyi Cihazı	84
Şekil 2.62.	Deneyleri Yapılan Silindir ve Küp Numuneler	84
Şekil 2.63.	Beton Basınç Dayanımı Deneyi.....	84
Şekil 2.64.	Üst Yapı Silindirik Beton Numunelerin Gerilme Şekil değiştirme Grafikleri.....	85
Şekil 2.65.	Beton Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi.....	86
Şekil 2.66.	Donatı Çekme Dayanımı Deneyi.....	87
Şekil 2.67.	Ø4 Donatısı Gerilme Şekil değiştirme Grafiği	88
Şekil 2.68.	Ø6 Donatısı Gerilme Şekil değiştirme Grafiği	88
Şekil 2.69.	Ø8 Donatısı Gerilme Şekil değiştirme Grafiği	89
Şekil 2.70.	Karot Numune Dayanım Deneyleri	90
Şekil 2.71.	Taşıyıcı Sistem Modellerin Laboratuvar İçine Yerleştirilmesi.....	92
Şekil 2.72.	Laboratuvar Zemin Platform Altındaki Galeri Boşluğu.....	92
Şekil 2.73.	Model Temelinin Ankraj ile Laboratuvar Tabanına Bağlanması	93
Şekil 2.74.	Kütle Beton Yerinin Belirlenmesi ve Yerleştirilmesi	93
Şekil 2.75.	Örümcek Şekilli Eksenel Yük Düzeneginin Yerleştirilmesi	94
Şekil 2.76.	Yükleme Duvarındaki Yatay Yön Kriko Pano ve Detayı.....	95
Şekil 2.77.	Yatay Yüklemeye Düzeneginin Yerleştirilmesi	95
Şekil 2.78.	Eksenel Yüklemeye Çerçevesinin Yerleştirilmesi	96
Şekil 2.79.	Ölçüm ve Test Cihazlarının Montaj ve Bağlantılarının Yapılması	97
Şekil 2.80.	Ölçüm Cihazlarının ve Strain Gauge Köprü Kablolarının Bağlanması.....	97

Şekil 2.81. Deneç Ölçümlerinin Bilgisayar Yazılımı ile Kayıt Edilmesi	98
Şekil 2.82. Deneç Düzenegİ.....	98
Şekil 2.83. Deneysel Modellerin Numaralandırılması ve Yükleme Yönü	99
Şekil 2.84. Analiz Tipinin Seçimi	100
Şekil 2.85. Eleman Seçimi	101
Şekil 2.86. SOLID 65 Elemanı Geometrisi ve Özellikleri.....	101
Şekil 2.87. Real Constants Menüünden Eleman Sabitlerinin Tanımlanması	102
Şekil 2.88. Betonun Elastisite Modülü ve Poisson Oranının Tanımlanması	103
Şekil 2.89. Betonun İnelastik Basınç Özelliklerinin Tanımlanması	103
Şekil 2.90. Betonun İnelastik Çekme Özelliklerinin Tanımlanması.....	104
Şekil 2.91. Donatıların Elastisite Modüllerinin ve Poisson Oranlarının Tanımlanması.....	104
Şekil 2.92. Donatıların İnelastik Çekme Özelliklerinin Tanımlanması	105
Şekil 2.93. Üç Boyutlu Betonarme Modelin Çizilmesi	106
Şekil 2.94. Donatı ve Etriye Keypointlerinin Tanımlanması	106
Şekil 2.95. Line Elemanlarını Kullanarak Donatıların Çizilmesi	107
Şekil 2.96. Merge Komutunu Kullanarak Hacimlerin Birbirine Noktalar Vasıtasıyla Bağlanması.....	107
Şekil 2.97. Donatıların Atanması ve Gruplandırılması.....	108
Şekil 2.98. Beton Elemanında Mesh İşlemi	109
Şekil 2.99. Donatılarda Mesh İşlemi	109
Şekil 2.100. Mesnetler ve Yükleme Levhaların Mesh İşlemi.....	110
Şekil 2.101. Kolon Altı Temele Ankastre Mesnet Tanımlaması	111
Şekil 2.102. Analiz Tipinin Seçilmesi	111
Şekil 2.103. Transient Analiz Ayarlamaları	112
Şekil 2.104. Eksenel Yükleme	114
Şekil 2.105. Düşey Yük Adımının Adım 1 Olarak Kaydedilmesi	115
Şekil 2. 106. Model-1 İtme Yatay Yüklemesi	115
Şekil 2.107. Model-1 İtme Yatay Yük Adımının Kaydedilmesi	116
Şekil 2. 108. Model-1 Çekme Yatay Yüklemesi	116
Şekil 2. 109. Model-1 Çekme Yatay Yük Adımının Kaydedilmesi	117
Şekil 2. 110. Analizin Başlatılması	117
Şekil 2. 111. Analizin Süreci	117

Şekil 2.112.	Nümerik Deneysel Modellerin Simülasyonları	118
Şekil 3.1.	Deneysel Modellerin Adlandırılması.....	119
Şekil 3.2.	Model 1 Yatay Yük ve Tepe Deplasmanına Göre Yükleme Geçmişi.....	120
Şekil 3.3.	Model 1 Burulma Açısı Ölçmek İçin P. Cetvel Yerleşimi	121
Şekil 3.4.	Model 1 Burulma Açısına Göre Yükleme Geçmişi.....	122
Şekil 3.5.	Model 1 (Referans Model) Genel Görünümü.....	122
Şekil 3.6.	Model 2 Yatay Yük ve Tepe Deplasmanına Göre Yükleme Geçmişi.....	123
Şekil 3.7.	Model 2 Burulma Açısı Ölçmek İçin P. Cetvel Yerleşimi	124
Şekil 3.8.	Model 2 Burulma Açısına Göre Yükleme Geçmişi.....	125
Şekil 3.9.	Model 2 Genel Görünümü	125
Şekil 3.10.	Model 3 Yatay Yük ve Tepe Deplasmanına Göre Yükleme Geçmişi.....	126
Şekil 3.11.	Model 3 Burulma Açısı Ölçmek İçin P. Cetvel Yerleşimi	127
Şekil 3.12.	Model 3 Burulma Açısına Göre Yükleme Geçmişi.....	128
Şekil 3.13.	Model 3 Genel Görünümü	128
Şekil 3.14.	Model 4 Yatay Yük ve Tepe Deplasmanına Göre Yükleme Geçmişi.....	129
Şekil 3.15.	Model 4 Burulma Açısı Ölçmek İçin P. Cetvel Yerleşimi	130
Şekil 3.16.	Model 4 Burulma Açısına Göre Yükleme Geçmişi.....	131
Şekil 3.17.	Model 4 Genel Görünümü	131
Şekil 3.18.	Model 5 Yatay Yük ve Tepe Deplasmanına Göre Yükleme Geçmişi.....	132
Şekil 3.19.	Model 5 Burulma Açısı Ölçmek İçin P. Cetvel Yerleşimi	133
Şekil 3.20.	Model 5 Burulma Açısına Göre Yükleme Geçmişi.....	134
Şekil 3.21.	Model 5 Genel Görünümü	134
Şekil 3.22.	Deneylere Ait Yatay Yük Deplasman İlişkisi.....	135
Şekil 3.23.	Deneysel Modellerin Kuvvet Deplasman Zarfı Grafikleri	138
Şekil 3.24.	Deneysel Modellerin Rijitlik Azalım Grafikleri.....	140
Şekil 3.25.	Deneysel Toplam Tüketilen Enerji Grafikleri	142
Şekil 3.26.	Model 1 Yükleme Yönleri ve Eleman Numaraları.....	145
Şekil 3.27.	Model 1 Deney Sonu Taşıyıcı Sistem.....	148
Şekil 3.28.	Model 1 Kolon ve Düğüm Noktaları Çatlakları	151
Şekil 3.29.	Model 2 Yükleme Yönleri ve Eleman Numaraları.....	152
Şekil 3.30.	Model 2 Deney Sonu Taşıyıcı Sistem.....	157
Şekil 3.31.	Model 2 Perde, Döşeme, Kolon ve Kiriş Düğüm Noktaları Çatlakları ...	161
Şekil 3.32.	Model 3 Yükleme Yönleri ve Eleman Numaraları.....	162

Şekil 3.33.	Model 3 Deneş Taşıyıcı Sistem.....	167
Şekil 3.34.	Model 3 Perde, Döşeme, Kolon ve Kiriş Düğüm Noktaları Çatlakları ...	171
Şekil 3.35.	Model 4 Yükleme Yönleri ve Elaman Numaraları.....	172
Şekil 3.36.	Model 4 Deneş Sonu Taşıyıcı Sistem.....	177
Şekil 3.37.	Model 4 Perde, Döşeme, Kolon ve Kiriş Düğüm Noktaları Çatlakları ...	182
Şekil 3.38.	Model 5 Yükleme Yönleri ve Elaman Numaraları.....	183
Şekil 3.39.	Model 5 Deneş Sonu Taşıyıcı Sistem.....	189
Şekil 3.40.	Model 5 Perde, Döşeme, Kolon ve Kiriş Düğüm Noktaları Çatlakları ...	194
Şekil 3.41.	Total Station Cihazı Okumaları	194
Şekil 3.42.	Deneşsel Modellerin Taşıyıcı Sistem Davranışları	195
Şekil 3.43.	Total Station ve Potansiyometrik Cetvel Deplasman Okumaları Karşılaştırılması	197
Şekil 3.44.	Model 1 (Perdesiz Model) Donatılarındaki Birim Deformasyon Ölçer Yerleşimi.....	202
Şekil 3.45.	Model 2 (Perdeli Model) Donatılarındaki Birim Deformasyon Ölçer Yerleşimi.....	203
Şekil 3.46.	Yatay Yük ve S1 Kolonu Alt Etriye Donatı Birim Deformasyon İlişkisi.....	209
Şekil 3.47.	Yatay Yük ve S1 Kolonu Alt Boyuna Donatı Birim Deformasyon İlişkisi.....	210
Şekil 3.48.	Yatay Yük ve S1 Kolonu Üst Boyuna Donatı Birim Deformasyon İlişkisi.....	211
Şekil 3.49.	Yatay Yük ve (S3 Kolonu) P1 Perde Alt Etriye Donatı Birim Deformasyon İlişkisi.....	212
Şekil 3.50.	Yatay Yük ve (S3 Kolonu) P1 Perde Üst Etriye Donatı Birim Deformasyon İlişkisi.....	213
Şekil 3.51.	Yatay Yük ve (S3 Kolonu) P1 Perde Alt Boyuna Donatı Birim Deformasyon İlişkisi.....	214
Şekil 3.52.	Yatay Yük ve (S3 Kolonu) P1 Perde Üst Boyuna Donatı Birim Deformasyon İlişkisi.....	215
Şekil 3.53.	S1 Kolonu Alt Etriye Donatı Birim Deformasyon ve Zaman İlişkisi.....	216
Şekil 3.54.	S1 Kolonu Alt Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve Zaman İlişkisi...	217
Şekil 3.55.	S1 Kolonu Üst Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve Zaman İlişkisi ..	218

Şekil 3.56.	(S3 Kolonu) P1 Perde Alt Etriye Donatı Birim Deformasyon ve Zaman İlişkisi	219
Şekil 3.57.	(S3 Kolonu) P1 Perde Üst Etriye Donatı Birim Deformasyon ve Zaman İlişkisi	220
Şekil 3.58.	(S3 Kolonu) P1 Perde Alt Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve Zaman İlişkisi	221
Şekil 3.59.	(S3 Kolonu) P1 Perde Üst Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve Zaman İlişkisi	222
Şekil 3.60.	S1 Kolonu Alt Etriye Donatı Birim Deformasyon ve δ/H İlişkisi.....	223
Şekil 3.61.	S1 Kolonu Alt Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve δ/H İlişkisi	224
Şekil 3.62.	S1 Kolonu Üst Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve δ/H İlişkisi.....	225
Şekil 3.63.	(S3 Kolonu) P1 Perde Alt Etriye Donatı Birim Deformasyon ve δ/H İlişkisi.....	226
Şekil 3.64.	(S3 Kolonu) P1 Perde Üst Etriye Donatı Birim Deformasyon ve δ/H İlişkisi.....	227
Şekil 3.65.	(S3 Kolonu) P1 Perde Alt Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve δ/H İlişkisi.....	228
Şekil 3.66.	(S3 Kolonu) P1 Perde Üst Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve δ/H İlişkisi.....	229
Şekil 3.67.	Tüm Modellerin Deney Simülasyonu İtme ve Çekmede Deplasman Geçmişi	233
Şekil 3.68.	Model 1 Taşıyıcı Sisteminin İtme Yönündeki Deplasmanı.....	233
Şekil 3.69.	Model 1 Taşıyıcı Sistem X-X Yönündeki Deplasmanı	234
Şekil 3.70.	Model 1 Taşıyıcı Sistem Y-Y Yönündeki Deplasmanı	234
Şekil 3.71.	Model 1 Taşıyıcı Sistem Z-Z Yönündeki Deplasmanı	235
Şekil 3.72.	Model 2 Taşıyıcı Sisteminin İtme Yönündeki Deplasmanı.....	235
Şekil 3.73.	Model 2 Taşıyıcı Sistem X-X Yönündeki Deplasmanı	236
Şekil 3.74.	Model 2 Taşıyıcı Sistem Y-Y Yönündeki Deplasmanı	236
Şekil 3.75.	Model 2 Taşıyıcı Sistem Z-Z Yönündeki Deplasmanı	237
Şekil 3.76.	Model 3 Taşıyıcı Sisteminin Çekme Yönündeki Deplasmanı.....	237
Şekil 3.77.	Model 3 Taşıyıcı Sistem X-X Yönündeki Deplasmanı	238
Şekil 3.78.	Model 3 Taşıyıcı Sistem Y-Y Yönündeki Deplasmanı	238
Şekil 3.79.	Model 3 Taşıyıcı Sistem Z-Z Yönündeki Deplasmanı	239

Şekil 3.80.	Model 4 Taşıyıcı Sisteminin İtme Yönündeki Deplasmanı.....	239
Şekil 3.81.	Model 4 Taşıyıcı Sistem X-X Yönündeki Deplasmanı	240
Şekil 3.82.	Model 4 Taşıyıcı Sistem Y-Y Yönündeki Deplasmanı	240
Şekil 3.83.	Model 4 Taşıyıcı Sistem Z-Z Yönündeki Deplasmanı	241
Şekil 3.84.	Model 5 Taşıyıcı Sisteminin Çekme Yönündeki Deplasmanı.....	241
Şekil 3.85.	Model 5 Taşıyıcı Sistem X-X Yönündeki Deplasmanı	242
Şekil 3.86.	Model 5 Taşıyıcı Sistem Y-Y Yönündeki Deplasmanı	242
Şekil 3.87.	Model 5 Taşıyıcı Sistem Z-Z Yönündeki Deplasmanı	242
Şekil 3.88.	ANSYS'ten Elde Edilen Kuvvet Deplasman Zarfı Grafikleri.....	243
Şekil 3.89.	Nümerik Rijitlik Azalım Grafikleri	244
Şekil 3.90.	Nümerik Toplam Tüketilen Enerji Grafikleri	246
Şekil 3.91.	Model 1 Taşıyıcı Sistem Çatlak Oluşumu	248
Şekil 3.92.	Model 1 Taşıyıcı Sisteminin İtme Yönündeki Çatlak Oluşumu.....	248
Şekil 3.93.	Model 2 Taşıyıcı Sistem Çatlak Oluşumu	249
Şekil 3.94.	Model 2 Taşıyıcı Sisteminin İtme Yönündeki Çatlak Oluşumu.....	249
Şekil 3.95.	Model 3 Taşıyıcı Sistem Çatlak Oluşumu	250
Şekil 3.96.	Model 3 Taşıyıcı Sisteminin Çekme Yönündeki Çatlak Oluşumu.....	250
Şekil 3.97.	Model 4 Taşıyıcı Sistem Çatlak Oluşumu	251
Şekil 3.98.	Model 4 Taşıyıcı Sisteminin İtme Yönündeki Çatlak Oluşumu.....	251
Şekil 3.99.	Model 5 Taşıyıcı Sistem Çatlak Oluşumu	252
Şekil 3.100.	Model 5 Taşıyıcı Sisteminin Çekme Yönündeki Çatlak Oluşumu.....	252
Şekil 3.101.	Model 1 Von Mises Gerilme Dağılımı	253
Şekil 3.102.	Model 1 X-X Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	253
Şekil 3.103.	Model 1 Y-Y Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	254
Şekil 3.104.	Model 1 Z-Z Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	254
Şekil 3.105.	Model 2 Von Mises Gerilme Dağılımı	255
Şekil 3.106.	Model 2 X-X Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	255
Şekil 3.107.	Model 2 Y-Y Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	256
Şekil 3.108.	Model 2 Z-Z Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	256
Şekil 3.109.	Model 3 Von Mises Gerilme Dağılımı	257
Şekil 3.110.	Model 3 X-X Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	257
Şekil 3.111.	Model 3 Y-Y Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	258
Şekil 3.112.	Model 3 Z-Z Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	258

Şekil 3.113. Model 3 Von Mises Gerilme Dağılımı	259
Şekil 3.114. Model 4 X-X Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	259
Şekil 3.115. Model 4 Y-Y Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	260
Şekil 3.116. Model 4 Z-Z Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	260
Şekil 3.117. Model 5 Von Mises Gerilme Dağılımı	261
Şekil 3.118. Model 5 X-X Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	261
Şekil 3.119. Model 5 Y-Y Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	262
Şekil 3.120. Model 5 Z-Z Yönündeki Gerilme Dağılımı.....	262
Şekil 3.121. Model 1 Deneysel ve Nümerik Deplasman Geçmişi Karşılaştırılması ...	263
Şekil 3.122. Model 2 Deneysel ve Nümerik Deplasman Geçmişi Karşılaştırılması ...	264
Şekil 3.123. Model 3 Deneysel ve Nümerik Deplasman Geçmişi Karşılaştırılması ...	264
Şekil 3.124. Model 5 Deneysel ve Nümerik Deplasman Geçmişi Karşılaştırılması ...	265
Şekil 3.125. Model 5 Deneysel ve Nümerik Deplasman Geçmişi Karşılaştırılması ...	265
Şekil 3.126. Deneysel ve Nümerik Kuvvet Deplasman İlişkilerinin Karşılaştırılması	266
Şekil 3.127. Deneysel ve Nümerik Dayanım Zarflarının Karşılaştırılması	267
Şekil 3.128. Deneysel ve Nümerik Rijitlik Azalımları Karşılaştırılması.....	268
Şekil 3.129. Deneysel ve Nümerik Tüketilen Enerjilerin Karşılaştırılması.....	269

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Deprem etkisi altında betonarme perde davranışı ve taşıyıcı sistem içerisindeki konumu yapı davranışı için son derece önemlidir. Bir binada deprem güvenliğine en büyük katkıyı yapan taşıyıcı perde duvarlardır. Perde duvarlar binanın rijitlik, dayanım ve sünekliğini önemli ölçüde iyileştirmektedir. Binanın deprem güvenliği bakımından bu özellikler mutlaka sağlanmalıdır. Depremin yaygın bir şekilde etkili olduğu ülkemizde ve diğer ülkelerde yapılacak olan yapıların, deprem sırasında oluşan yatay etkiler altında kabul edilebilir sınırlar içerisinde davranış göstermeleri beklenir. Özellikle perdeli-çerçeve taşıyıcı sistemlerin kullanımı kaçınılmaz hale gelmiştir.

Betonarme numunelerin, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (TDY-2007), Türkiye Bina Deprem yönetmeliği 2018 (TBDY2018) ve Türk Standardı 500 (TS-500) kuralları çerçevesinde tasarımı yapılmıştır. Betonarme çerçevelerinin içerisinde farklı konumlarda yerleştirilen betonarme perdelerin, depreme dayanıklı yapılar tasarlamak için gerekli olan rijitlik, dayanım, süneklik kriterleri ve davranış değişiklikleri araştırılmıştır. [1,2,3]

Bu çalışmanın temel amacı, betonarme çerçeve içerisinde perde konumunun değişmesi sonucu, taşıyıcı sistemde oluşacak burulma etkilerini, taşıyıcı sistemlerin kuvvet-deplasman ilişkileri arasındaki değişimi ve tersinir-tekrarlanır yükleme altında kolon ve perde donatılarında oluşacak birim deformasyonların değişimini incelemektir. Yapıya gelen yatay yüklerin çerçeve taşıyıcı sistemlerle/perdeli-çerçeve taşıyıcı elemanlara dağılımlarını incelemek ve karşılaştırmaktır. Yüksek yapılarda taşıyıcı sistemler kullanılan malzeme, yapı yüksekliği, kat adedi ve yapının işlevine göre çeşitlilik gösterir. Yüksek yapılara etki eden yatay ve düşey kuvvetlerin aktarılmasında kullanılan taşıyıcı sistem tipleri çerçeve sistem, perde duvarlı sistem, çerçeve ve perde duvarlı sistem (karma sistem), çekirdekli sistem, tübüler sistem olarak sınıflandırılabilir.

Çerçeveler, kolon ve kirişlerin birleşmesi ile meydana gelen ve belirli kat sayısına göre yük taşıyıcı sistemlerdir. Çerçeve türü taşıyıcı sistemler, donatılarının yönetmeliğe uygun konstrüktif düzenlenmesi koşuluyla, yükseklikleri 25 metreyi geçmeyen yapılarda yatay yüklere karşı, yönetmeliklerde öngörülen emniyetlerinin sağlanmasında da kullanılabilir. TBDY2018 de ise BYS3 ve üzeri binalarda, DTS 1 ve 2 de 42-46m aralığında kullanılabilir

Perdeler yapının rijitliğini artırarak, katlararası yer değiştirmelerin sınırlandırılmasında ve yapılara etkileyen yatay yüklerin karşılanmasında, etkili olan düşey taşıyıcı elemanlardır. Perdeler yatay yükler altında konsol kiriş gibi davranırlar. Perdeler, kat seviyesinde döşemelerle rijit olarak bağlandığından, ince kesitlerine rağmen yanal burkulma tehlikesini minimum seviyeye indirmektedir.

Perdelerde burkulmaya neden olan kritik boy olarak perde yüksekliği yerine, kat yüksekliğinin kabul edilmesi uygundur. Konsol perdeler yatay yüklerden oluşan eğilme momenti ve kesme kuvveti yanında, düşey yüklerden gelen eksenel normal kuvvetin de etkisi altındadır. Farklı parametrelere göre yapılan çerçevesiz ve perdeli karma taşıyıcı sistem analiz sonuçları incelendiğinde, karma sistemlerde perdeler çok katlı yapıların yatay rijitliklerini arttırmaktadır. Elastik enerji tüketme güçleri çerçevesiz yapılara göre çok daha yüksektir. Elastik ötesi enerji tüketme güçleri ise çerçevesiz yapılara göre çok daha düşüktür. Yatay yük doğrultusuna göre simetrik olarak perde duvarlardan oluşturulmuş bir taşıyıcı sistemde, kat kesme kuvvetleri, ilgili kattaki perdeler rijitlikleri oranında dağılmaktadır.

Tez konusu ile ilgili olarak yapılan kapsamlı literatür taramasında, genel olarak daha önce üç boyutlu ve tek katlı yapılmış deneysel bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Betonarme perdelerin taşıyıcı sistemde oluşu ve konumları, yapıların deprem davranışı açısından son derece önemlidir. Yapılan hesaplamalardaki kabullerle gerçek yapı davranışının farklı olması durumunda, yapılarda hasarlar ve can kayıpları oluşabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, 5 adet tek katlı, x ve y yönünde ikişer açıklıklı, simetrik betonarme çerçeveler üretilmiştir. Betonarme numuneler 1/2 ölçeğinde, 1 m aks aralığına sahip ve 1,5 m yüksekliğindedir. Çalışmaya referans olacak model (Model 1) perdesiz olarak tasarlanmıştır. Diğer 4 adet modelde ise, Model 2 ve Model 3, perdenin çerçeve düzlemi

içerisinde yan aksta perde konumu ön ve arka bölgelerinde olacak şekilde yerleştirilmiş, Model 4 ve Model 5 ise, perdenin çerçeve düzlemi içerisinde orta aksta konumu ön ve arka bölgede olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan modellerin nümerik simülasyonları sonlu elemanlar ile çözüm esasına dayanan ANSYS programında da modellenerek statik analize tabi tutulmuştur. Deneysel ve nümerik çalışma sonuçlarından elde edilen veriler ayrı ayrı değerlendirilerek, karşılaştırılmaları yapılmıştır. Deprem etkisi altında perdenin bulunması ve perde konumunun etkisi tartışılmıştır. Bu bulgular ışığında devamı çalışmalar için göz önünde bulundurulması faydalı olacak parametreler belirlenerek tavsiyelerde bulunulmuştur.

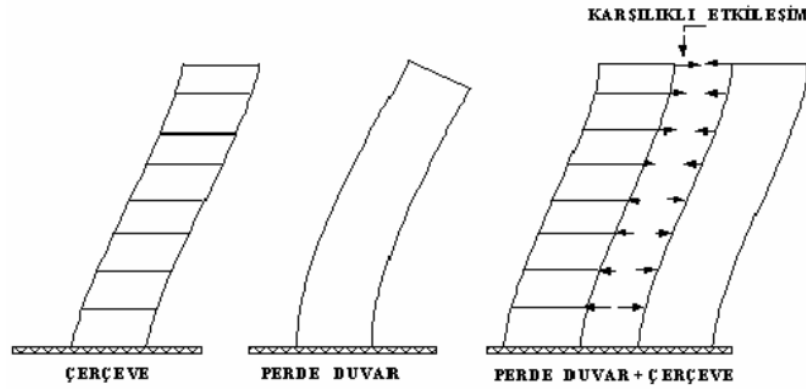
1.1. Tez Konusu ile İlgili Temel Bilgiler

Türk Deprem Yönetmeliğinde ve TS500'de planda uzun kenarının (l_w) kalınlığına (b_w) oranı, en az 7 olan düşey taşıyıcı sistem elemanı (TBDY2018 de ise 6) perde olarak tanımlanmaktadır. Bu değer oldukça büyük olsa da bu koşulu sağlamayan elemanlar yönetmelik gereği perde olarak tanımlanamamaktadır. [1, 2, 3]

Yüksek yapılarda yatay yüklerin karşılanmasında perdeler etkin olarak kullanılmaktadır. Yüksek yapılara ait taşıyıcı sistemlerde perde duvarların kullanılması, özellikle hemen her bölgesi deprem riski altında bulunan ülkemiz için bir zorunluluk olarak gözükmektedir. Perdeler, şiddetli depremlerde çok katlı binalarda önemli hasarlara neden olan görelî kat ötelemelerini önemli ölçüde azaltırlar. Uzun kenar doğrultusundaki atalet momentleri çok daha büyük olup, yatay yükleri uzun kenar doğrultusunda etkin olarak karşılar. Çerçevelerle beraber veya bağ kirişleriyle birleşen perde grupları halinde de kullanılabilirler.

Perdeler daha fazla rijitliğe sahip oldukları için çerçeve ile beraber deprem veya rüzgârdan oluşan yatay yükleri, rijitlikleri oranında karşılarlar. Taşıyıcı sistemlerin yükseklikleri arttıkça perdelerin önemi daha da artmaktadır. Perdeler, yüksek binalarda, dayanım yanında yanal deplasmanı sınırladığı için tercih edilir. Perdeler, doğru tasarlandıkları ve planda doğru yerleştirildikleri takdirde, taşıyıcı sistemin toptan göçmesini önledikleri gibi, yapısal olmayan hasarların da sınırlandırılmasında etkili olmaktadır.

Perdeler çerçevelerle birlikte kullanıldığında daha sünek sistemler elde edilir. Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi perdenin şekil değiştirmesinde eğilme momenti etkili olur ve katlararası en büyük yer değiştirme üst katlarda meydana gelirken, çerçevede ise yatay ötelemeler kat rijitliğine bağlı olarak kesme kuvvetinin en büyük olduğu alt katlarda meydana gelmekte ve üst katlara doğru azalmaktadır. Farklı davranış sergileyen perde ve çerçeve sistemlerinin beraber yük taşımaları durumunda, taşıyıcı sistemin ötelenmesi; perde ve çerçevelerin beraber davranmaları gereği hem eğilme, hem kayma davranışı etkisinde olacaktır. Karma sistemde yapının üst kısmındaki perde eğilmesi çerçeveler tarafından, çerçevelerin alt katlardaki kaymaları ise perdeler tarafından engellenir [4, 5].



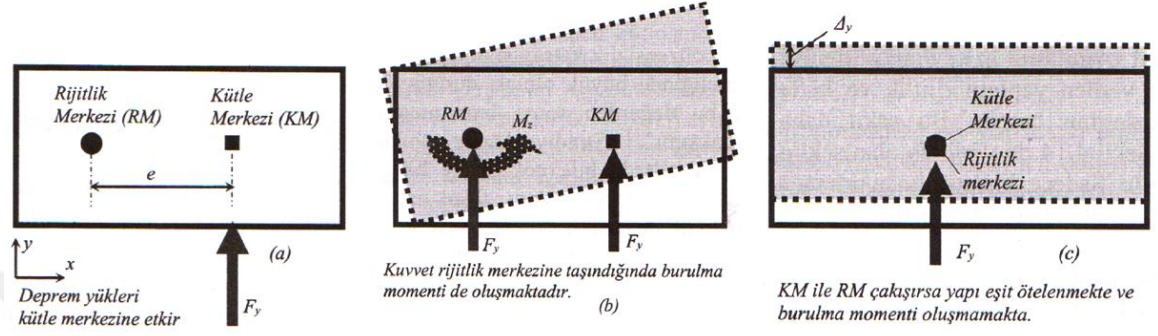
Şekil 1.1. Yatay yük altında çerçeve ve perde duvar davranışı [5]

Yapılarda meydana gelebilecek düzensizliklerin önüne geçmek için yönetmeliklerde birtakım sınırlamalar getirilmiştir. Bunların birisi de çerçeve planında, simetrik bir şekilde yerleştirilmeyen betonarme perdelerin, kütle ve rijitlik merkezlerinin çakışmamasından oluşan A1 burulma düzensizliğidir. Burulma düzensizliği katsayısı oranının 1.2 değerini geçmesi durumunda burulma düzensizliğinin oluştuğu kabul edilmektedir [1,2].

1.1.1. A1 Burulma Düzensizliği

Deprem etkisinde kalan bir yapıda burulmayı engellemenin en etkili yolu, kütle ve rijitlik merkezlerinin çakışmasını sağlamaktır. Deprem kuvvetleri kat kütle merkezine etki eder. Eğer rijitlik merkezi ile kütle merkezi çakışmıyorsa, yapı rijitlik merkezi etrafında döner (Şekil 1.2.a). Çünkü kütle merkezine etkiyen yatay kuvvet rijitlik merkezine taşındığı zaman, rijitlik merkezine F_y kuvvetinin yanında $M_z = F_y e$

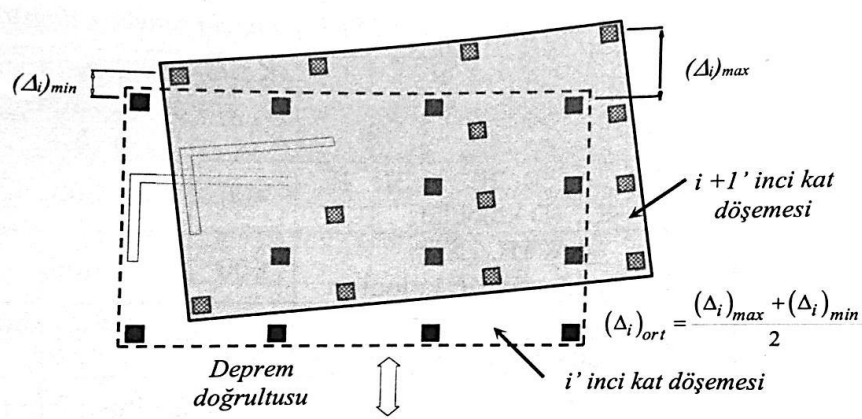
değerinde bir burulma momentide etkiyecektir (Şekil 1.2.b). Oysa, deprem yükünün doğrudan rijitlik merkezine etkimesi durumunda, yani kütle ve rijitlik merkezlerinin çakışması durumunda, yapı kuvvet etkileyen doğrultuda eşit öteleme yapacağından burulma momenti oluşmayacaktır. (Şekil 1.2.c).



Şekil 1.2. (a) Deprem yüklerinin kütle merkezine etkimesi (b) rijitlik merkezi etrafında dönmesi ve (c) iki merkezin çakışması durumu [6]

Deprem Yönetmeliğinde olduğu gibi, diğer ülkelerin yönetmeliklerinde de en çok dikkate alınan düzensizlik türü burulma düzensizliği olmuştur. [7, 8]

Deprem yönetmeliğine göre burulma düzensizliği durumu; birbirine dik iki deprem doğrultusunun her biri için, herhangi bir katta, en büyük görece kat ötelenmesinin ($\Delta_{i,max}$) o katta aynı doğrultudaki ortalama görece kat ötelenmesine ($\Delta_{i,ort}$) oranı ile ifade edilmektedir (Şekil 1.3.). Söz konusu oran Burulma Düzensizliği Katsayısı (η_{bi}) olarak adlandırılmaktadır. Bu oranın 1,2 değerini geçmesi durumunda burulma düzensizliği oluştuğu kabul edilmektedir [2].



Şekil 1.3. Döşemelerin rijit diyafram olarak çalıştığı yapılarda burulma [6]

$$(\Delta_i)_{ort} = 1/2 [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}] \quad (1.1)$$

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} > 1.2 \quad (1.2)$$

Burulma düzensizliği katsayısının (η_{bi}) üst sınırı Deprem Yönetmeliğinde 2,0 olarak belirlenmiştir. Deprem Yönetmeliğinde ise oranın büyük olması durumunda dinamik yöntemlerin kullanılması gerektiği verilmiştir. Ancak bu değerden sonra bazı araştırmacılar tarafından tasarımın değiştirilmesi yönünde öneriler bulunmaktadır [9].

Bazı araştırmalar, burulma düzensizliği katsayısının simetrik görünen yapılarda dahi çok kolay şekilde 1,2 değerini aştığını, fakat üst sınır olan 2 değerinin ise aşılmasının imkânsız olduğunu belirtmektedir [7].

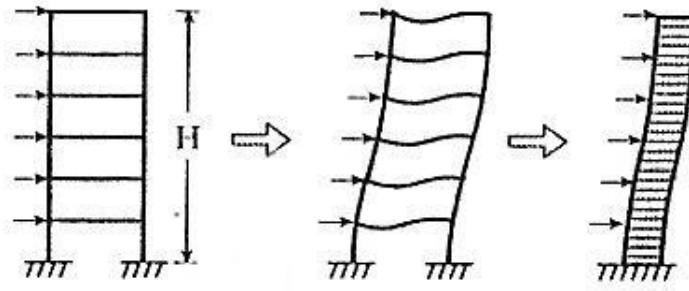
1.1.2. Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler

Türkiye'nin deprem kuşağında bulunması dolayısıyla, özellikle çok katlı yapılarda kullanılan yapı taşıyıcı sistemlerinin yatay yükler etkisi altındaki davranışının bilinmesi önemlidir. Bu davranışa uygun modeller kurularak pratik amaca yönelik ön boyutlandırmada kullanılabilecek yaklaşık yöntemlerin geliştirilmesi, mühendislik yaklaşımlarının ortaya konulması, kesin yöntemlerle birlikte yapılması gerekli çalışmalardır.

Yapı yüksekliği ve inşa edildiği bölgenin deprem durumu arttıkça, yatay yük etkileri hızla artar ve taşıyıcı sistemde ötelenmeler oluşur. Belirli yükseklikteki yapı için taşıyıcı sistem malzemesinin dayanımı yerine taşıyıcı sistemin rijitliğini artıracak çözümlerin ortaya konulması zorunludur. Özellikle yükseklikle artan deprem ve rüzgâr kuvvetlerinin karşılanması, artan eleman boyutları ile değil, taşıyıcı sistemin etkinliği ile sağlanmalıdır. Betonarme yüksek yapılar, taşıyıcı sistemleri açısından beş gruba ayrılabilir.[10]

1.1.2.1. Çerçeve Sistemler

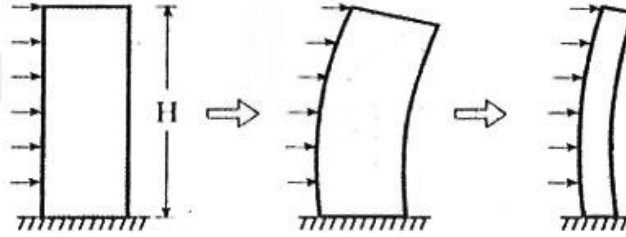
Aynı düzlem içinde moment aktaran rijit düğüm noktaları ile birleşen, yatay kiriş ve düşey kolonlardan oluşur. Çerçeve sistemler, 15-20 kat yüksekliğe kadar ekonomik olabilirler. Çerçeve sistemlerde kayma şekil değiştirmesi etkindir [10].



Şekil 1.4. Kayma kirişi davranışını gösteren düzlem çerçeve [10]

1.1.2.2. Perdeli Sistemler

Belirli bir kat yüksekliğinden sonra betonarme yapılarda çerçeve sistemler yetersiz kalmaktadır. Bu durumda yatay yüklere karşı rijitlik sağlayan ve düşey yükleri de taşıyan perdeler oluşturulur. Perdeli sistemler, 30 ile 40 kat arasına kadar ekonomiktirler. Perdeli sistemde eğilme şekil değiştirmesi hâkimdir [10].

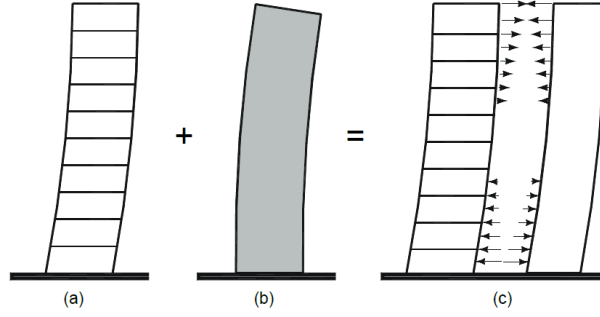


Şekil 1.5. Eğilme kirişi davranışını gösteren düzlem perde [10]

1.1.2.3. Karma Sistemler (Perde-Çerçeve Sistemler)

Yapı yüksekliği 15 katı geçtikten sonra yatay yükler çerçevelerde kabul edilemez ötelenmeler oluşturmaktadır. Bu sebeple, 50 kata kadar uygulanabilen perde-çerçeve sistemler kullanılır. Şekil 1.6. da görüldüğü gibi:

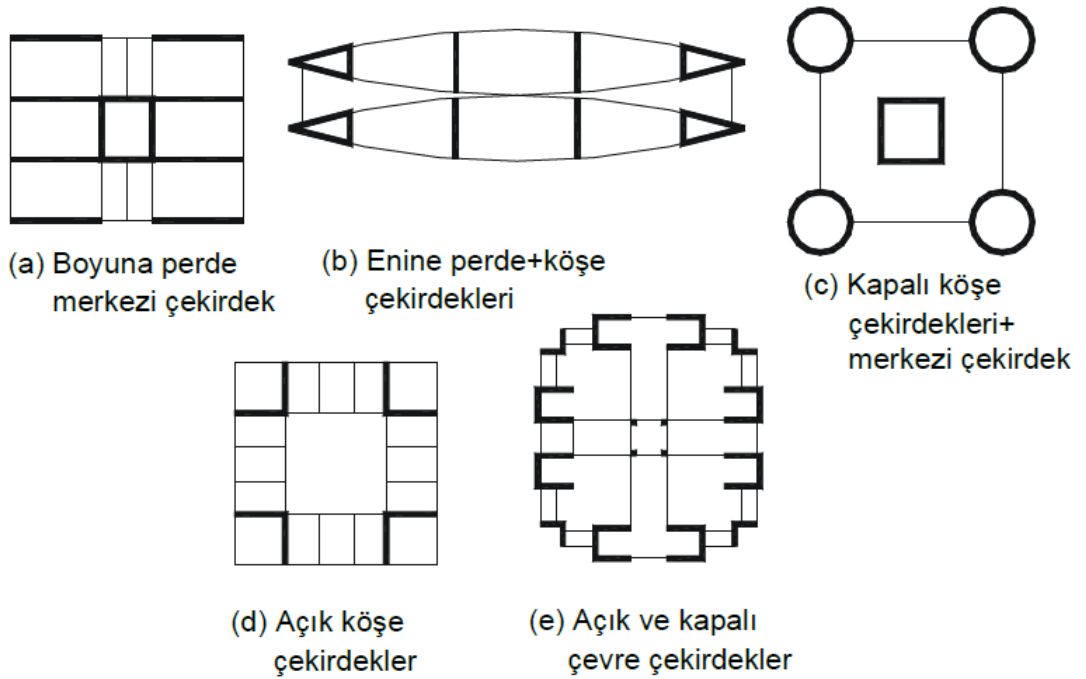
- Çerçevelerin şekil değiştirmesinde kayma modu etkindir.
- Perdelerin şekil değiştirmesinde eğilme modu etkindir.
- Çerçevelerin yatay yük almadığı kabul edilerek, tüm yatay yüklerin perdeler tarafından taşındığı kabul edilir. Karma sistemde yapının üst kısmındaki perde eğilmesi çerçeveler tarafından, çerçevelerin alt katlardaki kaymaları ise perdeler tarafından engellenir.[10]



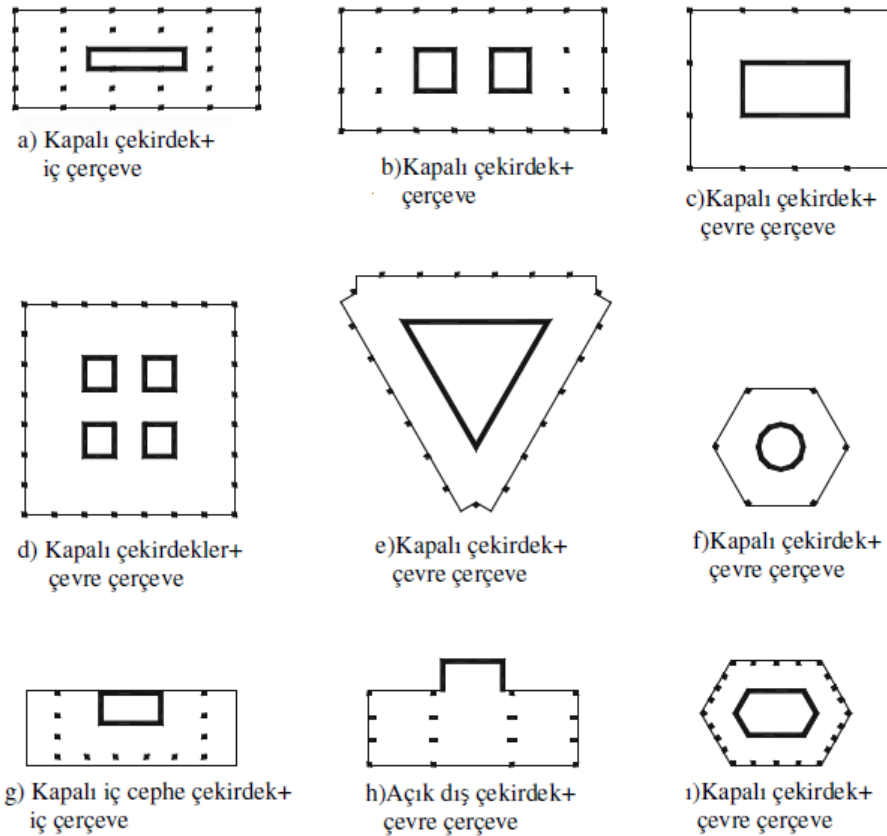
Şekil 1.6. Perde çerçeve etkileşimi [10]

1.1.2.4. Çekirdek Sistemler

Bilhassa büro ve ticari amaçlı yapılarda, mümkün olduğunca büyük ve geniş alanlara ihtiyaç vardır. Binanın büyüklüğüne ve işlevine bağlı olan, asansör, tesisat kanalları vb. sistemlerin binanın yatay rijitliğini sağlayacak biçimde perdelerden oluşturulan bir çekirdek ya da çekirdekler içinde toplanmasıyla oluşan sistemlerdir (Şekil 1.7.). Birçok farklı taşıyıcı sistem arasında yer alabilen bu sistemler, perde ve çekirdekli sistem ile tasarlanan betonarme yapılarda 70 kata kadar yapılabilir ve ekonomik olmaktadır.



Şekil 1.7. Çekirdek perde sistemlerden örnekler [10]

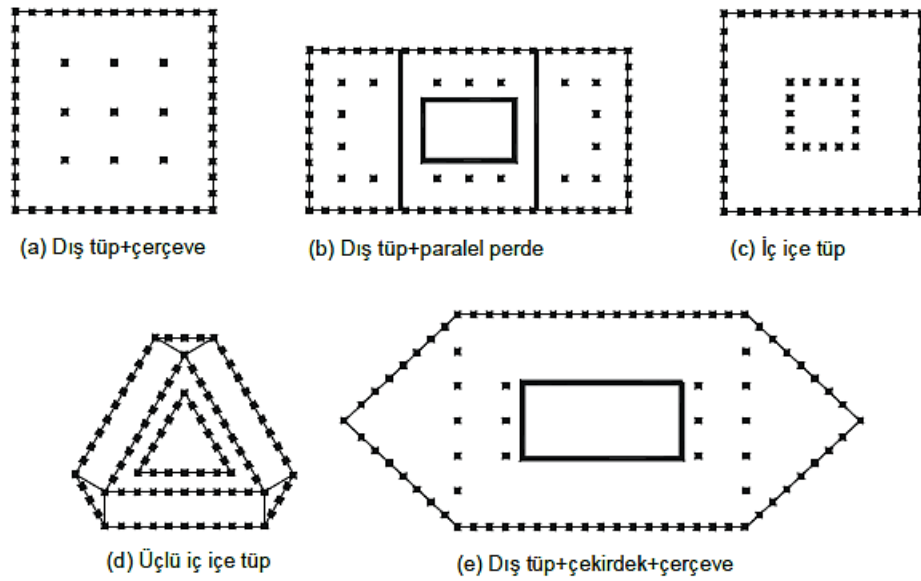


Şekil 1.8. Çekirdek Çerçeve Sistemlere Örnekler [10]

1.1.2.5. Tüp Sistemler

Tüp çerçeve sistemler, yapı çevresine çok sık olarak yerleştirilmiş kolonlardan ve bunları birbirine kuşak etkisiyle bağlayan kirişlerden oluşur. Aralıkları genellikle 1,5m ile 3m arasında değişen kolonlar yüksek kirişlerle birbirine bağlanmaktadır. Çerçevesiz tüp sistem ile inşa edilen betonarme binalar 50-60 kata kadar ekonomik kabul edilirler. Yapı yüksekliği arttıkça, tüp çerçevenin yatay rijitliği yeterli olmamaya başlar.

Yüksek yapılarda plan ortasında, asansör, merdiven, mekanik araç-gereçleri toplayan çekirdek bulunur. Bu çekirdeğin etrafı perde duvar ile kapatılır ve yapı yüksekliğince devam ettirilirse, bir iç çekirdek perde sistemi oluşturulur. Yapı çevresine sık kolonlar yerleştirilir ve her kat düzeyinde derin kirişlerle bağlanırsa, dış tüp çerçeve oluşturulmuş olur. Dış tüp ve iç tüp, diyafram işlevi gören kat döşemeleriyle birbirine bağlanırsa, dış tüp-iç tüp sistem oluşturulmuş olur. [10]



Şekil 1.9. Tüp Sistemlerden Örnekler [10]

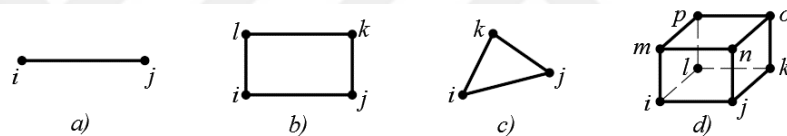
1.1.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, çok güçlü ve çağdaş bir sayısal hesaplama yöntemidir. Son 40 yılda bilgisayarların hızlı gelişimine paralel olarak gelişen sayısal hesap yöntemleri içinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Bu sayısal yaklaşım yöntemi her ne kadar orijinal olarak yapı sistemleri için geliştirilmiş ise de, dayandığı esasların genelliği dolayısıyla yöntem, akışkanlar mekaniği, zemin mekaniği, uçak mühendisliği, nükleer mühendislik, kaya mekaniği, elektromanyetik alanlar, termal analiz ve daha sayabileceğimiz pek çok mühendislik ve fizik problemlerinin çözümünde araç olarak kullanılmaktadır.

Mühendislik problemlerin küçük bir kısmının analitik çözümü mevcuttur. Çözüm aranan bölgede çözüme ait matematiksel ifadelerin bulunabilmesi, yani sonsuz noktada çözümün bilinmesi anlamına gelmektedir. Analitik çözümler yalnızca fizik problemin bazı basitleştirilmiş ve sadeleştirilmiş matematik modelleri içinde elde edilebilir. Uygulamada karşılaşılan pek çok mühendislik problemi için kapalı çözüm bulmak mümkün değildir. Çoğunlukla deneyimli mühendisler veya araştırmacılar problemin tabiatına çok uzak olmayan basitleştirmeler ve varsayımlar altında yaklaşık çözümlere ulaşmaktadırlar. Ancak, düzgün olmayan geometri, karışık sınır koşulları, farklı türlerdeki yüklemeler, lineer olmayan malzeme davranışı gibi nedenlerle bu gibi kapalı çözümlerin elde edilmesi çok güçleşmekte veya olanaksız hale gelmektedir. Sonlu

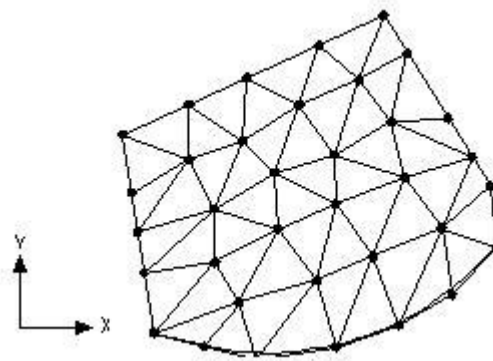
elemanlar yönteminin kullanılması halinde bu gibi durumlara ait yaklaşık çözümler kolaylıkla elde edilebilmektedir.

Sonlu elemanlar yönteminin esas çözümlen aranan yapıyı, bölgeyi veya cisim çok sayıda küçük sonlu elemanlara bölmektir. Bir, iki veya üç boyutlu olabilen bu elemanlar düğüm ya da düğüm noktası adı verilen noktalarda birbirlerine bağlanmaktadır. Şekil 1.10. da bir, iki ve üç boyutlu elemanlara örnekler gösterilmiştir. Şekil 1.11. de ise düzensiz bir geometriye haiz bir levhanın üçgen sonlu elemanlarla ayrıştırılması veya idealleştirilmesi, görülmektedir. Bu problemin sonlu elemanlar yöntemi ile çözümü sonucunda aranan büyüklüklerin, örneğin x ve y doğrultusundaki yer değiştirmelerin, dolu yuvarlaklar ile gösterilen düğüm notalarındaki sayısal değerleri elde edilecektir. Eleman düğüm noktalarında aranan büyüklüklerin sayısal değerleri düğüm noktası serbestlikleri olarak adlandırılmaktadır [11,12].



Şekil 1.10. Bir, İki ve Üç Boyutlu Sonlu Eleman Örnekleri [11,12]

- a) Bir boyutlu çubuk eleman, b) İki boyutlu dikdörtgen eleman, c) İki boyutlu üçgen eleman, d) Üç boyutlu dikdörtgen prizma (tuğla) eleman.



Şekil 1.11. Düzensiz Geometriye Sahip Bir Levhanın Üçgen Sonlu Elemanlarla İdealleştirilmesi [11,12]

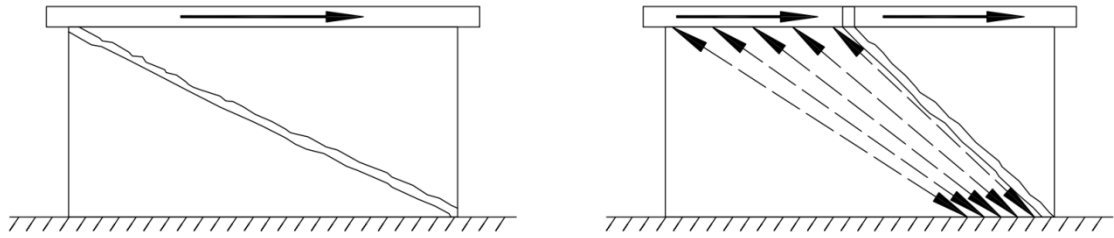
Büyüklüğün eleman içindeki değişimi için seçimi kolay, matematik işlemlerin yapılması basit ve problemin fiziği ile uyumlu, yani davranışı yansıtan, sürekli fonksiyonlar seçilmektedir. Bu fonksiyonlara elemanın yer değiştirme şeklini tanımladığı için genel olarak şekil fonksiyonları adı verilir. Seçilen fonksiyonların

eleman içindeki davranışa katkıları, düğüm noktalarında aranan büyüklükler cinsinden tayin edilebilmektedir. Çözüm yapıлып düğüm noktalarındaki bilinmeyenler elde edildikten sonra eleman içindeki değişim belirlenmiş demektir. Sonlu eleman içinde davranışı iyi bir şekilde temsil eden fonksiyonlar yardımıyla oluşturulan elemana ait özellikler, orijinal yapı için bir araya getirildiğinde tüm yapıyı iyi bir yaklaşımla temsil eder.

Birçok mühendislik problemlerinin çözümünde karşılaşılan; çözüm bölgesinin düzensiz geometriye sahip olması, karışık ve süreksiz sınır koşullarının varlığı, yüklemenin uniform bir şekilde olmaması, süreksiz ve tekil yüklerin varlığı, malzemenin heterojen (beton gibi) olması ve anizotrop (ahşap gibi) olması gibi analitik çözümlerde çözümü güçleştiren problemler sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla kolaylıkla çözülebilir. Sonlu elemanlar yöntemi lineer ve lineer olmayan sistemlere, aynı şekilde statik problemlerde olduğu gibi dinamik problemlere de uygulanabilir [11,12].

1.1.4. Betonarme Perdenin Eğik Çekme Güç Tükenmesi Mekanizması

Eğik çekme güç tükenmesi enine kesme donatısının yetersiz olması durumunda oluşan bir mekanizmadır. Perde duvarda meydana gelecek eğik çekme gerilmelerini karşılayacak miktarda donatı olmadığında, oluşan çekme gerilmelerine dik olarak duvarın bir köşesinden diğer köşesine doğru güç tükenmesi yüzeyi oluşur (Şekil 1.12.). Güç tükenmesi yüzeyinin açısı çeşitli değişkenlere bağlı olarak değişebilir. Kesme kuvveti etkisi altında duvarda bu yüzey civarında çatlaklar oluşmaya başlar. Kesme kuvveti etkisi arttıkça da bu çatlaklar genişler ve belirli bir ekseninde yoğunlaşmaya başlar. Belirli bir noktadan sonra beton birbirinden ayrılır ve direnç sağlayan tek bileşen olarak bu hasar yüzeyini kesen enine donatılar kalır. Perde duvar, enine donatılar kopana kadar, kesme kuvveti taşımaya devam eder. Bu sebeple eğik çekme güç tükenmesine karşı kapasiteyi kesme donatısı miktarı belirlemede büyük rol oynar. Kapasite tasarım yaklaşımı ile sünek eğilme davranışı gösterecek bir duvar elde etmek için, hedeflenen eğilme kapasitesine denk gelen kesme kuvvetini taşıyabilecek miktarda kesme donatısının teşkil edilmesi gerekir [13].



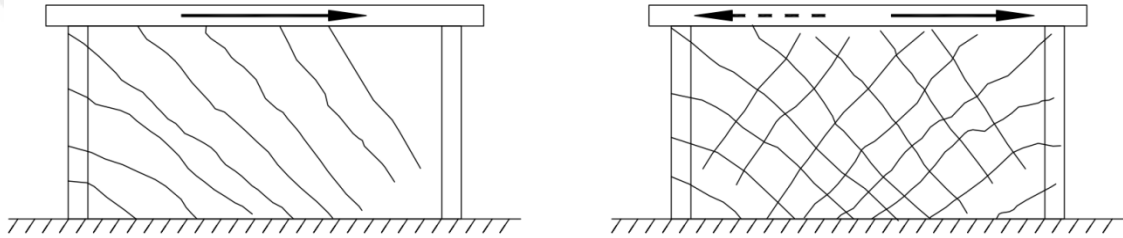
Şekil 1.12. Betonarme Perdelerde Eğik Çekme Güç Tükenmesi [13]

1.1.5. Betonarme Perdede Eğik Basınç Güç Tükenmesi Mekanizması

Eğik basınç güç tükenmesi olayı büyük kesme etkisine maruz kalan ve buna karşılık yoğun bir şekilde kesme donatısı ile oluşturulmuş perde duvarlarda meydana gelir. Tablalı perde duvarlarda veya güçlü perde uç bölgesine sahip duvarlarda bu tip hasarlar daha kritik bir hal alabilmektedir. Betonarme elemanların kesme direnci açıklanırken, kafes sistem yaklaşımı yaygın olarak kullanılır. Bu yaklaşıma göre kesme kuvveti altında betonarme eleman gövdesinde sanal bir kafes sistemi olduğu ve kesme kuvvetinin bu kafes sistem elemanları ile taşındığı kabul edilmektedir. Kafes sistem yaklaşımında kesme kuvvetine maruz kalan bir betonarme elemanda, asal çekme gerilmelerini taşımak için donatıların ve asal basınç gerilmelerini taşımak için betonun etkin olarak çalıştığı düşünülmektedir. Buna istinaden kesitin kesme güvenliği, yeterli miktarda kesme donatısının yanı sıra yeterli dayanımı oluşturabilecek beton bileşeni ile sağlanabilir. Bu nedenle kesme kuvvetine karşı tasarım yapılırken, sadece bu kuvvete karşılık yeterli kesme donatısı kullanılmak gereken seviyede bir güvenlik sağlamaz. Betonarme elemanın kesit alanı ve beton dayanımı, kesme kuvvetinin oluşturacağı asal basınç gerilmelerini taşıyabilecek kapasitede olmaları gerekmektedir. Kesit alanı veya beton basınç dayanımı itibarıyla bu gerilmeler karşısında yetersiz kalacak bir tasarımda, gevrek bir güç tükenmesi olan eğik basınç güç tükenmesi meydana gelir. Eğik basınç güç tükenmesinden uzak durmak için kesitte ortalama kesme gerilmelerinin kontrol altında tutulması gerekir. Bu sebeple bazı yönetmeliklerde kesitler kesme kapasiteleri için kesit alanına bağlı bir üst sınır tanımlanmıştır.

Çevrimsel deprem etkilerine maruz kalan duvarlarda eğik basınç güç tükenmeleri daha hassas olur. Çevrimsel yük altında, perde duvarlarda her iki yönde eğilme çatlakları oluştuğunda, betonun basınç dayanımı azalır ve eğik basınç güç tükenmesi çok daha küçük kesme kuvveti seviyelerinde meydana gelebilir. Daha ileri şekil değiştirme

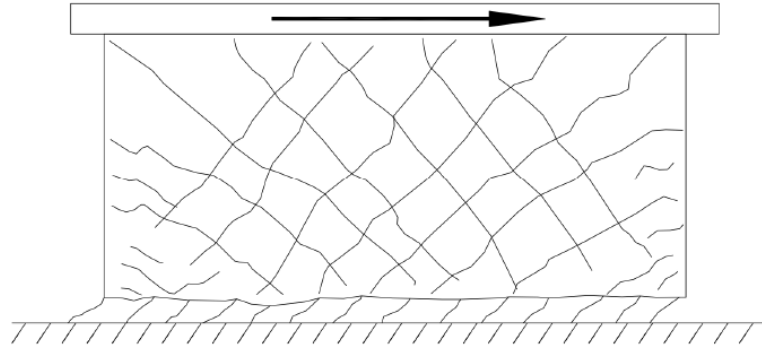
seviyelerinde bu çatlaklar birbirleri içerisine girer. Birbirini kesen çatlakların açılıp kapanması ile betonun basınç dayanımı önemli oranda azalır. Bu halde, betonun ezilmesi genellikle duvar boyunca yayılır ve duvar gövdesi parçalanabilir (Şekil 1.13.). Eğik basınç güç tükenmesi, önemli derecede geri dönemeyen bir dayanım ve rijitlik azalmasına neden olur. Özellikle, sünek davranışın amaçlandığı duvarlarda eğik basınç güç tükenmesinden kaçınmak zorunludur. Bunu sağlamak için duvarın eğilme kapasitesine karşılık gelen kesme gerilmesini sınırlamak, yani duvar kesitinin boyutlarını buna göre belirlemek veya aksel kuvvetlere göre belirlenen kalınlık üzerinden yapılacak kontrol, eğik basınç güç tükenmesini önlemek için yeterli olur [13].



Şekil 1.13. Betonarme Perdelerde Eğik Basınç Güç Tükenmesi [13]

1.1.6. Betonarme Perde Tabanında Kayma Güç Tükenmesi

Betonarme perde duvarlarda kayma güç tükenmesi de plastik ötesi eğilme davranışı ile etkileşim halindedir. Çevrimsel yük altında, birkaç yük çevrimi ardından eğilme donatısında önemli akma seviyelerine ulaşıldığı gözlemlenebilir. Bununla beraber eğilme çatlakları da açılmaya başlamış ve perde tabanında, perde eksenine dik, zayıf bir yüzey oluşmaya başlamıştır (Şekil 1.14.). Bu zayıflayan yüzeyin, perde üzerindeki kesme kuvvetini temele aktarmasında sorunlar çıkabilir. Perde duvar bu yüzey üzerinde blok olarak kaymaya çalışır ve yüzeyde kayma şekil değiştirmeleri meydana gelebilir. Bu tür güç tükenmesi durumu özellikle düşük aksel kuvvet seviyelerinde kritiktir ve ciddi rijitlik kayıplarına neden olabilir. Böyle duvarlarda bu yüzeyi dik kesen boyuna donatıların makaslama ile yukarıdaki kesme kuvvetini temele aktarması beklenir. Ayrıca duvar üzerindeki aksel yük yardımıyla perde ile temel arasındaki yüzeyde bir sürtünme direnci oluşur ve kesme kuvvetlerinin aktarılmasına yardımcı olunur [13].



Şekil 1.14. Betonarme Perdelerde Kayma Güç Tükenmesi [13]

1.1.7. Betonarme Perdelerin Tasarımı ve Mevcut Binada Yerlerinin Tespiti

Bir binanın deprem güvenliğine en büyük katkıyı yapan taşıyıcı elemanlar betonarme perde duvarlardır. Perdeler yüksek rijitlikleri nedeniyle yapı sisteminin davranışını önemli ölçüde etkilerler. Perde duvarlar binaya; rijitlik, dayanım ve süneklik olmak üzere üç önemli özellik kazandırır. Bir bina içinde uygun şekilde yerleştirilen perde duvarların temel görevleri yatay yükleri taşımak ve binanın yatay ötelenmesini sınırlandırmaktır [10].

Perde duvarların kat planı içinde yerleşim ilkeleri aşağıda kısaca özetlenebilir:

- Perdeler yeterli burulma rijitliği sağlamalıdır. Bu amaçla perde duvarlar olabildiğince yapı planının dış çerçevesine ve simetrik olarak yerleştirilmeli,
- Bina kütle merkezi ile rijitlik merkezi mümkün olduğunca yakın olacak şekilde perde yerleşimi yapılmalı,
- Bu elemanlar birbirlerine yakın boyut ve rijitliklerde düzenlenmeli,
- Perde duvarlar kat planı içinde bir bölgede yoğunlaştırılmamalı ve olabildiğince kat planı içinde dağıtılmalı,
- Perdelerin her iki yönde moment taşıma kapasiteleri deprem momentlerini karşılamalı,
- Perdeler süneklik düzeyi yüksek olarak dizayn edilmelidir. Kesme kırılmasının eğilme kırılmasından önce oluşmasına izin verilmemelidir. Perdeler yapı boyunca sürekli olmalı,

- Aynı düzlem içinde kalan perde duvarlar, tek başlarına konsol kiriş olarak çalışabildikleri gibi, birbirlerine bağ kirişleri ile bağlanarak perde çifti olarak da düzenlenebilir.

Deprem etkilerine maruz kalan perde duvarların etkin bir biçimde çalışabilmeleri, kat planı içinde nasıl yerleştirildiklerine bağlıdır. Yapıya yeterli yatay rijitliğin sağlanabilmesi için, kat planına oranla toplam perde alanının yeterli olması gerekir. Uygulamada, birbirine dik X ve Y yönlerinde, yaklaşık olarak $\sum A_g/A_p \geq 0,002$ şartı önerilebilir. Burada A_g , kattaki toplam perde alanı, A_p ise katın toplam alanıdır. Kat sayısı arttıkça bu oran da artmalıdır. Bu oran kullanılarak, gerekli perde miktarı hesaplanır ve kat planı içinde bireysel perdeler olarak dağıtılır. Depremde hasar görmüş yapıların onarılması ve güçlendirilmesinde yaklaşık %1 oranında perde ilavesi yapılması önerilir [10].

1.2. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Benjamin, J. R., Williams, H A., 1957. [14]

Araştırmalarında, tek katlı, tek açıklıklı betonarme dolgulu 45 adet çerçeve deney elemanını artan yükler altında denemişlerdir. Deney elemanlarının geometrik ölçeği 1/8-3/8 arasında değişim göstermektedir. Çalışmalarında dolgu duvarın geometrisi, dolgunun donatı oranı ve yönü, kolonların eğilme donatısındaki değişimi gibi değişkenlerin davranışa olan etkilerini incelemişlerdir. Tüm elemanların maksimum yük değerinde duvar tabanında ortalama kesme gerilmesi yaklaşık olarak aynı kalmıştır. Farklı donatı detaylarına sahip olan duvarlar farklı yük-deplasman ilişkileri sergilemişlerdir. En iyi davranışı dikey donatı yerleşimi göstermiştir. Duvar donatı oranı yüksek olan deney elemanları az olanlara göre daha sünek bir davranış sergilemiştir. Ayrıca, donatı oranındaki artış deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitesini de artırmıştır. Kolon boyuna donatısındaki değişim, dolgunun yük taşıma kapasitesini çok etkilemiş; ancak, kesit değişimi çok fazla etkili olmamıştır.

Smith, B.S., 1962. [15]

Çalışmada, çerçeve ve dolgu arasındaki yük taşınma mekanizmasının yükün geliş yönüne göre diyagonal bir basınç çubuğu ile modellenebileceğini ortaya koymuştur.

Dolgunun türüne ve dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı detayına bağlı olarak bu diyagonal çubuğun kesit özelliklerinin ve çerçeve ile dolgu arasındaki ayrılma bölgesinin değişimi hakkında sonuçlar elde etmiştir. Çerçevenin köşelerinde dolgu ile ayrılmayan bölgelerin çok önemli olduğunu ve çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini çok büyük oranda etkilediğini bulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda, çerçeve ve dolgudan oluşan bir sistemin optimum yük taşıma kapasitesinin, yaklaşık olarak maksimum yük kapasitesinin yarısı olduğunu tespit etmiştir.

Ersoy, U., Uzsoy, S., 1971. [16]

Yaptıkları çalışmada, tek katlı tek açıklıklı 9 adet betonarme dolgulu çerçeveyi artan yükler altında denemiştir. Deneylerde değişken olarak dolgu kalınlığı, dolgu ve çerçeve arasındaki bağlantı detayı, yatay yükteki değişim, kiriş ve kolon rijitlikleri oranındaki değişim kullanılmıştır. Bunun sonucunda, dolgular yatay yük taşıma kapasitesini %70 artırmıştır. Ayrıca, dolgunun boş çerçevenin elastik yanıl rijitliğini %500 artırdığını göçme durumundaki sehimi ise %65 azalttığını tespit etmişlerdir.

Higashi, Y., Kokusho, S., 1975. [17]

Çalışmalarında, 1/3 geometrik ölçekli, 3 tip güçlendirme tekniğini araştırmışlardır. Bunlar; dolgu duvarların eklenmesi, kanat duvarların eklenmesi ve kolonların mantolanmasıdır. Araştırmada 2 adet dolgu duvarlı çerçeve denemiştir. Birincisi çerçeveye monolitik olarak dökülmüştür. İkincisi de, perde duvar kesme elemanları ile çerçeveye birleştirilmiştir. Sonuç olarak çalışmada, birinci elemanla ikinci elemanın dayanımının birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

Liauw, T.C., Lee, S.W., 1977. [18]

Araştırmalarında, boşluklu ve boşluksuz betonarme dolgulu ve aynı zamanda çerçeve ve dolgu arasında bağlantılı ve bağlantısız 4 katlı çelik çerçeveden oluşan çok katlı dolgulu çerçeveleri deneysel olarak araştırmış, dayanım ve rijitlikleri açısından analitik olarak incelemiştir. Bu çalışmada, 2 analitik metot sunulmuştur. Bunlardan birisi, bağlantısız dolgulu çerçeveler için; diğeri ise, bağlantılı dolgulu çerçeveler içindir. Analitik ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, bağlantıların dolgulu çerçevelerin dayanım, rijitlik ve güvenilirliğini artırmada önemli rolü olduğu ortaya konulmuştur.

Klingner, R.E., Bertero, V.V., 1978. [19]

Özel olarak tasarlanmış dolgulu çerçevelerin, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altındaki davranışını araştırmak için, deneysel ve analitik çalışmalar amaçlamışlardır. Çalışma, sadece yarı statik yükler etkisindeki çerçeve modellerinin ilk deney serilerinin sonuçlarını içine almaktadır. İlk olarak boş çerçeve denenmiş, diğer tüm deneyler dolgulu çerçeve şeklinde yapılmıştır. Boş ve dolgulu çerçevelerin deneysel yatay yük-deplasman davranışını tanımlamak için matematiksel modeller ortaya konulmuştur.

Kahn, L.F., Hanson, R., 1979. [20]

Çalışmalarında, mevcut betonarme çerçevenin içine inşa edilen betonarme dolgu duvarlar için kullanılan üç çeşit güçlendirme yöntemini incelemişlerdir. Deneyler betonarme dolgu duvarların mevcut betonarme çerçeveye nasıl etkileşim gösterdiğini belirlemek için yapılmıştır. Bu deneylerde güçlendirme tekniği olarak; mevcut çerçevenin içine yerinde dökme betonarme perde duvar eklenmesi, ön dökümlü panel ilavesi ve birbirine mekanik olarak kenetlenmiş 6 adet ön dökümlü çoklu panel eklenmesi yöntemleri uygulanmıştır. Deney elemanları tek katlı ve tek açıklıklı olup, boyutları 1/2 ölçekli ve düşey düzlemde yatay yük etkisi altında denenmiştir. Perde ile monolitik üretilmiş çerçeve ve betonarme dolgu duvarsız boş çerçeve referans olarak alınmıştır. Boş çerçeve sismik güçlendirmeye ihtiyaç gösteren ve mevcut yapıyı temsil eden bir çerçeve olduğundan, sünek olmayan bir moment dengeleme çerçevesidir. Deney elemanları; sürekli temel, 2 adet kolon, T biçiminde üst kiriş ve bu kirişlerden yukarı seviyedeki kısa kolonlardan oluşmaktadır. Yerinde dökme duvarlı çerçevede duvarla çerçeve arasında yeterli kenetlenmeyi sağlayabilmek için No.3 (9,5 mm) ankraj çubukları 100 mm uzunluğundaki boşluklara epoksi ile yapıştırılmıştır. Kolon ve duvarlardaki düşey donatılara yer değiştirme ölçerler (strain gauge) yapıştırılmıştır. Yük değerleri hidrolik krikoya bağlı yük ölçerden ölçülmüş ve yatay deplasmanları ölçmek için değişik uzunluklarda yer değiştirme ölçer (LVDT) kullanılmıştır. Kolonlara düşey yük uygulanmadan elemanlar üstteki kiriş seviyesinden yatay olarak yüklenmiştir. Sonuçta yerinde dökme perde duvarlarda kolon donatısının aktığı noktadaki başlangıç deplasmanının 1-1,5 katı deplasmanda perde duvarla üstteki kiriş arasında ayrışma ve dağılma gözlenmiştir. Ön dökümlü tek panelden oluşan çerçeve negatif yönde

yüklendiğinde ankraj bulonları açılmış ve 20 mm yatay deplasmanda üstteki kirişte kesme kırılması meydana gelmiş, pozitif yönde yükleme yapıldığında az sayıda bulonda açılma olmuştur. 6 adet ön dökümlü panelden oluşan dolgulu çerçevede ise, paneller ankastre mesnetli yüksek kirişler gibi davranış göstermişlerdir. İç panellerdeki düşey donatılar 10 mm deplasmanda akmaya başlamışlardır. Aynı zamanda iki kolonun üstünde ve bir kolonun tabanında kesme kırılması meydana gelmiştir. Sonuçta; yapılan deneyler, bu 3 dolgu tekniğinin deprem güçlendirmesi açısından yeterli olduğunu göstermiştir.

Hayashi, T., Niwa, N., Fukuhara, M., 1980. [31]

Çalışmalarında, 6 adet tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve deneyi yapmıştır. Dayanım, rijitlik ve sünekliği artırmak için kullanılan güçlendirme teknikleri üzerinde çalışmıştır. Dolgu duvarlarla güçlendirme ve kolonların mantolanması konuları incelenmiştir. Bunun için biri boş çerçeveden ve diğeri çerçeve ile çevrili monolitik bir duvardan oluşan iki numune referans olarak seçilmiştir. Diğer 4 numuneden, birincisinde küçük beton kesme kamaları kullanılmıştır. İkincisine, kullanılan çelik parçaların ankrajı kiriş yüzeyinin pürüzlendirilmesi ile yapılmıştır. Üçüncü elemanda, kolon ve kirişlerin iç yüzlerine pürüzlendirilmeden ankrajlanmıştır. Dördüncü elemanda ise, çelik elemanların iç yüzeylere ankrajı pürüzlendirilerek yapılmıştır. Sonuçta; dolgu duvarlar dayanım ve rijitliği artırırken, kolon mantolaması kesme dayanımını ve süneklik kapasitesini artırmaktadır.

Broken, S.T., Bertero, V.V., 1981. [22]

Çalışmalarında, 18 adet deney elemanını tersinir-tekrarlanır yükler altında deneye tabi tutmuşlardır. Deney elemanları gerçek 11 katlı ve 3 açıklıklı bir yapı çerçevesinin bir bölümü göz önüne alınarak, 1/3 geometrik ölçekli betonarme çerçeve ve dolgu sistemlerin dinamik davranışını incelemek amacıyla özdeş olarak seçilmişlerdir. Deney elemanlarında değişken olarak birbirinden farklı dört tip dolgu malzemesi seçilmiştir. Bunlar sırası ile kil ve beton tuğlalar, dışına hasır donatı yerleştirilmiş tuğlalar ve hafif beton paneller olarak sıralanabilir. Deneyler sonucunda; dolgunun, boş çerçeve sistemlerin yanal rijitlik ve dayanımını önemli ölçüde artırdığını, yanal rijitlik ve dayanımın yük geçmişi ile yakından ilgili olduğunu, artan yüklemeler altında panel donatısının detaylandırılması ve yerleşim düzeninin davranışı fazla etkilemediğini,

tekrarlanır yüklemde donatı detaylandırması, yerleşimi ve panel ile çerçeve arasındaki bağlantı şeklinin davranış üzerinde büyük etkiler yaptığını tespit etmişlerdir. Tüm deney elemanlarında hasar birinci katta yoğunlaşmış, yanal rijitlik bir döküm perde duvarlı numunelerde boş çerçeveye göre 4.8-5.8 kat artmıştır.

Higashi, Y., Endo, T., Shimizu, Y., 1982. [23]

Yaptıkları çalışmada, tek katlı ve üç katlı çerçeveler, dolgu perde duvarlar ve kanat duvarlarla güçlendirilmiştir. Toplam 8 adet deney numunesi denenmiştir. Bunların dördü tek açıklıklı ve 3 katlı, diğer dördü ise 2 açıklıklı ve 3 katlıdır. Her model için referans olarak, bir boş çerçeve ve bir çerçeveye monolitik duvarlı çerçeve denenmiştir. Aynı zamanda kısmi güçlendirmenin çok katlı yapılar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Araştırmada, ön döküm ve ard döküm dolgu duvarlar ve kanat duvarlar kullanılarak gerçekleştirilen güçlendirme yöntemi deneylerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre; dolgu duvarlarla güçlendirilmiş çerçeveler, monolitik çerçeveye benzer bir davranış göstermiştir. Tek açıklıklı numuneler eğilme etkisi ile akmalarına rağmen, 2 açıklıklı numuneler kesme etkisi ile kırılmışlar; kanat duvarlarla güçlendirilmiş numunelerde, büyük yer değiştirme değerlerinde harç ezilmesi gözlenmiştir.

Higashi, Y., Endo, T., Shimizu, Y., 1984. [24]

Çalışmalarında, tek katlı tek açıklıklı farklı tekniklerle güçlendirilmiş 13 adet çerçeveyi yanal tekrarlı yükleme altında denemiştir. Kusurlu detaylandırılmış kolon donatısı olan her tek açıklıklı 3 katlı çerçeve; ön döküm beton paneller, çelik kuşak, çelik çerçeve ve yerinde dökme duvarlarla dolgulu şekle getirilmiştir. Sonuç olarak; 3 katlı tam dolgu duvarlı çerçeveler eğilme etkisiyle kırılırken, tek katlı tam dolgu duvarlı çerçeveler kesme etkisiyle kırılmıştır. Yerinde dökme duvarın başlangıç rijitliği, ön döküm duvarlı, çelik kuşaklı ve çelik çerçeve sistemlere göre çok büyük artış göstermiştir. Ön döküm kanat duvarla güçlendirilmiş numune için dayanımda büyük bir artış gözlenmemiş; ancak, deplasman kapasitesinde önemli miktarda artış olmuştur.

Morgan, B.J., Hiraishi, H., Corley, W.G., 1985. [25]

Çalışmada, 1/1 ve daha küçük ölçekli betonarme çerçeveler ve bireysel perde elemanları üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. 1/1 ölçekli yapı 7 katlı olup, yükün etki yönünde 3

açıklıklı, genişlik yönünde ise 2 açıklıklıdır. Yük yönündeki orta açıklıkta perde bulunmaktadır. 1/3.5 ölçekli perde duvarlı çerçeve elemanında duvar yüksekliği yaklaşık 6.2 metre, kolondan kolona genişlik 4.9 metredir. Tekil duvar elemanı olan deney elemanında perdeli çerçeveli elemandaki perde kesit boyutları kullanılmış, fakat daha küçük duvar yüksekliği alınmıştır. 3 boyutlu deneyler sonucunda perde duvarlarının yüksek kesme gerilmelerini karşılamak için gerekli olduğu gözlenmiştir. Duvar üzerinde düzlem çerçeve analizinden belirlenen düşey kuvvetler elemanın dayanım ve dönme kapasitesini artırmaktadır. Perde duvarlı çerçeve numunesinin deneysel maksimum yük taşıma kapasitesi, analitik olarak belirlenen değerin 1.1 katı olmuştur. Tekil perde duvar için, bulunan maksimum deneysel yük değeri analiz değerinin 1.04 katı olmuştur.

Altın, S. 1990. [26]

Tez çalışmasında 1/3 geometrik ölçekte, iki katlı tek açıklıklı betonarme çerçeve elemanları betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş, tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Deneysel çalışmada; betonarme dolgu duvarın donatı düzeni, betonarme dolgu duvar ile çerçeve arasında bağlantıyı sağlayan donatıların detaylandırılması, çerçeve kolonlarının boyuna donatı oranı, kolondaki eksenel yük miktarındaki değişim ve çerçevenin beton basınç dayanımı gibi değişkenler incelenmiştir. Çalışmadan çerçeve ile dolgu arasında yük aktaran donatıların davranış ve dayanımı önemli oranda etkilediği, kolon eğilme kapasitesinin ve eksenel yük düzeyinin davranış ve dayanımı olumlu etkilediği sonuçlarına ulaşılmıştır. Buna ek olarak dolgu duvarların çerçeve elemanının dayanım ve rijitliğini artırdığı sonuçları elde edilmiştir.

Phan, L.T, Cheok, G.S., Todd, D.R., 1995. [27]

Bu çalışmada, iki katlı üç açıklıklı deprem yüküne karşı zayıf olan betonarme çerçevelerin güçlendirilmesine yönelik bir dizi deney çalışması yapmışlardır. Güçlendirme yöntemi olarak iç perde duvarını tercih etmişlerdir. Perde duvarı yerinde dökme ya da precast olarak imal edilip iki alternatifli üretilmiştir. Diğer değişkenler ise, duvar kalınlığı, ankraj donatısı alanı ve ankraj donatısı tipidir. Deneyler hem yarı statik hem de ani dinamik olarak yapılmıştır. Çözümler IDARC programı ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucuna göre;

- Perde duvar kalınlıkları birleŖtiđi kolon yada üst kiriŖ kalınlığının 2/5'inden daha az olmamalı,
- Perde duvarını çerçeveye bağlayan ankraj donatısı alanlarının toplamının perde duvarın kolon/kiriŖle birleŖtiđi yüzey alanına oranı %0.8'den az olmamalı,
- Perde duvarda bulunan yatay ve düşey donatı oranı %0.75'den daha az olmamalıdır.

Mehrabi, A.B., Shing, P.B., Schuller, M.P., Noland, J.L., 1996. [28]

ÇalıŖmalarında, mevcut Ŗartnamelere uygun olarak tasarlanmış betonarme çerçevelerin sismik performansı üzerine tuğla dolgu panellerin etkisini araŖtırmıŖlardır. Bunun için iki tip çerçeve göz önüne alınmıŖtır. İlki rüzgâr, ikincisi ise kuvvetli deprem etkisi altındadır. Bu amaçla, 1/2 ölçekli, tek katlı, tek açıklıklı çerçeve numuneleri denenmiŖtir. AraŖtırmada kullanılan parametreler; dolgu panellerin çevresindeki çerçeveye göre dayanımı, panelin cepheye oranı, düşey yüklerin dağılımı ve yanal yük geçmiŖidir. Deneysel sonuçlar göstermiŖtir ki; dolgu panelleri, betonarme çerçevelerin performansını önemli ölçüde iyileŖtirmektedir. Bununla birlikte güçlü çerçeve ve güçlü paneli olan numuneler, yüke karŖı koyma ve enerji yutma kapasitesi açısından zayıf çerçeve ve zayıf panelli olanlardan daha iyi performans göstermiŖtir. Dolgulu çerçeve numuneleri tarafından taŖınan yatay yükler, boş çerçevenin taŖıdıđından her zaman daha yüksek olmuŖtur.

Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T., Türk, M., Sonuvar, O., 1998. [29]

Bu çalıŖma kapsamında, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve Boğaziçi Üniversitesi'ndeki dolgulu çerçevelerle ilgili araŖtırmaların bir kısmı verilmiŖtir. 8 adet tek açıklıklı, 2 katlı betonarme çerçeve orta derecede hasar meydana gelinceye kadar tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiŖ ve daha sonra hasarlı çerçeveler onarılmıŖ ve yerinde dökme betonarme dolgularla güçlendirilmiŖtir. Çerçeve kullanılmayan zayıflıklar; yetersiz sargı donatısı, yetersiz kenetlenme boyları ve düşük beton kalitesidir. GüçlendirilmiŖ çerçeveler de tersinir-tekrarlanır yatay yükleme etkisi altında denenmiŖtir. Bu çalıŖmada amaç, çerçeve üzerindeki hasarın, güçlendirilerek elde edilen dolgulu çerçevenin davranıŖı üzerine etkisini araŖtırmaktır. ÇalıŖma sonucunda, hasarlı çerçevelere ilave edilen betonarme dolguların yatay yük dayanımını ve yatay rijitliği önemli ölçüde artırdığı,

dolgulu çerçevelerin göçme mekanizması eğilme etkisiyle başladığı için kolon boyuna donatı miktarının dayanım üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, çerçevenin beton dayanımının tamamen dolgulu çerçevelerin dayanımına fazla etki etmediği, ancak beton kalitesinin bağlayıcı ankraj çubuklarının yerleşimi için önemli olduğu sonuçlarına varılmıştır.

Tezcan, S.S, İkizoğulları, S., 1998. [30]

Güçlendirme için kullanılan betonarme perde duvarın çevresi boyunca oluşacak kesme gerilmesi dağılımını sonlu eleman analizinden faydalanarak incelemiştir. Burada kullanılan parametreler; açıklık ve kat sayısı, dolgu duvarların tüm yapı içerisindeki oranları, mevcut yapı ve yeni duvarın beton kalitesindeki farklar olarak belirlenmiştir. Her parametrik durumdaki, kesme gerilmesi dağılımı, pratik tasarımda kullanılması için grafik olarak gösterilmektedir. Kesme bağlantı elemanları yatay yükün mevcut yapıdan yeni perde duvarlara tam olarak aktarılması bakımından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, genellikle düzlem içinde ve düzlem dışında yerleştirilerek oluşturulan perde duvar tipleri kullanılmıştır. Sonuçta; düzlem içi perdeler büyük boyutlu bir temel gerektirmezken, düzlem dışı duvarlarda büyük boyutlu ağır temeller gerektiği sonucu elde edilmiştir.

Kargı, Y., 1999. [31]

Çalışmada, hasar görmemiş az katlı yapılar için kullanılan iki farklı tipte imal edilmiş bölme duvar üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Birinci tip bölme duvarlar iki farklı tip tuğla ile oluşturulmuştur. İkinci tip bölme duvarlarda ise, fabrikada üretilmiş birbirine özel biçimde bağlanmış ince hasır donatı üzerine atılan püskürtme betonla oluşturulmuştur. Bölme duvarların bütünleşik çalışması için gerekli olan şartları bulmak amacıyla teorik bir çalışma yapılmış, panel bölme duvarlar için teorik kayma rijitliği ifadesi çıkarılmış, deneysel sonuçlar ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her iki grup bölme duvarın katılmasıyla yatay yük taşıma kapasitesinin %195 ile %346 artmakta olduğu gözlenmiştir.

Kato, D., Noda, H., Sugishita, Y., 1999. [32]

Çalışmalarında, toplam 6 adet deney elemanı, 4 adedinde perde ortasında yer alan pencere boşluğu ve boşluk alanı büyüklüğünün değişimi, diğer 2 elemenda ise merkezde olan ve olmayan kapı boşluğu üzerinde araştırma yapılmıştır. Araştırmada, bir döküm olarak üretilmiş betonarme perdelerde boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin, perde yatay deplasman kapasitesi ve dayanımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Deney sonuçlarında boşluklu perde tarafından taşınan kesme kuvvetinin sadece basınç etkisinde kalan kanat kısmı tarafından taşınmasına karşın, eğilme dayanımı ve deplasman kapasitesinin boşluksuz perdelerle göre çok fazla değişim göstermediği tespit edilmiştir.

Kongoli, X., Minami, T., Sakai, Y. 1999. [33]

Çalışmalarında, yapısal duvarların çerçeveler üzerindeki elastik-plastik tepki etkisini incelemişlerdir. Yapısal hasarı ifade etmek için çerçeve ve duvarların taban kesme katsayıları, süneklik faktörleri ile birlikte sunulmuştur. Taban kesme katsayıları, akma dayanımı ile bina ağırlığı arasındaki oran olarak tanımlanır. Sonuç olarak, sistemde perde duvarların sayısı artarken, çerçevelerin taban kesme katsayıları nispeten azalmakta, duvarlar kesmeden kırılmakta ve çerçevelerde büyük plastik deformasyonlar meydana gelmektedir. İlaveten, bu çalışmada çerçeve ve duvarların gerekli temel kesme katsayılarını hesaplayabilmek için amprik formüllerde önerilmiştir.

Paulay, T. 2001. [34]

Çalışmalarında, bilinear kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri ile tanımlanan yapısal duvarların deprem tepkisi Paulay tarafından çalışılmıştır. Bu çalışmada perde duvar bileşenlerinin rijitlik ve akma deplasman profili için analitik ifadeler oluşturulmuştur. Deplasman esaslı sismik tasarımın vazgeçilmez bir parçası olarak, nihayi inelastik deformasyon taleplerinin güvenilir tahmin önemi vurgulanmıştır. Süneklik kapasiteleri, bileşen ve sistem seviyelerinde şekil yer değiştirmelerin ve yer değiştirmelerin perspektifi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, perde duvarların deplasman sünekliği talepleri, kritik bileşenlerin yer değiştirmelerinin yardımı ile yer değiştirme süneklik kapasiteleri ile ilişkilendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Sonuvar, M.O., 2001. [35]

Çalışmada, betonarme dolgular ile güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin tersinir tekrarlanır yatay yükler altındaki davranışını araştırmak için, 5 adet 2 katlı, tek açıklıklı, 1/3 oranında betonarme çerçeveler hazırlanmıştır. Deney numuneleri pratikte sıkça rastlanılan hatalara sahip olarak üretilmiştir. Üretilen bu çerçeveler, yatay durumda tersinir tekrarlanır yükler altında hasara uğratıldıktan sonra, yerinde dökme dolgu duvarlar ve ilave güçlendirme vasıtalarıyla güçlendirilmiş ve yeniden tersinir tekrarlanır yatay yükler altında deneyerek performansları araştırılmıştır. Çerçevelerin dayanım, rijitlik, enerji tüketme ve ötelenme özellikleri incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada yapılan modellemede ise, betonarme dolgu duvarların eşdeğer çubuk elemanlar ile modellenmesi üzerine çalışılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel verilerle ve bir analitik modelin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda;

- Betonarme dolguların performansının özellikle kamalara ve işçiliğe bağlı olduğu tespit edilmiş,
- Yatay yük-deplasman grafikleri incelendiğinde, betonarme dolgu ilavesinin yanında, uygulanan bölgesel güçlendirme tekniklerinin oldukça etkili olduğu gözlenmiş,
- Dolgulu çerçevelerde boş çerçevelere göre 10-20 kat arasında yatay yük taşıma kapasitesi artışı gözlenmiş,
- Çerçevenin beton kalitesi birleşim çubuklarının ankrajında etkili olmakta,
- Hemen hemen bütün dolgulu çerçeveler eğilme taşıma gücü kapasitesine ulaştığı belirtilmiş,
- İyileştirme çalışmaları ile çerçevelerin enerji tüketme kapasiteleri önemli ölçüde artmıştır.

Canbay, E., 2001. [36]

Çalışmasında betonarme dolgu duvarlar ile doldurulmuş iki katlı, üç açıklıklı, 1/3 ölçekli betonarme çerçevenin davranış ve dayanımlarını incelemiştir. Bu çerçevede, ülkemizdeki binalarda sık rastlanan kusurların olmasına özen gösterilmiştir. İmal edilen boş çerçeve, düşey durumda, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yükler altında

önemli hasar gözleyinceye kadar yüklenmiştir. Daha sonra boş çerçevenin orta gözü, betonarme bir duvarla doldurulmuş ve elde edilen deney elemanı aynı tür yükler altında denenmiştir. Yükleme programı akma yüküne kadar yük kontrollü akmadan sonra deplasman kontrollü olarak uygulanmıştır. Araştırmanın temel amacı, uygulanan yatay yükün çeşitli aşamalarında duvar ve çerçeve kolonları arasındaki yük dağılımlarını incelemek olduğu için; dolgu duvarının eklenmediği açıklıkların kolonları altına yatay deprem yükü uygulanması sonucunda gelen kesit tesiri değerlerinin izlenebilmesi amacıyla özel bir ölçüm aracı geliştirilmiş ve çeşitli deneyler ile kalibre edilmiştir. Analitik kısımda ise, yapı limit analiz kullanılarak çözülmüş ve paket programlarla (drain2dx) modellenmiştir. Hesaplanan değerler deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Hesapla bulunan ve deneyden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, betonarme dolgu duvarın kat seviyelerinde rijit kollu bir kolon olarak modellenebileceği, betonarme dolgunun göçmeden önceki aşamada yatay yükün %90'nını taşıdığı, duvarın kapasitesinin dolgunun sınırlarında yer alan kolonların boyuna donatılarının yetersiz ankraj boyundan dolayı azaldığı, dolgulu deney numunesinin başlangıç rijitliğinin boş çerçeveninkinden yaklaşık 15 kat fazla olduğu, hasarlı çerçeveye dolgu duvar ilave edilmesiyle yatay yük taşıma kapasitesinin yaklaşık 4 kat arttığı, dolgu duvar ilavesinin sonucu olarak enerji tüketme kapasitesinin de önemli ölçüde arttığı sonucuna varılmıştır.

Özbalaban, G., 2002. [37]

Yaptığı çalışmada, betonarme yapıların 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre güvenliğinin ve perde ilavesi ile güçlendirilmesinin etkinliğini incelemiştir. Mevcut betonarme yapıların güvenliği değerlendirilmiş, değerlendirme yapılırken deprem yükü azaltma katsayısının önemi üzerinde durulmuş, onarım ve güçlendirme öncesi çalışmalar açıklanmıştır. Güçlendirme yöntemlerinin seçimini etkileyen faktörler ve karşılaşılan problemler açıklanmıştır. Mevcut 6 katlı betonarme bir yapının 1998 deprem yönetmeliği yükleri altında çözümünü yapılarak depreme karşı güvenliği incelenmiş ve perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiştir. Binanın güçlendirilmesi için eklenen 4 adet perde ile yatay yükün taşınmasında çerçevelerin hakimiyeti azalmış ve çerçeve elemanlarındaki kesit tesirlerinin azaldığı görülmüştür. Perdeleri mümkün olduğunca bina içinde olacak biçimde yerleştirmek, kolon eksenel yüklerinden faydalanılmasını sağlasa da perde temelinin sınırlı rijitliği perdenin tabanında meydana

gelecek dönmeye engel olamamıştır. Binaya göreceli olarak çok rijit az sayıda perde eklemek yerine, daha fazla sayıda narin perdelerin eklenmesi tercih edildiğinde, hem etkilerinin zemine iletilmesinin kolaylaşacağı hem de daha homojen bir kuvvet dağılımının ortaya çıkarabileceği belirtilmiştir.

İlgün, A., 2003. [38]

Yaptığı çalışmada tünel kalıp tekniği ile inşa edilen çok katlı yapıların deprem yükleri altındaki dayanım ve davranışını araştırmıştır. Bu amaçla, tünel kalıp teknolojisi uygulanmış yapıların yatay elemanları olan döşemeler ile düşey elemanları olan perde duvarların birleşim bölgelerinden oluşan bir kesit modellenmiştir. Model betonarme elemanlar, 4 katlı ve 1/5 geometrik ölçekli olarak imal edilmiş ve tersinir tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiştir. Deney modelleri üzerine uygulanan tersinir-tekrarlanır yatay yük, perde ve döşeme boyutları sabit olmak üzere, perde duvarlardaki donatı miktarlarına ait parametreler değiştirilerek 4., 3. ve 2. katlarda uygulanmıştır. Perde duvar kesitinin, yerleştirilen donatıların kopma anındaki moment kapasiteleri deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Yük-deplasman, moment-eğrilik ilişkilerinden, momente maruz perde kesitinde beton çatlaması ile betonun çekme sonucu taşıdığı iç kuvvetlerin boşaldığı ve bu kuvvetin donatıya aktarıldığı gözlenmiştir.

Akış, T. 2004. [39]

Araştırmasında, perde duvar-çerçeve tipi yapılardaki düzlemsel olmayan perde duvarların modellenmesi ve analizi yapılmıştır. Açık ve kapalı kesit perde duvar tipleri için üç boyutlu iki ayrı model geliştirilmiştir. Bu modeller, düzlemsel bir perde duvarın kolon ve kat seviyelerindeki rijit kirişlerle modellendiği geniş kolon benzeşimi yöntemine dayanmaktadır. Çok katlı yapıların analizinde sıkça kullanılan rijit diyafram kat kabulü de bu çalışmada göz önünde bulundurulmuştur. Açık kesit perde duvarlar için önerilen modelde, kat seviyelerindeki rijit kirişlerin birbiriyle bağlantıları burulmaya karşı serbest bırakılmıştır. Kapalı kesit perde duvarlar için ise buna ek olarak, geniş kolonların burulma rijitlikleri bir dizi denklem kullanılarak modifiye edilmiştir. Önerilen modeller kullanılarak farklı tipte düzlemsel olmayan duvarlara sahip perde duvar-çerçeve sistemleri statik yanal yük, spektrum ve zaman tanım alanı yöntemleriyle analiz edilmiştir. Çalışma sonucuna göre, rijit kirişlerin her iki yönündeki

kesit alanı, burulma sabiti ve atalet momentlerinin, en büyük boyutlara sahip geniş kolon için hesaplananlardan en az 20.000 kat daha büyük olacak şekilde seçilmesi gerektiği sonucuna varmıştır.

Yılmaz, Ü.S. 2007. [40]

Çalışmasında, mevcut diğer güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak, imalat sırasında bina kullanıcıları binayı terk etmeden binanın dışından sistemin iyileştirilmesi yöntemini araştırmıştır. Bu amaçla, Türkiye'deki mevcut betonarme binalarda sıklıkla görülen hatalara sahip olarak üretilen 1/3 ölçekli, kolonları basınç kırılması gösteren, deprem dayanımı yetersiz, sünek olmayan, iki açıklıklı ve iki katlı 2 adet boş betonarme çerçeve ve 2 adet de aynı özelliklerdeki mevcut betonarme çerçeveye tek yönlü olarak betonarme dış perde duvar ilave edilmesi ile güçlendirilmiş/iyileştirilmiş sistem, deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altındaki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel verilerin değerlendirilmesi sonucunda, kolonları basınç kırılması gösteren, deprem dayanımı yetersiz, sünek olmayan, çok açıklıklı ve çok katlı betonarme çerçevelerin, dayanım, rijitlik, enerji tüketme kapasiteleri gibi özellikleri ile davranışları elde edilmiştir Daha sonra, aynı özellikteki mevcut betonarme binaya, betonarme dış perde duvar eklenmesiyle yapılan sistem iyileştirmesi/güçlendirmesi sonucu ortaya çıkan davranış ve sonuçlar elde edilerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analitik çalışmada ise; deney elemanlarının gerçek malzeme dayanımları kullanılarak, SAP2000 programında pushover analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar, deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca düşey elemanlar için de, moment-eğrilik ilişkisi bilgisayar programı ile elde edilmiş ve sonuçlar, deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; kesin bir yargı için daha çok sayıda ve daha büyük ölçekte deneylere ihtiyaç duyulmakla birlikte, dış perde duvar uygulamasının güçlendirme gereken betonarme binalarda önemli bir seçenek olabileceği kanaatine varılmıştır.

Anıl, Ö., Altın S. 2007. [41]

Çalışmada tek katlı tek açıklıklı betonarme çerçeve düzlemi içerisine yerleştirilen parçasal betonarme perdenin çerçeve dayanımına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla; 9 adet 1/3 geometrik ölçekli bir açıklıklı ve bir katlı olarak modellenen betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin betonarme dolgularındaki boşluk alanı ve yerin değişimi

incelenmiştir. Test edilen numunelerde, parçasal dolgu duvar uzunluğunun yüksekliğe oranı ve parçasal dolgu duvarın çerçeve içinde düzenleniş biçimleri, bu çalışmanın değişkenleri olarak düşünülmüştür. Test edilen bu numunelerde çerçeveye eklenen betonarme dolgu duvarlar, ankraj çubukları yardımıyla sisteme eklenmiştir. Mevcut çalışmada, iç perde duvarın boyutlarının artırılması durumunda sistemin rijitliğinin ve yatay yük taşıma kapasitesinin çok önemli miktarda arttığı, iç perde duvar ile çerçevenin birleşim yeri ve türünün yine sistemin yatay yük taşıma kapasitesini önemli oranda etkilediği, özellikle kolon ve kirişlerle beraber bağlanan iç perde duvarın diğerlerine göre çok daha etkin çalıştığı gözlemlenmiştir.

Gürol, K. B., 2007. [42]

Araştırmasında, mevcut yapıların sismik etkilere karşı güçlendirilmesinde kullanılan yöntemleri incelemiştir. Bu çalışmada güçlendirme uygulamalarının yapının davranışına etkisini ele almadan önce genel itibariyle yapı taşıyıcı elemanlarının depreme benzeyen yükler altındaki davranışlarına değinilmiştir. Uygulama yeri ve şekline göre çeşitli etkileri olan güçlendirme yöntemleri, elde edilen bilgiler doğrultusunda, eleman ve sistem bazında olmak üzere iki başlık altında toplanmıştır. Her bir güçlendirme yönteminin yapı davranışına etkisi literatürde yer alan çeşitli deneysel çalışmalar yardımıyla incelenmiştir. Çalışmada, güçlendirme yöntemlerinin davranışa etkisi ve temel tasarım ilkeleri belirlendikten sonra mevcut bir yapı ele alınmıştır. Seçilen yapı ABYYHY-2007 kuralları çerçevesinde irdelenmiş ve deprem dayanımının yetersiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu amaçla, yapının durumuna göre bir güçlendirme yöntemi seçilip doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yardımıyla yapısal kapasiteler bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Deplasman Katsayıları Yöntemi kullanılarak binanın performans düzeyi kriterlerine göre irdelenmiştir. Tez çalışması olarak ele alınan yapı 17 Ekim 2005 tarihindeki Seferihisar Depremleri'ne maruz kalmış ve yapısal olmayan hasarlar oluşmuştur. ABYYHY-2007 uyarınca yapılan kontroller sonucu, yapıda sistem bazında kapasite aşımaları ve ötelenme sorunları olduğu tespit edilmiştir. Yapılan incelemede, mevcut sisteme ait dayanım azaltma katsayısı $R=5,1$ olarak bulunmuş ve yapı elemanlarının yetersizliğini gösteren diyagramlardaki değerlerin %20 değerinde azaltılması öngörülmüştür. Ancak bu azaltma işlemine rağmen yapı elemanların, tasarım deprem yükü altında yetersiz olduğu görülmüştür. Deprem güvenliğinin yetersiz olduğu belirlenen yapının bünyesine perde duvar

eklenerek güçlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Güçlendirilmiş yapının kapasitesinin tespiti doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Seçilen perde boyutlarının kesme kapasitesi aşımalarını ortadan kaldırıp kaldırmadığı kontrol edilmiştir. Kapasitesi belirlenen yapının hedef deplasmanı Deplasman Katsayıları Yöntemi kullanarak tayin edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde güçlendirilmiş yapının Can Güvenliği performans seviyesinde olduğu belirlenip aynı zamanda, perde ve manto ile güçlendirilmiş yapının dayanım azaltma katsayısı araştırılmış ve analizler neticesinde yaklaşık R=3 olarak tespit edilmiştir. Yapıya yeni perde elemanlar eklemek suretiyle yapılan güçlendirme ile yapı dayanım azaltma katsayısının R=5,1 değerinden R=3 mertebelerine ulaştığı sonucuna varılmıştır.

Karageyik, C., Sucuoğlu, H. 2010. [43]

Çalışmalarında, orta yükseklikteki betonarme çerçevelerden oluşan binaların güçlendirilmesinde deplasman esaslı bir yaklaşım sunmuştur. Çalışmada kullanılan örnek yapılara eklenen perde duvarlar şekil değiştirme seviyelerini genellikle kritik olan zemin kattaki mevcut kolonların dikte ettiği seviyeye indirmek için mevcut sisteme eklenir. Perde duvarların donatılandırılması duvar-çerçeve sisteminin azaltılmış şekil değiştirme istemlerini esas alır. Eleman uçlarındaki dönmeler ise performans değerlendirilmesinde kullanılır. Önerilen deplasman esaslı yöntem ile şekil değiştirme istemlerini gözardı ederek aşırı yük taşıma ve şekil değiştirme kapasitelerinin sağlandığı geleneksel kuvvet esaslı yöntemlerin karşılaştırılması, mevcut kolonların betonarme mantolarla sarılmasının ve güçlendirme perdelerinde sarılmış uç bölgesi oluşturulmasının genellikle gereksiz olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada betonarme karkas binalarda genellikle yatay yükler altında hesaba dâhil edilmeyen dolgu duvarların deprem etkisi altındaki etkisinin değerlendirilmesi incelenmiştir. Bu amaç kapsamında, dolgu duvarsız çerçeve, tuğla dolgu duvarlı çerçeve ve gazbeton dolgu duvarlı üç farklı çerçeve sisteminin DBYBHY'e göre tasarım deprem kuvvetleri altında 3 tip örnek ile çözümü yapılmıştır. Öncelikle STA4-CAD programında modellenmiş ve betonarme çözümü yapılmış çerçeve sistemleri elde edilen değerler yardımıyla SAP2000 programında modellenmesiyle, lineer analiz ve nonlineer analizleri yapılmış ve bu üç çerçeve sistemindeki etkiler karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre dolgu duvarların dikkate alınmasıyla yapı performansının ve rijitliğinin daha da arttığı, deprem anında binaya olumlu davranış sergilediği sonucuna varılmıştır.

Bahadır, F. 2012. [44]

Çalışmasında, Türkiye'deki binalarda sıklıkla gözlenen kusurlara sahip 1/3 geometrik ölçekli, iki katlı ve tek açıklıklı 6 adet betonarme çerçeve, deprem yükü benzeştirilmiş tersinir-tekrarlanır yatay yükler ve sabit düşey yükler altında test edilmiştir. İlk numune güçlendirme uygulaması yapılmamış referans numunesidir. Diğer numuneler ise pencere boşluksuz düzlem dışı tam betonarme perde duvarla ve pencere boşluğuna sahip düzlem dışı betonarme perde duvarlarla güçlendirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan parametreler, pencere boşluğunun boyutu ve konumudur. Güçlendirme uygulaması yapılan numunelerin kolonları betonarme manto ile sarılmıştır. Test edilen bu deney elemanlarına ait histeresis eğrileri, zarf eğrileri, rijitlik, süneklik ve tüketilen enerji grafikleri verilmiş, bu deney elemanları arasındaki farklar incelenerek yorumlanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar irdelenerek değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur. Test sonuçları, düzlem dışı dıştan perde duvarlar ile betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini, rijitliğini ve enerji tüketimini önemli oranlarda arttırdığını göstermiştir.

Balık, F.S. 2012. [45]

Çalışmasında, 6 adet, tek açıklıklı, iki katlı, 1/3 ölçekli sünek olmayan betonarme çerçeve üretilmiş ve pencere boşluklu veya boşluksuz dolgu duvar ile güçlendirilerek davranışları araştırılmıştır. Bu deney numuneleri depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney numuneleri Türkiye'deki betonarme yapılarda çoğunlukla gözlemlenen eksiklikleri yansıtacak şekilde üretilmiştir. İlk deney numunesi güçlendirme uygulaması yapılmamış referans numunedir. Diğer numuneler ise farklı pencere boşluk oranlarına ve konumuna sahip betonarme dolgu duvarlı numunelerdir. Yapılan deneylerin sonuçları betonarme dolgu duvarların, dayanım, rijitlik, enerji tüketme ve süneklik üzerindeki etkilerini ortaya koyacak şekilde değerlendirilmiştir. Deney sonuçları, betonarme dolgu duvarlı numunelerin, boş çerçeveli numuneden daha fazla yatay yük dayanımına ve rijitliğe sahip olduğunu göstermiştir.

Kamanlı, M., Balık, F.S., Korkmaz, H.H., Bahadır, F., Kaltakçı, M.Y., Ünal, A. 2013. [46]

Çalışmalarında, pencere boşluklu betonarme perde duvarlarla güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin, depremi benzeştiren yatay yükler etkisi altında davranışları incelenmiştir. Deneysel olarak yapılan bu çalışmada, tek açıklıklı, iki katlı, 1/3 ölçekli, 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Üretilen betonarme çerçevelerden, 1 adedi çerçeve içerisinde düzenlenen pencere boşluklu perde duvarla, 1 adedi çerçeve düzlemine bitişik pencere boşluklu perde duvarla, 1 adedi ise çerçeve düzlemine bitişik pencere boşluklu perde duvarlı ve kolon mantolu olacak şekilde güçlendirilmiştir. Üretilen betonarme çerçevelerden 1 adedi ise güçlendirme uygulaması yapılmadan referans numune olarak kullanılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen deney sonuçları; yapılan güçlendirme çalışmalarının, betonarme çerçevenin deprem davranışını önemli derecede iyileştirdiğini ortaya koymuştur.

Lovaraju, K. 2013. [47]

Çalışmasında, çok katlı binada perde duvar konumunu belirlemeye çalışmıştır. Bu amaçla, her biri sekiz katlı olmak üzere dört farklı bina modeli üzerinde çalışılmıştır. Bu modellerin biri perde duvarsız, diğer üçü ise farklı bölgelerde perde duvarlı olarak ele alınmıştır. Modeller, perde duvarın farklı konumlandırılmasıyla yapısal elemanlarda oluşan yanal yer değiştirme ve yük aktarımı işlemini dört farklı deprem bölgesi şartlarına göre incelenip ve karşılaştırılmıştır. Deprem yükü IS: 1893-2002 (Bölüm-1)'e göre hesaplanmıştır. Deprem yükü azaltma katsayısı, bina önem katsayısı, deprem bölgesi katsayısı ve bina içinde betonarme perde yerleşimi gibi çeşitli parametreler IS: 1893-2002 (Bölüm-1)'e göre uygulanmıştır. 4 Farklı deprem bölgesine göre binalar ETABS Nonlinear v 9.7.2 yazılımını kullanılarak modellenmiştir. Çalışma sonucuna göre binalarda perde duvarların olması, deprem yüklerinden kaynaklanan yatay kat deplasmanlarını önemli ölçüde azaltmıştır.

Rokanuzzaman, MD. ve diğerleri 2017. [48]

Çalışmasında, çok katlı binalarda perde duvar konumunun etkisi araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan örnek bir konut binasının kat yüksekliği 10ft olarak, bina ebadının 49.25ft X 49.25ft olarak ve kat sayısının 16 katlı (giriş kat + 15 kat) olarak alınmıştır.

Bu çalışmada, 8, 10, 12, 14 ve 16 katlı binalar yazılım kullanılarak modellenmiştir. Modellenen bu binaların her biri üç farklı model tasarlanıp analizleri yapılmıştır. Yanal yükleme altında oluşan yer değiştirme ve taban kesme kuvveti gibi kritik parametreleri elde etmek amacıyla bina çerçevesindeki perde duvarlar farklı konumlarda kullanılarak çözülmüştür. Analiz, ETABS 9.6.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve analiz için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada üç tip model (Perdesiz, yapının 4 dış kenarının ortasına yerleştirilmiş perde duvarlı ve L şeklinde 4 köşeye yerleştirilmiş perde duvarlı) olarak incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre binada oluşan yer değiştirme ve taban kesme kuvveti bakımından Model 2'nin, en iyi performansı gösterdiği bulunmuştur. Sonuç olarak, perdesiz betonarme karkas yapının yanal yüklere karşı dayanım açısından zayıf performans gösterdiği görülmüştür. Orta yüksek katlı binalarda (yani 10 kattan fazla olan yapılarda), yapının genel sismik kapasitesinin artırılmasında perde duvarların etkili olduğu anlaşılmıştır.

Hussain Narayangarhwala, Sourabh Dashore. 2020. [49]

Çalışmalarında, çok katlı binalarda perde duvarın konumuna yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla, her biri sekiz katlı olmak üzere dört farklı bina modeli tasarlanmıştır. Modellerin biri perde duvarı olmayan, diğer üç model ise farklı konumlarda perde duvarı olan sistem olarak tasarlanmıştır. Modellerde, perde duvarların farklı konumlarda olduğunda, diğer yapı elemanlarında oluşan kat deplasmanları ve kesme kuvvetini karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma durumu farklı dört deprem bölgesini göz önüne alarak incelenmiştir. Analizlerde modeller uygulanan deprem yükü IS: 1893-2002 (Bölüm 1) 'e göre hesaplanmıştır. Deprem yükü azaltma katsayısı, bina önem katsayısı, deprem bölgesi katsayısı gibi çeşitli parametreler IS: 1893-2002'den alınmıştır. Çalışmadaki yapılar, şartnamede bulunan farklı dört deprem bölgesi için doğrusal olmayan ETABS yazılımı v 17.0.1 kullanılarak modellenmiştir. Sonuç olarak perde duvarların uygun pozisyonlarda olması, deprem yükünden kaynaklanan binadaki kat deplasmanlarını önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Aynı zamanda, modellerde bulunan perde duvarların yatay kat deplasmanlarını azaltması, kat sayısı 10 veya daha fazla olan binalarda kullanılan perde duvar boyutlarının büyük boyutla küçük boyut arasında görülebilir bir fark olmadığına rastlanmıştır.

Kaya, G., Özsoy Özbay, A.E. 2019. [50]

Bu çalışmada, betonarme perde ve çerçeve yapılarında farklı yön ve farklı boyutlarda perdeler konumlandırılmış ve yapı deprem davranışı yer değiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri ve kat kesme kuvvetleri açısından incelenmiştir. Bununla birlikte, çerçeve sistem, perdeli sistem ve perde-çerçeve sistemlerde taşıyıcı elemanların ön boyutlandırılmasının yapısal davranış üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Bu çalışmada, taşıyıcı elemanların değişkenlik gösterdiği 7 katlı 10 farklı yapısal model bir sonlu elemanlar programı kullanılarak üretilmiş olup çıkan sonuçlar yer değiştirme, titreşim periyodları, kesme kuvvetleri, perde katkı katsayısı ve taşıyıcı sistem katsayıları açısından değerlendirilmiştir. Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemine göre hesaplanan yatay deprem yükleri $\pm 0,05$ dış merkezlik göz önünde bulundurularak, kat düzlemlerine uygulanmıştır. Her yapı modeli için 4 farklı deprem yüklemesi uygulanmış; planda simetrik olan yapı modelleri için deprem yüklerinin $-0,05$ veya $+0,05$ dış merkezli olarak uygulanması sonucu değiştirmemektedir.

Sonuç olarak, perdelerin birbiriyle bitişik olarak konumlandırılmasının ayrıık olarak planda konumlandırılmasına göre periyodunu daha fazla düşürdüğü ve bulunduğu doğrultunun rijitliğini arttırdığı gözlemlenmiştir. Yapısal modellerin yatay yükler altında analizi sonucunda elde edilen etkin görelî kat ötelemeleri oranları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda çerçevelerin daha çok üst katlarda perdelerin ise daha çok alt katlarda etkin olup ötelenmeleri karşıladıkları sonucuna varılmıştır. Perdelerin daha etkin olduğu yapı sistemlerinde yapısal davranış düşey bir konsol kiriş benzerken, çerçeve sistemde görelî kat öteleme oranları alt katlarda daha büyük değerlere ulaşmaktadır.

1.3. Tezin Yapılan Çalışmalardaki Yeri

Literatür taraması sonucunda konu ile bağlantılı ulusal ve uluslararası çalışmalar incelendiğinde, perde konumunun yapı davranışına etkilerini inceleyen çalışmalar olduğu, ancak bu çalışmaların deneysel çalışma olarak değil daha çok nümerik çalışmalardan oluştuğu görülmüştür. Literatürdeki çalışmalar genellikle sadece perde üretilerek veya sistem içinde dolgu duvarı kullanılarak güçlendirilmeye yönelik çalışmalara dair yapılan deneysel çalışmalar olsa da, üç boyutlu taşıyıcı sistem üretilerek yapılan deneysel araştırmaya rastlanılmamıştır.

Literatürde yapılan çalışmaların çoğunluğu çerçeve sisteme perde, dolgu duvarı ve bunun gibi yöntemler kullanarak sistemin güçlendirilmesi ve yatay yükler altında dayanımın artırılması ve yapı genel performansı üzerinde durulmuştur. Genel olarak literatür incelemesinden, sistem davranışının tespiti için yapılan nümerik çalışmalarda değişken parametreler, taşıyıcı sistem geometrisi, yapıda kolonların ve/veya perdelerin bulunup bulunmaması, kat yüksekliği, kat adedi, döşeme kalınlığı, döşeme en boy oranı, perde konum ve oranı, zemin cinsi olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda ele alınan modeller ise, taşıyıcı sisteminde perde bulunmayan salt çerçevelerden oluşan simetrik ve tek katlı yapılarıdır. Perde davranışları ise, daha çok eleman bazlı incelenmiştir. Tez konusu deneysel araştırmaya açık bir konudur. Nümerik çalışmalar ile incelenen parametreler göz önünde bulundurularak devamı çalışmalarda deneysel çalışmalar çeşitlendirilebilir.

Tez konusu çalışmamız ise, sistem içinde betonarme perdenin konumuna göre deprem etkisi altında taşıyıcı sistem davranışı araştırılmıştır. Öncelikle yapının üç boyutlu olarak üretilecek olması ve deneylerin perde konumuna göre üç boyutlu yapılması çalışmanın özgün değerini ve önemini artırmaktadır. Betonarme perde konumunun değişmesi ile yatay yükler etkisi altında taşıyıcı sistemde burulmalar meydana gelmektedir. Bu yönüyle de tez konusu çalışmada, betonarme taşıyıcı sistemin planda düzensizlik durumlarından biri olan A1 türü burulma düzensizliği davranışı da ortaya konulmaktadır. Dolayısıyla A1 türü burulma düzensizliği için deprem yönetmeliğinde belirlenen sınır değer, doğrudan sistemin davranışı ile bağlantılıdır. Böylece tezde perde konumu değişmesi sonucu benzer A1 düzensizliği durumunda yatay yükler etkisi altındaki taşıyıcı sistem davranışına etkisi de incelenmiş olmaktadır. Ayrıca taşıyıcı sisteme perde ilavesi ile yatay yüklere karşı sistemin ne kadar sağlıklı davranış gösterebileceği de araştırılmıştır.

Deneysel çalışmalarda deplasman ölçümü için daha çok LVDT veya potansiyometrik cetvel kullanılmaktadır. Her bir kolon-kiriş ve perde-kiriş düğüm noktalarında x, y, z koordinatlarında deplasman ölçümü için en az üç adet LVDT veya Potansiyometrik cetvel gerekmektedir. Dokuz adet düğüm noktasına sahip bir betonarme taşıyıcı sistemin x, y, z yönündeki deplasmanları için toplam 27 adet LVDT kullanılmalıdır. Bundan dolayı kolon kiriş düğüm noktalarında x, y, z yönlerinde meydana gelen deplasmanları ölçmek için total station ve reflektörlü kâğıt tercih edilmesi de bu

Çalışmanın görüntü üzerinden değerlendirilip değerlendirilmeyeceğini de mümkün kılmaktadır.

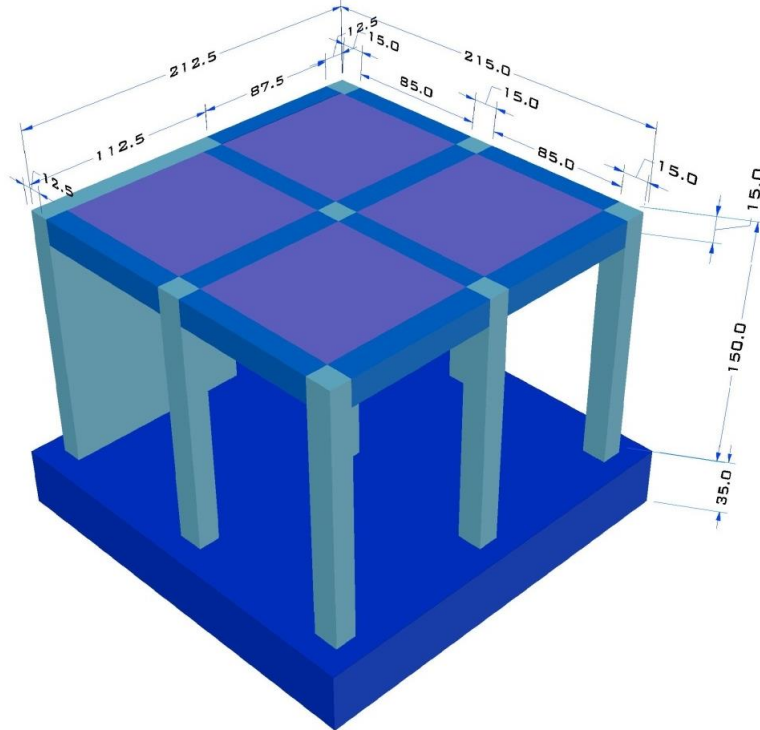


2. BÖLÜM

GEREÇ ve YÖNTEM

2.1. Deneysel Program

Deneysel çalışmadaki taşıyıcı sistem özellikleri ve adedini belirlemeye yönelik nümerik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda seçilen taşıyıcı sistem geometrisi üzerinden, farklı perde konumları belirlenmiştir. Nümerik çalışmalarda kullanılmak üzere seçilen taşıyıcı sistem x ve y eksenlerinde eşit iki açıklığa sahip tek katlı üç boyutlu bir modeldir. Şekil 2.1.'de Taşıyıcı Sistem Modelinin ebatları Autocad programı ile çizilerek gösterilmektedir.[51]



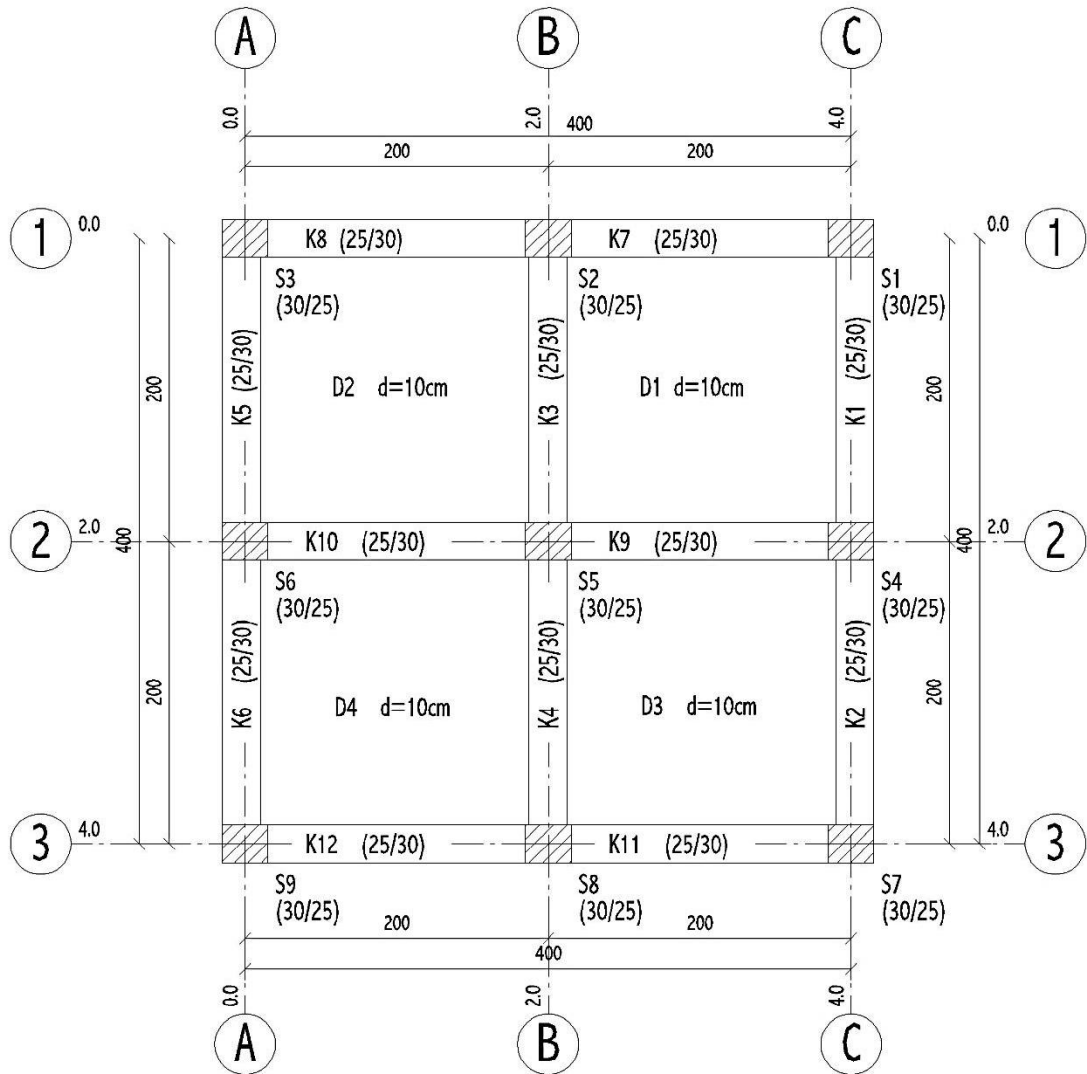
Şekil 2.1. Taşıyıcı Sistem Modeli

Bu tek katlı modelde, farklı perde konumlarına sahip taşıyıcı sistemler oluşturulmuştur. Bunlardan bir tanesi çalışmaya referans olan perdesiz model (Model 1), diğerleri (Model 2

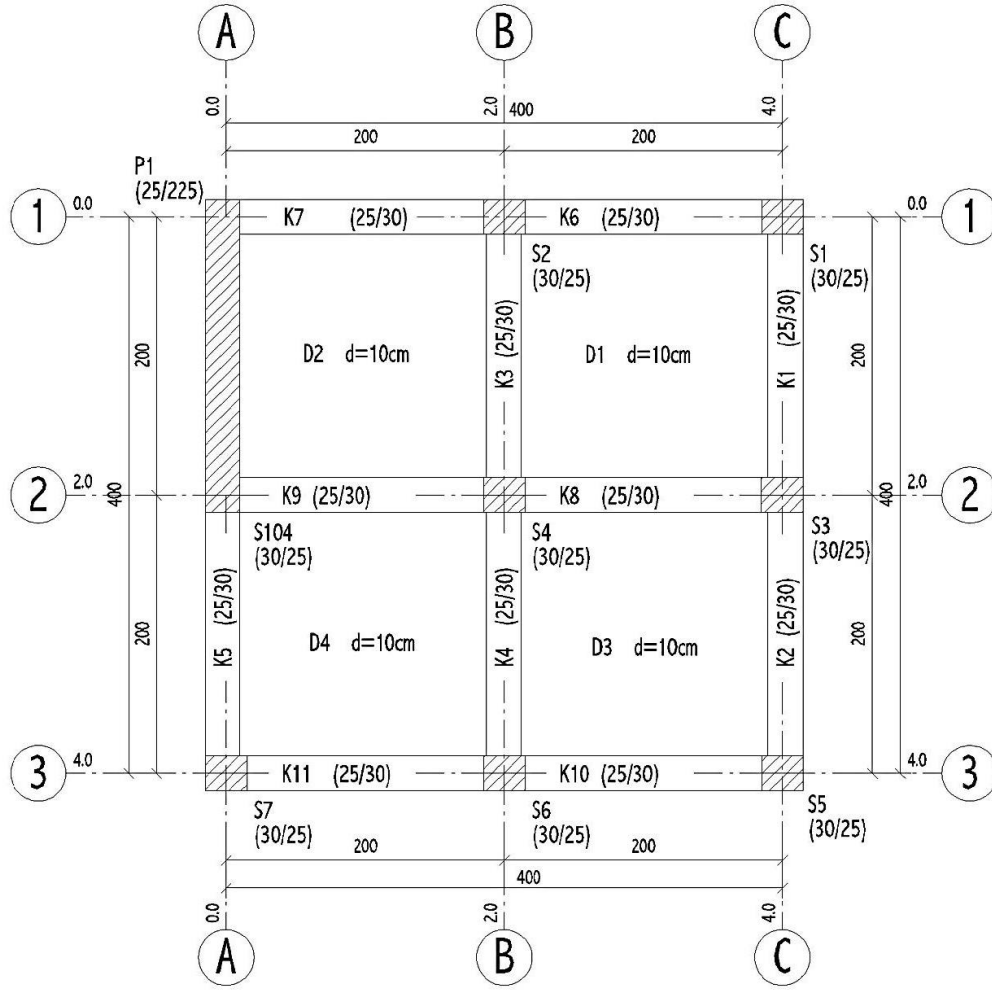
ve Model 3) perdesi dış ekseninde olan ve (Model 4 ve Model 5) perdesi orta ekseninde olan modellerdir.

2.1.1. Deneysel Modellerin Geometrik ve Malzeme Özellikleri

Çalışmaya esas olan deneysel modellerde, kolon ve kiriş boyutları (250 mm x 300 mm) ebadında seçilmiştir. Perdenin Boyutları ise (2250 mm x 250 mm) ebadında seçilmiştir. Döşeme kalınlığı ise 100 mm olarak belirlenmiştir. Yapı x ve y yönlerinde simetrik ve eşit iki açıklığa sahip olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Her iki yöndeki aks açıklığı 2000 mm ve kat yüksekliği 3000 mm olarak belirlenmiştir. Yapı temeli 600 mm kalınlığında 4800 mm x 4800 mm ebadında radye plaktır.



Şekil 2.2. Referans Model (Model 1) Kalıp planı (ebatlar cm cinsindedir) [51, 52, 53]



Şekil 2.3. Perdeli Model (Model 2) Kalıp planı (ebatlar cm cinsindedir) [51, 52, 53]

Betonarme elemanların kesitleri seçilirken, minimum en kesit koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Böylece kesit boyutları minimum düzeye indirgenmiş ve deney sırasında fazladan bir rijitliğe meydan verilmemesi hedeflenmiştir. Daha önce yapılan nümerik çalışmalarda da bu durumun gerekliliği görülmüştür. Betonarme taşıyıcı sistem malzemesi olarak beton sınıfı C25 ve donatı kalitesi S420 seçilmiştir.

2.1.2. Deneysel Modellerin Ölçeklendirilmesi

Betonarme taşıyıcı sistemlerin elastik ötesi davranış sergilemelerinden dolayı ölçeklendirilme yapılması son derece zordur. Literatürde ölçeklendirme ile ilgili yaklaşımlarda Harris ve Sabnis [54] tarafından önerilen, ölçek katsayıları kullanılarak yapılan ölçeklendirme önerilmiştir. “Pratik Gerçek Model” olarak adlandırılan bu yaklaşımda, gerilme ölçeği faktörü beton ve çelik için ($S_{\sigma} = 1$) alınmaktadır. Bu

durumda gerçek yapı modeli ile ölçekli yapı modelinde aynı malzemeler kullanılmaktadır. Aksi durumda donatı için sağlanması gereken şartlar, gerilme ölçeği faktörü (S_o) kullanılarak sağlanamaz. Çünkü elastisite modülleri farklı bir donatı çeliği imalatı mümkün değildir.

Tablo 2.1. Pratik Gerçek Model Ölçekleme Katsayıları [54]

Ölçekleme	Nicelik	Boyut	Pratik Gerçek Model
Malzeme Özellikleri	Beton Gerilmesi	FL^{-2}	1
	Beton Birim Şekil Değişirme	-	1
	Beton Elastisite Modülü	FL^{-2}	1
	Poisson Oranı	-	1
	Birim Hacim Ağırlık	FL^{-3}	$1/S_l$
	Donatı Gerilmesi	FL^{-2}	1
	Donatı Birim Şekil değişirme	-	1
	Donatı Elastisite Modülü	FL^{-2}	1
	Aderans Gerilmesi	FL^{-2}	1
Geometrik Özellikler	Uzunluk	L	S_l
	Deplasman	L	S_l
	Açısal Deplasman	-	1
	Donatı Alanı	L^2	S_l^2
Yükleme Özellikleri	Tekil Yük	F	S_l^2
	Çizgisel Yük	FL^{-1}	S_l
	Basınç	FL^{-2}	1
	Moment	FL	S_l^3

Böylece gerçek yapı modeli ile ölçekli yapı modelinde aynı malzemelerin kullanılması durumu uygun görülmektedir. Tablo 2.1’de pratik gerçek modellemede kullanılan ölçek katsayıları farklı nicelikler için verilmiştir. Tablo 2.1’deki katsayılar ile betonarme bir yapı malzemesi, geometri ve yükleme özelliklerine bağlı olarak ölçeklendirilir [54].

Bu tez çalışması kapsamında deneysel araştırmada kullanılacak olan ölçek 1/2 olarak belirlenmiştir. Pratik gerçek yöntem esas alınarak yapılan ölçeklendirme Tablo 2.2.’de detaylıca verilmiştir. Sonuç olarak doğrulanmış nümerik modeller üzerinden, gerçek

ölçekte ve literatür de verilen metotlar kullanılarak ölçeklenen taşıyıcı sistem modeli arasında kullanılan ölçeklendirme katsayılarının yardımı ile ölçekleme işlemi yapılmıştır.

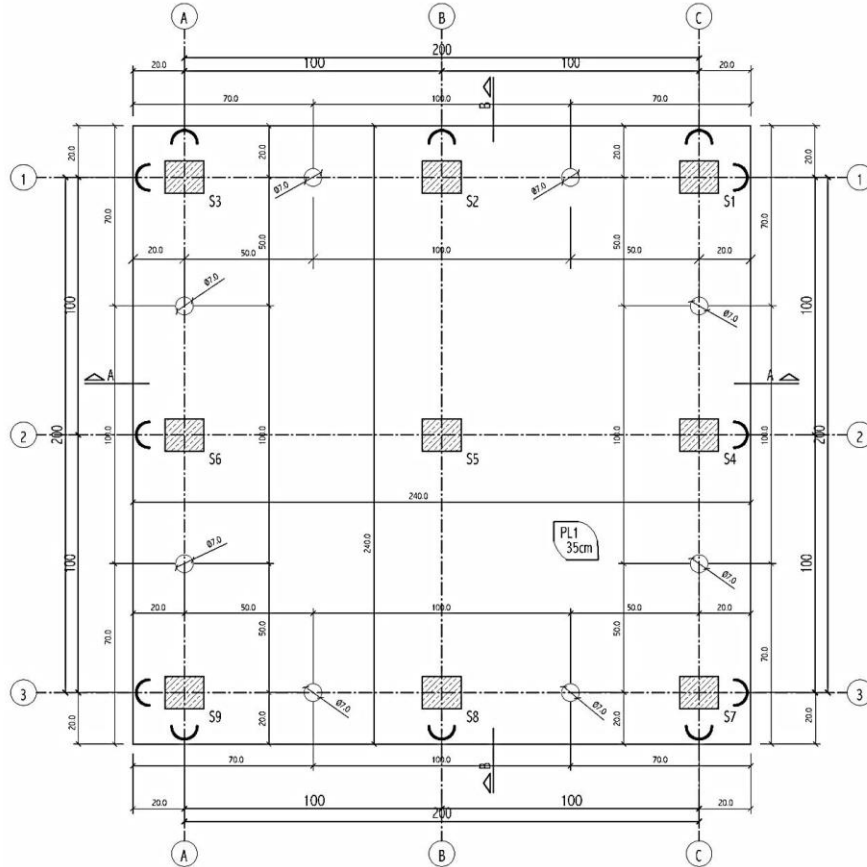
Tablo 2.2. Deneysel Modellerin Ölçeklenmesi

Geometri / Malzeme / Yük Özellikleri	1/1 Ölçek	1/2 Ölçek
Temel Boyutları (mm)	4800x4800x600	2400x2400x350
Temel Donatı (mm ²) $\rho=0.00175$	Ø16/20	Ø8/10
Kolon Boyutları (mm)	250x300	125x150
Perde Boyutları (mm)	2250x250	1125x125
Kiriş Boyutları (mm)	250x300	125x150
Döşeme Kalınlığı (mm)	100	50
Kat Yüksekliği (mm)	300	150
Beton Sınıfı	C25	C25
Donatı Sınıfı	S420	S420
Kolon Donatı Alanı $\rho=0.0123$	924 mm ² /6Ø14	258 mm ² /4Ø8+2Ø6
Perde Donatı Alanı $\rho=0.0065$	3657 mm ² /12Ø14+16Ø12	967 mm ² /8Ø8+4Ø6+16Ø6
Kiriş Donatı Alanı $\rho=0.003$	226 mm ² /2Ø12	56.5 mm ² /2Ø6
Kolon Etriye Üst Sıklaştırma Bölgesi	500 mm	250 mm
Kolon Etriye Alt Sıklaştırma Bölgesi	790 mm	395 mm
Kolon Etriye Orta Bölgesi	1410 mm	705 mm
Kolon Etriye Sıklaştırma Bölgesi Aralığı	Ø8/80	Ø4/40
Kolon Etriye Orta Bölgesi Aralığı	120 mm ² /Ø8/120	60 mm ² /Ø4/60
Kiriş Etriye Sıklaştırma Bölgesi Aralığı	Ø8/80	Ø4/40
Döşeme Donatı Alanı (mm ²) $\rho=0.0028$	335 mm ² /Ø8/300	83.75 mm ² /Ø4/150

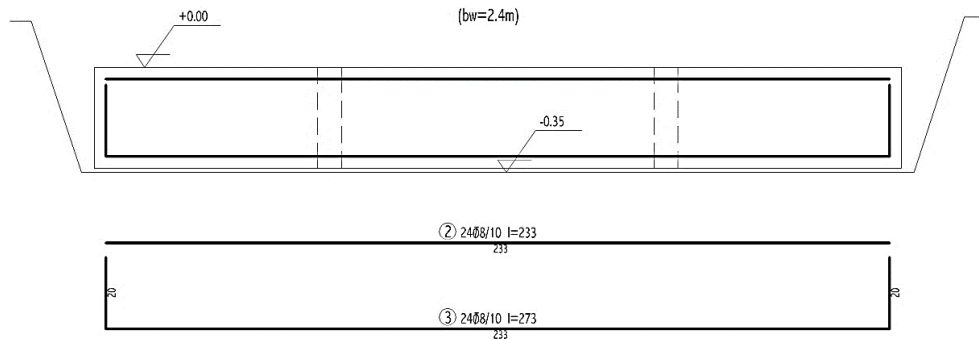
2.1.3. Deneysel Modellerin Projelendirilmesi

Modellerin statik hesabı gerçek yapı ölçeğinde yapılmış ve Harris-Sabnis [54] tarafından önerilen ölçek katsayıları kullanılarak 1/2 ölçeğe çevrilmiştir. Bu bölümde

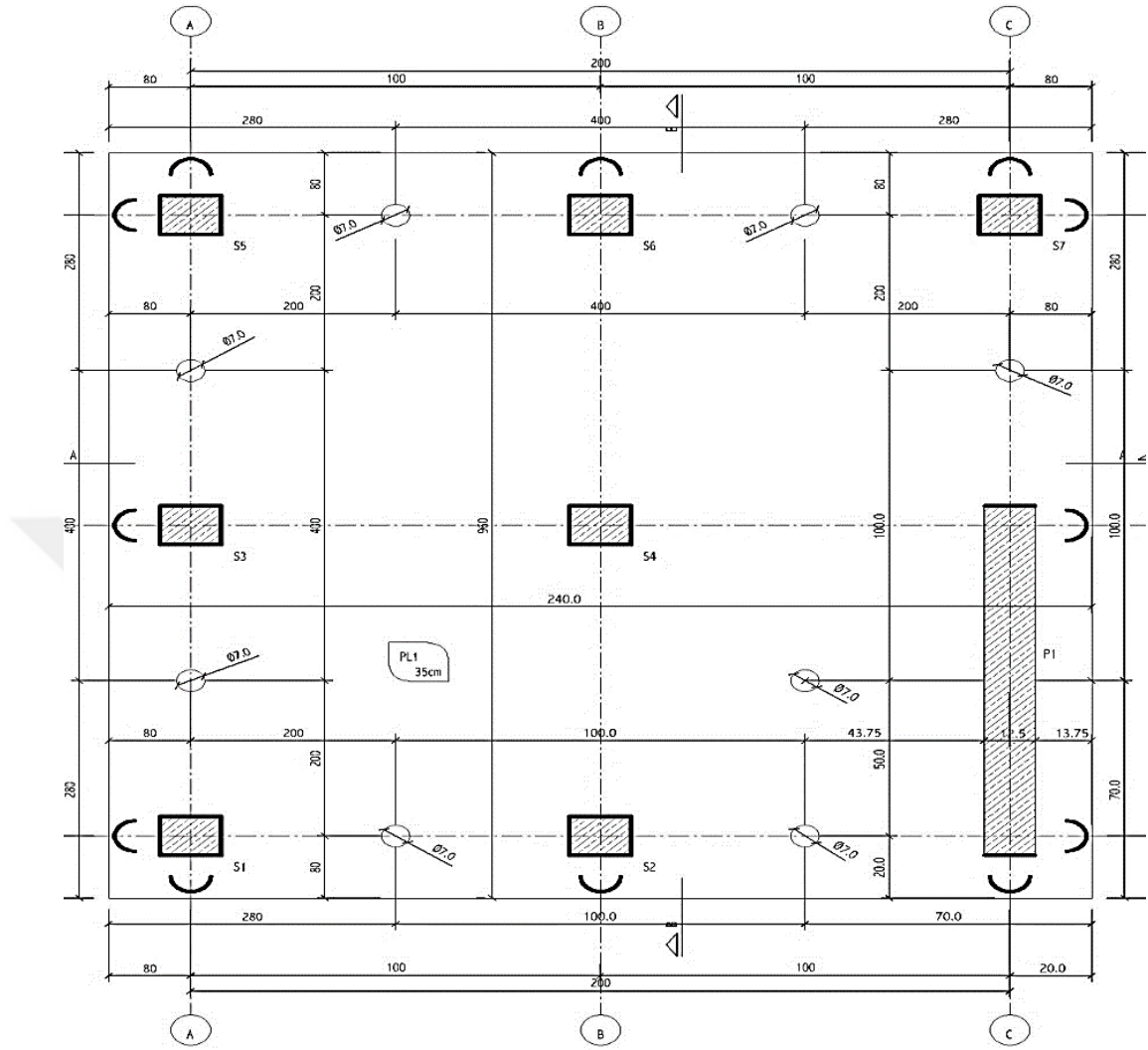
ölçekleme yapılmış durumda çizimler verilmiştir. Temel kirişsiz radye plak olarak tasarlanmıştır. Tüm deneylere ait temel projesi aynıdır. Temel içerisine araları 50cm veya 100cm olan $\varnothing 70$ mm çapında 8 adet PVC boru konularak, 8 adet 120cm uzunluğunda mil kullanarak temelin laboratuvar galeri sistemine sabitlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 2.4. Referans Model (Model 1) Temel Aplikasyon Planı [51, 52, 53]

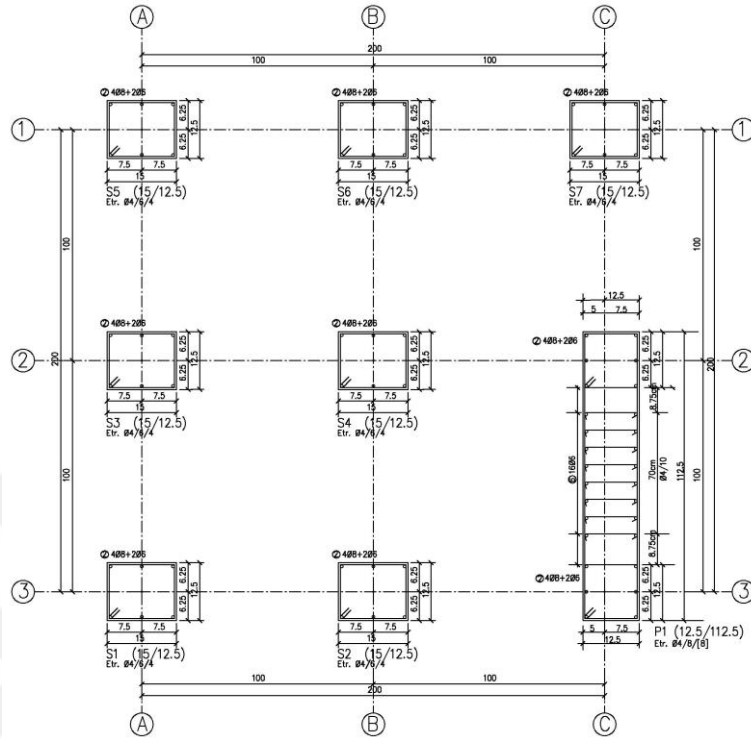


Şekil 2.5. A-A Temel Kesiti [51, 52, 53]



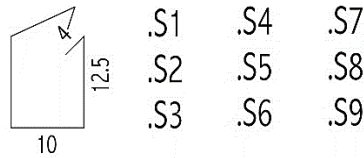
Şekil 2.6. Perdeli Model (Model 2) Temel Aplikasyon Planı [51, 52, 53]

Radye temelin eni ve boyu 2400 mm, yüksekliği ise 350 mm'dir. Temel üstüne ve altına döşenen donatı çapı $\text{Ø}8$ ve aralığı 100 mm olarak hesaplanmıştır. Betonarme taşıyıcı sistem imalatlarının tamamlanmasının ardından, deney öncesi ve sonrasında numuneleri yerinden kaldırma ve taşıma işlemlerinde kullanılmak üzere, demir donatılardan $\text{Ø}16$ çapında kancalar bükülerek temel içine yerleştirilmiştir. Deney numunelerinin üretilmesi sırasında her bir temel içerisine sekiz adet kanca donatısı konulmuştur. Radye plaklarda, üstteki hasır donatıyı yerinde tutabilmek için grobeton üzerine metre kareye bir adet gelecek şekilde sehpa donatısı yerleştirilmiştir. Kolon ve perde boyuna donatılarının, temel betonu atılmadan önce temel içerisindeki yerleri belirlenmiştir. Kolon ve perdeye ait boyuna donatı çubukları aplikasyon planına göre temele yerleştirilmiştir. Temel içerisinde kalan kısımlarına da dörder adet etriye sarılmıştır.



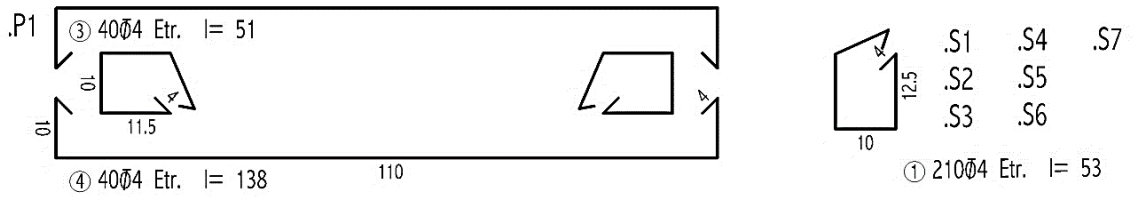
Şekil 2.9. Perdeli Model (Model 2) Kolon Aplikasyon Planı [51, 52, 53]

Kolonlara 31 adet, perdenin iki başlık bölgesine ise 23 adet $\text{Ø}4$ etriye sarılmıştır. Her perdeye 23 adet $\text{Ø}4$ kancalı yatay gövde donatısı sarılmıştır. Paspayı ise 25 mm olarak belirlenmiştir. Etriye ve yatay gövde donatı detayları Şekil 2.11 de verilmiştir.



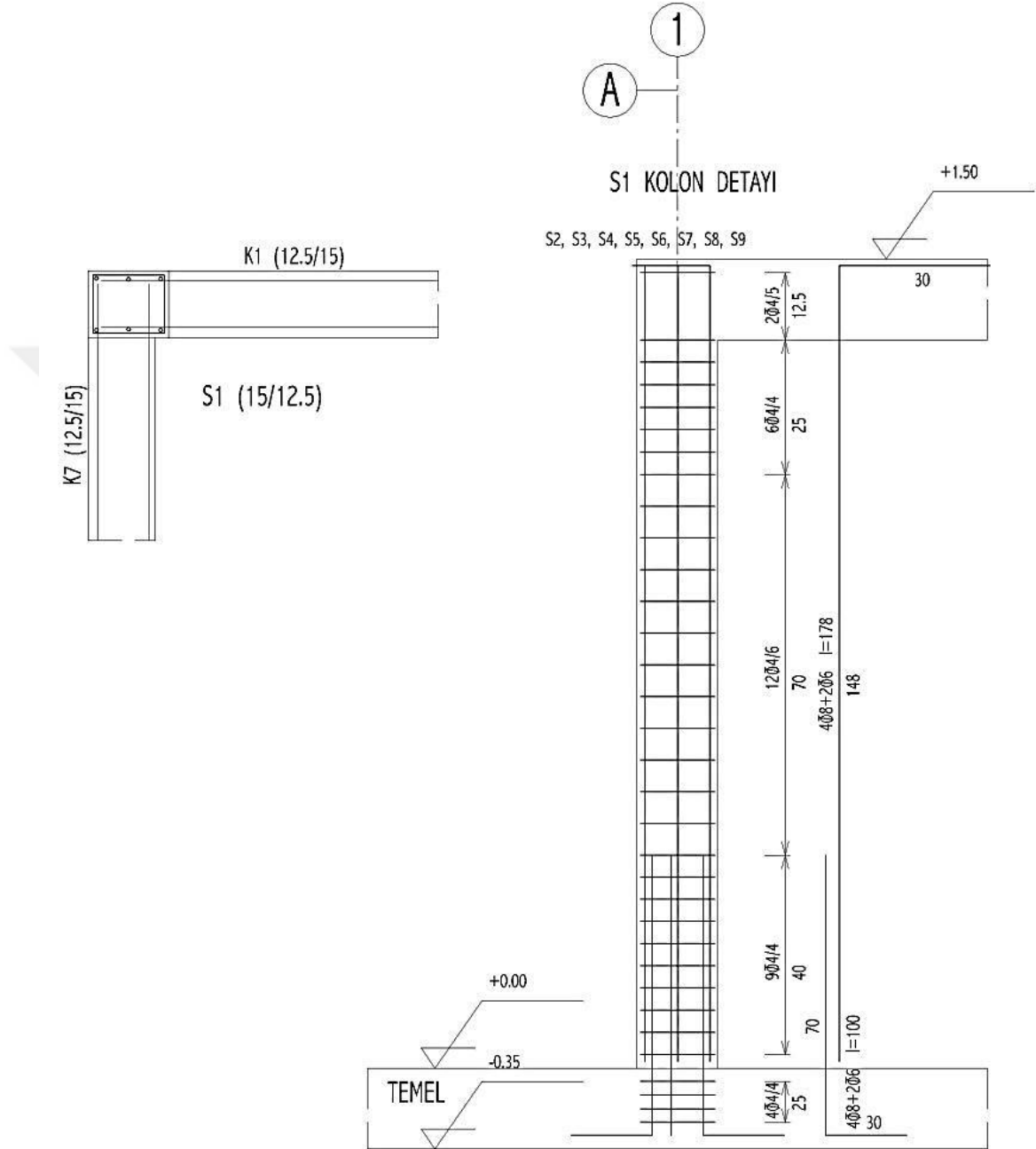
① $270\text{Ø}4$ Etr. $l = 53$

Şekil 2.10. Referans Model Etriye Detayı [51, 52, 53]



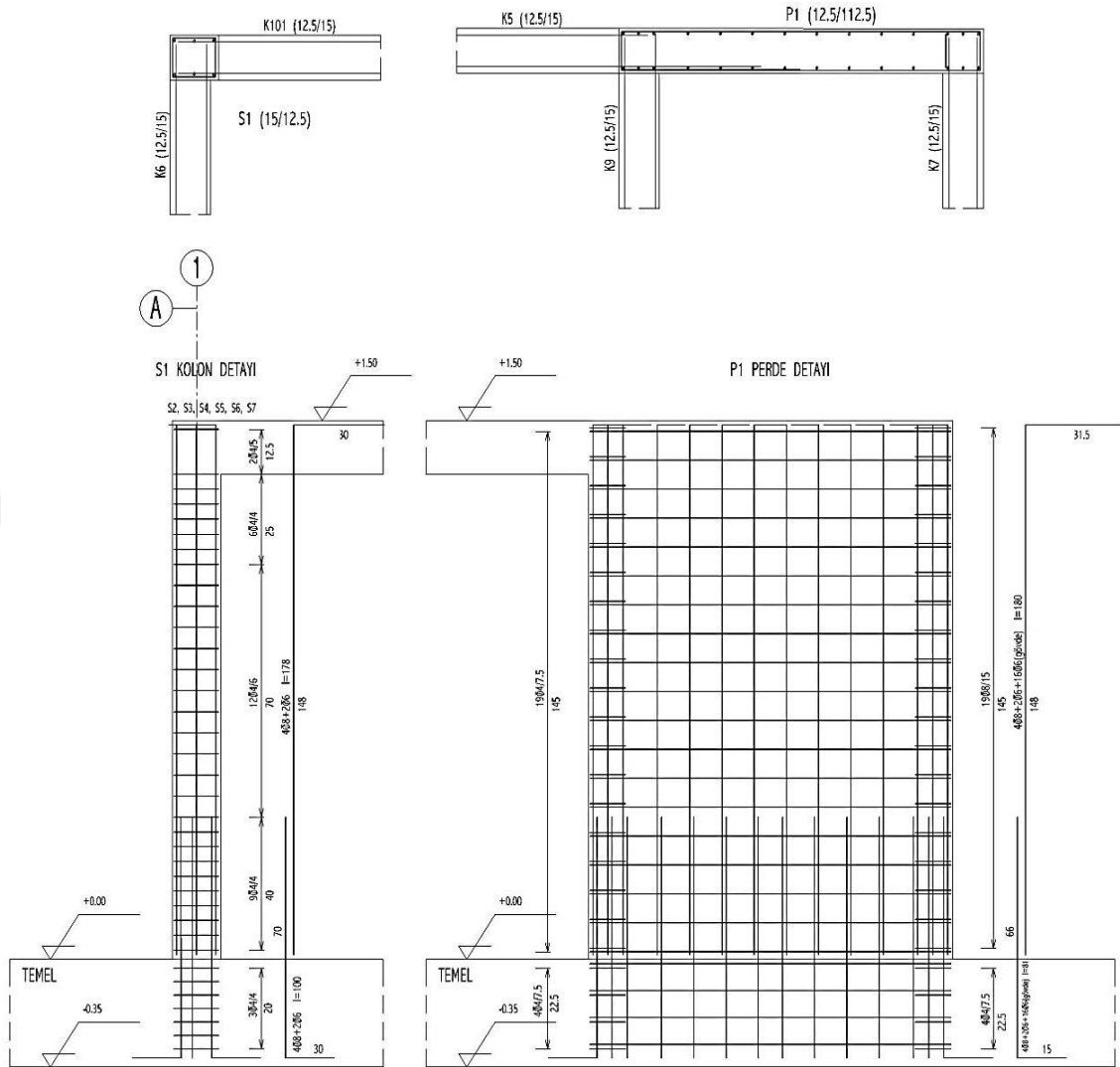
Şekil 2.11. Perdeli Model (Model 2) Etriye Detayı [51, 52, 53]

Kolon boyu 1.5 m'dir. Kolon etriye sıklaştırma bölgeleri, boyuna donatı uzunluk ve gönye ölçülendirmeleri aşağıda verilen kolon kesitine ait detay çiziminde gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Referans Model Kolon Kesiti Donatı Detayı [51, 52, 53]

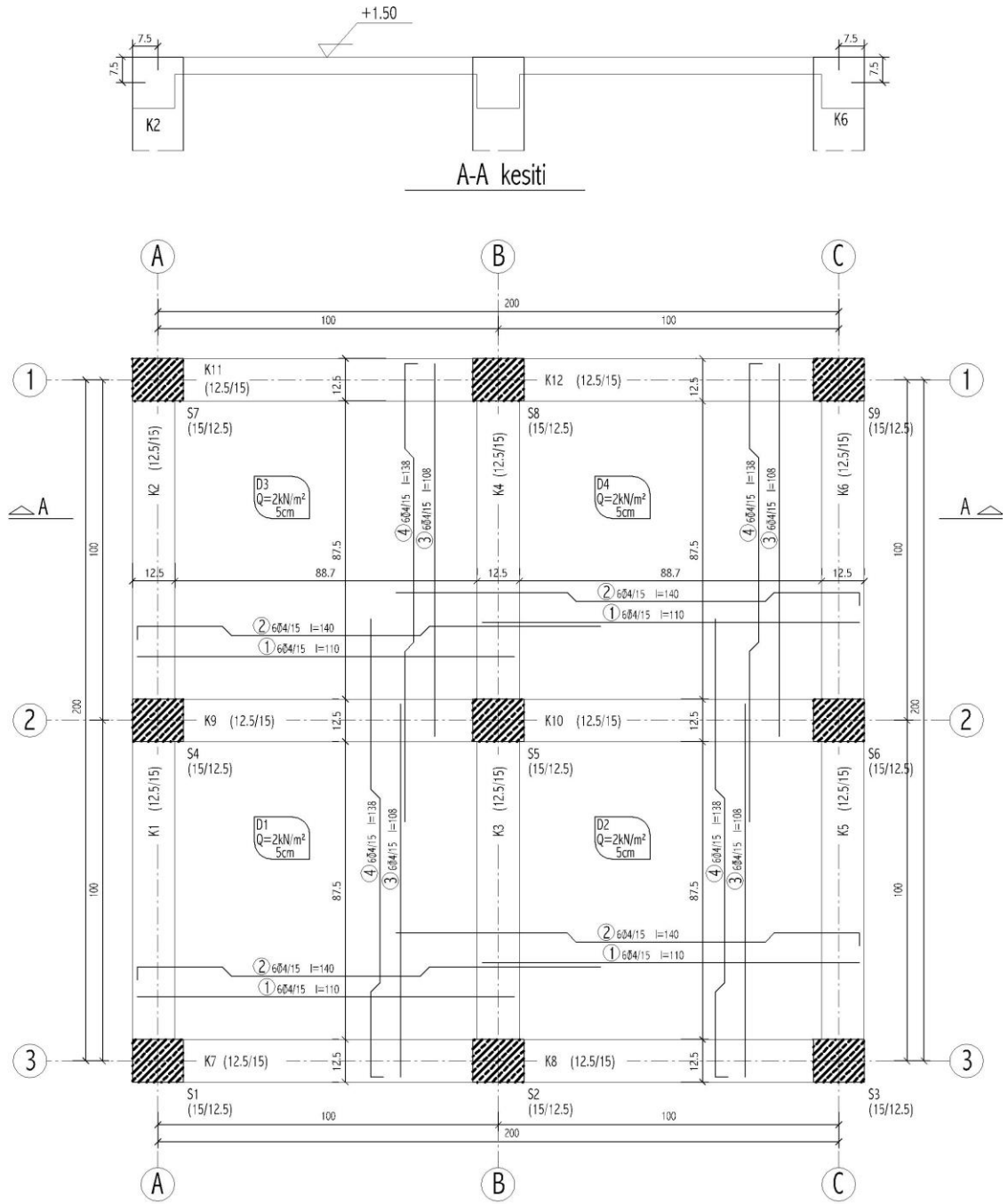
Perde duvarın boyu 1.5 m'dir. Kolon ve Perde başlık bölgelerin etriye sıklaştırması ve perdenin kancalı yatay gövde donatısı, boyuna donatı uzunluk ve gönye ölçüleri aşağıda verilen kolon ve perde kesitine ait detay çiziminde gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Perdeli Model (Model 2) Kolon ve Perde Kesiti Donatı Detayı [51, 52, 53]

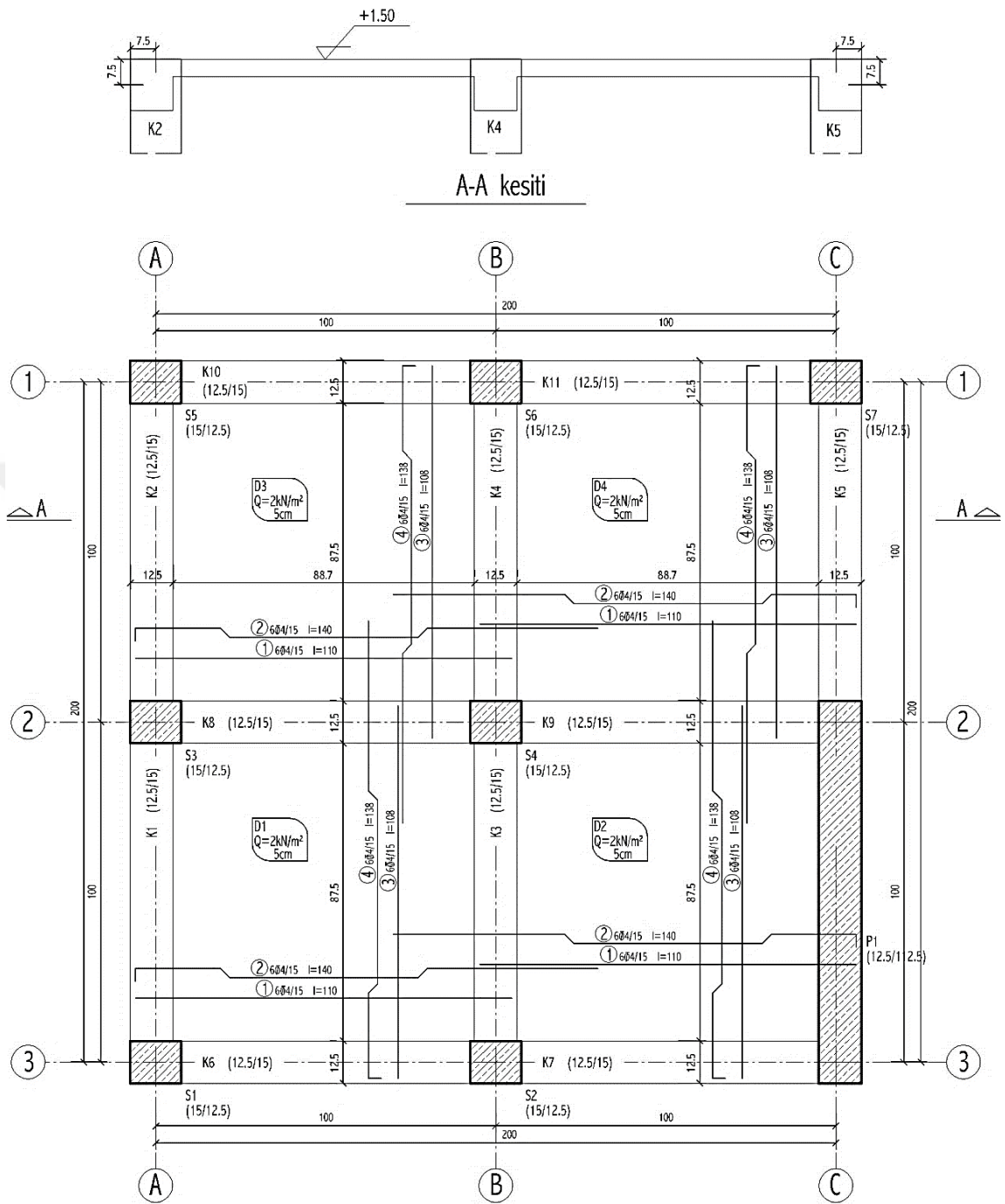
Kolon ve perde uç bölgeleri köşelerindeki donatılar $\text{Ø}8$ 'lik, ortada bulunan donatılar $\text{Ø}6$ 'lık olarak projelendirilmiştir. Kolon ve perde kesiti donatı detayından farklı olarak kolon ve perde filizleri temele bırakılmadan, kolon ve perde boyunca donatıları tek parça olacak şekilde temele yerleştirilmiştir.

Perdesiz olan referans (Model 1)'e ve perdeli olan Model 2'ye ait kalıp planları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

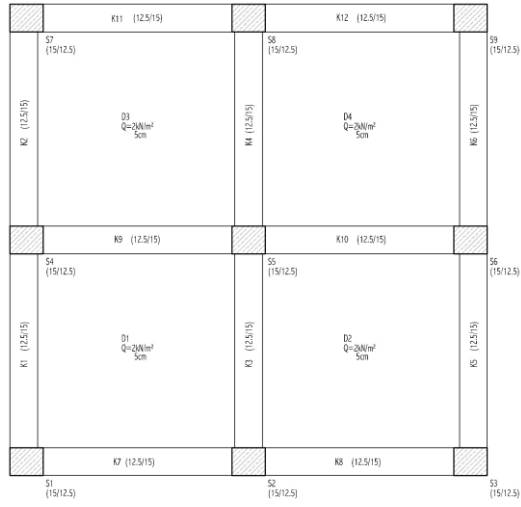


Şekil 2.14. Referans Model (Model 1) Kalıp Planı [51, 52, 53]

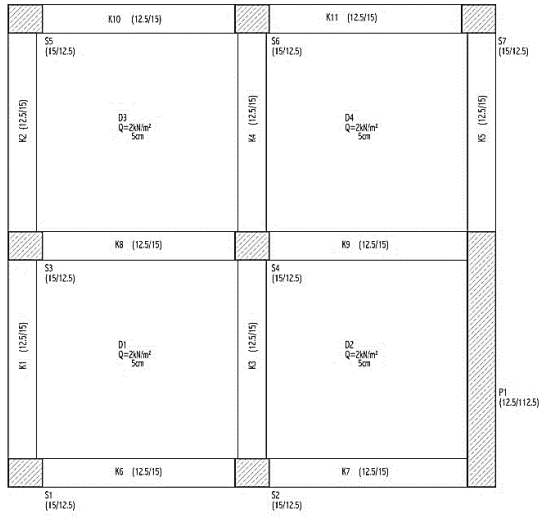
Ölçeklenmiş taşıyıcı sistemin döşeme kalınlığı 50 mm olarak hesaplanmıştır. Perdeli model projesine göre 4 adet deneysel numune üretilmiştir. Diğer deneysel numunelerde sistem içinde perde bulunmaktadır. Perdelerin konumuna göre üretilen numunelere ait kalıp planları aşağıdaki gibidir.



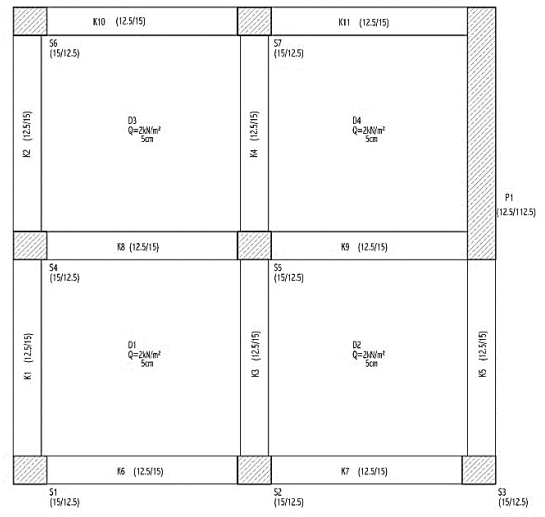
Şekil 2.15. Perdeli Model (Model 2) Kalıp Planı [51, 52, 53]



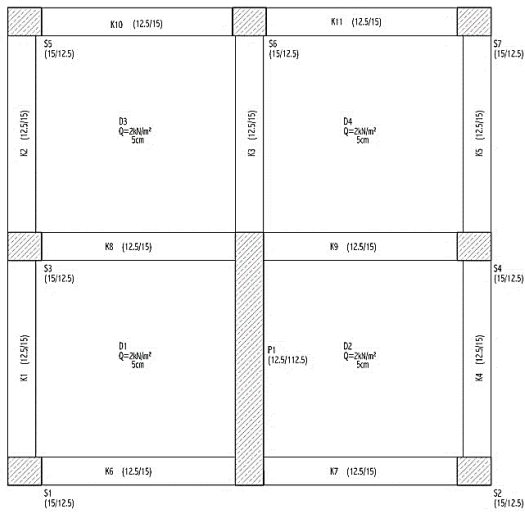
MODEL 1



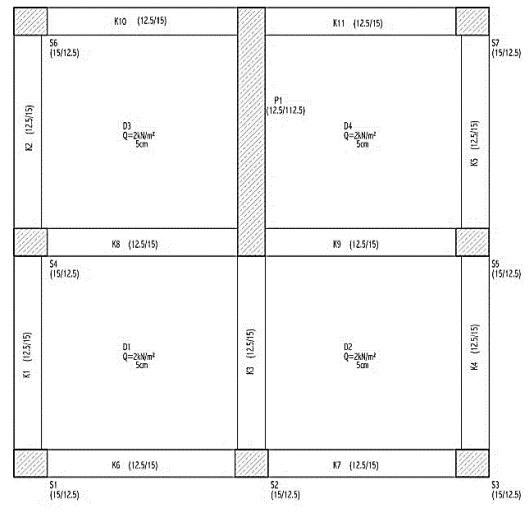
MODEL 2



MODEL 3



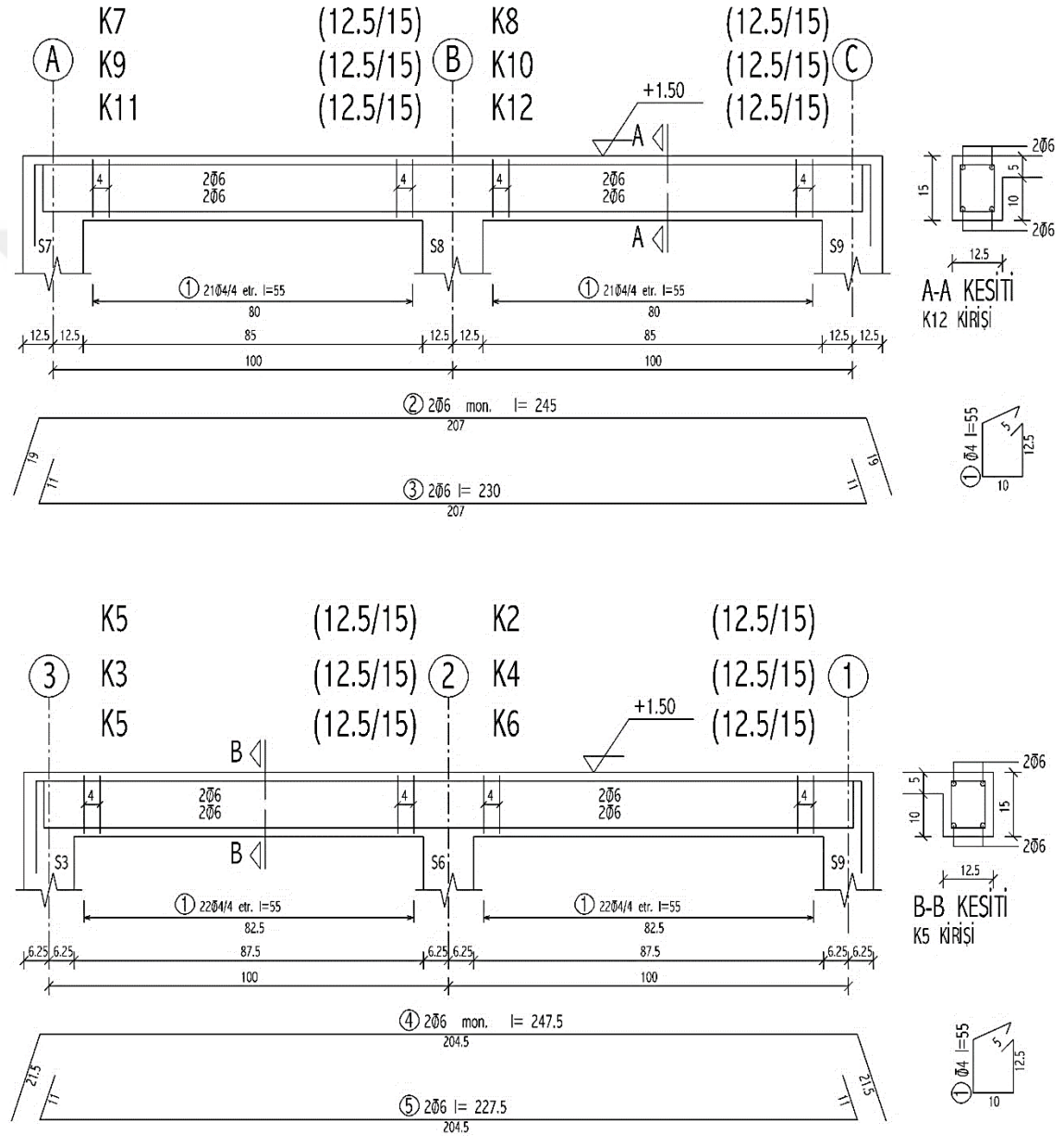
MODEL 4



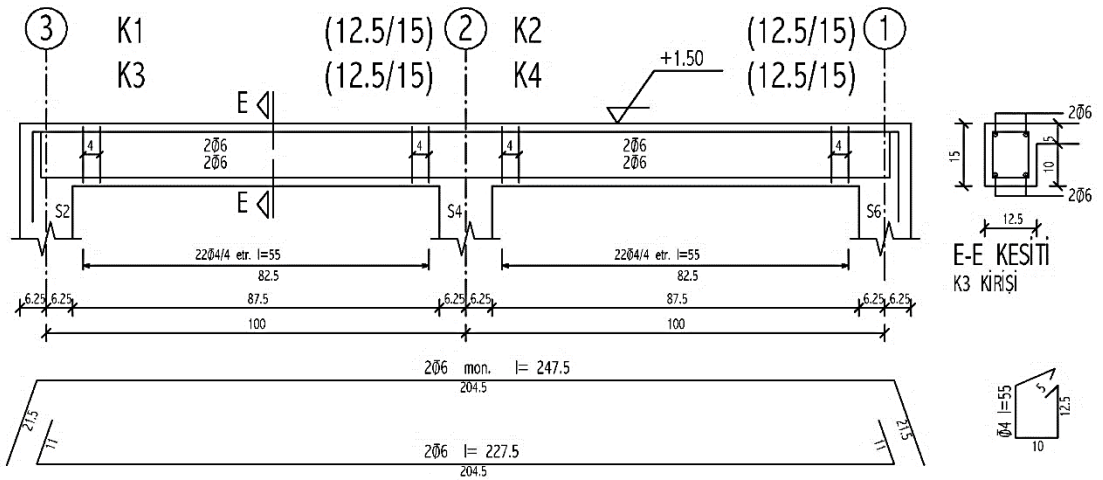
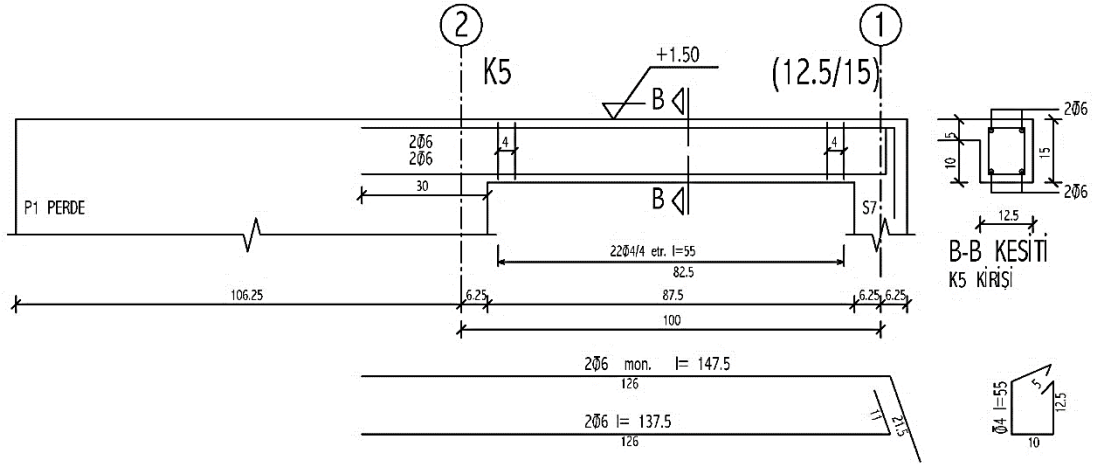
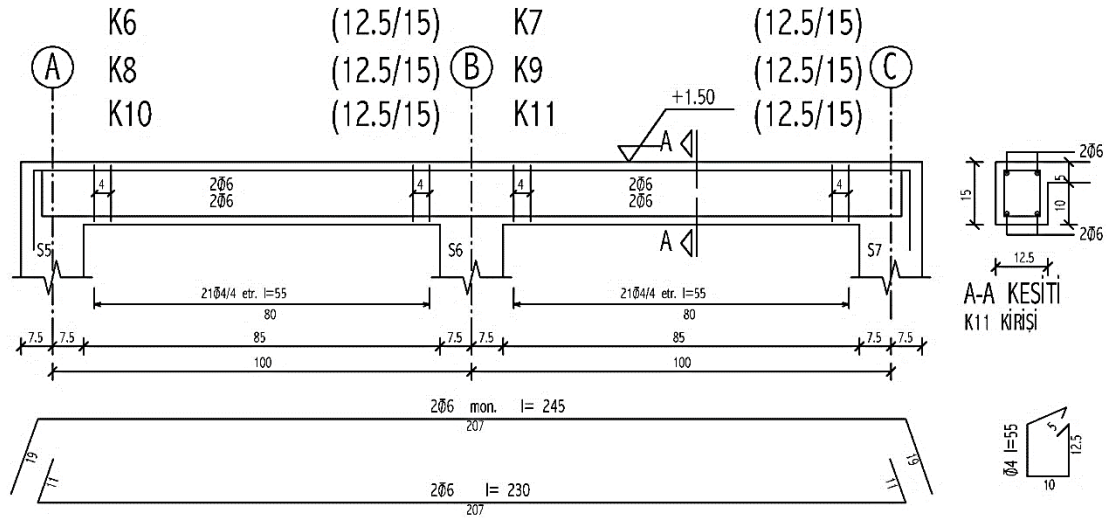
MODEL 5

Şekil 2.16. Deneysel Modellerin Kalıp Planları [51, 52, 53]

Kiriş ve kolonların ebatları minimum ölçülere bağlı olarak 125mm x 150 mm seçilmiştir. Farklı perde konumunun etkisini daha net görebilmek için, kolon, kiriş ve döşeme kesitleri minimum tutulmuştur. Kiriş boyuna donatıları $\text{Ø}6$ ve etriyeleri ise $\text{Ø}4$ olarak hesaplanmıştır. Paspayı 25 mm'dir.



Şekil 2.17. Referans Model (Model 1) Kiriş Detayları [51, 52, 53]



Şekil 2.18. Perdeli Model (Model 2) Kiriş Detayları [51, 52, 53]

Model 1 ve Model 3'te S5 kolonuna, Model 2'de S4 kolonuna ve Model 4 ile Model 5'te perdenin sistem ortasına gelen başlık bölgesine aksenal yük vermek amacıyla, betonarme dikdörtgen kesitli bir kütle kullanılmıştır. Bu kütle altına kolon kesiti boyutlarında 30 mm kalınlığında bir levha konularak yükün döşemeye etkimeden sadece kolon veya perde başlığı kesitine aktarılması hedeflenmiştir.

2.1.4. Deneysel Modellerin İmalatı

Deney numuneleri laboratuvar dışında üretilmiştir. Temel kalıbının yapıldığı zemin terazi ile kontrol edilerek zeminin düz olduğunu tespit edilmiştir. Böylece numunelerin laboratuvara taşındığında zemine tam olarak oturması sağlanmıştır.



Şekil 2.19. Temel Kalıbı İmalatı

Daha sonra kalıpların yağlanması yapılmış ve kullanılacak demir donatılar laboratuvara getirilmiştir.



Şekil 2.20. Temel Kalıbı Yağlanması ve Temel İmalatının Donatıları

Temel betonunun zemine yapışmaması için altına naylon serilmiştir. Önemli olan kolon merkezleri ve temelde yerleştirilecek $\text{Ø}70$ mm'lik çapındaki boruların merkezi belirlenmiştir.



Şekil 2.21. Temel Altına Naylon Serilmesi ve Merkezlerin Belirlenmesi

Temel donatısı $\text{Ø}8$ olarak projeye göre ve çift ızgara olarak bükülüp yerleştirilmiştir.



Şekil 2.22. Temel Donatılarının Yerleştirilmesi

Temele beton atmadan önce kolonların ve perdelerin boyuna donatıları yerleştirilmiştir.



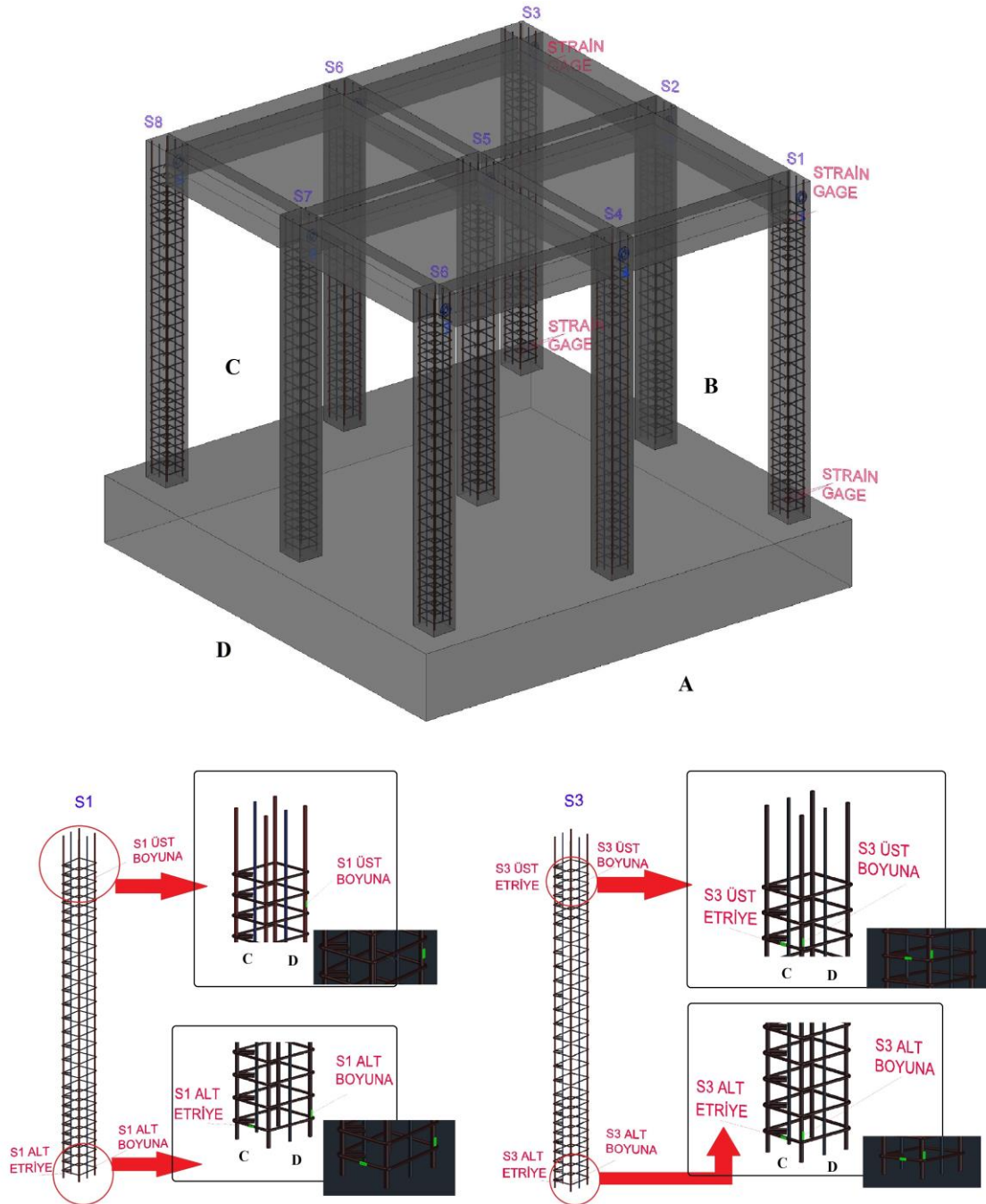
Şekil 2.23. Kolon ve Perde boyuna Donatı Yerleştirilmesi

Temel betonunu atmadan önce Ø70mm'lik plastik borular her biri 40cm boyunda kesilerek numunenin laboratuvar zeminine bağlayacak millerin geçmesi için temele yerleştirilmiştir.



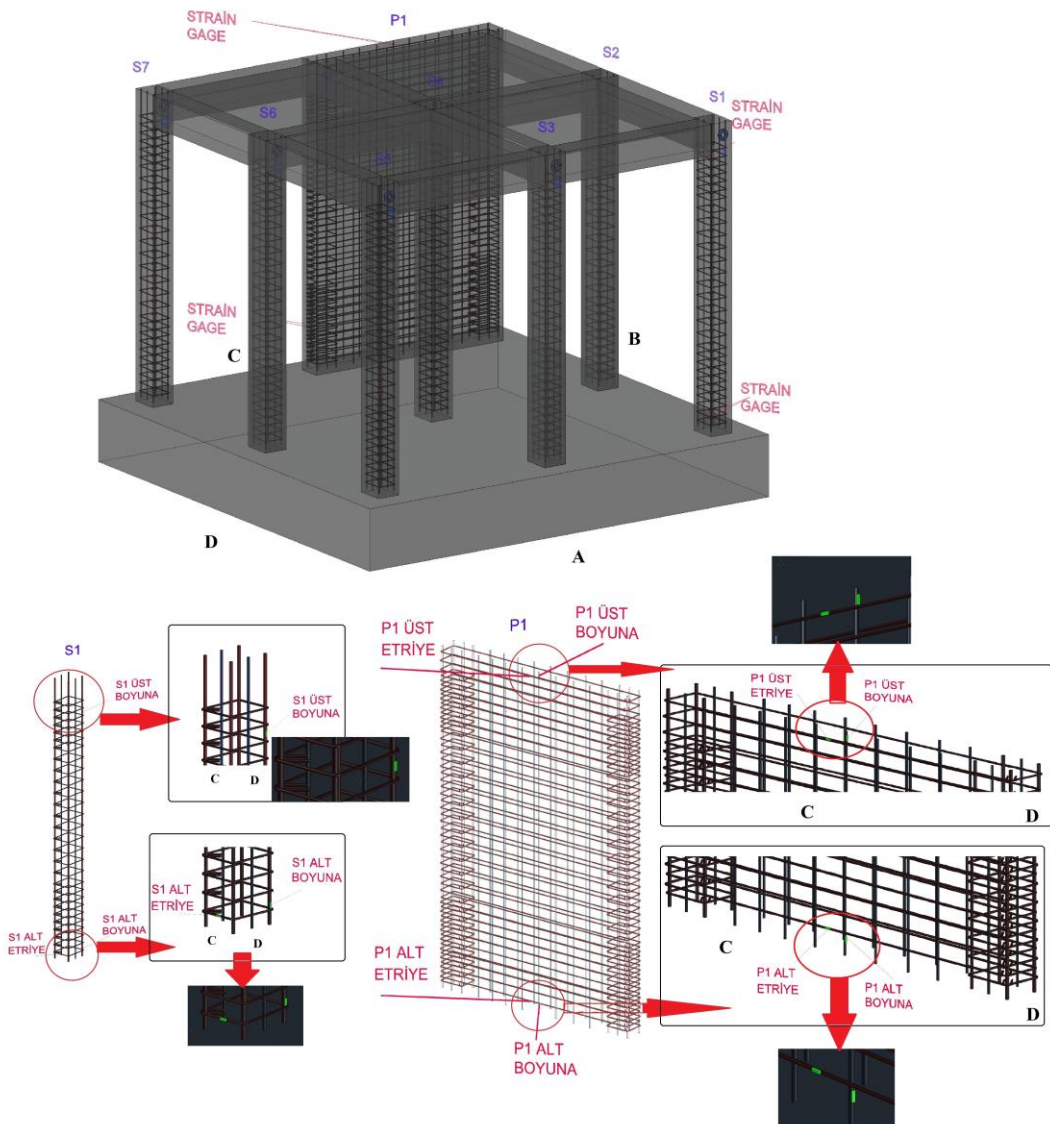
Şekil 2.24. Plastik Boruların Yerleştirilmesi

Kalınlığı 35cm olan tüm numunelerin temel betonu atılmıştır. Temellerin tümü tek seferde imal edilmiştir. Kalıp ve demir işleri devam ederken beton dökülmeden önce temele yerleştirilecek Ø6'lık perdenin boyuna donatılarına ve Ø8 çapındaki kolon boyuna donatılarına strain gauge montajı yapılması için gerekli hazırlıklar yapılmıştır.

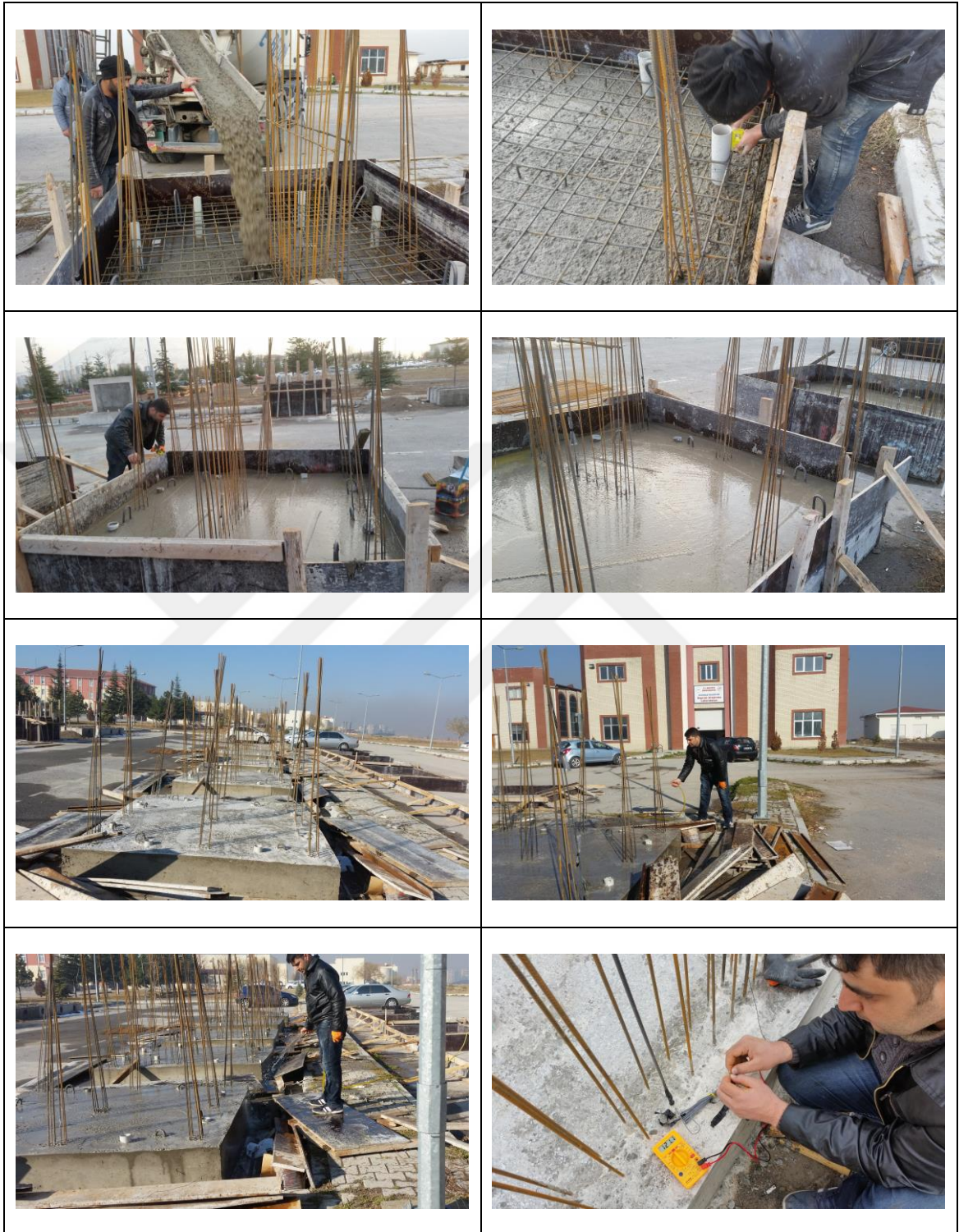


Şekil 2.25. Perdesiz Model (Model 1) Strain Gauge Yerleşim Detayı













Her bir temelde detayları daha önce resimde gösterildiği gibi perde ve kenar kolonlar olmak üzere ilk etapta toplam 20 adet strain gauge (her modelde 4 olmak üzere) montajı yapılmıştır. Sonrasında temel betonu dökülerek kolon ve perde etriyeleri içinde 15 adet strain gauge daha hazırlanmıştır. Toplamda 35 adet strain gauge montajı yapılmıştır. Model 1 ve Model 2'nin montaj yerleri aşağıdaki Şekil 2.25 ve Şekil 2.26 da görüldüğü gibidir:



Şekil 2.26. Perdeli Model (Model 2) Strain Gauge Yerleşim Detayı



Şekil 2.27. Temel Betonunun Dökülmesi ve Bakımı

 <p>Ekipmanlar</p>	 <p>Zımparalama</p>	 <p>Strain gauge kontrolü</p>
 <p>Yapıştırma</p>	 <p>Yastıklama</p>	 <p>İlk Kat Kaplama</p>
 <p>Cırt Takma</p>	 <p>Son Kat Kaplama</p>	 <p>Bantlama</p>
 <p>Tüm Boyuna Donatılar</p>	 <p>Montajı Tamamlanmış</p>	 <p>Çalışma kontrolü</p>

Şekil 2.28. Strain Gauge Montajı [55, 56]

Temel betonunun dökülmesinin ardından üst yapının kalıp imalatına geçilmiştir. Kalıp malzemesi olarak plywood kullanılarak, düzgün bir yüzey elde edilmesi hedeflenmiştir. Tüm numuneler üretilerek betonarme taşıyıcı sistemlerin imalatı tamamlanmıştır.



Şekil 2.29. Betonarme Taşıyıcı Sistem Numunelerinin İmalatı

Üst yapı betonu atılarak numune üretimi tamamlanmıştır. Üst yapı betonundan 15 adet silindir ve 6 adet küp beton numunesi alınmış, daha öncede temel betonundan 6 adet silindir numune alınmıştır. Betonlama sonrası numunelerin bakımı yapılmıştır. Üretilen numuneler 28 gün sonra deneye tabii tutulmuştur.



Şekil 2.30. Üst Yapı Betonunun Dökülmesi, Bakımı ve Numune alımı

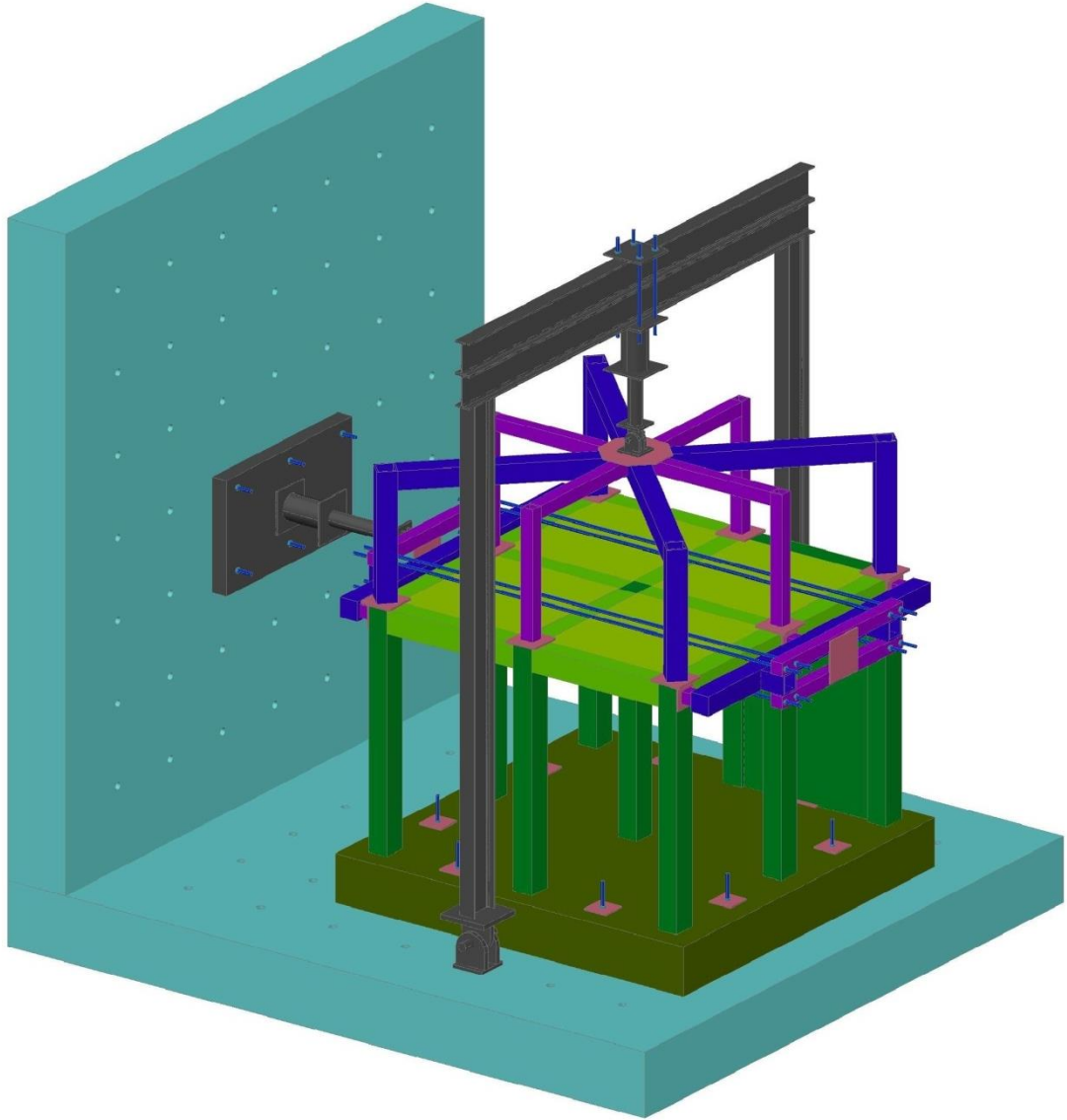
Numuneler vinç yardımı ile Erciyes Üniversitesi Melikgazi Belediyesi Yapı Mekaniği Laboratuvarı içerisine alınarak deney hazırlıklarına geçilmiştir.



Şekil 2.31. Betonarme Taşıyıcı Sistem Numunelerinin Taşınması

2.2. Deneý Düzeneyinin Tasarımı

Deneýlerde kullanılan betonarme taşıyıcı sistemlerin, gerçek yapı davranışını sergileyebilmesi için yapılan yüklemelerin şekli çok önemlidir. Bu sebeple yatay da ve düşey de yapılan yüklemeler için daha önceki çalışmalar için hazırlanan ve laboratuvarında bulunan çelik konstrüksiyon kullanılmıştır [57]. Deneý düzeneyi tasarımı yapılırken öncelikle 3 boyutlu olarak çizilmiştir. Böylelikle deneýlerin başlama safhasına geldiğinde göz önünde bulundurulmayan bir durumla karşılaşma olasılığı en aza indirilmeye çalışılmıştır.

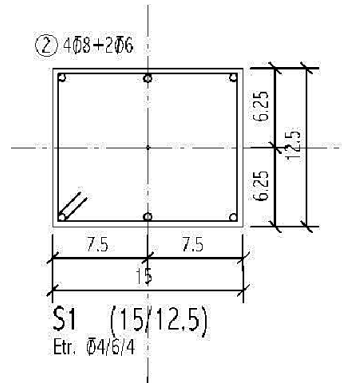


Şekil 2.32. Deneý Düzeneyi Üç Boyutlu Tasarımı [51]

Deneysel Erciyes Üniversitesi Melikgazi Belediyesi Deprem Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır. Kolonlara taşıma gücünün %10'u kadar aksel kuvvet uygulanmıştır. Perdelerde ise sadece başlık bölgelerindeki kolonlara aksel kuvvet hazırlanmış olan özel çelik düzenek ile aktarılmıştır. Bu yüklemeler ile model yapının gerçekte yüklü olması durumu benzeştirilmiştir. Betonarme taşıyıcı sisteme yatay deprem kuvveti itme ve çekme olarak uygulanmıştır. Yatay yükler betonarme taşıyıcı sisteme akma gerçekleşene kadar yük kontrollü, akma gerçekleştikten sonra deplasman kontrollü olarak etki ettirilmiştir. Deneye başlamadan önce sadece aksel yük uygulayarak ve daha sonra her itme ve çekme döngüsü sonrasında total station ile kolonların ve perdenin iki uç bölgesinin üst düğüm noktalarından okumalar alınarak deneye devam edilmiştir. Böylece tüm düğüm noktalarındaki x, y, z koordinatlarında meydana gelen değişimler incelenerek, yapı davranışı ve kesme kuvveti dağılımı ortaya konulmuştur. Ayrıca sonuçların değerlendirilmesi için aynı noktalarda LVDT ve Potansiyometrik Cetvel ile deplasman okumaları da alınmıştır. Yük adımlarında oluşan donatı şekil değişimlerinin ortaya konulabilmesi için Strain-Gauge ile de okumalar alınmış ve veri toplama sistemi ile bilgisayara saniyede 4 veri olacak şekilde aktarılmıştır. Deneysel esnasında her döngüde meydana gelen çatlak gelişimi de izlenerek kayıt altına alınmıştır.

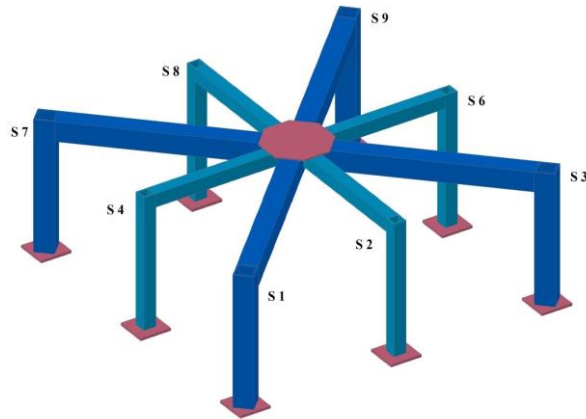
2.2.1. Aksel Yükleme Düzenegi

Deneysel numunelerinde kolonlara ve perde başlık bölgelerine taşıma gücünün en az %10'u kadar aksel yük verebilmek için çelik deneysel düzenegi kullanılmıştır [58]. Laboratuvar ortamı şartlarına göre perdeli modellerin perdelerine aynı çelik yükleme düzenegi vasıtasıyla sadece uç bölgelerine aksel yük uygulanmıştır. Böylece her perdeye sadece uç bölgelerinde iki kolona gelecek kadar aksel yük verilmiştir. Düşey yük olarak betonarme kolonlara ve perde uç bölgelerine taşıma kapasitelerinin %10'u kadar bir aksel yük uygulanmıştır ($N_d=0.1 A_c f_{ck}$). Aksel yük hesaplarında A_c için betonarme kolon ve perde uç bölgesi enkesitlerinin brüt alanları kullanılmıştır. Basınç dayanımı f_{ck} ise daha önce yapılan malzeme testlerinden elde edilen sonuçlara istinaden belirlenmiştir. Buna göre C25-S420 malzeme özelliklerine sahip bir kolonun aksel yük taşıma kapasitesi;

$A_c = 125 \times 150 = 18750 \text{ mm}^2$ $N_d = 0.1 \times A_c \times f_{ck}$ $N_d = 0.1 \times 18750 \times 25$ $N_d = 46.875 \text{ kN}$ <p>Böylelikle her bir kolona ve perde uç bölgesine uygulanacak eksenel yük 47 kN'dur.</p>	
---	---

Şekil 2.33. Kolona ve Perde Uç Bölgelerine Gelen Eksenel Yük Miktarı [3]

Kolonlara ve perde uç bölgelerine gerekli eksenel yükleri dağıtabilmek için daha önceden SAP2000 programı ile tasarlanan [57, 58, 59] çelik bir düzenek kullanılmıştır. Toplam dokuz kolondan sekizine eksenel yük çelik düzenek vasıtası ile aktarılmıştır. Ortadaki kolonun üzerine ise betondan bir kütle ile yük aktarılmıştır. [58].



Şekil 2.34. Eksenel Yükleme Düzenegi [51, 57, 58]

Eksenel yüklemeye kullanılan çelik düzenekte seçilen profil ebatları, her bir kolona verilmesi gereken eksenel yük değerini sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Böylece toplam 375 kN tekil yük çelik düzenekte kullanılan çelik profillerin rijitlikleri ile orantılı olarak betonarme kolonlara aktarılmıştır.



Şekil 2.35. Eksenel Yükleme Çerçevesi [51, 58]

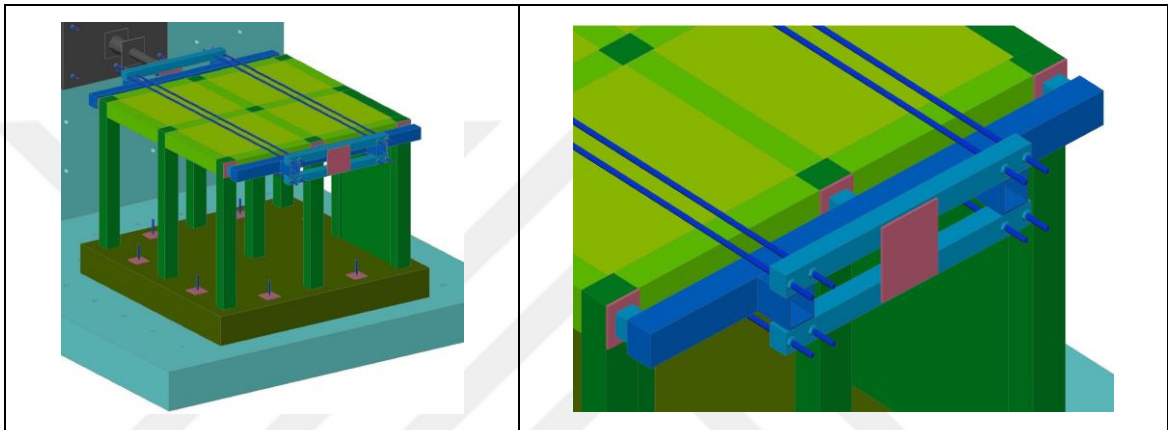
Eksenel yükleme çerçevesinin mesnetleri, yapının yanal hareketine izin vermesi için, mafsallı olarak tasarlanmıştır. Benzer şekilde eksenel yükleme krikosunun çerçeveye bağlantısı da mafsallı olarak yapılmıştır. Böylece, deney sırasında itme ve çekme döngüleri yapılırken çerçeve taşıyıcı sistemle birlikte hareket etmiştir.

2.2.2. Yatay Yükleme Düzeneği

Deneyleerde kullanılan betonarme taşıyıcı numunelere, deprem etkisi verebilmek için yatay bir yükleme düzeneği kurulmuştur. Yatay yüklerin kolonlara aktarılması için kullanılan düzenekte, yatay krikodan verilen yük, yükleme yönündeki üç adet kolona dağıtılmıştır. Yatay yük, kolonların kirişlerle birleştiği üst düğüm noktalarına verilmiştir.

Yatay yükleme sistemi, betonarme taşıyıcı sistemin hem itme hem de çekme yüzüne yerleştirilen iki çelik düzeneğin birbirine $\text{Ø}24$ mm çapında, 8 adet transmisyon mili kullanılarak bağlanması ile oluşturulmuştur. Yatay krikonun bir ucu, laboratuvardaki yükleme duvarındaki panoya diğer ucu ise numuneye yerleştirilen çelik düzeneğe bağlanmıştır. Bağlantı yapılan her iki uçta mafsallı olarak teşkil edilmiştir. Model 1, Model 4 ve Model 5'te burulma değeri düşük kaldığından dolayı iki mafsalda düşey şekilde kullanılmıştır. Model 2 ve Model 3'te ise perdenin dış aksta bulunmasından dolayı oluşan burulmanın büyük olması nedeniyle, kriko mafsallarının arka yüzdeki

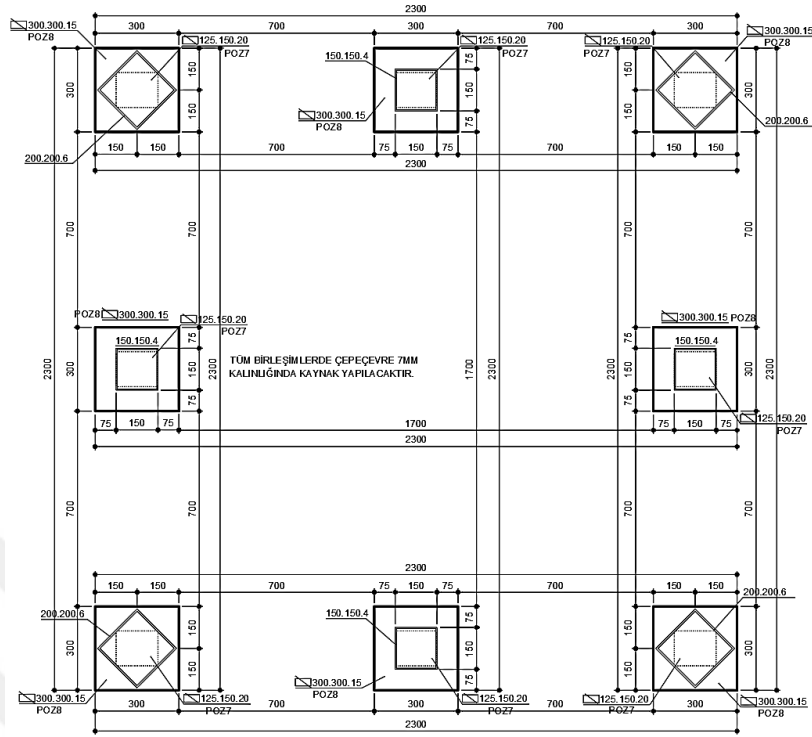
yatay ön yüzdeki mafsal ise düşey yönde dönme yapacak şekilde ayarlanmıştır. Böylece yatay yükleme esnasında, aksenal kuvvet harici bir yük tesiri oluşmasının önüne geçilmiştir. Betonarme numuneler, laboratuvar tabanına Ø36 mm çapında, 1200mm uzunluğunda 8 adet ankraj bulonu kullanılarak bağlanmıştır. Ayrıca, yatay ve düşey yükleyicilerle çelik düzenekler arasındaki tüm bağlantılarda Ø22 mm çapında, 4 adet bulon kullanılmıştır. Deney düzeneğinin kurulumunda 10, 15 ve 20 mm kalınlığındaki sac levhalardan, muhtelif en ve boylarda yaptırılıp yük aktarımı için kullanılmıştır.



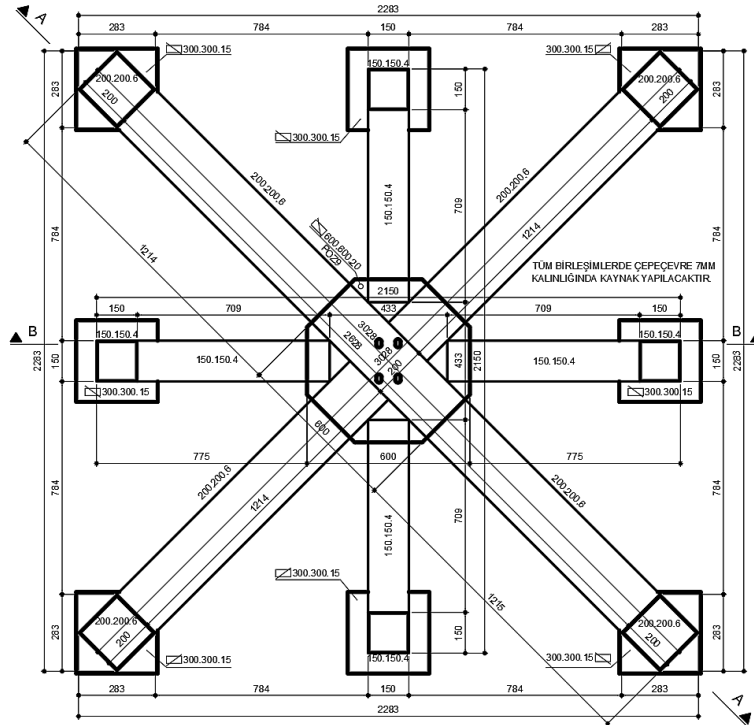
Şekil 2.36. Yatay Yükleme Düzeneği [51]

2.2.3. Çelik Deney Düzeneğinin Projesi

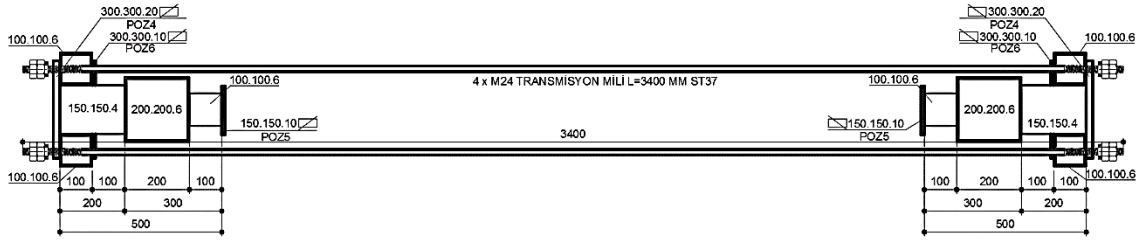
Eksenal yükleme için kullanılacak olan çelik düzeneğinde, kutu kesitli profiller, betonarme kolon kesitinden büyük olup levhanın kolon boyutu ile aynı olması sağlanarak yükü kolona aktarması temin edilmiştir. Eksenal yükleme düzeneğinde iki çeşit çelik profil kullanılmıştır. Köşe kolonlar ve bunları birbirine bağlayan kirişler 200x200x6 mm ebatlarında kutu profilden yapılmıştır. Diğer kolonlar ve bunları birbirine bağlayan kirişlerde ise 150x150x4 mm ebatlarında kutu profil kullanılmıştır. Taban levhaları tüm kolonlarda 300x300x15 mm ebatlarındadır. Taban levhalarının altına betonarme kolon kesiti ile aynı boyutta 125x150x20 mm ebatlı levhalar kaynaklanmıştır.



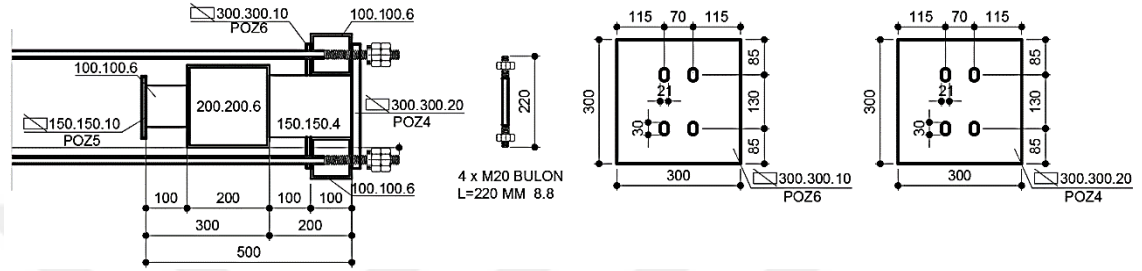
Şekil 2.37. Aksel Yükleme Düzenği Kolon Aplikasyon Planı [51, 58]



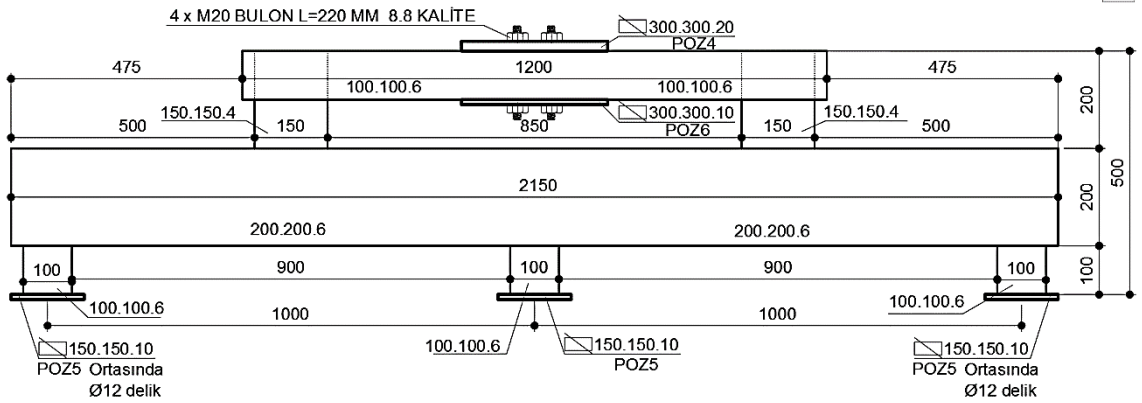
Şekil 2.38. Aksel Yükleme Çelik Düzenğinin Konstrüksiyon Planı [51, 58]



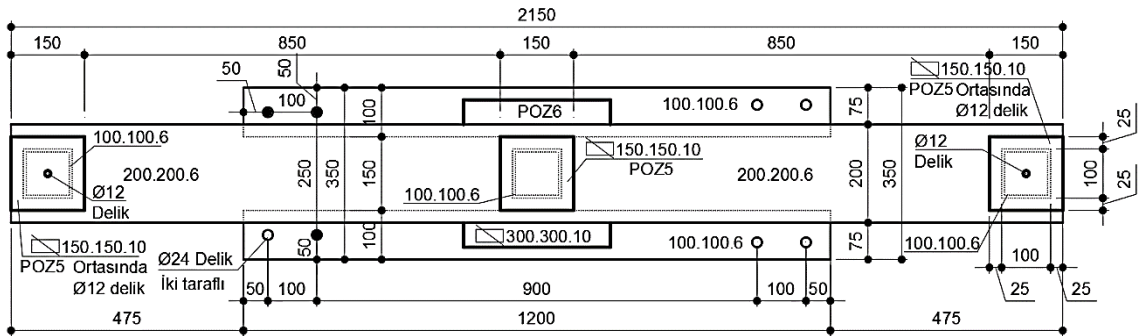
Şekil 2.40. Deneyin Yatay Yükleme Düzenegi Yan Görünüş [51, 58]



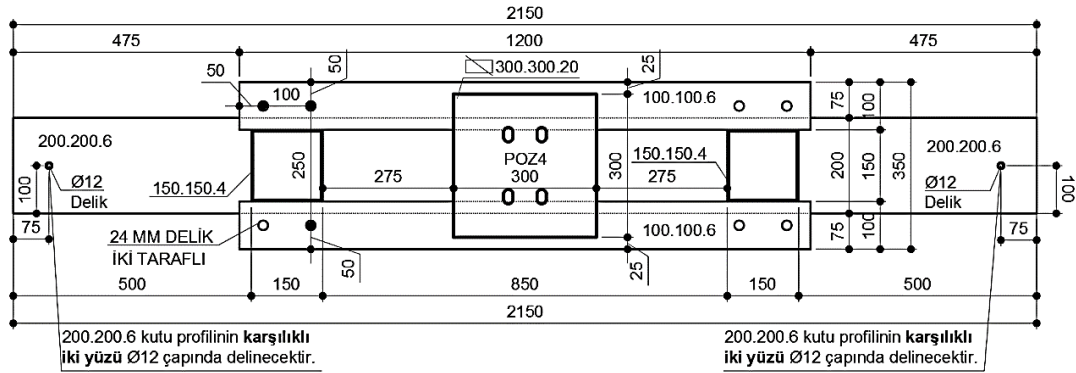
Şekil 2.41. Yatay Yükleme Düzenegi Kesit ve Detayları [51, 58]



Şekil 2.42. Yatay Yükleme Düzenegi Planı [51, 58]

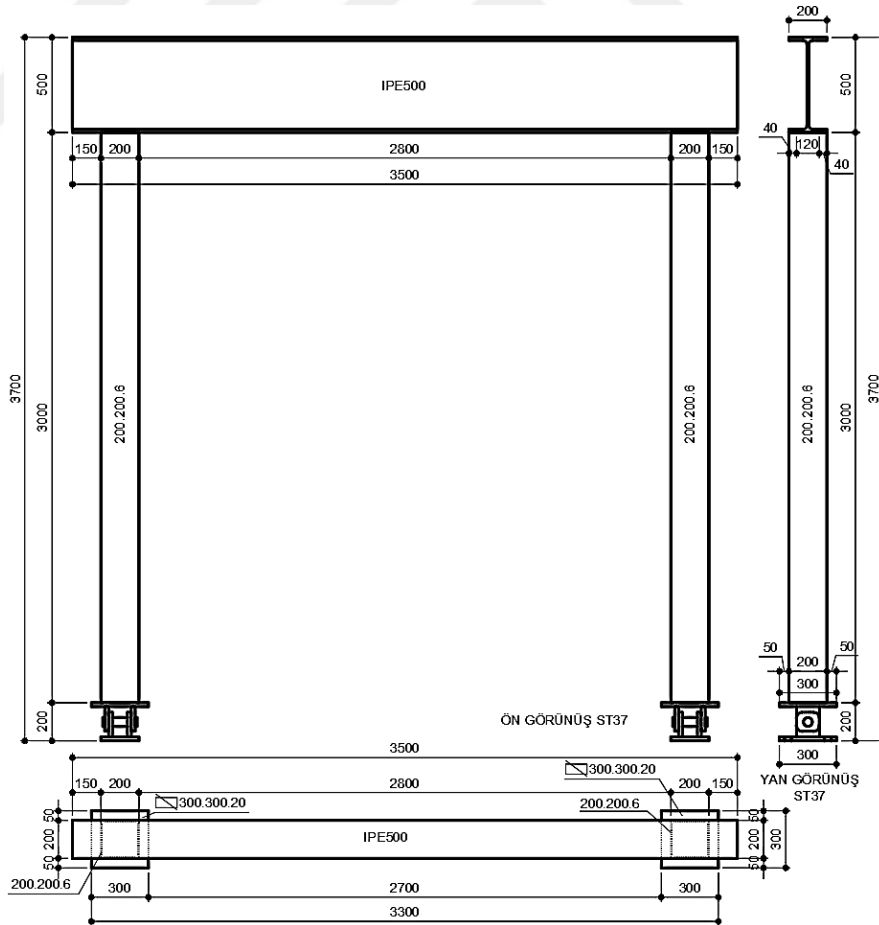


Şekil 2.43. Yatay Yükleme Düzenegi Ön Görünüş [51, 58]



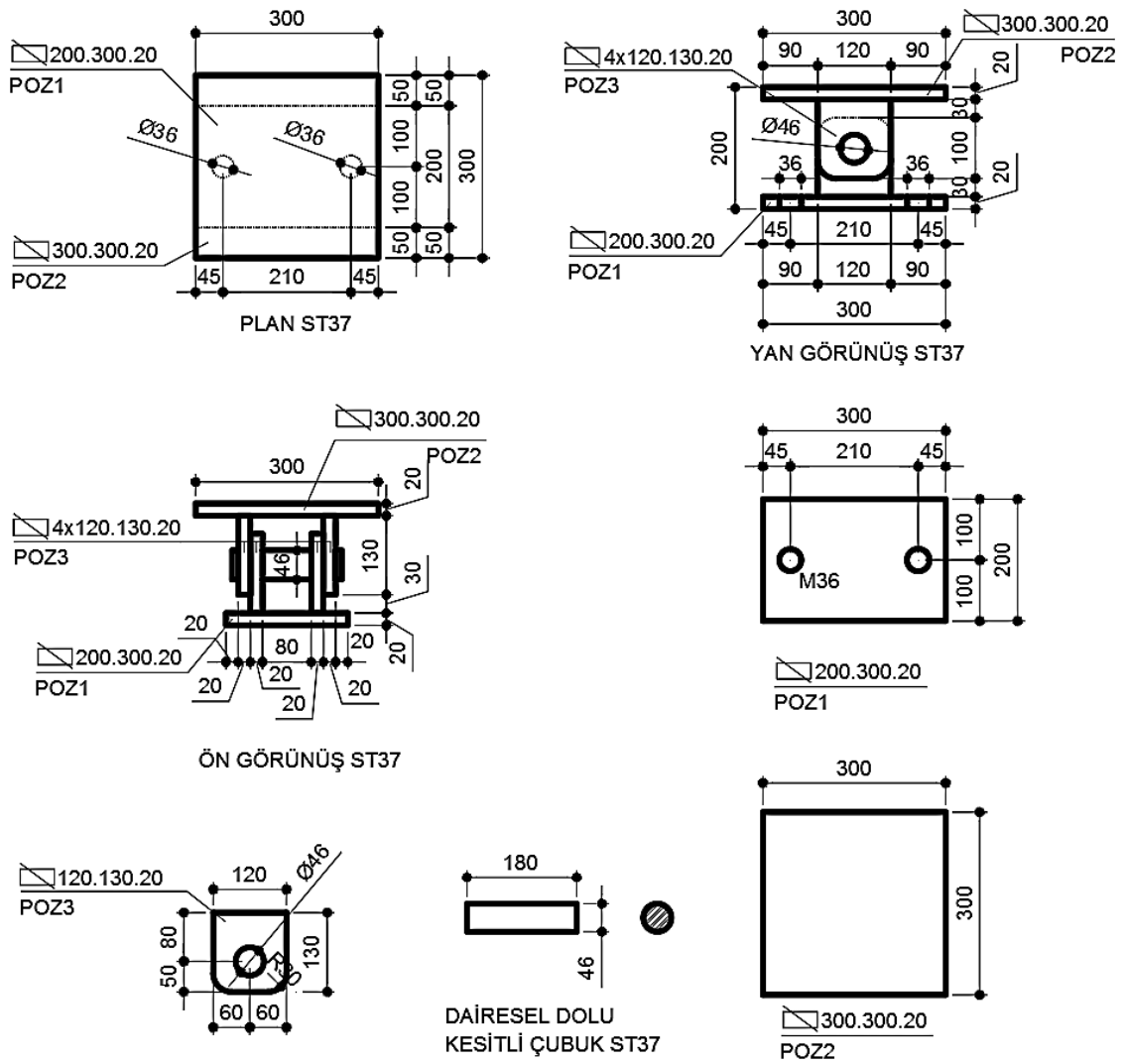
Şekil 2.44. Yatay Yükleme Düzeneği Arka Görünüş [51, 58]

Kullanılan yatay yükleme düzeneğinde 100x100x6 mm kutu profillerin üzerine Ø24 mm çapında karşılıklı delikler mevcuttur ve bu delikler 8 adet transmisyon milinin montajında kullanılmıştır. Şekil 2.43'te görüldüğü gibi yatay yükleme düzeneğinin arka taraftaki parçasında POZ4 levhanın üzerindeki deliklerden M20 bulon vasıtasıyla yükleyici kriko ile yatay yükleme düzeneği arasındaki bağlantı sağlanmıştır.

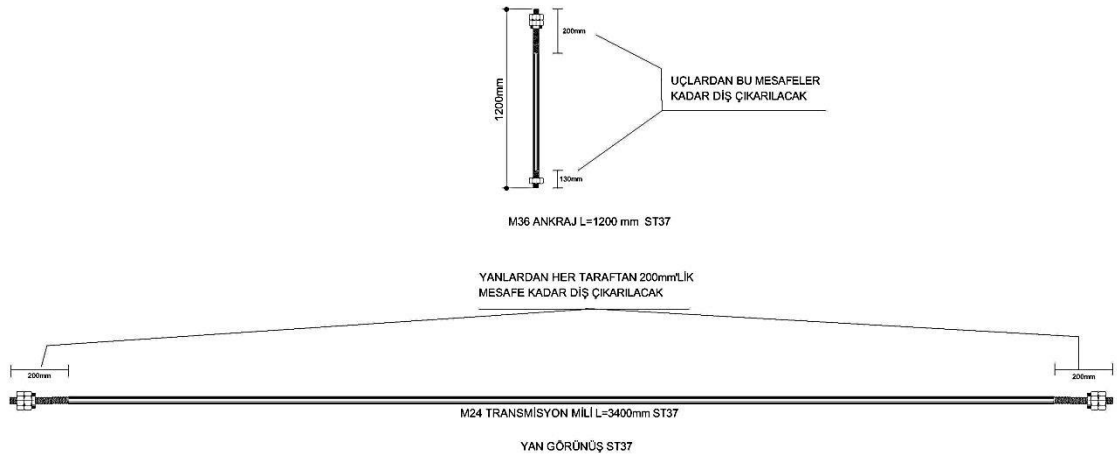


Şekil 2.45. Eksenel Yükleme Çerçevesi Planı [51, 58]

Eksenel yükleme çerçevesi kolon ayakları 200x200x6 mm kutu profilden yapılmıştır. Kiriş profili ise IPE500 olarak kullanılmıştır. Çerçeve vasıtası ile altındaki eksenel yükleme düzeneğine ortalama 380 kN'luk yük aktarımı yapılmıştır. Çerçevenin statik analizi SAP2000 programında yapılarak [59], kesitlerin bu yükü rahat bir şekilde taşıyacağı kontrol edilmiştir. Betonarme taşıyıcı sisteme verilen yatay yük sırasında, eksenel yükleme çerçevesinin ileri ve geri hareket yapabilmesi, ayaklarının mafsallı yapılması ile sağlanmıştır. Mafsal, 20 mm kalınlığında sac levhalarından oluşmaktadır. Mafsalın göbeğinde ise Ø46 mm çaplı, dairesel dolu kesitli bir çubuk kullanılmıştır.



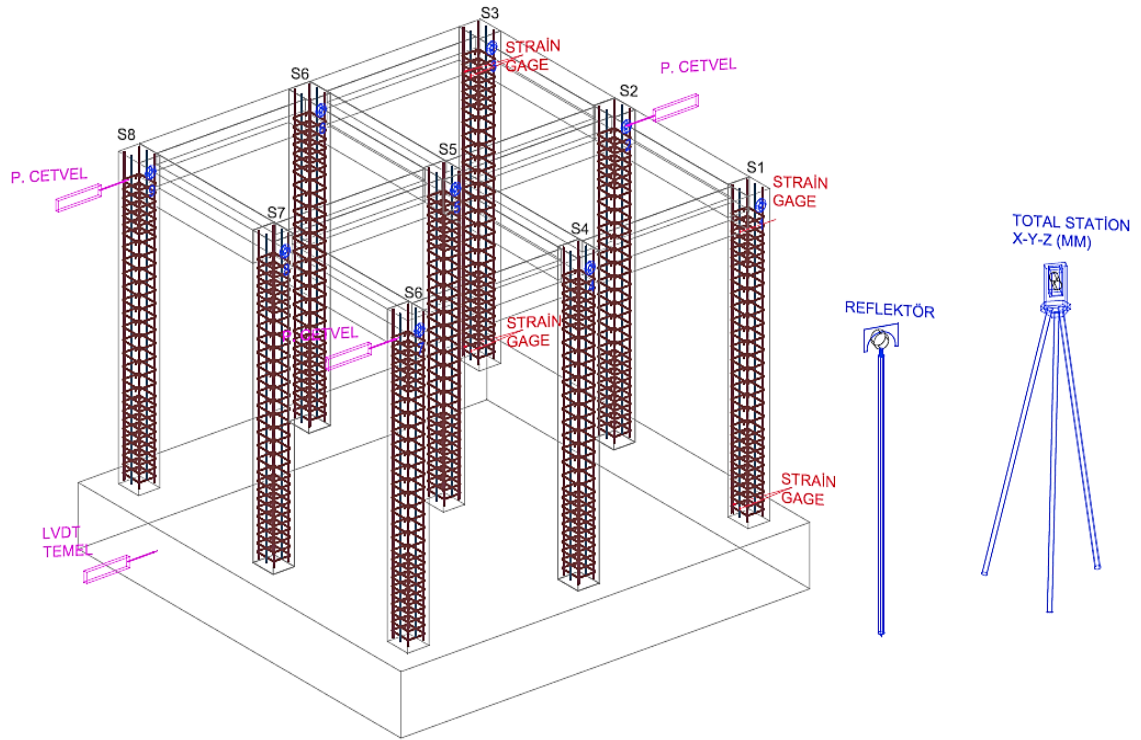
Şekil 2.46. Eksenel Yükleme Çerçevesinin Mesnet Detayı [51, 58]



Şekil 2.47. Temel Ankraj ve Yatay Yükleme Transmisyon Mili Detayı [51]

2.3. Deneilerde Kullanılan Ölçüm Aletleri ve Cihazlar

Deney esnasında numunelerde oluşan deplasmanlar davranışın daha sağlıklı olarak ortaya konulması için ölçülmüştür. Ölçümler, Total Station ölçüm aleti, Strain Gauge, LVDT ve Potansiyometrik Cetvel kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 2.48. Referans Model Cihaz ve Ölçüm Aletlerinin Yerleşim Planı

Deprem Araştırma Laboratuvarında 8 kanallı TDG firmasına ait Ai8b tipi 2 adet veri toplama sistemi bulunmaktadır. Toplamda 13 kanal kullanılmıştır. Buna göre kullanılan kanalların dağılımı aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.49. Veri Toplama Sistemi

2.3.1. Total Station Cihazı

Total station uzunluk, açı, koordinat ve yükseklik ölçmeye yarayan elektronik ölçüm cihazıdır. Cihazdan gönderilen lazer ya da infrared ışın, reflektörden yansıtılır ve cihazın içerisindeki bilgisayar ışığın gidip gelme hızından yararlanılarak mesafe hesaplanır. Reflektörün yüksekliği ve cihazın kurulu olduğu sehpanın yüksekliği dikkate alınarak, genelde x, y, z değeri bilinen bir noktadan gözlem yapıldığı için gözlenen noktanın koordinatlarına ulaşılabilir.



Şekil 2.50. Total Station cihazı ve Reflektörlü Kâğıt Detayı

Kullanılan total station, Leica FlexLine TS06plus Manüel Total Station modelidir. Kolonların üst düğüm noktaları ve perdelerin iki uç bölgesinin üst noktalarında x, y, z, yönlerinde meydana gelen deplasmanları okumak için, Total Station ve ebatları (4cm x 4cm) olan kare şeklinde her numunede 9 adet reflektörlü kâğıt kullanılmıştır. Bu

okumalar sayesinde yapının burulma ve yatay deplasman davranışı hakkında daha detaylı bilgi edinilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca reflektör kâğıtları yapıştırılmadan önce kolonlarda ve perdelerde nivo aleti kullanarak kot belirlenmiş ve reflektör kâğıtlarının mümkün olduğunca aynı kotta olmasına çalışılmıştır.



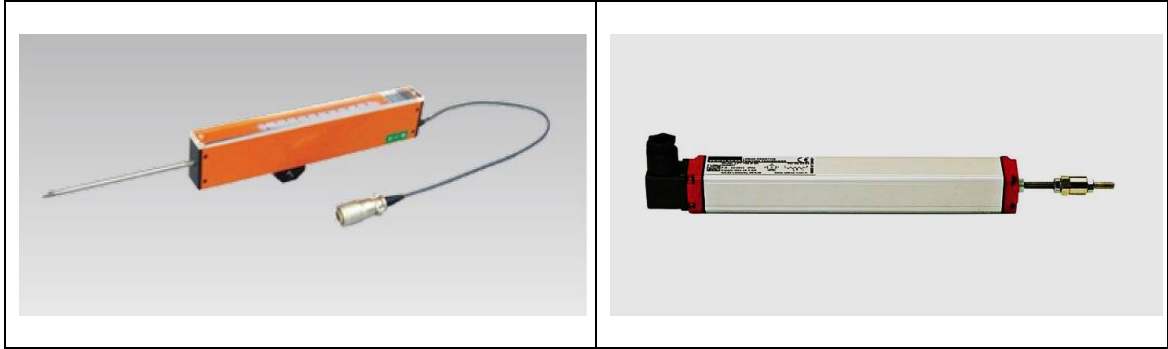
Şekil 2.51. Nivo Kullanımı ve Reflektörlü Kâğıt Yerleşim Planı

Her bir deney numunesinde tüm kolonların ve perde iki uç bölgesi üst düğüm noktalarına toplam 9 adet reflektörlü kâğıt yapıştırılmıştır. Deneylerin tümünde ise 45 adet reflektörlü kâğıt kullanılarak, düşey aksenal yük altında ve her bir itme ile çekme hareketi sonrasında x , y , z koordinatlarındaki değişim değerleri kaydedilmiştir. Sonrasında referans numune okumalarına göre diğer deneylerden okunan koordinatların farkı incelenmiştir. Böylece tüm deney numunelerinin her itme ve çekme kuvveti uyguladıktan sonra yatay deplasman farkları ($z-z$) ve burulma farkları ($x-z$) hakkında detaylı veri toplanmıştır.

2.3.2. LVDT ve Potansiyometrik Cetvel

LVDT (linear variable differential transformer) doğrusal yer değişimini ölçmek için kullanılan bir elektrik transformatörü türüdür. Potansiyometrik cetvel ise (linear resistive position transducer), çok hassas olarak pozisyon ve mekanik hareketleri doğrudan test etmek ve ölçmek için kullanılan sensörlerdir.

Deneylerde kullanılan LVDT'ler (SDP-100C Displacement Transducer) modeli ve potansiyometrik cetveller ise (Opkon LPT-400-D-10K Position sensor) modelidir. Deplasman okumaları için kat kotunda 300 mm (± 150 mm) ölçüm yapabilen 3 adet potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Temelde ise 100 mm (± 50 mm) ölçüm yapabilen 1 adet LVDT kullanılmıştır. Toplam 4 adet deplasman ölçer ile deney numunelerinin kuvvet deplasman ve kuvvet burulma ilişkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.



Şekil 2.52. Potansiyometrik Cetvel ve LVDT

Temelde ankastre bağlantı kabulünden dolayı deplasman oluşumu istenilmemektedir. Bu yüzden yapı temeli laboratuvar tabanına 8 adet 120cm uzunluğunda Ø36 mm çapında ankrajlarla bağlanmıştır. Kat deplasmanını ve burulmasını 3 adet potansiyometrik cetvelle ölçerken, temelde de deplasman olup olmadığının kontrolünün yapılması için temel seviyesine de 1 adet LVDT bağlanmıştır.



Şekil 2.53. Potansiyometrik Cetvel, LVDT ve Ankraj Yerleşimi

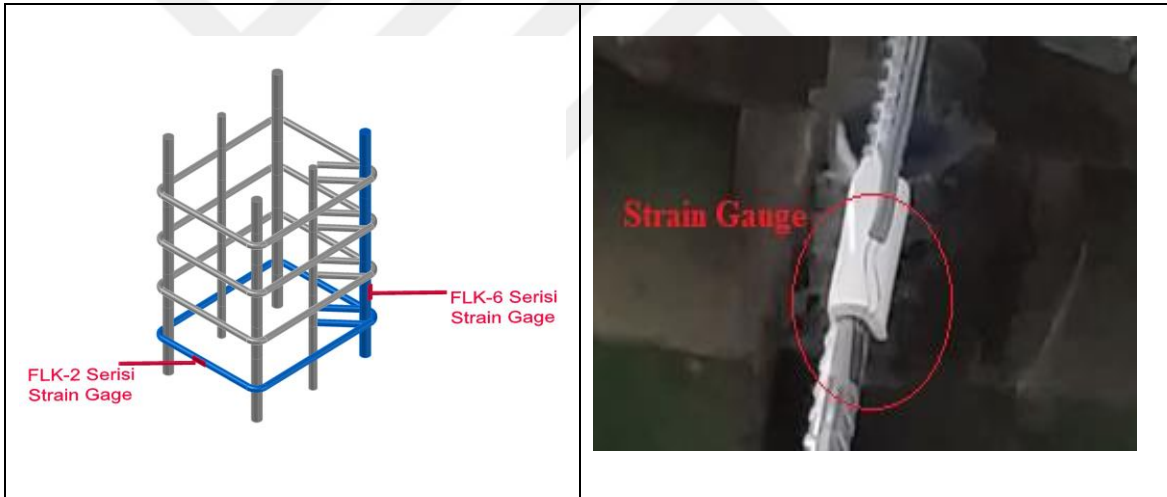
2.3.3. Strain Gauge

Strain gauge, üzerine bağlı bulunduğu metalin yük etkisi altındaki boyca değişim miktarını ölçmek için kullanılan bir tür direnç ölçerdir. Bu ölçüm işlemi yapılırken malzemedeki gerilmeye bağlı olarak, strain gauge ile ± 10000 mili voltluk bir direnç değişimi hesaplanabilir. Sağlıklı bir ölçüm için strain gauge sensörü genişleyen malzemeye çok hassas ve titiz bir şekilde sabitlenmelidir. Folyo kâğıt bu sebeple çok

ince bir yapıda imal edilir. Strain gauge bakır ve nikel alaşımli metalik tellerin üzerinin yalıtkan bir madde ile kaplanması sonucu üretilir. [60, 61].

Deneyleerde kullanılan strain gauge malzemeler 120 Ω değeriinde dirence sahiptir. Kolon boyuna ve enine donatılarına, perdenin gövde boyuna ve enine donatılarına yapıştirılan strain gauge'ler birbirinden farklı ebatlardadır. \varnothing 8 mm çapındaki kolon dış boyuna donatılarına ve \varnothing 6 mm çapındaki perde gövde dış boyuna donatılarına FLK-6, \varnothing 4 mm çapındaki kolon ve perde etriyelerine ise FLK-2 serisi dar tabanlı strain gauge montajı yapılmıştır. Seçilen strain gauge modellerinin her ikisinde 5 m uzunluğunda ön kaynaklı kablo bulunan tipleri temin edilmiştir. [55, 56]

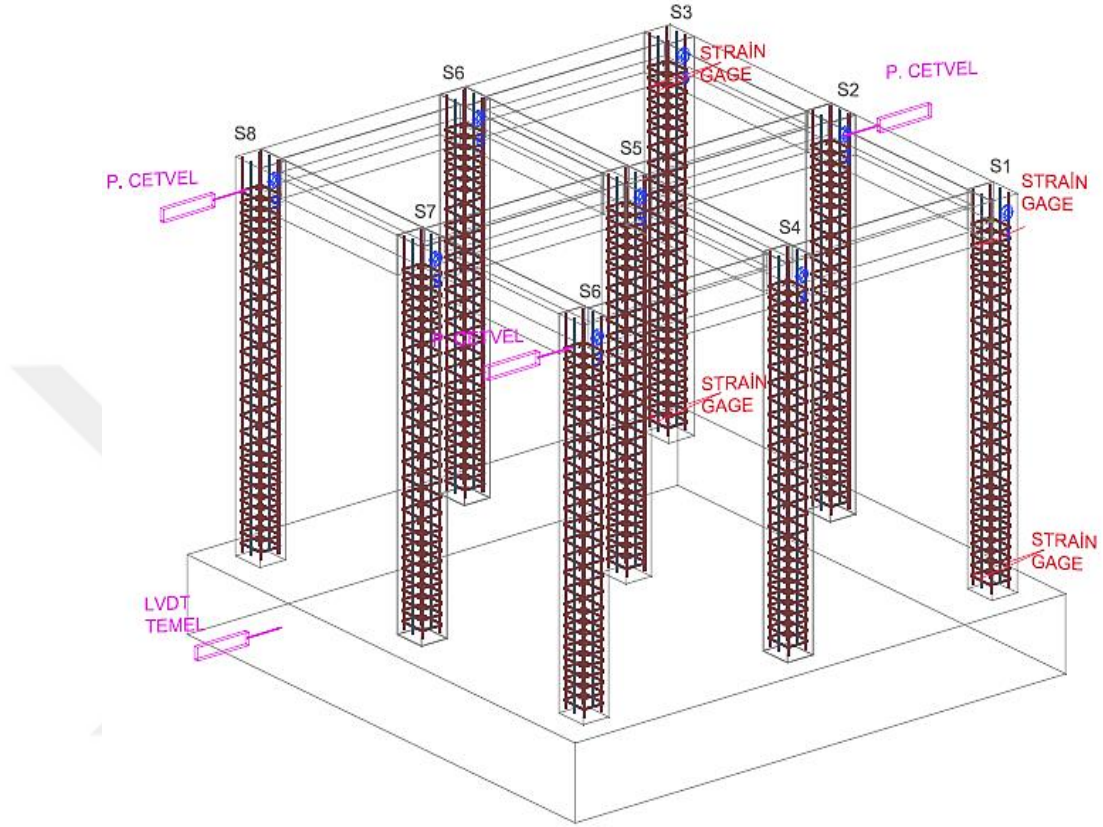
Deney numuneleri üzerine strain gauge'ler, taşıyıcı sistemde S1 kolonu ve Model 1'de S3 kolonu ile diğeri 4 perdeli modellerde S1 kolonu ile P1 perdelerine, yerleştirilmiştir.



Şekil 2.54. Strain Gauge Yerleşimi

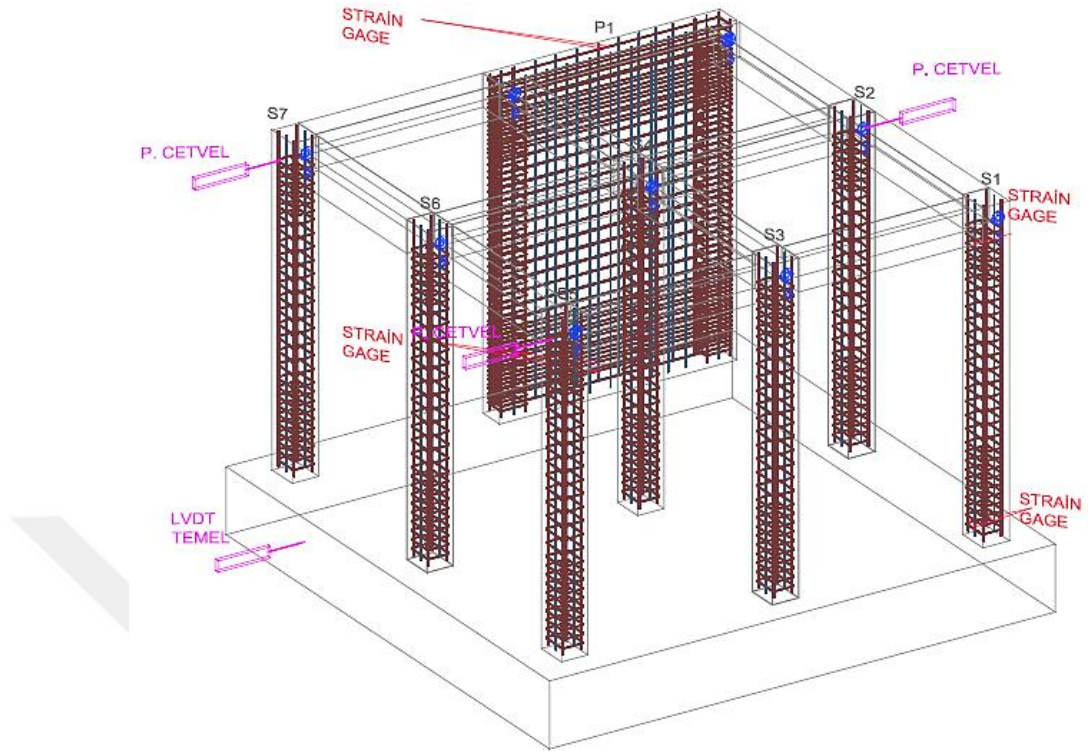
Model 1 (referans) numunesinde toplam 7 adet Strain gauge kullanılmıştır. Bunların aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi 2 adet FLK-6 serisi strain gauge'ler S1 kolonun boyuna donatılarına (\varnothing 8 mm çapındaki dış boyuna donatılara) yapıştirilmiştir. Strain gauge'ler biri temel kotuna en yakın olabilecek bir mesafede diğeri ise kolon-kiriş birleşim bölgesine en yakın olabilecek mesafede yapıştirilmiştir. Aynı şekilde ve aynı kotlarda 2 adet FLK-6 serisi strain gauge'ler Model 1'de S3 kolonun boyuna donatılarına yapıştirilmiştir. S1 kolonun \varnothing 4 mm çapındaki bir adet enine donatıya temel kotuna en yakın olabilecek bir mesafede 1 adet FLK-2 serisi strain gauge yapıştirilmiştir. İlaveten S3 kolonunun \varnothing 4 mm çapındaki enine donatılarına temel

kotuna en yakın ve kolon-kiriş birleşim bölgesine en yakın olabilecek bir mesafede iki adet FLK-2 serisi strain gauge yapıştırılmıştır.



Şekil 2.55. Model 1’de Strain Gauge ve Deplasman Ölçerlerin Yerleşimi

Model 2, Model 3, Model 4 ve Model 5 olan diğer numunelerde ise her birinde toplam 7 adet Strain gauge kullanılmıştır. Bunların aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi 2 adet FLK-6 serisi strain gauge’ler S1 kolonunun boyuna donatılarına ($\text{Ø}8$ mm çapındaki dış boyuna donatılara) yapıştırılmıştır. Bunların biri temel kotuna en yakın olabilecek bir mesafede diğeri ise kolon-kiriş birleşim bölgesine en yakın olabilecek bir mesafede yapıştırılmıştır. Aynı şekilde ve aynı kotlarda 2 adet FLK-6 serisi strain gauge’ler bu modellerde P1 perdenin gövde boyuna donatılarına ($\text{Ø}6$ mm çapındaki dış boyuna donatılara) yapıştırılmıştır. S1 kolonun $\text{Ø}4$ mm çapındaki bir adet enine donatıya temel kotuna en yakın olabilecek bir mesafede 1 adet FLK-2 serisi strain gauge yapıştırılmıştır. İlâveten P1 perdenin $\text{Ø}4$ mm çapındaki yatay gövde donatılarına temel kotuna en yakın ve kolon-kiriş birleşim bölgesine en yakın olabilecek bir mesafede iki adet FLK-2 serisi strain gauge yapıştırılmıştır.



Şekil 2.56. Model 2 (Perdeli Model)'de Strain Gauge ve Deplasman Ölçerlerin Yerleşimi



Şekil 2.57. Strain Gaugelerin Direnç Kontrolü

Kolonların ve perdenin boyuna donatılarına yapıştırılan strain gauge'ler yardımı ile kolon ve perde boyuna donatılarındaki birim deformasyon değerlerinin bulunması hedeflenmiştir. Etriyelere yapıştırılan strain gauge'ler ile enine donatılardaki birim deformasyon değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Toplamda 5 adet betonarme

taşıyıcı sistemden oluşan deney numunelerinin her birine 7 adet strain gauge montajı yapılmıştır. İmalat esnasında her aşamadan sonra sık sık kontrol edilen strain gauge'ler son olarak beton döküldükten sonrada tekrar kontrol edilerek deneysel çalışmalar başlamadan önce gerekli bütün hazırlıklar tamamlanmıştır. Deneyler esnasında yapılan ölçümlerden strain değerini hesaplayabilmek için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$V_o = -\frac{GF \times \varepsilon}{4} \left(\frac{1}{1 + GF \times \frac{\varepsilon}{2}} \right) \times V_i \times GAIN \quad (2.1)$$

V_o : Veri toplama sisteminin ölçtüğü değer (mV)

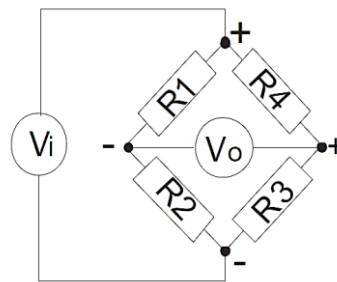
V_i : Köprü ikaz gerilimi (5 volt)

GF : Kullanılan strain gauge'nin gauge faktörü (Kalibrasyon faktörü)

$GAIN$: Kalibrasyon sertifikasında verilen kanal kazanç değeri

ε : Strain değeri (Birim deformasyon değeri)

Strain gauge sensörü, elastik bir taşıyıcı üzerinde bulunan birbirine paralel bağlantılı ince tellerden oluşmaktadır. Gerinim miktarı, ölçülmek istenen yüzeye yapıştırıldıktan sonra Wheatstone köprüsünü kullanarak direnç ölçümü yapılır. [60, 61]



Şekil 2.58. Wheatstone köprüsü

Wheatstone köprüsü dört dirençten oluşturulmaktadır. Bu dirençlerin bağlantı şekli ise köprü diyot ile aynıdır. Wheatstone köprüsünün dört düğüm noktasından iki tanesi bir ikaz voltajı ile beslenirken diğer iki noktada ise köprüde deformasyona bağlı olarak ve strain gauge'lerden alınan direnç değişimleri ölçümü yapılır. Tam köprü ölçüm yapılabilmesi için 4 strain gauge sensörüne ihtiyaç vardır. Fakat ölçüm yapılabilecek yüzeye ve ölçüm hassasiyetine göre strain gauge hücresi azaltılır. İki strain gauge hücresi ile yarım Wheatstone köprüsü kurulabilir. Deneylerde kullandığımız gibi tek bir strain gauge hücresi ile çeyrek Wheatstone köprüsü oluşturularak donatılardaki yüzey

gerilimi ölçülebilmektedir [60, 61]. Bununla beraber deneysel çalışmalarda ölçülen gerinim (ϵ) değerine, elektriksel gürültü nedeniyle ulaşılammaktadır. Bu durum çeyrek köprülerin bağlantı şekli ve topolojisi yüzünden 100dB'e civarı elektriksel gürültü sönümlenme özelliklerini kaybetmelerinden kaynaklanmaktadır. Tüm bu etkenler göz önüne bulundurulduğunda ölçülebilecek minimum gerinim değerinin $10 \mu\epsilon$ alınmasında ve sensör yerleşiminde bu değere dikkat edilmesinde fayda vardır. Ayrıca ölçüm sonuçlarının Excel programı kullanarak kayar noktalı ortalamasının alınmasıyla bu elektriksel gürültünün oldukça başarılı bir şekilde filtrelendiği ve gerinimdeki değişimlerin rahat bir şekilde gözlemlendiği anlaşılmıştır [60].

2.4. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Deneysel modellerin projelendirilmesi sırasında kullanılacak beton sınıfı C25 ve donatı kalitesi S420 olarak belirlenmiştir. Deneysel modellerin temel betonu normal hazır beton, üst yapı betonu ise brüt beton olarak dökülmüştür. Buna göre temelde kullanılan en büyük kaba agrega çapı 22 mm, üst yapıda ise 14 mm çapında kaba agrega kullanılmıştır. Taşıyıcı sistemlerde kullanılan donatı çapları $\varnothing 4$, $\varnothing 6$ ve $\varnothing 8$ mm'dir. 4'lük ve 6'lık donatılar 8'lik donatının çekilmesi ile elde edilmiştir. İmalatta kullanılan donatılar Kayseri Organize Sanayi Bölgesinden temin edilmiştir.

Deney modelimizin malzemelerinden numuneler alınarak, deneylere tabi tutulmuştur. Tüm temellere tek seferde beton dökülerek toplam 6 adet silindir numune alınmıştır. Temel betonundan alınan silindir numunelerin 3'ü deney modeli ile aynı şartlarda ve kalan 3'ü ise kür havuzunda bekletilmiştir.



Şekil 2.59. Numune İmalatlarında Kullanılan Donatılar

Deneysel modellerin üst yapı imalatında ise toplam beş adet betonarme taşıyıcı betonu dökülmüştür. Üst yapı brüt betonundan toplam 15 adet silindir numune ve 6 adet küp numune alınmıştır. Alınan 15 adet beton silindir numunelerin 7'si model ile aynı şartlarda ve kalan 8'i ise kür havuzunda bekletilmiştir. Aynı şekilde alınan 6 adet küp numunenin 3'ü model ile aynı şartlarda ve kalan 3'ü ise kür havuzunda bekletilmiştir. Sonrasında alınan silindir beton numuneleri üzerinde basınç ve yarma deneyleri yapılmıştır. Küp numuneler ise sadece basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Deneysel modellerin imalatında kullanılan Ø4mm, Ø6mm ve Ø8mm çaplarındaki donatılardan numuneler alınarak çekme deneyleri yapılmıştır. Malzeme deneyleri sonucunda beton ve demir numunelere ait gerilme şekil değiştirme özellikleri belirlenmiştir.

2.4.1. Beton Basınç Dayanımı

Temel betonundan alınan 150 mm çapındaki ve 300 mm yüksekliğindeki 6 adet silindir numunelere ait kırılma dayanım değerleri kullanılarak TS500 ve TS EN 206-1'e göre değerlendirme yapılmıştır [3, 62, 63]. Yapılan değerlendirme aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 2.3. TS500'e Göre Temel Beton Sınıfı [3, 63]

NUMUNE GRUBU	SİLİNDİR DAYANIMI (N/mm ²)			GRUP ORT.	TS500			SONUÇ	BETON SINIFI
KÜR HAVUZU	32.38	31.92	33.48	32.59	31.14	>	31.00	Kabul	C30
DIŞARI	30.61	29.96	28.51	29.69	28.51	>	27.00		

Tablo 2.4. TS EN 206-1'e Göre Temel Beton Sınıfı [62, 63]

NUMUNE GRUBU	SİLİNDİR DAYANIMI (N/mm ²)			GRUP ORT.	TS EN 206-1			SONUÇ	BETON SINIFI
KÜR HAVUZU	32.38	31.92	33.48	32.59	32.59	>	29.00	Kabul	C25
					31.92	>	21.00		
DIŞARI	30.61	29.96	28.51	29.69	29.69	>	29.00		
					28.51	>	21.00		
Tüm Üretim	f _{cm}	=	31.14						
	σ	=	1.80		31.14	>	27.66	Kabul	

Üst yapının beton basınç dayanımını ölçmek için kullanılan standart 150 mm çapındaki ve 300 mm yüksekliğinde 15 adet silindir numuneden 8 adedi kür havuzundan, 7 adedi ise deney modeli ile aynı şartlarda bekletilen numunelerden seçilmiştir. Üst yapıdan alınan 150 x 150 x 150 mm ebatlarındaki 6 adet küp numunelere ait kırılma dayanım değerleri kullanılarak TS500 ve TS EN 206-1'e göre değerlendirme yapılmıştır [3, 62, 63].

Deprem Araştırma Laboratuvarındaki deneylere başlamadan önce silindirik beton numuneler 3 gruba ayrılarak, kükürt başlıklama yapılmış ve beton pres cihazında kırılmıştır. Deneyler esnasında gerilme şekil değiştirme grafiklerini çizebilmek için silindir numunelere birim boydaki değişimi ölçen 0,001 mm hassasiyetli saat takılmıştır. Bu sayede elastisite modüllerinin belirlenmesi ile birlikte silindirik basınç dayanımlarına ait deney sonuçları da hem TS500 hem de TS EN206-1'e göre değerlendirmeye tabii tutulmuştur [3, 62, 63]. Bulunan sonuçlara göre beton sınıfı C25 olarak belirlenmiştir.

Tablo 2.5. TS500'e Göre Üst Yapı Beton Sınıfı [3, 63]

NUMUNE GRUBU	KÜP DAYANIMI (N/mm ²)			GRUP ORT.	TS500 DEĞERLENDİRME			SONUÇ	BETON SINIFI
KÜR HAVUZU	30.5	30.1	27.3	29.3	26.4	>	22.00	Kabul	C25
DIŞARI	28.8	26.4	29.7	28.3	28.8	>	26.00		

Tablo 2.6. TS500'e Göre Üst Yapı Beton Sınıfı [62, 63]

PARTİ	SİLİNDİR DAYANIMI (N/mm ²)			GRUP ORT.	TS500 DEĞERLENDİRME			SONUÇ	BETON SINIFI
1	27.12	28.64	27.22	27.66	27.07	>	26.00	Kabul	C25
	26.29	27.49	26.07	26.62					
	26.31	27.22	27.29	26.94	26.07	>	22.00		

Tablo 2.7. TS EN 206-1'e Göre Üst Yapı Beton Sınıfı [62, 63]

NUMUNE GRUBU	KÜP DAYANIMI (N/mm ²)			GRUP ORT.	TS EN 206-1 DEĞERLENDİRME			SONUÇ	BETON SINIFI
KÜR HAVUZU	30.5	30.1	27.3	29.3	29.30	>	29.00	Kabul	C25
					27.30	>	21.00		
DIŞARI	28.8	26.4	29.7	28.3	29.69	>	29.00	Kabul	
					28.51	>	21.00		
Tüm Üretim	fcm	=	28.8						
	σ	=	1.64		28.8	>	27.43	Kabul	

Tablo 2.8. TS EN 206-1'e Göre Üst Yapı Beton Sınıfı [62, 63]

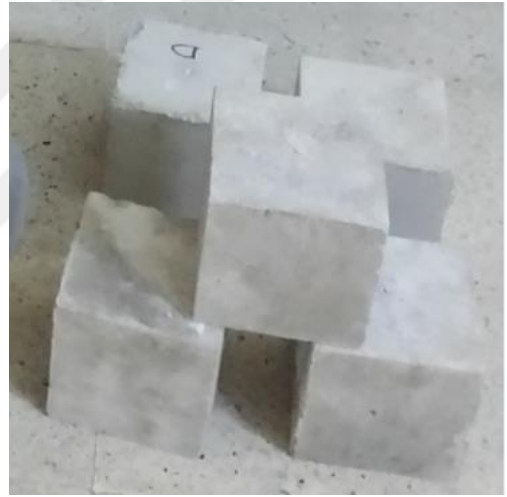
GRUP	SİLİNDİR DAYANIMI (N/mm ²)			GRUP ORT.	TS EN 206-1 DEĞERLENDİRME			SONUÇ	BETON SINIFI
1	27.12	28.64	27.22	27.66	26.66	<	29.00	Red	C25
					27.12	>	21.00		
2	26.29	27.49	26.07	26.62	24.62	<	29.00	Red	
					26.06	>	21.00		
3	26.31	27.22	27.29	26.94	26.94	<	29.00	Red	
					26.31	>	21.00		
Tüm Üretim	fcm	=	27.07						
	σ	=	1.06		27.07	>	26.56	Kabul	



Şekil 2.60. Küp Numunelerin Basınç Dayanımını Ölçen Pres Cihazı



Şekil 2.61. Beton Basınç Dayanımı ve Çekmede Yarma Deneyi Cihazı

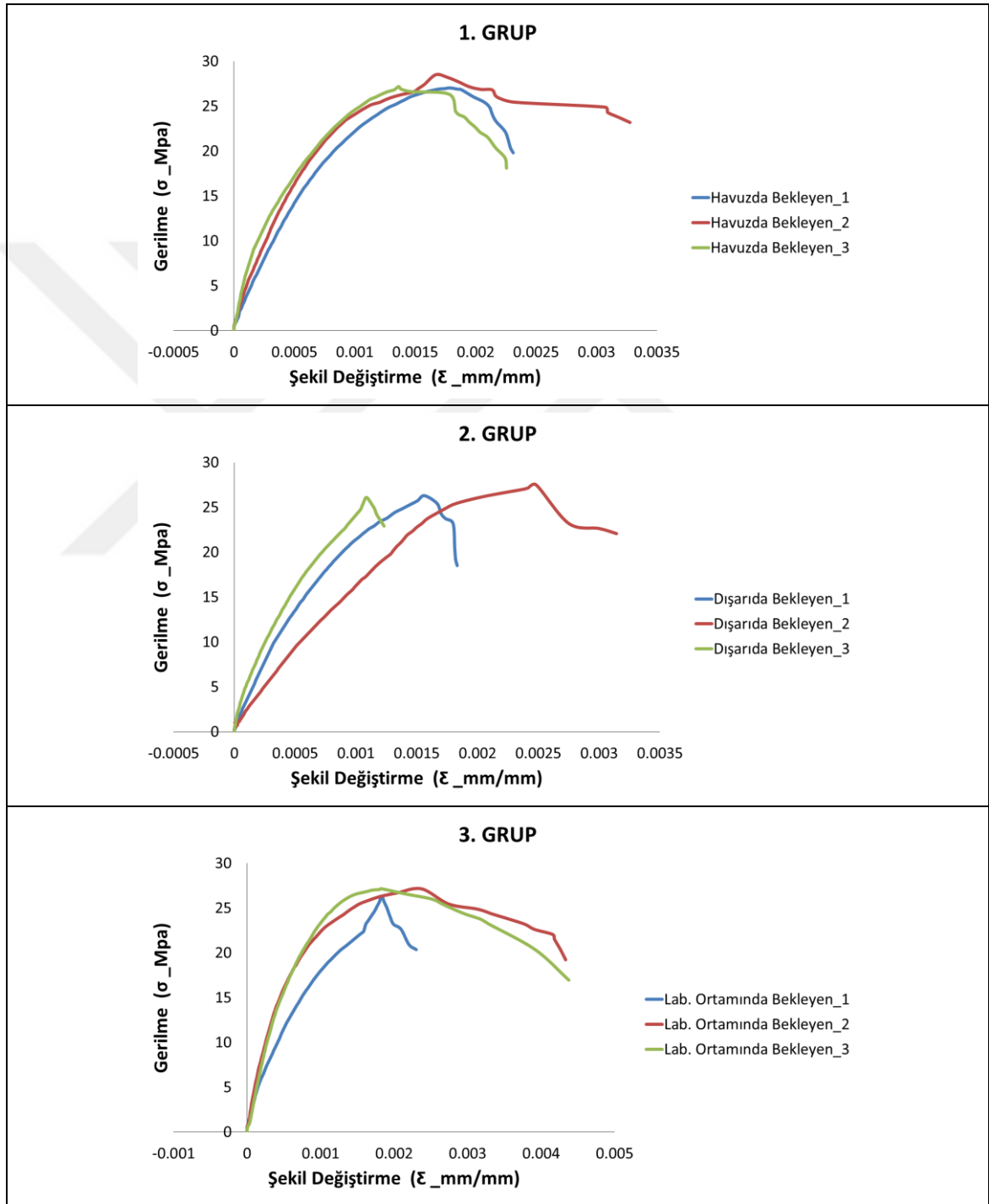


Şekil 2.62. Deneyleri Yapılan Silindir ve Küp Numuneler



Şekil 2.63. Beton Basınç Dayanımı Deneyi

Silindirik numune üzerine takılan deplasman ölçer saat, başlangıçta sıfırlanarak deney sırasında kuvvetin artması ile birim boyda meydana gelen değişimi kaydetmiştir. Bu sayede kuvvet deplasman ilişkisinden, gerilme-şekil değiştirme eğrisi çizilebilmiş ve betonun elastisite modülü hesaplanmıştır.



Şekil 2.64. Üst Yapı Silindirik Beton Numunelerin Gerilme Şekil değiştirme Grafikleri

2.4.2. Beton Yarmada Çekme Dayanımı

Bu deney, yatay olarak presin tablaları arasına yerleştirilen, basınç deneylerinde de kullanılan, silindir beton örneklerinin altına ve üstüne yerleştirilen plakalara dik yönde basınç yüklemesi uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Numuneler aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi TS EN 12390-6'ya [64] uygun olarak yarma yükü deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 2.65. Beton Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Çekme dayanımını elde edebilmek için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{Çekme Gerilmesi} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (2.2)$$

P = Kırılmaya neden olan basınç yükü (kgf).

L = Silindir numunenin boyu (cm).

D = Silindir numunenin çapı (cm)'dir.

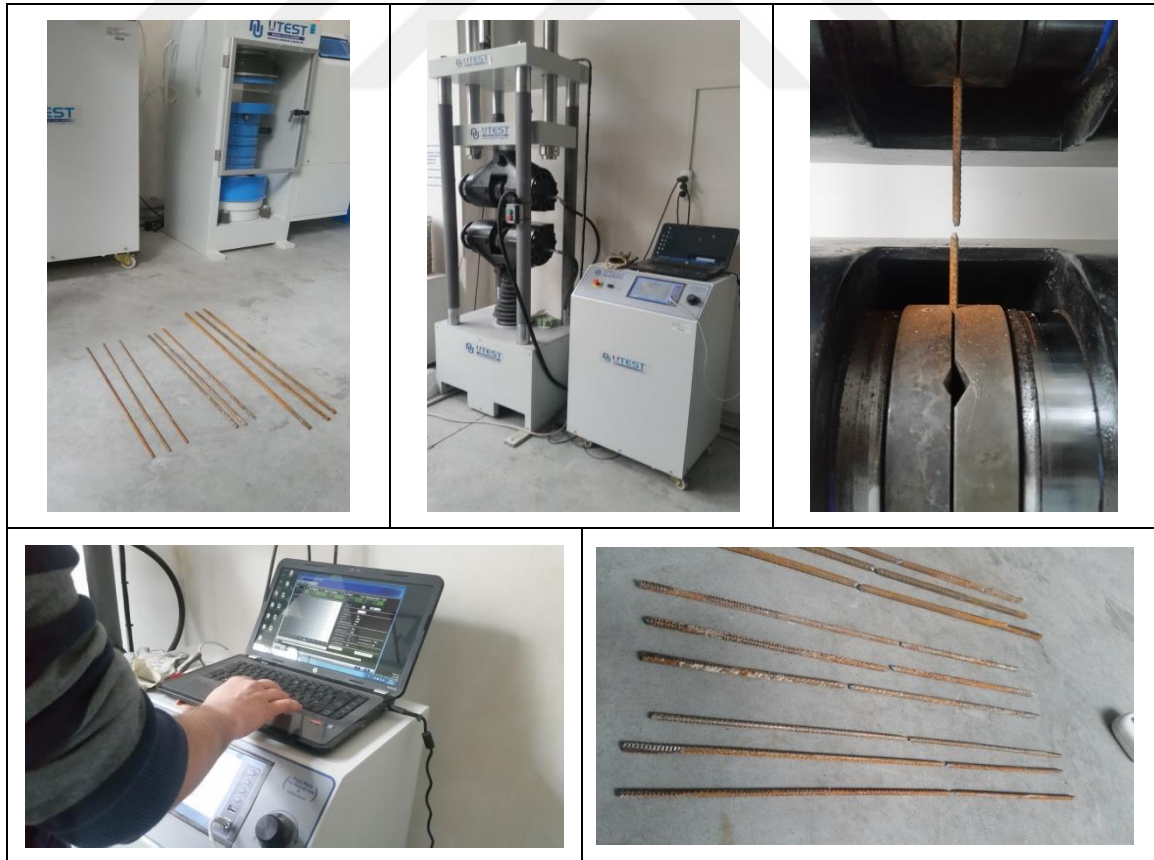
Nümerik çalışmalarda kullanılmak için deneysel modellere ait beton numunelerinden elde edilen yarmada çekme dayanımı aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.9. TS EN 12390-6 'ya Göre Yarmada Çekme Dayanımı [64]

DENEY NO.	BASINÇ KUVVETİ (N)	NUMUNE ÇAPI (mm)	NUMUNE UZUNLUĞU (mm)	ÇEKME DAYANIMI (N/mm ²)
1	146540	150	300	2.074
2	202080	150	300	2.860
3	137670	150	300	1.948
4	186540	150	300	2.639
5	179210	150	300	2.535

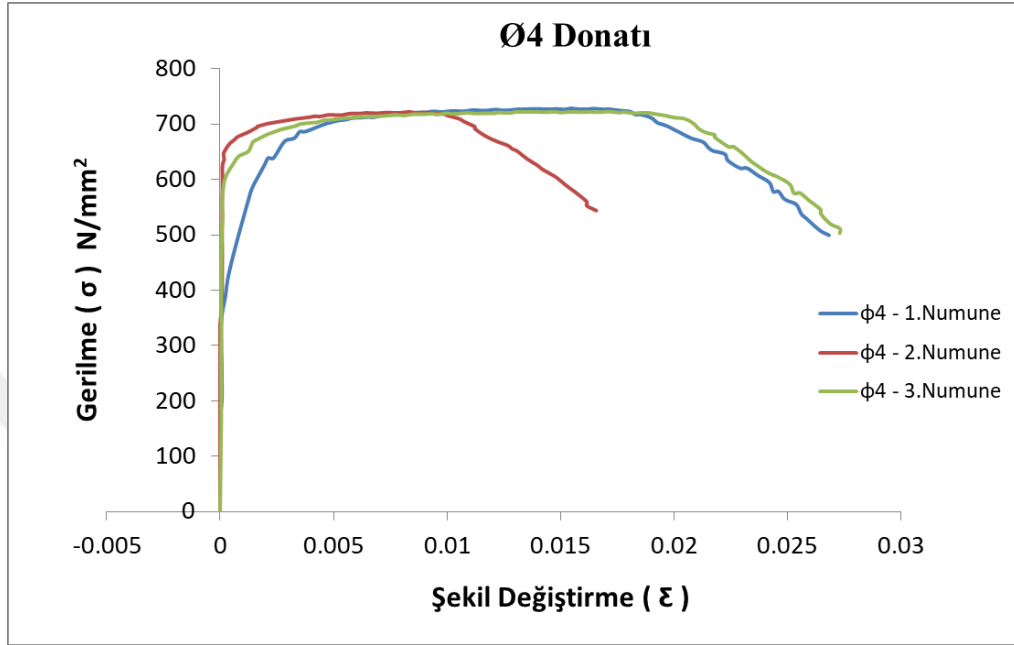
2.4.3. Donatı Çeliği Akma Dayanımı

Donatılar Erciyes Üniversitesi yapı malzemesi laboratuvarında çekme deneyine tabii tutulmuştur [65].

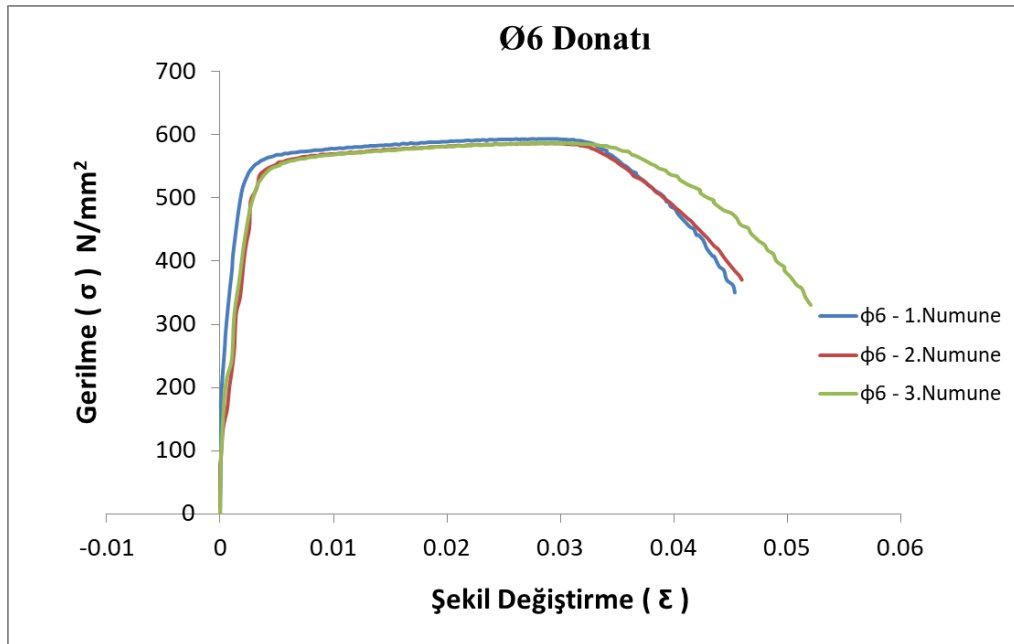


Şekil 2.66. Donatı Çekme Dayanımı Deneyi

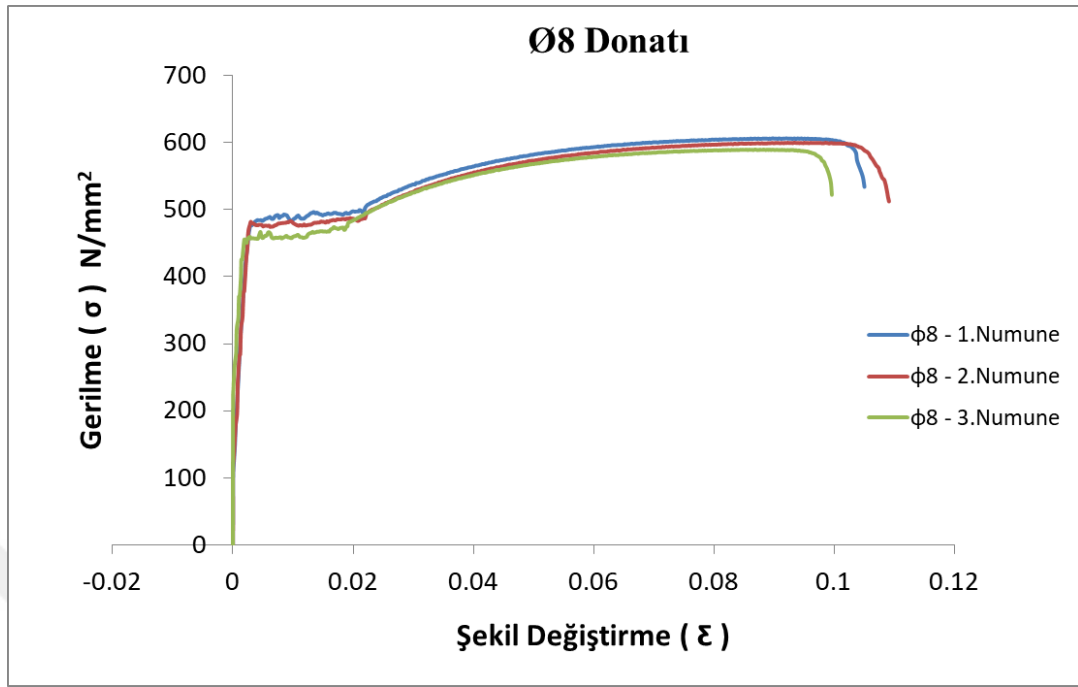
Deney sonrasında kuvvet-deplasman değerlerinden elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir. Deneylerde kullanılan Ø4, Ø6 ve Ø8 her birinden 3'er adet seçilerek akma dayanımı testi yapılmıştır. Bu donatılara ait grafikler aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.67. Ø4 Donatısı Gerilme Şekil değiştirme Grafiği



Şekil 2.68. Ø6 Donatısı Gerilme Şekil değiştirme Grafiği



Şekil 2.69. Ø8 Donatısı Gerilme Şekil değişirme Grafiği

Tablo 2.10. Donatıların Akma Dayanımı Testindeki Ebatları ve Yüzde Uzamalar

Donatı Numunesi	L_0 (mm)	L_S (mm)	L_{Hesap} (mm)	ΔL (mm)	% Uzama
Ø8-1	525	550	170	25	14,706
Ø8-2	527	555	185	28	15,135
Ø8-3	533	569	208	36	17,308
Ø6-1	405	420	145	15	10,345
Ø6-2	405	415	127	10	7,874
Ø6-3	400	409	117	9	7,692
Ø4-1	404	411	120	7	5,833
Ø4-2	410	418	125	8	6,400
Ø4-3	408	415	132	7	5,303

2.4.4. Karot Numune Alımı

Deneysel çalışmaların tamamlanmasının ardından Model 2, Model 3, Model 4 ve Model 5 perdeli deney elemanlarının perdelerinden karot numuneler alınarak basınç dayanımı açısından bir değerlendirme yapılmıştır. Karot numuneler TS EN 12504-1 [66] standardına uygun olarak alınmış ve TS EN 12390-3 [67] standardına göre deneye tabi tutulmuştur. Her deney elemanı perdesinin tam orta noktasından 1 adet olmak üzere toplamda 4 adet karot numunesi alınmış ve bu numuneler eşit gerilme dağılımı

açısından kükürt başlık yapılarak deneye hazır hale getirilmiştir. Karot alımı ve basınç dayanım deneyleri ile ilgili görseller aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 2.70. Karot Numune Dayanım Deneyleri

Karot numunelerin basınç dayanımı deneyleri sonucu elde edilen değerler aşağıdaki tabloda sunulmaktadır. Alınan karot sayısının 4 olması sebebiyle değerlendirme TS EN 13791 [68] standardının B yaklaşımı ve TS 10465'e [69] göre ayrı ayrı yapılmıştır.

Tablo 2.11. Karot Numune Dayanım Deneyi Sonuçları

Karot Alınan Numune	Karot Sayısı	Dayanım (N/mm ²)	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Değerlendirme
Model 2	1	33,65	33,04	<i>TS EN 13791/ Nisan 2010</i> $f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k$ $= 33,04 - 7 = 26,04 > 26$
Model 3	1	32,34		$f_{ck,is} = f_{is,en} \text{ düşük} + 4$ $= 31,96 + 4 = 35,96 > 26$
Model 4	1	34,22		<i>TS 10465/ Kasım 1992</i> $f_{cm} \geq 0.85 \times f_{sk}$ $= 33,04 \geq 0.85 \times 33 = 28,05$
Model 5	1	31,96		$f_{cmin} \geq 0.85 \times f_{ek}$ $= 31,96 \geq 0.85 \times 30 = 25,5$
				✓ Uygun

2.5. Deney Düzenekinin Kurulması ve Deneylerin Uygulanması

Deneylerin yapılması için laboratuvarında mevcut olan hidrolik kriko, krikonun yükleme duvarına bağlandığı çelik pano ve ekleri, yük hücresi, travers, bağlantı ve köprü kabloları ile deplasman ölçerler (LVDT ve Potansiyometrik Cetvel) ihtiyaç kadarıyla deney alanında toplanmıştır.

Laboratuvarın betonarme yükleme duvarı 500 mm kalınlığında ve 6m genişliğindedir. Duvar bağlantılarını sağlamak için duvar üzerinde 500 mm aralıklı ve çapı 70 mm olan delikler bulunmaktadır. Ayrıca laboratuvar zemini 500 mm kalınlığında, alt bölümü galeri olan betonarme döşemeden oluşmaktadır. Platform üzerinde numuneleri sabitleye bilmek için yükleme duvarında olduğu gibi 500 mm aralıklı ve çapı 70 mm olan delikler bulunmaktadır.



Şekil 2.71. Taşıyıcı Sistem Modellerin Laboratuvar İçine Yerleştirilmesi



Şekil 2.72. Laboratuvar Zemin Platform Altındaki Galeri Boşluğu

Betonarme deney numuneleri ve diğer deney düzeneklerinin kurulmasına yardımcı çelik konstrüksiyonlar laboratuvar içerisinde kapasitesi 15 ton olan kreyn vasıtası ile taşınabilmektedir. Yükleme duvarı önüne ilk olarak 9 kolondan oluşan, perdesi bulunmayan ve sonuçları diğer deneylere referans olacak model yerleştirilmiştir. Böylece deneysel çalışmalara referans numune ile başlanmıştır.

2.5.1. Deney Düzenine Kurulması

Deneysel modellerin 350mm'lik temelindeki çapı 70 mm olan ve aks aralığı 500 mm olan delikleri kullanarak 1200 mm uzunluğunda ankrajlar vasıtası ile laboratuvar tabanına bağlatısı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.73. Model Temelinin Ankraj ile Laboratuvar Tabanına Bağlanması



Şekil 2.74. Kütle Beton Yerinin Belirlenmesi ve Yerleştirilmesi

Orta kolona aksel kuvvet vermek için beton ağırlık deney numunesinin tam ortasına yerleştirilmiştir. Beton kütleinin altına kolon enkesit boyutlarında 30 mm kalınlığında bir

levha yardımıyla yükün sadece kolon enkesitine aktarılması sağlanmıştır. Diğer kolonlara aksenal yük vermek için çelik konstrüksiyon betonarme taşıyıcı sistem üzerine konulmuştur. Betonarme model ile herhangi bir bağlantısı olmadığından kolonlara, aksenal yük haricinde herhangi bir kesit tesirinin etkimesi önlenmiştir.

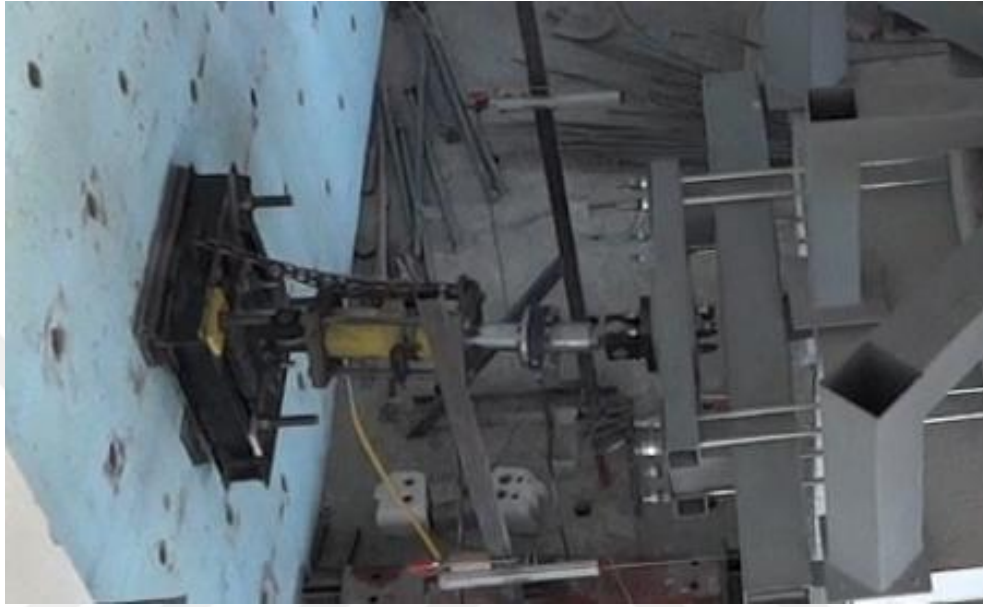


Şekil 2.75. Örümcek Şekilli Aksenal Yük Düzeneginin Yerleştirilmesi

Deney numunelerine yatay yükleme düzeneği, hidrolik kriko vasıtasıyla itme ve çekme hareketlerinin yapılmasını sağlamak üzere kullanılmıştır. Yatay yükleme düzeneği karşılıklı iki eş parçadan oluşmaktadır. Parçalar, $\text{Ø}24$ mm çapında 8 adet transmisyon milinin karşılıklı bağlanması ile betonarme yapıya sabitlenmiştir. Yatay yükleme düzeneği, yükleme yönündeki kolonların üst düğüm noktaları kotunda bağlanarak, yükün yarısının orta kolon aksına diğer yarısı ise kenar kolonlara dağıtılmasını sağlamıştır.

Yatay yükleme düzeneğinde kullanılan hidrolik krikonun, hem yükleme duvarı tarafındaki çelik panoya hem de yatay yükleme düzeneği üzerindeki levhaya bağlanmasında biri dikey diğeri yatay dönebilen mafsallı birleşim kullanılmıştır. Bu mafsallar deneysel modellerin itme ve çekme döngüleri sırasında aksenal yatay kuvvete

maruz kalmasına ve burulma yapabilmesine müsaade etmiştir. Hidrolik krikoda benzer şekilde aksel yüklemeye çerçevesinin itme ve çekme döngülerinde serbestçe hareket edebilmesi için, aksel yüklemeye düzeneği üzerindeki levhada birleşim mafsallı olarak yapılmıştır.



Şekil 2.76. Yükleme Duvarındaki Yatay Yön Kriko Pano ve Detayı



Şekil 2.77. Yatay Yükleme Düzeneğinin Yerleştirilmesi



Şekil 2.78. Eksenel Yükleme Çerçevesinin Yerleştirilmesi

Eksenel yükleme düzeneğine hidrolik kriko ile tekil yük verilerek, yük profillerin rijitlikleri ile orantılı olarak kolonlara dağıtılmıştır. Böylelikle köşe kolonlara kenar kolonlardan daha fazla yük verilerek, gerekli eksenel yük koşulu betonarme modellerin bütün kolonları için sağlanmıştır. Yükleme düzeneğinden aktarılan yükün mümkün olduğunca kolon kesite gelmesini sağlamak amacıyla düzeneğin ayaklarına 30 mm kalınlığında ve kolon ebadında sac levhalar kaynatılmıştır.

Eksenel yükleme çerçevesinin altındaki çelik levha ile bağlantısı, yatay yükleme yönünde harekete izin vermesi için mafsallı olarak yapılmıştır. Çerçeve üzerinde bulunan hidrolik krikonun eksenel yükleme düzeneğine bağlantısı da yatay yükleme yönünde mafsallıdır. Böylece eksenel yük dışında herhangi bir kesit tesirinin betonarme taşıyıcı sistemde oluşmaması sağlanmıştır.

Deney düzeneği kurulumu yapıldıktan sonra, ölçüm ve test cihazlarının montaj ve bağlantılarının yapılmasına geçilmiştir. Hidrolik kriko tarafından uygulanan yük değerini okumak için, yük hücresi (Load Cell) ile veri toplama sistemi arasında gerekli kablo bağlantıları yapılmıştır. Üç adet Potansiyometrik cetvel ve 1 adet LVDT montajları, deneylerde hem itme hem de çekme döngüleri sırasında ölçüm

alınabilmesine olanak sağlayacak şekilde yapılmıştır. Bağlantı kabloları veri toplama sistemine takılarak deney sırasında her döngüde okumalar alınmıştır.



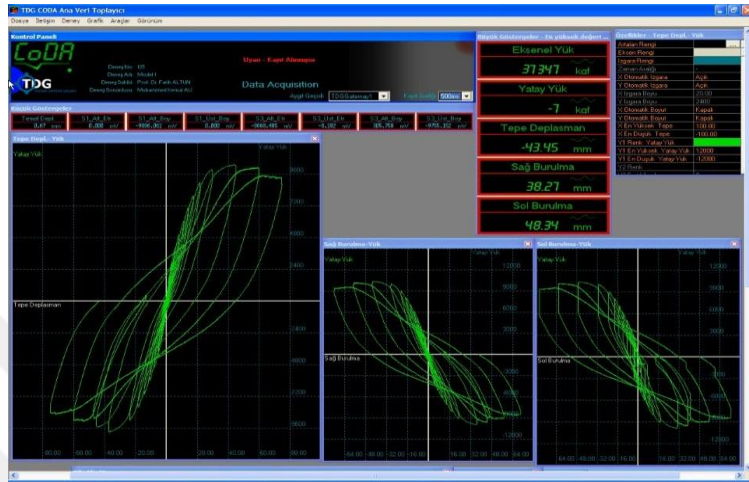
Şekil 2.79. Ölçüm ve Test Cihazlarının Montaj ve Bağlantılarının Yapılması

Deneyle yapılrken oluşın çatlak gelişimini takip edebilmek için kolonlar ve perdeler üzerine skalalar çizilmiştir. Her kolon ve perde de 20 adet 0,5h'nın katları olarak 10h'a kadar çizgiler çizilmiştir. Kolon-kiriş ve perde-kiriş birleşim bölgelerine aynı kotta reflektörlü kâğıtlar yapıştırılarak total station ile okumalar alınması sağlanmıştır. Kolon ve perdelerdeki kesit tesirlerini ölçebilmek için, donatılara yapıştırılan strain gauge köprü kablolarının bağlantıları yapılmıştır. Veri toplama sistemine takılan kablolardan geçen akım değeri deney başlamadan önce kontrol edilerek sıfırlanmıştır.

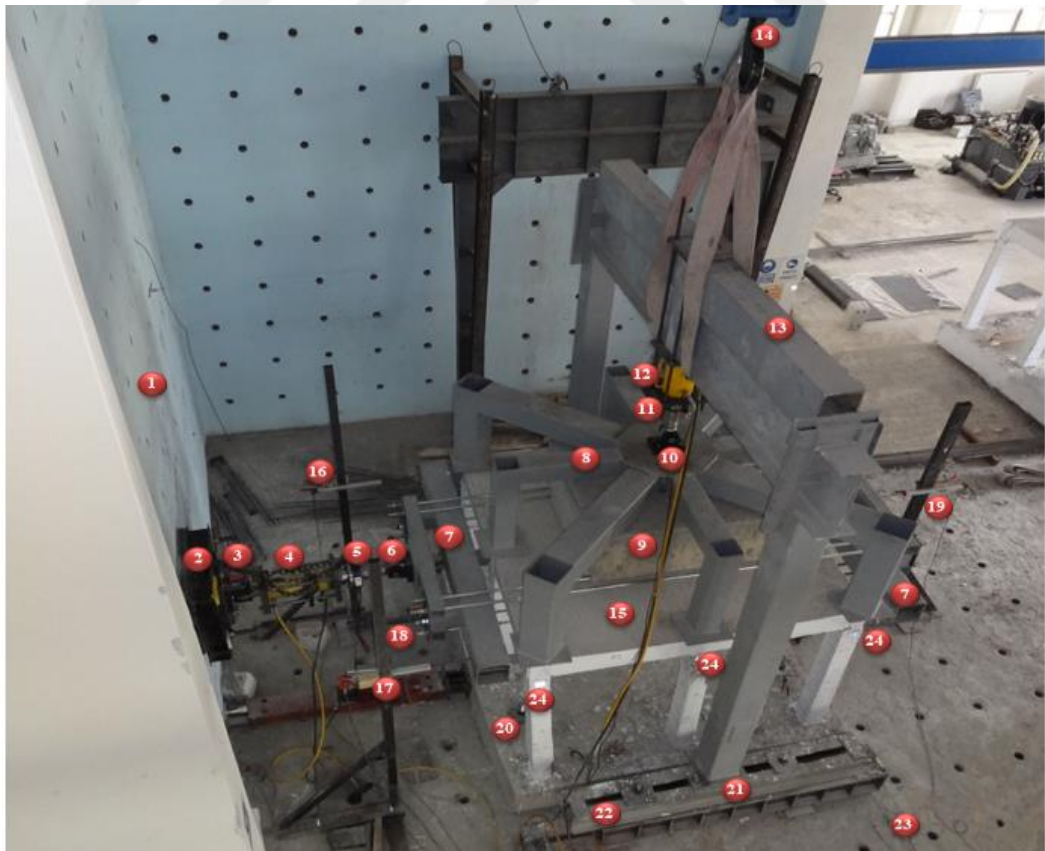


Şekil 2.80. Ölçüm Cihazlarının ve Strain Gauge Köprü Kablolarının Bağlanması

Deney esnasında alınan ölçümler bilgisayardaki bir yazılım sayesinde toplanarak işlenebilmekte ve bu ölçümlere ait grafiklerde çizdirilebilmektedir. Deney sonunda veriler farklı dosya formatlarında kayıt edilerek saklanabilmektedir [61]. Deney düzeneği oluşturulduktan sonra ölçüm kabloları veri toplama sistemine bağlanmıştır.



Şekil 2.81. Deney Ölçümlerinin Bilgisayar Yazılımı ile Kayıt Edilmesi [62]



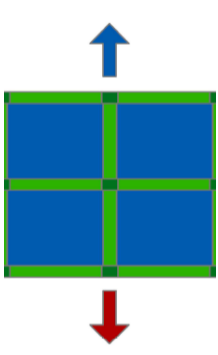
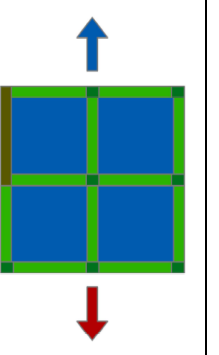
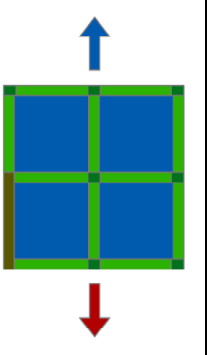
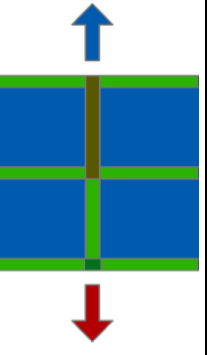
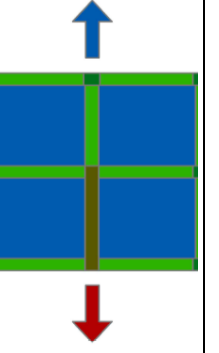
Şekil 2.82. Deney Düzeneği

Tablo 2.12. Deney Düzeneği Bileşenleri

No.	Açıklama	No.	Açıklama
1	Yüklemeye Duvarı	13	Eksenel Yüklemeye Çerçevesi
2	Çelik Pano	14	Kren
3	Mafsallı Birleşim	15	Betonarme Taşıyıcı Sistem
4	Hidrolik Kriko	16	Sol Burulma P. Cetvel
5	Yük Hücresi	17	Sağ Burulma P. Cetvel
6	Mafsallı Birleşim	18	Temel LVDT
7	Yatay Yüklemeye Düzeneği	19	Orta Deplasman P. Cetvel
8	Eksenel Yüklemeye Düzeneği	20	Temel Ankraji
9	Beton Kütle	21	Mafsallı Birleşim
10	Mafsallı Birleşim	22	Travers
11	Yük Hücresi	23	Strain Gauge Bağlantı Kabloları
12	Hidrolik Kriko	24	Reflektörlü Kâğıt

2.5.2. Deneylelerin Uygulama Adımları

Deney numunesi planına göre mavi ok ile gösterilen yönler, deney sırasında betonarme taşıyıcı sistemlerin itme yönünü, kırmızı ok ise çekme yönünü vermektedir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde perde konumunun yanında yatay yüklemeye yönü de önemli bir parametredir.

1. Deney	2. Deney	3. Deney	4. Deney	5. Deney
				
Referans Model (Model 1)	Perdeli Model (Model 2)	Perdeli Model (Model 3)	Perdeli Model (Model 4)	Perdeli Model (Model 5)

Şekil 2.83. Deneysel Modellerin Numaralandırılması ve Yüklemeye Yönü

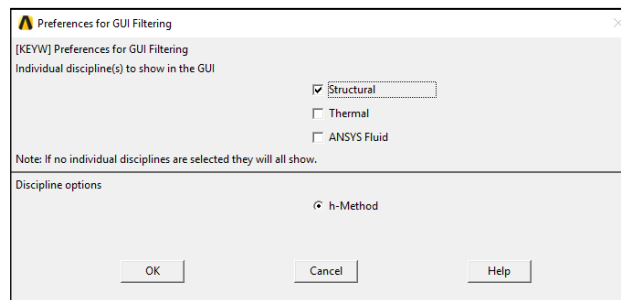
Deneyleer yk kontrollü başlayıp daha sonra deplasman kontrollü olarak tamamlanmıştır. Her yükleme döngüsünde bir itme ve birde çekme yapılmıştır. İlk döngü 10 kN yatay yük verilerek başlayıp akma gerçekleşene kadar yük 10 kN'luk artışlarla devam etmiştir. Akma oluşmasından sonra yükleme işlemine deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemede betonarme taşıyıcı sistem deplasmanı her döngüde 15 mm artırılmıştır. Perdenin dış aksta bulunması nedeniyle burulması olan Model 4 ve Model 5 taşıyıcı sistemlerin deney sonunda 60mm, diğer deney modellerinde ise 75 mm deplasman yaptırılmıştır. Buna göre deplasman oranı 0.04-0.05 ile göçme hasar sınırının üzerinde bir değere sahip olacak şekilde tamamlanmıştır. Tüm döngülerde itmede oluşan çatlaklar mavi, çekmede oluşan çatlaklar ise kırmızı renkli kalem ile işaretlenmiştir.

2.6. Nümerik Simülasyonlar

ANSYS programı, mühendislik alanında kullanılan ve sonlu elemanlar yöntemine göre hesaplama yapan önemli bir simülasyon yazılımıdır. Programın en bariz özelliği ise yapılan modellemelerin çözümüne herhangi bir sınırlama getirmeden doğrusal veya doğrusal olmayan statik ve dinamik yükler altında analiz yapabilmesidir. Bu nedenle mühendislik ve tıp gibi pek çok alanda modellemeler yapılarak, davranış tahmini için referans bilgiler edinilmektedir [70].

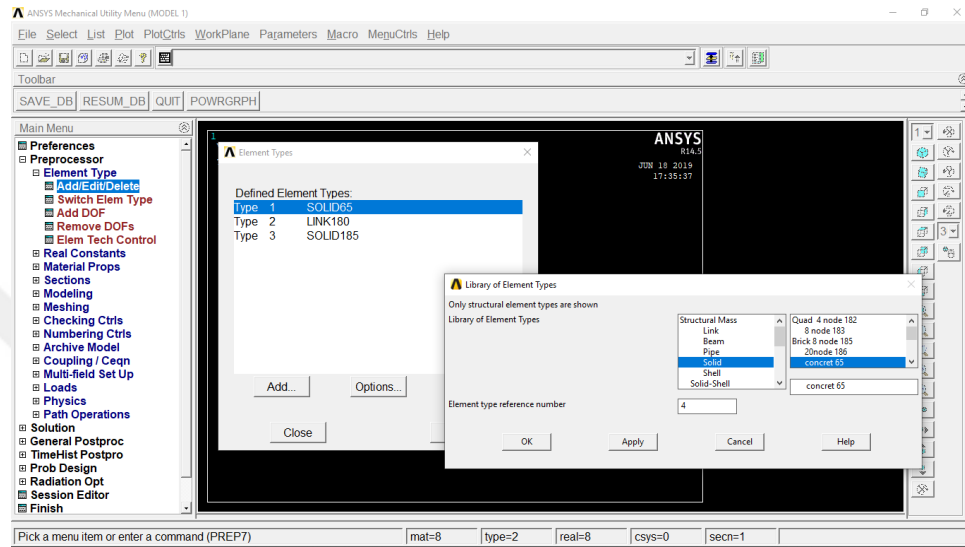
2.6.1. ANSYS Programında Modelleme

ANSYS programında deneysel çalışmalarda kullanılan 5 adet 3 boyutlu taşıyıcı sistem modellenmiştir [70, 71, 72, 73, 74]. İlk olarak çalışmaya referans olan ve betonarme perdesi bulunmayan Model 1 taşıyıcı sistemin modellemesi ile başlanmıştır.



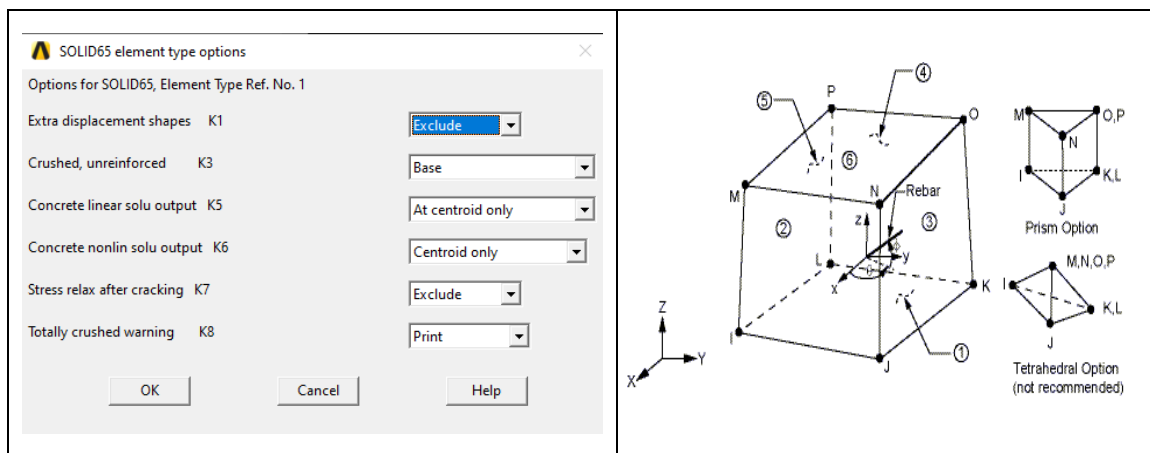
şekil 2.84. Analiz Tipinin Seçimi [71]

Preferences menüsünden analiz tipi structural analizi olarak seçilmiştir. Modelin oluşturulması ve analize hazır hale getirilmesi Preprocessor menüsü vasıtası ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada üç farklı malzeme kullanılmıştır. Bu malzemeleri programda Element Type menüsünden beton için SOLID65, donatı için LINK180, mesnet ve yükleme levhaları için ise SOLID185 elemanları seçilmiştir [70,72].



Şekil 2.85. Eleman Seçimi [71, 72]

SOLID65 elemanı sekiz düğüm noktalı çekmede çatlama, basınçta ezilme, plastik deformasyon, süneklilik gibi özelliklere sahip olan üç boyutlu katı elemandır. Her bir düğüm noktasında x, y ve z yönlerinde yer değiştirmeye olanak sağlayan 3 serbestlik derecesine sahiptir. Analiz sırasında yakınsamayı kolaylaştırmak için ekstra şekil değiştirmeler hesaba katılmamıştır [70, 72].

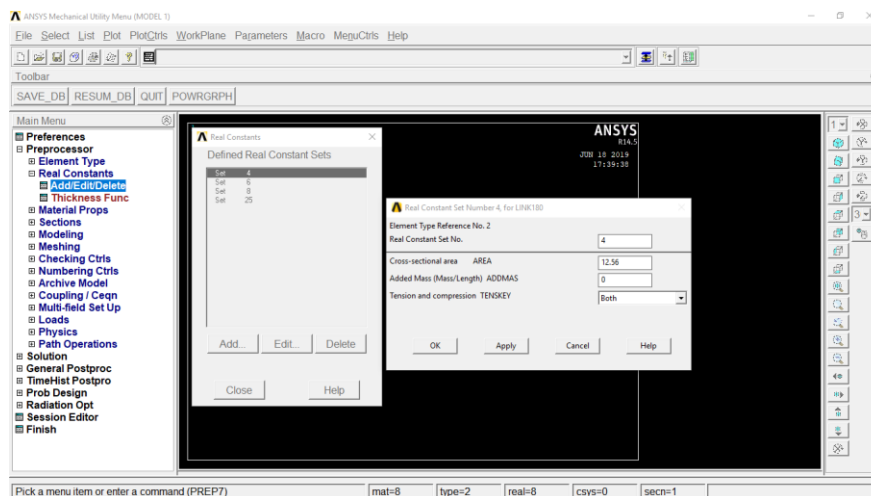


Şekil 2.86. SOLID 65 Elemanı Geometrisi ve Özellikleri [70, 71]

LINK180 elemanı ise, tek eksenli çekme ve basınç gerilmelere maruz kalabilen bir çubuk elemandır. LINK180 elemanı x, y, z yönlerinde deplasman kabiliyeti olan üç serbestlik derecesine sahip, iki adet düğüm noktasından oluşmaktadır. Bu eleman plastik ve sünme davranışı açısından büyük ölçüde dönme ve deformasyon yapabilme kabiliyetlerine sahiptir. LINK180 elemanı kesit alanı, birim uzunluk ağırlığı ve malzeme özellikleri girilerek ANSYS programında tanımlanmaktadır.

Mesnetler ve yüklemeler levhaları olarak SOLID185 elemanı ise, katı yapıların 3 boyutlu modellenmesi için kullanılmaktadır. Her düğümde x, y, z yönlerinde deplasman yapabilen üç serbestlik derecesine sahip sekiz düğüm tarafından oluşturulur. Eleman plastisite, hiperelastisite, gerilme rijitliği, kayma, büyük deplasman ve şekil değiştirme yapabilme özelliklerine sahiptir. Aynı zamanda, hemen hemen sıkıştırılamayan elastoplastik malzemelerin deformasyonlarını simüle etmek için karışık formülasyon kabiliyetine ve tamamen sıkıştırılamaz hiperelastik malzeme özelliklerine sahip bir elemandır.

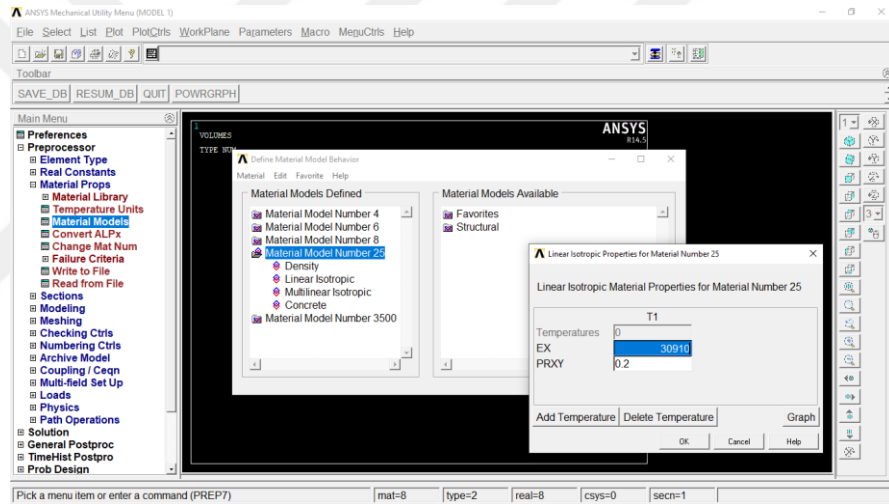
Real Constants menüsü yardımıyla oluşturulan modellerin, kesit geometrisine bağlı en kesit alanı, kesit yüksekliği, malzeme yoğunlukları, atalet momentleri ve kuvvet deplasman ilişkisi gibi eleman sabitleri tanımlanmaktadır. Tanımlanan her eleman sabitine bir numara verilir. Tek çeşit bir elemana birden fazla eleman sabiti tanımlanabilmekte ve seçilen her malzemenin özellikleri bu menü ile programa tanımlanmaktadır [70, 72].



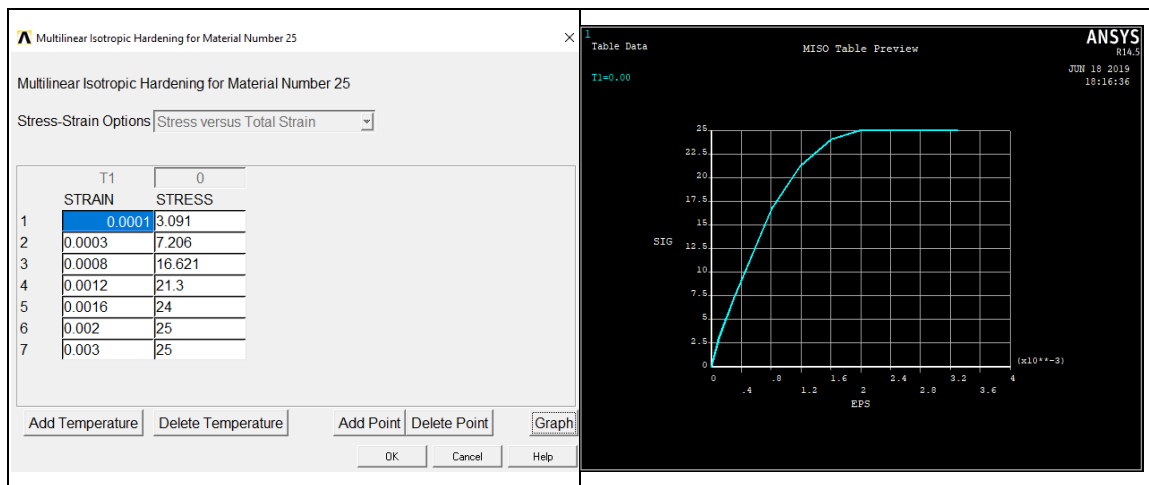
Şekil 2.87. Real Constants Menüünden Eleman Sabitlerinin Tanımlanması [71]

Modelin devamında SOLID65 ve LINK180 malzemelerine eleman sabitleri tanımlanmıştır. Beton sınıfı C25 olmasından dolayı SOLID65 için tanımlanan malzeme eleman sabiti 25 olarak isimlendirilmiştir. Çalışmada çapları 4, 6 ve 8 mm olan donatılar kullanılmıştır. Bu donatıların LINK180 malzemesi için en kesit alanlarına göre eleman sabitleri tanımlanarak, her bir donatının çapına göre isimlendirme yapılmıştır [72].

Material Props menüsü vasıtası ile daha önceden oluşturduğumuz malzemelerin elastik ve inelastik özellikleri tanımlanır. Bunun için malzeme deneylerinden elde edilen gerilme şekil değiştirme eğrilerinden yararlanılmaktadır. Betonda basınç ve yarmada çekme deneyi yapılmıştır. Betonun elastisite modülü 30910 N/mm^2 olarak bulunmuştur.

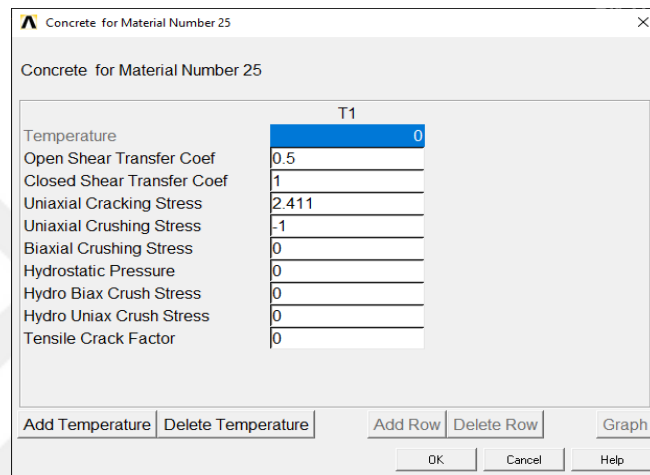


Şekil 2.88. Betonun Elastisite Modülü ve Poisson Oranının Tanımlanması [71]

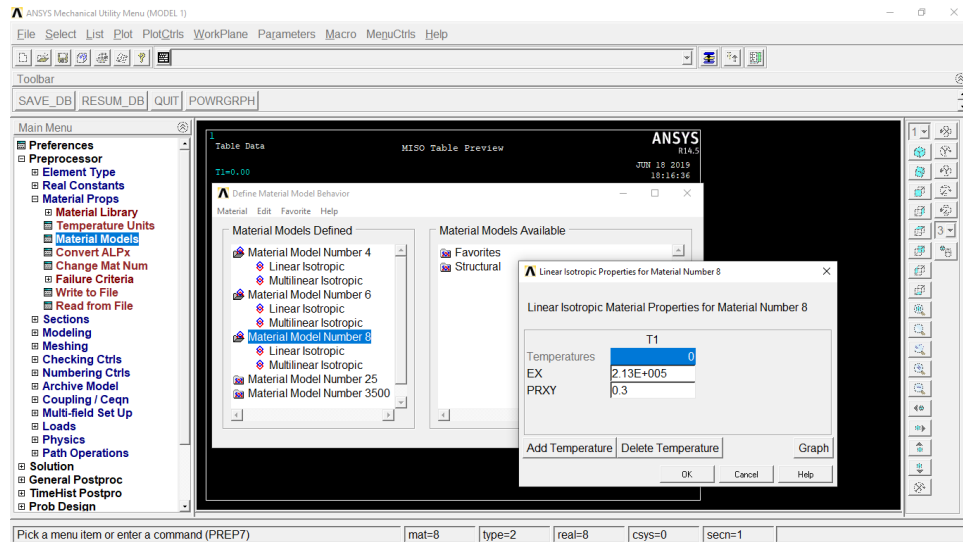


Şekil 2.89. Betonun İnelastik Basınç Özelliklerinin Tanımlanması [71]

Betonun çatladıktan sonraki davranışını belirlemek üzere tanımlamalar yapılmaktadır. Açık çatlaklar için kesme kuvveti transfer katsayısı 0.5 alınarak, açık çatlaklarda kesme kuvvetinin %50 oranda aktarıldığı varsayılmıştır. Kapalı çatlaklar için kesme kuvveti transfer katsayısı 1 alınarak kapalı çatlaklarda kesme kuvvetinin tamamen aktarıldığı kabul edilmiştir. Betonun çekme dayanımı, yarmada çekme deneyi sonrasında ortalama değer olan 2.411 N/mm^2 programda girilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı ise -1 kabul edilerek betondaki ezilmelerin olmadığı varsayılarak ihmal edilmiştir.

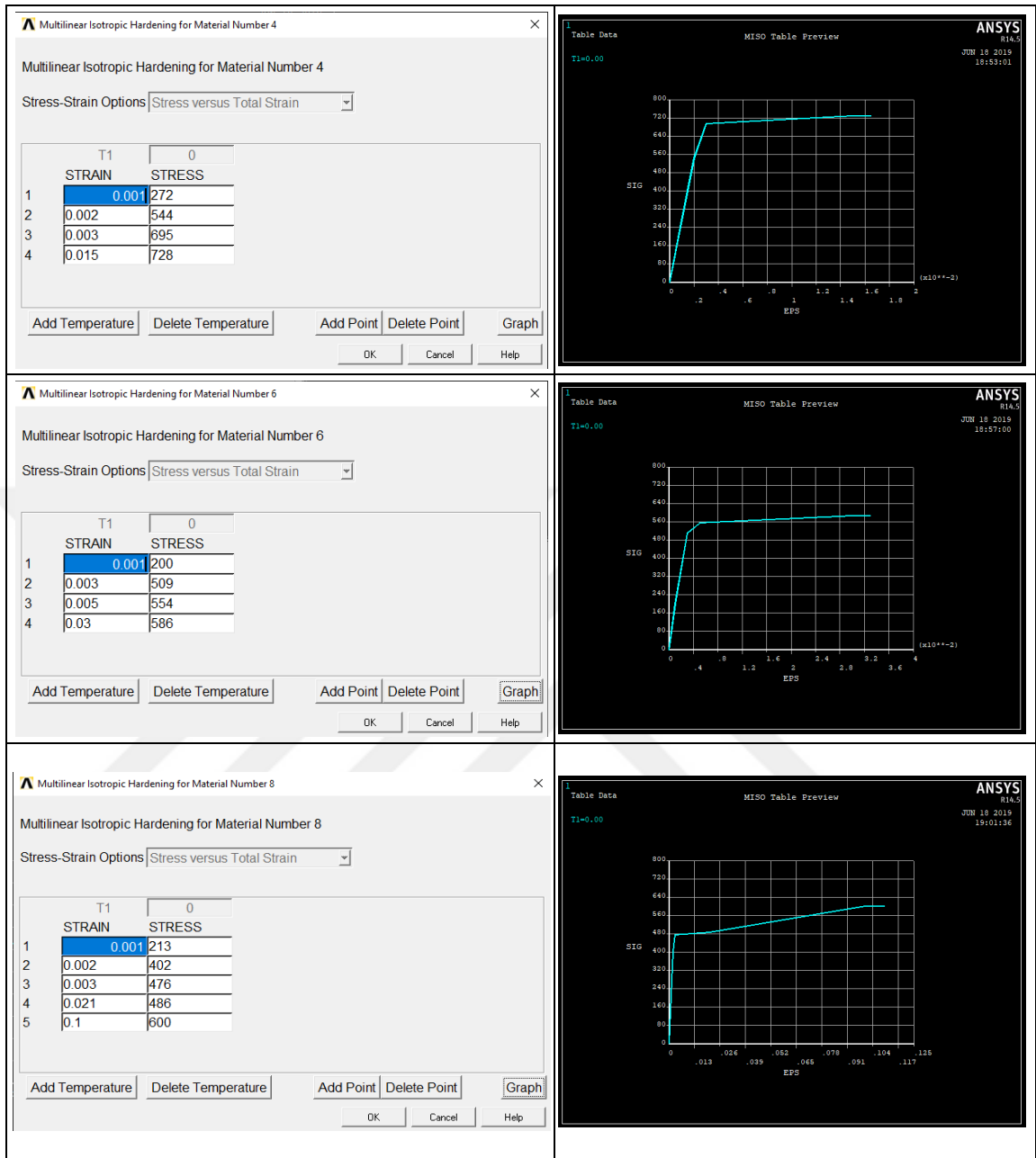


Şekil 2.90. Betonun İnelastik Çekme Özelliklerinin Tanımlanması [71]



Şekil 2.91. Donatıların Elastisite Modüllerinin ve Poisson Oranlarının Tanımlanması

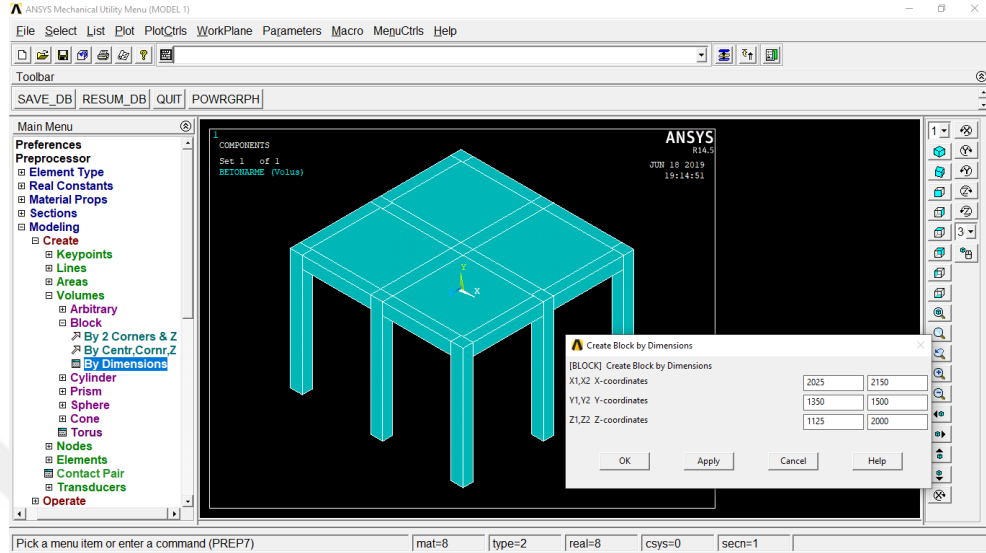
Programda kullanılan Ø4, Ø6 ve Ø8 donatıların, elastik ve inelastik özellikleri yapılan çekme deneyleri ile bulunarak her birinin gerilme-şekil değiştirme davranışı programa tanımlanmıştır.



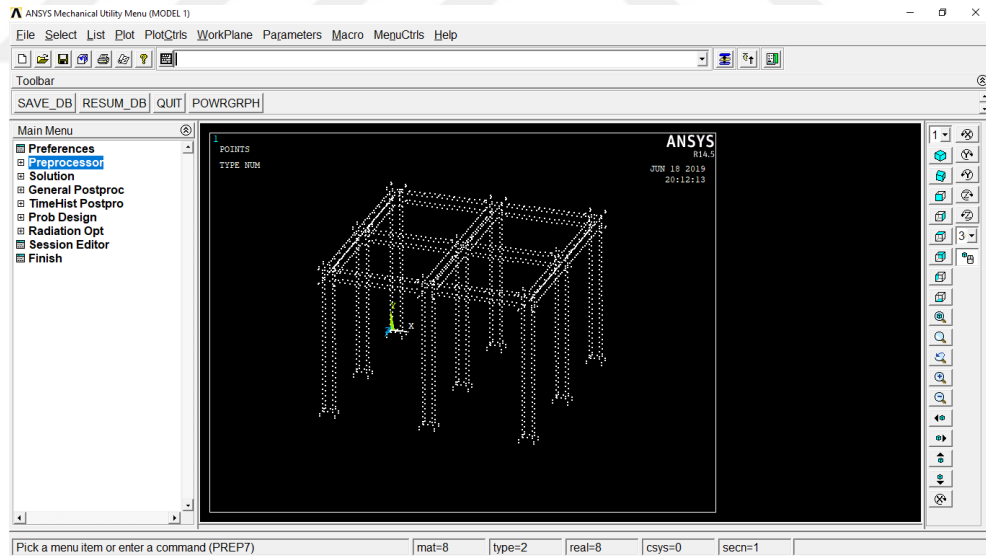
Şekil 2.92. Donatıların İnelastik Çekme Özelliklerinin Tanımlanması [71]

Deneysel modellerin $\frac{1}{2}$ ölçeğindeki geometrisini oluşturmak için, Modeling menüsünden Create Volume komutu kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarından, önce kolonlar, sonra kirişler, son olarak da döşemeler hacimsel üç boyutlu olarak programda oluşturulmuştur. Y eksenini düşey eksen olmak üzere her bir elemanın x, y, z yönlerindeki başlangıç ve bitiş koordinatları programa tanımlanarak taşıyıcı sistem modeli çizilmiştir. Kolonların altına temel olacak 25mm kalınlığında mesnet levhaları, kolonların üstüne aksenal yük ve kolon kiriş düğüm noktalarına yatay yük vermek için,

yine 25mm kalınlığındaki levhalar aynı şekilde bu menü yardımı ile programda oluşturulmuştur.



Şekil 2.93. Üç Boyutlu Betonarme Modelin Çizilmesi [71]

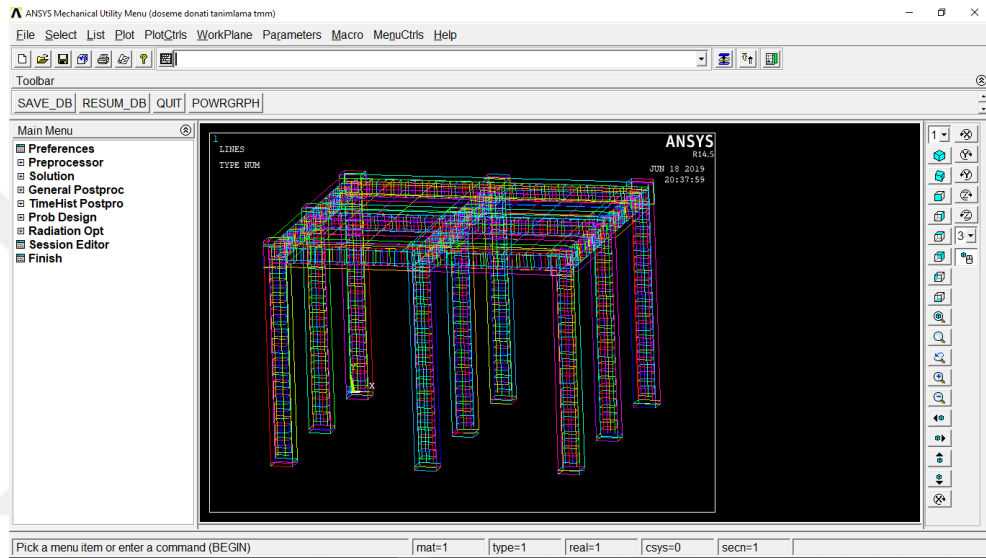


Şekil 2.94. Donatı ve Etriye Keypointlerinin Tanımlanması [75]

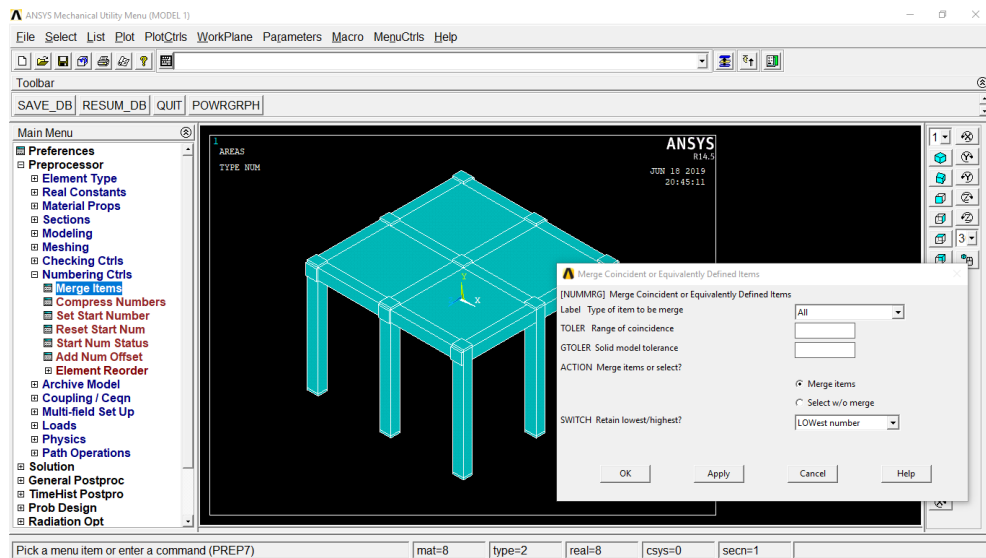
Select component manager menüsünden create componenti seçerek oluşturulan hacimleri betonarme volume olarak adlandırılmıştır. Aynı şekilde yükleme levhaları ve mesnet volumleri oluşturulmuş ve adlandırılması yapılmıştır. Boyuna donatı ve etriye yerlerinin belirlenmesi ve çizilebilmesi için, donatıların geçtiği tüm keypoint noktalarının x, y ve z koordinatları belirlenerek macro halinde yazılmış ve programa tanımlanmıştır. [75] Keypointler kullanarak aynı şekilde macro yazıp ve okutmak

suretiyle donatının geçeceği doğrultularda çizgiler oluşturulup donatı tanımlaması yapılmıştır. Tüm boyuna donatı ve etriyelerin olması gereken yerlere çizgi çizilerek paspayı miktarı dikkate alınarak tanımlanmıştır [70, 75].

Döşeme, kolon boyuna, kolon etriye, kiriş boyuna ve kiriş etriye donatıları tek tek çizilerek Select Component Manager menüsünden Create Componenti seçerek oluşturulan bileşenler isimlendirilerek gruplaştırılmıştır.

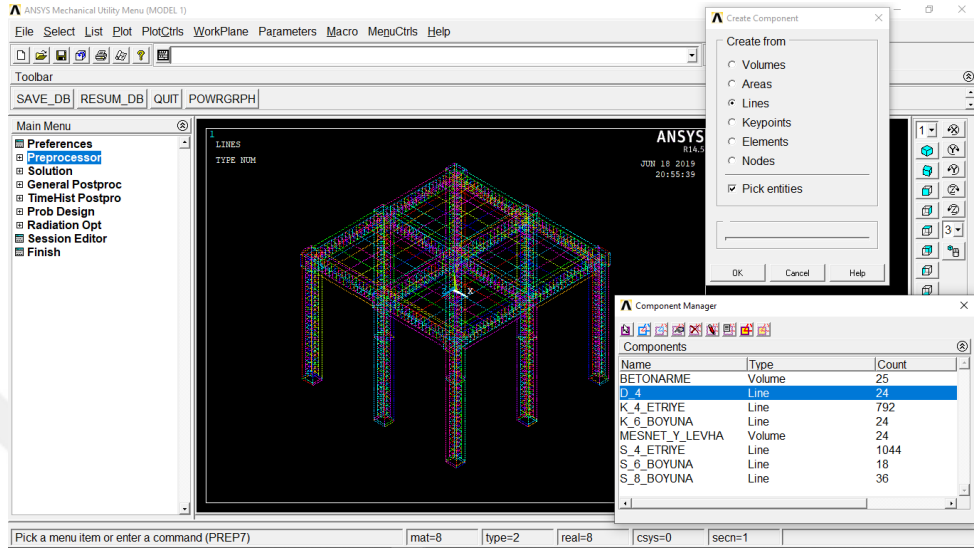


Şekil 2.95. Line Elemanlarını Kullanarak Donatıların Çizilmesi [71, 75]



Şekil 2.96. Merge Komutunu Kullanarak Hacimlerin Birbirine Noktalar Vasıtasıyla Bağlanması [71]

Numbering Ctrl's menüsü Merge Items komutu yardımı ile çizgiler ve hacim elemanları ortak noktalarından birbirine bağlanmıştır. Bu komut yardımı ile fazladan oluşan noktalar silinecek ve sadece komşu iki hacmi birbirine bağlayan bir tek nokta kalacaktır.



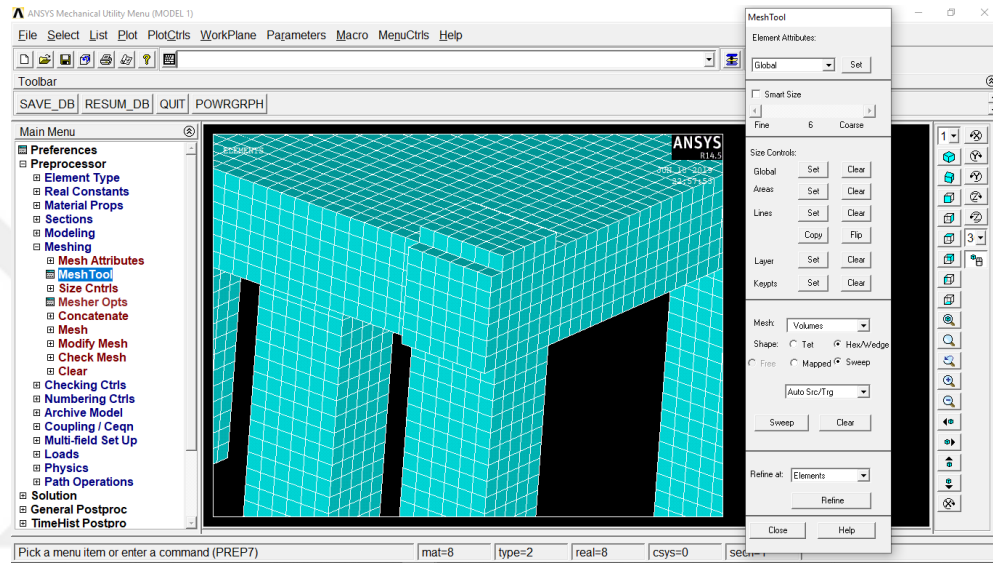
Şekil 2.97. Donatıların Atanması ve Gruplandırılması [71]

Çalışmada sırasıyla önce kolon $\varnothing 6$ ve $\varnothing 8$ boyuna donatıları, $\varnothing 4$ kolon etriyeleri, $\varnothing 6$ kiriş boyuna donatıları, $\varnothing 4$ kiriş etriyeleri ve son olarak $\varnothing 4$ döşeme donatıları seçilerek donatı atanması yapılmıştır. Select menüsü altındaki Component Manager sekmesi tıklandığında karşımıza daha önceden seçilen çizgilere göre donatı tanımlaması yapabileceğimiz bir ekran çıkar. Burada seçilen çizgilere donatı çapı ve cinsine göre isim verilerek gruplandırma yapılmıştır.

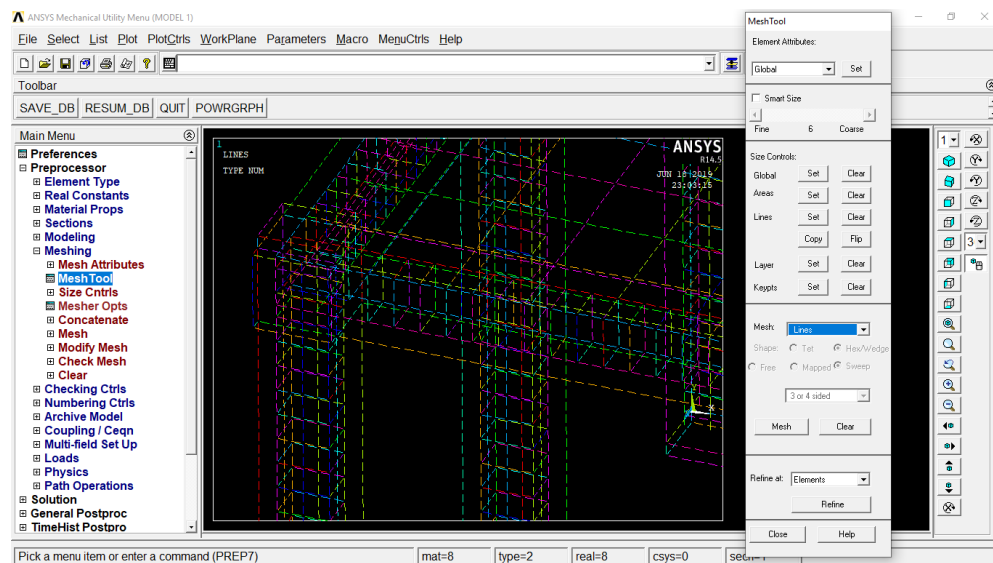
Çalışmadaki taşıyıcı sistem modellerinin, sonlu elemanlar yöntemine göre analizlerinin gerçekleştirilmesi için çok sayıda küçük parçalara bölünmeleri gerekmektedir. Bölme işlemi sayesinde sistemde birbirine bağlı birçok nokta oluşturulur. Buda gerçeğe yakın daha hassas sonuçlar elde etmemizi sağlayacaktır. Programda parçalara bölme işlemi mesh işlemi olarak adlandırılmaktadır. Mesh işlemi line, area ve volume nesnelerini uygun sonlu eleman nesnelere dönüştürür. Tek boyutlu bir elemanın mesh edilmesinden tek boyutlu bir eleman, üç boyutlu bir elemanın mesh edilmesinden yine üç boyutlu bir eleman elde edilecektir.

Mesh yapmak için Meshing menüsü Mesh Tool sekmesinin Element Attributes komutundan yararlanılır. Açılan menüden mesh için gerekli ayarlamalar yapılır. Bu çalışmada beton ve donatılar için uygun görülen mesh ebatı 25 mm'dir. [70, 73].

Mesh işlemi ile birlikte seçilen elemanlara malzemenin cinsi ve özellikleri de atanmaktadır. İlk olarak seçilen hacimlere mesh yapılmadan önce eleman cinsi SOLID65 olarak belirlenmiştir. Böylece mesh işlemi sonrasında seçilen tüm elemanlar beton özellikleri kazanmıştır. Sonrasında donatı çaplarına göre seçilen çizgilere daha önce LINK180 eleman olarak tanımlanan 3 farklı çap ve dayanımdaki donatı atanarak her bir cins donatı için ayrı ayrı mesh işlemi gerçekleştirilmiştir [70, 73].



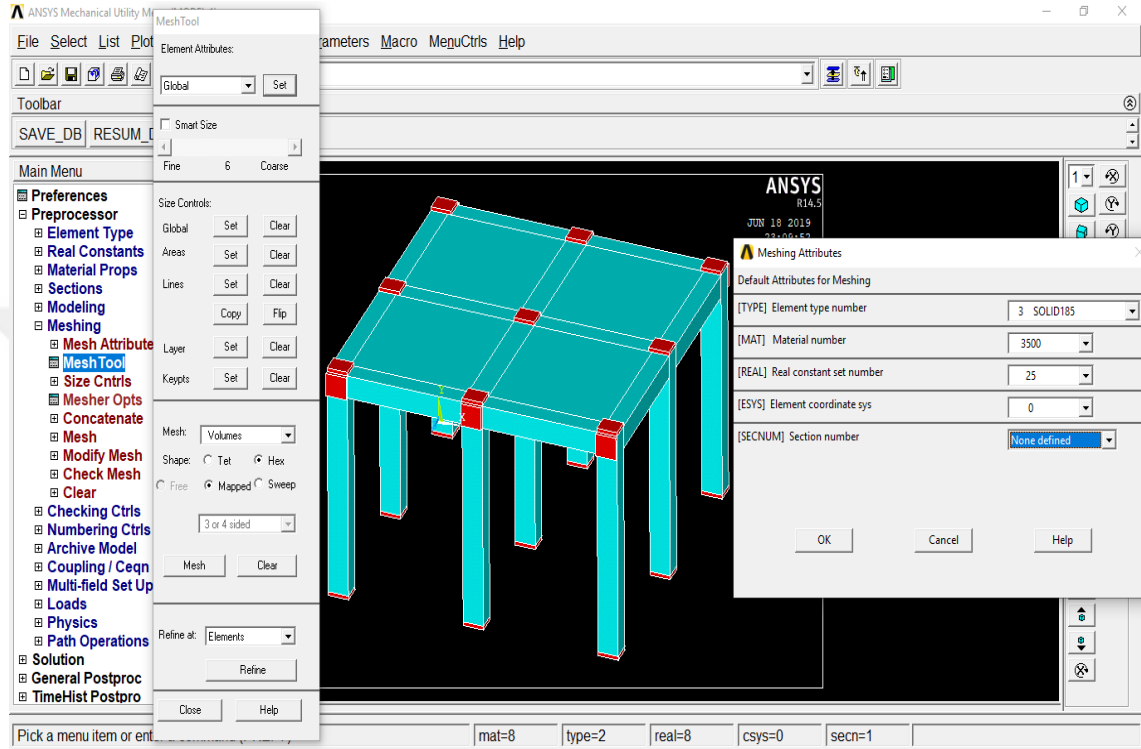
Şekil 2.98. Beton Elemanında Mesh İşlemi [71]



Şekil 2.99. Donatılarda Mesh İşlemi [71]

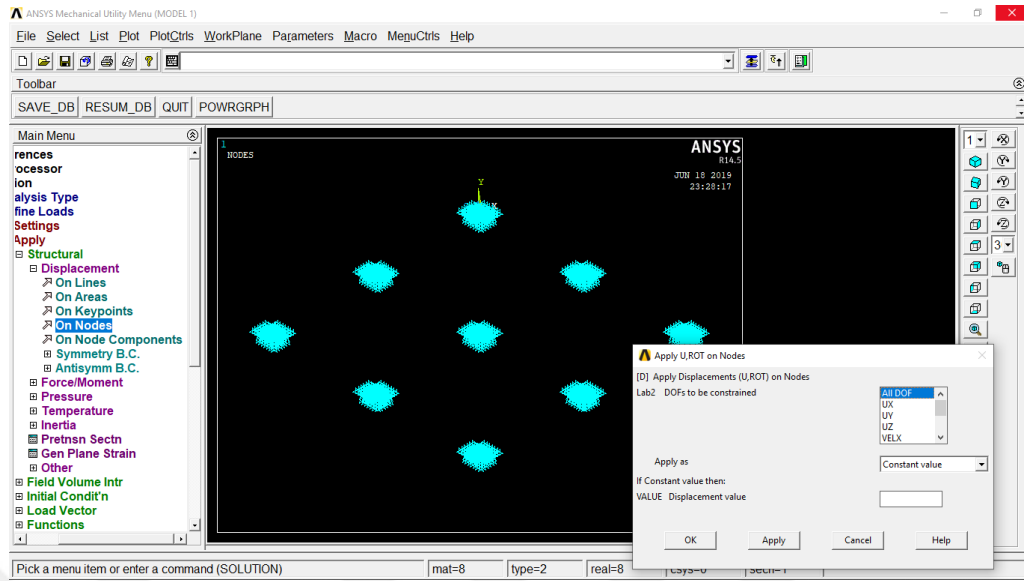
2.6.2. Yükleme ve Analiz

Preprocessor menüsü altında kullandığımız sekmeler yardımı ile deneysel modellerin nümerik olarak ANSYS programında modellenmesi tamamlanmıştır.



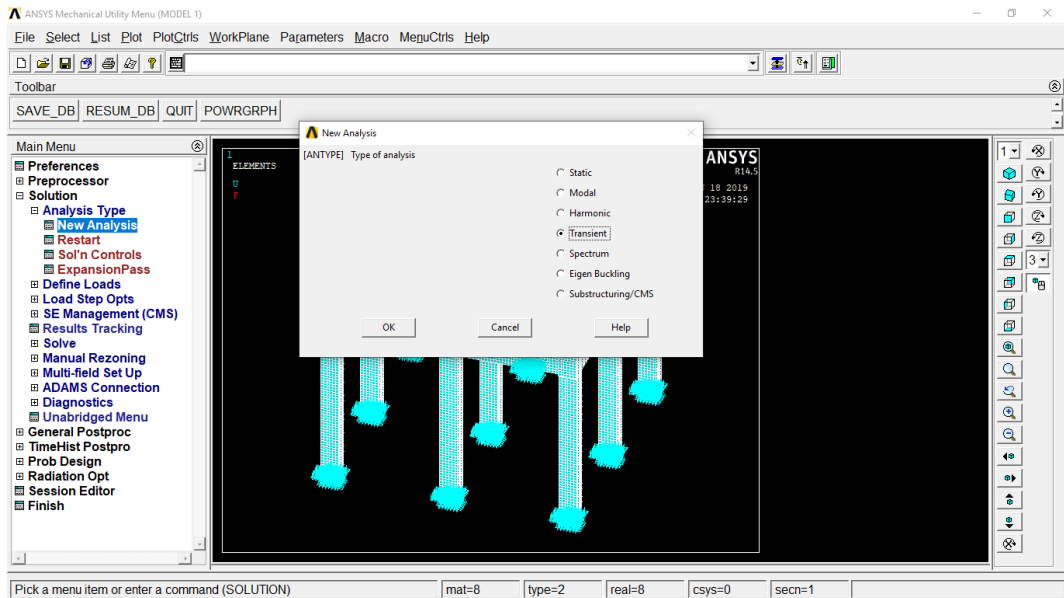
Şekil 2.100. Mesnetler ve Yükleme Levhaların Mesh İşlemi [71]

Solution menüsünden mesnetler ve yükleme ile ilgili bilgiler tanımlanacaktır. Böylece yapılan modellemeler analize hazır hale getirilecektir [70, 74]. İlk olarak SOLID185 malzemesinin kullanıldığı kolon temel mesnedi ile yatay ve düşey yükleme plakaları oluşturularak betonarme taşıyıcı sistemde olduğu gibi 25 mm ölçüsünde mesh işlemi gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı sistem altına programın analiz süresinin uzamaması amacıyla deneysel modellerde olduğu gibi radye temel yapılmamıştır. Kolon temel mesnetleri altına x, y, z yönlerinde dönme ve ötelenmelerin tutulduğu ankastre mesnetler tanımlanmıştır. Mesnetlerin tanımlanması için kolon altlarına yerleştirilen plakaların düğüm noktaları seçilmiştir. Define Loads menüsü Apply sekmesi Structural Displacement komutu yardımı ile ekrana gelen menüde tüm yönlerde deplasman ve dönmeler engellenerek ankastre mesnet ataması yapılmıştır.

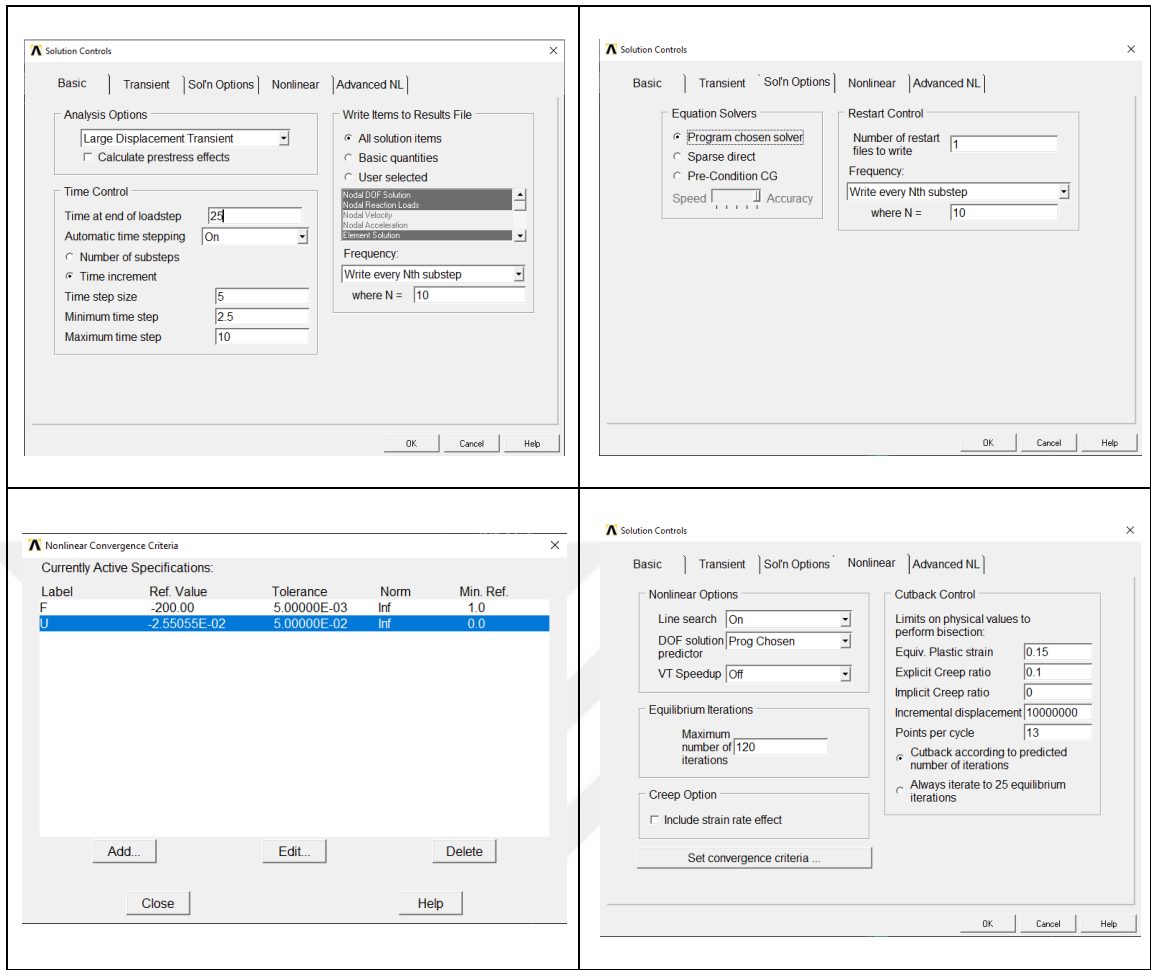


Şekil 2.101. Kolon Altı Temele Ankastre Mesnet Tanımlaması [71]

ANSYS programında tanımlanan yüklemeler laboratuvarında yapılan deneylerde olduğu gibi, tersinir tekrarlı yükleme şeklinde modellere etki ettirilmiştir. Bunun için Analysis Type menüsünden New Analysis sekmesi seçilerek karşımıza gelen ekrandan analiz tipi (Transient) dinamik yükleme olarak seçilmiştir. Çalışmada malzeme özelliklerinin nonlinear tanımlanması yapılan analizde nonlinear hale getirmektedir [70, 74].



Şekil 2.102. Analiz Tipinin Seçilmesi [71]



Şekil 2.103. Transient Analiz Ayarlamaları [71]

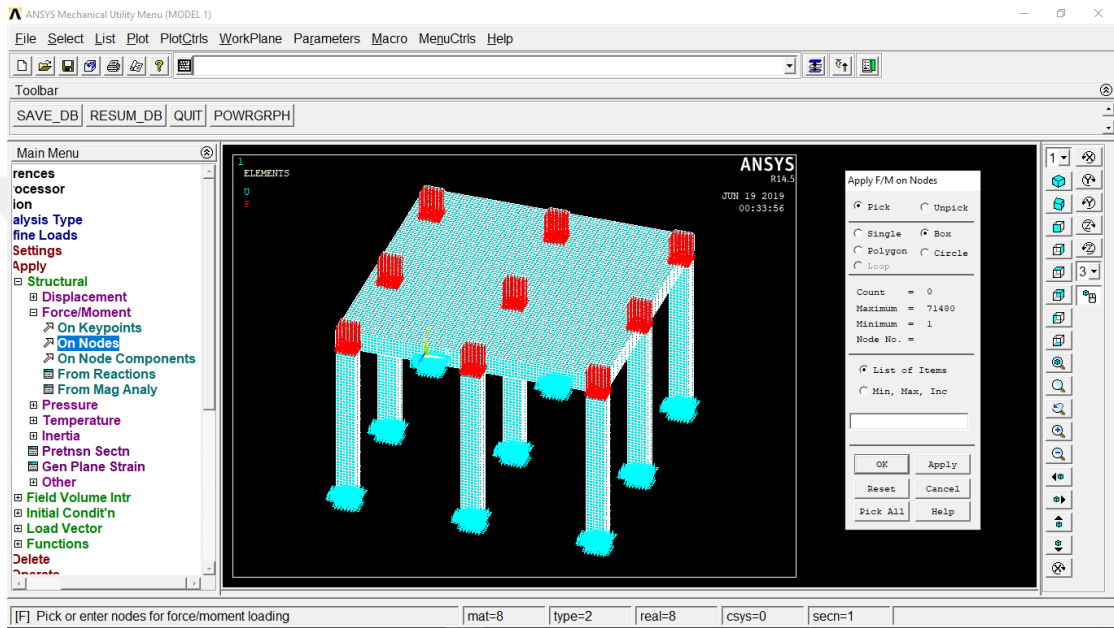
Analiz seçenekleri (Analysis Type) Sol'n Controls menüsü vasıtası ile ayarlanır. Bu bölümde yapılan ayarlamalar sonuçları ciddi biçimde tesir etmektedir. Nonlinear dinamik analizde kütle, hız, ivme gibi dinamik parametrelerle birlikte dinamik denge denklemleri kullanılır. Transient analizde bu parametreler dikkate alınmadan da analiz yapılabilir. Bunun için Transient sekmesindeki Transient Effect kutucuğu boş bırakılır. Böylece yapılan analiz statik analizle eşdeğer duruma gelir [70, 74].

Basic sekmesi analysis options açılır menüsünden large displacement transient seçeneğinin atanması geometrik olarak nonlinear davranışın esas alınmasını sağlamaktadır. Zamana bağlı olarak yüklerin artırılması durumunda zaman adımları yükleme aralıklarını tanımlar. Her bir yükleme adımı bitinceye kadar geçen süre (Time at en of load step) devam eden yükleme adımları için yük miktarı dikkate alınarak artırılmıştır. Her bir yükleme adımı için belirlenen toplam süre tanımlanan zaman adımı büyüklüğünce (Time step size) eşit parçalara bölünmektedir. Çözüm sırasında sonucun

yakınsaması için tanımlanan zaman adımının çok büyük olması durumunda program en küçük zaman adımı büyüklüğünü (Minimum time step) kullanarak tekrar sonucu yakınsamaya çalışır. Ters durumda tanımlanan zaman adımı gereğinden fazla büyük ise program tarafından en büyük zaman adımı büyüklüğü (Maximum time step) kullanılarak gereksiz işlem yükü ve zaman israfının önüne geçilmiş olur [70, 74]. Sonuç dosyasına tüm çözüm çıktıları her 10 artış adımında bir kaydedilecek şekilde ayarlanmıştır. Programın çözüm çıktılarına ait dosya büyüklüğü buradan yapılan ayarlamalara göre değişiklik göstermektedir. Transient sekmesinde yüklemenin tanımlanan zaman aralığı boyunca sabit tutulması Stepped Loading seçeneğinin seçilmesi ile tanımlanan zaman aralığında kademe kademe arttırılarak nihai değerine ulaşması ise, Ramped Loading seçeneğinin seçilmesi sağlanmaktadır. Bu çalışmada laboratuvar deneylerinde olduğu gibi yük zamana bağlı olarak arttırıldığı için Ramped Loading seçeneği seçilmiştir. Ayrıca, sönümleme katsayısı tüm Modeller için %5 olarak alınmıştır.

Sol'n Options sekmesinde denklem çözmek için kullanılacak yöntemin seçimi programa bırakılmıştır (Program Chosen Solver). Çözüm sırasında ANSYS programının Sparse Direct yöntemine göre denklemleri çözmeyi tercih ettiği görülmüştür. Nonlinear sekmesinde Line Search komutu aktif duruma getirilmiştir. Bu sayede ANSYS programı Newton Raphson yöntemine göre nonlineer çözümden elde ettiği verilere kök bulmada alternatif yollar arar. Çalışmada çözüm denklemlerinde maksimum iterasyon sayısı 120 olarak alınmıştır. İterasyon sayısı programın seçimine bırakıldığında genelde 20 iterasyon sonucunda analiz durmakta ve yakınsamama problemi ortaya çıkabilmektedir. Yakınsama kriterlerinin ayarlanmasında kuvvet ve deplasmana dayalı kontrol yapılmıştır. Sonuçların gerçeğe daha yakın olabilmesi için buradaki tolerans değerleri mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır. ANSYS ile yapılan analizlerde iterasyonlar yakınsama sağlanana kadar devam etmektedir. Yakınsama değeri ise ANSYS'te Toler*Value ile ifade edilmektedir. Toler değeri tez konusu çalışmalardaki analizlerde kuvvet ve moment için L2 normunda %0.5 olarak alınmakta, bu değere ek olarak L2 normuna bağlı yer değiştirmeler için de %5 değeri kabul edilmektedir. Value değeri ise dengelenmemiş kuvvetlerin karelerinin karekökleri toplamı ile bulunmaktadır. Kuvvet ve moment yakınsama ölçütleri farklı bir şekilde yeniden tanımlanırsa, deplasman kontrolünün yapılması gerekir. Çözümde dengenin sağlanması

açısından daima kuvvet yakınsama kontrolü tanımlanmalıdır. Genel olarak yakınsama ölçütlerini değiştirmek için Toler'i ayarlamak ve Value'ya varsayılan değerini vermek daha doğru bir uygulamadır. Min.Ref., Value için mümkün olan en düşük değeri temsil etmektedir. Min.Ref. (varsayılan 0.001) sayısal olarak sıfırı temsil etmelidir. Min.Ref. -1'e eşit olarak ayarlanırsa, asgari zorlama uygulanmaz. Çözüm sırasında herhangi bir Min.Ref. uyarı mesajını görmezden gelinmemelidir [70, 74].



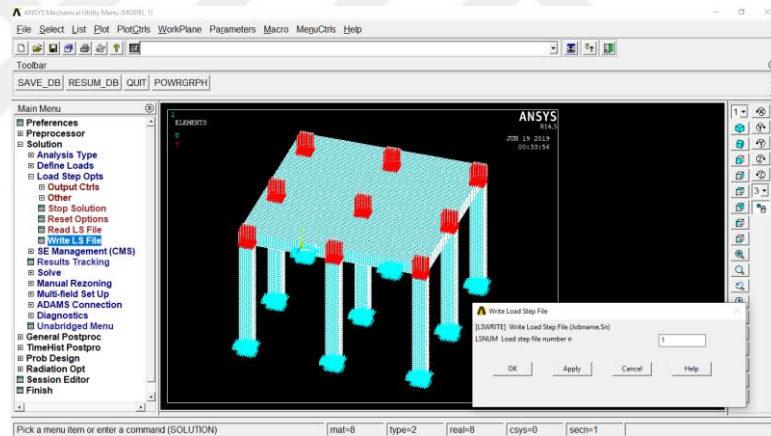
Şekil 2.104. Eksenel Yükleme [71]

Kolonlara eksenel yük taşıma kapasitesinin %10'u kadar yük ANSYS programında da tanımlanmıştır. Bunun için Define Loads menüsü Apply sekmesindeki Structural Force/Moment komutu yardımı ile seçilen node'lara yükler tanımlanır. Tanımlanan eksenel yükler Load Step Opts menüsü Write LS File sekmesi yardımı ile tekrarlı tersinir yüklemenin ilk yük adımı olarak kaydedilir.

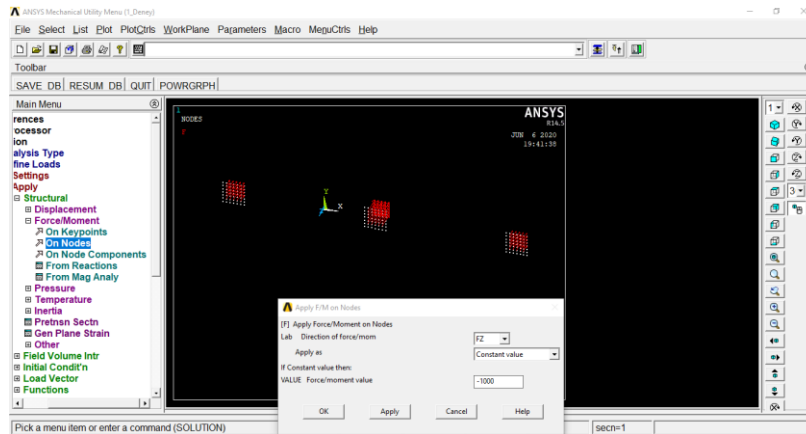
Deneysel çalışmalarda kullanılan taşıyıcı sistem modelleri ANSYS programında modellenerek statik analiz yapılmıştır. Çalışmalar sırasında yüklemeler deneysel çalışmalarda olduğu gibi tekrarlı tersinir olarak etki ettirilmiştir. Ancak eleman sayısının fazla olması ve programın bu kadar döngü çözümünde güçlük çekmesi sebebi ile her adımın itme ve çekme döngüsü ayrı ayrı yapılmıştır. Yüklemeler, akma yüküne kadar devam etmiştir. Model 1'de 10 döngü, Model 2'de 16 döngü, Model 3'te 17 döngü, Model 4'te 31 döngü ve Model 5'te 32 döngü olarak yükleme gerçekleştirilmiştir.

Eksenel yükler, deney süresince tüm yük adımlarında kolonlara ve perde uç bölgelerine etki ettirilmiştir. Yatay yükler ise her döngüde ilk olarak -Z yönünde itme kuvveti uygulayacak şekilde +2150 mm koordinatındaki düğüm noktalarına tanımlanmıştır. Write LS File komutu ile dosya düşey yüklemekten sonra 2.adım olarak kaydedilmiştir. Böylece Model 1'in akma itme yüküne kadar çözüm yapılmış, her yük adımına karşı oluşan orta nokta deplasmanları tespit edilmiştir.

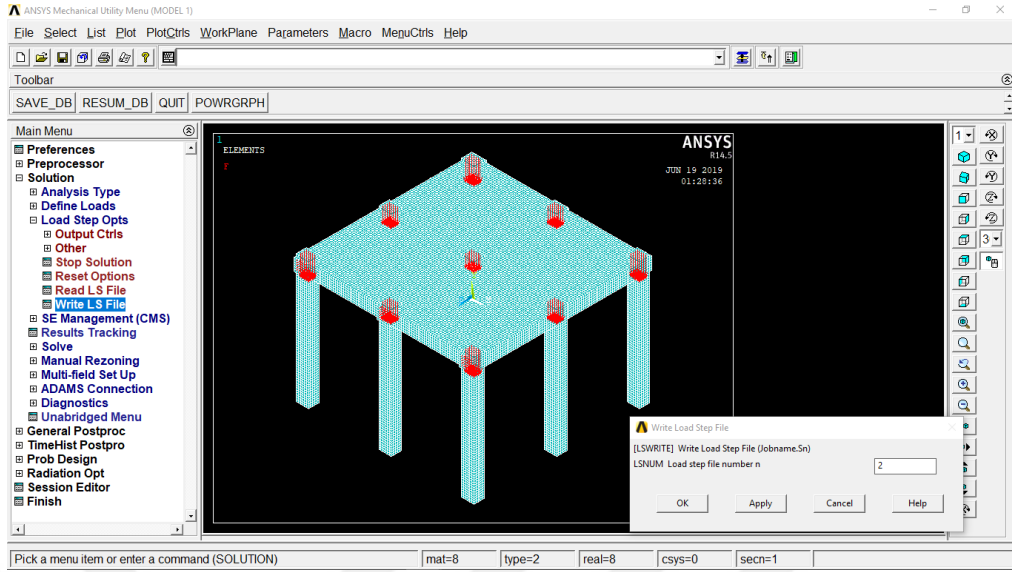
Başka bir dosyada aynı model için eksenel yük değeri load step file number 1 olarak kaydedilip taşıyıcı sistemin karşı kenarındaki -25 mm koordinatında yatay yükler +Z yönünde çekme kuvveti uygulayacak şekilde düğüm noktalarına tanımlanmıştır. Write LS File komutu yardımı ile dosya çekmenin 2.adımı olarak kaydedilerek analiz yapılmıştır. Solution menüsünden Solve sekmesi altındaki From LS Files komutu çalıştırılarak analiz yapılacak ilk ve son adım numarası programa girilmiştir.



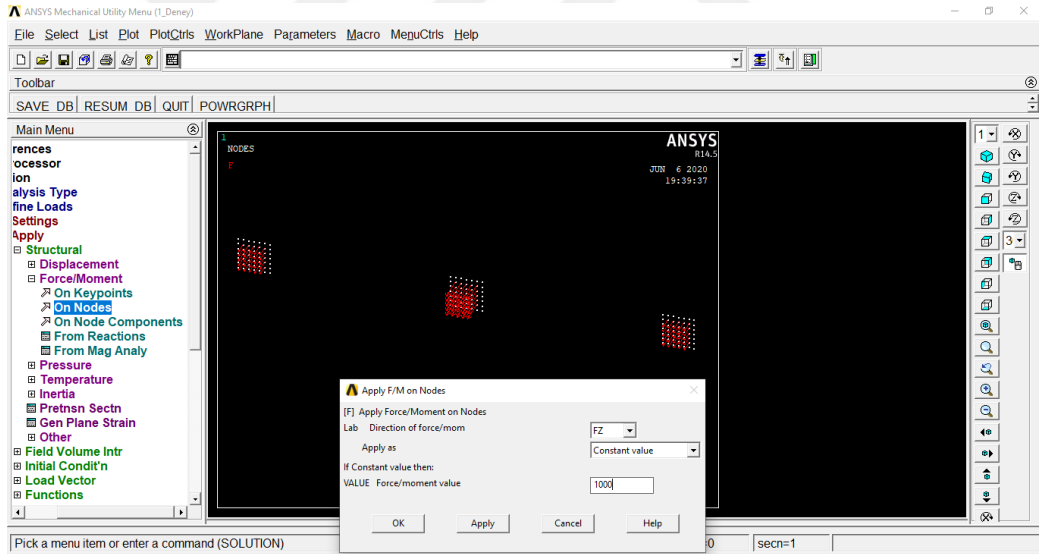
Şekil 2.105. Düşey Yük Adımının Adım 1 Olarak Kaydedilmesi [71]



Şekil 2. 106. Model-1 İtme Yatay Yükleme [71]

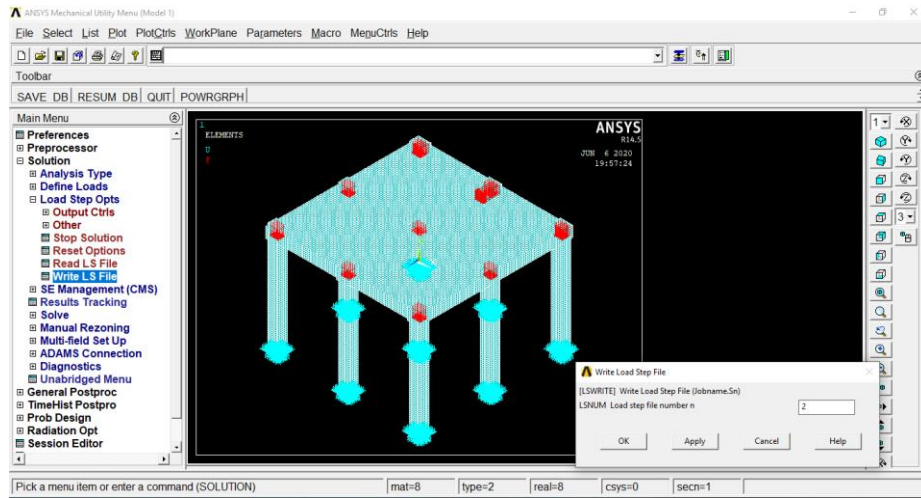


Şekil 2.107. Model-1 İtme Yatay Yük Adımının Kaydedilmesi [71]

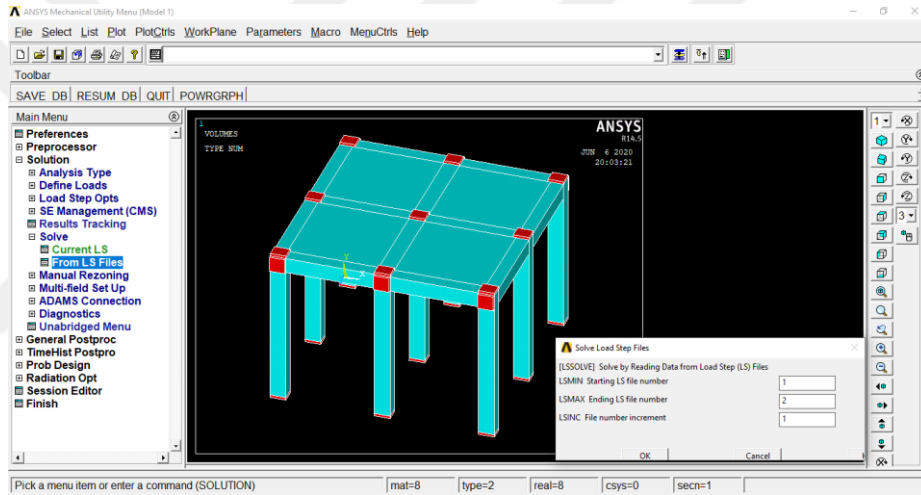


Şekil 2. 108. Model-1 Çekme Yatay Yükleme [71]

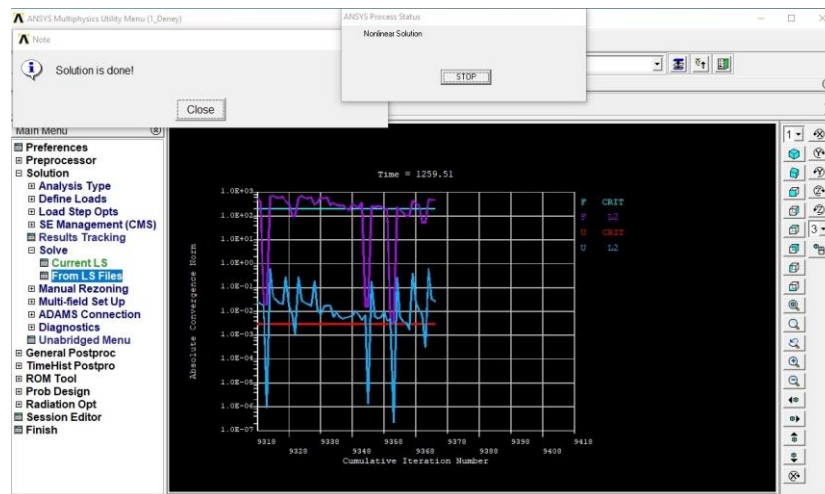
Tanımlanan analiz sırasına göre, ANSYS programı sırası ile itme ve çekme yüklerine karşı deplasman değerleri hesaplanmıştır. Aşağıdaki şekilde 2.adımda analiz devam ederken alınmış bir ekran görüntüsü görülmektedir. Yüklemede, deneysel çalışmada maksimum akma yükü tek seferde itme ve çekmede tanımlanmış çözümü yapılabilmiştir [70, 74].



Şekil 2. 109. Model-1 Çekme Yatay Yük Adımının Kaydedilmesi [71]

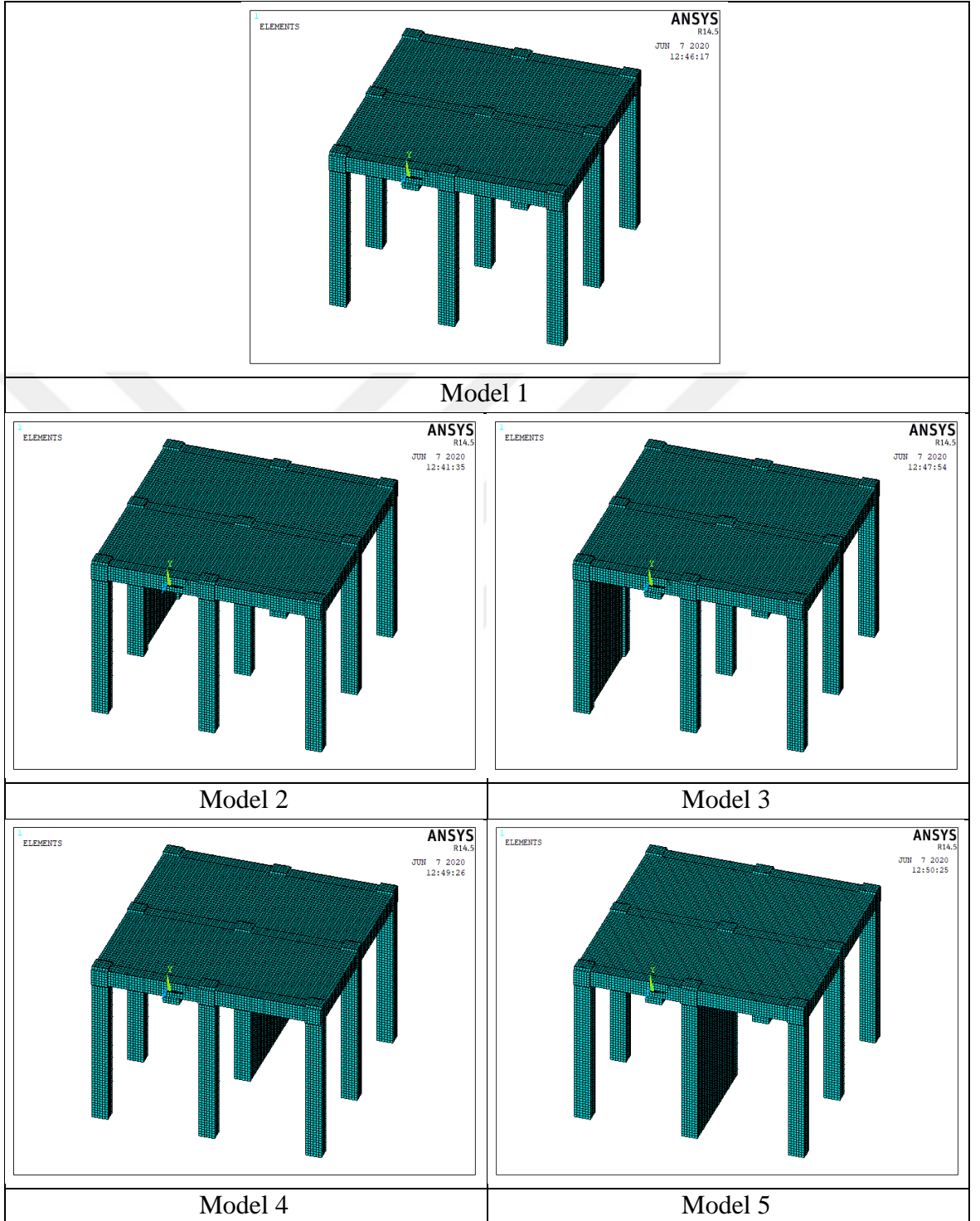


Şekil 2. 110. Analizin Başlatılması [71]



Şekil 2. 111. Analizin Süreci [71]

Tüm deneysel çalışmalara ait simülasyonlar şekil 2.112’de olduğu gibidir.



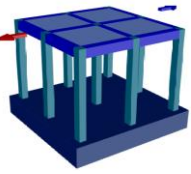
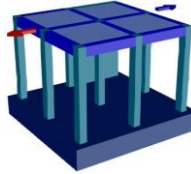
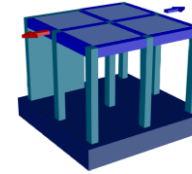
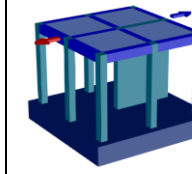
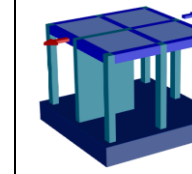
Şekil 2.112. Nümerik Deneysel Modellerin Simülasyonları

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Deneysel Bulgular

Erciyes Üniversitesi Melikgazi Belediyesi Deprem Araştırma Laboratuvarında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar bu bölümde verilmiştir. Toplam 5 adet deney yapılmıştır. Deneyler arasında değişken olan parametreler perde konumudur. Buna göre başta taşıyıcı sistem ve burulma davranışı göz önünde bulundurularak sonuçlar incelenmiştir. Tablo ve grafiklerde isimlendirme deney numarasına göre yapılmıştır.

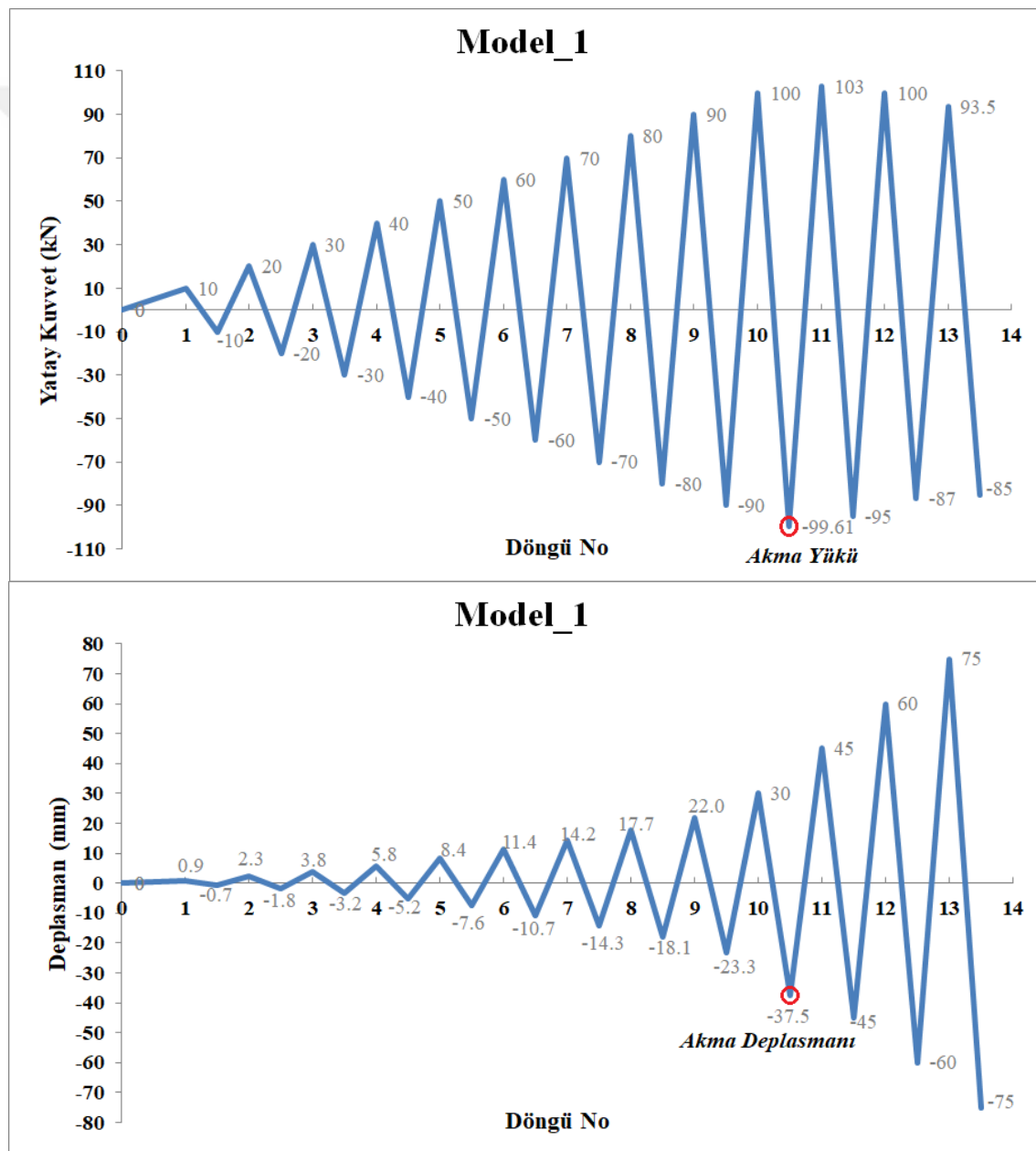
1. Deney	2. Deney	3. Deney	4. Deney	5. Deney
				
Referans Model (Model 1)	Perdeli Model (Model 2)	Perdeli Model (Model 3)	Perdeli Model (Model 4)	Perdeli Model (Model 5)

Şekil 3.1. Deneysel Modellerin Adlandırılması

Deneylerde yüklemeler yük kontrollü başlayıp, akma gerçekleşikten sonra deplasman kontrollü olarak devam etmiştir. Son döngü yatay yükün, akma yükünden %15'den fazla oranda düştüğü değer olarak esas alınmıştır. Akma gerçekleşene kadar her döngü sonrasında yük 10 kN artırılmıştır. Daha sonra deplasman kontrollü yüklemeye geçilerek her döngüde yer değiştirme ± 15 mm artışla toplam 75 mm deplasmanda deneyler sonlandırılmıştır.

3.1.1. Deneysel Yükleme Programları

Referans numune (Model 1) deneyinde akma 10. çekme döngüsünde meydana gelmiştir. Akma yükü yaklaşık 99.61 kN, akma deplasmanı ise yaklaşık 37.5 mm'dir. Akma gerçekleştiikten sonra 11. döngüde yük kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Toplamda 13 döngü sonunda δ/H oranı 0.05 ve maksimum yük yaklaşık %15 oranında değer kaybetmiştir. Perdesi bulunmayan 1. deneye ait yükleme geçmişi aşağıda verilmiştir.



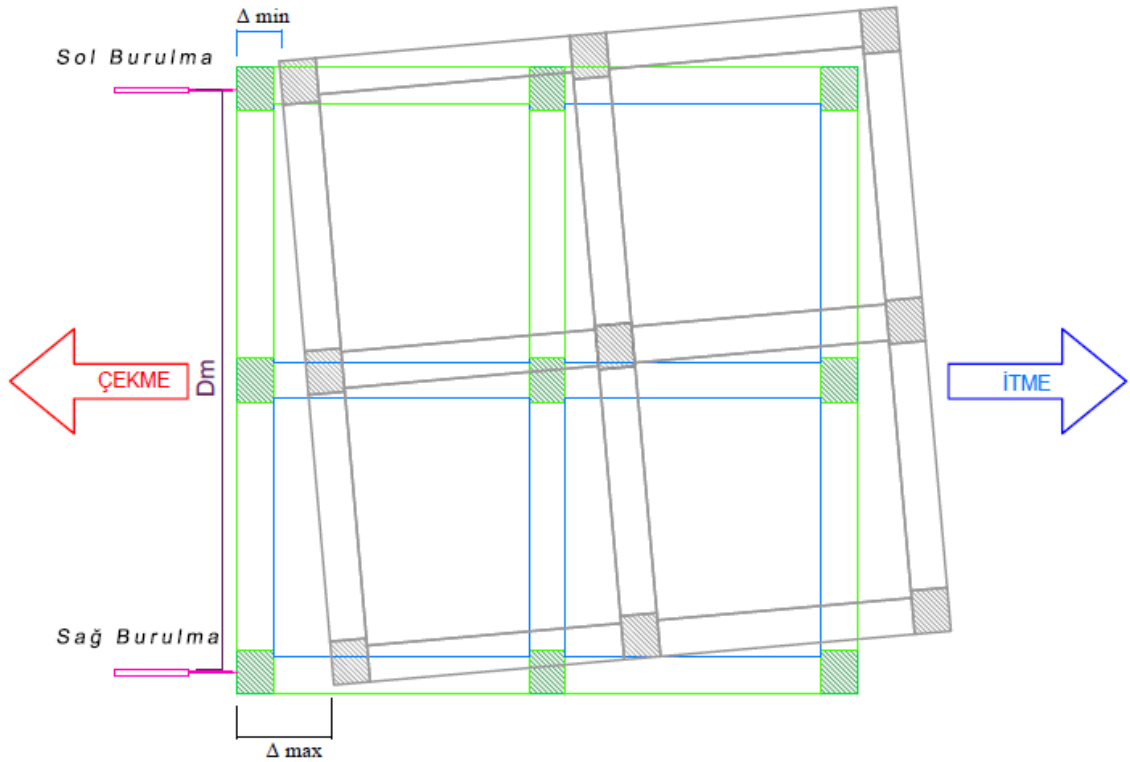
Şekil 3.2. Model 1 Yatay Yük ve Tepe Deplasmanına Göre Yükleme Geçmişi

$$\theta_{burulma} = \tan^{-1} \frac{\text{Sağ burulma P. Cetvel} - \text{Sol burulma P. Cetvel}}{\text{Okumalar arasındaki mesafe}} \quad (3.1)$$

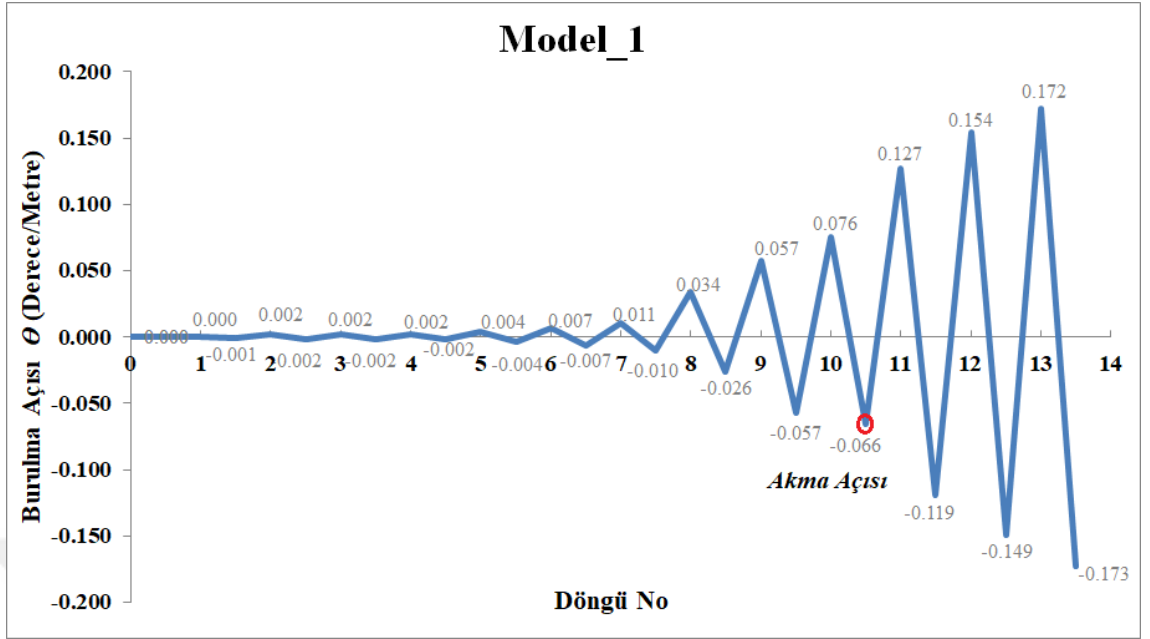
$$\Delta_{ort.} = \frac{\Delta_{max} + \Delta_{min}}{2} \quad (3.2)$$

$$\eta_{bi} = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ort.}} \quad (3.3)$$

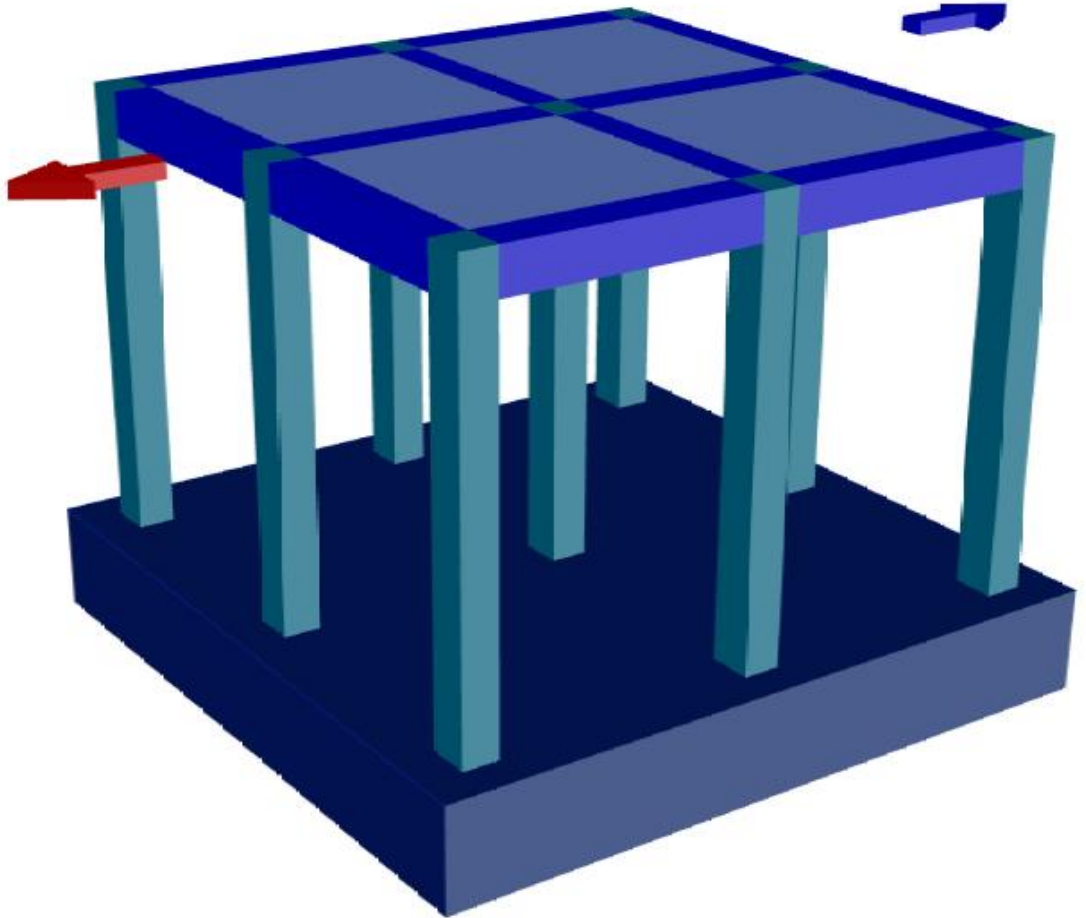
Yukarıdaki denklemler ile Model 1'e yerleştirilen sağ ve sol burulma okumalarından yararlanarak deneyin her adımında itme ve çekmedeki burulma açısı bulunmuştur. İki potansiyometre arasındaki mesafe ($D_m=2m$) olarak hesaba katılmıştır. Burulma açısının pozitif olması modelin saat akrebi yönünde döndüğünü göstermektedir. Daha sonra her döngü sonunda itme ve çekmede Model 1'de oluşan Burulma Düzensizliği Katsayısı (η_{bi}) bulunmuştur. Yüklemenin itme ve çekme adımlarının her birinde saptanan Burulma Düzensizliği Katsayısı Türk Bina Deprem yönetmeliğinin belirlediği 1.2 sınırını aşmadığı tespit edilmiştir. Böylece Model 1 de burulma düzensizliği bulunmadığı görülmüştür.



Şekil 3.3. Model 1 Burulma Açısı Ölçmek İçin P. Cetvel Yerleşimi

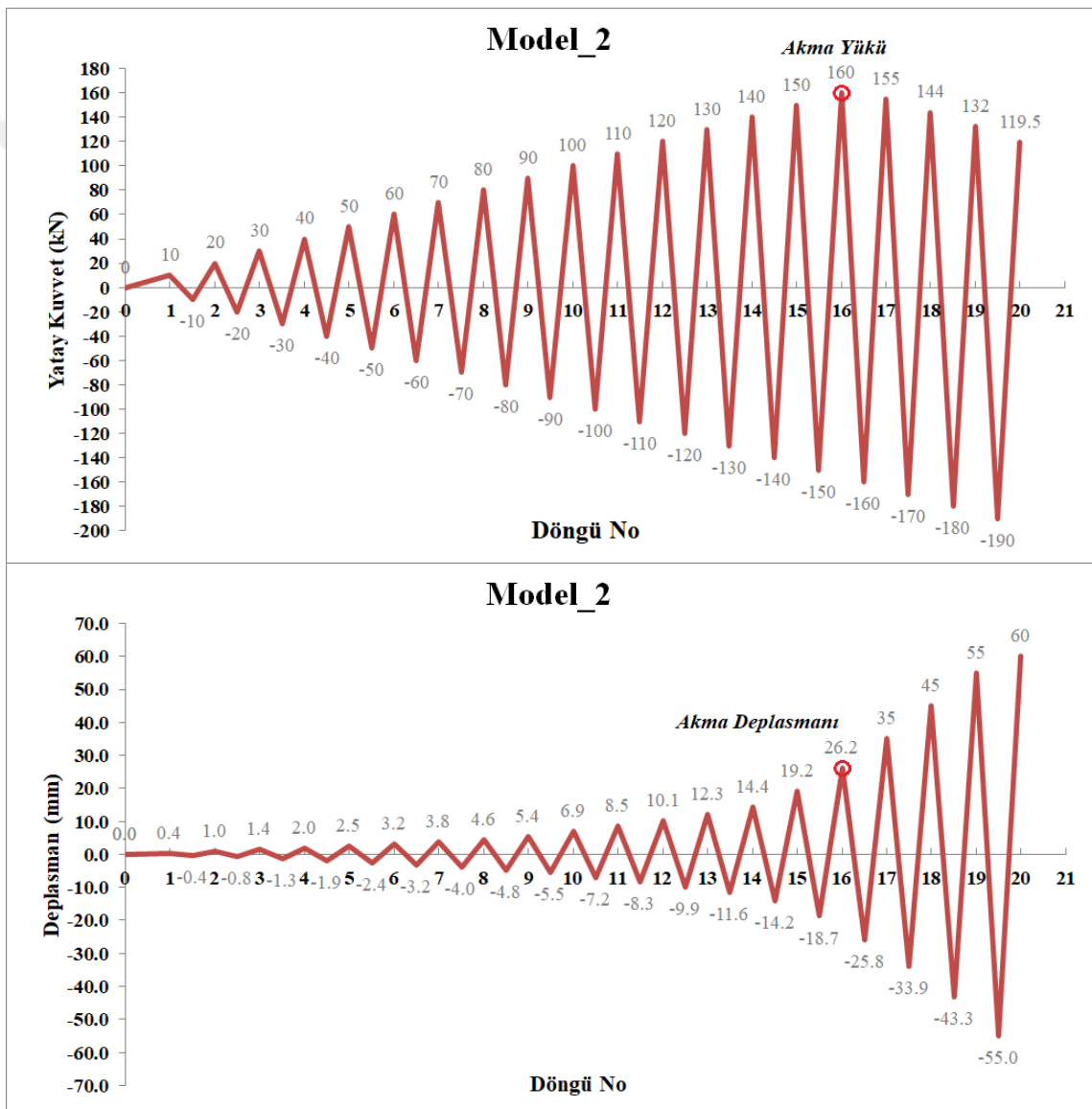


Şekil 3.4. Model 1 Burulma Açısına Göre Yükleme Geçmişi



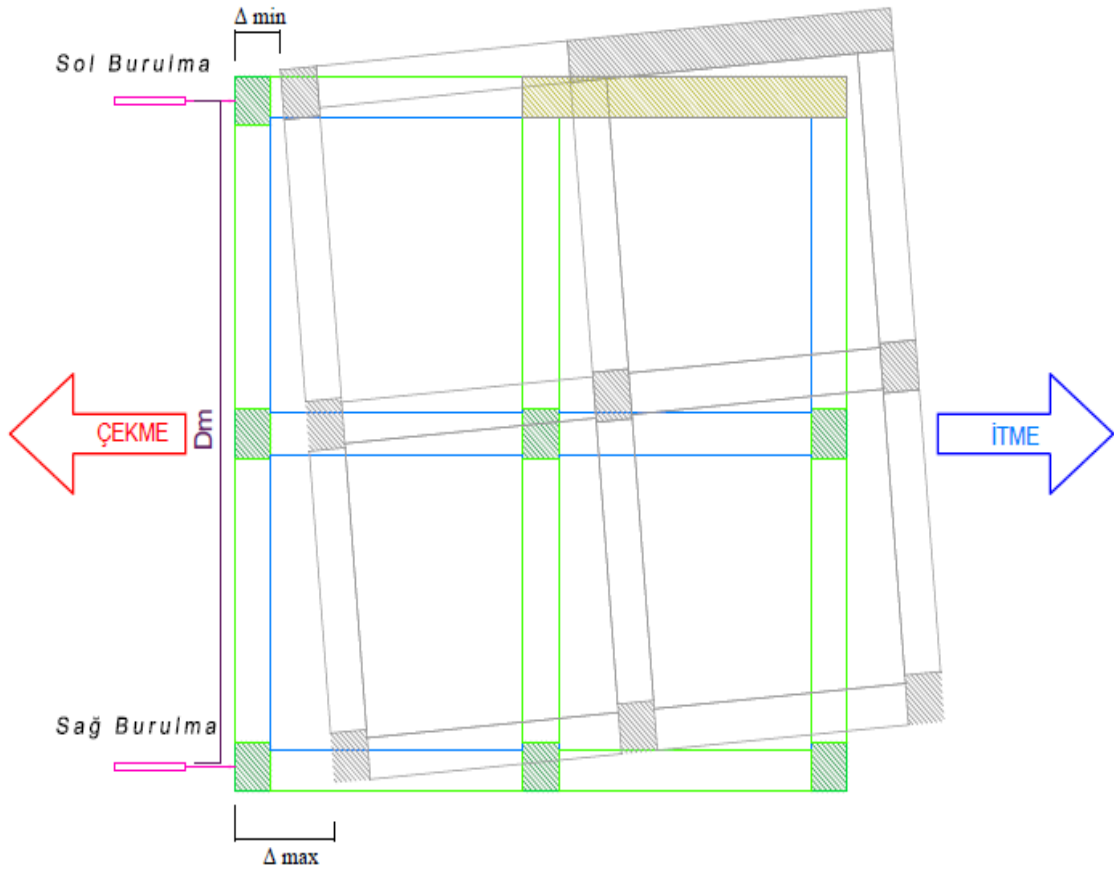
Şekil 3.5. Model 1 (Referans Model) Genel Görünümü

Perdeli numune (Model 2) deneyinde akma 16. itme döngüsünde meydana gelmiştir. Akma yükü yaklaşık 160 kN, akma deplasmanı ise yaklaşık 26.2 mm civarındadır. Akma gerçekleştikten sonra 17. döngüde yük kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Toplamda 20 döngü yapılmıştır. 20. döngünün itme yükü sonunda deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda δ/H oranı 0.04 ve maksimum yük yaklaşık %25.3 oranında değer kaybetmiştir. Perdesi dış aksta bulunan 2. deneye ait yükleme geçmişi aşağıda verilmiştir.

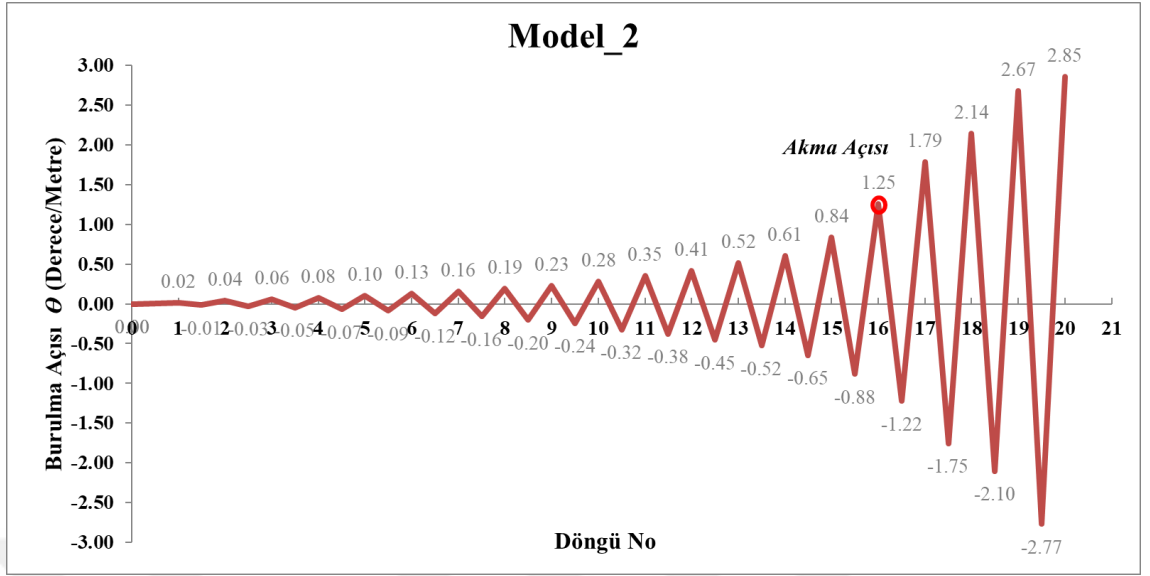


Şekil 3.6. Model 2 Yatay Yük ve Tepe Deplasmanına Göre Yükleme Geçmişi

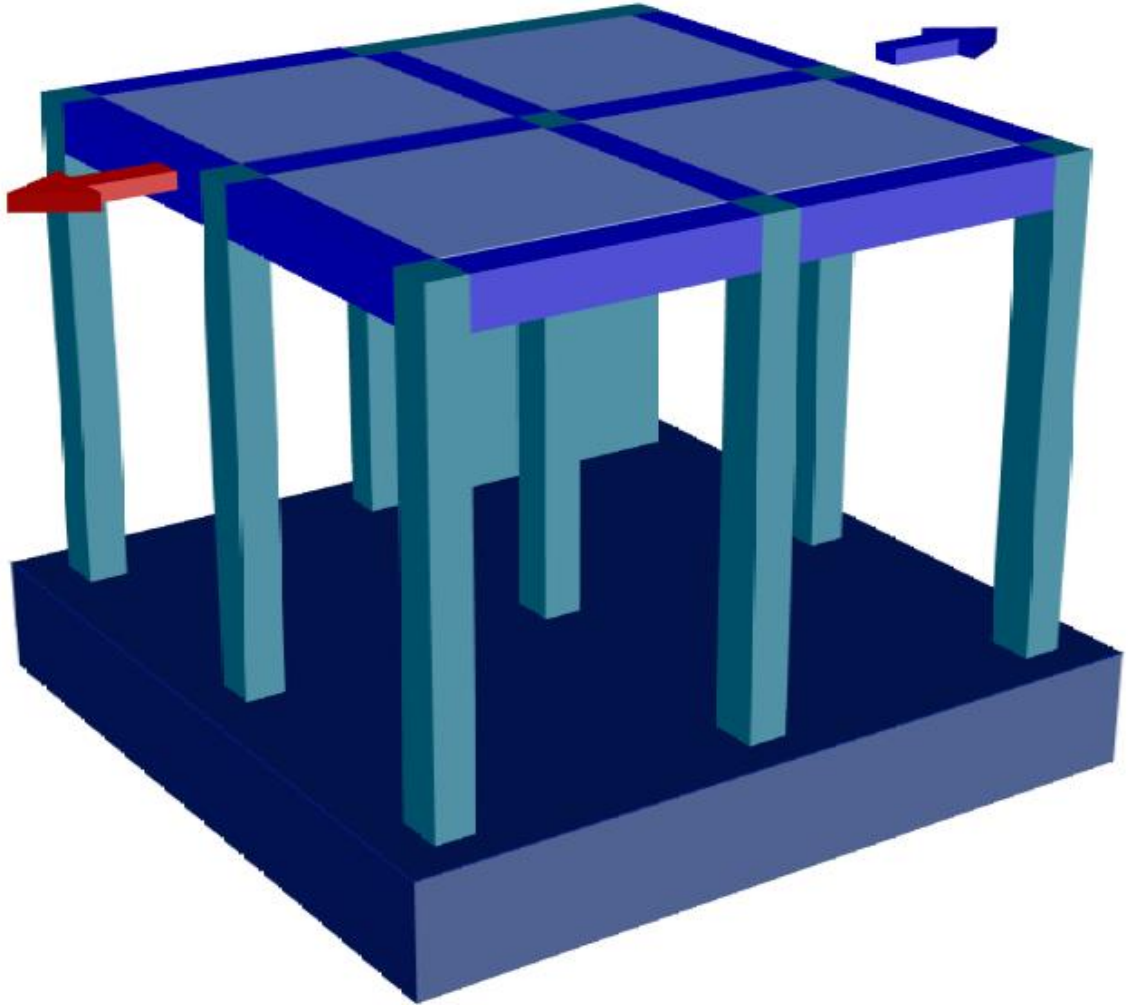
Burulma denklemleri kullanarak Model 2 için sağ ve sol burulma okumalarından yararlanarak deneyin her adımında itme ve çekmede burulma açısı bulunmuştur. İki potansiyometre arasındaki mesafe ($D_m=2m$) olarak hesaba katılmıştır. Burulma açısının pozitif olması modelin saat akrebi yönüne döndüğünü göstermektedir. Daha sonra her döngü sonunda itme ve çekmede Model 2’de oluşan Burulma Düzensizliği Katsayısı (η_{bi}) bulunmuştur. Yüklemenin itme ve çekme adımlarının her birinde saptanan Burulma Düzensizliği Katsayısı Türk Bina Deprem yönetmeliğinin belirlediği 1.2 sınır ile karşılaştırılmış ve bu katsayının her döngünün çekme yüklemesinde sınırı aştığı tespit edilmiştir. Böylece Model 2 için daha yüklemenin ilk adımlarından itibaren döngülerde burulma düzensizliği oluşmuştur.



Şekil 3.7. Model 2 Burulma Açısı Ölçmek İçin P. Cetvel Yerleşimi

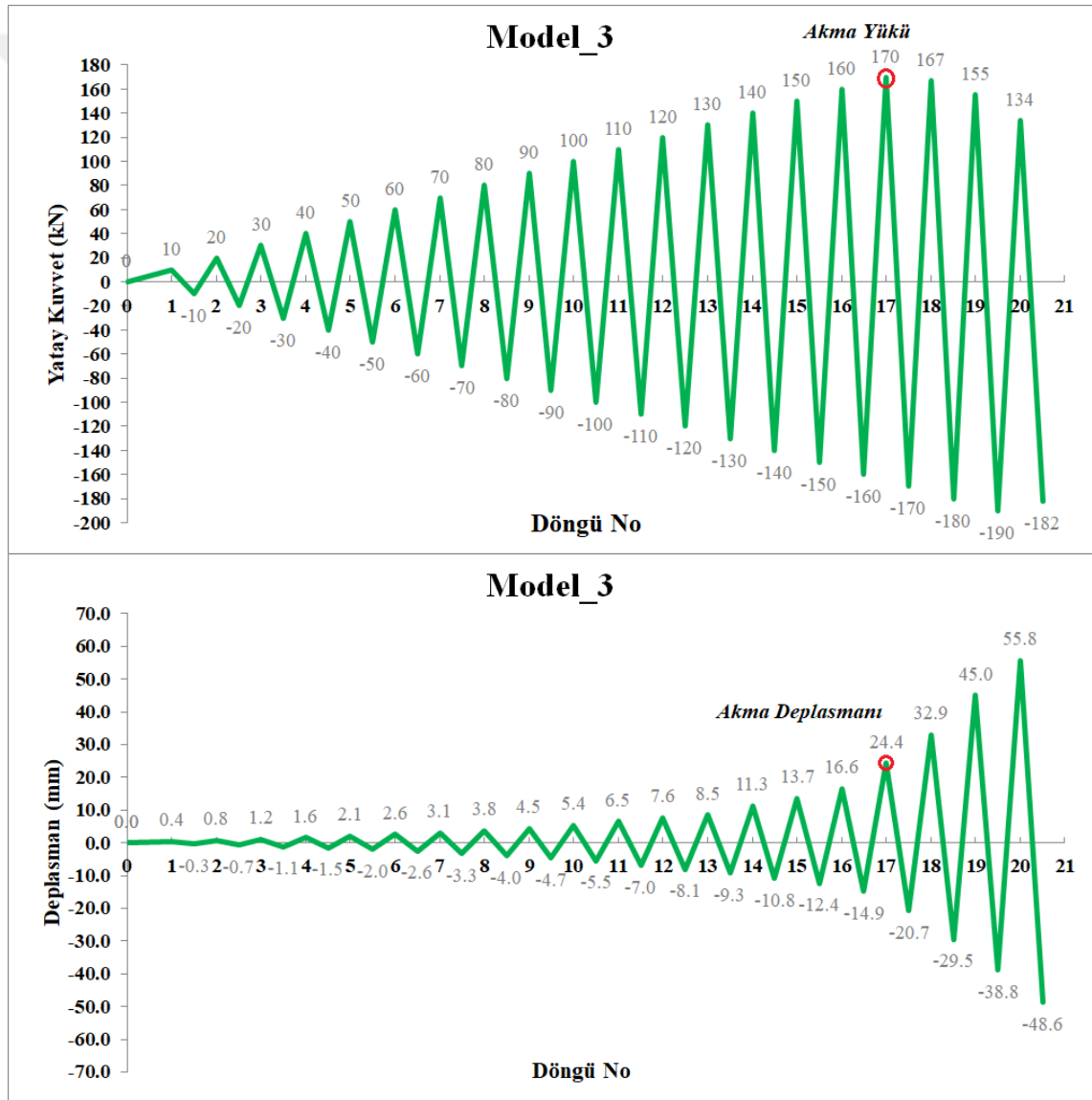


Şekil 3.8. Model 2 Burulma Açısına Göre Yükleme Geçmişi



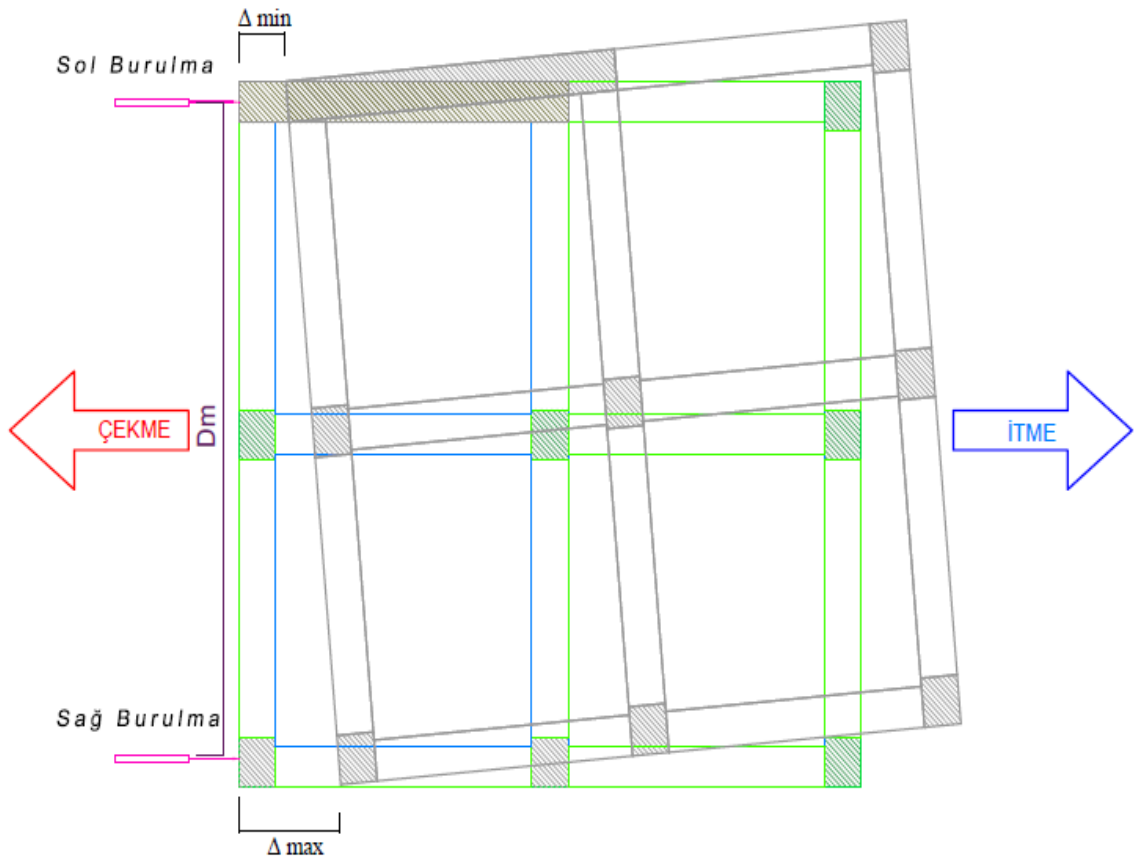
Şekil 3.9. Model 2 Genel Görünümü

Perdeli numune (Model 3) deneyinde akma 17. itme döngüsünde meydana gelmiştir. Akma yükü yaklaşık 170 kN, akma deplasmanı ise yaklaşık 24.2 mm civarındadır. Akma gerçekleştikten sonra 18. döngüde yük kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Toplamda 20 döngü yapılmıştır. 20. döngünün çekme yükü sonunda deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda δ/H oranı 0.04 ve maksimum yük yaklaşık %20 oranında değer kaybetmiştir. Perdesi dış aksta bulunan 3. deneye ait yükleme geçmişi aşağıda verilmiştir.

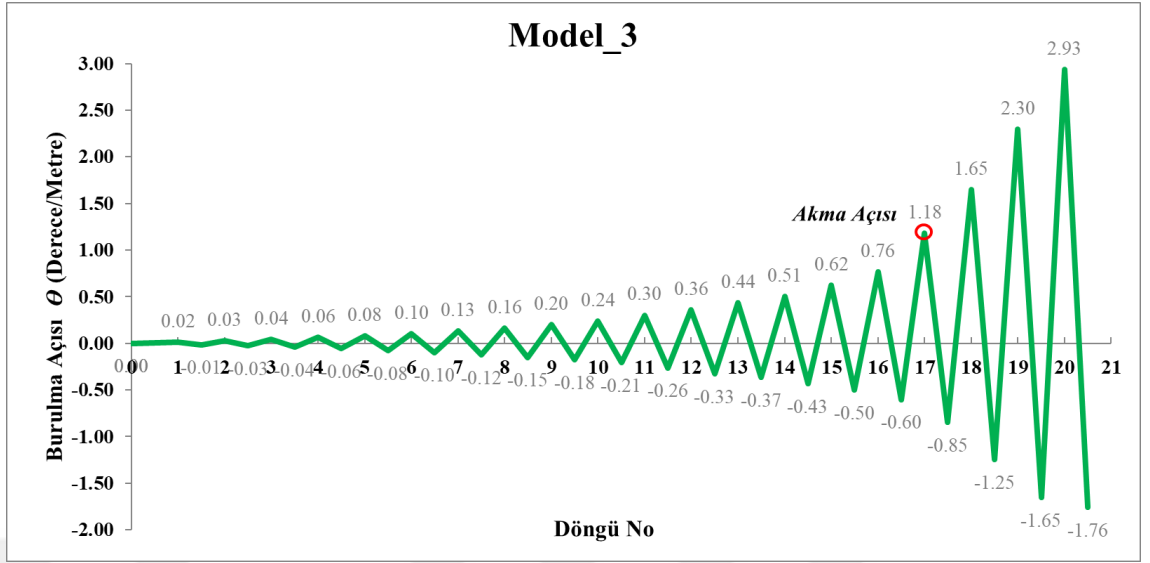


Şekil 3.10. Model 3 Yatay Yük ve Tepe Deplasmanına Göre Yükleme Geçmişi

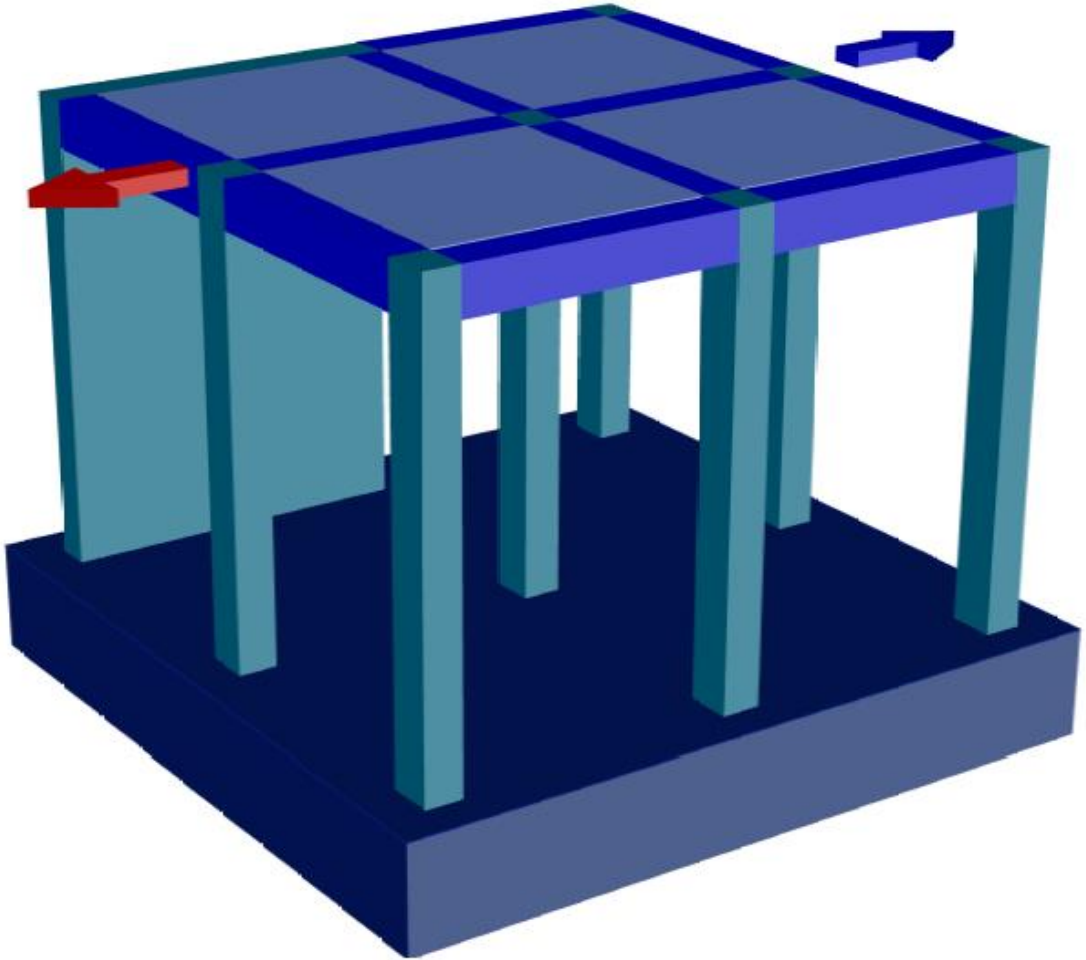
Burulma denklemleri kullanarak Model 3 iç sağ ve sol burulma okumalarından yararlanarak deneyin her adımında itme ve çekmede burulma açısı bulunmuştur. İki potansiyometre arasındaki mesafe ($D_m=2m$) olarak hesaba katılmıştır. Burulma açısının pozitif olması modelin saat akrebi yönüne döndüğünü göstermektedir. Daha sonra her döngü sonunda itme ve çekmede Model 3'te oluşan Burulma Düzensizliği Katsayısı (η_{bi}) bulunmuştur. Yüklemenin itme ve çekme adımlarının her birinde saptanan Burulma Düzensizliği Katsayısı Türk Bina Deprem yönetmeliğinin belirlediği 1.2 sınır ile karşılaştırılmış ve bu katsayının her döngünün çekme yüklemesinde sınırı aştığı tespit edilmiştir. Böylece Model 3 de yüklemenin ilk adımlarından itibaren döngülerde burulma düzensizliği oluşmuştur.



Şekil 3.11. Model 3 Burulma Açısı Ölçmek İçin P. Cetvel Yerleşimi

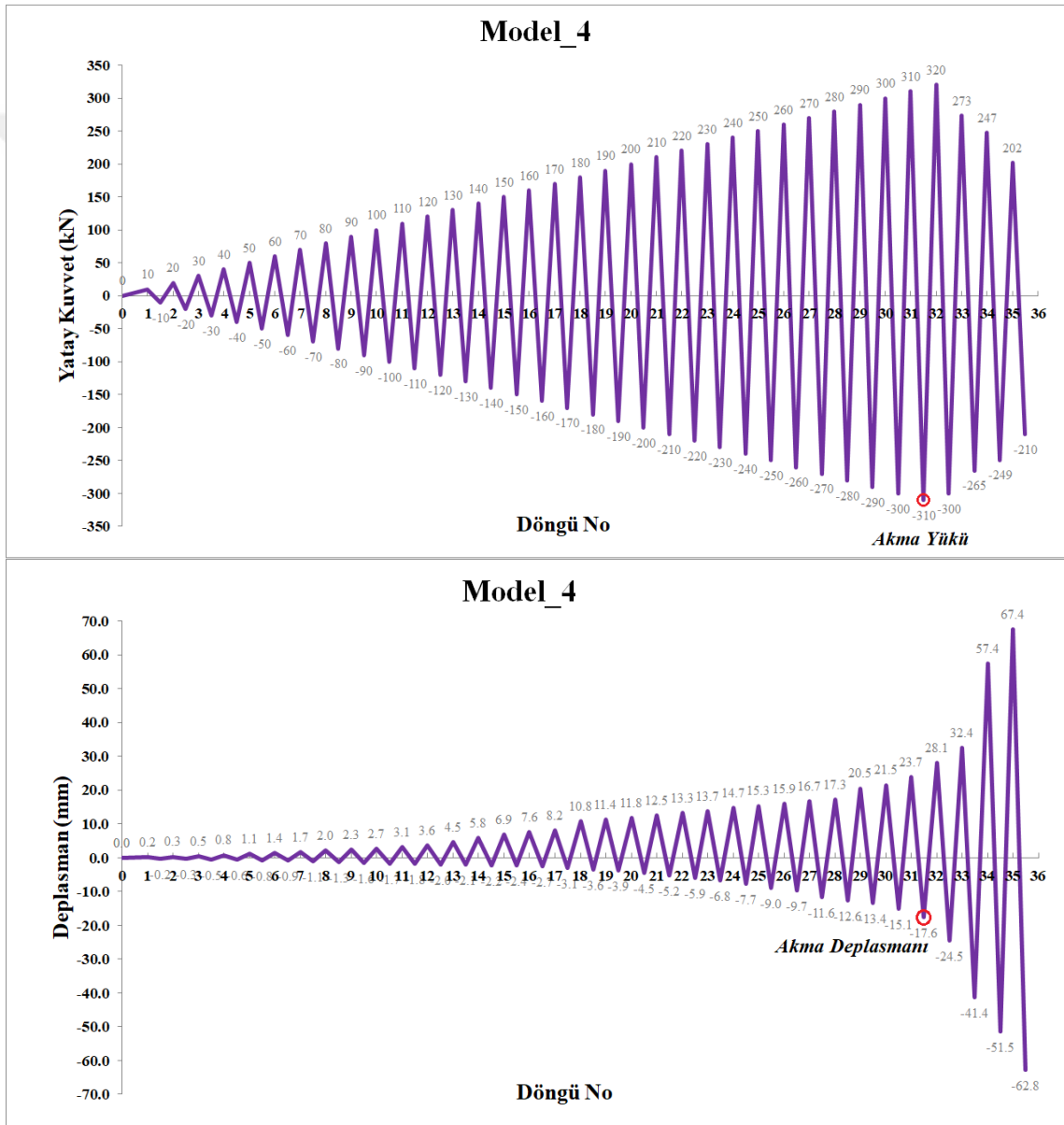


Şekil 3.12. Model 3 Burulma Açısına Göre Yükleme Geçmişi



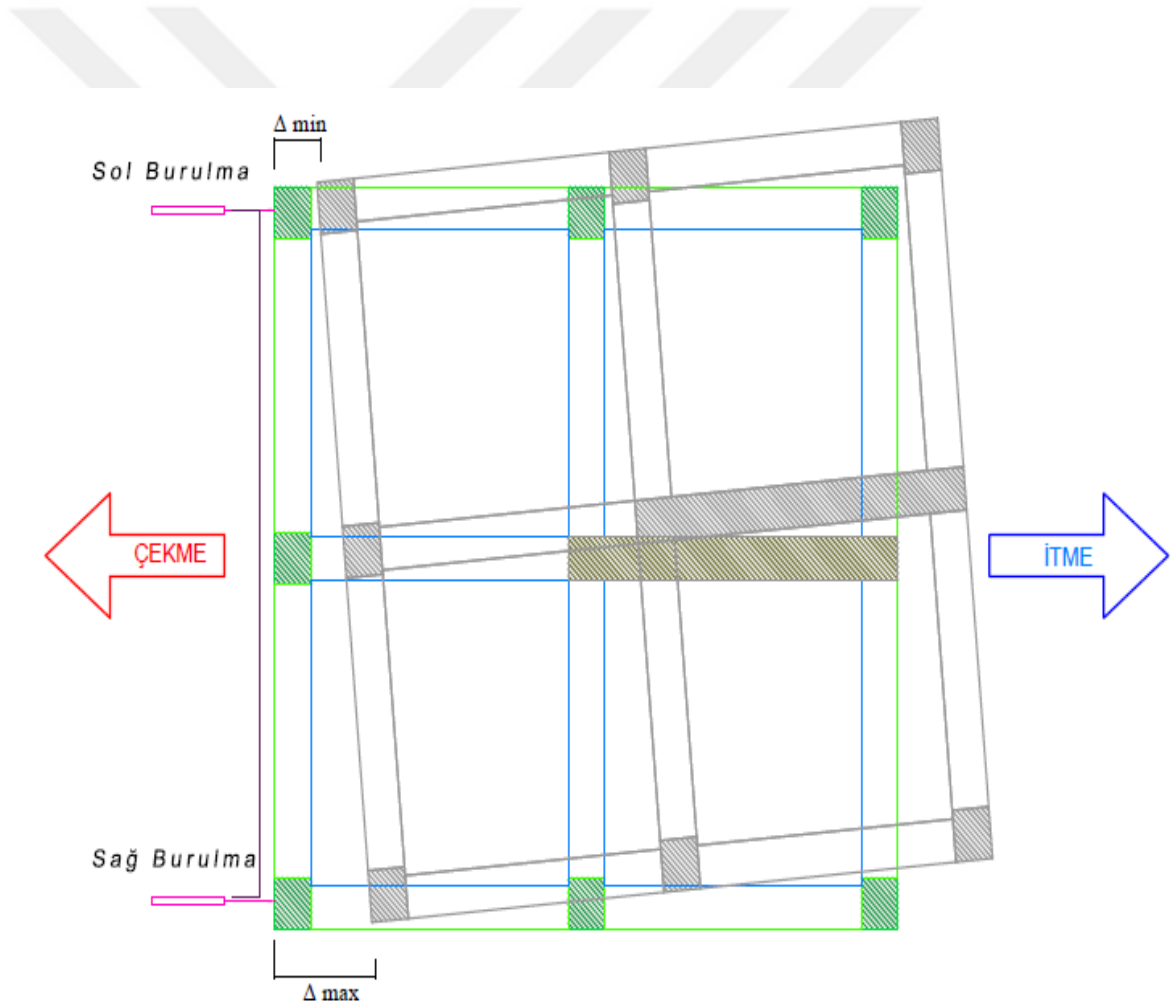
Şekil 3.13. Model 3 Genel Görünümü

Perdeli numune (Model 4) deneyinde akma 31. çekme döngüsünde meydana gelmiştir. Akma yükü yaklaşık 310 kN, akma deplasmanı ise yaklaşık 17.63 mm civarındadır. Akma gerçekleştiğinden sonra 32. döngüde yük kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Toplamda 35 döngü yapılmıştır. 35. döngünün çekme yükü sonunda deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda δ/H oranı 0.05 ve maksimum yük yaklaşık %37 oranında değer kaybetmiştir. Perdesi orta aksta bulunan 4. deneye ait yükleme geçmişi aşağıda verilmiştir.

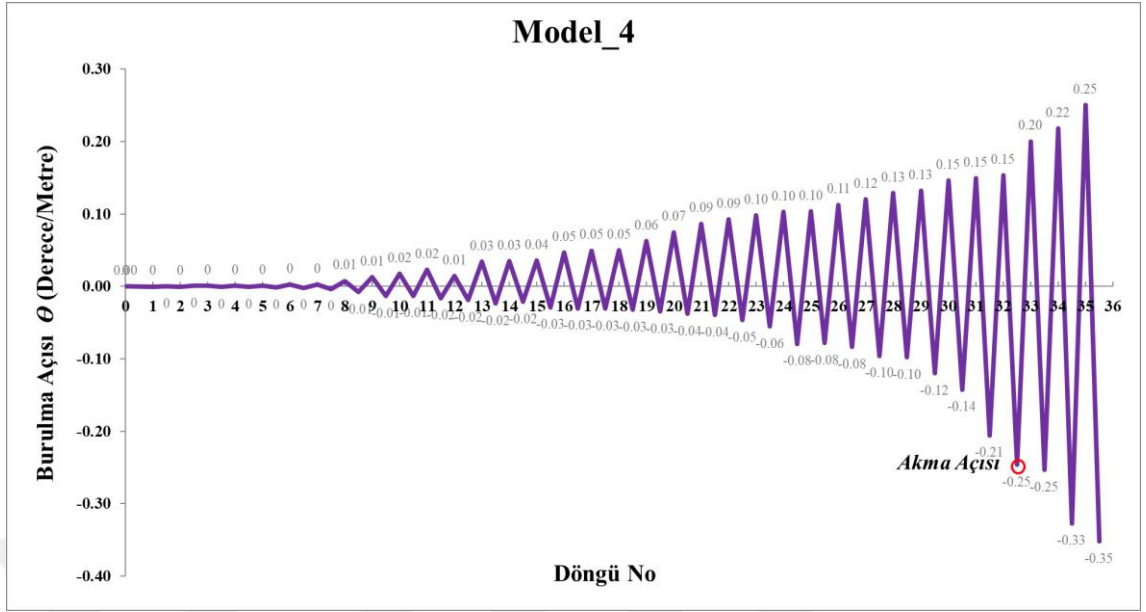


Şekil 3.14. Model 4 Yatay Yük ve Tepe Deplasmanına Göre Yükleme Geçmişi

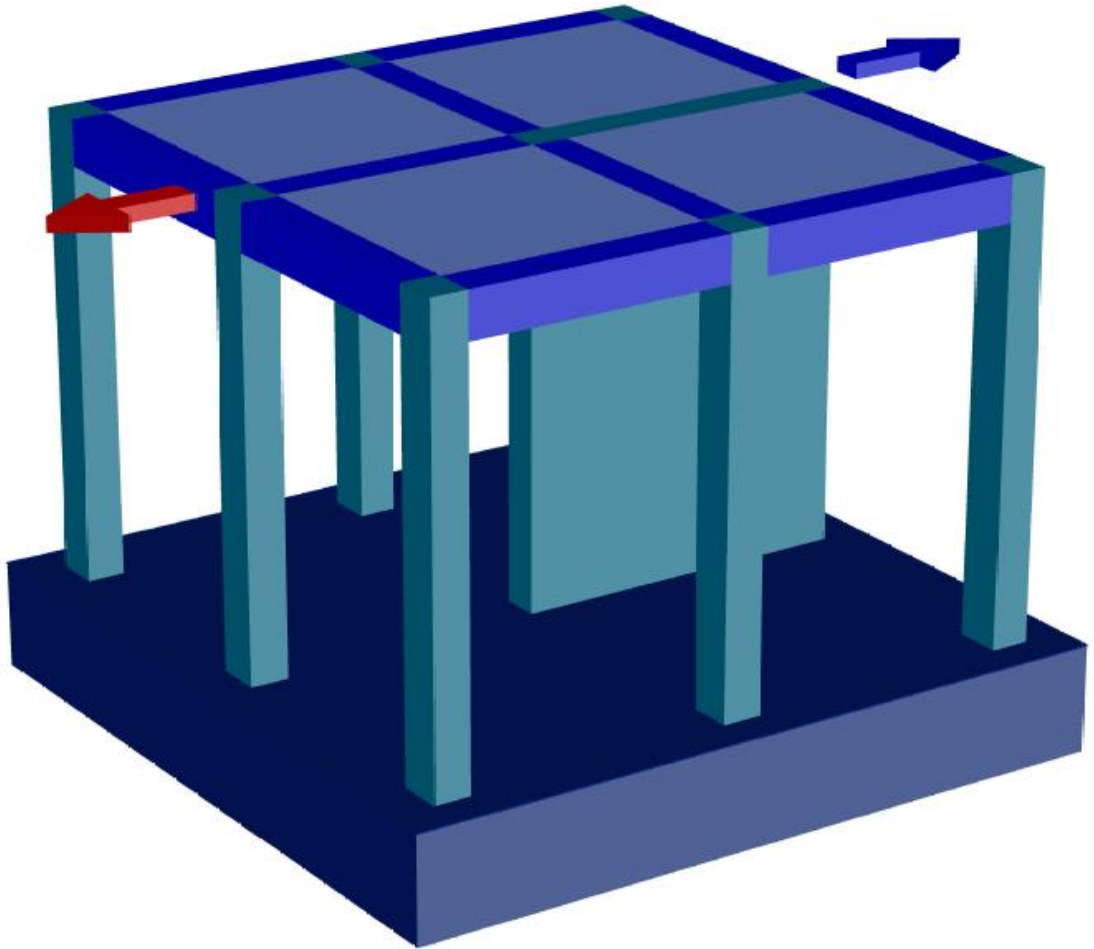
Burulma denklemleri kullanarak Model 4 için yerleştirilen sağ ve sol burulma okumalarından yararlanarak deneyin her adımında itme ve çekmede burulma açısı bulunmuştur. İki potansiyometre arasındaki mesafe ($D_m=2m$) olarak hesaba katılmıştır. Burulma açısının pozitif olması modelin saat akrebi yönüne döndüğünü göstermektedir. Daha sonra her döngü sonunda itme ve çekmede Model 4’te oluşan Burulma Düzensizliği Katsayısı (η_{bi}) bulunmuştur. Yüklemenin itme ve çekme adımlarının her birinde saptanan Burulma Düzensizliği Katsayısı Türk Bina Deprem yönetmeliğinin belirlediği 1.2 sınırını aşmadığını tespit edilmiştir. Böylece Model 4 de burulma düzensizliği bulunmadığı görülmüştür.



Şekil 3.15. Model 4 Burulma Açısı Ölçmek İçin P. Cetvel Yerleşimi

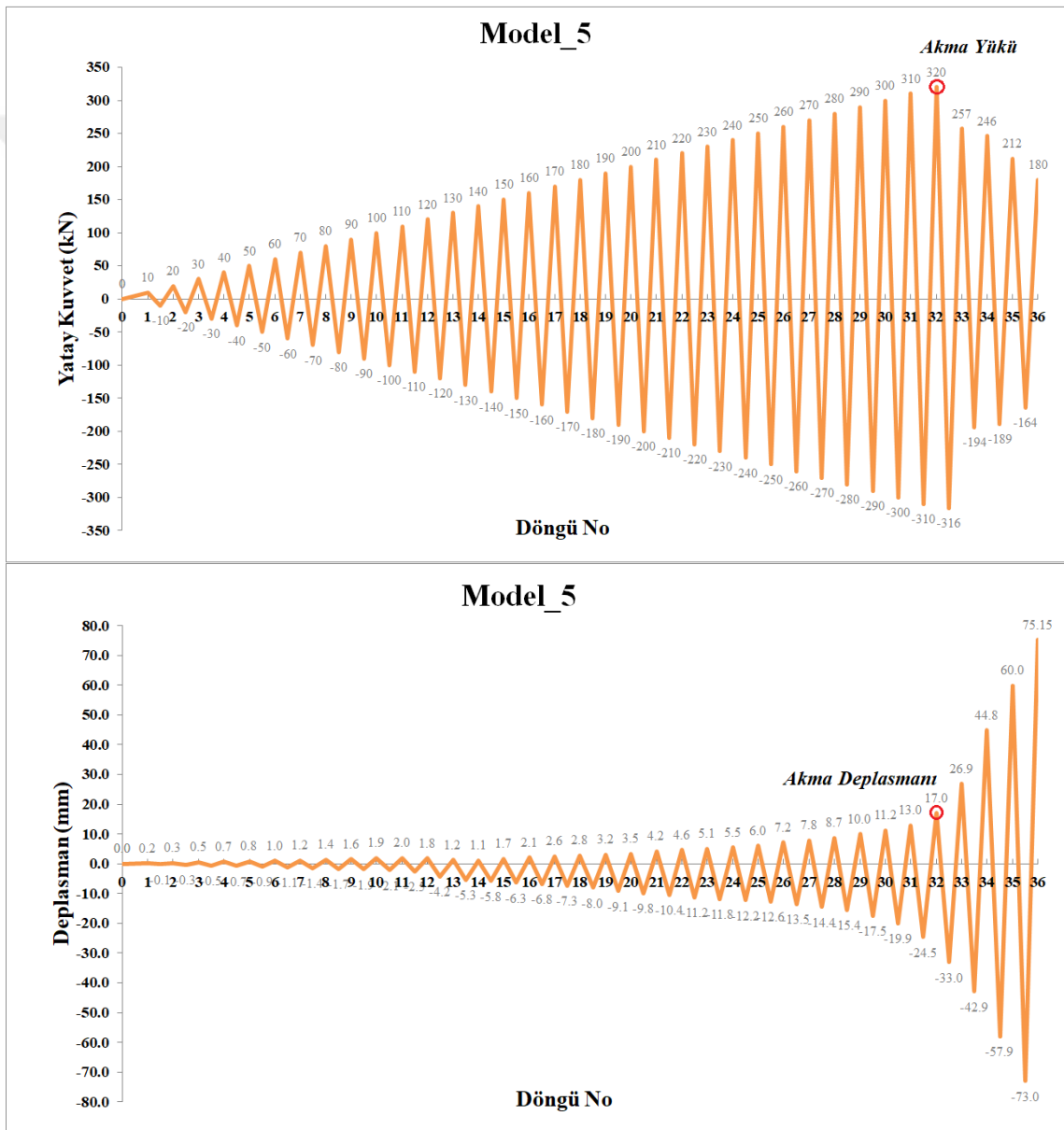


Şekil 3.16. Model 4 Burulma Açısına Göre Yükleme Geçmişi



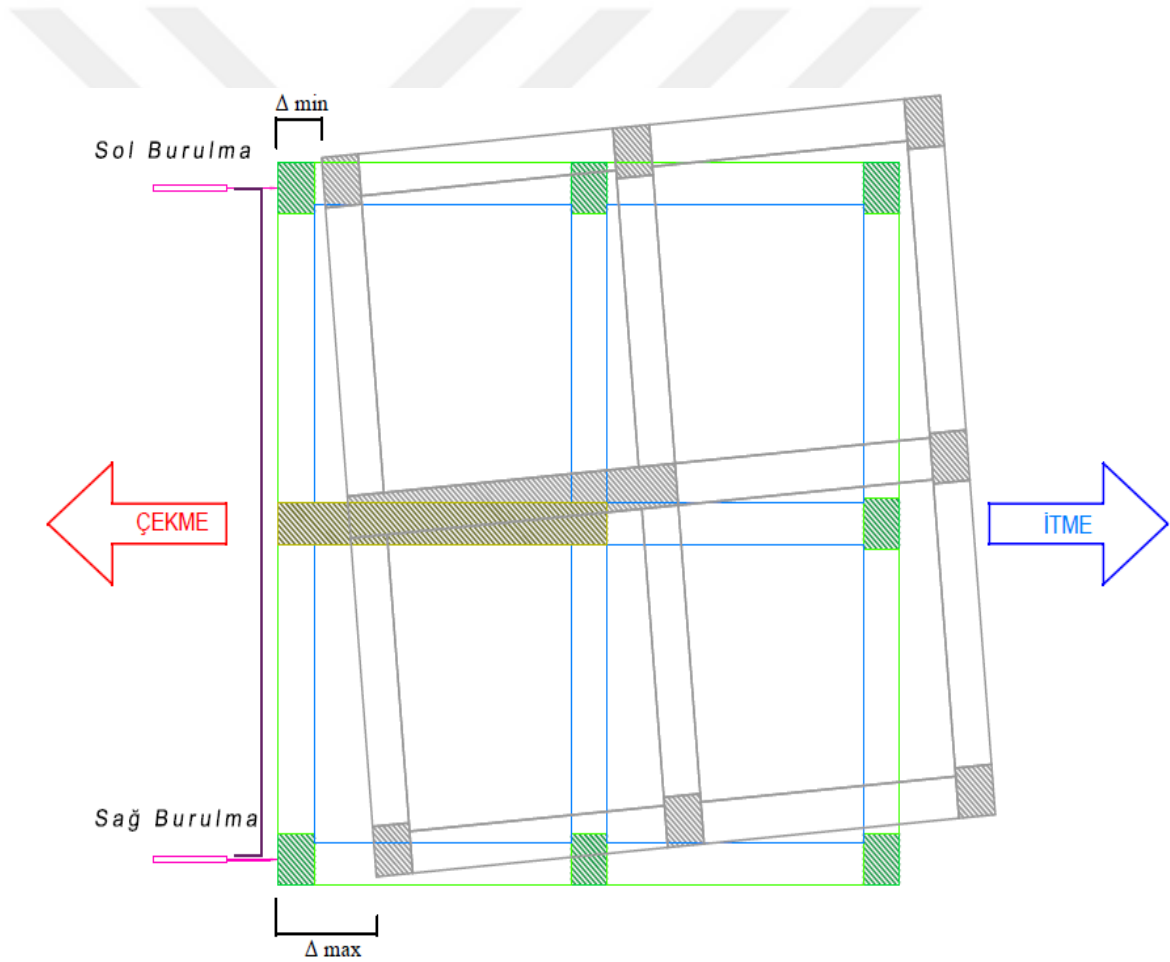
Şekil 3.17. Model 4 Genel Görünümü

Perdeli numune (Model 5) deneyinde akma 32. itme döngüsünde meydana gelmiştir. Akma yükü yaklaşık 320 kN, akma deplasmanı ise yaklaşık 16.96 mm civarındadır. Akma gerçekleştikten sonra 33. döngüde yük kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Toplamda 36 döngü yapılmıştır. 36. Döngünün itme yükü sonunda deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda δ/H oranı 0.05 ve maksimum yük yaklaşık %49 oranında değer kaybetmiştir. Perdesi orta aksta bulunan 5. deneye ait yükleme geçmişi aşağıda verilmiştir.

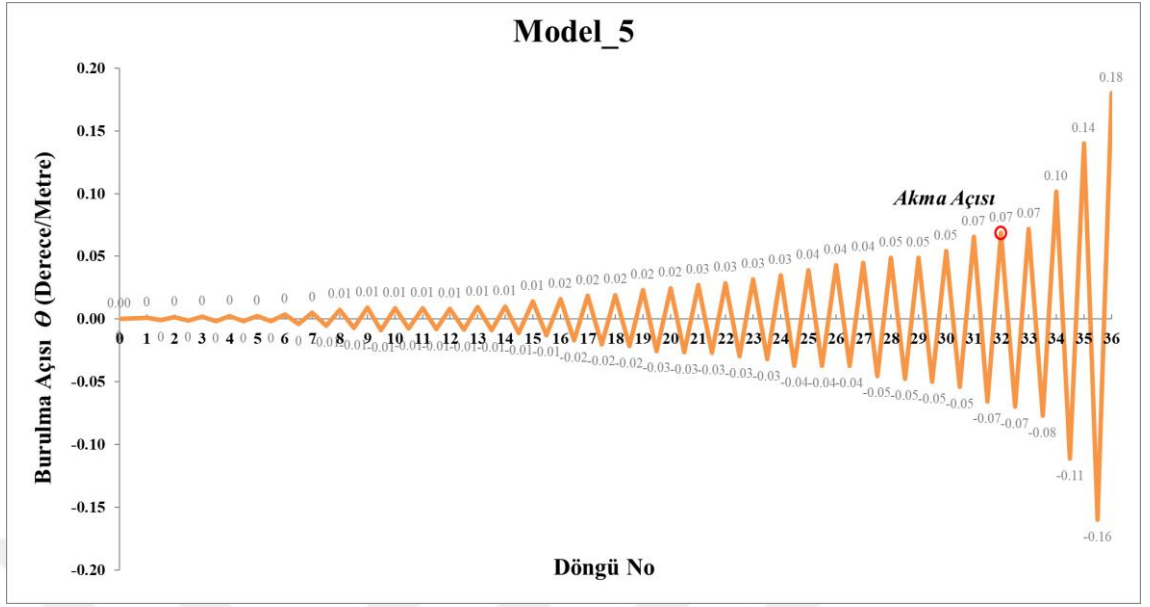


Şekil 3.18. Model 5 Yatay Yük ve Tepe Deplasmanına Göre Yükleme Geçmişi

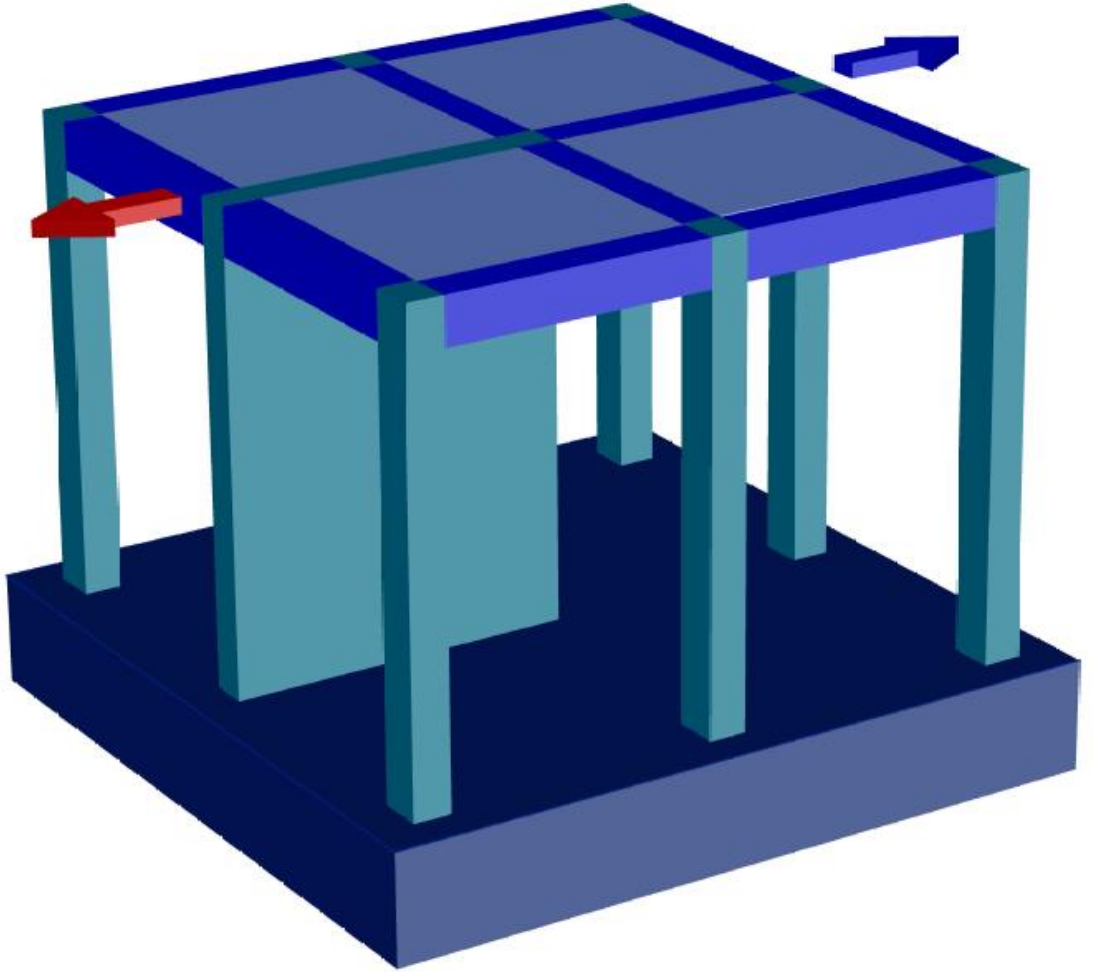
Burulma denklemleri kullanılarak Model 5 için yerleştirilen sağ ve sol burulma okumalarından yararlanıp deneyin her adımında itme ve çekmede burulma açısı bulunmuştur. İki potansiyometre arasındaki mesafe ($D_m=2m$) olarak hesaba katılmıştır. Burulma açısının pozitif olması modelin saat akrebi yönüne döndüğünü göstermektedir. Daha sonra her döngü sonunda itme ve çekmede Model 5’te oluşan Burulma Düzensizliği Katsayısı (η_{bi}) bulunmuştur. Yüklemenin itme ve çekme adımlarının her birinde saptanan Burulma Düzensizliği Katsayısı Türk Bina Deprem yönetmeliğinin belirlediği 1.2 sınırının aşmadığını tespit edilmiştir. Böylece Model 5 de burulma düzensizliği bulunmadığı görülmüştür.



Şekil 3.19. Model 5 Burulma Açısı Ölçmek İçin P. Cetvel Yerleşimi



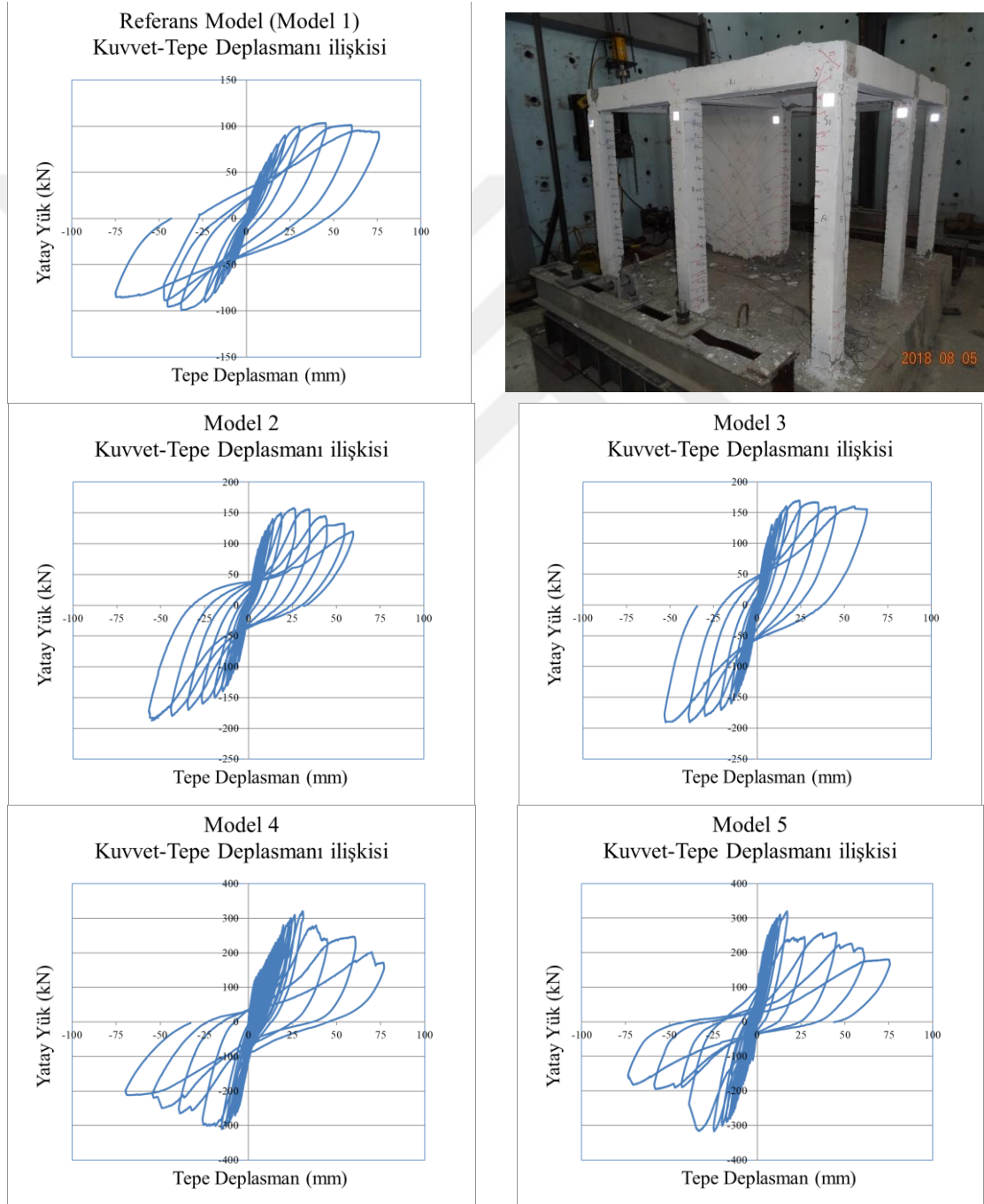
Şekil 3.20. Model 5 Burulma Açısına Göre Yükleme Geçmişi



Şekil 3.21. Model 5 Genel Görünümü

3.1.2. Deneysel Kuvvet Deplasman İlişkisi

Deneysel çalışma 5 model numunede gerçekleştirilmiştir. Referans modele göre perdeli modellerde perde konumu değişikçe akma yükü artmış ve betonarme çerçevelerin yaptığı deplasman miktarı azalmıştır. Deneylerden elde edilen kuvvet-deplasman ilişkilerine ait grafikler aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibidir.



Şekil 3.22. Deneylere Ait Yatay Yük Deplasman İlişkisi

Tablo 3.1. Deneyleerin Akma Yüğü ve Deplasmanları

Model	Akma Döngü No	Yatay Kuvvet	Akma Yüğü (kN)	Deplasman (mm)
1	10	Çekme	99,61	37,17
2	16	İtme	157,92	25,63
3	17	İtme	169,92	24,18
4	31	Çekme	310,49	17,63
5	32	İtme	320,29	16,96

Sonuç olarak Tablo 3.1'e göre, betonarme çerçevede perde olmaması durumunda yapıya etkiyen yatay kuvvetler kolonlar tarafından eşit bir şekilde paylaşılarak yapının yatay deplasman yapabilme kapasitesini tam olarak kullanmasını sağlamaktadır. Ancak, diğer perdeli numunelerde perde akma yükünün yükselmesine ve betonarme çerçevenin deplasman yapabilme kabiliyetinin azalmasına neden olmaktadır. Akma yükünün artmasının nedeni perdenin yapıya gelen yatay yükü ciddi bir şekilde karşılaması ve kolonlara gelen yükü azaltmasıdır.

Perde konumunun orta aksta bulunması, dış aksta bulunmasına göre akma yükünü 100% oranında artmasına ve yatay deplasmanın %40 oranında azalmasını neden olmuştur. Ayrıca, perdenin dış aksta bulunması perdeye göre karşı tarafta bulunan kolonların taşıma gücünü daha düşük yatay yük değerlerinde aşmıştır. Bunun nedeni olarak, sistem planında rijitlik merkezi ile kütle merkezinin çakışmaması sonucu oluşan burulma momenti ve burulma çatlaklarıdır. Böylece perdenin orta aksta bulunması yan aksta bulunmasına göre yatay yükleri taşımakta daha etkili olduğu görülmüştür. Bu ise, perdenin karşı rijitlik ile dengelenmediği için perdenin dış akslarda bulunması yapıda önemli derecede burulmaya yol açmakta ve yatay yüklere karşı ilave kesit etkileri oluşmasından dolayı kapasite kaybı yaşanmaktadır.

Betonarme çerçevenin perdesiz olması durumunda daha çok deplasman yapıp ve daha düşük akma yüküne sahipken, perdenin çerçeve içinde bulunması yapıya daha az deplasman yaptırmakta ve akma yükü artmaktadır. Bu durum, perdelerin asıl görevini yerine getirmesi olarak açıklanmıştır. Diğer önemli bir sonuç ise, çerçeve içerisinde perdenin itme yönüne yakın olması sonucunda akma yükünün daha fazla olmasına ve yapı deplasmanının azalmasına neden olmuştur. Akma yüküne baktığımızda ise perdeli Model 5 en büyük yatay yük taşıma kapasitesine sahip model olarak görülmüştür.

Deneysel numunelerin akma yükünün taşıyıcı sistemlere etki eden maksimum yatay yüke eşit olmadığı görülmüştür. Taşıyıcı sistemlerin aktığı döngüden sonraki döngüde yatay kuvvet dağılımı taşıyıcı elemanlarda değiştiği için, monolitik yapıdan dolayı güç tükenme sınırına ulaşmış liflerdeki yatay yük miktarı yakındaki diğer lifler tarafından karşılanarak akma yükünden daha büyük bir yük değeri okunabilmektedir.

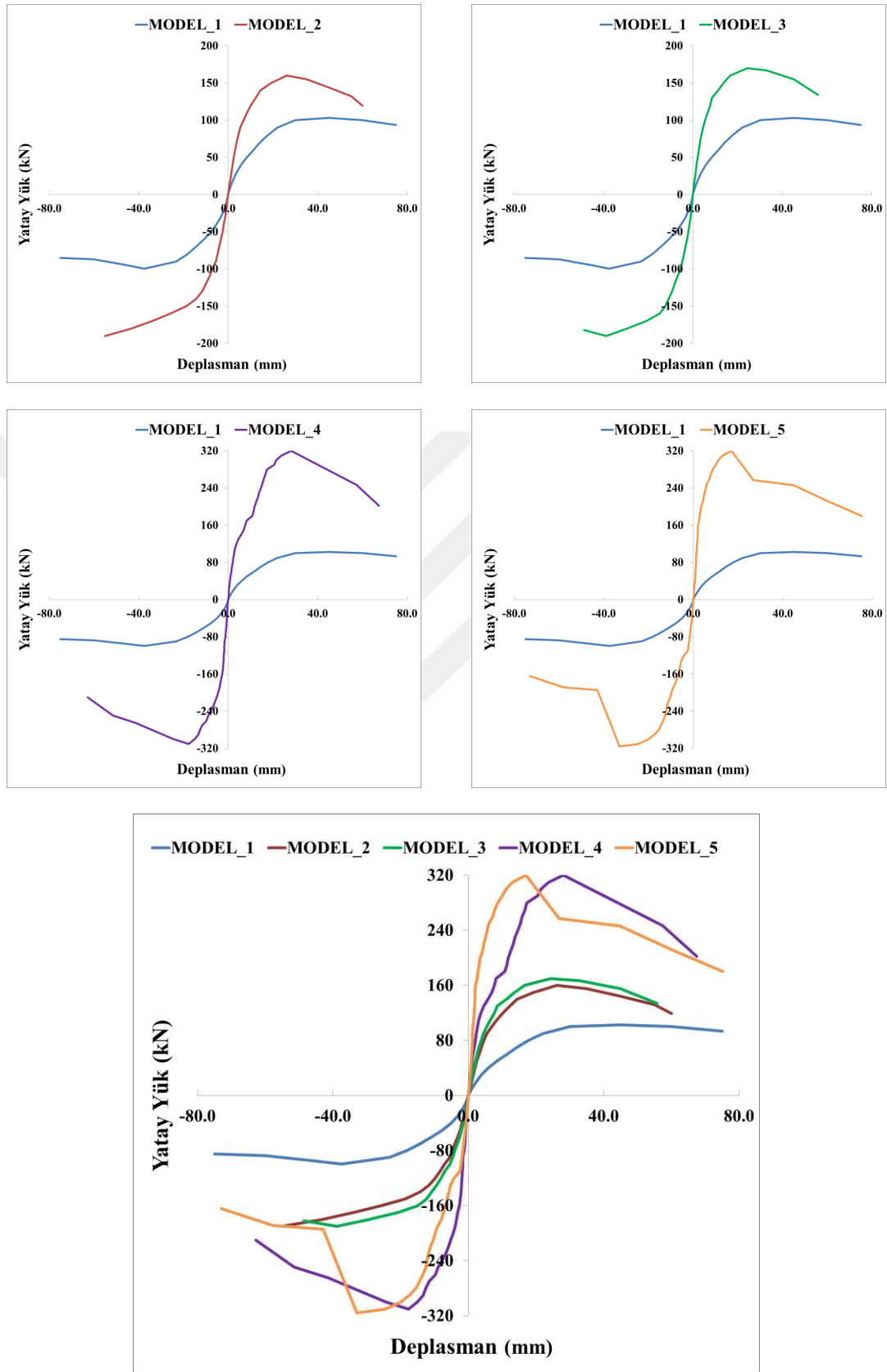
3.1.3. Deneysel Numunelerin Dayanım Zarfları

Model 1 deneyi diğer deneylere referans olacak niteliktedir. Dolayısıyla diğer deneylerden elde edilen sonuçların ilk deneye olan yakınlığı bize diğer deneylerin sistem davranışı hakkında fikir verecektir.

Tablo 3.2. Deney Numunelerinin Yatay Yük Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması

Deney Numunesi	Maksimum Yatay Yük/Deplasman		Maksimum Yatay Yük Oranı
	Yük (kN)	(δ/H)	
Model-1	103	0.030	1.00
Model-2	190	0.036	1.84
Model-3	190	0.026	1.84
Model-4	320	0.019	3.10
Model-5	320	0.011	3.10

Deney numuneleri maksimum yatay yük taşıma kapasitelerine göre karşılaştırıldığında Tablo 3.2’de değerleri verilmiştir. Model 2 ve Model 3’ün Model 1’den %84 daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Model 4 ve Model 5’in ise yatay yük taşıma kapasitesinin Model 1’e göre %310 daha fazla olduğu hesaplanmıştır. Model 4 ve Model 5’in yatay yük taşıma kapasitesi Model 2 ve Model 3’ten %68 daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç ise, perde konumunun yatay yük taşıma kapasitesindeki etkinliğine de önemi olacağı sonucunu ortaya koymaktadır.



Şekil 3.23. Deneysel Modellerin Kuvvet Deplasman Zarfı Grafikleri

3.1.4. Deneysel Rijitlik Azalımı

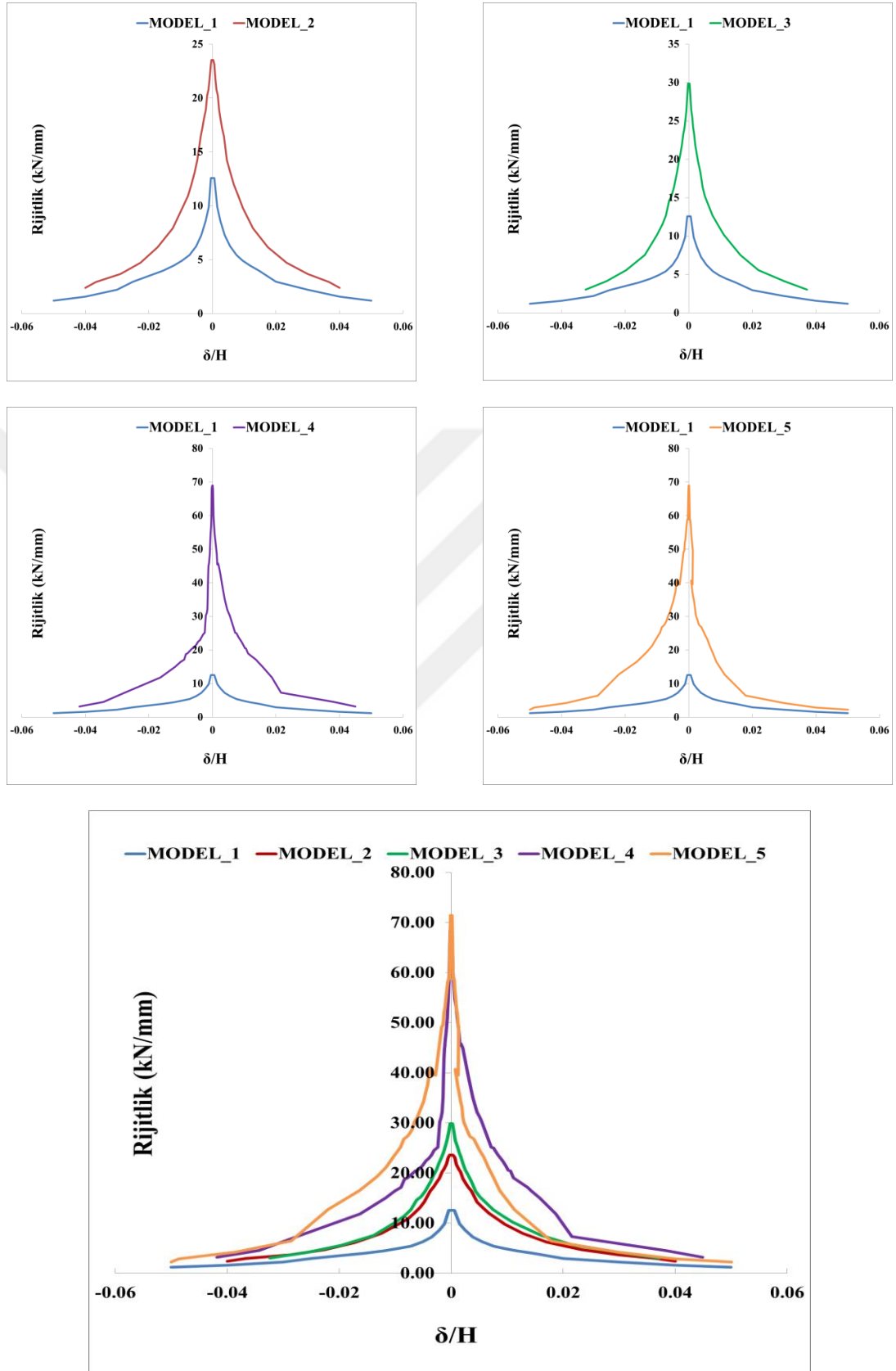
Rijitlik, taşıyıcı sistemlerin ötelenme ve yer değiştirme tesirlerine karşı koyma derecesini ifade eden bir terimdir. Rijitliğin artması halinde şekil değiştirme olabilmesi için yatay kuvvetin artması gerekmektedir.

Tablo 3.3. Deneysel Modellerin Rijitliklerinin Karşılaştırılması

Deney Numunesi	Rijitlik Değerleri (kN/mm)			(δ/H) Oranları		İlk Döngü Rijitliklerinin Oranı	Maks. Yük Rijitliklerinin Oranı
	İlk Döngü	Maks. Yük	Son Döngü	Maks. Yük	Son Döngü		
Model-1	12.58	2.20	1.19	0.030	0.050	1.00	1.00
Model-2	23.53	2.93	2.37	0.036	0.040	1.87	1.33
Model-3	29.85	4.12	3.03	0.030	0.037	2.37	1.87
Model-4	68.97	11.80	3.16	0.019	0.045	5.48	5.36
Model-5	71.43	12.73	2.23	0.011	0.050	5.67	5.78

Modellerin başlangıç rijitlikleri Tablo 3.3’de verilmiştir. Referans numune olan Model 1’e göre rijitlik değişimleri kıyaslandığında, Model 2’nin %87, Model 3’ün %137, Model 4’ün %448 ve Model 5’in %467 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum yük durumundaki rijitlik değişimleri kıyaslandığında, Model 1’e göre rijitlik değişimi, Model 2’nin %33, Model 3’ün %87, Model 4’ün %436 ve Model 5’in %478 daha fazla olduğu görülmüştür. Model 4 ve Model 5’in ortalama maksimum yük rijitlikleri Model 2 ve Model 3’ten %348 daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç ise, perde konumunun davranıştaki rijitliğe de etkinliğinin olabileceğinin önemi olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.24. Deneysel Modellerin Rijitlik Azalım Grafikleri

3.1.5. Deneysel Tüketilen Enerji

Tüketilen enerji, yapı sistemlerinin yanal ötelenme yapmasına bağlı olarak oluşan kuvvet-deplasman eğrisi altındaki alan olarak tanımlanmaktadır. Enerji tüketimi yapı için sünekliliğin bir ölçüsü olarak değerlendirilmektedir. Elastik ötesi davranış ile deprem tarafından yapıya verilen enerji tüketilmektedir.

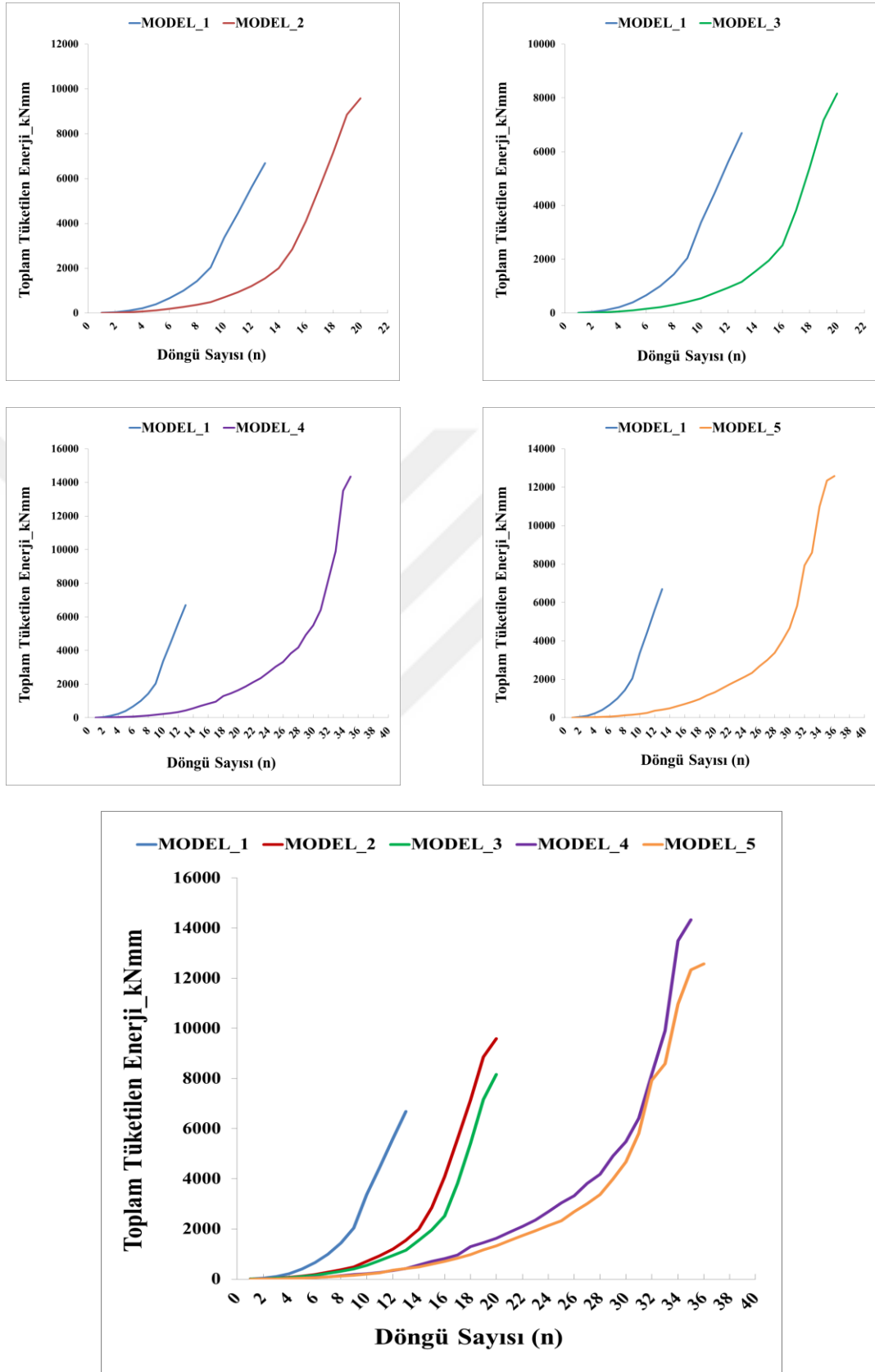
Tablo 3.4. Deneysel Modellerin Enerji Tüketim Kapasitelerinin Karşılaştırılması

Deney Numunesi	Tüketilen Enerji Değerleri (kNmm)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Maks. Yük	Deney Sonu	Maks. Yük	Deney Sonu
Model_1	4455	6693	1.00	1.00
Model_2	8855	9585	1.98	1.43
Model_3	7168	8163	1.60	1.22
Model_4	8164	14341	1.83	2.14
Model_5	7933	12576	1.78	1.87

Deney numunelerinin maksimum yatay yük taşıma kapasitelerine ulaştığındaki enerji tüketim oranları Tablo 3.4’de verilmiştir. Referans numune ile karşılaştırıldığında enerji tüketim oranları Model 2 de %98, Model 3 de %60, Model 4 de %83 ve Model 5 de ise %78 daha fazla olduğu görülmüştür.

Deney sonu yatay yük taşıma kapasitelerine ulaştığındaki enerji tüketim oranları referans numuneye göre Model 2 de %43, Model 3 de %22, Model 4 de %114 ve Model 5 de ise %87 daha fazla olduğu hesaplanmıştır.

Model 4 ve Model 5’in deney sonu enerji tüketim oranları kapasitesi Model 2 ve Model 3’ten %51 daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç ise, perde konumunun enerji tüketim oranındaki etkinliğinin önemli olacağı sonucunu ortaya koymaktadır.



Şekil 3.25. Deneysel Toplam Tüketilen Enerji Grafikleri

3.1.6. Deneysel Düktilite Hesabı

Düktilite, yükler altında taşıyıcı sistemin enerji tüketebilme kapasitesi olarak tanımlanıp özellikle deprem etkisi altındaki taşıyıcı sistemler için büyük önem taşımaktadır, Düktilite hesabı için sistemin ulaşabildiği maksimum deplasmanın, akma deplasmanına oranı hesaplanır, Aşağıdaki tabloda, denklem 3,4'i kullanarak her bir deneysel modelin hem itme hem de çekme döngülerindeki düktilite katsayıları hesaplanmıştır, Ayrıca her Model için ortalama düktilite katsayıları ve ortalama akma deplasmanları hesaplanmıştır.

$$\mu = \frac{\Delta_{\max}}{\Delta_y} \quad (3.4)$$

Tablo 3.5. Deney Modellerin Düktilite Katsayılarının Karşılaştırılması.

Deney Numunesi	İtme Döngüsü			Çekme Döngüsü			$\Delta_{y \text{ ort}}$ (mm)	$\mu_{\text{ ort}}$
	Δ_{\max} (mm)	Δ_y (mm)	μ	Δ_{\max} (mm)	Δ_y (mm)	μ		
Model 1	75	45	1,67	75	37,5	2,00	41.25	1.83
Model 2	60	26,2	2,29	55	25,8	2,13	26.00	2.21
Model 3	55,8	24,4	2,29	48,6	20,7	2,35	22.55	2.32
Model 4	67,4	28,1	2,40	62,8	17,6	3,57	22.85	2.98
Model 5	75,15	17	4,42	73	24,5	2,98	20.75	3.70

3.1.7. Deneysel Çatlak Gelişimi

Deneyselerde çatlak gelişimi için yük adımlarında gözlem notları alınmıştır. Yapı davranışı bakımından çatlak gelişimi önemlidir. Kolon ve perde üzerine çatlak gelişiminin seviyesini tespit etmek amacıyla eleman yüzeyleri A, B, C ve D yüzeyleri olarak tanımlanmıştır. Buna göre her döngüdeki çatlak gelişiminin seviyesi, itme ve çekme durumu için takip edilmiştir. İtme sırasında meydana gelen çatlaklar mavi renkli kalem ile çizilmiş, çekme sırasında meydana gelen çatlaklar ise kırmızı renkli kalem ile çizilmiştir.

Tablo 3.6. İlk Çatlak Oluşumu

Model	Kolonda İlk Çatlak Oluşumu	K-K Birleşim Bölgesi İlk Çatlak Oluşumu	Kirişte İlk Çatlak Oluşumu	P-K Birleşim Bölgesi İlk Çatlak Oluşumu	Perdede İlk Çatlak Oluşumu	Döşemede İlk Çatlak Oluşumu
1	2. Döngü	3. Döngü	11. Döngü	-	-	Yok
2	3. Döngü	7. Döngü	9. Döngü	8. Döngü	9. Döngü	Yok
3	4. Döngü	7. Döngü	14. Döngü	12. Döngü	10. Döngü	Yok
4	2. Döngü	7. Döngü	17. Döngü	24. Döngü	11. Döngü	24. Döngü
5	6. Döngü	14. Döngü	20. Döngü	20. Döngü	4. Döngü	27. Döngü

Kolonlarda oluşan ilk çatlak gelişimi, Model 5 hariç diğer modellerde birbirine yakın kuvvetlerde benzer çatlakları vermiştir. Model 5 ise tüm diğer modellerden daha rijit olduğundan çatlak gelişimleri 6. döngüde başlamıştır.

Kolon–kiriş birleşim bölgesinde oluşan ilk çatlaklar ise, özellikle Model 1 de 3.döngüde, Model 2, Model 3 ve Model 4 ise 7. döngüde ve Model 5 de ise sonraki döngüde çatlak gelişimi olmuştur.

Kirişte ilk çatlama oluşumu ise modeller arasında farklılık göstermiştir. En düşük yükte kiriş çatlama görülen Model 2 iken en yüksek yükte çatlama Model 5 de olmuştur.

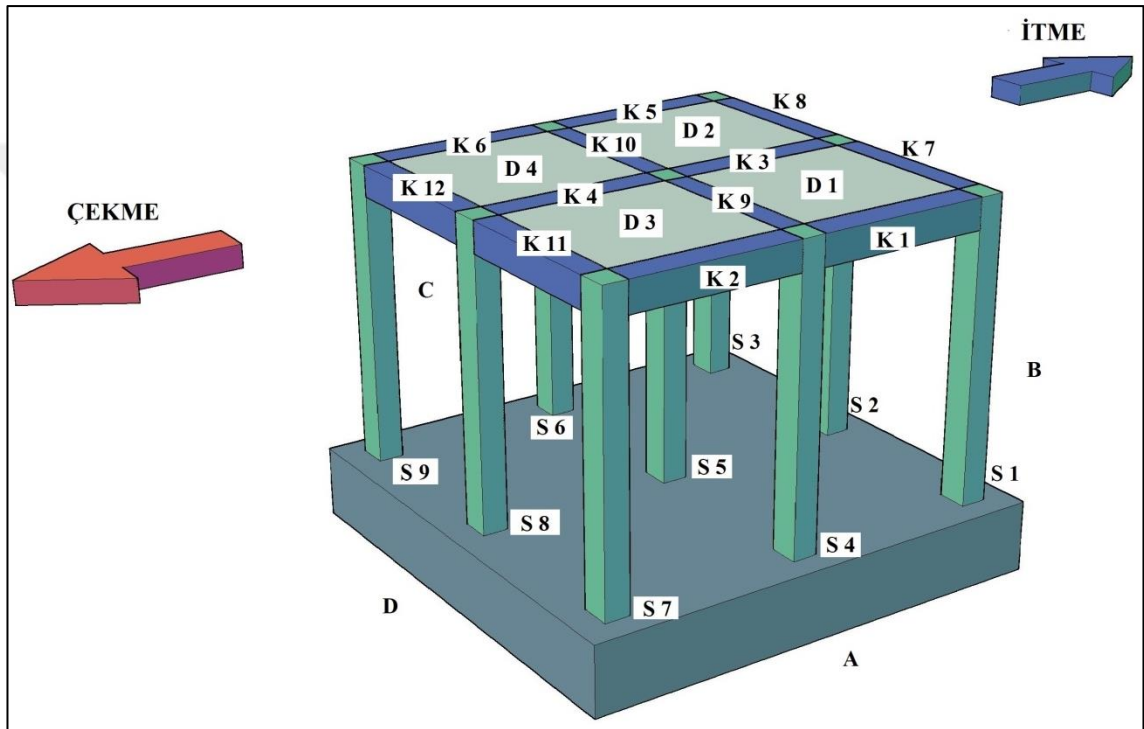
Perde–kiriş birleşim bölgesinde oluşan ilk çatlama ise Model 2 ile Model 3 birbirine yakın iken, Model 4 ile Model 5 sonraki döngülerde çatlak gelişimi olmuştur.

Perdelere ise oluşan ilk çatlaklar, Model 2, 3 ve 4'te hemen hemen birbirine yakın yüklerde iken Model 5 ise itme yönünde 40kN yük değerinde çatlama meydana gelmiştir.

Döşemede oluşan ilk çatlak ise, Model 1, Model 2 ve Model 3 de döşeme çatlağına rastlanmazken Model 4 de 240kN da ve Model 5 ise 270kN da çatlama gerçekleşmiştir.

3.1.7.1. Model 1 Numunesi Deneysel Çatlak Gelişimi

İlk deney sonrasında kolonların A, B, C ve D yüzlerinde oluşan çatlaklar her bir kolon için detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kolonlara, kirişlere ve döşemelere Şekil 3.26'da verildiği gibi isimlendirme yapılmıştır. Deneysel modelde çatlak gelişimini dikkatlice takip edebilmek amacıyla, Model 1 de çatlakların oluştuğu her yükleme adımı itme ve çekmede Tablo 3.6 verilmiştir.



Şekil 3.26. Model 1 Yükleme Yönleri ve Eleman Numaraları

Tablo 3.7. Model 1 Yükleme adımlarına göre çatlak ilerlemesi

Döngü No.	Çatlak Gelişimi
1. Döngü	Herhangi bir elemanda çatlak oluşmadı.
2. Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S8 kolonun B yüzü 10h seviyesinde enine eğilme çatlakları gözlemlendi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S2, S6 ve S3 kolonlarında 1h seviyesinde Çatlak gelişimi görüldü.
3. Döngü	İtme;

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ S8 kolonun A yüzü 10h, AD yüzü 0,5h ve 1h seviyelerinde kılcal çatlaklar oluştu. ➤ S9 kolonun AD yüzü 1h seviyesinde çatlak oluştu. ➤ S7 kolonun AD yüzü 0,5h ve 1h seviyelerinde ve B yüzü 10h, 9,5h seviyelerinde çatlaklar oluştu. ➤ S7 kolonu D yüzeyinde kolon-temel birleşim bölgesi çatlağı oluştu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S5 ve S6 kolonların D yüzü 10h seviyelerinde enine çatlak gelişimleri meydana geldi. ➤ S6 kolonu B yüzü ile temel birleşim bölgesi arasında çatlak gelişimi oluştu. ➤ S1, S2 ve S3 kolonları D yüzü 10h seviyesinde ve S3 kolonu-K5 kirişi birleşim bölgesinde çatlak oluştu.
4.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S7 kolonu A yüzü ile K2 kirişi arasında 45°lik bir çatlak meydana geldi. ➤ S7 kolonu D yüzü 1,5h, 2,5h ve 3h seviyelerinde kılcal çatlak gelişimleri görüldü. ➤ S8, S9 kolonların AB yüzü 9,5h ve CD yüzü 1,5h seviyelerinde çatlak oluştu. ➤ S1, S4 ve S6 B yüzü 10h seviyesinde çatlak oldu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Kolonların itme yüzü taraflarında 9h, 9,5h ve yukarısında enine kılcal çatlak gelişimleri görüldü.
5.Döngü	İtme ve çekmede aynı bir önceki döngüdekine benzer performans sergilemiştir.
6.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Kolon kiriş birleşim bölgelerinde çatlak oluşumları başladı. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S2 kolonu D yüzü K3 kirişi birleşim bölgesinde çatlak görüldü. ➤ Çatlak seviyeleri kolonların B yüzü 3h ile 4,5h arasına kadar ve D yüzü 7,5 ve üstünde ilerledi.
7., 8. ve 9.Döngülerde	İtme ve çekmede aynı bir önceki döngüdekine benzer performans sergilemiştir.
10.Döngü (Akma gerçekleşti)	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Maksimum yük 10000 kg olarak kayıt edildi. Kenar kolonların yan

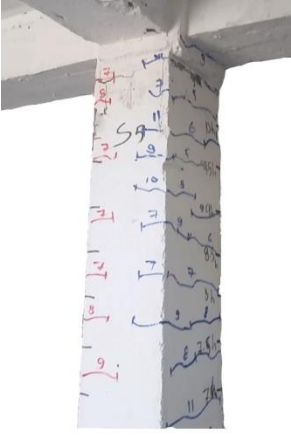
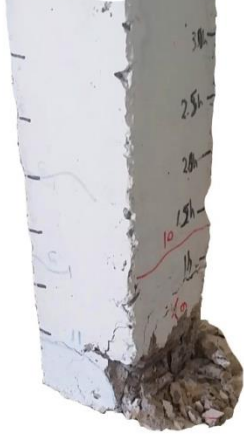
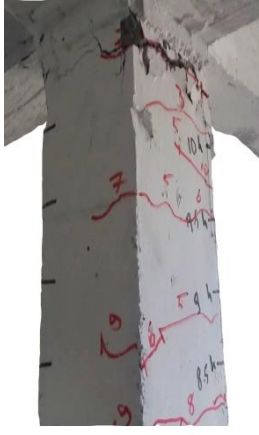

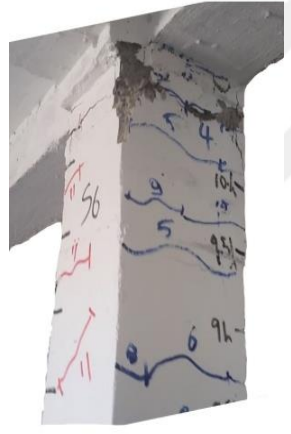
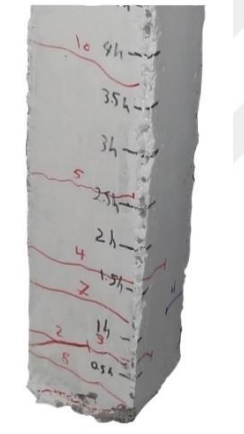


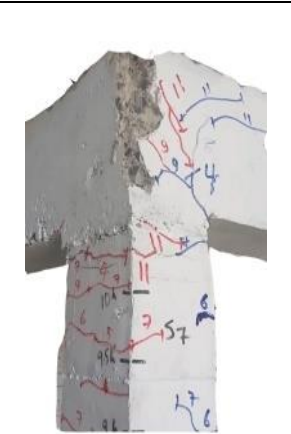


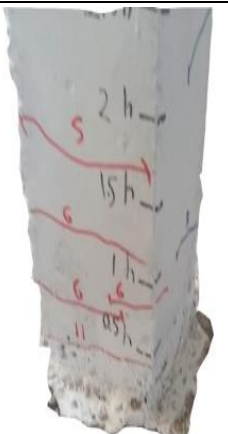
	<p>yüzlerinde çatlaklar kesit boyunca ilerledi.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Orta kolon olan S5 hariç tüm kolonlarda daha belirgin olmak üzere, kolonların kirişlerle birleşim bölgelerinde kirişin hemen altında çekme yüzeylerinde (B yüzlerinde) enine 2 mm mertebesinde çatlaklar meydana geldi. ➤ Kolonların itme yüzeylerinden (D yüzünden) kesit ortasına kadar kolon temel birleşiminde 1,5mm mertebesinde açılmalar meydana geldi. Yine temel birleşimi kolon çekme yüzü (B yüzü) taraflarında kolonlarda ezilmeler meydana gelmeye başladı. Bu ezilme S6 kolonunda 0.5h mertebesine kadar düşey çatlak şeklinde meydana geldi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Maksimum yük 99610 kg olarak kayıt edildi. Yukarıdaki itme döngüsünde meydana gelen hasarların çok benzeri karşı taraflı olarak bu döngüde meydana geldi. ➤ Kenar kolonların birleştiği kirişlerde sarılma bölgelerinde eğilme çatlakları kılcal seviyede meydana geldi.
11.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S3 Kolon-Temel birleşimi çatlak genişliği 3 mm mertebesine ulaştı. ➤ S4 Kolon-Temel birleşimi çatlak genişliği 1,5 mm mertebesine ulaştı. ➤ S7 kolonun C yüzü ve S8 kolonun A yüzü ile K11 kiriş birleşim bölgelerinde çatlaklar oluşmaya başladı. ➤ S9 kolonu A yüzü ile K12 kiriş birleşim bölgesinde çatlak gelişimi oldu. ➤ Plastik mafsal oluşumu meydana geldi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Donatılardan kopma sesi geldi. İtme yüzündeki boyuna donatılarda burkulma meydana geldi. ➤ Kolon kiriş birleşim bölgelerindeki çatlaklar açılmaya başladı. ➤ S2 kolonu D yüzü 1h seviyesi ve altı beton ezilmeleri oluştu.
12.Döngü	<p>İtme ve Çekmede beton döküntüleri ve eski çatlakların ileri derece açılmaları meydana geldi.</p>
13.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Kolon kiriş bölgesindeki gelişen enine çatlaklar 5 mm genişliğini aştı. ➤ Donatılarda kopma sesleri duyuldu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Deney sonu...

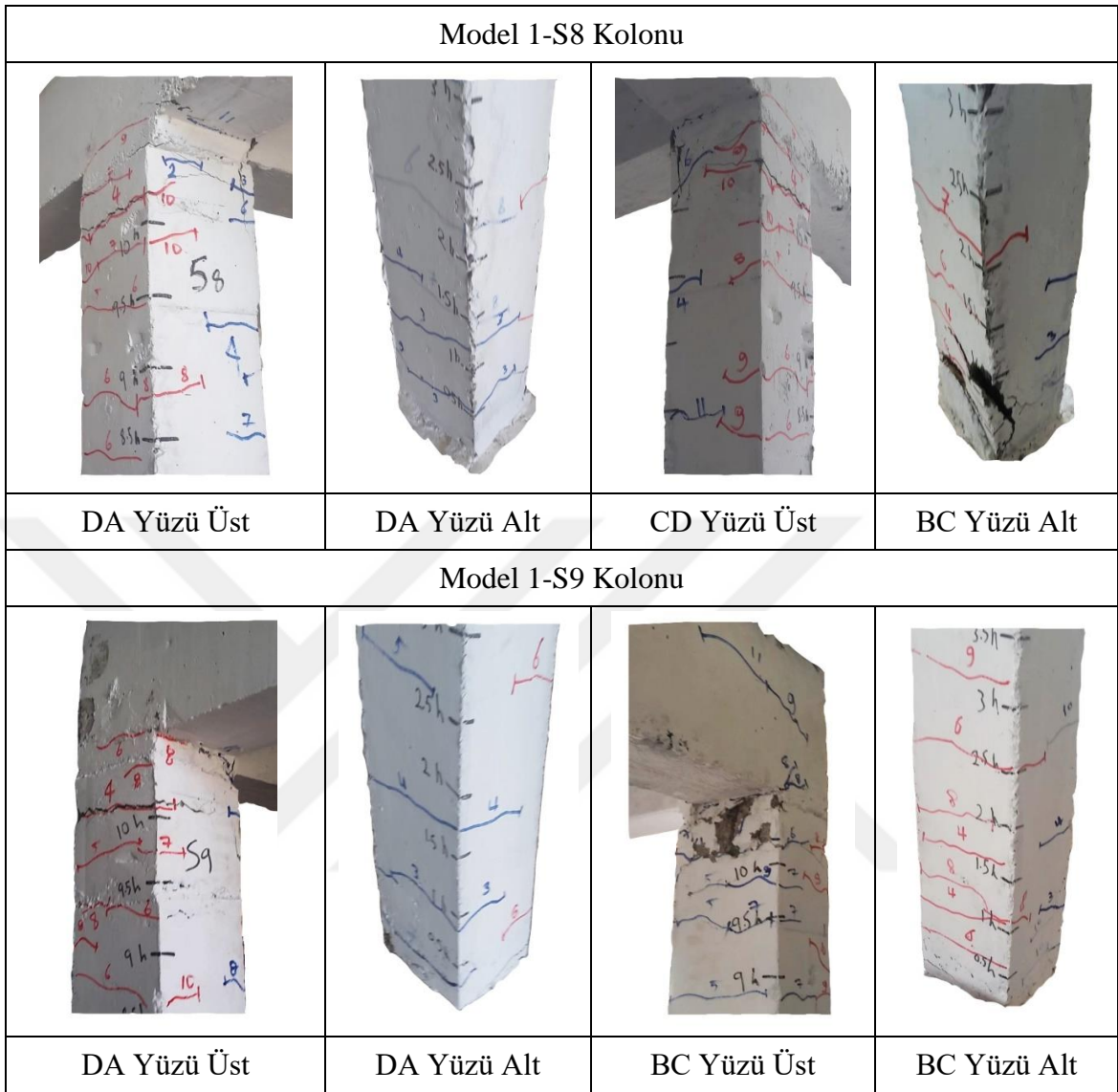


Şekil 3.27. Model 1 Deney Sonu Taşıyıcı Sistem

Model 1-S1 Kolonu			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt

Model 1-S2 Kolonu			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt
Model 1-S3 Kolonu			
DA Yüzü Üst	DA Yüzü Alt	BC Yüzü Üst	BC Yüzü Alt
Model 1-S4 Kolonu			
DA Yüzü Üst	DA Yüzü Alt	BC Yüzü Üst	BC Yüzü Alt

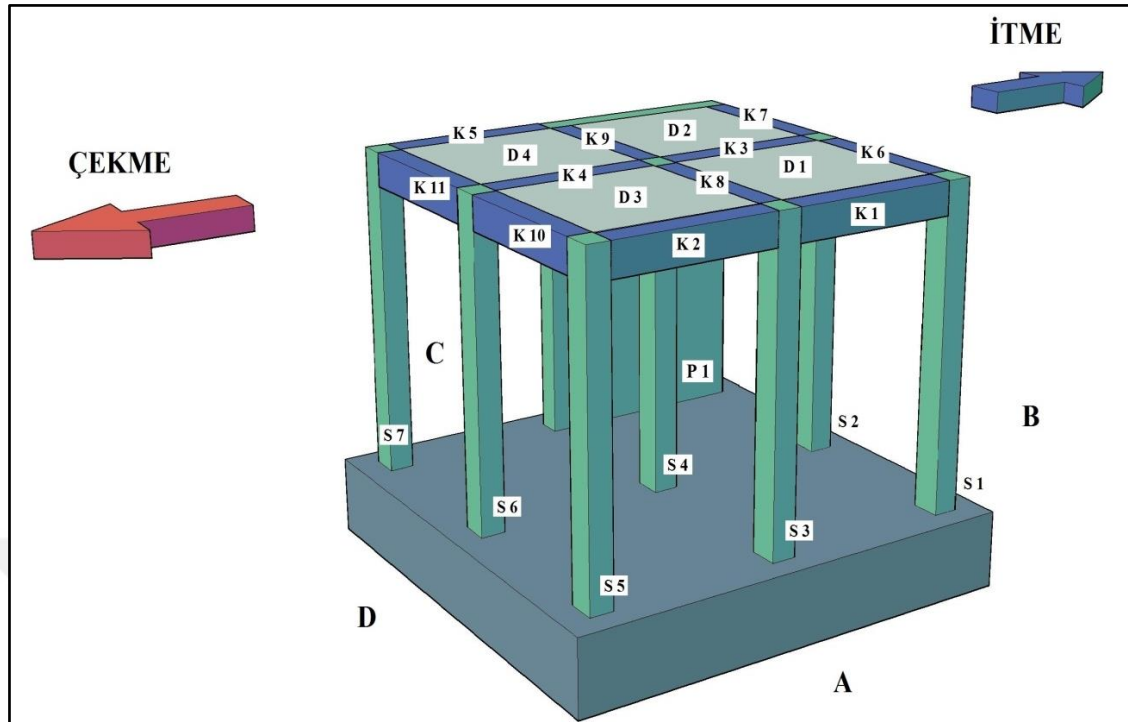
Model 1-S5 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt
Model 1-S6 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	BC Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt
Model 1-S7 Kolonu			
			
DA Yüzü Üst	DA Yüzü Alt	BC Yüzü Üst	BC Yüzü Alt



Şekil 3.28. Model 1 Kolon ve Düğüm Noktaları Çatlakları

3.1.7.2. Model 2 Numunesi Deneysel Çatlak Gelişimi

Model 2 deneyinde kolon, perde, kiriş ve döşemelerin A, B, C ve D yüzlerinde oluşan çatlaklar her bir eleman için detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kolonlara, perdeye, kirişlere ve döşemelere Şekil 3.29’da verildiği gibi isimlendirme yapılmıştır. Deneysel modelde çatlak gelişimini dikkatlice takip edebilmek amacıyla çatlakların oluştuğu her yükleme adımı itme ve çekmede detaylıca Tablo 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.29. Model 2 Yükleme Yönleri ve Elaman Numaraları

Tablo 3.8. Model 2 Adımlara göre Çatlak İlerlemesi

Döngü No.	Çatlak Gelişimi
1. ve 2. Döngü	Herhangi bir elemanda çatlak oluşmadı.
3.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun D yüzü 0.5h seviyesinde enine ilk çatlak gözlemlendi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S5 kolonun CD köşesi 10h seviyesi ve AB köşesi 1h seviyesinde ilk burulma çatlak oluştu.
4.Döngü	İtme ve çekmede aynı bir önceki döngüdekine benzer performans sergilemiştir.
5.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S7 kolonun D yüzü 1h seviyesi çatlak gelişimi gözlemlendi. ➤ S1 kolonun AD köşesi 2h seviyesinde burulma çatlak oluştu. ➤ S3 kolonun D yüzü 1h seviyesinde enine çatlak gelişti. ➤ S5 kolonun AB köşesi 9,5h seviyesinde burulma çatlak oluştu. ➤ S5 kolonun D yüzü 1h seviyesi çatlak gelişimi gözlemlendi.

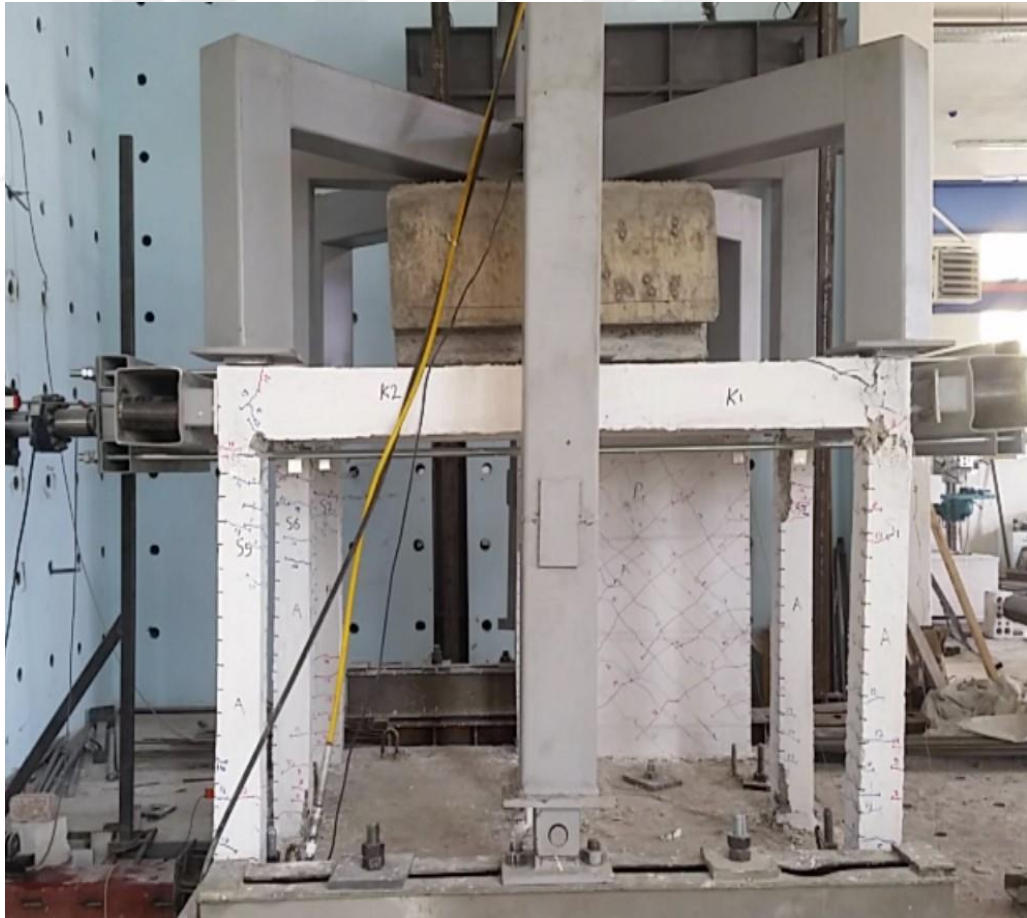
	<p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun B yüzü 0,5h ve 1,5h seviyelerinde ve D yüzü 10h seviyesinde enine çatlaklar oluştu. ➤ S3 kolonun D yüzü 9,5h seviyesinde ve B yüzü 1h seviyelerinde enine kılcal çatlak gelişti. ➤ S5 kolonun CD köşesi 1h seviyesinde burulma çatlağı oluştu.
6. Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun D yüzü 0,5h seviyesinde enine, DA köşesi temel birleşim bölgesi arası burulma çatlakları meydana geldi. ➤ S5 kolonun AB köşesi 9h seviyesinde burulma çatlağı oluştu. ➤ S3 kolonun D yüzü ile temel birleşim bölgesinde ve B yüzü 8,5h seviyesinde çatlak oluştu. ➤ S6 kolonun AB köşesi 9,5h seviyesinde burulma çatlağı oluştu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S5 kolonun AB köşesi 2h seviyesinde burulma çatlağı oluştu. ➤ S3 kolonun D yüzü 10h seviyesinde enine çatlak ve AB köşesi 1,5h ve 2,5h seviyelerinde burulma çatlağı gelişti.
7. Döngü	İtme ve çekmede aynı bir önceki döngüdekine benzer performans sergilemiştir.
8. Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun A yüzü 0,5h seviyesinde çatlak meydana geldi. ➤ S3 kolonun B yüzü 7h seviyesinde çatlak oluşumu meydana geldi. ➤ S5 kolonu B yüzü 10h, 8.5h ve 8h seviyelerinde ve aynı kolonun CD köşesi 0,5h seviyesinde çatlak oluştu. ➤ S6 kolonu B yüzü K4 kiriş birleşim bölgesinde çatlak gözlemlendi. ➤ S7 kolonun AB köşesi ile K5 ve K11 kirişler birleşim bölgesi arası ve aynı kolonda 1,5h seviyesi ters köşe olan CD köşesinde burulmadan kaynaklanan çatlaklar oluştu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun A yüzü K1 kiriş birleşim bölgesinde 7. döngüden başlayan 45° açılı çatlak devam etti. ➤ S1 kolonun DAB yüzlerinde 9h seviyesinde yatay çatlak gelişti. ➤ S5 kolonu CD köşesi 9h seviyelerinde burulma çatlağı gelişti. ➤ S6 kolonu AB köşesi 0,5h seviyesinde burulmadan kaynaklanan çatlak gözlemlendi. ➤ S2 kolonun DA köşesi 10h ve kiriş birleşim bölgesinde ve aynı kolonda

	<p>1h seviyesi ters köşe olan CB köşesinde çatlaklar oluştu.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S3 kolonun B yüzünde 2h seviyesinde ve AB köşesinde 3.5h seviyelerinde çatlaklar meydana geldi. ➤ S4 kolonu K4 kirişi birleşim bölgesi boyunca çatlak meydana geldi. ➤ P1 Perdenin A yüzü ile K7 kirişi arası ilk çatlak oluştu.
9. Döngü	<p>İtme ve çekmede aynı bir önceki döngüdekine benzer performans sergilemiştir.</p>
10.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun C yüzü ile K6 kiriş birleşim bölgesinde çatlak oluştu. ➤ S1 kolonun BC köşesi 8,5h ve 9,5h seviyelerinde 2 adet burulma çatlak meydana geldi. ➤ S2 kolonun BC köşesi 8,5h, 9h ve 9,5h seviyelerinde ve K7 kiriş birleşim bölgesinde burulma çatlakları oluştu. ➤ S3 kolonun AB köşesi 10h seviyesinde 2 adet burulma çatlak meydana geldi. ➤ S5 kolonu CD köşesi 3h-3,5h arası çatlak oluştu. ➤ S4 kolonu D yüzü 2h seviyesinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S6 kolonu B yüzü 1,5h seviyesinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ P1 Perdenin D yüzü 5,5h seviyesinde çatlak oluştu ve bu çatlak perdenin A yüzünde diyagonal şekilde aşağıya doğru 5,5h'tan 0,5h'a kadar ilerledi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun C yüzü 1h, 2h ve 3h seviyelerinde 5. Ve 7. döngülerden başlayan çatlaklar devam etti. ➤ S4 kolonu B yüzü 0,5h seviyesinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S5 kolonu CDA köşesi K10 kirişi birleşim bölgesinde burulma çatlak gelişti. ➤ S5 kolonu D yüzü 8,5h seviyesinde çatlak görüldü. ➤ S5 kolonu AB köşesi 3h-3,5h arası çatlak oluştu. ➤ S6 kolonu B yüzü 1h seviyesinde enine çatlak gözlemlendi aynı kolonda CD köşesi 9h seviyesinde burulma çatlak meydana geldi. ➤ S7 kolonu AB köşesi 1h seviyesinde burulmadan kaynaklanan çatlak gözlemlendi. ➤ S2 kolonun DA köşesi 8,5h-9h seviyesinde ve aynı kolonun ters köşesi olan BC köşesi 2h-2,5h seviyesinde burulma çatlakları oluştu. ➤ S3 kolonun D yüzünde 8h, 9h ve 10h seviyelerinde çatlaklar meydana geldi.










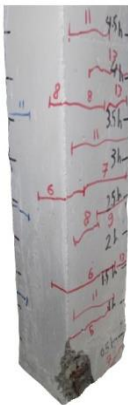

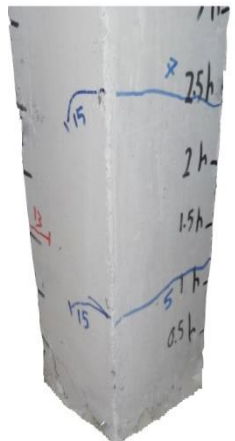
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 Perdenin B yüzü 10h seviyesinde çatlak oluştu ve bu çatlak perdenin A yüzünde diyagonal şekilde 10h'tan 8,5h'a kadar ilerledi.
11.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S5 kolonu CD köşesi 4h seviyesinde burulma çatlağı oluştu. ➤ S5 kolunun A yüzü ve K2 kiriş birleşim bölgesinde 45°'lik eğik çatlak gözlemlendi. ➤ S4 kolunun B yüzü 8,5h seviyesinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S6 kolonu AB köşesi 8h ve 9h seviyelerinde burulma çatlakları gözlemlendi. ➤ S6 kolonu CD köşesi 0,5h seviyesinde burulma çatlağı görüldü. ➤ S7 kolonu AB köşesi 8h, 9h ve 10h seviyelerinde burulma çatlakları gözlemlendi. ➤ P1 Perdenin C yüzü sol taraf kiriş altı seviyesinden başlayan ve diyagonal şekilde aşağıya doğru 9,5h'a kadar ilerleyen çatlak oluştu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolunun BC köşesi 1,5h seviyesinde burulma çatlağı oluştu. ➤ S3 kolonu B yüzü 1h, 3,5h ve 4,5h seviyelerinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S6 kolonu AB köşesi 1h ve 3h seviyelerinde burulma çatlakları gözlemlendi. ➤ P1 Perdenin B yüzü 2h seviyesinde çatlak oluştu ve bu çatlak perdenin A yüzünde diyagonal şekilde aşağıya doğru 2h'tan 1,5h'a kadar ilerledi. ➤ P1 Perdenin B yüzü 3,5h seviyesinde çatlak oluştu ve bu çatlak perdenin A yüzünde diyagonal şekilde aşağıya doğru 3,5h'tan 2h'a kadar ilerledi. ➤ P1 Perdenin C yüzü sağ taraf 5h seviyesinden başlayan ve diyagonal şekilde sola ve aşağıya doğru 0,5h'a kadar ilerleyen çatlak oluştu.
12.Döngü	Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.
13.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S5 kolunun A yüzü 9h seviyesinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ P1 Perdenin A yüzü sol taraf 12.Döngü çatlağından devam eden 2,5h seviyesinden sağ aşağıya doğru 1h'a kadar devam etti. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolunun BC köşesi burulma çatlakları 3,5h ile 4h seviyelerinde ulaştı. ➤ S3 kolonu B yüzü 3,5h, 4h ve 5h seviyelerinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S4 kolonu B yüzü 1,5h, 2h ve 2,5h seviyelerinde ve aynı kolunun ters yüzü olan D yüzü 8h seviyesinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S6 kolonu AB köşesi 1h ve 3h seviyelerinde ve aynı kolunun ters köşesi olan CD köşesinde 8h seviyesinde burulma çatlakları gözlemlendi.

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ S7 kolonu AB köşesi 1,5h ve 2,5h seviyelerinde ve aynı kolonun ters köşesi olan CD köşesinde 9h seviyesinde burulma çatlakları gözlemlendi. ➤ P1 Perdenin B yüzü 5h seviyesinde çatlak oluştu ve bu çatlak perdenin A yüzünde diyagonal şekilde aşağıya doğru 4h'a kadar ilerledi. ➤ P1 Perdenin A yüzü ortasından 6,5h seviyesinde çatlak oluştu ve bu çatlak perdenin A yüzünde diyagonal şekilde sol aşağıya doğru 1h'a kadar ilerledi. ➤ P1 Perdenin C yüzü sağ taraf 7h seviyesinden başlayan ve diyagonal şekilde sola ve aşağıya doğru 1,5h'a kadar ilerleyen çatlak oluştu.
<p>14. ve 15. Döngü</p>	<p>Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.</p>
<p>16.Döngü (Akma gerçekleşti)</p>	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Maksimum yük 15792 kg olarak kayıt edildi. Perdeden uzak olan kolonların yan yüzlerinde köşeli olarak burulma çatlakları kesit boyunca ilerledi. ➤ Hemen hemen tüm kolonlarda daha belirgin olmak üzere, kolonların kirişlerle birleşim bölgelerinde kirişin hemen altında çekme yüzeylerinde (B yüzlerinde) enine 3mm mertebesinde çatlaklar meydana geldi. ➤ Kolonların itme yüzeylerinden (D yüzünden) kesit ortasına kadar kolon temel birleşiminde 2mm mertebesinde açılmalar meydana geldi. Yine temel birleşimi kolon çekme yüzü (B yüzü) taraflarında kolonlarda ezilmeler meydana gelmeye başladı. ➤ S4 kolonun DA yüzü yukarıdan başlayan burulma çatlakları çoğalarak aşağıya doğru indi. ➤ P1 Perdenin C yüzü sol taraf 10h seviyesinden başlayan ve sağ aşağıya doğru 4,5h'a kadar devam etti. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Maksimum yük 16000 kg olarak kayıt edildi. Yukarıdaki itme döngüsünde meydana gelen hasarların çok benzeri karşı taraflı olarak bu döngüde meydana geldi. ➤ S2 kolonun AB köşesi 8h, 8,5h ve 9h seviyelerinde 3 adet burulma çatlağı oluştu. ➤ S2 kolonun A yüzü 9,5h seviyesinden yukarıya doğru kolon kiriş birleşim bölgesi çatlağı ile birleşerek dikey çatlak meydana geldi. ➤ S5 kolonun temel birleşim bölgesi çatlak genişliği 4mm mertebesine ulaştı.

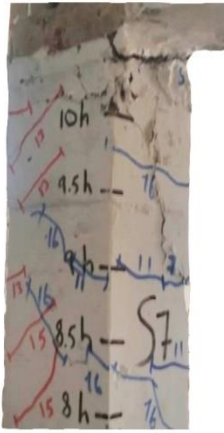

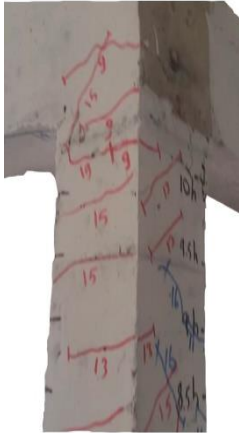

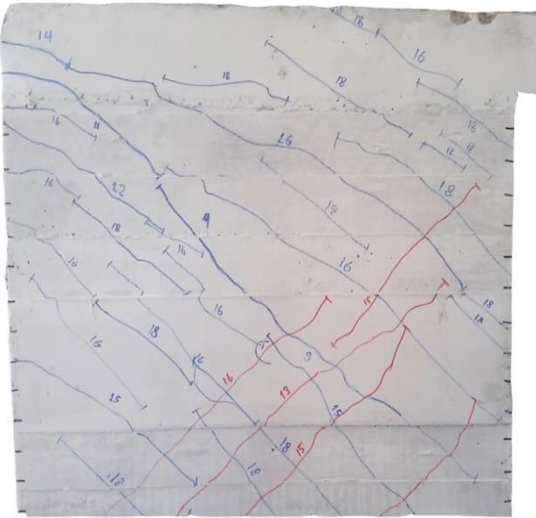
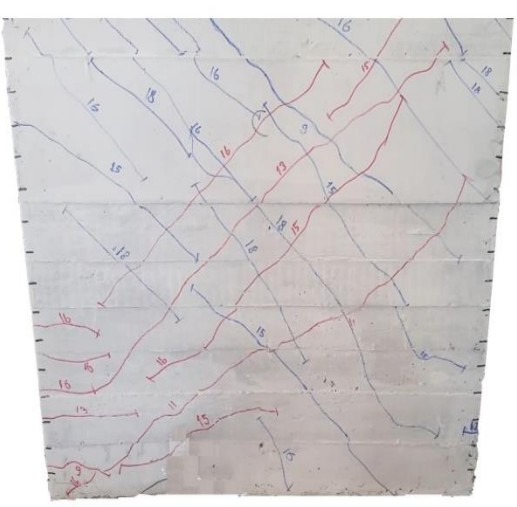

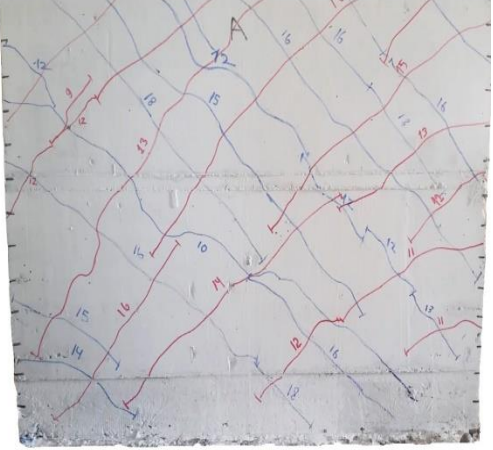
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ K7 kirişi B yüzünde kesme çatlak meydana geldi. ➤ P1 Perdenin B yüzü 1h, 3,5h, 8h ve 8,5h seviyesinde çatlak oluştu ve bu çatlaklar perdenin A yüzünde diyagonal şekilde aşağıya doğru ilerledi.
17. ve 18. Döngü	Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.
19.Döngü	<p>İtme ve Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun A yüzü K1 kiriş birleşim bölgesinde 5mm'lik eğik çatlaklar oluştu ve kirişin üstüne kadar devam etti ➤ P1 perdenin C yüzünde çok sayıda 45°'lik Sağ yukarıdan sola aşağıya doğru ilerleyen eğik çatlaklar oluştu. ➤ Kolon kiriş birleşim bölgelerinde çatlaklar iyice açılmaya başladı ve beton ezilmeleri oluştu.
20.Döngü	Deney sonu...

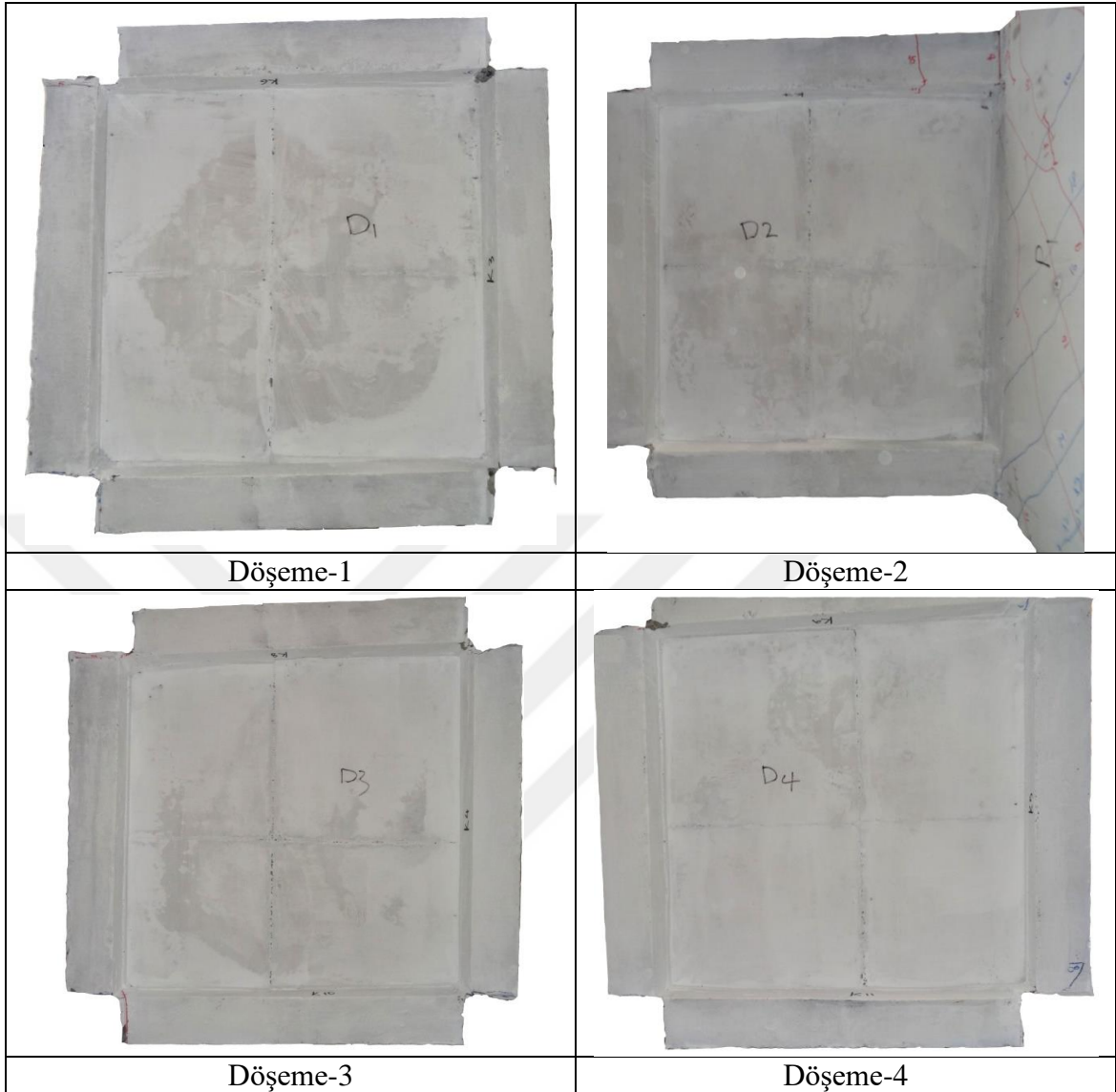


Şekil 3.30. Model 2 Deney Sonu Taşıyıcı Sistem

Model 2-S1 Kolonu			
			
BC Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt
Model 2-S2 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt
Model 2-S3 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	DA Yüzü Alt	DA Yüzü Üst	CD Yüzü Alt

Model 2-S4 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	DA Yüzü Üst	DA Yüzü Alt
Model 2-S5 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	BC Yüzü Üst	BC Yüzü Alt
Model 2-S6 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt

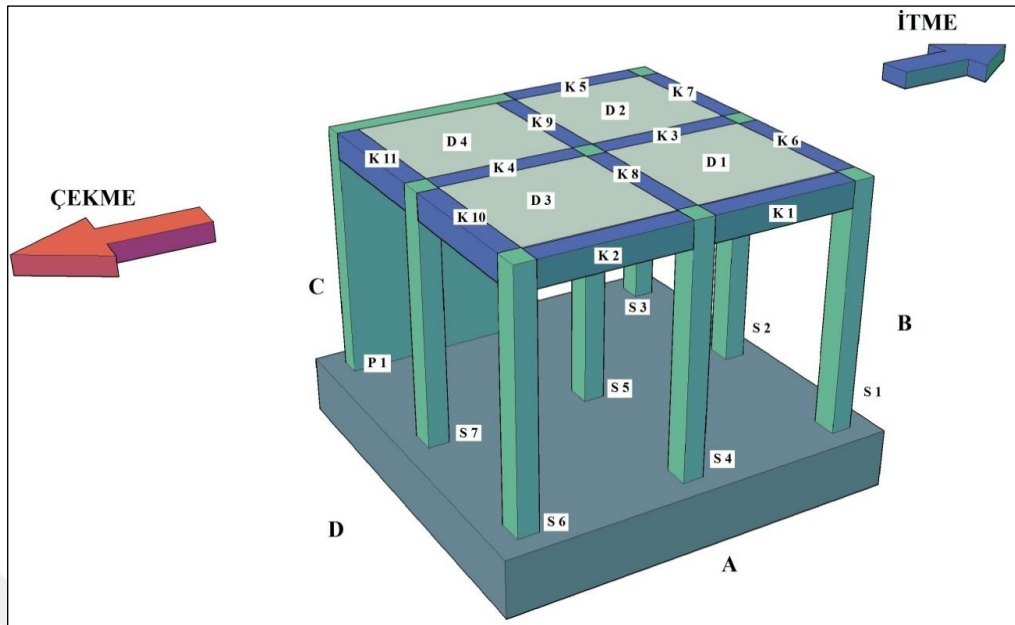
Model 2-S7 Kolonu			
			
DA Yüzü Üst	DA Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt
Model 2-P1 Perdesi			
			
C Yüzü Üst	C Yüzü Alt		
			
A Yüzü Üst	A Yüzü Alt		



Şekil 3.31. Model 2 Perde, Döşeme, Kolon ve Kiriş Düğüm Noktaları Çatlakları

3.1.7.3. Model 3 Numunesi Deneysel Çatlak Gelişimi

Model 3 deneyi devam ederken kolon, perde, kiriş ve döşemelerin A, B, C ve D yüzlerinde oluşan çatlaklar her bir eleman için detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kolonlara, perdeye, kirişlere ve döşemelere Şekil 3.32’de verildiği gibi isimlendirme yapılmıştır. Deneysel modelde çatlak gelişimini dikkatlice takip edebilmek amacıyla çatlakların oluştuğu her yükleme adımı itme ve çekmede detaylıca Tablo 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.32. Model 3 Yükleme Yönleri ve Elaman Numaraları

Tablo 3.9. Model 3 Adımlara göre Çatlak İlerlemesi

Döngü No.	Çatlak Gelişimi
1. ,2. ve 3. Döngü	Herhangi bir elemanda çatlak oluşmadı.
4.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S6 kolonun CD köşesi 1h ile 1.5h seviyelerinde enine ilk burulma çatlak gözlemlendi. ➤ S4 kolonun ABC köşesi 9,5h seviyesinde enine ilk çatlak meydana geldi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun DA köşesi 10h seviyesinde iki çatlak ve aynı kolonun AB köşesi 1h seviyesinde bir burulma çatlakları görüldü. ➤ S2 kolonun BC köşesi 0,5h seviyesinde görüldü.
5.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S7 kolonun AB köşesi 10h seviyesinde burulma çatlak. ➤ S5 kolonun BC köşesi 10h seviyesinde burulma çatlak oluştu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun DA köşesi 8,5h seviyesinde burulma çatlak ve aynı kolonun ABC köşesi 0,5h ve 2h seviyelerinde enine çatlaklar oluştu. ➤ S5 kolonun D yüzü 9,5h seviyesinde enine çatlak meydana geldi.

<p>6. Döngü</p>	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S7 kolonun BC köşesi 0,5h seviyesinde burulma çatlağı oluştu. ➤ S6 kolonun ABC köşesi 9h ve 10h seviyelerinde burulma çatlakları oluştu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S6 kolonun CD köşesi 9h seviyesinde burulma çatlağı oluştu. ➤ S2 kolonun BC köşesi 1h seviyesinde burulma çatlağı oluştu.
<p>7. Döngü</p>	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S4 kolonun AB köşesi 10h seviyesinde burulma çatlağı oluştu. ➤ S2 kolonun BC köşesi 10h seviyesinde burulma çatlağı oluştu. ➤ S6 kolonun AB köşesi 8h ve 8,5h seviyelerinde burulma çatlakları oluştu. ➤ S7 kolonun AB köşesi 9,5h seviyesinde burulma çatlağı oluştu. ➤ S6 kolonun D yüzü temel birleşim bölgesinde ilk çatlak görüldü. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S2 kolonun BC köşesi 1h seviyesinde burulma çatlağı oluştu. ➤ S6 kolonun AB köşesi 1h ve 1,5h seviyelerinde burulma çatlağı oluştu. ➤ S4 kolonun DA köşesi 9,5h seviyesinde ve aynı kolonun ters köşesi olan BC köşesi 0,5h seviyesinde burulma çatlakları oluştu. ➤ S3 kolonu ile K7 kirişi birleşim bölgesi ilk çatlak oluştu. ➤ S7 kolonun AB köşesi 0,5h seviyesinde burulma çatlağı oluştu.
<p>8. Döngü</p>	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun B yüzü 9,5h seviyesinde çatlak meydana geldi. ➤ S6 kolonun ABC köşesi 2,5h seviyesinde burulma çatlakları oluştu. ➤ S4 kolonun DA köşesi 0,5h ve 1,5h seviyelerinde burulma çatlakları oluştu. ➤ S6 kolonu AB yüzleri K2 kiriş birleşim bölgesinde çatlak gözlemlendi. ➤ S7 kolonu AB köşesi 8,5h seviyesinde burulmadan kaynaklanan çatlak gözlemlendi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S4 kolonun B yüzü 0,5h seviyesinde çatlak meydana geldi. ➤ S4 kolonun CDA köşesi 10h seviyelerinde burulma çatlağı oluştu. ➤ S6 kolonun B yüzü 1,5h seviyesinde enine çatlak meydana geldi. ➤ S6 kolonu CD köşesi 8h, 9,5h ve 10h seviyelerinde burulma çatlağı gelişti. ➤ S7 kolonu CD köşesi 8,5h ve 9h seviyelerinde burulma çatlağı gelişti.


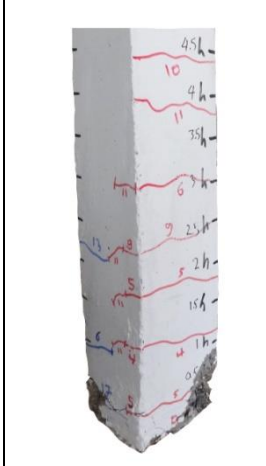
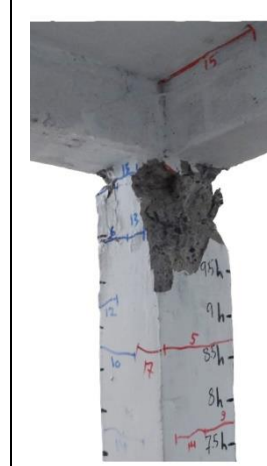
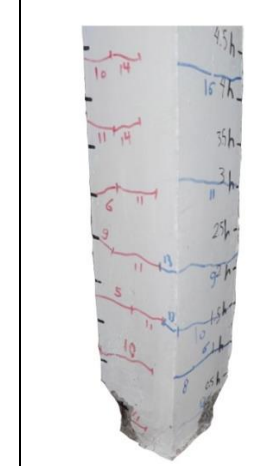
9. Döngü	Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.
10.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun D yüzü 1,5h seviyesinde çatlak meydana geldi. ➤ S4 kolonu D yüzü 1h seviyesinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S1 kolonun BC köşesi 8,5h seviyesinde burulma çatlak meydana geldi. ➤ P1 Perdenin CD köşesi 0,5h ve 1,5h seviyesinde 2 adet burulma çatlak oluştu. ➤ P1 Perdenin A yüzü sol giriş altı seviyesinden başlayan çatlak ve bu çatlak perdenin A yüzünde diyagonal şekilde sağ aşağıya doğru 4,5h'a kadar ilerledi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun BC yüzü 4,5h seviyesinde burulma çatlak meydana geldi. ➤ S2 kolonun DA yüzü 8h seviyesinde burulma çatlak meydana geldi. ➤ S2 kolonun AB köşesi 0,5h ve 1h seviyesinde 2 adet burulma çatlak meydana geldi. ➤ S4 kolonu D yüzü 9,5h ve 10h seviyesinde 2 adet enine çatlak gözlemlendi. ➤ S4 kolonu B yüzü 1,5h seviyesinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S5 kolonu D yüzü 9h seviyesinde çatlak görüldü. ➤ S6 kolonu AB yüzü 3h seviyesinde burulma çatlak gözlemlendi. ➤ S7 kolonu CD köşesi 8h, 9,5h ve 10h seviyesinde burulmadan kaynaklanan çatlaklar gözlemlendi. ➤ S7 kolonu AB köşesi 1,5h seviyesinde burulmadan kaynaklanan çatlak gözlemlendi. ➤ P1 Perdenin C yüzü giriş altı seviyesinden başlayan çatlak ve bu çatlak perdenin C yüzünde diyagonal şekilde sol aşağıya doğru 8h'a kadar ilerledi.
11.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S6 kolonu AB köşesi 7,5h seviyelerinde burulma çatlak gözlemlendi. ➤ P1 Perdenin C yüzü sol taraf 6,5h seviyesinden başlayan ve diyagonal şekilde sağ ve aşağıya doğru Perde temel birleşim noktasına kadar ilerleyen çatlak oluştu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S2 kolonu DA köşesi 8h, 9h ve 9,5h seviyesinde burulmadan kaynaklanan çatlaklar gözlemlendi ve aynı kolonun K6 ile K3 girişleri birleşim bölgesinde çatlak oluştu.



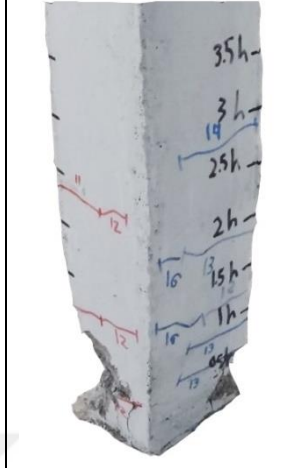

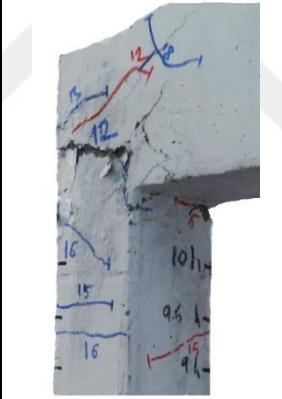
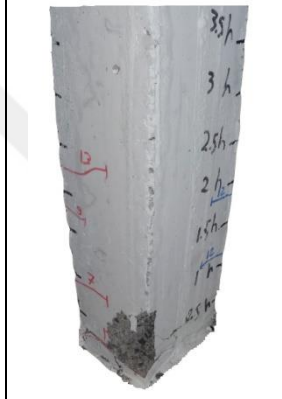


	<ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 Perdenin A yüzü sağ taraf 7h seviyesinden başlayan ve 45° diyagonal şekilde sola ve aşağıya doğru Perde temel birleşim noktasına kadar ilerleyen çatlak oluştu.
12.Döngü	Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.
13.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S7 kolonu AB köşesi 7h seviyesinde ve aynı kolonun ters köşesi olan CD köşesinde 0,5h, 1,5h ve 3,h seviyelerinde burulma çatlağı gözlemlendi. ➤ S4 kolonu AB köşesi 8h, 8,5h ve 9,5h seviyelerinde çatlak gözlemlendi. ➤ P1 Perdenin D yüzü 2h seviyesinde başlayan çatlak A yüzünde sağ ve perde altına doğru devam etti. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonu A yüzü ile K1 kiriş birleşim bölgesinde eğik çatlak oluştu. ➤ S3 kolonu BC yüzü 0,5h, 2h ve 3,5h seviyelerinde burulma çatlağı gözlemlendi.
14. Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S2 kolonu D yüzü 2,5h seviyesinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S5 kolonu B yüzü 7h seviyesinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ P1 Perdenin D yüzü 9,5h seviyesinden başlayan çatlak A yüzünde sağ ve perde altına doğru 1,5h seviyesine kadar 45° devam etti. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonu D yüzü 7,5h seviyesinde ve C yüzü 4h ile 4,5h seviyelerinde enine çatlaklar oluştu. ➤ S2 kolonu DA köşesi 7,5h seviyesinde burulmadan kaynaklanan çatlaklar gözlemlendi. ➤ P1 Perdenin D yüzü 10h seviyesinden başlayan çatlak C yüzünde sol ve perde altına doğru 2,5h seviyesine kadar 45° devam etti. ➤ S7 kolonu CD köşesi 6,5h ve 7h seviyesinde ve aynı kolonun ters köşesi olan AB köşesinde 3h seviyelerinde burulma çatlağı gözlemlendi ➤ S6 kolonu DA köşesi 7h, 9,5h ve 10h seviyelerinde burulma çatlağı gözlemlendi. ➤ S5 kolonu DA köşesi 9h ve 10h seviyelerinde burulma çatlağı gözlemlendi.
15. ve 16. Döngü	Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.
17.Döngü	İtme;

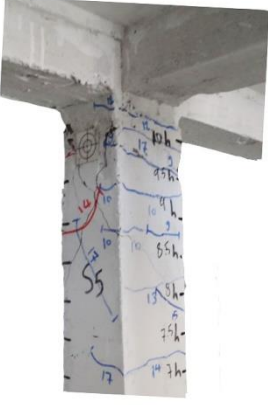
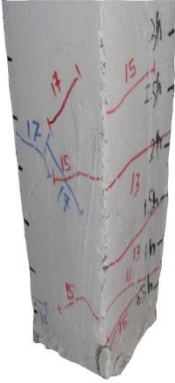


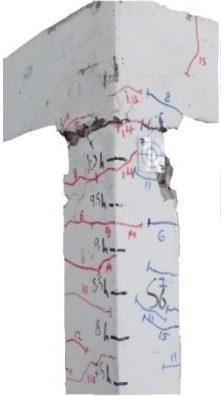
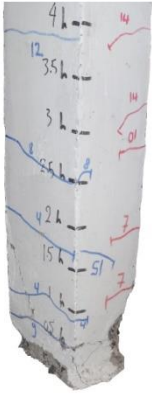
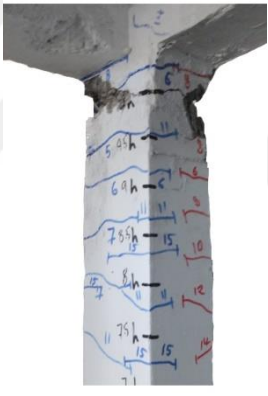
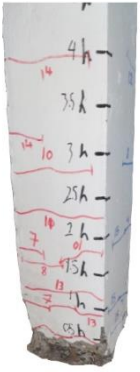
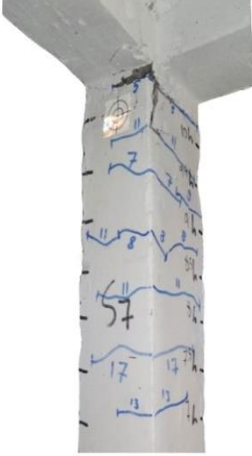
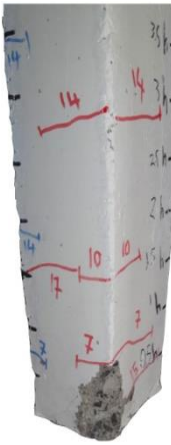


(Akma gerçekteşti)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Maksimum yük 17000 kg olarak kayıt edildi. Perdeden uzak olan kolonların yan yüzlerinde köşeli olarak burulma çatlakları kesit boyunca ilerledi. ➤ Hemen hemen tüm kolonlarda daha belirgin olmak üzere, kolonların kirişlerle birleşim bölgelerinde kirişin hemen altında çekme yüzeylerinde (B yüzlerinde) enine 1,5mm mertebesinde çatlaklar meydana geldi. ➤ Kolonların itme yüzeylerinden (D yüzünden) kesit ortasına kadar kolon temel birleşiminde 2mm mertebesinde açılmalar meydana geldi. Yine temel birleşimi kolon çekme yüzü (B yüzü) taraflarında kolonlarda ezilmeler meydana gelmeye başladı. ➤ S5 kolonun AB yüzü yukarıdan başlayan burulma çatlakları çoğalarak aşağıya doğru indi. ➤ P1 Perdenin A ve C yüzlerinde 45° diyagonal şekilde itme ve çekmeden kaynaklanan çatlaklar meydana geldi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Maksimum yük 17000 kg olarak kayıt edildi. Yukarıdaki itme döngüsünde meydana gelen hasarların çok benzeri karşı taraflı olarak bu döngüde meydana geldi. ➤ S2 kolonun B yüzü 3,5h seviyesinde enine çatlak meydana geldi.
18. Döngü	Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.
19.Döngü	<p>İtme ve Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun D yüzü K1 kiriş birleşim bölgesinde 5mm'lik eğik çatlaklar oluştu ve kirişin üstüne kadar devam etti ➤ P1 perdenin A ve C yüzlerinde çok sayıda 45°'lik yukarıdan aşağıya doğru ilerleyen diyagonal çatlaklar oluştu. ➤ Kolon kiriş birleşim bölgelerinde çatlaklar iyice açılmaya başladı ve beton ezilmeleri oluştu.
20.Döngü	Deney sonu...



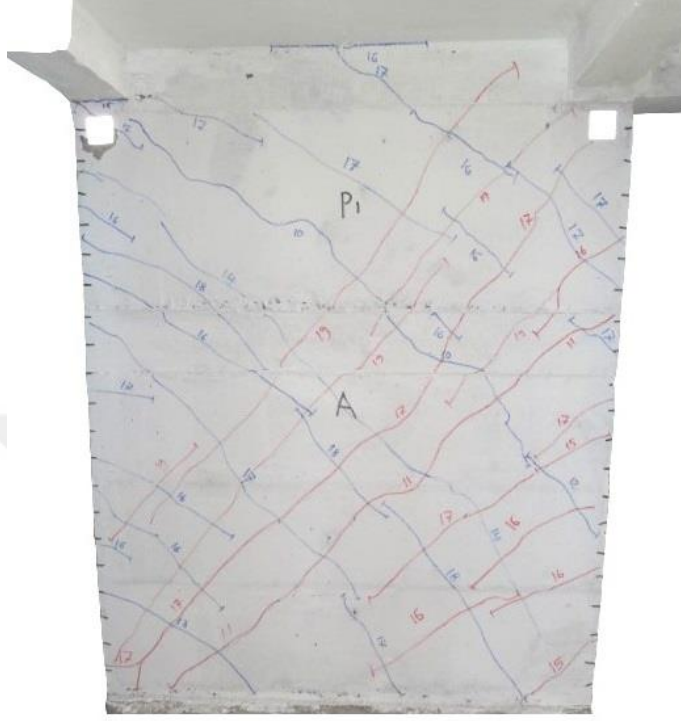
Şekil 3.33. Model 3 Deney Taşıyıcı Sistem

Model 3-S1 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt

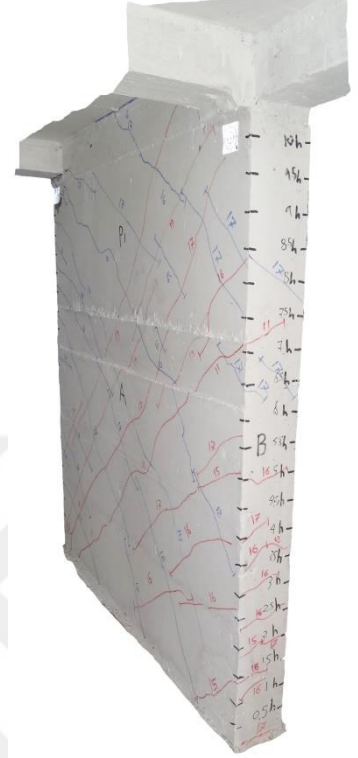
Model 3-S2 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt
Model 3-S3 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt
Model 3-S4 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt

Model 3-S5 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	BC Yüzü Üst	BC Yüzü Alt
Model 3-S6 Kolonu			
			
DA Yüzü Üst	DA Yüzü Alt	BC Yüzü Üst	BC Yüzü Alt
Model 3-S7 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt

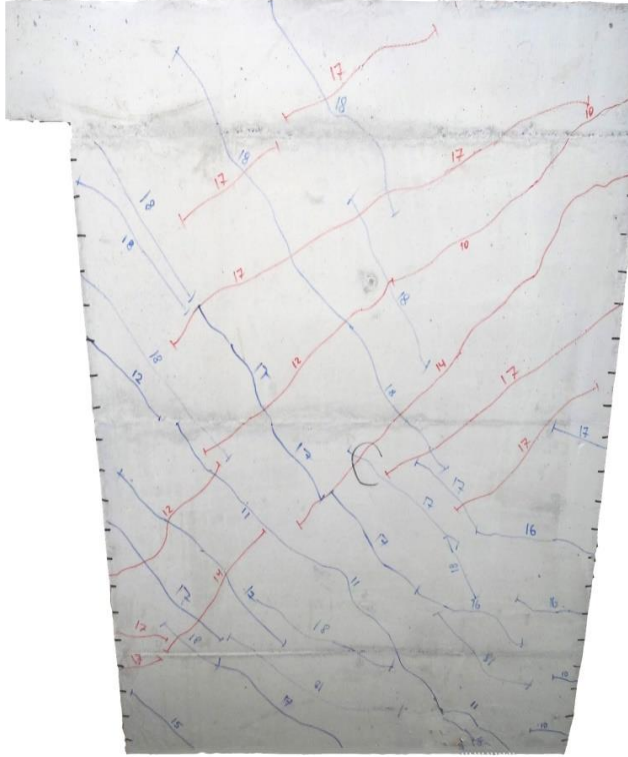
Model 3-P1 Perdesi



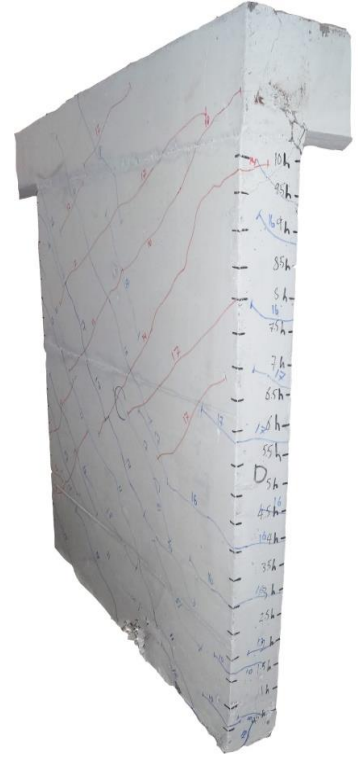
A Yüzü



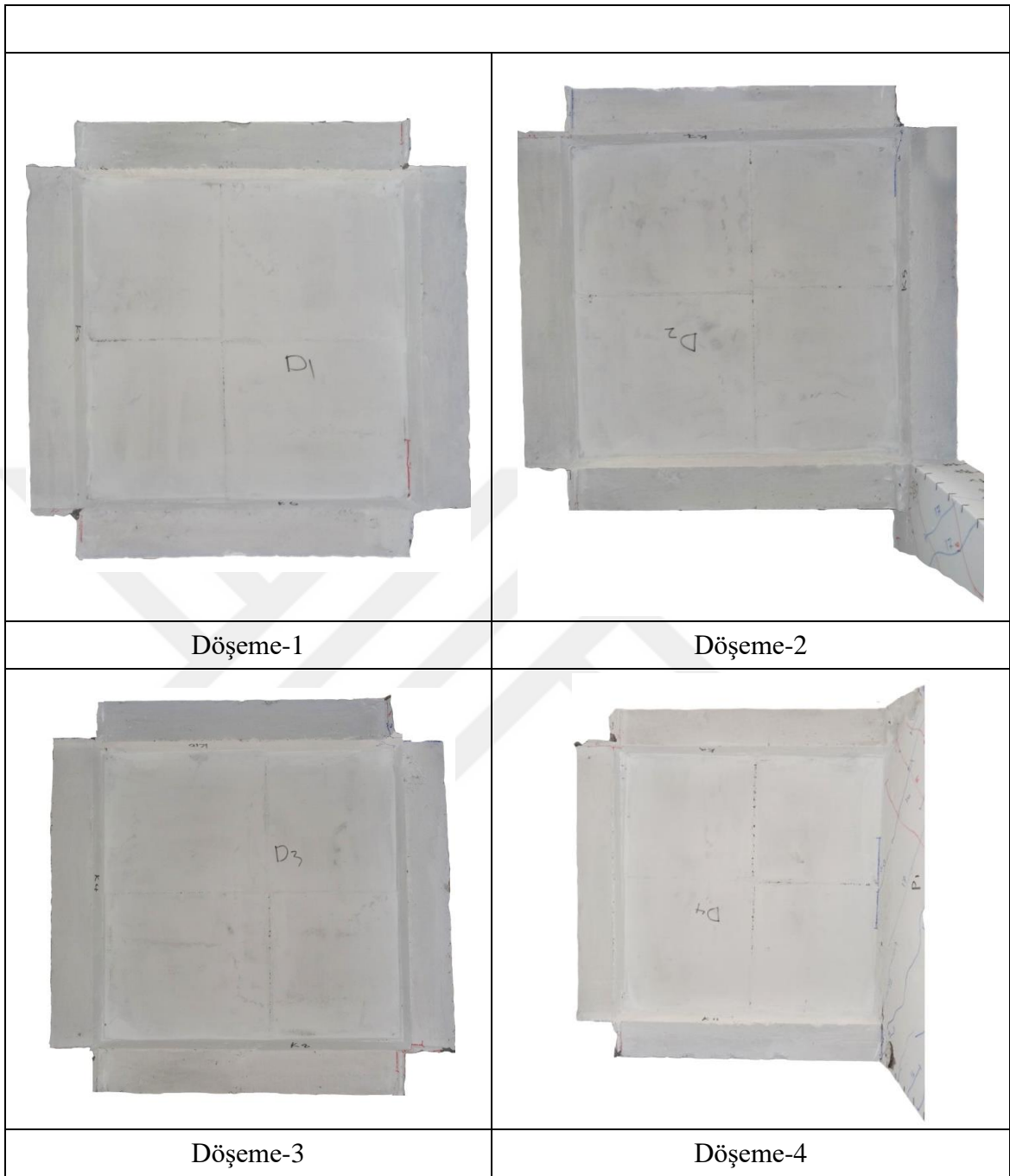
AB Yüzü



C Yüzü



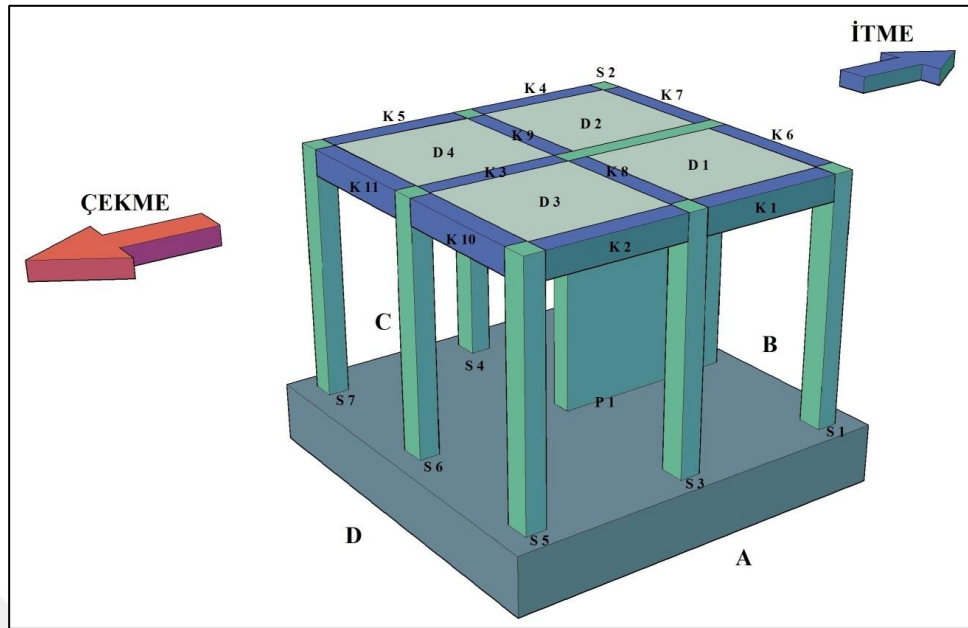
CD Yüzü



Şekil 3.34. Model 3 Perde, Döşeme, Kolon ve Kiriş Düğüm Noktaları Çatlakları

3.1.7.4. Model 4 Numunesi Deneysel Çatlak Gelişimi

Model 4 deneyi devam ederken kolon, perde, kiriş ve döşemelerin A, B, C ve D yüzlerinde oluşan çatlaklar her bir eleman için detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kolonlara, perdeye, kirişlere ve döşemelere Şekil 3.35'te verildiği gibi isimlendirme yapılmıştır.



Şekil 3.35. Model 4 Yükleme Yönleri ve Elaman Numaraları

Deneyde çatlak gelişimini dikkatlice takip edebilmek amacıyla, çatlakların oluştuğu her yükleme adımı itme ve çekmede detaylıca Tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.10. Model 4 Adımlara göre Çatlak İlerlemesi

Döngü No.	Çatlak Gelişimi
1. Döngü	Herhangi bir elemanda çatlak oluşmadı.
2. Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S5 kolonun B yüzü 8,5h, 9h, 9,5 ve 10h seviyelerinde ve aynı kolonun ters yüzü olan D yüzünde 0,5h, 1h, 1,5h, 2h ve 3h seviyelerinde enine ilk çatlaklar gözlemlendi. ➤ S6 kolonun ABC köşesi 7h, 8h, 9h ve 10h seviyelerinde enine ilk çatlaklar meydana geldi ve aynı kolonun ters köşesi olan CDA köşesi 2h ve 3h seviyelerinde enine ilk çatlaklar meydana geldi.. ➤ S7 kolonun ABC köşesi 9,5h ve 10h seviyelerinde enine ilk çatlaklar meydana geldi ve aynı kolonun ters köşesi olan CDA köşesi 0,5h, 1h ve 2h seviyelerinde enine ilk çatlaklar meydana geldi. <p>Çekme,</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Çekme çatlağına rastlanmadı.
3. Döngü	Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.

<p>4.Döngü</p>	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S4 kolonun B yüzü 10h seviyesinde 2 adet enine çatlak oluştu. ➤ S5 kolonun B yüzü 8h seviyelerinde ve aynı kolonun ters yüzü olan D yüzünde 2,5h seviyelerinde enine çatlaklar gözlemlendi. ➤ S6 kolonun CDA köşesi 1h, 2h ve 4h seviyelerinde enine çatlaklar meydana geldi.. ➤ S7 kolonun ABC köşesi 9,5h ve 8,5h seviyelerinde enine çatlaklar meydana geldi ve aynı kolonun ters köşesi olan CDA köşesi kolon temel birleşim bölgesi ve 2,5h seviyelerinde enine çatlaklar meydana geldi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Çekme çatlağına rastlanmadı.
<p>5.Döngü</p>	<p>Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.</p>
<p>6.Döngü</p>	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S4 kolonun B yüzü 9,5h seviyesinde enine çatlak oluştu. ➤ S7 kolonun B yüzü 7,5h seviyesinde enine çatlak gelişimi oluştu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Çekme çatlağına rastlanmadı.
<p>7., 8., 9. ve 10.Döngülerde</p>	<p>Hiçbir eleman çatlama rastlanmamıştır.</p>
<p>11. Döngü</p>	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ İtme çatlağına rastlanmadı. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin B yüzünde 1h, 2h, 2,5h, 3,5h ve 4h seviyelerinde oluşan enine çatlaklar A yüzü ve C yüzünde aşağıya doğru devam etmiştir.
<p>12. Döngü</p>	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ İtme çatlağına rastlanmadı. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin 11. Döngüde B yüzünde 3,5h seviyesinde oluşan çatlak bu döngüde A yüzünde aşağıya doğru 45° 3h seviyesine kadar devam etti
<p>13.Döngü</p>	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin D yüzünde 1,5h seviyesinde oluşan çatlak ve bu çatlak A ve C yüzlerinde aşağıya doğru 45° temel birleşim seviyesine kadar devam etti. <p>Çekme;</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin A ve C yüzlerinde 11. Döngüde oluşan çatlaklar aşağıya doğru ilerledi.
14.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S4 kolonun B yüzü 8,5h seviyesinde enine çatlak oluştu. ➤ P1 perdenin D yüzünde 2h seviyesinde oluşan çatlak ve bu çatlak A ve C yüzlerinde aşağıya doğru 45° 1h seviyesine kadar devam etti. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Çekme çatlağına rastlanmadı.
15.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S4 kolonun D yüzü 0,5h seviyesinde enine çatlak oluştu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin 14. Döngüde B yüzünde 4,5h seviyesinde oluşan çatlak bu döngüde A ve C yüzünde aşağıya doğru 45° 2,5h seviyesine kadar devam etti. ➤ P1 perdenin B yüzünde 5,5h seviyesinde oluşan çatlak ve A ve C yüzünde aşağıya doğru 45° 4,5h seviyesine kadar devam etti.
16.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S4 kolonun D yüzü 1h, 1,5h ve 2h seviyesinde enine çatlak oluştu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun ABC köşesi 0,5h seviyesinde enine çatlak oluştu. ➤ P1 perdenin A ve C yüzlerinde 4,5h seviyesinden başlayıp 45° aşağı doğru 2h seviyesine kadar devam etti.
17. Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S3 kolonun CDA köşesi 0,5h ve 1.5h seviyesinde enine çatlak oluştu. ➤ S6 kolonun CDA köşesi 2,5h seviyesinde ve aynı kolonun ters köşesi olan ABC köşesinin 7,5h ve 8,5h seviyelerinde enine çatlak oluştu. ➤ S7 kolonun CDA köşesi 3,5h seviyesinde enine çatlak oluştu. ➤ S4 kolonun B yüzü K4 kirişi arası birleşim bölgesinde çatlak oluştu. ➤ P1 perdenin D yüzünde 3h seviyesinde oluşan çatlak ve A ve C yüzünde aşağıya doğru 45° 2h seviyesine kadar devam etti. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin B yüzünde 6,5h seviyesinde oluşan çatlak ve A ve C yüzünde aşağıya doğru 45° 4h seviyesine kadar devam etti.
18. Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S4 kolonun ABC köşesi 8h seviyesinde enine çatlak oluştu.

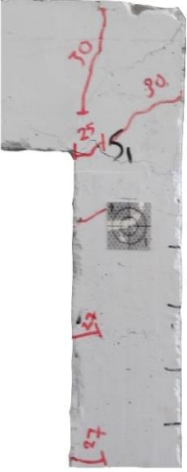
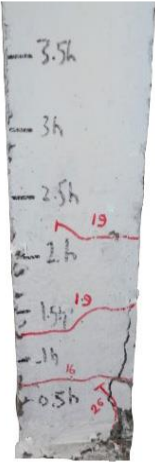


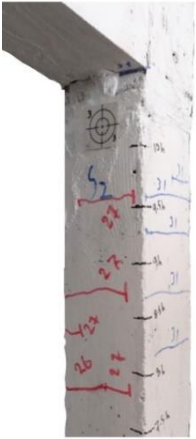
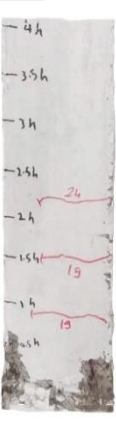
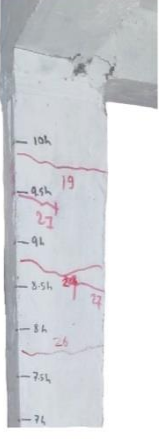
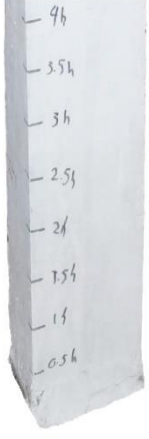


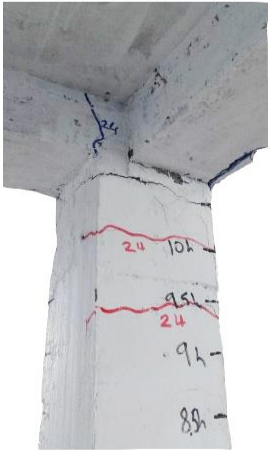

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin B yüzü Temel birleşim bölgesinde temelde 1,6mm mertebesinde çatlak oluştu. ➤ D4 döşemesinde K5 kirişine devam edecek şekilde üstten çatlak meydana geldi. ➤ K1 ve K2 A yüzü kirişlerinde kesme çatlakları görüldü. ➤ S3 kolonun B yüzü 9h ve 10h seviyesinde enine çatlak oluştu. ➤ S5 kolonun B yüzü 7h seviyesinde ve D yüzü 0,5h seviyesinde enine çatlak oluştu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Çekme çatlaklarına rastlanmadı.
19.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S6 kolonun ABC köşesi 6h, 6,5h ve 7h seviyesinde enine çatlak oluştu. ➤ S5 kolonun A yüzü K2 kiriş arası eğri çatlak oluştu. ➤ P1 perdenin D yüzünde 4,5h seviyesinde oluşan çatlak, A ve C yüzünde aşağıya doğru 45° 4h seviyesine kadar devam ettiler. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin B yüzünde 7h, 8h ve 8,5h seviyesinde oluşan çatlaklar ve A ve C yüzünde aşağıya doğru 45° 2h seviyesine kadar devam ettiler. ➤ S2 kolonun B yüzü 1h ve 1,5h seviyesinde enine çatlak oluştu. ➤ S1 kolonun B yüzü 1,5h ve 2h seviyesinde ve aynı kolonun ter yüzü olan D yüzü 7,5h, 8h ve 10h seviyelerinde enine çatlak oluştu.
20., 21., 22. ve 23. Döngülerde	<p>Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.</p>
24.Döngü	<p>İtme</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S3 kolonun B yüzü 8h seviyesinde enine çatlak oluştu. ➤ P1 perdenin B yüzü Temel birleşim bölgesinde temeldeki çatlak 2,6mm mertebesine ulaştı. ➤ P1 perdenin A yüzü K6 kiriş birleşim bölgesinde çatlak oluştu. ➤ P1 perdenin D yüzünde 5,5h seviyesinde oluşan çatlak, A ve C yüzünde aşağıya doğru 45° temel birleşim bölgesine kadar devam ettiler. ➤ D4 döşemede 2 adet diyagonal çatlak meydana geldi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S2 kolonun BC yüzü 2h seviyesinde ve aynı kolonun D yüzü 8,5h seviyesinde enine çatlak oluştu. ➤ S1 kolonun D yüzü 6,5h seviyelerinde enine çatlak oluştu.




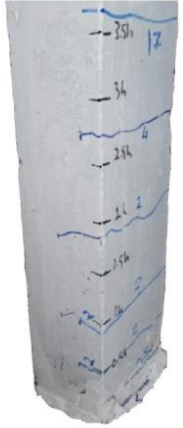


25. ve 26. Döngülerde	Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.
27. Döngü	<p>İtme</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin A yüzü ile C yüzleri ortasında 5,5h seviyesinden başlayan ve 45°'lik eğri çatlak halinde aşağı doğru 4h seviyesine kadar ilerledi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin A yüzü ile C yüzünde B yüzü tarafı perdenin üst noktasından 45°'lik eğri çatlak halinde aşağı doğru 4,5h seviyesine kadar ilerledi.
28. Döngü	Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.
29. Döngü	<p>İtme</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perde temel birleşim bölgesinde 2mm'ye kadar çatlak görüldü. ➤ D3 döşemesinde K3 ile K10 arasında diyagonal çatlak meydana geldi. ➤ D4 döşemesinde K11'den başlayan ve K3'e paralel olarak 35cm boyuna çatlak meydana geldi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin A yüzü ile C yüzünde D yüzü tarafı perdenin üst noktasından 45°'lik eğri çatlak halinde aşağı doğru 4,5h seviyesine kadar ilerledi. ➤ D1 döşemesinde 3 adet diyagonal çatlak meydana geldi. ➤ D2 döşemesinde 4 adet diyagonal çatlak meydana geldi.
30. Döngü	Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.
31. Döngü (Akma gerçekleşti)	<p>İtme</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Maksimum yük 31000 kg olarak kayıt edildi. Perdeden uzak olan kolonların ön yüzlerinde üst ve alt bölgelerinde çatlaklar ve ezilmeler oluştu. ➤ K3 kirişi perde birleşim bölgesinde basınç ezilmelerinden dolayı çatlak oluşumu gerçekleşti. ➤ S1 kolonun B yüzü 10h seviyelerinde enine çatlak oluştu. ➤ S2 kolonun B yüzü 8h, 8,5h, 9h ve 10h seviyelerinde enine çatlaklar oluştu. ➤ S4 kolonu ile K4 kirişi arasındaki bölge baştan başa çatladı. ➤ D1 döşemesinde 1 adet diyagonal çatlak meydana geldi.

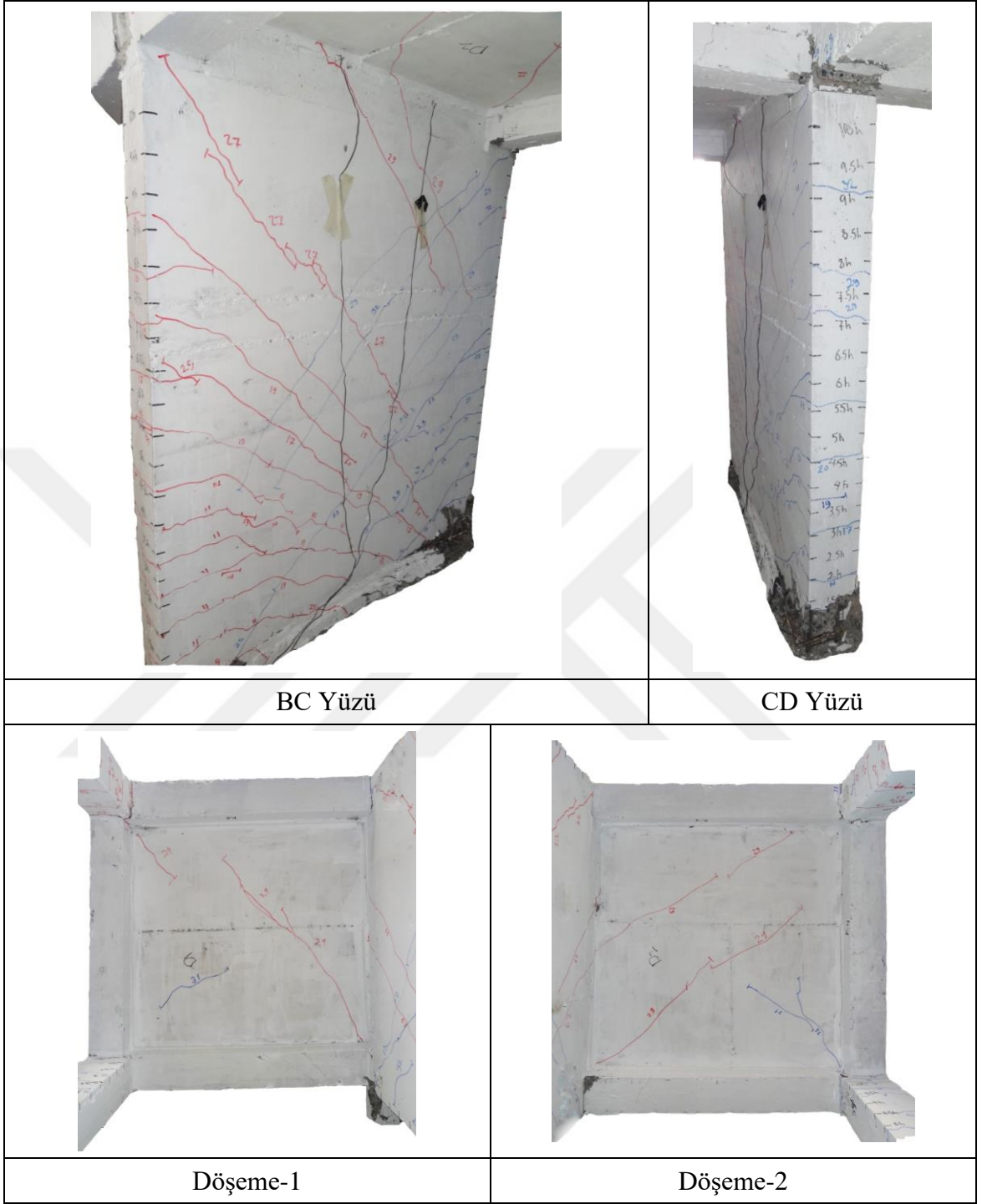
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ D2 döşemesinde 2 adet diyagonal çatlak meydana geldi. ➤ D3 döşemesinde 2 adet diyagonal çatlak meydana geldi. ➤ D4 döşemesinde 2 adet diyagonal çatlak meydana geldi. ➤ P1 perdenin D yüzü tarafı ile temel birleşim yeri iyice açılmaya başladı ve donatı kopmaları sesi duyuldu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Maksimum yük 31000 kg olarak kayıt edildi. Yukarıdaki itme döngüsünde meydana gelen hasarların çok benzeri karşı taraflı olarak bu döngüde meydana geldi. ➤ P1 perdenin B yüzü tarafı ile temel birleşim yeri çatlak genişliği 5,5mm mertebesine geldi ve 2 adet donatı kopma sesi duyuldu.
32. Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin A ve C yüzlerinde 10h seviyesinde oluşan çatlak ve çapraz şekilde aşağıya doğru 45° 2h seviyesine kadar devam etti. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin B yüzü tarafı ile temel birleşim yeri çatlak genişliği 11mm mertebesine geldi ve 6 adet donatı kopma sesi duyuldu.
33. Döngü	<p>İtme ve Çekmede daha önce olan çatlaklar daha da açılmaya başladı, düğüm noktalarında beton ezilmeleri görüldü.</p>
34. Döngü	Deney sonu...

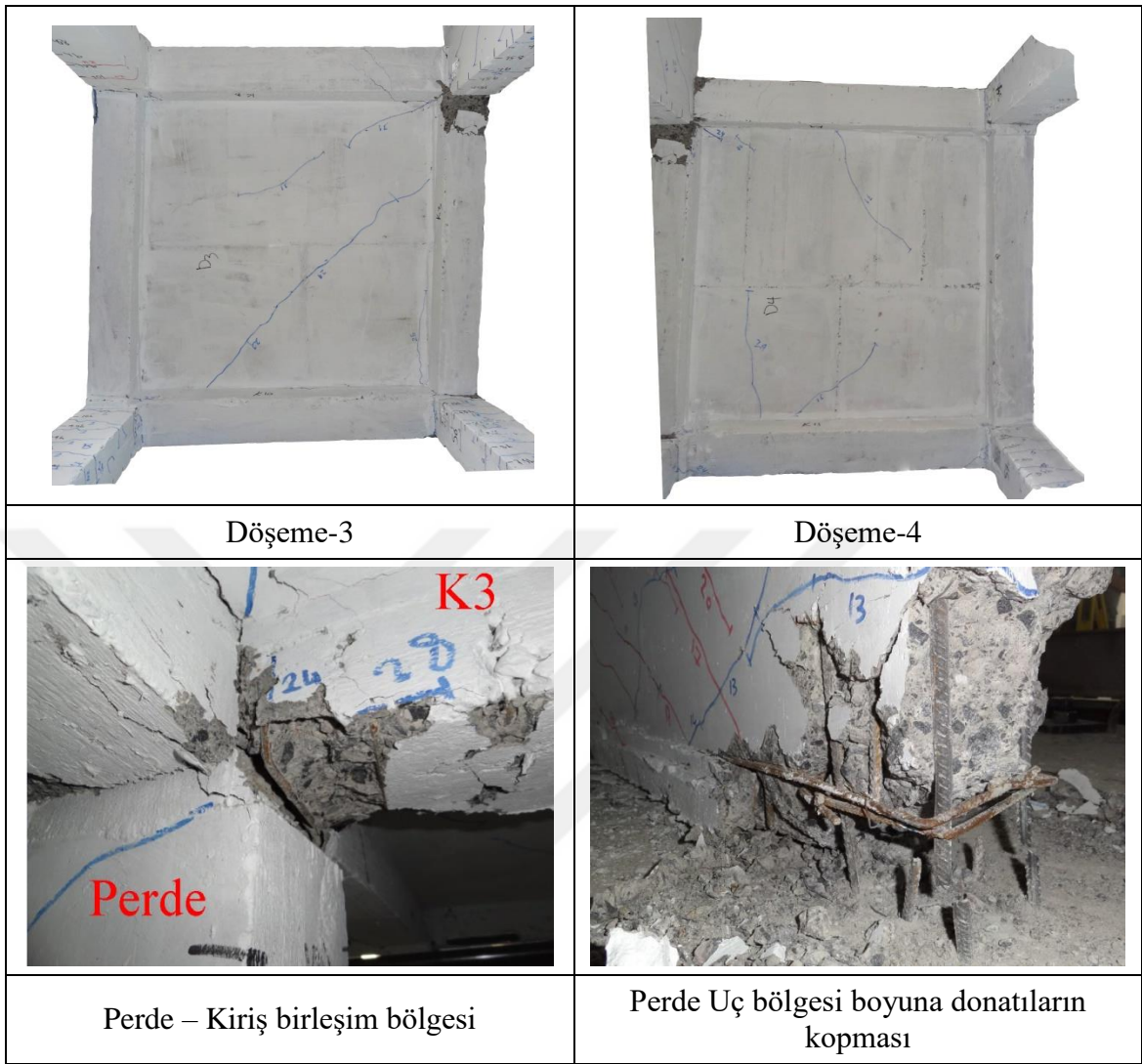


Şekil 3.36. Model 4 Deney Sonu Taşıyıcı Sistem

Model 4-S1 Kolonu			
			
A Yüzü Üst	B Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt
Model 4-S2 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	B Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt
Model 4-S3 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	CD Yüzü Alt

Model 4-S7 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	BC Yüzü Üst	CD Yüzü Alt
Model 4-P1 Perdesi			
			
A Yüzü	AB Yüzü		

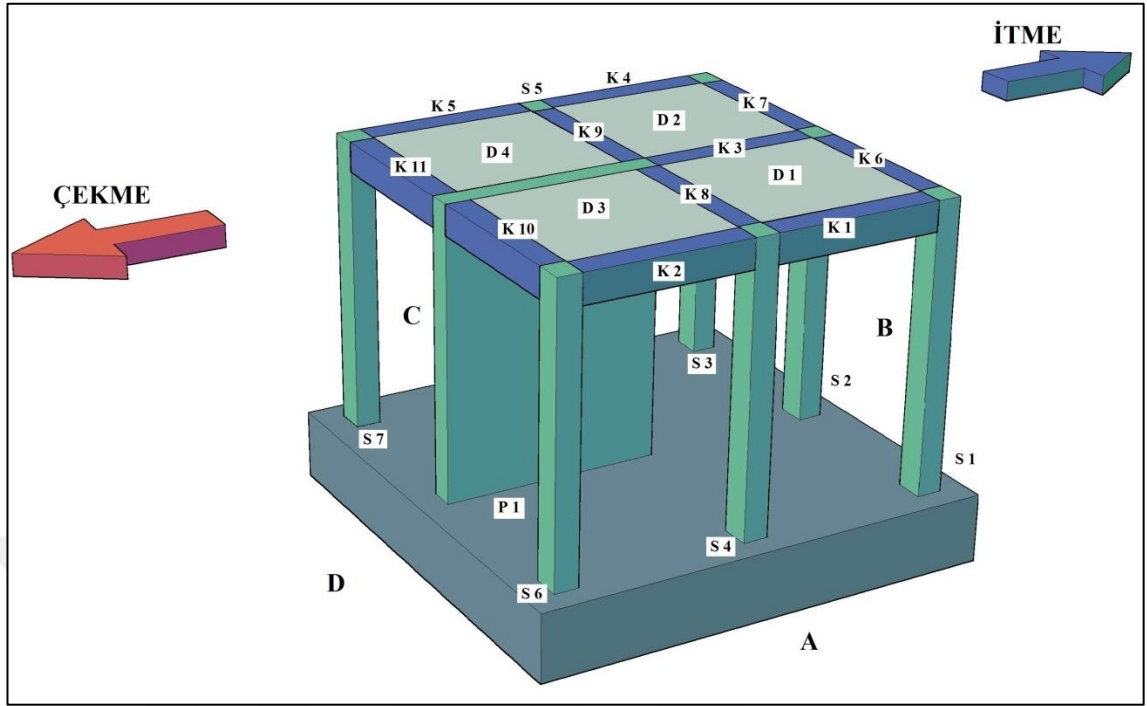




Şekil 3.37. Model 4 Perde, Döşeme, Kolon ve Kiriş Düğüm Noktaları Çatlakları

3.1.7.5. Model 5 Numunesi Deneysel Çatlak Gelişimi

Model 5 deneyi içinde kolon, perde, kiriş ve döşemelerin A, B, C ve D yüzlerinde oluşan çatlaklar her bir eleman için detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kolonlara, perdeye, kirişlere ve döşemelere Şekil 3.38’te verildiği gibi isimlendirme yapılmıştır.



Şekil 3.38. Model 5 Yükleme Yönleri ve Eleman Numaraları

Modelde çatlak gelişimini takip edebilmek amacıyla çatlakların oluştuğu her yükleme adımı itme ve çekmede detaylıca Tablo 3.10’da verilmiştir.

Tablo 3.11. Model 5 Adımlara göre Çatlak İlerlemesi

Döngü No.	Çatlak Gelişimi
1. ,2. ve 3. Döngüler	Herhangi bir elemanda çatlak oluşmadı.
4.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ İtme çatlağına rastlanmadı. <p>Çekme,</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin B yüzü 0,5h seviyesinde ve A yüzü sağ alt tarafın 0,5h seviyesinden temel birleşimine kadar devam eden ilk çatlaklar oluştu.
5.Döngü	Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmeye ve Çekmede aynı performans göstermiştir.
6.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ İtme çatlağına rastlanmadı. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun D yüzü 8,5h, 9,5h ve 10h seviyelerinde 3 adet enine ilk kolon çatlağı gözlemlendi.

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ S4 kolonun D yüzü 9,5h ve 10h seviyesinde enine çatlak oluştu.
7., 8. ve 9. Döngülerde	Eleman çatlaklarına İtmede ve Çekmede rastlanmamıştır ve aynı performans göstermiştir.
10.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin D yüzünde 1h seviyesinde enine çatlak görüldü.. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun D yüzü 8h ve 10h seviyelerinde 2 adet enine kolon çatlağı gözlemlendi. ➤ S2 kolonun D yüzü 8,5h ve 10h seviyelerinde 2 adet enine kolon çatlağı gözlemlendi. ➤ S4 kolonun D yüzü 9h seviyesinde enine çatlak oluştu. ➤ P1 perdenin AB köşesi 1,5h seviyesinde çatlak oluştu.
11.Döngü	Hiçbir eleman çatlamaına rastlanmamıştır.
12. Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin D yüzünde 2h ve 2,5h seviyesinde oluşan çatlak ve bu çatlak A ve C yüzlerinde aşağıya doğru 45° 1,5h seviyesine kadar devam etti. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun D yüzü 9h seviyelerinde ve aynı kolonun ters yüzü olan B yüzünde 1h, 1,5h ve 2h seviyelerinde enine kolon çatlağı gözlemlendi. ➤ S2 kolonun C yüzü 9h seviyesinde enine çatlak oluştu. ➤ S3 kolonun ABC köşesi 0,5h ve 1h seviyelerinde enine kolon çatlağı gözlemlendi. ➤ P1 perdenin B yüzünde 1,5h seviyesinde oluşan çatlak ve bu çatlak A ve C yüzlerinde aşağıya doğru 45° 0,5h seviyesine kadar devam etti.
13. Döngü	Hiçbir eleman çatlamaına rastlanmamıştır.
14.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin D yüzünde 3h ve 4,5h seviyesinde oluşan çatlaklar ve bu çatlaklar A ve C yüzlerinde aşağıya doğru 45° 0,5h ve 2,5h seviyelerine kadar devam etti. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S2 kolonun D yüzü ile K3 kiriş birleşim bölgesinde çatlak oluştu. ➤ S2 kolonun B yüzü 1h, 1,5h ve 2h seviyelerinde enine kolon çatlağı gözlemlendi

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ S3 kolonun D yüzü 9h, 9,5h ve 10h seviyelerinde enine kolon çatlağı gözlemlendi. ➤ S5 kolonun B yüzü temel birleşim bölgesinde çatlak oluştu. ➤ P1 perdenin B yüzünde 2,5h seviyesinde oluşan çatlak ve bu çatlak A ve C yüzlerinde aşağıya doğru 45° 1,5h seviyelerine kadar devam etti.
15.Döngü	Hiçbir eleman çatlamasına rastlanmamıştır.
16.Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin D yüzünde 5,5h seviyesinde oluşan çatlaklar ve bu çatlaklar A ve C yüzlerinde aşağıya doğru 45° 4,5h seviyelerine kadar devam etti. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin B yüzünde 3,5h seviyesinde oluşan çatlak ve bu çatlak A ve C yüzlerinde aşağıya doğru 45° 2,5h seviyelerine kadar devam etti. ➤ P1 perdenin B yüzü Temel birleşim bölgesinde temelde 1,5mm mertebesinde çatlak oluştu.
17.Döngü	Hiçbir yeni eleman çatlamasına rastlanmamıştır.
18. Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S7 kolonun CDA köşesi 1h ve 2h seviyelerinde enine kolon çatlağı gözlemlendi. ➤ P1 perdenin D yüzünde 3,5h seviyesinde oluşan çatlaklar ve bu çatlaklar A ve C yüzlerinde aşağıya doğru 45° 3h seviyelerine kadar devam etti. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin B yüzünde 4,5h seviyesinde oluşan çatlak ve bu çatlak A ve C yüzlerinde aşağıya doğru 45° 1,5h seviyelerine kadar devam etti. ➤ S1 kolonun B yüzünde 2,5h seviyelerinde enine kolon çatlağı gözlemlendi. ➤ S3 kolonun D yüzü 8h seviyelerinde enine kolon çatlağı gözlemlendi. ➤ S4 kolonun B yüzünde 1,5h, 2h ve 2,5h seviyelerinde enine kolon çatlağı gözlemlendi.
19. Döngü	Hiçbir yeni eleman çatlamasına rastlanmamıştır.
20. Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin B yüzü Temel birleşim bölgesinde temeldeki çatlak 2mm mertebesine geldi. ➤ P1 perdenin B yüzü ile K3 kiriş birleşim bölgesinde çatlak meydana

	<p>geldi.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin D yüzünde 6,5h seviyesinde oluşan çatlaklar ve bu çatlaklar A ve C yüzlerinde aşağıya doğru 45° 1h seviyelerine kadar devam etti. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin B yüzünde 5,5h seviyesinde oluşan çatlak ve bu çatlak A ve C yüzlerinde aşağıya doğru 45° 2h seviyelerine kadar devam etti. ➤ S1 kolonun D yüzünde 7,5h seviyelerinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S2 kolonun B yüzü 2,5h, 3h ve 4h seviyelerinde enine kolon çatlakları gözlemlendi. ➤ S2 kolonun D yüzü 8h seviyelerinde enine kolon çatlakları gözlemlendi. ➤ S3 kolonun D yüzü 2,5h seviyelerinde enine çatlak gözlemlendi.
21. Döngü	Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.
22.Döngü	<p>İtme</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S7 kolonun CDA köşesi 2,5h seviyelerinde enine kolon çatlakları gözlemlendi. ➤ P1 perdenin 20. Döngüde oluşan çatlaklar ilerledi, bu çatlaklar A ve C yüzlerinde 1h seviyesinden aşağıya doğru temel birleşim bölgesi seviyelerine kadar devam etti. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdenin B yüzünde 7h seviyesinde oluşan çatlak ve bu çatlak A ve C yüzlerinde aşağıya doğru 45° 4,5h seviyelerine kadar devam etti. ➤ P1 perdenin B yüzünde 0,5h seviyesinde oluşan çatlak ve bu çatlak A ve C yüzlerinde aşağıya doğru 45° temel birleşim bölgesi seviyelerine kadar devam etti. ➤ S3 kolonun D yüzü ile K4 kiriş birleşim bölgesinde ve 7,5h seviyesinde çatlak meydana geldi.
23. Döngü	Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.
24. Döngü	<p>İtme</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S5 kolonun D yüzü 0,5h-1h arasında 3 adet enine çatlak gözlemlendi. ➤ S6 kolonun D yüzünde 0,5h ve 1h seviyelerinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S7 kolonun B yüzünde 9,5h ve 10h seviyelerinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S7 kolon ile K11 kirişi birleşim bölgesinde yeni çatlak gözlemlendi.

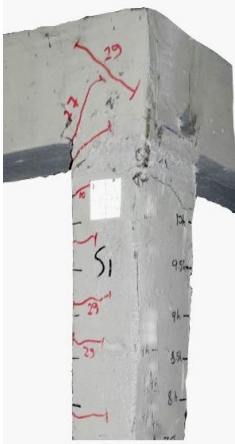
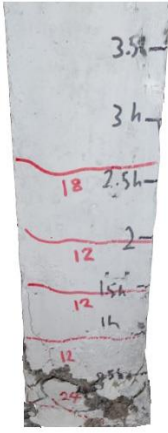

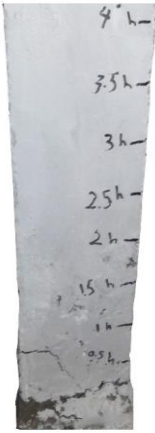

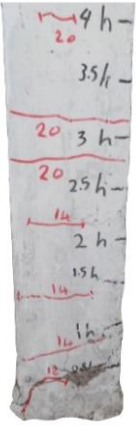

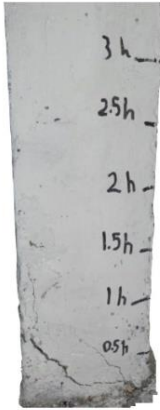

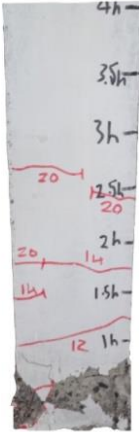
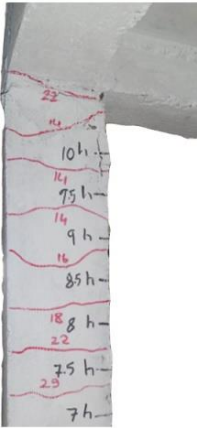
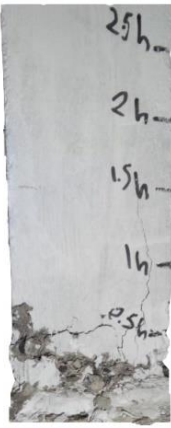
	<p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun AB yüzünde kolon temel birleşim bölgesinde çatlak gözlemlendi. ➤ S5 kolonun DA yüzünde 9h ve 9,5h seviyelerinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ K5 kiriş ile K9 kirişi arası çatlak oluştu.
25. Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S7 kolonun B yüzünde 8h seviyelerinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ P1 perdenin D yüzünde 8h ve 10h seviyelerinde oluşan 2 çatlak, A ve C yüzünde aşağıya doğru 45° 4h seviyesine kadar devam ettiler. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun CDA yüzünde 7,5h seviyelerinde enine 2 adet çatlak gözlemlendi. ➤ P1 perdenin B yüzünde 8,5h seviyelerinde oluşan çatlak, A ve C yüzünde aşağıya doğru 45° 3,5h seviyesine kadar devam ettiler.
26. Döngü	Hiçbir yeni eleman çatlamasına rastlanmamıştır.
27. Döngü	<p>İtme</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S1 kolonun D yüzü ile K1 kirişi arasında oluşan çatlak kolonun A yüzüne 45° yukarı doğru eğik bir şekilde devam etti. ➤ S5 kolonun D yüzü 1,5h - 2h arasında 2 adet enine çatlak gözlemlendi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ K10 kirişi ile P1 perde arası çatlak D3 döşemesinde diyagonal bir şekilde K8 kirişi ile K2 kirişi birleşim bölgesine kadar devam eden çatlaklar gözlemlendi. ➤ S6 kolonun B yüzü 0,5h ve 1,5h seviyesinde enine çatlaklar gözlemlendi.
28. Döngü	Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.
29. Döngü	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S5 kolonun D yüzü 1,5h seviyesinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S4 kolonun B yüzü 9,5h seviyesinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S6 kolonun D yüzü 2h, 2,5h ve 3,5h seviyesinde enine çatlaklar gözlemlendi. ➤ S7 kolonun CDA köşesi 3,5h seviyelerinde enine kolon çatlağı gözlemlendi. ➤ D3 döşemede 4 adet diyagonal çatlak meydana geldi. ➤ D4 döşemede 2 adet diyagonal çatlak meydana geldi.

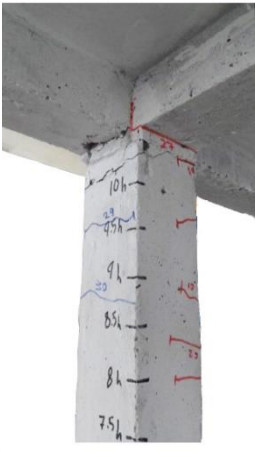
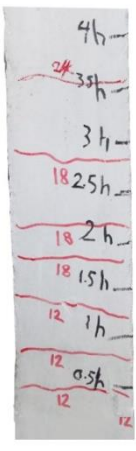

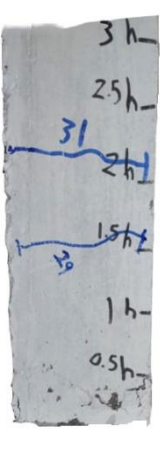


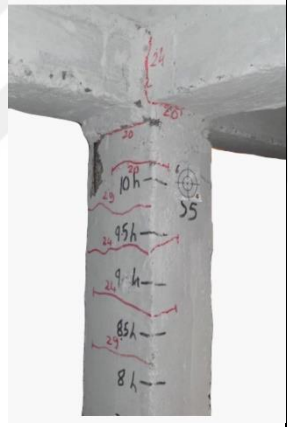

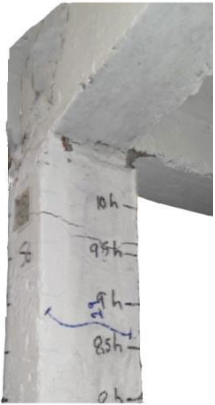
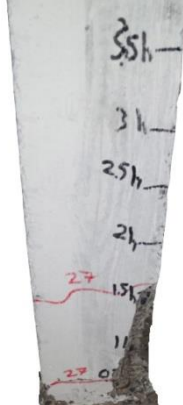

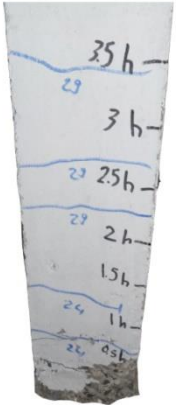
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ P1 perdede A ve C yüzlerinde 45°'lik eğri çatlak meydana geldi. ➤ Temel perde birleşim yeri çatlak genişliği 2mm oldu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S3 kolonun D yüzü 7,5h seviyelerinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ S5 kolonun D yüzü 7,5h - 8h arasında 2 adet enine çatlak gözlemlendi. ➤ S5 kolonun B yüzü 0,5h, 1,5h ve 2,5h seviyelerinde enine çatlaklar gözlemlendi. ➤ P1 perdede A ve C yüzlerinde 45°'lik eğri çatlak meydana geldi. ➤ S5 kolonun DA yüzünde 8h ve 9,5h seviyelerinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ Döngü sonunda donatı kopması sonucu yüksek bir ses duyuldu.
<p style="text-align: center;">30. Döngü</p>	<p>İtme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ S4 kolonun B yüzü 8,5h seviyesinde enine çatlak gözlemlendi. ➤ D1 döşemede 2 adet diyagonal çatlak meydana geldi. ➤ D2 döşemede 1 adet diyagonal çatlak meydana geldi. ➤ P1 perdede AB köşesi temel birleşim bölgesinde beton ezilmesi yaşandı ve perde uç kısmı boyuna donatıların ortaya çıktığı saptandı. ➤ P1 perdenin B yüzü tarafı ile K3 kirişi arası beton ezilmesi oluştu. ➤ P1 perdenin D yüzü tarafı ile temel birleşim yeri çatlak gelişimi 3mm oldu. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Çekmede yeni çatlaklara rastlanmadı.
<p style="text-align: center;">31. Döngü</p>	<p>Bir önceki döngü gibi eleman çatlakları İtmede ve Çekmede aynı performans göstermiştir.</p>
<p style="text-align: center;">32. Döngü (Akma gerçekleşti)</p>	<p>İtme</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Maksimum yük 32000 kg olarak kayıt edildi. Perdeden uzak olan kolonların ön yüzlerinde üst ve alt bölgelerinde çatlaklar ve ezilmeler oluştu. ➤ P1 perdede AB köşesi temel birleşim bölgesinde perde uç kısmı boyuna donatılarda burkulma meydana geldi. ➤ S6 kolonu üstü K2 kirişi çatladı ve kabuk beton ayrıldı. ➤ S4 kolonu ile K1 kirişi arasındaki bölge çatladı ve çatlak genişliği 0,5mm mertebesine geldi. ➤ K9 kirişinde kesme çatlağı meydana geldi. <p>Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Maksimum yük 32000 kg olarak kayıt edildi. Yukarıdaki itme döngüsünde meydana gelen hasarların çok benzeri karşı taraflı olarak

	<p>bu döngüde meydana geldi.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Çekmede model yük taşımaz hale geldi ➤ P1 perdenin B yüzü tarafı ile temel birleşim yeri çatlak genişliği 3mm mertebesine geldi.
33. Döngü	<p>İtme ve Çekme;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ İtme ve Çekmede P1 perdenin B ve D yüzlerinde uç bölgesi boyunca donatılarda kopma meydana geldi. ➤ İtmede 23 Ton yük civarında donatı sıyrılmaya sesleri duyuldu ve numune yük almadan deplasman yapmaya geçti, o yüzden çekmede de 15mm artırarak deplasman kontrollü 45mm'e kadar gidildi.
34. Döngü	<p>İtme ve Çekmede daha önce olan çatlaklar daha da açılmaya başladı, düğüm noktalarında beton ezilmeleri görüldü.</p>
35. Döngü	Deney sonu...



Şekil 3.39. Model 5 Deney Sonu Taşıyıcı Sistem

Model 5-S1 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	B Yüzü Alt	D Yüzü Üst	D Yüzü Alt
Model 5-S2 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	B Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	D Yüzü Alt
Model 5-S3 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	B Yüzü Alt	D Yüzü Üst	D Yüzü Alt

Model 5-S4 Kolonu			
			
BC Yüzü Üst	B Yüzü Alt	CD Yüzü Üst	D Yüzü Alt
Model 5-S5 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	AB Yüzü Alt	DA Yüzü Üst	DA Yüzü Alt
Model 5-S6 Kolonu			
			
AB Yüzü Üst	B Yüzü Alt	BC Yüzü Üst	D Yüzü Alt

Model 5-S7 Kolonu



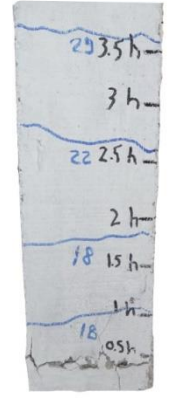
AB Yüzü Üst



AB Yüzü Alt

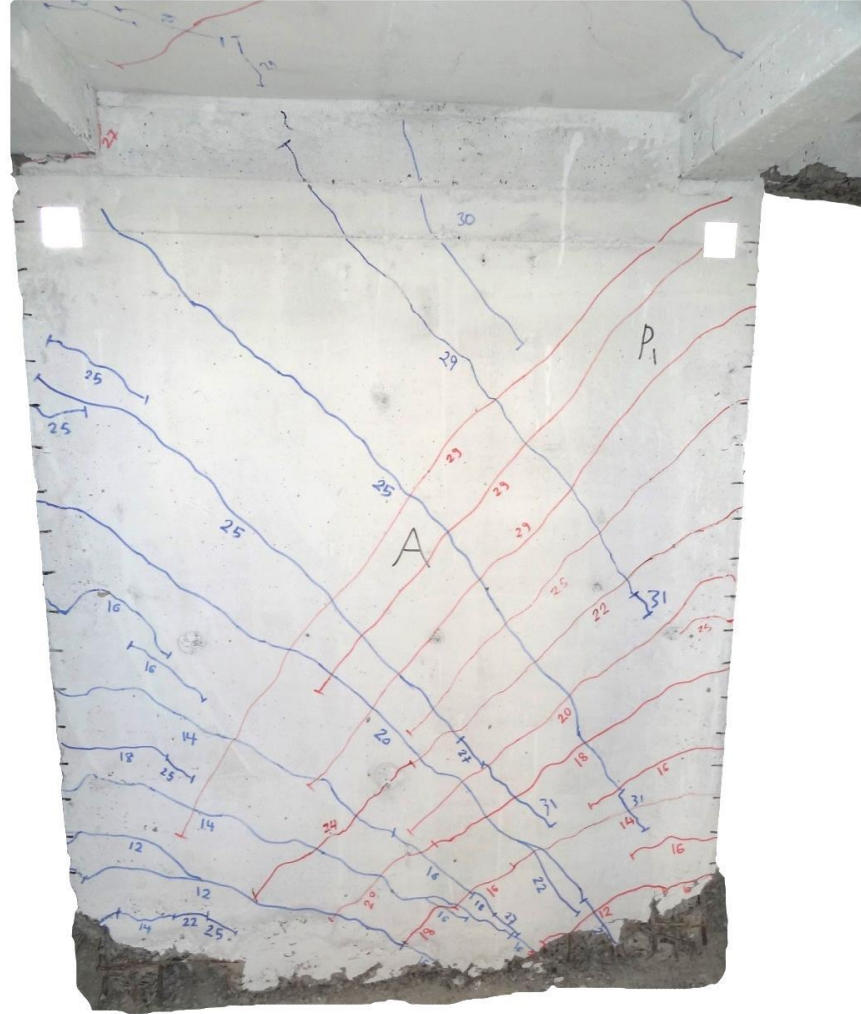


BC Yüzü Üst



D Yüzü Alt

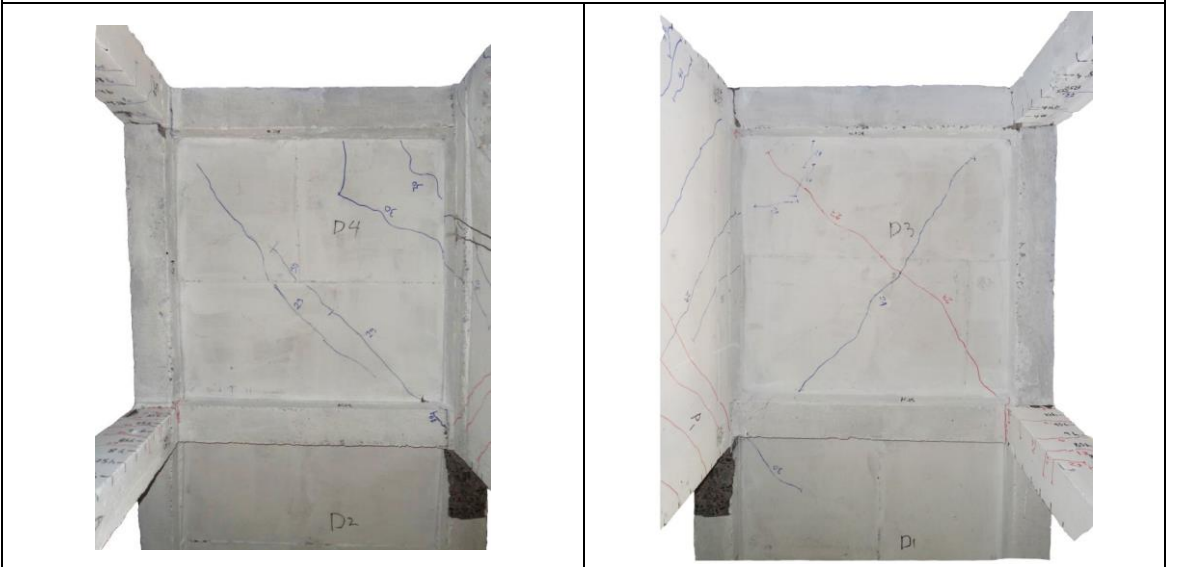
Model 5-P1 Perdesi



A Yüzü

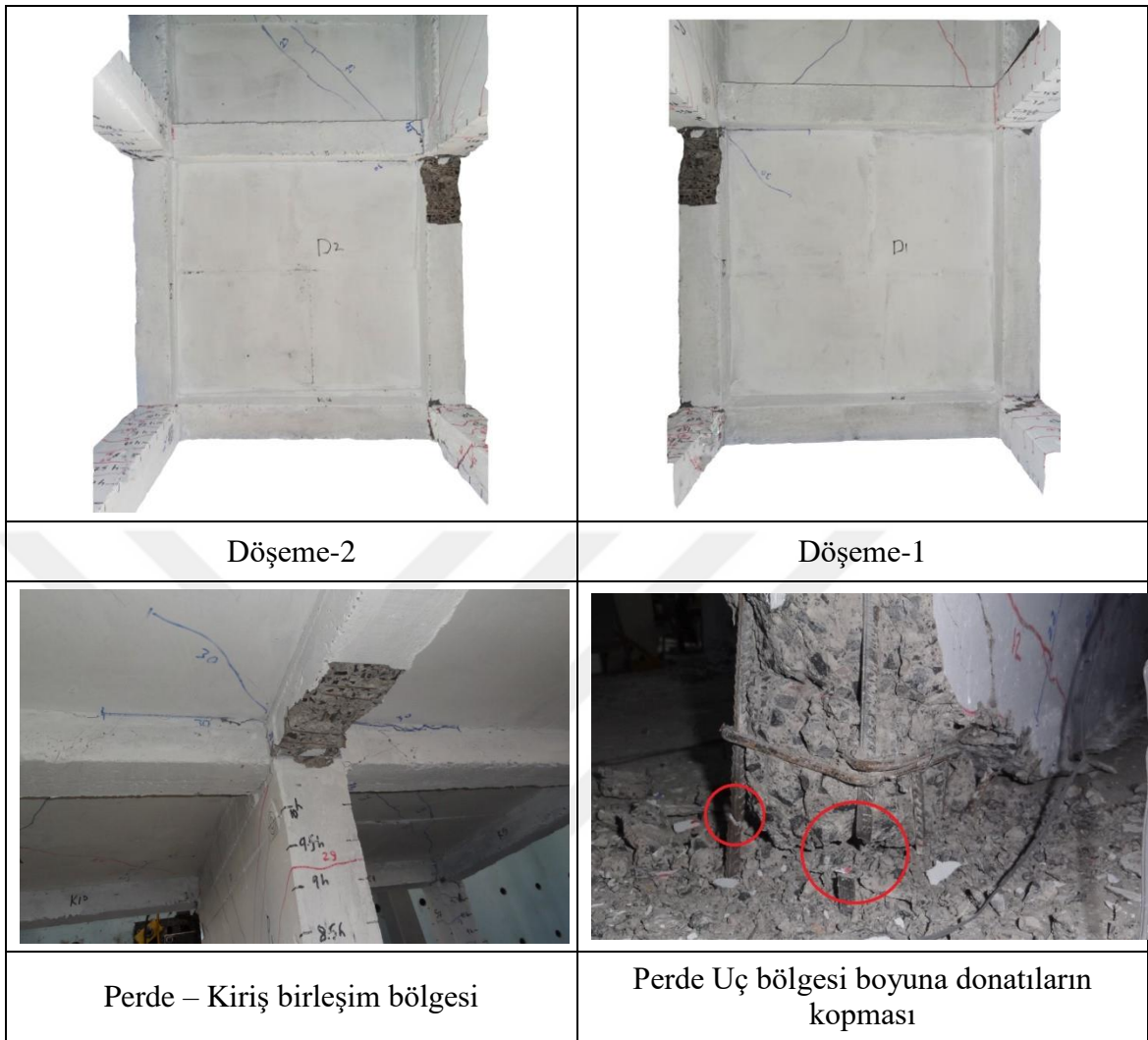


C Yüzü



Döşeme-4

Döşeme-3

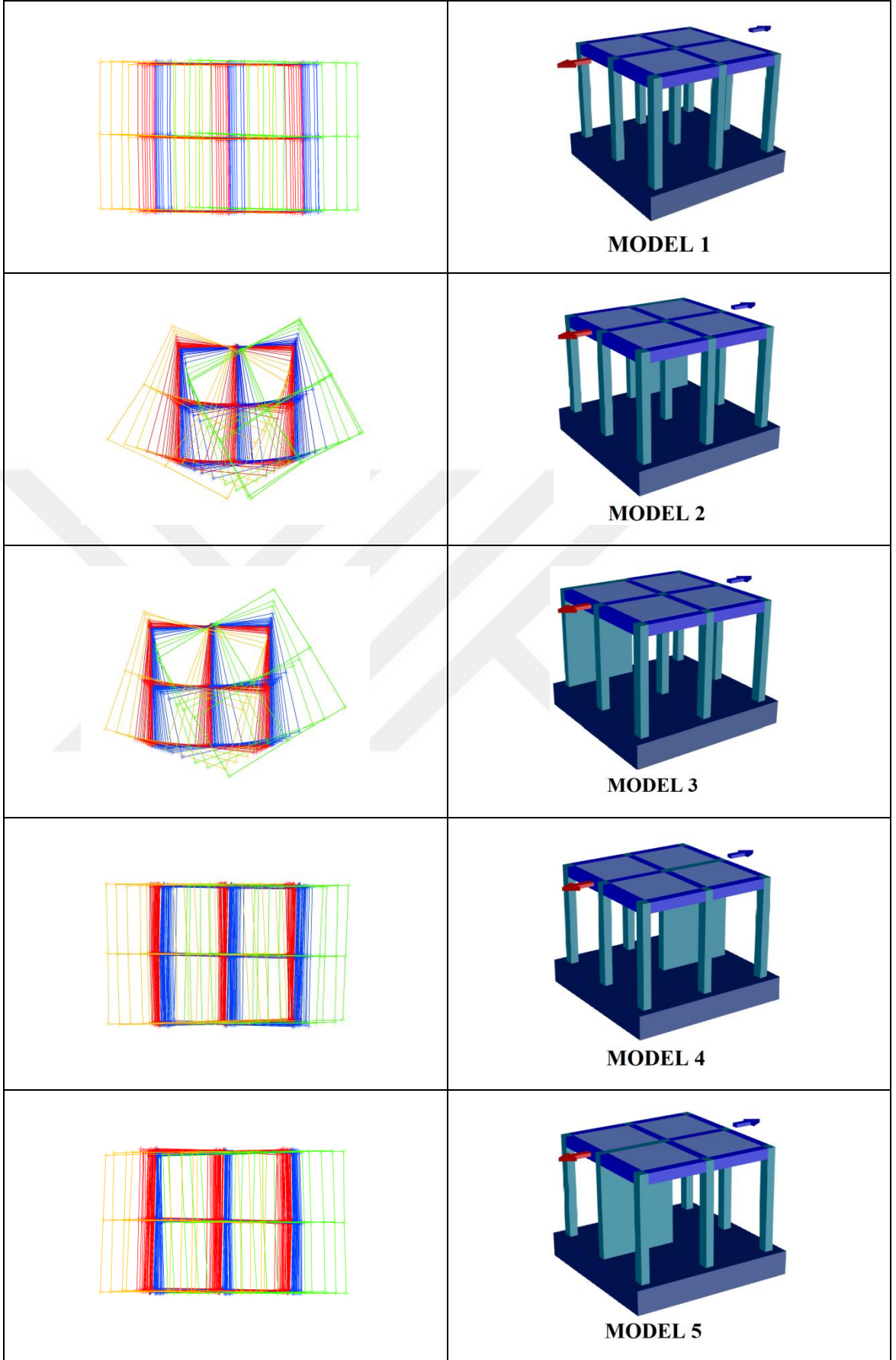


Şekil 3.40. Model 5 Perde, Döşeme, Kolon ve Kiriş Düğüm Noktaları Çatlakları

3.1.8. Total Station Cihazı ile Deneysel Deplasman Ölçümü



Şekil 3.41. Total Station Cihazı Okumaları



Şekil 3.42. Deneysel Modellerin Taşıyıcı Sistem Davranışları

Kolon-kiriş düğüm noktası ve perdenin iki üst uç noktasında deneyler sırasında oluşan x, y, z koordinatlarındaki deplasmanları okumak için total station'dan yararlanılmıştır. Bu şekilde taşıyıcı sistemde oluşan burulmaların incelenme olanağı bulunmuştur.

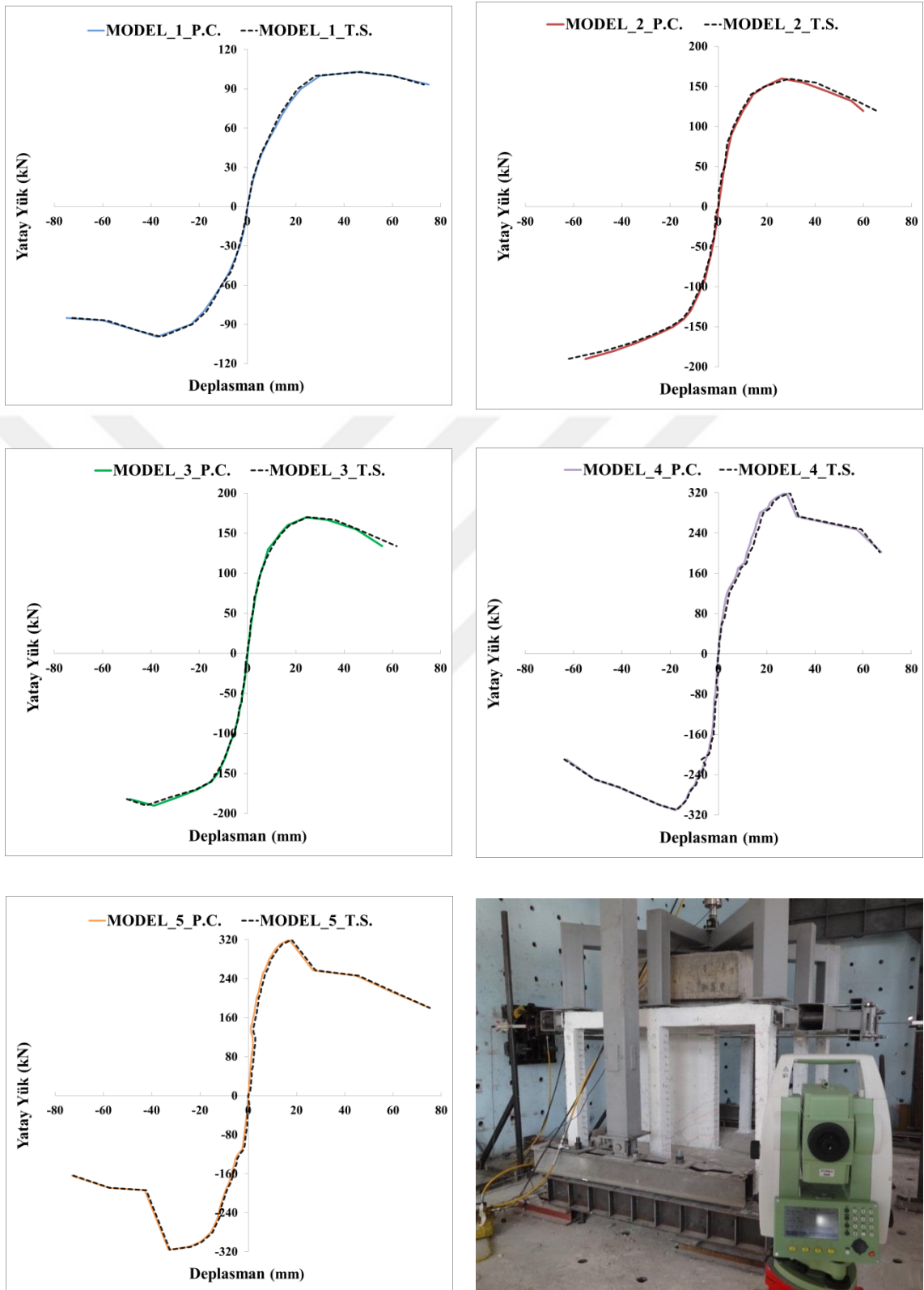
Deneysel sırasında Model 1'de 9 adet kolon kiriş birleşim noktasında olmak üzere 9 noktadan toplam 254'e yakın okuma alınmıştır. Model 2, Model 3, Model 4 ve Model 5'te 7 adet kolon kiriş birleşim noktasında ve 2 adet betonarme perdenin iki uç kısmının ve kirişlerle birleşim noktalarında olmak üzere 9 noktadan sırasıyla toplam 370, 370, 591 ve 600'e yakın okuma alınmıştır. Bu okumalar sayesinde taşıyıcı sistemlerin her bir itme ve çekme döngüsü sonrasındaki hareketleri kayıt altına alınmıştır.

Numunelerin x-z doğrultusunda itme ve çekme döngüleri sonundaki plan hareketleri Şekil 3.42 de verilmiştir. Renklendirmeler, sadece %10 aksenal yüklü durum için pembe olarak verilmiştir. Lineer sınırlarda itme döngüleri için mavi, çekme döngüleri için kırmızı renk seçilmiştir. Akma gerçekleştikten sonra itme döngüleri yeşil ve çekme döngüleri turuncu renkte çizilmiştir. Deplasmanların daha rahat izlenebilmesi için 10 kat daha büyük çizilerek davranışın daha belirgin görülmesi amaçlanmıştır.

Total station okumalarına göre, Şekil 3.42'deki üst görünümün x-z eksenindeki modellerde çatlama öncesi farklılıklar milimetre mertebesinde. Ancak farklar çatlak gelişiminin başlaması ile daha belirgin olduğu için değerlendirmede bu döngüler dikkate alınmıştır. Düşey y-y ekseninde ise farklar milimetre mertebesini aşmadığı için değerlendirme dikkate alınmamıştır.

3.1.9. Potansiyometrik Cetvel ile Total Station Okumalarının Karşılaştırılması

Deneysel modellerin B yüzü orta aksta bulunan kolon-kiriş düğüm noktasına yerleştirilen potansiyometrik cetvel yardımı ile her adımın itme ve çekme yüklerine karşın tepe deplasmanları ölçümü yapılmıştır. Aynı zamanda her modelin A yüzü kolon-kiriş düğüm noktalarına ve perdenin üst iki uç bölgelerine yerleştirilen (4cm x4cm) boyutundaki 9 adet kare şeklindeki reflektör kâğıtlarından x, y, z koordinatları Total Station cihazı vasıtasıyla okunup kaydedilmiştir. Her döngünün itme ve çekmelerinde yüke karşı deplasman okumaları aynı anda iki farklı yöntem ile kaydedilmiştir.



Şekil 3.43. Total Station ve Potansiyometrik Cetvel Deplasman Okumaları Karşılaştırılması

Tablo 3.12. Akma Döngüsü İtme Kuvvetindeki A1 Düzensizliği Kontrolü

İtme Döngüsü B Yüzü Perde ve Kolonları (mm)						
Deney ismi	Okuma Yöntemi	Δ_i max	Δ_i min	Δ_i ort.	η_{bi}	z-z yönü
Model-1	P. Cetvel	31	28.4	29.7	1.044	< 1.2
	Total Station	30.6	27.6	29.1	1.052	< 1.2
Model-2	P. Cetvel	51.2	7.4	29.3	1.747	> 1.2
	Total Station	50.4	8.2	29.3	1.720	> 1.2
Model-3	P. Cetvel	46.4	5.1	25.75	1.802	> 1.2
	Total Station	47.8	5.5	26.65	1.794	> 1.2
Model-4	P. Cetvel	31.6	26.4	29	1.090	< 1.2
	Total Station	32.4	28.2	30.3	1.069	< 1.2
Model-5	P. Cetvel	17.3	14.9	16.1	1.075	< 1.2
	Total Station	18.1	15.2	16.65	1.087	< 1.2
İtme Döngüsü D Yüzü Perde ve Kolonları (mm)						
Deney ismi	Okuma Yöntemi	Δ_i max	Δ_i min	Δ_i ort.	η_{bi}	z-z yönü
Model-1	P. Cetvel	31	28.4	29.7	1.044	< 1.2
	Total Station	30.8	27.5	29.15	1.057	< 1.2
Model-2	P. Cetvel	51.2	7.4	29.3	1.747	> 1.2
	Total Station	50.8	8.2	29.5	1.722	> 1.2
Model-3	P. Cetvel	46.4	5.1	25.75	1.802	> 1.2
	Total Station	46.1	5	25.55	1.804	> 1.2
Model-4	P. Cetvel	31.6	26.4	29	1.090	< 1.2
	Total Station	31.8	26.9	29.35	1.083	< 1.2
Model-5	P. Cetvel	17.3	14.9	16.1	1.075	< 1.2
	Total Station	17.9	15.1	16.5	1.085	< 1.2

Tablo 3.13. Akma Döngüsü Çekme Kuvvetindeki A1 Düzensizliği Kontrolü

Çekme Döngüsü B Yüzü Perde ve Kolonları (mm)						
Deney ismi	Okuma Yöntemi	Δ_i max	Δ_i min	Δ_i ort.	η_{bi}	z-z yönü
Model-1	P. Cetvel	39.3	37	38.15	1.030	< 1.2
	Total Station	40.1	37.2	38.65	1.038	< 1.2
Model-2	P. Cetvel	40.3	2.4	21.35	1.888	> 1.2
	Total Station	40.5	2.8	21.65	1.871	> 1.2
Model-3	P. Cetvel	29.9	0.4	15.15	1.974	> 1.2
	Total Station	30.2	0.8	15.5	1.948	> 1.2
Model-4	P. Cetvel	29.1	21.9	25.5	1.141	< 1.2
	Total Station	30.3	22.2	26.25	1.154	< 1.2
Model-5	P. Cetvel	34.9	32.5	33.7	1.036	< 1.2
	Total Station	35.4	32.6	34	1.041	< 1.2
Çekme Döngüsü D Yüzü Perde ve Kolonları (mm)						
Deney ismi	Okuma Yöntemi	Δ_i max	Δ_i min	Δ_i ort.	η_{bi}	z-z yönü
Model-1	P. Cetvel	39.3	37	38.15	1.030	< 1.2
	Total Station	39.8	37.5	38.65	1.030	< 1.2
Model-2	P. Cetvel	40.3	2.4	21.35	1.888	> 1.2
	Total Station	40.6	2.6	21.6	1.880	> 1.2
Model-3	P. Cetvel	29.9	0.4	15.15	1.974	> 1.2
	Total Station	30.2	0.6	15.4	1.961	> 1.2
Model-4	P. Cetvel	29.1	21.9	25.5	1.141	< 1.2
	Total Station	30.5	22.4	26.45	1.153	< 1.2
Model-5	P. Cetvel	34.9	32.5	33.7	1.036	< 1.2
	Total Station	35.3	32.8	34.05	1.037	< 1.2

Tablo 3.14. Deney Sonu İtme Kuvvetindeki A1 Düzensizliği Kontrolü

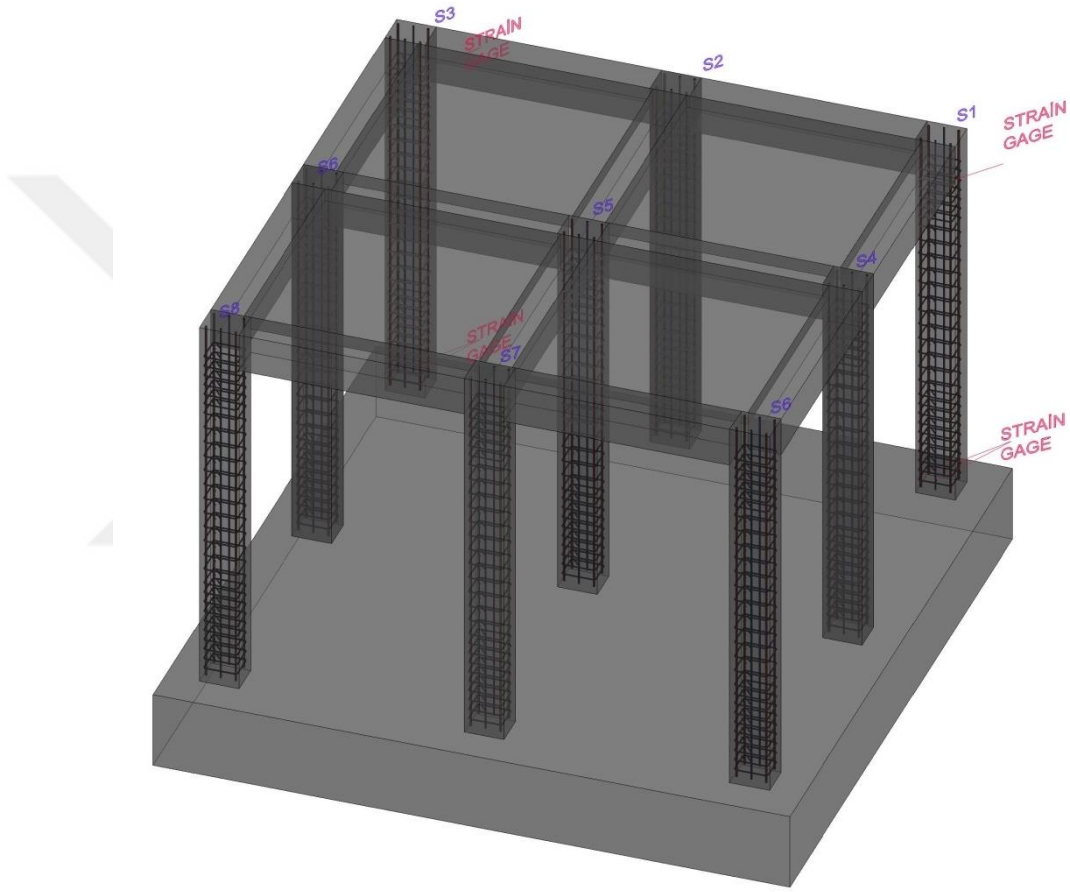
İtme Döngüsü B Yüzü Perde ve Kolonları (mm)						
Deney ismi	Okuma Yöntemi	Δ_i max	Δ_i min	Δ_i ort.	η_{bi}	z-z yönü
Model-1	P. Cetvel	67.95	61.93	64.94	1.046	< 1.2
	Total Station	68.05	61.95	65	1.047	< 1.2
Model-2	P. Cetvel	103.38	9.96	56.67	1.824	> 1.2
	Total Station	104.55	11.25	57.9	1.806	> 1.2
Model-3	P. Cetvel	109.87	7.36	58.615	1.874	> 1.2
	Total Station	111.86	9.12	60.49	1.849	> 1.2
Model-4	P. Cetvel	70.94	62.19	66.565	1.066	< 1.2
	Total Station	72.01	63.25	67.63	1.065	< 1.2
Model-5	P. Cetvel	75.05	71.96	73.505	1.021	< 1.2
	Total Station	76.55	74.25	75.4	1.015	< 1.2
İtme Döngüsü D Yüzü Perde ve Kolonları (mm)						
Deney ismi	Okuma Yöntemi	Δ_i max	Δ_i min	Δ_i ort.	η_{bi}	z-z yönü
Model-1	P. Cetvel	67.95	61.93	64.94	1.046	< 1.2
	Total Station	68.22	62.11	65.165	1.047	< 1.2
Model-2	P. Cetvel	103.38	9.96	56.67	1.824	> 1.2
	Total Station	105.02	10.01	57.515	1.826	> 1.2
Model-3	P. Cetvel	109.87	7.36	58.615	1.874	> 1.2
	Total Station	110.22	9.25	59.735	1.845	> 1.2
Model-4	P. Cetvel	70.94	62.19	66.565	1.066	< 1.2
	Total Station	71.66	64.36	68.01	1.054	< 1.2
Model-5	P. Cetvel	75.05	71.96	73.505	1.021	< 1.2
	Total Station	76.01	74.36	75.185	1.011	< 1.2

Tablo 3.15. Deneý Sonu Çekme Kuvvetindeki A1 Düzensizlięi Kontrolü

Çekme Döngüsü B Yüzü Perde ve Kolonları (mm)						
Deneý ismi	Okuma Yöntemi	Δ_i max	Δ_i min	Δ_i ort.	η_{bi}	z-z yönü
Model-1	P. Cetvel	75.76	69.72	72.74	1.042	< 1.2
	Total Station	77.25	71.02	74.135	1.042	< 1.2
Model-2	P. Cetvel	105.6	8.9	57.25	1.845	> 1.2
	Total Station	106.65	10.01	58.33	1.828	> 1.2
Model-3	P. Cetvel	70.62	9.15	39.885	1.771	> 1.2
	Total Station	72.05	10.25	41.15	1.751	> 1.2
Model-4	P. Cetvel	75.77	63.48	69.625	1.088	< 1.2
	Total Station	77.25	63.25	70.25	1.100	< 1.2
Model-5	P. Cetvel	74.7	72.48	73.59	1.015	< 1.2
	Total Station	76.02	74.25	75.135	1.012	< 1.2
Çekme Döngüsü D Yüzü Perde ve Kolonları (mm)						
Deneý ismi	Okuma Yöntemi	Δ_i max	Δ_i min	Δ_i ort.	η_{bi}	z-z yönü
Model-1	P. Cetvel	75.76	69.72	72.74	1.042	< 1.2
	Total Station	76.02	73.25	74.635	1.019	< 1.2
Model-2	P. Cetvel	105.6	8.9	57.25	1.845	> 1.2
	Total Station	106.33	9.6	57.965	1.834	> 1.2
Model-3	P. Cetvel	70.62	9.15	39.885	1.771	> 1.2
	Total Station	72.36	10.01	41.185	1.757	> 1.2
Model-4	P. Cetvel	75.77	63.48	69.625	1.088	< 1.2
	Total Station	76.32	65.02	70.67	1.080	< 1.2
Model-5	P. Cetvel	74.7	72.48	73.59	1.015	< 1.2
	Total Station	75.25	73.01	74.13	1.015	< 1.2

Şekil 3.43'te görüldüğü gibi her iki yöntem ile deplasman okumalarının çok fazla farkı olmadığı ve hatta birbirlerine çok yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu sonuçla Total Station cihazının deneyler esnasında gelişen deplasmanları okuyabilmek için etkin ve kullanılabilir bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur.

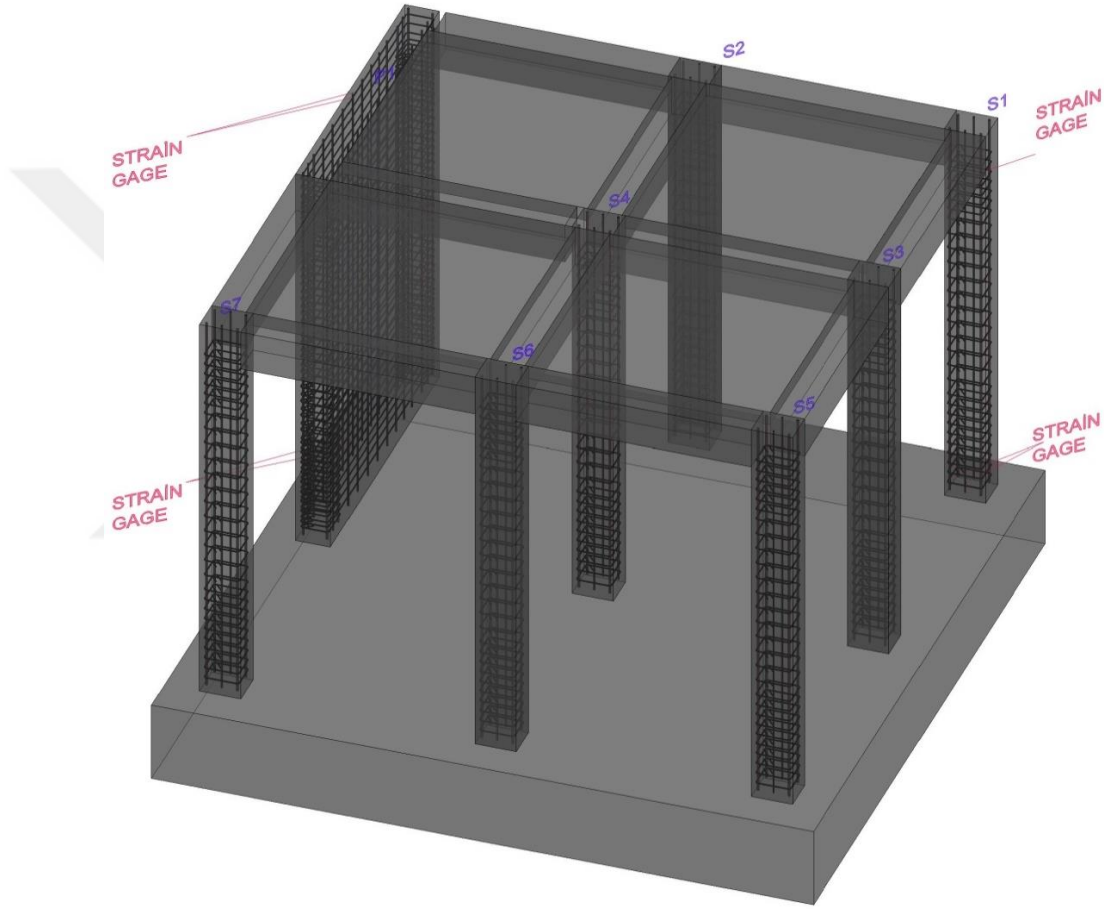
3.1.10. Deneysel Birim Deformasyon Ölçümü



Şekil 3.44. Model 1 (Perdesiz Model) Donatılarındaki Birim Deformasyon Ölçer Yerleşimi

Birim deformasyon ölçümünde kullanılan strain gauge'ler, Şekil 3.44 ve Şekil 3.45'te gösterildiği gibi yapıştırılarak, taşıyıcı sistemdeki betonarme perdenin konumuna göre oluşan hasar seviyesi değerlendirmeye tabii tutulmuştur. Model 1 numunesinde toplam 7 adet Strain gauge kullanılmış ve Şekil 3.44'te görüldüğü gibi 2 adet FLK-6 serisi strain gauge'ler S1 kolonun boyuna donatılarına (Ø8 mm çapındaki dış boyuna donatılara) yapıştırılmıştır. Bunların biri temel kotuna en yakın olabilecek mesafede diğeri ise kolon-kiriş birleşim bölgesine en yakın olabilecek mesafede yapıştırılmıştır.

Aynı şekilde ve aynı kotlarda 2 adet FLK-6 serisi strain gauge'ler Model 1'de S3 kolonunun boyuna donatılarına yapıştırılmıştır. S1 kolonunun $\text{Ø}4$ mm çapındaki bir adet enine donatıya da temel kotuna en yakın olabilecek bir mesafede FLK-2 serisi strain gauge yapıştırılmıştır. Ayrıca, S3 kolonunun $\text{Ø}4$ mm çapındaki enine donatılara temel kotuna en yakın ve kolon-kiriş birleşim bölgesine en yakın olabilecek bir mesafeye de iki adet FLK-2 serisi strain gauge yapıştırılmıştır.



Şekil 3.45. Model 2 (Perdeli Model) Donatılarındaki Birim Deformasyon Ölçer Yerleşimi

Model 2, Model 3, Model 4 ve Model 5 olan diğer numunelerde ise her birinde toplam 7 adet Strain gauge kullanılmıştır. Benzer olarak Şekil 3.45'te görüldüğü gibi 2 adet FLK-6 serisi strain gauge'ler S1 kolonun boyuna donatılarına ($\text{Ø}8$ mm çapındaki dış boyuna donatılara) yapıştırılmıştır. Bunların biri temel kotuna en yakın olabilecek mesafede diğeri ise kolon-kiriş birleşim bölgesine en yakın olabilecek mesafede yapıştırılmıştır. Aynı şekilde ve aynı kotlarda 2 adet FLK-6 serisi strain gauge'ler bu modellerde P1 perdenin gövde boyuna donatılarına ($\text{Ø}6$ mm çapındaki dış boyuna

donatılara) uygulanmıştır. S1 kolonunun Ø4 mm çapındaki bir adet enine donatıya temel kotuna en yakın olabilecek bir mesafede 1 adet FLK-2 serisi strain gauge yapıştırılmıştır. İlâveten P1 perdenin Ø4 mm çapındaki enine yatay gövde donatılarına, temel kotuna en yakın ve kolon-kiriş birleşim bölgesine en yakın olabilecek bir mesafede iki adet FLK-2 serisi strain gauge yapıştırılmıştır.

Perde ve kolonlardaki boyuna ve enine donatılara bağlanan 7 adet strain gauge yardımı ile birim deformasyon-yatay yük ilişkisi ve birim deformasyon-zaman ilişkisi grafikleri çizilmiştir. Boyuna donatılarda ise her döngü sonunda uzama ve kısalma miktarı belirlenmiştir. Grafikler incelendiğinde aşağıdaki tabloda verilen sınır durumlarda olduğu gibi, kısalma durumunda uzamaya göre daha az şekil değiştirme meydana geldiği görülmektedir. Etriyelerde ise her döngü sonunda uzama durumu ortaya çıktığı için grafiklerde de daha simetrik bir oluşum dikkat çekmektedir. Birim deformasyon-zaman ilişkisine ait grafiklerde her döngü sonrasında yatay kuvvetin ve deplasmanın artmasına bağlı olarak birim deformasyondaki kademeli artış görülmüştür.

Tablo 3.16. TDY2007 Birim Şekil değiştirme ve Görelî Kat Ötelemesi Sınırları

Hasar Sınırı	Beton ve Donatı Çeliği için Basınç Kısalması	Donatı Çeliği için Çekme Uzaması	Görelî Kat Ötelemesi Oranı
Minimum Hasar Sınırı	$\epsilon_{cu} = 0.0035$	$\epsilon_s = 0.01$	$\delta/h = 0.01$
Güvenlik Sınırı	$\epsilon_{cg} = 0.0135$	$\epsilon_s = 0.04$	$\delta/h = 0.03$
Göçme Sınırı	$\epsilon_{cg} = 0.0180$	$\epsilon_s = 0.06$	$\delta/h = 0.04$

Şekil 3.46'daki deney grafiklerinde S1 kolonunun alt etriyesine yapıştırılan strain gauge sonuçları incelendiğinde Model 1, Model 3 ve Model 4'ten okuma alınamamıştır. Model 2 ve Model 5 de ise genel olarak etriyelerin basınç kısalması gibi bir durum olmamasından dolayı, itme ve çekme döngülerindeki donatıların birim deformasyonları birbirine benzer değer almıştır. Yatay yük maksimum değerini alıp akma gerçekleşene kadar Model 5'in etriyesi Model 2'ye göre çekme döngülerinde meydana gelmiştir.

Şekil 3.47'deki grafiklerde S1 kolonunun boyuna donatı alt kısmına yapıştırılan strain gauge sonuçları incelendiğinde Model 2 ve Model 4'ten okuma alınamamıştır. Model 1, Model 3 ve Model 5 grafikleri incelendiğinde, Model 1 grafiğinde boyuna donatılardaki kısalmadan kaynaklanan birim deformasyonların, betonun basınca çalışmasından dolayı

uzamadan kaynaklanan birim deformasyonlardan daha küçük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Türk Deprem Yönetmeliği 2007'deki hasar sınırlarının belirlendiği Tablo 3.15'te bu durum açıkça görülmektedir. Model 3'deki boyuna donatılarda ise donatılarda 0.02mm/mm'e kadar uzama meydana gelmiştir. İtme ve çekme kuvvetlerinde ise simetrik bir şekilde devam etmiştir. Model 5'te ise S1 kolonunun alt boyuna donatıları kısıl yapmıştır.

Şekil 3.48'deki grafiklerde S1 kolonu boyuna donatı üst kısmına yapıştırılan strain gauge sonuçları incelendiğinde, referans numune olan Model 1'den okuma alınmamıştır. Diğer modellerde ise boyuna donatılardaki kısalmalar sırasında meydana gelen birim deformasyonlar uzamalardan daha az miktarda oluşmaktadır. Beton basınç kuvvetine donatı ile beraber karşı koyarken, çekme kuvvetini donatı tek başına karşılamaktadır. Dolayısıyla boyuna donatılardaki kısalmalardan kaynaklanan birim deformasyonlar uzamalardan daha az oranda meydana gelmektedir. Model 2'nin birim deformasyon aralığı (-0.014mm/mm ile +0.018mm/mm) iken Model 3'te bu aralık (-0.008mm/mm ile +0.0038mm/mm) değerlerini almıştır. Buna göre, perdenin yan aksta olduğu numunelerde, perdeye yakın olan kolonun üst boyuna donatılarında birim deformasyonun perdeye uzak kolununkinden daha fazla olduğuna rastlanmıştır. Model 4'ün birim deformasyon aralığı (-0.0055 mm/mm ile +0.0015 mm/mm) iken Model 5'te bu aralık (-0.0058 mm/mm ile +0.003 mm/mm) değerlerini almıştır. Buna göre, perdenin orta aksta olduğu numunelerde perdeye yankın olan kolonun üst boyuna donatılarında birim deformasyon perdeye uzak kolununkinden daha az olduğu görülmüştür.

Şekil 3.49'deki grafiklerde Model 1'de S3 kolonu alt etriyesine ve diğer modellerde perdenin enine yatay gövde donatılarının alt kısmına yapıştırılan strain gauge sonuçları incelenmiştir. Genel olarak etriyelerde basınç kısalması gibi bir durum olmamasından dolayı, itme ve çekme döngülerindeki donatıların birim deformasyonları birbirine benzer değerler almıştır. Yatay yük maksimum değerini alıp, akma gerçekleştikten sonra kolon etriyelerinde maksimum birim deformasyonlar deney sonunda meydana gelmiştir. Model 1'de S3 kolonundaki alt etriyede, deney boyunca ağırlıklı olarak çekme uzaması meydana gelmiş ve ölçülen birim deformasyon aralığı (-0.0175mm/mm ile +0.003mm/mm) olmuştur. Model 2'nin birim deformasyon aralığı (-0.019mm/mm ile +0.00001 mm/mm) iken Model 3'te bu aralık (-0.0037 mm/mm ile +0.0001

mm/mm) değerleri almıştır. Buna göre, perdenin yan aksta olduğu numunelerde P1 perdenin Ø4mm çapındaki dış alt enine yatay gövde donatılarından alınan birim deformasyonlar değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından daha fazla olduğu görülmüştür. Model 4 ile Model 5 birbirine benzer davranış göstermiştir. Model 4'ün birim deformasyon aralığı (-0.0037 mm/mm ile +0.0001 mm/mm) iken Model 5'te bu aralık (-0.0048 mm/mm ile +0.0001 mm/mm) değerlerini almıştır. Buna göre, perdenin orta aksta olduğu numunelerde P1 perdenin Ø4mm çapındaki dış alt enine yatay gövde donatılarından alınan birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından daha az olduğu görülmüştür.

Şekil 3.50'deki grafiklerde Model 1'de S3 kolonu üst etriyesine ve diğer modellerde perdenin enine yatay gövde donatılarının üst kısmına yapıştırılan strain gauge sonuçları incelenmiştir. Genel olarak etriyelerde basınç kısalmasından daha ziyade, itme ve çekme döngülerindeki donatılarda çekme uzaması olmuş ve birim deformasyonlar birbirine yakın değerler almıştır. Yatay yük maksimum değerini geçip akma gerçekleşikten sonra kolon etriyelerinde maksimum birim deformasyonlar deney sonuna doğru daha fazla meydana gelmiştir. Model 1'de S3 kolonundaki üst etriyede deney boyunca ağırlıklı olarak çekme uzaması meydana gelmiş ve ölçülen birim deformasyon aralığı (-0.0002mm/mm ile +0.0001mm/mm) olmuştur. Model 2'nin birim deformasyon aralığı (-0.0018mm/mm ile +0.0002 mm/mm) iken Model 3'te bu aralık (-0.0034mm/mm ile +0.00001 mm/mm) değerlerini almıştır. Buna göre, perdenin yan aksta olduğu numunelerde P1 perdenin Ø4mm çapındaki dış üst enine yatay gövde donatılarından alınan birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından daha az olduğu görülmüştür. Model 4 ile Model 5 birbirine ters ve benzer davranış göstermiştir. Model 4'ün birim deformasyon aralığı (-0.0057 mm/mm ile +0.0001 mm/mm) iken Model 5'te bu aralık (-0.0043 mm/mm ile +0.0001 mm/mm) değerlerini almıştır. Buna göre, perdenin orta aksta olduğu numunelerde P1 perdenin Ø4mm çapındaki dış üst enine yatay gövde donatılarından alınan birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından daha fazla olduğu görülmüştür.

Şekil 3.51'deki grafiklerde Model 1'de S3 kolonu boyuna donatısının alt kısmına ve diğer modellerde perdenin Ø6mm'lik gövde boyuna dış donatılarının alt kısmına yapıştırılan strain gauge sonuçları incelenmiştir. Genel olarak boyuna donatılarda kısaltmalar sırasındaki oluşan birim deformasyonlar uzamalardan daha az miktarda meydana gelmiştir. Bu durumun sebebi ise betonun basınca çalışmasından dolayı kısaltma anında donatı ile beraber çalışması ve uzama anında ise donatının tek başına gerilmelere karşı koyması olarak yorumlanabilir. Model 1'de S3 kolonundaki alt boyuna donatısında deney boyunca daha belirgin olmak üzere, kısaltmalar sırasında meydana gelen birim deformasyonlar uzamalardan daha fazla miktarda oluşmaktadır. Model 1'de ölçülen birim deformasyon aralığı ise (-0.0045mm/mm ile +0.0033mm/mm) olmuştur. Model 2'nin birim deformasyon aralığı (-0.018mm/mm ile +0.00001mm/mm) iken Model 3'te bu aralık (-0.0624mm/mm ile +0.003mm/mm) değerlerini almıştır. Buna göre, perdenin yan aksta olduğu numunelerde P1 perdenin Ø6mm çapındaki gövde boyuna donatısının dış alt kısmından alınan birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından daha az olduğu görülmüştür. Model 4 ile Model 5 birbirine ters ve benzer davranış göstermiştir. Model 4'ün birim deformasyon aralığı (-0.03mm/mm ile +0.0023mm/mm) iken, Model 5'te bu aralık (-0.043 mm/mm ile +0.00001 mm/mm) değerlerini almıştır. Buna göre, perdenin orta aksta olduğu numunelerde P1 perdenin Ø6mm çapındaki gövde boyuna donatısının dış alt kısmından alınan birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından daha az olduğu görülmüştür.

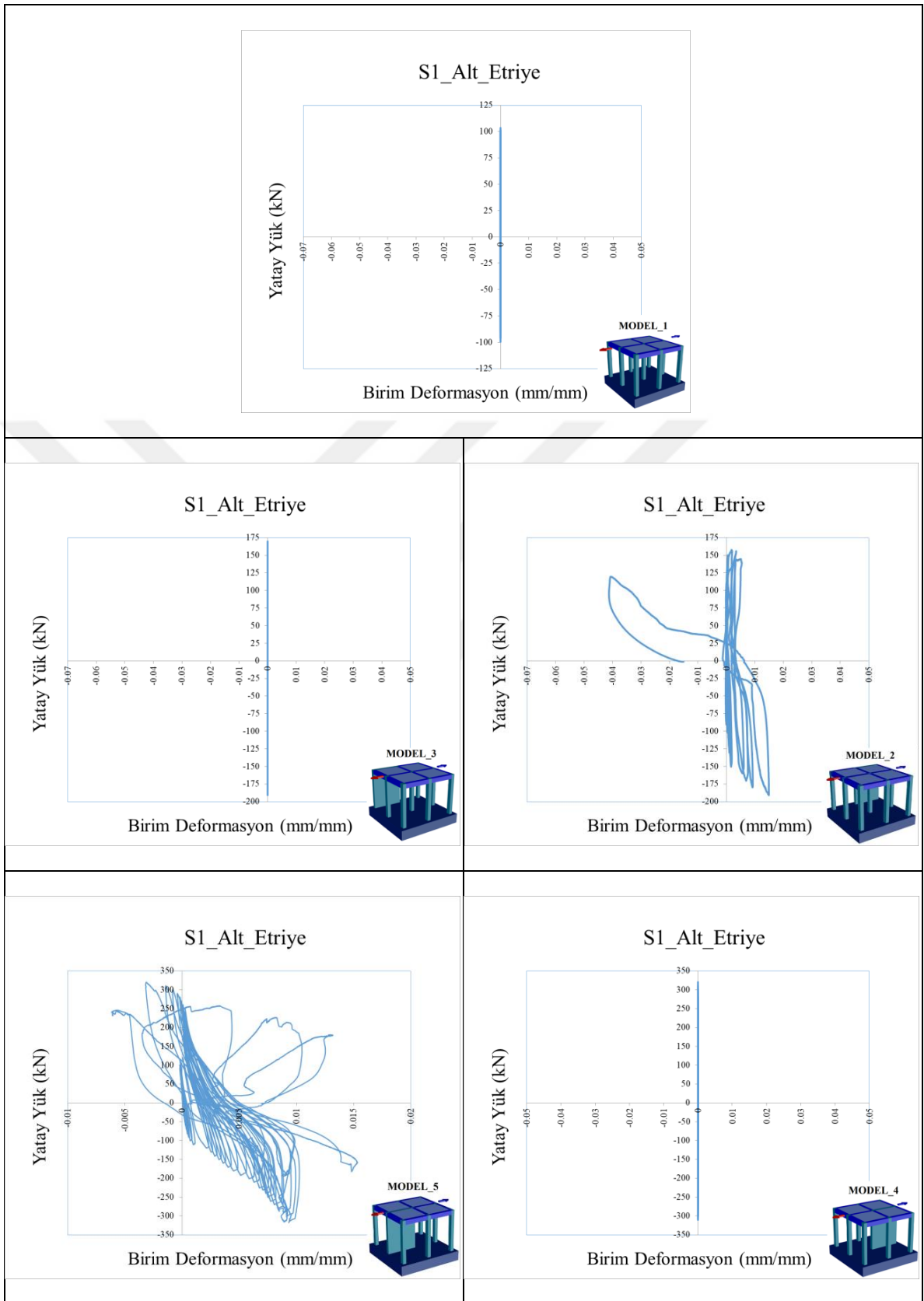
Şekil 3.52'deki grafiklerde Model 1'de S3 kolonu boyuna donatısının üst kısmına ve diğer 4 perdeli Modellerde perdenin Ø6mm'lik gövde boyuna dış donatıların üst kısmına yapıştırılan strain gauge sonuçları incelenmiştir. Genel olarak boyuna donatılarda kısaltmalardan oluşan birim deformasyonlar uzamalardan oluşan birim deformasyonlardan daha az miktarda meydana gelmiştir. Model 1'de S3 kolonundaki üst boyuna donatısında deney boyunca daha belirgin olmak üzere kısaltmalar sırasında meydana gelen birim deformasyonlar uzamalardan daha fazla oranla oluşmaktadır. Model 1'de ölçülen birim deformasyon aralığı ise (-0.098mm/mm ile +0.017mm/mm) olmuştur. Model 2'nin birim deformasyon aralığı (-0.017mm/mm ile +0.001mm/mm)

iken Model 3'te bu aralık (-0.0155mm/mm ile +0.00001mm/mm) değerlerini almıştır. Buna göre, perdenin yan aksta olduğu numunelerde P1 perdenin Ø6mm çapındaki gövde boyuna donatısının dış üst kısmından alınan birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından çok az miktarda fazla olduğu görülmüştür. Model 4 ile Model 5 birbirine ters ve benzer davranış göstermiştir. Model 4'ün birim deformasyon aralığı (-0.0108mm/mm ile +0.0005mm/mm) iken Model 5'te bu aralık (-0.0068mm/mm ile +0.0027mm/mm) değerlerini almıştır. Buna göre, perdenin orta aksta olduğu numunelerde P1 perdenin Ø6mm çapındaki gövde boyuna donatısının dış üst kısmından alınan birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından daha fazla olduğu görülmüştür.

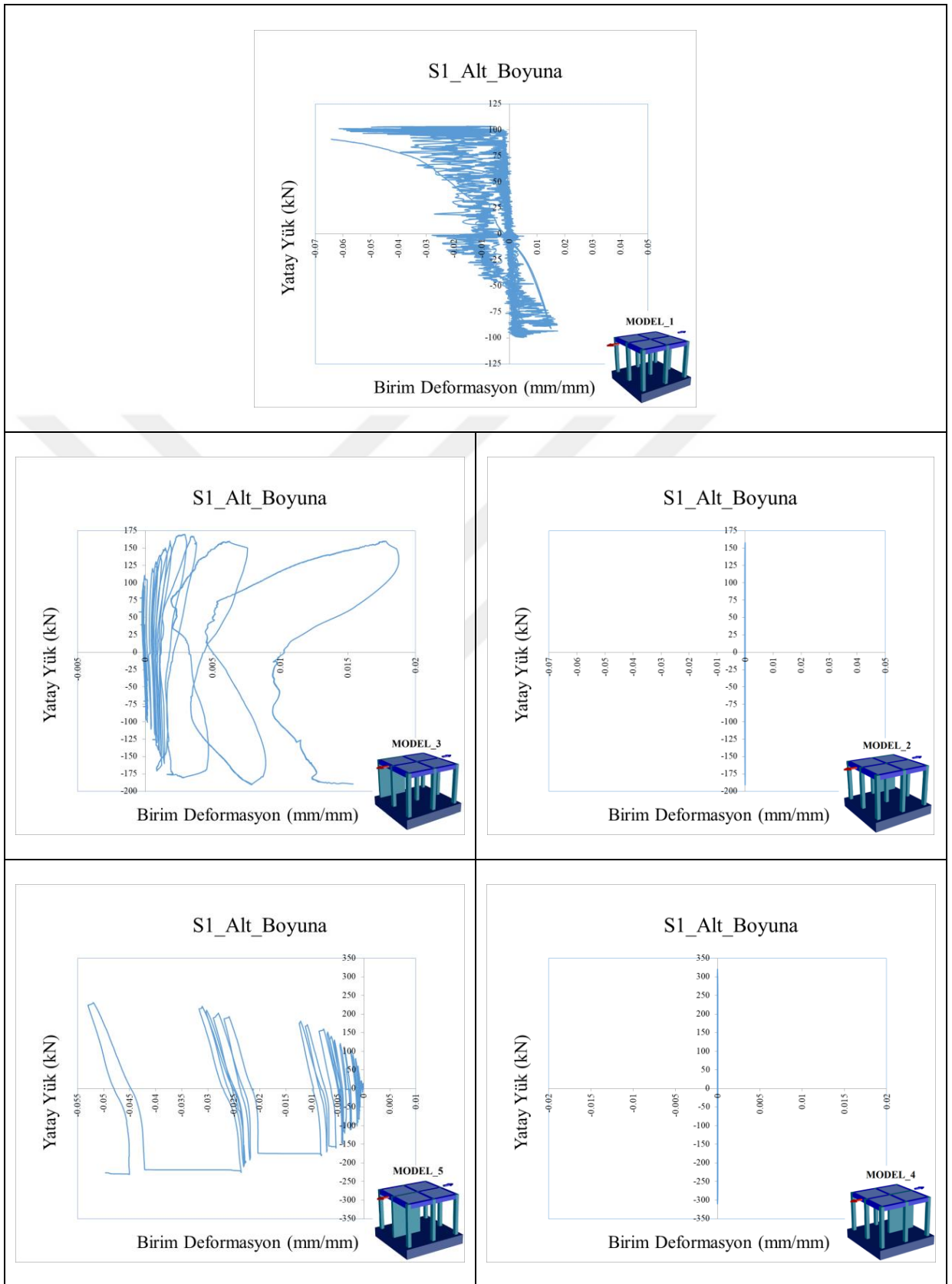
Şekil 3.53 ile Şekil 3.59 arasında olan grafiklerde 5 adet deneysel modelin her birinde bulunan 7 adet strain gauge'ten alınan birim deformasyon-zaman ilişkileri gösterilmiştir. Şekil 3.60 ile Şekil 3.66 arasında olan grafiklerde 5 adet deneysel modelin her birinde bulunan 7 adet strain gauge'ten alınan birim deformasyon ile ötelenme oranı ilişkileri gösterilmiştir.

Betonarme taşıyıcı sistemlerin minimum hasar sınırında olması için görelî öteleme oranının 0.01 olması gerekmektedir. Bu değer deneysel modeller için 15 mm deplasmana karşılık gelmektedir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin güvenlik hasar sınırında olması için görelî öteleme oranının 0.03 olması gerekmektedir. Bu değer deneysel modeller için 45 mm deplasmana karşılık gelmektedir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin göçme hasar sınırında olması için görelî öteleme oranının 0.04 olması gerekmektedir. Bu değer deneysel modeller için 60 mm deplasmana karşılık gelmektedir.

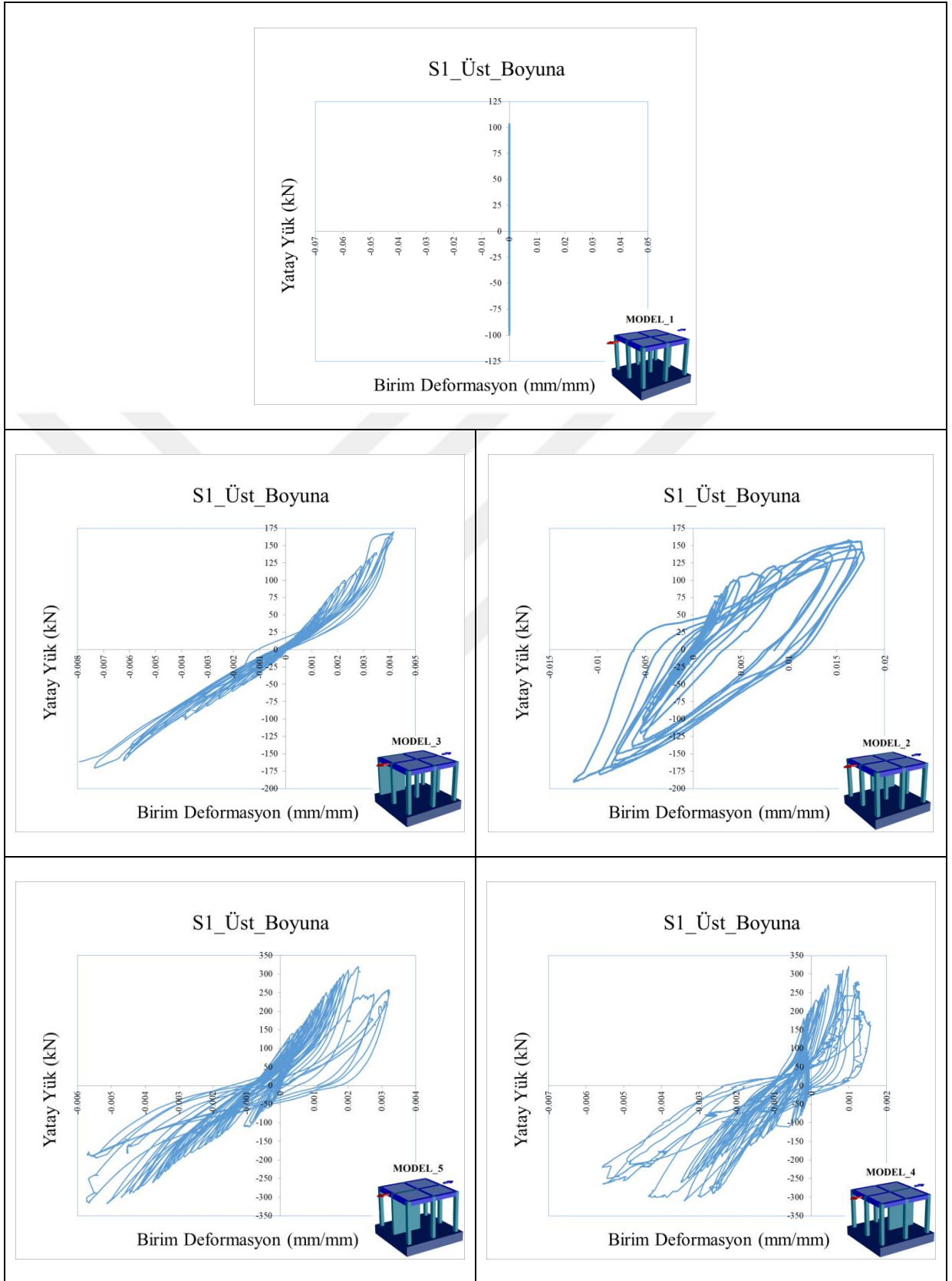
Boyuna donatılardaki uzama ve kısalma birim deformasyonları güvenlik hasar sınırında ölçüldüğünden, belirgin bir şekilde kolonlar arasındaki farklılığı ortaya çıkarmıştır. Etriyelerdeki değişim değeri çok küçük mertebelerde kalmıştır. Belirgin farklılıklar ancak göçme hasar sınırında kendini göstermektedir.



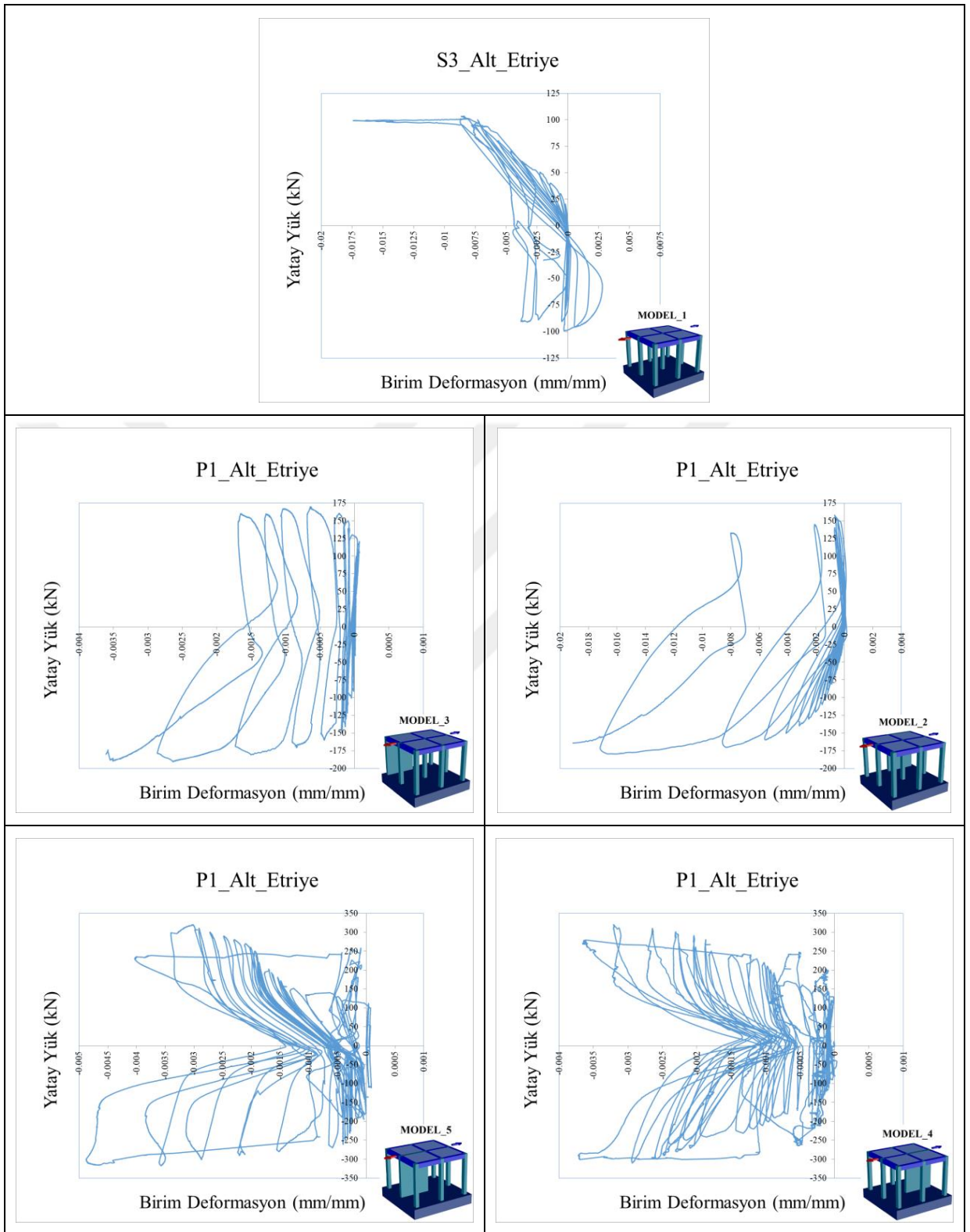
Şekil 3. 46. Yatay Yük ve S1 Kolunu Alt Etriye Donatı Birim Deformasyon İlişkisi



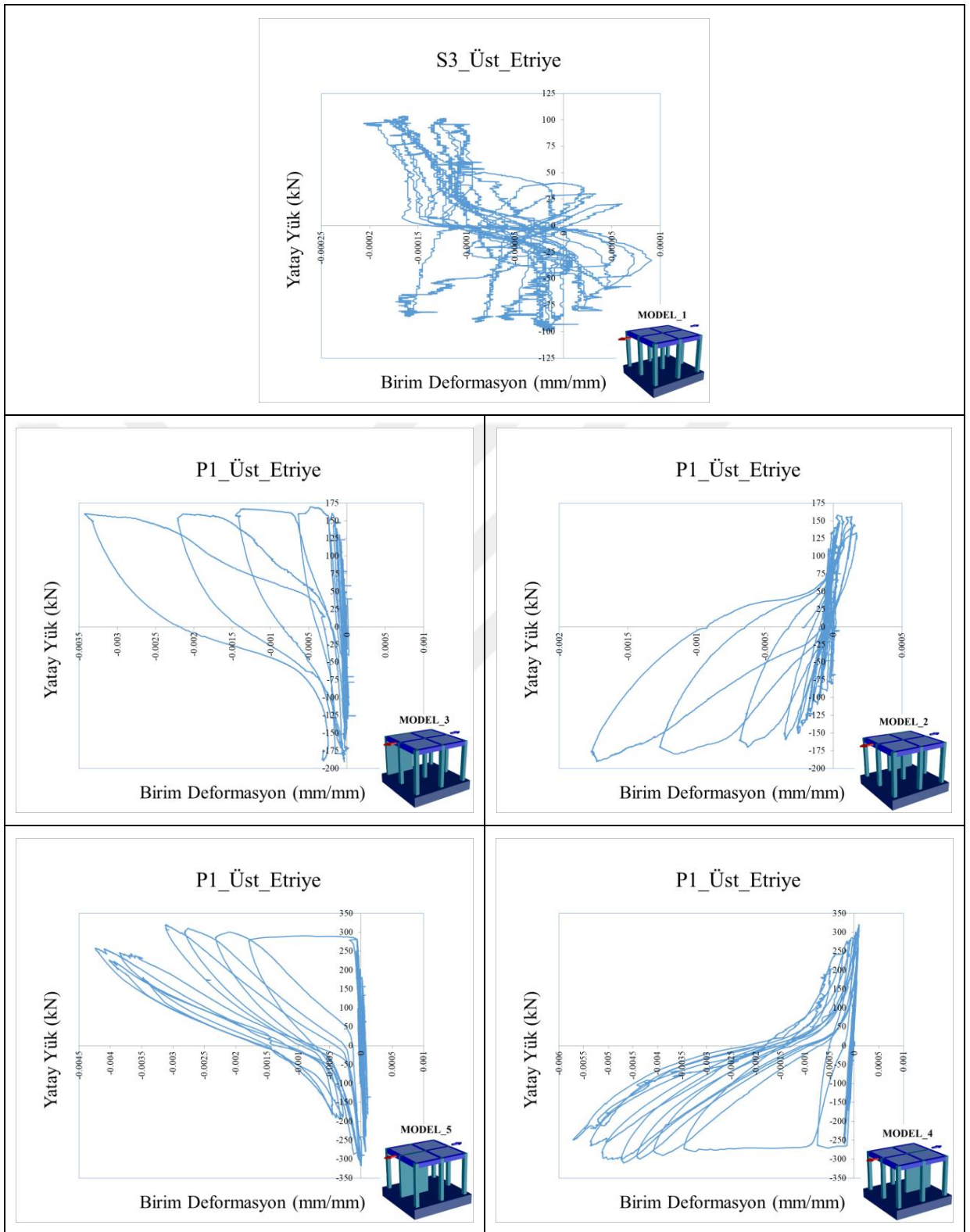
Şekil 3.47. Yatay Yük ve S1 Kolonu Alt Boyuna Donatı Birim Deformasyon İlişkisi



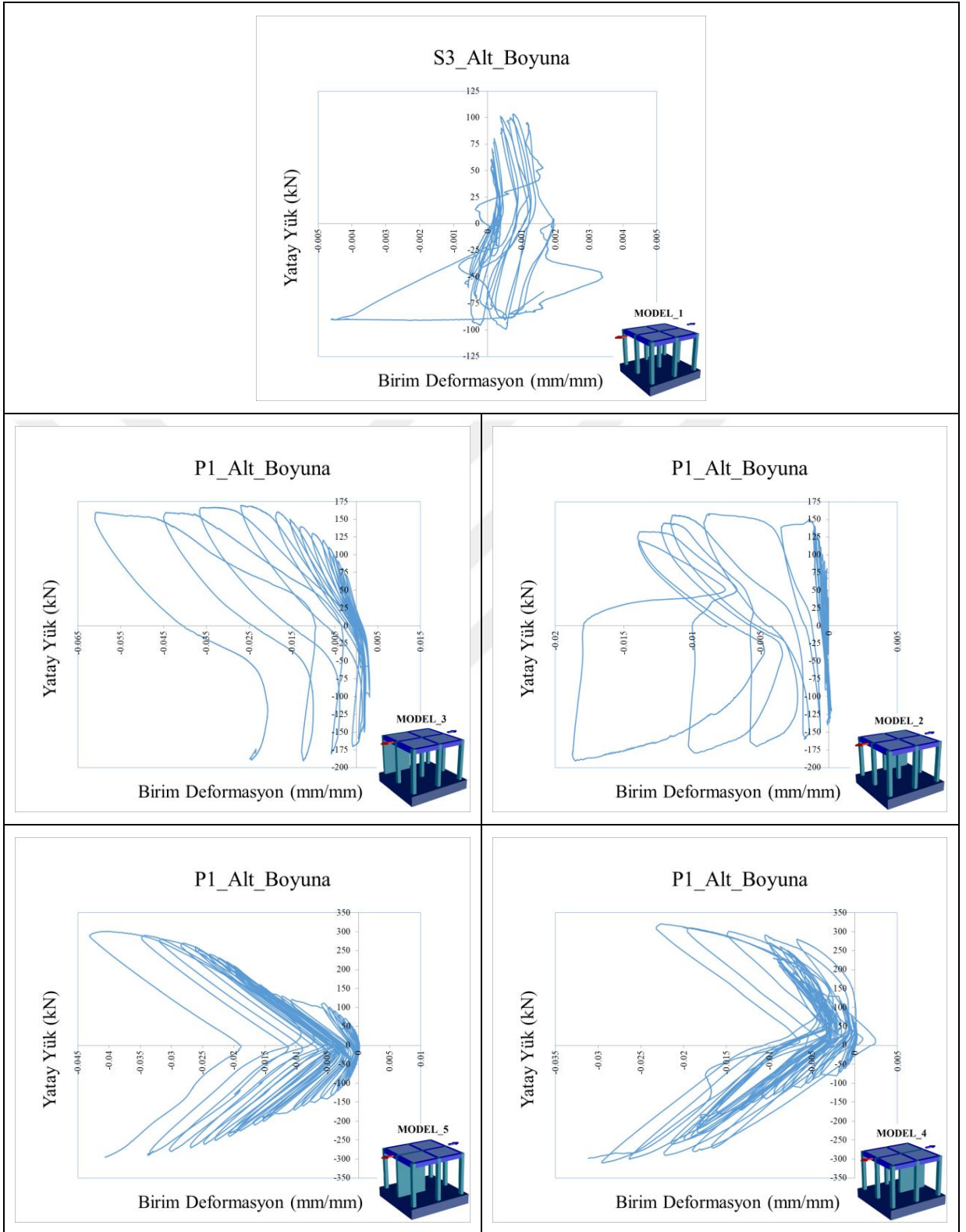
Şekil 3.48. Yatay Yük ve S1 Kolonu Üst Boyuna Donatı Birim Deformasyon İlişkisi



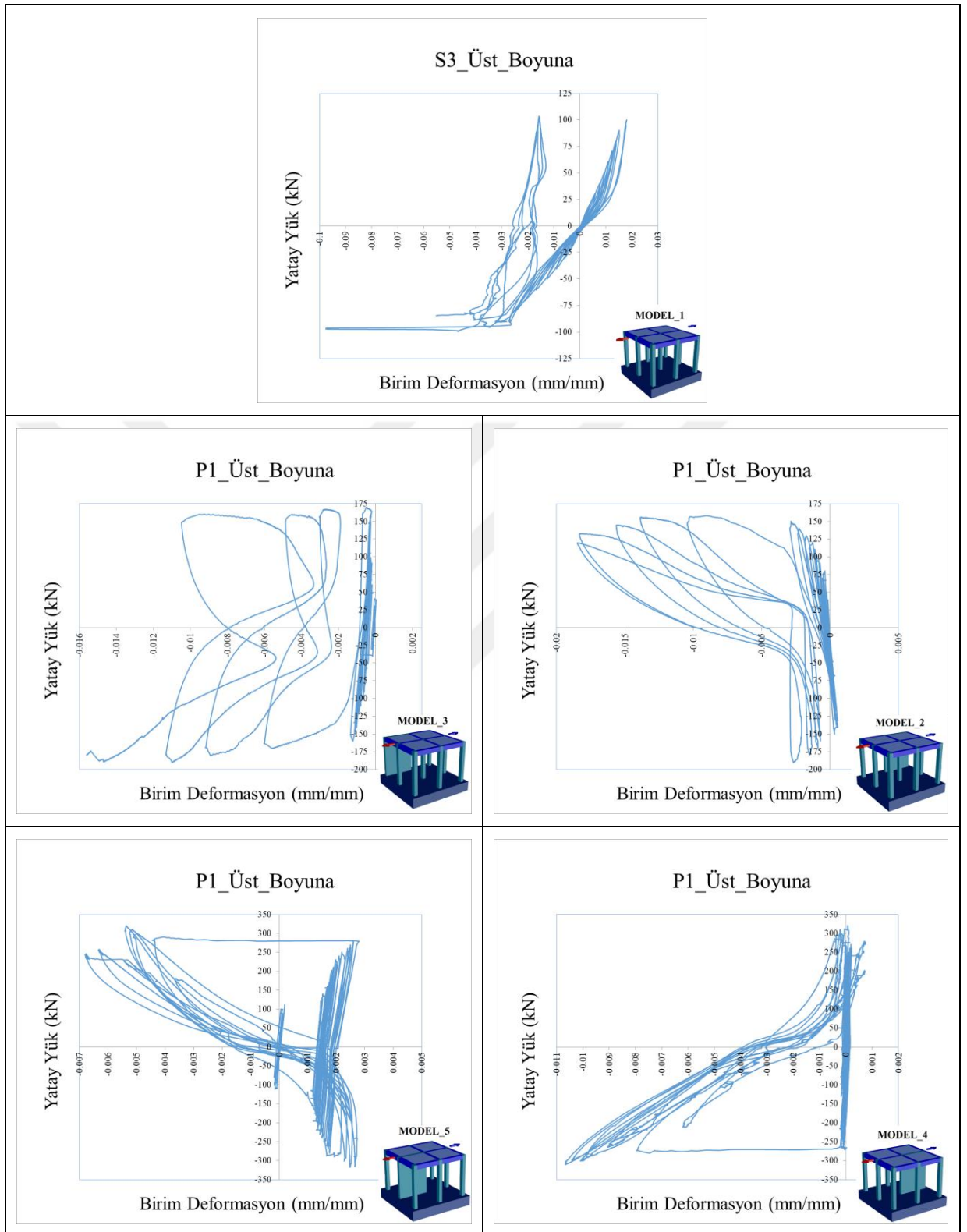
Şekil 3.49. Yatay Yük ve (S3 Kolonu) P1 Perde Alt Etriye Donatı Birim Deformasyon İlişkisi



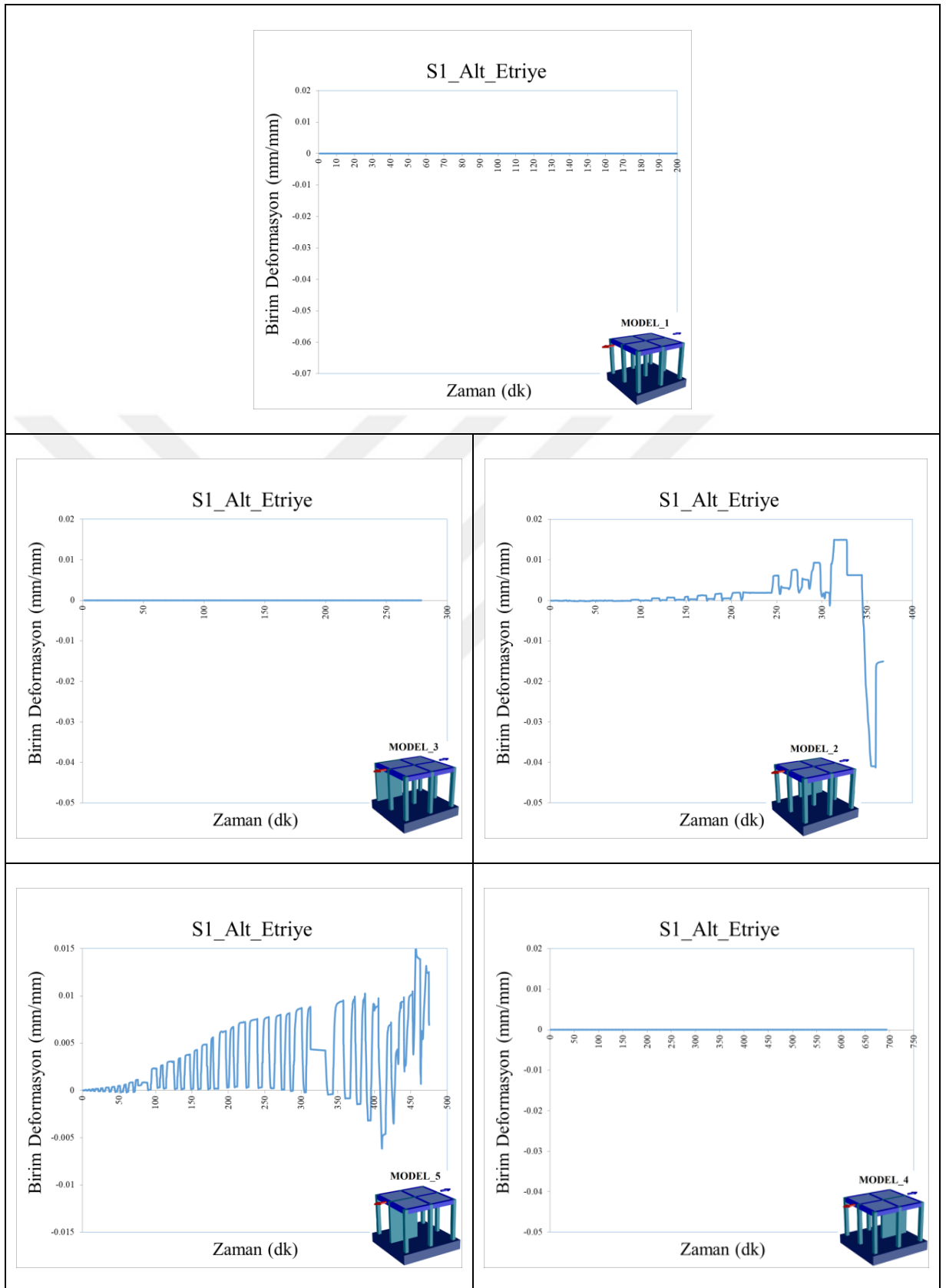
Şekil 3.50. Yatay Yük ve (S3 Kolonu) P1 Perde Üst Etriye Donatı Birim Deformasyon İlişkisi



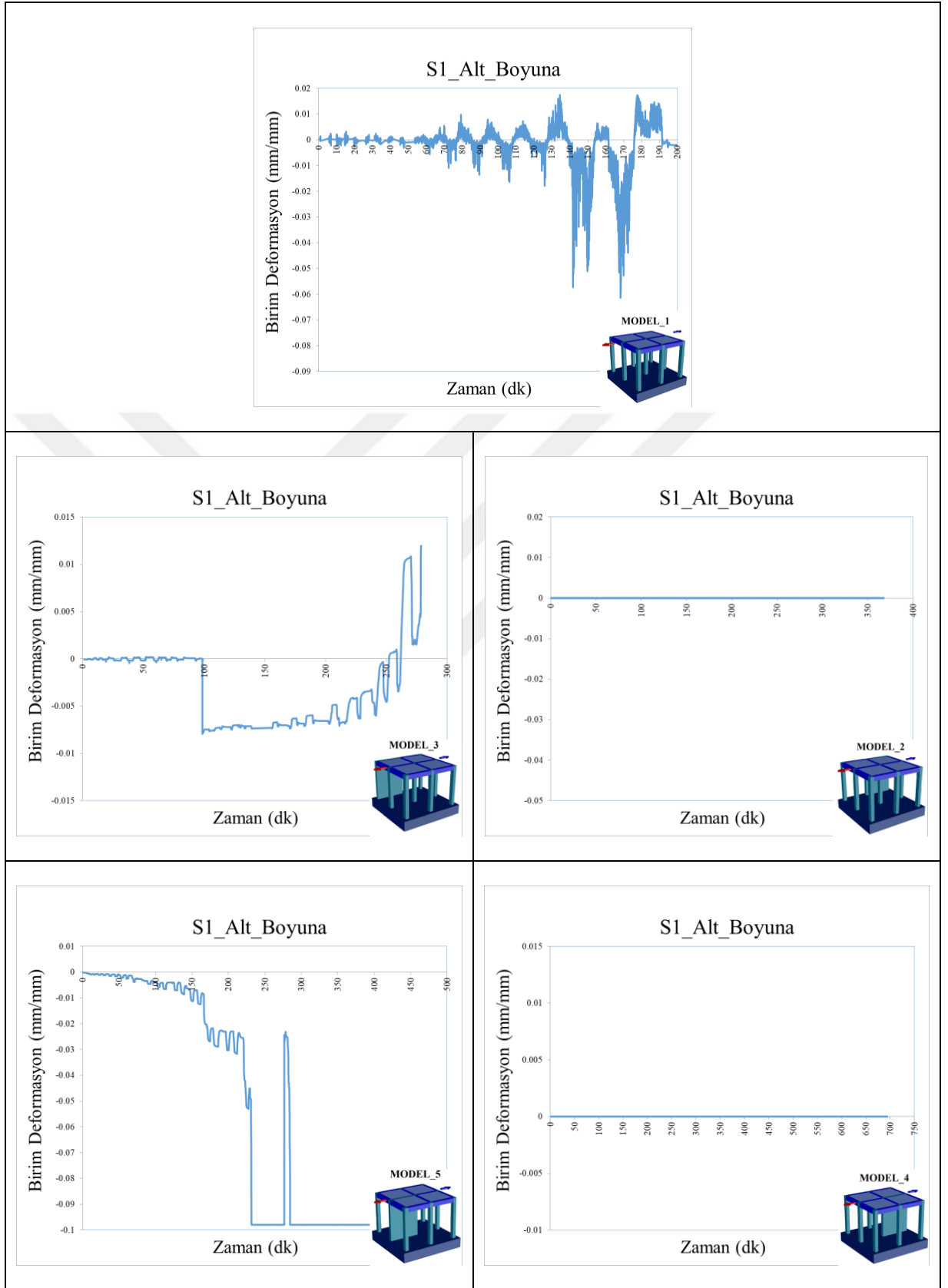
Şekil 3.51. Yatay Yük ve (S3 Kolonu) P1 Perde Alt Boyuna Donatı Birim Deformasyon İlişkisi



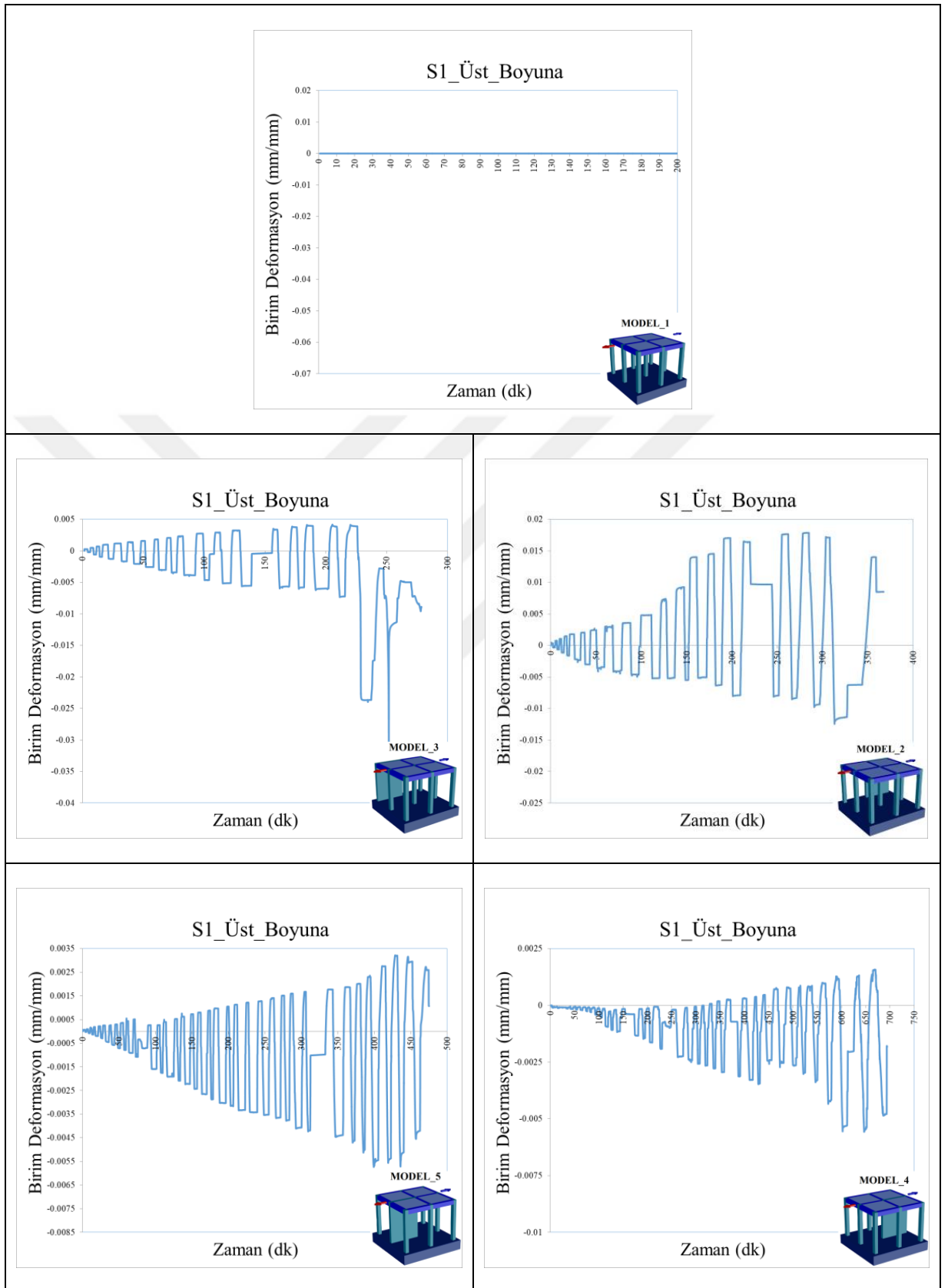
Şekil 3.52. Yatay Yük ve (S3 Kolonu) P1 Perde Üst Boyuna Donatı Birim Deformasyon İlişkisi



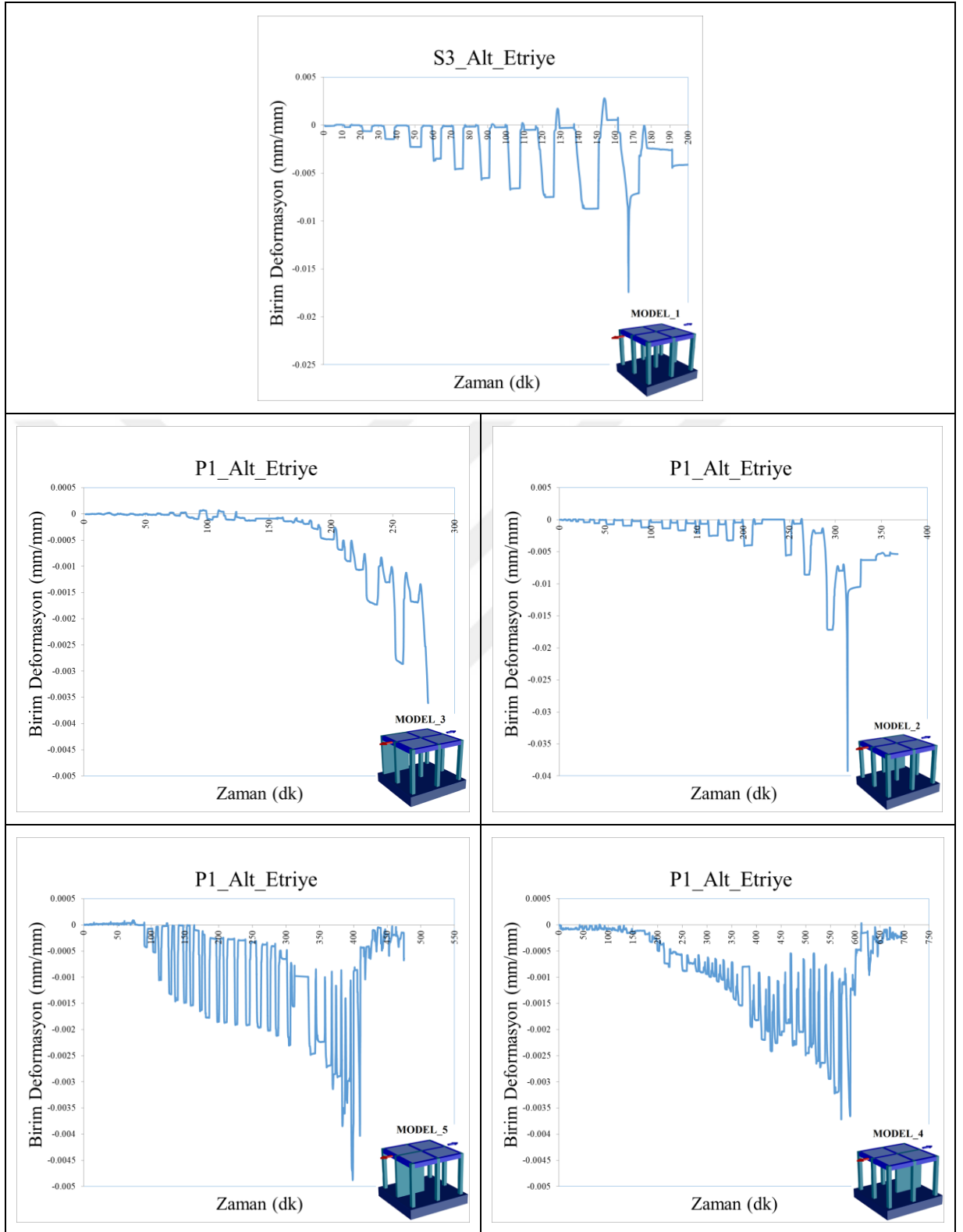
Şekil 3.53. S1 Kolonu Alt Etriye Donatı Birim Deformasyon ve Zaman İlişkisi



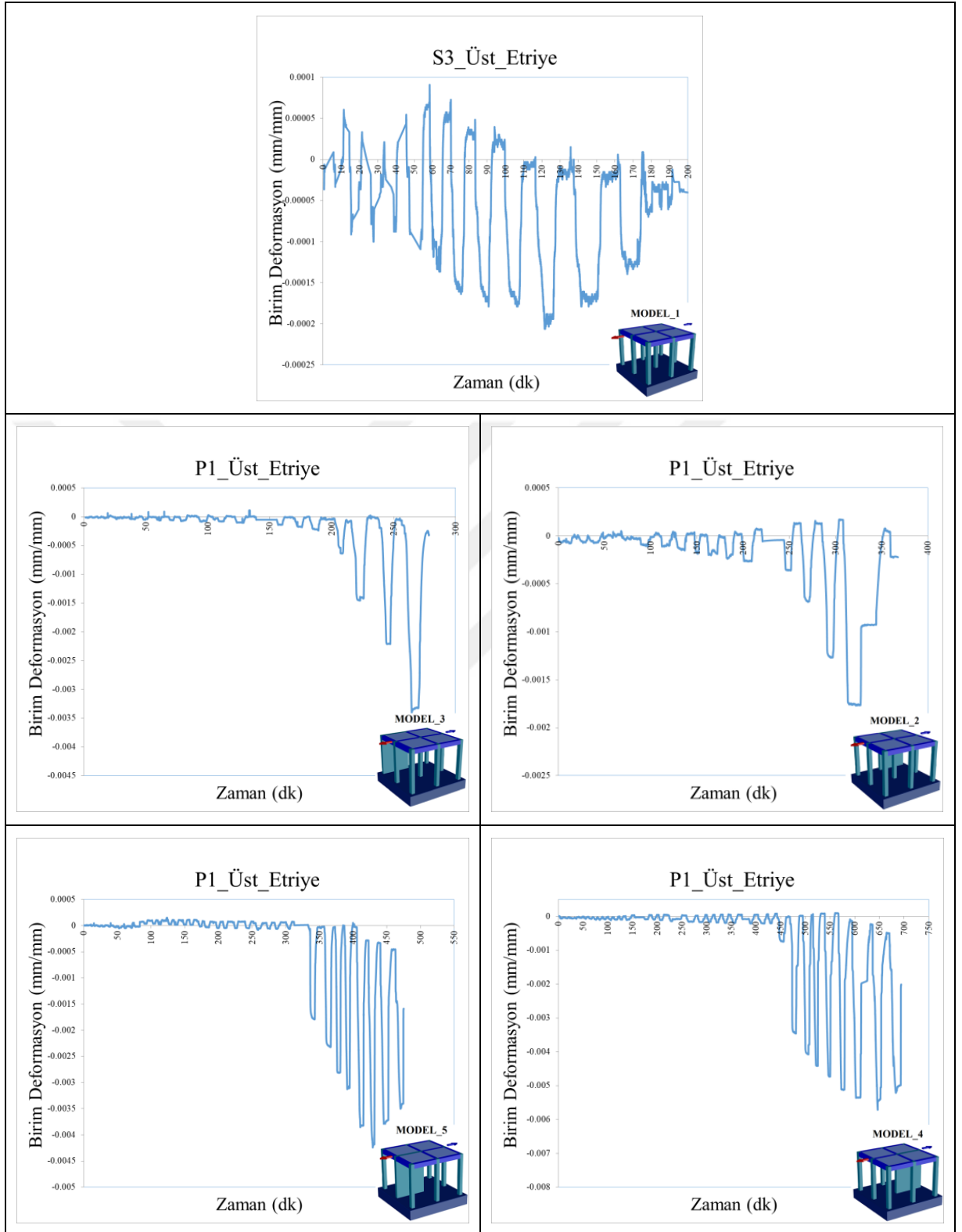
Şekil 3.54. S1 Kolonu Alt Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve Zaman İlişkisi



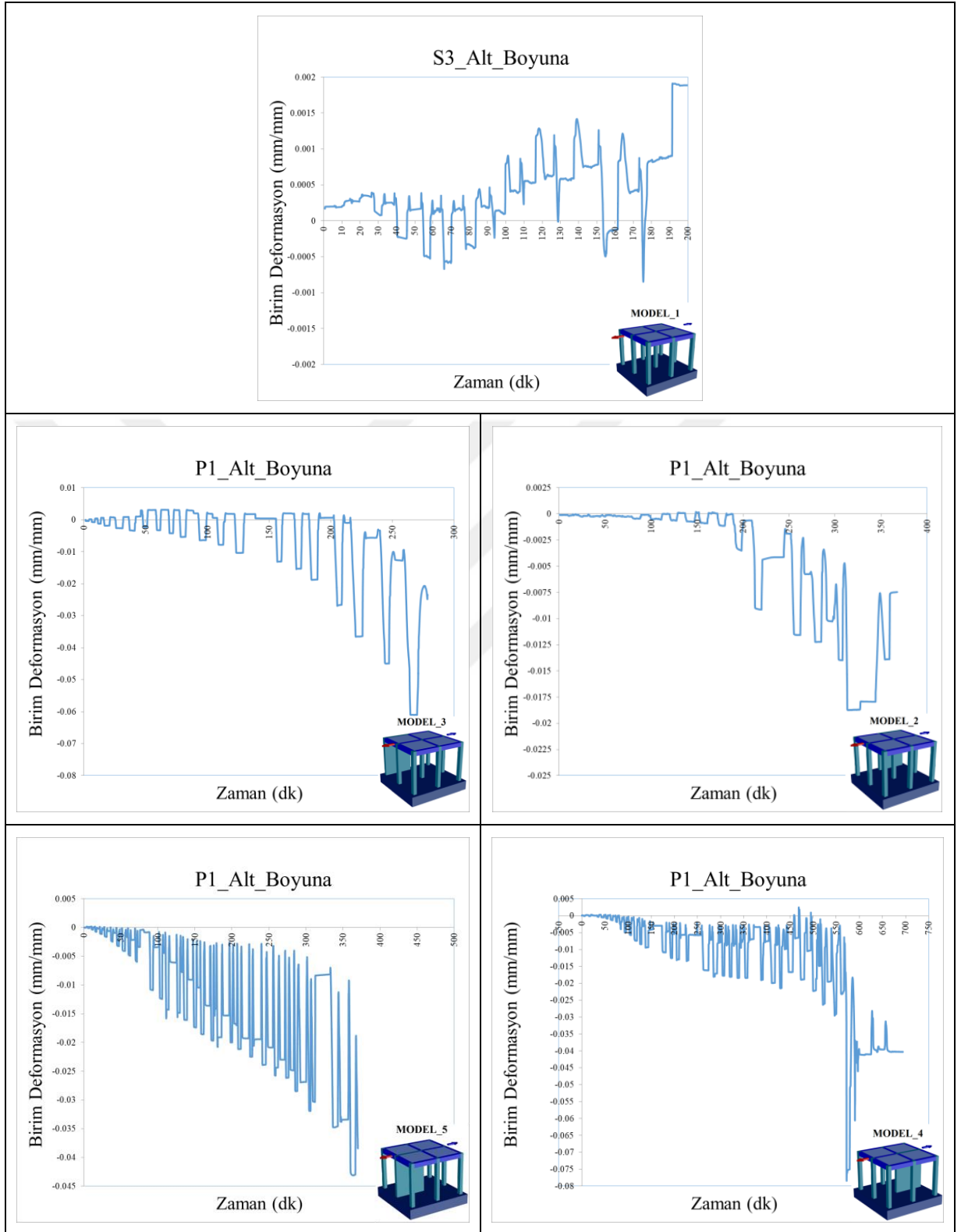
Şekil 3.55. S1 Kolonu Üst Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve Zaman İlişkisi



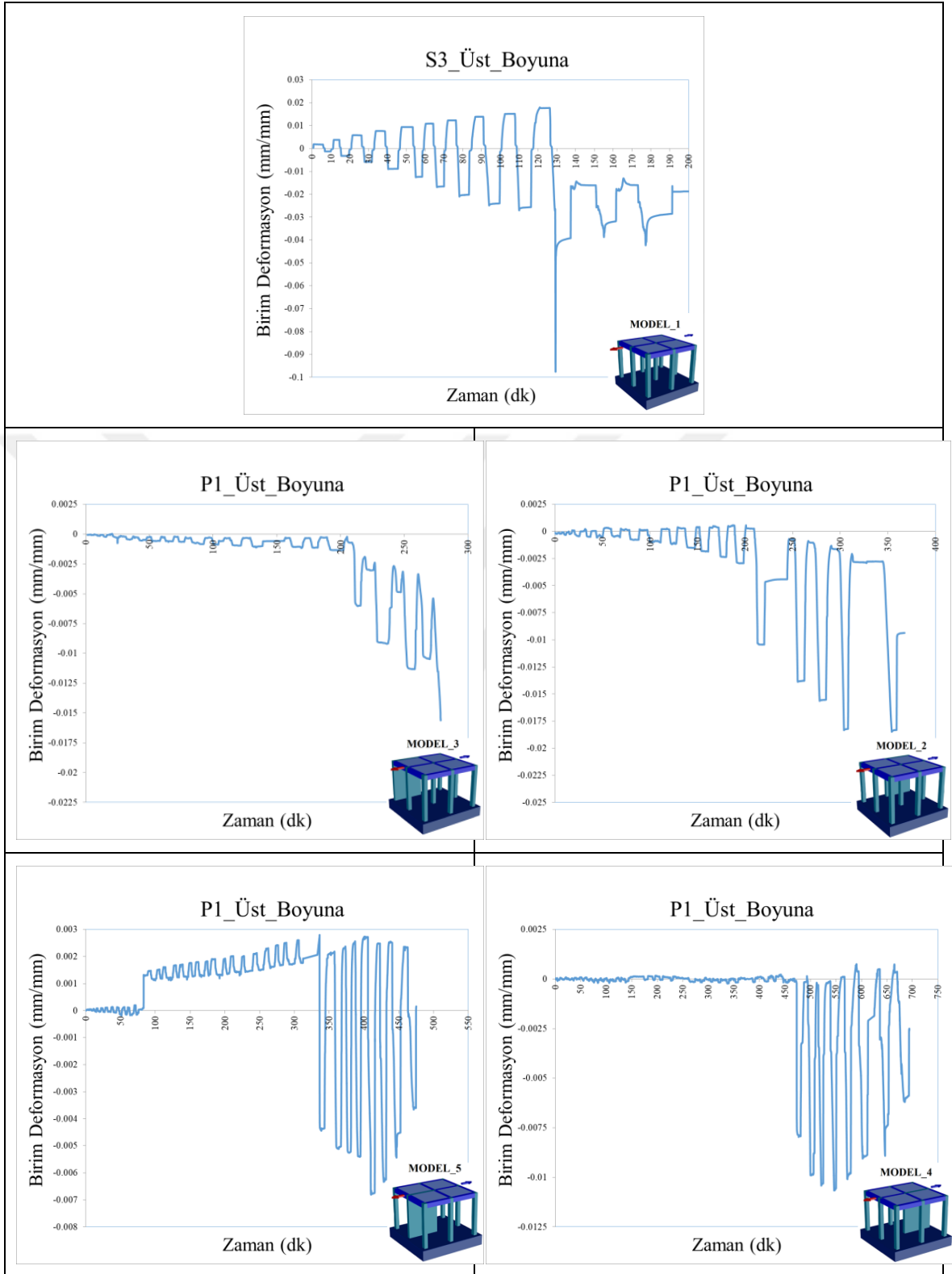
Şekil 3.56. (S3 Kolonu) P1 Perde Alt Etriye Donatı Birim Deformasyon ve Zaman İlişkisi



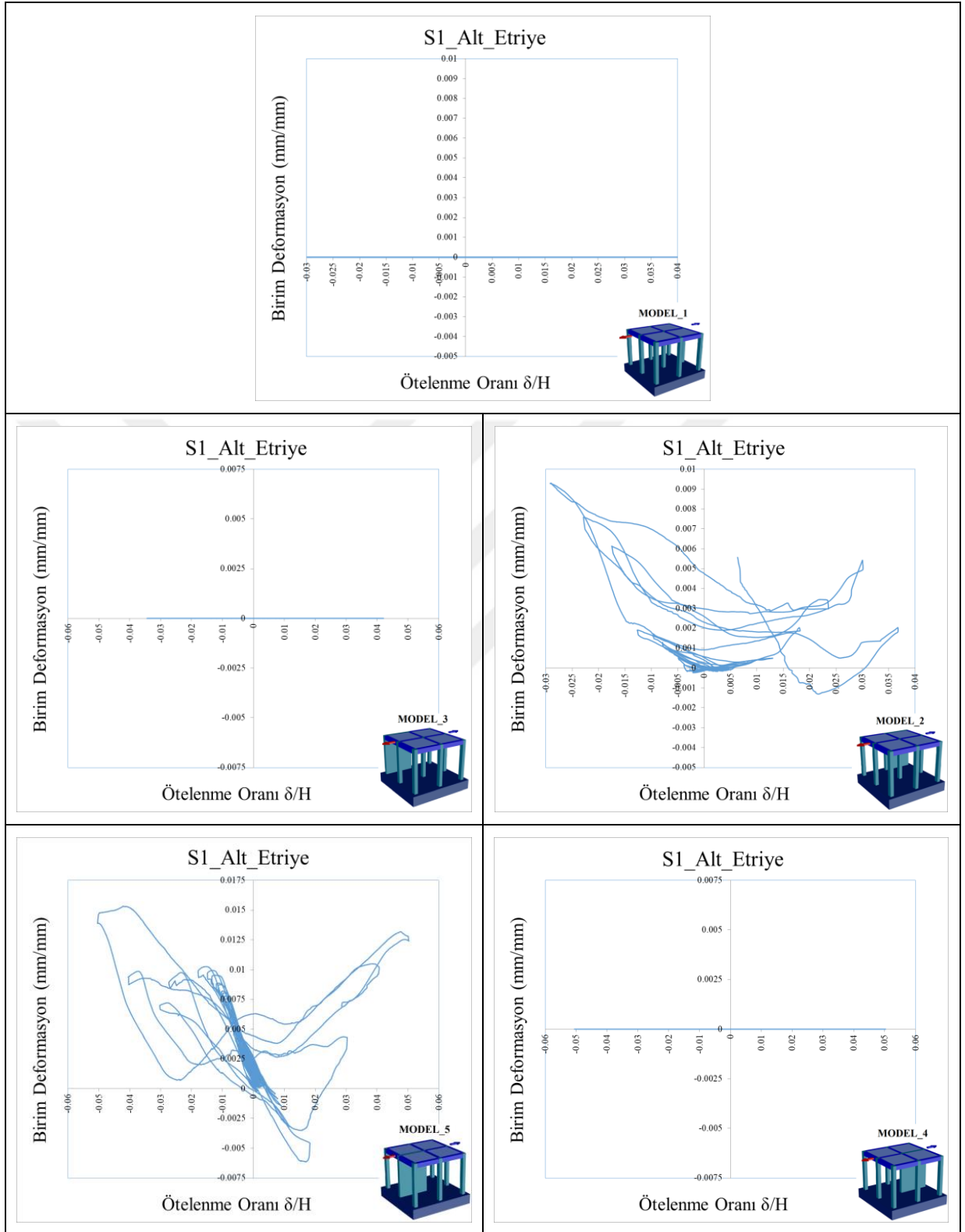
Şekil 3.57. (S3 Kolonu) P1 Perde Üst Etriye Donatı Birim Deformasyon ve Zaman İlişkisi



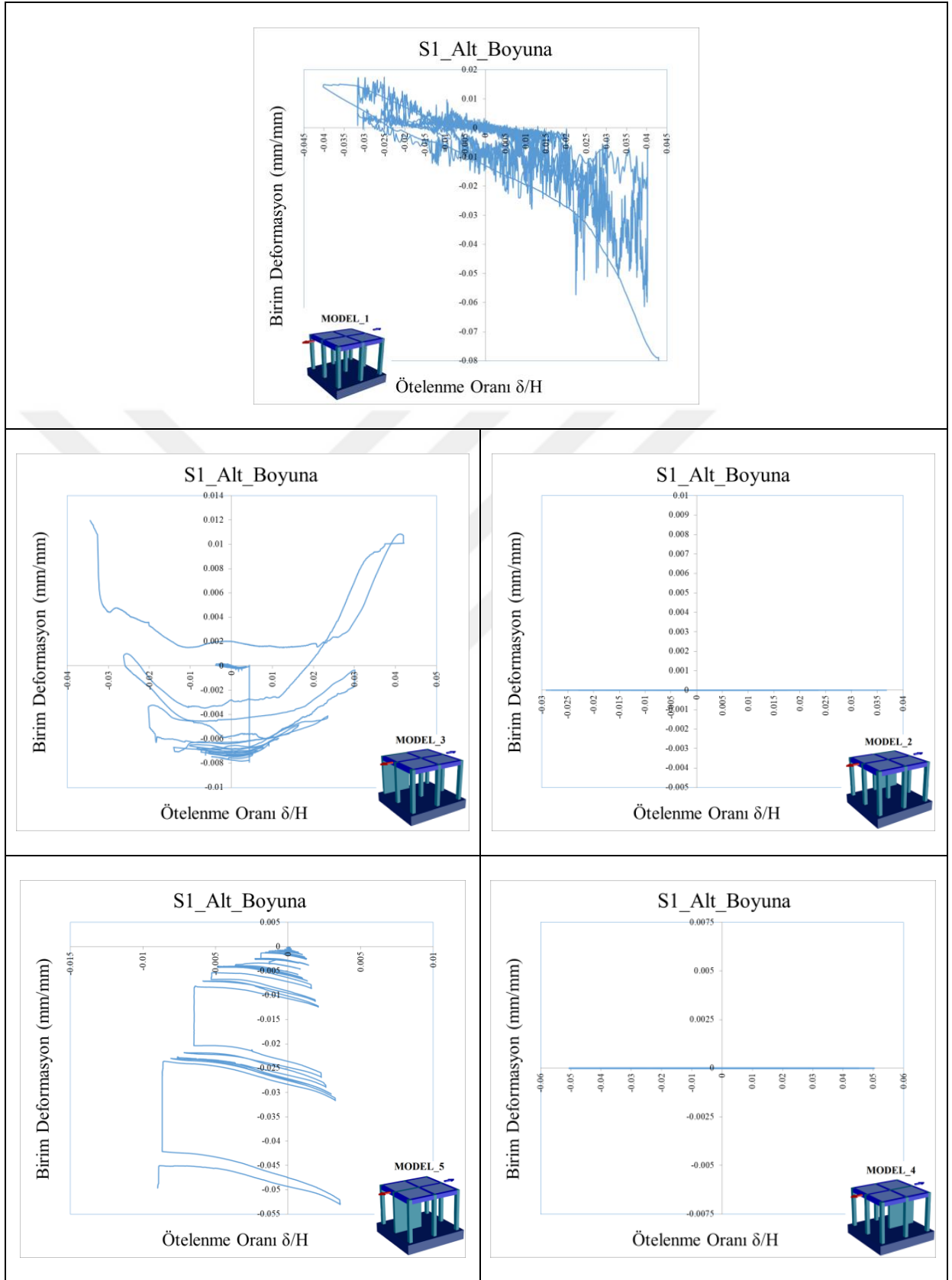
Şekil 3.58. (S3 Kolonu) P1 Perde Alt Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve Zaman İlişkisi



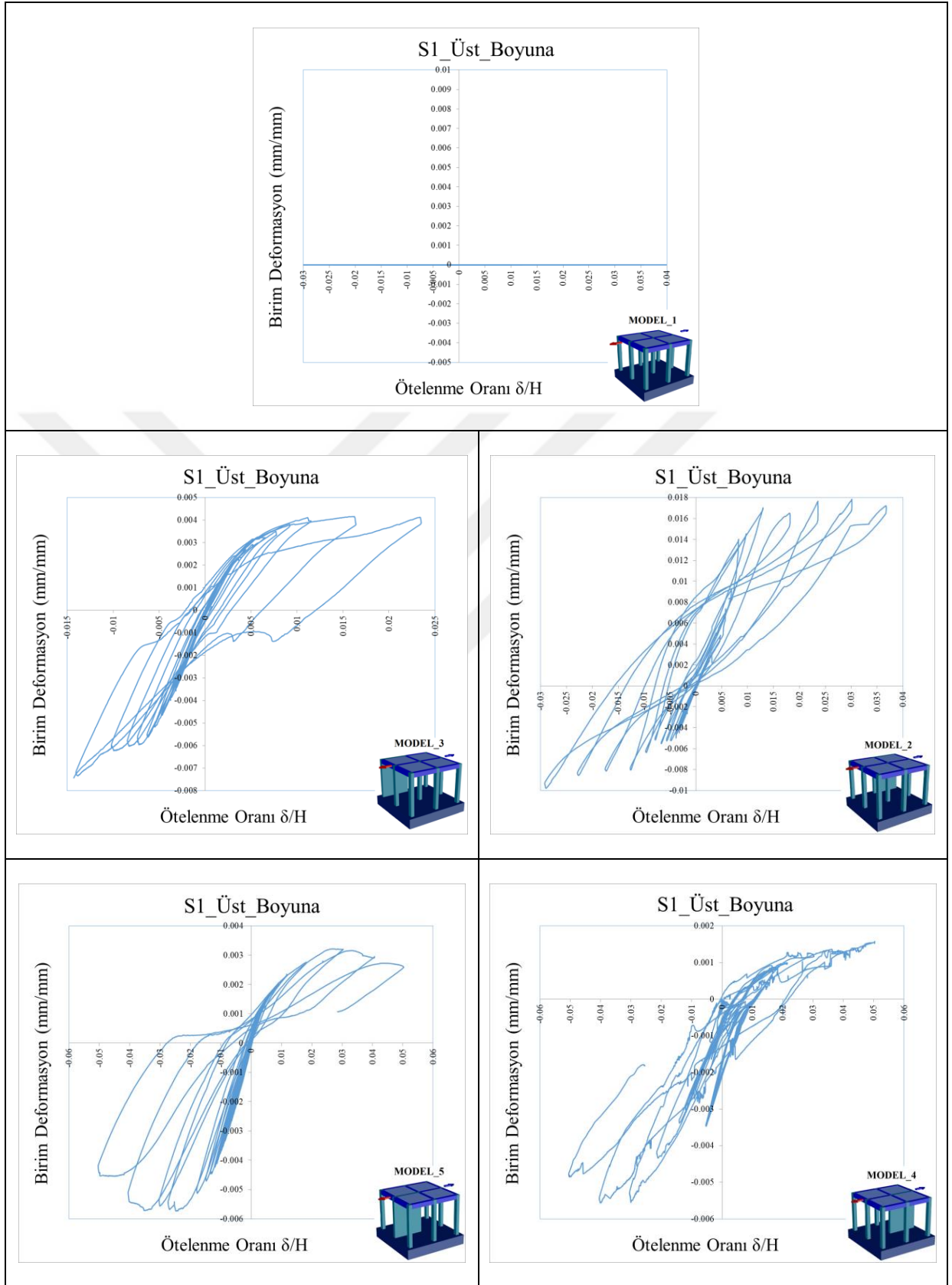
Şekil 3.59. (S3 Kolonu) P1 Perde Üst Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve Zaman İlişkisi



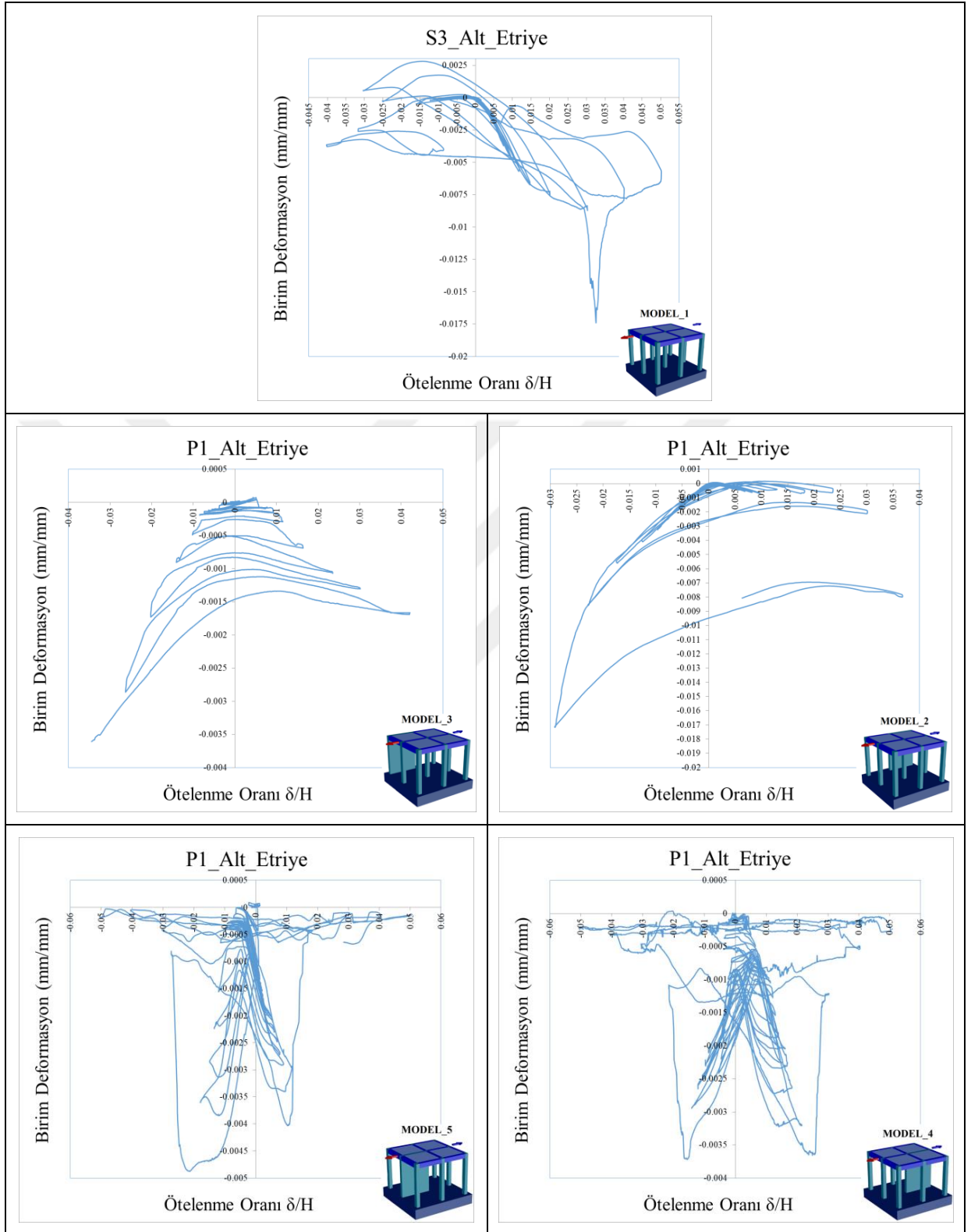
Şekil 3.60. S1 Kolonu Alt Etriye Donatı Birim Deformasyon ve δ/H İlişkisi



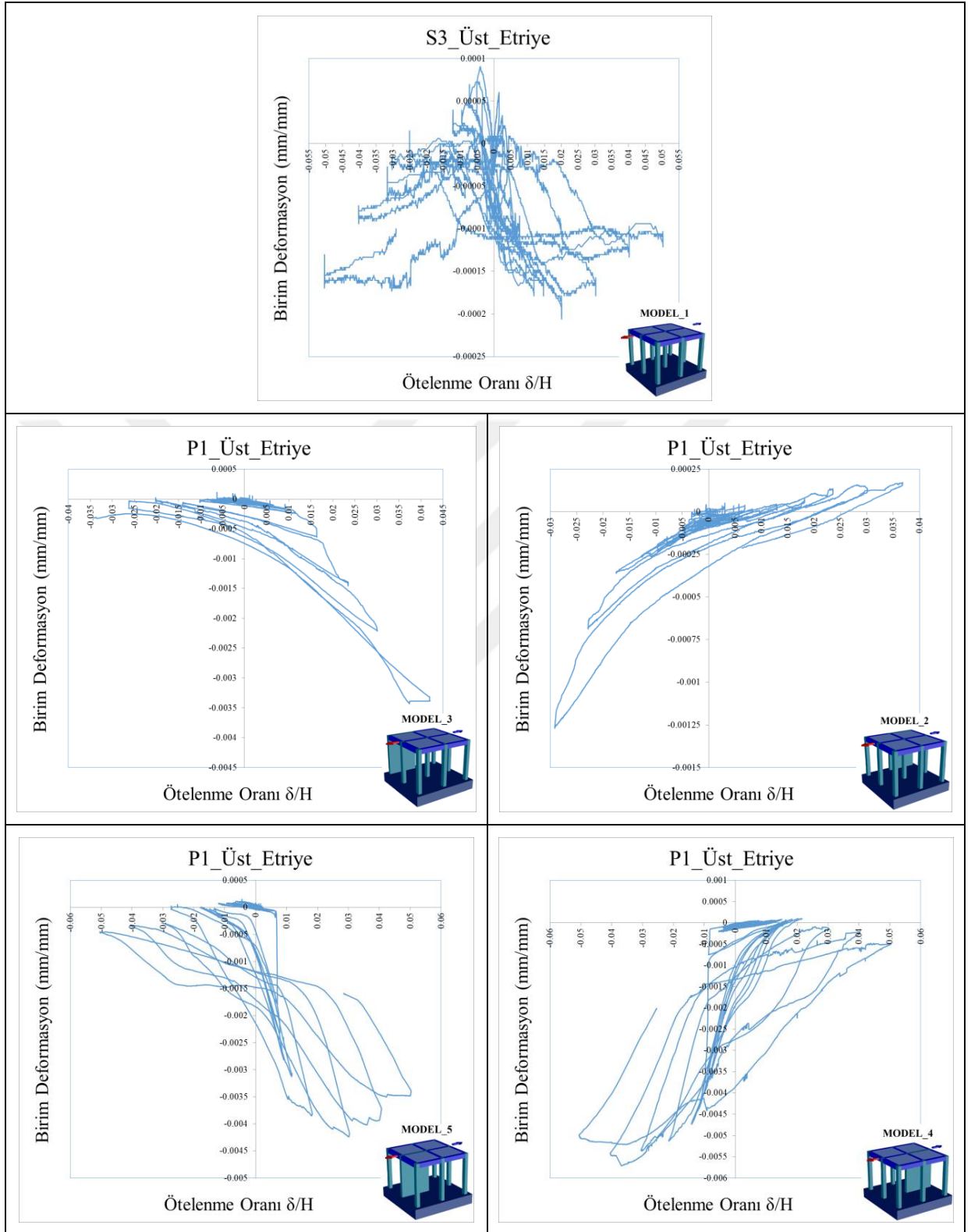
Şekil 3.61. S1 Kolonu Alt Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve δ/H İlişkisi



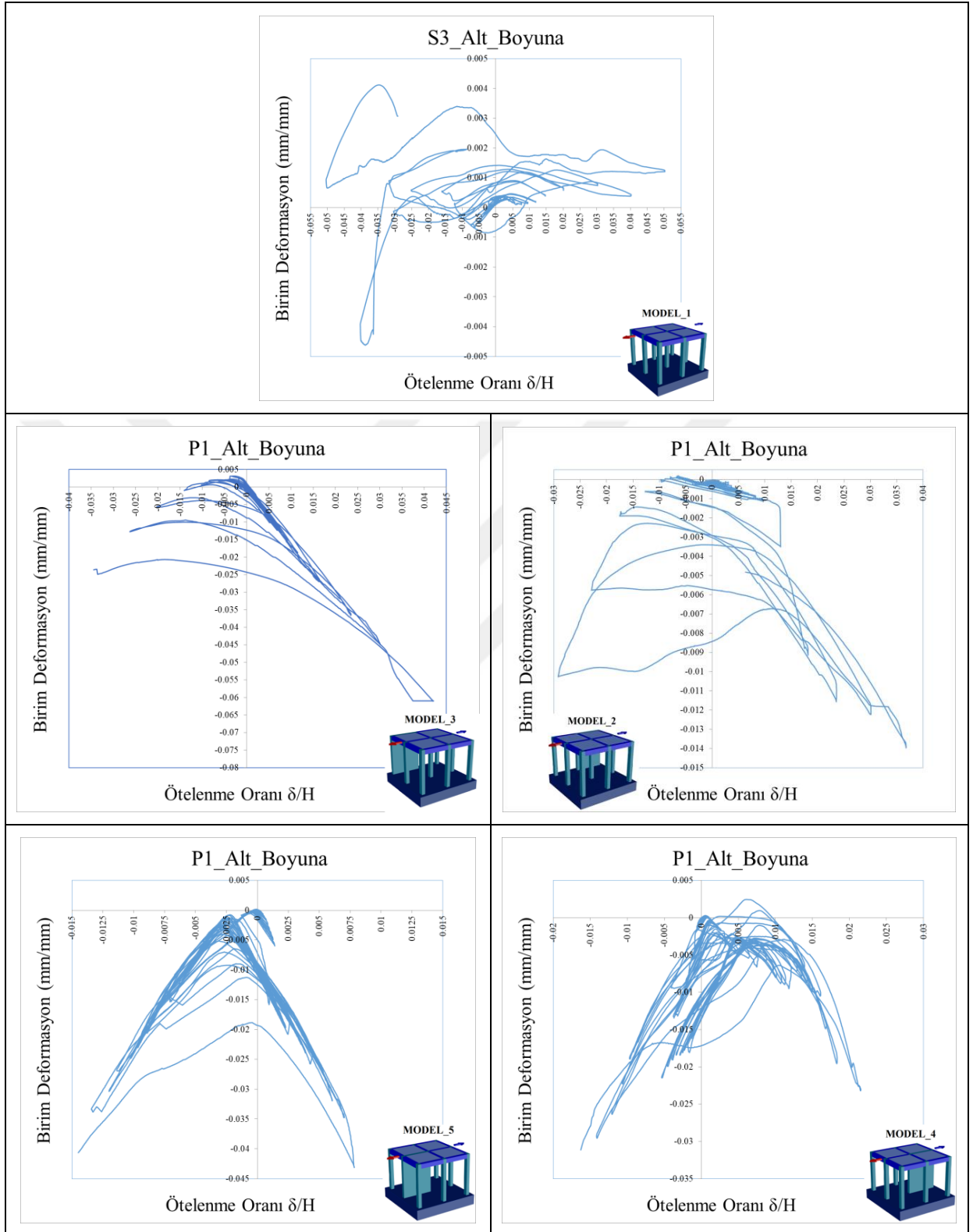
Şekil 3.62. S1 Kolonu Üst Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve δ/H İlişkisi



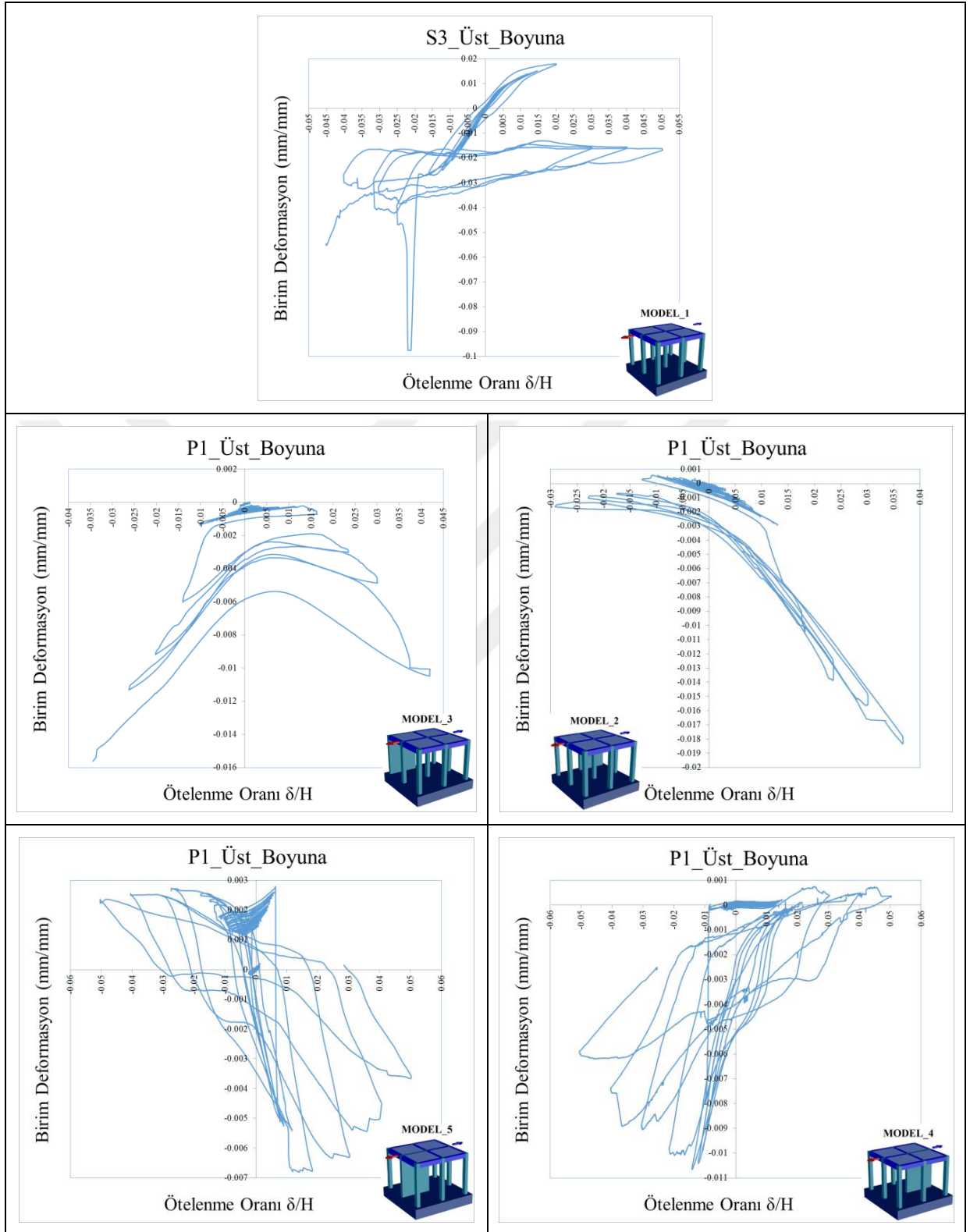
Şekil 3.63. (S3 Kolonu) P1 Perde Alt Etriye Donatı Birim Deformasyon ve δ/H İlişkisi



Şekil 3.64. (S3 Kolonu) P1 Perde Üst Etriye Donatı Birim Deformasyon ve δ/H İlişkisi



Şekil 3.65. (S3 Kolonu) P1 Perde Alt Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve δ/H İlişkisi



Şekil 3.66. (S3 Kolonu) P1 Perde Üst Boyuna Donatı Birim Deformasyon ve δ/H İlişkisi

Model 1 için taşıyıcı sistemin Minimum Hasar Sınırı, Güvenlik Sınırı ve Göçme Sınırlarında yapısal görelî kat ötelemesine göre kolonlardaki boyuna ve enine donatılarında meydana gelen birim deformasyonlar Tablo 3.16'da verilmiştir.

Tablo 3.17. (Model 1) Deneyinde Farklı Hasar Sınırlarında Kolonlardaki Birim Deformasyonlar

Model 1	Donatı Birim Deformasyon (ϵ) x 10^{-3} Donatılardaki uzama (+) ile kısıalma ise (-) işaretlenmiştir					
	İtme Kuvvetinde			Çekme Kuvvetinde		
S1 Alt Etriye	0	0	0	0	0	0
S1 Alt Boyuna	-1.7	-10.6	-54.2	+4.5	+3.6	+14.9
S1 Üst Boyuna	0	0	0	0	0	0
S3 Alt Etriye	-4.8	-8.4	-7.9	-0.06	+0.5	-3.7
S3 Üst Etriye	-0.1	-0.2	-0.12	+0.02	-0.02	-0.08
S3 Alt Boyuna	+0.2	+0.7	+0.4	-0.2	-0.2	-4.5
S3 Üst Boyuna	+12.7	-15.7	-15.5	-21	-34.6	-30

Model 2 için taşıyıcı sistemin Minimum Hasar Sınırı, Güvenlik Sınırı ve Göçme Sınırlarında yapısal görelî kat ötelemesine göre kolonlardaki ve betonarme perdedeki boyuna ve enine donatılarında meydana gelen birim deformasyonlar Tablo 3.17'de verilmiştir.

Tablo 3.18. (Model 2) Deneyinde Farklı Hasar Sınırlarında Kolonlar ve Perdelerdeki Birim Deformasyonlar

Model 2	Donatı Birim Deformasyon (ϵ) x 10^{-3} Donatılardaki uzama (+) ile kısıalma ise (-) işaretlenmiştir					
	İtme Kuvvetinde			Çekme Kuvvetinde		
S1 Alt Etriye	+0.4	+5.4	-4.07	+1.4	+12.2	+14.9
S1 Alt Boyuna	0	0	0	0	0	0
S1 Üst Boyuna	+12.3	+17.7	+13.9	-4.1	-8.1	-11.3
S3 Alt Etriye	-0.4	-2.1	-5.6	-3.3	-20.5	-10.4
S3 Üst Etriye	+0.02	+0.14	+0.06	-0.2	-1.4	-1.7
S3 Alt Boyuna	-1.05	-12.2	-13.9	-0.6	-12.8	-18.6
S3 Üst Boyuna	-2.3	-15.6	-18.5	+0.5	-2.1	-2.8

Model 3 için taşıyıcı sistemin Minimum Hasar Sınırı, Güvenlik Sınırı ve Göçme Sınırlarında yapısal görelî kat ötelemesine göre kolonlardaki ve betonarme perdedeki

boyuna ve enine donatılarında meydana gelen birim deformasyonlar Tablo 3.18'de verilmiştir.

Tablo 3.19. (Model 3) Deneyinde Farklı Hasar Sınırlarında Kolonlar ve Perdelerdeki Birim Deformasyonlar

Model 3	Donatı Birim Deformasyon (ϵ) x 10^{-3} Donatılardaki uzama (+) ile kısalma ise (-) işaretlenmiştir					
	İtme Kuvvetinde			Çekme Kuvvetinde		
S1 Alt Etriye	0	0	0	0	0	0
S1 Alt Boyuna	+1.8	+6.23	+17.9	+1.4	+12.4	+19.8
S1 Üst Boyuna	+3.9	-2.7	-4.9	-6.1	-9.5	-8.9
S3 Alt Etriye	-0.17	-1.3	-1.6	-0.4	-3.3	-3.6
S3 Üst Etriye	-0.16	-2.14	+3.4	-0.03	-0.3	-0.3
S3 Alt Boyuna	-16.8	-44.5	-60.9	+0.5	-23.2	-23.6
S3 Üst Boyuna	-0.27	-4.5	-10.04	-1.3	-14.1	-15.6

Model 4 için taşıyıcı sistemin Minimum Hasar Sınırı, Güvenlik Sınırı ve Göçme Sınırlarında yapısal görece kat ötelemesine göre kolonlardaki ve betonarme perdedeki boyuna ve enine donatılarında meydana gelen birim deformasyonlar Tablo 3.19'da verilmiştir.

Tablo 3.20. (Model 4) Deneyinde Farklı Hasar Sınırlarında Kolonlar ve Perdelerdeki Birim Deformasyonlar

Model 4	Donatı Birim Deformasyon (ϵ) x 10^{-3} Donatılardaki uzama (+) ile kısalma ise (-) işaretlenmiştir					
	İtme Kuvvetinde			Çekme Kuvvetinde		
S1 Alt Etriye	0	0	0	0	0	0
S1 Alt Boyuna	0	0	0	0	0	0
S1 Üst Boyuna	-0.06	+1.2	+1.3	-2.4	-5.5	-5.6
S3 Alt Etriye	-0.9	-1.2	-0.5	-2.03	-0.5	-0.3
S3 Üst Etriye	+0.04	-0.1	-0.2	-0.7	-5.4	-5.5
S3 Alt Boyuna	-8.03	-38.8	-39.5	-16.7	-41.08	-39.5
S3 Üst Boyuna	-0.01	+0.4	+0.5	-0.2	-9.05	-7.6

Model 5 için taşıyıcı sistemin Minimum Hasar Sınırı, Güvenlik Sınırı ve Göçme Sınırında yapısal görelî kat ötelemesine göre kolonlardaki ve betonarme perdedeki boyuna ve enine donatılarında meydana gelen birim deformasyonlar Tablo 3.20’de verilmiştir.

Tablo 3.21. (Model 5) Deneyinde Farklı Hasar Sınırlarında Kolonlar ve Perdelerdeki Birim Deformasyonlar

Model 5	Donatı Birim Deformasyon (ϵ) x 10^{-3} Donatılardaki uzama (+) ile kılalma ise (-) işaretlenmiştir					
	İtme Kuvvetinde			Çekme Kuvvetinde		
S1 Alt Etriye	-2.5	+3.3	+9.4	+7.6	+6.6	+8.8
S1 Alt Boyuna	-97.8	-97.9	-97.9	-24.7	-97.9	-97.9
S1 Üst Boyuna	+2.1	+3.2	+2.9	-3.7	-5.5	-5.4
S3 Alt Etriye	-3.3	-0.09	-0.11	-0.4	-0.4	-0.04
S3 Üst Etriye	-2.9	-4.2	-3.9	+0.05	-0.2	-0.3
S3 Alt Boyuna	-96.5	-96.5	-96.5	-24.03	-96.5	-96.5
S3 Üst Boyuna	-5.12	-6.3	-5.02	+1.7	+2.4	+2.5

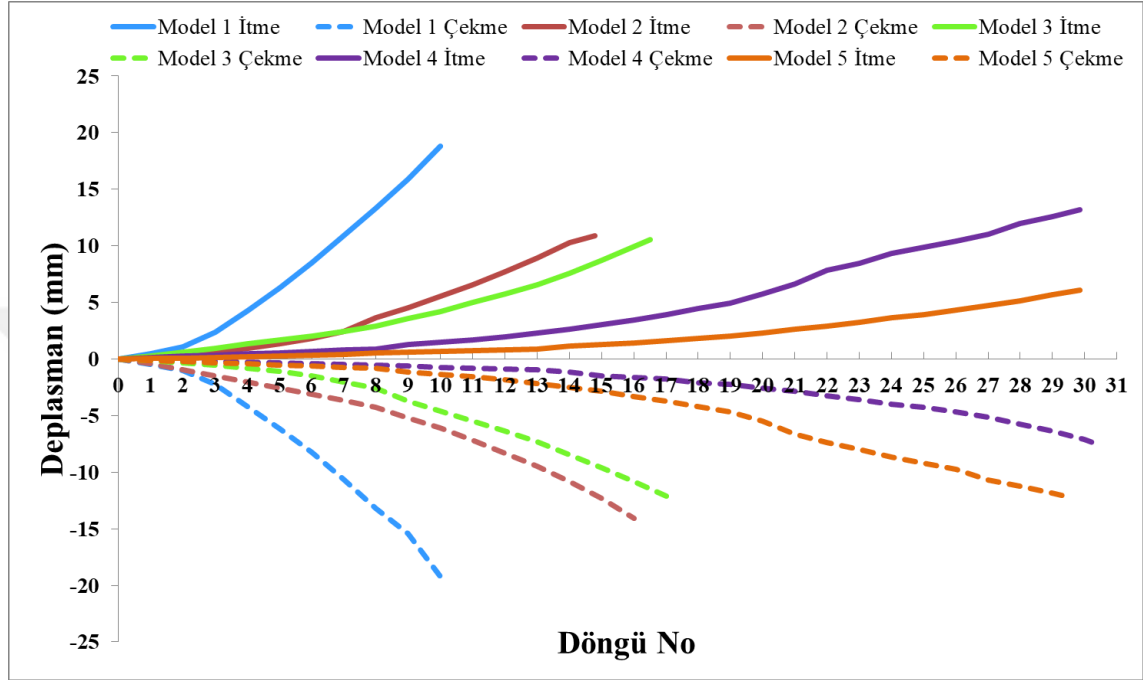
3.2. Nümerik Bulgular

Deneyi yapılan taşıyıcı sistem modelleri ANSYS programında modellenerek statik analiz yapılmıştır. Analizlerde yüklemeler, deneysel çalışmalarda olduğu gibi tersinir tekrarlı olarak etki ettirilmiştir. Ancak eleman sayısının fazla olması, oluşan yakınsama problemleri ve programın bu kadar döngü çözümünde güçlük çekmesi sebebi ile her adımın itme ve çekme döngüsü ayrı ayrı yapılmıştır. Yüklemeler, akma yüküne kadar devam etmiştir. Model 1’de 10 döngü, Model 2’de 16 döngü, Model 3’te 17 döngü, Model 4’te 31 döngü ve Model 5’te 30 döngü yükleme gerçekleştirilmiştir.

Genel olarak, ANSYS programında yapılan simülasyonlardan gerçek deney davranışına göre çok daha rijit bulgular elde edilmiştir. Bu nedenle, deneylerde akmanın oluştuğu döngülerde meydana gelen akma davranışı nümerik simülasyonlarda yaşanmamıştır. ANSYS programındaki yüklemeler deneysel modellerle paralel yapılmıştır. Bu sebeplerden dolayı, deneysel ve nümerik modellerin karşılaştırmalarında deneysel modellerin akma yükü öncesi esas alınmıştır.

3.2.1. Nümerik Yükleme Programları

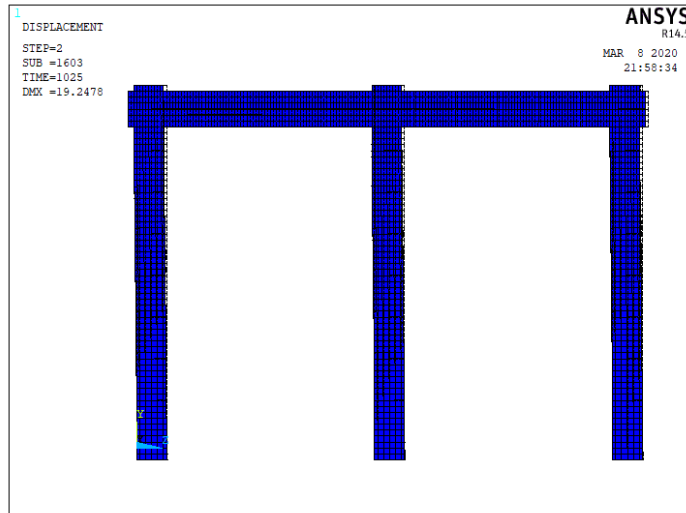
Betonarme deney numunelerinin tamamı için deney simülasyonuna ait deplasman geçmişi Şekil 3.72 de verilmiştir.



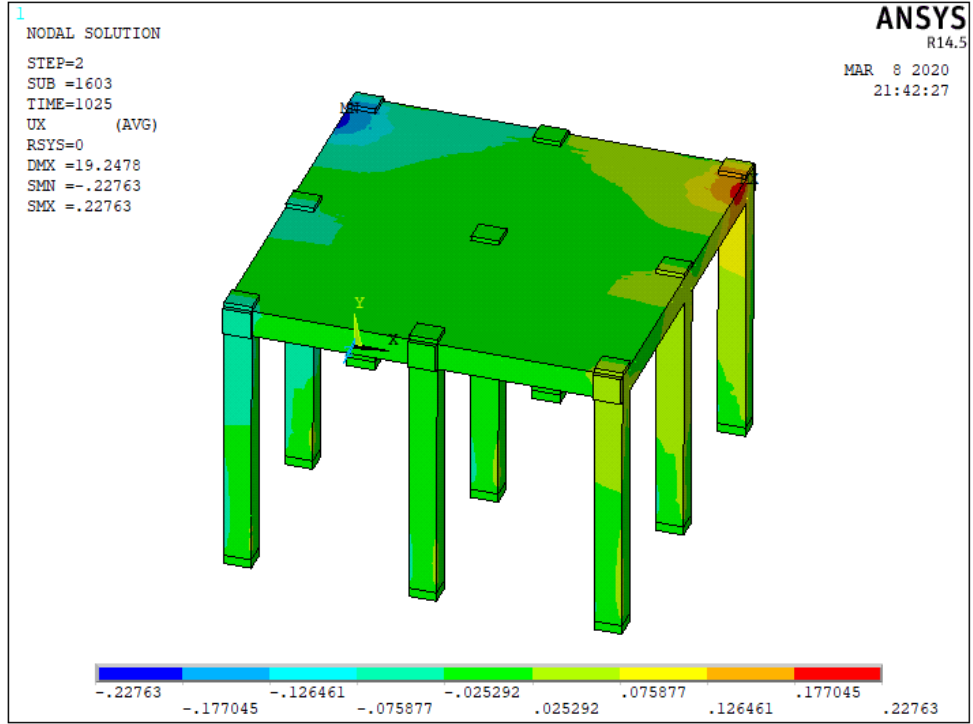
Şekil 3.67. Tüm Modellerin Deney Simülasyonu İtme ve Çekmede Deplasman Geçmişi

3.2.2. ANSYS'te Nümerik Yer Değiştirmeler

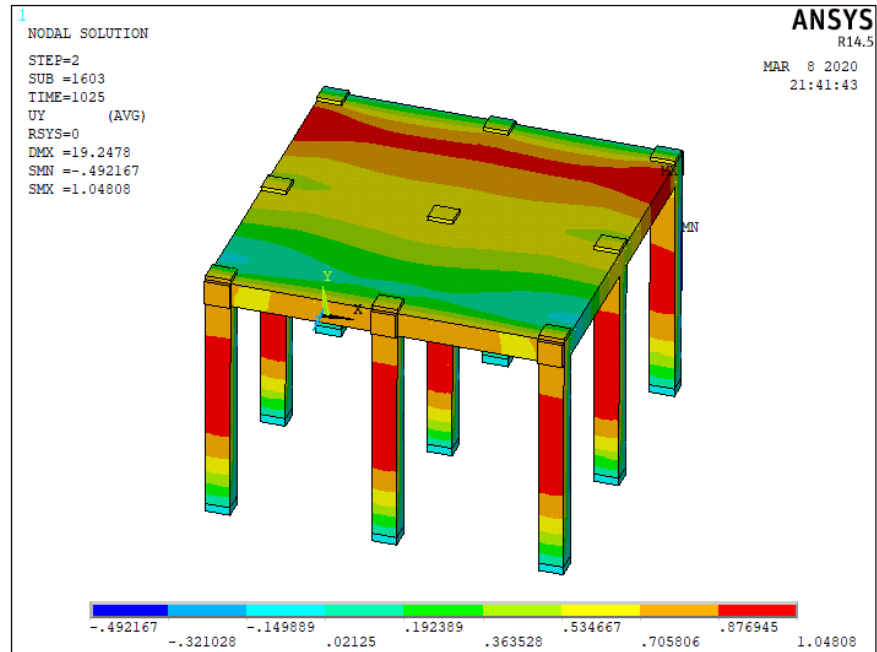
Nümerik olarak elde edilen yer değiştirmeler her bir model için verilmiştir.



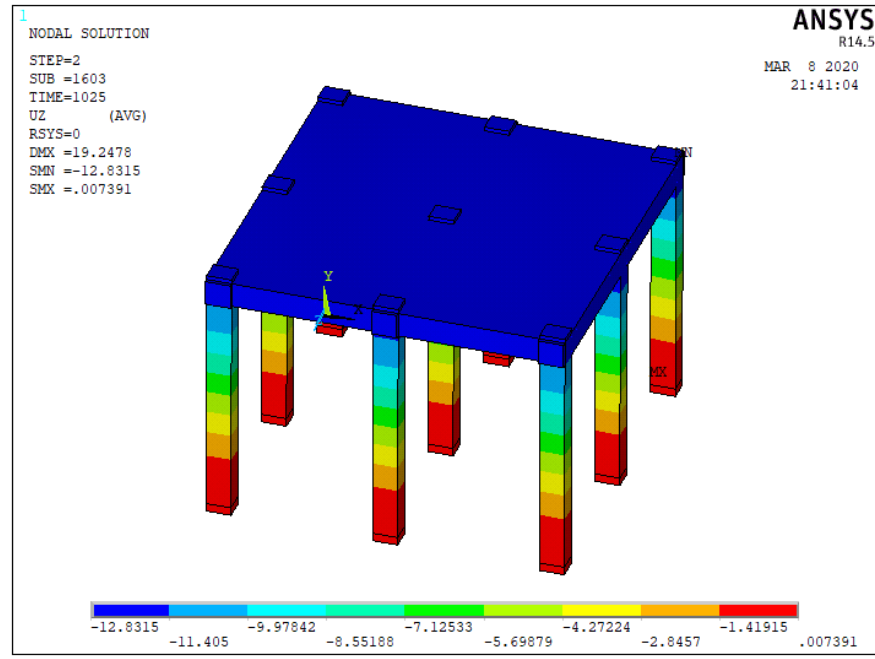
Şekil 3.68. Model 1 Taşıyıcı Sisteminin İtme Yönündeki Deplasmanı



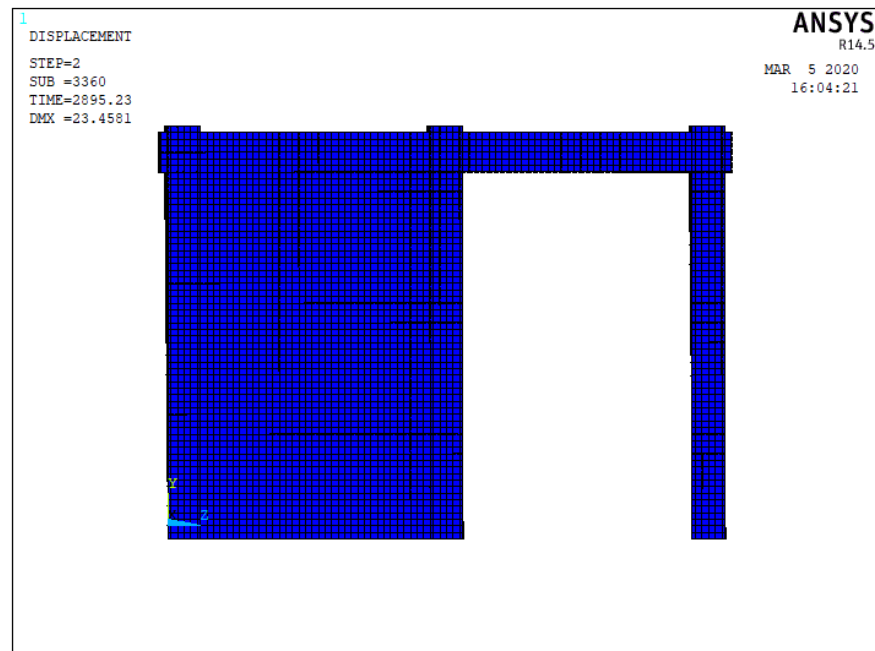
Şekil 3.69. Model 1 Taşıyıcı Sistem X-X Yönündeki Deplasmanı



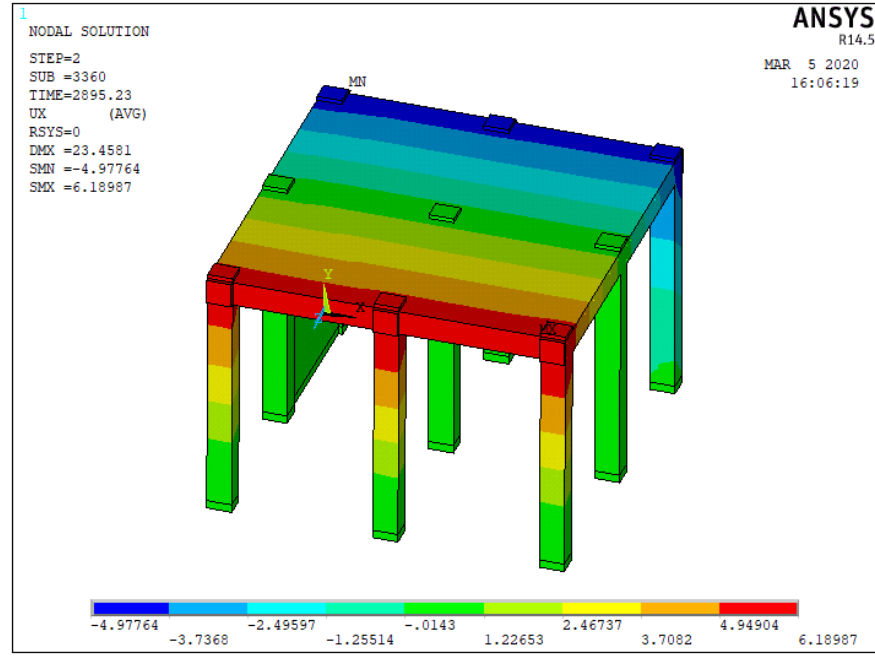
Şekil 3.70. Model 1 Taşıyıcı Sistem Y-Y Yönündeki Deplasmanı



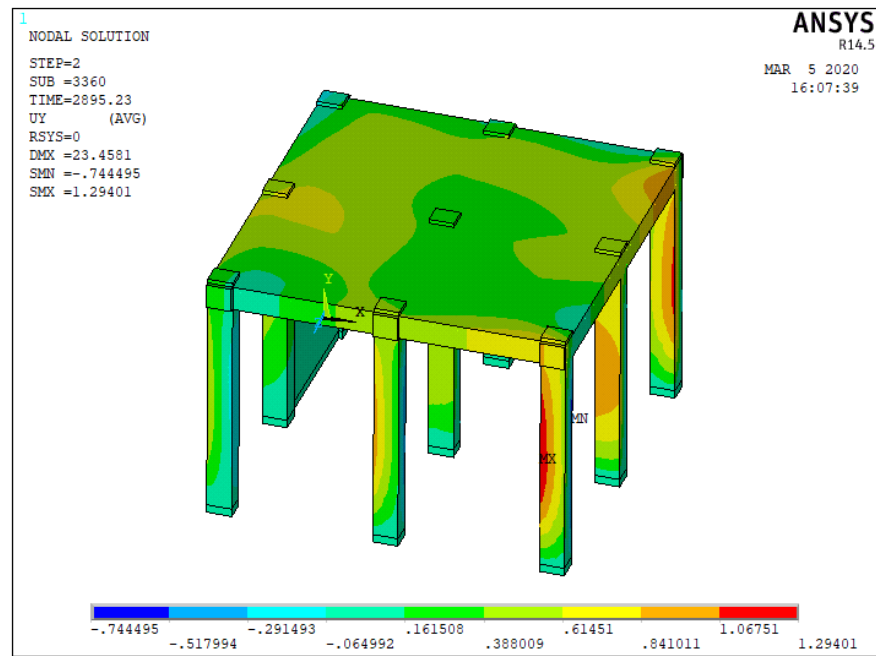
Şekil 3.71. Model 1 Taşıyıcı Sistem Z-Z Yönündeki Deplasmanı



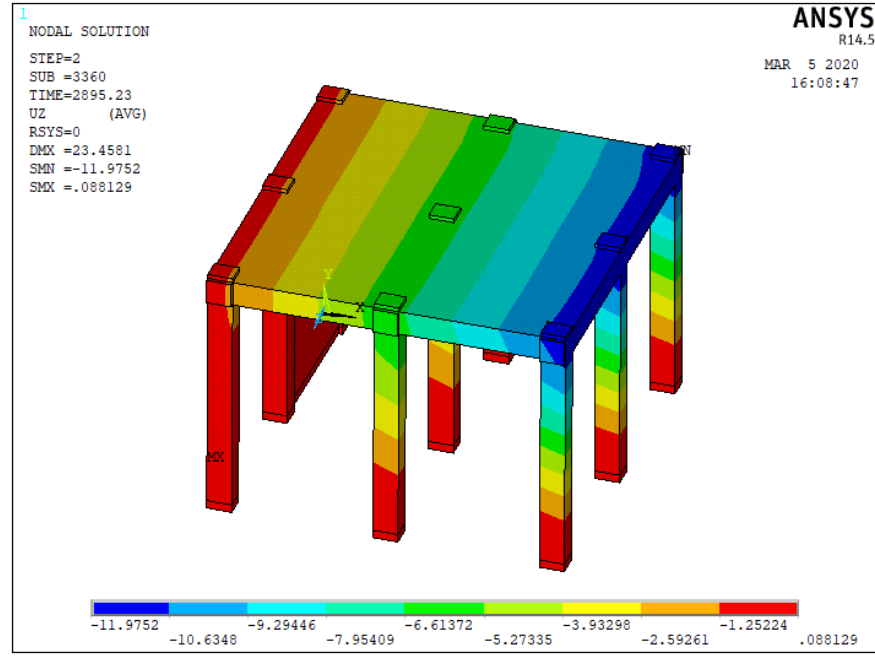
Şekil 3.72. Model 2 Taşıyıcı Sisteminin İtme Yönündeki Deplasmanı



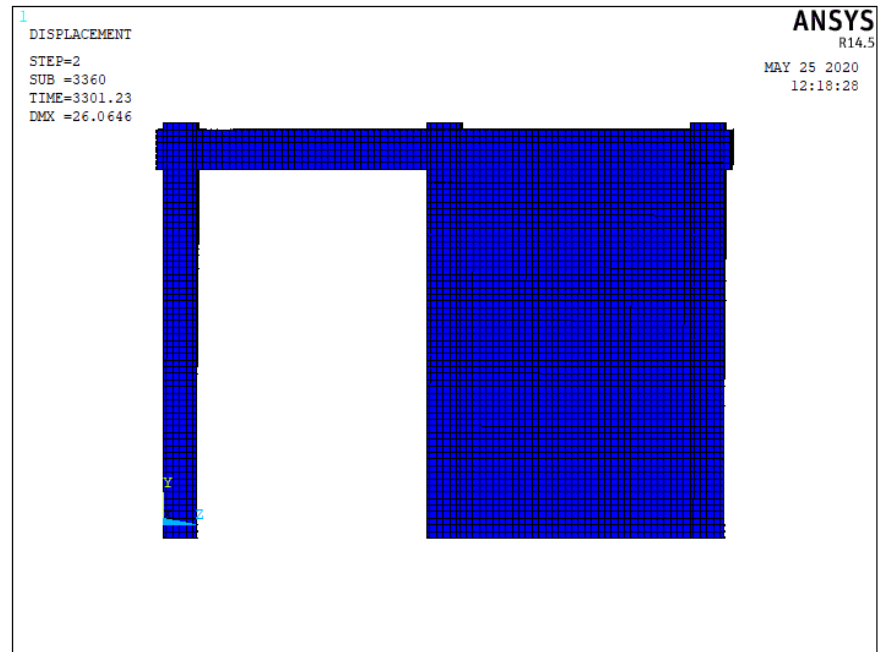
Şekil 3.73. Model 2 Taşıyıcı Sistem X-X Yönündeki Deplasmanı



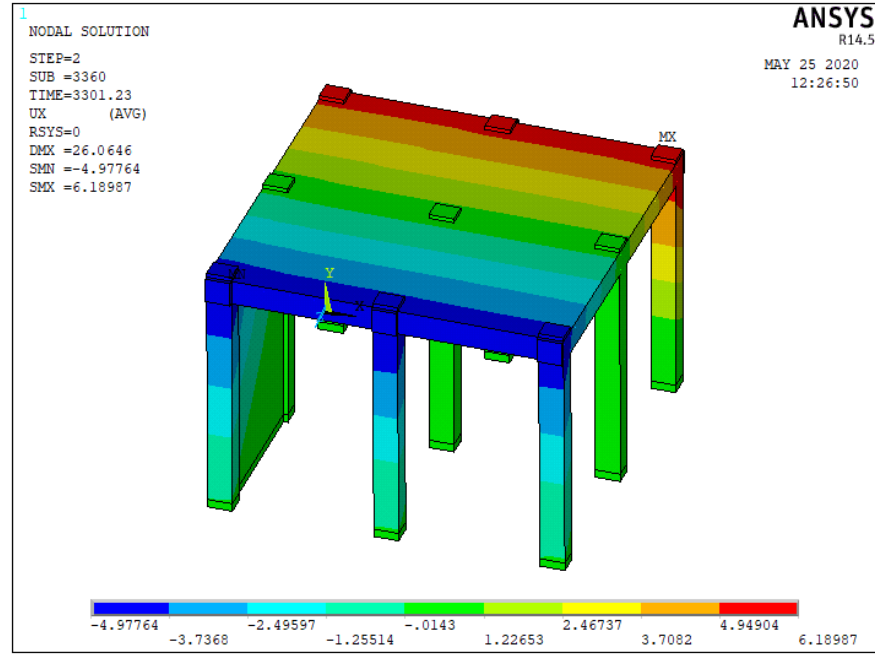
Şekil 3.74. Model 2 Taşıyıcı Sistem Y-Y Yönündeki Deplasmanı



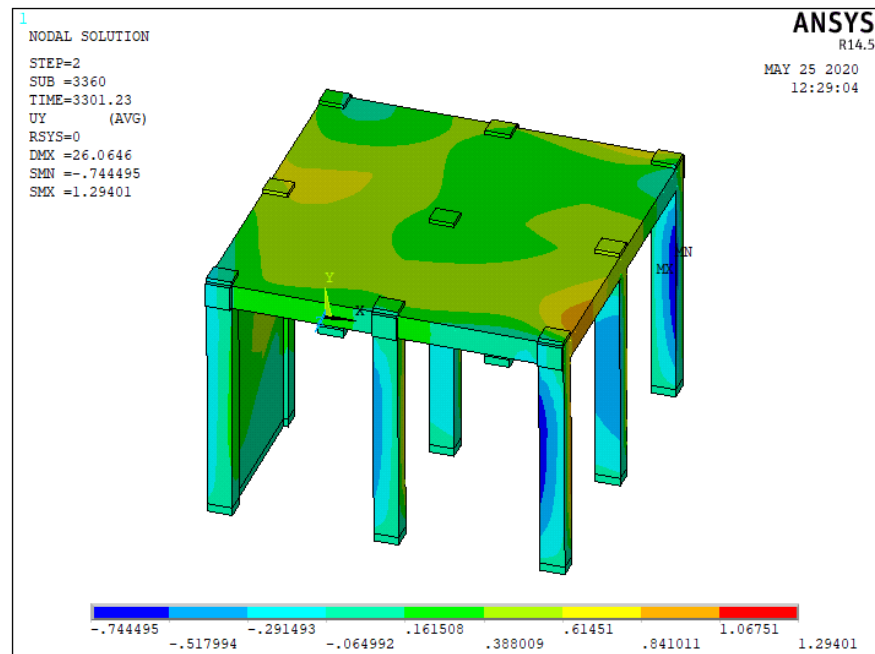
Şekil 3.75. Model 2 Taşıyıcı Sistem Z-Z Yönündeki Deplasmanı



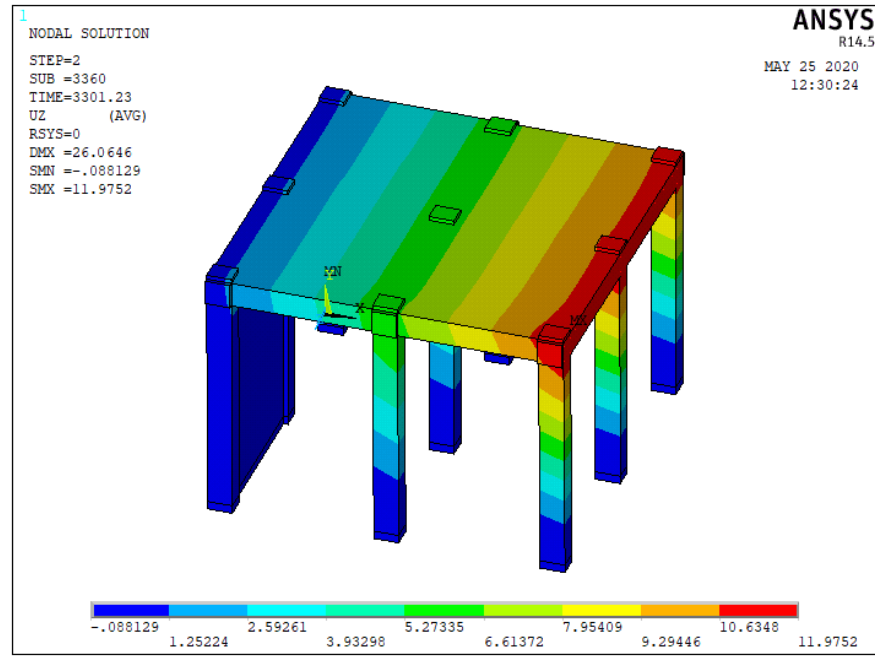
Şekil 3.76. Model 3 Taşıyıcı Sisteminin Çekme Yönündeki Deplasmanı



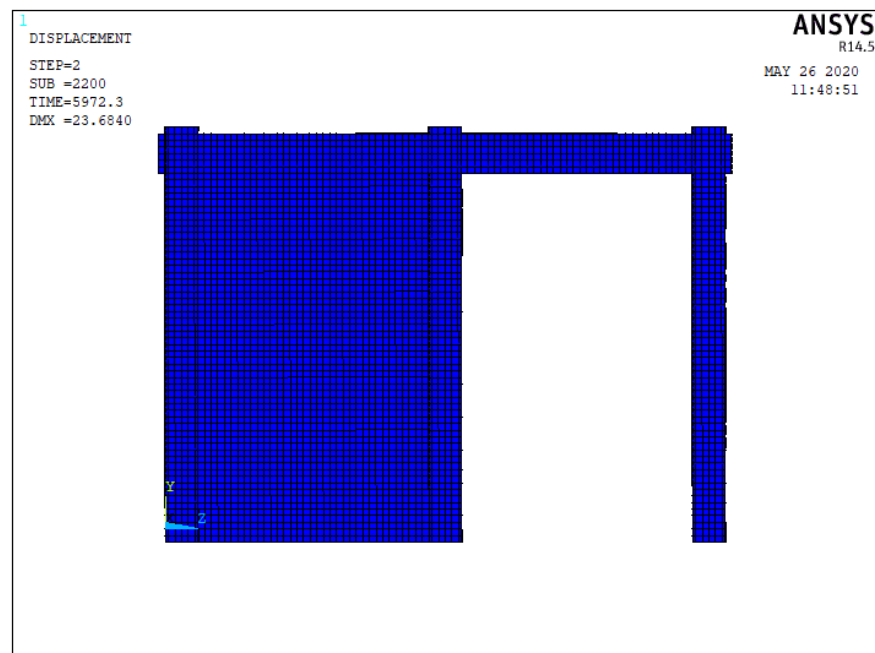
Şekil 3.77. Model 3 Taşıyıcı Sistem X-X Yönündeki Deplasmanı



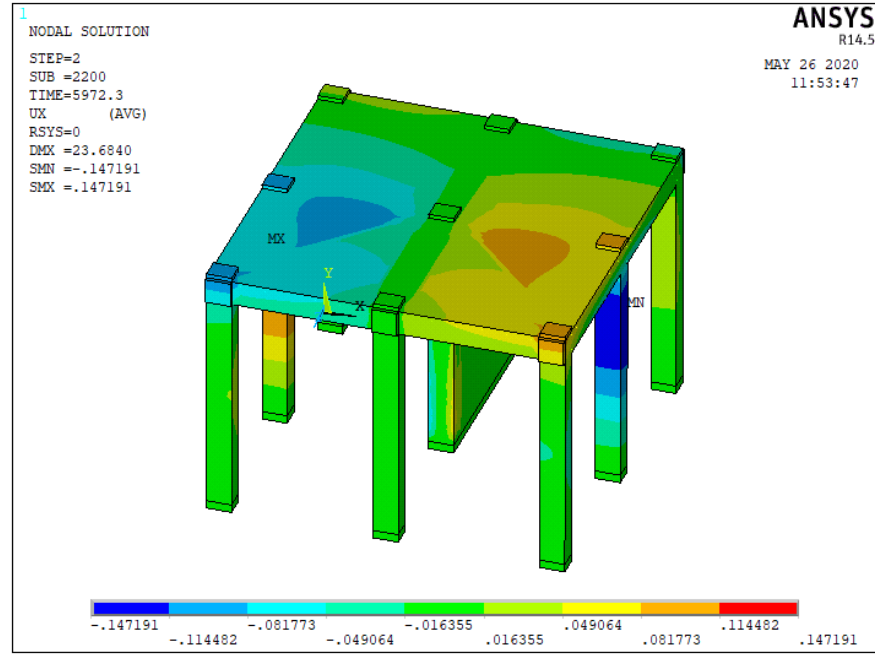
Şekil 3.78. Model 3 Taşıyıcı Sistem Y-Y Yönündeki Deplasmanı



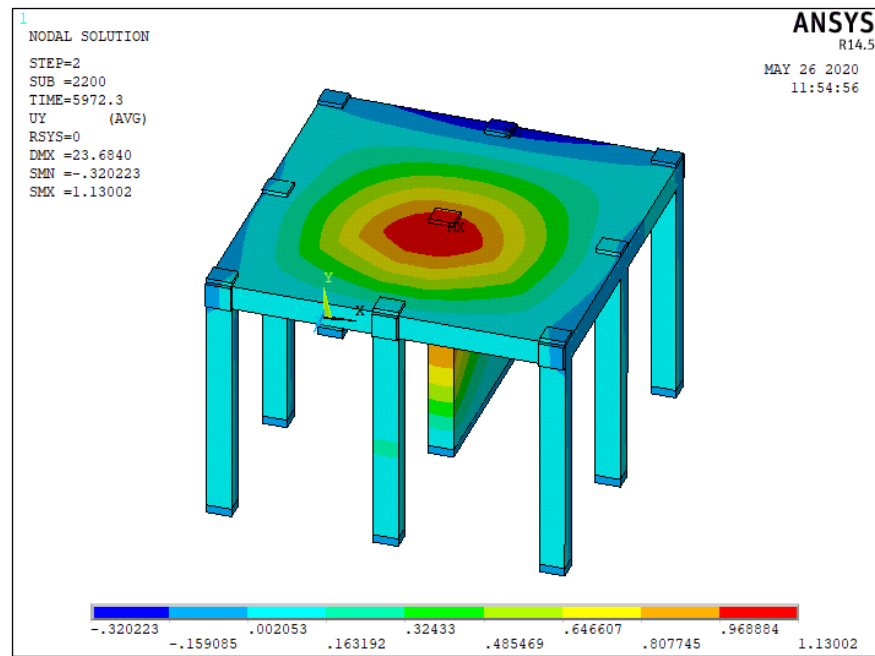
Şekil 3.79. Model 3 Taşıyıcı Sistem Z-Z Yönündeki Deplasmanı



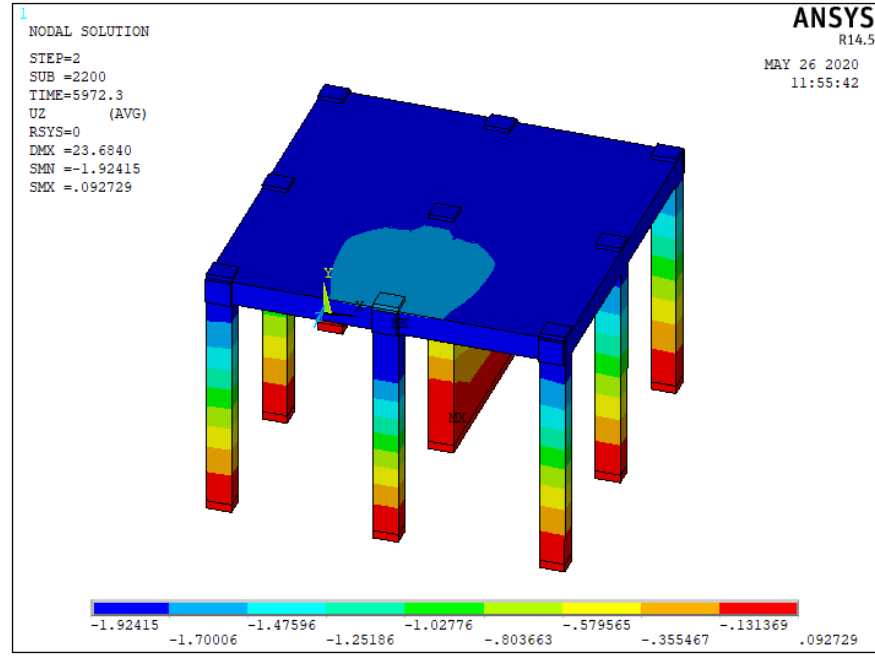
Şekil 3.80. Model 4 Taşıyıcı Sisteminin İtme Yönündeki Deplasmanı



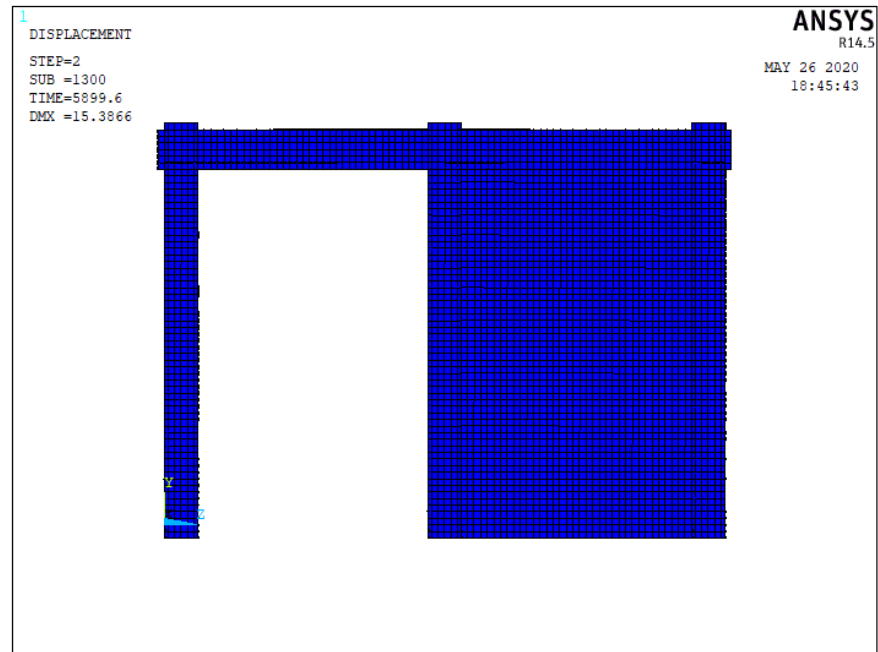
Şekil 3.81. Model 4 Taşıyıcı Sistem X-X Yönündeki Deplasmanı



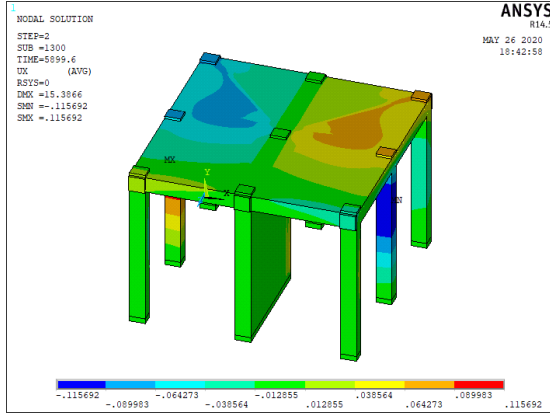
Şekil 3.82. Model 4 Taşıyıcı Sistem Y-Y Yönündeki Deplasmanı



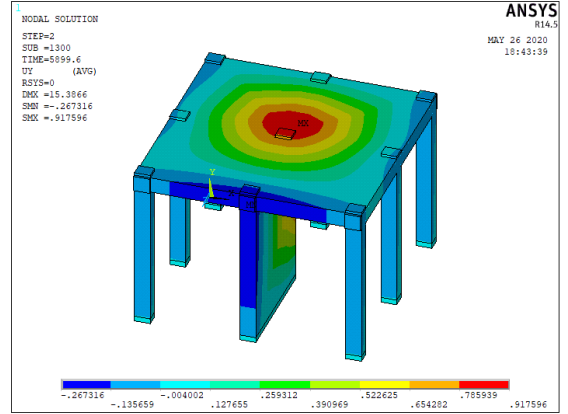
Şekil 3.83. Model 4 Taşıyıcı Sistem Z-Z Yönündeki Deplasmanı



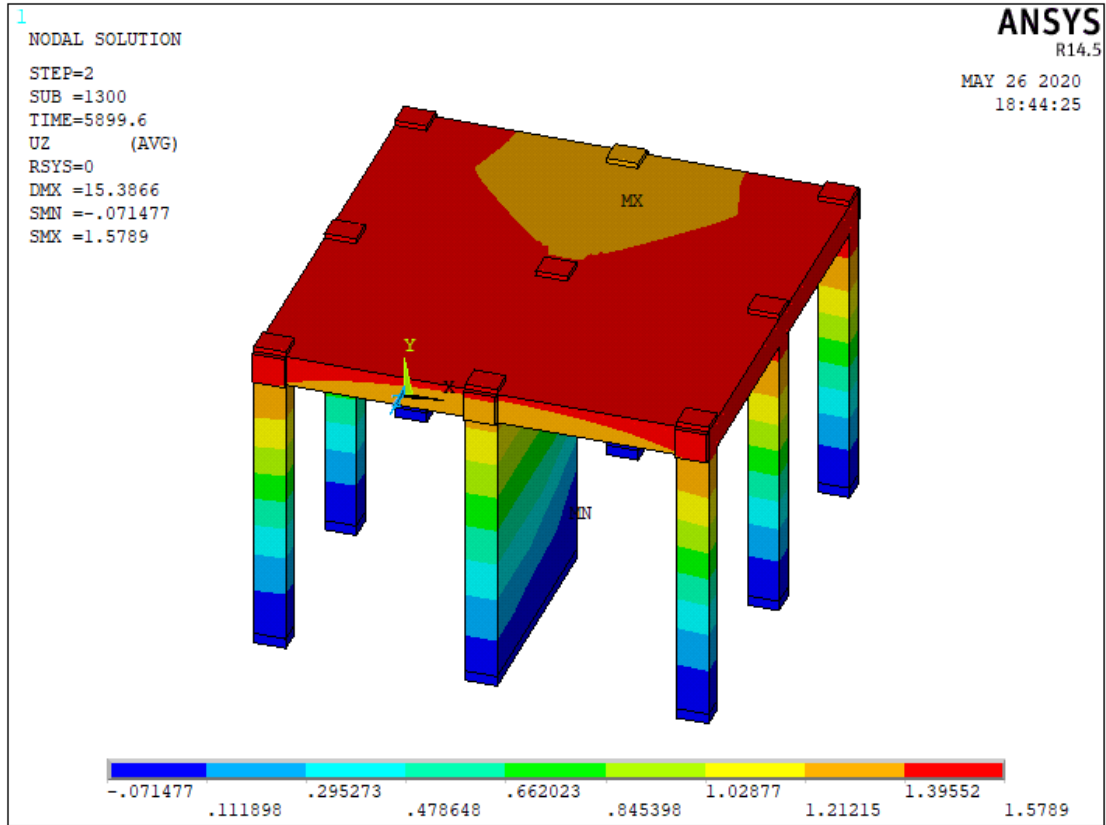
Şekil 3.84. Model 5 Taşıyıcı Sisteminin Çekme Yönündeki Deplasmanı



Şekil 3.85. Model 5 Taşıyıcı Sistem X-X Yönündeki Deplasmanı

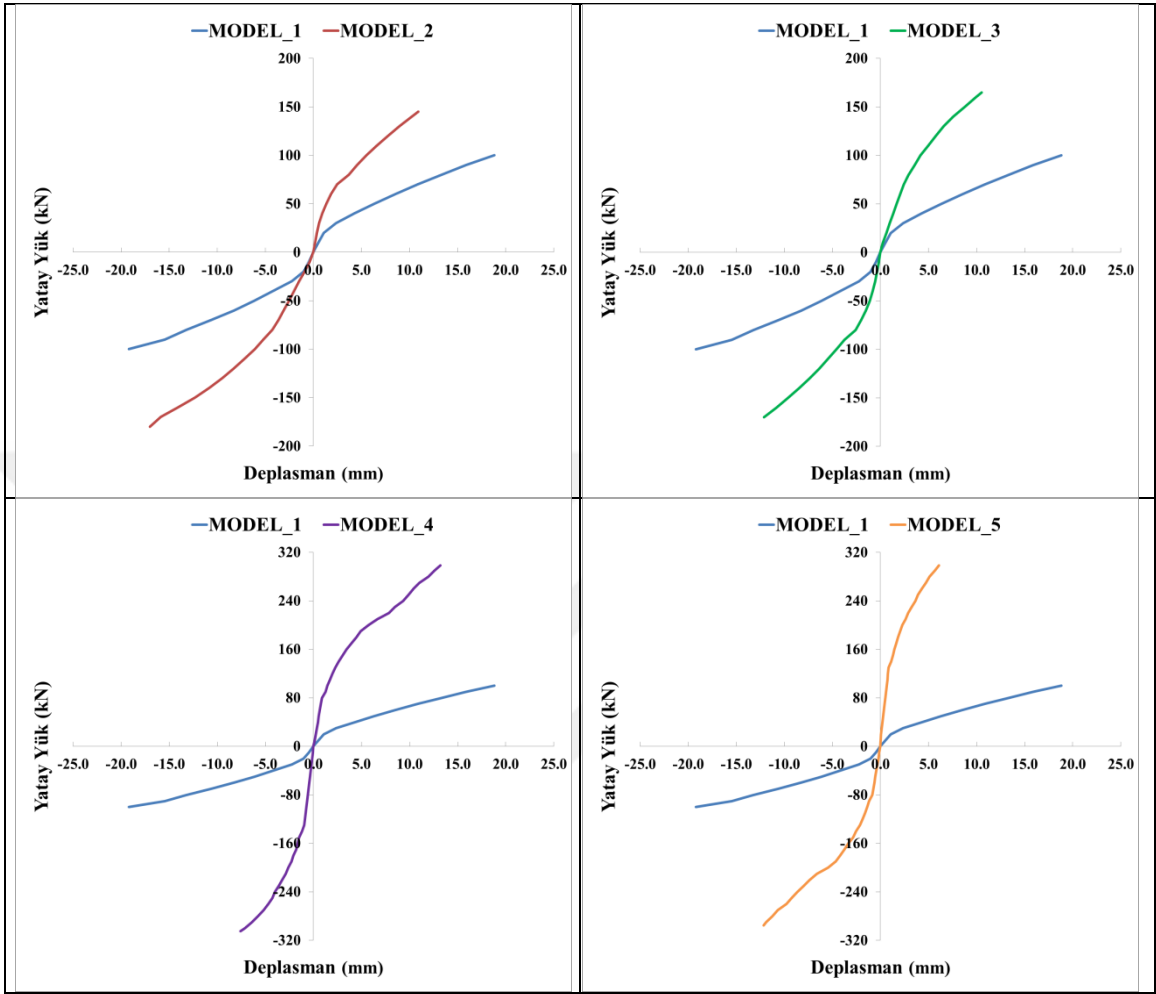


Şekil 3.86. Model 5 Taşıyıcı Sistem Y-Y Yönündeki Deplasmanı



Şekil 3.87. Model 5 Taşıyıcı Sistem Z-Z Yönündeki Deplasmanı

3.2.3. ANSYS'te Nümerik Dayanım Zarfı



Şekil 3.88. ANSYS'ten Elde Edilen Kuvvet Deplasman Zarfı Grafikleri

Nümerik yükleme döngüleri sırasında, maksimum yatay yük taşıma kapasitelerine göre karşılaştırıldığında Tablo 3.21'de referans numuneye göre Model 2'nin %76, Model 3'ün %70, Model 4'ün %298 ve Model 5'in %295 daha fazla yatay yük taşıdığı görülmüştür.

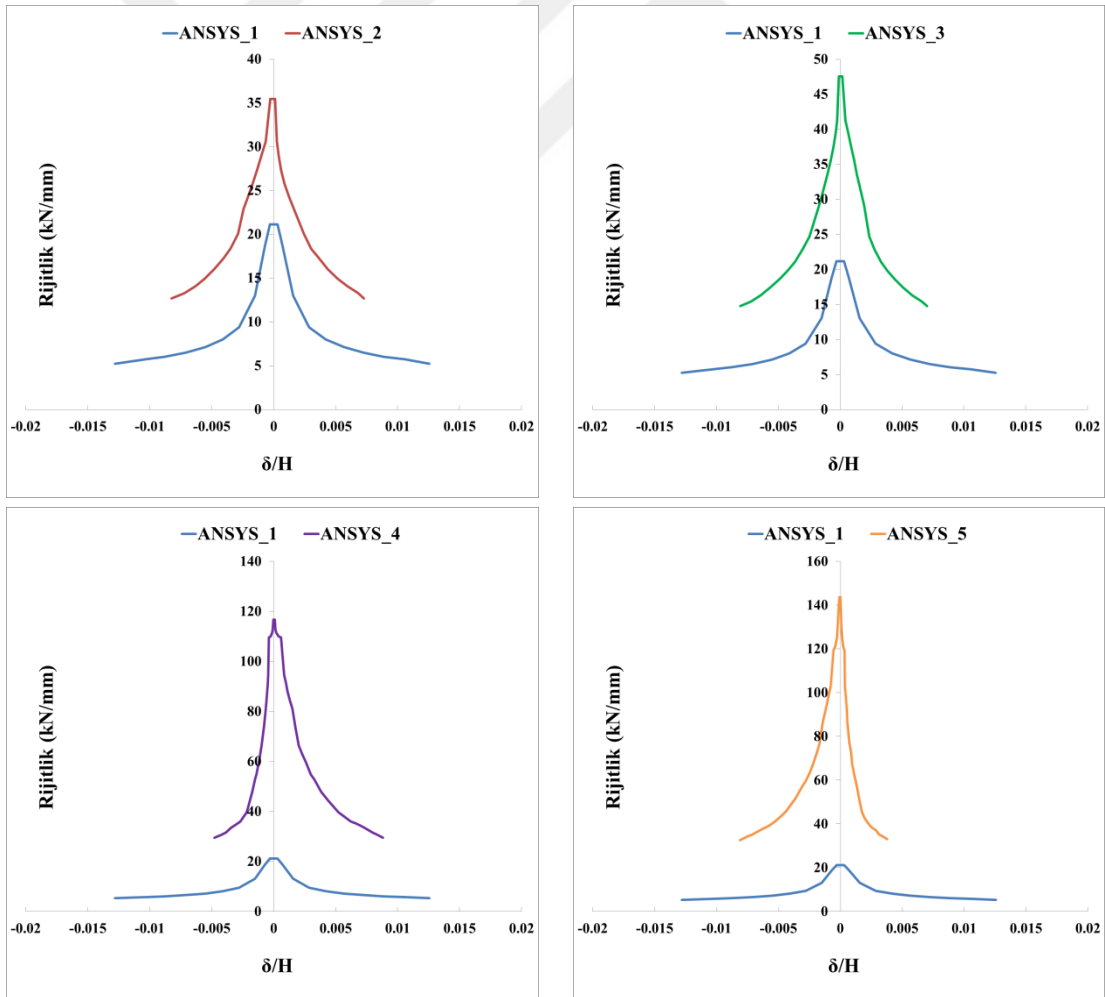
Model 4 ve Model 5'in maksimum yatay yük taşıma kapasitesi Model 2 ve Model 3'ten %71 daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç ise, perde konumunun nümerik analizde de maksimum yatay yük taşıma kapasitesine önemli bir etkisi olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

Tablo 3.22. Nümerik Yatay Yük Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması

Deney Numunesi	Maksimum Yatay Yük/Deplasman		Maksimum Yatay Yük Oranı
	Yük (kN)	(δ/H)	
Model-1	100	0.013	1.00
Model-2	176	0.011	1.76
Model-3	170	0.008	1.70
Model-4	298	0.009	2.98
Model-5	295	0.008	2.95

3.2.4. ANSYS'te Nümerik Rijitlik Azalımı

Nümerik modellerinin başlangıç rijitlikleri oranları Tablo 3.22'de referans numuneye göre kıyaslandığında Model 2'nin %68, Model 3'ün %125, Model 4'ün %451 ve Model 5'in %578 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.89. Nümerik Rijitlik Azalım Grafikleri

Tablo 3.23. Nümerik Rijitliklerinin Karşılaştırılması

Deney Numunesi	Rijitlik Değerleri (kN/mm)		(δ/H) Oranları	İlk Döngü Rijitliklerinin Oranı	Maks. Yük Rijitliklerinin Oranı
	İlk Döngü	Maks. Yük	Maks. Yük		
Model-1	21.16	5.26	0.013	1.00	1.00
Model-2	35.48	12.68	0.007	1.68	2.41
Model-3	47.55	14.79	0.007	2.25	2.81
Model-4	116.68	29.39	0.009	5.51	5.59
Model-5	143.57	32.52	0.004	6.78	6.18

Maksimum yük rijitlikleri oranları ise, referans numuneye göre Model 2 de %141, Model 3 de %181, Model 4 de %459 ve Model 5 de %518 daha fazla olduğu görülmüştür.

Model 4 ve Model 5'in maksimum yük rijitlikleri oranı Model 2 ve Model 3'ten %225 daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç ise, perde konumunun nümerik analizde de maksimum yük rijitlikleri oranına önemli bir etkisi olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

3.2.5. Nümerik Tüketilen Enerji

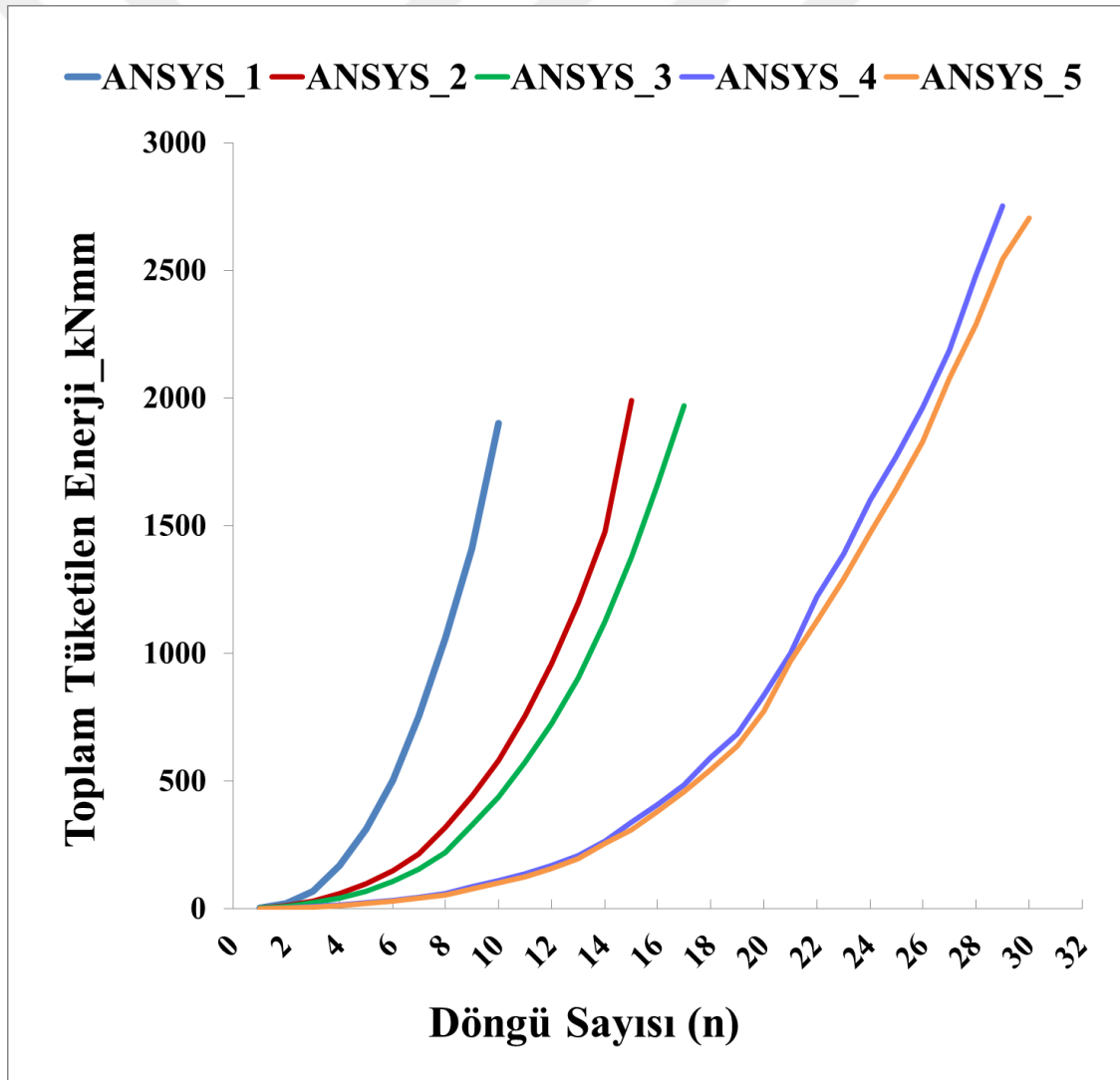
Nümerik olarak numunelerinin maksimum yatay yük taşıma kapasitelerine ulaştığındaki enerji tüketim oranları Tablo 3.23'te verilmiştir. Referans numune enerji tüketimi ile karşılaştırıldığında, Model 2'nin %5, Model 3'ün %4, Model 4'ün %60 ve Model 5'in %42 oranında fazla enerji tüketimi ortaya koyduğu görülmüştür.

Nümerik numunelerin kümülatif yatay yük taşıma kapasitelerine ulaştığındaki enerji tüketim oranları ise, referans numune ile karşılaştırıldığında Model 2'nin %34, Model 3'ün %57, Model 4'ün %385 ve Model 5'in %357 oranında fazla enerji tükettiği hesaplanmıştır.

Model 4 ve Model 5'in kümülatif yatay yük taşıma kapasitelerine ulaştığındaki enerji tüketim oranları ise Model 2 ve Model 3'ten %255 daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç ise, perde konumunun nümerik analizde de kümülatif yatay yük taşıma kapasitelerine ulaştığındaki enerji tüketim oranlarına önemli bir etkisi olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

Tablo 3.24. Nümerik Modellerin Enerji Tüketim Kapasitelerinin Karşılaştırılması

Deney Numunesi	Tüketilen Enerji Değerleri (kNmm)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Maks. Yük	Kümülatif	Maks. Yük	Kümülatif
Model-1	1902	6205	1.00	1.00
Model-2	1990	8286	1.05	1.34
Model-3	1970	9731	1.04	1.57
Model-4	3045	23921	1.60	3.85
Model-5	2703	22139	1.42	3.57



Şekil 3.90. Nümerik Toplam Tüketilen Enerji Grafikleri

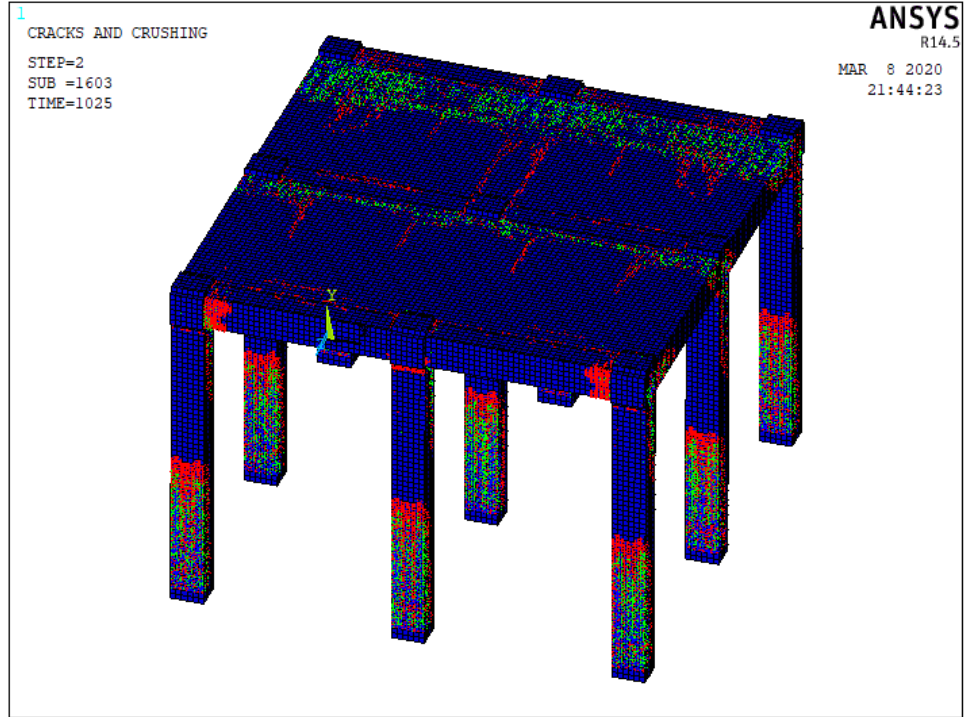
Genel olarak maksimum yatay taşıma yükü kapasitelerine ulaştığındaki enerji tüketim oranlarına bakıldığında, betonarme perde bulunma bakımından referans deneye en yakın sonuçlar Model 2 ve Model 3 simülasyonundan elde edilmiştir. Buna göre perdenin dış aksta bulunmasından kaynaklanan ağırlık ve kütle merkezlerinin sistemde burulma düzensizlikleri oluşmaktadır. Bu düzensizliklerden kaynaklanan enerji tüketim oranları referansa yakın sonuçlar elde etmeye yol açmıştır.

Model 4 ve Model 5 simülasyonlarından elde edilen maksimum yatay taşıma yükü kapasitelerine ulaştığındaki enerji tüketim oranları referans numuneye göre yaklaşık olarak bir buçuk kat daha fazla çıkmıştır. Buna göre, perdenin iç aksta bulunması, enerji tüketme kapasitesi bakımından daha önemli rol oynadığı görülmüştür.

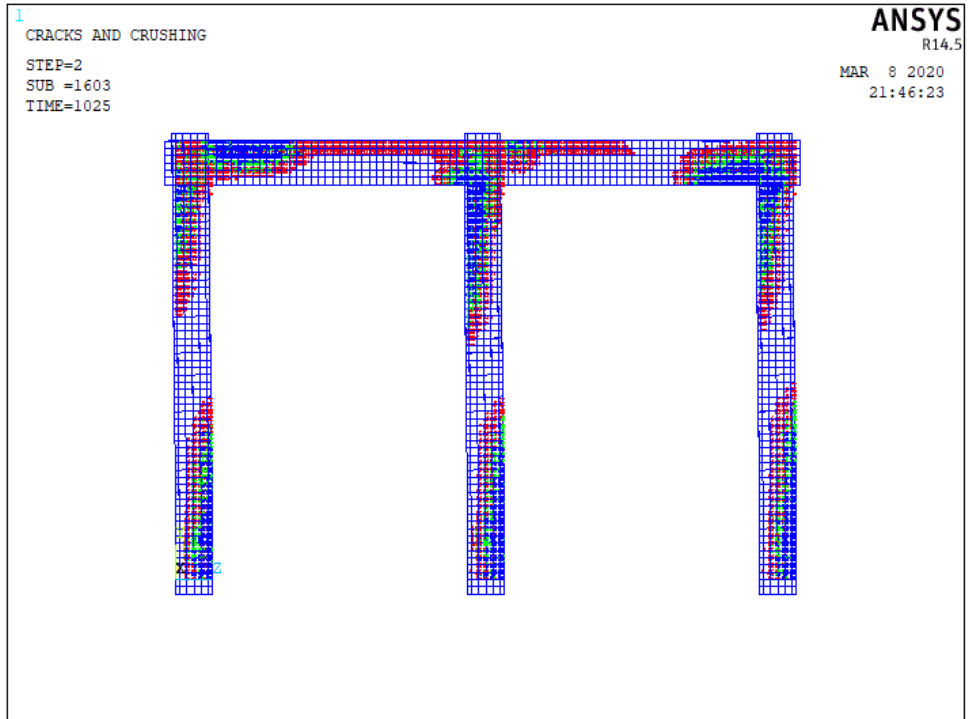
3.2.6. Nümerik Çatlak Gelişimi

ANSYS analizleri sonucunda gelişen çatlaklar her model için aşağıdaki şekillerde detaylıca gösterilmiştir. Model 1, Model 4 ve Model 5 analitik çatlak gelişimleri incelendiğinde, kolon ve perdelerin B ve D yüzeyleri çatlaklarının 0,5h ve 9,5h seviyelerinde başlayıp analiz adımları ilerledikçe eleman ortalarına doğru devam etmektedir. Bunun sebebi ise, bu üç modelin simetrik olduğundan sistemlerde burulmaların oluşmamasıdır. Model 1, Model 4 ve Model 5'deki kolon çatlakları genellikle kesme çatlaklarıdır. Model 2 ve Model 3'teki kolon ve perdenin B ve D yüzeyleri çatlakları ise betonarme perdenin simetrik olmayan yerleşimi sebebi ile elemanlarda eğilme çatlakları olduğu ve perdeye zıt yüzeylerin ise daha fazla çatladığı görülmüştür. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde ve kirişlerdeki çatlaklar ise, genellikle tüm modellerde görülmüştür.

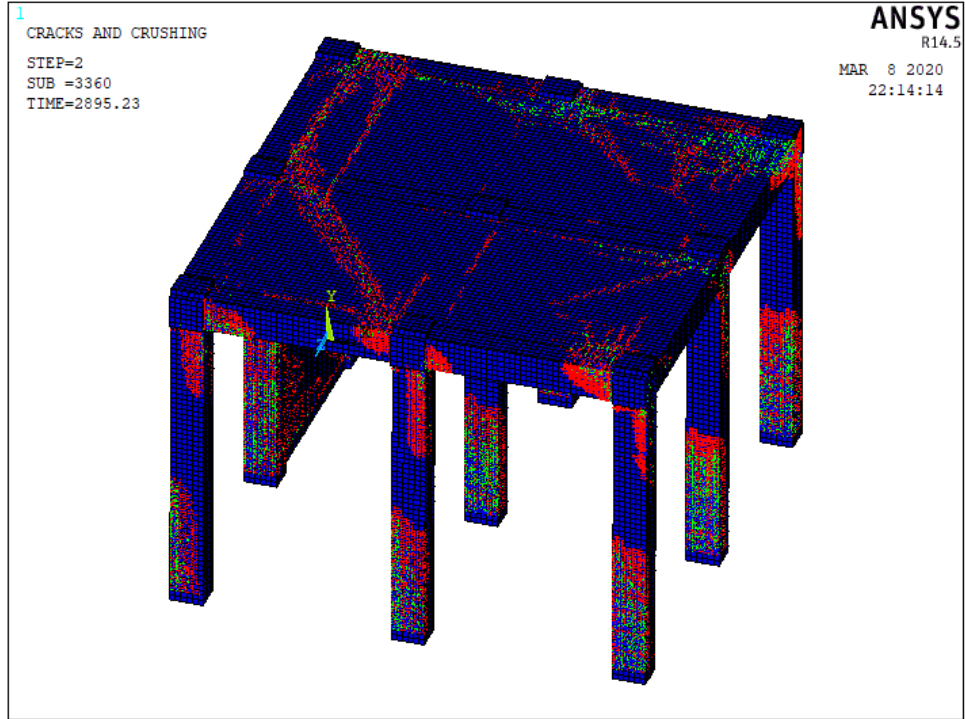
Analitik çözümlerde döşeme çatlakları perdesiz model Model 1'de sisteme paralel, yük etkime yönüne doğru ve kısa çatlakların oluştuğu görülmüştür. Model 2 ve Model 3'teki döşemelerdeki çatlaklar ise aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi özellikle perdeye uzak olan döşemede diyagonal olarak gerçekleşmiştir. Model 4 ve Model 5'teki döşeme çatlakları ise, perdenin üstüne gelen bölgede düz çatlaklar ve perdeye uzak olan döşemelerde çapraz çatlaklar oluşmuştur.



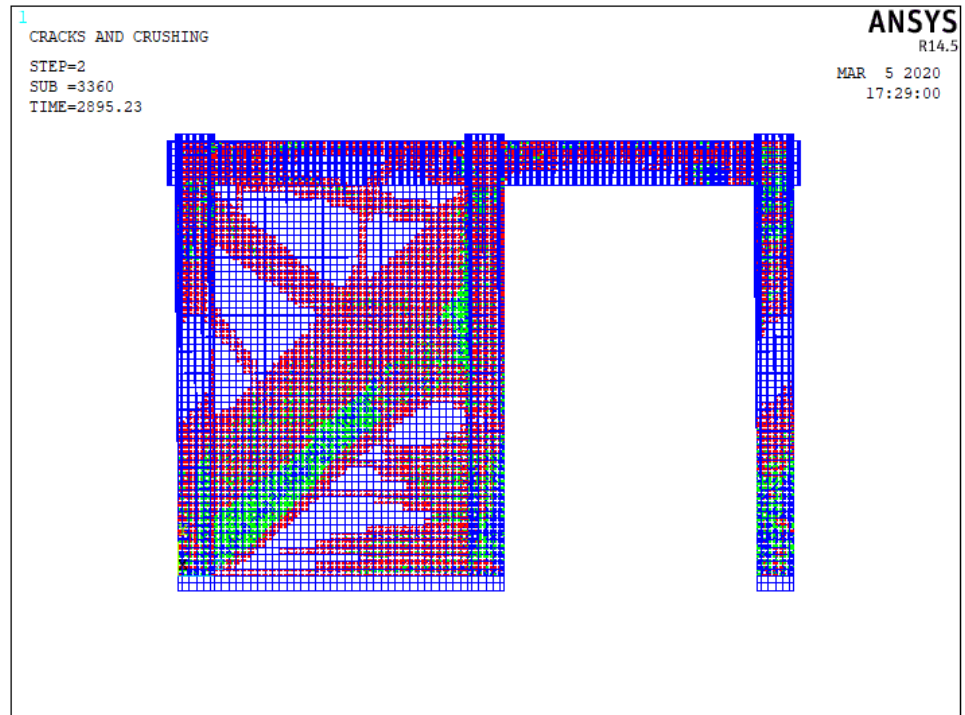
Şekil 3.91. Model 1 Taşıyıcı Sistem Çatlak Oluşumu



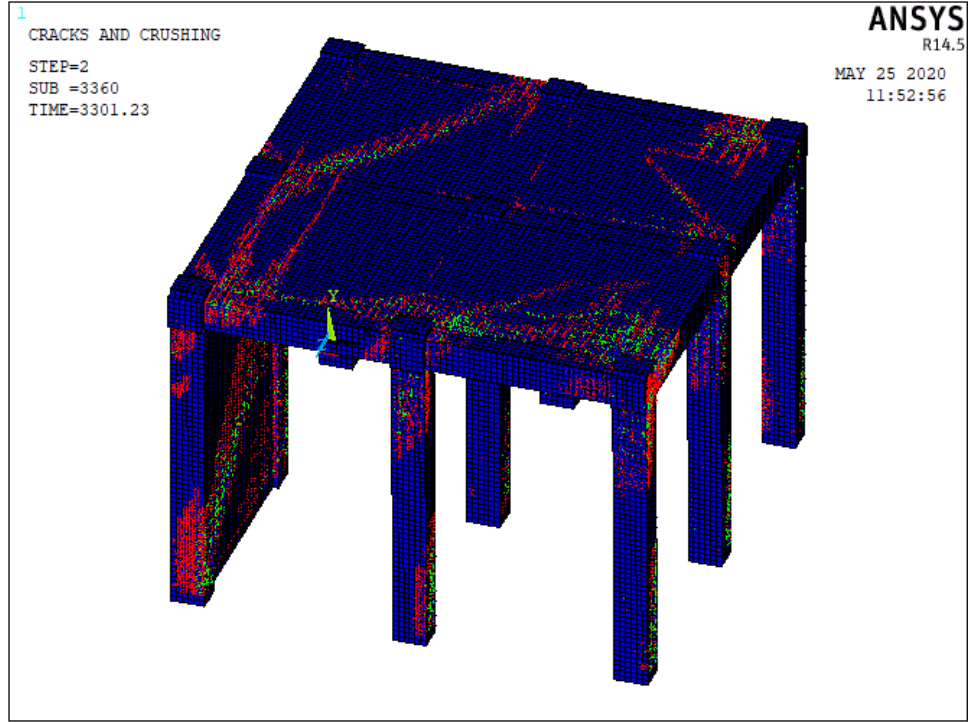
Şekil 3.92. Model 1 Taşıyıcı Sisteminin İtme Yönündeki Çatlak Oluşumu



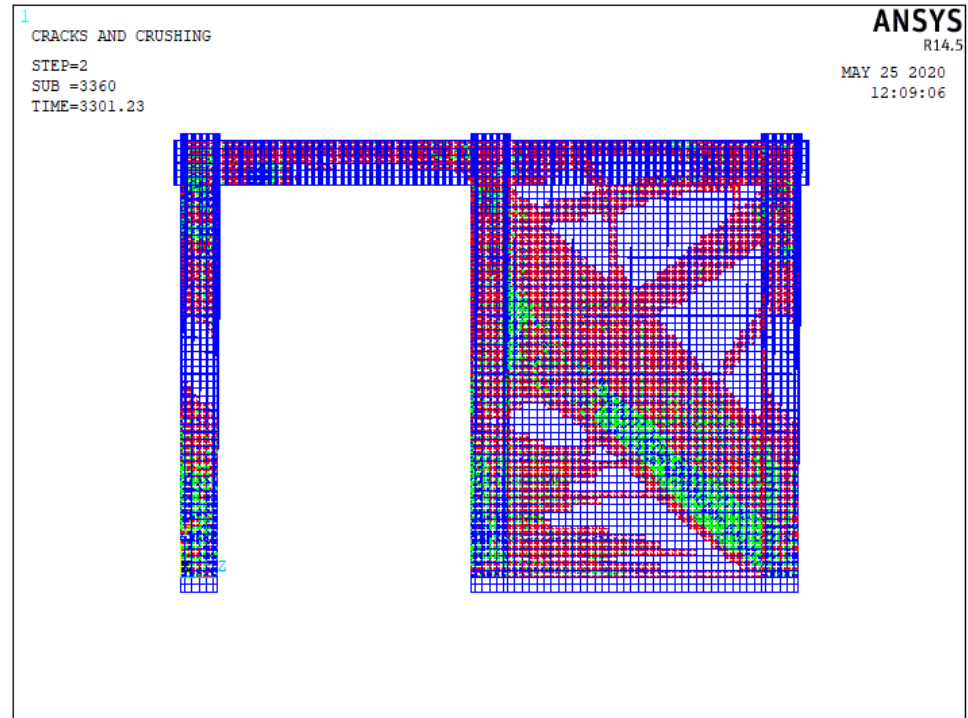
Şekil 3.93. Model 2 Taşıyıcı Sistem Çatlak Oluşumu



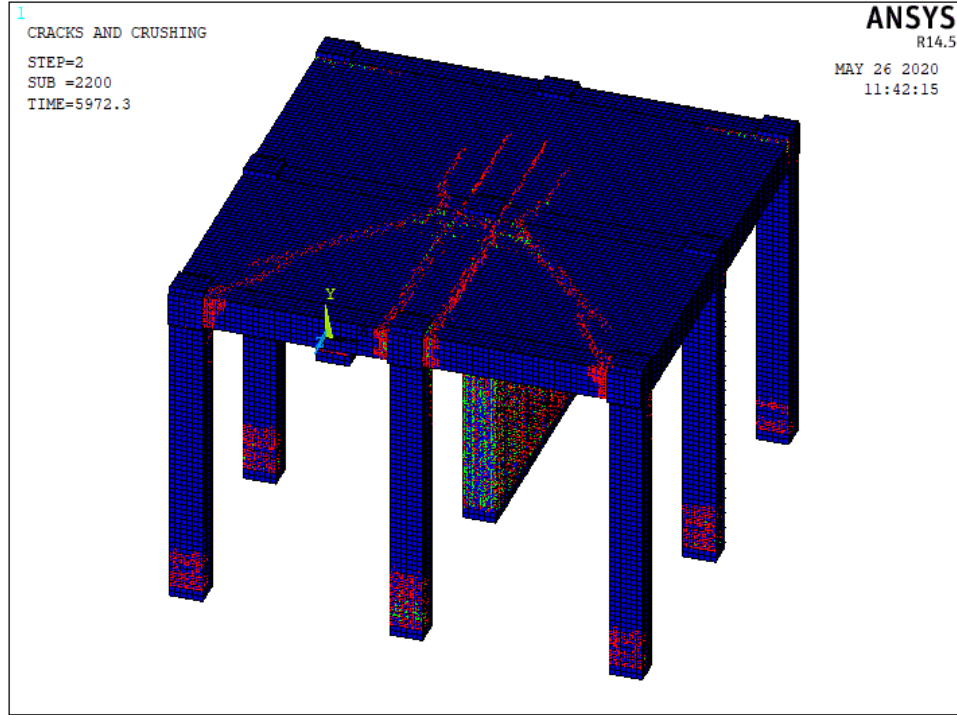
Şekil 3.94. Model 2 Taşıyıcı Sisteminin İtme Yönündeki Çatlak Oluşumu



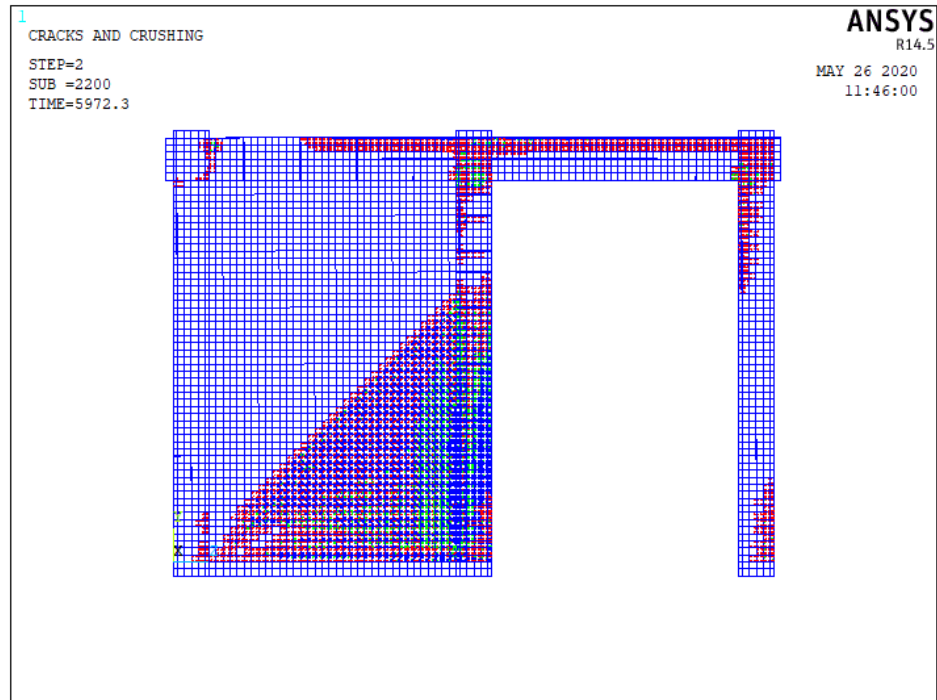
Şekil 3.95. Model 3 Taşıyıcı Sistem Çatlak Oluşumu



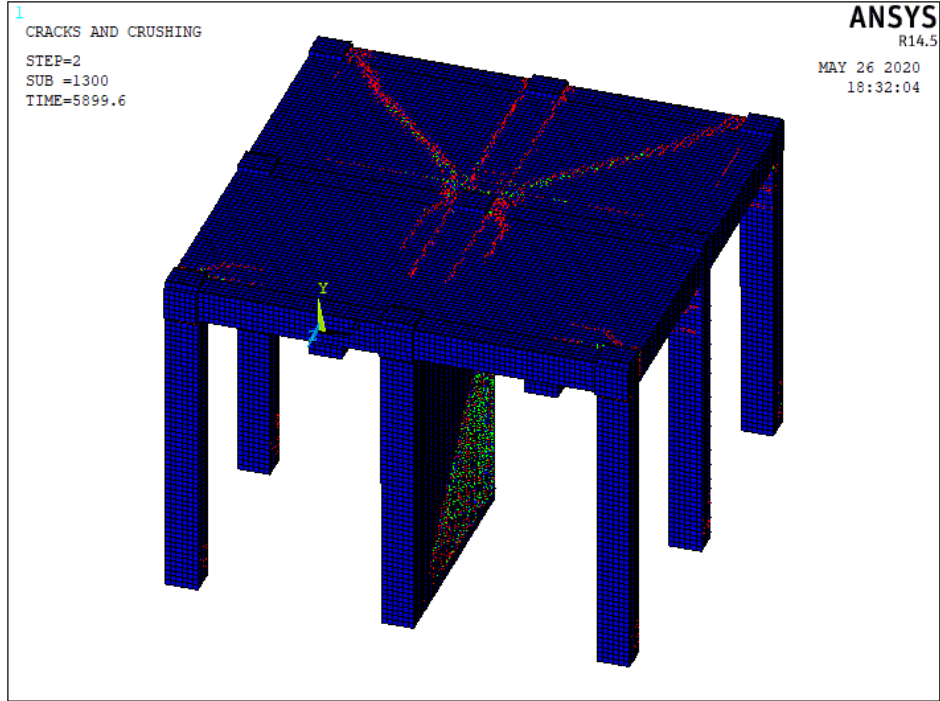
Şekil 3.96. Model 3 Taşıyıcı Sisteminin Çekme Yönündeki Çatlak Oluşumu



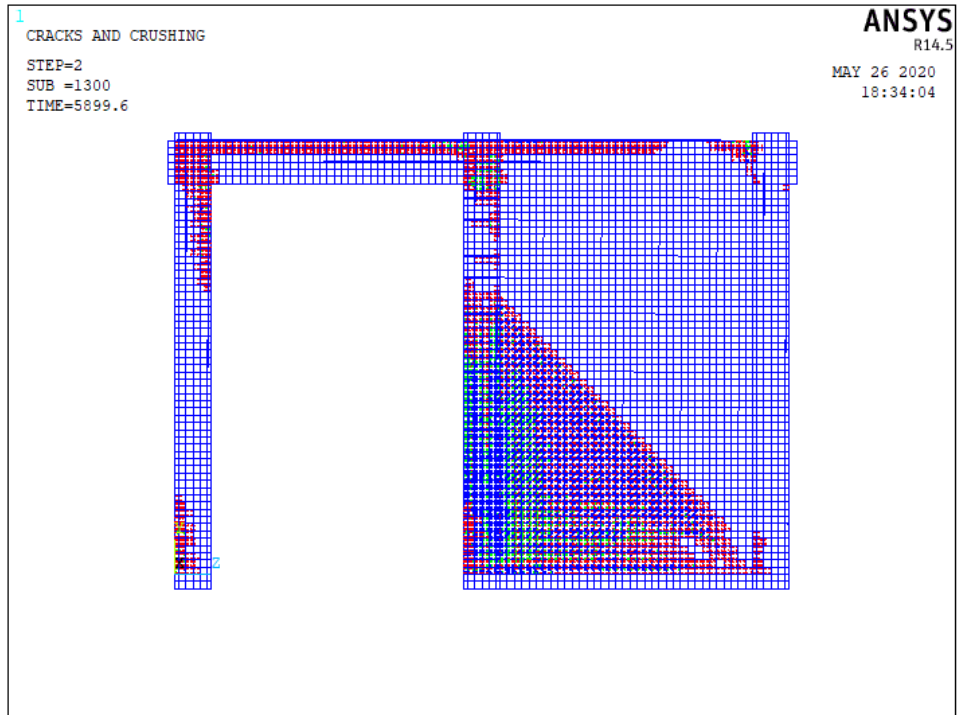
Şekil 3.97. Model 4 Taşıyıcı Sistem Çatlak Oluşumu



Şekil 3.98. Model 4 Taşıyıcı Sisteminin İtme Yönündeki Çatlak Oluşumu



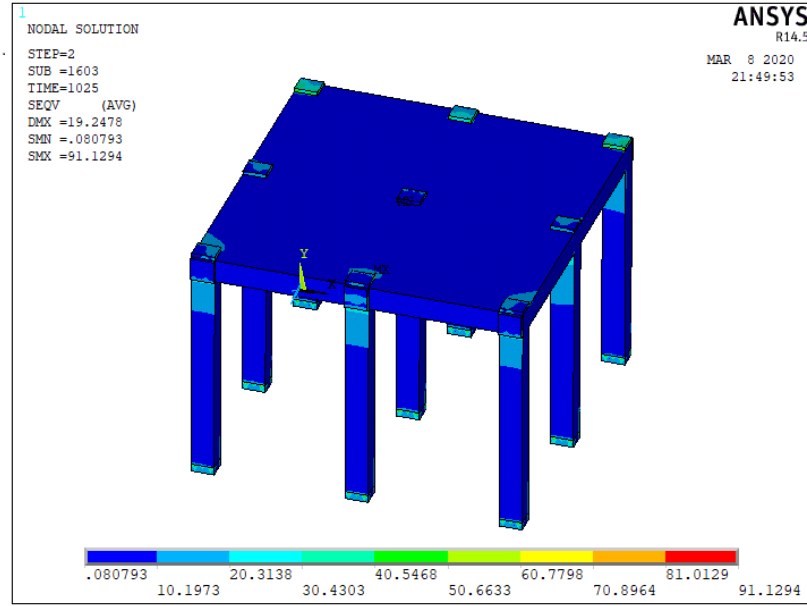
Şekil 3.99. Model 5 Taşıyıcı Sistem Çatlak Oluşumu



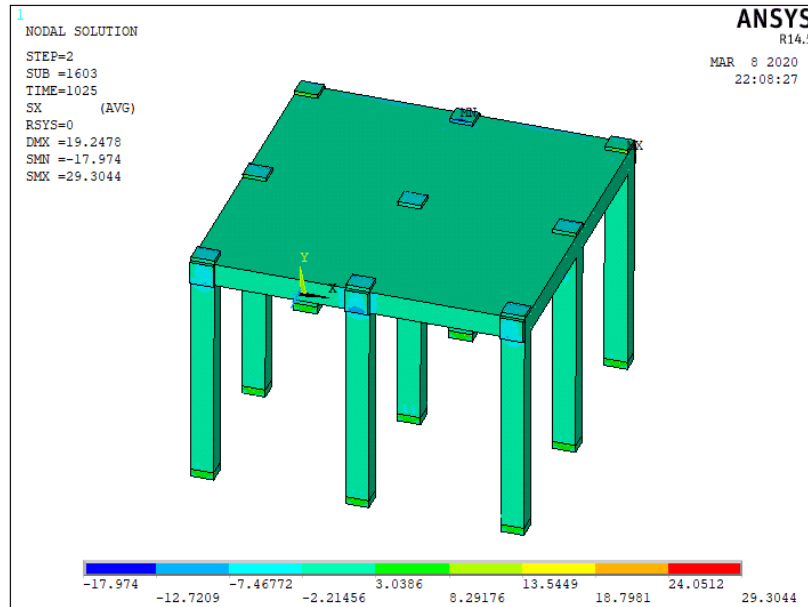
Şekil 3.100. Model 5 Taşıyıcı Sisteminin Çekme Yönündeki Çatlak Oluşumu

3.2.7. Nümerik Gerilme Dağılımı

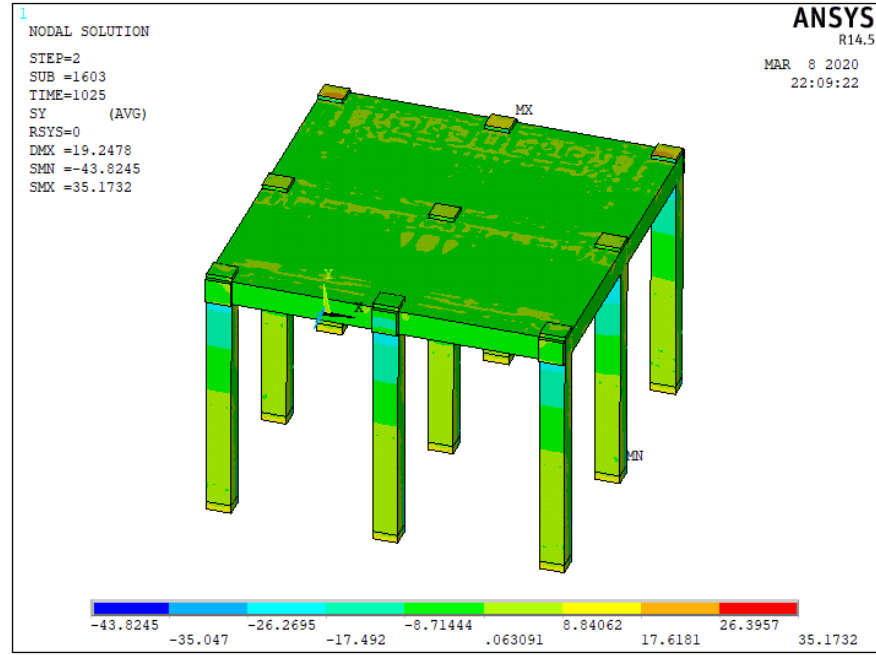
Modellerde Nümerik gerilme dağılımı (Von Mises gerilmesi, X-X yönündeki gerilme, Y-Y yönündeki gerilme ve Z-Z yönündeki gerilme dağılımları) aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibidir:



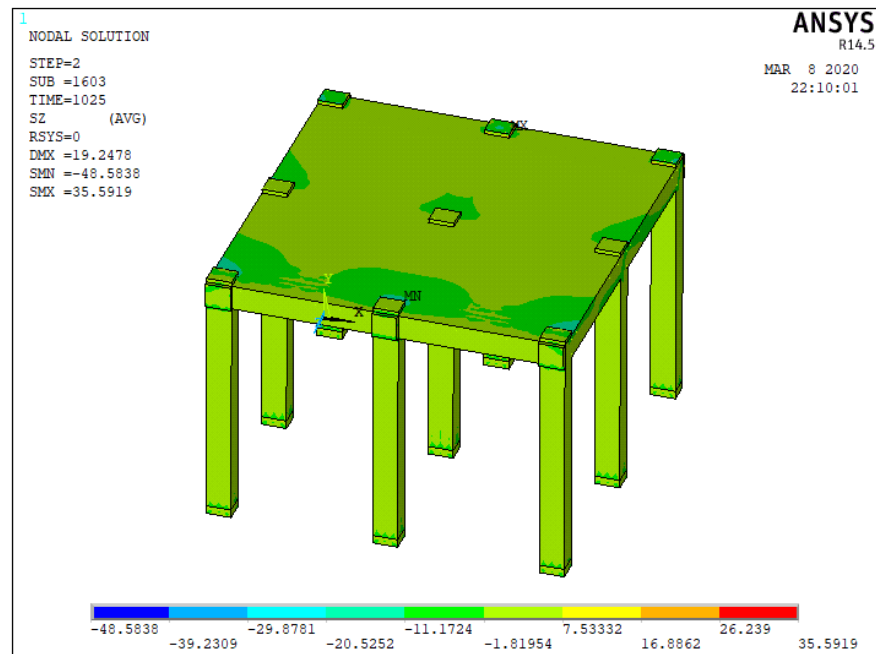
Şekil 3.101. Model 1 Von Mises Gerilme Dağılımı



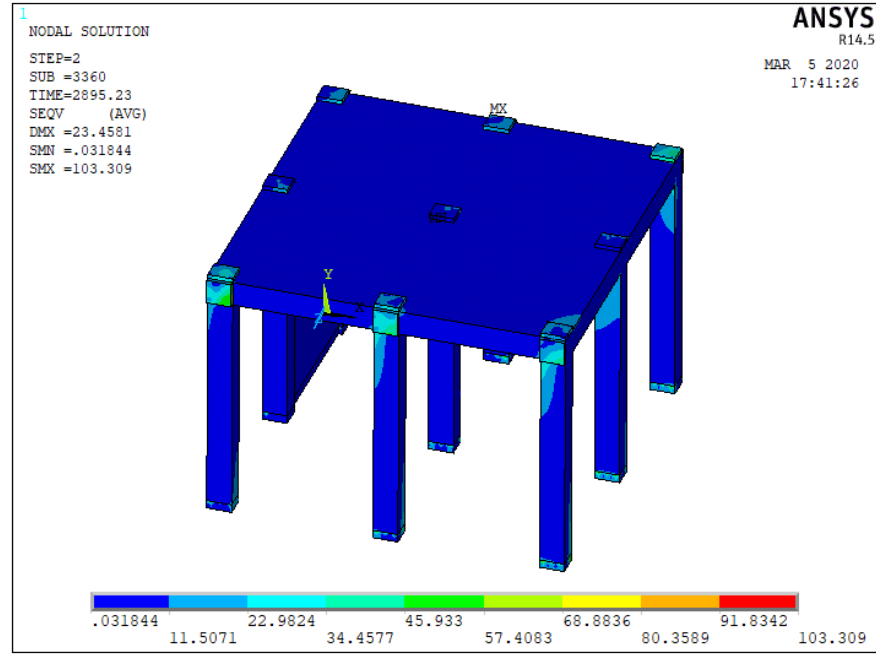
Şekil 3.102. Model 1 X-X Yönündeki Gerilme Dağılımı



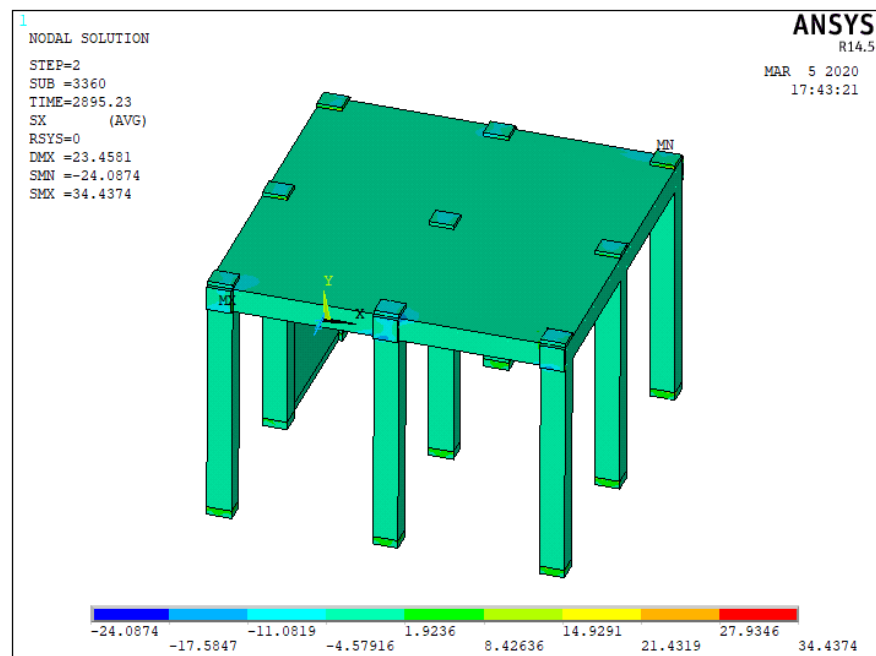
Şekil 3.103. Model 1 Y-Y Yönündeki Gerilme Dağılımı



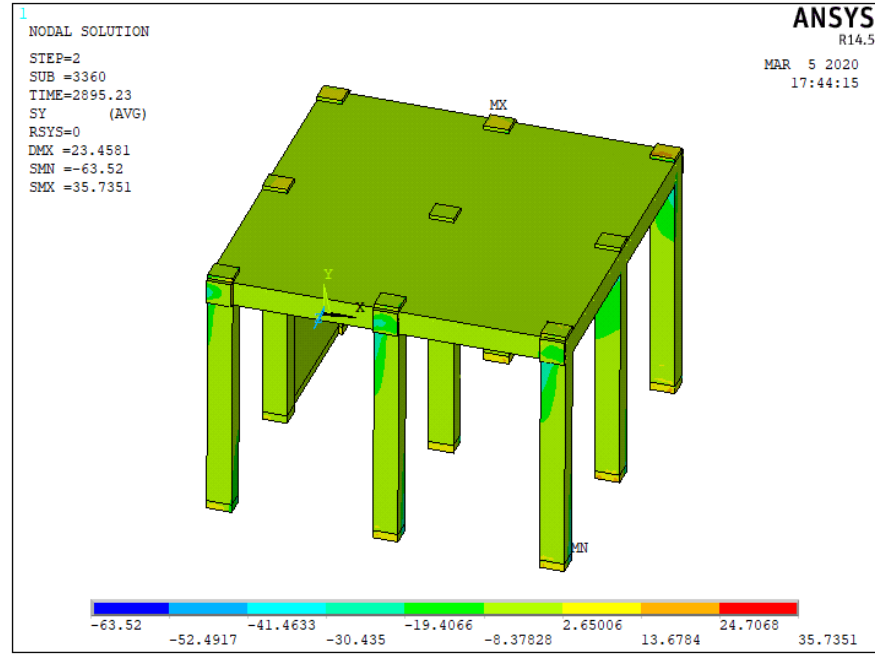
Şekil 3.104. Model 1 Z-Z Yönündeki Gerilme Dağılımı



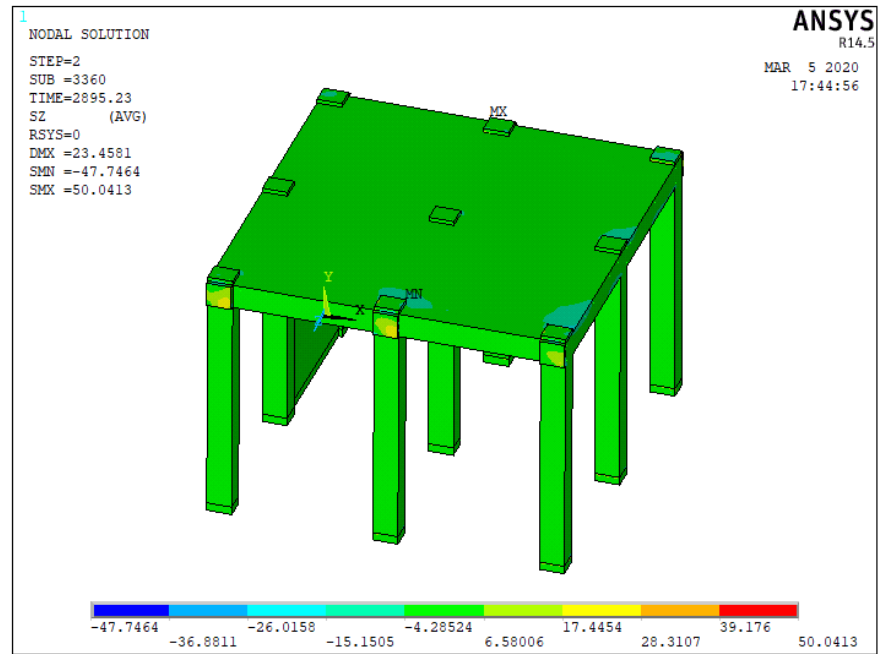
Şekil 3.105. Model 2 Von Mises Gerilme Dağılımı



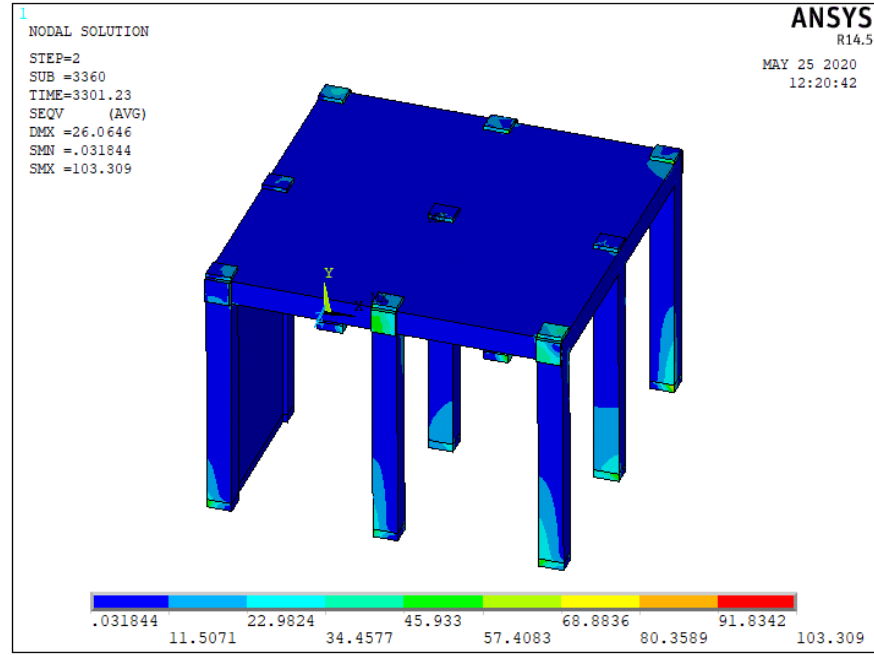
Şekil 3.106. Model 2 X-X Yönündeki Gerilme Dağılımı



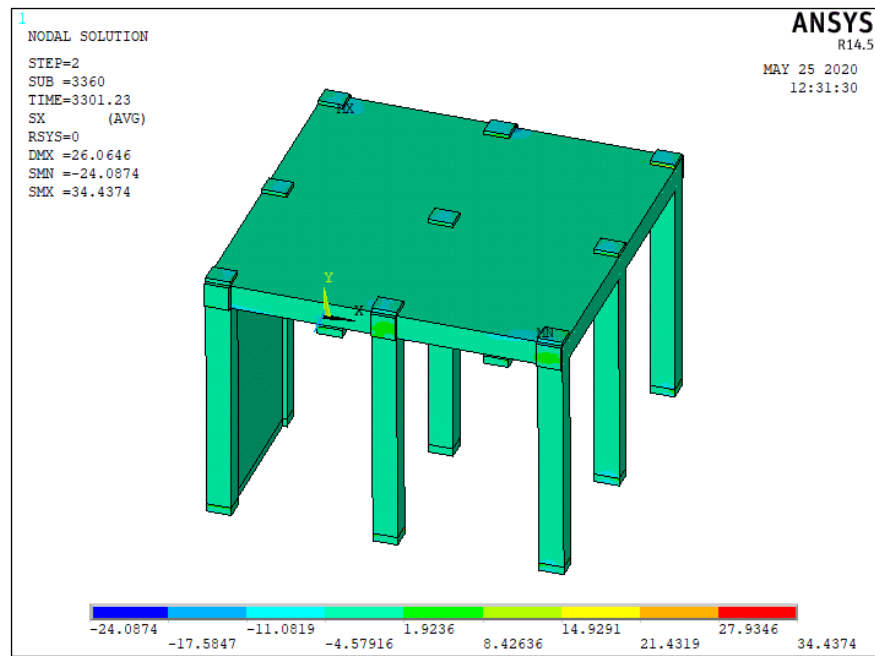
Şekil 3.107. Model 2 Y-Y Yönündeki Gerilme Dağılımı



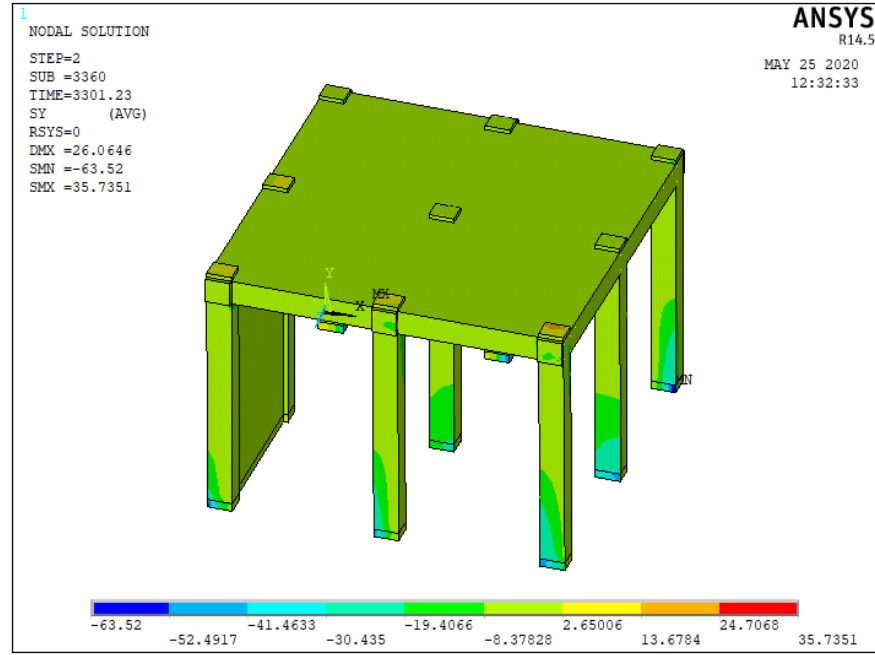
Şekil 3.108. Model 2 Z-Z Yönündeki Gerilme Dağılımı



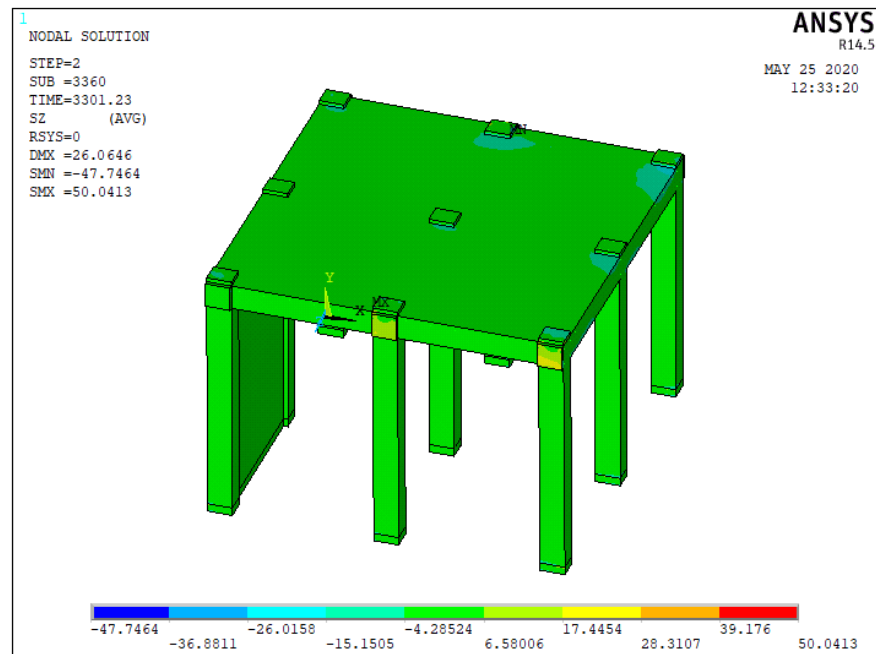
Şekil 3.109. Model 3 Von Mises Gerilme Dağılımı



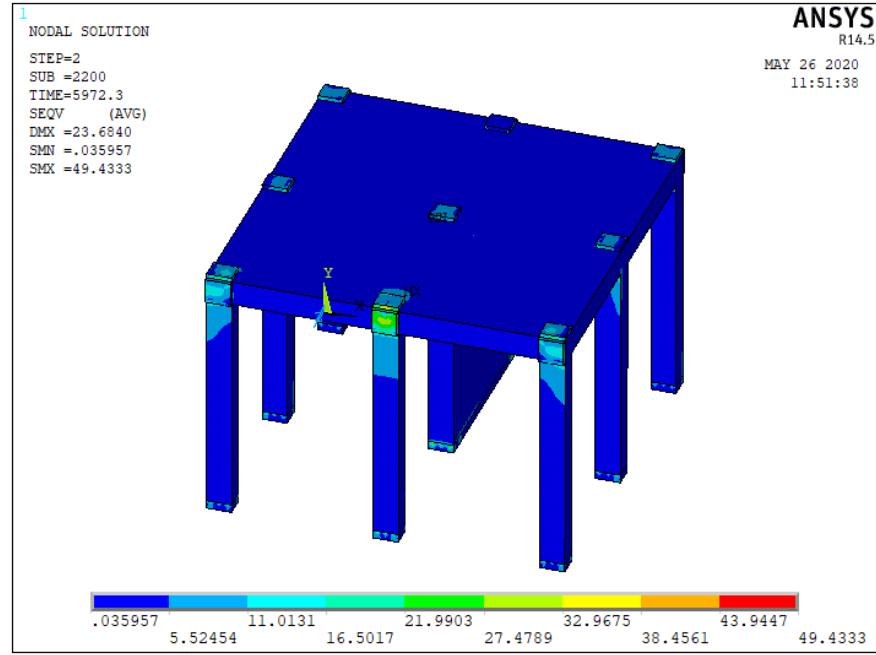
Şekil 3.110. Model 3 X-X Yönündeki Gerilme Dağılımı



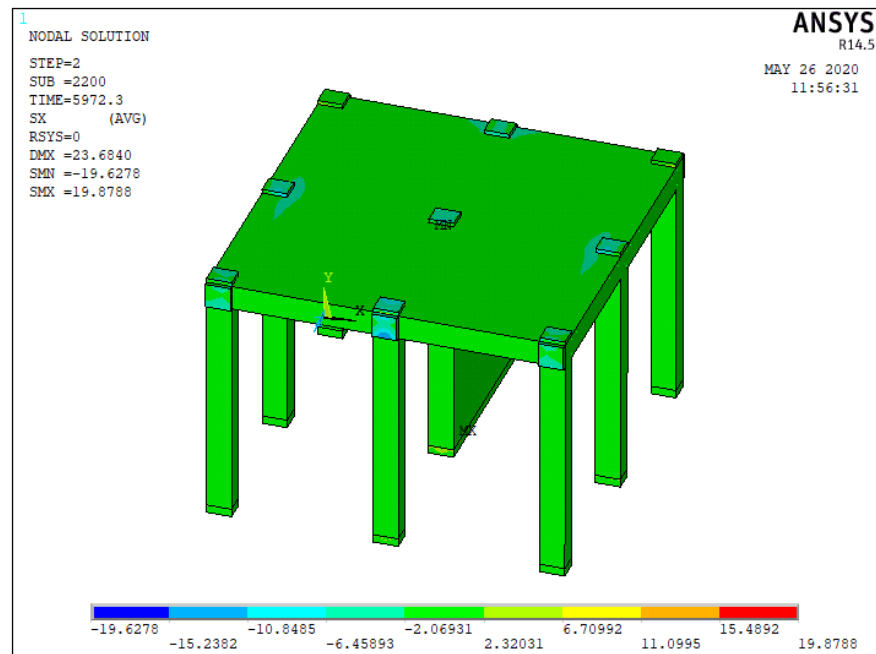
Şekil 3.111. Model 3 Y-Y Yönündeki Gerilme Dağılımı



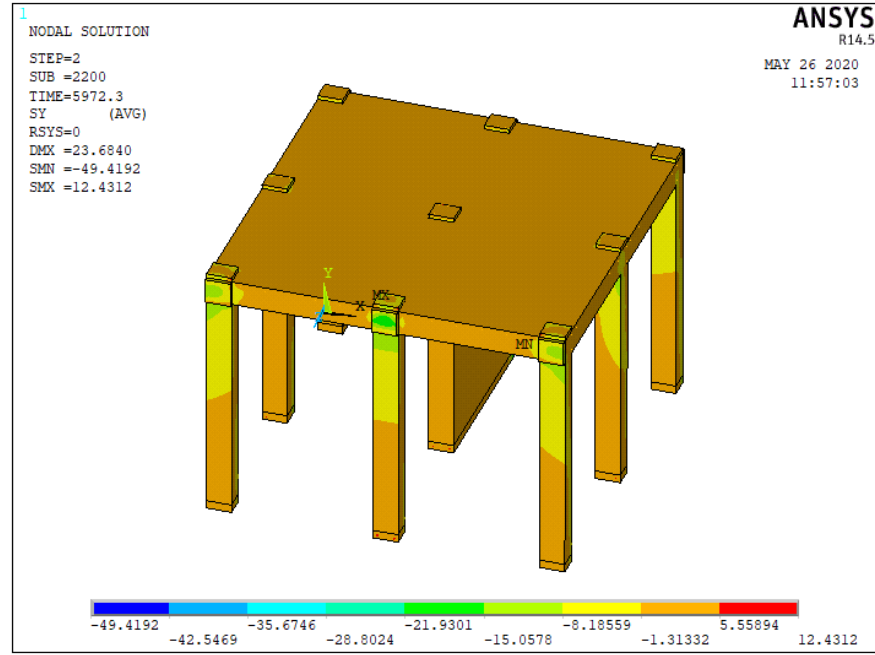
Şekil 3.112. Model 3 Z-Z Yönündeki Gerilme Dağılımı



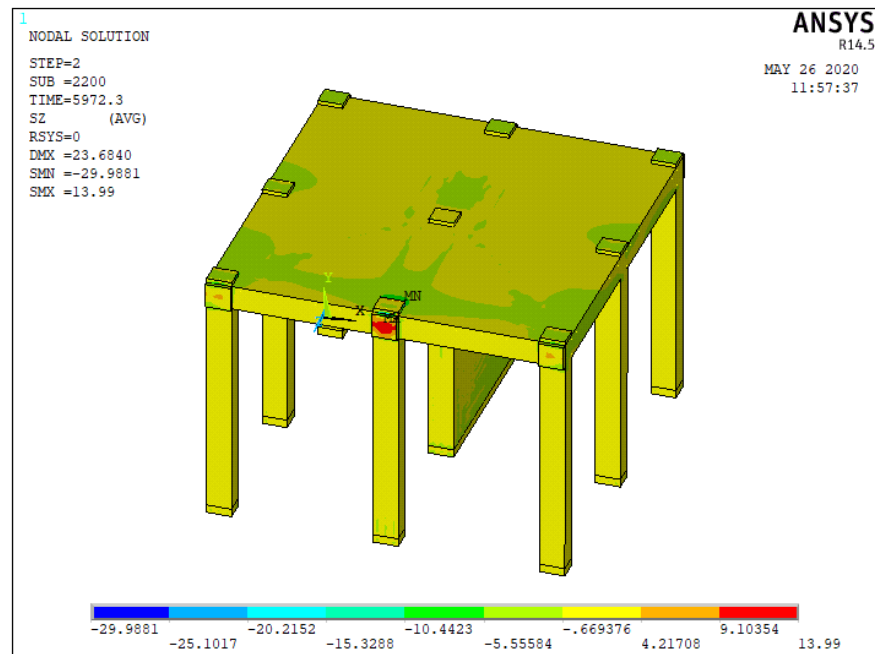
Şekil 3.113. Model 3 Von Mises Gerilme Dağılımı



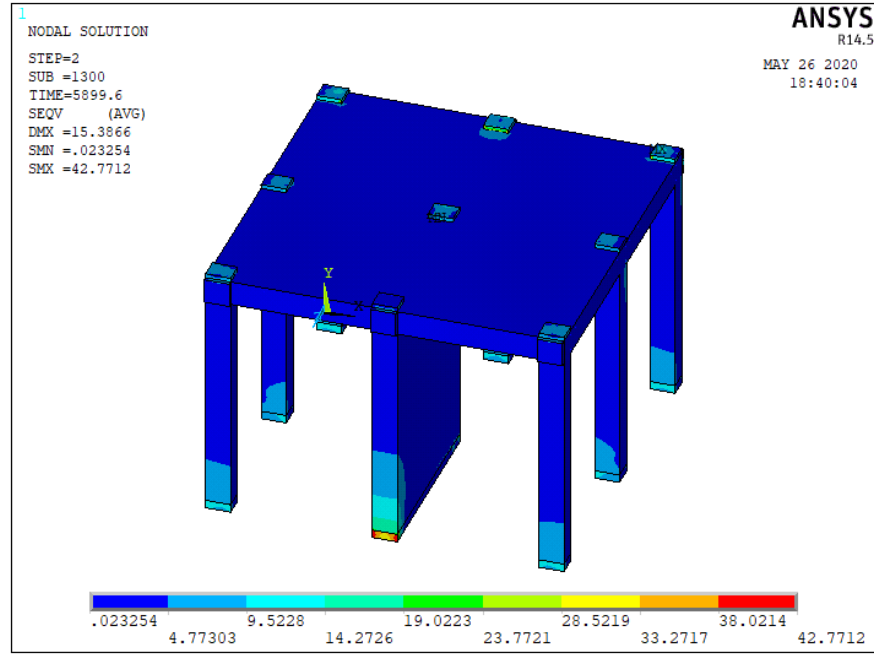
Şekil 3.114. Model 4 X-X Yönündeki Gerilme Dağılımı



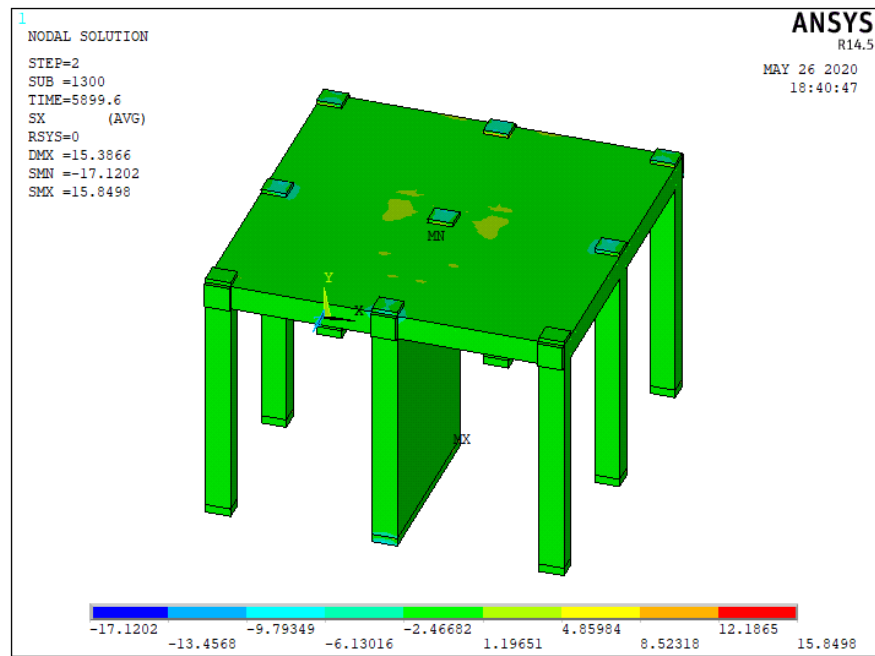
Şekil 3.115. Model 4 Y-Y Yönündeki Gerilme Dağılımı



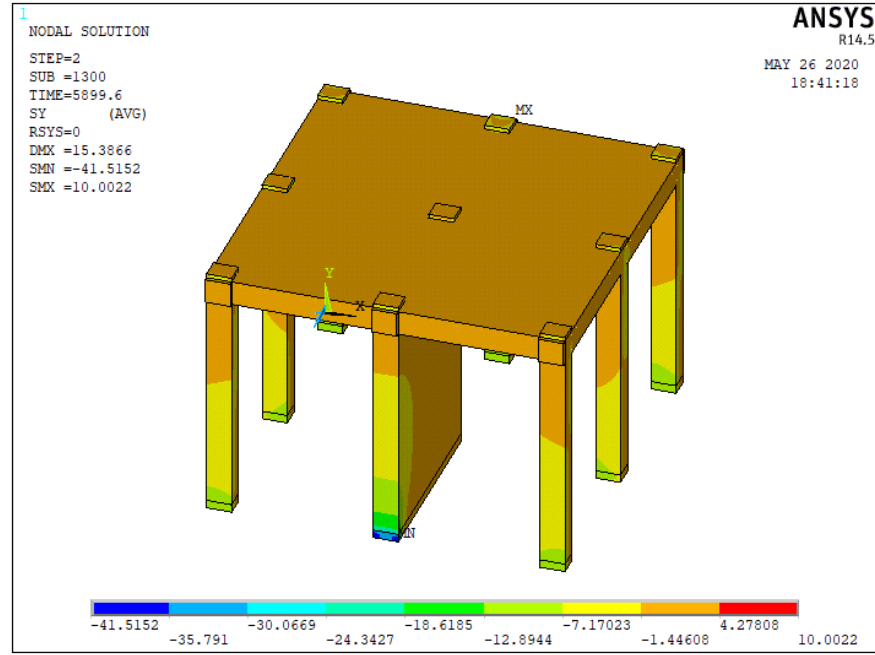
Şekil 3.116. Model 4 Z-Z Yönündeki Gerilme Dağılımı



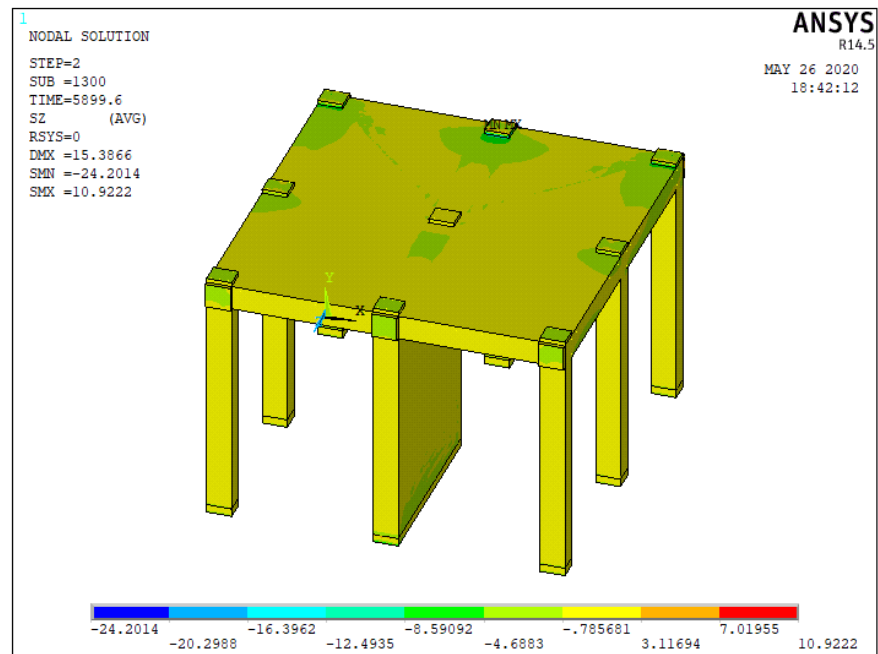
Şekil 3.117. Model 5 Von Mises Gerilme Dağılımı



Şekil 3.118. Model 5 X-X Yönündeki Gerilme Dağılımı



Şekil 3.119. Model 5 Y-Y Yönündeki Gerilme Dağılımı



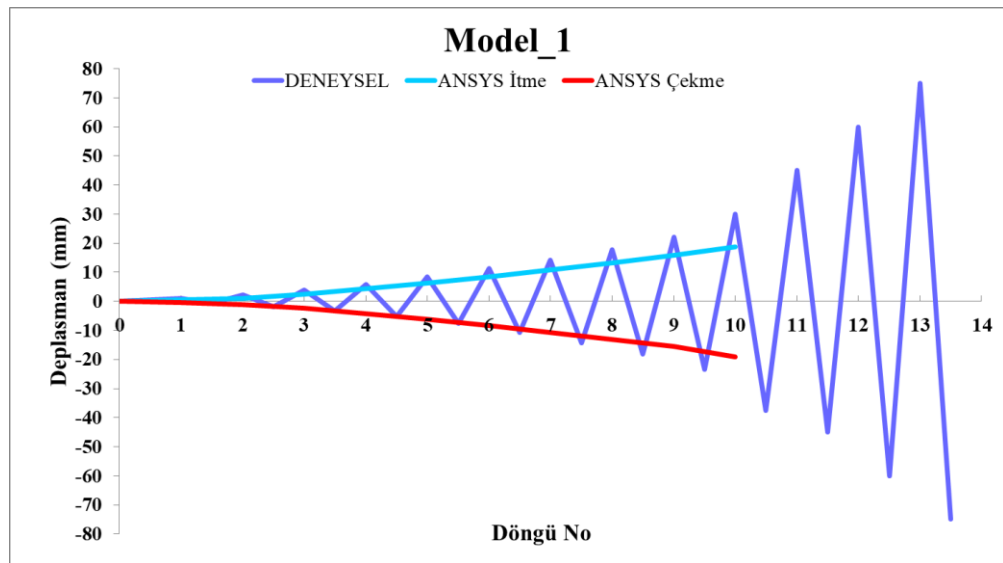
Şekil 3.120. Model 5 Z-Z Yönündeki Gerilme Dağılımı

3.3. Deneysel ve Nümerik Bulguların Karşılaştırılması

Deneysel ve nümerik analiz sonuçlarından her bir model için karşılaştırma yapılmıştır. Deneysel ve nümerik çalışmalarda, akma noktasına kadar birbirine yakın kuvvet uygulanıp okunan deplasmanlar belirlenmiştir. Buna rağmen nümerik ve deneysel çalışmalarda özellikle yatay kuvvet-deplasman ilişkilerinde farklılıklar olmuştur. Taşıyıcı sistem içerisinde betonarme perdenin bulunması ve konumunun değişimine göre, modellerin deneysel ve nümerik taşıyıcı sistem davranışları arasında elde edilen değişimlerin benzerlik gösterip göstermediği karşılaştırılmıştır.

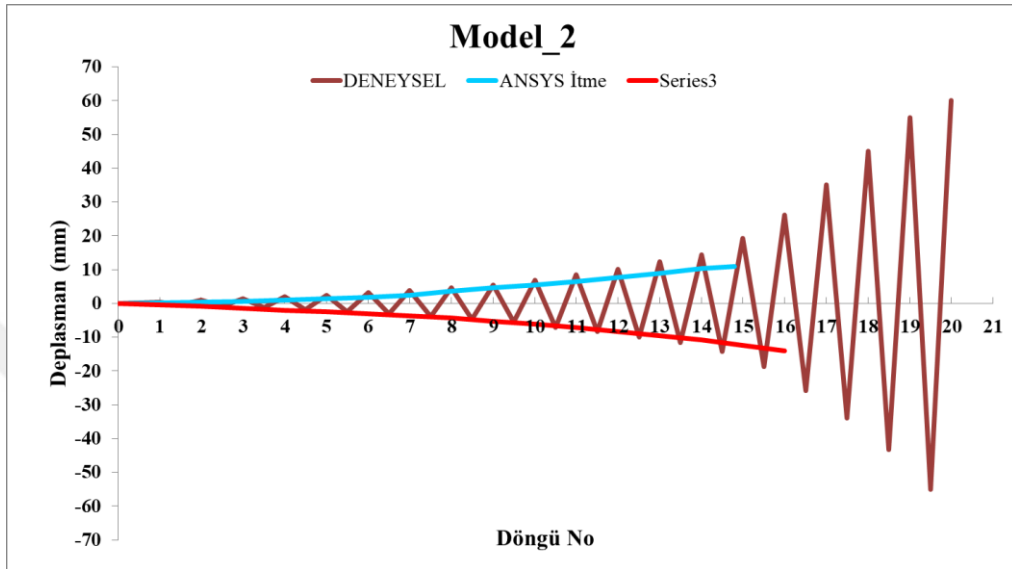
3.3.1. Yükleme Programlarının Karşılaştırılması

Nümerik yöntem ile yapılan analizlerde, yatay itme ve çekme yönlerinde uygulanan yüklere karşı oluşan tepe deplasman değerleri, deneysel çalışmalar ile elde edilen deplasmanlardan daha küçük olduğu görülmüştür. Bu farklılık ANSYS programında yaşanan yakınsama problemlerinin engellenmesi için yapılan kabullerden kaynaklanabilmektedir. Örneğin, beton ezilmelerinin ihmal edilmesi, kullanılan malzemelerin tanımlanan gerilme-şekil değiştirme özelliklerinde bir takım farklılıkların olması, betondaki ani şekil değiştirmelerin ihmal edilmesi, imalat hataları, yükleme hızı ve yorulma etkisi gibi faktörler olarak sıralanabilmektedir.

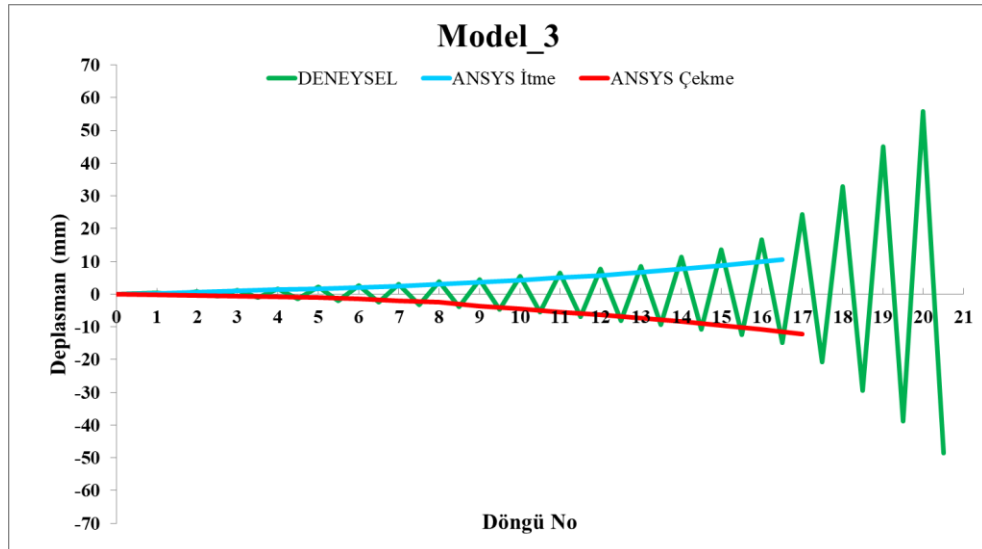


Şekil 3.121. Model 1 Deneysel ve Nümerik Deplasman Geçmişi Karşılaştırılması

Referans numune Model 1'in ANSYS çözümü Şekil 3.126'da görüldüğü gibi itmede ve çekmede 10. döngüye kadar devam ettirilebilmiştir. Model 2 numunesinde ise itmede 15.döngüye ve çekmede 16. döngüye kadar devam ettirilmiştir. Model 3 numunesinde ise itmede ve çekmede 17. döngüye kadar devam ettirilmiştir.

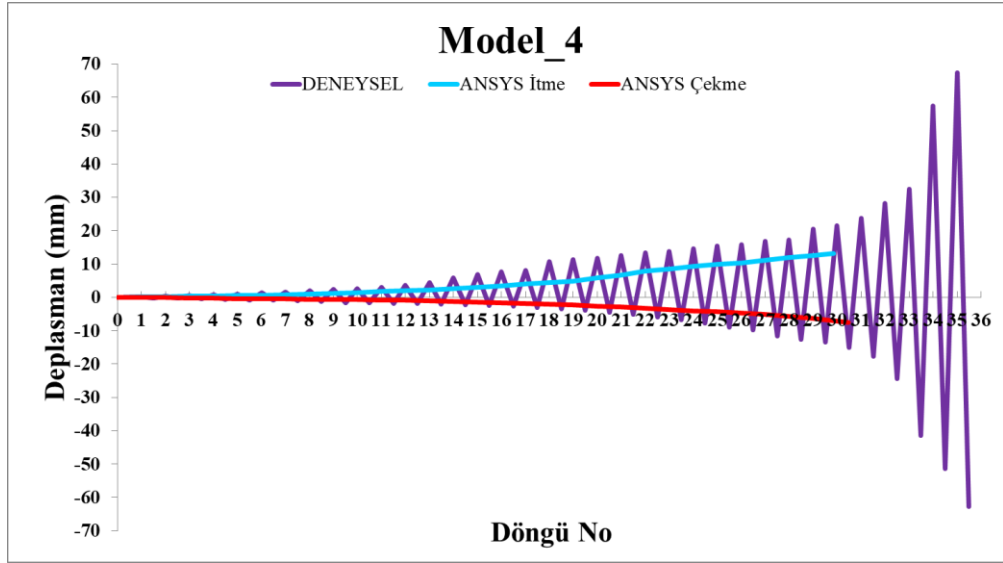


Şekil 3.122. Model 2 Deneysel ve Nümerik Deplasman Geçmişi Karşılaştırılması

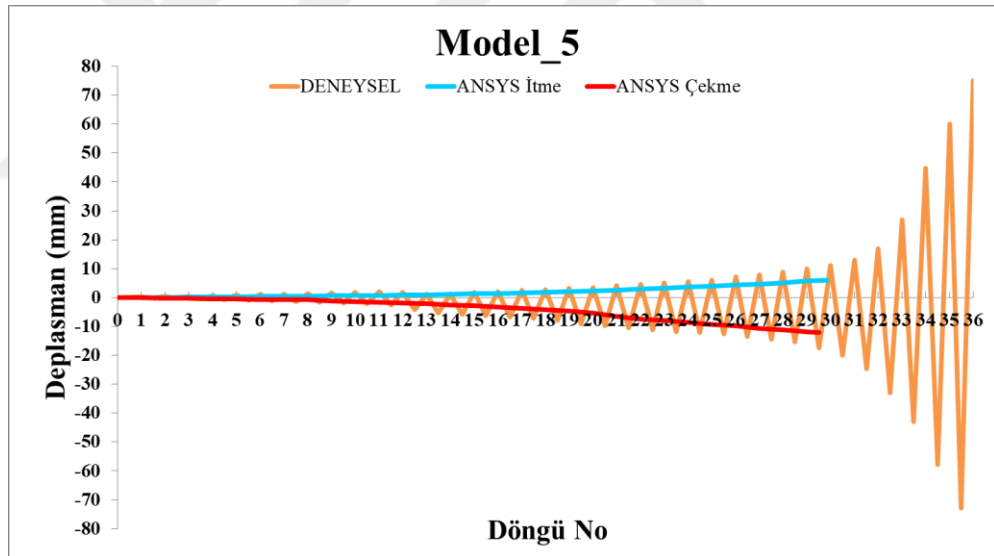


Şekil 3.123. Model 3 Deneysel ve Nümerik Deplasman Geçmişi Karşılaştırılması

Model 4 numunesinde ise itmede 30.döngüye ve çekmede 31. döngüye kadar devam ettirilmiştir. Model 5 numunesinde ise itmede ve çekmede 30.döngüye kadar devam ettirilebilmiştir. Genel olarak aynı yüke karşı gelen nümerik deplasmanlar deneysel deplasmanlardan daha az çıktığı görülmüştür.



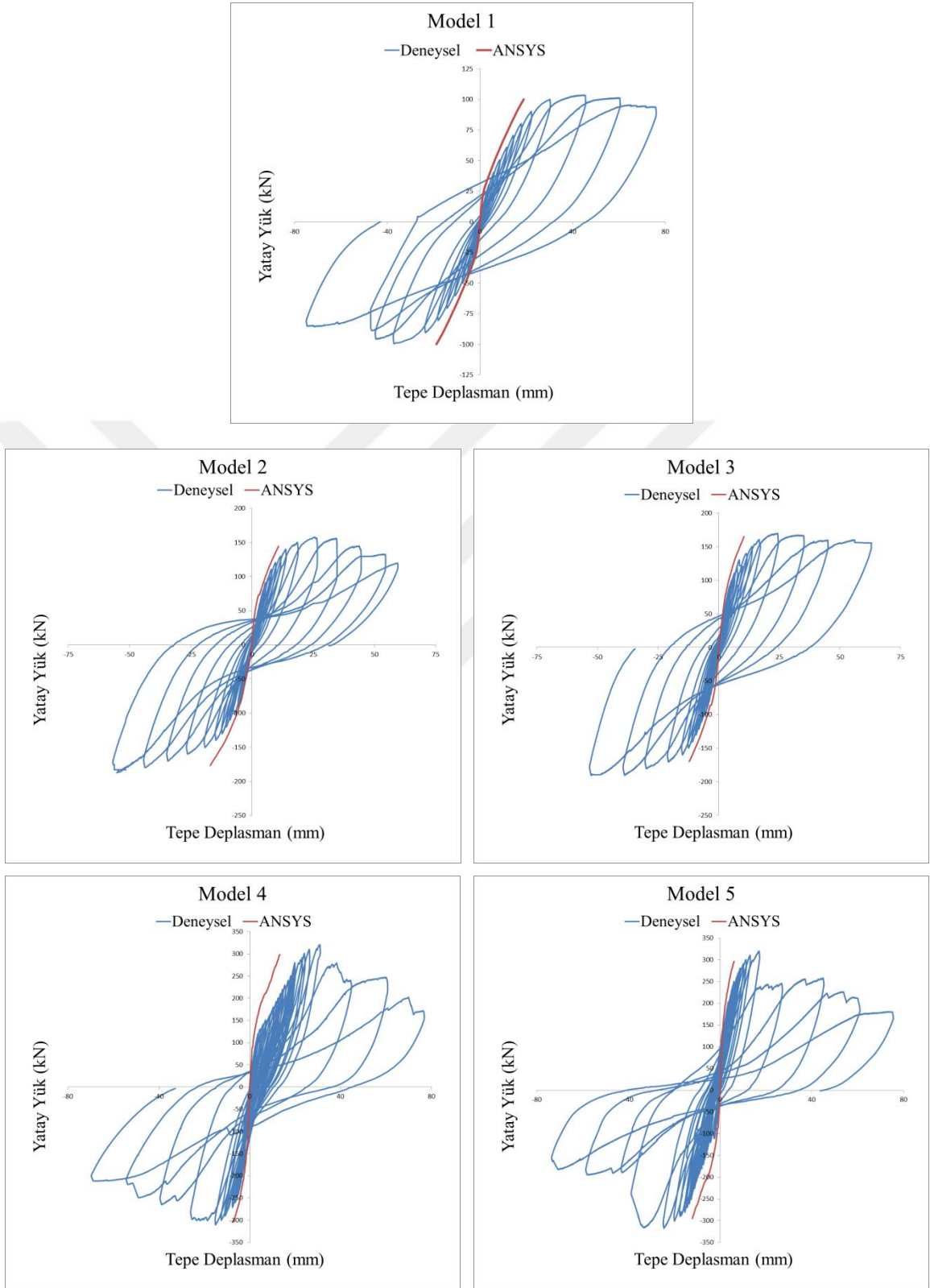
Şekil 3.124. Model 5 Deneysel ve Nümerik Deplasman Geçmişi Karşılaştırılması



Şekil 3.125. Model 5 Deneysel ve Nümerik Deplasman Geçmişi Karşılaştırılması

3.3.2. Kuvvet Deplasman İlişkilerinin Karşılaştırılması

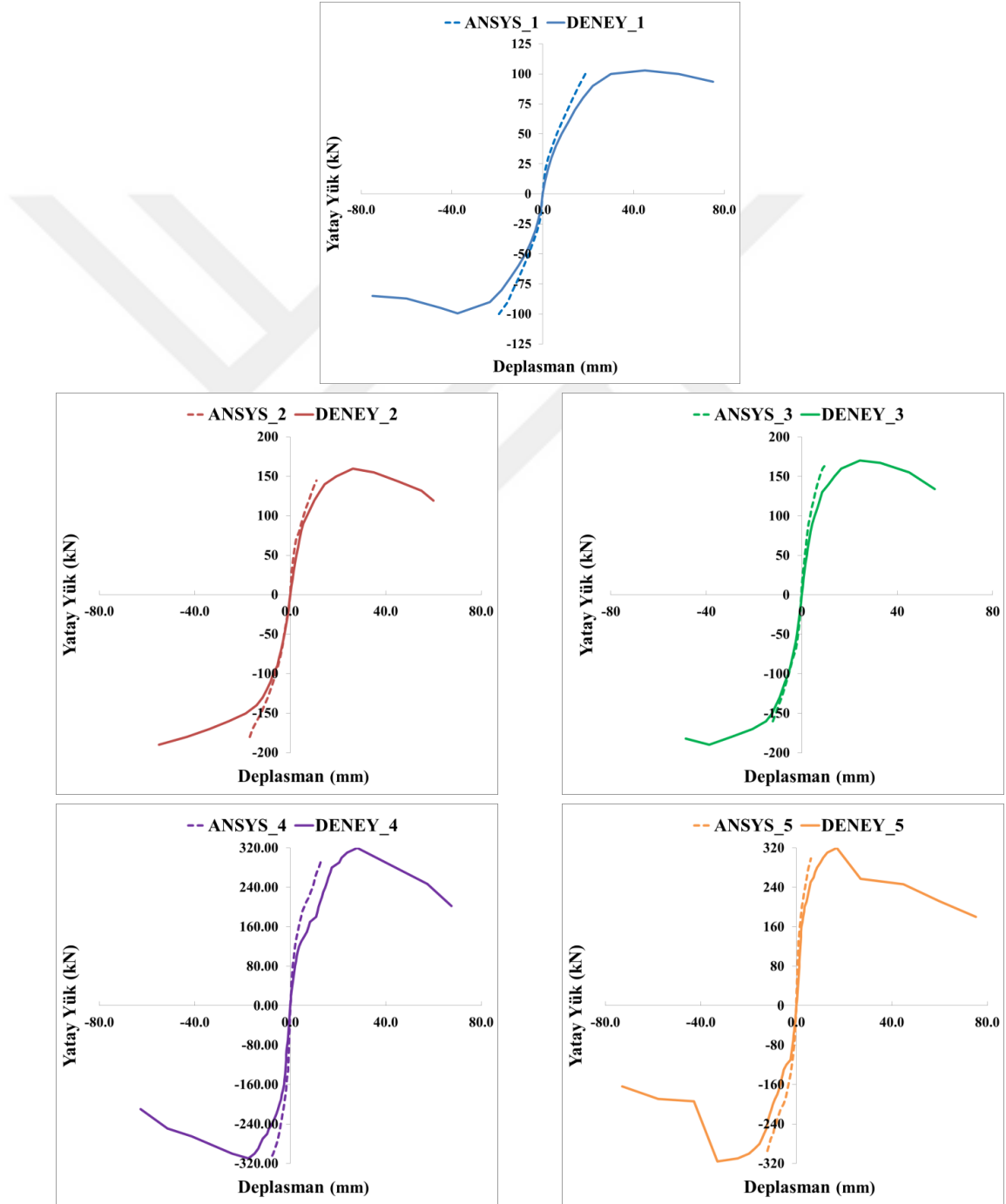
Deneysel çalışmalardan elde edilen kuvvet-deplasman ilişkilerine ait eğriler ile ANSYS sonlu eleman programı yardımı ile akma noktasına kadar yapılan analizlerden elde edilen zarf eğrileri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalara ait grafikler aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibidir. Nümerik çözümlemedeki rijitliğin yüksek olması grafiklerde görülmektedir.



Şekil 3.126. Deneysel ve Nümerik Kuvvet Deplasman İlişkilerinin Karşılaştırılması

3.3.3. Dayanım Zarflarının Karşılaştırılması

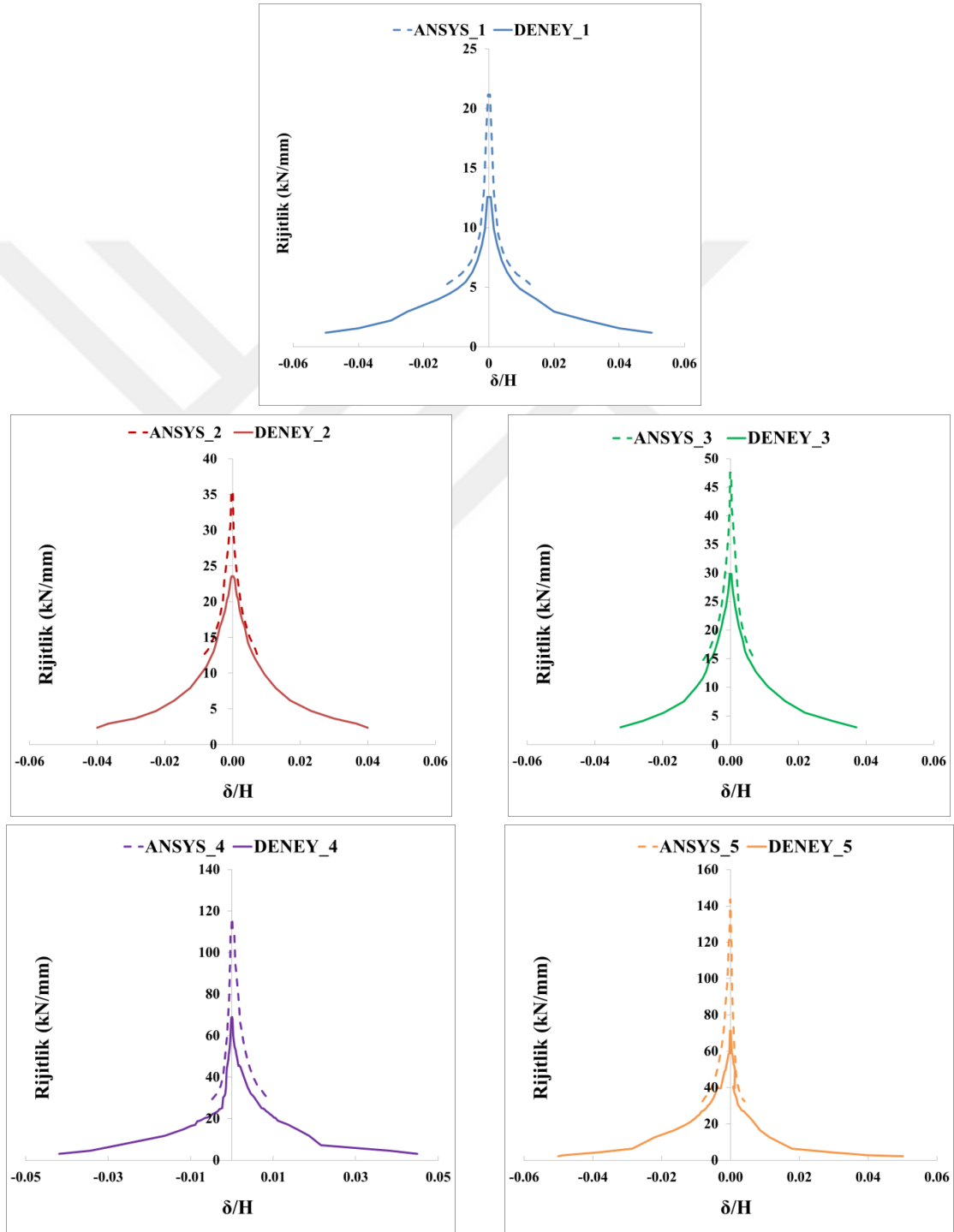
Deneysel çalışmalardan elde edilen dayanım zarf eğrileri ile ANSYS programı ile akma noktasına kadar yapılan analizlerden edilen dayanım zarf eğrileri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalara ait grafikler aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibidir. Akma bölgesine kadar nümerik sonuçlar rijit davranışı vermektedir.



Şekil 3.127. Deneysel ve Nümerik Dayanım Zarflarının Karşılaştırılması

3.3.4. Rijitlik Azalımları Karşılaştırılması

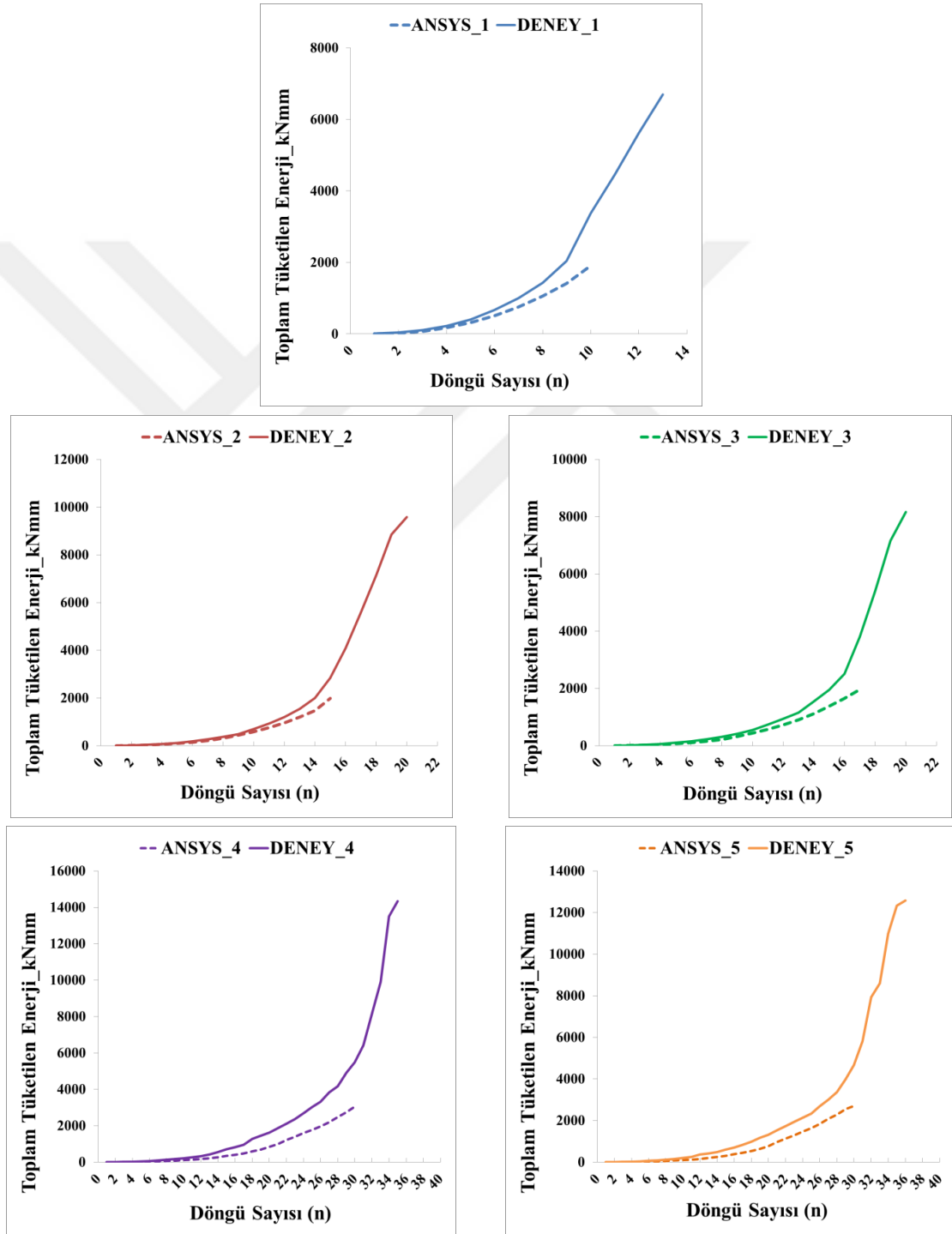
Deneysel çalışmalardan elde edilen rijitlik azalım eğrileri ile ANSYS programı ile akma noktasına kadar yapılan analizlerden edilen rijitlik azalım eğrileri karşılaştırılmıştır. Nümerik çözümlemede sistem rijitliği yüksek kalmıştır.



Şekil 3.128. Deneysel ve Nümerik Rijitlik Azalımları Karşılaştırılması

3.3.5. Tüketilen Enerjilerin Karşılaştırılması

Deneysel çalışmalardan ve ANSYS programındaki akma noktasına kadar yapılan analiz sonuçları, 5 adet model için elde edilen toplam tüketilen enerji grafikleri aşağıda verilen grafiklerdeki karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.129. Deneysel ve Nümerik Tüketilen Enerjilerin Karşılaştırılması

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Deneysel Sonuçların değerlendirilmesi

Deneysel çalışma sonuçları ile daha gerçekçi değerlendirmeler yapabilmek adına betonarme modellerin taşıyıcı sistemleri üzerinde bazı farklı ölçüm teknikleri aynı anda kullanılmıştır. Böylece değişik ölçüm tekniklerinden elde edilen sonuçların birbirleri ile kıyaslanmasına imkân sağlanmıştır.

Deneysel çalışmada, referans numune için yapıya etkiyen yatay kuvvetler kolonlar tarafından eşit bir şekilde paylaşılarak yapının yatay deplasman yapabilme kapasitesini tam olarak kullandığı görülmüştür. Perdenin çerçeve içerisinde bulunması sonucu akma yükünün yükselmesine ve betonarme çerçevenin deplasman yapabilme kabiliyetinin azalmasına neden olmuştur. Akma yükünün artmasının nedeni perdenin yapıya gelen yatay yükü ciddi bir şekilde karşılaması ve kolonlara gelen yükü azaltmasıdır. Ayrıca, perdenin çerçeve içerisinde orta aksta bulunması durumunda, dış aksta bulunmasına göre akma yükünün yaklaşık olarak 100% oranında artırmış ve yatay deplasmanın ise yaklaşık olarak %40 oranında azalmasını sağlamıştır. İlave olarak perdenin dış aksta bulunması ters tarafta bulunan aksta olan kolonların taşıma gücünün daha erken kaybetmesine neden olmuştur. Bunun sebebi ise, betonarme çerçevede rijitlik merkezi ile kütle merkezinin çakışmaması sonucu oluşan burulma momenti ve burulma çatlaklarının taşıma kapasitesini azaltmasıdır. Böylece perdenin orta aksta bulunması yan aksta bulunmasına göre yatay yükleri taşımakta daha etkili olduğu görülmüştür.

Perde konumu olarak çerçeve içerisinde perdenin itme yönüne yakın olması, akma yükünün daha fazla olmasına ve yapı deplasmanının daha az olmasına neden olmuştur.

Deneysel numunelerini itme ve çekme döngüleri sırasında maksimum yatay yük taşıma kapasitelerine göre karşılaştırıldığında, referans numuneye göre Model 2 ve Model 3'ün

%84, Model 4 ve Model 5'in %310 daha fazla yatay yük taşıdığı görülmüştür. Betonarme perdenin orta aksta bulunması taşıyıcı sistemlerin daha geç akma yüküne ulaşmasını sağlarken, maksimum yatay yük altında daha az oranda deplasman yapmasına sebep olmaktadır.

Deney numunelerinin başlangıç rijitlikleri, referans numuneye göre karşılaştırıldığında Model 2 de %87, Model 3 de %137, Model 4 de %448 ve Model 5 de %467 oranlarında daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Maksimum yük rijitlikleri ise, referans numuneye göre Model 2 de %33, Model 3 de %87, Model 4 de %436 ve Model 5 de %478 oranlarında başlangıç rijitliğinden daha fazla olduğu görülmüştür. Betonarme perdenin bulunması taşıyıcı sistemlerin şekil değiştirme yapabilmesi için gerekli yatay kuvvet büyüklüğüne olan ihtiyacı artırmaktadır. Yani betonarme perdenin yan aksa nazaran orta aksta bulunması ile betonarme taşıyıcı sistemler daha fazla yatay kuvvet etkisinde daha az deplasman yapma davranışı göstermektedir. İlaveten betonarme perdelerin konumu sistemin rijitliğini kendine doğru çekmekte büyük rol oynamaktadır.

Deney numunelerinin maksimum yatay yük taşıma kapasitelerine ulaştığındaki enerji tüketim oranları, referans numuneye göre Model 2 de %98, Model 3 de %60, Model 4 de %83 ve Model 5 de %78 daha fazla olduğu görülmüştür. Deney sonu yatay yük taşıma kapasitelerine ulaştığındaki enerji tüketim oranları referans numuneye göre, Model 2 de %43, Model 3 de %22, Model 4 de %114 ve Model 5 de %87 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Betonarme perdenin olması ve orta aksta bulunması taşıyıcı sistemlerin enerji tüketimini artırmaktadır.

Çalışmalar sonunda tüm deneylerdeki betonarme taşıyıcı sistemlere göreli kat ötelemesi 0.05 oranında, göçme hasar sınırının üstünde deplasman yaptırılmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemlerde, betonarme perdenin bulunmaması kolon ve kirişlerde çatlak ve hasar oluşumunu önemli derecede hızlandırmaktadır. Çatlak oluşumu genel olarak önce kolonlarda, kolon kiriş birleşim bölgelerinde, kirişlerde ve betonarme perdelerde, son olarak da döşemelerde meydana gelmiştir. Betonarme perdenin bulunmasına bağlı olarak betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında çatlak gelişimi, referans numuneye göre daha geç aşamalarda oluşmaktadır.

- Kolonlarda oluşan ilk çatlak, Model 5 hariç diğer modeller birbirine yakın kuvvetlerde meydana gelmiştir. Model 5'in uygulanan kuvvete göre perde konumu

daha rijit olduğundan 6. döngüde çatlamıştır. Taşıyıcı sistemde betonarme perdenin olması ve orta aks konumunda bulunması kolonda daha geç evrelerde çatlamasına yol açmaktadır.

- Kolon–kiriş birleşim bölgesinde oluşan ilk çatlak, Model 1 de en az yük değerinde 3. döngüde çatlamıştır. Model 2, Model 3 ve Model 4 ise 7. döngüde çatlamıştır. En büyük yük değerinde çatlak gelişimi ise, Model 5 de olmuştur. Taşıyıcı sistemde betonarme perdenin olması ve orta aks konumunda bulunması kolon-kiriş birleşim bölgelerinin daha geç evrelerde çatlamasına yol açmaktadır.
- Kirişte oluşan ilk çatlak modeller arasında farklılık göstermiştir. En düşük yükte kiriş çatlaması görülen Model 2 iken, en yüksek yükte çatlayan kiriş Model 5 olmuştur. Perde konumundan dolayı kirişte oluşan burulma etkisi bu sonuçta etkili olmuştur.
- Perde–kiriş birleşim bölgesinde oluşan ilk çatlak, Model 2 ve Model 3 de birbirine yakın yükte meydana gelirken, Model 4 ile Model 5 daha yüksek yükte çatlama gerçekleşmiştir. Betonarme perdenin olması ve dış aksta bulunması taşıyıcı sistemlerde burulmaya yol açtığından, perde-kiriş birleşim bölgelerinin daha erken evrelerde çatlamasına yol açmaktadır.
- Betonarme perdelerde oluşan ilk çatlak, Model 2, 3 ve 4’te birbirine yakın yüklerde gerçekleşirken, Model 5 de ise itme 40kN yük değerinde meydana gelmiştir. Betonarme perdenin olması ve orta aksın itme yükü tarafında bulunması, taşıyıcı sistemlere uygulanan yüklerin kendisine doğru çekmesi sebebi ile perde elemanlarda daha erken evrelerde çatlamasına yol açmaktadır.
- Döşemede oluşan ilk çatlak ise ilk 3 modelde döşeme çatlağı rastlanmazken Model 4 de 240kN da ve Model 5 de ise 270kN da çatlama gerçekleşmiştir.

Deneysel çalışmada taşıyıcı sistemlerin burulması iki farklı yöntemle yüklemeler sırasında tespit edilmiştir. Bu yöntemlerin biri, yapının itme yüzeyinde iki adet potansiyometrik cetvel ile yapılan okumalardan, diğeri ise düğüm noktalarının her itme ve çekmede Total Station aleti vasıtasıyla x, y ve z yönlerindeki deplasmanların okunmasıdır. Taşıyıcı sistemlerde A1 burulma düzensizliğini belirlemek için kullanılan Potansiyometrik Cetvel ve Total Station yöntemleri birbirine çok benzer sonuç vermiş

ve her iki yönteminde deplasman ölçümünde kullanılabilirliğini kanıtlanmıştır. Deneyler sırasında A1 düzensizliklerine ait sonuçlar, betonarme taşıyıcı sistemlerin Model 1, Model 4 ve Model 5'in yükleme yönünde simetrik olmasından dolayı 1.2 sınırının aşmadığını tespit edilmiştir. Model 2 ve Model 3'ün sonuçları incelendiğinde, betonarme perdenin dış aksta bulunması ve planda oluşan düzensizliklerden dolayı her iki numunede yatay yüklemenin itme ve çekme adımlarının her birinde özellikle her döngünün çekme yüklemesinde sınırı aştığını tespit edilmiştir. Model 2 ve Model 3 de ilk yükleme adımlarından itibaren döngülerde burulma düzensizliği oluşmuştur.

Deneyler sırasında strain gauge ile donatı çeliğinden okunan birim deformasyon değerleri aşağıda verilmiştir.

- S1 kolonunun alt etriyesine yapıştırılan strain gauge sonuçları incelendiğinde Model 1, Model 3 ve Model 4'ten okuma alınamamıştır. Model 2 ve Model 5 grafikleri incelendiğinde, genel olarak etriyelerin basınç kısılması gibi bir durum olmamasından dolayı, itme ve çekme döngülerindeki donatıların birim deformasyonları birbirine benzer değer almıştır. Yatay yük maksimum değerini alıp akma gerçekleşene kadar Model 5'in etriyesi Model 2'ninkine göre çekme döngülerinde meydana gelmiştir.
- S1 kolonun alt boyuna donatısına yapıştırılan strain gauge sonuçları incelendiğinde ise, Model 2 ve Model 4'ten okuma alınamamıştır. Model 1 grafiğinde boyuna donatılardaki kısılmadan kaynaklanan birim deformasyonların, betonun basınç çalışmasından dolayı uzamadan kaynaklanan birim deformasyonlardan daha küçük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Model 3 boyuna donatılarda ise, donatılarda 0.02mm/mm'e kadar sadece uzama meydana gelmiş, itme ve çekme kuvvetlerinde simetrik bir şekilde devam etmiştir. Model 5 boyuna donatılarda ise, sadece kısılma meydana gelmiştir.
- S1 kolonun üst boyuna donatısına yapıştırılan strain gauge sonuçları incelendiğinde, Model 1'den okuma alınamamıştır. Diğer 4 modelde ise, boyuna donatılardaki kısılmalar sırasında meydana gelen birim deformasyonlar uzamalardan daha az miktarda oluşmaktadır. Beton basınç kuvvetine donatı ile beraber karşı koyarken çekme kuvvetini donatı tek başına karşılamaktadır. Perdenin yan aksta olduğu numunelerde perdeye yakın olan kolonun üst boyuna donatılarında birim

deformasyon perdeye uzak kolununkinden daha fazla olduğu görülmüştür. Perdenin orta aksta olduğu numunelerde perdeye yakın olan kolonun üst boyuna donatılarında birim deformasyon perdeye uzak kolununkinden daha az olduğu rastlanmıştır.

- Model 1’de S3 kolonu alt etriyesine ve diğer 4 Modelin perde enine yatay gövde donatılarının alt kısmına yapıştırılan strain gauge sonuçları incelendiğinde, genel olarak etriyelerde basınç kısılması gibi bir durum olmamasından dolayı, itme ve çekme döngülerindeki donatıların birim deformasyonları birbirine benzer değerler almıştır. Model 1’de S3 kolonundaki alt etriyede deney boyunca ağırlıklı olarak çekme uzaması meydana gelmiştir. Perdenin yan aksta olduğu numunelerde P1 perdenin Ø4mm çapındaki dış alt enine yatay gövde donatılarından alınan birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından daha fazla olduğu görülmüştür.
- Model 4 ile Model 5 birbirine benzer davranış göstermiştir. Perdenin orta aksta olduğu numunelerde P1 perdesinin Ø4mm çapındaki dış alt enine yatay gövde donatılarından alınan birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından daha az olduğu görülmüştür.
- Model 1’de S3 kolonu üst etriyesine ve diğer 4 Modelin perdesinin enine yatay gövde donatıların üst kısmına yapıştırılan strain gauge sonuçları incelendiğinde, genel olarak etriyelerde basınç kısılmasından daha ziyade, itme ve çekme döngülerindeki donatılarda çekme uzaması olmuş ve birim deformasyonları birbirine yakın değerler almıştır. Yatay yük maksimum değerini geçip akma gerçekleştikten sonra kolon etriyelerde maksimum birim deformasyonlar deney sonunda doğru daha fazla meydana gelmiştir. Model 1’de S3 kolonundaki üst etriyede deney boyunca ağırlıklı olarak çekme uzaması meydana gelmiştir. Perdenin yan aksta olduğu numunelerde P1 perdesinin Ø4mm çapındaki dış üst enine yatay gövde donatılarından alınan birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından daha az olduğu görülmüştür.

- Model 4 ile Model 5 birbirine ters ve benzer davranış göstermiştir. Perdenin orta aksta olduğu numunelerde P1 perdesinin Ø4mm çapındaki dış üst enine yatay gövde donatılarından alınan birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından daha fazla olduğu görülmüştür.
- Model 1'de S3 kolonu boyuna donatısının alt kısmına ve diğer 4 perdeli Modellerde perdenin Ø6mm'lik gövde boyuna dış donatıların alt kısmına yapıştırılan strain gauge sonuçları incelendiğinde, genel olarak boyuna donatılarda kısalmalar sırasında oluşan birim deformasyonlar uzamalardan daha az miktarda meydana gelmiştir. Bu durumun sebebi ise betonun basınca çalışmasından dolayı kısalma anında donatı ile beraber çalışması ve uzama anında ise donatının tek başına gerilmelere karşı koyması olarak yorumlanabilir. Perdenin yan aksta olduğu numunelerde P1 perdesinin Ø6mm çapındaki gövde boyuna donatısının dış alt kısmından alınan birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından daha az olduğu görülmüştür.
- Model 4 ile Model 5 birbirine ters ve benzer davranış göstermiştir. Perdenin orta aksta olduğu numunelerde P1 perdesinin Ø6mm çapındaki gövde boyuna donatısının dış alt kısmından alınan birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından daha az olduğu görülmüştür.
- Model 1'de S3 kolonu boyuna donatısının üst kısmına ve diğer 4 Modelde perdenin Ø6mm'lik gövde boyuna dış donatıların üst kısmına yapıştırılan strain gauge sonuçları incelendiğinde, genel olarak boyuna donatılarda kısalmalardan oluşan birim deformasyonlar uzamalardan oluşan birim deformasyonlardan daha az miktarda meydana gelmiştir. Bu durumun nedeni ise betonun basınca çalışmasından dolayı kısalma anında donatı ile beraber çalışırken, uzama anında ise sadece donatının gerilmelere karşı koyması olarak yorumlanabilir.
- Model 1'de S3 kolonundaki üst boyuna donatısında deney boyunca daha belirgin olmak üzere kısalmalar sırasında meydana gelen birim deformasyonlar uzamalardan daha fazla oranla oluşmaktadır. Perdenin yan aksta olduğu numunelerde P1 perdesinin Ø6mm çapındaki gövde boyuna donatısının dış üst kısmından alınan

birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından çok az miktarda daha fazla olduğu görülmüştür.

- Model 4 ile Model 5 birbirine ters ve benzer davranış göstermiştir. Perdenin orta aksta olduğu numunelerde P1 perdesinin Ø6mm çapındaki gövde boyuna donatısının dış üst kısmından alınan birim deformasyonları değerlendirildiğinde, betonarme perdenin sistem içinde itme kuvvetine uzak olması durumundaki deformasyonlar yakın olmasından daha fazla olduğu görülmüştür.

4.2. Nümerik Sonuçların Değerlendirilmesi

ANSYS programında 5 adet farklı deney modeli oluşturulmuştur. Deneysel modellerdeki yatay kuvvet tersinir-tekrarlı olarak etki ettirilmiştir. Ancak, eleman sayısının fazla olması, oluşan yakınsama problemleri ve programın bu kadar döngü çözümünde güçlük çekmesi sebebi ile her adımın itme ve çekme döngüsü ayrı ayrı yapılmıştır. Yüklemeler, laboratuvardaki deneyler sırasında elde edilen akma yüküne kadar devam ettirilmiştir. Model 1’de 10 döngü, Model 2’de 16 döngü, Model 3’te 17 döngü, Model 4’te 31 döngü ve Model 5’te 30 döngü olarak yükleme gerçekleştirilmiştir.

Nümerik yüklemelerden elde edilen verilere göre, deneysel akma yük anındaki deplasmanlara bakıldığında betonarme perde bulunması ve perde konumunun dış aksa göre orta aksta bulunmasına bağlı olarak taşıyıcı sistemlerin yaptığı deplasmanlar azalmıştır. Referans numuneye en yakın sonuçlar Model 2 ve Model 3 deneylerinden elde edilmiştir. Betonarme perdesi orta aksta bulunan Model 4 ve Model 5 ise referans deneye göre en az deplasmanı yapmıştır. Model 4’te, perdenin orta aks çekme tarafında bulunması nedeniyle itme yüklemelerinden elde edilen deplasmanlar çekme yüklemelerinden elde edilen deplasmanlardan daha fazla olmuştur. Tam tersi durum Model 5’te gerçekleşmiştir. Bunun nedeni ise, perdenin orta aks çekme tarafında bulunması çerçevenin rijitlik merkezini perdenin bulunduğu çekme tarafına kaydırmasıdır. Bunun sonucunda itme yüklerinden elde edilen deplasmanlar artmaktadır. Betonarme çerçeve tipi taşıyıcı sistemlerin, betonarme perde bulunması ve konumuna göre yaptıkları deplasmanlarda farklılar ortaya çıkmaktadır.

Rijitlik ile ilgili olarak nümerik modellerin başlangıç rijitlik oranları, referans numuneye göre Model 2 de %68, Model 3 de %125, Model 4 de %451 ve Model 5 den %578 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Maksimum yük rijitlikleri oranları ise, referans numuneye göre Model 2 de %141, Model 3 de %181, Model 4 de %459 ve Model 5 de %518 daha fazla olduğu görülmüştür. Betonarme perdenin bulunması ve konumu dış aksa göre orta aksta bulunması sonucu taşıyıcı sistemler aynı miktardaki yatay kuvvet karşısında daha az oranda deplasman yapar duruma gelmektedir.

Nümerik numunelerinin maksimum yatay yük taşıma kapasitelerine ulaştığındaki enerji tüketim oranları, referans numuneye göre Model 2 de %5, Model 3 de %4, Model 4 de %60 ve Model 5 de %42 daha fazla olduğu görülmüştür. Nümerik numunelerinin kümülatif yatay yük taşıma kapasitelerine ulaştığındaki enerji tüketim oranları ise, referans numuneye göre, Model 2 de %34, Model 3 de %57, Model 4 de %285 ve Model 5 de %257 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak maksimum yatay taşıma yükü kapasitelerine ulaştığındaki enerji tüketim oranlarına bakıldığında, referans deneye en yakın sonuç Model 2 ve Model 3 de elde edilmiştir. Model 4 ve Model 5 analizlerinden elde edilen maksimum yatay taşıma yükü kapasitelerine ulaştığındaki enerji tüketim oranları referans numuneye göre yaklaşık 1.50 kat daha fazla çıkmıştır.

4.3. Deneysel ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması

Deneysel ve nümerik sonuçlar, sayısal olarak birbirinden farklı olmasına rağmen betonarme taşıyıcı sistem davranışı açısından birbirine benzemektedir. Deneysel modeller nümerik simülasyonlarına oranla daha fazla oranda deplasman yapmıştır. Ancak deneysel modellerin kendi aralarındaki farklılıklara ve benzerliklere ait sonuçlar aynı şekilde nümerik çalışmalardan da elde edilmiştir. Buna göre deneysel ve nümerik çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Betonarme perdesi yan aks çekme yönünde bulunan Model 2 deneyi ve betonarme perdesi yan aks itme yönünde bulunan Model 3 deneyinden birbirine benzer ama ters sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca çalışmaya referans olan ve perdesi bulunmayan Model 1 deney sonucuna en yakın değerler bu iki çalışma sonucunda ortaya çıkmıştır. Betonarme perdesi orta aks çekme yönünde bulunan Model 4 deneyi ile betonarme perdesi orta aks itme yönünde bulunan Model 5 deneyinden birbirine benzer ve ters sonuçlar elde edilmiştir.

- Betonarme perdesi bulunmayan ve çalışmaya referans olan Model 1 kolonlarındaki kesme kuvveti dağılımı eşit bir şekilde gerçekleşmiştir. Model 2 ve Model 3 betonarme taşıyıcı sistemleri Model 1, Model 4 ve Model 5 betonarme taşıyıcı sistemlerinden daha fazla burulmaya maruz kalmıştır. Model 2 ve Model 3'teki kolonlarda burulma ve kesme kuvveti birlikte etki ettiğinden, betonarme perde konumuna en uzak olan kolon (Model 2'de S5 kolonu ve Model 3'te S3 kolonu) en fazla zarar gören ve çatlakların oluştuğu kolonlar olmuştur. Model 4 ve Model 5'deki kesme kuvveti dağılımı en çok betonarme perdeye uzak olan akstaki kolonlarda (Model 4'te S5, S6, S7 kolonlarında ve Model 5'te S1, S2, S3 kolonlarında) oluşmuştur. Deneysel çalışmaların akma yüküne kadar olan davranış sonuçlarının benzeri nümerik modelleme sonuçlarında da görülmüştür.
- Çatlak gelişimi açısından betonarme taşıyıcı sistem kolon, kiriş, perde, perde-kiriş birleşim bölgeleri ve kolon-kiriş birleşim bölgelerine ait sonuçlar deneysel ve nümerik çalışmalarda birbirine benzerdir. Ancak deneysel çalışmalara ait döşemelerde Model 1, Model 2 ve Model 3 deneylerinde hiç çatlak görülmezken, nümerik çalışmaların hemen hemen hepsinde görece kat ötelemesi çok daha küçük oranlarda iken çatlaklar oluşmuştur. Deneysel çalışmalarda betonarme perdelerde çatlaklar nümerik çalışmalara göre daha fazla ve yüksek (H) mertebelerinde ortaya çıkmıştır.

4.4. Sonuç

Tüm çalışma sonuçları, dayanım zarfı, rijitlik, enerji tüketimi, çatlak oluşumu, taşıyıcı sistemlerdeki deplasmanlar ve burulmalar, beton ve donatıdaki gerilmeler ve donatılardaki birim deformasyonlar üzerinden kapsamlı bir biçimde değerlendirilmiştir.

Genel olarak yapı içerisinde perdenin bulunması, taşıyıcı sistemin yatay kuvvetlere karşı direncini artırmaktadır. Betonarme perdenin konumu olarak yapının dış aksında olması burulmaya yol açarken iç aksta bulunması yapı direncine daha fazla katkı sağlamaktadır.

Yatay yükleme yönünde; betonarme perdenin dış aksta yerleştirilmesi durumunda taşıyıcı sistemin kütle ve rijitlik merkezleri çakışmamakta ve taşıyıcı sistemde burulma oluşmaktadır. Bu durumda taşıyıcı sistem kolonlarında burulma ve kesme çatlaklarının

oluştugu görülmektedir. Betonarme perdenin iç aksta yerleştirilmesi durumunda ise perdeye uzak olan kolonlarda en fazla kesme çatlamları oluşmaktadır. Perde konumunun burulmayı değiştirmesinin bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.

Model 4 ve Model 5'teki sonuçlara göre referans numunesi olan Model 1'e göre en fazla rijitlik ve dayanım elde edilmiştir. Hem deneysel hem de nümerik çalışmalarda en farklı sonuçlar bu taşıyıcı sistemlerden elde edilmiştir. Buna ilaveten perdenin orta aksta bulunması halinde itme kuvveti tarafında bulunması çekme tarafında bulunmasından, sistem enerji yutma ve direnci bakımından daha etkili olduğu saptanmıştır. Bu durum özellikle numunenin toplam rijitliği yanında, hiperstatik sistemlerde rijitlik dağılımının davranışta önemli olduğunu ve toplam numune rijitliğine göre rijitlik dağılımının davranışı etkilemesinin bir sonucudur. Özellikle numune sertliği olarak değerlendirirsek, kuvvete yakın perdelerin daha sert davranış sergilemesidir. Bu sonuç genel davranıştaki etki-tepki prensibinin bir sonucudur. Betonarmede ise, kuvvetlerin dağılımı prensibini göstermektedir.

Deneysel çalışmalarda yapı deplasmanını ve burulmasını belirlemek için Total Station cihazı en az deplasman ölçerler kadar etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır. Bu sayede deneysel çalışmalar esnasında yapı hareketlerini saptamak için yeni, çok yaygın olmayan ve etkili bir yöntem geliştirilmiştir. Deney sonuçlarının tümü değerlendirildiğinde betonarme perdenin bulunması yanında perdenin konumu, deprem kuvvetinin etkime yönü ve betonarme taşıyıcı sistemlerin görelî kat ötelemesi oranları A1 türü düzensizliğin ortaya çıkmasında belirgin rol oynamaktadır. Önerilen bu ölçüm tekniği ile sistem davranışı deprem yönetmeliğine uygun olarak tanımlanabilmiştir. Özellikle mevcut binalardan deprem etkisini değerlendirmek için ivme ölçerler kullanımı yanında önerilen bu ölçüm tekniği ile veri alınması davranışın tanımlanmasında alternatif bir yaklaşım olacaktır. Bu yöntem daha pratik ve daha ekonomik bir yaklaşım olup, değerlendirmelerde dikkate alınması bu tez çalışmasının sonuçlarından biri olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak mimari proje gereksinim ve planlamalarında, depreme karşı dayanıklı yapı elde edebilmek için betonarme perdenin simetrik ve düzensiz olmayacak bir şekilde kullanılması kaçınılmaz derecede önemlidir. Yapı davranışını doğrudan etkileyen betonarme perdenin konumu sonlu elemanlar yönteminin kullanılması ile

saptanabilecek en iyi tasarımın elde edilmesi ile mümkündür. Özellikle belirli perde oranını yapı planına göre x-x ve y-y yönünde sağlamak depreme karşı davranışın güvenilir olması açısından yeterlidir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneysel çalışma sonucunda, yapı planına göre perde konumunun yük etkimesi durumuna göre uygun olarak seçilmesi önem arz etmektedir. Devamı araştırmalar ile perde miktarının veya x-x ve y-y ana eksenlerine göre alansal oranlarının değiştirilerek araştırmaların yapılması önemli ve yararlı olacaktır. Özellikle çerçeve, perde ve perde-çerçeve davranışlarının ortaya konulması ile deprem davranışlarının betonarme yapılarda değerlendirilebilmesi önemlidir. Ayrıca bu araştırmaların verilen perde oranlarına göre tek katlı dışında çok katlı yapılara doğru yaygınlaştırılması bu tez çalışmasının önemini daha da artıracaktır.

KAYNAKÇA

1. TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 30364 (Mükerrer) sayılı T.C. Resmi Gazete (18 Mart 2018).
2. DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
3. TS500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
4. Akkaya, Y., 2007. Deprem Kuvvetlerine Karşı Betonarme Perdelerin Davranışı ve Boyutlandırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 154 s.
5. Celep, Z., Kumbasar, N., 1998. Betonarme Yapılar. Sema Matbaacılık, 865 s.
6. Özsoy, A.E., Özgen, K., 23-25 Mart 2005. Perdelerdeki boşlukların yatay ötelenmeye etkisi. Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
7. Doğangün, A., 2016. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. Birsan Basım Yayın, 844 s.
8. Livaoğlu, R., 2001. Yapıların Deprem Hesabında Burulma Düzensizliğinin ve Hesap Yöntemlerinin Etkinliğinin İncelenmesi. KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 143 s.
9. Özmen, G., 2000. Plan Geometrisinin Burulma düzensizliği Etkisi. **Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı: 410**, sayfa: 37-41.
10. Tezcan, S.S., 1998. Depreme Dayanıklı Tasarım İçin Bir Mimarın Seyir Defteri. Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul Teknik üniversitesi, İnşaat Fakültesi, 121 s.
11. Atımtay, E., 2000. Çerçevesiz ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı Temel Kavramlar ve Hesap Yöntemleri. **METU Press, Cilt 2**, 872 s.
12. Zienkiewicz, O.C., 1977. The Finite Element Method in Engineering Science. Mc Graw Hill, 3rd Edition, London, 784 pp.
13. Aydoğan, M., 2001. Mühendislikte Sonlu Elemanlar Yöntemi (İngilizce Ders Notları). İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.

14. Benjamin, J.R., Williams, H.A., 1957. The behaviour of one-story reinforced concrete shear walls. ASCE, **Journal of the Structural Division, Vol. 83**, Issue 3, pp. 1-49.
15. Smith, B.S., 1962. Lateral stiffness of infilled frames. ASCE, **Journal of the Structural Division, Vol. 88**, Issue 6, pp. 183-226.
16. Ersoy, U., Uzsoy, S., 1971. The behavior and strength of infilled frames. Report No. MAG-205 TUBİTAK, Ankara, Türkiye.
17. Higashi, Y., Kokusho, S., 1975. The strengthening method of existing reinforced concrete buildings. US-Japan Cooperative Research Program in Earthquake Engineering, Honolulu HI, pp. 89-96.
18. Liauw, T.C., Lee, S.W., 1977. On the behaviour and the analysis of multistorey infilled frames subject to lateral loading. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Volume. 63**, pp. 641-656.
19. Klingner, RE., Bertero, V.V., 1978. Earthquake resistance of infilled frames. **Journal of the Structural Division, Volume: 104**, pp. 973-989.
20. Kahn, L.F., Hanson, R., 1979. Infilled walls for earthquake strengthening. **Jornal of the Structural Division, Volume: 105**, page: 283-296.
21. Hayashi, T., Niwa, N., and Fukuhara, M., 1980. The strengthening methods of the existing reinforced concrete buildings. **Proceedings of The Seventh World Conference on Earthquake Engineering, Volume 4**, Istanbul, Turkey, pp. 89-96.
22. Brokken, S.T., Bertero, V.V., 1981. Studies on effects of infills in seismic resistant reinforced concrete construction. Report UCB/EERC, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, pp. 12-81.
23. Higashi, Y., Endo, T., Shimizu, Y., 1982. Effects on behaviors of reinforced concrete frames by adding shear walls. Proceedings of the Third Seminar on Repair and Retrofit of Structures, Ann Arbor, Michigan, USA, May.
24. Higashi, Y., Endo, T., Shimizu, Y., 1984. Experimental studies on retrofitting of reinforced concrete building frames. 8th World Conference on Earthquake Engineering, July, San Francisco CA, volume 1, pp. 477- 484.

25. Morgan, B.J., Hiraishi, H., Corley, W.G., 1985. Comparisons of tests of medium-scale wall assemblies and a full-scale building. *Design of Concrete Structures The Use of Model Analysis*, UK, pp. 129-137.
26. Altın, S., 1990. Strengthening of R/C frames with R/C infills. Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 350 s.
27. Phan, L.T, Cheok, G.S., Todd, D.R., 1995. Strengthening methodology for lightly reinforced concrete frames: recommended design guidelines for strengthening with infill walls. **Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899**, NISTIR 5682.
28. Mehrabi, A.B., Shing, P.B., Schuller, M.P., Noland, J.L., 1996. experimental evaluation of masonry-infilled RC frames. **Journal of Structural Engineering, Volume. 122**, No. 3, pp. 228-237.
29. Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T., Türk, M., Sonuvar, O., 1998. Behavior of reinforced concrete infilled frames an experimental study. Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, Istanbul, Turkey, pp. 292-308.
30. Tezcan, S.S., İkizoğulları, S., 1998. Stresses along the periphery of the infilled shear walls in retrofitted frames. *Repair and Strengthening of Existing Buildings*, Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, Istanbul, Turkey, pp. 199-209.
31. Kargı, Y., 1999. Perde Etkisi Oluşturan Bölme Duvarları. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 93 s.
32. Kato, D., Noda, H., Sugishita, Y., 1999. Strength and deformation capacity of cantilever structural walls with openings. PEER Report 1999/10, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Maui, Hawaii, pp. 311-322.
33. Kongoli, X., Minami, T., Sakai, Y., 1999. Effects of structural walls on the elastic-plastic earthquake responses of frame-wall buildings. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Volume 28**, Issue 4, pp. 479-500.
34. Paulay, T., 2001. Seismic response of structural walls: recent developments. *Canada Journal of Civil Engineering, Volume 28*, pp. 922-937.

35. Sonuvar, M.O., 2001. Hysteretic response of reinforced concrete frames repaired by means of reinforced concrete infill's. Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 169 s.
36. Canbay, E., 2001. Contribution of RC Infills to the Seismic Behavior of Structural Systems. Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 180 s.
37. Özbalaban, G., 2002. Betonarme Bir Binanın Perdelerle Güçlendirilmesinde Karşılaşılan Zorluklar ve Perde Yüksekliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 102 s.
38. İlgün, A., 2003. Çok Katlı Betonarme Panel Yapıların Yatay Yük Altında Davranışı: Teorik ve Deneysel Araştırma. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 121 s.
39. Akış, T., 2004., Perde Duvar-Çerçeve Sistemlerin Yanal Yük Analizi. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 156 s.
40. Yılmaz, Ü.S., 2007. Kolonları Basınç Kırılması Gösteren Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Dış Perde Duvar Uygulaması ile Güçlendirilmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 385 s.
41. Anıl, Ö., Altın S., 2007. An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames. **Engineering Structures, Volume 29**, 449-460.
42. Gürol, K. B., 2007. Deprem Dayanımı Yetersiz Betonarme Binaları Güçlendirme Yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 143 s.
43. Karageyik, C., Sucuoğlu, H., 2010. Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Depreme Karşı Perde Duvarlarla Deplasman Esaslı Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 141s.
44. Bahadır, F., 2012. Düzlem Dışı Perde Duvarla Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Yetersiz Betonarme Çerçevelerin Davranışına Pencere Boşluklarının Etkisi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, 318 s.

45. Balık, F.S., 2012. Betonarme Dolgu Duvarla Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Yetersiz Betonarme Çerçevelerin Davranışına Pencere Boşluklarının Etkisi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, 245 s.
46. M., Kamanlı, F.S., Balık, H.H., Korkmaz, F., Bahadır, M.Y., Kaltakçı, A., Ünal, M. K., 2013. Betonarme çerçevelerin, pencere boşluklu perde duvarlarla güçlendirilmesi. 2.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, MKÜ, Hatay, 25-27.
47. Lovaraju, K., 2013. Effective Location of Shear Wall on Performance of Building Frame Subjected to Lateral Load. Yüksek Lisans Tezi, Gitam Üniversitesi, Teknoloji Enstitüsü, Visakhapatnam-Hindistan, 112 s.
48. Rokanuzzaman, MD., Khanam, F., Das, A., Chowdhury, S.R., 2017. Effective location of shear wall on performance of building frame subjected to lateral loading. **International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering, Volume 4**, No. 6, pp. 51-54.
49. Narayangarhwala, H., Dashore, S., 2020. Effective location of shear wall on performance of building frame subjected to lateral load. **International Research Journal of Engineering and Technology, Volume. 07**, No. 02, pp. 1200-1208.
50. Kaya, G., Özsoy Özbay, A. E., 2019. Shear wall layout in plan of reinforced concrete framed buildings and the effect on structural behavior. **Journal of Engineering Sciences and Design, Volume. 7**, No. 01, pp. 7-17.
51. AutoCAD 2014. Computer Aided Design Software, Autodesk, 2014.
52. Torkan, R., Amasralı, S., 2014. STA4CAD Çok Katlı Betonarme Yapıların Analizi ve Tasarımı. Birsen Yayınevi, İstanbul, 526 s.
53. Amasralı, S., 2012. STA4-CAD v13.1, Structural Analysis for Computer Aided Design Software, İstanbul.
54. Harris, HG., Sabnis, G., 1999. Structural Modelling and Experimental Techniques- 2nd edition, CRC Press LLC, Boca Raton Florida, Chapter: 2, Page:37.
55. TML., 2016. Strain Gauges (Web sayfası: <http://www.tml.jp/e/index.html>), (Erişim tarihi: Mayıs 2018).

56. NEL., 2016. TML Strain Gauge (Web sayfası: <http://www.nel.com.tr/index.php/urunler/24-nel-presto/endustriyel-olcum-ve-test-cihazlari/83-tml-strain-gauge-teknolojisi>), (Erişim tarihi: Mayıs 2018).
57. Özbayrak, A., 2017. Betonarme Yapılardaki Döşeme Süreksizliklerinin Deprem Davranışına Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 310 s.
58. Celep, Z., Kumbasar, N., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Beta Dağıtım, İstanbul, 755 s.
59. SAP2000 V15 Basic Version, 2011. Computers And Structures Inc., Berkeley, California.
60. TDG Q-Cable, “Gerinim Pulu İçin Köprü Tamamlama Kablosu Kullanım Kılavuzu”, Odtü, Ankara.
61. TDG CODA, “Veri Toplama Yazılım Paketi”, ODTÜ, Ankara.
62. TS EN 12390-3, Nisan 2010. Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 19 s.
63. Tosun, K., 2015. Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri – Kalite Kontrol (Ders Notları). (Web sayfası: <http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/anasayfa.html>), (Erişim Tarihi: Mayıs 2017).
64. TS EN 12390-6, Haziran 2010. Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 6 s.
65. TS EN ISO 6892-1, Mart 2011. Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi, Bölüm 1: Oda Sıcaklığında Deney Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, 57 s.
66. TS EN 12504-1, Ocak 2011. Beton- Yapıda Beton Deneyleri- Bölüm 1: Karot Numuneler- Karot Alma, Muayene ve Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 11 s.
67. TS EN 12390-3, Nisan 2010. Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 19 s.

68. TS/EN 13791, Nisan 2010. Basınç dayanımının yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 25 s.
69. TS 10465, Kasım 1992. Beton deney metotları- yapı ve yapı bileşenlerinde sertleşmiş betondan numune alınması ve basınç mukavemetinin tayini (Tahribatlı Metot), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 30 s.
70. ANSYS Inc. 2013. ANSYS ® Mechanical APDL, Documentation: User Manual. Release14.5, USA: ANSYS.
71. ANSYS v 14.5, 2012. Software Program.
72. Mohamady, M., 2015. Reinforced Concrete Beam by Ansys No 1. (Web sayfası: <https://www.youtube.com/watch?v=bJG1pRI4Oew>), (Erişim Tarihi: Şubat 2020).
73. Mohamady, M., 2015. Reinforced Concrete Beam by Ansys No 2. (Web sayfası: <https://www.youtube.com/watch?v=Eq4Cfk7phK4>), (Erişim Tarihi: Şubat 2020).
74. Mohamady, M., 2015. Reinforced Concrete Beam by Ansys No 3. (Web sayfası: <https://www.youtube.com/watch?v=82GDpl9NgKA>), (Erişim Tarihi: Şubat 2020).
75. Ali, Mohammed.K., 2010. Öngermeli Betonarme Köprü Kirişi Modellenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 129 s.

EKLER

EK 1.

Model 1 Burulma Açısı ve Burulma Katsayısına Göre Yükleme Geçmişi

Yatay Kuvvet (kN)	Döngü	Sağ – Sol (Burulma) okumaları (mm)	θ_{burulma} (Derece/metre)	Δ_{ort} (mm)	η_{bi}	TBDY 2018 sınırı
10	1	0.01	0	0.96	1.01	< 1.2
-10	1	-0.03	-0.001	-0.65	1.02	< 1.2
20	2	0.07	0.002	2.23	1.02	< 1.2
-20	2	-0.06	-0.002	-1.69	1.02	< 1.2
30	3	0.09	0.002	4.00	1.01	< 1.2
-30	3	-0.07	-0.002	-3.04	1.01	< 1.2
40	4	0.08	0.002	6.01	1.01	< 1.2
-40	4	-0.08	-0.002	-4.93	1.01	< 1.2
50	5	0.15	0.004	8.19	1.01	< 1.2
-50	5	-0.14	-0.004	-7.41	1.01	< 1.2
60	6	0.23	0.007	10.81	1.01	< 1.2
-60	6	-0.24	-0.007	-10.50	1.01	< 1.2
70	7	0.38	0.011	13.72	1.01	< 1.2
-70	7	-0.36	-0.01	-14.12	1.01	< 1.2
80	8	1.18	0.034	17.41	1.03	< 1.2
-80	8	-0.91	-0.026	-18.55	1.02	< 1.2
90	9	2.00	0.057	21.90	1.05	< 1.2
-90	9	-1.98	-0.057	-23.84	1.04	< 1.2
100	10	2.64	0.076	29.71	1.04	< 1.2
-99.61	10	-2.29	-0.066	-38.18	1.03	< 1.2
103	11	4.42	0.127	43.72	1.05	< 1.2
-95	11	-4.15	-0.119	-46.16	1.04	< 1.2
100	12	5.38	0.154	56.48	1.05	< 1.2
-87	12	-5.21	-0.149	-49.15	1.05	< 1.2
93.5	13	6.02	0.172	64.94	1.05	< 1.2
-85	13	-6.04	-0.173	-72.74	1.04	< 1.2

EK 2.**Model 2 Burulma Açısı ve Burulma Katsayısına Göre Yükleme Geçmişi**

Yatay Kuvvet (kN)	Döngü	Sağ – Sol (Burulma) okumaları (mm)	θ_{burulma} (Derece/metre)	Δ_{ort} (mm)	η_{bi}	TBDY 2018 sınırı
10	1	0.61	0.02	0.42	1.73	> 1.2
-10	1	-0.52	-0.01	-0.36	1.72	> 1.2
20	2	1.42	0.04	0.94	1.76	> 1.2
-20	2	-0.97	-0.03	-0.67	1.73	> 1.2
30	3	2.02	0.06	1.38	1.73	> 1.2
-30	3	-1.64	-0.05	-1.12	1.73	> 1.2
40	4	2.78	0.08	1.91	1.73	> 1.2
-40	4	-2.29	-0.07	-1.58	1.73	> 1.2
50	5	3.51	0.10	2.49	1.71	> 1.2
-50	5	-3.09	-0.09	-2.08	1.74	> 1.2
60	6	4.56	0.13	3.19	1.71	> 1.2
-60	6	-4.14	-0.12	-2.76	1.75	> 1.2
70	7	5.47	0.16	3.85	1.71	> 1.2
-70	7	-5.53	-0.16	-3.60	1.77	> 1.2
80	8	6.67	0.19	4.68	1.71	> 1.2
-80	8	-6.99	-0.20	-4.45	1.79	> 1.2
90	9	7.98	0.23	5.61	1.71	> 1.2
-90	9	-8.44	-0.24	-5.24	1.81	> 1.2
100	10	9.91	0.28	7.03	1.71	> 1.2
-100	10	-11.29	-0.32	-6.83	1.83	> 1.2
110	11	12.25	0.35	8.68	1.71	> 1.2
-110	11	-13.2	-0.38	-7.83	1.84	> 1.2
120	12	14.48	0.41	10.35	1.70	> 1.2
-120	12	-15.83	-0.45	-9.20	1.86	> 1.2
130	13	17.99	0.52	12.67	1.71	> 1.2
-130	13	-18.29	-0.52	-10.43	1.88	> 1.2
140	14	21.14	0.61	14.92	1.71	> 1.2
-140	14	-22.57	-0.65	-12.29	1.92	> 1.2

150	15	29.2	0.84	20.14	1.72	> 1.2
-150	15	-30.83	-0.88	-15.81	1.98	> 1.2
160	16	43.78	1.25	29.30	1.75	> 1.2
-160	16	-42.69	-1.22	-18.93	1.89	> 1.2
155	17	62.4	1.79	40.25	1.78	> 1.2
-170	17	-61.25	-1.75	-34.17	1.90	> 1.2
144	18	74.71	2.14	47.11	1.79	> 1.2
-180	18	-73.44	-2.10	-44.61	1.82	> 1.2
132	19	93.42	2.67	56.67	1.82	> 1.2
-190	19	-96.7	-2.77	-57.25	1.84	> 1.2
119.5	20	99.7	2.85	59.55	1.84	> 1.2

EK 3.

Model 3 Burulma Açısı ve Burulma Katsayısına Göre Yükleme Geçmişi

Yatay Kuvvet (kN)	Döngü	Sağ – Sol (Burulma) okumaları (mm)	θ_{burulma} (Derece/metre)	Δ_{ort} (mm)	η_{bi}	TBDY 2018 sınırı
10	1	0.55	0.02	0.38	1.73	> 1.2
-10	1	-0.46	-0.01	-0.24	1.96	> 1.2
20	2	0.98	0.03	0.72	1.68	> 1.2
-20	2	-0.89	-0.03	-0.60	1.75	> 1.2
30	3	1.52	0.04	1.13	1.67	> 1.2
-30	3	-1.42	-0.04	-0.97	1.73	> 1.2
40	4	2.18	0.06	1.62	1.67	> 1.2
-40	4	-1.94	-0.06	-1.34	1.72	> 1.2
50	5	2.91	0.08	2.08	1.70	> 1.2
-50	5	-2.66	-0.08	-1.84	1.72	> 1.2
60	6	3.64	0.10	2.61	1.70	> 1.2
-60	6	-3.36	-0.10	-2.30	1.73	> 1.2
70	7	4.55	0.13	3.20	1.71	> 1.2
-70	7	-4.32	-0.12	-2.96	1.73	> 1.2
80	8	5.75	0.16	3.96	1.73	> 1.2
-80	8	-5.23	-0.15	-3.62	1.72	> 1.2
90	9	6.93	0.20	4.73	1.73	> 1.2
-90	9	-6.11	-0.18	-4.22	1.72	> 1.2
100	10	8.43	0.24	5.70	1.74	> 1.2
-100	10	-7.19	-0.21	-4.97	1.72	> 1.2
110	11	10.58	0.30	7.08	1.75	> 1.2
-110	11	-9.22	-0.26	-6.23	1.74	> 1.2
120	12	12.64	0.36	8.40	1.75	> 1.2
-120	12	-11.37	-0.33	-7.48	1.76	> 1.2

130	13	15.29	0.44	10.18	1.75	> 1.2
-130	13	-12.78	-0.37	-8.31	1.77	> 1.2
140	14	17.66	0.51	11.80	1.75	> 1.2
-140	14	-15.15	-0.43	-9.53	1.80	> 1.2
150	15	21.79	0.62	14.39	1.76	> 1.2
-150	15	-17.46	-0.50	-10.55	1.83	> 1.2
160	16	26.67	0.76	17.37	1.77	> 1.2
-160	16	-21.05	-0.60	-12.31	1.86	> 1.2
170	17	41.24	1.18	25.75	1.80	> 1.2
-170	17	-29.51	-0.85	-15.14	1.97	> 1.2
167	18	57.65	1.65	34.66	1.83	> 1.2
-180	18	-43.53	-1.25	-25.68	1.85	> 1.2
155	19	80.18	2.30	46.70	1.86	> 1.2
-190	19	-57.65	-1.65	-35.59	1.81	> 1.2
134	20	102.51	2.93	58.62	1.87	> 1.2
-182	20	-61.47	-1.76	-39.89	1.77	> 1.2

EK 4.**Model 4 Burulma Açısı ve Burulma Katsayısına Göre Yükleme Geçmişi**

Yatay Kuvvet (kN)	Döngü	Sağ – Sol (Burulma) okumaları (mm)	θ_{burulma} (Derece/metre)	Δ_{ort} (mm)	η_{bi}	TBDY 2018 sınırı
10	1	-0.01	0.000	0.21	1.02	< 1.2
-10	1	0.01	0.000	-0.05	1.11	< 1.2
20	2	-0.01	0.000	0.35	1.01	< 1.2
-20	2	0.03	0.001	-0.34	1.04	< 1.2
30	3	0.04	0.001	0.55	1.04	< 1.2
-30	3	-0.02	-0.001	-0.41	1.02	< 1.2
40	4	0.04	0.001	0.94	1.02	< 1.2
-40	4	-0.02	-0.001	-0.56	1.02	< 1.2
50	5	0.04	0.001	1.08	1.02	< 1.2
-50	5	-0.05	-0.001	-0.78	1.03	< 1.2
60	6	0.08	0.002	1.39	1.03	< 1.2
-60	6	-0.06	-0.002	-0.98	1.03	< 1.2
70	7	0.09	0.003	1.64	1.03	< 1.2
-70	7	-0.12	-0.003	-1.08	1.06	< 1.2
80	8	0.27	0.008	2.06	1.07	< 1.2
-80	8	-0.27	-0.008	-1.41	1.10	< 1.2
90	9	0.45	0.013	2.61	1.09	< 1.2
-90	9	-0.46	-0.013	-1.58	1.15	< 1.2
100	10	0.62	0.018	2.59	1.12	< 1.2
-100	10	-0.45	-0.013	-1.68	1.13	< 1.2
110	11	0.80	0.023	3.53	1.11	< 1.2
-110	11	-0.56	-0.016	-1.88	1.15	< 1.2
120	12	0.50	0.014	2.78	1.09	< 1.2
-120	12	-0.65	-0.019	-2.28	1.14	< 1.2
130	13	1.20	0.034	5.11	1.12	< 1.2

-130	13	-0.82	-0.023	-2.99	1.14	< 1.2
140	14	1.22	0.035	5.85	1.10	< 1.2
-140	14	-0.74	-0.021	-3.13	1.12	< 1.2
150	15	1.25	0.036	7.26	1.09	< 1.2
-150	15	-1.00	-0.029	-4.06	1.12	< 1.2
160	16	1.63	0.047	10.59	1.08	< 1.2
-160	16	-1.06	-0.030	-5.74	1.09	< 1.2
170	17	1.73	0.050	10.02	1.09	< 1.2
-170	17	-1.07	-0.031	-5.77	1.09	< 1.2
180	18	1.74	0.050	12.64	1.07	< 1.2
-180	18	-1.13	-0.032	-5.81	1.10	< 1.2
190	19	2.18	0.062	13.96	1.08	< 1.2
-190	19	-1.20	-0.034	-6.23	1.10	< 1.2
200	20	2.61	0.075	14.64	1.09	< 1.2
-200	20	-1.31	-0.038	-6.36	1.10	< 1.2
210	21	3.02	0.087	15.57	1.10	< 1.2
-210	21	-1.37	-0.039	-6.47	1.11	< 1.2
220	22	3.23	0.093	16.07	1.10	< 1.2
-220	22	-1.62	-0.046	-6.49	1.12	< 1.2
230	23	3.43	0.098	16.70	1.10	< 1.2
-230	23	-1.92	-0.055	-7.15	1.13	< 1.2
240	24	3.58	0.103	17.96	1.10	< 1.2
-240	24	-2.76	-0.079	-8.18	1.17	< 1.2
250	25	3.62	0.104	18.65	1.10	< 1.2
-250	25	-2.73	-0.078	-9.31	1.15	< 1.2
260	26	3.93	0.113	19.65	1.10	< 1.2
-260	26	-2.91	-0.083	-10.83	1.13	< 1.2
270	27	4.19	0.120	20.77	1.10	< 1.2
-270	27	-3.34	-0.096	-11.18	1.15	< 1.2

280	28	4.50	0.129	22.60	1.10	< 1.2
-280	28	-3.41	-0.098	-12.87	1.13	< 1.2
290	29	4.61	0.132	24.06	1.10	< 1.2
-290	29	-4.18	-0.120	-17.38	1.12	< 1.2
300	30	5.11	0.146	25.78	1.10	< 1.2
-300	30	-4.97	-0.142	-20.92	1.12	< 1.2
310	31	5.22	0.150	29.01	1.09	< 1.2
-310	31	-7.17	-0.205	-25.54	1.14	< 1.2
320	32	5.35	0.153	33.05	1.08	< 1.2
-300	32	-8.60	-0.246	-30.97	1.14	< 1.2
273	33	6.99	0.200	35.07	1.10	< 1.2
-265	33	-8.84	-0.253	-49.30	1.09	< 1.2
247	34	7.62	0.218	59.41	1.06	< 1.2
-249	34	-11.42	-0.327	-59.05	1.10	< 1.2
202	35	8.75	0.251	66.57	1.07	< 1.2
-210	35	-12.29	-0.352	-69.63	1.09	< 1.2

EK 5.**Model 5 Burulma Açısı ve Burulma Katsayısına Göre Yükleme Geçmişi**

Yatay Kuvvet (kN)	Döngü	Sağ – Sol (Burulma) okumaları (mm)	θ_{burulma} (Derece/metre)	Δ_{ort} (mm)	η_{bi}	TBDY 2018 sınırı
10	1	0.03	0.001	0.13	1.12	< 1.2
-10	1	-0.03	-0.001	-0.13	1.12	< 1.2
20	2	0.05	0.001	0.23	1.11	< 1.2
-20	2	-0.04	-0.001	-0.29	1.07	< 1.2
30	3	0.06	0.002	0.35	1.09	< 1.2
-30	3	-0.06	-0.002	-0.46	1.07	< 1.2
40	4	0.08	0.002	0.48	1.08	< 1.2
-40	4	-0.06	-0.002	-0.65	1.05	< 1.2
50	5	0.08	0.002	0.63	1.06	< 1.2
-50	5	-0.06	-0.002	-0.86	1.03	< 1.2
60	6	0.13	0.004	0.77	1.08	< 1.2
-60	6	-0.14	-0.004	-1.03	1.07	< 1.2
70	7	0.17	0.005	0.93	1.09	< 1.2
-70	7	-0.18	-0.005	-1.27	1.07	< 1.2
80	8	0.26	0.007	1.08	1.12	< 1.2
-80	8	-0.25	-0.007	-1.48	1.08	< 1.2
90	9	0.32	0.009	1.34	1.12	< 1.2
-90	9	-0.31	-0.009	-1.81	1.09	< 1.2
100	10	0.30	0.009	1.48	1.10	< 1.2
-100	10	-0.27	-0.008	-2.15	1.06	< 1.2
110	11	0.30	0.009	1.69	1.09	< 1.2
-110	11	-0.28	-0.008	-2.79	1.05	< 1.2
120	12	0.28	0.008	1.77	1.08	< 1.2
-120	12	-0.30	-0.009	-4.70	1.03	< 1.2
130	13	0.33	0.009	1.85	1.09	< 1.2

-130	13	-0.31	-0.009	-5.31	1.03	< 1.2
140	14	0.35	0.010	1.90	1.09	< 1.2
-140	14	-0.39	-0.011	-5.75	1.03	< 1.2
150	15	0.49	0.014	1.85	1.13	< 1.2
-150	15	-0.45	-0.013	-6.38	1.04	< 1.2
160	16	0.55	0.016	1.95	1.14	< 1.2
-160	16	-0.60	-0.017	-6.95	1.04	< 1.2
170	17	0.65	0.019	2.13	1.15	< 1.2
-170	17	-0.70	-0.020	-7.66	1.05	< 1.2
180	18	0.67	0.019	2.59	1.13	< 1.2
-180	18	-0.76	-0.022	-8.33	1.05	< 1.2
190	19	0.80	0.023	2.68	1.15	< 1.2
-190	19	-0.89	-0.025	-9.31	1.05	< 1.2
200	20	0.86	0.025	2.95	1.15	< 1.2
-200	20	-0.93	-0.027	-10.11	1.05	< 1.2
210	21	0.95	0.027	3.61	1.13	< 1.2
-210	21	-0.94	-0.027	-10.64	1.04	< 1.2
220	22	1.00	0.029	3.96	1.13	< 1.2
-220	22	-1.04	-0.030	-11.34	1.05	< 1.2
230	23	1.10	0.032	4.41	1.12	< 1.2
-230	23	-1.12	-0.032	-11.77	1.05	< 1.2
240	24	1.21	0.035	4.86	1.12	< 1.2
-240	24	-1.30	-0.037	-12.18	1.05	< 1.2
250	25	1.35	0.039	5.38	1.13	< 1.2
-250	25	-1.31	-0.038	-12.60	1.05	< 1.2
260	26	1.50	0.043	6.48	1.12	< 1.2
-260	26	-1.31	-0.038	-13.34	1.05	< 1.2
270	27	1.57	0.045	7.12	1.11	< 1.2
-270	27	-1.58	-0.045	-14.57	1.05	< 1.2

280	28	1.70	0.049	7.83	1.11	< 1.2
-280	28	-1.66	-0.048	-15.74	1.05	< 1.2
290	29	1.70	0.049	8.90	1.10	< 1.2
-290	29	-1.75	-0.050	-17.90	1.05	< 1.2
300	30	1.89	0.054	10.21	1.09	< 1.2
-300	30	-1.89	-0.054	-20.28	1.05	< 1.2
310	31	2.28	0.065	12.14	1.09	< 1.2
-310	31	-2.30	-0.066	-24.70	1.05	< 1.2
320	32	2.40	0.069	16.13	1.07	< 1.2
-316	32	-2.44	-0.070	-33.72	1.04	< 1.2
257	33	2.50	0.072	25.58	1.05	< 1.2
-194	33	-2.69	-0.077	-43.87	1.03	< 1.2
246	34	3.54	0.101	43.22	1.04	< 1.2
-189	34	-3.89	-0.111	-58.17	1.03	< 1.2
212	35	3.05	0.140	58.45	1.03	< 1.2
-164	35	-3.09	-0.160	-73.51	1.02	< 1.2
180	36	2.22	0.180	73.59	1.02	< 1.2

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: MOHAMMED KAMAL ALI ALI
Uyruğu: Irak Cumhuriyeti (I.Q)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü	2010
Lisans	Tikrit Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü	2007
Lise	Tuz Erkek Fen Lisesi, Tuzhurmatu	2003

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2015-Halen	Erciyes Üniv. Müh. Fakültesi	Öğretim Görevlisi
2011-2014	Kerkük Üniv. Müh. Fakültesi	Araştırma Görevlisi
2010-2011	Dorçe Perefabrik A.Ş.	Şantiye Şefi
2007-2008	Özel Sektör Proje Müh	Kontrol Müh.

YABANCI DİL

İngilizce, Arapça

YAYINLAR

1. Mohammed K. Ali. (2014). The Effect of Various Percentages of Fly Ash on the Fresh and Hardened Properties of Self Compacting Concrete. International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, 3(10), ss.7-14.

2. Moayad M. Kassim, Ali I. Salahaldin, Mohammed K. Ali. (2015). Analysis of Fiber Reinforced Concrete Deep Beams with Large Opening Strengthened by CFRP Laminates. Kirkuk University Journal / Scientific Studies, 10(1), ss. 29-46.

3. Mohammed K. Ali, Qays M. Sh. Kareem. (2014). Experimental Study on Mechanical and Hydrological Properties of Pervious Concrete with Different Water Cement Ratio. International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, 3(12), ss.107-113.

