

**PREFABRİK BETONARME SANAYİ YAPILARININ DEPREM
DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Nihat ÇETİNKAYA

Danışman: Prof. Dr. Hasan KAPLAN

**Mart, 2007
DENİZLİ**

DOKTORA TEZİ ONAY FORMU

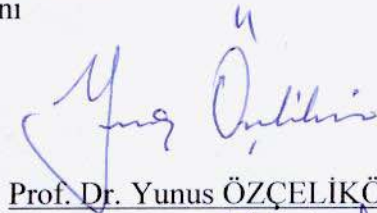
Nihat ÇETİNKAYA tarafından Prof. Dr. Hasan KAPLAN yönetiminde hazırlanan “**Prefabrik Betonarme Sanayi Yapılarının Deprem Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Hasan KAPLAN
Jüri Başkanı



Prof. Dr. Hasan GÖNEN
Jüri Üyesi



Prof. Dr. Yunus ÖZCELİKÖRS
Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Ş. Murat ŞENEL
Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Yavuz Selim TAMA
Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
15/04/2007 tarih ve 6/6.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL
Müdür

TEŞEKKÜR

Prefabrik Betonarme Sanayi Yapılarının Deprem Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi konulu bu tez çalışması Prof. Dr. Hasan Kaplan'ın yönetiminde, DPT tarafından desteklenen BAP-08-11-DPT.2004K120760 Kodlu "Deprem Hasarlı Binaların Onarımı ve Mevcut Binaların Güçlendirilmesi: Dış Perde Duvar Uygulaması" adlı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, mevcut hangar tarzındaki yapının içine, deneysel çalışmalar için gerekli alt yapının, Kuvvetli Döşeme, Reaksiyon Duvarı, 15 ton kapasiteli gezer vinç, 64 kanallı yeni bir veri toplama sistemi gibi çok sayıda alt yapı sisteminin kazandırılmasındaki katkılarından dolayı sayın hocama teşekkür ederim.

Desteklerinden dolayı DPT'na ve bu DPT projesinin koordinatörü olan Sayın Prof. Dr. Ergin Atımtay'a vermiş olduğu destek ve bize duyduğu güven için teşekkür ederim. Deney elemanlarının üretilmesindeki desteklerinden dolayı ABAŞ Prefabrik şirketine, çalışmalarım sırasındaki desteklerinden dolayı Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat Şenel ve Yrd. Doç. Dr. Yavuz Selim Tama'ya teşekkür ederim.

Ayrıca, vermiş olduğu destek ve yaptığı işbirliğinden dolayı, Araştırma Görevlisi Salih Yılmaz'a teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalardaki katkılarından dolayı laboratuvar çalışanları, Alaattin Altay, Mehmet Güngör ve Mevlüt Sungu'ya teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca, zaman kavramına bakmadan gece gündüz beraber çalıştığımız Araştırma Görevlisi Halil Nohutçu ve İnş. Müh. Ahmet Sarışın'a şükran borçluyum.

Çalışmalar boyunca bana göstermiş oldukları sabır, sevgi ve saygıdan dolayı aileme teşekkür ederim.

Nihat ÇETİNKAYA

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırılmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza :

Öğrenci Adı Soyadı : Nihat ÇETİNKAYA

ÖZET

PREFABRİK BETONARME SANAYİ YAPILARININ DEPREM DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÇETİNKAYA, Nihat
Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği ABD
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Hasan KAPLAN

Mart 2007, 136 Sayfa

Bu çalışmada, ülkemizde yaygın olarak kullanılan, tek katlı prefabrik betonarme sanayi yapılarının deprem davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Prefabrik sanayi yapılarında, yerinde, incelemeler yapılmıştır. Bu konuda önceden yapılmış olan çalışmalar araştırılmış ve karşılaştırmalar yapılarak bu yapıların ortak özellikleri, özellikle zayıflıkları, tespit edilmiştir.

ABYYHY 98'den önce yapılmış olan, tek katlı prefabrik betonarme sanayi yapılarının, 1998 Ceyhan ve 1999 Marmara depremlerinde göstermiş olduğu kötü performans göz önüne serilmiştir. Bu zayıflıkların başlıcaları; sistemin yanal rijitliğinin yetersiz olması, sistemin bir bütün olarak çalışmasını sağlayacak bir rijit diyaframın olmaması, çatı makaslarının yana devrilmesi, kolon diplerinde mafsallaşma problemleri olarak tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmanın yapılabilmesi için, Mevcut Deprem ve Yapı Teknolojileri laboratuvarının içerisine, özel bir Kuvvetli Döşeme-Reaksiyon Duvarı sistemi, bu çalışma kapsamında inşa edilmiştir. Yerinde yapılan çalışmalardan elde edilen veriler ile deney modelleri gerçekçi bir şekilde oluşturulmuştur. Üç boyutlu prefabrik betonarme deney yapısı laboratuardaki kuvvetli döşeme üzerine mevcut yapılarda uygulanan yöntemler ile kurulmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen bulgular kuramsal hesaplar ile ve daha önceden yapılmış olan çalışmaların bulguları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarının kuramsal hesaplar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Sonuç olarak mevcut prefabrik betonarme sanayi yapılarının deprem davranışı birçok yetersizlikler göstermektedir. Bu yapıların mevcut durumlarının incelenerek gerekli güçlendirmenin yapılması acilen gereklidir.

Anahtar Kelimeler: Prefabrik Betonarme, Sanayi Yapısı, Deneysel Çalışma, Deprem dayanımı, Kuvvetli döşeme, Reaksiyon Duvarı

Prof. Dr. Hasan KAPLAN
Prof. Dr. Hasan Gönen
Prof. Dr. Yunus ÖZÇELİKÖRS
Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL
Yrd. Doç. Dr. Yavuz Selim TAMA

ABSTRACT**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SEISMIC BEHAVIOUR OF
PRECAST REINFORCED CONCRETE INDUSTRIAL STRUCTURES**

ÇETİNKAYA, Nihat
Ph. D. Thesis in Civil Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Hasan KAPLAN

March 2007, 136 Pages

In this study, seismic behavior of single story precast reinforced concrete (PRC) industrial structures which are very widespread in Turkey has been investigated experimentally. First of all, the structures mentioned above were examined in place. Related studies made about this subject are collected from the literature and compared with the data obtained from the site investigations.

The performance of PRC industrial structures constructed before 1998 Turkish Earthquake Code during 1998 Ceyhan and 1999 Marmara earthquake was very poor. One of the reasons was insufficient lateral stiffness of the system. On the other hand, there was no rigid diaphragm in the system. Tilting of the roof beams and dropping to the floor due to insufficient connection between roof beam and column short cantilever was another common weakness.

Realistic test models were designed by using the data obtained from the existing structures. A new Strong Floor-Reaction Wall system designed for the existing laboratory buildings were constructed and a roof crane of 15 ton capacity was installed during this study. First of all, the drawings of the models were drawn for the production of the test elements. Then, steel forms of the model suitable for multiple usages and reinforcement were prepared. Finally concrete was poured to the steel forms.

Three dimensional PRC test structure was assembled over the Strong Floor by using the same construction methods used in the construction of existing PRC industrial structures constructed before ABYYHY 98. The 3D test structure was tested under lateral reversal cyclic loading. Lateral loading system, instrumentation, data collection systems explained. This experiment was performed in 2 stages. The system was loaded from the first two columns in the first stage. In the second stage, the load was applied from one column to represent another mode of the system.

In conclusion it was shown that experimental results were matching with the theoretical calculations and with the observations made after earthquakes.

Keywords: Precast Reinforced Concrete, Industrial Structures, Earthquake, Test structure, Experimental Investigation.

Prof. Dr. Hasan KAPLAN
Prof. Dr. Hasan GÖNEN
Prof Dr. Yunus ÖZÇELİKÖRS
Assoc. Prof. Dr. Şevket Murat ŞENEL
Assoc. Prof. Dr. Yavuz Selim TAMA

İÇİNDEKİLER

DOKTORA TEZİ ONAY FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
BİLİMSEL ETİK SAYFASI	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLolar DİZİNİ	xii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. PREFABRİK YAPILAR	3
2.1. PBA Yapıların Avantajları.....	3
2.2. PBA Yapıların Dezavantajları.....	3
2.3. PBA İskelet Sistemler	4
2.4. Yapım Aşamaları	4
2.5. PBA Sanayi Yapılarında Hasarlar.....	5
2.5.1. Temel bölgesi hasarları	5
2.5.2. Kolon hasarları	6
2.5.3. Çatı bölgesi hasarları.....	7
2.5.4. Bölgesel veya tümünden göçme	10
2.6. Önceki Çalışmalar.....	12
3. LABORATUAR ALTYAPISININ HAZIRLANMASI	34
3.1. Mevcut Laboratuar Binasına Galerisiz KD-RD Sistemi Yapımı.....	34
3.1.1. KD-RD sisteminin özellikleri	35
3.1.2. KD-RD sistemi yapım aşamaları	38
3.1.3. RD ayarlanabilir, çelik, veren mesnet sistemi oluşturulması.....	46
3.1.4. Hidrolik veren montajı	49
3.1.5. Laboratuar araç-gereçlerinin taşınması ve yeni yerlerine yerleştirilmesi	50
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	51
4.1. Malzeme.....	51
4.2. Elemanların Modellenmesi ve Üretimi	51
4.2.1. Modelleme	52
4.2.2. Elemanlarının üretimi	56
4.3. Deney Düzeneği.....	69
4.3.1. Yükleme düzeneği.....	69
4.3.2. Ölçüm düzeneği	73
4.4. Üç Boyutlu PBA Yapı Deneyi.....	76
4.4.1. Kuramsal hesaplar	77
4.4.2. Mevcut yapı hesapları	77
4.4.3. Deney yapısı hesapları	84
4.4.4. Deney yapısının hazırlanması	89
4.4.5. Deneyin yapılışı	90
5. SONUÇLAR	118
KAYNAKLAR	121
EKLER.....	125
EK-1 PBA SANAYİ YAPILARININ YAPIM AŞAMALARI	126
ÖZGEÇMİŞ	136

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 PBA kolonda mafsallaşma.....	6
Şekil 2.2 Kolonlarda farklı yanal ötelenme ve dolgu duvar etkisi.....	7
Şekil 2.3 Marmara depreminde PBA makas yanal ötelenmesi.....	8
Şekil 2.4 1998 Ceyhan depreminde çatı bölgesi göçmüş PBA sanayi yapısı.....	9
Şekil 2.5 1999 Marmara depreminde PBA kolonlar ayakta ama makaslar düşmüş.....	9
Şekil 2.6 Kolon giriş birleşim bölgesinde hasar	10
Şekil 2.7 1998 Ceyhan depreminde kısmi göçme.....	11
Şekil 2.8 1999 Marmara depreminde tümüyle göçmüş PBA sanayi yapısı.....	11
Şekil 2.9 DOSB PBA sanayi yapılarının deprem riski	13
Şekil 2.10 Üçüncü adım sonunda kolondaki çatlaklar.....	16
Şekil 2.11 Deney sonunda kolon alt bölgesinde oluşan çatlaklar.....	16
Şekil 2.12 Kolon yük - yerdeğiştirme ilişkisi	17
Şekil 2.13 Görelî yük- görelî yerdeğiştirme ilişkisi.....	17
Şekil 2.14 Kolon moment – eğrilik ilişkisi	18
Şekil 2.15 Çerçeve kolonunun alt bölgesine yerleştirilen YÖ.....	19
Şekil 2.16 Kolon alt bölgesindeki eğrilik ve hasarlar	20
Şekil 2.17 Deneyden sonra makasın altında boşluk oluşması	21
Şekil 2.18 Çift ve tek yönlü deneylerin yük yerdeğiştirme ilişkisi.....	21
Şekil 2.19 Çerçeve görelî yük- görelî yerdeğiştirme ilişkisi	22
Şekil 2.20 S1 kolonu 1., 2.ve 3. bölge moment-eğrilik ilişkiler	23
Şekil 2.21 Veren hareketi-çerçevenin ikinci kolonu hareketi ilişkisi	24
Şekil 3.1 Laboratuvarın içine yapılan galerisiz KD–RD sistemi	34
Şekil 3.2 KD-RD sisteminin şematik ön görünüşü.....	35
Şekil 3.3 KD ankraj sistemi	36
Şekil 3.4 KD-RD sisteminin şematik arka görünüşü.....	37
Şekil 3.5 RD Ankraj kılıfı.....	37
Şekil 3.6 KD-RD ankraj sistemi ve deney modeli bağlantıları.....	38
Şekil 3.7 Kazı yapılması	38
Şekil 3.8 Kazı sonrası mıcır serilmesi	39
Şekil 3.9 KD Ankraj kutularının montajı.....	40
Şekil 3.10 Beton pompası ile betonun dökümü	40
Şekil 3.11 Beton yüzeyinin alüminyum kutu profil ile düzeltilmesi	41
Şekil 3.12 Betonun titreşimli master ile perdahlanması	41
Şekil 3.13 Reaksiyon duvarı donatı demirlerinin bağlanması	42
Şekil 3.14 Reaksiyon duvarı kalıbı.....	43
Şekil 3.15 Reaksiyon duvarı ankraj kılıflarının yerleştirilmesi	43
Şekil 3.16 Reaksiyon Duvarı	44
Şekil 3.17 Reaksiyon Duvarı arka cephe görünüşü	45
Şekil 3.18 Betonarme yapım işleri tamamlanmış KD-RD sistemi	45
Şekil 3.19 RD'nın dolgu macunu yapılmış durumu	46
Şekil 3.20. RD Veren düşey mesnet kızığının montajı	47
Şekil 3.21. RD Veren düşey mesnet kızığının montajı 2	47
Şekil 3.22. Veren mesnedi yatay kızığının hazırlanması	48
Şekil 3.23. Veren düşey ve yatay mesnet kızığının montajı	48
Şekil 3.24 Veren mesnedinin boyanması.....	49
Şekil 3.25. Veren mesnet bağlantısı hazırlanması	49
Şekil 3.26. Hidrolik veren montajı.....	50
Şekil 3.27 Hidrolik Güç Ünitesinin eski laboratuardan çıkarılması	50

Şekil 4.1 Model kolon kalıp ve donatı projesi	52
Şekil 4.2 PBA Makas kalıp ve donatı projesi	53
Şekil 4.3 Oluk kalıp ve donatı projesi.....	54
Şekil 4.4 Aşık kalıp ve donatı projesi	54
Şekil 4.5 T5- Temeli kalıp ve donatı projesi.....	55
Şekil 4.6 PBA kolon çelik kalıbı	56
Şekil 4.7 PBA model oluk çelik kalıbı	57
Şekil 4.8 PBA Model Makas çelik kalıbı montajı	58
Şekil 4.9 Makas çelik kalıbı montajı-2	58
Şekil 4.10 PBA model aşıkların çelik kalıbı.....	59
Şekil 4.11 PBA kolon etriyeleri	59
Şekil 4.12 PBA kolon donatılarının çelik kalıba yerleştirilmesi.....	60
Şekil 4.13 Aşık donatılarının çelik kalıplara yerleştirilmesi.....	61
Şekil 4.14 Oluk donatısı ve kalıbı.....	61
Şekil 4.15 Makas donatısı	62
Şekil 4.16 Makas donatısının kalıba yerleştirilmiş durumu.....	62
Şekil 4.17 Temel donatısı	63
Şekil 4.18 Temel donatısının kalıba yerleştirilmiş durumu	63
Şekil 4.19 Temellerde perde ve kolon soket kalıplarının yerleştirilmesi.....	64
Şekil 4.20 PBA perde betonu dökümü.....	65
Şekil 4.21 Aşıkların beton dökümü	65
Şekil 4.22 Kolon beton dökümü	66
Şekil 4.23 Makas- beton dökümünden sonra	66
Şekil 4.24 Beton dökümünden hemen sonra elamanlar	67
Şekil 4.25 Betondan alınan küp numuneler	67
Şekil 4.26 Tamamlanmış makas ve temel.....	68
Şekil 4.27 Deney elamanlarının istiflenmesi	68
Şekil 4.28 Aşıkların istiflenmesi.....	69
Şekil 4.29 Hidrolik güç ünitesi	70
Şekil 4.30 PBA Kolon deneyi yükleme düzeneği.....	71
Şekil 4.31 PBA çerçeve deneyi yükleme düzeneği	71
Şekil 4.32 Yükleme düzeneği detayı	72
Şekil 4.33 PBA 3 boyutlu yapı deneyi yükleme düzeneği	73
Şekil 4.34 DARTEC Kontrol konsolu ve bilgisayar	74
Şekil 4.35 Veri toplama cihazı (TDG).....	75
Şekil 4.36 Veri toplama cihazları, bilgisayar ve potansiyometrik cetvel	75
Şekil 4.37 Ölçüm düzeneği ve yerdeğiştirme ölçerlerin montajı.....	76
Şekil 4.38 PBA sanayi yapısı modeli.....	77
Şekil 4.39 Kenar kolon moment-eğrilik ilişkisi.....	81
Şekil 4.40 Orta kolon moment-eğrilik ilişkisi	81
Şekil 4.41 Plastik mafsal özellikleri	82
Şekil 4.42 İtme analizi adımları	83
Şekil 4.43 PBA mevcut yapı yük-yerdeğiştirme ilişkisi (itme analizi)	83
Şekil 4.44 PBA Deney Yapısı bilgileri.....	84
Şekil 4.45 PBA Deney Yapısı kolonu moment-eğrilik ilişkisi.....	87
Şekil 4.46 Kolonun plastik mafsal özellikleri.....	88
Şekil 4.47 Deney Yapısının itme şekli.....	88
Şekil 4.48 Taban kesme kuvveti-Yerdeğiştirme ilişkisi.....	89
Şekil 4.49 Prefabrik yapı deneyinin ölçüm düzenekleri	91
Şekil 4.50 Eleman numaralandırma ve yerdeğiştirme ölçerlerin yerleşimi.....	92
Şekil 4.51 Deney yükleme düzeneği.....	93

Şekil 4.52 3B Deney yapısı yükleme düzeneği	94
Şekil 4.53 Yükleme kirişi ve çelik taşıyıcı sistem	94
Şekil 4.54 PBA yapı deneyi başlangıcı.....	96
Şekil 4.55 PBA yapı deneyi 2	96
Şekil 4.56 Orta aks kolon yerdeğiştirmesi	97
Şekil 4.57 Çekme ve itme anında 1 aksı kolon yerdeğiştirmesi	97
Şekil 4.58 Deney yapısı yerdeğiştirme-zaman ilişkisi	98
Şekil 4.59 Deney yapısından elde edilen yük-zaman ilişkisi.....	98
Şekil 4.60 Yük-Yerdeğiştirme ilişkisi	99
Şekil 4.61 Deney yapısı görelı yük-görelı yerdeğiştirme ilişkisi.....	99
Şekil 4.62 1 aksı kolon ve makasların yaptığı yer değiştirmeler	100
Şekil 4.63 S1 ve S2 kolonlarının yerdeğiştirme-zaman ilişkileri	101
Şekil 4.64 1 aksındaki kolon ve makas uçlarının hareketleri.....	101
Şekil 4.65 2 aksının yer değiştirmesi ve O1 ve O2 olukları hasarları.....	102
Şekil 4.66 2 aksı kolonlarının yer değiştirmesi.....	102
Şekil 4.67 2 aksı makas ve kolonların hareketinin gözlenmesi	103
Şekil 4.68 İtme ve çekmede 3 aksının yaptığı yer değiştirmeler	103
Şekil 4.69 3 aksı veren, kolon ve makas hareketleri.....	104
Şekil 4.70 A aksı veren, kolon ve makas hareketleri.....	105
Şekil 4.71 A aksındaki kolonların hareketi.....	106
Şekil 4.72 B aksı kolonlarının yerdeğiştirme-zaman ilişkisi	107
Şekil 4.73 Makas ve aşıktta oluşan hasarlar	107
Şekil 4.74 O1-S4 birleşim bölgesinde oluşan hasar	108
Şekil 4.75 Hasar görmekte olan kolon alt bölgesi	109
Şekil 4.76 Çatlak işaretlemlerinin yapılması	109
Şekil 4.77 1 aksı kolonlarının moment-eğrilik ilişkisi.....	110
Şekil 4.78 Kolon alt bölgesinde oluşan hasarlar	111
Şekil 4.79 Olukların uç bölgesindeki hasar	111
Şekil 4.80 Makas aşık birleşim bölgesinde hasar	112
Şekil 4.81 Aşık ucunda oluşan hasar	113
Şekil 4.82 A aksı doğrultusunda S1 kolonundan yükleme deney düzeneği	114
Şekil 4.83 A aksından yükleme deneyi.....	115
Şekil 4.84 A aksından yükleme deneyinde aşık ve makas hasarları.....	115
Şekil 4.85 A aksından yükleme deneyi yerdeğiştirme-zaman ilişkisi	116
Şekil 4.86 A aksından yükleme deneyi yük-yerdeğiştirme ilişkisi.....	116
Şekil EK.1 Soket donatısı ve kalıp işleri	126
Şekil EK.2 Soket iç kalıp işleri	126
Şekil EK.3 Soket ve bağ kirişi filizleri.....	126
Şekil EK.4 Bağ kirişi kalıp ve donatı	126
Şekil EK.5 Tamamlanmış bağ kirişleri	127
Şekil EK.6 Perde filizleri.....	127
Şekil EK.7 PBA kolonun vince bağlanması.....	128
Şekil EK.8 Soket içinin hazırlanması	128
Şekil EK.9 Kolonun sokete indirilmesi	128
Şekil EK.10 Oluk montajı	129
Şekil EK.11 Makas montajı-1	130
Şekil EK.12 Makas montajı-2.....	130
Şekil EK.13 Aşık montajı-1	131
Şekil EK.14 Aşık montajı-2	131
Şekil EK.15 BA iskeleti tamamlanmış SY	132
Şekil EK.16 Perde duvar imalatı	132

Şekil EK.17 Duvar imalatı	133
Şekil EK.18 Sıva çalışması	134
Şekil EK.19 Zemin üstü betonu hazırlıkları	134
Şekil EK.20 Alüminyum sandviç panel çatı kaplaması malzemesi	135

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1 Beton dayanımının (M-Ø) ilişkisine etkisi,(N=0)	14
Tablo 2.2 Kuramsal olarak, kolon aksenal kuvvetinin, M- Ø ilişkisine etkisi	15
Tablo 2.3 Çerçeve moment - eğrilik hesap sonuçları	20
Tablo 4.1 Mevcut yapının mod şekilleri ve periyotları	78
Tablo 4.2 ABYYHY 97'ye göre PBA yapının EDYY yöntemi hesap özeti.....	80
Tablo 4.3 PBA deney modelinin EDYY çözümünün sonuçları.....	85
Tablo 4.4 Kesite etkileyen yükler	86
Tablo 4.5 PBA Deney Yapısı kolon moment–eğrilik özeti.....	87
Tablo 4.6 Elemanlarda kullanılan donatıların mekanik özellikleri	90
Tablo 4.7 Yerdeğiştirme ölçerlerin yerleşimi.....	92
Tablo 4.8 PBA Deney yapısına uygulanan yükleme şekli	95
Tablo 4.9 Deney yapısına uygulanan yükleme şekli	114

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_o	Etkin yer ivmesi katsayısı
b	Beton kesitin genişliği
BÇI	Düz beton çeliği
BÇIII	Nervürlü beton çeliği
b_k, h_k	Etriye bacakları arasındaki merkezden merkeze uzaklık
C_c	Pas payı
d	Etkili yükseklik
E_c	Beton elastisite modülü
E_s	Donatı çeliği elastisite modülü
ess	Bir kesitte tekrar eden etriye sayısı
f_{ck}	Karakteristik beton dayanımı
f_{yk}	Boyuna donatı karakteristik akma dayanımı
f_{yw}	Etriye için kullanılan çeliğin karakteristik akma dayanımı
h	Kat yüksekliği
h	Beton kesitin eğilme yönündeki boyutu(yüksekliği)
I	Bina önem katsayısı
M	Moment
M_{akma}	Akma momenti(kNm)
M_{göçme}	Göçme anındaki moment(kNm)
N	Eksenel Yük
N_r	Kolon taşıma kapasitesi
Ø	Eğrilik
Ø_e	Etriye donatısı çapı
Ø_ı	Boyuna donatı çapı
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
Ra(T)	Deprem yükü azaltma katsayısı
s	Etriye aralığı
S(T)	Spektrum katsayısı
T_A, T_B	Spektrum karakteristik periyotları(s)
T_ı	Yapının birinci doğal titreşim periyodu(s)
V	Hacim
V_t	Taban kesme kuvveti
W	Toplam bina ağırlığı

μ_{Δ}	Yerdeğiştirme sünekliği
Δ	Tepe noktası ötelenmesi
ϵ_{sh}	Boyuna donatıda pekleşmenin başladığı birim uzama
ϵ_{sh}	Boyuna donatıda kopma birim uzama
ABYYHY	Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik
3B	Üç boyutlu
BA	Betonarme
DOSB	Denizli Organize Sanayi Bölgesi
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
EDYY	Eşdeğer deprem yükü yöntemi
GÖ	Görelî ötelenme
KD	Kuvvetli döşeme
KPÇ	Katkılı portland çimentosu
LVDT	Lineer Variable Displacement Transducer
PAÜ	Pamukkale Üniversitesi
PBA	Prefabrik Betonarme
PC	Potasyometrik Cetvel
RD	Reaksiyon duvarı
SY	Sanayi yapıları

1. GİRİŞ

Tek katlı Prefabrik Betonarme (PBA) sanayi yapılarının (SY) 1997 Ceyhan ve 1999 Marmara depremlerinde çok başarısız bir performans sergilemesi, bu yapı sisteminin zayıflıklarını iyice sorgulanır hale getirmiştir. Türkiye'deki mevcut sanayi yapılarının bir çoğu bu zayıflıklara sahiptir. Bu yapılardaki riskin azaltılması için, uygulama ve projelendirme hatalarından kaynaklanan zayıflıkların tespit edilip, gerekli iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir. Kolon temel bağlantısı dışındaki tüm birleşimlerinin mafsallı olduğu ve rijit bir diyaframın olmadığı bu sistemlerin deprem davranışını tam olarak anlamak zordur. Sistemin gerçek davranışının anlaşılabilmesi için deneysel olarak incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, mevcut tek katlı PBA SY'nın gerçek yapısal davranışını deneysel olarak incelemektir. DPT tarafından desteklenen BAP-08-11-DPT.2004K120760 Kodlu "Deprem Hasarlı Binaların Onarımı ve Mevcut Binaların Güçlendirilmesi: Dış Perde Duvar Uygulaması" adlı proje kapsamında gerçekleştirilen bu çalışma, projenin daha sonraki aşamaları olan dış perde ile güçlendirme çalışmaları için bir alt yapı ve referans oluşturmuştur. Prefabrik Betonarme sistemlerin deprem etkileri altındaki davranışı ancak deneysel çalışmalarla kavranabilir. Bu çalışmanın konusu olan tipteki yapıların davranışının anlaşılabilmesi için yapılması gereken deney yöntemleri de ayrıca araştırma konusu olan konulardandır.

Bu çalışma kapsamında tek katlı mafsallı bağlantılı prefabrik betonarme sanayi yapıları incelenmiştir. Bu yapıların tüm bağlantıları mafsallı olduğunda ve çatı düzeyinde bir rijit diyaframın olmamasından dolayı çerçeveler birbirinden bağımsız hareket etmektedir. Bu nedenle makas doğrultusundaki davranışın incelenmesi için, daha kritik olan orta aks çerçevesi deneyi, bu DPT projesi kapsamında, Nohutçu'nun (2007) doktora tez çalışması kapsamında yapılmıştır.

Bu çalışmada üç boyutlu tek katlı prefabrik yapı sistemi deneyi yapılmıştır. Bu deneyde sistemin yük - deplasman ilişkisi ve kolonlardaki moment - eğrilik ilişkileri elde edilmiştir. Ayrıca, makasların hareketleri ve yük aktarmadaki durumu incelenmiştir. Oluk ve aşıkların davranışı ve çatı seviyesinde rijit diyafram etkisine katkısı araştırılmıştır.

Bu tez çalışması, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından desteklenen BAP-08-

11-DPT.2004K120760 Kodlu “Deprem Hasarlı Binaların Onarımı ve Mevcut Binaların Güçlendirilmesi: Dış Perde Duvar Uygulaması” adlı proje kapsamında yapılmıştır. Projenin başkanlığını Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Ergin ATIMTAY yapmaktadır. Çalışmaların değişik bölümleri 6 üniversite tarafından yürütülmektedir. Pamukkale Üniversitesi bu projenin “Prefabrik Betonarme Endüstri Yapılarının Dış Perde Duvar Uygulaması İle Güçlendirilmesi” bölümü ile ilgili çalışmaları yürütmektedir. Dış perde ile güçlendirme iki yöntem ile yapılmıştır. Bunlardan birisi betonarme dış perde, diğeri ise çelik dış perde ile güçlendirme yöntemleridir (Tama 2005). Bu sırada meydana gelen 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi ile ilgilide bir inceleme gezisi ve raporu hazırlanarak yayınlanmıştır (Kaplan vd 2004).

Bu çalışmanın devamında, Proje kapsamında Halil Nohutçu'nun (2007) “Mevcut Prefabrik Betonarme Endüstri Yapılarının Dış Perde Duvar Uygulaması ile Güçlendirilmesi” adlı doktora çalışması yapılmıştır. Çalışmalarda, aynı proje kapsamında birlikte yapıldığı için, bazı ortak noktalar ve benzerlikler bulunmaktadır.

2. PREFABRİK YAPILAR

Yapıyı oluşturan elamanların önceden fabrikada üretilmesi işlemine prefabrikasyon, bu prefabrik elamanların şantiye de birleştirmesi ile oluşturulan yapıya prefabrik yapı denir. Prefabrik yapı sistemleri kolon – kiriş birleşim bölgesi özelliğine göre, mafsallı bağlantılı veya moment aktaran birleşimli olarak oluşturulabilmektedir.

Prefabrikasyon 19.yüzyılın başlarında başlamış, konu ile ilgili ilk makale 1836 yılında İngiltere’de yayılanmış ve ilk patent 1844’de yine İngiltere’de alınmıştır. İkinci Dünya savaşından sonra yıkılan kentlerin yeniden ve hızlı bir şekilde kurulması ihtiyacı prefabrikasyonun yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır.

Türkiye’de prefabrikasyon daha çok tek katlı sanayi yapılarında kullanılmış, çeşitli nedenlerden dolayı, konut türü çok katlı yapılarda yaygınlaşmamıştır. 1998 Ceyhan ve 1999 Marmara depremlerinde prefabrik sanayi yapılarının kötü bir performans göstermesi bu sektörü yavaşlatmıştır.

2.1. PBA Yapıların Avantajları

Üretimin fabrikalarda yapılması ile yüksek dayanımlı beton elemanlar üretilebilir. İnşaat yapımında hava koşullarından daha az etkilenilir. Seri üretim teknikleri ve gelişmiş araç-gereçlerle üretim ve montaj süresi daha kısadır. Daha ince kesitlerin kullanılabilmesi, yapının hafiflemesine ve dolayısı ile daha az deprem yüklemesine maruz kalmasına katkı sağlamaktadır. Kalıp ve iskele masrafından tasarruf edilirken, daha geniş açıklıkların daha ekonomik şekilde kapatılması mümkün olmaktadır. Fabrika ortamında çok değişik biçim ve renklere eleman üretilebilmektedir.

2.2. PBA Yapıların Dezavantajları

Deprem bölgelerindeki yapılarda birleşim noktaları çok iyi tasarlanıp uygulanmazsa ciddi sorunlara neden olmaktadır. Daha çok deprem etkisi olmayan bölgeler için geliştirilen ve ülkemizde de hızla yayılan bu yapı sistemi, mevcut hali ile deprem bakımından sorunlar içermektedir. Deprem yüklemelerini karşılamak için gerekli elemanlar konulmalı veya kolonlar daha büyük seçilmelidir. Prefabrik elemanların

yerine taşınması ve montajı için uzun araçlar ve vinç kullanmak zorunluluğu vardır.

2.3. PBA İskelet Sistemler

Mevcut sanayi yapılarında kullanılan kolon, kiriş ve aşıkların uygun bir biçimde birleştirilmeleri ile oluşan yapıya yapının iskeleti denir. Çatı örtüsü olarak kullanılan hafif beton plaklar veya alüminyum sandviç paneller taşıyıcı değildir. Dış cephe kaplamaları genellikle hafif betonarme panolardır.

Prefabrik betonarme iskelet sistemlerinin elemanları fabrika ortamında üretildiği için çok kaliteli olmaktadır. Sistemin zayıf noktası birleşimleridir. Birleşimler şantiye ortamında yapılmak zorundadır. Sisteme gelen düşey ve yatay yükleri güvenle aktarabilmesi gereken birleşim bölgelerine çok büyük özen gösterilmelidir.

Amacı yükleri bir elemandan diğerine aktarmak olan birleşimlerin, aktarılan yükün özelliğine uygun olması gerekir. Göçme şekilleri iyi analiz edilmelidir. Birleşimler yapının dengesini, yapım aşamasında ve sonrasında sağlamalıdır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında en önemli konu sünekliktir. Birleşimlerin, yapının sünek davranışına uygun tasarlanması çok önemlidir.

Uzun elemanların hacim değişiklikleri dikkate alınmalı, birleşimlerdeki çelik elemanlar paslanma ve yangın tehlikesine karşı mutlaka korunmalıdır. Bütün bunlar yapılırken detayların ve montajın yönteminin basitliğine ve uygulanabilirliğine dikkat edilmelidir.

2.4. Yapım Aşamaları

Her yapının kendine özgü şartları olmakla birlikte, genel olarak, prefabrik betonarme sanayi yapılarının yapım aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Alt yapı çalışmaları: Kazı işleri, Temel soketleri, Bağ hatılları ve Perde duvarlar

Montaj çalışmaları: Kolon montajı, Oluk montajı, Ara kat kirişi montajı, Makas montajı, Aşık montajı, Perde duvar yapımı.

Bu aşamalardan sonra oluk su yalıtımı ve oluk deliklerinin kontrolü, montaj sonrası pim yerlerinin doldurulması işleri gelmektedir. Daha sonra, çatı kaplaması, duvar imalatı, tesviye betonu dökülmesi, kapı ve pencerelerin montajı, sıva işleri gibi aşamalar

sayılabilir. Bu aşamalar gerçek bir uygulamadan alınan şekiller ile EK-1’de anlatılmaktadır.

2.5. PBA Sanayi Yapılarında Hasarlar

Bu yapılarda temeller ve soketler, genellikle, yerinde dökme yapılmaktadır. PBA kolonlar soketlere yerleştirildikten sonra soket ile arasındaki boşluk harç ile doldurulmaktadır. Bu bağlantı ankastre kabul edilmektedir. PBA çatı makasları kolonların üst kısmındaki kısa konsolda bırakılan pimlere geçirilerek mafsallı bağlantı sağlanır. Pimlerle makas deliği arasındaki boşluk çimento şerbeti ile doldurulmakta idi, şimdilerde ise büzülmeyen hazır harçlar kullanılmaktadır. PBA oluklar ve aşıklar da mafsallı olarak kolonlara ve makaslara bağlanmaktadır.

Bu tip yapılarda gözlenen hasar türleri, temel bölgesi, tümenden veya bölgesel göçme, kolonların alt kısımlarında mafsallaşma, kolonların aşırı yanal ötelenmesi ve çatı bölgelerinde oluşan hasarlar olarak incelenebilir.

2.5.1. Temel bölgesi hasarları

Burada sözü edilen bölge zemin üstü betonu, soketler ve temelleri kapsamaktadır. Bu bölgedeki hasarlar temellerin dönmesi, bağ kirişlerinin ve zemin üstü betonunun çatlaması ve kolonların zemin üstü betonu ile temas ettiği bölgelerindeki hasarlardır. Oluşan hasarların başlıca nedenleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Temellerin altındaki zeminin cinsi, zemin emniyet gerilmesi, zemin hakim periyodu, sıvılaşma riski gibi özelliklerinin bizzat ilgili yapı alanı için yapılan deneyler ve araştırmalarla tespit edilmediği için, zemin, üzerine gelen yükleri taşıyamamakta ve çökmektedir. Çöken zeminin üzerindeki temel gibi elemanlar da çöker, döner veya çatlar.

Üst yapıdan gelen yüklerin etkime türü ve miktarındaki yanlış varsayımlar temellerde hasarlara neden olur. Özellikle deprem sırasında gelen tersinir tekrarlı yüklemelerin miktarı çok iyi hesap edilmelidir.

Zemin üstü betonunun soketlerin üst kotundan daha yukarıda olması durumunda, kolonların bu betona temas eden noktasında mesnet oluşmaktadır. Hesaplarda öngörülmemiş bu mesnet, temel dönmesine ve kolonda hasara neden olabilmektedir. Bu

durumu önlemek için kolon ile zemin betonu arasına yeteri kalınlıkta strafor gibi bir malzeme yerleştirilmelidir.

2.5.2. Kolon hasarları

PBA kolonlarda hasarlar daha çok kolon alt bölgesinde, soket ile birleşim bölgesine yakın bölgelerde oluşmaktadır. Bu hasarlar eğilme çatlaklarından meydana gelen eğilme mafsallı şeklinde görülmektedir. Soket üst kotundan, kolon genişliğinin yarısı, $h/2$, kadar yukarıda yoğunlaşmaktadır (Bayülke 1998). Ayrıca kolonların aşırı yanal ötelenmesi de önemli bir hasar türüdür.

Şekil 2.1’de göçmüş bir PBA sanayi yapısı kolonunun alt bölgesindeki mafsallaşma görülmektedir. Görüldüğü gibi etriye sıklaştırması yapılmış ama etriye kancaları 135 değil 90 derece bükülmüştür. Boyuna donatılar burkulmuş ve kolon taşıma gücünü yitirmiştir. Buradaki göçme nedeni kesite gelen deprem yüklerinin tasarımda öngörülen yüklerden çok fazla olmasıdır. Bu tip hasarlı kolonlar, bölgesel olarak mantolama (Yüce vd 2004) veya FRP malzemeler ile sargılama yöntemleri ile güçlendirilebilmektedir.



Şekil 2.1 PBA kolonda mafsallaşma

PBA kolonlarda aşırı yanal ötelenme ve dolgu duvar nedeniyle farklı yanal ötelenmeler Şekil 2.2’de görüldüğü gibi yapıyı kullanılamaz duruma getirmektedir.



Şekil 2.2 Kolonlarda farklı yanal ötelenme ve dolgu duvar etkisi

2.5.3. Çatı bölgesi hasarları

Tek katlı PBA sanayi yapılarının çatı bölgesinde ana taşıyıcı olarak genellikle uzun PBA makaslar, makasların üzerinde PBA veya öngerilmeli PBA aşıklar, aşıkların üzerinde ise alüminyum sandviç paneller bulunur. Ayrıca makaslara dik doğrultuda kolon üstlerine oturan PBA oluklar bulunur. Daha önceden de belirtildiği gibi, bütün bu elemanlar bir birlerine tek veya iki pim ile bağlanmaktadır. Bu durumu ile çatı rijit diyafram oluşturamamaktadır. Rijit diyafram olmayınca yapı elemanlarının hareketleri birbirinden farklı olabilmekte ve davranış çok karmaşık bir hale gelmektedir.

Şekil 2.3’deki, 1999 Marmara depreminde hasar gören tek katlı PBA sanayi yapısındaki, çatı makasının yapmış olduğu yatay ötelenme, çok iyi incelenmesi gereken bir durumdur. Makasın uzun doğrultusundaki orta bölgesi uç bölgelerinden çok fazla ötelenmiştir. Aynı zamanda makasın bu bölgesinin üst bölgesi de alt bölgesine göre daha fazla yanal ötelenme yapmıştır. Atımtay’ın (2000b) dediği gibi burada çok önemli bir noktaya dikkat çekmekte yarar vardır. Yapının her noktasının, her molekülünün bir

kütlesi vardır. Bu kütle birden bire bir ivmeye maruz kalınca, bu noktada bir kuvvet oluşur. Öyle ise, deprem kuvveti rüzgar gibi, yapı dışından gelerek taşıyıcı sistemi zorlayan bir kuvvet değildir. Deprem kuvveti, yayılı kütlesi olan yapının ani ivmeye maruz kalmasından dolayı, yapı bünyesi içinde ortaya çıkan bir zorlamadır. Bu özelliğinden dolayı, deprem kuvveti “eylemsizlik kuvveti” olarak da tanımlanır.

Bu şekilde görülen makas kirişinin boyunun çok uzun ve kesitinin değişken olmasından dolayı kütesinin de benzer şekilde dağılması ve bunun sonucu olarak gelen deprem kuvvetlerinin de bu duruma orantılı olarak gelmesinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 2.4’de 1999 Marmara depreminde çatı bölgesi tamamen göçmüş tek katlı bir PBA sanayi yapısı görülmektedir. Bu örnekte de görüldüğü gibi, sistemin sadece yatay yük taşıyan elemanlarının, kolonların, güçlü olması ve dolayısıyla hasar görmemesi, yapıyı ve içindekileri kurtarmayabilir.

Şekil 2.5’de görüldüğü gibi çatı kirişleri ile kolon bağlantı yeri, kolon yüzünden uzakta yapılmış olmasına rağmen, kirişler bağlantı bölgelerinden kopmuş veya devrilmiştir.



Şekil 2.3 Marmara depreminde PBA makas yanal ötelenmesi



Şekil 2.4 1998 Ceyhan depreminde çatı bölgesi göçmüş PBA sanayi yapısı



Şekil 2.5 1999 Marmara depreminde PBA kolonlar ayakta ama makaslar düşmüş

Çatı bölgesindeki hasarların bir başka türü ise Şekil 2.6'da görüldüğü gibi bağlantı detaylarının yetersizliğidir (Ersoy vd 2000). Kirişin kolon kısa konsoluna oturduğu bölgenin boyutları çok küçük olduğu için bu bölgede gerilmeler çok fazla olmaktadır.

Ayrıca kolon kısa konsol hasarının incelenmesinden konsol uç kısmında yeterli donatı -- olmadığı görülmektedir.



Şekil 2.6 Kolon kiriş birleşim bölgesinde hasar

2.5.4. Bölgesel veya tümenden göçme

Hasar türlerinin en kötüsü tümenden göçme veya kısmi göçmedir. 27 haziran 1998 tarihinde Adana – Ceyhan’da Ritchter ölçeğine göre 6.3 büyüklüğünde deprem meydana gelmiş, çoğunluğu Ceyhan’da olmak üzere 145 kişi hayatını kaybetmiş, yüzlerce kişide yaralanmıştır (Kaplan 2003). Bu depremde organize sanayi bölgesindeki prefabrik yapılar büyük hasar görmüştür.

PBA sanayi yapısının bir bölgesinde ilave ara kat, kısmi dolgu zemin, ilave güçlü dolgu duvarlar gibi nedenlerle, zaten yanal kuvvetlere karşı zayıf olan yapı, bölgesel olarak taşıma gücünü yitirerek göçebilir (Şekil 2.7).

PBA sanayi yapılarındaki, kolon alt bölgeleri dışındaki, bütün bağlantıların mafsallı olmasından dolayı sistemde elemanlar arasında moment aktarımı ve yardımlaşma olmamaktadır.

Hasar türlerinin en büyüğü olan, yapının tümüyle göçmesi Şekil 2.8’de

görülmektedir. Yapının tüm kolonları, kirişleri ve aşıkları öçmüş ve yere yatmıştır. Bu tip göçme ender görülen bir göçme şeklidir, çünkü prefabrik kolonların bu şekilde göçmesi için üzerine gelen aksenal yükün çok fazla olması veya elaman üretiminde bir hata olması gerekmektedir. Normal sanayi yapılarında ise kolonlara gelen aksenal yük bu seviyelere çıkmamaktadır.



Şekil 2.7 1998 Ceyhan depreminde kısmi göçme



Şekil 2.8 1999 Marmara depreminde tümüyle göçmüş PBA sanayi yapısı

Tek katlı mafsallı bağlantılı PBA sanayi yapılarındaki hasarların nedenleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Çatı makas kirişlerinin dönmesini engelleyecek bir sistemin olmaması kolayca yana devrilmelerine neden olmaktadır.

Sistemin çatı düzeyinde bir rijit diyaframının olmaması ve tüm bağlantıların mafsallı olması, sistemde, elemanlar ve çerçeveler arası yardımlaşmanın olmamasına neden olmaktadır.

Sistemin yanal rijitliğinin yetersiz olmasından dolayı, kolonların tepe noktası çok büyük ötelenme yapmaktadır.

Hesaplarda göz önüne alınmamış olan ara katlar ve dolgu duvarlar davranışı daha da kötüleştirmektedir.

Kolon kısa konsolları ve makas kirişlerinin uçlarındaki detaylandırmaların yetersizliğinden bu bölgelerde ezilmeler olmaktadır.

Makas kirişlerinin kolon kısa konsoluna tek pim ile bağlandığı bağlantılardaki pimler üzerine gelen yükleri taşıyamadığından pimlerde kopmalar ve/veya sıyrılmalar olmaktadır.

2.6. Önceki Çalışmalar

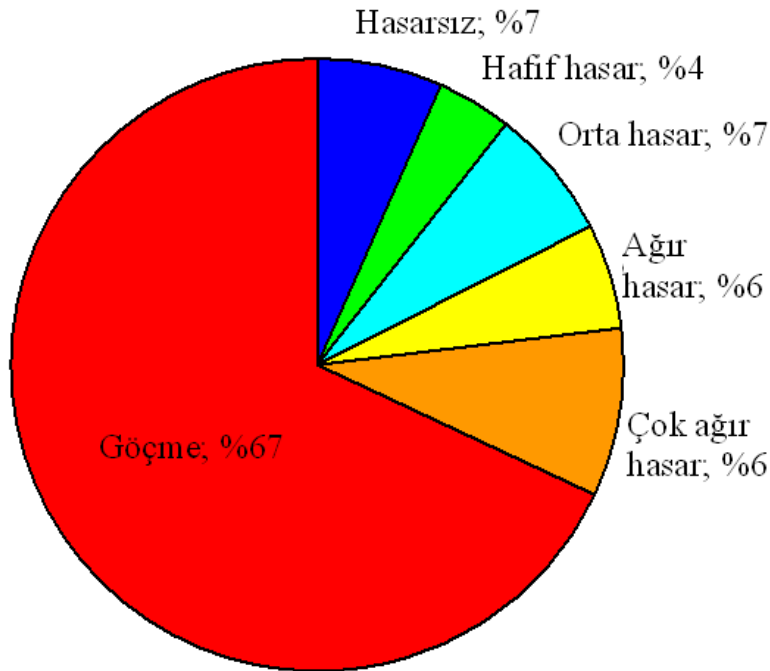
1998 Ceyhan ve 1999 Marmara Depremlerinde tek katlı mafsallı bağlantılı prefabrik betonarme (PBA) sanayi yapıları çok ciddi hasar görmüştür. Bu yapı sisteminin, depremlerden önce de, genel sistem zayıflıkları biliniyordu. Son depremler durumun ciddiyetini çok acı bir şekilde gözler önüne serdi. Bu tarihten sonra konu ile ilgili araştırmalar hız kazanmıştır.

Kaplan vd (2005), mevcut tek katlı PBA sanayi yapıları hakkında, sağlam veriler elde etmek için öncelikle, Türkiye'deki sanayi yapı tiplerinin aynısının uygulandığı, Denizli Organize Sanayi Bölgesinde, araştırmalar yapmışlardır. Bu bölgedeki 183 sanayi yapısına ait saha çalışmasıyla toplanan veriler, geliştirilen yazılım ile değerlendirilerek prefabrik sanayi yapılarının deprem dayanımları ortaya konulmuştur. Ayrıca, elde edilen bu veriler ile, ilgili yapı sisteminin gerçeğe çok yakın, modelleri oluşturulmuştur.

Bu yapıların büyük bir kısmı kiriş-kolon bağlantıları mafsallı sistemlerdir. Sistemdeki bu süreksizlik ve ağır makas kirişleri, deprem esnasında bu birleşimleri zorlamaktadır. Genel olarak prefabrikasyon olması sebebiyle iyi olan beton kalitesine rağmen, sistemde elemanlar arası yardımlaşmanın olmaması da bir başka sorundur.

Şekil 2.9'da görülen çalışma sonucuna göre, incelenen yapıların %67'sinin, ABYYHY98'de (1998) öngörülen tasarım depreminin oluşması durumunda, göçme riskiyle karşı karşıya olduğu görülmektedir. Bu ölçekte bir depremi hasarsız veya hafif-orta hasarla atlatabilecek yapı oranı sadece %18'dir. Çok ağır veya ağır hasar görecektir yapı oranı ise %15'tir.

Elde edilen veriler, Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nin büyük bir risk altında olduğunu göstermektedir. Acilen her yapı için detaylı incelemeler yapılmalı ve gerekli olanlar için güçlendirme çalışması yapılmalıdır. Benzer çalışmaların deprem riski yüksek bölgelerde yer alan, ekonomik potansiyeli yüksek sanayi bölgelerinde de acilen yapılması ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.



Şekil 2.9 DOSB PBA sanayi yapılarının deprem riski

Bu amaca yönelik araştırma projelerinden biri, Devlet Planlama Teşkilatı(DPT) tarafından desteklenen, Prof. Dr. Ergin ATIMTAY'ın yürütücülüğündeki, "Yapıların Dış Perde Duvarlar İle Güçlendirilmesi" projesidir. Projenin Pamukkale Üniversitesi

koordinatörü Prof. Dr. Hasan KAPLAN'dır. Bu proje kapsamında “prefabrik sanayi yapılarının mevcut durumunun deneysel olarak araştırılması” çalışması, bu yapı sisteminin davranışının deneysel olarak ortaya konması için gerçekleştirilmiştir.

Proje kapsamında, Nohutçu (2007) ile ortak yapılan ve aynı zamanda bu çalışma da da alt başlık oluşturan bazı çalışmalara da değinilecektir. Deneysel çalışmaların birinci aşamasında, tek kolon deneyleri, ikinci aşamasında çerçeve ve üçüncü aşamasında üç boyutlu (3B) yapı deneyi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra PBA perde ile güçlendirme deneysel çalışmaları yapılmıştır.

Kolon Deneyi

Tek kolon deneyinin amacı, yapı modelini oluşturmada kullanılan bir kolonun yanal yükleme altındaki davranışını tespit etmektir. Ayrıca, model kolonun sayısal çözümlerden elde edilen moment-eğrilik ilişkileri ve taşıma kapasiteleri, deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak, deney düzeneğinin çalışması incelenmiştir.

Deneysel olarak kullanılan prefabrik BA (PBA) kolonlar 18x18 cm kare kesitli, 290 cm uzunluğundadır. PBA sanayi yapılarının kolonlarına ve model kolonlara gelen eksenel yükün çok az olmasından dolayı, davranışı etkilemeyeceği varsayımı ile, numunenin eksenel yükü (N), N=0 kabul edilerek, beton basınç dayanımının moment kapasitesi(M) ve eğriliğe (θ) etkisi kuramsal olarak araştırılmıştır (Tablo 2.1). Böylece deneylerde ortalama beton dayanımı kullanılması mümkün olmuştur.

Tablo 2.1 Beton dayanımının (M- θ) ilişkisine etkisi,(N=0)

Beton Dayanımı (Mpa)	Akmada		Kopmada	
	M (kNm)	θ (rad/m)	M (kNm)	θ (rad/m)
30	11.26	0.025	13.55	0.937
34	11.35	0.028	13.56	0.934
38	11.31	0.020	13.57	0.932
42	11.37	0.021	13.59	0.930
46	11.43	0.023	13.61	0.930
50	11.48	0.024	13.64	0.930

Tablo 2.1’de görüldüğü gibi, $N = 0$ durumunda, 30 ve 50 MPa beton dayanımına sahip kolonların, moment kapasitesindeki artış % 1.9 mertebesindedir. Kopma eğriliğindeki değişim sifıra yakındır. Beton dayanımının, moment kapasitesi üzerindeki etkisinin az olduğu açıkça görülmektedir. Deney elemanlarının üretimi sırasında alınan, beton numunelerin basınç testlerinden elde edilen sonuçların ortalaması olarak, basınç dayanımı 40 MPa kabul edilmiştir.

Deneysel çalışmalardaki kolonlara, tek kolon deneyinde $N=0$, çerçeve deneyinde %0.15 ve 3 boyutlu yapı deneyinde %0.47 eksenel yük gelmektedir. Deneylerdeki kolonlara gelen eksenel kuvvete göre moment ve eğrilik kapasitelerindeki değişim Tablo 2.2’deki ilk 3 satırda verilmiştir. Görüldüğü gibi 3B yapı deneyindeki orta kolona gelen 7.5 kN eksenel yük uygulandığında kolonun moment kapasitesi sadece %4.5 artmaktadır. Kolonun taşıma kapasitesi, (N_r), $N_r=bhf_{ck}=0.18 \times 0.18 \times 49000=1587$ kN.

Tablo 2.2 Kuramsal olarak, kolon eksenel kuvvetinin, M- \emptyset ilişkisine etkisi

Deney adı	Kolon N (kN)	Kolon N/N _r (%)	Akmada			Göçmede		
			Mr (kNm)	Mr artış oranı (%)	Eğrilik (rad/m)	Mr (kNm)	Mr artış oranı (%)	\emptyset Eğrilik (rad/m)
Kolon	0.0	0.00	11.48	0	0.024	13.64	0.0	0.931
Çerçeve	2.5	0.15	11.64	1.4	0.023	13.79	1.0	0.930
3B yapı	7.5	0.47	12.00	4.5	0.022	14.16	3.8	0.934
Sanal	158.7	10.00	22.26	94	0.027	22.4	64.0	0.840

Ersoy (1998) tarafından geliştirilen yazılım ile moment–eğrilik, SAP2000[®] (2000) yazılımı ile itme analizi yapılarak, kolonun taşıyacağı yük ve yerdeğiştirme hesaplanmıştır. Bu değerler yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılarak uygunluğu gösterilmiştir. Kolon 11.4 kNm momentte akmaya başlamakta, 13.55 kNm momentte ise göçmektedir. Kolonun akma noktasında eğriliği 0.027 iken göçme noktasında ise 0.93 olmaktadır.

Hesaplarda kolonun etkili rijitliği kullanılmıştır. Etkili rijitlik olarak, brüt rijitliğin %25’i kabul edilmiştir. Deneyler sonucunda da, etkili, çatlama kesit, rijitliğinin, brüt kesit rijitliğine oranının, yaklaşık olarak, 0.25 olduğu görülmüştür. Kolonun mafsal boyunun, kolon en kesit boyunun yarısı, $180/2=90$ mm olduğu görülmüştür. Kolona

yatay yük, kolon tepe noktasına yakın, 241 cm yükseklikten uygulanmıştır.

İtme analizi sonucuna göre, kolonda mafsallaşma, 50 mm yerdeğiştirme ve 5.10 kN yatay yükte başlamakta, 250 mm yerdeğiştirme ve 6 kN yüklemeye ise geçmektedir. Moment kolu = $2.41 - (0.47/2) = 2.175$ m.,

$$M_{akma} = 5.10 \times 2.175 = 11.09 \text{ kNm}, M_{göçme} = 6.0 \times 2.175 = 13.05 \text{ kNm}$$

İtme analizinden elde edilen bu değerler, Ersoy (1998) Moment-eğrilik yazılımından elde edilen değerlere, $M_{akma}=11.40$ kNm, $M_{göçme}=13.55$ kNm, oldukça yakındır.

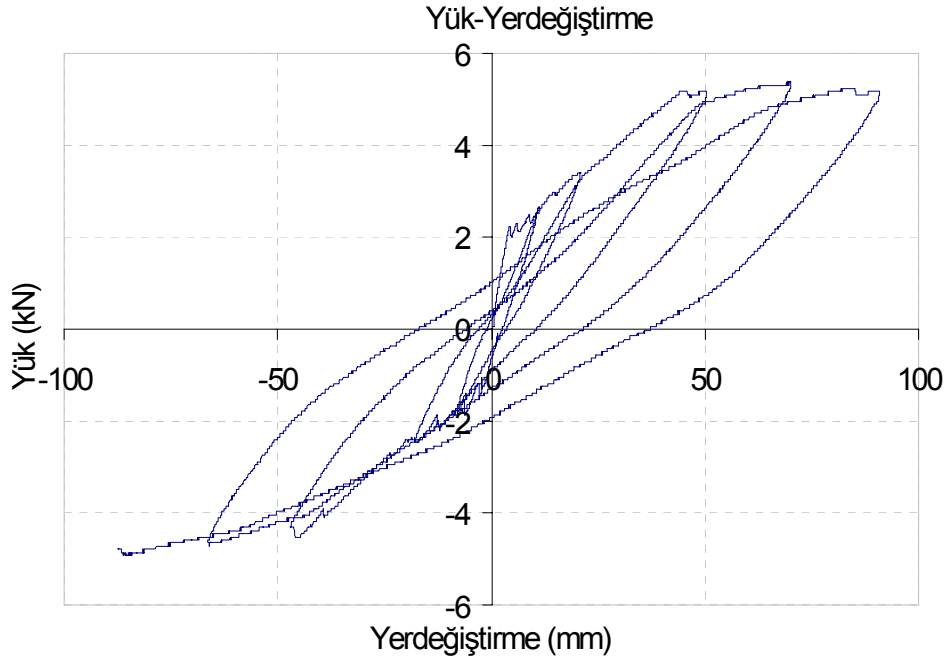
Yatayda ve düşeyde oluşan yerdeğiştirmeleri ölçmek için yerleştirilmiş, yerdeğiştirme ölçerler Şekil 2.10 görülmektedir. Şekil 2.11’de görüldüğü gibi, eğilme çatlakları şeklindeki plastik mafsal, kolon tabanından 90 mm yukarıda oluşmuştur. Deneyden elde edilen yük-yerdeğiştirme ilişkisine göre, akma noktasında, yerdeğiştirme 45 mm, yük ise 5.16 kN’dur (Şekil 2.12).



Şekil 2.10 Üçüncü adım sonunda kolondaki çatlaklar

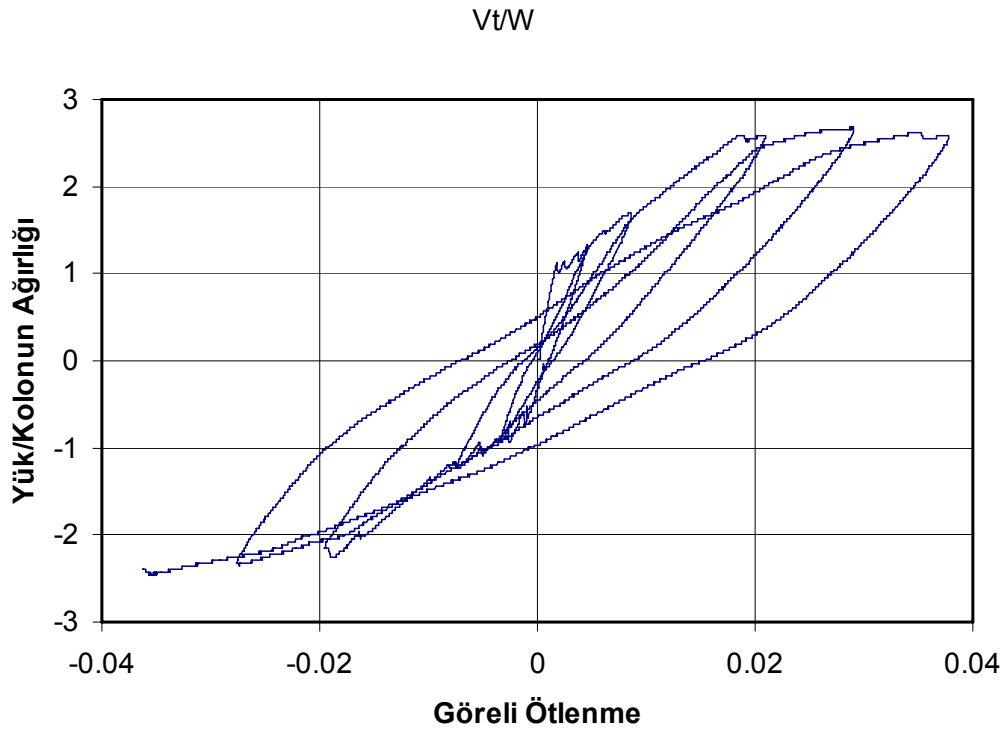


Şekil 2.11 Deney sonunda kolon alt bölgesinde oluşan çatlaklar



Şekil 2.12 Kolon yük - yerdeğiştirme ilişkisi

Deneyden elde edilen görelü yük-görelü yerdeğiştirme ilişkisi ise Şekil 2.13'de görölmektedir.

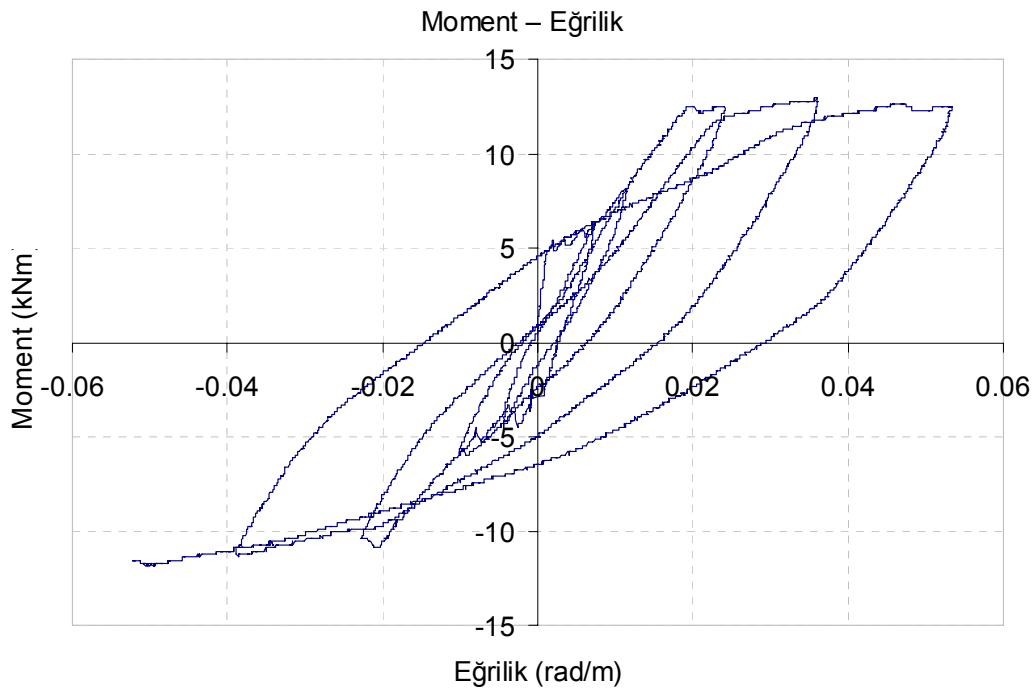


Şekil 2.13 Görelü yük- görelü yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 2.14’de görülen moment-eğrilik ilişkilerine göre, 0.001 rad/m eğrilik ve 5 kNm momentte çatlayan kolon, itme yönünde 12.65 kNm moment ve 0.018 rad/m eğrilikte, çekme yönünde ise 11 kNm moment ve 0.02 rad/m eğrilikte akmaya başlamıştır. $M = 12.65$ kNm değerinden sonra, moment sabit kalırken eğrilik hızla artmaktadır.

Bu deney sonucunda, proje kapsamında daha sonraki aşamalarında gerçekleştirilen, çerçeve ve 3B yapı deneylerinde kullanılan, tip kolonun gerçek davranışı elde edilmiştir. Elde edilen davranışın kuramsal hesaplar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu deneyin amaçlarından biri olan, laboratuara yeni kurulan ölçüm ve yükleme sistemlerinin çalışmasının kontrolü yapılmış ve sistemlerin uygun olduğu görülmüştür. Kolonun, soketinden oynama durumları kontrol edilmiş ve herhangi bir hareketin olmadığı görülmüştür. Kolonun altındaki rijit temelin, kuvvetli döşeme ile bağlantısının etkinliği, yapılan ölçümlerle teyit edilmiştir.

En önemli sonuçlarından biri de, araştırmacıların deneysel çalışma deneyiminin ve cesaretinin gelişmesine çok büyük katkı sağlamasıdır.



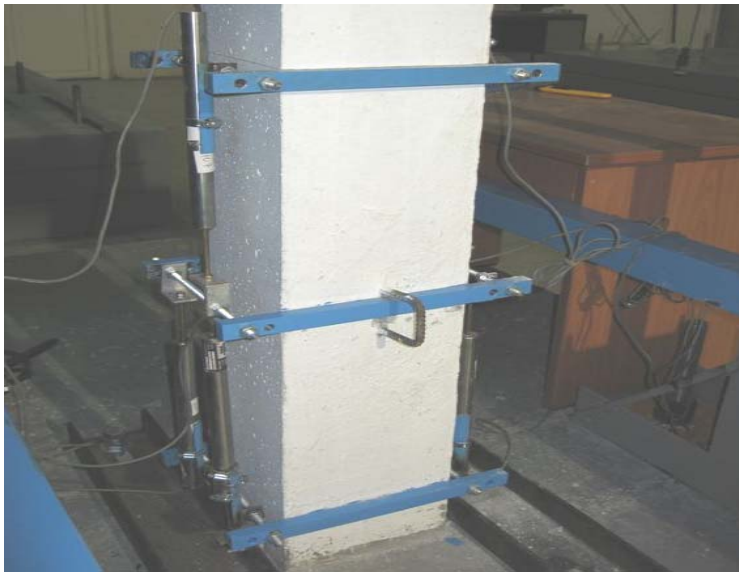
Şekil 2.14 Kolon moment – eğrilik ilişkisi

Çerçeve Deneyi

Bu deneyin amacı, yapı modelini oluşturan, makas doğrultusuna paralel, bir çerçevenin yatay yükler altındaki davranışını incelemektir. Model çerçevenin sayısal çözümlerden elde edilen moment eğrilik ilişkileri ve taşıma kapasiteleri deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak tekrarlı yükler altında davranışları incelenmiştir.

Çerçevenin açıklığı 7m, makas altı yüksekliği 250 cm dir. Kolonlar 18 x 18 cm en kesit ölçülerindedir. Kolonunun alt bölgesine, moment-eğrilik ölçümleri için, karşılıklı iki yüzeye, düşey doğrultuda yerdeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir (Şekil 2.14).

Şekil 2.15’de görüldüğü gibi eğrilik ölçümleri, kolon tabanından başlayarak üç bölge halinde alınmıştır. 1.bölge, kolon tabanından 90 mm yukarisına kadar olan bölgedir. Buradaki 90 mm, kolon plastik mafsal boyudur. Plastik mafsal boyu $h/2$, $180/2 = 90\text{mm}$ olarak kabul edilmiştir. 2. bölge 310 mm, 3. bölge ise 280 mm uzunluğundadır. Önceki çalışmalardan, kolon eğriliğinin, yaklaşık olarak, %90 mertebesinde, 1. bölgede olması beklenmektedir.



Şekil 2.15 Çerçeve kolonunun alt bölgesine yerleştirilen YÖ

PBA sanayi yapılarında tüm bağlantıların mafsalı olmasından ve çatı düzeyinde bir rijit diyafram olmamasından, çerçeveler birbirinden bağımsız hareket etmektedir. Bu nedenle, bu doğrultuda, orta aks çerçevelerinden birisi için deney yapılmıştır. Çerçeve davranışını incelemek için, çerçeve kolonlarının alt bölgesinde plastik mafsal ve moment –eğrilik özellikleri ve yük-yerdeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir.

Kolonlara, aksenal yük olarak, makastan gelen, 2.50 kN yük uygulanmıştır. Çerçeve kolonları için, Ersoy (1998) tarafından geliştirilen moment – eğrilik yazılımı ile yapılan hesaplardan elde edilen sonuçlar Tablo 2.3’de özetlenmiştir.

Tablo 2.3 Çerçeve moment - eğrilik hesap sonuçları

		Moment (kNm)	Eğrilik (rad/m)
Çerçeve	Akmada	11.5	0.027
	Göçmede	13.7	0.93

Çerçeve deneyinin, SAP 2000[®] (2000) programı ile itme analizi yapılmış ve kuramsal olarak çerçevenin taşıyacağı yük ve yerdeğiştirme hesaplanmıştır. Kolonun makasla birleştiği noktadan, y yönünde, yapılan statik itme analizi sonuçlarına göre, çerçevede mafsallaşma, 45 mm yerdeğiştirme ve 9.67 kN yükte başlamaktadır. Bu noktadan sonra, yük çok az artarken yerdeğiştirme çok hızlı artmaya başlamış, 240 mm yerdeğiştirme ve 9.67 kN yük seviyesinde sistem göçmeye ulaşmıştır.

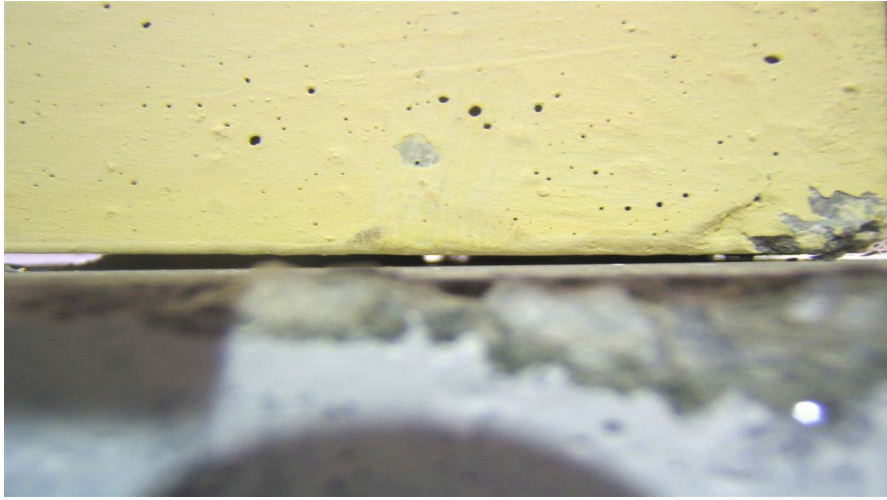
Kolon alt bölgesindeki plastik mafsallaşma, moment-eğrilik ilişkileri, çerçevede yük ve yerdeğiştirme aktarımı ve pimlerin hareketi araştırılmıştır. Deneyin, tersinir tekrarlı yükleme aşamasından sonra, hidrolik veren ile kolon arasına 70 mm çelik eleman yerleştirilerek, tek yönlü tekrarlı olarak 160 mm yerdeğiştirme uygulanmıştır.

Şekil 2.16’da, deneyin çekme sırasındaki, kolon alt bölgesindeki eğrilik görülmektedir.

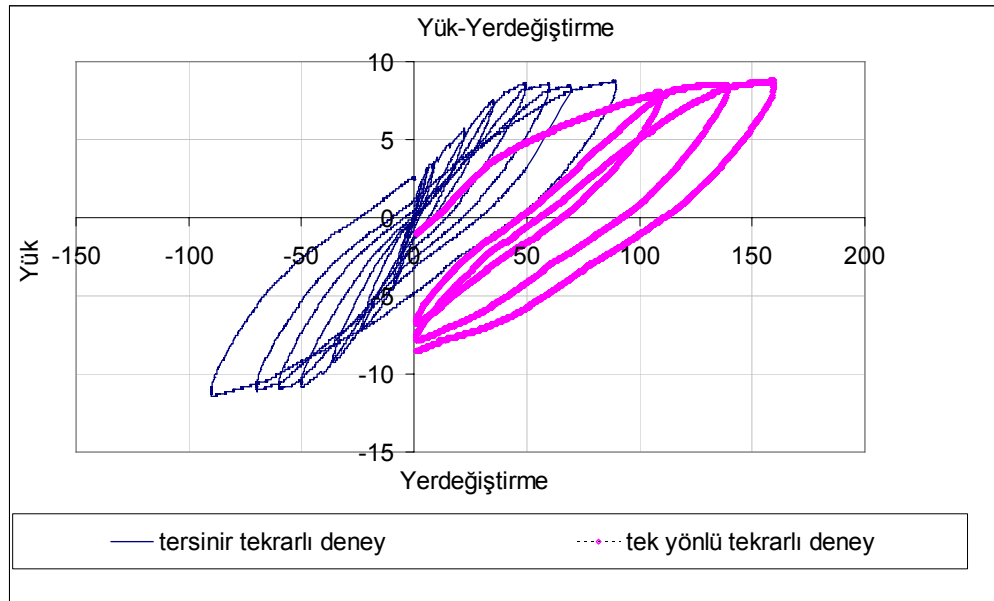


Şekil 2.16 Kolon alt bölgesindeki eğrilik ve hasarlar

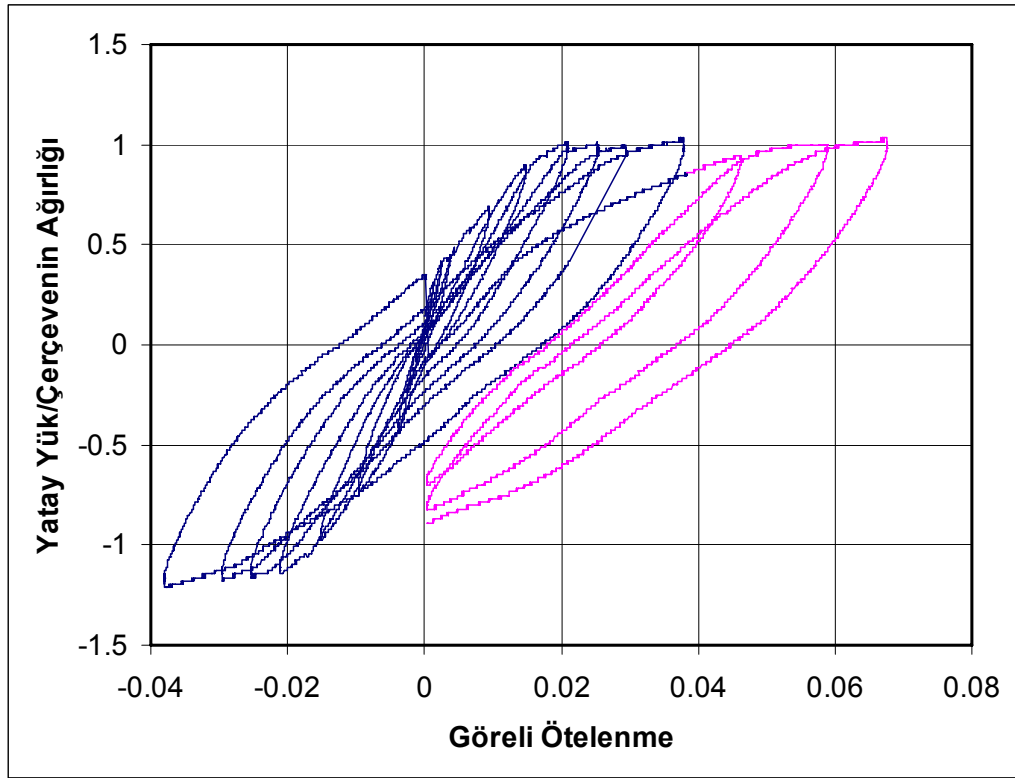
Deney esnasında makas pimlerinde bir miktar uzama ve yuvasından oynama meydana gelmiştir. Bundan dolayı, makas yaklaşık olarak 2 mm kolon kısa konsol yüzeyinden yukarıda kalmıştır. (Şekil 2.17). Deneyden elde edilen yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.18’de görüldüğü gibidir. Göreli yük-görelü yerdeğiştirme ilişkisi ise Şekil 2.19’da verilmektedir.



Şekil 2.17 Deneyden sonra makasın altında boşluk oluşması



Şekil 2.18 Çift ve tek yönlü deneylerin yük yerdeğiştirme ilişkisi

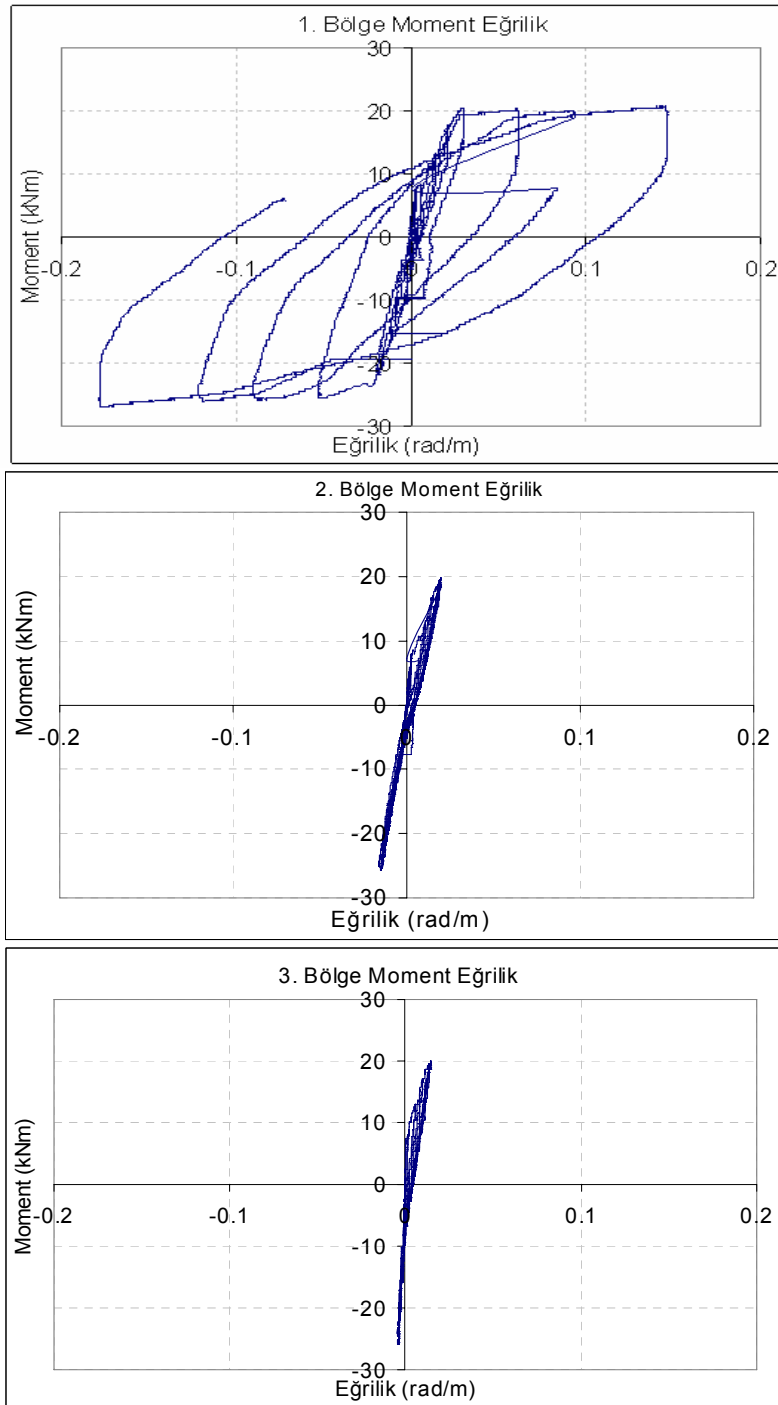


Şekil 2.19 Çerçeve görelî yük- görelî yerdeğiştirme ilişkisi

Moment-eğrilik ilişkileri, Şekil 2.20’de, 1. bölge, 2. bölge ve 3. bölge için görölmektedir. Bu eğrilikler ortalama eğriliği vermektedir. Veriler değerlendirildiğinde, en büyük eğriliğin 1. bölgede 0.178 rad/m, ikinci olarak 2. bölgede 0.02 rad/m, üçüncü olarak 3. bölgede 0.015 olarak olduğu görölmektedir.

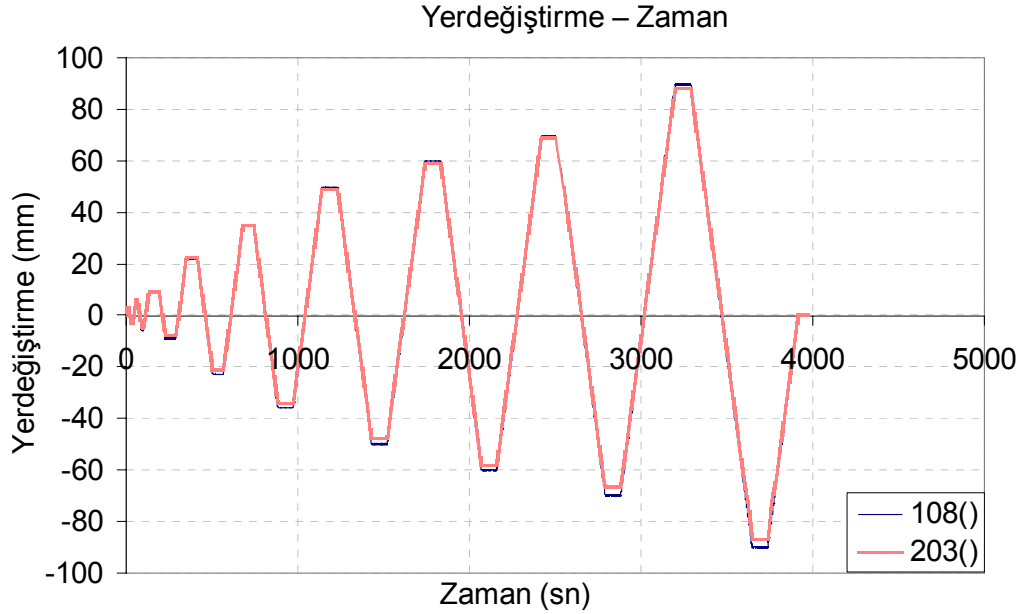
Bu çalışma sonucunda PBA tipik model çerçevenin gerçek davranışı, deneysel olarak elde edilmiş ve deneysel sonuçların, kuramsal hesaplar ile uyumlu olduğu görölmüştür. Mevcut PBA sanayi yapılarının 1/3 oranında küçültölmüş modeli üzerinde yapılan bu çalışma, sistemdeki birleşim noktalarının yetersizliklerini, deneysel olarak ortaya koymuştur. Aşırı yanal ötelenme aşamalarında, kolon kısa konsolunda ve makas uçlarında ezilme ve kırılmalar oluşmuştur.

Şekil 2.21’de, veren hareketi ile S2 kolonu tepe noktası yerdeğiştirmeleri görölmektedir. Deneyin başlarında, yerdeğiştirmeler arasında fark çok azdır. Deneyin son aşamasında, itmede 1.5 mm, çekmede ise 2.7 mm yerdeğiştirme farkı oluşmaktadır. Veren hareketi, kolondaki pimlere oturan makas tarafından, diğer kolona tam olarak aktarılamamaktadır. Bu yerdeğiştirme hareketi pimlerin uzaması, makasın pimlerden oynaması gibi etkilerle tam olarak aktarılamamaktadır.



Şekil 2.20 S1 kolonu 1., 2.ve 3. bölge moment-eğrilik ilişkiler

Bu çalışma sonucunda PBA tipik model çerçevenin gerçek davranışı, deneysel olarak elde edilmiş ve deneysel sonuçların, kuramsal hesaplar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Mevcut PBA sanayi yapılarının 1/3 oranında küçültülmüş modeli üzerinde yapılan bu çalışma, sistemdeki birleşim noktalarının yetersizliklerini, deneysel olarak ortaya koymuştur. Aşırı yanal ötelenme aşamalarında, kolon kısa konsolunda ve makas uçlarında ezilme ve kırılmalar oluşmuştur.



Şekil 2.21 Veren hareketi-çerçevenin ikinci kolonu hareketi ilişkisi

Çok büyük miktarlardaki, deprem bakımından yetersiz, PBA sanayi yapılarının güçlendirilmesi için çeşitli yöntemler önerilmektedir. Çelik çaprazlar, betonarme dolgu duvarlar, içten perde, FRP malzemeler ve dış perde sistemi gibi çeşitli güçlendirme yaklaşımları araştırılmaktadır.

Yapılan çalışmalar daha çok moment aktarabilen bağlantılı, çok katlı yapılarla ilgilidir. Türkiye'deki prefabrik sanayi yapılarındaki birleşimler genellikle mafsallı olduğundan ve sistemi bir bütün olarak çalıştıracak bir rijit diyaframa sahip olmadıkları için, kendine özgü bir sorundur ve kendine özgü çözümler bulunmalıdır.

Ersoy vd (1993), PBA birleşimlerin deprem dayanımı ile ilgili yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda, uygulanmakta olan birçok birleşim detayının yetersiz olduğunu göstermişler ve yeni detaylar önermişlerdir. PBA yapının suçlu olmadığı, yeri iyi seçilmiş ve iyi detaylandırılmış bağlantılara sahip prefabrik çerçevelerin deprem bölgelerinde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Yağcı (1993), prefabrik kolon-kiriş birleşimlerinin deprem etkisi altındaki davranışını incelemek için yaptığı deneysel çalışmada üç değişik bağlantı detayı kullanmıştır. Geliştirilen detayların birisinde başarılı bir davranış elde edilirken daha fazla boyuna donatıya sahip olan kirişli bağlantıda yeterli davranış elde edilememiştir. Hasar kirişte değil birleşim bölgesinde oluşmuş ve numune bir döküm benzerinin

kapasitesine ulaşamamıştır.

Yavuz (1993,) “tek katlı prefabrik sanayi yapılarının karşılaştırılması ve bir sistem önerisi” adlı tez çalışmasında, prefabrik sanayi yapılarında yaygın olarak kullanılan iki ayrı tipi seçerek bunları maliyet ve yapısal özelliklerine göre karşılaştırmış ve yeni bir sistem önermiştir. Önerilen sistemde kolon kısa konsolu ile makas bağlantıları sürekli kabul edilmektedir. Bu durum çok gerçekçi bulunmamaktadır.

Yüzügüllü ve Erdik (1993), prefabrik betonarme yapılarda birleşim bölgelerinin depremdeki davranışını geliştirmek için dünyada yapılan çalışmalarla ilgili bir derleme ve değerlendirme çalışması yapmışlardır.

Yazarlara göre, o tarihe kadar, birleşimlerin davranışında deprem etkisini içeren araştırmaların sayısı yok denecek kadar azdır. Deprem etkisi az olan ülkelerde gelişen prefabrik teknolojisinin depremin etkili olduğu ülkelere de yayılması ile prefabrik betonarme bileşimlerin deprem davranışı konusundaki çalışmalar hızlanmıştır.

ABD’de Pillai ve Kirk’ün, birleşim detayı davranışı ile ilgili deneylerindeki hatanın yapım hatasından kaynaklandığı, süneklik açısından yeterli davranış sergilediği belirtilmektedir. Batt ve Kirk bu deneyi geliştirmişler ve oldukça yüksek süneklik elde etmişlerdir. Kanada da Seçkin ve Fu tarafından yapılan deneysel çalışmada; eğilme için alt ve üstte, kesme için her iki yanda çelik lamalar kullanılmış ve her bir lama hem mevcut donatıya hem de birbirlerine kaynaklı olarak bağlanmıştır. Bu basit birleşim detayının monolitik benzerine göre daha iyi rijitlik ve enerji yok etme kapasitesine sahip olduğu bildirilmiştir. Bu basit detayın daha da geliştirilmeye müsait olduğu belirtilmiştir.

Korkmaz (1998), “Seismic performance of a precast concrete connection used in Turkey” adlı tez çalışmasında prefabrik birleşimlerin deprem etkisi altındaki davranışını deneysel olarak incelemiştir. Deneylerde 1/2.5 ölçekli altı değişik moment aktaran birleşim detayı kullanılmıştır. Araştırma kapsamında bir prefabrik üretici firması tarafından sağlanan birleşimin yetersiz olduğu görülerek, kaynaklı ve daha uzun bindirme boylarına sahip, daha gelişmiş bir bağlantı önerilmiştir.

Sucuoğlu vd (2000), Koleksiyon A.Ş. Tekirdağ Mobilya Fabrikası için deprem güvenliğini araştırarak bir güçlendirme çalışması yapmışlardır. Yapıya gelen deprem yüklerini karşılamak için, yapı işleyişini etkilemeyecek şekilde, bazı bölgelere çelik

çaprazlar, bazı bölgelere yerinde döküm betonarme perdeler ilave etmişlerdir. Yapısal analizde çatı rijit diyafram olarak kabul edilmiştir. Bu kabul analitik ve deneysel olarak incelenmesi gereken çok önemli bir noktadır.

Celep (2000), yaptığı yüksek lisans tezi çalışmasında PBA yapıların tasarımında birleşimlerin teşkili ve hesap yöntemlerini incelemiştir. Çalışmada önce, PBA yapılar ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra düğüm noktası seçiminde dikkat edilmesi gereken noktalara değinilmiştir. Daha sonra ABYYHY98 (1998), TS 9967 (1992) ve Precast Concrete Institute (PCI) deki prefabrikasyon ile ilgili kurallar incelenmiştir. Konu ile ilgili ODTÜ’de yapılmış olan deneysel çalışmalar incelendikten sonra sayısal bir örnek yapılmış ve elde edilen sonuçlar PCI ile karşılaştırılmıştır.

Yazara göre ABYYHY98 (1998) ve TS9967 (1992), Amerika ve Kanada yönetmeliklerine göre çok eksiktir. Bu eksikliklerden birisi, TS9967’de (1992) moment aktaran birleşimler ile ilgili herhangi bir hesap yönteminin bulunmaması, bir diğer konu ise birleşimlerde kullanılacak malzeme ile ilgili herhangi bir açıklamanın olmamasıdır.

Yazar, kiriş-kolon bağlantılarının deprem davranışını anlamının en iyi yolunun, bu tip detayların depremi benzeştiren yükler altında denenmesi ile mümkün olacağını savunmaktadır. Ayrıca, kiriş-kolon birleşimlerinin kolon yüzünden uzakta yapılması ve kiriş tasarımında tersinir yüklemenin de dikkate alınmasının önemini vurgulamıştır. Sonuç olarak yazara göre, yapının statik ve dinamik analizi için ABYYHY98 (1998), birleşim hesapları için ise PCI kullanılmalıdır.

Çılı vd (2000), 17 Ağustos Marmara depreminde hasar gören bir prefabrik sanayi yapısını incelemişler ve çelik kafes kirişlerle güçlendirme çalışması yapmışlardır. Düşey kafes kirişlerin beton kalitesi yüksek kolon ve kirişlerden oluşan yapının yatay rijitliğini önemli ölçüde artırdığı görüşündedirler. Çalışmada, güçlendirmede çokça kullanılan bir yöntem olan, yapının hafifletilmesini sağlamak için, büyük bir kısmı zaten hasar görmüş olan, ağır beton dış cephe kaplamaları hafif malzemelerle değiştirilmiştir. Güçlendirilen bu yapı 12 Kasım 1999 Düzce Depremini ek bir hasar olmadan başarıyla atlattır.

Başığit vd (2000), Marmara depremi sonrası prefabrike yapılardaki hasarları inceledikleri çalışmada sistemin iyileştirilmesi için aşağıdaki önerileri yapmışlardır.

Kiriş ucundaki delikten geçen filiz demirlerinin uçlarına dış açılması ve bulon ile sıkılması

Kirişin ve kolon kısa konsolunun yanlarına konan çelik levhalar ile bir birine kaynaklanması, veya kimyasal dübeller ile bağlanması

Yapılan çalışma sonucunda mevcut şekli ile prefabrik sanayi yapılarının olası bir depremde ağır hasara neden olacağından dolayı bir an önce güçlendirilmesinin gerektiği savunulmuştur. Bu yapı sisteminin güçlendirilmesi için önerilen yöntemlerin laboratuvar şartlarında denenmesi gerektiği belirtilmiştir.

Çolakoğlu (2001), “prefabrik endüstri yapılarının depreme dayanıklı tasarımı” adlı tez çalışmasında prefabrik yapılar ile ilgili genel bilgiler verdikten sonra, bu yapı sisteminin 1964 Alaska, 1994 Northridge, 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Kocaeli depremlerindeki performanslarını incelemiştir. Daha sonra, ABYYHY98 (1998), UBC97 (1992)ve EUROCODE-8’deki (1998) prefabrik yapılar ile ilgili bölümleri inceleyen yazar, karşılaştırma için örnek bir yapı tasarımı yapmıştır.

Yazara göre PBA yapıların deprem davranışının yetersizliğinin nedeni birleşimlerindeki yetersizlikten kaynaklanmaktadır. Yazar, tepe noktası yerdeğiştirmesinin, kolonun soketteki dönmesinden, kolon çatlamış kesit özelliklerinden, temelin elastik zemindeki dönmesinden ve P-Δ etkilerinden dolayı, elastik olarak hesaplanandan % 40 daha artırılmasını savunmaktadır.

Ayrıca, UBC97’de (1992) 2.2, Eurocode-8’de (1998) 2, ABYYHY98’de (1998) ise 5 olan, deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılan yapı katsayısının (R), 2’ye düşürülmesi gerektiğini savunan yazara göre, ABYYHY98’deki (1998) birleşim bölgelerine gelen deprem yükleri UBC97 (1992)ve Eurocode-8’deki (1998) deprem yüklerine göre 5-6 defa küçük olduğundan büyütülmelidir. Yazar, PBA sanayi yapılarının tasarımında en iyi yöntemin, deprem yüklerinin perde duvarlar tarafından alınması yöntemi olduğunu savunmaktadır.

Kaltakçı vd (2001), betonarme kolonların moment-eğrilik ilişkilerine etken olan tasarım değişkenleri üzerine analitik bir inceleme yapmış ve bu amaçla bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Betonarme kolonların davranışına etki eden beton basınç dayanımı, donatı çeliği akma dayanımı, boyuna donatı ve sargı donatısı miktarı ve donatıdaki pekleşme olayının betonarme kolonlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Geliştirilen bilgisayar programı, kabuk betonun ezilmesi, donatıda pekleşmeyi, göbek betonu için sargı donatısı etkisini ve gerçekçi matematiksel malzeme modellerini

göz önüne alabilen ve “katmanlı-modelleme” tekniğini kullanarak çözüm yapabilen FORTRAN dilinde yazılmış bir programdır. Bu çalışmada kullanılan programın geçerliliği, yazarlar tarafından Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında çeşitli yüksek lisans çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen yaklaşık 20 adet deney sonuçları üzerinde test edilmiş ve burada iki adet deneysel sonuç ile analitik yöntemden elde edilen moment-eğrilik grafikleri verilmiştir.

Yukarıda özetlenen irdelemeler ışığında şu sonuçlara ulaşılabılır;

Eksenel yükün olmadığı (basit eğilme) durumda, beton basınç dayanımı davranış üzerinde fazlaca etkili değildir. Beton basınç dayanımı kolon eksenel yük düzeyinin artması ile davranış üzerinde daha etkili olmaktadır. Beton basınç dayanımının artması kolonun düktilitesinde azalmaya neden olmaktadır.

Etriye donatısının akma dayanımı kolon davranışına hiç bir eksenel yük düzeyinde etkili olmamaktadır. Kolondaki etriye sıklığı, düşük eksenel yük düzeyi için davranış üzerinde etkili değildir. Eksenel yük düzeyinin artması durumunda etriye aralığının azalmasının maksimum moment taşıma kapasitesi ve düktilite üzerinde olumlu etkisi vardır.

Kolonlarda etriye miktarının artması maksimum moment kapasitesi üzerinde az miktarda artışa neden olurken, düktilite üzerinde daha fazla olumlu etkiye sahiptir. Etriye miktarının artmasının göbek betonunda ezilmeyi geciktirdiği gözlenmektedir. Ayrıca etriye miktarının davranış üzerindeki etkisi eksenel yük düzeyinin artması ile daha da belirginleşmektedir.

Boyuna donatı oranı, kolon davranışı üzerinde asıl ve önemli bir etkiye sahiptir. Kolon boyuna donatı oranının etkisi kolonda eksenel yük düzeyinin az olduğu durumda çok fazla iken, eksenel yükün artması ile bu etki azalmaktadır. Boyuna donatı oranı düktiliteyi çok fazla etkilememektedir.

Kolon boyuna donatısının akma dayanımı, eksenel yükün olmadığı (eğilme davranışı) durumda çok etkin bir parametredir. Kolonda eksenel yükün artması ile bu etki azalmaktadır. Kolonda eksenel yük düzeyi arttıkça süneklik de azalmaktadır.

Aşcı (2002), Prefabrik sanayi yapıları ile ilgili yaptığı araştırmada mevcut yapı sisteminin zayıflıklarını, UBC 1997’ye (1992) göre Statik kuvvet yöntemi ve zaman tanım alanında analizlerle incelemiş ve güçlendirme için değişik tekniklerin

karşılaştırmasını yapmıştır.

Yazara göre ABYYHT98’de (1998) tek katlı, mafsal bağlantılı, prefabrik betonarme endüstri yapıları için öngörülen $R = 5$ katsayısı yüksektir (UBC-97’ye (1997) göre $R = 2.2$). Bu önemli farktan dolayı, yazar, R katsayısını, FEMA 356 (2000) “Doğrusal Olmayan Statik Yöntem” kullanarak, 3.8 olarak bulmuştur. Analizlerinde emniyetli tarafta kalmak için $R=3$ kullanmıştır.

Yazarın mevcut yapı ile ilgili elde ettiği sonuçlara göre yapı çok yüksek kat deplasmanları yapmaktadır. Ayrıca, kolon taban bölgesinde oluşan momentler kolon kapasitesinin 3 - 5 katı kadar daha yüksektir. Bu sonuçlara göre yapı güçlendirilmelidir.

Yazar, sistemin tamamen mafsalı olmasından dolayı, doğal titreşim periyodunun bilgisayar programından ayrı olarak elle hesaplanıp karşılaştırılması gerektiğini savunarak hesaplar yapmıştır. El ile doğal titreşim periyodu hesabında, sistem için, ters sarkaç formülü kullanmıştır. Bulduğu sonuç ile bilgisayar programından aldığı sonuç birbirine çok yakındır.

Posada and Wood (2002,) “Seismic Performance of Precast Industrial Buildings in Turkey” adlı çalışmalarında Türkiye’deki prefabrik endüstri yapılarının deprem performansının belirlenmesi için 1999 Marmara depremindeki prefabrik yapı hasarlarını incelemiştir. Oluşan hasar ile yapı yanal deplasman rijitliği arasındaki ilişkiyi kullanarak vardıkları sonuca göre Türkiye’deki prefabrik sanayi yapılarının olası bir depremden korunabilmesi için kolon kesitlerinin büyütülmesi gerekmektedir.

Akçaözoğlu (2003), “Endüstri yapılarının üretiminde kullanılan prefabrik betonarme iskelet sistemler ve 1998 Adana – Ceyhan depreminde bu sistemlerde ortaya çıkan sorunlar” isimli yüksek lisans tezinde birleşim noktalarının düzenlenmesi ile ilgili konulara dikkat çekmiştir. Yazara göre bu depremdeki hasarlar, çatı çözümesi ve kiriş devrilmesi, kolon alt bölgelerinde eğilme çatlakları ve kiriş donatı deliklerinin etrafındaki çatlaklar olarak gruplandırılabilir. Tek pimle teşkil edilen mafsalı birleşimlerden makaslar çıkararak devrilmiştir. Kolon konsollarında yerel ezilme ve kırılmalar olmuştur. Çatı düzeyinde rijit diyafram olmaması bu sistemin en zayıf tarafı olarak görülmektedir.

Yazar mevcut tek katlı prefabrik endüstri yapılarının ek yerlerinin gerçek davranışının gerçek deprem hareketi altında yapıya gelebilecek etkilerle belirlenmesi

gerektiği görüşündedir. Sonuç olarak, ABYYHY98 (1998) öncesi yapılmış olan tüm yapıların deprem davranışının incelenmesi ve gözden geçirilmesi gerektiğini savunmuştur.

Tezcan ve Çolakoğlu (2003), tarafından yapılan çalışmada ABYYHY98 (1998), Amerikan deprem yönetmeliği UBC-97 (1997) ve Avrupa Birliği deprem yönetmeliği, Eurocode-8 (1998), tarafından betonarme prefabrik binalar için önerilen depreme dayanıklı yapı kriterleri gözden geçirilmiş ve özellikle, tasarım deprem yükleri, görelî kat ötelenmesinin limitleri ve bağlantılara gelen deprem yükleri açısından karşılaştırmalı bir inceleme yapılmıştır. Farkları belirtmek amacı ile, çatıdaki bağlantıları mafsallı olan ankastre tabanlı, bir katlı betonarme prefabrik bir endüstri binasının komple tasarımı yapılmıştır. Bu karşılaştırmaların ışığında, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Fabrika binasının uzun doğrultusunda yatay deprem stabilitesini sağlamak üzere, en azından dış cephe kolonları arasına yerinde dökme betonarme perde duvar veya çelik çaprazlar konulmasının büyük yararı olacaktır. Perde veya çapraz konulması mümkün olmayan enine doğrultudaki deprem stabilitesini, prefabrike kolonların yeterli seviyedeki rijitliği ve dayanım güçleri sağlayacaktır. Dolayısı ile, Türkiye Deprem Yönetmeliğinin, yetersiz kalan statik eşdeğer yatay deprem yükleri aşağıda sıralanan gerçeklerin ışığında, hiç vakit geçirmeden yeterli seviyeye çıkarmalıdır.

Kolonlarda plastik mafsallaşmalar, genellikle kolon alt başlarında olmaktadır. Dolayısı ile, prefabrike taşıyıcı kolonların alt başları, en az 150 cm uzunluğunda bir bölge boyunca, özel sarılma etriyeleri ile sıkıca sarılmalıdır.

Tipik bir fabrika binasının deprem hesabı göstermiştir ki, ABYYHY98'in (1998) yatay deprem yükü 1 iken, UBC-97 (1997) 2.29 kat ve Eurocode-8 (1998) ise 2.62 kat daha fazla deprem yükü önermektedir. Bu yetersizliğin tek nedeni, davranış katsayısının $R=5$ gibi çok yüksek bir değer seçilmesidir. Bu değer, UBC-97'de (1997) $R=2.2$ ve Eurocode-8'de (1998) $R=1.5$ 'dur. $R=5$ yerine $R=1.5$ veya $R=2$ gibi bir parametre getirilmelidir.

Prefabrike elemanların birleşim yerlerinin hesabı için ABYYHY98 (1998)'in önerdiği yatay yük katsayısı da çok yetersizdir. Örnek binada görüldüğü gibi, ABYYHY98'in (1998) önerisi 1 iken (0.19), UBC-97'in (1997) önerisi en az 3.16 kat (0.59) en çok 9.41 kat (1.76) ve Eurocode-8'in (1998) önerisi 4.8 kat (0.90) daha

fazladır. Türkiye deprem yönetmeliğinin ek yeri hesabı için önerdiği deprem yükü katsayısı $F_p=0.19 W_p$, UBC-97'ye (1997) göre ek yerlerine gelen en küçük deprem kuvveti katsayısı $F_p=0.31 W_p$ 'den bile çok küçüktür. ABYYHY98 (1998), ek yerlerine gelen deprem yükleri bakımından yetersizdir ve vakit geçirmeden düzeltilmelidir. Öyle ki, kritik kesitlerde ek yerlerine gelen kuvveti bulmak için, binaya gelen taban kesme kuvveti katsayısının 1.2 katını değil, UBC-97 (1997) ve Eurocode-8'de (1998) olduğu gibi en az 3 katını almalıdır.

Elastik analiz sonucunda bulunan katarası yatay yerdeğiştirme farkının, kat yüksekliğine oranı, tasarımı kontrol eden zorlayıcı bir kriter olduğu halde, maalesef ABYYHY98 (1998)'in yatay deprem yüklerinin azlığı, bu kriteri her zaman kolaylıkla gerçekleştirilen anlamsız bir duruma sokmuştur. Örnek fabrika binasında, bu oran binde 3.26 çıktığı için, ABYYHY98 (1998)'in koyduğu binde 3.5 sınırının altında kalmakta, halbuki, deprem yükleri epeyce yüksek olan Eurocode-8'e (1998) göre bu oran binde 8 olarak hesaplanmakta ve 'hizmet kriteri' açısından izin verilen binde 5.3 değerini ziyadesi ile aşmaktadır. Dolayısı ile, ABYYHY98'e (1998) göre yeterli olan bir durum, Eurocode-8'e (1998) göre, yetersiz sayılmakta ve kolon boyutları artırılarak tasarımın yenilenmesi gerekmektedir.

ABYYHY98'deki (1998), prefabrik yapılarda çıkıntılar, konsollar ve mimari elemanlar gibi yapısal olmayan elemanların ve ayrıca makine ve teçhizatın bağlantı yerlerinin deprem hesabı için önerilen $F_p= A_0 I W_p$ formülü de, yetersizdir. Ancak, esas yetersizlik, yapısal elemanların mafsallı birleşimleri için Madde 7.12.1.2.'de önerilen ve Denk 1'de verilen formülle bulunan deprem yüklerindedir. Örnek fabrika binasında yapısal elemanların kaynaksız mafsallı birleşimleri için, ABYYHY98 (1998), $F_p=0.19 W_p$ gibi çok ufak bir değer verdiği halde, UBC-97'de (1997) bu katsayı minimum $F_p=0.59 W_p$ ve maksimum $F_p=1.76 W_p$ 'dir. Eurocode-8 (1998) ise, $F_p= 0.9 W_p$ değerini vermektedir. O halde, Türkiye deprem yönetmeliğinde, yapısal elemanların mafsallı birleşim yerlerine gelen deprem kuvveti katsayısı, UBC-97'ye (1997) göre en az 3 misli, Eurocode-98'e (1998) göre ise en az 4.7 misli arttırılmalıdır.

Yılmaz (2004), Türk deprem yönetmeliğine, ABYYHY98 (1998), göre tasarlanmış tek katlı mafsal bağlantılı prefabrik betonarme yapıların deprem davranışını teorik olarak incelemiştir. Tasarlanan prefabrik yapıların Zaman Tanım Alanındaki analizini çok sayıda yapay ivme kaydı kullanarak yapmıştır. Daha sonra aynı yapıların statik itme analizlerini yapmış ve kapasite spektrumu metodunu kullanarak yapıların performans

noktalarını tespit etmiştir.

Yazara göre, bu tür yapılarda moment aktarmayan bağlantılar dolayısıyla, her çerçeve ayrı hareket etmektedir. Yapıda plastik mafsallar sadece kolon alt bölgesinde oluşmaktadır. Makas kirişlerinin uçlarında büyük devrilme momentleri oluşmaktadır. Makas kirişlerinin uzandığı yöne dik doğrultudaki depremlerde, yanal rijitliklerinin az olmasından dolayı, büyük ötelenmeler göstermektedir. Bu ötelenmeler sistemde enerji depolaması yapmaktadır ama makasların devrilme riskini artırmaktadır. Makas kirişlerinde pimlerin kesilmesi ile yere düşme olabilmektedir. Aşık kirişi bağlantıları da makas kirişinin büyük ötelenme yapması ve çerçevelerin bağımsız hareket etmesinden dolayı risklidir. Oluk kirişleri daha az sorunludur. Sistemde yeniden dağılım veya yardımlaşma olmadığı için yapısal bir elemandaki bir yetersizlik yapıda doğrudan hasar oluşturabilir.

Sharon (2005), Türkiye ve ABD deki tek katlı prefabrik sanayi yapılarını incelemiş ve karşılaştırmalar yapmıştır. Yazar ABD’de de kullanılan çatı örtüsü sistemini “esnek diyafram” olarak tanımlamaktadır. Bu çatı sistemleri plywood veya hafif saç kaplamalardır. Yatay yüklerin bu çatı sistemi ile yapı çevresini saran 15 cm kalınlığındaki prefabrik betonarme panellere ve oradan temele aktarıldığını savunmaktadır. 1971 San Fernando depreminde bu tip yapıların büyük bir bölümünde çatı ile çevre paneller arasındaki birleşimlerde ciddi hasarlar oluşmasından sonra 1973 de yönetmelik değiştirilmiştir. Çalışmada, 1973’ten sonra güçlendirilen prefabrik panel yapıların 1994 Norridge depreminde iyi bir performans gösterdiği, bu güçlendirmelerin, genellikle, çatının çevre prefabrik panellere bağlantılarının artırılması ve çatı altına bağlantılar eklenmesi şeklinde olduğu belirtilmektedir.

Ayrıca, 1973’ten sonra inşa edilmiş yapılardaki hasarların ise, genelde, çatı ile prefabrik panel bağlantılarında ve paneller arasındaki kaynakların fermuar gibi açılması hasarı şeklinde olduğu aktarılmaktadır.

Kayhan ve Şenel (2005), PBA sanayi yapılarının 1998 Ceyhan ve 1999 Marmara depremleri sırasında gördüğü hasarın sebeplerini araştırmak için, çok sayıda bina modelinin doğrusal olmayan, itme analizini yapmışlardır.

Çalışmada beton sınıfı, kolon rijitliği, donatı oranı, zemin sınıfı, kat yüksekliği, makas açıklığı gibi farklı parametrelere sahip, tek katlı ve tek açıklıklı prefabrik betonarme yapılarının performans noktalarını, kapasite spektrumu yöntemi kullanarak

hesaplamışlardır.

Yapılan çözümler sonucunda, kolon alt ucunda plastik mafsallaşma açısından, çatı makası düzlemi yönünün (y yönü) daha kritik olduğu saptanmıştır. Yazarlara göre, özellikle zemin sınıfı, kolon boyutu, kat yüksekliği ve donatı oranı parametreleri, performans seviyeleri üzerinde, diğer parametrelere göre, daha etkilidir.

Kayhan ve Şenel (2006), Türkiye'deki prefabrik betonarme endüstri yapılarının deprem güvenliğinin hızlı bir şekilde tahmini için, beton sınıfı, kolon boyutu, donatı oranı, zemin sınıfı, kat yüksekliği, makas açıklığı gibi farklı parametrelere bağlı olarak, performans noktalarının tahmin edilebilmesi için, kolon yatay öteleme rijitliği, boyuna donatı oranı ve yapı ağırlığı parametrelerine bağlı üstel bir bağıntı önermişlerdir.

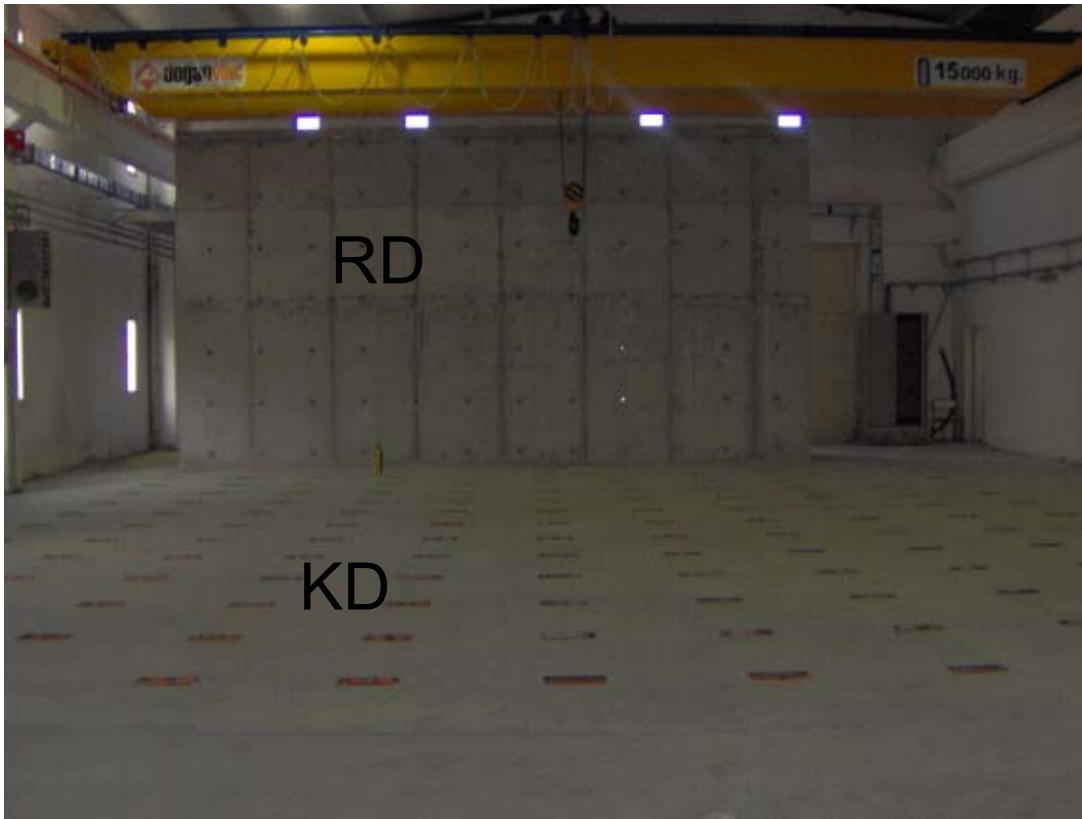
Yazarlara göre, mevcut prefabrik sanayi yapısı stoğu içerisindeki, deprem dayanımı yetersiz yapıları, detaylı çözümlenmeye gerek kalmaksızın, bu yöntemle hızlı bir şekilde tespit etmek mümkündür.

Yılmaz ve Kayhan (2006), mafsallı bağlantılı prefabrik betonarme sanayi yapılarının, farklı itme şekillerinde, doğrusal olmayan, statik itme analizi yapmışlar ve hangi itme şeklinin depremi daha iyi yansıttığını tespit etmişlerdir.

Yazarlara göre, mafsallı bağlantılı yapılarda, tek bir itme şekli, bütün özellikler için aynı derecede hassas, sonuç vermemektedir. Yapının bir bütün olarak kapasitesinin bulunmasında, ayrı ayrı her çerçeveyi kolon üst bölgesinden itmenin, eğer makasın devrilmesi incelenecek olursa; itmenin makas yüzeyine dik, yayılı bir şekilde olması, daha uygun sonuç verdiği gösterilmiştir. Çalışmada, her iki durumun, aynı yükleme şekli ile incelenmek istenmesi durumunda, doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında, makastan yayılı yükler halinde itme şeklinin, hassas olmamakla beraber, kabul edilebilir sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

3. LABORATUAR ALTYAPISININ HAZIRLANMASI

Daha önce Şenel (2001), Tama (1996) ve (2001), Çetinkaya'nın (2002) tez çalışmaları gibi deneysel araştırmalarının yapıldığı Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı laboratuvarının, bu deneysel çalışma için yetersiz olmasından dolayı, kuramsal çalışmalara paralel olarak deneylerin yapılacağı laboratuvarın hazırlanması çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla, öncelikle hangar şeklindeki yeni laboratuvar binasının içerisine üç boyutlu yapı deneyleri için yeterli olacak büyüklükte ve sağlamlıkta, özel bir Kuvvetli Döşeme (KD) yapılmıştır. Daha sonra, bu döşeme üzerine, Reaksiyon Duvar ı(RD) yapımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Laboratuvarın içine yapılan galerisiz KD–RD sistemi

3.1. Mevcut Laboratuvar Binasına Galerisiz KD-RD Sistemi Yapımı

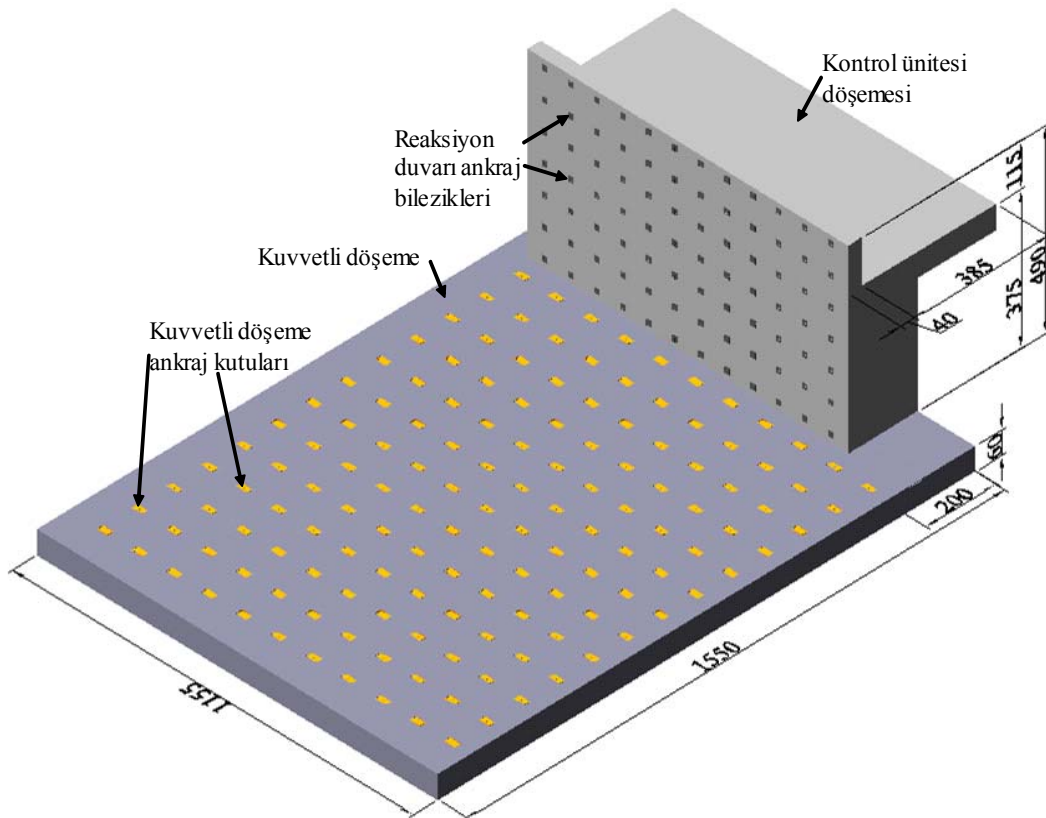
DPT tarafından desteklenen “BAP–08–11–DPT.2004K120760 ” kodlu proje kapsamında gerekli deneylerin yapılabilmesi için Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümündeki Yapı Teknolojileri ve Deprem Araştırma Laboratuvarı'na önce, mevcut laboratuvar binalarının içerisine uygulanabilecek bir Kuvvetli Döşeme(KD)

yapılmıştır. Mevcut laboratuvarın içine, yapıya zarar vermeden, ekonomik ve hızlı bir şekilde yapılan bu sistem, deneysel çalışma programını oldukça rahatlatmıştır. Ayrıca, sistemin uygulanabilirliği yapılan deneyler ile test edilmiştir.

Daha sonra, özellikle yatay yüklerin emniyetli bir şekilde uygulanabilmesi için uzun, yüksek, sabit ve güçlü bir Reaksiyon Duvarı(RD) yapılmıştır. Reaksiyon Duvarının uzun olması aynı anda birden fazla deney seti hazırlamaya ve dolayısı ile zaman kazanmaya büyük katkı sağlamaktadır.

Reaksiyon duvarı ön yüzünde kalın bir BA perde ve ona dik doğrultuda perdelerden oluşan boşluklu hücre tipi rijit bir yapıya sahiptir. Aynı zamanda reaksiyon duvarının üstüde bir platform ilavesi ile kontrol ünitesi olarak kullanılmaktadır.

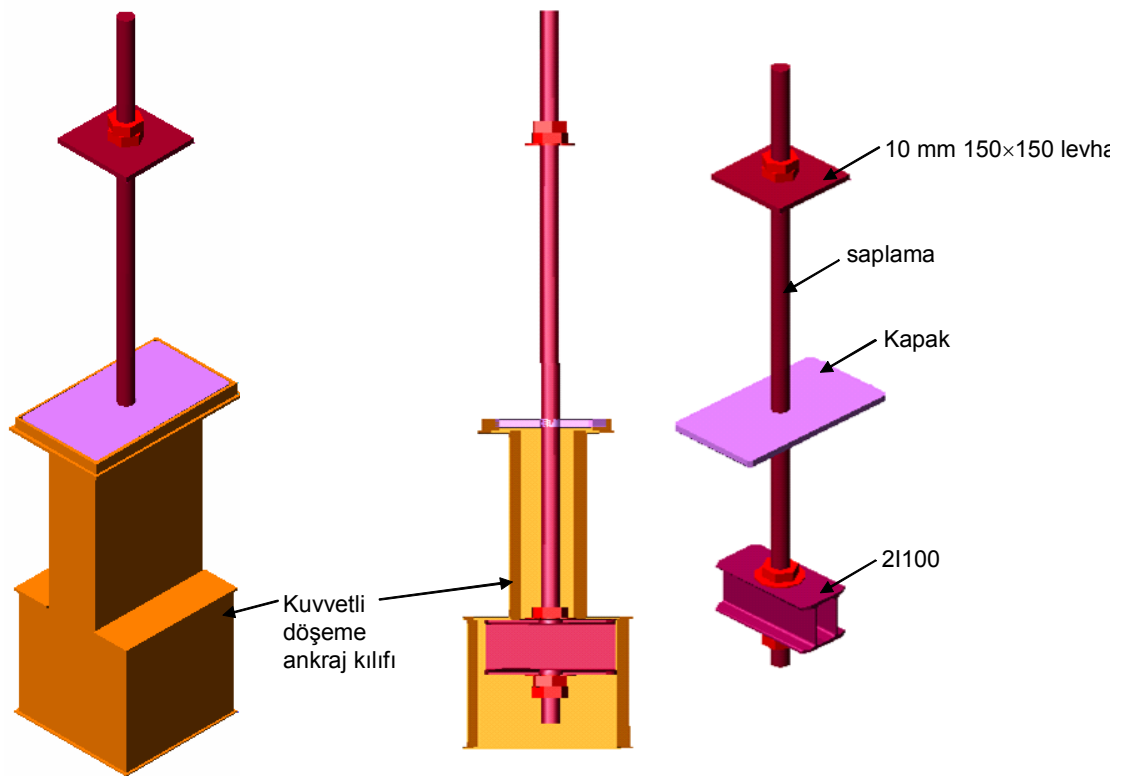
3.1.1. KD-RD sisteminin özellikleri



Şekil 3.2 KD-RD sisteminin şematik ön görünüşü

KD sistemi, toplam olarak 100 cm kalınlığında, 12 metre eninde ve 16 metre boyundadır. Tüm yüzeyde her iki doğrultuda 100 cm aralıklarla yerleştirilmiş, özel geliştirilmiş ankraj kutuları mevcuttur (Şekil 3.2). Bu çalışma kapsamında geliştirilen

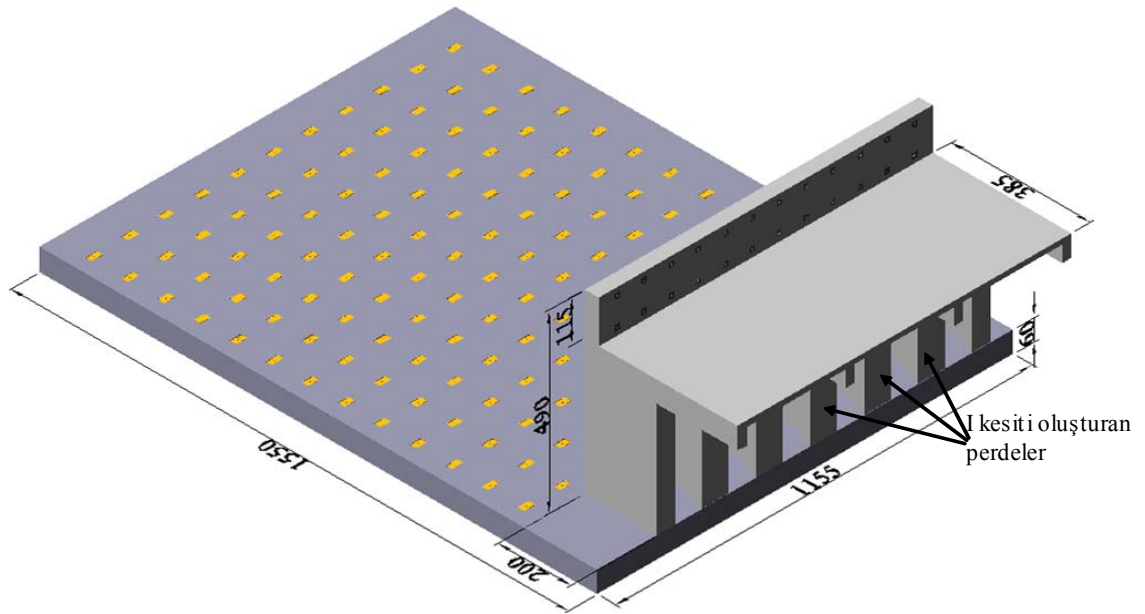
galerisiz KD ankraj sistemi Şekil 3.3’de görüldüğü gibi, iki alt sistemden oluşmaktadır. Bunlardan birisi ankraj kutusu diğeri ise ankraj kilit sistemidir. Ankraj kutusu; üstte dikdörtgen bir kapak mesnedi, orta bölümde dikdörtgen profil, altta ise kenarı, ortadaki dikdörtgenin uzun kenarı uzunluğunda olan, küp şeklindedir. Ankraj kilit sistemi ise; Şekil 3.3’de görüldüğü gibi, iki ucu dişli 36 mm çapında 1250 mm uzunluğunda bir çelik çubuk, en altta 2 adet I100 çelik profilden üretilmiş olan 2I100 aparatı, 20 mm kalınlığında çelik kapak, 150x150 mm üst levha ve somunlardan oluşmaktadır. Ankraj kutusu KD içine beton dökümünden önce yerleştirilmiştir.



Şekil 3.3 KD ankraj sistemi

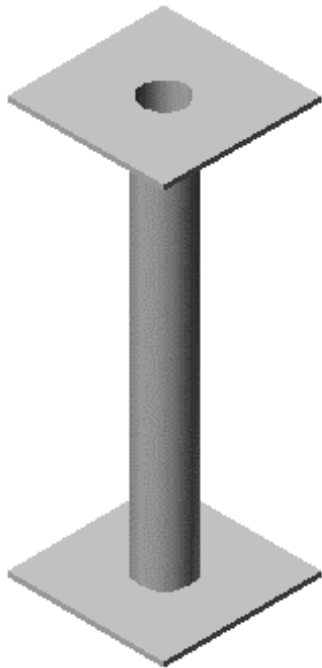
Bu şekildeki bir sistem, galeri katı yapma zorunluluğundan kurtardığı için laboratuvar yapım aşamasında ekonomiklik ve zaman kazandırmıştır.

Reaksiyon duvarı, Şekil 3.4’de görüldüğü gibi 10 metre uzunluğunda ve 5 m yüksekliğindedir. 200 cm kalınlığındaki Reaksiyon Duvarının ön paneli 40 cm kalınlığındadır. Ön panele dik yöndeki paneller, 30 cm kalınlığında ve 2 m enindedir. Bu perdeler dik yönde de 75 cm eninde ve 30 cm kalınlığında perdeler mevcuttur. Reaksiyon duvarının üstünde oluşturulan döşeme diyaframı bir miktar daha arka tarafa doğru uzatılarak kullanılabilir alan kazanılmıştır.

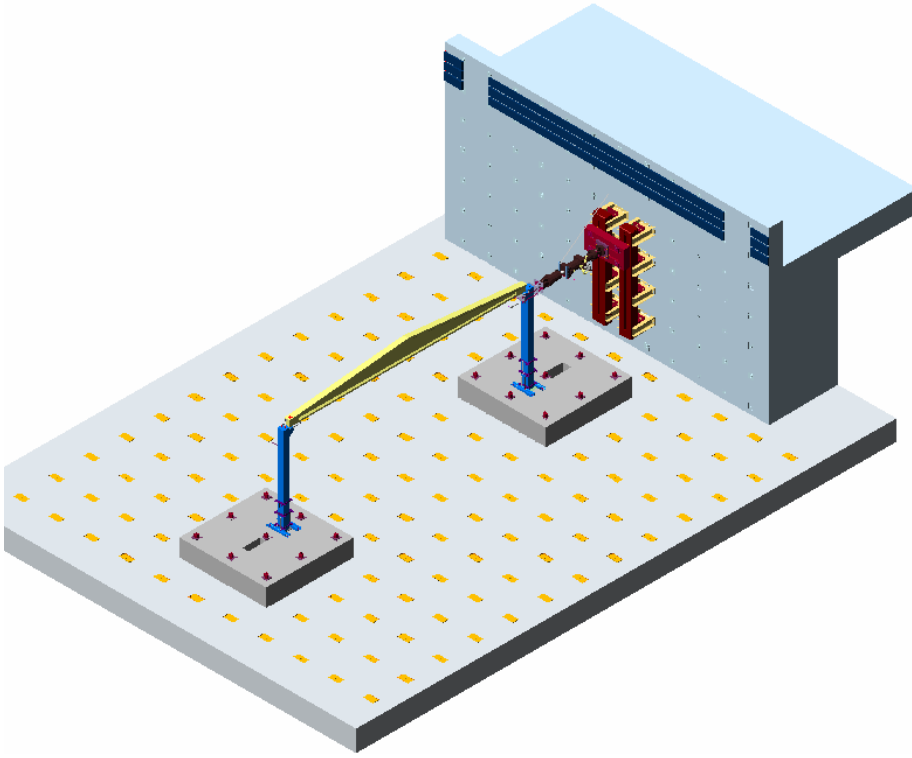


Şekil 3.4 KD-RD sisteminin şematik arka görünüşü

Reaksiyon duvarında $\varnothing 42$ mm çapında ankraj delikleri bırakılmıştır. Ankraj delikleri için çelik kılıflar düşeyde ve yatayda 75 cm ara ile yerleştirilmiştir. Ankraj kılıfı ve detayı Şekil 3.5’de gösterilmiştir. KD-RD sistemindeki ankraj deliklerinin yerleşimi ve örnek bir deney için kullanılması, şematik olarak Şekil 3.6’de görülmektedir.



Şekil 3.5 RD Ankraj kılıfı



Şekil 3.6 KD-RD ankraj sistemi ve deney modeli bağlantıları

3.1.2. KD-RD sistemi yapım aşamaları

Mevcut laboratuvar binasının içinde kazı çalışmalarına başlarken öncelikle temel bağ kirişlerinin ve olası elektrik vb. gibi servis hatları için inceleme yapılmıştır. Kazı işleri Şekil 3.7’de görüldüğü gibi mevcut yapı temellerinden uzakta başlatılmıştır.



Şekil 3.7 Kazı yapılması

Kazıdan sonra zemin sıkıştırması yapılmıştır. Sıkıştırılan zemin üzerine Şekil 3.8’de ki gibi blokaj tabakası yapılarak döşeme altındaki grobetona hazır duruma getirilmiştir.

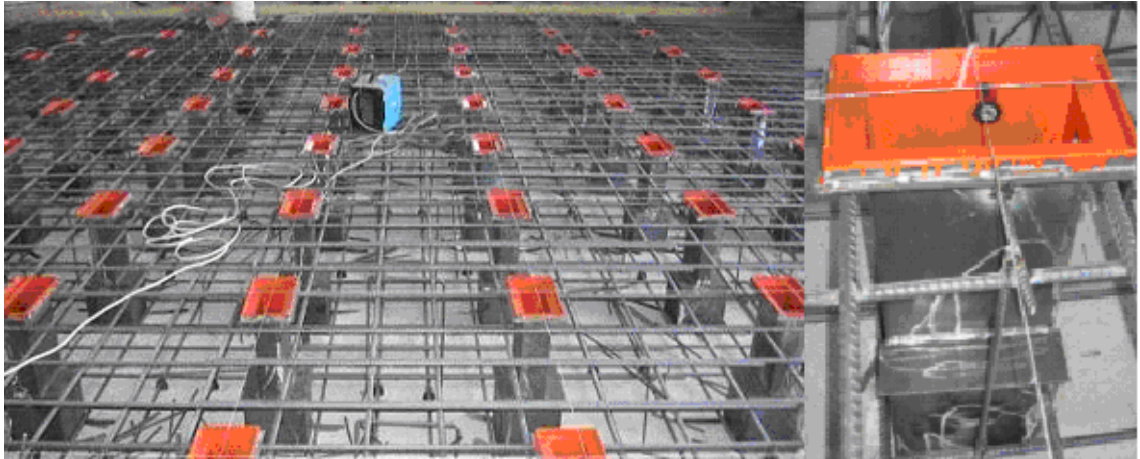


Şekil 3.8 Kazı sonrası mıcıır serilmesi

Blokaj tabakasının üzerine grobeton (demirsiz beton) dökülmüş ve gerekli kür uygulamaları yapılmıştır. Grobetonun üzerine ip çekilerek ankraj kutularının geleceği yerler işaretlenmiş ve su tahliyesi için bu noktalardan matkapla delinmiştir. Açılan deliklerden su verilerek su tahliyesinin sağlanıp sağlanmadığı test edilmiştir. Test sonucunda verilen suyun tahliye olduğu görülmüştür.

Grobeton üzerine projesine uygun olarak döşeme kalıbı yapıldıktan sonra döşeme donatı demirlerinin döşenmesine başlanmıştır. Tamamlanan kuvvetli döşeme demirlerinin arasına ankraj kutuları yerleştirilmiştir (Şekil 3.9). Döşemenin üzerinden gelmesi muhtemel suların ankraj kutusunda birikmesini önlemek ve paslandırmasını engellemek için ankraj kutusunun altına delik açılmıştır. Kutuların kotu ve dikliği hassas bir şekilde ayarlanmış, mevcut donatıya ve grobetona tutturulmuştur.

Akışkanlığı yüksek kendiliğinden yerleşen beton kullanılarak laboratuvarın içinde kuvvetli döşemenin en uç kısmına beton pompası ile beton dökümü sıkıntısı ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca, vibratör kullanımının ankraj kutularını az da olsa oynatması önlenmiştir. 60 cm kalınlığındaki döşeme betonu 3 seviyede dökülmüştür (Şekil 3.10).



Şekil 3.9 KD Ankraj kutularının montajı

Ankraj kutularının içine beton girmemesi için, kutuların ağız kısmı geçici olarak, sert strafor ile kapatılmıştır.



Şekil 3.10 Beton pompası ile betonun dökümü

Mevcut laboratuvarın içerisine beton pompası giremediği için beton dökme işleri özel bir çaba gerektirmiştir. Beton, vibratörle sıkıştırıldıktan sonra, mastarlama ankraj kutularının üst kısımları referans alınarak, özen ile yapılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Beton yüzeyinin alüminyum kutu profil ile düzeltilmesi

Düz bir satıh, su geçirimsiz, darbelere dayanıklı bir yüzey elde etmek için betonun yüzeyi, yüksek devirli bir makine ile perdahlanmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Betonun titreşimli master ile perdahlanması

Reaksiyon Duvarı yapı mekaniği laboratuvarlarındaki çeşitli deneyler için, özellikle deprem benzeri yatay yüklerin deney elemanlarına uygulanabilmesi için, genellikle, betonarme olarak yapılan, rijit bir duvardır. Tasarlanan sistemin yerdeğiştirmeleri

SAP2000® (2000) yazılımı ile hesaplanmış ve sifira çok yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 3.13 Reaksiyon duvarı donatı demirlerinin bağlanması

Bu çalışma kapsamında tasarlanan reaksiyon duvarı daha önce tamamlanmış olan Kuvvetli Döşeme üzerine yapılmıştır. Yapım aşamalarında Şekil 3.13’de görüldüğü gibi çok özen gösterilmiştir. Reaksiyon duvarının ön panelinin bütün yüzeyinde yatay ve düşeyde 75 cm aralıklarla ankraj kılıflarının yerleştirilebilmesi için perde donatılarının yerleşimine çok dikkat etmek gerekmektedir.

Reaksiyon duvarının ön ve yan panellerinin dış yüzeyleri sürekli olarak veren mesnetlerinin hareketleri, değişik yükleme aparatlarının takılıp sökülmesi gibi nedenlerden dolayı mümkün olduğunca düzgün, sert, dayanıklı olmalıdır. Ayrıca, ankraj kılıfları da bu kalıplara tutturulduğu için, bu yüzeyin yatay ve düşey doğrultulardaki düzgünlüğü çok önemlidir. Bu nedenlerle Şekil 3.14’de görüldüğü gibi bu yüzeylerde plywood kalıplar kullanılmıştır. Betona zarar vermemek için, kalıplar, ankraj kutularının içinden karşılıklı birbirine bağlanarak takviye edilmiştir. Çok hassas olarak yapılan demir donatı ve dış kalıp işlerinden sonra. Ankraj kılıfları yatay ve düşey doğrultularda iplerle terazisinde doğrultu verilerek hassas bir şekilde yerleştirilmiştir.

Ankraj kılıfları dış yüzdeki kalıplara ve donatıya sabitlendikten sonra diğer kalıp yüzeyi kapatılmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.14 Reaksiyon duvarı kalıbı



Şekil 3.15 Reaksiyon duvarı ankraj kılıflarının yerleştirilmesi

Reaksiyon duvarı betonu üç aşamada dökülmüştür. İlk iki aşamada döşeme üst kotuna kadar, üçüncü aşamada ise üstteki konsol kısmının betonu dökülerek betonarme yapım işleri tamamlanmış olan Reaksiyon Duvarı Şekil 3.16’da görülmektedir.



Şekil 3.16 Reaksiyon Duvarı

Reaksiyon duvarı tamamlandıktan sonra, kenarlarındaki kazı boşluklarının dolgusu yapılmış ve sıkıştırılmıştır. Daha sonra su tahliye tesisatı yapıp üzerine mıcır serilmiştir. Kenar tesviye betonu olarak, Kuvvetli döşeme yapımında da kullanılan, BS35, beton kullanılmıştır. Tesviye betonu yüzeyi alüminyum profiller ile düzeltildikten sonra, titreşimli mekanik perdah yapılmıştır.

Mekanik perdahtan sonra Reaksiyon Duvarının arka cephe görünüşü ve döşeme betonun tamamlanmış durumu Şekil 3.17’de görülmektedir.

Böylece, laboratuardaki KD-RD sistemi yapım işlerinin betonarme aşaması tamamlanmış olmaktadır. Şekil 3.18’de tamamlanan sistem görülmektedir.



Şekil 3.17 Reaksiyon Duvarı arka cephe görünüşü



Şekil 3.18 Betonarme yapım işleri tamamlanmış KD-RD sistemi

Betonarme işleri tamamlanan Reaksiyon Duvarının ön ve yan yüzeyleri, daha iyi korunması için, epoksi reçine esaslı dolgu ve boya ile boyanmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 RD'nın dolgu macunu yapılmış durumu

3.1.3. RD ayarlanabilir, çelik, veren mesnet sistemi oluşturulması

Bu aşamada Reaksiyon Duvarı üzerine Hidrolik verenin montajı için, yatay ve düşey doğrultuda hassas olarak hareket edebilen, çelik bir mesnet sistemi oluşturulmuştur.

Şekil 3.20'de, Verenin düşey doğrultuda kaydırılabilmesi için yapılan, çelik kızak sisteminin montajı görülmektedir.

Düşey mesnetlerin reaksiyon duvarına bağlantı detayları Şekil 3.21'de görüldüğü gibi söküp - takma özellikli bir şekilde yapılmıştır. Sistem, her iki düşey mesnede dörder adet, toplam 8 adet, 40 mm çapında St 60 çelik saplamalarla betonarme Reaksiyon Duvarına bağlanmaktadır.



Şekil 3.20. RD Veren düşey mesnet kızağının montajı



Şekil 3.21. RD Veren düşey mesnet kızağının montajı 2

Veren yatay mesnedi, vereni yatay doğrultuda hassas olarak hareket ettirebilmek

için hazırlanmış çelik bir kızak sistemidir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Veren mesnedi yatay kızağının hazırlanması

Yatay mesnet, düşey mesnede 4 adet $\text{Ø } 30 \text{ mm}$ çapında St 60 çelik saplamalar ile bağlanmıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Veren düşey ve yatay mesnet kızağının montajı

3.1.4. Hidrolik veren montajı

Veren mesnet sisteminin montajından sonra, sistem yüzeyleri iyice temizlenmiş ve astar atılmıştır. Astandan sonra özel dolgu malzemesi ile yüzeyler düzgün hale getirilmiştir (Şekil 3. 24).



Şekil 3.24 Veren mesnedinin boyanması

Daha sonra, bu yüzeyler 2 kat yağlı boya ile boyanmıştır. Çelik veren mesnet sisteminin boya işlerinin tamamlanmasından sonra, hidrolik veren sisteme monte edilmiştir. Bu bağlantı veren arka yüzüne ve mesnet sistemine uygun olacak şekilde 30 mm ve 15 mm kalınlığında çelik levhalardan imal edilmiştir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Veren mesnet bağlantısı hazırlanması

Şekil 3.26’da görüldüğü gibi, hidrolik veren, pilot kolon deney elamanının yükleme noktasına gelecek şekilde, yatay mesnedin düşey hareketiyle ve verenin yatay mesnet üzerindeki yatay hareketi ile ayarlanmıştır.



Şekil 3.26. Hidrolik veren montajı

3.1.5. Laboratuvar araç-gereçlerinin taşınması ve yeni yerlerine yerleştirilmesi

Deneylerin yapılacağı mekânların yeni laboratuvarda hazırlanmasından sonra, önceki yapı laboratuvarındaki araçların nakli gerçekleştirilmiştir. Bu araçların başlıcaları hidrolik güç ünitesi, veri toplama cihazı, hidrolik verenler, test çerçevesi ve aparatlarıdır. Hidrolik Güç Ünitesi, DARTEC 9500, Şekil 3.27’de görüldüğü gibi, eski laboratuardan Forklift yardımı ile çıkarılmış, yeni laboratuara taşınmıştır.



Şekil 3.27 Hidrolik Güç Ünitesinin eski laboratuardan çıkarılması

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deney modeli, mevcut PBA sanayi yapılarının incelenmesi sonucunda, yapıların davranışını mümkün olduğunca iyi modelleyecek şekilde tasarlanmıştır.

Önce modelin ve modeli oluşturan yapı elamanlarının projeleri hazırlanmıştır. Sonra, model elamanların sayısının çok fazla olmasından dolayı, PBA elemanların çelik kalıpları hazırlanmıştır. Daha sonra laboratuvar da demir donatılar hazırlanmıştır. Deney elemanlarının projelendirilmesi sırasında elemanların beton dökümünden bir gün sonra kalıptan vinç veya el ile alınabilmesi için gerekli tedbirler alınmıştır.

4.1. Malzeme

Bu deneysel çalışmada incelenen yapılar prefabrik betonarme yapılardır. Betonarme deney elemanları önceden , prefabrik, üretilmiş, daha sonra kuvvetli döşeme üzerine monte edilmektedir. PBA elemanların üretiminde kullanılan beton BS 30 sınıfıdır. Beton karışımında agrega olarak kırma taş kullanılmıştır. Deney elemanlarının kesitlerinin küçük olmasından dolayı, en büyük tane çapı 15 mm olan, agrega kullanılmıştır. Beton karışımında çimento olarak KPÇ42.5 kullanılmıştır. Her beton karışımdan numune alınarak basınç testi yapılmıştır.

Eleman üretiminde kullanılan donatı için etriyelerde BÇI, boyuna donatılarda BÇIII (nervürlü demir) kullanılmıştır. Bu donatılardan alınan örnek parçalar ile çekme deneyleri yaptırılmış ve üretici verileri ile teyit edilmiştir.

4.2. Elemanların Modellenmesi ve Üretimi

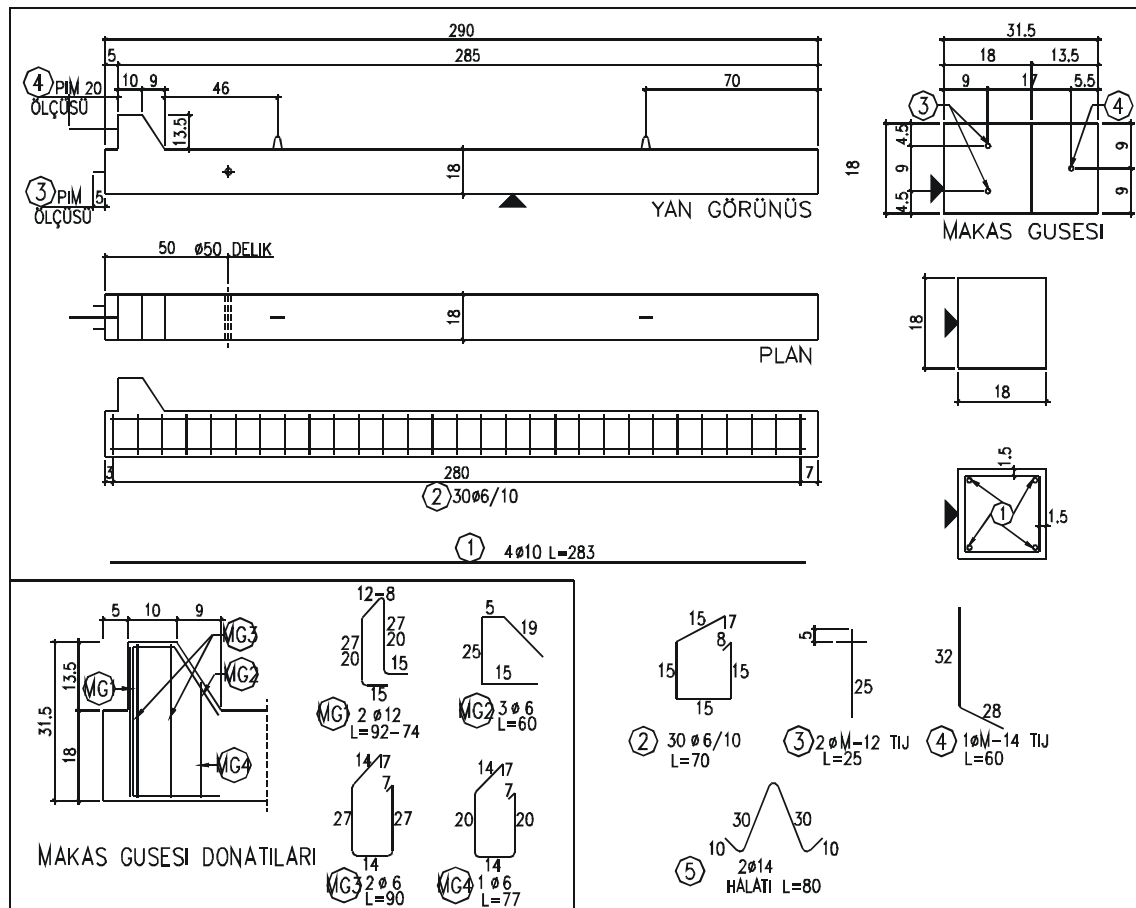
Denizli Organize Sanayi Bölgesindeki mevcut PBA sanayi yapılarının durumlarının incelenmesi sonucu, yapılardaki en çok kullanılmış olan eleman kesitleri göz önüne alınarak 1/3 oranında ölçekleme ile deney modelleri oluşturulmuştur. Bu deney modelleri ile analizler yapılmış ve daha sonra bunların projeleri hazırlanmıştır. Hesaplarda ve projelendirmede TSE 500 (1981), TSE 9967 (1992), SAP2000® (2000), ABYYHY98 (1998), ATC-40 (1996), FEMA 356 (2000) ve Atımtay (2000a) kaynaklarından yararlanılmıştır.

Hazırlanan projeler, PBA model yapı elemanlarını üretecek olan profesyonel bir

prefabrik firması, ABAŞ, tarafından kontrol edilerek uygulama projeleri haline getirilmiştir. Deney elemanlarının kalıp projeleri, çelik kalıpların üretiminde, profesyonel makine imalatçısı firmalarca, kullanılarak üretim yapılmıştır.

4.2.1. Modelleme

Deneylerde kullanılan prefabrik BA kolonlar 18 x 18 cm kare en kesitli ve 290 cm uzunluğundadır (Şekil 4.1). Boyuna donatı olarak 4 Ø 10 nervürlü demir (BÇ III), enine donatı olarak Ø 6 çapında düz demir (BÇ I) kullanılmıştır. Beton olarak özel karışım, en büyük tane çapı 15 mm olacak şekilde, BS 30 betonu kullanılmıştır.



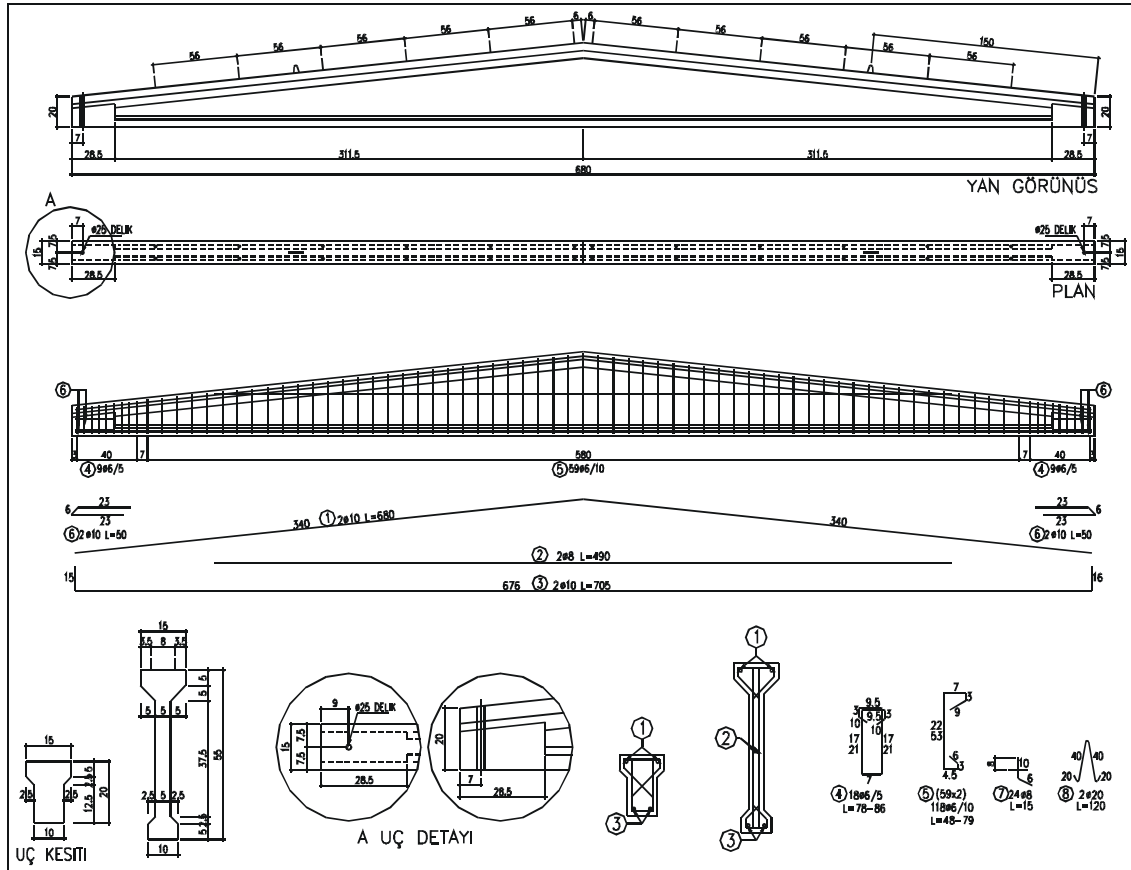
Şekil 4.1 Model kolon kalıp ve donatı projesi

PBA makas elaman, en kesit olarak gerçekte uygulamadaki Prefabrik BA makas en kesitinin her bakımdan küçültülmüştür (Şekil 4.2). Alt başlığı 10 cm, üst başlığı 15 cm genişliğindedir. Gövde kalınlığı 5 cm olan makas, toplam 680 cm uzunluğundadır.

Boyuna donatı olarak; altta ve üstte 2 Ø 10 BÇ III, gövde de ise 2 Ø 8 donatı

kullanılmıştır. Enine donatı olarak; $\emptyset 6$ düz demir, ortada 10 cm aralıkla, kenarlarda ise 6 cm aralıkla kullanılmıştır.

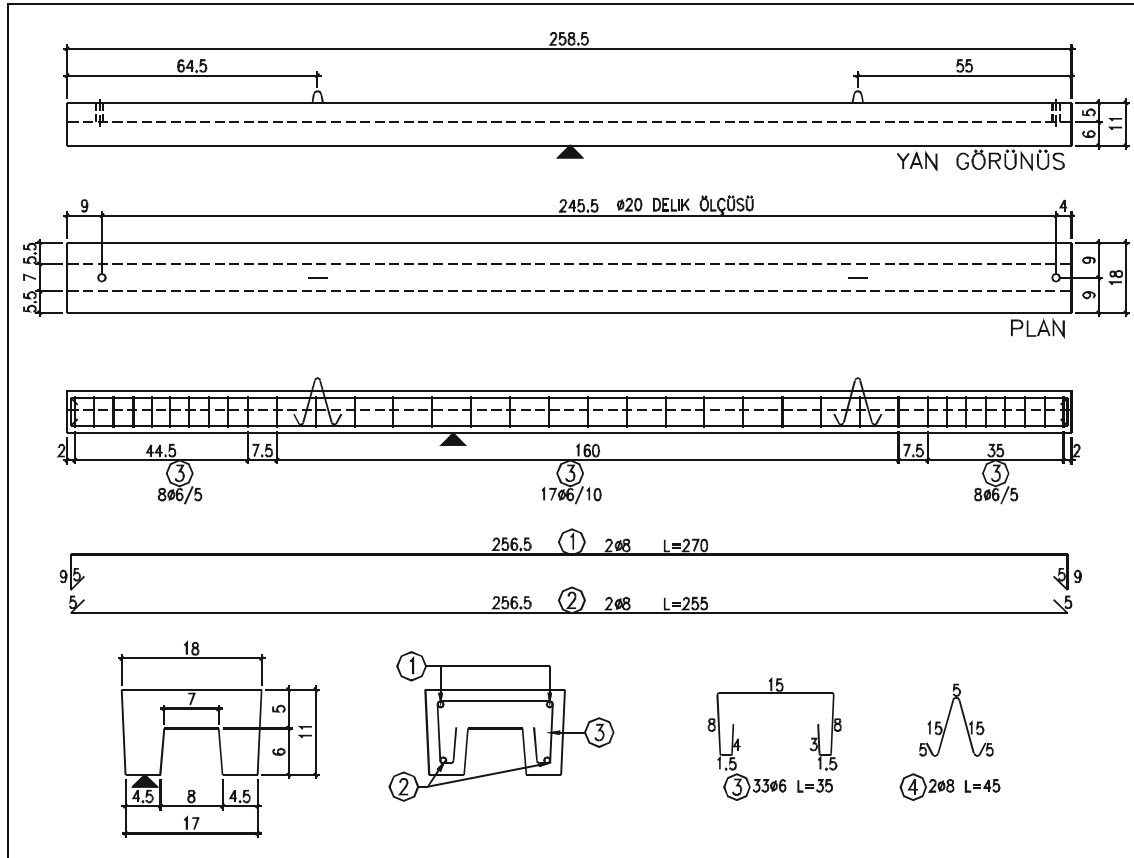
Tasarımda, beton dayanımı olarak, BS 30 betonu kullanılmıştır.



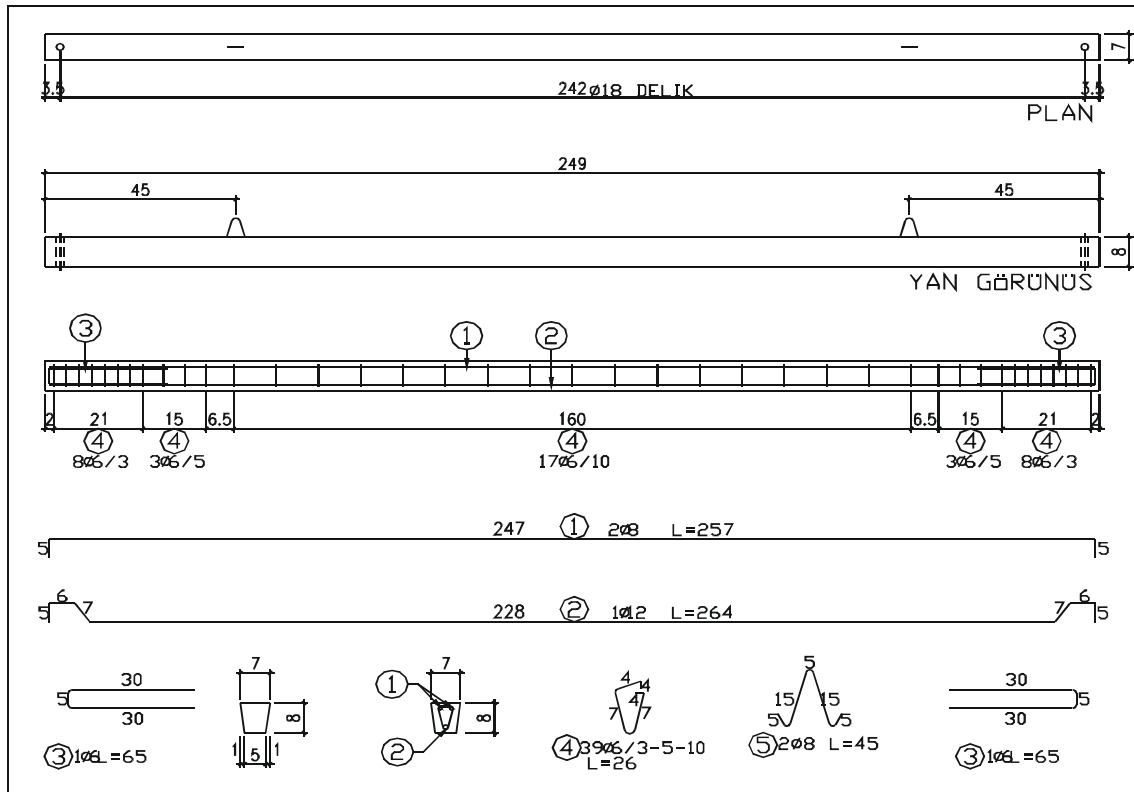
Şekil 4.2 PBA Makas kalıp ve donatı projesi

PBA model oluk, uygulamadaki en yaygın, gerçek ölçülerin, ölçekli olarak küçültülmüş şeklidir (Şekil 4.3). Taban genişliği, kolon ile uyumlu olarak, 18 cm, üst genişlik 17 cm, yüksekliği 11 cm ve boyu (249 cm + 9 cm) 258 cm ölçülerindedir. Beton sınıfı BS30dur. Demir donatı olarak; 2 adet $\emptyset 8$ altta, 2 adet $\emptyset 8$ üstte BÇIII nervürlü boyuna donatı, $\emptyset 6$ mm BÇI, düz demir, enine donatı kullanılmıştır.

PBA model aşık, uygulamadaki en yaygın gerçek ölçülerin ölçekli olarak küçültülmüş şeklidir. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi aşığın taban genişliği, 5 cm, üst başlık genişliği 7 cm, yüksekliği 8 cm ve boyu 249 cm dir. Beton sınıfı BS30dur. Boyuna donatı olarak altta 1 $\emptyset 12$, üstte ise 2 $\emptyset 8$ BÇIII nervürlü demir vardır. Enine donatı olarak 10 / 5 / 3 cm ara ile $\emptyset 6$ mm BÇI, düz demir kullanılmıştır.



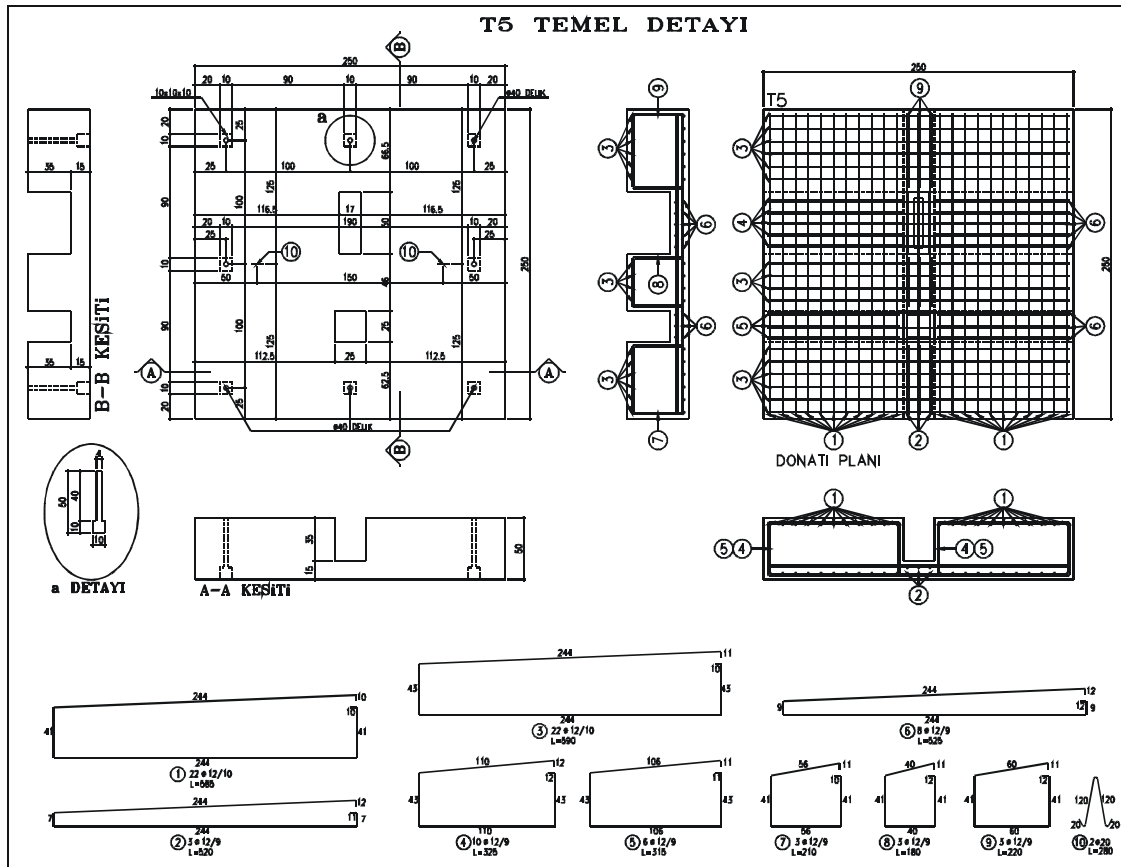
Şekil 4.3 Oluk kalıp ve donatı projesi



Şekil 4.4 Aşık kalıp ve donatı projesi

Deneylerde kullanılan temeller çok amaçlı kullanıma elverişli olması için büyük tasarlanmıştır. Temeller 250 x 250 cm ve 50 cm kalınlığındadır (Şekil 4.5). Temel elamanları hem güçlendirilmeden önceki mevcut sistemin davranışının inceleneceği sisteme, hem de dış perdelerle güçlendirilmiş sistem deneylerine uygun olarak tasarlanmıştır.

Daha önce yapılan araştırmalardan ve deprem sonrası yerinde yapılan araştırmalarda elde edilen sonuçlara göre; PBA tek katlı sanayi yapılarının kolon - soket bölgesinde ciddi problem olmadığı, sistemin kolon alt bölgesinde ankastre çalıştığı gözlenmiştir. Bu nedenlerle, bu deneysel çalışmada sistemin kolon – soket birleşim bölgesi rijit kabul edildiğinden, soketler temel üstüne değil, kolonlar ankastreliği sağlayacak şekilde, (35 cm), temellerin içine gömülmüştür.



Şekil 4.5 T5- Temeli kalıp ve donatı projesi

Temel elamanlarda BS 30 betonu ve BÇIII nervürlü donatı kullanılmıştır. Bu temellerde, kuvvetli döşemeye bağlantı için, 8 adet, Ø50 mm, demir boru ile delikler oluşturulmuştur.

4.2.2. Elemanlarının üretimi

Bu deneysel çalışmada ve devamındaki aşamalarında çok sayıda deney elemanına ihtiyaç olduğundan, elemanlarının üretimine başlamadan önce, PBA eleman üreten fabrikalara gidilerek incelemeler yapılmıştır. Uygulanan seri üretim teknikleri yerinde görülmüş ve ilgili teknik elemanlardan bilgi toplanmıştır.

Çelik kalıplar

Deney elemanlarının çelik kalıpları, PBA fabrikalarındaki üretim yöntemleri incelenerek, tekrarlı beton dökümüne uygun olacak şekilde üretilmiştir. Kalıp yüzeyleri 2 mm saçtan, taşıyıcı sistemi ise U profillerden imal edilmiştir.

Şekil 4.6'da model kolonun çelik kalıbı görülmektedir. Kolon kalıbı düz kısım ve kısa konsoldan oluşmaktadır. Kısa konsol kısmının kalıbı da, makas filizinden dolayı, iki parçadır. Çelik kalıpların hızlıca kurulabilmesi ve ince ayar yapılabilmesi için üzerlerine, burgulu çelik çubuklar ve bunlara uygun sıkma kelekleri monte edilmiştir.



Şekil 4.6 PBA kolon çelik kalıbı

Oluk elik kalıbı Şekil 4.7’de görüldüğü gibi, i yüzeyi 2 mm sağdan, taşıyıcı ve takviye sistemi çeşitli metal profillerden üretilmiştir.



Şekil 4.7 PBA model oluk elik kalıbı

Oluk kalıbının Şekilde görülen st kısmı alt kısmından bir cm daha geniŐtir. Ortadaki kalıbın ise üstü altından bir cm kısadır. Yapılan bu tasarım ile betonun dökümünden bir gün sonra elemanlar kalıplardan yukarıya doğru çıkarılabilmektedir.

Makas elik kalıbı tasarımı ve yapımı, gövde kalınlığının uzunluğa göre çok küçük olmasından dolayı, çok zaman almıŐtır. Taban taşıyıcı sistemi tek parça olarak, I profil ve kutu profillerden yapılmıştır. Yan yüz kalıpları her yüzde ikiŐer adet olmak üzere dört parçadan oluşmaktadır (Şekil 4.8).

Makaslar depremlerde en çok hasar gören elemanlardan biri olmasından dolayı, modellemede mevcut yapılarıdaki detaylar modele yansıtılmıŐtır. Makas yan kanatları, tabanda mafsallı bağlantılar, üstte ayarlı mesnetler ile açılıp kapatılmaktadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.8 PBA Model Makas çelik kalıbı montajı



Şekil 4.9 Makas çelik kalıbı montajı-2

Aşık kalıpları, Şekil 4.10’da görüldüğü gibi, beşli bir gurup olarak sabit profiller üzerine oturtulmuştur. Aşık kalıp kesiti yamuk şeklinde olup, üst ölçüsü alt ölçüsünden 2 cm büyüktür. Bu geometri sayesinde, beton dökümünden bir gün sonra model aşıklar kalıptan alınabilmektedir.



Şekil 4.10 PBA model aşıkların çelik kalıbı

Donatıların hazırlanması ve yerleştirilmesi

Deney elemanlarının donatıları prefabrik eleman üretimindeki teknikler ile hazırlanmıştır. Boyuna donatılar BÇIII ve enine donatılar BÇI demirinden, laboratuarda hazırlanmış ve kalıplara yerleştirilmiştir. Şekil 4.11’de kolon enine donatıları, etriyeler, görülmektedir.



Şekil 4.11 PBA kolon etriyeleri

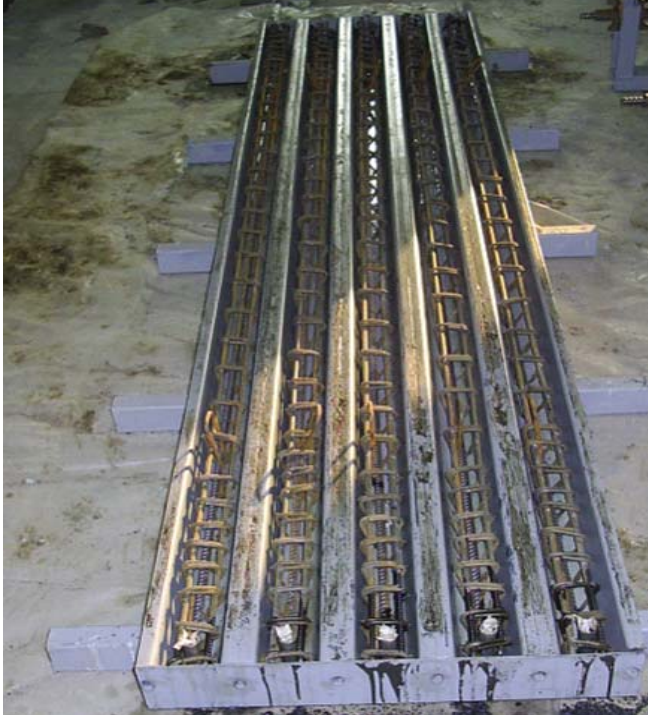
Kolon donatıları Şekil 4.12’de görüldüğü gibi önceden seri olarak hazırlanmış ve istiflenmiştir. Dışarıda hazırlanmış olan donatılar kolon kalıplarının hazırlanıp yağlanmasından sonra yerleştirilmiştir. Daha sonra, kısa konsol bölgesine, makas montajı için pim yerleştirilir. Kolon üst kapağındaki deliklerden geçirilerek oluk pimleri yerleştirilir.



Şekil 4.12 PBA kolon donatılarının çelik kalıba yerleştirilmesi

Model aşık ve oluk donatıları önceden laboratuarda projelerine uygun olarak hazırlanmış ve istiflenmiştir. Kalıpların her türlü temizliği ve yağlanmasından sonra donatılar yerleştirilmiştir. Daha sonra aşık ve oluk uç kısımlarındaki montaj delikleri için hazırlanmış olan borular yerleştirilmiştir.

Şekil 4.13’de donatıları hazırlanmış ve çelik kalıbına yerleştirilmiş aşıklar görülmektedir. Oluk donatısının kalıptaki yerleşimi ve montaj delikleri için yerleştirilen çelik boru kılıflar Şekil 4.14’ görüldüğü yapılarak betona hazır duruma getirilmektedir.



Şekil 4.13 Aşık donatılarının çelik kalıplara yerleştirilmesi



Şekil 4.14 Oluk donatısı ve kalıbı

Makas donatısı Şekil 4.15’de görüldüğü gibi, tamamen önceden, hazırlanmıştır. Şekil 4.16’de makas donatısının çelik kalıba yerleştirilmiş durumu görülmektedir.



Şekil 4.15 Makas donatısı



Şekil 4.16 Makas donatısının kalıba yerleştirilmiş durumu

Temel donatısı Şekil 4.17'de görüldüğü gibi soket boşlukları bırakılarak hazırlanmıştır.



Şekil 4.17 Temel donatısı

Donatının tamamlanmasından sonra, temellerin dış kalıpları saç panolar ve bu sistem için hazırlanan köşe bağlantıları ile kapatılmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 Temel donatısının kalıba yerleştirilmiş durumu

Soket kalıpları Şekil 4.19’de görüldüğü gibi donatıların arasında bırakılan boşluğa metal profiller ile asılmıştır. Tüm sistem tekrarlı kullanıma elverişli bir şekilde kurulmuştur.



Şekil 4.19 Temellerde perde ve kolon soket kalıplarının yerleştirilmesi

Beton dökümü ve istifleme

Deney elemanlarının kalıp ve donatı işleri tamamlandıktan sonra son kontroller yapılır. Bu kontroller; kalıpların temizliği, pas payları, kaldırma kancaları, filizler, montaj delikleri için konulan borular olarak sayılabilir. Betona başlamadan önce vibratörlerin çalışması mutlaka kontrol edilmelidir. Şekil 4.20’de model perdeye beton dökümü görülmektedir.

Aşık beton dökümü, kesitin çok küçük ve donatı aralarının dar olmasından dolayı, çok dikkatlice yapılmıştır (Şekil 4.21).



Şekil 4.20 PBA perde betonu dökümü



Şekil 4.21 Aşıkların beton dökümü

Şekil 4.22’da kolon elemanın beton dökümünde görüldüğü gibi beton el abraları ile taşınmaktadır. Taşıma ve yerleştirme sırasında betonun ayrışması önlenmiştir. Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de görüldüğü gibi beton dökümünden sonra deney elemanlarının yüzeyi ve çevresi iyice temizlenmiştir. Beton dökümü tamamlan elemanların kürü su ile yapılmıştır.



Şekil 4.22 Kolon beton dökümü



Şekil 4.23 Makas- beton dökümünden sonra



Şekil 4.24 Beton dökümünden hemen sonra elamanlar

Deney elemanlarına beton dökümü sırasında, her dökümden, numuneler alınmış ve basınç testi yapılmıştır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25 Betondan alınan küp numuneler

İstifleme işi, bu gibi çok sayıda deney elemanın olduğu çalışmalarda, çok sistemli bir şekilde yapılmalıdır. Elemanların üretimi, yerine montajı, deney süreci ve yerinden sökülüp uygun bir alanda istiflenmesi işlemlerinin zamanlaması programlanarak, istifleme yapılmıştır. Elemanların numaralandırılması sistematik, net ve kalıcı olmalıdır. Şekil 4.26'da temel ve makas, Şekil 4.27'de kolonlar, oluklar, ve Şekil 4.28'de aşıkların istiflenmiş durumu görülmektedir.



Şekil 4.26 Tamamlanmış makas ve temel



Şekil 4.27 Deney elamanlarının istiflenmesi



Şekil 4.28 Aşıkların istiflenmesi

4.3. Deneş Düzenegİ

Deneş düzenegİ yükleme düzenegİ ve ölçüm düzenegİnden oluşmaktadır.

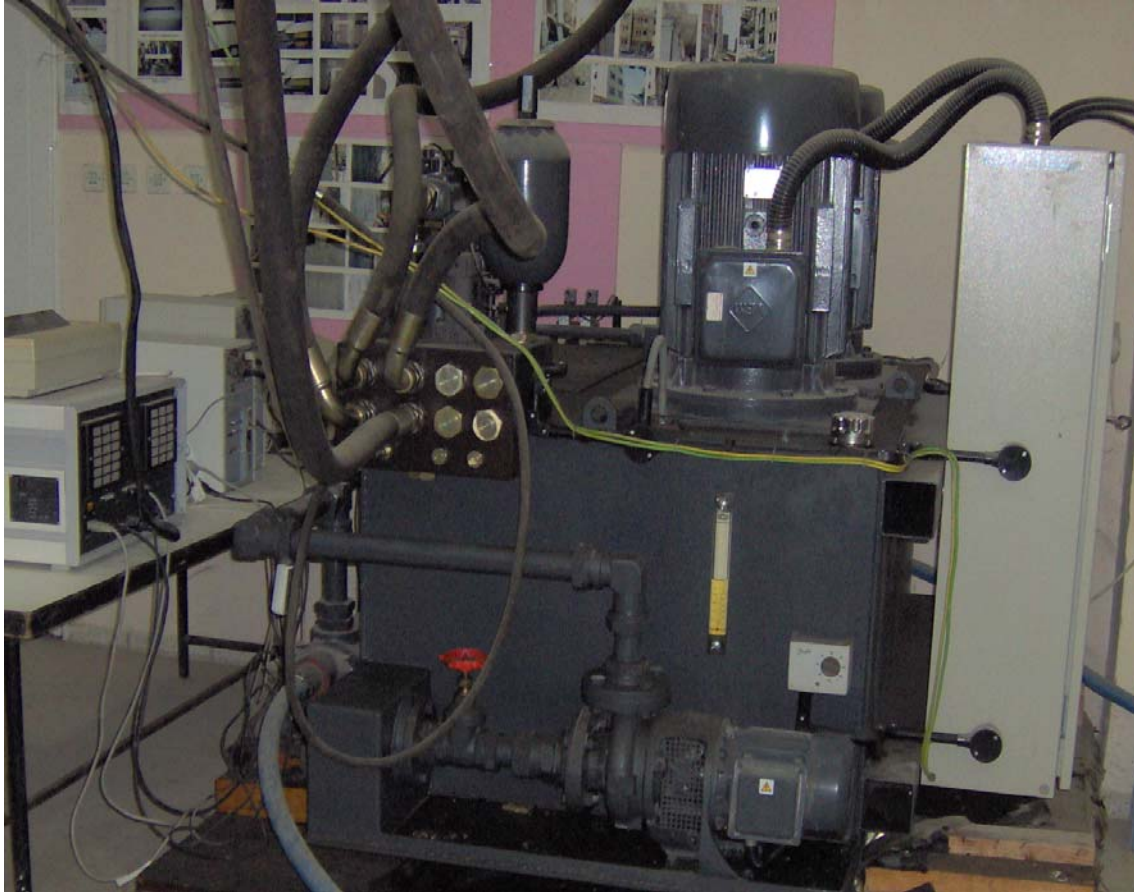
4.3.1. Yükleme düzenegİ

Bu çalışmada yalancı dinamik olarak adlandırılan, deneş elemanlarının belli adım ve hızlar ile itme ve çekme yönünde yüklenmesi, tekrarlı tersinir yükleme, şekilde yükleme yapılmıştır. Uygulanan deneş tekniğinin gerçek dinamik yükleri yansıtmak konusunda bazı dezavantajları olmasına rağmen, yüklemenin adım adım gerçekleştirilmesi ve deneşin durdurularak gerekli kontrollerin yapılmasına imkan vermesi gibi avantajları mevcuttur (Şenel 2001).

Depremi benzeştirmesi açısından, deneş elemanına uygulanan yükleme şekli belirlenirken, her çevrimde artan veya azalan yerdeğİştirmeler uygulanmıştır. Deneş sırasında çatlakların işaretlenmesi, resimlerinin alınması ve bağlantıların kontrolü için her adımdan sonra 90 saniye deneş durdurulmuştur.

Yükleme, yerdeğİştirme kontrollü yapılmıştır. Deneş için hazırlanmış olan yükleme şekli – değerleri deneşin anlatıldığı bölümde ayrıca verilmiştir.

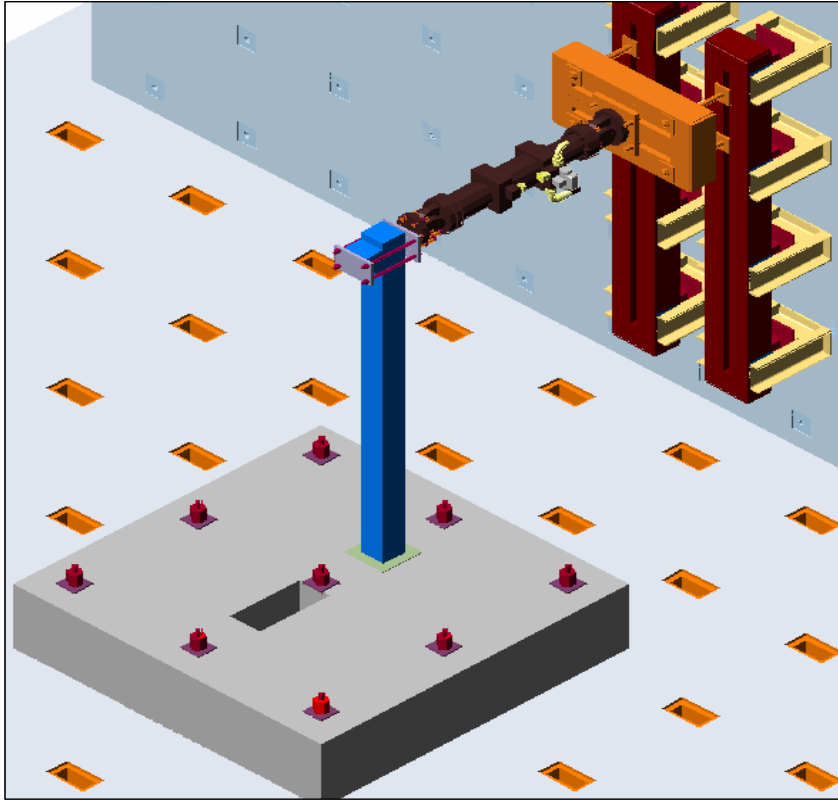
Yükleme düzeneği, yapılmış olan deneylerin özelliklerinden dolayı, her deney için farklı olmuştur. Genel özellikleri aynıdır. Yüklemeye Kuvvetli Döşeme, Reaksiyon Duvarı, Hidrolik Güç Ünitesi (Şekil 4.29), Kontrol konsolu, Hidrolik veren ve hidrolik vereni deney elemanına bağlayan sistemden oluşmaktadır.



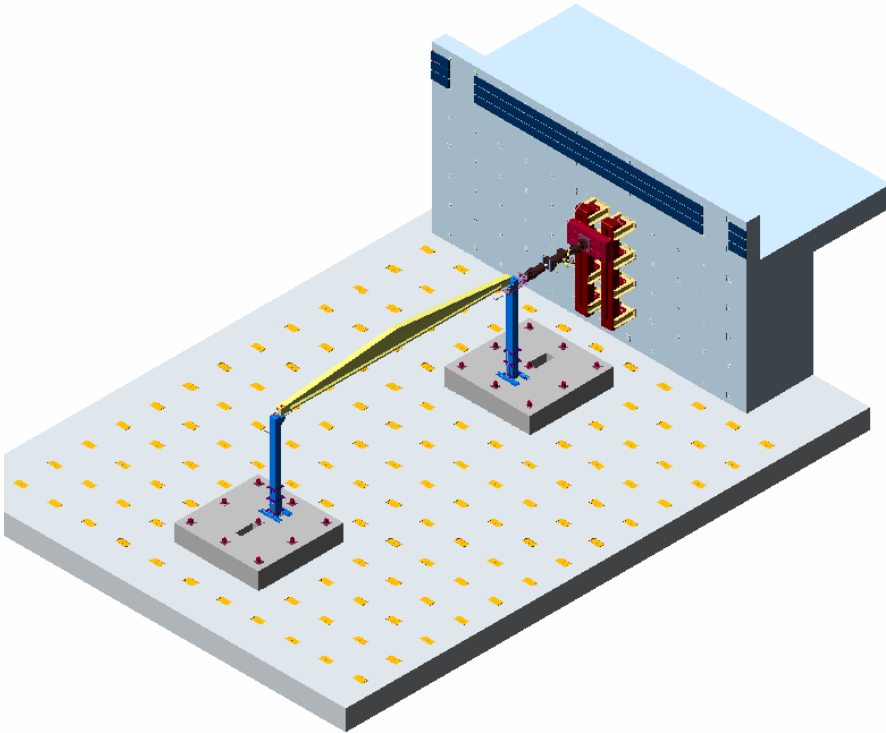
Şekil 4.29 Hidrolik güç ünitesi

Bu çalışmada amaç yapının yanal yükler altındaki davranışını incelemektir. Yanal yükler deney elemanlarına Şekil 4.30'de görüldüğü gibi yatay konumdaki hidrolik veren ile verilmiştir. Hidrolik veren Reaksiyon Duvarına çelik yapı bir mesnet sistemi ile bağlanmaktadır. Çelik yapı veren mesnet sistemi yatay ve düşey hareket ettirilebilen özellikte tasarlanmıştır.

Şekil 4.31'de görüldüğü gibi, yüklemeye düzeneği, çerçeve deneyinde de kolon deneyindeki düzeneğe çok yakındır. Yüklemeye kolonun tepe noktasından yatay olarak yapılmaktadır. Çerçeve deneyinde çerçevenin düzlem dışına hareketini engellemek için çelik profiller ile deney sisteminin hareketine etki etmeyecek şekilde bir sistem yapılmıştır.



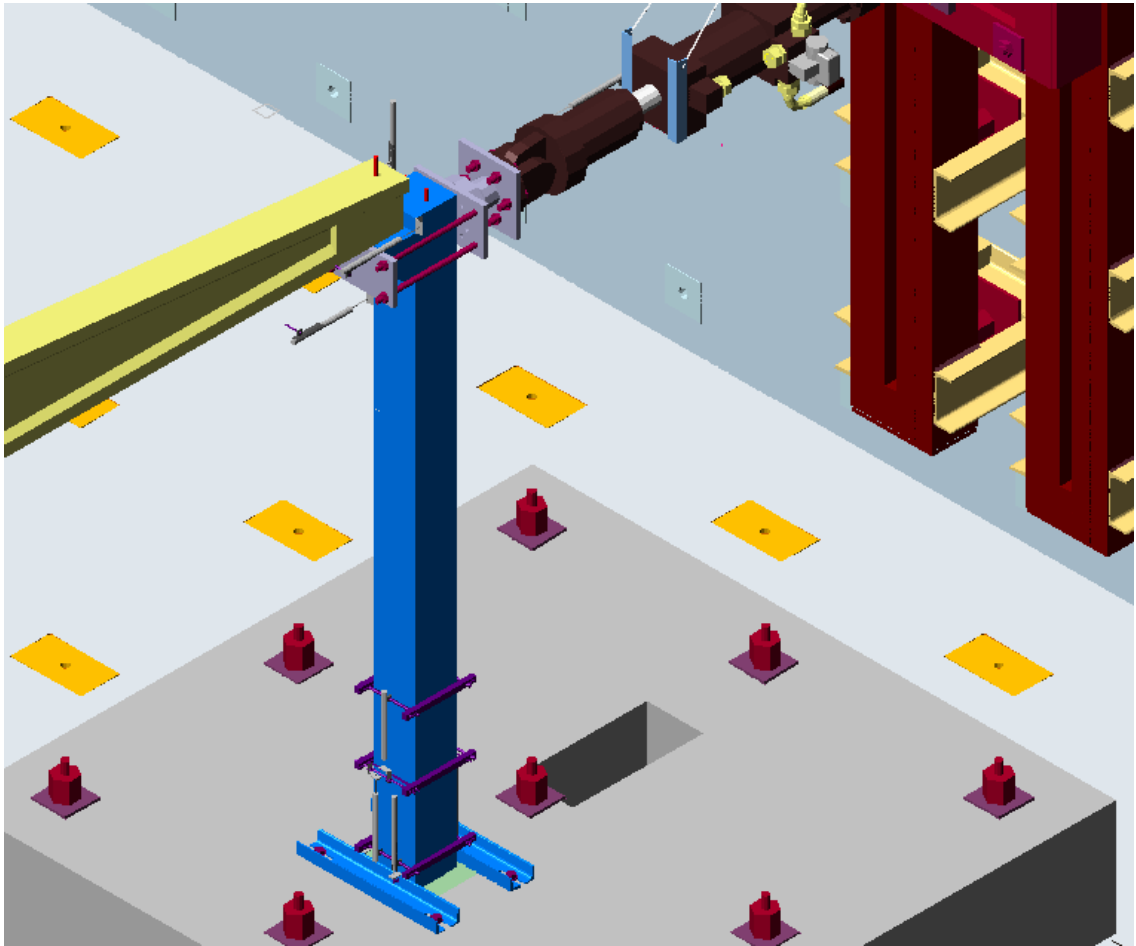
Şekil 4.30 PBA Kolon deneyi yükleme düzeneği



Şekil 4.31 PBA çerçeve deneyi yükleme düzeneği

Hidrolik verenin deney elemanına bağlantısı için ayarlanabilir bağlantı sistemleri geliştirilmiştir (Şekil 4.32). Verenin her iki ucuna da mafsal monte edilmiştir. Deney elemanına yükleme, her iki yüzüne yerleştirilen 20 mm kalınlığındaki çelik levhalar ve 20 mm çapındaki 4 adet St70 çelik bulonlar ile yapılmaktadır. Bu levhalar ile veren mafsalının bağlantısı için, aradaki mesafenin de hassas bir şekilde ayarlanabilmesi için özel bir sistem geliştirilmiştir.

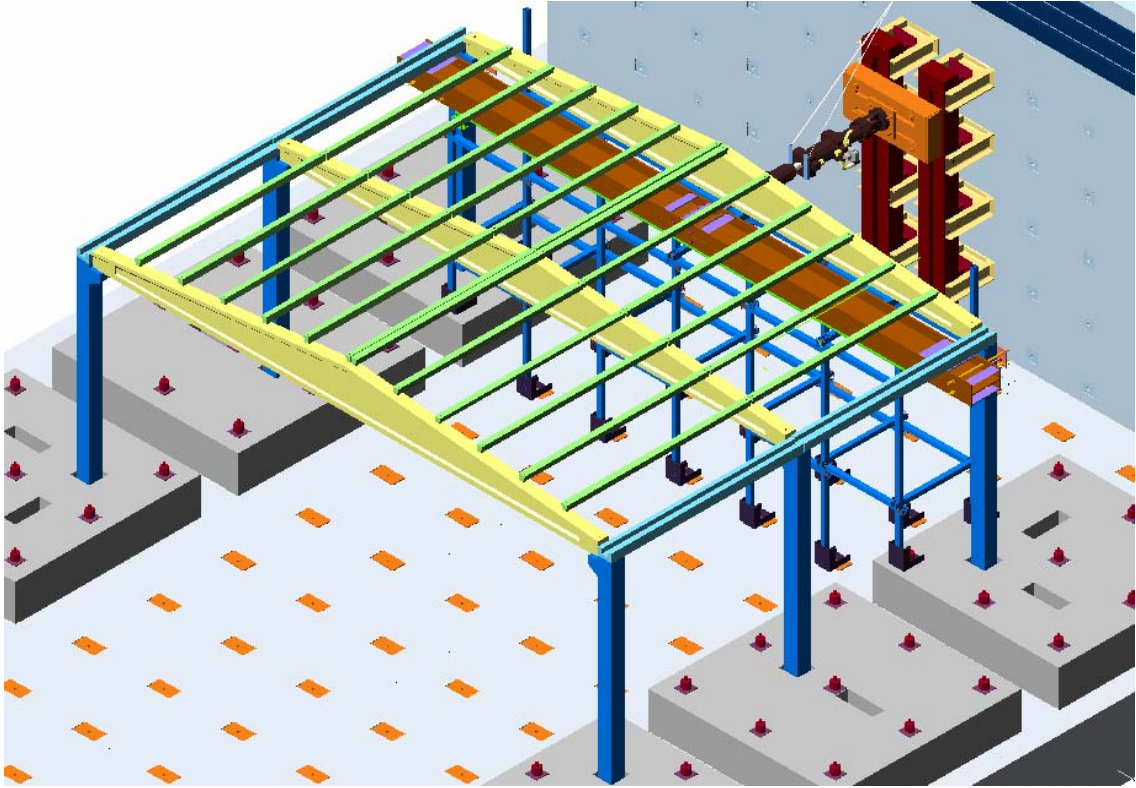
Deneyleerde kullanılan Hidrolik veren statik olarak 250 kN, dinamik olarak 200 kN yükleme ve 200 mm yer değiştirme kapasitesine sahiptir (Şenel 2001). Bilgisayar ile kontrol edilebilen veren ile yerdeğiştirme kontrollü ve yük kontrollü yükleme yapılabilmektedir.



Şekil 4.32 Yükleme düzeneği detayı

3 Boyutlu(3B) yapı deneyinin yükleme düzeneği Şekil 4.33’de görüldüğü gibidir. Yatay tersinir tekrarlı yükleme, hidrolik veren tarafındaki kolonların tepe bölgelerinden yapılmıştır. Hidrolik verenden yatay yükü kolonlara eşit şekilde aktarabilmek için,

sistemin yapısal özelliklerini etkilemeden yükleme yapabilecek özellikte bir yükleme kirişi tasarlanmıştır.



Şekil 4.33 PBA 3 boyutlu yapı deneyi yükleme düzeneği

Deney sistemine ek yük getirmemesi için yükleme kirişi oldukça rigid bir çelik iskele sisteminin üzerindeki, 10 mm kalınlığındaki çelik levha üzerinde, küresel rulmanlar hareket etmektedir. Bu küresel rulmanlar, 30 mm kalınlığındaki çelik levhalara, açılan yuvalara çakma usulü ile monte edilmiştir. Yükleme kirişi kolonlara noktasal etki ettirilerek mafsallı olarak bağlanmıştır. Hidrolik veren yükleme kirişi bağlantısı da mafsallı bağlantıdır.

4.3.2. Ölçüm düzeneği

Yapılan deneylerde iki ayrı veri toplama sistemi kullanılmıştır. Bunlar birisi DARTEC güç ünitesi ve Hidrolik vereni kontrol eden kontrol konsolu sistemidir(Şekil 4.34). Bu sistem DARTEC Hidrolik güç ünitesi, kontrol konsolu, DARTEC yazılımın yüklü olduğu bir bilgisayar, hidrolik veren, hidrolik verendeki yük ölçümünü yapan yük hücresi ve yerdeğiştirmeleri ölçen LVDT ve Potansiyometrik cetvellerden oluşmaktadır.



Şekil 4.34 DARTEC Kontrol konsolu ve bilgisayarı

Bu sistem ile sadece verenin yaptığı deplasman ölçülebilmektedir. Deney numunesindeki yerdeğiştirmeleri ölçebilmek için ayrı bir veri toplama sistemi gereklidir. Bu çalışma sırasında DPT projesi kapsamında gelişmiş bir veri toplama sistemi temin edilmiş ve kullanılmıştır(Şekil 4.35).

DARTEC sisteminden alınan veriler ile bu sistemden bağımsız olarak deney numunesinden doğrudan ölçüm alan veri toplama sisteminin birleştirilmesi için Hidrolik veren üzerine bir LVDT monte edilerek, hareket veri toplama sistemine kaydedilmektedir. Yapılan bu işlem ile TDG veri toplama sistemine bağlanan yerdeğiştirme ölçer ile DARTEC 'teki yerdeğiştirme ölçerin aynı anda ölçüm yapması sağlanarak Dartec'teki yük okumaları ile diğer veri toplama cihazındaki ölçümler aynı dosyada toplanmıştır. Özetle, yükler DARTEC'ten, Yerdeğiştirmeler ise diğer bağımsız veri toplama cihazından alınmıştır.

Bu sistem, bu şekilde çalışmanın başlarında kullanılmıştır. Daha sonra, DPT projesi kapsamında temin edilen bir yük hücresinin hidrolik verenin ucuna monte edilip TDG veri toplama cihazına bağlanması ile tüm ölçümler aynı veri toplama sistemine otomatik olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.35 Veri toplama cihazı (TDG)

Şekil 4.36'da görüldüğü gibi veri toplama cihazlarından gelen veriler, sistemin paket programının yüklendiği bilgisayarda toplanmıştır.



Şekil 4.36 Veri toplama cihazları, bilgisayar ve potansiyometrik cetvel

Deneyler sırasında elemanların ve deney sisteminin davranışını izlemek, kaydetmek ve değerlendirmek için yerdeğiştirme ölçerler ve yük ölçerler kullanılmıştır. Yerdeğiştirme ölçer olarak iki tip algılayıcı kullanılmıştır. Bunlardan birisi Lineer

Variable Displacement Transducer (LVDT), diğeri ise Potansiyometrik Cetvel (PC)'dir.

Ölçüm düzeneği çerçevesi olarak, deney elemanından ve yükleme düzeneğinden bağımsız, çelik kutu profillerden imal edilmiş, kuvvetli döşemeye bulonlar ile rijit bir şekilde bağlanan bir sistem kullanılmıştır (Şekil 4.37).

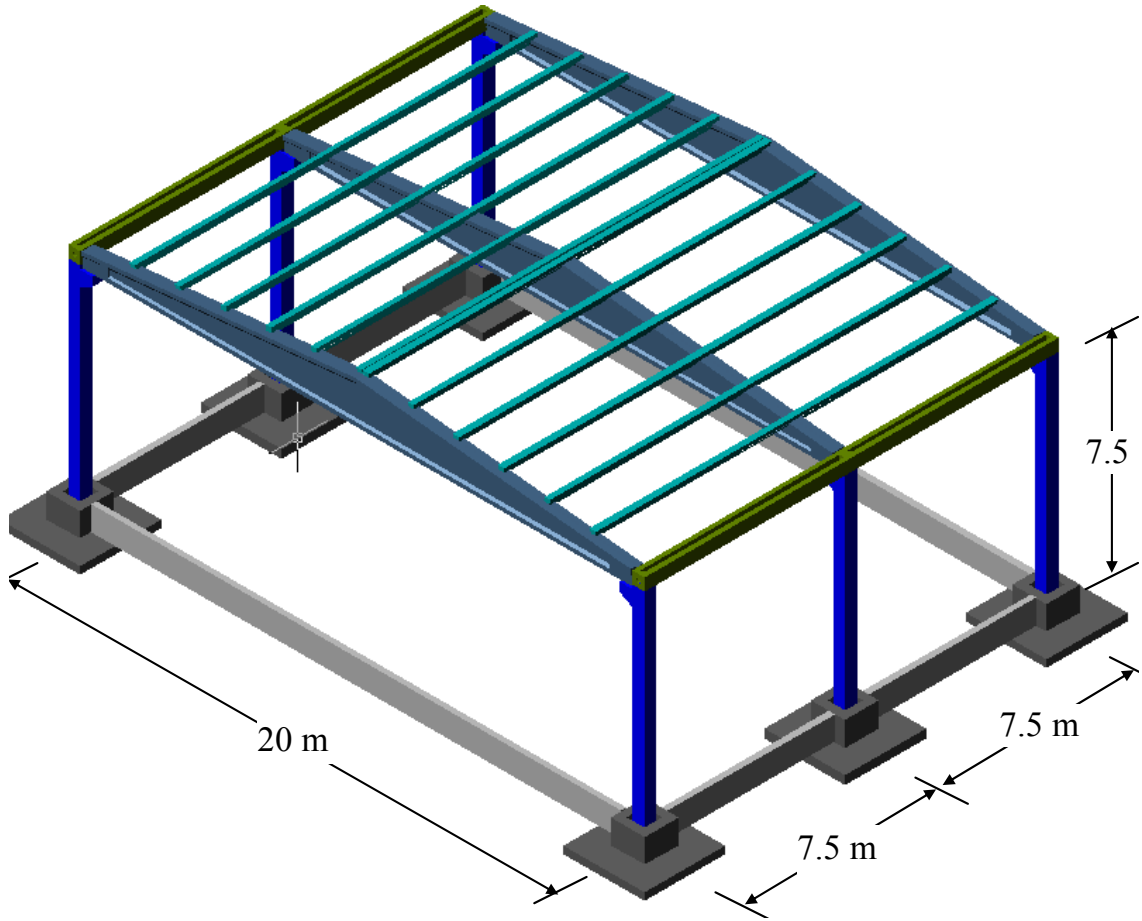


Şekil 4.37 Ölçüm düzeneği ve yerdeğiştirme ölçerlerin montajı

Yerdeğiştirme ölçerlerin deney elemanları üzerine yerleşimleri her deneyde farklı olmuştur.

4.4. Üç Boyutlu PBA Yapı Deneyi

Bu deneyde, mevcut prefabrik yapıların, boyutları 1/3 oranında küçültülerek oluşturulan modelinin, tekrarlı tersinir yatay yük altında davranışının, 3 boyutlu (3B) olarak, incelenmesi amaçlanmıştır. Elemanlar arasındaki yük ve yerdeğiştirme aktarımı ve pimlerin hareketi araştırılmıştır. Şekil 4.38'de, bu deneyde kullanılan 3B PBA yapı, şematik olarak görülmektedir.



Şekil 4.38 PBA sanayi yapısı modeli

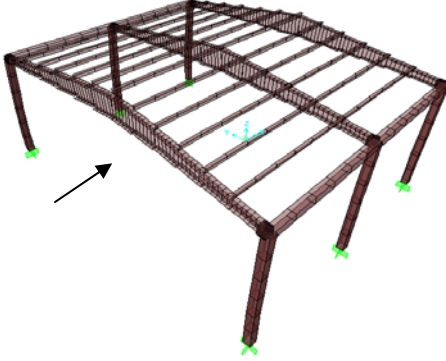
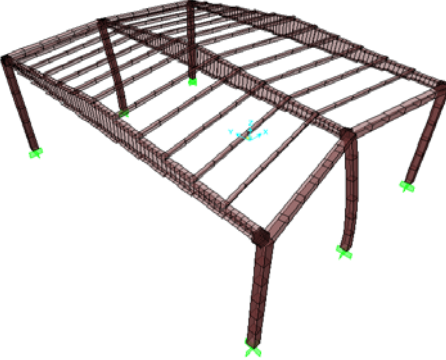
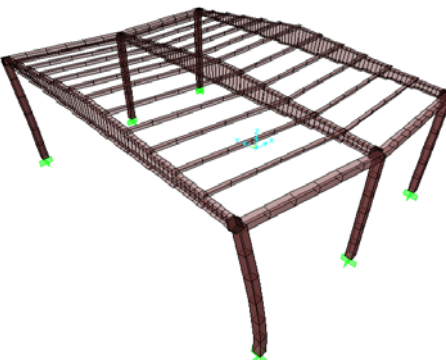
4.4.1. Kuramsal hesaplar

Öncelikle, inceleme konusu olan tipik PBA sanayi yapısının davranışı ile ilgili kuramsal hesaplar yapılmıştır. Daha sonra, üç boyutlu deney yapısı ile ilgili kuramsal hesaplar yapılmıştır. Edilen sonuçlar, birbiri ile ve deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

4.4.2. Mevcut yapı hesapları

Mevcut tipik PBA sanayi yapısı ile ilgili SAP 2000[®] (2000) yazılımı ile yapılan çözümleme sonuçlarına göre, yapının çerçeveleri, Tablo 4.1’de görüldüğü gibi, makas doğrultusuna dik yönde, x-yönünde, birlikte hareket etmektedir. Yapının x-yönündeki periyodu, $T_1 = 1.3$ sn, makas doğrultusundaki, y-yönündeki, orta aksın periyodu, $T_2 = 1.03$ sn, y-yönündeki kenar aksın periyodu, $T_3 = 0.85$ sn olarak hesaplanmıştır. Y yönünde, ortadaki çerçeve, kütesinin büyük dolay, daha büyük yerdeğiştirme yapmaktadır.

Tablo 4.1 Mevcut yapının mod şekilleri ve periyotları

Periyot No	Mod Şekli	Periyot süresi(sn)
1.periyot,		1.3
2.periyot		1.03
3.periyot		0.85

Eşdeğer deprem yükü yöntemi(EDYY) ile deprem hesabı

Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre, sistemin birbirine dik her iki yöndeki doğal titreşim periyotları, taban kesme kuvvetleri ve görelî kat ötelenmeleri bulunmuştur.

X yönünde hesap

- 1. derece deprem bölgesi ($A_0=0.4$)
- Zemin sınıfı: Z2 ($T_A=0.15$ sn, $T_B=0.4$ sn)
- $I=1$, $R = 5$
- $T = 1.3$ sn
- Toplam bina ağırlığı, $W=750$ kN (kar yükünün %30 u alınmıştır.)
- $R_a(T) = R$ ($T>T_A$)
- $S(T) = 2.5(T_B / T)^{0.8}$ ($T>T_B$)
- $V_t = W.A_0.I.S(T) / R_a(T)$
- $V_t = 79.5$ kN
- Görelî ötelenme: $G\ddot{O}_x = \Delta/h = 0.028/7.5 = 0.0037$

Y yönünde hesap

Bu doğrultuda, sistem, diyafram özelliği göstermediği için, akslar arasında birlikte hareket yoktur. O yüzden, sistemi bir bütün halinde eşdeğer deprem yükü yöntemine göre çözmek mümkün değildir. Ayrı çerçeveler olarak çözülmüştür.

Orta çerçeve

- Toplam aks ağırlığı: $W=294$ kN (kar yükünün %30 u alındı)
- $T = 1.03$ sn
- Taban kesme kuvveti: $V_{ty}=31$ kN
- Görelî ötelenme: $G\ddot{O}_y = \Delta/h = 0.034/7.5 = 0.0045$

Kenar çerçeve

- Toplam aks ağırlığı: $W=215$ kN (kar yükünün %30 u alındı)
- $T = 0.87$ sn
- Taban kesme kuvveti: $V_{ty}=24.5$ kN
- Görelî ötelenme: $G\ddot{O}_y = \Delta/h = 0.027/7.5 = 0.0036$

Boyutları Şekil 4.1'de görülen, mevcut PBA SY yapı hesapları, Tablo 4.2'de

özetlenmiştir.

Tablo 4.2 ABYYHY 97'ye göre PBA yapının EDYY yöntemi hesap özeti

Periyot	(s)	Tab. Kes. Kuvveti	kN	Görelî ötel.	(1/10000)
T _{1x}	1.3	V _{tx}	79.5	GÖ _x	37
T _{1y} ara	1.03	V _{ty} orta	31.0	GÖ _y orta	45
T _{1y} kenar	0.85	V _{ty} kenar	24.5	GÖ _y kenar	36

Tablo 4.2'de görüldüğü gibi, kolon boyuna donatı oranı %1 alınarak hesaplanan görelî ötelenme oranları, yönetmeliğin öngördüğü 0.0035 görelî ötelenme sınırını aşmaktadır.

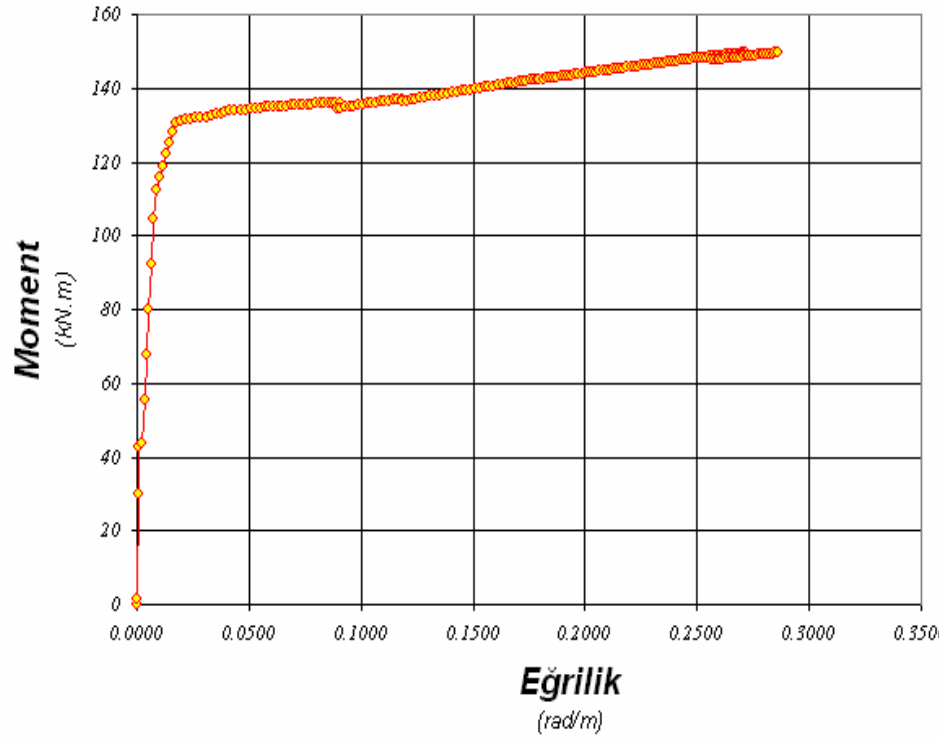
Statik itme analizi

Yapıda plastik mafsalların oluşabileceği tek bölge, kolon alt bölgeleridir. Bu nedenle, plastik mafsallar, sadece kolonların alt bölgelerine yerleştirilmiş ve itme analizi yapılmıştır. Bütün itme analizlerinde, doğrusal ötesi hesaplarda, kolonlarda P-Δ etkisi dikkate alınmıştır.

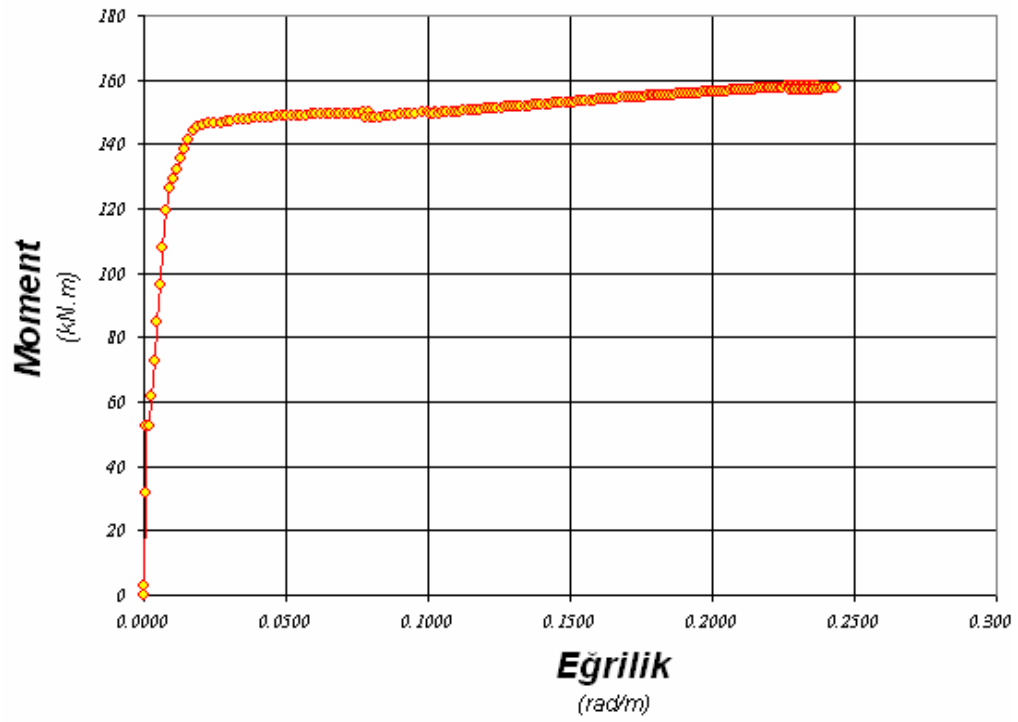
- Kolonun Yüğü : N=93.2 kN (Kenar kolon)
- Kolon yüğü : N=186 kN (Ota kolon)
- Malzeme : BÇIII, BS30
- Kolon boyutları : 40×40
- Boyuna donatı : 8φ16
- Enine donatı : φ8/10

Sistemi oluşturan kolonların kesitinin, yukarıdaki bilgilere göre oluşturulan moment-eğrilik ilişkileri Şekil 4.39ve Şekil 4.40'da görülmektedir.

Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'da görülen, moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen değerler, Şekil 4.41'de görüldüğü gibi, plastik mafsallık özelliklerinin oluşturulmasında kullanılmıştır.



Şekil 4.39 Kenar kolon moment-eğrilik ilişkisi



Şekil 4.40 Orta kolon moment-eğrilik ilişkisi

Elde edilen plastik mafsal özelliklerini kullanarak, SAP 2000® (2000) programında, statik itme analizi yapılmıştır.

Frame Hinge Property Data for m3 orta - M3

Edit

Point	Moment/SF	Curvature/SF
E-	-0.2	-18
D-	-0.2	-13
C-	-1.08	-13
B-	-1	-1
A	0	0
B	1.	1.
C	1.08	13.
D	0.2	13.
E	0.2	18.

Hinge is Rigid Plastic
 Symmetric

Scaling for Moment and Curvature

Use Yield Moment Moment SF Positive: 14.7859 Negative:

Use Yield Curvature Curvature Positive: 0.019 Negative:

Acceptance Criteria (Plastic Curvature/SF)

Immediate Occupancy Positive: 2. Negative:

Life Safety Positive: 7. Negative:

Collapse Prevention Positive: 12. Negative:

Show Acceptance Criteria on Plot

Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length:

Relative Length

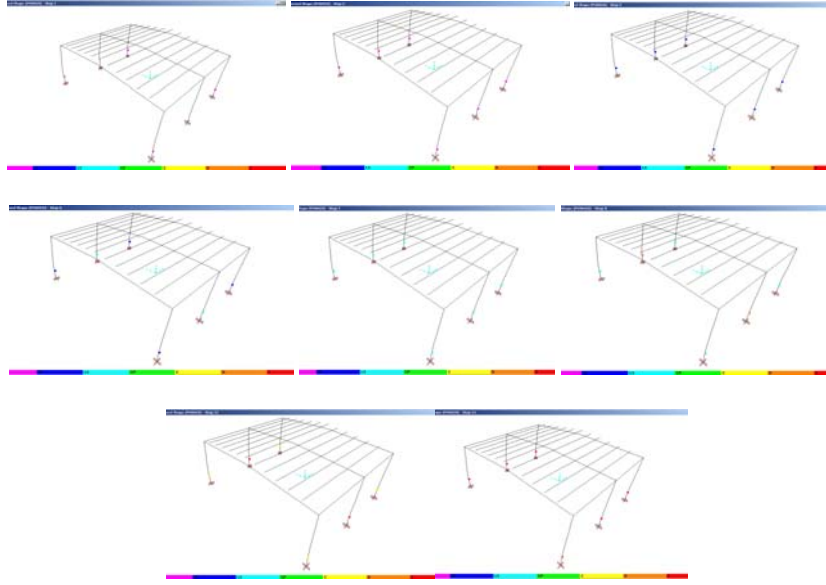
OK
Cancel

Şekil 4.41 Plastik mafsal özellikleri

İtme analizi sürecinde yapının plastik mafsallaşma ile göçme durumuna gelmesi, Şekil 4.42’de, aşamalı olarak görülmektedir. Sistemin, itme analizi sonuçlarına göre, göçme durumuna ulaşması, aşağıda özetlenmiştir. Bir önceki hareketin aynısının tekrarlandığı adımlar verilmemiştir.

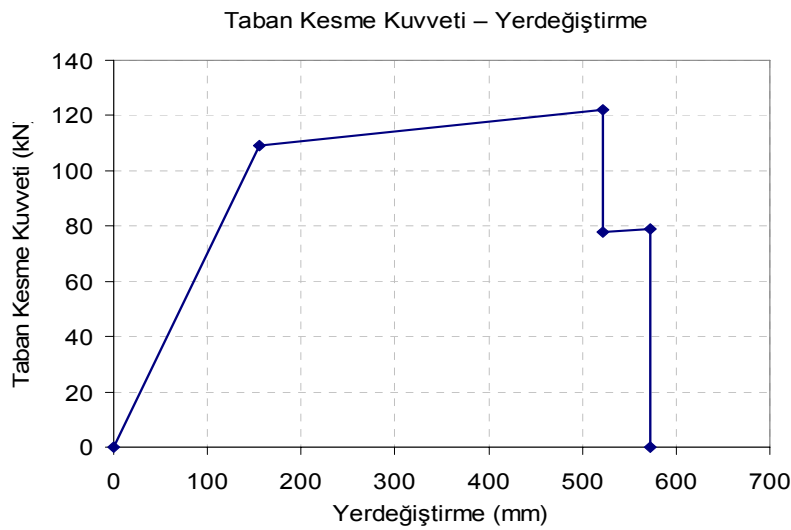
Sistemde, önce kenar kolonlarda, sonra orta kolonlarda mafsallaşma oluşmasından sonra, bütün kolonlarda hemen kullanım seviyesine ulaşılmıştır. Bu aşamadan sonra; önce ortadaki kolonda, sonra diğer bütün kolonlarda, can güvenliği seviyesine ulaşılmıştır. Bir sonraki adımda, ortadaki kolonları, göçmenin önlenmesi durumuna

ulaşan yapı, daha sonraki adımda, kenar kolonlarının da göçmenin önlenmesi durumuna ulaşması ve orta kolonların göçme durumuna ulaşması ile taşıma gücünü kaybeder.



Şekil 4.42 İtme analizi adımları

Yapı sisteminin tüm bağlantıları mafsallı olduğu için elemanlar ve çerçeveler arasında yardımlaşma ve yüklerin yeniden dağılımı olmamakta ve elemanların bazılarındaki göçme, sistemde göçmeye neden olmaktadır. Yapılan itme analizi sonucunda, aşağıdaki kapasite eğrisi elde edilmiştir (Şekil 4.43).



Şekil 4.43 PBA mevcut yapı yük-yerdeğiştirme ilişkisi (itme analizi)

Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile deprem hesabı (ABYYHY98 1998)

X Doğrultusunda:

- 1. derece deprem bölgesi,
- Zemin sınıfı Z2 ($T_A=0.15$ sn, $T_B=0.4$ sn), $R_a(T_1) = 5$, $A_0=0.4$, $I=1$
- Toplam bina ağırlığı: $W= 8.5$ ton (kar yükünün %30 u)
- Taban kesme kuvveti: $V_{tx}=1$ ton
- Göreli ötelenme: $G\ddot{O}_x=\Delta/h=0.00617/2.5=0.0025$

Y Doğrultusunda:

Bu doğrultuda, sistem diyafram özelliği göstermediği için, akslar arasında birlikte hareket yoktur. Modeli bir bütün halinde eşdeğer deprem yüküne göre çözmek mümkün değildir. Kenarlara göre daha fazla yüklenen orta aks çerçevesi hesapları aşağıda verilmiştir.

- Toplam aks ağırlığı: $W=3.9$ t (+kar yükünün %30'u)
- Taban kesme kuvveti: $V_{ty}=0.53$ t
- Göreli ötelenme: $G\ddot{O}_y=\Delta/h=0.010/2.5=0.004$

Deney Yapısı EDYY hesaplarının özeti Tablo 4.3'de görülmektedir.

Tablo 4.3 PBA deney modelinin EDYY çözümünün sonuçları

T1x	sn	0.87
T1y ara makas	sn	0.66
T1y kenar makas	sn	0.50
Vtx	kN	79.5
Vty orta makas	kN	31.0
Vty kenar makas	kN	24.5
GÖx	1/10000	37
GÖy orta makas	1/10000	40

Statik İtme Analizi

3B Deney yapısının statik itme analizi yapılarak yük – yerdeğiştirme ilişkisi, mafsallaşma noktası ve göçme noktası gibi özellikleri bulunmuştur (ATC-40 1996). PBA Yapı deneyinde, deney modelinin moment-eğrilik ilişkisini araştırmak için, kolon tabanına, yerdeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. İtme analizinden elde edilen değerler, deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve uygunluğu gösterilmiştir.

Çerçeve deneyi bölümünde, Y yönündeki davranışı incelenen yapının, bu bölümde x- yönündeki davranışı incelenmiştir.

Moment- Eğrilik

Statik itme analizi için, modeli oluşturan elemanlardaki plastik mafsal özellikleri gerekmektedir. Plastik mafsal özellikleri için kesitin moment–eğrilik ilişkisi hesaplanmıştır. Moment-eğrilik ilişkisi hesapları için, önce, ilgili kesite etkiyen aksenal yük, aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Tablo 4.4).

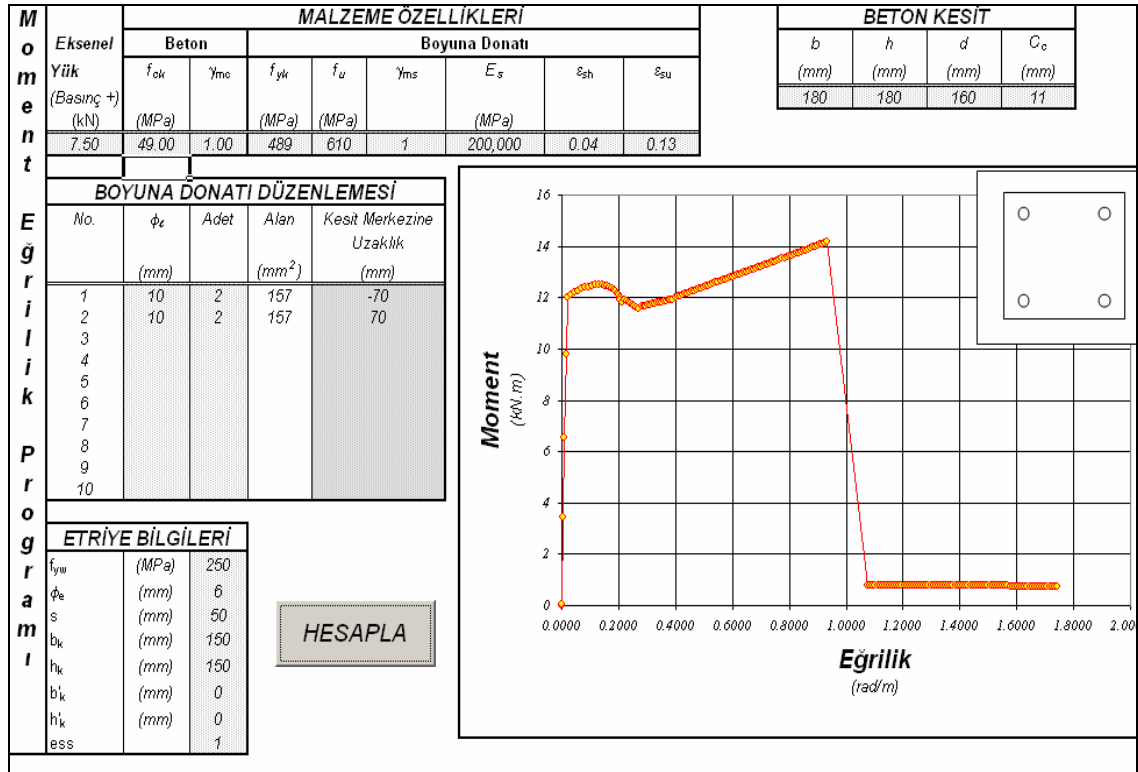
Tablo 4.4 Kesite etkiyen yükler

Eleman	Adet	V (m ³)
Kolon	1	0.096
Makas	Yarısı	0.100
Aşık	6	0.072
Oluk	1	0.039
Toplam		0.307

Toplam ağırlık $W=0.307 \times 24.5=7.5$ kN.

Bulunan bu ağırlık, kesite uygulanan aksenal yük olarak, Ersoy (1998) moment-eğrilik yazılımında girilmiştir (Şekil 4.45). Malzeme özellikleri olarak, beton basınç ve çelik çekme deneylerinden elde edilen değerler kullanılmıştır. Beton kesit, etriye bilgileri ve boyuna donatı düzenlenmesi bilgileri, aynı şekilde, görüldüğü gibidir.

Yapılan analiz sonucunda moment–eğrilik ilişkisi elde edilmiştir. Elde edilen akma ve göçme noktalarındaki moment ve eğrilik değerleri, Tablo 4.5’de özetlenmiştir.



Şekil 4.45 PBA Deney Yapısı kolonu moment-eğrilik ilişkisi

Tablo 4.5 PBA Deney Yapısı kolon moment-eğrilik özeti

		Moment (kNm)	Eğrilik(rad/m)
Kolon	Akmada	12.00	0.035
	Göçmede	14.00	0.771

Kolonun moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen değerler, Şekil 4.46'da görüldüğü gibi, programa plastik mafsallık özellikleri olarak girilmiştir. Plastik mafsallık boyu, kolon kesit derinliğinin yarısı, $h/2$, $0.180/2 = 0.09$ m olarak kabul edilmiştir (Moehle 1992).

Daha önce de açıklandığı gibi, kolonların temele birleşimi dışındaki tüm birleşimlerin mafsallık bağlantılı olmasından dolayı, Deney yapısında mafsallaşma, sadece kolon diplerinde oluşabilir. Bu nedenle, sadece kolon alt bölgelerine plastik mafsallar tanımlanmıştır.

Frame Hinge Property Data for kol-m3 - M2
Edit

Point	Moment/SF	Curvature/SF
E-	-0.2	-42
D-	-0.2	-26
C-	-1.17	-26
B-	-1	-1
A	0	0
B	1.	1.
C	1.17	26.
D	0.2	26.
E	0.2	42.

Hinge is Rigid Plastic
 Symmetric

Scaling for Moment and Curvature

Use Yield Moment Moment SF Positive: 12. Negative:

Use Yield Curvature Curvature Positive: 0.035 Negative:

Acceptance Criteria (Plastic Curvature/SF)

Immediate Occupancy Positive: 2. Negative:

Life Safety Positive: 15. Negative:

Collapse Prevention Positive: 24. Negative:

Show Acceptance Criteria on Plot

Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

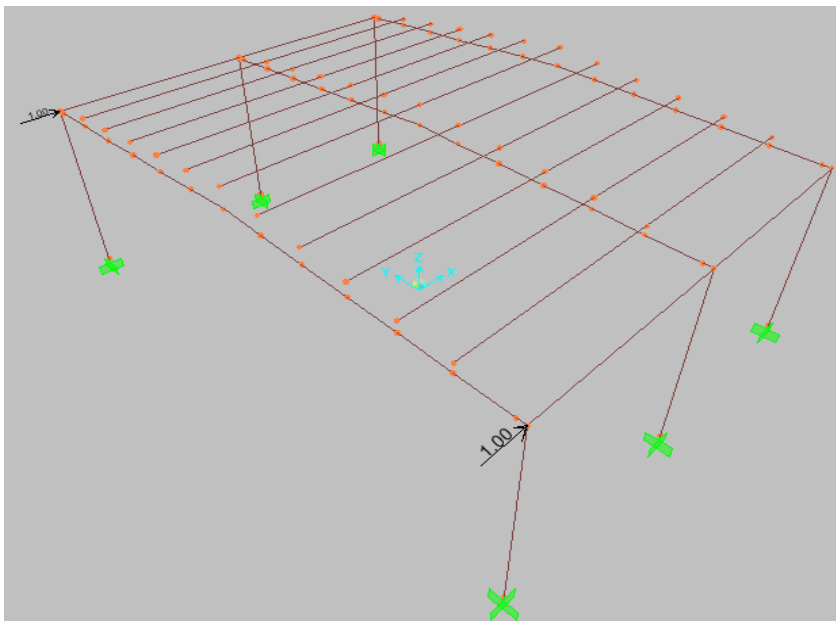
Hinge Length

Relative Length

OK
Cancel

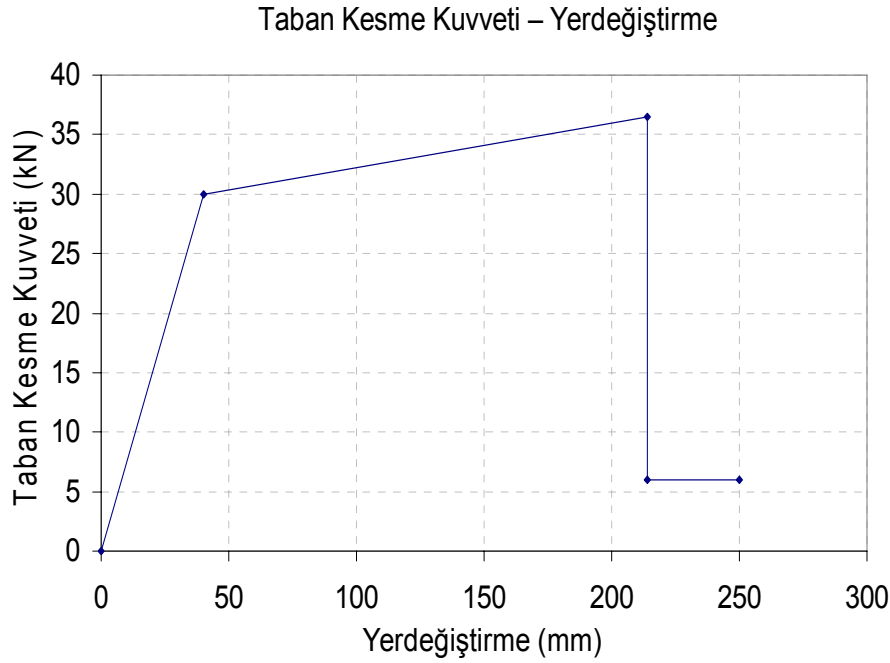
Şekil 4.46 Kolonun plastik mafsal özellikleri

Şekil 4.47’de görüldüğü gibi, yapıya, birinci makasla birleştiği noktalardan, yatay doğrultuda itme uygulanmıştır.



Şekil 4.47 Deney Yapısının itme şekli

Statik itme analizi sonucunda, aşağıda görülen, Taban kesme kuvveti-Yerdeğiştirme ilişkisi elde edilmiştir (Şekil 4.48).



Şekil 4.48 Taban kesme kuvveti–Yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 4.48’deki itme analizi sonucuna göre, mafsallaşma, 40 mm yerdeğiştirme ve 30 kN yükte başlamış, 214 mm yerdeğiştirme ve 36.5 kN yükte ise göçme noktasına ulaşmıştır.

4.4.4. Deney yapısının hazırlanması

PBA Deney Yapısı, mevcut PBA sanayi yapılarının yapısal özelliklerini yansıtacak şekilde tasarlanmıştır.

Denizli Organize Sanayi Bölgesi mevcut prefabrik betonarme sanayi yapılarının durumlarının incelenmesi sonucu, yapılarda yaygın olarak kullanılmış olan elaman boyutları tespit edilmiş ve 1/3 oranında küçültülerek deney yapısı oluşturulmuştur.

Deney elamanların sayısının çok fazla olmasından dolayı, seri üretim için çelik kalıplar hazırlanmıştır. Çelik donatılar laboratuarda hazırlanmıştır. Numuneler prefabrik yapım şartlarında hazırlanmıştır. Numunelerin üretiminde mevcut yapıların özelliklerinin aynısı sağlanmaya çalışılmıştır.

Eleman üretiminde, ortalama 40 Mpa basınç dayanımına sahip beton kullanılmıştır. Beton karışımında kırma taş agrega ve KPC 42.5 çimento kullanılmıştır. Enine donatı olarak 6 mm düz demir, BCI, boyuna donatı olarak ise 10 mm ve 12 mm çapında nervürlü demir, BÇIII, kullanılmıştır. Kullanılan donatıların, çekme deneylerinden elde edilen, mekanik özellikleri Tablo 4.6'da özetlenmiştir.

Tablo 4.6 Elemanlarda kullanılan donatıların mekanik özellikleri

	Akma		Kopma	
	Gerilme (MPa)	Şekil Değişirme	Gerilme (MPa)	Şekil Değişirme
Ø 6	250	0.022	335	0.210
Ø 8	493	0.040	615	0.170
Ø 10	489	0.037	610	0.140

4.4.5. Deneyin yapılışı

Deney yapısı üzerinde üç değişik yükleme şeklinde deney uygulanmıştır.

- *Simetrik yükleme:* 1 aksındaki her iki kolona eşit yerdeğiştirme, 36 mm yerdeğiştirmeye kadar 10 adım ve 36 mm den 90 mm yerdeğiştirmeye kadar 10 adım tersinir tekrarlı, uygulanarak gerçekleştirilen deney.
- *Asimetrik yükleme:* S1 kolonundan 90 mm yerdeğiştirmeye kadar statik tersinir tekrarlı yükleme deneyi.
- *Hızlı yükleme:* Bütün ölçüm sistemleri kaldırılarak, 120 mm/sn hız seviyense kadar değişen hızlarda, S1 kolonu üzerinden sinüzoidal çevrim hareketi uygulanan deney.

Deneyisel çalışmada; yüklemeler için DARTEC kontrol konsolu, veri toplama için ise TDG CODA veri toplama sistemi kullanılmıştır. Deneyler yerdeğiştirme tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Kolonların üst noktasından tersinir tekrarlı yükleme uygulanmıştır.

Deneyde 6 adet veri toplama cihazı, 20 adet yerdeğiştirme ölçer ve 2 adet yük hücresi kullanılmıştır.



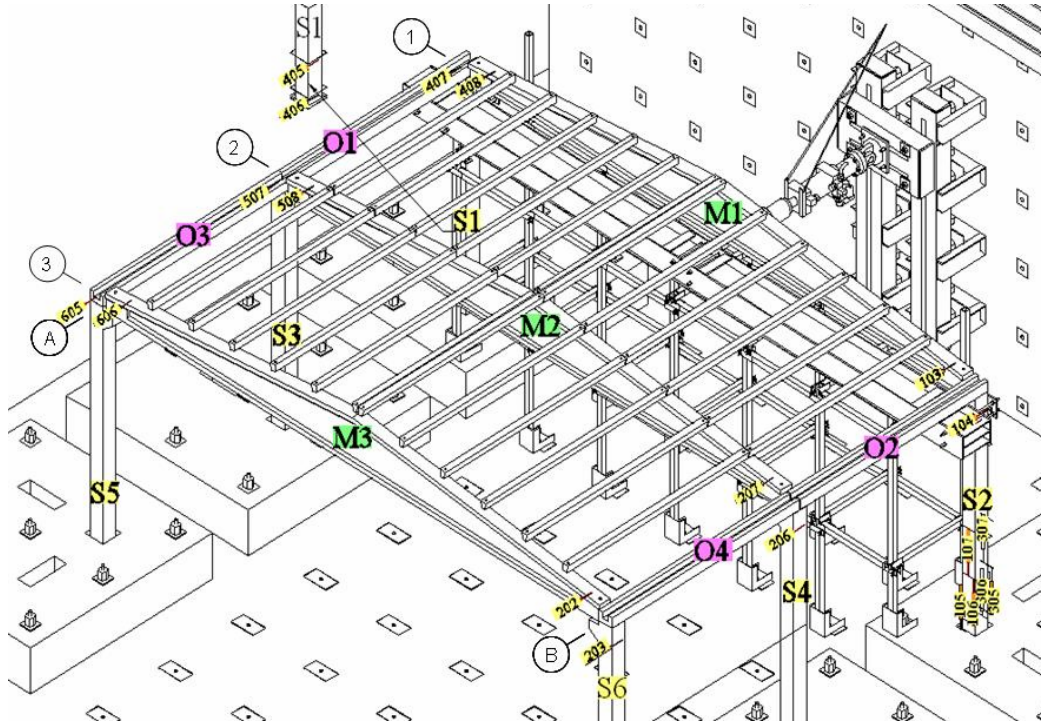
Şekil 4.49 Prefabrik yapı deneyinin ölçüm düzenekleri

Ölçüm çerçeveleri üzerine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler ile her kolon üzerinden ve makastan yerdeğiştirme ölçümleri alınmıştır (Şekil 4.49). Ayrıca, verinin ucuna ek bir yük hücresi montesi ile yük okumaları da tek bir veri toplama sisteminde toplanmıştır.

Elemanların numaralandırılması ve Yerdeğiştirme ölçerlerin yerleşimi

Kolonlar S1,S2,S3,S4,S5,S6, oluklar O1,O2,O3, makaslar M1,M2,M3, aşıklar A1-A24 olarak numaralandırılmıştır. Yerdeğiştirme ölçerler ve elemanların numaralandırılması Şekil 4.50’de görülmektedir. Toplam 6 adet veri toplama cihazı kullanılmıştır. Veri toplama cihazlarının numaraları yerdeğiştirme ölçer numaralarının ilk rakamıdır. Örneğin, 206 numaralı yerdeğiştirme ölçer, 2 numaralı veri toplama cihazına bağlanmaktadır.

Her kolonun tepe noktasına birer yerdeğiştirme ölçer monte edilmiştir. Makasların üzerine, kolon ile makas arasında yerdeğiştirme farkının olup olmadığını tespit edebilmek için, birer yerdeğiştirme ölçer yerleştirilmiştir. Kolonun moment-eğrilik ilişkisini elde etmek için, S1 kolonunun alt bölgesine yatay yönde 2 adet, S2 kolonun alt bölgesine düşey yönde 6 adet yerdeğiştirme ölçer yerleştirilmiştir.



Şekil 4.50 Eleman numaralandırma ve yerdeğiştirme ölçerlerin yerleşimi

Deneyde kullanılan yerdeğiştirme ölçerlerin ne için ve hangi eleman üzerine monte edildiği Tablo 4.7’de görülmektedir.

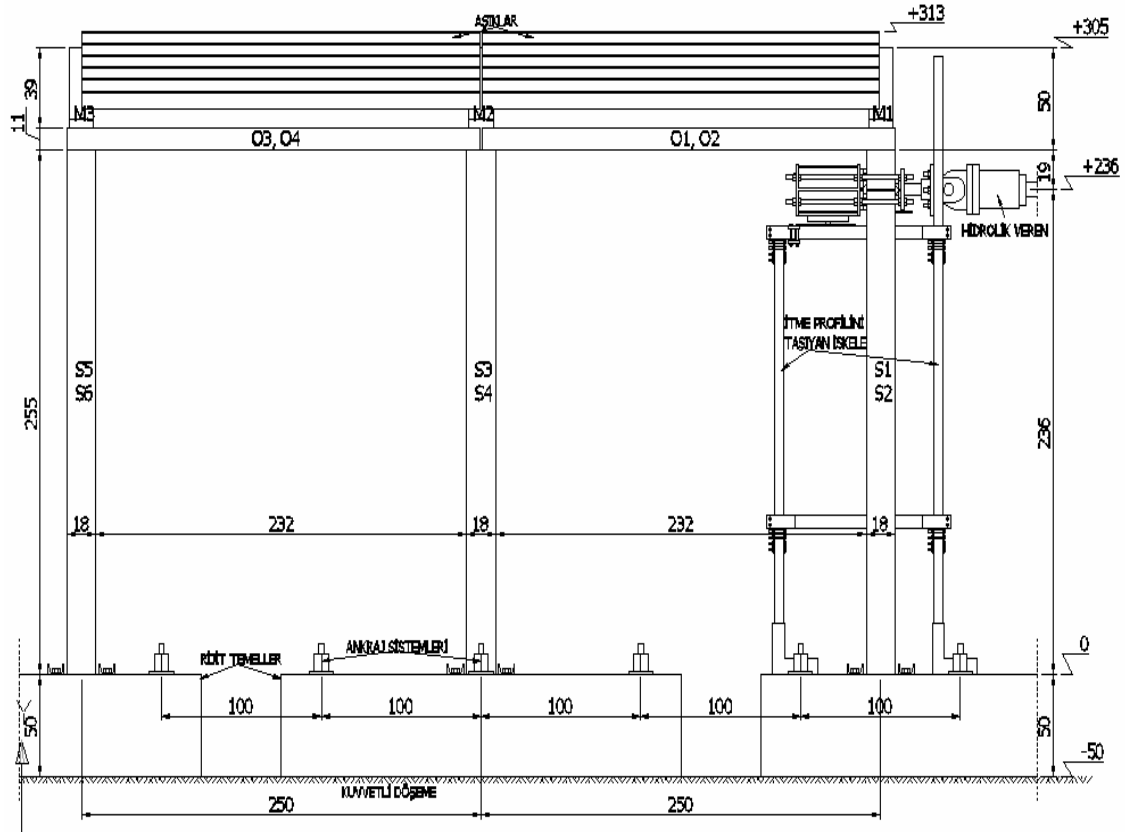
Tablo 4.7 Yerdeğiştirme ölçerlerin yerleşimi

	Yerleştirilen eleman	Yerdeğişt. ölçer		Yerleştirilen eleman	Yerdeğişt.ölç.
Kolon Yatay Yerdeğişt.	S1	D407	Makas yatay yerdeğişt.	M1-S1	D408
	S2	D104		M1-S2	D103
	S3	D507		M2-S3	D508
	S4	D206		M2-S4	D207
	S5	D605		M3-S5	D606
	S6	D203		M3-S6	D202
Moment eğrilik ölçümü	S1	D405, D406	Moment eğrilik ölçümü	S2	D105, D106, D107, D305, D306, D307

S1: kolon M1-S1: M1 makasının S1 kolonu üzerindeki ucu

4.4.5.1. Simetrik yükleme deneyi

Bu deneyde yükleme, Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.'de görüldüğü gibi, simetrik yani 1. aks kolonlarına eşit yükleme şeklinde uygulanmıştır.



Şekil 4.51 Deney yükleme düzeneği

Simetrik yükleme yapabilmek için özel bir yükleme kirişi tasarlanmıştır. Yükleme kirişinin alt yüzüne küresel rulmanlar monte edilmiş ve deney yapısına ek bir yük olarak etkimemesi için, Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'de görüldüğü gibi, çelik bir taşıyıcı sistem üzerinde hareket etmesi sağlanmıştır.

Yüklemenin, kolonlara noktasal aksenal yük olarak etkimesi için, yükleme kirişinin ve kolonun temas kısımlarına yarım silindir şeklinde elemanlar monte edilmiştir. Birbirine dik doğrultudaki bu yarım daire kesitindeki parçalar birbirine tek noktadan temas etmektedir.

Küresel rulmanlar deney sırasında oluşabilecek olan dönmelerde yükleme kirişinin her yönde serbestçe hareketini sağlayacak şekilde tasarlanmış ve monte edilmiştir.



Şekil 4.52 3B Deney yapısı yükleme düzeneği



Şekil 4.53 Yükleme kirişi ve çelik taşıyıcı sistem

Deney süresince, numuneye, Tablo 4.8’de görüldüğü gibi, 20 adımda 90 mm, yerdeğiştirme uygulanmıştır. Depremi benzeştirmesi için, artan veya azalan, tersinir tekrarlı yükleme şeklinde uygulanan her adım sonunda, hareket 90 sn bekletilip, oluşan çatlaklar işaretlenmiştir. Çatlaklar boyunca çizilen çizginin, son kısmının üzerine, adım numarası yazılmıştır.

Tablo 4.8 PBA Deney yapısına uygulanan yükleme şekli

Deney 1- A					
Adım No:	Hareket	Adım Değeri(mm)	Hız	Adım Sonu	Bekletme (sn)
1	Yerdeğiştirme	-3	0.5 mm/s	Zamanlı	90
2	Yerdeğiştirme	3	0.5 mm/s	Zamanlı	90
3	Yerdeğiştirme	-6	0.5 mm/s	Zamanlı	90
4	Yerdeğiştirme	6	0.5 mm/s	Zamanlı	90
5	Yerdeğiştirme	-9	0.5 mm/s	Zamanlı	90
6	Yerdeğiştirme	9	0.5 mm/s	Zamanlı	90
7	Yerdeğiştirme	-23	0.5 mm/s	Zamanlı	90
8	Yerdeğiştirme	23	0.5 mm/s	Zamanlı	90
9	Yerdeğiştirme	-36	0.5 mm/s	Zamanlı	90
10	Yerdeğiştirme	0	0.5 mm/s	Bitiş	90

Deney 1- B					
Adım No:	Hareket	Adım Değeri(mm)	Hız	Adım Sonu	Bekletme (sn)
1	Yerdeğiştirme	36	0.5 mm/s	Zamanlı	90
2	Yerdeğiştirme	-50	0.5 mm/s	Zamanlı	90
3	Yerdeğiştirme	50	0.5 mm/s	Zamanlı	90
4	Yerdeğiştirme	-60	0.5 mm/s	Zamanlı	90
5	Yerdeğiştirme	60	0.5 mm/s	Zamanlı	90
6	Yerdeğiştirme	-70	0.5 mm/s	Zamanlı	90
7	Yerdeğiştirme	70	0.5 mm/s	Zamanlı	90
8	Yerdeğiştirme	-90	0.5 mm/s	Zamanlı	90
9	Yerdeğiştirme	90	0.5 mm/s	Zamanlı	90
10	Yerdeğiştirme	0	0.5 mm/s	Bitiş	

Deney numunesine temel kotundan 2.36 m yükseklikten yatay yük uygulanmıştır.

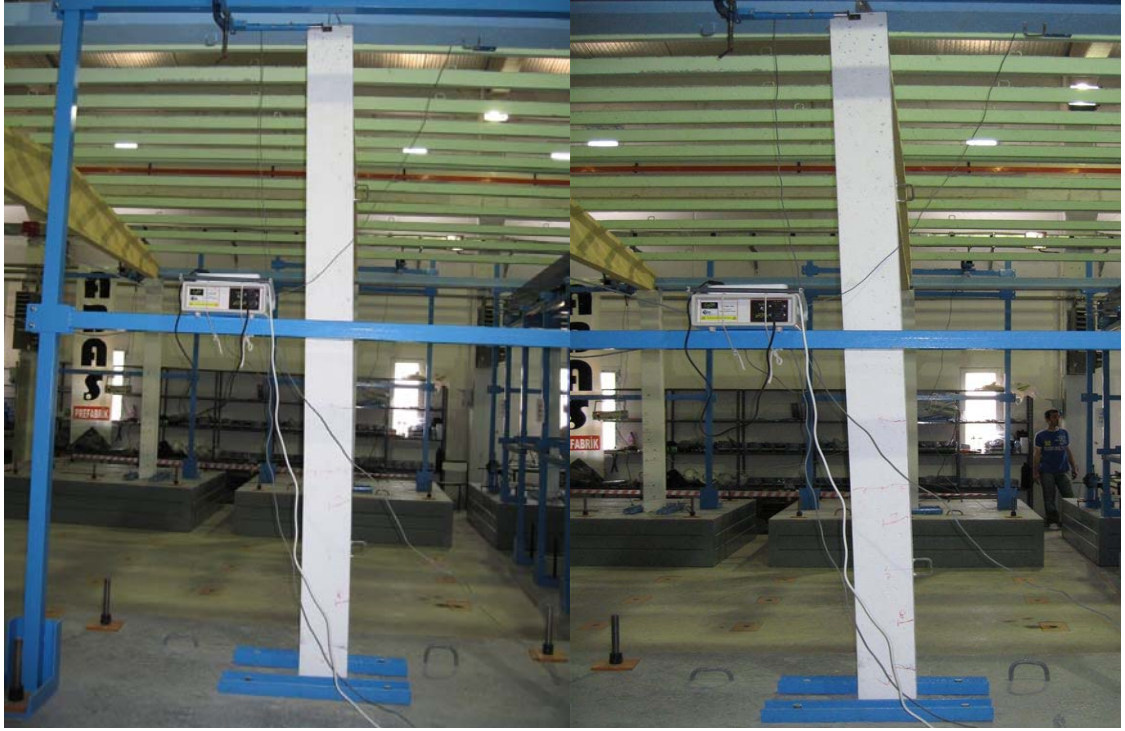
Deney yapılışı sırasında deney yapısının durumları Şekil 4.54, Şekil 4.55, Şekil 4.56ve Şekil 4.57’de görülmektedir.



Şekil 4.54 PBA yapı deneyi başlangıcı



Şekil 4.55 PBA yapı deneyi 2



Şekil 4.56 Orta aks kolon yerdeğiştirmesi

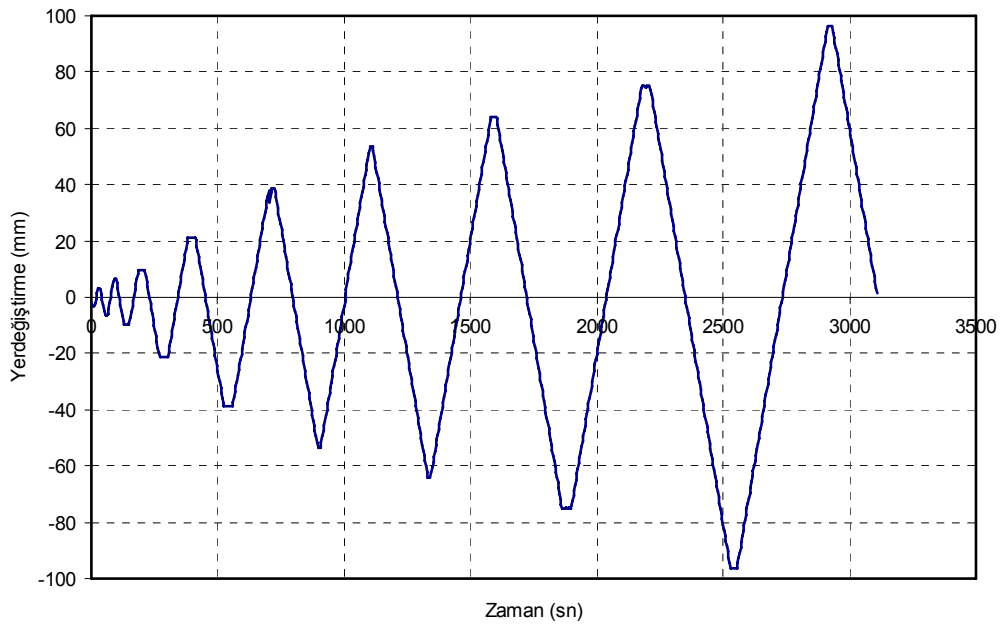


Şekil 4.57 Çekme ve itme anında 1 aksı kolon yerdeğiştirmesi

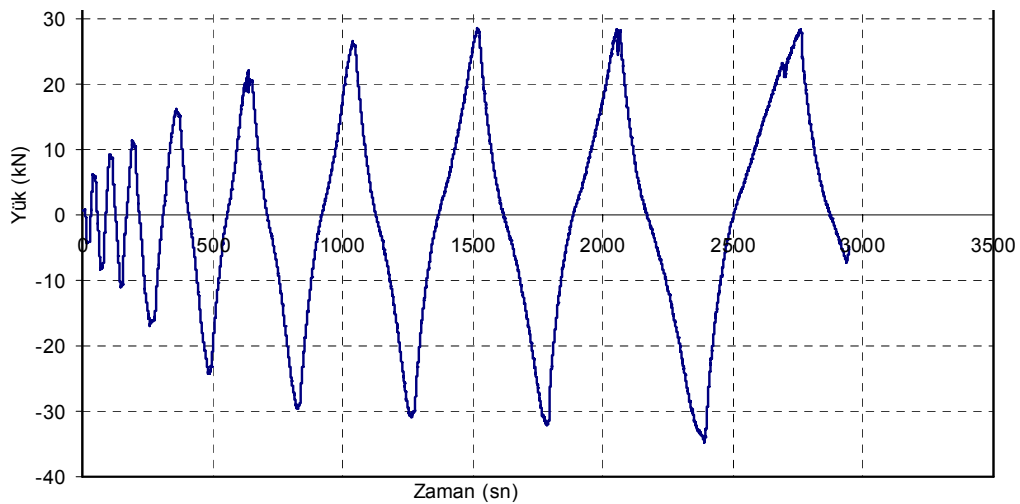
Deneyden elde edilen bulgular

Deney sonunda elde edilen bulguların sunulduğu grafiklerde, x ekseninin üstünde kalan kısım çekme, altta kalan kısım ise itme bölgesini göstermektedir. Grafikler Excel programında çizilmiştir. Deney sırasındaki bekleme süreleri grafiklere yansıtılmamıştır.

Deney numunesine hidrolik veren ile zamanla artan veya azalan tekrarlı tersinir ± 90 mm ye kadar yerdeğiştirmeler uygulanmıştır. Deney sonucunda elde edilen yerdeğiştirme-zaman ilişkisi Şekil 4.58'de, deney yapısına uygulanan yerdeğiştirmeler sonucunda elde edilen yük-zaman ilişkisi ise Şekil 4.59'da görölmektedir.

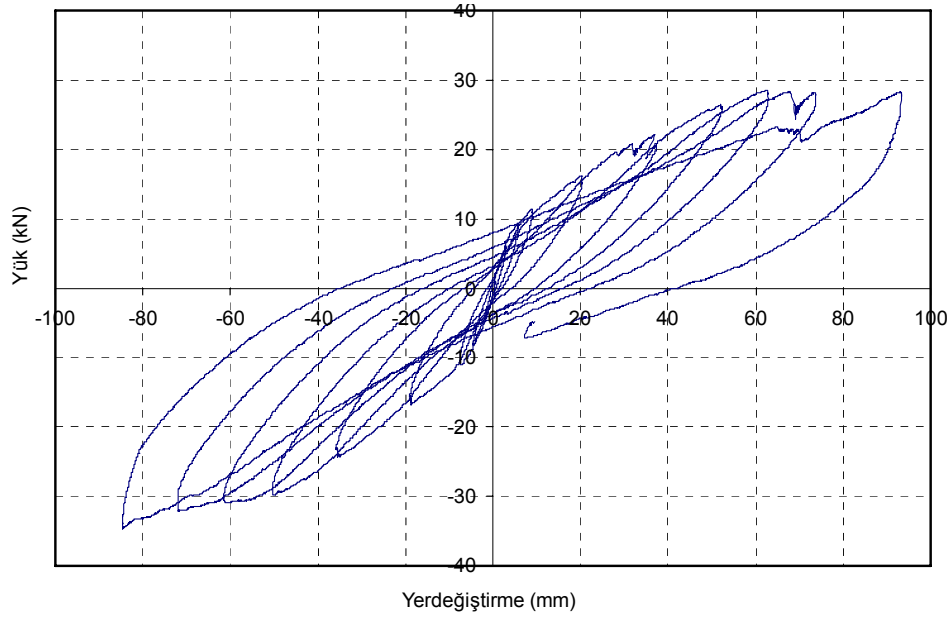


Şekil 4.58 Deney yapısı yerdeğiştirme-zaman ilişkisi

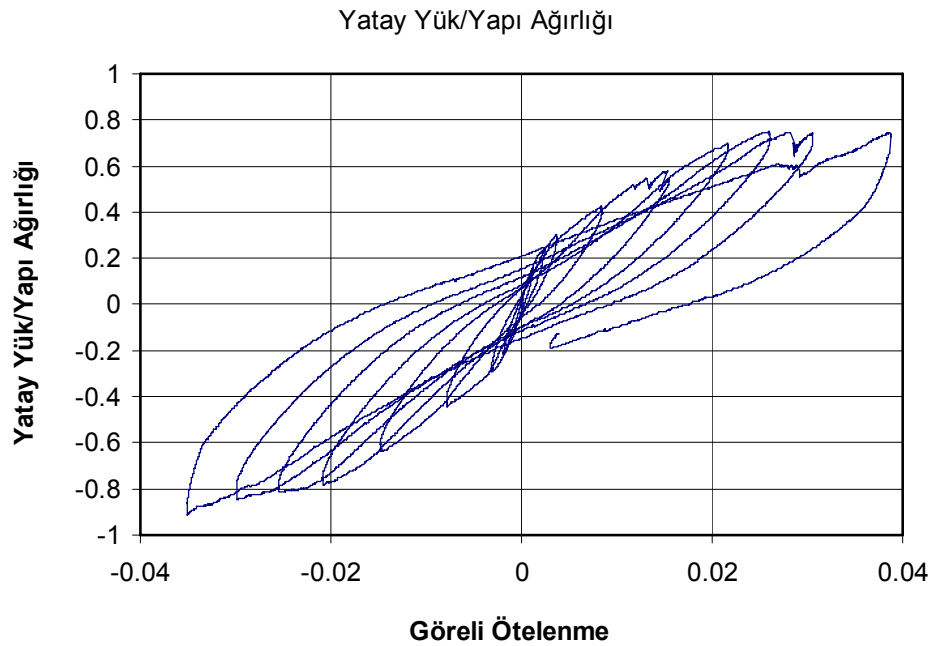


Şekil 4.59 Deney yapısından elde edilen yük-zaman ilişkisi

Şekil 4.60'de görülen yük-yerdeğiştirme ilişkisine göre, deney kolonları itmede 6 mm yerdeğiştirme ve 10 kN yükte çatlamakta, 45 mm yerdeğiştirme ve 29 kN yükte mafsallaşmaktadır. Çekmede ise 4 mm yerdeğiştirme ve 8 kN yükte çatlama, 59 mm yerdeğiştirme ve 30 kN yükte mafsallaşma oluşmaktadır. Şekil 4.61'de görece yük-yerdeğiştirme ilişkisi görülmektedir.



Şekil 4.60 Yük-Yerdeğiştirme ilişkisi



Şekil 4.61 Deney yapısı görece yük-görece yerdeğiştirme ilişkisi

1 Aksı Kolon ve Makas Hareketleri

Şekil 4.62’de 1.aks kolon ve makaslarının yaptığı hareket görülmektedir. Veren hareketi ile kolonların hareketleri ilk çevrimlerde birlikte olmuştur. Daha büyük yerdeğiştirme uygulandığında, oluklarda deformasyon başlamıştır.

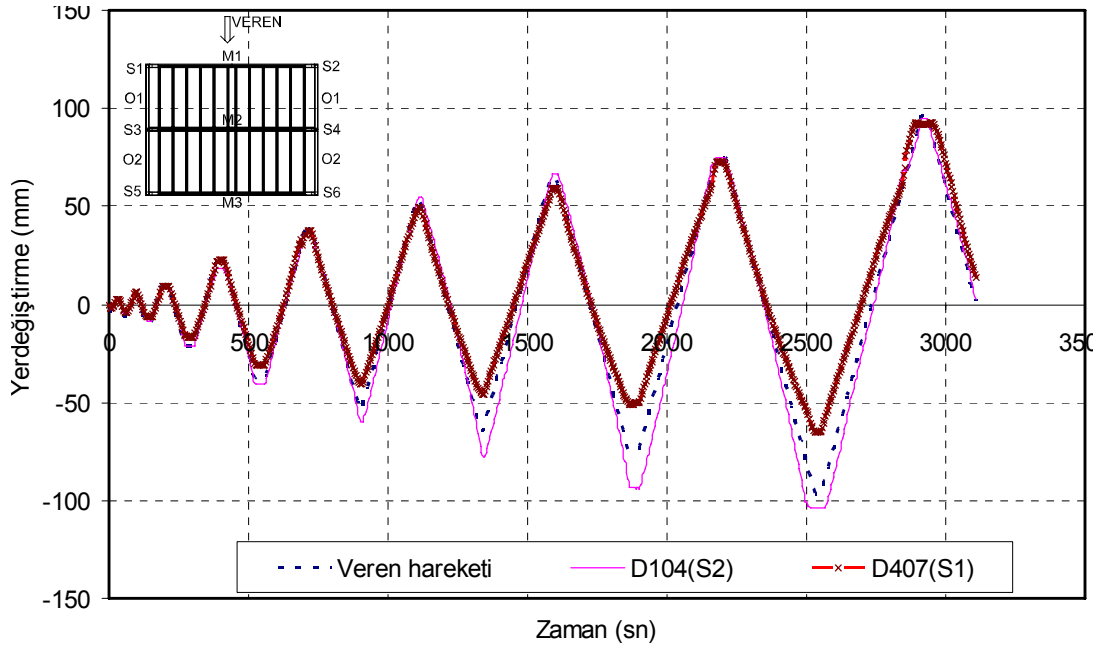
Daha sonra, itme ve çekmede S2(D104) kolonu daha önde hareket etmektedir. O2 oluşunda oluşan pimden oynama neticesinde aks bir miktar dönme yapmıştır. S2 ve S1 kolonu eksenlerinden farklı hareket yapmışlardır. İtmede son adımda (96 mm de) bu ayrışma 39 mm ye ulaşmaktadır. Dönme hareketi sebebiyle S1 (D407) kolonu itmede 51 mm, çekmede ise 92 mm yerdeğiştirme yapmıştır (Şekil 4.63).

Burada pimli birleşimlerin yeterince yerdeğiştirme aktarmadığı görülmektedir. 1 aksının her iki ucundaki kolon tepe yer değiştirmelerinin ortalaması, yaklaşık olarak veren hareketine eşittir.



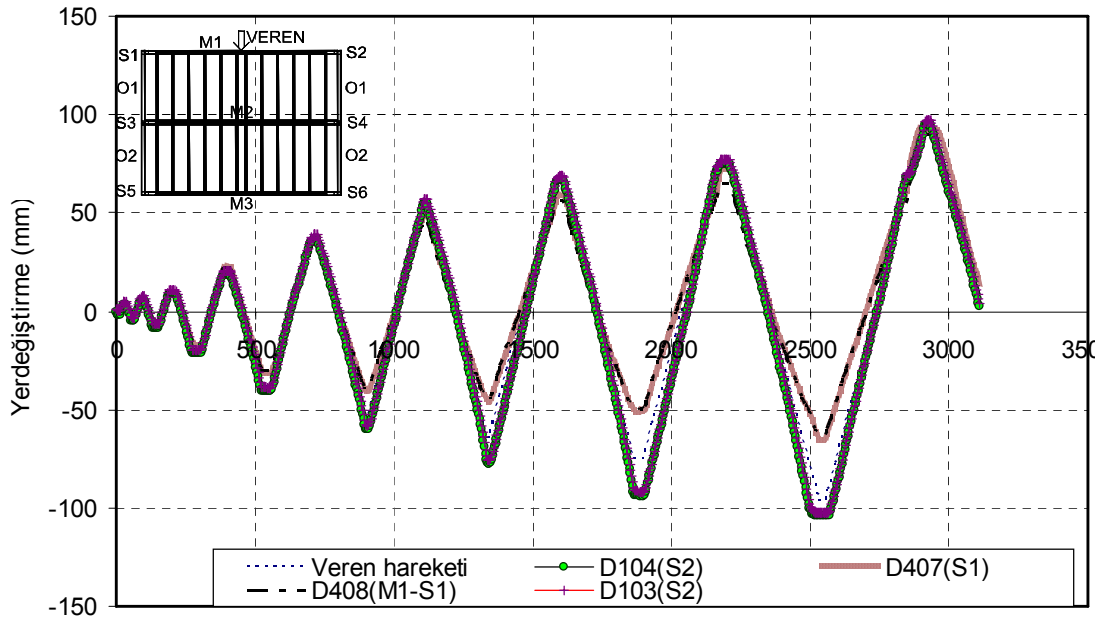
Şekil 4.62 1 aksı kolon ve makasların yaptığı yer değiştirmeler

Makasların uçlarındaki hareketlerin karşılaştırılması için Şekil 4.64’deki yerdeğiştirme-zaman ilişkileri elde edilmiştir.



Şekil 4.63 S1 ve S2 kolonlarının yerdeğiştirme-zaman ilişkileri

S2 kolonunun üzerindeki D104 ve D103 (kolon ve makas) yaklaşık aynı hareketi yapmaktadır. S1 kolonunun üzerindeki D407 ve D408 (kolon ve makas) genel olarak birlikte hareket etmektedir. Kolon itme ve çekmede makastan daha fazla hareket etmektedir. Çekmede son adımlarda 8 mm, itmede ise 1 mm daha fazla yerdeğiştirme yapmaktadır (Şekil 4.64).



Şekil 4.64 1 aksındaki kolon ve makas uçlarının hareketleri

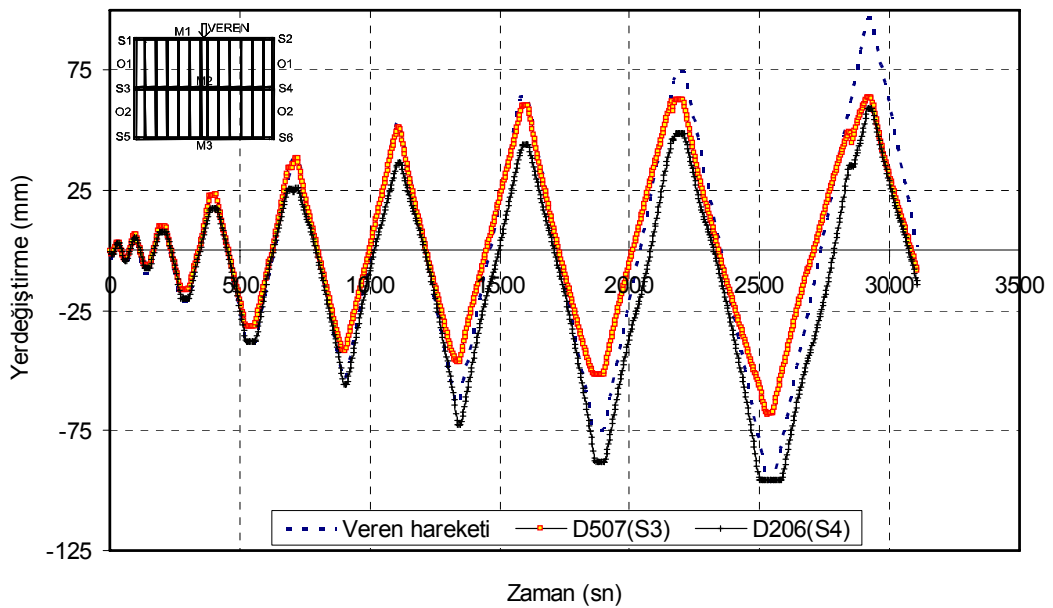
2 aksı kolon ve makas hareketleri (orta aks)

2 aksı çerçevesinin deney sırasındaki yerdeğiştirmesi ve oluklarda oluşan hasarlar Şekil 4.65’de grlmektedir.

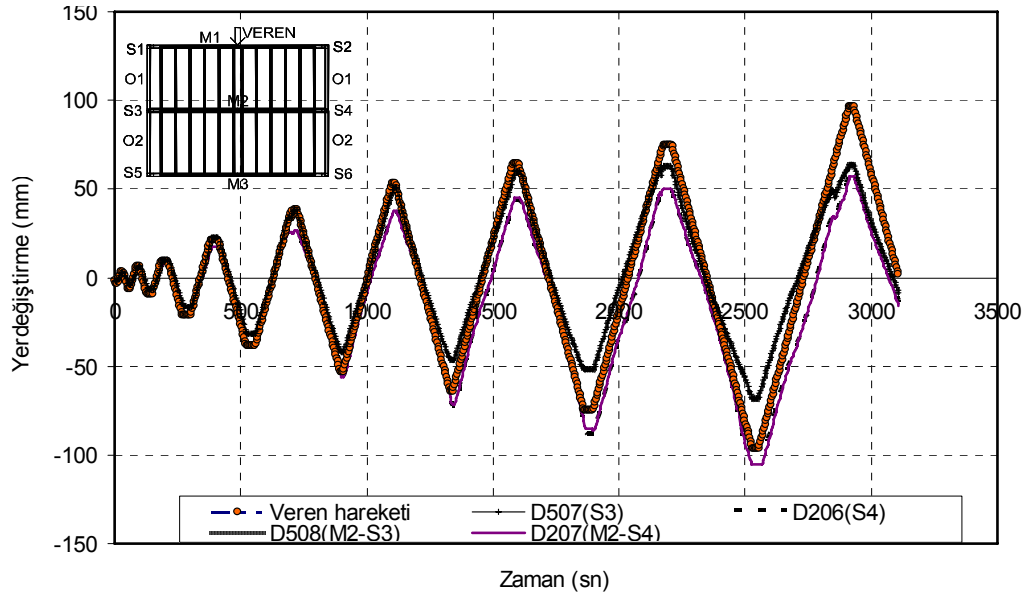


Şekil 4.65 2 aksının yer değiştirmesi ve O1 ve O2 olukları hasarları

Şekil 4.66’da görüldüğü gibi S4 kolonu ve S3 kolonu beşinci adımdan sonra farklı yerdeğiştirme yapmaya başlamıştır. Fakat kendi içinde makas ve kolon aynı hareketi yapmaktadır (Şekil 4.67). Daha nceki 1 aksıyla sürekliliği sağlayan O1 ve O2 olukların pimlerinden oynama ve birleşim bölgelerindeki ezilmelerden dolayı yer değiştirmelerin bir kısmını sönümlemektedir. 1. aksın gösterdiği hareketi gösterememektedirler.



Şekil 4.66 2 aksı kolonlarının yer değiştirmesi



Şekil 4.67 2 aksı makas ve kolonların hareketinin gözlenmesi

3 aksı kolon ve makas hareketleri

3 aksının itme ve çekme sırasındaki durumu Şekil 4.68’de, deneyden elde edilen veriler Şekil 4.69’de görülmektedir.

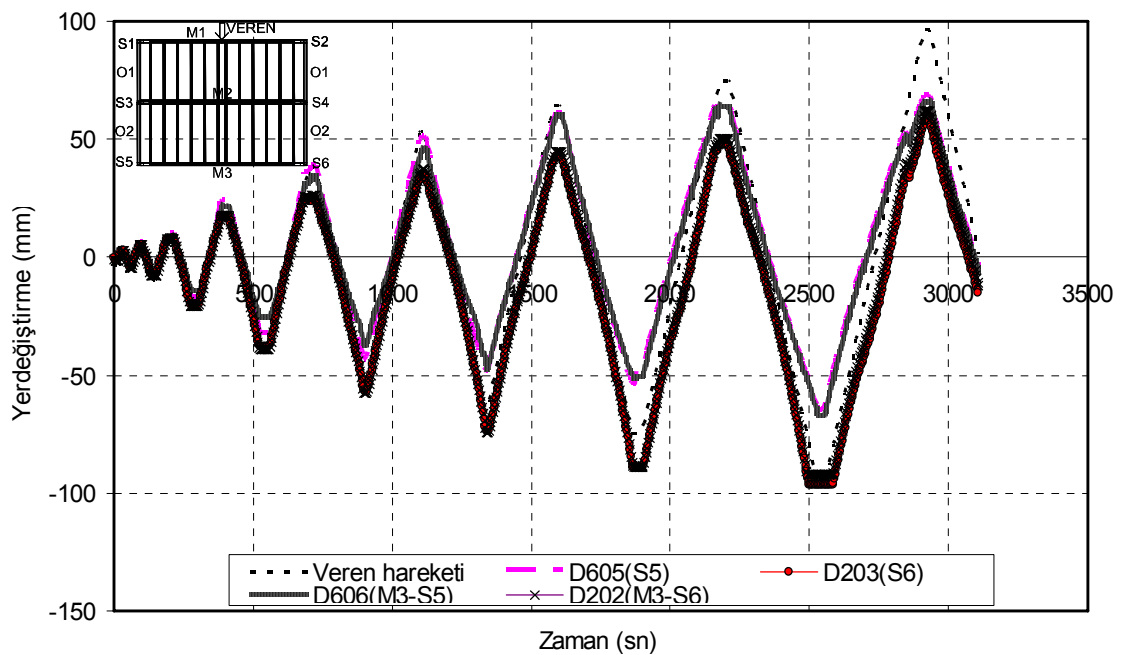


Şekil 4.68 İtme ve çekmede 3 aksının yaptığı yer değiştirmeler

Deney sonunda, çekmede, S5 kolonundaki makas ve kolon, verenden 27 mm daha

az yer değiştirmektedir. S6 kolonunda makas ve kolon belirli bir dönme ile hareket etmektedir. Dokuzuncu adımda, S6 nın üzerindeki makas yerdeğiştirmeleri, kolon yerdeğiştirmelerinden 4 mm geride kalmaktadır. S5'in üzerindeki makas yerdeğiştirmesi de, aynı şekilde, 9. adımda (90 mm) 7.4 mm geride kalmaktadır. Bu da makasın kolonla birlikte hareket edemediğini göstermektedir.

Makasın 2 ucu arasında 38 mm yerdeğiştirme farkı vardır. Burada aşıkların davranışı etkili olmaktadır. S5 kolonu, üzerindeki makastan itme ve çekmede daha ileri gitmektedir.

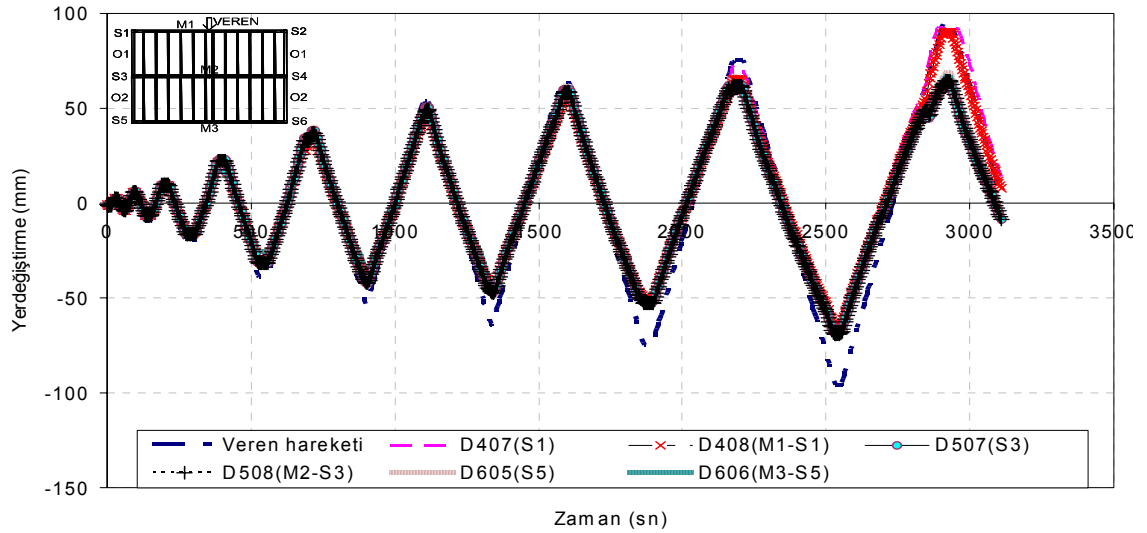


Şekil 4.69 3 aksı veren, kolon ve makas hareketleri

A aksı hareketleri

Veren, kolon ve makasların hareketleri Şekil 4.70'de görlmektedir. S1 kolonu üzerinde makas kolondan farklı hareket etmektedir. S3 kolonu üzerinde makas ve kolon aynı hareket etmektedir. S5 kolonu üzerinde makas kolondan daha az bir yerdeğiştirme yapmaktadır. Bunun nedeni aşıkların makas hareketine engel olmalarıdır.

S3 kolonu üzerindeki kolon ve makas hareketinin aynı, diğer 2 kenar S1 ve S5 kolonları üzerindeki kolon ve makas hareketinin farklı olmasının nedeni, orta makasın her iki yönünden aşıklara bağlanması, kenar makasların ise tek yönden aşıkla bağlanmasıdır.



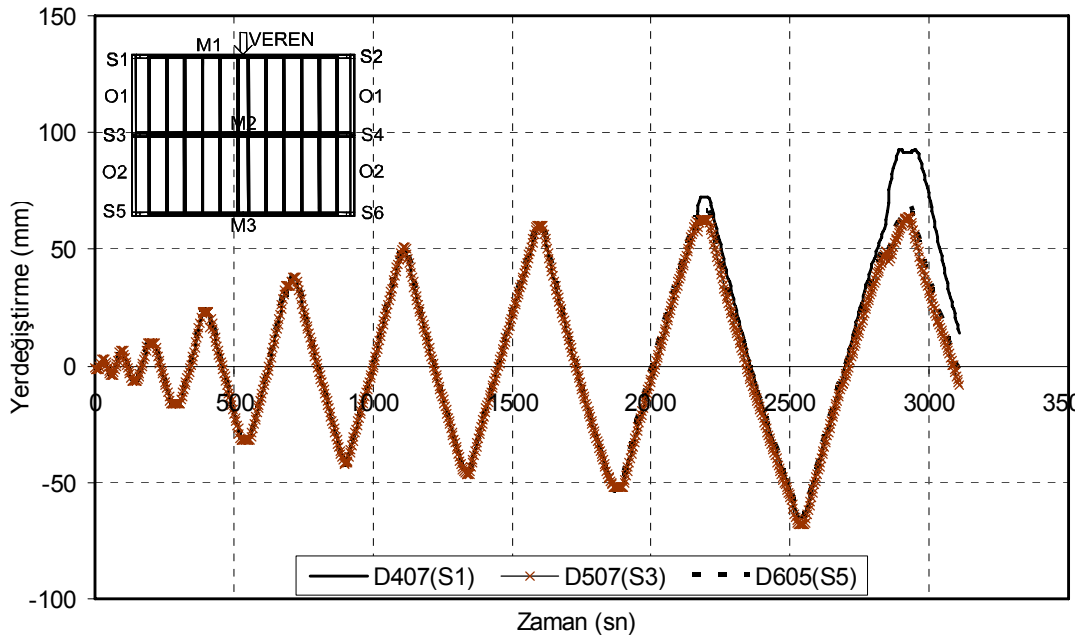
Şekil 4.70 A aksı veren, kolon ve makas hareketleri

A aksı kolon hareketleri

A aksı kolonları, Şekil 4.71'de görüldüğü gibi, deneyin son beşinci adımına kadar aynı yer değiştirme yapmışlardır. O1 oluğundaki hasardan sonra, veren, çekmede 96 mm yer değiştirme yaparken S1 kolonu 28 mm daha az yer değiştirme yapmıştır. Çekmede 62 mm yer değiştirme seviyesinde, O1 oluğunun S3 kolonu tarafındaki birleşim bölgesindeki hasardan sonra S1 kolonu S3 ve S5 kolonlarından farklı yer değiştirme yapmıştır. Şekil 4.71'de görüldüğü gibi, S3 ve S5 kolonları deney sonuna kadar birlikte hareket etmişlerdir.

A aksı makas hareketleri

Şekil 4.70'de görüldüğü gibi, deneyin son iki adımına kadar, makas uçlarının hareketleri yaklaşık birbirine eşittir. Son iki adımda, O1 oluğunda oluşan hasar sebebiyle, S1'in üzerindeki M1 makas ucu, M2 ve M3 uçlarından farklı yer değiştirme yapmıştır. O1 oluğunda oluşan hasardan sonra, yer değiştirme, O1 oluğuna yakın aşıklar tarafından aktarılmaya başlanmıştır. Bu durum aşık makas birleşim bölgesindeki hasardan da görülmektedir.



Şekil 4.71 A aksındaki kolonların hareketi

B aksı hareketleri

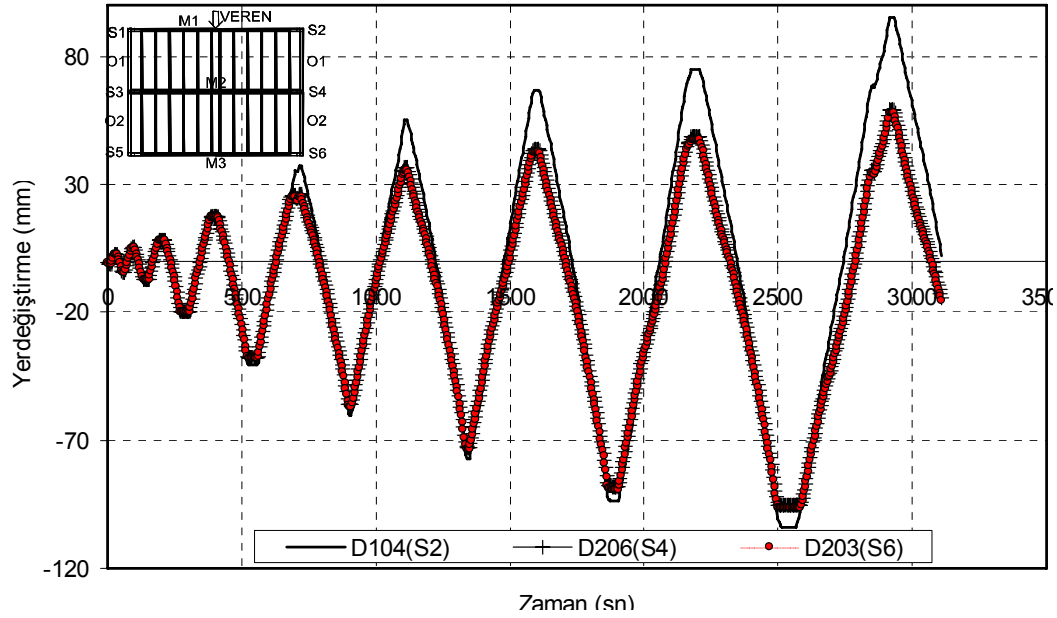
Şekil 4.72’de görüldüğü gibi, deneyin ilerleyen adımlarında, O2 oluk pim bölgesindeki hasardan sonra, B aksındaki S2 ve S4 kolonu S6 kolonundan ayrı hareket etmeye başlamıştır. O1-S4 birleşim bölgesinde hasar oluştuğu için, çekmede 38 mm ayrışma olmuştur. İtmede oluk pimi hasar gördükten sonra aşıklar devreye girmekte ve verenin hareketini M2 makasına aktarmaktadır. Aşıklardaki birleşim zayıflığından dolayı çekmede aşıkların yerdeğiştirme aktarma özeliği itmeye göre daha zayıf kalmaktadır.

İtmede, 20 mm yerdeğiştirmeden sonra, pimlerde oluşan hasarlardan dolayı, veren yerdeğiştirmesinden 9 mm farklı yerdeğiştirme görülmektedir. Son adım olan 90 mm itmede, S2 kolonu ve S4 kolonu eşit yerdeğiştirme yapmıştır. Bu aşamada aşıkların azda olsa yük aktardığı oluşan hasarlardan anlaşılmaktadır. Aşık-makas birleşim bölgesindeki hasar Şekil 4.73’de görülmektedir.

S6 kolonu üzerindeki makastaki yerdeğiştirme, birleşimlerdeki sönümlemeden dolayı, 13 mm az olmuştur. (D104 ve D107’den görülmektedir). O3 ve O4 oluklarında hasar oluşmadığı için, S4 ve S6 kolonları birlikte hareket etmişlerdir.

Yerdeğiştirme-zaman ilişkisinden görüldüğü gibi, S4 ve S6 kolonları genel olarak beraber hareket etmektedirler. Deneyin ortalarında O2 oluğunun S4 kolonu üzerindeki

mesnedinde, hasar gözlenmiştir (Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.). İtmede 60 mm (6. adım) yerdeğiştirmeden sonra, S2 kolonu yerdeğiştirmesinin S4 ve S6 kolonlarından daha fazla olduğu görölmektedir.



Şekil 4.72 B aksı kolonlarının yerdeğiştirme-zaman ilişkisi



Şekil 4.73 Makas ve aşıkta oluşan hasarlar



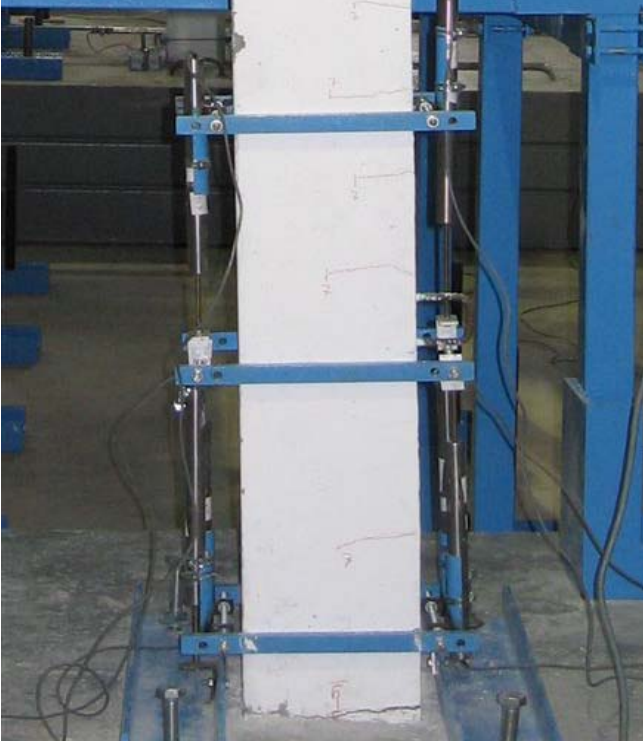
Şekil 4.74 O1-S4 birleşim bölgesinde oluşan hasar

Deney elemanlarında oluşan hasarlar

Kolonlar

Kolonlarda oluşan hasarlar kolon diplerinde mafsallaşmalar şeklinde olmuştur. En büyük çatlaklar kolon dibinden itibaren $h/2$ mesafesinde, eğilme çatlakları şeklinde oluşmuştur (Şekil 4.75).

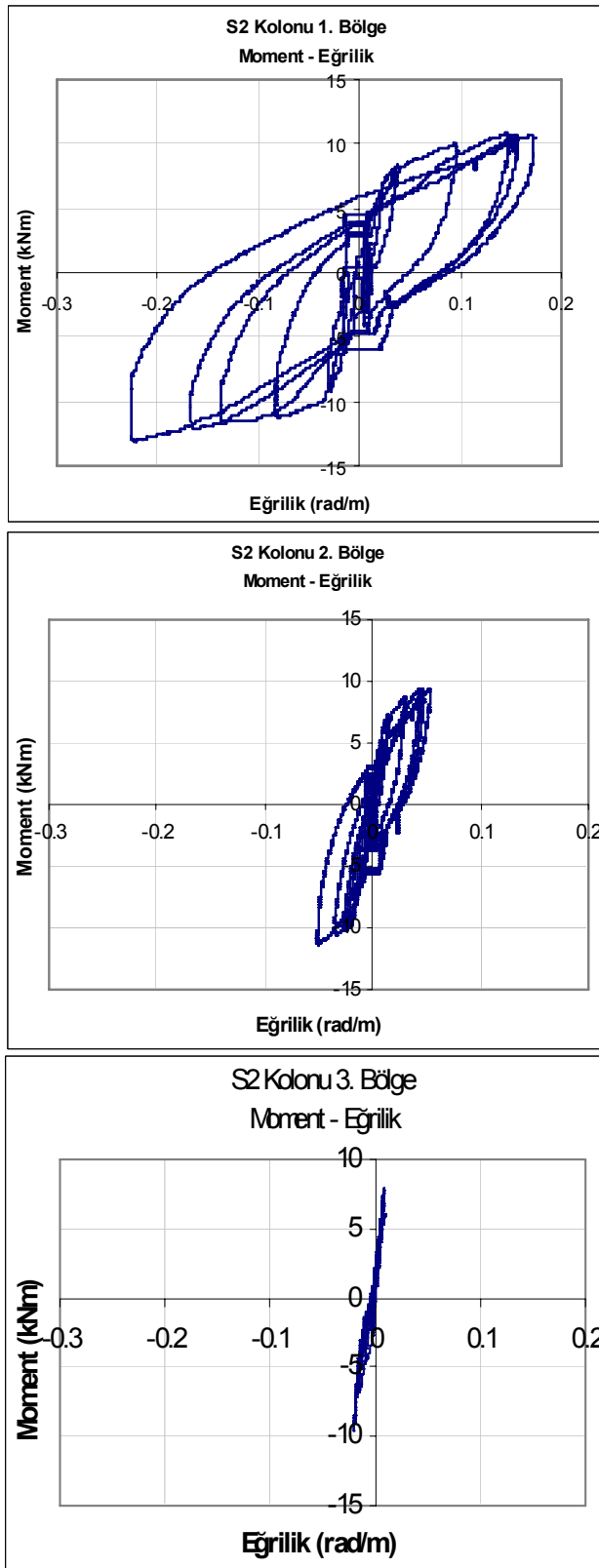
Şekil 4.76’da görüldüğü gibi, 1 aksı kolon tabanından itibaren 3 bölge olarak düşey yerdeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. 1. bölge 90mm, 2. ve 3. bölge 300 mm uzunluklarındadır. Bu bölgelerden alınan ölçümler ile elde edilen moment eğrilik ilişkileri incelendiğinde, 90 mm yüksekliğindeki 1. bölgede en büyük eğrilik görülmektedir. 300 mm uzunluğundaki 2. bölgedeki eğrilik, 1. bölgedekinin $1/5$ ’i olmuştur. 3. bölgedeki eğrilik ise, 1. bölgedekinin, yaklaşık $1/10$ ’u olmuştur. Bu sonuçlara göre 3. bölgeden ölçüm almamak elde edilecek sonucu yaklaşık olarak %10 etkilemektedir (Şekil 4.77).



Şekil 4.75 Hasar görmekte olan kolon alt bölgesi



Şekil 4.76 Çatlak işaretlemelerinin yapılması



Şekil 4.77 1aksı kolonlarının moment-eğrilik ilişkisi

Şekil 4.78’de görüldüğü gibi, deney sonunda kolondaki mafsallaşma, yaklaşık olarak, temel üstünden 90 mm yukarıda oluşmuştur. Bu değer daha önce yapılmış

çalışmalarda belirtilen plastik mafsal boyu olan, kolon derinliğinin yarısı, $180/2=90$ mm, değere uygundur (Moehle 1992).



Şekil 4.78 Kolon alt bölgesinde oluşan hasarlar

Oluklar

Deneyin ilerleyen aşamalarında, oluk uç bölgesindeki pim çevresinde hasar görülmüştür. Yükün uygulandığı taraftaki O1 ve O2 oluklarının birleşim bölgelerindeki hasar Şekil 4.79'da görülmektedir. Hasar, önce, olukların pim bölgelerinde çatlama, sonra donatıda uzama olarak görülmüştür.



Şekil 4.79 Olukların uç bölgesindeki hasar

Çekme anında oluk birleşiminde çekmeye çalışan beton kısmı çok az olduğu için önce beton çatlamış, daha sonra donatılar yük taşımaya devam etmiştir. Karşılıklı her iki olukta da benzer hasar oluşmuştur. İtme durumunda oluk betonları basınca çalıştığı için böyle bir durum gözlenmemiştir. Diğer iki olukta hasar oluşmamıştır.

Makaslar

Deneyin başlarında sistem birlikte hareket ederken makasların kolon ile birleşim bölgelerinde çok az hasar görülmüştür. Deneyin ilerleyen aşamalarında makaslarda, aşıkların etkisi ile y yönünde bir miktar dönme görülmüş, ancak, veren yerdeğiştirmesinin sıfır olduğu noktalarda, tekrar eski haline gelmiştir. M1 makasının oluklar tarafında aşık ile birleşim bölgesinde hasar görülmüştür (Şekil 4.80).



Şekil 4.80 Makas aşık birleşim bölgesinde hasar

Aşıklar

Oluklar tarafından kolonlara aktarılan yatay kuvvetler, O1 ve O2 oluğunun kısmen devreden çıkması ile, bir miktar, aşıklar tarafından iletilmiştir. Bazı aşıkların pim yerlerindeki betonda büyük çatlaklar olmuştur (Şekil 4.81).



Şekil 4.81 Aşık ucunda oluşan hasar

Deney Sonuçları

Elde edilen sonuçlara göre, mevcut prefabrik betonarme sanayi yapılarının deprem davranışı birçok zayıflıklar göstermektedir. Bütün bağlantılar mafsallı olduğundan, elemanlar ve çerçeveler birbirinden bağımsız hareket etmektedir.

Sisteme uygulanan yatay yük sadece kolonlar tarafından taşınmaktadır. Sistemi oluşturan kolonlarda, çok küçük eksenel yük olmasından dolayı, kirişlerdekine benzer mafsallaşma oluşmaktadır.

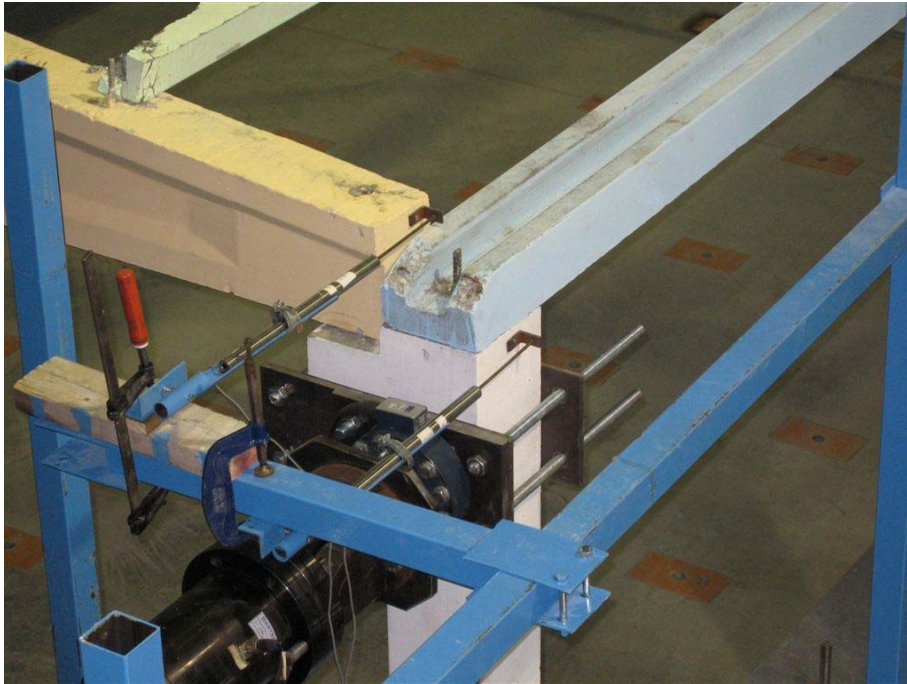
4.4.5.2. Simetrik olmayan yükleme deneyi

Yapının, deprem sırasında, 1. doğal titreşim modundan sonraki titreşim modlarından birisi olan, tek bir aksın titreşim modu davranışı araştırılmıştır. Tek bir akstan uygulanan itmenin, diğer taşıyıcı elemanlara nasıl aktarıldığı tespit edilmiştir.

Hidrolik veren, Şekil 4.82’de görüldüğü gibi, S1 köşe kolonuna bağlanmış ve deney yapısına ± 90 mm yer değiştirmeye kadar tekrarlı tersinir yükleme uygulanmıştır. Uygulanan yükleme şekli Tablo 4.9’da görülmektedir.

Tablo 4.9 Deney yapısına uygulanan yükleme şekli

Deney 1- B					
Adım No:	Hareket	Adım Değeri(mm)	Hız	Adım Sonu	Bekletme (sn)
1	Yerdeğiştirme (mm)	36	0.5 mm/s	Zamanlı	90
2	Yerdeğiştirme (mm)	-50	0.5 mm/s	Zamanlı	90
3	Yerdeğiştirme	50	0.5 mm/s	Zamanlı	90
4	Yerdeğiştirme)	-60	0.5 mm/s	Zamanlı	90
5	Yerdeğiştirme	60	0.5 mm/s	Zamanlı	90
6	Yerdeğiştirme	-70	0.5 mm/s	Zamanlı	90
7	Yerdeğiştirme	70	0.5 mm/s	Zamanlı	90
8	Yerdeğiştirme	-90	0.5 mm/s	Zamanlı	90
9	Yerdeğiştirme	90	0.5 mm/s	Zamanlı	90
10	Yerdeğiştirme	0	0.5 mm/s	Bitiş	

**Şekil 4.82** A aksı doğrultusunda S1 kolonundan yükleme deney düzeneği

Deney yapısının tek akstan simetrik olmayan yükleme deneyinin başlangıcındaki durumu Şekil 4.83’de görülmektedir. Bu aşamada sistemde önemli bir hasar mevcut değildir. Deneyin ilerleyen aşamalarında olukların uç kısımlarındaki pimler çevresinde çatlaklar oluşmuştur. Daha sonra makas ve aşık pim bölgelerinde oynamalar ve

çatlamalar görülmüştür. Yanal tepe yerdeğıştirmesinin 70 mm seviyesine ulaştığı zaman oluk pim çevresindeki hasar ilerlemiş ve oluk yakınındaki aşığın makas birleşim bölgesindeki hasar artmıştır (Şekil 4.84).

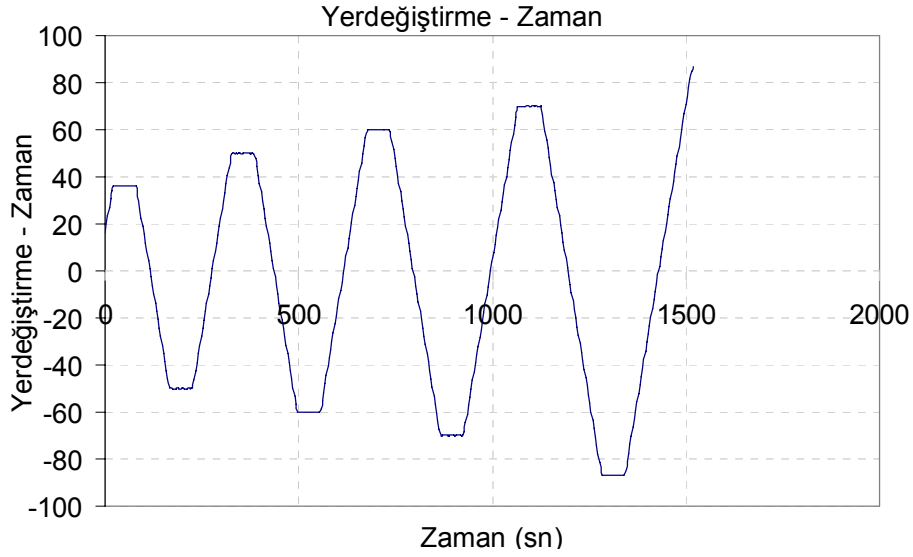


Şekil 4.83 A aksından yükleme deneyi



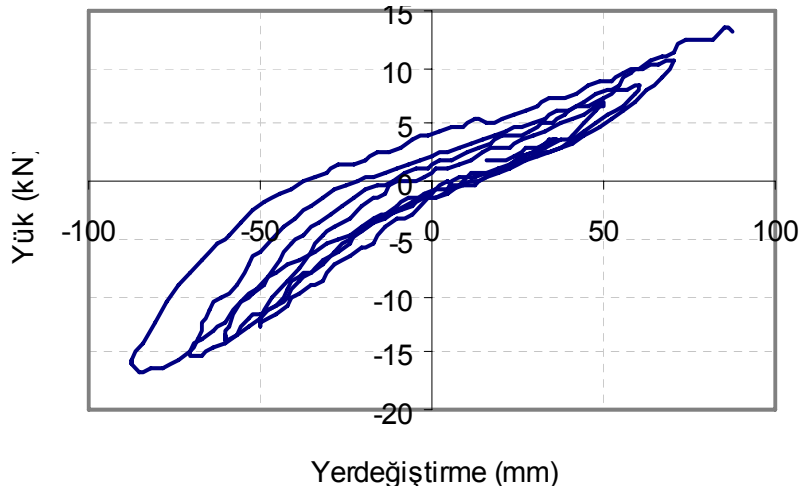
Şekil 4.84 A aksından yükleme deneyinde aşığın ve makas birleşim bölgesindeki hasarları

A aksından simetrik olmayan yükleme deneyinde uygulanan yerdeğiştirme–zaman ilişkisi Şekil 4.85’de görülmektedir.



Şekil 4.85 A aksından yükleme deneyi yerdeğiştirme-zaman ilişkisi

Çekmede yük 13 kN iken basınçta sistem yerdeğiştirme aktarmaya devam ettiği için 17 kN a kadar çıkmaktadır (Şekil 4.86).



Şekil 4.86 A aksından yükleme deneyi yük-yerdeğiştirme ilişkisi

Deney sonucunda sadece A aksındaki elemanların (kolonlar) yük aldığı görülmüştür. Diğer aksdaki kolonlarda yer değiştirme ve yük olmadığı tespit edilmiştir.

Bu durum çatı sisteminin rijit diyafram olarak davranmadığını göstermektedir.

PBA deney yapısı üzerinde yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, PBA sanayi yapılarının deprem davranışı birçok zayıflıklar göstermektedir. Bütün bağlantılar mafsallı olduğundan elemanlar ve çerçeveler birbirinden bağımsız hareket etmektedir.

Sisteme uygulanan yatay yük, sadece kolonlar tarafından taşınmaktadır. Söz konusu kolonlarda, eksenel yükün çok az olmasından dolayı, kirişlerdekine benzer şekilde mafsallaşma oluşumu görülmüştür.

5. SONUÇLAR

1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Marmara depremleri Türkiye'deki tek katlı PBA sanayi yapılarının % 80'inin deprem bakımından yetersiz olduğunu ortaya koymuştur (Kaplan vd 2005). Bu depremlerde oluşan iş gücü kaybı, makine kaybı ve üretimin durmasından kaynaklanan kayıpların 5 milyar YTL olduğu tahmin edilmektedir.

Birleşimlerinin mafsalı olmasından ve çatı düzeyinde rijit bir diyaframa sahip olmamasından dolayı, tek katlı PBA sanayi yapılarının deprem davranışını tam olarak anlamak kolay değildir (Yılmaz 2004). Sistemin gerçek davranışının anlaşılabilmesi için, yapılan çalışmaların, deneysel olarak da incelenmesi gerekmektedir.

DPT tarafından desteklenen BAP-08-11-DPT.2004K120760 Kodlu "Deprem Hasarlı Binaların Onarımı ve Mevcut Binaların Güçlendirilmesi: Dış Perde Duvar Uygulaması" adlı proje kapsamında gerçekleştirilen bu çalışma, projenin daha sonraki aşamaları olan, güçlendirme çalışmaları için, bir alt yapı ve referans oluşturmuştur. Prefabrik betonarme sistemlerin deprem etkileri altındaki davranışı kuramsal çalışmaların, deneysel çalışmalarla teyit edilmesi ile kavranabilir. Bu tip yapıların deprem davranışının anlaşılabilmesi için, uygulanabilecek deney yöntemleri de araştırma konusudur.

Bu deneysel çalışmada, sistemin yük- deplasman ilişkisi elde edilmiş, kolonlardaki moment- eğrilik özellikleri, önceki deneylerdeki sonuçlar ve kuramsal hesaplar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, makasların hareketleri ve yük aktarmadaki durumu incelenmiştir. Aşıkların sistem hareketine etkisi araştırılmıştır. Oluk ve aşıkların hareketleri incelenmiştir. Çatı sisteminin rijit diyafram gibi davranıp davranmadığı araştırılmıştır.

Gerçekleştirilen 3B yapı deneyinde görüldüğü gibi, PBA sanayi yapılarındaki taşıyıcı sistemin zayıf halkası birleşim bölgeleridir. Birleşimler şantiye ortamında yapılmak zorundadır. Sisteme gelen düşey ve yatay yükleri güvenle aktarabilmesi gereken birleşim bölgelerine çok büyük özen gösterilmelidir. Göçme şekilleri iyi analiz edilmelidir. Birleşimler, yapının dengesini yapım aşamasında ve sonrasında sağlamalıdır.

Deneysel çalışma sonucunda PBA kolonlarda oluşan hasarlar, 1998 Ceyhan ve 1999 Marmara depremlerindeki kolonlarda oluşan hasarlar gibi, daha çok kolon alt

bölgesinde, soket ile birleşim bölgesine yakın bölgelerde, soket üst kotundan H/2 kadar yukarıda yoğunlaşmıştır. Bu hasarlar eğilme çatlaklarından meydana gelen eğilme mafsalı şeklinde görülmüştür. Bu tip göçme nedeni, kesite gelen deprem yüklerinin tasarımında öngörülen yüklerden fazla olmasıdır. Kolonların aşırı yanal ötelenmesi de deneylerde ve depremlerde görülmüş olan önemli bir hasar türüdür.

3B PBA yapı deneyi sonuçlarına göre, çatı rijit diyafram olarak çalışmamaktadır. 3B PBA yapı deneyinin başlarında, sistemin tümünde, eşit ötelenmeler olurken, çatı rijit diyafram olarak çalışıyor izlenimi vermiş, ancak, deneyin ilerleyen aşamalarında, sistemdeki bazı elemanların hasar görmeye başlaması ile devreye girmesi beklenen çatı sistemi devreye girmemiştir. Bu aşamada, hasar gören oluğun yakınındaki aşıklar kısmen devreye girmiş ve hasar görmüşlerdir. Bu durum, mevcut PBA sanayi yapılarının deprem sonrası hasar oluşumlarının aynısıdır. Rijit diyafram olmayınca, yapı elemanlarının hareketleri birbirinden farklı olabilmekte ve davranış çok karmaşıklaşmaktadır.

3B yapı deneyinin 2. aşamasında, tek akstan tekrarlı tersinir yükleme deneyi ile diğer bir titreşim şeklindeki davranışı incelenmiştir. Bu deneylerden elde edilen verilere göre, tek akstan uygulanan yerdeğiştirmeler makasın diğer ucundaki kolonlara aktarılmamaktadır. Bu bulgu, bağlantıların mafsal özelliği gösterdiğini ve çatının rijit diyafram olarak çalışmadığını göstermiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

3B PBA Deney yapısında, mafsallaşma, kolonların alt bölgesinde, temel bağlantısına yakın yerlerde, betonda eğilme çatlakları şeklinde başlamış ve kolon alt ucundan, kolonun yükleme doğrultusundaki kenar uzunluğunun yarısı (h/2) olan, 9 cm yukarıda yoğunlaşarak oluşmuştur. Kolonlardan alınan eğrilik ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucunda, plastik mafsallaşmanın bu bölgede olduğu görülmüştür.

Makas kirişlerinin kolon kısa konsoluna tek pim ile bağlandığı bağlantılardaki pimlerin kendisinde ve/veya pim etrafındaki bağlayıcı dolgu harcında sıyrılmalar olmaktadır.

3B yapı deneyi sonucuna göre, çatı, bir rijit diyafram olarak çalışmamaktadır. Çatıda rijit diyafram olmadığı için elemanlar ve çerçeveler arasında yardımlaşma olmamaktadır.

Sistemin yanal rijitliği yetersiz olduğu için, kolonların tepe noktası çok büyük yanal ötelenme yapmaktadır.

3B Yapı deneyinde, plastik mafsallar sadece kolon alt bölgesinde oluşmaktadır. Makas kirişleri, yanal rijitliklerinin az olmasından ve mafsallı bağlantıdan dolayı, kolonlardan farklı ötelenmeler göstermektedir. Aşık kirişi bağlantıları da, makas kirişinin büyük ötelenme yapması ve çerçevelerin bağımsız hareket etmesinden dolayı hasar görmektedir. Sistemde, yeniden dağılım veya yardımlaşma olmadığı için, bir elemandaki hasar, yapıda ciddi hasar oluşturabilmektedir.

Sonuç olarak, mevcut PBA sanayi yapılarının deprem dayanımının yetersiz olduğu görülmüştür. Bu sanayi yapıları acilen güçlendirilmelidir.

Güçlendirme yöntemi olarak, bu çalışmanın da kapsamında yapıldığı, DPT destekli bir proje olan ve şu sıralar Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem ve Yapı Teknolojileri laboratuvarında deneysel çalışmaları yapılmakta olan, “Mevcut yapıların güçlendirilmesi - dış perde uygulaması” yöntemi önerilmektedir.

Bu konu ile ilgili gelecekte yapılabilecek araştırmalar:

Bu yapı sisteminin ve güçlendirilmiş yapının gerçek deprem davranışını daha iyi belirlemek için, sarsma tablası veya benzeri yöntemler ile de, üç boyutlu yapı deneyleri yapılmalıdır.

Yapıların dış perde duvar ve rijit diyafram ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi çalışması yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- ABYYHY98 (1998) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *İnşaat Mühendisleri Odası(İMO) İzmir Şubesi*, İzmir, 85s.
- Akçaözoğlu, S. (2003) Endüstri Yapılarının Üretiminde Kullanılan Prefabrik Betonarme İskelet Sistemler ve 1998 Adana – Ceyhan Depreminde bu sistemlerde ortaya çıkan sorunlar, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 118s.
- Aşcı, L. (2002) Viscoelastic Fluid Dampers For Reduction Of Seismic Response In Precast Industrial Structures., Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 149s.
- ATC-40 (1996) Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, Redwood City, California, USA, 1.1-13.8.
- Atımtay, E. (2000a) Açıklamalarla ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Betonarme Yapılar), Cilt 1, *Bizim Büro Basımevi*, Ankara, 544s.
- Atımtay, E. (2000b) Çerçevesiz ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı Temel Kavramlar ve Hesap Yöntemleri, Cilt I, *Bizim Büro Basımevi*, Ankara, 355s.
- Başıyigit, C., Terzi, S. ve Gencer, Ö. (2000) Marmara Depremi Sonrası Prefabrik Yapılardaki Hasarlar ve Çözüm Önerileri, *10. Prefabrikasyon Sempozyumu*, İstanbul, s.101-108.
- Bayülke, N. (1998) Adana Ceyhan Depreminde Prefabrike Yapı Hasarı Ve Değerlendirmeler, Çözümler, Öneriler, <http://angora.deprem.gov.tr/AdanaPref.htm>
- Bayülke, N. (2001) Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı, *İMO İzmir Şubesi Yayını*, İzmir, 261s.
- Celep, O. (2000) Prefabrik Yapıların Tasarımında Rijit Düğüm Noktası Teşkili, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 65s.
- Çetinkaya, N. (2002) Betonarme Yapı Elemanlarının FRP Malzemelerle Onarım Ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 86s.
- Çılı, F., Çelik, O.C. ve Sesigür, H. (2000) 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde Hasar Gören Bir Prefabrik Endüstri Yapısının Çelik Kafes Kirişlerle Güçlendirilmesi, *10. Prefabrikasyon Sempozyumu*, İstanbul, s.153-162.
- Çolakoğlu, H.K. (2001) Seismic Resistant Design Of Precast Industrial Buildings, Master' Thesis, *Boğaziçi University Institute For Graduate Studies in Science and Engineering*, İstanbul, 81s.
- Ersoy, U. (1998) Moment-eğrilik yazılımı, ODTÜ, Ankara.

- Ersoy, U., Özcebe, G. ve Tankut, T. (2000) 1999 Marmara ve Düzce Depremlerinde Gözlenen Önüretimli Yapı Hasarları, **10.Prefabrikasyon Sempozyumu**, İstanbul, s.1-10.
- Ersoy, U., Tankut, T., Özcebe, G. ve Yağcı, S. (1993) Ön üretimli Betonarme Yapılardaki Kolon Kiriş Birleşimlerinin Deprem Davranışı, **7. Prefabrikasyon Sempozyumu**, İstanbul, s. 9(1-18).
- Eurocode-8 (1998) Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures, European Prestandarts, **European Union**, Brussel, Belgium.
- FEMA-356 (2000) Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, **Federal Emergency Management Agency (FEMA)**, Washington,USA, 432 pages.
- Kaltakçı, M. Y., Korkmaz, H. H. ve Korkmaz, S. Z. (2001) Betonarme Kolonların Davranışına Etken olan Tasarım Değişkenleri Üzerine Analitik Bir İnceleme, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi**, Cilt. 3, Sayı. 3, s. 11-32.
- Kaplan, H. (2003) Mevcut Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, **Deprem Sempozyumu**, Kocaeli, s.386-395.
- Kaplan, H., Yılmaz, S., Atımtay, E., Nohutcu, H. ve Çetinkaya, N. (2005) Sanayi Bölgelerinin Deprem Riskinin Belirlenmesi Denizli Organize Sanayi Bölgesi Örneği, **4th International Advanced Technologies Symposium**, Konya.
- Kaplan, H., Yılmaz, S., Binici, H., Yazar, E. ve Çetinkaya, N. (2004) May 1 2003 Turkey—Bingöl Earthquake: Damage In Reinforced Concrete Structures, **Engineering Failure Analysis**, 11/3: 279-291 .
- Kayhan, A.H. ve Şenel, Ş.M. (2005) Tek Katlı, Tek Açıklıklı Prefabrik Sanayi Yapılarının Deprem Performanslarının Kapasite Spektrumu Yöntemi İle Değerlendirilmesi, **Kocaeli Deprem Sempozyumu**, Kocaeli
- Kayhan, A.H. ve Şenel, Ş.M. (2006) Türkiye'deki tek katlı ve mafsallı prefabrik sanayi yapıları için hızlı değerlendirme yöntemi, **Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi**, İstanbul.
- Korkmaz, H.H. (1998) Seismic Performance of a Precast Concrete Connection Used in Turkey, Master of Science, **METU Graduate School Of Natural and Applied Sciences**, Ankara, 96s.
- Moehle, J. P. (1992) Displacement-Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes, **Earthquake Spectra**, EERI, Vol. 8, No. 3, pp 403-428.
- Nohutçu, H. (2007) Prefabrik Betonarme Endüstri Yapılarının Güçlendirilmesi. Doktora Tezi, **Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, 198s.
- Posada, M. and Wood, S. (2002) Seismic Performance of Precast Industrial Buildings in Turkey, **7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering**, Boston, MA.
- SAP2000® (2000) Manual, Computers and Structures, version 8, **www.csiberkeley.com**, California, USA.

- Sharon, L. W. (2005) Seismic Rehabilitation Of Low-Rise Industrial Buildings, *NATO SFP 977231-Closing Workshop*, İstanbul, s.102-104.
- Sucuoğlu, H., Malhan, F., Kubin, D. ve Özmen, A. A. (2000) Koleksiyon A.Ş. Tekirdağ Mobilya Fabrikası Deprem Güvenliği ve Güçlendirme Çalışması, TPB 10. *Prefabrikasyon Sempozyumu*, İstanbul, s.143-152.
- Şenel, S. M. (2001) Tünel Kalıp Perde Duvarlarının Deprem Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 173s.
- Tama, Y. S. (1996) Bağ Kirişli Perde Sistemlerde Üst Kat Bağ Kirişi Yüksekliğinin Sistem Davranışına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 87s.
- Tama, Y. S. (2001) Soğuk Şekillendirilmiş Açık Kesitli Çelik Kirişlerin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü*, Denizli, 152s.
- Tama, Y. S., Yılmaz, S., Kaplan, H. ve Görgülü, T. (2005) Mevcut Betonarme Yapıların Dış Çelik Perde İle Güçlendirilmesi: Uygulama Çalışması, *4th International Advanced Technologies Symposium*, Konya, Türkiye.
- Tezcan, S. S. ve Çolakoğlu, H. K. (2003) Betonarme Prefabrik Yapılar: Yönetmeliğimizin Zayıflıkları, *5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İTÜ, İstanbul.
- TSE 500 (1981) Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *TSE*, Ankara, 67s.
- TSE 9967 (1992) Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar (Prefabrik Betonarme ve Öngerilmeli Beton) Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları, *TSE*, Ankara, 137s.
- UBC-97 (1997) Uniform Building Code, *International Conference of Building Officials*, USA.
- Yağcı, S. (1993) Behavior Of an Improved Exterior Precast Beam-Column Joint Under Reversed Cyclic Loading, Master' Thesis, *METU Graduate School Of Natural and Applied Sciences*, Ankara, 151s.
- Yavuz, M. (1993) Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapılarının Karşılaştırılması ve bir Sistem Önerisi, Yüksek lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 97s.
- Yılmaz, S. (2004) Tek Açıklıklı Betonarme Prefabrik Yapıların Deprem Davranışı ve Türk Deprem Yönetmeliği, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 137s.
- Yılmaz, S. ve Kayhan, A.H. (2006) Prefabrik betonarme endüstri yapılarında itme analizinde itme şekillerinin kapasite eğrisine etkisi, *Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yüce, S., Bingöl. Y., Karadoğan, F. ve Yüksel, E. (2004) Ağır hasar görmüş kare kesitli prefabrik kolonların bölgesel mantolama ile geri kazanılması, **11. Prefabrikasyon Sempozyumu**, İzmir,s.3.1-3.13.

Yüzügüllü, Ö. ve Erdik, M. (1993) Prefabrike Yapılarda Birleşimlerinin Deprem Performanslarının Geliştirilmesi Konusunda Yapılan Çalışmalar, **7. Prefabrikasyon Sempozyumu**, İstanbul, s. 8.1-8.20.

EKLER

EK-1 PBA SANAYİ YAPILARININ YAPIM AŞAMALARI

Prefabrik betonarme yapının yerleşeceği alanda, projesinde gösterilen temel altı kotlarına kadar, kazı yapılır. Gerekli tesviye işlerinden sonra temel altı demirsiz betonu atılır. Sonra, grobeton üzerine temel donatıları ve kalıbı hazırlanır. Temel betonundan sonra soketlerin kalıplarının hazırlanmasına başlanır (Şekil EK.1). Soket kalıpları her iki doğrultuda çekilen iplerle hassas bir şekilde yapılır ve kontrol edilir (Şekil EK.2). Hazırlanan soket kalıplarına daha sonra hatıllar için kullanılacak donatı filizleri bırakıldıktan sonra beton dökülür (Şekil EK.3). Soket betonlarından sonra, bağ kirişlerinin donatıları ve kalıbı hazırlanır (Şekil EK.4).



Şekil EK.1 Soket donatısı ve kalıp işleri



Şekil EK.2 Soket iç kalıp işleri



Şekil EK.3 Soket ve bağ kirişi filizleri



Şekil EK.4 Bağ kirişi kalıp ve donatı

Beton işleri tamamlanan bağ kirişi ve soketleri Şekil EK.5’de görülmektedir. Bağ kirişlerine beton dökümünden önce, eğer üzerinde betonarme perde olacaksa, filizlerin bırakılması gereklidir (Şekil EK.6).



Şekil EK.5 Tamamlanmış bağ kirişleri



Şekil EK.6 Perde filizleri

Montaj işlerinde ilk iş kolonların montajıdır. Kolon üst bölgesindeki montaj deliğine kaldırma düzeneği bağlanır (Şekil EK.7). Bu esnada soketin içi iyice temizlenmeli ve kolon aksı soketin içine işaretlenmelidir (Şekil EK.8). Kolon vinç ile kaldırılıp soketin üzerine getirilir. Bu aşamada montaj elamanlarının vinç operatörü ile çok dikkatli bir iletişimi ile kolon yavaşça soket içine indirilir(Şekil EK.9). Kolonun yeri ve dikliği iyice kontrol edildikten sonra soket ile arasına takozlar sıkıştırılır. Daha sonra kolon ile soket arasındaki boşluk uygun bir harç ile doldurulmaktadır.



Şekil EK.7 PBA kolonun vince bağlanması



Şekil EK.8 Soket içinin hazırlanması



Şekil EK.9 Kolonun sokete indirilmesi

Kolonların montajından sonra prefabrik betonarme olukların montajı yapılır. Sahada uygun yerlere istiflenmiş olan veya doğrudan araçların üzerinden vinç ile uygun mesafelerden bağlanarak kaldırılır. Kolonların üst kotuna kaldırılan oluklar, uç kısımlarındaki deliklerinden kolon üstündeki filizlere geçirilir (Şekil EK.10). Fifiyle ile delik arasındaki boşluk uygun, ince bir harç ile doldurulmaktadır.

Bu aşama iş güvenliği bakımından çok riskli bir aşamadır. Olukların montajından sonra, varsa, ara kat montajı yapılır. Ara kat kirişleri genellikle H şeklinde olduğundan H kiriş olarak adlandırılmaktadır. H kirişleri kolonların arasındaki montaj yerine vinç ile kaldırılır. Sonra, kolon kısa konsolundaki çelik pime, kirişin baş kısımlarındaki delikler ayarlanır ve yavaşça indirilir.



Şekil EK.10 Oluk montajı

Ara kat kirişlerinden sonra çatı makaslarının montajına başlanır. Makas kaldırma noktalarına bırakılan kancalardan vincin halatlarına bağlanır ve kolon üst bölgesindeki kısa konsol kotundan biraz yukarıya kaldırılır (Şekil EK.11). Bu aşamada makasın oturacağı iki kolonun üstünde iki montaj elamanı bulunmalıdır. Montaj elamanları makasın uçlarını, aynı anda kısa konsoldaki pimlere geçirmelidir (Şekil EK.12).



Şekil EK.11 Makas montajı-1



Şekil EK.12 Makas montajı-2

Aşık montajı makas montajından sonraki aşamada yapılan, elamanların narin olmasından dolayı, dikkatli çalışma gerektiren aşamalardan biridir. Aşıklar kaldırma kancalarından vince bağlanarak makasların üst kotlarına kaldırılır (Şekil EK.13). Makasların üzerinde montaj elamanları tarafından mevcut pimlerin üzerine getirilir.

Şekil EK.14’de görüldüğü gibi, dikkatli bir çalışma ile deliklerinden pimlere geçirilen aşıkların boşlukları büzülmez hazır harçlar ile doldurularak montajı tamamlanmış olur. Prefabrik betonarme iskelet sistemi montajı tamamlanmış bir sanayi yapısının genel görünüşü Şekil EK.15’de görülmektedir.



Şekil EK.13 Aşık montajı-1



Şekil EK.14 Aşık montajı-2



Şekil EK.15 BA iskeleti tamamlanmış SY

Prefabrik betonarme iskelet sistemin montajından sonra, eğer varsa, arazideki kot farklarından dolayı yapılması gerekli olan, betonarme dayanma, istinat, duvarları yapılır (Şekil EK.16). İstinat duvarları yerinde dökme veya prefabrik betonarme olarak yapılabilmektedir.



Şekil EK.16 Perde duvar imalatı

Perde duvarların sistemin deprem davranışına etkisi göz önüne alınmalıdır. Eğer projesinde gösterilmiyorsa, perdeler veya duvarlar ile kolonların birbirini etkilemeleri engellenecek şekilde derzler bırakılmalıdır (Bayülke 2001). Aksi durumlarda kısa kolon problemi ile karşı karşıya gelinebilir.

Sanayi yapılarının dış cephesinde prefabrik betonarme paneller kullanıldığı gibi, geleneksel briket veya tuğla duvarlar kullanılabilir (Şekil EK.17). Bu durumda, kat yüksekliği genellikle çok fazla olmasından dolayı, duvarların üstüne yatay hatıllar yapılmalıdır.

Taşıyıcı sistem tasarımında bu duvarlar ve diğer kaplama panelleri bu yöndeki yanal deplasman rijitliğini artırmak için kullanılabilir.

Duvarlar yapılırken öngörülmeven kısa kolon oluşumları önlenmelidir.



Şekil EK.17 Duvar imalatı

Duvar işlerinin tamamlanmasından sonra duvarlarda sıva altında kalması gereken elektrik ve sıhhi tesisat gibi alt yapı boruları işlenir. Sonra duvar sıvasına başlanır (Şekil EK.18). Sıvanan alanların geniş olmasından kaynaklanan sıva çatlaklarının önlenmesi için uygun aralıklarla derzler verilmelidir. Taşıyıcı sistemin esnek bir davranış sergilemesinden dolayı, farklı yapı elamanlarının birleşim bölgelerinde çatlakların

olması beklendiğinden, gerekli önlemlerin alınması gereklidir.



Şekil EK.18 Sıva çalışması

Zeminde gerekli dolgu ve sıkıştırma işlemi tamamlandıktan ve tesisat alt yapıları da yapıldıktan sonra zemin üstü betonu dökülür (Şekil EK.19).



Şekil EK.19 Zemin üstü betonu hazırlıkları

Prefabrik sanayi yapılarında çatı kaplaması olarak genelde alüminyum sandviç paneller kullanılmaktadır (Şekil EK.20). Bu paneller hafif olmasından ve istenilen uzunlukta üretildiği için tercih edilmektedir. Kullanılan saçların kalınlıkları çok ince olduğu için ve çatı aşıklarına bağlantıları vidalı olduğundan çatıya diyafram özelliği verememektedir.



Şekil EK.20 Alüminyum sandviç panel çatı kaplaması malzemesi

ÖZGEÇMİŞ

Bu tez çalışmasını yapan Nihat Çetinkaya 1962 yılında Çal / DENİZLİ’de doğmuştur. İlköğretimini Çal Akkent’de, ortaöğretimini AYDIN / Ortaklar Öğretmen Lisesinde tamamlamıştır. Lisans öğrenimini ODTÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde, Yüksek Lisans Öğrenimini Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında tamamlamıştır. Şu anda Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır. İngilizce bilmektedir.