

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZAYIF EKSEN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN
ÇEVİRİMSSEL YÜKLER ETKİSİNDE DAVRANIŞI**

**DOKTORA TEZİ
Kerem PEKER**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

NİSAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZAYIF EKSEN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN
ÇEVİRİMSSEL YÜKLER ETKİSİNDE DAVRANIŞI**

**DOKTORA TEZİ
Kerem PEKER
(501982003)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Ağustos 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Nisan 2009**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI (İTÜ)

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN (İTÜ)
Prof. Dr. Gülay AŞKAR (BÜ)
Prof. Dr. Tuncer ÇELİK (BÜ)
Prof. Dr. Zafer ÖZTÜRK (YTÜ)**

NİSAN 2009

*Habibe, Nuriye,
Tevfik Seno,
Ali, Melahat, Ahu Didem,
İdil, Elif Naz, Zeynep Nil,*

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı Yapı Programında gerçekleştirilen bu doktora çalışmasında çelik yapılarda kolon zayıf eksenli doğrultusunda kullanılan bir moment birleşimi tipine ait davranış incelenmiştir. Davranışı tarif eden sayısal bir model hazırlanmış, yapılan deneysel çalışma ve parametrik sayısal çalışmalar yardımı ile bu tip birleşimlere ait önerilen model test edilmiştir.

Bu tez çalışması süresince düşünce ve bilgilerinden faydalandığım, danışman hocam sayın Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI başta olmak üzere, hocalarım sayın Prof. Dr. Gülay ALTAY ve sayın Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN' a tezimi oluşturduğum, ilerlettiğim ve sonlandırdığım uzun süreçte gösterdikleri sabır ve anlayış için teşekkür ederim.

Tezimi hazırlamam sırasında her zaman yanımda olup sabır ve desteklerini en zor vakitlerde dahi esirgemeyen ve görev ve önceliklerimi dengelememde yol göstericim olan eşim Yük. Müh. İdil YURDAKUL PEKER, ikiz kızlarım Elif Naz PEKER ve Zeynep Nil PEKER başta olmak üzere yakın dostlarım ve çalışma arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yazım ve şekillerin hazırlanmasında yardımını ve desteğini bana koşulsuz sunan, sayısal modellerimin oluşturulması ve denenmesinde sayısız gece ve gündüz benimle birlikte sabırla çalışan Yük. Müh. Sinem KOLGU ve Yük. Müh. Ahmet KAPTAN' a ve İTÜ Yapı ve Deprem Laboratuvarında günde yaklaşık 18 saatlik bir çalışma maratonu ile yaklaşık on haftada tamamladığım deneysel çalışmamda tarifi imkansız değerinde katkıda bulunan Yük. Müh. Kıvanç TAŞKIN' a da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin deneysel kısmına yaptıkları maddi ve manevi katkılardan dolayı TÜBİTAK'a ve bana büyük bir destek oluşturan, sevgili ağabeyim Abdurrahman TİRYAKİ' ye minnet ve şükranlarımı sunarım.

Bütün yaşamım boyunca benden her türlü maddi ve manevi desteği esirgemeyen, beni doktoramı tamamlamam konusunda sürekli motive eden ve cesaretlendiren, aileme, babam H.Ali PEKER, annem Melahat PEKER ve kardeşim A.Didem PEKER' e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çıktığım uzun ve yorucu meslek yolculuğunda ışığı ile yolumu aydınlatan sevgili hocam Prof. Dr. Tevfik Seno ARDA'ya, örnek aldığım ustam, rehberim, patronum, dayım Yük Müh. Metin ERDEMLİ' ye sevgi, saygı ve şükranlarımı sunarım.

20 Aralık 2006

Kerem PEKER
İnşaat Yüksek Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
SEMBOL LİSTESİ	xxiii
ÖZET.....	xxv
SUMMARY.....	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Birleşimlerle İlgili Yapılan Araştırmalarda Değerlendirme Ölçütleri	2
1.1.1. ECCS No:45, 1986, yapısal çelik elemanların çevrimsel yükler etkisinde davranışlarının değerlendirilmesi için test yönergeleri	4
1.1.2. EN1993-PART 1-8, 2005 "Eurocode-3" çelik yapıların tasarımı, birleşimlerin tasarımı	4
1.1.3. FEMA 350, 2000 yeni çelik yapılar için tavsiye edilen depreme dayanıklı tasarım kriterleri	5
1.1.4. FEMA 355C, 2000, yer hareketleri etkisindeki çelik çerçevelerin sistem performansı üzerine ulaşılan son durum raporu.....	5
1.1.5. FEMA 355D, 2000, birleşimlerin performansı üzerine ulaşılan son durum raporu	6
1.2. Araştırmanın Amaç ve Kapsamı	6
1.3. Yöntem ve Araştırma Yaklaşımı.....	7
1.4. Tezin İçeriği	8
2. KONU İLE İLGİLİ GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR	11
2.1. Birleşimlerle İlgili Çalışmalar.....	12
2.1.1. Kuvvetli ve zayıf eksen, gövde ve/veya başlık korniyerli birleşimler	12
2.1.2. Kuvvetli eksen, alın levhalı birleşimler	13
2.1.3. Kuvvetli-zayıf eksen, tam kaynaklı birleşimler	14
2.1.4. Kuvvetli eksen, başlığı kaynaklı gövde levhalı birleşimler	14
2.1.5. Zayıf eksen, başlık ve gövde levhalı birleşimler.....	15
2.1.6. Kuvvetli-zayıf eksen, modifiye edilmiş birleşimleri.....	15
2.1.7. Çift yönlü (kuvvetli ve zayıf eksen) birleşimlerde etkileşim	16
2.1.8. Birleşim-sistem davranışlarının etkileşimi.....	17
2.1.9. Çevrimsel yük etkisinde davranışın sayısal olarak benzeştirilmesi	18
2.1.10. Çevrimsel yük etkisinde davranış deneyleri	19
2.2. Zayıf Eksen Birleşimleriyle İlgili Çalışmalar	20
2.2.1. Popov,E.P ve Pinkney,R Araştırması (1969).....	20
2.2.2. Driscoll,G.C.ve Chen, W.F. Araştırması (1978).....	22
2.2.3. Tsai, K.C. ve Popov, E.P. Araştırması (1988)	27
2.2.4. Gilton,C. ve Chi,B. Araştırması (2000)	30

2.2.5. Lima,L.R.O. ve Silva,L.S. Araştırması (2002)	34
2.3. Hedeflenen Çalışmanın Geçmiş Çalışmalarla Karşılaştırılması	37
3. ÖN SAYISAL İNCELEME VE MODELLEME ÇALIŞMALARI	39
3.1. Birleşim Tipleri	39
3.2. Birleşim Davranışında Etkili Olan Bileşenlerin Lineer Analizlerle İrdelenmesi	43
3.2.1. Yük dağılımı.....	47
3.2.2. Kolon başlığı davranışı	49
3.2.3. Süreklilik levhaları davranışı	53
3.3. Birleşim Davranışında Etkili Olan Bileşenlerin Lineer Olmayan Analizlerle İrdelenmesi	57
3.4. Ön Sayısal İnceleme ve Modelleme Çalışması Sonuçları.....	65
4. DENEYSEL ÇALIŞMA HAZIRLIKLARI	67
4.1. Deneysel Çalışma Hedefleri ve Başarı Ölçütleri.....	67
4.2. Araştırma Laboratuvarı İmkânları ve Çalışma Koşulları	69
4.2.1. Laboratuvar fiziksel özellikleri	69
4.2.2. Deneysel çalışma planlamasında dikkat edilen konular.....	69
4.3. Deneysel Çalışma Kabulleri ve Numuneler	70
4.3.1. Numunelerin seçimi için yapılan kabuller	70
4.3.2. Numunelerin tasarımı, detaylandırılması	72
4.3.3. Numunelerin imalatı.....	73
4.4. Deney Düzeneği	75
4.4.1. Deney düzeneği detayları	75
4.4.2. Yükleme düzeneği detayları.....	78
4.4.3. Numune bağlantı düzeneği	79
4.4.4. Düzlem dışı destek düzeneği.....	79
4.4.5. Hidrolik sistemin güçlendirilmiş duvara bağlantısı	81
4.5. Veri Okuma ve Kayıt Sistemi	82
4.5.1. Veri okuyucu sistemin yerleşimi.....	82
4.5.2. Verinin toplanması	85
4.5.3. Toplanan verinin kayıt edilmesi.....	86
4.6. Yükleme Sisteminde Kullanılan Yer Değiştirme-Yük Patronu	87
4.7. Numunelerin Malzeme Deneyleri	89
4.8. Bölüm Özeti	91
5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE GÖZLEMLER.....	93
5.1. A Grubu Deneyler	88
5.1.1. A1-1 Deneyi	88
5.1.1.1. Yapılan okumaların grafik olarak sunulması	95
5.1.1.2. Deney sırasında yapılan gözlemler	102
5.1.2. A2-1 Deneyi	105
5.1.2.1. Yapılan okumaların grafik olarak sunulması	106
5.1.2.2. Deney sırasında yapılan gözlemler	112
5.1.3. A3-1 Deneyi	115
5.1.3.1. Yapılan okumaların grafik olarak sunulması	116
5.1.3.2. Deney sırasında yapılan gözlemler	123
5.2. B Grubu Deneyler	125
5.2.1. B1-1 Deneyi	125
5.2.1.1. Yapılan okumaların grafik olarak sunulması	126

5.2.1.2. Deney sırasında yapılan gözlemler	131
5.2.2. B2-1 Deneyi	135
5.2.2.1. Yapılan okumaların grafik olarak sunulması	136
5.2.2.2. Deney sırasında yapılan gözlemler	140
5.2.3. B3-1 Deneyi	142
5.2.3.1. Yapılan okumaların grafik olarak sunulması	143
5.2.3.2. Deney sırasında yapılan gözlemler	147
6. NUMUNELERİN SAYISAL ANALİZİ.....	151
6.1. "ANSYS" Yazılımı İle Sonlu Elemanlar Sayısal Analizi	151
6.1.1. Kullanılan analiz parametreleri ve yapılan modelleme kabulleri	151
6.1.1.1. Malzeme modeli.....	151
6.1.1.2. Sınır koşulları ve yükleme biçimi	153
6.1.1.3. Sonlu elemanların hassas parçalara bölünmesi	154
6.1.1.4. Başlangıç durumu için kusurların ve artık iç gerilmelerin tanımlanması	155
6.1.2. ANSYS analiz sonuçları	156
6.1.2.1. A1-1 ANSYS sayısal analiz modeli.....	156
6.1.2.2. A2-1 ANSYS sayısal analiz modeli.....	160
6.1.2.3. A3-1 ANSYS sayısal analiz modeli.....	164
6.2. Basitleştirilmiş Yöntem Kullanılarak Yapılan Monoton Artan Yük Durumu Sayısal Analizi	167
6.2.1. PHD-1 hesap kodu	168
6.2.2. PHD-1 analiz sonuçları	171
6.2.2.1. A1-1 PHD-1 sayısal analiz modeli.....	171
6.2.2.2. A2-1 PHD-1 sayısal analiz modeli.....	173
6.2.2.3. A3-1 PHD-1 sayısal analiz modeli.....	176
6.3. Basitleştirilmiş Yöntem Kullanılarak Yapılan Çevrimsel Yük Durumu Sayısal Analizi	178
6.3.1. PHD-2 hesap kodu	178
6.3.2. PHD-2 analiz sonuçları	183
6.3.2.1. B1-1 PHD-2 sayısal analiz modeli.....	183
6.3.2.2. B2-1 PHD-2 sayısal analiz modeli.....	184
6.3.2.3. B3-1 PHD-2 sayısal analiz modeli.....	185
6.4. Bölüm Özeti	186
7. ÇALIŞMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	187
7.1. Monoton Artan Yer Değiştirme Durumu Benzeşimi Değerlendirmeleri....	187
7.1.1. A1-1 Numunesi deneysel ve sayısal benzeşim çalışmaları karşılaştırması	187
7.1.2. A2-1 Numunesi deneysel ve sayısal benzeşim çalışmaları karşılaştırması	190
7.1.3. A3-1 Numunesi deneysel ve sayısal benzeşim çalışmaları karşılaştırması	193
7.2. Çevrimsel Yer Değiştirme Durumu Benzeşimi Değerlendirmeleri	196
7.2.1. B1-1 Numunesi deneysel ve sayısal benzeşim çalışmaları karşılaştırması	197
7.2.2. B2-1 Numunesi deneysel ve sayısal benzeşim çalışmaları karşılaştırması	198

7.2.3. B3-1 Numunesi deneysel ve sayısal benzeşim çalışmaları karşılaştırması.....	199
7.3. Birleşim Davranışı Açısından Seçilen Birleşim Türünün Sınıflandırılması.....	200
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	207
8.1. Çalışma Sonuçları	207
8.2. Tasarımcıya Öneriler.....	208
8.3. İlerleyen Deneysel Çalışmalar İçin Öneriler	209
KAYNAKLAR	211
EKLER	219
EK-A	221
EK-B	237
EK-C	271
EK-D	277
EK-E	289
EK-F	295
EK-G	299
EK-H	305
EK-I	321
ÖZGEÇMİŞ	325

KISALTMALAR

ECCS	: European Convention Constructional Steelwork
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
SAC	: Structural Engineers Association of California
EN	: Euro Norm
EN-1993-1	: Euro Norm 1993, Kısım-1
AISC	: American Institute for Steel Construction
LRFD	: Load and Resistance Factor Design
FS-A	: Tam dayanımlı birleşim Tip-A
FS-B	: Tam dayanımlı birleşim Tip-B
PS-C	: Kısmi dayanımlı birleşim Tip-C
PS-D	: Kısmi dayanımlı birleşim Tip-D
PHD-1	: Birleşim monoton omurga eğrisini izlemek için geliştirilen, hesap ve grafik çizim kodu
PHD-2	: Birleşim çevrimsel yerdeğiştirme yörüngesini izlemek için geliştirilen, hesap ve grafik çizim kodu

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Deneylerde kullanılan yükleme prosedürleri.	21
Çizelge 3.1 : ANSYS Modelleri değişken analiz parametreleri ve özellikleri.	59
Çizelge 3.2 : Süreklilik levhası için hazırlanan ANSYS analiz modelleri ve basitleştirilmiş sayısal model karşılaştırmalı değerlendirmesi.	64
Çizelge 4.1 : Deneysel çalışma numuneleri ve özellikleri.	67
Çizelge 4.2 : Kullanılan veri okuma enstrümanları.	85
Çizelge 6.1 : Birleşim harici bileşenler için yük-yer değiştirme eşitlikleri.	170
Çizelge 6.2 : Birleşim bileşenleri için yük-yer değiştirme eşitlikleri.	171
Çizelge 6.3 : Bozulmamış yüksek enerji sönmümlü çevrim grafiğini oluşturan eşitlikler.	180
Çizelge 6.4 : Azalan enerji sönmümlü sıkışan çevrim grafiğini oluşturan eşitlikler.	181
Çizelge 6.5 : Plastik yorulma hasarı çevrim bozulması grafiğini oluşturan eşitlikler.	182
Çizelge 6.6 : Çevrimsel pekleşme çevrim bozulması grafiğini oluşturan eşitlikler.	183
Çizelge 7.1 : A1-1 Karakteristik karşılaştırma parametreleri.	188
Çizelge 7.2 : A1-1 Birleşim davranışı karakteristik karşılaştırma parametreleri.	190
Çizelge 7.3 : A2-1 Karakteristik karşılaştırma parametreleri.	191
Çizelge 7.4 : A2-1 Birleşim davranışı karakteristik karşılaştırma parametreleri.	193
Çizelge 7.5 : A3-1 Karakteristik karşılaştırma parametreleri.	194
Çizelge 7.6 : A3-1 Birleşim davranışı karakteristik karşılaştırma parametreleri.	196
Çizelge A.1 : Kullanılan tipler.	221
Çizelge A.2 : El çözümü sonuçları.	222
Çizelge A.3 : SAP2000 Çözümü sonuçları.	222
Çizelge A.4 : Kullanılan tipler.	222
Çizelge A.5 : El çözümü sonuçları.	224
Çizelge A.6 : SAP2000 Çözümü sonuçları.	224
Çizelge A.7 : ANSYS Modelleri değişken analiz parametreleri ve özellikleri.	225
Çizelge A.8 : ANSYS Modelleri Sayısal verilerinin bir kısmı.	229
Çizelge A.9 : Süreklilik levhası için hazırlanan ANSYS analiz modelleri ve basitleştirilmiş sayısal model karşılaştırmalı değerlendirmesi.	234
Çizelge B.1 : Hesaplanan genlik değerleri.	264
Çizelge I.1 : Değerlendirmelerde kullanılan eşitlikler.	322
Çizelge I.1 : Değerlendirmelerde kullanılan eşitlikler.(Devam)	323

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tipik birleşimler.	2
Şekil 1.2 : Tipik tasarım modeli kabulü. (çubuk modeli – katı eleman modeli). ...	3
Şekil 2.1 : Kullanılan başlık birleşim tipleri.	20
Şekil 2.2 : Test edilen birleşim tipleri. (Driscoll ve Chen 1978).	23
Şekil 2.3 : Lehigh deneylerinin test düzeneği. (Driscoll ve Chen 1978).	24
Şekil 2.4 : Deneysel kuvvet-tepe yer değiştirmesi grafikleri. (Driscoll ve Chen 1978).	25
Şekil 2.5 : Pilot çalışma test tipleri. (Driscoll ve Chen 1979).	25
Şekil 2.6 : Pilot çalışmaların test düzeneği. (Driscoll ve Chen 1979).	26
Şekil 2.7 : Tipik birleşim güçlendirme detayı. (Tsai ve Popov, 1988).	27
Şekil 2.8 : Test düzeneği şeması. (Tsai ve Popov, 1988).	28
Şekil 2.9 : Çevrimsel kuvvet yer değiştirme eğrisi. (Tsai ve Popov, 1988).	29
Şekil 2.10 : SAC Dahilinde test edilen tipik birleşim. (Gilton ve Chi, 2000).	31
Şekil 2.11 : Test düzeneği. (Gilton ve Chi, 2000).	32
Şekil 2.12 : Çalışmada elde edilen sonuçlar. (Gilton ve Chi, 2000).	33
Şekil 2.13 : Test düzeneği. (Lima ve Silva, 2002).	34
Şekil 2.14 : Seçilen tipik doğrudan gövdeye bağlantı detayı. (Lima ve Silva, 2002).	34
Şekil 2.15 : Basitleştirilmiş kolon gövdesi levha modeli. (Lima ve Silva, 2002). ..	35
Şekil 2.16 : Gerilme, kuvvet ve şekil değiştirme dağılışı. (Lima ve Silva, 2002). ..	36
Şekil 2.17 : Önerilen mekanik yay-bileşen modeli. (Lima ve Silva, 2002).	36
Şekil 2.18 : Model sonuçlarının deneysel sonuçlarla kıyaslanması. (Lima ve Silva, 2002).	37
Şekil 3.1 : Başlık kaynaklı zayıf yön birleşimi. (Tip-A).	40
Şekil 3.2 : Alın levhalı zayıf yön birleşimi. (Tip-B).	41
Şekil 3.3 : Başlık levhalı zayıf yön birleşimi. (Tip-C).	42
Şekil 3.4 : Seçilen tipik birleşimlerde bileşen bölgeleri.	43
Şekil 3.5 : Rijit ve elastik çözümlerin karşılaştırılması.	45
Şekil 3.6 : İç kuvvet ve gerilmelerin belli adımlarda gözlenmesi.	46
Şekil 3.7 : İç kuvvet ve gerilmelerin belli adımlarda gözlenmesi.	47
Şekil 3.8 : I-Bölgesi üzerinde etken iç kuvvetler.	48
Şekil 3.9 : Zayıf eksen kolon-kiriş birleşiminde hesaba esas yük dağılım formu. (Heaton ve diğerleri., 1987).	49
Şekil 3.10 : Kolon başlığı davranışı mekanik modeli.	50
Şekil 3.11 : Kolon başlığı sonlu eleman modeli ve yük-yer değiştirme diyagramı.	50
Şekil 3.12 : Kolon başlığı etken iç kuvvetler.	51
Şekil 3.13 : Süreklilik levhaları davranışı mekanik modeli.	53
Şekil 3.14 : Süreklilik levhaları sonlu eleman modeli ve yük-yer değiştirme diyagramı.	53
Şekil 3.15 : Süreklilik levhaları etken iç kuvvetler.	54
Şekil 3.16 : b_{cp} / h_{cp} Açıklık-yükseklik oranı etkisi parametrik deneme sonuçları.	56

Şekil 3.17 : c/h_{cp} Sınırlı yayılı yük oranı etkisi parametrik deneme sonuçları.	56
Şekil 3.18 : ANSYS İncelemesinde kullanılan farklı analiz tipleri, sonlu eleman ağı yapılanması ve yükleme yönü görüntüleri.	58
Şekil 3.19 : ANSYS İncelemesinde elde edilen yük-tepe yer değiştirmesi sonuçları.	60
Şekil 3.20 : ANSYS İncelemesinde son adımda tespit edilen eşdeğer gerilme dağılışının şekil değiştirme ile birlikte görüntüleri.	61
Şekil 3.21 : ANSYS Modeli seçilen inceleme noktaları ve uzaklıkları.	62
Şekil 3.22 : Süreklilik levhası davranışı ANSYS modeli ile önerilen basitleştirilmiş davranış modelinin karşılaştırılması.	63
Şekil 4.1 : Deneysel çalışma için esas alınan yapı şeması üzerinde iç ve dış kolon-kiriş birleşimlerinin temsil ettiği bölgeler. (Krawinkler ve diğerleri, 1971).	71
Şekil 4.2 : Deneysel çalışma tasarım ve detaylandırması yapılmış A1-1, A2-1, A3-1, B1-1, B2-1, B3-1 Numuneleri ve birleşim bölgesi detayları.	72
Şekil 4.3 : Ön analizlerde elde edilen numune kapasiteleri ve göçme mekanizmaları.	73
Şekil 4.4 : Deneysel çalışma için seçilen HEA300 Kolon – IPE330 kiriş birleşimi.	74
Şekil 4.5 : Deneysel çalışma için seçilen IPE330 Kolon – IPE330 kiriş birleşimi.	74
Şekil 4.6 : Deneysel çalışma için seçilen IPE330 Kolon – HEA180 kiriş birleşimi.	74
Şekil 4.7 : “A” Grubu deneylerde kullanılmak üzere tasarlanan düzenek şeması.	75
Şekil 4.8 : “A” Grubu deneylerde kullanılan düzeneğin yerindeki fotoğrafı.	76
Şekil 4.9 : “B” Grubu deneylerde kullanılmak üzere tasarlanan düzenek şeması.	77
Şekil 4.10 : “B” Grubu deneylerde kullanılan düzeneğin yerindeki fotoğrafı.	77
Şekil 4.11 : Yükleme kolu ara bağlantı elemanı.	78
Şekil 4.12 : Yükleme sistemine ait yatay ve düşey düzlem dışı destek sistemi.	78
Şekil 4.13 : Zemin bağlantı başlıkları.	79
Şekil 4.14 : Düzlem dışı destek düzeneği montaj sırasında.	80
Şekil 4.15 : Numune düzlem dışı destek sistemi ön görünüş.	80
Şekil 4.16 : Numune düzlem dışı destek sistemi yan görünüş.	81
Şekil 4.17 : Veri toplama ve kayıt sistemi şematik görünüşü.	82
Şekil 4.18 : Veri toplama ve kayıt sistemi bağlantı kutusu görünüşü.	83
Şekil 4.19 : “A” Tipi deneylerde birleşim şekil değiştirmelerini kayıt sistemi görünüşü.	83
Şekil 4.20 : B2-1 Deneyinde kayıt sistemi ön yüz görünüşü.	84
Şekil 4.21 : B2-1 Deneyinde kayıt sistemi arka yüz görünüşü.	84
Şekil 4.22 : Merkez kontrol odası görünüşü.	86
Şekil 4.23 : ECCS Standart yükleme patronu.	88
Şekil 4.24 : Deneylerde kullanılan yükleme adımları.	89
Şekil 4.25 : Malzeme örneği geometri parametreleri.	89
Şekil 4.26 : “A” Grubu deneyler malzeme özellikleri.	90
Şekil 4.27 : “B” Grubu deneyler malzeme özellikleri.	91
Şekil 5.1 : A1-1 Numunesi künyesi.	94
Şekil 5.2 : A1-1 Numunesi yatay kuvvet ve tepe yer değiştirmesi eğrisi.	95
Şekil 5.3 : A1-1 Numunesi moment – toplam dönme eğrisi.	96
Şekil 5.4 : A1-1 Numunesi birleşim moment – dönme eğrisi.	96
Şekil 5.5 : A1-1 Numunesi moment – toplam dönme eğrisi alt bileşenleri.	97
Şekil 5.6 : A1-1 Numunesi birleşim moment – dönme eğrisi alt bileşenleri.	98

Şekil 5.7 : A1-1 Numunesi etkin bileşenlerin rijitlikleri.	98
Şekil 5.8 : Kiriş dönmesi ve kolon başlığı panel şekil değiştirmeleri verileri. ...	99
Şekil 5.9 : Süreklilik levhası şekil değiştirmeleri ve kolon dönmesi verileri.	100
Şekil 5.10 : Kiriş başlığı verileri.	100
Şekil 5.11 : Kolon başlığında panel bölgesi verileri.	101
Şekil 5.12 : A1-1 Düzeneği sol görünüşü ve veri kayıt sistemi.	102
Şekil 5.13 : A1-1 Düzeneği sağ görünüşü ve okuma cihazlarının yerleşimi.	103
Şekil 5.14 : Kolon başlığı kayma şekil değiştirmesinin izlenmesi için okuma sistemi.	103
Şekil 5.15 : Kirişin plastikleşme sonrası.	104
Şekil 5.16 : Kirişin artan yük ile düzlem dışına kaydığı son adımın üst görünüşü.	104
Şekil 5.17 : A2-1 Numunesi künyesi.	105
Şekil 5.18 : A2-1 Numunesi yatay kuvvet ve tepe yer değiştirmesi eğrisi.	106
Şekil 5.19 : A2-1 Numunesi moment – toplam dönme eğrisi.	107
Şekil 5.20 : A2-1 Numunesi birleşim moment – dönme eğrisi.	107
Şekil 5.21 : A2-1 Numunesi moment – toplam dönme eğrisi alt bileşenleri.	108
Şekil 5.22 : A2-1 Numunesi birleşim moment – dönme eğrisi alt bileşenleri. ...	109
Şekil 5.23 : A2-1 Numunesi etkin bileşenlerin rijitlikleri.	109
Şekil 5.24 : Kiriş dönmesi ve kolon başlığı panel şekil değiştirmeleri verileri. ...	110
Şekil 5.25 : Kiriş başlığı ve süreklilik levhası verileri.	111
Şekil 5.26 : Kiriş başlığı verileri.	111
Şekil 5.27 : Kolon başlığında panel bölgesi verileri.	112
Şekil 5.28 : Düzlem dışı gözlemi için yerleştirilen düzeç ve lazer kontrolü.	113
Şekil 5.29 : Kolon başlığından alınan birim şekil değiştirme okumaları.	114
Şekil 5.30 : Kolon-kiriş bölgesinde %10 görelî ötelemedeki şekil değiştirmeler.	114
Şekil 5.31 : A3-1 Numunesi künyesi.	115
Şekil 5.32 : A3-1 Numunesi yatay kuvvet ve tepe yer değiştirmesi eğrisi.	116
Şekil 5.33 : A3-1 Numunesi moment – toplam dönme eğrisi.	117
Şekil 5.34 : A3-1 Numunesi birleşim moment – dönme eğrisi.	117
Şekil 5.35 : A3-1 Numunesi birleşim moment – toplam dönme eğrisi alt bileşenleri.	118
Şekil 5.36 : A3-1 Numunesi birleşim moment – dönme eğrisi alt bileşenleri. ...	119
Şekil 5.37 : A3-1 Numunesi etkin bileşenlerin rijitlikleri.	119
Şekil 5.38 : Kiriş dönmesi ve kolon başlığı panel şekil değiştirmeleri verileri. ...	120
Şekil 5.39 : Kiriş başlığı ve süreklilik levhası verileri.	121
Şekil 5.40 : Kiriş başlığı verileri.	121
Şekil 5.41 : Kolon başlığında panel bölgesi verileri.	122
Şekil 5.42 : Deney öncesi düzenek yerleşimi.	123
Şekil 5.43 : Kolon ve kirişte oluşan mafsallar ve düzlem dışı hareket.	124
Şekil 5.44 : Kolon-kiriş bölgesinde %10 görelî ötelemedeki şekil değiştirmeler.	124
Şekil 5.45 : B1-1 Numunesi künyesi.	125
Şekil 5.46 : B1-1 Numunesi çevrim adımlarında ortaya çıkan enerjinin dağılımı.	126
Şekil 5.47 : B1-1 Numunesi yatay kuvvet ve tepe yer değiştirmesini gösteren çevrimsel yörünge eğrisi ve zarf eğrisi.	127
Şekil 5.48 : B1-1 Numunesi moment – toplam dönme değerlerini gösteren çevrimsel yörünge eğrisi ve zarf eğrisi.	128
Şekil 5.49 : Kiriş başlığı verileri.	129
Şekil 5.50 : Kolon başlığında panel bölgesi verileri.	130

Şekil 5.51 : Kiriş başlığı ve süreklilik levhası verileri.	131
Şekil 5.52 : Kirişte “2 e _y ” adımıyla plastikleşen bölge ve burkulan başlık.	132
Şekil 5.53 : Kirişte “2 e _y ” adımıyla plastikleşen bölge ve burkulan başlık.	132
Şekil 5.54 : Kirişte “2 e _y ” adımıyla plastikleşen bölge ve burkulan başlık.	133
Şekil 5.55 : Kaynakta oluşan hasrın dıştan görünüşü.	134
Şekil 5.56 : Kaynak altından kopmuş iç takviye levha sistemi.	134
Şekil 5.57 : B2-1 Numunesi künyesi.	135
Şekil 5.58 : B2-1 Numunesi çevrim adımlarında ortaya çıkan enerjinin dağılımı.	136
Şekil 5.59 : B2-1 Numunesi yatay kuvvet ve tepe yer değiştirmesini gösteren çevrimsel yörünge eğrisi ve zarf eğrisi.	137
Şekil 5.60 : B2-1 Numunesi moment – toplam dönme değerlerini gösteren çevrimsel yörünge eğrisi ve zarf eğrisi.	138
Şekil 5.61 : Kiriş başlığı ve süreklilik levhası verileri.	139
Şekil 5.62 : Kolon gövdesi verileri.	139
Şekil 5.63 : Plastik davranış gösteren kolon başlık bölgesi.	140
Şekil 5.64 : Kolon başlığında burkulmalar. (Arkadan)	141
Şekil 5.65 : Kolon başlığında burkulmalar. (Önden)	141
Şekil 5.66 : B3-1 Numunesi künyesi.	142
Şekil 5.67 : B3-1 Numunesi çevrim adımlarında ortaya çıkan enerjinin dağılımı.	143
Şekil 5.68 : B3-1 Numunesi yatay kuvvet ve tepe yer değiştirmesini gösteren çevrimsel yörünge eğrisi ve zarf eğrisi.	144
Şekil 5.69 : B3-1 Numunesi moment – toplam dönme değerlerini gösteren çevrimsel yörünge eğrisi ve zarf eğrisi.	145
Şekil 5.70 : Kiriş başlığı ve süreklilik levhası verileri.	146
Şekil 5.71 : Kiriş başlığı verileri.	146
Şekil 5.72 : Kolon başlığında panel bölgesi verileri.	147
Şekil 5.73 : Kolon başlıklarında plastik şekil değiştirmelerin dağılımı.	148
Şekil 5.74 : Başlıkta gözlemlenen burkulmalar.	148
Şekil 5.75 : Kolon-kiriş bölgesinde %10 göreceli ötelemedeki şekil değiştirmeler.	149
Şekil 6.1 : A ve B grubu deneylerden alınan malzeme örneği deney sonuçları. ..	152
Şekil 6.2 : ANSYS analizinde kullanılan gerçek gerilme-şekil değiştirme eğrisi.	153
Şekil 6.3 : ANSYS modeli ile incelenen bölgenin tüm numunelerde hassas ağırlara bölünerek incelenmesi.	154
Şekil 6.4 : Tüm deney numuneleri için “kusur yükü” yerleşimleri.	156
Şekil 6.5 : A1-1 ANSYS modeli karakteristik davranış eğrileri.	157
Şekil 6.6 : A1-1 ANSYS modeli birleşim dönmesi ve bileşenlerin katkısı.	158
Şekil 6.7 : A1-1 ANSYS modeli son adımda çeşitli gerilme dağılımları.	159
Şekil 6.8 : A1-1 ANSYS modeli son adım şekil değiştirmiş görünüş.	160
Şekil 6.9 : A2-1 ANSYS modeli karakteristik davranış eğrileri.	161
Şekil 6.10 : A2-1 ANSYS modeli birleşim dönmesi ve bileşenlerin katkısı.	162
Şekil 6.11 : A2-1 ANSYS modeli son adımda çeşitli gerilme dağılımları.	163
Şekil 6.12 : A2-1 ANSYS modeli son adım şekil değiştirmiş görünüş.	163
Şekil 6.13 : A3-1 ANSYS modeli karakteristik davranış eğrileri.	164
Şekil 6.14 : A3-1 ANSYS modeli birleşim dönmesi ve bileşenlerin katkısı.	165
Şekil 6.15 : A3-1 ANSYS modeli son adımda çeşitli gerilme dağılımları.	166
Şekil 6.16 : A3-1 ANSYS modeli son adım şekil değiştirmiş görünüş.	166
Şekil 6.17 : Bileşik sistem mekanik davranışı mekanik modeli.	167
Şekil 6.18 : PHD-1 hesap algoritması akış diyagramı.	168

Şekil 6.19 : Kolon ve kiriş elemanlarının şekil değiştirmeye katkısı.	169
Şekil 6.20 : Birleşim elemanlarının şekil değiştirmeye katkısı.	170
Şekil 6.21 : A1-1 PHD-1 modeli karakteristik davranış eğrileri.	172
Şekil 6.22 : A1-1 PHD-1 sistem bileşenleri yatay yük-yer değiştirme eğrileri. ...	173
Şekil 6.23 : A2-1 PHD-1 modeli karakteristik davranış eğrileri.	174
Şekil 6.24 : A2-1 PHD-1 sistem bileşenleri yatay yük-yer değiştirme eğrileri. ...	175
Şekil 6.25 : A1-1 PHD-1 modeli karakteristik davranış eğrileri.	176
Şekil 6.26 : A3-1 PHD-1 sistem bileşenleri yatay yük-yer değiştirme eğrileri. ...	177
Şekil 6.27 : Genel halde maksimum dönme veya yer değiştirme için PHD-1 ve PHD-2 algoritması sonucu elde edilen eğrilerin karşılaştırılması. ...	178
Şekil 6.28 : PHD-2 hesap algoritması akış diyagramı.	179
Şekil 6.29 : Bozulmamış yüksek enerji sönmümlü çevrim grafiği ve parametreleri.	180
Şekil 6.30 : Azalan enerji sönmümlü sıkışan çevrim grafiği ve parametreleri.	181
Şekil 6.31 : Plastik yorulma hasarı çevrim bozulması grafiği ve parametreleri. ...	182
Şekil 6.32 : Çevrimsel pekleşme çevrim bozulması grafiği ve parametreleri.	183
Şekil 6.33 : B1-1 PHD-2 modeli karakteristik davranış eğrileri.	184
Şekil 6.34 : B2-1 PHD-2 modeli karakteristik davranış eğrileri.	185
Şekil 6.35 : B3-1 PHD-2 modeli karakteristik davranış eğrileri.	186
Şekil 7.1 : A1-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması.	187
Şekil 7.2 : A1-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması bir arada.	188
Şekil 7.3 : A1-1 numunesi moment-birleşim dönme eğrileri karşılaştırması.	189
Şekil 7.4 : A1-1 numunesi moment-birleşim dönme eğrileri karşılaştırması bir arada.	189
Şekil 7.5 : A2-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması.	191
Şekil 7.6 : A2-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması bir arada.	191
Şekil 7.7 : A2-1 Numunesi moment-birleşim dönme eğrileri karşılaştırması.	192
Şekil 7.8 : A2-1 Numunesi moment-birleşim dönme eğrileri karşılaştırması bir arada.	192
Şekil 7.9 : A3-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması.	194
Şekil 7.10 : A3-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması bir arada.	194
Şekil 7.11 : A3-1 numunesi moment-birleşim dönme eğrileri karşılaştırması. ...	195
Şekil 7.12 : A3-1 Numunesi moment-birleşim dönme eğrileri karşılaştırması bir arada.	195
Şekil 7.13 : B1-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması.	197
Şekil 7.14 : B1-1 numunesi DENEY ve PHD-2 enerji eğrileri karşılaştırması. ...	198
Şekil 7.15 : B2-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması.	198
Şekil 7.16 : B2-1 numunesi DENEY ve PHD-2 enerji eğrileri karşılaştırması. ...	199
Şekil 7.17 : B3-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması.	199
Şekil 7.18 : B3-1 numunesi DENEY ve PHD-2 enerji eğrileri karşılaştırması. ...	200
Şekil 7.19 : Dayanımlar açısından çeşitli tipik moment-dönme eğrileri.	201
Şekil 7.20 : Rijitlikler açısından çeşitli tipik moment-dönme eğrileri.	202
Şekil 7.21 : EN1993-1-8 birleşim davranış sınıfları ve değişkenlerin tanımları. ...	203
Şekil 7.22 : A1-1 ve B1-1 deneyleri sonuç verileri ile birleşim sınıflandırması. ...	204
Şekil 7.23 : A2-1 ve B2-1 deneyleri sonuç verileri ile birleşim sınıflandırması. ...	204
Şekil 7.24 : A3-1 ve B3-1 deneyleri sonuç verileri ile birleşim sınıflandırması. ...	205

Şekil 7.25 : A1-1 ve B1-1 PHD-1 sonuç verileri ile birleşim sınıflandırması. ...	205
Şekil 7.26 : A2-1 ve B2-1 PHD-1 sonuç verileri ile birleşim sınıflandırması. ...	206
Şekil 7.27 : A3-1 ve B3-1 PHD-1 sonuç verileri ile birleşim sınıflandırması.	206
Şekil A.1 : Açıklık/Yükseklik oranı etkisi parametrik deneme sonuçları.	222
Şekil A.2 : “ b_{cp} / h_{cp} ” Açıklık/Yükseklik oranı etkisi parametrik deneme sonuçları.	223
Şekil A.3 : Sınırlı yayılı yük oranı etkisi parametrik deneme sonuçları.	224
Şekil A.4 : “ c/h_{cp} ” Sınırlı yayılı yük oranı etkisi parametrik deneme sonuçları. ..	225
Şekil A.5 : ANSYS İncelemesinde kullanılan farklı analiz tipleri, sonlu eleman ağı yapılanması ve yükleme yönü görüntüleri.	226
Şekil A.6 : ANSYS İncelemesinde elde edilen yük-tepe yer değiştirme sonuçları.	227
Şekil A.7 : ANSYS İncelemesinde sayısal verileri kullanmak için seçilen noktalar.	228
Şekil A.8 : ANSYS İncelemesinde son adımda tespit edilen eşdeğer (Von Misses) gerilme dağılışının şekil değiştirme ile birlikte görüntüleri.	230
Şekil A.9 : C160-B330 Yay sabitleri karşılaştırması.	231
Şekil A.10 : C320-B330 Yay sabitleri karşılaştırması.	231
Şekil A.11 : C480-B330 Yay sabitleri karşılaştırması.	232
Şekil A.12 : C640-B330 Yay sabitleri karşılaştırması.	232
Şekil A.13 : C800-B330 Yay sabitleri karşılaştırması.	233
Şekil A.14 : C960-B330 Yay sabitleri karşılaştırması.	233
Şekil A.15 : “ $x=c*b_{cp} / h_{cp}^2$ ” Oranının 0-3 arası değişimi eğri uydurma grafiği. ..	234
Şekil A.16 : “ $x=c*b_{cp} / h_{cp}^2$ ” Oranının 3-6 arası değişimi eğri uydurma grafiği. ..	235
Şekil B.1 : Numune için sayısal olarak beklenen göçme mekanizması.	238
Şekil B.2 : “A1-1” / “B1-1” Numunesi tepe yükü-tepe yer değiştirme eğrisi. ...	238
Şekil B.3 : Numune için sayısal olarak beklenen göçme mekanizması.	239
Şekil B.4 : “A2-1” / “B2-1” Numunesi tepe yükü-tepe yer değiştirme eğrisi. ..	239
Şekil B.5 : Numune için sayısal olarak beklenen göçme mekanizması.	240
Şekil B.6 : “A3-1” / “B3-1” Numunesi tepe yükü-tepe yer değiştirme eğrisi. ..	240
Şekil B.7 : A1-1 Numunesi kaynaklı imalat kontrol formu.	254
Şekil B.8 : A2-1 Numunesi kaynaklı imalat kontrol formu.	255
Şekil B.9 : A1-1 Numunesi kaynaklı imalat kontrol formu.	256
Şekil B.10 : A1-1 Düzeneği 3-boyutlu şeması.	257
Şekil B.11 : A1-1 Düzeneği yan görünüşü.	257
Şekil B.12 : A2-1 Düzeneği 3-boyutlu şeması.	258
Şekil B.13 : A2-1 Düzeneği yan görünüşü.	258
Şekil B.14 : A3-1 Düzeneği 3-boyutlu şeması.	259
Şekil B.15 : A3-1 Düzeneği yan görünüşü.	259
Şekil B.16 : B1-1 Düzeneği 3-boyutlu şeması.	260
Şekil B.17 : B1-1 Düzeneği yan görünüşü.	260
Şekil B.18 : B2-1 Düzeneği 3-boyutlu şeması.	261
Şekil B.19 : B2-1 Düzeneği yan görünüşü.	261
Şekil B.20 : B3-1 Düzeneği 3-boyutlu şeması.	262
Şekil B.21 : B3-1 Düzeneği yan görünüşü.	262
Şekil B.22 : Modifiye ECCS çevrim genlikleri.	263
Şekil B.23 : 24mm akma yer değiştirme için hesaplanan çevrim genlikleri.	263

Şekil B.24 : A1-1 Deneyi veri kayıt detayları.	265
Şekil B.25 : A2-1 Deneyi veri kayıt detayları.	266
Şekil B.26 : A3-1 Deneyi veri kayıt detayları.	267
Şekil B.27 : B1-1 Deneyi veri kayıt detayları.	268
Şekil B.28 : B2-1 Deneyi veri kayıt detayları.	269
Şekil B.29 : B3-1 Deneyi veri kayıt detayları.	270
Şekil C.1 : 1 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	271
Şekil C.2 : 2 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	271
Şekil C.3 : 3 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	272
Şekil C.4 : 4 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	272
Şekil C.5 : 5 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	272
Şekil C.6 : 6 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	273
Şekil C.7 : 7 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	273
Şekil C.8 : 8 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	273
Şekil C.9 : 9 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	274
Şekil C.10 : 10 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	274
Şekil C.11 : 11 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	274
Şekil C.12 : 12 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	275
Şekil C.13 : 13 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	275
Şekil C.14 : 14 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	275
Şekil C.15 : 15 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.	276
Şekil D.1 : A1-1 grubu deney fotoğrafları.	277
Şekil D.1 : A1-1 grubu deney fotoğrafları. (Devamı)	278
Şekil D.2 : A2-1 grubu deney fotoğrafları.	279
Şekil D.2 : A2-1 grubu deney fotoğrafları. (Devamı)	280
Şekil D.3 : A3-1 grubu deney fotoğrafları.	281
Şekil D.3 : A3-1 grubu deney fotoğrafları. (Devamı)	282
Şekil D.4 : B1-1 grubu deney fotoğrafları.	283
Şekil D.4 : B1-1 grubu deney fotoğrafları. (Devamı)	284
Şekil D.5 : B2-1 grubu deney fotoğrafları.	285
Şekil D.5 : B2-1 grubu deney fotoğrafları. (Devamı)	286
Şekil D.6 : B3-1 grubu deney fotoğrafları.	287
Şekil D.6 : B3-1 grubu deney fotoğrafları. (Devamı)	288
Şekil E.1 : A1-1 Deneyi, bir kısım kanal verileri.	289
Şekil E.2 : A2-1 Deneyi, bir kısım kanal verileri.	290
Şekil E.3 : A3-1 Deneyi, bir kısım kanal verileri.	290
Şekil E.4 : B1-1 Deneyi, bir kısım kanal verileri.	291
Şekil E.5 : B2-1 Deneyi, bir kısım kanal verileri.	293
Şekil E.6 : B3-1 Deneyi, bir kısım kanal verileri.	294
Şekil F.1 : A1-1 ANSYS Analizi değerlendirme noktaları.	295
Şekil F.2 : A2-1 ANSYS Analizi değerlendirme noktaları.	296
Şekil F.3 : A3-1 ANSYS Analizi değerlendirme noktaları.	297
Şekil G.1 : PHD-1 Algoritması	299
Şekil H.1 : PHD-2 Algoritması	305
Şekil I.1 : Genel geometri parametreleri ve okuma noktaları.	321
Şekil I.2 : Panel bölgesi şekil değiştirmesinin tepe yer değiştirmesine etkisi. ...	324

SEMBOL LİSTESİ

b_{eff}	: Kesitin efektif genişliği
t_{eff}	: Kesitin efektif kalınlığı
M	: Kontrol moment değeri
ϕ	: Kontrol dönme değeri
M_y	: Akma momenti
M_u	: Nihai moment taşıma kapasitesi
M_p	: Plastikleşme momenti
ϕ_y	: Akma dönmesi
ϕ_u	: Nihai dönme kapasitesi
ϕ_{max}	: Maksimum dönme kapasitesi
Δ	: İkinci mertebe deplasmanları
α_y	: Kontrol akma iç kuvveti
α_u	: Kontrol nihai göçme kapasitesi iç kuvveti
δ_y	: Akma deplasmanı
δ_u	: Göçme deplasmanı
ϕ_{up}	: Kritik mafsaldaki plastik dönme
k_o	: Başlangıç rijitliği
k_h	: Pekleşme rijitliği
M_o	: Başlangıç rijitliği moment dayanımı
n	: Şekil fonksiyonu parametresi
M_{o-inc}	: Artan başlangıç rijitliği moment dayanımı
H_h	: İsootropik pekleşmenin miktarını tarif eden ampirik parametre
E_h	: Tüm geçmiş tam çevrimlere ait sönmölenen toplam kümülatif enerji miktarı
IC	: Hasar oranı
$\bar{\phi}$	: Girilen çevrim adımıındaki kontrol dönme değeri
ϕ_u	: Girilen çevrim adımıındaki nihai dönme kapasitesi
β	: Hasar oranı parametresi
M_{o-red}	: Hasar nedeniyle azalan başlangıç rijitliği moment dayanımı
t	: Üst limit eğriden alt limit eğriye doğru çevrim sıkıştıran ampirik parametre
t_1, t_2	: “t” değeri hesabı için deneysel veriden alınan eğri-uyduran çarpanlar
k_{ot}	: Takip eden adım sıkıştırılmış yörüngesi başlangıç rijitliği
k_{op}	: Geçmiş adım sıkıştırılmış yörüngesi başlangıç rijitliği
M_{ot}	: Takip eden adım sıkıştırılmış yörüngesi başlangıç rijitliği moment dayanımı
M_{op}	: Geçmiş adım sıkıştırılmış yörüngesi başlangıç rijitliği moment dayanımı
k_{ht}	: Takip eden adım sıkıştırılmış yörüngesi pekleşme rijitliği
k_{hp}	: Geçmiş adım sıkıştırılmış yörüngesi pekleşme rijitliği
n_{pt}	: Takip eden adım sıkıştırılmış yörüngesi şekil fonksiyonu değeri
n_p	: Geçmiş adım sıkıştırılmış yörüngesi şekil fonksiyonu değeri

ϕ_o	: Başlangıç rijitliği deformasyon değeri
ϕ_{lim}	: Limit deformasyon değeri
λ	: Geçiş eğrisi çarpıklığı parametresi
N_c	: Kolon normal kuvveti
M_c	: Kolon moment değeri
V_c	: Kolon kesme kuvveti
H_c	: Kolon yüksekliği
N_b	: Kiriş normal kuvveti
M_b	: Kiriş moment değeri
V_b	: Kiriş kesme kuvveti
H_b	: Kiriş yüksekliği
$F_{üst}$	: Kiriş uç momentinden kaynaklanan üst başlık etkin iç kuvveti
F_{alt}	: Kiriş uç momentinden kaynaklanan alt başlık etkin iç kuvveti
B_c	: Kolon başlığı genişliği
t_{fc}	: Kolon başlığı kalınlığı
h_t	: Takviye levhaları dış merkezliği
F_{cfsRd}	: Kolon başlığı kayma yay dayanımı
V_{cfsRd}	: Kolon başlığı kayma dayanımı
d_{cf}	: Kolon başlığı kayma deplasmanı
d_{cfy}	: Kolon başlığı kayma akma deplasmanı
d_{cfu}	: Kolon başlığı kayma nihai deplasmanı
K_{cfs}	: Kolon başlığı kayma yayı rijitliği
A_{cfs}	: Kolon başlığı kayma etkin alanı
γ_{mo}	: Malzeme katsayısı
f_{ycf}	: Kolon başlığı malzemesi akma dayanımı
E	: Çelik malzemesi elastisite modülü
b_{cp}	: Takviye levhası genişliği
t_{cp}	: Takviye levhası kalınlığı
h_{cp}	: Takviye levhası yüksekliği
c	: Yük akış genişliği
F_{cpRd}	: Takviye levhası eğilme yay dayanımı
M_{cpRd}	: Takviye levhası eğilme dayanımı
d_{cp}	: Takviye levhası eğilme deplasmanı
d_{cpy}	: Takviye levhası eğilme akma deplasmanı
d_{cpu}	: Takviye levhası eğilme nihai deplasmanı
K_{cp}	: Takviye levhası eğilme yayı rijitliği
α_1	: Kiriş açıklığının yüksekliğine oranından alınan düzeltme çarpanı
α_2	: Yayılı yükün sınırlı bir genişlikte yayılı olması için düzeltme çarpanı
K_{ab}	: Kolon iç bölgesi eğilme yayı rijitliği
K_{bb}	: Kiriş eğilme yayı rijitliği
K_{cb}	: Kolon eğilme yayı rijitliği
K_{lcpb}	: Alt takviye levhası eğilme yayı rijitliği
K_{ucpb}	: Üst takviye levhası eğilme yayı rijitliği
P	: Yük değeri
L_a	: Kolon iç bölgesi uzunluğu
I_a	: Kolon iç bölgesi rijitliği
L_b	: Kiriş uzunluğu
I_b	: Kiriş rijitliği
L_c	: Kolon uzunluğu
I_c	: Kolon rijitliği

ZAYIF EKSEN KOLON-KIRIŞ BİRLEŞİMLERİNİN ÇEVİRİMSSEL YÜKLER ETKİSİNDE DAVRANIŞI

ÖZET

Son otuz yılda meydana gelen ve büyük şehir merkezlerine yakın kaynaklı depremler, yapılarda beklenmeyen hasarlar oluşmasına, depreme dayanıklı yapı tasarımı kavramının tekrar sorgulanmasına ve tasarım adımlarının ayrıntılı olarak inceleme altına alınmasına sebep olmuştur.

Bu depremlerden, genelde tüm yapılar, özelde de çelik yapılar adına çıkarılabilecek en önemli sonuçlardan biri, yük taşıyan kolon ve kirişlerin dayanım, rijitlik ve süneklik özellikleri yanında, birleşimlerinin davranışının da sistemin genel performansına büyük etkisi olduğudur. Bu davranışın dikkate alınmamış olması, öngörülmeyen yapısal hasarların oluşmasına, beklenmeyen maddi ve manevi kayıplara neden olmuştur.

Uygulamada sık kullanılan kuvvetli eksen çelik kolon-kiriş çerçeve birleşimlerinin davranışlarını anlamak ve bir tasarım modeli oluşturmak amaçlı birçok çalışma yapılmış olmasına karşın, zayıf yön birleşimlerinin dayanım, rijitlik ve süneklik özelliklerini ortaya koyabilecek benzer çalışmalar oldukça sınırlı ve yetersiz kalmıştır.

Bu çalışmada, çelik yapılarda uygulamada sık kullanılan zayıf eksen kolon-kiriş çerçeve birleşimlerinin davranışını açıklamaya yönelik, sayısal ve deneysel bir araştırma gerçekleştirilmiştir.

Yapılan ön sayısal çalışmalardan sonra, planlanan pilot deneyler ile birleşimi oluşturan ve davranışına etkisi olan ana bileşenlere ait mekanik sayısal modeller geliştirilmiş ve bu modellerin bir arada kullanılması ile çerçeve birleşimini temsil edecek bir genel bileşik davranış modeli önerilmiştir.

Önerilen modelin geliştirmek için, gerçek boyutta deneysel düzenekler kurulmuş ve deney sonuçları sayısal sonuçlar ile karşılaştırılarak sayısal modelin tutarlılığı araştırılmıştır.

Yapılan çalışmaların ışığında literatürde eksik olan, zayıf eksen çelik kolon-kiriş çerçeve birleşimlerinin davranışının incelenmesi ve modellenmesi amaçlı, uygulamacı tasarımcıya yol gösterecek öneriler oluşturulmuş, benzer amaçlı deneysel çalışmalarda, araştırmacılara ışık tutacak öneriler hazırlanmıştır.

BEHAVIOR OF WEAK AXIS BEAM TO COLUMN STEEL CONNECTIONS UNDER CYCLIC LOADING

SUMMARY

Near source earthquake events, that affected densely populated big cities in the last three decades, caused unexpected damages in buildings, led to questioning of earthquake resistant structural design methodology and the details of design steps.

One of the major outcomes of these earthquakes in general for all structures and in particular for the steel structures is that the behavior of the connections makes a big contribution to the seismic performance of the whole system besides the strength, rigidity and ductility properties of the main structural elements. No or underestimation of this behavior resulted with unexpected structural damages and unforeseen financial and moral losses during the earthquakes.

Following these unexpected events, extensive research for understanding the behavior of steel beam to column connections were carried out, most of which focused on the strength, stiffness and ductility of strong axis frame connections. Research on weak axis steel beam to column frame connections on the other hand, was very limited and was unable to clarify the behavior of these type of connections.

In the completed study a numerical and experimental research is carried out in order to define the behavior of the frequently used weak axis steel beam to column frame connections. Following the first step numerical study, mechanical-numerical models are developed. Second step is completed as the pilot tests on the main components of the connection, which have an effect on the behavior. By using the results together a general behavior model is proposed to represent the connection behavior. Experimental set-ups in real dimensions are organized to tune the proposed numerical model. Test results are compared with the numerical results for the confirmation of stability of the numerical model.

By the help of this study design suggestions to lead designers in understanding the behavior of the weak axis steel beam to column connections are listed. Out coming numerical and experimental experience presented and the database will be a guide for the following researchers working with similar research targets.

1. GİRİŞ

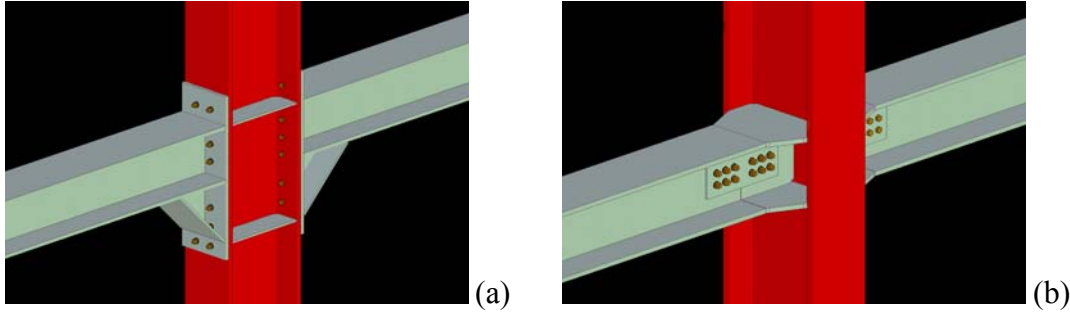
Yapısal taşıyıcı sistemlerin güvenli, kolay ve ucuz imal edilebilirliği inşaat-yapı mühendisliği biliminin temelini oluşturmaktadır. Tasarımda ana amaç can ve mal güvenliğini beklenen düzeyde sağlarken malzeme ve işçilik maliyetlerini en ekonomik çözümleri oluşturmak yolu ile en aza indirmektir. Çoğu zaman uygun çözüm aranırken kabul edilebilir kayıp miktarı tanımına bağlı güvenlik seviyeleri ortaya çıkar. Bu güvenlik seviyeleri tasarım yönetmeliklerine bir temel oluşturur ve tasarımcı mühendise yol göstermek amacını içerir.

Yapılara etki eden ve tasarımda büyük ağırlığı olan etkilerin başında deprem afeti yer almaktadır. Deprem mühendisliği bilimi, kentleşmenin yayılması ve hızlı nüfus artışına paralel olarak deprem riski yüksek alanlara yerleşilmesini izleyen süreçle birlikte, daha da önem kazanmış ve özellikle geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısında hızla gelişmiştir. Bu süreçte, büyük şehirlerin yakınlarında meydana gelmiş olan depremlerde, alışılmış taşıyıcı sistemlerin beklenenden daha ağır hasar alması ve taşıyıcı sistemlerin beklenmeyen toptan ve yerel hasarlara uğraması, tasarımda kabul edilebilir hasar tanımlarının tekrar gözden geçirilmesine neden olmuş ve taşıyıcı sistemlerin davranışı üzerinde ayrıntılı araştırma programları başlatılmıştır. Yaşanan ağır can ve mal kayıpları sebebi ile uygulamayı yönlendiren tasarım yönetmelikleri ve araçları gözden geçirilmiş ve bazı metotlar ve genel tasarım alışkanlıkları terk edilmiştir.

Çelik taşıyıcı sistemlerde eleman narinlikleri ve kesit davranışı üzerine yapılan çalışmaların dışında, ağır hasarlara neden olmuş olan birleşimlerin davranışları üzerinde de durulmuş ve yapı sistemlerinin davranışına birleşim davranışının etkileri çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Ekonomik tasarımı hedefleyen ve kesit kullanımını optimize eden moment aktaran birleşimler ayrıntılı olarak mercek altına alınmış ve özellikle de kolonların kuvvetli eksenini doğrultusunda tasarlanan birleşimler üzerine kapsamlı çalışmalar yapılmıştır.

Bu tez sürecinde yapılan sayısal ve deneysel araştırmalar çelik yapılarda birleşim davranışının incelenmesini hedef almaktadır. Son yirmi yılda çoğu kuvvetli eksen bağlantıları üzerine yapılan incelemelerden farklı olarak zayıf eksen doğrultusunda oluşturulan moment aktaran birleşimler incelenmiştir.

Aşağıda Şekil 1.1a ve Şekil 1.b’de kuvvetli ve zayıf eksen kolon-kiriş birleşimlerine sık kullanılan birer tipik örnek verilmiştir.

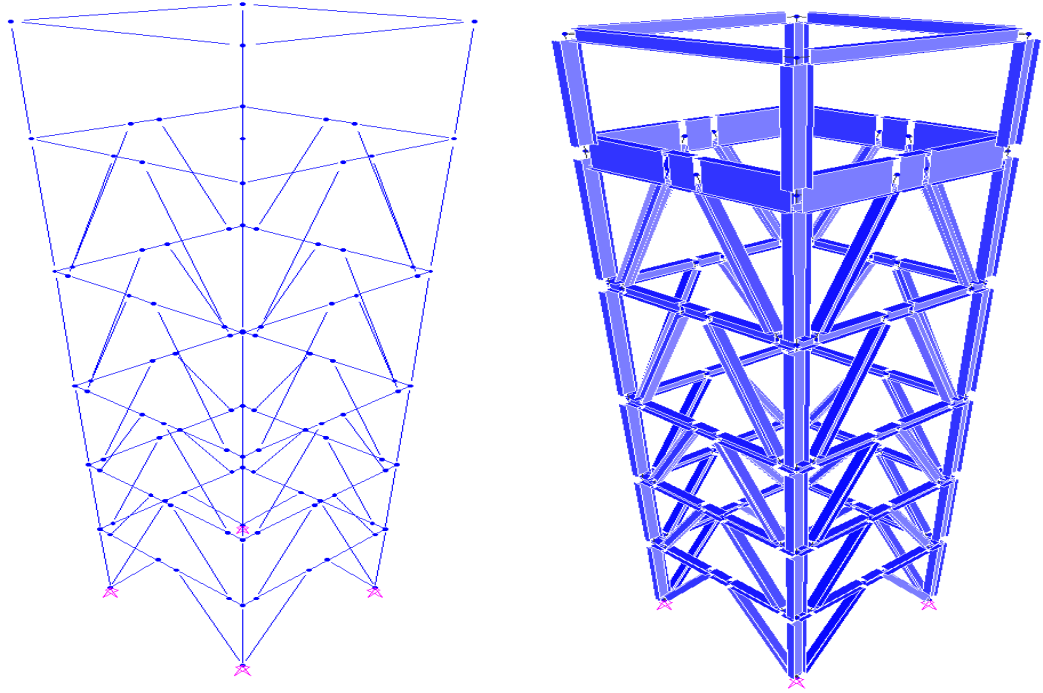


Şekil 1.1 : Tipik birleşimler : (a) Kuvvetli eksen moment aktaran kolon-kiriş birleşimi. (b) zayıf eksen moment aktaran kolon-kiriş birleşimi.

1.1 Birleşimlerle İlgili Yapılan Araştırmalarda Değerlendirme Ölçütleri

Mühendislik uygulamalarında yapılar, genellikle eleman akslarının kesişimi ile belirlenen düğüm noktaları arasında sürekli, çubuk elemanlar grubu olarak modellenir.

Bu yöntem, özellikle de çelik yapılar gibi monolitik olmayan ve çubuk varsayımına uygun elemanların birleştirilmesi ile kurulan taşıyıcı sistemlerde, oldukça doğru bir tasarım yaklaşımı ortaya çıkarır. Aşağıda Şekil 1.2’de bir çubuk sistem yapıya ait teorik hesap modeli ve temsil ettiği gerçek taşıyıcı sistem modelleri yan-yanaya gösterilmiştir. Genellikle sistemi oluşturan çubuk elemanlar düğüm noktaları arasında sürekli ve düğüm noktasına ya rijit olarak ya da mafsallı olarak bağlanırlar. Çubukların boyutları büyüdükçe, teorik bağlantı noktası ile pratik bağlantı noktası arasındaki uzaklık arttıkça ve bu iki nokta arasındaki davranışına etkileyen parametreler çoğaldıkça, analiz kabulleri arasına “net çubuk boyu“ veya “uç rijitliği” kavramlarının eklenmesi gerekir.



Şekil 1.2 : Tipik tasarım modeli kabulü. (çubuk modeli – katı eleman modeli)

Gerçek bir yapının elemanlarının birleştiği noktaya birleşim bölgesi adı verilir. Bu bölge birleşen elemanlar ve çoğu zaman da bu elemanları birleştiren ek birleşim elemanları ve bileşenlerinden oluşur.

Çelik çerçevelerden oluşan sistemlerin kolon-kiriş birleşimlerinde, kolonların kuvvetli eksen yönünde yapılan birleşimlerin davranışı, geçmiş 40 yıl içinde pek çok araştırmacı tarafından incelenmiş ve dayanımı, rijitliği ve sünekliği ile davranışı tanımlı hale getirilmiştir.

Birçok tip kuvvetli eksen birleşimi için modeller ortaya çıkarılmış, yapılan deneysel çalışmalar ile oldukça zengin bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bunlara karşın tüm birleşimlerin ve tiplerinin incelenmesi ve davranışlarının tasarıma yol gösterecek şekilde tarif edilmesi büyük bir zorluk içermektedir. Bu zorluğu aşmak ve yapılan araştırmaları benzer bir tabana oturtabilmek amacı ile çeşitli uluslararası yayınlar yardımı ile birleşimlerin davranışını değerlendirmede kullanılacak ana kıstasları net bir şekilde ortaya konmaya çalışılmaktadır.

Yürütülen tez çalışmasının bu tabana oturtulması hedeflenmiş ve sırası ile aşağıda verilen uluslararası yayınlar ve ilgili tarifleri, deneysel çalışma ve hedeflerinin tespitinde ana ölçütler olarak kullanılmıştır.

1.1.1 ECCS No:45, 1986, yapısal çelik elemanların çevrimsel yükler etkisinde davranışlarının değerlendirilmesi için test yönergeleri

Test yönergesi genel olarak tarif edilmiştir. Deneylerde kullanılacak yükleme adımları için gerekli olan etkin parametrelerin tarifi yapılmıştır. “ e_y ” akma şekil değiştirmesi tarifi ve buna bağlı adımların ne şekilde belirleneceği tanımlanmıştır.

Bir birleşimi yeter doğrulukla tarif etmek için, %2.5 görelî kat yer değiştirmesi karşılığı kadar bir birleşim yer değiştirmesinin yeterli olacağı belirtilmiştir.

Elastik limit şekil değiştirmenin, elastik olmayan şekil değiştirme ile oranı olarak “q-faktörü” tanımı ve tarifi yapılmıştır.

Test adımlarının karşılaştırılması ve yorumlanması için çeşitli yöntemleri enerji prensiplerini esas alarak tarif etmiştir.

1.1.2 EN1993-Part 1-8, 2005 “Eurocode3” çelik yapıların tasarımı, birleşimlerin tasarımı

Bileşen metodu (Component Method) ile birleşim davranışlarının tanımlanması üzerine metotlar önerilmiş, kritik bileşenlerin davranış modelleri tarif edilmiştir.

Analiz ve tasarım-detaylandırma metotları sınırları ile verilmiş ve birleşimlerin farklı düzeyde yapısal sistem analizlerinde sayısal olarak modellenmesi için yol gösterici metotlar önerilmiştir.

Birleşimler dayanım ve rijitlik olarak gruplara ayrılmış, davranış modellerinin sınır koşulları tarif edilmiştir.

Tarif edilen metodun (zayıf eksen birleşimlerini kapsamaz) tüm ilgili birleşimlere uygulanabileceği vurgulanmıştır. Yük akış şeması çıkartılarak gerekli ise yeni bileşenler önerilmesi, bu yeni kritik bileşenlerin sayısal çalışmalar ile incelenmesi ve deneysel olarak bu davranış modellerinin test edilmesi gerektiği ifade edilmiştir.

1.1.3 FEMA 350, 2000, yeni elik yapılar için tavsiye edilen depreme dayanıklı tasarım kriterleri

Birleşimlerin çevrimsel tesirler altında göstermesi beklenen performanslara ait tarifler ortaya konmuştur. (birleşim dönme oranlarına bağılı olarak)

SAC-FEMA Çalışmalarında kullanılacak birleşim test yönergesi tarif edilmiştir.

Yürütülecek çalışmalar için test kabul ölçütleri verilmiştir.

Birleşimlerin sayısal modellerinin oluşturulması için yardımcı yöntemler tanımlanmış, birleşimlerin dayanım, rijitlik tanımları ve bu tanımlara göre gruplara ayrılması konusu detaylı olarak irdelenmiştir. Ön geçerliğı tanımlanmış birleşimler için ilgili tarifler detaylı olarak verilmiş ancak tarifi yapılmamış, ön yeterlikleri listelenmemiş birleşimler için yöntemlerin tarifi yapılmıştır.

Zayıf Eksen Kolon-Kiriş Birleşimleri için eldeki araştırmaların kısıtlı olduğı ve konu ile ilgili olarak ilave araştırma gerektiğı notu düşünmüştür.

Birleşimler için güvenilirlik (reliability) tanımları ve istatistik faktörleri ile yeni yapıların birleşimlerinin tasarımı ölçütleri tarif edilmiştir.

1.1.4 FEMA 355C, 2000, yer hareketleri etkisindeki elik çerçevelerin sistem performansı üzerine ulaşılan son durum raporu

Elastik olmayan davranış üzerine etkin ana parametrelerin tarifleri ve davranış modelleri verilmiştir. (panel bölgesi, alın levhası, bulon sürtünme kayması vb.)

Lineer olmayan dinamik analizde tasarım kıstasları tarif edilmiştir. Birleşim tariflerinin sistem p-delta eğrisine ve görelî kat yer değıştirmesine etkisi üzerine karşılaştırmalar verilmiştir.

Birleşim çevrimsel yörüngesinin (histerisis-loop) tarifi ve birleşim dönme kapasitesi ihtiyacı analizleri yapılmıştır.

Parametrik çalışma sonuçlarının değılendirilmesi ve ölçümleme amaçlı yapı model tipleri inceleme sonuçları tablolar halinde verilmiştir.

1.1.5 FEMA 355D, 2000, birleşimlerin performansı üzerine ulaşılan son durum raporu

SAC-FEMA çalışmaları çerçevesinde ön-yeterlilik verilmiş olan kuvvetli eksen kolon-kiriş birleşim tiplerinin tasarım limitleri tarif edilmiştir.

Ön geçerliği tariflenmemiş birleşimlerin test metotları ve takip edebilecek araştırmada kullanılacak tipik parametreler ve kabul ölçütleri verilmiştir. (%3 dönme yeterli limit olarak tarif edilmiştir) Elastik olmayan birleşim davranışında etken parametreler ve göçme modları tarifleri verilmiştir. Birleşim analiz modellerinde kullanılan, bileşen yay modellerinin getirdiği kolaylıklar açıklanmıştır.

Zayıf kolon güçlü kiriş sistemlerin de çevrimsel yükler etkisinde iyi davranış gösterebilir oldukları, eğer kolon kesit özellikleri yüksek dönme kapasitesine sahip ise ve elastik olmayan bölgede kararsızlık ve çevrim bozulması oluşmuyorsa bu durumun kabul edilebilir bir performans verebileceği konusu tartışılmıştır.

Zayıf eksen birleşimleri ve çerçeve davranışları için, Northridge depremi sonrası önem kazanmış olmalarına karşın hazırlanan rapora dahil edilecek düzeyde gelişmiş ve detaylı çalışma bulunmadığı, az sayıda (sadece iki adet) deneysel çalışmada ise kabul edilebilir bir davranış gözlemlenmiş olmasına karşın ön-yeterlik verilebilmesi için daha ileri seviyede araştırma gerektiren bir konu olduğu ifade edilmiştir. Bu tip birleşimlerin elastik olmayan davranışı için geçmiş araştırma sonuçları irdelenmiştir. Driscoll'un çalışmalarında tespit edilen kurallara mutlaka uyulması gerektiği ifade edilmiştir. (Eğik süreklilik levhası, kalınlık artışı, gerilme yığılmalarına dikkat edilmesi vb.)

1.2 Araştırmanın Amaç ve Kapsamı

Günümüzde, sadece limit dayanıma bağlı, tek bakış açılı eleman ve sistem tasarımı, yerini, öngörülen-hedeflenen bir davranış performansına bağlı, dayanım, rijitlik ve süreklilik kavramlarının tümü ile birlikte yönlendirilen tasarım metotlarına bırakmaktadır. (EN1993-1-8, FEMA350, FEMA355C ve FEMA355D vb.) Bu sebeple, çelik yapılarda, kolonların zayıf eksenini doğrultusunda oluşturulacak birleşimlerin davranışının tanımlanmasındaki eksikliğin giderilmesi ve davranışı

tanımlanabilen, zayıf yön kolon kiriş birleşimleri elde etmek, bu çalışmanın hedefini oluşturmaktadır.

Amaç yarı rijit özellikteki birleşimin davranışını ve davranışta bileşenlerin etkinliğini ortaya koymak, yük akış şemasının davranış modeline dönüştürülmesini sağlamak, öncelikle lineer ve ilerleyen amaç olarak lineer-olmayan sistem analizlerinde kullanılabilecek bir davranış modeli oluşturmaktır.

Araştırmanın kapsamı moment aktarabilen ve uygulamada sık kullanılan zayıf eksen kolon-kiriş birleşimlerini temsil edecek bir birleşim sisteminin analiz edilmesi olarak tanımlanmıştır. Birleşim davranışı sayısal olarak tanımlanacak, sonuçları deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılacaktır. İlgili birleşimlerin uluslararası analiz-tasarım yönetmeliklerinde (EN1993-1-8 vs.) tanımlanmış rijit, yarı-rijit ve mafsallı birleşim tanımlamalarına göre durumu incelenecektir.

Önceki araştırma sonuçları da değerlendirilerek, bu tip birleşimlerin davranışının, çevrimsel yükler altında iyileştirilmesi için tavsiyeler verilecektir.

1.3 Yöntem ve Araştırma Yaklaşımı

Bu çalışmada, yapılacak sayısal ve deneysel örnekler yardımı ile zayıf eksen kolon-kiriş birleşiminin lineer olmayan davranışı incelenecek ve araştırmacı tarafından tanımlanacak birleşim sayısal analiz modeli yardımı ile ifade edilmeye çalışılacaktır.

Sayısal olarak ifade edilen birleşim davranışı deneysel olarak da incelenecek ve elde edilen bulgular, lineer olmayan sonlu eleman modeli analizleri ve önerilen basitleştirilmiş sayısal model ile karşılaştırılarak doğruluğu ve yaklaşıklığı tartışılacaktır.

Araştırma hedef ve kapsamı ile uyumlu olacak şekilde bir akış şeması hazırlanmış ve sayısal çalışmada kullanılabilecek yöntemler mevcut literatürden taranarak belirlenmiştir. Hızlı, bilimsel, deneyler ile tutarlı sonuçlar veren ve tasarım yönetmeliklerindeki yaklaşımlara uyumlu “Bileşen Yöntemi” (*Component Method*) esas alınarak çalışma planı oluşturulmuştur.

Önerilen sistem üzerinde geçmiş çalışma sonuçları ve oluşturulan lineer olmayan sayısal sonlu eleman modelleri de kullanılarak davranış üzerinde etkisi olan kritik elemanlar belirlenmiş ve yük akış şeması tespit edilmiştir.

Tespit edilen, yük aktaran bileşen elemanları için mevcut bazı bileşen davranış modelleri incelenip bir kısmı amaçlar doğrultusunda revize edilmiş ve benzer olarak kullanılamayacak bileşenler için yeni davranış modelleri önerilmiştir. Bu önerilen davranış modellerinin lineer olmayan sonlu eleman analizleri ile iyileştirilmesi yapılmıştır.

Araştırma kapsamında yapılacak deneysel çalışmanın bütçe ve imalat programı düzenlenmiş, imalat ve ekipman temini için TÜBİTAK tarafından desteklenen 105M561 numaralı bir araştırma projesi ve İTÜ tarafından doktora tezi çerçevesinde desteklenen bir BAP (Bilimsel Araştırma Projesi) başvurusu yapılmış, destek veren resmi ve özel kuruluşlardan bütçe temini sonrası, satın almalar, imalat ve montajlar tamamlanmıştır.

Deneysel çalışmalar FEMA 350 (2000) ve ECCS No:45 (1986), yükleme ve kabul ölçütleri esas alınarak yapılmıştır.

Sayısal çalışma sonuçları olarak hazırlanan hesap algoritmaları ve lineer olmayan sonlu eleman modeli analiz sonuçları kullanılarak elde edilen veriler, deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmış, önerilen birleşimin davranışı ile ilgili yorumlar yapılmıştır.

1.4 Tezin İçeriği

İlerleyen bölümlerde sırası ile yukarıda verilen yöntemle uygun yürütülen çalışmaların sonuçları ile ilgili bilgiler, tasarım önerileri, bulguların karşılaştırılması ve sonuçlar yer almaktadır. Birinci bölümde araştırmanın amaç ve kapsamı tariflenmiştir.

İkinci bölümde, geniş kapsamlı bir literatür taraması sonucu, birleşimler üzerine genelde yapılmış ana çalışmalar özetlenmiş ve bir kronolojik sıralama ile bu tip çalışmaların ve kapsamlarının takip ettiği yönelimler ortaya konmaya çalışılmıştır. Zayıf eksen birleşimleri ve araştırmamızda takip edilen metod ile ilgili olarak verilen

literatür taraması özetinde detaya girilmiş, ilgili araştırmacıların yürüttükleri çalışmaların amaçları ve ulaştıkları sonuçlar değerlendirilmiştir. Bölümün sonunda konu ile ilgili yapılmış araştırmalar karşılaştırılmış ve araştırma hedef ve kapsamının önceki çalışmalar ile farklılığı ortaya konmuştur.

Üçüncü bölümde önerilecek model üzerinde ön sayısal çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde önce lineer ve lineer olmayan malzeme ve geometri koşulları düşünülerek sonlu eleman modelleri oluşturulmuş ve bu modellerin sonuçları irdelenerek kritik yük akış şeması belirlenmiştir. Bu şema üzerinde etkin parametreler tespit edilmiş ve basitleştirilmiş bir model önerisi için sayısal çalışmalar yapılmıştır.

Dördüncü bölümde deneysel çalışmada kullanılan numuneler ve test düzeneği, destek ve mesnet detayları tarif edilmiş fotoğraflar ve teknik çizim şemaları ile ortaya konmuştur. Kullanılan yükleme sistemi, veri kayıt sistemi detaylı olarak tarif edilmiştir. Malzeme testleri sonuçları tablolar halinde verilmiştir.

Beşinci bölümde deneysel çalışma aşamasında her bir deneyde elde edilen sonuçlar verilmiş, sayısal veri değerlendirme grafikleri çizilmiş ve yapılan gözlemler detaylı olarak kayıt altına alınmıştır.

Altıncı bölümde sayısal analiz çalışmaları yer almaktadır. Sonlu eleman yöntemi kullanılarak, malzeme ve geometri özellikleri lineer olmayan, deneylerde kullanılan numunelerin sayısal benzeşim modelleri oluşturulmuştur. Ayrıca PHD-1 ve PHD-2 isimli sayısal analiz algoritmaları, akış şemaları ve içerikleri tarif edilmiş, ilgili deneyler için yapılan sayısal analizlerin sonuçları incelemeye sunulmuştur.

Yedinci bölümde önerilen sayısal modelleme tekniğinin araştırmayı ulaştırdığı sonuçlar tartışılmıştır. Seçilen numunelerin deneysel test verileri ve benzeşim modeli sayısal analiz sonuçları ile önerilen metodun ortaya çıkardığı sonuçların karşılaştırılması ve benzerlik-farklılıklarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan birleşim tipleri için sınıflandırma özellikleri ortaya konmuştur.

Sekizinci bölümde araştırma sonuçlarının hedef ile uyumu değerlendirilmiş, çalışma sonuçları kullanılarak, tasarımcılara yönelik öneriler ve konu ile ilgili bu çalışmayı takip edebilecek deneysel çalışmalara yol gösterebilecek hatırlatmalara yer verilmiştir.

2. KONU İLE İLGİLİ GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR

Çelik yapıların kolon-kiriş birleşimlerinin davranış özelliklerinin incelenmesi, 1960'lı yıllar ile hızlanmış ve birleşimlerin davranışı ile ilgili pek çok deneysel çalışma yapılmıştır.

Yapılan çalışmaların sonuçlarının arka arkaya yayınlanmasını takiben, sık kullanılan, kolon kiriş birleşim detaylarının değişken yükler altında davranışlarını içeren bir veri tabanı şeklinde derlenmiştir. Bu veri tabanı pek çok araştırmacı tarafından birleşim davranışının sistem davranışı üzerine etkilerinin incelenmesinde ve hatta uygulamada ekonomik boyutlandırma ve detaylandırma amacı ile kullanılmıştır. Elde edilen verilerin miktarı arttıkça ve kullanım sırasında gözlenen birleşim davranışları ile bu deneysel çalışmalar karşılaştırıldıkça, veri tabanının eksik kaldığı noktalar tespit edilmiş, bu eksiklikler giderilmeye çalışılmıştır.

Yapılan ilave ve yeni çalışmalar ile birleşim davranış modelleri iyileştirilmiş ve geometri ve yapı-malzemesi mekanik davranış parametrelerinin kolon-kiriş birleşim davranışına etkileri dikkate alınır hale getirilmiştir.

Büyük şehirlere yakın merkez üssüne sahip depremlerin, yakın ara ile (1989 Loma-Prieta, 1994 Northridge ve 1995 Kobe) meydana gelmelerinden dolayı ortaya hem sosyal hem de ekonomik açıdan büyük ölçekli hasarlar çıkmıştır. Bu depremlerde çelik yapıların kolon-kiriş birleşimlerinde beklenenin çok üzerinde hasar oluşumu gözlenmesinden dolayı, kolon-kiriş birleşimlerinin, özellikle de çevrimsel yükler etkisinde daha ayrıntılı olarak incelenmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Sistem davranışının birleşim davranışından ne boyutta etkilendiği gözlemlenmiş ve araştırmalar sistem ve birleşimin davranışını birlikte düzeltmeye yönelik hedefler ortaya koymaya başlamışlardır.

Birleşim performansı kavramı ortaya çıkarılmıştır. Bu kavram çerçevesinde birleşim davranışını tanımlayan tek parametre olan dayanımın yanında birleşim rijitliği ve dönme kapasitesi gibi iki yeni kavram daha tasarım yönetmeliklerine eklenmiştir.

Uygulamada, moment aktaran birleşimler kolon kuvvetli ekseninde sıklıkla kullanılıyor olmalarına karşın, zayıf ekseninde aynı yaygınlıkla kullanılmamaktadır. Bunun doğal sonucu olarak, kuvvetli eksen birleşimleri için yapılan çalışmalar oldukça ayrıntılı olmasına karşın, zayıf eksen birleşimleri için sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır.

Konu ile ilgili yapılan literatür taramasında, kolon-kiriş birleşimleri ve yapı sistemi genel davranışına etkileri ile ilgili geçmiş çalışmalar incelenmiş, çeşitli ana başlıklar altında ve özet haline derlenerek, aşağıda sunulmuştur.

2.1 Birleşimlerle İlgili Çalışmalar

2.1.1 Kuvvetli ve zayıf eksen, gövde ve/veya başlık korniyerli birleşimler

Fryre ve Moris (1975), gövde ve başlık korniyerli birleşimlerin davranışı için moment-dönme eğrisini veren bir matematik model geliştirmişlerdir. Mevcut veritabanı için çıkarılan analitik model ile karşılaştırmalar yapılmış ve modelin uyumluluğu gösterilmiştir. Birleşim davranışının, sistem davranışına etkileri sayısal model yardımı ile sorgulanmıştır.

Driscoll ve diğ. (1980, 1987), gövde ve başlık korniyerli birleşimlerin davranışı için bir mekanik model geliştirilmesini hedeflemişlerdir. Bulon ve korniyer davranışları ayrıntılı olarak incelenmiş ve mevcut tasarım yönetmelikleri gerekleri ile ayrıntılı deneysel inceleme sonuçları karşılaştırılmıştır. Bileşenlerin davranışı tanımlanarak yük dağılımı gösterilmiş ve tasarımcı için öneriler verilmiştir.

Lima ve Silva (2002), ortak çalışmaları ile yürütülen program dahilinde kolonların gövde levhasına moment aktaran biçimde bağlandığı birleşimlerden seçilmiş bir test serisi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ana amaç sıkça kullanılan bu tip yarı rijit birleşimlerin sistem davranışına etkilerinin araştırılabilmesi için bir sayısal modelinin geliştirilmesi olarak belirtilmiştir.

2.1.2 Kuvvetli eksen, alın levhalı birleşimler

Krawinkler ve Popov (1971, 1972), birleşimlerin elastik olmayan davranışının incelendiği bir grup deneysel çalışma yapmışlar ve bu tip birleşimler için birleşim elemanlarının tekil davranışlarını iyileştirecek öneriler oluşturmuşlardır.

Fryre ve Moris (1975), birkaç tip alın levhalı birleşim için moment-dönme eğrisini veren bir matematik model geliştirmişlerdir. Mevcut veritabanı için çıkarılan analitik model ile karşılaştırmalar yapılmış ve modelin uyumluluğu gösterilmiştir. Birleşim davranışının, sistem davranışına etkileri sayısal model yardımı ile sorgulanmıştır. Alın levhasının yüksekliğinin moment dönme eğrisine etkileri gösterilmiş ve konu ile ilgili yorumlar verilmiştir.

Krishnamurthy ve diğ. (1979), yüksek alın levhalı birleşimler için yapılmış bir grup deneysel çalışmayı temsil eden, analitik bir model ortaya koymuşlar ve önceki çalışmalar ile karşılaştırmalarını yapmışlardır.

Kukreti ve diğ. (1987), alın levhalı birleşimler için önceki araştırmacılar tarafından verilen moment dönme eğrileri ve birleşim modellerini bir arada incelemişler ve konu ile ilgili ilave yorumlar yapmışlardır.

Tschemmernegg ve diğ. (1988), alın levhalı birleşimler için önceki araştırmacılar tarafından verilen davranış modellerinin sistem çözümünde kullanımını incelenmişler ve bu amaçla kullanılması gereken sayısal modelleri tartışmışlardır.

Murray ve Sumner (1990, 1999), SAC ortak girişimi çerçevesinde, geçmişte yapılan çalışmaları toparlamış ve eksik kalan veya önemi göz ardı edilmiş parametrelerin bulunup bulunmadığını araştırmışlardır. Çalışmada, sonlu eleman yöntemi ile oluşturulan modeller yardımı ile birleşim elemanlarının birleşimin davranışına ve performansına etkileri tartışılmıştır.

Silva ve Coelho (2000), alın levhalı birleşimler için, ana bileşen davranışlarını mekanik yay modelleri ile idealize ederek hazırladıkları bir davranış modelini sunmuşlar ve bu modelin elemanlara ait kritik göçme modlarını ve yer değiştirme kapasitelerini ne düzeyde hassasiyet ile ifade ettiğini tartışmışlardır.

Mofid ve diğeri (2000), alın levhasının davranışının levha kalınlığı ve bulon çapı değişimi ile ne şekilde değiştiğini incelemişler ve bu tip birleşimlerde, birleşimin moment-dönme eğrisinin başlangıç ve akma sonrası rijitliklerinin değişimi için levha kalınlığına bağlı olarak farklı oranlar önermişlerdir.

2.1.3 Kuvvetli-zayıf eksen, tam kaynaklı birleşimler

Tschammerneegg ve diğ. (1988), tam kaynaklı kuvvetli yön birleşimleri için lineer olmayan davranışı incelemiş ve bu davranışın sistem davranışına etkilerini bir örnek üzerinde göstermişlerdir.

Yardımcı ve diğ. (1994, 1995a, 1995b, 1996), tam kaynaklı, üç adet kuvvetli ve üç adet zayıf yön birleşimini incelemiş ve moment-dönme eğrilerini çıkarmışlardır. EC-3 için verilmiş moment-dönme eğrileri ile deneysel çalışma sonucu elde edilen eğriler kıyaslanmıştır. Mekanizma oluşum nedenleri incelenmiştir. Karşılaştırma ve yorumlar verilmiştir.

Dubina ve Stratan (2002), çeşitli kaynak tiplerinin ve kaynak nüfuziyet oranlarının, birleşim dayanımına etkilerini araştırmışlar, kaynak nüfuziyeti ve yapım tekniğinin, kaynak öncesi hazırlık ve temizliğinin göçme modlarına etkileri ile ilgili olarak iyileştirme teknikleri önermişlerdir.

2.1.4 Kuvvetli eksen, başlığı kaynaklı gövde levhalı birleşimler

Popov ve Krawinkler (1971, 1972), bu tip birleşimlerin elastik olmayan davranışının incelendiği bir seri deneysel çalışma yapmış ve birleşim elemanlarının tekil davranışlarını iyileştirecek öneriler oluşturmuşlardır. Başlık kaynaklarının ve gövde levhasının yükü paylaşımı incelenmiştir.

Engelhardt ve Husain (1993), çevrimsel yükler altındaki bu tip birleşimlerin davranışını incelemişler ve gerilme dağılımlarını tespit ederek, birleşimin davranışını iyileştirebilecek detay düzeltmeleri önermişler ve bu tip düzeltmelerin mevcut tasarım yönetmeliklerindeki durumunu incelemişlerdir.

Popov ve diğ. (1998), 1994 Northridge, depremi öncesi ve sonrası, tasarım yönetmeliklerinde önerilen moment aktaran birleşimlerin incelendiği çalışmalarında

bu tip birleşimler için meydana gelen geliştirmeleri, geçmiş çalışmalarda önemi ortaya çıkarılamamış detaylandırma kıstasları ve yeni yaklaşımların birleşim davranışına katkılarını incelemişlerdir.

2.1.5 Zayıf eksen, başlık ve gövde levhali birleşimler

Popov ve Pinkney (1971), başlık ve gövde levhali, 5 ayrı ana birleşim tipinden örnekler seçmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada, 3 grup için başlığa, 2 grup için gövdeye bağlı düzenekler kurulmuştur. Birleşimin genel çevrimsel davranışı dışında, her bir birleşim tipi için göçme mekanizmaları izlenerek mekanizma durumuna neden olan birleşim elemanları ve birleşim detayları ile ilgili öneriler verilmiştir.

Driscoll ve diğ. (1980, 1987), bu çalışmada 4 gerçek boyutta zayıf yön kolon-kiriş birleşimi statik yük altında test etmişler, incelenen 4 ana tip birleşim için dayanım, rijitlik ve süneklik parametrelerini inceleyerek önerilerde bulunmuşlardır. Önceki araştırmalardan farklı olarak kolonda normal yük durumu göz önüne alınmıştır. Yapılan pilot deneysel çalışmada kolon gövdesine bağlanan ve kirişin başlığını temsil ettiği düşünülen rijitleştirme levhası için basınç ve çekme deneyleri yapılmıştır. Pilot çalışmada levhalardaki gerilme dağılışı, bağlantı noktalarındaki gerilme yığılışı ve ana test programında bağlantı özelliklerini iyileştirebilecek düzenlemeler araştırılmıştır. Gerilme yığılmalarını engelleyecek ve kuvvet transferini kolaylaştıracak önerilerde bulunulmuştur.

Tsai ve Popov (1988), tarafından yürütülen ve çerçevelerin deprem davranışının incelendiği bu çalışmada ilgili birleşim tipi için gövdeye berkitmeler aracılığıyla bağlanan kiriş başlığı durumu incelenmiştir. Bağlantı elemanlarındaki değişikliklerin birleşim davranışına etkileri araştırılmıştır. Birleşimin sünekliği ana parametre olarak alınmış ve sünekliği arttırıcı önerilerde bulunulmuştur.

2.1.6 Kuvvetli-zayıf eksen, modifiye edilmiş birleşimleri

Grubbs ve diğ. (1997), bu çalışmada, zayıflatılmış kesitli kirişlerin, çerçevenin elastik rijitliğine etkilerini ele almışlar ve kiriş rijitliğini çeşitli katsayılar ile düzelterek doğru sistem rijitliğine ulaşmaya çalışmışlardır.

Gilton ve Chi (2000), SAC ortak girişimi çerçevesinde yaptıkları çalışmalarda kolonlara zayıf ekseninden bağlanan zayıflatılmış kirişlerin davranışı için 2 set deney yapmışlardır. Bağlantı elemanlarındaki gerilme dağılışı ve birleşimin rijitliğine etkisi olan faktörler incelenmiş, sonuçlar önceki çalışmalar ile kıyaslanmıştır.

Koetaka ve diğ. (2005), zayıf eksen moment aktarmak üzere denedikleri yeni bir tip birleşimde, süreklilik levhası ile kiriş başlığını birbirine, enerji sönümünü arttıracak, dayanımı ve rijitliği birleşen eleman kapasitelerine uygun olarak ayarlanmış bir ara bağ elemanı koyarak birleştirmişlerdir. Elde edilen bu yeni tip birleşimin genel davranışında ne tür bir iyileştirme oluştuğunu incelemişlerdir.

Chen ve diğ. (2005), berkitme levhası ile güçlendirilmiş birleşimleri ve genişletilmiş başlıkları kullanmışlar, birleşim bölgesi civarında yoğunlaşan plastik şekil değiştirmeleri birleşimden uzaklaştırmak için çeşitli öneriler hazırlamışlardır. Bu ilave elemanların rijitlik ve dayanımı ne şekilde etkilediğini gözlemleyerek iyileştirme tavsiyelerinde bulunmuşlardır.

Tagawa ve Gurel (2005), kuvvetli eksen kolon kiriş birleşiminde kolon başlıkları arasına özel olarak hazırlanmış “U” şekilli elemanlar ilave ederek birleşimin gövde kayma dayanımını ne şekilde değiştiğini gözlemlemişlerdir. Bu tip ilavelerin hem zayıf eksen bağlantısı için iyi bir hazırlık oluşturduğu ve hem de gövde kayma davranışını iyileştirdiğini, başlık eğilme dayanımını arttırdığını tespit etmişlerdir.

Chi ve diğ. (2005), guse levhası eklenerek güçlendirilen kesitlerin davranışını incelemişler ve birleşim bölgesi civarında yoğunlaşan plastik şekil değiştirmeleri birleşimden uzaklaştırmak için kullanılabilirliğini test etmişler ve çeşitli örnekler için bu ilave elemanların birleşim davranışını ne şekilde değiştirdiğini incelemişlerdir.

2.1.7 Çift yönlü (kuvvetli ve zayıf eksen) birleşimlerde etkileşim

Cabrero ve Bayo (2006), her iki eksen birleşim olması durumunda alın levhası ile birleşim yapılması özel koşulunu ele almışlar ve literatürde önerilen birleşim rijitliği ve dayanımı yaklaşımlarının bu tip durumlarda deneysel sonuçlar ile ne derecede yakın sonuçlar verdiğini incelemişlerdir. Her iki eksen birleşim olmasının genel olarak etken bileşenlerin davranışlarını değiştirmemekle birlikte birleşim sisteminin genel dayanım ve rijitliğine göz ardı edilemeyecek şekilde katkıda bulunduğunu

tespit etmişler ve bileşenlerin bir kısmının göçme modlarının değişimini vurgulamışlardır.

2.1.8 Birleşim-sistem davranışlarının etkileşimi

Teal (1975, 1978), bu çalışmada, yapı sistemlerinin analizinde yatay yer değiştirmeleri ve doğal titreşim periyodunu etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Bu anlamda yarı-rijit birleşimlerin bu iki parametreye etkileri ile ilgili yorumlar ve sonuçlar hazırlamış ve sunulmuştur.

Kato ve diğ. (1981, 1982a, 1982b), tarafından çelik yapıların elastik olmayan tasarımının incelendiği bir grup araştırma yapılmış ve bu çalışmada birleşimlerin elastik olmayan davranışa etkileri tartışılmıştır. Elemanların ve birleşimlerin mekanizma davranışları incelenmiş ve genel sistem performansının iyileştirilmesine yönelik sonuçlar çıkarılmıştır.

Wu ve Chen (1990), yapı sisteminin analizinde kullanılmak üzere bir sayısal birleşim modelini detaylı olarak incelemiş ve sonuçlarını tartışmışlardır.

Kirby ve diğ. (1991), çalışmalarında, çelik yapıların yarı-rijit davranış parametrelerini belirlemeye ve sistemin yarı-rijit davranışına ait bir model oluşturmaya çalışmışlardır.

Schneider ve diğ. (1993), çalışmalarında çerçevelerin çevrimsel yükler altındaki davranışını analitik olarak incelemiş ve sonuçları kurulan sayısal analiz modeli ile karşılaştırmışlardır.

Nakashima ve diğ. (1999), yapı sistemlerinin yatay yükler altında gösterdiği tepki davranışın, kolon-kiriş elemanlarının ve birleşimlerinin rijitlikleri ile ilişkisi incelemiş ve karşılıklı etkileşimlerini tartışmışlardır.

Clifton ve diğ. (2000), moment aktaran birleşimler ile oluşturulmuş çerçeve sistemlerin yatay yükler altında gösterdikleri performansı inceledikleri bu çalışmada sistem için performans tanımları yapmış ve bu tanımların sağlanması için bileşenlerde istenen özellikleri tartışmışlardır.

Bayo ve Cabrero (2005), mekanik model ile tanımlanmış birleşim davranışının dikkate alındığı bir grup analiz örnekleri ile sistem davranışının değişimini incelemişler ve çerçeveli sistemlerin analizinde bu yaklaşımın ekonomi ve güvenlik yaklaşımlarını kuvvetlendiren uygulaması kolay bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır.

FEMA ve SAC Raporları (1992–2005), yardımı ile birçok üniversite ve araştırma enstitüsüne dağıtılmış bir deneysel-sayısal araştırma projesi dahilinde birleşimler, ve çelik yapıların sistem davranışı ile ilgili olarak yapılan araştırmaların derlendiği ve takip edecek bilimsel araştırmalara taban oluşturabilecek inceleme metotları, değerlendirme kriterleri ve standart terminoloji geliştirmesi mümkün olmuştur.

2.1.9 Çevrimsel yük etkisinde davranışın sayısal olarak benzeştirilmesi

Richard ve Abbott (1975), yürüttükleri bir sayısal çalışma ile elastik-plastik bir çevrimsel gerilme-şekil değiştirme formülü geliştirmişlerdir. Bu çalışmada önerilen yük-yer değiştirme veya moment-dönme ilişkileri, oldukça sade, az parametreye bağlı olarak derlenmiştir. Bu sebeple benzer çalışmalara ve farklı parametrelerin tesirlerinin ilave edilmesine olabildiğince elverişli bir taban oluşturmaktadır.

Filippou ve diğ. (1983), yürüttükleri bir sayısal çalışmada, betonarme elemanlardan oluşan sistemlerin çevrimsel yüklenmesi sırasında donatının betonla arasındaki bağının bozulmasını sayısal olarak tanımlamışlardır. Ulaşılan kapasite karşılığında oluşan şekil değiştirmeleri tarif ettikleri bir sayısal modeli geliştirmişlerdir.

Park ve Ang (1985), betonarme elemanların artan çevrim sayısı ile birlikte oluşan hasarını tanımlamak amacı ile bir sayısal çalışma yürütmüşler ve çevrim sayısına ve artan maksimum genliklere bağlı oluşan hasarı malzemedan bağımsız karakteristik parametrelere bağlı bir indis ile tarif etmişlerdir.

Della Corte ve diğ. (1999), yaptıkları çalışmada ellerindeki deneysel çalışma sonuçlarını sayısal model ile karşılaştırmak amacı ile Richard ve Abbott (1975) tarafından yapılan çalışmanın ortaya koyduğu çevrimsel davranış modelini çevrim sıkışması ve düşük süneklikli çevrimleri tanımlamak üzere modifiye etmişler ve yaptıkları çalışma sonuçlarının deney sonuçları ile uyumunu göstermişlerdir.

2.1.10 Çevrimsel yük etkisinde davranış deneyleri

Ivanyi (1999), COST programı çerçevesinde bir çerçevenin çevrimsel testini gerçekleştirmiş ve sonuçlarının sayısal modelleme çalışmaları ile karşılaştırmasını yapmıştır. Sayısal modelleri ile tarif edilen sistemlerin deneysel çalışma sonuçlarından çok farklı olmadığı sonucuna ulaşmış ve arada oluşan farkların ve sapmaların yükleme şekline bağlantısını incelemiştir.

Calado (2002), başlıkları korniyer ile bağlanmış sistemlerin çevrimsel yükler altında davranışını bir grup deney numunesi üzerinde test etmiş, farklı sayısal modellerin yaklaşımlarını elde ettiği sonuçlar ile karşılaştırmış ve sonuçların deneysel çalışma verileri ile karşılaştırmasını yapmıştır.

Abolmaali ve diğ. (2005), alın levhalı olarak test ettikleri bazı birleşimlerin deneysel sonuçlarını sayısal model çalışması ile karşılaştırmışlar ve basitleştirilmiş bir sayısal model önerisinde bulunmuşlardır.

Sato (2005), farklı geometri oranlarına sahip kaynaklı birleşimleri deneysel bir çalışma ile karşılaştırmış ve geometri parametresinin gerçek davranış üzerinde etkilerini tartışmıştır. Kaynaklarda çatlak oluşumunun geometri koşullarına bağlı değişimini tespit etmiş ve bu konu ile ilgili olarak geometri parametrelerine bağlı tablolar önermiştir.

Shi ve diğ. (2006), çevrimsel yük altında alın levhalı farklı birleşimlerin göçme modlarının çevrim adedi ve tipinden etkilenmesini araştırmıştır.

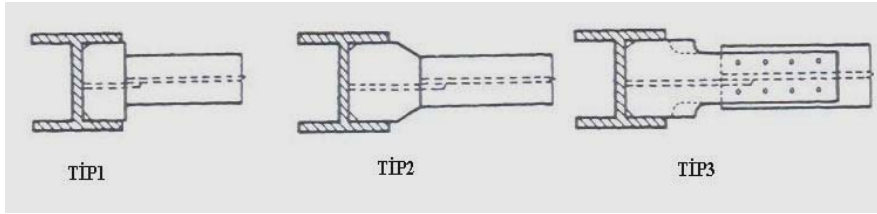
Sekulovic ve diğ. (2007), gerçek boyutlarda üç boyutlu bir çerçevenin dinamik ivme zaman tesirinde davranışını incelemiştir. Elde edilen sonuçların sayısal olarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırmalarını yer değiştirmeler ve enerji sönüm kapasiteleri ile ifade ederek yapmışlardır. Sonuç olarak birleşimlerin sistem analizinde kullanılmalarının gerçek sistem davranışının tespitinde büyük önem ifade ettiğini vurgulamışlar ve birleşim davranışının dikkate alınmamasının farklı seviyelerde oluşan dış tesirlerde birtakım tasarım hatalarına sebep olduğunu göstermişlerdir.

2.2 Zayıf Eksen Birleşimleriyle İlgili Çalışmalar

Yukarıda kısaca özetlenen çalışmaların arasından önerilen konuya taban oluşturması beklenen, zayıf eksen kolon kiriş birleşimlerinin incelendiği ana çalışmalar, aşağıda amaçları, yöntemleri, detayları ve sonuçları açısından incelenmiştir.

2.2.1 Popov, E.P ve Pinkney, R. araştırması (1969)

1969 yılında yapılan çalışmada, birleşimlerin çevrimsel ve tekrarlı yükler altında gösterdikleri davranışı incelemek amacı ile, uygulamada sık olarak kullanılan, 5 ayrı ana birleşim tipinden toplam 24 adet birleşim numunesi üzerinden örnekler seçilmiştir.



Şekil 2.1 : Kullanılan başlık birleşim tipleri.

Yapılan deneysel çalışmada, 3 grup için başlığa, 2 grup için gövdeye bağlı düzenekler kurulmuştur. Bunlar arasında gövdeye bağlantı ile test edilen numuneler, başlıklarından berkitme levhalarına kaynaklı, gövdelerinden ise bulonlu ve kaynaklı olmak üzere teşkil edilmişlerdir.

Yapılan altı deneylerin dört tanesinde sabit genişlikli berkitmelere kaynaklanarak bağlanan başlık kullanılmış (Şekil 2.1-Tip1), bir deneyde değişken genişlikli berkitme (Şekil 2.1-Tip2), bir deneyde ise dairesel kesilerek başlığa bağlanan berkitmeler (Şekil 2.1-Tip3) kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan kolon ve kiriş numuneleri karşılaştırmada kolaylık sağlanması amacı ile aynı tutulmuştur. Deneylerde, kolon elemanı olarak 8WF48 profili seçilirken kiriş elemanı olarak 8WF20 profili kullanılmıştır.

Teste dahil edilen numunelerde kullanılan yükleme prosedürü aşağıda Çizelge 2.1’de her düzenek için ayrı olarak verilmiştir.

Gözlenen genel sorunun başlık ve berkitmeleri bağlayan kaynakların kopması olduğu not edilmiş ve yükleme prosedürünün göçme mekanizması üzerinde etkisi olduğu vurgulanmıştır. Bu durumu göstermek amacı ile Tip1 birleşimler üzerinde durulmuş ve artan çevrim sayısı ile orantılı olarak düşen maksimum plastik dönme miktarları kaydedilmiştir. Bu ilişki aşağıda Çizelge 2.1’de izlenebilir.

Çizelge 2.1 : Deneylerde kullanılan yükleme prosedürleri.

Deney Kodu	Birleşim Tipi	Yükleme Frekansı	Maksimum Plastik Dönme
W1-C1	Tip1	5 tekrarlı, çevrimli artan genlikli frekans	0,037
W1-C4	Tip1	10 tekrarlı, çevrimli artan genlikli frekans	0,027
W1-C7	Tip1	15 tekrarlı, çevrimli artan genlikli frekans	0,018
W1-C9	Tip1	2 tekrarlı ön tek yönlü küçük genlikli, ardından 15 tekrarlı çevrimli artan genlikli frekans	0,017
W2-C7	Tip2	15 tekrarlı, çevrimli artan genlikli frekans	0,025
W2-C10	Tip3	2 tekrarlı ön çift yönlü büyük genlikli, ardından 15 tekrarlı çevrimli artan genlikli frekans	0,018

Kolon başlığına yakın bölgelerde berkitmeler ile kiriş başlığını bağlayan kaynaklarda kopma gözlenmiş, hatta bu durumun daha ilk çevrimlerden başlayarak kaynakta oluşan çatlaklar ile oluştuğu not edilmiştir.

Her deney için ulaşılabilen maksimum plastik dönme miktarları gözlenmiş ve yükleme tipinin ve birleşim tipinin değişimi ile plastik dönme şekil değiştirmesi karşılaştırılmış fakat yapılan sınırlı sayıda deney ve tek tip yükleme prosedürü olmaması sebebi ile yapılan deneylerin sonuçlarını gösteren plastik dönme miktarlarının ötesinde bir bilgi elde edilememiştir.

Ancak Tip-1 olarak verilen bağlantı durumunda kaynaklarda çatlakların daha ilk çevrimlerde oluştuğu özel olarak not edilmiştir. Bu durumun oluşmasına sebep olarak birleşimin geometrik şekli gösterilmiş ve gerilme yığılmalarına sebep olan sert geometrik geçiş yerine daha yumuşak bir detay ile yükün yayılması durumunda (Tip2 ve Tip3) maksimum plastik dönmenin arttığı ve ayrıca birleşim hasarının çok daha ileri adımlarda gözlemlenebildiği vurgulanmıştır.

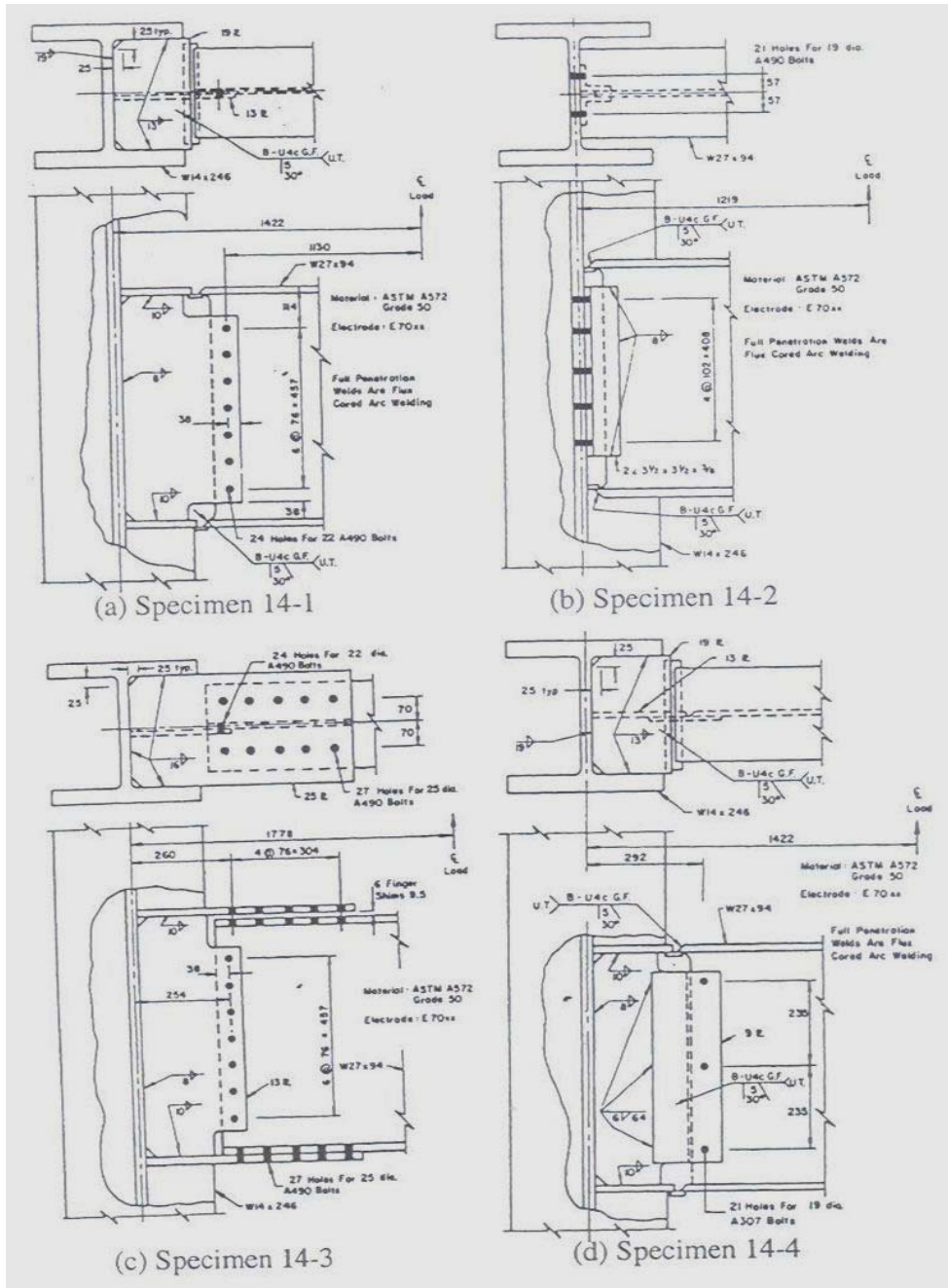
2.2.2 Driscoll, G.C.ve Chen, W.F. araştırması (1978)

1978 yılında Lehigh Üniversitesinde yapılan araştırmada, özellikle kolona gövdesi yönünde bağlanan kirişlerin ve oluşturdukları birleşimlerin monoton artan yükler altında gösterdikleri davranışı incelemek amacıyla, uygulamada sık olarak kullanılan, 4 ayrı tip zayıf yön kolon kiriş birleşimi test edilmiştir.

Seçilen birleşimlerin uygulamada sık kullanılanlar arasından seçilmesine dikkat edilmiştir. Bu sebeple iki adet başlıkları berkitme levhalarına kaynaklı, gövdeleri bulonlu (birinde ek gövde levhali uygulama diğerinde ise gövde berkitme levhasına doğrudan bulonlu bağlı) bağlantı tipi kullanılırken, bir deneyde kiriş başlıkları kolon gövdesine kaynaklı, kiriş gövdesinden köşebentler ile bulonlu bağlantı tipi kullanılmıştır.

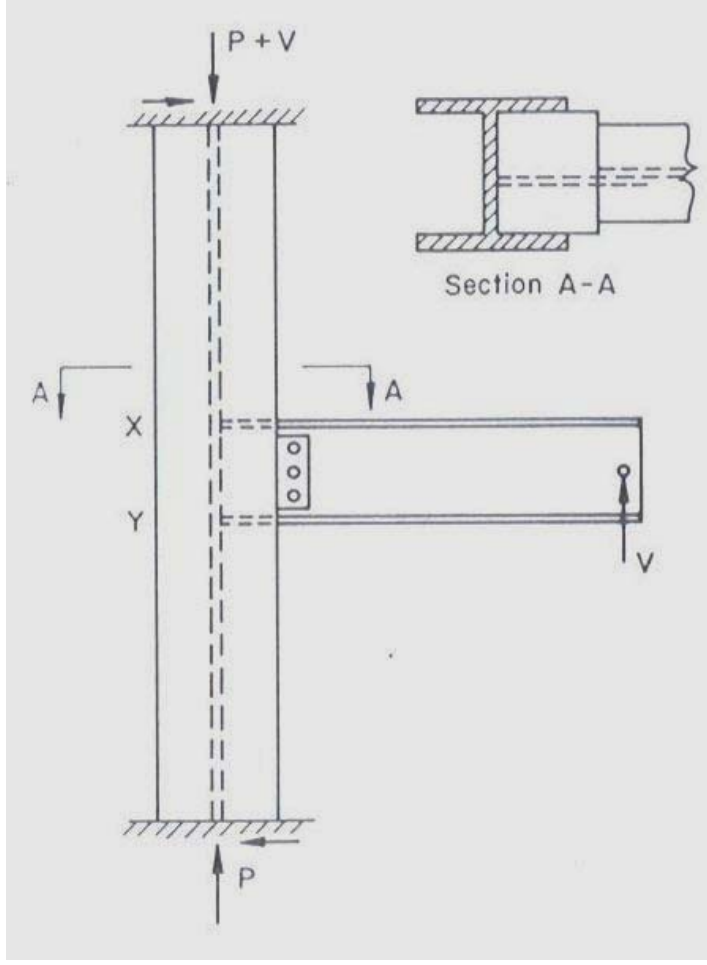
Bir deneyde ise kiriş başlıklarını dışarıdan sınırlayan kolon gövde berkitme levhaları kiriş başlığına bulon ile bağlanmış ve bulon bağlantılı gövde berkitmesi kullanılmıştır. Şekil 2.2 kullanılan tipleri tarif etmek üzere verilmiştir.

Deneylerde test düzeneğinde 5.50 metre uzunluğunda düşey yerleştirilmiş kolona 1.50 metre boyunda kiriş elemanı bağlanmış ve karşılaştırma amacı ile testlerde aynı kolon ve kiriş boyutları kullanılmıştır. Seçilen kolon elemanı W14*246 profili ve kiriş elemanı ise W27*94 profilidir. Kurulan test düzeneği Şekil 2.3’de verilmiştir.



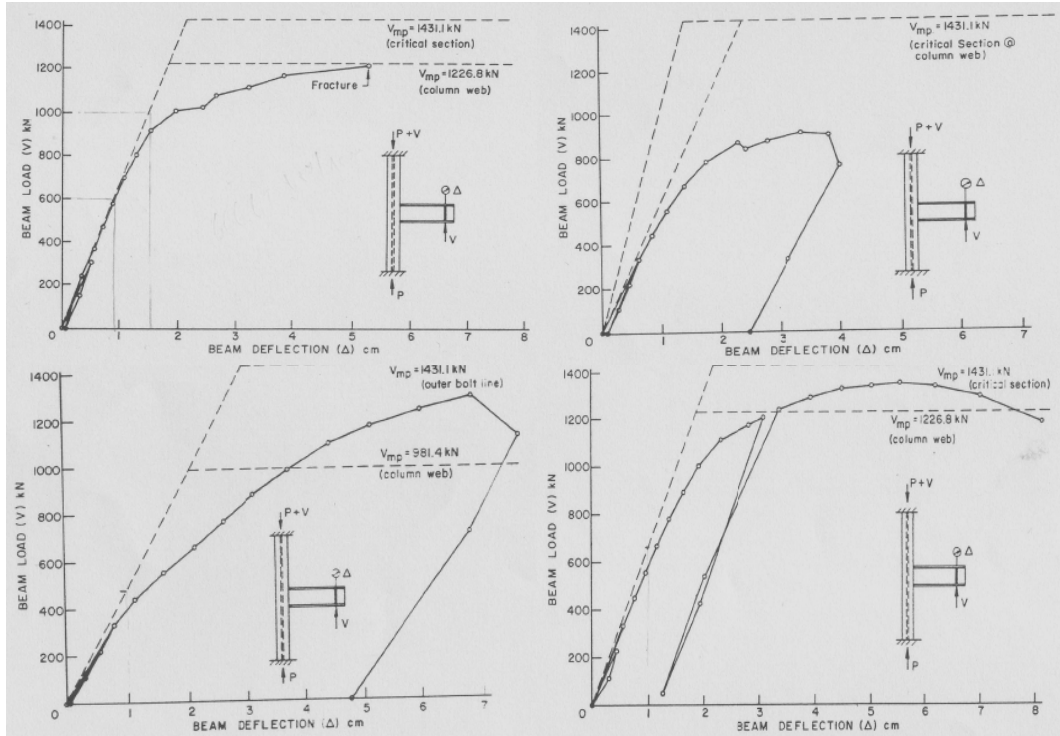
Monoton artan yük ile test edilmek üzere hazırlanan düzeneklere ait elastik rijitlikler ve kolon ekseninde ve kritik kesitteki taşıma güçleri önceden hesaplanmış, deneylerin hesaplanan değerlere uyumu araştırılmıştır.

Gözlenen şekil değiştirmeler ve taşıma güçleri ışığında, test edilen birleşimlerin davranışları için yorumlar verilmiştir. Elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 2.4’de verilmiştir.

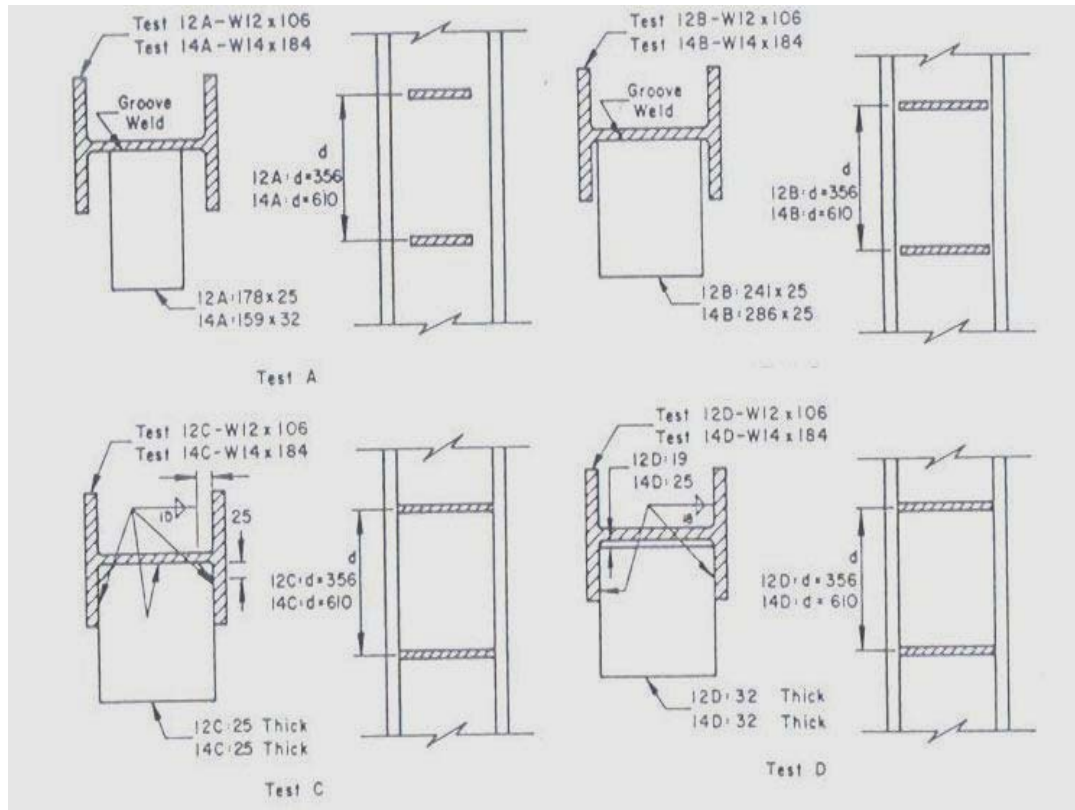


Şekil 2.3 : Lehigh deneylerinin test düzeneği. (Driscoll ve Chen, 1978)

Deneyler arasında kolon gövdesine başlık kaynaklı olarak bağlanan düzenek hariç kiriş plastik taşıma gücüne ulaşıldığı ancak göçme mekanizmasının her seferinde başlığın kaynağındaki kopmadan kaynaklandığı izlenmiştir. Bulonlarda çalışma yükleri altında kaymanın dikkate alınması ve kolon gövde şekil değiştirmesinin dikkate alınması uyarıları yapılmıştır.



Şekil 2.4 : Deneysel kuvvet-tepe yer değiştirmesi grafikleri. (Driscoll ve Chen, 1978)

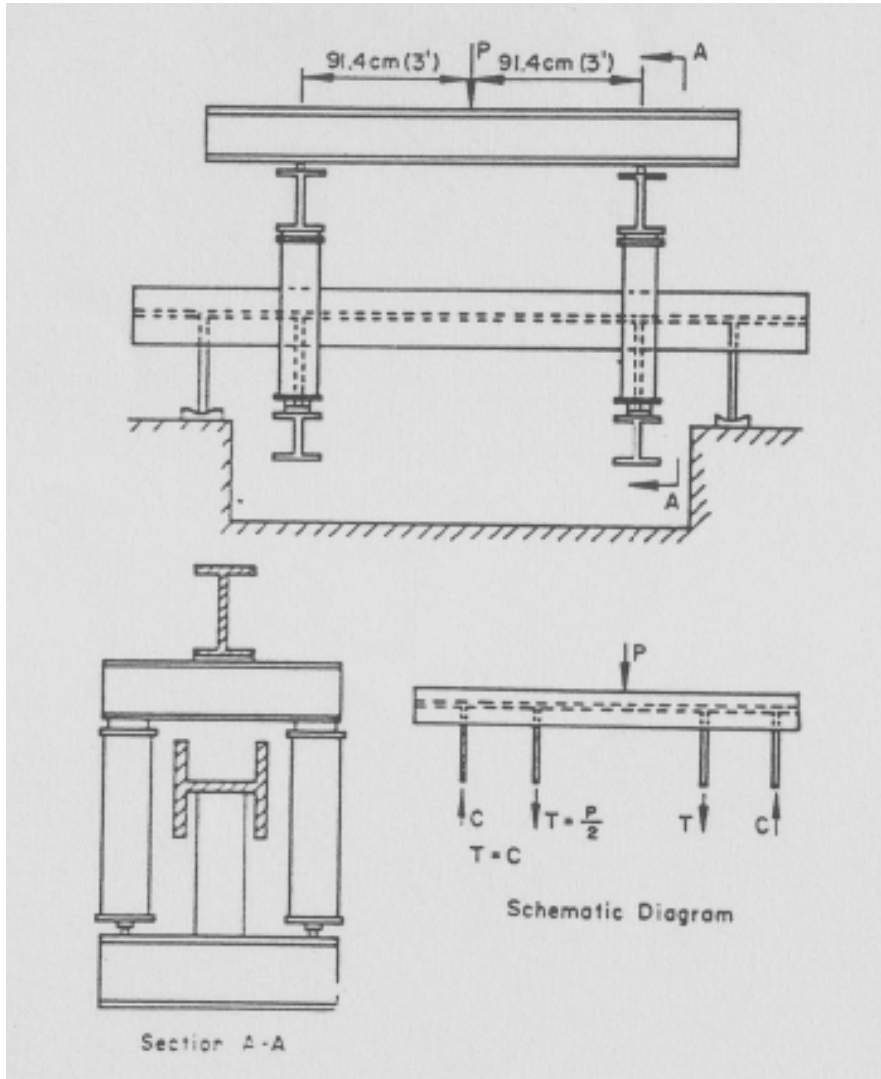


Şekil 2.5 : Pilot çalışma test tipleri. (Driscoll ve Chen, 1979)

Önceki çalışmaların da sonuçları düşünülerek başlığa kaynak ile bağlı olan kolon gövde berkitme levhası için ve birleştiren kaynaklar için daha detaylı bir test sistemi oluşturulmasına karar verilmiştir. Amaç levha ve kiriş başlığını birleştiren kaynaklar boyunca ve levhayı kolon gövdesine bağlayan kaynaklar boyunca gerilme yığılmalarının durumunu tespit edebilmektir.

Bu amaç doğrultusunda 1979 yılında aynı ekip tarafından ek pilot deneyler tasarlanmıştır. Bu çalışmada ise kurulan düzenek ile sadece kolon gövdesine bağlı olan levhalara yapılan yükleme yardımı ile, kuvvet çiftini (basınç-çekme) temsil eden bir sistem davranışı izlenmiştir. Test edilen dört gövde bağlantısı tipi Şekil 2.5’de verilmiştir.

Bu testlerin yapılmasında kullanılan düzenek detayı Şekil 2.6’da verilmiştir.

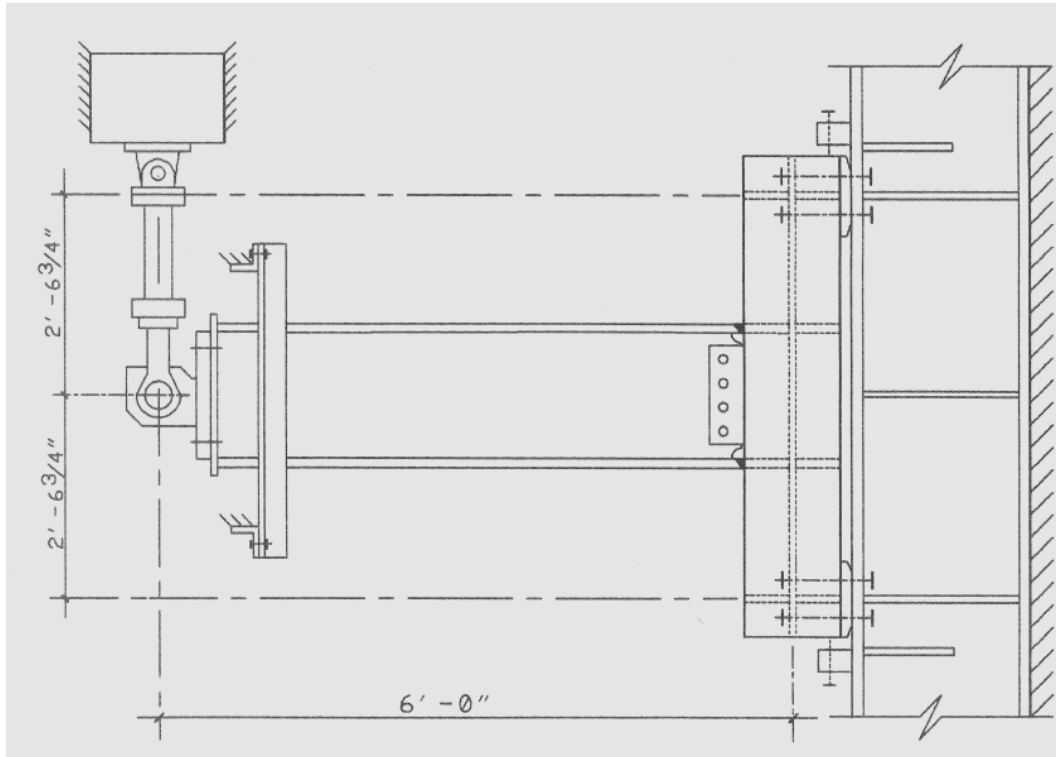


Şekil 2.6 : Pilot çalışmaların test düzeneği. (Driscoll ve Chen, 1979)

Uygulamada en sık kullanılan birleşimlerin plastik dönme kapasitelerini arttırmaya yönelik tavsiyeler ve iyileştirici önlemler sunabilmek amacı ile yapılan deneylerde zayıf eksen kolon kiriş birleşimlerini temsil eden üç adet düzeneğe normal ve güçlendirilmiş halleri ile test edilmiştir. Geçmiş çalışmalarda incelenen ve gerilme yığılması sebebi ile kırılğan davranış gösteren birleşim tiplerinin, eklenen berkitme levhaları yardımı ile güçlendirilmesi sağlanmıştır.

Örnek birleşim, yukarıda Şekil 2.7’de verilmiştir. Kullanılan düzeneğe ait şema ise Şekil 2.8 olarak verilmiştir.

Kolon elemanları W18*40 profili olarak düzenlenirken, kiriş elemanları W12*133 profilinden seçilmiştir. Berkitme profili için ise gerilme yığılmasını etkileyecek şekilde, levha alanının %60 oranında artmasını sağlayacak şekilde bir kesit öngörülmüştür.



Şekil 2.8 : Test düzeneği şeması. (Tsai ve Popov, 1988)

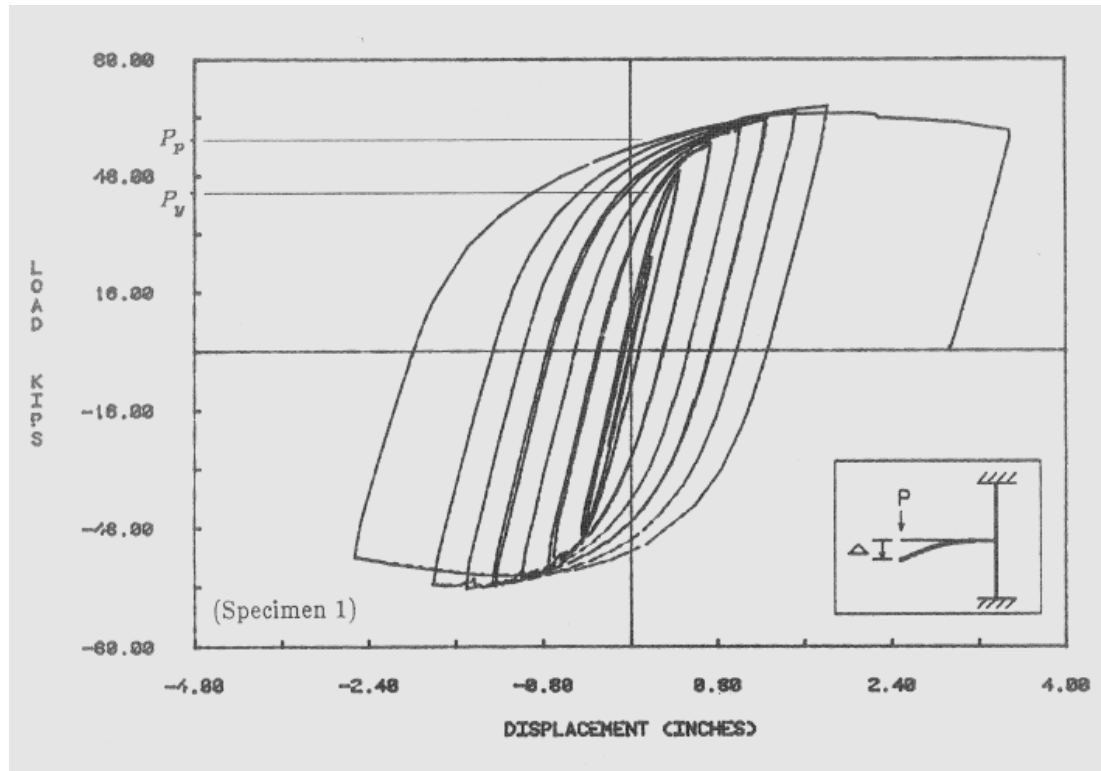
Düzenekler ATC-24 yükleme prosedürü kullanılarak çevrimsel tekrarlı yükler altında test edilmiştir. Davranışları önceki çalışmalara oldukça yakın olarak tespit edilen bu birleşimler daha sonra berkitme levhaları eklenerek tekrar test edilmiş ve sonuçlar incelendiğinde berkitme levhalarının gerilme yığılmasını ortadan kaldırarak plastik

dönme kapasitesini dikkate alınır seviyede arttırdığı izlenmiştir. Şekil 2.9’da deney sonucu elde edilen yük-yer değiştirme grafiği verilmiştir.

Sonuç olarak zayıf yön kolon kiriş birleşiminde davranışı değiştiren faktörün berkitme levhalarındaki gerilme yığılışı olduğu bir kez daha gösterilmiş ve iyileştirmelerde takip edilecek yol belirlenmiştir.

Aynı çalışmada incelenen kuvvetli eksen birleşimleri üzerinde ise panel bölgesi davranışı için detaylı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada panel bölgesinin plastik şekil değiştirme özelliği için bir yük şekil değiştirme modeli önerilmiş ve bu modelin kuvvetli eksen birleşimleri için davranışı modelleme yakınsaması izlenmiştir.

Zayıf eksen de oluşan panel bölgesinin kolon başlıkları ile tanımlı olması ve deneysel çalışmada kullanılan örneklerin bu bölgenin davranışını incelemeye yeterli olmaması sebebi ile önerilen modelin zayıf eksen birleşimleri için durumu tartışılmamıştır.



Şekil 2.9 : Çevrimsel kuvvet yer değiştirme eğrisi. (Tsai ve Popov, 1988)

Zayıf eksen doğrultusunda bağlı kolon kiriş birleşimlerinin davranışının özellikle tüp çerçeve sistem şeklinde tasarlanmış yapılarda büyük önem kazandığı ve bu tip birleşimlerin geçmiş depremlerde ve deneysel çalışmalarda gösterdikleri davranış da

düşünüldüğünde dikkatle tasarlanmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Mevcut yapılarda bu tip birleşimlerin güçlendirilmesinin, dış tesirler etkisinde gösterdikleri kırılğan göçme modu sebebi ile önemi işaret edilmiş ve bu güçlendirmenin maliyetinin büyüklüğü vurgulanarak ilerleyen çalışmalarda bu tip birleşimlerin genel tesirler altında ve çevrimsel yükler altındaki davranışının daha iyi araştırılması gereği ortaya konmuştur. Bir öneri olarak da yüksek kirişlerin test edilmesi gereği vurgulanmıştır.

2.2.4 Gilton, C. ve Chi, B. araştırması (2000)

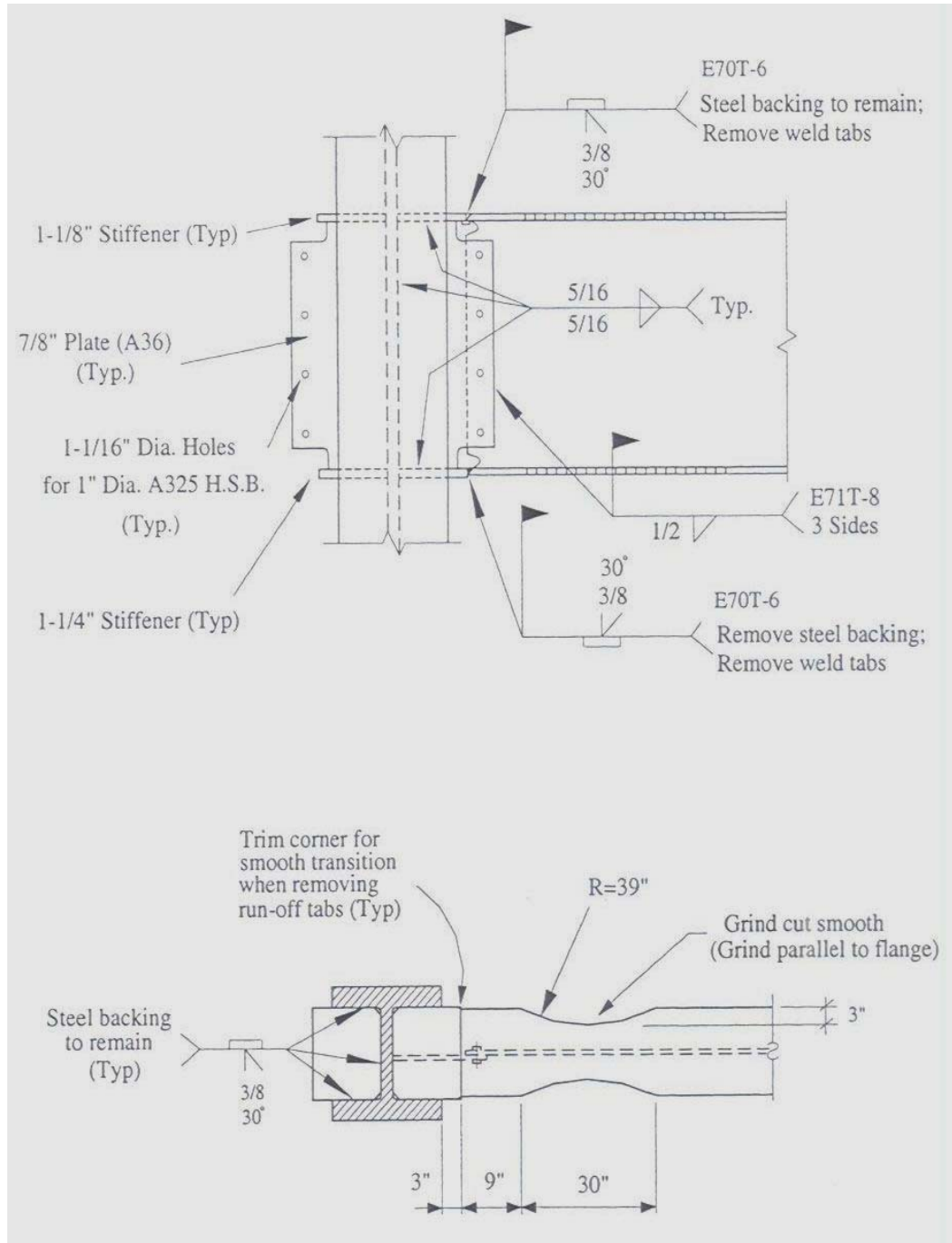
2000 yılında Berkeley Üniversitesinde yapılan araştırmada, zayıflatılmış kesitli (dog-bone) kiriş ve kolon birleşiminin çevrimsel tekrarlı yükler altında davranışı incelenmiştir. Özel olarak zayıflatılmış kesit etkisinin birleşim davranışı üzerine etkileri araştırılmış, kuvvetli ve zayıf eksen birleşimleri için test edilmiştir.

Çalışma çerçevesinde üç adet kuvvetli yön birleşimi ve iki adet zayıf yön kolon-kiriş birleşimi test edilmiştir. Zayıf yönde yapılan ve başlıkları berkitme levhasına kaynaklı gövdesi bulonlu ve kaynaklı olarak düzenlenen zayıflatılmış kesitli kiriş elamanları için, sabit genişlikli ve değişken genişlikli berkitme levhalı olarak düzenekler kurulmuştur. İlgili birleşimin detayları Şekil 2.10'da verilmiştir.

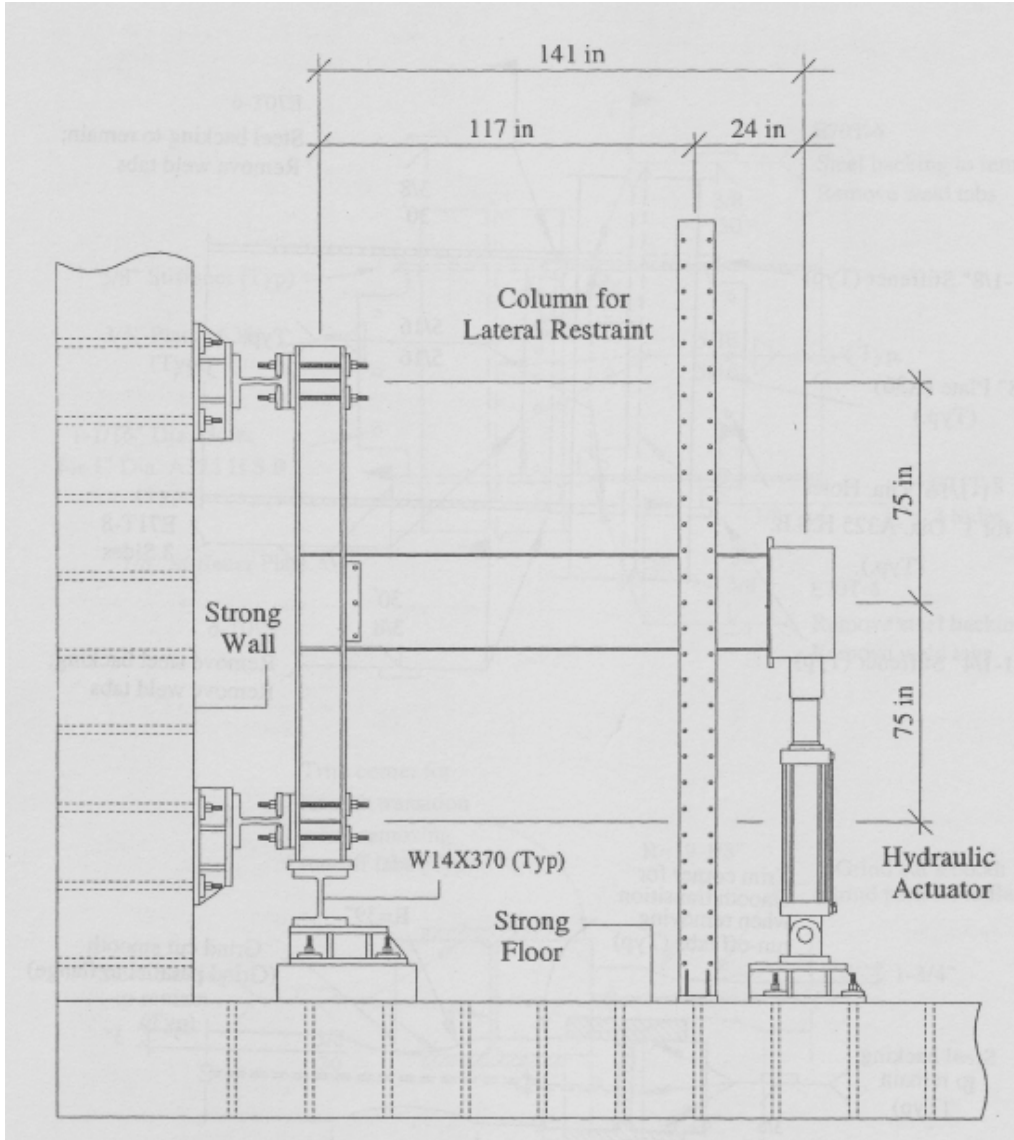
CW-1 kodlu deneyde kolon W14*398, kiriş ise W36*150 olarak seçilmiş, CW-2 kodlu deneyde ise kolon W14*176, kiriş ise W24*62 olarak seçilmiştir.

SAC ortak girişimi çerçevesinde yapılan testlerin hepsinde olduğu gibi, yükleme prosedürü olarak SAC yükleme prosedürü kullanılmıştır. Deneyde kolon normal kuvveti ihmal edilmiş, SAC programı çerçevesinde tanımlı olan ve Şekil 2.11'de verilen deney düzeneği yardımı ile yükleme yapılmıştır.

Gövde berkitmelerinin üzerine ve kiriş zayıflatılmış başlıklarına yerleştirilen okuma aparatları ile şekil değiştirmeler takip edilmiş ve bu şekil değiştirmelerin dağılımı ve yığılımı izlenmiştir. Değişimlerin izlenebildiği grafikler önceki çalışma sonuçları ile tutarlılık göstermektedir ve kaynak boyunca ve kolon başlığı boyunca izlenen gerilme dağılımları (Driscoll ve Chen, 1978) çalışmasında levhalar üzerinde varılan sonuçlara uyumludur. Aşağıda Şekil 2.12'de elde edilen sonuçların bir kısmı sunulmuştur.



Şekil 2.10 : SAC dahilinde test edilen tipik birleşim. (Gilton ve Chi, 2000)

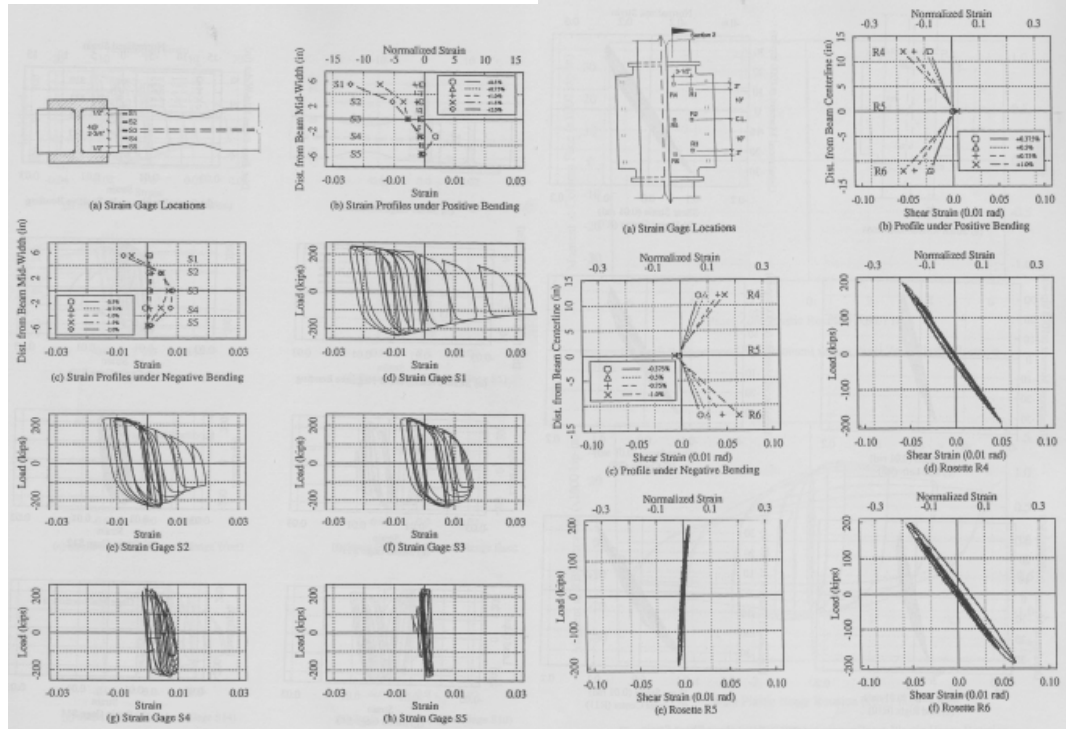


Şekil 2.11 : Test düzeneği. (Gilton ve Chi, 2000)

Deneyssel olarak yapılan analizlerden sonra durumu tarif edebilmek amacı ile ve yapılan okumaların yorumunun yapılabilmesi için birleşim ve birleşen elemanlar sonlu eleman yöntemi ile lineer ötesi davranışı tarif edecek şekilde modellenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Zayıflatılmış kiriş kesitinin bu tip birleşimler üzerine etkileri tartışılmıştır. Sonlu eleman yöntemi ile yapılan modelleme yardımı ile arka taraf gövde berkitmelerinin kullanımının gerekliliği tartışılmış, gerilmelerin birleşimde dağılışı gösterilmeye çalışılmış ve tasarım için kullanılacak yük dağılım parametreleri sağlanmıştır.

Bu çalışmada ön analiz hesapları yapılırken (Tsai ve Popov, 1988) çalışmasında kuvvetli eksen için önerilen panel bölgesi akma koşulları zayıf eksen birleşiminde kolon başlığı için aynen kullanılmıştır. Fakat seçilen numunelerin karakteristik özellikleri sebebi ile birleşimde panel şekil değiştirmelerinin etkisi izlenememiştir.



Şekil 2.12 : Çalışmada elde edilen sonuçlar. (Gilton ve Chi, 2000)

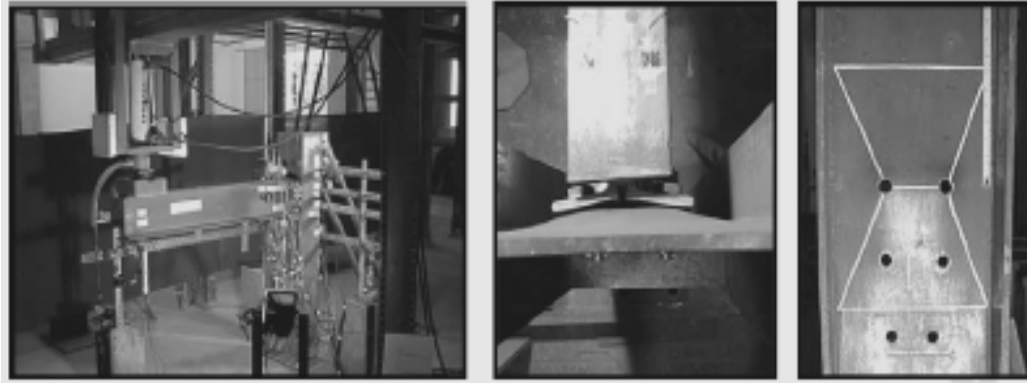
Plastik şekil değiştirmelerin berkitme levhaları üzerinde dağıldığı gözlenmiş ve büyük şekil değiştirmeler ve kiriş başlığının burkulması ve kaynaktan biraz dışarıdan kopması ile deney tamamlanmıştır.

Bu tip birleşimde davranışın ana bileşenleri olarak kolon panel bölgesi ve bağlantı levhalarının görüldüğü ve her ikisinin de davranışı için ilerleyen çalışma gerekliliği vurgulanmıştır.

Zayıflatılmış kiriş kesitinin birleşimin göçme mekanizmasına pozitif etkileri ortaya konmuş, bağlantı berkitmelerinin değişken kesitli olması ve zayıflatılmış kesitli kiriş kullanılması durumunun gerilmelerin dağılımı üzerine etkileri tartışılmıştır. Bu tip birleşimlerin plastik şekil değiştirmeleri sırasında kararlı davranış göstermeleri için kiriş başlığının yanal burkulmasının kontrol altına alınması gerekliliği ortaya konmuştur.

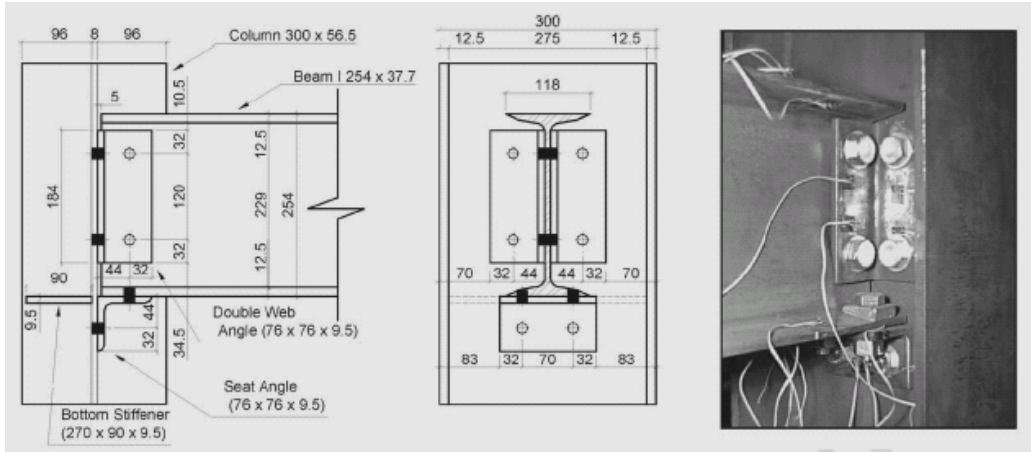
2.2.5 Lima, L.R.O. ve Silva, L.S. araştırması (2002)

2002 yılında Rio de Janerio üniversitesinin çalışması ile gerçekleştirilen program dahilinde aşağıda düzeneği Şekil 2.13’de ve Şekil 2.14’de verilen tip, kolonda gövdeye doğrudan bağlı moment birleşiminden oluşan bir test serisi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.13 : Test düzeneği. (Lima ve Silva, 2002)

Çalışmada ana amaç sıkça kullanılan bu tip yarı rijit birleşimlerin sistem davranışına etkilerinin araştırılabilmesi amacı ile bir sayısal modelinin geliştirilmesi olarak belirtilmiştir.

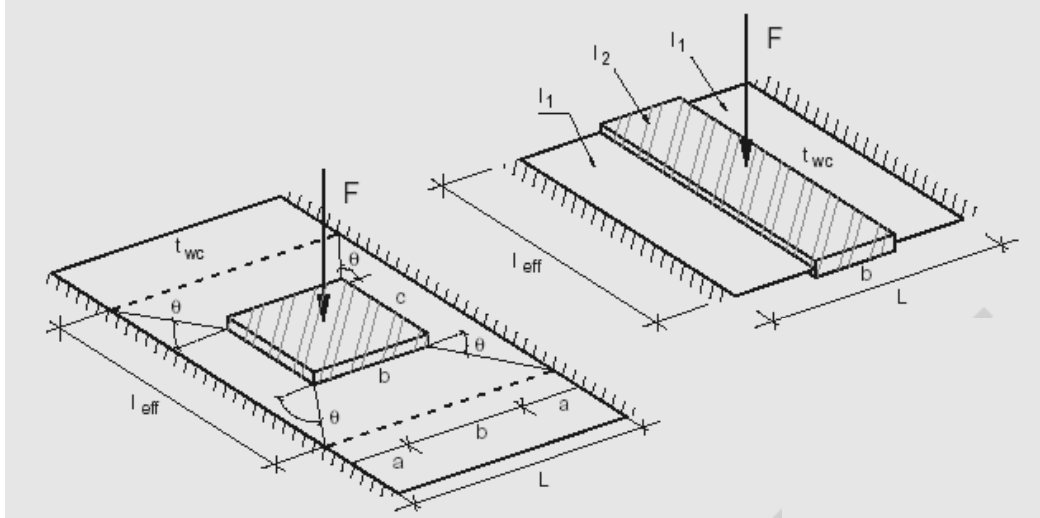


Şekil 2.14 : Seçilen tipik doğrudan gövdeye bağlantı detayı. (Lima ve Silva, 2002)

Araştırmacılar öncelikle analizlerde mafsallı olarak kabul edilen bu tip birleşimlerin aslında önemli bir rijitliklerinin ve dayanımlarının olduğunu vurgulamak yoluna gitmişler ve bileşen metodu yardımı ile, birleşimi bir mekanik yay modeline çevirmişlerdir. Bu tip bir modelin oluşturulmasında hazır elemanları kullanmanın

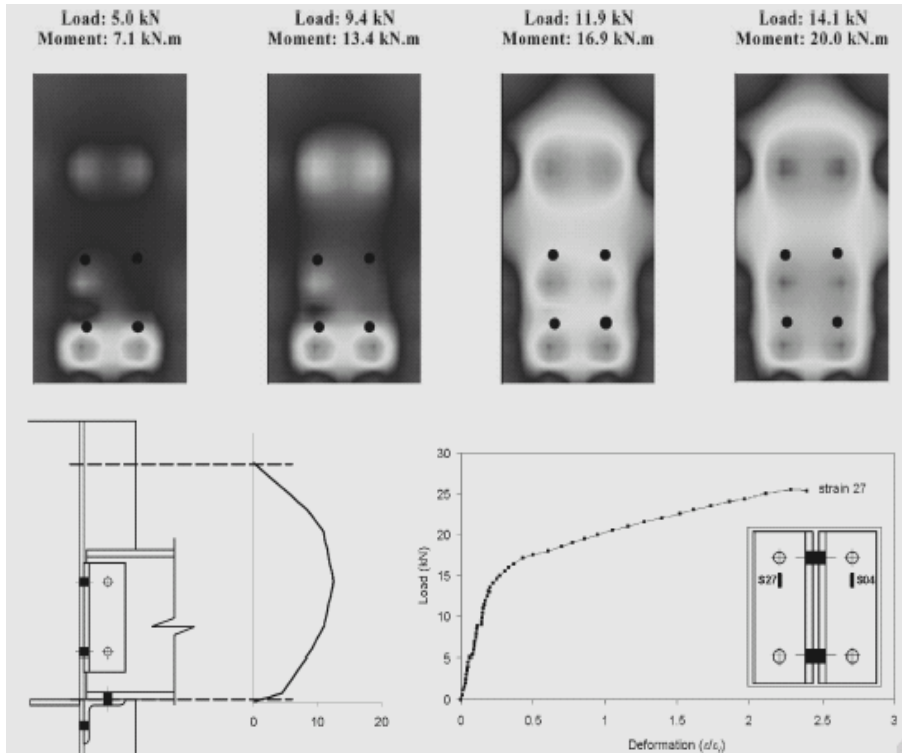
yanında henüz tanımlanmamış olan ve eksik kalan bileşen olan kolon gövdesinin mekanik yay modelini ise şu aşamaları takip ederek oluşturmuşlardır.

- Öncelikle basitleştirilmiş levha elemanı ile bir lineer eleman modeli oluşturmuşlardır. Bu modelde elemanın başlangıç rijitliği ve dayanımı bulunmaktadır. Şekil 2.15’de bu basitleştirilmiş levha modeli ve etken geometrik parametreleri görülmektedir.



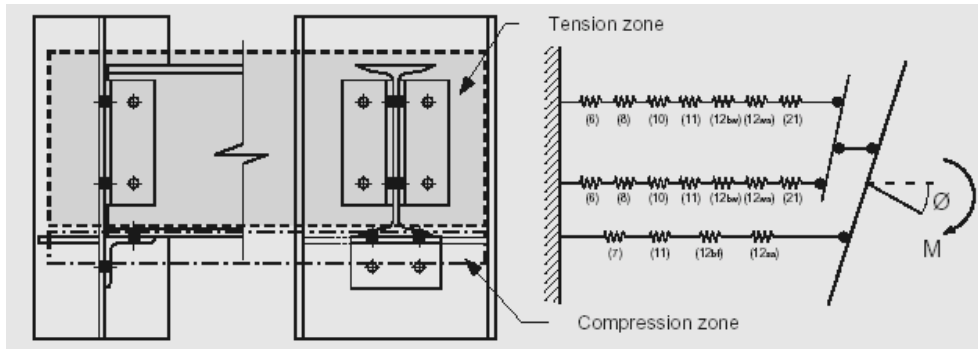
Şekil 2.15 : Basitleştirilmiş kolon gövdesi levha modeli. (Lima ve Silva, 2002)

- İkinci adımda bu levha modelinin parametrik olarak farklı kalınlık ve geometrik özelliklerde olması durumu incelenmiş ve oluşturulan elastik model bu değişimlerin etkisini içerecek biçimde revize edilmiştir.
- Üçüncü adımda lineer limit şekil değiştirme sonrası davranışını karakterize etmek amacı ile bileşenin sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve bu modelin farklı parametrik koşullar altındaki limit şekil değiştirme ve dayanımları kaydedilmiştir.
- Adım-adım yüklemeler şeklinde bileşenin yük yer değiştirme eğrisi oluşturulmuş ve farklı parametrelerin etkisi dikkate alınmıştır. (Şekil 2.16)
- Dördüncü adımda ise eldeki malzeme ve bileşen davranış şekilleri kullanılarak oluşturulan yay-bileşen modeli önerilmiştir. Önerilen yay-bileşen modeli deney yapılacak örnek için test edilmiştir.



Şekil 2.16 : Gerilme, kuvvet ve şekil değiştirme dağılışı. (Lima ve Silva, 2002)

Aşağıda Şekil 2.17’de oluşturulan yay modeli ve Şekil 2.18’de deneysel ve teorik çalışma sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir.

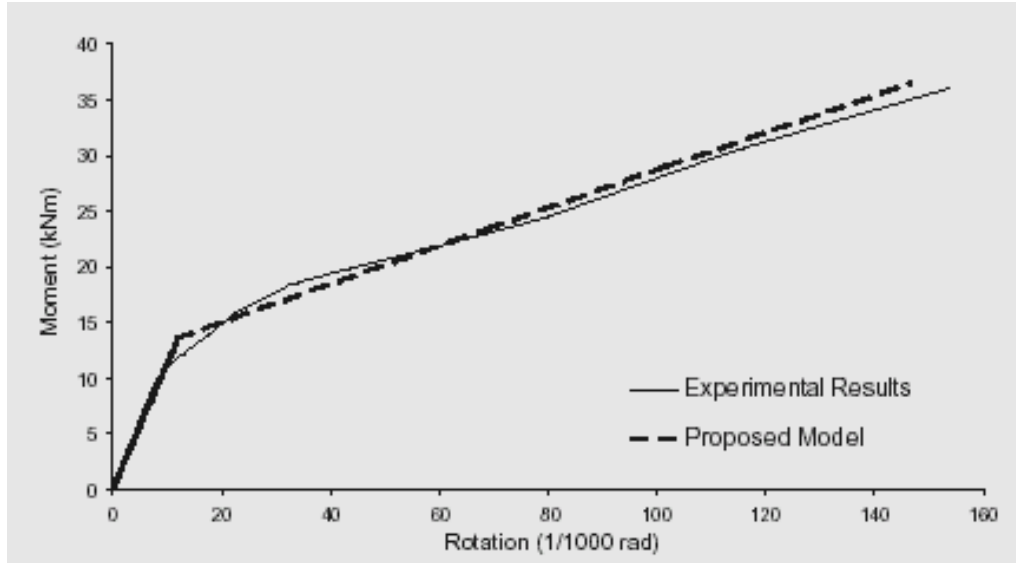


Şekil 2.17 : Önerilen mekanik yay-bileşen modeli. (Lima ve Silva, 2002)

Çalışmada elde edilen sonuçların büyük bir hassasiyet ile model–deney uyumu göstermesi sonucunda kullanılması tavsiye edilen kolon gövdesi bileşeni mekanik davranış modelleri sunulmuştur.

İlerleyen çalışmalarda benzer çalışma programı takip edilerek model oluşturmada süresel kazanç sağlanabileceği belirtilmiş bileşen metodunun birleşimlerin

davranışını tanımlamada ne derecede başarılı olduğu ayrıca oluşturulan bir katı sonlu eleman modeli ile test edilmiştir.



Şekil 2.18 : Model-deneysel sonuçların kıyaslanması. (Lima ve Silva, 2002)

2.3 Hedeflenen Çalışmanın Geçmiş Çalışmalarla Karşılaştırılması

Hedeflenen araştırma kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda, zayıf eksen için daha önce literatürde denenmemiş bir kaynaklı alın levhalı birleşim seçilmiştir. Deneyler için seçilen tipik birleşim ile ilgili detay resimleri Şekil 4.2 olarak ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

Zayıf eksen birleşimleri ile ilgili olarak geçmişte yapılmış çalışmaların içeriği, genel olarak birleşim davranışında önemli etken değişkenlerin tespiti (Driscoll ve diğ.'e ait çalışmalar) ve çevrimsel yükler altında birleşim davranışını gözlemlemek için yapılan parametrik deneyler (Popov'a ait çalışmalar) ile sınırlı bulunmaktadır.

Son yıllarda yapılmış birkaç çalışma kapsamında ise, sonlu eleman ile sayısal olarak modelleme tekniği ile deneysel verinin bu sayısal model sonuçları ile karşılaştırılması (Gilton ve diğ.'e ait çalışmalar) amacı güdülmüş ve zayıf ekseninde yapılan birleşimlerin doğrusal olmayan şekil değiştirme kapasitesini artırıcı önlemler tariflenmiştir.

Sonlu eleman sayısal analiz modelleri ve basitleştirilmiş mekanik yay modeli kullanılan bir diğer çalışmada (Lima ve diğ.'e ait çalışmalar) ise, incelenen birleşim deprem türü çevrimsel yükler açısından tercih edilen bir birleşim olmaktan uzaktır. Lima ve diğerlerine ait bu çalışmada, uygulama kolaylığı ve sahada pratik montaj imkanı sunan, kolon gövdesi gibi düşük rijitlikli bir bölgeye sadece tek yönlü çerçeve mesnet kuvvetlerini aktarmak hedefi olan bir birleşim türü ele alınmıştır.

Geçmiş çalışmalar ile karşılaştırılan ve bu tezin konusunu oluşturan çalışmada, incelenmiş diğer çalışmalardan farklı olarak, zayıf eksen doğrultusunda kolon giriş arasında yapılan, moment aktaran, tam ve yarı dayanımlı birleşimler için monoton artan ve çevrimsel yükler etkisinde, birleşimin davranışını tanımlayacak bir genel sayısal model önerilmesi planlanmıştır.

Birleşimin yük akış şeması çıkartılacak, etkin birleşim parametreleri tarif edilecek, yapılacak lineer ve lineer olmayan analizler yardımı ile bu bileşenlere ait yük-şekil değiştirme modelleri oluşturulacak, oluşturulan bileşen modelleri ile birleşime ait bir davranış modeli önerilecektir.

Önerilen basitleştirilmiş sayısal model çalışması çerçevesinde, henüz literatürde yer almayan iki adet yeni bileşen için ön sayısal çalışmalar yapılarak sonuçları deneysel çalışmalar ile karşılaştırılacaktır ve monoton artan yükler etkisinde sistem davranışını sayısal olarak benzeştirebileceğimiz bir hesap algoritması hazırlanacaktır.

Sonuç olarak yapılacak deneysel çalışmalarda elde edilen bulgular, lineer olmayan sonlu eleman sistem analizleri ve araştırma sonucu olarak önerilen basitleştirilmiş davranış modeli sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Yöntemlerin zayıf ve kuvvetli yönleri tartışılacaktır.

3. ÖN SAYISAL İNCELEME VE MODELLEME ÇALIŞMALARI

Yürütülen çalışmaya ön hazırlık olarak uygulamada kullanılan ilgili birleşimlerin incelenmesi, kritik bileşenlerin ve değişken parametrelerin tespiti, sayısal modeller oluşturularak birleşimin analiz edilmesi ve deneysel çalışmaya esas oluşturacak şekilde birleşimin davranışının tariflenmesi hedeflenmiştir.

3.1 Birleşim Tipleri

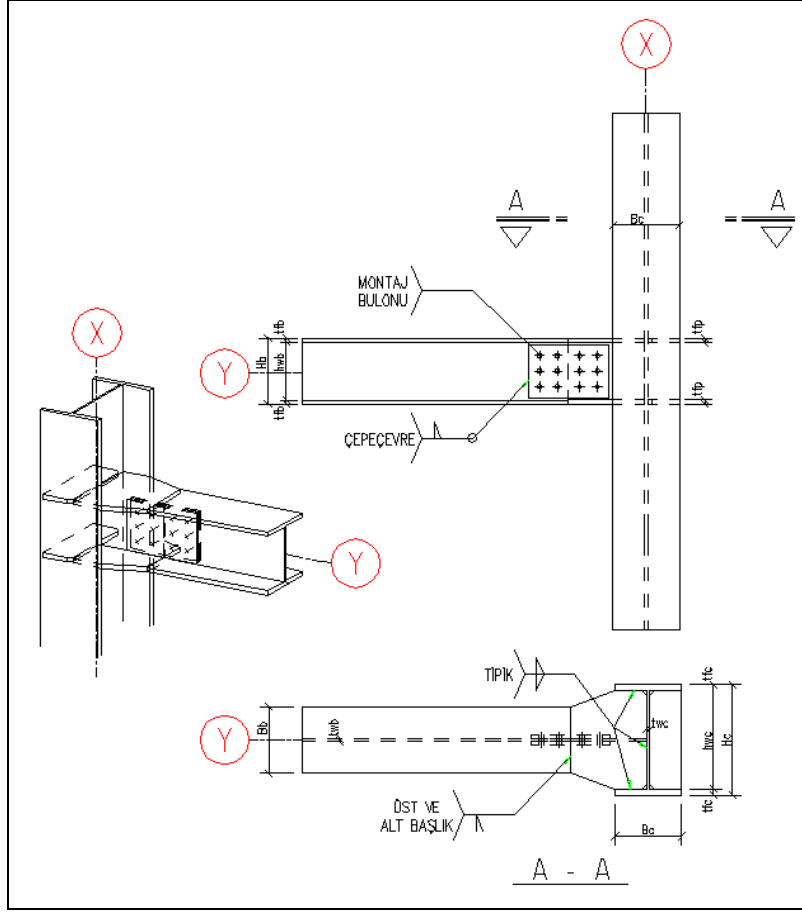
Zayıf eksen kolon-kiriş moment aktaran birleşimlerinin sıklıkla kullanılan ve yapı mühendisliği açısından tercih edilebilecek tiplerini diğerlerinden ayırmakla işe başlanabilir. Bu amaçla öncelikle daha önce literatürde incelenen ve özet olarak literatür özetinde detayları verilen Driscoll ve diğ. (1978, 1979) tarafından yürütülen ve FEMA355 (2000) raporunda üzerine atıfta bulunulan, ülkemizde de uygulamada sık tercih edilen yüksek dayanım sağlayabilen üç tipik birleşim esas alınmıştır.

Birleşim tipleri seçilmiş ve tipik şekilleri aşağıda Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de verilmiştir.

Bunların her üçü de moment aktaran ve çerçeve birleşimi oluşturabilecek çevrimsel yüklere karşı dirençli ve yeterli dönme rijitliğine sahip olan zayıf eksen kolon-kiriş birleşim tipleridir. Montaj tekniği ve kolaylıkları açısından karşılaştırıldıklarında her birinin ayrı avantaj ve dezavantajları olduğu söylenebilir.

Üçü de ayrı tip ve özelliklerde birleşimler olmalarına karşın her üç birleşim tipinin de etken yük akış yolları benzer biçimde gruplara bölünebilmektedir.

Birleşimlerin ayrı tipler halinde incelenmesi yerine bu grupların ortak yönlerinin incelenmesi yoluna gidilecektir. Bu şekilde yürütülen çalışma yardımı ile belirtilen birleşim tiplerinin her üçü için de sayısal modelleme olanağı sağlanmış olacaktır.

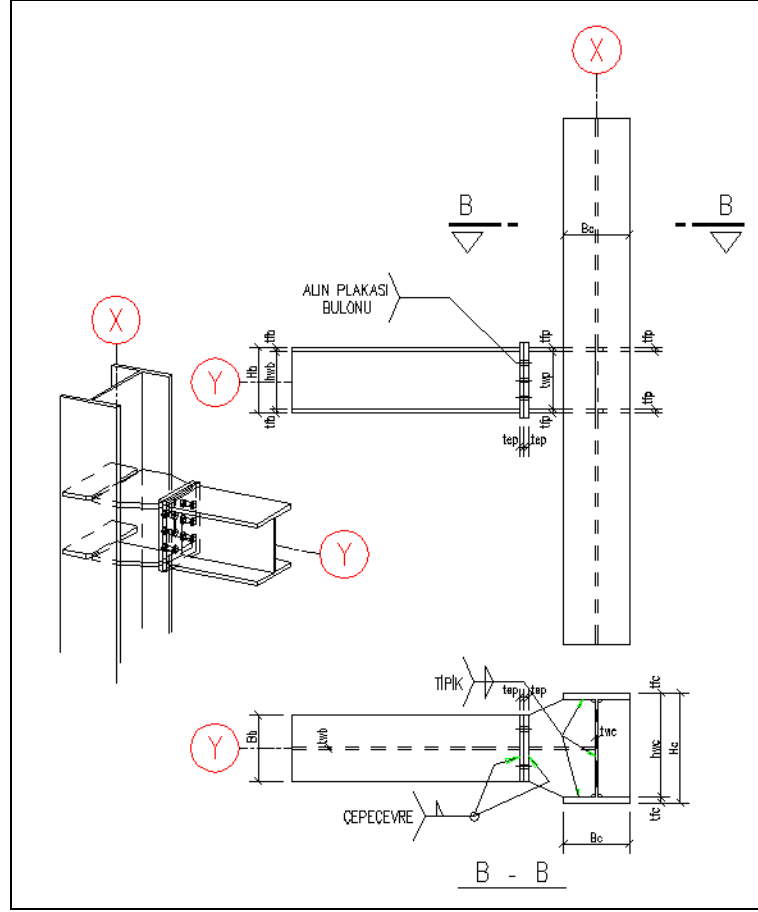


Şekil 3.1 : Başlık kaynaklı zayıf yön birleşimi. (Tip-A)

Şekil 3.1’de tanımlanan birleşimlerde kiriş başlığı, kolon gövdesi ve başlıkları arasından konsol olarak çıkan takviye levhasına küt kaynaklarla birleştirilmektedir.

Kiriş gövdesine montaj bulonları ile bağlandıktan sonra yerinde köşe kaynak ile sabitlenen bir levha yer almaktadır.

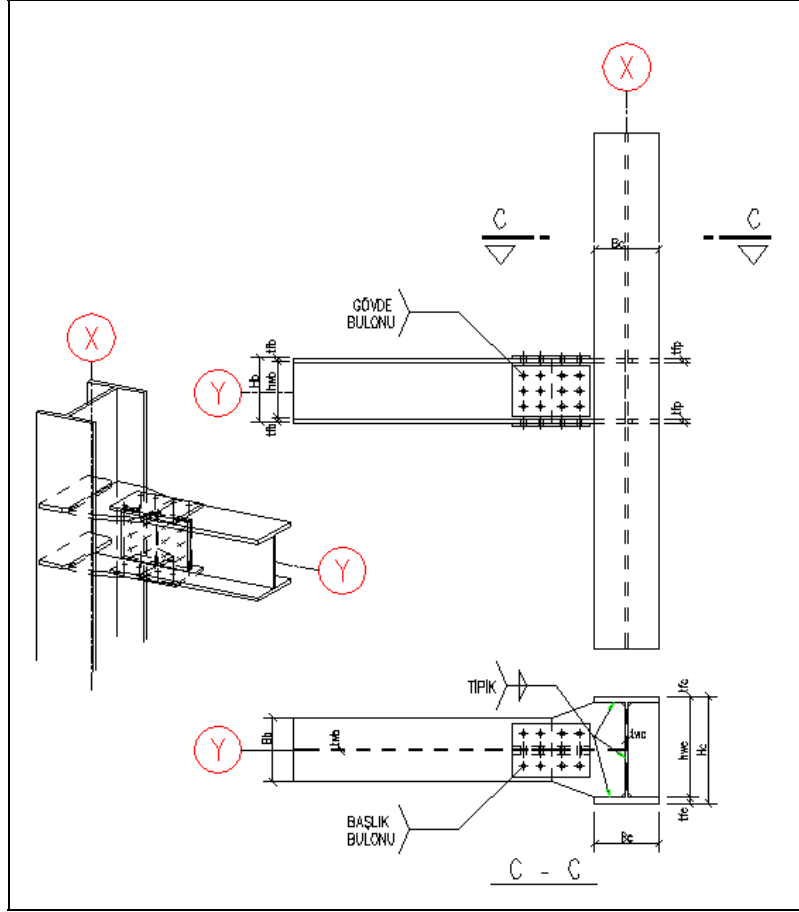
İncelenecek olan ve yukarıda ayrıntıları verilen birleşimin bileşenleri, iki ana bölgeye ayrılarak irdelenecektir. Bu bölgeler kolon gövde-başlık arası bölgesi (I) ve kiriş uç bölgesi (II) olarak ayrılarak aşağıda Şekil 3.4’de verilmiştir. Kiriş uç bölgesi davranışı belirli ve literatürde özetlenmiş biçimi ile çeşitli araştırmacılar tarafından detaylı olarak incelenmiş bir bölgedir. Kiriş başlığını süreklilik levhasına bağlayan küt kaynakların davranışı ve gövde levhasının davranışı sayısal bir modele dönüştürülmüş biçimi ile literatürde mevcuttur.



Şekil 3.2 : Alın levhalı zayıf yön birleşimi. (Tip-B)

Şekil 3.2’de tanımlanan birleşimlerde kiriş ucunda oluşturulan alın levhası, kolon gövdesi ve başlıkları arasından konsol olarak çıkan takviyeli alın levhasına bulonlarla birleştirilmektedir.

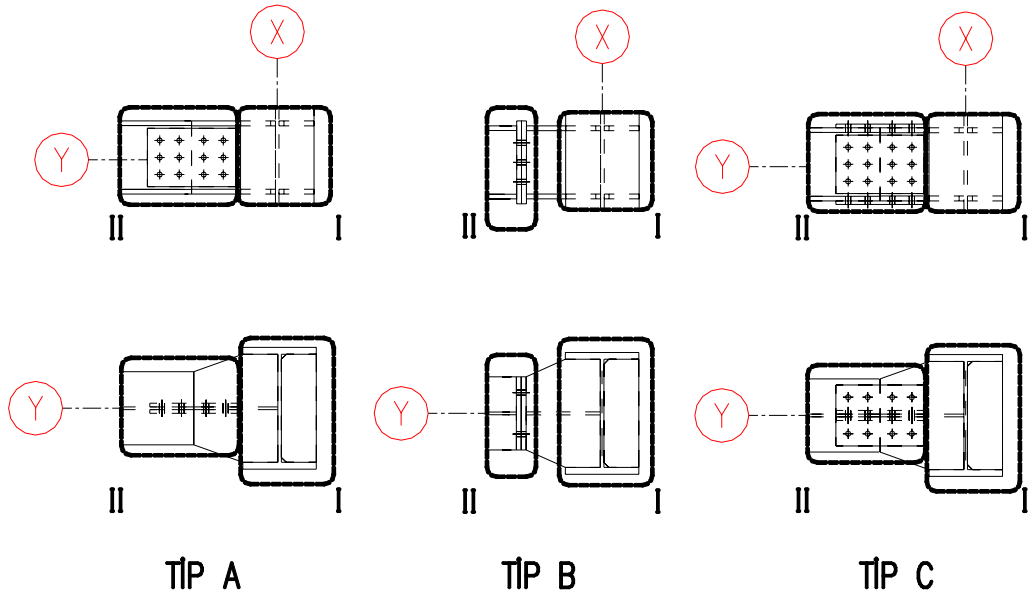
İncelenecek olan ve yukarıda ayrıntıları verilen birleşimin bileşenleri, iki ana bölgeye ayrılarak irdelenecektir. Bu bölgeler kolon gövde-başlık arası bölgesi (I) ve kiriş uç bölgesi (II) olarak ayrılarak aşağıda Şekil 3.4 de verilmiştir. Kiriş uç bölgesi davranışı belirli ve literatürde özetlenmiş biçimi ile çeşitli araştırmacılar tarafından detaylı olarak incelenmiş bir bölgedir. Kiriş başlığını ve süreklilik levhasını alın levhalarına bağlayan kaynakların davranışı, karşılıklı alın levhalarının aradaki bulon grubu ile bütünleşik davranışları, bulonların çekme ve eğilme tesiri altında davranışları, aradaki sürtünmenin (ön-germe ile birlikte olabilir) tesiri sayısal bir modele dönüştürülmüş biçimi ile literatürde mevcuttur.



Şekil 3.3 : Başlık levhalı zayıf yön birleşimi. (Tip-C)

Şekil 3.3’de tanımlanan birleşimlerde kiriş başlığı ve gövdesi, kolon gövdesi ve başlıkları arasından konsol olarak çıkan takviye sistemine ek levhalarla ve bulonlarla bağlanmaktadır.

İncelenecek olan ve yukarıda ayrıntıları verilen birleşimin bileşenleri, iki ana bölgeye ayrılarak irdelenecektir. Bu bölgeler kolon gövde-başlık arası bölgesi (I) ve kiriş uç bölgesi (II) olarak ayrılarak aşağıda Şekil 3.4’de verilmiştir. Kiriş uç bölgesi davranışı belirli ve literatürde özetlenmiş biçimi ile çeşitli araştırmacılar tarafından detaylı olarak incelenmiş bir bölgedir. Kiriş başlığını ve süreklilik levhasını birbirine bağlayan ara bağlantı levhasının davranışı, aradaki bağlantıyı sağlayan bulon grubunun kesme davranışları, aradaki sürtünmenin (ön-germe ile birlikte olabilir) tesiri sayısal bir modele dönüştürülmüş biçimi ile literatürde mevcuttur.



Şekil 3.4 : Seçilen tipik birleşimlerde bileşen bölgeleri.

Bu çalışmada literatürde mevcut olmayan ve davranışı mevcut veriler ile tanımlanamayan, süreklilik levhaları, kolon gövdesi ve başlık arasında kalan bölgenin (Şekil 3.4’de, I olarak isimlendirilerek gösterilmiştir) davranışı detaylı olarak incelenecektir.

3.2 Birleşim Davranışında Etkili Olan Bileşenlerin Lineer Analizlerle İrdelenmesi

Çalışma içerisinde incelenen birleşim bölgesi olarak tarif edilecek olan ve yukarıda Şekil 3.4’de (I) olarak gösterilmiş olan bölgenin davranışına sayısal bir tanımlama getirebilmek için ilk adım, birleşimin ana bileşenlerini tespit etmek olacaktır.

Bu amaçla lineer bir sonlu eleman sayısal analiz programı olan SAP2000 yazılımı yardımı ile çubuk ve kabuk elemanlar halinde birleşimin incelenmesi yoluna gidilmiştir. Deneysel çalışmada da kullanılabilecek boyutlarda, gerçek bir yapıyı temsil edebilecek geometri ve kapasitede kolon ve kiriş elemanları esas alınmıştır. “ L_c ” kolon serbest boyu 300cm olacak ve “ L_b ” kiriş serbest boyu 170cm olacak biçimde bir sayısal örnek oluşturulmuştur. Bu örnek aynı bir yatay yük ile yüklendiğinde oluşan şekil değiştirme ve dönmeler izlenmiştir.

İlk sayısal analizde, birleşim bir çubuk sistemin birbirine aksların kesişimi noktasında ve sonsuz rijitlikte bağlandığı kabulü ile modellenmiştir.

İkinci sayısal analizde ise birleşimi oluşturan bileşenlerin elastik şekil değiştirme özellikleri dikkate alınarak ve birleşimin her yöne doğru 75cm kadar bir kısmının levha elemanlar ile modellemesi yapılmıştır.

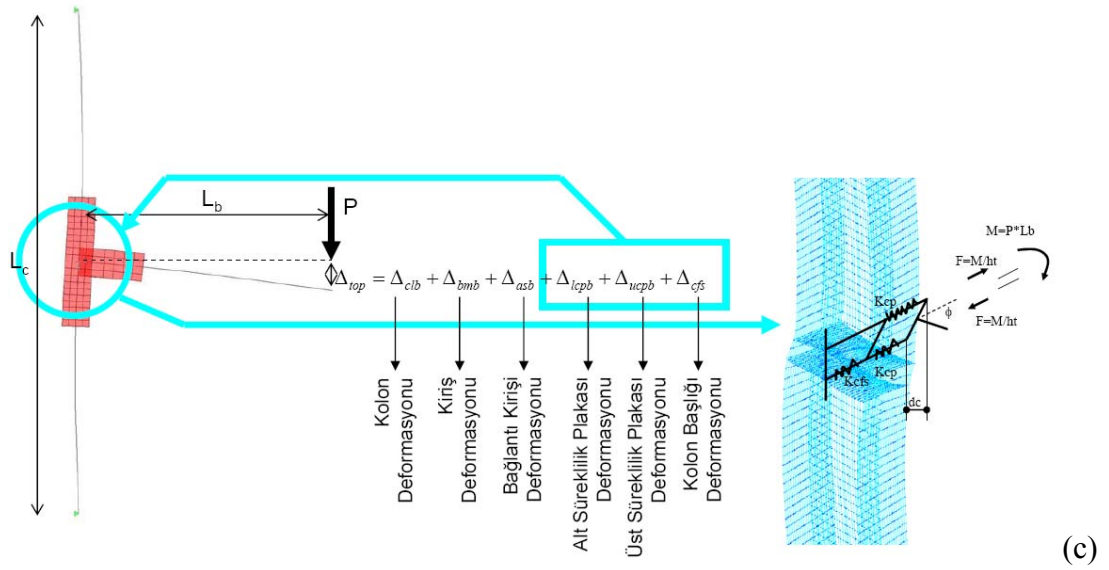
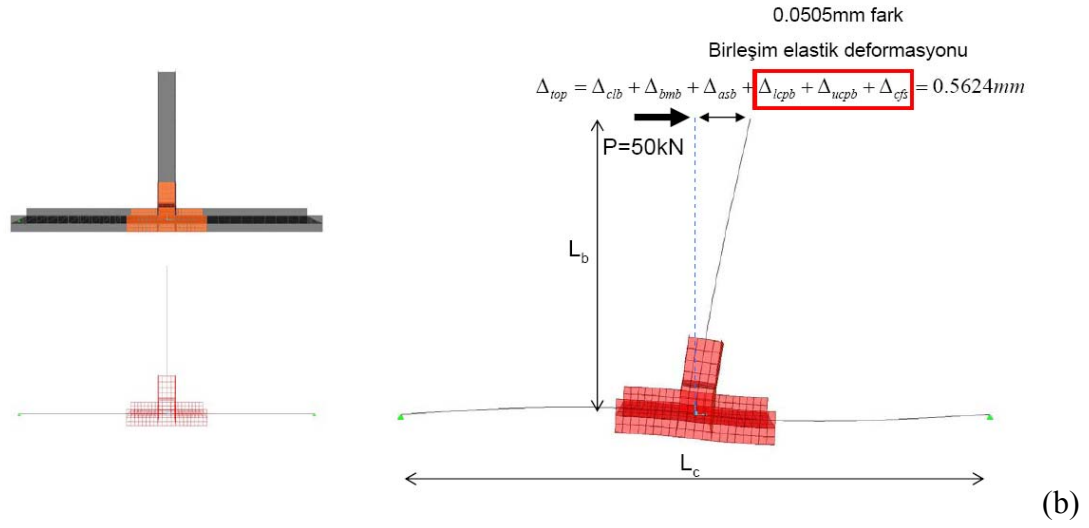
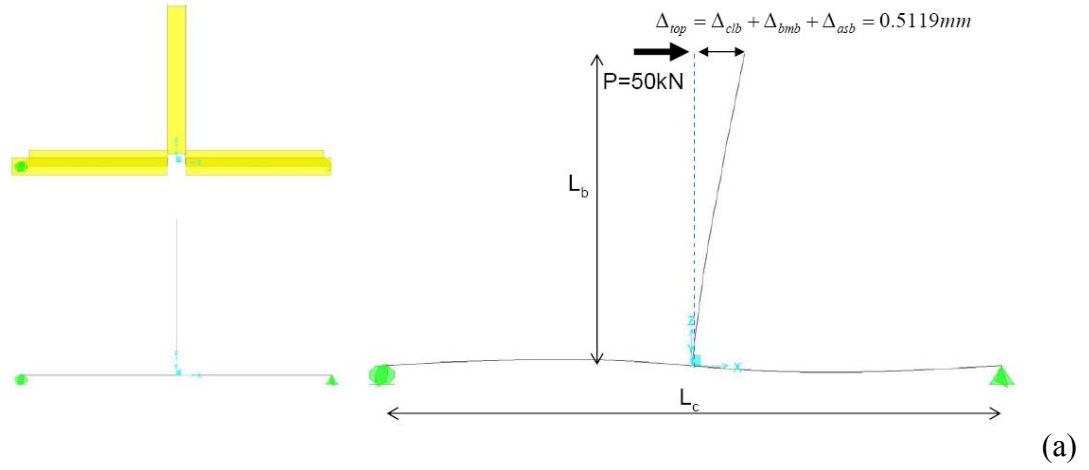
Yapılan çözümler karşılaştırılınca yük akış yörüngesi üzerinde elemanlarda meydana gelen şekil değiştirmenin incelenen birleşim için sistem analizlerinde dikkate alınan yük şekil değiştirme ilişkisini ciddi ve ihmal edilemez biçimde (ilk bakışta yaklaşık %10-%15) değiştirdiği ve mutlaka bir sayısal davranış modelinde dikkate alınması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma sonuçlarında incelenen sistemin toplam kiriş uç yer değiştirmesi “ Δ_{top} ” olarak gösterilmiştir. Bu toplam yer değiştirmeyi oluşturan alt bileşenlerin tespiti hedeflenmiş, bu şekilde yük akışı üzerinde şekil değiştirmeyi oluşturan ve dolaylı olarak birleşim davranışında etkin olan elemanların ortaya çıkarılması sağlanmıştır.

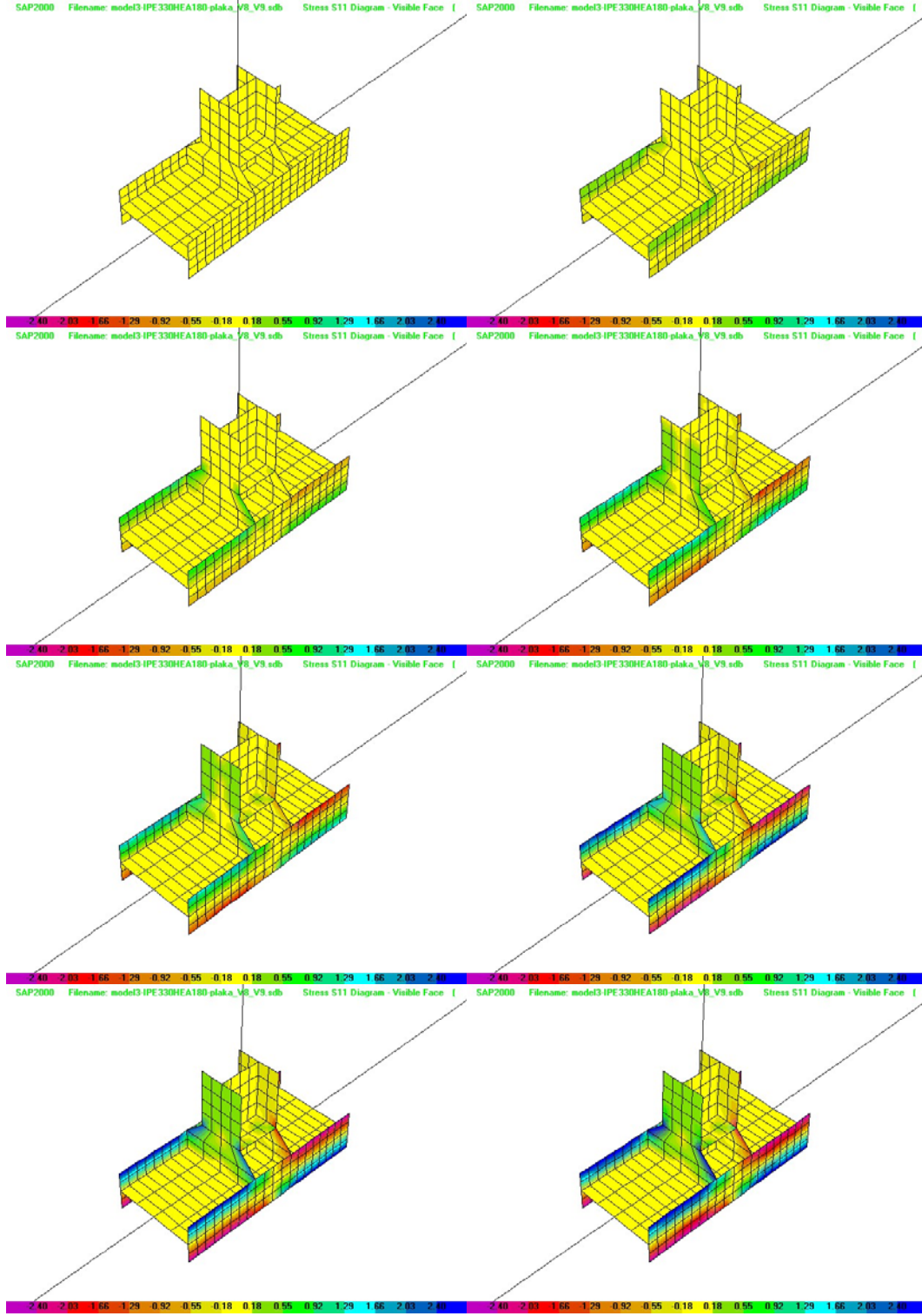
“ Δ_{clb} ” olarak gösterilen uç yer değiştirmesi, kolonun kendi elastik şekil değiştirmesi sebebi ile oluşan yer değiştirmeyi göstermektedir. “ Δ_{bmb} ” ve “ Δ_{asb} ” olarak gösterilen yer değiştirmeler ise sırası ile ana kiriş ve bağlantı kirişinin elastik şekil değiştirmeleri sebebi ile oluşan uç yer değiştirmelerini göstermektedir. Bu üç yer değiştirmenin toplamı, “ Δ_{top} ” olarak gösterilmiş olan toplam yer değiştirmeden çıkarılırsa geri kalan yer değiştirmenin birleşimi oluşturan elemanların elastik şekil değiştirmelerinden kaynaklanan yer değiştirmeyi göstermesi beklenir.

Oluşturulan sonlu elemanlar modeli üzerinden eleman şekil değiştirmeleri detaylı olarak incelenmiş ve birleşimin davranışını belirleyen kritik bölgelerin alt ve üst süreklilik levhaları ve kolon başlığı olduğu dikkat çekmiştir. Bu elemanların birleşim sisteminden ayrılmış şekil değiştirmeleri dikkate alındığında “ Δ_{lcpb} ” ve “ Δ_{lcpb} ” sırası ile alt ve üst süreklilik levhalarının kendi elastik şekil değiştirmelerinin oluşturduğu uç yer değiştirmesini ve “ Δ_{cfs} ” kolon başlığının kayma şekil değiştirmesi sebebi ile oluşan uç yer değiştirmesini ifade etmektedir.

Kullanılan terminoloji ve tarifler şekil değiştirmiş sistemler üzerinde işaretlenerek aşağıda Şekil 3.5a, Şekil 3.5b ve Şekil 3.5c’de tekrar verilmiştir.



Şekil 3.5 : Rijit ve elastik çözümlerin karşılaştırılması: (a)Çubuk modeli. (b)Levha modeli. (c)Bileşenlerin açıklamaları.



Şekil 3.6 : İç kuvvet ve gerilmelerin ardışık adımlarda gözlenmesi.

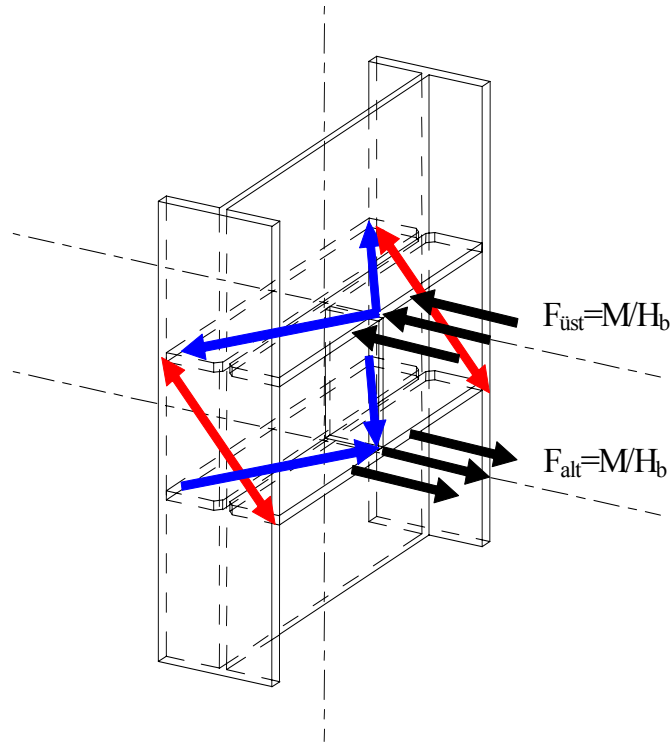
Yapılan elastik sonlu eleman analizinde yükün adım-adım arttırılması ile kiriş başlıklarından yükün ne şekilde kolona aktarıldığı izlenmiştir. Tespit edilen yük akışı yükün hiç olmadığı başlangıç adımından başlayarak, maksimum toplam gerilmenin akma gerilmesine ulaştığı adıma dek yukarıda Şekil 3.6'da verilmiştir.

Yük akışı izlendiğinde kiriş başlıklarından yükün önce süreklilik levhalarına aktarıldığı daha sonra süreklilik levhası eğilme şekil değiştirmeleri ile kolon başlıklarına yönlendiği tespit edilmiştir.

Etken bileşen olarak tespit edilen elemanların daha net bir şekilde ortaya konması için gerilme ve şekil değiştirmeler incelenmiş, farklı asal yönlerde oluşan gerilmelerin adımlar halinde dağılımları gözlemlenerek, ilişkili yük akış yörüngesi tespit edilmiştir.

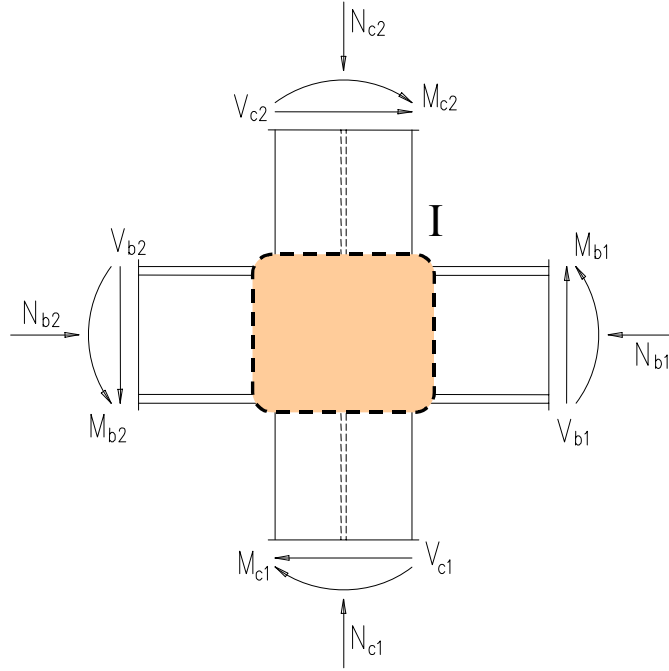
3.2.1 Yük dağılımı

Birleşimin davranışı hangi metotla incelenirse incelensin, bileşenlerin davranışının bir bileşkesi olup dayanım, rijitlik ve dönme kapasitesi değerlerini bu bileşenlerinin sınırlayıcı koşullarından alır. Bu durumda bileşenlerin dikkatle ayrıştırılıp, davranış parametrelerinin belirlenmesi, birleşimin davranışının belirlenmesi anlamına gelmektedir. SAP2000 sonlu elemanlar programı ve lineer elastik malzeme kabulü ile yapılan analizler sonucu aşağıda Şekil 3.7’de gösterilen yük akış yörüngesi tarafımızdan bu tip birleşimlerde (I) bölgesi davranışını ifade etmek üzere önerilmiştir.



Şekil 3.7 : Yük akış yörüngesi için önerilen model.

İncelenen birleşimlerde birleşim iç kuvvetleri ve bunların dağılışını göstermek üzere Heaton ve diğerleri (1987), tarafından yapılan deneysel-sayısal çalışmanın sonuçları önerdiğimiz yük akış yörüngesi ile oldukça benzer sonuçlar içermektedir. Tez konusunu oluşturan bu çalışmada, üzerinde araştırma yapılan (I) bölgesindeki yük dağılışı üzerinde aşağıda Şekil 3.8’de verilen iç kuvvetler tesirinde Şekil 3.9’da verilen yük dağılışı formu çıkarılmıştır.

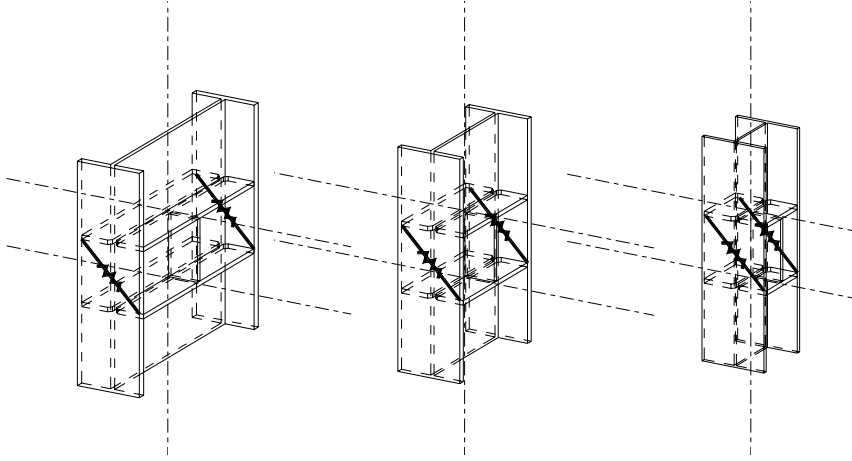


Şekil 3.8 : I-Bölgesi üzerinde etken iç kuvvetler.

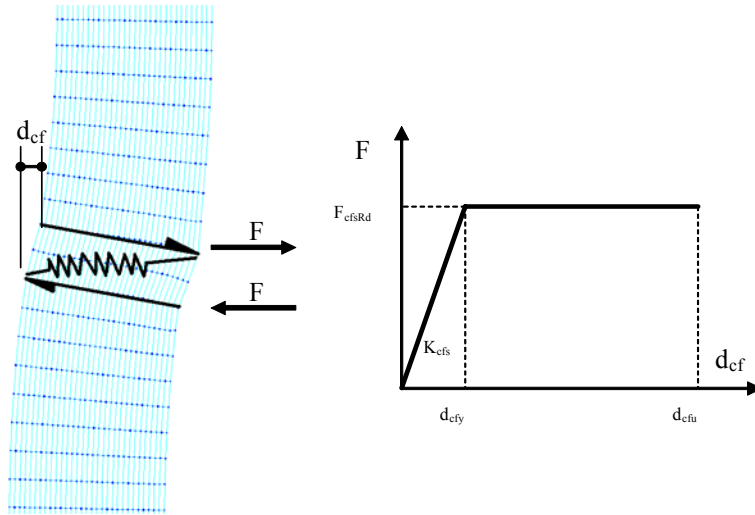
Şekil 3.9’da verilen bu parametrik dağılım formu ayrıntılı olarak incelendiğinde, I-Bölgesi üzerinde etkili olan kesme kuvveti “V” ve moment “V*L” iç kuvvetlerinin hangi bileşenler yardımı ile dağıtıldığı izlenebilmektedir.

Verilen dağılımda dikkat edilen nokta, kiriş başlıklarına karşılık gelen takviye levhalarının aktardıkları yükün ne kadarını doğrudan kolon başlıklarına, ne kadarını kolon gövdesine taşıdıkları olmuştur. İlgili çalışma kapsamında verilen yük dağılımı bu yükün %90-95 kadarının doğrudan kolon başlıklarına kalan kısmının ise kolon gövdesine aktarıldığını göstermektedir.

Tez dahilinde yapılan çalışmada sonlu eleman analizi sonuçları da dikkate alınarak, önceki çalışmadan daha güvenli tarafta kalan, ve model oluşturulmasını kolaylaştıran bir kabul ile bu yükün tamamının başlıklara aktarıldığı kabulü yapılacaktır. Bu aynı



Şekil 3.10 : Kolon başlığı davranışı mekanik modeli.



Şekil 3.11 : Kolon başlığı sonlu eleman modeli ve yük-yer değiştirme diyagramı.

Kolon başlığının bu tip birleşimdeki davranışı ve aldığı rol kuvvetli eksen birleşimlerinde kolon gövdesinin aldığı role benzer bir durum ifade etmektedir. Bu yaklaşım literatürde yapılan taramada hem Gilton ve diğerleri (2000), hem de Gürel ve diğerleri (2005), çalışmalarında elde edilen sonuçlar ve analiz ve değerlendirme kabulleri ile tutarlı bir kabuldür.

Kolon kuvvetli eksen yönünde yapılan kolon-kiriş birleşimlerinde, kolon gövdesi davranışını incelemek amacı ile literatürde önerilmiş olan şekil değiştirme ve dayanım bağıntılarına benzer şekilde, kolon başlığının dayanımını temsil eden “ F_{cfsRd} ” için aşağıda Şekil 3.12’de verilen etken iç kuvvetlere ve dikkate alınan etken parametrelere bağlı olarak formül üretilir ve kolon normal kuvveti etkisi için revize edilirse, (Piluso ve diğerleri, 2000)

$$V_{cf} = \frac{M_{b1}}{h_t} \left[\left(1 + \frac{M_{b2}}{M_{b1}} \right) - \frac{h_t}{2 * M_{b1}} (V_{c1} + V_{c2}) \right] = \frac{M_{b1}}{h_t} \beta_1 \quad (3.1)$$

veya komşu kiriş uç kuvvetleri için,

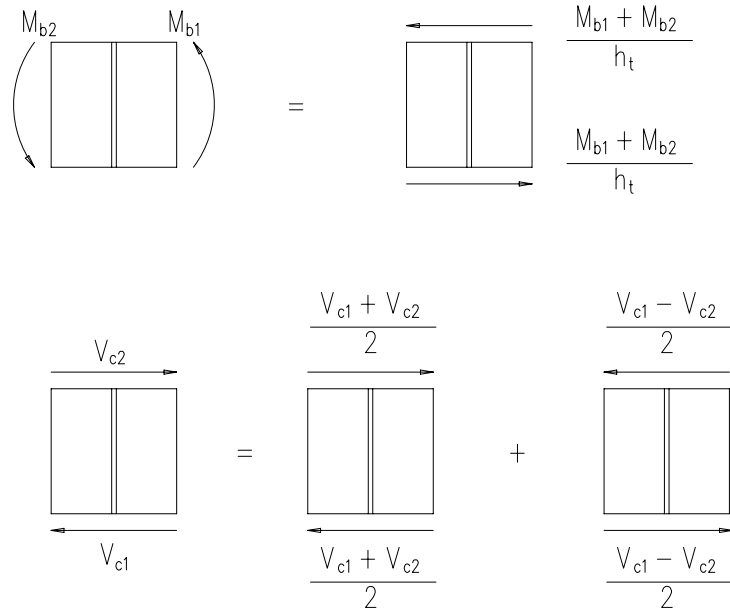
$$V_{cf} = \frac{M_{b2}}{h_t} \left[\left(1 + \frac{M_{b1}}{M_{b2}} \right) - \frac{h_t}{2 * M_{b2}} (V_{c1} + V_{c2}) \right] = \frac{M_{b2}}{h_t} \beta_2 \quad (3.2)$$

olarak verilir. Bu durumda F_{cfsRd} için ,

$$F_{cfsRd} = \frac{M_b}{h_t} = \frac{V_{cfsRd}}{\beta} \quad (3.3)$$

formülü verilebilir.

Burada kullanılan M_{b1} , M_{b2} , V_{c1} , V_{c2} iç kuvvetleri Şekil 3.8’de verilmiş olan bölgede etkin iç kuvvetleri temsil etmektedir. V_{cf} olarak gösterilen iç kuvvet kolon başlığında oluşan kesme kuvveti ve V_{cfsRd} ilgili kolona ait başlıkların kesme dayanımı sınır değerini ifade etmektedir.



Şekil 3.12 : Kolon başlığı etken iç kuvvetler.

EN-1993-1 (2005)'de önerildiği gibi kolon kesme kuvvetlerinin etkisi ihmal edilerek güvende kalan bir yaklaşım ile, tek yönlü birleşimlerde $\beta=1$, çift yönlü birleşimlerde ise, eşit aynı işaretli uç momentleri durumunda $\beta=2$, ve ters işaretli uç momentleri durumunda $\beta=0$ olarak kabul edilebilir. İlgili yayında V_{cfsRd} için ise aşağıdaki formül önerilmektedir.

$$F_{cfsRd} = V_{cfsRd} = \frac{f_{ycf} * A_{cfs}}{\gamma_{mo} * \sqrt{3}} \quad (3.4)$$

Kolon normal kuvvetinin tasarım koşulları sebebi ile $N_c/N_{cy}=0.50$ limit yükü altında olması koşulu ile, kolon normal kuvvetinden kaynaklanan tesirlerin dikkate alınmaması için EN-1993-1 (2005), yaklaşımı ile bu değer kolon başlıkları için revize edilir ve aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$F_{cfsRd}^* = V_{cfsRd}^* = 0.9 * \frac{f_{ycf} * A_{cfs}}{\gamma_{mo} * \sqrt{3}} \quad (3.5a)$$

N_c/N_{cy} oranı ile ilgili bir kabul yapılamadığı durumlarda daha genel bir eşitlik olan ve AISC-LRFD (2005), yönetmeliğinde verilen yaklaşım ile bu değer kolon başlıkları için revize edilir ve aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$F_{cfsRd} = V_{cfsRd} = \frac{f_{ycf} * A_{cfs}}{\gamma_{mo} * \sqrt{3}} * \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{f_{ycf}}\right)^2} \quad (3.5b)$$

Davranışı temsil eden başlangıç rijitliği ise gene EN-1993-1 (2005), yaklaşımı kolon başlıkları için revize edilerek,

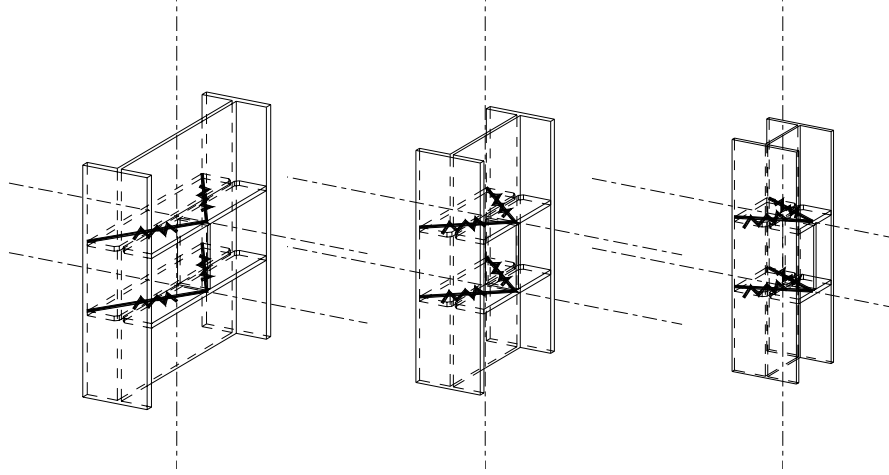
$$\frac{F}{d_{cf}} = K_{cfs} = \frac{0.38 * E * A_{cfs}}{h_t * \beta} \quad (3.6)$$

olarak kabul edilir.

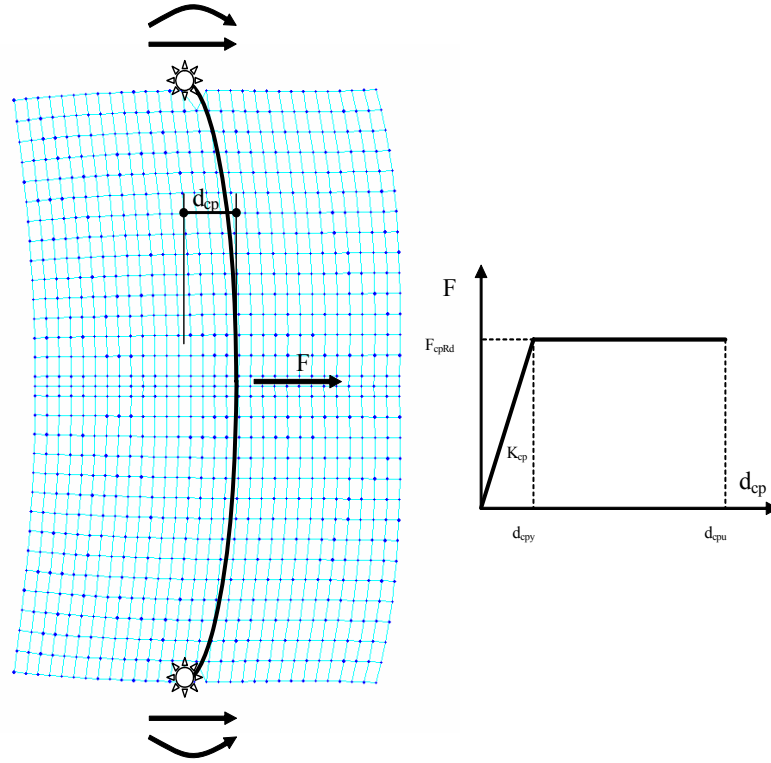
Bu eşitlikte verilen “ d_{cf} ” şekil değiştirmesi kolon başlığının ilgili kesme kuvveti etkisinde oluşan kayma şekil değiştirmesini ve K_{cfs} ise kolon başlığının kayma şekil değiştirmesine karşı rijitliğini ifade etmektedir.

3.2.3 Süreklilik levhaları davranışı

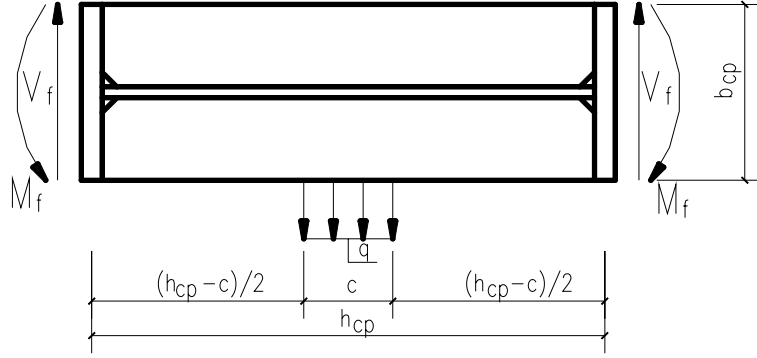
Başlıklar arasında yer alan süreklilik levhalarının davranışı üzerine etken parametrelerin, kolon yüksekliği (H_c), süreklilik levhası genişliği (b_{cp}), süreklilik levhası kalınlığı (t_{cp}) ve yük akış genişliği (c) olduğu öngörülmüştür. Süreklilik levhası mekanik yay modeli Şekil 3.13’de ve Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.13 : Süreklilik levhaları davranışı mekanik modeli.



Şekil 3.14 : Süreklilik levhaları sonlu eleman modeli ve yük-yer değiştirme diyagramı.



Şekil 3.15 : Süreklilik levhaları etken iç kuvvetler.

Süreklilik levhasının eğilme dayanımına ulaşmasını sağlayacak kuvveti temsil eden F_{cpbRd} için yukarıda Şekil 3.15’de verilen etken iç kuvvetlere ve dikkate alınan etken parametrelere bağlı olarak formül üretilmesi ve genişlik açıklık oranı ve yük akış genişliği etkisi için revize edilmesi amaçlanmıştır.

Bölgenin yaklaşık bir dikdörtgen kesit kabulü ile eğilme davranışı göstermesi durumunda “ t_{cp} ” kalınlığında ve “ b_{cp} ” yüksekliğinde bir kesite sahip “ h_{cp} ” açıklığında bir kirişin eğilmesi problemine benzetilecektir. Bu durumda dikdörtgen kesitli plastik kesitin taşıma gücü momenti,

$$M_{cpRd} = 1.5 * \frac{f_{ycp} * t_{cp} * b_{cp}^2}{6} \quad (3.7)$$

ve tesir eden kuvvetin bu taşıma gücüne karşılık gelen değeri için, “ c ” genişliğinde alanda yayılı “ q ” yayılı yükü ile oluşan şekil değiştirmeyi dikkate alarak “ $F_{cpRd}=q*c$ ” eşitliğini oluşturan q limit yükü dikkate alındığında basit kirişin ortasında oluşan moment ve şekil değiştirme sırası ile “ M_{cpRd} ” ve “ d_{cp} ” indisleri ile tanımlanabilir. Bu eşitliği sağlayan kuvvet için aşağıdaki değer verilebilir.

$$F_{cpRd} = q * c = \frac{M_{cpRd} * 24}{h_{cp} * (3 - \frac{c^2}{h_{cp}^2})} \quad (3.8)$$

$$d_{cp} = \frac{F * h_{cp}^3}{32 * E * t_{cp} * b_{cp}^3} \quad (3.9)$$

İlişkili taşıma gücü formülünün sadece geometriye ve malzeme sınıfına bağlı olduğu bununla birlikte, beklenen şekil değiştirmelerin sırasıyla, “ b_{cp}/h_{cp} ” ve “ c/h_{cp} ” gibi oranlara bağlı olduğu kabulü ile bir dizi değişken parametrelili sayısal çalışma yapılmıştır. Amaç basit kiriş analojisinden farklı bir davranışı oluşturduğu düşünülen kritik parametrelerin yük-şekil değiştirme modeline dahil edilmesi ve gerçeğe daha yakın bir sayısal model önerilmesidir. Bu iki faktörün etkisi ile revize edilmeye çalışılan eşitlik tekrar düzenlenirse aşağıdaki formu alır.

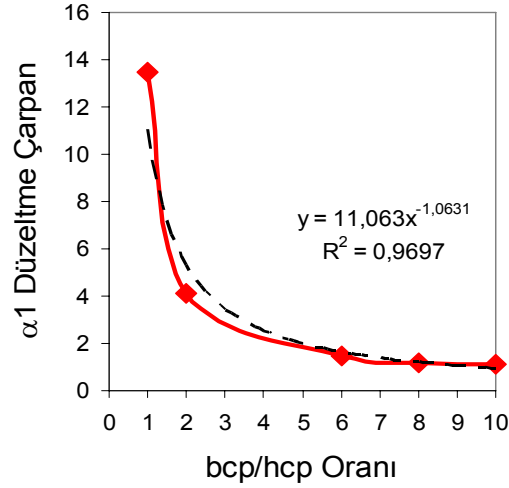
$$\frac{F}{d_{cp}} = K_{cp} = \frac{32 * E * t_{cp} * b_{cp}^3}{h_{cp}^3} * \alpha_1 * \alpha_2 \quad (3.10)$$

Öncelikle farklı kalınlıklarda ($t_{cp}=10\text{mm}$ ve 50mm) iki ayrı dikdörtgen kesitin beş farklı kesit yüksekliğinde ($b_{cp}=10\text{mm}$, 50mm , 100mm , 500mm ve 1000mm) ve yedi ayarlı açıklıkta ($h_{cp}=10*b_{cp}$, $8*b_{cp}$, $5*b_{cp}$, $2*b_{cp}$, $1*b_{cp}$, $0.5*b_{cp}$ ve $0.1*b_{cp}$) tüm açıklıkta yayılı yüklerle yüklenmesi durumunda orta noktada oluşan yer değiştirmeler hesaplanmıştır.

Bu yer değiştirmelerin basit kiriş çözümü ile oranlanması ile ilgili parametrenin orana bağlı değişimini veren denklem hesaplanmıştır. Yapılan parametrik çalışmaların sonuçları eklerde “**Ek A1**” olarak verilmiştir.

Bu çalışmalar sonucu önerilen ilişkiler şöyle verilebilir. Kiriş açıklığının yüksekliğine oranı olan “ $x=b_{cp} / h_{cp}$ ” için düzeltme oranı yapılan parametrik çalışma sonucu ortaya çıkan ilişkiye ait grafik ve eğri uydurma ile önerilen eğrinin korelasyonu Şekil 3.16 olarak verilmiştir. Eğrinin α_1 denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\alpha_1 = \frac{1}{11.063x^{-1.0631}} \quad (3.11)$$



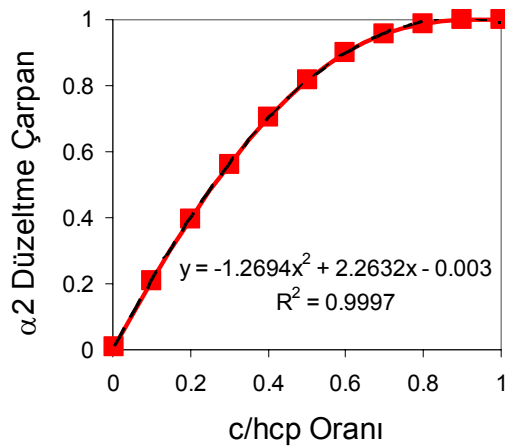
Şekil 3.16 : b_{cp} / h_{cp} Açıklık-yükseklik oranı etkisi parametrik deneme sonuçları.

Yükün sınırlı bir “c” genişliğinde yayılı olması durumu için ise bir diğer çalışma yapılmıştır. Yapılan parametrik çalışmaların sonuçları eklerde “**Ek A2**” olarak verilmiştir. Burada %10 artımlar ile yükün ortadan tüm açıklığa yayılması durumu incelenmiştir.

Orana bağlı değişimi veren denklem hesaplanmıştır. Ortaya çıkan ilişkiye ait grafik ve eğri uydurma ile önerilen eğrinin korelasyonu Şekil 3.17 olarak verilmiştir.

α_2 açıklıkta orta noktada bulunan şekil değiştirmenin “ $y=c/h_{cp}$ ” oranına bağlı olarak düzeltilmesinde kullanılacaktır ve önerilen ilişki aşağıda verilmiştir.

$$\alpha_2 = -1.2694y^2 + 2.2632y - 0.003 \quad (3.12)$$



Şekil 3.17 : c/h_{cp} Sınırlı yayılı yük oranı etkisi parametrik deneme sonuçları.

3.3 Birleşim Davranışında Etkili Olan Bileşenlerin Lineer Olmayan Analizlerle İrdelenmesi

Lineer analiz yazılımları ile yapılan incelemelerde ortaya konan ve bileşenlerin davranışları için önerilen yük-yer değiştirme parametreleri malzeme ve geometri bakımından lineer olmayan sistem kabulü yapılarak irdelenmelidir.

Bu durumun farklı kolon ve kiriş geometrilerini de kapsamayı öngörülerek aşağıda Şekil 3.18’de detayları verilen değişken geometri parametrelili sayısal analiz çalışması yürütülmüştür.

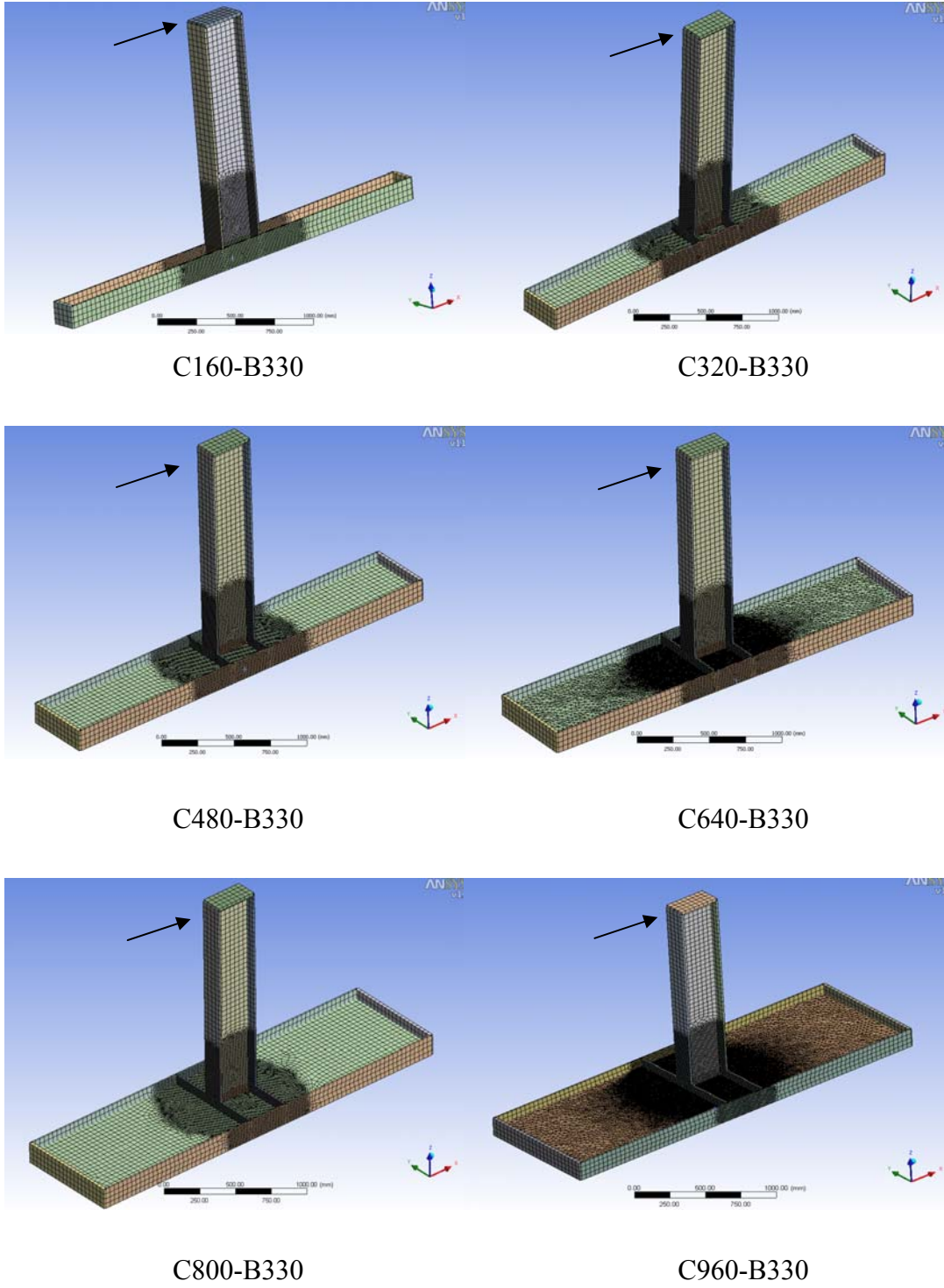
Geometri ve malzemenin tarif edilmesi ve sonrasında yapılan analizler, ANSYS isimli genel amaçlı, malzeme ve geometri bakımından lineer olmayan davranış dikkate alabildiğimiz sonlu elemanlar analiz programı ile yürütülmüştür.

Bu çalışmanın detaylı sonuçları ve adım-adım şekil değiştirme ve gerilme değerleri eklerde “**Ek A3**” olarak verilmiştir.

Analizlerde S275 kalitede pekleşen çelik malzeme mekanik özellikleri dikkate alınmıştır. Gerçek bir yapıda olması beklenen ve önceki aşamada SAP2000 sayısal analiz yazılımı ile yürütülen çalışmadaki ile tutarlı geometri kabulleri yapılmış ve sonuçların birbiri ile karşılaştırılabilmesi hedeflenmiştir.

Aşağıda Çizelge 3.1’de incelenen sistemlere ait geometri ve malzeme özellikleri verilmiştir. Çalışmada adım-adım artan yatay tepe kuvveti tesirinde tepe yer değiştirmesinin artışı kayıt edilmiştir.

Ayrıca seçilen 18 noktadan alınan okumalar yardımı ile hemen tüm kritik yer değiştirmelere ait değerler kayıt edilmiş bu değerler arasında ilişkiler kurularak sistem davranışının ortaya çıkartılması hedeflenmiştir.



Şekil 3.18 : ANSYS incelemesinde kullanılan farklı analiz tipleri, sonlu eleman ağı yapılanması ve yükleme yönü görüntüleri.

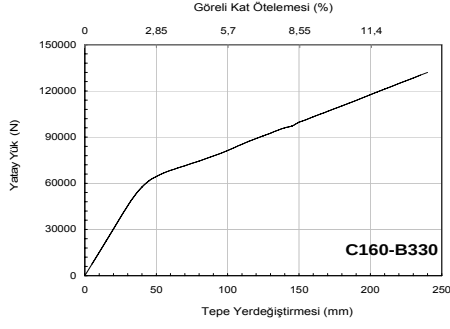
Kolon her iki ucunda mafsallı kabul edilmiş, gerçek yapılarda bulunması beklenen kolon normal kuvveti sayısal olarak önerilen model ile tutarlılık göstermesi için ihmal edilmiş (literatürde taranan son dönem çalışmalarının hemen hepsinde birleşim

davranışı üzerinde normal kuvvet etkisi ihmal edilmiştir) ve sistemin düzlem dışında yaptığı yer değiştirmelerin kontrol altında tutulduğu kabulü yapılarak analiz modeli oluşturulmuştur.

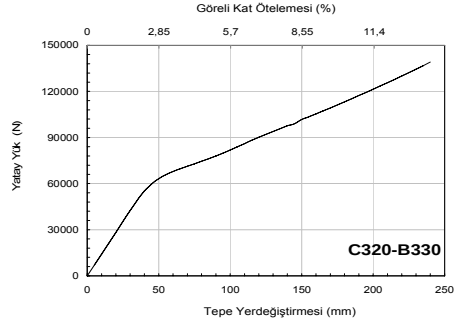
Çizelge 3.1 : ANSYS modelleri değişken analiz parametreleri ve özellikleri.

Analiz Numarası	Kolon $L_c=300\text{cm}$	Kiriş $L_b=170\text{cm}$	Levhalar	Malzeme
C160-B330	$t_{cf}=11,5\text{mm}$ $b_{cf}=160\text{mm}$ $h_c=160\text{mm}$ $t_{cg}=7,5\text{mm}$	$t_{bf}=11,5\text{mm}$ $b_{bf}=160\text{mm}$ $h_b=330\text{mm}$ $t_{bg}=7,5\text{mm}$	$t_{pl}=15\text{mm}$	Kolon-Kiriş S275 Levhalar S355
C320-B330	$t_{cf}=11,5\text{mm}$ $b_{cf}=160\text{mm}$ $h_c=320\text{mm}$ $t_{cg}=7,5\text{mm}$	$t_{bf}=11,5\text{mm}$ $b_{bf}=160\text{mm}$ $h_b=330\text{mm}$ $t_{bg}=7,5\text{mm}$	$t_{pl}=15\text{mm}$	Kolon-Kiriş S275 Levhalar S355
C480-B330	$t_{cf}=11,5\text{mm}$ $b_{cf}=160\text{mm}$ $h_c=480\text{mm}$ $t_{cg}=7,5\text{mm}$	$t_{bf}=11,5\text{mm}$ $b_{bf}=160\text{mm}$ $h_b=330\text{mm}$ $t_{bg}=7,5\text{mm}$	$t_{pl}=15\text{mm}$	Kolon-Kiriş S275 Levhalar S355
C640-B330	$t_{cf}=11,5\text{mm}$ $b_{cf}=160\text{mm}$ $h_c=640\text{mm}$ $t_{cg}=7,5\text{mm}$	$t_{bf}=11,5\text{mm}$ $b_{bf}=160\text{mm}$ $h_b=330\text{mm}$ $t_{bg}=7,5\text{mm}$	$t_{pl}=15\text{mm}$	Kolon-Kiriş S275 Levhalar S355
C800-B330	$t_{cf}=11,5\text{mm}$ $b_{cf}=160\text{mm}$ $h_c=800\text{mm}$ $t_{cg}=7,5\text{mm}$	$t_{bf}=11,5\text{mm}$ $b_{bf}=160\text{mm}$ $h_b=330\text{mm}$ $t_{bg}=7,5\text{mm}$	$t_{pl}=15\text{mm}$	Kolon-Kiriş S275 Levhalar S355
C960-B330	$t_{cf}=11,5\text{mm}$ $b_{cf}=160\text{mm}$ $h_c=960\text{mm}$ $t_{cg}=7,5\text{mm}$	$t_{bf}=11,5\text{mm}$ $b_{bf}=160\text{mm}$ $h_b=330\text{mm}$ $t_{bg}=7,5\text{mm}$	$t_{pl}=15\text{mm}$	Kolon-Kiriş S275 Levhalar S355

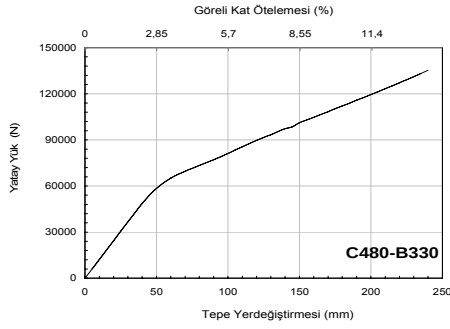
Gerçek bir deneysel çalışmada izlenecek şekilde yer değiştirme artımı adımları aynen takip edildiğinden deneysel çalışmada gözlemlenmesi beklenen davranışın benzeştirildiği söylenebilir. Bu koşullar altında elde edilen tepe yer değiştirmesi-yatay yük eğrileri aşağıda Şekil 3.19 olarak verilmiştir. Buradan oldukça açık şekilde görülebileceği gibi kolon genişliği arttıkça birleşim başlangıç rijitliği azalmaktadır. Bu durum çalışmamızda önerilen sayısal model kabulleri ile de uyumludur.



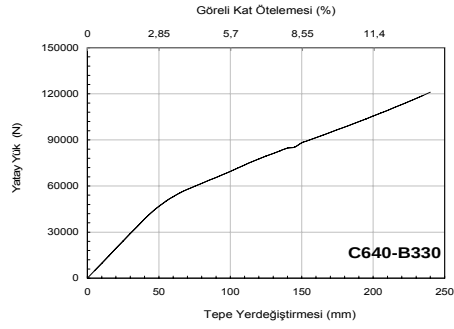
C160-B330



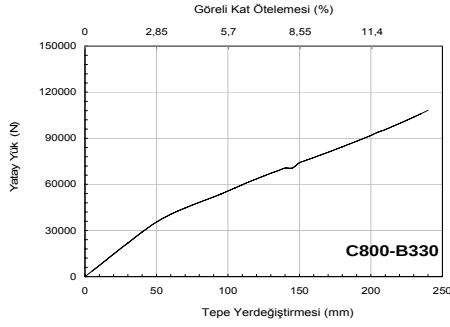
C320-B330



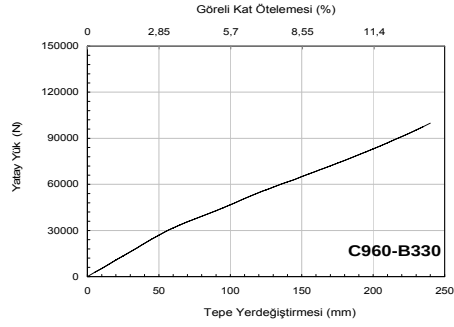
C480-B330



C640-B330



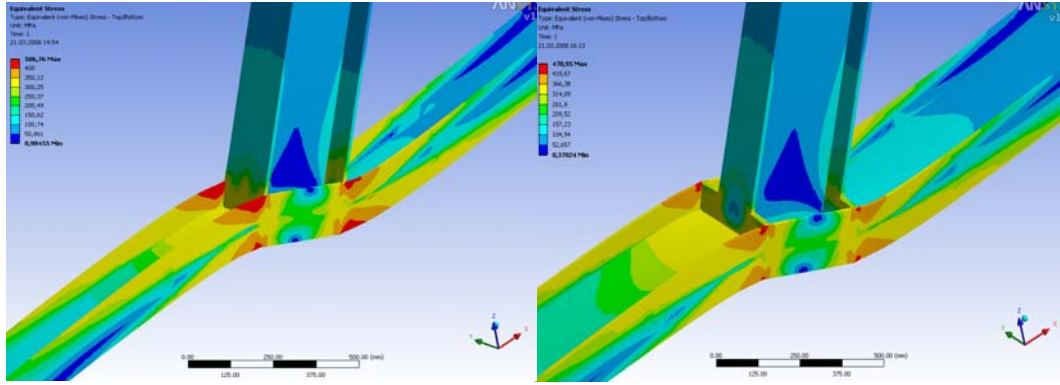
C800-B330



C960-B330

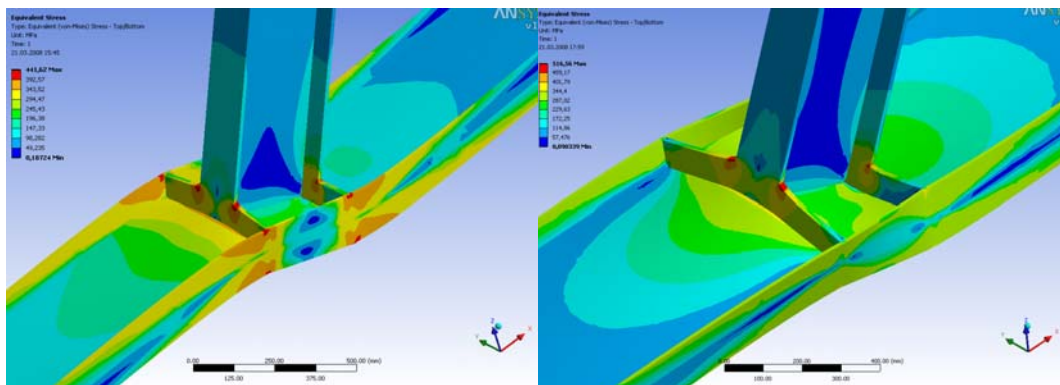
Şekil 3.19 : ANSYS incelemesinde elde edilen yük-tepe yer değiştirmesi sonuçları.

Gerilmeler geometriye bağlı olarak farklı oranlarda bir artış gösterse de (değişen rijitlik sebebi ile) gerilmenin artış ve akış yörüngesi her geometri için aynı kalmaktadır. Bu yük akışının önceki kısımda önerilen yük akış yörüngesi ile çakıştığı gözlemlenebilir. Bu koşullar altında elde edilen eşdeğer gerilme (Von Misses) dağılışları son adımlarda aldığı değerleri ile aşağıda Şekil 3.20 olarak verilmiştir.



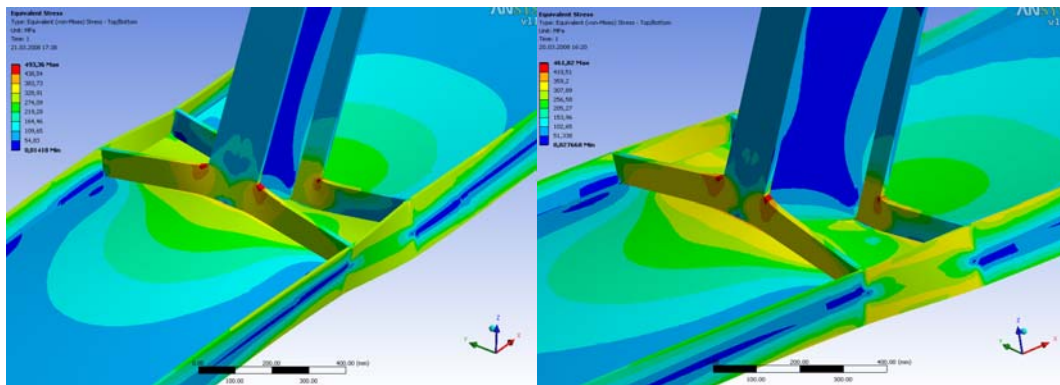
C160-B330

C320-B330



C480-B330

C640-B330



C800-B330

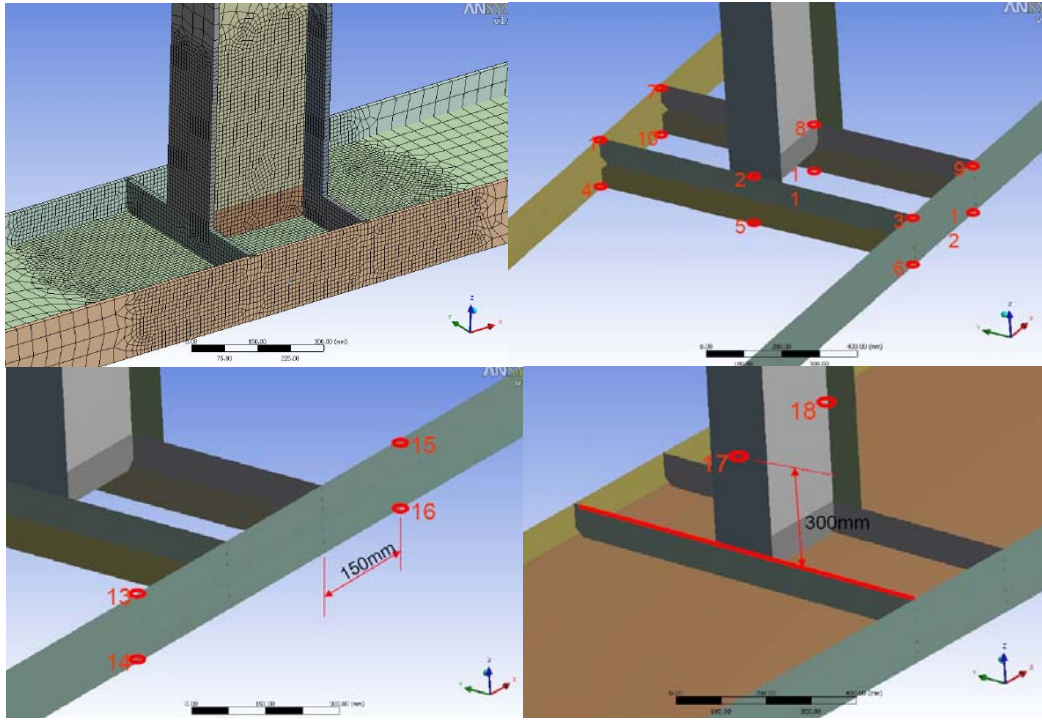
C960-B330

Şekil 3.20 : ANSYS incelemesinde son adımda tespit edilen eşdeğer (Von Misses) gerilme dağılışının şekil değiştirme ile birlikte görüntüleri.

Her bir model için, analiz sonuçları taranmış, birleşim davranışının gözlemlenebilmesi için model üzerinden kritik düğüm noktaları seçilmiş ve bu

düğüm noktalarında yer değiştirme adımları boyunca oluşan tüm iç kuvvet ve yer değiştirmeler kayıt altına alınmıştır.

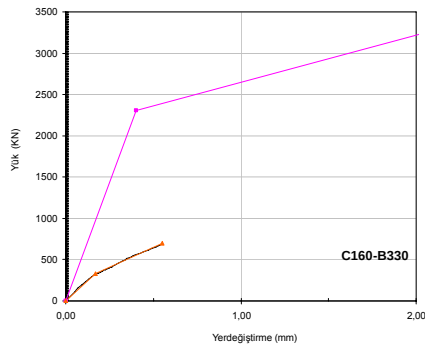
Düğüm noktası ve çevresinde verilerin yüksek hassasiyetini sağlayabilmek için daha detaylı sonlu eleman aralığı seçilmiştir. Seçilen noktalar ve yaklaşık geometri özellikleri aşağıda Şekil 3.21 olarak verilmiştir.



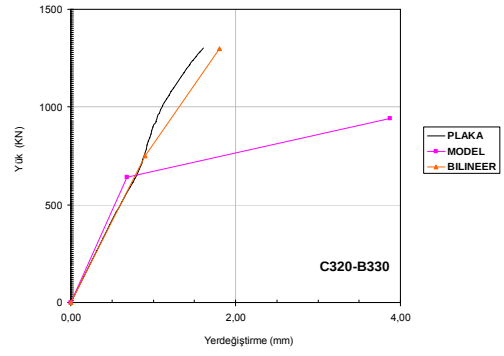
Şekil 3.21 : ANSYS modeli seçilen inceleme noktaları ve uzaklıkları.

Süreklilik levhalarının geometri oranlarının ve dolaylı olarak yük tesir bölgesinin genişliğinin değişiminin çalışmamız dahilinde kiriş analojisi kullanılarak hesaplanabilecek davranış ile karşılaştırması yapılmıştır. Sonuçları karşılaştırmalı grafikler halinde aşağıda Şekil 3.22 olarak verilmiştir.

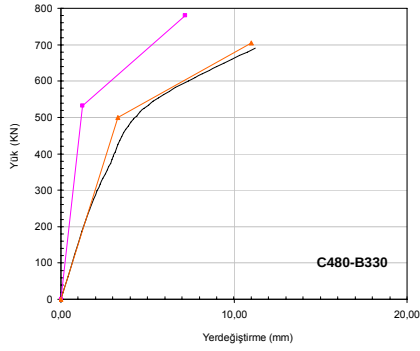
Yapılan analize ait detaylı veri ve çıktı bilgileri, verilerin değerlendirilmesi metodu ile ilgili formüller eklerde “**Ek A4**” olarak ayrıca incelemeye sunulmuştur.



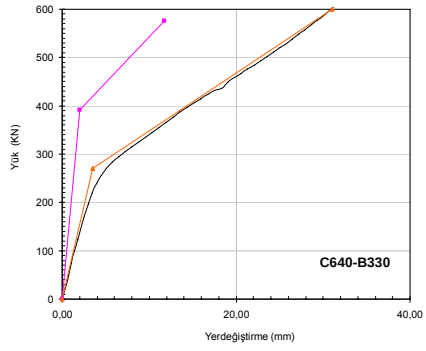
C160-B330



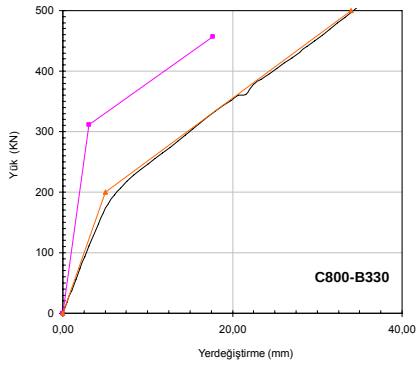
C320-B330



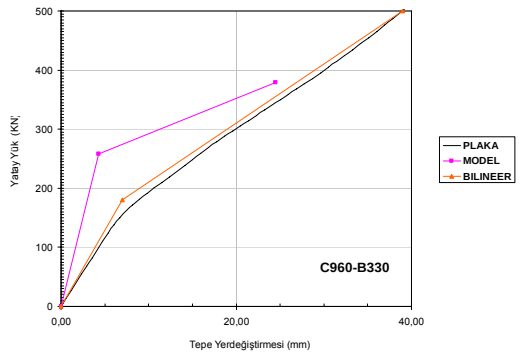
C480-B330



C640-B330



C800-B330



C960-B330

Şekil 3.22 : Süreklilik levhası davranışı ANSYS modeli ile önerilen basitleştirilmiş davranış modelinin karşılaştırılması.

Süreklilik levhası davranışı için hesaplanan ve sonlu elemanlar analizi sonucu elde edilen değerlerin sayısal olarak karşılaştırılması amacı ile Çizelge 3.2 verilmiştir.

Ayrıca bu çizelge içinde değerlerin yaklaşıklık oranları ve önerilen düzeltme oranları da verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Süreklilik levhası için hazırlanan ANSYS modelleri ve çalışmada önerilen basitleştirilmiş sayısal model karşılaştırmalı değerlendirmesi.

Analiz Numarası	ANSYS Modeli Başlangıç Rijitliği kN/mm S_{1ansys}	Öneri Model Başlangıç Rijitliği kN/mm S_{1model}	S_1 Rijitlikleri Oranı	ANSYS Modeli Akma Sonrası Rijitliği kN/mm S_{2ansys}	Öneri Model Akma Sonrası Rijitliği kN/mm S_{2model}	S_2 Rijitlikleri Oranı
C160-B330	1941	5730	0,338	973	571	1,704
C320-B330	833	940	0,886	611	94	6,500
C480-B330	151	421	0,358	26	42	0,619
C640-B330	77	191	0,403	12	19	0,631
C800-B330	40	102	0,392	10	10	1,000
C960-B330	25	60	0,416	10	6	1,667

Başlangıç rijitliklerinde geometrik değişime (kolon yüksekliğinin artışı) bağlı paralel bir azalış dikkat çekmektedir. Düşen rijitlik birleşimin neredeyse mafsallı bir birleşim gibi davranmasına sebep olmaktadır.

Değişken geometri parametrelili analizler kolonun kiriş bağlantısı yönünde atalet momentinin değişmediği ve kirişin de tüm analizler için aynı tutulduğu dikkate alınır (kolon-kiriş rijitlik oransal değişimi ihmal edilebilir düzeyde) zayıf yön birleşimlerinde incelenen tiplerin etken rijitliğinin süreklilik levhalarından ne derecede bağlı olduğunu görebiliriz.

Lineer olmayan sonlu eleman analiz sonuçları ile basitleştirilmiş sayısal model önerisi karşılaştırıldığında, basitleştirilmiş sayısal modelin başlangıç rijitliği açısından tutarlı bir farklılıkla sonlu eleman analizine paralel sonuçlar verdiği, dolayısı ile bir düzeltme oranı ile revize edilerek daha tutarlı bir yaklaşıklık sağlanmasının mümkün olduğu görülebilir. Bu sebeple basitleştirilmiş sayısal modelde sayısal analiz sonuçları ile daha tutarlı sonuçlar bulunabilmesi için öneri

model geometri parametresine bağı olarak ayrıca revize edilecek, daha önce önerilen denklem 3.10 aşağıda verildiği şekilde yeniden düzenlenecektir.

$$\frac{F}{d_{cp}} = K_{cp} = \frac{32 * E * t_{cp} * b_{cp}^3}{h_{cp}^3} * \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 \quad (3.13)$$

Burada yapılan kabul kiriş benzetmesi yapılan süreklilik levhasının hem “ $x=b_{cp} / h_{cp}$ ” oranına ve hem de “ $y=c/h_{cp}$ ” oranına bağı bir şekilde davranış gösterdiği. Bu iki ana parametre tesirlerinin etkileşimi de dikkate alınır bir şekilde birleştirilir ve tek bir parametre ile tarif edilirse “ $z=c*b_{cp} / h_{cp}^2$ ” oranı ile tarif edilen α_3 çarpanı için bir takım önerilerde bulunulabilir.

Denklemin revizyonunda ana parametrelerin etkileşimini ve lineer olmayan tesirlerin etkisini dikkate almak için önerilen α_3 çarpanı için “ $x=c*b_{cp} / h_{cp}^2$ ” oranının “0” ile “3” arası değiştiği bölgede ayrı ve “3” ile “6” arası değiştiği bölgede ayrı eğri uydurma yapılması gerekmiştir. Geçerlilik bölgeleri ve eğri uydurma yöntemi ile yaklaşık olarak yapılan düzeltmelerin detayları eklerde “**Ek A4**” olarak verilmiştir.

Geçerli olduğu aralıklarda önerilen denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\alpha_3 = -0,542z^2 + 2,182z - 1,31 \quad 0 < “z=c*b_{cp} / h_{cp}^2” < 3 \quad (3.14a)$$

$$\alpha_3 = -0,0052z^2 + 0,0636z + 0,2191 \quad 3 < “z=c*b_{cp} / h_{cp}^2” < 6 \quad (3.14b)$$

3.4 Ön Sayısal İnceleme ve Modelleme Çalışması Sonuçları

Yapılan yaklaşımların hem lineer bölgede hem de lineer olmayan bölgede geçerliliği sayısal metotlar ile sorgulanmış ve sonuçları incelenmiştir.

Bu sonuçlara göre elde edilen değerler incelenmekte olan birleşim tipi için çalışmamızda önerilen basitleştirilmiş model ile uyumlu olacak biçimde sayısal model önerisi iyileştirilmiştir.

Deneyisel çalışma ile de bu sonuçların karşılaştırılması yapılacak ve karşılaştırma sonuçları yorumlanacaktır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA HAZIRLIKLARI

Bu bölümde deneysel çalışmanın yapıldığı laboratuvarların ve koşullarının tanımı, çalışmanın hedefleri, deney numunelerinin tespiti için dikkate alınan esaslar, deney düzeneği için yapılan tasarımın detayları, deneylerde kullanılan bağlantı ve destek sistemlerinin tasarım detayları ve toleransları, yükleme patronu detayları ve veri kayıt sistemi detayları tartışılmıştır.

Esas alınan deneysel çalışma üç ana grup halinde ve her grup için üçer adet örnek numuneyi içerecek şekilde planlanmıştır. Bu grupların isimlendirilmesi ve genel tanımları aşağıda Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Deneysel çalışma numuneleri ve özellikleri.

Numune Adı	Kolon Tipi	Kiriş Tipi	Yükleme Tipi	Numune Tipi
A Grubu Deneyler				
A1-1	HEA 300	IPE 330	Monoton	Güçlü Kolon
A2-1	IPE 330	IPE 330	Monoton	Güçlü Kiriş
A3-1	IPE 330	HEA 180	Monoton	Eşit Kapasite
B Grubu Deneyler				
B1-1	HEA 300	IPE 330	Çevrimsel	Güçlü Kolon
B2-1	IPE 330	IPE 330	Çevrimsel	Güçlü Kiriş
B3-1	IPE 330	HEA 180	Çevrimsel	Eşit Kapasite

4.1 Deneysel Çalışma Hedefleri ve Başarı Ölçütleri

Diğer araştırmacılar tarafından yürütülen geçmiş çalışmaların zayıf eksen kolon kiriş birleşimleri üzerine ortaya koyduğu sonuçlar birleşimin, bileşenlerine dağıtılarak

incelenmesi esas alınarak yorumlanmamıştır. (Driscoll ve diğerleri, 1978) Bu sebeple de davranışın iyileştirilmesi önerilerini ortaya koyarken bir bütün olarak rijitliğin arttırılması veya dayanımın ve dönme kapasitesinin arttırılması esaslarından çok, sınırlı adette yapılmış deneyde gözlenen göçme biçimlerinin engellenmesine yönelik tavsiyeler listelenmiştir.

Bu tezin konusunu oluşturan çalışma kapsamında deneysel hedefler tespit edilirken, ön sayısal analiz çalışmalarında kritik bileşen olarak görev gördüğü tespiti yapılan elemanlardaki şekil değiştirmelerin monoton artan yer değiştirme etkisinde incelenmesi ve bu elemanların rijitlik ve sınır dayanımlarının tespit edilmesi hedefi öncelikli hedef olarak benimsenmiştir.

Bu hedef doğrultusunda zayıf kirişli, zayıf kolonlu ve eşit dayanımlı olmak üzere, üç tipik birleşimden oluşan bir deney seti planlanmıştır.. Bu set yukarıda Çizelge 4.1’de “A Grubu Deneyleri” olarak adlandırılan çalışmayı ifade eder.

Monoton artan yük tesirinde incelenen birleşimlerde, kolon-kiriş birleşiminin başlangıç rijitliğinin tespiti ve akma şekil değiştirmesinin bulunması ana hedef olarak belirlenmiştir. Deneylerde kayıt edilecek olan “yatay yük-toplam yer değiştirme” eğrisi ve birleşim bölgesine ait “moment-dönme” eğrisinin önceki bölümde önerilen metotlarla elde edilen sayısal model sonuç eğrilerine yakın sonuçlar vermesi beklenmektedir.

Bir sonraki adımda ise ilgili tipte düzenlenmiş zayıf eksen kolon-kiriş birleşimlerinin çevrimsel yer değiştirme etkisinde davranışının gözlenmesi, dayanımı ve rijitliğinin ilerleyen çevrim adımlarında ve artan enerji sönümü ile değişiminin irdelenmesi hedef alınmıştır. Aynı önceki adımda olduğu şekilde ve elemanlar kullanılarak yukarıda Çizelge 4.1’de “B Grubu Deneyler” olarak adlandırılan çalışma planlaması yapılmıştır.

Çevrimsel yük ile yapılan deneysel çalışmada elde edilen, birleşimin davranışını genel olarak ifade eden moment-dönme eğrisinin, rijitlikler, limit dayanımlar ve açığa çıkan enerji miktarı açısından sayısal sonuçlara yakınlığı ve tipik çevrim karakteristiklerinin benzerliği kabul edilebilir başarı ölçütleri olacaktır.

4.2 Araştırma Laboratuvarı İmkânları ve Çalışma Koşulları

4.2.1 Laboratuvar fiziksel özellikleri

Çalışma planlaması yapılırken deneysel çalışmanın İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarlarında yapılacağı esası doğrultusunda hazırlıklar yürütölmüştür.

Numunelerin fiziksel olarak yerleşildiğı alan, laboratuvarda mevcut bulunan, 4,55m genişliğinde 5,55m uzunluğunda 0,60m kalınlığında güçlendirilmiş döşeme ve 750kN kapasiteli güçlendirilmiş duvarın bulunduğu bölümdür.

Yüklemenin yapılmasında yer değıştirme kontrollü olarak 250kN kapasitede yükleme yapabilen MTS hidrolik piston sistemi kullanılmıştır.

Gerçek boyutta, ölçeklendirilmemiş numuneler kullanılmasına karşın, yatay deney düzeneğı kullanılması planlandığından, yükün uygulanması ve deney numunelerinin yerleştirilmesi ile ilgili olarak laboratuvarda yükseklik ile ilgili bir sıkıntı oluşmamıştır.

4.2.2 Deneysel çalışma planlamasında dikkat edilen konular

Deney düzeneğı ve numunelerin seçiminde, yükleme sistemi kapasitesi ve fiziksel boyut sınırları dikkate alınmıştır. Numunelerin tasarımı ve detaylandırılması ile ilgili olarak eklerde “**Ek B.1**” de detaylı bilgi verilmiştir.

Deneysel çalışma öncesinde deneysel çalışmada kullanılan tüm malzemelere ait örnekler alınmış ve alınan tüm numuneler akma ve kopma dayanımlarının ve şekil değıştirmelerinin ölçülmesi amacı ile İstanbul Teknik Üniversitesi malzeme laboratuvarlarında çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Bu deneylerde elde edilen sonuçlar bir tablo halinde ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

Deneysel çalışmaya başlanması öncesinde devam etmekte olan, farklı amaç ve malzemeler ile yürütölen bir grup deneysel çalışma içinde görev alınmış ve hedeflenen zayıf eksen kolon-kiriş birleşimleri ile ilgili çalışmada esas alınmak üzere,

- Deney süresinin ve numunelerinin planlanması
- Malzemelerin temin edilmesi
- Malzemelerin taşınması
- Numunelerin imal edilmesi
- Numunelerin laboratuvar koşullarında saklanması
- Numunelerin montajı
- Laboratuvar yükleme donanımı
- Laboratuvar veri okuma donanımı ve ilgili kablo bağlantı düzenekleri
- Kayıt alınan sayısal verilerin saklanması, analizi ve sunumu yapılabilir formata getirilmesi

konularında, yürütülecek çalışma basamakları için planlamalar yapılmıştır.

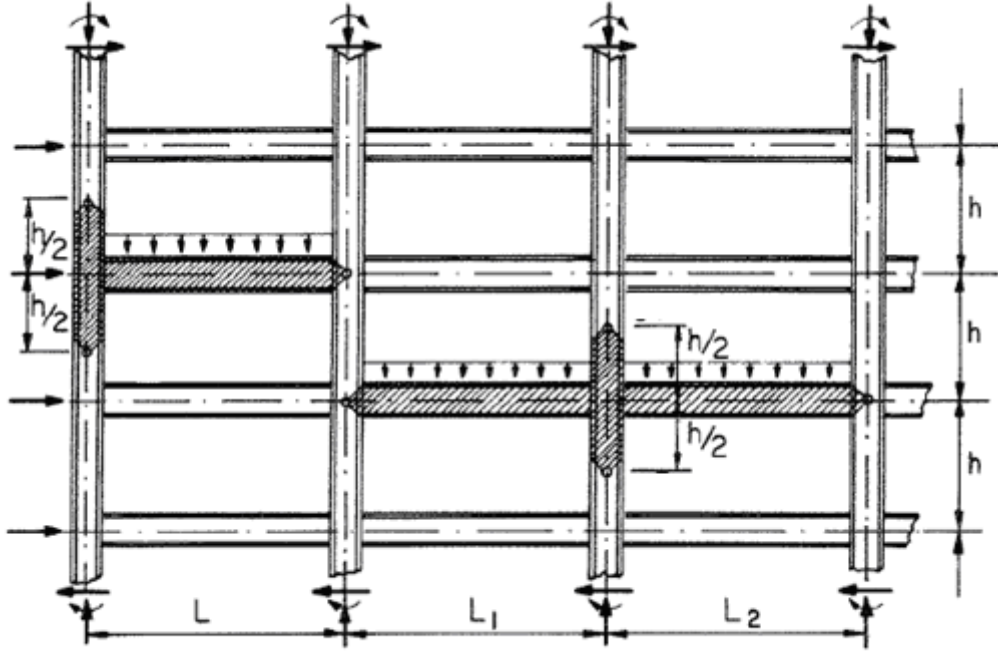
4.3 Deneyisel Çalışma Kabulleri ve Numuneler

4.3.1 Numunelerin seçimi için yapılan kabuller

Deneylerde kullanılan numuneler hazırlanırken, birleşim davranışını izole edebilmek amacı ile yatay düzenek esas alınmıştır. Düzenegin esas aldığı geometri ve şema aşağıda Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Yürütülen çalışmada dış kolon-kiriş birleşimi tipi esas alınmıştır. Bir, çok katlı çerçevesel yapı içerisinde dış aks kolon kiriş bağlantısını örnek olarak alan bu düzenek aynı zamanda referans yayınlarda ve araştırmaya temel alınan kaynaklarda da numune tasarımında ve seçiminde esas alınan moment aktaran kolon-kiriş birleşim sistemini ifade etmektedir.

Kolon üzerindeki normal kuvvetin, incelenen birleşim tipi davranışı üzerindeki etkisi bu araştırmada düzenek hazırlanırken ihmal edilmiştir.

Yatırılmış kolon gövdesinde oluşturulan bölgeye kaynak ile bağlanan kirişler yükleme kolu olarak kullanılmıştır. Numuneler “A” ve “B” olarak iki farklı grupta hazırlanmıştır.



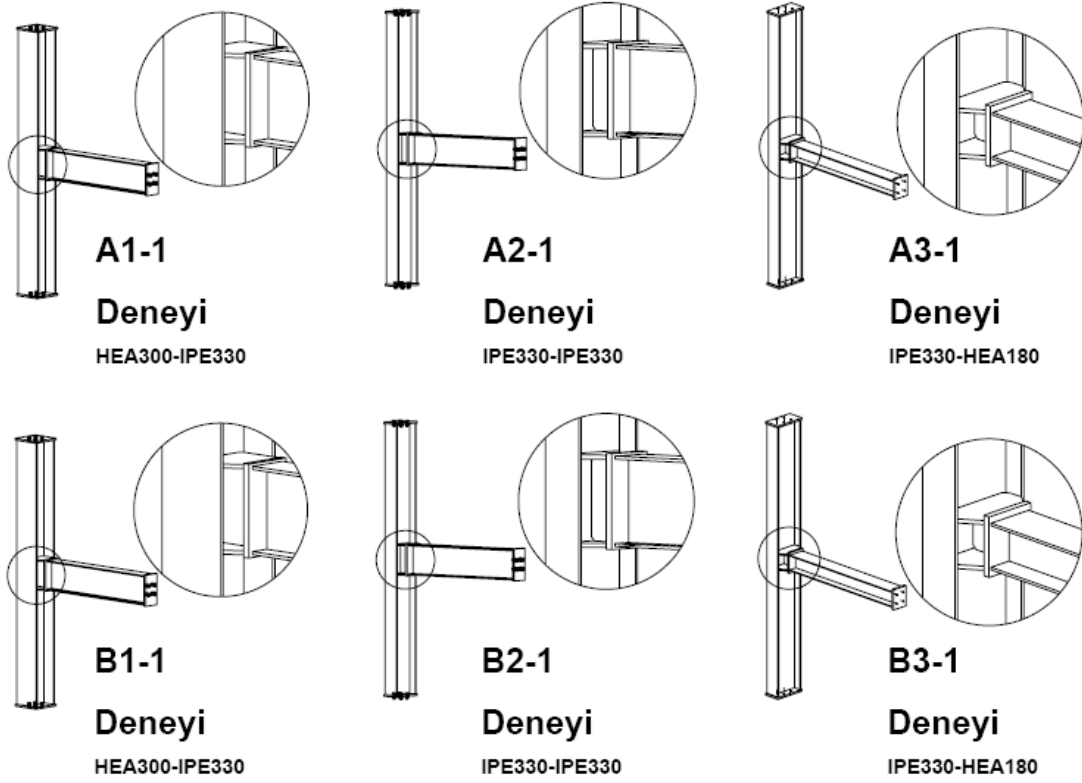
Şekil 4.1 : Deneyel çalışma için esas alınan yapı şeması üzerinde iç ve dış kolon-kiriş birleşimlerinin temsil ettiği bölgeler. (Krawinkler ve diğ., 1971)

“A” ve “B” tipi deney numunelerinde yatay hazırlanmış, gerçek ölçekte zayıf eksen kolon-kiriş moment birleşimi numunesinin davranışı izlenmek istenmiştir.

Seçilen tipik deney setlerinde aynı kolon ve kiriş elemanları kullanılmıştır. Bu şekilde deney numunelerinin karşılaştırılabilmesi hedeflenmiştir. Karşılaştırmada etken olabilecek malzeme mukavemeti değerlerinde saçılımın tespit edilebilmesi için detaylı bir malzeme örnekleme yapılmıştır.

Tipik kat yüksekliği “h” olarak 3,00m ve kiriş açıklığı “L” olarak yaklaşık 6,00m değerleri esas alınmıştır.

Her set için “1” alt indis numaralı deneyler güçlü kolon zayıf kiriş birleşimler temsil etmektedir. Benzer şekilde “2” alt indis numaralı deneyler güçlü kiriş zayıf kolon ve “3” alt indis numaralı deneyler eşit kapasiteli kolon-kiriş durumunu ifade eder.



Şekil 4.2 : Deneyisel çalışma tasarım ve detaylandırması yapılmış A1-1, A2-1, A3-1, B1-1, B2-1, B3-1 numuneleri ve birleşim bölgesi detayları.

4.3.2 Numunelerin tasarımı, detaylandırılması

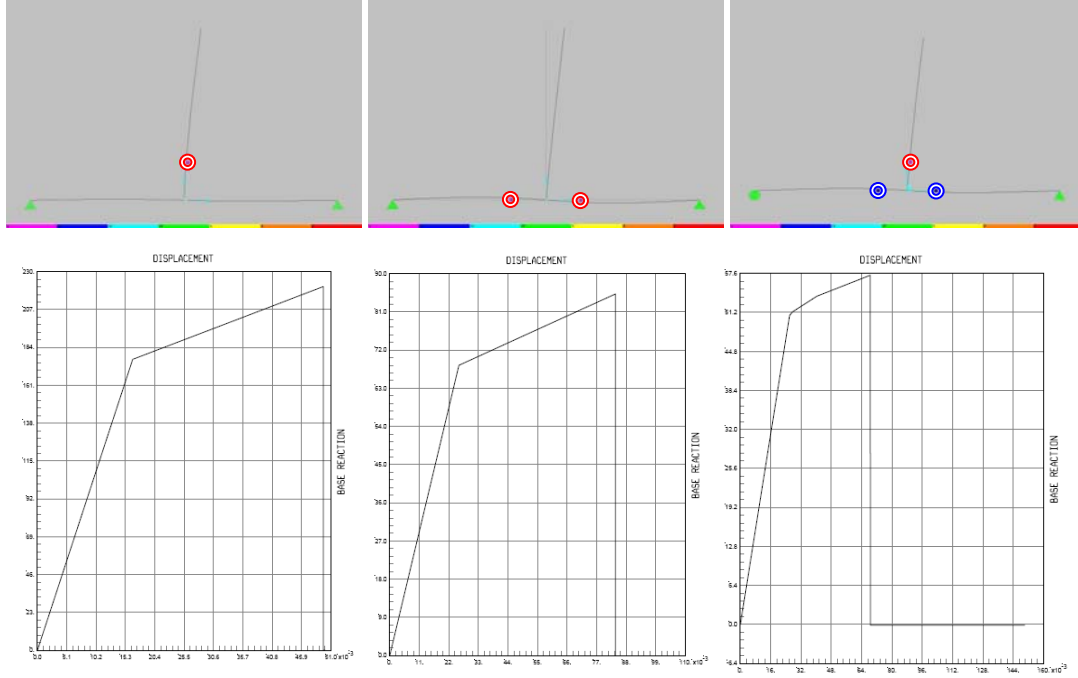
Numunelerin tasarım ve detaylandırılmasında deney için öngörülen düzeneğin ve yükleme sisteminin kapasitesi dikkate alınmıştır.

Hazır endüstriyel yapısal çelik profiller arasından bu kapasiteler ve deney hedefleri doğrultusunda uygun seçimler yapılmış daha sonra seçilen kolon ve kiriş elemanların hesabı ve detaylandırılması yapılmıştır. Yapılan ön boyutlandırma analizleri ve hazırlanan imalat detayları eklerde “**Ek B.1**” olarak verilmiştir.

Aşağıda Şekil 4.3’de yapılan ön analizlerde elde edilen itme kuvveti ve yer değiştirmesi grafiği görülmektedir.

Burada görülebileceği gibi zayıf kiriş esas alınan “1” grubu deneylerde düşeyde konumlanmış olan kiriş elemanında ilk plastik mafsall oluşumu gözlenmektedir. “2” grubu deneylerde ise yatay konumda bulunan kolon elemanı, zayıf kolondan beklendiği gibi kiriş birleşimi olan bölgenin her iki yanından plastik mafsall oluşumu

göstermektedir. “3” numaralı deneylerde ise eşit kapasiteye sahip olması beklenen kolon ve kiriş elemanları hemen-hemen aynı anda plastik mafsal oluşumuna izin vermektedir.



Şekil 4.3 : Ön analizlerde elde edilen numune kapasiteleri ve göçme mekanizmaları.

4.3.3 Numunelerin imalatı

Numunelere ait tasarımı yapılan ve detaylandırılan, uygulama projeleri haline getirilmiş resimler kullanılarak imalatlar yapılmış, her adımda yapılan kalite kontrolleri ile imalat kalitesi denetim altında tutulmuştur.

İmalat aşamalarının tümü adımli onay prosedürü ile takip edilmiş, her adımda, geometri, imalat detayı uygunluğu ve imalat kalitesi uygunluğu ana başlıkları altında denetim yapılmıştır. Yapılan kalite kontrollerinde kullanılan QA-QC formlarının bir kısmı eklerde “**Ek B.2**” olarak verilmiştir. İmalat sırasında ortaya çıkabilecek sıkıntıları en aza indirmek amacı ile imalatların tam teşekküllü bir çelik imalat atölyesinde yapımı planlanmıştır. Malzemenin taşınmasından başlayarak laboratuara malzemenin teslimi aşamasına dek tüm aşamalarda iç gerilemelerin oluşumunu ve geometrinin bozulmasına sebep olabilecek tüm etkilere karşı önlemler alınmıştır.

İmalatlar sonrasında tüm numuneler “Sa2.5” kalitesine ulaşıncaya kadar kumlanmış ve yapılan bu yüzey temizliğinin ardından nakliye gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4 : Deneysel çalışma için seçilen HEA300 kolon – IPE330 kiriş birleşimi.



Şekil 4.5 : Deneysel çalışma için seçilen IPE330 kolon – IPE330 kiriş birleşimi.



Şekil 4.6 : Deneysel çalışma için seçilen IPE330 kolon – HEA180 kiriş birleşimi.

Laboratuara nakliyesi yapılan numuneler numaralandırılmış ve sırasına bağlı olarak deney öncesi montajı yapılana dek uygun biçimde saklanmışlardır. Yukarıda Şekil

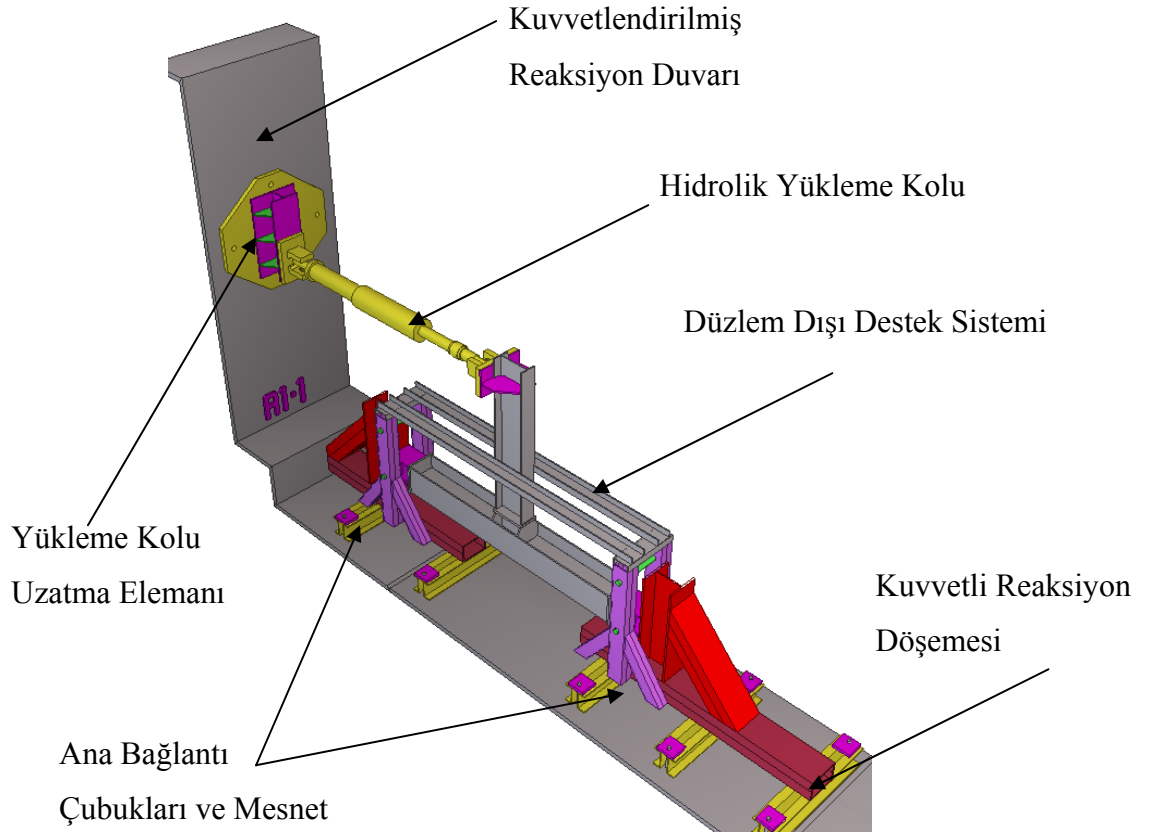
4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’de imalat sonrası B grubu numuneler nakliyeden hemen önceki halleri ile görülmektedir.

Deney tarihlerinden önce, montaj sırasında numunelerin üzerine veri toplama sistemine yardımcı olmaları amacı ile basit küçük yardımcı ilaveler yapılmıştır. Bu ilavelerin birleşim bölgesinde olabildiğince etki ortaya çıkarmayacak biçimde yerleştirilmesi ve bağlanması sağlanmıştır. İlerleyen bölümlerde deney düzeneği tarif edilirken bu sistemlere ait detaylı bilgiler de verilmiştir.

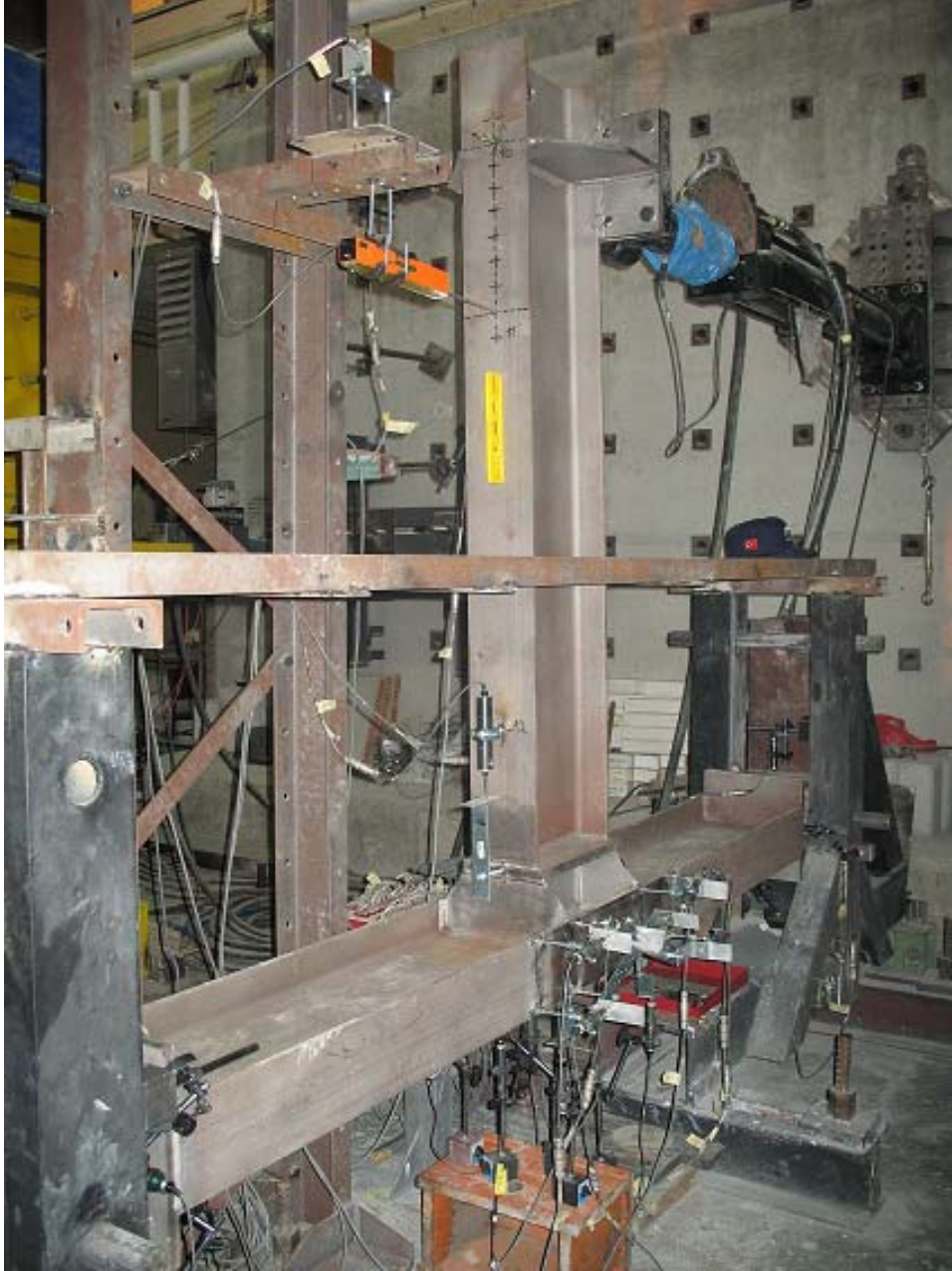
4.4 Deney Düzeneği

4.4.1 Deney düzeneği detayları

Monoton artan yük ile test edilen “A” Grubu numuneler daha basit ve hazır bulunan bir deney düzeneği üzerinde test edilmişlerdir. Bu düzeneğe ait genel sistem şeması aşağıda Şekil 4.7’de ve yerinde mevcut bulunan düzeneğin yerindeki görünüşü aşağıda Şekil 4.8’de verilmiştir. Detaylı çizimler eklerde “**Ek B.3**” olarak verilmiştir.



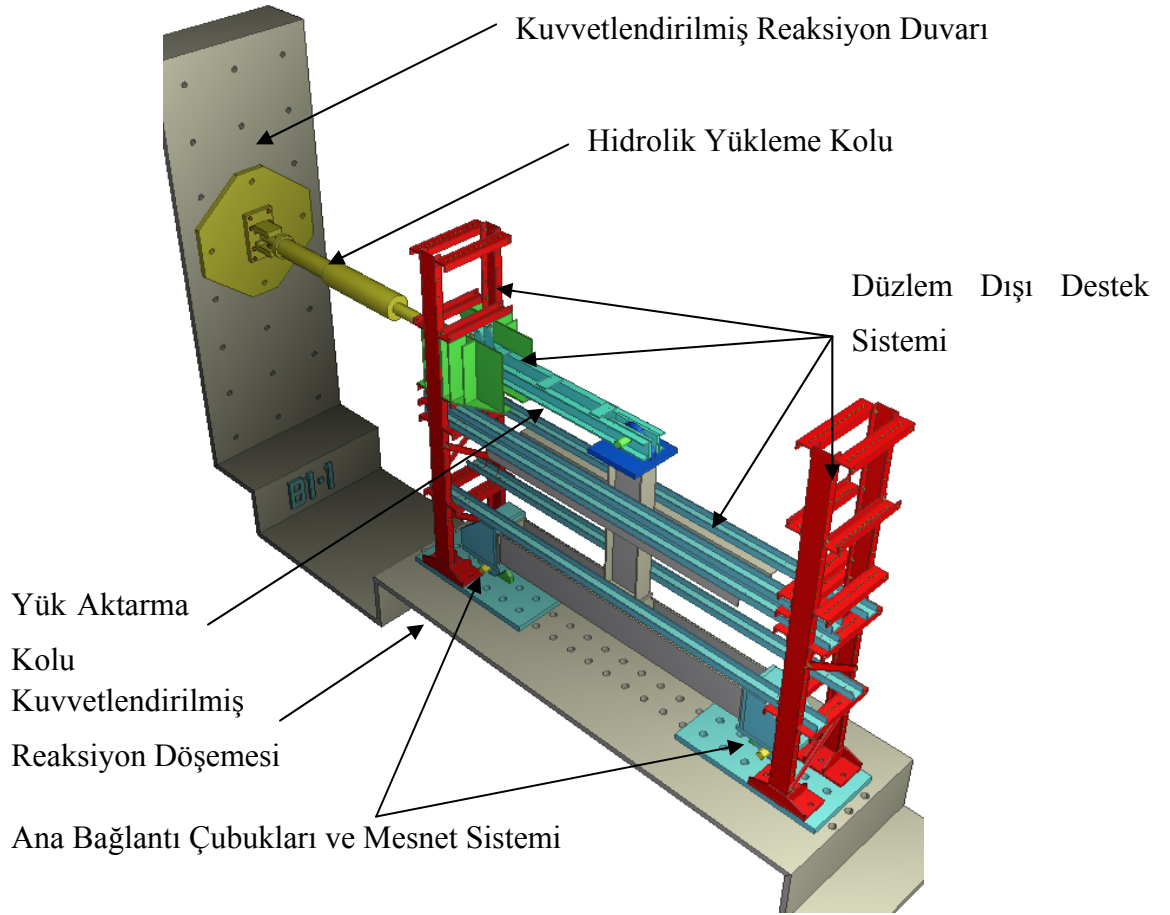
Şekil 4.7 : “A” Grubu deneylerde kullanılmak üzere tasarlanan düzenek şeması.



Şekil 4.8 : “A” Grubu deneylerde kullanılan düzeneğin yerindeki fotoğrafı.

Çevrimsel yük ile denenecek numunelerin ise hem düzlem dışı destek sistemi hem de yük kolu açısından farklı bir sisteme bağlanmaları planlanmış mevcut sistemde testi yapılan “A” grubu numunelerin geometri bakımından değişmesine izin verilmeden tamamen yeni bir düzene tasarlanarak “B” grubu deney serileri bu düzene üzerinde yüklenmiştir.

Bu düzeneğe ait genel sistem şeması aşağıda Şekil 4.9’da ve imal edilerek montajı yapılmış olan düzeneğin fotoğrafı aşağıda Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.9 : “B” Grubu deneylerde kullanılmak üzere tasarlanan düzeneğin şeması.



Şekil 4.10 : “B” Grubu deneylerde kullanılan düzeneğin yerindeki fotoğrafı.

4.4.2 Yükleme düzeneği detayları

Monoton artan yük ile test edilen ‘‘A’’ Grubu numunelerde yük aktarımı için hidrolik sistemin doğrudan numuneye bağlanması sağlanmıştır. ‘‘B’’ tipi deneylerde hazırlanan deney düzeneğinde numunenin yerleşimi sebebi ile güçlendirilmiş duvardan uzaklık fazladır. Kontrollü yatay yer değiştirmelere neden olacak yükleme için artan genlikte yer değiştirme adımlarında, bozulmayacak bir yükleme düzeneği kurulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla revize edilen ve bir uzatma kolu vasıtası ile sağlanan bağlantıyı gösteren yeni sistem aşağıda şekil 4.11 ve şekil 4.12 olarak verilmiştir.



şekil 4.11 : Yükleme kolu ara bağlantı elemanı.

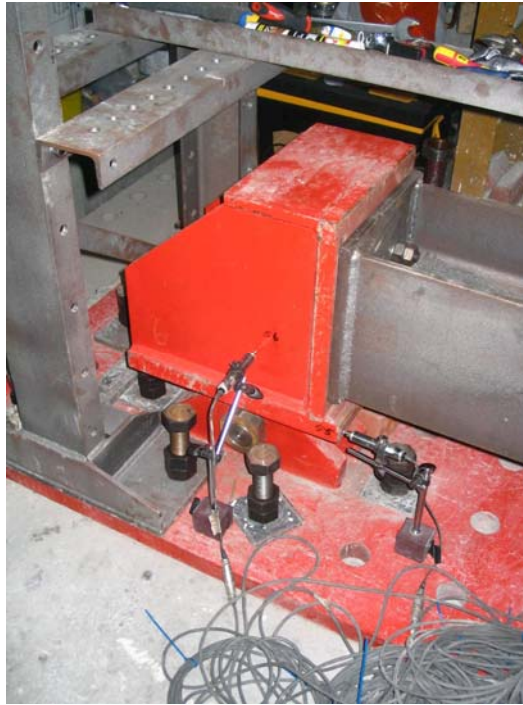


şekil 4.12 : Yükleme sistemine ait yatay ve düşey düzlem dışı destek sistemi.

Yükleme adımlarından bağımsız yatay yer değiştirmeyi orta mafsal noktasında engelleyen, kenar düzleyiciler uzatma kolu burkulmasını engellenmiştir. Düşeyde mafsal noktası etrafında büyük yer değiştirme adımlarında bozulma olmaması için vinçten askılı gergi halatı kullanılmıştır.

4.4.3 Numune bağlantı düzeneği

Numunelerin güçlendirilmiş zemine bağlantıları aşağıda Şekil 4.13’de turuncu renkli ana bağlantı elemanları yardımı ile yapılmıştır. Deney sırasında alınan yer değiştirme okumalarında bozulmalara neden vermemek amacı ile, bu ara bağlantı elemanlarının hareket toleransları çok az tutulmuştur. Bağlantı cıvataları yüksek mukavemetli ve yarı ön gerilmeli olarak seçilmiş bu sayede kayma ve benzeri hataların oluşması engellenmiştir. İmalat detayları eklerde “**Ek B.3**” olarak verilmiştir.



Şekil 4.13 : Zemin bağlantı başlıkları.

4.4.4 Düzlem dışı destek düzeneği

Deneysel çalışmanın amacına ulaşması için en önemli düzenek elemanlarından biri numunenin düzlem dışı destek sistemidir. Yapılan deneysel çalışmada bu konuda daha az hatalı bir sonuca ulaşabilmek hedeflenmiş dolayısı ile alınan düzlem dışı kontrol okumaları yardımı ile tüm önlemlere rağmen oluşan düzlem dışı yer

değiştirmeler kayıt altına alınmıştır. Aşağıda şekil 4.14, şekil 4.15 ve şekil 4.16’da düzlem dışı destek düzeneğinin çeşitli görünüşleri verilmiştir.



şekil 4.14 : Düzlem dışı destek düzeneğinin montaj sırasında.



şekil 4.15 : Numune düzlem dışı destek sistemi ön görünüş.



Şekil 4.16 : Numune düzlem dışı destek sistemi yan görünüş.

Yürütülen çalışmalarda yapılan gözlemler yardımı ile düzlem dışı destek sisteminin ilerleyen yer değiştirme adımlarında da etkisini koruyabilmesi için revize edilmesi sağlanmıştır. Bu sayede büyük yer değiştirmelerde dahi düzlem dışı yer değiştirme oranı %2-3 civarı olarak kalmış ve alınan verinin sağlıklı olması güvence altına alınmıştır.

4.4.5 Hidrolik sistemin güçlendirilmiş duvara bağlantısı

MTS Firması tarafından üretilmiş olan ve 250kN itme-çekme kapasitesine ve her iki yönde 300mm yer değiştirme kapasitesine sahip olan hidrolik sistemin ve bağlantılarının her ne kadar tüm deneylerde tam kapasiteye ulaşmıyorsa da deneyler sırasında oluşan tesirleri güçlendirilmiş duvara güvenle aktarması gerekmektedir.

Bu amaçla duvar üzerinde 0.50m aralıklarla hazırlanmış olan ana bağlantı noktaları arasında 60mm kalınlıkta bir ikincil bağlantı levhası oluşturulmuş, duvara 33mm çapında ön germe verilen yüksek mukavemetli çelik çubuklar ile bağlanan bu levha üzerine de hidrolik sistem 22mm çapında ön-germe verilmiş yüksek mukavemetli bulonlar ile bağlanmaktadır.

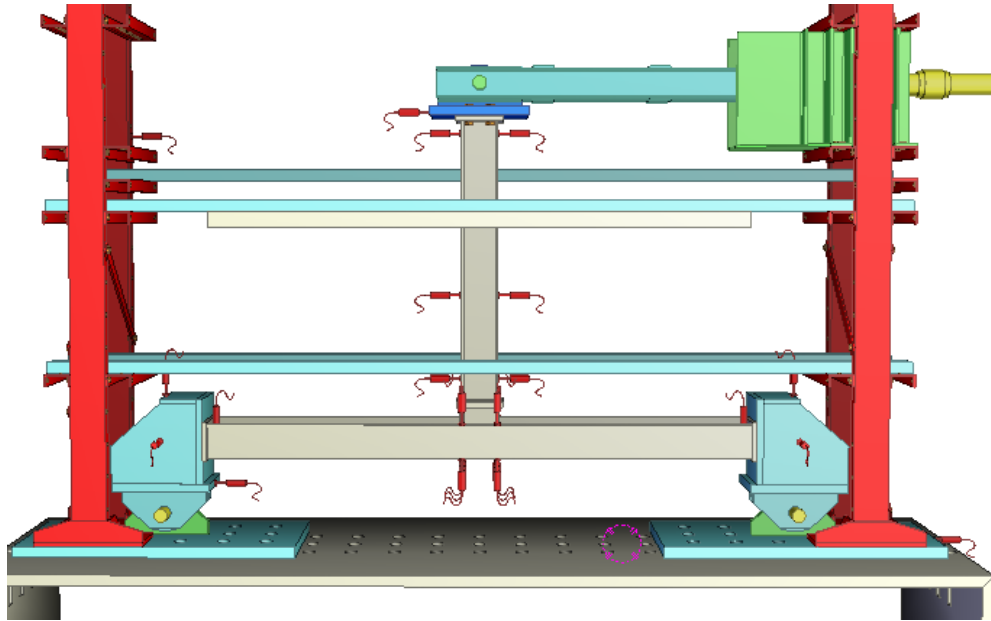
“A” Tipi deneylerde sadece tek yönlü itme uygulandığından tersinir kuvvetlerin etkisi ihmal edilerek sadece bir basit yükseklik ayarı sistemi yeterli görülmüştür.

“B” tipi deneylerde ise yüklerin tersinir oluşması ve özellikle B1-1 deneyinde güçlendirilmiş duvara tam kapasite ile hem itme ve hem de çekme aktarılıyor olması sebebi ile bağlantılarda özel önlem alınmış, mevcut bağlantı levhası kapasitesi delikleri yeniden düzenlenerek artırılmıştır.

4.5 Veri Okuma ve Kayıt Sistemi

4.5.1 Veri okuyucu sistemin yerleşimi

Deneyisel çalışmada iyi kurulmuş şekil değiştirme-gerilme okuma düzeneği iki ana görevi tam olarak yerine getirmelidir. Bunların birincisi düzenden beklenen davranışın gözlenmesi amacı ile yeterli miktarın ve hassasiyetin sağlanmasıdır. İkinci ana görev ise düzlem dışı hareketler ve benzeri, beklenmeyen kayma ve eğilmeler gibi, alınan verinin sağlıklı olmasına engel olan olayları, ortaya çıkmaları halinde tanımlamaya ve gerektiği taktirde verinin temizlenmesine yardımcı olmaya yarayacak yerlerde ve hassasiyette okumaların alınmasıdır. Veri toplama ve kayıt sisteminin tasarlanan şematik görünüşü aşağıda Şekil 4.17’de verilmiştir. Tüm deneyler için kullanılan detaylar eklerde “**Ek B.4**” olarak verilmiştir.

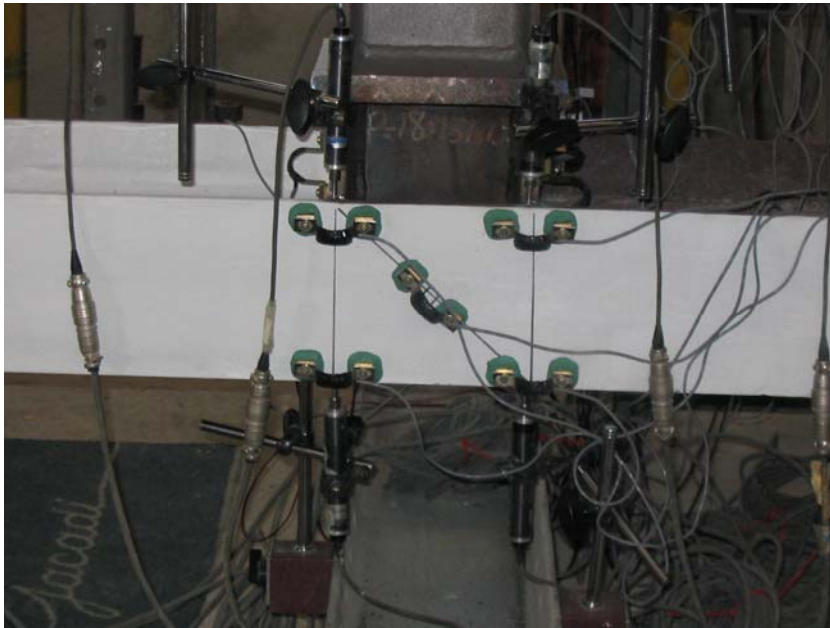


Şekil 4.17 : Veri toplama ve kayıt sistemi şematik görünüşü.

“B” tipi deneylerde ana amaç doğrultusunda özellikle çevrimsel davranış ile ilgili şekil değiştirmelerinin ve tanımlı bölgedeki gerilmelerin tespiti ve kayıt altına alınması hedeflenmiştir. “B” tipi deneyler için hazırlanmış veri kayıt düzeneği örnekleri aşağıda Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.20 : B2-1 Deneyinde kayıt sistemi ön yüz görünüşü.



Şekil 4.21 : B2-1 Deneyinde kayıt sistemi arka yüz görünüşü.

4.5.2 Verinin toplanması

Yapılan deneylerde verilerin toplanması için dört farklı ana tipte okuma enstrümanı kullanılmıştır. Toplanması hedeflenen verinin tipine göre ve deneyin amacına bağlı olarak yerleştirilen bu enstrümanlar için yerleşim bilgileri eklerde “**Ek B.4**” olarak verilmiştir. Kullanılan tüm enstrümanların listesi aşağıda Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Kullanılan veri okuma enstrümanları.

Gerilme Okuyucular			
Tipi	Özelliği	Uzunluğu	Üretici Firma
FLA-6-11	1-Doğrultu	6mm	Tokyo Sokki Kenkyujo CO.,LTD.
FLA-3-11	1-Doğrultu	3mm	Tokyo Sokki Kenkyujo CO.,LTD.
FRA-6-11-1L	3-Doğrultu	6mm	Tokyo Sokki Kenkyujo CO.,LTD.
Yer Değiştirme Ölçerler			
Tipi	Özelliği	Kapasitesi	Üretici Firma
CDP-5	Çubuk Burun	5mm	Tokyo Sokki Kenkyujo CO.,LTD.
CDP-10	Çubuk Burun	10mm	Tokyo Sokki Kenkyujo CO.,LTD.
CDP-25	Çubuk Burun	25mm	Tokyo Sokki Kenkyujo CO.,LTD.
CDP-50	Çubuk Burun	50mm	Tokyo Sokki Kenkyujo CO.,LTD.
CDP-100	Çubuk Burun	100mm	Tokyo Sokki Kenkyujo CO.,LTD.
SDP-200D	Çubuk Burun	200mm	Tokyo Sokki Kenkyujo CO.,LTD.
DP-500-B	Tel Kablolu	500mm	Tokyo Sokki Kenkyujo CO.,LTD.
PI-50	PI Gauge	50mm	Tokyo Sokki Kenkyujo CO.,LTD.

Yürütülen çalışmalarda oluşan davranışın takip edilmesine yardımcı olacak şekilde, her deneyden 40-50 arası değişen adette farklı kanaldan kayıt alınmıştır.

Tüm ilgili okuma noktalarının numunelerin üzerindeki yerleşimleri, ilgili kanal numaraları sunumu eklerde **Ek B.4** olarak verilmiştir.

Kayıt alınmasında aşağıdaki ana kontrol noktalarının davranışı esas alınmıştır.

- Kiriş tepesinde yer değiştirme uygulanan noktanın kontrolü
- Mesnet ve düzenek bağlantı noktalarının, yükler altında oluşabilecek sistem hareketlerine karşı kontrolü
- Sistemin düzlem dışına doğru istenmeyen biçimde hareketi için kontrolü
- Kiriş hareketinin izole edilmesi için gerekli noktalardaki yer değiştirmelerin kontrolü
- Kolon hareketinin izole edilmesi için gerekli noktalardaki yer değiştirmelerin kontrolü
- Birleşimde panel bölgesi şekil değiştirmelerinin izole edilmesi için gerekli noktalardaki yer değiştirmelerin kontrolü
- Birleşimde süreklilik levhalarının kolon başlığına göre şekil değiştirmesinin izole edilmesi için gerekli noktalardaki yer değiştirmelerin kontrolü

4.5.3 Toplanan verinin kayıt edilmesi

Laboratuarda MTS sistemi kullanılarak yürütülen deneysel çalışmalar merkez kontrol odasından yönetilmektedir. Kontrol odası yerleşimi ve kullanılan veri toplama ve kayıt enstrümanları aşağıda Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22 : Merkez kontrol odası görünüşü.

Bu odada yer alan ve MTS sistemi OS/2 WARP İşletim Sistemi ile çalıştırılan donanım üzerinden denetlenmektedir. Bu işletim sistemi üzerinde koşturulan TestWare-SX isimli yazılım yer değiştirme kontrollü olarak (istenirse kuvvet kontrollü olarak) kullanıcı tarafından tanımlanmış limitler dahilinde ve yer değiştirme adımları ile sistemi yüklemektedir. Her bir tanımlı kayıt adımı için arka arkaya üç basamaklı bir işlem mevcuttur. Bu adımlar,

- RAM Kontrolü (Bu adımda donanım hafızası kontrol edilir, her adım için yaklaşık 1sn kadar süre ifade eder)
- Trigger Delay (Bu adımda hidrolik sistem tarafından oluşturulan hareketin elemanlar üzerine tümü ile aktarılması için bir gecikme oluşturulur, her adım için yaklaşık 2sn kadar bir süreyi ifade eder)
- Veri Toplama (İlgili adımda tüm okuma noktalarından o adımdaki durumları sorgulanarak veri transferi yapılır, her adım için kanal sayısı*0.08sn kadar bir süreyi ifade eder)

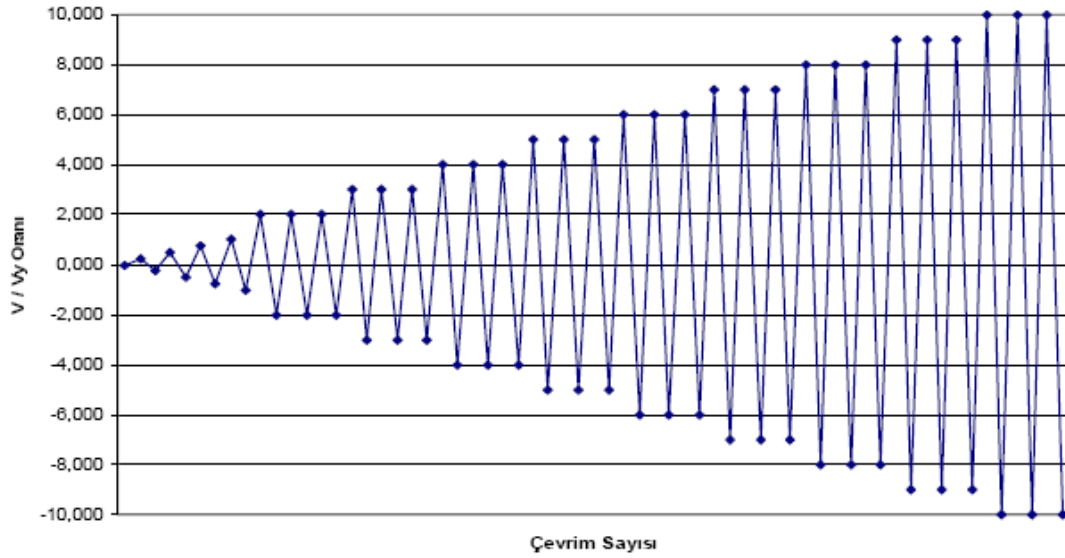
Deneyler sırasında yukarıda açıklanan şekilde yapılan okumalardan elde edilen veriler, merkez kontrol odasına ana sistem veri kablosu tarafından aktararak TML Marka TDS-302 Data-Logger enstrümanı tarafından ve bağlantılı Visual Log yazılımı tarafından kayıt altına alınmıştır.

4.6 Yükleme Sisteminde Kullanılan Yer Değiştirme-Yük Patronu

Deneyisel çalışmalarda, ECCS standart birleşim testi prosedürü esas alınmıştır. Her deney için çevrim adetleri ve çevrim adımlarında yapılan modifikasyon ile, beklenen davranışın daha hassas incelenmesi hedeflenmiştir.

“A” tipi deneylerde sadece yer değiştirme kontrollü olarak adımlar halinde arttırılan yer değiştirme ile değişen reaksiyon kuvveti esas alınmıştır. ECCS tarafından önerilen monoton artan yükleme prosedürü doğrultusunda başlangıç rijitliği, akma limit şekil değiştirmeleri ve benzeri verilerin toplanması sağlanmıştır. (ECCS Technical Report No:47, 1986)

“B” tipi deneylerde kullanılan, ECCS çevrimsel yükleme patronu kullanılarak yapılan çevrim adetleri ve genlikleri aşağıda Şekil-4.23 olarak verilmiştir. Bu tabloda esas alınan parametre “ V/V_y ” birleşimde ilk akmaya sebep olan kuvvetin uygulanan kuvvete oranı olarak ifade edilebilir. İlgili değerler her numune için yapılan ön analiz sonuçlarından alınmış ve deneylerle oldukça yaklaşık oldukları görülmüştür.



Şekil 4.23 : ECCS Standart yükleme patronu.

Farklı gözlemlerin yapılmasına olanak sağlanması için yürütülen deneysel çalışmada, her bir deney için kullanılan yükleme şeması, çevrim genlikleri ve adetleri ise aşağıda Şekil 4.24’de verilmiştir. Detayları eklerde “**Ek B.5**” olarak verilmiştir.

Çevrim bozulmalarının ilerleyen adımlarda daha net takip edilebilmesi ve ortaya çıkan enerjinin sayısal analizlerde elde edilenler ile karşılaştırılabilmesi için sünek çevrimlere geçildikten sonra her deney için farklı çevrim adetleri esas alınmıştır.

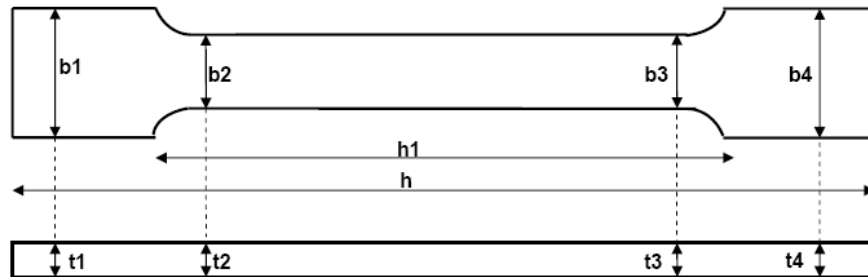
	Elastik Bölgede Çevrimler "q = < 1" EN1998
	Düşük Sünek Çevrimler "1 < q < 3" EN1998
	Sünek Çevrimler "3 < q < 5" EN1998
	Yüksek Sünek Çevrimler "5 < q < 9" EN1998
	Çok Yüksek Sünek Çevrimler "q > 9"

δ adım	B1-1	B2-1	B3-1
± 0.25 ey	1 tam	1 tam	1 tam
± 0.50 ey	1 tam	1 tam	1 tam
± 0.75 ey	1 tam	1 tam	1 tam
± 1.00 ey (%1 görelî)	1 tam	1 tam	1 tam
± 2.00 ey	3 tam	3 tam	3 tam
± 3.00 ey	1. tam	3 tam	3 tam
± 4.00 ey	-	3 tam	3 tam
± 5.00 ey	-	-	-
± 6.00 ey	-	1 tam	3 tam
± 7.00 ey	-	-	-
± 8.00 ey	-	1 tam	1 tam
± 9.00 ey	-	-	-
± 10.00 ey	-	1 tam	1 tam

Şekil 4.24 : Deneylerde kullanılan yükleme adımları.

4.7 Numunelerin Malzeme Deneyleri

Numunelerin davranışlarının ön analizlerde dikkate alınan değerler ile kıyaslanması, ilerleyen aşamada sayısal lineer olmayan sonlu eleman analizi çalışmalarında ve basitleştirilmiş sayısal model çalışmasında kullanılmak üzere numunelerin başlık ve gövdelerinden alınan malzeme örnekleri ile malzeme mekanik özelliklerinin tespiti için çekme deneyleri yapılmıştır. Alınan örneklerin geometrisi aşağıda Şekil 4.25’de parametrik olarak gösterilmiştir. Alınan numunelerin her biri için deney öncesi ve sonrası ilgili parametrelerin kayıt edildiği tablolar eklerde “**Ek C**” olarak verilmiştir.



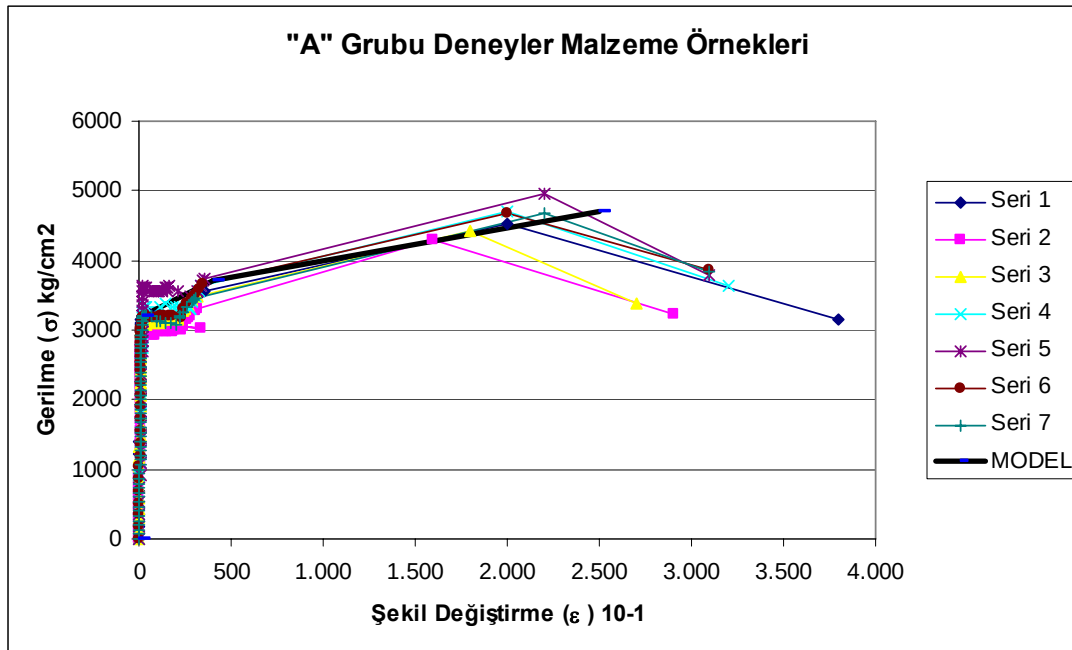
Şekil 4.25 : Malzeme örneği geometri parametreleri.

Malzeme deneylerinde hem mekanik “extensometer” ve hem de “strain-gauge” kullanılarak yedekli bir veri kaydı yapılmıştır. Lineer elastik bölge ve akma sonrası bölgenin gerilme-şekil değiştirme özelliklerinin hassas tespiti için yeterli olabilecek adette veri kaydı yapılması hedef alınmıştır.

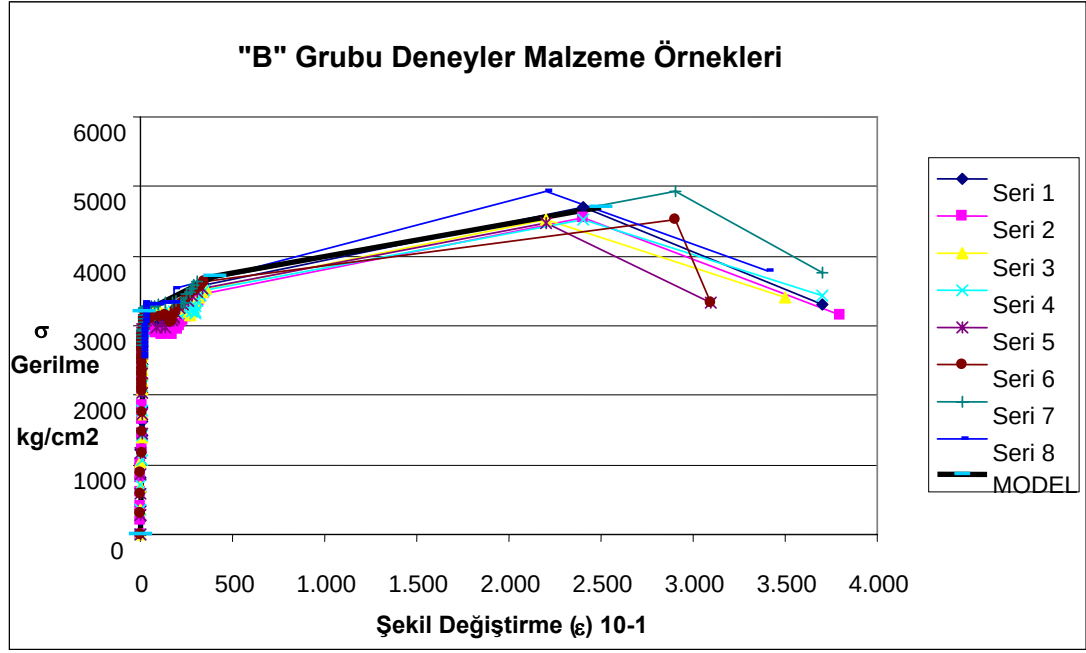
Bu veri kayıtları her bir örnek için yapılan geometri ölçümleri sonrası değerlendirilerek, “A” grubu deney numuneleri için aşağıda Şekil 4.26’da ve “B” grubu deney numuneleri için aşağıda Şekil 4.27’de gösterildiği gibi bir arada çizdirilmiştir.

Her iki tip için de malzeme karakteristik mukavemet özelliklerinin saçılımı kabul edilebilir düzeydedir. Deney hataları, okuma yapılan verinin toleransları ve lineer olmayan sonlu eleman analizlerinde kullanılacak malzemenin her bir numune için tek bir malzeme modeline indirgenebilmesi açısından ayrı-ayrı olmak üzere tüm malzeme deney sonuçlarının bir arada incelenmesi ile bir malzeme modeli önerisi yapılmıştır.

Bu malzeme modeli sonuçların irdelenmesi amacı ile yapılacak tüm sayısal modelleme çalışmalarında kullanılacaktır.



Şekil 4.26 : “A” Grubu deneyler malzeme özellikleri.



Şekil 4.27 : “B” Grubu deneyler malzeme özellikleri.

Şekiller dikkatle incelenirse önerilen “MODEL” eğrinin olabildiğince iyi bir yakınsaklık ile tüm malzeme testlerini ifade ettiği sonucuna varılabilir. Sayısal incelemelerde elde edilen sonuçların birçok analiz kabulüne bağlı olduğu unutulmamalıdır. Bu sebeple malzeme modelinde gerçek numuneler ile oluşabilecek farkların ve deney sonuçlarına etkisinin değerlendirmelerde ayrıca ele alınması gereklidir.

4.8 Bölüm Özeti

Planlanmış çalışmaya ait yapılan ön analiz ve boyutlandırma çalışmalarının ardından numunelerin imalatı işleri tamamlanmış ve imalatı tamamlanmış numuneler laboratuara nakledilmiştir.

Laboratuvar mevcut koşulları esas alınarak hazırlanılan numuneler deney amaçları doğrultusunda iki ana ayrı düzenek yardımı ile test edilmişlerdir.

“A” tipi deney numuneleri sadece monoton artan yer değiştirme ve yük altında test edileceğinden veri okuma sistemi bu doğrultuda hazırlanmıştır. Başlangıç rijitlikleri ve akma şekil değiştirmelerine kadar olan bölgenin hassas olarak incelenmesi esas

alınmıştır. Bu tip deney numuneleri üzerinden birleşime ve ana bileşenlere ait moment-dönme ve yük-şekil değiştirme eğrileri elde edilmesi ana amaçtır.

“B” tipi deney numunelerinde çevrimsel olarak yer değiştirme ve yük altında test edilecek elemanlara ait veri okuma sistemi bu amaç doğrultusunda hazırlanmıştır. Çevrim adımlarına bağlı olarak elemanların yer değiştirmelerinin ve iç gerilmelerin takip edilmesi hedeflenmiştir. Bu şekilde her adım için çevrimlere ait enerji değerlerine ve çevrim bozulmalarının takip edilmesi hedef alınmıştır.

Hazırlık çalışmalarında yapılan imalat resimleri, veri okuma noktalarının genel yerleşimleri her deney numunesi için detayları ile hazırlanmış ve eklerde “**Ek B.4**” olarak verilmiştir.

Ayrıca numunelere ait alınan örnekler için önerilen malzeme modeli gösterilmiş, numuneler üzerinde yapılan malzeme deneyleri tüm verileri ile eklerde “**Ek C**” olarak verilmiştir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE GÖZLEMLER

Deneysel çalışmalarda farklı ana hedefler için tüm deneyler sırasında yapılan kayıt ve gözlemler, ilgili grupların adı ile ana başlıklara altına toparlanmıştır.

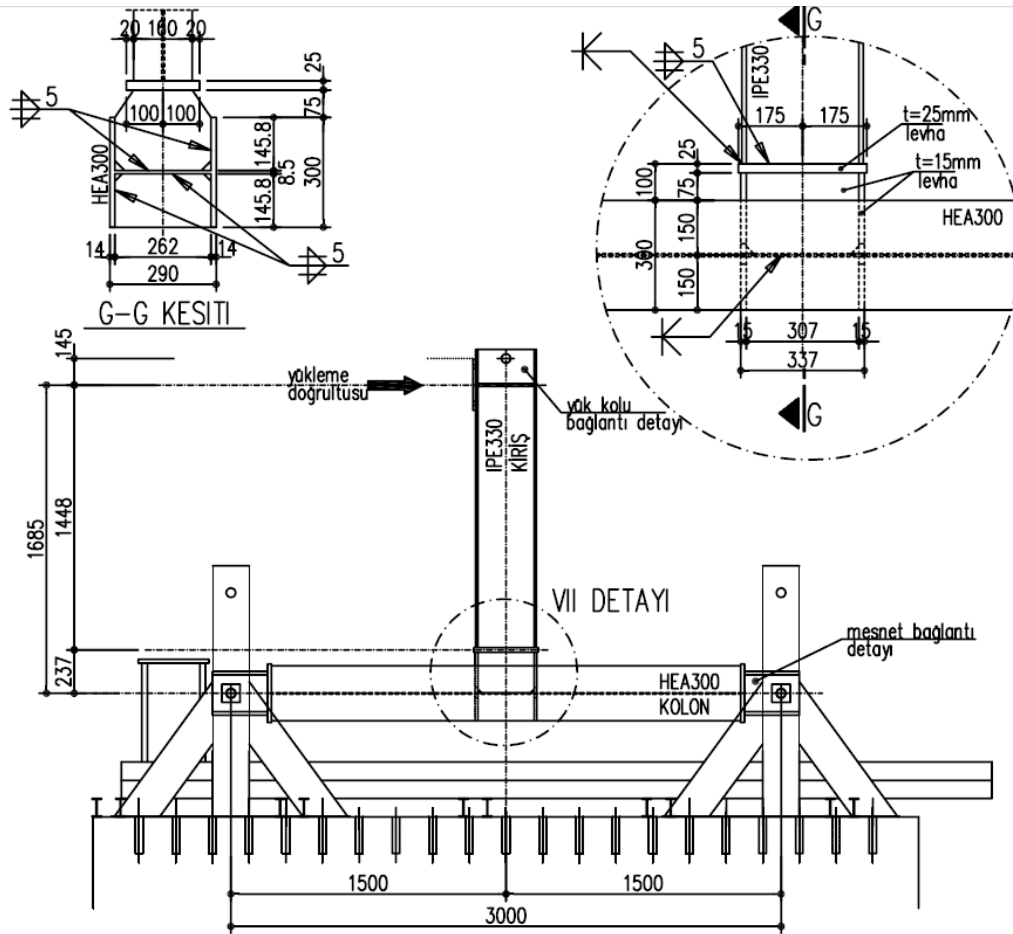
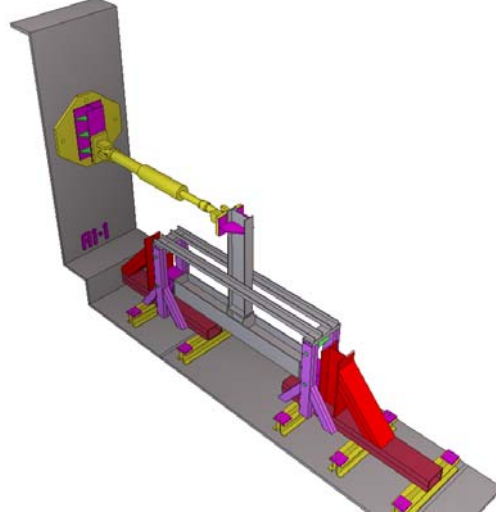
Kronolojik sıralamada B Grubu deneyler çevrimsel yer değiştirme ile ve öncelikli olarak yapılmışlardır. Bu deneylerde birleşimin çevrimsel yer değiştirme etkisindeki davranışı incelenmiştir. Çevrimler sırasında artan genlikle rijitliğin değişimi, dayanımın değişimi, enerji sönümünde oluşan değişiklikler ve benzeri parametreler takip edilmiş ve yorumlanmıştır.

A Grubu deneyler farklı bir deney düzeneği ile sadece monoton artan yer değiştirme etkisinde kayıt alınacak biçimde son çalışma seti olarak tamamlanmıştır. Bu grup çalışmada birleşimin moment dönme eğrisinin doğrudan deney seti üzerinden alınması hedeflenmiş, birleşimin başlangıç rijitliğinin tespit edilmesi ve bileşenlerin yük-şekil değiştirme özelliklerinin doğrudan deney sırasında yapılan okumalar ve alınan veriler ile tespit edilmesi esas alınmıştır. Tamamlanan deneylerin tümüne bakıldığında amacı dışında sonlanan bir deney olmamıştır. Genel olarak düzenek maksimum tepe yer değiştirmesi sınırı sebebi ile deneyler kontrollü olarak bitirilmiştir. Sadece A1-1 deneyinde artan yük ile oluşan düzlem dışı şekil değiştirmelerin artması sonucu deney amacını karşılayacak yeterli miktarda okuma alındıktan sonra deney sonlandırılmıştır. B1-1 numaralı deneyde hidrolik piston taşıma gücüne yakın bir noktada birleşimde kaynaklarda oluşan bir hasar sonucu deneme kesilmiştir. Tüm deneylerden gerekli veriler toplanmış ve amaç doğrultusunda işlenerek görsel hale getirilmiştir. Aşağıda her deney seti için yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen verilerin işlenmiş halde grafikleri ve deney sırasında yapılan gözlemler detaylı olarak verilmiştir. Deneyler sırasında çekilen resimlerin tamamı ve kayıt altına alınan tüm verinin grafik olarak işlenmiş halleri eklerde sırası ile “**Ek D**” ve “**Ek E**” olarak verilmiştir. Her deney numunesi için hazırlanan künye şekilleri aşağıda Şekil 5.1, Şekil 5.17, Şekil 5.31, Şekil 5.45, Şekil 5.57, Şekil 5.76, Şekil 5.87 ve Şekil 5.97 olarak verilmiştir.

5.1 “A” Grubu Deneyler

5.1.1 A1-1 deneyi

İ.T.Ü Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı	
A TİPİ BİRLEŞİM	A1-1 HEA300 Kolon IPE330 Kiriş
TARİH	22.03.2008
Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI	
Kerem PEKER	



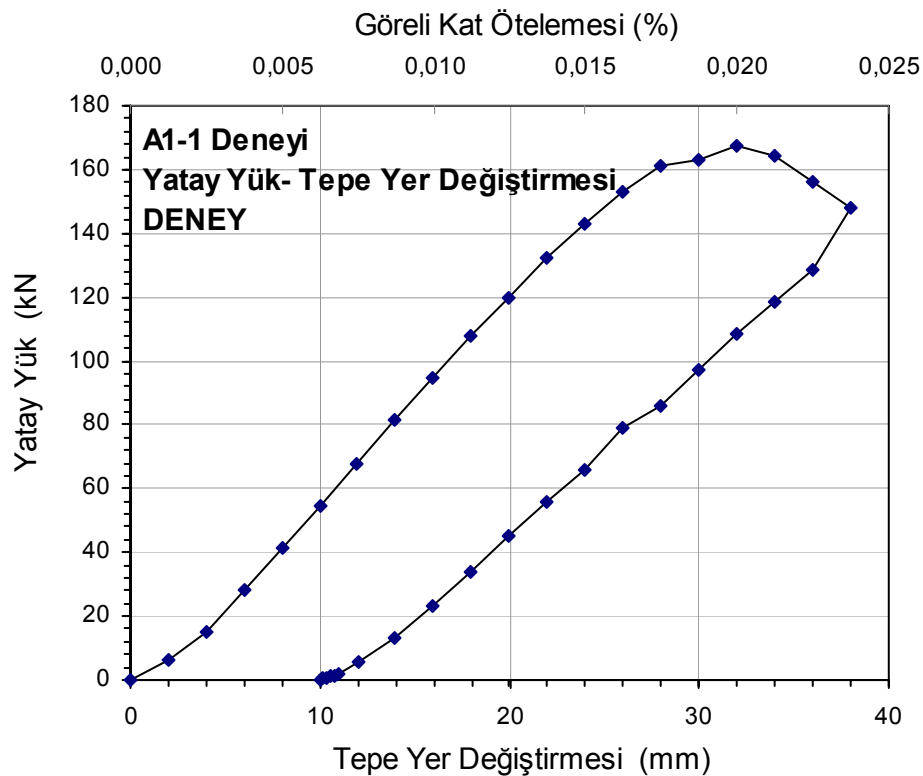
Şekil 5.1 : A1-1 Numunesi künyesi.

5.1.1.1 Yapılan okumaların grafik olarak sunulması

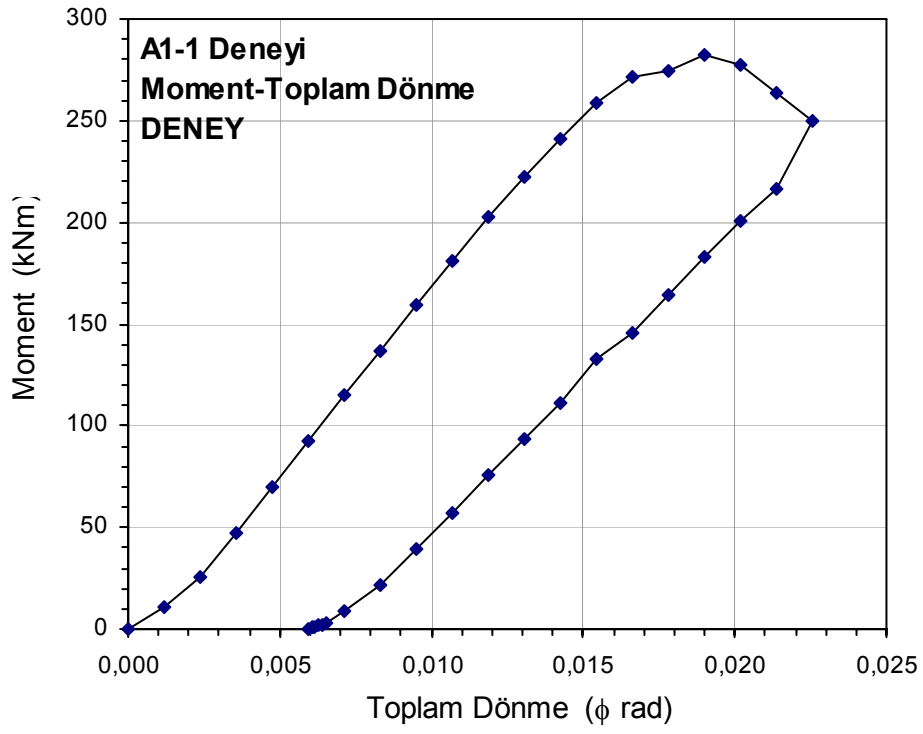
Deneyde toplam 49 kanaldan okuma alınmıştır. Kanal okumalarının tümü için kayıt altına alınan sayısal veri grafik olarak işlenerek eklerde “**Ek E.1**” olarak sunulmuştur. Bu veriler ilgili deneye ait alt başlıkların altında incelenmiştir. Kanal okumalarından her yükleme adımına ait yer ve şekil değiştirme değerleri takip edilebilir.

Aşağıda Şekil 5.2’de kaydedilen veri değerlendirilerek hazırlanan ve A1-1 deneyinin karakteristik davranışını yorumlayabileceğimiz yatay yük-tepe yer değiştirmesi eğrisi verilmiştir. Ayrıca deneyde elde edilen moment-toplam dönme eğrisi Şekil 5.3’de verilmiştir.

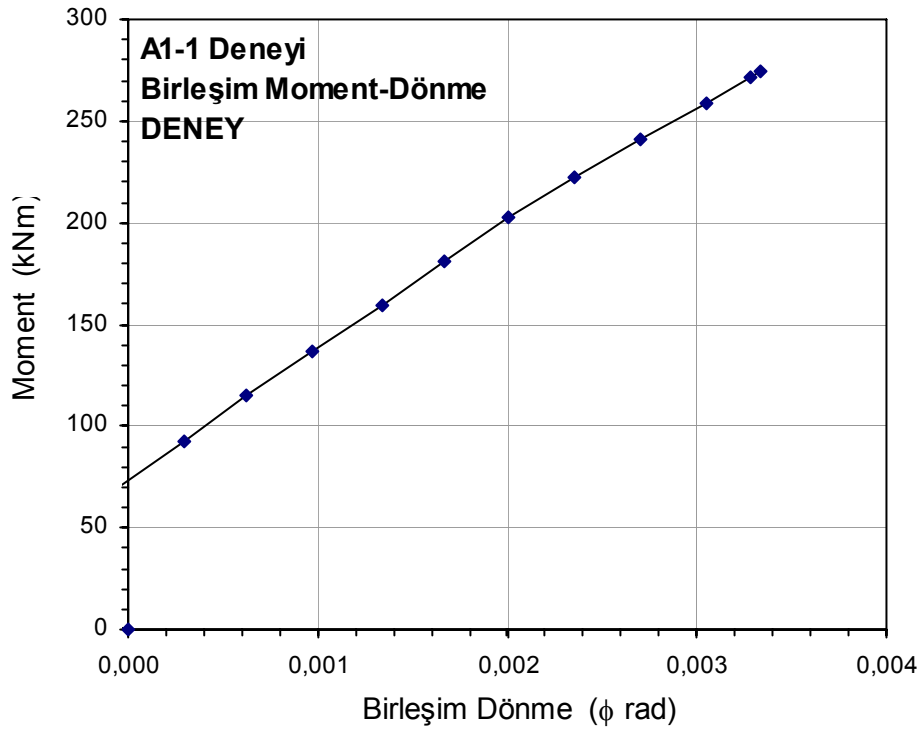
Birleşime ait moment–dönme eğrisi A grubu deneylerde özel olarak yerleştirilen kanallardan okunan verilerin işlenmesi ile aşağıda Şekil 5.4 olarak verilmiştir. Bu kanallardan kayıt edilen sayısal verinin moment dönme eğrisi haline getirilmesi için izlenen yol eklerde “**Ek I**” olarak verilmiştir.



Şekil 5.2 : A1-1 Numunesi yatay kuvvet ve tepe yer değiştirmesi eğrisi.

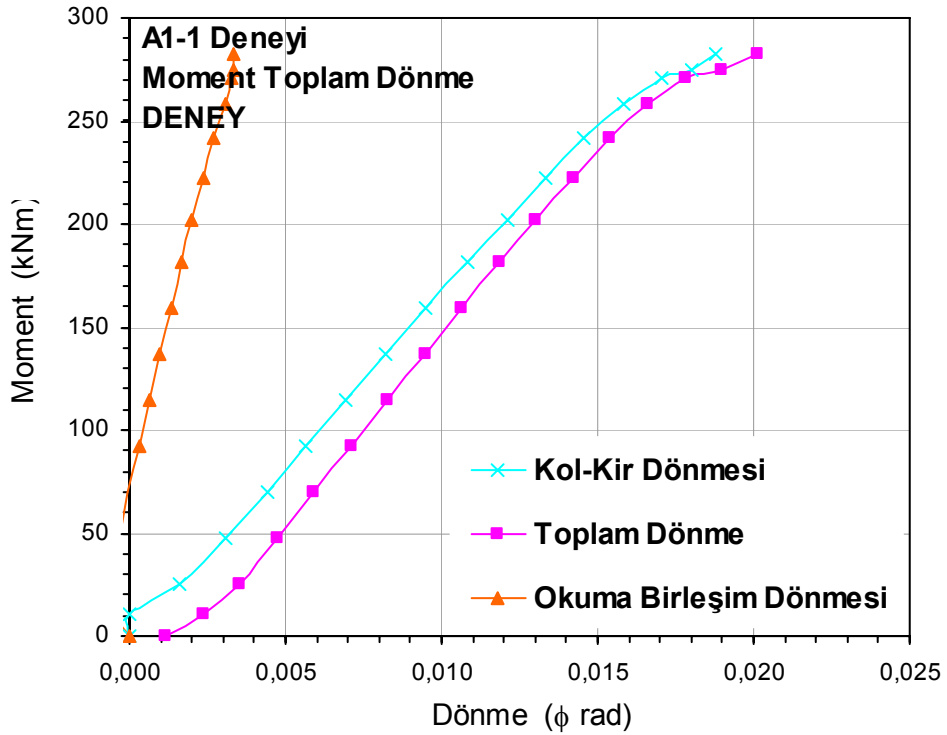


Şekil 5.3 : A1-1 Numunesi moment – toplam dönme eğrisi.



Şekil 5.4 : A1-1 Numunesi birleşim moment – dönme eğrisi.

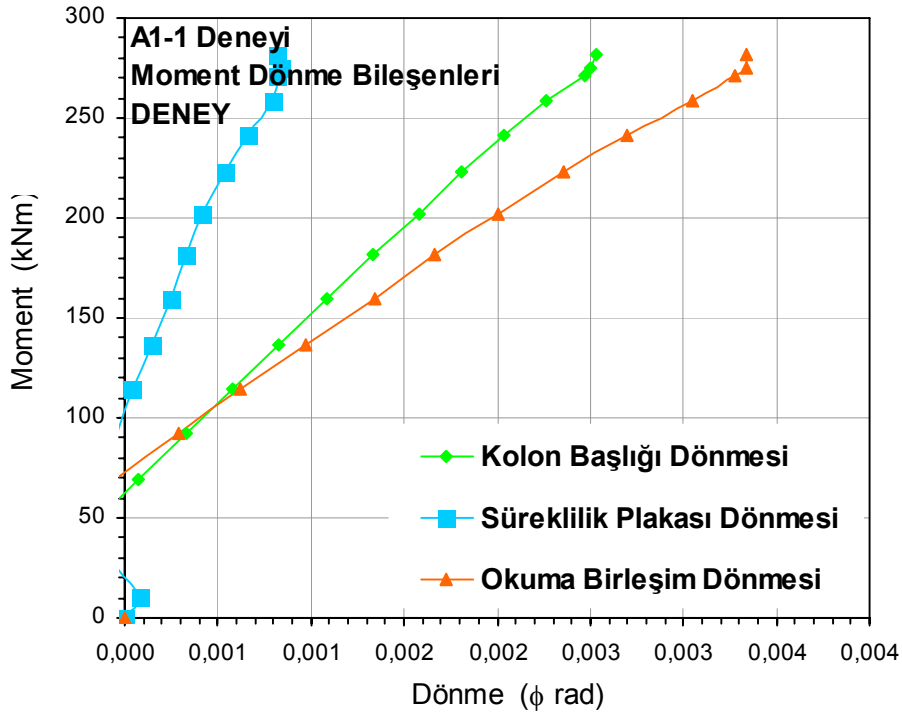
Düzenek üzerinden doğrudan alınan okumalar yardımı ile toplam dönmeyi oluşturan bileşenler ayrılmış ve aşağıda Şekil 5.5’de verilmiştir. Burada görülebileceği gibi kolon ve kirişin toplam dönmeye katkısı oldukça büyüktür. Birleşimin rijitliğinin görece olarak oldukça yüksek olduğu ve deney boyunca lineer bir davranış gösterdiği de ayrıca not edilmiştir.



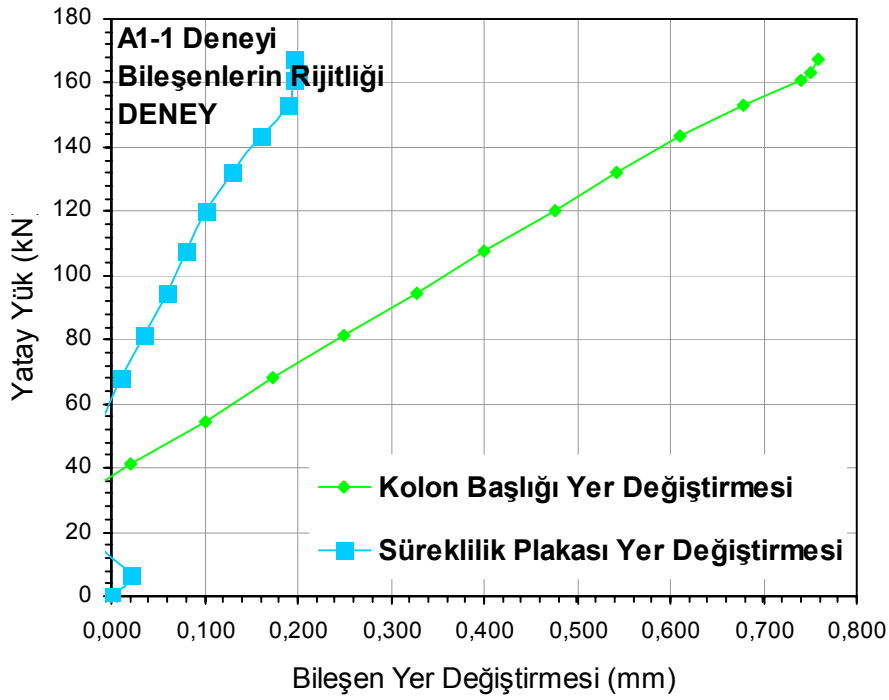
Şekil 5.5 : A1-1 Numunesi moment – toplam dönme eğrisi alt bileşenleri.

Yapılan veri kaydı incelenerek, alınan bu birleşim dönme okumalarının bileşenler bazında değerlendirilmesi de ayrıca yapılmıştır. Aşağıda Şekil 5.6’da birleşim dönmesi ve bileşenlerin bu birleşim dönmesine katkıları grafik olarak verilmiştir.

Katkıları bazında incelenen bileşenlerin tepe yüküne bağlı şekil değiştirme özellikleri de ayrıca Şekil 5.7 olarak verilmiştir. Bu şekiller dikkatle incelenerek birleşim davranışı için yapılan deney kapsamında yorumlandığında, birleşimin ana şekil değiştirme bileşenlerinin kolon ve kiriş yapısal elemanları olduğu görülebilir.



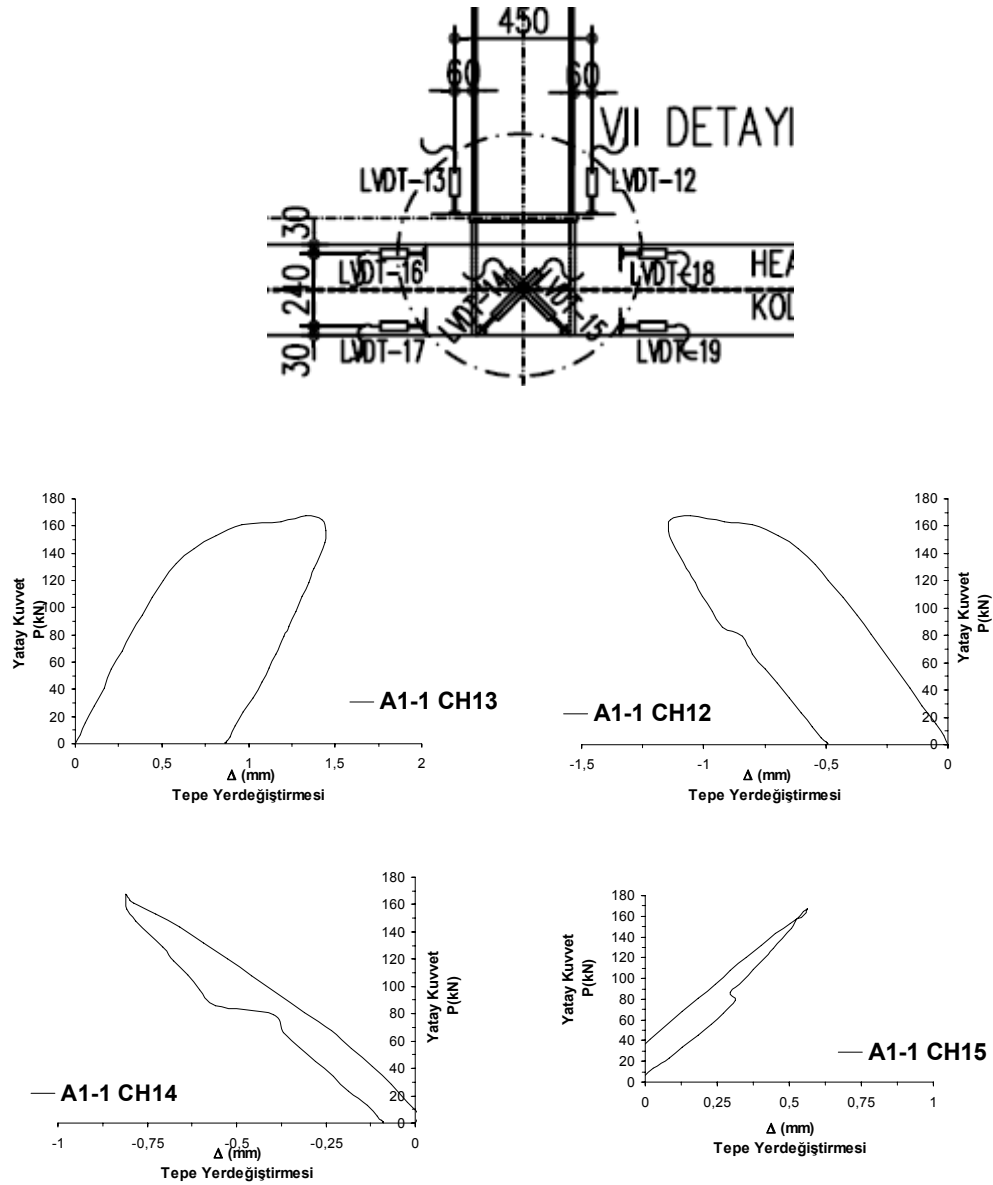
Şekil 5.6 : A1-1 Numunesi birleşim moment – dönme eğrisi alt bileşenleri.



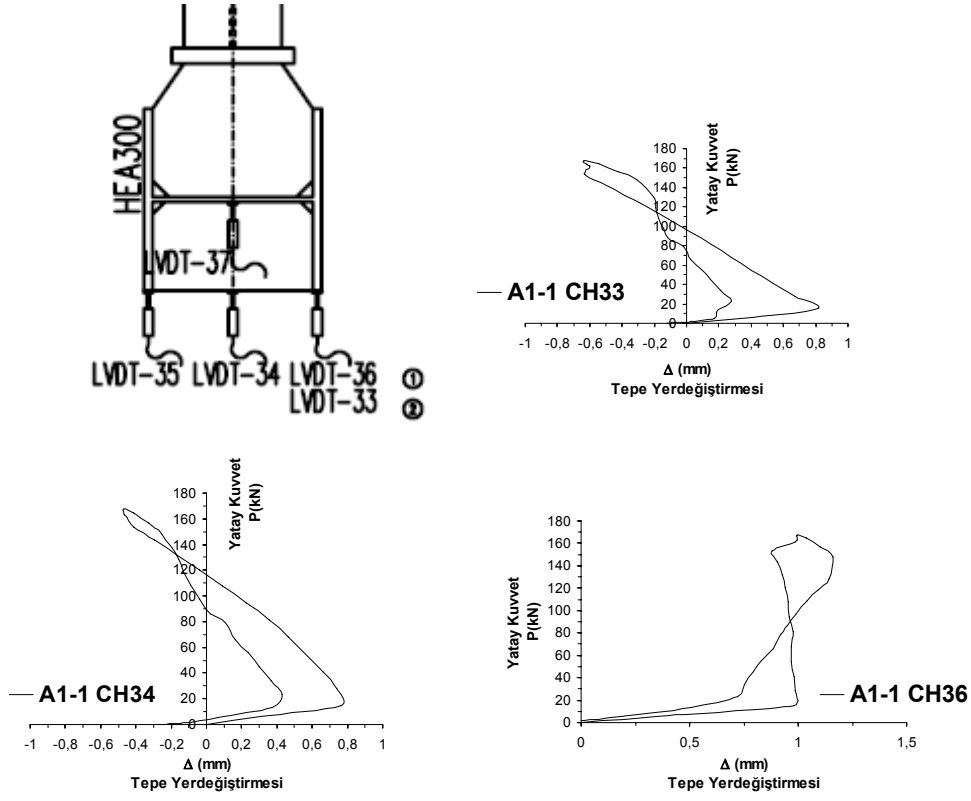
Şekil 5.7 : A1-1 Numunesi etkin bileşenlerin rijitlikleri.

Oldukça rijit olduğu söylenebilecek olan bu birleşimin birleşim plastikleşme dayanımının kolon-kiriş plastikleşme dayanımından yüksek olduğu da gözlemlenmiştir. Bu deney için birleşim dönmesinin ana bileşeni kolon başlığı kayma şekil değiştirmesidir. Süreklilik levhası şekil değiştirmeleri, birleşim dönmesi üzerinde oldukça sınırlı bir tesir göstermiştir.

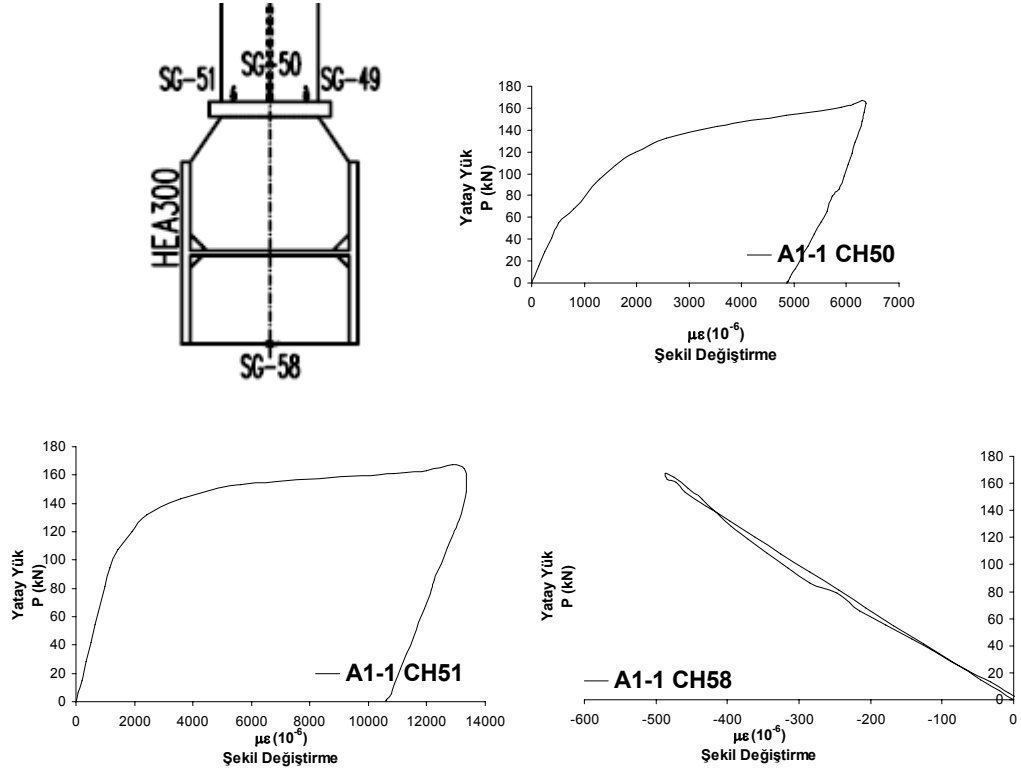
Kritik davranış yorumlarının yapılabileceği kanal okumalarından bir grup aşağıda Şekil 5.8, Şekil 5.9 Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de verilmiştir.



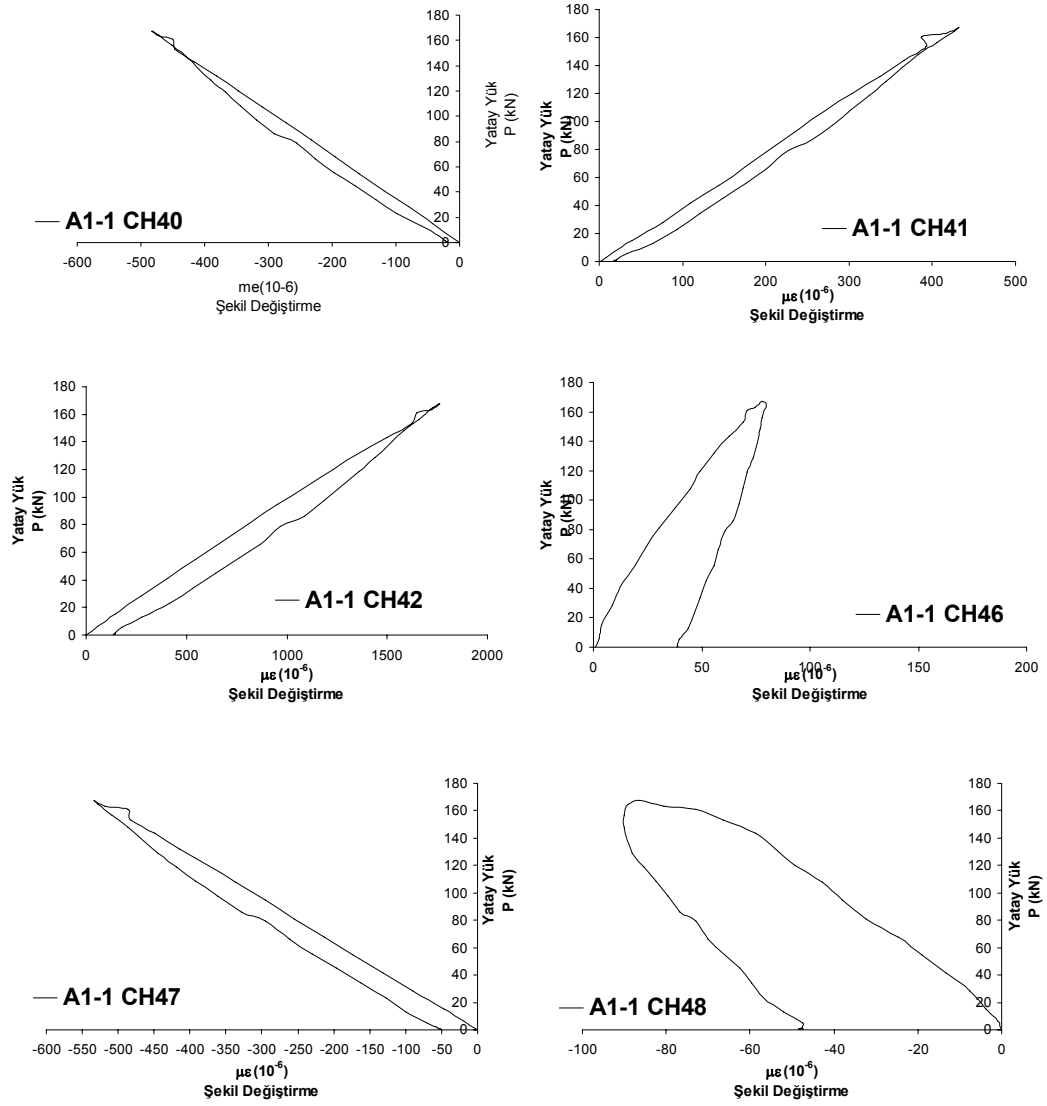
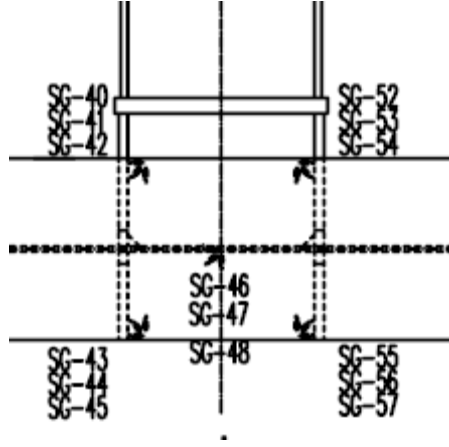
Şekil 5.8 : Kiriş dönmesi ve kolon başlığı panel şekil değiştirmeleri verileri.



Şekil 5.9 : Süreklilik levhası Şekil değiştirmeleri ve kolon dönmesi verileri.



Şekil 5.10 : Kiriş başlığı verileri.



Şekil 5.11 : Kolon başlığında panel bölgesi verileri.

5.1.1.2 Deney sırasında yapılan gözlemler

Monoton artan yükleme koşulları ile yapılan deney, kuvvetli kolon-zayıf kiriş durumunu temsil etmektedir.

Yatay yükün artması ile artan tepe yer değiştirmesi ve tüm diğer kanallardan veri kaydı sorunsuz olarak gerçekleştirilmiştir.

Elastik malzeme dayanımının aşılmasının ardından kiriş üzerinden alınan verilerde akma ile birlikte lineer davranışın sonlandığı gözlemlenmiştir. Artan tepe yer değiştirmesi ile birlikte kirişte yerel lineer ötesi şekil değiştirmelere bağlı olarak burkulmalar başlamış buna bağlı olarak azalan düzlem dışı rijitlik sebebi ile kiriş düzlem dışına doğru hareket etmiştir. Gözlemlenen tepe yer değiştirmesi eğrisinde oluşan kayıp sebebi ile deney yaklaşık %2,50 görelî kat ötelemesine karşılık gelen bir değerde son verilmiştir.

Aşağıda Şekil 5.12’de deney öncesi düzenek ve veri kaydı için kurulan sistem görülmektedir.



Şekil 5.12 : A1-1 Düzeneği sol görünüşü ve veri kayıt sistemi.

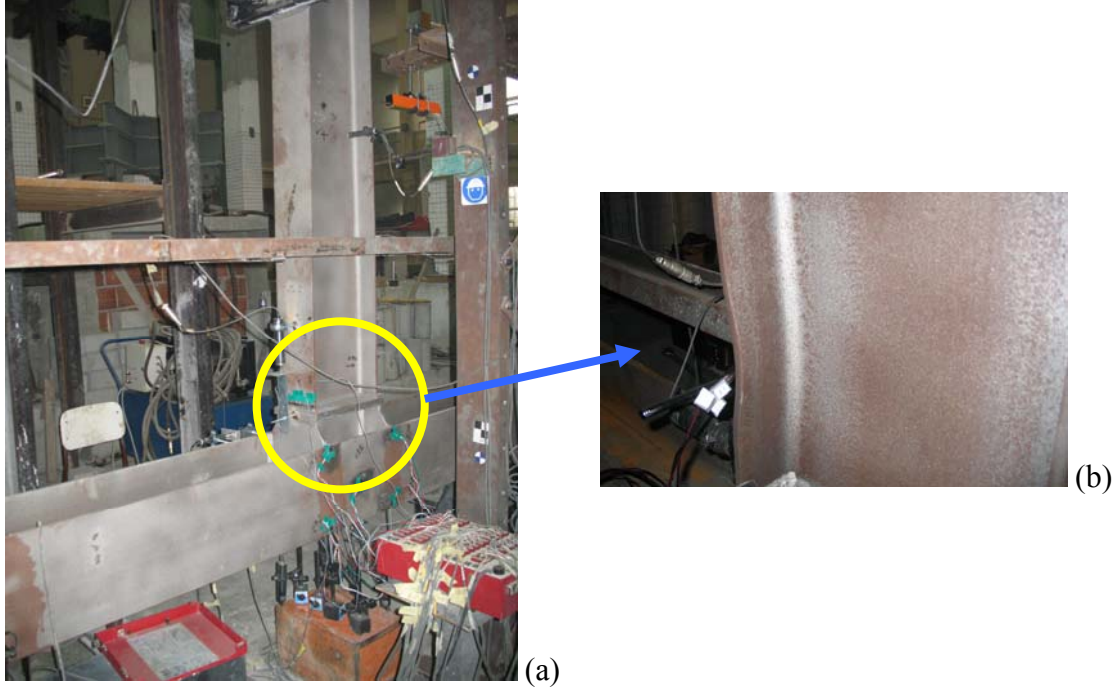


Şekil 5.13 : A1-1 Düzeneği sağ görünüşü ve okuma cihazlarının yerleşimi.

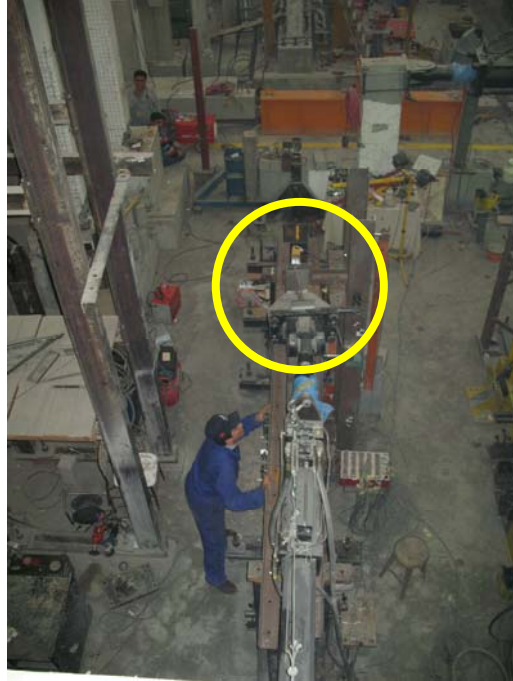


Şekil 5.14 : Kolon başlığı kayma şekil değiştirmesinin izlenmesi için okuma sistemi.

Yukarıda Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de birleşim dönmelerinin doğrudan deney düzeneği üzerinden okunmasını sağlayan ve bu deney düzeneğine özel olarak kurulmuş okuma sistemi ve yardımcı elemanları görülmektedir.



Şekil 5.15 : Kirişin plastikleşme sonrası: (a)Yerel burkulmaları gözlemlendiği bölge
(b)Burkulan başlık.

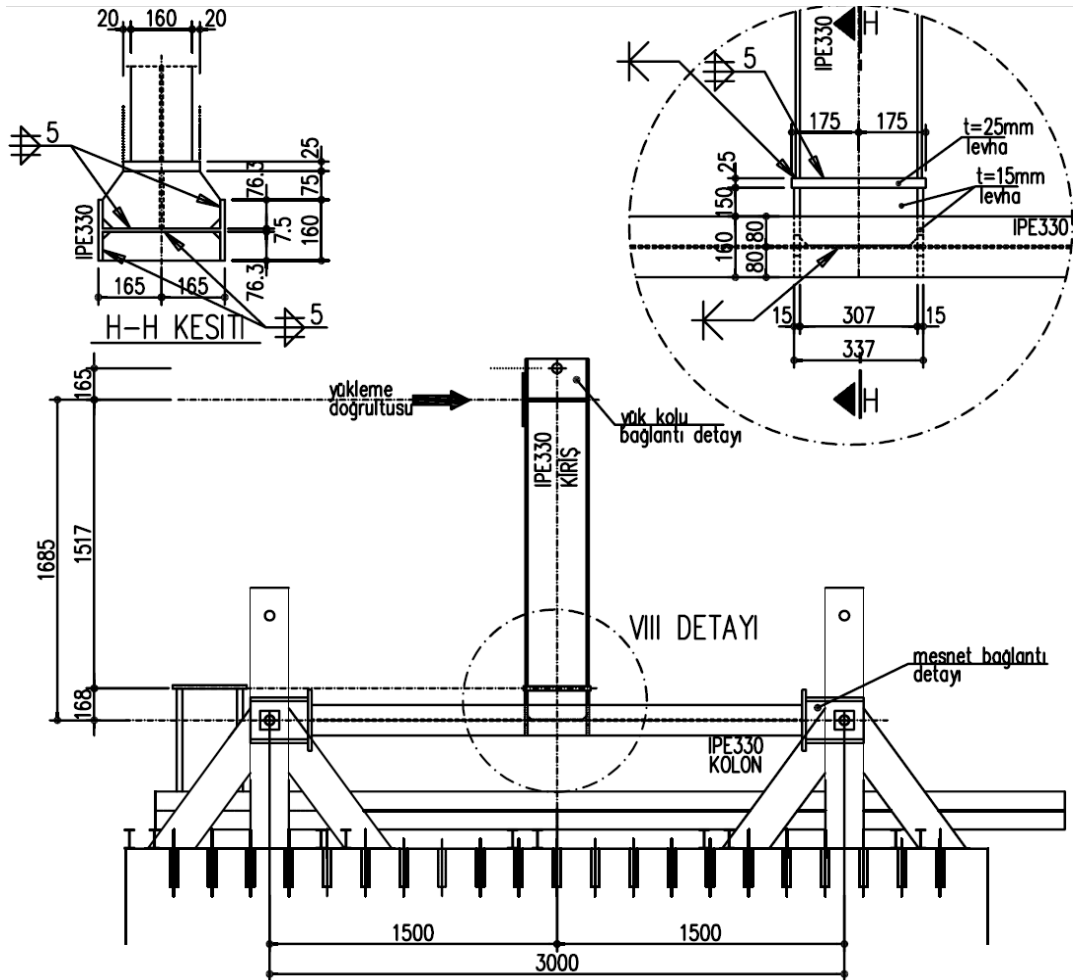
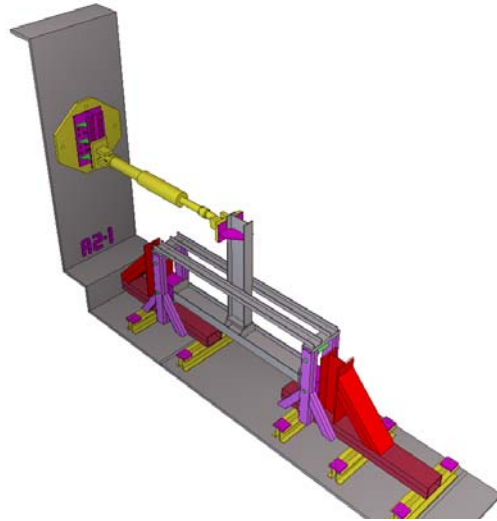


Şekil 5.16 : Kirişin artan yük ile düzlem dışına kaydığı son adımın üst görünüşü.

Yukarıda Şekil 5.15a ve Şekil 5.15b’de kiriş plastikleşmesi sonrası artan yük ile birlikte kirişte oluşan yerel burkulma ve bu sebeple artan yer değiştirme adımıyla kirişin düzlem dışına doğru burularak çıkışı Şekil 5.16’da görülebilir.

5.1.2 A2-1 deneyi

İ.T.Ü Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı	
A TİPİ BİRLEŞİM	A2-1 IPE330 Kolon IPE330 Kiriş
TARİH	29.02.2008
Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI	
Kerem PEKER	



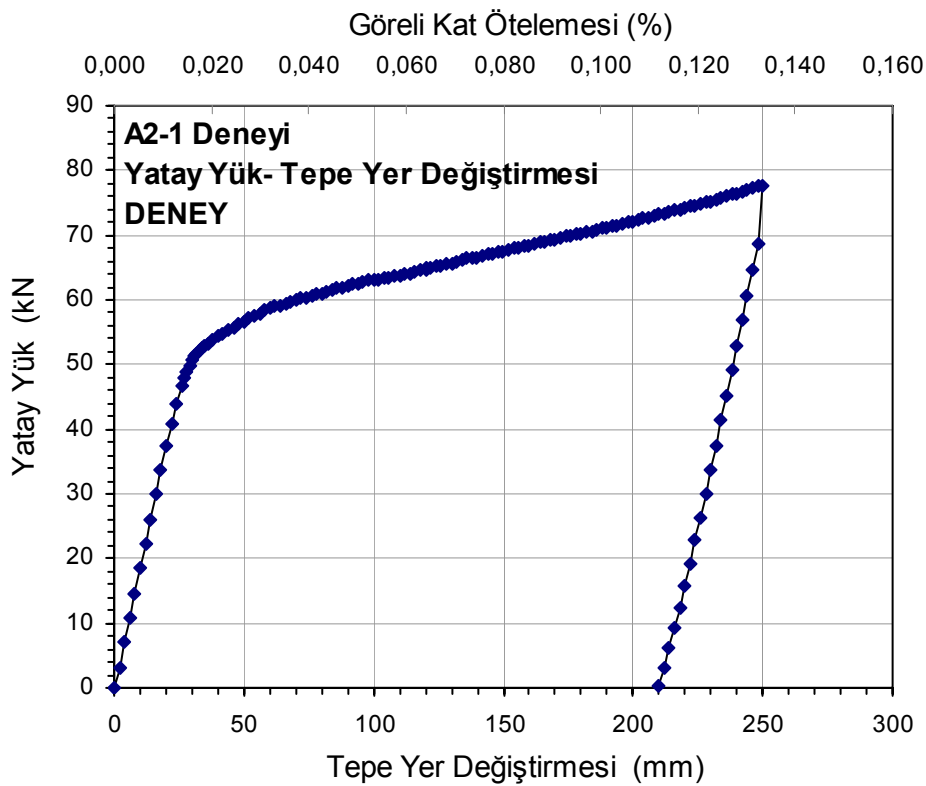
Şekil 5.17 : A2-1 Numunesi künyesi.

5.1.2.1 Yapılan okumaların grafik olarak sunulması

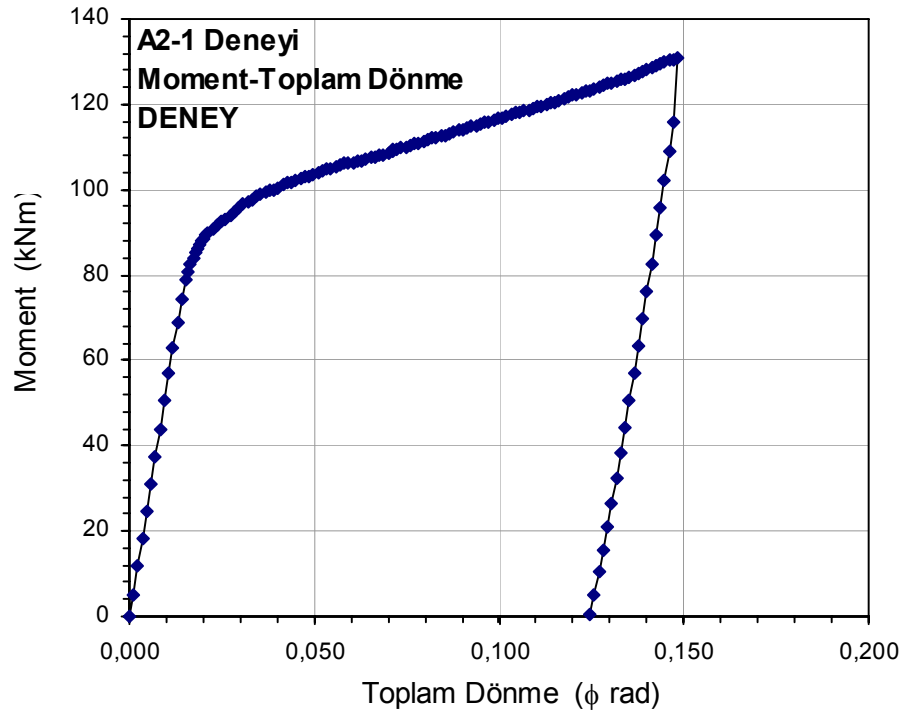
Deneyde toplam 49 kanaldan okuma alınmıştır. Kanal okumalarının tümü için kayıt altına alınan sayısal veri grafik olarak işlenerek eklerde “**Ek E.2**” olarak sunulmuştur. Bu veriler ilgili deneye ait alt başlıkların altında incelenmiştir. Kanal okumalarından her yükleme adımına ait yer ve şekil değiştirme değerleri takip edilebilir.

Aşağıda Şekil 5.18’de kaydedilen veri değerlendirilerek hazırlanan ve A2-1 deneyinin karakteristik davranışını yorumlayabileceğimiz yatay yük-tepe yer değiştirmesi eğrisi verilmiştir. Ayrıca deneyde elde edilen Moment-Toplam Dönme eğrisi Şekil 5.19’da verilmiştir.

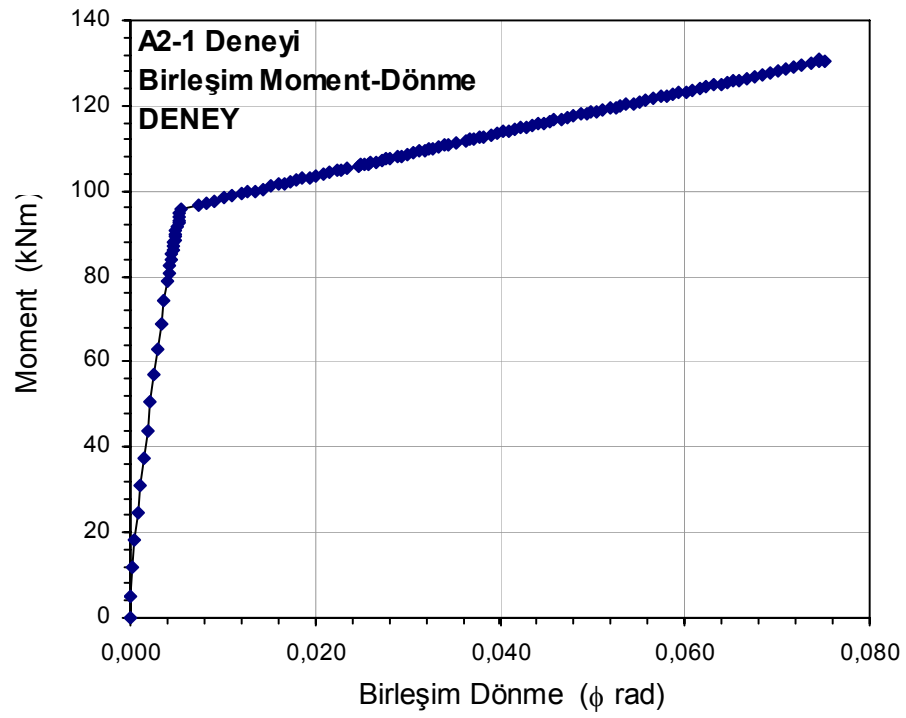
Birleşime ait moment–dönme eğrisi A grubu deneylerde özel olarak yerleştirilen kanallardan okunan verilerin işlenmesi ile aşağıda Şekil 5.20 olarak verilmiştir. Bu kanallardan okunan verinin moment dönme eğrisi haline getirilmesi için izlenen yol eklerde “**Ek I**”olarak verilmiştir.



Şekil 5.18 : A2-1 Numunesi yatay kuvvet ve tepe yer değiştirmesi eğrisi.

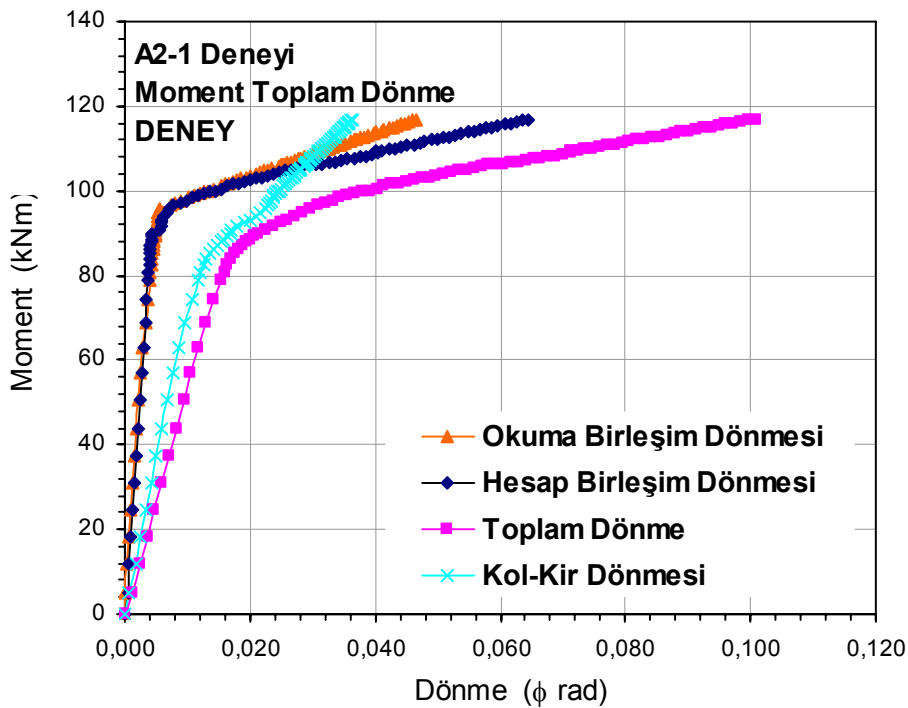


Şekil 5.19 : A2-1 Numunesi moment – toplam dönme eğrisi.



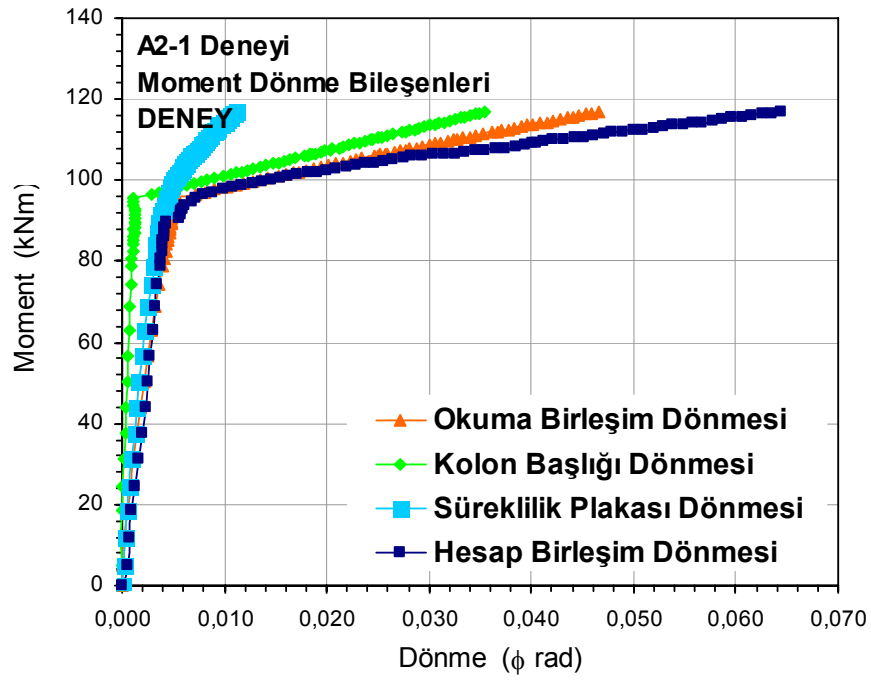
Şekil 5.20 : A2-1 Numunesi birleşim moment – dönme eğrisi.

Düzenek üzerinden doğrudan alınan okumalar yardımı ile toplam dönmeyi oluşturan bileşenler ayrılmış ve aşağıda Şekil 5.21’de verilmiştir. Burada görülebileceği gibi kolon ve kirişin toplam dönmeye katkısı oldukça büyüktür. Birleşimin rijitliğinin görelî olarak oldukça yüksek olduğu da ayrıca not edilmiştir. Hesap birleşim dönmesi olarak nitelendirilen dönme toplam dönmeden kolon-kiriş dönmesinin çıkarılması ile hesaplanmaktadır. Şekil 5.21’de ilgili eğrilere dikkat edilirse bu hesaplanan dönmenin doğrudan okunan dönme ile birbirine oldukça yakın sonuç verdiği görülebilir.

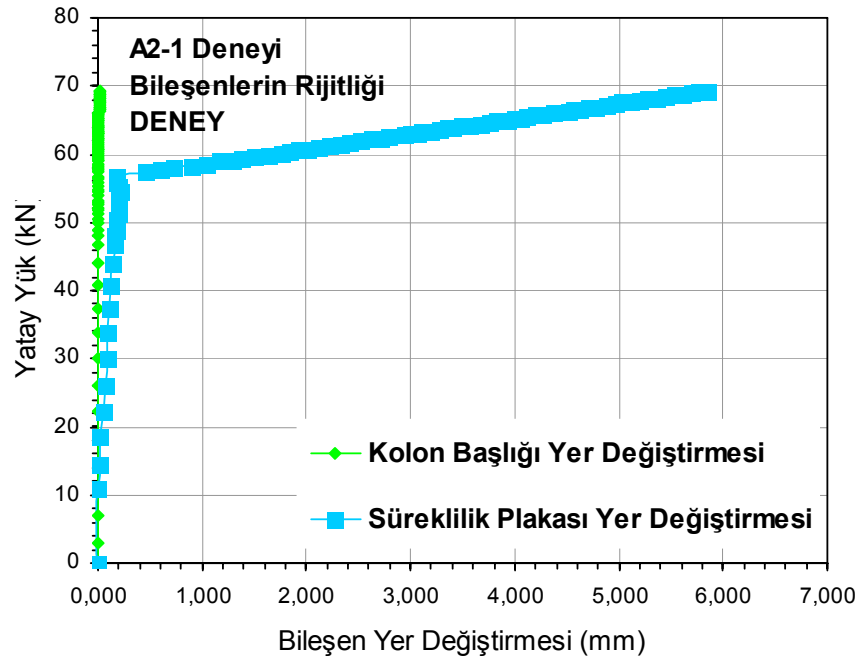


Şekil 5.21 : A2-1 Numunesi moment – toplam dönme eğrisi alt bileşenleri.

Yapılan veri kaydı incelenerek, alınan bu birleşim dönme okumalarının bileşenler bazında değerlendirmesi de yapılmıştır. Aşağıda Şekil 5.22’de birleşim dönmesi ve bileşenlerin bu birleşim dönmesine katkıları grafik olarak verilmiştir. Katkıları bazında incelenen bileşenlerin tepe yüküne bağlı şekil değiştirme özellikleri de aşağıda Şekil 5.23’de verilmiştir. Bu şekiller dikkatle incelenerek yorumlandığında, birleşimin ana şekil değiştirme bileşenlerinin kolon ve kiriş yapısal elemanları olduğu görülebilir. Ancak plastik şekil değiştirme ve enerji sönümüne birleşimin de büyük katkısı olduğu gözlemlenmiştir.

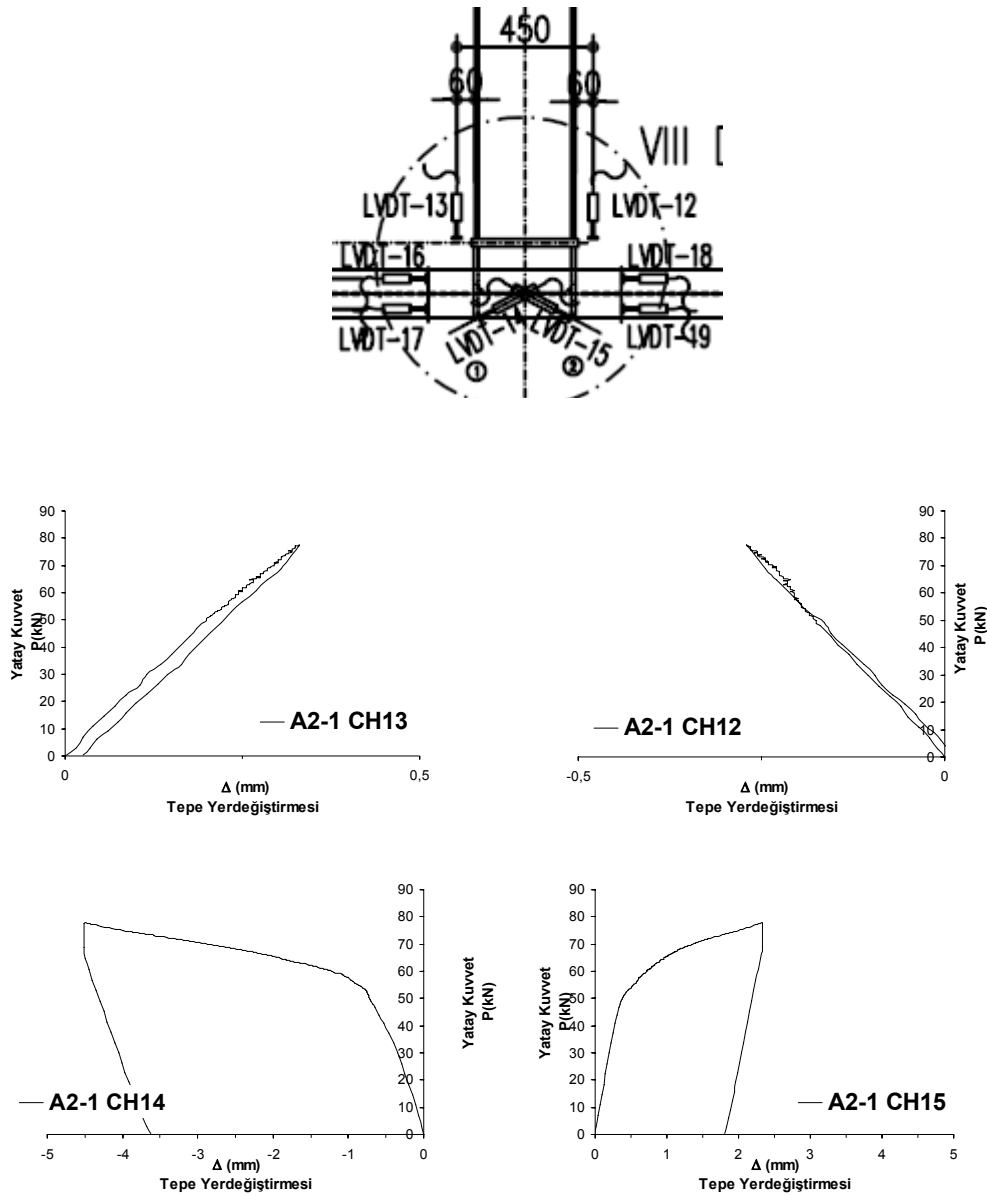


Şekil 5.22 : A2-1 Numunesi birleşim moment – dönme eğrisi alt bileşenleri.

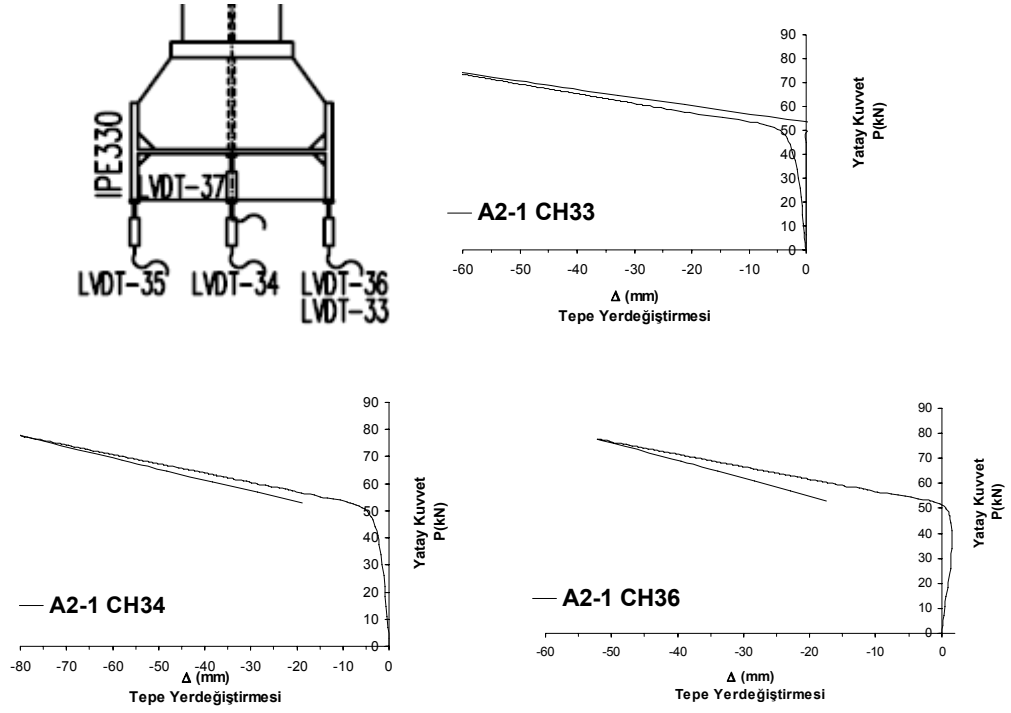


Şekil 5.23 : A2-1 Numunesi etkin bileşenlerin rijitlikleri.

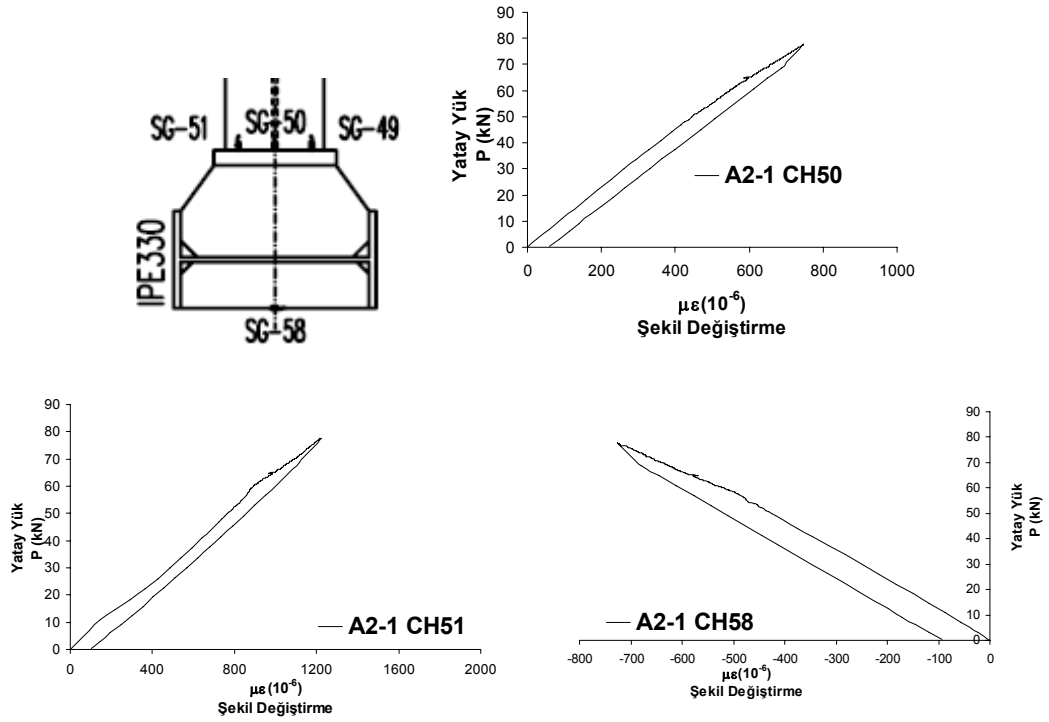
A1-1'e göre daha az rijit olduğu söylenebilecek olan bu birleşimin birleşim plastikleşme dayanımının kolon-kiriş plastikleşme dayanımından yüksek olduğu da gözlemlenmiştir. Bu deney için birleşim dönmesinin ana bileşeni lineer bölge için süreklilik levhası şekil değiştirmeleridir. Kolon başlığı kayma şekil değiştirmesinin ise lineer sonrası şekil değiştirme kapasitesi ve enerji sönümünde daha büyük bir etkisi olduğu Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'den izlenebilmektedir. Kritik davranış yorumlarının yapılabileceği kanal okumalarından bir grup aşağıda Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26 ve Şekil 5.27'de verilmiştir.



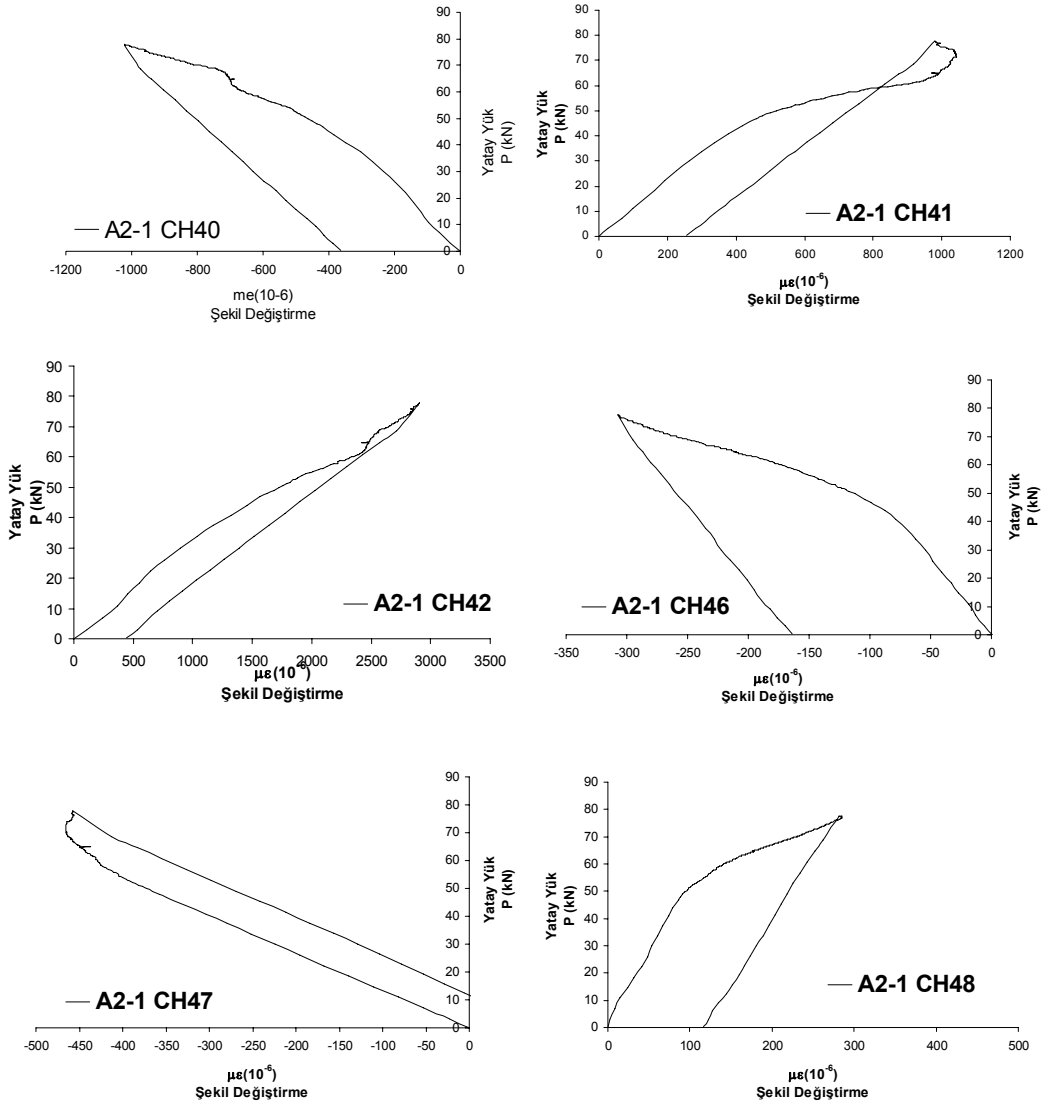
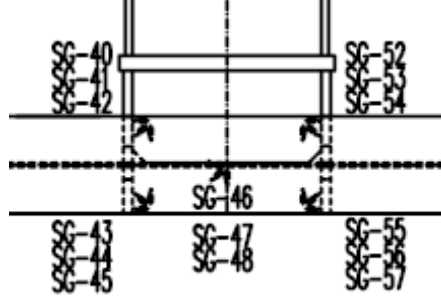
Şekil 5.24 : Kiriş dönmesi ve kolon başlığı panel şekil değiştirmeleri verileri.



Şekil 5.25 : Kiriş başlığı ve süreklilik levhası verileri.



Şekil 5.26 : Kiriş başlığı verileri.



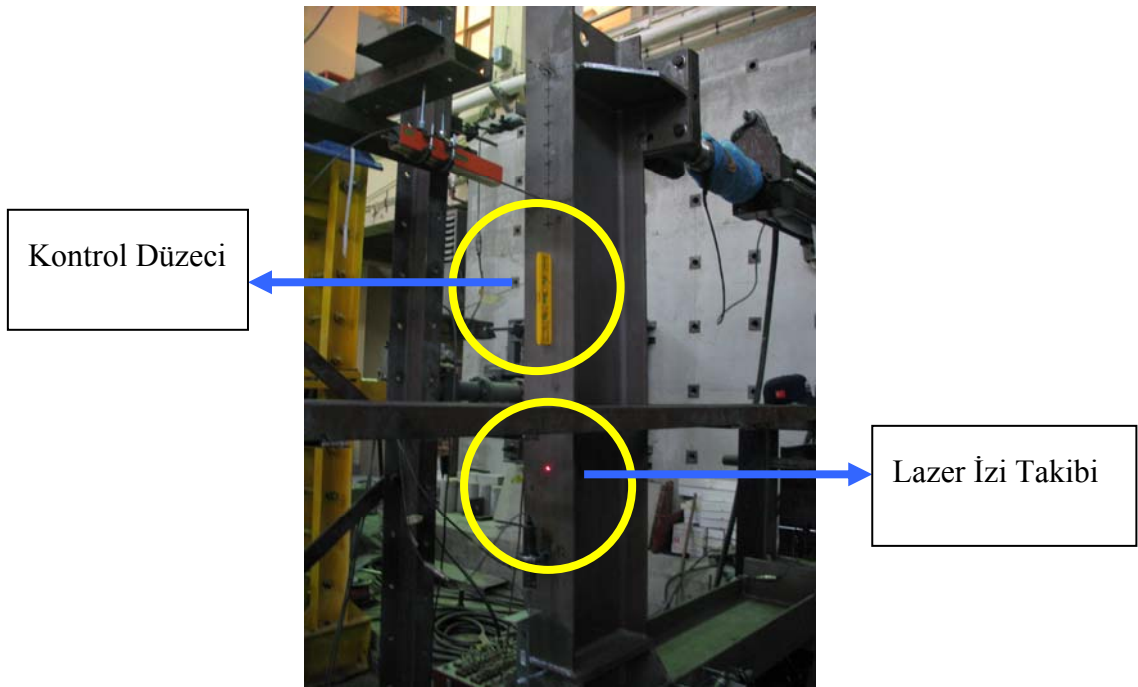
Şekil 5.27 : Kolon başlığında panel bölgesi verileri.

5.1.2.2 Deney sırasında yapılan gözlemler

Monoton artan yükleme koşulları ile yapılan deney, kuvvetli kiriş-zayıf kolon durumunu temsil etmektedir.

Yatay yükün artması ile artan tepe yer değiştirmesi ve tüm diğer kanallardan veri kaydı sorunsuz olarak gerçekleştirilmiştir.

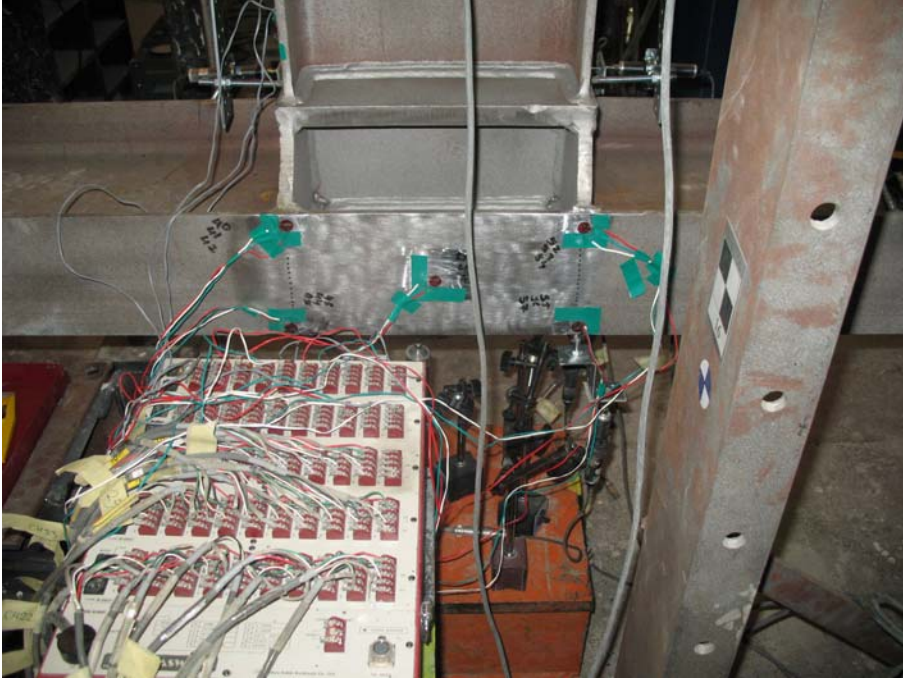
Elastik malzeme dayanımının aşılması ardından kolon başlıkları üzerinden alınan verilerde akma ile birlikte lineer davranışın sonlandığı gözlemlenmiştir. Artan tepe yer değiştirmesi ile birlikte kirişte lokal lineer ötesi şekil değiştirmelere bağlı olarak burkulmalar başlamıştır. Azalan düzlem dışı rijitlik sebebi ile kiriş düzlem dışına doğru hareket etmiştir. Okumaların sağlıklı olarak alınmaya devam edildiğinin gözlemlenmesi için lazer düzeç sistemi ilave edilmiş ve düzlem dışına hareketin kontrol edilmesi hedeflenmiştir. Lazer düzeç ve düzlem dışı için oluşturulan kontrol sistemi aşağıda Şekil 5.28’de gösterilmiştir.



Şekil 5.28 : Düzlem dışı gözlemi için yerleştirilen düzeç ve lazer kontrolü.

Gözlemlenen tepe yer değiştirmesi eğrisi yaklaşık %15 görelî kat ötelemesine karşılık gelen bir değere ulaşınca deneye son verilmiştir.

Aşağıda Şekil 5.29’da kolon başlığı birim şekil değiştirme okuması sistemi görülmektedir. Şekil 5.30’da ise ileri şekil değiştirme adımıında birleşimin aldığı şekil izlenmektedir.



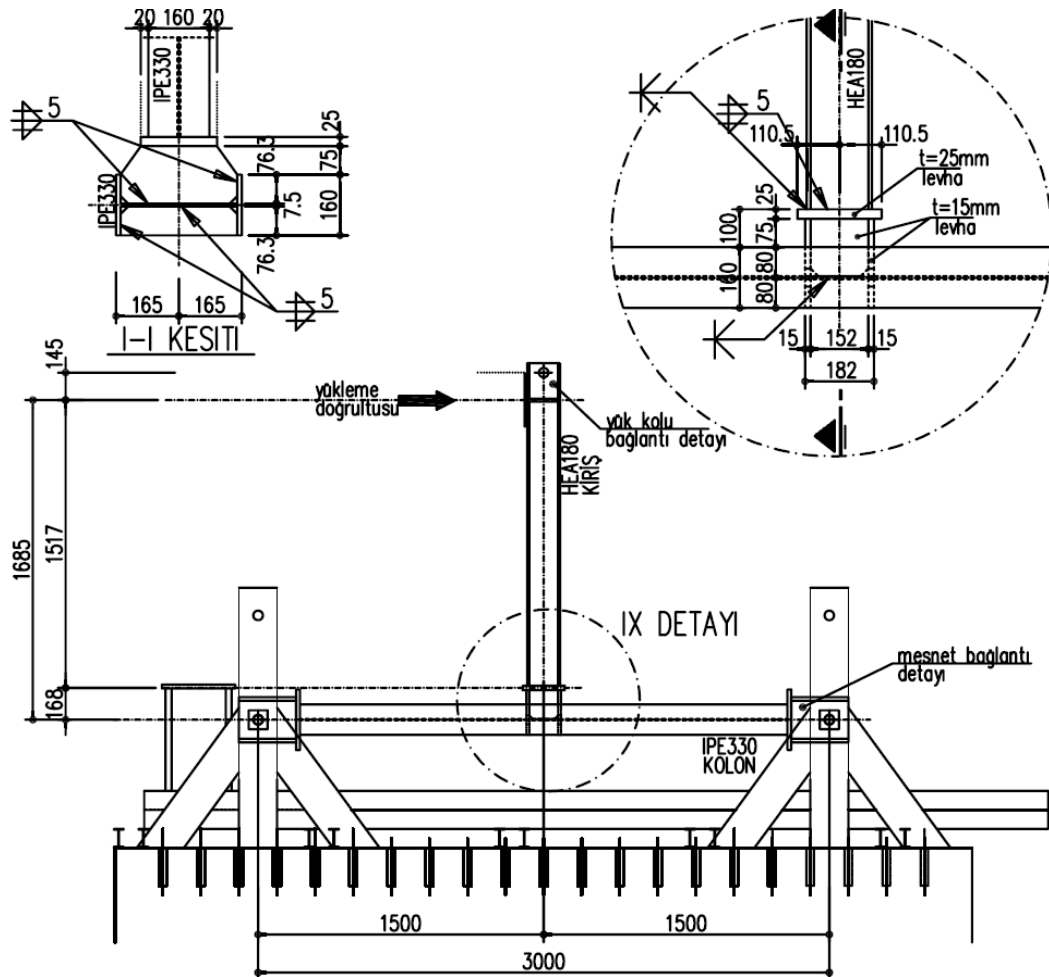
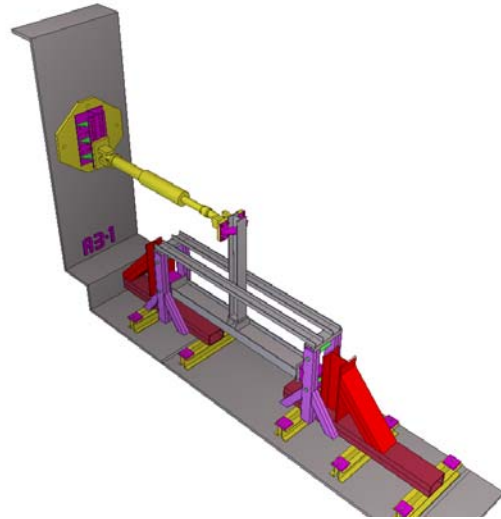
Şekil 5.29 : Kolon başlığında alınan birim şekil değiştirme okumaları.



Şekil 5.30 : Kolon-kiriş bölgesinde %10 göreceli ötelemedeki şekil değiştirmeler.

5.1.3 A3-1 deneyi

İ.T.Ü Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı	
A TİPİ BİRLEŞİM	A3-1 IPE330 Kolon HEA180 Kiriş
TARİH	23.03.2008
Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI	
Kerem PEKER	



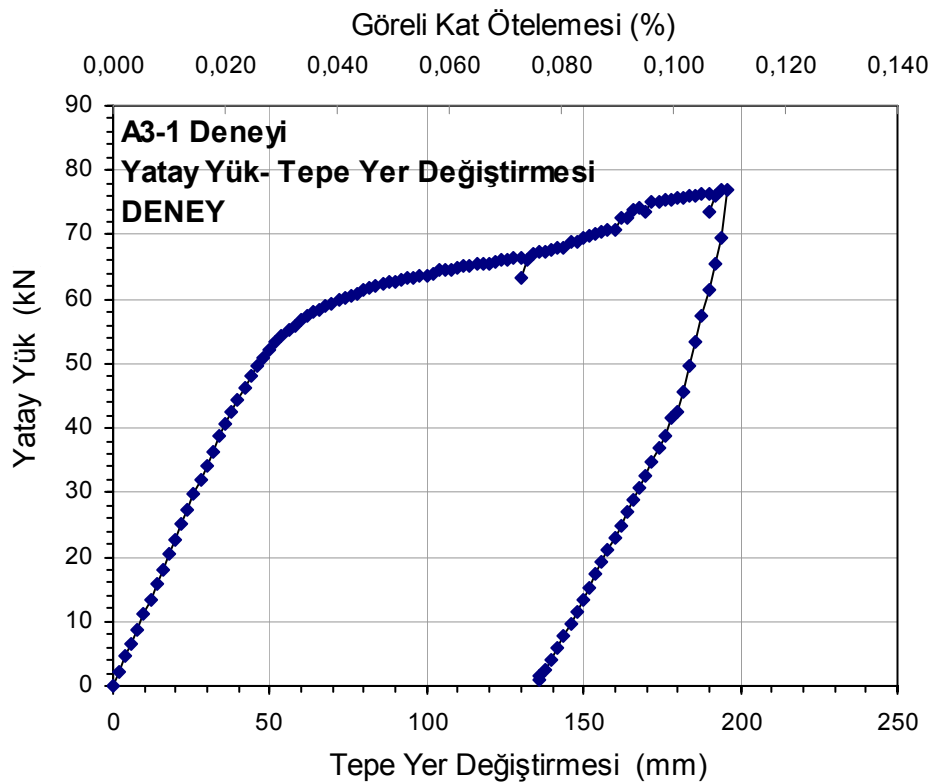
Şekil 5.31 : A3-1 Numunesi künyesi.

5.1.3.1 Yapılan okumaların grafik olarak sunulması

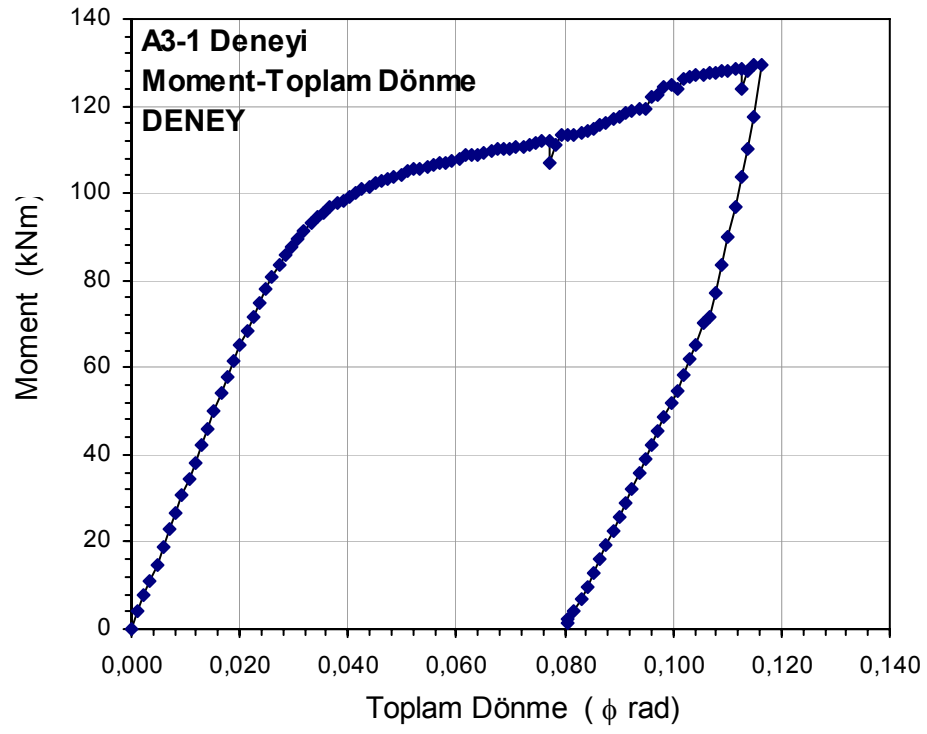
Deneyde toplam 49 kanaldan okuma alınmıştır. Kanal okumalarının tümü için kayıt altına alınan sayısal veri grafik olarak işlenerek eklerde “**Ek E.3**” olarak sunulmuştur. Bu veriler ilgili deneye ait alt başlıkların altında incelenmiştir. Kanal okumalarından her yükleme adımına ait yer ve şekil değiştirme değerleri takip edilebilir.

Aşağıda Şekil 5.32’de kaydedilen veri değerlendirilerek hazırlanan ve A3-1 deneyinin karakteristik davranışını yorumlayabileceğimiz yatay yük-tepe yer değiştirmesi eğrisi verilmiştir. Ayrıca deneyde elde edilen Moment-Toplam Dönme eğrisi Şekil 5.33’de verilmiştir.

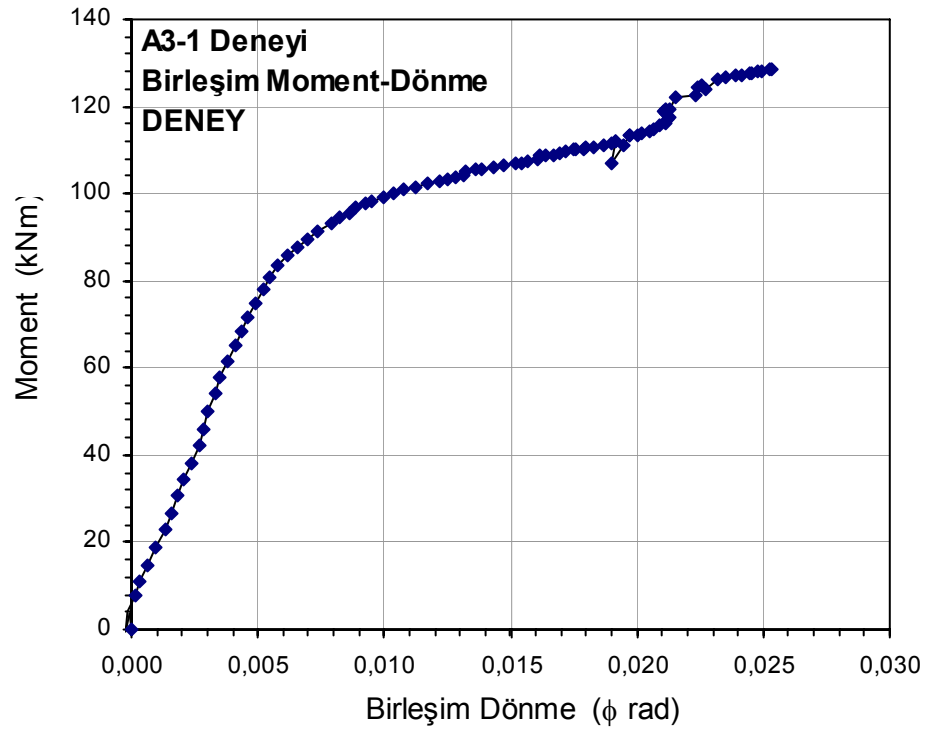
Birleşime ait moment–dönme eğrisi A grubu deneylerde özel olarak yerleştirilen kanallardan okunan verilerin işlenmesi ile aşağıda Şekil 5.34 olarak verilmiştir. Bu kanallardan okunan verinin moment dönme eğrisi haline getirilmesi için izlenen yol eklerde “**Ek I**” olarak verilmiştir.



Şekil 5.32 : A3-1 Numunesi yatay kuvvet ve tepe yer değiştirmesi eğrisi.

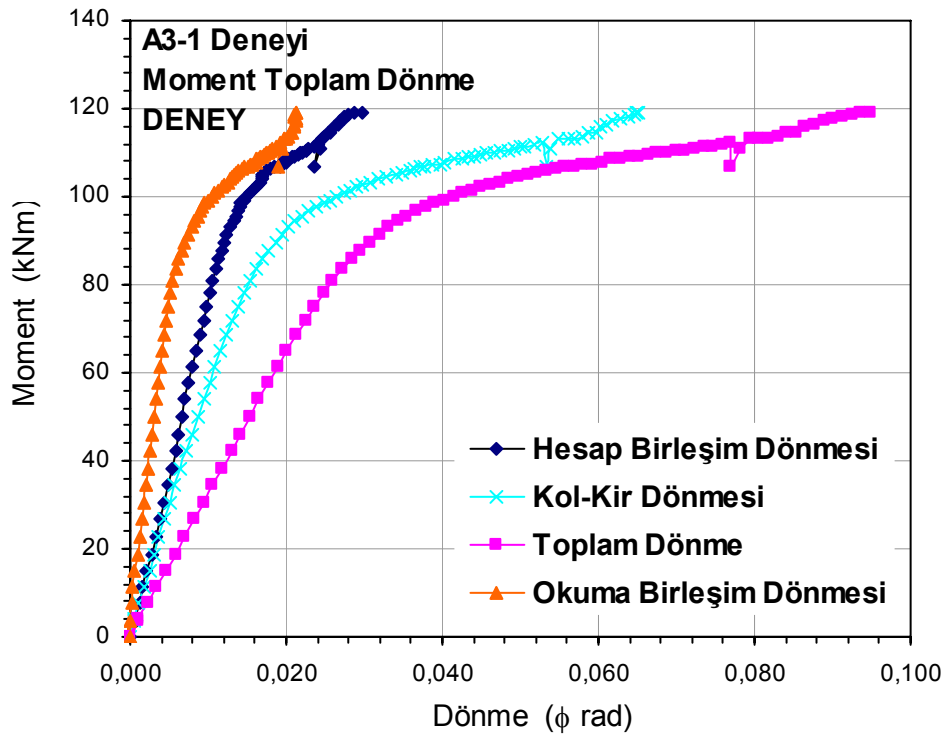


Şekil 5.33 : A3-1 Numunesi moment – toplam dönme eğrisi.



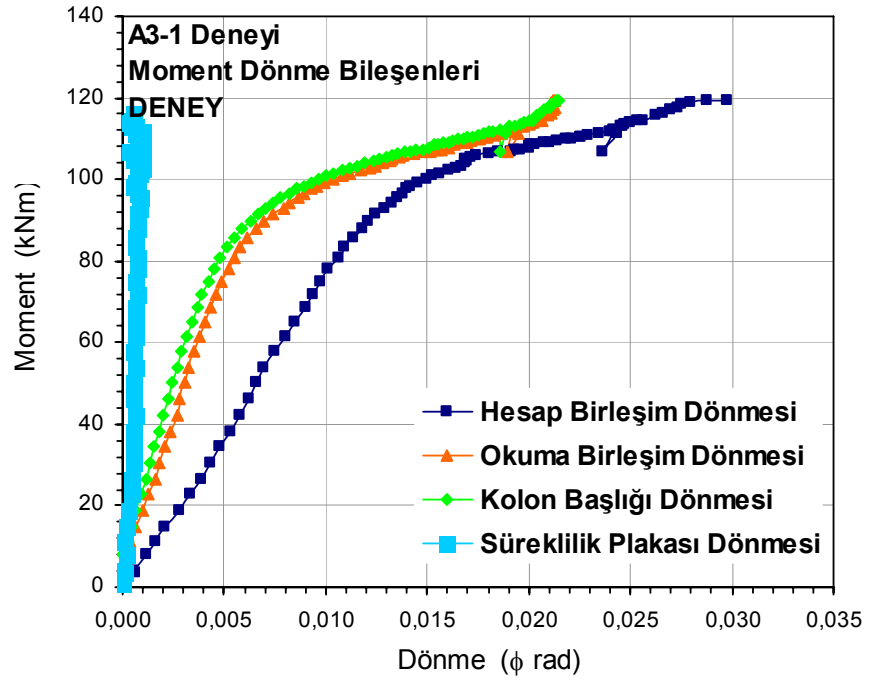
Şekil 5.34 : A3-1 Numunesi birleşim moment – dönme eğrisi.

Düzenek üzerinden doğrudan alınan okumalar yardımı ile toplam dönme oluşturulan bileşenler ayrılmış ve aşağıda Şekil 5.35’de verilmiştir. Burada görülebileceği gibi kolon ve kirişin toplam dönme katkısı oldukça büyüktür. Birleşimin rijitliğinin göreceli olarak oldukça yüksek olduğu da ayrıca not edilmiştir. Hesap birleşim dönmesi olarak nitelendirilen dönme toplam dönmeden kolon-kiriş dönmesinin çıkarılması ile hesaplanmaktadır. Şekil 5.35’de ilgili eğrilere dikkat edilirse bu hesaplanan dönmenin doğrudan okunan dönme ile birbirine oldukça yakın sonuç verdiği görülebilir. Eğimlerinin hem lineer bölgede hem sonrasında paralel olması, yakınsaklığı ifade eden dikkat edilmesi gereken bir unsurdur.

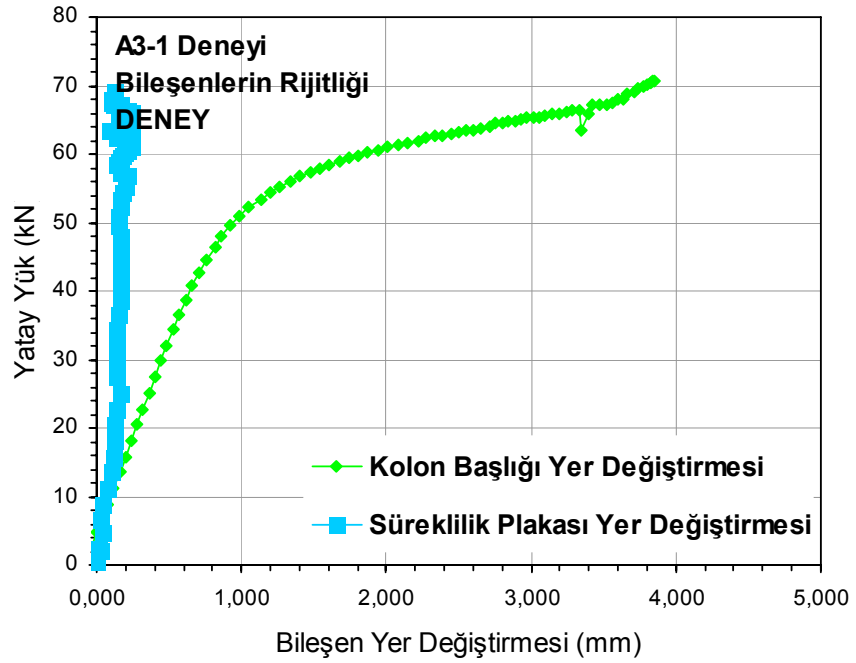


Şekil 5.35 : A3-1 Numunesi birleşim moment – toplam dönme eğrisi alt bileşenleri.

Yapılan veri kaydı incelenerek, alınan bu birleşim dönme okumalarının bileşenler bazında değerlendirmesi de ayrıca yapılmıştır. Aşağıda Şekil 5.36’da birleşim dönmesi ve bileşenlerin bu birleşim dönmesine katkıları grafik olarak verilmiştir.

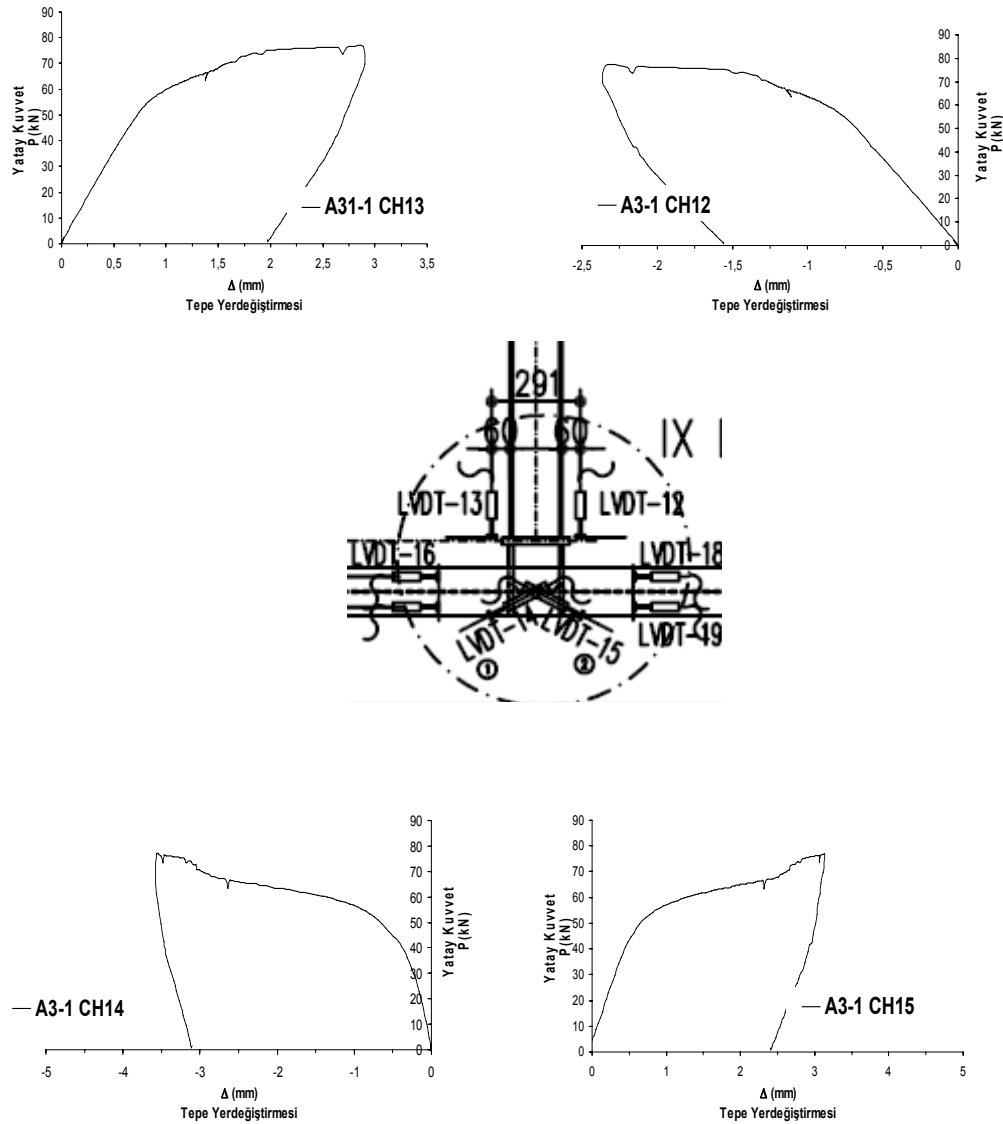


Şekil 5.36 : A3-1 Numunesi birleşim moment – dönme eğrisi alt bileşenleri.

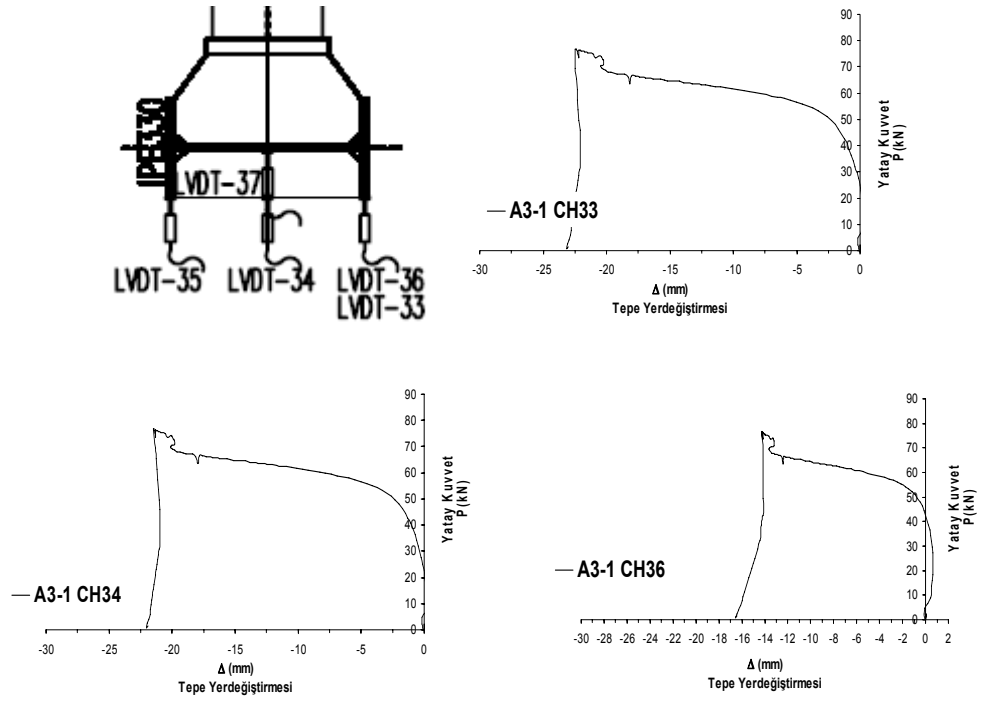


Şekil 5.37 : A3-1 Numunesi etkin bileşenlerin rijitlikleri.

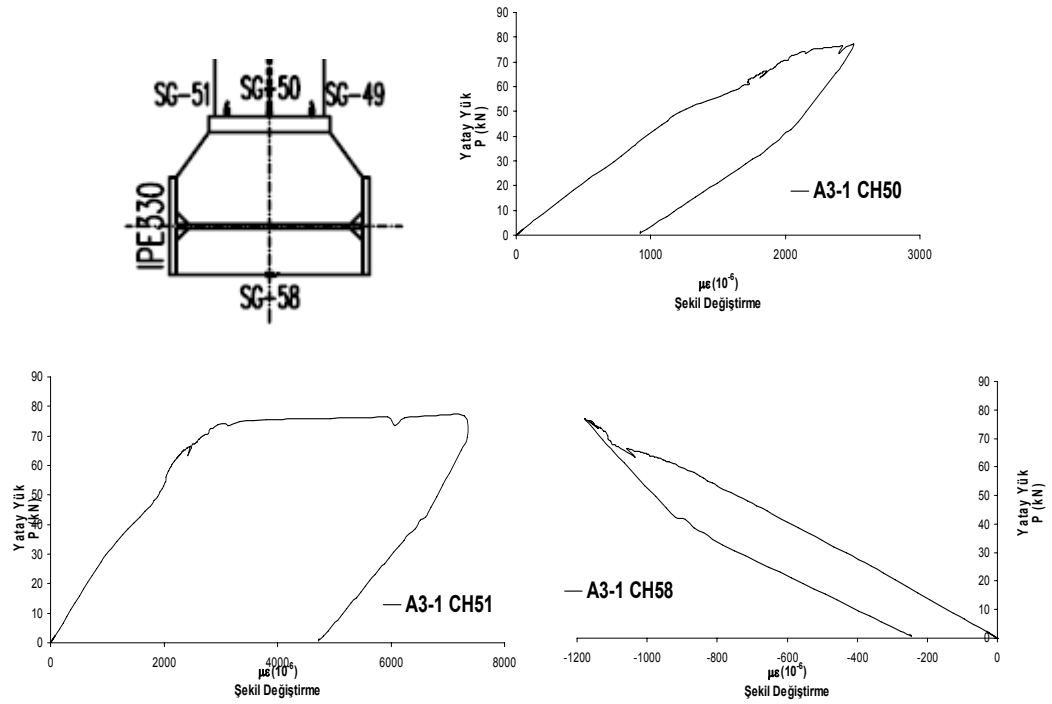
Katkıları bazında incelenen bileşenlerin tepe yüküne bağlı şekil değiştirme özellikleri de ayrıca Şekil 5.37 olarak verilmiştir. Bu şekiller dikkatle incelenerek birleşim davranışı için yapılan deney kapsamında yorumlandığında, birleşimin ana şekil değiştirme bileşenlerinin kolon ve kiriş yapısal elemanları olduğu görülebilir. Ancak plastik şekil değiştirme kapasitesi ve enerji sönümüne birleşimin de büyük katkısı olduğu gözlemlenmiştir.



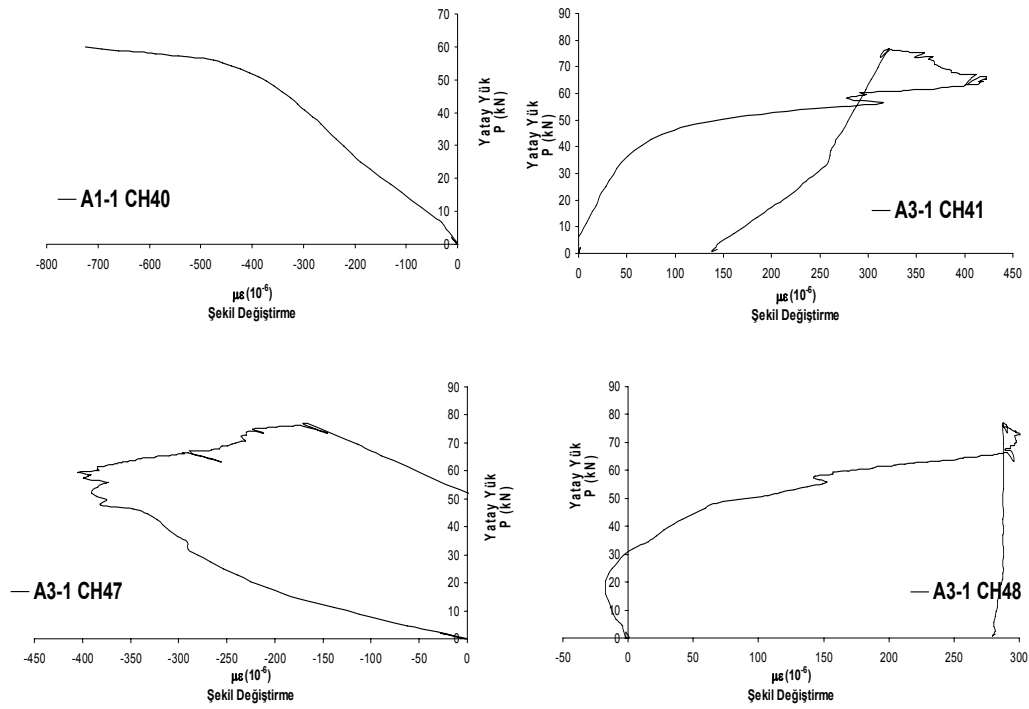
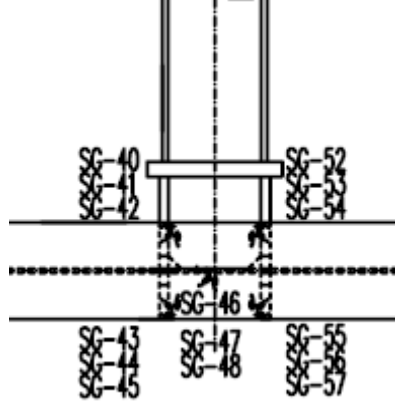
Şekil 5.38 : Kiriş dönmesi ve kolon başlığı panel şekil değiştirmeleri verileri.



Şekil 5.39 : Kiriş başlığı ve süreklilik levhası verileri.



Şekil 5.40 : Kiriş başlığı verileri.



Şekil 5.41 : Kolon başlığında panel bölgesi verileri.

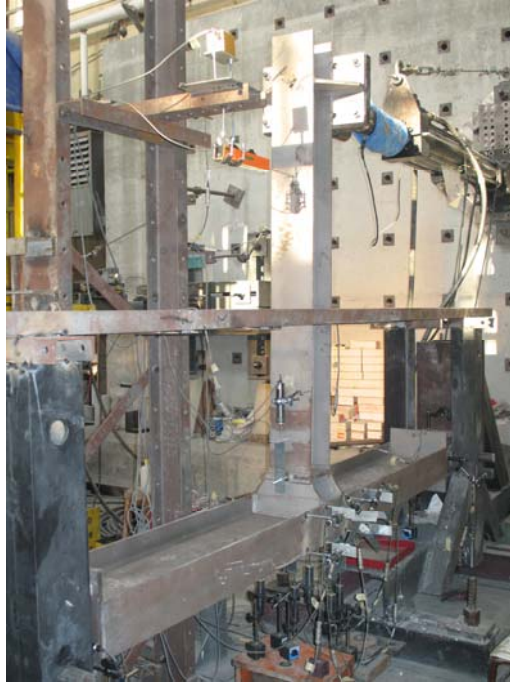
Göreceli olarak A1-1'e ve A2-1'e göre daha az rijit olduğu söylenebilecek olan bu birleşimin birleşim plastikleşme dayanımının kolon-kiriş plastikleşme dayanımına oldukça yakın olduğu da gözlemlenmiştir. Bu deney için birleşim dönmesinin ana bileşeni kolon başlığı kayma şekil değiştirmesidir. Bu bileşenin hem başlangıç rijitliği olarak, hem de lineer sonrası şekil değiştirme kapasitesi ve enerji sönümünde daha büyük bir etkisi olduğu Şekil 5.36 ve Şekil 5.37'den izlenebilmektedir.

Kritik davranış yorumlarının yapılabileceği kanal okumalarından bir grup aşağıda Şekil 5.38, Şekil 5.39, Şekil 5.40 ve Şekil 5.41'de verilmiştir.

5.1.3.2 Deney sırasında yapılan gözlemler

Monoton artan yükleme koşulları ile yapılan deney, eşit plastikleşme dayanımına sahip bir kolon ve kiriş durumunu temsil etmektedir.

Yatay yükün artması ile artan tepe yer değiştirmesi ve tüm diğer kanallardan veri kaydı sorunsuz olarak gerçekleştirilmiştir. Aşağıda Şekil 5.42’de deney öncesi düzenek yerleşimi gösterilmiştir.

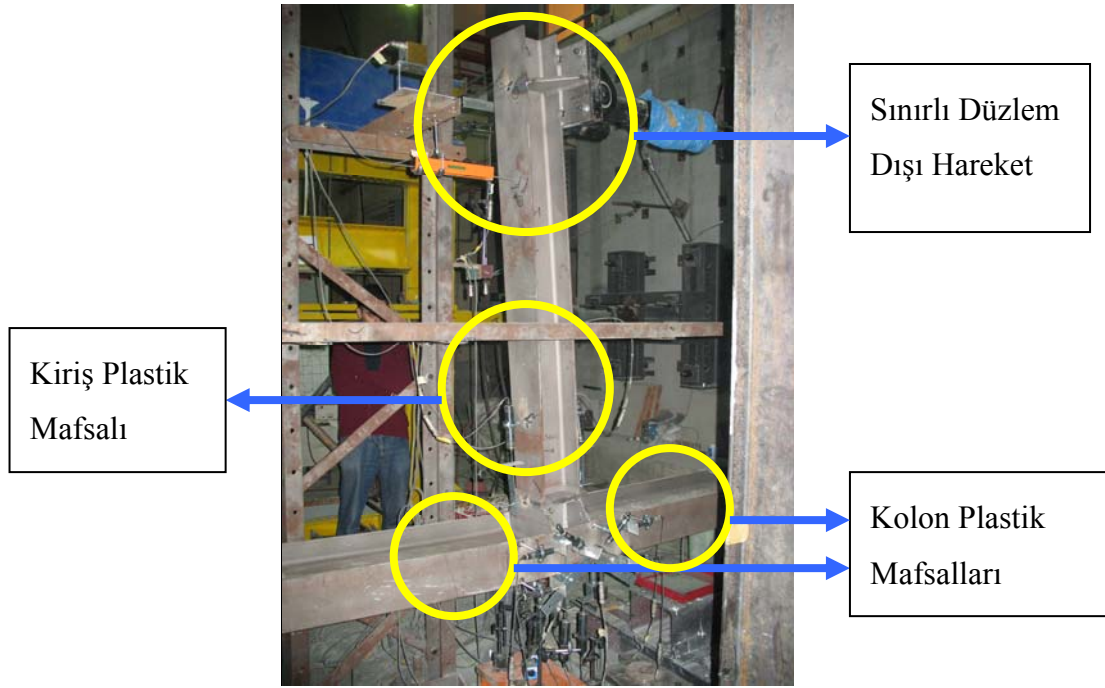


Şekil 5.42 : Deney öncesi düzenek yerleşimi.

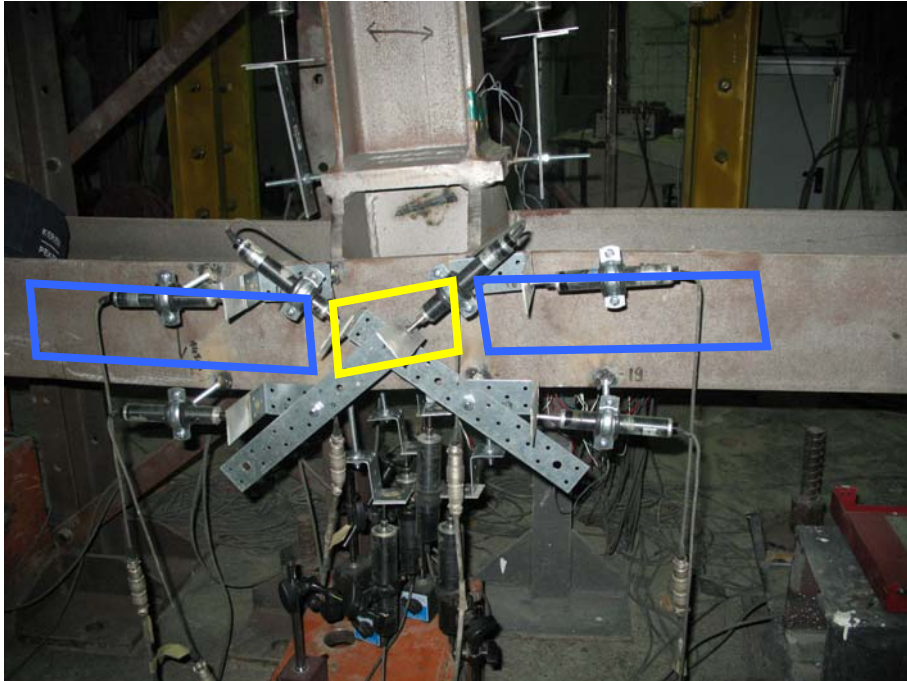
Elastik malzeme dayanımının aşılması ardından kolon ve kiriş üzerinden alınan verilerde akma ve lineer davranışın sonlandığı gözlemlenmiştir. Artan tepe yer değiştirmesi ile birlikte kirişte lokal lineer ötesi şekil değiştirmelere bağlı olarak burkulmalar başlamıştır. Azalan düzlem dışı rijitlik sebebi ile kiriş düzlem dışına doğru hareket etmiştir. Okumaların sağlıklı olarak alınmaya devam edildiğinin gözlemlenmesi için lazer düzeç sistemi ilave edilmiş ve düzlem dışına hareketin kontrol edilmesi hedeflenmiştir.

Aşağıda Şekil 5.43’de plastik mafsalların oluşumu ve birleşimin şekil değiştirmiş hali görülmektedir. Şekil 5.44’de ise yaklaşık %10 görelî öteleme durumunda oluşan birleşim bölgesi şekil değiştirmeleri gösterilmiştir.

Gözlemlenen tepe yer değiştirmesi eğrisi yaklaşık %15 görelî kat ötelemesine karşılık gelen bir değere ulaşınca deneye son verilmiştir.



Şekil 5.43 : Kolon ve kirişte oluşan mafsallar ve düzlem dışı hareket.

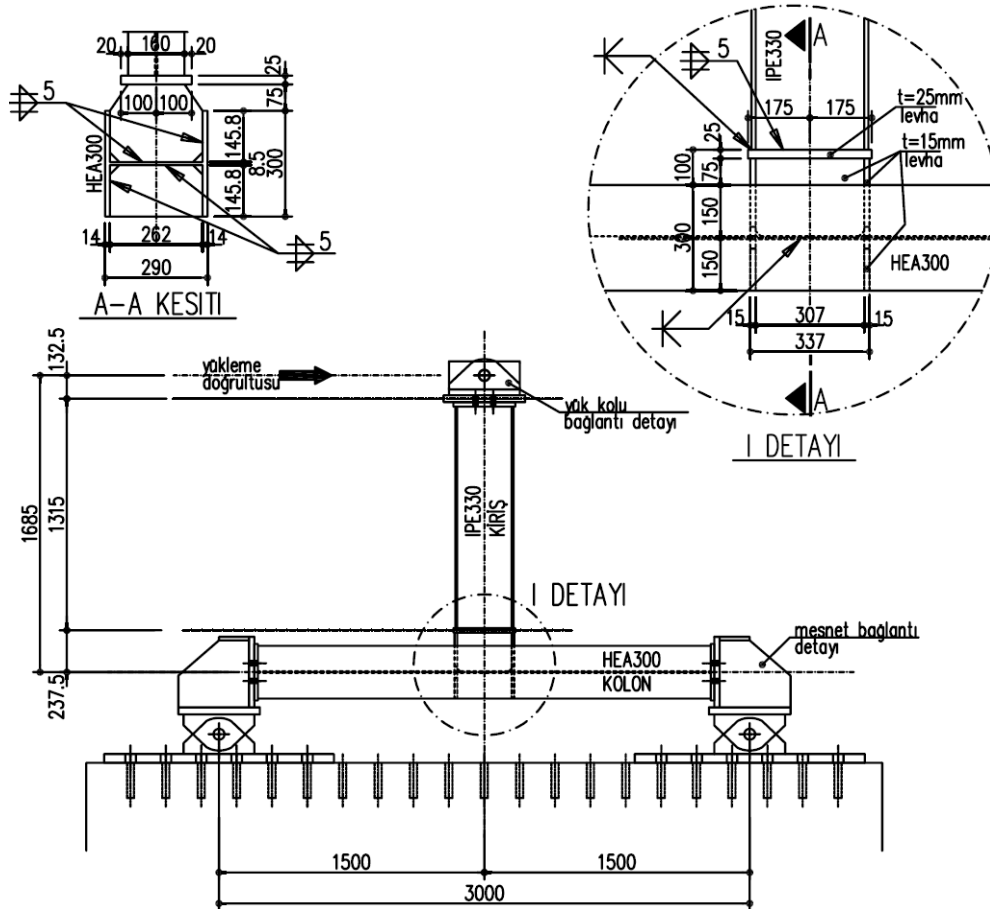
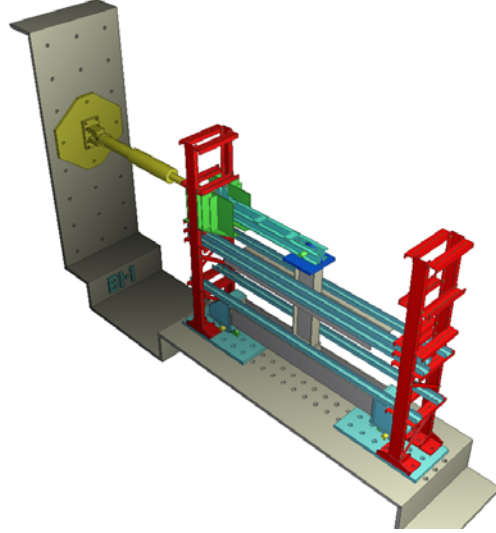


Şekil 5.44 : Kolon-kiriş bölgesinde %10 görelî ötelemedeki şekil değiştirmeler.

5.2 “B” Grubu Deneyler

5.2.1 B1-1 deneyi

İ.T.Ü Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı	
B TİPİ BİRLEŞİM	B1-1 HEA300 Kolon IPE330 Kiriş
TARİH	24.02.2006
Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI	
Kerem PEKER	

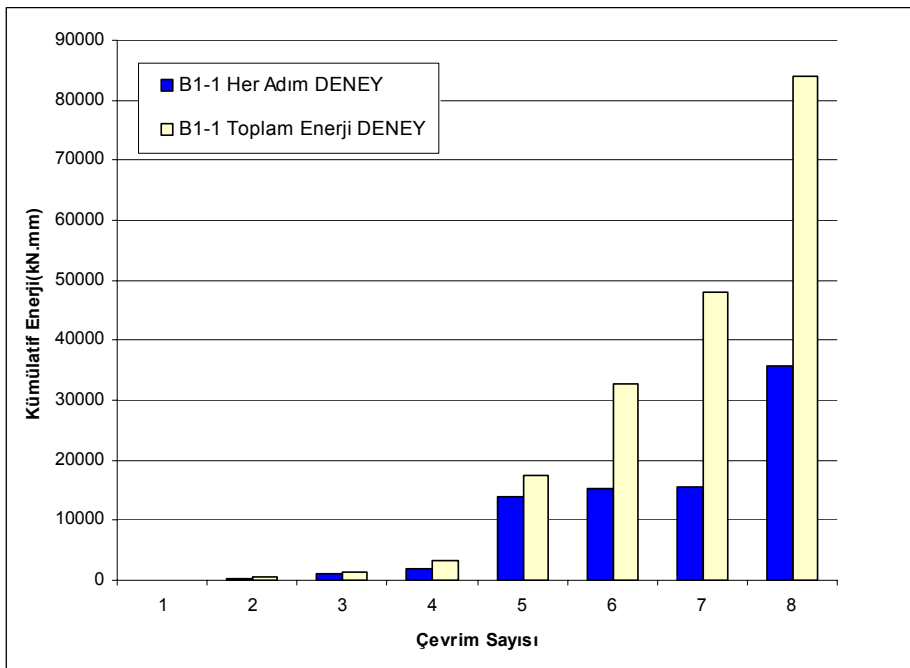


Şekil 5.45 : B1-1 Numunesi künyesi.

5.2.1.1 Yapılan okumaların grafik olarak sunulması

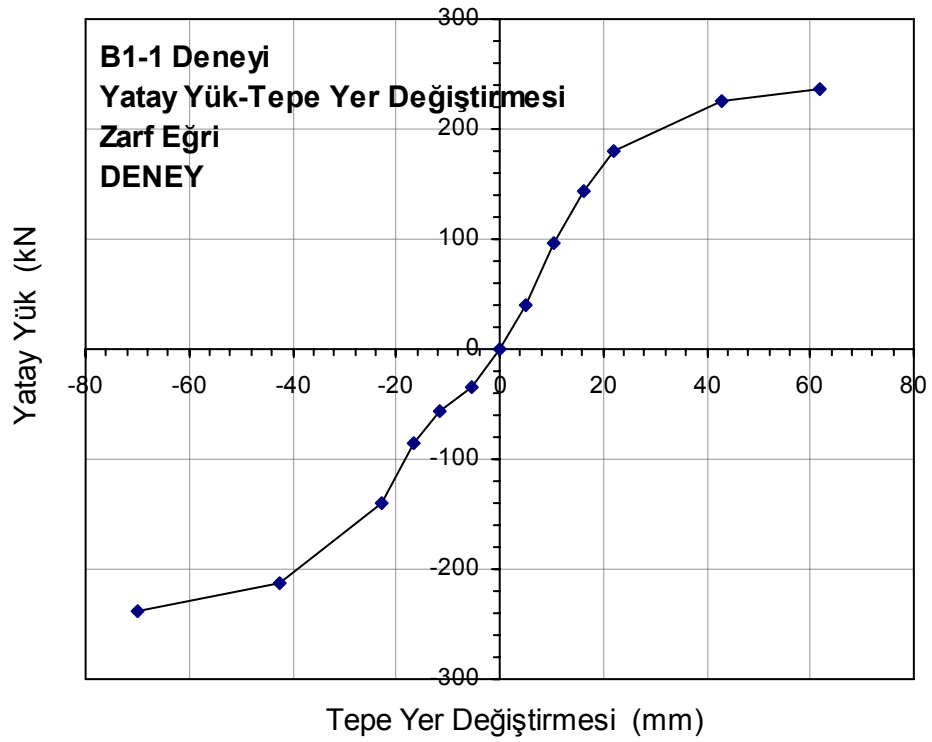
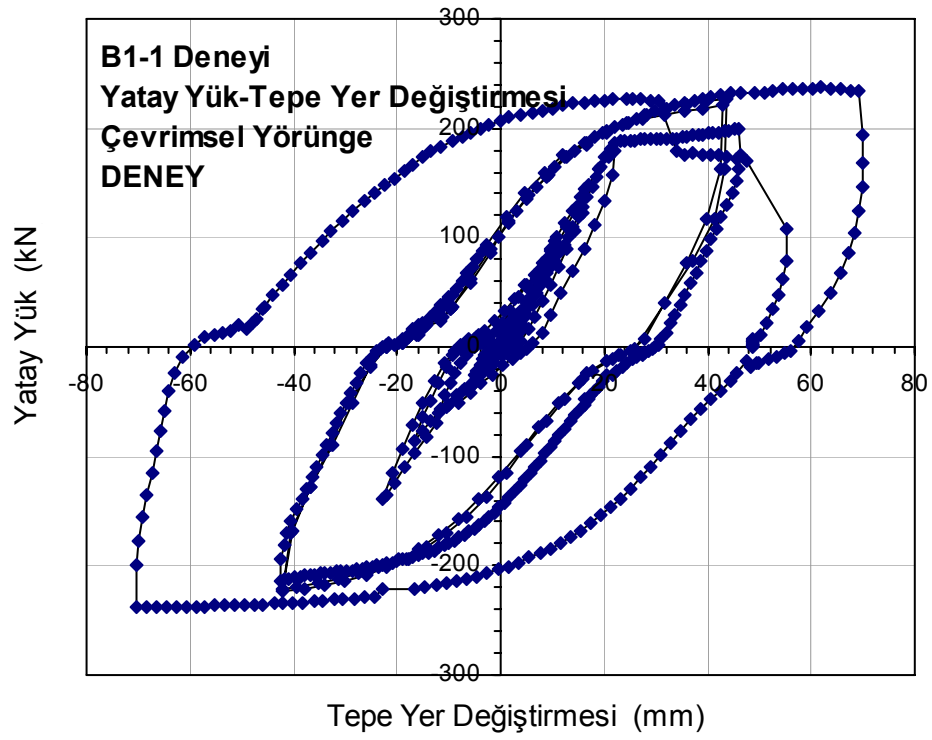
Deneyde toplam 40 kanaldan okuma alınmıştır. Kanal okumalarının tümü için kayıt altına alınan sayısal veri grafik olarak işlenerek eklerde “**Ek E.4**” olarak sunulmuştur. Bu veriler ilgili deneye ait alt başlıkların altında incelenmiştir. Kanal okumalarından her yükleme adımına ait yer ve şekil değiştirme değerleri takip edilebilir.

Çevrimsel yükleme adımlarının her biri için ortaya çıkan enerjiyi ve bu enerjilerin kümülatif olarak artışını gösteren grafik kayıt edilen veriler değerlendirilerek aşağıda Şekil 5.46’da verilmiştir. Deney numunesinin çevrimsel yük altında gösterdiği davranışı kısaca özetleyen bu grafik incelendiğinde B1-1 deneyinde 5-7 arası eşit genlikli çevrim adımlarında tutarlı bir enerji dağılımı olduğu görülebilir. Bu da birleşimin kararlı bir çevrimsel davranışı olduğunu gösterir.

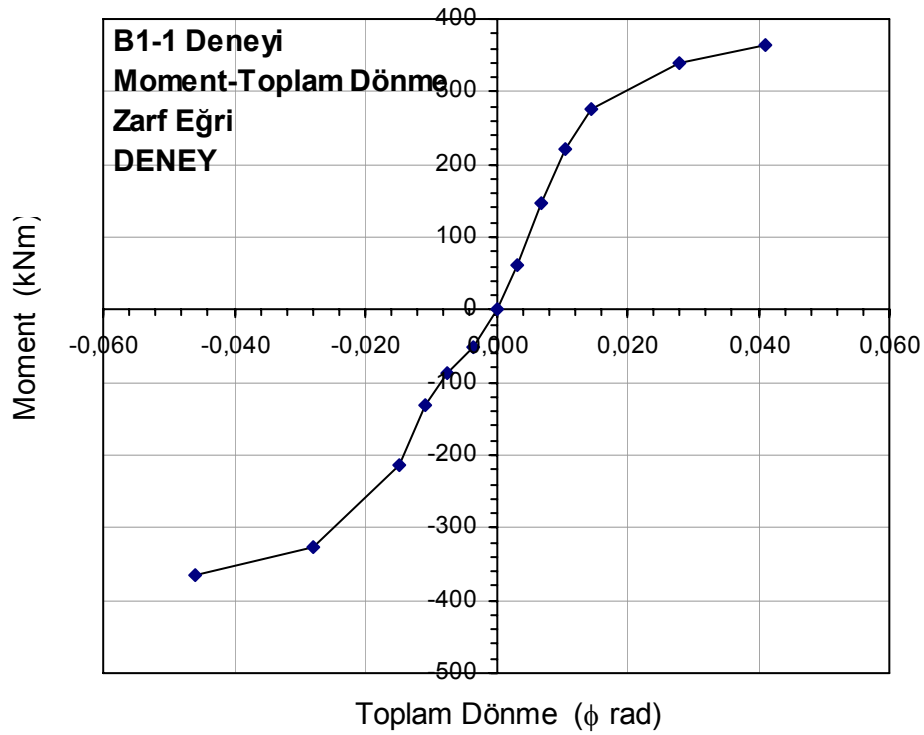
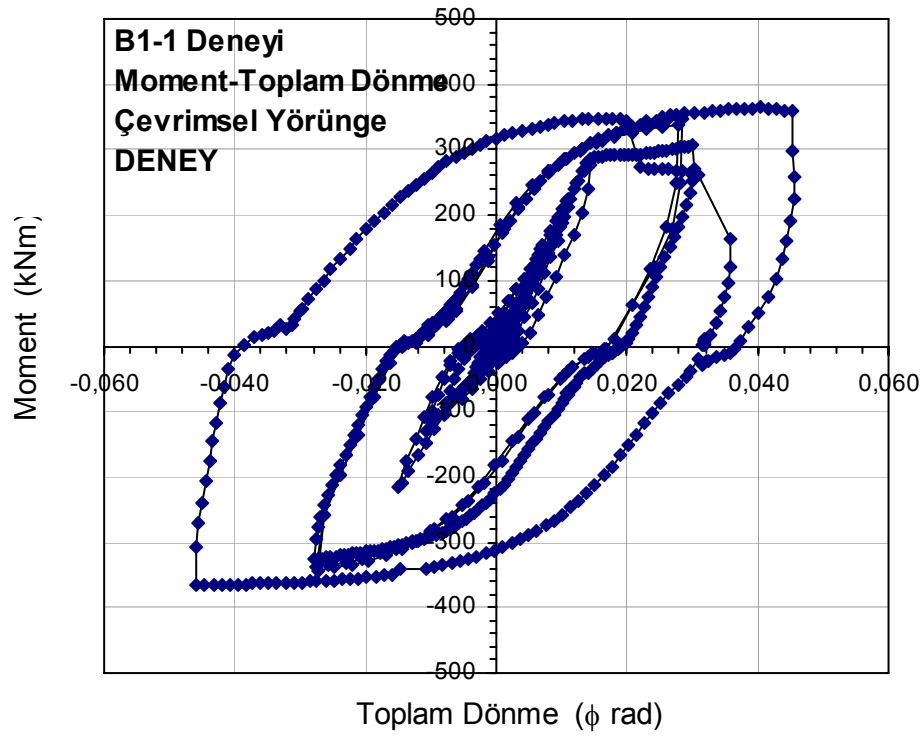


Şekil 5.46 : B1-1 Numunesi çevrim adımlarında ortaya çıkan enerjinin dağılımı.

Aşağıda Şekil 5.47’de kaydedilen veri değerlendirilerek hazırlanan ve B1-1 deneyinin karakteristik davranışını yorumlayabileceğimiz yatay yük-tepe yer değiştirmesi eğrisi verilmiştir. Ayrıca deneyde elde edilen Moment-Toplam Dönme eğrisi Şekil 5.48’de verilmiştir.

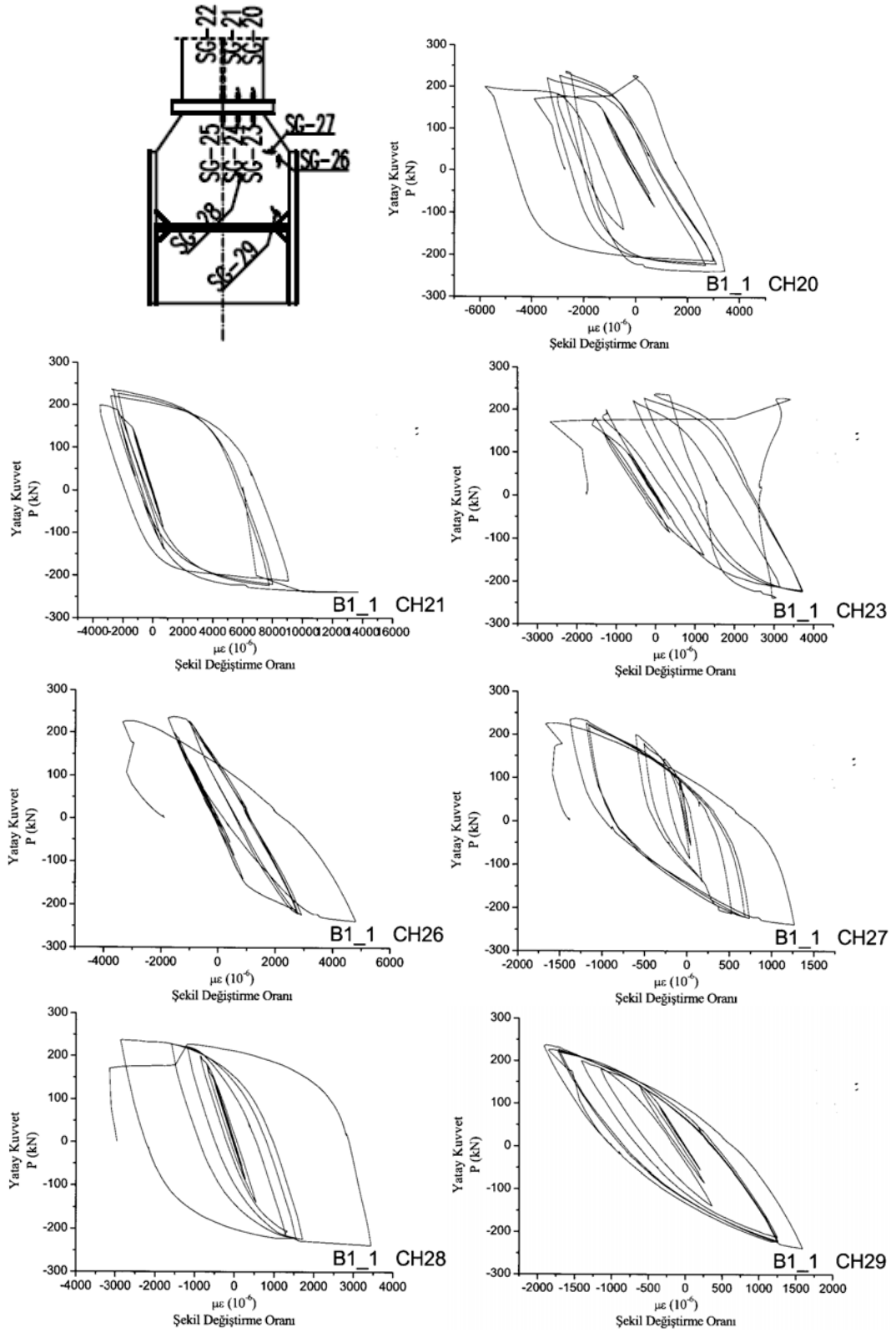


Şekil 5.47 : B1-1 Numunesi yatay kuvvet ve tepe yer değiştirmesini gösteren çevrimsel yörünge eğrisi ve zarf eğrisi.

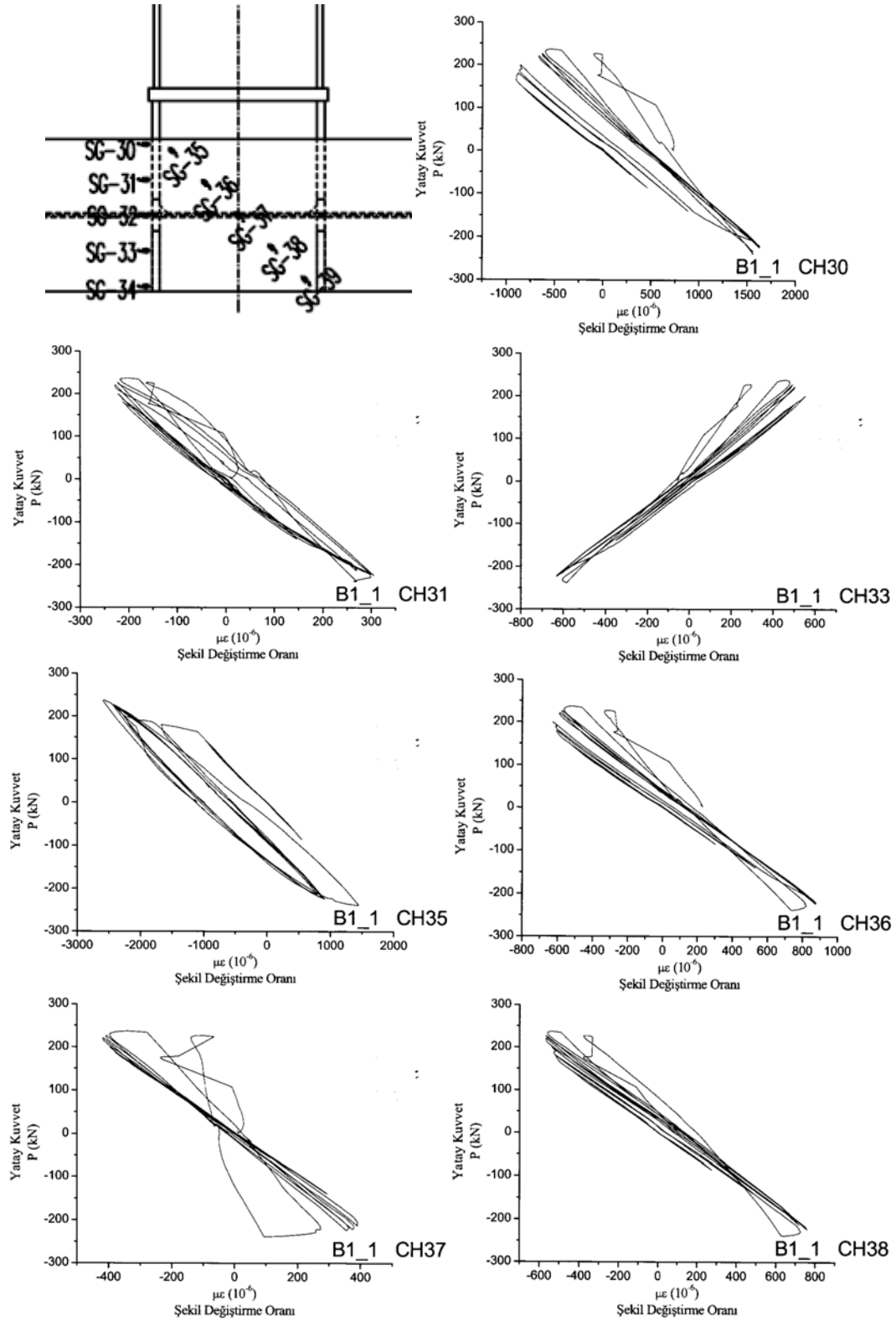


Şekil 5.48 : B1-1 Numunesi moment – toplam dönme değerlerini gösteren çevrimsel yörünge eğrisi ve zarf eğrisi.

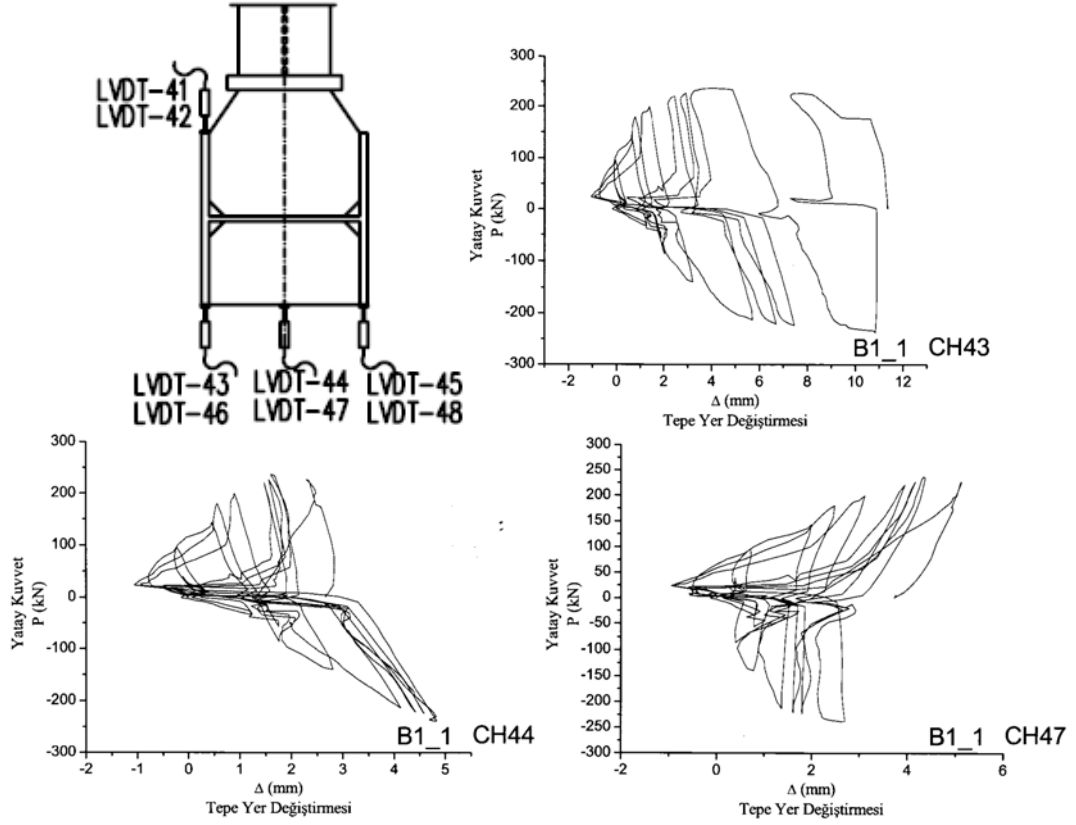
Kritik davranış yorumlarının yapılabileceği kanal okumalarından bir grup aşağıda Şekil 5.49, Şekil 5.50 ve Şekil 5.51’de verilmiştir.



Şekil 5.49 : Kiriş başlığı verileri.



Şekil 5.50 : Kolon başlığında panel bölgesi verileri.



Şekil 5.51 : Kiriş başlığı ve süreklilik levhası verileri.

5.2.1.2 Deney sırasında yapılan gözlemler

Deney ilk deney olması sebebi ile bazı sorunlarla başlamıştır. Bunların ilki bağlantı levhalarında oluşan kayma problemidir. Henüz ikinci “0.25 e_y ” elastik adımda iken, artık yer değiştirme ve iç kuvvet kalmayacak biçimde deney durdurulmuş, kısa süren birkaç düzeltmeyi takiben çalışma tekrar başlatılmıştır.

Düşük kuvvetlere karşılık gelen adımların ardından yaklaşık “1 e_y ” değerinde ilk çevrim içerisinde ortaya çıkan rahatsız edici sürtünme sesi ve eğride oluşan yer değiştirme kaybı sebebi ile deney tekrar yarıda kesilmiştir. Bu sefer deney de akma limitleri yakınlığında bulunulduğundan kuvvetlerin sıfırlanmasına çalışılmış ve ilk adımlardan beri ortaya çıkmış sürtünme yer değiştirmesi hariç neredeyse hiç ilave yer değiştirme kalmadan deney durdurulmuştur.

Oluşan sesin kaynağının sürtünerek kayma kaybına neden olan levhalar olduğu ve bu kaybın daha sonra veriden temizlenebileceğine karar verilmiş ve deneye tekrar başlanmıştır.

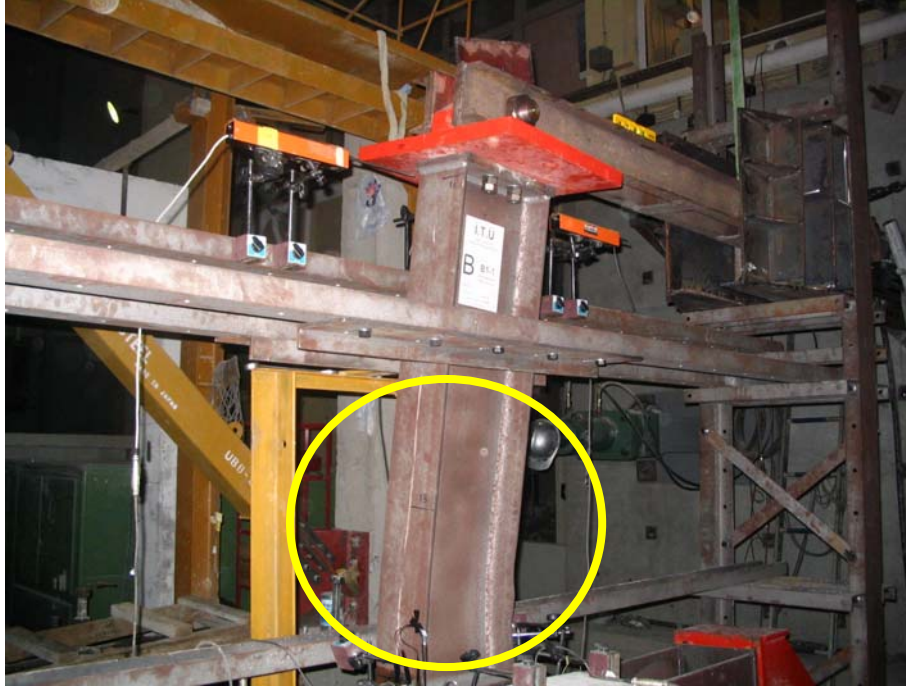
Üçüncü ve son kez başlayan deneyde oluşan akma beklendiği gibi kiriş ile alın levhası birleşiminde ve beklenen moment değerinde gerçekleşmiştir. “-2 e_y” genlik değerinde yapılan ikinci çevrim sırasında kiriş başlığında oluşan yerel burkulmalar kaydedilmiş ancak bu burkulmaların bir yük kaybına neden olmadıkları tespit edilmiştir.



Şekil 5.52 : Kirişte “2 e_y” adımı sırasında plastikleşen bölge ve burkulan başlık.



Şekil 5.53 : Kirişte “2 e_y” adımı sırasında plastikleşen bölge ve burkulan başlık.



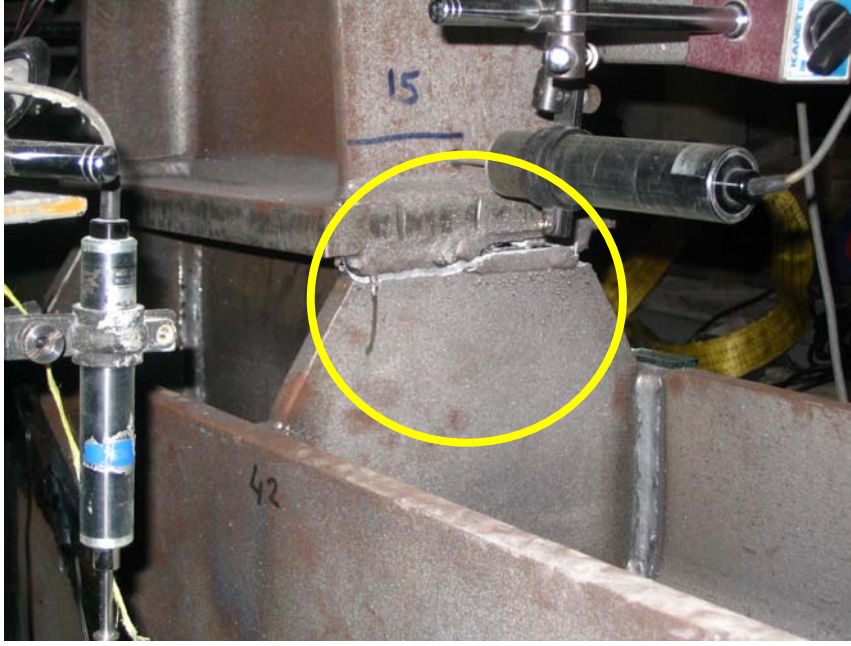
Şekil 5.54 : Kirişte “2 e_y ” adımımda plastikleşen bölge ve burkulan başlık.

“+3 e_y ” genlikli adımda gerçekleşen ilk yükleme çevrimi problemsiz olarak geçilmesine karşın geri dönüş “-3 e_y ” adımı tamamlanıp 2. “+3 e_y ” adımına başlandığı ve yaklaşık akma değerine ulaşıldığı sıralarda yüksek bir gevreme sesi duyulmuş ancak deneye devam edilmiş, hemen takip eden ikinci ara yer değiştirme adımında ise alın levhası arka yüzünden başlayan bir kaynak kopması sonucu ortaya çıkan sesle deney durdurulmuştur.

Yük-yer değiştirme eğrisinde yaklaşık %30 oranında bir düşme oluşmuş ve deneye devam edildikçe taşıma kapasitesi azalmıştır.

Deneye numunede iç kuvvet kalmayacak şekilde son verilmiştir. Son adımda oluşmuş olan şekil değiştirme ve hasar durumu aşağıda Şekil 5.52, Şekil 5.53 ve Şekil 5.54 olarak verilmiştir.

Burkulmuş kiriş başlığı ve dağılmış plastikleşme bölgesi net olarak Şekil 5.53’den izlenebilmektedir. Kaynak altından başlayarak kaynak ve alın levhası arasına girmiş olan kopma çizgisi ise net olarak Şekil 5.55 ve Şekil 5.56’da görülmektedir.



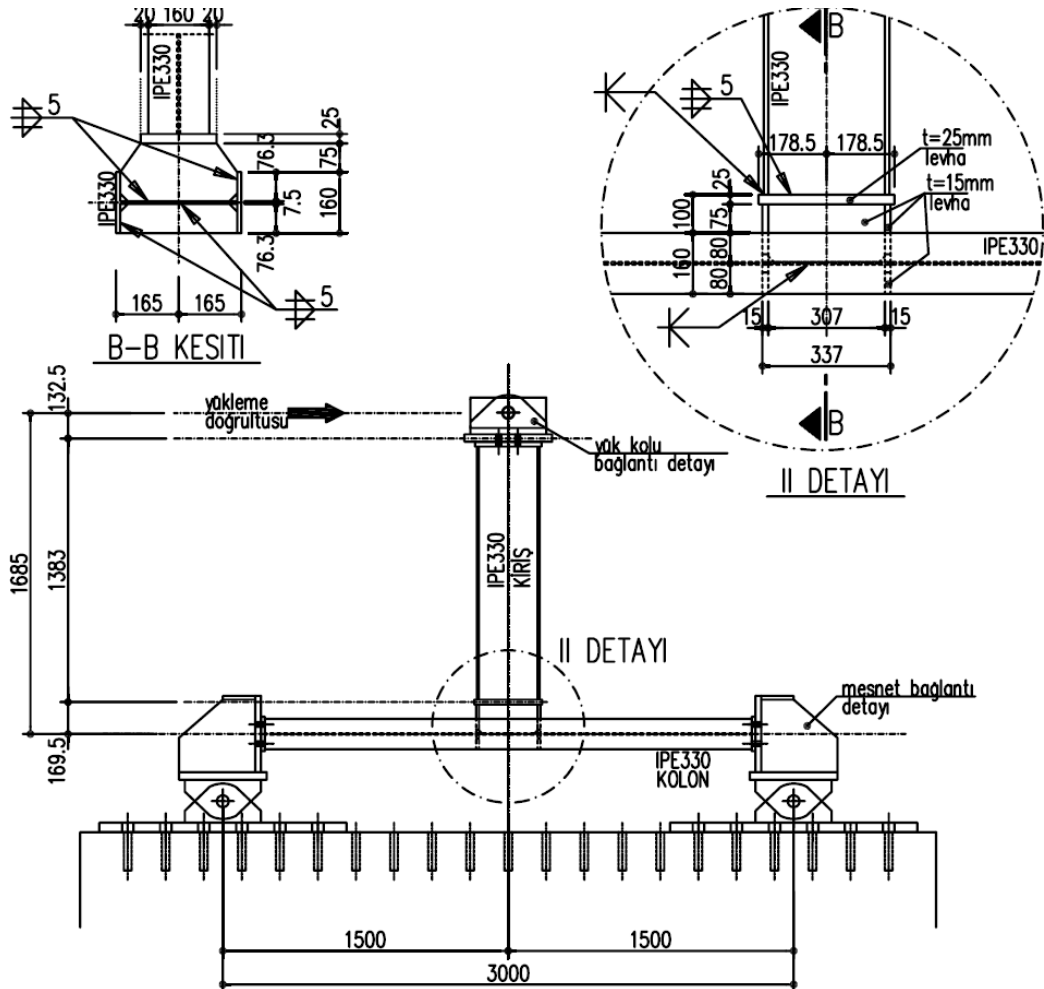
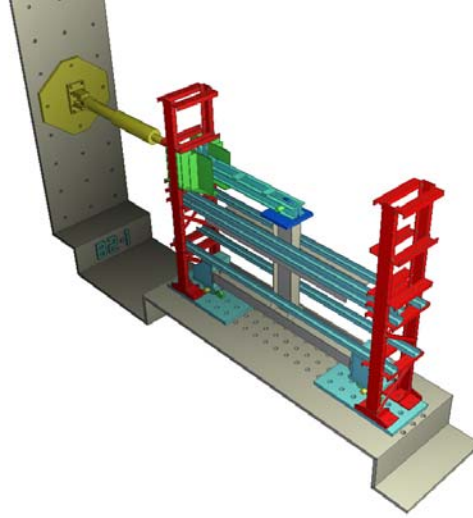
Şekil 5.55 : Kaynakta oluşan hasrın dıştan görünüşü.



Şekil 5.56 : Kaynak altından kopmuş iç takviye levha sistemi.

5.2.2 B2-1 deneyi

İ.T.Ü Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı	
B TİPİ BİRLEŞİM	B2-1 IPE330 Kolon IPE330 Kiriş
TARİH	08.03.2006
Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI	
Kerem PEKER	

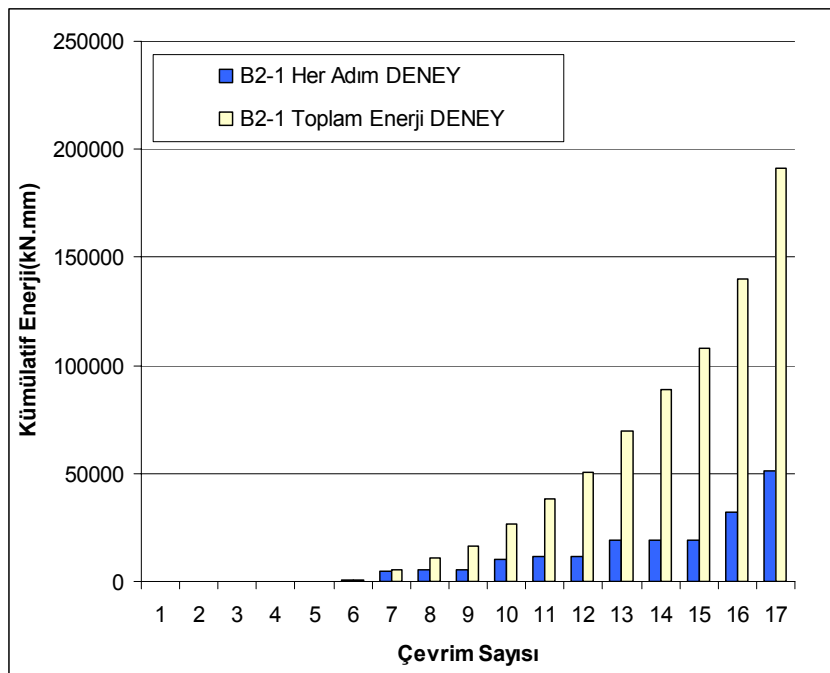


Şekil 5.57 : B2-1 Numunesi künyesi.

5.2.2.1 Yapılan okumaların grafik olarak sunulması

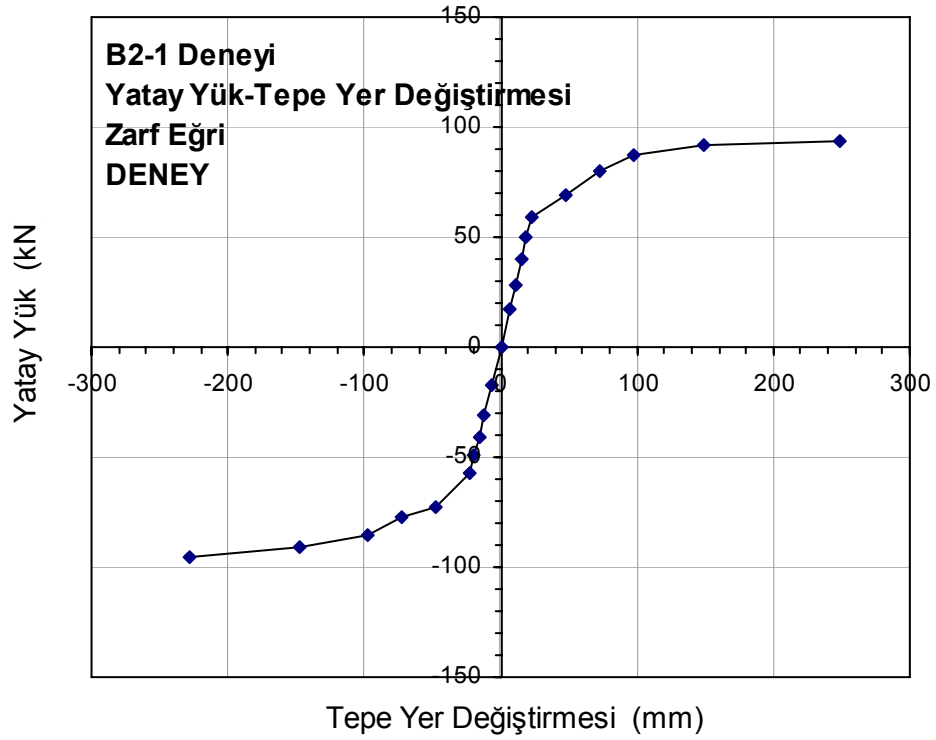
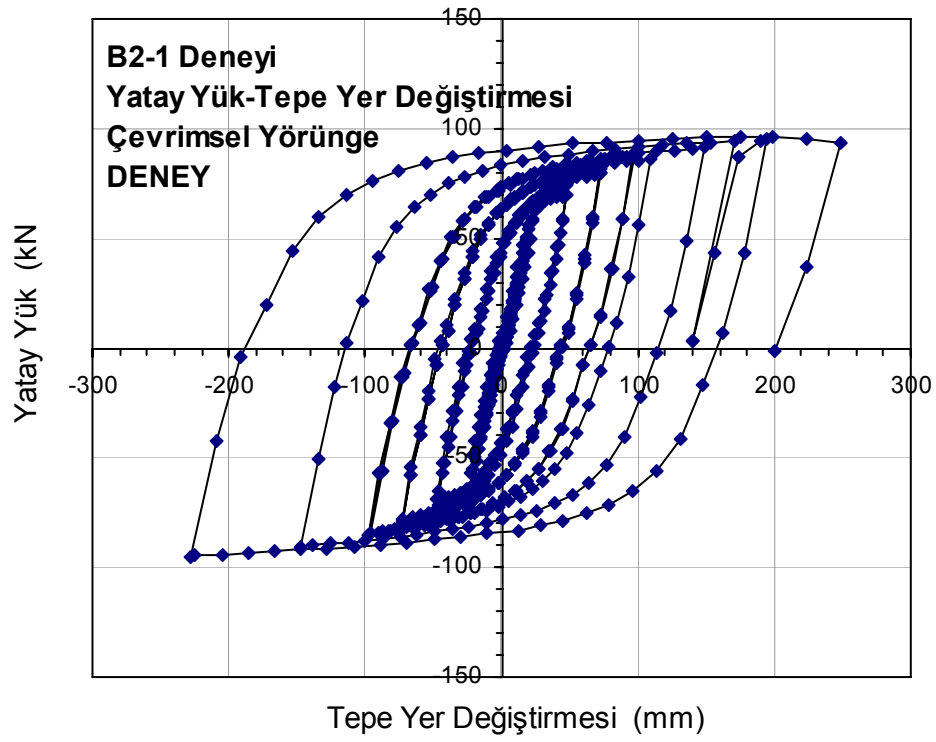
Deneyde toplam 40 kanaldan okuma alınmıştır. Kanal okumalarının tümü için kayıt altına alınan sayısal veri grafik olarak işlenerek eklerde “**Ek E.5**” olarak sunulmuştur. Bu veriler ilgili deneye ait alt başlıkların altında incelenmiştir. Kanal okumalarından her yükleme adımına ait yer ve şekil değiştirme değerleri takip edilebilir.

Çevrimsel yükleme adımlarının her biri için ortaya çıkan enerjiyi ve bu enerjilerin kümülatif olarak artışını gösteren grafik kayıt edilen veriler değerlendirilerek aşağıda Şekil 5.58’de verilmiştir. Deney numunesinin çevrimsel yük altında gösterdiği davranışı kısaca özetleyen bu grafik incelendiğinde B2-1 deneyinde 7-9, 10-12 ve 13-15 arası eşit genlikli çevrim adımlarında tutarlı bir enerji dağılımı olduğu görülebilir. Bu da birleşimin kararlı bir çevrimsel davranışı olduğunu gösterir.

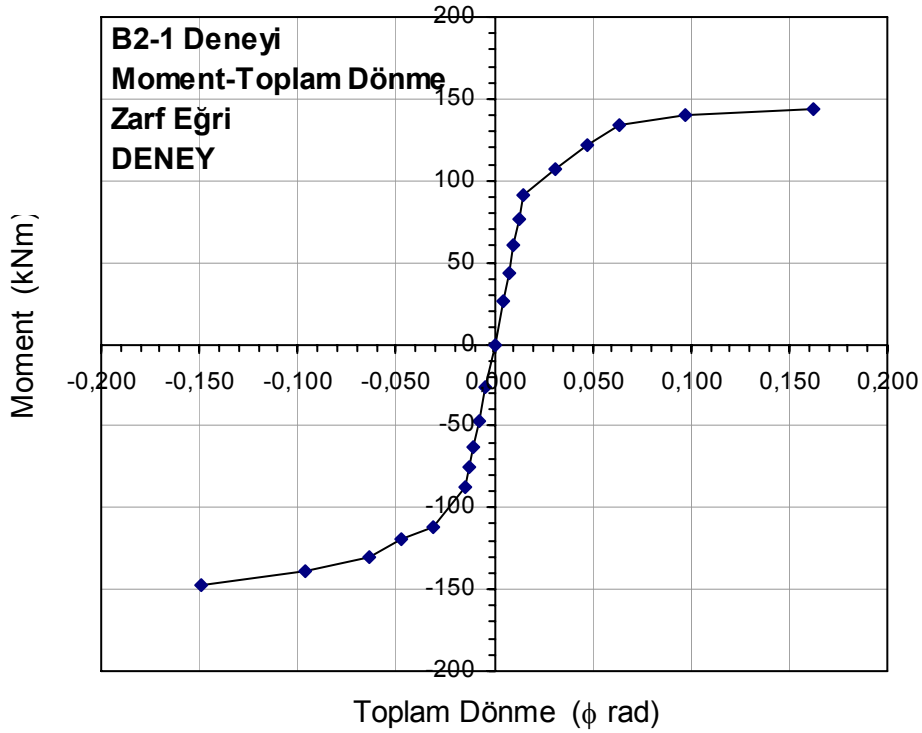
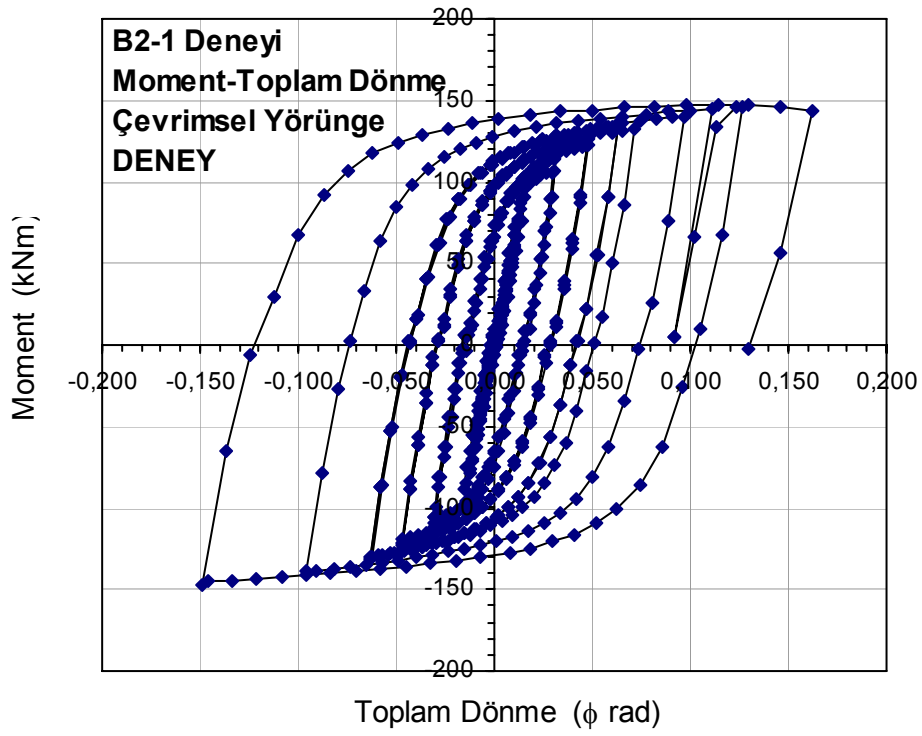


Şekil 5.58 : B2-1 Numunesi çevrim adımlarında ortaya çıkan enerjinin dağılımı.

Aşağıda Şekil 5.59’da kaydedilen veri değerlendirilerek hazırlanan ve B2-1 deneyinin karakteristik davranışını yorumlayabileceğimiz yatay yük-tepe yer değiştirmesi eğrisi verilmiştir. Ayrıca deneyde elde edilen Moment-Toplam Dönme eğrisi Şekil 5.60’da verilmiştir.

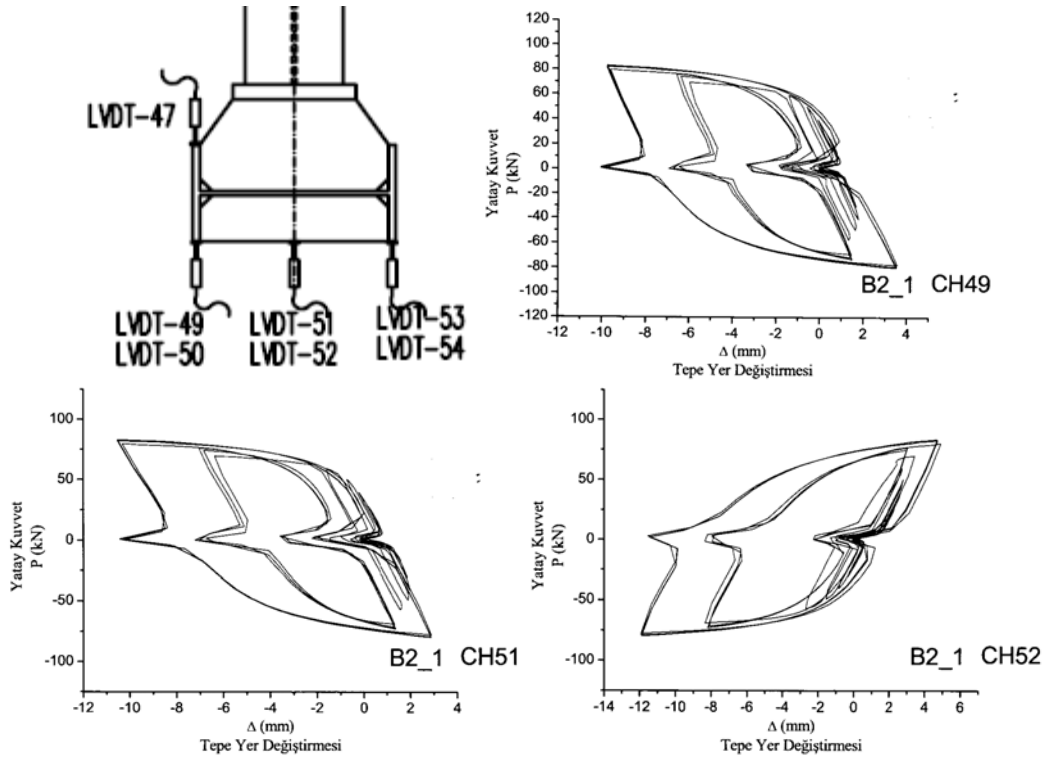


Şekil 5.59 : B2-1 Numunesi yatay kuvvet ve tepe yer değiştirmesini gösteren çevrimsel yörünge eğrisi ve zarf eğrisi.

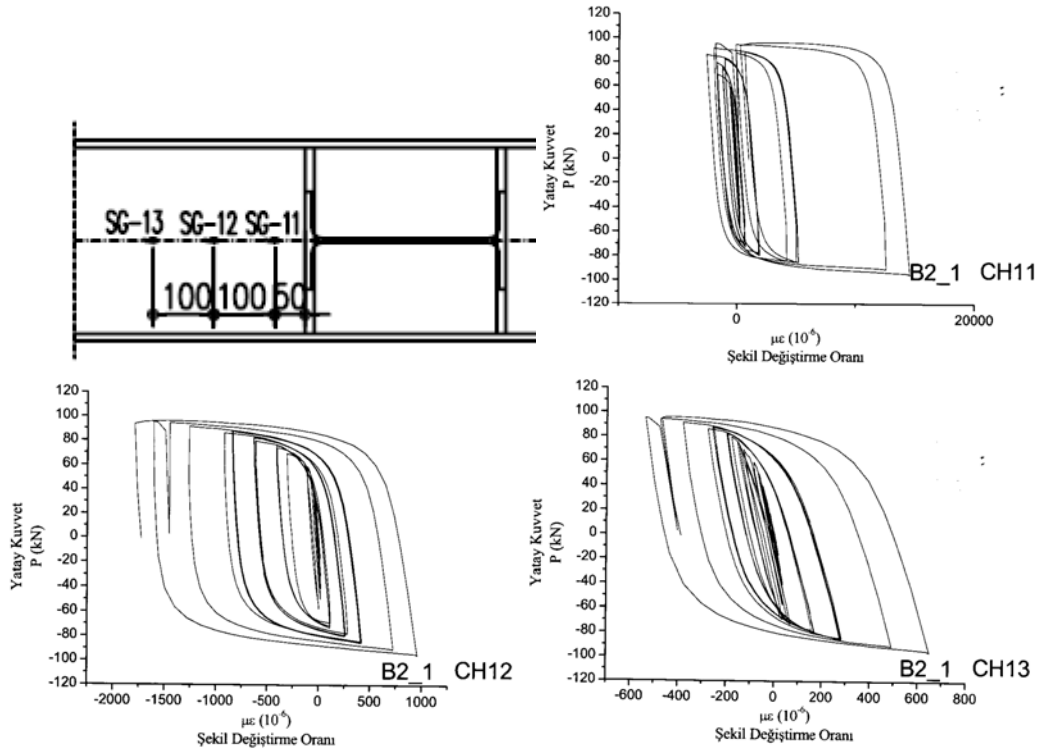


Şekil 5.60 : B2-1 Numunesi moment – toplam dönme değerlerini gösteren çevrimsel yörünge eğrisi ve zarf eğrisi.

Kritik davranış yorumlarının yapılabilceği kanal okumalarından bir grup aşağıda Şekil 5.61 ve Şekil 5.62’de verilmiştir.



Şekil 5.61 : Kiriş başlığı ve süreklilik levhası verileri.



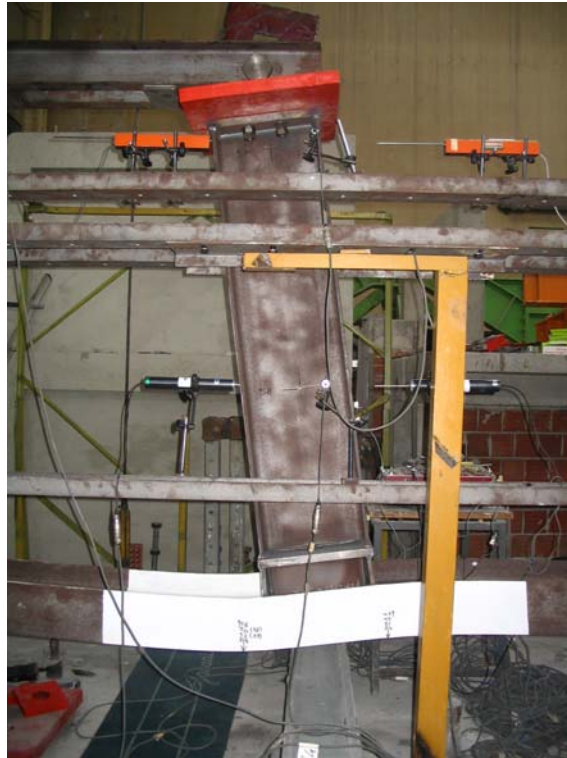
Şekil 5.62 : Kolon gövdesi verileri.

5.2.2.2 Deney sırasında yapılan gözlemler

B2 deneyinden önceki birkaç günlük süreçte, ilk deneylerde (B1 ve C1) yaşanan rahatsız edici sesi ve veride meydana gelen sürtünme ve düzlem dışı hareket etkilerini minimize etmek amacı ile deney düzeneği son bir kez revize edilmiştir.

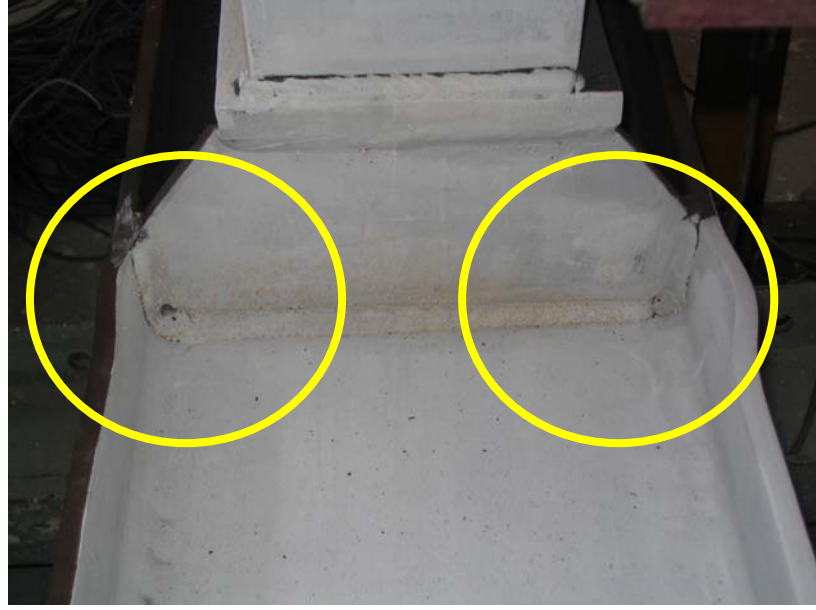
Deneye başlanmasının ardından düşük yatay kuvvetlere karşılık gelen ilk adımlar hızlı ve sorunsuz olarak geçilmiş akma yer değiştirmelerine gelindiğinde ise herhangi bir sorun ile karşılaşılmadan sistem akma davranışı gözlenmeye başlanmıştır.

“2 e_y ” adımlarının başlarında kolon başlıklarında plastikleşmeden kaynaklanan düzlem dışı hareketler gözlenmiş ve oluşan başlık burkulmalarına karşın yük azalması oluşmadığı hatta taşınan yatay yükte artan yer değiştirme ile birlikte yavaş bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Üçer kez tekrarlanan “1 e_y ”, “2 e_y ”, “3 e_y ” ve “4 e_y ” çevrim adımlarının ardından deneyde yorulma etkisi başlamadan, ve yorulma nedenli olarak çevrim sıkışması problemine takılmadan sistem kapasitesi ile ilgili bilginin gözlemlenebilmesi için yükleme adımları tek tam çevrime indirilmiş ve sırası ile “6 e_y ”, ve “8 e_y ” adımları hiçbir önemli değişimlik gözlemlenmeden ancak düzlem dışı şekil değiştirmede oluşan artma da dikkatle incelenerek tamamlanmıştır.



Şekil 5.63 : Plastik davranış gösteren kolon başlık bölgesi.

Laboratuar koşullarına uygun olarak kurulmuş olan test düzeneğinin kapasitesi yaklaşık “10 e_y” değerinde olduğundan numune bir tam çevrim de “10 e_y” genliği ile test edilmiş sonrasında B2 deneyi sona erdirilmiştir. Son adımda oluşmuş olan şekil değiştirme ve hasar durumu Şekil 5.63, Şekil 5.64 ve Şekil 5.65 olarak verilmiştir. Yüksek yatay yer değiştirme sonucu kolon başlıklarında oluşan plastik dönme ve eğrilik net olarak Şekil 5.63’de görülmektedir. Burkulmuş kolon başlığı bölgesi net olarak Şekil 5.64 ve Şekil 5.65’den izlenebilmektedir.



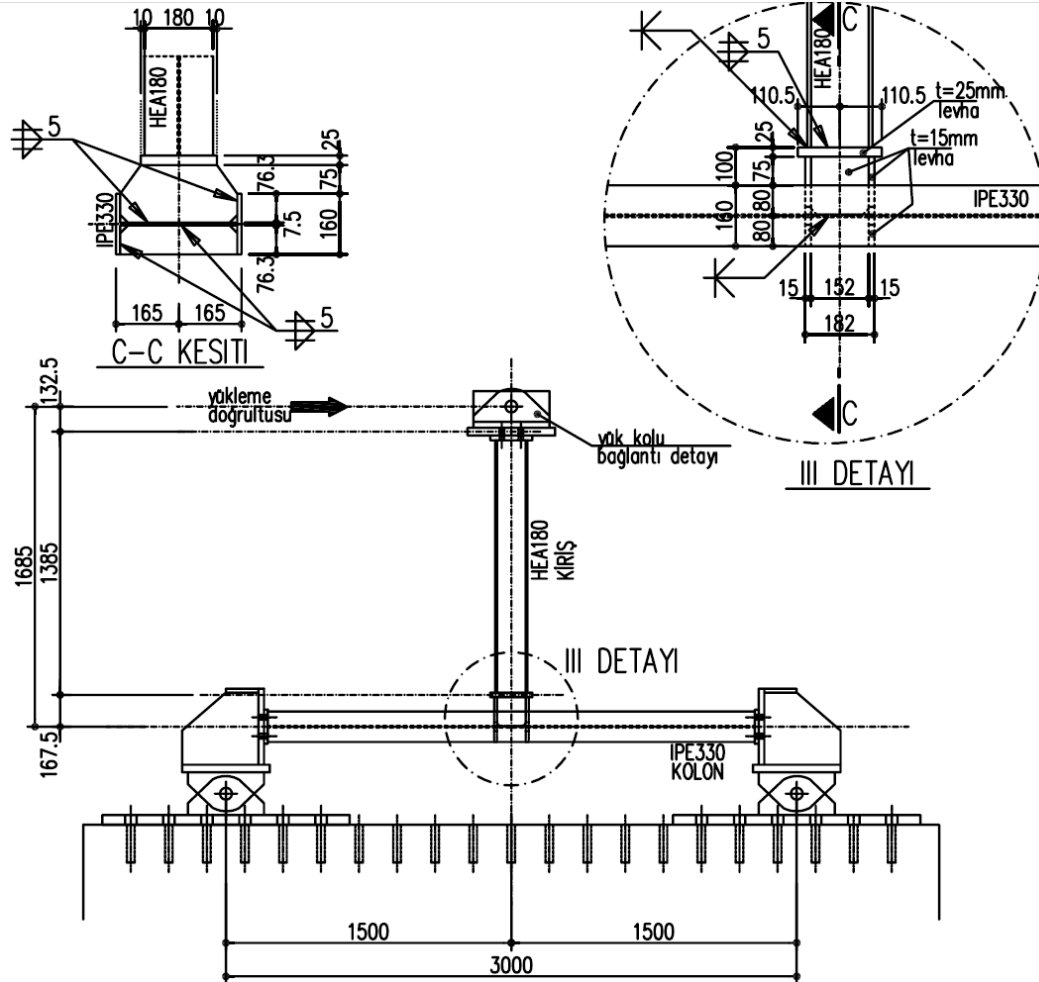
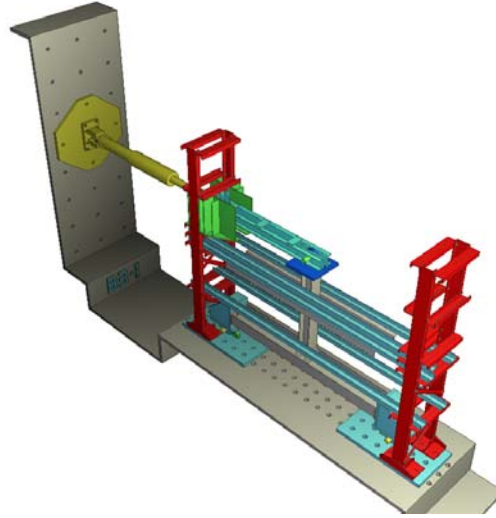
Şekil 5.64 : Kolon başlığında burkulmalar. (Arkadan)



Şekil 5.65 : Kolon başlığında burkulmalar. (Önden)

5.2.3 B3-1 deneyi

İ.T.Ü Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı	
B TİPİ BİRLEŞİM	B3-1 IPE330 Kolon HEA180 Kiriş
TARİH	01.04.2006
Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI	
Kerem PEKER	

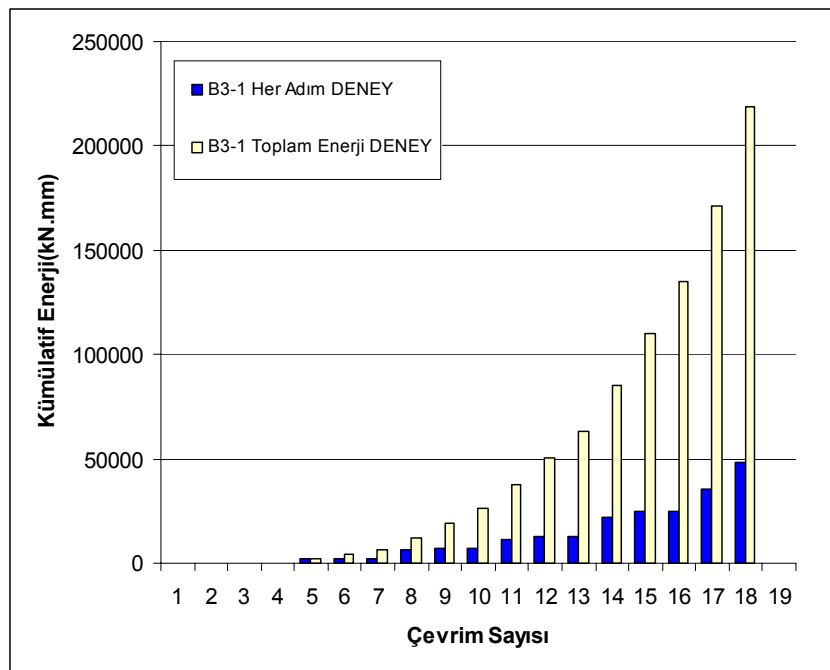


Şekil 5.66 : B3-1 Numunesi künyesi.

5.2.3.1 Yapılan okumaların grafik olarak sunulması

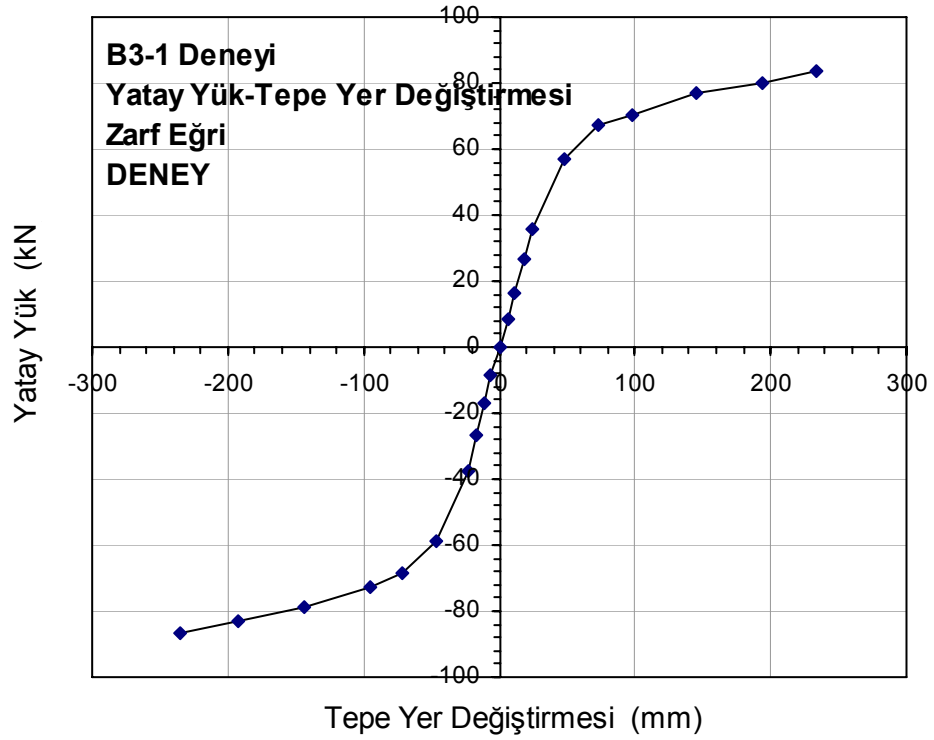
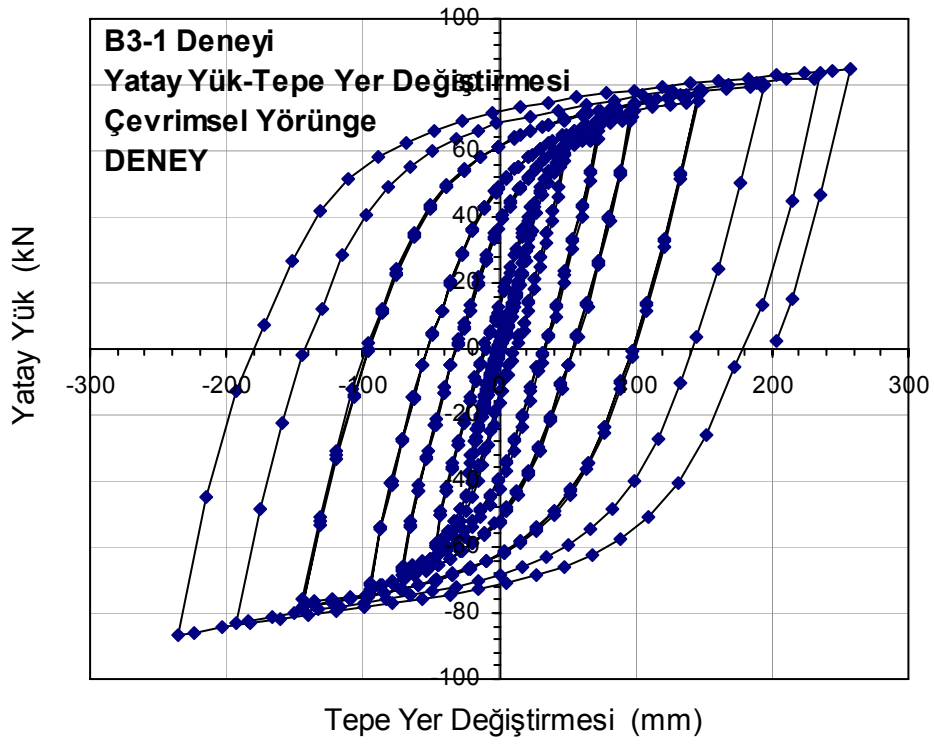
Deneyde toplam 40 kanaldan okuma alınmıştır. Kanal okumalarının tümü için kayıt altına alınan sayısal veri grafik olarak işlenerek eklerde “**Ek E.6**” olarak sunulmuştur. Bu veriler ilgili deneye ait alt başlıkların altında incelenmiştir. Kanal okumalarından her yükleme adımına ait yer ve şekil değiştirme değerleri takip edilebilir.

Çevrimsel yükleme adımlarının her biri için ortaya çıkan enerjiyi ve bu enerjilerin kümülatif olarak artışını gösteren grafik kayıt edilen veriler değerlendirilerek aşağıda Şekil 5.67’de verilmiştir. Deney numunesinin çevrimsel yük altında gösterdiği davranışı kısaca özetleyen bu grafik incelendiğinde B3-1 deneyinde 5-7, 8-10, 11-13 ve 14-16 arası eşit genlikli çevrim adımlarında tutarlı bir enerji dağılımı olduğu görülebilir. Bu da birleşimin kararlı bir çevrimsel davranışı olduğunu gösterir.

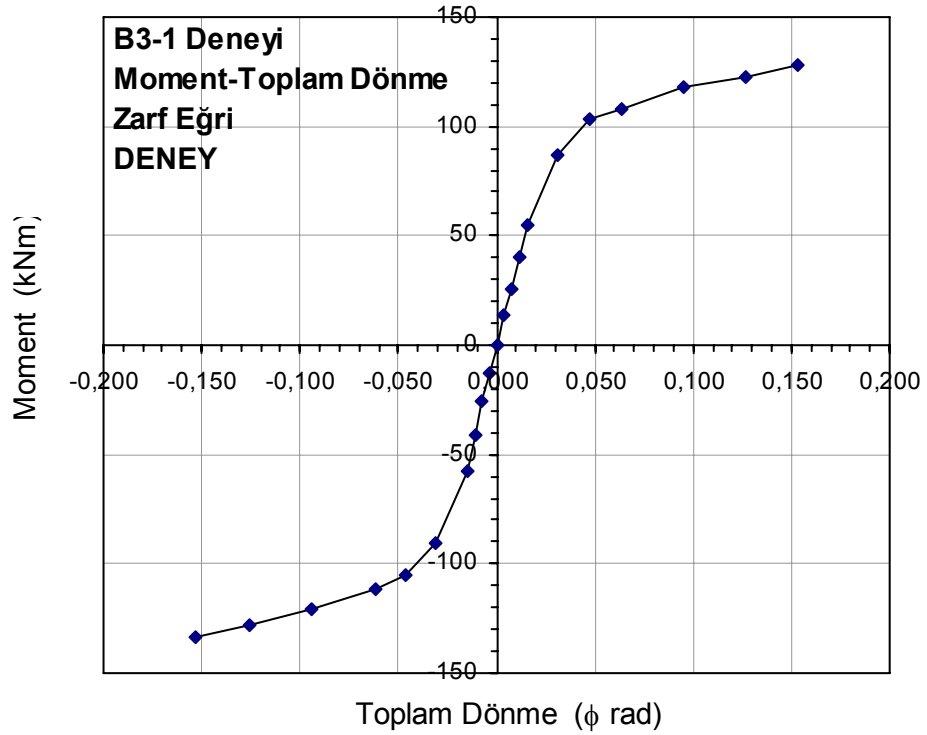
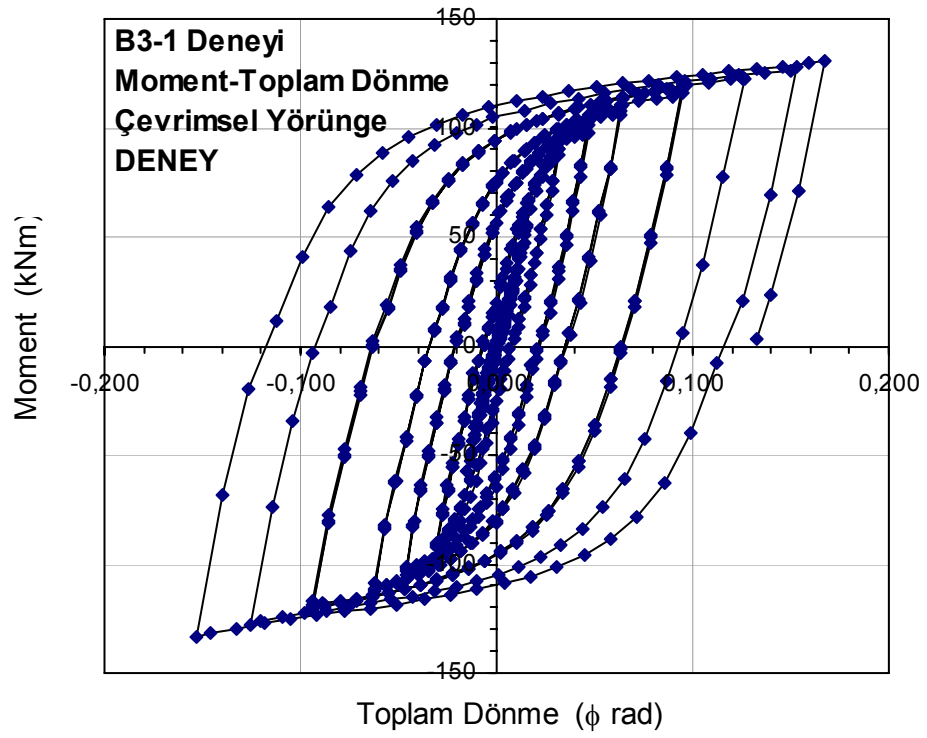


Şekil 5.67 : B3-1 Numunesi çevrim adımlarında ortaya çıkan enerjinin dağılımı.

Aşağıda Şekil 5.68’de kaydedilen veri değerlendirilerek hazırlanan ve B3-1 deneyinin karakteristik davranışını yorumlayabileceğimiz yatay yük-tepe yer değiştirmesi eğrisi verilmiştir. Ayrıca deneyde elde edilen Moment-Toplam Dönme eğrisi Şekil 5.69’da verilmiştir.

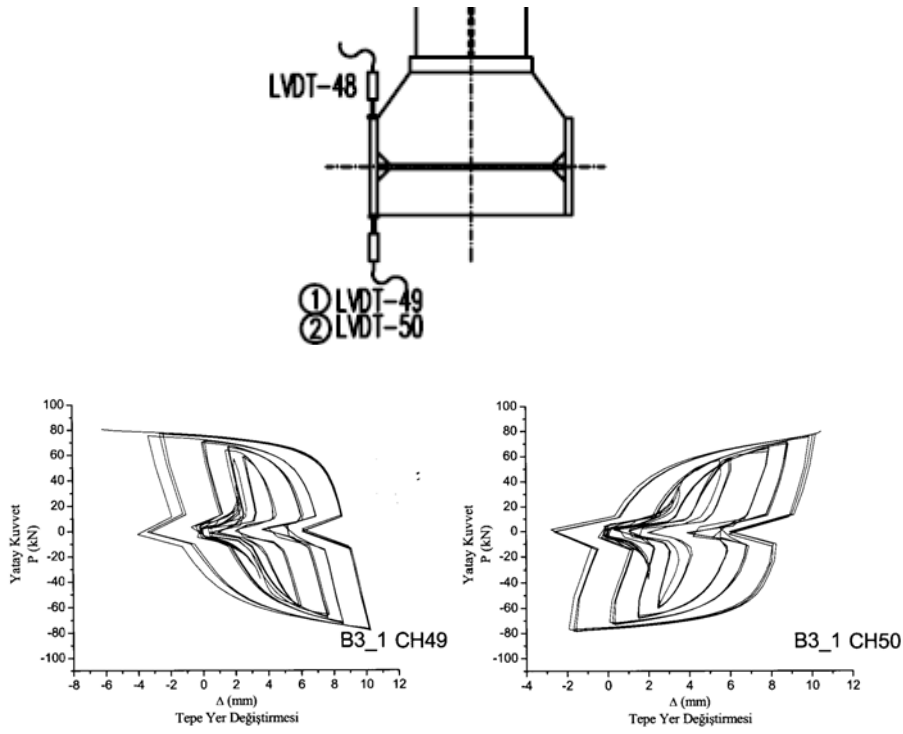


Şekil 5.68 : B3-1 Numunesi yatay kuvvet ve tepe yer değiştirmesini gösteren çevrimsel yörünge eğrisi ve zarf eğrisi.

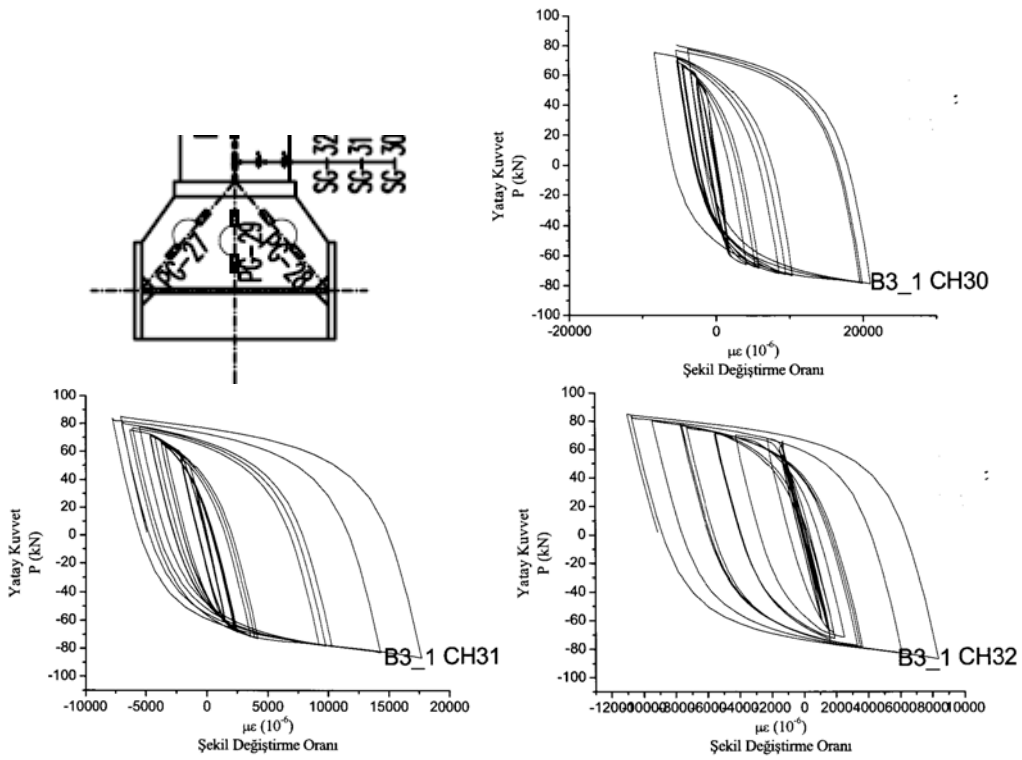


Şekil 5.69 : B3-1 Numunesi moment – toplam dönme değerlerini gösteren çevrimsel yörünge eğrisi ve zarf eğrisi.

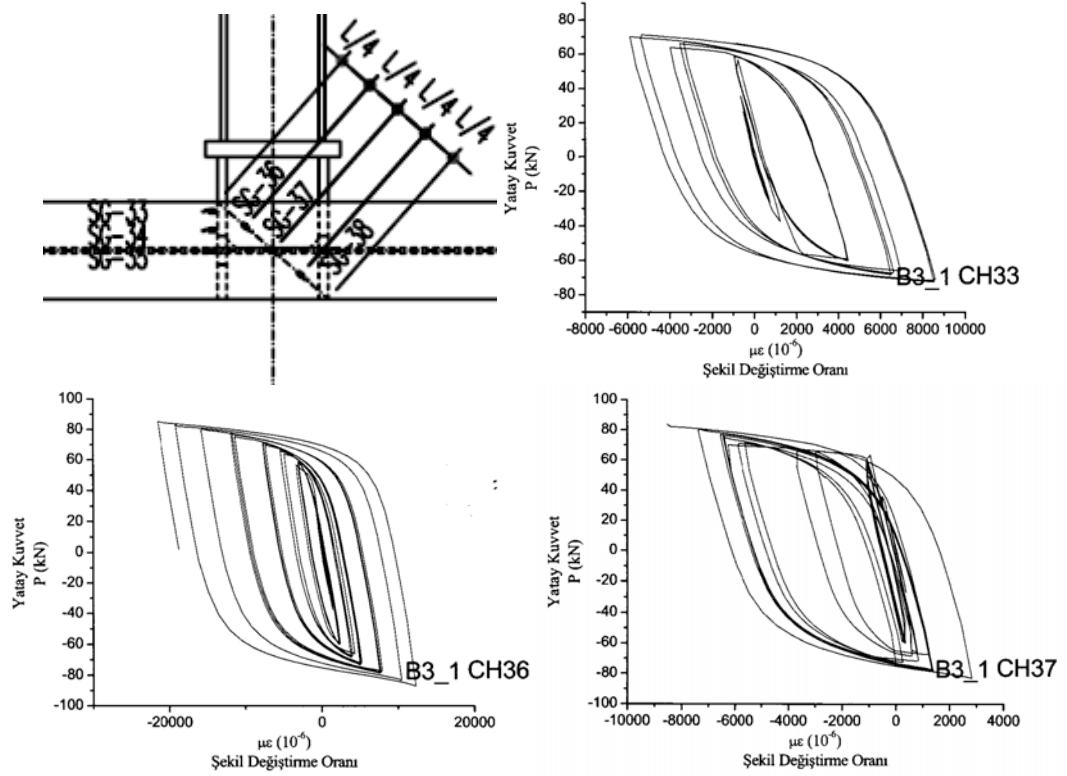
Kritik davranış yorumlarının yapılabileceği kanal okumalarından bir grup aşağıda Şekil 5.70, Şekil 5.71 ve Şekil 5.72’de verilmiştir.



Şekil 5.70 : Kiriş başlığı ve süreklilik levhası verileri.



Şekil 5.71 : Kiriş başlığı verileri.



Şekil 5.72 : Kolon başlığında panel bölgesi verileri.

5.2.3.2 Deney sırasında yapılan gözlemler

Deneye başlanmasının ardından düşük yatay kuvvetlere karşılık gelen ilk adımlar hızlı ve sorunsuz olarak geçilmiş akma yer değiştirmelerine gelindiğinde ise herhangi bir sorun ile karşılaşmadan sistem akma davranışı gözlenmeye başlanmıştır.

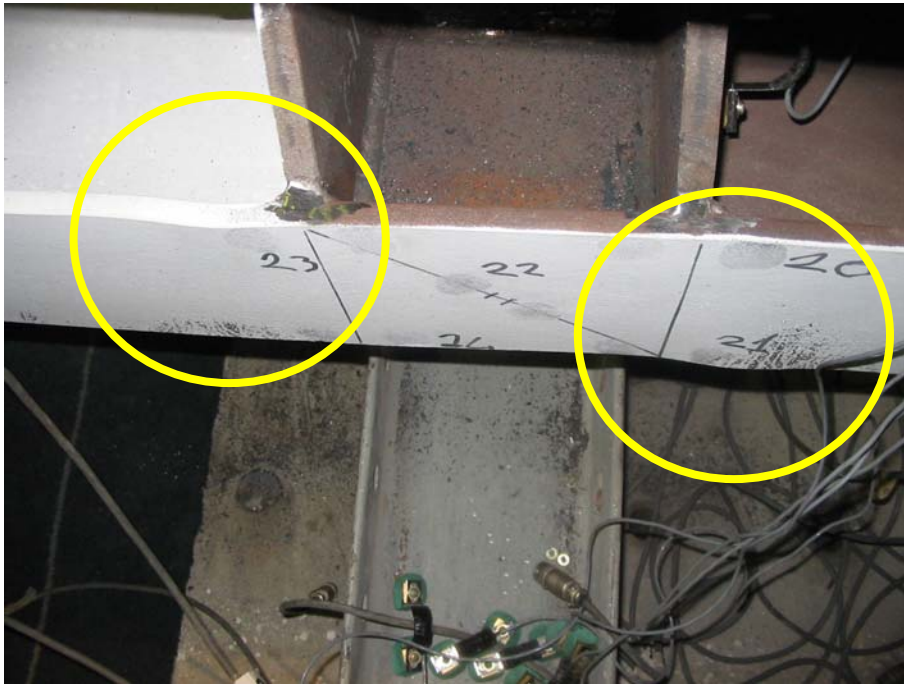
“2 e_y ” adımlarının başlarında kolon başlıklarında plastikleşmeden kaynaklanan düzlem dışı hareketler gözlenmiş ve oluşan başlık burkulmalarına karşın yük azalması oluşmadığı hatta taşınan yatay yükte artan yer değiştirme ile birlikte yavaş bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

ECCS genel prosedüründen farklı olarak ikişer kez tekrarlanan “1 e_y ”, “2 e_y ”, “3 e_y ”, “4 e_y ” ve “6 e_y ” çevrim adımlarının ardından deneyde yorulma etkisi başlamadan, ve yorulma nedeni olarak çevrim sıkışması problemine takılmadan sistem kapasitesi ile ilgili bilginin gözlemlenebilmesi için yükleme adımları tek tam çevrime indirilmiş ve “8 e_y ” genlikli adımlar da hiçbir önemli değişimlik gözlemlenmeden ancak düzlem dışı şekil değiştirmede oluşan artma da dikkatle incelenerek tamamlanmıştır.



Şekil 5.73 : Kolon başlıklarında plastik şekil değiştirmelerin dağılımı.

Laboratuar koşullarına uygun olarak kurulmuş olan test düzeneğinin kapasitesi yaklaşık “10 e_y ” değerinde olduğundan numune bir tam çevrim de “10 e_y ” genliği ile test edilmiş sonrasında B3 deneyi sona erdirilmiştir.



Şekil 5.74 : Başlıkta gözlemlenen burkulmalar.

Son adımlarda oluşmuş olan şekil değiştirme ve hasar durumu Şekil 5.73, Şekil 5.74 ve Şekil 5.75 olarak verilmiştir. Yüksek yatay yer değiştirme sonucu kolon başlıklarında oluşan plastik dönme ve eğrilik net olarak Şekil 5.73’de görülmektedir. Burkulmuş kolon başlığı bölgesi net olarak Şekil 5.74’den izlenebilmektedir.



Şekil 5.75 : Kolon-kiriş bölgesinde %10 göreceli ötelemedeki şekil değiştirmeler.

6. NUMUNELERİN SAYISAL ANALİZİ

Deneyler sırasında yapılan gözlemler ve numunelerin davranışının anlaşılması ve tekrarlanabilir olarak modellenebilmesi için bir grup sayısal analiz planlanmıştır.

Öncelikle lineer olmayan malzeme-geometri özellikleri ile tanımlanmış modeller sayısal olarak analiz edilmiş ve sonuçları deney sonuçları ile aşağıda karşılaştırılmıştır.

Lineer olmayan malzeme ve geometri özellikleri kullanılan sayısal analiz yazılımlarının kullanımı oldukça zaman alan bir işlem olduğundan ve her tecrübe düzeyinde tasarımcı tarafından kullanılması mümkün olmadığından basitleştirilmiş bir yöntem ile birleşim moment-dönme ilişkisini ortaya koymak ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla PHD-1 isimli bir hesap kodu geliştirilmiş ve bu bölümde ilerleyen kısımlarda sonuçları değerlendirmeye sunulmuştur.

Yapının çevrimsel yükler etkisinde davranışının modellenmesinde en önemli ihtiyaç kesitlerin dışında birleşimlerin de çevrimsel moment-dönme ilişkilerinin ortaya konmasıdır. Bu amaçla PHD-2 isimli bir hesap kodu geliştirilmiş ve bu bölümde ilerleyen kısımlarda sonuçları değerlendirmeye sunulmuştur.

6.1 “ANSYS” Yazılımı İle Sonlu Elemanlar Sayısal Analizi

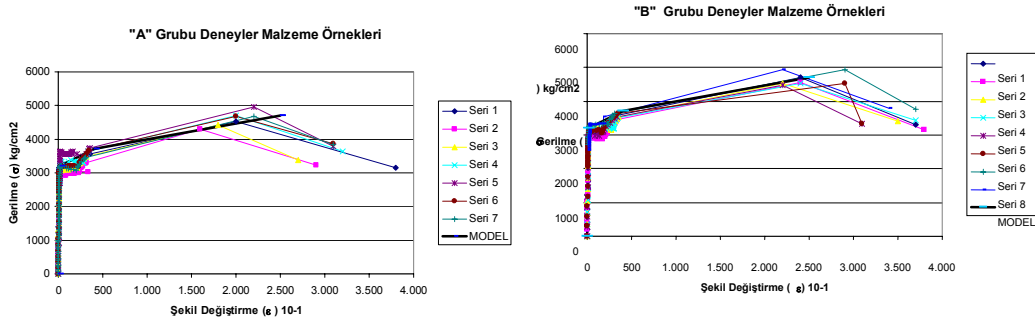
Lineer olmayan malzeme ve geometri etkilerini inceleyebilmek amacı ile ANSYS Sonlu Elemanlar Analiz yazılımı seçilmiştir.

6.1.1 Kullanılan analiz parametreleri ve yapılan modelleme kabulleri

6.1.1.1 Malzeme modeli

Sayısal analizlerde lineer olmayan malzeme davranışının dikkate alınmasının elde edilecek sonuçlar üzerinde büyük etkisi olmaktadır. Bu amaçla kullanılan malzeme

modeli deneylerde kullanılan malzemeler üzerinden alınan numuneler üzerinden çıkartılan kuponlar üzerinde yapılan deney sonuçları kullanılarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.1 : A ve B grubu deneylerden alınan malzeme örneği deney sonuçları.

Pek çok mühendislik uygulamasında, sayısal model oluşturulurken malzemenin gerçek gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin yerine ‘hesap gerilme ve şekil değiştirme’ değerlerinin kullanılması sayısal analizde doğru sonuçların elde edilmesi için yeterli olacaktır. İki boyutlu elemanlarda hesap gerilme ve şekil değiştirme oranları çoğunlukla aşağıdaki eşitliklerle ifade edilir.

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \quad \sigma = F / A_0 \quad (6.1)$$

Hesap şekil değiştirme oranı, modelinizdeki şekil değiştirme oranının ihmal edilebilir derecede küçük olduğu (yaklaşık %5) sınıra kadar tanımlanmış bir orandır ve bu sınır sonrasında sayısal analizin sonuçlarının hassasiyetinde ciddi kayıplar oluşur.

Modelin nihai uzunluğuna bağlı lineer olmayan şekil değiştirme oranı ölçüsü olan gerçek şekil değiştirme oranı, büyük şekil değiştirme oranı benzeşimleri ve analizleri için kullanılır.

Gerçek gerilme ve şekil değiştirme oranı iki boyutlu elemanlarda çoğunlukla aşağıdaki eşitliklerle gösterilir:

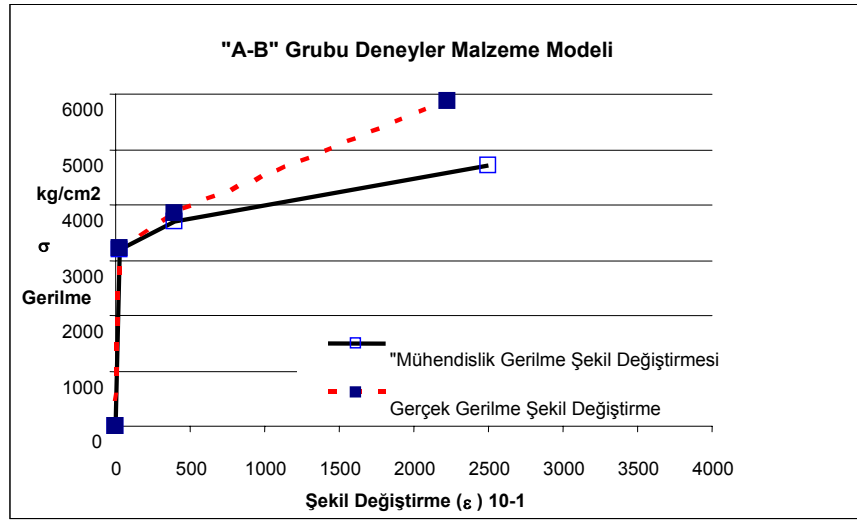
$$\varepsilon = \ln(L/L_0) \quad \tau = F/A \quad (6.2)$$

Genellikle deney datası olarak hesap gerilme ve şekil değiştirme değerleri verildiğinden bu malzeme özelliklerinin ANSYS yazılımında ilgili malzeme tanımı olarak kullanımından önce gerçek gerilme ve şekil değiştirme oranlarına (log şekil

değiştirme oranı olarak da adlandırılır) aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak çevrilmesi gerekmektedir.

$$\varepsilon_l = \ln (1+ \varepsilon) \quad \tau= \sigma (1+ \varepsilon) \quad (6.3)$$

Tek eksende malzeme gerilme-şekil değiştirme oranı yukarıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanır ve eldeki deney verileri için çizdirilir ise aşağıda Şekil 6.2 olarak verilmiş olan malzeme modeli ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6.2 : ANSYS analizinde kullanılan gerçek gerilme-şekil değiştirme eğrisi.

6.1.1.2 Sınır koşulları ve yükleme biçimi

ANSYS sayısal analizinde, aynı benzeşimi yapılan deneysel çalışmada takip edilen biçimde, tepe noktasının monoton artan biçimde yatay yer değiştirme ile kontrol edilmesi sağlanmıştır. Tepe noktasında verilen yer değiştirme doğrultusunun oluşturduğu düzlemin dışında yatayda yer değiştirmeye izin verilmemiştir. Bu deneylerde hazırlanan düzlem dışı destek düzeneğinin gördüğü görevi görmektedir.

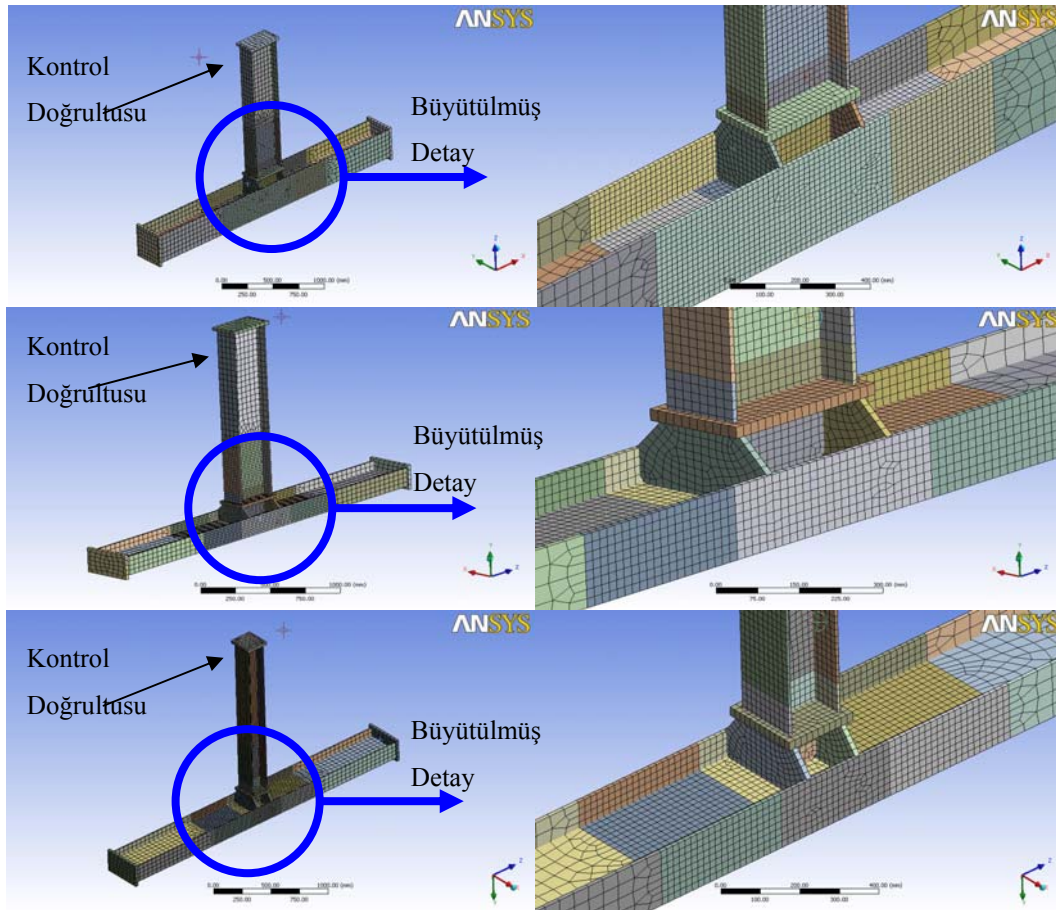
Yatay konumda yer alan kolon profili her iki ucunda aynen A grubu deneylerde kullanılan biçimde bir çubuk ile mafsallı olarak ve her iki yönde yer değiştirmesi engellenmiş biçimde bağlanmıştır.

Yer değiştirmeler adım-adım deney hedef değerlerine kadar arttırılmıştır. Son adım için genel maksimum şekil değiştirme ve maksimum gerilme dağılımları incelenmiştir.

Yer değiştirme oluşturan ykleme doğrultusu ve sayısal analizde kullanılan modelin geometrisi aşağıda şekil 6.3 olarak verilmiştir.

6.1.1.3 Sonlu elemanların hassas parçalara bölünmesi

ANSYS yazılımında geometri olarak tanımlanan elemanlar yazılım tarafından hassasiyet ve analiz süresi bakımından optimize edilmiş parçalara ayırma (sonlu elemanlara bölme) işlemi ile analize hazır hale getirilir. Yaptığımız çalışmalarda yazılımın otomatik olarak hazırladığı sonlu eleman boyutu eleman kalınlığının en fazla 2-3 katı kadar olacak biçimde sınır konulmuştur.



şekil 6.3 : ANSYS modeli ile incelenen bölgenin tüm numunelerde hassas ağlara bölümlenerek incelenmesi.

Ayrıca incelenen birleşim bölgesi içerisinde kolon ve kirişte her yönde yaklaşık 50cm kadar bir kısım için hassas bölme işlemi uygulanmış ve bu bölgede gerilme dağılımlarının ve şekil değiştirmelerin daha hassas bir şekilde gözlemlenmesi hedeflenmiştir.

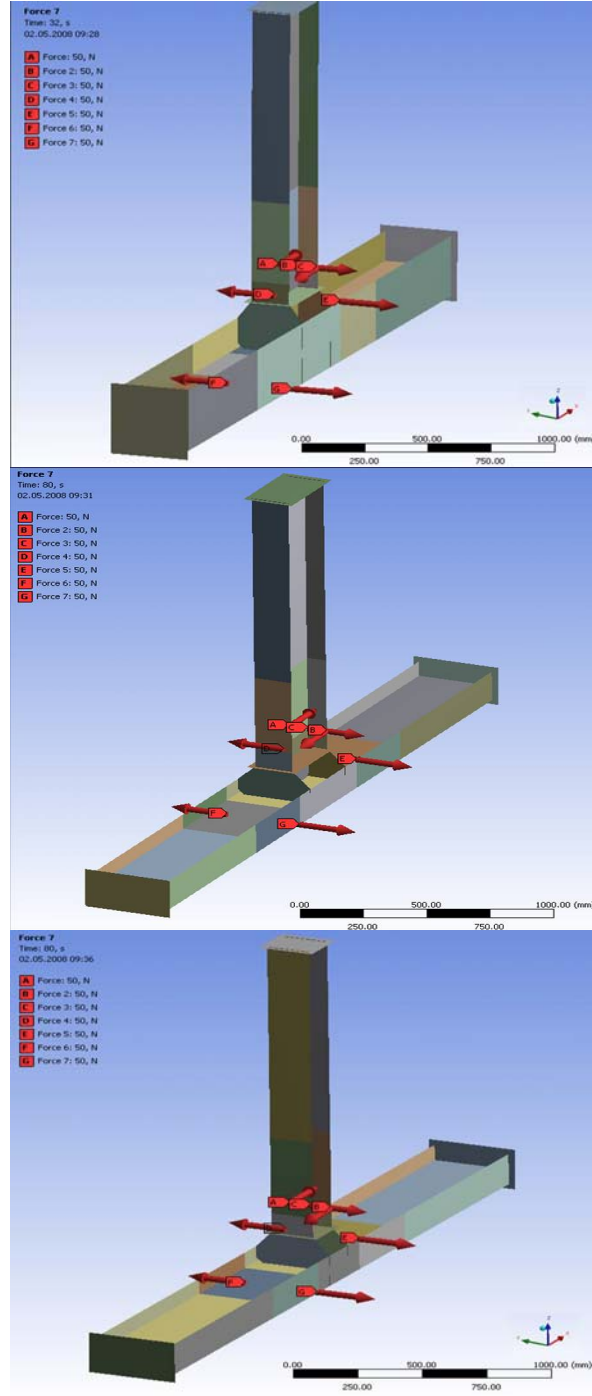
A1-1, A2-1 ve A3-1 sayısal modellerine ait genel sonlu eleman dağılımı ve hassas eleman ağı kullanılan bölgelerin dağılımı yukarıda Şekil 6.3 olarak verilmiştir.

6.1.1.4 Başlangıç durumu için kusurların ve artık iç gerilmelerin tanımlanması

Deneyler için hazırlanan numuneler her ne kadar kusursuz hazırlanmak istense de bir takım geometri ve imalat kusurları içermektedir.

Bu kusurlar arasında kaynak sırasında oluşan iç gerilmeler, her ne kadar küçük olsa da akstan milimetrik kaçıklıklar, malzemenin bölgesel olarak değişimleri gibi bir takım engel olunması mümkün olmayan kusur bulunmaktadır.

Sayısal benzeşim modelleri ve deneysel sonuçların tekrar edilebilir biçimde sayısallaştırılması amaçlı çalışmalarda kusursuz yaklaşıklığı sağlamak her ne kadar mümkün olmasa da bu tip kusurların hiç olmazsa bir kısım etkilerinin dikkate alınabilmesi için yaygın bir metot kullanılarak kritik burkulma ve gerilme beklenen yerlerde yaklaşık 50kN değerinde “Kusur Yüğü” tanımlanmıştır. Kusur yüklerinin sonuçların hassasiyetinde büyük etkisi olmaktadır. Çoğu zaman lineer olmayan geometri ve yer değiştirme bu tanımlı yükler ile başlangıç almaktadır. Bu sebeple saçılma engel olmak için tüm tiplerde aynı yük değerinde ve noktada tanımlama esas alınmıştır. Bu yüklerin dağılımı her tip deney numunesi için aşağıda Şekil 6.4 olarak verilmiştir.



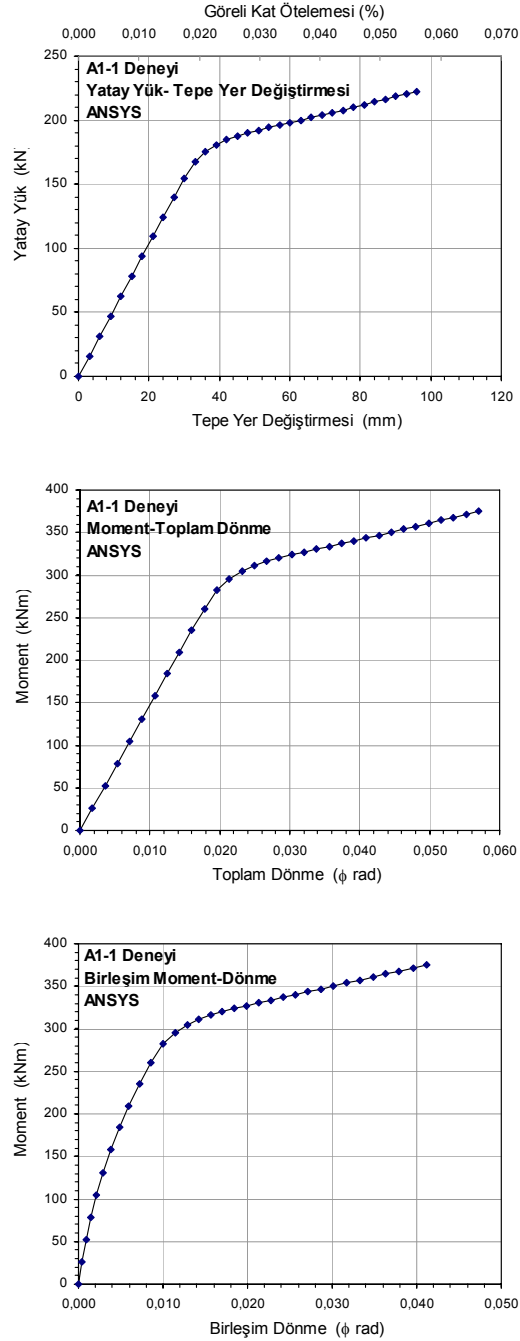
Şekil 6.4 : Tüm deney numuneleri için “kusur yükü” yerleşimleri.

6.1.2 ANSYS analiz sonuçları

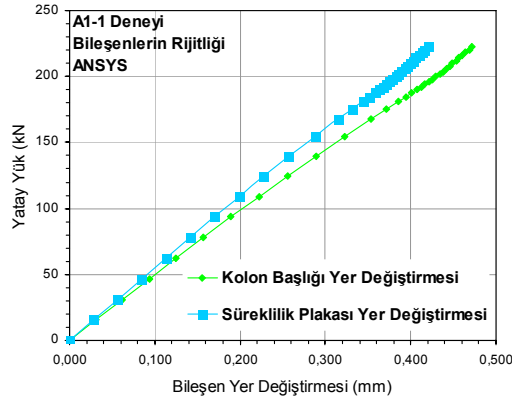
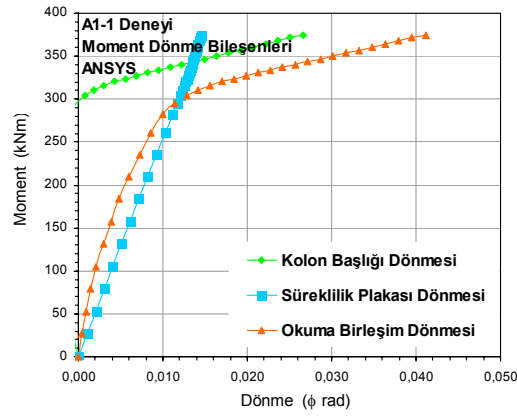
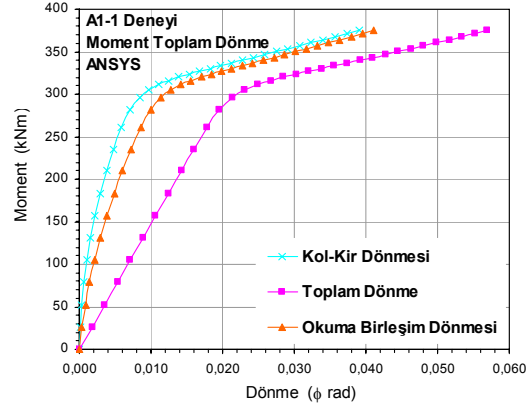
6.1.2.1 A1-1 ANSYS sayısal analiz modeli

Hazırlanan A1-1 modeli ANSYS yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, moment

toplam dönme ilişkisi ve incelenen birleşime ait moment dönme ilişkisi aşağıda Şekil 6.5 olarak verilmiştir. Analiz sonuçlarının tamamı eklerde “Ek F.1” olarak verilmiştir.



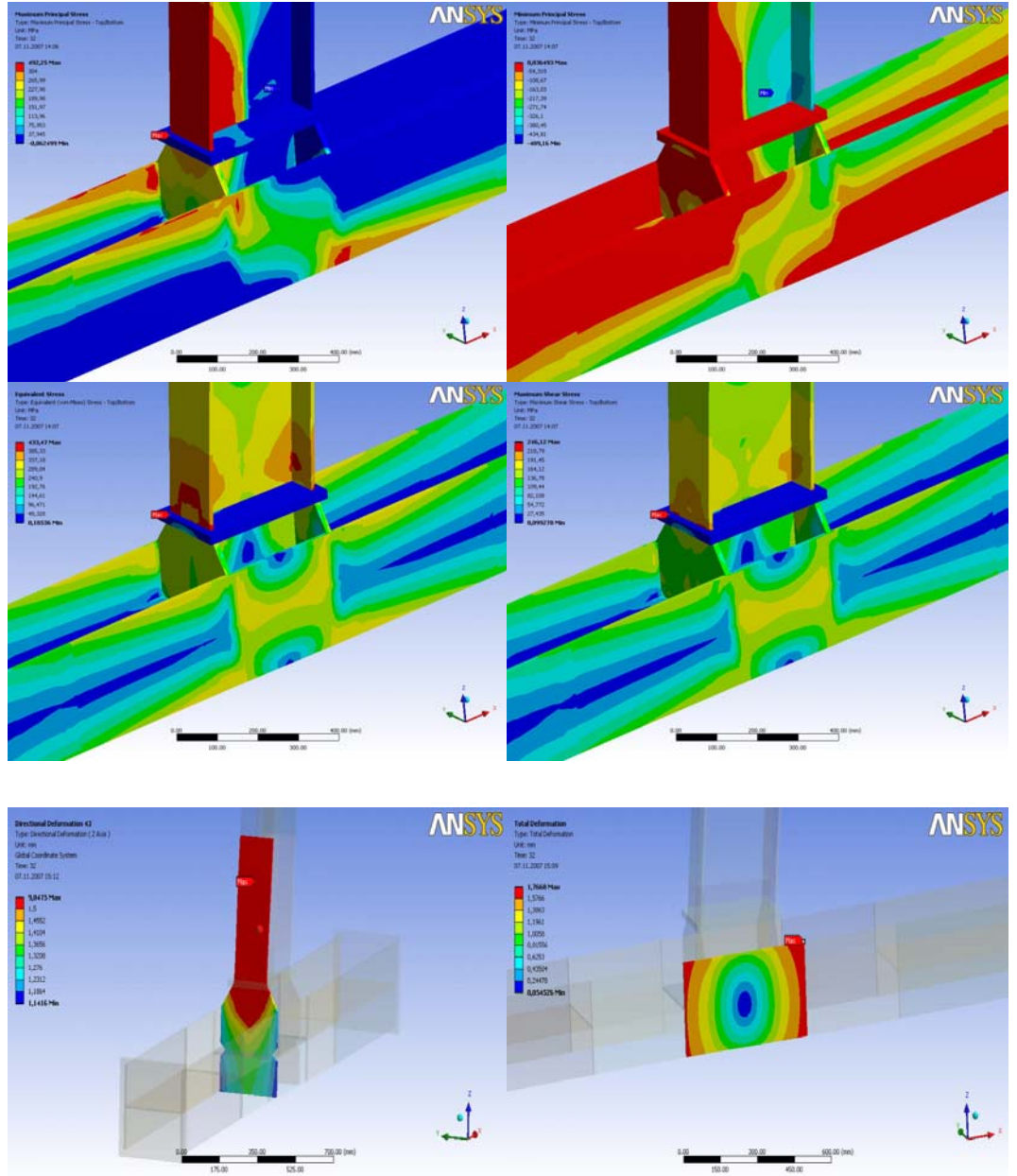
Şekil 6.5 : A1-1 ANSYS modeli karakteristik davranış eğrileri.



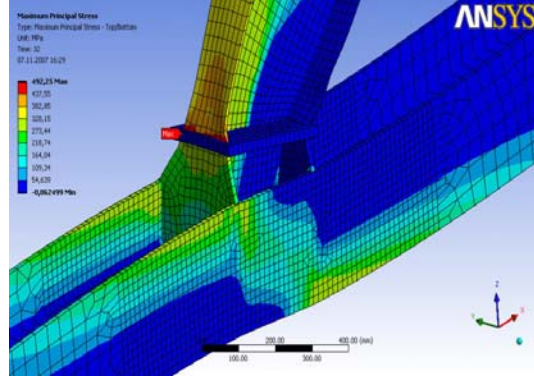
Şekil 6.6 : A1-1 ANSYS modeli birleşim dönmesi ve bileşenlerin katkısı.

Yukarıda A1-1 ANSYS sayısal analizinde elde edilen sayısal veriler kullanılarak hazırlanan moment-toplam dönme eğrisinin kolon-kiriş ve birleşime dağılımını, birleşimin moment-dönme eğrisinin bileşenlere dağılımını ve bu bileşenler için elde edilen yatay yük-bileşen yer değiştirmesi yay katsayılarını Şekil 6.6 olarak görebiliriz. Aşağıda ise yüklemenin son adımında oluşan iç gerilmelerin bir dağılımı

Şekil 6.7 olarak verilmiştir. Son adımda oluşan yer değiştirmeler ve şekil değiştirmiş bölgenin görünüşü Şekil 6.8 olarak verilmiştir.



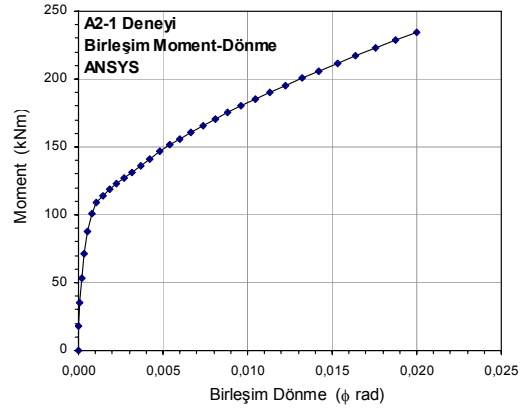
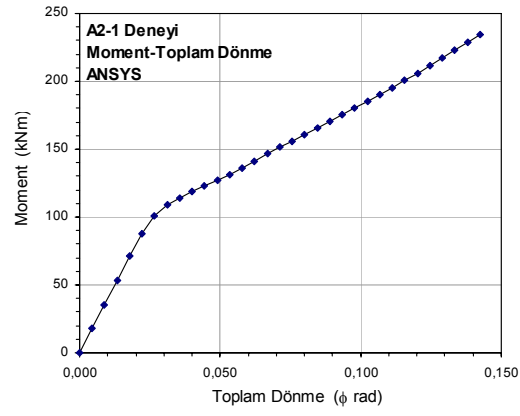
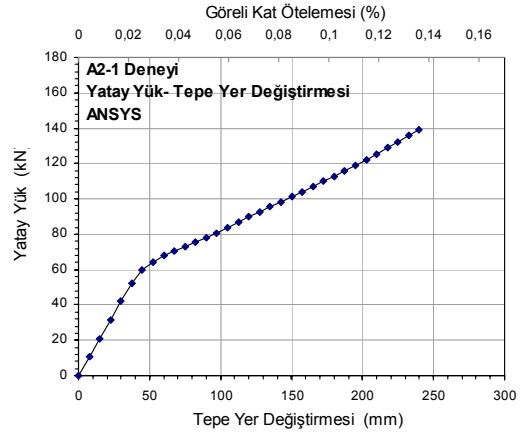
Şekil 6.7 : A1-1 ANSYS modeli son adımda çeşitli gerilme dağılışları.



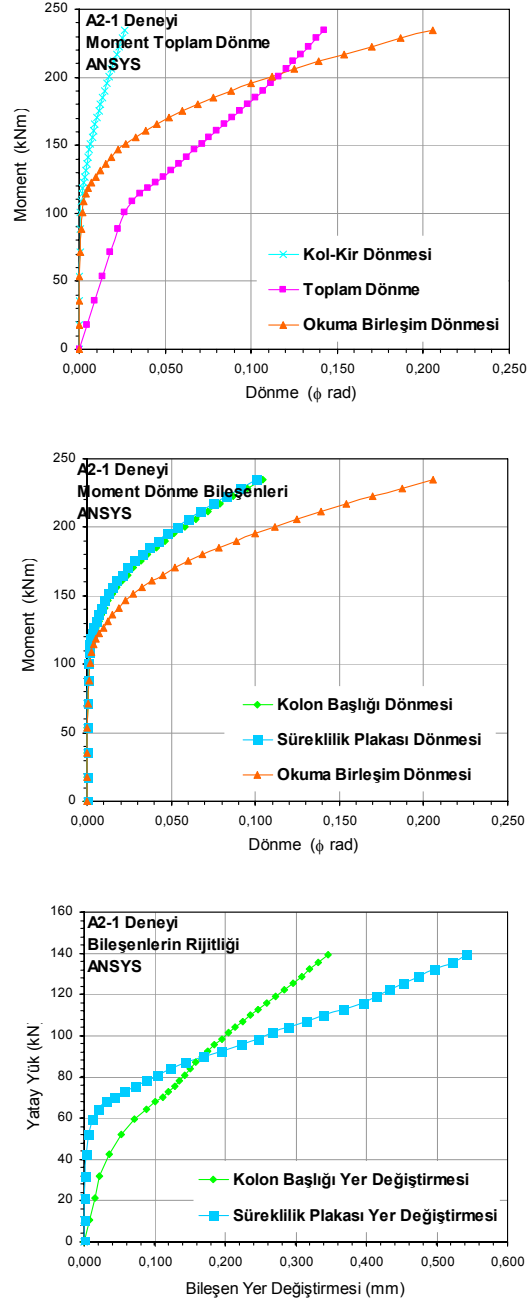
Şekil 6.8 : A1-1 ANSYS modeli son adım şekil değiştirmiş görünüş.

6.1.2.2 A2-1 ANSYS sayısal analiz modeli

Hazırlanan A2-1 modeli ANSYS yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, moment toplam dönme ilişkisi ve incelenen birleşime ait moment dönme ilişkisi aşağıda Şekil 6.9 olarak verilmiştir. Analiz sonuçlarının tamamı eklerde “**Ek F.2**” olarak verilmiştir.

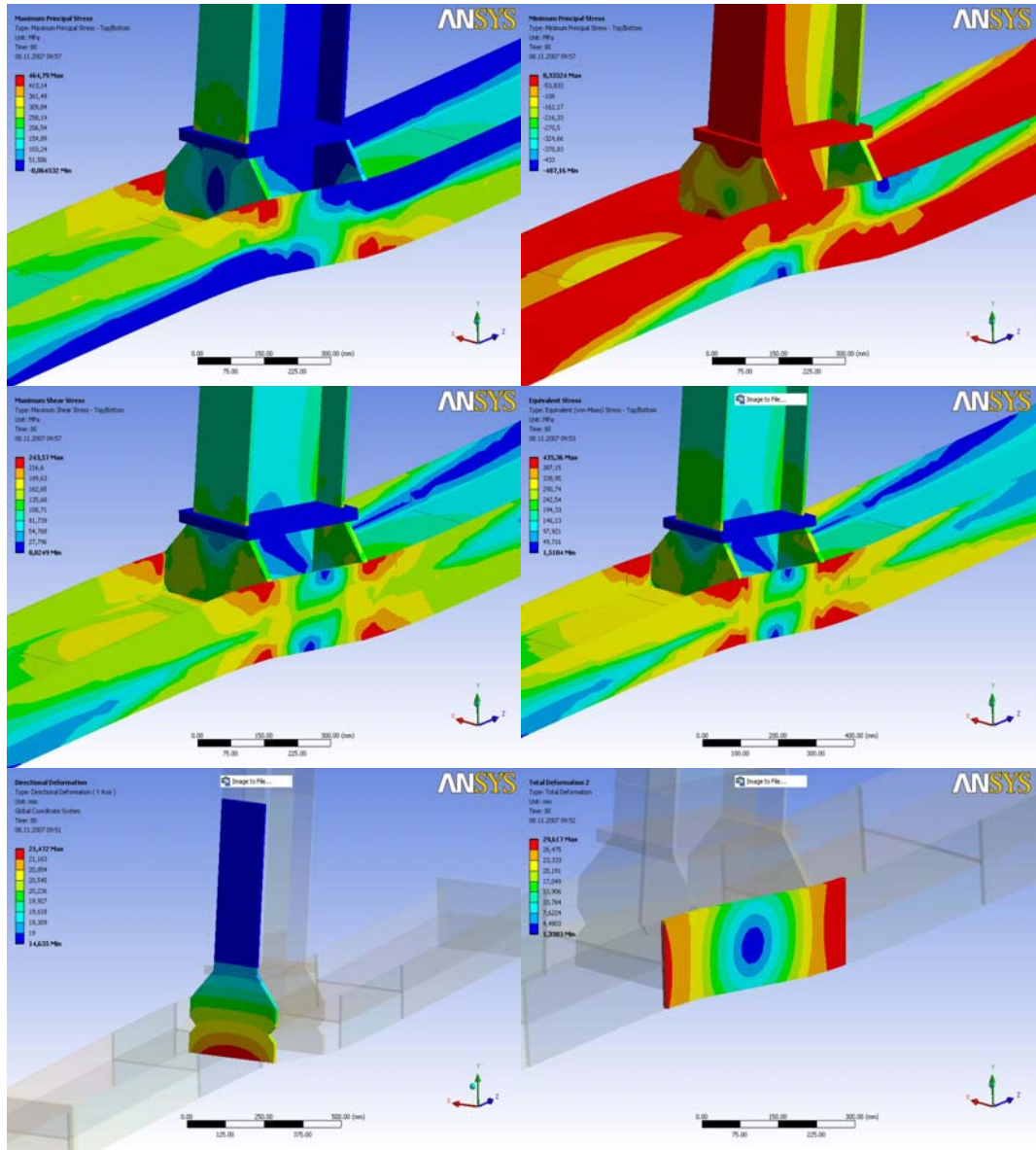


Şekil 6.9 : A2-1 ANSYS modeli karakteristik davranış eğrileri.

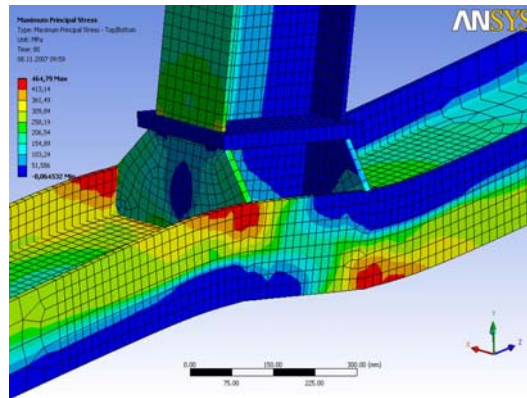


Şekil 6.10 : A2-1 ANSYS modeli birleşim dönmesi ve bileşenlerin katkısı.

Yukarıda A2-1 ANSYS sayısal analizinde elde edilen sayısal veriler kullanılarak hazırlanan moment-toplam dönme eğrisinin kolon-kiriş ve birleşime dağılımını, birleşimin moment-dönme eğrisinin bileşenlere dağılımını ve bu bileşenler için elde edilen yatay yük-bileşen yer değiştirmesi yay katsayılarını Şekil 6.10 olarak görebiliriz. Aşağıda ise yüklemenin son adımında oluşan iç gerilmelerin bir dağılımı Şekil 6.11 olarak verilmiştir. Son adımda oluşan yer değiştirmeler ve şekil değiştirmiş bölgenin görünüşü Şekil 6.12 olarak verilmiştir.



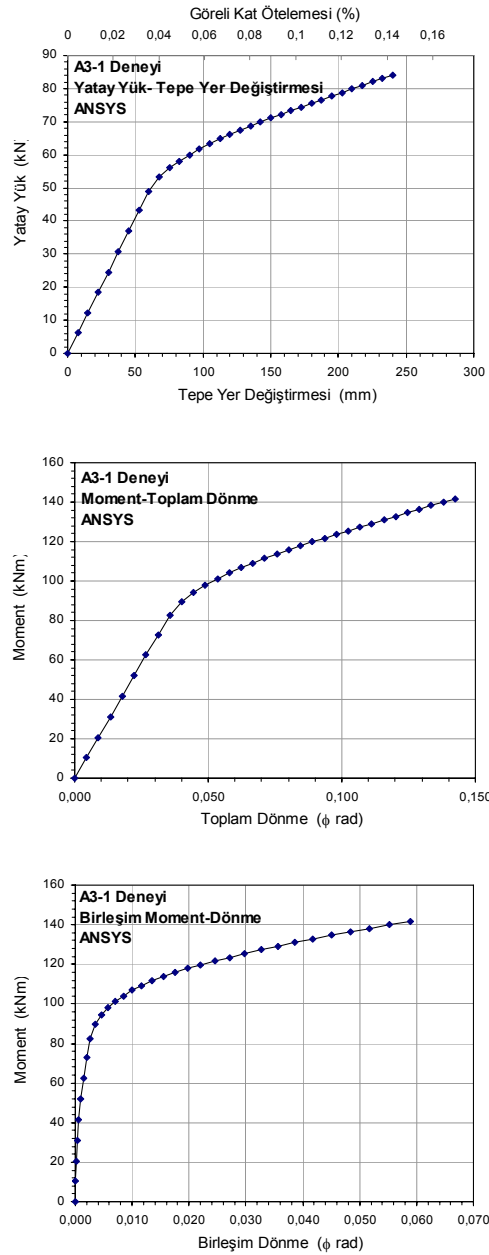
Şekil 6.11 : A2-1 ANSYS modeli son adımda çeşitli gerilme dağılışları.



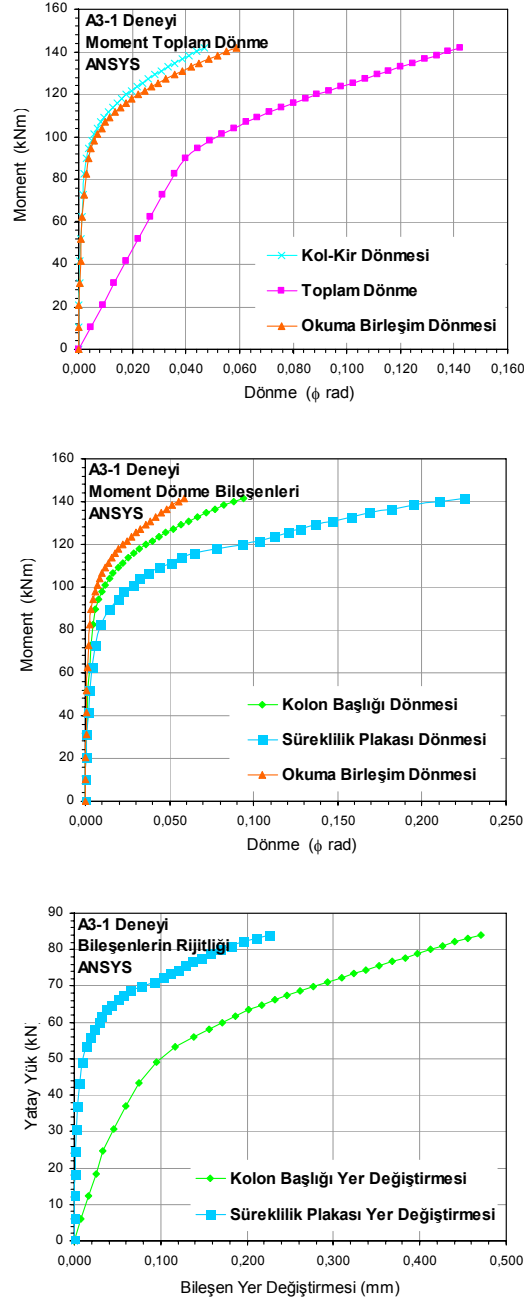
Şekil 6.12 : A2-1 ANSYS modeli son adım şekil değiştirmiş görünüşü.

6.1.2.3 A3-1 ANSYS sayısal analiz modeli

Hazırlanan A3-1 modeli ANSYS yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, moment toplam dönme ilişkisi ve incelenen birleşime ait moment dönme ilişkisi aşağıda Şekil 6.13 olarak verilmiştir. Analiz sonuçlarının tamamı eklerde “**Ek F.3**” olarak verilmiştir.

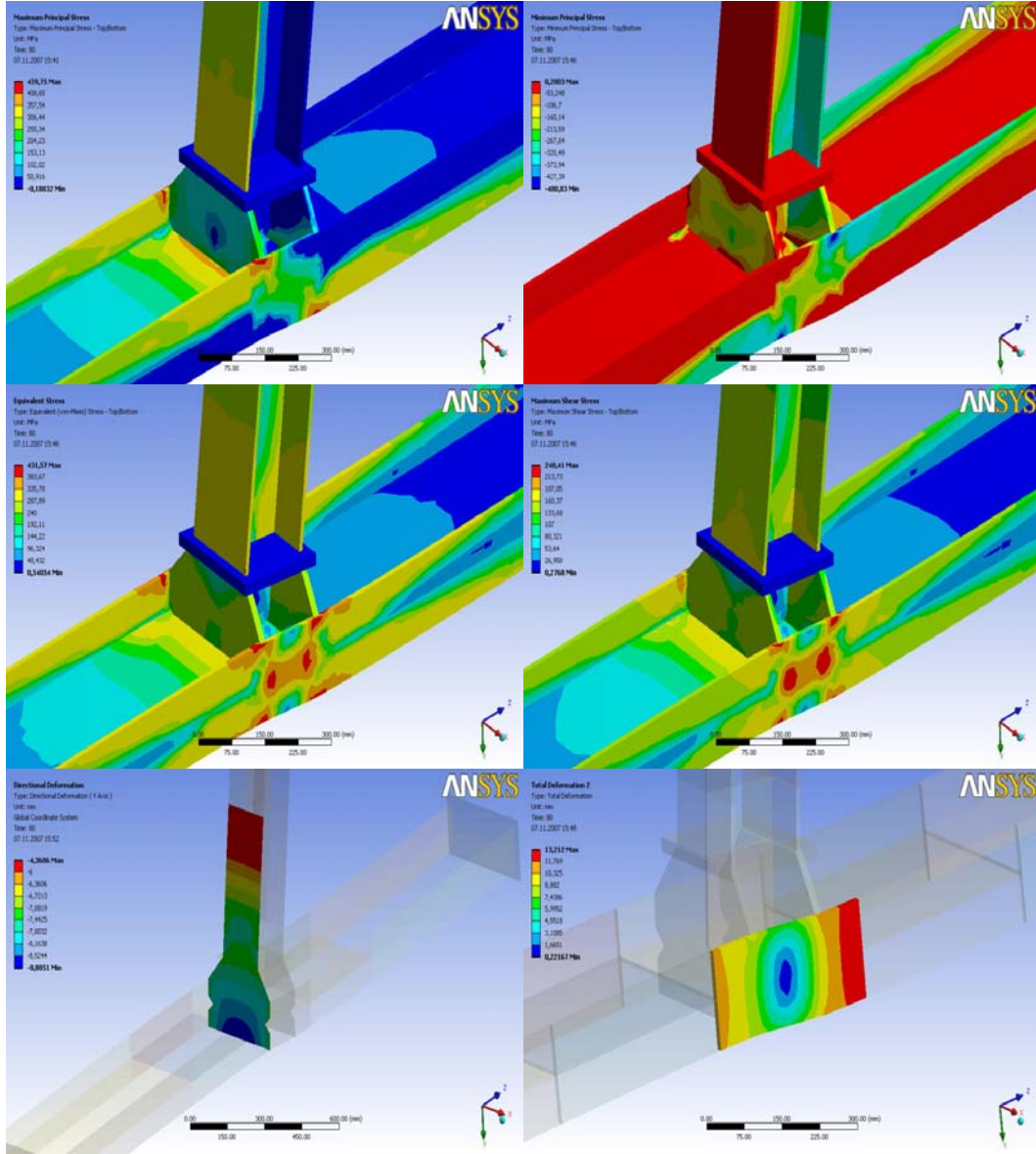


Şekil 6.13 : A3-1 ANSYS modeli karakteristik davranış eğrileri.

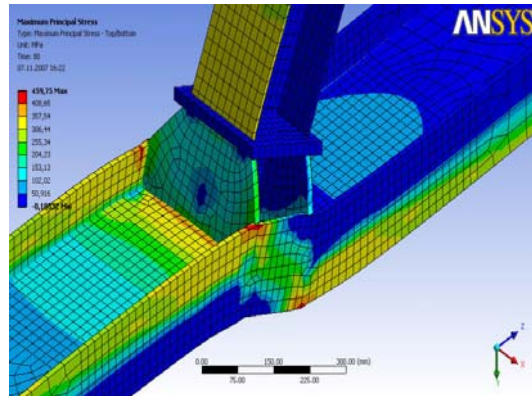


Şekil 6.14 : A3-1 ANSYS modeli birleşim dönmesi ve bileşenlerin katkısı.

Yukarıda A3-1 ANSYS sayısal analizinde elde edilen sayısal veriler kullanılarak hazırlanan moment-toplam dönme eğrisinin kolon-kiriş ve birleşime dağılımını, birleşimin moment-dönme eğrisinin bileşenlere dağılımını ve bu bileşenler için elde edilen yatay yük-bileşen yer değiştirmesi yay katsayılarını Şekil 6.14 olarak görebiliriz. Aşağıda ise yüklemenin son adımında oluşan iç gerilmelerin bir dağılımı Şekil 6.15 olarak verilmiştir. Son adımda oluşan yer değiştirmeler ve şekil değiştirmiş bölgenin görünüşü Şekil 6.16 olarak verilmiştir.



Şekil 6.15 : A3-1 ANSYS modeli son adımda çeşitli gerilme dağılışları.



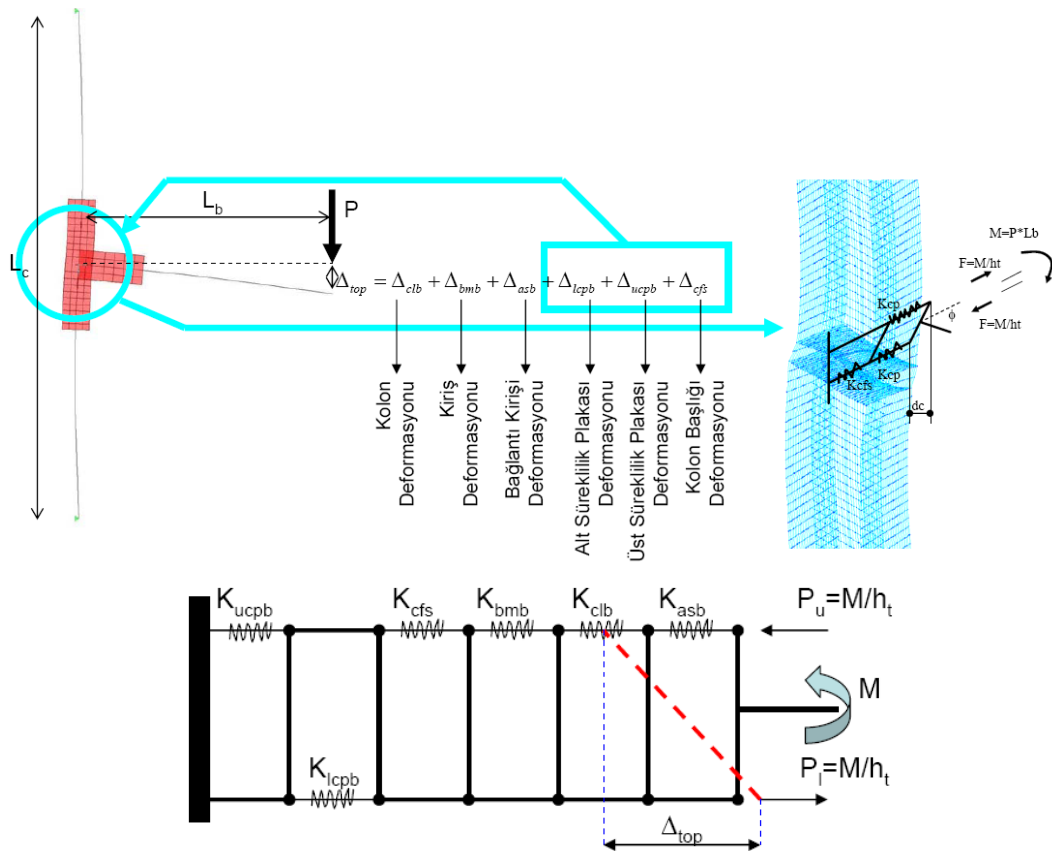
Şekil 6.16 : A3-1 ANSYS modeli son adım şekil değiştirmiş görünüş.

6.2 Basitleştirilmiş Yöntem Kullanılarak Yapılan Monoton Artan Yük Durumu Sayısal Analizi

Kolon-kiriş birleşimlerinde davranışının belirlenmesinde ilk adım tasarımcı tarafından kullanılacak, monoton artan yükleme esas alan bir benzeşim modelinin oluşturulmasıdır.

Bu amaçla öncelikle genel davranış modelini oluşturan alt bileşenlerini ortaya çıkarmak gerekir. Önceki bölümlerde, sonlu eleman modelleri üzerinde yapılan çalışmalarda ve yapılan literatür taramasında birleşimin davranışını “I-Bölgesi” içinde izole ederek sistem davranışını tanımlamak gerektiğine karar verilmiştir.

Bu amaçla sisteme ait davranış modelini oluşturan aşağıdaki Şekil 6.17 de verilen mekanik benzeşim modeli oluşturulmuştur. Burada “P” yatay yükü, “M” sisteme etki eden moment, “P_u” ve “P_i” dışmerkezlik düşünülerek kiriş başlıklarından süreklilik levhalarına aktarılan normal kuvvet ve “Δ_{top}” toplam yer değiştirmeyi ifade etmektedir.



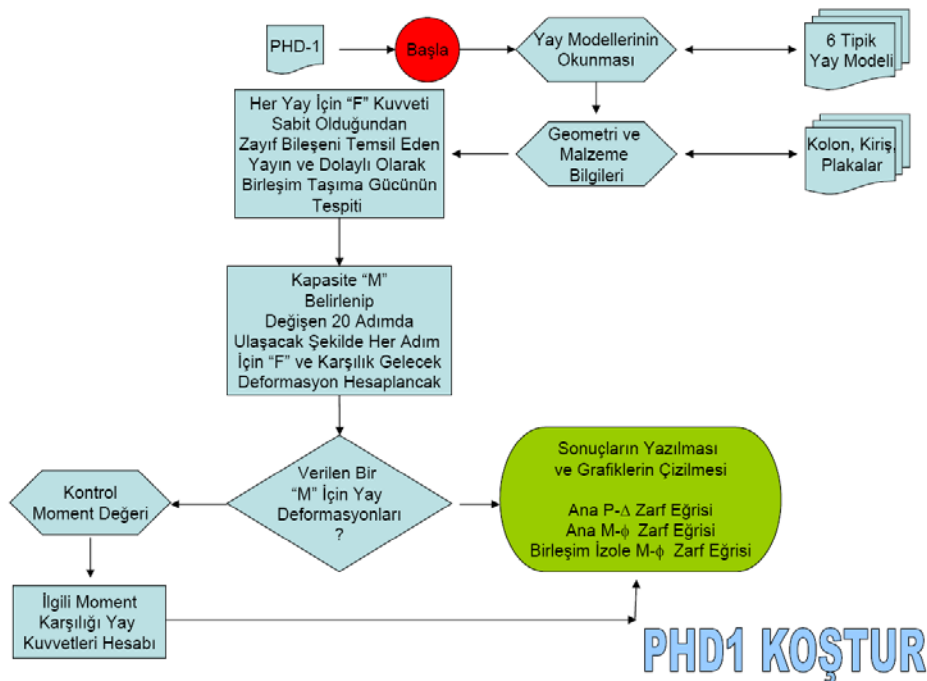
Şekil 6.17 : Bileşik sistem mekanik davranış mekanik modeli.

Bunların dışında sırası ile “ Δ_{clb} ” kolon şekil değiştirmelerinden kaynaklanan yer değiştirmeyi, “ Δ_{bmb} ” ve “ Δ_{asb} ” kiriş şekil değiştirmelerinden kaynaklanan yer değiştirmeyi, “ Δ_{lcpb} ” ve “ Δ_{ucpb} ” sırası ile alt ve üst süreklilik levhasının şekil değiştirmelerinden kaynaklanan yer değiştirmeyi ve “ Δ_{cfs} ” kolon başlığının kayma şekil değiştirmelerinden kaynaklanan yer değiştirmeyi ifade etmektedir.

Her değişen yer değiştirme ve yükleme adımı bu modeli oluşturan yaylara ait yatay yük-yer değiştirme eğrilerinde hangi noktada bulunduğunu takip edebilmek ve toplam sistem yatay yük-yer değiştirme eğrisi ve toplam sistem moment-dönme eğrilerini çizdirebilmek, birleşimin moment-dönme eğrisini belirleyebilmek amacı ile bir basit hesap kodu oluşturulmuştur.

6.2.1 PHD-1 hesap kodu

PHD-1 adı verilen bu hesap algoritması aracılığı ile lineer olmayan yay özellikleri ile tanımlı bileşenlerden oluşan sistem modeli analiz edilmekte ve sonuç karakteristik davranış eğrileri alınabilmektedir. I-Bölgesi davranışı (kuvvet-şekil değiştirme) için ön sayısal çalışmada üretilen sayısal modellerden faydalanılmıştır.



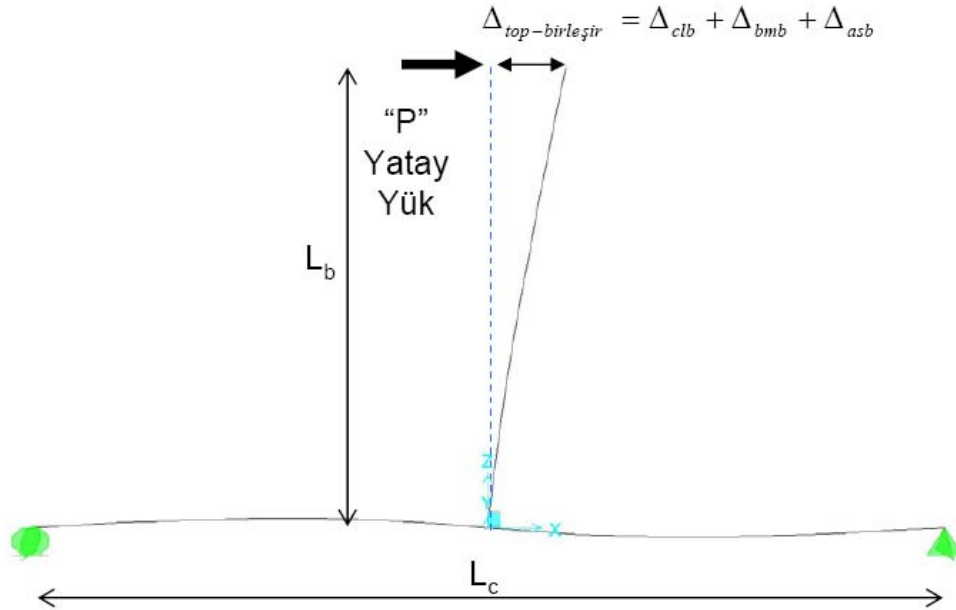
Şekil 6.18 : PHD-1 hesap algoritması akış diyagramı.

Modeli oluşturan diğer yaylarının davranış modelleri (yatay yük-şekil değiştirme) için ise yapılan araştırma ve literatürden çıkartılan sonuçlardan faydalanılmıştır. Yukarıda Şekil 6.18 de ilgili hesap algoritması bir akış şeması halinde verilmiştir. Hesap kodunun tam dökümü ve detayları ayrıca eklerde “**Ek G.1**” olarak verilmiştir.

Algoritma, giriş bilgisi olarak malzeme özellikleri, birleşime ait karakteristik geometri özellikleri ve kullanılacak çelik kesit bilgilerini ve çıktı istenen adım sayısı benzeri veriyi PHD-1 veri giriş ortamından alır.

Yukarıda Şekil 6.17 de verilen altı ana bileşen için akma ve göçme dayanımları ve rijitlikleri literatürden ve çubuk sistemler için kullanılan basitleştirilmiş eşitlikler kullanılarak oluşturulur.

Aşağıda Şekil 6.19 da verilen ana bileşenler birleşim ana bileşenleri haricinde kalan elemanlara ait yer değiştirme özelliklerini ifade eder.



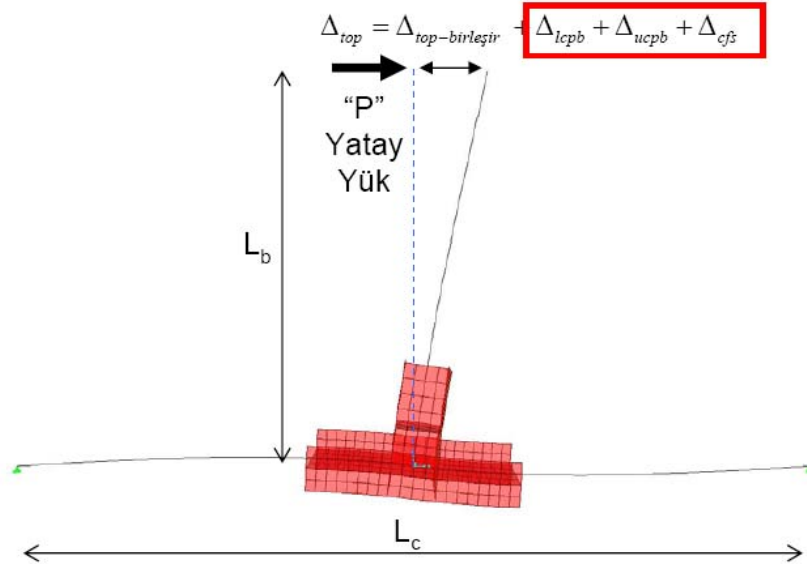
Şekil 6.19 : Kolon ve kiriş elemanlarının şekil değiştirmeye katkısı.

İlgili bileşenlerin yer değiştirme özellikleri hesabı için kullanılan eşitlikler aşağıda Çizelge 6.1 de verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Birleşim harici bileşenler için yük-yer değiştirme eşitlikleri.

Konsol çubuk elemanda yatay yük etkisinde tepe yatay yer değiştirmesi ve akma ve göçme moment dayanımları:	$\Delta_{bmb} = P * L_b^3 \frac{1}{3 * E * I}$ $M_{Rd} = W_{ply} * \sigma_y$ $M_{Ult} = W_{ply} * \sigma_u$
İki ucu sabit mesnetli tek açıklıklı çubuk elemanda açıklık ortasında moment sebebi ile oluşan dönme karşılığı tepe yer değiştirmesi:	$\Delta_{clb} = P * L_c * L_b^2 \frac{1}{24 * E * I}$ $M_{Rd} = 2 * W_{ply} * \sigma_y$ $M_{Ult} = 2 * W_{ply} * \sigma_u$

Aşağıda Şekil 6.20 de ise birleşime ait bileşenlerin katkısı gösterilmiştir.



Şekil 6.20 : Birleşim elemanlarının şekil değiştirmeye katkısı.

İlgili bileşenlerin yer değiştirme özellikleri hesabı için kullanılan eşitlikler aşağıda Çizelge 6.2 de verilmiştir. Detayları ilgili bölümde açıklanmıştır.

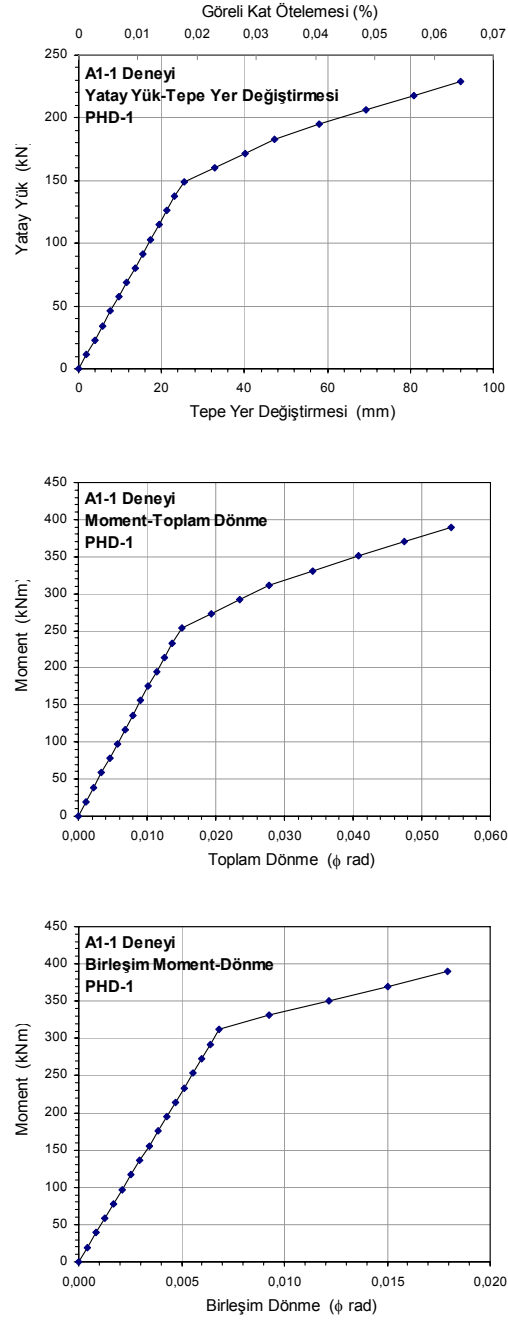
Çizelge 6.2 : Birleşim bileşenleri için yük-yer değiştirme eşitlikleri.

Üst ve alt süreklilik levhaları eğilme şekil değiştirmeleri sebebi ile oluşan tepe yer değiştirmesi için ön sayısal analizlerde elde edilen eşitlikler ve akma ve göçme moment dayanımları::	$\frac{F}{d_{cp}} = K_{cp} = \frac{32 * E * t_{cp} * b_{cp}^3}{h_{cp}^3} * \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3$ $\alpha_1 = \frac{1}{11.063x^{-1.0631}}$ $\alpha_2 = -1.2694y^2 + 2.2632y - 0.003$ $\alpha_3 = -0.542z^2 + 2.182z - 1.31 \text{ veya}$ $\alpha_3 = -0.0052z^2 + 0.0636z + 0.2191$ $F_{cpRd} = q * c = \frac{M_{cpRd} * 24}{h_{cp} * (3 - \frac{c^2}{h_{cp}^2})}$
Kolon başlığının şekil değiştirmesi sebebi ile oluşan tepe yer değiştirmesi için ön sayısal analizlerde elde edilen eşitlikler ve akma ve göçme moment dayanımları::	$\frac{F}{d_{cf}} = K_{cfs} = \frac{0.38 * E * A_{cfs}}{h_t * \beta}$ $F_{cfsRd} * = V_{cfsRd} * = 0.9 * \frac{f_{ycf} * A_{cfs}}{\gamma_{mo} * \sqrt{3}}$

6.2.2 PHD-1 Analiz Sonuçları

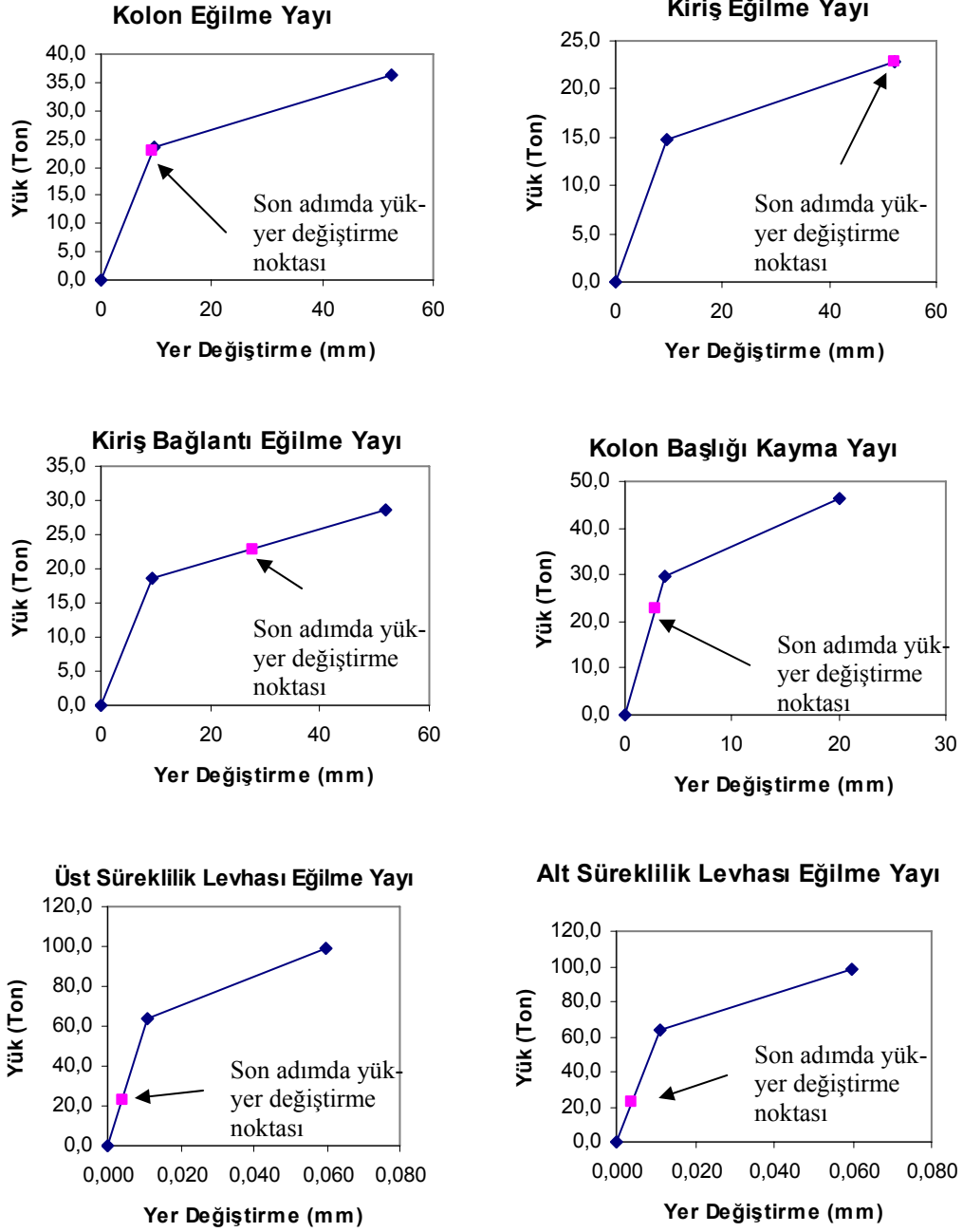
6.2.2.1 A1-1 PHD-1 sayısal analiz modeli

Hazırlanan A1-1 modeli PHD-1 yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, moment toplam dönme ilişkisi ve incelenen birleşime ait moment dönme ilişkisi aşağıda Şekil 6.21 olarak verilmiştir. Analiz sonuçlarının tamamı eklerde “**Ek G.2**” olarak verilmiştir.



Şekil 6.21 : A1-1 PHD-1 modeli karakteristik davranış eğrileri.

Algoritma doğrultusunda, adımlar halinde artan yatay yük ile, veya istenen herhangi bir yatay yük seviyesinde, her bileşene ait eğri üzerinde hangi noktada bulunduğu, kritik bileşenin hangisi olduğu ve mekanizma oluşumunun ne şekilde gerçekleştiği kolayca gözlemlenmektedir. Aşağıda Şekil 6.22 de son adımda her bileşen üzerindeki durum görülmektedir.



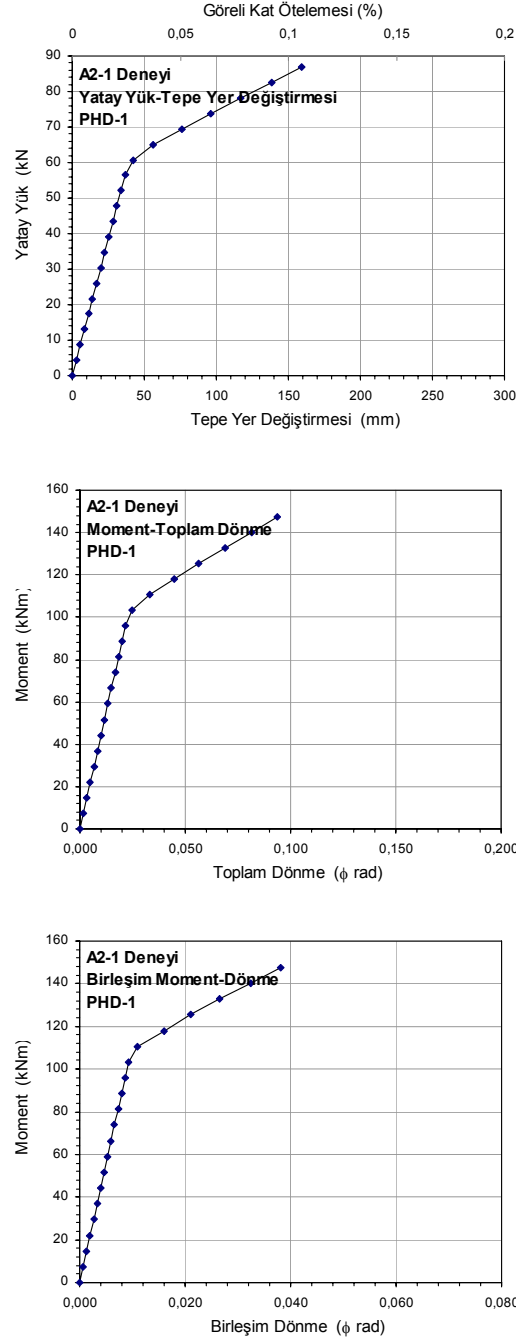
Şekil 6.22 : A1-1 PHD-1 sistem bileşenleri yatay yük-yer değiştirme eğrileri.

A1-1 PHD-1 sayısal analizinde maksimum yatay yük için mekanizma kiriş başlığında kopma ile oluşmaktadır.

6.2.2.2 A2-1 PHD-1 sayısal analiz modeli

Hazırlanan A2-1 modeli PHD-1 yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, moment

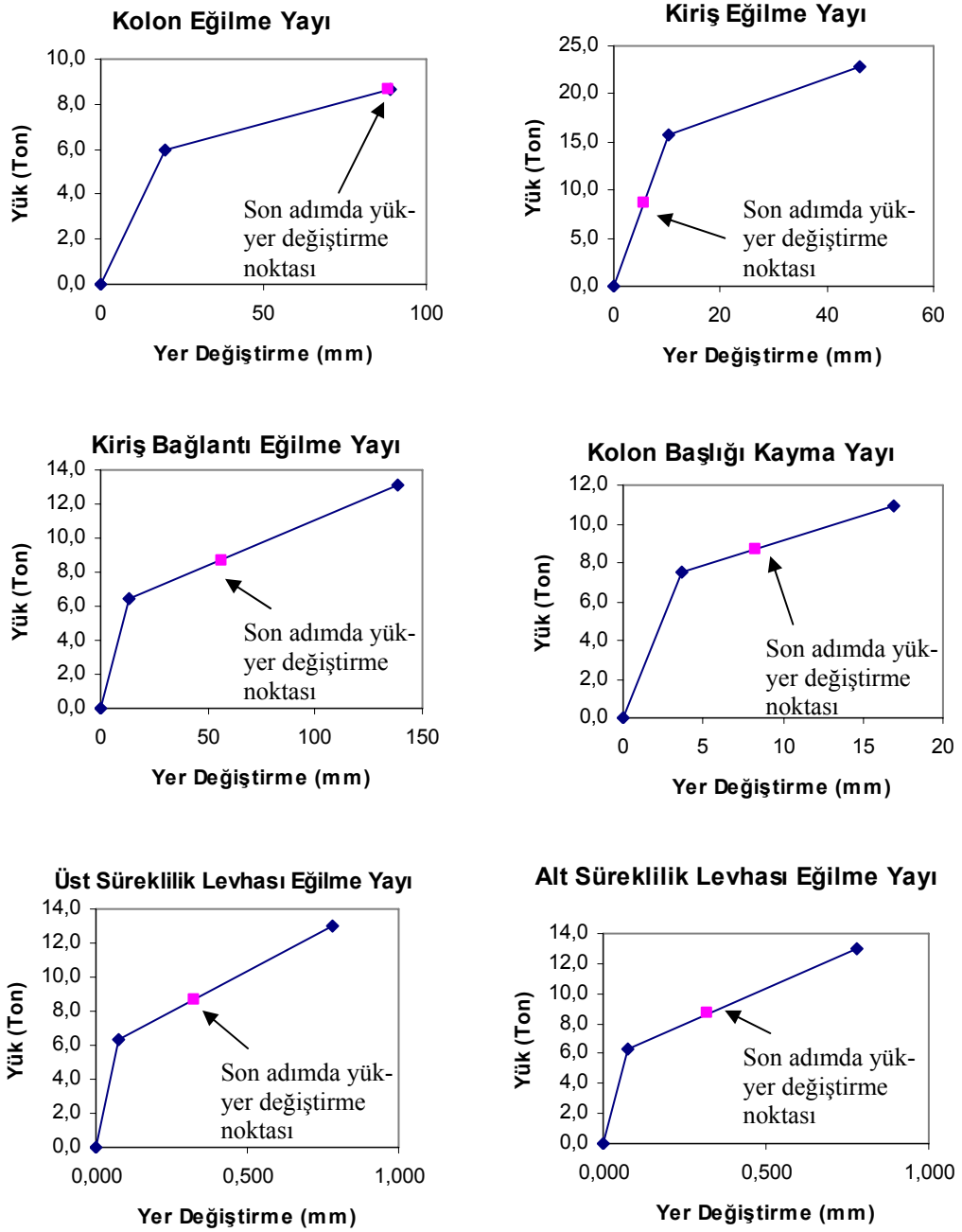
toplam dönme ilişkisi ve incelenen birleşime ait moment dönme ilişkisi aşağıda Şekil 6.23 olarak verilmiştir. Analiz sonuçlarının tamamı eklerde “**Ek G.3**” olarak verilmiştir.



Şekil 6.23 : A2-1 PHD-1 modeli karakteristik davranış eğrileri.

Algoritma doğrultusunda, adımlar halinde artan yatay yük ile, veya istenen herhangi bir yatay yük seviyesinde, her bileşene ait eğri üzerinde hangi noktada bulunduğu, kritik bileşenin hangisi olduğu ve mekanizma oluşumunun ne şekilde gerçekleştiği

kolayca gözlemlenmektedir. Aşağıda Şekil 6.24 de son adımda her bileşen üzerindeki durum görülmektedir.

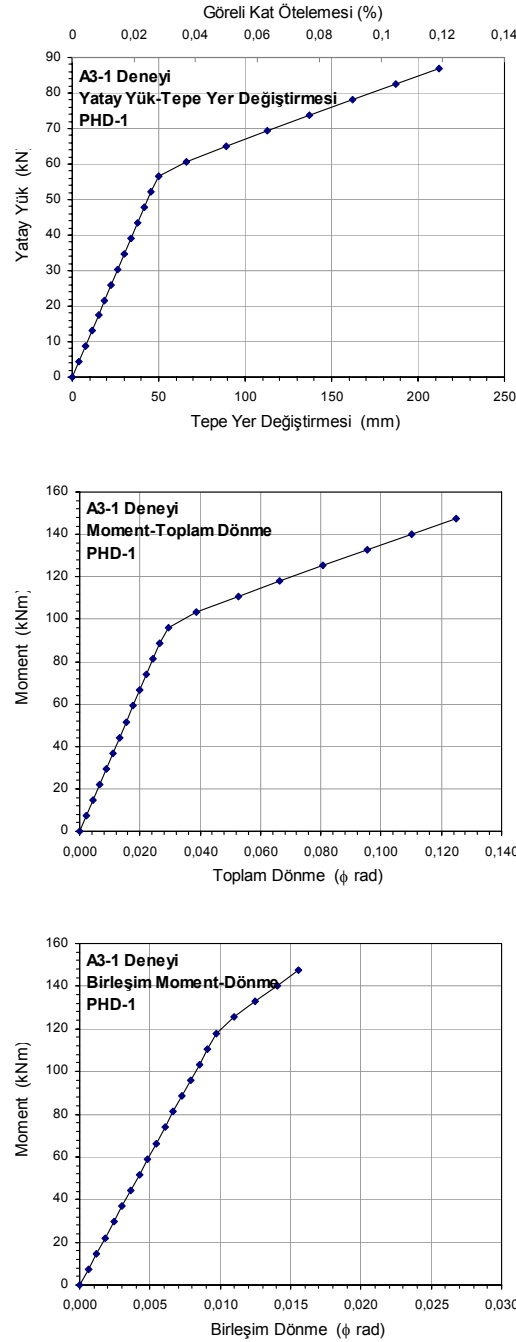


Şekil 6.24 : A2-1 PHD-1 sistem bileşenleri yatay yük-yer değiştirme eğrileri.

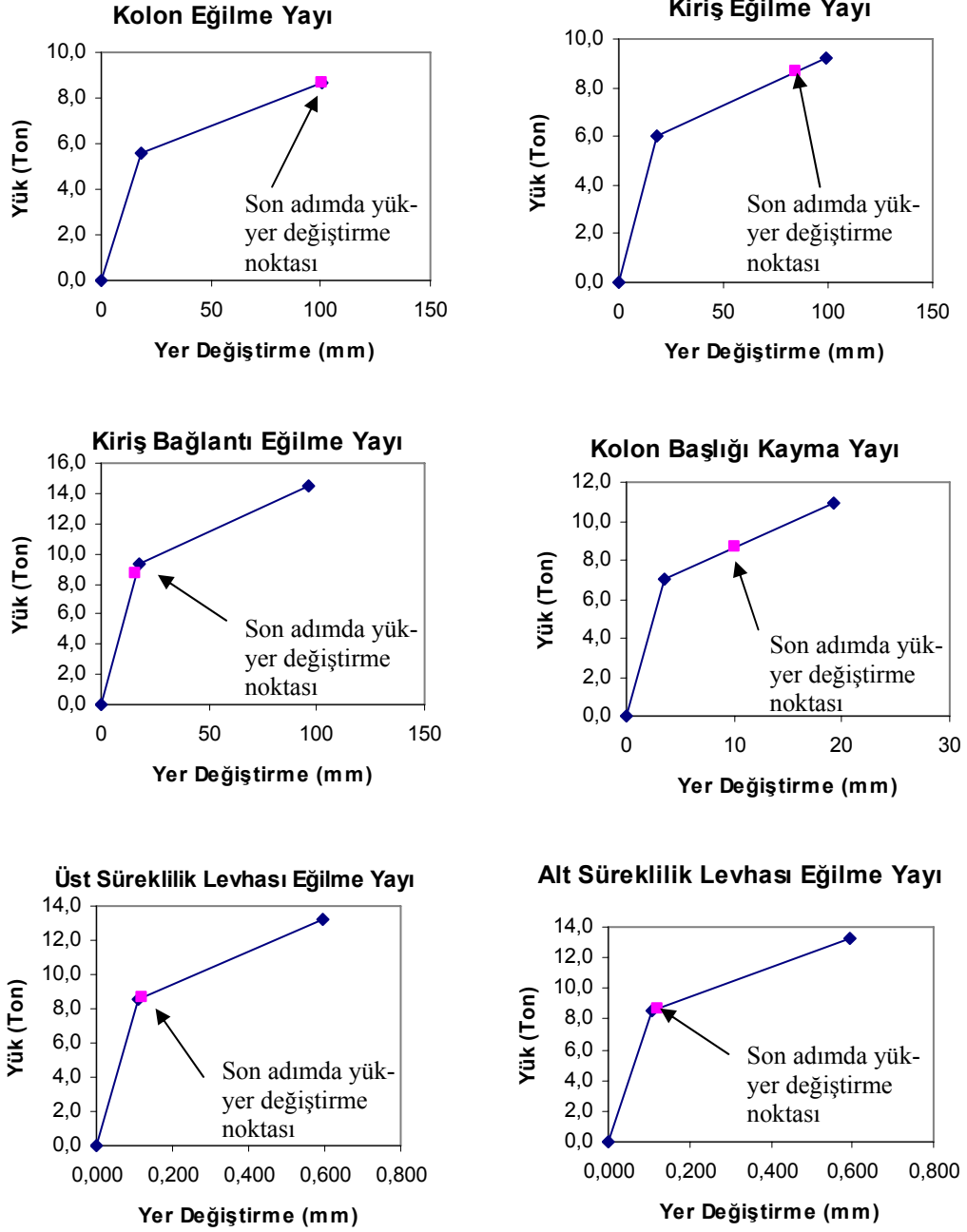
A2-1 PHD-1 sayısal analizinde maksimum yatay yük için mekanizma kolon zayıf eksen eğilmesinde başlığında kopma ile oluşmaktadır.

6.2.2.3 A3-1 PHD-1 sayısal analiz modeli

Hazırlanan A3-1 modeli PHD-1 yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, moment toplam dönme ilişkisi ve incelenen birleşime ait moment dönme ilişkisi aşağıda Şekil 6.25 olarak verilmiştir. Analiz sonuçlarının tamamı eklerde “Ek G.4” olarak verilmiştir.



Şekil 6.25 : A1-1 PHD-1 modeli karakteristik davranış eğrileri.



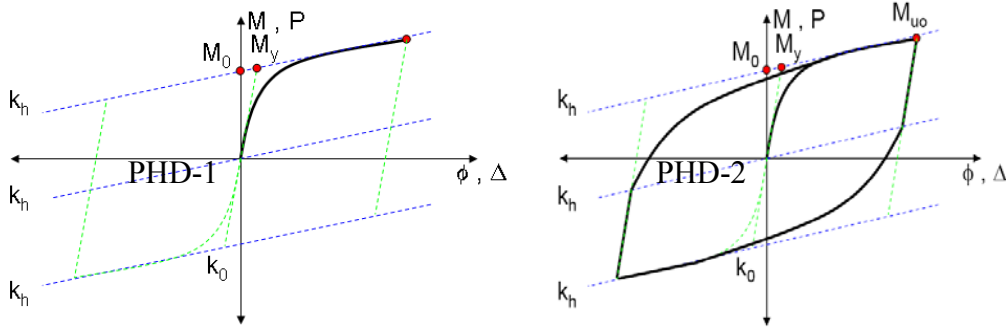
Şekil 6.26 : A3-1 PHD-1 sistem bileşenleri yatay yük-yer değiştirme eğrileri.

Algoritma doğrultusunda, adımlar halinde artan yatay yük ile, veya istenen herhangi bir yatay yük seviyesinde, her bileşene ait eğri üzerinde hangi noktada bulunduğu, kritik bileşenin hangisi olduğu ve mekanizma oluşumunun ne şekilde gerçekleştiği kolayca gözlemlenmektedir. Yukarıda Şekil 6.26 de son adımda her bileşen üzerindeki durum görülmektedir.

A3-1 PHD-1 sayısal analizinde maksimum yatay yük için mekanizma kolon zayıf eksen eğilmesinde başlığında kopma ve kiriş başlığında kopma ile oluşmaktadır.

6.3 Basitleştirilmiş Yöntem Kullanılarak Yapılan Çevrimsel Yük Durumu Sayısal Analizi

Kolon-kiriş birleşimlerinde davranışının belirlenmesinde ikinci adım tasarımcı tarafından ileri derecede lineer sonrası şekil değiştirme yapmış hasar geçmişini dikkate alan veya farklı adette ve maksimum genlikte çevrimsel tesire maruz kalması beklenen birleşimlerin tesir-şekil değiştirme yörünge eğrilerinin oluşturulmasıdır.



Şekil 6.27 : Genel halde maksimum dönme veya yer değiştirme için PHD-1 ve PHD-2 algoritması sonucu elde edilen eğrilerin karşılaştırılması.

PHD-1 hesap kodunun sonucu olarak elde edilen moment-dönme eğrisi kullanılarak (istenilirse yatay yük-tepe yer değiştirmesi de baz alınabilir) ve PHD-2 adı verilen bir ikinci hesap algoritması aracılığı ile kullanıcı tarafından tanımlanan genliklerde ve çevrim sayılarında tekrarlı olarak zorlanan bir birleşimin şekil değiştirme yörünge eğrisi elde edilebilecektir. Yukarıda Şekil 6.27 olarak her iki hesap algoritması sonucu elde edilen eğrilerin bir karşılaştırması tek bir çevrimi ifade eden maksimum genlikte dönme veya yer değiştirme için verilmiştir.

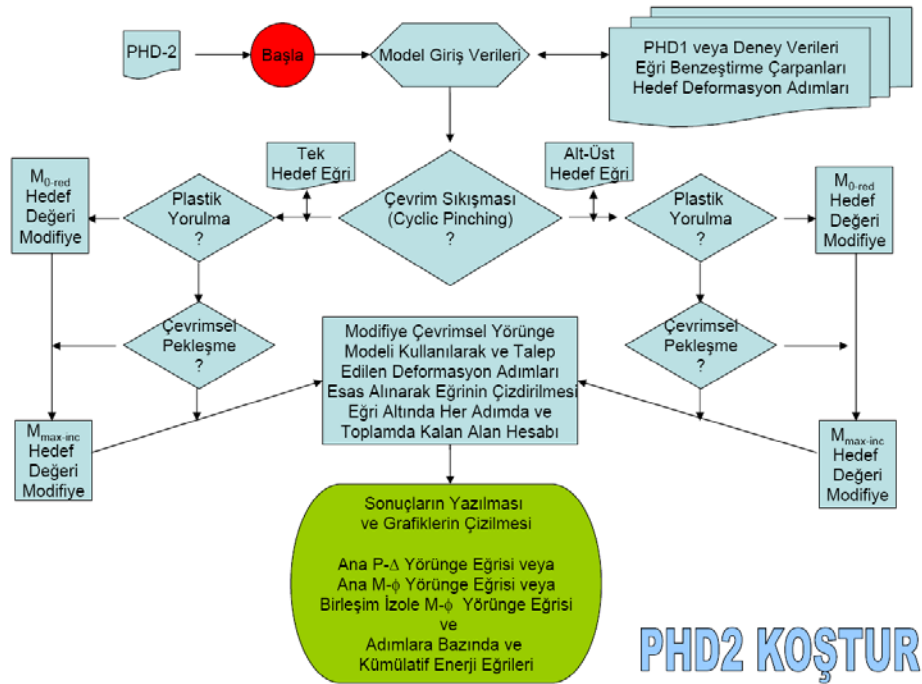
6.3.1 PHD-2 hesap kodu

PHD-2 adı verilen bu hesap algoritması aracılığı ile, tesir-şekil değiştirme özellikleri ile tanımlı hale getirilmiş bir birleşimin çeşitli hedef maksimum genliklerde zorlamalar tesiri ile oluşması muhtemel çevrim sıkışması, plastik yorulma hasarı ve

çevrimlerde ileri adım pekleşmesi gibi bozulma etkilerini dikkate alarak tesir-şekil değiştirme yörünge eğrisi çizdirilmektedir.

Her adım için eğri altında kalan alan hesaplanmakta bu şekilde birleşimin her adımında veya istenen bir çevrimsel yörünge sonrasında lineer ötesi şekil değiştirmeleri ile enerjinin ilişkisi kurulmaktadır.

Aşağıda Şekil 6.28 da ilgili hesap algoritması bir akış şeması halinde verilmiştir. Hesap kodunun tam dökümü ve detayları ayrıca eklerde “**Ek H.1**” olarak verilmiştir.

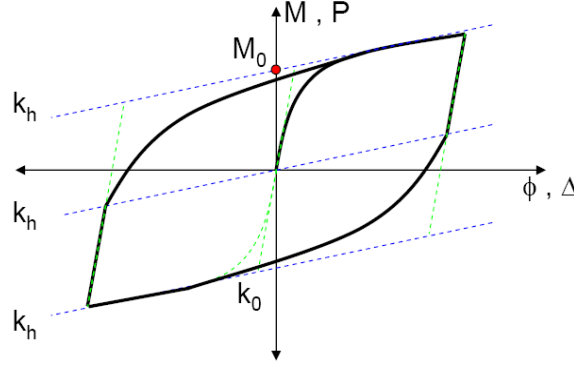


Şekil 6.28 : PHD-2 hesap algoritması akış diyagramı.

Hesap algoritmasında kullanılmak üzere literatürden derlenen ve çeşitli araştırmacıların benzer amaçlar için kullandığı matematiksel ifadeler birleşim davranışını ifade edecek şekilde derlenip tek bir çatı altında toparlanmış ve çeşitli değişkenlere bağlı olarak eldeki verinin sayısal olarak benzeştirilmesinde kullanılan bir hesap kodu haline getirilmiştir.

Algoritma, giriş bilgisi olarak çevrimsel yörünge benzeştirilmesi için gerekli veriyi PHD-1 sonuçlarından alır. Eğri benzeştirme katsayıları benzer birleşimler için yapılan deneylerden alınarak sistem tesir – şekil değiştirme yörünge eğrisini hazırlanır.

Ana eğri benzeştirme denklemleri *Bozulmamış Yüksek Enerji Sönümlü Çevrim* için yük artışı kolunun (loading branch) sayısal olarak tanımlanması Richard ve Abbot (1975), tarafından önerilen model ile yapılmıştır. Yük boşaltma kolunun (unloading branch) başlangıç rijitliğine paralel olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda ortaya çıkan bir çevrime ait eğrinin aldığı şekil aşağıda Şekil 6.29 olarak verilmiştir.



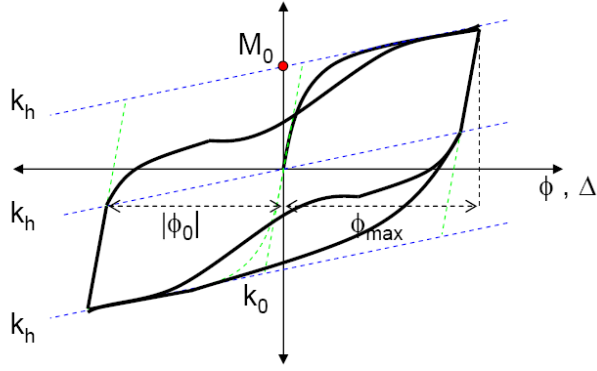
Şekil 6.29 : Bozulmamış yüksek enerji sönümlü çevrim grafiği ve parametreleri.

Eğriyi oluşturan eşitlikler aşağıda Çizelge 6.3 olarak verilmiştir.

Çizelge 6.3 : Bozulmamış yüksek enerji sönümlü çevrim grafiği oluşturan eşitlikler.

Artış kolu sayısal eşitliği:	$M = \frac{(k_o - k_h)\phi}{\left[1 + \left \frac{(k_o - k_h)\phi}{M_o}\right ^n\right]^{1/n}} + k_h\phi$
Boşaltma kolu sayısal eşitliği:	$M = k_o * \phi$

Çeşitli hasarlar sebebi ile eğrilerin bozulması ve *Azalan Enerji Sönümlü Sıkışan Çevrim* için yük artışı kolunun (loading branch) sayısal olarak tanımlanması aynı model kullanılarak, sadece alt-üst sınır eğri arası geçişler için Della Corte (1999), tarafından önerilen sayısal model modifikasyonları kullanılarak yapılmıştır. Yük boşaltma kolunun (unloading branch) başlangıç rijitliğine paralel olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda ortaya çıkan bir çevrime ait eğrinin aldığı şekil aşağıda Şekil 6.30 olarak verilmiştir.



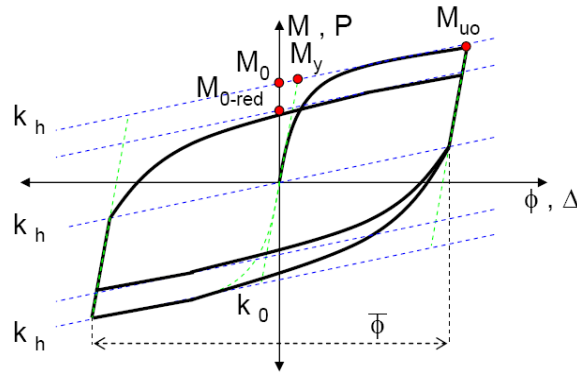
Şekil 6.30 : Azalan enerji sönümlü sıkışan çevrim grafiği ve parametreleri.

Eğriyi oluşturan eşitlikler aşağıda Çizelge 6.4 olarak verilmiştir.

Çizelge 6.4 : Azalan enerji sönümlü sıkışan çevrim grafiğini oluşturan eşitlikler.

Artış kolu sayısal eşitliği:	$M = \frac{(k_{ot} - k_{ht})\phi}{\left[1 + \left \frac{(k_{ot} - k_{ht})\phi}{M_{ot}}\right ^{nt}\right]^{1/nt}} + k_{ht}\phi$ $t = \left[\frac{(\phi / \phi_{lim})^{t1}}{(\phi / \phi_{lim})^{t1} + 1} \right]^{t2} \rightarrow \phi_{lim} = \lambda(\phi_o + \phi_{max})$ $k_{ot} = k_{op} + (k_o - k_{op})t \rightarrow M_{ot} = M_{op} + (M_o - M_{op})t$ $k_{ht} = k_{hp} + (k_h - k_{hp})t \rightarrow n_{pt} = n_p + (n - n_p)t$
Boşaltma kolu sayısal eşitliği:	$M = k_o * \phi$

Elastik olmayan bölgede gerçekleşen çevrimsel şekil değiştirmeler sırasında kalıcı şekil değiştirmelerin belirli bir bölgede yığılması kopma oluşana dek devam eder. Bu tesir *Plastik Yorulma (Plastic Fatigue) Hasarı Çevrim Bozulması* olarak tanımlanmıştır. Çoğu zaman bu yığılma söz konusu bölgenin malzeme özelliklerini değiştirdiğinden sabit maksimum genlikli şekil değiştirme altında çevrimlerde dayanım azalması oluşur. Yük kolunun hedef maksimum genliği hesaplanırken bu tesir Della Corte (1999), tarafından yapılan araştırmada yeniden düzenlenen “Park-Ang Göçme İndeksi” modeli ile dikkate alınabilir. Yük boşaltma kolunun (unloading branch) başlangıç rijitliğine paralel olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda ortaya çıkan bir çevrime ait eğrinin aldığı şekil aşağıda Şekil 6.31 olarak verilmiştir.



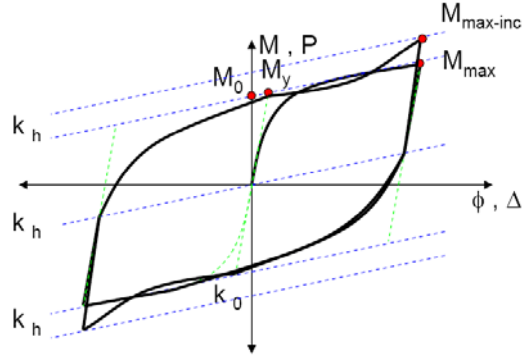
Şekil 6.31 : Plastik yorulma hasarı çevrim bozulması grafiği ve parametreleri.

Herhangi bir diğer bozulma için verilen eşitliklerde her adım için verilen eşitlikte gösterilen hedef “ M_o ” değeri aynı adım için hesaplanan hasar indeksi kullanılarak değiştirilecektir. Her adımda eğriyi değiştirmek için kullanılacak eşitlikler aşağıda Çizelge 6.5 olarak verilmiştir.

Çizelge 6.5 : Plastik yorulma hasarı çevrim bozulması grafiğini oluşturan eşitlikler.

Hasar İndeksi eşitliği:	$IC = \frac{\bar{\phi}}{\phi_{uo}} + \beta \frac{E_h}{M_y \phi_{uo}}$
Her adımda azaltılmış hedef M_o değeri:	$M_{o-red} = M_o \left(1 - \beta \frac{E_h}{M_y \phi_{uo}} \right)$

Ard-arda gelen çevrimlerde dayanım azalması göstermeyen bir takım malzemelerde belirli bir limit şekil değiştirme sonrası dayanım artışı olduğu gözlenmiştir. *Çevrimsel Pekleşme (Cyclic Hardening) Çevrim Bozulması* olarak tanımlanan bu özel duruma ait sayısal model için Filippou ve diğ. (1983), tarafından malzemelerde pekleşme modifikasyonu için önerilen sayısal model kullanılacaktır. Yük boşaltma kolunun (unloading branch) başlangıç rijitliğine paralel olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda ortaya çıkan bir çevrime ait eğrinin aldığı şekil aşağıda Şekil 6.32 olarak verilmiştir.



Şekil 6.32 : Çevrimsel pekleşme çevrim bozulması grafiği ve parametreleri.

Her hangi bir diğer bozulma için verilen eşitliklerde her adım için verilen eşitlikte gösterilen hedef “ M_o ” değeri aynı adıma ait noktalar hesaplanırken karşılık gelen maksimum genliğin pekleşme sınır değeri için durumu dikkate alınarak değiştirilecektir. Hedef genlik için eğriyi değiştirmek amacıyla kullanılacak eşitlikler, sınır genlik öncesi ve sonrası için aşağıda Çizelge 6.6 olarak verilmiştir.

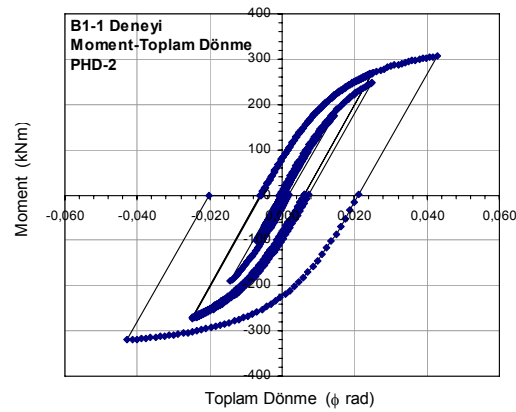
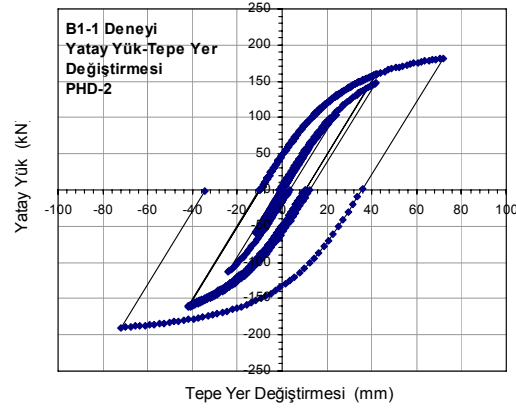
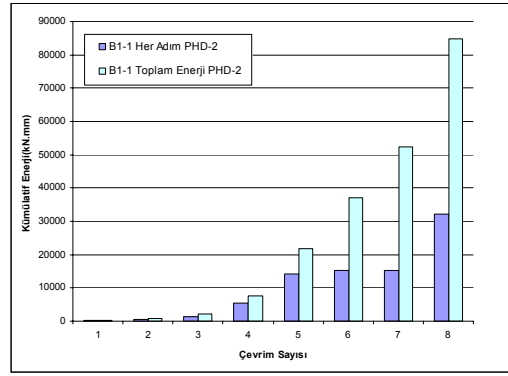
Çizelge 6.6 : Çevrimsel pekleşme çevrim bozulması grafiğini oluşturan eşitlikler.

Sınır genlik limiti öncesi her noktada hedef “ M_o ” eşitliği:	$\phi_{\max} \leq \phi_y \rightarrow M_{o-inc} = M_o$
Sınır genlik limiti sonrası her noktada arttırılmış hedef “ M_o ” eşitliği:	$\phi_{\max} > \phi_y \rightarrow M_{o-inc} = M_o \left(1 + H_h \frac{\phi_{\max} - \phi_y}{\phi_y} \right)$

6.3.2 PHD-2 analiz sonuçları

6.3.2.1 B1-1 PHD-2 sayısal analiz modeli

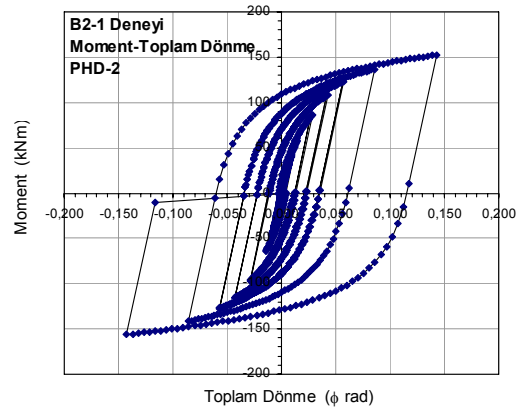
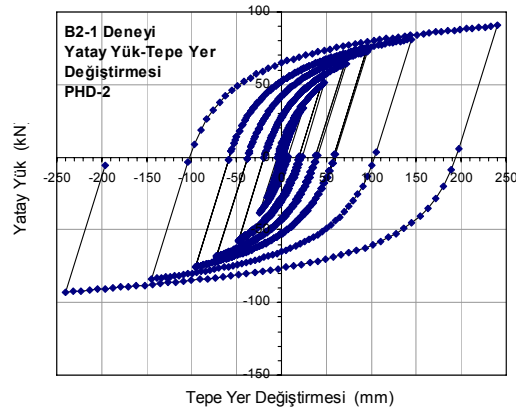
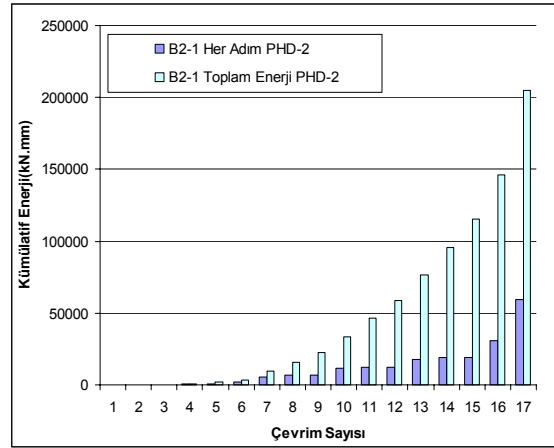
Hazırlanan B1-1 modeli PHD-2 yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan her adım ve toplam çevrimler boyunca ortaya çıkan enerji, yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, moment toplam dönme ilişkisi aşağıda Şekil 6.33 olarak verilmiştir. Analiz sonuçlarının tamamı eklerde “**Ek H.2**” olarak verilmiştir.



Şekil 6.33 : B1-1 PHD-2 modeli karakteristik davranış eğrileri.

6.3.2.2 B2-1 PHD-2 sayısal analiz modeli

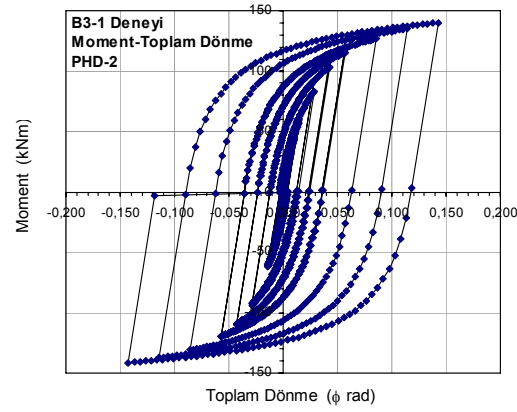
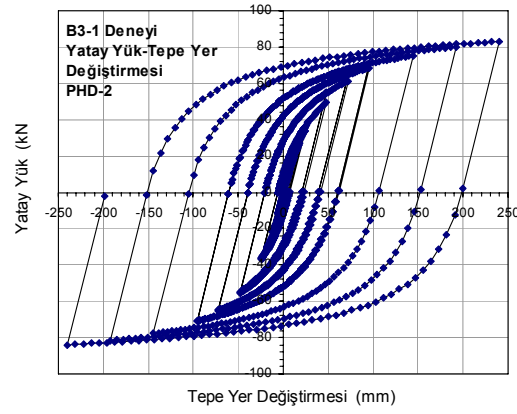
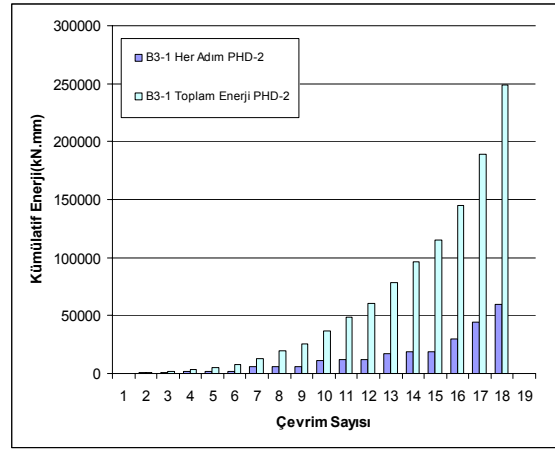
Hazırlanan B2-1 modeli PHD-2 yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan her adım ve toplam çevrimler boyunca ortaya çıkan enerji, yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, moment toplam dönme ilişkisi aşağıda Şekil 6.34 olarak verilmiştir. Analiz sonuçlarının tamamı eklerde “**Ek H.3**” olarak verilmiştir.



Şekil 6.34 : B2-1 PHD-2 modeli karakteristik davranış eğrileri.

6.3.2.3 B3-1 PHD-2 sayısal analiz modeli

Hazırlanan B3-1 modeli PHD-2 yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan her adım ve toplam çevrimler boyunca ortaya çıkan enerji, yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, moment toplam dönme ilişkisi aşağıda Şekil 6.35 olarak verilmiştir. Analiz sonuçlarının tamamı eklerde “**Ek H.4**” olarak verilmiştir.



Şekil 6.35 : B3-1 PHD-2 modeli karakteristik davranış eğrileri.

6.4 Bölüm Özeti

Bu bölümde deneysel çalışmada seçilen ve hem monoton artan yük ile hem de çevrimsel yük ile zorlanan numunelerin davranışları sayısal olarak benzeştirilmesi hedeflenmiştir.

7. ÇALIŞMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

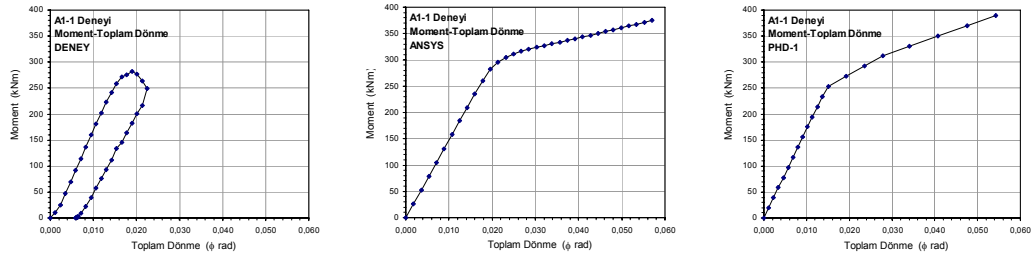
Önceki bölümlerde sunulan çalışmanın sonuçları özet halinde aşağıda sunulmuştur. Aynı deneysel numune için farklı araçlar ile gerçekleştirilen sayısal benzeşimlerin tek bir seferde ve aynı bölüm altında karşılaştırılması yapılmış, sonuçların yakınsaklığı ve farklılıkları olası sebepleri ile birlikte tartışılmıştır.

7.1 Monoton Artan Yer Değiştirme Durumu Benzeşimi Değerlendirmeleri

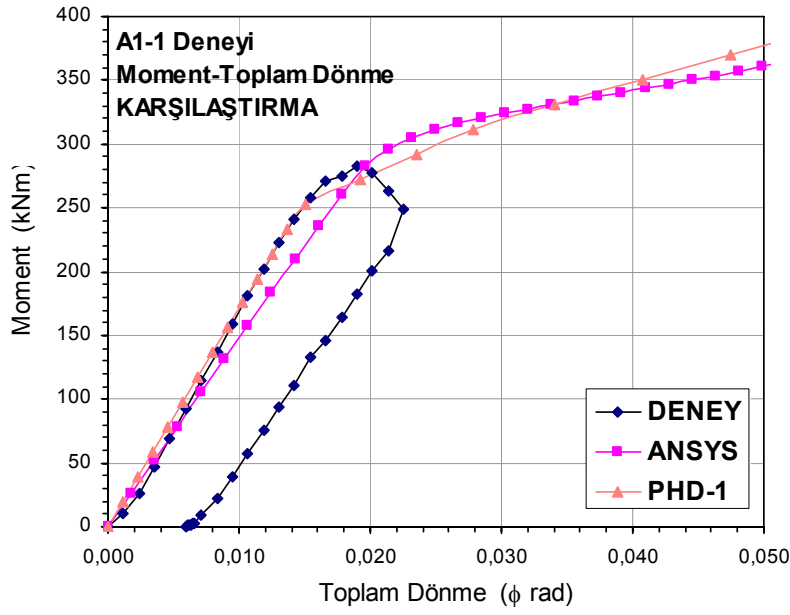
Monoton artan yer değiştirme durumuna ait eldeki A1-1, A2-1 ve A3-1 deney sonuçları ANSYS yazılımı ve PHD-1 hesap algoritması ile yapılan sayısal analizlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda moment-toplam dönme ve birleşim dönme eğrileri esas alınmıştır. Moment-toplam dönme eğrisi ve birleşim dönme eğrilerine ait başlangıç rijitliği, akma noktası ve akma sonrası rijitliği değerleri bir çizelge halinde sunulmuştur.

7.1.1 A1-1 Numunesi deneysel ve sayısal benzeşim çalışmaları karşılaştırması

A1-1 numunesi için yapılan deneyde elde edilen moment-toplam dönme eğrisi ve sayısal benzeşimi için hazırlanan ANSYS ve PHD-1 yazılımları ile elde edilen moment –toplam dönme eğrileri aşağıda Şekil 7.1 ve Şekil 7.2 de aynı eksen takımına ve ölçeğe oturtularak verilmiştir.



Şekil 7.1 : A1-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması.



Şekil 7.2 : A1-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması bir arada.

Grafikleri oluşturan sayısal verilerin ana karşılaştırma parametreleri ise aşağıda Çizelge 7.1 olarak verilmiştir.

Çizelge 7.1 : A1-1 karakteristik karşılaştırma parametreleri.

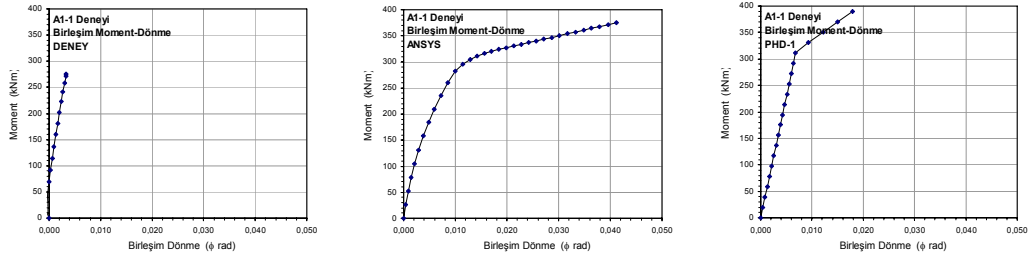
Numune Adı	M_y kNm	ϕ_y rad	M_u kNm	ϕ_u rad	K_1 kNm/ rad	K_2 kNm/ rad
A1-1 DENEY	270	0,0158	285	0,0200	18243	3571
A1-1 ANSYS	300	0,0200	360	0,0500	15000	2000
A1-1 PHD-1	275	0,0170	390	0,0550	16176	3026

Başlangıç rijitliği ve akma sonrası rijitliği değerlerinin yakınlığı, deneysel verinin tekrar edilebilir biçimde başarı ile sayısal olarak benzeştirilebildiğini göstermektedir. PHD-1 sonuçlarının deney sonuçları ile rijitlik açısından %90 civarı bir yakınlıkla benzeştiği tespit edilmiştir.

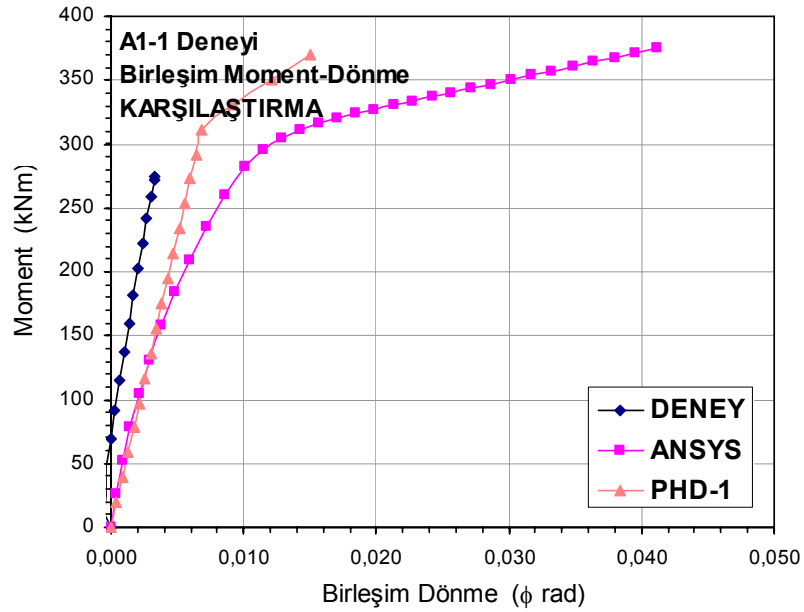
Sonuçlar değerlendirilirse, A1-1 deneyinde elde edilen akma momentine çok yakın bir moment değerinin, hem ANSYS hem de PHD-1 analizi sonuçlarından elde

edilebildiği görülmektedir. PHD-1 sonuçlarının deney sonuçları ile akma dayanımı değişkeni esas alındığında %98 bir yakınlık ile benzeştirildiği görülebilir.

Aynı deneyde birleşim davranışının da sayısal olarak benzeşimi irdelendiğinde aynı malzeme ve geometri kabulleri çerçevesinde ANSYS ve PHD-1 sayısal analiz çalışmaları ile elde edilen moment –birleşim dönme eğrileri aşağıda Şekil 7.3 ve Şekil 7.4’de aynı eksen takımına ve ölçeğe oturtularak verilmiştir.



Şekil 7.3 : A1-1 numunesi moment-birleşim dönme eğrileri karşılaştırması.



Şekil 7.4 : A1-1 numunesi moment-birleşim dönme eğrileri karşılaştırması bir arada.

Grafikleri oluşturan sayısal verilerin, moment-birleşim dönmesi açısından ana karşılaştırma parametreleri ise aşağıda Çizelge 7.2 olarak verilmiştir.

A1-1 deneyinde kiriş akma dayanımına erişilmiş ancak birleşim henüz lineer bölgede davranmakta iken deney sonlandırıldığından ayrıştırılmış ve sadece birleşime ait moment akma dayanımı ve dönmesi mevcut kayıtlı verilerden çıkarılamamaktadır.

Çizelge 7.2 : A1-1 birleşim davranışı karakteristik karşılaştırma parametreleri.

Numune Adı	M_y kNm	ϕ_y rad	M_u kNm	ϕ_u rad	K_1 kNm/ rad	K_2 kNm/ rad
A1-1 DENEY	270	0.0045	-	-	60000	-
A1-1 ANSYS	290	0,0070	370	0,0385	41428	2539
A1-1 PHD-1	315	0,0067	400	0,0178	47014	7657

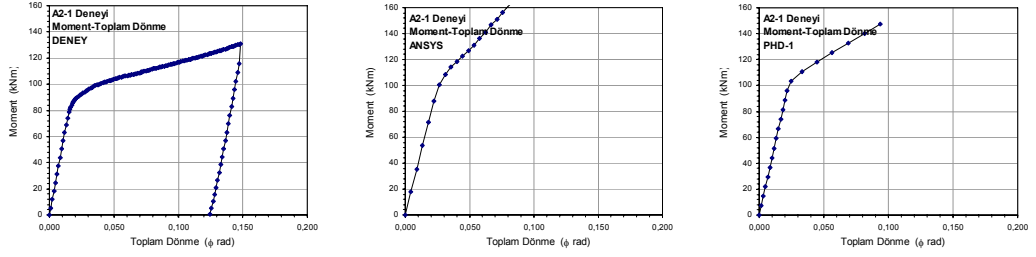
Başlangıç rijitliği değerlerinin yakınlığı, deneysel verinin tekrar edilebilir biçimde başarı ile sayısal olarak benzeştirilebildiğini göstermektedir. PHD-1 sonuçlarının deney sonuçları ile başlangıç rijitliği açısından %78 civarı bir yakınlıkla benzeştiği tespit edilmiştir.

Her ne kadar deneysel verinin tam sınır değer civarı kayıt edilememiş olduğu bir gerçekse de sonuçlar değerlendirildiğinde yapılan sayısal benzeşim analizlerinde birleşim için elde edilen akma momenti değerlerinin hem ANSYS hem de PHD-1 analizi sonuçlarında yaklaşık %92 bir yakınlıkla elde edilebildiği görülmektedir.

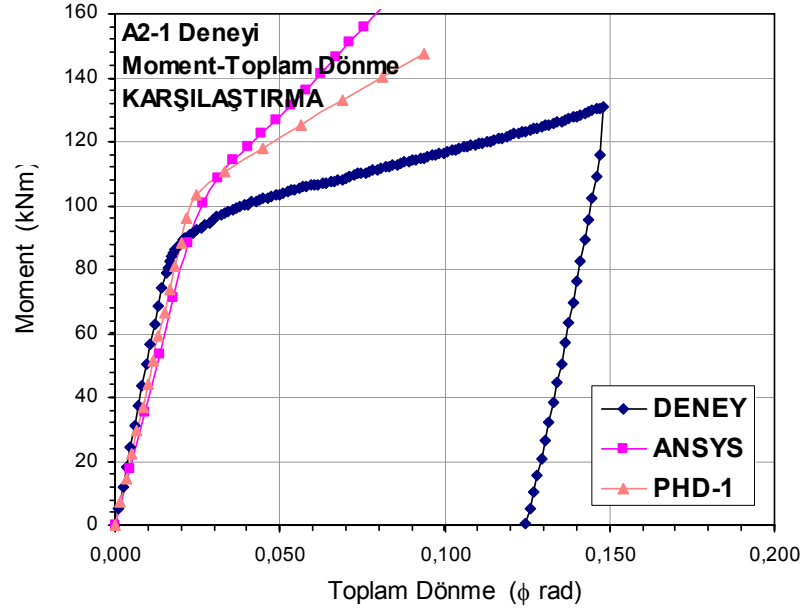
7.1.2 A2-1 Numunesi deneysel ve sayısal benzeşim çalışmaları karşılaştırması

A2-1 numunesi için yapılan deneyde elde edilen moment-toplam dönme eğrisi ve sayısal benzeşimi için hazırlanan ANSYS ve PHD-1 yazılımları ile elde edilen moment –toplam dönme eğrileri aşağıda Şekil 7.5 ve Şekil 7.6’da aynı eksen takımına ve ölçeğe oturtularak verilmiştir.

Grafikleri oluşturan sayısal verilerin ana karşılaştırma parametreleri ise aşağıda Çizelge 7.3 olarak verilmiştir.



Şekil 7.5 : A2-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması.



Şekil 7.6 : A2-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması bir arada.

Çizelge 7.3 : A2-1 karakteristik karşılaştırma parametreleri.

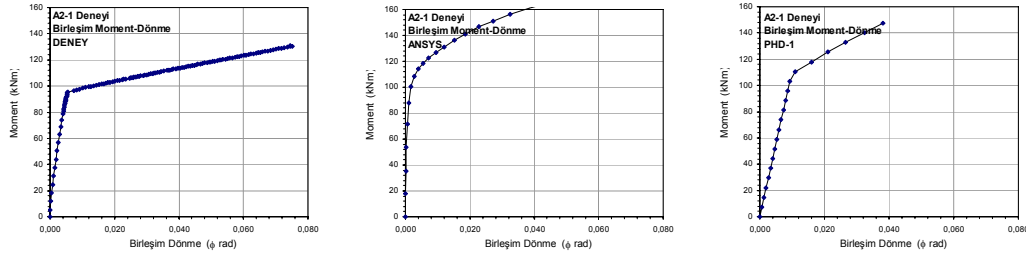
Numune Adı	M_y kNm	ϕ_y rad	M_u kNm	ϕ_u rad	K_1 kNm/ rad	K_2 kNm/ rad
A2-1 DENEY	95	0,0180	130	0,1480	5277	269
A2-1 ANSYS	100	0,0240	160	0,0800	4166	1071
A2-1 PHD-1	110	0,0260	152	0,1000	4400	560

Başlangıç rijitliği ve akma sonrası rijitliği değerlerinin yakınlığı, deneysel verinin tekrar edilebilir biçimde başarı ile sayısal olarak benzeştirilebildiğini göstermektedir.

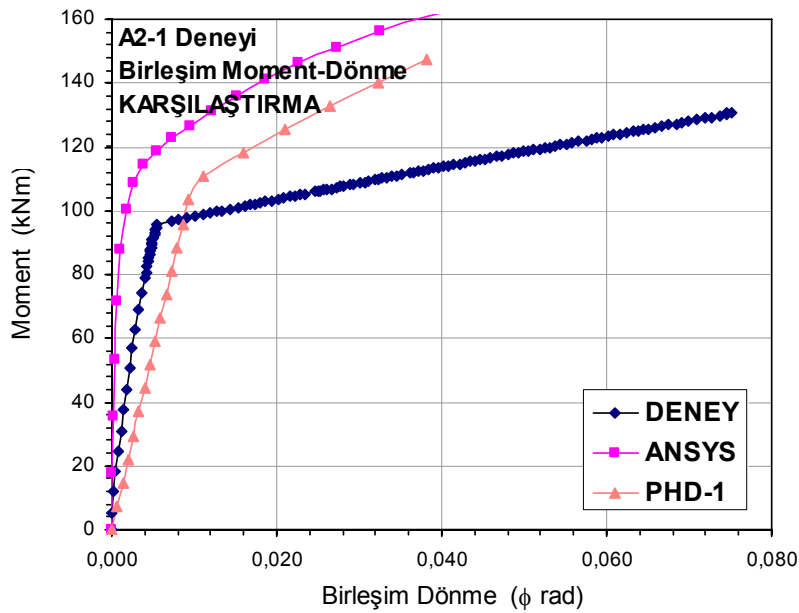
PHD-1 sonuçlarının deney sonuçları ile başlangıç rijitliği açısından %84 civarı bir yakınlıkla benzeştiği tespit edilmiştir.

Sonuçlar değerlendirilirse, A2-1 deneyinde elde edilen akma momentine çok yakın bir moment değerinin, hem ANSYS hem de PHD-1 analizi sonuçlarından elde edilebildiği görülmektedir. PHD-1 sonuçlarının deney sonuçları ile akma dayanımı değişkeni esas alındığında %87 bir yakınlık ile benzeştirildiği görülebilir.

Aynı deneyde birleşim davranışının da sayısal olarak benzeşimi irdelendiğinde aynı malzeme ve geometri kabulleri çerçevesinde ANSYS ve PHD-1 sayısal analiz çalışmaları ile elde edilen moment –birleşim dönme eğrileri aşağıda Şekil 7.7 ve Şekil 7.8’de aynı eksen takımına ve ölçeğe oturtularak verilmiştir.



Şekil 7.7 : A2-1 Numunesi moment-birleşim dönme eğrileri karşılaştırması.



Şekil 7.8 : A2-1 Numunesi moment-birleşim dönme eğrileri karşılaştırması bir arada.

Grafikleri oluşturan sayısal verilerin, moment-birleşim dönmesi açısından ana karşılaştırma parametreleri ise aşağıda Çizelge 7.4 olarak verilmiştir.

A2-1 deneyinde kolon akma dayanımına erişilmiş ayrıca birleşim lineer limit taşıma sınırını aşarak akma sonrası davranışa ait bilgilerin de kayıt alınması sağlanmıştır.

Çizelge 7.4 : A2-1 birleşim davranışı karakteristik karşılaştırma parametreleri.

Numune Adı	M_y kNm	ϕ_y rad	M_u kNm	ϕ_u rad	K_1 kNm/ rad	K_2 kNm/ rad
A2-1 DENEY	96	0,0058	125	0,0700	16551	451
A2-1 ANSYS	115	0,0040	160	0,0400	28750	1250
A2-1 PHD-1	108	0,0087	143	0,0350	12413	1330

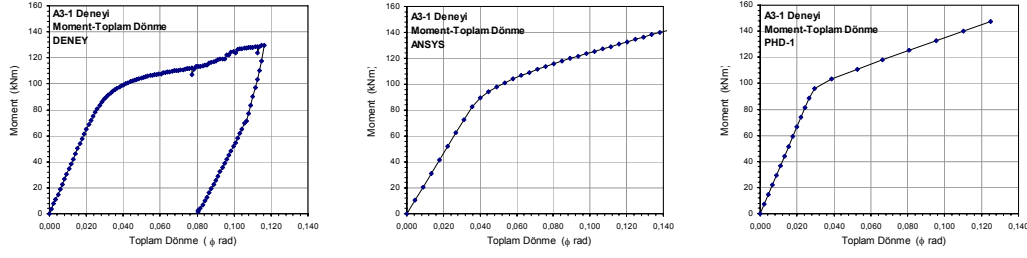
Başlangıç rijitliği değerlerinin yakınlığı, deneysel verinin tekrar edilebilir biçimde başarı ile sayısal olarak benzeştirilebildiğini göstermektedir.

PHD-1 sonuçlarının deney sonuçları ile başlangıç rijitliği açısından %75 civarı bir yakınlıkla benzeştiği tespit edilmiştir.

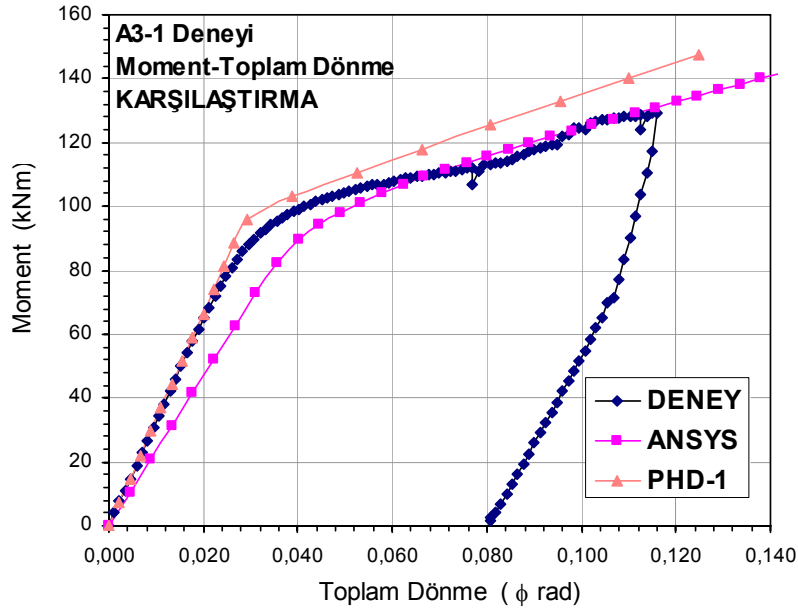
Sonuçlar değerlendirilirse A2-1 deneyinde birleşim için elde edilen akma momentine çok yakın bir moment değerinin, ANSYS hem de PHD-1 analizi sonuçlarında yaklaşık %88 bir yakınlıkla elde edilebildiği görülmektedir.

7.1.3 A3-1 Numunesi deneysel ve sayısal benzeşim çalışmaları karşılaştırması

A3-1 numunesi için yapılan deneyde elde edilen moment-toplam dönme eğrisi ve sayısal benzeşimi için hazırlanan ANSYS ve PHD-1 yazılımları ile elde edilen moment –toplam dönme eğrileri aşağıda Şekil 7.9 ve Şekil 7.10’da aynı eksen takımına ve ölçeğe oturtularak verilmiştir.



Şekil 7.9 : A3-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması.



Şekil 7.10 : A3-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması bir arada.

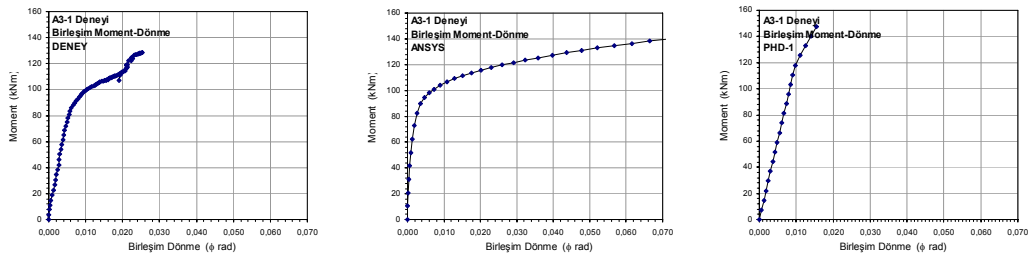
Grafikleri oluşturan sayısal verilerin ana karşılaştırma parametreleri ise aşağıda Çizelge 7.5 olarak verilmiştir.

Çizelge 7.5 : A3-1 Karakteristik Karşılaştırma Parametreleri.

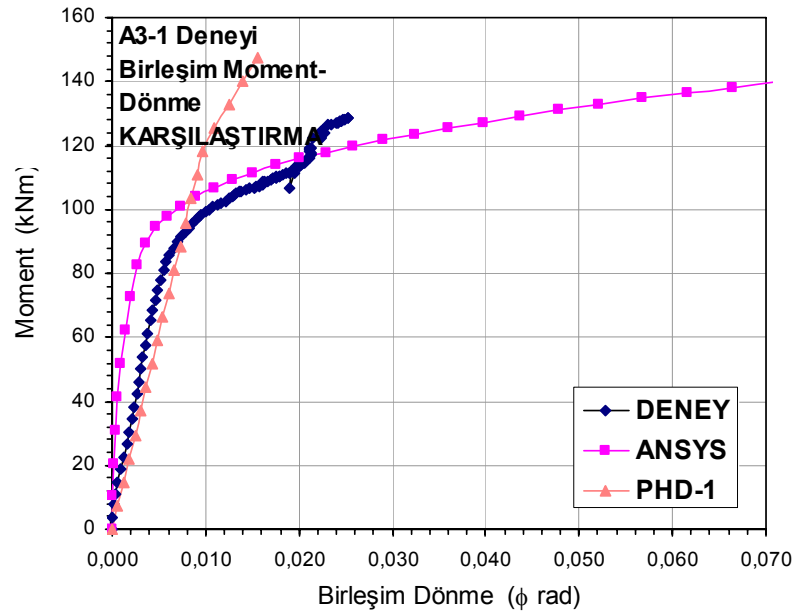
Numune Adı	M_y kNm	ϕ_y rad	M_u kNm	ϕ_u rad	K_1 kNm/ rad	K_2 kNm/ rad
A3-1 DENEY	98	0,0300	125	0,1200	3266	300
A3-1 ANSYS	96	0,0400	140	0,1400	2400	440
A3-1 PHD-1	97	0,0300	146	0,1200	3233	533

Başlangıç rijitliği ve akma sonrası rijitliği değerlerinin yakınlığı, deneysel verinin tekrar edilebilir biçimde başarı ile sayısal olarak benzeştirilebildiğini göstermektedir. PHD-1 sonuçlarının deney sonuçları ile başlangıç rijitliği açısından %98 civarı bir yakınlıkla benzeştiği tespit edilmiştir.

Sonuçlar değerlendirilirse, A3-1 deneyinde elde edilen akma momentine çok yakın bir moment değerinin, hem ANSYS hem de PHD-1 analizi sonuçlarından elde edilebildiği görülmektedir. PHD-1 sonuçlarının deney sonuçları ile akma dayanımı değişkeni esas alındığında %99 bir yakınlık ile benzeştirildiği görülebilir.



Şekil 7.11 : A3-1 numunesi moment-birleşim dönme eğrileri karşılaştırması.



Şekil 7.12 : A3-1 Numunesi moment-birleşim dönme eğrileri karşılaştırması bir arada.

Aynı deneyde birleşim davranışının da sayısal olarak benzeşimi irdelendiğinde aynı malzeme ve geometri kabulleri çerçevesinde ANSYS ve PHD-1 sayısal analiz

çalışmaları ile elde edilen moment –birleşim dönme eğrileri yukarıda Şekil 7.11 ve Şekil 7.12’de aynı eksen takımına ve ölçeğe oturtularak verilmiştir.

Grafikleri oluşturan sayısal verilerin ana karşılaştırma parametreleri ise aşağıda Çizelge 7.6 olarak verilmiştir.

A3-1 deneyinde kolon ve kiriş akma dayanımına erişilmiş ayrıca birleşim lineer limit taşıma sınırını aşarak akma sonrası davranışa ait bilgilerin de kayıt alınması sağlanmıştır.

Çizelge 7.6 : A3-1 birleşim davranışı karakteristik karşılaştırma parametreleri.

Numune Adı	M_y kNm	ϕ_y rad	M_u kNm	ϕ_u rad	K_1 kNm/ rad	K_2 kNm/ rad
A3-1 DENEY	95	0,0065	112	0,0200	14615	1259
A3-1 ANSYS	100	0,0050	140	0,0510	20000	869
A3-1 PHD-1	114	0,0090	160	0,0175	12666	5411

Başlangıç rijitliği değerlerinin yakınlığı, deneysel verinin tekrar edilebilir biçimde başarı ile sayısal olarak benzeştirilebildiğini göstermektedir. PHD-1 sonuçlarının deney sonuçları ile başlangıç rijitliği açısından %87 civarı bir yakınlıkla benzeştiği tespit edilmiştir.

Sonuçlar değerlendirilirse A3-1 deneyinde birleşim için elde edilen akma momentine çok yakın bir moment değerinin, ANSYS hem de PHD-1 analizi sonuçlarında yaklaşık %84 bir yakınlıkla elde edilebildiği görülmektedir.

7.2 Çevrimsel Yer Değiştirme Durumu Benzeşimi Değerlendirmeleri

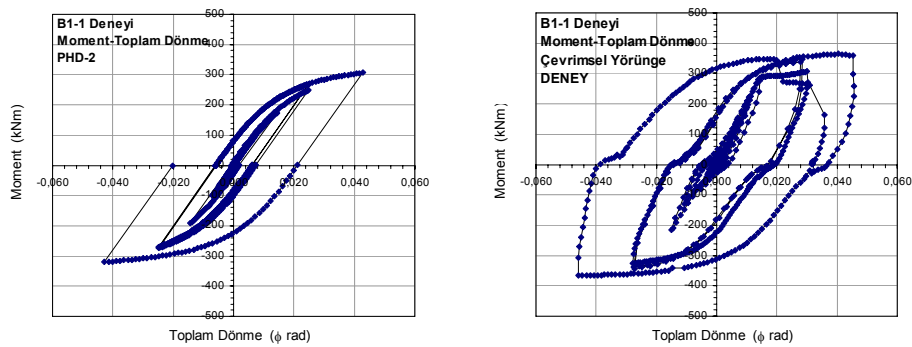
Çevrimsel yer değiştirme zorlaması ile yapılan deneylerde gözlemlenen davranışın sayısal olarak benzeştirilmesi için PHD-2 algoritması kullanılmıştır. Elde edilen moment-toplam dönme eğrileri ve hem deneyler için hem de sayısal benzeşim çalışmasında elde edilen enerji oranları benzer ölçekte karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmalarda çevrimsel yer değiştirmeye bağlı moment-toplam dönme eğrisinin hem rijitlikler hem de limit dayanımlar açısından benzer olması, karakteristik eğri uydurma parametreleri deney üzerinden alındığından doğal olarak beklenir.

Sayısal benzeşimin başarısının görülmesi için eğrinin hasar ve benzeri durumları yakalayabilmesi, hesaplanan enerji adımlarının benzer seviyelerde olması ve toplam enerji seviyesinin yakınsak kalması, eşit genliğe sahip tekrarlı çevrimlerde deneysel kayıtlarda görülen bozulmaların ve azalan enerji değerlerinin sayısal benzeşim modeli ile de tekrarlanabilmesi olarak sıralanabilir. Hem sayısal benzeşim sonuçları ve hem de deney kayıtlarında B1-1, B2-1 ve B3-1 deneyleri çevrimsel yer değiştirme yörüngesi kararlı bir davranış gösterirken, C1-1, C2-1 ve C3-1 deneyleri hasar sebepli bozulmalar göstermektedir.

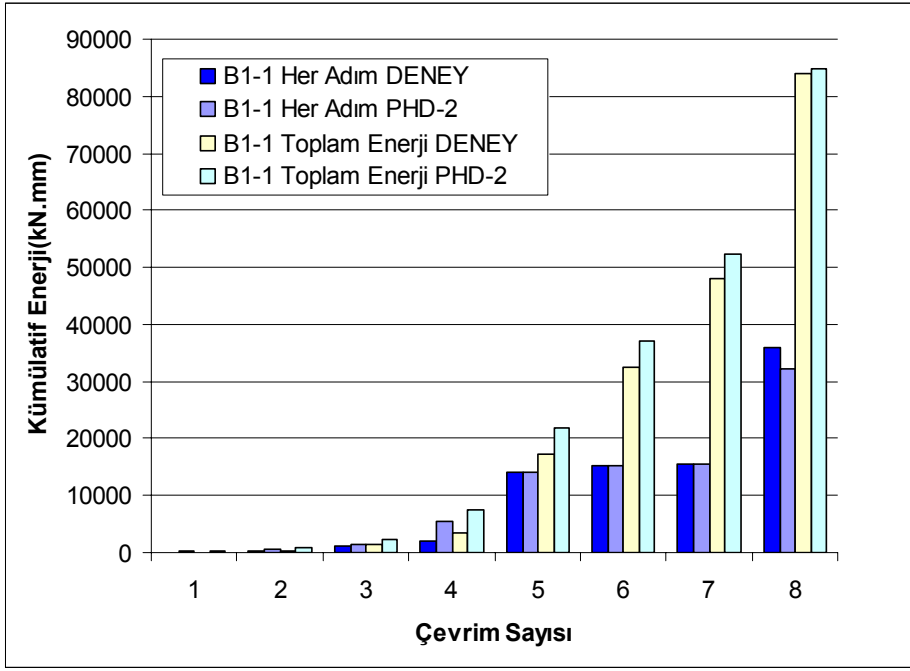
7.2.1 B1-1 Numunesi deneysel ve sayısal benzeşim çalışmaları karşılaştırması

B1-1 numunesi için yapılan deneyde elde edilen moment-toplam dönme eğrisi ve sayısal benzeşimi için hazırlanan PHD-2 yazılımları ile elde edilen moment –toplam dönme eğrileri aşağıda Şekil 7.13 de aynı eksen takımına ve ölçeğe oturtularak verilmiştir.



Şekil 7.13 : B1-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması.

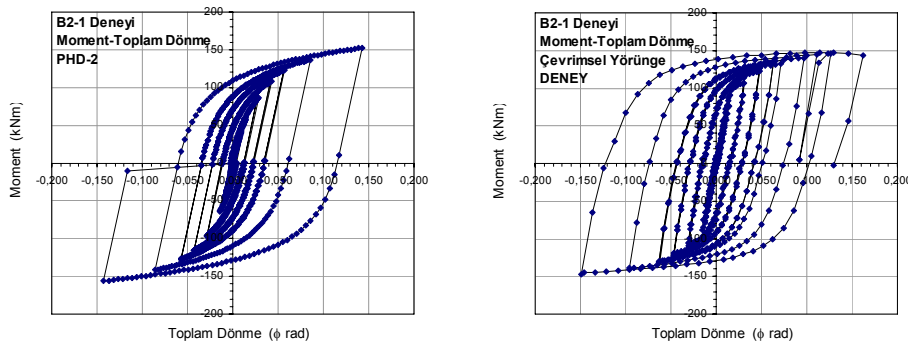
Sonuçlar değerlendirilirse B1-1 deneyinde elde edilen eğrilerin enerji alanları açısından benzeşiminde adımlar bazında, toplam enerji bazında ve karakteristik davranış parametreleri bazında kabul edilebilir bir yakınlıkla elde edilebildiği görülmektedir. Aşağıda Şekil 7.14 de karşılaştırmalı enerji oranları görülmektedir.



Şekil 7.14 : B1-1 numunesi DENEY ve PHD-2 enerji eğrileri karşılaştırması.

7.2.2 B2-1 Numunesi deneysel ve sayısal benzeşim çalışmaları karşılaştırması

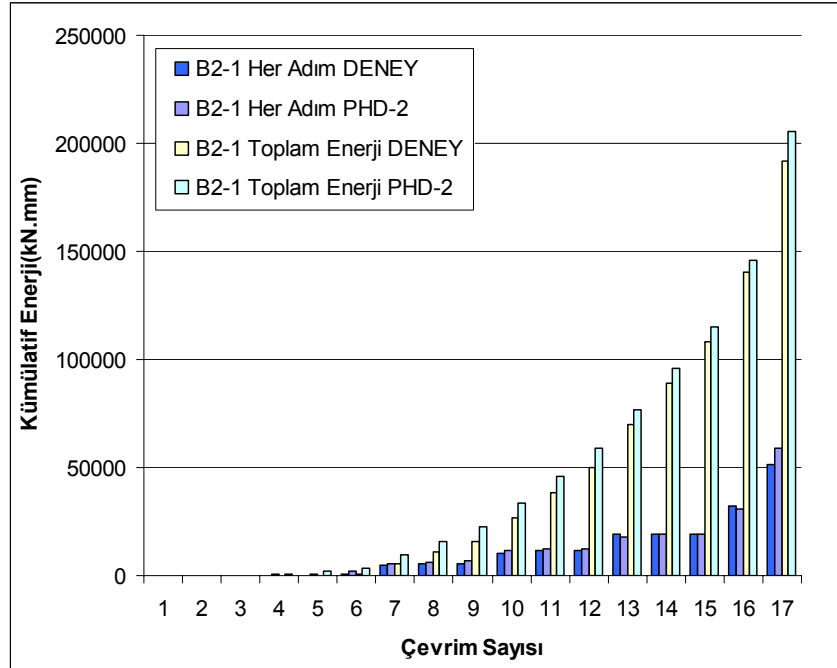
B2-1 numunesi için yapılan deneyde elde edilen moment-toplam dönme eğrisi ve sayısal benzeşimi için hazırlanan PHD-2 yazılımları ile elde edilen moment –toplam dönme eğrileri aşağıda Şekil 7.15 de aynı eksen takımına ve ölçeğe oturtularak verilmiştir.



Şekil 7.15 : B2-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması.

Sonuçlar değerlendirilirse B2-1 deneyinde elde edilen eğrilerin enerji alanları açısından benzeşiminde adımlar bazında, toplam enerji bazında ve karakteristik

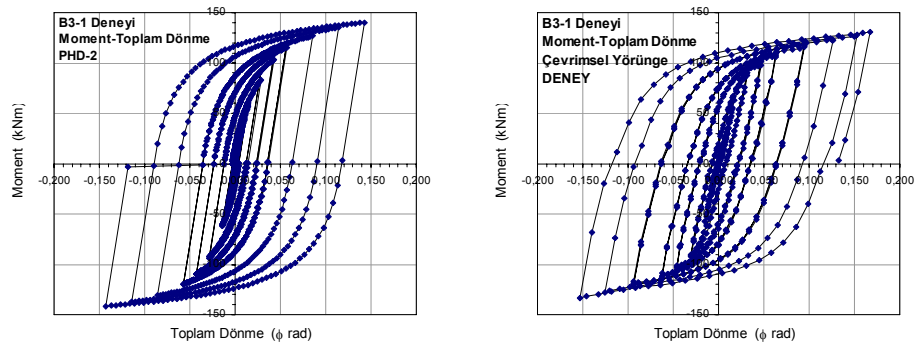
davranış parametreleri bazında kabul edilebilir bir yakınlıkla elde edilebildiği görülmektedir. Aşağıda Şekil 7.16’da karşılaştırmalı enerji oranları görülmektedir.



Şekil 7.16 : B2-1 numunesi DENEY ve PHD-2 enerji eğrileri karşılaştırması.

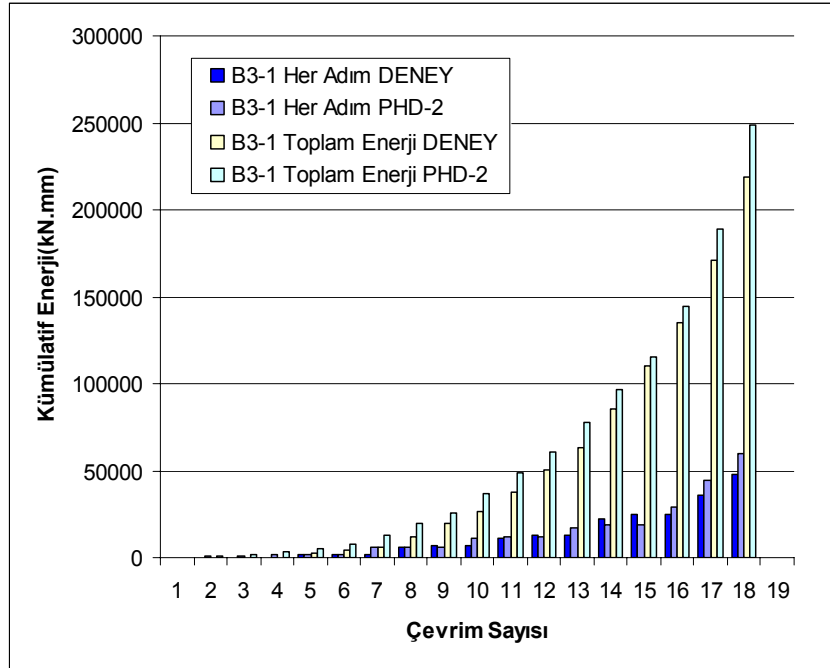
7.2.3 B3-1 Numunesi deneysel ve sayısal benzeşim çalışmaları karşılaştırması

B3-1 numunesi için yapılan deneyde elde edilen moment-toplam dönme eğrisi ve sayısal benzeşimi için hazırlanan PHD-2 yazılımları ile elde edilen moment –toplam dönme eğrileri aşağıda Şekil 7.17 de aynı eksen takımına ve ölçeğe oturtularak verilmiştir.



Şekil 7.17 : B3-1 numunesi moment-toplam dönme eğrileri karşılaştırması.

Sonuçlar değerlendirilirse B3-1 deneyinde elde edilen eğrilerin enerji alanları açısından benzeşiminde adımlar bazında, toplam enerji bazında ve karakteristik davranış parametreleri bazında kabul edilebilir bir yakınlıkla elde edilebildiği görülmektedir. Aşağıda Şekil 7.18 de karşılaştırmalı enerji oranları görülmektedir.

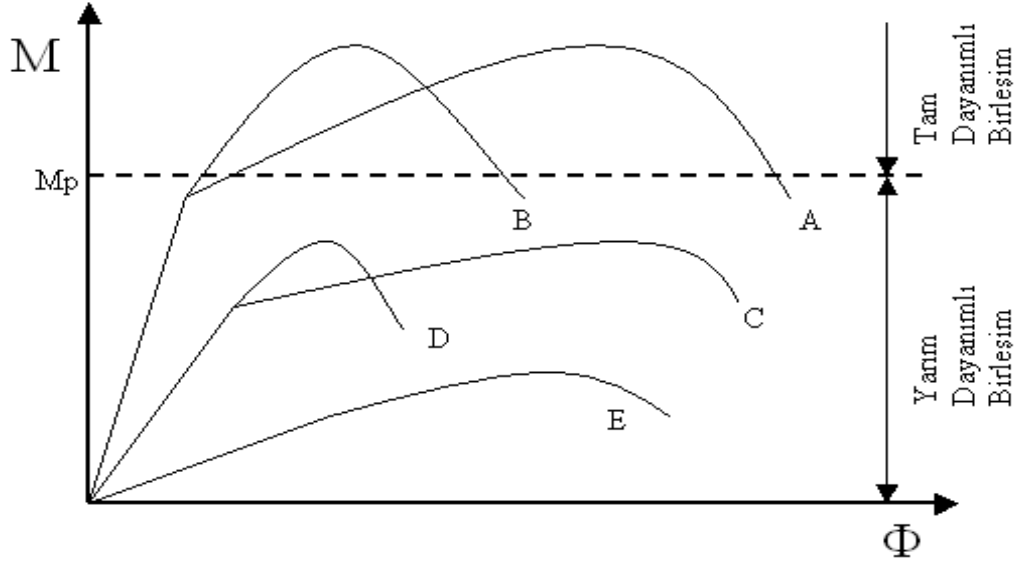


Şekil 7.18 : B3-1 numunesi DENEY ve PHD-2 enerji eğrileri karşılaştırması.

7.3 Birleşim Davranışı Açısından Seçilen Birleşim Türünün Sınıflandırılması

Birleşimlerin dayanımı ve dönme kapasitesi, davranışı belirleyen en önemli parametrelerdendir. Birleşimi oluşturan her elemanın davranışa çeşitli katkıları vardır. Zayıf halkayı oluşturan eleman dayanımı sınırlar ve davranışı belirler.

Avrupa çelik yapı tasarım yönetmeliği EN-1993-1(2005)'e göre birleşimler dayanımlarına göre (M_p) aşağıdaki gibi beş sınıfta incelenebilirler. Bunlar sırası ile A, B, C, D ve E isimli eğriler olarak aşağıda Şekil 7.19 da verilmiştir.



Şekil 7.19 : Dayanımlar açısından çeşitli tipik moment-dönme eğrileri.

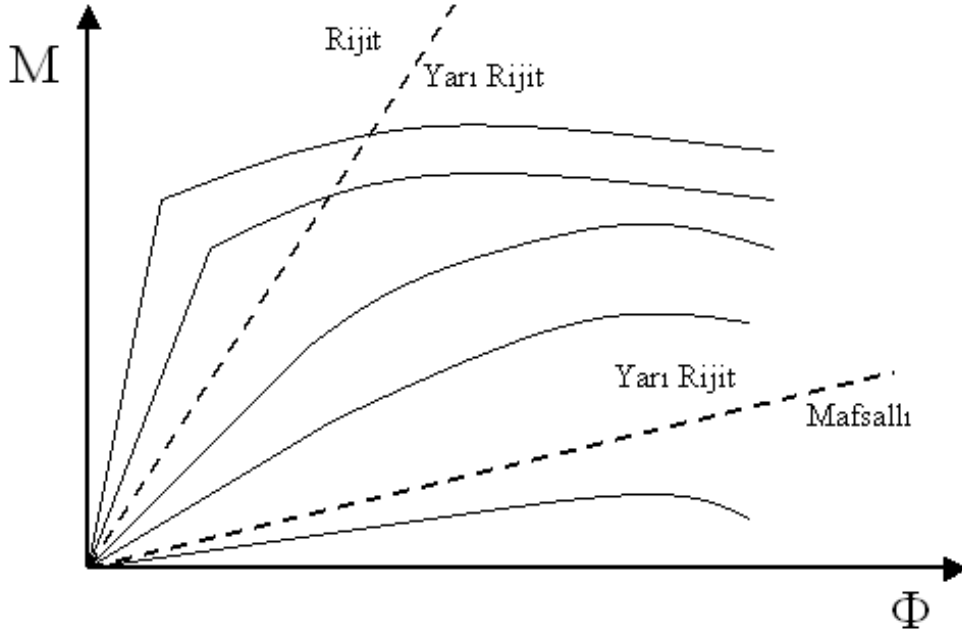
A tipi tam dayanımlı birleşim : (FS-A) Birleşimin dönme kapasitesi tüm kesitin plastikleşmesini sağlayacak kadar yüksektir. Birleşimin dayanımı birleşen elemanların dayanımından fazladır.

B tipi tam dayanımlı birleşim : (FS-B) Birleşimin dönme kapasitesi yeteri kadar yüksek değildir. Bu durumda olası pekleşmeler düşünülerek, tasarımda birleşimin dayanımının birleşen elemanların dayanımından 1.20 kat daha fazla olması sağlanır.

C tipi yarı dayanımlı birleşim : (PS-C) Birleşimin dönme kapasitesi tüm birleşimin plastikleşmesine olanak verecek kadar yüksektir ancak birleşimin dayanımı birleşen elemanların dayanımından azdır. Birleşimin davranışını birleşim elemanlarının davranışı belirler.

D tipi yarı dayanımlı birleşim : (PS-D) Birleşimin dönme kapasitesi tam plastikleşmeyi sağlayacak kadar yüksek değildir ayrıca birleşimin dayanımı birleşen elemanların dayanımından da azdır. Bu durum tasarım yükleri altında ani kırılma olasılığını arttırdığı için tercih edilmez.

E tipi mafsallı birleşim : Birleşimin moment taşıma kapasitesi yoktur ya da çok azdır.



Şekil 7.20 : Rijitlikler açısından çeşitli tipik moment-dönme eğrileri.

Birleşimin davranışını tanımlayan bir diğer önemli parametre ise rijitliğidir. Avrupa çelik yapı tasarım yönetmeliği EN-1993-1 (2005)'e göre birleşimler rijitliklerine göre sırası ile rijit , yarı-rijit ve mafsallı birleşimler olarak sınıflandırılabilirler. Şekil 7.20 rijitliklerine göre birleşimlerin davranışını moment-dönme eğrileri üzerinde göstermektedir.

Yatayda yer değiştirmeye karşı desteklenmiş ve desteklenmemiş sistemler için rijit birleşim tarifi yapılabilmesi için birleşim rijitliğinin sınır değerini, aşağıda sırası ile bağlı olduğu kiriş atalet momenti (I_b), temiz açıklığı (L_b) ve malzemenin elastisite modülüne (E) bağlı eşitlikler ile aşağıda verilmiştir.

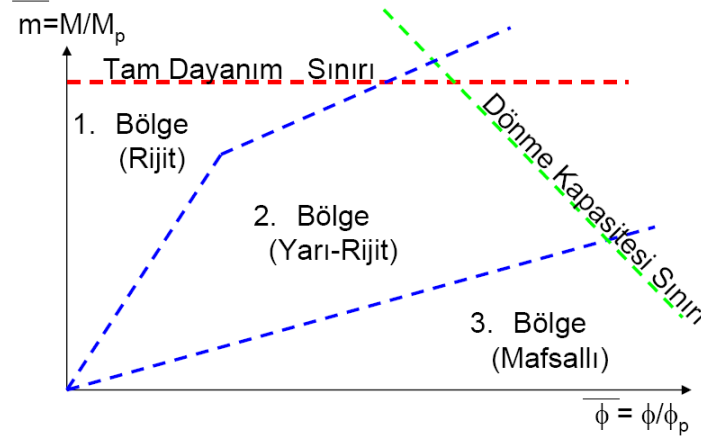
$$S_{j-ini} = k_b \cdot EI_b / L_b \quad k_b = 8 \text{ (desteklenmiş çerçeve)} \quad (7.1a)$$

$$k_b = 25 \text{ (desteklenmemiş çerçeve)} \quad (7.1b)$$

Bu sınır değer altında bir rijitliğe sahip birleşimler için genel olarak “Yarı Rijit” tanımı yapılabilir. Yarı rijit birleşim kabulü için alt sınır değer, bir diğer tarifi ile mafsallı kabulü yapılabilecek derecede düşük rijitlik sınır değeri aşağıdaki eşitlik ile verilmiştir.

$$S_{j-ini} = k_b \cdot EI_b / L_b \quad k_b = 0.5 \text{ (tüm tipler için)} \quad (7.1c)$$

Bu durumda moment akma dayanımı (M_p) ve karşılık gelen akma dönmesi (ϕ_p) kullanılarak boyutsuz hale getirilecek olan moment dönme eğrisi aşağıda Şekil 7.21 de davranışı tarif eden ve birleşimi sınıflandıran limit değerleri ile gösterilmiştir.



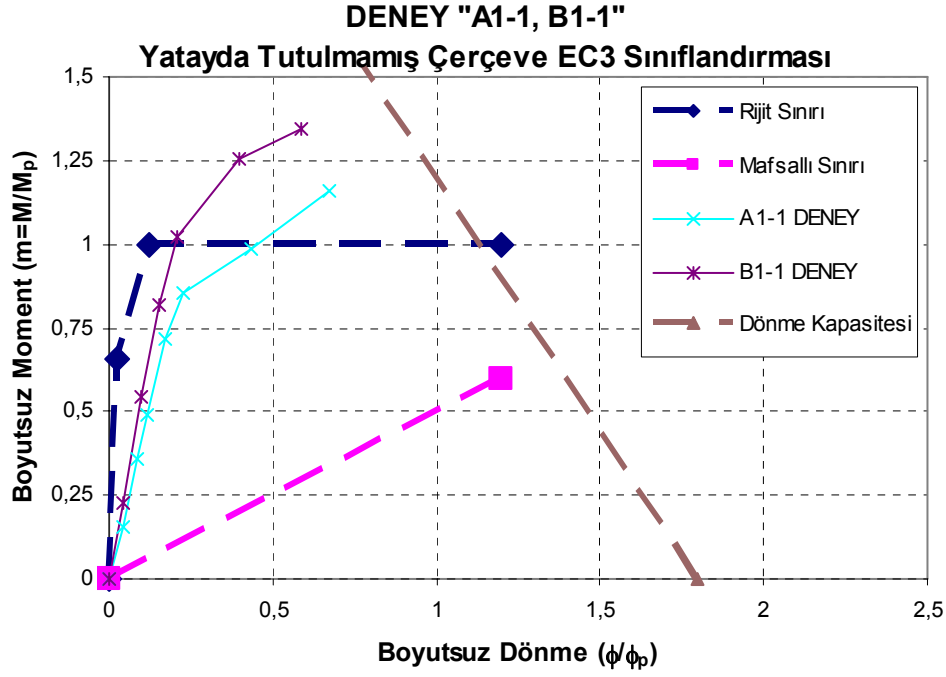
Şekil 7.21 : EN1993-1-8 birleşim davranış sınıfları ve değişkenlerin tanımları.

Şekil 7.21 de verilen dönme kapasitesi sınırı için Wu ve Chen (1990) araştırmasında tarif edilen sınır dönme kapasitesi değeri için aşağıdaki eşitlik verilmiştir.

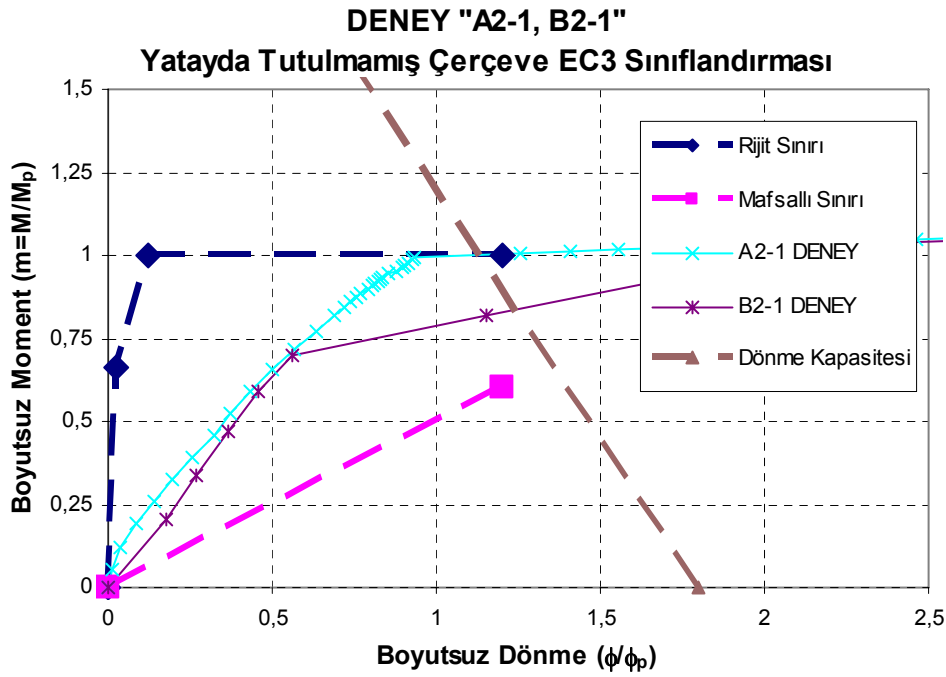
$$\bar{m} = (5.4 - 2\bar{\phi}) / 3 \quad (7.2)$$

Yürütülen çalışmada elde edilen sonuçlar bu tabana oturtulursa ve her deney için birleşimin sayısal ve deneysel olarak elde edilen moment-birleşim dönmesi eğrileri boyutsuzlaştırılarak ilgili kıyaslama grafikleri çizdirilir ise her dokuz numunenin de yarı rijit bir birleşim oldukları, tüm birleşimlerin yeterli dönme kapasitesi sahibi oldukları sonuçlarına varılabilir.

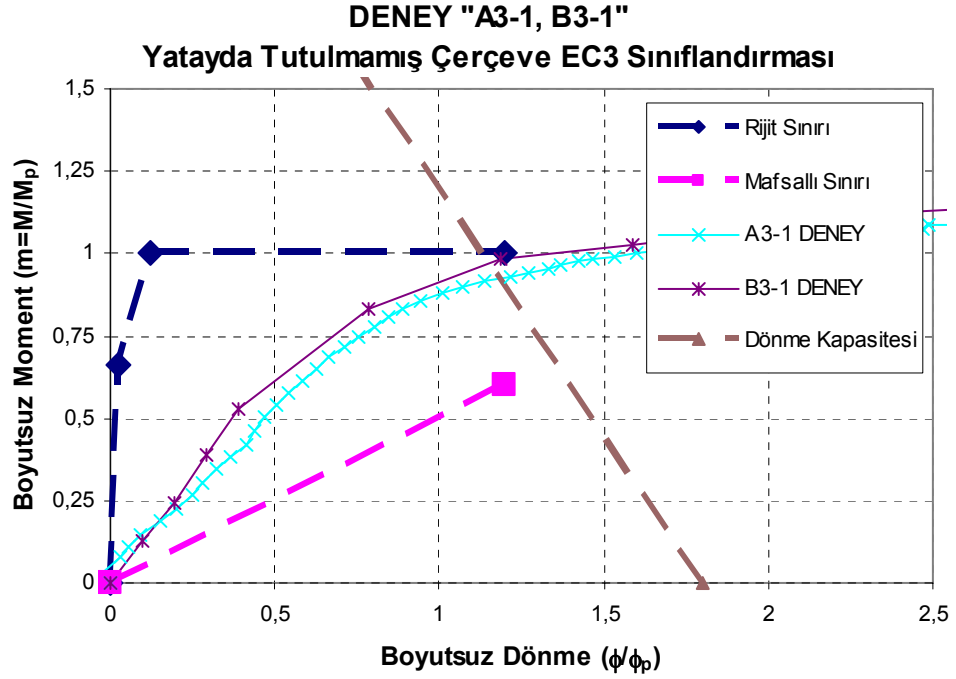
Bu amaçla hazırlanan karşılaştırma grafikleri deney sonuçları için aşağıda Şekil 7.22, Şekil 7.23 ve Şekil 7.24 olarak ve yatayda yer değiştirmesi engellenmemiş çerçeve kabulü ile verilmiştir.



Şekil 7.22 : A1-1 ve B1-1 deneyleri sonuç verileri ile birleşim sınıflandırması.

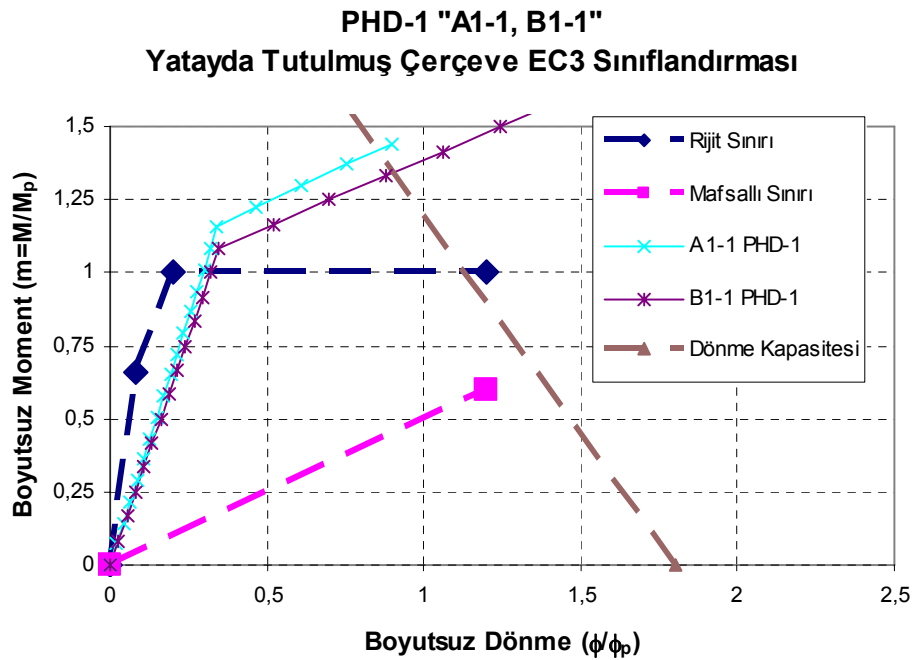


Şekil 7.23 : A2-1 ve B2-1 deneyleri sonuç verileri ile birleşim sınıflandırması.

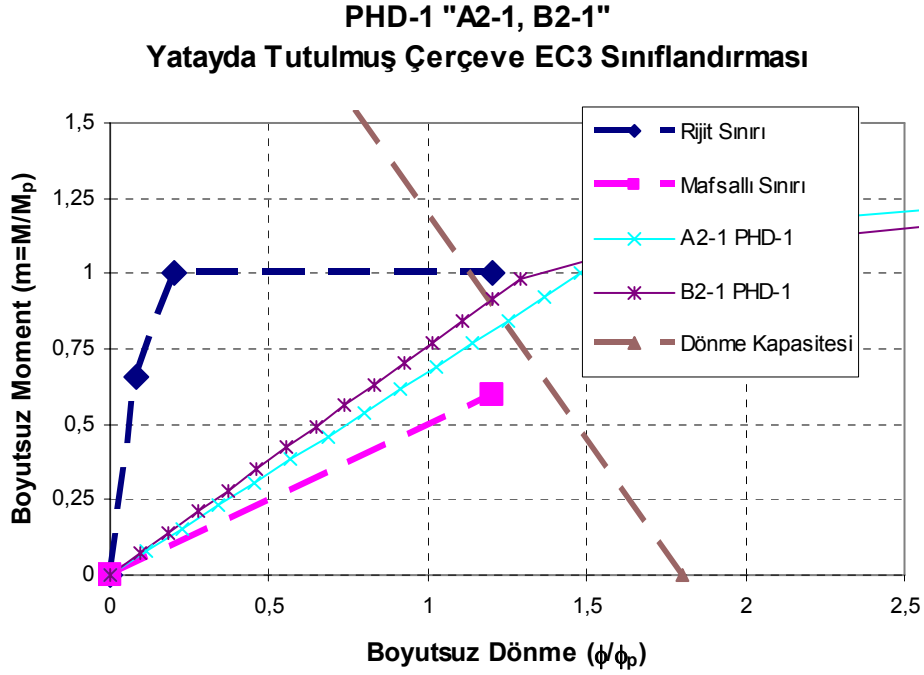


Şekil 7.24 : A3-1 ve B3-1 deneyleri sonuç verileri ile birleşim sınıflandırması.

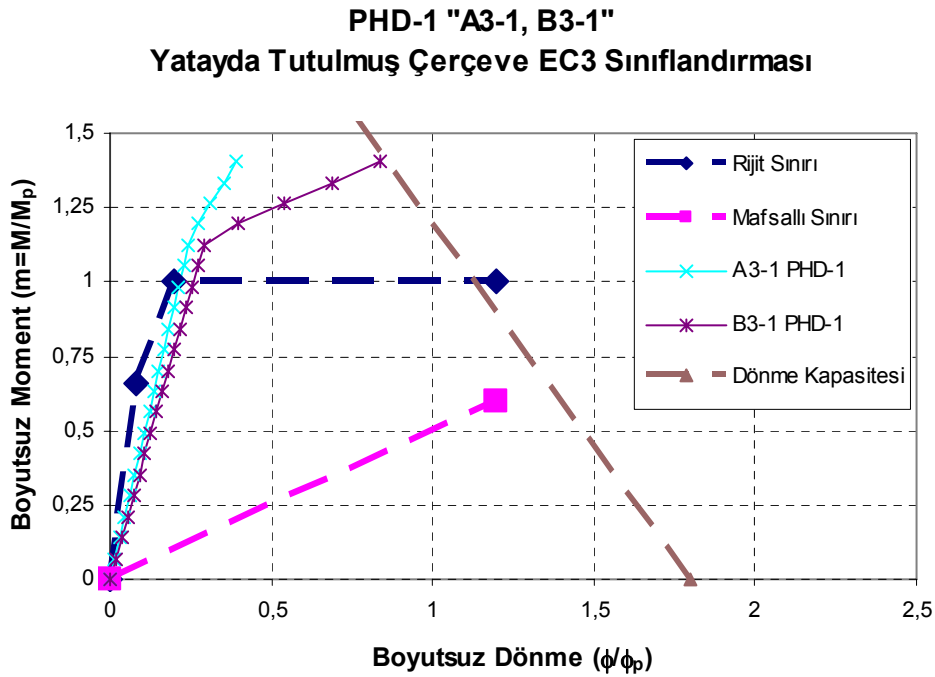
PHD-1 analizi sonuçları için aynı gruplar bazında elde edilen veriler ise ayrıca aşağıda Şekil 7.25, Şekil 7.26 ve Şekil 7.27 olarak ve yatayda yer değiştirmesi engellenmiş çerçeve kabulü ile verilmiştir.



Şekil 7.25 : A1-1 ve B1-1 PHD-1 sonuç verileri ile birleşim sınıflandırması.



Şekil 7.26 : A2-1 ve B2-1 PHD-1 sonuç verileri ile birleşim sınıflandırması.



Şekil 7.27 : A3-1 ve B3-1 PHD-1 sonuç verileri ile birleşim sınıflandırması.

Elde edilen sonuçlar gereği deneyde kullanılan numuneler ve geometri koşulları altında birleşimlerin yarı rijit davranış gösterdiği gösterilmiştir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Önceki bölümlerde sunulan çalışmanın sonuçları özet halinde aşağıda sunulmuştur.

Takip eden kısımlarda ayrıca bu sonuçlardan faydalanılarak hazırlanan ve ilgili birleşimin analiz ve detaylandırılmasında tasarımcı tarafından dikkat edilmesi gereken konular, takip edilecek boyutlandırma prensipleri ve birleşimin daha iyi bir davranış göstermesi için alınacak tedbirler vurgulanmıştır.

8.1 Çalışma Sonuçları

Yürütülen sayısal ve deneysel çalışmaların sonucu olarak hazırlanan karşılaştırma grafikleri, hazırlanan monoton artan moment-dönme eğrisi benzeşiminin ve sonrasında hazırlanan çevrimsel yörünge benzeşiminin ne denli yakınsandığını açıkça göstermektedir.

Sonuçlar başlangıç rijitliği bazında değerlendirildiğinde %80-%99 aralığında benzeştirilmiştir. Akma momenti bazında karşılaştırma yapılırsa %90-%99 aralığında bir yakınlık sağlanmıştır. Bu bağlamda yeni önerilen bileşenler için (kolon başlığı kayma bileşeni ve süreklilik levhası eğilme bileşeni) EN1993-1-8 (2005), kapsamında kullanılabilecek yeni mekanik modeller ortaya konmuştur.

Çalışma amacına ulaşılmış, hem monoton artan yükler hem çevrimsel yükler etkisinde, deneysel sonuçlara kabul edilebilir derecede yakın bir sayısal davranış modeli oluşturulmuştur.

Çelik yapı tasarımcısı tarafından kullanılabilecek PHD-1 algoritması ile birleşimin moment-dönme omurga eğrisine ulaşılabilir. Ayrıca zaman tanım alanında yapılacak sayısal analizlerde yer değiştirmeye bağlı olarak birleşim davranışını sayısal olarak modellemede kullanılmak üzere PHD-2 algoritması geliştirilmiştir. Bu iki yeni kaynaktan faydalanılarak mevcut tasarım yönetmelikleri çerçevesinde ve gerçek yapıya daha yakın bir sayısal analiz modeli ile hesaplamalar yapılabilecektir.

8.2 Tasarımcıya Öneriler

Çelik yapılarda birleşimlerin davranışının tariflenmesi yapı sistemi davranışının tariflenmesi açısından büyük önem taşır. Sistem davranışında etken birleşim parametreleri ise, rijitlik, dayanım ve şekil değiştirme kapasitesidir.

Yapının toplam kararlılığı düşünüldüğünde birleşim davranışının %2-%4 görelî kat ötelemesine kadar tutarlı olarak tanımlanabilmiş olması bir birleşimin yeterli hassasiyetle tanımlanmış olması anlamına gelmektedir. Bu araştırma sonuçlarına dayanarak hazırlanan PHD-1 ve PHD-2 sayısal analiz algoritmaları kullanılarak verilen bu sınır değerlerin de ötesinde bir çerçevede birleşimin sayısal analizlerde dikkate alınması sağlanmış olmaktadır.

Bu araştırmada sunulan yöntem yardımı ile literatürde tanımı yapılamamış olan zayıf eksen çelik kolon-kiriş birleşimlerinin tasarımcı mühendis tarafından kullanılabilmesini sağlayacak seviyede bir kaynak oluşturulmuştur.

Kolon zayıf eksenî doğrultusunda başlıklara süreklilik levhaları ile bağılı kırışlerin incelendiğı bu araştırma kapsamında elde edilen veriler ve ilgili konuda önceki araştırmacıların vardığı sonuçlar tasarım ve detaylandırmada mutlaka dikkate alınmalıdır. Bunlar kısaca listelenirse,

- Süreklilik levhaları mutlaka kolon başlığı hizasından 50-75 mm kadar dışarı konsol çıkacak biçimde ve mümkünse eğimli bir geometri geçişı ile kırış başlığına bağlanacak biçimde tasarlanmalıdır. Literatür taramasında adı geçen ve bu konuda çalışmış diğér araştırmacılar tarafından da önerildiğı gibi bu şekilde kırış başlığından kolon başlığına yük akışında gerilme yığılmaları olması engellenmiş olur.
- Doğrudan bağlantı amacı ile kullanılmasa da kolon gövdesinin arka tarafında kalan berkitme levhalarının varlığı birleşim rijitliğini arttırmaktadır. Bu sebeple hem süreklilik levhası bileşenine ait rijitliğı hem de dayanımı bu ilave berkitme levhası yardımı ile arttırmak mümkündür.
- Kırış kolon geometrileri birleşim dayanımında büyük rol oynamaktadır. Kırış başlık genişliğinin kolon başlıkları arasındaki süreklilik levhasından daha dar

olması davranışı iyileştiren bir rol oynar. Kiriş başlığından kolon başlıklarına yük akış yörüngesi ne kadar düzgün ve keskin köşeler olmadan sağlanabiliyor ise süreklilik levhasını kolona bağlayan kaynaklar üzerindeki iki eksenli gerilme yığılışı sebepli zorlanmalar o derecede azalır. Bölüm-3 de verilen ön sayısal analizlerde yapılan ANSYS sonlu elemanlar analizlerinde bu durumun tesiri net olarak görülmüştür.

- Kiriş başlıklarından süreklilik levhasına geçişte malzeme dayanımı arttırılarak, veya süreklilik levhasının kalınlığında artış yapılarak da iki eksenli gerilmeler düşürülebilir. Bu durumda birleşim başlangıç rijitliğinde büyük bir değişiklik olmaz. Ancak akma dayanımına ulaşılmasında etken göçme modlarında değişiklikler olabilir. Bu sebeple özellikle de deprem bölgelerinde, birleşim elemanları seçildikten sonra mutlaka PHD-1 algoritmasına bağlı olarak etkin bileşenlerin rijitlik-dayanım özellikleri incelenmeli, sünek ve enerji tüketim kapasitesi yüksek birleşimler tasarlanmalıdır.

8.3 İlerleyen Deneysel Çalışmalar İçin Öneriler

Konu araştırma hedefleri çerçevesinde incelenmiş ve hedefler doğrultusunda elde edilen sonuçlar yardımı ile zayıf eksen kolon-kiriş birleşimi davranışı daha anlaşılır ve sayısal olarak tekrar edilebilir şekilde benzeştirilebilir hale getirilmiştir.

Bu araştırma kapsamında her ne kadar bir genel benzeşim modeli oluşturulduysa da kuvvetli eksen birleşimlerine benzer şekilde deneysel çalışmada süre ve bütçe sınırları sebebi ile dikkate alınmayan bir kısım değişkenin birleşim davranışına tesirlerinin incelenmesi istenirse aşağıda sıralanmış olan konular üzerinde bir devam çalışması planlanması önerilebilir.

Devam çalışması olabilecek konuların başında, zayıf eksen kolon-kiriş birleşimlerinin kuvvetli eksenden de moment aktaran bağlantı olması durumunda davranışının incelenmesi yer alabilir. Bu konu deneylerde kullanılan düzenek sınırları sebebi ile bu çalışmada tamamen göz ardı edilmiştir.

Bir diğ er devam çalışması konusu yüksek kesme kuvveti tesiri altında birleşimin davranışında olması muhtemel değişikliklerdir. Tamamlanan çalışmada ana gözlem parametresi moment olduğundan ve tüm numuneler benzer moment ve dışmerkezlik ile test edildiğinden bu değişkenin etkisi tamamlanan çalışmada göz ardı edilmiştir. Özellikle dışmerkez  aprazların bağlantısı için sık tercih edilen bir yön olduğundan yüksek kesme kuvveti tesirinin bu tip bir birleşim üzerindeki tesirlerinin araştırılması uygulamada tasarımcı açısından bir diğ er açık noktanın kapatılmasına yardımcı olabilir.

Bu  alışma kapsamında eldeki deneysel verilerde dönme kapasitesi sınırlarına ulaşılamamış ve dolayısı ile sayısal benzeşim modelinin ne yakınlıkta olduğu görülememiştir. Bu sebeple dönme kapasitesi sınırının hangi değişkenlere bağlı olduğu konusu ve bu sınırın benzeşim modeli içerisinde ne yakınlıkta tahmin edilebildiği konusu da daha detaylı ve farklı numuneler ile hazırlanacak bir deneysel çalışma ile incelenebilir. Bu sayede maksimum dönme kapasitesi ve hasar oluşumu sonrası kalan dayanım ve dönme kapasitesi konuları daha da netlik kazanabilir. Çevrimsel tesirler altında yörünge benzeşim algoritması bu tip veriler kullanılarak daha da kullanışlı bir hale getirilebilir.

KAYNAKLAR

- AISC LRFD**, 1997. *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
- AISC LRFD**, 2005. *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
- Ammerman, D.J., and Leon, R.**, 1987. Behaviour of Semi-Rigid Composite Connections. *American Institute of Steel Construction, Engineering Journal*, Vol.24, No.2, Chicago, Illinois.
- Aribert, J. and Brozzetti, J.**, 1984. Comportement et Concepts de Dimensionnement des Constructions Metalliques en Zone Sismique, *Construction Metallique*, n.1, pp. 5-23.
- Azizinamini, A., and Radzinski, J.B.**, 1989. Static and Cyclic Performance of Semirigid Steel Beam-to-Column Connections, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 115, No.12.
- Ballio, G. and Mazzolani, F.**, 1980. I Collegamenti Nelle Strutture Sismo-resistenti di Acciaio, Ed. Italsider, *Quaderno Tecnico*, n.11, p. 47.
- Bayo E., Cabrero J.M., and Gil B.**, 2006. An effective component-based method to model semi-rigid connections for the global analysis of steel and composite structures, *Engineering Structures*, Vol.28, Issue 1, Pages 97-108
- Bertero, V., Popov, E. and Krawinkler, H.**, 1972. Beam-to-Column Subassemblages Under Repeated Loading, *ASCE Journal of the Structural Division*, ST5, pp. 1137 -1159.
- Bertero, V.V., Krawinkler, H.,and Popov, E.P.**, 1973. Further Studies on Seismic Behavior of Steel Beam-to-Column Subassemblages, *EERC Report* 73-27, University of California, LA.
- Bonowitz, D., and Youssef, N.**, 1995. SAC Survey of Steel Moment-Resisting Frame Buildings Affected by the 1994 Northridge Earthquake, *Technical Report* 95-06: Surveys and Assessment of Damage to Buildings Affected by the Northridge Earthquake of January 17, 1999, SAC Joint Venture, , pp. 2-1 to 2-169.
- Butler, L., Pal, S. and Kulak, G.**, 1972. Eccentrically Loaded Welded Connections, *ASCE Journal of the Structural Division*, ST5, pp. 989-1005.
- Cabrero J.M., Bayo E.**, 2007. The semi-rigid behavior of three-dimensional steel beam-to-column joints subjected to proportional loading. Part I. Experimental evaluation *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 63, Issue 9, Pages 1241-1253

- Chasten, C. P., Fleischman, R.B., Le-Wu Lu and Driscoll, G.C.** , 1987. Semi-Rigid Steel Connections and Their Effects on Structural Steel Frames: Experimental & Theoretical Proposal, *ATLSS Report No. 87-02* Leigh University.
- Chen, S.J.**, 1999. Design of Ductile Steel Beam-to-Column Connections for Seismic Resistance, *Workshop on Design Technologies of Earthquake-Resistant Moment Resisting Connections*. Taipei, Taiwan.
- Chen, W. and Patel, K.**, 1981. Static Behavior of Beam-to-Column Moment Connections. *ASCE Journal of the Structural Division*, ST9, pp. 1815 – 1838.
- Chi B., Uang C.M., and Chen A.**, 2006. Seismic rehabilitation of pre-Northridge steel moment connections: A case study, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol.62, Issue 8, Pages 783-792
- Chi, W.-M., Deierlein, G., and Ingraffea, A.**, 1997. Finite Element Fracture Mechanics Investigation of Welded Beam-Column Connections, *SAC/BD-97/05 Report*, SAC Joint Venture.
- Chmielowiec, M. and Richard, R.M.**, 1987. Moment Rotation Curves for Partially Restrained Steel Connections. *Report to AISC*, University of Arizona, , pp.127.
- Clark, P., Frank, K., Krawinkler, H., and Shaw, R.**, 1997. Protocol for Fabrication, Inspection, Testing and Documentation of Beam-Column Connection Tests and Other Experimental Specimens. *SAC Report SAC/BD-97/02*, SAC Joint Venture.
- Clifton, C.G., and Butterworth, J.W.**, 2000. Moment-Resisting Seismic-Resistance Systems with Semi-Rigid Connections. Paper 1602, *Proceedings 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand.
- Cornell, C.A. and Luco, N.**, 1999. The Effects of Connection Fractures on Steel Moment Resisting Frame Seismic Demands and Safety, *SAC/BD99/03 Report*, SAC Joint Venture.
- Della Corte, G., De Matteis, G. and Landolfo, R.**, 1999. A mathematical model interpreting the cyclic behavior of steel beam to column joints, *Proceedings of XVII CTA Congress*, Napoli, pp179.
- Dexter, R.J., Hajjar, J.F., Cotton, S.C., Prochnow, S.D., and Ye, Y.**, 1999. Reassessment of Design Criteria and New Alternatives for Column Transverse Stiffeners (Continuity Plates) and Web Doubler Plates, *Interim Report, Structural Engineering Report ST-99-3*, Dept. of Civil Engineering, U. of Minnesota, Minneapolis, Minnesota.
- Driscoll, G.C. and Beedle, L.S.**, 1982. Suggestions for Avoiding Beam-to-Column Web Connection Failure, *Engineering Journal*, American Institute of Steel Construction.
- Driscoll, G.C., Heaton, K.A. and Fleischman, R.B.**, 1987. Forces in Beam-to-Column Connections, *ATLSS Report No. 87-03*, Fritz Engineering Laboratory, Leigh University, Bethlehem, Pennsylvania.

- Driscoll, G.C., Heaton, K.A. and Fleischman, R.B.,** 2001. Forces in Beam-to-Column Connections, *Connections in Steel Structures II: Behavior, Strength and Design*, American Institute of Steel Construction, Inc., pp 54.
- Dubina D. and Stratan A.,** 2002. Behavior of welded connections of moment resisting frames beam to column joints, *Engineering Structures*, Vol. **24**, Issue 11, Pages 1431-1440
- Engelhardt, M.D. and Husain, A.S.,** , 1993. Cyclic Loading Performance of Welded Flange-Bolted Web Connections, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. **119**, No. 12.
- EN-1993-1-8,** 2005. *Design of Steel Structures Part1-8: Design of Joints*, prepared by the CEN, Brussels.
- FEMA-273,** 1997. *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, prepared by the applied technology Council for the Building Seismic Safety Council*, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- FEMA-274,** 1997. *NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, prepared by the Applied Technology Council for the Building Seismic Safety Council, published by the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- FEMA-350,** 2000. *Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- FEMA-354,** 2000. *A Policy Guide to Steel Moment-Frame Construction*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- FEMA-355A,** 2000. *State of the Art Report on Base Metals and Fracture*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- FEMA-355B,** 2000. *State of the Art Report on Welding and Inspection*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- FEMA-355C,** 2000. *State of the Art Report on Systems Performance of Steel Moment Frames Subject to Earthquake Ground Shaking*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- FEMA-355D,** 2000. *State of the Art Report on Connection Performance*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- FEMA-355E,** 2000. *State of the Art Report on Past Performance of Steel Moment-Frame Buildings in Earthquakes*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- FEMA-355F,** 2000. *State of the Art Report on Performance and Evaluation of Steel Moment-Frame Buildings*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

- Filippou, F.C., Popov, E.P. and Bertero, V.V.**, 1983. Effects of Bond Deterioration on Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Joints, *Report No. UCB/EERC-83/19*, Earthquake Engineering Research Center, University of California Berkeley.
- Fleischman, R.B., Chasten, C.P., Le-Wu Lu and Driscoll, G.C.** 1991. Top-and-Seat-Angle Connections and End-Plate Connections: Snug vs. Fully Pretensioned Bolts, *Engineering Journal / American Institute of Steel Construction*.
- Fleischman, R.B., Chasten, C.P., Le-Wu Lu and Driscoll, G.C.**, 1987. Semi-Rigid Steel Connections and Their Effects on Structural Steel Frames: Experimental & Theoretical Proposal, *ATLSS Report No. 87-02*, Fritz Engineering Laboratory, Leigh University, Bethlehem, Pennsylvania.
- Frye, M.J. and Morris, G.A.**, 1975. Analysis of Flexibly Connected Steel Frames, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol.2, pp. 280 -291.
- Gilton, C., Chi, B. and Uang, C.M.**, 2000. Cyclic Response of RBS Moment Connections: Weak Axis Configuration and Deep Column Effects, *SAC/BD-00/23 Report*, SAC Joint Venture.
- Grubbs, K.V.**, 1997. The Effect of the Dogbone Connection on the Elastic Stiffness of Steel Moment Frames, *Thesis submitted in partial fulfillment of the degree of Master of Science, Engineering*, University of Texas, Austin, Texas.
- Gupta, A. and Krawinkler, H.**, 1999. Prediction of Seismic Demands for SMRFs with Ductile Connections and Elements, *SAC/BD-99/06 Report*, SAC Joint Venture.
- Kasai, K., Maison B.F. and Mayangarum, A.**, 1999 Effects of Partially-Restrained Connection Stiffness and Strength on Frame Seismic Performance, *SAC/BD-99/17 Report*, SAC Joint Venture.
- Kato, B. and Akiyama, H.**, 1981. Ductility of Members and Frames Subjected to Buckling, *International Convention and Exhibition, ASCE*, held at New York, N.Y., (Preprint 81-100).
- Kato, B. and Akiyama, H.**, 1982a. Seismic Design of Steel Buildings. *ASCE Journal of the Structural Division*, ST8, pp. 1709 -1721.
- Kato, B.**, 1982b. Beam to Column Connection Research in Japan. *ASCE, Journal of the Structural Division*, ST2, pp. 343 – 360.
- Kirby, P.A. and Allen, P.H.**, 1991. Semi-rigid Action in Steel Frame Structures, *Report on ECSC Agreement No. 7210SA/819*, University of Sheffield.
- Koetaka Y., Chusilpb P., Zhange Z., Suitad K., Inouea K. and Unoe N.**, 2005. Mechanical property of beam-to-column moment connection with hysteretic dampers for column weak axis, *Engineering Structures*, Vol.27, Issue 1, Pages 109-117
- Krawinkler, H. and Popov, E.**, 1982. Seismic Behaviour of Moment Connections and Joints. *ASCE Journal of the Structural Division*, ST2, pp. 373 – 391.

- Krawinkler, H., Bertero, V.V., and Popov, E.P.,** 1971. Inelastic Behavior of Steel Beam-to-Column Subassemblages, *EERC Report 71-7*, University of California, Berkeley.
- Krawinkler, H., Gupta, A., Medina, R., and Luco, N.,** 2000. Loading Histories for Seismic Performance Testing of SMRF Components and Assemblies, *SAC Report 00/10*, SAC Joint Venture.
- Krawinkler, H.,** 2000. State of the Art Report on Systems Performance of Moment Steel Frame Buildings in Earthquakes, *FEMA 355C*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C..
- Krishnamurthy, N., Huang, H.T., Jeffrey, P.K. and Avery, L.K.,** 1979. Analytical M-f Curves for End-plate Connections, *ASCE Journal of the Structural Division*, Vol.105, No.ST1, pp. 133 -145.
- Kukreti, A.R., Murray, T.M. and Abolmaali, A.,** 1987. End-plate Connection Moment-rotation Relationship, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol.8, pp. 137-157.
- Kwasniewski, L., Stojadinovic, B., and Goel, S.C.,** 1999. Local and Lateral-Torsion Buckling of Wide Flange Beams, *Report SAC/BD-99/20*, SAC Joint Venture.
- Lee, K. and Foutch, D.A.,** 2000. Performance Prediction and Evaluation of Steel Special Moment Frames for Seismic Loads, *SAC/BD-00/25 Report*, SAC Joint Venture.
- Leon, Roberto, Ammerman, D.J., and McCaule, R.D.,** 1987. Semi-Rigid Composite Steel Frames, *Engineering Journal*, AISC, Vol.24, No.4, Chicago, IL.
- Lima, L.R.O., Silva, L.S.,** 2002. Experimental and Mechanical Model for Predicting the Behavior of Minor Axis Beam-Column Semi-Rigid Joints, *International Journal of Mechanical Sciences*, ELSEVIER, pp 1-16.
- Maison, B.F. and Kasai, K.,** 1999. Seismic Performance of 3- and 9- Story Partially Restrained Moment Frame Buildings, *SAC/BD-99/16 Report*, SAC Joint Venture.
- Mazzolani, F.M., Pluso, V.,** 1994. *ECCS Manual on Design of Steel Structures in Seismic Zones*, ECCS-TC13-No:76.
- Moncarz, P., and Gerstle, K.,** 1981. Steel Frames with Nonlinear Connections. *ASCE Journal of the Structural Division*, ST8, pp. 1427-1441.
- Murray, T.M.,** 1990. Extended End Plate Moment Connections *AISC Steel Design Guide Series Book-4*.
- Murray, T.M. and Sumner,E. ,** 1999. Cyclic Testing of Bolted Moment Endplate Connections, *SAC Report 00/21*, SAC Joint Venture.
- Naeim, F., Skliros, K., Reinhorn, A.M. and Sivaselvan, M.V.,** 1999. Effects of Hysteretic Deterioration Characteristics on Seismic Response of Moment Resisting Steel Structures, *SAC/BD-99/18 Report*, SAC Joint Venture.

- Nakashima, M., and Sawaizumi, S.,** 1999. Effect of Column-to-Beam Strength Ratio on Earthquake Responses of Steel Moment Frames, Parts 1 and 2, *Journal of Steel Construction Engineering*, Vol.6, No.4.
- Nethercot, D.A. and Zandonini, R.** 1988. *Methods of Prediction of Joint Behaviour: Beam to Column Connections*, Elsevier Applied Publishers, pp.23-62.
- Park, Y.J., Ang, A.H.S.,** 1985. Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 111(4), pp.722-739.
- Popov, E. and Pinkney, R.,** 1971. Cyclic Yield Reversal in Steel Building Connections, *AISC The Engineering Journal*, July, pp. 66 -79.
- Popov, E., Bertero, V. and Krawinkler, H.,** 1973. Moment-resisting Steel Subassemblages under Seismic Loadings, *Proc. of the V World Conf. On Earthquake Engineering*, Rome pp.1481-1490.
- Popov, E.P., Amin, N.R., Louie, J.J., and Stephen, R.M.,** 1986. Cyclic Behavior of Large Beam-column Assemblies, *Engineering Journal, AISC*, Chicago, IL.
- Popov, E.P., Blondet, M., Stepanov, L., and Stojadinovic, B.,** 1996. Full-Scale Steel Beam-Column Connection Tests, *SAC96-01, Part 2*, SAC Joint Venture.
- Popov, E.P., Yang, T.S., and Chang, S.P.,** 1998. Design of Steel MRF Connections Before and After 1994 Northridge Earthquake, *Engineering Structures*, Vol.20, No.12, Elsevier, London.
- Rentschler, G., Chen, W. and Driscoll, G.,** 1982. Beam-to-Column WEB Connection Details. *ASCE Journal of the Structural Division*, ST2, pp. 393 – 409.
- Rentschler, G., Chen, W. and Driscoll, G.,** 1980. Tests of Beam-to-Column WEB Moment Connection. *ASCE Journal of the Structural Division*, ST5, pp. 1005 -1022.
- Richard, R.M. and Abbott, B.J.,** 1975. Versatile Elastic-Plastic Stress-Strain Formula, *Journal of Engineering .Mechanical Division*, ASCE, 101(4), 511-515.
- Roeder, C.W., and Foutch, D.A.,** 1996. Experimental Results for Seismic Resistant Steel Moment Frame Connections, *ASCE, Journal of Structural Engineering*, No.6, Vol.122.
- SAC 95-01,** 1995, Steel Moment Frame Connection Advisory No.3, *Technical Report*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- SAC 95-07,** 1995. Case Studies of Steel Moment-Frame Building Performance in the Northridge Earthquake of January 17, 1994, *Technical Report*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

- SAC 96-01**, 1996. Experimental Investigations of Beam-Column Subassemblages, Part 1 and 2, *Technical Report*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- SAC 96-02**, 1996. Connection Test Summaries, *Technical Report*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Report No. FEMA-289, Washington, DC.
- SAC/BD-97/05**, 1997. Finite Element Fracture Mechanics Investigation of Welded Beam-Column Connections, *Technical Report*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- SAC/BD99/03**, 1999. The Effects of Connection Fractures on Steel Moment Resisting Frame Seismic Demands and Safety, *Technical Report*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- SAC/BD-99/17**, 1999. Effects of Partially-Restrained Connection Stiffness and Strength on Frame Seismic Performance, *Technical Report*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- SAC/BD-99/18**, 1999. Effects of Hysteretic Deterioration Characteristics on Seismic Response of Moment Resisting Steel Structures, *Technical Report*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- SAC/BD-00/23**, 2000. Cyclic Response of RBS Moment Connections: Weak Axis Configuration and Deep Column Effects, *Technical Report*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- Sekulovic M. and Danilovic M.**, 2007. Contribution to transient analysis of inelastic steel frames with semi-rigid connections, *Engineering Structures*, Vol.30, Issue 4, Pages 976-989
- Schneider, S.P., Roeder, C.W., and Carpenter, J.E.**, 1993. Seismic Behavior of Moment-Resisting Steel Frames, Analytical Study and Experimental Investigation, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol.119, No.6.
- Shi G., Shi Y., and Wang Y.**, 2007. Behavior of end-plate moment connections under earthquake loading, *Engineering Structures*, Vol.29, Issue 5, Pages 703-716
- Tagawa T. and Gurel S.**, 2005. Application of steel channels as stiffeners in bolted moment connections, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol61, Issue 12, Pages 1650-1671
- Teal, E.J.**, 1978. Seismic Drift Control and Building Periods. *AISC Engineering Journal*, n.2, pp. 30 -38.
- Teal, E.J.**, 1975. Seismic Drift Control Criteria. *AISC Engineering Journal*, n.2, pp. 56-67.
- Tremblay, R., Tchebotarev, N., and Filliatrault, A.**, 1997. Seismic Performance of RBS Connections for Steel Moment Resisting Frames: Influence of

Loading Rate and Floor Slab. *Proceedings of STESSA Conference*, Kyoto, Japan.

- Tsai, K.C., and Popov, E.P.**, 1988. Steel Beam-Column Joints in Seismic Moment Resisting Frames. *EERC Report 88/19*, University of California, Berkeley, CA.
- Tschimmernegg, F. and Humer, C.**, 1988. The Design of Structural Steel Frames under Consideration of the Nonlinear Behaviour of Joints, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol.11, No.2, pp. 73 -104.
- Url-1** <<http://quiver.eerc.Berkeley.edu:8080>>, SAC DATABASE, Computer data base of test results developed during the SAC Project. 15.01.2005
- Vasquez, J., Popov, E. and Bertero, V.**, 1973. Earthquake Analysis of Steel Frames with Non-rigid Joints. *Proc. of the V World Conf. On Earthquake Engineering*, Rome, 1973, pp. 1755.
- Wu, F.H., and Chen, W.F.**, 1990. A Design Model for Semi-rigid Connections. *Engineering Structures*, Vol.12, No.2, pp. 88 -97.
- Xue, M., Kaufmann, E.J., Lu, L.W., and Fisher, J.W.**, 1996. Achieving Ductile Behavior of Moment Connections: Part I and II. *Modern Steel Construction*, AISC, Chicago, IL.
- Y.-K. Wen** , 1996. Connection Test Summaries, *Report No. FEMA-289* prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, , Washington, DC.
- Yardımcı, N., Yorgun, C. ve Arda, T.S.**, 1994. Bulonlu Yarı-Rijit Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3'e Göre Hesabı. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, Cilt 52, Sayı 3-4, Sayfa 75-83.
- Yardımcı, N., Yorgun, C. and Arda, T.S.**, 1995a. Tests on Beam-Column Strong and Weak Axis Connections. *Computers & Structures* Vol.61, No.3 pp.393-399.
- Yardımcı, N., Yorgun, C. and Arda, T.S.**, 1995b. Semi-Rigid Welded Beam-to-Column Connections, *Bulletin of the Technical University of İstanbul*, 1995, Vol. 48 pp.599-622.
- Yorgun, C., Yardımcı, N., ve Arda, T.S.** 1994., Kaynaklı Yarı-Rijit Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3'e Göre Hesabı, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, Cilt 52, Sayı 3-4, Sayfa 49-56.
- Yorgun, C., Yardımcı, N., Bayramoğlu G., Arda T.S. and Eyrekci O.**, 1996. Bolted Beam-to-Column Connections Designed by Double Channels. *Bulletin of the Technical University of İstanbul*, Vol.49, No.3-4,
- Yun, S. and Foutch, D.A.** 2000. Performance Prediction and Evaluation of Low Ductility Steel Moment Frames for Seismic Loads, *SAC/BD-00/26 Report*, SAC Joint Venture.

EKLER

Ana metin içinde atıf yapılan ekler bölümler halinde düzenlenerek ve kendi içlerinde alt kısımlara ayrılarak aşağıda verilmiştir.

EK A

Basit kirişlerde farklı parametrelerin incelenmesi için bir grup parametrik çalışma yapılmıştır.

A1 Basit Kirişlerde Açıklık/Yükseklik Oranı Parametresi

Basit kirişlerde açıklığın yüksekliğe oranı ile kirişlerdeki açıklık yer değiştirmesinin değişimini incelemek amacı ile sayısal parametrik çalışma yapılmıştır. Kullanılan 70 adet farklı kalınlık ve açıklık/yükseklik oranına sahip eleman aşağıda Çizelge A.1 olarak verilmiştir.

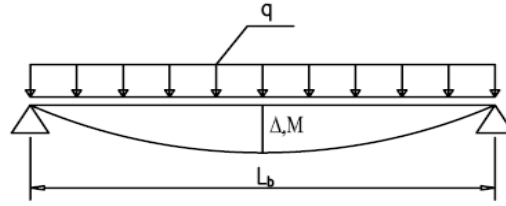
Çizelge A.1 : Kullanılan tipler.

	t	h	1 L=10h	2 L=8h	3 L=5h	4 L=2h	5 L=1h	6 L=0,5h	7 L=0,1h
TP1	10 mm	10 mm	100,0 mm	80,0 mm	50,0 mm	20,0 mm	10,0 mm	5,0 mm	1,0 mm
TP2	10 mm	50 mm	500,0 mm	400,0 mm	250,0 mm	100,0 mm	50,0 mm	25,0 mm	5,0 mm
TP3	10 mm	100 mm	1000,0 mm	800,0 mm	500,0 mm	200,0 mm	100,0 mm	50,0 mm	10,0 mm
TP4	10 mm	500 mm	5000,0 mm	4000,0 mm	2500,0 mm	1000,0 mm	500,0 mm	250,0 mm	50,0 mm
TP5	10 mm	1000 mm	10000,0 mm	8000,0 mm	5000,0 mm	2000,0 mm	1000,0 mm	500,0 mm	100,0 mm
TP6	50 mm	10 mm	100,0 mm	80,0 mm	50,0 mm	20,0 mm	10,0 mm	5,0 mm	1,0 mm
TP7	50 mm	50 mm	500,0 mm	400,0 mm	250,0 mm	100,0 mm	50,0 mm	25,0 mm	5,0 mm
TP8	50 mm	100 mm	1000,0 mm	800,0 mm	500,0 mm	200,0 mm	100,0 mm	50,0 mm	10,0 mm
TP9	50 mm	500 mm	5000,0 mm	4000,0 mm	2500,0 mm	1000,0 mm	500,0 mm	250,0 mm	50,0 mm
TP10	50 mm	1000 mm	10000,0 mm	8000,0 mm	5000,0 mm	2000,0 mm	1000,0 mm	500,0 mm	100,0 mm

El çözümü olarak basit kirişin orta noktası yer değiştirmesi tüm açıklıkta sürekli düzgün yayılı yük etkisinde olduğu kabulü ile aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçları aşağıda Çizelge A.2 olarak verilmiştir.

$$\Delta = \frac{5qL_b^4}{384EI} \quad (A.1)$$

Hesaba esas alınan sistem aşağıda Şekil A.1 olarak verilmiştir.



Şekil A.1 : Açıklık/Yükseklik oranı etkisi parametrik deneme sonuçları.

Çizelge A.2 : El çözümü sonuçları.

Basit Kiriş Yer Değiştirmeleri		Farklı Tipler						
		1	2	3	4	5	6	7
Çubuk Sistem Kayma Şekil Değiştirmeleri İhmal Edilmiş Yaklaşım Sonuçları	TP1	-1,71E+02	-7,46E+01	-1,43E+01	-1,00E+00	-2,05E-01	-4,85E-02	-1,90E-03
	TP2	-8,57E+02	-3,73E+02	-7,14E+01	-5,02E+00	-1,03E+00	-2,43E-01	-9,52E-03
	TP3	-1,71E+03	-7,46E+02	-1,43E+02	-1,00E+01	-2,05E+00	-4,85E-01	-1,90E-02
	TP4	-8,57E+03	-3,73E+03	-7,14E+02	-5,02E+01	-1,03E+01	-2,43E+00	-9,52E-02
	TP5	-1,71E+04	-7,46E+03	-1,43E+03	-1,00E+02	-2,05E+01	-4,85E+00	-1,90E-01
	TP6	-3,43E+01	-1,49E+01	-2,86E+00	-2,01E-01	-4,11E-02	-9,70E-03	-3,81E-04
	TP7	-1,71E+02	-7,46E+01	-1,43E+01	-1,00E+00	-2,05E-01	-4,85E-02	-1,90E-03
	TP8	-3,43E+02	-1,49E+02	-2,86E+01	-2,01E+00	-4,11E-01	-9,70E-02	-3,81E-03
	TP9	-1,71E+03	-7,46E+02	-1,43E+02	-1,00E+01	-2,05E+00	-4,85E-01	-1,90E-02
	TP10	-3,43E+03	-1,49E+03	-2,86E+02	-2,01E+01	-4,11E+00	-9,70E-01	-3,81E-02

SAP2000 yazılımı ile kayma deformasyonları dikkate alınarak değişik kalınlıklarda ve boyutlarda kirişler için düzgün yayılı yük altında orta nokta deformasyonları hesaplanmıştır. Sonuçları aşağıda Çizelge A.3 olarak verilmiştir.

Çizelge A.3 : SAP200 Çözümü sonuçları.

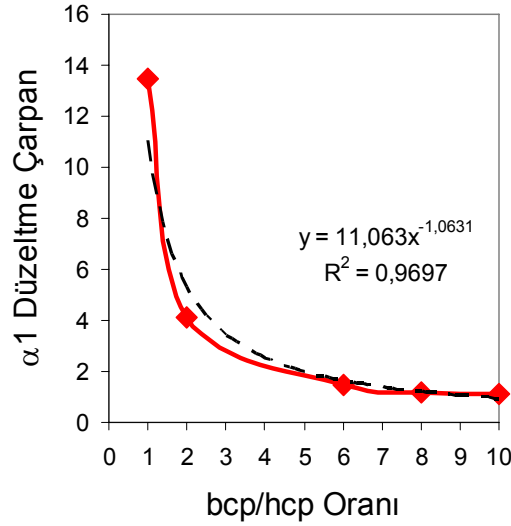
Basit Kiriş Yer Değiştirmeleri		Farklı Tipler						
		1	2	3	4	5	6	7
SAP2000 Çubuk Sistem Kayma Şekil Değiştirmeleri İhmal Edilmemiş Yaklaşım Sonuçları	TP1	1,52E+02	6,24E+01	9,53E+00	2,44E-01	1,52E-02	9,53E-04	1,52E-06
	TP2	7,62E+02	3,12E+02	4,76E+01	1,22E+00	7,62E-02	4,76E-03	7,62E-06
	TP3	1,52E+03	6,24E+02	9,53E+01	2,44E+00	1,52E-01	9,53E-03	1,52E-05
	TP4	7,62E+03	3,12E+03	4,76E+02	1,22E+01	7,62E-01	4,76E-02	7,62E-05
	TP5	1,52E+04	6,24E+03	9,53E+02	2,44E+01	1,52E+00	9,53E-02	1,52E-04
	TP6	3,05E+01	1,25E+01	1,91E+00	4,88E-02	3,05E-03	1,91E-04	3,05E-07
	TP7	1,52E+02	6,24E+01	9,53E+00	2,44E-01	1,52E-02	9,53E-04	1,52E-06
	TP8	3,05E+02	1,25E+02	1,91E+01	4,88E-01	3,05E-02	1,91E-03	3,05E-06
	TP9	1,52E+03	6,24E+02	9,53E+01	2,44E+00	1,52E-01	9,53E-03	1,52E-05
	TP10	3,05E+03	1,25E+03	1,91E+02	4,88E+00	3,05E-01	1,91E-02	3,05E-05

Çizelge A.4 : Kullanılan tipler.

Basit Kiriş Yer Değiştirmeleri		Farklı Tipler						
		1	2	3	4	5	6	7
Kayma Deformasyonları İhmal Edilmezse Oluşan Şekil Değiştirme Çarpanı	TP1	-1,12	-1,20	-1,50	-4,12	-13,48	-50,92	-1249,00
	TP2	-1,12	-1,19	-1,50	-4,12	-13,48	-50,92	-1249,00
	TP3	-1,12	-1,20	-1,50	-4,12	-13,48	-50,92	-1249,00
	TP4	-1,12	-1,19	-1,50	-4,12	-13,48	-50,92	-1249,00
	TP5	-1,12	-1,20	-1,50	-4,12	-13,48	-50,92	-1249,00
	TP6	-1,12	-1,20	-1,50	-4,12	-13,48	-50,92	-1249,00
	TP7	-1,12	-1,20	-1,50	-4,12	-13,48	-50,92	-1249,00
	TP8	-1,12	-1,20	-1,50	-4,12	-13,48	-50,92	-1249,00
	TP9	-1,12	-1,20	-1,50	-4,12	-13,48	-50,92	-1249,00
	TP10	-1,12	-1,20	-1,50	-4,12	-13,48	-50,92	-1249,00

Her iki çözüm arasında sabit bir oran olduğu görüldü ve bu oranın kalınlıktan bağımsız olduğu sadece “ b_{cp}/h_{cp} ” oranına bağlı olduğu yukarıda Çizelge A.4 de gösterilmiştir.

İlgili oran için bir eğri uydurma grafiği hazırlanarak Şekil A.2 olarak verilmiştir.



Şekil A.2 : “ b_{cp} / h_{cp} ” Açıklık/Yükseklik oranı etkisi parametrik deneme sonuçları.

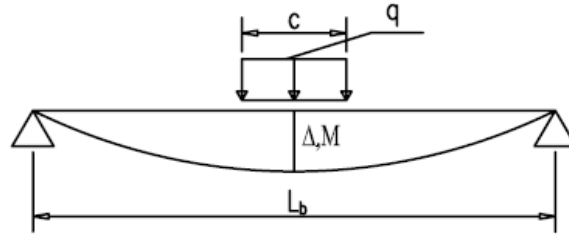
A2 Basit Yayılı Yükün Tüm Açıklığa Oranı Parametresi

Yayılı olan yükün açıklık ortasında sınırlı bir alanda yayılı olması durumu incelenmiştir.

El çözümü ile yapılan çözümde yayılı yükün “c” kadar tanımlı bir alana yayılı olduğu kabulü ile aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Bu amaçla yayılı yükün %0-100 arası dağılımı %10 kadar dilimler ile hesaplanarak Çizelge A.5 ve Çizelge A.6 halinde sunulmuştur.

$$M = \frac{qL_b^2}{8} \left(\frac{2c}{L_b} - \frac{c^2}{L_b^2} \right) \quad (\text{A.2})$$

Hesaba esas alınan sistem aşağıda Şekil A.3 olarak verilmiştir.



Şekil A.3 : Sınırlı yayılı yük oranı etkisi parametrik deneme sonuçları.

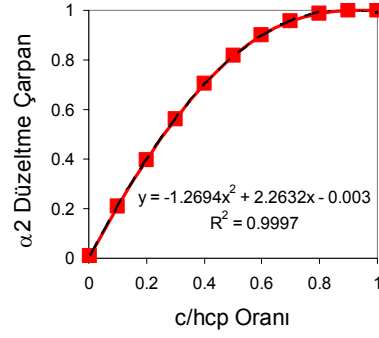
Çizelge A.5 : El çözümü sonuçları.

q=	0,001	t/mm	
l=	1000	mm	
l=	833,3333		
E=	20,5		
d	C	Oranı	Hesap
-1,5262	0,005	1	1,52439
-31,7149	0,1	20,7803	31,67536
-60,2114	0,2	39,45184	60,13634
-85,7535	0,3	56,18759	85,6466
-107,4448	0,4	70,40021	107,3109
-124,7549	0,5	81,74217	124,5994
-137,5191	0,6	90,10556	137,3477
-145,9387	0,7	95,62226	145,7568
-150,5806	0,8	98,66374	150,3929
-152,3779	0,9	99,84137	152,1879
-152,6293	1	100,0061	152,439

Çizelge A.6 : SAP2000 Çözümü sonuçları.

q=	0,001	t/mm	
l=	500	mm	
l=	22500		
E=	20,5		
d	C	Oranı	Hesap
-3,69E-03	0,005	1	0,003529
-0,0765	0,1	2,07E+01	0,073215
-0,145	0,2	39,32737	0,138774
-0,2065	0,3	56,00759	0,197633
-0,2587	0,4	70,16545	0,247591
-0,3004	0,5	81,47545	0,287501
-0,3313	0,6	89,85625	0,317074
-0,3519	0,7	95,44345	0,336789
-0,3634	0,8	98,56252	0,347796
-0,368	0,9	99,81014	0,352198
-0,3687	1	100	0,352868

İlgili oran için bir eğri uydurma grafiği hazırlanarak Şekil A.4 olarak verilmiştir.



Şekil A.4 : “c/h_{cp}” Sınırlı yayılı yük oranı etkisi parametrik deneme sonuçları.

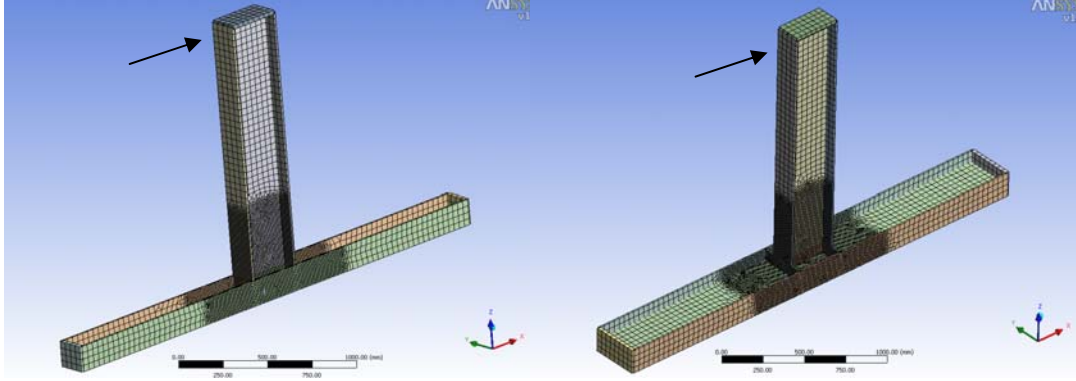
A3 Basit Yayılı Yükün Tüm Açıklığa Oranı Parametresi

Farklı geometri parametrelerine sahip kolon kiriş birleşimlerinin süreklilik levhası açısından ön görülen davranışa uygunluğu incelenmiştir.

Çizelge A.7 : ANSYS Modelleri değişken analiz parametreleri ve özellikleri.

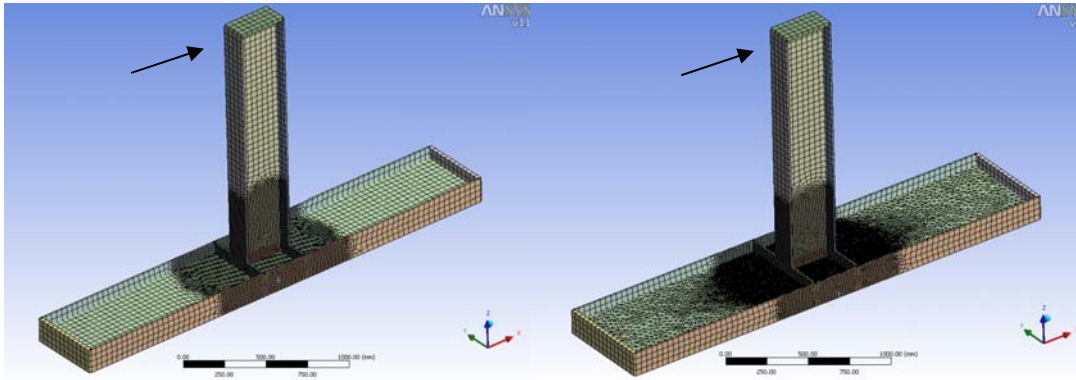
Analiz Numarası	Kolon L _c =300cm	Kiriş L _b =170cm	Levhalar	Malzeme
C160-B330	t _{cf} =11.5mm b _{cf} =160mm h _c =160mm t _{cg} =7.5mm	t _{bf} =11.5mm b _{bf} =160mm h _b =330mm t _{bg} =7.5mm	t _{pl} =15mm	Kolon-Kiriş S275 Levhalar S355
C320-B330	t _{cf} =11.5mm b _{cf} =160mm h _c =320mm t _{cg} =7.5mm	t _{bf} =11.5mm b _{bf} =160mm h _b =330mm t _{bg} =7.5mm	t _{pl} =15mm	Kolon-Kiriş S275 Levhalar S355
C480-B330	t _{cf} =11.5mm b _{cf} =160mm h _c =480mm t _{cg} =7.5mm	t _{bf} =11.5mm b _{bf} =160mm h _b =330mm t _{bg} =7.5mm	t _{pl} =15mm	Kolon-Kiriş S275 Levhalar S355
C640-B330	t _{cf} =11.5mm b _{cf} =160mm h _c =640mm t _{cg} =7.5mm	t _{bf} =11.5mm b _{bf} =160mm h _b =330mm t _{bg} =7.5mm	t _{pl} =15mm	Kolon-Kiriş S275 Levhalar S355
C800-B330	t _{cf} =11.5mm b _{cf} =160mm h _c =800mm t _{cg} =7.5mm	t _{bf} =11.5mm b _{bf} =160mm h _b =330mm t _{bg} =7.5mm	t _{pl} =15mm	Kolon-Kiriş S275 Levhalar S355
C960-B330	t _{cf} =11.5mm b _{cf} =160mm h _c =960mm t _{cg} =7.5mm	t _{bf} =11.5mm b _{bf} =160mm h _b =330mm t _{bg} =7.5mm	t _{pl} =15mm	Kolon-Kiriş S275 Levhalar S355

Bu amaçla sayısal olarak incelenen tüm tipler yukarıda Çizelge A.7 olarak verilmiştir. Bu tiplere ait sistem şemaları ve yükleme yönleri aşağıda Şekil A.5 olarak verilmiştir.



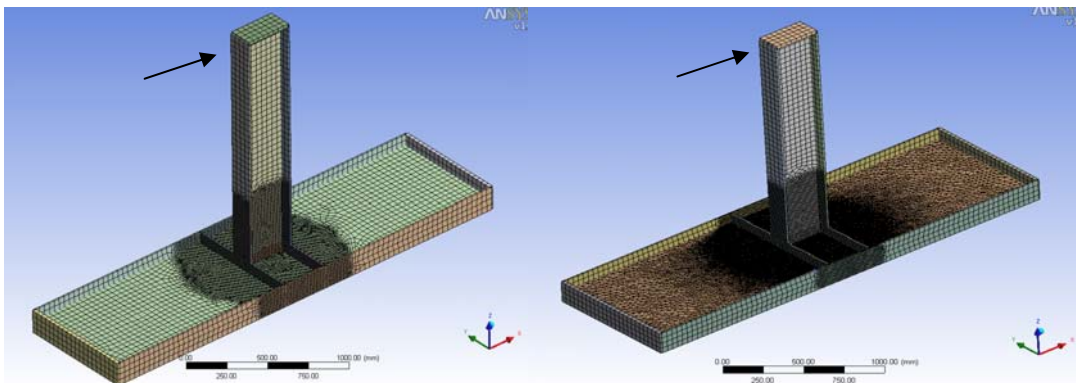
C160-B330

C320-B330



C480-B330

C640-B330

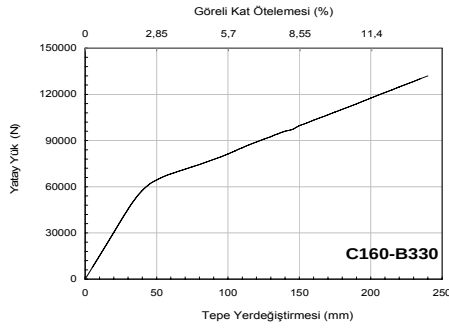


C800-B330

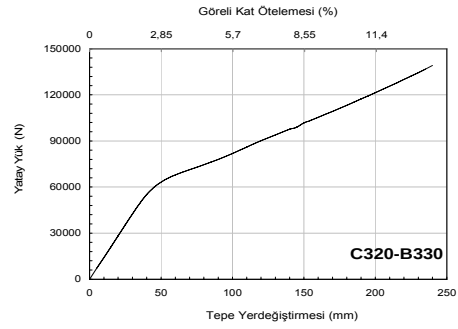
C960-B330

Şekil A.5 : ANSYS İncelemesinde kullanılan farklı analiz tipleri, sonlu eleman ağı yapılanması ve yükleme yönü görüntüleri.

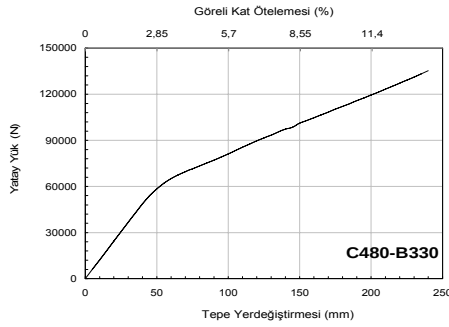
Yapılan sayısal analizlerde elde edilen yatay yük-tepe deplasmanı değerleri aşağıda Şekil A.6 olarak verilmiştir.



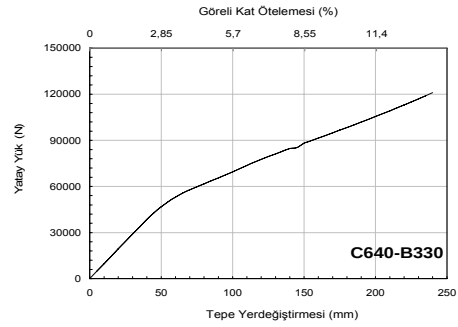
C160-B330



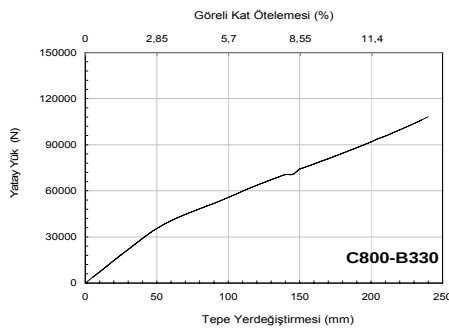
C320-B330



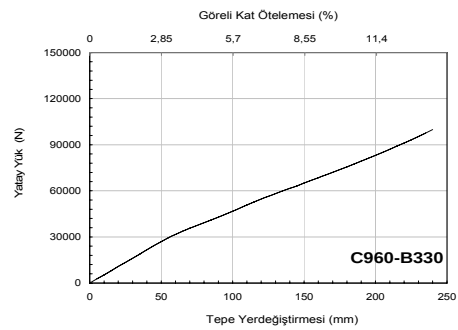
C480-B330



C640-B330



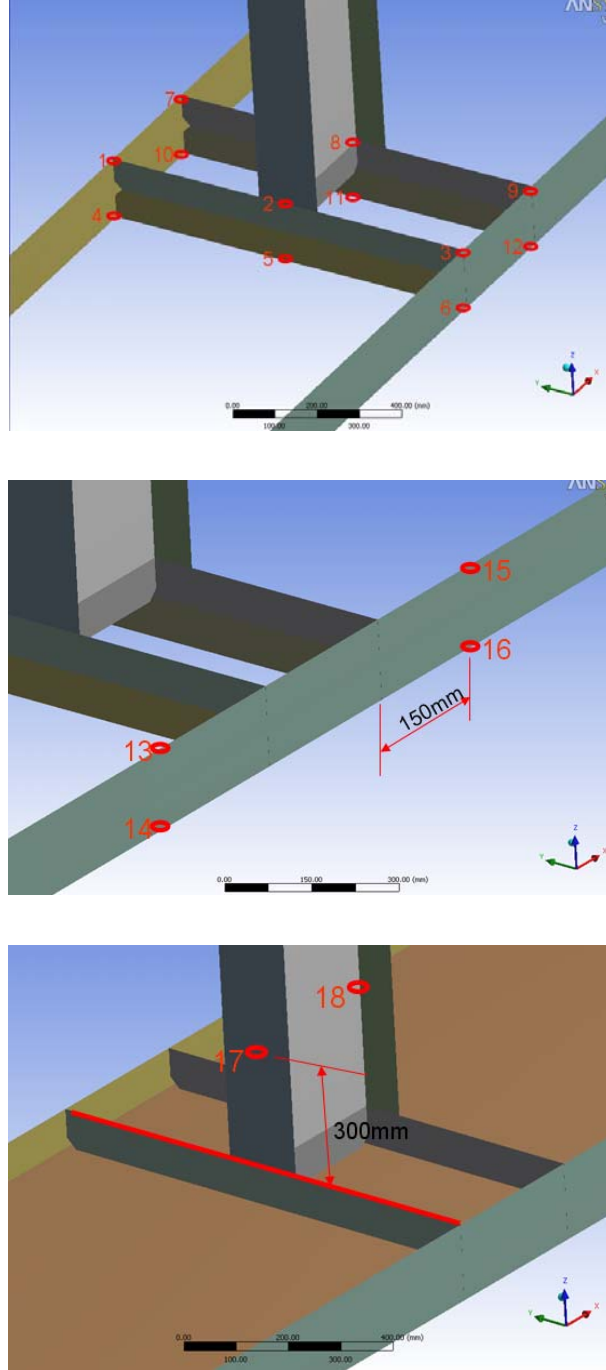
C800-B330



C960-B330

Şekil A.6 : ANSYS İncelemesinde elde edilen yük-tepe yer değiştirmesi sonuçları.

Her bir ayrı sayısal veriye ait sonuçlar aşağıda Şekil A.7 olarak verilen noktalarda esas alınarak detaylı olarak incelenmiştir. Bu noktalardan alınan veriler deneysel verilerin incelenmesi ile aynı prensipler esas alınarak karşılaştırılmıştır.



Şekil A.7 : ANSYS İncelemesinde sayısal verileri kullanmak için seçilen noktalar.

Liste olarak verilen her 19 nokta için aşağıda sadece C160-B330 sayısal analizi için verilen örnekte olduğu gibi tüm yer değiştirme adımlarına karşılık gelen X, Y ve Z

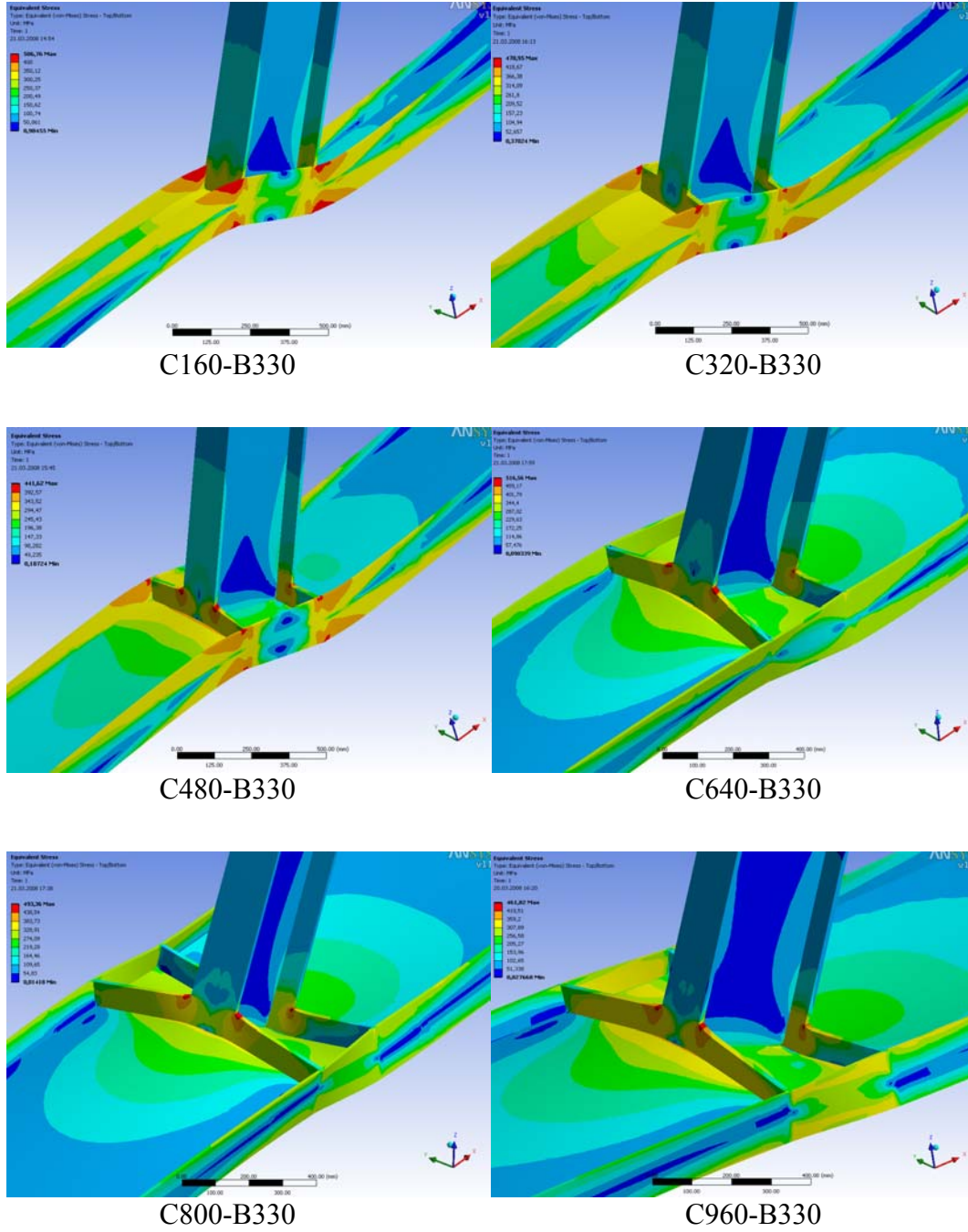
ekseni yer değiştirmeleri çizelge haline getirilmiştir. Sayısal verinin bir kısmı aşağıda Çizelge A.8 de örnek olarak verilmiştir.

Çizelge A.8 : ANSYS Modelleri sayısal verilerinin bir kısmı.

1 nolu Nokta						2 nolu Nokta						3 nolu Nokta					
zaman(br)	uygulan deplasman(mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)		zaman(br)	uygulan deplasman(mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)		zaman(br)	uygulan deplasman(mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	
0	0	0	0	0		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	
2,08E-02	5,00E+00	0,18862	-5,94E-04	0,41623		2,08E-02	0,00E+00	0,22095	8,19E-05	0,42481		2,08E-02	5,00E+00	0,18884	7,52E-04	0,41623	
4,17E-02	1,00E+01	0,36258	-1,20E-03	0,82607		4,17E-02	1,00E+01	0,44225	1,64E-04	0,84324		4,17E-02	1,00E+01	0,36282	1,52E-03	0,82607	
6,25E-02	1,50E+01	0,5453	-1,83E-03	1,2295		6,25E-02	1,50E+01	0,66509	2,47E-04	1,256		6,25E-02	1,50E+01	0,54536	2,31E-03	1,2295	
8,33E-02	2,00E+01	0,72984	-2,52E-03	1,6278		8,33E-02	2,00E+01	0,88932	3,28E-04	1,6611		8,33E-02	2,00E+01	0,72971	3,16E-03	1,6278	
0,10417	2,50E+01	0,91929	-3,26E-03	2,023		0,10417	2,50E+01	1,1156	4,09E-04	2,0636		0,10417	2,50E+01	0,9194	4,06E-03	2,023	
0,125	3,00E+01	1,1156	-3,80E-03	2,4159		0,125	3,00E+01	1,3443	5,02E-04	2,4624		0,125	3,00E+01	1,1156	4,95E-03	2,4161	
0,14583	3,50E+01	1,3204	-4,16E-03	2,802		0,14583	3,50E+01	1,5768	6,88E-04	2,8515		0,14583	3,50E+01	1,3204	5,51E-03	2,8025	
0,16867	4,00E+01	1,5371	-3,73E-03	3,1892		0,16867	4,00E+01	1,8148	1,38E-03	3,2247		0,16867	4,00E+01	1,5371	5,42E-03	3,1707	
0,1875	4,50E+01	1,7651	-5,14E-03	3,5175		0,1875	4,50E+01	2,058	9,77E-04	3,572		0,1875	4,50E+01	1,7648	5,30E-03	3,5144	
0,20633	5,00E+01	2,0017	-3,73E-03	3,8139		0,20633	5,00E+01	2,3095	1,58E-03	3,873		0,20633	5,00E+01	2,0015	6,55E-03	3,8154	
0,22917	5,50E+01	2,2448	-4,58E-03	4,0775		0,22917	5,50E+01	2,5567	1,92E-03	4,1368		0,22917	5,50E+01	2,2444	7,25E-03	4,0782	
0,25	6,00E+01	2,4928	-4,07E-03	4,2978		0,25	6,00E+01	2,8108	1,38E-03	4,3571		0,25	6,00E+01	2,4921	6,75E-03	4,2982	
0,27083	6,50E+01	2,7431	-3,21E-03	4,5304		0,27083	6,50E+01	3,0688	2,32E-03	4,5906		0,27083	6,50E+01	2,7427	7,80E-03	4,5348	
0,29167	7,00E+01	2,9956	-4,00E-03	4,8243		0,29167	7,00E+01	3,3242	1,62E-03	4,8832		0,29167	7,00E+01	2,9952	7,18E-03	4,8248	
0,3125	7,50E+01	3,2503	-5,16E-03	5,1029		0,3125	7,50E+01	3,5838	5,43E-04	5,1617		0,3125	7,50E+01	3,2502	8,18E-03	5,1041	
0,33333	8,00E+01	3,5088	-5,20E-03	5,4201		0,33333	8,00E+01	3,8449	5,88E-04	5,4788		0,33333	8,00E+01	3,5085	8,31E-03	5,4218	
0,35417	8,50E+01	3,784	-4,83E-03	5,7623		0,35417	8,50E+01	4,1078	1,05E-03	5,8201		0,35417	8,50E+01	3,7696	8,57E-03	5,763	
0,375	9,00E+01	4,0221	-5,84E-03	6,1004		0,375	9,00E+01	4,372	3,28E-04	6,1872		0,375	9,00E+01	4,0213	8,22E-03	6,0989	
0,39583	9,50E+01	4,2802	-5,83E-03	6,4548		0,39583	9,50E+01	4,6379	4,23E-04	6,5112		0,39583	9,50E+01	4,2734	8,42E-03	6,4545	
0,41867	1,00E+02	4,5381	-5,35E-03	6,8167		0,41867	1,00E+02	4,9054	8,21E-04	6,8728		0,41867	1,00E+02	4,5373	8,52E-03	6,817	
0,4375	1,05E+02	4,7964	-5,06E-03	7,119		0,4375	1,05E+02	5,1748	1,21E-03	7,2548		0,4375	1,05E+02	4,7959	7,43E-03	7,2	
0,45833	1,10E+02	5,0551	-5,14E-03	7,5939		0,45833	1,10E+02	5,4453	1,29E-03	7,6489		0,45833	1,10E+02	5,0545	7,64E-03	7,5952	
0,47917	1,15E+02	5,3147	-3,86E-03	7,9945		0,47917	1,15E+02	5,7171	2,91E-03	8,05		0,47917	1,15E+02	5,3136	9,40E-03	7,9988	
0,5	1,20E+02	5,5721	-3,84E-03	8,4184		0,5	1,20E+02	5,9898	3,07E-03	8,4726		0,5	1,20E+02	5,572	9,72E-03	8,4226	
0,52083	1,25E+02	5,8307	-4,72E-03	8,8454		0,52083	1,25E+02	6,2632	2,18E-03	8,8974		0,52083	1,25E+02	5,8294	8,98E-03	8,8482	
0,54167	1,30E+02	6,0893	-5,58E-03	9,2639		0,54167	1,30E+02	6,5362	1,44E-03	9,3337		0,54167	1,30E+02	6,0889	8,39E-03	9,2651	
0,5625	1,35E+02	6,3492	-5,52E-03	9,725		0,5625	1,35E+02	6,8147	1,69E-03	9,7736		0,5625	1,35E+02	6,3489	8,82E-03	9,7288	
0,58333	1,40E+02	6,6103	-6,47E-03	10,165		0,58333	1,40E+02	7,0924	9,17E-04	10,211		0,58333	1,40E+02	6,6094	8,60E-03	10,165	
0,60417	1,45E+02	6,8728	-5,51E-03	10,606		0,60417	1,45E+02	7,3717	1,78E-03	10,654		0,60417	1,45E+02	6,8721	9,22E-03	10,61	
0,625	1,50E+02	7,1342	-6,72E-03	11,048		0,625	1,50E+02	7,6519	1,02E-03	11,091		0,625	1,50E+02	7,1334	8,86E-03	11,049	
0,64583	1,55E+02	7,3968	-6,80E-03	11,494		0,64583	1,55E+02	7,934	1,09E-03	11,535		0,64583	1,55E+02	7,398	8,89E-03	11,495	
0,66867	1,60E+02	7,6571	-6,27E-03	11,94		0,66867	1,60E+02	8,218	1,75E-03	11,98		0,66867	1,60E+02	7,6654	9,87E-03	11,942	
0,6875	1,65E+02	7,9318	-6,80E-03	12,388		0,6875	1,65E+02	8,5032	1,63E-03	12,426		0,6875	1,65E+02	7,931	9,76E-03	12,389	
0,70833	1,70E+02	8,2007	-6,48E-03	12,837		0,70833	1,70E+02	8,7903	1,94E-03	12,874		0,70833	1,70E+02	8,1997	1,02E-02	12,839	
0,72917	1,75E+02	8,4738	-6,21E-03	13,288		0,72917	1,75E+02	9,0794	2,39E-03	13,322		0,72917	1,75E+02	8,4721	1,09E-02	13,289	
0,75	1,80E+02	8,7486	-6,71E-03	13,733		0,75	1,80E+02	9,3701	2,03E-03	13,767		0,75	1,80E+02	8,7452	1,07E-02	13,735	
0,77083	1,85E+02	9,0205	-6,44E-03	14,181		0,77083	1,85E+02	9,6625	2,57E-03	14,213		0,77083	1,85E+02	9,0189	1,15E-02	14,185	
0,79167	1,90E+02	9,2937	-7,43E-03	14,631		0,79167	1,90E+02	9,9568	1,87E-03	14,66		0,79167	1,90E+02	9,2931	1,1E-02	14,634	
0,8125	1,95E+02	9,5719	-7,90E-03	15,079		0,8125	1,95E+02	10,253	1,65E-03	15,106		0,8125	1,95E+02	9,5711	1,1E-02	15,082	
0,83333	2,00E+02	9,8512	-7,72E-03	15,524		0,83333	2,00E+02	10,551	2,10E-03	15,549		0,83333	2,00E+02	9,8507	1,18E-02	15,527	
0,85417	2,05E+02	10,132	-7,78E-03	15,969		0,85417	2,05E+02	10,851	2,33E-03	15,991		0,85417	2,05E+02	10,132	1,23E-02	15,972	
0,875	2,10E+02	10,416	-8,14E-03	16,415		0,875	2,10E+02	11,154	2,27E-03	16,436		0,875	2,10E+02	10,415	1,25E-02	16,419	
0,89583	2,15E+02	10,709	-7,85E-03	16,867		0,89583	2,15E+02	11,464	3,01E-03	16,886		0,89583	2,15E+02	10,701	1,36E-02	16,872	
0,91867	2,20E+02	10,998	-8,88E-03	17,333		0,91867	2,20E+02	11,777	2,15E-03	17,353		0,91867	2,20E+02	11,009	1,30E-02	17,341	
0,9375	2,25E+02	11,298	-9,19E-03	17,8		0,9375	2,25E+02	12,094	2,07E-03	17,814		0,9375	2,25E+02	11,297	1,32E-02	17,805	
0,95833	2,30E+02	11,593	-1,01E-02	18,268		0,95833	2,30E+02	12,411	1,53E-03	18,278		0,95833	2,30E+02	11,594	1,29E-02	18,271	
0,97917	2,35E+02	11,892	-9,75E-03	18,734		0,97917	2,35E+02	12,729	2,09E-03	18,734		0,97917	2,35E+02	11,891	1,38E-02	18,731	
1	2,40E+02	12,188	-1,00E-02	19,188		1	2,40E+02	13,049	1,93E-03	19,192		1	2,40E+02	12,188	1,40E-02	19,192	

4 nolu Nokta						5 nolu Nokta						6 nolu Nokta					
zaman(br)	uygulan deplasman(mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)		zaman(br)	uygulan deplasman(mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)		zaman(br)	uygulan deplasman(mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	
0	0	0	0	0		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	
2,08E-02	5,00E+00	-5,20E-03	-5,20E-03	0,40959		2,08E-02	0,00E+00	-0,18919	4,60E-05	0,41849		2,08E-02	5,00E+00	-5,20E-03	-5,20E-03	0,4098	
4,17E-02	1,00E+01	-1,04E-02	-1,04E-02	0,81359		4,17E-02	1,00E+01	-0,33799	9,42E-05	0,83136		4,17E-02	1,00E+01	-0,33299	1,07E-02	0,8138	
6,25E-02	1,50E+01	-1,55E-02	-1,55E-02	1,212		6,25E-02	1,50E+01	-0,5061	1,49E-04	1,2386		6,25E-02	1,50E+01	-0,5004	1,80E-02	1,212	
8,33E-02	2,00E+01	-2,08E-02	-2,08E-02	1,6055		8,33E-02	2,00E+01	-0,67178	2,01E-04	1,644		8,33E-02	2,00E+01	-0,64475	2,13E-02	1,6055	
0,10417	2,50E+01	-2,64E-02	-2,64E-02	1,9957		0,10417	2,50E+01	-0,83883	3,75E-04	2,0406		0,10410					

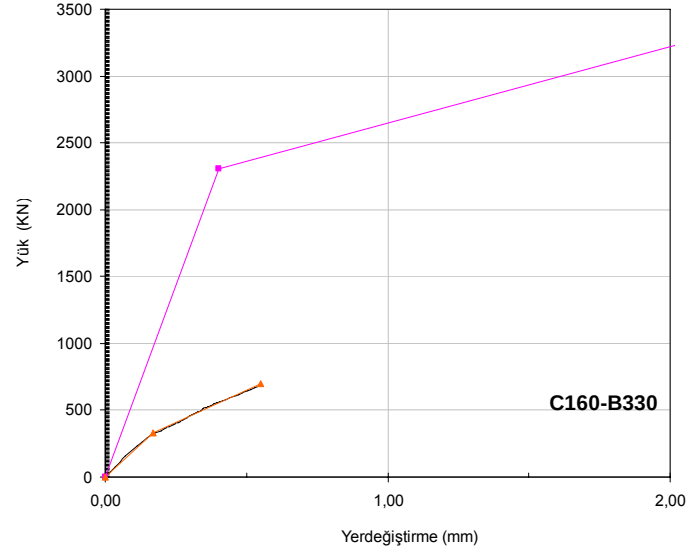
Ayrıca son adımda elde edilen gerilme dağılımları ve yük akışının öngörülen yük akış şemasına uygunluğu kontrol edilmiştir. Aşağıda son adıma ait iç gerilmeler görülürken süreklilik levhasında yoğunlaşan eğilme davranışı ve kolon başlığında oluşan kayma şekil değiştirmeleri izlenmektedir.



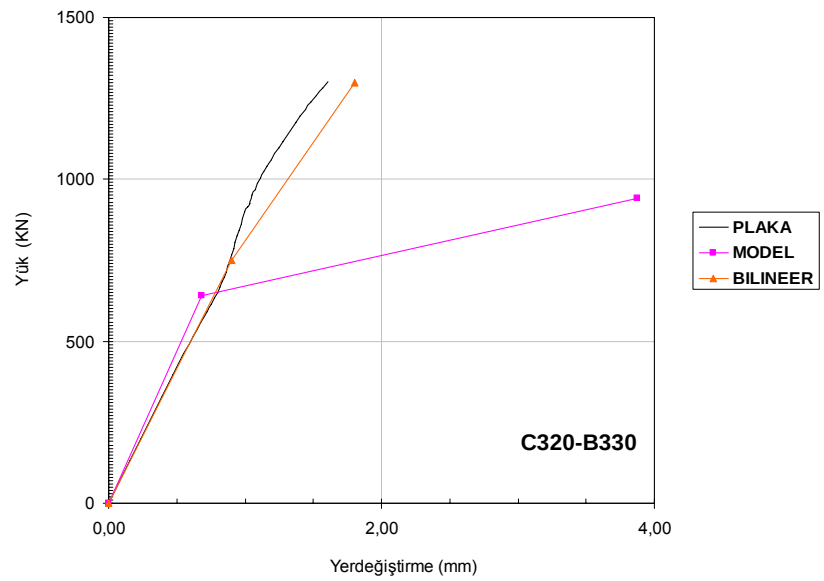
Şekil A.8 : ANSYS İncelemede son adımda tespit edilen eşdeğer (Von Misses) gerilme dağılışının şekil değiştirme ile birlikte görüntüleri.

A4 Yay Sabiti İçin Düzeltme Çalışması

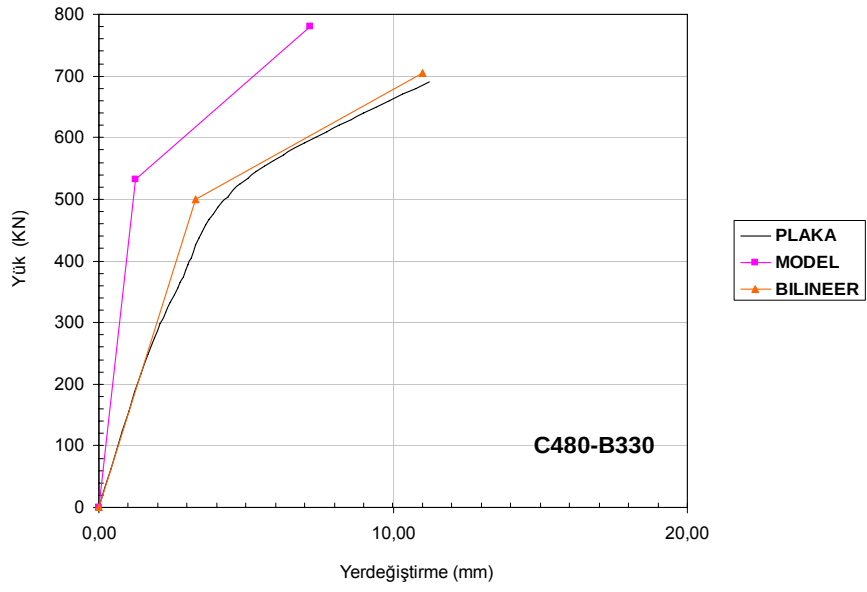
Elde edilen Bu çizelge verileri “EK I” da verilen şekilde değerlendirilerek her sayısal analiz için süreklilik levhasına ait yay sabiti aşağıda verilen Şekil A.9 – Şekil A.14 arasında görüldüğü gibi hazırlanarak PHD-1 yazılımı yay sabiti ile karşılaştırılmıştır.



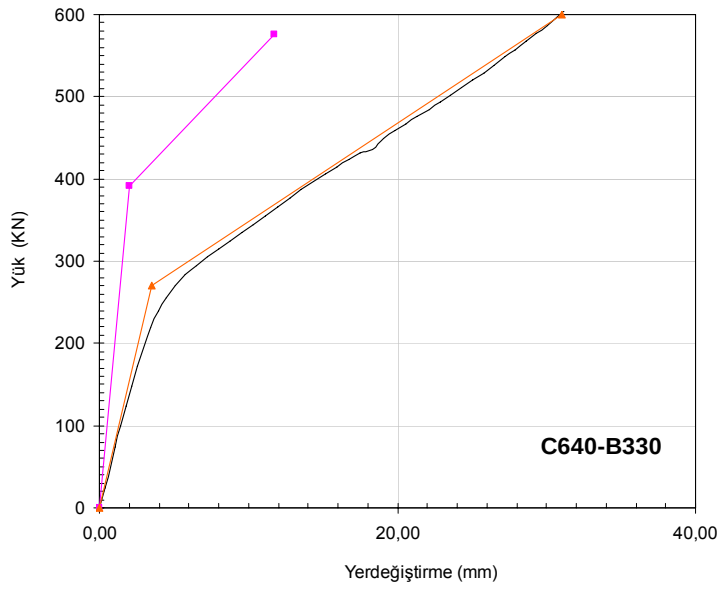
Şekil A.9 : C160-B330 Yay sabitleri karşılaştırması.



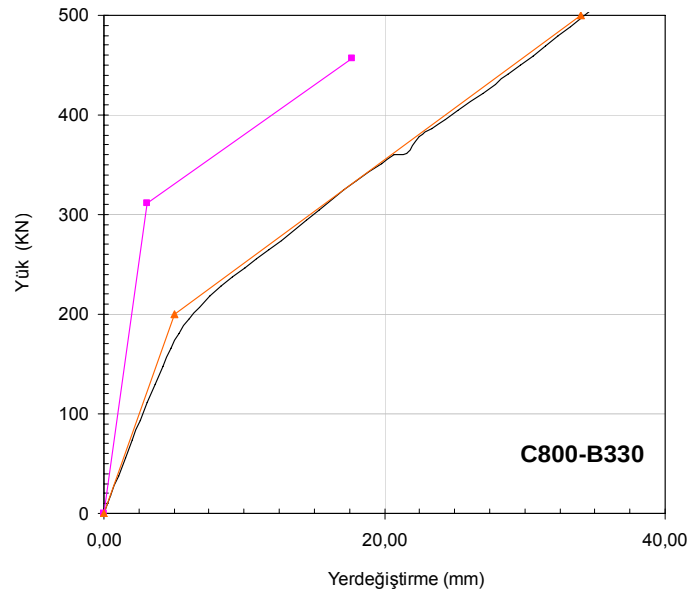
Şekil A.10 : C320-B330 Yay sabitleri karşılaştırması.



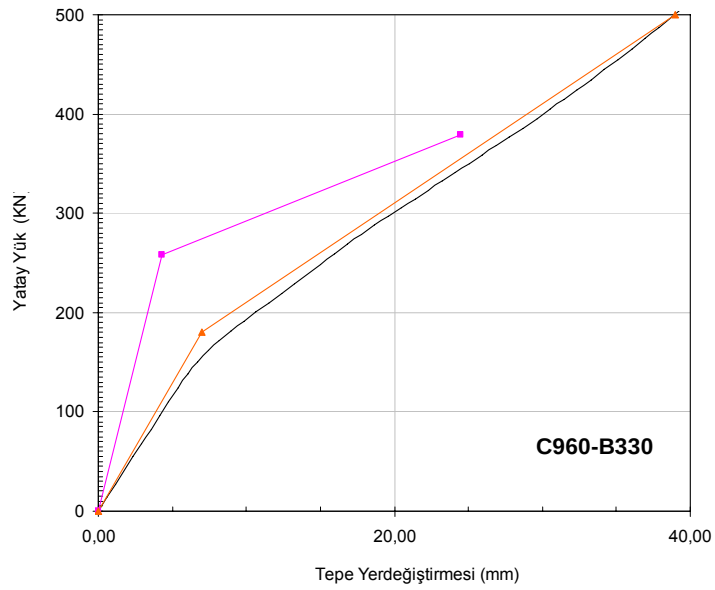
Şekil A.11 : C480-B330 Yay sabitleri karşılaştırması.



Şekil A.12 : C640-B330 Yay sabitleri karşılaştırması.



Şekil A.13 : C800-B330 Yay sabitleri karşılaştırması.



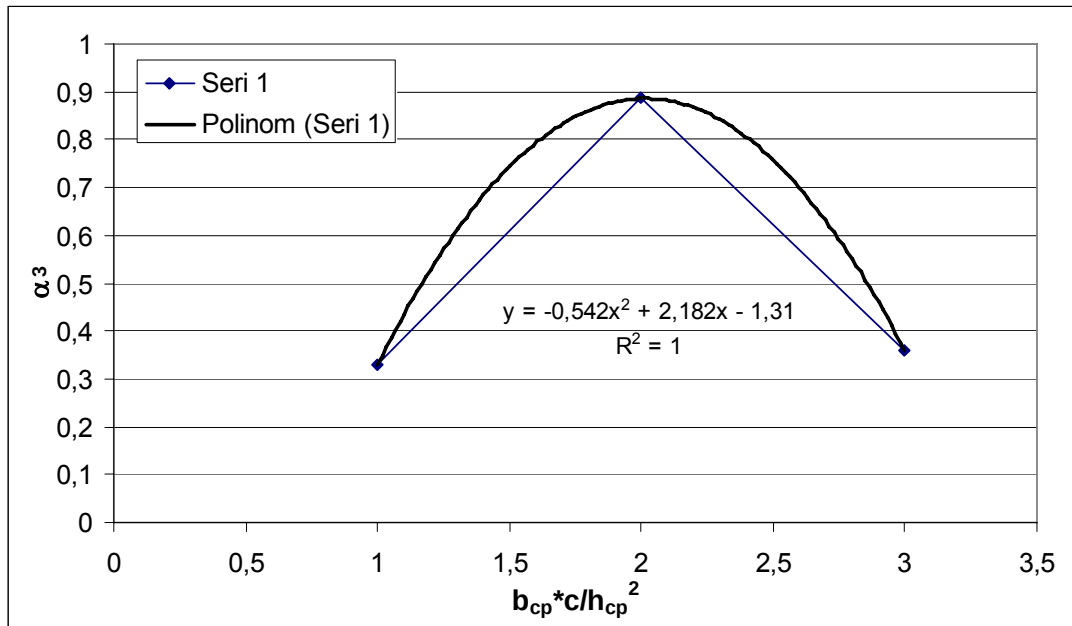
Şekil A.14 : C960-B330 Yay sabitleri karşılaştırması.

Her sayısal analiz için elde edilen veriler çizelgede sunulursa başlangıç ve akma sonrası rijitlikleri için genel bir dağılım izlenebilir.

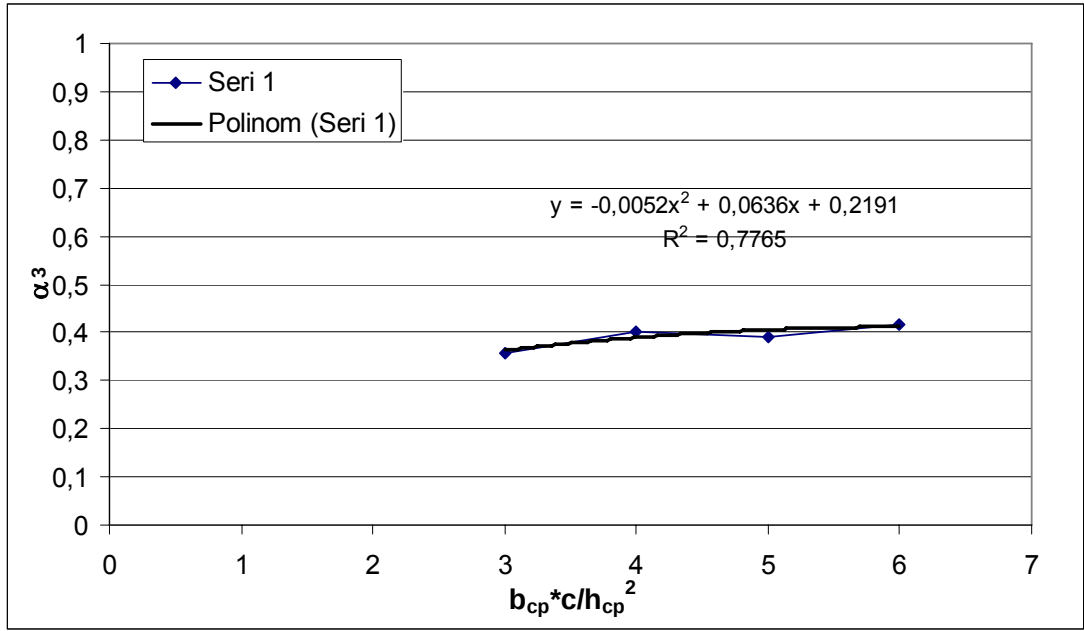
Çizelge A.9 : Süreklilik levhası için hazırlanan ANSYS analiz modelleri ve basitleştirilmiş sayısal model karşılaştırmalı değerlendirilmesi.

Analiz Numarası	ANSYS Modeli Başlangıç Rijitliği kN/mm S_{1ansys}	Öneri Model Başlangıç Rijitliği kN/mm S_{1model}	S_1 Rijitlikleri Oranı	ANSYS Modeli Akma Sonrası Rijitliği kN/mm S_{2ansys}	Öneri Model Akma Sonrası Rijitliği kN/mm S_{2model}	S_2 Rijitlikleri Oranı
C160-B330	1941	5730	0,338	973	571	1,704
C320-B330	833	940	0,886	611	94	6,500
C480-B330	151	421	0,358	26	42	0,619
C640-B330	77	191	0,403	12	19	0,631
C800-B330	40	102	0,392	10	10	1,000
C960-B330	25	60	0,416	10	6	1,667

Denklemin revizyonunda ana parametrelerin etkileşimini ve lineer olmayan tesirlerin etkisini dikkate almak için önerilen α_3 çarpanı için “ $x=c*b_{cp} / h_{cp}^2$ ” oranının “0” ile “3” arası değiştiği bölgede ayrı ve “3” ile “6” arası değiştiği bölgede ayrı eğri uydurma yapılması gerekmiştir. Aşağıda eğri uydurmak için hazırlanan grafikler Şekil A.15 ve Şekil A.16 olarak sırası ile 0-3 aralığı ve 3-6 aralığı için verilmiştir.



Şekil A.15 : “ $x=c*b_{cp} / h_{cp}^2$ ” Oranının 0-3 arası değişimi eğri uydurma grafiği.



Şekil A.16 : “ $x=c \cdot b_{cp} / h_{cp}^2$ ” Oranının 3-6 arası değişimi eğri uydurma grafiği.

Geçerli olduğu aralıklarda önerilen denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\alpha_3 = -0,542z^2 + 2,182z - 1,31 \quad 0 < z = c \cdot b_{cp} / h_{cp}^2 < 3 \quad (\text{A.3a})$$

$$\alpha_3 = -0,0052z^2 + 0,0636z + 0,2191 \quad 3 < z = c \cdot b_{cp} / h_{cp}^2 < 6 \quad (\text{A.3b})$$

EK B

İmal edilecek numunelere ait kesitler öncelikle sayısal analizler ile belirlenmiştir. Numune ve düzenek için uygulama resimleri hazırlanmış ve imalat sırasında kalite denetimi ile yapılan imalatın uygunluğu takip edilmiştir.

B1 Numuneler İçin Yapılan Ön Analizler Uygulama Detayları

Numunelerin tümü için sayısal olarak ön analiz ve boyutlandırma çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada beklenen göçme mekanizmaları gözlemlenmiş ve numunelerin elemanlarının seçimine bu şekilde karar verilmiştir.

İlk grup numunelerde önce kirişin plastikleşmesi ve kolonun deneyin her adımında lineer kalması ve güçlü kolon davranışını göstermesi hedef alınmıştır.

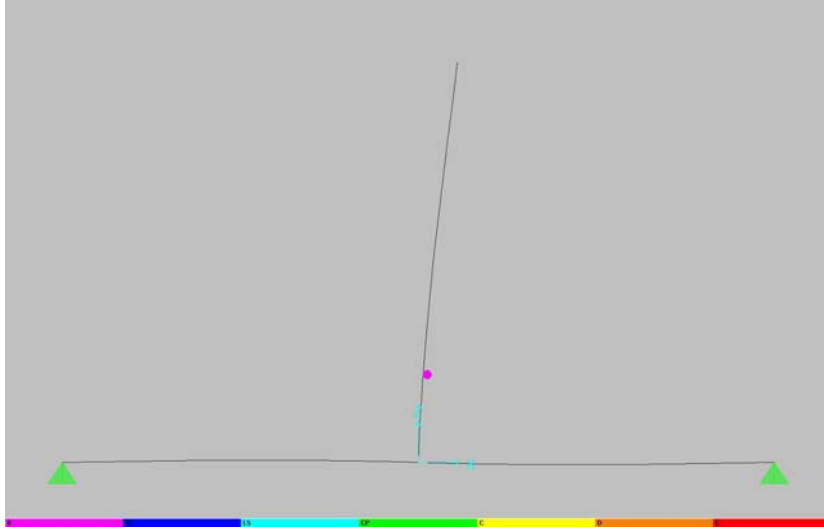
İkinci grup numunelerde kirişin tüm deney boyunca lineer kalması ve kolonun plastikleşmesi yani zayıf kolon durumu oluşması hedeflenmiştir.

Üçüncü grup deneyde ise her iki elemanın dayanımları birbirine yakın seçilmiş bu sayede akma yüküne ulaşılması sonrası her iki elemanında plastikleşmesi

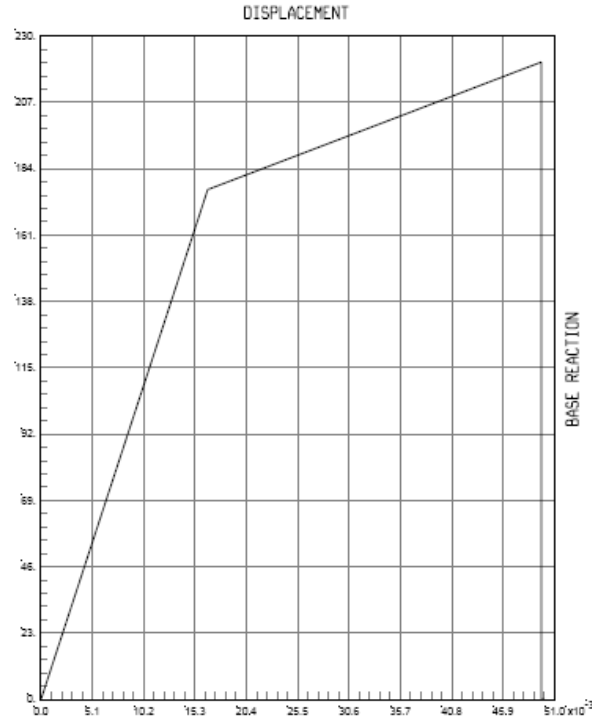
B1.1 “A1-1” / “B1-1” Deneyleri

Güçlü kolon HEA300 ve zayıf kiriş IPE330 birleşimi ile teşkil edilmiştir.

Numunenin adımlar halinde göçme mekanizması ve beklenen tepe yükü - tepe yer değiştirmesi eğrisi SAP2000 yazılımından alınarak aşağıda verilmiştir.



Şekil B.1 : Numune için sayısal olarak beklenen göçme mekanizması.

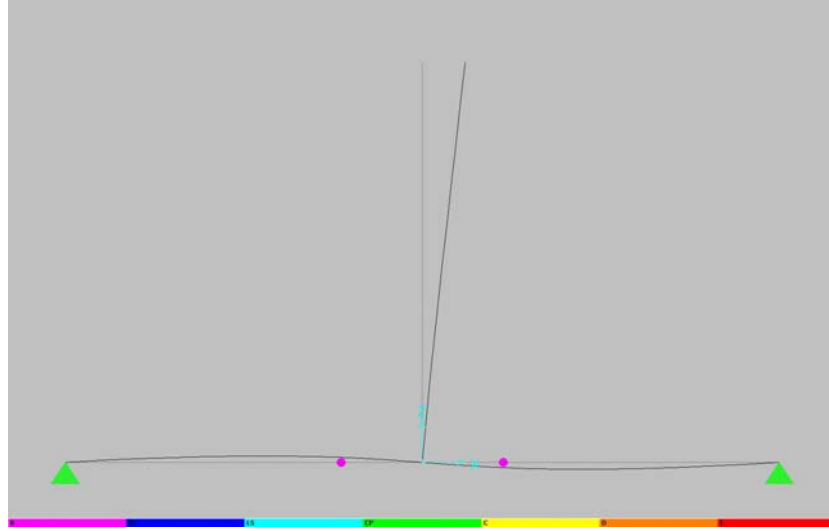


Şekil B.2 : “A1-1” / “B1-1” Numunesi tepe yükü-tepe yer değiştirmesi eğrisi.

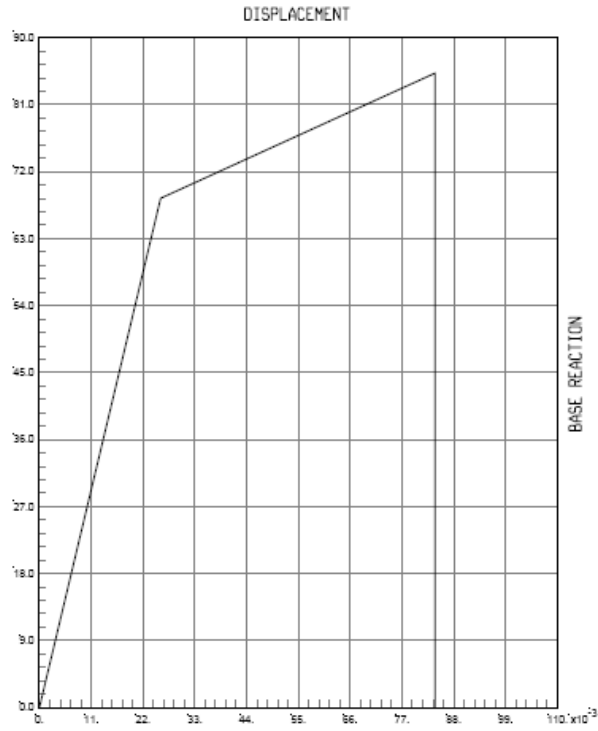
B1.2 “A2-1” / “B2-1” Deneyleri

Güçlü kiriş IPE330 ve zayıf kolon IPE330 birleşimi ile teşkil edilmiştir.

Numunenin adımlar halinde göçme mekanizması ve beklenen tepe yükü - tepe yer değiştirmesi eğrisi SAP2000 yazılımından alınarak aşağıda verilmiştir.



Şekil B.3 : Numune için sayısal olarak beklenen göçme mekanizması.

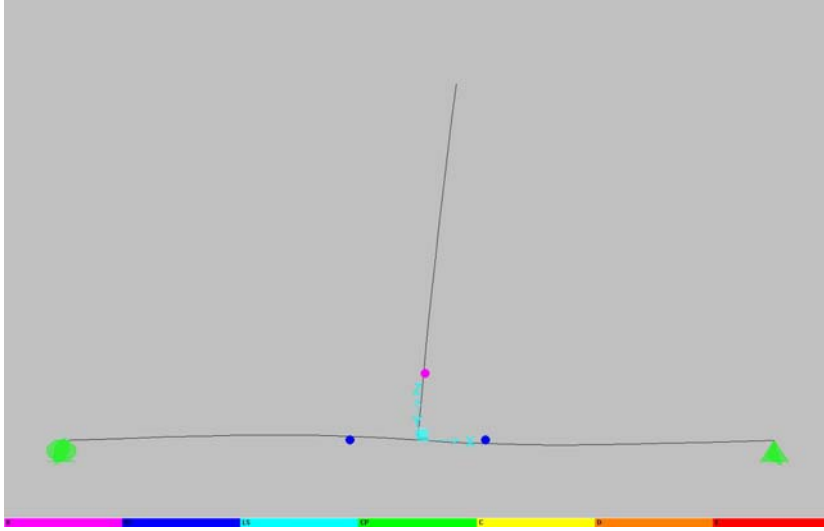


Şekil B.4 : “A2-1” / “B2-1” Numunesi tepe yükü-tepe yer değiştirmesi eğrisi.

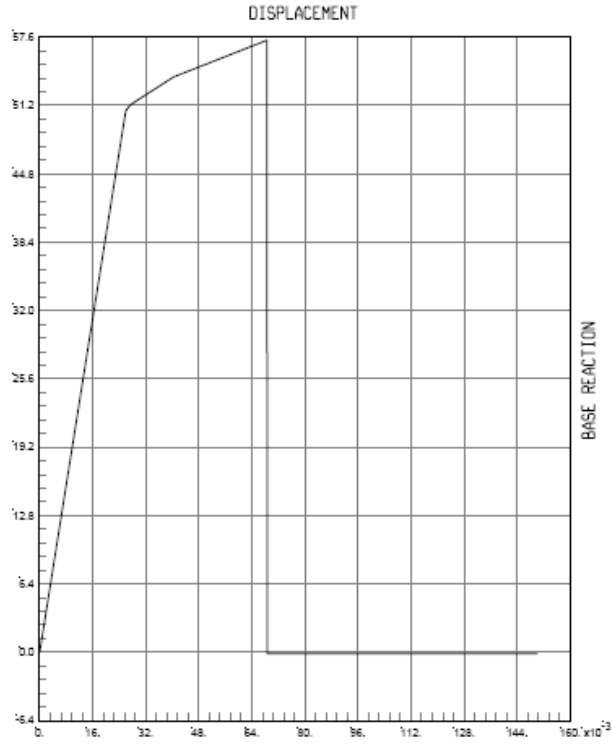
B1.3 “A3-1” / “B3-1” Deneyleri

Eşit dayanıma sahip kolon IPE330 ve kiriş HEA180 birleşimi ile teşkil edilmiştir.

Numunenin adımlar halinde göçme mekanizması ve beklenen tepe yükü - tepe yer değiştirmesi eğrisi SAP2000 yazılımından alınarak aşağıda verilmiştir.



Şekil B.5 : Numune için sayısal olarak beklenen göçme mekanizması.



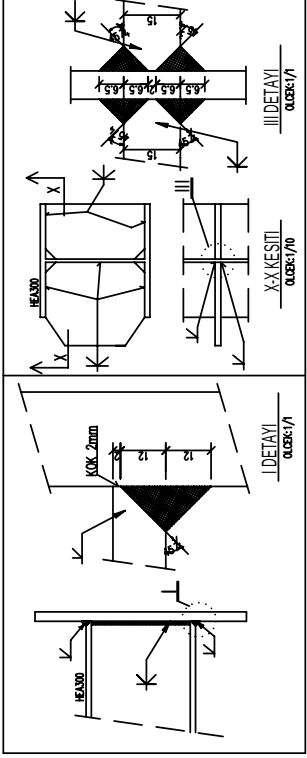
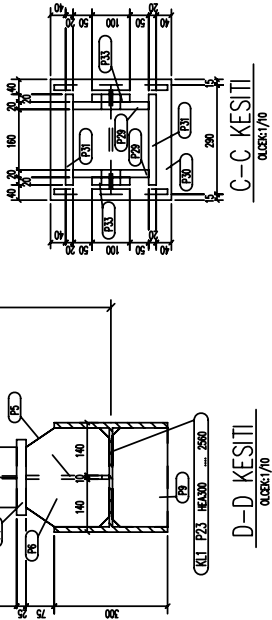
Şekil B.6 : “A3-1” / “B3-1” Numunesi tepe yükü-tepe yer değıştirmesi eğrisi.

B1.4 Numuneler İçin Yapılan İmalat Resimleri

Her 6 set deney için aşağıda imalat resimleri verilmiştir.

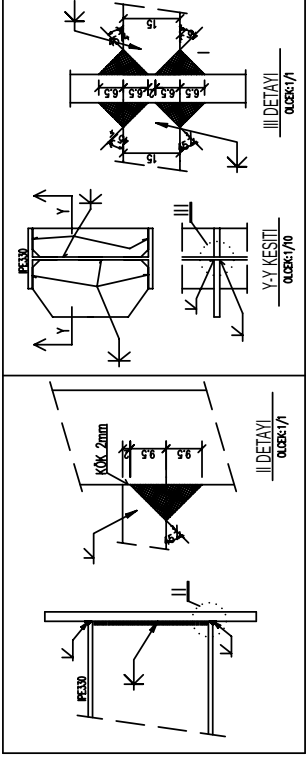
KL1 (1-DET) KOMPESİON MALZEME LİSTESİ									
MATERIAL LIST FOR ONE ASSEMBLY									
PC2NO	ASSET NUMBER	THANI DEFINITION	MALZEME MATERIAL	BOY LENGTH	AGIRLIK WEIGHT	TOPLAM TOTAL			
PC2NO	NUMBER	DEFINITION	MATERIAL	LENGTH	WEIGHT	TOTAL	TOPLAM TOTAL		
P3	1	PE330	S275	100	86.1	86.1	584.4	584.4	
P4	1	PT15000	S275	20	5.7	5.7			
P5	1	PT10021	S275	30	5.3	5.3			
P6	2	PT10021	S275	30	5.3	10.6			
P7	1	PT10028	S275	30	4.8	4.8			
P8	2	PT10024	S275	130	8.4	16.8			
P9	2	PT10046	S275	30	4.5	9.0			
P10	1	HEA300	S275	200	27.1	27.1			
P11	4	PT10000	S275	30	3.4	13.6			
P12	2	PT10000	S275	30	3.4	6.8			
P13	4	PT10000	S275	30	3.4	13.6			
P14	8	PT10000	S275	10	1.6	12.8			
KOMPESİON MALZEME LİSTESİ									
TOTAL MATERIAL LIST									
SM	ASSEMBLY	ASSET NUMBER	AGIRLIK WEIGHT	TOPLAM TOTAL					
KL1		1	584.4	584.4					
				TOPLAM	1	KOMPLE	584.4		

- * DELİKLER MATKAP, PLAZMA VEYA LAZER BENZERİ OLMALIDIR.
- * PARÇA KESİMLERİ PLAZMA VEYA LAZER BENZERİ OLMALIDIR.
- * P33 NOLU POZLAR KAYNAK YAPILMADAN AYRICA HAZIRLANARAK YERİNDE MONTAJ SIRASINDA KATILANLACAKTIR.
- * TÖM PARÇALAR VE ANA ELEMANLAR SA 2^{nci} KALİTEDE KİMLANDIKTAN SONRA İMALAT YAPILACAKTIR.
- * TÖM BAĞLANTILARDA AŞAĞIDA DETAYI VERİLEN ŞEKİLDE KAYNAK AĞZI HAZIRLIĞI YAPILMASI AZAMI ÖNEMLİDİR.



(HEA300) ALIN PLAKASI BİRLİŞİMİ

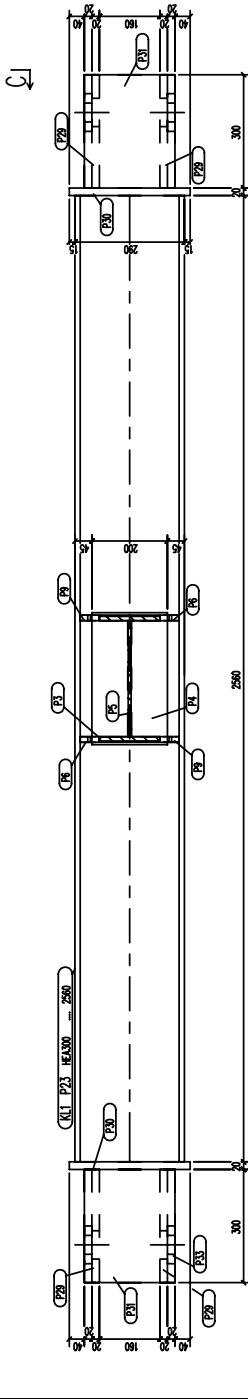
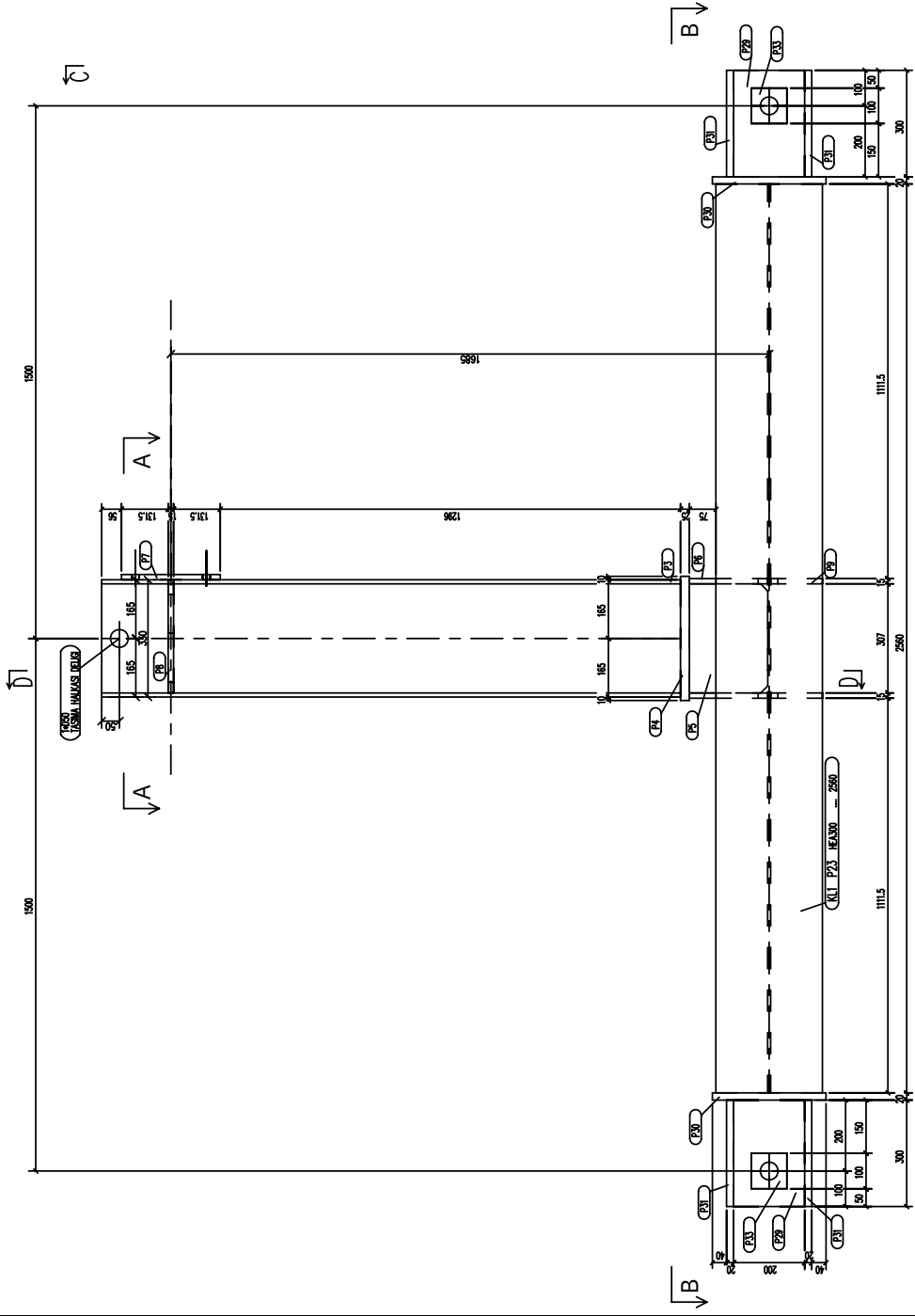
(HEA300) BERKİTME PLAKASI BİRLİŞİMİ



(IPE330) ALIN PLAKASI BİRLİŞİMİ

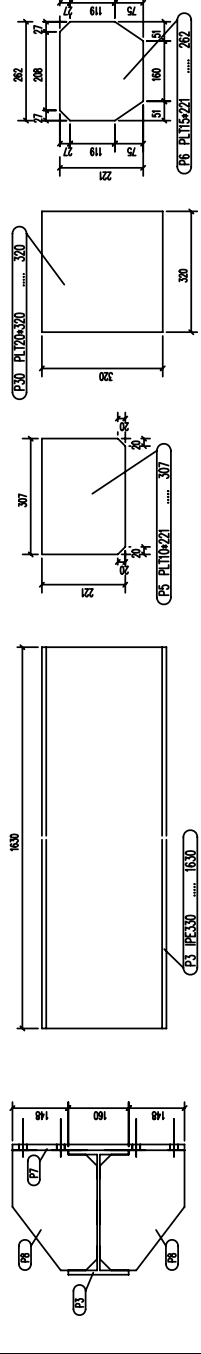
(IPE330) BERKİTME PLAKASI BİRLİŞİMİ

NOT: KAYNAĞIN TAM NÜFUZİYETİNE ÖZEN GÖSTERİLECEK.



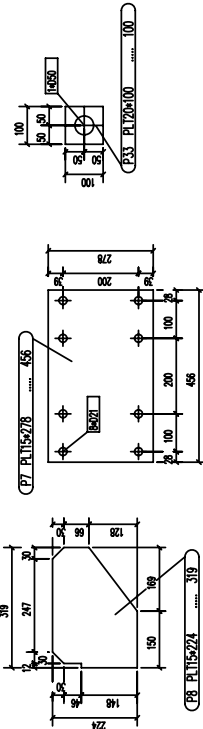
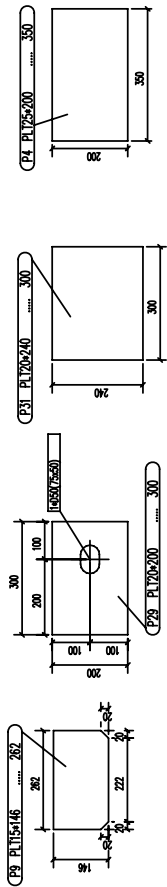
B-B KESİTİ

ÖLÇEK: 1/10



A-A KESİTİ

ÖLÇEK: 1/10



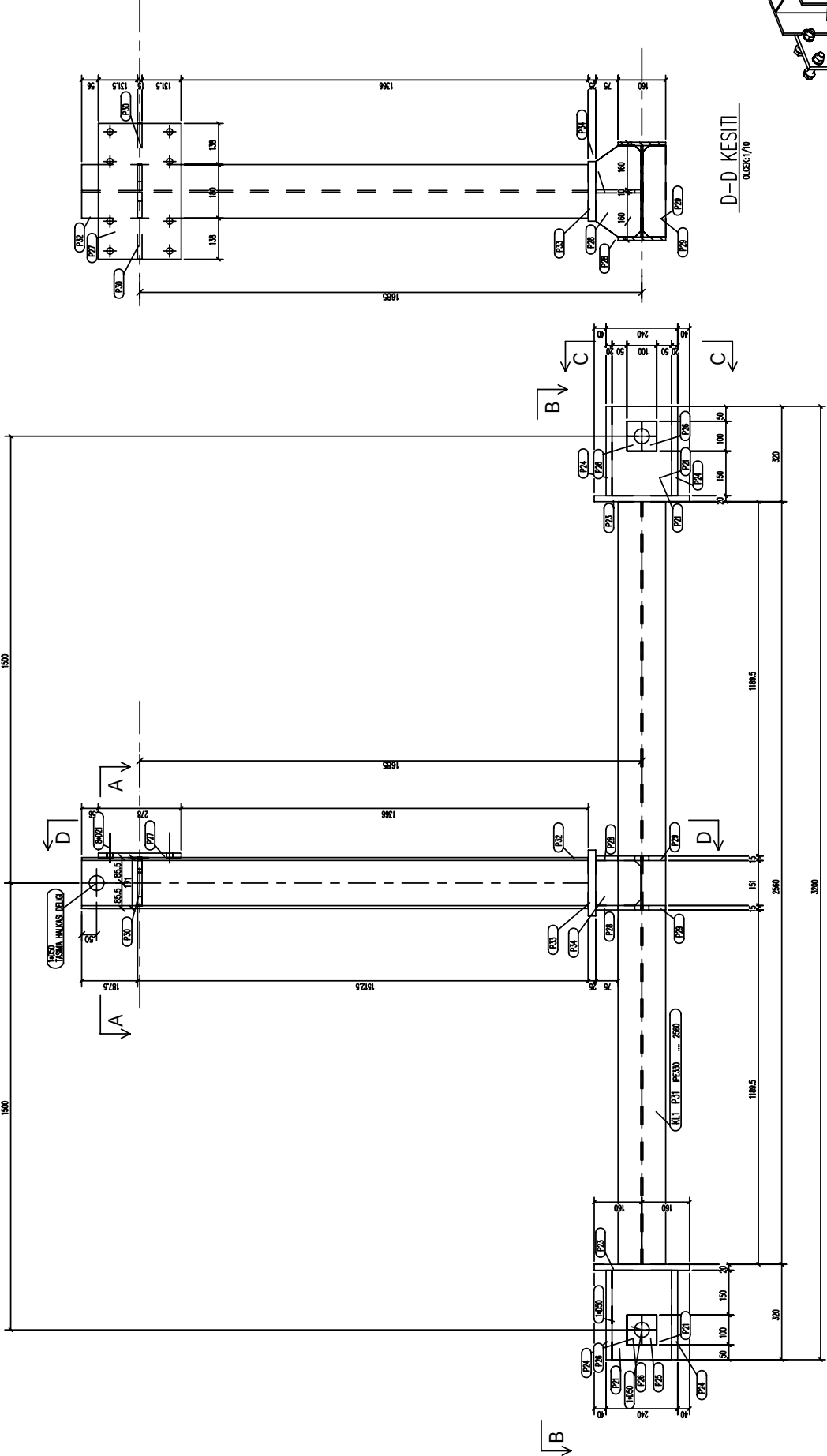
İNS. YÜK. MÜH. KEREM PEKER DOKTORA ARAŞTIRMA PROJESİ DENEME TIP ÇİZİMLERİ		MALZEME	1/10
		S275	A1-1
İzlen	K. PEKER	İmza	
Kontrol	N. YARDIMCI	Tarih	
Tarih		Kontrol	1
			2

K1.1 (1-DET) KOMPESİON MALZEME LİSTESİ					
MATERIAL LIST FOR ONE ASSEMBLY					
PC3 NO	ASSET NUMBER	TANIMI DEFINITION	MALZEME MATERIAL	BÖLÜM WEIGHT	TOPLAM TOTAL
PC1	4	PL1200/0	S275	34	327
PC2	2	PL1200/0	S275	20	322
PC3	4	PL1200/0	S275	11.3	45.2
PC4	8	PL1200/0	S275	1.6	12.8
PC5	1	PL1200/0	S275	456	14.9
PC6	2	PL1200/0	S275	95	10.9
PC7	2	PL1200/0	S275	28	5.5
PC8	2	PL1200/0	S275	43	8.6
PC9	1	PC300	S275	125.8	125.8
PC10	1	HEA100	S275	170	170
PC11	1	PL1200/0	S275	67	67
PC12	1	PL1200/0	S275	15	15

TOTAL MATERIAL LIST			
SM ASSEMBLY	DET NUMBER	WEIGHT KİLO (kg)	TOTAL AGIRLIK (kg)
K1.1	1	384.6	384.6

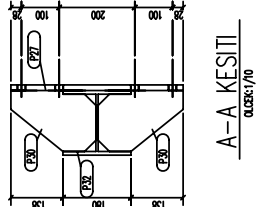
TOPLAM			
1	KOMPLE	384.6	

- * DELİKLER MATKAP, PLAZMA VEYA LAZER BENZERİ OLMALIDIR.
- * PARÇA KESİMLERİ PLAZMA VEYA LAZER BENZERİ OLMALIDIR.
- * P28 NOLU POZLAR KAYNAK YAPILIMADAN AYRICA HAZIRLANARAK YERİNDE MONTAJ SIRASINDA KAYNAKLANACAKTIR.
- * TÖM PARÇALAR VE ANA ELEMANLAR SA 2^{nci} KALİTEDE KÜMLANDIKTAN SONRA İMALAT YAPILACAKTIR.
- * TÖM BAĞANTILARDA AŞAĞIDA DETAYI VERİLEN ŞEKİLDE KAYNAK AĞZI HAZIRLIĞI YAPILMASI AZAMI ÖNEMLİDİR.

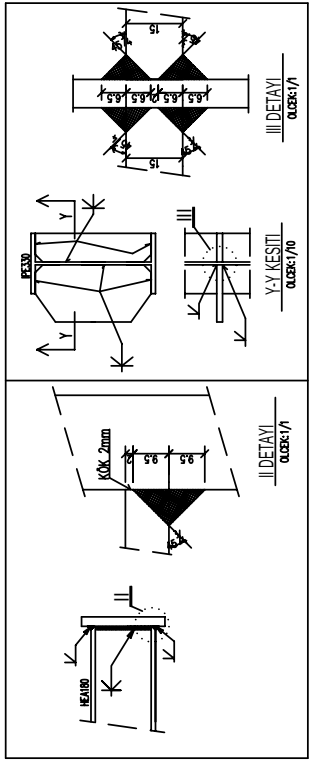
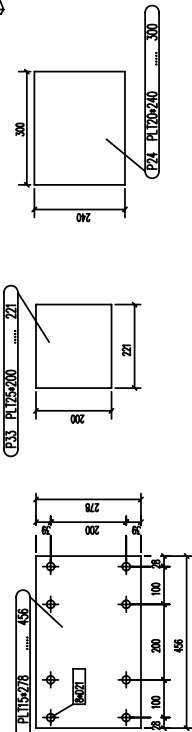


D-D KESİTİ
ÖLÇEK: 1/10

C-C KESİTİ
ÖLÇEK: 1/10



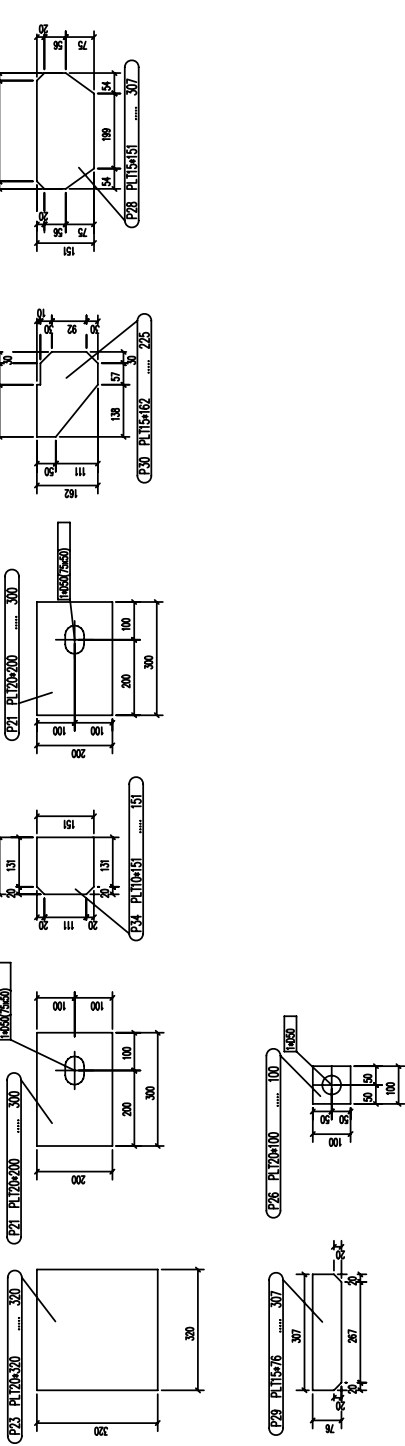
B-B KESİTİ
ÖLÇEK: 1/10



(HEA100) ALIN PLAKASI BRİLESİMİ

(PE300) BERKİTİME PLAKASI BRİLESİMİ

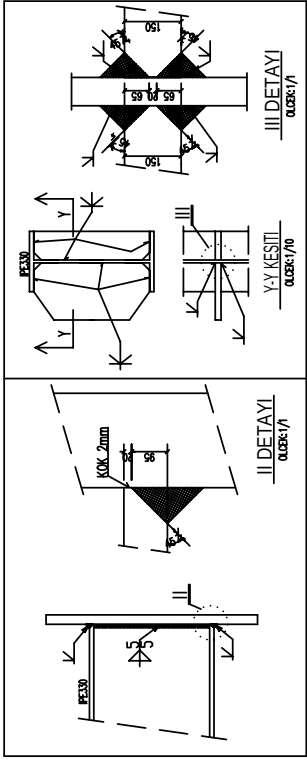
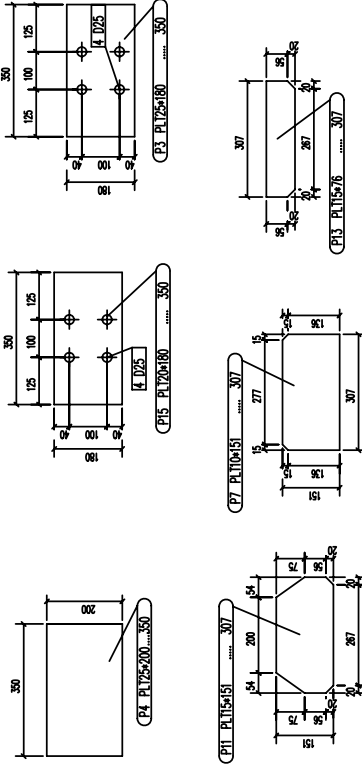
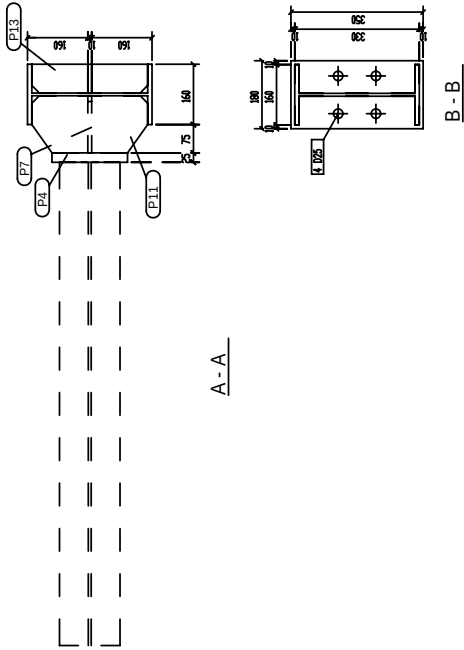
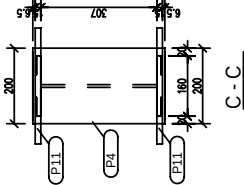
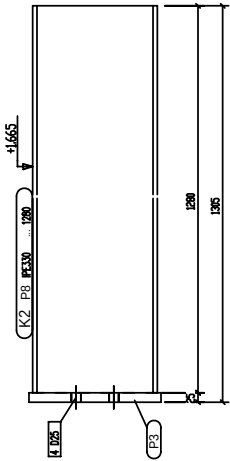
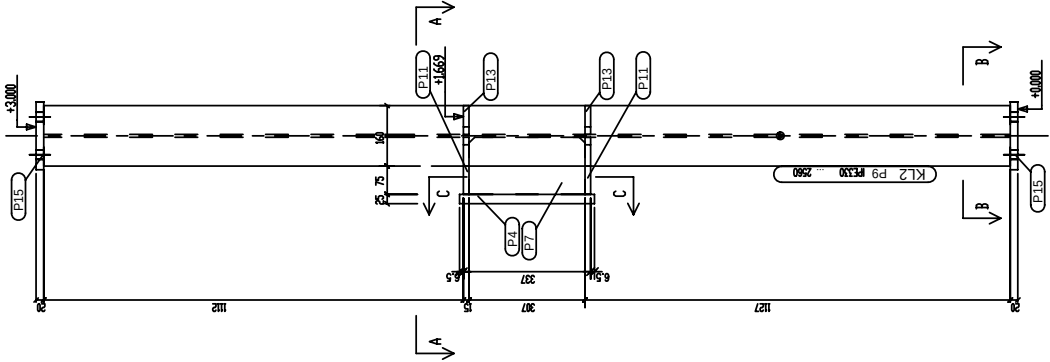
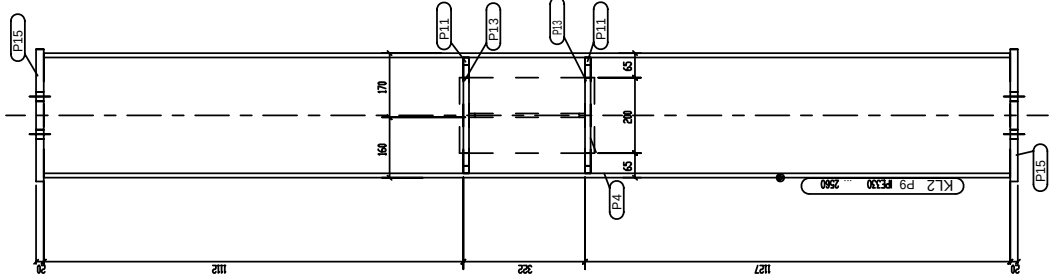
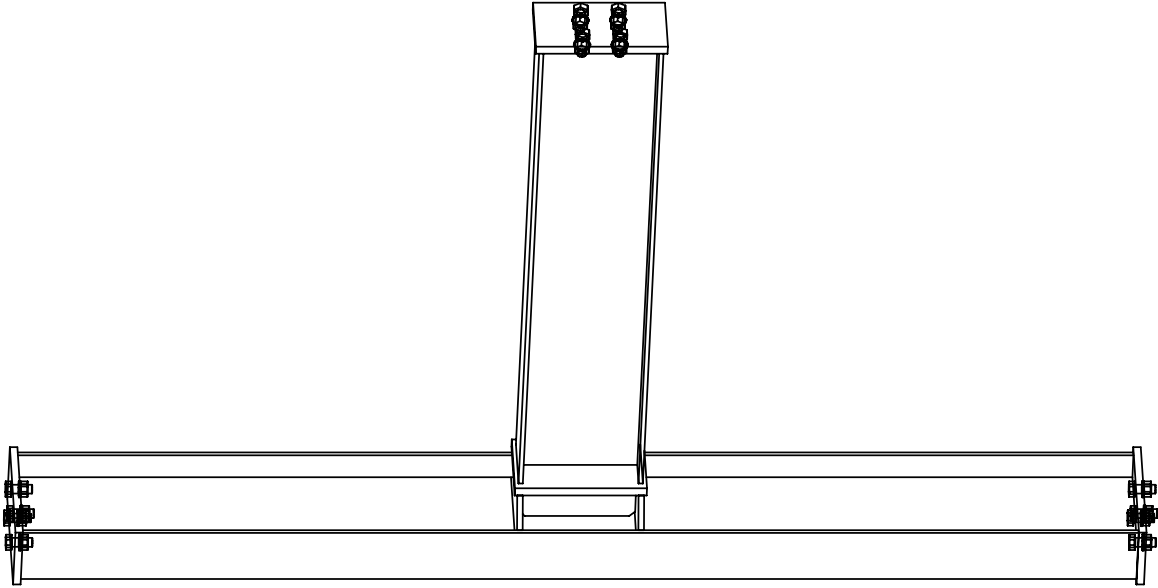
NOT: KAYNAĞIN TAM NÜFUZİYETİNE ÖZEN GÖSTERİLECEK.



MALZEME		ŞİŞE	1/10
S275		ŞİŞE	A3-1
İşlen	K. PEKER	İmza	
Kontrol	N.YARDIMCI	Tarih	
		Referans	1 2

İNŞ.YÜK.MÜH. KEREM PEKER
DOKTORA ARAŞTIRMA PROJESİ
DENEME TİP ÇİZİMLERİ

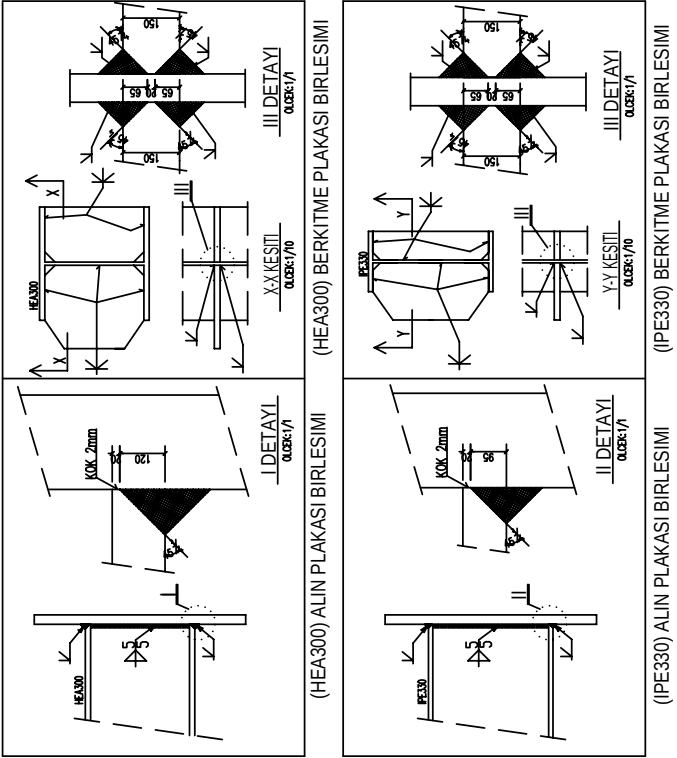
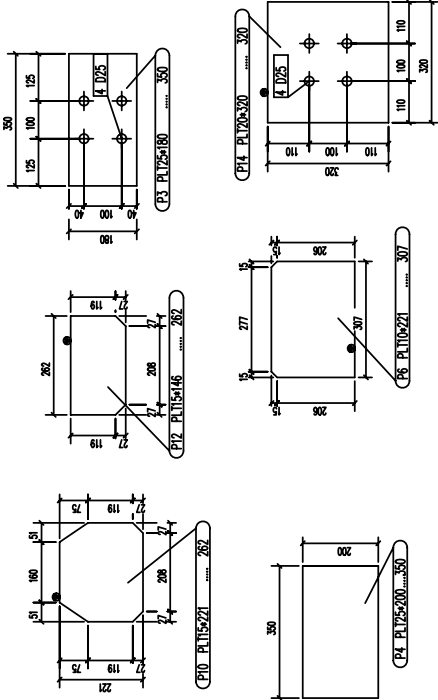
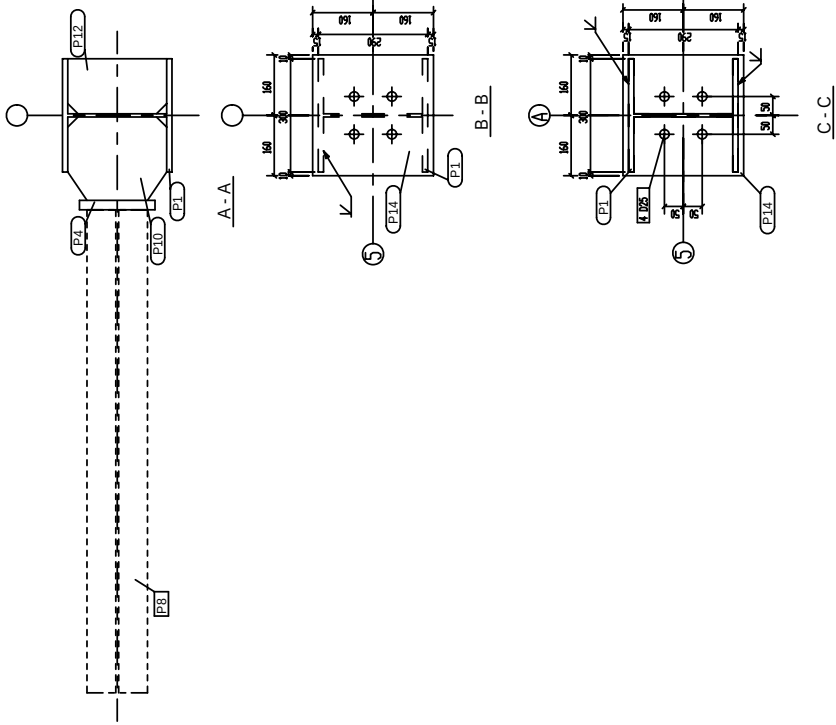
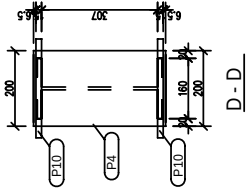
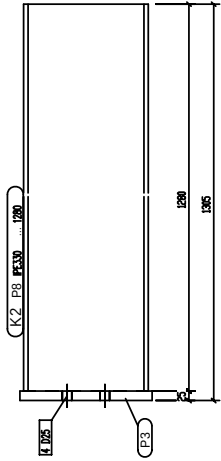
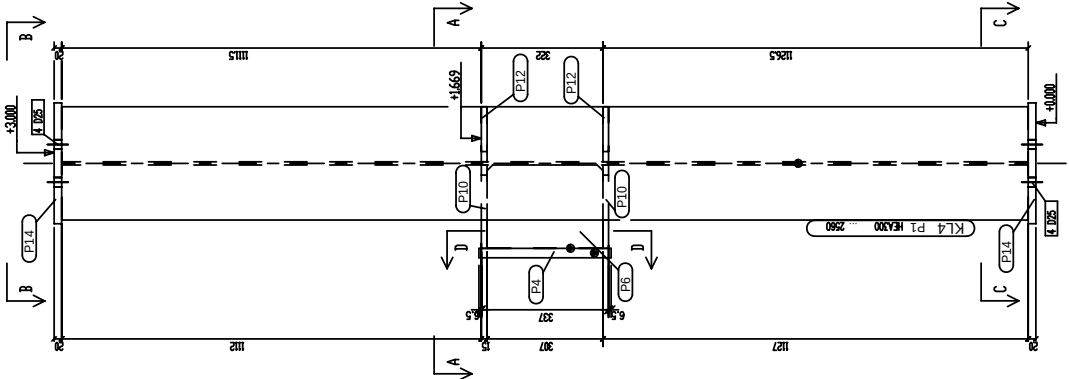
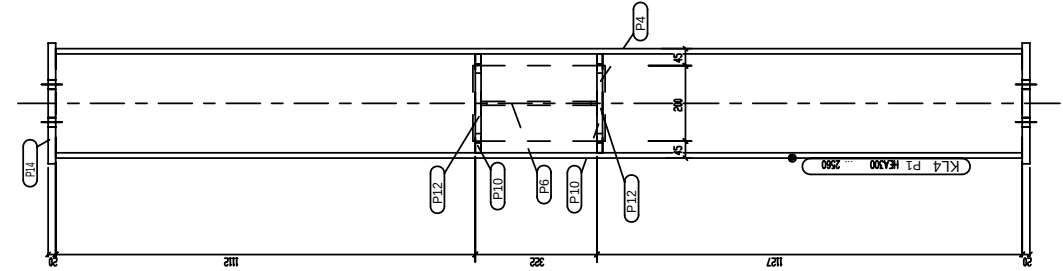
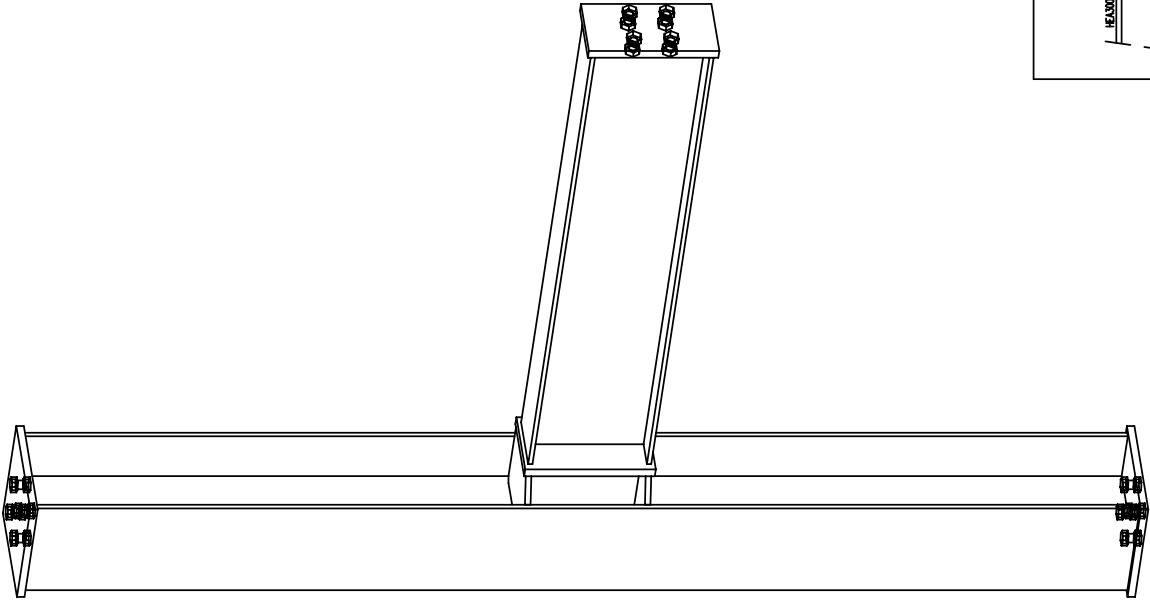
K2 (1 ADET) KOMPLES İÇİN MALZEME METRAJİ						
MATERIAL LIST FOR ONE ASSEMBLY						
POZ NO / POS NO	ADET / NUMBER	TANIMI / DEFINITION	MALZEME / MATERIAL	BOY / LENGTH	AGIRLIK / WEIGHT	TOPLAM / TOTAL
P3	1	PL125x180	ST37	350	12,4	12,4
P8	1	PE330	ST37	1280	62,9	62,9
KL2 (1 ADET) KOMPLES İÇİN MALZEME METRAJİ						
MATERIAL LIST FOR ONE ASSEMBLY						
POZ NO / POS NO	ADET / NUMBER	TANIMI / DEFINITION	MALZEME / MATERIAL	BOY / LENGTH	AGIRLIK / WEIGHT	TOPLAM / TOTAL
P4	1	PL125x200	ST37	350	13,7	13,7
P7	1	PL110x151	ST37	307	3,6	3,6
P8	1	PE330	ST37	2560	125,8	125,8
P11	2	PL115x151	ST37	307	5,5	10,9
P13	2	PL115x76	ST37	307	2,8	5,5
P15	2	PL120x180	ST37	350	9,9	19,8
TOPLAM:						254,6 Kg



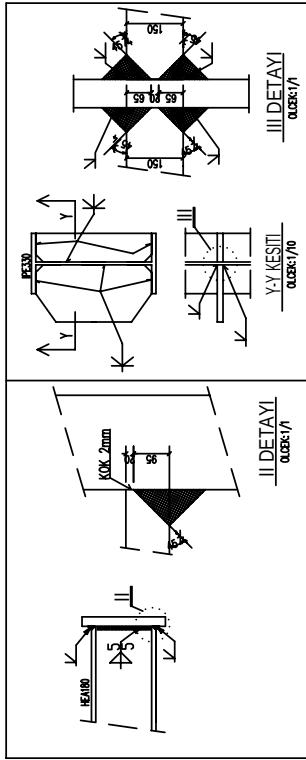
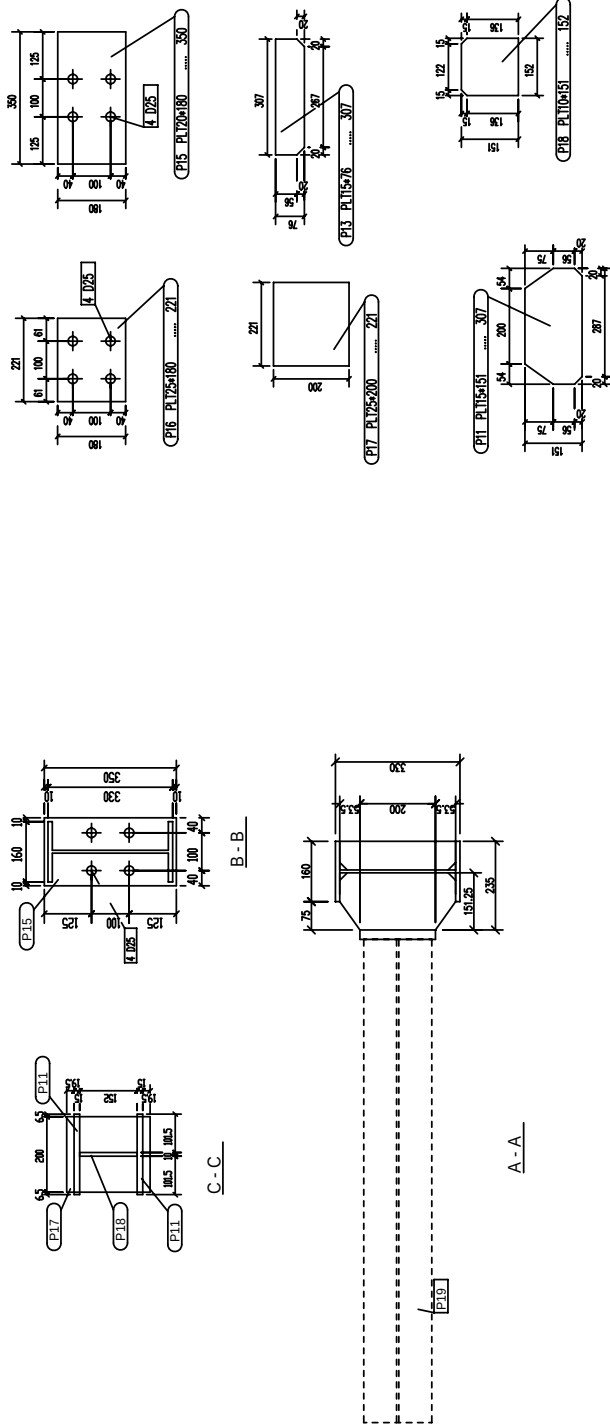
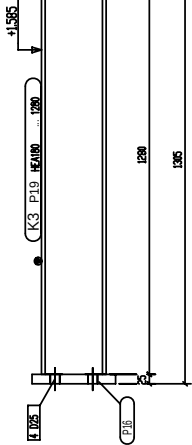
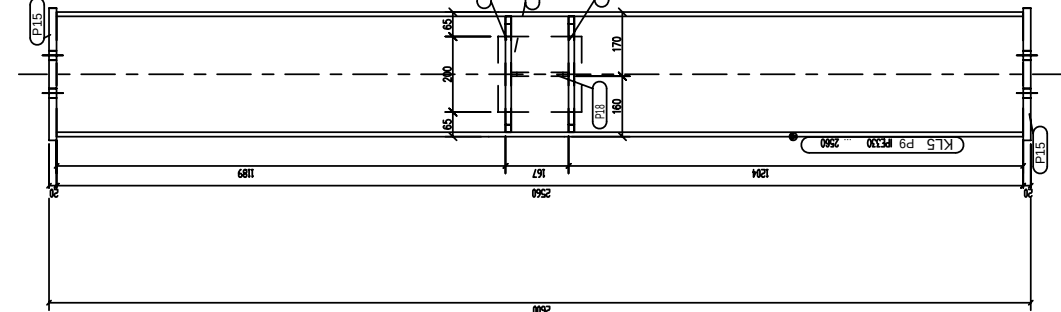
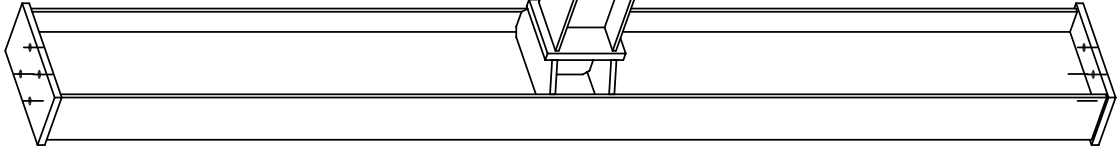
(PE330) ALIN PLAKASI BİRLİŞİMİ (PE330) BERKİTME PLAKASI BİRLİŞİMİ

İNS. YÜK. MÜH. KEREM PEKER		MALZEME	Şek	1/10
DOKTORA ARAŞTIRMA PROJESİ		St37 (S235)	deneme	B11
DENEME TİP ÇİZİMLERİ			proje no	
İzlen	K. PEKER	İmza		
Kontrol	N. YARDIMCI	Tarih		
			revizyon	1 2

(1 ADET) KOMPLES İÇİN MALZEME METRAJİ						
MATERIAL LIST FOR ONE ASSEMBLY						
POZ NO/ POS NO	ADET/ NUMBER	TANIMI/ DEFINITION	MALZEME/ MATERIAL	BOY/ LENGTH	AGIRLIK/ WEIGHT	TOPLAM/ TOTAL
P3	1	PL725x180	ST37	350	12.4	12.4
P8	1	PE330	ST37	1280	62.9	62.9
(1 ADET) KOMPLES İÇİN MALZEME METRAJİ						
MATERIAL LIST FOR ONE ASSEMBLY						
POZ NO/ POS NO	ADET/ NUMBER	TANIMI/ DEFINITION	MALZEME/ MATERIAL	BOY/ LENGTH	AGIRLIK/ WEIGHT	TOPLAM/ TOTAL
P1	1	HEA300	ST37	2560	227.1	227.1
P4	1	PL725x200	ST37	350	13.7	13.7
P6	1	PL100x221	ST37	307	5.3	5.3
P10	2	PL15x421	ST37	262	6.8	13.6
P12	2	PL15x146	ST37	262	4.5	9.0
P14	2	PL725x200	ST37	350	16.1	32.2
TOPLAM:.....						376.2 Kg



İNŞ.YÜK.MÜH. KEREM PEKER DOKTORA ARAŞTIRMA PROJESİ DENEME TİP ÇİZİMLERİ		MALZEME	Şek	1/10
		St37 (S235)	deneme tipi	B21
İzlen	K. PEKER	İmza		
Kontrol	N.YARDIMOĞ	İmza		
		İzlen	1	2
		Kontrol		



(HEA180) ALIN PLAKASI BIRLESIMI

(IPE330) BERKITME PLAKASI BIRLESIMI

İNŞ.YÜK.MÜH. KEREM PEKER				MALZEME	İstek	1/10
DOKTORA ARAŞTIRMA PROJESİ						
DENEME TIP ÇİZİMLERİ				St37 (S235)	deneme tipi	B31
Tüzeti	K. PEKER	İmza				
	kontrol	İN.YARDIMCI				
				revizyon		
				1	2	

B2 Kalite Kontrol Kayıtları

Kalite kontrol amacı ile yapılan çalışmada kullanılan formlar aşağıda Şekil B.7, Şekil B.8, Şekil B.10 olarak verilmiştir.

Geometri kontrolü, pozların kontrolü, kaynak kontrolleri ve uygunluk onayı için bu formlar tüm imalatlarda hazırlanmıştır.

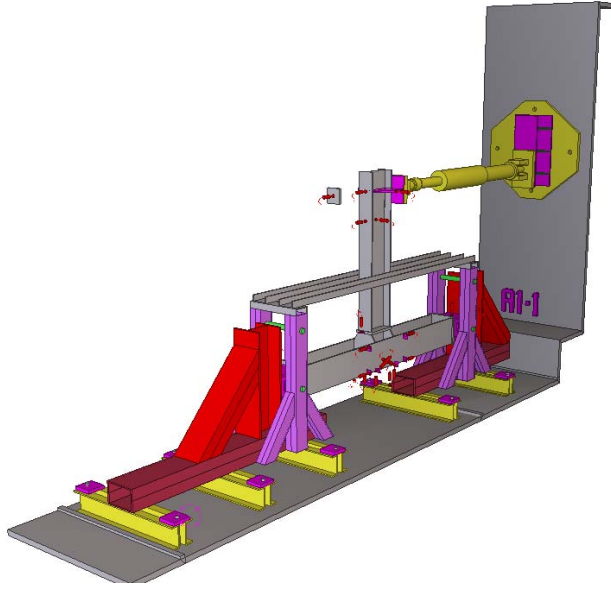
Kaynak kontrolleri öncelikle gözle yapılmış daha sonra Ultrason ile komple kaynaklar boyunca onay kontrolü yapılmış ve tam-nüfuziyet ve hatalar için kontrol edilmiştir.

Gerekli düzeltmeler yapılarak son kontrolden tam onay alınarak imal edilen numuneler laboratuara transfer edilmiştir.

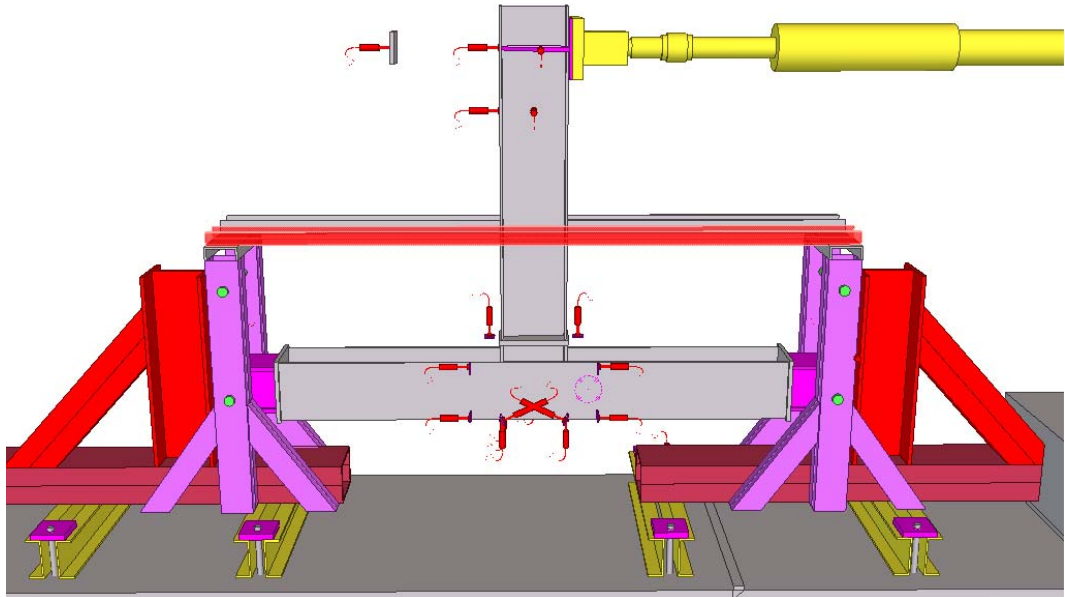
B3 Deney Düzeneği Detayları

Düzeneklere ait üç boyutlu görünüşler farklı tipler için ve her numunedeki görünüşleri ile aşağıda verilmiştir.

B3-1 A1-1 Numunesi düzeneği

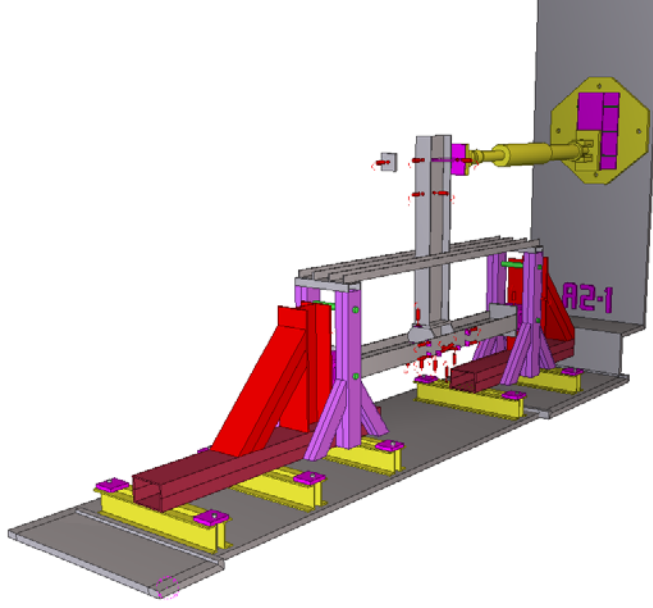


Şekil B.10 : A1-1 Düzeneği 3-boyutlu şeması.

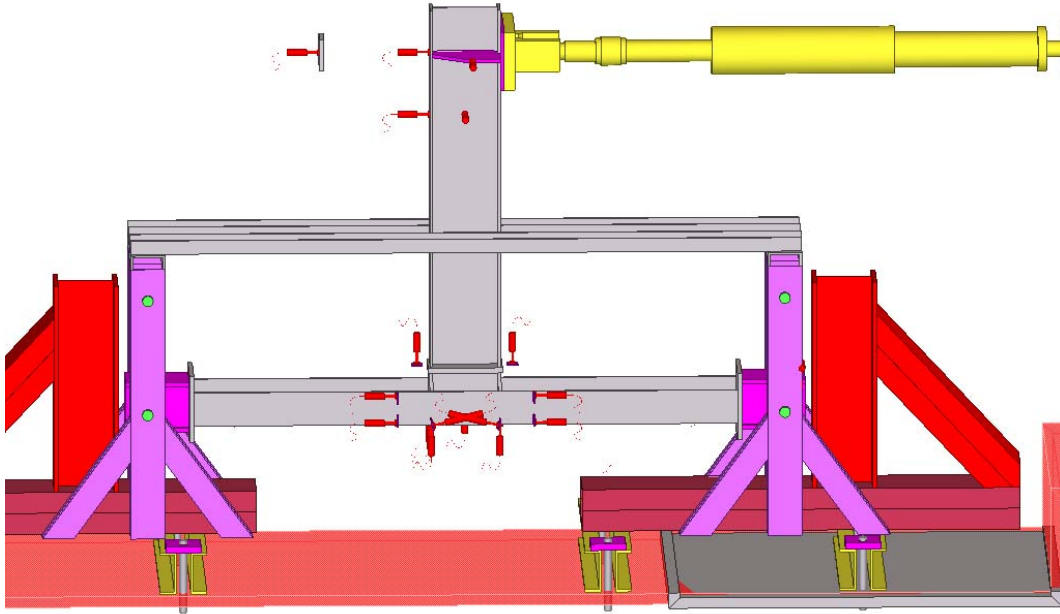


Şekil B.11 : A1-1 Düzeneği yan görünüşü.

B3-2 A2-1 Numunesi düzeneği

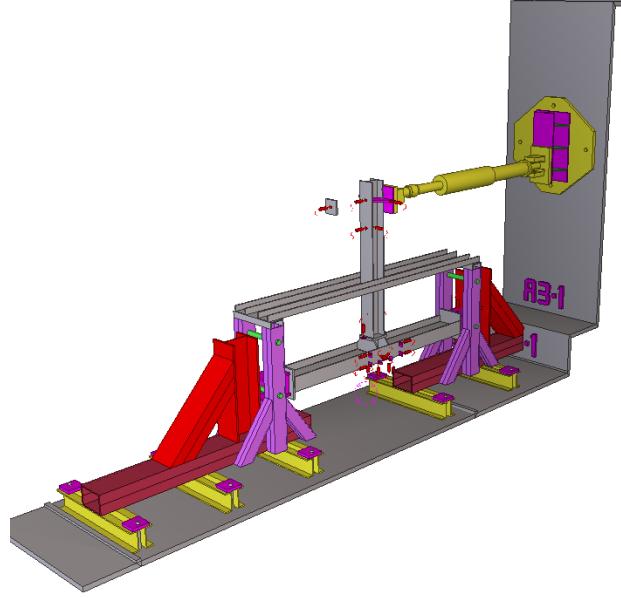


Şekil B.12 : A2-1 Düzeneği 3-boyutlu şeması.

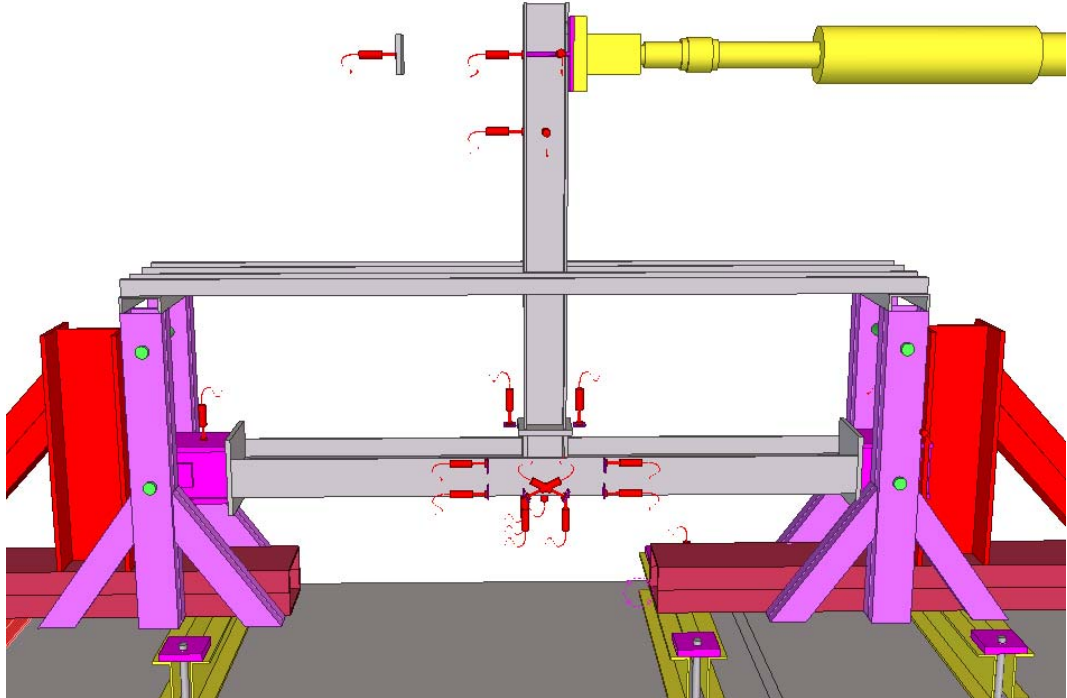


Şekil B.13 : A2-1 Düzeneği yan görünüşü.

B3-3 A3-1 Numunesi düzeneği

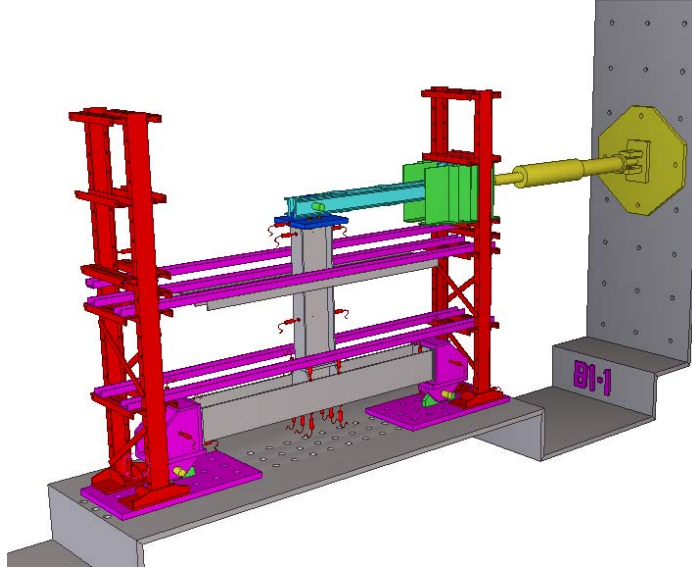


Şekil B.14 : A3-1 Düzeneği 3-boyutlu şeması.

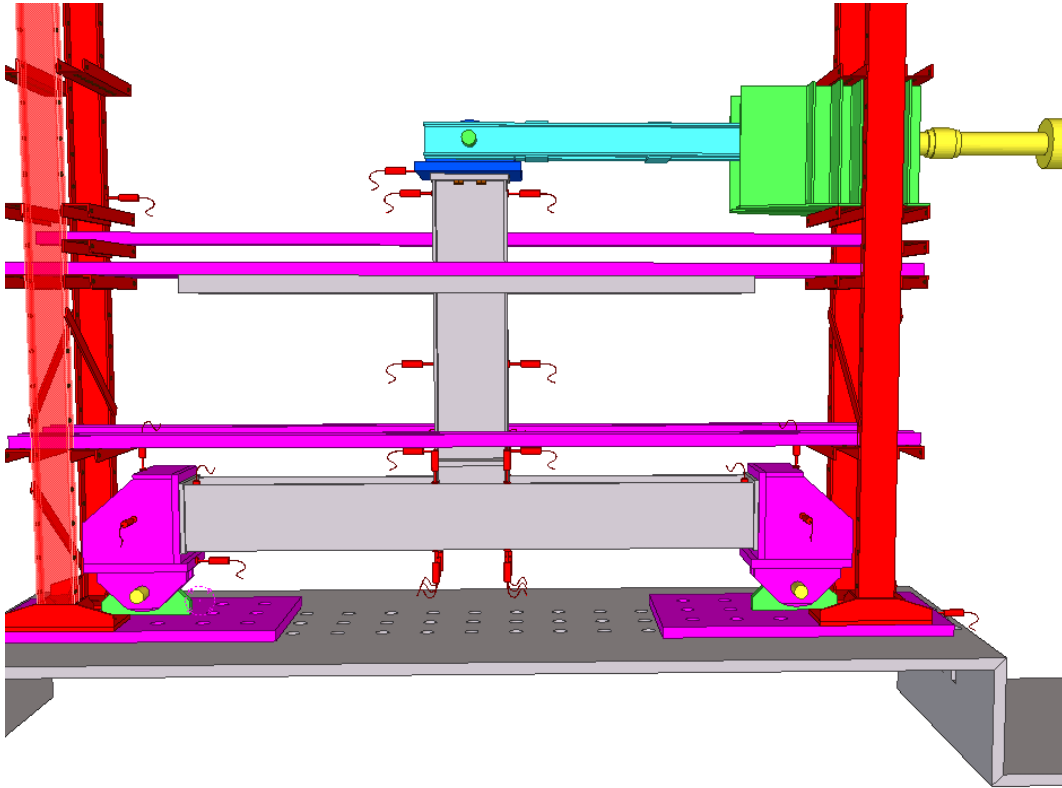


Şekil B.15 : A3-1 Düzeneği yan görünüşü.

B3-4 B1-1 Numunesi düzeneği

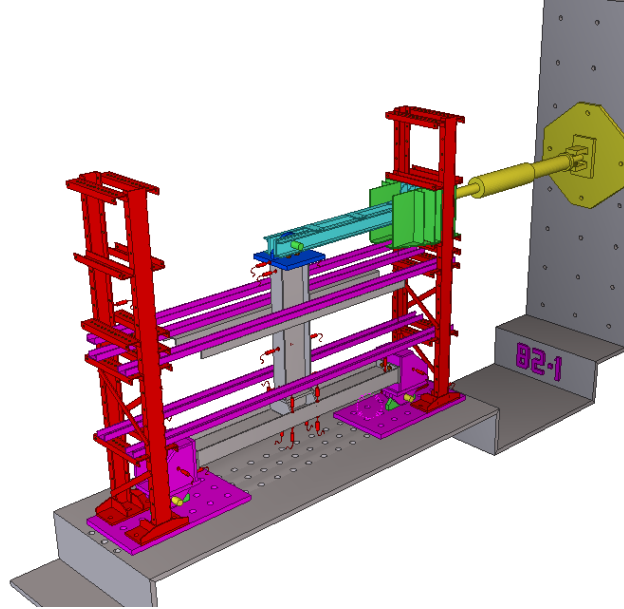


Şekil B.16 : B1-1 Düzeneği 3-boyutlu şeması.

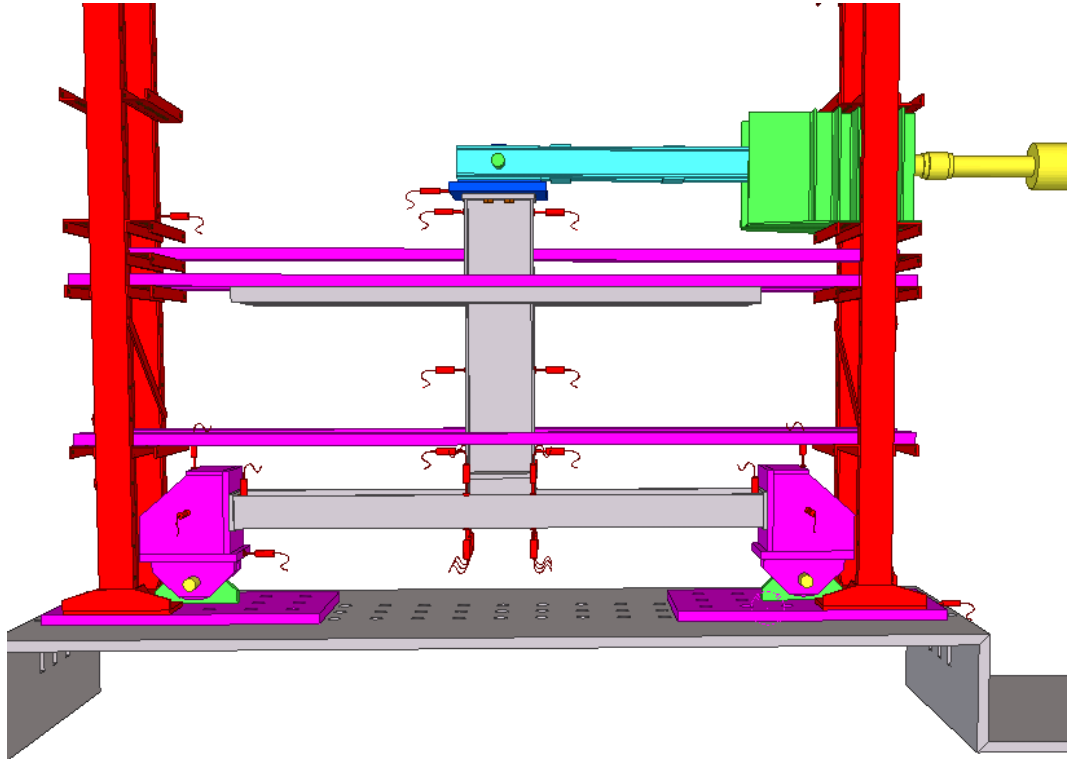


Şekil B.17 : B1-1 Düzeneği yan görünüşü.

B3-5 B2-1 Numunesi düzeneği

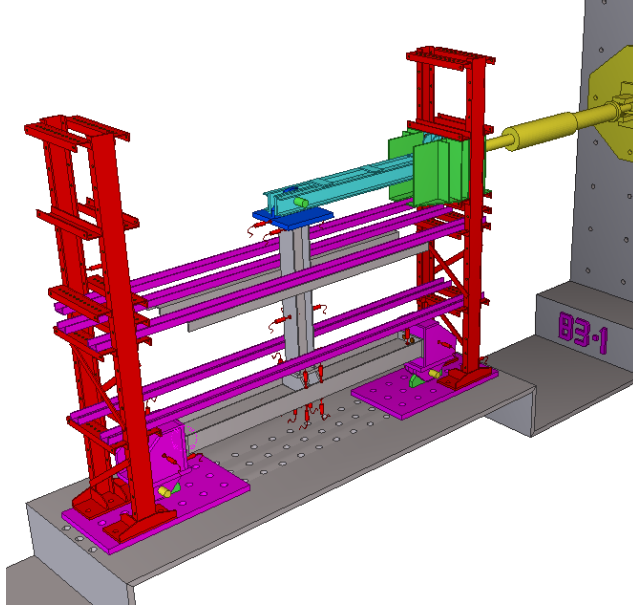


Şekil B.18 : B2-1 Düzeneği 3-boyutlu şeması.

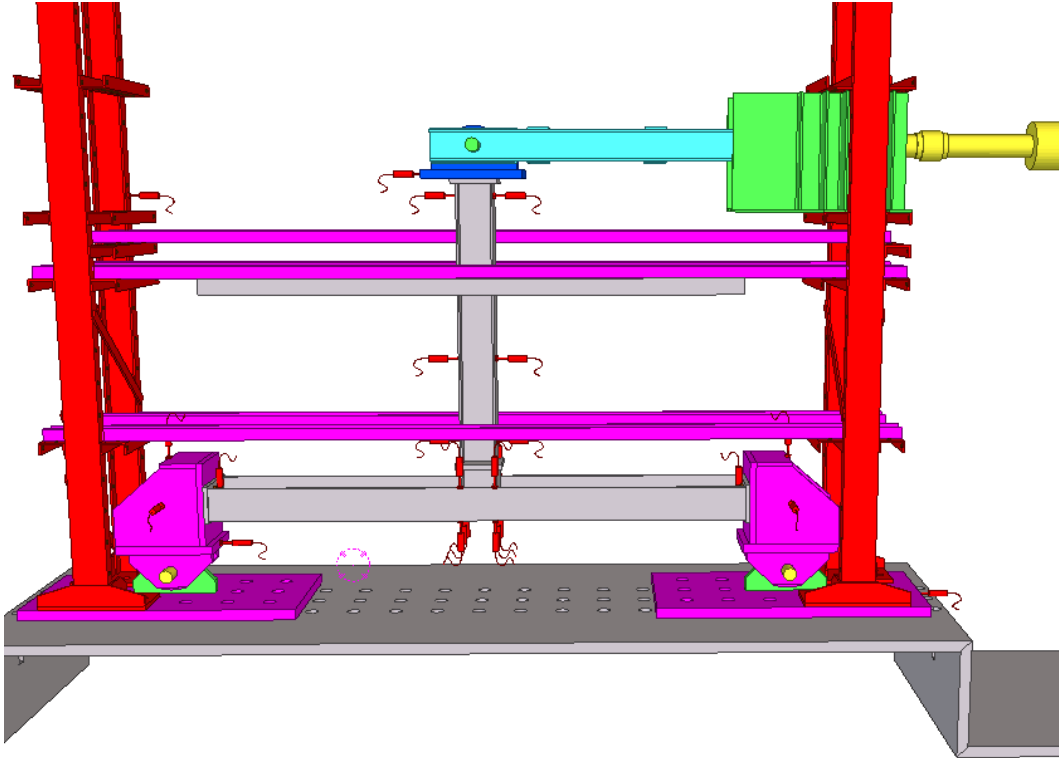


Şekil B.19 : B2-1 Düzeneği yan görünüşü.

B3-6 B3-1 Numunesi düzeneği



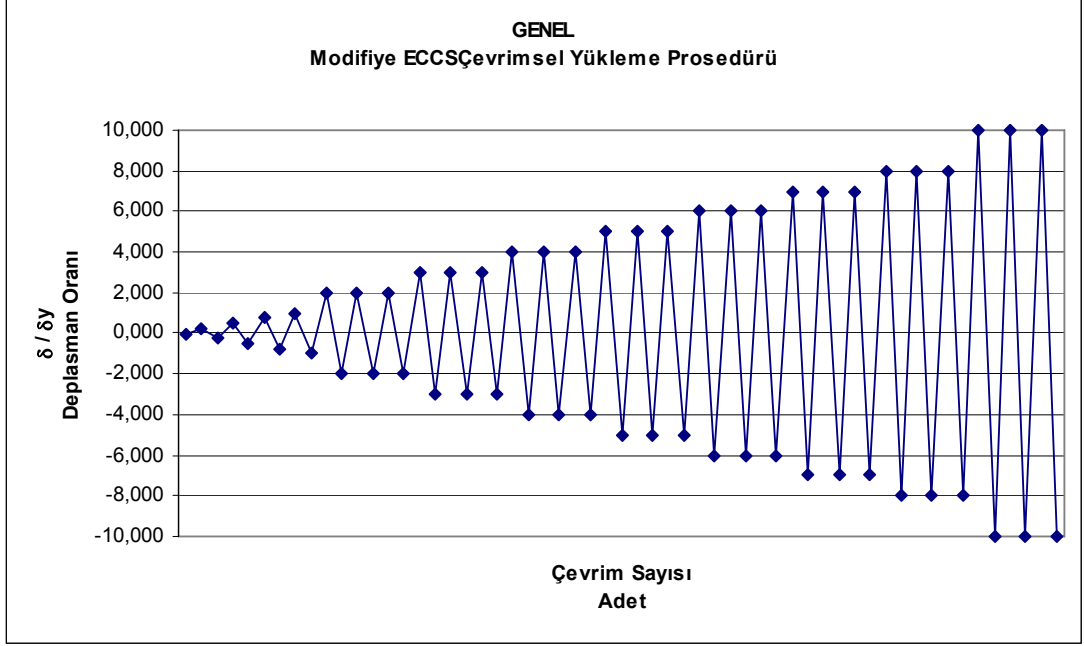
Şekil B.20 : B3-1 Düzeneği 3-boyutlu şeması.



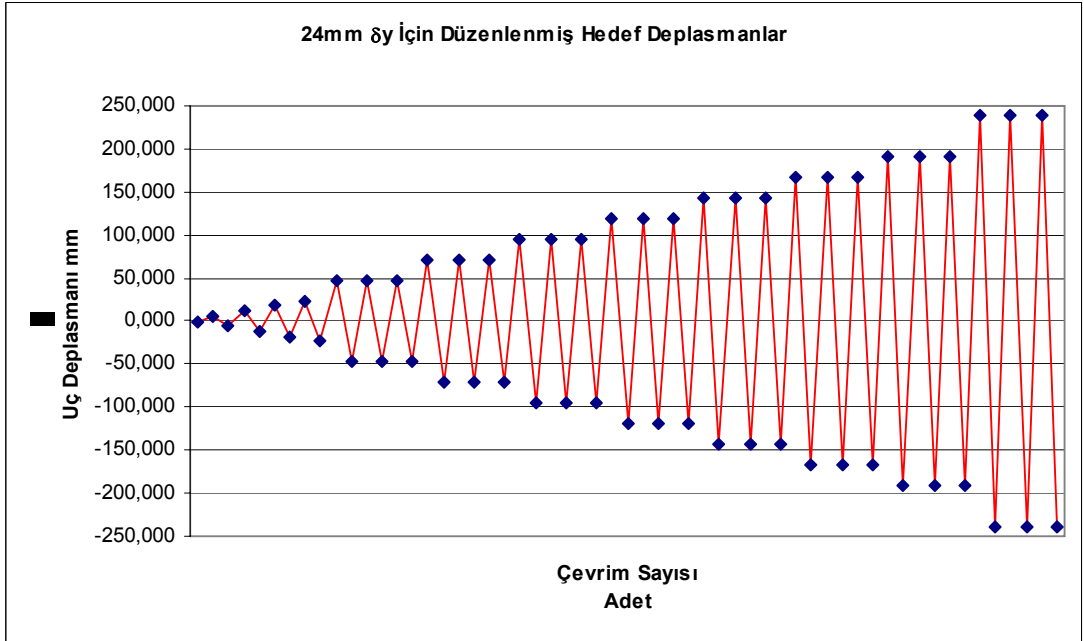
Şekil B.21 : B3-1 Düzeneği yan görünüşü.

B4 Çevrim Tanımları

ECCS tarafından önerilen ve birleşimler için yürütülen deneylerde sık olarak kullanılan çevrim adetleri ve genlikleri aşağıda Şekil B.19 olarak verilmiş ve 24mm akma tepe yer değiştirmesine karşılık gelen hali Şekil B.20 olarak verilmiştir.



Şekil B.22 : Modifiye ECCS çevrim genlikleri.



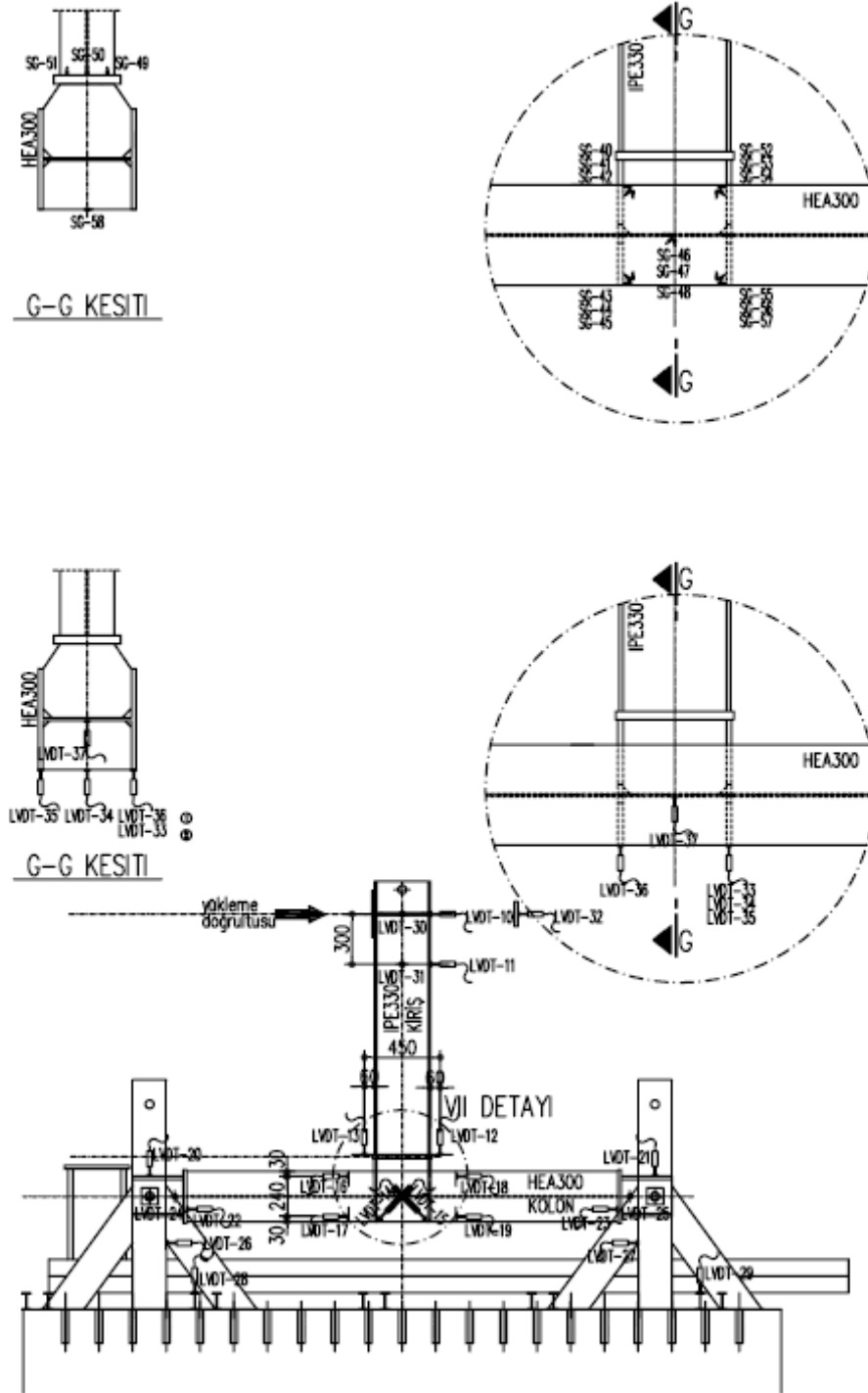
Şekil B.23 : 24mm akma yer değiştirmesi için hesaplanan çevrim genlikleri.

Çizelge B.1 : Hesaplanan genlik değerleri.

dpl =	24	mm	5,000	120,000	mm
			-5,000	-120,000	mm
	Hedef Yer				
<u>Vy</u>	Değiştirme		5,000	120,000	mm
0,000	0,000	mm	-5,000	-120,000	mm
0,250	6,000	mm	5,000	120,000	mm
-0,250	-6,000	mm	-5,000	-120,000	mm
0,500	12,000	mm	6,000	144,000	mm
-0,500	-12,000	mm	-6,000	-144,000	mm
0,750	18,000	mm	6,000	144,000	mm
-0,750	-18,000	mm	-6,000	-144,000	mm
1,000	24,000	mm	6,000	144,000	mm
-1,000	-24,000	mm	-6,000	-144,000	mm
2,000	48,000	mm	7,000	168,000	mm
-2,000	-48,000	mm	-7,000	-168,000	mm
2,000	48,000	mm	7,000	168,000	mm
-2,000	-48,000	mm	-7,000	-168,000	mm
2,000	48,000	mm	7,000	168,000	mm
-2,000	-48,000	mm	-7,000	-168,000	mm
3,000	72,000	mm	8,000	192,000	mm
-3,000	-72,000	mm	-8,000	-192,000	mm
3,000	72,000	mm	8,000	192,000	mm
-3,000	-72,000	mm	-8,000	-192,000	mm
3,000	72,000	mm	8,000	192,000	mm
-3,000	-72,000	mm	-8,000	-192,000	mm
4,000	96,000	mm	10,000	240,000	mm
-4,000	-96,000	mm	-10,000	-240,000	mm
4,000	96,000	mm	10,000	240,000	mm
-4,000	-96,000	mm	-10,000	-240,000	mm
4,000	96,000	mm	10,000	240,000	mm
-4,000	-96,000	mm	-10,000	-240,000	mm

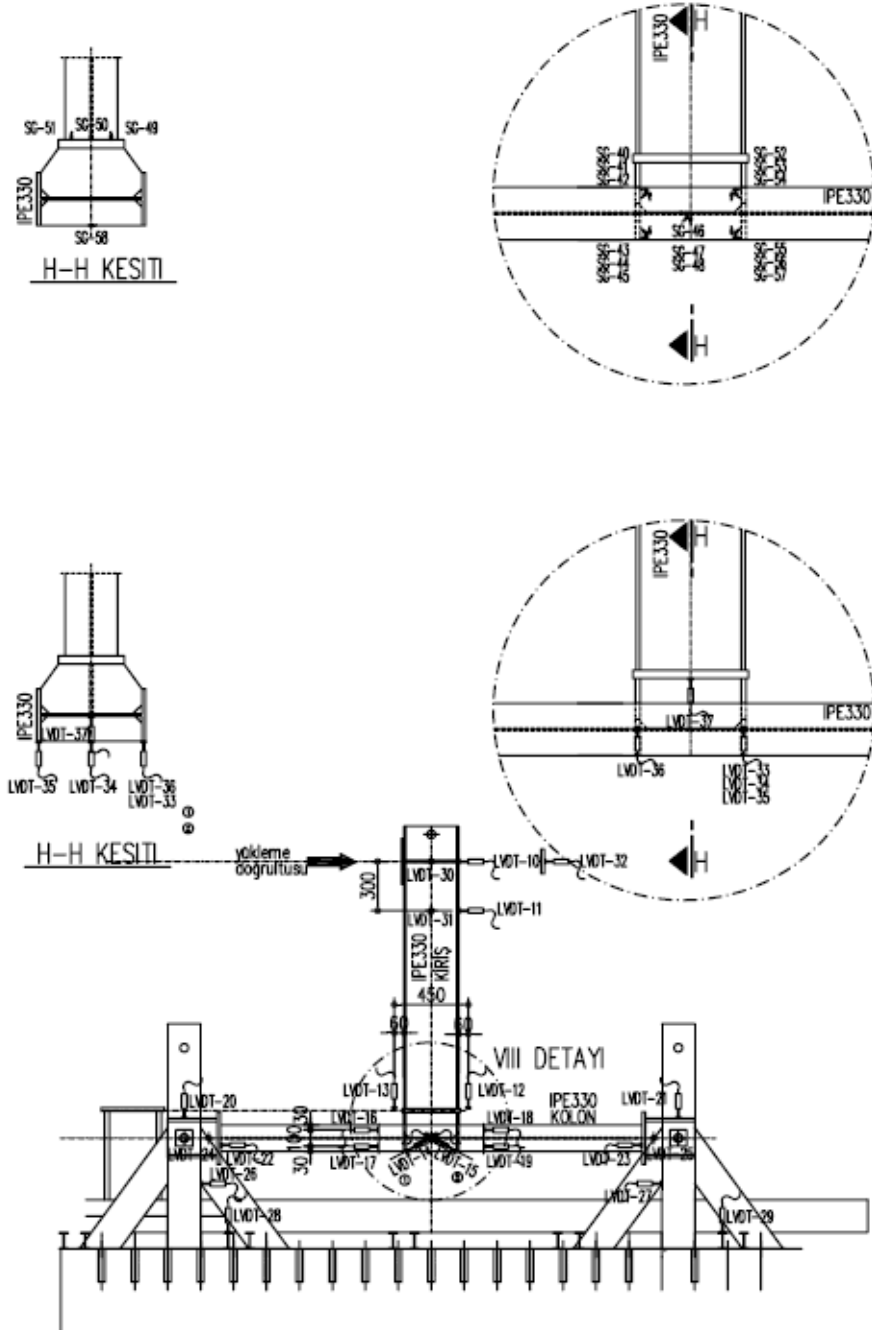
B5 Kayıt Alınan Noktaların Detayları

B5.1 A1-1 Deneyi



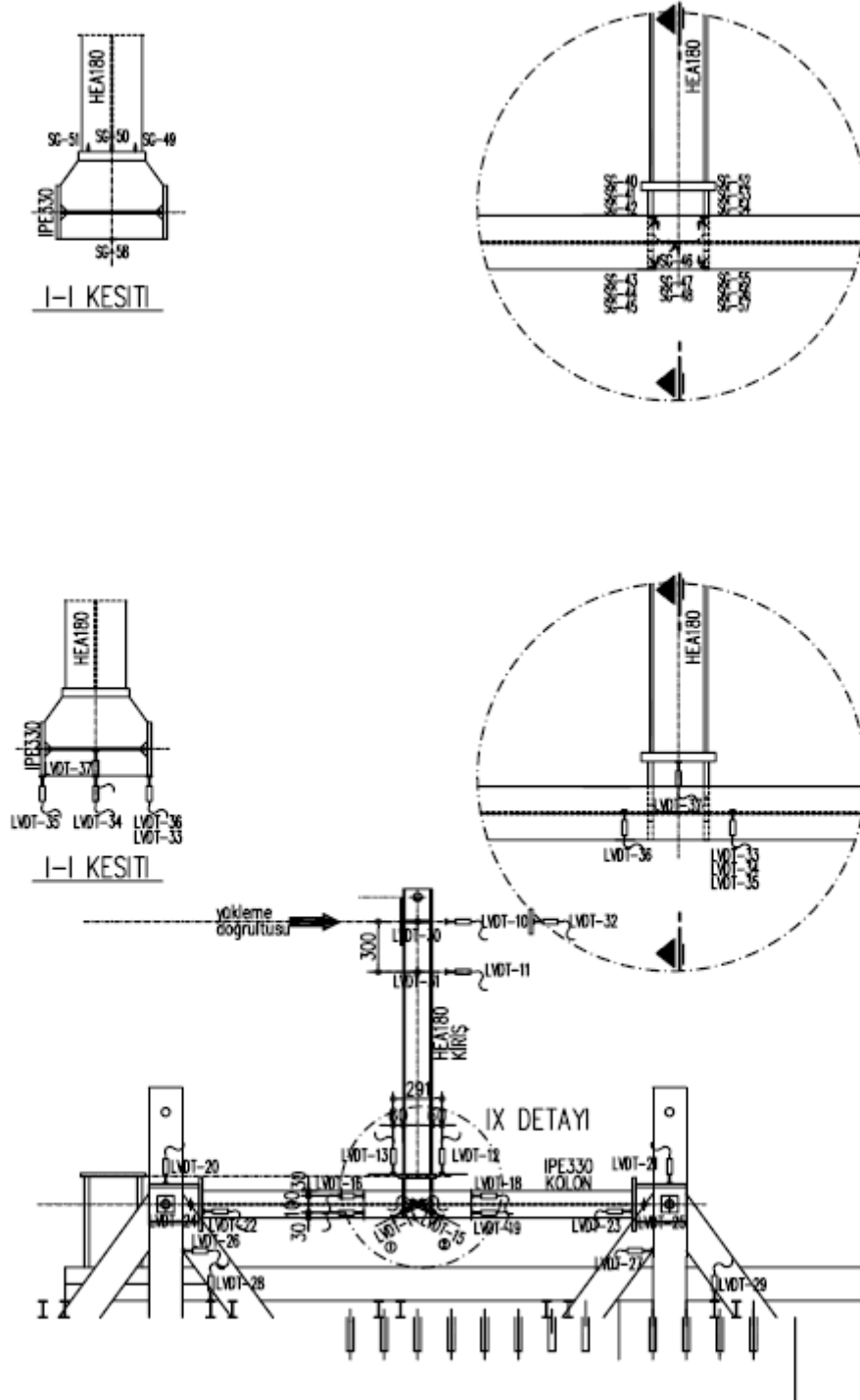
Şekil B.24 : A1-1 Deneyi veri kayıt detayları.

B5.2 A2-1 Deneyi



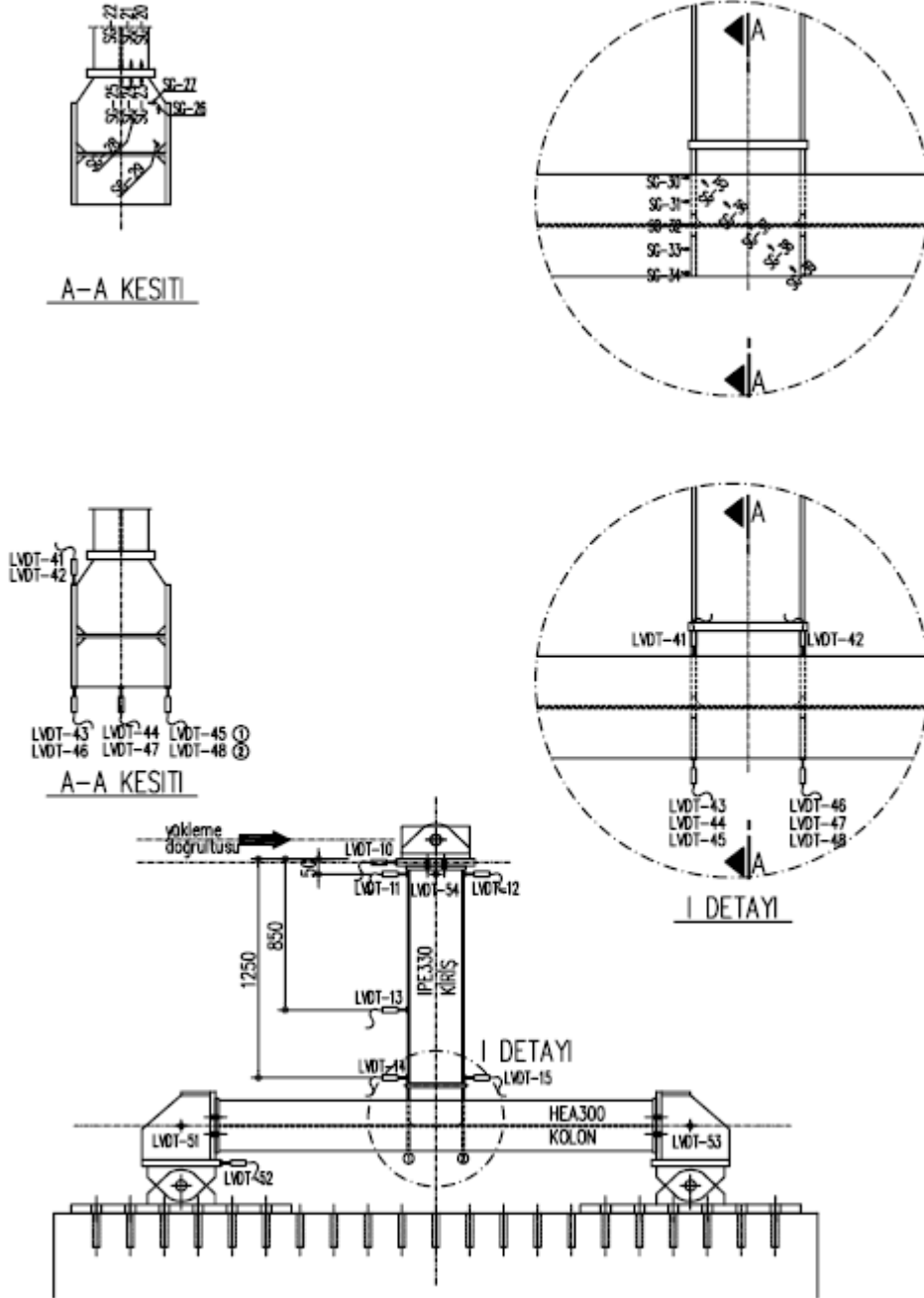
Şekil B.25 : A2-1 Deneyi veri kayıt detayları.

B5.3 A3-1 Deneyi



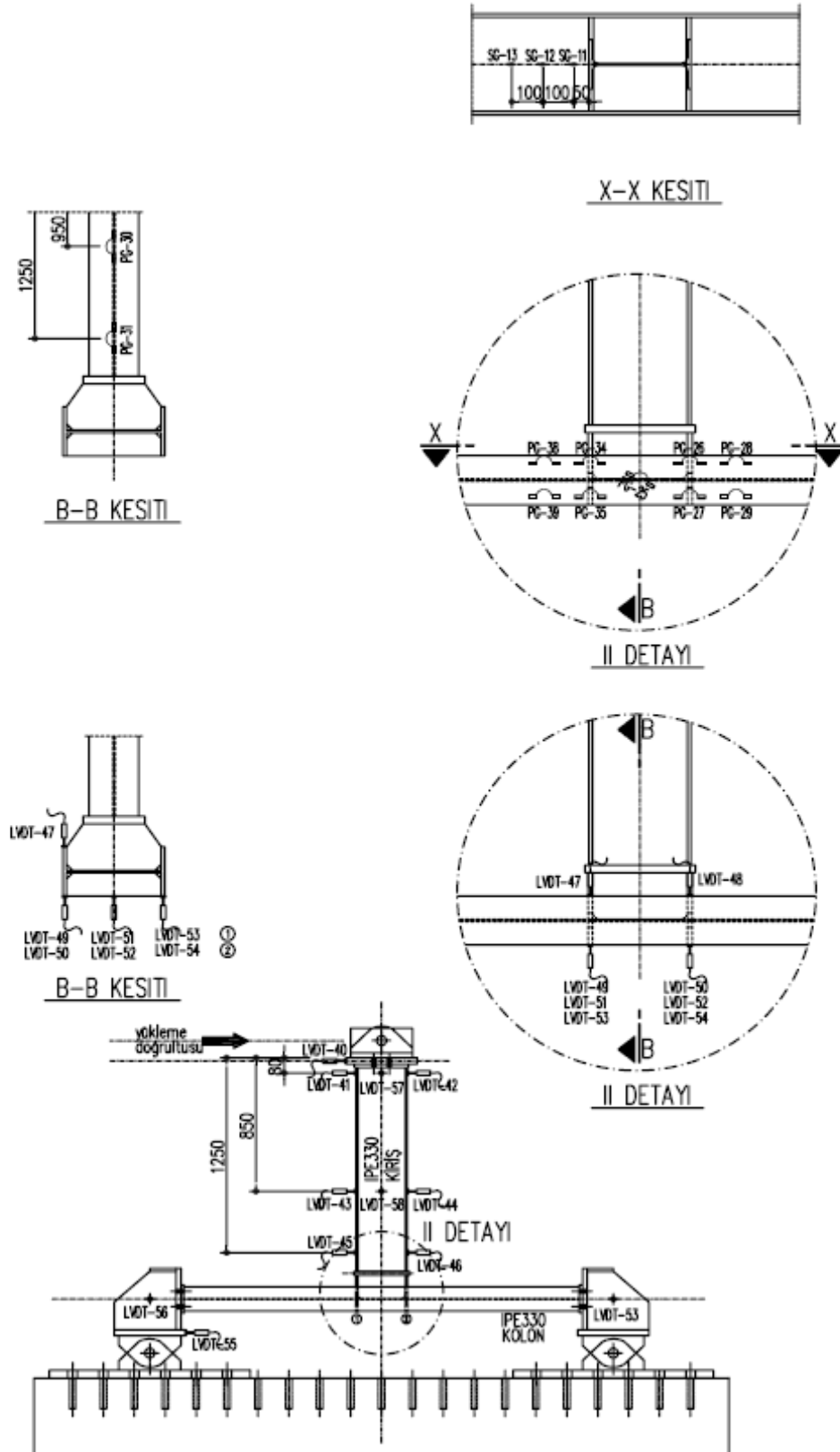
Şekil B.26 : A3-1 Deneyi veri kayıt detayları.

B5.4 B1-1 Deneyi



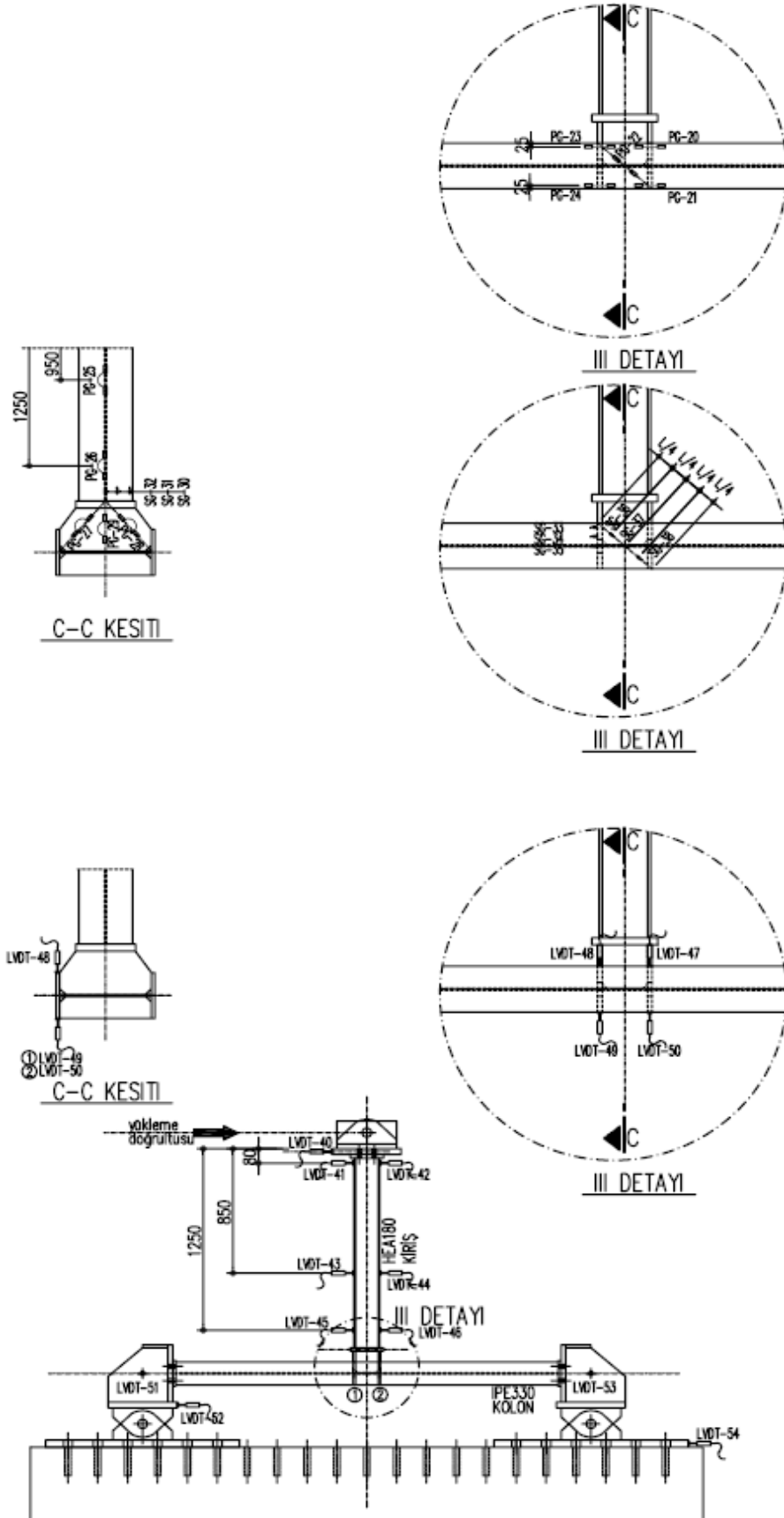
Şekil B.27 : B1-1 Deneyi veri kayıt detayları.

B5.5 B2-1 Deneyi



Şekil B.28 : B2-1 Deneyi veri kayıt detayları.

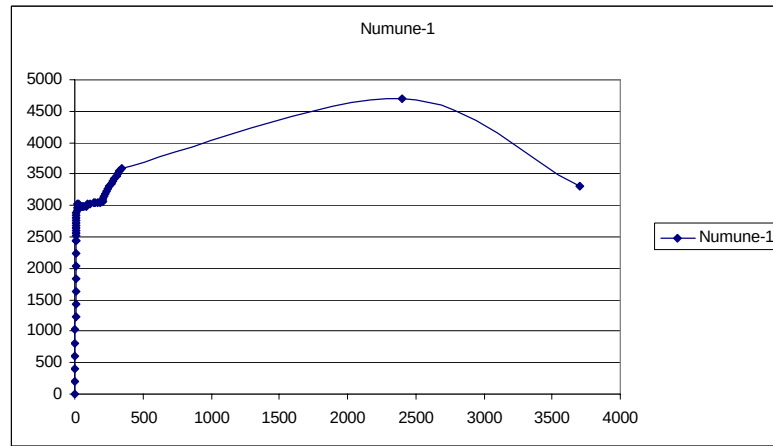
B5.6 B3-1 Deneyi



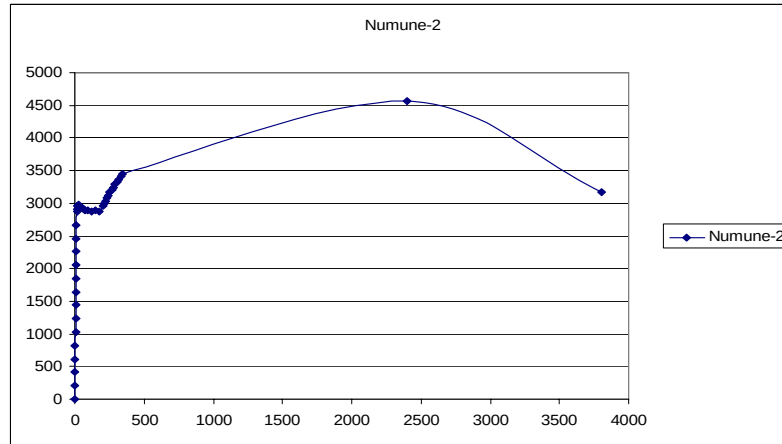
Şekil B.29 : B3-1 Deneyi veri kayıt detayları.

EK C

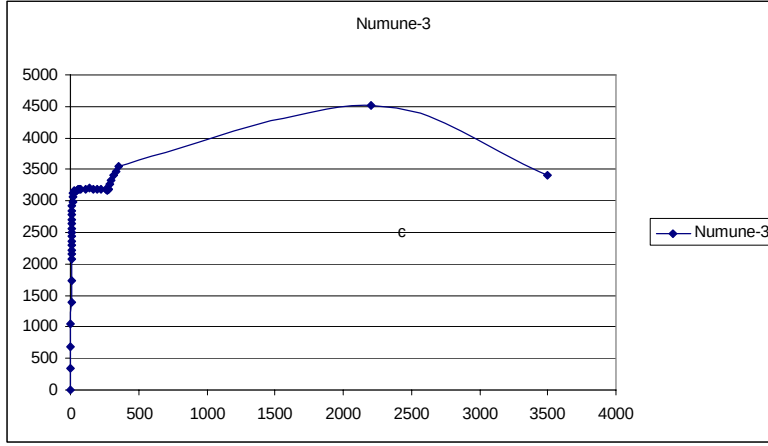
Tüm malzeme numuneleri için (15 numune) elde edilen gerilme şekil değiştirme eğrileri aşağıda verilmiştir.



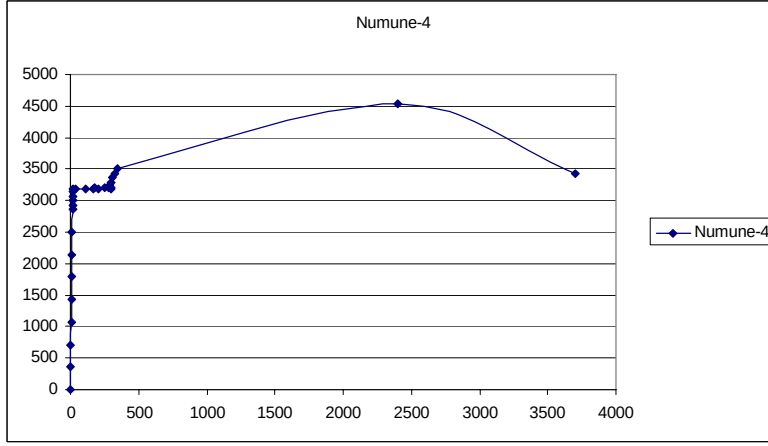
Şekil C.1 : 1 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.



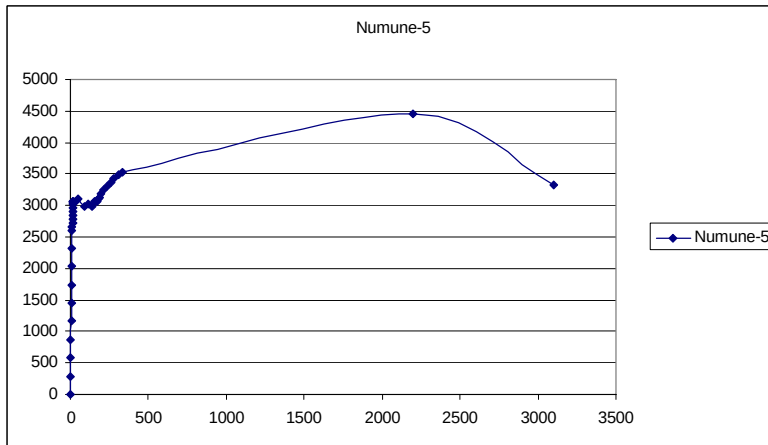
Şekil C.2 : 2 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.



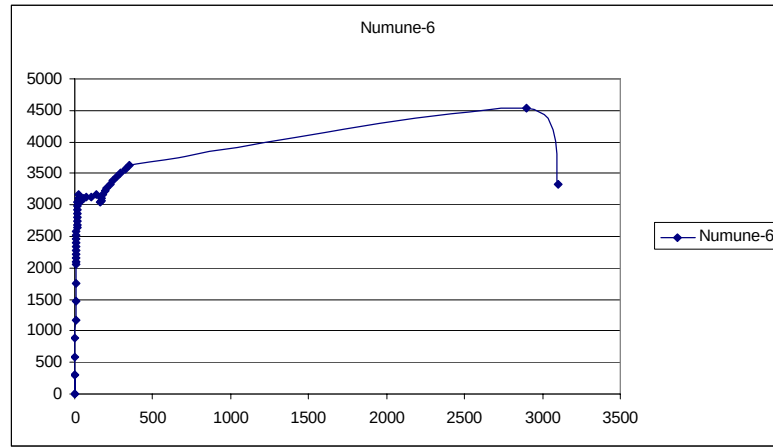
Şekil C.3 : 3 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.



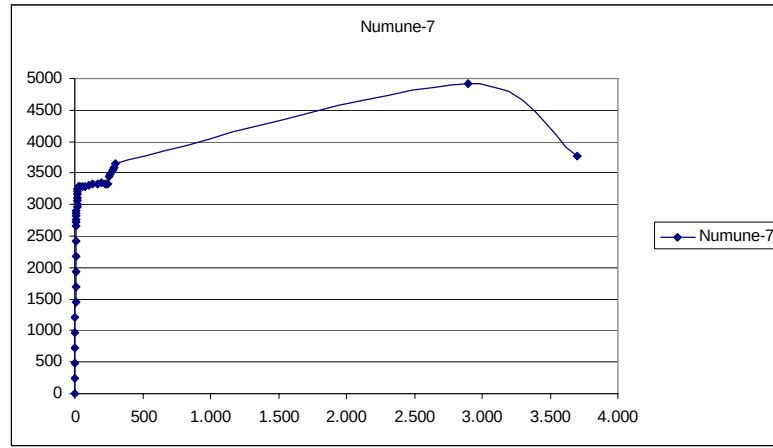
Şekil C.4 : 4 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.



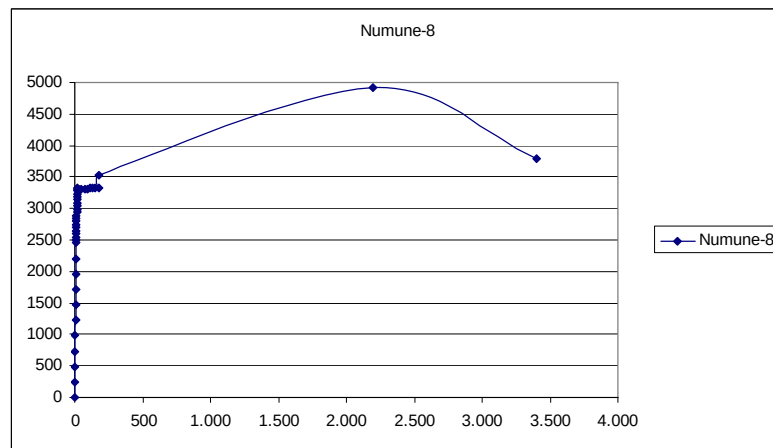
Şekil C.5 : 5 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.



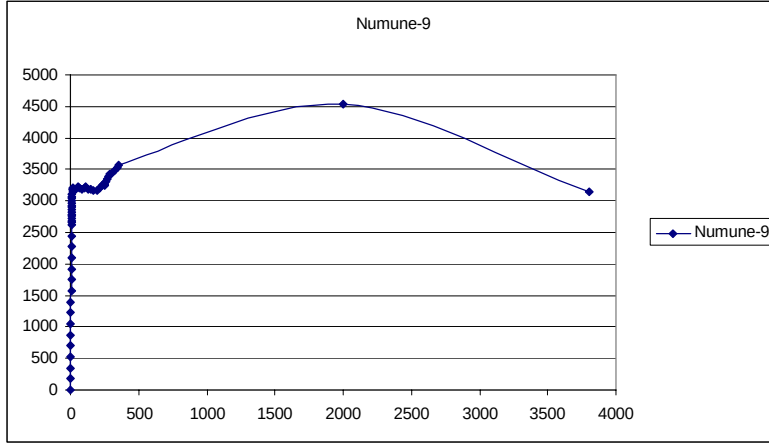
Şekil C.6 : 6 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.



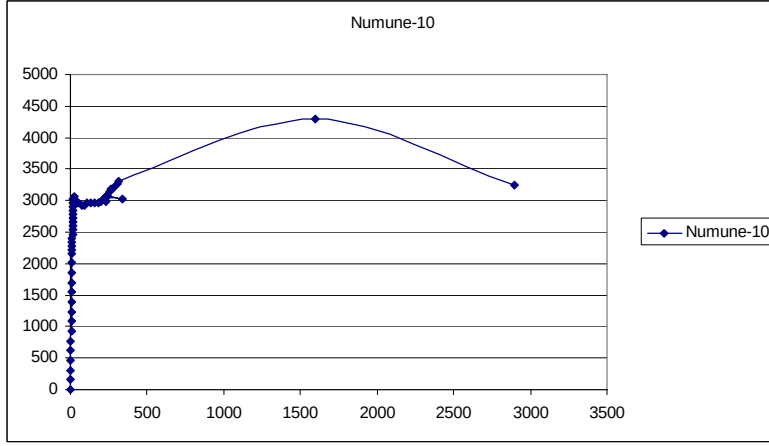
Şekil C.7 : 7 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.



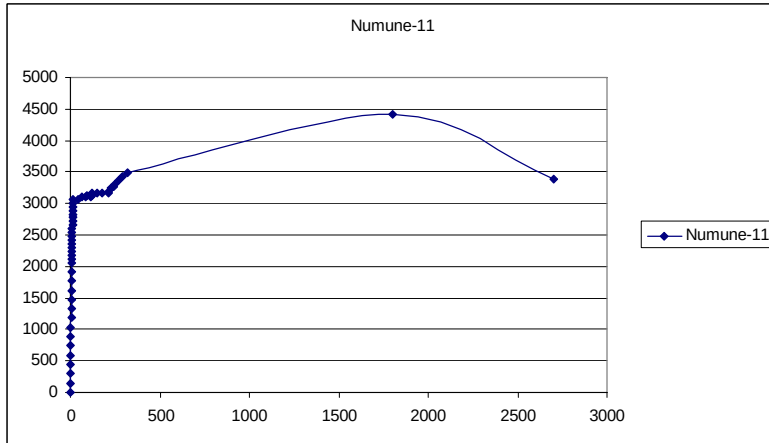
Şekil C.8 : 8 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.



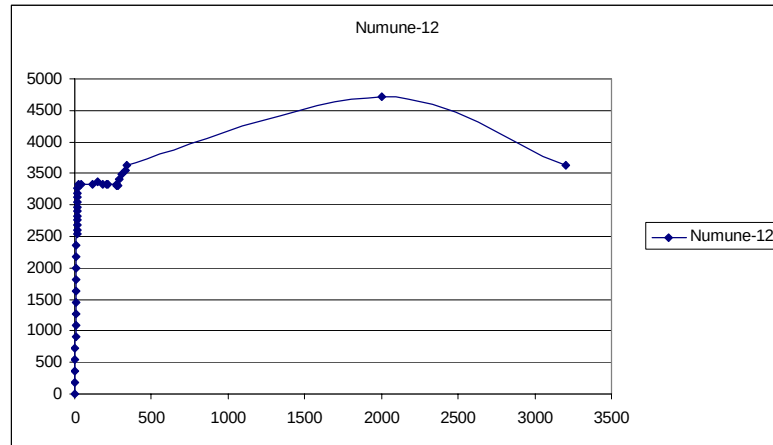
Şekil C.9 : 9 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.



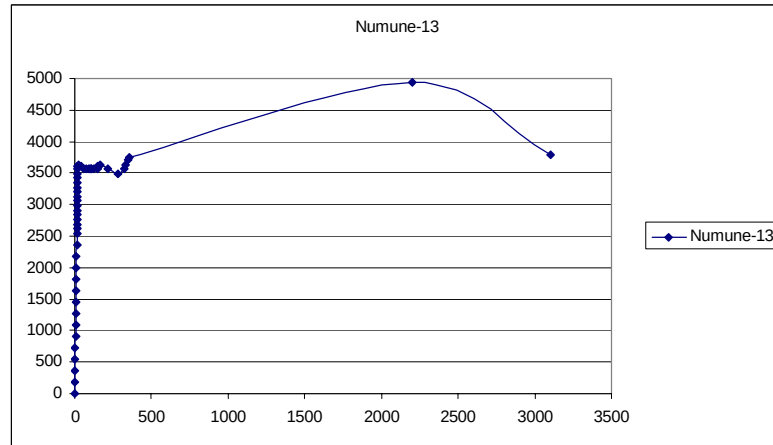
Şekil C.10 : 10 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.



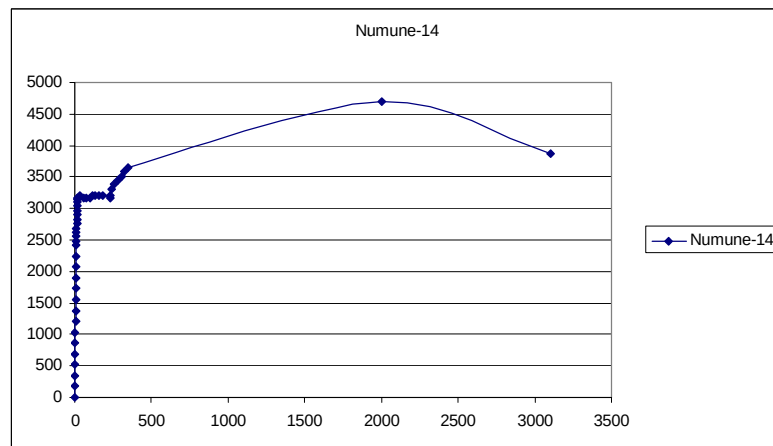
Şekil C.11 : 11 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.



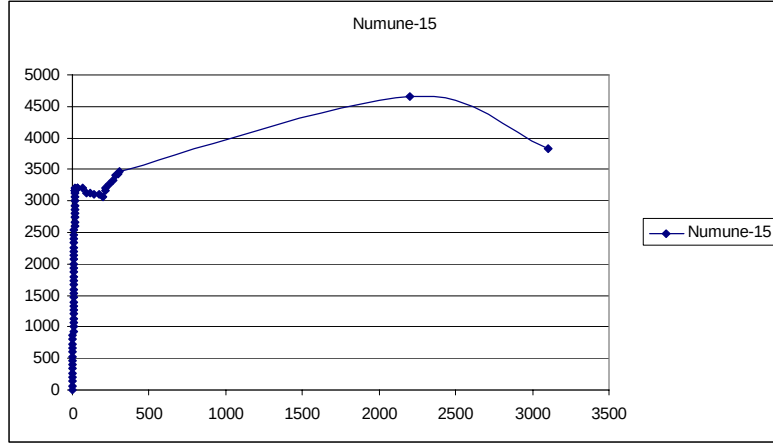
Şekil C.12 : 12 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.



Şekil C.13 : 13 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.



Şekil C.14 : 14 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.



Şekil C.15 : 15 Numunesi gerilme şekil değiştirme eğrisi.

EK D

Tüm deney setleri için alınan fotoğraflar farklı deney adımlarından bir derleme oluşturacak biçimde aşağıda verilmiştir.

D1 A1-1 Deneyi

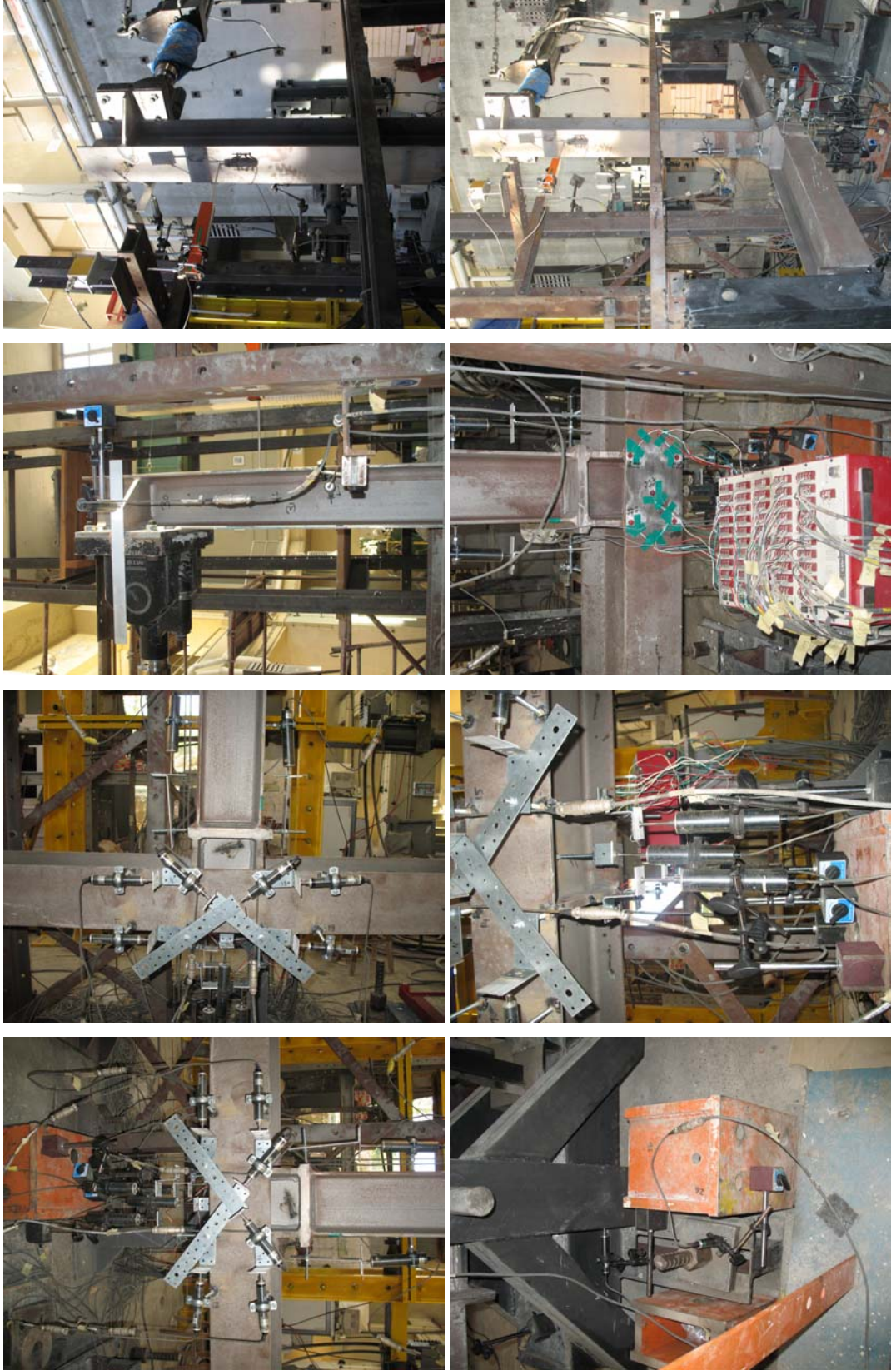


Şekil D.1 : A1-1 grubu deney fotoğrafları.



Şekil D.1 : A1-1 grubu deney fotoğrafları. (Devam)

D2 A2-1 Deneyi



Şekil D.2 : A2-1 grubu deney fotoğrafları.

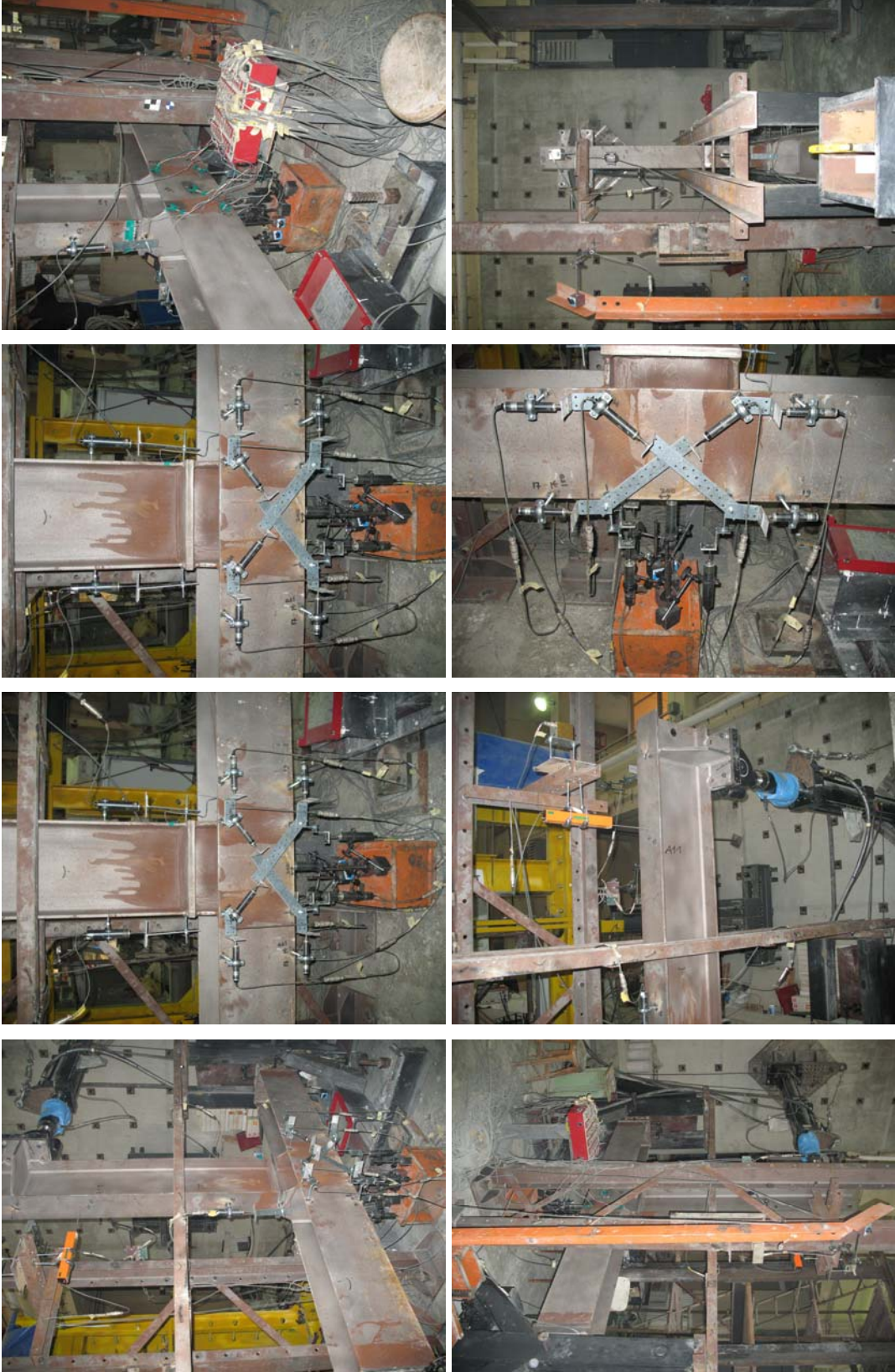


Şekil D.2 : A2-1 grubu deney fotoğrafları. (Devam)

D3 A3-1 Deneyi

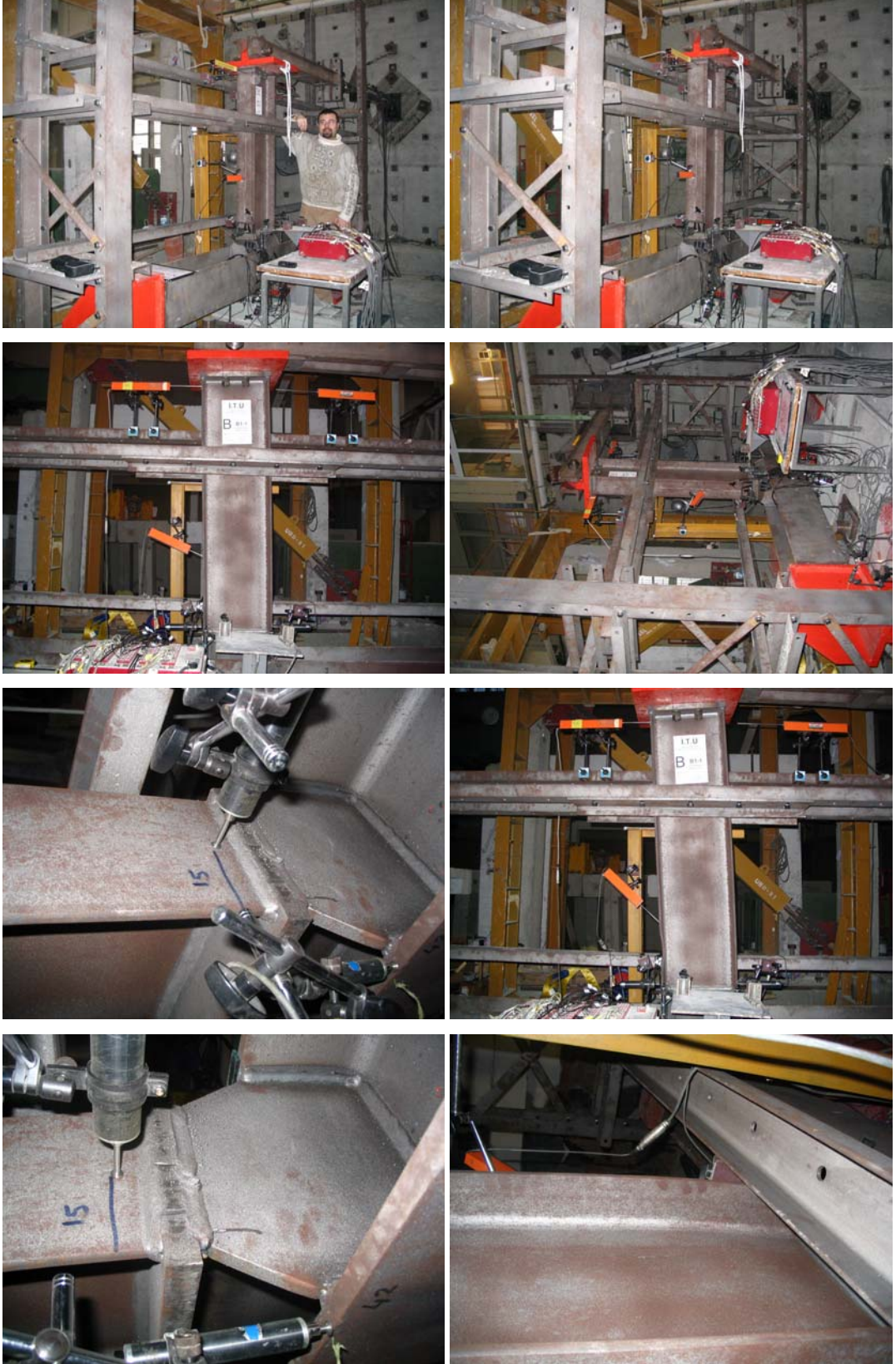


Şekil D.3 : A3-1 grubu deney fotoğrafları.



Şekil D.3 : A3-1 grubu deney fotoğrafları. (Devam)

D4 B1-1 Deneyi



Şekil D.4 : B1-1 grubu deney fotoğrafları.

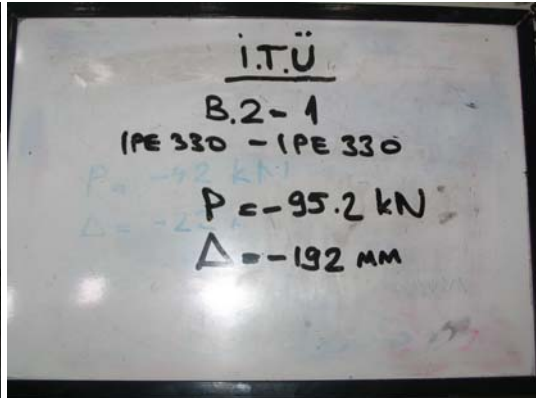
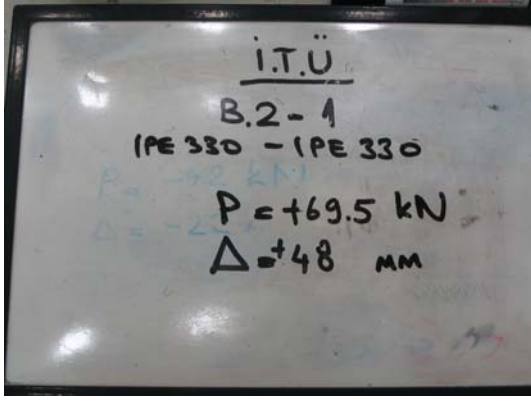


Şekil D.4 : B1-1 grubu deney fotoğrafları. (Devam)

D5 B2-1 Deneyi



Şekil D.5 : B2-1 grubu deney fotoğrafları.



Şekil D.5 : B2-1 grubu deney fotoğrafları. (Devam)

D6 B3-1 Deneyi



Şekil D.6 : B3-1 grubu deney fotoğrafları.

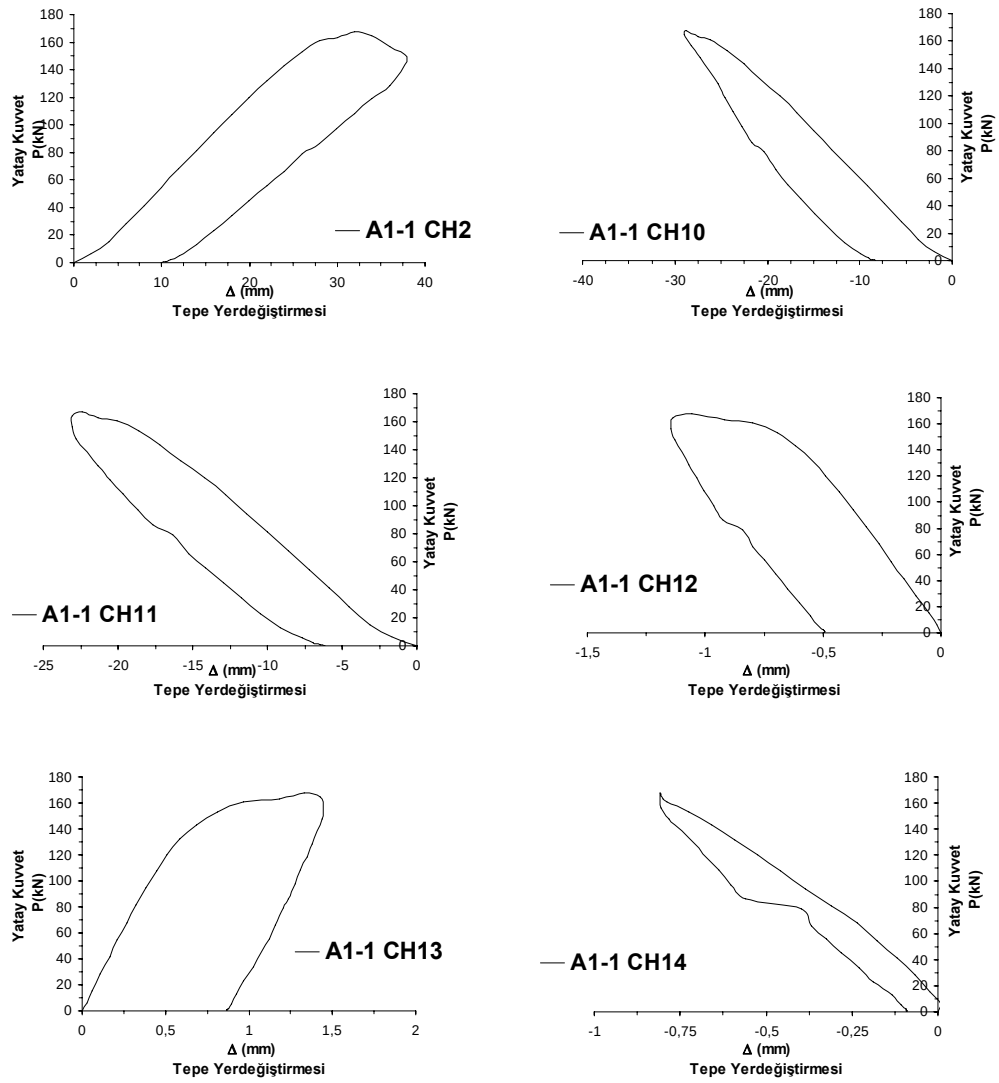


Şekil D.6 : B3-1 grubu deney fotoğrafları. (Devam)

EK E

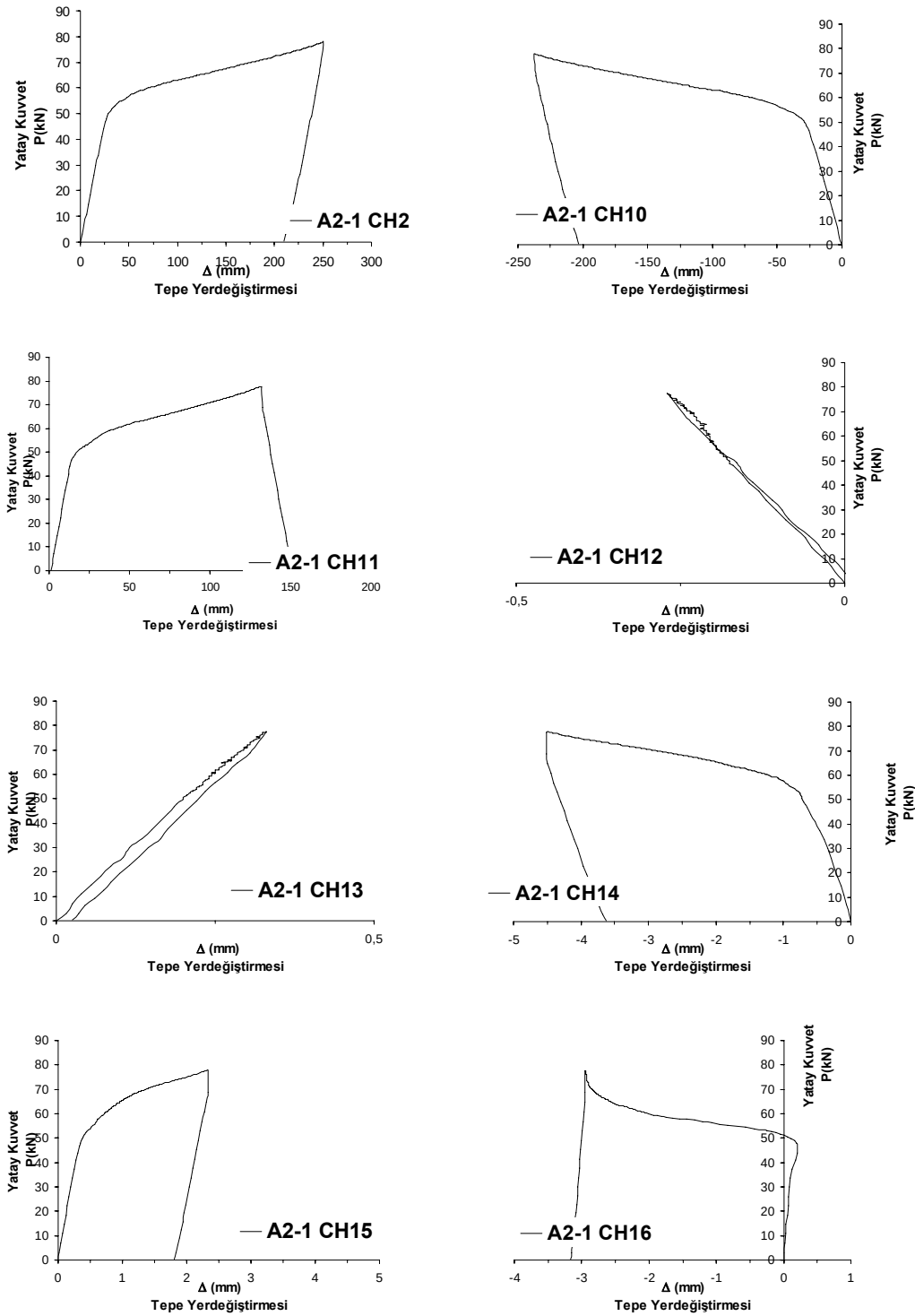
DeneYlerde elde edilen verilerin bir kısmı seşilerek aşağıda grafik halde sunulmuştur.

E1 A1-1 Deneyi Kanal Verileri



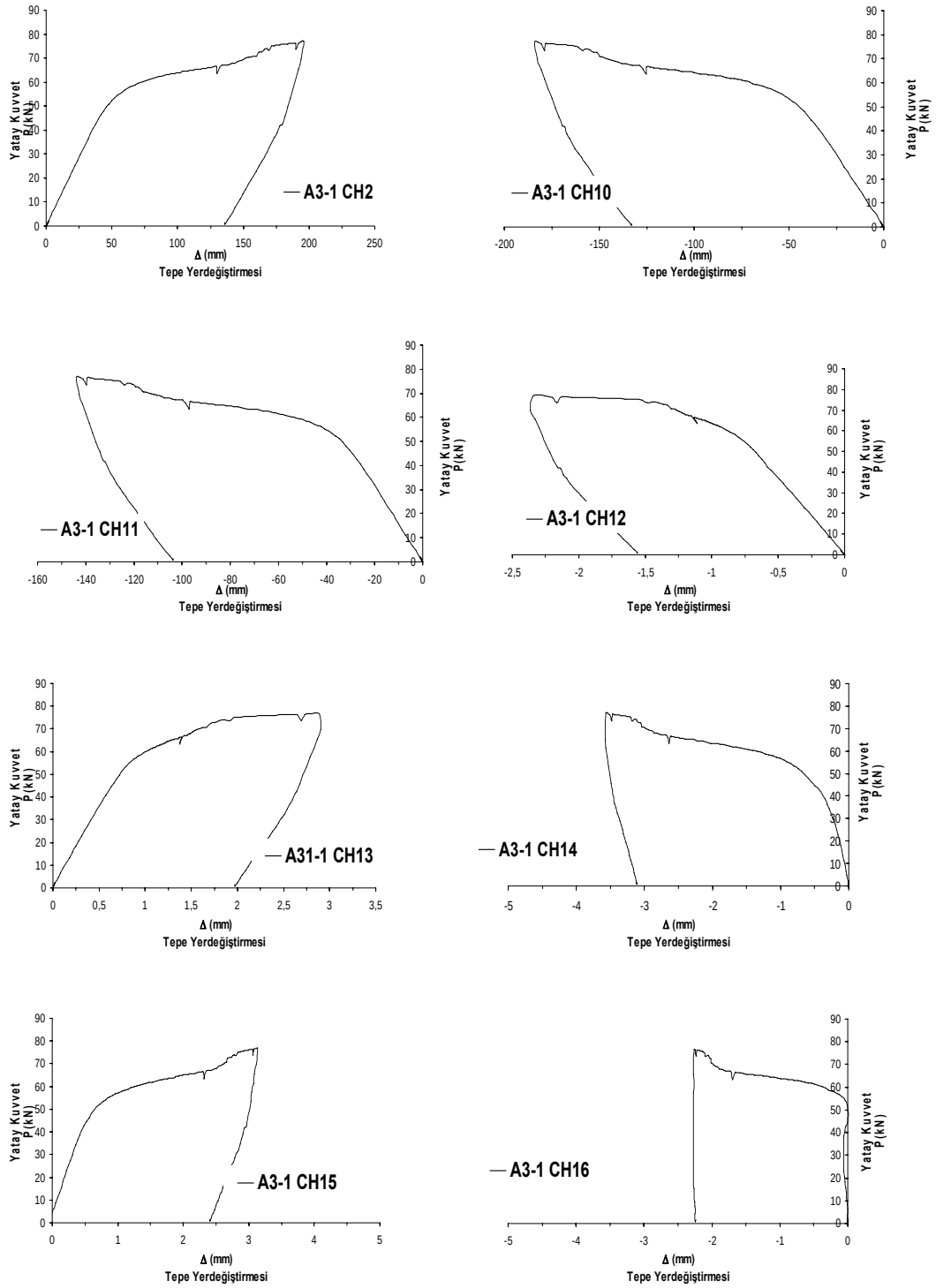
şekil E.1 : A1-1 Deneyi, bir kısım kanal verileri.

E2 A2-1 Deneyi Kanal Verileri



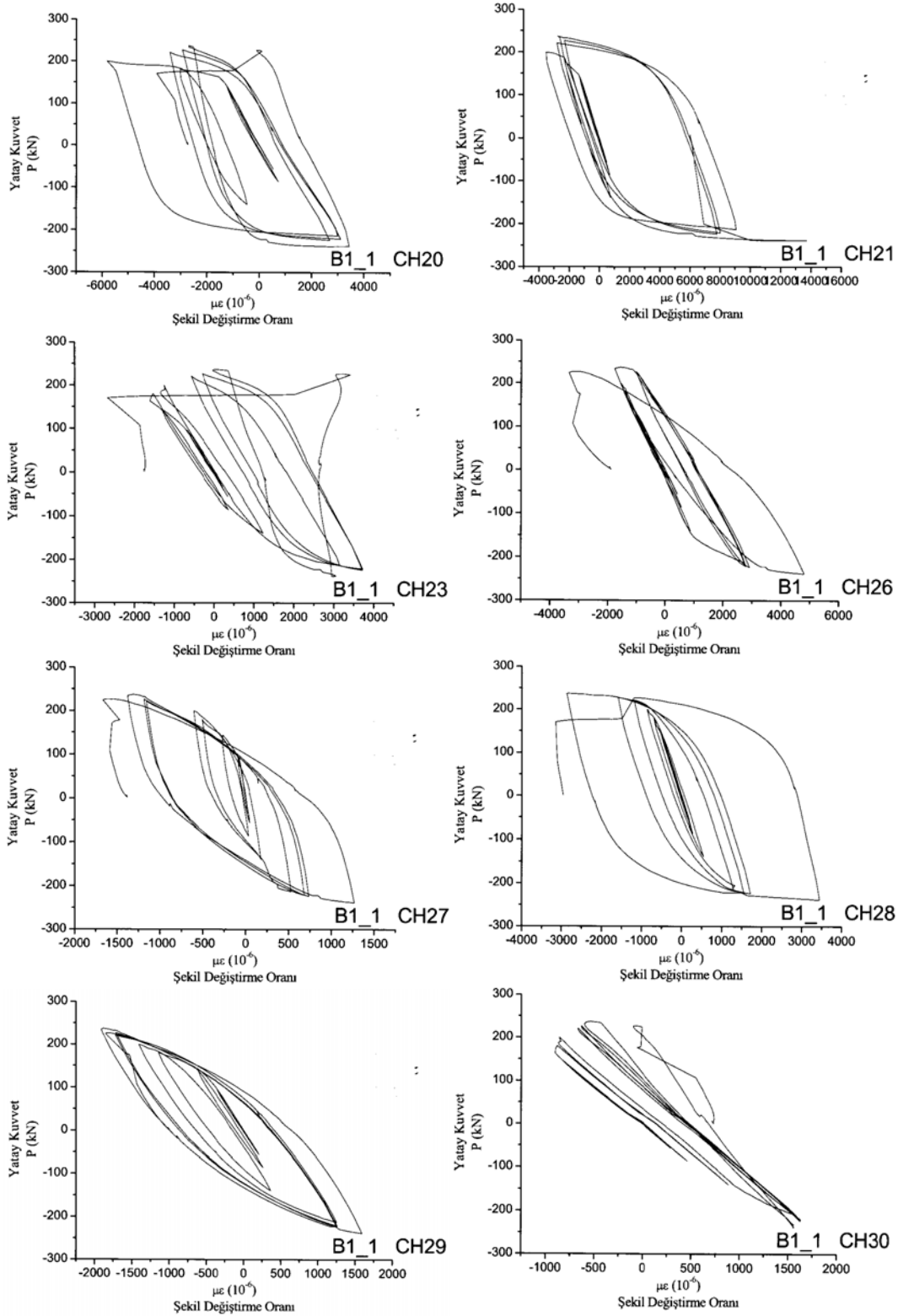
şekil E.2 : A2-1 Deneyi, bir kısım kanal verileri.

E3 A3-1 Deneyi Kanal Verileri



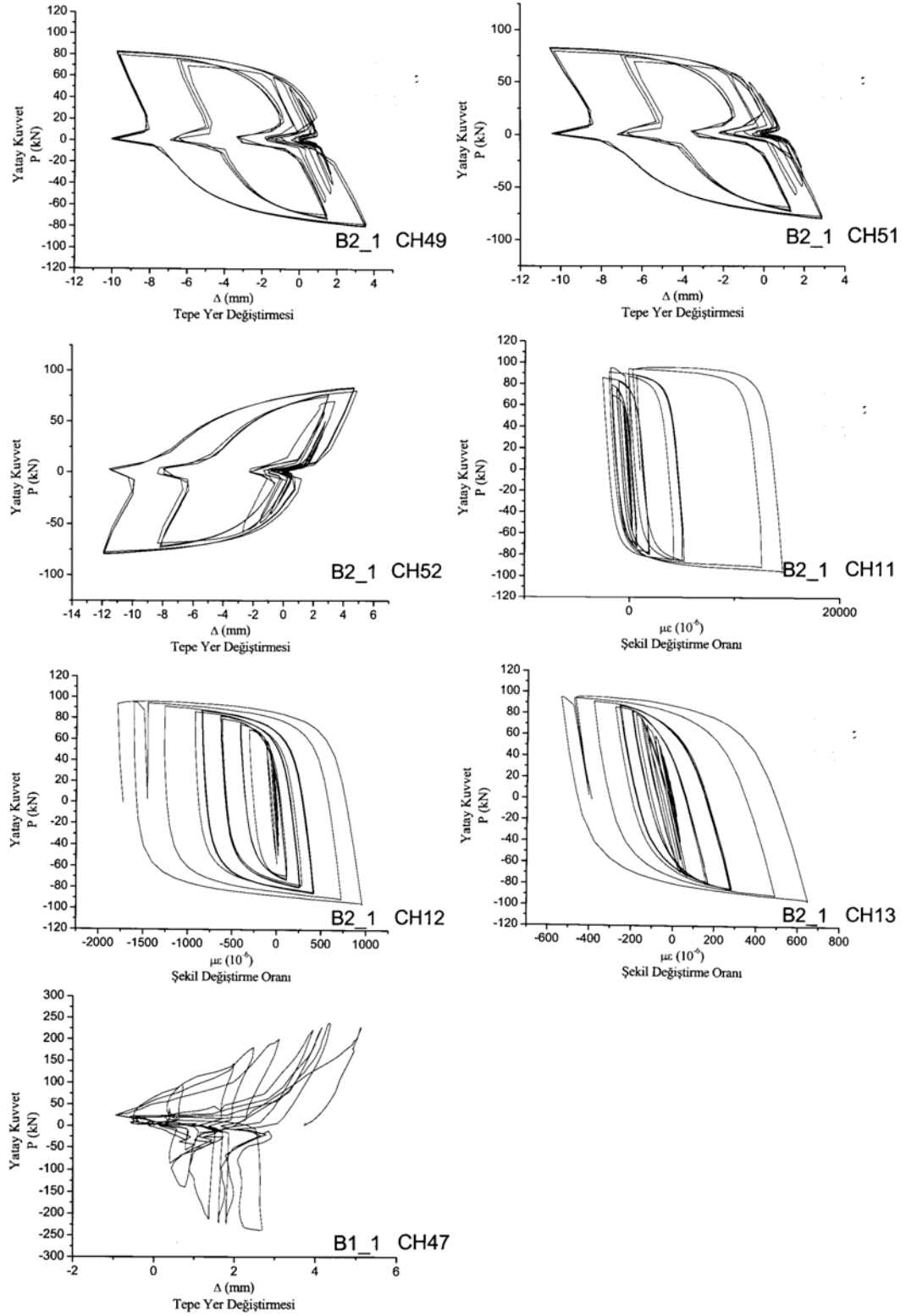
Şekil E.3 : A3-1 Deneyi, bir kısım kanal verileri.

E4 B1-1 Deneyi Kanal Verileri



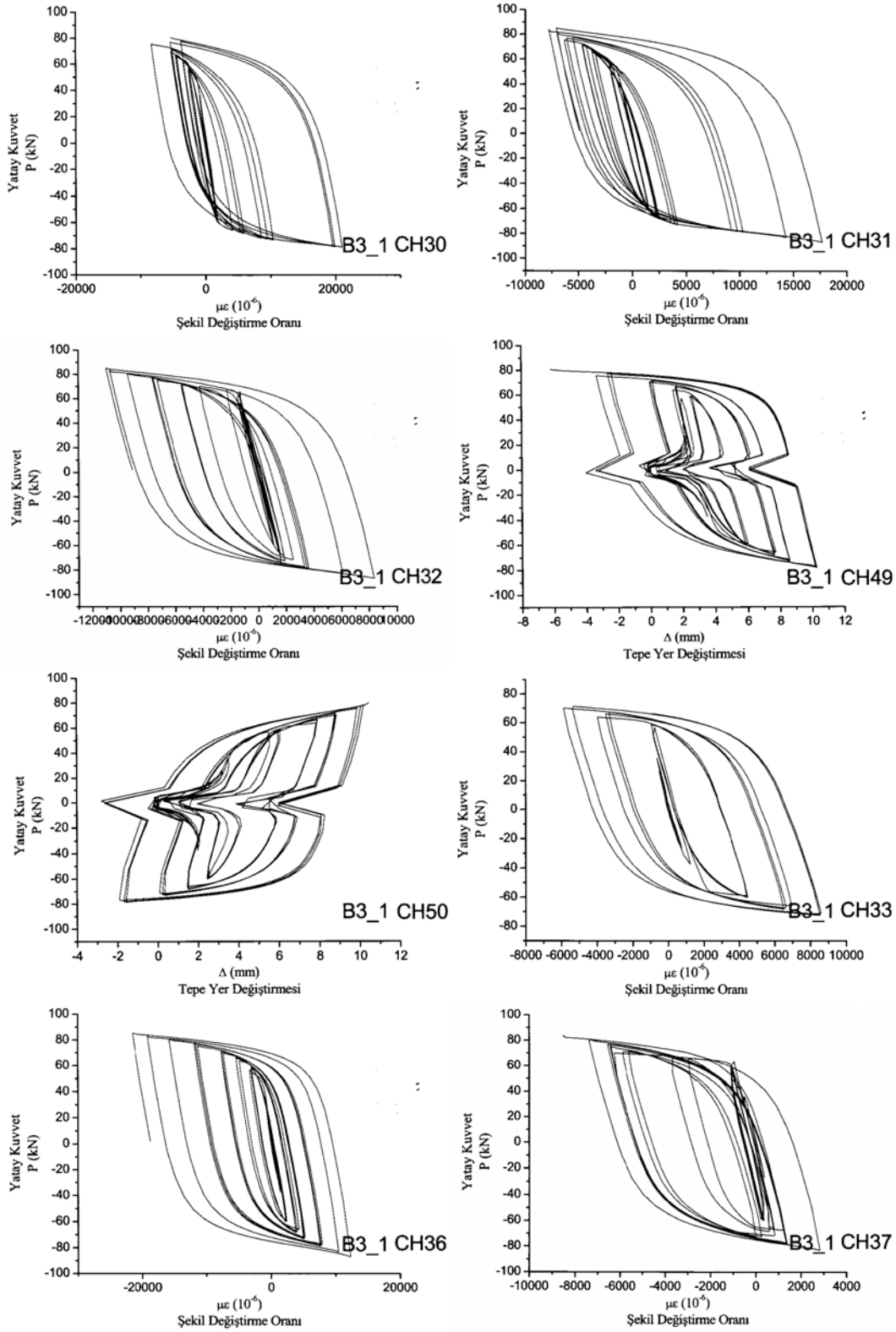
Şekil E.4 : B1-1 Deneyi, bir kısım kanal verileri.

E5 B2-1 Deneyi Kanal Verileri



Şekil E.5 : B2-1 Deneyi, bir kısım kanal verileri.

E6 B3-1 Deneyi Kanal Verileri

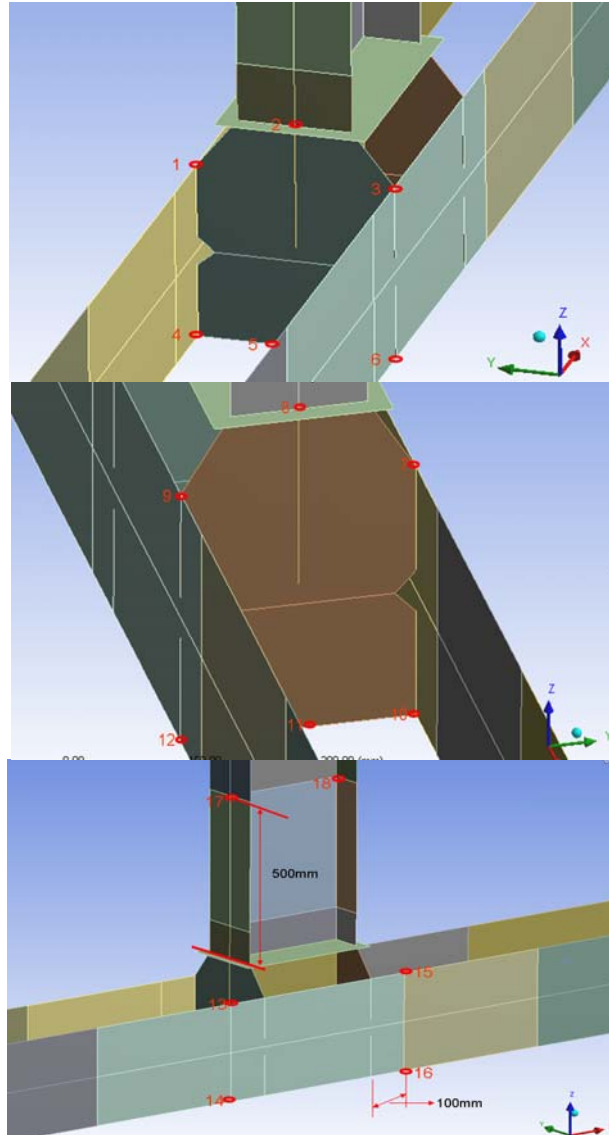


Şekil E.6 : B3-1 Deneyi, bir kısım kanal verileri.

EK F

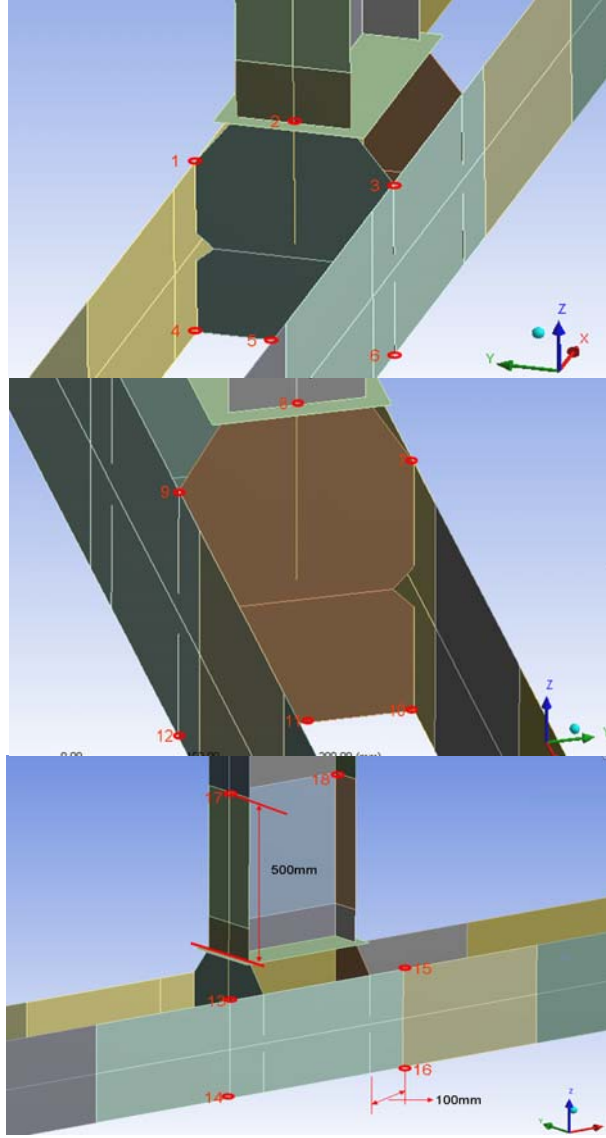
ANSYS sayısal analizlerinde okuma alınan noktalara ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

F1 A1-1 ANSYS Sayısal Analizi Detayları



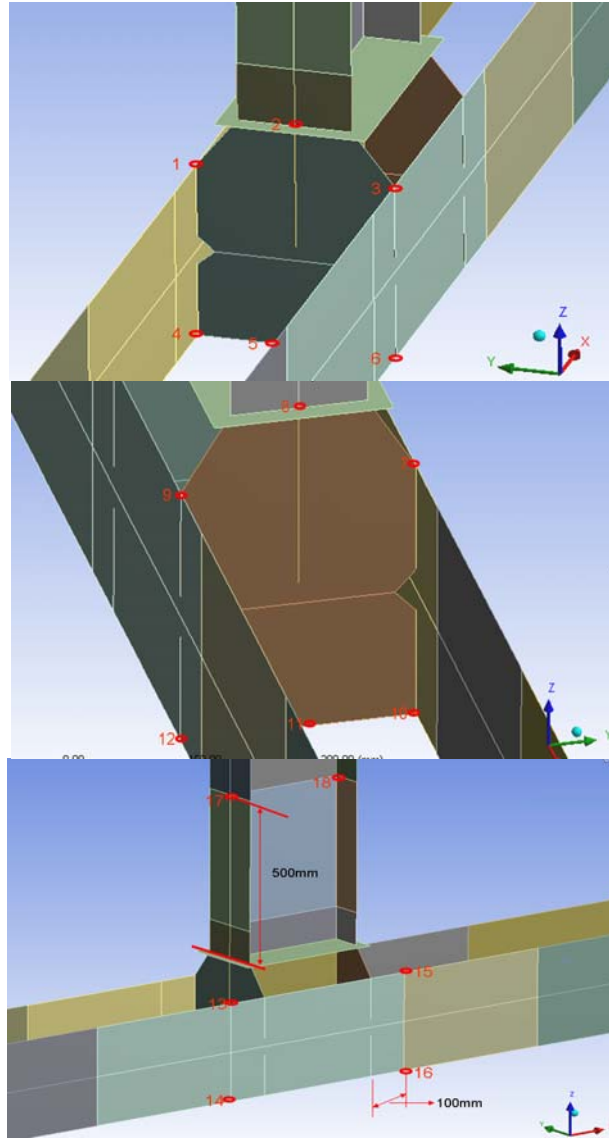
Şekil F.1 : A1-1 ANSYS Analizi değerlendirme noktaları.

F2 A2-1 ANSYS Sayısal Analizi Detayları



Şekil F.2 : A2-1 ANSYS Analizi değerlendirme noktaları.

F3 A3-1 ANSYS Sayısal Analizi Detayları

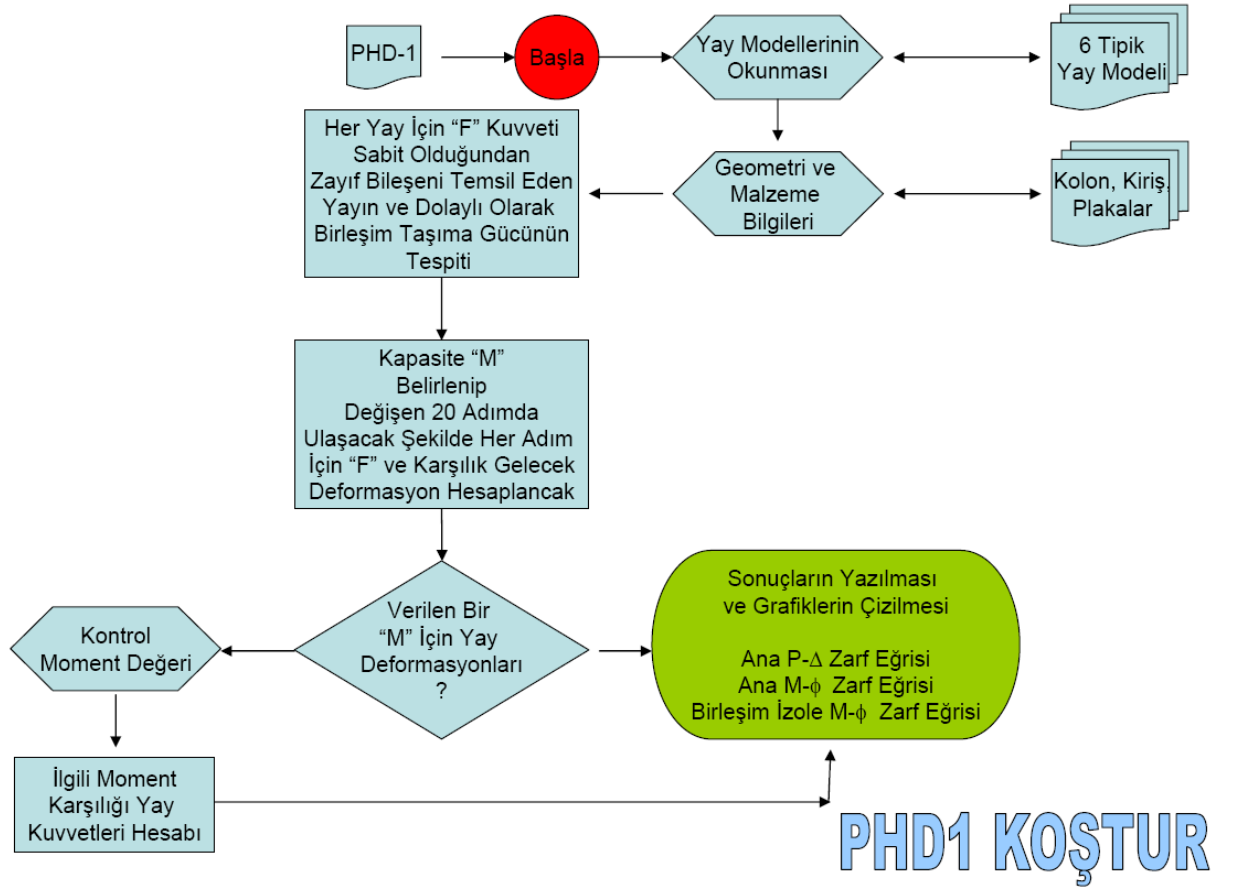


Şekil F.3 : A3-1 ANSYS Analizi değerlendirme noktaları.

EK G

PHD-1 algoritmasına ve hesap koduna ait bilgiler verilmiştir.

G1 Hesap Kodu Akış Diyagramı ve Detayları



Şekil G.1 : PHD-1 Algoritması.

Hesap kodu aşağıda verilmiştir.

Sub yaylar()

'yay1 Column Flange Shear

y1f1 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("J276")

y1x1 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("I276")

y1f2 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("J277")

y1x2 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("I277")

'MsgBox y1f1 & "---" & y1x1 & "---" & y1f2 & "---" & y1x2

```

'ay2 Assembly Bending
y2f1 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("U276")
y2x1 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("T276")
y2f2 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("U277")
y2x2 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("T277")
' MsgBox y2f1 & "---" & y2x1 & "---" & y2f2 & "---" & y2x2

'ay3 UC Bending
y3f1 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("J287")
y3x1 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("I287")
y3f2 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("J288")
y3x2 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("I288")
' MsgBox y3f1 & "---" & y3x1 & "---" & y3f2 & "---" & y3x2

'ay4 LC Bending
y4f1 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("U287")
y4x1 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("T287")
y4f2 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("U288")
y4x2 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("T288")
' MsgBox y4f1 & "---" & y4x1 & "---" & y4f2 & "---" & y4x2

'ay5 Beam Bending
y5f1 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("J295")
y5x1 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("I295")
y5f2 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("J296")
y5x2 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("I296")
' MsgBox y5f1 & "---" & y5x1 & "---" & y5f2 & "---" & y5x2

'ay6 Column Bending
y6f1 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("U295")
y6x1 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("T295")
y6f2 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("U296")
y6x2 = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("T296")
' MsgBox y6f1 & "---" & y6x1 & "---" & y6f2 & "---" & y6x2

'Lbeam
Lbeamcm = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("S191")
Lbeam = Lbeamcm * 10

'M
M = Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("B323")

F = M / Lbeam

'ay1 deplasmanı...HER YAYDA F KUVVETİ ICIN HESAPLANICAK
x1 = yaydep(F, y1f1, y1x1, y1f2, y1x2)
If x1 = "koptu" Then
    MsgBox "ay1 koptu"
    GoTo 20
End If

```

```
'yay2 deplasmanı  
x2 = yaydep(F, y2f1, y2x1, y2f2, y2x2)  
If x2 = "koptu" Then  
  MsgBox "yay2 koptu"  
  GoTo 20  
End If
```

```
'yay3 deplasmanı  
x3 = yaydep(F, y3f1, y3x1, y3f2, y3x2)  
If x3 = "koptu" Then  
  MsgBox "yay3 koptu"  
  GoTo 20  
End If
```

```
'yay4 deplasmanı  
x4 = yaydep(F, y4f1, y4x1, y4f2, y4x2)  
If x4 = "koptu" Then  
  MsgBox "yay4 koptu"  
  GoTo 20  
End If
```

```
'yay5 deplasmanı  
x5 = yaydep(F, y5f1, y5x1, y5f2, y5x2)  
If x5 = "koptu" Then  
  MsgBox "yay5 koptu"  
  GoTo 20  
End If
```

```
'yay6 deplasmanı  
x6 = yaydep(F, y6f1, y6x1, y6f2, y6x2)  
If x6 = "koptu" Then  
  MsgBox "yay6 koptu"  
  GoTo 20  
End If
```

```
'sistem deplasmanı hesabı  
deplasman = (x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6)
```

```
'sistem dönmesinin hesabı  
dönme = (x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6) / Lbeam
```

```
'sonuçlar ekranda gösteriliyor...  
MsgBox "F=" & F & " ton" & " x1=" & Round(x1, 4) & " mm" & " x2=" &  
Round(x2, 4) & " mm" & " x3=" & Round(x3, 4) & " mm" & " x4=" & Round(x4,  
4) & " mm" & " x5=" & Round(x5, 4) & " mm" & " x6=" & Round(x6, 4) & "  
mm" & " dönme=" & dönme
```

20 'yaylardan birisi kopunca program buraya atlıyor..

'sonuçları excele yazıyoruz..

```
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("A350", "B358").ClearContents
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("A350") = "F="
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("B350") = F
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("A351") = "x1="
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("B351") = x1
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("A352") = "x2="
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("B352") = x2
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("A353") = "x3="
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("B353") = x3
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("A354") = "x4="
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("B354") = x4
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("A355") = "x5="
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("B355") = x5
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("A356") = "x6="
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("B356") = x6
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("A357") = "deplasman="
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("B357") = deplasman
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("A358") = "teta="
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("B358") = dönme
```

'Mmax bulunması, aslında ilk kopan yay için moment

```
M1max = y1f2 * Lbeam
M2max = y2f2 * Lbeam
M3max = y3f2 * Lbeam
M4max = y4f2 * Lbeam
M5max = y5f2 * Lbeam
M6max = y6f2 * Lbeam
```

Mmin = M1max

```
If M2max <= Mmin Then Mmin = M2max
If M3max <= Mmin Then Mmin = M3max
If M4max <= Mmin Then Mmin = M4max
If M5max <= Mmin Then Mmin = M5max
If M6max <= Mmin Then Mmin = M6max
```

MsgBox "Mmin=" & Mmin & " a kadar 20 adım için dönme hesaplanıyor"

```
'Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("A316", "V321").ClearContents
'Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("A316") = "F"
'Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("A317") = "deplasman"
'Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Range("A318") = "dönme"
```

'0 dan Mmin/20 ye kadar moment ve dönmeler

```
For I = 1 To 20
    M = I * Mmin / 20
    F = M / Lbeam
```



```

x1 = yaydep(F, y1f1, y1x1, y1f2, y1x2)
x2 = yaydep(F, y2f1, y2x1, y2f2, y2x2)
x3 = yaydep(F, y3f1, y3x1, y3f2, y3x2)
x4 = yaydep(F, y4f1, y4x1, y4f2, y4x2)
x5 = yaydep(F, y5f1, y5x1, y5f2, y5x2)
x6 = yaydep(F, y6f1, y6x1, y6f2, y6x2)

```

```

deplasman = (x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6)
dönme = (x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6) / Lbeam

```

```

deplasmanbirlesim = (x1 + x2 + x4)
dönmebirlesim = (x1 + x2 + x4) / Lbeam

```

```

Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Cells(316, I + 2) = F
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Cells(317, I + 2) = deplasman

```

```

Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Cells(318, I + 2) = M / 1000
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Cells(319, I + 2) = dönme

```

```

Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Cells(320, I + 2) = M / 1000
Sheets("CONNECTION PARAMETERS").Cells(321, I + 2) = dönmebirlesim

```

Next I

End Sub

```

Function yaydep(F, f1, x1, f2, x2)
If F <= f1 Then yaydep = F * x1 / f1
If F > f1 And F <= f2 Then yaydep = x1 + (F - f1) * (x2 - x1) / (f2 - f1)
If F > f2 Then yaydep = "koptu"
End Function

```

```

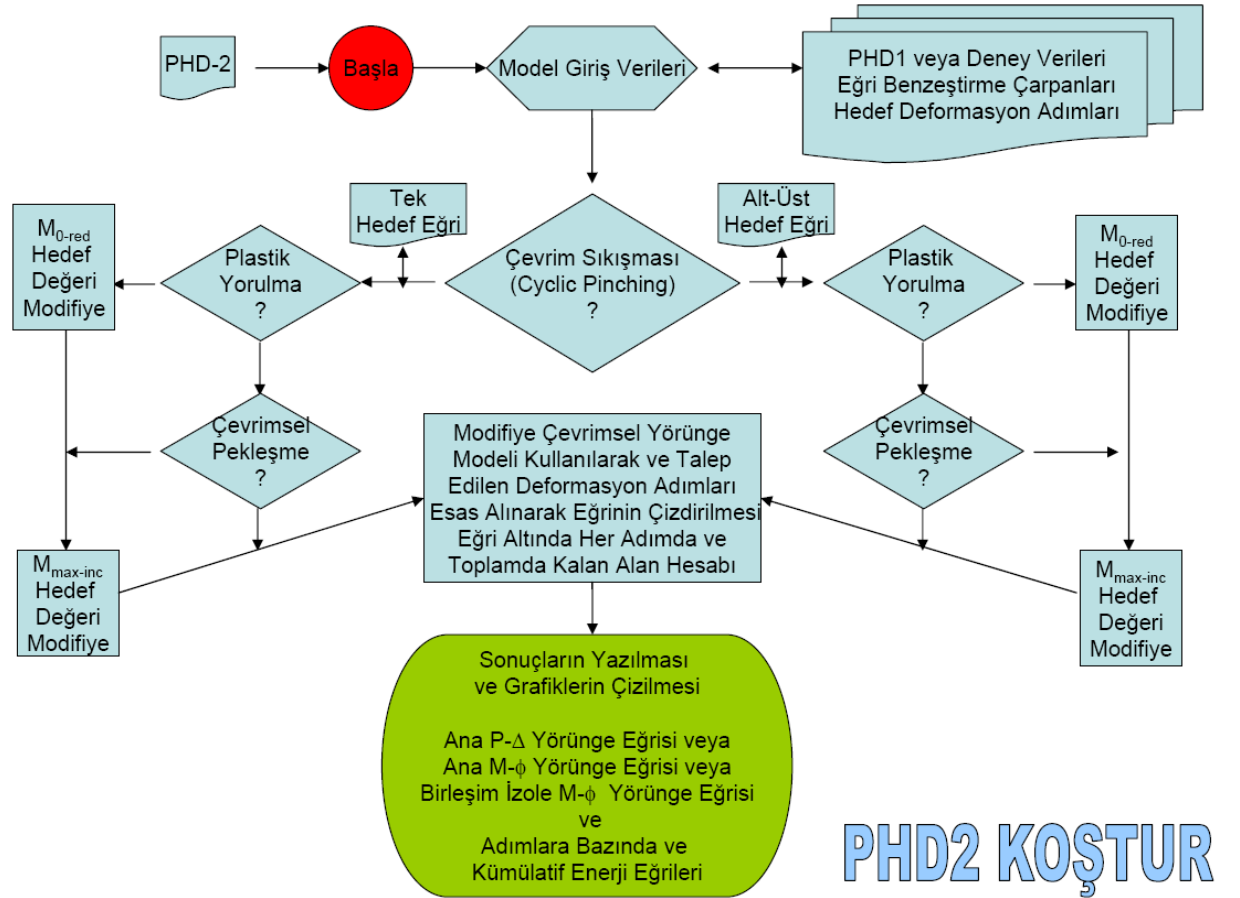
Function yaykuv(X, f1, x1, f2, x2)
If X <= x1 Then yaykuv = X * f1 / x1
If X > x1 And X <= x2 Then yaykuv = f1 + (X - x1) * (f2 - f1) / (x2 - x1)
If X > x2 Then yaykuv = "fazla"
End Function

```


EK H

PHD-2 algoritmasına ve hesap koduna ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

H1 Hesap Kodu Akış Diyagramı ve Detayları



Şekil H.1 : PHD-2 Algoritması.

Hesap kodu bir makro yazımında kullanılmak üzere aşağıda verilmiştir.

Public Alanlar() As Single

Public MyTetaTut1() As Single, MyTetaTut2() As Single, MyTetaTut3() As Single, MyTetaTut4() As Single

Function mFunction(Teta As Single, Kh As Single, Ko As Single, n As Single, Mo As Single) As Single

Dim M As Single

```

M = (Ko - Kh) * Teta
M = M / (1 + Abs((Ko - Kh) * Teta / Mo) ^ n) ^ (1 / n)
M = M + Kh * Teta
mFunction = M 'as result
End Function

Function Alan(x1 As Single, y1 As Single, x2 As Single, y2 As Single) As Single
    Alan = Abs(y2 + y1) * Abs(x2 - x1) / 2
End Function

Sub ClearLoopTable()
    Dim t As Integer
    t = 6
    Do
        'DoEvents
        If Range("I" & t) = "" Then Exit Do
        If Range("F" & t) <> "" Then Range("F" & t) = ""
        If Range("G" & t) <> "" Then Range("G" & t) = ""
        If Range("H" & t) <> "" Then Range("H" & t) = ""
        If Range("I" & t) <> "" Then Range("I" & t) = ""
        t = t + 1
    Loop
End Sub

Sub MainRoutin()
    Dim Sikisma As Integer
    Dim Hasar As Integer
    Sikisma = Range("G2")
    Hasar = Range("H2")

    If Sikisma = 0 And Hasar = 0 Then
        Call SubMBasit
    ElseIf Sikisma = 1 And Hasar = 0 Then
        Call SubMSikismali
    ElseIf Sikisma = 1 And Hasar = 1 Then
        Call SubMSikismaliHasarli
    ElseIf Sikisma = 0 And Hasar = 1 Then
        Call SubSikismasizHasarli
    End If

    MsgBox "JOB DONE", vbOKOnly, "WORKOUT"
End Sub

Sub SubMSikismaliHasarli()
    'önce eksilerini yaz
    Dim t As Integer, tt As Integer, ttt As Integer
    Dim MyTeta As Single, MyKo As Single, MyKh As Single
    Dim MyKhp As Single, MyKoP As Single
    Dim Myn As Single, MyMo As Single, MyM As Single
    Dim Mynp As Single, MyMop As Single

```

Dim t1 As Single, t2 As Single, Lambda As Single, FiLim As Single, FiUo As Single

Dim FiMax(1) As Single, FiMin(1) As Single
Dim AdimSayisi As Integer
Dim Satirim As Integer
Dim Xkes As Single, Ykes As Single
Dim KacaBöl As Integer
Dim MyX1 As Single, MyX2 As Single, MyY2 As Single, MyY1 As Single
Dim MyKot As Single, MyMot As Single, MyKht As Single, MyNpt As Single

Dim MyT As Single

ClearLoopTable 'tabloyu temizler

'tanımları çağır
MyKo = Range("A2").Value
MyKoP = Range("A3").Value

MyKh = Range("B2").Value
MyKhp = Range("B3").Value

Myn = Range("C2").Value
Mynp = Range("C3").Value

MyMo = Range("D2").Value
MyMop = Range("D3").Value

KacaBöl = Range("F2").Value

'hasarvalues
Myy = Range("Q2").Value
BetaM = Range("N2").Value
BetaK = Range("O2").Value
BetaFi = Range("M2").Value
Hh = Range("P2").Value
FiUo = Range("L2").Value
FiY = Range("R2").Value

t1 = Range("I2").Value
t2 = Range("J2").Value
Lambda = Range("K2").Value
'FiUo = Range("L2").Value

'Olari koy
Range("G6") = 0
Range("H6") = 0
Range("I6") = 0
AdimSayisi = Range("E2").Value

Satirim = 1

ReDim Alanlar(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut1(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut2(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut3(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut4(AdimSayisi) As Single

For tt = 1 To AdimSayisi 'herbir adım
 FiMax(0) = Range("B" & (tt + 4)) 'girilen fi değeri
 FiMin(0) = Range("C" & (tt + 4))

 'hasar hesabi

 If tt > 1 Then

 Eh = Range("E" & (tt + 3))

 Dm = BetaM * Eh / (Myy * FiUo)

 Dmm = Hh * (MyTetaTut1(tt - 1) - FiY) / FiY

 If MyTetaTut1(tt - 1) < FiY Then

 MyMo = MyMo * (1 - Dmm)

 Else

 MyMo = MyMo * (1 - Dm) * (1 + Dmm)

 End If

 End If

 'çıkışpoz

 For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1

 DoEvents

 Range("G" & (6 + t)) = t

 Range("F" & (6 + t)) = tt

 Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
 ((Xkes - FiMax(0)) / KacaBöl) 'fi kolonu

 Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4) 'fi kolonunu yuvarlar

 MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))

 'alanhesapla

 MyX2 = Range("H" & (6 + t))

 MyX1 = Range("H" & (5 + t))

 MyY2 = Range("I" & (6 + t))

 MyY1 = Range("I" & (5 + t))

 Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

 'sikisma hesapları

 If tt > 1 Then

 FiLim = Lambda * Abs(MyTetaTut4(tt - 1)) + MyTetaTut1(tt - 1)

 MyT = ((MyTeta / FiLim) ^ t1 / ((MyTeta / FiLim) ^ t1 + 1)) ^ t2

 MyKot = MyKoP + (MyKo - MyKoP) * MyT

 MyMot = MyMop + (MyMo - MyMop) * MyT

 MyKht = MyKhp + (MyKh - MyKhp) * MyT

```

    MyNpt = Mynp + (Myn - Mynp) * MyT
    'If tt > 3 Then sto = sto / 0
Else
    MyKot = MyKo
    MyMot = MyMo
    MyKht = MyKh
    MyNpt = Myn
End If

MyM = mFunction(MyTeta, MyKht, MyKot, MyNpt, MyMot)
MyM = Round(MyM, 2)

Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM
Next t

'inispoz
Satirim = t
Dim TepeNokY As Single, TepeNokX As Single
TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))
TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))

Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)
Ykes = (MyKh * Xkes)
Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes
Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Satirim = Satirim + 1

MyTetaTut1(tt) = MyX1
MyTetaTut2(tt) = MyX2

'çıkışneg
For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1
    DoEvents
    Range("G" & (6 + t)) = t
    Range("F" & (6 + t)) = tt
    Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
        ((Xkes - FiMin(0)) / KacaBöl)

    Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4)
    MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))

```

```

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

'sikisma hesapları
If tt > 1 Then
    FiLim = Lambda * Abs(MyTetaTut4(tt - 1)) + MyTetaTut1(tt - 1)
    MyT = ((MyTeta / FiLim) ^ t1 / ((MyTeta / FiLim) ^ t1 + 1)) ^ t2
    MyKot = MyKoP + (MyKo - MyKoP) * MyT
    MyMot = MyMop + (MyMo - MyMop) * MyT
    MyKht = MyKhp + (MyKh - MyKhp) * MyT
    MyNpt = Mynp + (Myn - Mynp) * MyT
Else
    MyKot = MyKo
    MyMot = MyMo
    MyKht = MyKh
    MyNpt = Myn
End If

MyM = mFunction(MyTeta, MyKht, MyKot, MyNpt, MyMot)
MyM = Round(MyM, 2)

Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM
Next t

'inişneg
Satirim = t
TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))
TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))
Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)
Ykes = (MyKh * Xkes)
Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes
Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Satirim = Satirim + 1

MyTetaTut3(tt) = MyX1
MyTetaTut4(tt) = MyX2

```



```

Range("D" & (tt + 4)) = Alanlar(tt) 'alanını ekrana yazdır
DoEvents
Next tt
End Sub

```

```

Sub SubSikismasizHasarli()
'önce eksilerini yaz
Dim t As Integer, tt As Integer, ttt As Integer
Dim MyTeta As Single, MyKo As Single, MyKh As Single
Dim Myn As Single, MyMo As Single, MyM As Single
Dim FiMax(1) As Single, FiMin(1) As Single
Dim AdimSayisi As Integer
Dim Satirim As Integer
Dim Xkes As Single, Ykes As Single
Dim KacaBöl As Integer
Dim MyX1 As Single, MyX2 As Single, MyY2 As Single, MyY1 As Single
Dim BetaM As Single, BetaK As Single, BetaFi As Single
Dim Dm As Single, Dk As Single, Dfi As Single
Dim Eh As Single
Dim Myy As Single, Hh As Single
Dim FiUo As Single
Dim FiY As Single

```

```

ClearLoopTable 'tabloyu temizler

```

```

'tanımları çağır
MyKo = Range("A2").Value
MyKh = Range("B2").Value
Myn = Range("C2").Value
MyMo = Range("D2").Value
KacaBöl = Range("F2").Value

```

```

'hasarvalues
Myy = Range("Q2").Value
BetaM = Range("N2").Value
BetaK = Range("O2").Value
BetaFi = Range("M2").Value
Hh = Range("P2").Value
FiUo = Range("L2").Value
FiY = Range("R2").Value

```

```

'0ları koy
Range("G6") = 0
Range("H6") = 0
Range("I6") = 0
AdimSayisi = Range("E2").Value

```

```

Satirim = 1

```

```

ReDim Alanlar(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut1(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut2(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut3(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut4(AdimSayisi) As Single

```

```

For tt = 1 To AdimSayisi 'herbir adım
    DoEvents
    FiMax(0) = Range("B" & (tt + 4)) 'girilen fi değeri
    FiMin(0) = Range("C" & (tt + 4))

```

```

    'hasar hesabi
    If tt > 1 Then
        Eh = Range("E" & (tt + 3))
        Dm = BetaM * Eh / (Myy * FiUo)
        Dmm = Hh * (MyTetaTut1(tt - 1) - FiY) / FiY
        If MyTetaTut1(tt - 1) < FiY Then
            MyMo = MyMo * (1 - Dmm)
        Else
            MyMo = MyMo * (1 - Dm) * (1 + Dmm)
        End If
    End If
End If

```

```

    'çıkışpoz
    For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1
        Range("G" & (6 + t)) = t
        Range("F" & (6 + t)) = tt
        Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
            ((Xkes - FiMax(0)) / KacaBöl) 'fi kolonu

```

```

        Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4) 'fi kolonunu yuvarlar

```

```

        MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))

```

```

        MyM = mFunction(MyTeta, MyKh, MyKo, Myn, MyMo)
        MyM = Round(MyM, 2)
        Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM

```

```

        'alanhesapla
        MyX2 = Range("H" & (6 + t))
        MyX1 = Range("H" & (5 + t))
        MyY2 = Range("I" & (6 + t))
        MyY1 = Range("I" & (5 + t))
        Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

```

```

    Next t

```

```

    'inişpoz
    Satirim = t
    Dim TepeNokY As Single, TepeNokX As Single
    TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))

```

```

TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))
Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)
Ykes = (MyKh * Xkes)
Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes
Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t

```

'alan hesapla

```

MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

```

MyTetaTut1(tt) = MyX1

MyTetaTut2(tt) = MyX2

Satirim = Satirim + 1

'çıkışneg

For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1

DoEvents

Range("G" & (6 + t)) = t

Range("F" & (6 + t)) = tt

Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
((Xkes - FiMin(0)) / KacaBöl)

Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4)

MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))

MyM = mFunction(MyTeta, MyKh, MyKo, Myn, MyMo)

MyM = Round(MyM, 2)

Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM

'alan hesapla

MyX2 = Range("H" & (6 + t))

MyX1 = Range("H" & (5 + t))

MyY2 = Range("I" & (6 + t))

MyY1 = Range("I" & (5 + t))

Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

Next t

'inişneg

Satirim = t

TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))

TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))

Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)

Ykes = (MyKh * Xkes)

Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes

Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes

```
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t
```

```
'alan hesapla
```

```
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
```

```
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
```

```
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
```

```
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
```

```
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
```

```
Satirim = Satirim + 1
```

```
MyTetaTut3(tt) = MyX1
```

```
MyTetaTut4(tt) = MyX2
```

```
Range("D" & (tt + 4)) = Alanlar(tt) 'alanını ekrana yazdır
```

```
DoEvents
```

```
Next tt
```

```
End Sub
```

```
Sub SubMSikismali()
```

```
'önce eksilerini yaz
```

```
Dim t As Integer, tt As Integer, ttt As Integer
```

```
Dim MyTeta As Single, MyKo As Single, MyKh As Single
```

```
Dim MyKhp As Single, MyKoP As Single
```

```
Dim Myn As Single, MyMo As Single, MyM As Single
```

```
Dim Mynp As Single, MyMop As Single
```

```
Dim t1 As Single, t2 As Single, Lambda As Single, FiLim As Single, FiUo As Single
```

```
Dim FiMax(1) As Single, FiMin(1) As Single
```

```
Dim AdimSayisi As Integer
```

```
Dim Satirim As Integer
```

```
Dim Xkes As Single, Ykes As Single
```

```
Dim KacaBöl As Integer
```

```
Dim MyX1 As Single, MyX2 As Single, MyY2 As Single, MyY1 As Single
```

```
Dim MyKot As Single, MyMot As Single, MyKht As Single, MyNpt As Single
```

```
Dim MyT As Single
```

```
ClearLoopTable 'tabloyu temizler
```

```
'tanımları çağır
```

```
MyKo = Range("A2").Value
```

```
MyKoP = Range("A3").Value
```

```
MyKh = Range("B2").Value
```

```
MyKhp = Range("B3").Value
```

```
Myn = Range("C2").Value
```

```
Mynp = Range("C3").Value
```

```
MyMo = Range("D2").Value
MyMop = Range("D3").Value
```

```
KacaBöl = Range("F2").Value
```

```
t1 = Range("I2").Value
t2 = Range("J2").Value
Lambda = Range("K2").Value
'FiUo = Range("L2").Value
```

```
'Olari koy
Range("G6") = 0
Range("H6") = 0
Range("I6") = 0
AdimSayisi = Range("E2").Value
```

```
Satirim = 1
```

```
ReDim Alanlar(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut1(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut2(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut3(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut4(AdimSayisi) As Single
```

```
For tt = 1 To AdimSayisi 'herbir adım
    FiMax(0) = Range("B" & (tt + 4)) 'girilen fi değerim
    FiMin(0) = Range("C" & (tt + 4))
```

```
'çıkışpoz
```

```
For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1
```

```
    DoEvents
```

```
    Range("G" & (6 + t)) = t
```

```
    Range("F" & (6 + t)) = tt
```

```
    Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
    ((Xkes - FiMax(0)) / KacaBöl) 'fi kolonu
```

```
    Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4) 'fi kolonunu yuvarlar
```

```
    MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))
```

```
'alanhesapla
```

```
    MyX2 = Range("H" & (6 + t))
```

```
    MyX1 = Range("H" & (5 + t))
```

```
    MyY2 = Range("I" & (6 + t))
```

```
    MyY1 = Range("I" & (5 + t))
```

```
    Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
```

```
'sikisma hesapları
```

```
If tt > 1 Then
```

```

    FiLim = Lambda * Abs(MyTetaTut4(tt - 1)) + MyTetaTut1(tt - 1)
    MyT = ((MyTeta / FiLim) ^ t1 / ((MyTeta / FiLim) ^ t1 + 1)) ^ t2
    MyKot = MyKoP + (MyKo - MyKoP) * MyT
    MyMot = MyMop + (MyMo - MyMop) * MyT
    MyKht = MyKhp + (MyKh - MyKhp) * MyT
    MyNpt = Mynp + (Myn - Mynp) * MyT
    'If tt > 3 Then sto = sto / 0
Else
    MyKot = MyKo
    MyMot = MyMo
    MyKht = MyKh
    MyNpt = Myn
End If

MyM = mFunction(MyTeta, MyKht, MyKot, MyNpt, MyMot)
MyM = Round(MyM, 2)

Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM
Next t

'inispoz
Satirim = t
Dim TepeNokY As Single, TepeNokX As Single
TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))
TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))

Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)
Ykes = (MyKh * Xkes)
Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes
Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Satirim = Satirim + 1

MyTetaTut1(tt) = MyX1
MyTetaTut2(tt) = MyX2

'çıkışneg
For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1
    DoEvents
    Range("G" & (6 + t)) = t
    Range("F" & (6 + t)) = tt
    Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _

```

```

((Xkes - FiMin(0)) / KacaBöl)

Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4)
MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

'sikisma hesapları
If tt > 1 Then
    FiLim = Lambda * Abs(MyTetaTut4(tt - 1)) + MyTetaTut1(tt - 1)
    MyT = ((MyTeta / FiLim) ^ t1 / ((MyTeta / FiLim) ^ t1 + 1)) ^ t2
    MyKot = MyKoP + (MyKo - MyKoP) * MyT
    MyMot = MyMop + (MyMo - MyMop) * MyT
    MyKht = MyKhp + (MyKh - MyKhp) * MyT
    MyNpt = Mynp + (Myn - Mynp) * MyT
Else
    MyKot = MyKo
    MyMot = MyMo
    MyKht = MyKh
    MyNpt = Myn
End If

MyM = mFunction(MyTeta, MyKht, MyKot, MyNpt, MyMot)
MyM = Round(MyM, 2)

Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM
Next t

'inişneg
Satirim = t
TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))
TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))
Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)
Ykes = (MyKh * Xkes)
Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes
Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

```

```

Satirim = Satirim + 1

MyTetaTut3(tt) = MyX1
MyTetaTut4(tt) = MyX2

Range("D" & (tt + 4)) = Alanlar(tt) 'alanını ekrana yazdır
DoEvents
Next tt
End Sub

Sub SubMBasit()

'önce eksilerini yaz
Dim t As Integer, tt As Integer, ttt As Integer
Dim MyTeta As Single, MyKo As Single, MyKh As Single
Dim Myn As Single, MyMo As Single, MyM As Single
Dim FiMax(1) As Single, FiMin(1) As Single
Dim AdimSayisi As Integer
Dim Satirim As Integer
Dim Xkes As Single, Ykes As Single
Dim KacaBöl As Integer
Dim MyX1 As Single, MyX2 As Single, MyY2 As Single, MyY1 As Single

ClearLoopTable 'tabloyu temizler

'tanımları çağır
MyKo = Range("A2").Value
MyKh = Range("B2").Value
Myn = Range("C2").Value
MyMo = Range("D2").Value
KacaBöl = Range("F2").Value

'0ları koy
Range("G6") = 0
Range("H6") = 0
Range("I6") = 0
AdimSayisi = Range("E2").Value

Satirim = 1

ReDim Alanlar(AdimSayisi) As Single
For tt = 1 To AdimSayisi 'herbir adım
    FiMax(0) = Range("B" & (tt + 4)) 'girilen fi değeri
    FiMin(0) = Range("C" & (tt + 4))

'çıkışpoz
For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1
    DoEvents
    Range("G" & (6 + t)) = t

```



```

Range("F" & (6 + t)) = tt
Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
((Xkes - FiMax(0)) / KacaBöl) 'fi kolonu

```

```

Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4) 'fi kolonunu yuvarlar

```

```

MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))
MyM = mFunction(MyTeta, MyKh, MyKo, Myn, MyMo)
MyM = Round(MyM, 2)
Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM

```

```

'alanhesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

```

```

Next t

```

```

'inişpoz
Satirim = t
Dim TepeNokY As Single, TepeNokX As Single
TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))
TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))
Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)
Ykes = (MyKh * Xkes)
Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes
Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t

```

```

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Satirim = Satirim + 1

```

```

'çıkışneg
For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1
    DoEvents
    Range("G" & (6 + t)) = t
    Range("F" & (6 + t)) = tt
    Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
    ((Xkes - FiMin(0)) / KacaBöl)

```

```

Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4)
MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))
MyM = mFunction(MyTeta, MyKh, MyKo, Myn, MyMo)

```

```

MyM = Round(MyM, 2)
Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Next t

'inişneg
Satirim = t
TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))
TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))
Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)
Ykes = (MyKh * Xkes)
Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes
Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t

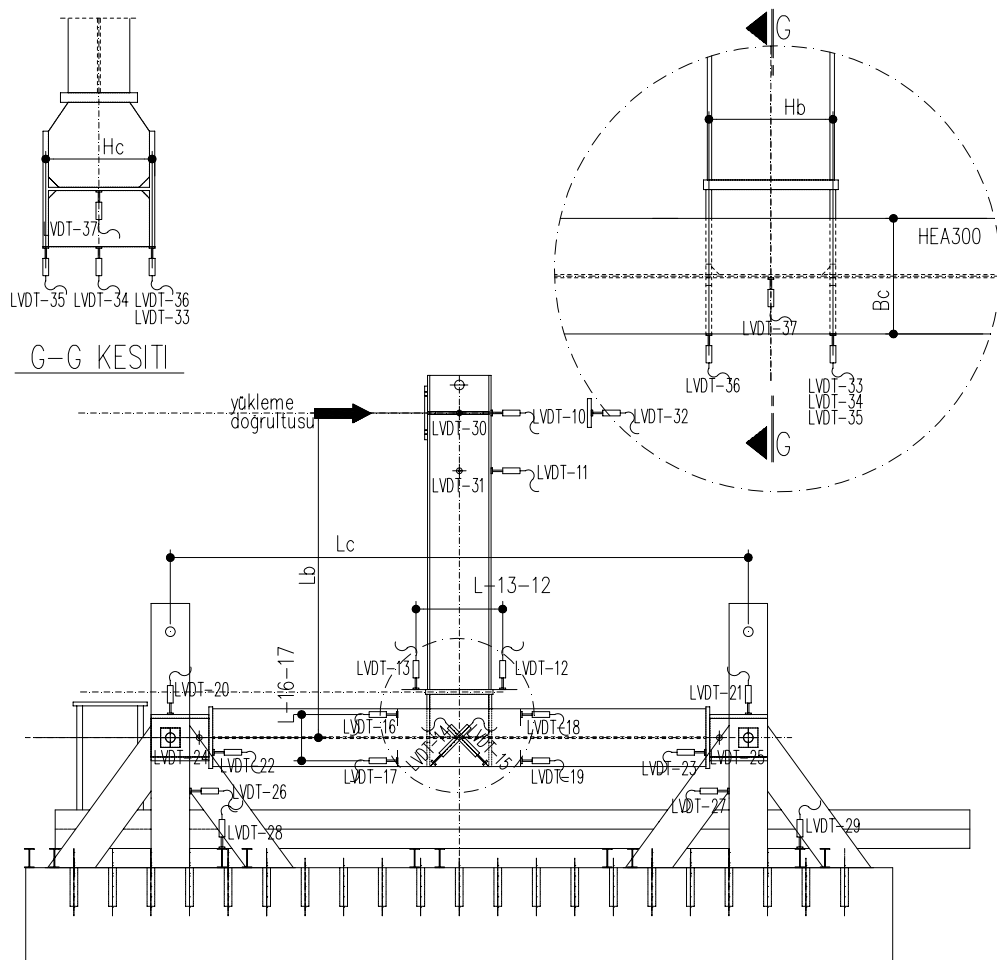
'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Satirim = Satirim + 1

Range("D" & (tt + 4)) = Alanlar(tt) 'alanını ekrana yazdır
DoEvents
Next tt
End Sub

```

EK I

Sayısal ve deneysel veriler aşağıda sunulan metodoloji ile moment-dönme terimlerine çevrilmiştir. Esas alınan noktalar ve geometri değişkenlerinin açıklamaları aşağıda Şekil I.1 olarak verilmiştir.



Şekil I.1 : Genel geometri parametreleri ve okuma noktaları.

Aşağıda Çizelge I.1 olarak toplam dönmeleri ve birleşim dönmelerinin hesaplandığı eşitlikler verilmiştir.

Bu eşitlikler aynı noktalar baz alınarak hem deneysel çalışmada elde edilen verilerin değerlendirilmesinde hem de ANSYS sayısal çalışmasında elde edilen verilerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

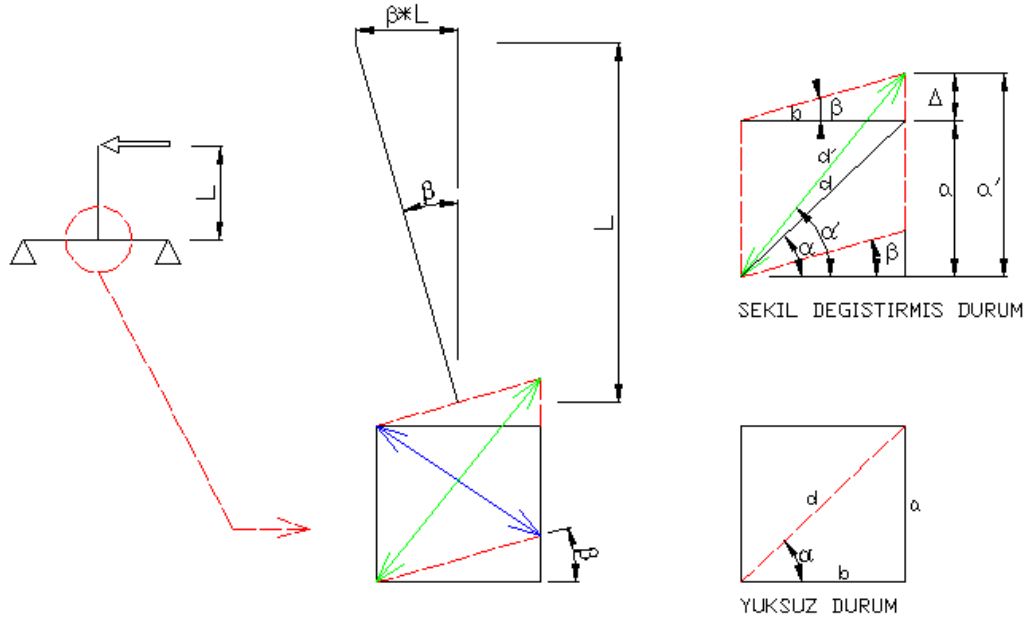
Çizelge I.1 : Değerlendirmelerde kullanılan eşitlikler.

Yükleme	Toplam Moment	$M_{top} = P * L_b$
Sistem Yer Değiştirme ve Dönmeleri	Mesnet Çökmeleri	$\phi_{m\check{c}duş} = L_b * \frac{(Ch20 + Ch28 + Ch21 + Ch29)}{L_c}$ $\phi_{m\check{c}yat} = \frac{(Ch22 + Ch26 + Ch23 + Ch27)}{L_b}$
	Toplam Dönmeler	$\phi_{top} = \frac{(Ch10)}{L_b}$
	Düzeltilmiş Toplam Dönme	$\phi_{topduz} = \phi_{top} - \phi_{m\check{c}duş} - \phi_{m\check{c}yat}$
	Kiriş Dönmesi	$\phi_{kir} = \frac{(Ch13 - Ch12)}{L_{13-12}}$
	Kolon Dönmesi	$\phi_{kol} = \frac{(\frac{(Ch17 - Ch16)}{L_{17-16}} + \frac{(Ch19 - Ch18)}{L_{19-18}})}{2}$
	Kolon Dönmesi + Panel Dönmesi	$\phi_{kol+panel} = (\frac{(Ch36 - Ch33)}{H_b})$

Çizelge I.1 : Değerlendirmelerde kullanılan eşitlikler. (Devam)

Birleşim Yer Değişiklikleri	Kolon Başlığı	$\Delta_{paneluzama} = Ch14$
	Panel	$\Delta_{panelkianama} = Ch15$
	Diyagonal yer Değişiklikleri	$\Delta_{levha} = \frac{(Ch33 + Ch35)}{2} - Ch34$
Birleşim Dönme	Süreklilik Levhası Yer Değişiklikleri	$\Delta_{levha} = \frac{(Ch33 + Ch35)}{2} - Ch34$
	Panel Yer Değişiklikleri	$\Delta_{panel} = H_b \cdot \tan \left[\arccos \left(\frac{H_b}{\sqrt{H_b^2 + B_c^2}} \right) \right] - B_c$
	Birleşim Dönme	$\phi_{bir} = \phi_{topduz} - \phi_{kol} - \phi_{kir}$ $\phi_{bir} = \phi_{levha} + \phi_{panel}$
Birleşim Dönme	Levha Dönme	$\phi_{levha} = \frac{\Delta_{levha}}{L_b}$
	Panel Dönme	$\phi_{panel} = \frac{\Delta_{levha}}{H_b}$

Aşağıda Şekil I.2 olarak panel dönmesinin çeşitli geometri parametrelerine bağlı açıklaması verilmiştir.



Şekil 1.2 : Panel bölgesi şekil değiştirmesinin tepe yer değiştirmesine etkisi.

$$a' = a + \Delta \quad (1.1)$$

$$b = d' \Delta \quad (1.2)$$

$$\cos \alpha' = \frac{b}{d'} \quad (1.3)$$

$$\alpha' = \arccos\left(\frac{b}{d'}\right) \quad (1.4)$$

$$\tan \alpha' = \frac{a + \Delta}{b} \quad (1.5)$$

$$\Delta = b \cdot \tan \alpha' - a \quad (1.6)$$

$$\Delta = b \cdot \tan \left[\arccos\left(\frac{b}{d}\right) \right] - a \quad (1.7)$$

$$\beta = \frac{\Delta}{b} = \tan \left[\arccos\left(\frac{b}{d}\right) \right] - \frac{a}{b} \quad (1.8)$$

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Kerem PEKER

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara - 1972

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi, 1995

Yüksek Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi, 1997

Yayın Listesi:

- **Peker K.**, 2000. The Effects Of Soil Types On Structural Response Of Buildings Under Earthquake Loading, *The International Conference On Steel Structures Of The 2000's* , September 11-13, 2000 İstanbul Turkey.
- Kolgu S., **Peker K.**, 2000. Earthquake Isolation In Steel Structures With Base Isolators, *The International Conference On Steel Structures Of The 2000's* , September 11-13, 2000 İstanbul Turkey.
- **Peker K.**, Pekmezci B., 2003. Damage Analysis For A 210 Minute Fire Exposed Industrial Structure, *Journal SEI* Vol.13 No.04/2003.
- Kolgu S., **Peker K.**, 2003. Effect Of Axial Load, Material Model And Confinement On Behavior Of RC Sections, *The 5th. National Earthquake Engineering Conference*, May 26-30, 2003 İstanbul Turkey.
- **Peker K.**, 2003. Performance Based Approaches To Structural Analysis Of Historical Structures & A Case Study, *The 5th. National Earthquake Engineering Conference*, May 26-30, 2003 İstanbul Turkey.
- **Peker K.**, Togrol E., 2003. Performance Based Approaches To Structural Analysis Of Historical Structures & A Case Study, *International Geotechnical Symposium*, September 16-17, 2003 Saint-Petersburg Russia.
- **Peker K.**, Yardımcı N., 2005. Yatay Yük Davranışı Zayıf Betonarme Çerçevelerin Çelik Çaprazlı Perdeler İle Güçlendirilmesi, *Çelik Yapılar Sempozyumu*, Nisan 21, 2005 Ankara Türkiye.
- Yardımcı N., **Peker K.**, 2006. Zayıf Eksen Çelik Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Çevrimsel Yükler Etkisindeki Davranışı, *Teknik Rapor*, No.104M561, TÜBİTAK MAG, Ankara Türkiye.