

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KUTU KESİTLİ KİRİŞ-KOLONLARIN BERKİTİLMİŞ ALIN  
LEVHALI KAYNAKLI MOMENT AKTARAN BİRLEŞİMLERİ  
İÇİN SÜNEKLİK DETAYLARININ İNCELENMESİ**

**Adnan ZEHİR**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Zeki AY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ YAPI ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2012**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ YAPI ANABİLİM DALI**  
**İSPARTA - 2012**

**TEZ ONAYI**

Adnan ZEHİR tarafından hazırlanan “**Kutu Kesitli Kiriş-Kolonların Berkitilmiş Alın Levhalı Kaynaklı Moment Aktaran Birleşimleri İçin Süneklik Detaylarının İncelenmesi**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Zeki AY

Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :

Yrd. Doç. Dr. Yavuz Selim TAMA

Pamukkale Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Kemal Yücel TUŞAT

Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

(İmza)  
(İmza)  
(İmza)

**Enstitü Müdürü**

Prof. Dr. Cengiz KAYACAN

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
KISALTMALAR .....	ix
1.GİRİŞ .....	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ .....	3
3.MATERYAL VE YÖNTEM .....	16
3.1.Materyal .....	16
3.1.1. Deneysel ve sayısal modeller .....	16
3.1.2. Deneysel modeller mesnet koşulları ve yükleme sistemi .....	24
3.1.3. Deneysel model veri toplama sistemleri .....	25
3.1.4. Sayısal modeller .....	30
3.2. Yöntem .....	31
3.2.1. Performansa dayalı sismik tasarım .....	31
3.2.1.1. Giriş .....	31
3.2.1.2. Plastik analiz yöntem .....	32
4. ARAŞTIRMA BULGULAR .....	33
4.1. Giriş .....	33
4.2. Modellerin Kaynak Alanı ve Performans Analizine Göre TaşımaKapasiteleri...33	
4.3. Deneysel Analiz Sonuçları ve Fotoğrafları.....38	
4.3.1. Alın Levhasız ve Berkitmesiz Model-D1 İçin Sonuçlar.....38	
4.3.2. Alın Levhalı ve Berkitmesiz Model-D2 İçin Sonuçlar.....42	
4.3.3. Alın Levhalı ve Berkitmeli Model-D3 İçin Sonuçlar.....45	
4.3.4. Alın Levhalı ve Berkitmeli Model-D4 İçin Sonuçlar.....47	
4.4. Sayısal Analiz Sonuçları ve Yük Deplasman Eğrilerinin Kıyaslanması .....	50
4.5. Sayısal Analizler Sonucunda Elde Edilen Gerilme Değişimleri .....	56
5. SONUÇ .....	62

6. KAYNAKLAR .....	66
ÖZGEÇMİŞ .....	68

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KUTU KESİTLİ KİRİŞ-KOLONLARIN BERKİTİLMİŞ ALIN LEVHALI KAYNAKLI MOMENT AKTARAN BİRLEŞİMLERİ İÇİN SÜNEKLİK DETAYLARININ İNCELENMESİ

Adnan ZEHİR

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Zeki AY

1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerine kadar, çelik yapıların sismik etkiler karşısında yüksek sismik performansa sahip olduğu şeklinde uygun bir düşünce vardı. Fakat, Northridge ve Kobe depremleri ve sonrasında meydana gelen orta ve şiddetli depremlerde hasar gören çelik yapılar incelendiğinde her çelik yapının sanıldığı kadar da yüksek performans seviyesine sahip olmadığı görülmüştür. Bu nedenle özellikle son on yılda çelik yapıların deprem davranışlarının incelenmesine yönelik çok sayıda analitik ve deneysel çalışma yapılmıştır. Dünyanın birçok ülkesinde konu ile ilgili bilim adamları çalışmalarına devam etmektedir. Yapılan çalışmalar ışığı altında çok yakın tarihte birçok ülke şartnamelerinde önemli değişiklikler yapılmıştır. Türkiye de de yine, yakın zamanda çelik yapıların deprem davranışları üzerine analitik ve deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında yakın zamanda dünyada sağlanan yeni gelişmeler çerçevesinde birçok gelişmiş ülke deprem şartnamesinde olduğu gibi Mart 2007 de yürürlüğe giren Türk Deprem Yönetmeliğinde özellikle çelik yapılar ile önemli değişiklikler yapılmıştır.

Bu çalışmada, berkitilmiş alın levhali kaynaklı moment aktaran birleşimleri için süneklilik detayları incelenmektedir. Çalışmada moment aktaran kolon ve kirişin, simetrik olarak uygulanmış statik artımsal yatay yük altında davranışı incelenmiştir. Modeller aynı yükleme koşulları altında Sap2000 bilgisayar programı ile analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Moment aktaran çelik çerçeveler, Berkitilmiş çerçeveler, Pushover analiz.

2012, 68 sayfa

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF DUCTILITY DETAILS FOR RIBBED END-PLATE WELDED MOMENT RESISTING CONNECTIONS OF BOX SECTION BEAM-COLUMNS**

**Adnan ZEHİR**

**Süleyman Demirel University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Civil Engineering Department**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Zeki AY**

The 1994 Northridge and 1995 Kobe earthquakes showed that new technologies and structural configurations are needed to limit damage to steel structures subjected to moderate and large ground motions. In order to evaluate the behavior and seismic capacity of structures under earthquake effect traditionally, seismic design methods are insufficient. Traditional seismic design methods are based on force. Therefore, for designing earthquake resistant structure, performance based seismic design have been developed recently. The most significant superiority of performance based seismic design to traditional ones, supposed to have different limits for different purposes their, this characteristic can be considered. In recent years, both in our country and in the world, many studies about design of steel structure have been carried out. Most of these studies are analytic studies. Experimental studies, though few in number, are carried out as well. Today thanks to the developments in computer technologies and programs about structure analysis, complex engineering problems can be handled and solved much more easily. The studies carried out by making use of these programs require to be supported with experimental studies.

In these study; seismic performance of concentrically and eccentrically braced steel two-storey steel space frame has been examined. Two-storey regular moment resisting frame, concentrically and eccentrically braced steel two-storey steel space frame subjected to monotonically increasing horizontal loading (Pushover analysis) has been investigated. Structural model has been forced to using concentric load which is has been applied on top of structure. Structural models are analyzed (Pushover analysis) by using SAP2000)

**Key Words:** Moment Resisting Steel Frame, Braced Frames, Pushover analysis, Experimental Studies.

**2012, 68 pages**

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Zeki AY'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlanmasında maddi ve manevi olarak beni destekleyen ve mühendislik hayatımın ilk basamaklarını tırmanırken, mesleki deneyimlerini benimle paylaşmaktan hiç çekinmeyen değerli büyüğüm İnşaat Mühendisi Cengizhan ÖZELÇİYE'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarımın yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen Uzman İlyas Devran ÇELİK ve Boğaçhan BAŞARAN'a teşekkür ederim.

3004-YL-11 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

111M125 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan ve topluma faydalı bir birey olarak katılmamı sağlayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Adnan ZEHİR  
ISPARTA, 2012

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Şematik literatürde sonlu eleman analizleri.....	10
Şekil 2.2. Şematik literatürde kullanılan birleşim detayları.....	12
Şekil 2.3. Konuyla ilgili yapılan araştırmalarda kullanılan deney düzenekleri.....	15
Şekil 3.1. Deneysel model görünümü.....	18
Şekil 3.2. Deneysel model, mesnet düzeneği ve yükleme pistonu genel görünümü..	18
Şekil 3.3. Berkitmesiz alın levhalı birleşim detayı.....	21
Şekil 3.4. Berkitmeli alın levhalı birleşim detayı.....	22
Şekil 3.5. Şahit numune birleşim detayı.....	23
Şekil 3.6. Mesnet detayı ve yükleme pistonu genel görünümü.....	25
Şekil 3.7. Deplasman ölçer yerleşim planı.....	26
Şekil 3.8. Gerinim pulu yerleşim planı.....	27
Şekil 3.9. Deneysel model görünümü.....	29
Şekil 3.10. St37 yapı çeliği gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	30
Şekil 3.11. Plastik hesap yöntemi.....	32
Şekil 4.1. Deneysel ve sayısal analizler sonucu elde edilen değerlerin kaynak taşıma kapasitesi ile Uygulanan yatay kuvvet bakımından kıyaslanması.....	37
Şekil 4.2. Deneysel ve sayısal analizler sonucu elde edilen değerlerin kaynak taşıma kapasitesi ile elde edilen moment bakımından kıyaslanması.....	37
Şekil 4.3. D-Model 1-1 için D4 noktasına ait yük deplasman eğrisi.....	38
Şekil 4.4. D-Model 1-1 yükleme sonrası genel görünümü.....	39
Şekil 4.5. D-Model 1 için D4 noktasına ait yük deplasman eğrisi.....	40
Şekil 4.6. D-Model 1 için D3 noktasına ait yük deplasman eğrisi.....	40
Şekil 4.7. D-Model 1 deneysel yükleme sonrası genel görünüm.....	41
Şekil 4.8. D-Model 2 için D4 noktasına ait yük deplasman eğrisi.....	42
Şekil 4.9. D-Model 2 için D3 noktasına ait yük deplasman eğrisi.....	43
Şekil 4.10. D-Model 2 için deney sonrası genel görünümü.....	44
Şekil 4.11. D-Model 3 için D4 noktasına ait yük deplasman eğrisi.....	45
Şekil 4.12. D-Model 3 için D3 noktasına ait yük deplasman eğrisi.....	46
Şekil 4.13. D-Model 3 için deney sonrası genel görünüm.....	47
Şekil 4.14. D-Model 4 için D4 noktasına ait yük deplasman eğrisi.....	48

Şekil 4.15. D-Model 4 için D3 noktasına ait yük deplasman eğrisi.....	48
Şekil 4.16. D-Model 4 için deney sonrası genel görünüm.....	49
Şekil 4.17. D-Model 1,1-1,2 modellere ait D4 noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması.....	50
Şekil 4.18. D-Model 1-2 modellere ait D4 noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması .....	51
Şekil 4.19. D-Model 3-4 modellerine ait D4 noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması .....	52
Şekil 4.20. D-Model 1-3-4 modellerine ait D4 noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması .....	52
Şekil 4.21. D-Model 2-3-4 modellerine ait D4 noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması .....	53
Şekil 4.22. D-Model 1-1, D-Model 1,S-Model 1 modellerine ait D4 noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması .....	54
Şekil 4.23. D-Model 1-1,D-Model 1,D-Model 2, S-Model 2, modellerine ait D4 noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması .....	54
Şekil 4.24. D-Model 3, S-Model 3, modellerine ait D4 noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması .....	55
Şekil 4.25. D-Model 4, S-Model 4, modellerine ait D4 noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması .....	55
Şekil 4.26. S-Model 2 Deforme olmuş hal için S11 gerilme dağılımı genel görünüm.....	56
Şekil 4.27. S-Model 2 Deforme olmuş hal için alın levhası- kolon S11 gerilme dağılımı kıyaslaması .....	57
Şekil 4.28. S-Model 3 Deforme olmuş hal için S11 gerilme dağılımı genel görünüm.....	58
Şekil 4.29. S-Model 3 Deforme olmuş hal için alın levhası- kolon S11 gerilme dağılımı kıyaslaması.....	59
Şekil 4.30. S-Model 4 Deforme olmuş hal için S11 gerilme dağılımı genel görünüm.....	60
Şekil 4.31. S-Model 4 Deforme olmuş hal için alın levhası- kolon S11 gerilme dağılımı kıyaslaması.....	61

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Soğuk ve sıcak haddelenmiş kutu kesitli profillerin kimyasal içerikleri.....	17
Çizelge 3.2. Birleşim tipleri ve boyutları.....	20
Çizelge 3.3. Yapı çelikleri malzeme karakteristikleri.....	20
Çizelge 4.1. Kolon-kiriş, alın levhası-kolon arası kaynak alanları ve taşıma kapasiteleri.....	34
Çizelge 4.2. Deneysel ve Sayısal modeller statik artımsal yükleme sonucu 0,04 radyan için elde edilen maksimum moment ve kesme kuvveti kapasiteleri.....	35

## SİMGELER DİZİNİ

$\alpha_1$	İkinci mertebe etkilerinin birinci mertebe momentine oranı
$\Delta$	Deplasman
$A_0$	Etkin yer ivmesi katsayısı
$e_1$	Servis yükü katsayısı
$e_2$	Burkulma güvenlik katsayısı
$h$	Çubuk boyu
$H$	H yükü
$H_a$	Kiriş genişliği
$H_b$	Alın levhasında kiriş ortalanırken bir yanında kalan genişlik
$I$	Bina önem katsayısı
$M''$	Eğilme momenti
$P$	Yük
$P_B$	Burkulma yükü
$P_{cr}$	Dallanma burkulması
$R$	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a$	Deprem yükü azaltma katsayısı
$T$	Doğal Titreşim Periyodu
$t_1$	Alın levhası et kalınlığı
$V_a$	Kiriş yüksekliği
$V_b$	Alın levhasında kiriş ortalanırken bir yanında kalan yükseklik
$V_t$	Taban kesme kuvveti
$W_A$	Elastik deprem yükleri
$\delta$	Yer değiştirme
CEV	Carbon Equivalent Value

## 1. GİRİŞ

Bir çelik yapı, deprem etkisine maruz kaldığı zaman, depremin yapıya uyguladığı enerji ile yapının kinetik enerjisi, geri dönen elastik şekil değiştirme enerjisi, viskoz sönüm enerjisi ve geri dönmeyen (tüketilen) histerik enerji arasındaki denge, yapının deprem etkisi altında davranışını belirler. Depremin başlangıcında veya orta şiddetli depremler için, tüm sismik enerji sönüm tarafından dengelenir. Şiddetli depremler için, sönüm enerjisinin, depremin uygulamış olduğu enerjiden küçük olması halinde ise, sönüm enerjisi ile depremin uygulamış olduğu enerji arasındaki fark, histerik enerji ile dengelenir. Bu fark yapının duktilitesini tanımlar. Depreme dayanıklı yapı tasarımı uygulamalarında, duktilite terimi plastik deformasyonlar sayesinde tüketilen enerjiyi ifade eder ve yapının deprem etkisine karşı koyabilme kabiliyetini ifade etmek için kullanılır.

Ülkemizde halen yürürlükte olan deprem yönetmeliği (TDY-2007) çelik yapılar ile ilgili 4.cü bölümü daha önceki yönetmeliklerden farklı olarak birleşim detayları ile ilgili önemli hükümler içermektedir. Yönetmeliğe göre, yapının plastik deformasyonlarla, depremin yapıya yüklemiş olduğu enerjiyi sönümleme kabiliyetinin göz önüne alınabilmesine olanak sağlamak maksadı ile, Eşdeğer Deprem Yüğü yani taban kesme kuvveti  $V_t$ , Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı  $R_a$  ise Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı  $R$ 'ye ve Doğal Titreşim Peryodu  $T$ 'ye bağlı olarak hesaplanmaktadır. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı  $R$  ise süneklik düzeyi ve bina taşıyıcı sistemine göre belirlenmektedir. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısının  $R$ 'nin belirlenebilmesi için ise, yapının süneklik düzeyinin tespit edilmesi gerekmektedir. TDY-2007'nin Çelik Binaların Deprem Dayanıklı Tasarımı ile ilgili 4.cü bölümde çelik taşıyıcı sistemler süneklik düzeyi normal ve süneklik düzeyi yüksek sistemler olarak tanımlanmaktadır. Çelik bir çerçeve sistemin "süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem" olarak tanımlanabilmesi ile ilgili bazı koşullara ilave olarak moment aktaran kiriş/kolon birleşimlerle de koşullar verilmektedir. Bu koşullarla ilgili, TDY-2007 Bilgilendirme Eki 4A'da verilen geçerliliği kanıtlamış olan kiriş-kolon birleşim detaylarının kullanılması zorunlu kılınmaktadır. Bilgilendirme Eki 4A'da (Şekil 4.A. 1,2,3,4,5,6) verilen birleşim

detayları ise sadece I profilleri ile ilgili detaylardır. Kutu ya da boru kesitli profillerden oluşan kiriş-kolon birleşim detayları ile ilgili herhangi bir birleşim detayı verilmemektedir. Bu nedenle, TDY 2007’de, kutu ya da boru kesitli elemanlardan oluşan moment aktaran çelik çerçeve sistemlerin deprem hesabında, birleşim detayı ile ilgili olarak herhangi bir detay verilmediği için taşıyıcı sistemin süneklik düzeyi tanımlamasında bir belirsizlik mevcuttur. Diğer taraftan, UBC, IBC, Eurocode 8 ve Fema 356 vb. standartlarda da bu eksiklik görülmektedir. Türkiye’de, I ve diğer hadde ürünleri kadar kutu ya da boru profillerde çelik inşaatta yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, kutu profillerden yapılan moment aktaran çelik çerçeve sistemlerin süneklik düzeyi tanımlamasının yapılabilmesi için TDY-2007’de ki bu eksikliğin giderilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, bilinen bu eksikliğin bir bölümü sınırlı sayıda detay için yapılacak araştırmalarla giderilmeye çalışılacaktır.

Bu tezde, kutu kesitli kiriş-kolonların berkitilmiş alın levhalı kaynaklı moment aktaran birleşimi için süneklik detaylarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Berkitilmiş alın levhalı kaynaklı moment aktaran birleşimlerde, profil boyutlarının ve malzeme özelliklerinin düzlem ve düzlem dışı burkulma, şekil değiştirme oranı, yükleme sayısı gibi değişik parametrelerin dönme kapasitesinin üzerine etkisi sayısal ve deneysel olarak incelenecektir. Çelik elemanların plastik mafsallarının dönme kapasitesi Sap2000 programı yardımı ile sonlu eleman yöntemi kullanılarak belirlenmeye çalışılacaktır. Çok sayıda model için, sayısal analizler gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar ile, deneylerden elde edilecek sonuçlar karşılaştırılarak verilecektir. Malzeme özellikleri, eleman boyutları, moment variation, burkulma tipi(düzlemde veya düzlem dışında), strain rate’in etkisiyle tekrarlı yükleme sayısı etkisi gibi dönme kapasitesine etkiyen ana faktörler analizlerde ve deneylerde dikkate alınacaktır.

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Son on yıllarda çelik yapıların, deprem davranışlarının incelenmesine yönelik çok sayıda analitik ve deneysel çalışma yapılmıştır. Dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi ülkemizde de konu ile ilgili bilim adamları çalışmalarına devam etmektedir. Çelik malzemenin deprem etkileri altında göstermiş olduğu yüksek performansın çelik yapı sistemlerinde de elde edilmesi için birleşim noktalarının yapının genel sismik performansını bozmayacak şekilde tasarımının yapılması gerekmektedir. Bu amaçla özellikle Amerika ve gelişmiş ülkelerde standart ve yönetmeliklerde önemli değişiklikler yapılmıştır. Konuyla ilgili çalışmalar aşağıda belirtilmiş ve özetlenmeye çalışılmıştır.

Berman ve Bruneau (2008), çalışmalarında, bağlantı kiriş, elemanın yanal burkulma yönünden güçlendirilmemiş dışmerkez çaprazlı çerçeve, kutu kesitli elemanlardan oluşan çerçeve önce deneysel ve sonrasında analitik incelenmiştir. Çalışmada, sadece kesitler göz önüne alınarak, farklı gövde ve başlık akma dayanımına ve kalınlığına sahip genel kutu kesitler için plastik kesme ve moment dayanımları çıkartılmıştır. Denklemler, başlık ve gövde burkulmasını engellemek için minimum gövde rijitleştirme mesafesi ve maksimum başlık kalınlığı için çıkarılmıştır. Bağlantı kirişi, güvenli şekilde kaynaklanmış, farklı kalınlıklı gövde ve başlığın birleşmesiyle oluşan bir kutu kesite sahiptir. Deneysel sonuçlar, bağlantı elemanında dayanım açısından öncelikli problemin başlık kırılması olduğunu göstermiştir. Geniş başlıklı bağlantı kirişi, 0.15 rad dönmeye ulaşmıştır. Bu da yürürlükte olan şartnamelerde verilen 0.08 rad sınırının hemen hemen iki katıdır. Sonuç olarak, shell elemanlar kullanılarak geliştirilen, bağlantı kirişi sonlu eleman modeli analiz sonuçları ile deneysel sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Dicleli ve Anshu (2007), Bu çalışmalarında, nonlinear sonlu eleman tabanlı ADINA yazılımını kullanarak, çelik çaprazın burkulma davranışını da içeren çevrimsel eksenel kuvvet deformasyon davranışını benzetmek için yapısal bir model geliştirmişlerdir. Nonlinear çevrimsel eksenel kuvvet deformasyon benzeşimi kutu kesitli çapraz eleman birleşimi için yapılmıştır. Fakat, bu çalışmada tanımlanan

yapısal model ve simülasyon teknikleri, malzeme ve geometri nonlineeritesinin elle kontrol edilebildiği diğer yapısal analiz yazılımları kullanılarak çeşitli kesit tiplerine sahip çapraz elemanlar için uygulanabilir özelliktedir. Geliştirilen nonlineer çapraz yapısal modeli literatürdeki mevcut test sonuçları kullanılarak doğrulanmıştır. Enerji dağıtımı ve analitik histeris çevrimlerin şeklinin doğruluğunun deneyselle karşılaştırıldığında, uygulamadaki tasarım ve analiz amaçları için güvenilir olduğu görülmüştür. Geliştirilen nonlineer çapraz yapısal model, daha sonra tek katlı, tek açıklıklı merkezi ters V çaprazlı çerçevenin sismik davranışı üzerine yapısal parametreler ve çeşitli yer hareketi etkilerini çalışmak için kullanılmıştır.

Chao ve Goel, 2006, çalışmalarında, son zamanlarda geliştirilen enerjiye dayalı plastik tasarım yöntemi üzerine bir özet çalışmanın bazı sonuçlarını sunmuşlardır. Yöntem, Histerik döngüleri “daralan” bir durum sergileyen, burkulması sınırlanmamış merkezi çaprazlı çerçeveler üzerine uygulanmıştır. Metot orijinal olarak geliştirilmiştir. Moment aktaran çerçeveler ve son zamanlarda dış merkez çarpalı çerçeveler (EBF) için başarıyla uygulanmıştır. Tasarım kavramı, performans sınır durumları olarak akma mekanizması ve önceden seçilen hedef ötelenmeleri kullanmaktadır. Tasarım yanal kuvvetleri, enerji denklemleri kullanılarak türetilmektedir. Denklemden, hedef ötelenmeye kadar yapıyı itmek için gereken enerji, seçilen bir elastik tasarım spektrumdan elde edilen elastik girdi enerjinin kırılması olarak hesaplanır. İstenen davranış ve akma mekanizmasına ulaşmak amacıyla, çerçeve elemanlarını detaylandırmak için daha sonra plastik tasarım yapılmıştır. Önerilen yöntemle dizayn edilen örnek çerçeveye uygulanan inelastik dinamik analizden elde edilen sonuçlar, çerçevenin istenen tüm performans amaçlarını gerçekleştirdiğini göstermiştir. Bu performans amaçları, çeşitli risk seviyeleri altında çapraz eleman burkulmalarını engellemekle birlikte istenen kat ötelenmeleri ve akma mekanizmalarını içermektedir. Öte yandan, aynı yapılar, özel merkezi çaprazlı çerçeveler olarak güncel yönetmelik koşullarına göre dizayn edildikleri zaman çok zayıf davranış göstermişlerdir. Bunun nedeni, çapraz elemanların, stabilite bozukluğu ve çok büyük ötelenmelere yol açan erken kırılmalarıdır.

Nakashima vd. (2004), bu makale, 3 katlı, tam ölçekli bir çelik moment çerçeve üzerinde deneysel bir çalışmadır. Deney, çevrimsel yükleme altında bir çelik moment çerçevenin mafsallaşması ve hasarı hakkında “gerçek” bilgi edinmek, yapısal olmayan elemanlar ve yapısal çerçeve arasındaki etkileşim ve gerçek çevrimsel davranışı izlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, deney programı ve deney modelinin deney öncesi ve sonrası sayısal analiz sonuçları ve deneysel sonuçlar arasındaki korelasyonu tartışılmıştır. Çalışma sonucunda, kirişler, panelzonlar ve kolon tabanlarında(esasen bulonların akmasından dolayı) dengeli deformasyonlar gözlenmiştir. Günlük tasarım pratiklerinde yaygın şekilde uygulanan günümüzdeki nümerik analizlerin tasarım araçları olarak yeterli olduğu görülmüştür. Pekleşmenin derecesini belirlemek için uygun bir prosedür olmasına ve kompozit etkinin henüz belirlenmemesine rağmen, kompozit etki ve akmadan sonra pekleşmenin dahil olduğu, nümerik analizler, deney yapı modelinin çevrimsel davranışıyla büyük doğruluklarla eşleşebileceğini göstermiştir.

Mahim vd. (2002), çalışmasında, 1995 Hyogo-ken Nanbu, 1994 Northridge ve 1989 Lomo Prieta depremleri esnasında kaynaklı birleşimli moment dayanımlı çelik çerçeve binalar için beklenmeyen hasarları değerlendirmek amacıyla önemli araştırmalar yapıldığını belirtmektedir. FEMA (Federal Emergency Management Agency) 6 yıllık büyük bir program üstlenmiş, araştırma sonuçlarını yorumlamış ve sentezlemiş, yeni çelik moment çerçeve yapıların tasarım ve inşası için maliyet etkileri, uygulamaya yönelik ve güvenilir gelişimi için ilave araştırmalara rehberlik etmiştir. Bu rapor, bu araştırma programının baştan başa organizasyon ve yönetimi, rehber geliştirme eğitim ve emsal değerlendirme, üstelenilen araştırmanın kapsamı ve genel organizasyonu ve geliştirilen rehberlerin içeriğini gözden geçirmiştir.

Yun vd. (2002), bu çalışmalarında, nonlinear dinamikler ve güvenilirlik teorisine dayanan, bir performans tahminini ve değerlendirme prosedürünü anlatmaktadırlar. Prosedür, yer hareket risk eğrisi, nonlinear dinamik deplasman talebi ve deplasman kapasitesi olmak üzere, üç anahtar olasılıklı (stokastik) modelin baştan sona bütünleşmesinde önemli rol oynamaktadır. Dahası, hem epistemik hem de şansa bağlı belirsizlikler analizle elde edilir ve değerlendirilir. Belirsizlik analizlerinin bir

grubu yapının yönlendirmesi, analiz prosedürü, sönüm, malzeme özellikleri, canlı yük ve periyot gibi prosedürler için girdileri oluşturmaktadır. Geleneksel tek sınır durumu yerine iki sınır durumu tanımlanmaktadır. Verilen bir risk için yeterli performans seviyesinden dolayı, güven seviyesini tahmin etmek amacıyla basit bir yöntem vermektedir. Bu makalede tanımlanan prosedürle, verilen bir risk seviyesi için dokuz katlı binanın Northridge öncesi ve sonrası güven seviyesi hesaplanmıştır. Büyük depremlerde, yeni, moment aktaran çelik çerçeve binaların, daha eski teknolojilerle inşa ve dizayn edilen mevcut binalardan daha iyi performans göstermeleri beklenmektedir.

Foutch ve Yun (2001), Çalışmalarında, 1997 NEHRP provizyonlarına göre dizayn edilmiş 9 katlı ve 20 katlı binaları kullanılmışlardır. Bu yapılar için farklı modeller geliştirilmiş, statik ve dinamik olarak analiz edilmiştir. Modeller, panel bölgeleri için lineer ve nonlineer yaylar, kiriş birleşimleri için nonlineer yaylar ve açıklık uzunluğu veya elemanların aks ölçüleri kullanılarak incelenmiştir. Bir ikinci grup modele Northridge öncesi birleşim davranışına benzetmek için kiriş birleşimlerinin kırılma davranışı dahil edilmiştir. Dinamik analiz için tipik California ve yakın fay yer hareketi olmak üzere iki yer hareketi kullanılmıştır. Farklı modellerdeki yapısal davranışlardaki farklar her iki yer hareketi için de araştırılmıştır. Çatı deplasman kontrollü statik pushover analize göre, detaylı modelleme sonucu artan kapasitenin faydası, 9 ve 20 katlı binalar için tutarlı bir şekilde gözlemlenmiştir. Modellere her bir gruptan farklı yer hareketleri uygulandığı zaman daha detaylı modellerin medyan davranışları, beklenildiği gibi talepte bir düşüş ve kapasitede bir artış göstermiştir. Baştan sona, panel bölgesi ve döşemeden kompozit etkisi olmaksızın bir eşdeğer düşey(gravity) açıklığı, kiriş ve kolonlar arasındaki açık uzunluk ölçüsünü içeren modelin uygun model olacağı görülmüştür.

Gioncu (2000), bu genel raporda, çelik çerçeve yapıların sismik davranışı ile ilişkili olarak düktilite için bilgi birikimi araştırma çalışmalarını tekrar gözden geçirmeyi amaçlamıştır. Mevcut düktilite, düğüm noktasının genel davranışı olarak elde edilirken, istenen düktilite yapı davranışının bütün seviyelerinde belirlenmiştir. Düktilite kontrolü sismik ve düzgün yükler için yapılabilir. Düzgün yükler için

pushover yöntem bir rijit plastik global mekanizmanın temeli üzerine Mazzolini ve Pluso tarafından önerilen basitleştirilmiş formda geliştirilmiştir. Aynı zamanda bir lokal plastik mekanizma belirlenen mevcut duktilite için kullanılmıştır. Sismik yükler için, istenen duktilite, bazı önemli düzeltmelere neden olan, yakın ve uzak kaynaklı depremler arasındaki farklar vurgulanmıştır. Sonunda, bu elde edilen sonuçlar kullanılarak , tasarımcı eğer mevcut duktilite istenen duktiliteden daha büyükse doğrulayabileceğini göstermiştir.

Chopra (1999), bu çalışmasında, ATC 40 ve FEMA 274 dokümanlarında verilen, elastik ötesi olarak deforme olması beklenen bir binaya uygulanan deplasman etkilerini belirlemek için basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz prosedürlerini incelemiştir. Bu dokümanlardaki nonlinear statik prosedür kapasite spektrum yöntemine dayanan birkaç yaklaşım gerektirir. Pushover analiz için yanal kuvvet dağılımı ve kapasite diyagramına göre bu sonuçların değişimi yalnızca elastik sistemin temel titreşim moduna dayanır. Elastik ötesi tek serbestlik dereceli bir sistemin(TSD) depremden kaynaklanan deformasyonlarını dinamik analiz ile belirlemek yerine eşdeğer doğrusal TSD bir sistemin ardışık olarak belirlenmektedir. Çalışmada, bu son yaklaşım ilk defa değerlendirilmiş ve elastik ötesi tek serbestlik dereceli sistemlerin pik deformasyonunu tahmin etmek için, kapasite ve etki diyagramların dayanan düzeltilmiş, basitleştirilmiş bir analiz prosedürü geliştirilmiştir.

Çelik yapı sistemlerinin sismik bir etki altındaki davranışı, malzeme özellikleri, kesit geometrileri ek ve birleşim yer ve şekillerine bağlıdır. Bu bağlamda, kiriş kolon bağlantılarının biçimsel özellikleri, elemanın malzeme özellikleri ve eleman kesit özellikleri, bağlantının dönme kapasitesinde önemli bir etken durumundadır. Bağlantı noktalarında gevrek kırılmaların olmaması, bunun yerine, bu bağlantıların sistemin sünekliğine uygun bir davranış sergilemesi istenir. Bağlantıdaki bu sünek davranış, elemanın bağlantı noktasındaki dönme kapasitesini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Özellikle, yakın zamanlarda meydana gelen depremler sonrasında, hasar gören çelik yapılar üzerinde gerçekleştirilen araştırmalarda, en önemli hasar nedenleri arasında kolon kiriş bağlantı noktalarında ortaya çıkan gevrek

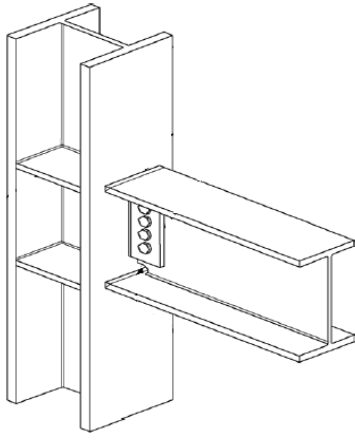
kırılmaların olduğu tespit edilmiştir. Meydana gelen bu gevrek kırılmaların ise çelik yapı sistemlerinin göçmelerinde önemli bir sebep olduğu gözlemlenmiştir. Gevrek kırılma beraberinde bir dizi yapısal bozukluğa neden olduğu için, bunun engellenmesi sadece can güvenliği açısından değil, aynı zamanda yapısal fonksiyonun devamı açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, depremden sonra özellikle birleşimlerin, yapıların sismik performansına etkilerinin araştırıldığı çok sayıda deneysel ve analitik çalışma yapılmıştır. Çelik malzemenin deprem etkileri altında göstermiş olduğu yüksek performansın çelik yapı sistemlerinde elde edilmesi için birleşim noktalarının yapının genel sismik performansını bozmayacak şekilde tasarımının yapılması gerekmektedir. Bu amaçla özellikle Amerika ve gelişmiş ülkelerde standart ve yönetmeliklerde önemli değişiklikler yapılmıştır. Ülkemizde ise 2007 yılında kabul edilen son deprem yönetmeliğine önemli ilaveler yapılmıştır. Diğer taraftan TS648, TS498 gibi yönetmeliklerimiz, halen dünyada meydana gelen bu gelişmeler karşısında uyumsuz ve yetersiz durumdadır.

İyi tasarlanmış çelik çerçeve yapıda çeşitli sismik yükler altında meydana gelen inelastik deformasyonları kolon kiriş birleşim noktasında meydana gelen kiriş plastik mafsalları sınırlandırmaktadır. Kiriş uç noktasındaki bu plastik mafsalları dönme kapasitesi ve çelik yapılarda plastik deformasyonların dağılımı yapının enerji sönmüleme özelliğini arttırmaktadır. Özellikle kolon kiriş birleşim noktalarında gerilme dağılımlarının ve dönme kapasitesinin belirlenmesine yönelik analitik çalışmalarda sistem elemanları, çerçeve yaklaşımı ile modellenerek incelemeler yapılmaktadır. Böylelikle birleşim araçlarındaki gerilme dağılımları ve beklenen plastik mafsalları oluşum bölgelerindeki gerilme dağılımları görülebilmekte, plastik mafsalları boyunun ve plastikleşme biçimi ortaya konulabilmektedir. Kiriş kolon birleşiminin dönme kapasitesi, birleşimdeki bir çatlamanın başlangıcı ya da dayanım azalması ile açıklanmaktadır. Sonlu elemanlar analizi ile bu durum görülebilmektedir.

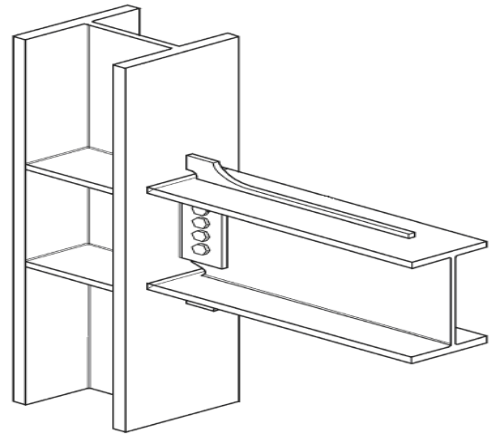
Moment aktaran bulonlu birleşimlerde, literatürde çelik yapıların sismik performansını arttıran çok farklı tasarım yöntemleri önerilmektedir. Önerilen tüm

detay çeşitleri için hem deneysel çalışma hem de sonlu elemanlar analizi yapılarak sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Yakın tarihte yapılan bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

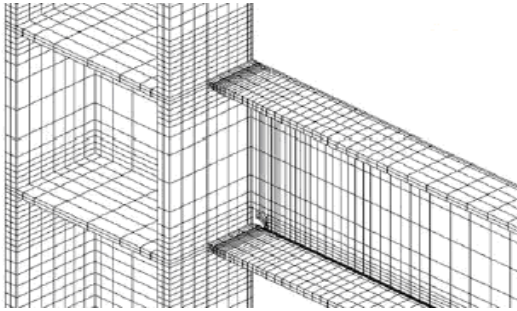
Örneğin, kirişi kolona bağlarken kullanılan basit düşey güçlendirme levha elemanı (rib), kaynaklarda gerilme yoğunluğunu azaltabilmektedir. Aşağıdaki şekillerde (Şekil 2.1. a, b, c, d, e, f, g) sonlu eleman analizi ile yapılan bir çalışmada bu durum açık bir şekilde gösterilmiştir (Chen, vd., 2003–2005).



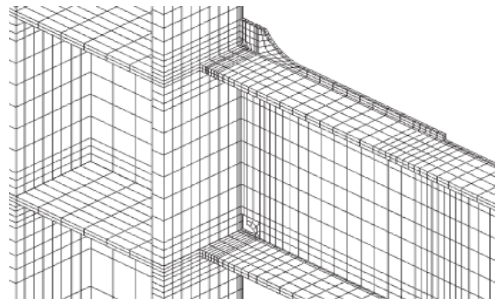
a) Kiriş kolon birleşim örneği  
(Chen vd., 2005)



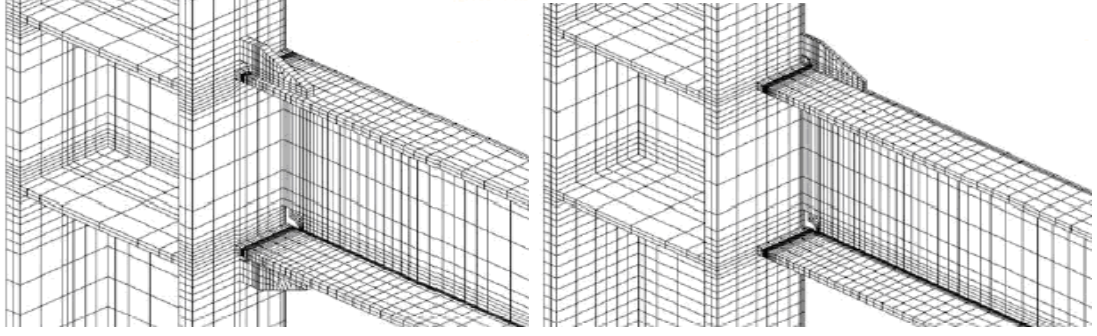
b) Uzatılmış düşey birleşim elemanı (rib) ile dayanımı artırılmış birleşim  
(Chen vd., 2003)



c) Güçlendirilmemiş kiriş kolon birleşimi için üç boyutlu sonlu eleman ağı  
(Chen vd., 2005)

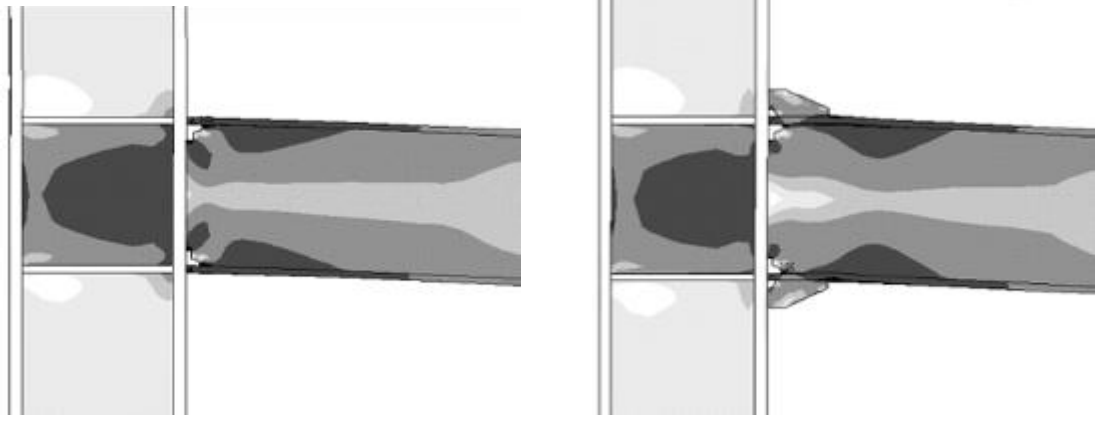


d) Güçlendirilmiş kiriş kolon birleşimi için üç boyutlu sonlu eleman ağı  
(Chen vd., 2003)



e) Güçlendirilmemiş kiriş kolon birleşimi için üç boyutlu sonlu eleman ağı (Chen vd., 2005)

f) Güçlendirilmiş kiriş kolon birleşimi için üç boyutlu sonlu eleman ağı (Chen vd., 2005)



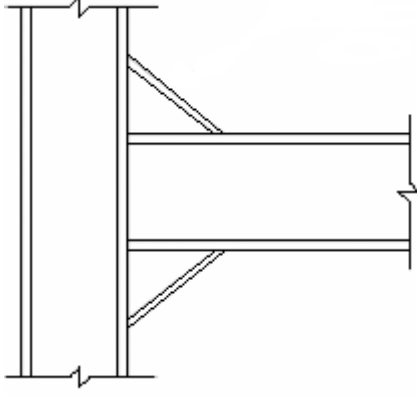
g) Düşey birleşimsiz (ribsiz) bağlantıda gerilme dağılımı (Chen vd., 2003)

h) Düşey birleşimli (ribli) bağlantıda gerilme dağılımı (Chen vd., 2003)

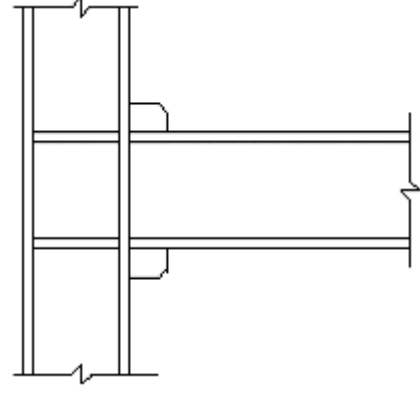
Şekil 2.1. Şematik literatürde sonlu eleman analizleri

Bir diğer çalışmada (Wilkinson S. vd.), depreme dayanıklı yapı tasarımında, moment dayanımlı birleşim için bir başka birleşim detayı verilmektedir. Plastik mafsallı kolondan belirli bir mesafeye uzaklaştırma düşüncesi birleşimde daha az kaynak kullanılması ve daha ekonomik olması için böyle bir detay önerilmektedir. Kirişin plastikleşme kapasitesi, gövde derinliğinin azaltılması ve başlıkların yeri, kiriş profiline göre tasarlanmasıyla arttırılmaktadır. Bu durum, kiriş başlıklarındaki lokal burkulmayı en aza indirgeyerek yapılmakta, değişik deneysel ve analitik çalışmalarla da gösterilmektedir. Özellikle kaynaklı çelik yapılarda, kaynaklarda deformasyonlar

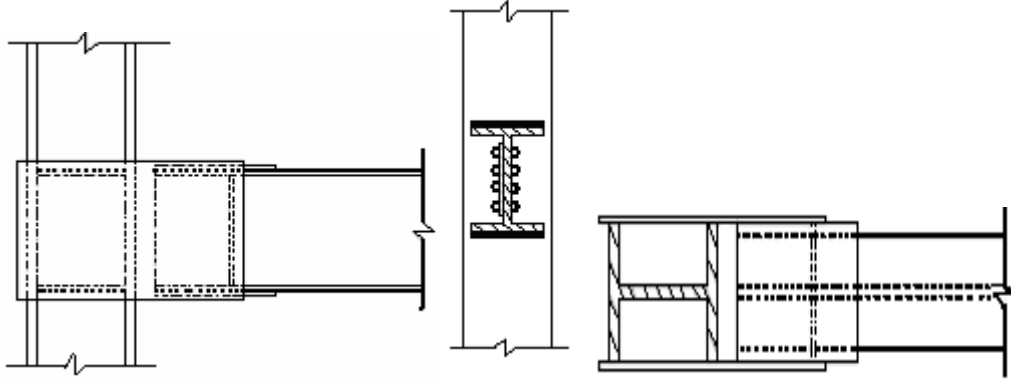
meydana gelmeden kirişin plastikleşerek sistemin enerji yutma kapasitesini arttırmaya yönelik geliştirilen detaylar aşağıdaki şekillerde (Şekil 2.2. a, b, c, d, e, f, g) verilmiştir.



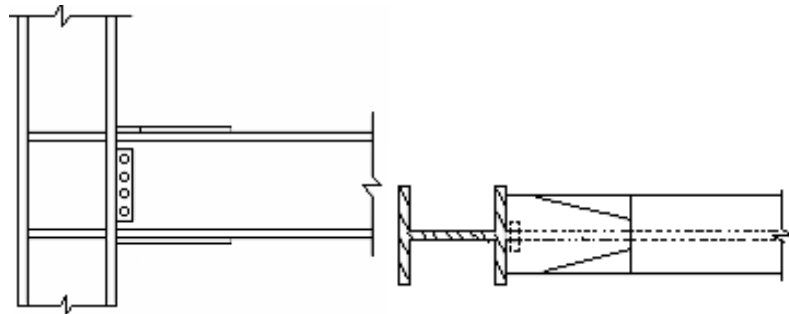
a) Haunch detayı  
(Wilkinson vd., 2005)



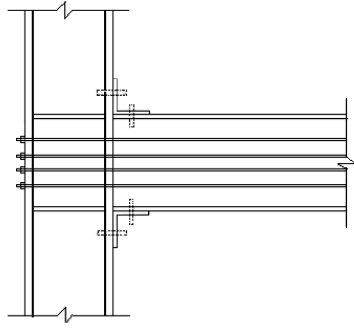
b) Düşey Eleman (rib)  
(Wilkinson vd., 2005)



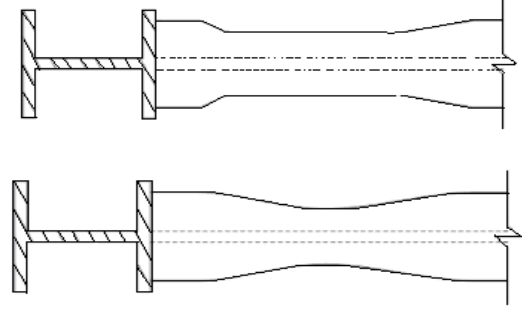
c) Kolon birleşimi (Wilkinson vd., 2005)



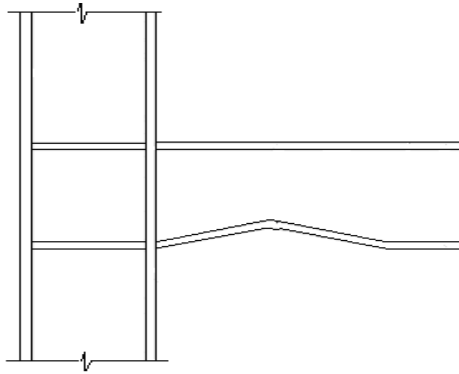
d) Dayanımı artırılmış kolon kiriş birleşimi (Wilkinson vd., 2005)



e) Art germe sistemli birleşim  
(Wilkinson vd., 2005)



f) Kısmen zayıflatılmış kiriş sistemi örnekleri  
(Wilkinson vd., 2005)



g) Kısmen zayıflatılmış kiriş sistemi örneği (Wilkinson vd., 2005)

Şekil 2.2. Şematik literatürde kullanılan birleşim detayları

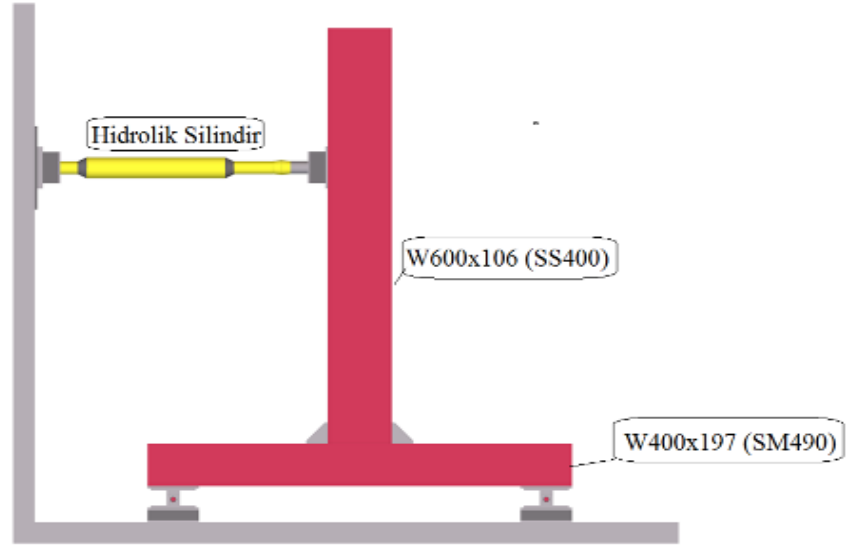
Başka bir çalışmada (Jin, 2005), depreme dayanıklı çelik yapı tasarımında kiriş ucunda meydana gelen plastik mafsalsın kolon yüzeyinden uzaklaştırılması önemli bir kural iken, diğer önemli bir kural da plastikleşme olurken plastik mafsalsın boyunun kiriş açıklığına doğru ve mümkün olduğunca büyük olacak şekilde detaylandırılmasıdır. Önerilen bu detayla ilgili yapılan teorik ve deneysel çalışmalarda elde edilen histerik eğriler göstermektedir ki birleşim noktalarında akma sonrası deformasyon kapasitesi oldukça büyük olmaktadır. Enerji dağılım kapasitesinde bir kayıp olmadan 0,05 rad. kadar plastik dönmeler gözlemlenmiştir. Bu detay burulma rijitliği açısından yapıya dogbone kesitine göre daha üstün performans sağlamaktadır.

Çelik yapıların sismik performansını arttırmak için uygulanan yöntemlerden birisi de kolon kiriş birleşim bölgesindeki kiriş uçlarında kesitin küçültülmesi (zayıflatılması)

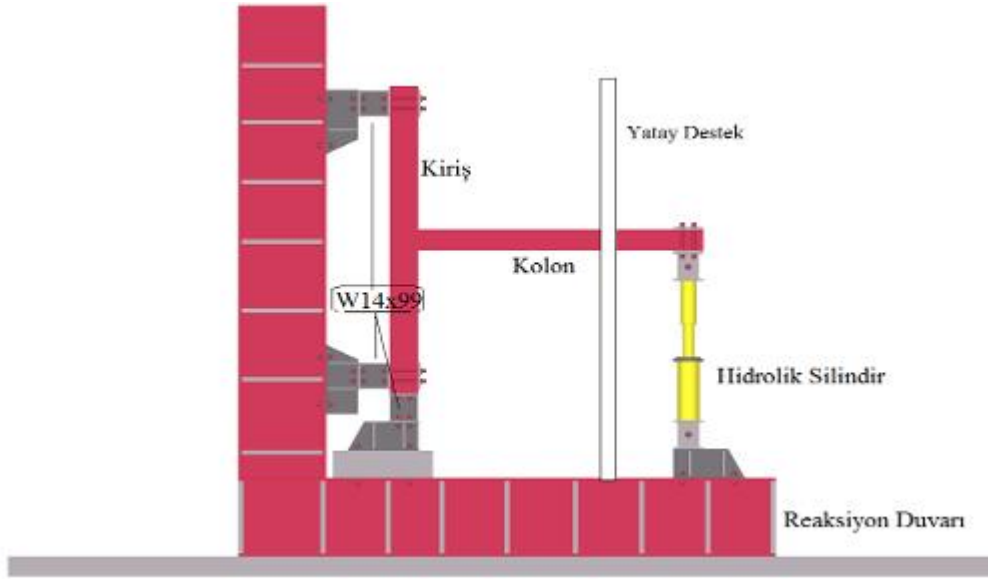
yöntemidir. Bu yaklaşım ile elde edilen çözümler oldukça ekonomik olmaktadır. Özellikle sismik risk taşıyan bölgelerde bu yöntemin iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

İndirgenen birleşimleri, güçlendirilmiş birleşimlere benzer faydalar sağlamaktadır. Çünkü bu yaklaşım ile daha fazla kaynak yapılması gerekmemektedir. Güçlendirilmiş birleşimler ile karşılaştırıldığında bazı durumlarda güçlü kolon zayıf kiriş prensibinin uygulanmasında ve plastik mafsalın yeri konusunda sıkıntılar olmaktadır. Çok değişik şekillerde kiriş kesitlerinin zayıflatılması söz konusu olduğundan hangi tür kiriş kesiti zayıflatma yaklaşımının daha iyi olduğu konusunda çalışmalar devam etmektedir.

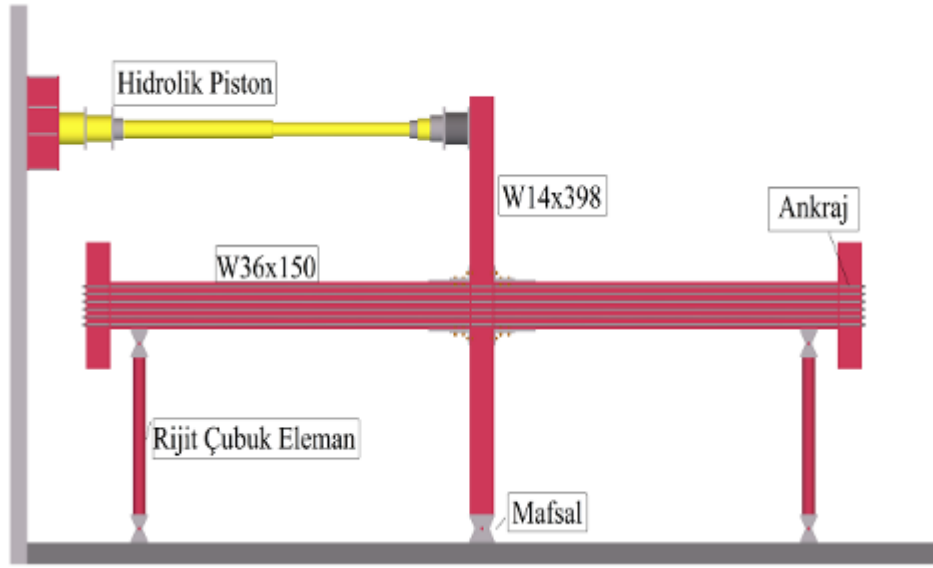
Deneysel olarak yapılan çalışmalar, farklı tipte yükleme protokolleri ve deney kurguları, test edilmek istenen sistem şekline göre farklılıklar göstermiştir. Güçlendirilmiş moment aktaran birleşime sahip çerçeve sistemlerde yük transferinin modelinin önemi kadar, dizayn prosedürleri de son zamanlarda öne çıkmaktadır. Bunu takip eden çalışmalarda birleşimlerde rijitliği arttırmak için kullanılan rijileştirme elemanları (süreklilik levhası, berkitme muska levhalar gibi.) ile, kolon kiriş birleşiminde birleşim noktasındaki gerilme yığılmaları kaynak çatlaklarının oluşumunu önlemek yada oluşması muhtemel olan bu kesit yırtılmalarının yerini kiriş üzerinde düğüm noktasından uzakta bir yere taşıyabilmek için farklı birleşim detaylarına ait deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Literatürde konu kapsamında yapılan deneysel çalışmalar için kullanılan deneysel modeller Şekil 2.3. a, b, c, d'de gösterilmiştir. Şekil 2.3.d. kapsamındaki deneysel kurgu, bu çalışma kapsamında yapılacak olan deneyler için mesnet ve yükleme şekli itibari ile model seçilmiştir.



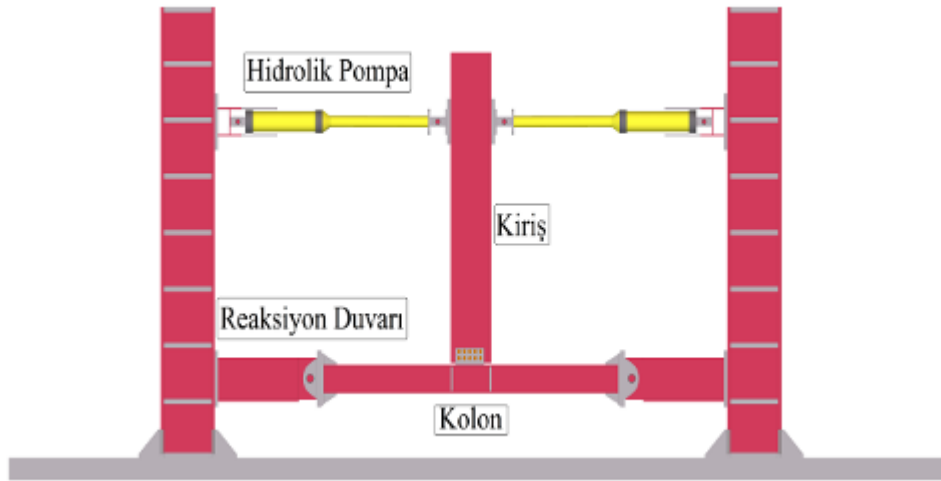
a) (Lee vd., 2005'den değiştirilerek alınmıştır)



b) (Uang vd., 2010'dan değiştirilerek alınmıştır)



c) (Garlock vd., 2005'den değiştirilerek alınmıştır)



d) (Kim vd., 2008'den değiştirilerek alınmıştır.)

şekil 2.3. Konuyla ilgili yapılan araştırmalarda kullanılan deney dzenekleri.

### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Deneysel ve sayısal modeller

Deneysel ve sayısal analizler de kullanılacak olan modeller, Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi yatay ve düşey elemanlardan oluşmaktadır. Yatay elemanlar kolon, düşey eleman da kiriş olarak tanımlanmıştır. Kolonlar 200\*200\*5 mm, kirişler ise 150\*200\*4 mm kutu kesitli çelik profillerden oluşturulmuştur. Birleşimler kaynaklı olarak dizayn edilmiştir.

Kutu profiller düşük alaşımlı ve yüksek alaşımlı çelikten imal edilmektedir. Düşük alaşımlı çelikten imal edilen profiller dayanımlarının azalmaması için ısıtılma tabii tutulmazlar aynı zamanda çok düşük oranda alaşım malzemesi içerdiklerinden kaynaklama için özel tedbirler alınmasına da gerek yoktur. Deney için kullanılan yüksek alaşımlı çelikler düşük alaşımlı çeliklere oranla kaynağa daha uygundur. Bu tür çeliklerin bünyelerinde karbonun yanı sıra mangan, silikoni vanadyum, alüminyum, titanyum, krom, nikel ve molibdenyum da bulunmaktadır. Düşük karbon oranı ( $\leq 0,2$ ) ve gevrek kırılmayı önleyen ince taneli yapısı, yüksek alaşımlı çeliklerin kaynaklanabilirliğini arttıran faktörlerdir. Pratikte bir çelik tipi için kaynaklanabilirlik kriteri "Karbon Eşdeğeri" (Carbon Equivalent Value, CEV) dir. Bu değer aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

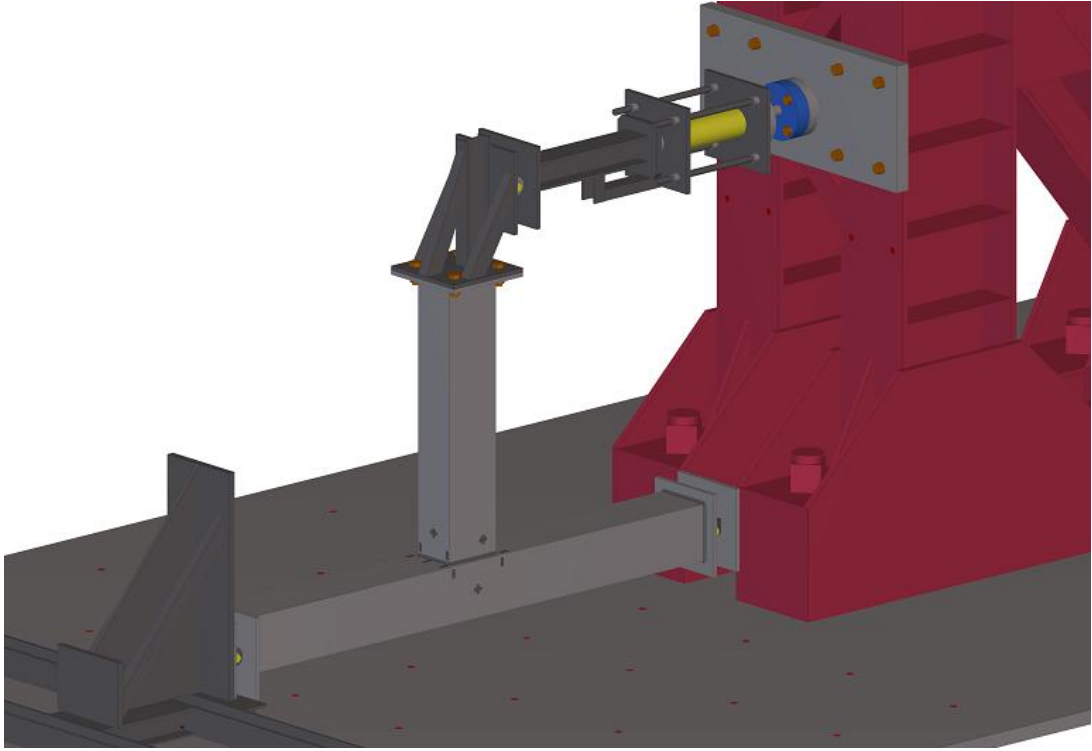
$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cn+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (3.1)$$

Bu formülde C, Mn, Cn, Mo, V, Ni, ve Cu sırasıyla karbon, mangan, silikoni molibdenyum, vanadyum, nikel ve bakır elementlerinin hesaplanacak çelik tipindeki miktarlarını yüzde cinsinden ifade etmektedir. CEV oranı ne kadar düşük olursa malzemenin kaynaklanabilirliği artmaktadır. Soğuk ve sıcak haddelenmiş kutu kesitli profillerin kimyasal içerikleri Çizelge 3.1. de yer almaktadır.

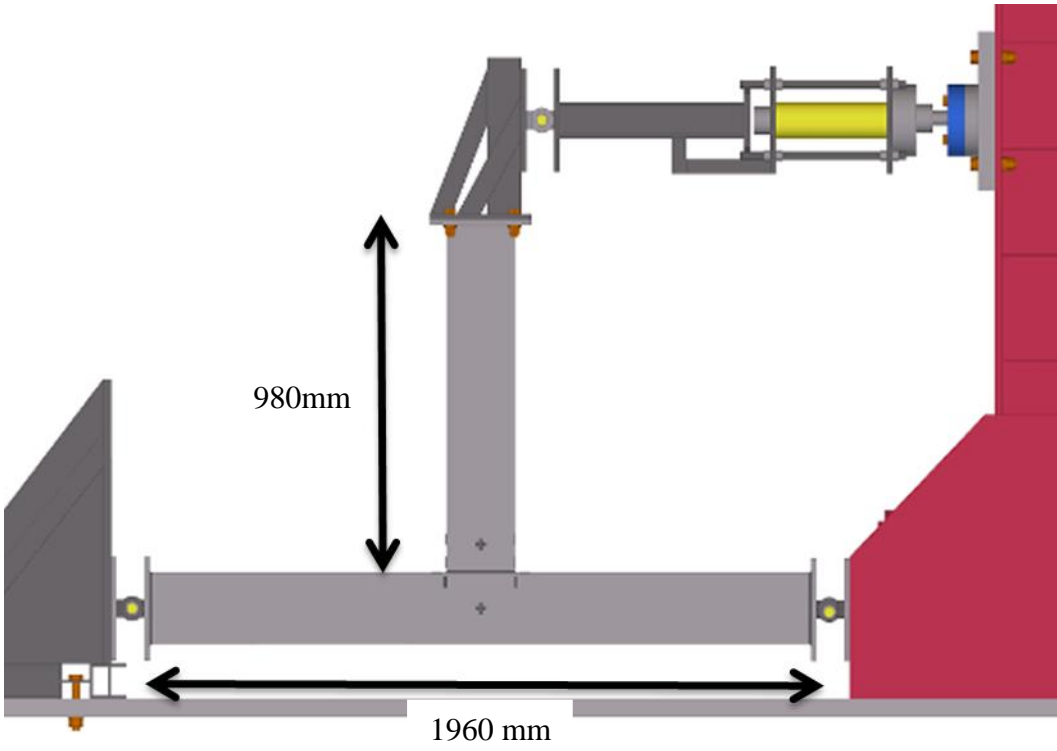
Çizelge 3.1. Soğuk ve sıcak haddelenmiş kutu kesitli profillerin kimyasal içerikleri

Spesifikasyon	Soğuk Hadde Mamülleri		Sıcak Hadde Mamülleri	
	Strongbox 235	Hybox 355	Celcius 275	Celcius 355
	(EN 10219)	(EN 10219)	(EN 10210)	(EN 10210)
<b>C %maks</b>	0,170	0,220	0,200	0,220
<b>Si %maks</b>	-	0,550	-	0,055
<b>Mn %maks</b>	1,400	1,600	1,500	1,600
<b>P %maks</b>	0,045	0,035	0,035	0,035
<b>S %maks</b>	0,045	0,035	0,035	0,035
<b>Ni %maks</b>	0,009	-	-	-
<b>CEV %t≤16</b>	0,035	0,045	0,410	0,450

Deney numunesi birleşimleri, kaynaklı olarak dizayn edildiğinden dolayı kaynaklarda oluşabilecek süreksizliğe bağlı farklılıkları en aza indirebilmek için gaz altı kaynak yöntemi kullanılmıştır. Gaz altı kaynak yöntemi yarı otomatik bir yöntemdir. Gaz altı kaynak yönteminde koruyucu maddeler, elektrod içinde değildir ve ayrı bir bağlantı borusu vasıtasıyla gaz fazında kaynak yerine ulaşır. Gaz altı kaynağında kullanılan gazlar argon, helyum gibi metal soygazlarıdır. Fakat bu gazların pahalı olması sebebiyle daha ucuz olan CO<sub>2</sub> veya CO<sub>2</sub>' nin yer aldığı bir gaz karışımıdır(metal aktif gazlar, %80 argon+15 CO<sub>2</sub>+%5O<sub>2</sub>). Kaynaklı birleşim kontrollü bir şekilde tek bir kaynak ustası tarafından kaynak açısı değişmeden yapımı sağlanmıştır. Bu şekilde kaynak hatalarına bağlı davranış farklılıkları en aza indirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.1. Deneysel model Görünümü



Şekil 3.2. Deneysel model, mesnet düzeneği ve yükleme pistonu genel görünümü

Numune boyutları Laboratuvarda oluşturulan mesnet ve yükleme düzeneğine göre yatayda (X eksen) 1960mm, düşeyde ise (Z eksen) 980mm olarak sabitlenmiştir. (Şekil 3.1., 3.2., 3.7.) Yapılacak olan bu çalışmada kutu kesitli profiller kullanarak oluşturulan moment aktaran birleşimlerde kutu kesitli profillerin kesit özelliklerine bağlı olarak meydana gelebilecek lokal burkulma etkileri ve panel bölgesinde meydana gelecek olan ezilmeler ile mücadele edebilmek için kolon kiriş birleşim noktasında alın levhası kullanılarak rijitleştirilmeye çalışılmıştır. Bu araştırma kapsamında kullanılan tek tip alın levhası deneysel modelde 2 adet sayısal modellerde 4 farklı berkitme boyutu için farklı birleşim tipleri üzerinde araştırma yapılmıştır.

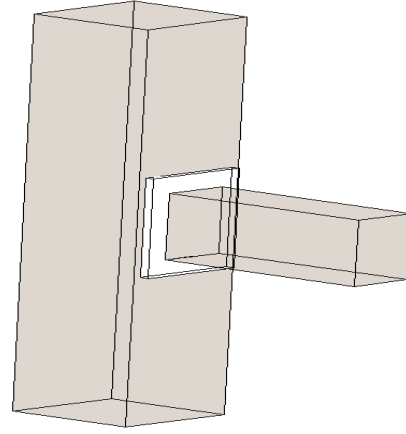
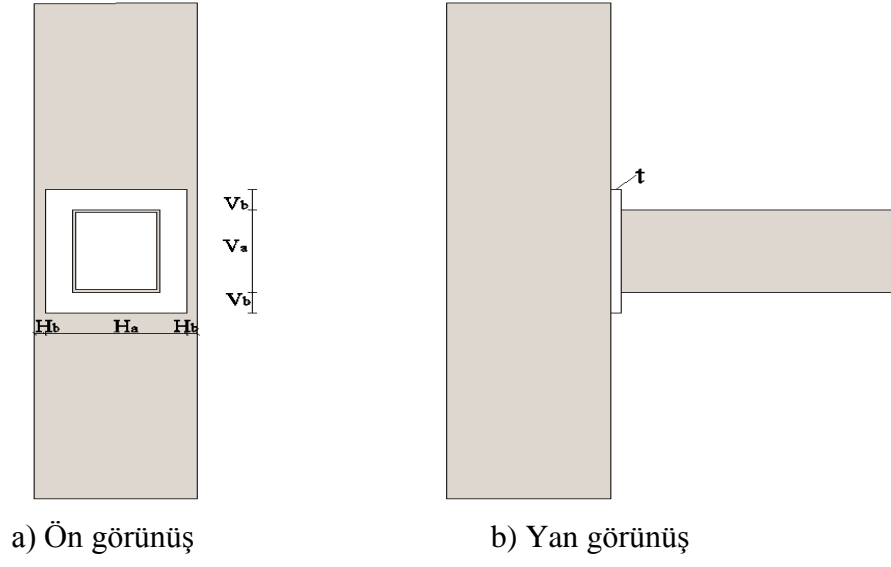
Aşağıdaki şekillerde deneylerde kullanılacak alın levhalı ve berkitmeli birleşim için 2 tip birleşim detayı (Şekil 3.3. a, b, c ve Şekil 3.4. a, b, c) ve şahit numune (D-Model 1) birleşim şekli (Şekil 3.5. a, b, c) ile ilgili görünüşler gösterilmektedir. Şekil 3.3'de tanımlanan birleşim detayı berkitmesiz alın levhası kullanılarak dizayn edilmiştir.(D-Model 2) Şekil 3.4.'de de aynı birleşim şeklinde deneysel modelde 50\*50\*5mm (D-Model 3) ve 50\*150\*5mm (D-Model 4) olmak üzere iki tipte berkitme eleman kullanılarak alın levhalı kutu kesitli birleşim güçlendirilmiştir. Berkitmeli alın levhalı birleşim şekli için berkitmesiz birleşim detayında tanımlanan kriterler kullanılarak birleşim davranışı açısından değerlendirilecektir. Şekil 3.5.'de de şahit numune birleşim şekli görünmektedir. İlk seri Deneylerde  $V_b=50\text{mm}$ ,  $H_b=15\text{mm}$  alınırken, alın levhası et kalınlığı da kolon et kalınlığından büyük olmak koşulu için 6mm alınmıştır.

İlk seri deneylerde deneysel modellerde 4 farklı birleşim detayı sayısal modellerde ise 6 farklı birleşim detayı dikkate alınmıştır (Çizelge 3.2.).

Çizelge 3.2. Sayısal ve deneysel analizlerde kullanılan birleşim tipleri ve boyutları

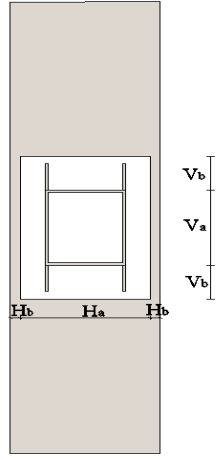
<b>Model No</b>	<b>Birleşim Tipi</b>	<b>Alın Levhası Ebatları</b>	<b>Berkitme Elemanı Boyutları</b>
<b>D.Model 1</b>	Alın Levhasız Birleşim	-	-
<b>D.Model 2</b>	Alın Levhalı Birleşim	180*300*6mm	-
<b>D.Model 3</b>	Alın Levhalı-Berkitmeli Birleşim	180*300*6mm	50*50*5mm
<b>D.Model 4</b>	Alın Levhalı-Berkitmeli Birleşim	180*300*6mm	50*150*5mm
<b>S.Model 1</b>	Alın Levhasız Birleşim	-	-
<b>S.Model 2</b>	Alın Levhalı Birleşim	180*300*6mm	-
<b>S.Model 3</b>	Alın Levhalı-Berkitmeli Birleşim	180*300*6mm	50*50*5mm
<b>S.Model 4</b>	Alın Levhalı-Berkitmeli Birleşim	180*300*6mm	50*150*5mm
<b>S.Model 5</b>	Alın Levhalı-Berkitmeli Birleşim	180*300*6mm	50*75*5mm
<b>S.Model 6</b>	Alın Levhalı-Berkitmeli Birleşim	180*300*6mm	50*100*5mm

Deneysel ve sayısal analizlerde ilk dört model malzeme, kesit ve geometri bakımından aynıdır. Sayısal analizlerde yer alan ve S.Model 5-6 olarak isimlendirilen iki model ise berkitme elemanın boyutlarına bağlı olarak deneysel modellerden ayrılmaktadır.

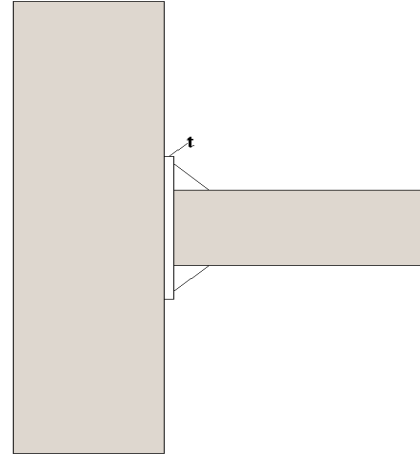


c) Birleşim Şekli

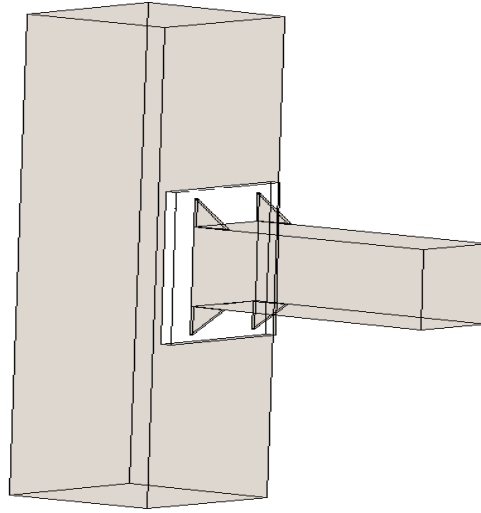
Şekil 3.3. Berkitmesiz alümin levhalı birleşim detayı



a) Ön görünüş

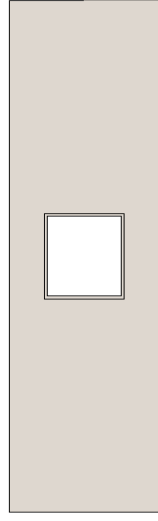


b) Yan görünüş

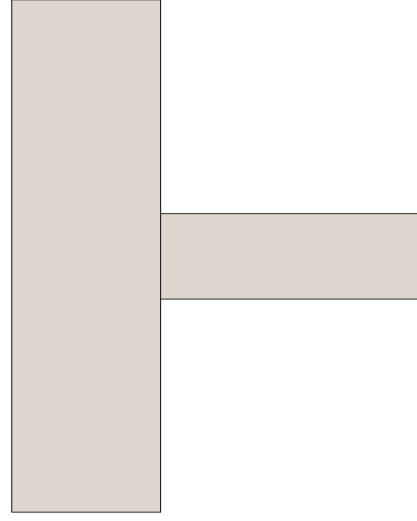


c) Birleşim şekli

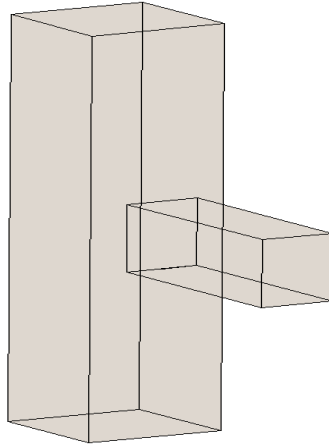
Şekil 3.4. Berkitmeli alın levhalı birleşim detayı



a) Ön görünüş



b) Yan görünüş



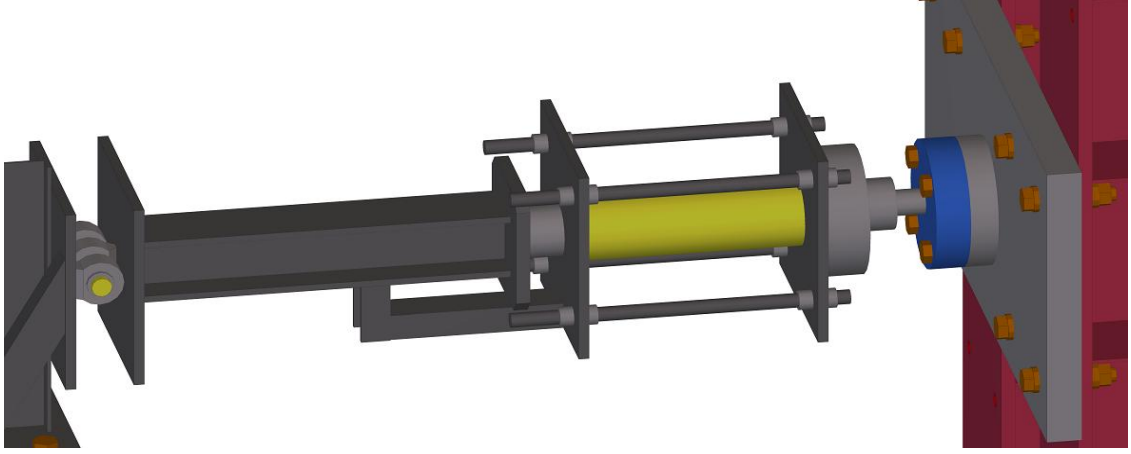
c) Birleşim şekli

Şekil 3.5. Şahit numune birleşim detayı

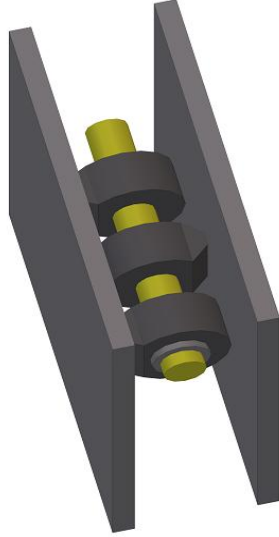
### 3.1.2. Deneysel modeller mesnet koşulları ve yükleme sistemi

Araştırma konusu itibari ile oluşturulan modeller, moment aktaran bir çerçeve sistem içerisinde yer alan bir birleşimi temsil etmektedir. Bu sebeple numuneyi oluşturan kolon ve kiriş elemanlar sürekli bir yapı elemanın bir parçası konumundadır. Birleşim sistem içerisindeki konumuyla ele alındığında birleşim için kullanılacak olan mesnetlerin dizaynında, mesnet koşullarını, o yapı elemanının kendi kesit rijitliğinin belirlemesi gerektiği düşünülerek mesnet dizaynları yapılmıştır. Bu sebeple numunelerde Şekil 3.6.'da gösterildiği üzere 15mm kalınlığındaki levhalar, kolon ve kiriş elemanlarının başına ve sonuna kaynaklı olarak teşkil ettirilmiştir. Mesnetler moment kuvveti taşımayacak şekilde dönebilen bir bağlantı detayı ile sabitlenmiştir. (Şekil 3.6. b, c. ve Şekil 3.9. d.) Mesnetlerin hem sabit mesnet gibi davranması hedeflenmiş hem de mesnet levhalarındaki dönme serbestliğini yapı elemanın kendi kesit rijitliğini kullanarak kolon ve kirişin sürekli bir yapı elemanın bir parçası gibi davranması amaçlanmıştır. Aynı durum kiriş üst başlığında artımsal yükün sisteme dahil edilmesinde de dikkate alınmıştır. Buradaki bağlantı ile ayrıca kutu kesitli profilden imal edilmiş kirişte (kutu kesitli profil özelliğine bağlı olarak) meydana gelecek olan lokal burkulma etkilerini ortadan kaldırmak ve yükün kiriş kesitine simetrik bir şekilde dağılımını sağlayabilmek için burada da kiriş üst kısmına 300\*300\*15mm ebatlarında levha kaynaklı olarak birleştirilmiş ve sisteme yük bu levha aracılığıyla etkilmiştir.

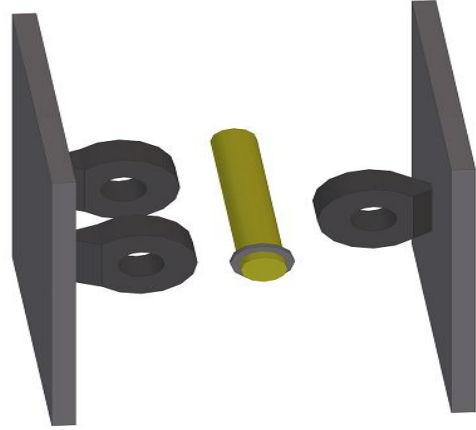
Deneysel numunelere yük statik artımsal ve çevrimsel olarak etkilmiştir. Bunun için Şekil 3.6.a'da görüldüğü üzere 50 tonluk basma, 25 tonluk çekme kapasitesine sahip hidrolik piston ile gerçekleştirilmiştir. Hidrolik piston, yük hücresi( 50ton basınç-25ton çekme) bağlantısı ve sistem bağlantısı her iki noktada da mafsallı olarak dizayn edilmiştir.



a) Yükleme pistonu genel görünümü



b) Mesnet plakası genel görünümü



c) Mesnet plakası detayı

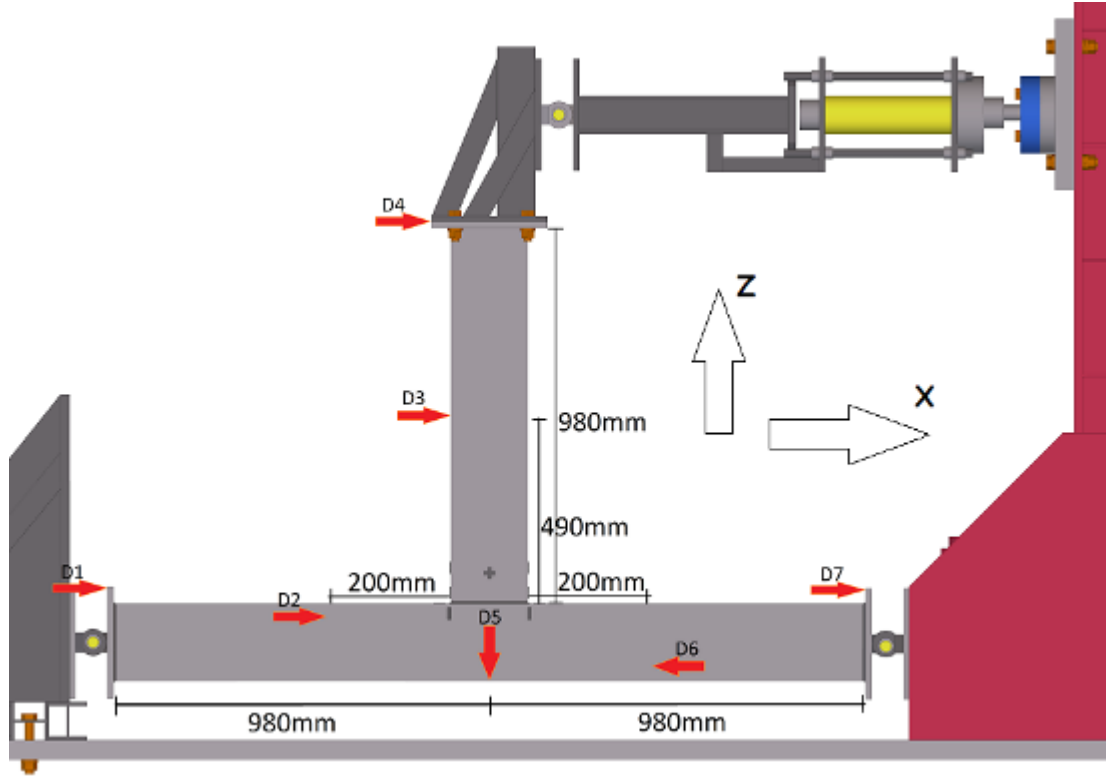
Şekil 3.6. Mesnet detayı ve yükleme pistonu genel görünümü

### 3.1.3. Deneysel model veri toplama sistemleri (Deplasman ölçer-gerinim pulu yerleşim planı)

Deneysel analizlerde veri toplama aşaması, yük, deplasman ve gerinim pulu okuması şekliyle yapılmaktadır. Yük okuması, hidrolik sistem ile reaksiyon duvarı arasında yerleştirilen yük hücresi aracılığı ile yapılmaktadır.

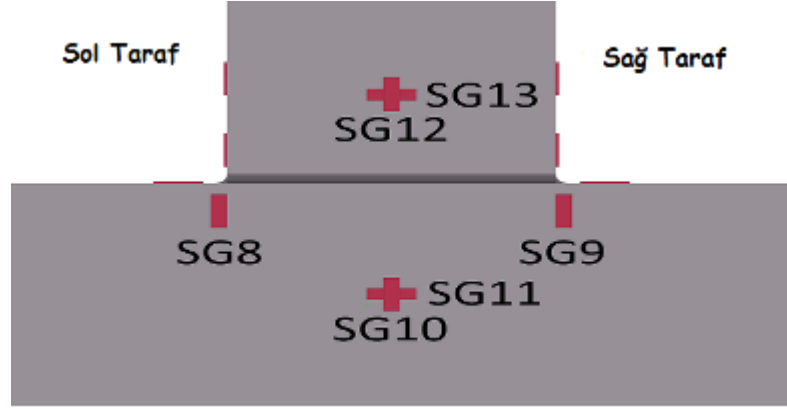
Sistemin yük deplasman eğrisinin çizilebilmesi, birleşim bölgesi moment dönme ilişkisinin değerlendirilebilmesi için sistemde çeşitli yerlere deplasman ölçerler

yerleştirilmiştir. Şekil 3.7.'de gösterildiği üzere, deneysel numuneden tepe noktası deplasmanı tespit etmek için D4, kirişte olası mekanizma durumlarını tespit edebilmek için kiriş boyunun 1/2 sine yerleştirilen D3, panel bölgesindeki dönmeyi tespit edebilmek için D2-D6, Mesnet plakalarındaki dönemleri saptayabilmek için D1-D7, son olarak da kolon kiriş düğüm noktasındaki çökmeyi tespit edebilmek için D5 nolu deplasman ölçerler yerleştirilmiştir.

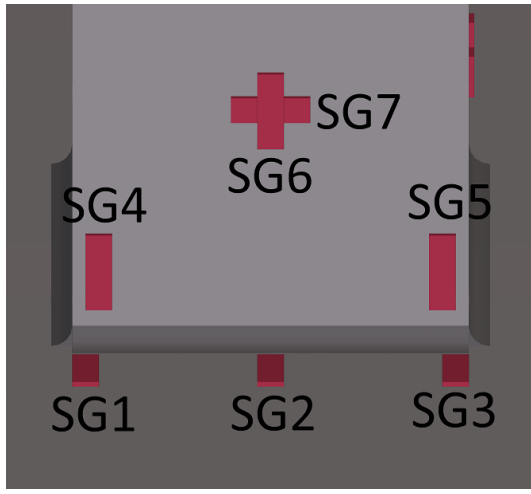


Şekil 3.7. Deplasman ölçer yerleşim planı

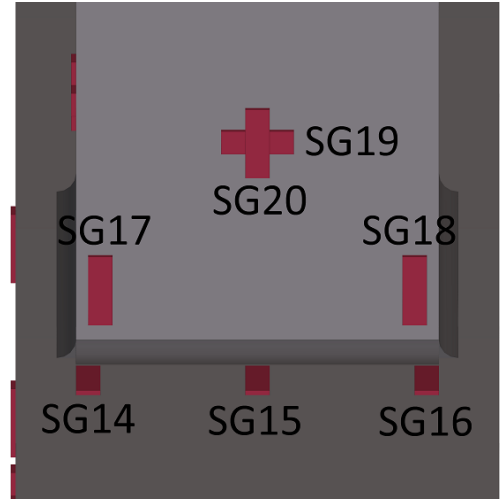
Sistemde meydana gelen şekil değiştirmeleri mekanizma durumlarını ve mafsallaşmaları tespit edebilmek için Şekil3.8.'de gösterildiği yerleşim planı ile gerinim pulları yerleştirilmiştir. Gerinim pullarının yerleşiminde sistemde yükleme altında eşit ama zıt yönlere olması muhtemel, şekil değiştirmeleri kontrol edebilmek, panel bölgesi, ve kolon üst başlık ve kirişte oluşması muhtemel akmaları tespit edebilmek esas göz önünde tutularak gerinim pullarının yerleşimi yapılmıştır.



a) Gerinim pulu ön görünüş yerleşim planı (XZ Yönünde)



b) Gerinim pulu yerleşim planı (sol)  
(YZ Eksenini)



c) Gerinim Pulu yerleşim planı (sağ)  
(YZ Eksenini)

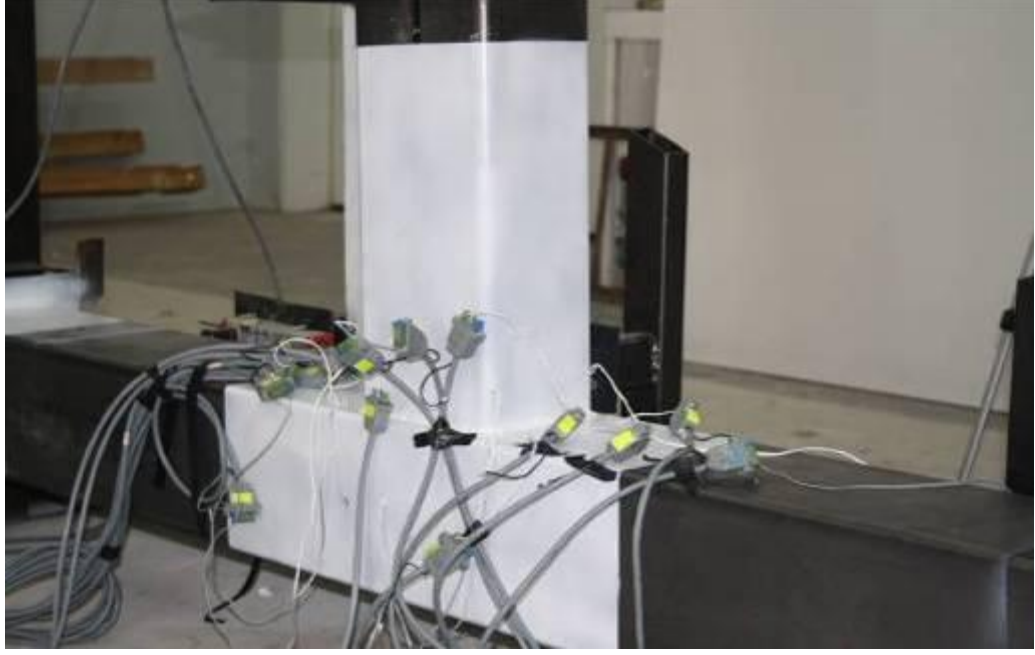
Şekil 3.8. Gerinim pulu yerleşim planı



a) Deneysel model genel görünüm



b) Deneysel model genel görünüm



c) Gerinim pulu yerleşim şekli

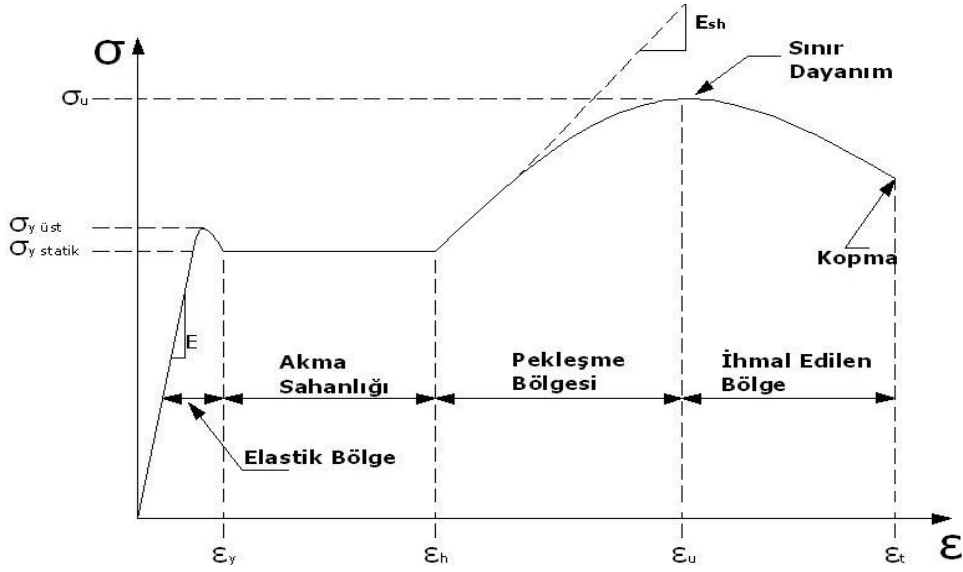


d) Mesnet Bağlantısı görünümü

Şekil 3.9. Deneysel model görünümü

### 3.1.4. Sayısal Modeller

Deneysel çalışmada kullanılan her numune için bir sayısal model oluşturulmuştur. Sayısal modellerde, aynı deneysel numuneler gibi 4 farklı birleşim detayı için analiz edilmiştir. Bunlar sırasıyla alın levhasız, alın levhalı, alın levhalı-berkitmeli (berkitmeli bağlantıda dört kombinasyon 50\*50\*5mm, 50\*150\*5mm, 50\*75\*5mm, 50\*100\*5mm kullanılmıştır) olmak üzere S.Model 1-2-3-4-5-6 nolu sayısal numunelerdir. Sayısal numuneler içinde deneysel numunelerde olduğu gibi St37(Fe360) yapı çeliği kullanılarak modeller tanımlanmıştır.. Şekil 3.10.'da St37 yapı çeliğinin gerilme şekil değiştirme grafiği verilmiştir. Kullanılan yapı çeliklerinin malzeme karakteristikleri Çizelge 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.10. St37 yapı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme grafiği

Çizelge 3.3. Yapı çelikleri malzeme karakteristikleri

Çelik	t mm	$\sigma_y$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_u$ N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_y$ %	$\epsilon_h$ %	$\epsilon_u$ %	$\epsilon_t$ %	$E_h$ N/mm <sup>2</sup>	$E$ N/mm <sup>2</sup>
Fe 360	< 40	235	360	0,115	1,41	14,0	25,0	5500	205000
Fe 510	< 40	355	510	0,173	1,70	11,0	20,0	4250	205000

Sayısal modeller, Sap 2000 V15.01 sonlu eleman analiz programı kullanarak nonlineer shell tanımlamasıyla deneysel numunelerin sahip oldukları geometriye ve malzeme özelliklerine sadık kalınarak modellenmiştir. Sayısal modellerde, Shell elemanın temsil ettiği profilin et kalınlığı değerlerine göre 1mm lik katmanlar halinde tanımlanmış olup Analizler de nonlineer statik artımsal itme yöntemi kullanılmıştır.

## **3.2. Yöntem**

### **3.2.1. Performansa dayalı sismik tasarım**

#### **3.2.1.1. Giriş**

Bir deprem etkisi altında, yeni ve mevcut yapıların davranışını ve sismik kapasitesinin değerlendirilmesi için geleneksel sismik tasarım yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple yer değiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletlerinin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmesi çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirmiştir (Özer, 2007).

Kobe ve Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yer değiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır.

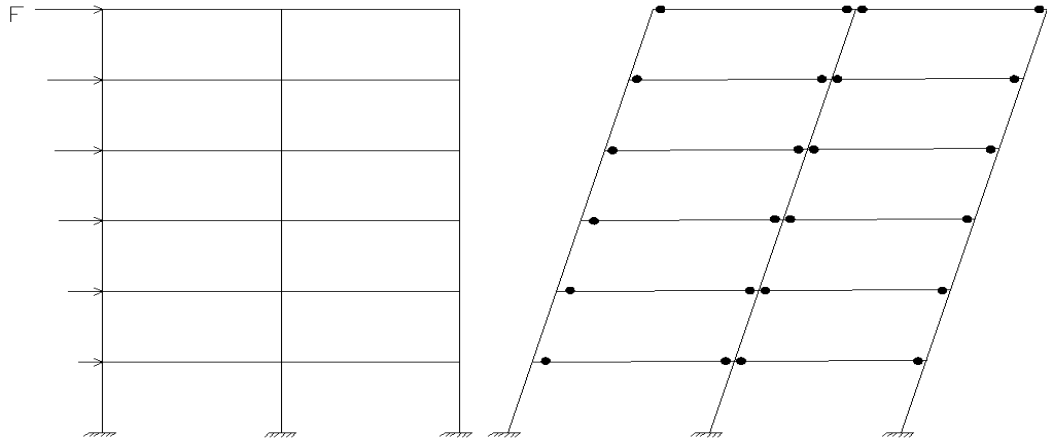
Bu gereksinimi karşılamaya yönelik olarak, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings - ATC 40 ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings - FEMA 273, 356 raporları yayınlanmıştır. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 taslak raporu hazırlanmıştır. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır.

Ülkemizde ise Marmara ve Düzce depremleri gibi büyük depremlerden sonra, Türkiye’de yıkılma tehlikesi altında olan mevcut yapı stokunun deprem

dayanımlarının belirlenmesine yönelik çok sayıda akademik çalışma ve uygulamalara hız verilmiştir. “Ancak o tarihlerde, diğer bir çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine yönelik bir yönetmeliğin henüz mevcut olmaması nedeniyle, bu uygulamaların önemli bir bölümü yeni yapılacak yapılar için geçerli olan yönetmelik (1998 Türk Deprem Yönetmeliği) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu durumun oluşturduğu sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla, 2003 yılından başlayarak, deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin de güncelleştirilmesi çalışmaları yürütülerek 6 Mart 2006 tarihinde tamamlanmış ve resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir” (Özer, 2007).

### 3.2.1.2. Plastik analiz yöntemi

Bu yöntem elastik ötesi gerilme dayanımına sahip çelik çerçeve yapıların analizi için geliştirilmiştir. Plastik analiz ayrıca yapının mekanizma durumunu da ortaya koymaktadır. Bundan dolayı bu yöntem bir yapının üst sınır davranışını anlamamızı sağlar.



Şekil 3.11. Plastik hesap yöntemi (Gioncu ve Mazzolani, 2002)

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Giriş

Bu çalışmada modeller, ülkemizde üretilen St37 yapı çeliği kullanılarak ve yürürlükteki 2007 Türk Deprem Yönetmeliği esas alınarak tasarlanmış ve statik artımsal çevrimsel yük altında inelastik davranışları incelenmiştir.

Çalışmaya esas alınan modellerin incelenmesinde deneysel ve analitik olmak üzere iki yöntem izlenmiştir. Deneysel çalışmada berkitilmemiş moment aktaran alın levhasız kaynaklı birleşim D-Model 1, alın levhalı birleşim D-Model 2, berkitmeli olan modeller D-Model 3-4 olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmada Sap2000 nonlineer analiz programı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılan modeller, malzeme, kesit özellikleri, çerçeve geometrisi ve yükleme şartları bakımından laboratuvar koşullarına göre dizayn edilmiştir. Sayısal çalışmada deneysel çalışmada kullanılan dört modele ek olarak berkitmeli birleşim için berkitme levha boyutları 50\*75\*5mm, 50\*100\*5mm olarak iki farklı kombinasyon daha eklenerek toplamda altı model (S.Model 1-2-3-4-5-6) üzerinde çalışılmıştır. Bunlardan S.Model 1-2-3-4 olarak isimlendirilen modeller deneysel model olan Model 1-2-3-4 ile aynı malzeme, kesit ve geometri özelliklerine sahiptir. Sayısal modellerlerin kalibrasyonunda malzeme, kesit ve geometri olarak aynı özellikte olan deneysel modellerin yükleme sonuçları kullanılmış olup buradan elde edilen sonuçlara göre sayısal modellere ait kombinasyonlar genişletilmiştir.

### 4.2. Modellerin Kaynak Alanı ve Performans Analizine Göre Taşıma Kapasiteleri

Çalışmada kullanılan tüm birleşimler kutu kesitli profil kullanılarak kaynaklı olarak teşkil edilmiştir. Birleşimlerin taşıma kapasitesinin sayısal ve deneysel analizlerden elde edilen verilere ışık tutması amacıyla öncelikle Alın levhasız birleşimdeki Kiriş - kolon birleşimi ve alın levhalı birleşimde ki alın levhası-kolon bağlantısını sağlayan kaynak alanı için kaynak taşıma kapasiteleri Çizelge 4.1.'de ifade edilmiştir.

Berkitmeli modeller için alın levhasının kolona birleşimini sağlayan kısmında sadece alın levhalı birleşime oranla kaynak alanı bakımından herhangi bir değişiklik olmaması sebebiyle tabloda berkitmeli model için kaynak taşıma kapasitesi değerlerine ayrıca yer verilmemiştir.

Çizelge 4.1. Kolon-kiriş, alın levhası-kolon arası kaynak alanları ve taşıma kapasiteleri

Kolon Kiriş Birleşim Tipi	Hesap Edilen Kaynak Alanı	Alın Levhası Boyutları	Kaynak Alanı F (cm <sup>2</sup> )	Kaynak Mukavemet Momenti (cm <sup>3</sup> )	Kaynağın Taşıyacağı Max Moment (tcm)	Maksimum Yatay Kuvvet (ton)
Alın Levhasız	Kolon-Kiriş Arası Kaynak Dikişi	-	21,36	132,46	145,7	1,13
Alın Levhalı	Alın Levhası-Kolon Kaynak Dikişi	300*180*6mm	34,09	298,99	328,88	2,56

Çizelge 4.1.'de görüldüğü üzere iki tip kaynak alanı için hesap ortaya konulmuştur. Bunlardan ilki olan alın levhasız birleşimde yer alan kiriş-kolon birleşimini sağlayan kaynak alanıdır. Burada yönetmelikte tanımlanan “a” kaynak alanı olmak üzere  $3 \leq a \leq 0.7t$  min şartına göre birleşimi oluşturan en küçük cidar kalınlığı kiriş için verilen 4mm dir. Buna göre kaynak kalınlığı 0,7tmin kuralına göre 2,8mm olmalıdır. Ancak minimum kaynak kalınlığı 3mm şartından yola çıkarak a=3mm için burada hesap yapılmış birleşim buna göre dizayn edilmiş ve moment taşıma kapasitesi hesaplanmıştır. İkinci kaynak hesabı ise alın levhası kolon birleşimi için yapılmıştır. Burada kolon için tanımlanan minimum levha kalınlığı 5mm olup 0,7tmin kuralına göre a=3,5mm olarak alınıp taşıma kapasitesi buna göre hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1.'de ifade edilen değerler ile Deneysel ve Sayısal modellerin performans analiz sonuçlarının kıyaslanabilmesi amacıyla Çizelge 4.2.'de hazırlanmıştır. Buna göre; TDY 2007 de tanımlanan Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin moment aktaran kiriş-kolon birleşimleri için tanımlan üç koşulda biri olan birleşim en az 0.04 radyan

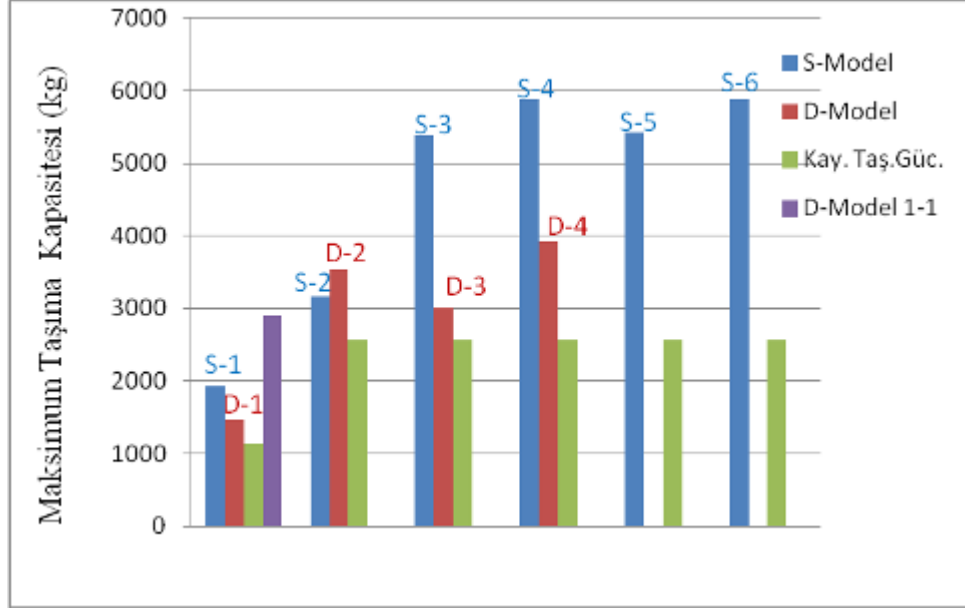
“Görelî Kat Ötelemesi Açısı”nı (görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği) sağlayabilecek kapasitede olacaktır” maddesinden yola çıkarak her model için 0.04 radyan dönme karşılık gelen moment ve bu moment değerini ortaya koyacak yatay kuvvet değerleri elde edilmiştir. Bu sayede birleşimlerde alın levhası ve berkitme eleman kullanılarak elde edilmek istenen kapasite ve süneklikte ki artış tespit edilmeye çalışılmıştır. Deneysel ve sayısal analizlerden 0,04 radyan için elde edilen maksimum moment ve bunun için gerekli olan kesme kuvveti Çizelge 4.2.’de ifade edilmiştir. Birleşimdeki moment değerini sağlayan kesme kuvveti değeri deneysel ve sayısal analizlerde itme kuvveti olarak kullanılan yatay yükleme değeridir.

Çizelge 4.2. Deneysel ve Sayısal modeller statik artımsal yükleme sonucu 0,04 radyan için elde edilen maksimum moment ve kesme kuvveti kapasiteleri

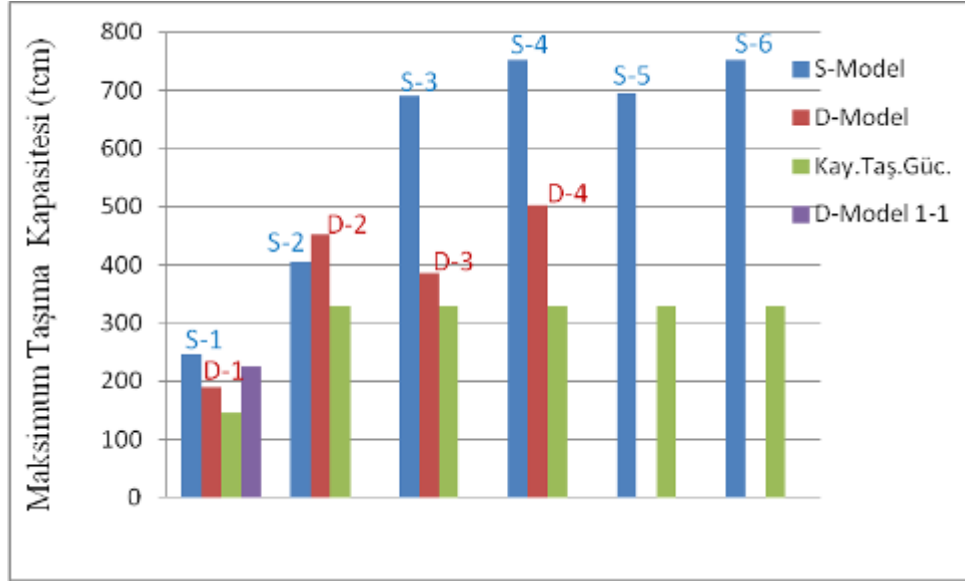
MODELLER	Dönme Açısı	Max M	Max T
	Rad	t cm	ton
<b>D-Model 1</b>	0,04	189	1,47
<b>D-Model 2</b>	0,04	452	3,53
<b>D-Model 3</b>	0,04	384	3,01
<b>D-Model 4</b>	0,04	503	3,92
<b>S-Model 1</b>	0,04	246	1,92
<b>S-Model 2</b>	0,04	405	3,16
<b>S-Model 3</b>	0,04	690	5,39
<b>S-Model 4</b>	0,04	752	5,87
<b>S-Model 5</b>	0,04	694	5,42
<b>S-Model 6</b>	0,04	755	5,88

Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.’de ifade edilen veriler aşağıda Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.’de aynı düzlemde kıyaslanmıştır. Deneysel ve sayısal analizler sonucunda 0,04 radyan değeri için analizlerden elde edilen moment ve kesme kuvveti değerleri TS648 de eğilme ve basınç altındaki kaynak için tanımlanan  $\sigma=1,1t/cm^2$  değerine göre Çizelge 4.1.’de hesaplanan moment ve kesme kuvveti değerlerinin çok üzerinde sonuçlar verdiği görülmektedir. Buna rağmen sayısal analiz sonuçları ile deneysel analizler kıyas yapıldığında ise sayısal modellerin daha yüksek kapasitede değerler aldığı görülmektedir. Bunun sebebi olarak deneysel analizlerde kaynaklarda, gerilme yığılmalarının yoğunlaştığı bölgelerde kaynak bütünlüğünün bozulmasına bağlı olarak rijitlik kaybı gözlenmiştir. Buna karşın D-Model 1-1 olarak grafiklerde yer

alan model için sonuçlar kıyaslandığında yükleme sonucunda elde edilen değerlerin sayısal analizden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu bağlamda alın levhasız birleşim olan D-Model 1'in şahit numunesi niteliği durumunda olan D-Model 1-1 için kaynaklarda hiçbir şekilde yırtılma olmadığı görülmüş, kaynak bütünlüğünün bozulmaması sebebiyle, sönümlemenin kaynak üzerinde değil, kolon üst başlığında meydana gelmiştir. Bu durum deney sonucunda açıkça görülmesi sebebiyle birleşim yük taşıma kapasitesi hem S-Model 1 hem de D-Model 1den daha yüksek kapasitede sonuç vermiştir. Ancak elastik ötesi yükleme koşullarına bağlı yüksek deplasman altındaki plastik deformasyon kiriş üzerinde değil, istenmeyen bölge olan kolon üzerinde meydana gelmiştir. Bu durumu ortadan kaldırmak için kullanılan alın levhalı birleşim olan D-Model 2 sonucu incelendiğinde yatay kuvveti karşılayacak olan kaynak alanının, kolon-alın levhası birleşiminde alın levhasız birleşime kıyasla artması sebebiyle kaynak bütünlüğünün korunduğu bu sebeple sayısal analizden daha yüksek rijitlikte değerler aldığı görülmektedir. Ancak bu model içinde alın levhasının kiriş bağlantısını sağlayan kaynaklarda belirli bir değerden sonra kaynak bütünlüğünü koruyamadığı için birleşim kapasite kaybına uğradığı tespit edilmiştir. D-Model 3-4 ile S.Model 3-4 değerleri arasında yapılan kıyaslamada ise kiriş-alın levhası birleşimi için kullanılan berkitme elemanlarının sayesinde kirişin alın levhasına bağlantısını sağlayan kaynak rijitliğinin artmasıyla bu modellerde kaynak bütünlüğü alın levhası-kolon arasında bozulmaya uğramıştır. Bu durumda bu modellerde kapasite kaybı oluşmuştur. Hem tablolarda belirtildiği üzere hem de grafiklerdeki kıyaslamadan ortaya çıkan sonuca göre, deneysel modellerdeki kaynak bütünlüğünün bozulması durumu, bu modeller için hesaplanan 0,04 radyana karşılık gelen kaynak taşıma kapasitelerinin deneysel ve sayısal analiz sonuçlarının altında seyretmesi sebebiyle meydana geldiğinden kaynak yırtılmaları kabul edilebilir bir hal almaktadır.



Şekil 4.1. Deneysel ve sayısal analizler sonucu elde edilen değerlerin kaynak taşıma kapasitesi Uygulanan yatay kuvvet bakımından kıyaslanması

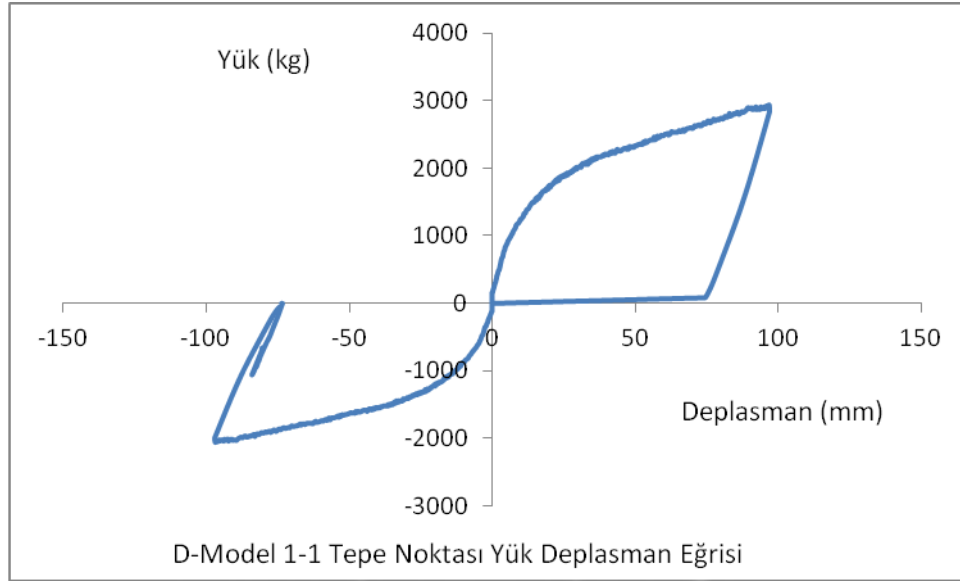


Şekil 4.2. Deneysel ve sayısal analizler sonucu elde edilen değerlerin kaynak taşıma kapasitesi elde edilen moment bakımından kıyaslanması

### 4.3. Deneysel Analiz Sonuçları ve Fotoğrafları

#### 4.3.1. Alın Levhasız ve Berkitmesiz Model-D1 İçin Sonuçlar

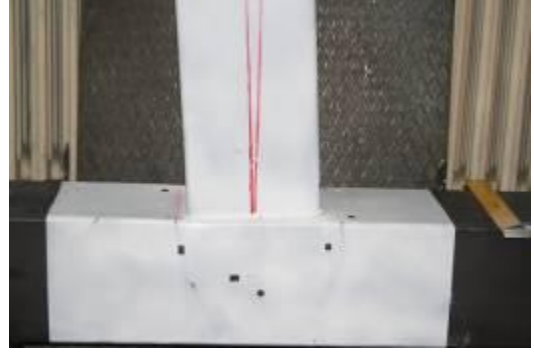
Deneysel analiz kapsamında çevrimsel yükleme altında incelenen beş numuneye (D-Model 1-1, D-Model 1-2-3-4) ait sonuçlar ayrı ayrı grafikler halinde sunulmuş olup deney sonrası oluşan deformasyonlarda fotoğraflar halinde gösterilmiştir. Bu kapsamda Şekil 4.3.'de D-Model 1-1 için elde edilen yük deplasman eğrisi görülmektedir. D-Model 1-1 alın levhasız birleşim için bir şahit numune niteliğindedir. Elastik ötesi yapılan yükleme altında kolon-kiriş birleşimini sağlayan kaynak bütünlüğü korunmuştur. Ancak çalışmanın da konusu olan kutu kesitli birleşim kullanılarak dizayn edilen düğüm noktalarındaki, lokal burkulma ve panel bölgesi ezilmesi gibi problemlerin, yatay yükleme altında yüksek deplasmana maruz kalan kiriş sebebiyle kolon başlığında ezilme (Şekil 4.4. c, d) , gövdesinde de burkulma problemleri(Şekil 4.4. e, f) gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3. D-Model 1-1 için D4 (Kiriş Tepe Noktası) noktasına ait yük deplasman eğrisi



a) Genel görünüm



b) Yükleme sonrası görünüm



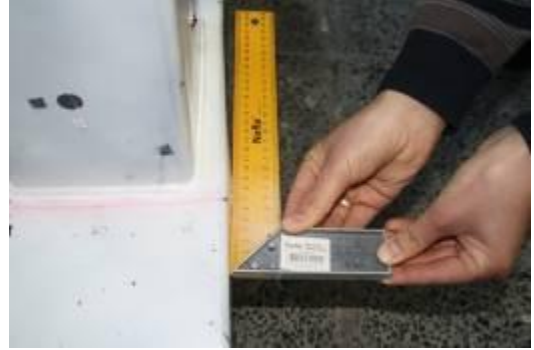
c) Üst başlık burkulması



d) Üst başlık burkulması



e) Gövde burkulması

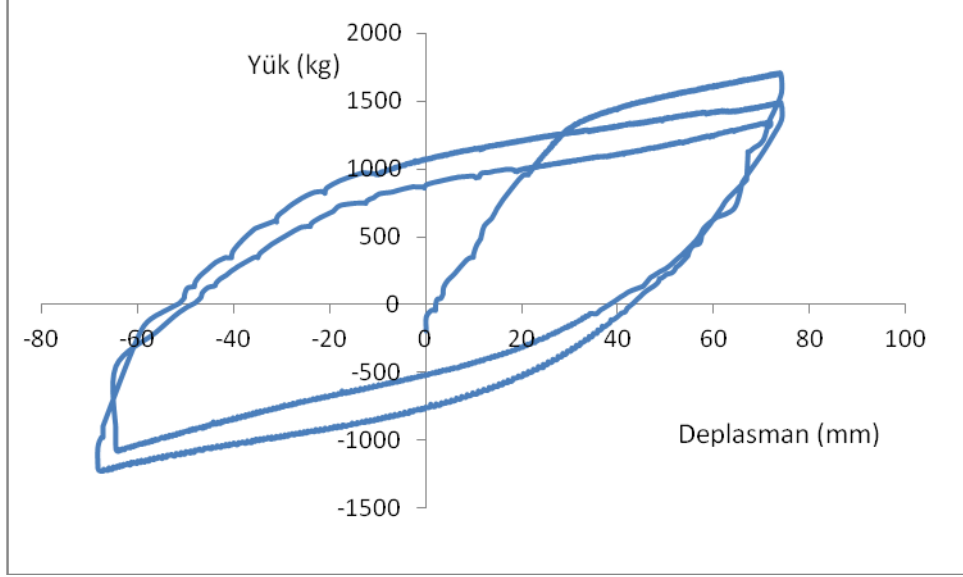


f) Gövde burkulması

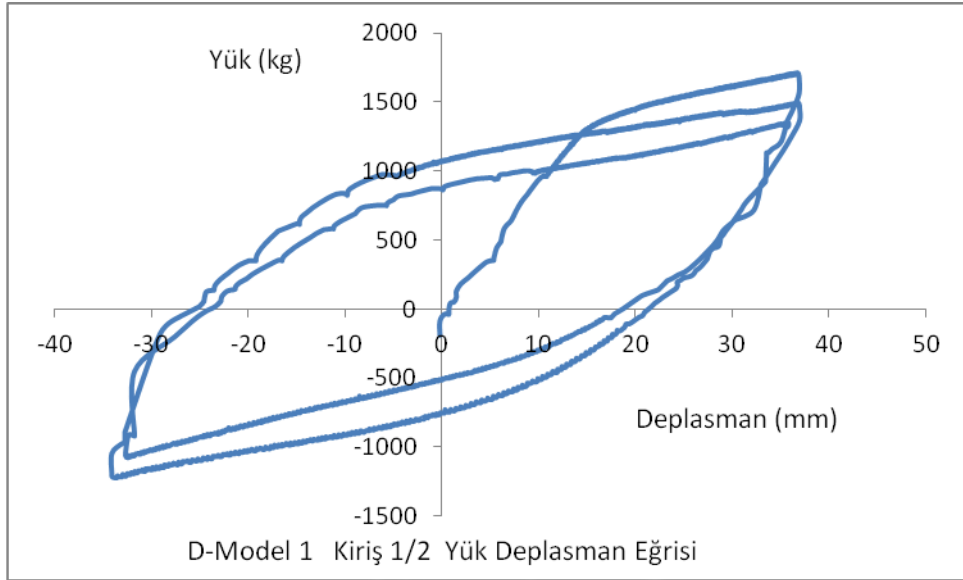
Şekil 4.4. D-Model 1-1 yükleme sonrası genel görünümü

Alın levhasız birleşimin incelenmesinde kullanılan iki numuneden diğeri olan D-Model 1 için yükleme altında elde edilen yük deplasman eğrisi Şekil 4.4.'de gösterilmiştir. Bu numunenin elastik ve elastik ötesi davranışı muadili ve şahit numune olarak kullanılan D-Model 1-1 den ayrılmaktadır. Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da gösterilen yük deplasman grafiği ve Şekil 4.7.'de gösterilen deney sonrası

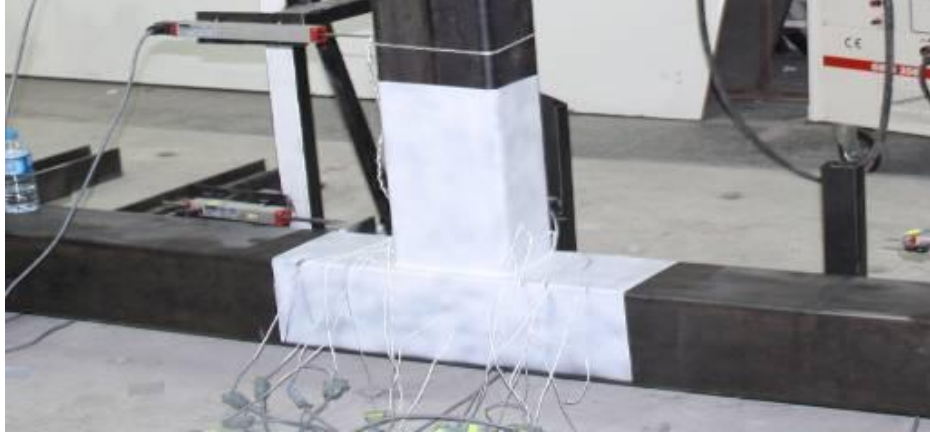
davranışları incelediğinde ayrışmanın nedeni kiriş-kolon bağlantısını sağlayan kaynağın bütünlüğünün bozulması sebebiyle meydana gelmektedir.



Şekil 4.5. D-Model 1 için D4 (Kiriş Tepe Noktası) noktasına ait yük deplasman eğrisi



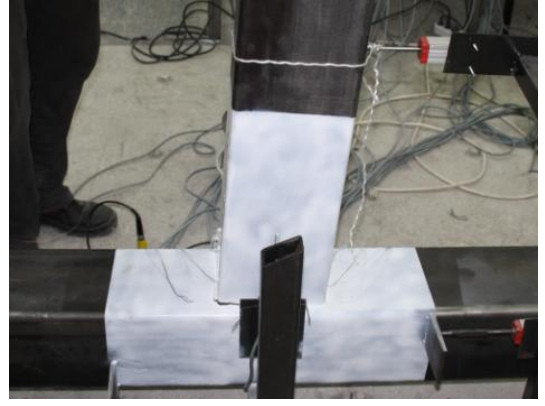
Şekil 4.6. D-Model 1 için D3(Kiriş Orta Noktası) noktasına ait yük deplasman eğrisi



a) Deney öncesi genel görünüm



b) Maks. Yükleme altında kaynak yırtılması



c) Yükleme altında kaynak yırtılması

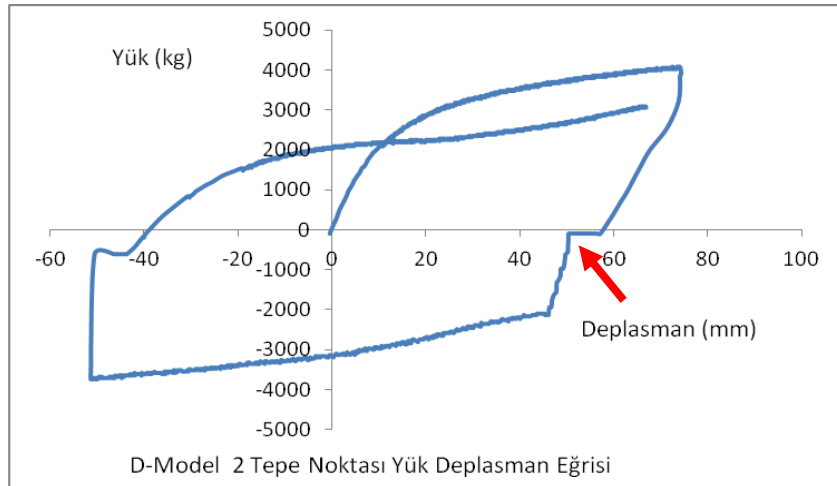


d) Yük kaldırıldıktan sonra oluşan kaynak yırtılması görünümü

Şekil 4.7. D-Model 1 deneysel yükleme sonrası genel görünüm

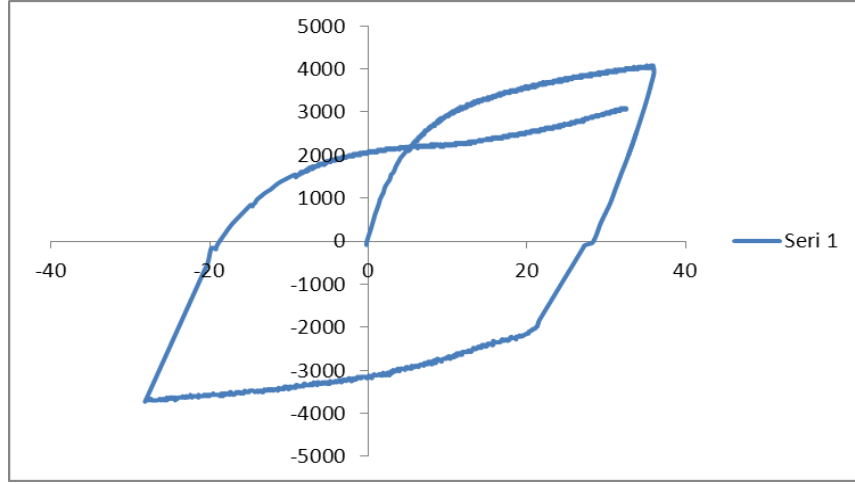
### 4.3.2. Alın Levhalı ve Berkitmesiz Model-D2 İçin Sonuçlar

D-Model-2 için deneysel analiz sonucunda elde edilen yük deplasman grafikleri Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.'da verilmektedir. Grafikten anlaşılacağı üzere düğüm noktasına eklenen alın levhasının düğüm noktası performansına pozitif yönde etki ettiği düğüm noktasının taşıma kapasitesindeki artış açıkça tespit edilmiştir. Bu modelde alın levhasının sisteme dahil olması ile birlikte yükün kolon gövdesine yayılması sağlanmış, bu sayede düğüm noktası rijitliği artmış ve kolon üzerinde meydana gelmesi muhtemel lokal burkulma etkileri önlenmiştir. Ancak Şekil 4.10.'de görüldüğü üzere, yatay yük altındaki kiriş için deplasman miktarının artması ile birlikte, mukavemetçe gevrek özellikte olan kaynak bütünlüğünde kiriş-alın levhası birleşim alanında bozulmalar görülmüştür.

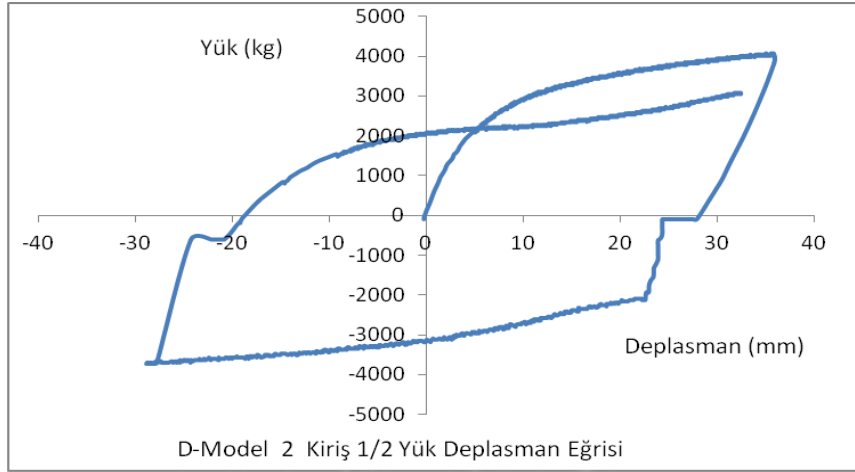


Şekil 4.8. D-Model 2 için D4 (Kiriş T. Nok.) noktasına ait yük deplasman eğrisi

Şekil 4.8.'den görüldüğü üzere okla gösterilen geçişler, deneyde kullanılan pistonun manuel olması sebebiyle piston boşaltılması anında profilin kendini geri çekmesi sebebiyle geçişler oluşmaktadır. Profilin normal davranışı Şekil.4.8.1.'de görüldüğü gibi olmalıdır.



Şekil 4.8.1. D-Model 2 için D4 (Kiriş T. Nok.) noktasına ait yük deplasman eğrisi



Şekil 4.9. D-Model 2 için D3(Kiriş Orta Nok.) noktasına ait yük deplasman eğrisi



a) Yükleme öncesi genel görünüm



b) Yükleme sonrası kaynak yırtılması

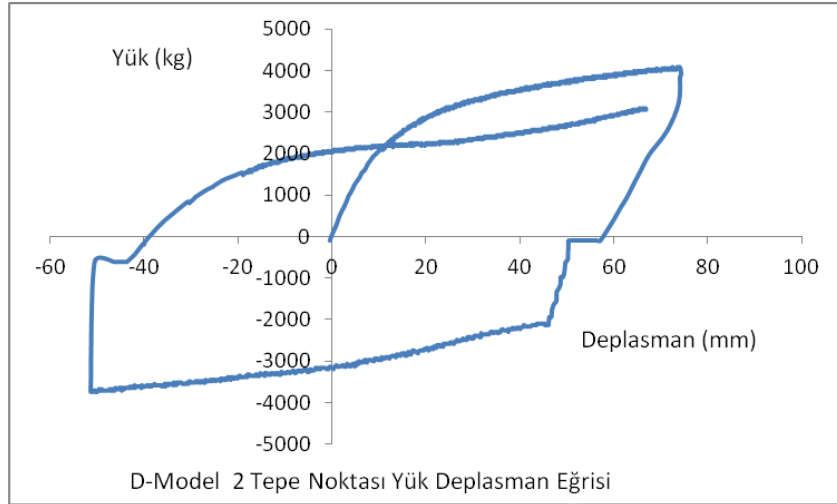


c) Çevrimsel yükleme sonrası basınç ve çekme bölgesinde oluşan kaynak yırtılması

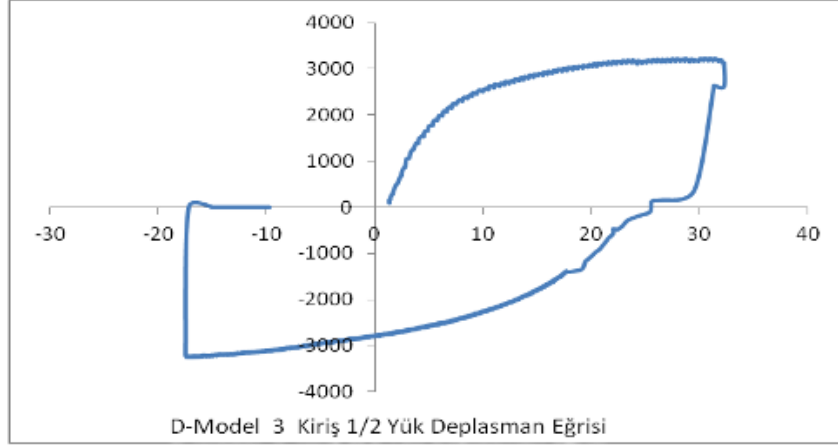
Şekil 4.10. D-Model 2 için deney sonrası genel görünümü

### 4.3.3. Alın Levhalı ve Berkitmeli Model-D3 İçin Sonuçlar

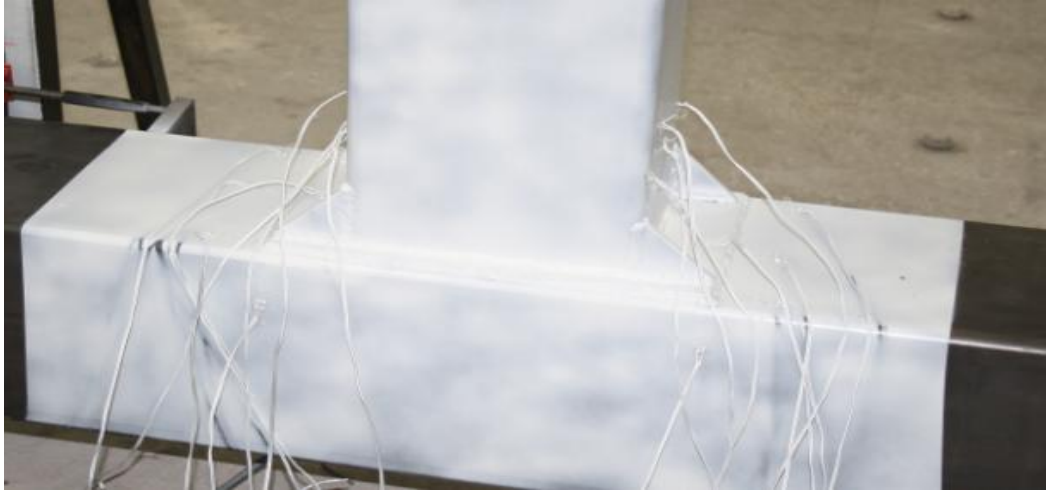
D-Model 3 için yapılan deneysel analiz sonucunda elde edilen yük deplasman grafikleri Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de verilmektedir. Berkitmeli birleşim için tasarlanan bu model için elde edilen yük deplasman eğrileri incelendiğinde modele ait olan kapasite değerleri alın levhalı modelden daha rijit bir özellik göstermektedir. Numunede aynı alın levhasında olduğu gibi davranış rijitleŐmiŐ, kaynaklarda oluşan yırtılma durumu (Şekil 4.13. b, c), etkitilen yatay yük değerleri ile değil, yüksek deplasman koşulları altında ortaya çıkmıştır. Ancak bu durumda dahi tersinir yükler altında, berkitme elemanlar yük aktarımını devamlı kılmıŐ ve düğüm noktası rijitliğini kaybetmemiŐtir. Kolon üzerinde herhangi bir buruşma ve burkulma durumu oluŐmamıŐtır.



Şekil 4.11. D-Model 3 için D4(Kiriş T.Nok.) noktasına ait yük deplasman eğrisi



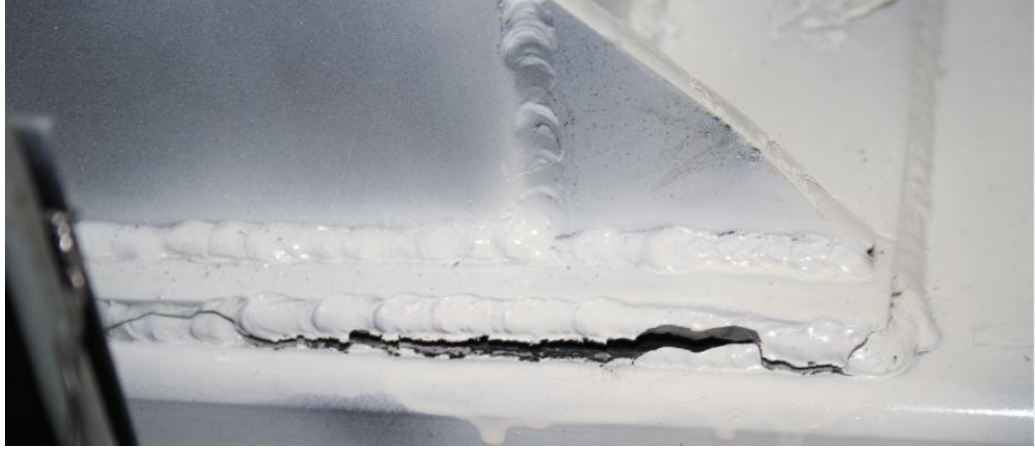
Şekil 4.12. D-Model 3 için D3(Kiriş O.Nok.) noktasına ait yük deplasman eğrisi



a) Deney öncesi görünüm



b) Yatay yükleme sonrası berkitme elemanlarındaki kaynak yırtılması

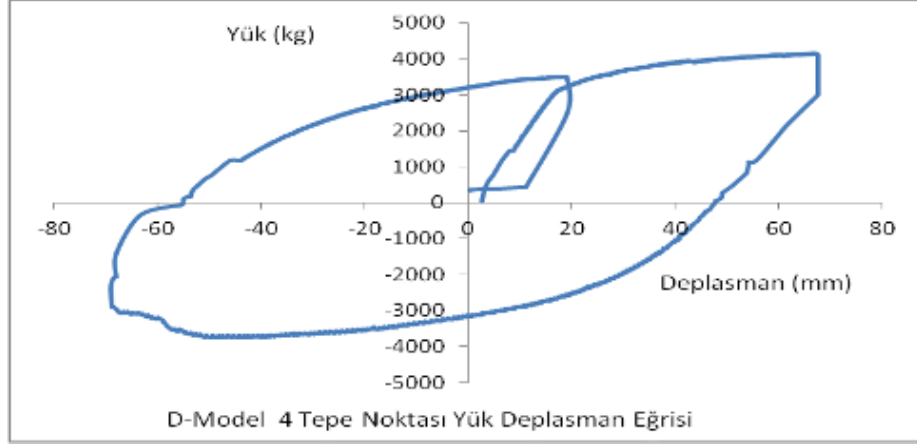


c) Yatay yükleme sonrasında alın levhasında meydana gelen kaynak yırtılması

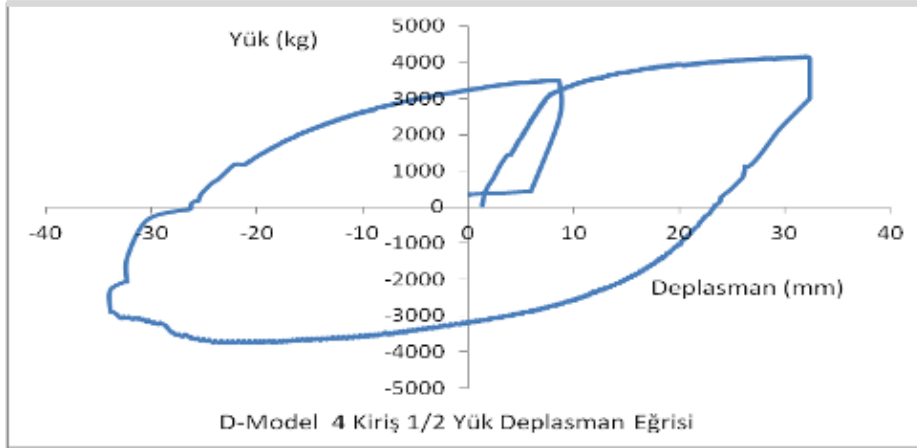
Şekil 4.13. D-Model 3 için deney sonrası genel görünüm

#### 4.3.4. Alın Levhalı ve Berkitmeli Model-D4 İçin Sonuçlar

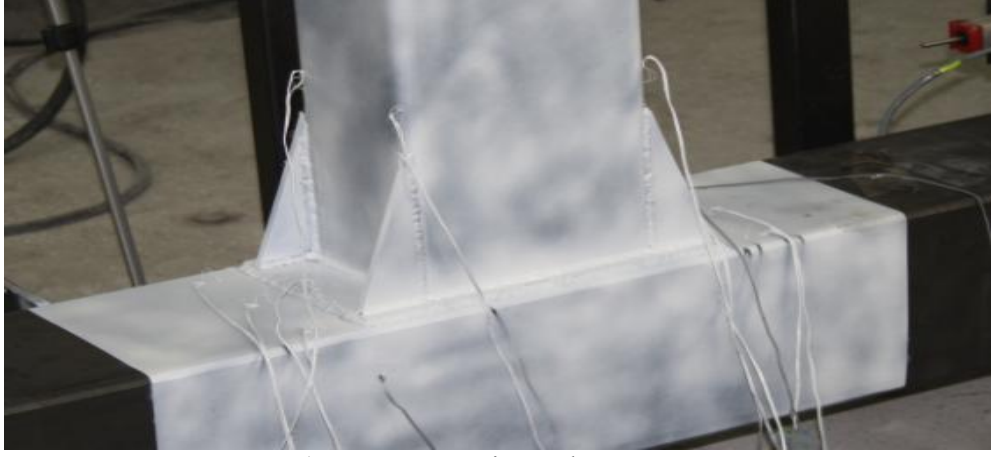
D-Model 4 için yapılan deneysel analiz sonuçlarına göre elde edilen yük deplasman eğrisi Şekil 4.14. ve 4.15.'de verilmiştir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere berkitmeli birleşim için tasarlanan bu numunenin davranışı aynı deplasman altına alın levhalı ve berkitmeli diğer iki modelden daha yüksek kapasitede yüke dayanım göstermiştir. Ancak deplasmanın artmasıyla birlikte berkitme elemanlarda boyut faktörüne bağlı olarak burkulma durumu meydana gelmiş (Şekil 4.16.), buna bağlı olarak da gerilme yığılması berkitmelerden alın levhasına doğru yoğunlaşmıştır. Yoğunlaşan gerilme yığılmaları sebebiyle alın levhasında uygulanan kaynakta yırtılma oluşmuştur. Kaynakta yırtılmanın meydana gelmesiyle düğüm noktası rijiliği düşmüş, yük kaynakta oluşan yırtılma ve berkitme levhasında meydana gelen burkulma ile sönmümlenerek kolon başlığında herhangi bir plastik şekil değiştirme meydana gelmemiştir.



Şekil 4.14. D-Model 4 için D4(Kiriş T.Nok.) noktasına ait yük deplasman eğrisi



Şekil 4.15. D-Model 4 için D3(Kiriş O.Nok.) noktasına ait yük deplasman eğrisi



a) Deney öncesi genel görünüm



b)Yükleme sonrası genel alın levhasında ve berkitme elemanlarda kaynak yırtılması



c) Berkitme elemanlarında burkulma



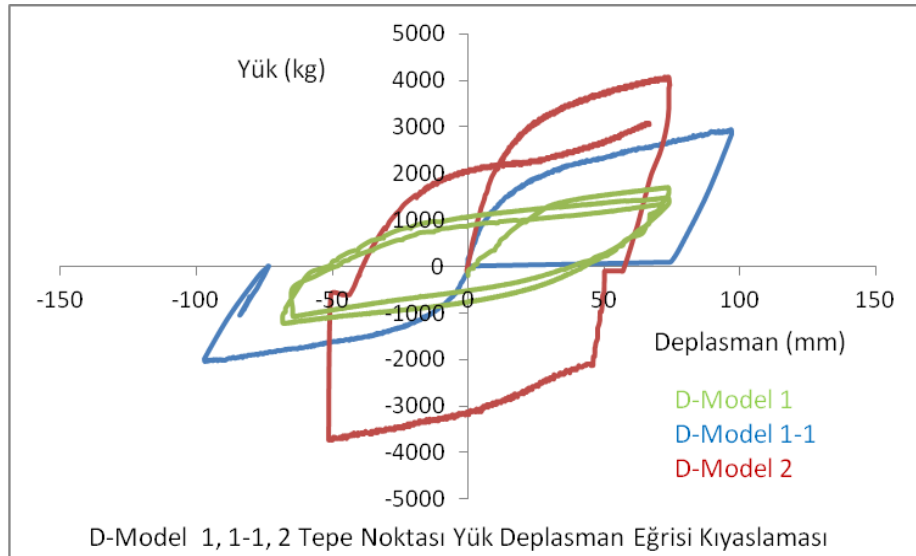
d) Kaynak yırtılması

Şekil 4.16. D-Model 4 için deney sonrası genel görünüm

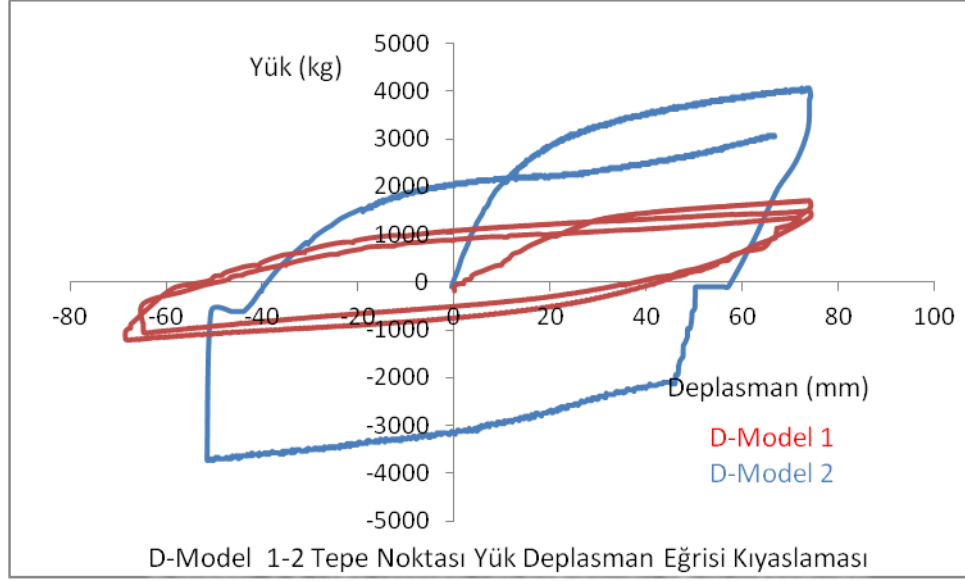
#### 4.4. Sayısal Analiz Sonuçları ve Yük Deplasman Eğrilerinin Kıyaslanması

Deneysel analizi yapılan dört numune için malzeme, kesit ve geometri özellikleri bakımından aynı koşullar altında dört adet sayısal model oluşturulmuş, her iki analizden elde edilen sonuçlar kıyaslanarak sayısal modeller kalibre edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca deneysel modellere ek olarak berkitmeli birleşim için iki kombinasyon daha sayısal analize eklenmiştir. Bu kısımda sayısal analizden elde edilen sonuçlar ile deneysel analiz sonuçları kendi içinde kıyaslanmıştır.

Aşağıda gösterilen yük deplasman eğrileri incelendiği hem deneysel numunelerin kendi içlerindeki tutarlılığı, hem de deneysel modeller ile sayısal modellerin kendi içlerindeki tutarlılıklarında kaynaklı birleşim olarak dizayn edilen bu birleşimlerde elastik ötesi deplasman koşulları altında kaynak bütünlüğünün korunmasının etkin rol oynadığı açıkça görülmektedir. Alın levhasız birleşim ve alın levhalı birleşimin temsil edildiği D-Model 1-1 ile D-Model 1, D-Model 2 için elde edilen sonuçların bir arada değerlendirildiği Şekil 4.17. ve Şekil 4.18.'de incelendiğinde, kaynak bütünlüğünün bozulmadığı D-Model 1-1 in D-Model 1 den daha yüksek kapasitede taşıma gücü sergilediği, elastik sınır dahilinde alın levhalı birleşim ile aynı özellikleri sergilediği görülmektedir.

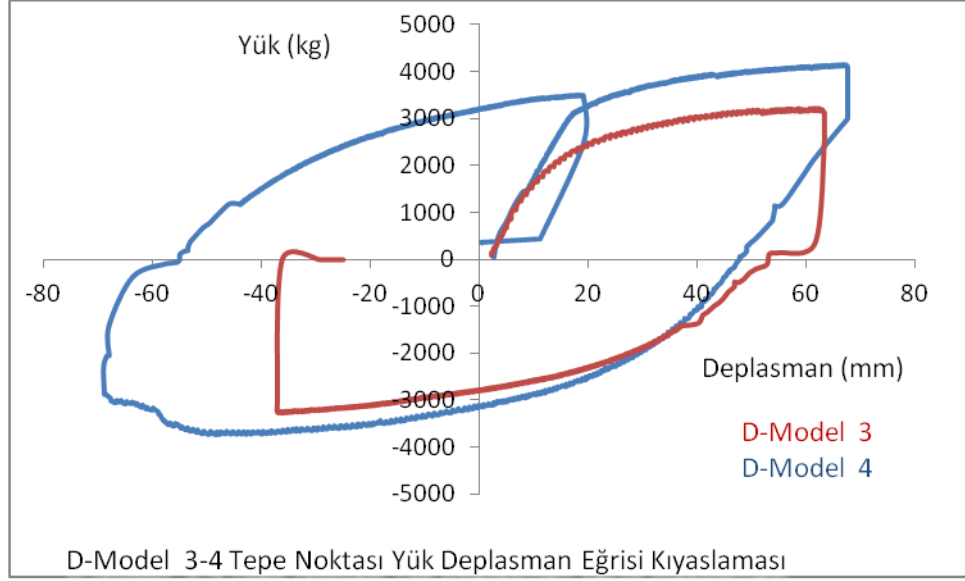


Şekil 4.17. D-Model 1,1-1,2 modellere ait D4(Kiriş T.Nok.) noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması

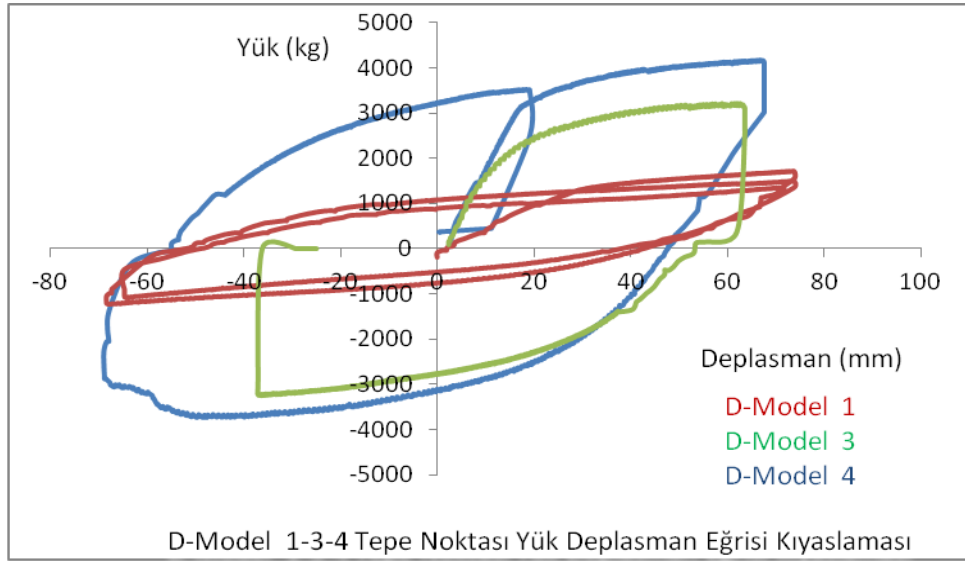


Şekil 4.18. D-Model 1-2 modellere ait D4(Kiriş T.Nok.) noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması

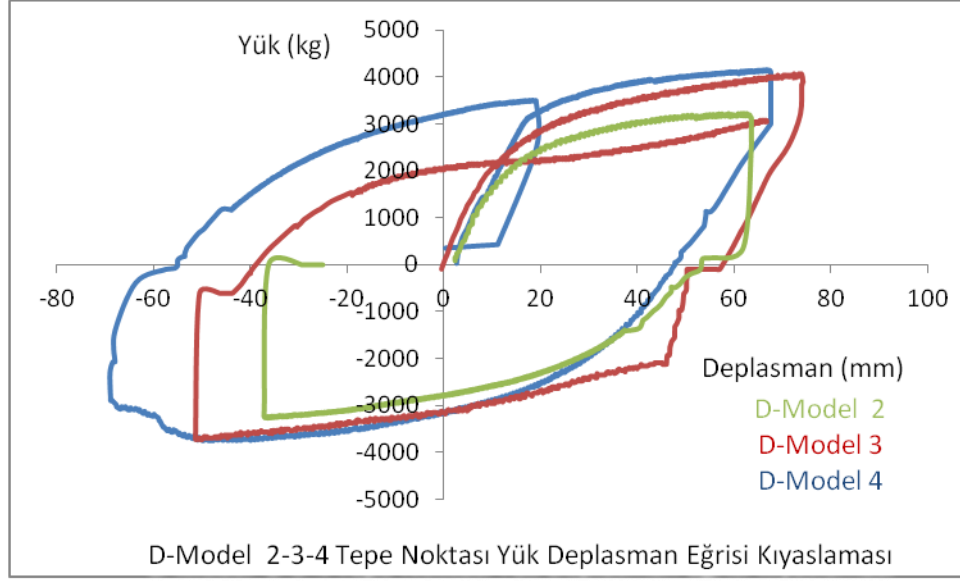
Berkitmeli birleşimlerin temsil edildiği D-Model 3-4 isimli numunelerin sonuçlarına göre elde edilen yük deplasman eğrilerinin kıyaslandığı Şekil 4.19. ve berkitmeli birleşimler ile alın levhalı ve alın levhasız birleşimlerin bir arada kıyaslandığı Şekil 4.20. ve Şekil 4.21. nolu grafiklerde görüldüğü üzere, tersinir etkiyen yükler altında çalışan bu tip birleşim detayına sahip birleşimlerde sisteme dahil edilecek olan berkitme levhaları düğüm noktasının rijitliğini ve sünekliğini arttırmaktadır. Sisteme kazandırılan bu ek rijitlik ve süneklik durumu, kolon üzerinde herhangi bir plastik şekil değiştirmeye sebep olmamıştır. Sistem, kaynak taşıma kapasitesinin etkisiyle oluşan ani yük kaybı sebebiyle meydana gelecek yüksek deplasman taleplerini berkitme elemanlarının şekil değiştirmesi ile karşılamıştır. Bu sayede düğüm noktası tersinir yükler altında çevrimini devam ettirmiştir.



Şekil 4.19. D-Model 3-4 modellerine ait D4(Kiriş T.Nok.) noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması



Şekil 4.20. D-Model 1-3-4 modellerine ait D4(Kiriş T.Nok.) noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması

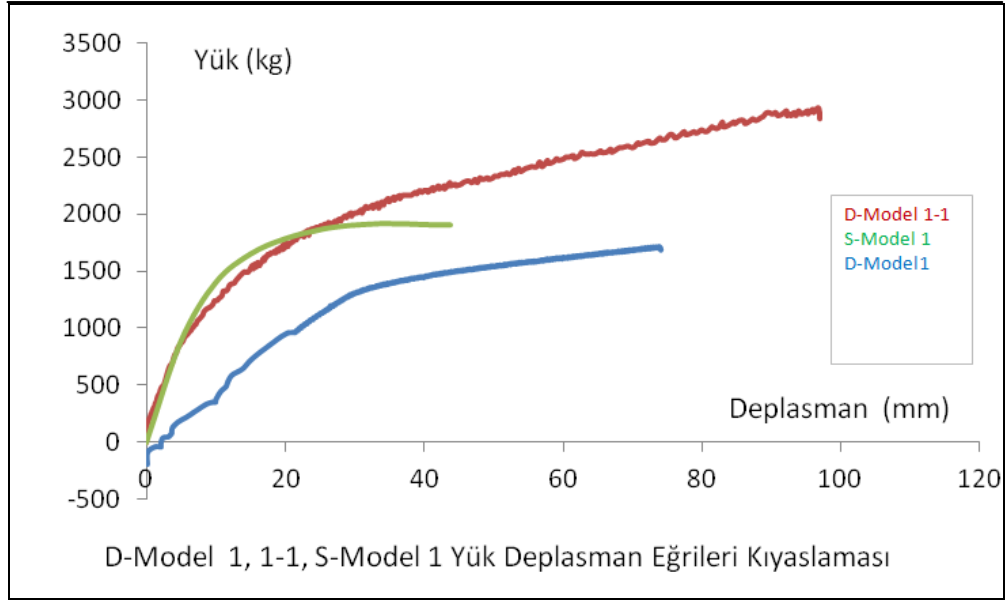


Şekil 4.21. D-Model 2-3-4 modellerine ait D4(Kiriş T.Nok.) noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması

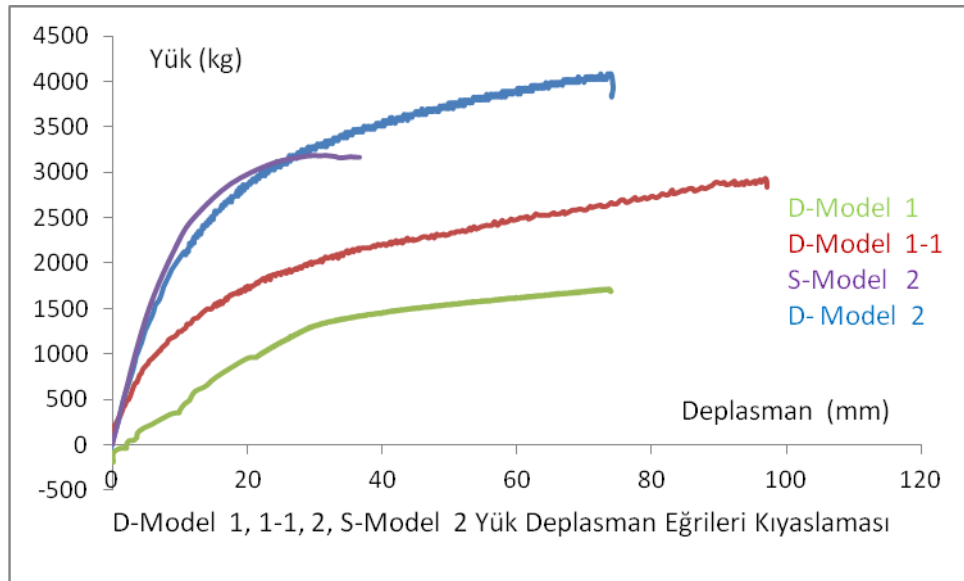
Yapılan sayısal analizler ile deneysel analizler için elde edilen yük deplasman eğrilerinin eğimlerdeki farkların temel sebebini deneysel modellerde elastik sınır ötesi deplasman koşulları altında meydana gelen kaynak yırtılmaları sebebiyle oluşan rijitlik kayıplarıdır. Deneysel modellerden aynı deplasman sınırları içinde kaynak yırtılmasının meydana gelmediği D-Model 1-1 ile D-Model 2 için elde edilen grafikler ile S-Model 1 ve S-Model 2 için elde edilen yük deplasman eğrilerinin birbiriyle uyumlu olduğu Şekil 4.22. ve Şekil 4.23. nolu grafiklerden açıkça görülmektedir. Diğer Modeller olan D-Model 3-4 için hazırlanmış olan grafikler muadili olan S-Model 3-4 ile kıyaslandığında kaynak yırtılmalarına bağlı taşıma kapasitesi kaybı sebebiyle eğri rijitlikleri aynı olmamaktadır. Ancak Şekil 4.24. ve Şekil 4.25. 'de görüldüğü üzere eğriler birbiri ile aynı paralellikte seyretmektedir.

Sayısal modellerin bir arada değerlendirildiği Şekil 4.26.'ya göre sisteme dahil edilen alın levhası, ve berkitmelerin düğüm noktası ataşma kapasitesini ve sünekliğini etkilediği görülmektedir. Beritmeler, alın levhasız birleşime ve alın levhalı birleşime sisteme kapasite katkısı sağlamaktadır. Ancak S-Model 3-4-5-6 için farklı boyutlarda berkitme levhası kullanılmasına rağmen sistem davranışları kendi içlerinde belirgin bir farklılık göstermemektedir. Çünkü sayısal analizlerde kaynak yırtılması, kiriş

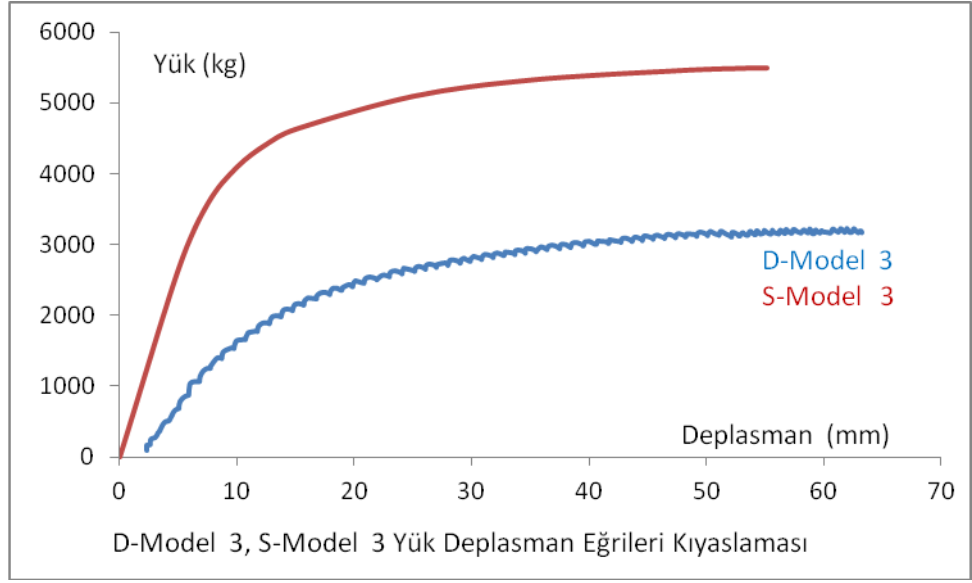
yada berkitme levhası üzerinde plastik şekil değiştirme durumları meydana gelmediğinden dolayı belirli bir yük ve deplasmandan sonra davranışı kolon başlığı ve gövdesinin rijitliği belirlemesi sebebiyle, yük deplasman eğrileri üst üste düşmektedir.



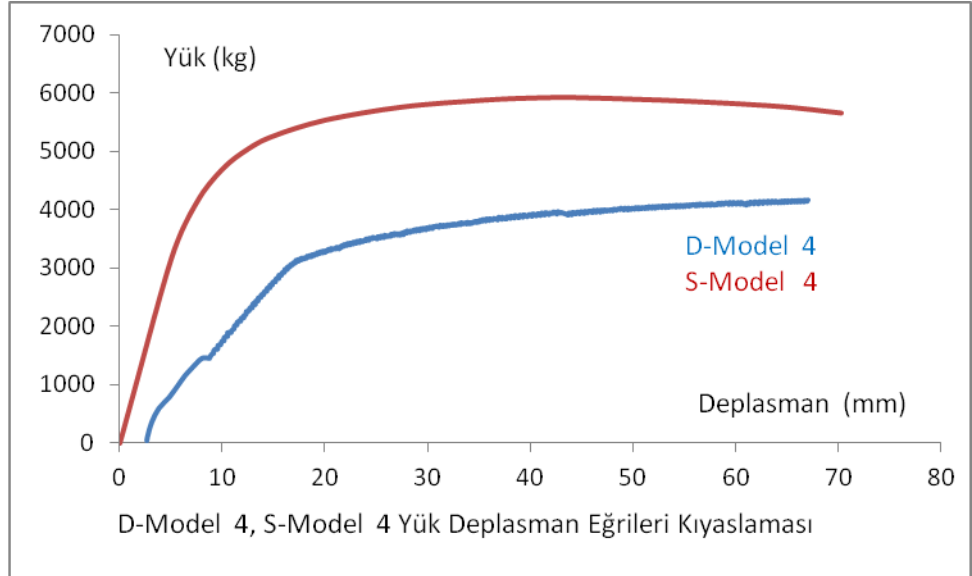
Şekil 4.22. D-Model 1-1, D-Model 1,S-Model 1 modellerine ait D4(Kiriş T.Nok.) noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması



Şekil 4.23. D-Model 1-1,D-Model 1,D-Model 2, S-Model 2, modellerine ait D4(Kiriş T.Nok.) noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması

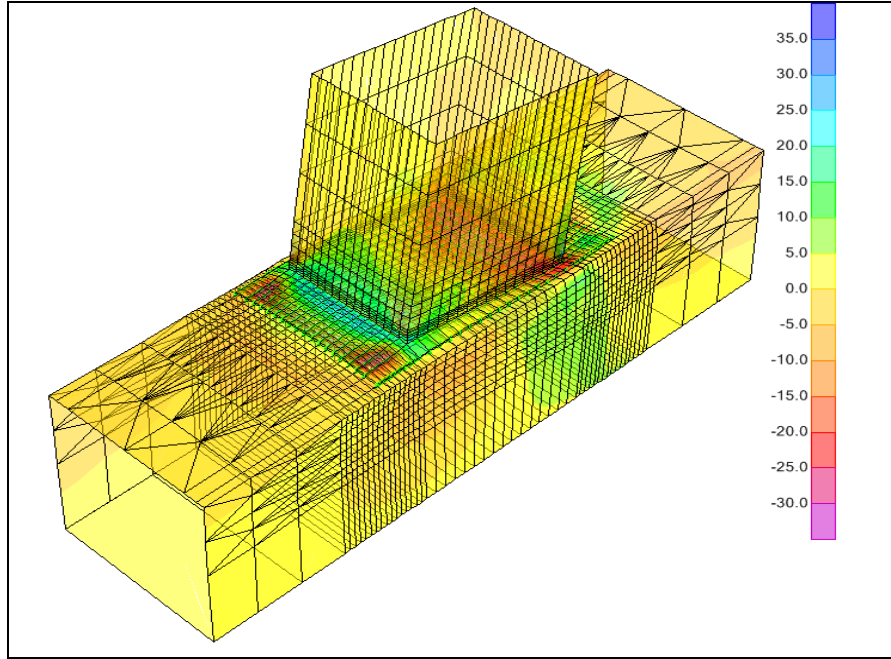


Şekil 4.24. D-Model 3, S-Model 3, modellerine ait D4(Kiriş T.Nok.) noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması

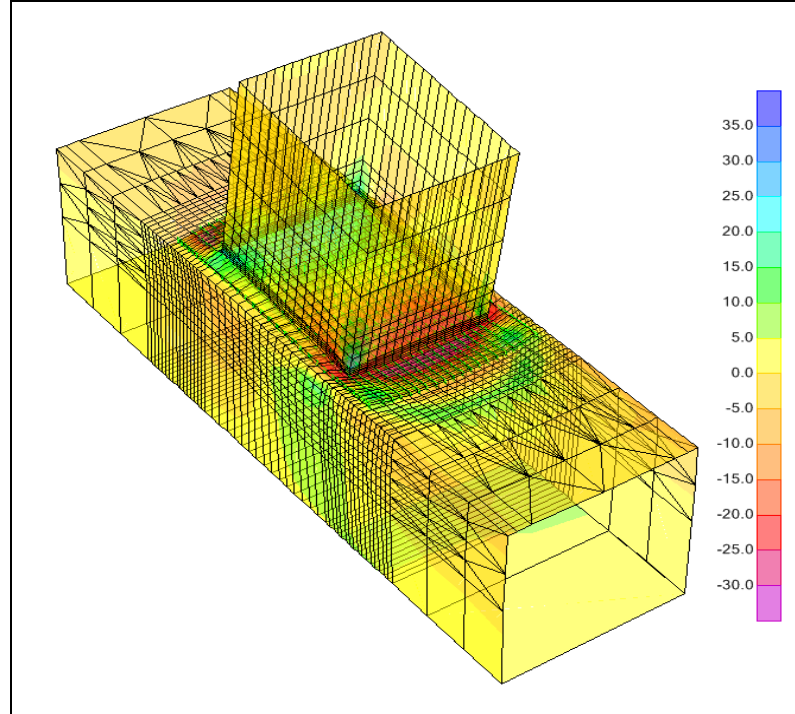


Şekil 4.25. D-Model 4, S-Model 4, modellerine ait D4(Kiriş T.Nok.) noktası için yük deplasman eğrisi kıyaslaması

#### 4.5. Sayısal Analizler Sonucunda Elde Edilen Gerilme Değişimleri

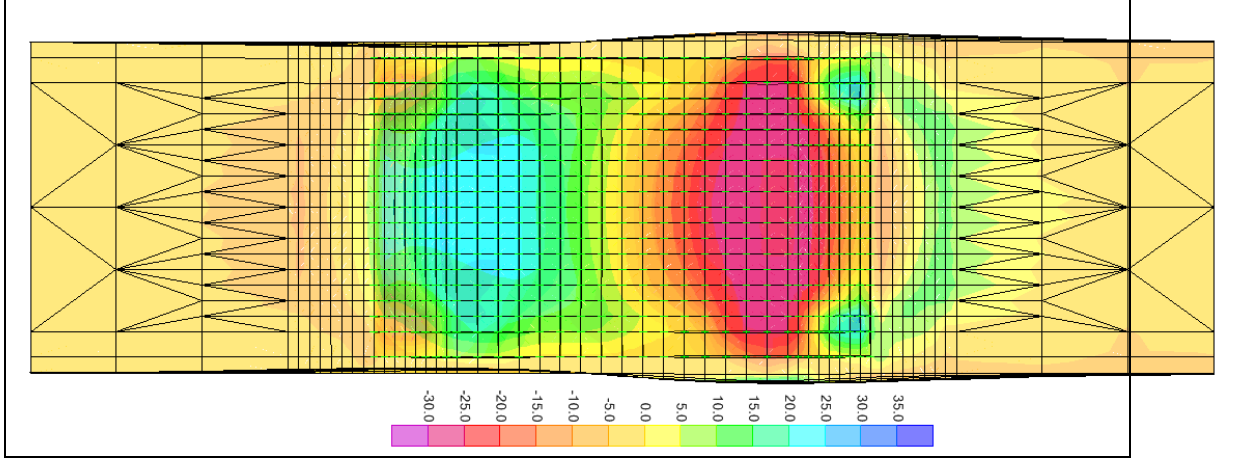


a) S11 Gerilme dağılımı genel görünümü

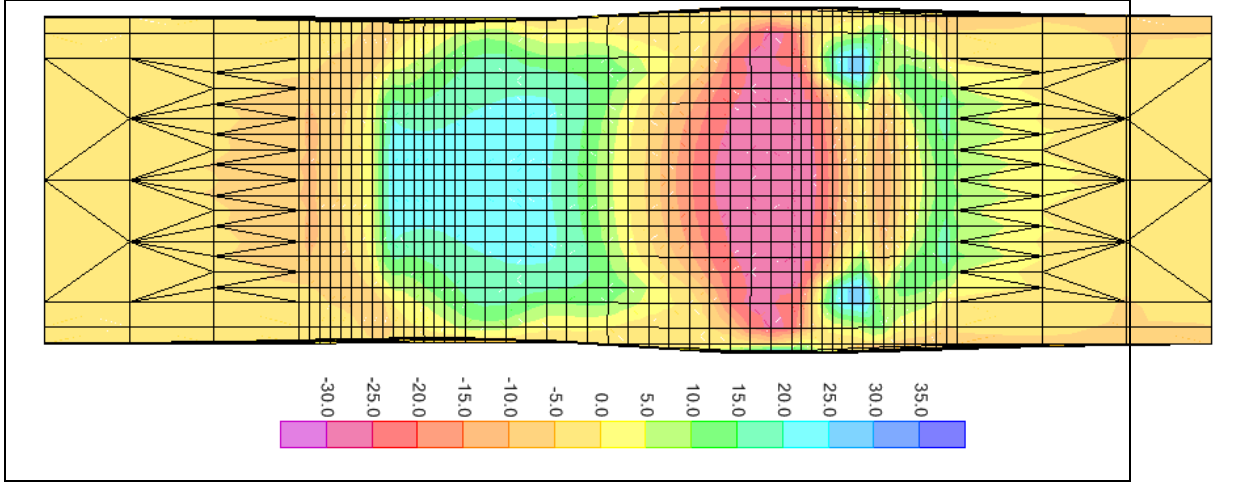


b) S11 Gerilme dağılımı genel görünümü

Şekil 4.26. S-Model 2 Deforme olmuş hal için S11 gerilme dağılımı genel görünüm

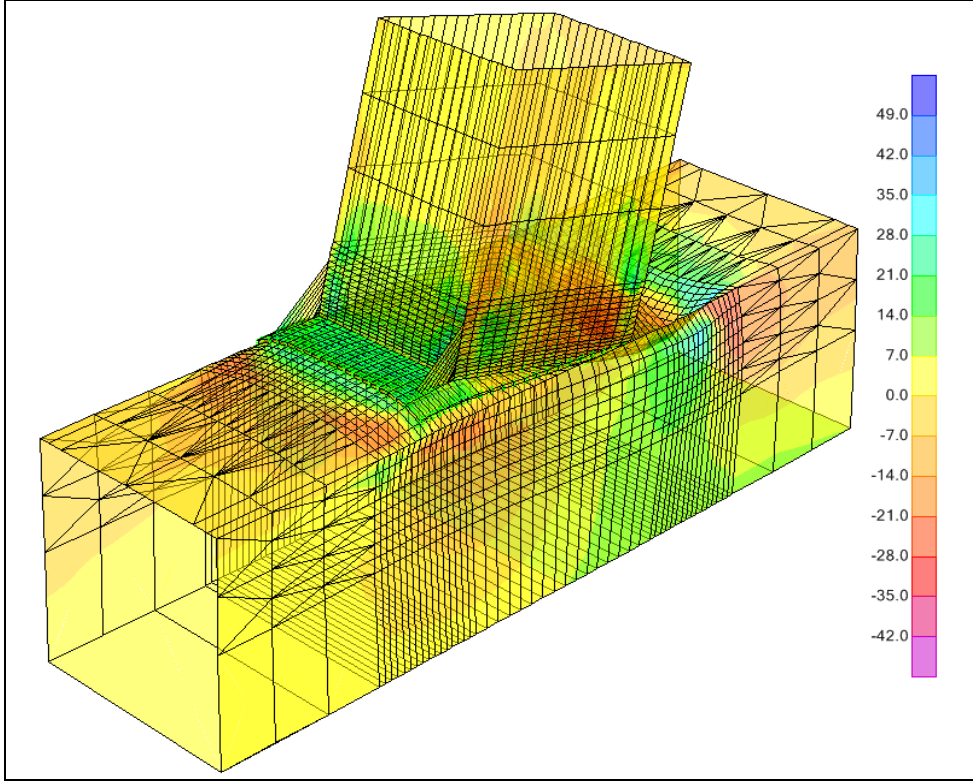


a) S11 Alın Levhası S11 gerilme dağılımı

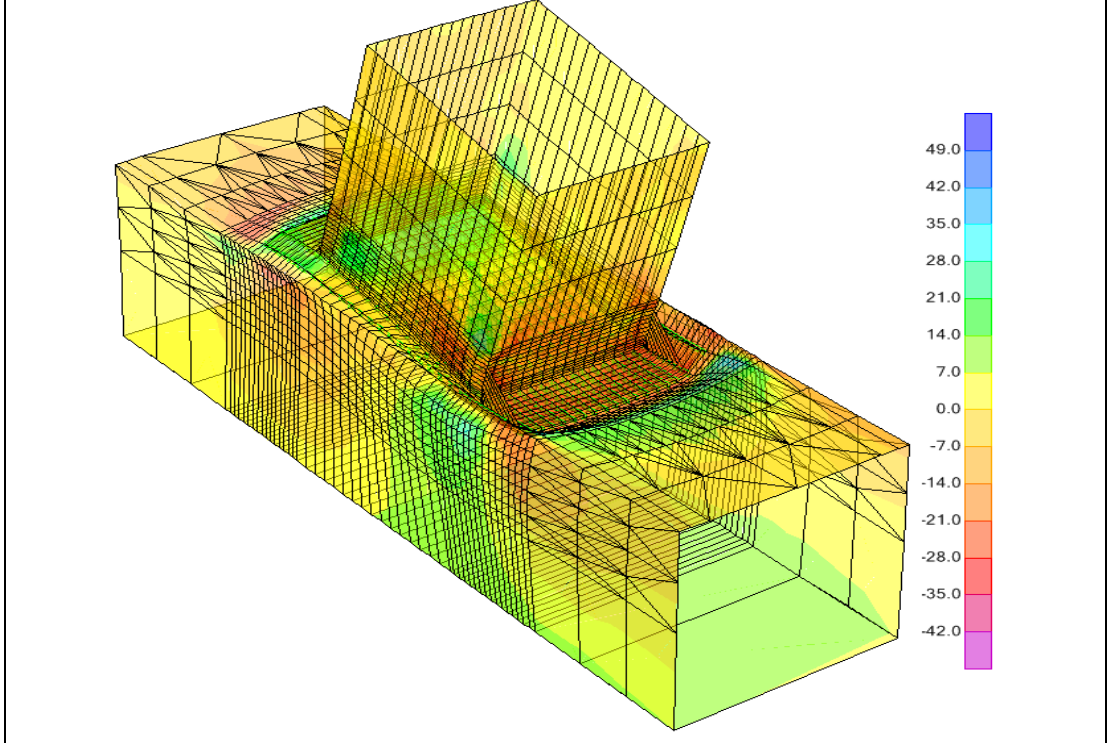


b) S11 Kolon üstü S11 gerilme dağılımı

Şekil 4.27. S-Model 2 Deforme olmuş hal için alın levhası- kolon S11 gerilme dağılımı kıyaslaması

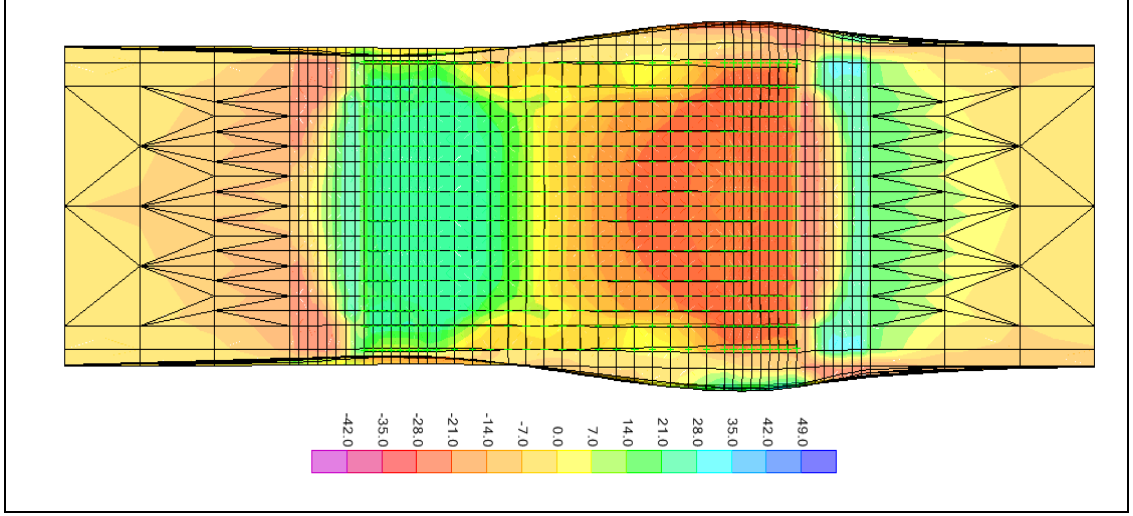


a) S11 Gerilme dağılımı genel görünümü

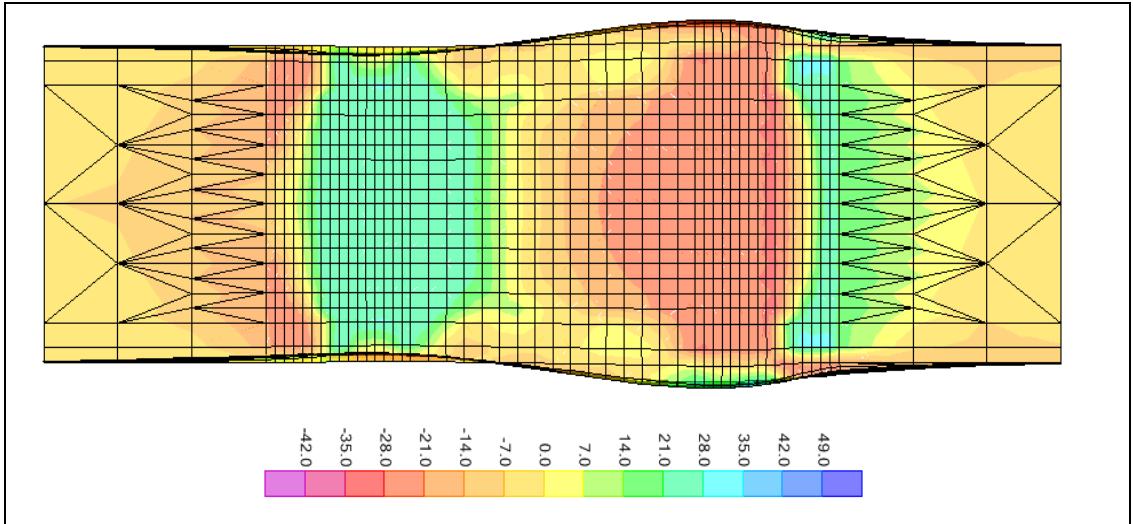


b) S11 Gerilme dağılımı genel görünümü

Şekil 4.28. S-Model 3 Deforme olmuş hal için S11 gerilme dağılımı genel görünüm

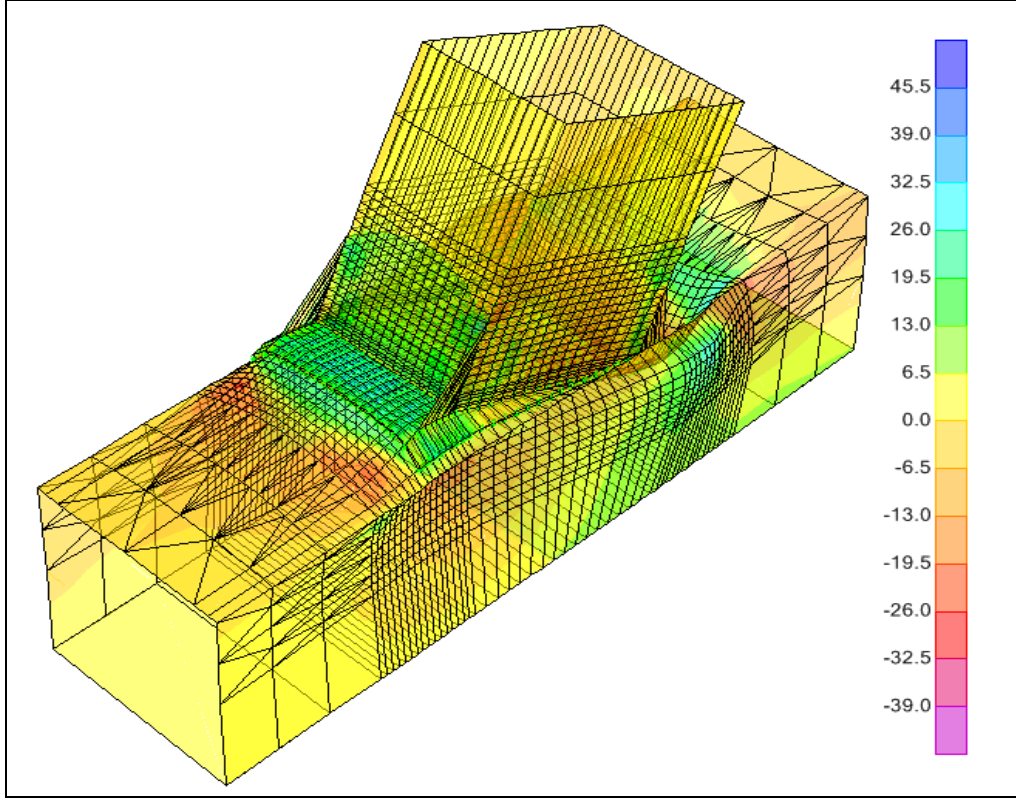


a) S11 Alın Levhası S11 gerilme dağılımı

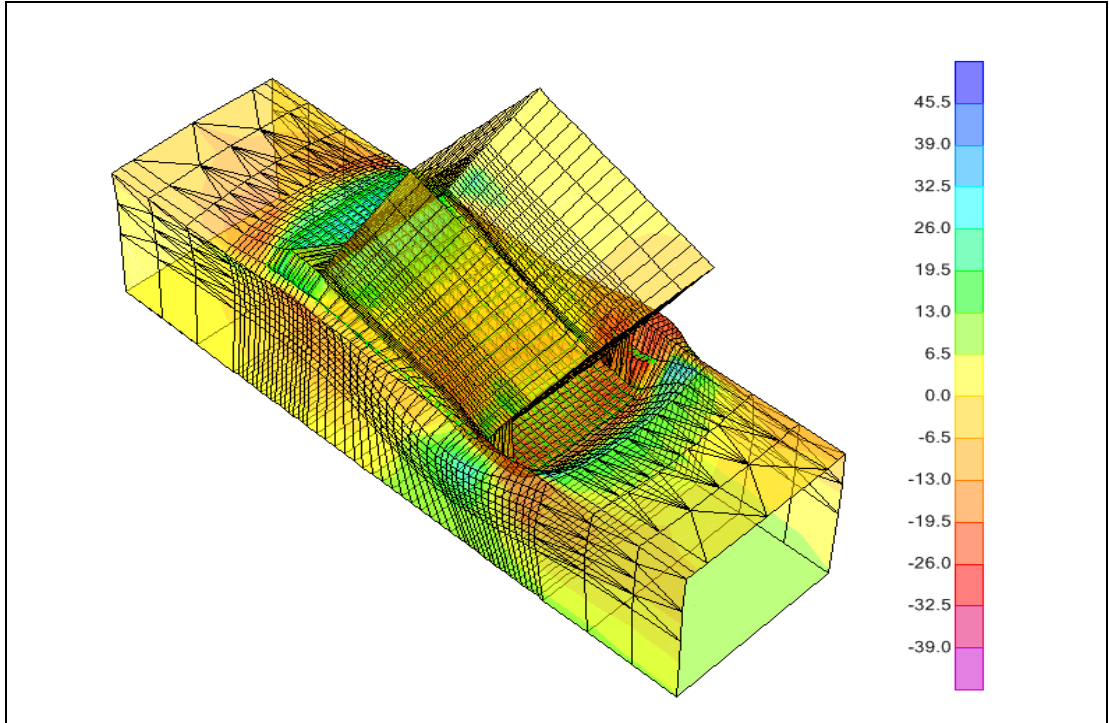


b) Kolon üstü S11 gerilme dağılımı

Şekil 4.30. S-Model 3 Deforme olmuş hal için alın levhası- kolon S11 gerilme dağılımı kıyaslaması

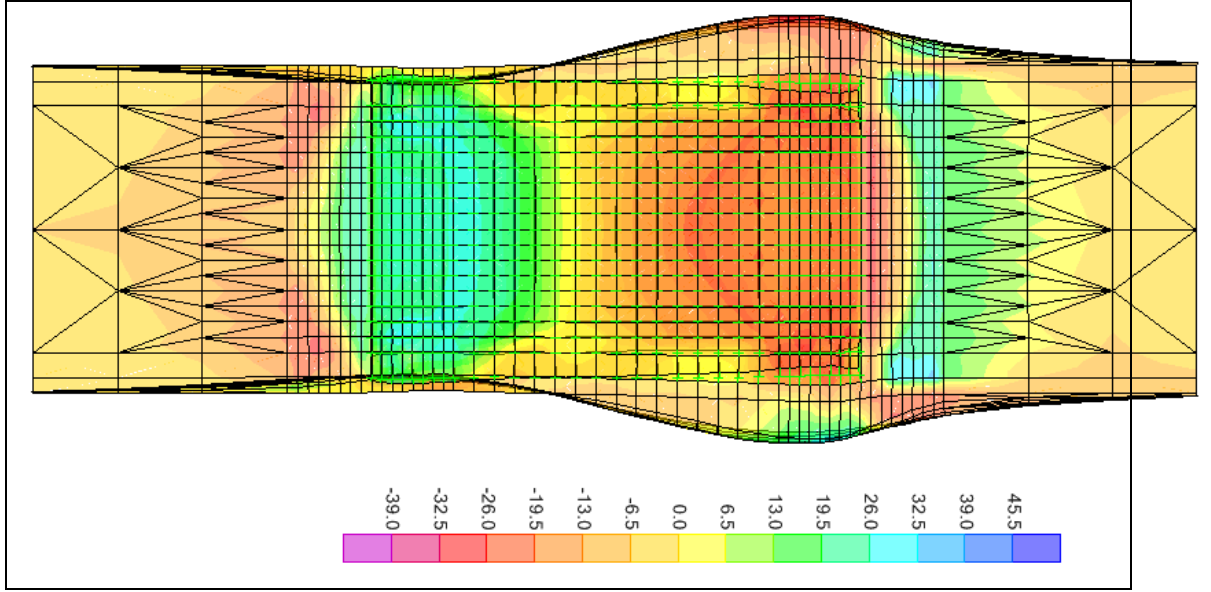


a) S11 Gerilme dağılımı genel görünümü

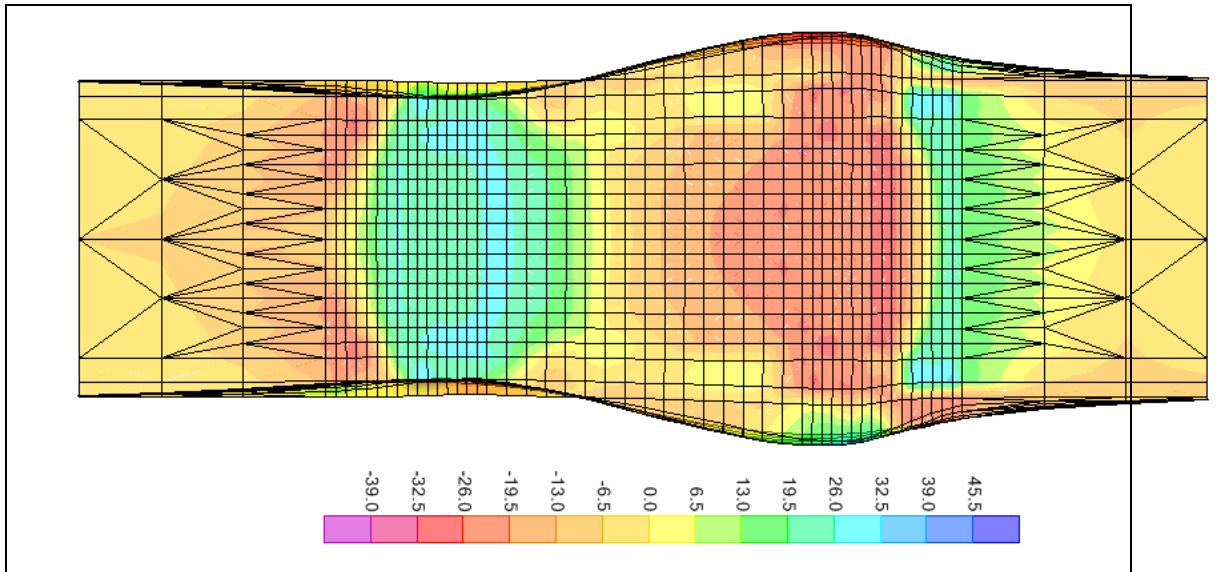


b) S11 Gerilme dağılımı genel görünümü

Şekil 4.30. S-Model 4 Deforme olmuş hal için S11 gerilme dağılımı genel görünüm



a) Alın Levhası S11 gerilme dağılımı



b) Kolon üstü S11 Gerilme Dağılımı

Şekil 4.31. S-Model 4 Deforme olmuş hal için alın levhası- kolon S11 gerilme dağılımı kıyaslaması

## 5. SONUÇ

Çelik yapılar sahip olduğu malzeme bakımından tersinir yükleme altında elastik ve elastik ötesi gerilme koşulları için yüksek sönümlenme kapasitesine sahiptir. Ancak son yıllarda meydana gelen elastik ötesi şekil değiştirme talebine sahip depremler de (Kobe ve Northridge gibi) çelik yapıların, beklenenin aksine düğüm noktalarındaki gevrek davranış sebebiyle elastik sınırlar dahilinde dahi göçme durumları ortaya çıkmıştır. Çelik yapıların, yatay kuvvetler etkisinde sergileyeceği yapısal davranışın, sahip olduğu malzemenin özelliklerine uygun olabilmesi için çelik yapıların, yapı elemanı boyutunda kesit bütünlüğünü, yapı boyutunda ise yapısal çerçeve bütünlüğünü tersinir yükleme hali için koruması gerekmektedir. Bu durum halen yürürlükte olan TDY 2007'de de yer almıştır. Yönetmelikte çelik yapıları süneklik düzeyi normal ve yüksek süneklikli olarak iki sınıfta konumlandırmıştır. Yapılan bu sınıflandırmaya göre de yatay yük altındaki davranışı için gerekli hesap kriterlerini belirlemiştir. Süneklik düzeyi yüksek olan sistemlerde bu davranışın sergilenebilmesi için minimum enkesit koşulları, güçlü kolon zayıf kiriş tasarım koşulu ve görelî kat ötelenmesinin/kat yüksekliğine oranı için 0,04 rad dönme yapabilir olması gerekliliği gibi kriterler istenmiştir. Bu istenilen hallerin gerçekleştirilmesi için yapı elemanlarını bir arada tutan birleşimlerin yeterli rijitlik ve süneklikte olması gerekliliği mevcuttur. Yönetmelikte bu minimum şartları sağlayabilecek birleşimler için bazı düğüm noktası detayları verilmiştir. Bu detaylar I profiller kullanılarak oluşturulmuş ve buna göre tasarlanmıştır. Ancak bilmekteyiz ki yapısal bütünlük içerisinde süneklikten bahsedebilmemiz için bu durumun öncelikle yapı elemanı bazında kesit bütünlüğün sağlanması gerekmektedir. Yani birleşim noktasında bir araya getirilen kolon ve kiriş taşıyıcı elemanlarında, kolon panel bölgesinde ve birleşimin sağlandığı başlık yada gövde elemanlarında lokal burkulma etkilerinin önlenmesi gerekmektedir. Yönetmelikte tanımlanan düğüm noktası detaylarında bu durum ek levhalar kullanılarak I profiller için kolaylıkla sağlanmıştır. Ancak bu çalışmanın da konusu olan Kutu Profiller ile yapılacak olan birleşimlerde yönetmelikte tanımlanan detaylar ile bu davranış mümkün değildir. Çalışma kapsamında yapılan deneysel ve sayısal analizler neticesinde kutu profil kullanılarak dizayn edilen birleşimler için düğüm noktasında kolon başlığı yada gövdesinde

meydana gelebilecek, buruşma ve burkulma gibi plastik şekil değiştirmeler kullanılan alın levhası ve berkitmeler ile önlenmeye çalışılmıştır. Buna göre;

Alın levhasız birleşimi temsilen kullanılan D-Model 1, S-Model 1 ve şahit numune olan D-Model 1-1 den elde edilen sayısal ve deneysel analiz sonuçlarından (Şekil 4.22.) görülmektedir ki: Eğer birleşimde kullanılan kaynak malzemesinin tersinir yükleme altında bütünlüğünün bozulmaması ve yırtılma durumunun olmaması halinde yükleme ve deplasman elastik sınır dışına taşındığında kolon başlığında burkulma, gövdesinde ise buruşma meydana gelmiştir. Bu durum hem sayısal model hem de şahit numune için yapılan analizde teyit edilmiştir. D-Model 1 için yapılan yükleme halinde kiriş-kolon arasında bağlantıyı sağlayan kaynakta bütünlüğün bozulması sebebiyle gerçekleşmemiştir.

Alın levhalı birleşimin temsil edildiği numuneler olan D-Model 2 ve S-Model 2'den elde edilen sayısal ve deneysel analizler incelendiğinde (Şekil 4.23.) her iki model için elde edilen verilerin belirli bir deplasman değerine kadar yük deplasman eğrilerinin üst üste oturduğu görülmekte ve davranışlar örtüşmektedir. Alın levhası her iki analizde düğüm noktasının taşıma kapasitesini artışına sebep olmuştur Bu artış Deneysel Numunede Şahit Numuneye göre %30 civarında, D-Model 1'e göre %100 değerine kadar ulaşmıştır. Sayısal Çalışma için S-Model 1 e göre artış %60 lar seviyesindedir. Deneysel çalışmadaki artışın iki farklı durum halinde olmasının sebebi D-Model 1 de kaynak yırtılmasının meydana gelmesidir. Dayanım bakımında durum böyle iken Lokal Burkulma etkileri için; kolon başlığında ve gövdesinde oluşan burkulma ve buruşmaları önlemek amacıyla sisteme eklenen alın levhası, deneysel numunede kolon üzerinde meydana gelen lokal burkulma etkilerini tamamen ortadan kaldırmıştır. (Şekil 4.10.) Alın levhası kolon birleşimi kaynak alanı itibari ile kiriş alın levhası birleşimin çok üstünde olması sebebiyle Alın levhası-kolon birleşimi daha yüksek taşıma kapasitesine sahiptir. (Çizelge 4.1.) Deplasman değerinin artmasıyla birlikte kiriş-alın levhası birleşiminde yine yırtılmalar meydana gelmiş olmasına rağmen meydana gelen bu yırtılma hali yönetmelikçe tanımlanan 0.04 radyan dönmenin çok üstündeki deplasman koşulu için oluşmuştur. Ancak sayısal analizlerden elde edilen gerilme dağılımı şekillerine ( Şekil 4.27.) göre Kolon

gövdesinde burkulma meydana gelmiştir.. Şekil 4.28. incelendiğinde ise sisteme eklenen alın levhasının kolon üst başlığında meydana gelen gerilme yığılmalarını azalttığı ve yığılmayı kendi üzerinde toplayarak kolon başlığından kolon gövdesine doğru aktarımını sağladığı açıkça görülmektedir. Bu durumda gerilme yığılmalarının alın levhası üzerinde toplanması sebebi ile tersinir yüklerde panel bölgesi çevrimsel döngüye dayanacak sünekliği kazanmıştır.

Berkitme levhaları kullanılarak modellenen numuneler olan D-Model 3-4 ile S-Model 3-4-5-6 ait deneysel ve sayısal analizler incelendiğinde kullanılan berkitmelerin sistem taşıma kapasitesini arttırdığı gözükmemektedir. (Şekil 4.24., 4.25., 4.26.) Deneysel numuneleri kendi içinde değerlendirdiğimizde Alın levhasız ve alın levhali birleşim sahip oluşu ve kapasite ve çevrimsel yükler altında deplasman yapabilme kabiliyetinin %10 luk bir mertebede artış gösterdiği tespit edilmiştir. Kullanılan berkitme elemanları ile birlikte kiriş-alın levhası bağlantısı kaynak taşıma kapasitesinin, alın levhası-kolon arasındaki kaynaklı birleşimin sahip olduğu kaynak taşıma kapasitesinden daha yüksek seviye ulaşmasını sağlamıştır. Bu durum sebebiyle yine deplasman talebinin artması ile oluşan kaynak yırtılmaları bu modeller de alın levhası-kolon birleşim noktasından gerçekleşmesine sebep olmuştur. Berkitme levhali deneysel modellerde, kolon bölgesinde herhangi bir lokal burkulma hali gözlemlenmemiş olup (Şekil 4.13., 4.16.), deplasmanın talebinin artması ile ihtiyaç duyulan sönümlenme, berkitme elemanların burkulması gerçekleşmiştir.(Şekil 4.16. b) Sayısal analizler ile deneysel verileri kıyasladığımızda ise kapasite ve süneklik artışının her iki durum içinde geçerli oluşu görülmektedir. Ancak deneysel analizlerde kaynak yırtılmalarına bağlı rijitlik kaybı sebebiyle, yük-deplasman eğrileri birbirinden ayrılmakta ama aynı paralelliği takip etmektedir.(Şekil 4.24., 4.25.) Sayısal modellerde berkitme elemanların devreye sokulması ile birlikte, kolon başlığında ve gövdesinde meydana gelen burkulma etkileri artmıştır.(Şekil 4.29., 4.31.) Ancak Şekil 4.30. ve Şekil 4.32.'den görüldüğü üzere kolon başlığındaki gerilme yığılmaları alın levhası sayesinde azaldığı için çevrimsel döngüde deformasyon alın levhası ve berkitmelerle sönümlenmektedir.

Sonuç olarak kutu profiller ile yapılan birleşimlerde lokal burkulma etkilerini ortadan kaldırmak için uygulanan alın levhasının sistem kapasitesini ve sünekliğini arttırdığı, lokal burkulma etkilerini deneysel numuneler de önlediği sayısal numuneler de geniş bir alana yaydığı görülmüştür. Deneysel numunelerde kullanılan kaynaklı birleşimlerin T648 de tanımlanan kurallara göre taşıma güçleri hesaplandığında elde edilen değerlerin kaynak yırtılmasının gerçekleştiği yük değerlerinin çok daha altında kaldığı tespit edilmiştir. (Şekil 4.1., 4.2.) Bu açıdan değerlendirdiğimizde deneysel numuneler de meydana gelen yırtılmalar yırtılma öncesi dönme değerinin 0,04 radyanı sağlaması ve TS 648'e göre hesaplan değer üzerinde kalması sebebiyle düğüm noktası çevrimsel döngüsünü etkilememiştir.

Bu çalışma halen devam eden bir araştırmanın bir parçası konumunda oluşu için farklı alın levhası boyutları ve farklı berkitme levhası boyutları için yapılacak diğer deneysel ve sayısal analizler neticesinde sonuç netlik kazanacaktır. Ancak kendi içinde değerlendirildiğinde alın levhası kullanımı ile kolon üzerinde meydana gelen burkulmalar önlenmiş, düğüm noktasında kapasite artışı sağlanmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

- Anonymous. 1996. ATC 40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Applied Technology Council.
- Anonymous, 1997, FEMA (Federal Emergency Management Agency) 273, Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings-1997
- Anonymous. 2000. FEMA 356, Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency.
- Anonymous. 2005. FEMA 440, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Federal Emergency Management Agency.
- Anonymous. 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007, Resmi Gazete, Ankara
- Chao, S.-H., Goel, S. C., 2006. Performance-Based Design of Eccentrically Braced Frames Using Target Drift and Yield Mechanism. AISC Engineering Journal, American Institute of Steel Construction, Third Quarter, 2006, 173-200.
- Chopra, A.K., Goel R.K., 1999. Capacity – Demand – Diagram Methods for Estimating Seismic Deformation of Inelastic Structures: Sdf Systems. PEER-1999/02.
- Durmuş, D., 2003. Çelik Çerçeve Yapıların Doğrusal Olmayan Deprem Davranışı. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73s, Isparta.
- Ghobarah, A., 2001. Performance - Based Design in Earthquake Engineering: State of Development, 23, 878-884
- Gioncu, V., 2000. Framed Structures. Ductility and Seismic Response General Report. Computers and Structures, 55, 125-154
- Giocu, V., Mazzolani, F., 2002. Ductility of seismic resistant steel structures, Spon press, Biddles Ltd., 694s. USA and Canada.
- Mahim, S., Malley, J., Hamburger, R., 2002. Overview of the FEMA/SAC Program For Reduction of Earthquake Hazards in Steel Moment Frame Structures. Journal of constructional steel research ,58, 511-528.
- Nakashima, M., Matsumiya, T., Suita, K., Liu, D., 2005. Test On Full Scale Three Storey Steel Moment Frame And Assesment Of Ability Of Numerical Simulation To Tarce Cyclic Inelastic Behaviour. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35, (1), 3-19.

- Özer, E., 2007. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi. [http://web.itu.edu.tr/~orak/ders\\_notlari/ders\\_notlari.html](http://web.itu.edu.tr/~orak/ders_notlari/ders_notlari.html). Erişim Tarihi: 01.02.2012.
- Sabelli, R., Mahin, S., Chang, C., 2005. Seismic Demands On Steel Braced Frame Buildings With Buckling Restrained Brace. NASCC The Steel Conference, 123-143, Canada.
- Sucuoğlu, H., 2002. Yapıların Deprem Güvenliğini Değerlendirme Yöntemleri. ODTÜ Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Ankara.
- Uang, C.M., ASCE, M., Sato, A., Hong, J.K, Wood, K., 2010. Cyclic Testing and Modeling of Cold-Formed Steel Special Bolted Moment Frame Connections. Journal Of Structural Engineering, AGUST 2010, 953-960.
- Uzgider, E., Çağlayan, B.Ö., 2005. Depreme Dayanıklı Çelik Yapılar. Türk Yapısal Çelik Derneği, Alp Ofset, Teknik Yayınlar Dizisi 1, 58s, İstanbul.
- Yang, T.Y., Stojadinovic, B., Moehle, J., 2007. Hybrid Simulation Evaluation Of Innovative Steel Braced Framing System. Proceedings, Eighth National Conference on Earthquake Engineering, CD, 1415, San Francisco, California.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Adnan ZEHİR

Doğum Yeri ve Yılı : Herford, 1986

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Isparta Anadolu Lisesi, 2004.

Lisans : SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği, 2009.

Yüksek Lisans : SDÜ FBE İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı, Devam ediyor.