

**SIK KULLANILAN YAPISAL ÇELİK KOLON-KİRİŞ  
BİRLEŞİMLERİNİN LİNEER OLMAYAN DAVRANIŞI**

**Hakan GÖKDAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN**

**İkinci Danışman: Dr. Kerem PEKER**

**Eskişehir**

**Anadolu Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Temmuz 2018**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Hakan Gökdaş'ın "Sık Kullanılan Yapısal Çelik Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Lineer Olmayan Davranışı" başlıklı tezi 26/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

<u>Jüri Üyeleri</u>	<u>Unvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN	.....
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet İnanç ONUR	.....
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN	.....

**Prof. Dr. Ersin YÜCEL**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**

## ÖZET

### SIK KULLANILAN YAPISAL ÇELİK KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN LİNEER OLMAYAN DAVRANIŞI

Hakan GÖKDAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Bilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz 2018

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN

İkinci Danışman: Dr. Kerem PEKER

Bu çalışmada, Eurocode da tanımlı olmayan çelik kolon-kiriş birleşimleri çalışılmıştır. Birleşimler bileşen metodu tabanlı sonlu eleman analizi yapan IDEA STATICA programında gerçekleştirilmiştir. Modellenen birleşimler zayıf ve kuvvetli yön olmak üzere iki ana grupta toplanmıştır. Tekla Structures Programı kullanılarak bu numunelerin üç boyutlu modelleri oluşturulmuştur. İdea Statica Analiz programı kullanılarak rijitlik analizleri yapılmıştır. Rijitlik analizi yapılırken program tarafından hesaplanan  $M_j$  eğilme dayanım momentine yakın  $M_e$  momenti ile yüklenerek hiçbir kesme kuvveti olmaksızın akma gerilmesinden dolayı oluşan akma şekil değiştirme limitinin 5 farklı değeri (%0,5, %1, %2, %5, %10) için sonuçlar elde edilmiştir. Her bir limit değerinde akma şekil değiştirmesinin miktarı verilen limite dayandığından dolayı birleşimin dönebildiği miktar sınırlı kalmıştır. Bunun sonucu olarak akma şekil değiştirme oranı arttıkça sistem daha çok dönmüştür. Sadece kolon ve kirişin plastik davranışına bakılmasının yeterli olmadığı, birleşimin davranışının göz önüne alınması gerektiği görülmüştür. Birleşimlerde başlık ile aynı kalınlığa sahip berkitme levhası kullanmanın yeterli olmayabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Plastik deformasyonun kiriş üzerinde yoğunlaşmasının sağlanabilmesi için birleşimin çok iyi tasarlanması gerektiği ve birleşimin davranışı için basit hesapların yeterli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Sözcükler: Kolon-kiriş birleşim, Bileşen metodu, Sonlu eleman analizi, Rijitlik analizi**

## ABSTRACT

### NONLINEAR BEHAVIOR OF COMMONLY USED STRUCTURAL STEEL COLUMN-BEAM CONNECTIONS

Hakan GÖKDAŞ

Department of Civil Engineering

Anadolu University, Graduate School of Sciences, June 2018

Supervisor: Asst. Prof. Kıvanç TAŞKIN

Co-Supervisor: Dr. Kerem PEKER

In this study, the steel column-beam connections didn't define in Eurocode have been studied. Beam-column Joints were performed in the IDEA STATICA program, a component method based finite element analysis. A total of twenty-six models were created for each group, with a end-plate and splice. Three dimensional models of these samples were created using Tekla Structures Program. Stiffness analyzes were performed using the Idea Statica Analysis program. Results for the 5 different values (0.5%, 1%, 2%, 5%, 10%) of the yield deflection limit due to the yield stress without loading of the shear force by loading with  $M_e$  moment close to the  $M_j$  bending moment calculated by the program when the rigidity analysis is performed. At each limit value, the amount by which the joint can be rotated is limited because the amount of rotation capacity change is based on the given limit. As a consequence, as the rate of yield change increases, the system is more likely to rotate. It has been seen that it is not enough to just look at the plastic behavior of the column and the beam, and the behavior of the joint should be taken into consideration. The result is that it may not suffice to use an rigidity plate with the same thickness as the flange. It has been achieved that the joint of the plastic deformation must be designed very well in order to be able to concentrate on the beam, and simple calculations are not enough for the behavior of the joint.

**Keywords: Beam-column joints, Component method, Finite element analysis, Stiffness analyzes**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam süresince değerli fikir ve tecrübelerinden yararlandığım danışmanlarım sayın Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN ve sayın Dr. Kerem PEKER'e; çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Erdemli Proje ve Müşavirlik çalışanlarına ve öğrenim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme en içten dileklerle teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Hakan Gökdaş

## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Hakan GÖKDAŞ

## İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI .....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	2
ÖZET .....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Literatür Çalışması .....	2
1.2. EN1993-Part 1-8, 2005 “Eurocode3” çelik yapıların tasarımı, birleşimlerin tasarımı.....	4
1.3. Tezin Amacı .....	5
2. ÇELİK YAPILARDA SİSMİK TASARIM .....	6
2.1. Malzeme Olarak Çelik Mekanik Özellikleri.....	6
2.2. Avantajları.....	9
2.3. Plastik Mafsal .....	9
2.4. Süneklik Ve Enerji Yutma Kapasitesi.....	12
2.5. Kolon-Kiriş Birleşimleri .....	14
2.6. Northridge Öncesi Birleşimler .....	15
2.7. Northridge Sonrası Birleşimler .....	18
3. IDEA STATICA PROGRAMININ AÇIKLANMASI .....	25

<b>3.1. Giriş .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.1 Bileşen metodu (Component method) .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2. CBFEM Bileşenleri .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.1. Malzeme modeli .....</b>	<b>29</b>
<b>3.3. Plaka Modeli Ve Sonlu Elemanlar Ağı.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.1. Plaka modeli.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.2. Sonlu elemanlar ağı .....</b>	<b>31</b>
<b>3.4. Temas Yüzeyleri.....</b>	<b>34</b>
<b>3.5. Kaynaklar .....</b>	<b>36</b>
<b>3.5.1. Kaynaklarda plastik gerilmelerin tekrar dağıtılması .....</b>	<b>37</b>
<b>3.6. Bulonlar.....</b>	<b>38</b>
<b>3.7. Analiz.....</b>	<b>40</b>
<b>3.7.1. Analiz modeli .....</b>	<b>40</b>
<b>3.7.2. Ezilme elemanı ve mesnetler.....</b>	<b>41</b>
<b>3.7.3. Yükler .....</b>	<b>43</b>
<b>3.7.4. Dayanım analizi .....</b>	<b>47</b>
<b>3.7.5. Rijitlik analizi.....</b>	<b>48</b>
<b>4. SAYISAL ANALİZ.....</b>	<b>51</b>
<b>4.1. Eşdeğer gerilme ve Akma şekil değiştirme diyagramları.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2. Rijitlik Diyagramları .....</b>	<b>81</b>
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>103</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>105</b>
<b>EKLER</b>	
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 2.1.</b> <i>Takviyesiz alın levhalı bulonlu birleşimin uygulama sınırları</i> .....	19
<b>Çizelge 2.2.</b> <i>Takviyeli alın levhalı bulonlu birleşimin uygulama sınırları</i> .....	20
<b>Çizelge 2.3.</b> <i>Alın levhasız bulonlu birleşimin uygulama sınırları</i> .....	21
<b>Çizelge 2.4.</b> <i>Kaynaklı birleşimin uygulama sınırları</i> .....	22
<b>Çizelge 2.5.</b> <i>Ek başlık levhalı kaynaklı birleşimin uygulama sınırları</i> .....	23
<b>Çizelge 2.6.</b> <i>Zayıflatılmış giriş enkesiti kaynaklı birleşimin uygulama sınırları</i> .....	24
<b>Çizelge 4.1.</b> <i>Numune Bilgileri</i> .....	51
<b>Çizelge 4.2.</b> <i>Rijitlik Analiz Sonuçları</i> .....	99

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Çeliğin dayanım-birim şekil değiştirme eğrisi .....	6
Şekil 2.2. Çeliğin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği .....	8
Şekil 2.3. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde plastik mafsalsal .....	10
Şekil 2.4. Plastik mafsalsal oluşumu .....	11
Şekil 2.5. Gerilme-deformasyon ilişkisi .....	11
Şekil 2.6. Yük-deformasyon eğrisi .....	13
Şekil 2.7. Bulonlu ve kaynaklı kolon – kiriş birleşimlerine örnekler .....	15
Şekil 2.8. Northridge öncesi sık kullanılan birleşim detayı .....	16
Şekil 2.9. Northridge depreminde sık karşılaşılan kırılma biçimi .....	17
Şekil 2.10. Northridge depremi sonrasında kiriş-kolon birleşimlerinde gözlemlenen kırılma çeşitleri .....	17
Şekil 2.11. Takviyesiz alın levhalsal bulonlu birleşim detayı .....	19
Şekil 2.12. Takviyeli alın levhalsal bulonlu birleşim detayı .....	20
Şekil 2.13. Alın levhalsız bulonlu birleşim detayı .....	21
Şekil 2.14. Kaynaklı birleşim detayı .....	22
Şekil 2.15. Ek başlık levhalsal kaynaklı birleşim detayı .....	23
Şekil 2.16. Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı birleşim detayı .....	24
Şekil 3.1. Yaylarla oluşturulmuş bir bulonlu düğüm noktası birleşimi .....	25
Şekil 3.2. Bulonlu birleşimin analizi için oluşturulmuş 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli .....	27
Şekil 3.3. Alın Levhalsal ve bulonlu birleşimler için oluşturulmuş CBFEM modeli .....	27
Şekil 3.4. Gerçek bir birleşim ve teorik(kütlesiz) birleşim modeli .....	28
Şekil 3.5. Çeliğin yapısal analizlerde kullanılan modelleri .....	29
Şekil 3.6. Kolon-kiriş birleşim limit durum örnek modeli .....	30
Şekil 3.7. Bileşen Metod-CBFEM moment-plastik şekil değiştirme karşılaştırma grafiği .....	30
Şekil 3.8. Programda kullanılan sabit sonlu elemanlar ağı .....	31
Şekil 3.9. Alın plakası sonlu elemanlar ağı .....	32
Şekil 3.10. Maksimum limit durum için kiriş kolon birleşimi .....	33
Şekil 3.11. Moment dayanım kapasitesi-ağ sayısı değişim grafiği .....	33

Şekil 3.12. Rijitleştirici plaka üzerinde ağ sayısının dayanıma etkisi ve birinci burkulma modu.....	34
Şekil 3.13. T-kesitli birleşimlerin dayanımın sonlu eleman ağ sayısına göre değişim grafiği.....	34
Şekil 3.14. Üst üste bindirilmiş iki Z-aşık kesitinin temas yüzeylerinden ayrılması .....	35
Şekil 3.15. Bulonlu Alın plakalı kiriş-kolon başlığı birleşimi .....	35
Şekil 3.16. Kaynaklı kenar-yüzey birleşimi .....	36
Şekil 3.17. Kaynak elemanı ve ağ düğüm noktalarındaki kısıtlar .....	37
Şekil 3.18. Plaka ezilmesine ait kuvvet-yer değiştirme grafiği.....	39
Şekil 3.19. Eurocode'a göre aksenal ve kesme kuvveti arasındaki etkileşim grafiği .....	40
Şekil 3.20. Düğüm noktası için kullanılabilir imalat çizimleri .....	41
Şekil 3.21. Tüm iç kuvvetlerin aktarımın sağlandığı alın plakalı birleşim .....	42
Şekil 3.22. XZ düzleminde sadece $N$ , $V_z$ , $M_y$ iç kuvvetleri aktaran birleşim .....	42
Şekil 3.23. Kafes elemanda guse plakası bağlantısı sadece $N$ , $V_y$ , $V_z$ kuvvetlerini akataran birleşim .....	43
Şekil 3.24. Düşey kolon ve yatay kiriş elemanın üç boyutlu sonlu eleman görünüşü ....	44
Şekil 3.25. Yatay kiriş üzerinde oluşan moment ve kesme kuvveti diyagramları .....	44
Şekil 3.26. 1D sonlu eleman ve CBFEM modeli (koyu mavi alan etki yüzeyi) .....	45
Şekil 3.27. CBFEM modeli üzerindeki eğilme momenti.....	46
Şekil 3.28. Teorik sonlu eleman modeli ile CBFEM modelinde mafsalı birleşim .....	46
Şekil 3.29. Kiriş üzerindeki eğilme momentinin sıfır olabilmesi için kaydırılmış yeni sistem .....	47
Şekil 3.30. SL elemanı üzerinde mesnetlerde yapılacak dayanım analiz modeli .....	48
Şekil 3.31. B1 ve B3 kirişlerinin mesnetlerinde yapılacak rijitlik analiz modelleri .....	48
Şekil 3.32. Rijit kaynaklı birleşim sonuç grafiği .....	49
Şekil 3.33. Yarı Rijit bulonlu birleşim sonuç grafiği.....	50
Şekil 3.34. Plastik bölgenin %5 plastik şekil değiştirme sınırına ulaştıktan sonra yayılma grafiği.....	50
Şekil 4.1. Örnek Tekla Structures modeli .....	53
Şekil 4.2. A101 numunesine ait diyagramlar .....	54
Şekil 4.3. A102 numunesine ait diyagramlar .....	55
Şekil 4.4. A103 numunesine ait diyagramlar .....	56
Şekil 4.5. A201 numunesine ait diyagramlar .....	57

Şekil 4.6. A202 numunesine ait diyagramlar .....	58
Şekil 4.7. A203 numunesine ait diyagramlar .....	59
Şekil 4.8. A301 numunesine ait diyagramlar .....	60
Şekil 4.9. A302 numunesine ait diyagramlar .....	61
Şekil 4.10. A303 numunesine ait diyagramlar .....	62
Şekil 4.11. B101 numunesine ait diyagramlar .....	63
Şekil 4.12. B102 numunesine ait diyagramlar .....	64
Şekil 4.13. B103 numunesine ait diyagramlar .....	65
Şekil 4.14. B201 numunesine ait diyagramlar .....	66
Şekil 4.15. B202 numunesine ait diyagramlar .....	67
Şekil 4.16. B203 numunesine ait diyagramlar .....	68
Şekil 4.17. B301 numunesine ait diyagramlar .....	69
Şekil 4.18. B302 numunesine ait diyagramlar .....	70
Şekil 4.19. B303 numunesine ait diyagramlar .....	71
Şekil 4.20. C101 numunesine ait diyagramlar .....	72
Şekil 4.21. C101 numunesine ait 2. durum için diyagramlar.....	73
Şekil 4.22. C102 numunesine ait diyagramlar .....	74
Şekil 4.23. C103 numunesine ait diyagramlar .....	75
Şekil 4.24. C104 numunesine ait diyagramlar .....	76
Şekil 4.25. C201 numunesine ait diyagramlar .....	77
Şekil 4.26. C202 numunesine ait diyagramlar .....	78
Şekil 4.27. C203 numunesine ait diyagramlar .....	79
Şekil 4.28. C204 numunesine ait diyagramlar .....	80
Şekil 4.29. A101 numunesi rijitlik diyagramı .....	81
Şekil 4.30. A102 numunesi rijitlik diyagramı .....	82
Şekil 4.31. A103 numunesi rijitlik diyagramı .....	82
Şekil 4.32. A201 numunesi rijitlik diyagramı .....	83
Şekil 4.33. A202 numunesi rijitlik diyagramı .....	84
Şekil 4.34. A203 numunesi rijitlik diyagramı .....	84
Şekil 4.35. A301 numunesi rijitlik diyagramı .....	85
Şekil 4.36. A302 numunesi rijitlik diyagramı .....	86
Şekil 4.37. A303 numunesi rijitlik diyagramı .....	86
Şekil 4.38. B101 numunesi rijitlik diyagramı .....	87

<b>Şekil 4.39.</b> <i>B102 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	88
<b>Şekil 4.40.</b> <i>B103 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	88
<b>Şekil 4.41.</b> <i>B201 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	89
<b>Şekil 4.42.</b> <i>B202 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	90
<b>Şekil 4.43.</b> <i>B203 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	90
<b>Şekil 4.44.</b> <i>B301 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	91
<b>Şekil 4.45.</b> <i>B302 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	92
<b>Şekil 4.46.</b> <i>B303 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	92
<b>Şekil 4.47.</b> <i>C101 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	93
<b>Şekil 4.48.</b> <i>C101 numunesi 2. Durum için rijitlik diyagramı</i> .....	94
<b>Şekil 4.49.</b> <i>C102 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	94
<b>Şekil 4.50.</b> <i>C103 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	95
<b>Şekil 4.51.</b> <i>C104 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	96
<b>Şekil 4.52.</b> <i>C201 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	96
<b>Şekil 4.53.</b> <i>C202 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	97
<b>Şekil 4.54.</b> <i>C203 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	98
<b>Şekil 4.55.</b> <i>C204 numunesi rijitlik diyagramı</i> .....	98

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\varepsilon$	: Aksenal birim uzama
$\Sigma$	: Aksenal çekme gerilmesi
$\sigma_E$	: Elastik sınır gerilmesi
$\sigma_p$	: Orantılık sınır gerilmesi
$\sigma_y$	: Akma sınır gerilmesi $\sigma_C$ : Büyük gerilme değeri
$\Phi$	: Dönme şekil değiştirmesi(deformasyonu)
$\Phi_c$	: Dönme kapasitesi
$\mu$	: Süneklik oranı
$\delta_c$	: Deformasyon kapasitesi
$\delta_{el}$	: Diş açılmamış bulon gövdesindeki deformasyonu
$\delta_p$	: Diş açılmış gövde parçasındaki plastik deformasyonu
A	: Yükleme öncesi enkesit alanı
AISC	: American Institute of Steel Construction
$A_t$	: Bulonun çekme kuvveti etkisindeki kesit alanını
BM	: Bileşen metodu
CBFEM	: Bileşen Tabanlı Sonlu Elemanlar Modeli
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik
EH	: Histerik enerji
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
$F_{y,ini}$	: Akma başlangıcındaki kuvvet değeri,
$f_{y,b}$	: Bulonun akma dayanımını
$k_{in}$	: Çekme gerilmesi altındaki bulonun başlangıç deformasyon rijitliği
L	: Yükleme öncesi test elemanda belirlenmiş iki nokta arasındaki uzunluk
$\Delta L$	: Test elemanında belirlenmiş iki nokta arasında uzunluk değişimi
$l_t$	: Diş açılmış gövde parçasının uzunluğu
$S_{j,ini}$	: Başlangıç rijitliği
$S_{js}$	: İkincil rijitlik değeri

## 1. GİRİŞ

Türkiye'deki yapı stoğunun büyük çoğunuluğunu betonarme yapılar oluşturmaktadır. Bununla birlikte son 20 yılda teknolojinin gelişmesi sebebiyle özellikle endüstri bölgelerinde yapılan yapılar çelik yapılar olmuştur. Bizim gibi gelişmekte olan ülkelerde yapı maliyetleri ön plana çıkmakla beraber 2016 yılında yayınlanan yeni çelik yapı şartnamesi ile 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar hakkında yönetmeliği ve 2019 ocak ayında yürürlüğe girecek olan yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği can ve mal güvenliğini ön plana çıkaran bir tasarım benimsemektedirler.

Ülkemiz deprem kuşağında yer almaktadır. Endüstri bölgelerinin de büyük çoğunluğu deprem kuşağında yer almaktadır. 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri göstermiştir ki sanayi yapılarında gerçekleşen hasarlar can kaybının yanında çok ciddi ekonomik kayıba beraberinde getirmiştir. Endüstri bölgelerinde eski yönetmeliklere göre yapılmış çelik yapılar deprem sonrasında ağır hasarlar aldığı belirlenmiştir. Depremlerden sonra yapılan çalışmalarda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde gözlemlenen hasarlar yapıların deprem sırasında gerekli dayanımını göstermemesine kısmi veya toptan göçmeye sebep olmuşlardır. Yapılan çalışmalarda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde izlenen tasarım metodunun yetersiz kaldığı ve bu sebeple yeni bir tasarım yöntemine ihtiyaç duyulmuştur. Bunun sonucunda emniyet gerilmeleri yöntemine göre hazırlanmış olan eski yönetmeliğimiz olan TS-648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları yerine taşıma gücüne göre tasarım yöntemini kullanan 2016 Türk Çelik Yapılar Yönetmeliği hazırlanıp yürürlüğe girmiştir. Çelik yapılarda taşıyıcı sistemleri oluşturan elemanların kesit özellikleri deprem sırasında hasara sebep olan ana nedenlerden biri olmakla beraber birleşim bölgelerinin davranışının da hasar üzerinde belirgin etkileri olduğu görülmüştür. Bu sebeple minimum kesit kullanımını hedefleyen yapılar ön plana çıkmıştır. Ülkemizde çelik yapı tasarımı sırasında deprem davranışını en iyi şekilde tanımlayan birleşimler kuvvetli eksen doğrultusunda yapılmaktadır.

Özellikle kuvvetli eksen doğrultusunda tasarlanan birleşimlerle ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Tasarım sırasında her zaman kuvvetli eksen doğrultusunda birleşim tasarlanmadığından zayıf eksen doğrultusunda birleşimlerde yapılmaktadır. Zayıf eksen doğrultusunda birleşim davranışının tam olarak anlaşılabilmesi ve düzgün şekilde imal edilebilmesi için birleşimin dönme kapasitelerinin rijitliklerinin ilgili yönetmelikler çerçevesinde sınırlar içinde kaldığının hem test hemde analiz olarak gösterilmesi gerekmektedir.

## 1.1. Literatür Çalışması

1994 Norridge depremine kadar çelik yapıları betonarme yapılara göre daha güvenilir yapılar olduğu konusunda genel bir görüş hakimdi [1]. Bu depremden sonra kolon kiriş birleşim birleşim noktalarındaki hasarlar üzerine çalışmalar yapılmıştır. Moment taşıyan çelik çerçeveli yapıların kolon kiriş birleşim yerleri üzerinde yapılan incelemelerde kiriş başlığının kaynaklı, kiriş gövdesinde bulonlu yada perçinli olarak kolon başlığına veya gövdesine bağlanma biçimi uygulamada karşılaşılan en yaygın durumdur [2]. Bu tip birleşimlerde gözlemlenen hasar tipi kolon ve kiriş birleşim bölgelerindeki kaynaklardaki çatlamlardır.

Norridge depremi sonrası çelik yapılarda kullanılan tipik kolon kiriş birleşimli yapıların deprem sonrası incelemesinde kiriş başlığını kolon başlığına bağlayan kaynak dikişlerinde çatlak oluşumu belirlenmiştir. Bu tip birleşim hasarlarını önlemek amacıyla zayıflatılmış kolon kiriş birleşimleri önerilmiştir [3]. Bu çalışmada dairesel kesitli dört farklı et kalınlığı-çap oranına sahip iki farklı açıklıklı (6 m-10m) kiriş elemanları üzerinde rijitliklerin değişimleri incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, bu tip yapılacak iyileştirmelerde zayıflatma oranının %40'ı geçmemesi gerektiğini göstermiştir.

Çelik yapıların kolon kiriş birleşimlerinde kullanılan alın levhali birleşimlerle ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır [4]. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerden ilki bulonlu ve takviyesiz olup bulonda kırılma ile göçmüştür. Takviyesi levhası kullanılarak üretilmiş ikinci numune ile yüksek dayanımlı bulonlar kullanılarak imal edilmiş üçüncü numunenin sonuçlarında bulonlardaki kuvvet dağılımının iyileştiği ve kırılmanın önlendiği belirlenmiştir.

Alın levhali birleşimlerin tek doğrultuda yükleme altında (statik yanal itme analizi) sonlu elemanlar programı kullanılarak analizleri yapılmıştır [5-8]. Bu çalışmalarda alın levhası kalınlığının etkisine bakılmış olup birleşimde meydana gelen toptan dönme miktarına tesir eden parametreler incelenmiştir. Analiz sonuçlarında alın levhasının kalınlığının ince olması toplam dönmeye %60 civarında etki ederken, kalınlık arttıkça bu oranın azaldığı görülmüştür [5].

Alın levhali birleşimlerin tersinir yükler altında yapılan deneysel çalışmalarında kiriş boyutlarının bulon yerleşiminin, kaynak özelliklerinin, takviye levhası olup olmamasının ve alın levhası geometrik özelliklerinin etkileri incelenmiştir [9]. Yapılan diğer bir lisansüstü çalışmada buna benzer bir çalışmanın sonlu elemanlar analizleri yapılmış ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır [10].

İTÜ’de yapılan çalışmada üç farklı alın levhalı birleşim üzerine tersinir yükler altında deneyler gerçekleştirilmiştir [11]. Bu çalışmada geleneksel olarak hazırlanmış alın levhalı birleşim ile alın levhası ile kolon başlığı arasına yerleştirilmiş kiriş profilinden imal edilmiş numuneler kullanılmıştır. Azaltılmış kiriş ile hazırlanan alın levhalı birleşimlerin daha fazla dönme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür [11, 12].

FEMA 355’de belirtilen SAC Steel Project kapsamında alın levhalı birleşimler çevrilsel yükler altında denenerak analizleri yapılmıştır [13]. Analiz sonuçları birleşimde kullanılan alın levhasının daha kalın kullanılması gerektiğini göstermiştir. Takviyeli ve takviyesiz alın levhalı birleşimlerde bulon malzemesinin değişiklik göstermesinin sistem davranışı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir [14].

Bulonlu alın levhasız birleşimlerin tersinir yükler altında yapılan deneysel çalışmalarında birleşimin göçme mekanizmaları plastik dönme eğrileri ve bunların karşılaştırılmaları yapılmıştır [15]. Deneysel sonuçlar plastik dönme kapasitelerinin en az %3 mertebesinde olduğunu göstermiştir.

Alın levhalı birleşimlerin monotonik yükleme altında deneysel analizleri yapılmıştır. [16-18]. Bu çalışmalarda sırasıyla alın levhası kalınlığı, alın levhasının malzeme karakteristik özellikleri ve bulonlu birleşim davranışları incelenmiş olup başlangıç dönme rijitlikleri ve moment-dönme ilişkileri incelenmiştir.

Tersinir yükler altında alın levhalı birleşimler için yapılan deneysel çalışmalarda alın levhası kalınlığı takviye levhası bulon çapı süreklilik levhası parametreleri incelenmiştir. İncelemeler sonucunda takviye levhalı birleşimler daha fazla enerji yuttuğu bulunmuştur [19, 20]. Bu çalışmanın devamında tek yönlü yükleme altında deneysel ve sonlu eleman analizleri yapılmış olup sonuçlar karşılaştırılmıştır [21].

Alın levhalı birleşimlerin üzerine yapılan tek yönlü ve tersinir yüklü analizlerde bulonların yatay ve düşey mesafelerinin değişimi bulon çapı malzeme sınıfı kiriş-kolon alın levhası geometrik özellikleri incelenmiştir [22-35].

Alın levhalı kaynaklı birleşimlerde yapılan çalışmalarda farklı kaynak özellikleri ile üretilmiş numuneler üzerinde hem tek yönlü hemde tersinir yönlü deneysel çalışmalar ve sonlu eleman analizleri yapılmışlardır. [36-40].

Nordridge öncesi yönetmeliklerde belirtilen bulonlu-kaynaklı, bulonlu ve kaynaklı birleşimlerin deneysel analizleri sonuçlarında birleşimlerin uygulamada plastik dönme kapasitelerine sahip olmadıkları göçme mekanizmalarının gevrek kırılma ile sonuçlandığı belirlenmiştir [41-44].

Zayıf eksen kolon-kiriş birleşimlerinin çevrimsel yükler altında davranışının incelemek üzere deneysel ve analitik çalışma gerçekleştirilmiştir [45]. Bu çalışmada 6 numune üzerinde deneysel çalışmalar yapılmış kolon kiriş birleşim bölgesinde dönme miktarı araştırılmıştır. Herbir numuneye ait ANSYS sonlu elemanlar programında model kurulmuş olup analizler gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında birleşim bölgesinin davranışını tanımlamak üzere bileşen metodunu temel alan bir yazılım yapılmıştır. Bu yazılımın sonuçları ile sonlu elemanlar analiz sonuçları ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sayısal ve deneysel çalışmalar monotonik artan yükler altındaki moment dönme eğrisi ile çevrimsel yükler altında elde edilen eğrilerin benzeşiminin ne denli yakınsadığını açıkça göstermiştir. Bu bağlamda yeni önerilen bileşenler için EN-1993-1-8 kapsamında kullanılabilir yeni mekanik modeller ortaya konmuştur [45].

## **1.2. EN1993-Part 1-8, 2005 “Eurocode3” çelik yapıların tasarımı, birleşimlerin tasarımı**

Birleşim davranışlarının belirlenmesi için literatürde farklı yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemlerde birleşimi oluşturan bileşenlerin davranışları tanımlanmıştır. Bu yönteme bileşen yöntemi (Component Method) denilmektedir. Bileşenlerin davranış modelleri tarif edilirken birleşimler rijitlik ve dayanım olarak 2 gruba ayrılmıştır. Bu yöntem zayıf eksenli birleşimleri kapsamazken uygulama gerçekleştirilen tüm çelik kolon-kiriş birleşimlerine uygulanabileceği söylenebilir. Eğer mevcut birleşimler haricinde farklı bir birleşim önerilecekse bu birleşim sayısal çalışmalar ile incelenip deneysel olarak karşılaştırılmalıdır.

Bileşen metodu (Component Method) ile birleşim davranışlarının tanımlanması üzerine metotlar önerilmiş, kritik bileşenlerin davranış modelleri tarif edilmiştir. Analiz ve tasarım-detaylandırma metotları sınırları ile verilmiş ve birleşimlerin farklı düzeyde yapısal sistem analizlerinde sayısal olarak modellenmesi için yol gösterici metotlar önerilmiştir [45-47].

Çelik kolon-kiriş birleşim davranışları için moment dönme eğrisini veren bir matematik model geliştirilmiştir. Kolonların gövde levhasına moment aktaran biçimde bağlandığı birleşimlerde seçilmiş numuneler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda yarı rijit birleşimlerin sistem davranışına etkileri araştırılmıştır. Birleşimlerin elastik olmayan davranışının incelendiği başka bir deneysel çalışmada bu birleşimi oluşturan elemanların davranışlarını iyileştirecek çözümler üzerinde durulmuştur [48, 49].

Yüksek alın levhali birleşimler için yapılan çalışmalarda analitik bir model ortaya konmuş, daha önceki çalışmalarda verilen moment dönme eğrilikleri ve birleşim bölgesi modelleri bir arada incelenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır [50, 51].

Çeşitli kaynak tiplerinin birleşim dayanımına etkileri kaynak nüfuziyeti ve yapım tekniğini kaynak öncesi hazırlık ve temizliğinin göçme durumuna etkileri ile ilgili olarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalarda tam kaynaklı kuvvetli ve zayıf yön birleşiminin incelendiği 6 adet test gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda elde edilen moment dönme eğrilikleri ile EC-3 'te verilen eğriler kıyaslanmıştır [52-55].

Çevrimsel yükler altında gerçekleştirilen deneylerde yönetmeliklerde önerilen moment aktaran birleşimler incelenmiştir. Bu birleşimler için yönetmeliklerde verilen genel birleşim tipleri için iyileştirmeler belirlenmiş detaylandırma kıstasları çözüm öneri olarak sunulmuştur [56, 57].

Başlık ve gövde levhali olarak 5 farklı ana birleşim tipinden imal edilmiş numuneler üzerinde deneysel çalışmada birleşimin tersinir yükler altındaki davranışı herbir birleşim tipi için incelenmiştir. Deney sonuçlarında oluşan göçme mekanizmaları göz önüne alınarak öneriler oluşturulmuştur [58].

Bu çalışmalara ilaveten zayıflatılmış kesitli kirişler üzerinde elastik rijitlikleri araştırılmış [59], zayıf eksen moment aktaran birleşimler için ise enerji sönümünü arttıracak dayanım ve rijitliği iyileştirecek bir çözüm üzerinde farklı bir çalışma gerçekleştirilmiştir [60].

### **1.3. Tezin Amacı**

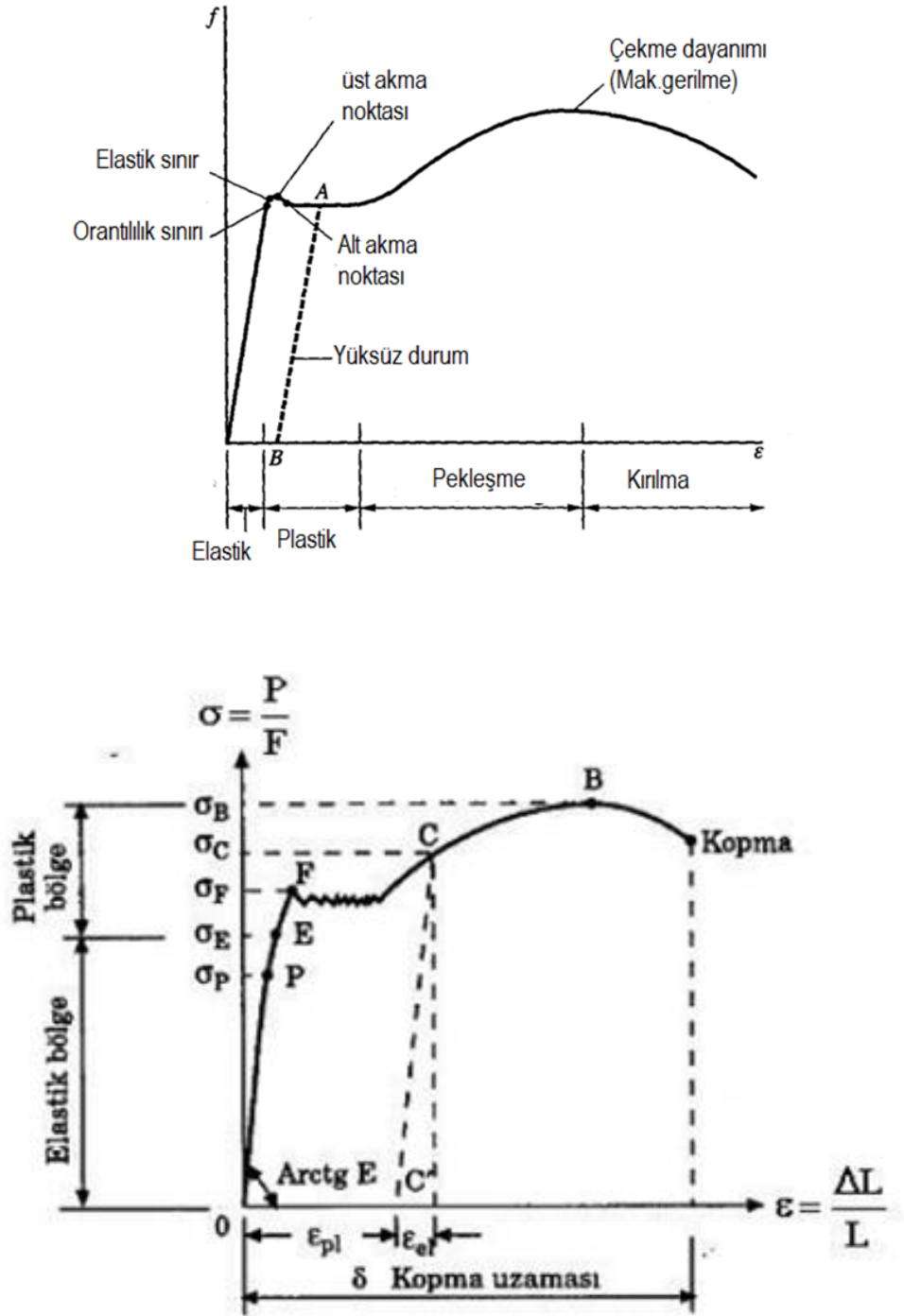
Belli tip birleşimler yönetmelikler içerisinde ön tanımlı olarak bileşen metoduna göre tarif edilmiş durumdadırlar. Bazı tip birleşimler ise yönetmeliklerde tarif edilmemişlerdir. Bunların arasında en önemlileri kutu profil birleşimleri, boru profil birleşimleri ve H profillere zayıf yönünden bağlanan I kirişlerin birleşimleridir. Bu birleşimlerin davranışlarının doğrudan modellenmesi kolay olmamaktadır.

Bu sebepler, bu tez kapsamında yirmialtı farklı birleşim modeli üzerinde bileşen metodu tabanlı sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda bu yeni analiz programının teknik alt yapısı açıklanmaya çalışılmıştır. Bu modeller üzerinden, birleşimin eş değer gerilme sonuçları ve rijitlik analizleri yapılmıştır.

## 2. ÇELİK YAPILARDA SİSMİK TASARIM

### 2.1. Malzeme Olarak Çelik Mekanik Özellikleri

Yapısal çeliğin yapı tasarımı için gerekli olan karakteristik özellikleri tek eksenli çekme deneyleri sonucunda belirlenir. Gerilme ve birim uzamaların hesaplanması ile gerilme-birim uzama eğrisi elde edilmektedir (Bkz. Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Çeliğin dayanım-birim şekil değiştirme eğrisi [61]

Burada,

$\sigma$ : aksel çekme gerilmesi, N/mm

A: yükleme öncesi enkesit alanı, mm

$\epsilon$ : aksel birim uzama, mm/mm

L: yükleme öncesi test elemanda belirlenmiş iki nokta arasındaki uzunluk, mm

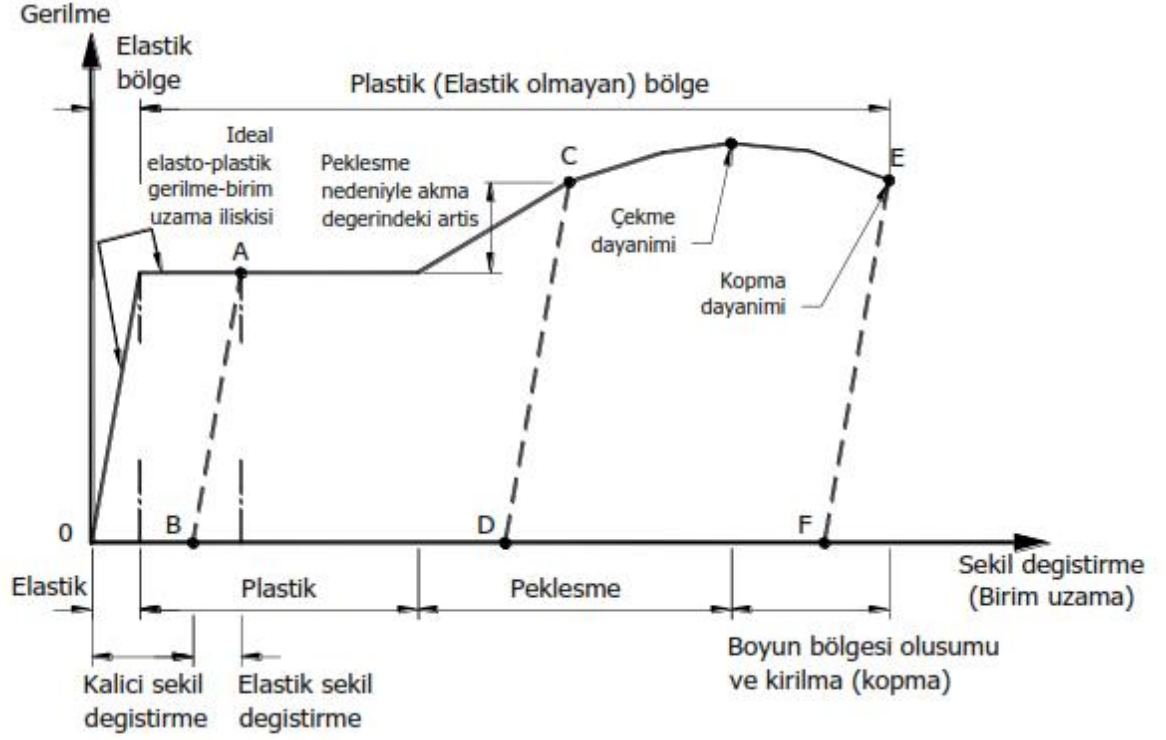
$\Delta L$ : test elemanında belirlenmiş iki nokta arasında uzunluk değişimi, mm.

Günümüzde gelişmiş üretim teknikleri kullanılarak farklı kimyasal birleşimlere sahip çok çeşitli kalitede çelik üretilebilmektedir. Farklı dayanımlara sahip çeliklerin malzeme davranışları birbirine benzer olmaktadır ve davranışı belirleyen özelliklerin en önemlileri;

1. Akma noktası veya akma dayanımı,
  2. Çekme dayanımı,
  3. Gerilme – uzama karakteristikleri,
  4. Elastisite modülü, tanjant modülü ve kayma modülü,
  5. Süneklik,
  6. Tokluk,
  7. Yorulma dayanımı,
  8. Kaynaklanabilirlik
- olarak sıralanabilir.

Tasarımı gerçekleştirecek mühendis tarafından yararlanılacak bir diğer önemli karakteristik gerilme değeri akma dayanımı  $F_Y$  dır. Tasarım için diğer önemli gerilme değeri ise pekleşme bölgesindeki tepe noktası, maksimum gerilme değeridir. Çekme dayanımı olarak adlandırılan bu karakteristik gerilme  $F_u$  ile gösterilir. Ayrıca, farklı göçme sınır durumları için çekme dayanımının akma dayanımına oranı da çelik malzemenin önemli karakteristik özelliklerinden birisidir.

Çekme deneyi sonucunda elde edilen gerilme-birim uzama eğrisinin incelenmesi çelik malzemenin davranışını anlaşılmasında büyük önem arz etmektedir (Bkz. Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Çeliğin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

Deformasyon ile gerilmeler arasında doğru orantı olup sabit bir orana sahiptir. Hooke Kanunu geçerli olduğu bu bölgeye "orantılılık bölgesi" denirken, sınır gerilme değerine ise orantılılık sınır gerilmesi ( $\sigma_p$ ) denilmektedir. Orantılılık sınırı içinde herhangi bir gerilme değerinde boşalma yapılırsa gerçekleşen bütün deformasyonların kaybolduğu görülmektedir. Yükün kaldırılmasıyla ortadan kalkan bu deformasyona "elastik deformasyon" denir.

Gerilme miktarı orantılılık sınırını ( $\sigma_p$ ) aştıktan sonra ( $\sigma_E$ ) elastik sınır gerilmesine varıncaya kadar malzeme elastik davranmaktadır fakat Hooke Kanunu geçerli değildir. Orantılık sınırından büyük fakat yakın gerilme değerleri için deformasyonlar elastiktir. Örneğin, daha büyük gerilme değeri ( $\sigma_C$ ) 'de yük kaldırılacak olursa deformasyonların tamamen ortadan kalkmadığı bir kısmının kaldığı görülmektedir. Buna kalıcı yani "plastik deformasyon" denilmektedir.

Elastik bölgede yapılan yükleme ve boşaltmadan sonra deformasyonlar tamamen kaybolmaktadır. Bu bölgedeki gerilmeye "elastik sınır gerilmesi" denilmektedir. Elastik sınır gerilmesinden sonra yüklemeye devam edilirse gerilmede artış olmazken

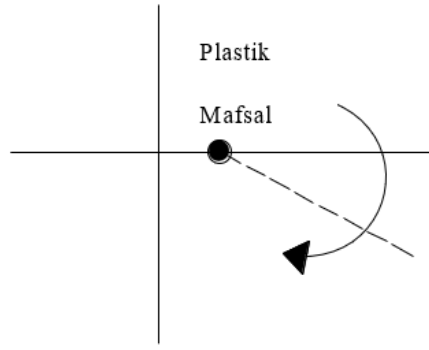
deformasyonların dikkate değer miktarda arttığı görülmektedir. Bu olay "akma" olarak isimlendirilmekte ve akmanın başladığı gerilme değerine "akma sınır gerilmesi", yükün artış göstermediği bu bölgeye ise "akma bölgesi" denilmektedir. Akmadan sonra malzeme yeni bir iç dengeye ulaşmakta yani pekleşmektedir. Yük artışına devam edildiğinde, gerilme değeri de artmaya devam etmektedir. Maksimum gerilme değerine ulaşıldığında, çekme gerilmesi maksimum değerine ulaşmakta, kopma gerilmesi çekme gerilmesinden küçük olmakta ve daha sonra kopma meydana gelmektedir.

## **2.2. Avantajları**

Yüksek mukavemet değerine sahip bir malzeme olan çelik, beton, betonarme ve türevi sistemlere göre daha küçük birim hacim ağırlığına sahiptir. Böylece birim alana gelen taşıyıcı sistemin ağırlığı, çelik yapılarda daha az olmaktadır. Bu da yapı maliyetini düşürmektedir. Çeliğin sünek bir malzeme olması sayesinde, basınç ve çekme mukavemetleri eşit olmaktadır. Bu özellik sayesinde yapıların esnekliği ve enerji yutma kapasiteleri arttırmaktadır. Yapılar deprem kuvvetinden ağırlıkları oranında etkilenmektedir. Çeliğin hafif bir malzeme olması, deprem kuvvetinden de daha az etkilenmesini sağlamaktadır. Bu durum, özellikle geniş açıklıklı ve standart dışı geometriye sahip yapılarda hem hesabın kolaylaşmasını sağlamakta, hem de birim m<sup>2</sup> maliyetini önemli ölçüde düşürmektedir. Ayrıca çelik taşıyıcı sistem elemanlarının parça parça imal edilmesi sayesinde çelik yapıların montajı pratik olmakta ve kısa sürede tamamlanmaktadır. Birleşimlerin kaynaklanması dışındaki her türlü montaj işlemi hava şartları fark etmeksizin gerçekleştirilebilir. Bütün bunlar, çelik yapıların tercih edilmesini sağlayan önemli etkenlerdir.

## **2.3. Plastik Mafsal**

Deprem enerjisinin yapıda sönmülenebilmesi için yapının belirlenen bölgelerinde hasar oluşması istenmektedir. Kolon-kiriş düğüm noktalarına yakın bu bölgelerde, dış yük etkisiyle oluşan moment, kesme kuvveti, normal kuvvet vb. etkiler sabit kalmakta ya da çok az miktarda artmaktadır. Bu bölgelere plastik mafsal denilmektedir. Şekil 2.3 'te görüldüğü gibi plastik mafsal sabit moment altında dönebilir ( $M=M_p$ ).



**Şekil 2.3.** Kolon-kiriş birleşim bölgesinde plastik mafsal

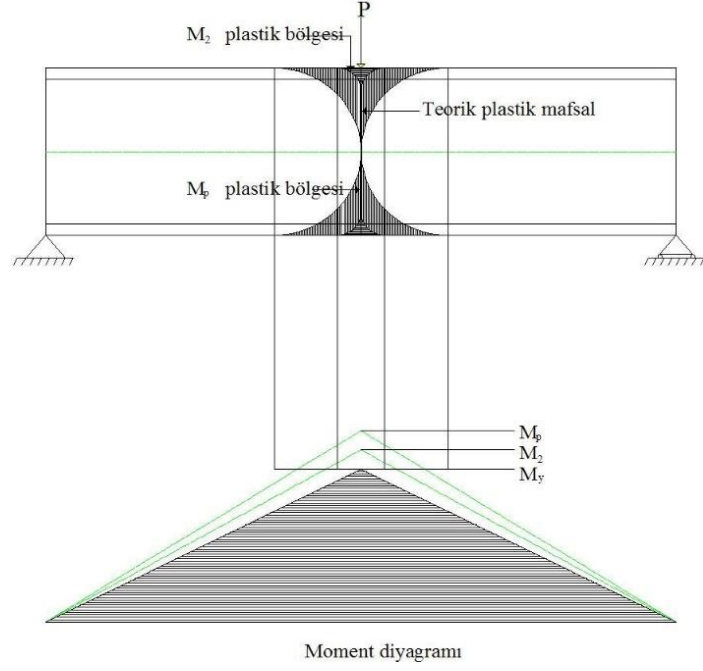
Plastik mafsal olan kesit büyük deformasyon kapasitesine sahip olmalıdır. Deprem nedeniyle oluşacak enerjinin büyük çoğunluğu plastik mafsalarda sönmüleneceği için deprem davranışında plastik mafsal çok büyük öneme sahiptir.

Tüm yapılarda plastik mafsalın kirişlerde oluşması istenmektedir. Kirişte oluşan plastik mafsal sonrası meydana gelecek yıkılma durumu ile kolonda oluşacak plastik mafsal sonrası meydana gelecek yıkılma durumu birbirinden çok farklı olmaktadır. Kirişlerde mafsallaşma sonrası yapının stabilitesinin bozulması için öncelikle bütün kiriş uçlarının ve daha sonra zemin kat kolonlarının temelden mafsallaşması gereklidir. Kirişlerin mafsallaşması ile büyük miktarda deprem enerjisi tüketilmesinin nedeni, bütün kat kirişleri mafsallaşamadan depremin bitme olasılığının yüksek olması ile yapının ayakta kalmasıdır. Çerçevesel ve boşluklu perde duvarlı yapılarda, kolonların moment taşıma gücü kirişlerden daha büyük olduğundan mafsallaşma kirişlerde olmaktadır.

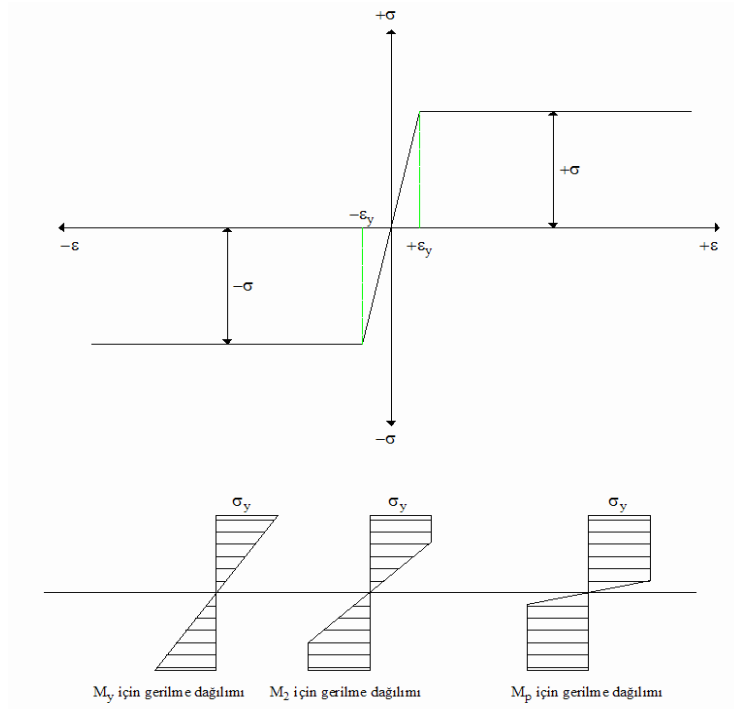
Tüm yapılarda plastik mafsalın en son kolonlarda oluşması istenir. Kolon ve perdelerdeki sınırlı enerji tüketiminin nedeni bu elemanların aksel yük taşımalarıdır. Aksel yükü hemen hiç olmayan kirişte yüksek enerji tüketimi elde edilirken, aksel yükü olan diğer elemanlarda sünek ve enerji tüketen davranış kısıtlıdır. Kolonlarda mafsallaşma ile yapının stabilitesinin bozulması için, yalnızca zemin kat kolonlarının alt ve üst uçlarının mafsallaşması yeterlidir. Kolonların kirişlerden daha zayıf olması deprem bitmeden yapının yıkılmasına sebep olmakta ve daha az deprem enerjisi tüketilebilmektedir.

Kısaca kolon mafsallaşması yapıyı hemen yıkıma götürmektedir. Perdeli bir sistemde ise önce perdeleri bağlayan bağ kirişlerinin uçlarında sonra perdenin zemin kat alt ucunda mafsallaşma gereklidir.

Çelik yapılarda plastik mafsal kavramını daha iyi anlayabilmek için Şekil 2.4 'de görülen basit kirişi açıklık ortasından P tekil yükü ile yükleyelim. Ayrıca Şekil 2.5 'de görülen gerilme-deformasyon ilişkisi olarak elastik ve plastik tasarımda kullanılan idealleştirilmiş gerilme-deformasyon ilişkisi göz önüne alınmalıdır.



Şekil 2.4. Plastik mafsal oluşumu [61]



Şekil 2.5. Gerilme-deformasyon ilişkisi [61]

Belirli bir P yük değeri için, kirişin en dış lifleri akma sınır gerilmesine ( $\sigma_y$ ) ulaştığı düşünülürken, P 'nin değeri arttırıldığında, kesitin en dış lifleri ek olarak tarafsız eksene doğru başka lifler de ( $\sigma_y$ ) akma sınır gerilmesine ulaşmaktadır.  $\sigma_y$  akma gerilmesi sınırına ulaşan liflerin göz önüne alınan gerilme-deformasyon ilişkisi uyarınca, yükün arttırılmasıyla gerilme  $\sigma_y$  'nin üstüne çıkamamaktadır. Fakat deformasyonlar çok büyük değerlere ulaşması mümkündür.  $M_2$  ve  $M_p$  momenti gerçek durumda kiriş üzerinde yayılı durumdadır.  $M_p$  momentane karşılık oluşan plastikleşmenin, bu noktada yer alan kiriş kesitinde olduğu kabul edilir. Maksimum momentin olduğu noktada bütün kesitin plastikleştiği hale karşı gelen  $M_p$  momentini oluşturan P yükü değeri tekrar arttırılırsa,  $M_p$  momentinin olduğu nokta, bu yük artırımını için gerçek bir plastik mafsal davranışı gösterir. P noktasında oluşan plastikleşme aşağıdaki gibi bulunur.

$$M_p = W_{px} \times \sigma_y \quad (2.1)$$

$$W_{px} = 2 \times S_x \quad (2.2)$$

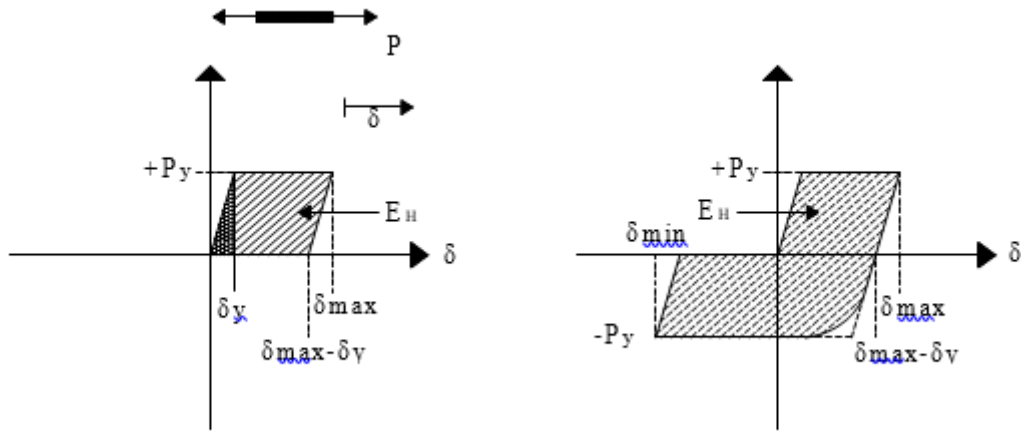
#### 2.4. Süneklik Ve Enerji Yutma Kapasitesi

Dayanımda kayda değer bir azalma olmaksızın elastik ötesi şekil değiştirmeler yapabilme yeteneğine süneklik denilmektedir. Yüksek şiddetli depremlerde dayanım, önceden belir olan noktalarda aşılabilir ve bunun sonucu olarak bu bölgelerde plastik mafsallar oluşabilir. Bu plastik mafsallar içinde yoğun, elastik ötesi şekil değiştirmeler oluşmaktadır. Bu davranış sonrasında rijitlik azalır, periyot büyür, sismik kuvvetler azalır ve deprem enerjisi tüketilir. Deprem yapıya yüklediği enerji yapı içerisinde sönmülmelidir. Bu enerji tüketimi yapının belirli bölgelerinde sünek davranış gösteren hasara izin verilerek sağlanır. Ayrıca süneklik, büyük şekil değiştirmeler olmasına rağmen yapının yük taşıma kapasitesinin önemli ölçüde kaybolmaması olup, enerji tüketme kapasitesinin bir ölçüsüdür.

Depreme dayanıklı ve depreme karşı güvenli bir yapı sünek olmalıdır. Ancak sünek bir yapı, yapıyı oluşturan malzemelerin sünek olmasıyla sağlanır. Beton gevrek bir malzemedir. Donatı çeliği çekme kuvveti altında sünek, basınç kuvveti altında burkulan bir malzemedir. Beton oluşturan bu malzemelerin sünek olması için belirli kurallar kapsamında imal edilmeleri gereklidir. Yani beton ve donatı çeliğinden oluşan malzeme sünek olmalıdır. Çeliğin en önemli iki özelliği, sünekliği ve tekrarlı yükleme altında enerji

yutma kapasitesidir. Çeliğin deprem enerjisinin büyük miktarını elastik olmayan davranışla sönmemesi çok önemli bir özelliğidir.

Elastik olmayan bölgede kuvvet-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alan plastik deformasyon için gerekli olan enerjiyi hesaplamamızı sağlamaktadır. Bir çelik elemanın plastik uzaması veya kısılması için ihtiyaç duyulan enerji, plastik kuvvet ile plastik deformasyonun çarpımı olarak hesaplanır ve histerik enerji olarak adlandırılır. Kinetik ve elastik deformasyon enerjisinin tersine, histerik enerji geriye dönüşü olmayan, sarf edilmiş enerjidir.



Şekil 2.6. Yük-deformasyon eğrisi [61]

Şekil 2.6 'dan anlaşılacağı gibi çelik eleman periyodik olarak yüklenmekte ve yük etkisi ortadan kaldırılmaktadır. Bu artan ve daha sonra boşalanyüklemede,  $E_H$  olarak gösterilen histerik enerji:

$$E_H = P_y x (\delta_{max} - \delta_y) \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Süneklik oranı ise;

$$\mu = \frac{\delta_{max}}{\delta_y} \quad (2.4)$$

olarak tanımlanır.

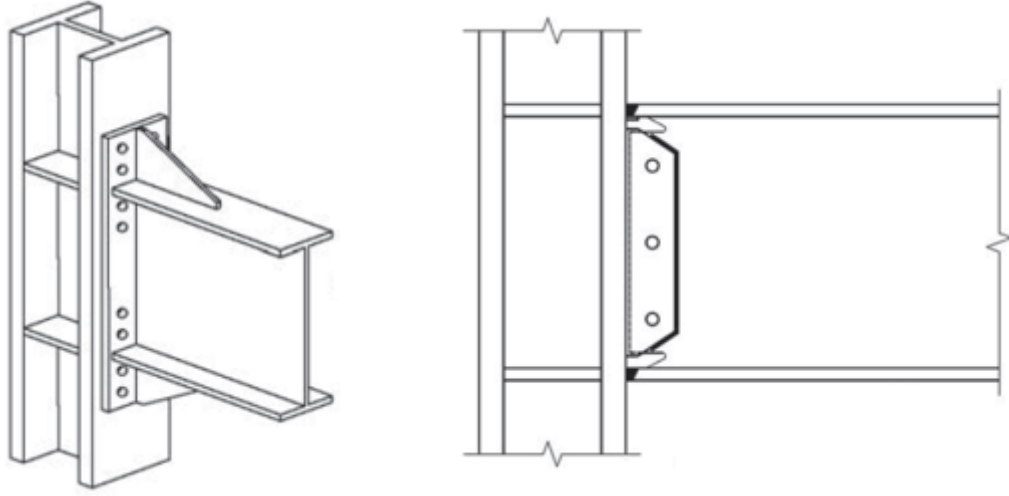
Taşıyıcı sisteme etkiyen deprem yükü, sisteme bir dış enerji uygulamaktadır. Bu deprem enerjisi sistemde harcanan plastik enerji, depolanan deformasyon ve kinetik enerjinin toplamı ile bulunmaktadır.

$$E_D = E_H + E_e + E_K \quad (2.5)$$

Yüksek enerji yutma kapasitesi sayesinde çelik; deprem anında çelik yapıların kinetik ve elastik enerji birikimini azaltmakta ve bu şekilde yapının deprem anında dinamik etkiler karşısındaki kararlılığını olumlu yönde etkilemektedir. Yani yapıların dayanıklılığı artmaktadır. Davranışı güvence altına almak için dikkatli tasarımılandırmak gereklidir.

## 2.5. Kolon-Kiriş Birleşimleri

Çeliğin yapılarda kullanılması ile çelik profillerin birbirine bağlanması birleşim vasıtaları gereklidir. Çelik yapılarda kullanılan birleşime vasıtaları perçin, bulon ve kaynaktır. Günümüzde perçin hemen hemen hiç kullanılmamaktadır. Bulonlu ve kaynaklı kolon – kiriş birleşimleri için günümüze kadar farklı türde birleşim çeşitleri sunulmuştur. Kolon – kiriş birleşimleri için çeşitli araştırmalar yapılmış olup, yönetmelikler hazırlanmıştır. EN 1993-1-8 (Eurocode 3: Design of Steel Structures Part 1-8) [62], ANSI/AISC 358-10 (Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications) [63] ve FEMA-350 (Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings) [64] kolon – kiriş birleşimleri için hazırlanan yönetmeliklere örnek gösterilebilir. Şekil 2.7’de bulonlu ve kaynaklı kolon – kiriş birleşimlere örnek gösterilmiş ve birleşimdeki parçaların isimleri belirtilmiştir.

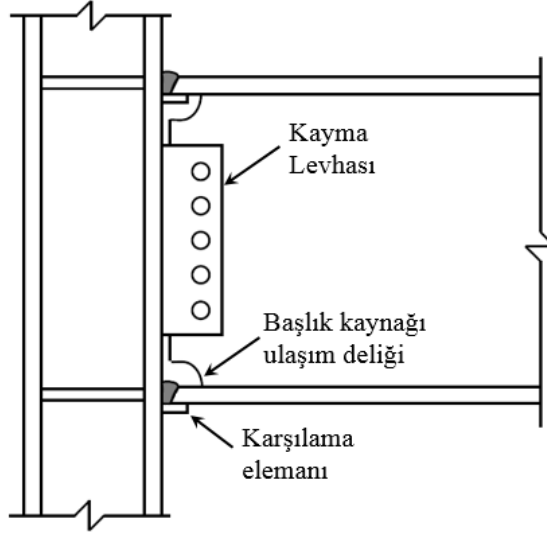


Şekil 2.7. Bulonlu ve kaynaklı kolon – kiriş birleşimlerine örnekler [63]

## 2.6. Northridge Öncesi Birleşimler

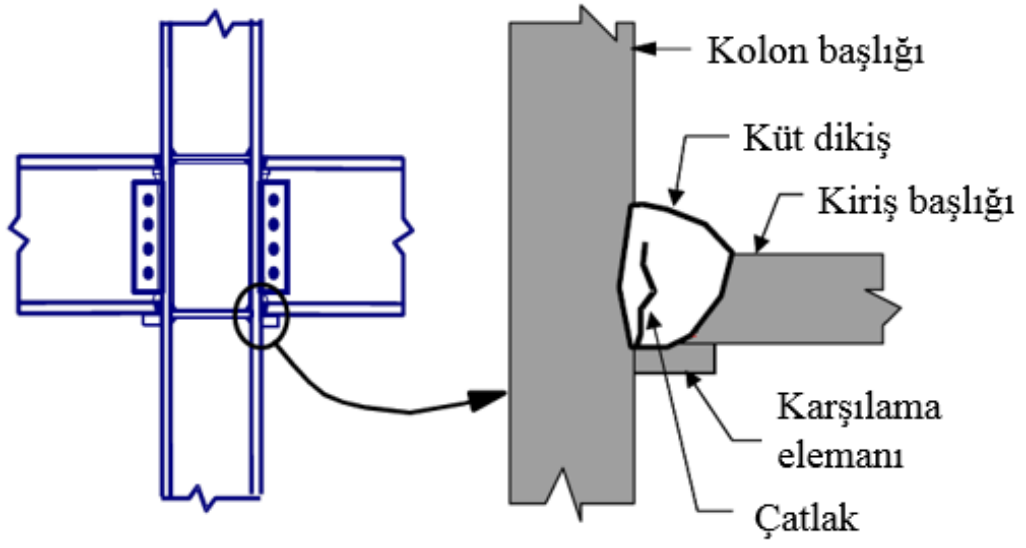
Depreme dayanıklı yapıların sünek ve yüksek dayanımlı olması istenir. Moment aktaran çelik çerçeve sistemler, yüksek süneklik kapasitelerinden dolayı deprem bölgelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, yapı malzemesi olarak çeliğin yaygın olarak kullanıldığı Amerika Birleşik Devletleri'nde meydana gelen 1994 Kaliforniya Northridge depreminden sonra yapılan incelemelerde, bu sistemlerin gösterdikleri performansa duyulan güven bir miktar zedelenmiştir[27]. Depremin hemen sonrasında yapılan incelemelerde, çelik yapılarda önemli bir hasar oluşmadığı görülmüştür. Fakat yangın izolasyonu ve mimari detaylar sebebiyle gizlenen birleşimler incelendiğinde, durumun bu şekilde olmadığı anlaşılmıştır. Yapılan incelemelere göre, birleşim bölgesinin kaynaklarında ve kaynaklara yakın çelik malzemede bazı gevrek kırılmalar meydana gelmiştir. Bu depremde hasar gören rijit çelik çerçeveli binalar, sınırlı miktarda yapısal hasar görmüş ve göçmemişlerdir, yani yapı şartnamelerinin temel tasarım gereksinimlerini karşılamışlardır. Fakat gösterdikleri gevrek kırılmalardan dolayı, öngörüldüğü şekilde davranış gösterememişlerdir [38, 39, 65].

Şekil 2.8'de 1994 Northridge depremine kadar çelik yapılarda çok yaygın olarak kullanılan kolon – kiriş birleşim detayı görülmektedir. Bu birleşimlerde kiriş başlıkları kolon başlığına küt kaynak ile bağlanırken, kiriş gövdesi ile kolon başlığı bağlantısında kayma levhası kullanılmaktadır. Kiriş gövdesi ile levha bulonlu veya perçinli olarak birleştirilirken, levha ile kolon başlığı kaynak ile birleştirilmektedir.

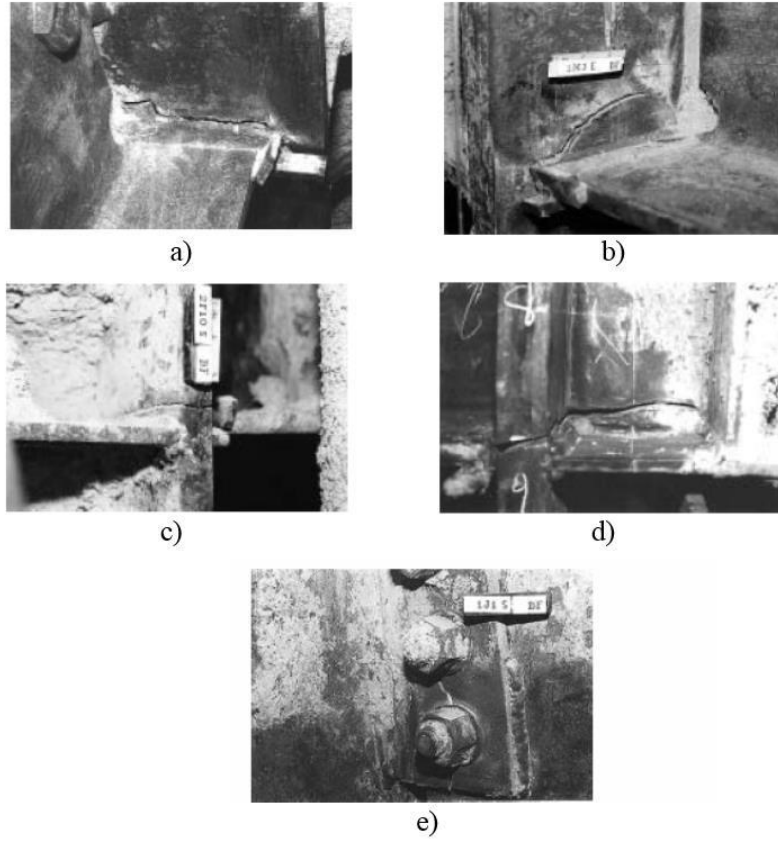


Şekil 2.8. Northridge öncesi sık kullanılan birleşim detayı [64]

Bu birleşimlerde, kiriş üst başlığına kaynak tam olarak yapılabilirken, alt başlığına kiriş gövdesinden dolayı kaynak tamamen yapılamamaktadır. Kiriş alt başlığını kolon başlığına bağlayan küt dikişlerin uygulanması sırasında her bir kaynak pasosu kiriş gövdesi nedeniyle bölünmektedir. Bu durumda kiriş gövdesi her bir pasonun başlangıç ya da bitiş noktası olmaktadır. Ayrıca, küt kaynakların uygulanması sırasında kaynakların altında bulunan karşılama levhası kaynak işlemi tamamlandıktan sonra yerinde bırakılmaktadır. Karşılama levhası ile kolon başlığı arasında bulunan kaynaklanmamış bölge bir süreksizlik oluşturmaktadır. Bu da o bölgede gerilmelerin artmasına ve yeni çatlakların oluşumuna neden olabilmektedir. Şekil 2.9’da bu birleşim şeklinde 1994 Northridge depreminden sonra yapılan incelemelerde sık karşılaşılan kırılma biçimi verilmiştir. Burada, kiriş alt başlığı ile kolon başlığı arasındaki tam penetrasyonlu küt kaynak beklenmeyen bir davranış göstererek, gevrek bir şekilde çatlama başlamış ve bu çatlakların başladıktan sonra Şekil 2.10’da görüldüğü gibi, çok farklı yollar izleyerek genişleyip, yayılabildikleri tespit edilmiştir [64].



Şekil 2.9. Northridge depreminde sık karşılaşılan kırılma biçimi [64]



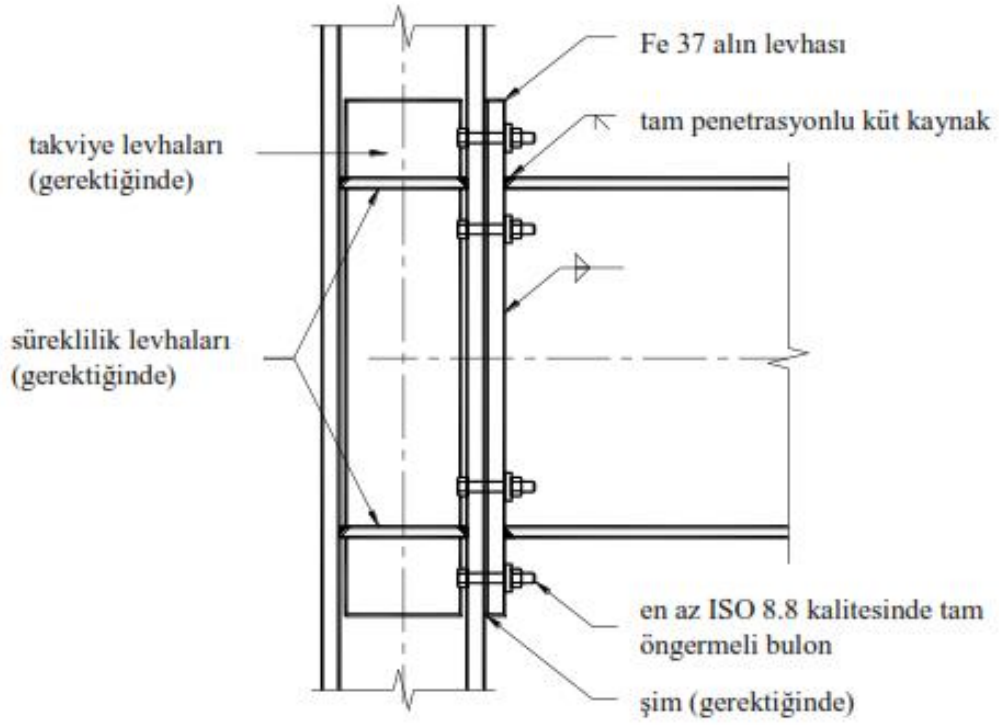
Şekil 2.10. Northridge depremi sonrasında kiriş-kolon birleşimlerinde gözlemlenen kırılma çeşitleri [64]

## 2.7. Northridge Sonrası Birleşimler

Yüksek süneklik kapasitelerine rağmen moment aktaran çelik çerçeve sistemlerde görülen beklenmeyen gevrek kırılmalar, bu sistemlerin davranışları konusunda yapılan çalışmaları arttırmıştır. FEMA (Federal Emergency Management Agency) tarafından kurulan “the SAC Steel Project” adındaki ekip, birleşim detaylarındaki gevrek kırılmaların sebeplerini önlemek ve yeni tavsiyeler üretmek için yoğun bir test programı başlatmıştır. Bu çalışmalarda birleşimi güçlendirmek adına, plastik mafsal oluşan bölgenin birleşim bölgesinden uzaklaştırılarak, kolon – kiriş birleşiminde kiriş başlığında oluşan gerilmelerin azaltılması ve deformasyonların kontrol altında tutulması amaçlanmıştır [66, 67]. Ayrıca, kiriş başlığı ile kolon başlığını birbirine bağlayan küt kaynakların alt başlığa daha iyi uygulanabilmesi için, kaynak ulaşım deliğinin boyutları ve geometrisi konusunda da araştırmalar yapılmıştır [39, 68]. Burada geliştirilmiş olan birleşimler “ANSI/AISC 358-10 (Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications)”[63] isimli standartta ve “FEMA-350 Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Building” [64] isimli raporda yer almıştır. Bu birleşimlerin üçü bulonlu, üçü kaynaklı olmak üzere altı tanesi “DBYBHY-Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik2007”de de aynen yer almaktadır. Bu birleşimler DBYBHY-2007’de şu şekilde belirtilmektedir:

- Takviyesiz alın levhalı bulonlu,
- Takviyeli alın levhalı bulonlu,
- Alın levhasız bulonlu,
- Kaynaklı,
- Ek başlık levhalı kaynaklı,
- Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı kolon-kiriş birleşimi.

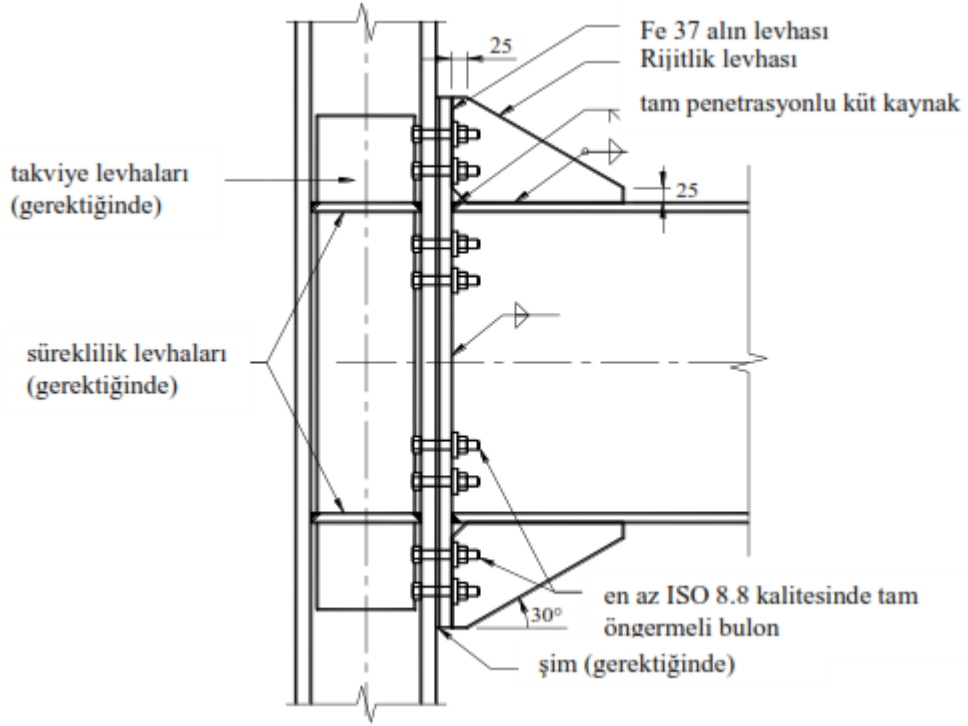
Bu birleşimler Şekil 2.11-2.16’de gösterilmiştir ve süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin moment aktaran kolon – kiriş birleşimlerinde kullanılabilmesi için uygulama sınırları Çizelge 2.1-2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.11. Takviyesiz alın levhalı bulonlu birleşim detayı

Çizelge 2.1. Takviyesiz alın levhalı bulonlu birleşimin uygulama sınırları

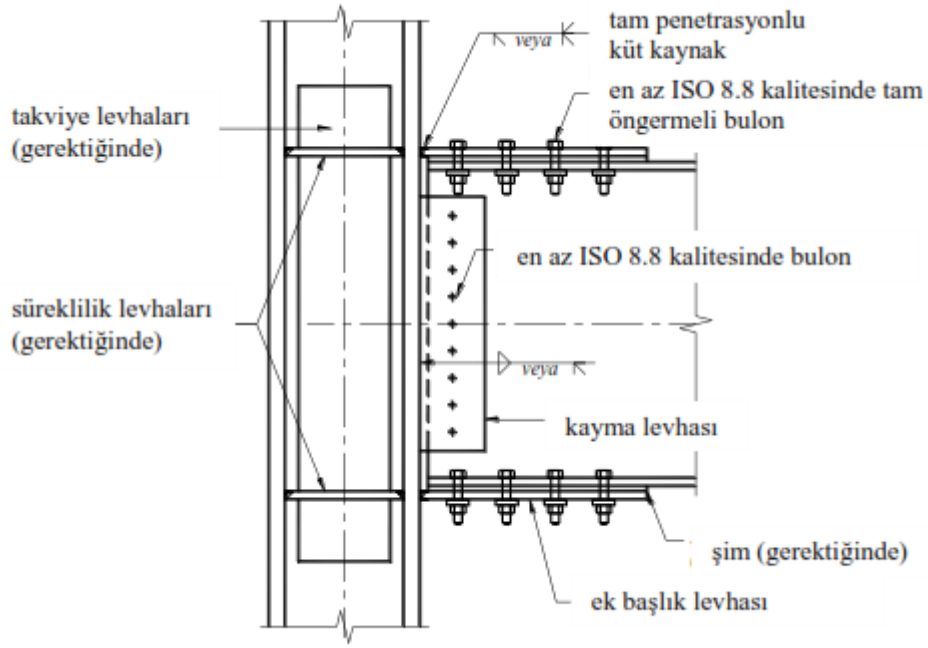
Birleşim Detayı Parametreleri	Uygulama Sınırları
Kiriş enkesit yüksekliği	$\leq 750$ mm
Kiriş açıklığı / enkesit yüksekliği oranı	$\geq 7$
Kiriş başlık kalınlığı	$\leq 20$ mm
Kolon enkesit yüksekliği	$\leq 600$ mm
Bulon sınıfı	8,8 veya 10,9
Bulon öngerme koşulları	Tam öngerme
Alın levhası malzeme sınıfı	Fe 37
Başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak



Şekil 2.12. Takviyeli alın levhalı bulonlu birleşim detayı

Çizelge 2.2. Takviyeli alın levhalı bulonlu birleşimin uygulama sınırları

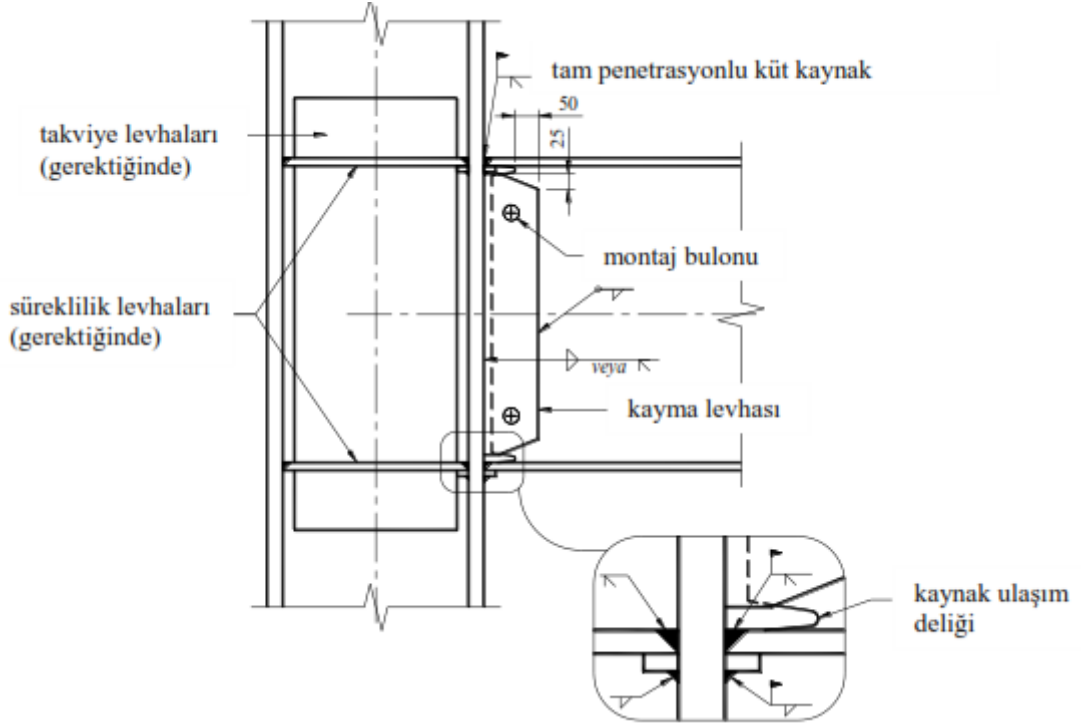
Birleşim Detayı Parametreleri	Uygulama Sınırları
Kiriş enkesit yüksekliği	$\leq 1000$ mm
Kiriş açıklığı / enkesit yüksekliği oranı	$\geq 7$
Kiriş başlık kalınlığı	$\leq 25$ mm
Kolon enkesit yüksekliği	$\leq 600$ mm
Bulon sınıfı	8,8 veya 10,9
Bulon öngerme koşulları	Tam öngerme
Alın levhası malzeme sınıfı	Fe 37
Başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak



Şekil 2.13. Alın levhasız bulonlu birleşim detayı

Çizelge 2.3. Alın levhasız bulonlu birleşimin uygulama sınırları

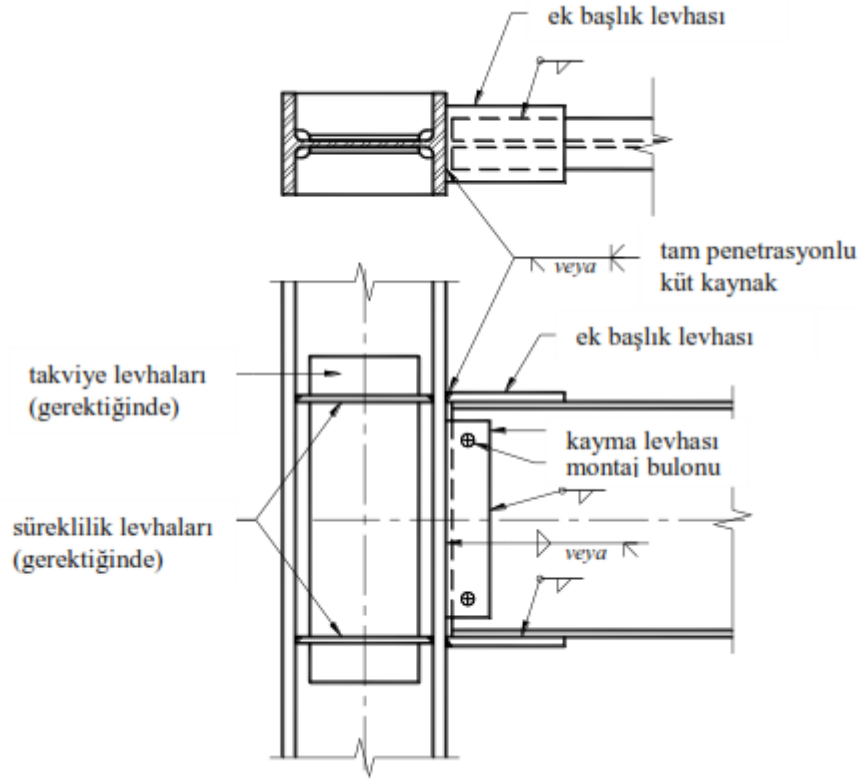
Birleşim Detayı Parametreleri	Uygulama Sınırları
Kiriş enkesit yüksekliği	$\leq 800$ mm
Kiriş açıklığı / enkesit yüksekliği oranı	$\geq 8$
Kiriş başlık kalınlığı	$\leq 20$ mm
Kolon enkesit yüksekliği	$\leq 600$ mm
Bulon sınıfı	8,8 veya 10,9
En büyük bulon boyutu	M 30
Başlık levhası bulonlarının öngerme koşulları	Tam öngerme
Ek başlık levhası malzeme sınıfı	Fe 37, Fe 52
Ek başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak



Şekil 2.14. Kaynaklı birleşim detayı

Çizelge 2.4. Kaynaklı birleşimin uygulama sınırları

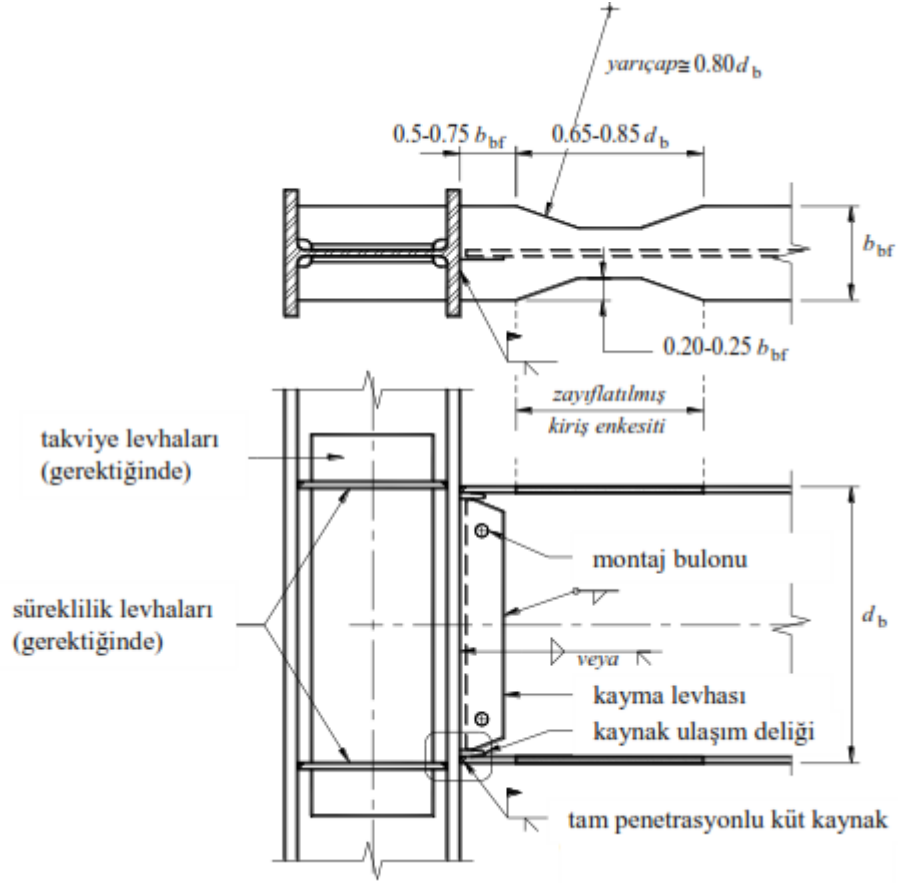
Birleşim Detayı Parametreleri	Uygulama Sınırları
Kiriş enkesit yüksekliği	$\leq 1000$ mm
Kiriş açıklığı / enkesit yüksekliği oranı	$\geq 7$
Kiriş başlık kalınlığı	$\leq 25$ mm
Kolon enkesit yüksekliği	$\leq 600$ mm
Kaynak ulaşım deliği	gerekli
Başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak



Şekil 2.15. Ek başlık levhalı kaynaklı birleşim detayı

Çizelge 2.5. Ek başlık levhalı kaynaklı birleşimin uygulama sınırları

Birleşim Detayı Parametreleri	Uygulama Sınırları
Kiriş enkesit yüksekliği	$\leq 1000$ mm
Kiriş açıklığı / enkesit yüksekliği oranı	$\geq 7$
Kiriş başlık kalınlığı	$\leq 25$ mm
Kolon enkesit yüksekliği	$\leq 600$ mm
Ek başlık levhası malzeme sınıfı	Fe 52
Ek başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak



Şekil 2.16. Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı birleşim detayı

Çizelge 2.6. Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı birleşimin uygulama sınırları

Birleşim Detayı Parametreleri	Uygulama Sınırları
Kiriş enkesit yüksekliği	$\leq 1000$ mm
Kiriş birim boy ağırlığı	$\leq 450$ kg/m
Kiriş açıklığı / enkesit yüksekliği oranı	$\geq 7$
Kiriş başlık kalınlığı	$\leq 45$ mm
Kolon enkesit yüksekliği	$\leq 600$ mm
Kaynak ulaşım deliği	gerekli
Ek başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak

### 3. IDEA STATICA PROGRAMININ AÇIKLANMASI

#### 3.1. Giriş

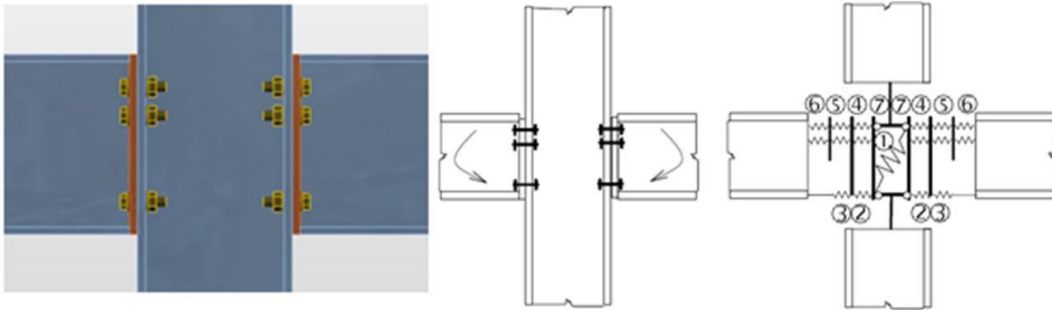
Çubuk elemanlar, çelik yapılar tasarlanırken mühendisler tarafından tercih edilmektedirler. Ancak eleman davranışının geçerli olmadığı birçok yer(durum) bulunmaktadır. Bunlar kaynaklı birleşimler, bulonlu birleşimler, kolon ayakları, duvarlardaki delikler, enine kesitlerin ve profillerdeki sivri noktaları olarak söylenebilir.

Bu gibi yer ve durumlarda yapısal analiz yapmak zor olmakta ve özel dikkat gerektirmektedir. Davranış, lineer değildir ve bu lineer olmayan sapmalar hesaba katılmalıdır. Örnek olarak plaka malzemesinin akması, uç plakalar veya taban plakası ve beton blok arasındaki temas, bulonların ve ankrajların tek taraflı çalışması ve kaynaklar verilebilir.

EN1993-1-8[62] gibi tasarım şartnamelerinde ve teknik literatürde birçok mühendislik çözümleri sunulmaktadır. Bu çözümlerin genel özelliği, tipik yapısal şekiller ve basit yüklemeler için türetilmiş olmalarıdır. Burada kullanılan en yaygın yöntem ise “bileşenler metodu” dur.

#### 3.1.1 Bileşen metodu (Component method)

Bileşen metodu (BM), bağlantıyı (düğüm noktası) birbirine bağlı olmayan ayrıık bileşenlerin bir sistemi olarak çözer. Bu model, her bir bağlantı tipinde elemanların üzerindeki kuvvetleri ve gerilmeleri belirlemektedir (Bkz. Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Yaylarla oluşturulmuş bir bulonlu düğüm noktası birleşimi [69]

Her bir bileşen, bunlara karşılık gelen formüller kullanılarak ayrı ayrı hesaplanıp, kontrol edilirler. Her bir bağlantı tipi için uygun model oluşturulması gerekliliğinden dolayı bu metot, belirli şekiller ve yükler altındaki birleşimlerin çözümünü yapabilmekte ve sınırlı bir kullanım alanı sunmaktadır.

Bu program, düğüm noktalarının ileri düzey analizlerini Prague Üniversitesi İnşaat Fakültesi Ahşap ve Çelik Yapılar Bölümü ile Brno Teknoloji Üniversitesi İnşaat Fakültesi Metal ve Ahşap Yapılar Enstitüsü tarafından oluşturulan yeni bir yaklaşıma göre çözmektedir.

Yeni Bileşen Tabanlı Sonlu Elemanlar Modeli (CBFEM) yönteminin avantajları:

- Düğüm noktaları, temel ayakları gibi detaylar için GENEL ve KOLAY kullanılabilir olması,
- Pratikte BASİT ve HIZLI yeterli sonuçlar elde etmek için mevcut yöntemlerden daha iyi olması,
- Yapı mühendisi için düğüm noktalarında ki bileşenlerin davranışını, gerilmeleri ve birim şekil değiştirmeleri YETERİNCE KAPSAMLI olarak üretebiliyor olmasıdır.

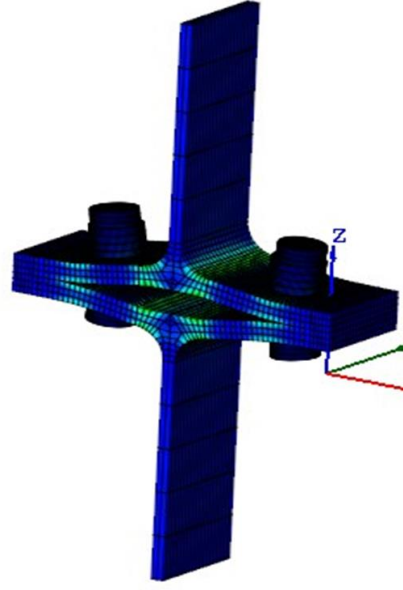
CBFEM yöntemi, doğruluğu kanıtlanmış bileşen modeline (BM) dayanmakla beraber ve BM'nin zayıf noktası olan gerilmeleri analiz ederken bileşen modeli yerine-Sonlu Elemanlar modeli (FEM) kullanılarak modelleme ve analiz yapmaktadır.

### **3.2. CBFEM Bileşenleri**

FEM genel bir yapısal analiz yöntemidir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. FEM, hertürlü düğüm noktasının modellenmesi için idealdir. [70]

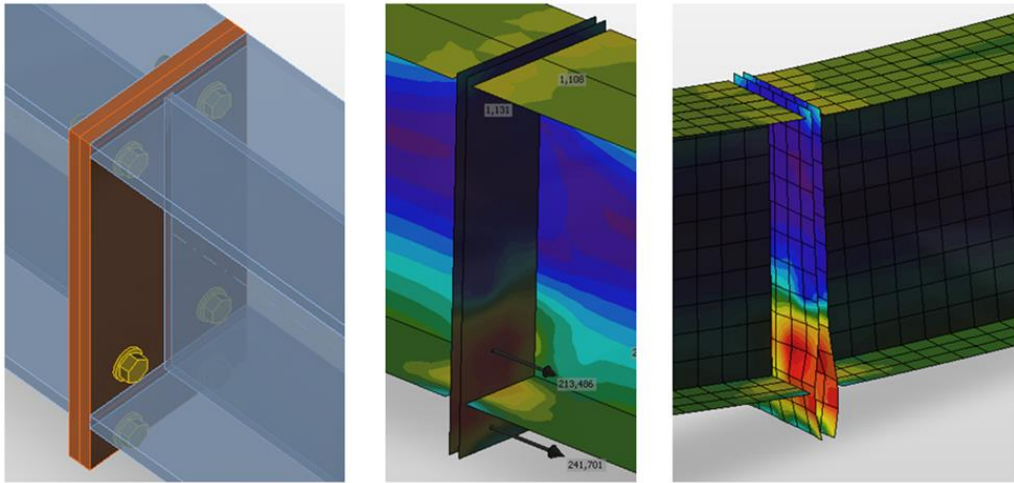
Çelik, yapısal analizlerde gerçekte davrandığı gibi hesaplanması gerekmektedir. Yani akmasının da modellenmesi gerekeceğinden, malzemenin elastik-plastik analizinin hesaba katılıyor olması gereklidir. Çelik malzemesinin doğrusal davranışı kullanılarak çözümler yapıldığında gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesi mümkün değildir.

FEM modelleri elemanların ölçülen malzeme özelliklerini kullanarak genellikle birleşim noktalarının davranışını araştırmakta da kullanılmaktadırlar (Bkz. Şekil 3.2).



**Şekil 3.2.** *Bulonlu birleşimin analizi için oluşturulmuş 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli [69]*

Gövde ve başlık elemanların her biri, CBFEM modeli içerisinde kabuk elemanları kullanılarak modellenmişlerdir. Bağlantı elemanları, bulon ve kaynaklar analiz açısından en zor olan birleşim elemanlarıdır. Bu tür unsurların genel FEM programlarında modellenmesi zordur çünkü programlar gerekli özellikleri sağlayamamaktadırlar. Böylelikle, bulon ve kaynak davranışını modellemek için özel FEM bileşenleri oluşturulmuştur.

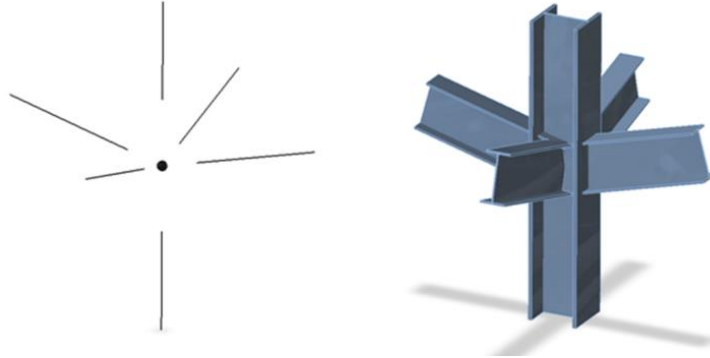


**Şekil 3.3.** *Alın Levhalı ve bulonlu birleşimler için oluşturulmuş CBFEM modeli [69]*

Çelik çerçeve veya kiriş yapısı analiz edilirken bileşenlerin temas yüzeyleri kütleli noktalar olarak modellenirler (Bkz. Şekil 3.4). Yapının tamamı çözüldükten sonra her bir düğüm noktasında veya temas yüzeyinde denge denklemleri yazılarak her bir bileşen için hesap yapılmaktadır. Düğüm noktasındaki tüm kuvvetlerin bileşkesi sıfır olduğunda denge hali gerçekleşmiş olacaktır.

Yapısal modelde bir düğüm noktasının gerçek davranışı ya da şekli tam olarak bilinmemektedir. Bu nedenle mühendis bu noktayı rijit ya da mafsallı olarak kabul edip modeller.

Gerçek duruma en yakın olacak şekilde düğüm noktasının doğru bir şekilde tasarımının yapılmasına yönelik güvenilir bir model oluşturulmalıdır. CBFEM yönteminde, eleman uçlarında en kesit yüksekliğinin en çok 2-3 katı uzunluğunda kabuk elemanlardan oluşturulmuş elemanlar kullanılmaktadır.



Şekil 3.4. Gerçek bir birleşim ve teorik(kütlesiz) birleşim modeli [69]

CBFEM modelinin daha hassas çözüm vermesi için, bir boyutlu elemanlarının uç kuvvetlerinin parça uçlarının üzerindeki yükleri olarak uygulanır. Teorik düğüm noktasına gelen her bir kesit değeri, çözüm için oluşturulmuş kısa elemanlar üzerine aktarılır. Buradaki her bir kuvvet aynı kalırken momentler kuvvet koluna göre tekrar hesaplanarak işleme alınırlar.

İDEA STATICA BİRLEŞİM iki tip analiz gerçekleştirmektedir:

- Malzeme davranışı gerilme-şekil değiştirme durumunu için geometri bakımından doğrusal ve temas yüzeylerindeki gerilme-şekil değiştirme durumunu belirlemek için ise doğrusal olmayan analiz yapmaktadır.

- Olası burkulma yükü hesabı için de özdeğerler yöntemini kullanmaktadır.

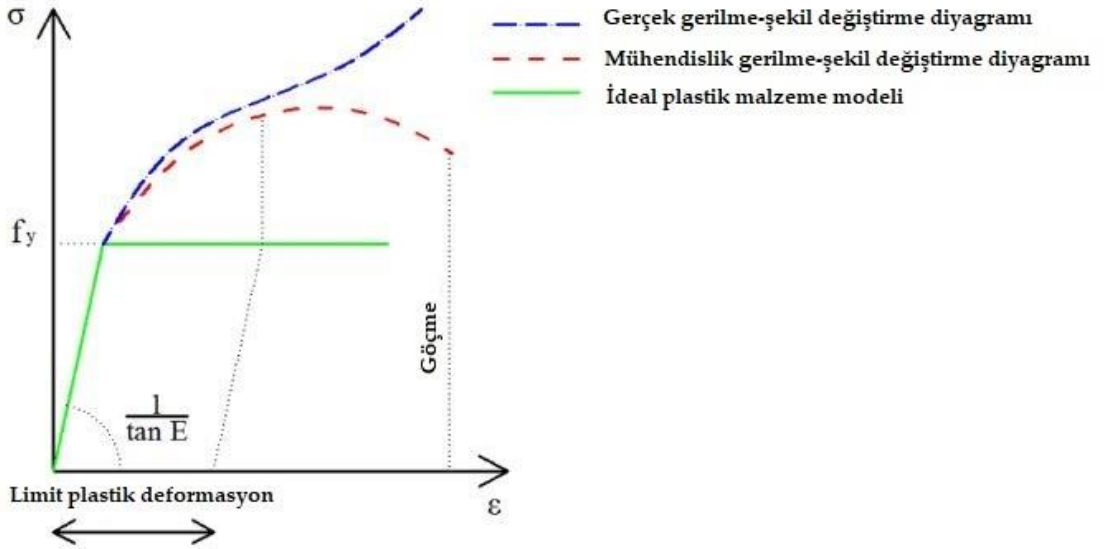
### 3.2.1. Malzeme modeli

Yapı çeliğinin sonlu elemanlar programında modellenmesinde en yaygın kullanılan davranışı, ideal plastik ve gerçek gerilme-şekil değiştirme bağıntısına sahip pekleşen çelik modelleridir. Gerçek gerilme-şekil değiştirme diyagramı, malzeme üzerinde yapılan testlerden elde edilirler ve aşağıdaki gibi hesaplanırlar:

$$\sigma_{true} = \sigma(1 + \varepsilon) \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_{true} = \ln(1 + \varepsilon) \quad (3.2)$$

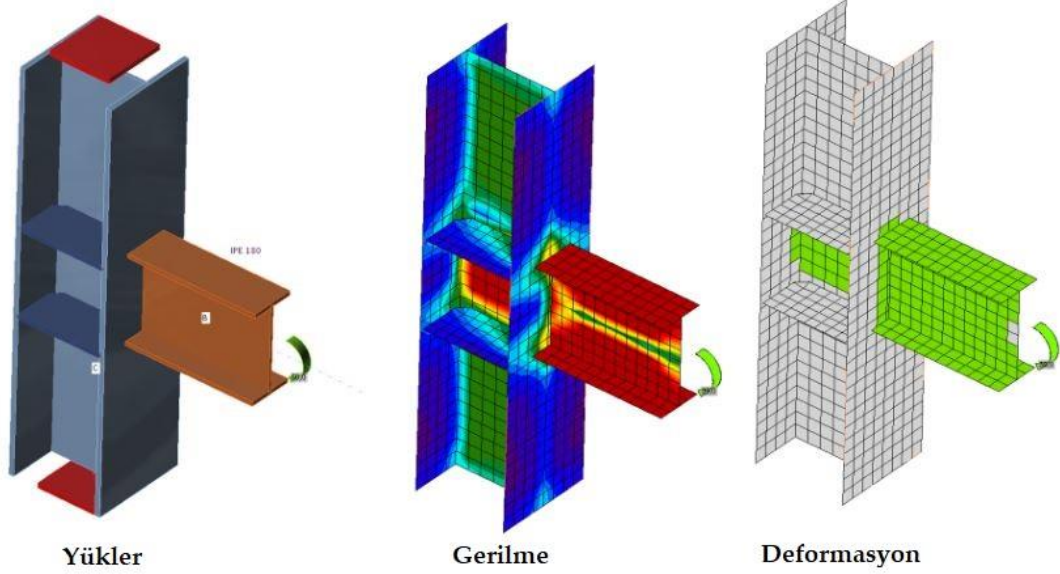
Burada  $\sigma_{true}$  gerçek gerilme,  $\varepsilon_{true}$  gerçek şekil değiştirme,  $\sigma$  mühendislik gerilmesi ve  $\varepsilon$  mühendislik şekil değiştirmesidir (Bkz. Şekil 3.5).



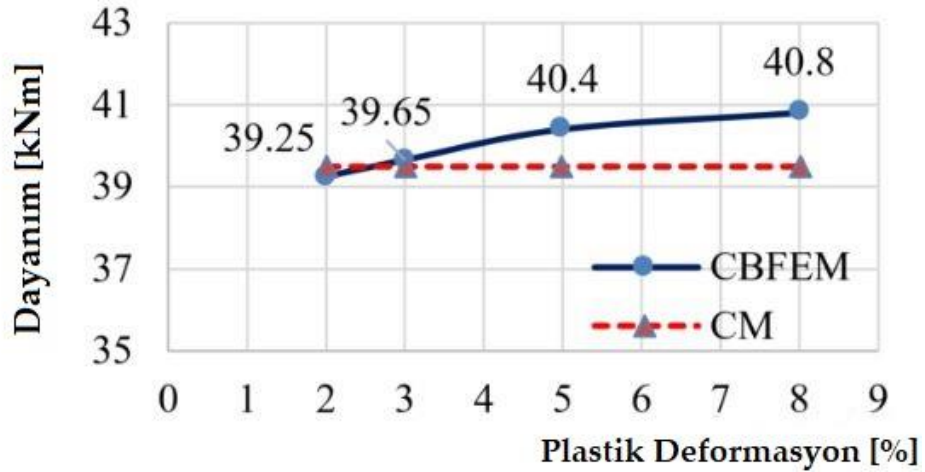
Şekil 3.5. Çeliğin yapısal analizlerde kullanılan modelleri [69]

IDEA StatiCa Birleşim programında plakalar EN1993-1-5, Par. C.6, (2) [71]de verilen nominal akma platosuna sahip elasto-plastik malzeme olarak tanımlanmaktadır. Malzeme davranışı Von Mises akma kriterine göre belirlenmektedir. Bu da malzemenin  $f_y$  akma dayanımına ulaşana kadar doğrusal davrandığını göstermektedir.

Bu malzeme modellerinde en çok tartışılan durum plastik şekil değiştirmenin limit sınır durumudur. Bu sebeple Şekil 3.6'da verilen HEB 300 kolonuna kuvvetli yönden bağlı IPE 180 kirişi üzerinde eğilme momenti etkisindeki moment plastik şekil değiştirme grafiği hem bileşen metodu hemde CBFEM kullanılarak yapılan karşılaştırmada CBFEM'da plastik şekil değiştirme limiti %2-%8 arasında değişiklik gösterirken bileşen metodunda bu sınır %4'den daha küçük bir değerde kalmaktadır (Bkz. Şekil 3.7)



Şekil 3.6. Kolon-kiriş birleşim limit durum örnek modeli [69]



Şekil 3.7. Bileşen Metod-CBFEM moment-plastik şekil değiştirme karşılaştırma grafiği [69]

Yerel burkulmaların maksimum limit durumu için asal şekil değiştirmelerin limite ulaşması çok sağlıklı sonuçlar vermeyecektir. Bu sebeple EN1993-1-5, App. C, Par. C.8, Note 1[71] ye göre bu değer %5 ile sınırlandırılmıştır.

### 3.3. Plaka Modeli Ve Sonlu Elemanlar Ağı

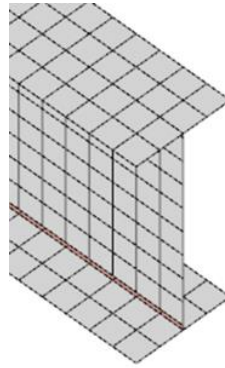
#### 3.3.1. Plaka modeli

Yapısal bir birleşimde kullanılan plakaların sonlu elemanlar programında modellenmesi için kabuk elemanların kullanılması önerilmektedir. Her bir köşesinde düğüm noktası olan 4-noktalı dikdörtgen kabuk elemanlar (4node quadrangle shell elements) kullanılmaktadır. Her bir noktada üç yerdeğiştirme ( $u_x$ ,  $u_y$ ,  $u_z$ ) ve üç dönme ( $\phi_x$ ,  $\phi_y$ ,  $\phi_z$ ) toplam altı serbestlik derecesi vardır. Elemanlar üzerindeki yer değıştirmeler (deformasyonlar) yüzey ve dönme olarak ikiye bölünmektedirler.

#### 3.3.2. Sonlu elemanlar ağı

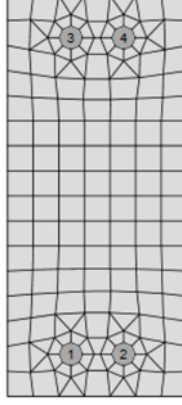
Birleşim modelinde kullanılacak sonlu elemanlar ağı için bazı kriterler mevcuttur. Birleşimin kontrolünün elemanın boyutlarından bağımsız olması gerekmektedir. Tek bir plaka üzerinde yapılan sonlu elemanlar ağı problemsizdir. Bunun haricinde, rijitleştirilmiş paneller, T-kestili tüpler ve taban plakaları gibi kompleks birleşimler için daha dikkatli davranılmalıdır. Daha karmaşık birleşimler için sonlu elemanlar ağı daha hassas oluşturulmalıdır.

Kiriş enkesiti üzerindeki tüm plakalar için ortak bir bölünme söz konusudur. Oluşturulacak ağı boyutları sınırlandırılmıştır. Bu sebeple en küçük ağı boyutu 10 mm, en büyük ağı boyutu 50 mm dir. Başlıklar ve gövde üzerindeki sonlu eleman ağları birbirlerinden bağımsızdır. Programda sonlu eleman ağı adedi Şekil 3.6'daki kesit yüksekliğı boyunca 8 olarak tanımlanmış olup; bu değıer kullanıcı tarafından değıştirilebilmektedir.



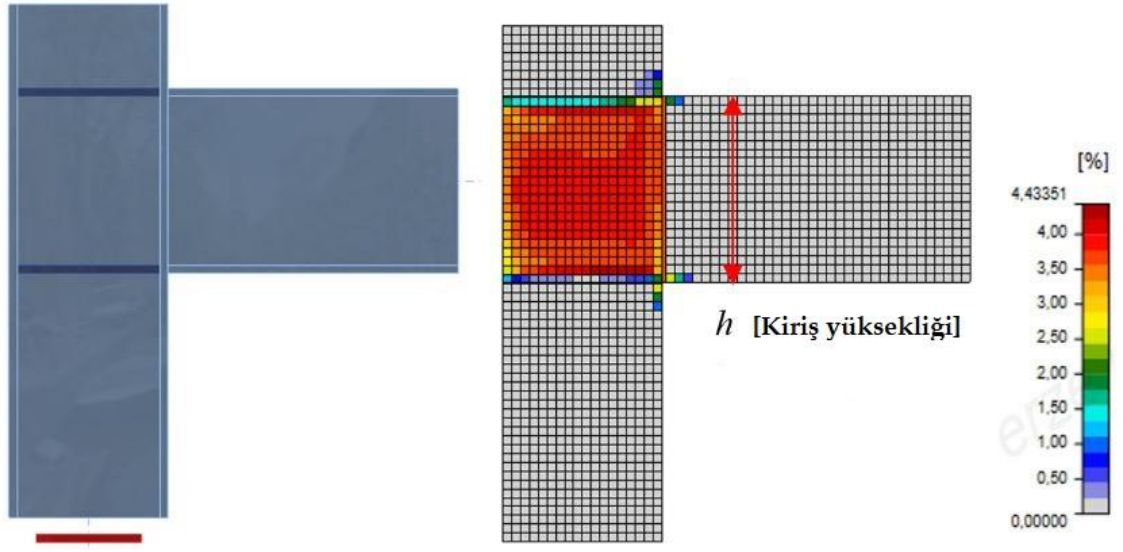
Şekil 3.8. Programda kullanılan sabit sonlu elemanlar ağı [69]

Alın plakalarının sonlu elemanlar ağı diğer yapı elemanlarından bağımsızdır. Burada alın plakasının yüksekliği boyunca sabit 16 adet sonlu eleman ağı oluşturulmuştur (Bkz. Şekil 3.7).

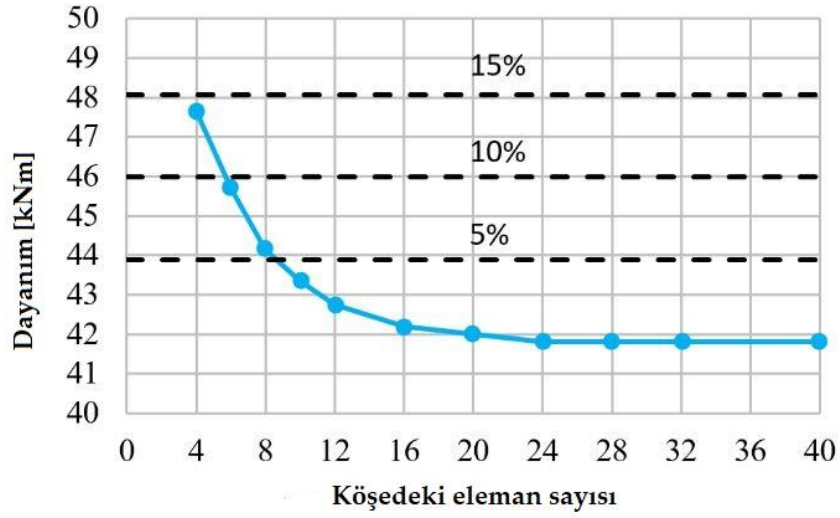


Şekil 3.9. Alın plakası sonlu elemanlar ağı [69]

Bir birleşim üzerinde sonlu elemanlar ağının sıklığının sonuçlar üzerindeki etkisi ve moment dayanımı birbirlerinden farklı olacaktır. Buna ait Şekil 3.8 de verilen IPE 220 kirişi ile HEA 200 kolonun oluşturmuş olduğu birleşim üzerinde panel bölgesinde oluşan kesme kuvveti davranışının farklı sonlu elemanlar ağı sayısına göre değişim grafiği çizilmiştir (Bkz. Şekil 3.9). Burada enkesit üzerinde sonlu eleman sayıları 4-40 arasında alınmıştır. Değişim grafiğinden de anlaşılacağı üzere %5, %10 ve %15 lik değişimleri göstermektedir. Bunun sonucu olarak en az 8 adet sonlu eleman oluşturulması önerilmektedir.

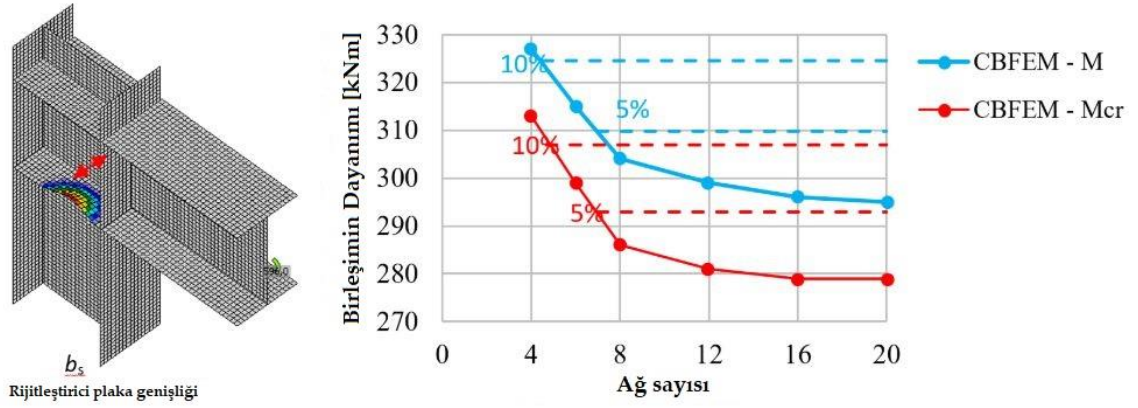


Şekil 3.10. Maksimum limit durum için kiriş kolon birleşimi [69]



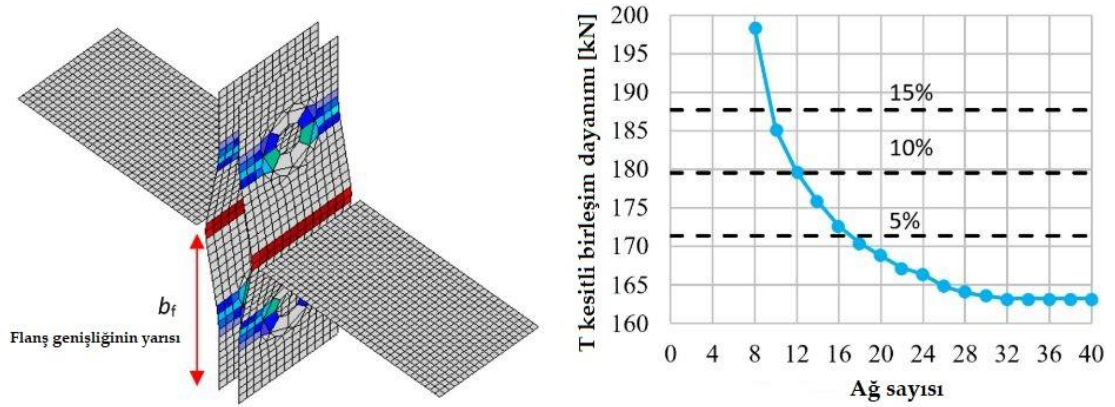
Şekil 3.11. Moment dayanım kapasitesi-ağ sayısı değişim grafiği [69]

Kolon panel bölgesindeki rijitleştirici narin plaka üzerinde yapılan sonlu eleman ağının hassasiyeti üzerine model üzerinde başak bir çalışma yapılmıştır (Bkz. Şekil 3.10). Burada rijitleştirici plaka genişliği boyunca alınana sonlu eleman ağ sayısı 4-40 olarak belirlemiştir. Birinci burkulma modu ve kritik burkulma yükü ve buna karşılık sonlu elemanlar ağ sayısı değişim grafiği 3.10 da gösterilmiştir. Bunun sonucu olarak en az 8 adet sonlu eleman oluşturulması önerilmektedir.



Şekil 3.12. Rijitleştirici plaka üzerinde ağ sayısının dayanıma etkisi ve birinci burkulma modu [69]

Dikkat gerektiren bir diğer birleşim ise T-kesitli birleşimlerdir. Bu birleşimde ise başlık genişliğinin yarısı 8-40 ağ sayısına bölünmüş ve ağ genişliği minimum değer olan 1 mm alınmıştır. T-kesitli sitemler üzerindeki ağ sayısının etkisi Şekil 3.11 de verilmiştir. Grafik üzerindeki kesikli çizgiler %5, %10 ve %15 lik değişimleri göstermektedir. Burada başlık genişliğinin yarısında 16 adet ağ tanımlanmasının doğru olacağı gözükmemektedir.

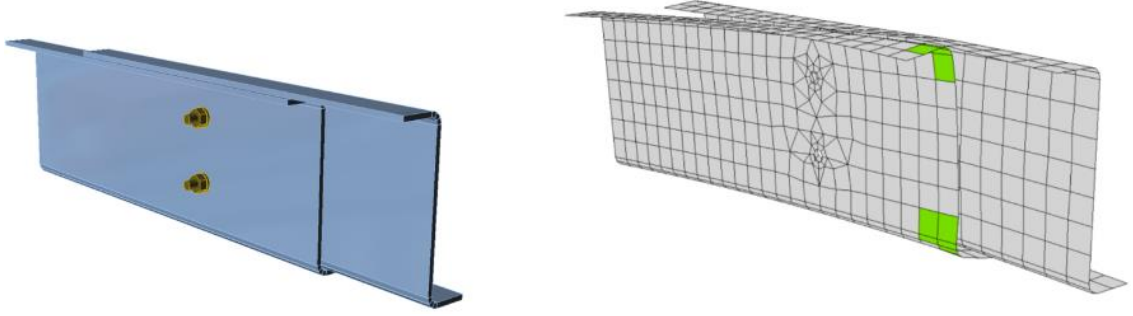


Şekil 3.13. T-kesitli birleşimlerin dayanımın sonlu eleman ağ sayısına göre değişim grafiği [69]

### 3.4. Temas Yüzeyleri

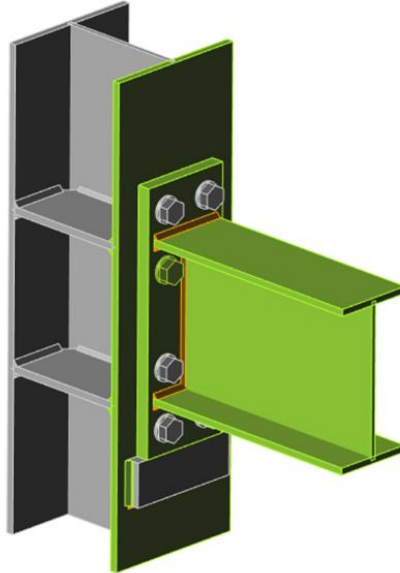
Birleşim bölgelerinde yapılacak analizlerde, plakalar arasında temas yüzeyi oluşturmak analiz sonuçları açısından tavsiye edilen bir uygulamadır. Eğer bir düğüm noktası (sonlu elemana ait) diğer yüzeye de etki ediyorsa, temas yüzeyinin her iki tarafına da olmakla beraber o noktaya bir zıt çarpan eklemesi (penalty stiffness) yapılmalıdır. Bu çarpan, sonlu eleman analizinin iterasyonları arasında sezgisel algoritmalar kullanılarak

kontrol edilmektedir. Çözümleyici, temas noktasını otomatik olarak algılar ve temas eden düğümler ile karşı plakadaki düğümler arasında temas kuvvetini dağıtır. Bu da farklı sonlu elemanlar ağırları ile oluşturulmuş her iki yüzey için temas alanının oluşturulması sağlar (Bkz. Şekil 3.12). İki plaka arasındaki temas yüzeyi yüklerin dağıtılmasında etkin bir rol oynamaktadır.

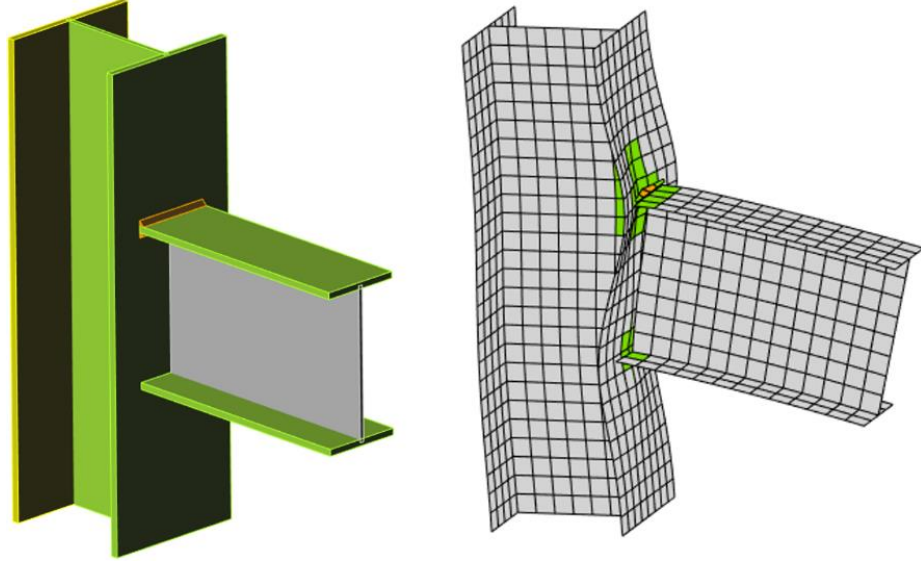


**Şekil 3.14.** Üst üste bindirilmiş iki Z-aşık kesitinin temas yüzeylerinden ayrılması [69]

İki yüzey, iki kenar ve hem kenar hem de yüzey birleşimlerinde temas yüzeyi oluşturulabilmektedir (Bkz. Şekil 3.13, Şekil 3.14).



**Şekil 3.15.** Bulonlu Alın plakalı kiriş-kolon başlığı birleşimi [69]



Şekil 3.16. Kaynaklı kenar-yüzey birleşimi [69]

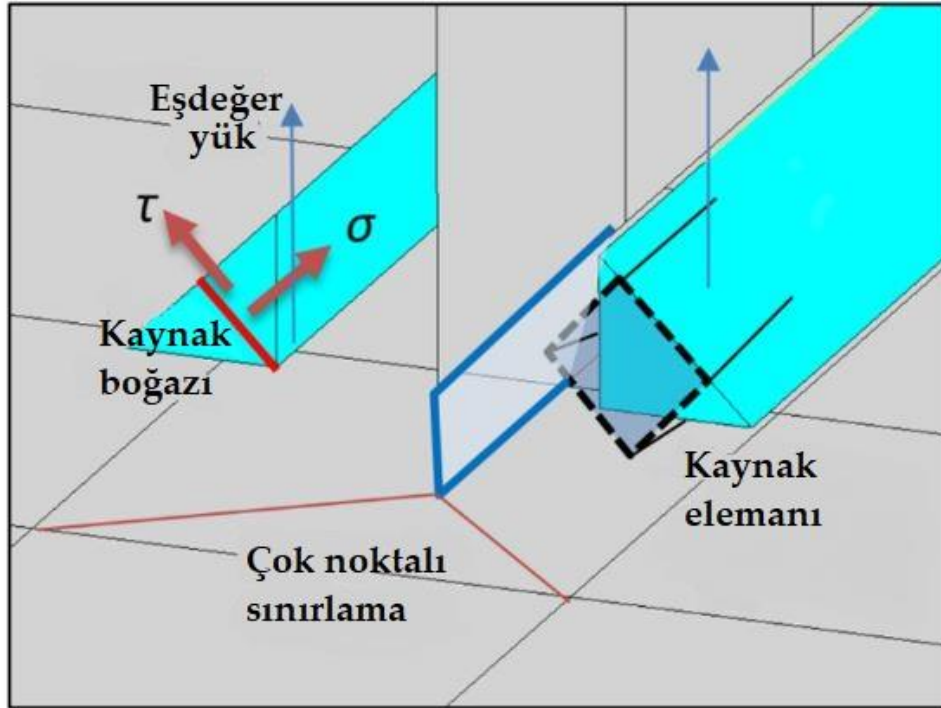
### 3.5. Kaynaklar

Sayısal modellerde kaynakların nasıl ele alınacağına dair birkaç seçenek vardır. Büyük deformasyonlar mekanik analizi daha karmaşık hale getirir ve farklı sonlu eleman ağı, kinetik ve kinematik değişkenlerin kullanılması mümkündür. Farklı türlerde geometrik 2D ve 3D modelleri ve onların uygulanabilirliği ile sonlu elemanlar yönteminde farklı doğruluk seviyelerine erişilebilmektedir. En sık kullanılan malzeme modeli, Von Mises akma kriterine dayanan ortak hızdan bağımsız plastisite modelidir. Kaynaklar için kullanılan iki yaklaşım açıklanmıştır. Tasarım modelinde kaynak birleşiminden oluşan artık gerilme ve deformasyon varsayılmamıştır.

Yük, Lagrangian formülasyonuna dayanan kuvvet-deformasyon kısıtlamaları ile karşı plakaya aktarılır. Bağlantı çok noktalı sınırlama (MPC) olarak adlandırılır ve bir plaka kenarını diğer plaka kenarına sonlu eleman düğümleri ile bağlar. Sonlu eleman düğümleri doğrudan bağlı değildir. Bu yaklaşımın avantajı, farklı yoğunluklarda kafesleri birbirine bağlayabilmesidir. Kısıtlama, bağlı plakaların orta hat yüzeyinin, gerçek kaynak konfigürasyonuna ve kaynak kalınlığına uygun olan kaçıklık ile modellenmesine izin verir. Kaynakta yük dağılımı MPC ile elde edilir, bu gerilmeler boğaz(kaynak) bölümünde hesaplanır. Bu T-kesitlerin modellenmesinde ve plakalarda kaynak altında oluşan gerilme dağılımının sağlanabilmesi için önemlidir.

### 3.5.1. Kaynaklarda plastik gerilmelerin tekrar dağıtılması

Sadece çok noktalı sınırlamalara sahip model, kaynağın rijitliğine uygun olmamakla beraber gerilme dağılımı açısından ise göze çarpmayan bir etkisi vardır. Plaka kenarlarının, köşelerin ve yuvarlanmaların sonlarında(uçlarında) en üst noktaya çıkan gerilme değerleri, tüm kaynak uzunluğu boyunca dayanımı düzenler. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için, plakalar arasında özel bir elastoplastik eleman eklenir. Eleman, kaynak boğaz kalınlığına, pozisyonuna ve yönüne bağlıdır (Bkz. Şekil 3.15). Eşdeğer kaynak katı, karşılık gelen kaynak boyutlarıyla eklenir. Doğrusal olmayan malzeme analizi uygulanmış ve eşdeğer kaynak katı içindeki elastoplastik davranış belirlenmiştir. Plastisite durumu, kaynak boğaz bölümünde gerilmeler tarafından kontrol edilir. Gerilme tepeleri, kaynak uzunluğunun en uzun kısmı boyunca yeniden dağıtılır. Elastoplastik kaynak modeli gerçek stres değerleri verir ve stresin ortalama veya interpolasyonuna gerek yoktur., kaynaklı birleşimin kontrolü için, en çok gerilme altında olan kaynak elemanında hesaplanan değerler doğrudan kullanılmaktadır. Bu şekilde, çok odaklı kaynaklar, takviyesiz başlıklar veya uzun kaynak için dayanım azaltmasına gerek yoktur.



Şekil 3.17. Kaynak elemanı ve ağ düğüm noktalarındaki kısıtlar [69]

Genel olarak kaynaklar, plastik yeniden dağılımı kullanırken, süreksiz, kısmi ve aralıklı olarak ayarlanabilir. Sürekli kaynaklar, kenarın tüm uzunluğu boyunca. Kullanıcıya kısmi olarak, kenarın her iki kenarından kaçıklıkları ayarlamasına izin verir ve aralıklı kaynaklar, bir set uzunluğu ve bir aralık ile ek olarak ayarlanabilir.

### 3.6. Bulonlar

Bileşen Tabanlı Sonlu Elemanlar Metodu'nda (CBFEM), bulonun çekme, kesme ve ezilme gerilmeleri altındaki davranışı doğrusal olmayan yay bileşenleri ile tanımlanır. Gerilimdeki Bulon üzerindeki gerilme, başlangıç rijitliği, tasarım dayanımı, akma ve deformasyon kapasitesinin başlangıç değerlerini içinde barındıran bir yay ile tarif edilir. Eksenel başlangıç sertliği analitik olarak VDI2230 kılavuzundan türetilmiştir. Model Gödrich ve diğerlerinin [72] yapmış olduğu deneysel verilere karşılık gelmektedir. Akma ve deformasyon kapasitesinin oluşması, sadece bulon gövdesinin yivli(işlenmiş) kısmında plastik deformasyonun meydana geldiği varsayılarak modellenir. Akma başlangıcındaki kuvvet değeri,  $F_{y,ini}$ ,

$$F_{y,ini} = f_{y,b} A_t \quad (3.3)$$

Burada  $f_{y,b}$  bulonun akma dayanımını ve  $A_t$  ise bulonun çekme kuvveti etkisindeki kesit alanını ifade etmektedir. Bu eşitlik, tasarım dayanımı,  $F_{t,Rd}$ , için bulonun çekme dayanımının akama dayanımına oranının düşük değerleri için yüksek değerler vermektedir. Plastik rijitlik değerinin pozitif olması için;

$$F_{y,ini} \leq F_{t,Rd} \quad (3.4)$$

olmalıdır. Bulonun deformasyon kapasitesi(değeri),  $\delta_c$ , hem dış açılmamış bulon gövdesindeki deformasyonu,  $\delta_{el}$ , hem de dış açılmış gövde parçasındaki plastik deformasyonu,  $\delta_{pl}$  yi barındırmaktadır.

$$\delta_c = \delta_{el} + \delta_{pl} \quad (3.5)$$

$$\delta_{el} = F_{t,Rd} / k_{ini} \quad (3.6)$$

Burada  $k_{ini}$ , VDI2230 şartnamesine göre çekme gerilmesi altındaki bulonun başlangıç deformasyon rijitliğini vermektedir. Plastik deformasyon değeri ise; %5 limit plastik şekil değiştirme değerinin  $\epsilon_{pl}$  dış açılmış gövde parçasının uzunluğu,  $l_t$  ile çarpımına eşittir.

$$\delta_{pl} = \varepsilon_{pl} l t \quad (3.7)$$

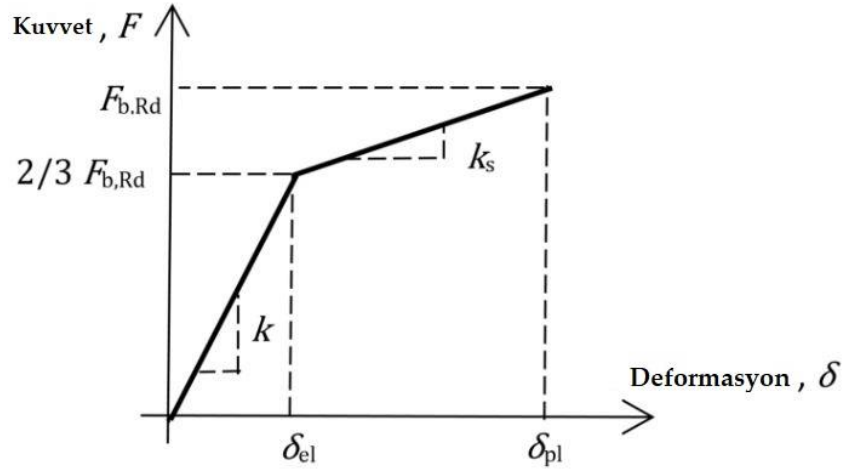
Birleşimdeki çekme kuvveti plakalara bulon ile plakanın sonlu eleman ağındaki düğüm noktası arasında interpolasyonla aktarılır. Transfer alanı bulon gövdesi ve bulonun altıgen baş kısmına teğet çembere karşılık gelen ortalama değeridir.

Deformasyon kapasitesi, Wald ve diğerlerine [73] göre aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\delta_{pl} = 3 \delta_{el} \quad (3.8)$$

Akmanın başlangıcı Şekil 3.16 ya göre aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_{ini} = \frac{2}{3} F_{b,Rd} \quad (3.9)$$



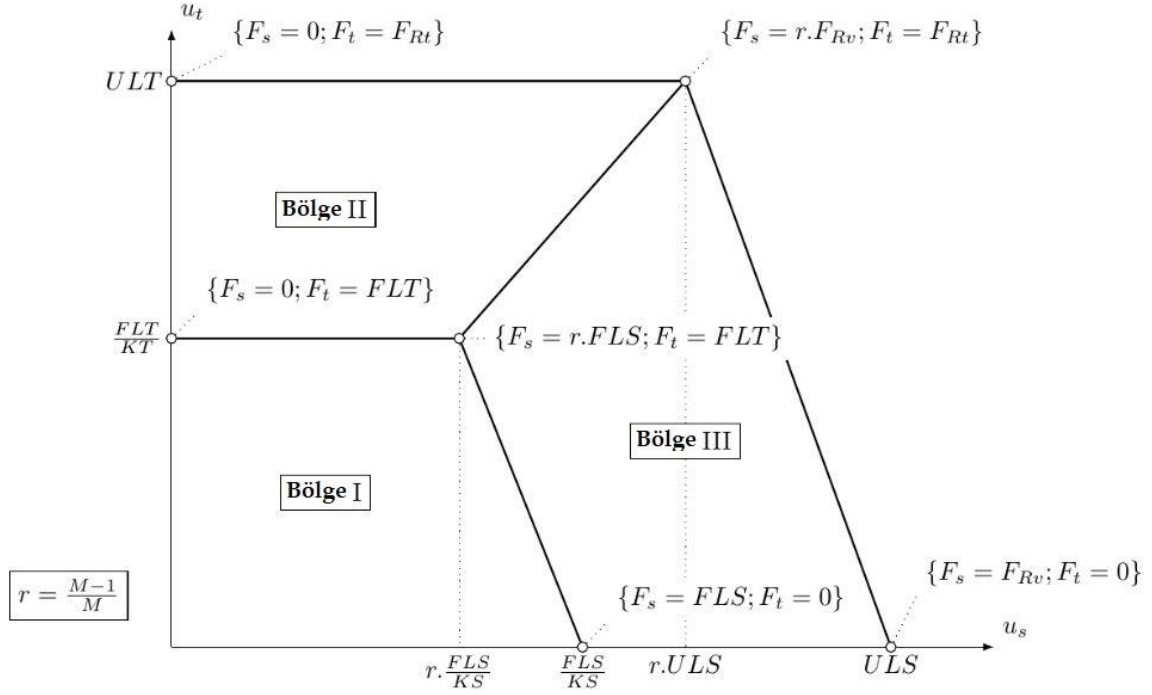
Şekil 3.18. Plaka ezilmesine ait kuvvet-yer değiştirme grafiği [69]

Levhada, bulon gövdesinden bulon deliğine doğru sadece basınç gerilmesi aktarılır. Bu da bulon gövdesiyle delik arasındaki sonlu eleman düğüm noktaları arasında interpolasyonla sağlanır. Plakaların modellenmesi sırasında kabuk eleman üzerindeki yer değiştirme rijitlikleri bulon ile plaka arasında dağıtılır ve bu da plakanın eş değer ezilme gerilmesine karşılık gelmektedir.

Bulon delikleri standart ya da oluklu olarak tasarlanabilir. Standart deliklerdeki bulanlar kesme kuvvetlerini tüm doğrultuda transfer ederken, oluklu bulanlar sadece bir doğrultuda transfer ederler ve sistemin izin verdiği yönde serbestçe hareket ederler.

Eksenel ve kesme(kayma) kuvvetleri analiz modeli üzerinden doğrudan elde edilirler. Yeniden dağırılmış kuvvetler gerçeği daha iyi yansıtacaklardır (Bkz. Şekil 3.17).

Yüksek çekme kuvveti altındaki bulonlar daha az kesme kuvveti alırlar ya da bunun tam tersi de söz konusudur.



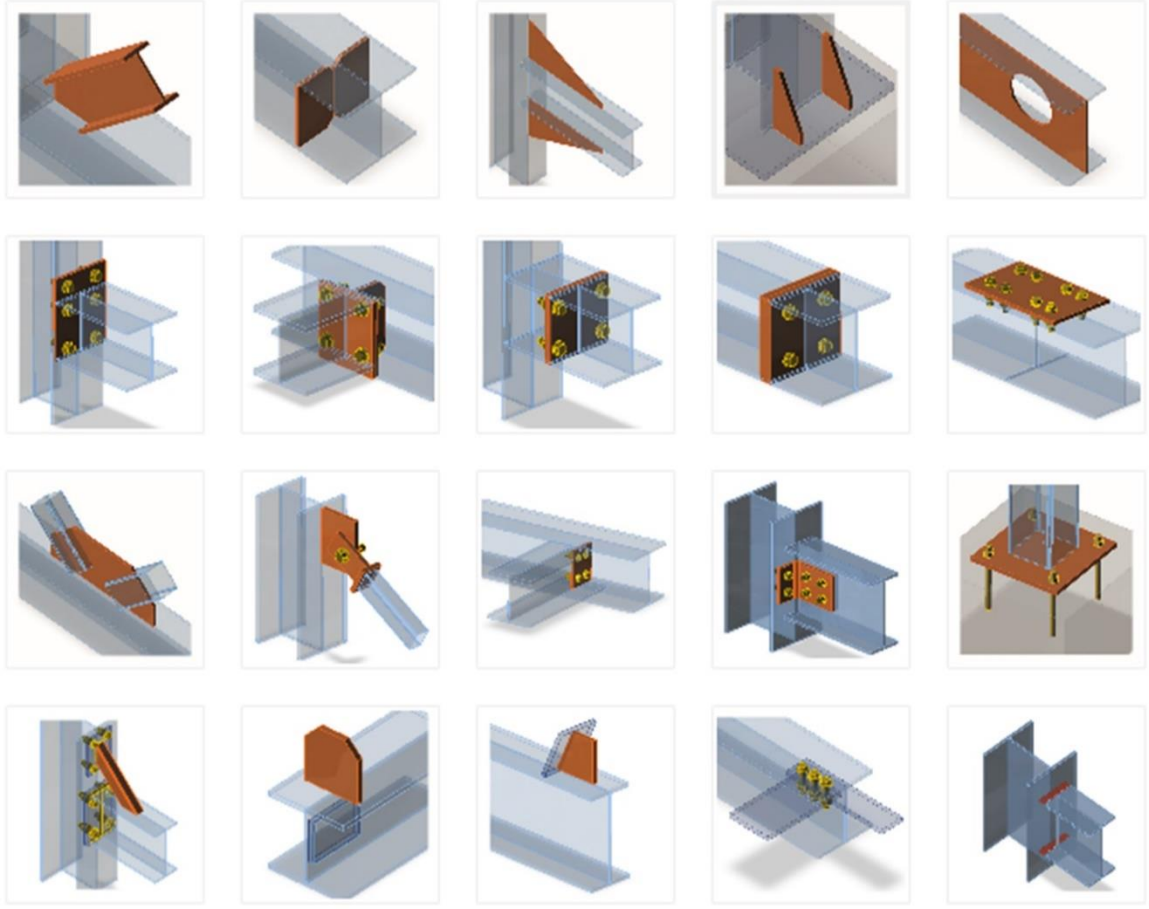
Şekil 3.19. Eurocode'a göre aksenal ve kesme kuvveti arasındaki etkileşim grafiği [69]

### 3.7. Analiz

#### 3.7.1. Analiz modeli

Yeni geliştirilmiş Bileşen Tabanlı Sonlu Elemanlar Metodu (CBFEM), birçok şekil ve biçimde hızlı analiz imkânı sağlamaktadır. Model birden çok elemandan ve elemanların birbirine bağlanmasını sağlayan tüm imalat(oluşum) işlemlerinden oluşmaktadır. Elemanlar, imalat işlemleri sırasında rijitlik elemanları ile karıştırılmamalıdır. Çünkü kesişim kenarları birbirlerine rijit bağlantı elemanları ile bağlıdırlar.

Modelin sonlu elemanlar analizi otomatik olarak oluşturulmaktadır. Tasarımcı, sonlu elemanlar modelini oluşturmaz. Sadece imalat modelleri için düğüm noktalarını ya da kesişim bölgelerini belirler (Bkz. Şekil 3.18). Her bir imalat adımı birleşime yeni bir eleman veya öge eklemektedir.



Şekil 3.20. Dügüm noktası için kullanılabilcek imalat çizimleri [69]

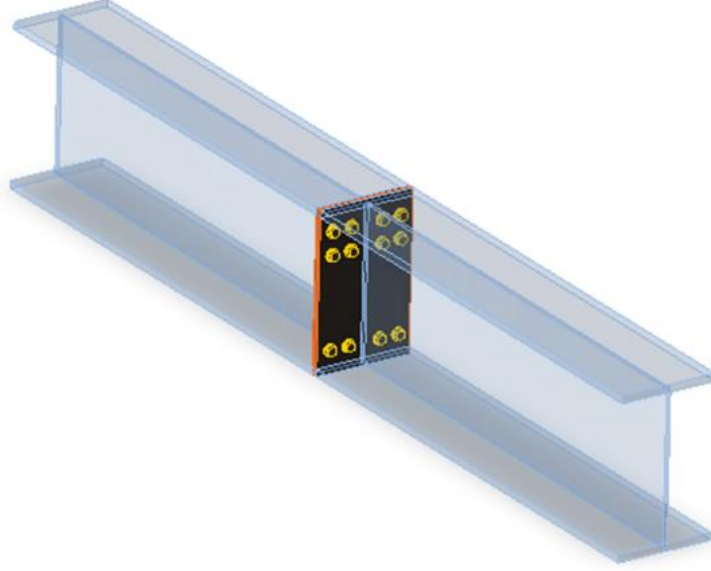
### 3.7.2. Ezilme elemanı ve mesnetler

Dügüm noktasındaki bir eleman mutlaka “ezilme” elemanı olarak tasarlanır. Diğer tüm elemanlar birbirleri ile birleştirilir. Ezilme elemanı, dügüm noktasında sürekli ya da süreksiz olabilir. Süreksiz ezilme elemanları sadece bir ucundan mesnetli olurken, sürekli ezilme elemanları her iki uçlarından tutulu olurlar.

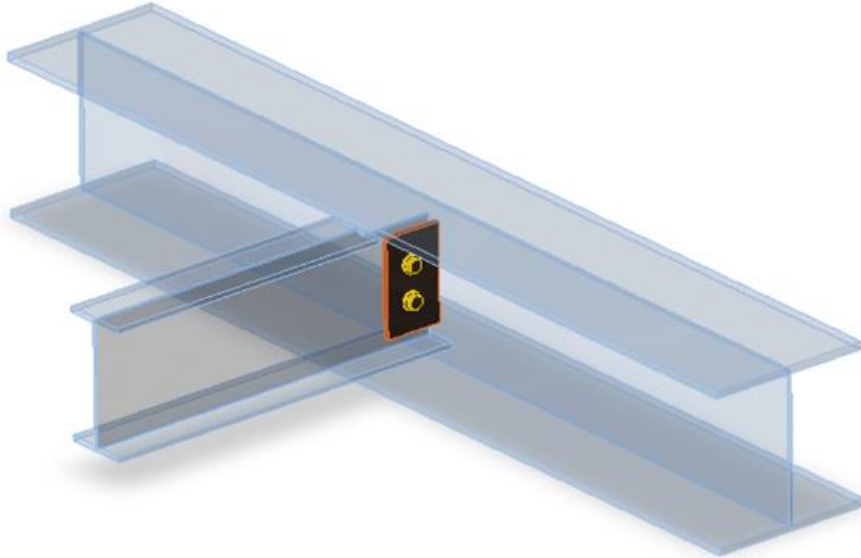
Elemanın alabileceği yükün durumuna göre birleşen parçalar birden çok tipte oluşturulabilir:

- N-Vy-Vz-Mx-My-Mz Tip elemanı iç kuvvetlerin 6 tanesi tanımlar (Bkz. Şekil 3.19).
- N-Vy-Mz Tip elemanı sadece XY düzlemindeki yüklemeye göre yük aktarımını sağlar (Bkz. Şekil 3.20).
- N-Vz-My Tip elemanı sadece XZ düzlemindeki yüklemeye göre yük aktarımını sağlar

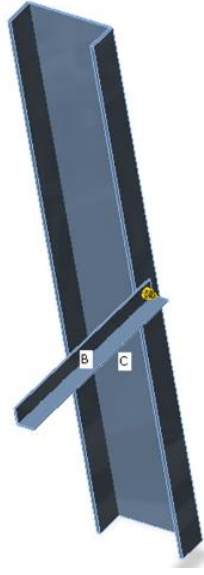
- N-Vy-Vz Tip elemanı sadece normal kuvveti (N) ve kesme kuvvetlerinin (Vy-Vz) aktarımını sağlar (Bkz. Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Tüm iç kuvvetlerin aktarımını sağlandığı alın plakalı birleşim [69]



Şekil 3.22. XZ düzleminde sadece N, Vz, My iç kuvvetleri aktaran birleşim [69]



**Şekil 3.23.** Kafes elemanda guse plakası bağlantısı sadece  $N$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  kuvvetlerini akataran birleşim [69]

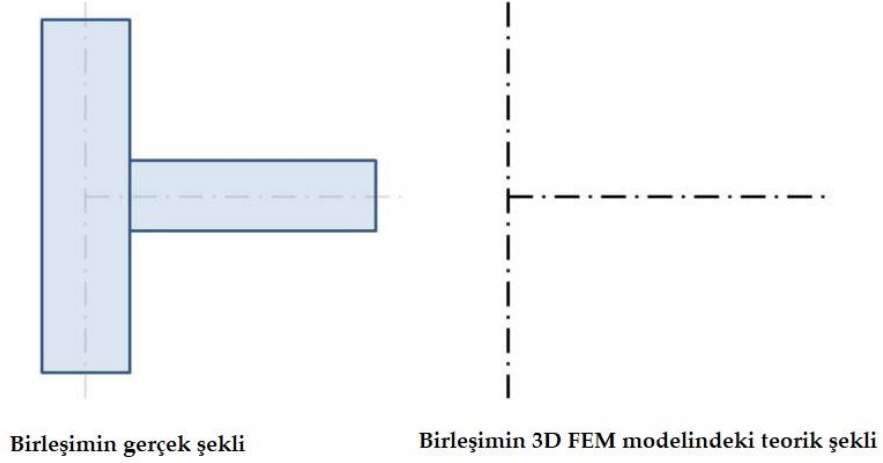
Çerçeve sistemlerde her bir düğüm noktası kendi içinde dengededir. Eğer CBFEM modelindeki her bir elemanın uç kuvvetleri ayrı ayrı modele detaylı bir şekilde tanımlanırsa tüm sistem için denge şartı sağlanmış olacaktır. Bu nedenle, modelde mesnetleri tanımlamak gerekli değildir. Bununla beraber, pratik sonuçlar için, ezileme elemanının uç noktalarında tüm mesnet şartlarını tanımlamak daha iyi olacaktır. Bu ne gerilme dağılımını ne de iç kuvvetleri etkileyecektir. Sadece o noktada yer değiştirmelerin gösterimini sağlayacaktır.

Her bir elemanı ayrı ayrı mesnet durumları tanımlamak, sistem analizinde ortaya çıkacak stabil olmayan mekanizmaların oluşumunu engelleyecektir. Herbir elemanın sabit uzunluğu kendi yüksekliğinin iki katı olarak alınacak ve en az kendi yüksekliği boyunda olabilecektir. Böylelikle, kaynak, kesimler, delik açma, rijitleştirme gibi imalat aşamalarında eleman üzerinde yapılacak işlemler sonucunda uçlara yerleştirilecek rijit bağlantı elemanları ile daha doğru yer değiştirme değerleri hesaplanacaktır.

### 3.7.3. Yükler

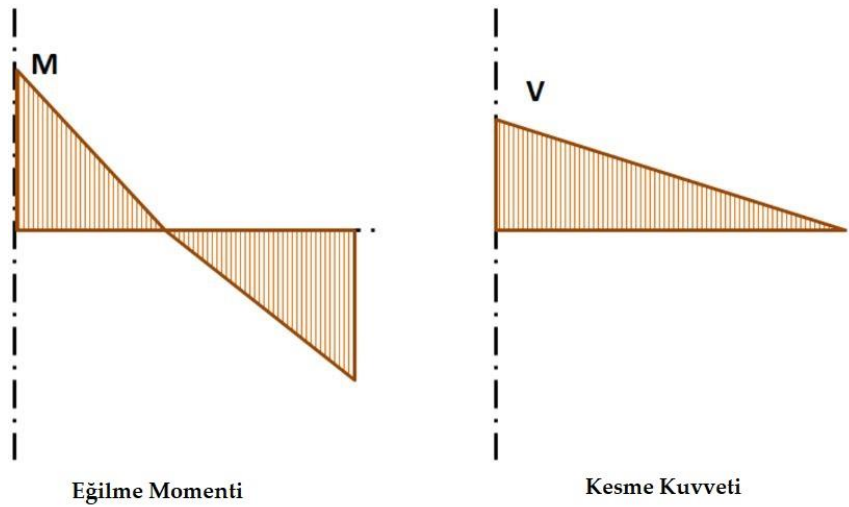
Çerçeve sistemlerde yapılan analizler sonucunda bulunan eleman uç kuvvetleri elemanın her bir parçasına aktarılır. Düğüm noktası tasarımında yapılan elemanların dış merkezci olarak konumlandırılması yük transferi sırasında göz ardı edilmemesi gereken bir durumdur.

CBFEM yöntemi kullanılarak yapılan analiz modeli, gerçek düğüm noktasını çok hassas bir şekilde karşılık gelirken, burada iç kuvvetler, tek tek kirişlerin merkez çizgileri kullanılarak modellenir. Düğüm noktalarının analizi çok idealize edilmiş 3D FEM çubuk modeli üzerinde gerçekleştirilir (Bkz. Şekil 3.22).

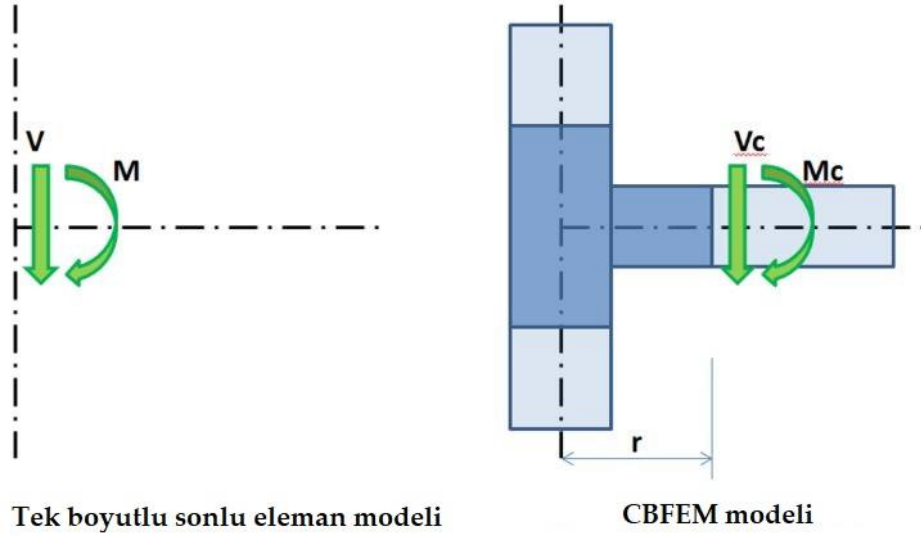


Şekil 3.24. Düşey kolon ve yatay kiriş elemanın üç boyutlu sonlu eleman görünüşü [69]

İç kuvvetler üç boyutlu bir analizde tek boyutlu sonlu eleman parçaları kullanılarak bulunurlar. Şekil 3.23 te verilen iç kuvvetler kullanılarak oluşturulan tek boyutlu sonlu eleman modeli ile CBFEM ile oluşturulan analiz modeli Şekil 3.24 te verilmiştir.



Şekil 3.25. Yatay kiriş üzerinde oluşan moment ve kesme kuvveti diyagramları [69]



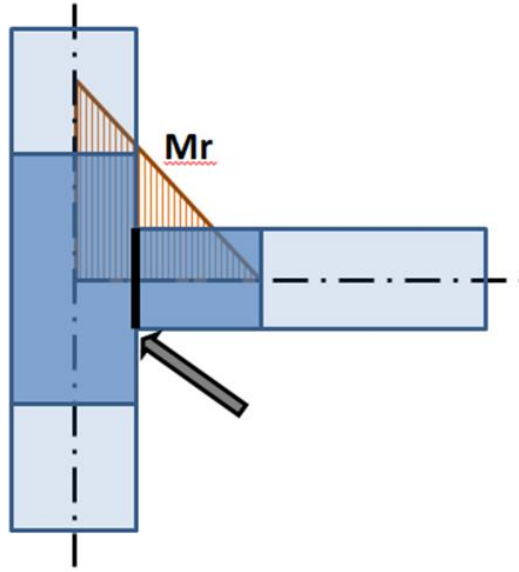
Şekil 3.26. 1D sonlu eleman ve CBFEM modeli (koyu mavi alan etki yüzeyi) [69]

M-moment ve v-kesme kuvveti teorik olarak düğüm noktasına etkimektedir. CBFEM modelinde bu kesit tesirleri teorik düğüm noktasına etki edemeyecektir. Bu sebeple düğüm noktasından “r” kadar bir mesafe için tüm kesit tesirleri tekrar hesaplanarak o noktaya etki ettirilmelidir.

$$M_c = M - V \cdot r \quad (3.10)$$

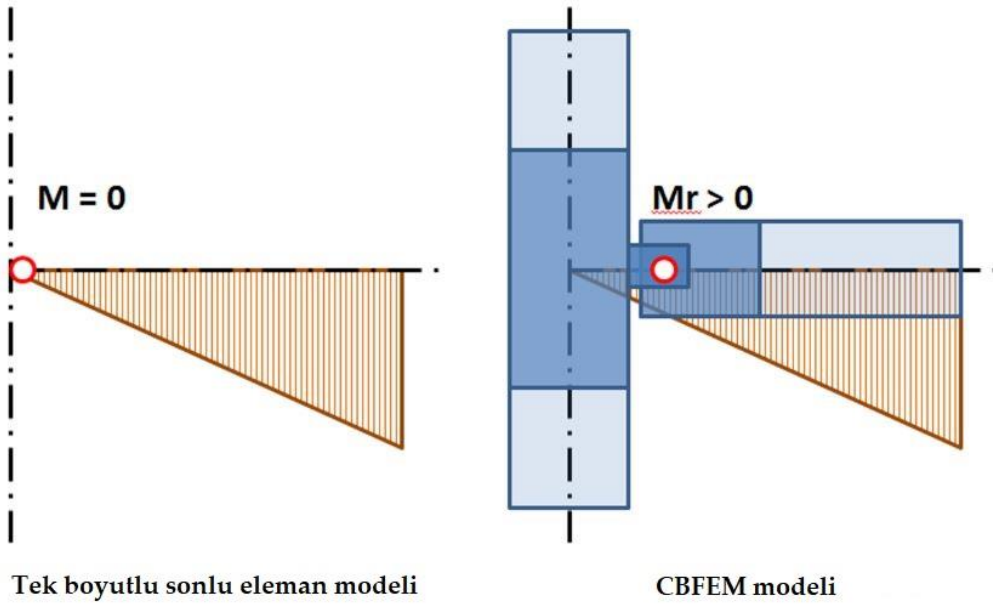
$$V_c = V \quad (3.11)$$

CBFEM modelinde o noktadaki kesit tesirleri  $M_c$  ve  $V_c$  değerleri olacaktır. Düğüm noktasını tasarlarken, o noktanın teorik düğüm noktasına göre gerçek konumunu rölatif olarak bulunmalı ve hesaplanmalıdır. Gerçek noktadaki iç kuvvet değerleri ile teorik düğüm noktasındaki iç kuvvet değerleri birbirlerinden farklı olacaktır. Bu da CBFEM modeli üzerindeki analizlerin azaltılmış yükler altında yapılmasını sağlayacaktır (Bkz. Şekil 3.25).



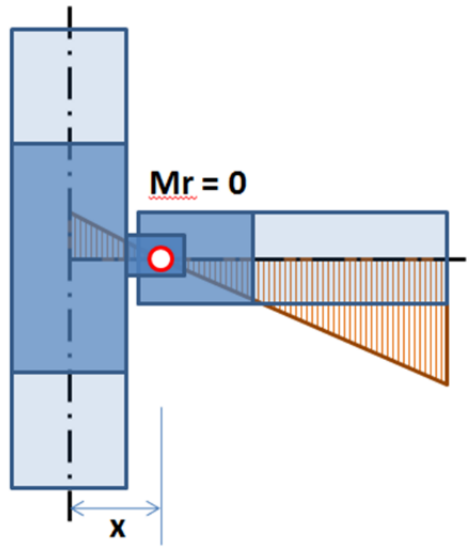
Şekil 3.27. CBFEM modeli üzerindeki eğilme momenti [69]

Düğüm noktasına yükleme yapıldığında gerçekleşen nokta ile teorik düğüm noktasında aynı sonuçların bulunması gerektiği unutulmamalıdır. Bu durum tam rijit bağlı noktalarda geçerli olmakla beraber mafsallı durumlarda farklı bir durum ortaya koyacaktır (Bkz. Şekil 3.27).



Şekil 3.28. Teorik sonlu eleman modeli ile CBFEM modelinde mafsallı birleşim [69]

Şekil 3.27. de gösterilen teorik mafsalsın yeri ile CBFEM modelindeki mafsals yeri birbirlerinden farklıdır. Bu durumda gerçekleşen mafsals yeri ile teorik mafsals yeri birbirleri ile uyuşmamaktadır. Hesaplanan iç kuvvetleri uygulanırken, önemli bir eğilme momenti kaydırılmış düğüm noktasına göre tekrar hesaplanarak uygulanır ya da çözüm yapılamaz. Bu durumda çözüm çok basittir. Tek boyutlu (1D) sonlu eleman modelinde mafsals ya gerçek yerinde kullanılacak ya da kesme kuvvetinin mafsalsda sıfır eğilme momenti yaratacağı yenibir durum tanımlanarak hesap yapılacaktır (Bkz. Şekil 3.28).



Şekil 3.29. Kiriş üzerindeki eğilme momentinin sıfır olabilmesi için kaydırılmış yeni sistem [69]

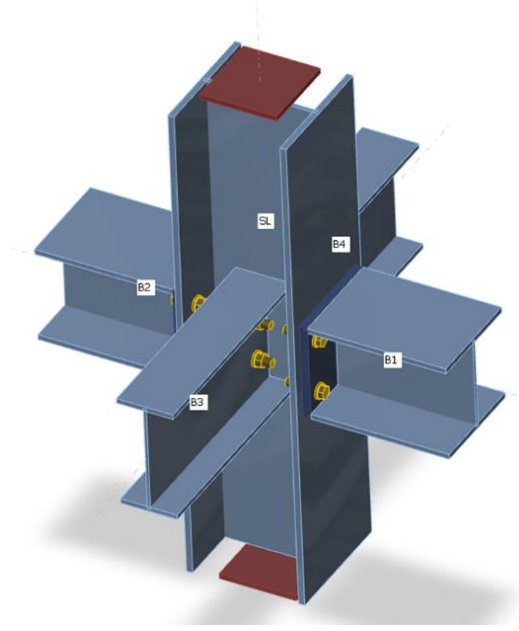
#### 3.7.4. Dayanım analizi

Düğüm noktasında yapılan analiz malzeme bakımında doğrusal olmayan bir davranışı tanımlamaktadır. Yük artışları kademeli olarak yapılırken gerilme davranışına bakılır. IDEA CONNECTION programında iki çeşit analiz yöntemi vardır:

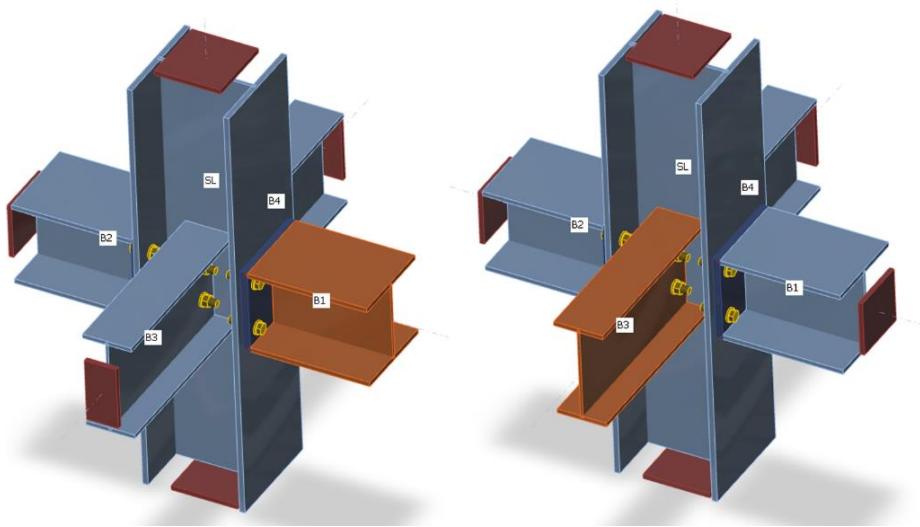
- Düğüm noktası ya da sistemin %100 yüke ulaşma durumu: Burada sistem üzerine uygulanan yük değeri %100 değerine ulaşınca gerilmeler ve yer değiştirmeler hesaplanır.
- En son limit duruma ulaşma durumu: Burada sistem üzerinde kullanıcı tarafından analiz başlamadan önce tanımlanan plastik şekil değiştirme değerine ulaşıldığı durumda gerilmeler ve yer değiştirmeler hesaplanır. Bu çözümde yüklemenin %100 e ulaşması beklenmez.

### 3.7.5. Rijitlik analizi

CBFEM modeli her bir yapı elemanını ayrı ayrı rijitliklerini hesaplar. Doğru rijitlik analizinin yapılabilmesi için her bir eleman ayrı ayrı analiz edilmelidir. Bir elemanda hesaplanan rijitlik değerleri diğer elemanların rijitliklerinden etkilenmezler fakat birleşim noktalarında oluşturulan sonlu eleman düğüm noktalarında etkileşim görülecektir. Şekil 3.29 da SL kolonunda ezilme dayanımı hesaplanırken, B1 ve B3 kirişlerinde rijitlik analizleri yapılmaktadır (Bkz. Şekil 3.30).

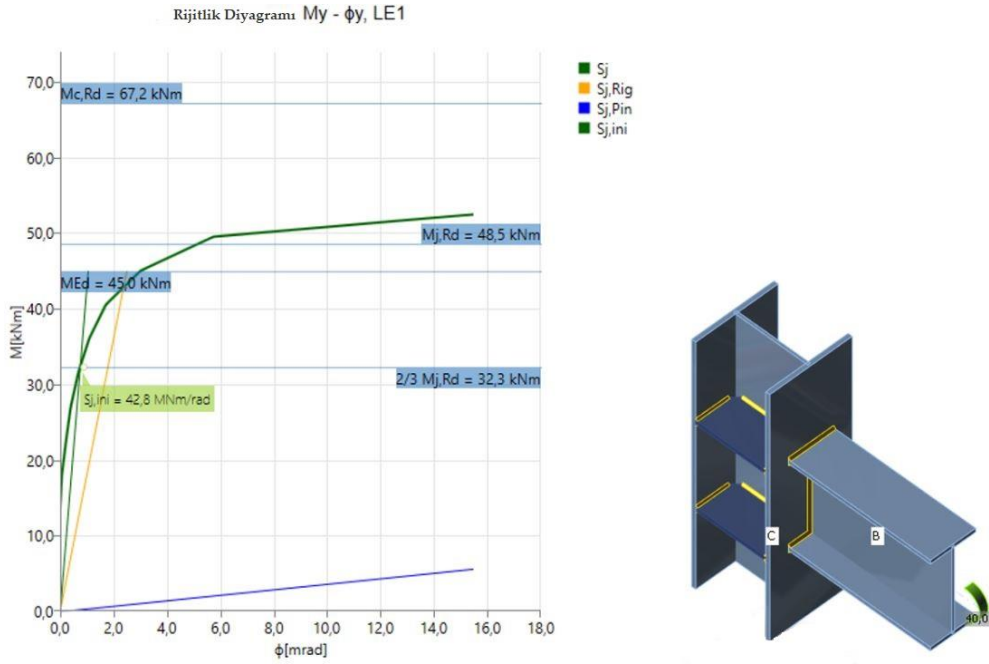


Şekil 3.30. SL elemanı üzerinde mesnetlerde yapılacak dayanım analiz modeli [69]



Şekil 3.31. B1 ve B3 kirişlerinin mesnetlerinde yapılacak rijitlik analiz modelleri [69]

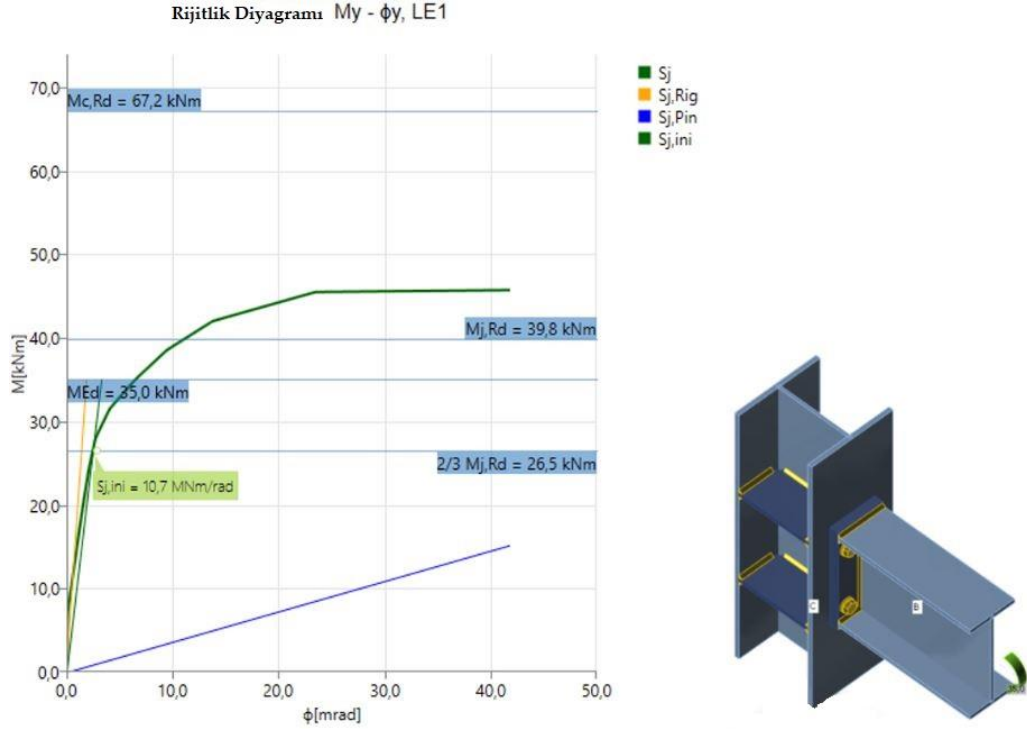
Yüklemeler analiz yapılacak eleman üzerine etki ettirilmelidir. Eğer  $M_y$  eğilme momenti etki ettiriliyorsa y-eksenindeki dönme rijitliği hesaplanacaktır. Eğer  $M_z$  eğilme momenti etki ettiriliyorsa z-eksenindeki dönme rijitliği hesaplanacaktır. Eğer N-eksenel kuvveti etki ettiriliyorsa, birleşimin aksel rijitliği hesaplanacaktır. Bu analiz sonucunda program çıktısı olarak rijitlik diyagramı elde edilmektedir (Bkz. Şekil 3.31, Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Rijit kaynaklı birleşim sonuç grafiği [69]

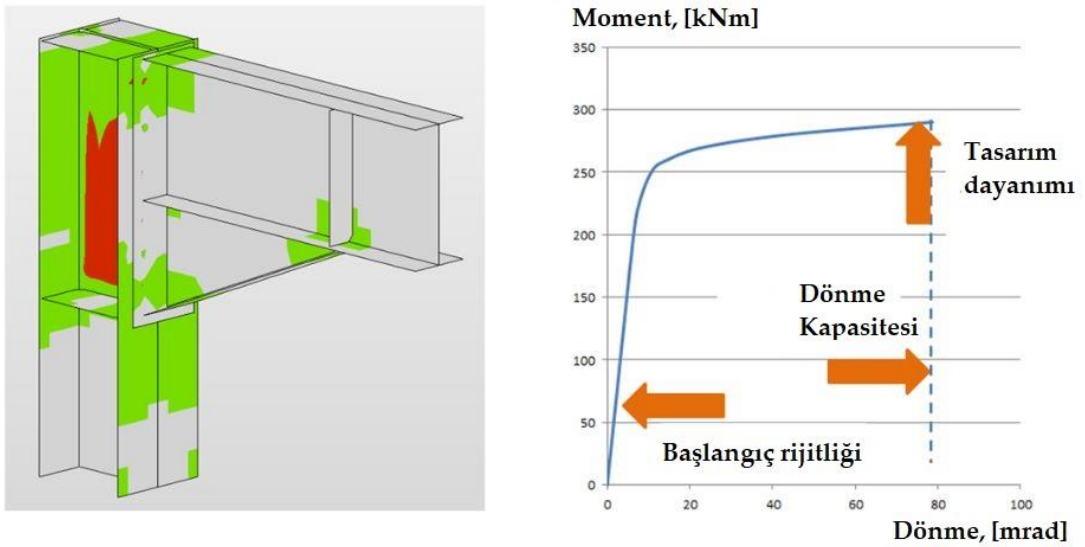
Bu diyagramda;

- Tasarım yük düzeyi
- %5 eşdeğer şekil değiştirme değeri için birleşimin limit kapasite değeri
- Deprem tasarımında gerekli olan birleştirilen parçanın limit kapasite değeri
- Başlangıç rijitliğinin 2/3 değeri
- Başlangıç rijitliği  $S_{j,ini}$
- İkincil rijitlik değeri  $S_{js}$
- Birleşimin kategorisi-rijit ve mafsallı
- Dönme şekil değiştirmesi(deformasyonu),  $\Phi$
- Dönme kapasitesi,  $\Phi_c$  bulunur.



Şekil 3.33. Yarı Rijit bulonlu birleşim sonuç grafiği [69]

Bu sistem üzerinde yapılan analizde kolonun gövde panel bölgesindeki plastik şekil değiştirme değeri %5 değerine ulaştığında, plastik bölge hızlı bir şekilde yayılmaya başlamaktadır (Bkz. Şekil 3.33).



Şekil 3.34. Plastik bölgenin %5 plastik şekil değiştirme sınırına ulaştıktan sonra yayılma grafiği [69]

#### 4. SAYISAL ANALİZ

Belli tip birleşimler yönetmelikler içerisinde ön tanımlı olarak bileşen metoduna göre tarif edilmiş durumdadır. Bazı tip birleşimler ise yönetmeliklerde tarif edilmemişlerdir. Bunların arasında en önemlileri kutu profil birleşimleri, boru profil birleşimleri ve H profillere zayıf yönünden bağlanan I kirişlerin birleşimleridir. Bu birleşimlerin davranışlarının doğrudan modellenmesi kolay olmamaktadır. Dolayısı bu tez kapsamında bu tip birleşimlerin davranışları incelemek üzere Çizelge 4.1’de verilen numuneler tasarlanmıştır. Bu numuneler gruplara ayrılmaktadır. A grubunda H profile zayıf yönden bağlanan birleşimler yer almaktadır. 101-102-103 numunelerinde HEA300 kolona bağlanan IPE330 kirişin kaynaklı, alın plakalı ve levhali bulonlu birleşimleri incelenmektedir. 201-202-203 numunelerinde IPE330 kolona bağlanan IPE330 kirişin kaynaklı, alın plakalı ve levhali bulonlu birleşimleri incelenmektedir. 301-302-303 numunelerinde IPE330 kolona bağlanan HEA180 kirişin kaynaklı, alın plakalı ve levhali bulonlu birleşimleri incelenmektedir. B grubu numunelerde aynı kolon ve kiriş profillerinin bu sefer kirişin kolona kuvvetli yönünden bağlandığı birleşimler incelenmiştir. C grubundaki numunelerde ise boru ve kutu profillere HEA180 ve IPE330 profil kirişlerin bağlandığı birleşimler incelenmiştir. 101-102-103-104 numunelerinde kirişin doğrudan kolona kaynaklandığı birleşimler incelenirken 201-202-203-204 numunelerinde ise kirişin kolona takviye levhası aracılığı ile bağlandığı birleşimler incelenmektedir. A ve B grubundaki 101-102-103 numunelerinde güçlü kolon zayıf kiriş durumu, 201-202-203 numunelerinde zayıf kolon güçlü kiriş durumu ve 301-302-303 numunelerinde akma şekil değiştirme momentlerinin birbirine yakın olduğu durum incelenmektedir.

**Çizelge 4.1.** *Numune Bilgileri*

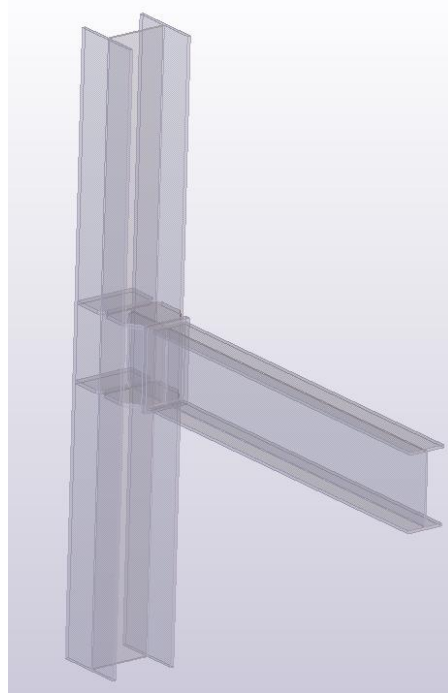
NO	NUMUNE ADI	KOLON	KİRİŞ	TİP
1	A101	HEA300	IPE330	ZAYIF YÖN
2	A102	HEA300	IPE330	ALIN PLAKALI /ZAYIF YÖN
3	A103	HEA300	IPE330	EK LEVHALI/ZAYIF YÖN
4	A201	IPE330	IPE330	ZAYIF YÖN
5	A202	IPE330	IPE330	ALIN PLAKALI /ZAYIF YÖN
6	A203	IPE330	IPE330	EK LEVHALI /ZAYIF YÖN
7	A301	IPE330	HEA180	ZAYIF YÖN

**Çizelge 4.1. (Devam) Numune Bilgileri**

8	A302	IPE330	HEA180	ALIN PLAKALI /ZAYIF YÖN
9	A303	IPE330	HEA180	EK LEVHALI /ZAYIF YÖN
10	B101	HEA300	IPE330	KUVVETLİ YÖN
11	B102	HEA300	IPE330	ALIN PLAKALI / KUVVETLİ YÖN
12	B103	HEA300	IPE330	EK LEVHALI / KUVVETLİ YÖN
13	B201	IPE330	IPE330	KUVVETLİ YÖN
14	B202	IPE330	IPE330	ALIN PLAKALI / KUVVETLİ YÖN
15	B203	IPE330	IPE330	EK LEVHALI / KUVVETLİ YÖN
16	B301	IPE330	HEA180	KUVVETLİ YÖN
17	B302	IPE330	HEA180	ALIN PLAKALI / KUVVETLİ YÖN
18	B303	IPE330	HEA180	EK PLAKALI / KUVVETLİ YÖN
19	C101	BORU	HEA180	NORMAL
20	C102	KUTU	HEA180	NORMAL
21	C103	BORU	IPE330	NORMAL
22	C104	KUTU	IPE330	NORMAL
23	C201	BORU	HEA180	TAKVİYELİ
24	C202	KUTU	HEA180	TAKVİYELİ
25	C203	BORU	IPE330	TAKVİYELİ
26	C204	KUTU	IPE330	TAKVİYELİ

Bu çalışmada öncelikle Tekla Structures Programı kullanılarak numunelerin modelleri oluşturulmuştur. Örnek model görüntüleri Şekil 4.1’de yer almaktadır. Daha sonrasında Tekla structures programında hazırlanan modelleri İdea Statica Analiz programına aktararak numunelerin rijitlik analizleri yapılmıştır. Rijitlik analizi yapılırken  $M_c$  kapasite momentine yakın  $M_e$  momenti ile yüklenerek hiçbir kesme kuvveti olmaksızın akma gerilmesinden dolayı oluşan akma şekil değiştirme limitinin 5 farklı değeri (%0,5, %1, %2, %5, %10) için sonuçlar elde edilmiştir. Her bir limit değerinde akma şekil değiştirmesinin miktarı verilen limite dayandığından dolayı birleşimin dönebildiği miktar sınırlı kalmıştır. Bunun sonucu olarak akma şekil değiştirme oranı arttıkça sistem daha çok dönmüştür. Eurocode yönetmeliğinde akma şekil değiştirmesinin limit değeri %5 olarak kabul edilmesi önerilmektedir [71]. Akma şekil değiştirmesi için limiti %0,5, %1 ve %2 değerleri deformasyonların oluşmaya başladığı ilk anlarda birleşimin ne kadar dönebildiğinin incelenmesini amaçlamaktadır. Yönetmelikler malzemelerin %15 dönme kapasitesine sahip olmasını zorunlu kılmaktadır. Yapılan testlerde mevcut kullanılan malzemelerin dönme miktarının %20

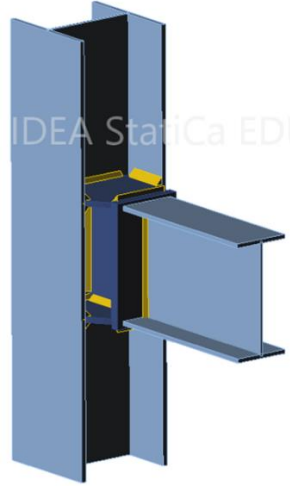
değerini aştığı görülmektedir. %10 limit değeri ise ileri deformasyon değerlerindeki dönme miktarlarının incelenmesini amaçlamaktadır. İdea Statica Programına ait örnek analiz raporu EK-2’de yer almaktadır.



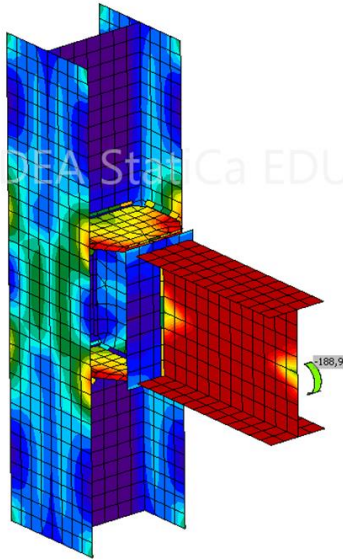
**Şekil 4.1.** Örnek Tekla Structures modeli

Sonraki aşamada  $M_e$  momenti altında %5 akma şekil değiştirme limitindeki eşdeğer gerilme ve akma şekil değiştirme diyagramları elde edilmiştir. Bu diyagramlar gerilme ve şekil değiştirmelerin dağılımının görülmesi açısından önem arz etmektedir. Akma şekil değiştirme diyagramında renkli olmayan gri bölgelerde akma şekil değiştirmelerinin olmadığı söylenemez. Akma sınırına kadar ulaşıp akmaların başlamadığı fakat diğer bölgelerde limite ulaşıldığı için şekil değiştirmenin ilerleyemediği durumlar olabilmektedir.

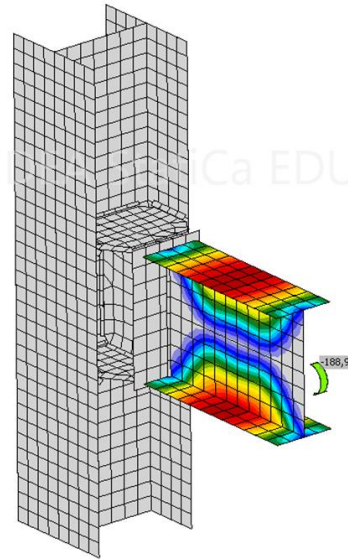
#### 4.1. Eşdeğer gerilme ve Akma şekil değiştirme diyagramları



a) Birleşim modeli



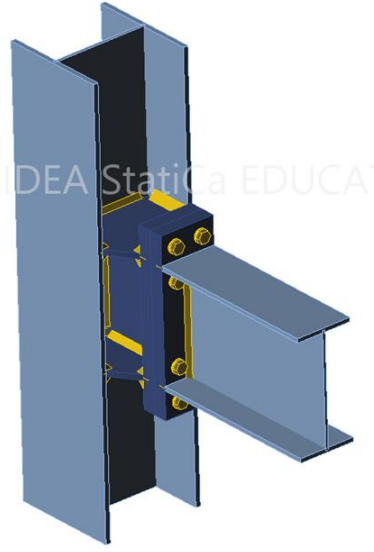
b) Eşdeğer gerilme



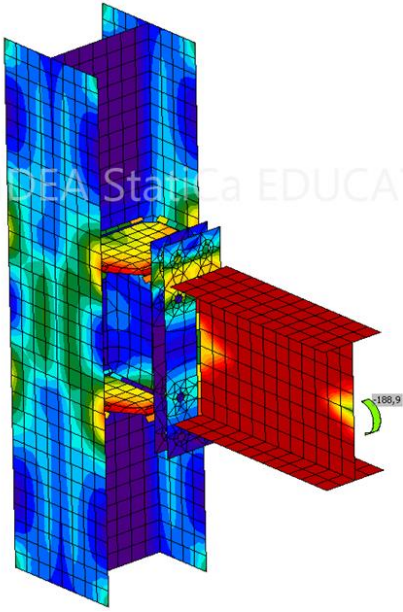
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.2. A101 numunesine ait diyagramlar

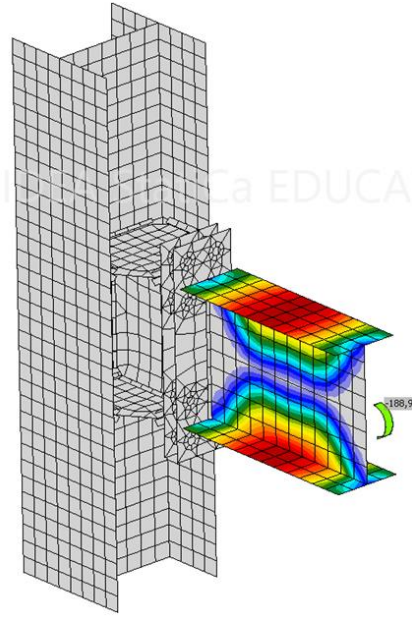
Şekil 4.2'deki akma şekil değiştirme diyagramı incelendiğinde güçlü kolon zayıf kiriş durumuna bağlı olarak beklendiği şekilde asıl deformasyonun kirişin mafsalsal boyu kadar ötesinde gerçekleştiği görülmektedir. Eşdeğer gerilme diyagramı incelendiğinde başlık içinde kalan üst ve alt levhada, kirişten kolonun flanşlarına doğru bir gerilme akması olduğu kırmızı renk ile görülmektedir. Levha üzerinde akma şekil değiştirmeleri mevcuttur fakat kiriş üzerindeki akma şekil değiştirmeleri limite ulaşması nedeniyle levha üzerindeki şekil değiştirmeler sınırlı kalmıştır.



a) Birleşim modeli



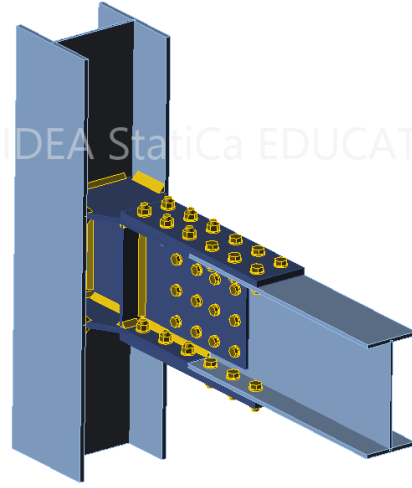
b) Eşdeğer gerilme



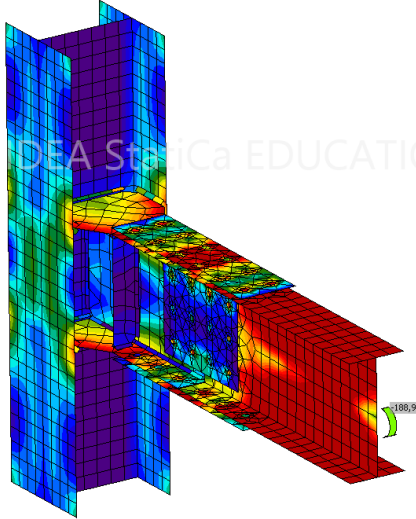
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.3. A102 numunesine ait diyagramlar

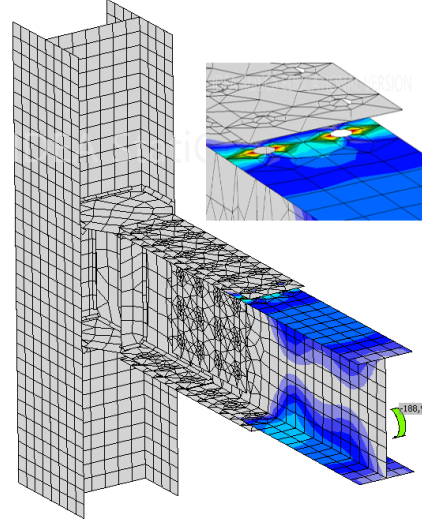
Şekil 4.3 incelendiğinde A101 numunesinde olduğu gibi güçlü kolon zayıf kiriş durumuna bağlı olarak beklendiği şekilde asıl deformasyonun kirişin mafsalsal boyu kadar ötesinde gerçekleştiği görülmektedir. A101 numunesinden farklı olarak A102 numunesi alın plakalı birleşimden oluşmaktadır. Alın plakalarının kirişin üst flansına denk gelen bölgelerinde de akmaların olduğu fakat plastik mafsalsal kirişte oluştuğu görülmüştür.



a) Birleşim modeli



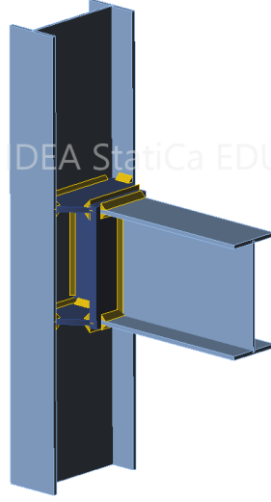
b) Eşdeğer gerilme



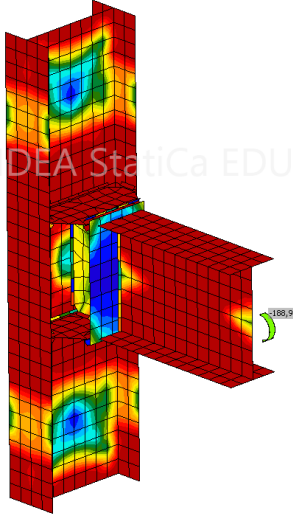
c) Plastik şekil değiştirme

**Şekil 4.4.** A103 numunesine ait diyagramlar

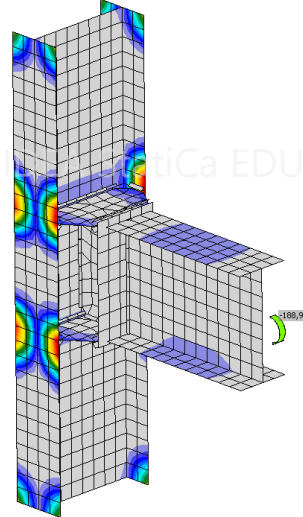
Şekil 4.4 incelendiğinde birleşimdeki levhalar üzerinde gerilme artışları ve akma şekil değiştirmeleri olduğu görülmektedir. Fakat asıl akma şekil değiştirmesi kirişin gövdesi üzerinde olmaktadır. Akma şekil değiştirme diyagramı detaylı incelendiğinde bu tip birleşimlerin bir zayıflığı olduğu anlaşılmıştır. Bağlantıda kiriş yönündeki bulon deliği çevresinde gerilemeler artmakta ve delik ovalleşerek akma şekil değiştirme limitine ulaşılmaktadır. Plastik mafsalın kiriş üzerinde olmasının sağlanması için alınabilecek önlemler bulunmaktadır. Bunlar ark veya ön germeli bulon kullanılması, ek bir cıvata serisi eklenmesi ve kiriş üzerinde zayıflatma yapılması olarak söylenebilir.



a) Birleşim modeli



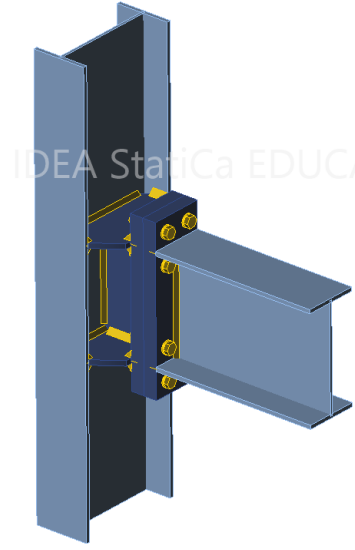
b) Eşdeğer gerilme



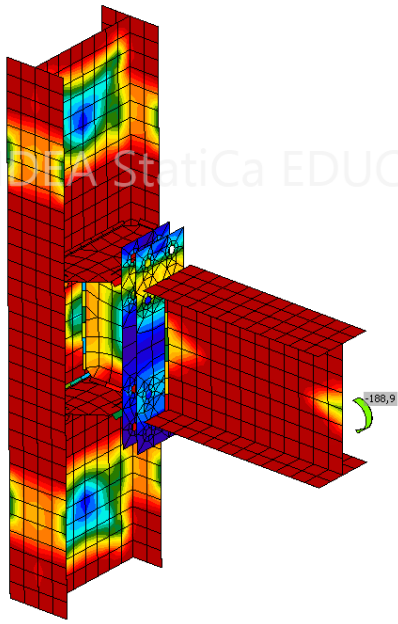
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.5. A201 numunesine ait diyagramlar

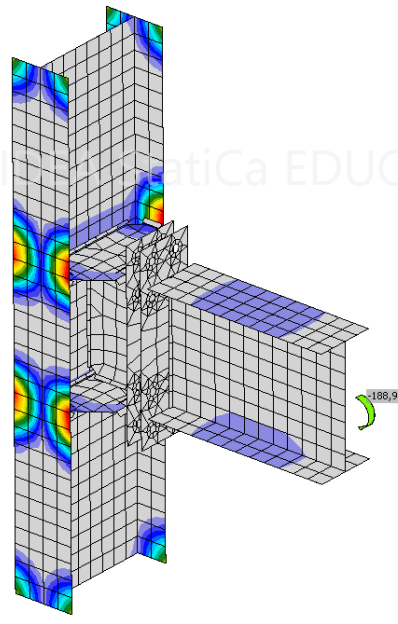
Şekil 4.5'deki akma şekil değiştirme diyagramı incelendiğinde zayıf kolon güçlü kiriş durumuna bağlı olarak beklendiği şekilde kolon üzerinde büyük akma şekil değiştirmeleri olduğu görülmektedir. Eşdeğer gerilme diyagramı incelendiğinde hem kolon hem kiriş üzerinde gerilmelerin arttığı görülmektedir. Hem kolon hem de kiriş üzerinde akma şekil değiştirmeleri olmakta fakat limit değerine kolonun flanşlarında ulaşılmaktadır. Beklendiği şekilde kolonun dayanımın verilen momenti taşımaya yeterli olmadığı görülmektedir. Deneysel çalışmalarda bu numune için kolon flanşlarında yarılmalar olması beklenir.



a) Birleşim modeli



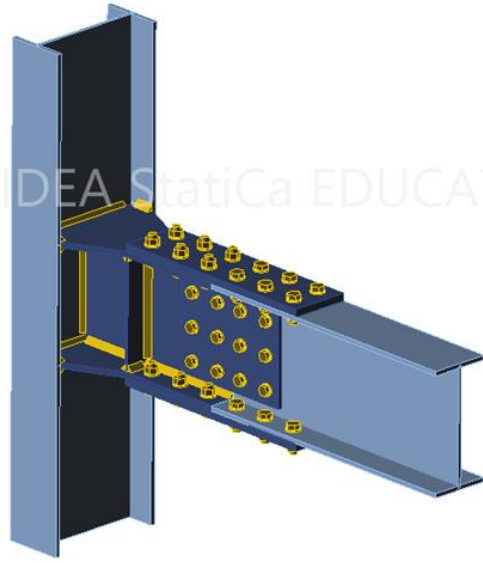
b) Eşdeğer gerilme



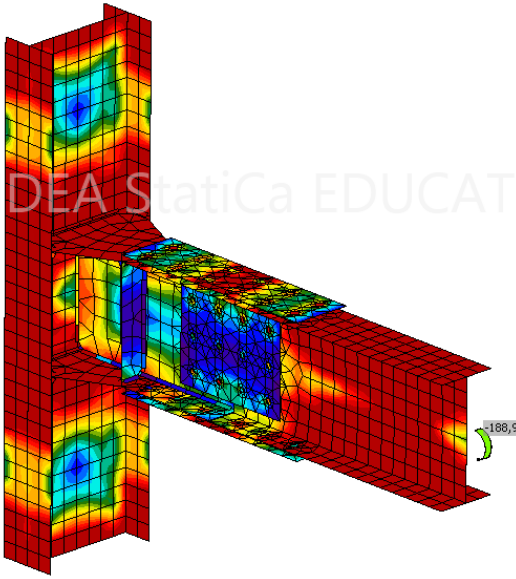
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.6. A202 numunesine ait diyagramlar

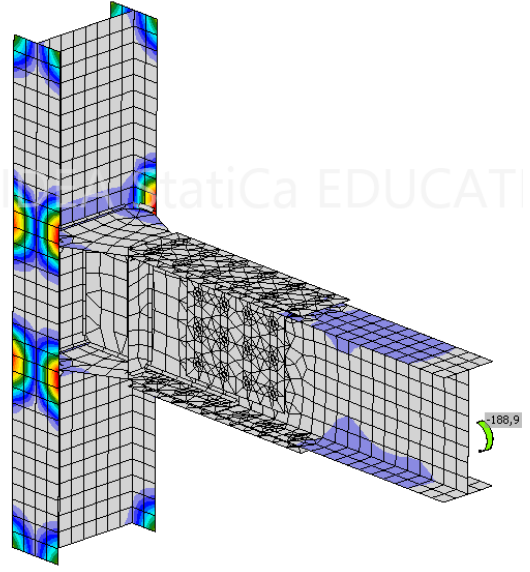
Şekil 4.6 incelendiğinde A201 numunesinde olduğu gibi zayıf kolon güçlü kiriş durumuna bağlı olarak beklendiği şekilde kolon üzerinde büyük akma şekil değiştirmeleri olduğu görülmektedir. Hem kolon hem de kiriş üzerinde akma şekil değiştirmeleri olmakta fakat limit değerine kolonun flanşlarında ulaşılmaktadır. Beklendiği şekilde kolonun dayanımın verilen momenti taşımaya yeterli olmadığı görülmektedir.



a) Birleşim modeli



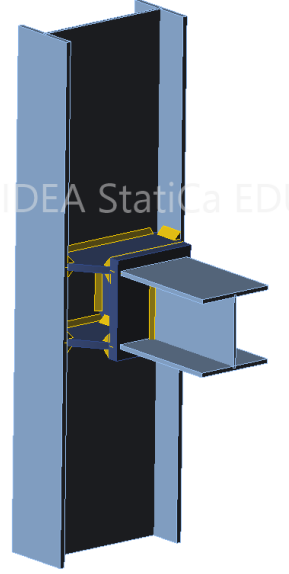
b) Eşdeğer gerilme



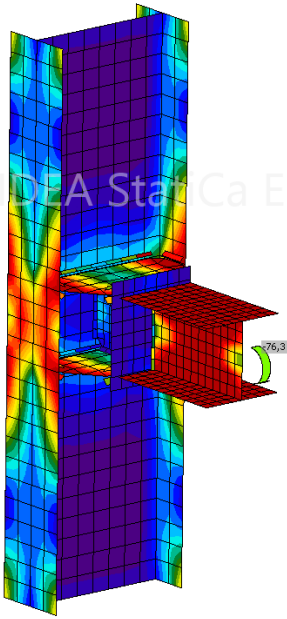
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.7. A203 numunesine ait diyagramlar

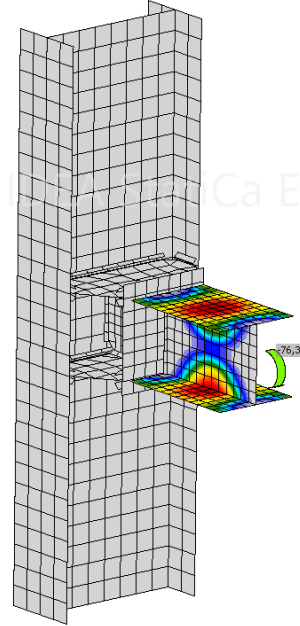
Şekil 4.7 incelendiğinde A201 numunesinde olduğu gibi zayıf kolon güçlü kiriş durumuna bağlı olarak beklendiği şekilde kolon üzerinde büyük akma şekil değiştirmeleri olduğu görülmektedir. Hem kolon hem de kiriş üzerinde akma şekil değiştirmeleri olmakta fakat limit değerine kolonun flanşlarında ulaşılmaktadır. Beklendiği şekilde kolonun dayanımının verilen momenti taşımaya yeterli olmadığı görülmektedir.



a) Birleşim modeli



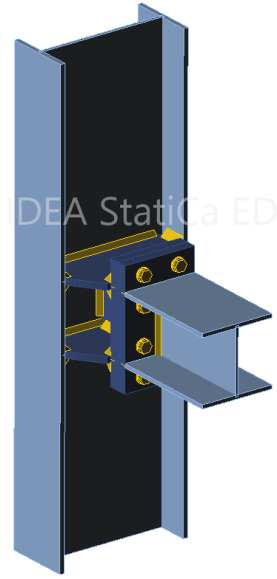
b) Eşdeğer gerilme



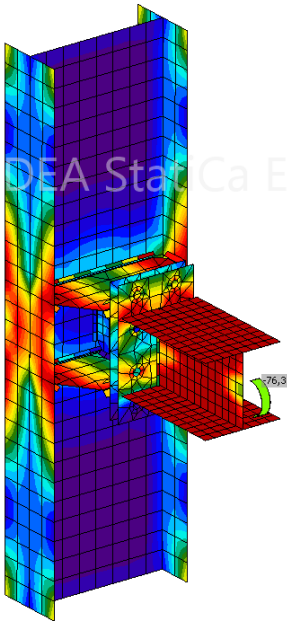
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.8. A301 numunesine ait diyagramlar

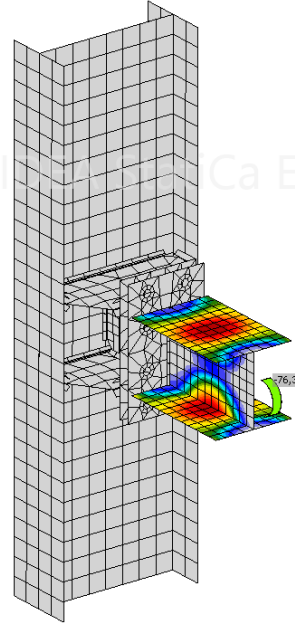
Bu tip numunelerde plastikleşme momentleri birbirine yakın olan kolon ve kiriş profilleri seçilmiştir. Şekil 4.8'deki eşdeğer gerilme diyagramı incelendiğinde hem kiriş hem de kolon üzerinde gerilmelerin arttığı görülmektedir. Fakat akma şekil değiştirme diyagramı incelendiğinde kirişin kolondan önce deformasyon limitine ulaştığı görülmüştür.



a) Birleşim modeli



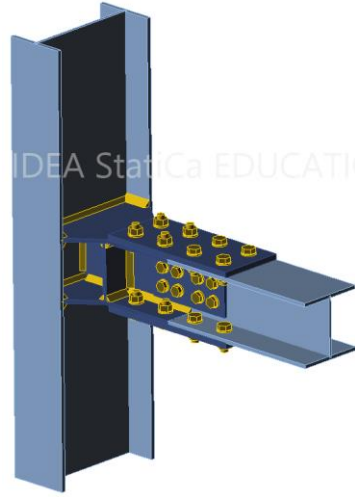
b) Eşdeğer gerilme



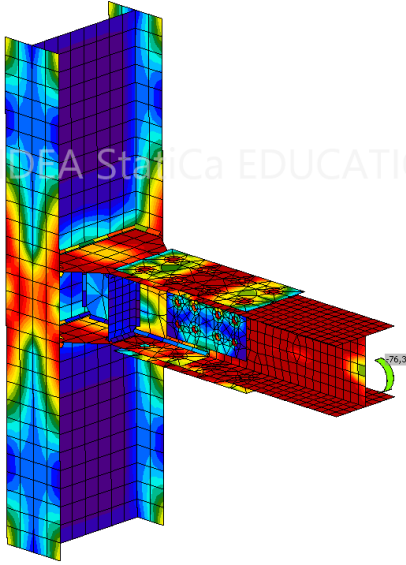
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.9. A302 numunesine ait diyagramlar

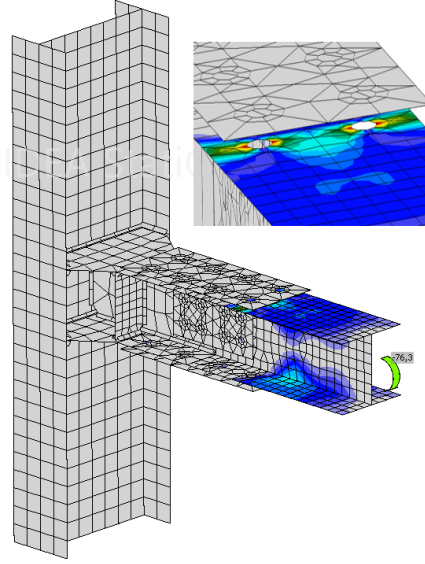
Şekil 4.9 incelendiğinde A301 numunesinde olduğu gibi hem kiriş hem de kolon üzerinde gerilmeler artmakta fakat akma şekil değiştirme limitine kirişte ulaşılmaktadır. A301 numunesinden farklı olan alın plakalarının kirişin üst flanşına denk gelen bölgelerinde de akmaların olduğu fakat plastik mafsalın kirişte olduğu görülmüştür.



a) Birleşim modeli



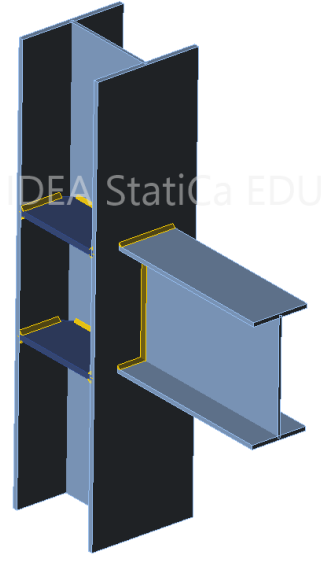
b) Eşdeğer gerilme



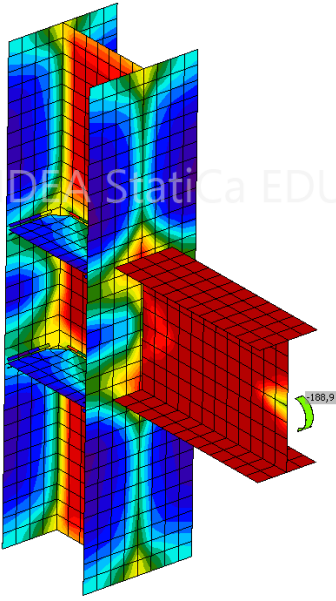
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.10. A303 numunesine ait diyagramlar

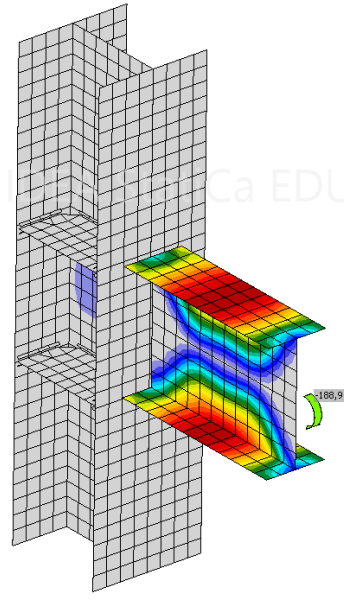
Şekil 4.10 incelendiğinde birleşimdeki kolon kiriş ve levhalar üzerinde gerilme artışları ve akma şekil değiştirmeleri olduğu görülmektedir. Fakat asıl akma şekil değiştirmesi kirişin gövdesi üzerindedir. Akma şekil değiştirme diyagramı detaylı incelendiğinde A301 ve A302 numunelerinden farklı olarak bu tip birleşimlerin zayıflığı nedeniyle kiriş yönündeki bulon deliği çevresinde gerilemeler artmakta ve delik ovalleşerek akma şekil değiştirme limitine ulaşılmaktadır. Plastik mafsalın kiriş üzerinde olmasının sağlanması için önlemler alınmalıdır.



a) Birleşim modeli



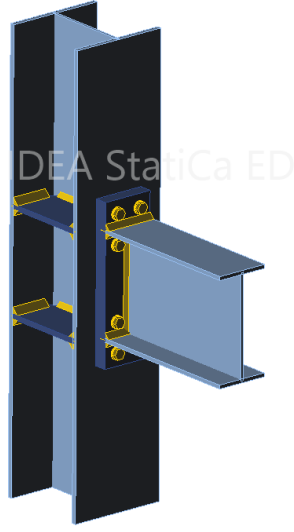
b) Eşdeğer gerilme



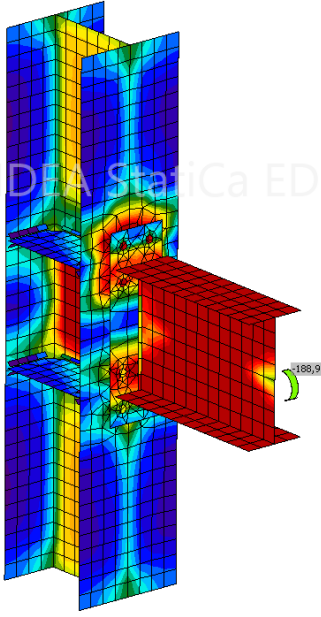
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.11. B101 numunesine ait diyagramlar

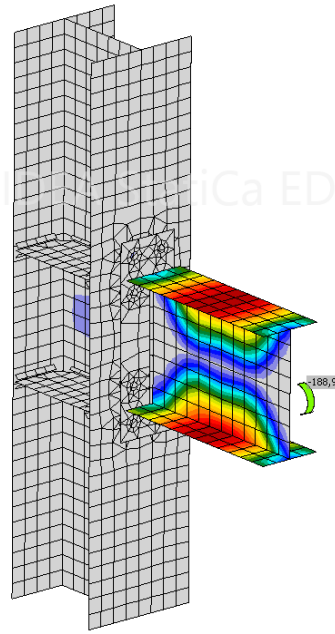
Şekil 4.11'deki akma şekil değiştirme diyagramı incelendiğinde güçlü kolon zayıf kiriş durumuna bağlı olarak beklendiği şekilde asıl deformasyonun kirişin mafsal boyu kadar ötesinde gerçekleştiği görülmektedir. Kolonun panel bölgesinde de akma şekil değiştirmeleri mevcuttur fakat kiriş üzerindeki akma şekil değiştirmeleri limite ulaşması nedeniyle levha üzerindeki şekil değiştirmeler sınırlı kalmıştır.



a) Birleşim modeli



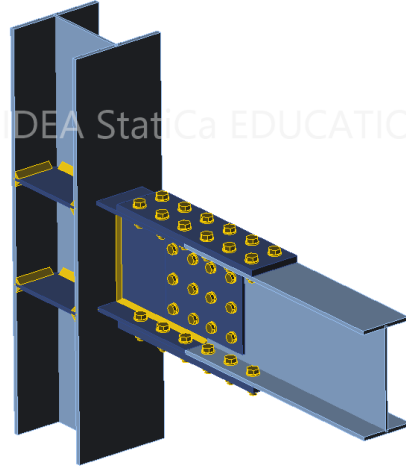
b) Eşdeğer gerilme



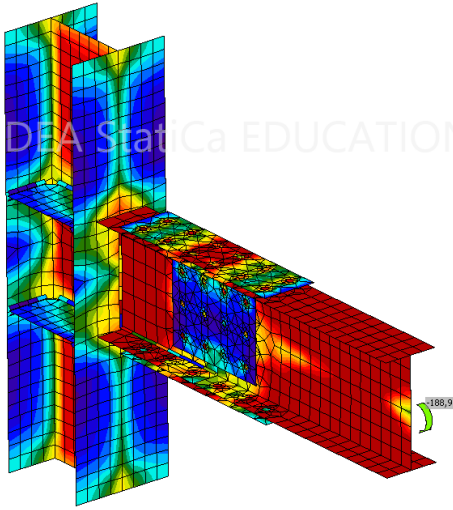
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.12. B102 numunesine ait diyagramlar

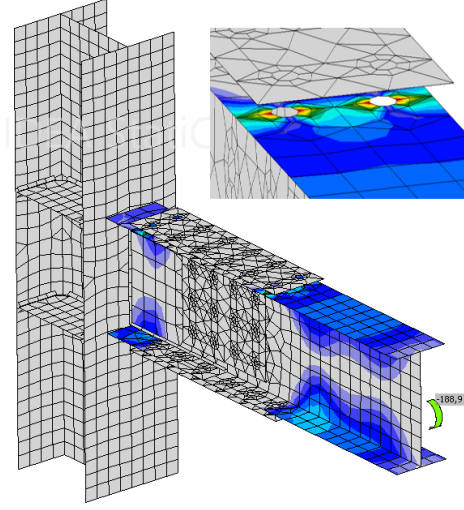
Şekil 4.12 incelendiğinde B101 numunesinde olduğu gibi güçlü kolon zayıf kiriş durumuna bağlı olarak beklendiği şekilde asıl deformasyonun kirişin mafsallık boyu kadar ötesinde gerçekleştiği görülmektedir. B101 numunesinden farklı olarak A102 numunesi alın plakalı birleşimden oluşmaktadır. Alın plakasında ve kolonun panel bölgesinde akma şekil değiştirmeleri mevcuttur fakat kiriş üzerindeki akma şekil değiştirmeleri limite ulaşması nedeniyle levha üzerindeki şekil değiştirmeler sınırlı kalmıştır.



a) Birleşim modeli



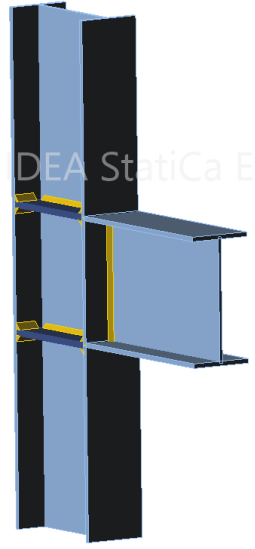
b) Eşdeğer gerilme



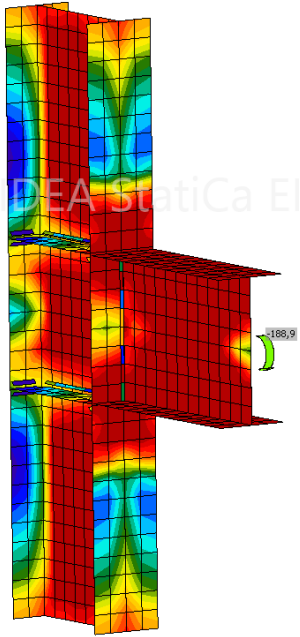
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.13. B103 numunesine ait diyagramlar

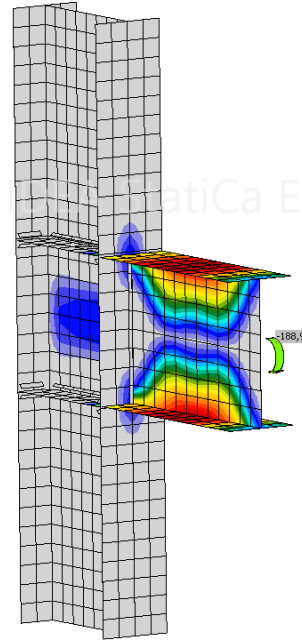
Şekil 4.13 incelendiğinde birleşimdeki kolon kiriş ve levhalar üzerinde gerilme artışları ve akma şekil değiştirmeleri olduğu görülmektedir. Fakat asıl akma şekil değiştirmesi kirişin gövdesi üzerindedir. Akma şekil değiştirme diyagramı detaylı incelendiğinde B101 ve B102 numunelerinden farklı olarak bu tip birleşimlerin zayıflığı nedeniyle kiriş yönündeki bulon deliği çevresinde gerilmeler artmakta ve delik ovalleşerek akma şekil değiştirme limitine ulaşılmaktadır. Plastik mafsalın kiriş üzerinde olmasının sağlanması için ek önlemler alınmalıdır. Birleşimin kolon flanşına kaynaklanan kısmının da kiriş gibi çalışması nedeniyle artan akma şekil değiştirmelerine dikkat edilmelidir.



a) Birleşim modeli



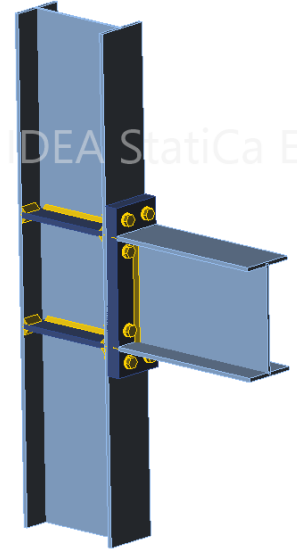
b) Eşdeğer gerilme



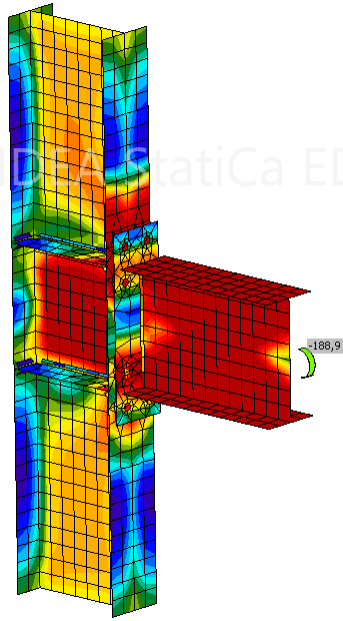
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.14. B201 numunesine ait diyagramlar

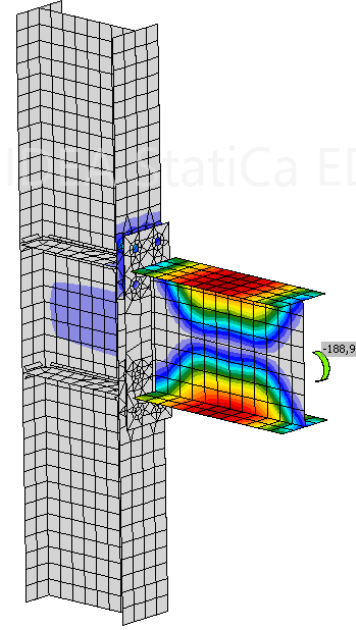
Şekil 4.14 incelendiğinde beklendiği şekilde asıl deformasyonun kolona güçlü yönünden bağlana kiriş üzerinde olduğu görülmektedir. Kolon panel bölgesinde ve kirişin kaynaklandığı bölgelerde akma şekil değiştirmelerinin artmakta fakat %5 limitine kiriş üzerinde ulaşılmaktadır. Berkitme levhalarının kalınlıkları arttırılarak panel bölgesindeki şekil değiştirmelerin azaltılması mümkündür.



a) Birleşim modeli



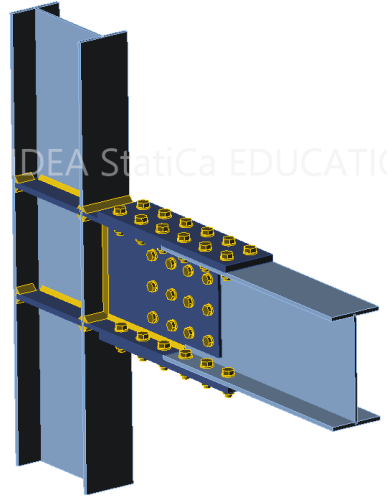
b) Eşdeğer gerilme



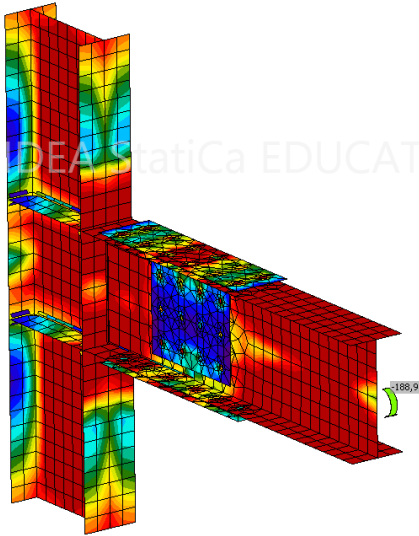
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.15. B202 numunesine ait diyagramlar

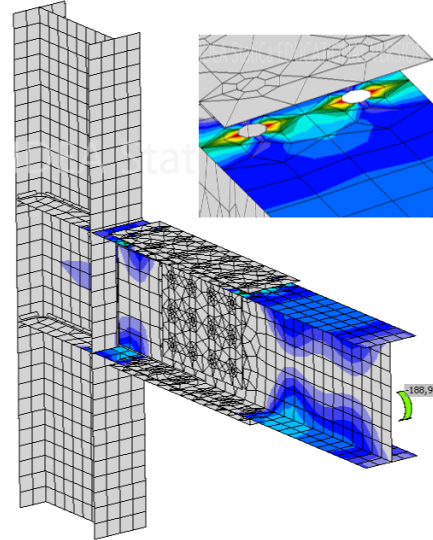
Şekil 4.15 incelendiğinde beklendiği şekilde asıl deformasyonun kolona güçlü yönünden bağlana kiriş üzerinde olduğu görülmektedir. Kolon panel bölgesinde ve alın levhasının bulon ile bağladığı bölgede akma şekil değiştirmeleri artmakta fakat %5 limitine kiriş üzerinde ulaşılmaktadır. Berkitme levhalarının kalınlıkları artırılarak panel bölgesindeki şekil değiştirmelerin azaltılması mümkündür.



a) Birleşim modeli



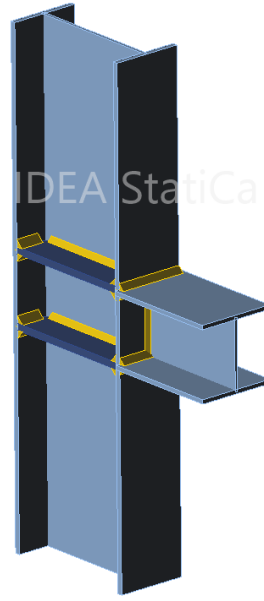
b) Eşdeğer gerilme



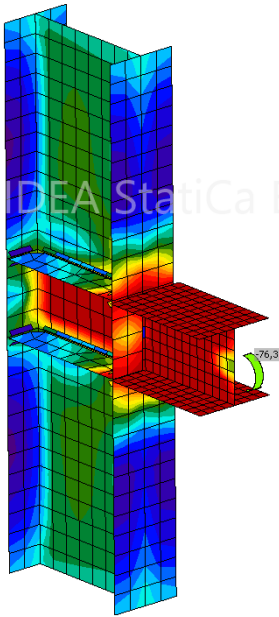
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.16. B203 numunesine ait diyagramlar

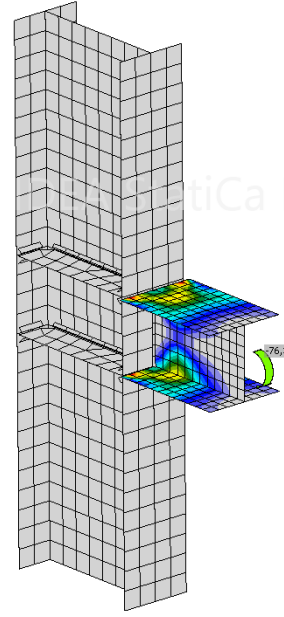
Şekil 4.16 incelendiğinde birleşimdeki levhalar üzerinde ve kolonun panel bölgesinde gerilme artışları ve akma şekil değiştirmeleri olduğu görülmektedir. Akma şekil değiştirme diyagramı detaylı incelendiğinde B201 ve B202 numunelerinden farklı olarak bu tip birleşimlerin zayıflığı nedeniyle kiriş yönündeki bulon deliği çevresinde gerilemeler artmakta ve delik ovalleşerek akma şekil değiştirme limitine ulaşılmaktadır. Plastik mafsallın kiriş üzerinde olmasının sağlanması için önlemler alınmalıdır. Birleşimin kolon flanşına kaynaklanan kısmının da kiriş gibi çalışması nedeniyle artan akma şekil değiştirmeleri görülmektedir.



a) Birleşim modeli



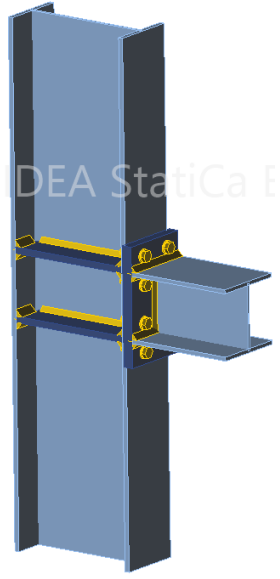
b) Eşdeğer gerilme



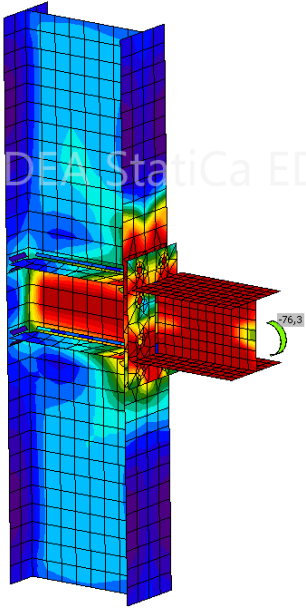
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.17. B301 numunesine ait diyagramlar

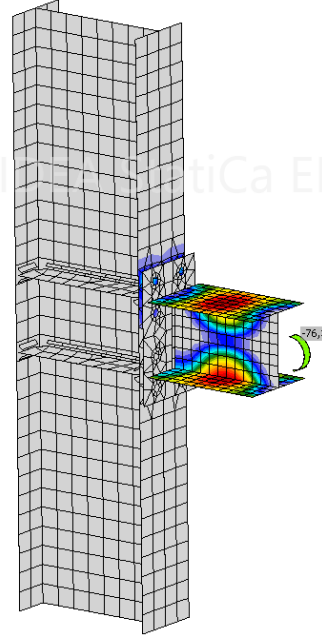
Şekil 4.17 incelendiğinde panel bölgesinde ve kiriş üzerinde akma şekil değiştirmeleri olduğu görülmektedir. %5'lik akma şekil değiştirme limitine kirişin kolona kaynakladığı noktada ulaşılmaktadır. Deneysel çalışmalarda birleşim bölgesinde yırtılmalar olması beklenir. Kiriş yüksekliğinin az olması nedeniyle panel bölgesinde oluşan akma şekil değiştirmeleri sınırlı kalmıştır.



a) Birleşim modeli



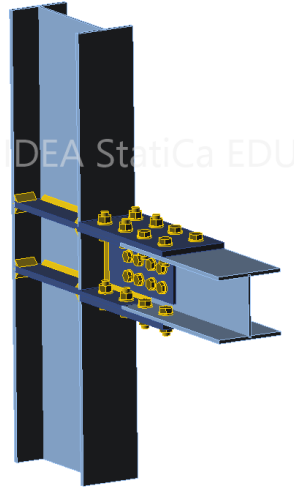
b) Eşdeğer gerilme



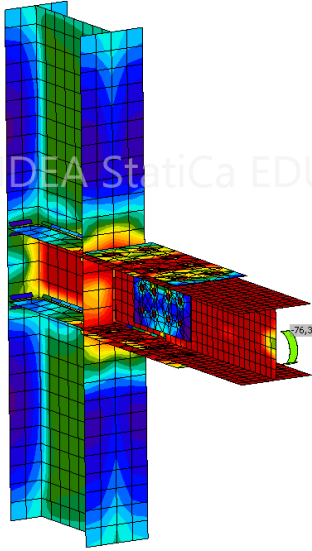
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.18. B302 numunesine ait diyagramlar

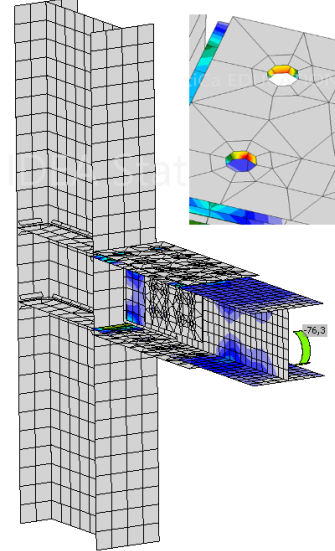
Şekil 4.18 incelendiğinde beklendiği şekilde asıl deformasyonun kolona güçlü yönünden bağlana kiriş üzerinde olduğu görülmektedir. Kolon panel bölgesinde ve alın levhasının bulon bile bağladığı bölgede akma şekil değiştirmeleri artmakta fakat %5 limitine kiriş üzerinde ulaşılmaktadır.



a) Birleşim modeli



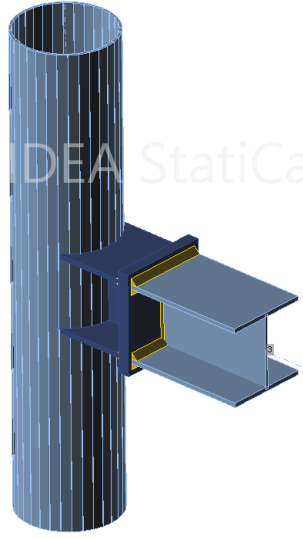
b) Eşdeğer gerilme



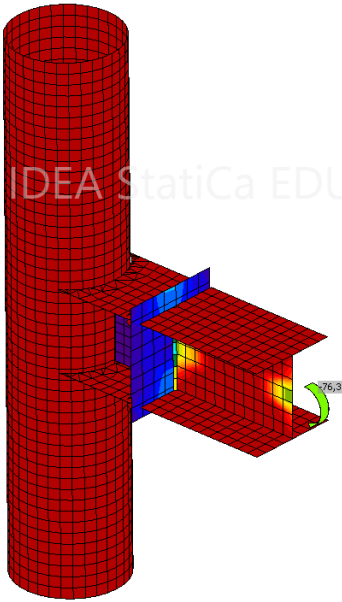
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.19. B303 numunesine ait diyagramlar

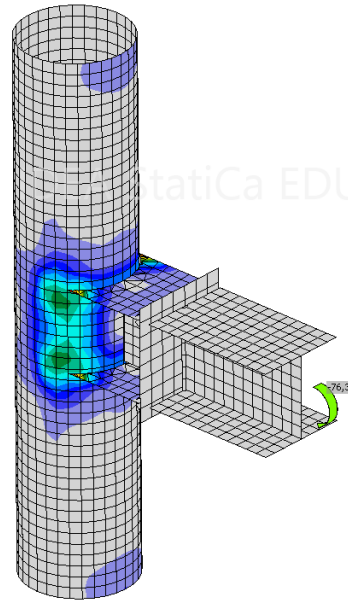
Şekil 4.19 incelendiğinde birleşimdeki levhalar üzerinde ve kolonun panel bölgesinde gerilme artışları ve akma şekil değiştirmeleri olduğu görülmektedir. Bu tip birleşimlerin zayıflığı nedeni ile bulon deliği çevresinde gerilemeler artmakta ve delik ovalleşerek akma şekil değiştirme limitine ulaşılmaktadır. Akma şekil değiştirme diyagramı detaylı incelendiğinde bu numunede diğer bulonlu numunelerden farklı olarak akma şekil değiştirmesi limitine birleşim kolona kaynaklanan bölgesindeki bulon çevresinde ulaşıldığı görülmüştür. Bu durum bize o bölgedeki levha dayanımının yeterli olmadığı göstermiştir.



a) Birleşim modeli



b) Eşdeğer gerilme

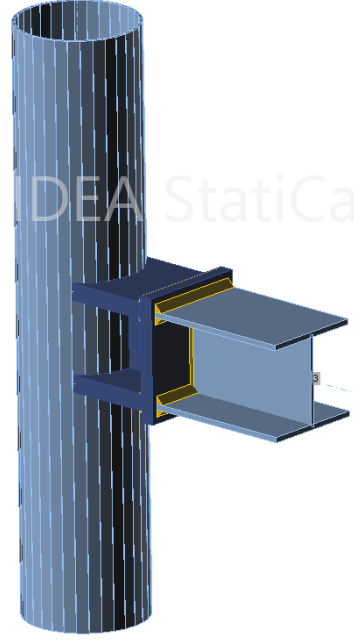


c) Plastik şekil değiştirme

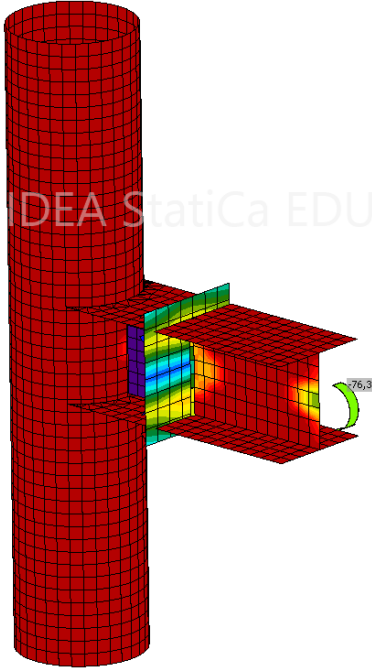
Şekil 4.20. C101 numunesine ait diyagramlar

Şekil 4.20 incelendiğinde boru profil kolon ve kolona kaynaklanan levhalar üzerinde yüksek plastik şekil değiştirmeler olduğu görülmektedir. Akma şekil değiştirme diyagramı detaylı incelendiğinde akma şekil değiştirme limitine kolona kaynaklanan levhaların sivri uç noktalarında ulaşıldığı ve levha kalınlıklarının yeterli olmadığı görülmüştür. Bu noktalar beklediği şekilde zayıf noktalar olmaktadır ve ek önlemler alınması gerekmektedir.

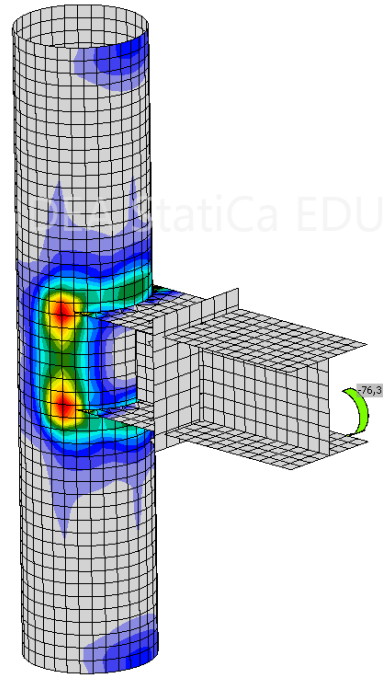
Levha kalınlığı yeterli miktarda arttırıldığında Şekil 4.21 deki sonuç elde edilmektedir. Bu durumda akma şekil değiştirme limitine kolon üzerinde ulaşılmakta ve boru profil et kalınlığının yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Kolon üst bölgesinde yırtılmalar alt bölgesinde ise ezilmeler olması beklenir.



a) Birleşim modeli

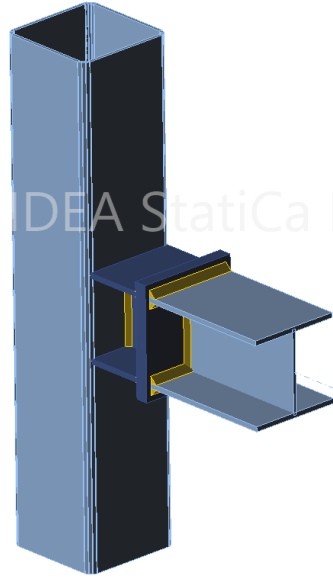


b) Eşdeğer gerilme

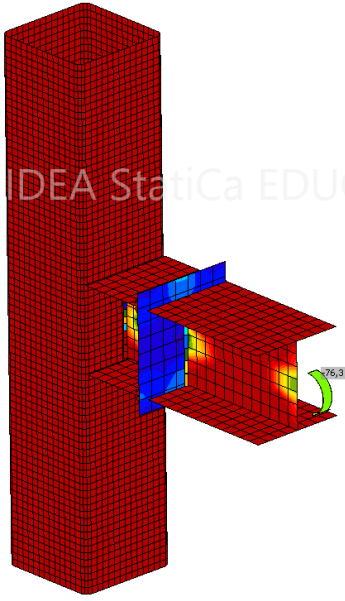


c) Plastik şekil değiştirme

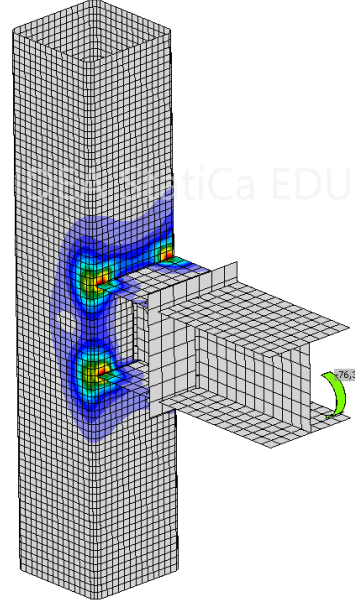
Şekil 4.21. C101 numunesine ait 2. durum için diyagramlar



a) Birleşim modeli



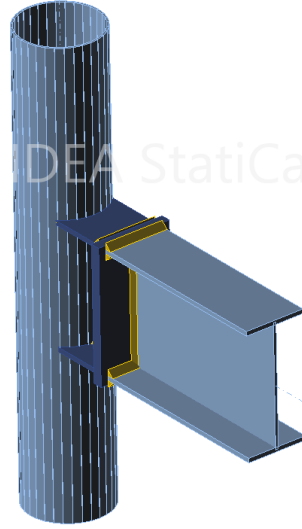
b) Eşdeğer gerilme



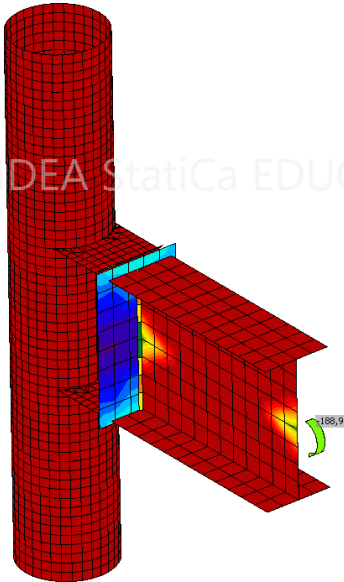
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.22. C102 numunesine ait diyagramlar

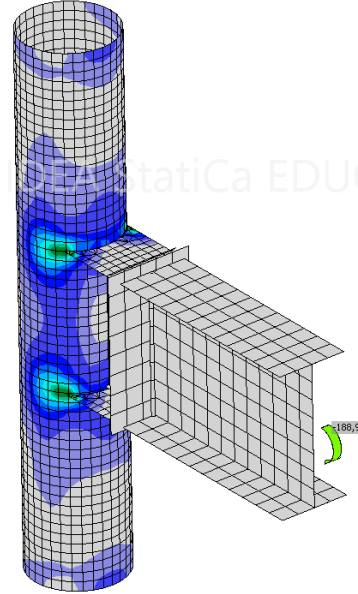
Şekil 4.22 incelendiğinde boru profil kolon ve kolona kaynaklanan levhalar üzerinde yüksek plastik şekil değiştirmeler olduğu görülmektedir. %5'lik akma şekil değiştirme limitine kolonun köşe noktalarında ulaşılmaktadır. Bu durumda kutu kolon profil et kalınlığının yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Kolonun köşe noktalarında yırtılmalar ve ezilmeler olması beklenir.



a) Birleşim modeli



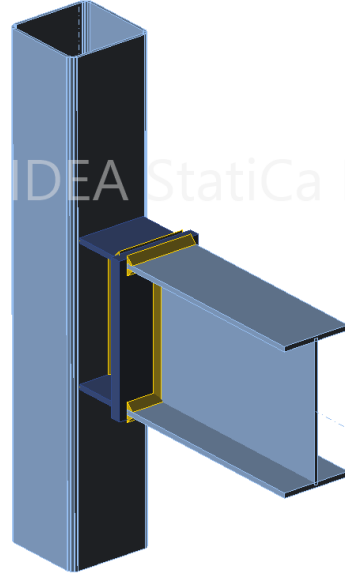
b) Eşdeğer gerilme



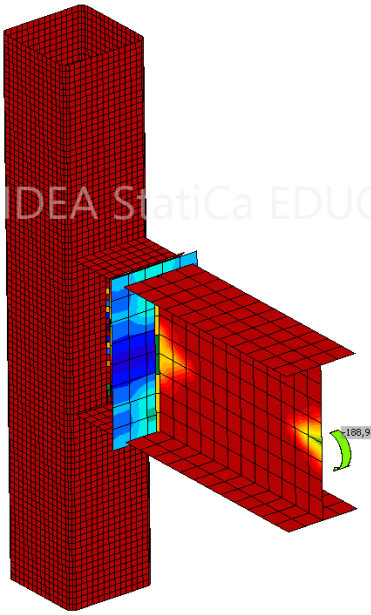
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.23. C103 numunesine ait diyagramlar

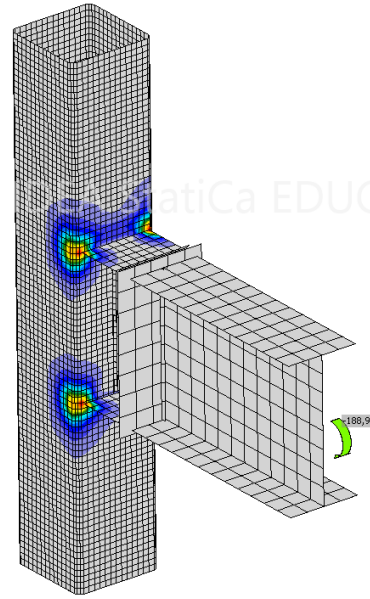
Şekil 4.23 incelendiğinde C101 numunesine benzer şekilde boru profil kolon ve kolona kaynaklanan levhalar üzerinde yüksek plastik şekil değiştirmeler olduğu görülmektedir. Akma şekil değiştirme diyagramı detaylı incelendiğinde akma şekil değiştirme limitine kolona kaynaklanan levhaların sivri uç noktalarında ulaşıldığı ve levha kalınlıklarının yeterli olmadığı görülmüştür. Bu noktalar beklediği şekilde zayıf noktalar olmaktadır ve ek önlemler alınması gerekmektedir.



a) Birleşim modeli



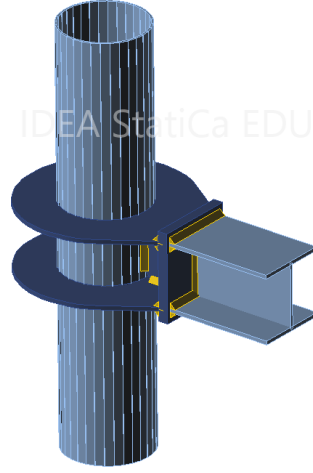
b) Eşdeğer gerilme



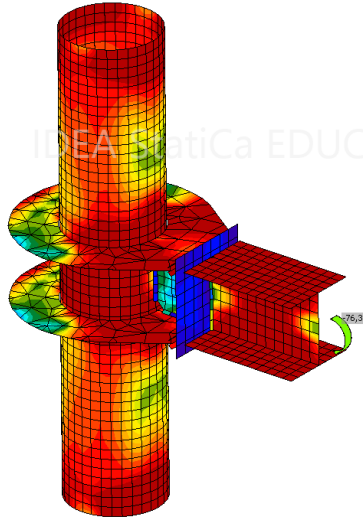
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.24. C104 numunesine ait diyagramlar

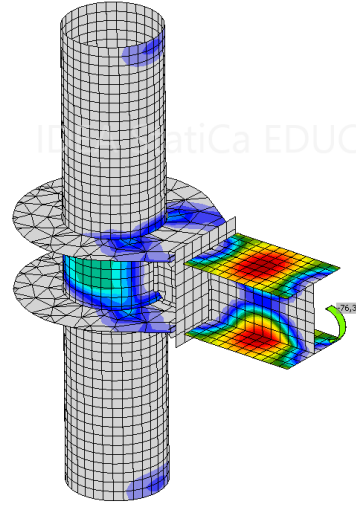
Şekil 4.24 incelendiğinde C102 numunesine benzer şekilde boru profil kolon ve kolona kaynaklanan levhalar üzerinde yüksek plastik şekil değiştirmeler olduğu görülmektedir. %5'lik akma şekil değiştirme limitine kolonun köşe noktalarında ulaşılmaktadır. Bu durumda kutu kolon profil et kalınlığının yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Kolonun köşe noktalarında yırtılmalar ve ezilmeler olması beklenir.



a) Birleşim modeli



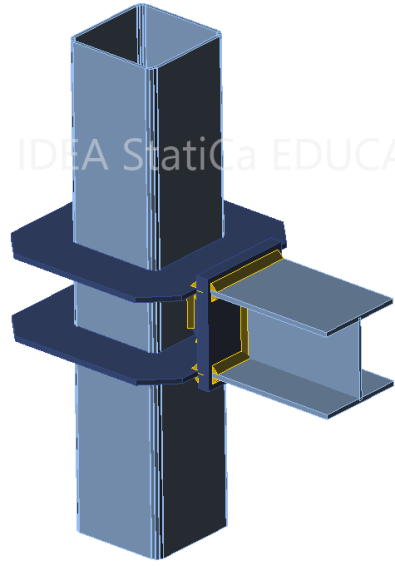
b) Eşdeğer gerilme



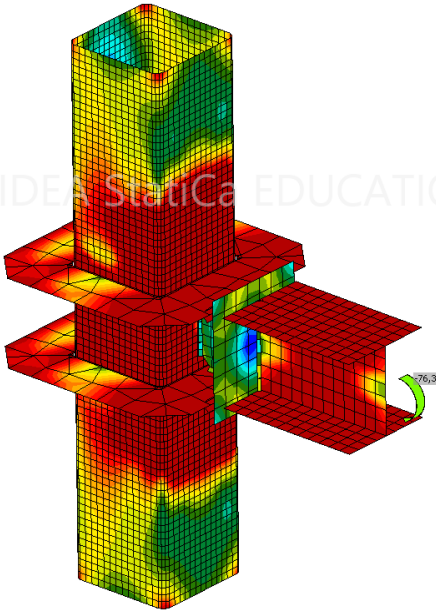
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.25. C201 numunesine ait diyagramlar

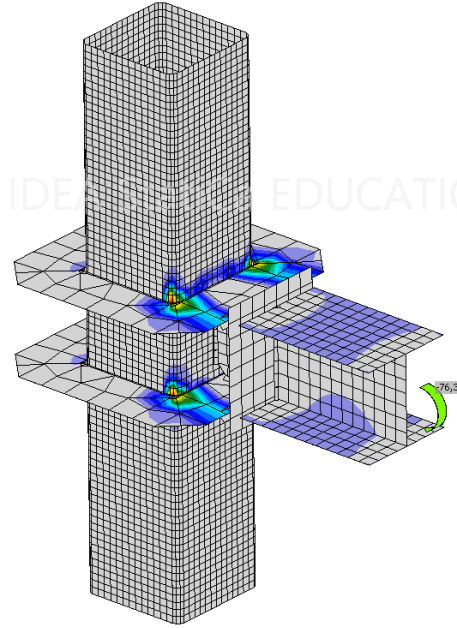
Şekil 4.25 incelendiğinde kolon ve berkitme levhasında akma şekil değiştirmeleri olmasına rağmen asıl deformasyonun istendiği şekilde kiriş üzerinde gerçekleştiği görülmektedir. Sonuçlar boru profil kolon tercih edildiği durumda berkitme levhası kullanımının gerekli olduğunu göstermiştir. Berkitme levhasının düzgün yük dağılımı sağlayabilmek için yeterli kalınlıkta ve şekilde olması gerekmektedir. Diyagramlar incelendiğinde boru profil yan yüzelerinin H profil kolonlardaki panel bölgesi ile aynı davranışı gösterdiği görülmektedir. Bu davranış boru profilin kolonlarda et kalınlığının önemini vurgulamaktadır. Bu noktadaki akma şekil değiştirmeleri ilave berkitme levhaları konularak azaltılabilir.



a) Birleşim modeli



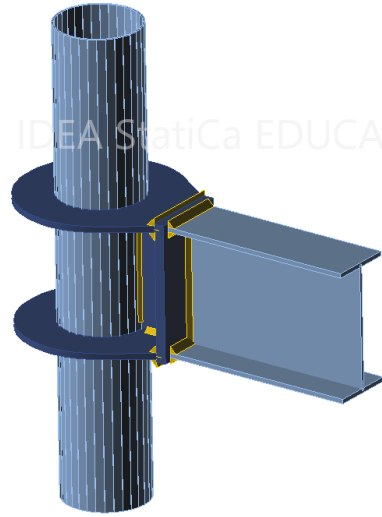
b) Eşdeğer gerilme



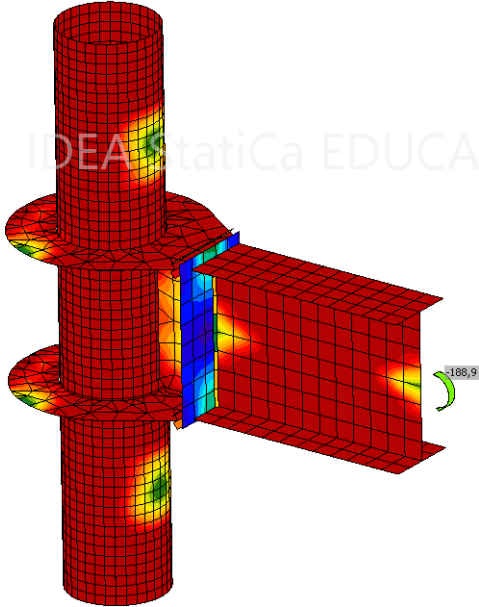
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.26. C202 numunesine ait diyagramlar

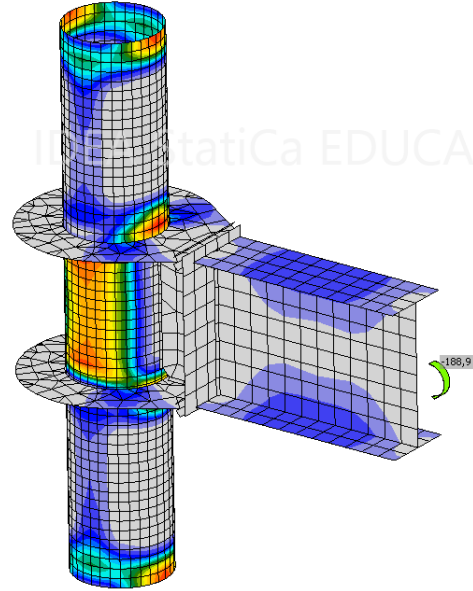
Şekil 4.26 incelendiğinde kutu profil kolon, kolona kaynaklanan levhaların ön var arka noktalarında ve kiriş üzerinde yüksek plastik şekil değiştirmeler olduğu görülmektedir. Kiriş üzerinde akma şekil değiştirmeleri olmasına rağmen %5'lik limite beklenenden farklı olarak kolon köşe noktalarında ulaşıldığı görülmüştür. Bu durumda kutu profilin et kalınlığının yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Kolonun köşe noktalarında yırtılmalar ve ezilmeler olması beklenir.



a) Birleşim modeli



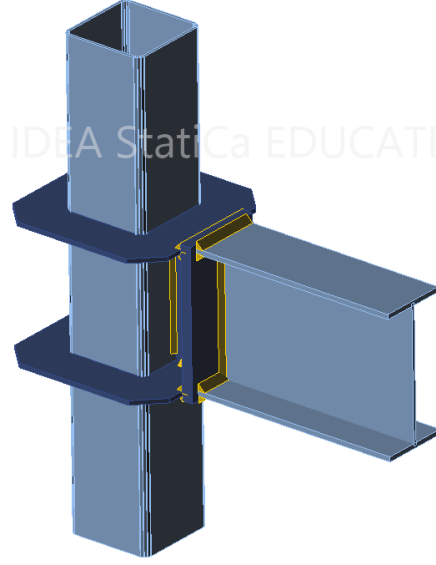
b) Eşdeğer gerilme



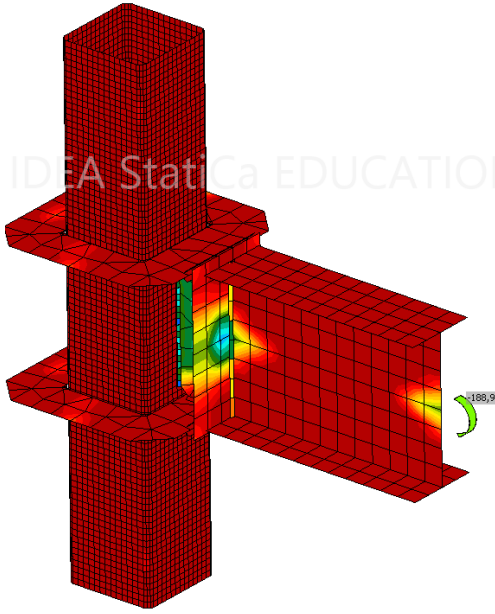
c) Plastik şekil değiştirme

Şekil 4.27. C203 numunesine ait diyagramlar

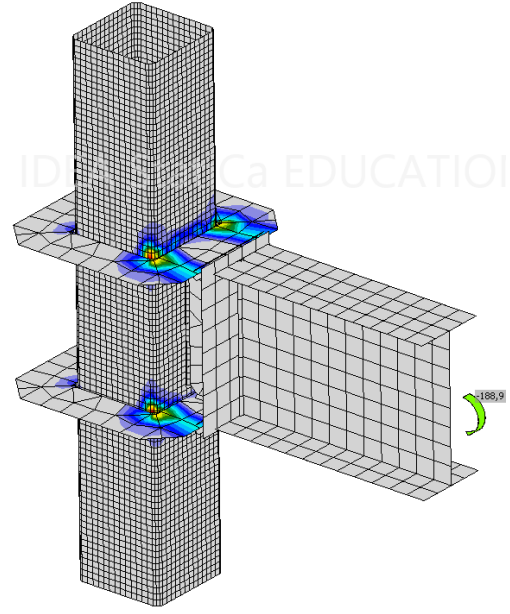
Şekil 4.27 incelendiğinde boru profil kolon, berkitme levhası ve kiriş üzerinde yüksek plastik şekil değiştirmeler olduğu görülmektedir. Kiriş üzerinde akma şekil değiştirmeleri olmasına rağmen %5'lik limite kolonun panel bölgesinde ve kaynaklanan bölgede ulaşılmıştır. Diyagramlar incelendiğinde boru profil yan yüzeylerinin H profil kolonlardaki panel bölgesi ile aynı davranışı gösterdiği görülmektedir. Bu durumda boru profilin et kalınlığının yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Kolondaki akma şekil değiştirmeleri ilave berkitme levhaları konularak azaltılabilir.



a) Birleşim modeli



b) Eşdeğer gerilme



c) Plastik şekil değiştirme

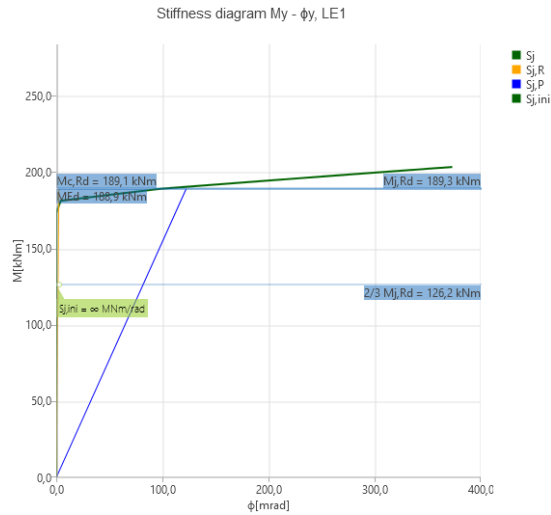
Şekil 4.28. C204 numunesine ait diyagramlar

Şekil 4.28 incelendiğinde kutu profil kolon, kolona kaynaklanan levhaların ön var arka noktalarında ve kiriş üzerinde yüksek plastik şekil değiştirmeler olduğu görülmektedir. Kiriş üzerinde akma şekil değiştirmeleri olmasına rağmen %5'lik limite beklenenden farklı olarak kolon köşe noktalarında ulaşıldığı görülmüştür. Bu durumda kutu profilin et kalınlığının yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Kolonun köşe noktalarında yırtılmalar ve ezilmeler olması beklenir.

## 4.2. Rijitlik Diyagramları

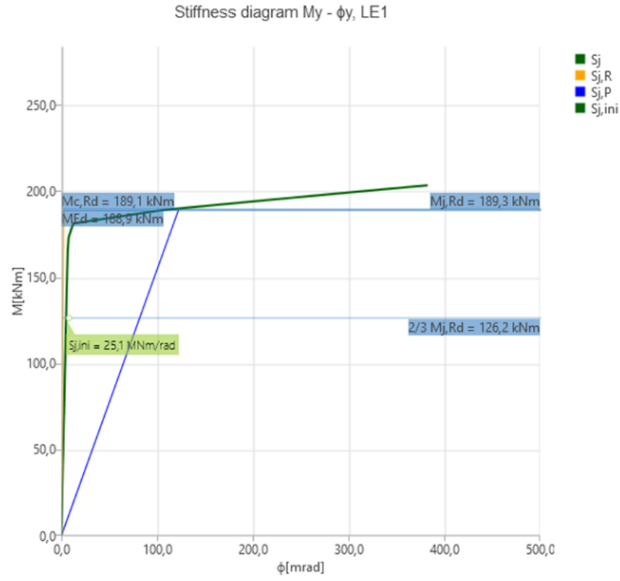
Rijitlik analizi yapılırken program tarafından hesaplanan  $M_j$  eğilme dayanım momentine yakın  $M_e$  momenti ile yüklenerek hiçbir kesme kuvveti olmaksızın akma gerilmesinden dolayı oluşan akma şekil değiştirme limitinin 5 farklı değeri (%0,5, %1, %2, %5, %10) için sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara ait rijitlik diyagramlarına EK-1’de görülmektedir. Rijitlik diyagramlarındaki değerler Bölüm 3.7.5. açıklanmıştır.

Şekil 4.29’daki rijitlik grafiği incelendiğinde güçlü kolon zayıf kirişe sahip numune birleşiminin %5’lik akma şekil değiştirme limit durumu için beklendiği gibi kirişin kapasite momentinin üstünde bir kapasite momentine ulaştığı görülmektedir. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesinin 373 mrad’a ulaşmaktadır ve bu değer yönetmelikler açısından yeterlidir.



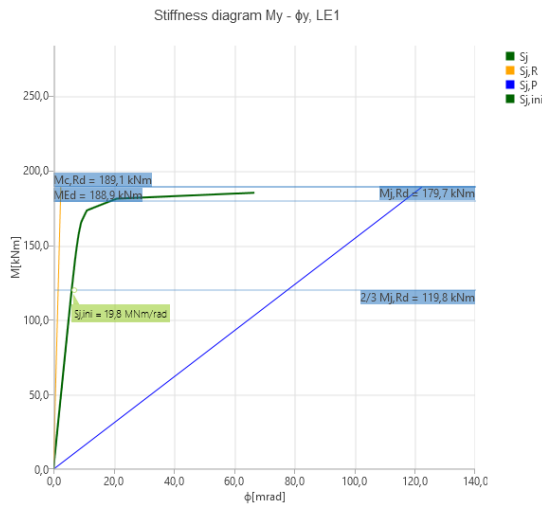
Şekil 4.29. A101 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.30’daki rijitlik grafiği incelendiğinde bu numunenin A101 numunesine benzer şekilde %5 akma şekil değiştirme limit durumu için beklendiği gibi kirişin kapasite momentinin üstünde bir kapasite momentine ulaştığı görülmektedir. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 383 mrad’a ulaşmaktadır ve bu değer yönetmelikler açısından yeterlidir.



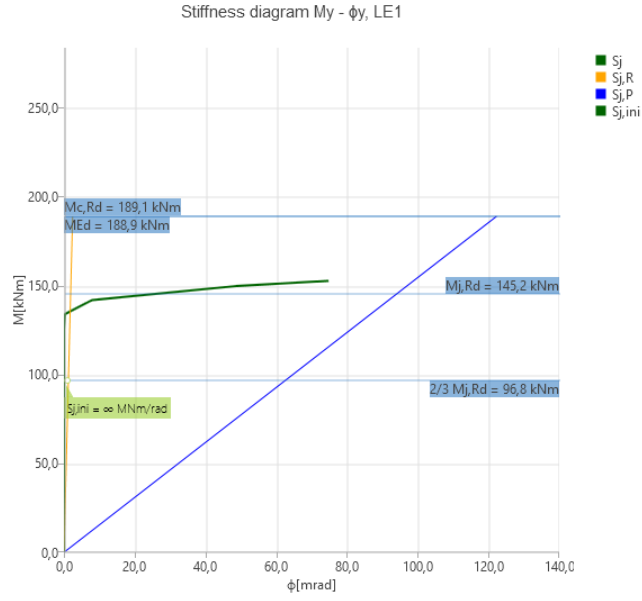
Şekil 4.30. A102 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.31'deki rijitlik grafiği incelendiğinde A101 ve A102 numunelerine ait grafiklerden farklı olarak eğrinin daha geriden döndüğü görülmektedir. Bu durum deformasyonun kirişin akması yerine bulon deliği etrafındaki deliğin ovalleşmesi sonucu dönme kapasitesinin A101 ve A102 numunelerinden düşük olmasından kaynaklanmaktadır. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 67 mrad'a ulaşmaktadır ve bu değer yönetmelikler açısından yeterlidir. Bu durum her ne kadar zayıflıkları bulunmasına rağmen birleşimin yapılarda kullanılabilir olduğunu göstermektedir. A101 ve A102 numunelerinde uzumalar devam ederken bu numunede yırtılmalar oluşmaktadır.



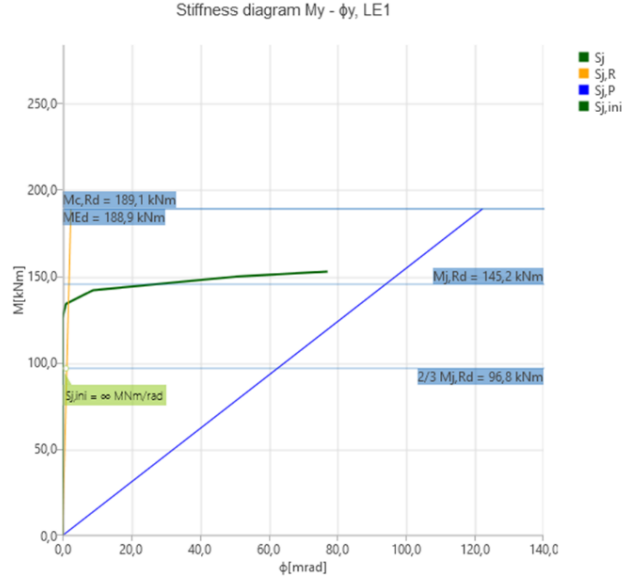
Şekil 4.31. A103 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.32'deki rijitlik grafiği incelendiğinde zayıf kolon güçlü kirişe sahip numune birleşiminin %5'lik akma şekil değiştirme limit durumu için beklendiği gibi kirişin kapasite momentinin altında kaldığı görülmektedir. Bu durum %5'lik akma şekil değiştirme limitine kiriş üzerinde değil kolon flanş bölgelerinde ulaşılmasından kaynaklanmaktadır. Birleşimin dönme kapasitesi 75 mrad'a ulaşmaktadır ve bu değer yönetmelikler açısından yeterlidir. Bu durum her ne kadar zayıflıkları bulunmasına rağmen birleşimin yapılarda kullanılabilir olduğunu göstermektedir.



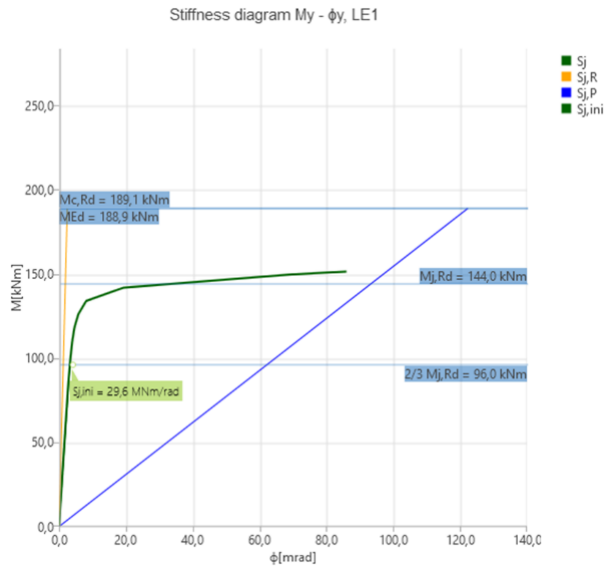
Şekil 4.32. A201 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.33'deki rijitlik grafiği incelendiğinde A201 numunesine benzer şekilde zayıf kolon güçlü kirişe sahip numune birleşiminin %5'lik akma şekil değiştirme limit durumu için beklendiği gibi kirişin kapasite momentinin altında kaldığı görülmektedir. Bu durum %5'lik akma şekil değiştirme limitine kiriş üzerinde değil kolon flanş bölgelerinde ulaşılmasından kaynaklanmaktadır. Birleşimin dönme kapasitesi 77 mrad'a ulaşmaktadır ve bu değer yönetmelikler açısından yeterlidir. Bu durum her ne kadar zayıflıkları bulunmasına rağmen birleşimin yapılarda kullanılabilir olduğunu göstermektedir.



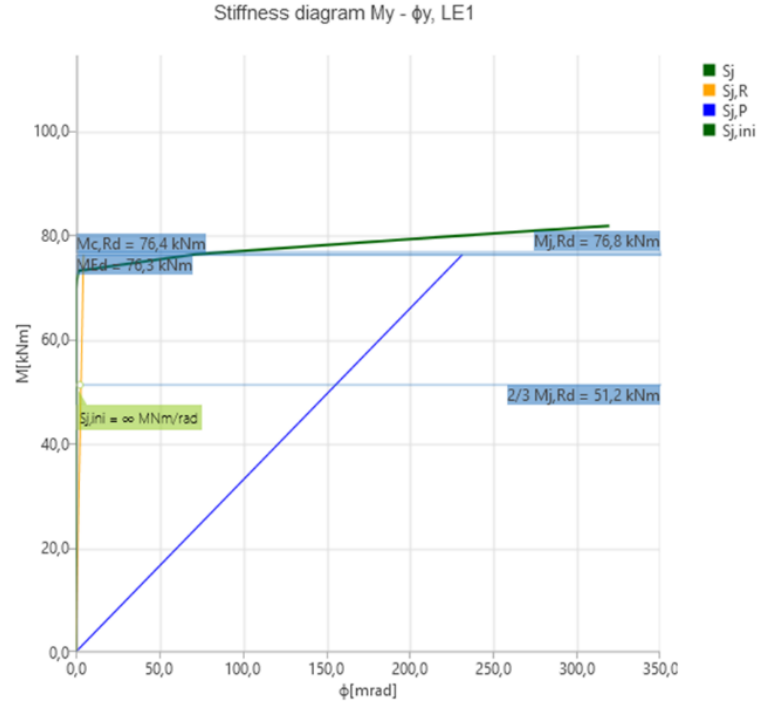
Şekil 4.33. A202 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.34'deki rijitlik grafiği incelendiğinde A201 ve A202 numunelerine benzer şekilde zayıf kolon güçlü kirişe sahip numune birleşiminin %5'lik akma şekil değiştirme limit durumu için beklendiği gibi kirişin kapasite momentinin altında kaldığı görülmektedir. Bu durum %5'lik akma şekil değiştirme limitine kiriş üzerinde değil kolon flanş bölgelerinde ulaşılmasından kaynaklanmaktadır. Birleşimin dönme kapasitesi 86 mrad'a ulaşmaktadır ve bu değer yönetmelikler açısından yeterlidir. Bu durum her ne kadar zayıflıkları bulunmasına rağmen birleşimin yapılarda kullanılabilir olduğunu göstermektedir.



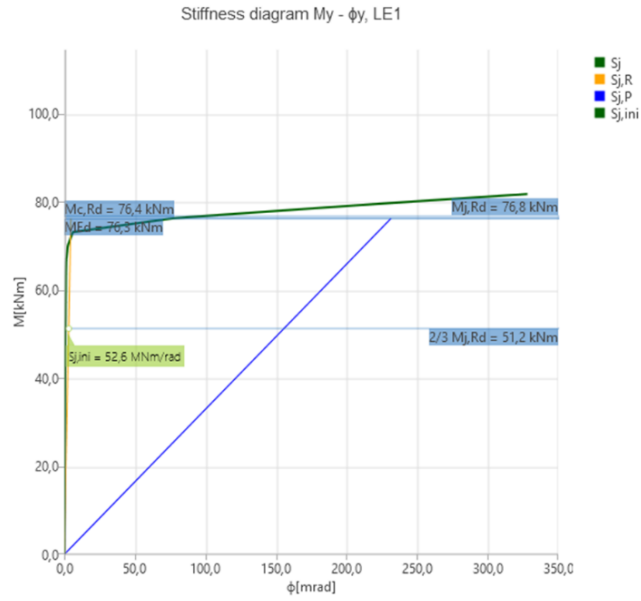
Şekil 4.34. A203 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.35'deki rijitlik grafiği incelendiğinde birleşimin moment kapasitesinin kirişin moment kapasitesine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum plastikleşme momentleri birbirine yakın olan kolon ve kiriş seçilmesinin sonucudur. Birleşim %5'lik akma şekil değiştirme limit durumu için kirişin kapasite momentinin üstünde bir moment kapasitesine ve 320 mrad'lık bir dönme kapasitesine ulaşmaktadır.



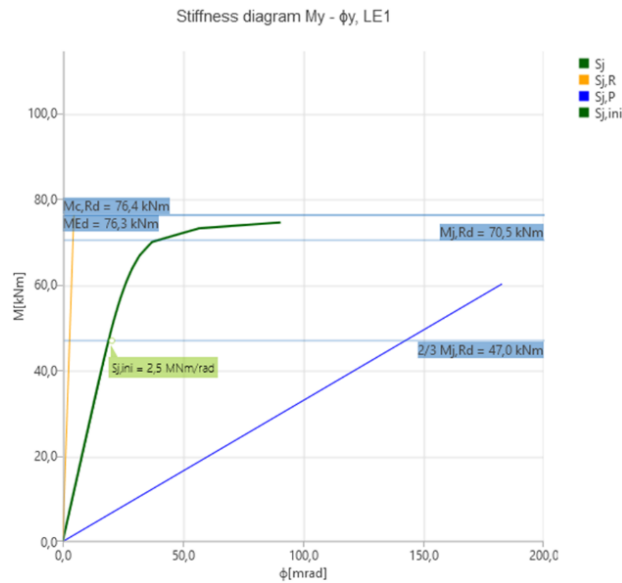
Şekil 4.35. A301 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.36'daki rijitlik grafiği incelendiğinde birleşimin A301 numunesine benzer şekilde moment kapasitesinin kirişin moment kapasitesine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum plastikleşme momentleri birbirine yakın olan kolon ve kiriş seçilmesinin sonucudur. Birleşim %5'lik akma şekil değiştirme limit durumu için kirişin kapasite momentinin üstünde bir moment kapasitesine ve 329 mrad'lık bir dönme kapasitesine ulaşmaktadır.



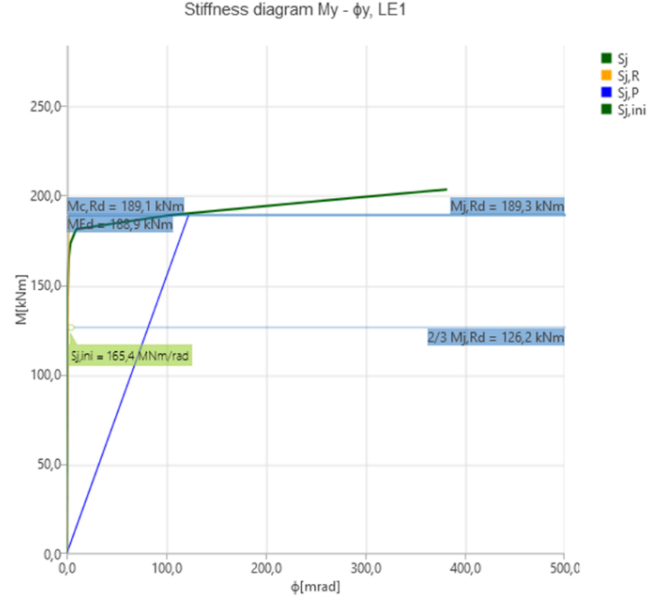
Şekil 4.36. A302 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.37'deki rijitlik grafiği incelendiğinde A301 ve A302 numunelerine ait grafiklerden farklı olarak eğrinin daha geriden döndüğü görülmektedir. Bu durum deformasyonun kirişin akması yerine bulon deliği etrafındaki deliğin ovalleşmesi sonucu dönme kapasitesinin A301 ve A302 numunelerinden düşük olmasından kaynaklanmaktadır. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 91 mrad'a ulaşmaktadır ve bu değer yönetmelikler açısından yeterlidir. Bu durum her ne kadar zayıflıkları bulunmasına rağmen birleşimin yapılarda kullanılabilir olduğunu göstermektedir.



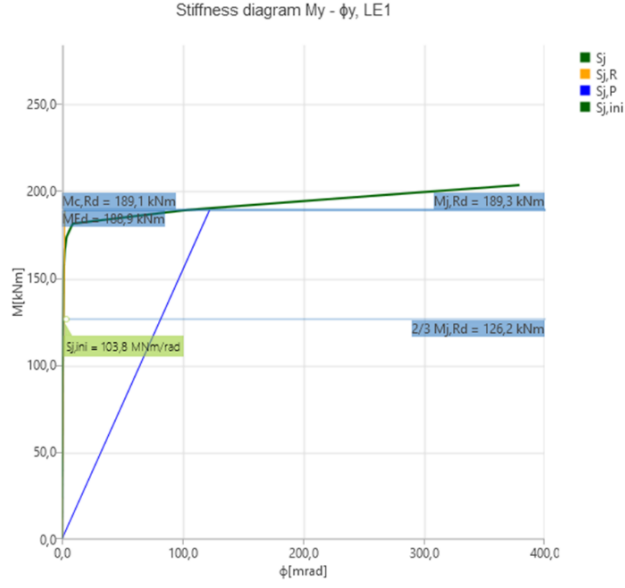
Şekil 4.37. A303 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.38'deki rijitlik grafiği incelendiğinde güçlü kolon zayıf kirişe sahip numune birleşiminin %5'lik akma şekil değiştirme limit durumu için beklendiği gibi kirişin kapasite momentinin üstünde bir momente ulaştığı görülmektedir. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 382 mrad'a ulaşmaktadır.



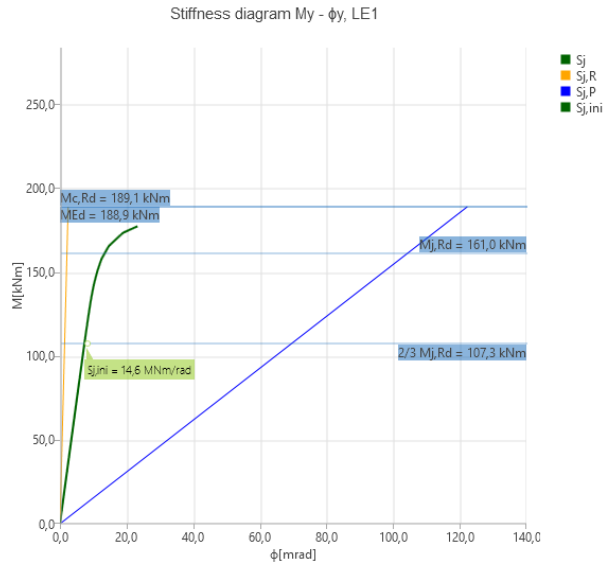
Şekil 4.38. B101 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.39'daki rijitlik grafiği incelendiğinde bu numunenin B101 numunesine benzer şekilde %5'lik akma şekil değiştirme limit durumu için beklendiği gibi kirişin kapasite momentinin üstünde bir momente ulaştığı görülmektedir. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 379 mrad'a ulaşmaktadır.



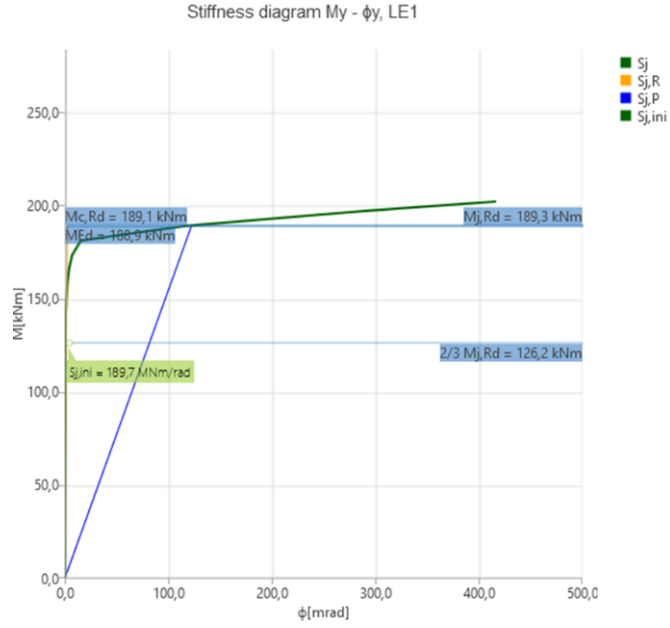
Şekil 4.39. B102 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.40'daki rijitlik grafiği incelendiğinde B101 ve B102 numunelerine ait grafiklerden farklı olarak eğrinin daha geriden döndüğü görülmektedir. Bu durum deformasyonun kirişin akması yerine bulon deliği etrafındaki deliğin ovalleşmesi sonucu dönme kapasitesinin B101 ve B102 numunelerinden düşük olmasından kaynaklanmaktadır. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 80 mrad'a ulaşmaktadır ve bu değer yönetmelikler açısından yeterlidir. Bu durum her ne kadar zayıflıkları bulunmasına rağmen birleşimin yapılarda kullanılabilir olduğunu göstermektedir.



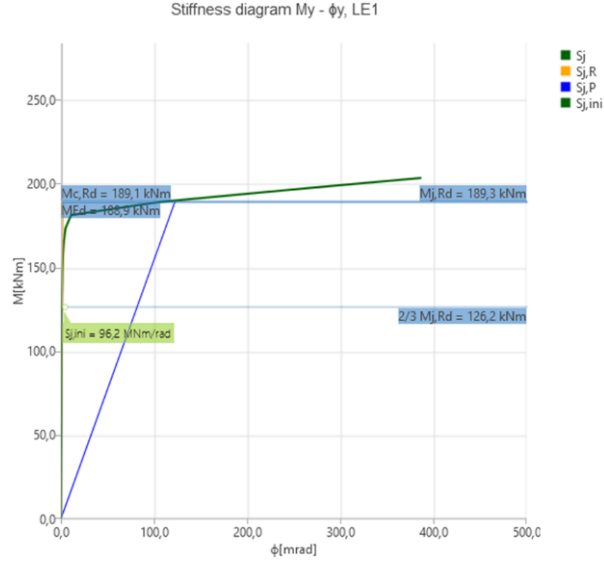
Şekil 4.40. B103 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.41'deki rijitlik grafiği incelendiğinde zayıf kolon güçlü kirişe sahip numunede kirişin kolona kuvvetli yönünden bağlanması sonucunda %5 akma şekil değiştirme limit durumu için kirişin kapasite momentinin üstünde bir kapasite momentine ulaştığı görülmektedir. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 417 mrad'a ulaşmaktadır ve bu değer yönetmelikler açısından yeterlidir.



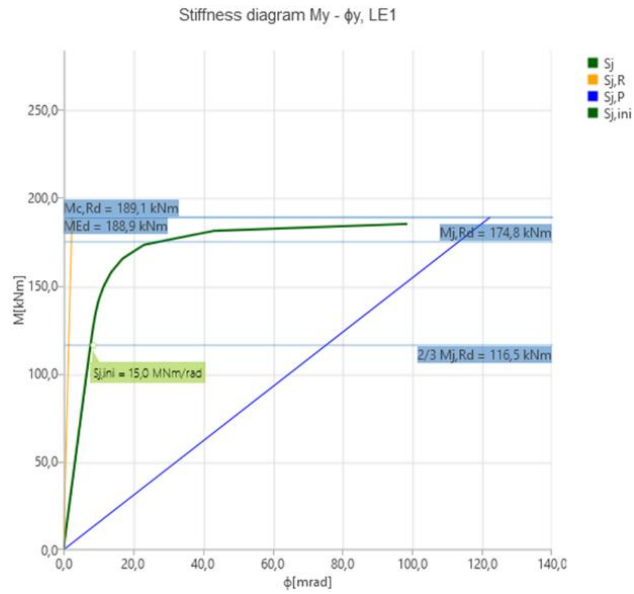
Şekil 4.41. B201 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.42'deki rijitlik grafiği incelendiğinde zayıf kolon güçlü kirişe sahip numunede kirişin kolona kuvvetli yönünden bağlanması sonucunda %5 akma şekil değiştirme limit durumu için kirişin kapasite momentinin üstünde bir kapasite momentine ulaştığı görülmektedir. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 387 mrad'a ulaşmaktadır ve bu değer yönetmelikler açısından yeterlidir.



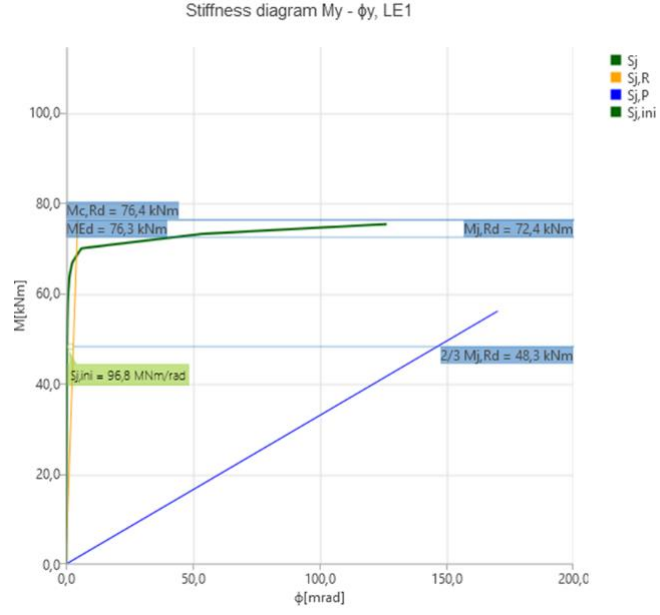
Şekil 4.42. B202 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.43'deki rijitlik grafiği incelendiğinde B201 ve B202 numunelerine ait grafiklerden farklı olarak eğrinin daha geriden döndüğü görülmektedir. Bu durum deformasyonun kirişin akması yerine bulon deliği etrafındaki deliğin ovalleşmesi sonucunda dönme kapasitesinin B201 ve B202 numunelerinden düşük olmasından kaynaklanmaktadır. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 99 mrad'a ulaşmaktadır ve bu değer yönetmelikler açısından yeterlidir. Bu durum her ne kadar zayıflıkları bulunmasına rağmen birleşimin yapılarda kullanılabilir olduğunu göstermektedir.



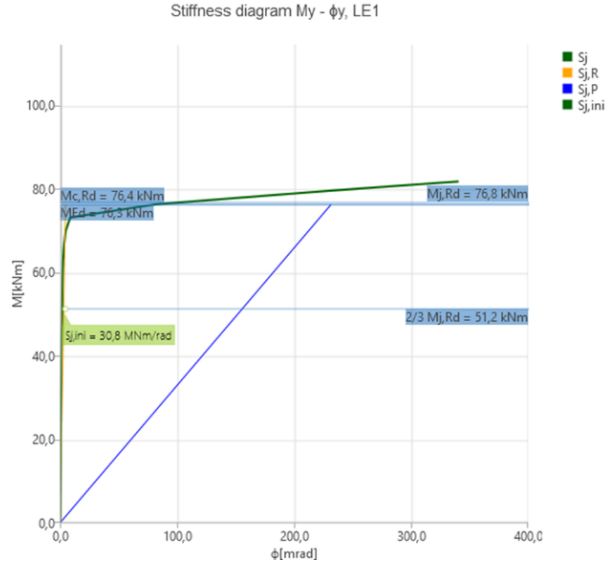
Şekil 4.43. B203 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.44'deki rijitlik grafiği incelendiğinde plastikleşme momentleri birbirine yakın olan kolon ve kiriş seçilmesinin sonucu olarak birleşimin moment kapasitesinin kirişin moment kapasitesine yakın olduğu görülmektedir. Fakat %5 akma şekil değiştirme limitine kirişin kolona kaynaklandığı bölgede ulaşılması nedeni ile birleşimin moment kapasitesi kirişin moment kapasitesinin altında kalmıştır. Birleşim %5 akma şekil değiştirme limit durumu için 126 mrad'lık bir dönme kapasitesine ulaşmaktadır.



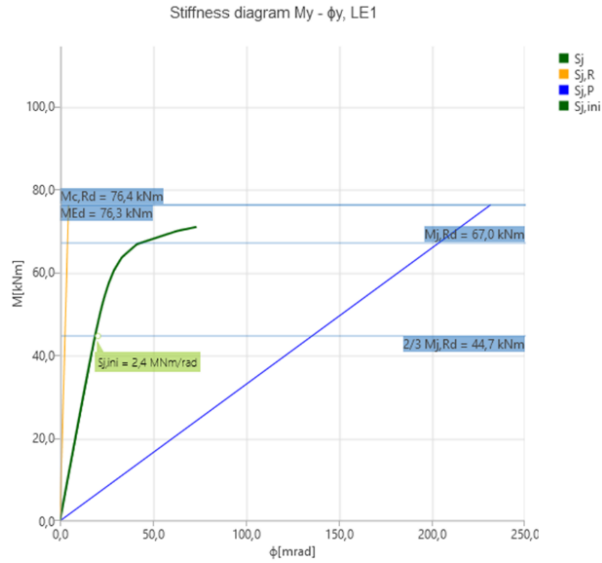
Şekil 4.44. B301 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.45'deki rijitlik grafiği incelendiğinde B301 numunesinden farklı olarak %5 akma şekil değiştirme limitine kiriş üzerinde ulaşılması sonucunda kirişin kapasite momentinin üstünde bir kapasite momentine ulaştığı görülmektedir. Birleşim %5 akma şekil değiştirme limit durumu için 341 mrad'lık bir dönme kapasitesine ulaşmaktadır.



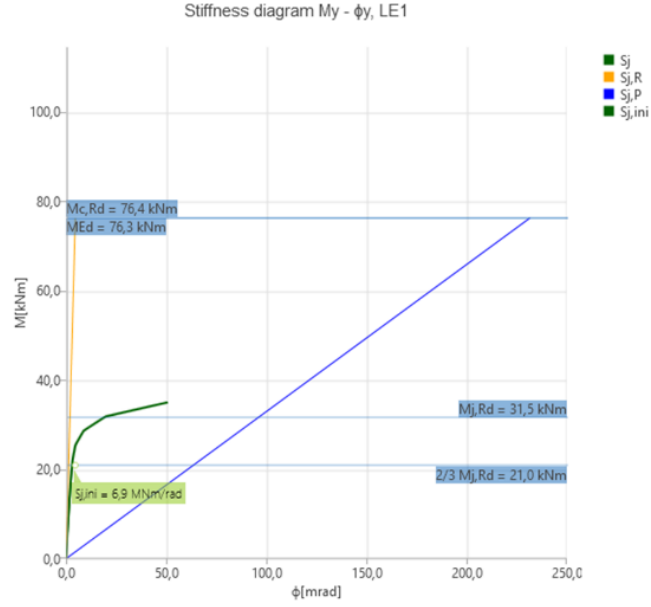
Şekil 4.45. B302 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.46'daki rijitlik grafiği incelendiğinde B301 ve B302 numunelerine ait grafiklerden farklı olarak eğrinin daha geriden döndüğü görülmektedir. Bu durum deformasyonun kirişin akması yerine bulon deliği etrafındaki deliğin ovalleşmesi sonucunda dönme kapasitesinin B301 ve B302 numunelerinden düşük olmasından kaynaklanmaktadır. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 73 mrad'a ulaşmaktadır ve bu değer yönetmelikler açısından yeterlidir. Bu durum her ne kadar zayıflıkları bulunmasına rağmen birleşimin yapılarda kullanılabilir olduğunu göstermektedir.



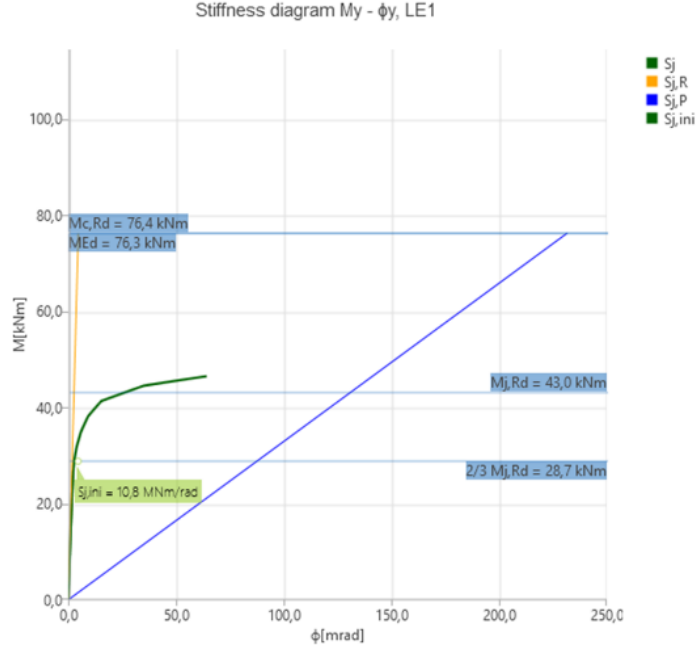
Şekil 4.46. B303 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.47'deki rijitlik grafiği incelendiğinde birleşimin moment kapasitesinin kirişin moment kapasitesinin çok altında kaldığı görülmektedir. Bu durum %5 akma şekil değiştirme limitine kolona kaynaklanan levhaların sivri uç noktalarında ulaşılmasından ve levha kalınlıklarının yeterli olmamasından kaynaklanmaktadır. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 51 mrad ile sınırlı kalmaktadır.



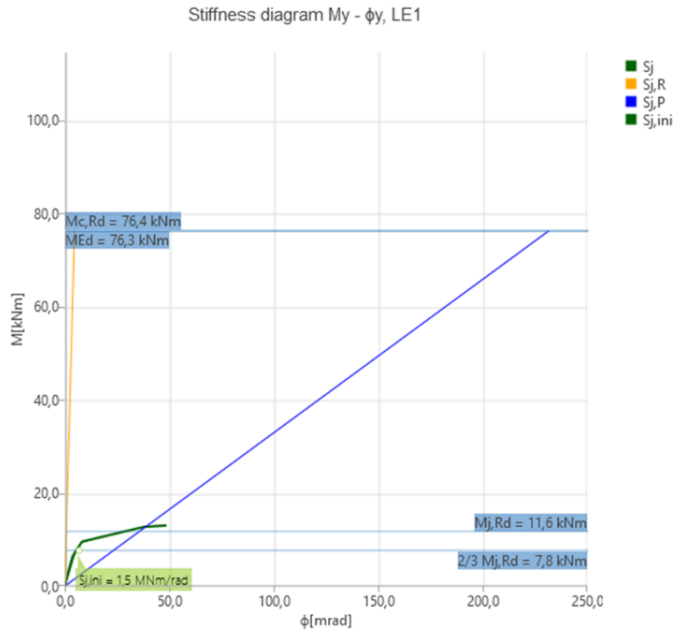
Şekil 4.47. C101 numunesi rijitlik diyagramı

Levha kalınlığı yeterli miktarda arttırıldığında Şekil 4.48'deki sonuç elde edilmektedir. Bu durumda her ne kadar birleşimin moment kapasitesi ilk duruma göre artış gösterse de akma şekil değiştirme limitine kolon üzerinde ulaşıldığından kirişin moment kapasitesinin çok altında kaldığı görülmektedir. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 64 mrad'a ulaşmaktadır.



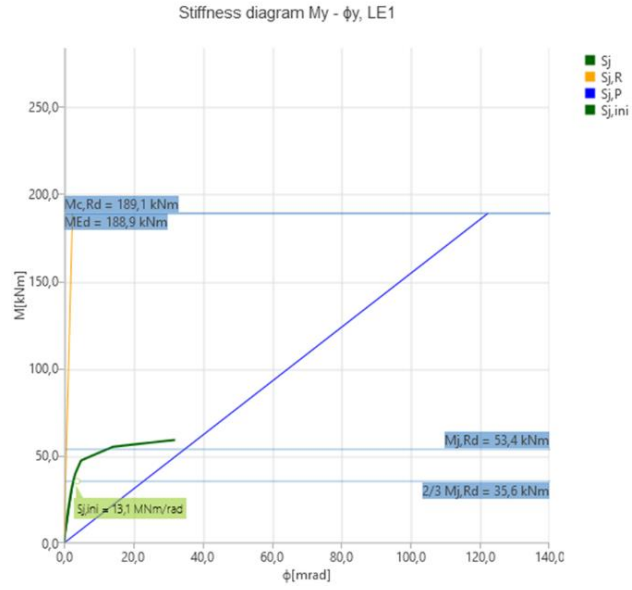
Şekil 4.48. C101 numunesi 2. Durum için rijitlik diyagramı

Şekil 4.49'daki rijitlik grafiği incelendiğinde birleşimin moment kapasitesinin kirişin moment kapasitesinin çok altında kaldığı görülmektedir. Bu durum %5 akma şekil değiştirme limitine kolonun köşe noktalarında ulaşılmasından kaynaklanmaktadır. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 49 mrad ile sınırlı kalmaktadır.



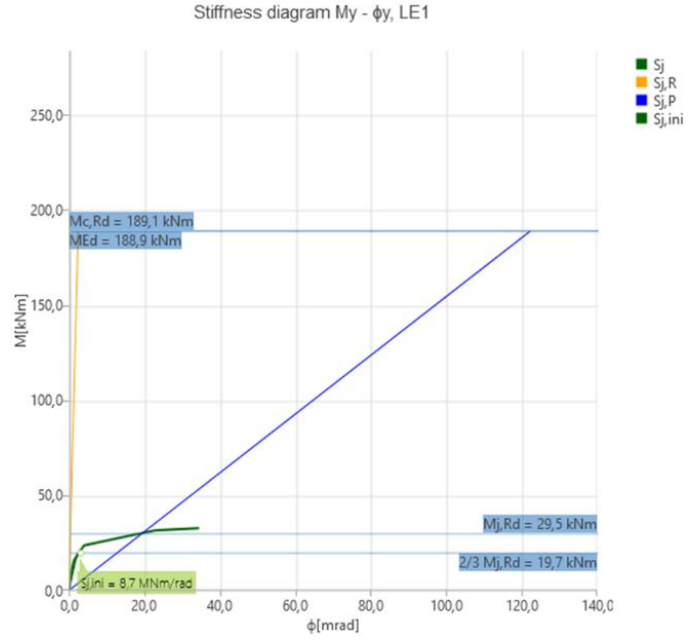
Şekil 4.49. C102 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.50'deki rijitlik grafiği incelendiğinde birleşimin moment kapasitesinin kirişin moment kapasitesinin çok altında kaldığı görülmektedir. Bu durum %5 akma şekil değiştirme limitine kolona kaynaklanan levhaların sivri uç noktalarında ulaşılmasından ve levha kalınlıklarının yeterli olmamasından kaynaklanmaktadır. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 32 mrad ile sınırlı kalmaktadır.



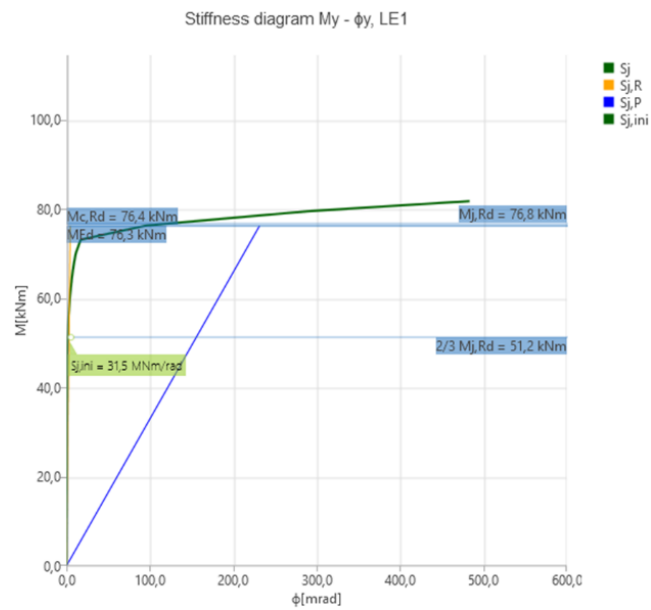
Şekil 4.50. C103 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.51'deki rijitlik grafiği incelendiğinde birleşimin moment kapasitesinin kirişin moment kapasitesinin çok altında kaldığı görülmektedir. Bu durum %5 akma şekil değiştirme limitine kolonun köşe noktalarında ulaşılmasından kaynaklanmaktadır. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 35 mrad ile sınırlı kalmaktadır.



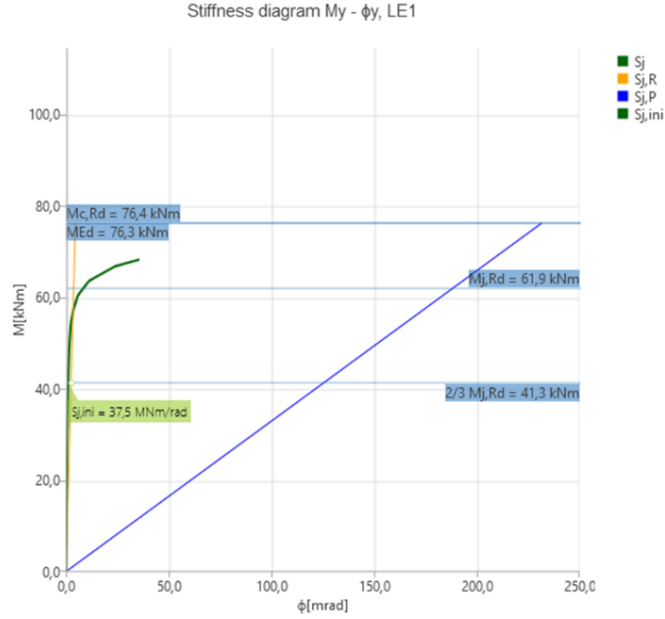
Şekil 4.51. C104 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.52'deki rijitlik grafiği incelendiğinde berkitme levhalarının eklenmesi ile %5 akma şekil değiştirme limitine giriş üzerinde ulaşılması sonucunda kirişin kapasite momentinin üstünde bir kapasite momentine ulaştığı görülmektedir. Birleşim %5 akma şekil değiştirme limit durumu için 484 mrad'lık bir dönme kapasitesine ulaşmaktadır. Sonuçlar boru profil kolon tercih edildiği durumda berkitme levhası kullanımının gerekli olduğunu göstermektedir.



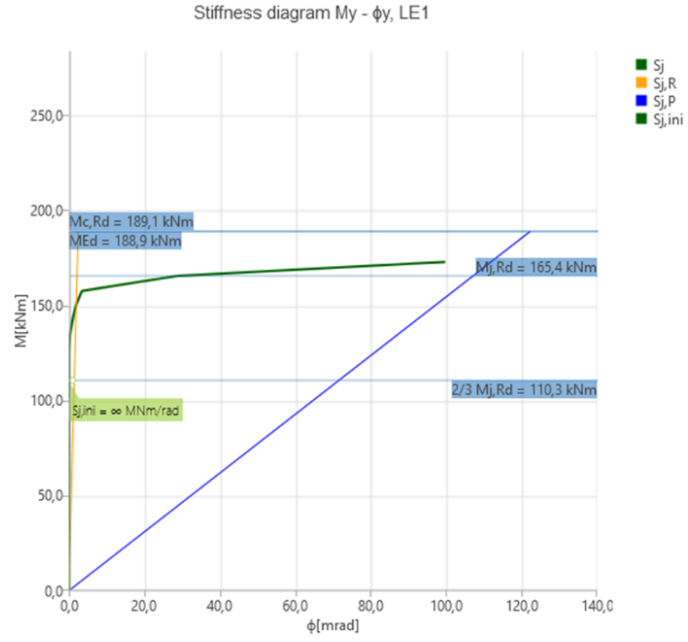
Şekil 4.52. C201 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.53'deki rijitlik grafiği incelendiğinde berkitme levhalarının birleşimin moment kapasitesinde ciddi bir artış sağladığı görülmektedir. Fakat %5 akma şekil değiştirme limitine kolonun köşe noktalarında ulaşılması nedeniyle birleşimin moment kapasitesi kirişin moment kapasitesinin altında kalmıştır. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 36 mrad ile sınırlı kalmaktadır.



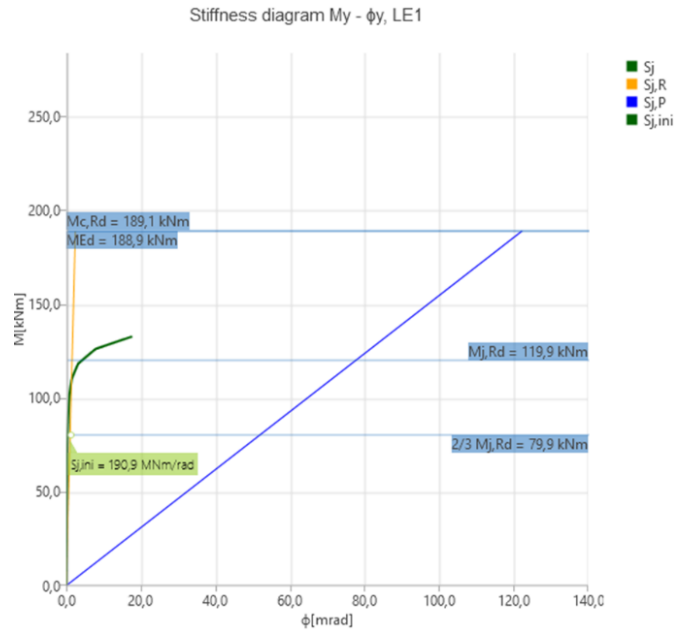
Şekil 4.53. C202 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.54'deki rijitlik grafiği incelendiğinde berkitme levhalarının birleşimin moment kapasitesinde ciddi bir artış sağladığı görülmektedir. Fakat %5 akma şekil değiştirme limitine kolonun panel bölgesinde ulaşılması nedeniyle birleşimin moment kapasitesi kirişin moment kapasitesinin altında kalmıştır. Birleşim %5 akma şekil değiştirme limit durumu için 100 mrad'lık bir dönme kapasitesine ulaşmaktadır.



Şekil 4.54. C203 numunesi rijitlik diyagramı

Şekil 4.55'deki rijitlik grafiği incelendiğinde berkitme levhalarının birleşimin moment kapasitesinde ciddi bir artış sağladığı görülmektedir. Fakat %5 akma şekil değiştirme limitine kolonun köşe noktalarında ulaşılması nedeniyle birleşimin moment kapasitesi kirişin moment kapasitesinin altında kalmıştır. %5 akma şekil değiştirme limiti için birleşimin dönme kapasitesi 18 mrad ile sınırlı kalmaktadır.



Şekil 4.55. C204 numunesi rijitlik diyagramı

Yapılan rijitlik analizleri sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki Çizelge 4.2’de toplu olarak görülmektedir.

**Çizelge 4.2. Rijitlik Analiz Sonuçları**

	Limit	Med	Mj,Rd	Mc,Rd	Sj,ini	Sjs	$\Phi$	$\Phi_c$	Sj,R	Sj,P	Class.	L
A101	0,5	-188,9	-182,9	-189,1	670,3	0	-100,7	-27	77,2	1,5	Rigid	8
A101	1	-188,9	-183,9	-189,1	$\infty$	0	-99,8	-55,9	77,2	1,5	Rigid	8
A101	2	-188,9	-185,4	-189,1	$\infty$	2,7	-69,7	-130,7	77,2	1,5	Rigid	8
A101	5	-188,9	-189,3	-189,1	$\infty$	2,8	-68	-373,2	77,2	1,5	Rigid	8
A101	10	-188,9	-196,2	-189,1	$\infty$	2,8	-67,4	-803,3	77,2	1,5	Rigid	8
A102	0,5	-188,9	-182,9	-189,1	21,8	0	-106,1	-35,9	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A102	1	-188,9	-183,9	-189,1	23,4	0	-105,2	-64,8	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A102	2	-188,9	-185,4	-189,1	24,5	2	-94	-139,7	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A102	5	-188,9	-189,3	-189,1	25,1	2	-93,4	-382,7	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A102	10	-188,9	-196,2	-189,1	25,4	2	-93,2	-811,5	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A103	0,5	-188,9	-134,7	-189,1	18,9	0	-147,9	-9,1	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A103	1	-188,9	-152,1	-189,1	19,4	0	-147,6	-11,4	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A103	2	-188,9	-166,2	-189,1	19,7	0	-147,4	-19,3	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A103	5	-188,9	-179,7	-189,1	19,8	0	-147,3	-66,7	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A103	10	-188,9	-182,9	-189,1	19,9	1,5	-129,7	-259,8	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A201	0,5	-188,9	-123,3	-189,1	$\infty$	0	-806,8	-3,6	77,2	1,5	Rigid	8
A201	1	-188,9	-133,4	-189,1	$\infty$	0	-803,8	-10,3	77,2	1,5	Rigid	8
A201	2	-188,9	-139,8	-189,1	$\infty$	0	-802,4	-24,2	77,2	1,5	Rigid	8
A201	5	-188,9	-145,2	-189,1	$\infty$	0	-801,6	-74,8	77,2	1,5	Rigid	8
A201	10	-188,9	-149,4	-189,1	$\infty$	0	-801,3	-176	77,2	1,5	Rigid	8
A202	0,5	-188,9	-123,8	-189,1	$\infty$	0	-821,9	-4,7	77,2	1,5	Rigid	8
A202	1	-188,9	-133,9	-189,1	$\infty$	0	-818,8	-11,2	77,2	1,5	Rigid	8
A202	2	-188,9	-140,1	-189,1	$\infty$	0	-817,4	-25,6	77,2	1,5	Rigid	8
A202	5	-188,9	-145,2	-189,1	$\infty$	0	-816,7	-77,2	77,2	1,5	Rigid	8
A202	10	-188,9	-149,4	-189,1	$\infty$	0	-816,4	-184	77,2	1,5	Rigid	8
A203	0,5	-188,9	-122,8	-189,1	25,8	0	-875,8	-10,9	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A203	1	-188,9	-132,7	-189,1	27,8	0	-872,8	-18,4	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A203	2	-188,9	-138,8	-189,1	28,9	0	-871,4	-33,4	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A203	5	-188,9	-144	-189,1	29,6	0	-870,4	-86	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A203	10	-188,9	-148,2	-189,1	29,7	0	-870,1	-184,4	77,2	1,5	Semi-rigid	8
A301	0,5	-76,3	-74,4	-76,4	39	0	-77,8	-25,6	16,5	0,3	Rigid	8
A301	1	-76,3	-74,8	-76,4	113	0	-76,2	-49,3	16,5	0,3	Rigid	8
A301	2	-76,3	-75,3	-76,4	$\infty$	1,7	-46,1	-106,1	16,5	0,3	Rigid	8

**Çizelge 4.2. (Devam) Rijitlik Analiz Sonuçları**

A301	5	-76,3	-76,8	-76,4	$\infty$	1,8	-41,4	-319,6	16,5	0,3	Rigid	8
A301	10	-76,3	-79,2	-76,4	$\infty$	1,9	-39,3	-648,8	16,5	0,3	Rigid	8
A302	0,5	-76,3	-74,1	-76,4	19,1	0	-84,5	-31,8	16,5	0,3	Rigid	8
A302	1	-76,3	-74,8	-76,4	28,7	0	-82,9	-55,5	16,5	0,3	Rigid	8
A302	2	-76,3	-75,3	-76,4	39,6	1,1	-67	-112,9	16,5	0,3	Rigid	8
A302	5	-76,3	-76,8	-76,4	52,6	1,2	-65,6	-328,2	16,5	0,3	Rigid	8
A302	10	-76,3	-79,2	-76,4	59,7	1,2	-65,1	-655,7	16,5	0,3	Rigid	8
A303	0,5	-76,3	-53,4	-76,4	2,4	0	-185,5	-30,4	16,5	0,3	Semi-rigid	8
A303	1	-76,3	-60,7	-76,4	2,4	0	-184,1	-34,2	16,5	0,3	Semi-rigid	8
A303	2	-76,3	-65,4	-76,4	2,5	0	-183,3	-41,6	16,5	0,3	Semi-rigid	8
A303	5	-76,3	-70,5	-76,4	2,5	0	-182,6	-90,6	16,5	0,3	Semi-rigid	8
A303	10	-76,3	-73,4	-76,4	2,5	0,4	-171,3	-314,6	16,5	0,3	Semi-rigid	8
B101	0,5	-188,9	-175,8	-189,1	130,1	0	-105,7	-32,7	77,2	1,5	Rigid	8
B101	1	-188,9	-183,4	-189,1	144,7	0	-105,3	-62,2	77,2	1,5	Rigid	8
B101	2	-188,9	-185,4	-189,1	156,1	2,1	-88,1	-136,7	77,2	1,5	Rigid	8
B101	5	-188,9	-189,3	-189,1	165,4	2,2	-87,8	-382,1	77,2	1,5	Rigid	8
B101	10	-188,9	-196,2	-189,1	167,6	2,2	-87,8	-788,3	77,2	1,5	Rigid	8
B102	0,5	-188,9	-163,5	-189,1	93,2	0	-105,1	-32	77,2	1,5	Rigid	8
B102	1	-188,9	-183,9	-189,1	97,4	0	-104,7	-61,4	77,2	1,5	Rigid	8
B102	2	-188,9	-185,4	-189,1	101	2,2	-86,5	-136,2	77,2	1,5	Rigid	8
B102	5	-188,9	-189,3	-189,1	103,8	2,2	-86,1	-379,2	77,2	1,5	Rigid	8
B102	10	-188,9	-196,2	-189,1	104,7	2,2	-85,9	-802,6	77,2	1,5	Rigid	8
B103	0,5	-188,9	-133,7	-189,1	14,3	0	-184,7	-12,2	77,2	1,5	Semi-rigid	8
B103	1	-188,9	-148,4	-189,1	14,5	0	-183,9	-15,5	77,2	1,5	Semi-rigid	8
B103	2	-188,9	-161	-189,1	14,6	0	-183,3	-23,3	77,2	1,5	Semi-rigid	8
B103	5	-188,9	-175,3	-189,1	14,7	0	-182,8	-80,2	77,2	1,5	Semi-rigid	8
B103	10	-188,9	-181,4	-189,1	14,7	0	-167,5	-287,1	77,2	1,5	Semi-rigid	8
B201	0,5	-188,9	-159,3	-189,1	134,7	0	-119,7	-14,8	77,2	1,5	Rigid	8
B201	1	-188,9	-173,6	-189,1	158,6	0	-118,9	-73,3	77,2	1,5	Rigid	8
B201	2	-188,9	-181,9	-189,1	176,7	1,8	-104,8	-152,2	77,2	1,5	Rigid	8
B201	5	-188,9	-189,3	-189,1	189,7	1,8	-104,1	-416,8	77,2	1,5	Rigid	8
B201	10	-188,9	-196,2	-189,1	184,9	1,8	-103,9	-738,7	77,2	1,5	Rigid	8
B202	0,5	-188,9	-114,2	-189,1	90,8	0	-108,4	-4,2	77,2	1,5	Rigid	8
B202	1	-188,9	-147,7	-189,1	95,7	0	-107,9	-64,1	77,2	1,5	Rigid	8
B202	2	-188,9	-180,2	-189,1	95,3	2,1	-91,7	-139,4	77,2	1,5	Rigid	8
B202	5	-188,9	-189,3	-189,1	96,2	2,1	-91,3	-387	77,2	1,5	Rigid	8
B202	10	-188,9	-196,2	-189,1	95,4	2,1	-91,2	-812,4	77,2	1,5	Rigid	8

**Çizelge 4.2. (Devam) Rijitlik Analiz Sonuçları**

B203	0,5	-188,9	-134,7	-189,1	14,4	0	-196,8	-13,5	77,2	1,5	Semi-rigid	8
B203	1	-188,9	-148,7	-189,1	14,7	0	-195,7	-18,5	77,2	1,5	Semi-rigid	8
B203	2	-188,9	-161,2	-189,1	14,9	0	-194,9	-28,4	77,2	1,5	Semi-rigid	8
B203	5	-188,9	-174,8	-189,1	15	0	-194,3	-98,6	77,2	1,5	Semi-rigid	8
B203	10	-188,9	-181,4	-189,1	15	1	-180,1	-344,9	77,2	1,5	Semi-rigid	8
B301	0,5	-76,3	-65,9	-76,4	50,9	0	-171,2	-11,9	16,5	0,3	Rigid	8
B301	1	-76,3	-70,4	-76,4	66,5	0	-170,7	-20,9	16,5	0,3	Rigid	8
B301	2	-76,3	-71,3	-76,4	82	0	-170,4	-40,8	16,5	0,3	Rigid	8
B301	5	-76,3	-72,4	-76,4	96,8	0	-170,2	-126,4	16,5	0,3	Rigid	8
B301	10	-76,3	-73,9	-76,4	103,5	0,5	-163,4	-368	16,5	0,3	Rigid	8
B302	0,5	-76,3	-49,2	-76,4	26,4	0	-84,9	-3,4	16,5	0,3	Rigid	8
B302	1	-76,3	-59,8	-76,4	29	0	-84,2	-11,2	16,5	0,3	Rigid	8
B302	2	-76,3	-69,7	-76,4	30,3	1	-72,8	-117,2	16,5	0,3	Rigid	8
B302	5	-76,3	-76,8	-76,4	30,8	1,1	-72,4	-340,6	16,5	0,3	Rigid	8
B302	10	-76,3	-79,2	-76,4	30,9	1,1	-72,2	-689,1	16,5	0,3	Rigid	8
B303	0,5	-76,3	-46,4	-76,4	2,3	0	-274,3	-29,2	16,5	0,3	Semi-rigid	8
B303	1	-76,3	-57	-76,4	2,4	0	-273,5	-35,2	16,5	0,3	Semi-rigid	8
B303	2	-76,3	-62,2	-76,4	2,4	0	-272,9	-45,9	16,5	0,3	Semi-rigid	8
B303	5	-76,3	-67	-76,4	2,4	0	-272,7	-73,4	16,5	0,3	Semi-rigid	8
B303	10	-76,3	-69,8	-76,4	2,4	0	-272,6	-174,8	16,5	0,3	Semi-rigid	8
C101	0,5	-76,3	-20	-76,4	7,1	0	-4996,9	-6,3	16,5	0,3	Semi-rigid	8
C101	1	-76,3	-24,7	-76,4	7,2	0	-4995,9	-11,4	16,5	0,3	Semi-rigid	8
C101	2	-76,3	-28	-76,4	7,2	0	-4995,4	-21,9	16,5	0,3	Semi-rigid	8
C101	5	-76,3	-31,5	-76,4	6,9	0	-4999,1	-50,7	16,5	0,3	Semi-rigid	8
C101	10	-76,3	-33,9	-76,4	6,6	0	-4994,9	-104,2	16,5	0,3	Semi-rigid	8
C102	0,5	-76,3	-7,9	-76,4	1,7	0	-24739,1	-8,9	16,5	0,3	Semi-rigid	8
C102	1	-76,3	-8,9	-76,4	1,7	0	-24738	-12,9	16,5	0,3	Semi-rigid	8
C102	2	-76,3	-10,2	-76,4	1,6	0	-24737,4	-20,4	16,5	0,3	Semi-rigid	8
C102	5	-76,3	-11,6	-76,4	1,5	0	-24737,1	-48,6	16,5	0,3	Semi-rigid	8
C102	10	-76,3	-12,5	-76,4	1,4	0	-24737	-94,6	16,5	0,3	Semi-rigid	8
C103	0,5	-188,9	-27,1	-189,1	14,7	0	-9496	-4,3	77,2	1,5	Semi-rigid	8
C103	1	-188,9	-39,1	-189,1	14,4	0	-9495	-6,9	77,2	1,5	Semi-rigid	8
C103	2	-188,9	-47,3	-189,1	13,9	0	-9494,4	-12,4	77,2	1,5	Semi-rigid	8
C103	5	-188,9	-53,4	-189,1	13,1	0	-9494	-32	77,2	1,5	Semi-rigid	8
C103	10	-188,9	-57,1	-189,1	12,6	0	-9493,8	-71,2	77,2	1,5	Semi-rigid	8
C104	0,5	-188,9	-19,2	-189,1	12	0	-9104,9	-4,4	77,2	1,5	Semi-rigid	8

**Çizelge 4.2. (Devam) Rijitlik Analiz Sonuçları**

C104	1	-188,9	-22,4	-189,1	11,5	0	-9104	-8,2	77,2	1,5	Semi-rigid	8
C104	2	-188,9	-25,6	-189,1	10,4	0	-9103,4	-15	77,2	1,5	Semi-rigid	8
C104	5	-188,9	-29,5	-189,1	8,7	0	-9103	-34,5	77,2	1,5	Semi-rigid	8
C104	10	-188,9	-31,8	-189,1	7,7	0	-9102,8	-67,8	77,2	1,5	Semi-rigid	8
C201	0,5	-76,3	-62	-76,4	29,8	0	-100,7	-44,6	16,5	0,3	Rigid	8
C201	1	-76,3	-70,6	-76,4	33,1	0	-99,6	-71	16,5	0,3	Rigid	8
C201	2	-76,3	-75,3	-76,4	31,3	0,8	-89,9	-134,4	16,5	0,3	Rigid	8
C201	5	-76,3	-76,8	-76,4	31,5	0,9	-89,3	-483,5	16,5	0,3	Rigid	8
C201	10	-76,3	-79,2	-76,4	28,4	0,9	-88,9	-1141,7	16,5	0,3	Rigid	8
C202	0,5	-76,3	-34,9	-76,4	25,1	0	-255,8	-2,5	16,5	0,3	Rigid	8
C202	1	-76,3	-44,2	-76,4	31,7	0	-254,4	-4,2	16,5	0,3	Rigid	8
C202	2	-76,3	-53,2	-76,4	35,8	0	-253,6	-10,3	16,5	0,3	Rigid	8
C202	5	-76,3	-61,9	-76,4	37,5	0	-252,9	-35,8	16,5	0,3	Rigid	8
C202	10	-76,3	-66,5	-76,4	36,7	0	-252,7	-83,9	16,5	0,3	Rigid	8
C203	0,5	-188,9	-146,7	-189,1	∞	0	-460,1	-6,8	77,5	1,5	Rigid	8
C203	1	-188,9	-157,8	-189,1	∞	0	-458,7	-14,2	77,5	1,5	Rigid	8
C203	2	-188,9	-161	-189,1	∞	0	-457,9	-36	77,5	1,5	Rigid	8
C203	5	-188,9	-165,4	-189,1	∞	0	-457,1	-99,8	77,5	1,5	Rigid	8
C203	10	-188,9	-169,6	-189,1	∞	0	-456,8	-212,4	77,5	1,5	Rigid	8
C204	0,5	-188,9	-67,9	-189,1	119,3	0	-554,9	-1,1	77,2	1,5	Rigid	8
C204	1	-188,9	-85,4	-189,1	158,7	0	-553,1	-2	77,2	1,5	Rigid	8
C204	2	-188,9	-102,9	-189,1	183,6	0	-551,9	-5,2	77,2	1,5	Rigid	8
C204	5	-188,9	-119,9	-189,1	190,9	0	-551,3	-17,7	77,2	1,5	Rigid	8
C204	10	-188,9	-128,5	-189,1	185	0	-551,1	-42,4	77,2	1,5	Rigid	8

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan sayısal çalışma sonucunda bazı sonuçlar elde edilmiştir. Zayıf yön, kuvvetli yön ve boru ile kutu profili birleşimlerin farklı davranış mekanizmalarının olduğu görülmüştür. Kuvvetli eksendeki birleşimlerin Eurocode yönetmeliğine uygun davrandığı sonucuna ulaşılmıştır. Birleşimde küçük bir parametre olarak düşünülen bir değer birleşimin davranışına büyük etkisi olduğu görülmüştür. Aynı kolon ve kirişe sahip birleşimlerde aynı davranış görülmesi beklenirken, her defasında kaynaklı ve alın plakalı birleşim benzer davranış gösterirken üst ve alt başlık levhalı cıvatalı birleşimin aynı zayıflık nedeniyle farklı davranış gösterdiği görülmüştür.

Kutu ve boru profillerde eğer et kalınlığı yeterli değil ise kirişin kolona doğrudan bağlanmasının doğru olmamakta ve yırtılmalar oluşabilmektedir. Bu durum berkitme levhası kullanmanın gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Berkitme levhalarının tasarlanmasında kuvveti taşıyabilecek levha kalınlığı seçmenin yeterli olmaması, levha şekline bağlı olarak akma şekil değiştirmelerinin göz önüne alınarak tasarım yapılmasının önemini ortaya çıkarmıştır. Kutu ve boru profilin zayıf olduğu durumlarda ise berkitme levhası eklemenin yeterli olmayacağı görülmüştür. Kutu ve boru profile sahip birleşimlerde panel bölgesindeki akma şekil değiştirme miktarının yüksek olması et kalınlığının önemini ortaya çıkarmıştır. Panel bölgesi davranışının iyi anlaşılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Sadece kolon ve kirişin plastik davranışına bakılmasının yeterli olmadığı birleşimin davranışının göz önüne alınması gerektiği görülmüştür. Birleşimlerde başlık ile aynı kalınlığa sahip berkitme levhası kullanmanın yeterli olmayabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Plastik deformasyonun kiriş üzerinde yoğunlaşmasının sağlanabilmesi için birleşimin çok iyi tasarlanması gerektiği ve birleşimin davranışı için basit hesapların yeterli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Zayıf yönden birleşimlerde daha önceki çalışmalara[45] uygun şekilde tasarım yapıldığından maksimum deformasyonun kirişte ulaşıldığı görülmüştür. Alt ve üst levhalı cıvatalı birleşimlerde bulon çevresinde önlem alınması ya da kirişte zayıflatılma yapılması gerektiği görülmüştür. Bilinen hesap yöntemlerinde en elverişsiz net kesitte kopmayı kurtarıyor ise yeterli olacağı düşünülürken şekil değiştirmelerin bulon deliği çevresinde yoğunlaşması sebebiyle yeterli olamadığı ve kirişte dönmenin sınırlı kaldığı görülmüştür. Alt ve üst levhalı cıvatalı birleşimde ek önemler alınmaması halinde yapıda kullanımının riskli olduğu görülmüştür.

İdea statica programı çelik birleşimlerin analizine özel olarak hazırlanmıştır. Birleşimlerin mekanik davranışının çok komplike olması iyi bir modelleme ve analiz gerektirmektedir. İdea statica programı yönetmelikteki yay modelini ve sonlu elemanlar yöntemini bir birleşimi olan bir model kullanmaktadır. Profilin gövdeleri, panel bölgeleri ve birleşimdeki levhaları birer kabuk eleman olarak dikkate alıp bu elemanlara maksimum akma şekil değıştirmesi değeri geçmeyecek bir dağılım ile deformasyon modeli hesaplamakta yani pekleşmeyi dikkate almamaktadır. Bu yöntem gerçekte gerçekte pekleşme olması nedeniyle gerçekte biraz uzak olmaktadır. Programın analizinde gerçeğe göre daha fazla deformasyon ve daha az dayanım ortaya çıkmaktadır. Bu durum aslında güvenli tarafta kalındığını göstermektedir. İdea statica programının kullanımı sırasında sonuçların birebir gerçeği yansıtmadığı fakat gerçeğe yakın sonuçlar elde edildiği bilinerek kullanılması gerekmektedir. Eğer gerçeğe daha yakın bir sonuç elde edilmek istenirse ANSYS vb. diğer sonlu elemanlar yöntemine dayanan programlar kullanılması önerilir. Bu programların kullanılması hem uzmanlık gerektirmekte hemde analiz süreleri uzun olmaktadır. İdea statica programı çelik birleşimlerin analizinde kullanım kolaylığı ve analiz sürelerinin kısa olması nedeniyle öne çıkmaktadır.

## KAYNAKÇA

- [1] Bayülke, N. (1996). Moment Taşıyan Çelik Kolon Kiriş Birleşim Yerlerinin 1994 Northridge Kaliforniya Depremindeki Davranışı. *Türkiye Mühendislik Haberleri*. 382.
- [2] Bayülke, N. (2003). Northridge Kaliforniya Depremi Sonrasında Moment Taşıyan Çelik Kolon-Kiriş Birleşim Yerleri Üzerinde Yapılan Deneyler, Araştırma ve Geliştirmeler. 425, 23-39.
- [3] Tezer, Ö. (2005). Zayıflatılmış kiriş enkesitli kiriş-kolon birleşimleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*. 425, 23-39.
- [4] Tsai, K.C. ve Popov, E.P. (1990). Cyclic behavior of end-plate moment connections. *Journal of Structural Engineering*. 116(11), 2917-2930.
- [5] Sherbourne, A.N. ve Bahaari, M.R. (1994). 3D simulation of end-plate bolted connections. *Journal of Structural Engineering*. 120(11), 3122-3136.
- [6] Bahaari, M.R. ve Sherbourne, A.N. (1996). Structural behavior of end-plate bolted connections to stiffened columns. *Journal of Structural Engineering*. 122(8), 926-935.
- [7] Bahaari, M.R. ve Sherbourne, A.N. (1996). 3D simulation of bolted connections to unstiffened columns—II. Extended endplate connections. *Journal of Constructional Steel Research*. 40(3), 189-223.
- [8] Bahaari, M.R. ve Sherbourne, A.N. (2000). Behavior of eight-bolt large capacity endplate connections. *Computers & Structures*. 77(3), 315-325.
- [9] Adey, B.T., Grondin, G.Y. ve Cheng, J.R. (1997). *Extended end plate moment connections under cyclic loading*. Master Thesis. Edmonton: University of Alberta, Faculty of Graduate Studies and Research.
- [10] Ryan, J.C. (1999). *Evaluation of extended end-plate moment connections under seismic loading*. Master Thesis. Blacksburg: Virginia Tech, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [11] Yorgun, C. (2002). Evaluation of innovative extended end-plate moment connections under cyclic loading. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*. 26(6), 483-492.
- [12] Yorgun, C. ve Bayramoğlu, G. (2001). Cyclic tests for welded-plate sections with end-plate connections. *Journal of Constructional Steel Research*. 57(12), 1309-1320.

- [13] Sumner, E.A. ve Murray, T.M. (2002). Behavior of extended end-plate moment connections subject to cyclic loading. *Journal of Structural Engineering*. 128(4), 501-508.
- [14] Sumner, E.A. (2003). *Unified design of extended end-plate moment connections subject to cyclic loading*. Doctoral Thesis. Blacksburg: Virginia Tech, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [15] Schneider, S.P. ve Teeraparb Wong, I. (2002). Inelastic behavior of bolted flange plate connections. *Journal of Structural Engineering*. 128(4), 492-500.
- [16] Coelho, A.M.G., Bijlaard, F.S. ve da Silva, L.S. (2004). Experimental assessment of the ductility of extended end plate connections. *Engineering Structures*. 26(9), 1185-1206.
- [17] Maggi, Y., Gonçalves, R., Leon, R. ve Ribeiro, L. (2005). Parametric analysis of steel bolted end plate connections using finite element modeling. *Journal of Constructional Steel Research*. 61(5), 689-708.
- [18] Shi, Y., Shi, G. ve Wang, Y. (2007). Experimental and theoretical analysis of the moment–rotation behaviour of stiffened extended end-plate connections. *Journal of Constructional Steel Research*. 63(9), 1279-1293.
- [19] Guo, B., Gu, Q. ve Liu, F. (2006). Experimental behavior of stiffened and unstiffened end-plate connections under cyclic loading. *Journal of Structural Engineering*. 132(9), 1352-1357.
- [20] Shi, G., Shi, Y. ve Wang, Y. (2007). Behaviour of end-plate moment connections under earthquake loading. *Engineering Structures*. 29(5), 703-716.
- [21] Shi, G., Shi, Y., Wang, Y. ve Bradford, M.A. (2008). Numerical simulation of steel pretensioned bolted end-plate connections of different types and details. *Engineering Structures*. 30(10), 2677-2686.
- [22] Gerami, M., Saberi, H., Saberi, V. ve Daryan, A.S. (2011). Cyclic behavior of bolted connections with different arrangement of bolts. *Journal of Constructional Steel Research*. 67(4), 690-705.
- [23] Mashaly, E., El-Hewity, M., Abou-Elfath, H. ve Osman, M. (2011). Behavior of four-bolt extended end-plate connection subjected to lateral loading. *Alexandria Engineering Journal*. 50(1), 79-90.

- [24] Mashaly, E., El-Heweity, M., Abou-Elfath, H. ve Osman, M. (2011). Finite element analysis of beam-to-column joints in steel frames under cyclic loading. *Alexandria Engineering Journal*. 50(1), 91-104.
- [25] Hatipoğlu, E.T. (2011). *Zayıflatılmış ve güçlendirilmiş tipteki çelik kolon-kiriş birleşimlerinin deprem etkisi altındaki davranışının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Konya: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [26] Eldemerdash, M., Abu-Lebdeh, T. ve Al Nasra, M. (2012). Finite element analysis of large capacity endplate steel connections. *Journal of Computer Science*. 8(4), 482-493.
- [27] Baei, M., Ghassemieh, M. ve Goudarzi, A. (2012). Numerical Modelling of End-Plate Moment Connection Subjected to Bending and Axial Forces. *The Journal of Mathematics and Computer Science*. 4(3), 463-472.
- [28] Abidelah, A., Bouchaïr, A. ve Kerdal, D. (2012). Experimental and analytical behavior of bolted end-plate connections with or without stiffeners. *Journal of Constructional Steel Research*. 76, 13-27.
- [29] Dessouki, A.K., Youssef, A.H. ve Ibrahim, M.M. (2013). Behavior of I-beam bolted extended end-plate moment connections. *Ain Shams Engineering Journal*. 4(4), 685-699.
- [30] Wang, M., Shi, Y., Wang, Y. ve Shi, G. (2013). Numerical study on seismic behaviors of steel frame end-plate connections. *Journal of Constructional Steel Research*. 90, 140-152.
- [31] Ismail, R.E., Fahmy, A.S., Khalifa, A.M. ve Mohamed, Y.M. (2014). Behavior of End-Plate Steel Connections Stiffened with Stiffeners of Different Geometrical Dimensions. *Global Advanced Research Journal of Engineering, Technology and Innovation*. 3(3), 55-69.
- [32] Shaker, F.M. ve Elrahman, A. (2014). Analytical Behavior of Steel Pre-tensioned Bolted Connections with Flushed and Extended End Plates under Bending. *World Applied Sciences Journal*. 30(6), 673-684.
- [33] Taufik, S. (2013). Numerical Modelling of Semi-rigid Connection with High Strength Steel. *Study of Civil Engineering and Architecture*.
- [34] Saberi, V., Gerami, M. ve Kheyroddin, A. (2014). Comparison of bolted end plate and T-stub connection sensitivity to component thickness. *Journal of Constructional Steel Research*. 98, 134-145.

- [35] Prinz, G.S., Nussbaumer, A., Borges, L. ve Khadka, S. (2014). Experimental testing and simulation of bolted beam-column connections having thick extended endplates and multiple bolts per row. *Engineering Structures*. 59, 434-447.
- [36] Yılmaz, O. ve Bekiroğlu, S. (Year). Behavior of pretensioned bolted steel column beam connections subjected to monotonic loading. *11th International Congress on Advances in Civil Engineering*, Istanbul.
- [37] Han, S.W., Kwon, G.U. ve Moon, K.H. (2007). Cyclic behaviour of post-Northridge WUF-B connections. *Journal of Constructional Steel Research*. 63(3), 365-374.
- [38] Hedayat, A.A. ve Celikag, M. (2009). Post-Northridge connection with modified beam end configuration to enhance strength and ductility. *Journal of Constructional Steel Research*. 65(7), 1413-1430.
- [39] Ricles, J.M., Mao, C., Lu, L.-W. ve Fisher, J.W. (2003). Ductile details for welded unreinforced moment connections subject to inelastic cyclic loading. *Engineering Structures*. 25(5), 667-680.
- [40] Ricles, J.M., Mao, C., Lu, L.-W. ve Fisher, J.W. (2002). Inelastic cyclic testing of welded unreinforced moment connections. *Journal of Structural Engineering*. 128(4), 429-440.
- [41] Stojadinović, B., Goel, S.C., Lee, K.-H., Margarian, A.G. ve Choi, J.-H. (2000). Parametric tests on unreinforced steel moment connections. *Journal of Structural Engineering*. 126(1), 40-49.
- [42] Chen, C.C., Chen, S.W., Chung, M.D. ve Lin, M.C. (2005). Cyclic behaviour of unreinforced and rib-reinforced moment connections. *Journal of Constructional Steel Research*. 61(1), 1-21.
- [43] Pachoumis, D., Galoussis, E., Kalfas, C. ve Efthimiou, I. (2010). Cyclic performance of steel moment-resisting connections with reduced beam sections—experimental analysis and finite element model simulation. *Engineering Structures*. 32(9), 2683-2692.
- [44] Gholami, M., Deylami, A. ve Tehranizadeh, M. (2013). Seismic performance of flange plate connections between steel beams and box columns. *Journal of Constructional Steel Research*. 84, 36-48.

- [45] Peker, K. (2009). *Zayıf Eksen Çelik Kolon Kiriş Birleşimlerinin Çevrimsel Yükler Etkisinde Davranışı*. Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [46] Frye, M.J. ve Morris, G.A. (1975). Analysis of flexibly connected steel frames. *Canadian journal of civil engineering*. 2(3), 280-291.
- [47] De Lima, L., De Andrade, S., Vellasco, P.d.S. ve Da Silva, L. (2002). Experimental and mechanical model for predicting the behaviour of minor axis beam-to-column semi-rigid joints. *International journal of mechanical sciences*. 44(6), 1047-1065.
- [48] Krawinkler, H. (1971). *Inelastic behavior of steel beam-to-column subassemblages*. Berkeley: University of California, Berkeley.
- [49] Krawinkler, H. ve Popov, E.P. (1982). Seismic behavior of moment connections and joints. *Journal of the Structural Division*. 108(2), 373-391.
- [50] Krishnamurthy, N., Avery, L.K., Jeffrey, P.K. ve Huang, H.-T. (1979). Analytical M- $\theta$  curves for end-plate connections. *Journal of the Structural Division*. 105(1), 133-145.
- [51] Kukreti, A., Murray, T. ve Abolmaali, A. (1987). End-plate connection moment-rotation relationship. *Journal of Constructional Steel Research*. 8, 137-157.
- [52] Yardimci, N. ve Yorgun, C. (1995). Semi-rigid welded beam-to-column connections. *BULTENI-ISTANBUL TEKNİK UNIVERSİTESİ*. 48, 599-622.
- [53] Yardimci, N., Yorgun, C. ve Arda, T. (1996). Tests on beam-column strong and weak axis connections. *Computers & Structures*. 61(3), 393-399.
- [54] Yorgun, C., Yardimci, N., Bayramoglu, G., Arda, T. ve Eyrekci, O. (1996). Bolted beam-to-column connections designed by double channels. *BULTENI-ISTANBUL TEKNİK UNIVERSİTESİ*. 49, 337-350.
- [55] Dubina, D. ve Stratan, A. (2002). Behaviour of welded connections of moment resisting frames beam-to-column joints. *Engineering Structures*. 24(11), 1431-1440.
- [56] Engelhardt, M. ve Husain, A. (1993). Cyclic-loading performance of welded flange-bolted web connections. *Journal of Structural Engineering*. 119(12), 3537-3550.

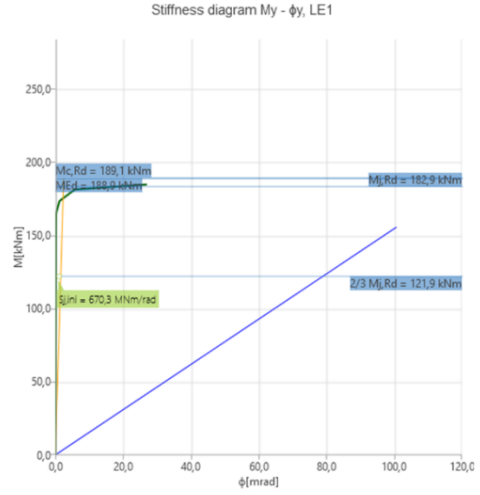
- [57] Popov, E.P., Yang, T.-S. ve Chang, S.-P. (1998). Design of steel MRF connections before and after 1994 Northridge earthquake1. *Engineering Structures*. 20(12), 1030-1038.
- [58] Popov, E.P. ve Pinkney, B.R. (1969). Cyclic yield reversal in steel building connections. *Journal of the Structural Division*.
- [59] Grubbs, K.V. (1997). *The effect of the dogbone connection on the elastic stiffness of steel moment frames*. Master Thesis. Austin: University of Texas at Austin.
- [60] Koetaka, Y., Chusilp, P., Zhang, Z., Ando, M., Suita, K., Inoue, K. ve Uno, N. (2005). Mechanical property of beam-to-column moment connection with hysteretic dampers for column weak axis. *Engineering Structures*. 27(1), 109-117.
- [61] Deren, H., Uzgider, E., Piroğlu, F. ve Çağlayan, Ö. (2008). *Çelik Yapılar*. İstanbul: Çağlayan Basımevi.
- [62] . (2005). *EN 1993-1-8: 2005/AC: Eurocode 3, Design of Steel Structures*. Brussels: European Commission.
- [63] . (2010). *AISC 358-10 Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*. American Institute of Steel Construction AISC.
- [64] . (2000). *FEMA 350 Recommended seismic design criteria for steel moment-frames buildings*. Washington, DC: Federal Emergency Management Agency
- [65] Miller, D.K. (1998). Lessons learned from the Northridge earthquake. *Engineering Structures*. 20(4-6), 249-260.
- [66] Roeder, C.W. (2002). Connection performance for seismic design of steel moment frames. *Journal of Structural Engineering*. 128(4), 517-525.
- [67] Roeder, C.W. (2003). Prequalification of steel moment-frame connection performance. *Earthquake spectra*. 19(2), 291-308.
- [68] Lu, L.-W., Ricles, J.M., Mao, C. ve Fisher, J.W. (2000). Critical issues in achieving ductile behaviour of welded moment connections. *Journal of Constructional Steel Research*. 55(1-3), 325-341.
- [69] [https://resources.ideastatica.com/Content/02\\_Steel/Theoretical\\_background/1\\_General.htm](https://resources.ideastatica.com/Content/02_Steel/Theoretical_background/1_General.htm) (Erişim tarihi:10.07.18)

- [70] Viridi, K. (1999). Guidance on good practice in simulation of semi-rigid connections by the finite element method. *Numerical Simulation of Semi-Rigid Connections by the Finite Element Method, COST C1, Rep. of Working Group 6—Numerical Simulation.* 1-12.
- [71] . (2006). *Eurocode 3—design of steel structures Part 1-5: General rules and supplementary rules for plated structures.* Brussels: European Commission.
- [72] Šabatka, L., Wald, F., Kabeláč, J., Gödrich, L. ve Navrátil, J. (Year). Component based finite element model of structural connections. *Proceedings of the 12th International Conference on Steel, Space & Composite Structures.*
- [73] Wald, F., Sokol, Z., Moal, M. ve Mazura, V. (Year). Component method for cover plate connections with slotted holes. *International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures, Budapest.*

## **EKLER**

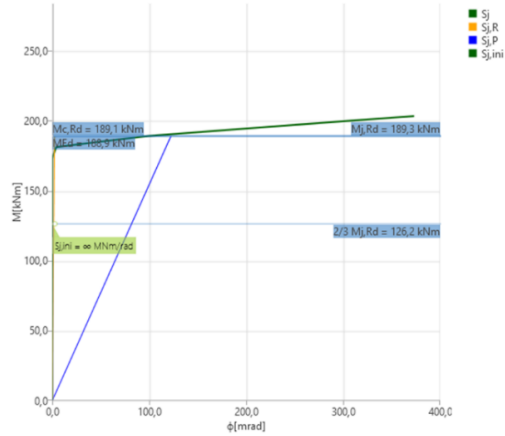
**EK-1** Rijtilik diyagramları

## EK-1a. A101 numunesi rijitlik diyagramları

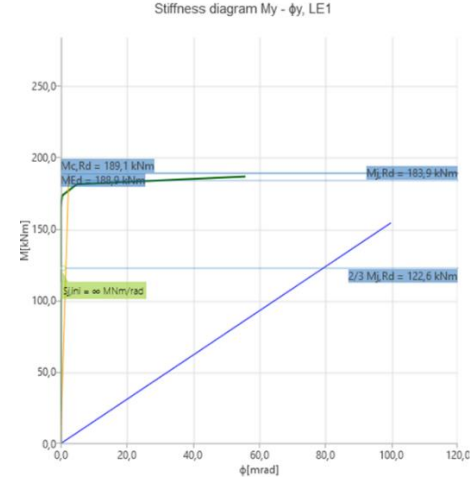


A101 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

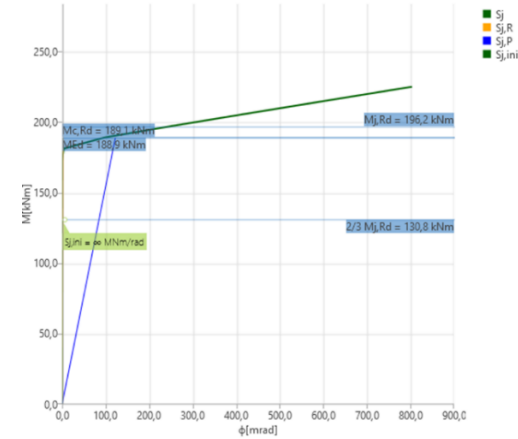


A101 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

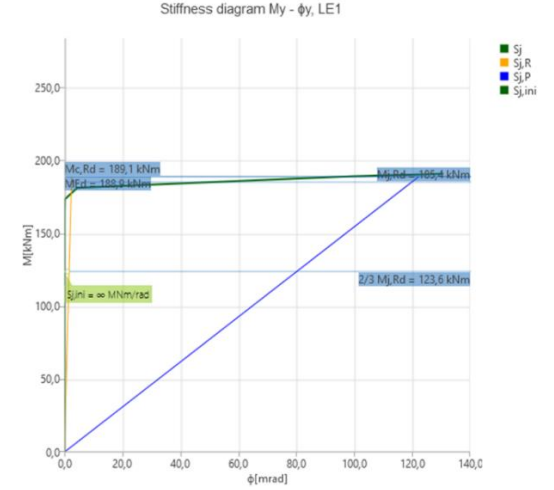


A101 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

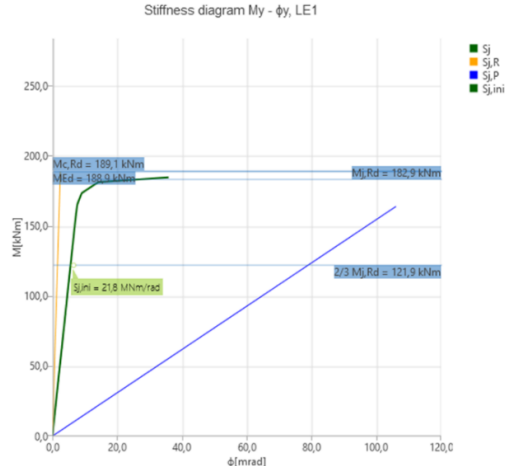


A101 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

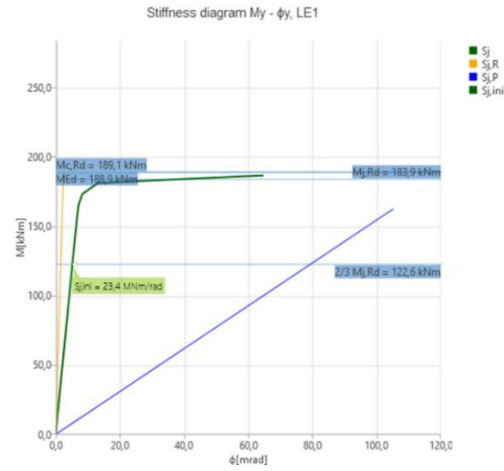


A101 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

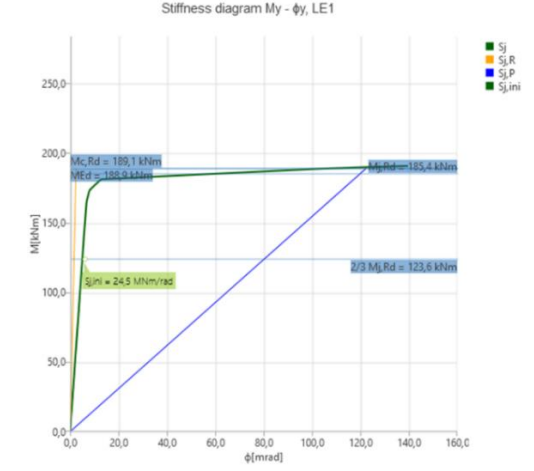
## EK-1b. A102 numunesi rijitlik diyagramları



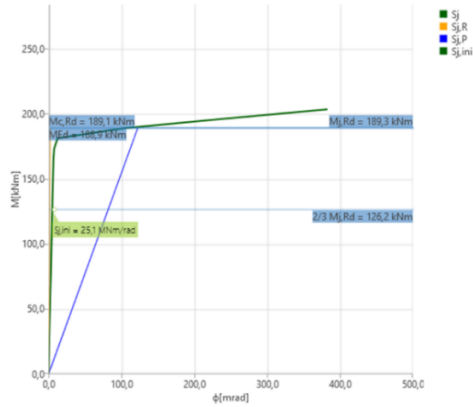
A102 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



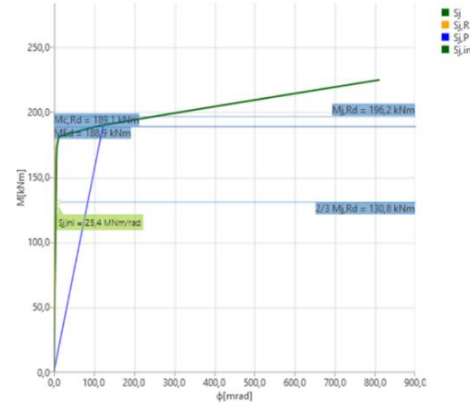
A102 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



A102 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

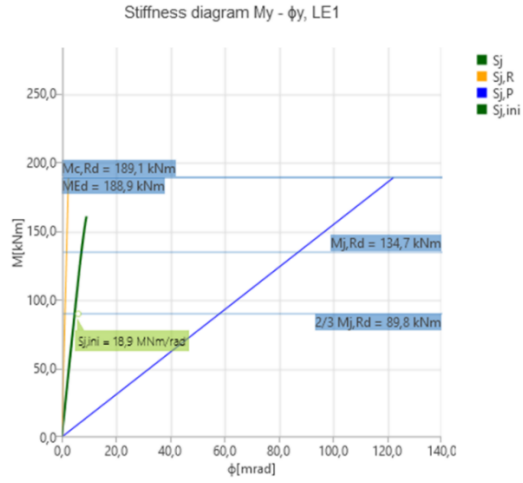


A102 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



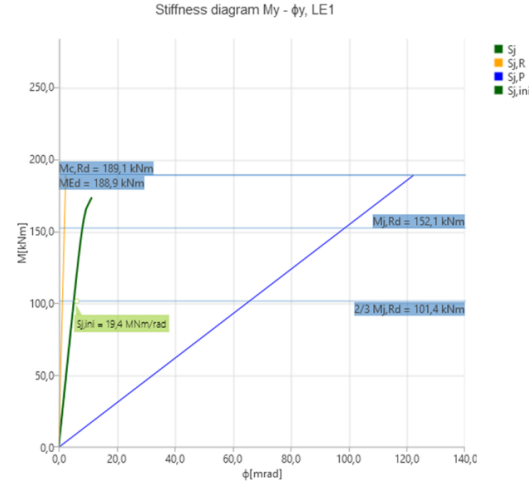
A102 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1c. A103 numunesi rijitlik diyagramları



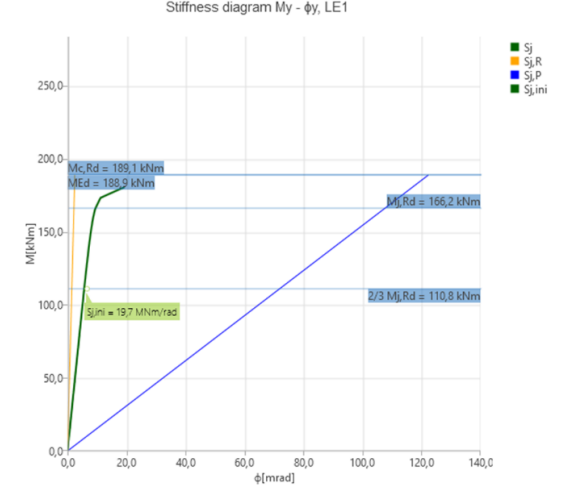
A103 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi_y$ , LE1

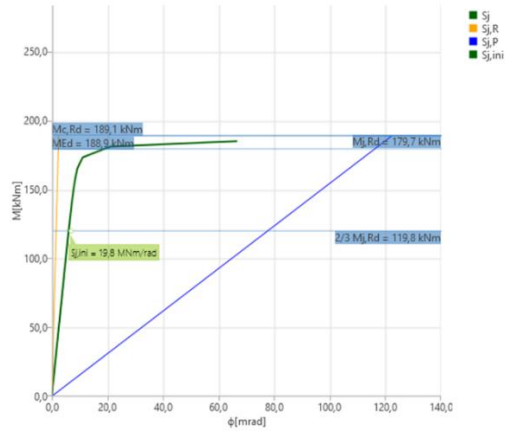


A103 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

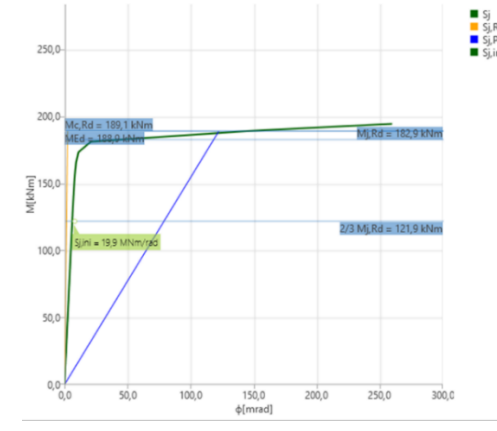
Stiffness diagram My -  $\phi_y$ , LE1



A103 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

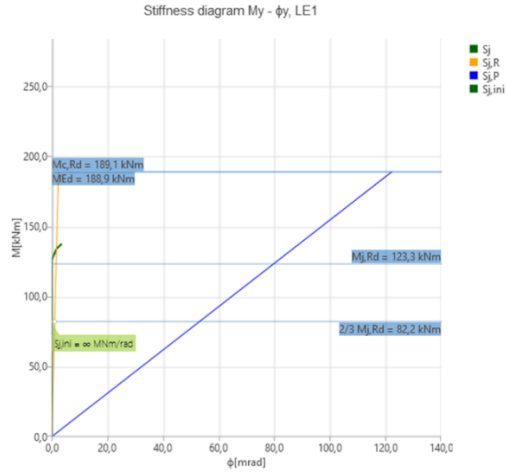


A103 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



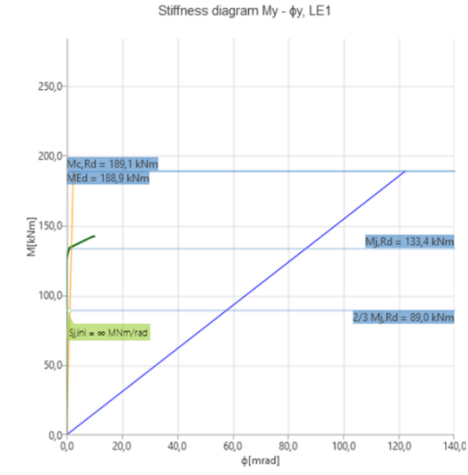
A103 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1ç. A201 numunesi rijitlik diyagramları



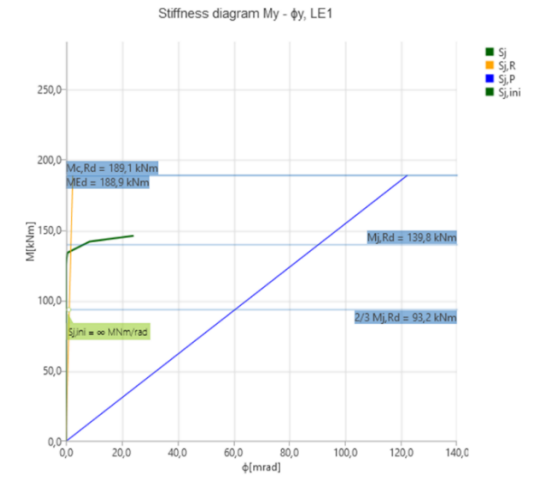
A201 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

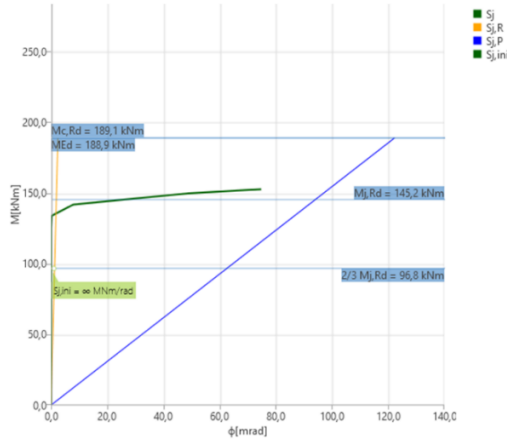


A201 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

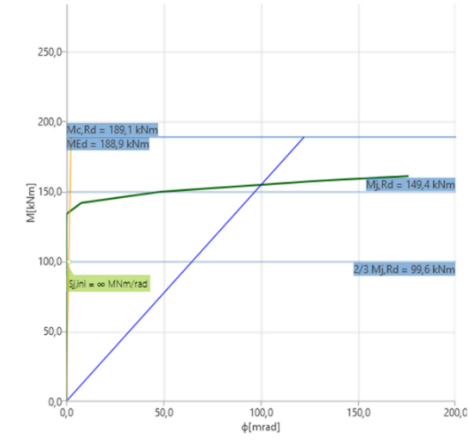
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



A201 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

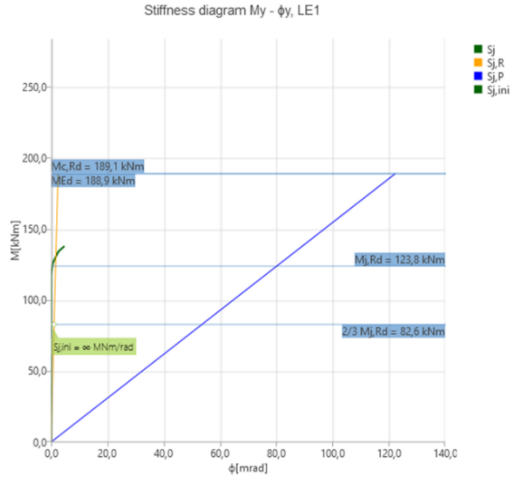


A201 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



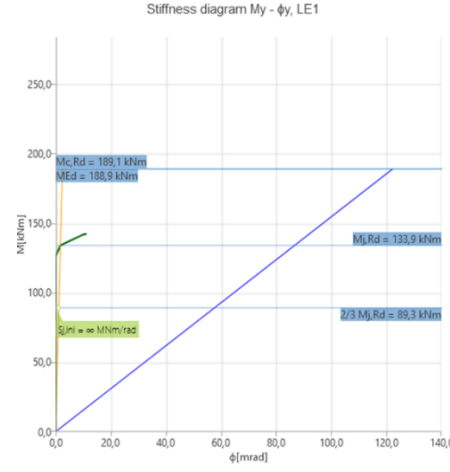
A201 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1d. A202 numunesi rijitlik diyagramları



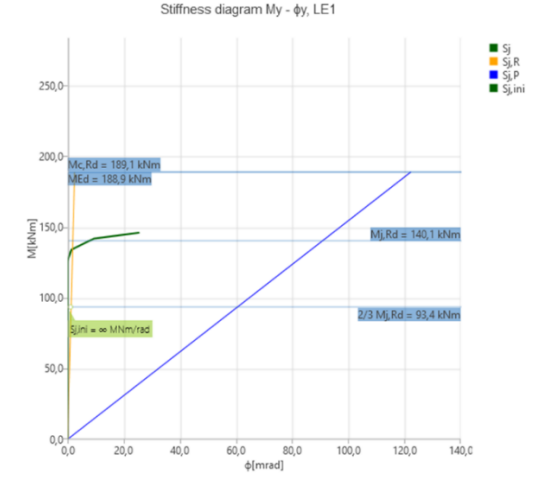
A202 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

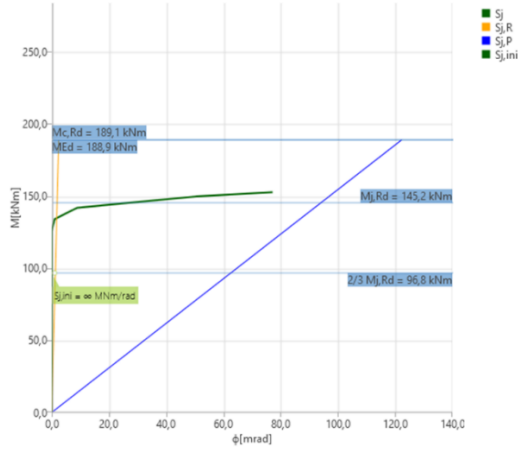


A202 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

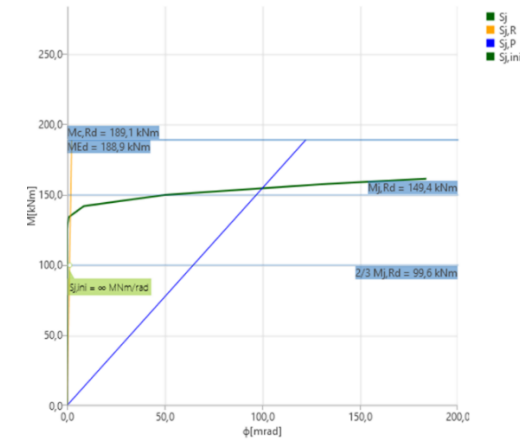
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



A202 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

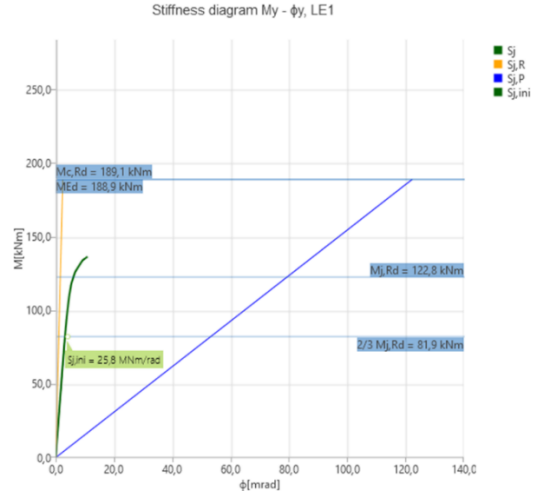


A202 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



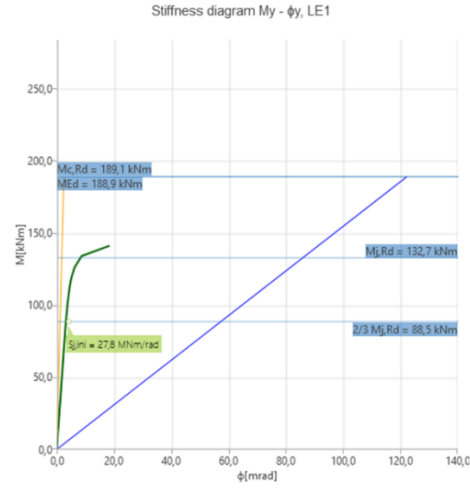
A202 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1e. A203 numunesi rijitlik diyagramları



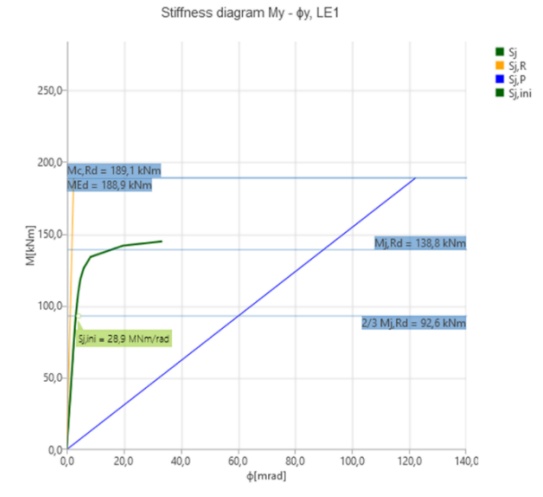
A203 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

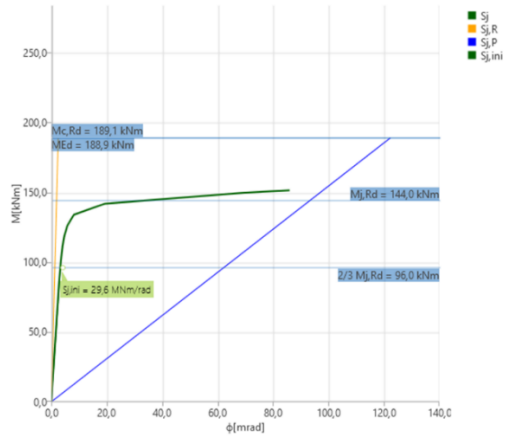


A203 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

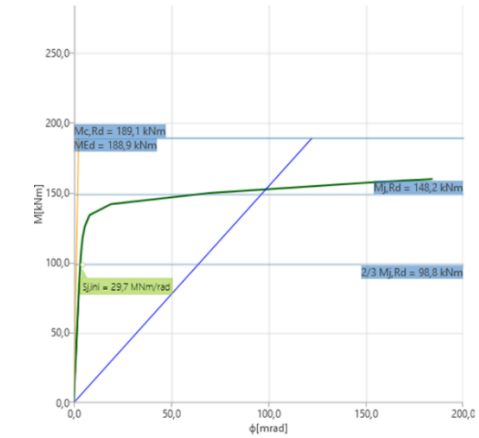
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



A203 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

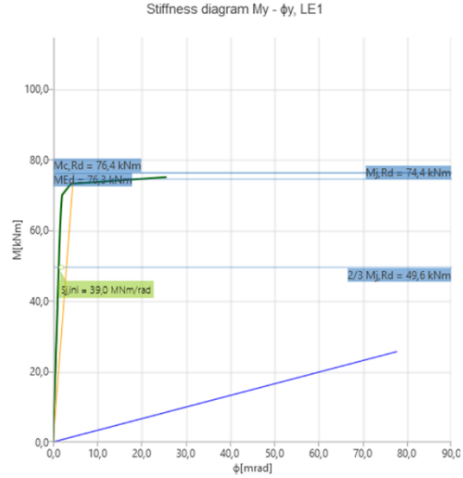


A203 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

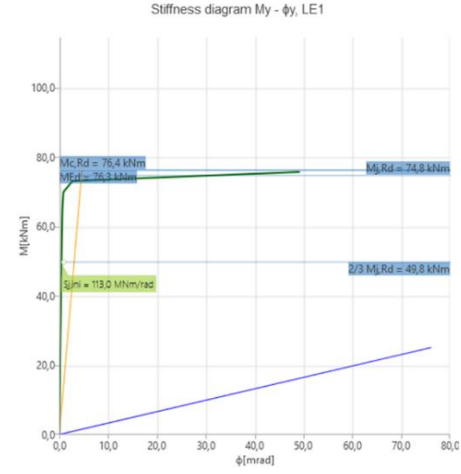


A203 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

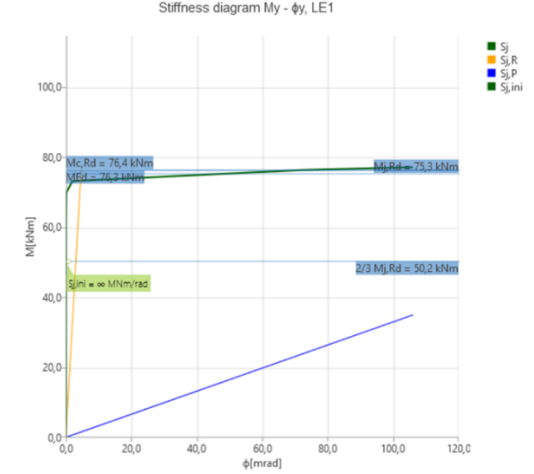
# EK-1f. A301 numunesi rijitlik diyagramları



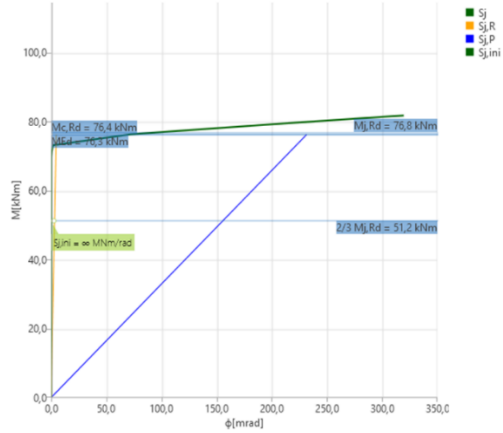
A301 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı  
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



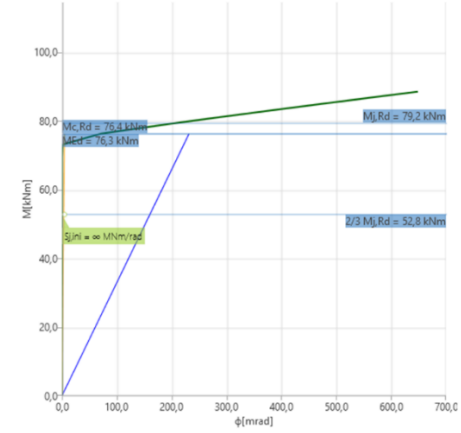
A301 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı  
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



A301 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

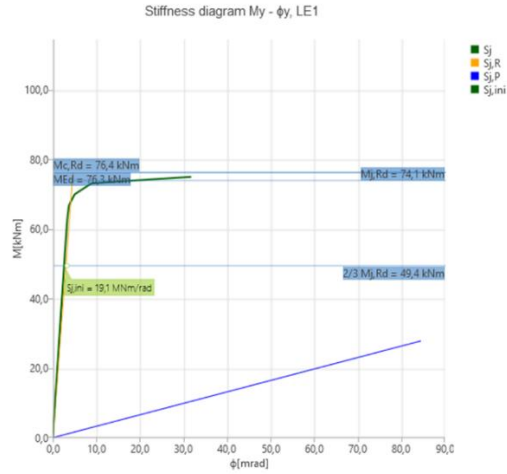


A301 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



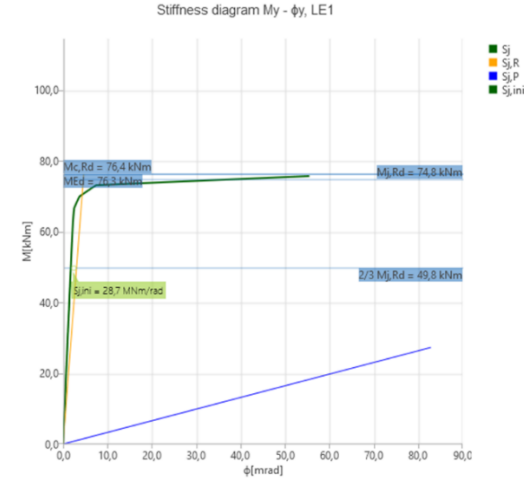
A301 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1g. A302 numunesi rijitlik diyagramları



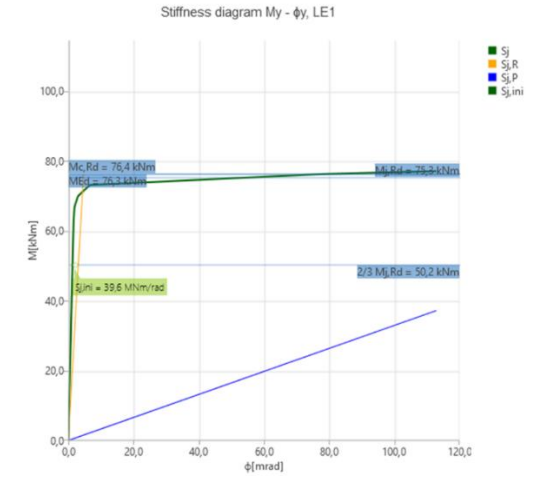
A302 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

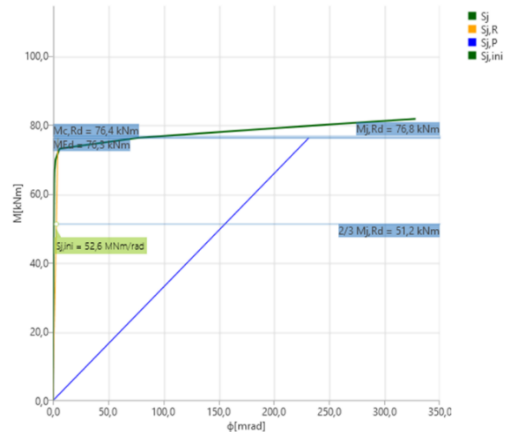


A302 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

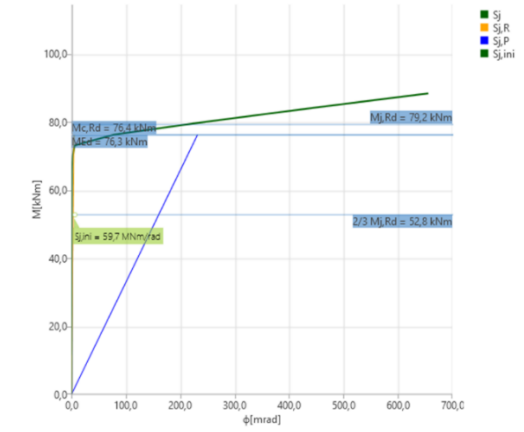
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



A302 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

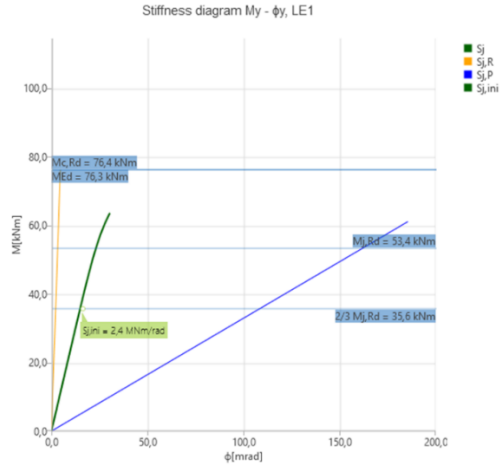


A302 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



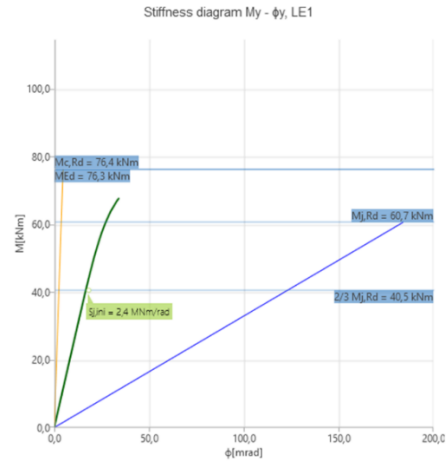
A302 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1ğ. A303 numunesi rijitlik diyagramları



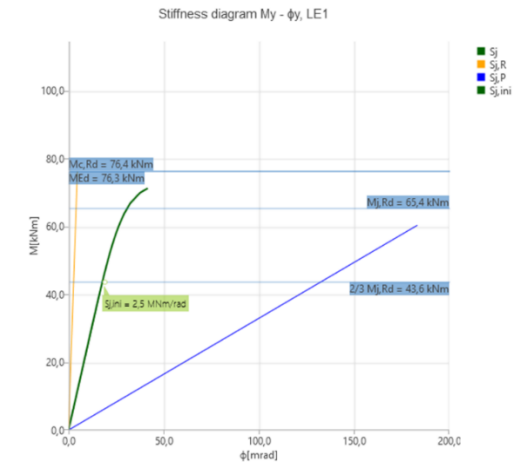
A303 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

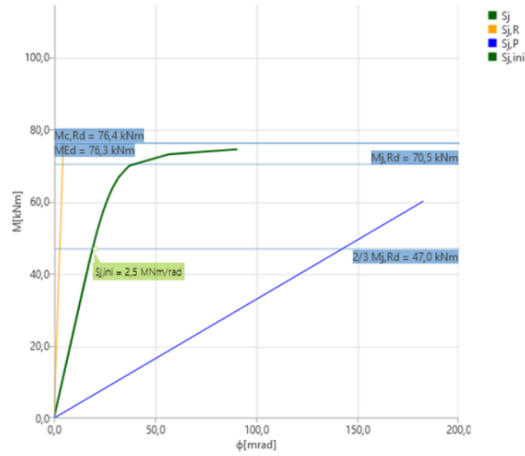


A303 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

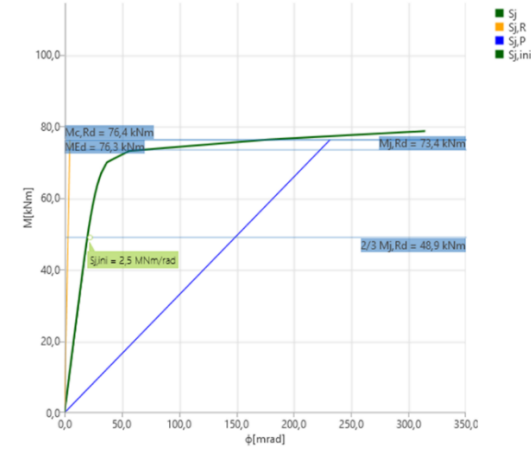
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



A303 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

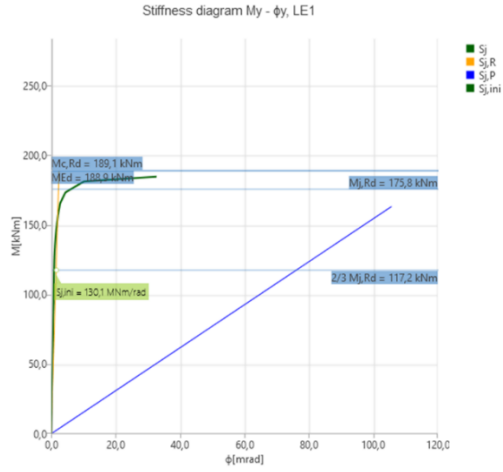


A303 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



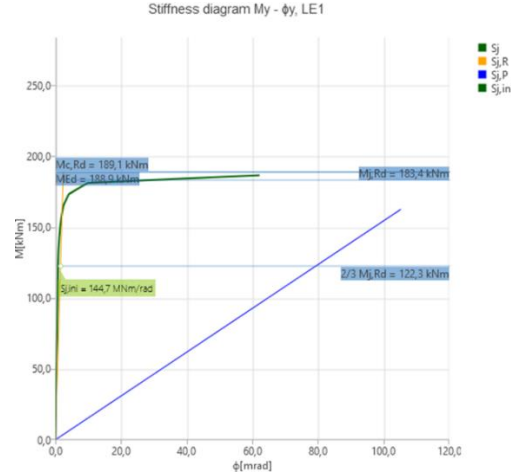
A303 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1h. B101 numunesi rijitlik diyagramları



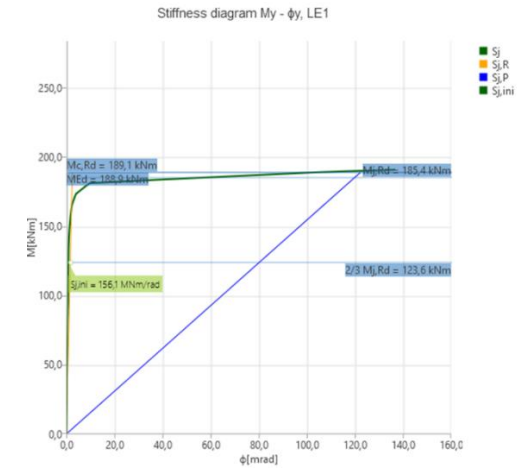
B101 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

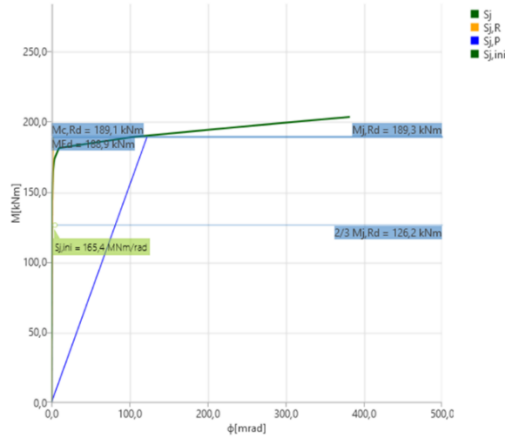


B101 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

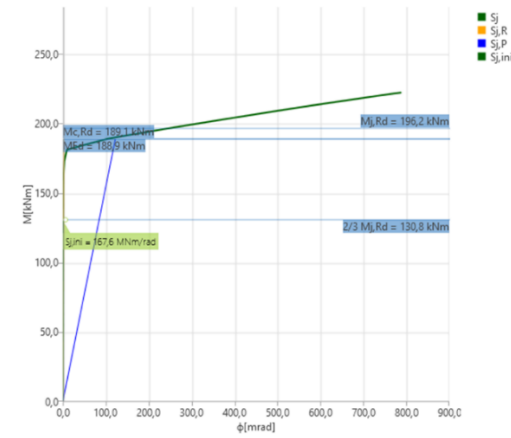
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



B101 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

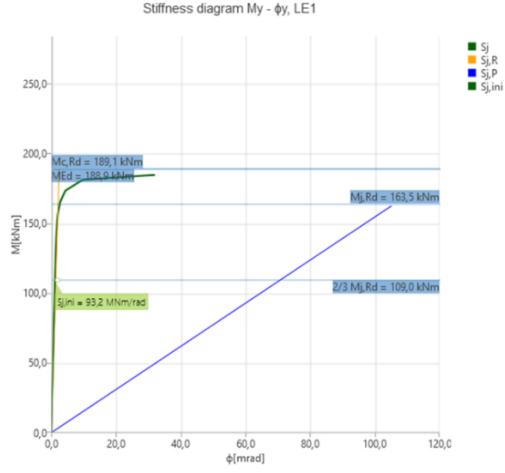


B101 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



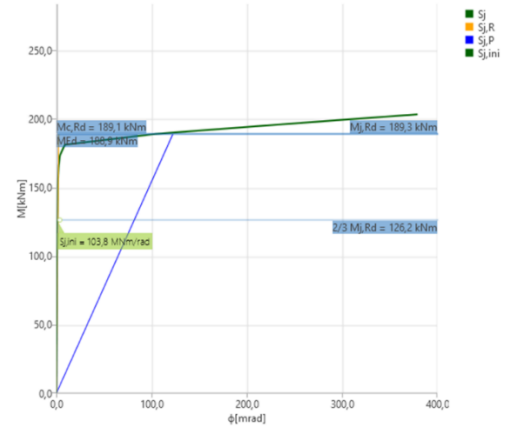
B101 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-11. B102 numunesi rijitlik diyagramları

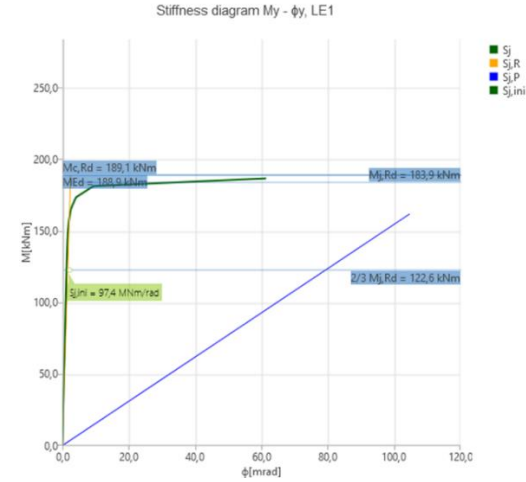


B102 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

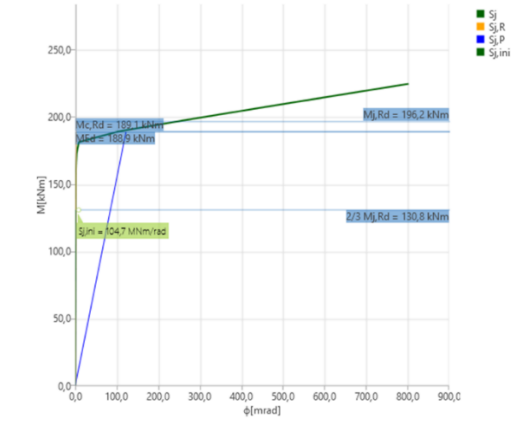


B102 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

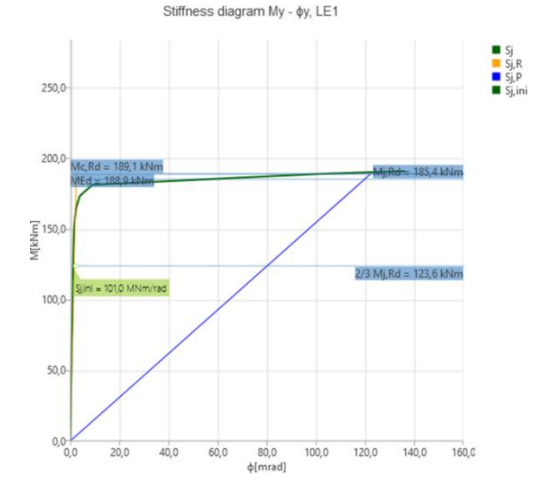


B102 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

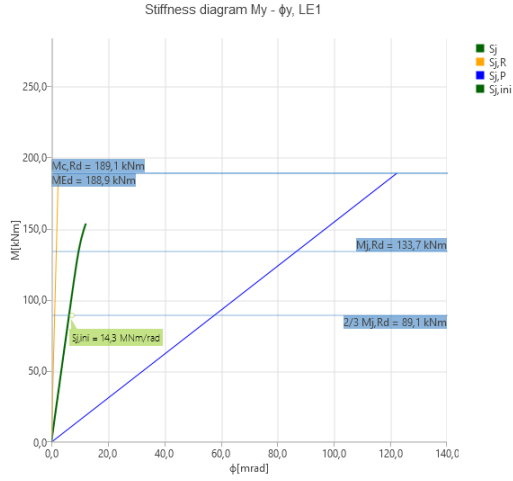


B102 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



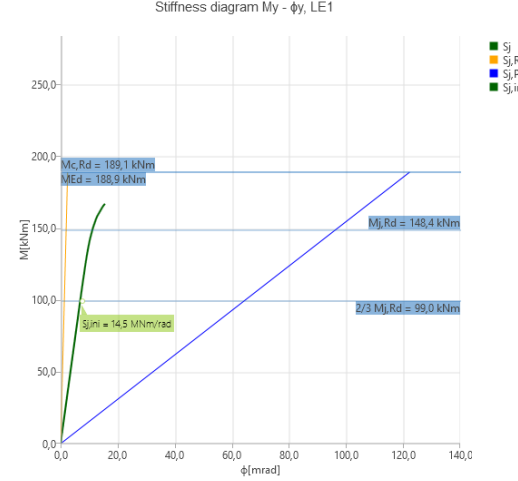
B102 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1i. B103 numunesi rijitlik diyagramları



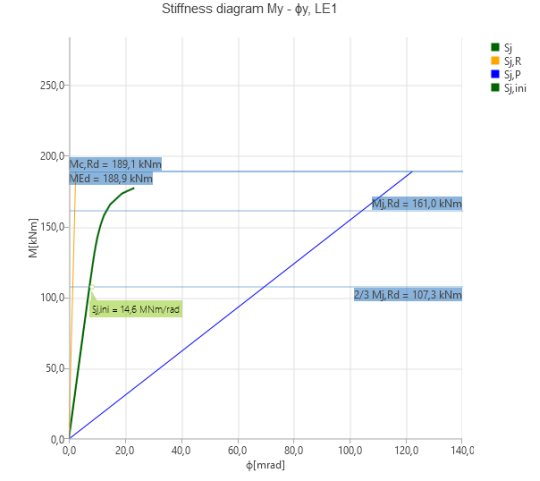
B103 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

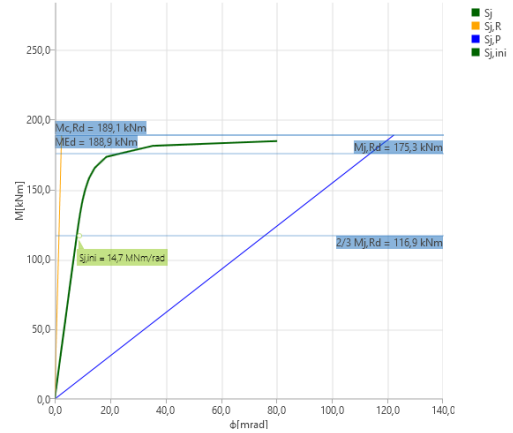


B103 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

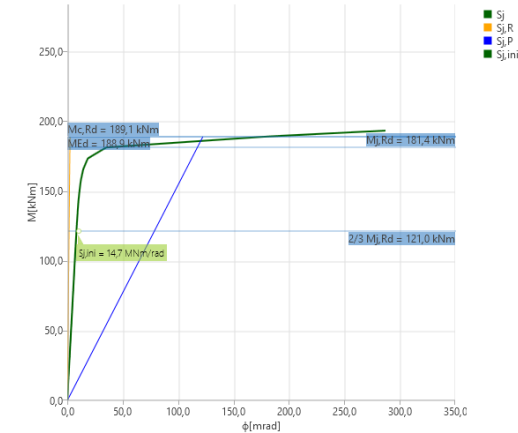
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



B103 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

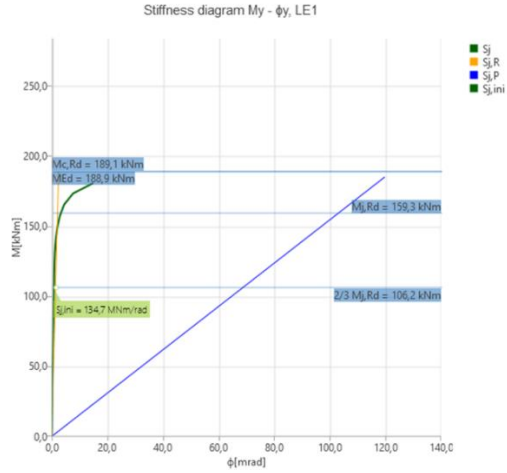


B103 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



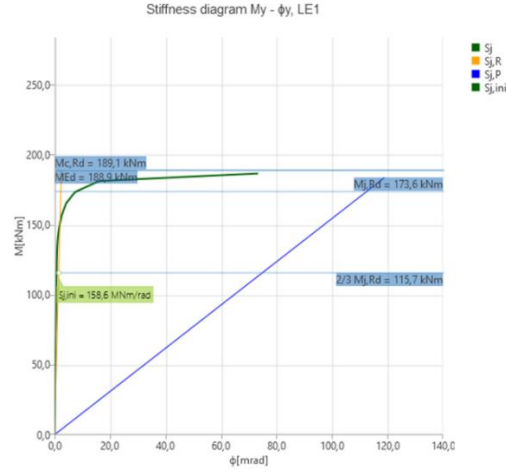
B103 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1j. B201 numunesi rijitlik diyagramları



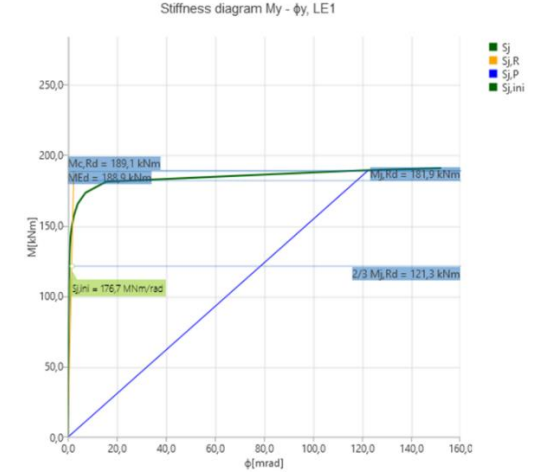
B201 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

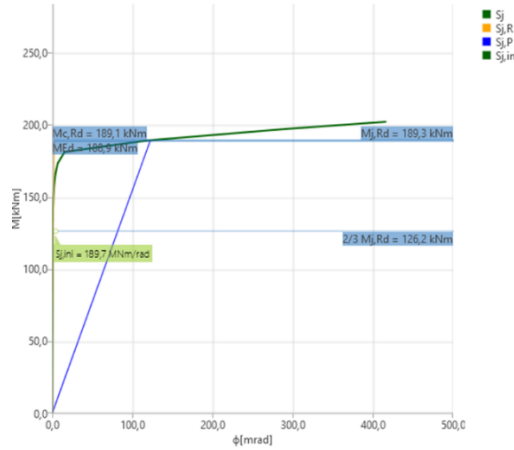


B201 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

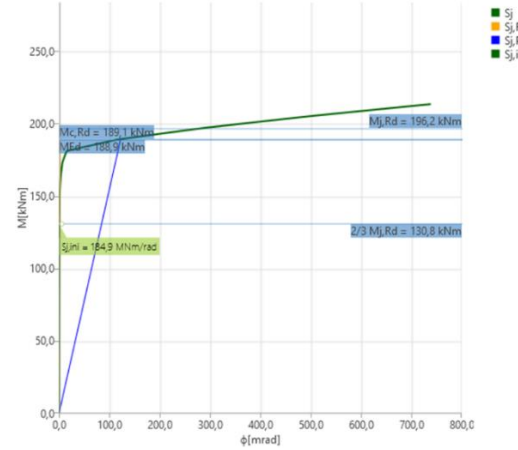
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



B201 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

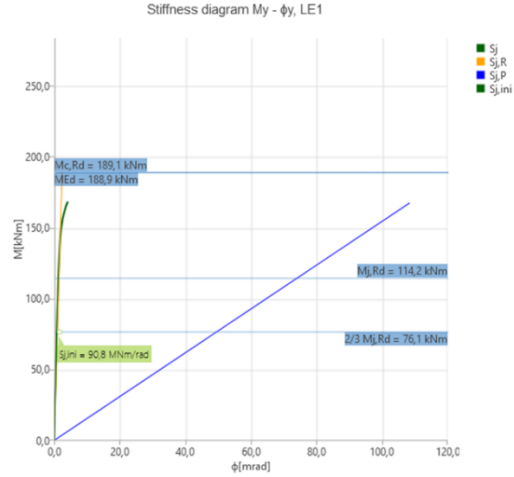


B201 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



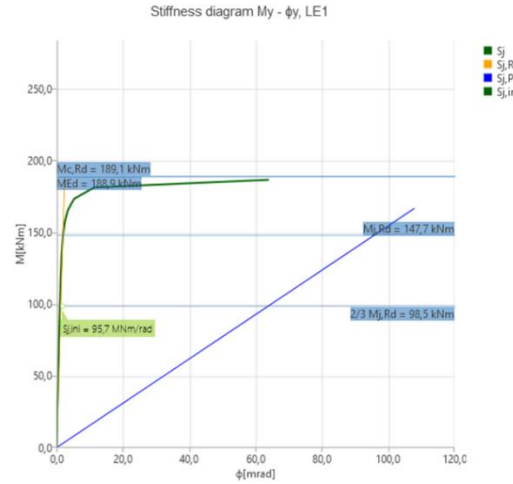
B201 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1k. B202 numunesi rijitlik diyagramları



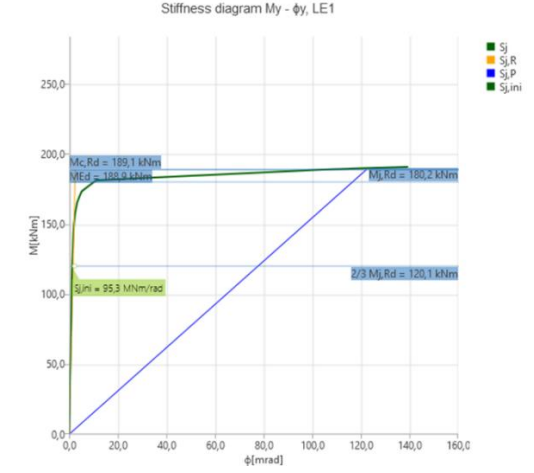
B202 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

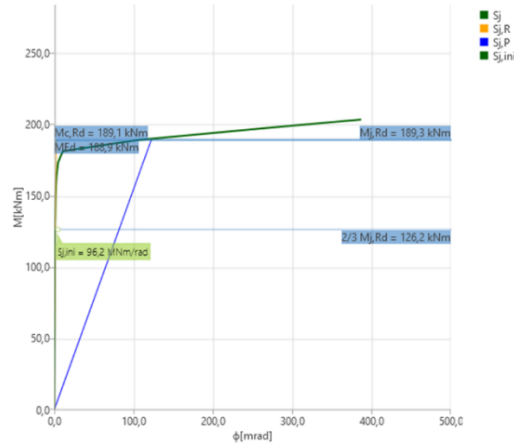


B202 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

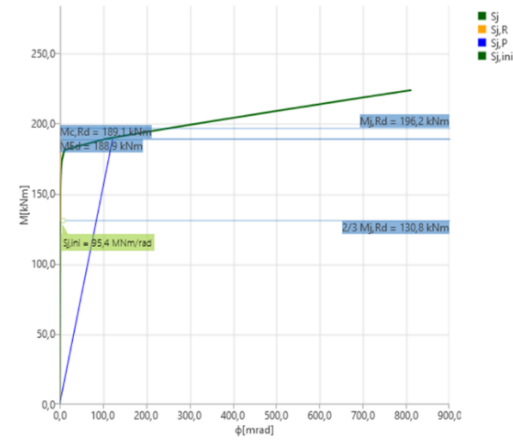
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



B202 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

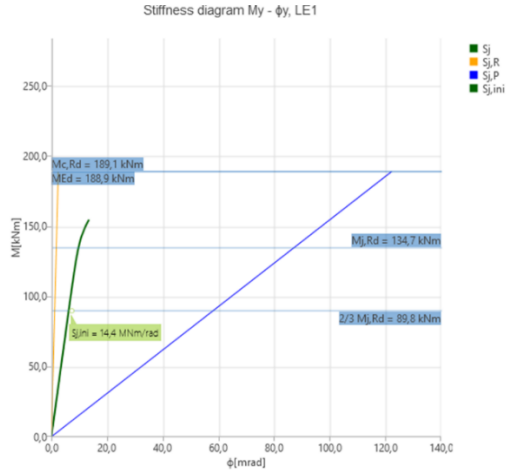


B202 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



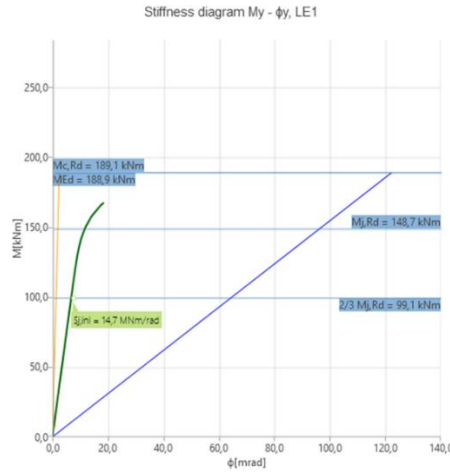
B202 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-11. B203 numunesi rijitlik diyagramları



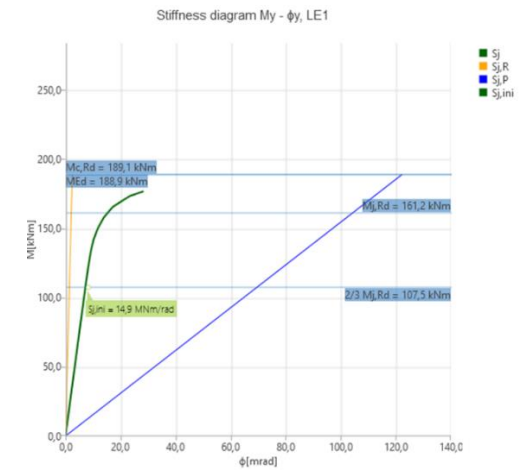
B203 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

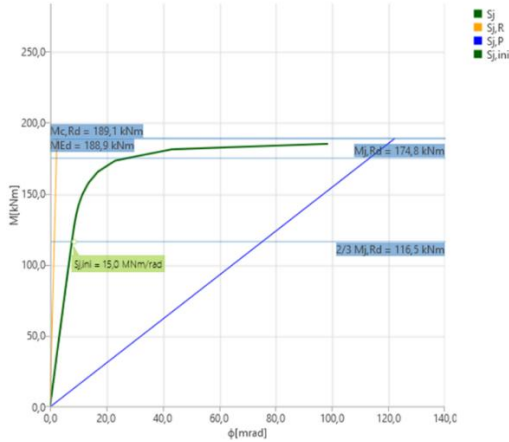


B203 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

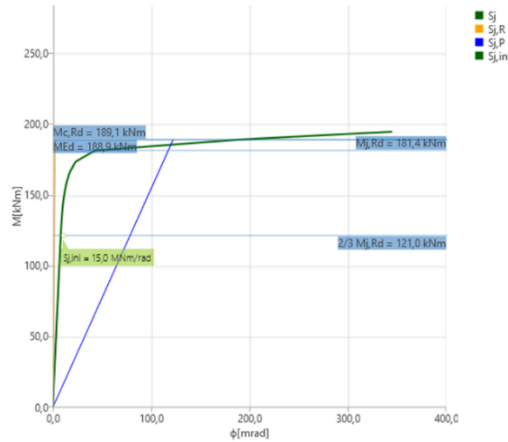
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



B203 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

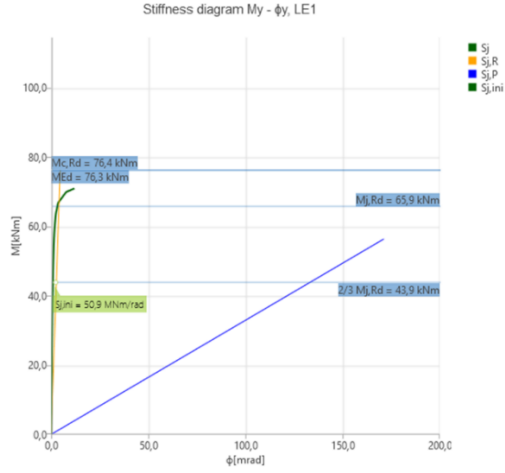


B203 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



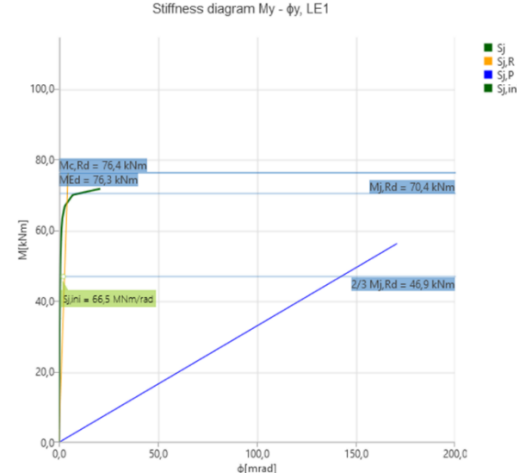
B203 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1m. B301 numunesi rijitlik diyagramları



B301 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

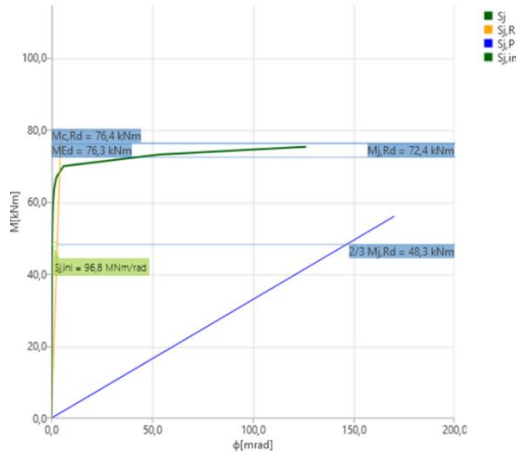


B301 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

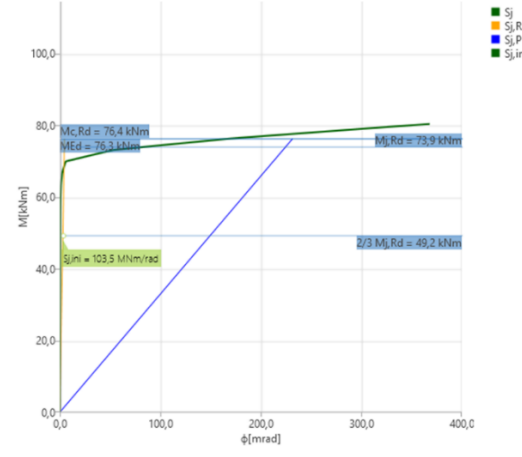
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



B301 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

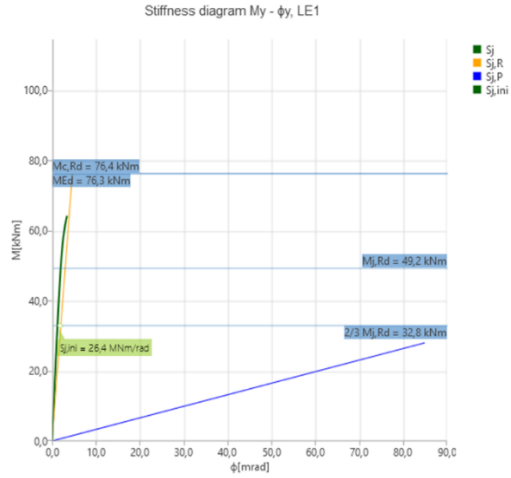


B301 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



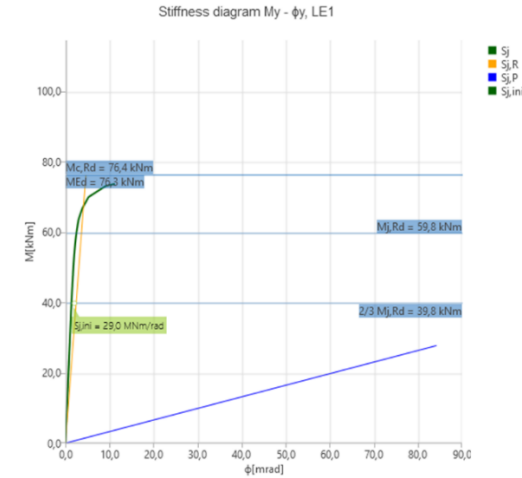
B301 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1n. B302 numunesi rijitlik diyagramları



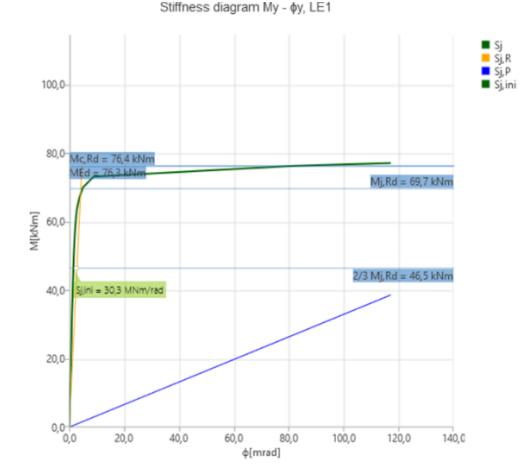
B302 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

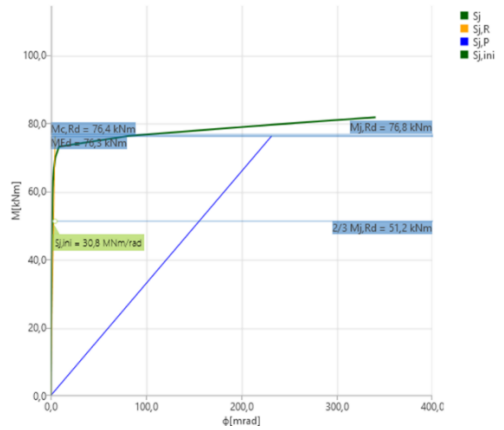


B302 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

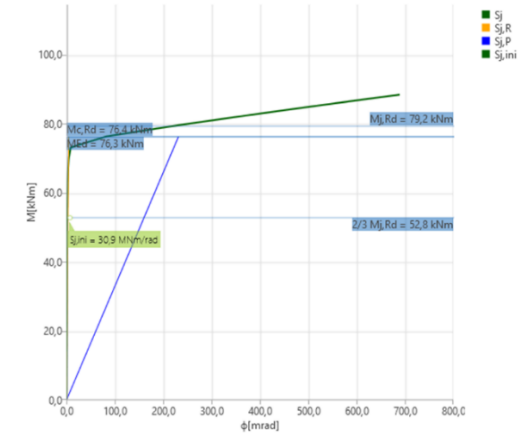
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



B302 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

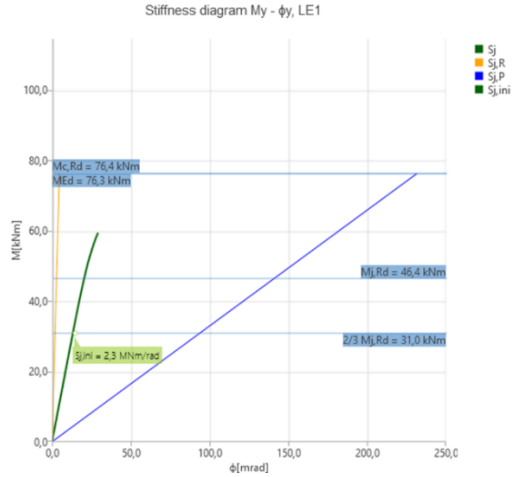


B302 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



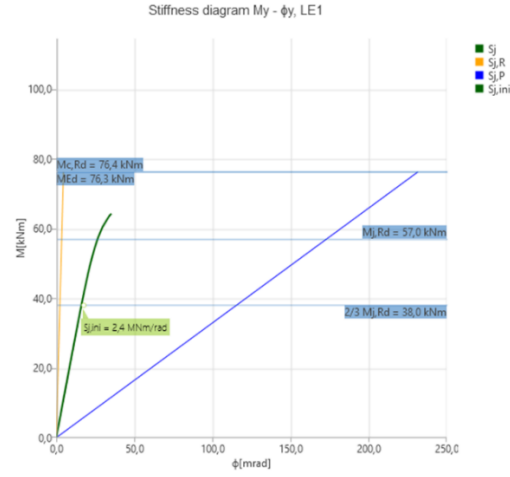
B302 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1o. B303 numunesi rijitlik diyagramları



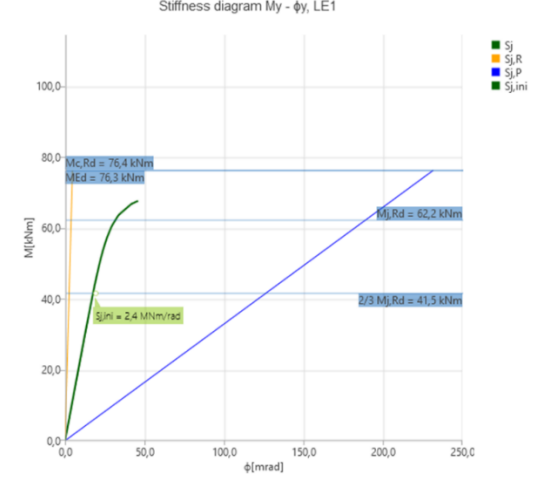
B303 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

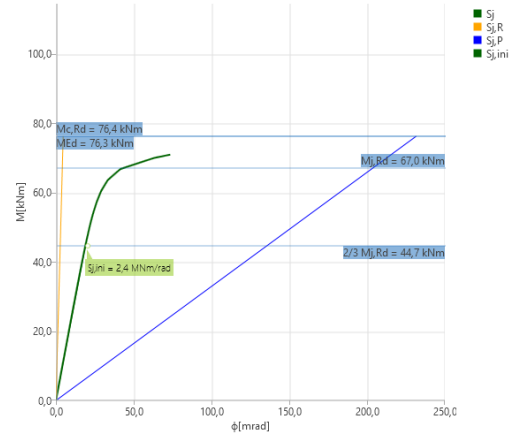


B303 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

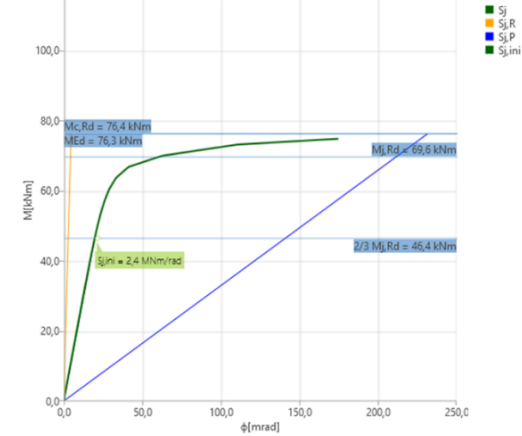
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



B303 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

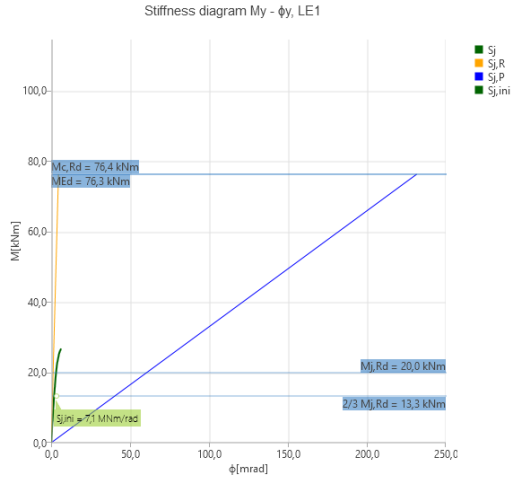


B303 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



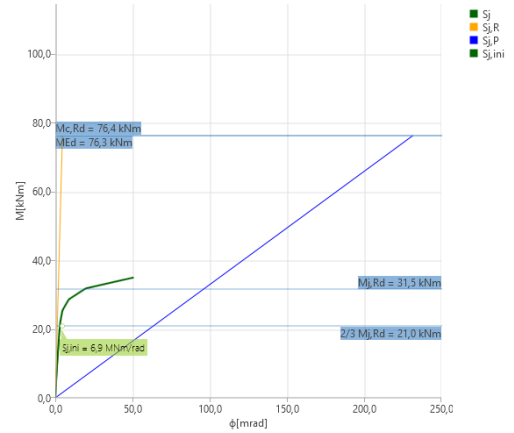
B303 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-16. C101 numunesi rijitlik diyagramları

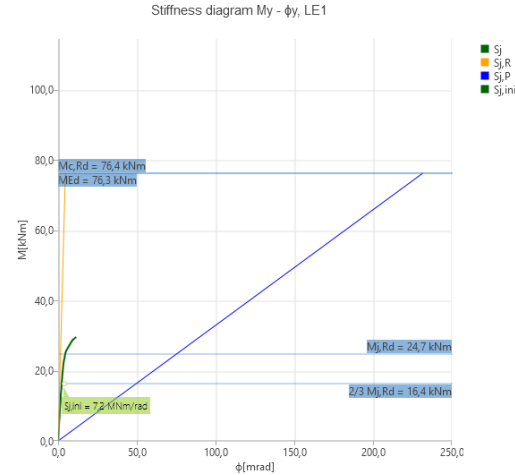


C101 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

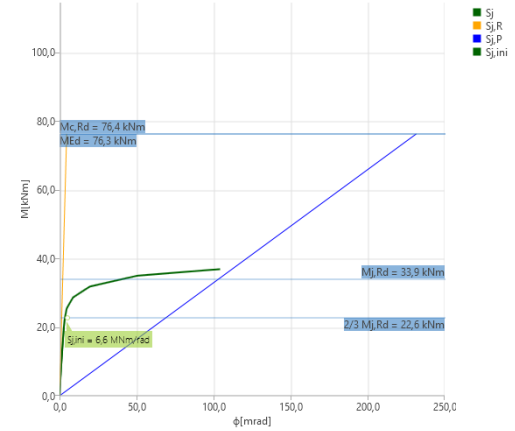


C101 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

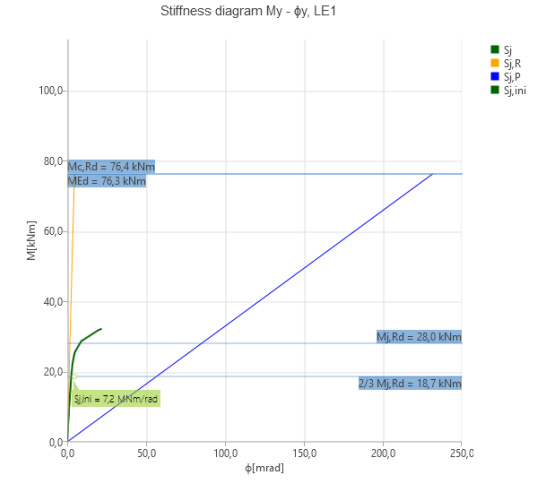


C101 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

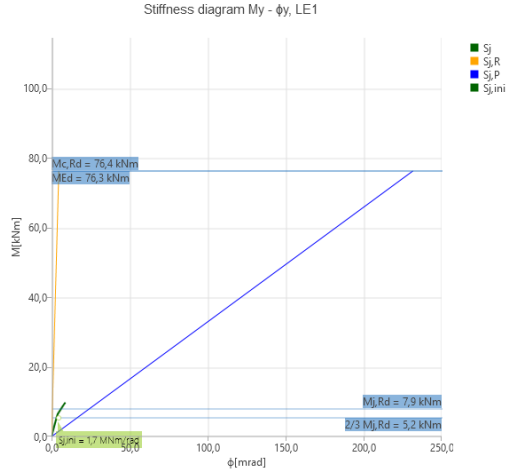


C101 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



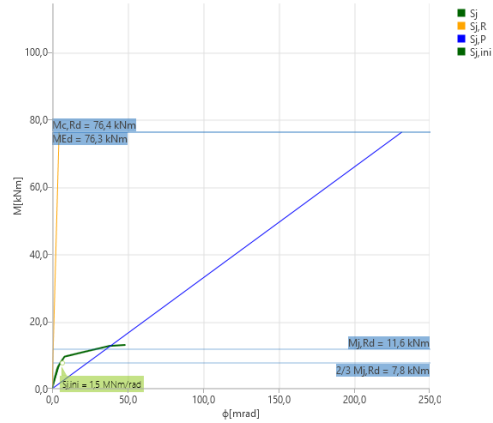
C101 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1p. C102 numunesi rijitlik diyagramları

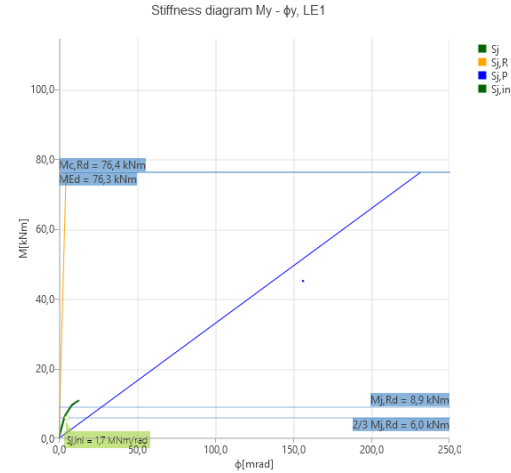


C102 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

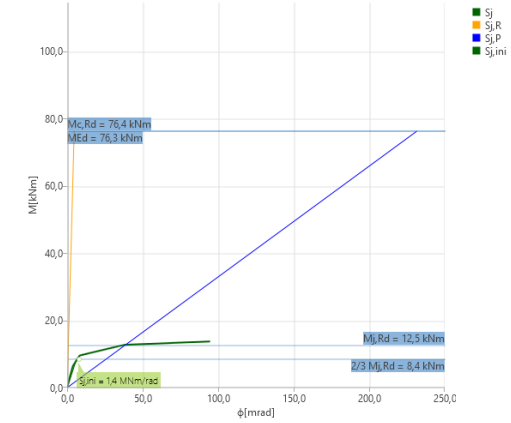


C102 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

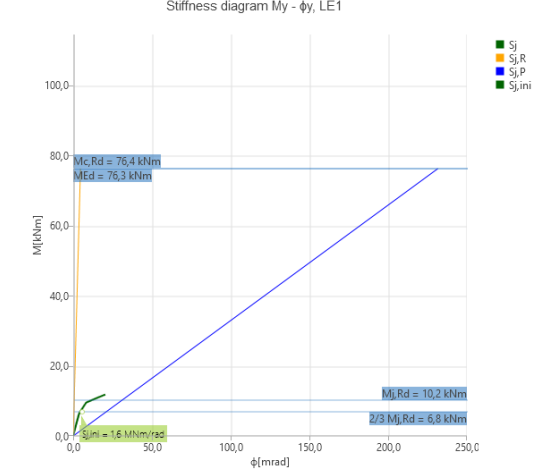


C102 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

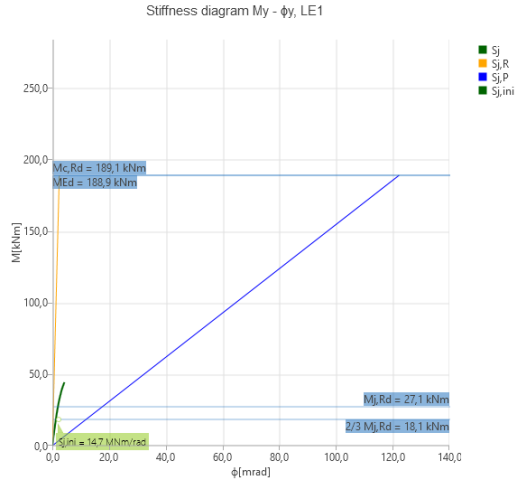


C102 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



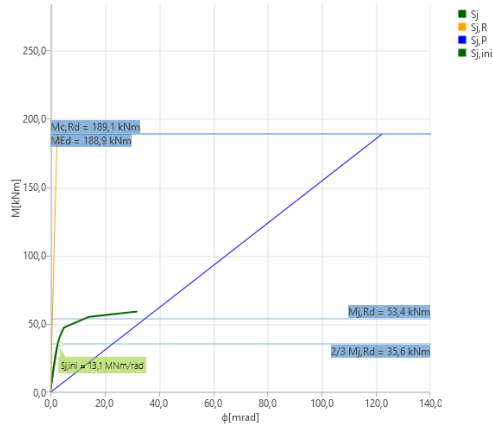
C102 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1r. C103 numenesi rijitlik diyagramları

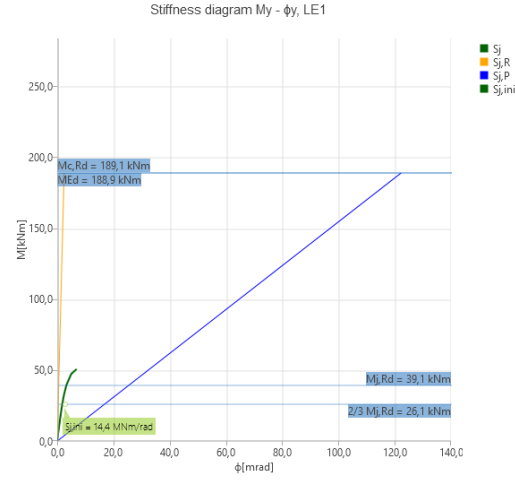


C103 numenesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

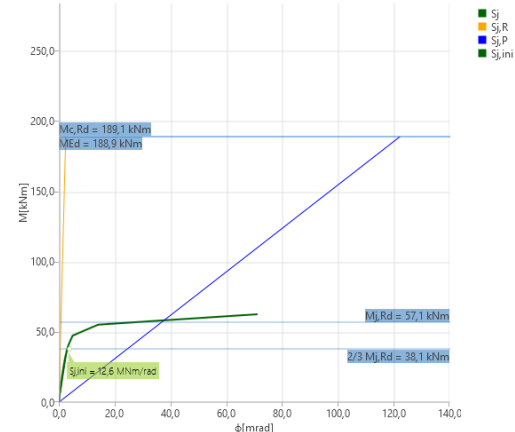


C103 numenesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

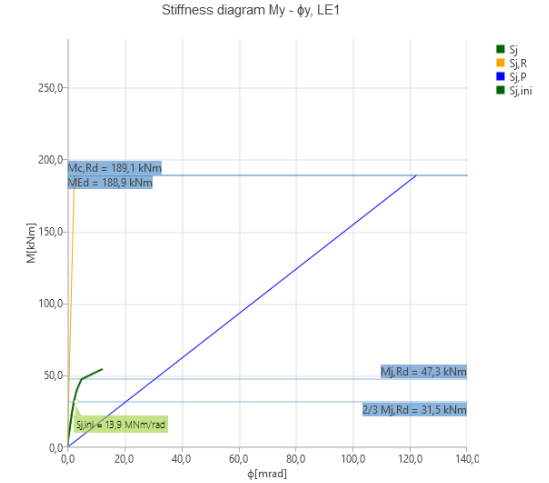


C103 numenesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

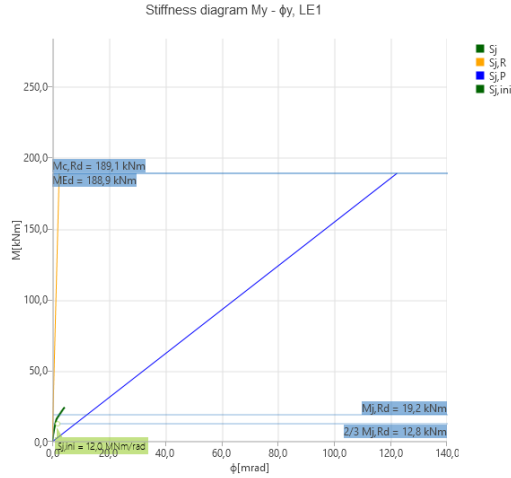


C103 numenesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



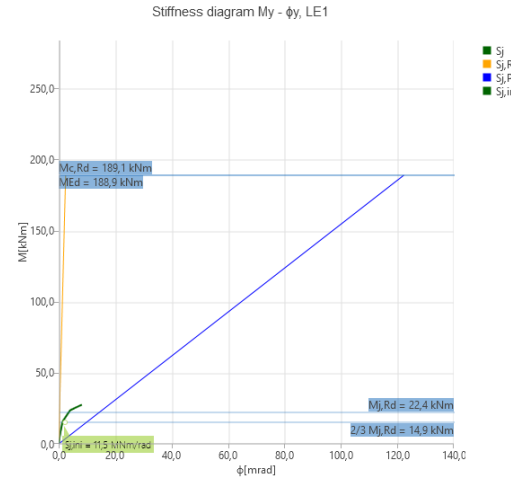
C103 numenesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1s. C104 numunesi rijitlik diyagramları



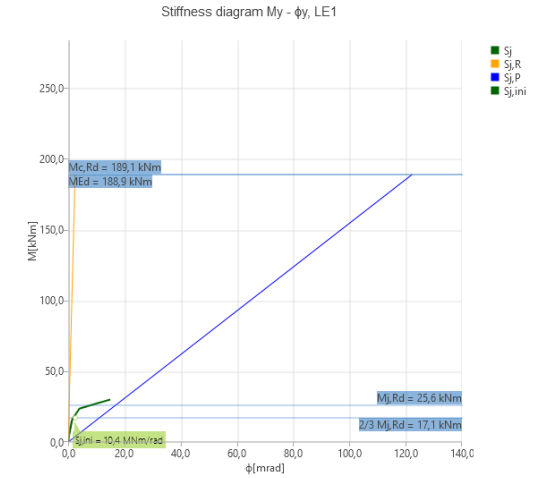
C104 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

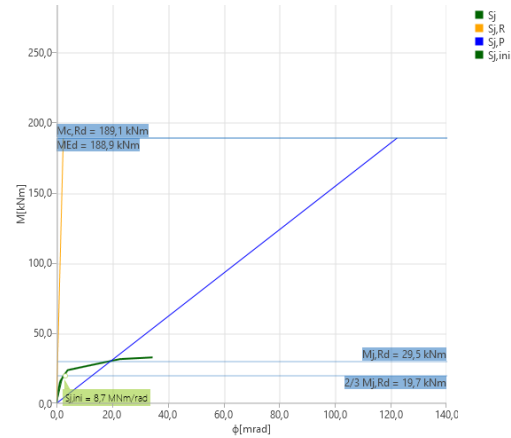


C104 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

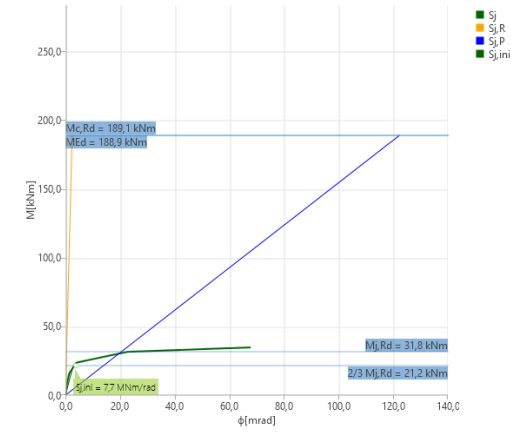
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



C104 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

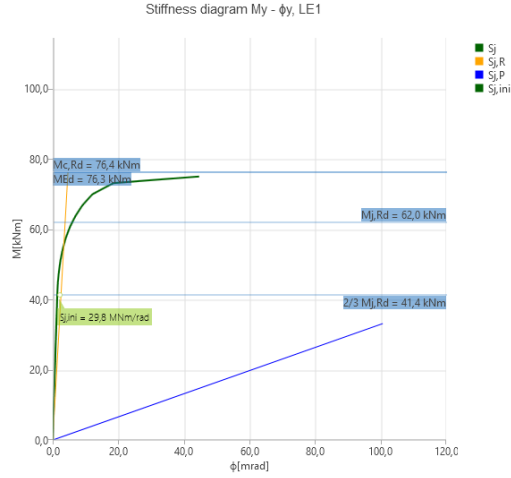


C104 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



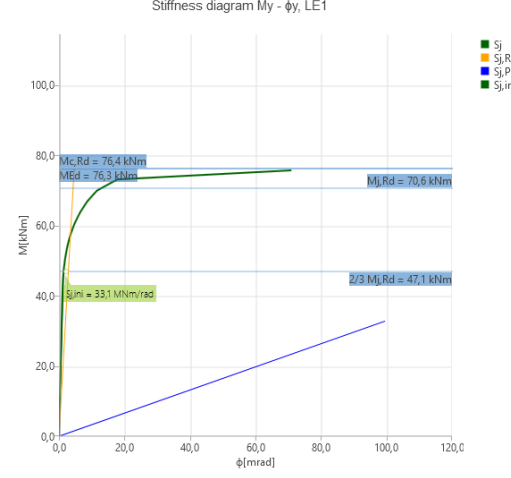
C104 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1ş. C201 numenesi rijitlik diyagramları



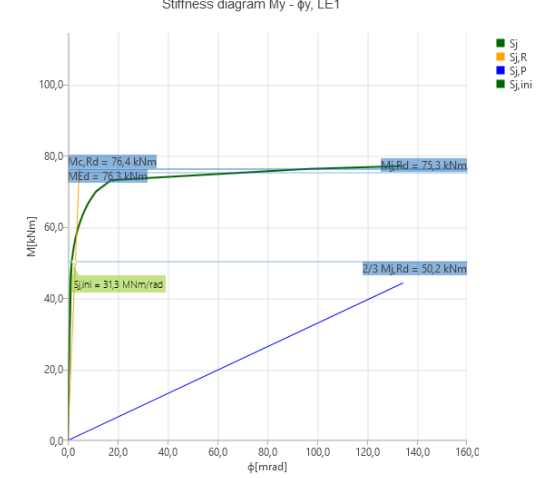
C201 numenesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

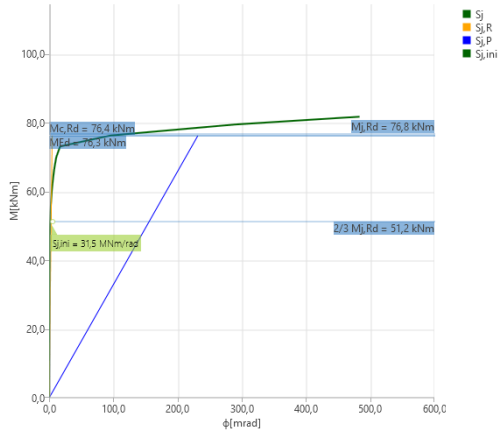


C201 numenesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

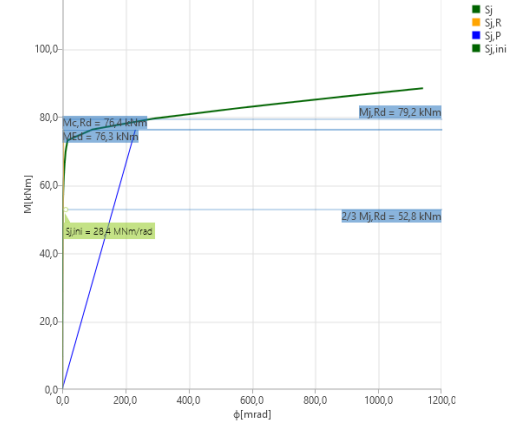
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



C201 numenesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

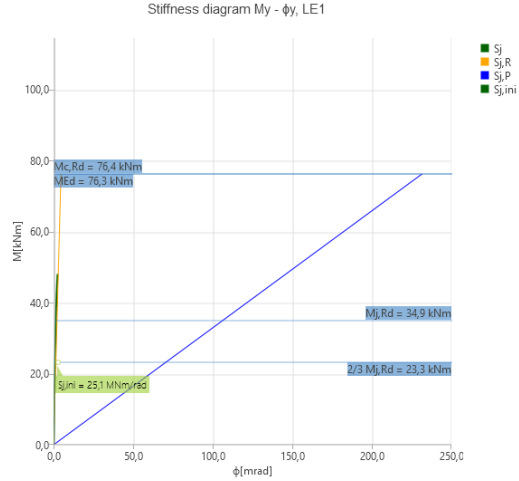


C201 numenesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



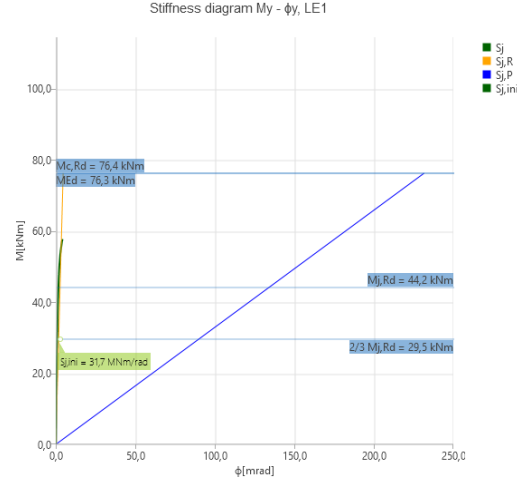
C201 numenesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1t. C202 numunesi rijitlik diyagramları



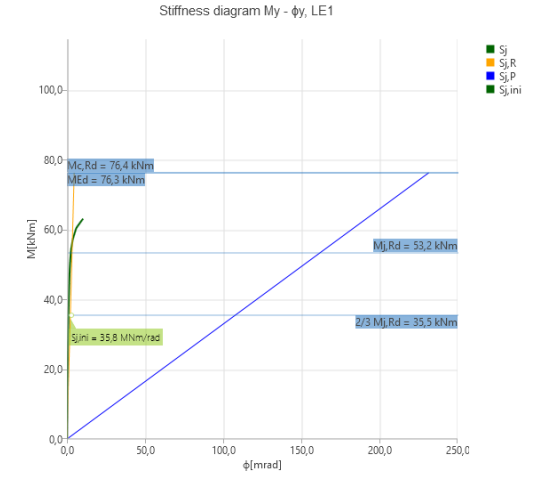
C202 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

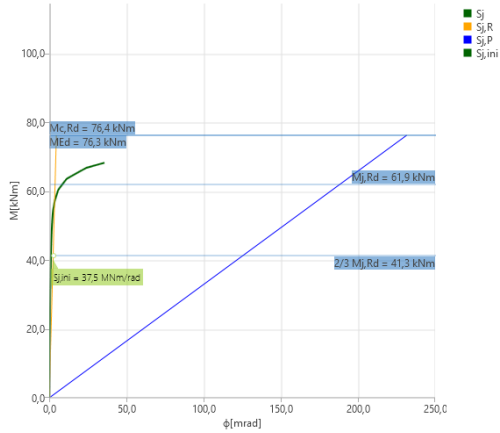


C202 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

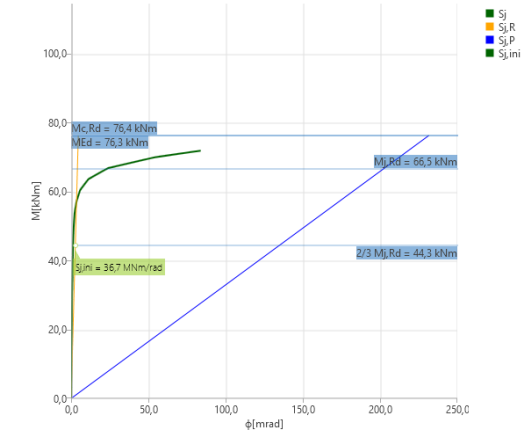
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



C202 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

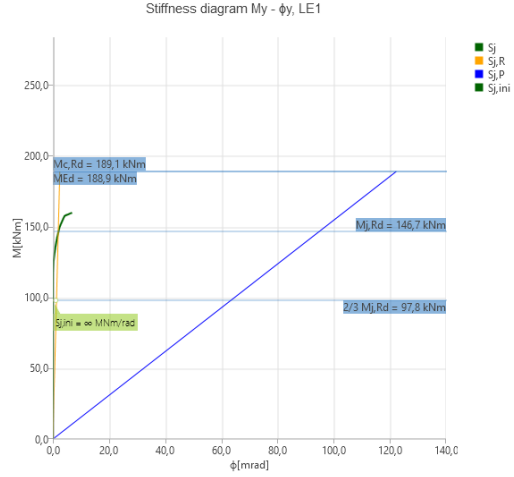


C202 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



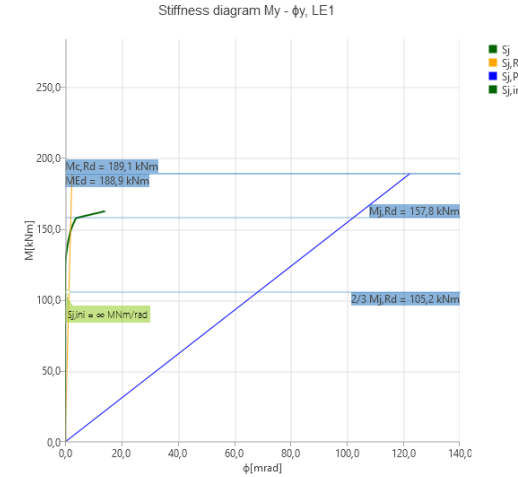
C202 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1u. C203 numunesi rijitlik diyagramları



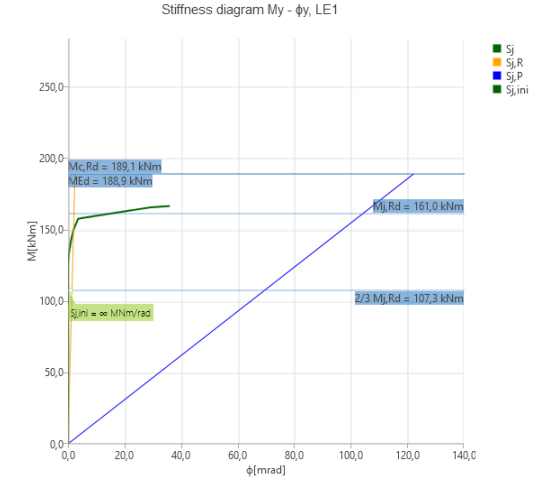
C203 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

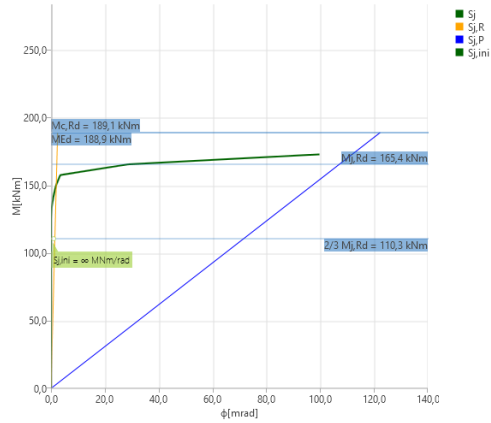


C203 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

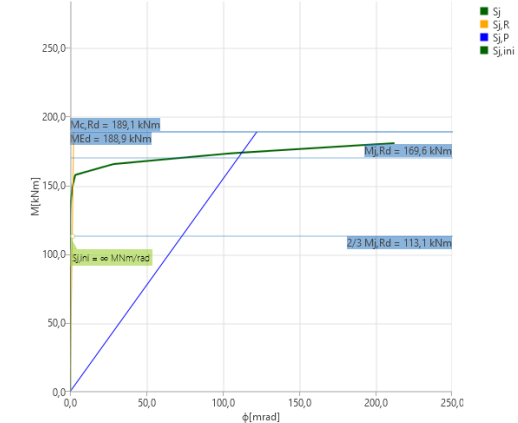
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



C203 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

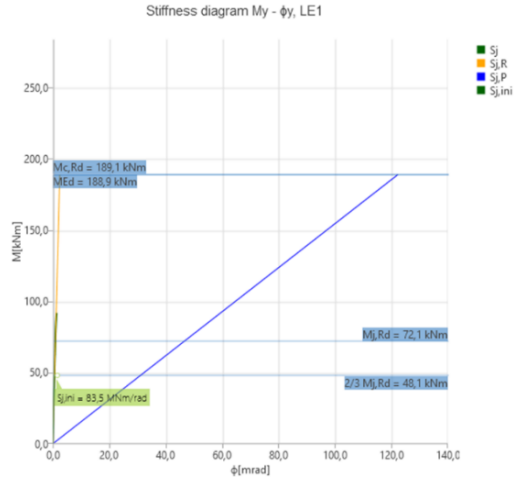


C203 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



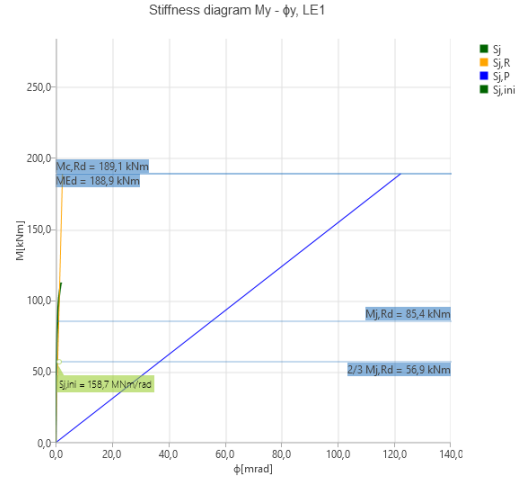
C203 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-1ü. C204 numunesi rijitlik diyagramları



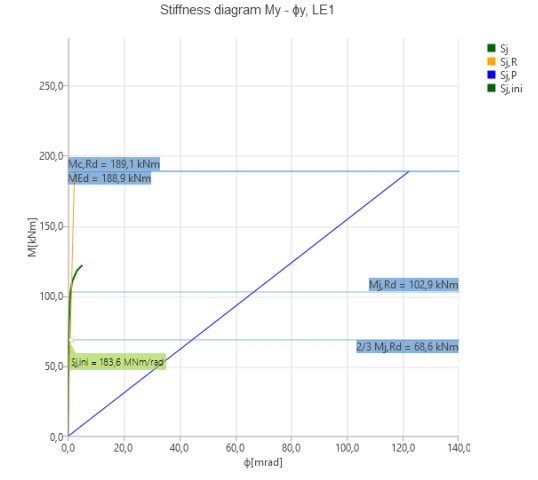
C204 numunesi %0,5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1

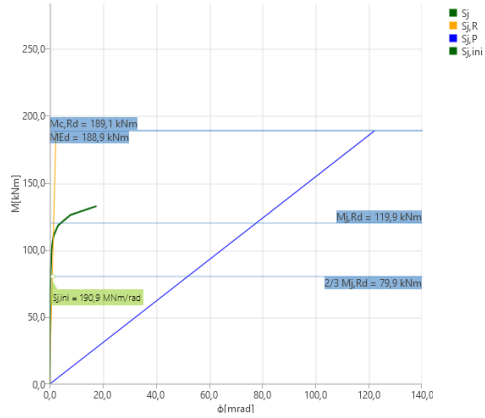


C204 numunesi %1 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

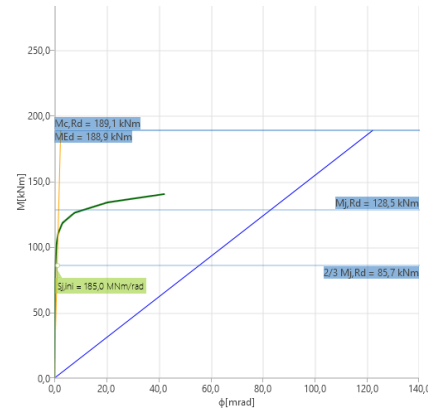
Stiffness diagram My -  $\phi$ , LE1



C204 numunesi %2 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



C204 numunesi %5 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı



C204 numunesi %10 limit plastik deformasyon için rijitlik diyagramı

## EK-2 İdea Statica Rapor Örneği

### Project data

Date 11.6.2018

Design code EN

### Material

Steel S 235

### Project item CON2

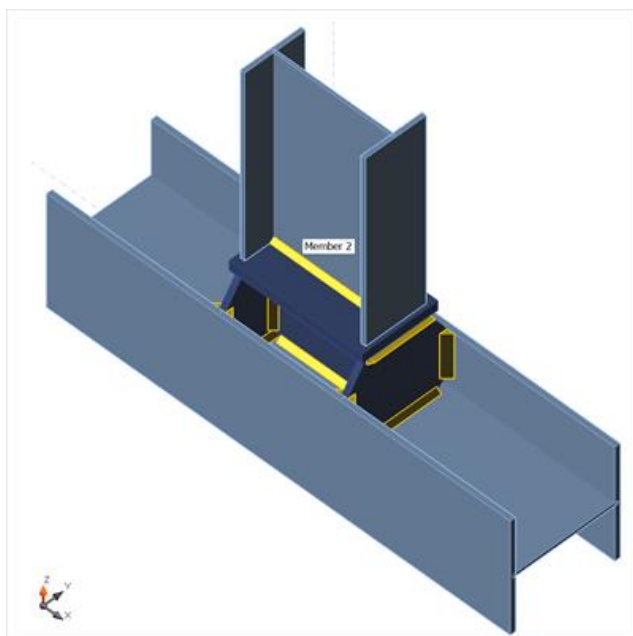
### Design

Name CON2

Analysis Stiffness

### Beams and columns

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in	X [mm]
Member 1	1 - I290	0,0	0,0	90,0	0	0	0	Node	0
Member 2	2 - I330	0,0	-90,0	180,0	0	0	0	Node	0



### Cross-sections

Name	Material
1 - I290	S 235
2 - I330	S 235

## Cross-sections

Name	Material	Drawing
1 - I290	S 235	
2 - I330	S 235	

## Load effects

Name	Member	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
LE1	Member 2	0,0	0,0	0,0	0,0	-188,9	0,0

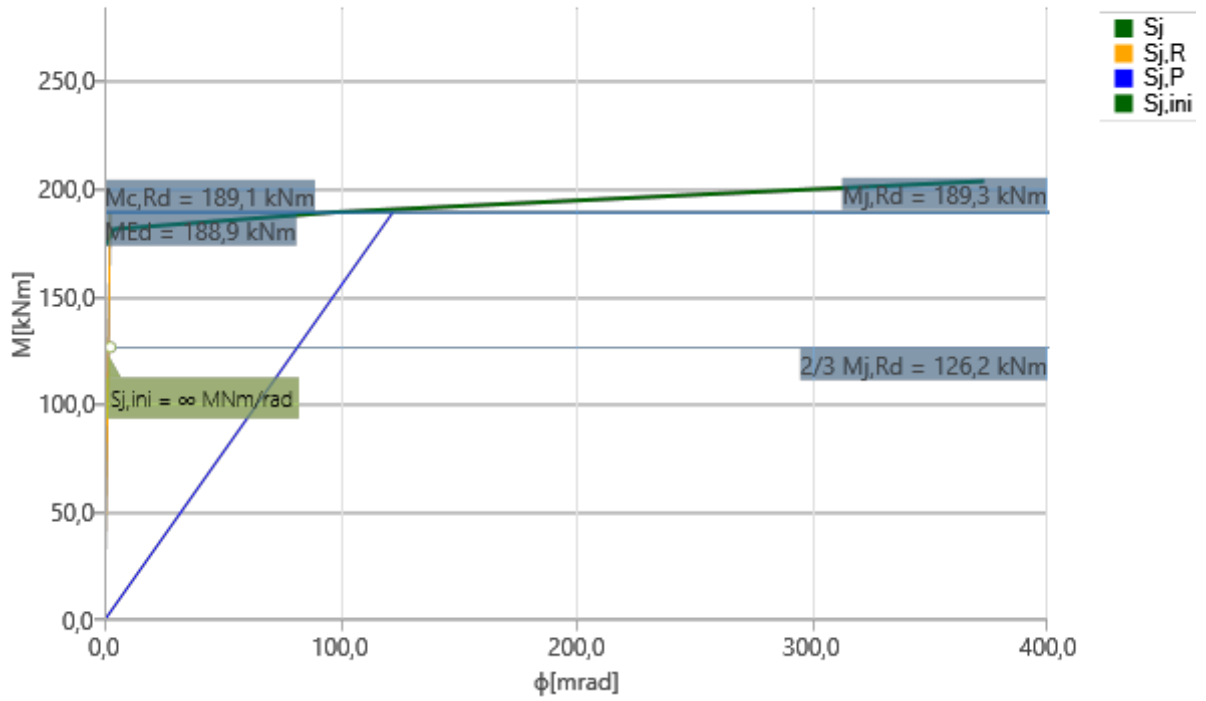
## Check

### Rotational stiffness

Name	Comp.	Loads	M <sub>j,Rd</sub> [kNm]	S <sub>j,ini</sub> [MNm/rad]	Φ <sub>c</sub> [mrad]	L [m]	S <sub>j,R</sub> [MNm/rad]	S <sub>j,P</sub> [MNm/rad]	Class.
Member 2	My	LE1	-189,3	∞	-373,2	8,00	77,2	1,5	Rigid

### Secant rotational stiffness




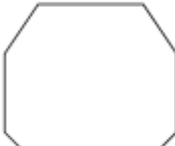
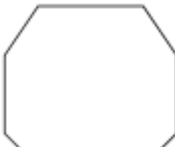
Name	Comp.	Loads	M [kNm]	S <sub>s</sub> [MNm/rad]	Φ [mrad]
Member 2	My	LE1	-188,9	2,8	-68,0



Stiffness diagram  $M_y - \phi_y$ , LE1

## Bill of material

### Manufacturing operations

Name	Plates [mm]	Shape	Nr.	Welds [mm]	Length [mm]	Bolts	Nr.
Cut							
Plate 3	P15,0x262,0-145,8 (S 235)		1				
Plate 4	P25,0x350,0-200,0 (S 235)		1				
Plate 5	P10,0x307,0-221,0 (S 235)		1				
Plate 6	P15,0x262,0-145,8 (S 235)		1				
Plate 7	P15,0x262,0-220,5 (S 235)		1				
Plate 8	P15,0x262,0-220,5 (S 235)		1				

## Welds

Type	Material	Throat thickness [mm]	Leg size [mm]	Length [mm]
Double fillet	S 235	14,0	19,8	977,0
Double fillet	S 235	8,5	12,0	1127,0
Double fillet	S 235	15,0	21,2	320,0
Double fillet	S 235	10,0	14,1	709,0
Bevel	S 235	11,5	16,3	320,0
Double fillet	S 235	7,5	10,6	318,5

Drawing

Plate 3

P15,0x146-262 (S 235)

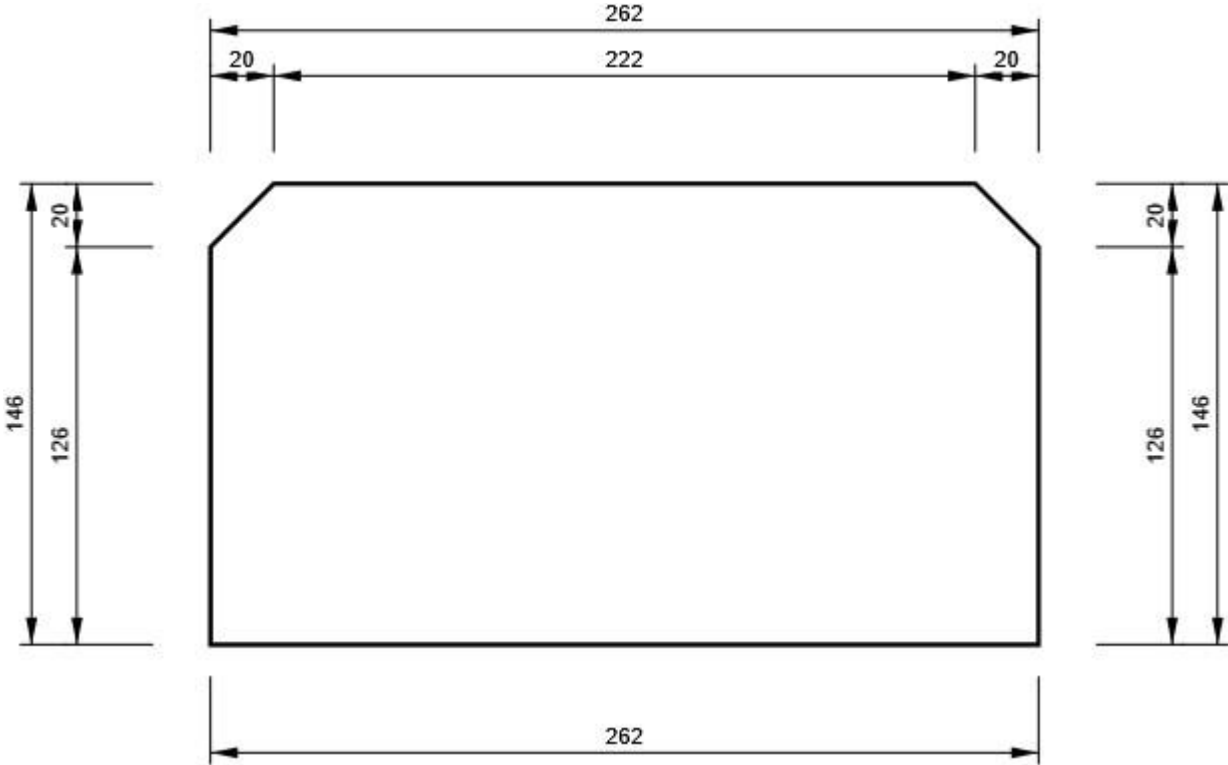


Plate 4

P25,0x200-350 (S 235)

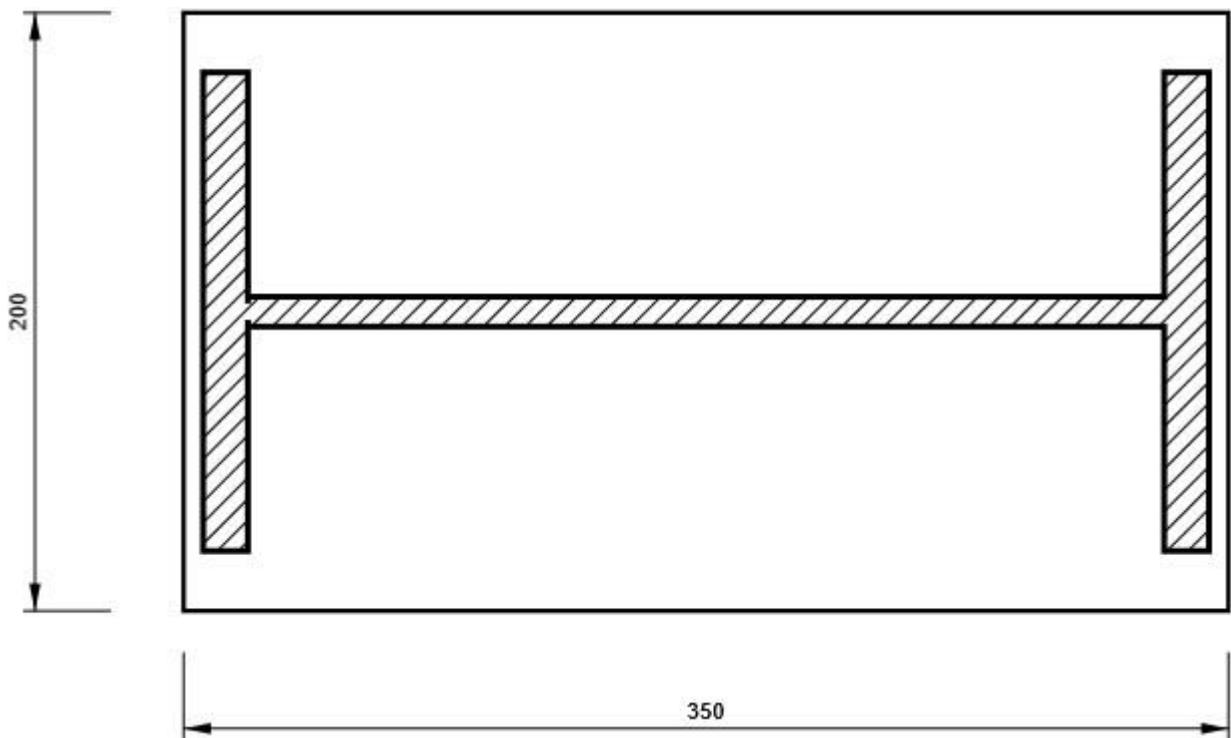


Plate 5

P10,0x221-307 (S 235)

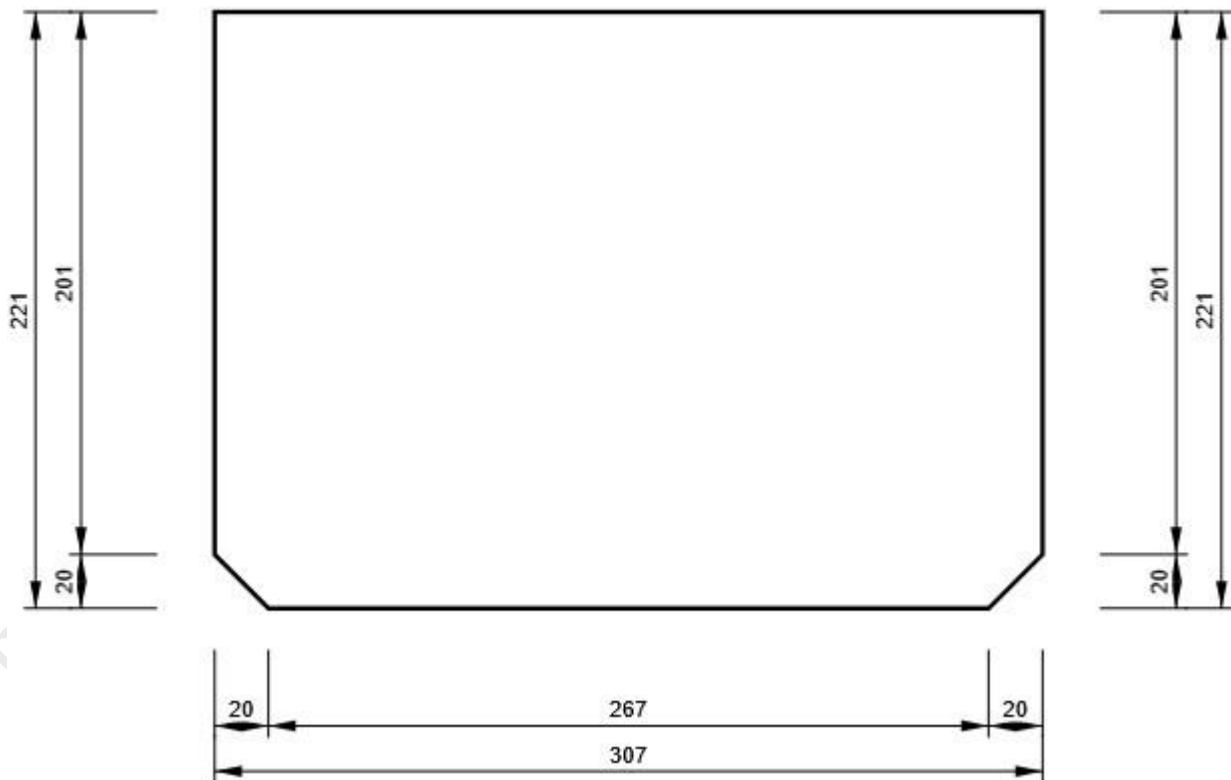


Plate 6

P15,0x146-262 (S 235)

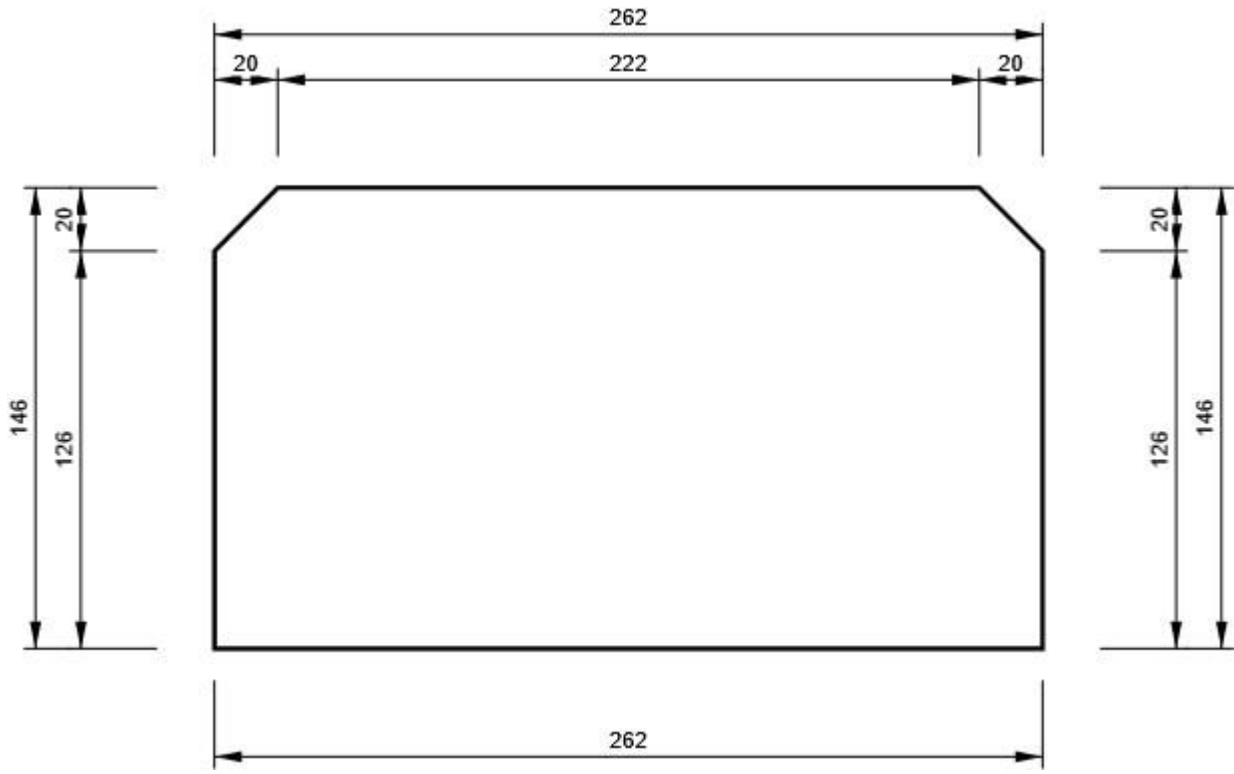


Plate 7

P15,0x221-262 (S 235)

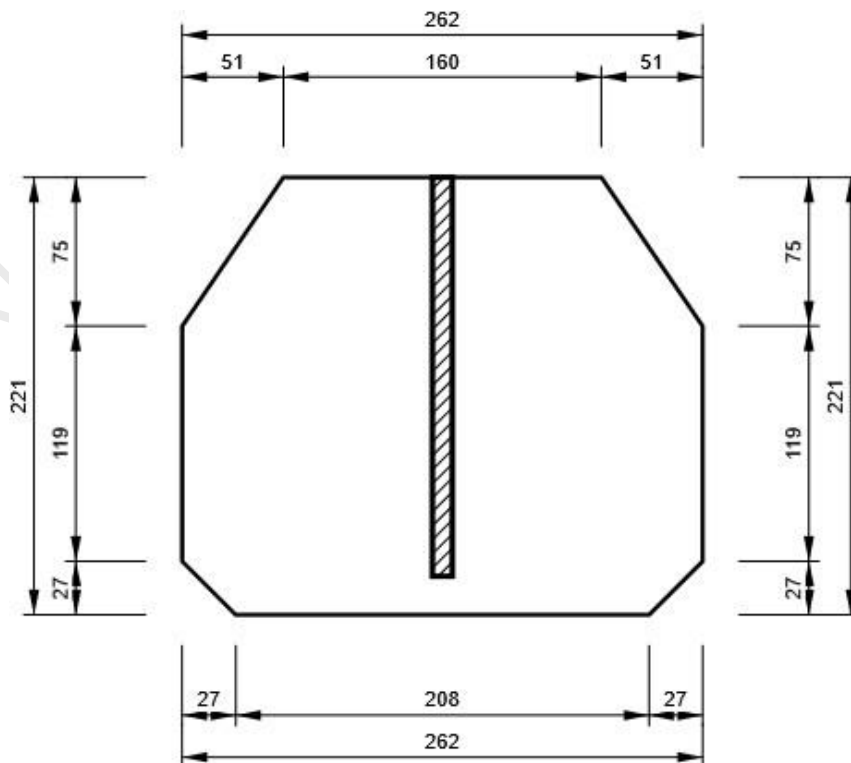
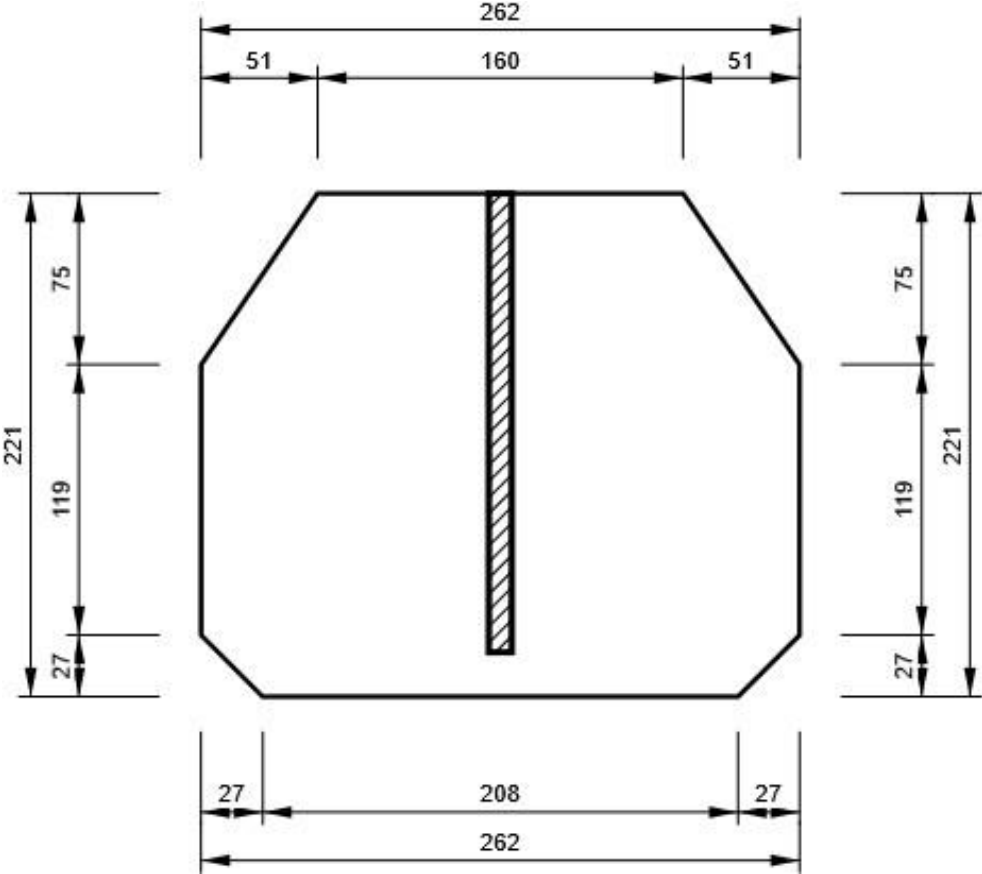


Plate 8

P15,0x221-262 (S 235)



Symbol	Symbol explanation
$M_{j,Rd}$	Bending resistance
$S_{j,ini}$	Initial rotational stiffness
$S_{j,s}$	Secant rotational stiffness
$\Phi$	Rotational deformation
$S_{j,R}$	Limit value - rigid joint
$S_{j,P}$	Limit value - nominally pinned joint
$\Phi_c$	Rotational capacity

## Code settings

Item	Value	Unit	Reference
YM0	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
YM1	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
YM2	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
YM3	1,00	-	EN 1993-1-8: 2.2
YC	1,00	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
YInst	1,00	-	ETAG 001-C: 3.2.1
Joint coefficient $\beta_j$	0,67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - influence of mesh size	0,10	-	
Friction coefficient - concrete	0,25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0,30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0,05	-	EN 1993-1-5
Weld stress evaluation	Plastic redistribution		
Detailing	No		
Distance between bolts [d]	2,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete breakout resistance	Yes		ETAG 001-C
Use calculated $a_b$ in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakan Gökdaş  
Yabancı Dil : İngilizce  
Doğum Yeri ve Yılı : Eskişehir/1991  
E-Posta : hakangokdas@gmail.com

### Eğitim Geçmişi:

- 2013, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü