

**KOMPOZİT KİRİŞ VE KOLON BİRLEŞİM
NOKTALARININ DOĞRUSAL OLMAYAN
ANALİZLERİ İÇİN HESAPLAMALI SAYISAL
MODELLEME**

Mahmud ELHASAN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOMPOZİT KİRİŞ VE KOLON BİRLEŞİM NOKTALARININ DOĞRUSAL
OLMAYAN ANALİZLERİ İÇİN HESAPLAMALI SAYISAL MODELLEME**

Mahmud ELHASAN
0000-0002-6356-1003

Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KOMPOZİT KİRİŞ VE KOLON BİRLEŞİM NOKTALARININ DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLERİ İÇİN HESAPLAMALI SAYISAL MODELLEME

Mahmud ELHASAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ

Kompozit yapı sistemleri gibi karmaşık yapılara ve doğrusal olmayan malzeme davranışına sahip olan sistemlerin gerçekçi simülasyonlarının yapılabilmesi bu modellerin genel amaçlı sonlu elemanlar bünyesinde sayısal modellerinin doğru bir şekilde oluşturulmasına bağlıdır. Bu çalışmada kompozit yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizleri için Abaqus yazılımı çatısında hesaplamalı sayısal modelin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Tsavdaridis tarafından tasarlanan ve deneyi yapılan çelik beton kompozit yapı sistemi kullanılmıştır. Doğru ve güvenilir hesaplamalı model adımlarında sonderece olan adımlar; bağlantı noktaları, uygun temas algoritmaları, malzeme modelleri, sınır ve yükleme koşullarının tanımlanması, detaylı olarak anlatılmıştır. Oluşturulan hesaplamalı sayısal modelin doğruluğu ve güvenilirliği belirlemek için kompozit yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışı ve yapı elemanları üzerinde ve yapı elemanları birleşim bölgelerinde şekil değiştirmeler, gerilmeler ve momentler dağılımlarını belirleyen bir seri analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları geliştirilen hesaplamalı modelin doğru ve güvenilir bir model olduğunu ve kompozit yapı sistemlerinin analizlerinde güvenilir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit yapı sistemleri, Elastik modül, Plastik modül, Hesaplamalı modelleme, doğrusal olmayan analiz, Abaqus Sonlu elemanlar Yazılımı
2022, xiii + 81 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

COMPUTATIONAL NUMERICAL MODELING FOR NONLINEAR ANALYSIS OF COMPOSITE BEAM AND COLUMN CONNECTION POINTS Mahmud ELHASAN

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ

Realistic simulations composite structural systems that usually have complex structures and nonlinear material behavior depend on the development of accurate and reliable computational model of these structures within a general-purpose finite elements. Therefore, in this study, it is aimed to create a computational numerical model in the framework of Abaqus software for nonlinear analysis of composite structural systems. For this purpose, the steel concrete composite structure system designed and tested by Tsavdaridis was used. Modeling steps that are crucial for establishing an accurate and reliable computational model, such as the definition of connection points, suitable contact algorithms, material models, boundary and loading conditions were explained in detail. In order to verify and validate the accuracy and reliability of the computational numerical model created, a number of analyses were performed by determining the nonlinear response of the composite structural system as distribution of deformations, stresses and moment on each structural components and at the connection region of the structural members. The results of the analyses showed that the developed computational model is an accurate and reliable model that can be used reliably in the analysis of composite building systems.

Key words: Composite structural systems, Elastic module, Plastic module, Computational modeling, nonlinear analysis, Abaqus Finite Element Software
2022, xiii + 81 page.

TEŞEKKÜR

İlmi olan bir insan hep üstünlüklerde yer alır ve toplum gözünde yüksek değere sahiptir, çünkü bilim insanı toplumun bir ışığı olup yolu göstermekle mükelleftir. Beni bu dereceye ulaştıran, tezim aşaması boyunca desteğini hiç esirgemeyen, birlikte geçirilen çalışma süresinin her adımının zevkini yaşatan, işbirliğinin önemini öğreten ve beni hep teşvik eden tezimin danışmanlığını üstlenen Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Mahmud ELHASAN
09/10/2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGE DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ 1	
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Kompozit Sistemlerinde Yapılan Çalışmalar.....	3
2.2. Kompozit Birleşimlerin Tarihçesi.....	4
2.3. Kompozit Yapı Sistemler	5
2.4. Kompozit Kolonların Çeşitleri.....	6
2.5. Kompozit Kirişler.....	8
2.6. Kompozit Döşemeler	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Sayısal Model Oluşturma Adımları	12
3.2. Geometrik Modelin AutoCAD Programı Yardımıyla Oluşturulması.....	12
3.2.1. HEA 220 mm çelik kolon geometrisi çizimi.....	13
3.2.2. IPE 270 mm çelik kiriş geometrisi çizimi.....	14
3.2.3. Betonarme döşeme ve donatı elemanların çizimi	15
3.2.4. Çelik levha çizimi	15
3.2.5. Çelik bulon çizimi.....	16
3.2.6. Çelik ankraj çizimi	18
3.3. Birleşim Tanımı	19
3.4. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması.....	19
3.4.1. Geometrik modelin oluşturulması.....	20
3.4.1.1. Çelik kolonun geometrik modelin oluşturulması.....	20
3.4.1.2. Çelik kirişin geometrik modelin oluşturulması.....	21
3.4.1.3. Çelik levhanın geometrik modelin oluşturulması	22
3.4.1.4. Betonarme döşemenin geometrik modelin oluşturulması.....	23
3.4.1.5. Betonarme döşemede kullanılan donatının geometrik modelin oluşturulması ..	23
3.4.1.6. Çelik ankrajın geometrik modelin oluşturulması.....	24
3.4.1.7. Çelik bulonun geometrik modelin oluşturulması.....	25
3.4.2 Malzeme ve özellikleri tanımlanması	26
3.4.2.1 Beton malzemenin davranışının tanımlanması	26
3.4.2.2. Çelik malzemenin davranışının tanımlanması	29
3.4.3. Malzeme davranışlarının Abaqus yazılımına tanıtılması.....	30
3.4.3.1 Beton malzeme modeli ve parametrelerinin tanıtılması.....	30
3.4.4. Kesit özelliklerinin Abaqus yazılımına tanıtılması	41
3.4.5. Model elemanlarının Abaqus yazılımında birleştirilmesi (assembly)	42
3.4.6. Abaqus yazılımında analiz adımları türü tanımlanması.....	44
3.4.7. Abaqus yazılımında etkileşimlerin tanımlanması	47
3.4.8 Abaqus yazılımında yüklerin tanımlanması.....	54
3.4.9. Abaqus yazılımında ağı oluşturulması	59
3.4.10. Abqus yazılımında modelin koşturulması.....	63

4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	65
5. SONUÇ 76	
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	81

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A	Alan
b	Genişlik
d	Mesafe
d	yoğunluk
dc	Beton basınç hasar parametresi
E	Elastisite Modülü
dt	Beton çekme hasar parametresi
F	Kuvvet
fb0	Betonun iki eksenli gerilme halindeki dayanımı
fc0	Betonun tek eksenli gerilme halindeki dayanımıdır
h	Yükseklik
L	Uzunluk
M	Moment
Ø	Donatı çapı
r	Yarı çap
s	Delikler arası uzaklık
tf	Yanak kalınlığı
tw	Gövde kalınlığı
δL	Uzunluk değişimi
ε	Gerinim
ε0t ^{el}	Hasar görmemiş malzeme için elastik şekil değiştirme
εc	Beton şekil değiştirmesi
εc ⁱⁿ	Basınç etkisinde elastik olmayan şekil değiştirme
εc ^{pl}	Basınç etkisinde plastik şekil değiştirme
εt	Toplam birim şekil değiştirme
εt ^{ck}	Çatlama birim şekil değiştirmesi
εt ⁱⁿ	Çekme etkisinde elastik olmayan şekil değiştirme
εt ^{pl}	Çekme etkisinde plastik şekil değiştirme
εx	X ekseninde birim şekil değişimi
εy	Y ekseninde birim şekil değişimi
σ	Gerilim
σc	Basınç gerilmesi
σc0	Maksimum elastik basınç gerilmesi
σcu	Maksimum beton basınç gerilmesi
σt	Beton çatlama mukavemeti
σt	Çekme gerilmesi
ν	Poisson oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1.	Binalarda kompozit yapısal elemanlar..... 5
Şekil 2.2.	Beton içerisine tamamen gömülmüş çelik profilli..... 7
Şekil 2.3.	Yarı (kısmi) gömme..... 7
Şekil 2.4.	Çelik profilin içi tamamen betonla doldurulan..... 8
Şekil 2.5.	Beton kaplı kesitli kompozit kirişler..... 8
Şekil 2.6.	Kısmen betonla kaplı kesitli kompozit kiriş..... 9
Şekil 2.7.	Görünür çelik kesitli kompozit kiriş..... 9
Şekil 3.1.	Çelik Beton kompozit yapı sistemi (Tsavdaridis 2016) ... 11
Şekil 3.2.	Çelik Beton kompozit yapı sistemi projesi..... 13
Şekil 3.3.	Çelik kolon elemanın profil geometrisi..... 13
Şekil 3.4.	IPE 270 mm çelik kiriş elemanın profil geometrisi..... 14
Şekil 3.5.	Beton döşeme ve donatı elemanların profil geometrisi..... 15
Şekil 3.6.	Çelik levha elemanın profil geometrisi..... 16
Şekil 3.7.	M20 Bulon eleman profil geometrisi..... 17
Şekil 3.8.	Çelik ankraj elemanı profil geometrisi..... 18
Şekil 3.9.	HEA 220 mm çelik kolon geometrisi 2D görünümü..... 20
Şekil 3.10.	HEA 220 mm çelik kolon geometrisi 3D görünümü..... 20
Şekil 3.11.	IPE 270 mm çelik kiriş geometrisi 2D görünümü..... 21
Şekil 3.12.	IPE 270 mm çelik kiriş geometrisi 3D görünümü..... 21
Şekil 3.13.	Çelik levha geometrisi 2D görünümü..... 22
Şekil 3.14.	Çelik levha geometrisi 3D görünümü..... 22
Şekil 3.15.	Döşeme geometrisi 2D görünümü..... 23
Şekil 3.16.	Döşeme geometrisi 3D görünümü..... 23
Şekil 3.17.	Boyuna 10Ø12 donatısı..... 24
Şekil 3.18.	Enine Ø 8 donatısı..... 24
Şekil 3.19.	Çelik ankraj 2D görünümü..... 25
Şekil 3.20.	Çelik ankraj 3D görünümü..... 25
Şekil 3.21.	M20 bulon 2D görünümü..... 26
Şekil 3.22.	M20 bulon 3D görünümü..... 26
Şekil 3.23.	Betonun aksenal basınç ve çekme altındaki gerilme şekil değiştirme eğrisi..... 27
Şekil 3.24.	Betonun aksenal çekme altındaki gerilme şekil değiştirme eğrisi..... 29
Şekil 3.25.	Betonun elastik sabitlerinin Abaqus programına girişleri... 30
Şekil 3.26.	Betonun elastik sabitlerinin Abaqus programına girişleri... 31
Şekil 3.27.	Betonun basınç altındaki doğrusal olmayan davranış eğrisi 32
Şekil 3.28.	Betonun aksenal basınç altında CDP model ile betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin tanımlanması (Hibbitt vd. 2011)..... 33
Şekil 3.29.	Betonun plastik parametrelerin Abaqus programına girişleri..... 33

Şekil 3.30.	Hasar birim şekil değiştirme grafiği.....	35
Şekil 3.31.	Gerilme ve birim şekil değiştirme grafiği	35
Şekil 3.32.	Betonun hasar palstistise verilerinin Abaqus programına girişleri.....	36
Şekil 3.33.	Betonun aksenal çekme altında CDP model ile betonun gerilme- şekil değiştirme ilişkisinin tanımlanması (Hibbitt vd. 2011).....	37
Şekil 3.34.	Çekme parametreleri (d_t ve ϵ_{tin}) değerleri	38
Şekil 3.35.	Çekme etkisinde gerilim-gerinim.....	39
Şekil 3.36.	Beton çekme hasarı parametreleri	39
Şekil 3.37.	Tanımlanan malzeme türleri.....	40
Şekil 3.38.	Malzeme özellikleri tanımlanması.....	40
Şekil 3.39.	Elastik malzeme özellikleri tanımlanması	41
Şekil 3.40.	Malzeme tanımlanması	41
Şekil 3.41.	Çelik levhada yapılan bölme	42
Şekil 3.42.	HEA 220 mm çelik kolonda yapılan bölme	42
Şekil 3.43.	Bulonda yapılan bölme	43
Şekil 3.44.	IPE 270 mm çelik kirişte yapılan bölme	43
Şekil 3.45.	Betonarme döşemede yapılan bölme	44
Şekil 3.46.	Çelik ankraj için yapılan bölme	44
Şekil 3.47.	Analiz adımları (bulon ve tekrarlı yükü)	45
Şekil 3.48.	Analiz adımları (bulon yükü) parametreleri	45
Şekil 3.49.	Zaman artışı.....	46
Şekil 3.50.	Analiz adımları (tekrarlı yükü) parametreleri	46
Şekil 3.51.	Zaman artışı.....	47
Şekil 3.52.	Etkileşim (Interaction) tanımlanması	48
Şekil 3.53.	IntProp-1 türü detayları	48
Şekil 3.54.	Fictionless türü parametreleri tanımlanması	49
Şekil 3.55.	Yüz yüze etkileşimde bulunacak parçalar.....	50
Şekil 3.56.	Etkileşim türü	50
Şekil 3.57.	Kiriş ve çelik ankraj etkileşimi	51
Şekil 3.58.	Kiriş ve çelik levha etkileşimi	51
Şekil 3.59.	Sağ tarafta yükleme etkilenmesi	52
Şekil 3.60.	Sol tarafta yükleme etkilenmesi	52
Şekil 3.61.	Kolon üst ucunun etkileşimi	53
Şekil 3.62.	Kolon alt ucunun etkileşimi	53
Şekil 3.63.	Döşeme, çelik ankraj ve donatı gömülü olarak etkileşimi. . .	54
Şekil 3.64.	M20 bulon ön çekme kuvveti girilmesi	55
Şekil 3.65.	Döşeme üzerinde Sol ve sağ yüklemenin uygulanması.	55
Şekil 3.66.	Sol tarafın yüklenmesi	56
Şekil 3.67.	Sağ tarafın yüklenmesi	57

Şekil 3.68.	Kolon alt ucu deplasmanı.....	58
Şekil 3.69.	Kolon üst ucu deplasmanı	59
Şekil 3.70.	Kolonun ağı oluşturulması	60
Şekil 3.71.	Çelik levhanın ağı oluşturulması	61
Şekil 3.72.	Kirişin ağı oluşturulması	61
Şekil 3.73.	Döşemenin ağı oluşturulması	61
Şekil 3.74.	Çelik ankraj ağı oluşturulması	62
Şekil 3.75.	Bulonun ağı oluşturulması	62
Şekil 3.76.	Döşeme donatısı ağı oluşturulması	62
Şekil 3.77.	İş (Job) başlatma ekranı.	63
Şekil 3.78.	İş (Job) kontrol ekranı	64
Şekil 4.1.	İş (Job).....	65
Şekil 4.2.	Analiz sonrası proje.....	65
Şekil 4.3.	RP-1 yük ve deplasman grafiği.....	66
Şekil 4.4.	RP-2 yük ve zaman grafiği	66
Şekil 4.5.	RP-3 y ekseninde yük ve deplasman grafiği	67
Şekil 4.6.	RP-3 moment -dönme eğrisi	68
Şekil 4.7.	Plate-2 dış yüz gerilim ve gerinim sonuçları	68
Şekil 4.8.	Kolon plat-1 tarafında dış yüz gerilim ve gerinim grafiği. .	69
Şekil 4.9.	Kolon plat-1 tarafında dış yüz gerilim ve gerinim sonuçları	69
Şekil 4.10.	Bulon gerilim ve gerinim grafiği	70
Şekil 4.11.	Bulon gerilim ve gerinim sonuçları	70
Şekil 4.12.	Çelik ankrajda gerilim ve gerinim grafiği	71
Şekil 4.13.	Çelik ankrajda gerilim ve gerinim sonuçları.....	71
Şekil 4.14.	Çelik ankrajda gerilim ve gerinim sonuçları.....	72
Şekil 4.15.	Döşeme birleşim bölgesinde gerilim grafiği	72
Şekil 4.16.	Döşeme birleşim bölgesinde gerilim sonuçları	73
Şekil 4.17.	Boyuna 12 mm donatıda gerilim ve gerinim grafiği	73
Şekil 4.18.	Boyuna 12 mm donatıda gerilim ve gerinim.....	74
Şekil 4.19.	Enine 8 mm donatıda gerilim ve gerinim grafiği	74
Şekil 4.20.	Enine 8 mm donatıda gerilim ve gerinim.....	75
Şekil 4.21.	Kirişte gerilim ve gerinim.	76

ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Çelik kolon elemanın parametreleri.....	14
Çizelge 3.2. Çelik kiriş elemanın parametreleri.....	14
Çizelge 3.3. Beton döşeme ve donatı elemanların parametreleri.....	15
Çizelge 3.4. Çelik levha elemanların parametreleri.....	16
Çizelge 3.5. Bulon parametreleri.....	17
Çizelge 3.6. Çelik ankraj parametreleri.....	19
Çizelge 3.7. Elastik ve plastik parametreleri.....	28
Çizelge 3.8. Beton basınç etkisi altında şekil değiştirme değerleri.....	34
Çizelge 3.9. Beton çekme etkisi altında şekil değiştirme değerleri.....	38
Çizelge 3.10. Minimum Bulon Önçekme Kuvveti	54

1. GİRİŞ

Son dönemlerde betonarme yapılar ile ilgili deprem sonrası yapılan çalışmalarda, betonarme yapı tasarımında koşulların dikkate alınmadığına çok rastlanmıştır. Betonarme yapı elemanlarında hasar, tasarım hataları ve yapısal düzensizliklerden dolayı meydana gelmektedir. Deprem etkisine dayanıklı olması gereken bir yapının yeterli dayanıma sahip olmaması, iyi tasarlanmaması ve özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinde donatının akma noktası geçilmesi sonucunda büyük dönmelerin meydana gelmesinden dolayı yapılarda özellikle birleşim noktalarında ağır ve büyük hasarlar oluşmaktadır.

Kompozit yapılar yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Yapıda deprem etkisi altında yeteri derece deplasmanlar ve şekil değiştirmeler yapılması gerekmektedir. Kompozit yapılar yeteri derece deplasmanlar ve şekil değiştirmeler yaparak ve yeterli oranda enerji yutarak süneklik davranış göstermektedir.

Kompozit yapıların inşaat alanlarında taşıyıcı sistemlerinde güçlendirme çalışmalarında kullanılması sonucunda yapının ekonomik ömrü açısından büyük katkısının olacağı, yapının ağırlıklarının azalacağı ve yapı elemanlarının kesit ve donatı oranlarında azalmaların olacağı, yeterli derecede süneklik sağlanması halinde yapının zarar görmesi oranı ve maddi kayıplarının en aza düşürüleceği düşünülmektedir.

Yapı ağırlığının azaltılmasında kompozit yapı sistemlerinin çok önemli katkısı bulunmaktadır. Kompozit sistemleri deprem etkisi altında oluşan sismik yüklere dayanım göstermek için gerekli olan sürekliliğin sağlanmasında oldukça iyi bir performans sağlamaktadır. Kompozitler yapım süresinin azalmasında önemli rol oynamaktadır. Kompozitler çok katlı binalarda taşıyıcı sistemler olarak çok yaygınlaşmış olup, vazgeçilmez hale gelmiştir. Yüksek dayanımlı kompozit elemanlar; köprü ayaklarında, binalarda, endüstriyel yapılarda ve birçok alanda kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Kompozit yapı sistemleri gibi karmaşık yapılara ve kompleks malzeme davranışına sahip olan sistemlerin gerçekçi simülasyonlarının yapılabilmesi bu modellerin genel amaçlı sonlu elemanlar bünyesinde sayısal modellerinin doğru bir şekilde oluşturulmasına bağlıdır. Güvenilir ve doğru bir modelleme sayesinde ancak gerçek kullanımdaki veya

gerçek deneydeki yapı sistemlerin analizleri doğru bir şekilde yapılabilir. Bu tez çalışmasında bir kompozit yapı sistemin ve yapılan elemanlarının doğrusal olmayan davranışını incelemek için Abaqus sonlu elemanlar çatisı altında detaylı bir sayısal modellenin oluşturulması ve gerçekci analizlerinin yapılması amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde tez konusu ile ilgili daha önce yapılan çalışmaların özetleri ve sonuçları araştırılmıştır.

2.1. Kompozit Sistemlerinde Yapılan Çalışmalar

Kompozit döşeme-çelik kolondan oluşan altı katlı prototip çerçeve sistemi tersinir tekrarlı yükler etkisi altında test edilmiştir. Çalışma sonucunda kompozit döşemenin çelik kolona bağlandığı birleşim noktasının dönme rijitliğini arttırdığı gösterilmiştir (Lee vd., 1987).

Normal beton kullanılarak çelik kiriş-betona gömülü kompozit kolon birleşim noktasının tersinir tekrarlı yükleme altında performansı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda Tersinir yük etkisinde kompozit kolonun kirişlerle temas ettiği beton yüzeyinde göçmenin gerçekleştiği ve mafsallaşmanın çelik kirişte olduğu rapor edilmiştir (Chung vd., 2002).

Kompozit kolon-çelik kafes kiriş hibrit birleşim noktasının sismik davranışı incelenmiştir. Bu çalışmada normal dayanımlı beton kullanılmıştır, kompozit elemanların birleşim noktalarında kesme kuvvetleri davranışı, yük-yer değiştirme eğrisi, rijitlik, süneklik, dayanım ve enerji yutma kapasitesi araştırılmıştır. Rijitlik, dayanım, süneklik ve enerji dağıtma kapasitesi açısından iyi davranış gösterilmiştir (Mu-Xaun vd., 2013).

Betonla doldurulmuş çelik küp kompozit tersinir tekrarlı yükler altında davranışını deneysel olarak incelenmiştir. Döngüsel yükleme altında kuvvetlerin aktarılmasında iyi aderans sergilenmiş ve aynı zamanda kolonda çok büyük bir yer değiştirme elde edilmiştir (Fei-Yu vd., 2013).

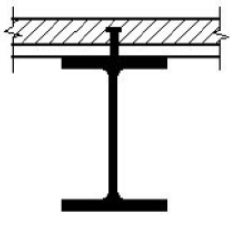
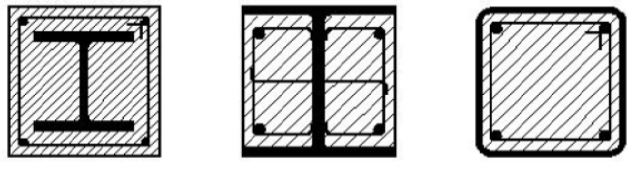
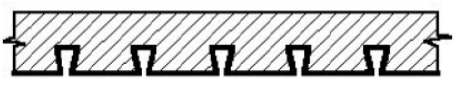
Yüksek dayanımlı betondan üretilen kompozit çerçeve sisteminin davranışı tekrarlı yükleme altında testler yapılarak incelenmiştir. Beton dayanımı ve eksenel kolon yükü dikkate alınmıştır. Deney sonucunda bütün elemanların birleşim noktalarında kesme kuvvetine yetersiz davranış gösterdiği belirtilmiştir (Lei vd., 2015).

Betona gömülü çelik kompozit kolonların monotonik ve tekrarlı yükler altında davranışı incelenmiştir. Deneyde kullanılan beton yüksek dayanımlı betondur. Çalışma sonucunda yüksek dayanımlı betonun yüksek enerji emme kapasitesine sahip olduğu bildirilmiştir (Cristina vd., 2015).

Betonarme kiriş- kompozit kolon ve betonarme kiriş-kolon birleşim bölgesi performansları karşılaştırılmıştır. Sistemin tersinir tekrarlı yükleme altındaki davranışı sayısal model oluşturularak incelenmiştir. Düğüm noktasının göçme ve süneklik derecesi belirlenerek karşılaştırılmış, yapılan analiz neticesinde beton ve çelik elemanlarında en büyük basınç ve çekme gerilmeleri kolon-kiriş kesişimi olduğu bölgede meydana geldiği ve kopma anında kompozit birleşim elemanı betonarme birleşim elemanına göre daha fazla deplasman yaparak daha sünek davranış sergilediği gösterilmiştir. Enerji yutma kapasitesinin kompozit birleşim elemanında daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Bengi vd., 2018).

2.2. Kompozit Birleşimlerin Tarihçesi

İki ve daha fazla malzeme kullanılarak oluşturulan sistemlere kompozit yapı sistemleri denir. Yapısal elemanlarında istenen performanslara ulaşmak için kompozit yapılar önemli rol oynamaktadır. Şekil 2.1'de yapılarda yaygın olarak kullanılan kompozit yapısal elemanlar gösterilmektedir.

Kompozit kiriş		Çelik kirişli kompozit döşeme
Kompozit kolon		Betonla gömülmüş veya betonla doldurulmuş çelik profiller
Kompozit döşeme		Holorib kaplama Beton

Şekil 2.1. Binalarda kompozit yapısal elemanlar (European steel computer aided learning, nisan 2005)

Kompozit yapı sisteminin, yaygın olan betonarme yapılara göre yapı ağırlığı azalması, deprem yüklere karşı daha fazla süneklik gösterebilme özelliğine sahip olması ve yangına daha fazla dayanıklı olması için çok katlı binalarda, köprülerin ayaklarında ve endüstriyel yapılarda kullanılması yaygın olmuştur.

Kompozit yapı teknikleri kullanılarak ünlü yapılar inşa edilmiştir. ABD’de İkiz Kuleler, Malezya’da Petronas Kuleleri gibidir. Özellikle yüksek yapıların çoğunluğu kompozit olarak tasarlanmıştır. Kompozit sistemlerin yapılarda yaygın olarak kullanılmasının başlıca nedenleri, bu sistemlerin yüksek korozyona direnci daha iyi sağlanması, yüksek dayanımlı olması, yapının toplam ağırlığının önemli bir dereceye azaltılması ve iklimsel ve coğrafi çevrenin zorlayıcı sebepler olduğu kimyasal etkilere karşı kullanımı daha uygun olmasıdır.

2.3. Kompozit Yapı Sistemler

Yüksek olan yapılar, sırası ile çerçevesiz tüp, perdeli ve moment dayanımlı çerçeve kullanılarak yatay yüklere dayanıklı sistemler tarafından taşınmak üzere tasarlanmış konstrüksiyonlardır. Kompozit sistemde, yatay yüklere karşı betonarme perdeler

kullanılmaktadır. Yapının yatay yükleri Vierendeel kirişleri yardımı ile yatay yükü taşıyan çekirdek veya perdelerle aktarılmaktadır. Kompozit yapılarda çelik yapı elemanlarının inşa edilmesinin hızlılığı, yüksek mukavemete sahip olması ve hafifliğinden dolayı kullanımı avantajlı olmaktadır. Kompozit yapı sistemlerin avantajları başlıca;

1. Kullanılan çelik ağırlığının azalmaları ve ekonomikliğin sağlanması, Kompozit yapı kullanılması durumunda ekonomik oranı 20-30 arasında olmaktadır. Bu durumda kirişlerde yüksekliğin azalması nedeniyle ekonomik açıdan katkı bulunmaktadır.
2. Döşemelerin dayanımının artırılması.
3. Hareketli ve ölü yüklerden kaynaklanan döşemenin sehmi azalması.
4. Kirişlerin aralıklarının artırılması.

Ancak çelik malzemenin maliyeti, işçiliği ve bakımı zor olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır;

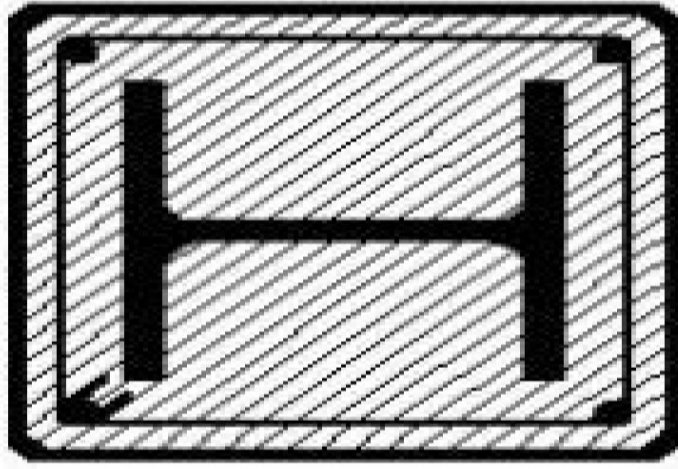
1. İşçiliğin zorluğu.
2. İyi ve deneyimli ustaların gerekliliği.
3. Sürekli şekilde onarım ve bakım yapılması.
4. Ani hava değişikliğinden dolayı çelik kirişin sıcaklık derecesi döşemeden daha yüksek olması.
5. Donma, kuruluk ve nemden dolayı betonda kabarmaların oluşması.
6. Kimyasal değişiklikler (beton içindeki kimyasal maddeler ve agregadaki kimyasal maddeler).

2.4. Kompozit Kolonların Çeşitleri

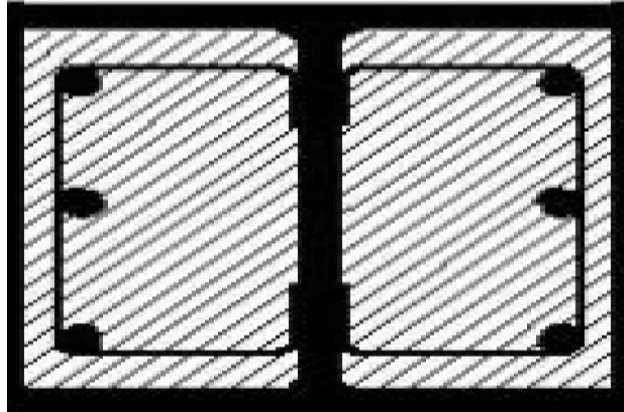
Kompozit kolonların kesit boyutları ve yapının ağırlığının azaltılması, yangına yüksek dayanım göstermesi ve yüksek yapısal performans göstermesi nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır. Kompozit kolonların betonarme kolonlara göre ekonomikte daha avantajlı ve üretimde daha hızlı olması için kullanımı yaygın olmuştur, yeterli dayanım göstermesi, enerji yutma ve eksenel yük taşıma kapasitesi yüksek olması ve süneklik göstermesi nedeniyle inşaat alanında yoğun şekilde kullanılmaktadır. Kompozit kolonun

içindeki betonun sarılmasıyla üç eksenli gerilme halinde davranış göstermesi, betonun ise çelik kolonda içe doğru burkulmasını önlemesi gibi avantajları bulunmaktadır. Kompozit kolon yapı elemanları genel olarak üç grup altında toplanır. Bunlar;

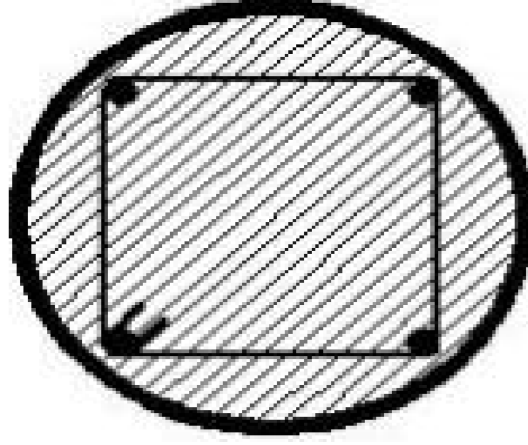
1. Beton içerisine tamamen gömülmüş çelik profili (Şekil 2.2).
2. Yarı (kısmi) gömmelerdir (Şekil 2.3).
3. Çelik profilin içi tamamen betonla doldurulmuş kompozit kolon (Şekil 2.4).



Şekil 2.2. Beton içerisine tamamen gömülmüş çelik profil



Şekil 2.3. Yarı (kısmi) gömme

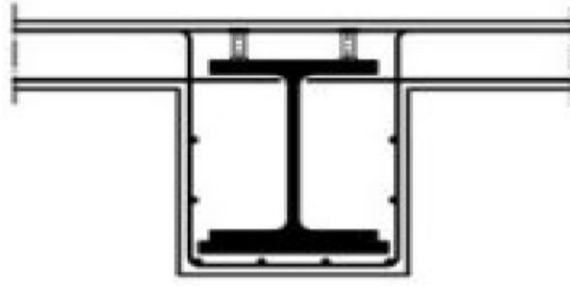


Şekil 2.4. Çelik profilin içi tamamen betonla doldurulan

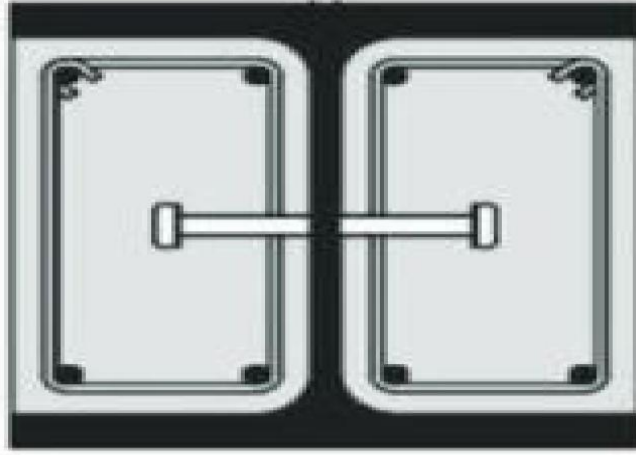
2.5. Kompozit Kirişler

Betonarme döşeme ile birlikte çalışan olan yapısal çelik elemandır. Kompozit kirişlerin davranışının tam şekilde belirleyen temel parametre, çelik kirişle beton döşeme arasındaki kesme kuvveti transferinin miktarı parametresidir, kompozit kirişte, çelik kiriş ile beton döşemesi arasına koyulan kayma bağlantılarının kapasitesi ile çelik kirişin ve beton döşeme plağının kapasiteleri arasındaki ilişkiye bağlı olarak “tam kompozit davranış” veya “kısmi kompozit davranış” elde edilir. Yapılarda yaygın olarak kullanılan kompozit kiriş çeşitleri;

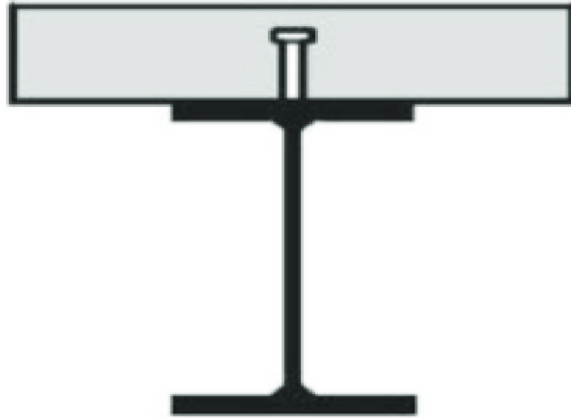
1. Beton kaplı kesitli kompozit kirişler (yangından korunma dahil) (Şekil 2.5).
2. Kısmen betonla kaplı kesitli kompozit kiriş (yangından korunma dahil) (Şekil 2.6).
3. Görünür çelik kesitli kompozit kirişlerdir (Şekil 2.7).



Şekil 2.5. Beton kaplı kesitli kompozit kirişler



Şekil 2.6. Kısmen betonla kaplı kesitli kompozit kiriş



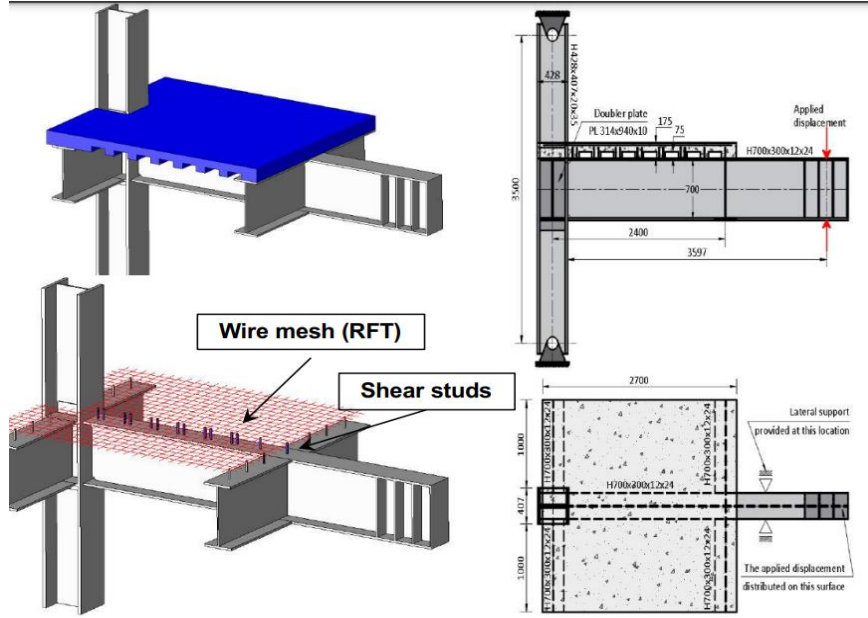
Şekil 2.7. Görünür çelik kesitli kompozit kiriş

2.6. Kompozit Döşemeler

İnşaat mühendisliğinin sektöründe döşeme sistemlerinde geniş açıklıkları ekonomik açısından önemli bir konudur. Kompozit döşemelerde sac kullanılması durumunda, döşeme donatısı ve kalıp işlevi görmek gibi avantajları bulunmaktadır. Betonarme ve çelik elemanların birbirine bir araç ile kayma kuvvetini aktarabilmesi için, birlikte çalıştırılabilmesi gerekmektedir. Yapının zati yükler altında beton, trapez ve çelik elemanların beraber çalışabilmesi kaynaklı saplama parçalar ile yapılmaktadır. Bu saptamalar çelik elemanlar üzerine kaynaklanıp monte edilir, sonra sökülemez, döşeme için beton dökülmesi sonucunda priz alma aşaması başlar, priz alma aşaması ile birlikte beton ve çelik kompozit olarak çalışmaya başlar. Kompozit döşeme sistemleri oluşturan beton ve çelik malzeme kalitesinin uygun olması ve zamanla gelişmesi, sahalardaki tecrübelerinden elde edilen deneyimler artmaktadır, bunun sayesinde daha gelişmiş ve hızlı yapım yöntemlerin bulunmasına yönelik imkan sağlanmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde bir kompozit yapı sistemin ve yapılan elemanlarının doğrusal olmayan davranışını incelemek için Abaqus sonlu elemanlar çatısı altında sayısal modellenmesi detaylı olarak anlatılmıştır. Kompozit yapı sistemleri gibi karmaşık yapılara ve kompleks malzeme davranışına sahip olan sistemlerin gerçekçi simülasyonlarının yapılabilmesi bu modellerin genel amaçlı sonlu elemanlar bünyesinde sayısal modellerinin doğru bir şekilde oluşturulmasına bağlıdır. Güvenilir ve doğru bir modelleme sayesinde ancak gerçek kullanımdaki veya gerçek deneydeki yapı sistemlerin analizleri doğru bir şekilde yapılabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında Tsavdaridis (2016) tarafından tasarlanan ve deneyi yapılan çelik beton kompozit yapı sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çelik Beton kompozit yapı sistemi (Tsavdaridis 2016)

Bu yapı sisteminin deneysel sonuçlarını doğru ve güvenilir bir şekilde belirlemek için hesaplamalı sayısal modeli Abaqus sonlu elemanlar çatısı altında oluşturulmuştur. Sayısal model analizlerin güvenilir ve gerçekçi olabilmesi bağlantı noktalarının doğru tanımlanmasına, uygun temas algoritmalarının ve malzeme modellerinin kullanılmasına sınır ve yükleme koşullarının doğru tanıtılmasına ve uygun çözü sistemlerinin kullanılmasına bağlıdır. Bu tez çalışmasında yukarıda bahsedilen hususlar sayısal model oluşturma adımlarında detaylı olarak anlatılmış ve oluşturulan hesaplamalı sayısal modelin doğruluğu ve güvenilirliği araştırılmıştır. Kompozit yapı sistemlerinin

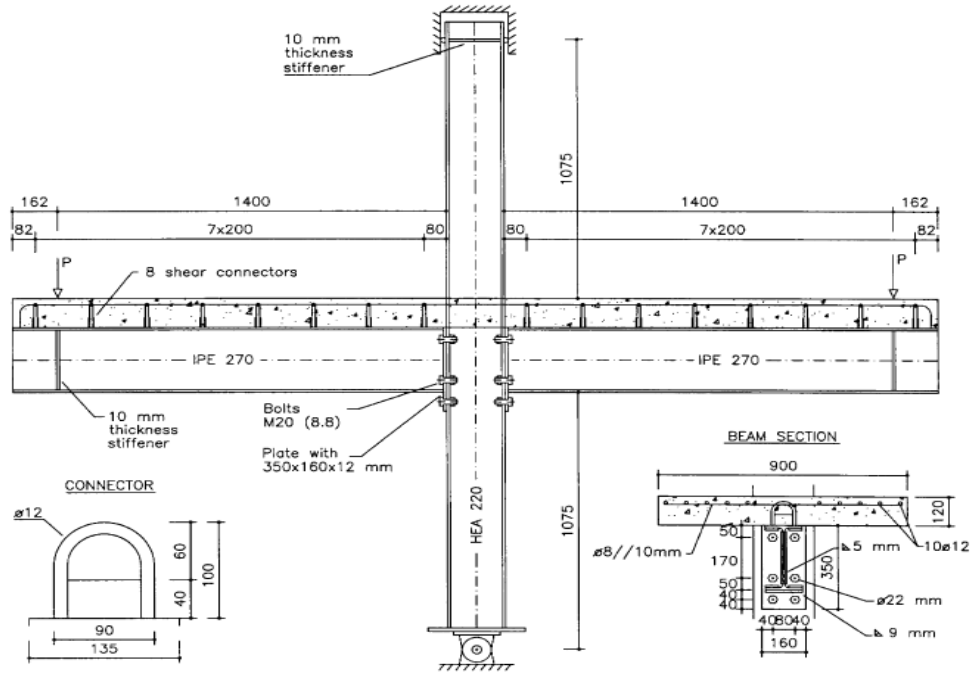
davranışlarını daha iyi anlamak için oluşturulan sayısal modelde birleşim elemanlarındaki oluşacak ezilmeler, şekil değiştirmeler, gerilmeler ve momentler belirlenmiştir.

3.1. Sayısal Model Oluşturma Adımları

1. Modelin elemanlarının oluşturulması (geometri tanımlanması).
2. Malzeme özellikleri tanımlama (malzeme tanımlama ve malzeme türü seçimi).
3. Yapı elemanlarının birleştirilmesi.
4. Çözücü türünün tanımlanması.
5. Birleşim bölgelerindeki temas modellerinin tanımlanması.
6. Sınır ve yükleme koşullarının tanımlanması.
7. Sonlu elemanlar ağının oluşturulması.
8. Analiz sonuçlarının deney sonuçları ile karşılaştırılması.
9. Gerilme ve deformasyon analizleri.

3.2. Geometrik Modelin AutoCAD Programı Yardımıyla Oluşturulması

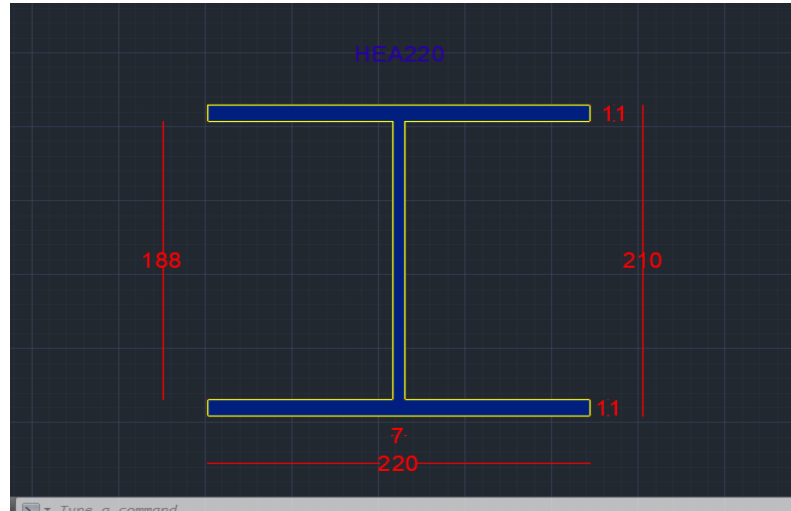
Hesaplamalı sayısal modelin geometrisi için Tsavdaridis (2016) tarafından tasarlanan çelik beton kompozit yapı sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Çelik Beton kompozit yapı sistemi (Tsavdaridis 2016)

3.2.1. HEA 220 mm çelik kolon geometrisi çizimi

Çelik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan HEA 220 mm çelik kolon elemanın profil geometrisi Şekil 3.3'de ve parametreleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.



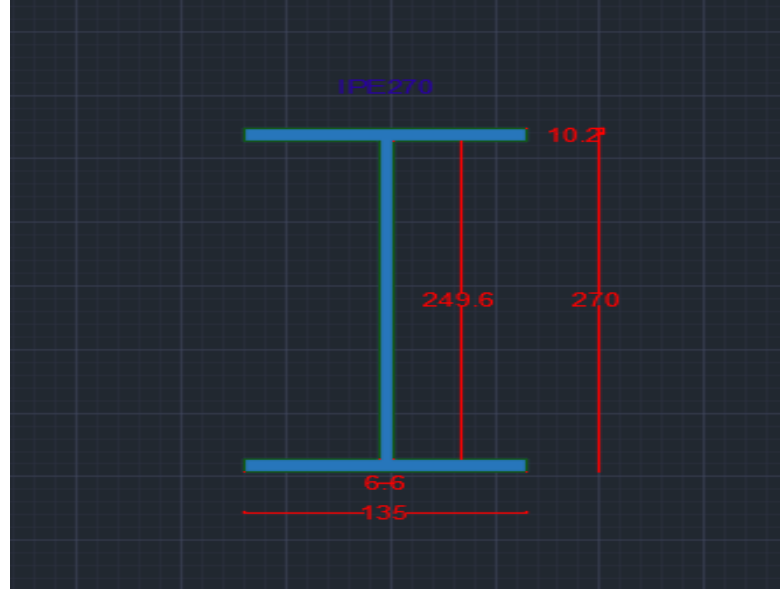
Şekil 3.3. Çelik kolon elemanın profil geometrisi

Çizelge 3.1. Çelik kolon elemanın parametreleri

Profil adı	HEA 220
Ebatlar (yükseklik x genişlik) (mm)	210X220
Gövde kalınlığı (tw) (mm)	7
Yanak kalınlığı (tf) (mm)	11
Kolon uzunluğu (L) (mm)	2540

3.2.2. IPE 270 mm çelik kiriş geometrisi çizimi

Çelik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan IPE 270 mm çelik kiriş elemanın profil geometrisi Şekil 3.4'de ve parametreleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.



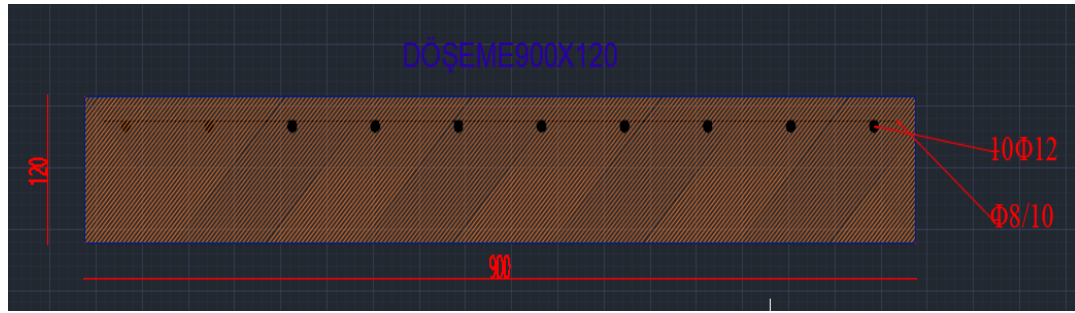
Şekil 3.4. IPE 270 mm çelik kiriş elemanın profil geometrisi

Çizelge 3.2. Çelik kiriş elemanın parametreleri

Profil adı	270 IPE
Ebatlar (yükseklik x genişlik) (mm)	270X135
Gövde kalınlığı (tw) (mm)	6,6
Yanak kalınlığı (tf) (mm)	10,2
Kirişin uzunluğu (L) (mm)	1550

3.2.3. Betonarme döşeme ve donatı elemanların çizimi

Çelik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan beton döşeme ve donatı elemanların profil geometrisi Şekil 3.5'de ve parametreleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.



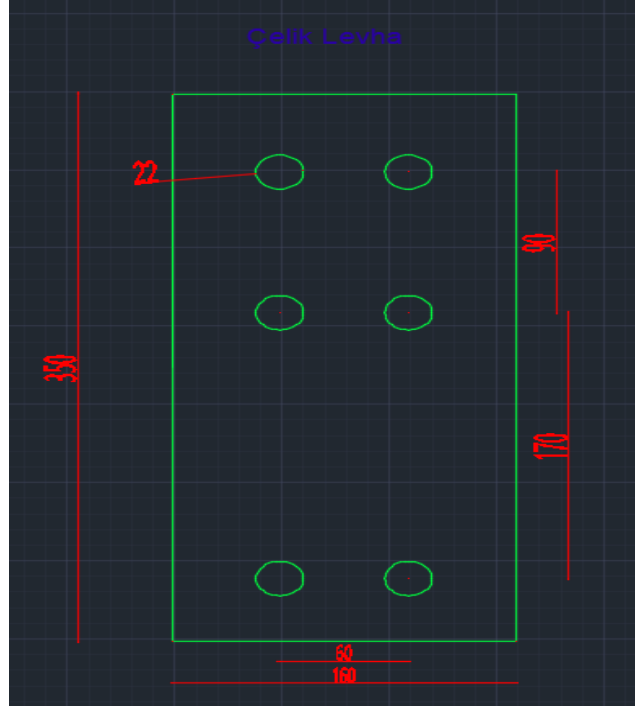
Şekil 3.5. Betonarme döşeme ve donatı elemanların profil geometrisi

Çizelge 3.3. Betonarme döşeme ve donatı elemanların parametreleri

Eleman adı	Betonarme döşeme
Ebatlar (yükseklik x genişlik) (mm)	120x900
Boyuna donatı adet, çap ve aralık	10Ø12/900
Enine donatı adet, çap ve aralık	31Ø8/105
Döşeme uzunluğu (L) (mm)	3334

3.2.4. Çelik levha çizimi

Çelik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan çelik levha elemanın profil geometrisi Şekil 3.6'da ve parametreleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.6. Çelik levha elemanın profil geometrisi

Çizelge 3.4. Çelik levha elemanların parametreleri

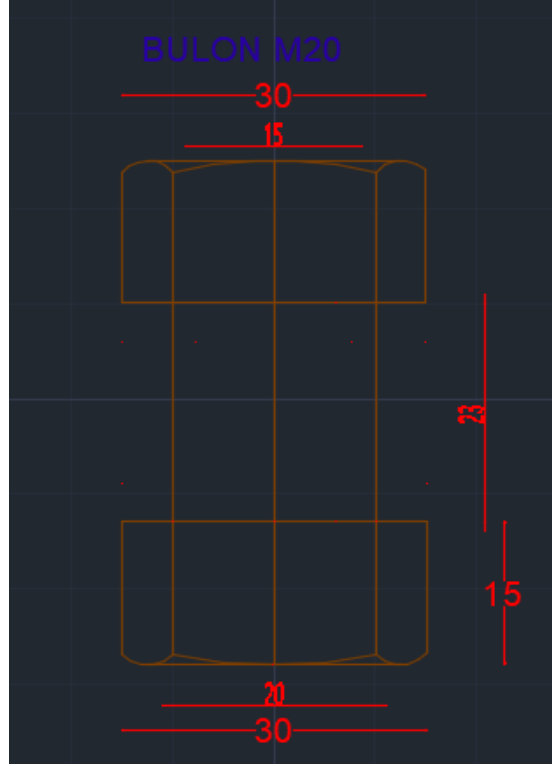
Eleman	Çelik levha
Ebatlar (yükseklik x genişlik) (mm)	350x180
Kalınlık (mm)	12
Delik çapı (mm)	22

3.2.5. Çelik bulon çizimi

Çelik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan bulon elemanı profil geometrisi Şekil 3.7'de ve parametreleri Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan bulon 8.8 yüksek dayanımlı bulondur. Yüksek dayanımlı bulonlar basit sıkma yöntemi uygulandığı ezilme etkili birleşimlerde kullanılır. Titreşim etkisinde bulonların gevşemesi tasarımı koşulu olduğu birleşimlerdir. Darbe veya tekrarlı etkili yüklerin aktarıldığı birleşimler, yüksek dayanımlı bulonların kullanıldığı sürtünme etkili birleşimler olarak teşkil etmektedir. Bulonlu başlık levhali birleşimler için tam ön çekme uygulanmış yüksek dayanımlı 8.8 veya 10.9 bulon sınıfı kullanımı gerekliliği bulunmaktadır. Çalışmadaki 8.8 bulon sınıfı ilk hane ile belirlenen sayının yüz katı MPa

olarak çelik malzemenin çekme dayanımını ifade etmektedir, ikinci hane ise çeliğin akma dayanımını elde etmek için çekme dayanımının çarpanını belirlemektedir. Örneğim 8.8 bir bulonun çelik malzemesinin asgari çekme dayanımı: $8 \times 100 = 800$ MPa; akma dayanımı ise $0,8 \times 800$ MPa = 640 MPa olarak bulunmaktadır.



Şekil 3.7. M20 Bulon eleman profil geometrisi

Çizelge 3.5. Bulon parametreleri

Eleman	Bulon M20
Dış kısım çapı (mm)	30
İç kısım çapı (mm)	20
Dış kısım yüksekliği (mm)	15
İç kısım yüksekliği (mm)	23
Bulonun tam uzunluğu (mm)	53

3.2.6. Çelik ankraj çizimi

Beton ile çelik arasındaki aktarımı sağlamak için kullanılır, kompozit elemanın çelik bileşene kaynaklanmış ve beton bileşene gömülü olan başlıklı çelik eleman veya U-profil ankraj kayma elemanıdır. Betonarme döşeme ile kirişin beraber çalışmasını sağlayan, bağ oluşturan, kesme kuvvetine dayanım gösteren elemandır. Çelik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan çelik ankrajı elemanı profil geometrisi Şekil 3.8'de ve parametreleri Çizelge 3.6'da verilmiştir. Çelik ankraj çapı 12 mm, buna göre çelik ankraj eşdeğer alanı 3.1 denklemi ile hesaplanmıştır;

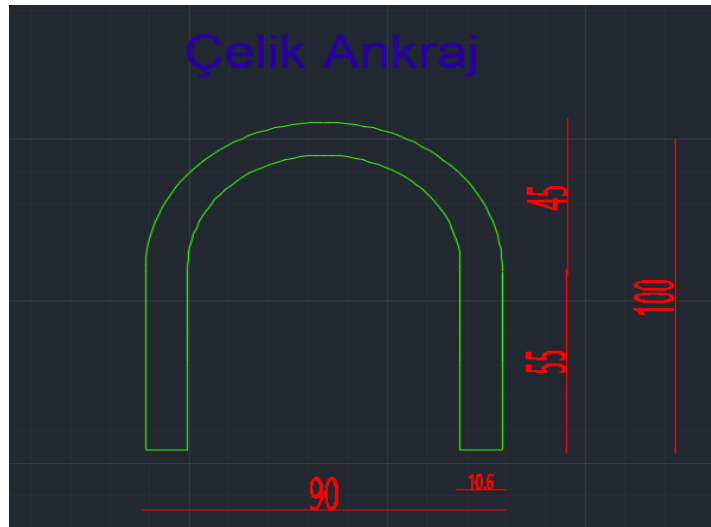
$$A = \pi r^2 \quad (3.1)$$

$$A = \pi \cdot 6^2 = 113 \text{ mm}^2$$

Dikdörtgen alan olarak hesaplanması için en ve boy ebatlarının belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre 113 mm² bir alan en ve boy ebatları sırasıyla 10,6 mm ve 10,6 mm seçilerek çarpılmıştır. Denklem 3.2 ile hesaplanmıştır;

$$A = h \cdot b \quad (3.2)$$

$$A = 10,6 \cdot 10,6 = 112,36 \text{ mm}^2$$



Şekil 3.8. Çelik ankraj elemanı profil geometrisi

Çizelge 3.6. Çelik ankraj parametreleri

Eleman	Çelik ankraj
Çap (mm)	12
Düz parça yüksekliği (mm)	55
Eğimli parça yüksekliği (mm)	45
Genişlik (mm)	90
Ebatlar (h x b) (mm)	10,6x10,6

3.3. Birleşim Tanımı

İki ve ikiden daha fazla eleman arasında aktarımın sağlandığı birleşen eleman yüzeylerinin, uçlarının veya kenarlarının birbirine birleştiği alandır. Birleşim araçları, birleşimi oluşturan araçlar (perçin, kaynak veya bulon) olarak tanımlanmaktadır. Birleşim düzlemi, birleşimde birleşen elemanların eksenlerinin oturduğu düzlemdir. Birleşim elemanları, birleşim alanında kullanılan levha, korniyer vb. bağlantı elemanlardır.

3.4. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

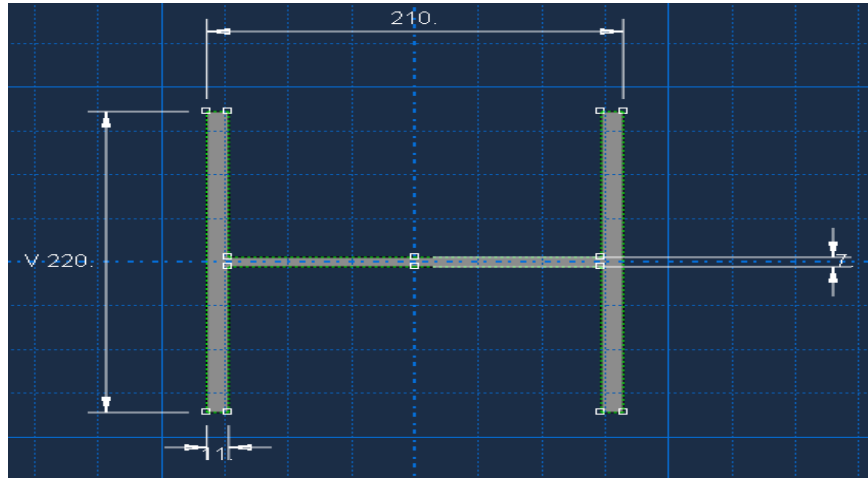
Bu bölümde Tsavdaridis (2016) tarafından tasarlanan çelik beton kompozit yapı sisteminin Abaqus sonlu elemanlar bünyesinde aşağıda belirtilen oluşum adımları detaylı olarak atılmıştır.

1. Modelin elemanlarının oluşturulması (geometri tanımlanması).
2. Malzeme özellikleri tanımlama (malzeme tanımlama ve malzeme türü seçimi).
3. Yapı elemanlarının birleştirilmesi.
4. Çözücü türünün tanımlanması.
5. Birleşim bölgelerindeki temas modellerinin tanımlanması.
6. Sınır ve yükleme koşullarının tanımlanması.
7. Sonlu elemanlar ağının oluşturulması.
8. Analiz sonuçlarının deney sonuçları ile karşılaştırılması.
9. Gerilme ve deformasyon analizleri.

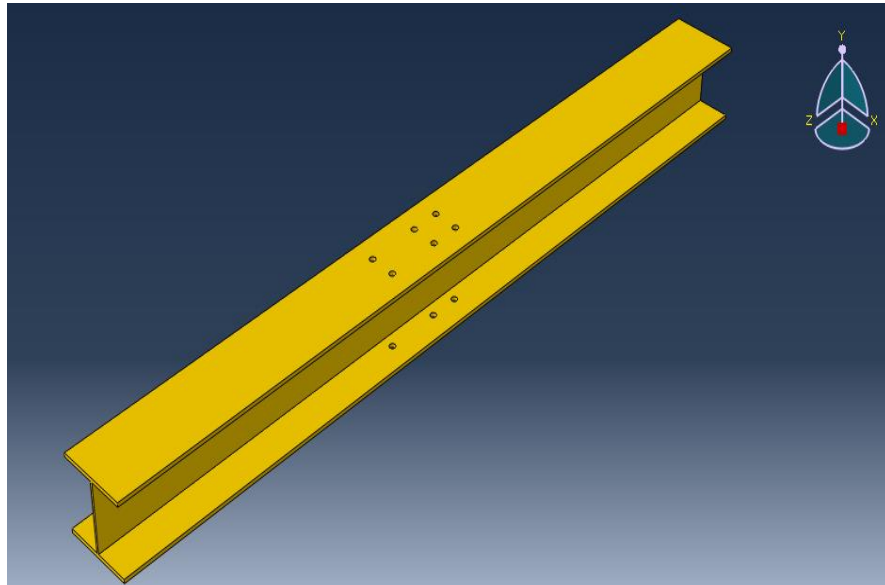
3.4.1. Geometrik modelin oluşturulması

3.4.1.1. elik kolonun geometrik modelin oluşturulması

elik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan HEA 220 mm elik kolon geometrisi Abaqus programında tasarımı 2D görünümü Şekil 3.9’da ve 3D görünümü Şekil 3.10’da gösterilmektedir.



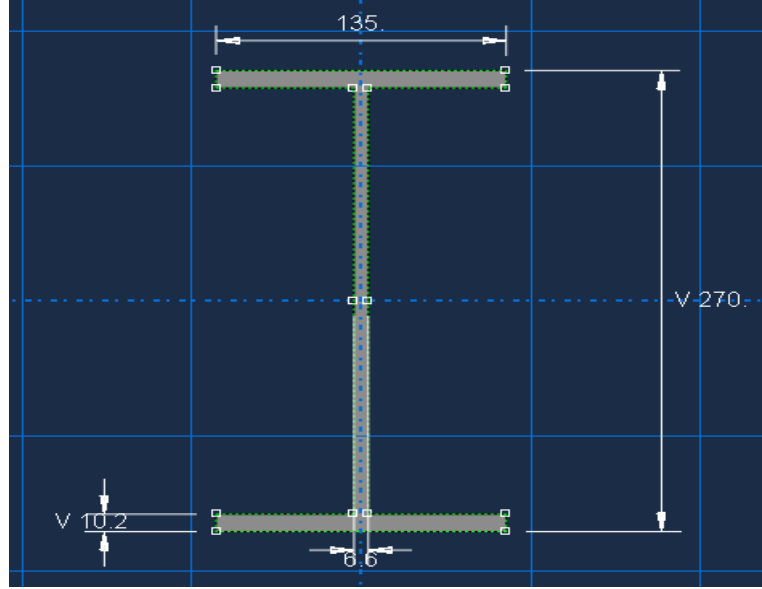
Şekil 3.9. HEA 220 mm elik kolon geometrisi 2D görünümü



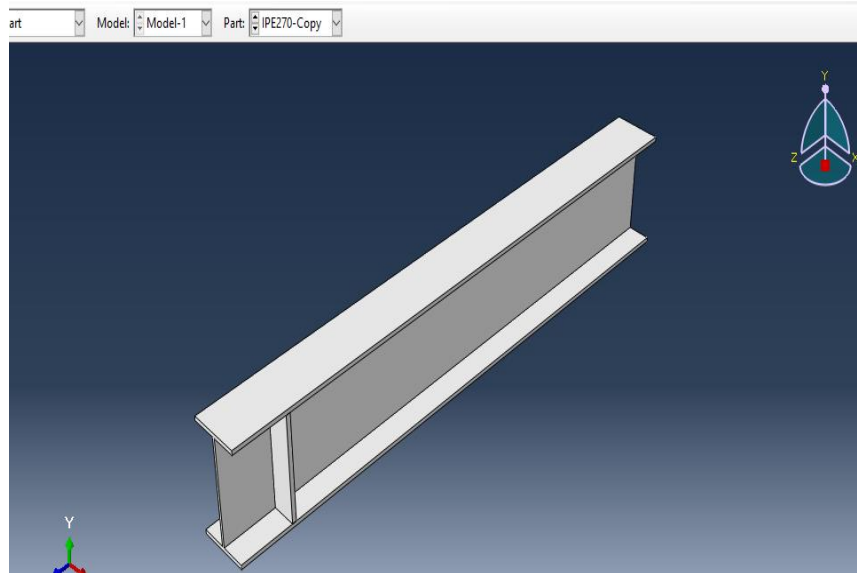
Şekil 3.10. HEA 220 mm elik kolon geometrisi 3D görünümü

3.4.1.2. Çelik kirişin geometrik modelin oluşturulması

Çelik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan IPE 270 mm çelik kiriş geometrisi Abaqus programında tasarımı 2D görünümü Şekil 3.11’de ve 3D görünümü Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



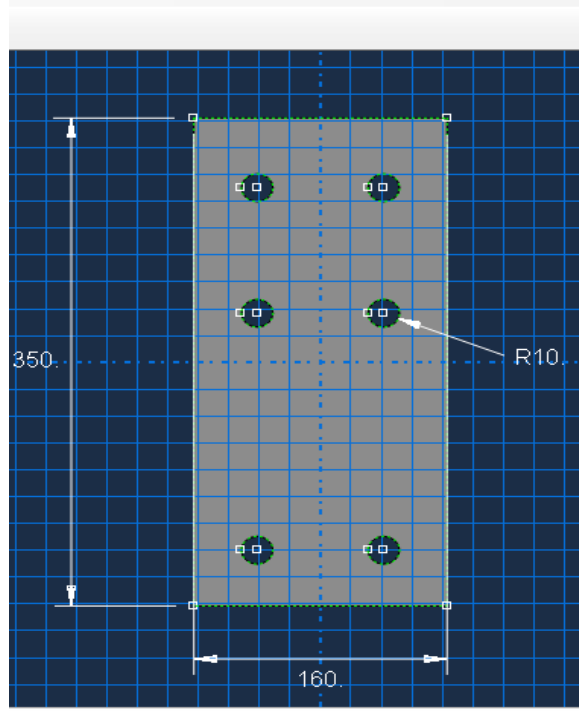
Şekil 3.11. IPE 270 mm çelik kiriş geometrisi 2D görünümü



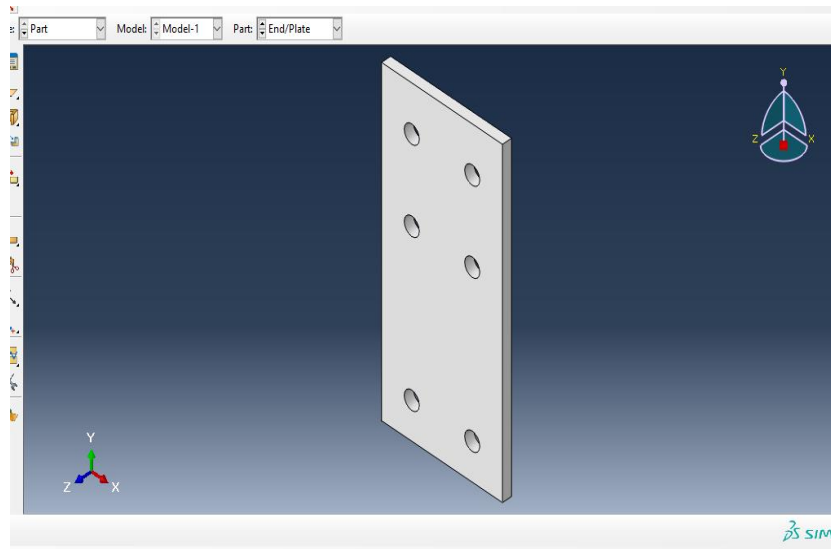
Şekil 3.12. IPE 270 mm çelik kiriş geometrisi 3D görünümü

3.4.1.3. Çelik levhanın geometrik modelin oluşturulması

Çelik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan çelik levha geometrisi Abaqus programında tasarımı 2D görünümü Şekil 3.13'de ve 3D görünümü Şekil 3.14'de gösterilmektedir.



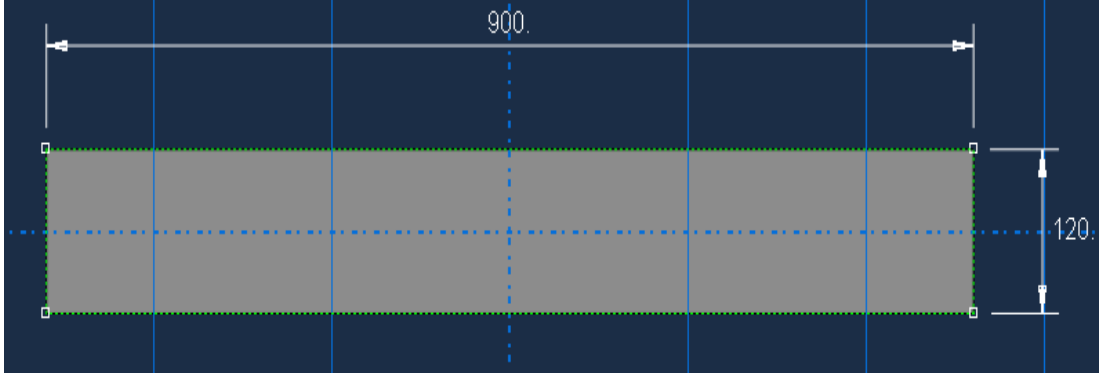
Şekil 3.13. Çelik levha geometrisi 2D görünümü



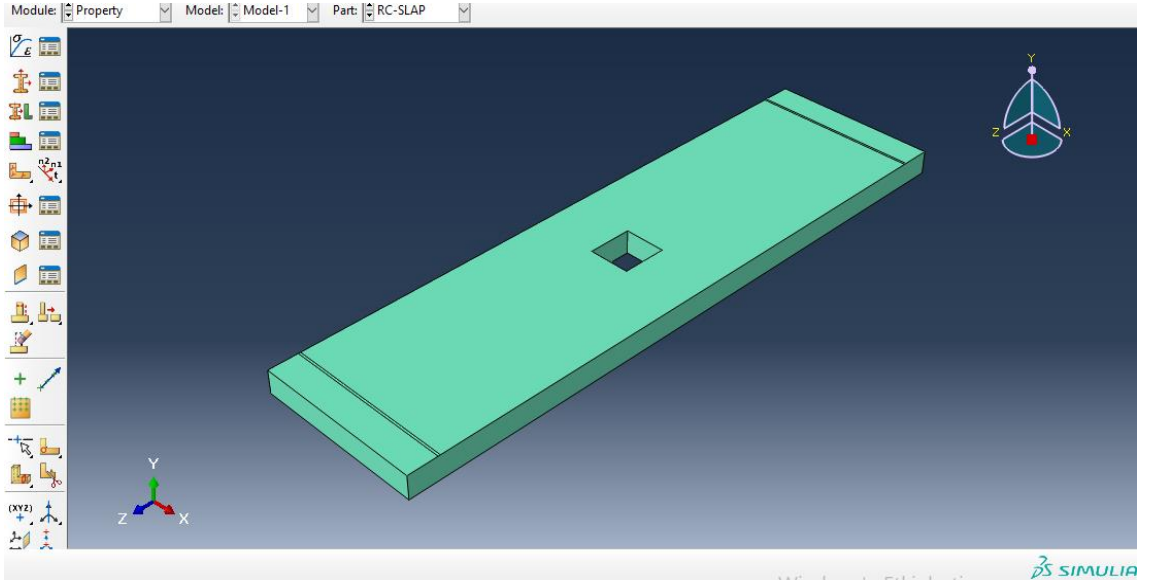
Şekil 3.14. Çelik levha geometrisi 3D görünümü

3.4.1.4. Betonarme döşemenin geometrik modelin oluşturulması

Çelik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan çelik levha geometrisi Abaqus programında tasarımı 2D görünümü Şekil 3.15'de ve 3D görünümü Şekil 3.16'da gösterilmektedir.



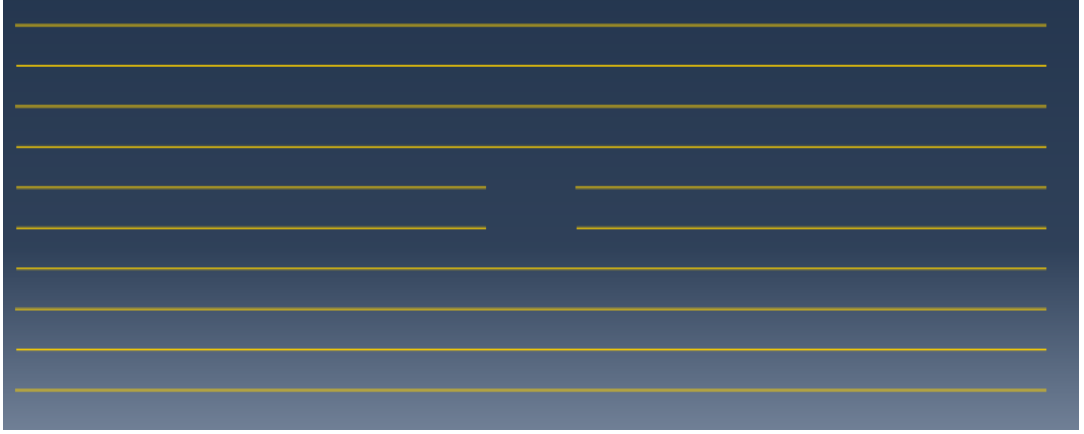
Şekil 3.15. Döşeme geometrisi 2D görünümü



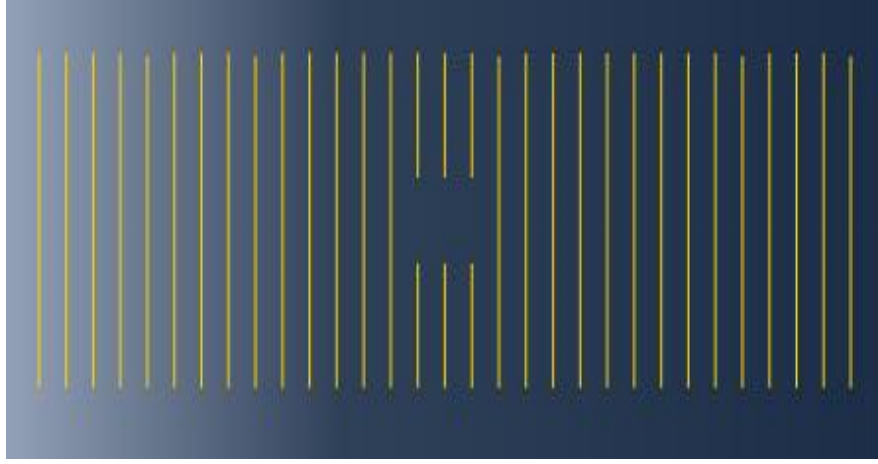
Şekil 3.16. Döşeme geometrisi 3D görünümü

3.4.1.5. Betonarme döşemede kullanılan donatının geometrik modelin oluşturulması

Çelik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan $\text{Ø}12$ ve $\text{Ø}8$ donatı geometrisi Abaqus programında tasarımı Şekil 3.17'de ve Şekil 3.18'da gösterilmektedir.



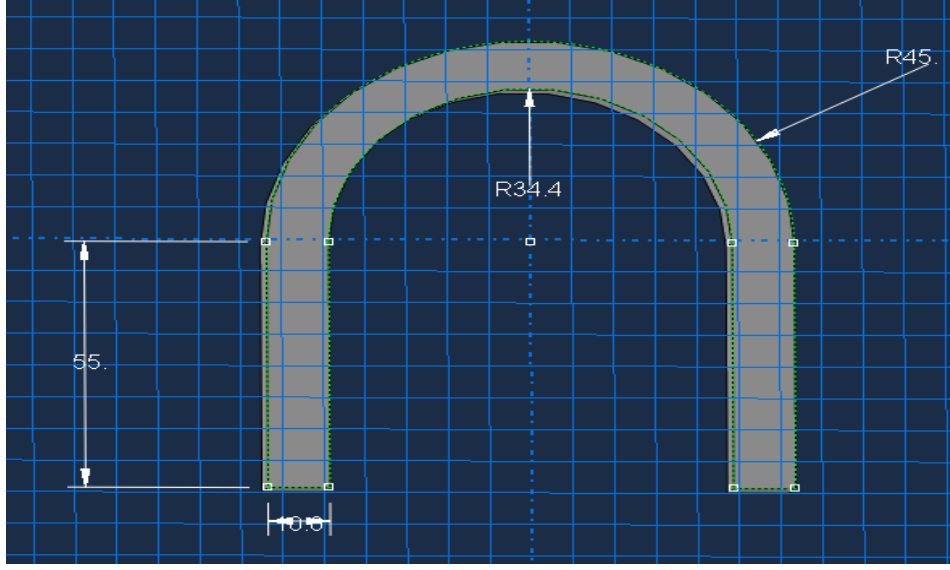
Şekil 3.17. Boyuna 10Ø12 donatısı



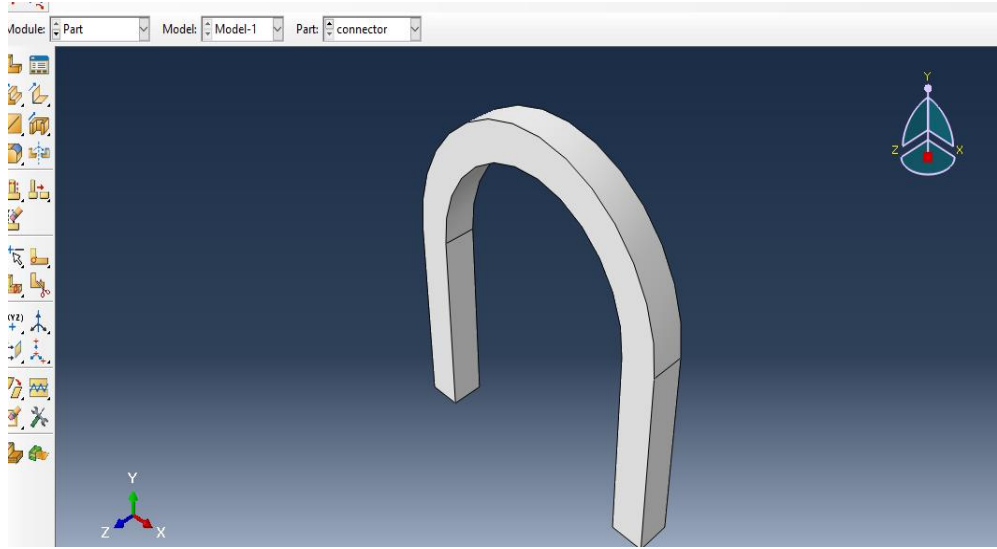
Şekil 3.18. Enine Ø 8 donatısı

3.4.1.6. Çelik ankrajın geometrik modelin oluşturulması

Çelik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan çelik ankraj geometrisi Abaqus programında tasarımı 2D görünümü Şekil 3.19'da ve 3D görünümü Şekil 3.20'de gösterilmektedir. Beton döşemesi ve kiriş birbirleriyle bağlanmasının sağlanması için kullanılmıştır. Çelik kiriş ve betonarme döşeme birleşim yüzeyinde kesme kuvveti aktarımı ankraj rol oynamaktadır. Bunun için ankrajın sünekliği etkin olmaktadır. Bu etki bir metre içinde yaklaşık üç adet çelik ankraj kullanmak suretiyle göz önüne alınmaktadır.



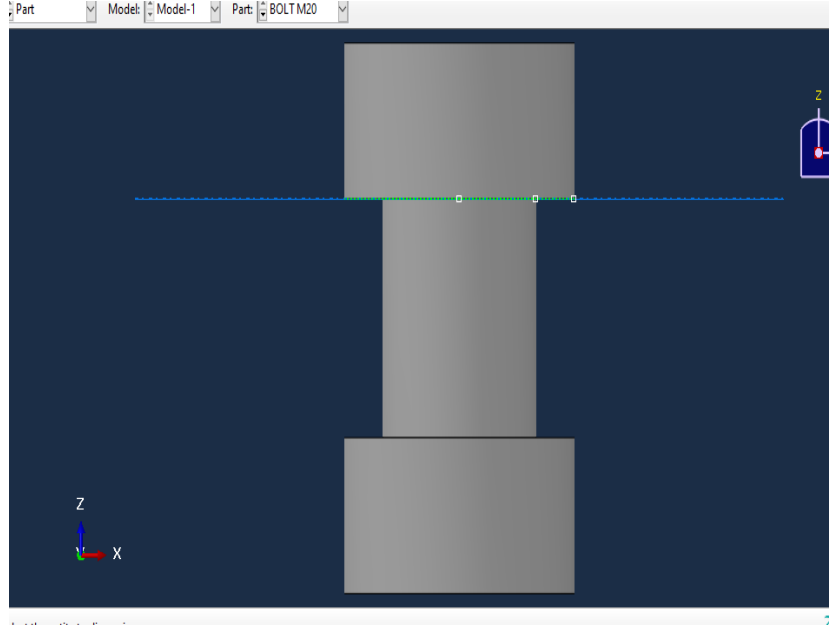
Şekil 3.19. Çelik ankraj 2D görünümü



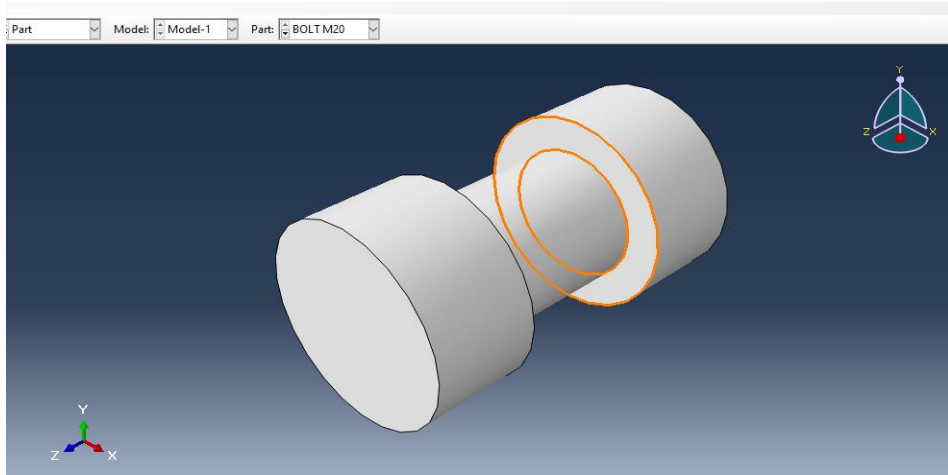
Şekil 3.20. Çelik ankraj 3D görünümü

3.4.1.7. Çelik bulonun geometrik modelin oluşturulması

Çelik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan çelik bulon M20 geometrisi Abaqus programında tasarımı 2D görünümü Şekil 3.21'de ve 3D görünümü Şekil 3.22'de gösterilmektedir.



Şekil 3.21. M20 bulon 2D görünümü



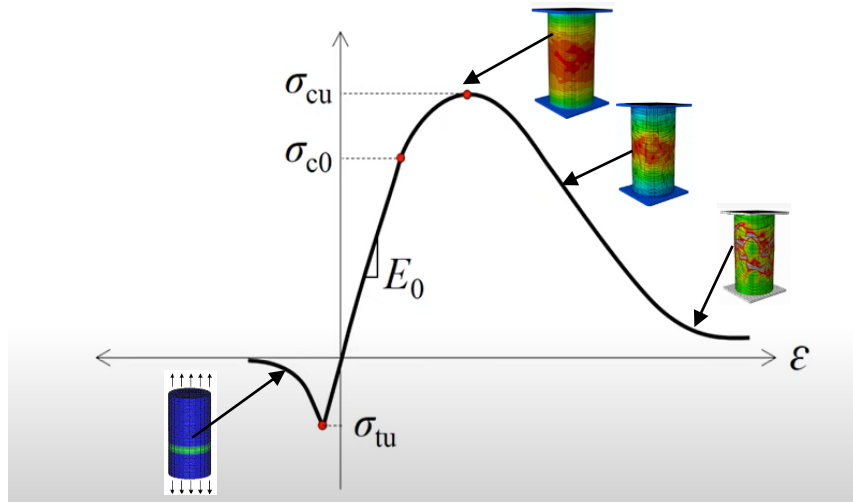
Şekil 3.22. M20 bulon 3D görünümü

3.4.2 Malzeme ve özellikleri tanımlanması

3.4.2.1 Beton malzemenin davranışının tanımlanması

Beton malzemenin basınç ve çekme davranışları birbirinden oldukça farklıdır. Betonun, aksenal basınç altında, gerilme birim şekil değiştirme eğrisi metalik malzemelerin aksenal çekme altında gösterdiği davranışa benzer iken aksenal çekme altındaki davranışı maksimum çekme dayanımına kadar lineer ve maksimum çekme dayanımından sonra doğrusal olmayan davranış göstermektedir (Şekil 3.23).

Basınç ve çekme yükü etkisi altında hasar oluşmaktadır, bu hasarı tanımlamak için iki adet birim şekil değiştirme kavramı kullanılır. (ϵ^{pl} ve ϵ_t^{pl})'dir. Şekil 3.23'de görüldüğü gibi, O noktasından itibaren σ_{c0} noktasına kadar olan bu bölge elastik bir bölgedir. Bu bölgeden sonra plastik deformasyon başlar, eğrideki σ_{c0} noktası orantılılık sınırını gösterir, bu eğri için elastisite modülü (E) değeri σ_{c0} 'ya kadar gerilme-gerinim eğrisinin eğimine eşittir, E değeri artması halinde, boyuna şekil değiştirme azalır, yani uzunluktaki bir değişiklik azalır. Elastik bölge beton çatlama mukavemeti ve beton basınç mukavemeti arasında olur, σ_{c0} ile σ_t arasındaki olan bu bölgede betona etkiyen herhangi bir yük olması durumunda şekil değiştirme meydana gelmektedir, bu yük kaldırıldığında beton eski haline tekrar gelmektedir.



Şekil 3.23. Betonun aksel basınç ve çekme altındaki gerilme şekil değiştirme eğrisi

Betonarme yapılarında genellikle yükleme durumlarına göre, basınç gerilmelerinin etkili olduğu bölgelerde ezilme, çekme gerilmelerinin etkili olduğu kısımda çatlama davranışı gösterilmektedir. Beton basınç mukavemeti (σ_{cu}) plastik deformasyon başlangıç noktası olarak ifade edilir. Basınç mukavemeti noktasından sonran ezilme oluşmaya başlayacak ve beton bu durumda ezilme mukavemetine ulaşana kadar ezilmeye dayanım gösterecek, ezilme mukavemetini geçtikten sonra dayanım kalmadığı ve kalıcı deformasyonun olduğu durumları meydana gelmektedir.

Plastik şekil değiştirme parametreleri tanımı için aşağıdaki veriler gerekmektedir;

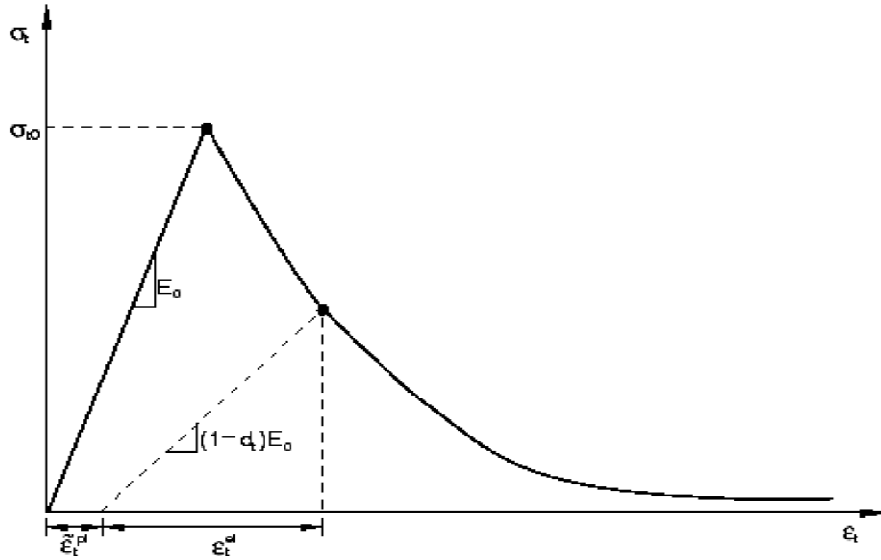
1. Elastik olmayan gerinim -sıkıştırma altında gerilim verileri.
2. Çatlama gerinimi -gerilim altında gerilim verileri.

Bu tez çalışmasında kullanılan betonun elastik ve plastik modülü parametreleri (Esfahani vd., 2017) çalışmasından alınmıştır (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Elastik ve plastik parametreleri

Material's parameters	B30	Plasticity parameters	
		Dilation angle	31
Concrete Elasticity		Eccentricity	0.1
E (GPa)	26.6 0.2	fb0/fc0	1.16
		K	0.67
		Viscosity parameter	0
Concrete compressive behavior		Concrete compression damage	
Yield stress (MPa)	Inelastic strain	Damage parameter C	Inelastic strain
15.3	0	0	0
19.2	4.8249E-05	0	4.8249E-05
22.5	0.000119844	0	0.000119844
25.2	0.000214786	0	0.000214786
27.3	0.000333074	0	0.000333074
28.8	0.000474708	0	0.000474708
29.7	0.000639689	0	0.000639689
30	0.000828016	0	0.000828016
29.7	0.001039689	0.01	0.001039689
28.8	0.001274708	0.04	0.001274708
27.3	0.001533074	0.09	0.001533074
25.2	0.001814786	0.16	0.001814786
22.5	0.002119844	0.25	0.002119844
19.2	0.002448249	0.36	0.002448249
15.3	0.0028	0.49	0.0028
10.8	0.003175097	0.64	0.003175097
5.7	0.003573541	0.81	0.003573541
Concrete tensile behavior		Concrete tension damage	
Yield stress (MPa)	Cracking strain	Damage parameter T	Cracking strain
3	0	0	0
0.03	0.001167315	0.99	0.001167315

Beton malzemenin aksel çekme altında gerilme birim şekil değıştirme eğrisi Şekil 3.24’de gösterildiği gibidir. Eğride aksel çekme halinde gerçekteşen gerilme-birim şekil değıştirme davranışını maksimum çekme gerilmesi σ_{t0} değeri kadar elastik bir davranıştır. Birim şekil değıştirme, çekme gerilmesinin başlangıç eleatisite modülüne bölünmesi ile elde edilmektedir. Maksimum çekme gerilmesi değeri geldiğinde betonda çekme çatlakları oluşmaktadır. Bu değerden sonra yükün artması sonucunda oluşan mikro çatlaklar yükün uygulandığı eksene dik şekilde yayılmaya başlar. Çatlakların ilerlemesiyle yük değeri azalır. Bu nedenle beton, çekme gerilmeleri altında basınç gerilmelerine kıyasla daha zayıftır.



Şekil 3.24. Beton aksel çekme altında gerilme şekil değıştirme eğrisi

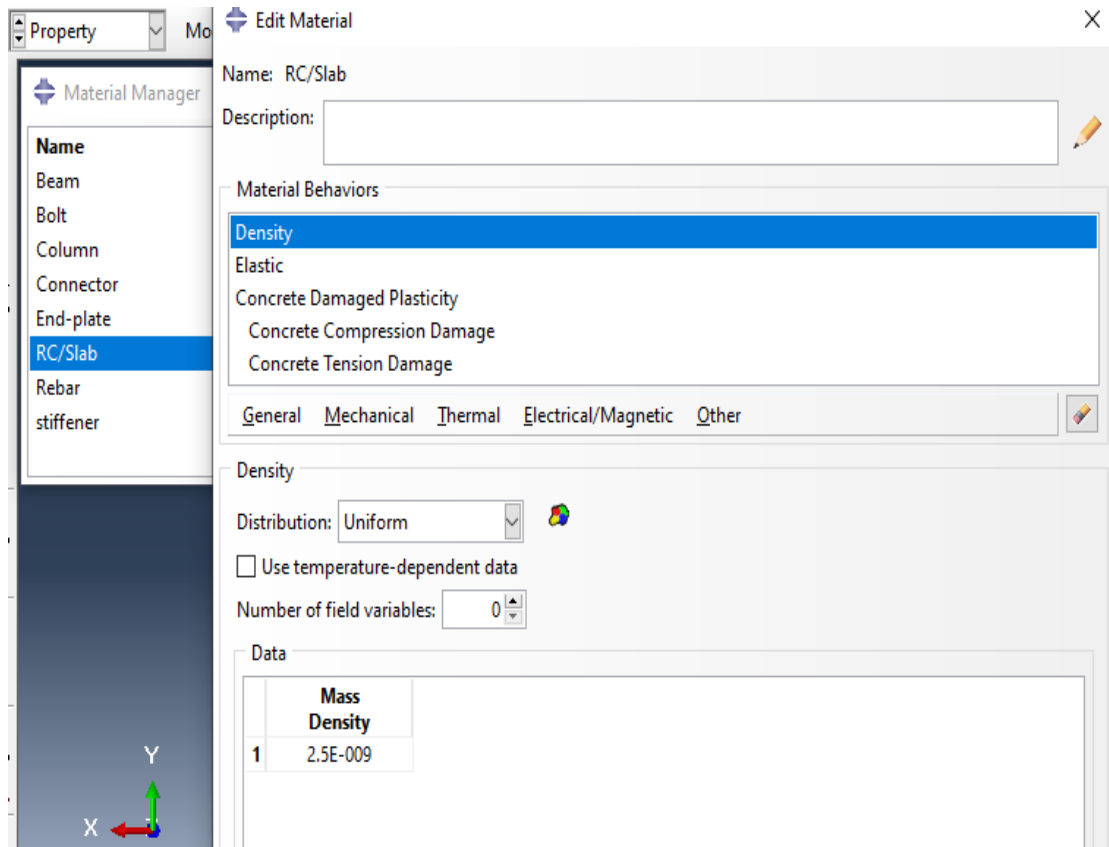
3.4.2.2. Çelik malzemenin davranışının tanımlanması

Çelik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan çelik yapı elemanlarının malzeme davranışını elasto plastik olarak tanımlanmış ve plastik pekleşmenin doğrusal olduğu kabul edilmiştir.

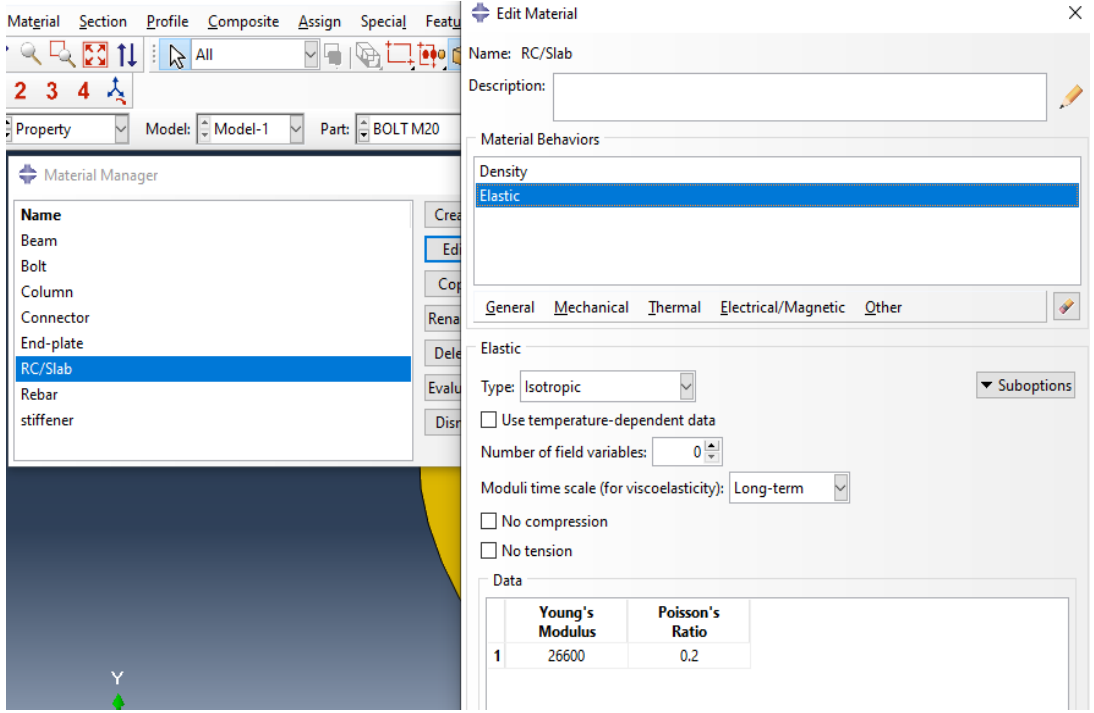
3.4.3. Malzeme davranışlarının Abaqus yazılımına tanıtılması

3.4.3.1 Beton malzeme modeli ve parametrelerinin tanıtılması

Bu çalışmada Abaqus yazılımı bünyesinde bulunan ve betonun basınç ve çekme altındaki davranışını karakterize eden beton plastisite modeli (Concrete Damage Plasticity Modeli) kullanılmıştır. Betonun elastik sabitleri olarak Elastik modülü, poisson oranı ve yoğunluk parametreleri C30 beton sınıfı için Çizelge 3.7'den alınmıştır. Bu elastik sabitler Abaqus programında malzeme özellikleri tanımlama (property) ağacında bulunan döşeme mekanik malzeme detayları $E=26600$ MPa, $\nu = 0.2$ ve $d =2.5E-009$ olacak şekilde girilmiştir (Şekil 3.25., Şekil 3.26).

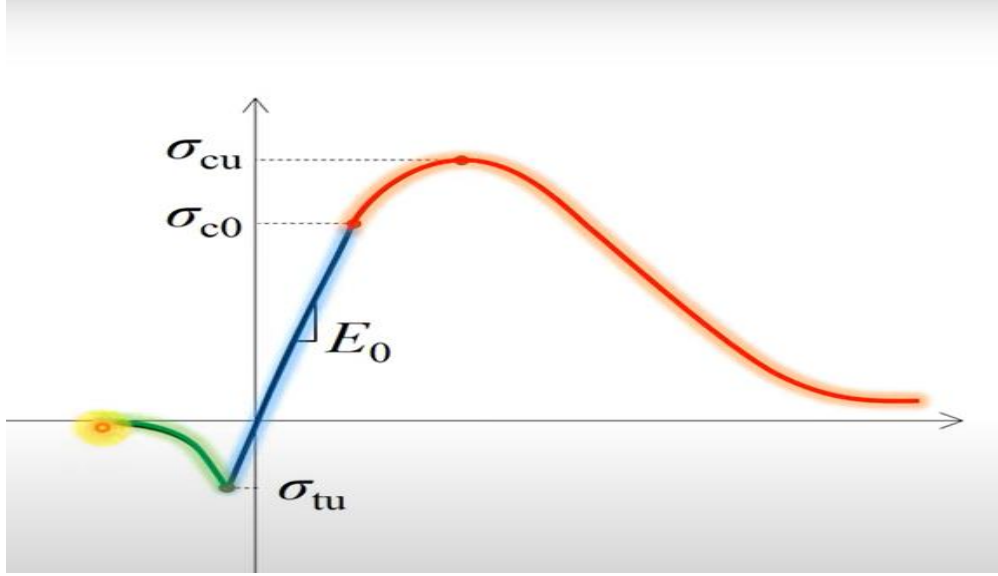


Şekil 3.25. Betonun elastik sabitlerinin Abaqus programına girişleri



Şekil 3.26. Betonun elastik sabitlerinin Abaqus programına girişleri

Beton basınç altındaki davranışı Şekil 3.27’de gösterdiği gibi kırmızı renkle çizilen bölge ile tanımlanmıştır. Grafikte anlaşılacağı gibi yükleme durumuna bağlı kalınarak, çekme basınç gerilmelerinin etkili olduğu bölgelerde ise ezilme davranışı göstermektedir. Beton basınç mukavemeti (σ_c) plastik deformasyon başlangıcıdır. Basınç mukavemeti (σ_c) ve ezilme mukavemeti (σ_{cu}) arasında ezilme oluşmaktadır, beton bu durumda ezilme mukavemetinin noktasına kadar ezilmeye dayanım gösterecek, ezilme mukavemeti aşıldığı andan itibaren betonda artık dayanımın kalmadığı ve kalıcı deformasyonların oluştuğu durumları meydana gelmektedir.

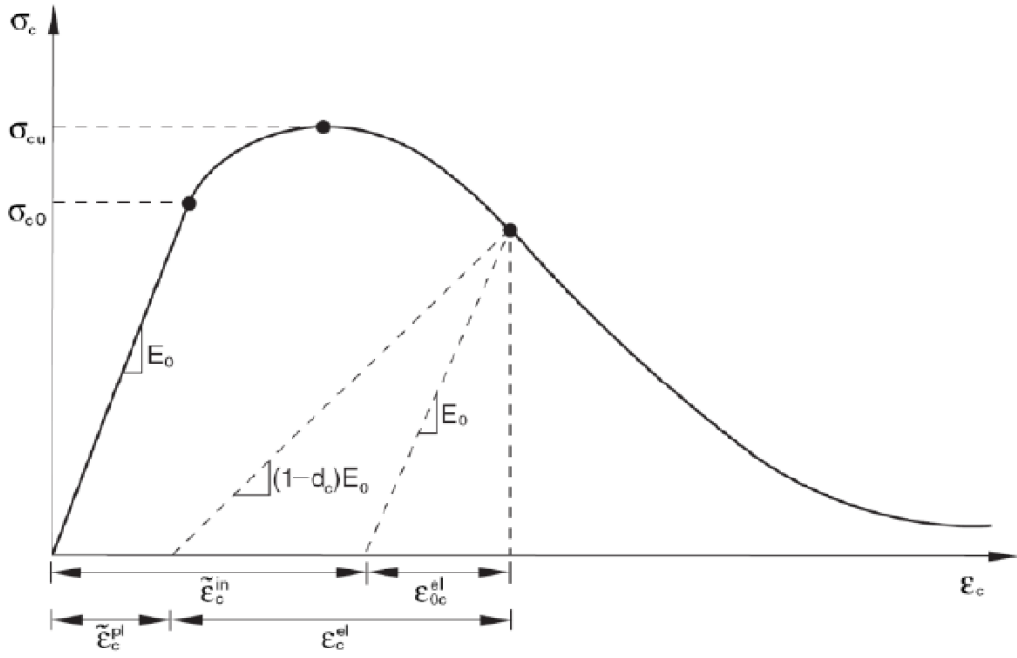


Şekil 3.27. Betonun basınç altındaki doğrusal olmayan davranış eğrisi

Betonun hem aksenal çekme hemde aksenal basınç altında elastik azalmasını tanımlayan (d_c , d_t) iki tane mekanizma bulunmaktadır. Bu değişkenlerden d_c aksenal basınç altında elastik rijitliğin azalmasını kontrol eden değişken, d_t ise aksenal çekme altında betonun elastik rijitliğindeki azalmayı kontrol eden değişkendir. Elastisite modülündeki bu azalma sıfır ile bir arasındadır, matematiksel formülü,

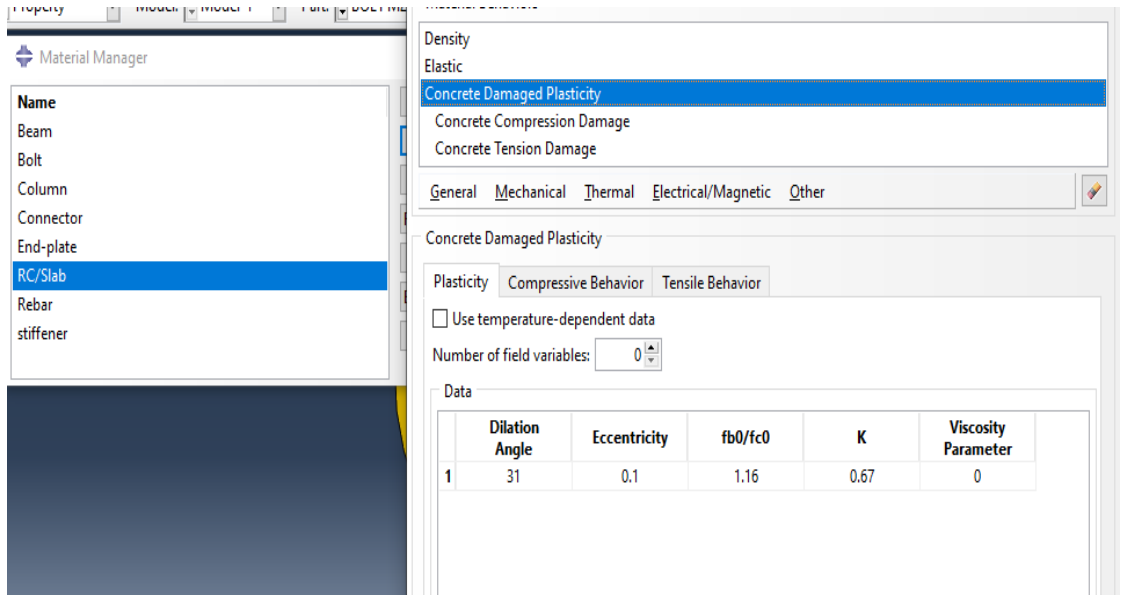
$$E = (1 - d_t, c) E_0 \quad (3.3)$$

İki hasar parametresi için $0 < d < 1$ aralığında olmaktadır, $d = 0$ olması halinde burada elastisite modülü ifade edilmektedir, $d = 1$ olması halinde elastik rijitliği kontrol edilemez hale gelmektedir. Aksenal basınç halinde σ_{c0} 'ya kadar oluşan davranışın elastik davranıştır. Ezilme mukavemetinden sonra (σ_{cu}) ise plastik bölgede davranış gerilme yumuşaması ve gerilme sertleşmesi ile tanımlanır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Betonun aksenal basınç altında CDP model ile betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin tanımlanması (Hibbitt vd. ,2011)

Betonun basınç altındaki doğrusal olmayan davranışı Abaqus programına tanıtılırken ilk önce Çizelge 3.7’de verilen plastisite parametreleri girilmiştir (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Betonun plastik parametrelerin Abaqus programına girişleri

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{0c}^{el} + \varepsilon_{0c}^{in} \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_{0c}^{el} = \frac{\sigma_c}{E} \quad (3.5)$$

$$\varepsilon_{0c}^{pl} = \varepsilon_c^{in} - \left(\frac{dc}{(1-dc)} * \frac{\sigma_c}{E} \right) \quad (3.6)$$

σ_c , ε_c^{in} ve dc değerleri izelge 3.7'den alınmıştır. Daha sonra (3.4), (3.5) ve (3.6) denklemleriyle hesaplanan ε_c , ε_{0c}^{el} ve ε_{0c}^{pl} değerleri izelge 3.8'de verilmiştir.

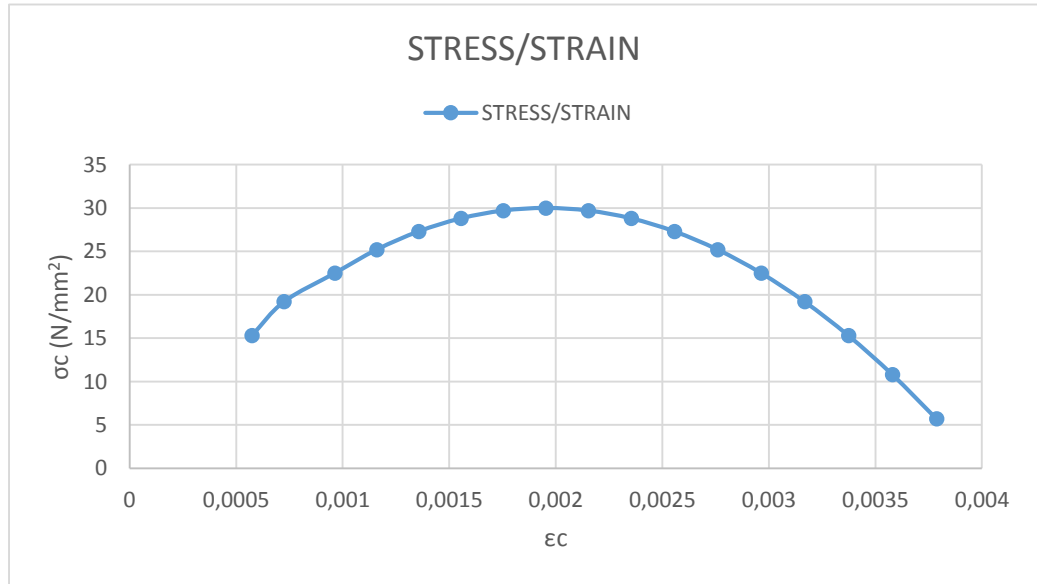
Çizelge 3.8. Beton basınc etkisi altında şekil değiştirme değerleri

Basınc davranışı					
ε_c	σ_c	dc	ε_{0c}^{el}	ε_c^{in}	ε_{0c}^{pl}
0,00057	15,3	0	0,00057	0	0
0,00072	19,2	0	0,00072	4,85E-06	4,8E-06
0,00096	22,5	0	0,00084	0,0001198	0,00012
0,00116	25,2	0	0,00095	0,0002148	0,00021
0,00136	27,3	0	0,00102	0,0003331	0,00033
0,00155	28,8	0	0,00108	0,0004747	0,00047
0,00175	29,7	0	0,00111	0,0006397	0,00064
0,00195	30	0	0,00113	0,000828	0,00083
0,00215	29,7	0,01	0,00111	0,0010397	0,00103
0,00235	28,8	0,04	0,00108	0,0012747	0,00123
0,00256	27,3	0,09	0,00102	0,0015331	0,00143
0,00276	25,2	0,16	0,00095	0,0018148	0,00163
0,00296	22,5	0,25	0,00084	0,0021198	0,00184
0,00317	19,2	0,36	0,00072	0,0024482	0,00204
0,00337	15,3	0,49	0,00057	0,0028	0,00225
0,00358	10,8	0,64	0,00041	0,0031751	0,00246
0,00379	5,7	0,81	0,00021	0,0035735	0,00266

Elastik olmayan gerinimi hesaplanmasından sonra Abaqus programına d_c ve ϵ_c^{in} değerleri tanımlanmaktadır. Programda analiz esnasında hata verilmemesi için hesaplanan ϵ_c^{pl} değeri her zaman pozitif ve artıyor olması, ϵ_c^{in} ise monotik olarak artması gerekmektedir (Şekil 3.30., Şekil 3.31).

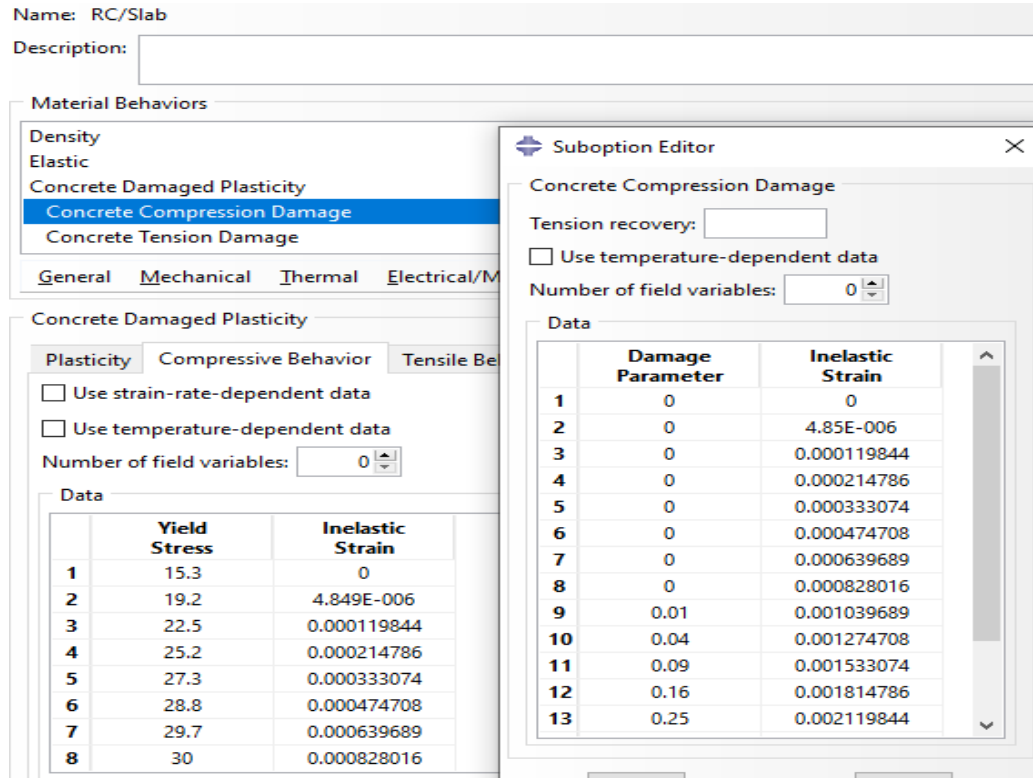


Şekil 3.30. Hasar birim şekil değiştirme grafiği



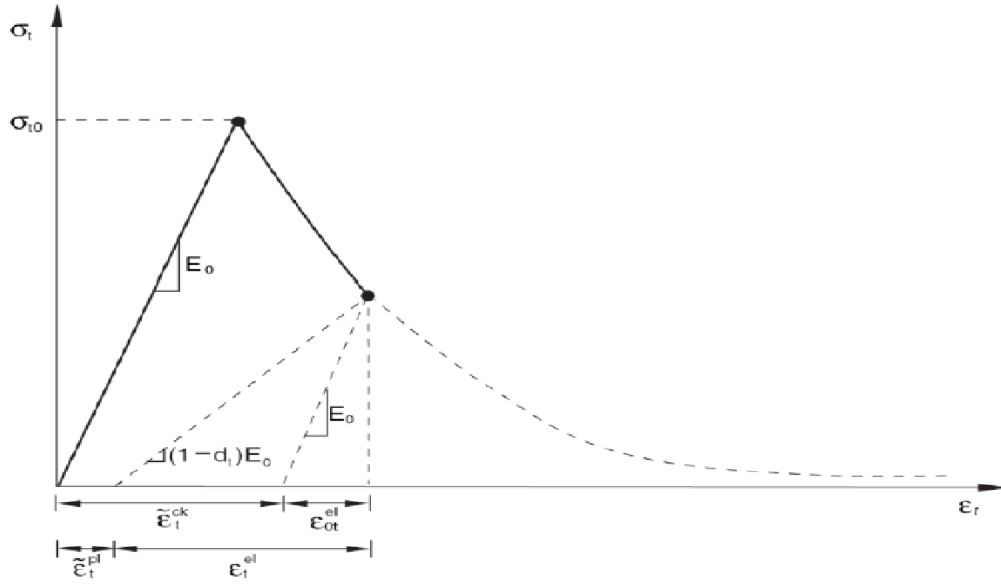
Şekil 3.31. Gerilme birim şekil değiştirme grafiği

Beton basınç hasarı parametreleri tanımlamak için iki adım uygulanmıştır, çıkarılan sonuçlardan σ_c ve ϵ_c^{in} değerleri sırasıyla gerilim ve elastik olmayan gerilim Abaqus programına basınç davranışı (compressive behavior) olarak belirlenmiştir. İkinci adım ise σ_c ve ϵ_c^{in} değerleri beton basınç hasarı (concrete compression damage) olarak belirlenmiştir, Şekil 3.30’de ve Şekil 3.31’de elde edilen veriler Abaqus programına Şekil 3.32’de gösterildiği gibi girilmiştir.



Şekil 3.32. Betonun hasar palstistise verilerinin Abaqus programına girişleri

Betonun aksenal çekme durumunda gerilme-birim şekil değiştirme davranışı Şekil 3.33’de gösterilen eğri ile tanımlanmaktadır.



Şekil 3.33. Betonun aksenal çekme altında CDP model ile betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin tanımlanması (Hibbitt vd. ,2011)

Betonun çekme altındaki brirm şekil değiştirme değeri Hibbitt vd. (2011) tarafından önerilen eşitlikleri kullanılmıştır. Betonun aksenal çekme altında oluşan gerilmeler ve çekme altında oluşacak çekme hasar parametresi dt ve ϵt^{in} değerleri aşağıda verilen eşitler kullanılarak hesaplanmıştır,

$$dt = 1 - \frac{\sigma t}{\sigma t_u} \quad (3.7)$$

$$\epsilon t = \epsilon 0t^{el} + \epsilon t^{pl} \quad (3.8)$$

$$\epsilon 0t^{el} = \frac{\sigma t}{E} \quad (3.9)$$

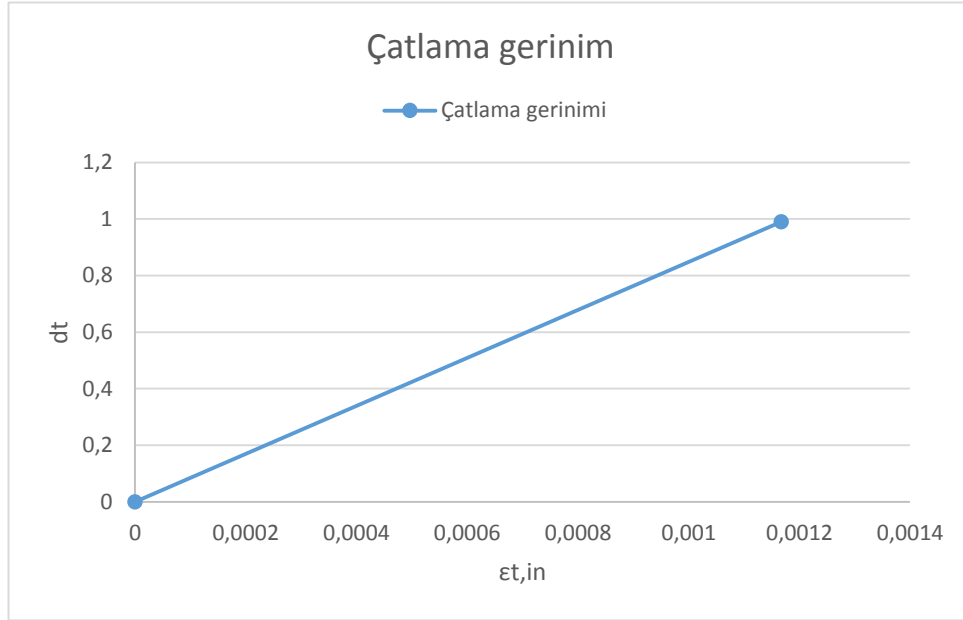
$$\epsilon t^{pl} = \epsilon t^{in} - \left(\frac{dt}{(1-dt)} * \frac{\sigma t}{E} \right) \quad (3.10)$$

σt , ϵt^{in} ve dt Çizelge 3.7'den alınmıştır. Yukarıdaki eşitliklerle hesaplanan ϵt , $\epsilon 0t^{el}$ ve ϵt^{pl} değerleri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

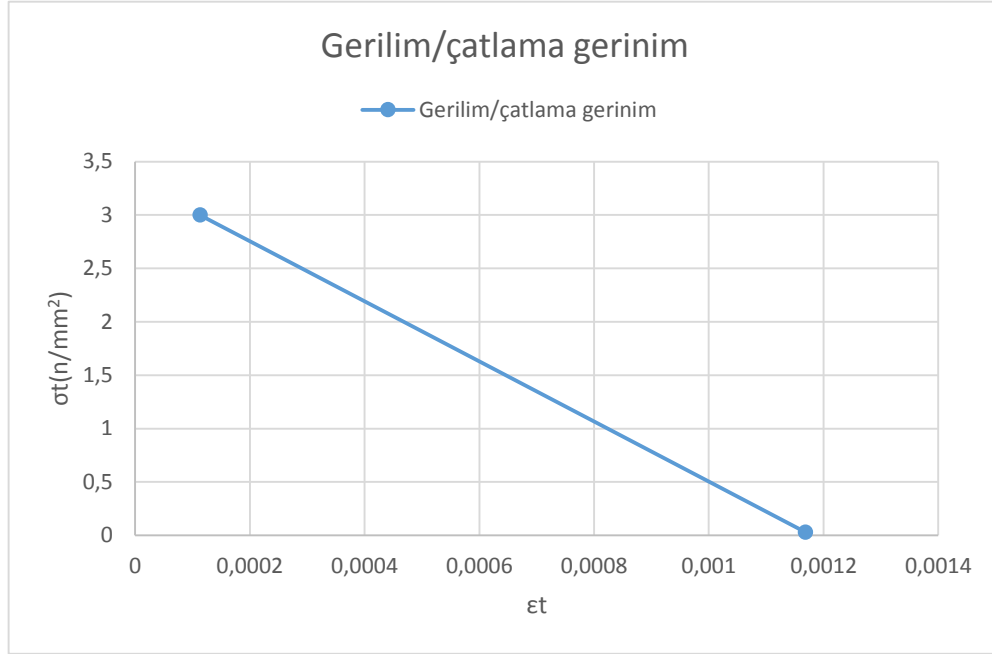
Çizelge 3.9. Beton çekme etkisi altında şekil değiştirme değerleri

Çekme davranışı					
ϵt	σt	dt	$\epsilon 0t^{el}$	ϵt^{in}	ϵt^{pl}
0,000113	3	0	0,000113	0	0
0,001168	0,03	0,99	1,13E-06	0,001167315	0,0010557

Abaqus programında analiz esnasında hata oluşmaması için hesaplanan ϵt^{pl} ve ϵt^{in} değerlerin her zaman pozitif ve artıyor olması gerekmektedir. Şekil 3.34’de ve Şekil 3.35’de değerleri hesaplanan dt ve ϵt^{in} verileri Abaqus programına girilmiştir.

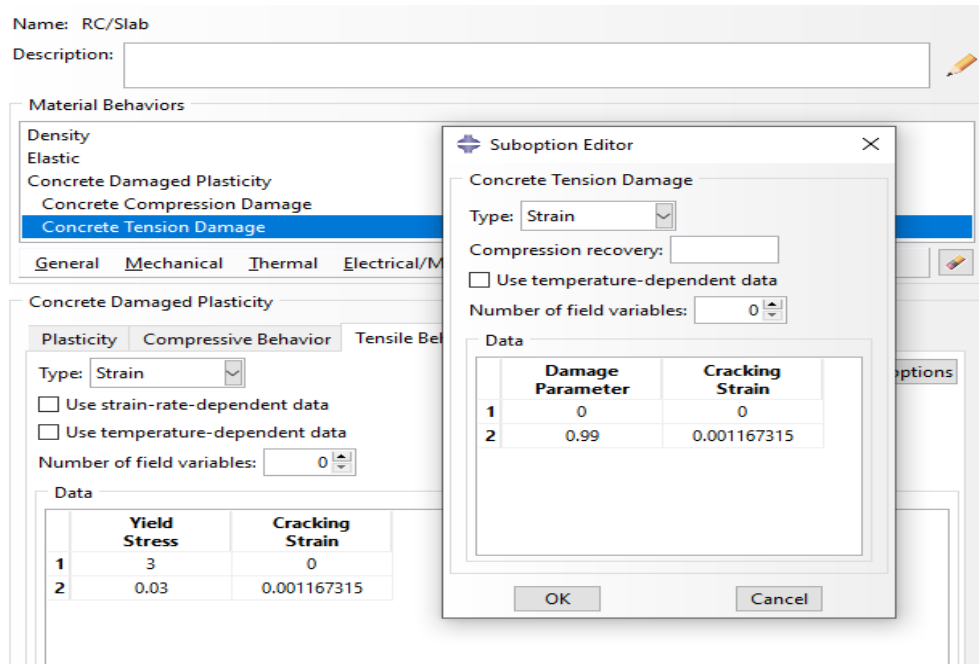


Şekil 3.34. Çekme parametreleri (dt ve ϵt^{in}) değerleri



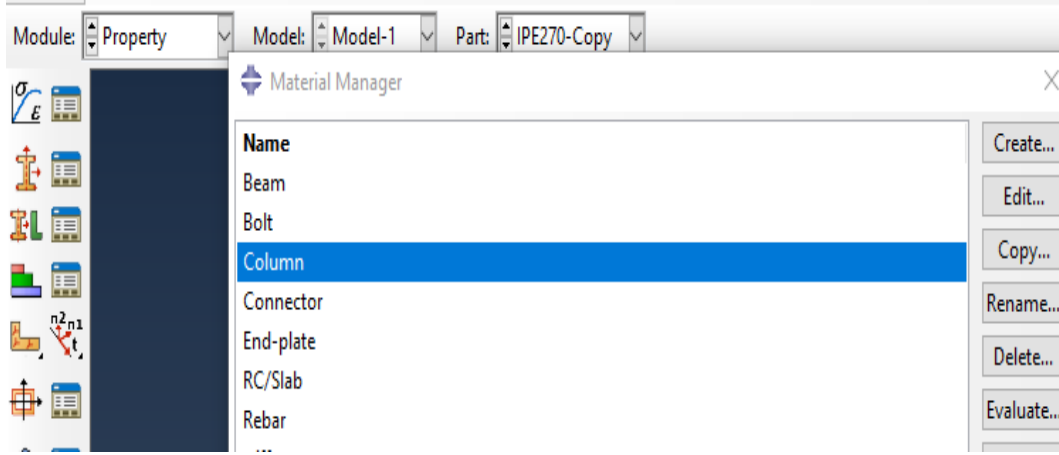
Şekil 3.35. Çekme etkisinde gerilim-gerinim

Beton çekme hasarı parametreleri tanımlamak için iki adım uygulanmıştır, çıkarılan sonuçlardan σ_t ve ϵ_t^{in} değerleri sırasıyla Abaqüs programına çekme davranışı (tensile behavior) olarak belirlenmiştir. İkinci adım ise σ_t ve ϵ_t^{in} değerleri beton çekme hasarı (concrete tension damage) olarak belirlenmiştir (Şekil.3.36).



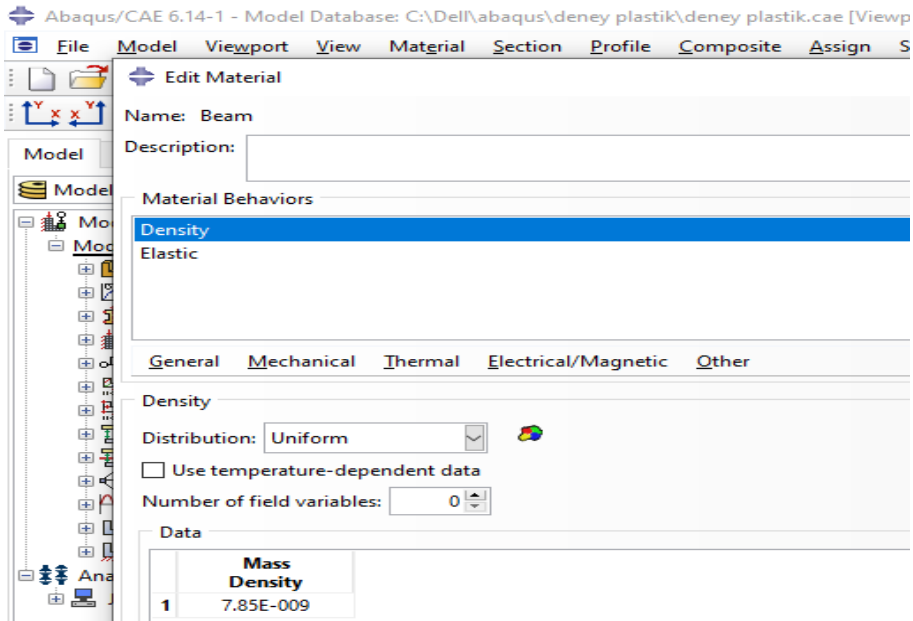
Şekil 3.36. Beton çekme hasarı parametreleri

Kiriş (beam), bulon (Bolt), çelik ankraj (connector), çelik levha (End-plate), beton döşemesi (Rc/slap) ve enine ve boyuna donatılar (Rebar) olarak malzeme isimleri tanımlanmıştır (Şekil 3.37).

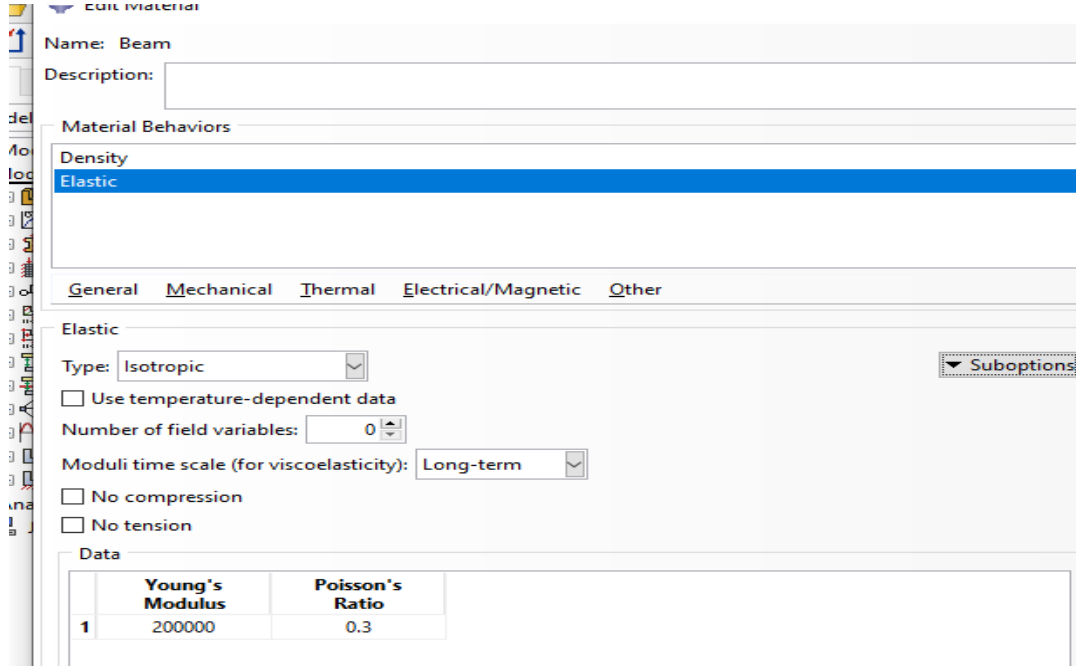


Şekil 3.37. Tanımlanan malzeme türleri

Çelik beton kompozit yapı sisteminde kullanılan çelik yapı elemanlarının sırası kiriş, bulon, çelik ankraj, çelik levha ve donatılar aynı malzeme özellikleri olarak, $E = 200000$ MPa, $\nu = 0.3$ ve $d = 7,85E-009$ gr/cm³ olarak Abaqus programına Şekil 3.38’de ve Şekil 3.39’da gösterildiği gibi girilmiştir.



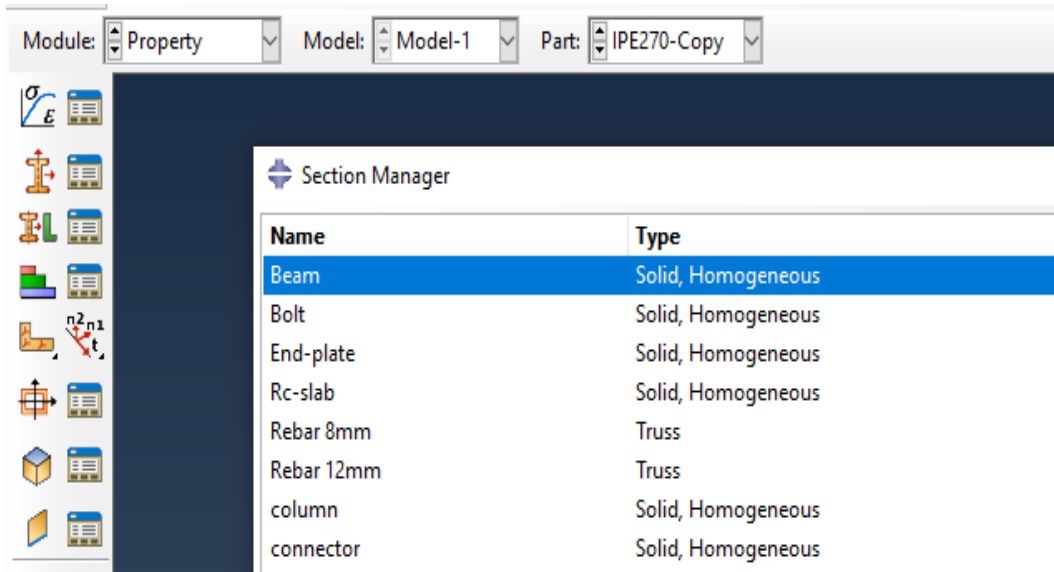
Şekil 3.38. Malzeme özellikleri tanıtılması



Şekil 3.39. Elastik malzeme özellikleri tanıtılması

3.4.4. Kesit özelliklerinin Abaqus yazılımına tanıtılması

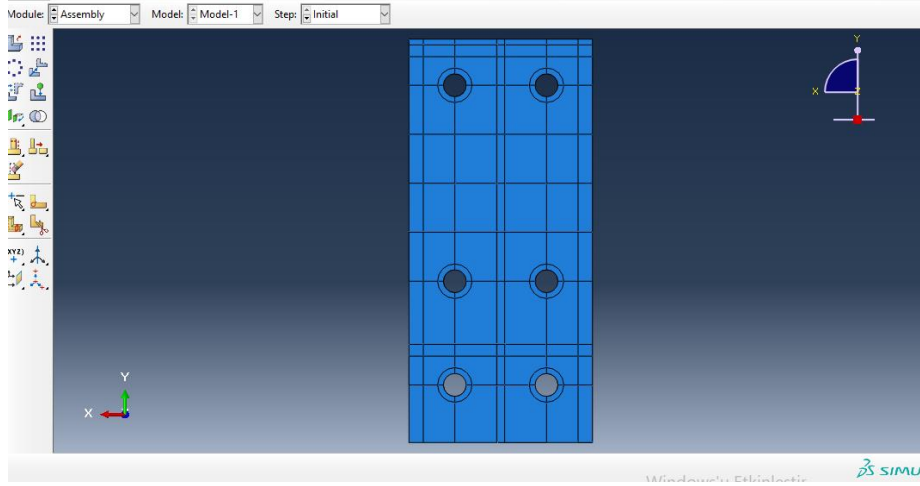
Kiriş (beam), bulon (Bolt), çelik ankraj (connector), çelik levha (End-plate), beton döşemesi (Rc/slap) ve enine ve boyuna donatılar malzemeleri katı homojen (solid homogeneous) olarak tanıtılmıştır. Enine ve boyuna donatılar (Rebar) malzemesi truss olarak tanıtılmıştır (Şekil 3.40).



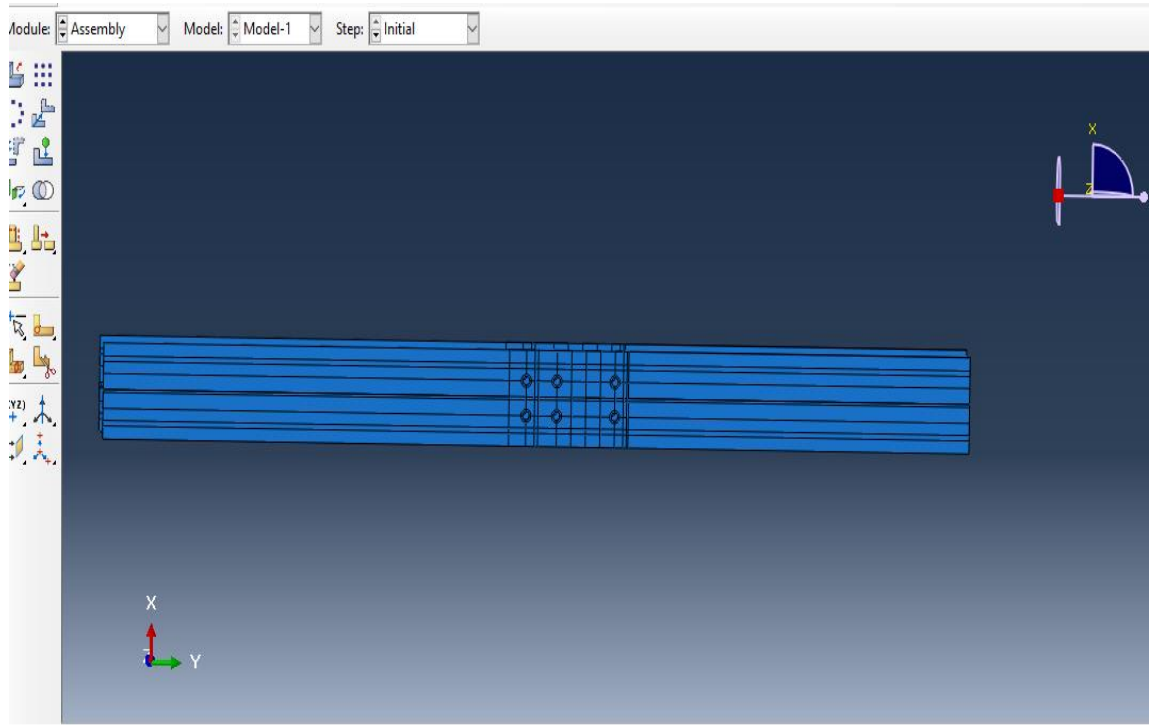
Şekil 3.40. Malzeme tanıtılması

3.4.5. Model elemanlarının Abaqus yazılımında birleştirilmesi (assembly)

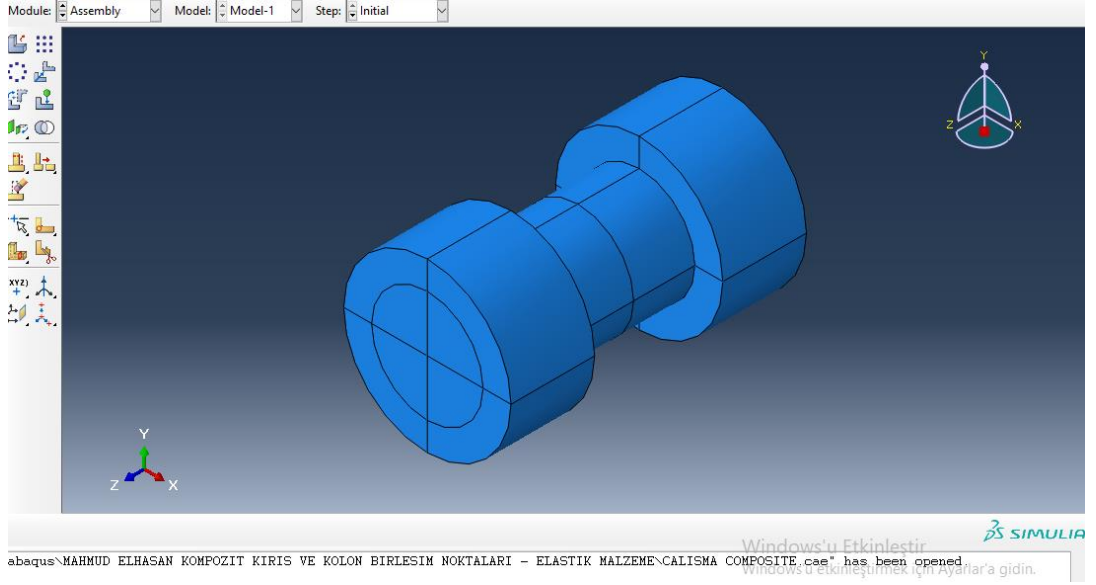
Model birkaç parçadan oluşmaktadır, bu adımda bütün elemanlar birleştirilecek ve her elemanın geometrisi ve diğer parçalarla temas halinde olduğu yüzeyleri dikkate alınarak uygun şekilde küçük parçalara bölünecektir, bölme işlemi proje analizi çalışırken daha detaylı ve doğru sonuçlar elde edilmeyi sağlamaktadır.



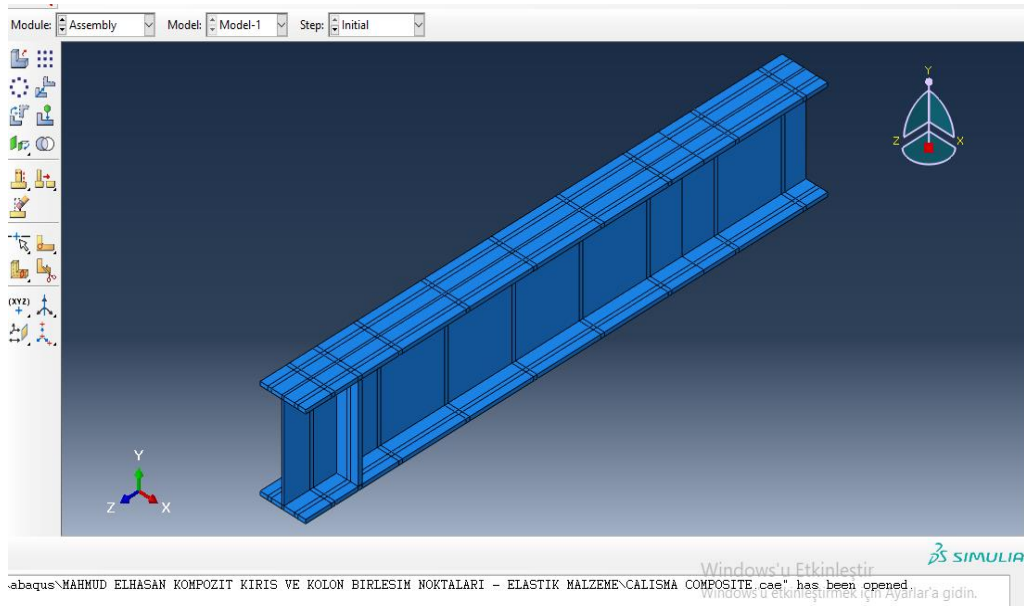
Şekil 3.41. Çelik levhada yapılan bölme



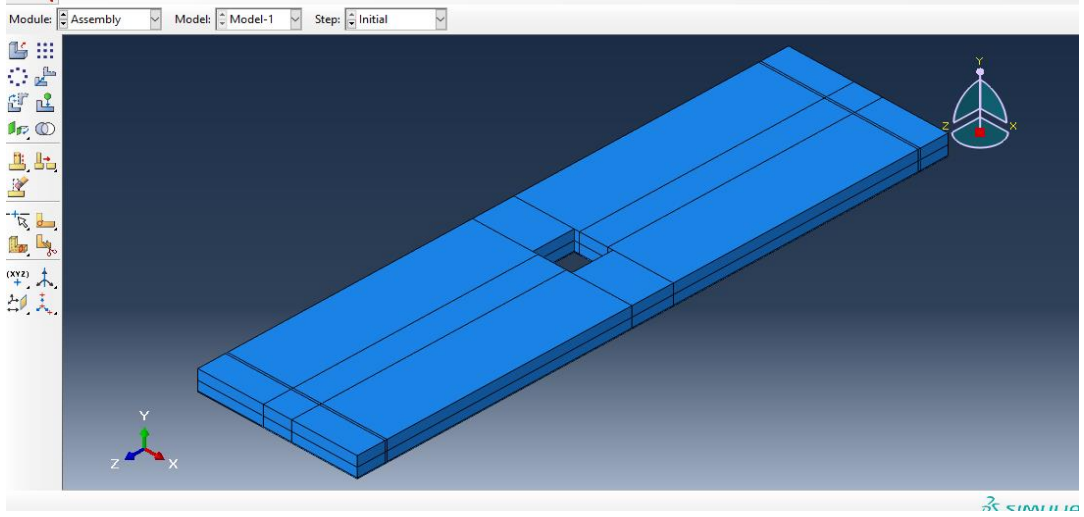
Şekil 3.42. HEA 220 mm çelik kolonda yapılan bölme



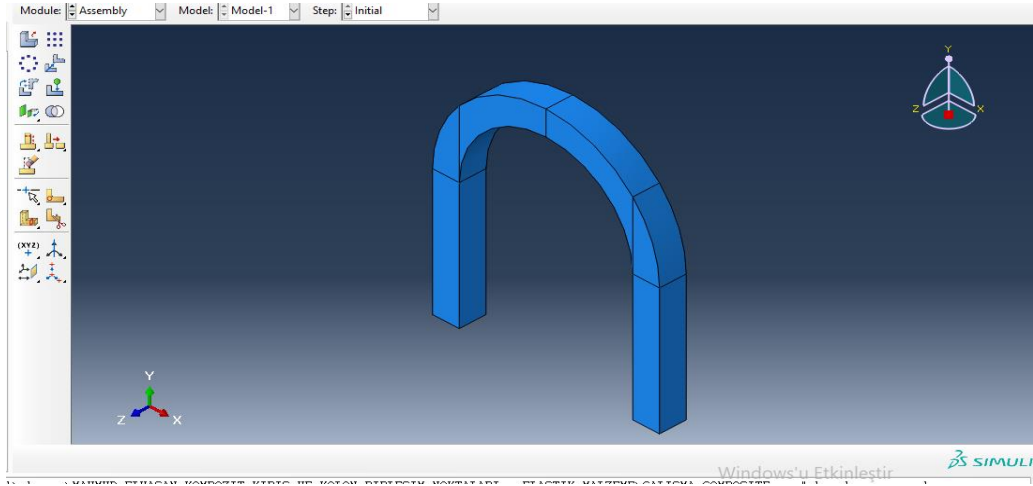
Şekil 3.43. Bulonda yapılan bölme



Şekil 3.44. IPE 270 mm çelik kirişte yapılan bölme



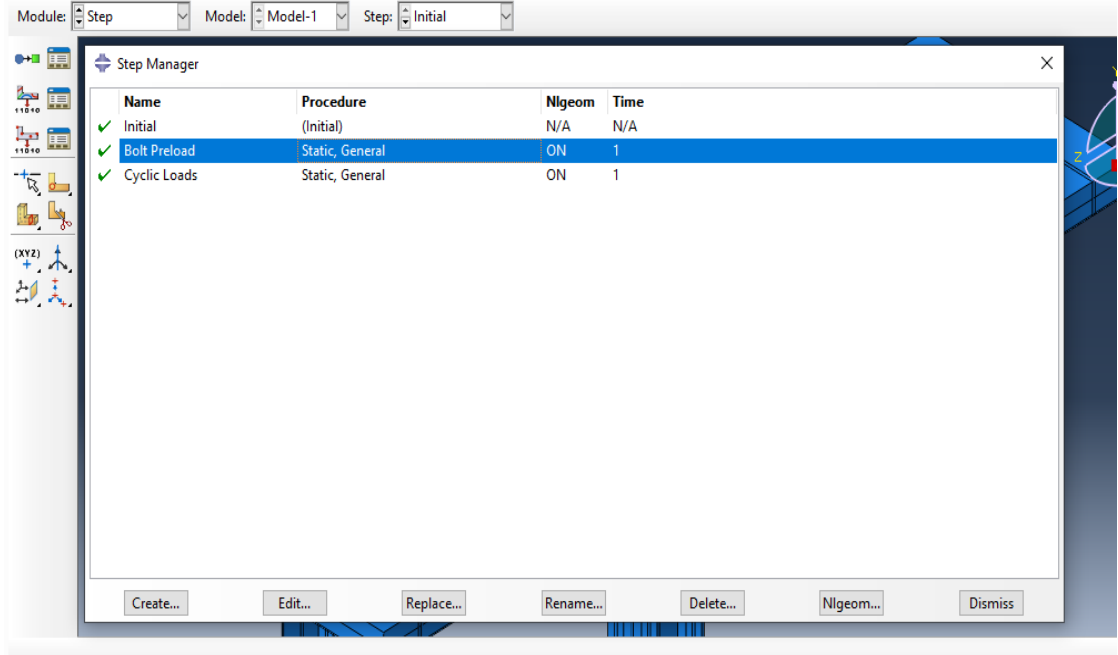
Şekil 3.45. Betonarme döşemede yapılan bölme



Şekil 3.46. Çelik ankraj için yapılan bölme

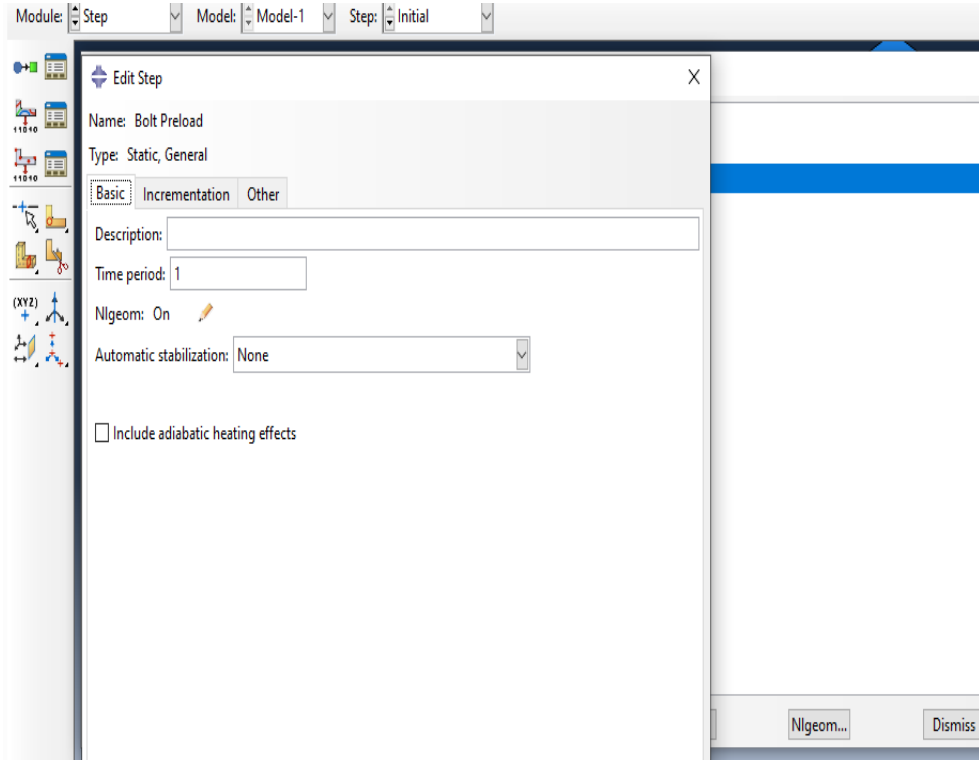
3.4.6. Abaqus yazılımında analiz adımları türü tanımlanması

Bu adımda analiz çalışabilmesi için zaman ve yükleme adımları belirlenir, projede iki tür adım uygulanmıştır, bulon yükü ve tekrarlı yük, adım prosedür türü statik, genel (yapı mühendisliğinde kullanılan) (Şekil 3.47).



Şekil 3.47. Analiz adımları (bulon ve tekrarlı yükü)

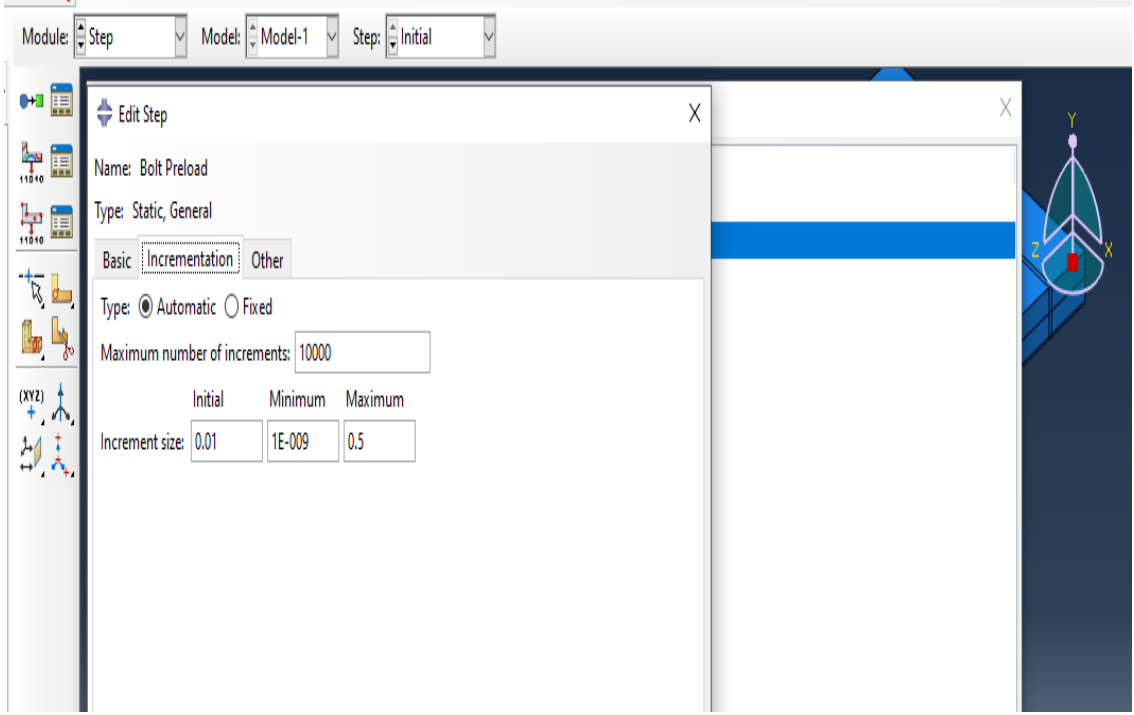
Bulon ön yükü parametreleri zaman periyodu 1 saniye olarak yazılmıştır, Nilgeom sekmesi ise doğrusal olmayan bir model için deformasyon oluşması (Şekil 3.48).



Şekil 3.48. Analiz adımları (bulon yükü) parametreleri

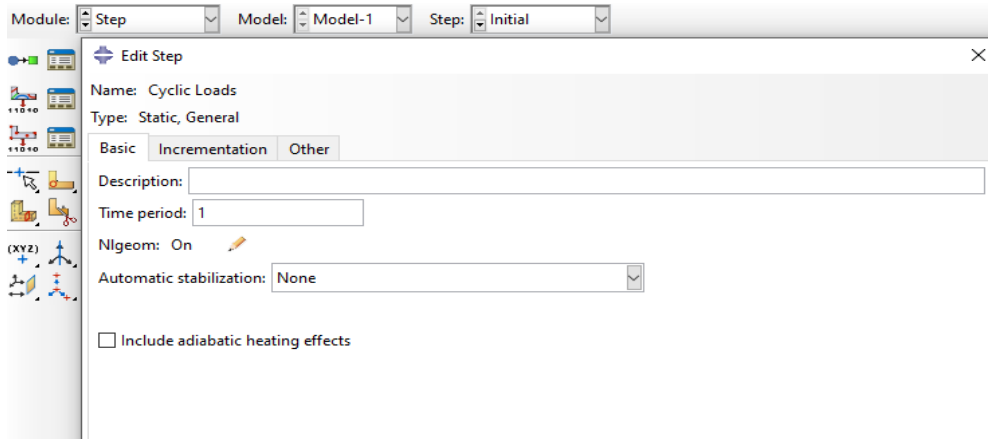
Şekil 3.49'da zaman artışı üç sekmeden oluşmaktadır;

- 1) Başlangıç zaman artışı.
- 2) Minimum zaman artışı.
- 3) Maksimum zaman artışı.



Şekil 3.49. Zaman artışı

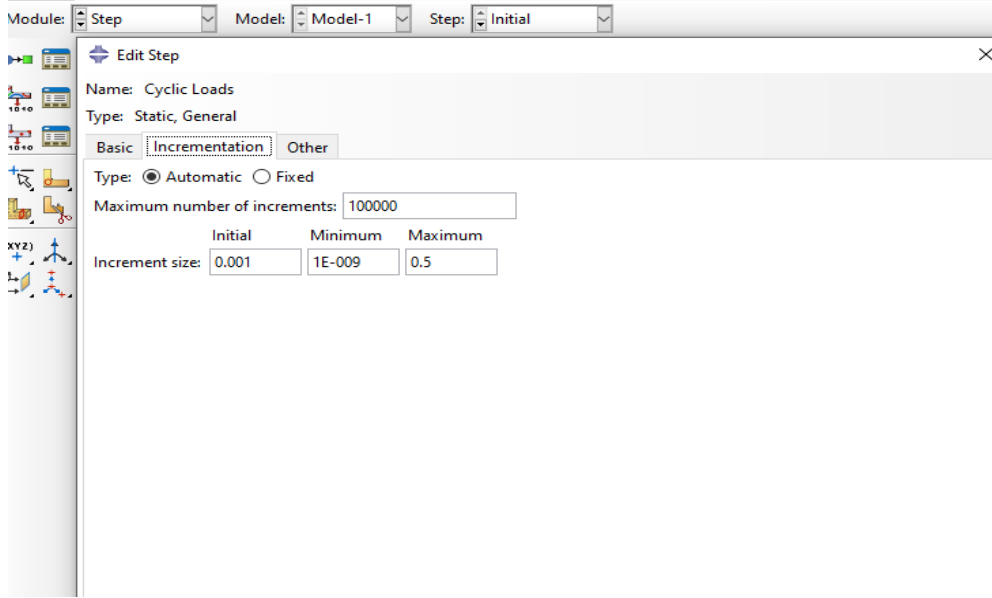
Tekrarlı yükü parametreleri zaman periyodu 1 saniye olarak yazılmıştır, Nlgeom sekmesi ise doğrusal olmayan bir model için deformasyon oluşması (Şekil 3.50).



Şekil 3.50. Analiz adımları (tekrarlı yükü) parametreleri

Şekil 3.51'de zaman artışı üç sekmeden oluşmaktadır;

- 1) Başlangıç zaman artışı.
- 2) Minimum zaman artışı.
- 3) Maksimum zaman artışı.



Şekil 3.51. Zaman artışı

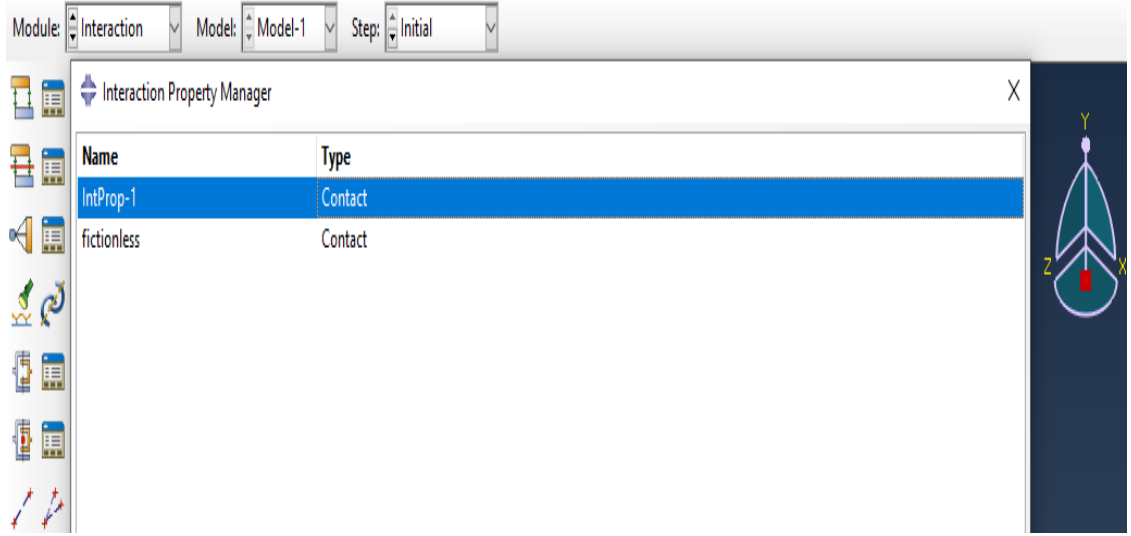
Analiz sırasında program projeyi çalıştıracaktır, uygulanan kuvvetler etki edilecektir ve buna zaman belirlenmesi gerekmektedir, zaman artışı adlandırılan sıralamalar bu durumda devreye girer.

3.4.7. Abaqus yazılımında etkileşimlerin tanımlanması

Çalışma birkaç parçadan oluşmaktadır, bütün parçaların bağlanma şekilleri belirlenmiştir, bağlanmanın etkileşimi için ilk önce etkileşim özelliği girilmesi gerekmektedir.

Temas halinde iki parça varsa ve bu parça diğer parçaya kayarsa teğetsel davranış oluşmaktadır. Şekil 3.52'de iki tür etkileşim bulunmaktadır.

- 1- IntProp-1 türü, temas halinde ve aynı malzemeye sahip olan iki tane parça için tanımlanır.
- 2- Fictionless türü, temas halinde ve farklı malzemeden oluşan iki tane parça için tanımlanır.

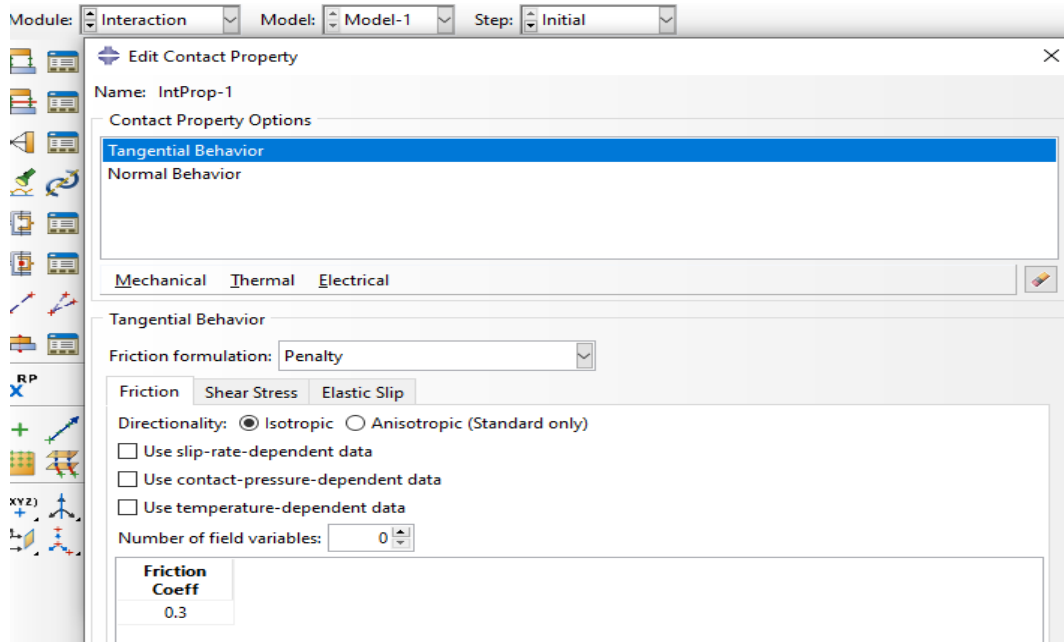


Şekil 3.52. Etkileşim (Interaction) tanımlanması

Şekil 3.53'de IntProp-1 türü parametreleri tanımlanmasında iki adım bulunmaktadır;

Teğetsel davranış ve normal davranış

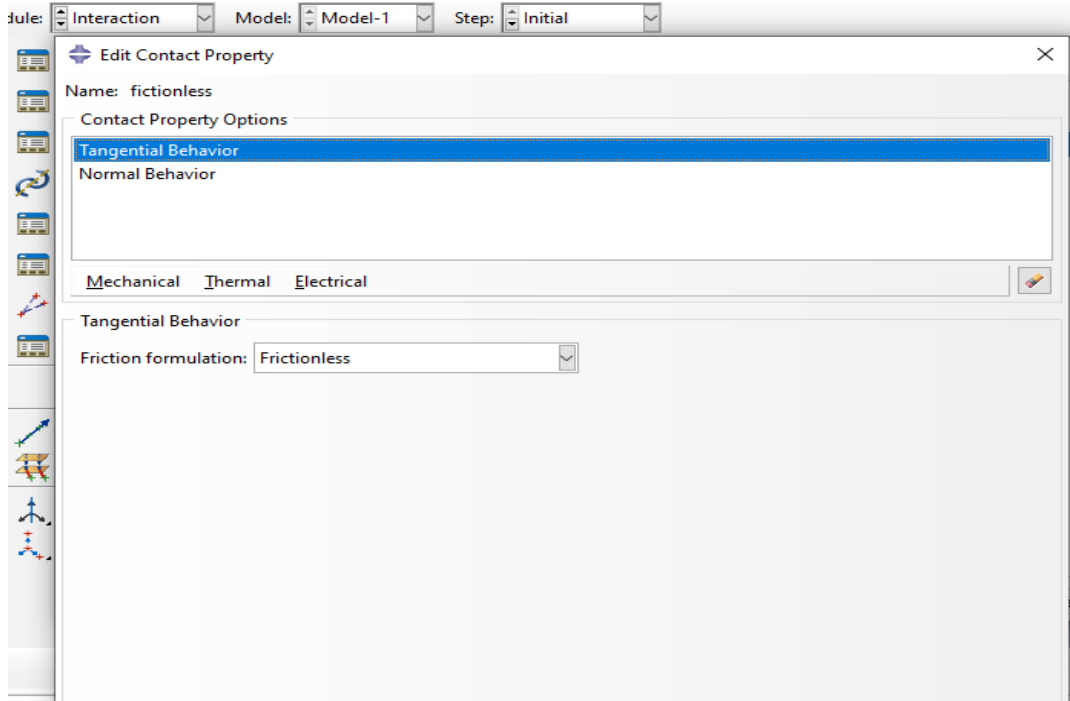
Teğetsel davranışta sürtünme katsayısının değeri yazılmaktadır ve normal davranışta sert temasta olan parçalar basınca maruz kalmaktadır, proje çalışması sırada parçalar iç içe girmeyecek şekilde gerekli analiz elde edilmektedir.



Şekil 3.53. IntProp-1 türü detayları

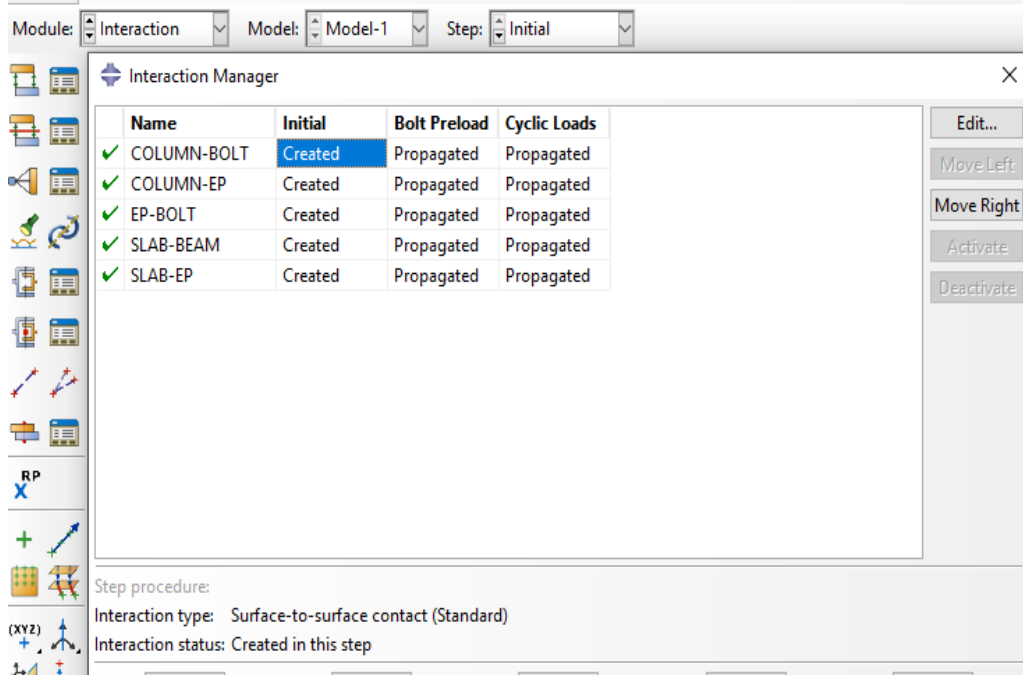
Şekil 3.54'de fictionless türü parametreleri tanımlanmasında iki adım bulunmaktadır, Teğetsel davranış ve normal davranış.

Teğetsel davranışta sürtünme oluşmaktadır ve normal davranışta sert temasta olan parçalar basınca maruz kalmaktadır, proje çalışması sırada parçalar iç içe girmeyecek şekilde gerekli analiz elde edilmektedir.



Şekil 3.54. Fictionless türü parametreleri tanımlanması

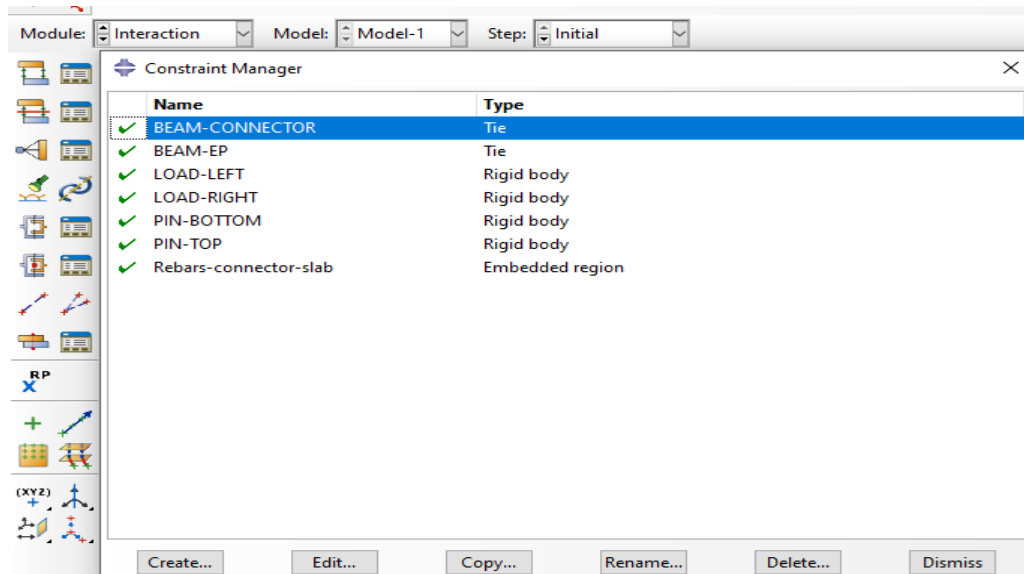
Bağlanma türü oluşturulmasında bağlantı yüz yüze olarak seçilmiştir. İki parça yüzeyleri beraber bağlanmıştır. Şekil 3.55'de görüldüğü gibi yüzeyleri karşılıklı olan parçalar yüzeylerinin birbirine etki edecek şekilde etkileşim belirlenmiştir.



Şekil 3.55. Yüz yüze etkileşimde bulunacak parçalar

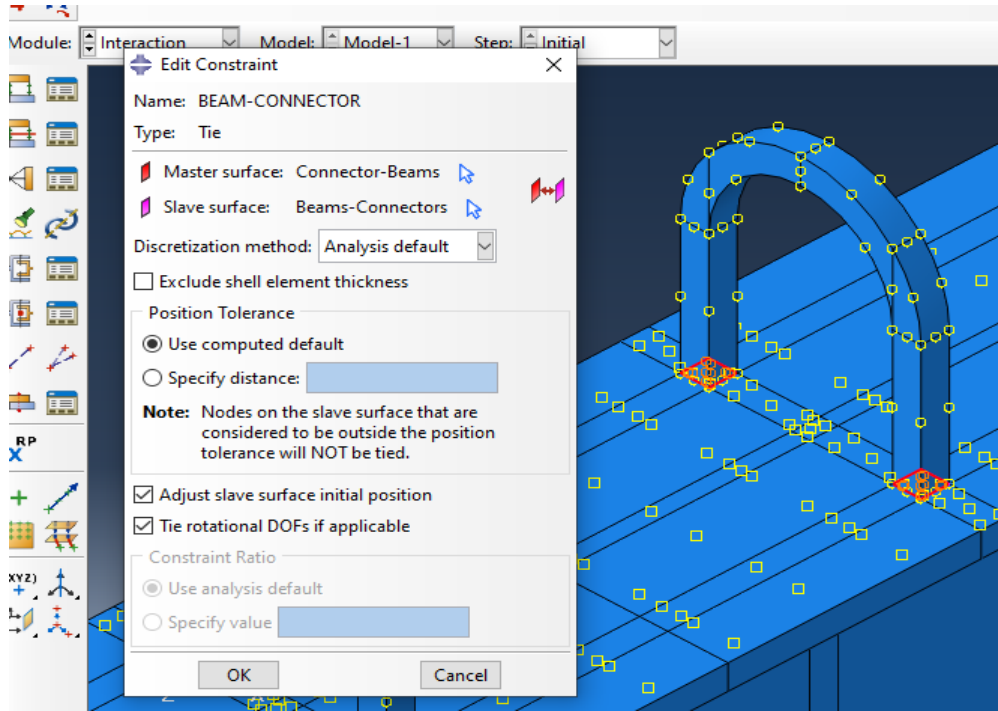
Bağlantıların tanımlamaları için çalışmada üç tür bağlantı kısıtlaması oluşturulmuştur;

- 1) Kaynak (Tie): kaynak birleşimi olan elemanlar şekilde görüldüğü gibi kiriş, çelik levhasına ve çelik ankraja kaynak yöntemiyle bağlanmıştır. Sert gövde için dört tane nokta seçilmiştir, döşemenin üzerinde iki nokta ve kolonun en üst ve en alt uçlarında tanımlanmıştır. (Şekil 3.56).



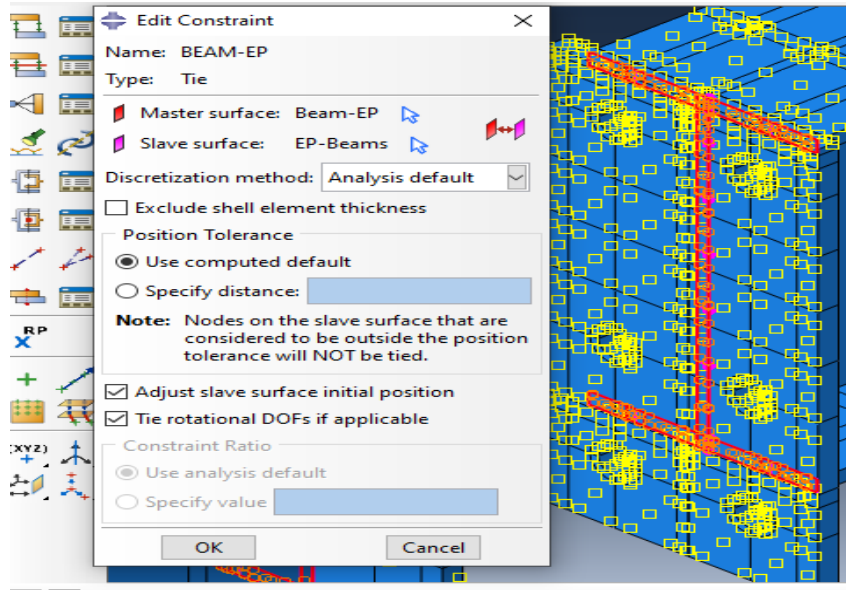
Şekil 3.56. Etkileşim türü

Şekil 3.57'de görüldüğü gibi kiriş ve çelik ankraj elemanları kaynak yöntemi ile bağlanmıştır, çelik ankraj ana yüzey kiriş ise bağımlı yüzey olarak tanımlanmaktadır.



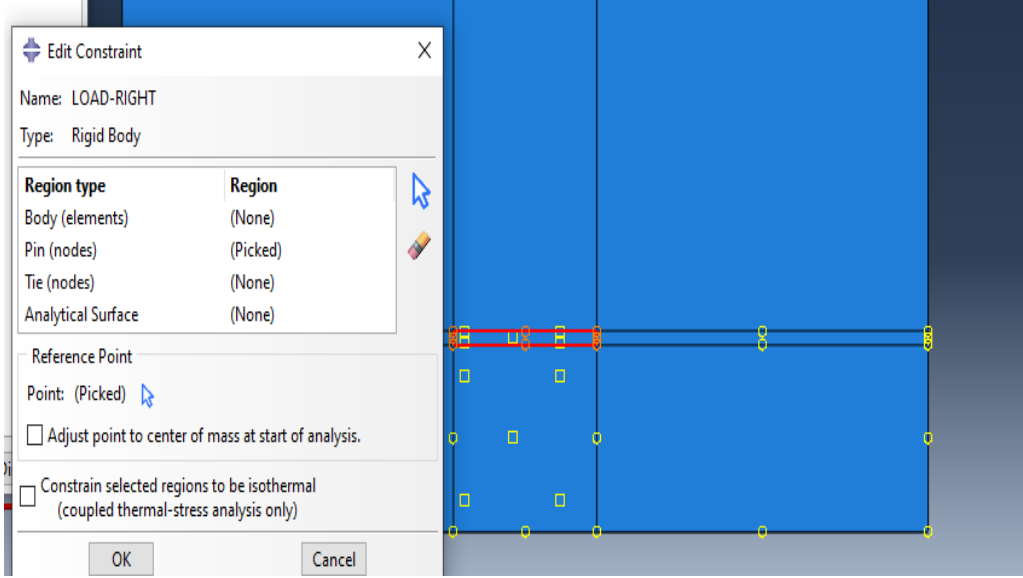
Şekil 3.57. Kiriş ve çelik ankraj etkileşimi

Şekil 3.58'de kiriş ve çelik levha elemanları kaynak yöntemi ile bağlanmıştır. Kiriş ana yüzey çelik levha ise bağımlı yüzey olarak tanımlanmaktadır.

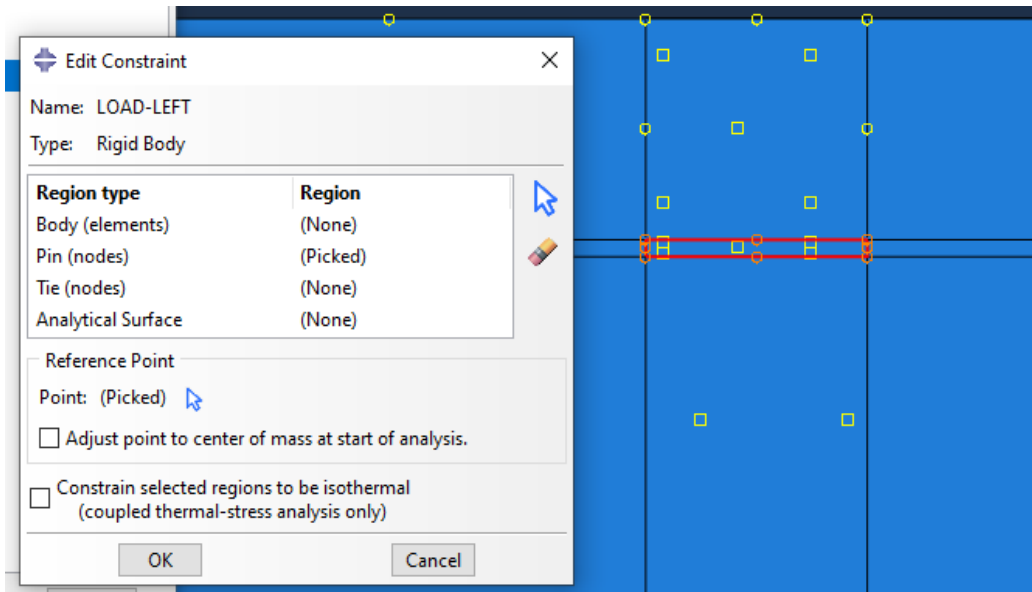


Şekil 3.58. kiriş ve çelik levha etkileşimi

- 2) Sert gövde (Rigid body): döşemenin üzerinde iki nokta seçilmiştir. Bu noktalara deplasman verilmiştir (Şekil 3.59., Şekil 3.60).

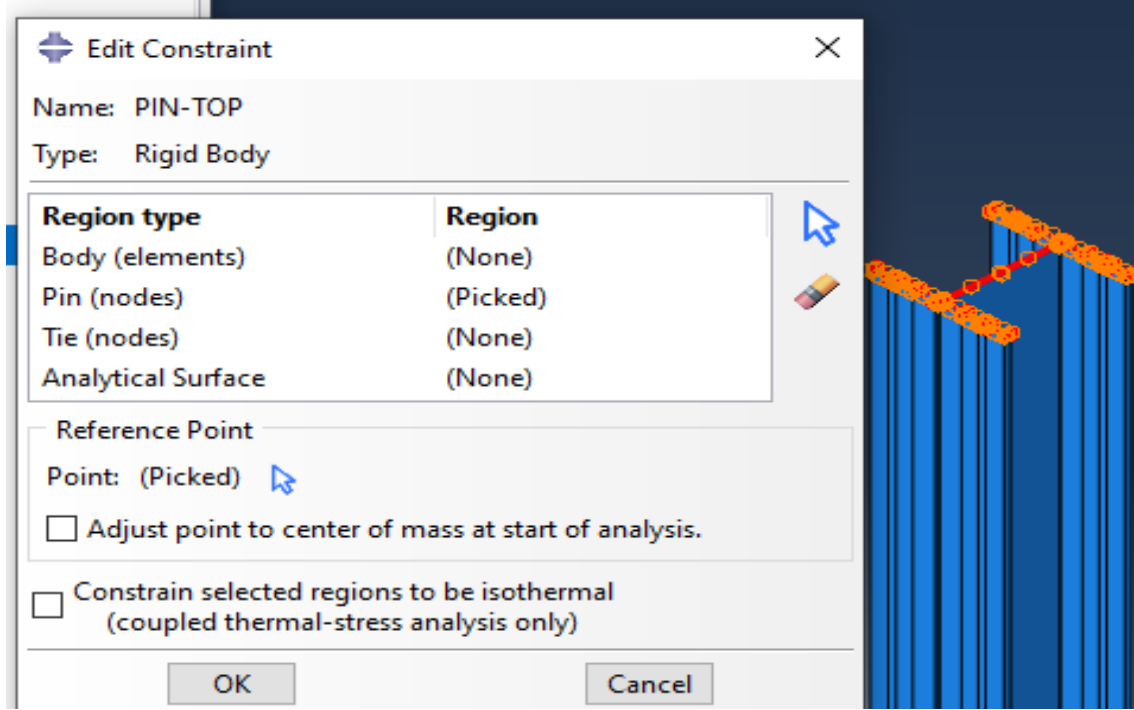


Şekil 3.59. Sağ tarafta yükleme etkilenmesi

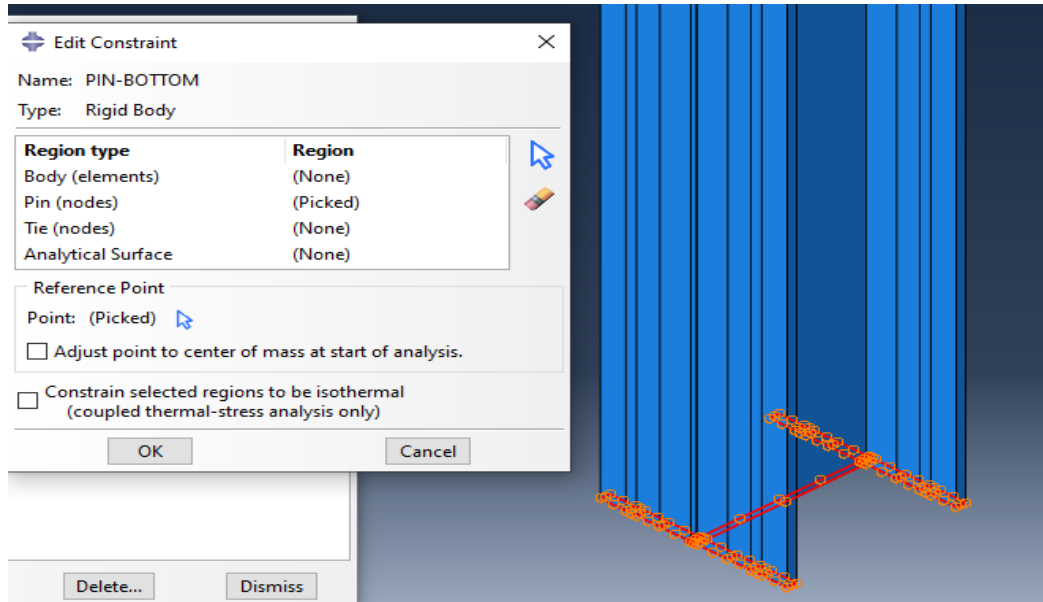


Şekil 3.60. Sol tarafta yükleme etkilenmesi

Kolonun iki ucunun alanları seçilip sert gövde olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.61., Şekil 3.62).

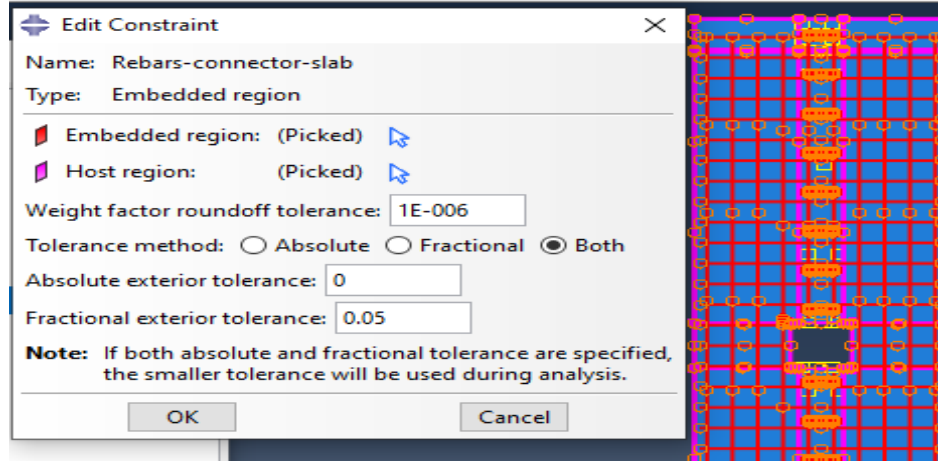


Şekil 3.61. Kolon üst ucunun etkileşimi



Şekil 3.62. Kolon alt ucunun etkileşimi

3) Gömülü bölge (Embedded region)



Şekil 3.63. Döşeme, çelik ankraj ve donatı gömülü olarak etkileşimi

3.4.8 Abaqus yazılımında yüklerin tanımlanması

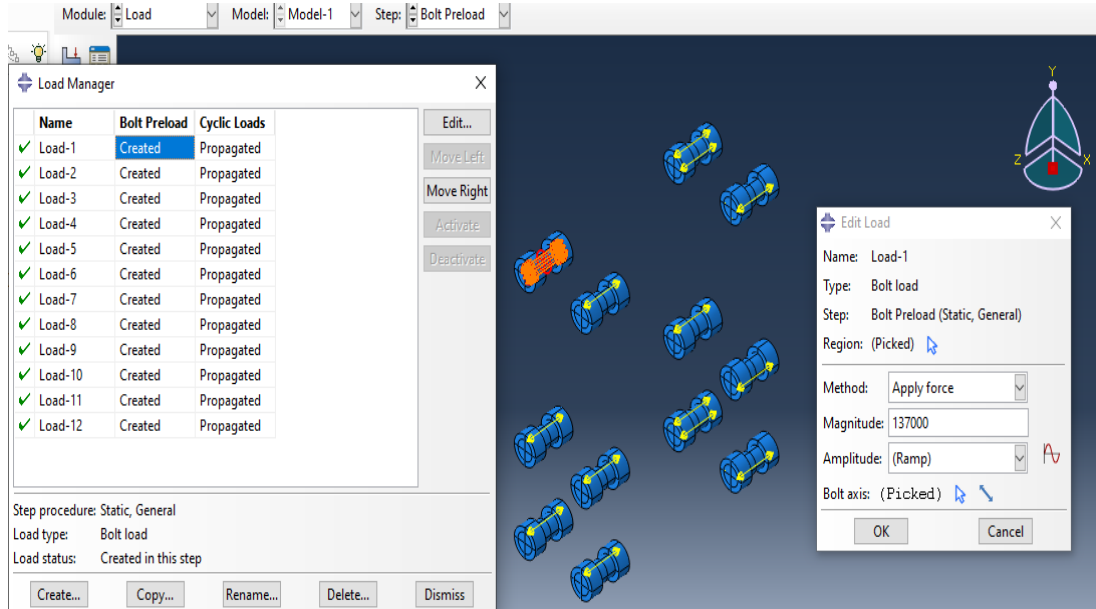
Çelik bulonun gelen çekme kuvvetinin tanımlanması için ön çekme değeri çelik tasarımı 2018 Türk standardı yönetmenliğinde 137000 N'dur, yönetmenlikte Tablo 13.6 Minimum bulon önçekme kuvveti olarak yer almaktadır, Çizelge 3.10'da gösterildiği gibidir. Bu değer Abaqus programına girilmiştir (Şekil 3.64).

Cıvata ön yükleme (statik, genel) cıvata ön yükü – somun, iki malzemeyi bir arada tutmak için bir cıvataya vidalandığında oluşan gerilim. Gerginlik optimum ön yüke ulaştığında, bir cıvata üzerine yerleştirilen çalışma yükü (montaj oluşturulduktan sonra eklenen yük) montaj malzemelerine dağıtılır, böylece cıvata tüm yükü almaz.

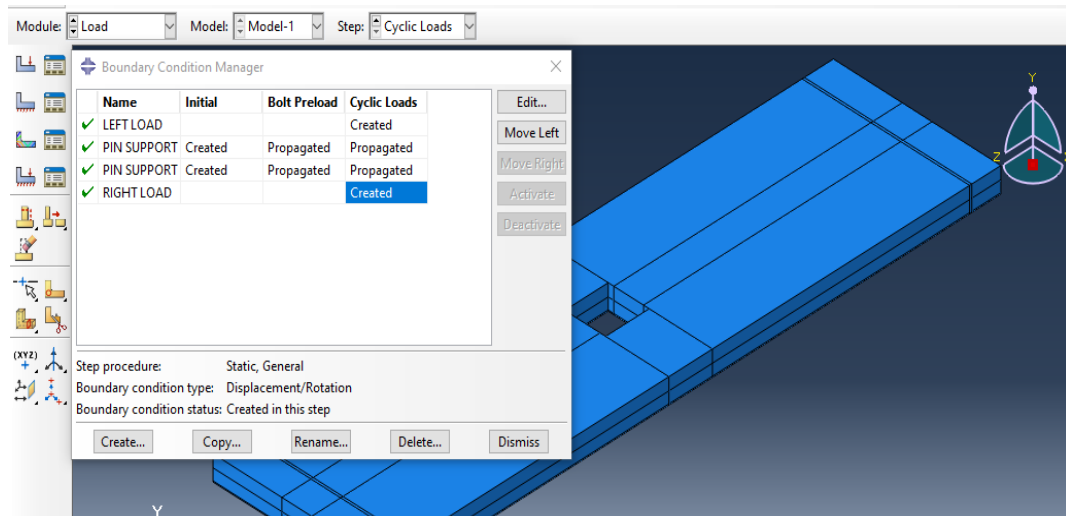
Çizelge 3.10. Minimum Bulon Önçekme Kuvveti, (kN)

Bulon	8.8	10.9
M16	88	110
M20	137	172
M22	170	212
M24	198	247
M27	257	321
M30	314	391

Bulon M20 üzerine etki edilen ön çekme kuvveti 137000 N olarak alınmıştır. Abaqus ağacından bulon yükü seçilerek 137000 N değeri yazılarak etki edilmiştir (Şekil 3.64).

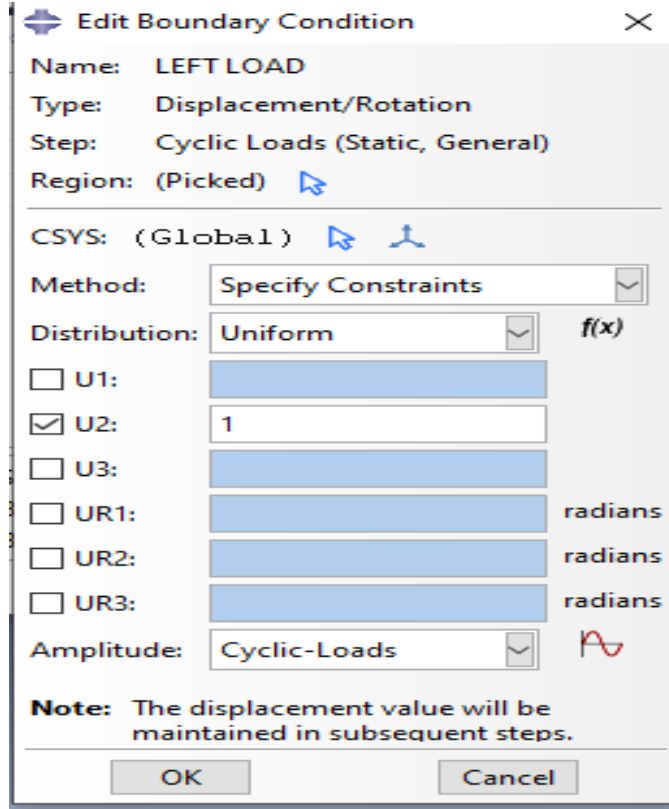


Şekil 3.64. M20 bulon ön çekme kuvveti girilmesi

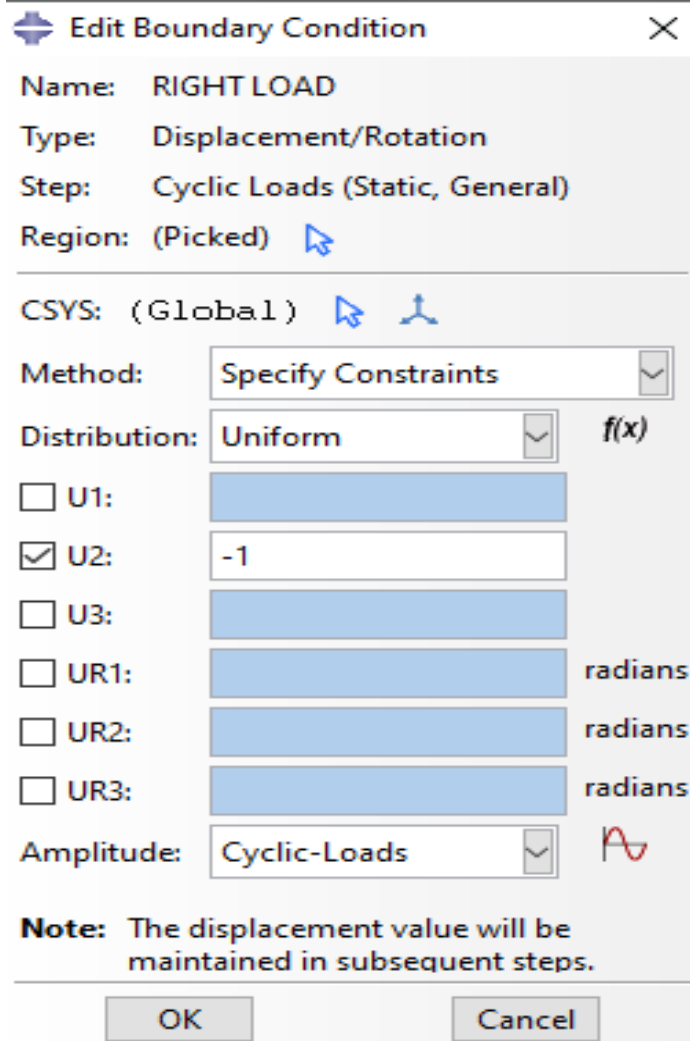


Şekil 3.65. Döşeme üzerinde Sol ve sağ yüklemenin uygulanması

Şekil 3.66'da ve Şekil 3.67'de görüldüğü gibi döşeme üzerinde sol ve sağ yükleme adlandırılan ve önceki adımda bağlantı türü sert gövde ve tekrarlı yük olarak tanımlanan sırasıyla 1 mm ve -1 mm olarak belirtilmiştir.



Şekil 3.66. Sol tarafın yüklenmesi



Şekil 3.67. Sağ tarafın yüklenmesi

Kolonun üst ve alt ucunda yer değiştirme-dönme türü (Pin support top, pin support bottom) etkilenmiş olup tekrarlı yük uygulanmıştır (şekil 3.68., şekil 3.69).

✚ Edit Boundary Condition ✕

Name: PIN SUPPORT BOTTOM

Type: Displacement/Rotation

Step: Cyclic Loads (Static, General)

Region: (Picked)

CSYS: (Global)

Method: Specify Constraints

Distribution: Uniform

U1: 0

U2: 0

U3: 0

UR1: [Blue shaded] radian

UR2: [Blue shaded] radian

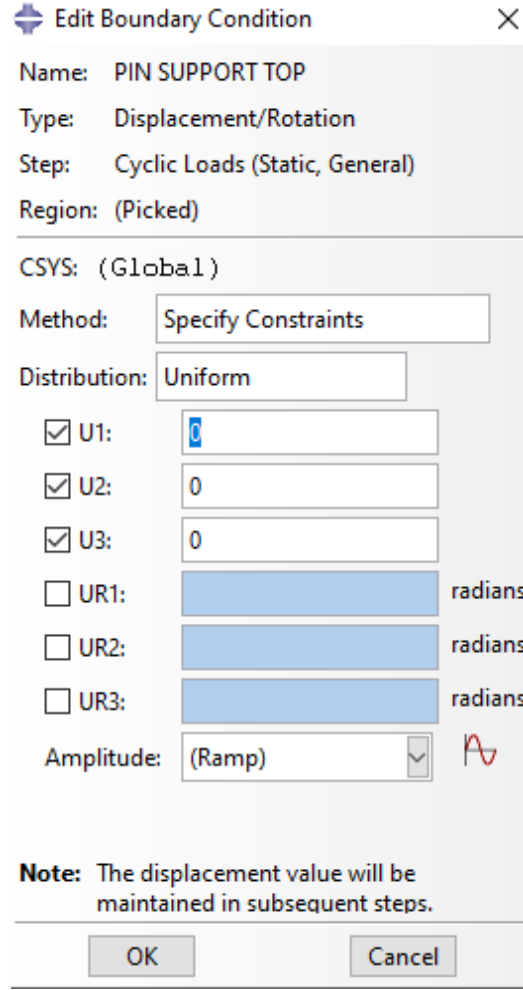
UR3: [Blue shaded] radian

Amplitude: (Ramp) ▾

Note: The displacement value will be maintained in subsequent steps.

OK Cancel

şekil 3.68. Kolon alt ucu deplasmanı



Şekil 3.69. Kolon üst ucu deplasmanı

3.4.9. Abaqus yazılımında ağı oluşturulması

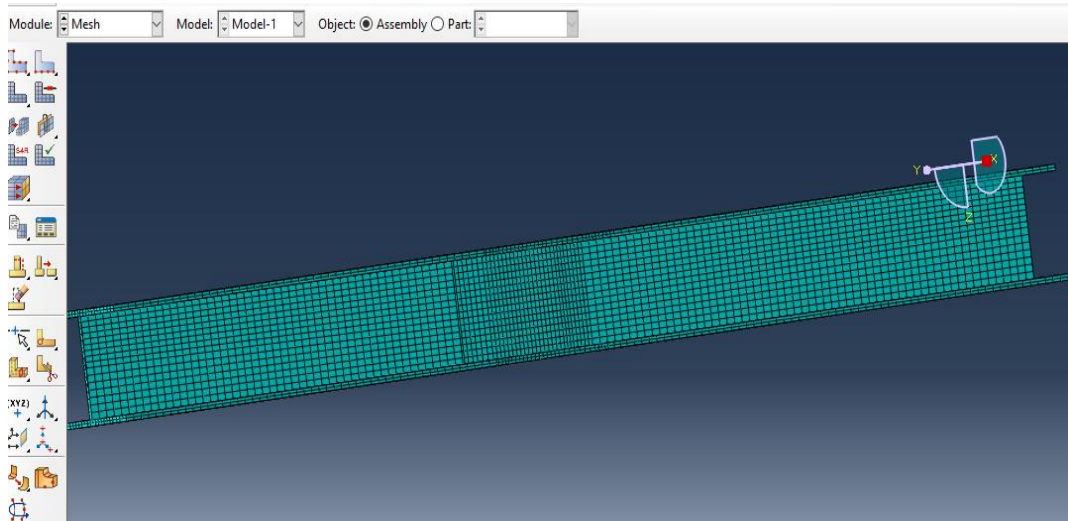
Program, modeli ortak noktalarda (düğümler) birbirine bağlanmış basit şekilli küçük parçalara (elemanlar) ayırır. Sonlu eleman analizi programları, modeli birbirine bağlı bir ayrı elemanlar ağı olarak görür.

Ağ oluşturulmasında her parça için ne kadar daha küçük elemanlara ayrılırsa o kadar yakın sonuçlar elde edilir. Projede birleşim noktası alanındaki parçalar diğer parçalara göre daha küçük elemanlara ayrılması durumunda daha elverişli sonuçlar elde edilir.

Sonlu Eleman Yöntemi (FEM), modeli oluşturan tüm elemanlardan elde edilen bilgileri bir araya getirerek modelin davranışını tahmin eder. Mesh, tasarım analizinin çok önemli bir adımıdır. Mesh kontrolü; bileşenler, yüzler, kenarlar ve tepe noktaları için farklı eleman boyutları belirtmeyi sağlar.

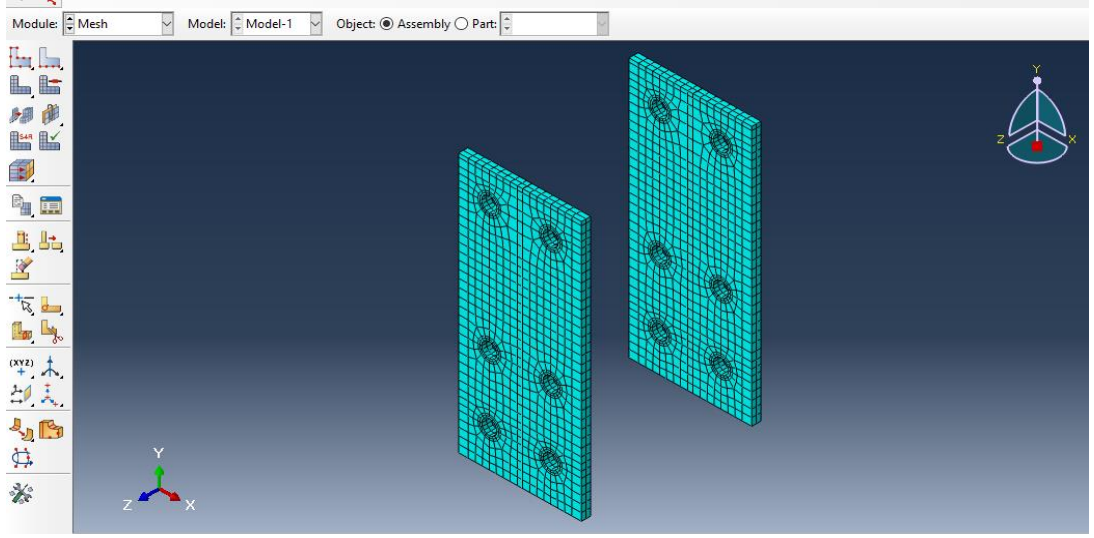
Yazılım modelin yüzey alanını, hacmini ve diğer geometrik bilgileri göz önünde bulundurarak model için bir global eleman boyutu tahmin eder. Oluşturulan meshin boyutu (eleman ve düğüm sayısı); modelin ölçümlendirmelerine ve geometresine, eleman boyutuna, mesh toleransına, mesh kontrolüne ve temas spesifikasyonlarına bağlıdır. Yaklaşık sonuçların yeterli kabul edilebileceği tasarım analizinin ilk aşamalarında, daha hızlı çözüm için daha büyük bir eleman boyutu belirlenebilir. Daha doğru bir çözüm için daha küçük bir eleman boyutu gerekmektedir.

Şekil 3.70'de görüldüğü gibi kolonun orta bölümünde parçaları kenardaki parçalara göre daha küçüktür, çünkü bu orta bölge birleşim bir bölge olup üzerine diğer elemanlar etki edecektir, kolonda en çok zorlanacak bir bölgedir, bu nedenle daha yaklaşık sonuçlar elde etmek için daha küçük parçalara bölünmüştür.



Şekil 3.70. Kolonun ağı oluşturulması

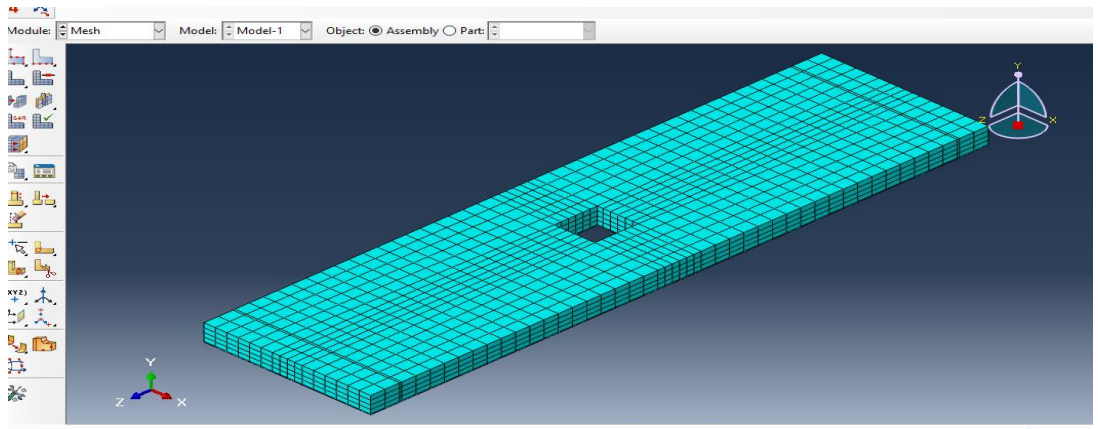
Şekil 3.71'de görüldüğü gibi çelik levha parçaları bağlandığı kolonun bölünmüş parçalar açısından benzeridir, çünkü bu orta bölge birleşim bir bölge olup üzerine diğer elemanlar etki edecektir, bu nedenle daha yaklaşık sonuçlar elde etmek için daha küçük parçalara bölünmüştür.



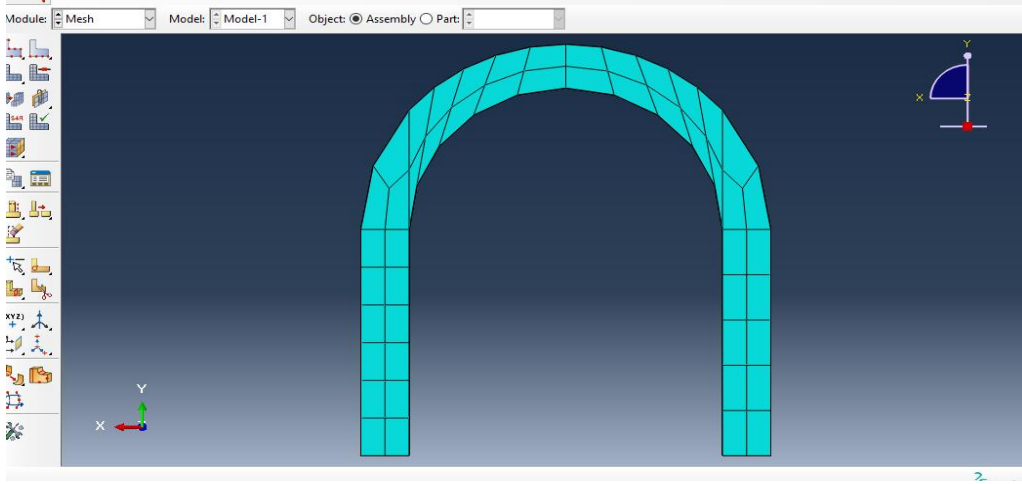
Şekil 3.71. Çelik levhannın ağı oluşturulması



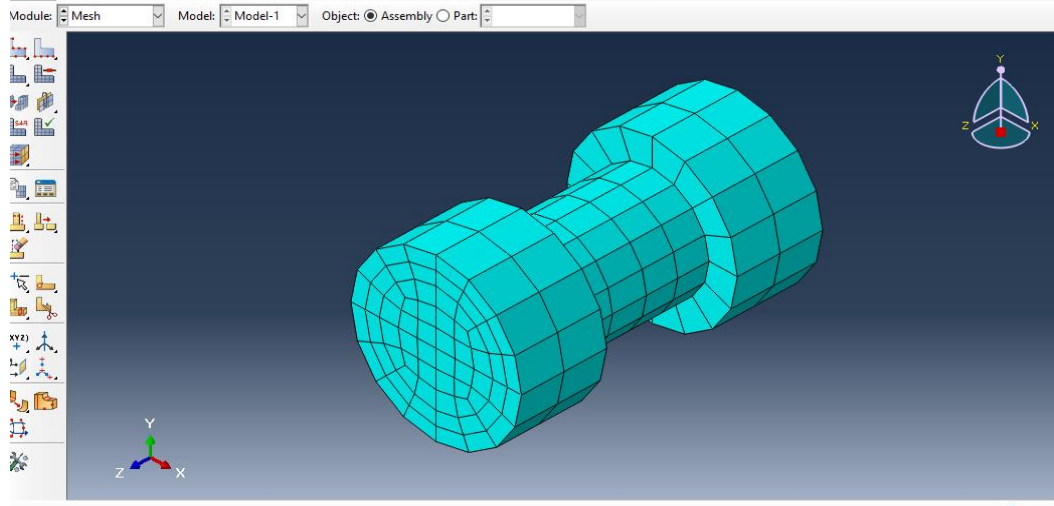
Şekil 3.72. Kirişin ağı oluşturulması



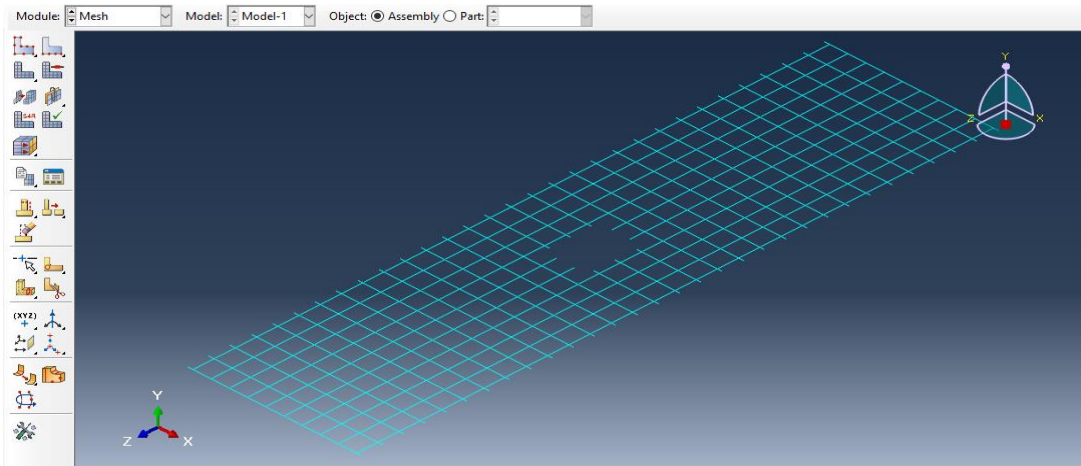
Şekil 3.73. Döşemenin ağı oluşturulması



Şekil 3.74. Çelik ankrajın ağı oluşturulması



Şekil 3.75. Bulunun ağı oluşturulması

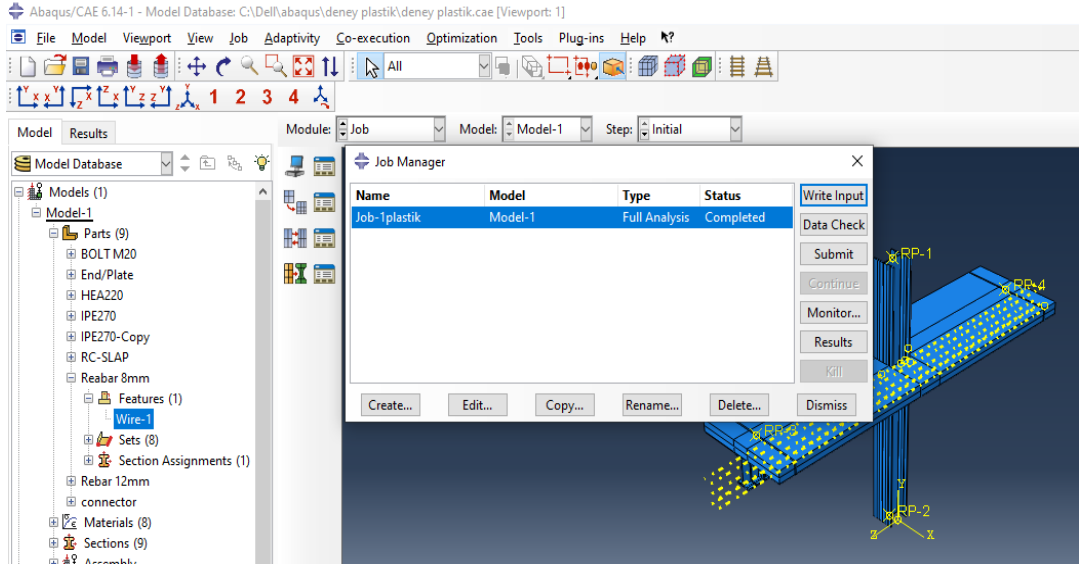


Şekil 3.76. Döşeme donatısı ağı oluşturulması

3.4.10. Abqus yazılımında modelin koşturulması

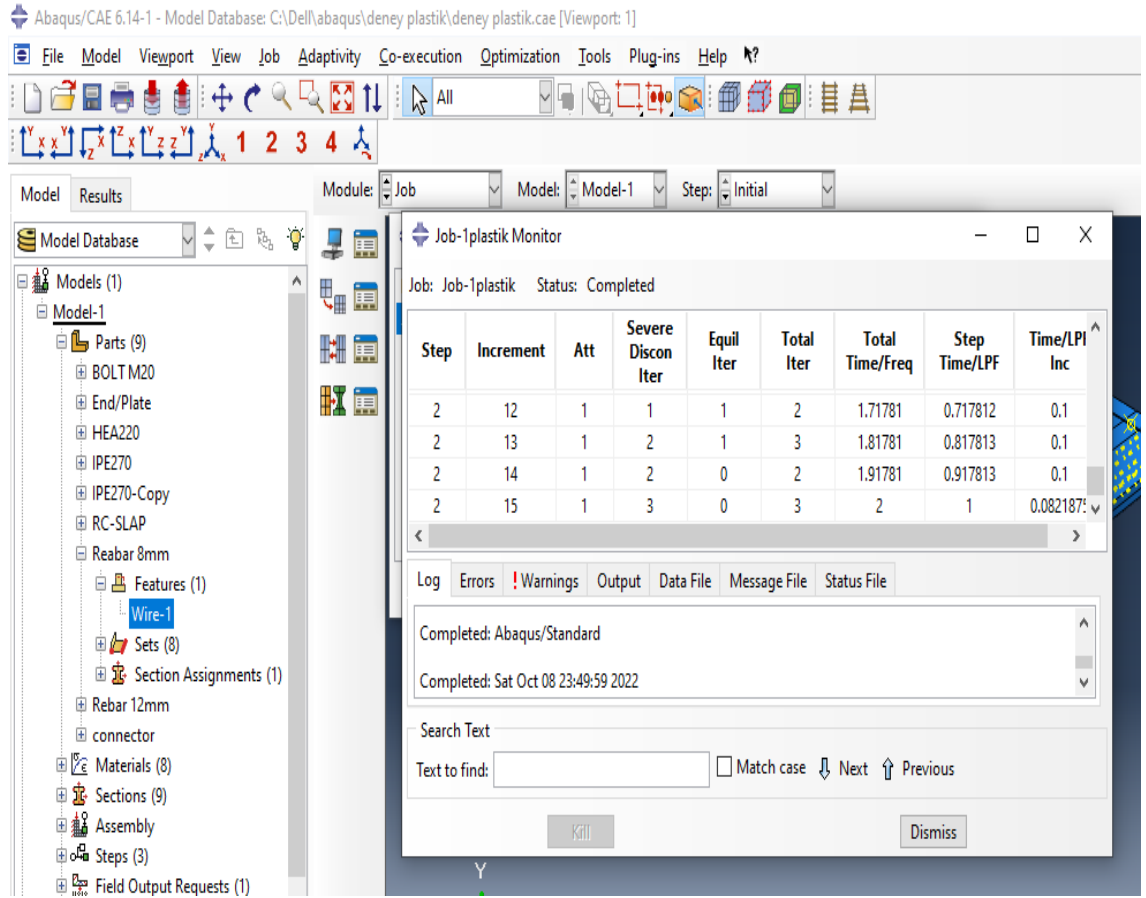
İş menüsünde, model analize verilmektedir, bu menüde analiz hangi duruma geldiği, analiz esnasında hataların veya uyarıların neler olduğu görüntülenmektedir.

şekil 3.77'de görüldüğu gibi analiz tamamlanmasını görmek için bir ekran açılmaktadır, bu ekranda analiz tipi tam analiz yani bütün elemanlar için yapılan bir analizdir, ayrıca analiz durumu kontrolü (status) durum ağacında sağlanmaktadır, tasarımda, tanımlanan malzeme özelliklerinde, etkileşimlerde ve herhangi bir adımda hata olması durumunda analiz status ağacında (aborted) iptal edilmiş sonucu verilmektedir, analiz step adımımda bahsedildiği gibi belirlenen zamana göre çalışır.



şekil 3.77. İş (Job) başlatma ekranı

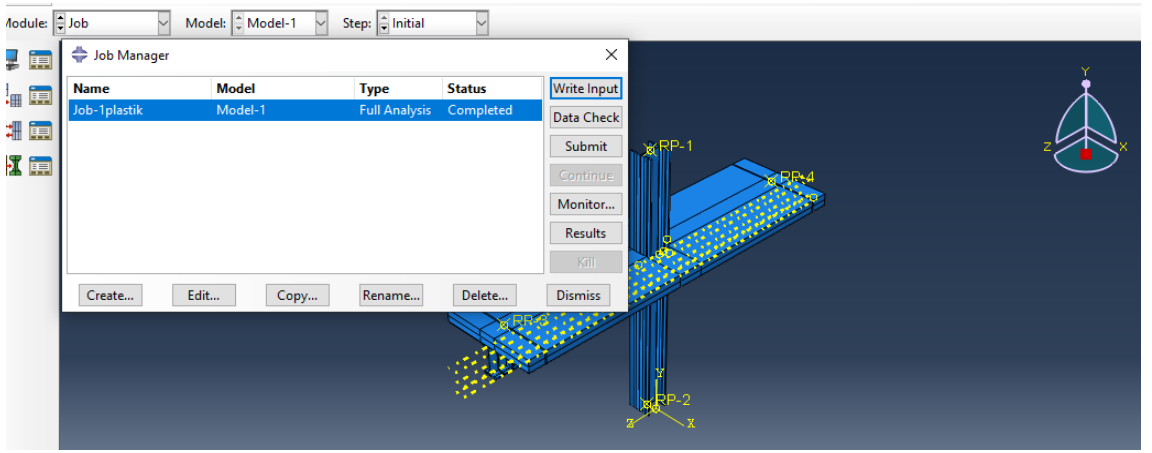
Analiz çalışırken monitör (monitor) ekranı açılmaktadır, bu ekranda analiz durumu adım adım görüntülenebilmektedir, verilen step adımları, zaman artışları ve toplam zamanı detaylı olarak kontrol edilebilmektedir, bu ekranda hata olması durumunda Errors ağacında analiz iptal edildiği görüntülenmektedir, analiz hatasız devam etmesi halinde Log ağacında analiz tarih ve saat şeklinde tamamlanması görüntülenmektedir (şekil 3.78). şekilde görüldüğu gibi bir tabloda verilen analiz süresinin uygulanması, zaman artışları, toplam analiz süresi, analizde hangi artışlar kullanılarak devam etmesi ve her analiz adımımda uygulanan artışların kontrolü tez çalışmasında tanımlanması gibi gösterilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.78. İş (Job) kontrol ekranı

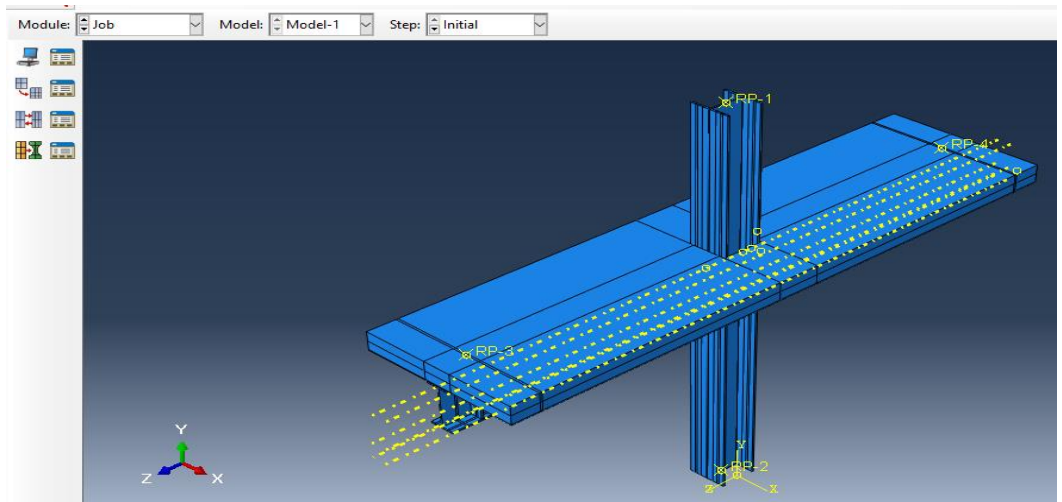
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde oluşturuluna modelin analizlerinden moment ve dönme, şekil değiştirme eğrileri ve gerilme eğrileri elde edilmiştir. Bu değerler Şekil 4.1'de görüldüğü gibi tanımlanan RP-1, RP-2, RP-3 ve RP-4 refens noktalarından elde edilmiştir. Bu noktalarda kuvvet ve deplasman etki edilmiş, analizden sonra etki edilen kuvvetlerin ve deplasmanların doğru bir şekilde oluşup zamana göre artması kontrol edilmiştir. Ve analiz sonucunda doğru bir veriler grafikler üzerinde çizilerek doğru eğilim gösterilmiştir



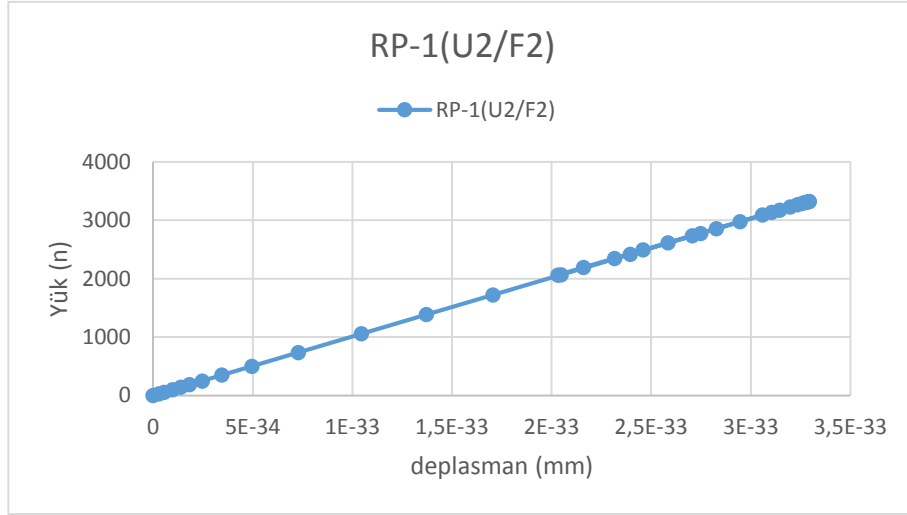
Şekil 4.1. İş (Job)

İlk olarak Şekil 4.3’de gösterildiği gibi RP-1 noktasından analizler sonucu elde edilmiştir. Bu noktada elde edilen en yüksek aksenal kuvvet değeri 3320 N olarak bulunmuştur.



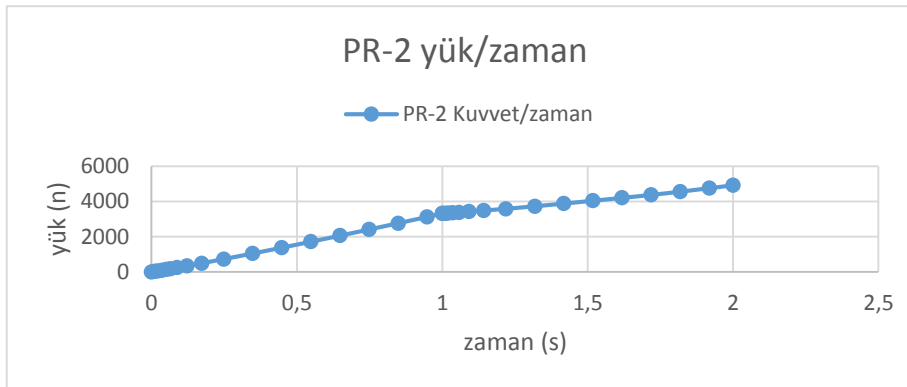
Şekil 4.2. Analiz sonrası proje

Şekil 4.3'de RP-1 noktasından alınan verilere göre y doğrultusunda kuvvet ve deplasman eğrisi çizilmiştir. Yükün uygulanan toplam analiz süresi sonrası maksimum 3320 N değerine linear olarak ulaştığı görülmektedir. Bu grafiğin çiziminden tasarım ve analizin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi anlaşılmaktadır, verilen analizin toplam süresi 2 saniye sonunda en yüksek yük değeri 3320 N elde edilmesi çalışmanın doğruluğu göstermektedir.



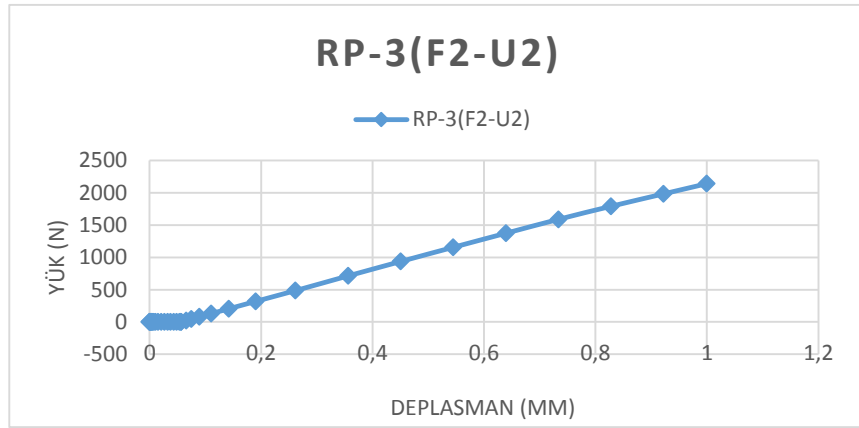
Şekil 4.3. RP-1 yük ve deplasman grafiği

Şekil 4.4'de kolon alt ucunda RP-2 noktasında y eksenini doğrultusunda yük zaman eğrisi çizilmiştir. Mesnet noktasında maksimum kuvvetin 4923 N ulaştığı görülmektedir. Çelik kolonun bu bölgede elastik sınırları aştığı modelde tanımlandığı gibi elastoplastik davranış sergilediği görülmektedir.



Şekil 4.4. RP-2 yük ve zaman grafiği

Şekil 4.5'de döşemede tanımlanan RP-3 noktasında y ekseninde yük ve deplasman grafiği elde edilmiştir. Uygulanan 1 mm'lik deplasman sonucunda 2142 N' lük bir yük bulunmuştur. 2142 N değeri 1 mm'lik deplasman sonunda elde edilmesi çalışmanın doğru ve kullanılabilir veriler elde edilmesi, projede deplasman artmasına denk olarak yükün artması ve lineer çizgi elde edilmesi analiz hatasız çalışması anlaşılmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi deplasmanda 1 mm'den az değerler alınırken daha düşük yük elde edilmiştir.



Şekil 4.5. RP-3 y ekseninde yük ve deplasman grafiği

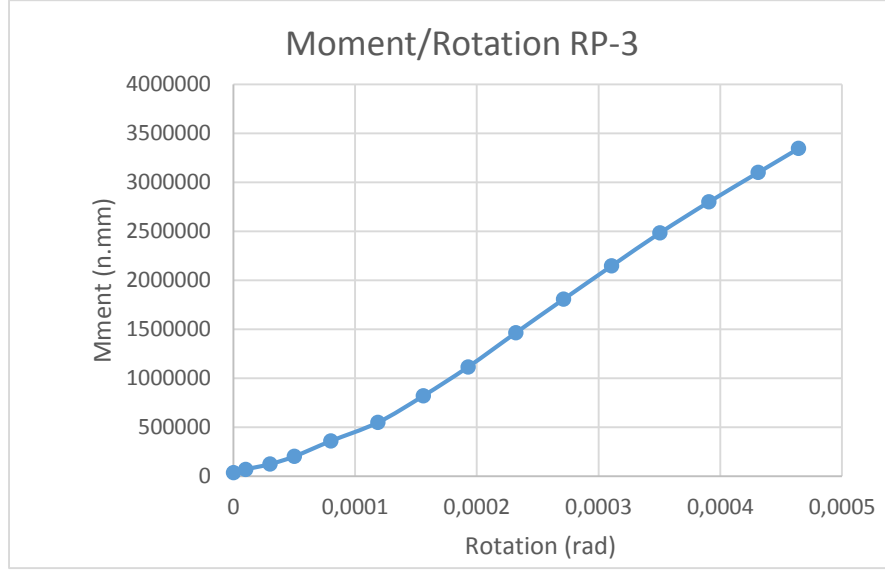
Şekil 4.6'da görüldüğü gibi moment ve dönme grafiği elde edilmiştir. Moment dönme eğrisini oluşturmak için ilk olarak RP-3 ve RP-4 noktalarında oluşan y ekseninde yük ile z ekseninde olan mesafe ile çarpılarak moment elde edilmiştir. Dönme açısı ise birleşim elemanı olan çelik levah (plat-1) ve (plat-2) üst ve alt ucunda z ekseninde yer değiştirme değerleri alınarak fark bulunmuş ve bu fark levhanın yüksekliğine bölünmesi ile elde edilmiştir. RP-3 ve RP-4 noktalarında uygulanan yükleden dolayı birleşim bölgelerinde momentler ve dönmeler oluşmuştur, dönmenin değeri artmasıyla moment değerinde artış görülmektedir.

$$M = f.d \quad (4.1)$$

$$\text{Dönme} = \text{degrees} (\text{atan} ((u1-u2) / h)) \quad (4.2)$$

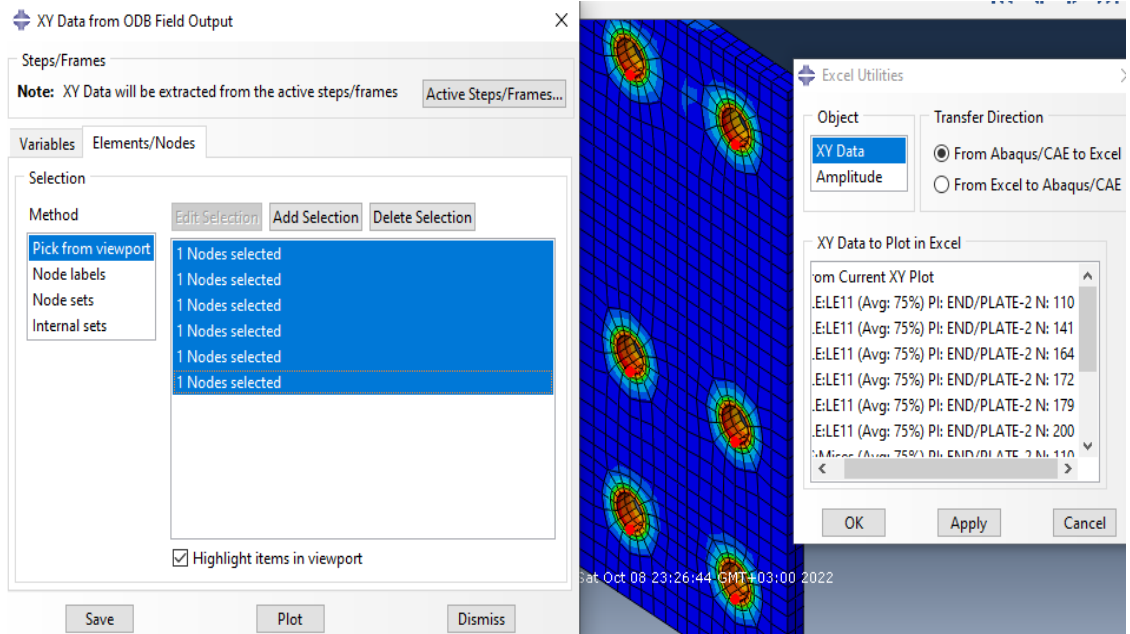
$$\text{Radyan} = \text{Dönme} * 0.0174532925 \quad (4.3)$$

1 degree =0.0174532925 radians



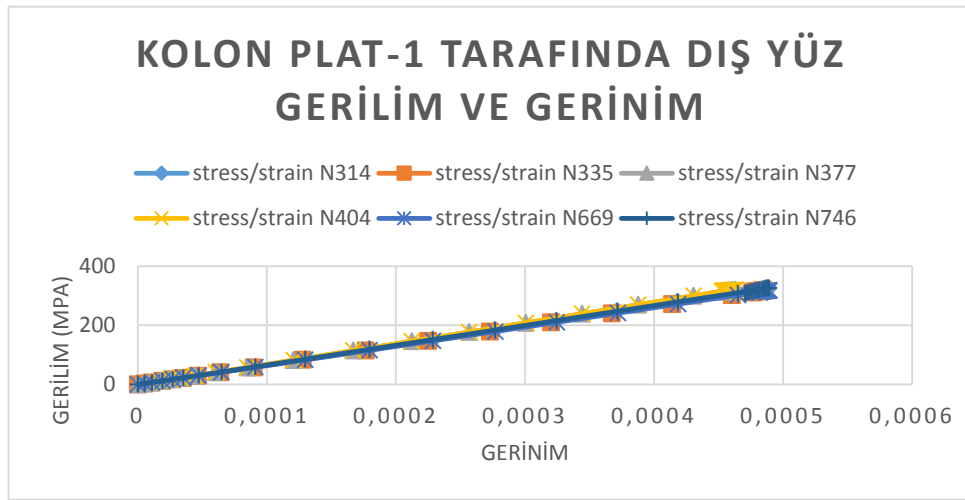
Şekil 4.6. RP-3 moment -dönme eğrisi

Şekil 4.7'de çelik levha (plate-2) deliklerinde bir nokta seçerek gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiştir. En yüksek gerilme ve gerinim değeri sırasıyla seçilen N164 noktasında 370 MPa ve 6,34E-05 olarak hesaplanmıştır, bulonla birleşim bölgesi olduğundan yüksek gerilmeler şekilde görüldüğü gibi ve 370 Mpa değeri elde edilmiştir.

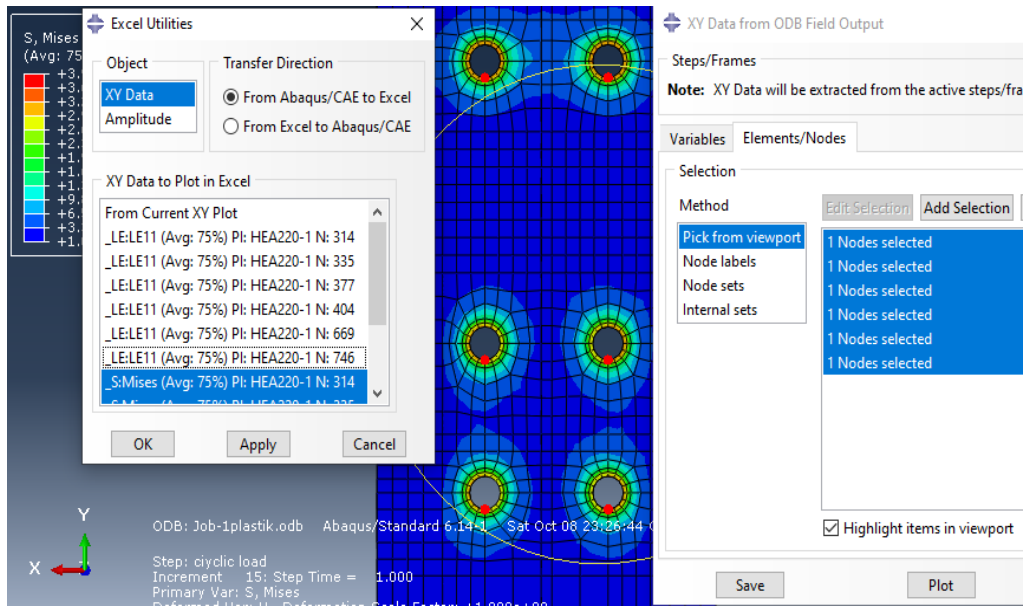


Şekil 4.7. Plate-2 dış yüz gerilim ve gerinim sonuçları

Şekil 4.8'de kolon plate-1 tarafında dış yüz gerilim ve gerinim deliklerinde bir nokta seçerek gerilim ve gerinim değerleri elde edilerek grafiği çizilmiştir. Analiz sonucunda en yüksek gerilme ve gerinim değeri sırasıyla 326 MPa ve 0,000488 olarak bulunmuştur (Şekil 4.9). Bu noktalar çelik levha ve bulonla birleşim halindedir, analiz sonucunda bu noktalarda en yüksek gerilimin oluşması beklenmiştir, grafikte çizildiği gibi analizin sonucunda birleşim bölgesi olan kolonun orta bölümünde en yüksek gerilmeler oluşmuştur.

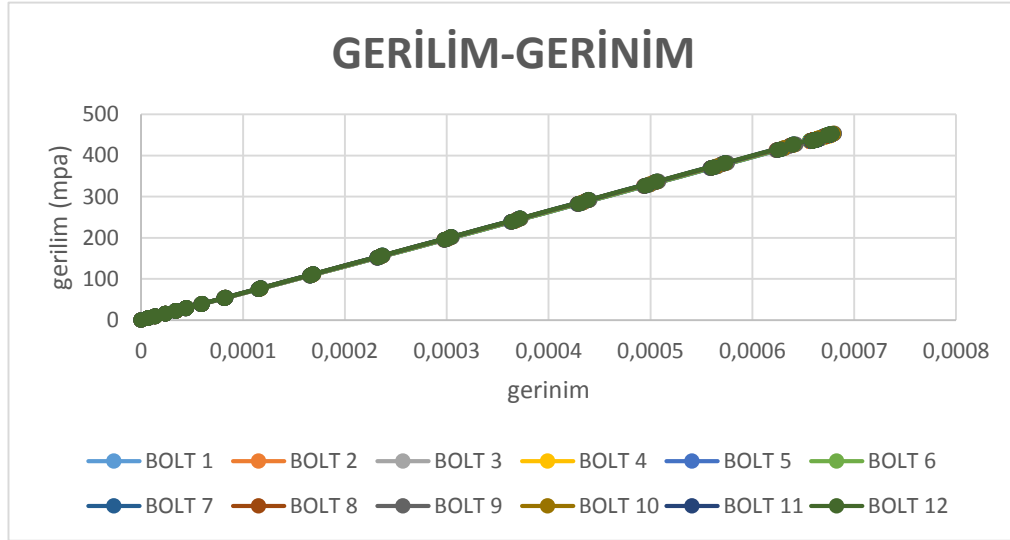


Şekil 4.8. Kolon plat-1 tarafında dış yüz gerilim ve gerinim grafiği



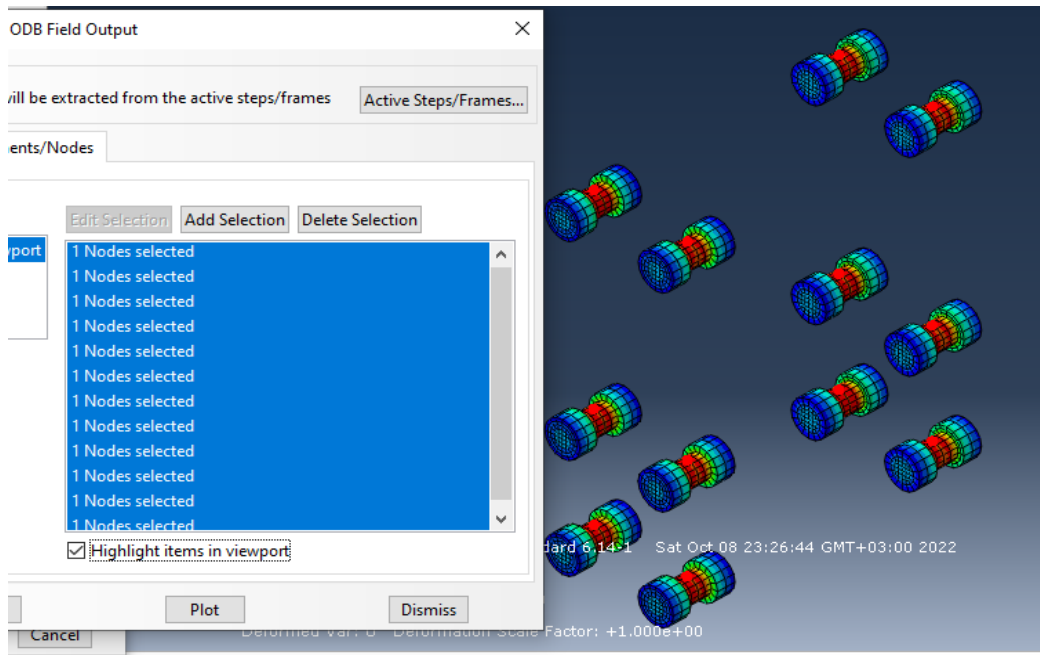
Şekil 4.9. Kolon plat-1 tarafında dış yüz gerilim ve gerinim sonuçları

Şekil 4.10'de bulonlarda bir noktasından elde edilen gerilim ve gerinim değerlerinin grafiği çizilmiştir. Gerilim ve gerinimin lineer bir şekilde oluşması, verilen analiz süresinin yükleme adımına bağlı kalınarak artışlar göstermesinden, bulonlarda etki edilen yük ve birleşim özelliği doğruluğu anlaşılmaktadır.



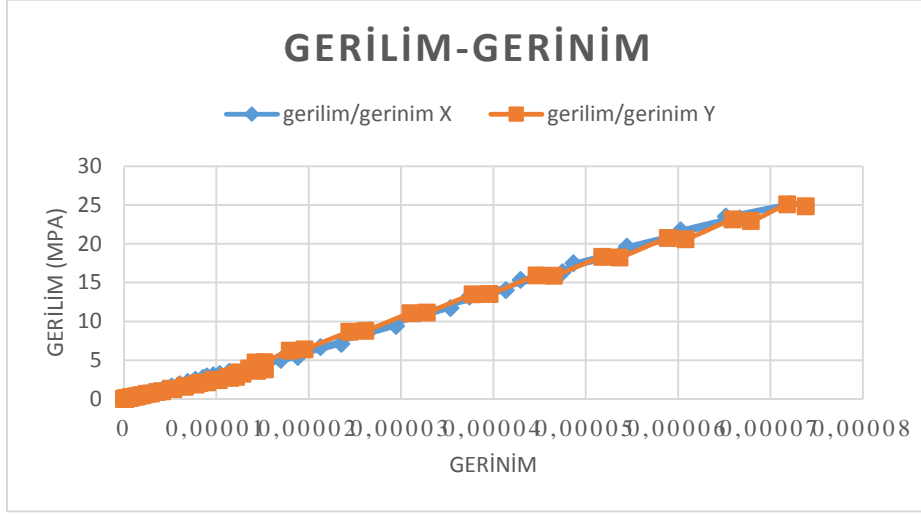
Şekil 4.10. Bulon gerilim ve gerinim grafiği

Şekil 4.11'de elde edilen en yüksek gerilme ve gerinim değeri sırasıyla 451 MPa ve 0,000677 bulunmuştur.



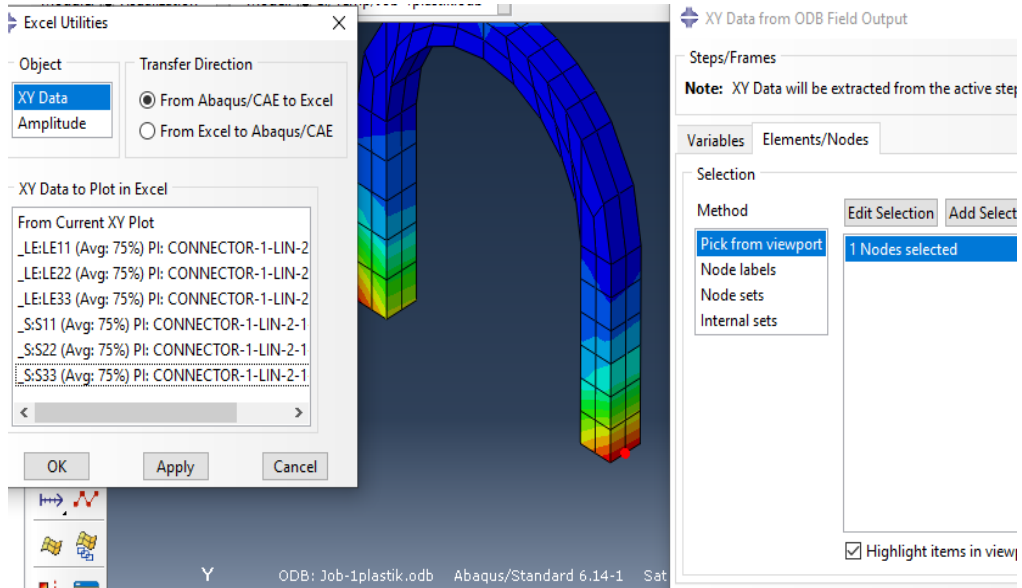
Şekil 4.11. Bulon gerilim ve gerinim sonuçları

Birleşim bölgesine yakın olan ankrajda birleşim bölgesine en uzak ankraja göre daha fazla gerilim ve gerinim oluşması, 25 Mpa değerine lineer olarak ulaşması projenin birleşim bölgesinde elemanın zorlandığı anlaşılmaktadır. Şekil 4.12'de görüldüğü gibi birleşim noktasına en yakın çelik ankraj gerilim ve gerinim değerleri kullanılarak gerilme-gerinim grafiği çizilmiştir.



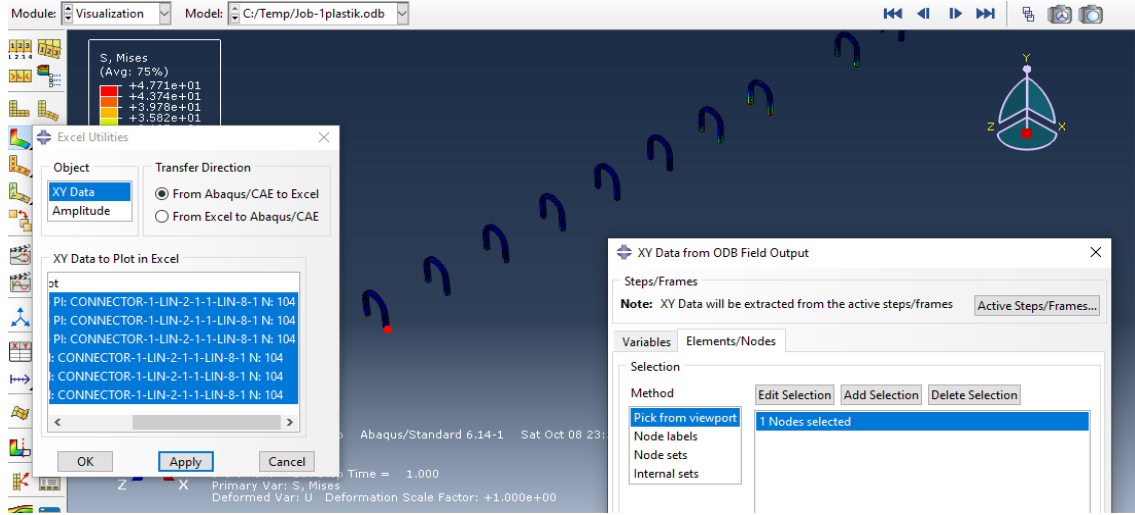
Şekil 4.12. Çelik ankraj gerilim ve gerinim grafiği

Şekil 4.13'de elde edilen en yüksek gerilme ve gerinim değeri sırasıyla 25 MPa ve $7,38E-05$ bulunmuştur.



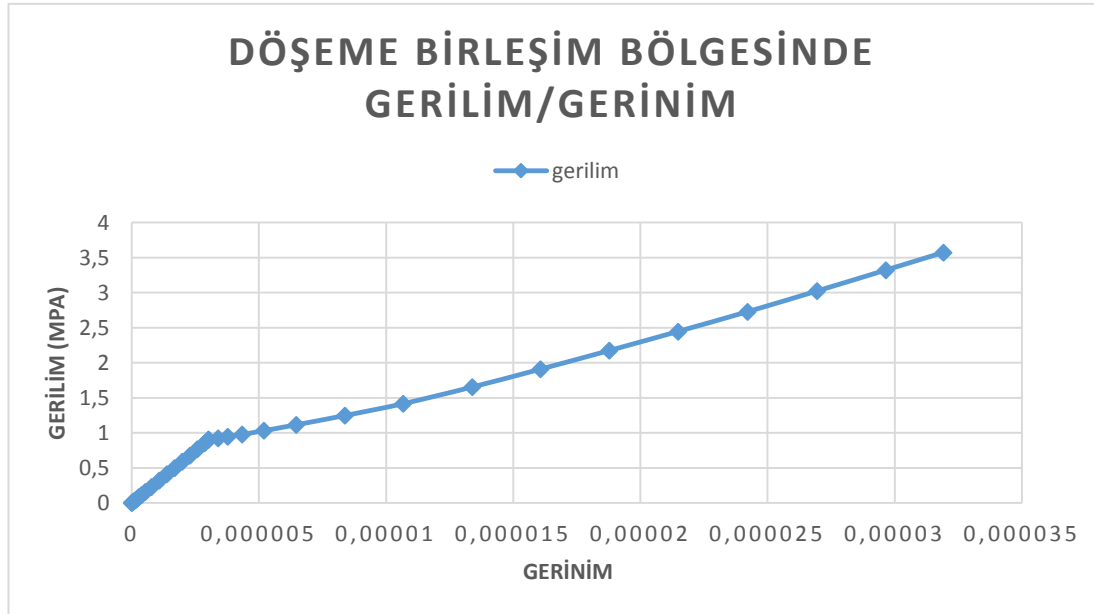
Şekil 4.13. Çelik ankraj gerilim ve gerinim sonuçları

Birleşim bölgesinden uzaklaşarak elemanda gerilim değeri azalmaktadır. Şekil 4.14'de görüldüğü gibi birleşim noktasından en uzak çelik ankraj gerilim ve gerinim değerleri sırasıyla 3,75 MPa ve 1,525E-05 bulunmuştur.



Şekil 4.14. Çelik ankrajda gerilim ve gerinim sonuçları

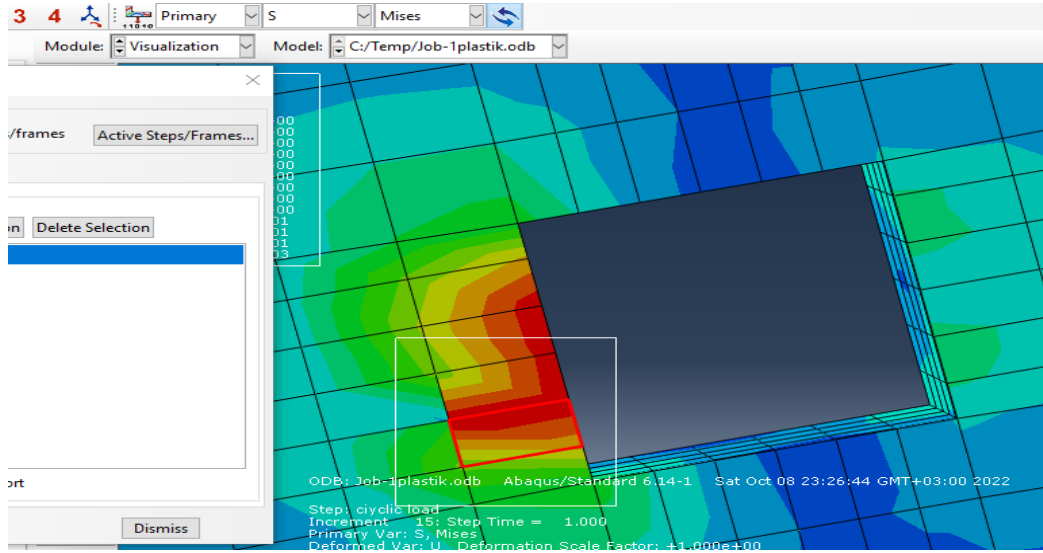
Şekil 4.15'de görüldüğü gibi birleşim bölgesinde olan döşeme parçasında gerilim ve gerinim değerleri kullanılarak gerilme-gerinim grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.15. Döşeme birleşim bölgesinde gerilim grafiği

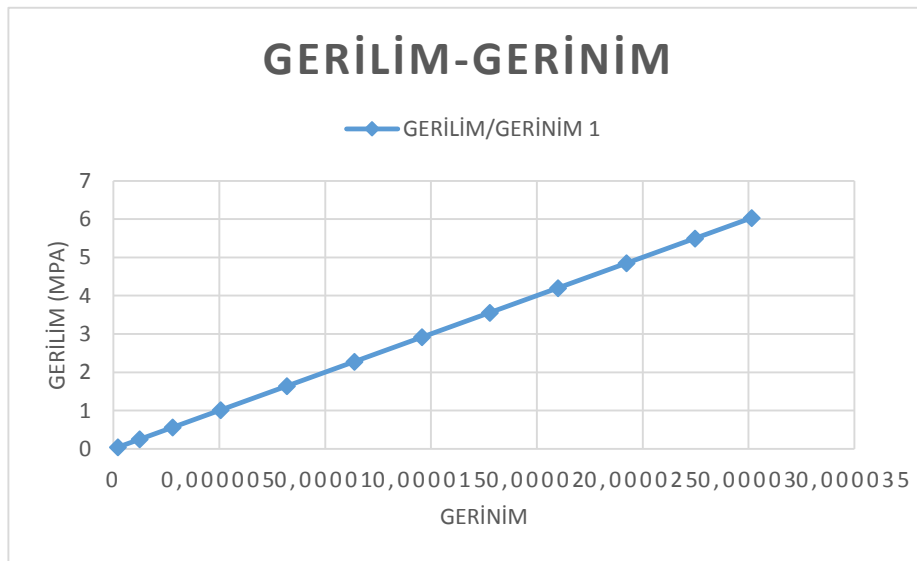
Şekil 4.16'da görüldüğü gibi birleşim bölgesinde olan döşeme parçasında en yüksek

gerilim değeri oluşmuştur, 3,57 MPa olarak hesaplanmıştır. Birleşim noktasından uzaklaştıkça gerilim azalmaktadır, kırmızı bölge gerilim değeri yüksek olduğu göstermektedir, bu alan birleşim parçası olduğu için yüksek gerilim ve gerinim değeri oluşması beklenmektedir, analiz sonucunda bu alanın birleşim bölgesinden uzak alanlara göre daha etkilenmiş olup daha yüksek gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiştir.



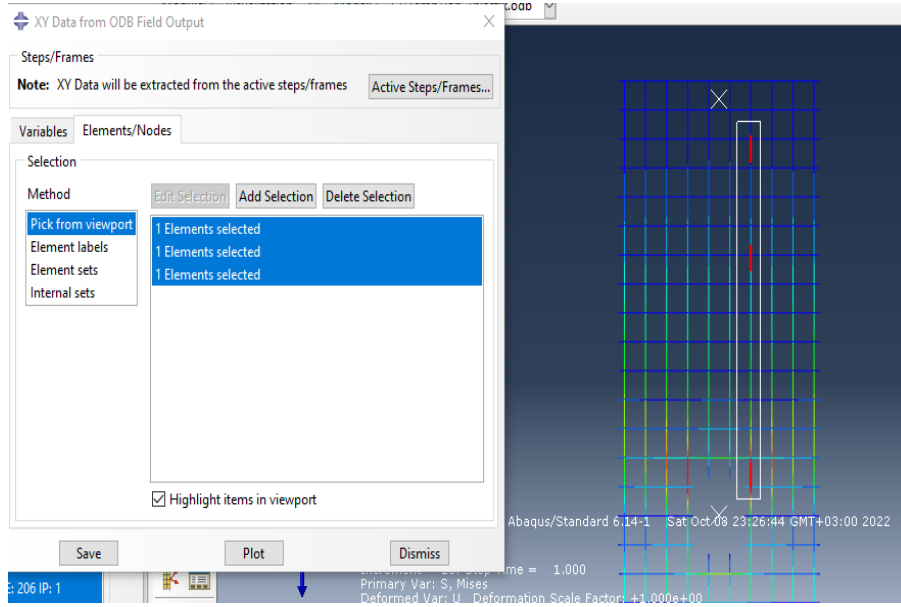
Şekil 4.16. Döşeme birleşim bölgesinde gerilim sonuçları

Şekil 4.17'de görüldüğü gibi 3 adet parça boyunca donatısından seçilerek gerilme gerinim grafikleri çizilmiştir.



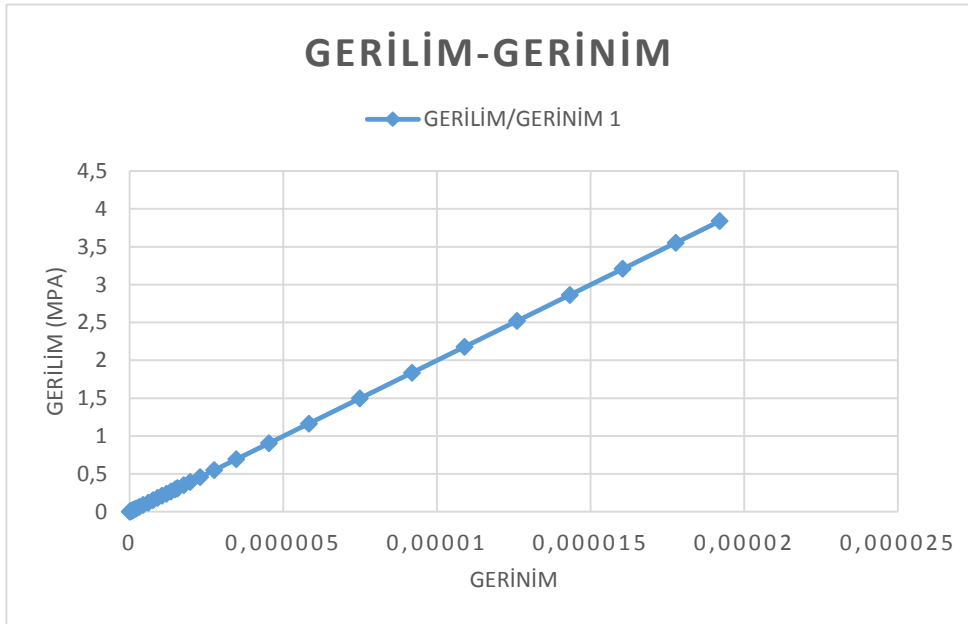
Şekil 4.17. Boyuna 12 mm donatıda gerilim ve gerinim grafiği

Şekil 4.18'de görüldüğü birleşim bölgesine yakın olan donatıda en yüksek gerilim değeri sırasıyla 6 MPa, 1,02 MPa ve 0,14 MPa olarak hesaplanmıştır. Değerlerde artış sebebi, birleşim bölgesine yakın olan donatıda daha fazla gerilimin oluşmasıdır.



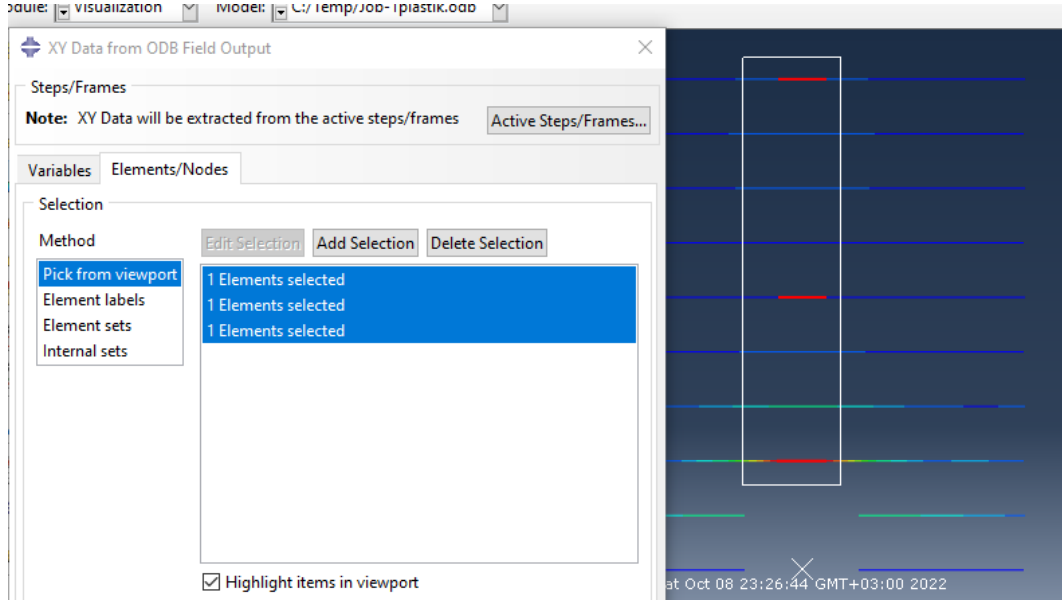
Şekil 4.18. Boyuna 12 mm donatıda gerilim ve gerinim

Şekil 4.19'da görüldüğü gibi 3 adet parça enine donatısından değerleri kullanılarak gerilme-gerinim grafiği çizilmiştir.



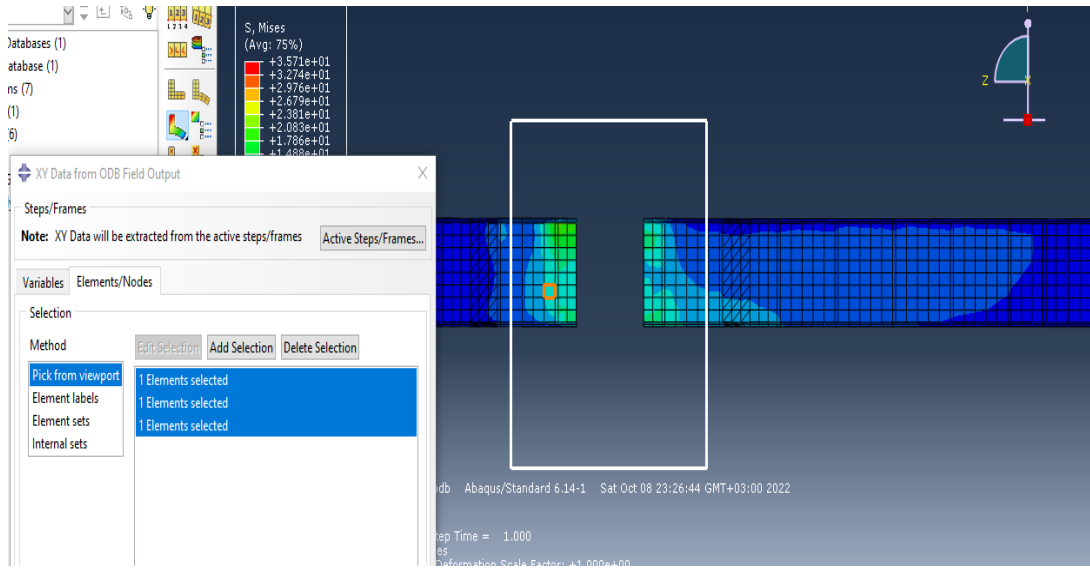
Şekil 4.19. Enine 8 mm donatıda gerilim ve gerinim grafiği

Şekil 4.20'de görüldüğü gibi birleşim bölgesine yakın olan donatıda en yüksek gerilim değeri görülmüştür, 3,83 MPa olarak sonuçlanmıştır. Birleşim bölgesine yakın donatıda daha fazla gerilimin oluşmasıdır.



Şekil 4.20. Enine 8 mm donatıda gerilim ve gerinim

Şekil 4.21'de görüldüğü gibi kirişte 2 adet parça seçilerek birleşim bölgesine yakın olan parçada en yüksek gerilim değeri görülmüştür, 15,65 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 4.21. Kirişte gerilim ve gerinim

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında kompozit kiriş ve kolon birleşim noktalarının doğrusal olmayan analizleri için hesaplamalı sayısal modellemesi yapılmıştır. Sayısal modelleme Abaqus yazılımı bünyesinde Tsavdaridis (2016) tarafından tasarlanan ve deneyi yapılan çelik beton kompozit yapı sistemi kullanılarak yapılmıştır. Deney çalışmasının doğru ve güvenilir bir şekilde modellenmesi için Abaqus yazılımında model oluşturmak için izlenen bütün atımlar detaylı olarak verilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre;

- 1)- Kolon elemanın RP-1 ve RP-2 noktalarında hesaplanan maksimum kuvvetler sırası ile 3320 N ve 4923 N olarak bulunmuş, bu kuvvetlerin bu değere ulaşmasının sebebi mesnet noktası olmasıdır. Maksimum kuvvet elde edilmesi sonucunda, mesnetlerin doğru şekilde etkileşimi gerçekleştirilmesi görülmüştür.
- 2)- Döşeme elemanın RP-3 ve RP-4 noktalarında hesaplanan maksimum kuvvetin 2142 N olduğu görülmüş, bu değer döşemenin 1 mm'lik deplasmanın gerçekleştirilmesinin sonucunda elde edilmiştir, projenin çalışmasının doğruluğu ve güvenilirliği, maksimum deplasmanda maksimum bir kuvvet oluşması sonucunda görülmüştür.
- 3)- Çelik elemanlarda maksimum gerilme değerleri sırasıyla çelik levhada 370 MPa, çelik ankrajda 3.75 MPa, boyuna donatıda 6.0 MPa enine donatıda 3.83 MPa ve çelik kirişte 15.65 MPa olarak hesaplanmış, her bir çelik elemanında en yüksek gerilim değeri birleşim bölgesi olan parçasında oluşmuştur. Birleşim bölgesinde olan elemanların zorlandığı ve yüksek gerilim ve gerinim sonuçların elde edilmesi sonucundan bu tür proje tasarımı yaparken birleşim noktaları ne kadar etkili ve önemli olduğu anlaşılmıştır.
- 4)- Betonarme döşemde ise maksimum gerilme değerleri 3.57 MPa olarak bulunmuştur, bu değer projenin çalışması esnasında birleşim bölgesinde olan betonun çekme ve basınç altında olan davranışın sonucunda elde edilmiş olup en yüksek değer olarak görülmüştür.
- 5)- Modelden elde edilem moment ve dönme grafiğinin deneysel çalışmalarda elde edilen grafiğe benzer eğilim gösterdiği görülmüştür.
- 6)- Bu tez çalışmasında Abaqus bünyesinden oluşturulan sayısal modelle kompozit yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışı ve deneysel çalışmaların doğru ve güvenilir bir şekilde analizlerinin yapılabileceği gösterilmiştir. Sayısal modellemede modelede kullanılacak malzemelerin modellerinin, eleman etkileşimlerinin ve eleman ağlarının tanımlanmasının analiz sonuçları üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- ARISOY, B., ŞERMET, F. (2017). Kompozit Kolon-Betonarme Kiriş Birleşim Noktasının Tersinir Tekrarlı Yükler Altındaki Davranışının Numerik Olarak İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(58).138-149. <https://dx.doi.org/10.21205/deufmd.2018205812>
- BEDİR, S. (2007). *Çift Yönlü Asansör Fren Bloklarının Modellenmesi ve Sonlu Elemanların Analizi* (Tez No. 223641) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi], Ulusal Tez Merkezi.
- COŞĞUN, S. İ. (2014). *Betonarme Plakların Darbe Yükü Etkisinde Davranışlarının Sayısal Olarak İncelenmesi* (Tez No. 360828) [Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi], Ulusal Tez Merkezi.
- ÇITIPITIOĞLU, A. M. (2021). Deprem Yükleri Etkisindeki Çelik Yapı Elemanların Birleşim ve Ekleri İçin Türkiye'deki Mevcut Yönetmeliklerde Tanımlanan Ön Çekmeli Yüksek Dayanımlı Yapısal Bulon Koşulların Değerlendirilmesi ve Deprem Tasarım İlkelerine Yönelik Öneriler, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11(2).154-164. [10.7212/karaelmasfen.896626](https://doi.org/10.7212/karaelmasfen.896626)
- DEMİR, H. (2013). *Kompozit Yapıların Sonlu Elemanlarda Alt Modellenmesi* (Tez No. 354541) [Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi], Ulusal Tez Merkezi.
- Esfahani, M. H., Hicazi, F., Vaghei, R. Bin Cafar, M. S., & Kerimzade, K. (2017). Simplified Damage Plasticity Model for Concrete, *Structural Engineering International* <https://doi.org/10.2749/101686616X1081>
- İNCE, G., Hakan, H., & KAYAM, F. (2015). Kompozit Yapı Sistemlerinin İncelenmesi *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1). 43-47. (2015). <http://hdl.handle.net/11672/1666>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 01). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (end-plate and bolts design)- Part 2* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=NumFj...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (connector design)- Part 3* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=2H8VA...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (slab design)- Part 4* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=IBavW...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (slab design)- Part 5* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=-C9eO...>

- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (column and end-plate design)- Part 6* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=-C9eO...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (column and end-plate design)- Part 7* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=nWw-s...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (column, end-plate, and bolts design)- Part 8* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=YJQf9...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (beam and shear connector design)- Part 9* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=6TzoO...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (create partitions)- Part 12* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=0klwu...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (partitioning)- Part 13* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=T-VZF...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (create surfaces)- Part 14* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=b0yDA...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (surfaces for bolts and connectors)- Part 15* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=bRhpe...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (boundary conditions)- Part 16* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=CYCzw...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (contact elements and interaction)- Part 17* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=lok4T...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (bolt preload)- Part 18* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=cB6dE...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (meshing part 1)- Part 19* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=XSjbq...>

- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (meshing part 2)- Part 20* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=oUaNN...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (cycling loading- submitting a job)- Part 21* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=JdD-G...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (finalising and submitting a job)- Part 22* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=PYEnd...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (add lateral support)- Part 23* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=_yts-...
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 04). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection- Part 24* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=hmjZe...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 24). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection (fix error and post-processing)- Part 1* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=7NuB3...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 24). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection- Part 10* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=GJ4fl...>
- Konstantinos Daniel Tsavdaridis. (2020, October 24). *Modelling Steel-Concrete Composite bolted connection- Part 11* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=1Da-w...>
- Lee, S. J. (1987). *Seismic behavior of steel building structures with composite slabs*, [Doktora Tezi, Lehigh Üniversitesi Bethlehem, Pennsylvania].
- Liao, F.Y., Han, H. H., & Tao, Z. (2013). Behaviour of composite joints with concrete encased CFST columns under cyclic loading. *Engineering Structure*, 59 (2014) 745-764. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.11.030>
- ÖZTÜRK, H. (2016). *Betonarme Kısa Kirişlerde Kesme Dayanımının Çapraz Kesme Donatıları İle İyileştirilmesi* (Tez No. 451375) [Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi], Ulusal Tez Merkezi.
- POLAT, E. (2018). *Çelik Yapılar I, Basit Birleşimler*, [Ders Notları]. Munzur Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Fakültesi, Tuncalli.

- Silva, L. S. D., Simoes, R. D., & Cruz, P. J. (2001). Experimental behaviour of end-plate beam-to-column composite joints under monotonical loading. *Engineering Structures*, 23(11).1383-1409 [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(01\)00054-2](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(01)00054-2)
- Şamhal, E. (2005 April). *Composite Construction* (European Steel Computer Aided Learning), SSEDTA.
- Tao, M. X., Fan, J. S., & Nie, J. G. (2013). Seismic behavior of steel reinforced concrete column steel truss beam hybrid joints. *Engineering Structure*, 56. 1557-1569. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.07.029>
- Yağın, F. (2002). *Çok katlı yüksek yapılarında betonarme çelik ve kompozit taşıyıcı sistemli yapıların ekonomik yönden karşılaştırılması* (Tez No. 128618) [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi], Ulusal Tez Merkezi.
- Zeng, L., Cui, Z., Xiao, Y., Jin, S., & Wu, Y. (2015). Cyclical Behavior of Concrete-Encased Composite Frame Joints with High Strength Concrete. *Research Article*, ID 873162. <https://doi.org/10.1155/2015/873162>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mahmud ELHASAN
Doğum Yeri ve Tarihi : SELLE/SURİYE 25/01/1996
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : ADANA
Lisans : ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ
Yüksek Lisans : BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

Çalıştığı Kurum/Kurumlar :

İletişim (e-posta) : mahmud9616@gmail.com

Yayınları :