



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**EKSENEL YÜKE MARUZ GÜÇLENDİRİLMİŞ ELİPS ENKESİTLİ KAYNAKLI
T BİRLEŞİMLERİN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Büşra SARI

**TEMMUZ 2021
GÜMÜŞHANE**

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**EKSENEL YÜKE MARUZ GÜÇLENDİRİLMİŞ ELİPS ENKESİTLİ KAYNAKLI
T BİRLEŞİMLERİN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra SARI

**Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17.06.2021

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 13.07.2021

TEMMUZ 2021



KABUL ve ONAY



TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum "Eksenel Yüke Maruz Güçlendirilmiş Elips Enkesitli Kaynaklı T Birleşimlerin Davranışlarının İncelenmesi" isimli tez çalışmada; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
17/06/2021

Büşra SARI

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKSENEL YÜKE MARUZ GÜÇLENDİRİLMİŞ ELİPS ENKESİTLİ KAYNAKLI
T BİRLEŞİMLERİN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Büşra SARI

Gümüşhane Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Emre ÖZYURT

2021,60 sayfa

Elips enkesitli profiller (EEP) ile yapılan yapıların uygulaması, mühendislik avantajları ve estetik görünümleri nedeniyle boru profiller arasında son yıllarda popüler hale gelmiştir. EEP'lerin mimari açıdan önemli özelliği, iki farklı çapı olduğundan, daha ince bir görünüme sahip olarak tasarlanabilmeleridir. EEP'lerin bir diğer avantajıda kare veya dikdörtgen enkesitli profiller gibi köşeleri keskin olmadığından yüzeysel rüzgâr yüklerini azaltıcı etkiye sahip olmalarıdır.

Elips enkesitli kaynaklı birleşimlerin dört farklı oryantasyonu vardır. Bunlar; Tip-1, Tip-2, Tip-3 ve Tip-4 olarak isimlendirilir. Tip-1 ve Tip-2'de örgü elemanlar başlık elemanının geniş yüzüne kaynaklanırken, örgü elemanlar Tip-3 ve Tip-4'te başlık elemanının dar yüzüne bağlanır. Bu nedenle, Tip-1 ve Tip-2'nin eksenel yük taşıma

kapasitesi daha küçüktür. Başlık yüzünün plastikleşmesi genellikle EEP birleşimlerinin kapasitesini belirler. Sonuç olarak, elips şeklindeki bağlantıların aksel yük taşıma kapasitesi, örgü ile başlık elemanın kesişme bölgesi çevresinde bir takviye plakası kullanılarak artırılabilir. Bu çalışma, başlık elemanı zayıf aksende çalıştığı durum için aksel olarak yüklenmiş takviyeli EEP-T birleşimlerinin Tip-1 ve Tip-2 oryantasyonlarının aksel yük taşıma kapasitesine odaklanmaktadır.

Güçlendirilmiş EEP-T birleşimlerinin aksel yük taşıma kapasitesini hesaplamak için herhangi bir tasarım yöntemi bulunmamaktadır. Bu çalışma, aksel basınç yüküne maruz kalan güçlendirilmiş EEP-T birleşimlerinin göçme modlarını ve aksel yük taşıma kapasitelerini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak incelemeyi amaçlamaktadır. Parametrik çalışmadan önce, doğrusal olmayan sayısal analizlerde ele alınan sonlu eleman tipi, ağ boyutu ve zaman adımı gibi parametreler belirlenmiştir.

Doğrulama çalışmasından sonra, çok çeşitli geometrik parametreler göz önünde bulundurularak aksel yüke maruz EEP-T birleşimleri üzerine bir dizi parametrik çalışma yapılmıştır. Sayısal sonuçlar, takviye plakasının birleşimin aksel yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkilerinin Tip-1 ve Tip-2 oryantasyonlarında önemli ölçüde farklı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, çoklu lineer regresyon analizlerine dayalı olarak güçlendirilmiş EEP-T birleşimlerinin aksel yük taşıma kapasitesini belirlemek için iki farklı tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Bu tezde, güçlendirilmiş EEP-T birleşimlerinin aksel yük taşıma kapasitelerinin hesaplanabilmesi için güvenli ve ekonomik bir hesaplama yöntemi tanıtılmış ve bu yöntem sayısal sonuçlarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aksel yükleme, Güçlendirme, Sonlu elemanlar, Oryantasyon tipleri, Elips enkesit, Takviye plakası

ABSTRACT

MS THESIS

**INVESTIGATION OF THE BEHAVIOUR OF REINFORCED ELLIPTICAL
HOLLOW SECTION WELDED T JOINTS EXPOSED TO AXIAL LOAD**

Büşra SARI

Gümüşhane University
Graduate Education Institute
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Emre ÖZYURT

2021, 60 Pages

In the recent years, application of the structures made of Elliptical Hollow Section (EHS) has become popular among tubular sections due to their aesthetic appearance and engineering advantages. The important feature of EHSs in terms of architectural point of view is that it is possible to have slender appearance since they have two different diameters. The other advantage of the EHS members is that surface wind load effect is reduced because of that there is no sharp corners as Square or Rectangular Hollow Sections.

It is possible to form welded EHS T-joints with four different type orientations. They are called as Type-1, Type-2, Type-3 and Type-4. Brace members are welded to the wide side of the chord member in Type-1 and Type-2, while the brace members are connected to the narrow side of the chord member in Type-3 and Type-4. Therefore, the axial load

carrying capacity of the Type-1 and Type-2 is smaller than that of Type-3 and Type-4. Plastification of the chord face generally governs to capacity of the EHS joints. As a result, the axial load carrying capacity of the tubular joints may be improved by using a reinforcing plate around the brace-to-chord intersection region. This study focuses on the axial load carrying capacity of axially loaded reinforced EHS T-joints Type-1 and Type-2 since the chord member works on its weak axis.

Currently, there is no design method to calculate the axial load carrying capacity of the reinforced EHS T-joints. This study examines the failure modes and the resistance of reinforced EHS T-joints subjected to axial compressive load using finite element method. Before the parametric studies, the results of the numerical models created using non-linear finite element software, ABAQUS v6-14.1 were validated against the available test data. According to this validation study, parameters such as finite element type, material type, mesh size and time step, which are considered in non-linear numerical analyses for parametric studies, were determined.

After the validation study, a series of parametric studies were carried out on the axially loaded EHS T-joints, considering a wide range of geometric parameters. The numerical results show that the effects of the reinforcement plate on the axial load carrying capacity of reinforced EHS T-Joints based on multiple linear regression analyses. In this thesis, a safe and economical calculation method for calculating axial load carrying capacities of reinforced EHS T-Joints was introduced and this method was validated by comparing with numerical results.

Keywords: Axial load, Reinforcement, Finite element, Orientation types, Elliptical hollow section, Reinforcing plate

TEŞEKKÜR

“Eksenel Yüke Maruz Güçlendirilmiş Elips Enkesitli Kaynaklı T Birleşimlerin Davranışlarının İncelenmesi” konulu bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek konu seçimi ve tezimin her aşamasında yol gösterici olan, yardımlarını esirgemeyen ve hoşgörüsünü eksik etmeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Emre ÖZYURT’a teşekkürlerimi borç bilirim. Tez sürecinde destekleri ile katkı sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Mahmut SARI ve Dr. Mohammad Manzoor NASERY’e teşekkür ederim. Tez savunmasındaki değerli katkılarından dolayı Prof. Dr. Özlem ÇAVDAR ve Doç. Dr. Murat GÜNAYDIN’ a teşekkür ederim.

Hayatımın her anında olduğu gibi çalışmalarım boyunca da yanımda olan, güven ve sevgilerini eksik etmeyen en başta annem ve babam olmak üzere tüm aileme şükranlarımı sunarım. Tez çalışmamda manevi desteklerini daima hissettiğim meslektaşlarım Eda ORHAN ve Aleyna KÖSEOĞLU’na teşekkür ederim.

Büşra SARI
Gümüşhane, 2021

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TEZ BEYANNAMESİ.....	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Elips Enkesitli Kaynaklı Birleşimler	3
1.3. Tezin Amacı ve İçeriği	4
1.4. EEP Tanımı.....	5
1.5. Çeliğin Mekanik Özellikleri	7
1.5. Boru ve Kutu Enkesitli Elemanların Birleşimleri.....	9
1.6. Boru ve Kutu Enkesitli Elemanların Uygulama Alanları	11
1.7. Literatür Araştırması.....	14
1.7.1. DEP, KEP ve BEP T/ Y Üzerine Yapılan Güçlendirme Çalışmaları.....	14
1.7.2. Elips Enkesitli T Birleşimleri Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	20
1.8. Eşdeğer Kutu Enkesitli Profil Yaklaşımı ve Hesaplama Yöntemleri.....	21
1.9. Çift Eğim Yöntemi	22
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....	24
2.1. Sayısal Analizlerin Doğrulanması	24
2.1.1. Sonlu Eleman Modeli ve Özellikleri	24
2.1.1.1. Yöntem	25
2.1.1.2. Eleman Türü	25
2.1.1.3. Malzeme Özellikleri	27
2.1.1.4. Mesnet Koşulları.....	28
2.1.2. Doğrulama Çalışması.....	29
2.1.2.1. Doğrulama Modeli.....	33
2.1.3. Sonuçlar	35

2.2.	Sayısal Analizler	36
2.2.1.	Kullanılan Parametreler	36
2.2.2.	Malzeme Özellikleri ve Mesnet Koşulları	38
2.2.3.	Güçlendirme Levhasının Modellenmesi	40
2.2.4.	Analiz Sonuçları	41
2.2.4.1.	Tip 1 Birleşimlerinde Güçlendirme Levha Kalınlığının Eksenel Yük Taşıma Kapasine Etkisi	41
2.2.4.2.	Tip 1 Birleşimlerinde Güçlendirme Levha Uzunluğunun Eksenel Yük Taşıma Kapasitesine Etkisi	43
2.2.4.3.	Tip 2 Birleşimlerinde Güçlendirme Levha Kalınlığının Eksenel Yük Taşıma Kapasitesine Etkisi	46
2.2.4.4.	Tip 2 Birleşimlerinde Güçlendirme Levha Uzunluğunun Eksenel Yük Taşıma Kapasitesine Etkisi	48
2.2.5.	Önerilen Tasarım Modeli	51
2.2.5.1.	Tip 1 Oryantasyonları için Önerilen Yöntem	52
2.2.5.2.	Tip 2 Oryantasyonları için Önerilen Yöntem	53
2.2.6.	Önerilen Tasarım Metodunun Sayısal Analizler ile Karşılaştırılması	54
3.	SONUÇ VE ÖNERİLER	55
4.	KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ		

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Denver İstasyonu Tren Salonu, ABD	2
Şekil 1.2.	Takanawa İstasyon Binası, Japonya	2
Şekil 1.3.	Madrid Bajaras Havalimanı, İspanya.....	3
Şekil 1.4.	EEP T- birleşiminin farklı oryantasyon tipleri.....	4
Şekil 1.5.	Elips enkesitli içi boş profilin kesiti.....	5
Şekil 1.6.	Çeliğin gerilme-şekil değiştirme grafiği	8
Şekil 1.7.	Tipik bir EEP T-birleşiminin genel yerleşim planı ve geometrik boyutları	10
Şekil 1.8.	Singapur Changi Havalimanı, Singapur	11
Şekil 1.9.	Stuttgart Uluslararası Havaalanı, Almanya.....	12
Şekil 1.10.	Londra'nın Batısındaki Alışveriş Merkezi, İngiltere	12
Şekil 1.11.	King's Cross Tren İstasyonu, İngiltere.....	13
Şekil 1.12.	Rogier Meydanı, Belçika	13
Şekil 1.13.	Güçlendirilmiş birleşimlerin deformasyonları	14
Şekil 1.14.	Deforme olmuş şekiller ile yaka plakasıyla güçlendirilmiş T ve Y birleşimlerinin eşdeğer plastik şekil değiştirme arasındaki karşılaştırma	15
Şekil 1.15.	Deforme olmuş güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş birleşimler	16
Şekil 1.16.	Güçlendirilmiş birleşimin sonlu elemanlar modeli.....	17
Şekil 1.17.	T birleşimlerinde elde edilen sayısal göçme modları	17
Şekil 1.18.	IPRT birleşiminin deformasyonu.....	18
Şekil 1.19.	FE sonuçlarının seçilen birleşimlerin hata modu şekillerinin test sonuçları ile karşılaştırılması	19
Şekil 1.20.	Takviyesiz ve takviyeli kutu T birleşimlerinin 700 °C'de plastik şekil değiştirmeleri.....	20
Şekil 1.21.	Toronto Üniversitesi Tip 1 ve Tip 2 için eşdeğer dikdörtgen enkesitli profil yaklaşımı.....	22
Şekil 1.22.	Çift elastik eğim yöntemi.....	23
Şekil 2.1.	Sonlu elemanların sınıflandırılması	25
Şekil 2.2.	Sonlu eleman analizlerinde kullanılan eleman türleri.....	26
Şekil 2.3.	Doğrulama çalışmasında kullanılan gerilme birim uzama grafiği.....	27
Şekil 2.4.	Doğrulaması yapılan birleşimin mesnet koşulları.....	29
Şekil 2.5.	T90-1C-UT ve T90-2C-UT birleşiminin geometrik özellikleri.....	29

Şekil 2.6.	Başlık ve örgü elemanı kesiti.....	30
Şekil 2.7.	Malzeme tanımlaması	32
Şekil 2.8.	EEP T Birleşimlerinin Tip-1, Tip-2 sonlu eleman ağ aralıklarına bölünmüş halleri.....	32
Şekil 2.9.	Farklı oryantasyon türlerine ait EEP T-Birleşimlerinin sonlu eleman modelleri.....	33
Şekil 2.10.	Packer vd. (2012)'nin test sonuçları ile sayısal çalışmalardan elde edilen göçme modlarının karşılaştırılması	34
Şekil 2.11.	Packer vd. (2012) tarafından yapılan çalışmadan elde edilen T90-1C-UT ve T90-2C-UT test sonuçlarının sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırılması	35
Şekil 2.12.	Parametrik çalışmalarda kullanılan gerilme-şekil değiştirme eğrisi	38
Şekil 2.13.	EEP-T birleşimlerine ait sınır koşulları	39
Şekil 2.14.	Sayısal analizlerde kullanılan EEP-T birleşimlerinin mesnet koşulları.....	39
Şekil 2.15.	Sayısal analizlerde kullanılan EEP-T birleşimlerinin mesnet koşulları.....	40
Şekil 2.16.	Güçlendirme levhalarının sonlu eleman ağ aralıklarına bölünmüş hali.....	41
Şekil 2.17.	T1, T1-300-8 ve T1-300-16 birleşimlerinin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	42
Şekil 2.18.	1. grup birleşimlerde göçmeden sonra meydana gelen gerilme dağılımları	42
Şekil 2.19.	T1-300-8, T1-450-8 ve T1-600-8 birleşimlerinin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	44
Şekil 2.20.	T1, T1-300-8, T1-450-8 ve T1-600-8 birleşimlerinin plastik şekil değiştirmeleri	45
Şekil 2.21.	T2-300-8, T2-450-8 ve T2-600-8 birleşimlerinin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	46
Şekil 2.22.	TT1, TT1-300-8 ve TT1-300-16 birleşimlerinin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	47
Şekil 2.23.	TT1 bileşiminde göçmeden sonra meydana gelen gerilme dağılımları	48
Şekil 2.24.	TT1-300-8, TT1-450-8 ve TT1-600-8 birleşimlerinin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	49
Şekil 2.25.	TT1-450-8 bileşiminde göçmeden sonra meydana gelen gerilme dağılımı	50
Şekil 2.26.	TT2, TT2-300-8, TT2-450-8 ve TT2-600-8 birleşimlerinin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	51

Şekil 2.27. Önerilen tasarım yönteminin yapılan tüm sayısal analizlerle karşılaştırılması 54



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Elips enkesitli birleşimlerin kesit özellikleri.....	6
Tablo 1.2. Çelik malzemenin sınıf ve dayanımları	9
Tablo 1.3. Boru ve kutu enkesitli birleşimlerin sınıflandırılması	9
Tablo 2.1. Packer vd.'nin yapmış olduğu test numunelerinin geometrik özellikleri	30
Tablo 2.2. Güçlendirilmiş EEP-T birleşimlerinin elemanlarının boyutları.....	37
Tablo 2.3. Sayısal analizlerde ve analitik hesaplamalarda kullanılan birleşimlerin geometrik özellikleri.....	37
Tablo 2.4. EEP T-birleşimlerinin Tip-1 oryantasyonuna göre sonlu elemanlar programı kullanılarak elde edilen sayısal analiz sonuçları	52
Tablo 2.5. EEP T-birleşimlerinin tip 2 oryantasyonuna göre sonlu elemanlar programı kullanılarak elde edilen sayısal analiz sonuçları	53

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B	: Kutu veya elips enkesitli başlık elemanının birleşim düzlemine dik genişliği
B_b	: Kutu enkesitli örgü elemanının birleşim düzlemine dik genişliği
BEP	: Boru enkesitli profiller
BEP T	: Boru enkesitli içi boş T birleşim
b	: Elips enkesitli örgü elemanının birleşim düzlemine dik çapı
β	: Kutu ve dairesel enkesitli örgü elemanı genişliğinin, başlık elemanı genişliğine oranı
C	: Parker vd. (2012)'nin eş değer kutu profil yaklaşım katsayısı
C3D15	: 15 düğüm noktalı dörtgen kabuk eleman
C3D8I	: 8 düğüm noktalı üç boyutlu hacim eleman
C3D20	: 20 düğüm noktalı üç boyutlu eleman
ÇYTYE	: Çelik yapıların tasarım ve yapım esasları
D	: Dairesel enkesitli başlık elemanının çapı veya elips enkesitli başlık elemanının birleşim düzlemine paralel çapı
d	: Dairesel enkesitli örgü elemanının çapı veya elips enkesitli örgü elemanının birleşim düzlemine paralel çapı
DEP	: Dikdörtgen enkesitli profiller
E	: Elastisite Modülü
EEP	: Elips enkesitli içi boş kesit
EEP T	: Elips enkesitli içi boş T kesit
\mathcal{E}	: Birim uzama oranı
G	: Kayma modülü
f_y	: Çeliğin karakteristik akma gerilmesi
f_u	: Çeliğin karakteristik çekme dayanımı
σ	: Gerilme
σ_B	: Kopma sınır gerilmesi
σ_E	: Elastik sınır gerilmesi
σ_P	: Orantılı sınır gerilmesi
σ_T	: Gerçek gerilme
KEP	: Kare enkesitli profiller

L	: Başlık elemanı uzunluğu
Nl_u	: Maksimum yük kapasitesi
η	: Sadece kutu enkesitliler için uygulanan yük etkime uzunluğu parametresi
l	: Örgü elemanı uzunluğu
S4R	: 4 düğüm noktalı kabuk eleman
S8R	: 8 düğüm noktalı kabuk eleman
T	: Dairesel veya elips enkesitli başlık elemanı et kalınlığı
t	: Dairesel veya elips enkesitli örgü elemanı et kalınlığı, kutu enkesitli başlık elemanı et kalınlığı
ρ	: Yoğunluk
P_n	: Karakteristik aksenal basınç kuvveti
ν	: Poisson oranı
θ	: Başlık elemanı ile örgü elemanı arasındaki açı
Ψ_1	: Tip 1 birleşimleri için geliştirilen katsayı
Ψ_2	: Tip 2 birleşimleri için geliştirilen katsayı
γ	: Başlık eleman çapının güçlendirme levhasına oranı
λ	: Güçlendirme levha kalınlığının başlık et kalınlığına

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Çelik, homojen ve izotrop bir alaşımdır. Homojen ve izotrop bir malzeme olup, üretimi sıkı ve sürekli denetim altında gerçekleştirildiğinden güvenlidir. Yüksek mukavemetli malzemedir. Kendi öz ağırlığının taşıdığı yüke oranı küçüktür ve çekme mukavemeti basınç dayanımına eşittir. Elastisite modülü diğer malzemelere kıyasla çok yüksektir. Çelik, betonarmeye göre daha sünek bir malzeme olması depremde enerji yutma ve biçim bozukluklarına uğrasa bile yıkılmama olanağı sağlar. Çelik malzemenin onarım ve güçlendirmeye olanak sağlaması bir deprem sonrası önemli ölçüde kolaylık sağlar (URL-1, 2021).

Kapalı çelik profiller; farklı enkesit özelliklerine sahip olabilmelerinden ötürü başlıca boru ve kutu profil olmak üzere ikiye ayrılır. Bu profiller içi boş elemanlardır. Kutu profiller başlığı altında kare enkesitli profil ve dikdörtgen enkesitli profil incelenir. Boru enkesitli profil başlığı altında ise; dairesel enkesitli profil ve elips enkesitli profil incelenir.

Son yıllarda elips enkesitli profillerin (EEP) kullanım alanları, hem estetik görünümleri hem de mühendislik avantajlarından dolayı genişlemektedir. EEP' lerle beraber boru enkesitli profiller (BEP), kare enkesitli profiller (KEP), dikdörtgen enkesitli profillerde (DEP) yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu profiller genellikle geniş açıklıklarda daha çok tercih edilir. Estetik görünmesi, imalat hızı ve ekonomi gibi sebeplerle bu profillerin kullanımda artış gözlemlenmektedir. EEP'lerin diğer profillerden ayıran önemli özelliği iki ayrı çapı olması ve eliptik yüzeye sahip olmasından dolayı yüzeysel rüzgâr yüklerini azaltıcı etkisi vardır. Ayrıca köşelerinin keskin olmaması, yapısal elemanlara korozyona karşı direnç katar. Şekil 1.1, Şekil 1.2, Şekil 1.3'te elips enkesitli profillere ait uygulama örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Denver İstasyonu Tren Salonu, ABD (URL- 2, 2019).



Şekil 1.2. Takanawa İstasyon Binası, Japonya (URL- 3, 2019).



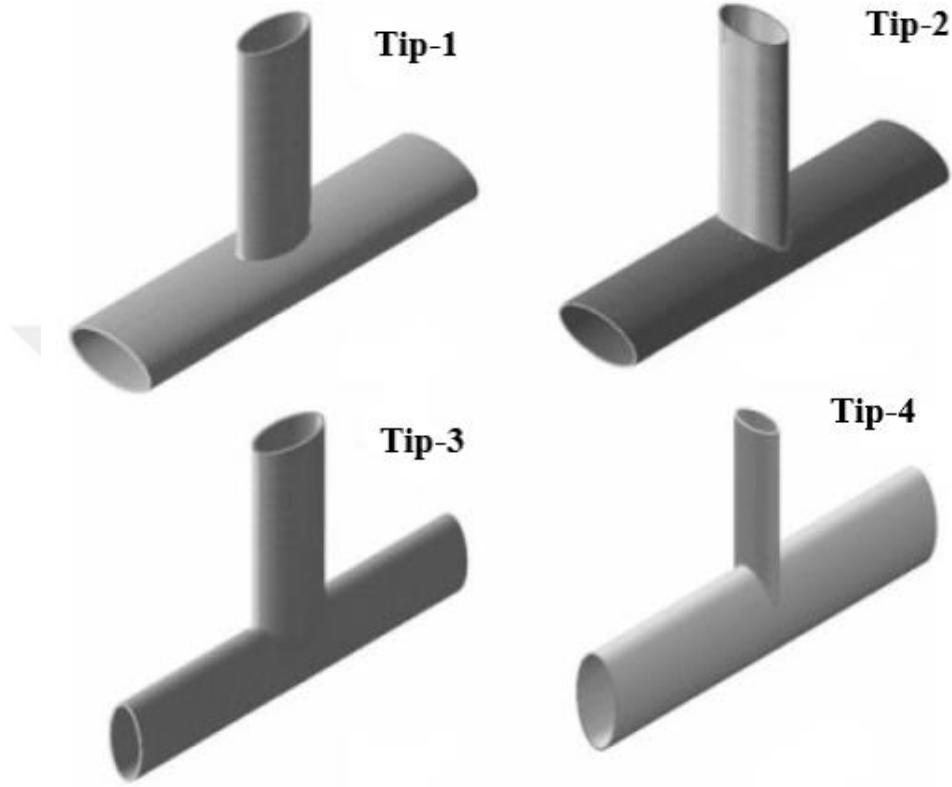
Şekil 1.3. Madrid Bazaras Havalimanı, İspanya (URL-4, 2019).

1.2. Elips Enkesitli Kaynaklı Birleşimler

İlk mimari ve denizaşırı yapılarda alanında uygulanan elips enkesitli profiller, estetik yapısı ve bakım maliyetlerinin düşük olması nedeniyle kullanım alanları genişlemiştir. Bu profiller dairesel en kesitli profillere göre kuvvetli eksendeki mukavemeti daha güçlüdür. Böylelikle eğilme ve burkulmaya karşı daha dirençlidirler. Elips profiller diğer profillere göre depolama alanı olarak da daha büyük avantaj sağlarlar. Bu profiller iki ayrı çapa sahip olduğundan elips enkesitin küçük çapından ortama bakıldığında geniş bir ortam ile ferahlık hissi verirler ve alandan tasarruf sağlarlar. Gün ışığının sağlanması nedeniyle büyük açıklıklarda sıkça tercih edilen elips profiller pencere öğeleri oluşturmak suretiyle kolayca çözümlenmekte ve kullanılacak elektrik bağlantıları profillerin içi boş kısımlarından geçilerek de kolaylık sağlamaktadır.

Elips enkesitli kaynaklı birleşimlerin Şekil 1.4'te gösterildiği gibi farklı oryantasyonları mevcuttur. Estetik açıdan narin görüntüsü sebebiyle Tip-2 oryantasyonu genellikle tercih edilir. Tip-3 ve Tip-4'e bakıldığında başlık elemanı kuvvetli eksen üzerinde çalışır ve büyük çapı nedeniyle ataleti daha yüksek olmakta fakat estetik açıdan daha az tercih edilmektedir. Wardenier vd. (2014) aksenal yüke maruz EEP-T birleşimleri üzerine yaptığı çalışmada Tip-3 ve Tip-4'ün, Tip-1 ve Tip-2'ye göre statik açıdan daha dayanıklı olduğu kanısına varılmıştır. Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında Tip-1 ve Tip-2

oryantasyonları dikkate alınarak aksenal yüklemeye maruz güçlendirilmiş elips enkesitli kaynaklı T birleşimlerin davranışları incelenmiş ve analizleri yorumlanmıştır.



Şekil 1.4. EEP T- birleşiminin farklı oryantasyon tipleri (Wardenier vd., 2014).

1.3. Tezin Amacı ve İçeriği

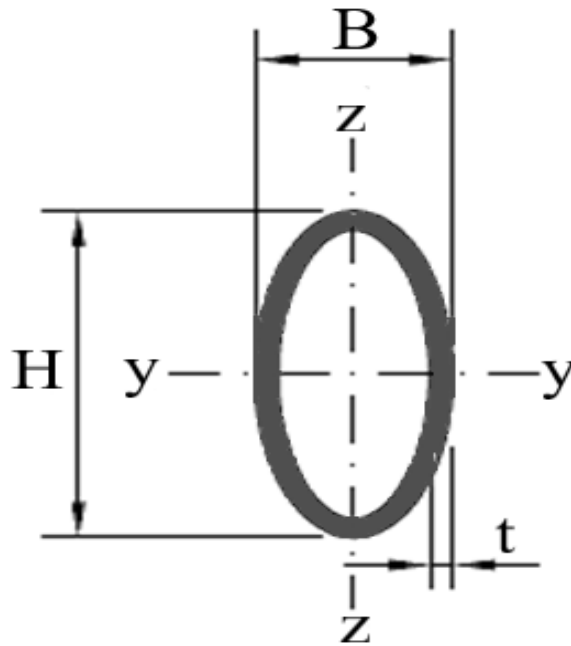
Bu tez çalışmasında, aksenal yüke maruz güçlendirilmiş elips enkesitli kaynaklı T birleşimlerin davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. EEP T birleşimlerinin dört farklı oryantasyonu vardır. Tip-1 ve Tip-2 birleşimlerinin dayanımları Tip-3 ve Tip-4 birleşimlerinininkine göre önemli derecede düşüktür. Bu yüzden, bu çalışmada, Tip-1 ve Tip-2 oryantasyonlarından oluşmuş güçlendirilmiş T birleşimlerin davranışları sayısal analizler ile incelenmiştir. Sayısal analizler, sonlu elemanlar yöntemi kullanılan Abaqus v6.14-1 programı ile gerçekleştirilmiştir. Doğrulama çalışmasında kullanılan Tip-1 ve Tip-2 birleşimlerine ait sayısal sonuçlar test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sayısal modellerin doğrulanmasından sonra bir dizi parametrik çalışma gerçekleştirilmiştir. İncelenen parametreler arasında güçlendirme levhasının uzunluğu ve kalınlığı başta olmak üzere başlık

ve örgü elemanı çaplarının oranları da dikkate alınmıştır. Literatürde eksik olan EEP-T birleşimlerinin güçlendirme çalışmalarındaki boşluk giderilmesi de amaçlanmıştır.

Yüksek eğilme ve burulma direncine sahip olan elips enkesitli kaynaklı T birleşimlerinde başlık elemanı üzerine takviye elemanı kullanılmıştır. Güçlendirme olarak kullandığımız levhanın uzunluğu optimum seviyesi ve başlık eleman elipsin iki ayrı çap değerlerinin artması veya azalmasıyla elde edilen değişik kombinasyonlar belirlenip yorumlanmıştır. Yapılan hesaplamalardan elde edilen sayısal sonuçlar ile Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları (ÇYTYE, 2016), Eurocode EN-1993-1-8 (CEN, 2005) ve CIDECT No. 3 (2020) yönetmeliklerinde mevcut eşdeğer DEP yöntemi kullanılarak güçlendirilmiş EEP-T birleşimlerinin dayanımlarının hesaplanabilmesi için bir yöntem önerilmiştir. Güçlendirilmiş EEP çelik T birleşimleri için tasarım ve hesap yöntemi yapılan analizlerden elde edilen bulgular yardımıyla regresyon analizi sonucu geliştirilmiştir.

1.4. EEP Tanımı

Elips enkesitli içi boş profilin enkesiti Şekil 1.5'te verilmiştir. Şekil 1.5'te görüleceği üzere büyük çapları için H ve küçük çapları B kullanılmaktadır. Bu profillerin küçük çapı ana çapının yarısıdır. Şu anda üretilen tüm EEP'lerin en/boy oranı 2'dir.



Şekil 1.5. Elips enkesitli içi boş profilin kesiti

Elips enkesitli profiller, boru enkesitli profillerden daha güçlü ve depolama alanı olarak daha fazla avantaj sağlamaktadırlar. Eliptik yapısından dolayı yüksek eğilme ve burulma direncine sahiptir. Bu profillerin kullanım alanı sınırlıdır ve ihtiyaca uygun olarak elips profil çeşitleri ve boru ölçüleri değişmektedir. Bu profillerin bakım ve maliyeti diğer profillere göre daha düşüktür.

Tablo 1.1' de görüleceği üzere EEP' lerin minimum boyutu 150×75×4 mm ($H \times B \times t$), maksimum boyutu ise 500×250×16 mm ($H \times B \times t$)'dir.

Tablo 1.1. Elips enkesitli birleşimlerin kesit özellikleri (Tata Steel, 2011)

Boyut ($H \times B$) mm	Kalınlık (t) mm
150×75	4.0
	5.0
	6.3
200×100	5.0
	6.3
	8.0
	10.0
	12.5
250×125	6.3
	8.0
	10.0
	12.5
300×150	8.0
	10.0
	12.5
	14.2
	16.0
400×200	8.0
	10.0
	12.5
	14.2
	16.0
500×250	10.0
	12.5
	14.2
	16.0
H: Elips enkesitin büyük çapı B: .Elips enkesitin küçük çapı	

1.5. Çeliğin Mekanik Özellikleri

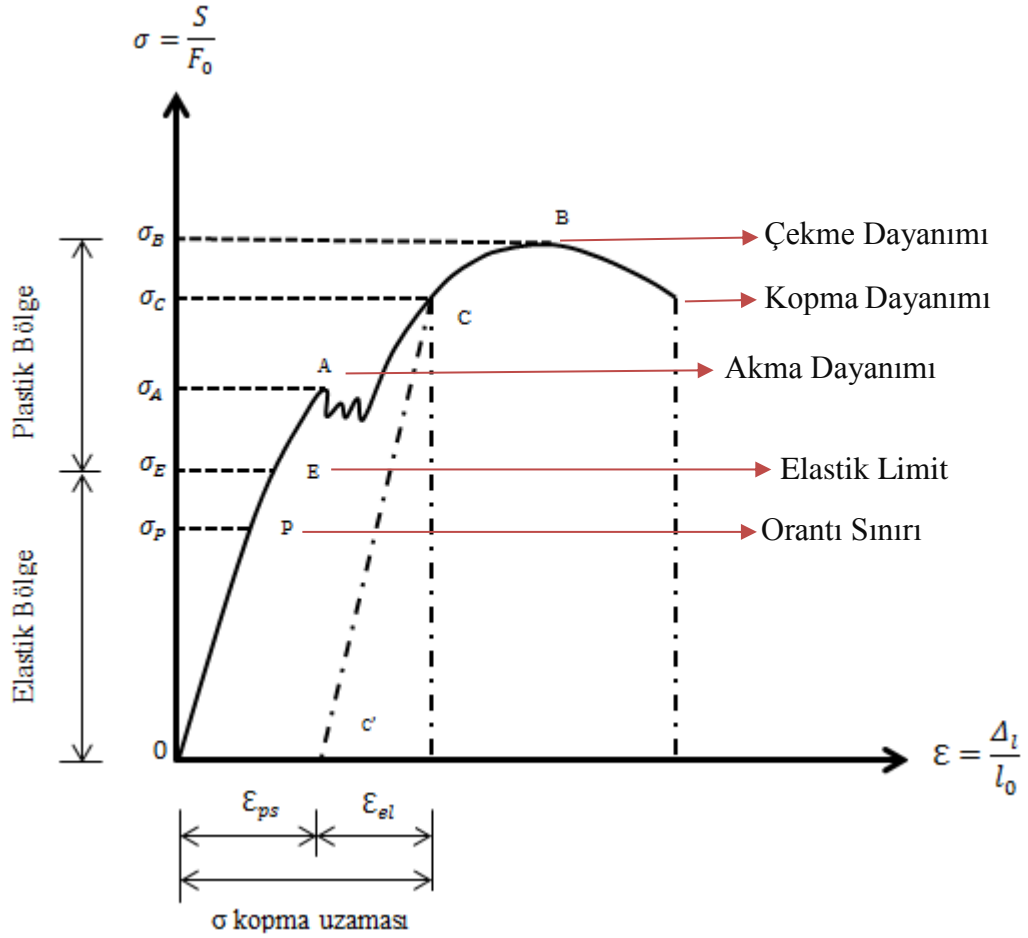
Çelik; demir ile karbon bileşiminden oluşan alaşımdır. Bu alaşıma dâhil olan elementler ve yüzdeleri çeliğin sertliği, esnekliği, gerilme noktası gibi özelliklerini belirler. Alaşımdaki karbon miktarı arttıkça çeliğin esnekliği azalır ve güçlenir.

Gerilme, statik denge kurallarıyla bir yapı malzemesinin üzerine uygulanan basınç ve şekil değiştirmeler cisimdeki uzama ve kısaltmaların büyüklüğü olup, kinematik büyüklük olarak anılmaktadır.

1605-1703 yıllarında yaşayan Robert Hooke'un gözlemlerine göre bir cisimdeki deformasyonlar onun üzerine uygulanan kuvvet veya yükler ile doğru orantılıdır. Dolayısı ile gerilme ve şekil değiştirme büyüklükleri birbiri ile bağlantılıdır. Bu bağıntı ise gerilme şekil değiştirme ilişkisi olarak bilinir.

Gerilme şekil değiştirme ilişkisinin tespiti için yapılan deneysel çalışmalar basınç ya da çekme deneyidir. Geleneksel olarak, sünek malzemeler üzerinde çekme deneyi, gevrek malzemeler üzerinde ise basınç deneyi yöntemi ile gerilme ve şekil değiştirme ilişkisi tespit edilir. İnşaat mühendisliği alanında çok kullanılan malzemeler olan çelik ve betonun da gerilme ve şekil değiştirme ilişkisi laboratuvarlarda yürütülen deneyler ile bulunur. Çelik malzeme üzerinde çekme deneyi, beton malzeme üzerinde ise basınç deneyi yürütülerek gerilme şekil değiştirme ilişkisi tespit edilir. Şekil 1.6'da, çelik ve beton malzemeler için elde edilen tipik gerilme ve şekil değiştirme ilişkilerine ait grafik verilmektedir.

Çekme deneyinde l_0 uzunluğunda, F_0 kesitindeki prizmatik deney çubuğuna sıfırdan başlayarak yavaş yavaş arttırılan S kuvveti uygulanır ve bu sırada çelikte meydana gelen boy değişimi ölçülür. Grafikte orantılı sınır gerilmesi olan σ_p 'ye karşılık gelen malzeme lineer elastiktir ve bu durumda Hook Kanunu geçerlidir. Gerilme ($\sigma = \mathcal{E} \times E$), orantılı sınır gerilmesi olan σ_p ile elastik sınır gerilmesi olan σ_E arasında kaldığı süre zarfında malzeme Hook Kanunu'na uymaz fakat yine de elastiktir. Elastik sınır gerilmesi olan σ_E 'nin aşılmaya başladığı andan itibaren malzemede plastik deformasyonlar oluşmaya başlar. σ_A , akma sınır gerilmesine gelindiği durumda ise malzeme çözülür ve büyük deformasyonlar meydana gelir. Fakat hemen ardından malzeme kendini toparlar ve kopma sınır gerilmesi olan σ_B 'ye ulaştığında çelik malzeme kopar. Plastik bölgede, kuvvet diyagramının herhangi bir C noktasında sıfırlanırsa çubuk ilk boyu l_0 'a dönmez. Bu durumda \mathcal{E}_{ps} kadar bir plastik uzama kalır. Yalnızca \mathcal{E}_{el} 'lik bir uzama kaybolur. Kısaca diyagramda 0 noktası yerine C' noktasına gelinir. CC', OP'ye paraleldir (Balkan, 2007).



Şekil 1.6. Çeliğin gerilme-şekil değiştirme grafiği

Yapı çeliğinin mekanik özellikleri için bilgiler aşağıda verilmiştir (Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, 2016);

- Elastisite Modülü $E=210000 \text{ N/mm}^2$
- Kayma Modülü $G= 81000 \text{ N/mm}^2$
- Poisson Oranı $\nu=0.3$
- Isıl Genleşme Katsayısı $\alpha=12 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
- Yoğunluk $\rho= 75,50 \text{ Kn/m}^3$

Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (2016), Eurocode 1993-1-8 (CEN-2005) ve CIDECT No.3 (2009) yönetmeliklerinde uygulamalarda kullanılacak yapı çeliklerine ait akma (f_y) ve kopma (f_u) sınır değerleri Tablo 1.2’de gösterilmiştir.

Tablo 1.2. Çelik malzemenin sınıf ve dayanımları (Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Esasları, 2016; Eurocode 1993-1-8 (CEN-2005), Cıdect No.3 (2009))

Çelik Sınıfı	Kalınlık t (mm)			
	$t \geq 40$ mm		$40 \text{ mm} \leq t \leq 100$ mm	
	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	f_u N/mm ²)
S235	235	360	215	340
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	490

f_y =Karakteristik Akma Gerilmesi
 f_u =Karakteristik Çekme Dayanımı

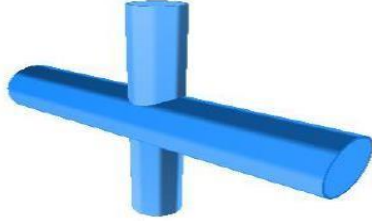
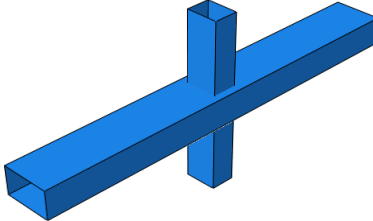
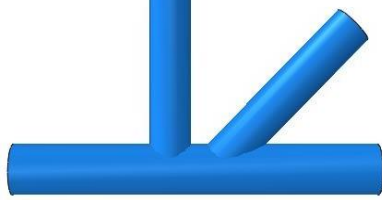
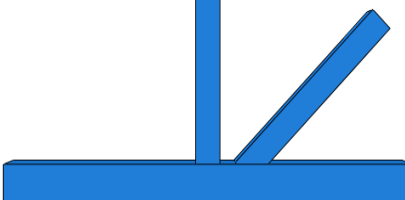
1.5. Boru ve Kutu Enkesitli Elemanların Birleşimleri

Boru ve kutu profiller, çekmeye, basınca, burkulmaya karşı yüksek mukavemetleri ile çelik yapılarda sıklıkla kullanılan yapısal elemanları oluştururlar. Tablo 1.3'de görüldüğü gibi başlık ve örgü elemanlarının birleşim şekillerine göre T, Y, K, X ve N olmak üzere başlıca beş farklı birleşim türü mevcuttur. Boru ve kutu enkesitli elemanların kesitleri farklı olsa da birleşimleri aynı adlandırılmaktadır.

Tablo 1.3. Boru ve kutu enkesitli birleşimlerin sınıflandırılması

Birleşim Türü	Boru Enkesitli Birleşim	Kutu Enkesitli Birleşim
T-birleşim		
Y-birleşim		
K-birleşim		

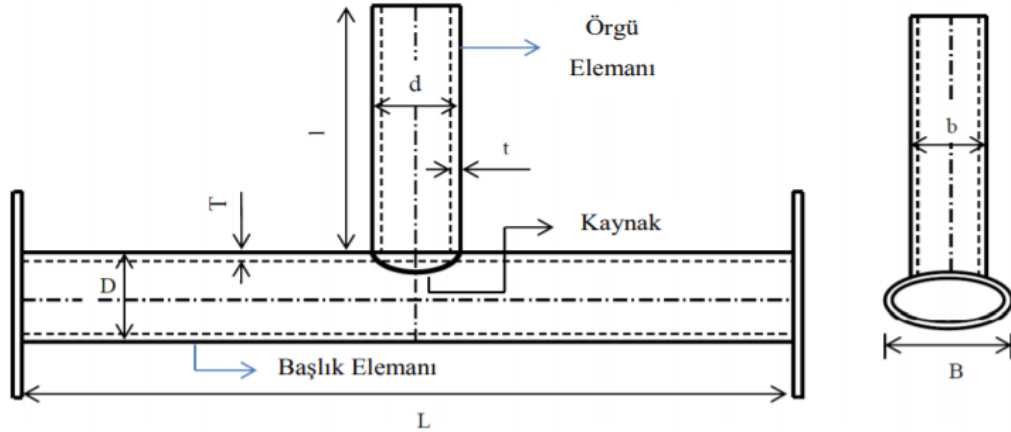
Tablo 1.3'ün devamı

Birleşim Türü	Boru Enkesitli Birleşim	Kutu Enkesitli Birleşim
X-birleşim		
N-birleşim		

Örgü elemanın başlık elemanına dik olarak bağlandığı birleşim T birleşim olarak adlandırılır. Bir birleşimin iki düzlemde elemanı var ise genel birleşim, ikiden fazla düzlemde yer alıyorsa çok düzlemlü birleşim olarak adlandırılır (ÇYTYE, 2016).

Bir başlık elemanına aksenal kuvvetinden dolayı birleşimdeki örgü elemanın zımbalama yükü diğer örgü elemanına aksenal kuvvet ile dengelendiği birleşime K birleşim denir. Başlık elemanının örgü elemanının zımbalama yükünün diğer örgü elemanı ile aksenal kuvvet etkisi altında dengelendiği, elemanların çapraz birleşimi olarak görülen birleşime X birleşim denir (ÇYTYE, 2016).

Şekil 1.7'de EEP T-birleşime ait örgü elemanın, başlık elemanının ve kaynağın yerleşim planı ve geometrik boyutları gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Tipik bir EEP T-birleşiminin genel yerleşim planı ve geometrik boyutları (Özyurt, 2018b).

1.6. Boru ve Kutu Enkesitli Elemanların Uygulama Alanları

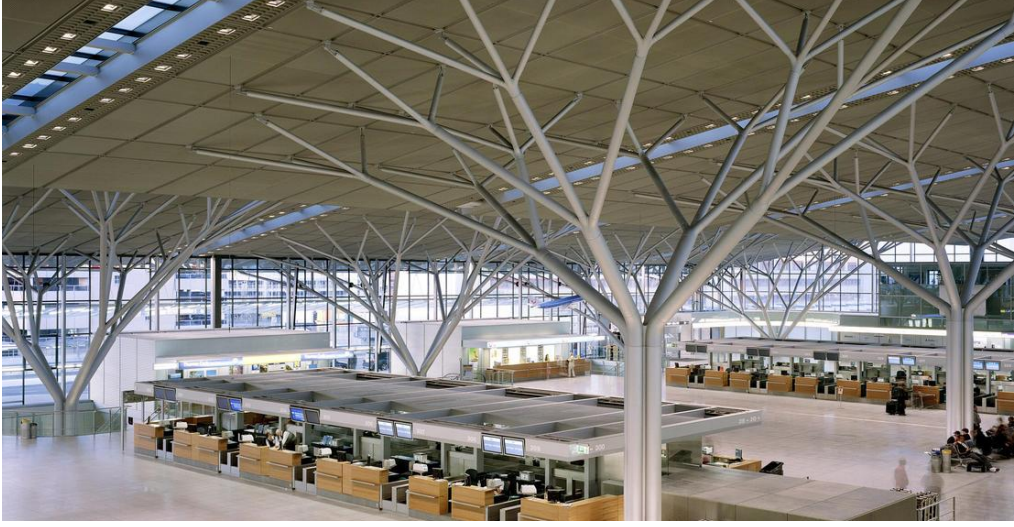
Dikdörtgen enkesitli profil (DEP) ve kare enkesitli profil (KEP) kutu enkesitli elemanlar içerisinde dairesel enkesitli profil (BEP) ve elips enkesitli profil (EEP) boru enkesitli elemanlar içerisinde değerlendirilir.

Şekil 1.8’de gösterilen Singapur Changi Havalimanı’na eklenen Terminal binasının içerisinde bulunan yapay şelale ve orman tasarımı ile birlikte DEP ve EEP profillerinden oluşturulmuştur. Dünyanın en yüksek kapalı şelalesi olan bu tasarım sayesinde havalimanı mimari açıdan yedi yıldır yılın en iyi havalimanı olarak seçilmektedir.



Şekil 1.8. Singapur Changi Havalimanı, Singapur (URL- 5, 2020).

Şekil 1.9’de gösterilen Stuttgart Havaalanı tasarımında, alandan tasarruf sağlanırken aynı zamanda yapısal elemanların kütesinin azaltılması amaçlanmıştır. Estetik olarak ağaç görünüm verilen BEP profilleri destek yapısı olarak kullanılmıştır.



Şekil 1.9. Stuttgart Uluslararası Havaalanı, Almanya (URL- 6, 2020).

İstasyon gibi yolcu kapasitesinin fazla olduğu ya da alışveriş merkezinin olduğu yerlerde yoğunluğu azaltmak, yapısal olarak daha fonksiyonlu mekânlar oluşturmak amacıyla Şekil 1.10 Şekil 1.11 ve Şekil 1.12’de görüldüğü gibi boru ve kutu profiller kullanılmıştır.



Şekil 1.10. Londra’nın Batısındaki Alışveriş Merkezi, İngiltere (URL-7, 2020).



Şekil 1.11. King's Cross Tren İstasyonu, İngiltere (URL-8, 2020).

Belçika'da bulunan Şekil 1.11'de gösterilen Rogier Meydanı'ndaki Dikdörtgen Enkesitli Profillerinin estetik tasarımı ile Pentagon ve Kuzey istasyon arasındaki bağlantı sağlandı. Metro istasyonu da bu projeye entegre edilerek meydana büyük oranda hareketlilik sağlandı.



Şekil 1.12. Rogier Meydanı, Belçika (URL-9, 2020).

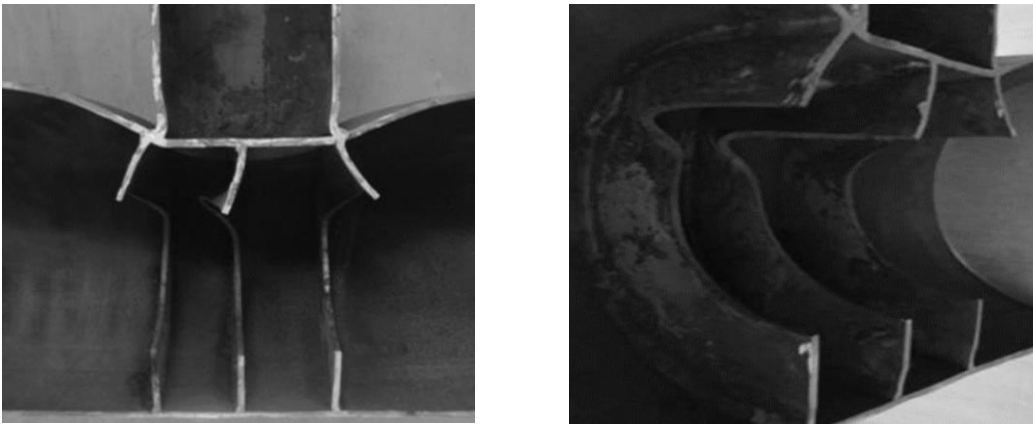
Boru ve kutu enkesitli birleşimler; köprüler, statlar, hava alanı, müze ve terminal binaları gibi geniş açıklıklı yapılarda tercih edilip uygulanmıştır.

1.7. Literatür Araştırması

Bu bölümde literatürde mevcut olan boru ve kutu profillerden oluşmuş güçlendirilmiş T ve Y birleşimleri üzerine yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Boru ve Kutu profillerde T ve Y birleşimlerini birbirinden ayıran durum, örgü elemanı ile başlık elemanı arasındaki açının 90°'ye eşit veya farklı olmasıdır. İlgili çalışmaların bulguları ve yöntemleri detaylıca irdelenmiştir.

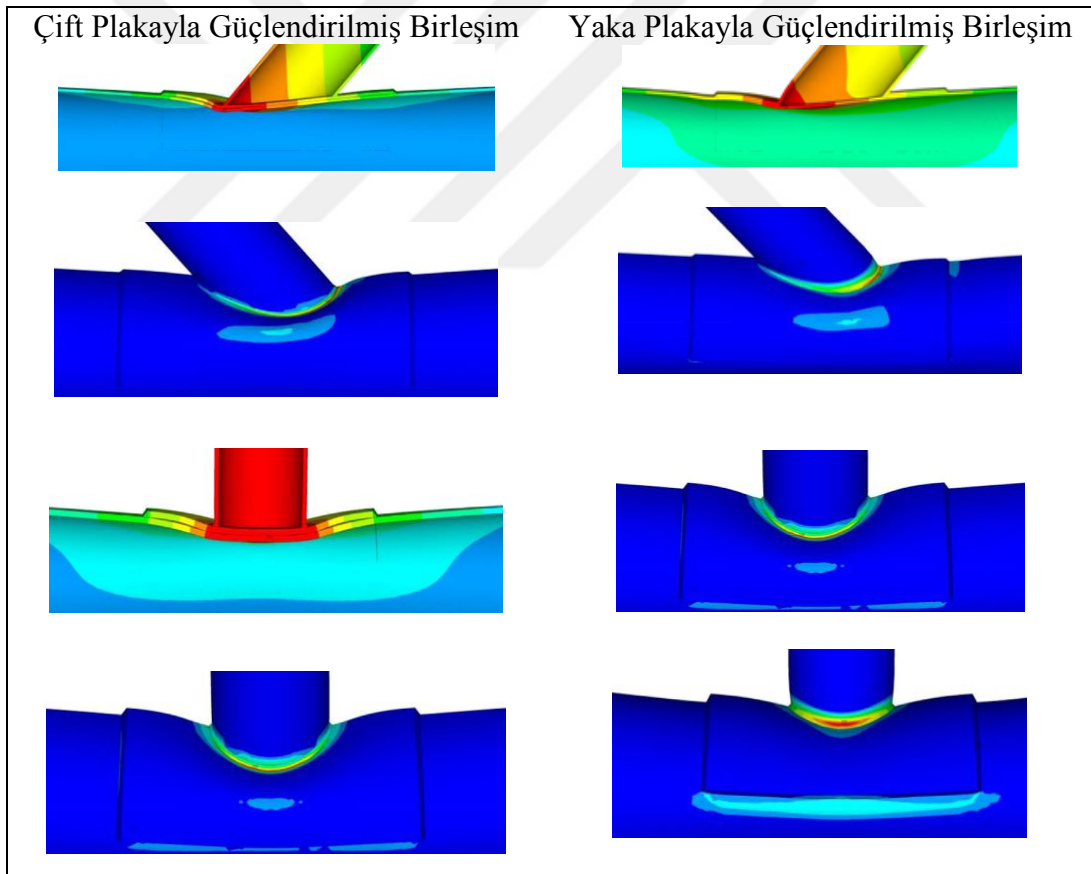
1.7.1. DEP, KEP ve BEP T/ Y Üzerine Yapılan Güçlendirme Çalışmaları

Chen vd. (2015) yaptıkları çalışmada aksenal yükleme altında güçlendirilmiş dairesel enkesitli içi boş profilin T birleşimlerinin yüksek sıcaklıklardaki davranışlarını araştırmışlardır. Birleşimin iç kısmına takviye edilmiş olan dairesel plakayla güçlendirilen başlık elemanına önce aksenal yükleme uygulanmıştır ve akabinde ISO 834 standart yangın eğrisine göre elektrikli ısıtma fırınında göçme olana kadar düzgün sıcaklık dağılımında ısıtılmıştır. Yapılan test sonuçlarında, iç dairesel plakaların DEP T birleşimlerinin yangın dayanım performansını arttırdığı sonucuna varmışlardır. Güçlendirilmiş birleşimlerin deformasyonları Şekil 1.13'te gösterildiği gibi birleşim bölgesi üzerinde yoğunlaşmıştır.



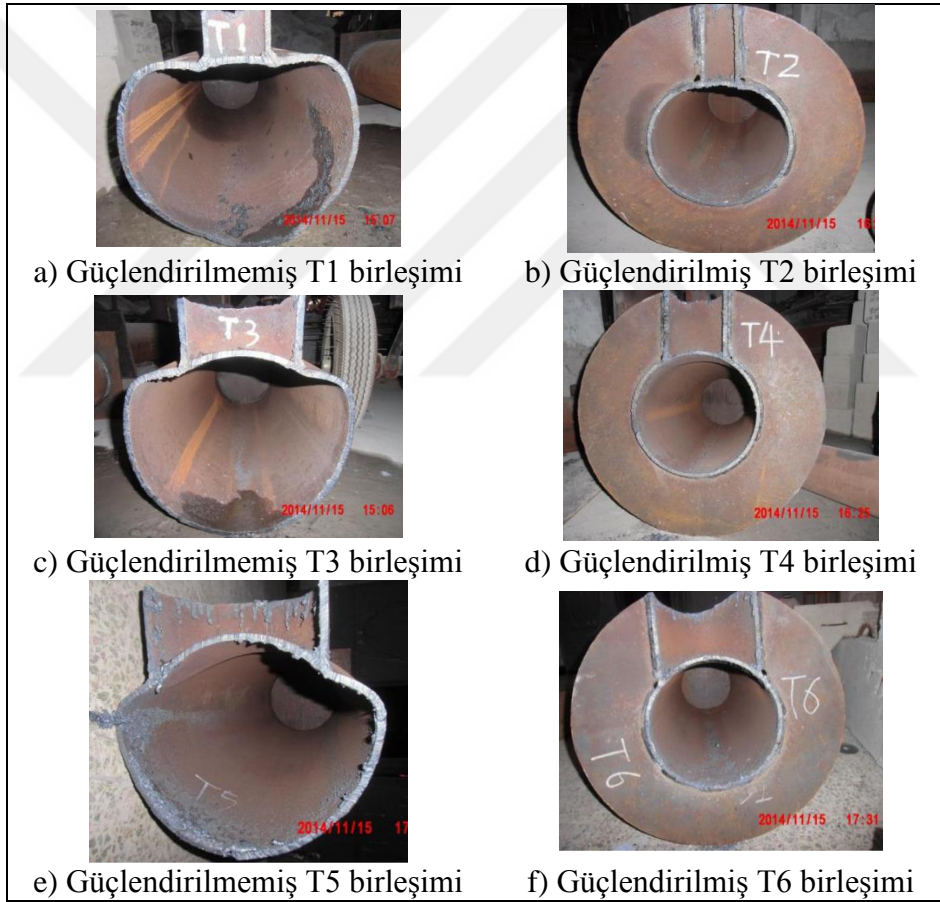
Şekil 1.13. Güçlendirilmiş birleşimlerin deformasyonları (Chen vd., 2015).

Nassiraei vd, (2016) yaptıkları çalışmada çift kat plaka ile eksenel yük altında dairesel en kesitli içi boş profillerden oluşmuş, T ve Y birleşimlerini incelemişlerdir. Sayısal analizlerden elde edilen verilere göre güçlendirme plakasının T ve Y birleşim bölgelerini güçlendirdiği ve dayanımlarını muadili olan güçlendirilmemiş birleşimlere göre iki katından fazla arttırdığı kanısına varılmıştır. Başlık elemanı üzerine güçlendirme levhası kullanarak T ve Y birleşimlerinin eksenel yük taşıma kapasitesini hesaplamak için uygun bir yöntemin bulunmadığı kanısına varılmıştır. Belirli parametrik incelemeler sonucunda çift kat plaka ile eksenel yük altında dairesel enkesitli içi boş profillerden oluşmuş, T ve Y birleşimlerinin davranışları incelenmiştir ve yeni bir hesaplama yöntemi elde etmek için doğrusal olmayan regresyon analizi kullanılmıştır. Şekil 1.14’ de, farklı güçlendirme çeşitlerine ait plastik şekil değiştirmeler gösterilmektedir.



Şekil 1.14. Deforme olmuş şekiller ile yaka plakasıyla güçlendirilmiş T ve Y birleşimlerinin eşdeğer plastik şekil değiştirme arasındaki karşılaştırma (Nassiraei vd., 2016).

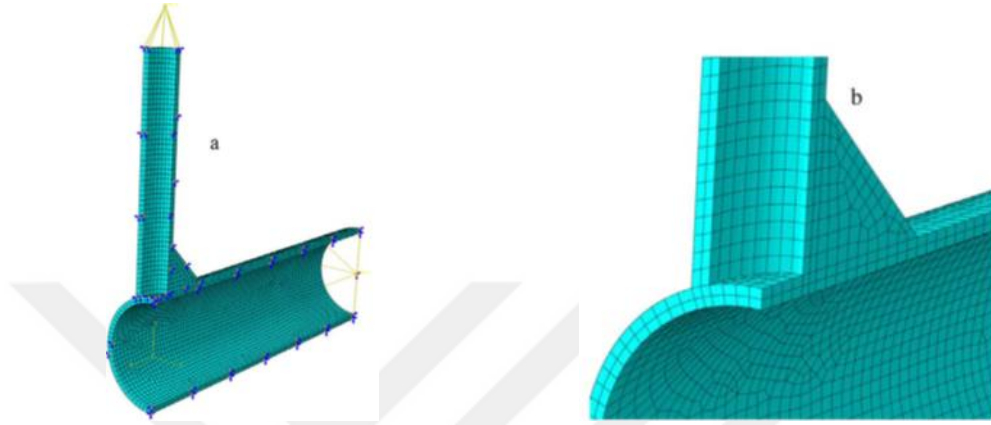
Zhu vd. (2016) güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş dairesel enkesitli içi boş profillerden oluşmuş T birleşimlerin aksel basınç etkisi altında dayanımını incelemiştirler. Bu çalışmada kullanılan güçlendirme yöntemi, başlık ile örgü elemanı birleşim bölgesine bir halka plakası eklenerek oluşturulmuştur. Araştırılan parametrelerden biri örgü elemanın başlık elemanı çapına oranı olmuştur. Bu oranda üç adet güçlendirilmiş ve üç adet güçlendirilmemiş T birleşimi aksel basınç kuvveti altında test edilmiştir. Burada kullanılan güçlendirme levhasının, birleşimin aksel yük taşıma kapasitesini büyük ölçüde arttırdığı kanısına varılmıştır. Şekil 1.15’ te güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş birleşimlerdeki deformasyonları karşılaştırmaktadır.



Şekil 1.15. Deforme olmuş güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş birleşimler (Zhu vd., 2016).

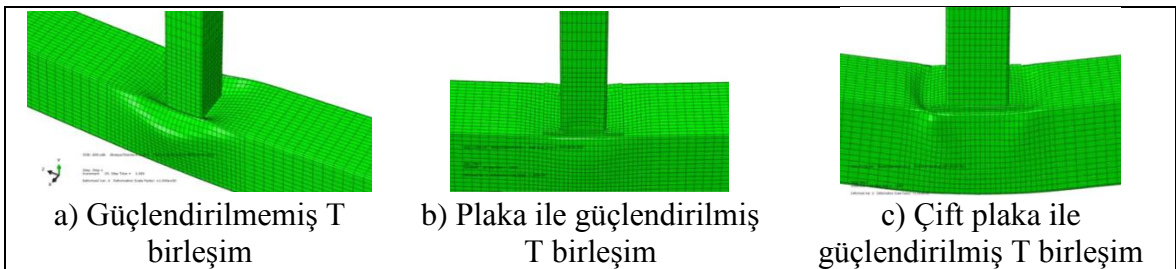
Zhu vd. (2017) aksel basınç etkisi altında takviye elemanı ile güçlendirilmiş BEP T birleşimlerinin taşıma kapasitesini sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiştirler. Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş olmak üzere toplam dokuz adet T birleşimi üzerinde

eksenel basınç deneylerinden elde edilen sonuçlara bağlı olarak sonlu elemanlar yöntemi doğrulanarak, sayısal analizlerle araştırılmaya devam edilmiştir. Hacim eleman kullanılarak oluşturulan ve simetriden ötürü dörtte biri modellenen güçlendirilmiş birleşimin sonlu elemanlar modeli Şekil 1.16' da gösterilmiştir.



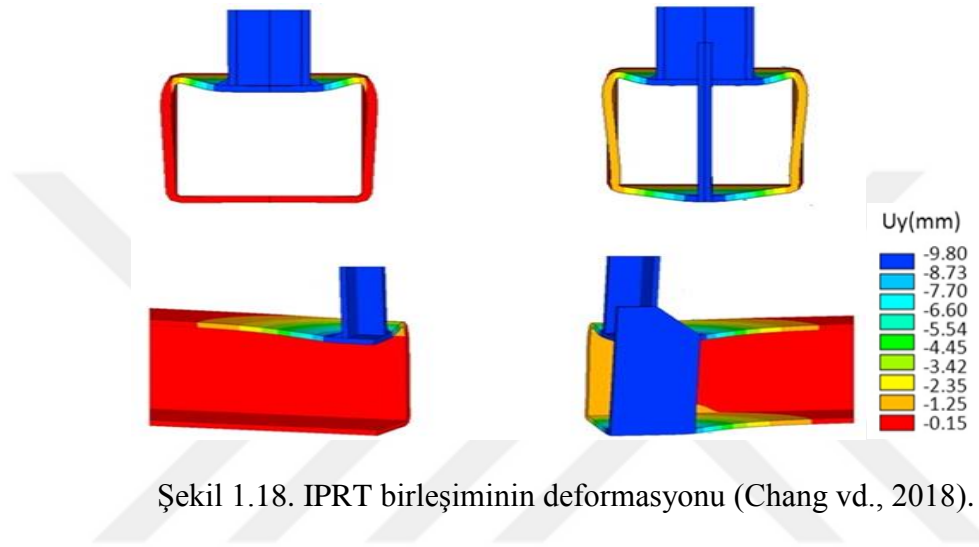
Şekil 1.16. Güçlendirilmiş birleşimin sonlu elemanlar modeli (Zhu vd., 2017).

Feng vd. (2017) aksenal basınç altında iki katlı güçlendirme plakalı kare enkesitli içi boş profillerden oluşmuş T birleşimlerinin dayanımlarının incelenmesi için deneysel ve sayısal çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada; 11 adet numune kullanılmıştır. 4 adet numune çift katlı plaka ile 4 adet numune ise yaka plakası ile güçlendirilmiştir. 3 adet numune referans numune olarak dikkate alınmış ve herhangi bir güçlendirme işlemine tabi tutulmamıştır. Sonuç olarak hem yaka plakası hem de çift kat plakalı güçlendirmeler aksenal basınç kuvveti altında T birleşimlerinin yük taşıma kapasitesini büyük ölçüde arttırdığı ifade edilmiştir. Çalışmalarında KEP T birleşimleri için elde edilen göçme modu Şekil 1.17' de gösterildiği gibi başlık elemanında plastikleşmedir.



Şekil 1.17. T birleşimlerinde elde edilen sayısal göçme modları (Feng vd., 2017).

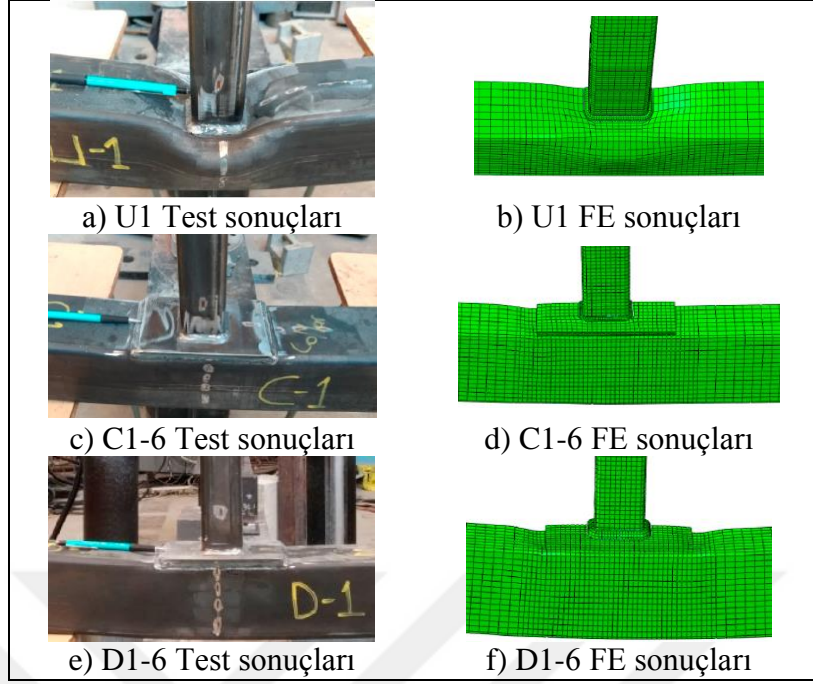
Chang vd. (2018), Şekil 1.18’ de gösterildiği gibi dikey iç plakası ile güçlendirilen kutu T birleşimin dayanımını hem deneysel hem de sayısal çalışmalar ile incelemişlerdir. Bu güçlendirme yönteminin, Şekil 1.18’ de gösterildiği gibi kutu T birleşimlerinin göçme modunu değiştirmemesine rağmen aksenal yük taşıma kapasitesi üzerine etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, bu güçlendirme yönteminin verimini başlık ve örgü elemanın arasındaki genişlik oranının artmasıyla düştüğü kanısına varılmıştır.



Şekil 1.18. IPRT birleşiminin deformasyonu (Chang vd., 2018).

Ozyurt ve Das (2019) güçlendirilmiş kutu enkesitli içi boş profillerden oluşmuş T birleşimlerinin davranışını hem deneysel hem de sayısal olarak incelemişlerdir. Bu amaçla dokuz adet T birleşimlerine ait numuneleri test etmişlerdir.

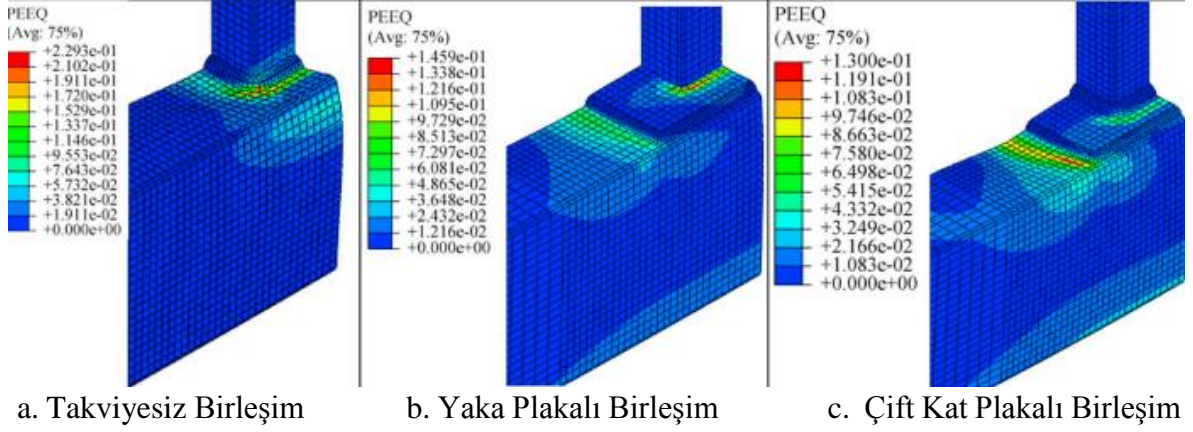
Altı adet T birleşimlerine ait numunelerde yaka ve çift katlı plaka kullanılarak güçlendirme yapılmıştır. Bu plakalar taşıma gücü kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı vurgulanmıştır. Güçlendirme plakasının kalınlığı örgü elemanının kalınlığının iki katı ile sınırlıysa güçlendirme plakasının kalınlığı olumlu etkiye sahip olduğu ifade edilmiş ve T birleşimi güçlendirme levhasının türüne bağlı olmadığı belirtilmiştir. Güçlendirilmiş T birleşiminin aksenal yük taşıma kapasitesi güçlendirilmemiş T birleşiminkinden yaklaşık iki kat fazla olduğu tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonlu elemanlar modellerinin doğrulanmasında kullanılmıştır. Şekil 1.19’ da deneysel ve sayısal olarak elde edilen göçme modları verilmiştir.



Şekil 1.19. FE sonuçlarının seçilen birleşimlerin hata modu şekillerinin test sonuçları ile karşılaştırılması (Ozyurt vd., 2019).

Ozyurt (2020) güçlendirilmiş T birleşimlerinin yüksek sıcaklıkta aksenal basınç yükü altında gösterdiği davranışı sayısal olarak araştırmıştır. 20 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C ve 700 °C sıcaklık seviyelerinde kutu enkesitli T birleşimini sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Sayısal analiz sonuçlarına göre kutu T birleşimlerinin yüksek sıcaklıklarda aksenal yük taşıma kapasitesi, yaka plakası veya çift katlı plaka ile büyük ölçüde arttırılabileceği görülmüştür.

Ayrıca, kullanılan takviye plakasının uzunluğunun veya genişliğinin güçlendirmede önemli olmadığı kanısına varılmıştır. Şekil 1.20' de güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş KEP T birleşimlerinin 700 °C'de elde edilen gerilme kontur dağılımları verilmektedir.



Şekil 1.20. Takviyesiz ve takviyeli kutu T birleşimlerinin 700 °C'de plastik şekil değiştirmeleri (Ozyurt, 2020).

1.7.2. Elips Enkesitli T Birleşimleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Bortolotti vd. (2003) ve Pietrapertosa vd. (2003), aksenal yükleme altında EEP X ve N birleşimlerin üzerine ilk test çalışmasını yapmışlardır. Ancak, kriko kapasitesinden dolayı testlerin göçme önerisi tamamlandığı belirtilmiştir. Sayısal modellerin doğrulanması test çalışmalarının göçme öncesi davranışına göre yapılmıştır.

Choo vd. (2003), aksenal yük altında EEP X birleşimlerinin oryantasyon dört farklı oryantasyon tiplerini araştırmışlardır. Bu birleşimlerinin davranışlarını dört farklı oryantasyon tipine göre araştırmışlardır. Farklı oryantasyonlardan oluşan bu birleşimlerin aksenal yük taşıma kapasitesi Tip-4, Tip-3, Tip-2 ve Tip-1 şeklinde azaldığı kanısına varılmıştır.

Wardenier (2007) boru ve kutu kesitli elemanların CIDECT (1996) yönetmeliğindeki denklemleri kullanarak EEP birleşimlerini incelemiş ve uygun bir ilişki önermiştir.

Haque vd. (2012) EEP X ve T birleşimlerinin aksenal yük taşıma kapasitelerini incelemek için 12 adet test yapmışlardır. Bu testte diyagonallere uygulanan yük türünün etkileri, bağlantıların açısı, oryantasyon tipi incelenmiştir. Eşdeğer DEP yaklaşımının, eşdeğer BEP yaklaşımına göre daha güvenli sonuçlar verdiği kanısına varılmıştır.

Packer vd. (2012) EEP T ve X birleşimlerinin aksenal basınç altındaki davranışlarını deneysel ve sayısal çalışmalar ile incelemişlerdir. Bu tür birleşimlerin aksenal yük taşıma kapasitelerinin hesaplanabilmesi için yeni bir yöntem önermişlerdir. Tüm EEP birleşimlerinde eşdeğer DEP'ye bağlı yaklaşımın güvenilir sonuçlar vereceği yönünde bir tespitte varılmıştır.

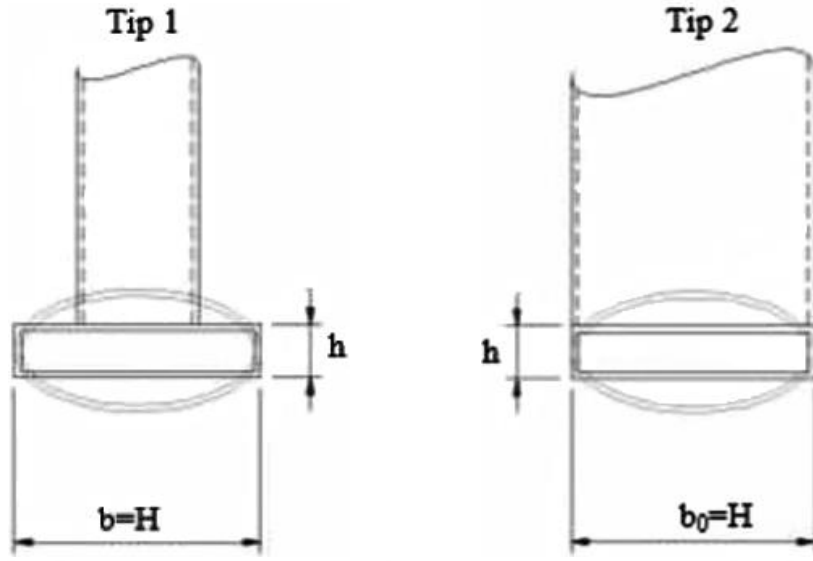
Ozyurt ve Yılmaz (2019) düzlem içi eğilme momenti altındaki EEP T-birleşimlerin dayanımlarını sonlu elemanlar yöntemi kullanarak hesaplamışlardır. Sayısal analiz sonuçlarını eşdeğer kutu yöntemi ile karşılaştırmışlardır. EEP-T birleşimleri için dört oryantasyon tipi incelenmiştir. Tip-1, Tip-2 oryantasyonu ile Tip-3, Tip-4 oryantasyonunun davranışları benzerlik gösterdiği kanısına varılmıştır. Bu çalışma sonucunda, Tip-3 ve Tip-4 birleşimlerinin dayanımları Tip-1 ve Tip-2 birleşimlerinininkine göre önemli ölçüde fazla olduğu kanısına varılmıştır. Tip-2 birleşimin ise estetik açıdan avantajlı olduğu vurgulanmıştır. Eğilme momenti altındaki EEP-T birleşimlerinin dayanımlarını güvenli şekilde hesaplamak için ÇYTYE (2016)'da önerilen mevcut kutu yöntemine ilave bir katsayı geliştirilmiştir.

Literatür araştırmalarından görülebileceği üzere, boru ve kutu enkesitli profillerden oluşmuş birleşimler üzerine yapılan güçlendirme çalışmaları mevcuttur. Ancak elips enkesitli profillerden üretilmiş birleşimlerin güçlendirilmesi yönünde herhangi bir bilgi ve çalışmaya rastlanılamamıştır. Yapılan çalışmalarda güçlendirilmemiş EEP-T birleşimlerinin tasarım yöntemi kullanılmıştır. Elips en kesitli birleşimlerin Tip-1 ve Tip-2 oryantasyon türleri estetik açıdan güzel görünüme sahip olmalarının dışında düşük dayanımlara sahiptir. Bu yüzden bu tez kapsamında, eksenel yük etkisindeki güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kaynaklı elips enkesitli T birleşimlerinin davranışları incelenmiştir.

1.8. Eşdeğer Kutu Enkesitli Profil Yaklaşımı ve Hesaplama Yöntemleri

Elips birleşimlerinin eksenel yük taşıma kapasitesini hesaplamak için eşdeğer kutu profil yöntemi kullanılarak normal sıcaklıklarda tasarımı yapılabilir. Eşdeğer kutu profil yaklaşımı, bir elips enkesitinin alanına eşit olacak şekilde dikdörtgen enkesitinin boyutlarının belirlenmesidir. Şekil 1.21'deki gibi, yatay yöndeki genişlik (H) sabit kalarak ve dikey yöndeki yükseklik (h) belirlenerek eşdeğer kutu enkesitinin boyutları hesap edilebilir. Elipsin en kesit alanına profil tablosundan bakılarak karar verilir. Bu çalışma kapsamında EEP-T birleşimlerinin, Tip-1 ve Tip-2 oryantasyonları için eş değer kutu profil yaklaşımı kullanılmıştır.

Packer vd. (2012)'nin gözlemlemiş olduğu gibi eş değer kutu yöntemiyle güçlendirilmemiş elips enkesitli T birleşimlerinin dayanımı denklem 1.1'den hesaplanabilir. Bu tez çalışmasında, güçlendirilmemiş EEP-T birleşimlerinin dayanımları Şekil 1.21'deki yöntem ile hesaplanmıştır.



Şekil 1.21. Toronto Üniversitesi Tip-1 ve Tip-2 için eşdeğer dikdörtgen enkesitli profil yaklaşımı (Packer vd., 2012).

$$P_n = C \left(\frac{2\eta}{(1-\beta)} + \frac{4}{\sqrt{1-\beta}} \right) F_y t^2 \quad (1.1)$$

Burada;

C ; Parker vd.(2012)'nin eşdeğer kutu profil yaklaşım katsayısı

P_n ; karakteristik aksenal basınç kuvveti diyagramı

F_y ; boru ve kutu enkesitli elemanın karakteristik akma gerilmesi

η ; sadece kutu en kesitliler için uygulanan yük etkime uzunluğu parametresi

β ; boru enkesitli örgü elemanı çapının başlık elemanı çapına oranı

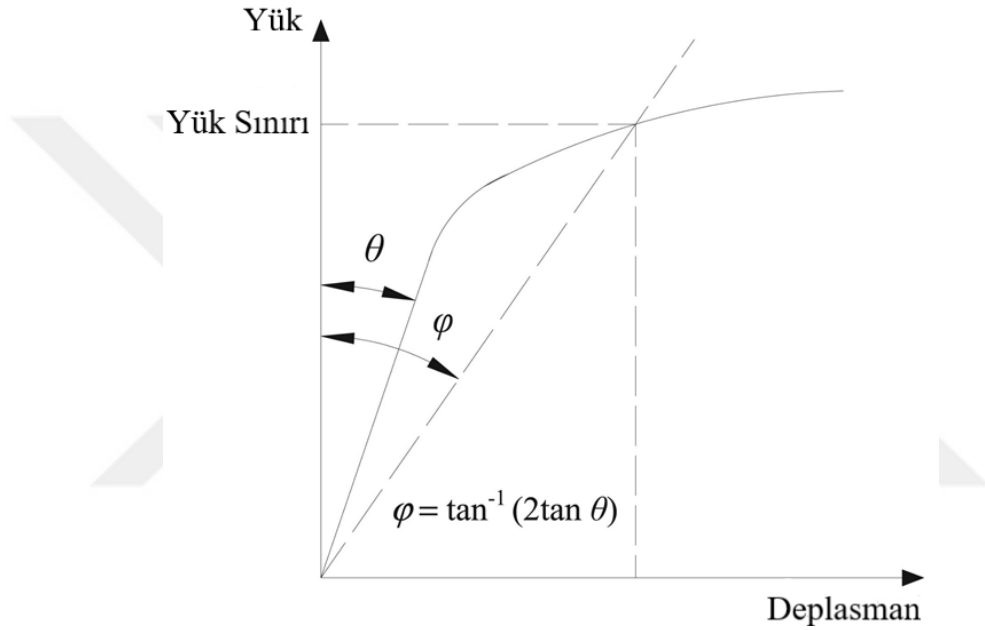
ifade etmektedir.

Eşdeğer kutu profil yaklaşımında, farklı göçme modları için hesaplama yöntemleri yönetmeliğimizde mevcuttur. Bu tez kapsamında boru ve/veya kutu profilli birleşimlerde yaygın olarak gözlemlenen başlık elemanı cidarında plastikleşme göçme modu dikkate alınmıştır.

1.9. Çift Eğim Yöntemi

Boru enkesitli birleşimlerin aksenal yük taşıma kapasitesini belirlemek için literatürde üç farklı yöntem mevcuttur. İlk yöntemde, birleşimin aksenal yük taşıma kapasitesi yük-gerdeğiştirme eğrisindeki tepe yükü değeridir. İkinci yöntemde ise Lu vd. (1994)'nin bir

birleşim kapasitesini belirlemek için %3'lük deformasyon kriteri olarak belirttikleri kullanılabilirlik sınır durumuna karşılık gelen değerdir. Bu deformasyon limiti örgü elemanı ile başlık elemanı arasındaki bölgenin yerel deformasyonuna dayandırılmıştır. Son olarak ise “çift kat eğim yöntemi” kullanılabilir. (Moffat vd., 2001). Bu yöntemde, Şekil 1.22’ de görüleceği üzere, θ , yük-yer değiştirme eğrisi ile yük eksenine arasındaki açıdır. Yük eksenine $\varphi = \tan^{-1} 2 (\tan \theta)$ açısıyla düz bir çizgi çekilirse, düz çizgi ile eğrinin kesişimi, birleşimin aksenal yük taşıma kapasitesi olarak tanımlanır.



Şekil 1.22. Çift elastik eğim yöntemi

Bu tez çalışmasındaki yük-deplasman eğrileri tepe noktasına sahip olmadıkları için çift kat eğim yöntemi kullanılarak birleşimlerin dayanımları belirlenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Sayısal Analizlerin Doğrulanması

Karmaşık mühendislik problemlerinin araştırılmasında sayısal analizlerin doğrulama işlemi önemlidir. Eksenel yüke maruz güçlendirilmiş elips enkesitli kaynaklı T birleşimlerin davranışlarının incelenmesi üzerine literatürde Packer vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen EEP-T birleşimleri üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen test sonuçları kullanılarak sonlu eleman modelinin doğrulanması yapılmış ve doğrulanmış sonlu eleman modeli kullanılarak EEP-T birleşimleri üzerinde sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Doğrulanmış modelin; eleman tipi, malzeme özelliği, sonlu eleman ağ aralığı gibi parametreleri mevcut modelde kullanılmıştır.

2.1.1. Sonlu Eleman Modeli ve Özellikleri

Detaylı çözümler yapan, gerçeğe yakın modeller oluşturma imkânı sağlayan sonlu elemanlar yöntemi, farklı malzeme modellerini ve sonlu eleman tiplerini analiz etme olanağı sunmaktadır.

Sonlu Elemanlar Analizi, Sonlu Elemanlar Metodu adı verilen sayısal tekniğin kullanıldığı fiziksel olgunun benzetimidir. Mühendisler, daha iyi modeller geliştirmek için fiziksel paradigma ve deneylerin sayısını azaltmak ve bileşenleri tasarım aşamasında optimize etmek amacıyla sonlu elemanlar yöntemini kullanırlar.

Sonlu eleman yöntemi; düzgün veya karmaşık geometriye sahip yapıları çok küçük parçalara bölerek, her bir parçanın kendi içerisinde çözümünün yapılmasıyla tüm yapının çözümünün kabul edilebilir bir yaklaşımla elde edildiği bir yöntemdir. Kısaca sonlu eleman yöntemi, karmaşık bir problemi basite indirgeyerek çözmeye gayretidir. Problemin basite indirgenmesi ile kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuç elde edilmektedir. Problemin çözümü iyileştirilerek sonucun kesin sonuca yaklaştırılması, hatta kesin sonuca ulaştırılması da mümkündür (Günaydın, 2016).

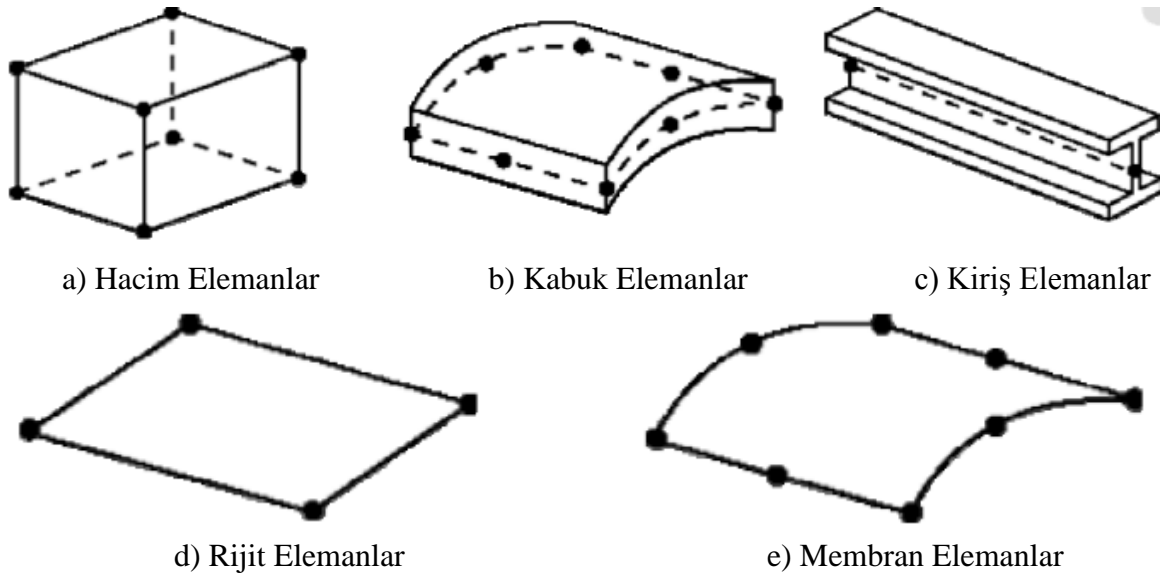
2.1.1.1. Yöntem

Parametrik çalışmalara başlamadan önce, sayısal modellerin doğrulanması yapılmalıdır. Bu kapsamda literatürde sunulan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile sonlu elemanlar yönteminden elde edilen sonuç karşılaştırılarak yapılan yaklaşım yönteminin uygunluğu test edilir. Bu yolla çalışmada kullanılacak olan sonlu eleman modeli doğrulanabilir. Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak doğrusal olmayan sayısal analizler yapılmıştır. Bu amaçla ABAQUS/Standart v.6.14-.1 paket programı kullanılmıştır. Bu çalışmada, Packer vd. (2016) tarafından gerçekleştirilen EEP-T birleşimleri üzerine yapılan çalışmadan elde edilen test sonuçları kullanılarak sonlu eleman modeli doğrulanmıştır.

2.1.1.2. Eleman Türü

Sonlu elemanlar yöntemi, farklı geometrilerin ve yapıların modellenmesinde kolaylık sağlar. Her eleman; takım, düğüm noktası sayısı, serbestlik derecesi, formülasyon, entegrasyon'a göre kategorize edilir.

Sonlu elemanlar Şekil 2.1'deki gibi sınıflandırılır. Aynı kategoriye sahip elemanlar birçok özelliği paylaşır ve aynı gruptakilerin birçok varyasyonu vardır.

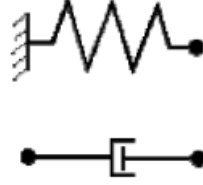


Şekil 2.1. Sonlu elemanların sınıflandırılması (URL-10, 2021).

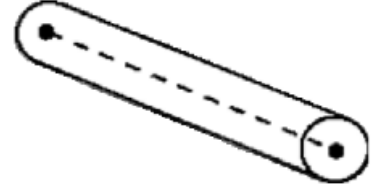
Şekil 2.1'in devamı



f) Sonsuz Elemanlar



g) Özel Amaçlı Öğeler



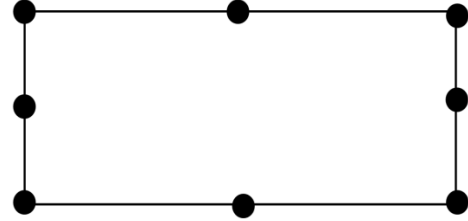
h) Kafes Elemanlar

Sonlu elemanlar metoduyla elemanın sonsuz sayıdaki bağlantısı sonlu sayıdaki bağlantıya indirgenir ve indirgenen noktalardan birbirine bağlanmış gibi düşünülür. Bu bağlantı noktalarının çokluğu, sayısal çözümlemedeki hata oranı azaltır.

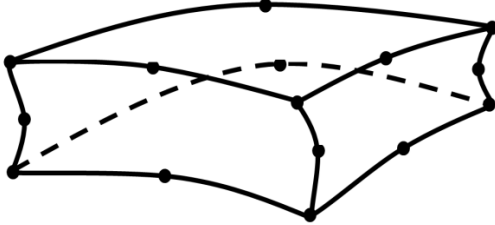
Örgü ve başlık elemanları için ABAQUS'te mevcut olan eleman türleri Şekil 2.2'de gösterilmiştir. C3D20R (20 düğüm noktalı üç boyutlu eleman), S8R (8 düğüm noktalı kabuk eleman) veya S4R (4 düğüm noktalı kabuk eleman) kullanılabilir. Boru ve kutu enkesitli birleşimlerin kaynaklı olarak modellenmesi için; üç boyutlu kaynak elemanı, üç boyutlu eleman (C3D15), yirmi düğüm noktalı üç boyutlu eleman (C3D20R), 8 düğüm noktalı kabuk eleman (S8R) veya 4 düğüm noktalı kabuk eleman (S4R) kullanılabilir (Ozyurt, 2015).



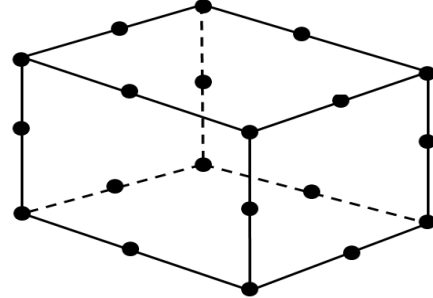
a) S4R



b) S8R



c) C3D15



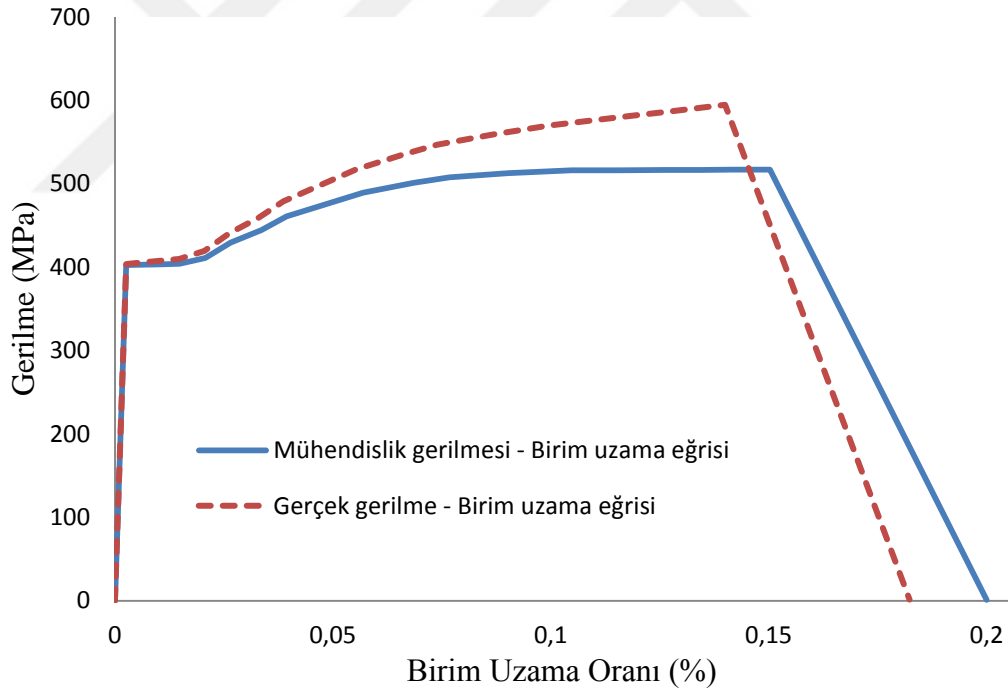
d) C3D20

Şekil 2.2. Sonlu eleman analizlerinde kullanılan eleman türleri (ABAQUS/Standart, 2014).

Bu çalışmada elde edilen bilgiler ışığında; birleşimde meydana gelen büyük miktarlardaki şekil değiştirme olmasından dolayı örgü ve başlık elemanları için S8R eleman türü, kaynak modeli için ise 8 düğüm noktalı üç boyutlu hacim eleman olan C3D8I kullanılmıştır.

2.1.1.3. Malzeme Özellikleri

Parker vd. (2016) deneysel ve sayısal çalışmalarında S355 çelik sınıfı kullanılmıştır. kupon test sonuçlarının ortalamalarına göre karakteristik akma gerilmesi (f_y) 402 N/mm², ve karakteristik çekme dayanımı (f_u) 517 N/mm²'dur. Elastisite modülü ise (E) 210000 Mpa olarak varsayılmıştır. $\nu=0.3$ 'tür. Şekil 2.3'de doğrulama çalışmasında kullanılan gerilme birim uzama grafiği verilmiştir.



Şekil 2.3. Doğrulama çalışmasında kullanılan gerilme birim uzama grafiği

Boru şeklindeki birleşimlerde sayısal simülasyonlar birleşimlerin bozulmasına kadar yapıldığından malzemenin doğrusal veya doğrusal olmayan durumu sonlu eleman analizlerine dâhil edilmiştir. Abaqus'te doğrusal olmayan davranış NLGEOM seçeneği kullanılarak analizlere eklenir. Büyük deformasyonların dikkate alınabilmesi için

mühendislik gerilme-şekil değiştirme eğrisinin denklemi 2.1 ve 2.2 ile gerçek gerilme-şekil değiştirme eğrisine dönüştürülmesi ($\sigma_T - \varepsilon_T$) gerekmektedir.

$$\varepsilon_T = \ln(1 + \varepsilon) \quad (2.1)$$

$$\sigma_T = \sigma(1 + \varepsilon) \quad (2.2)$$

Bu denklemlerde;

\mathcal{E} : mühendislik birim uzama oranını

\mathcal{E}_T : gerçek birim uzama oranını

σ : mühendislik gerilmeyi

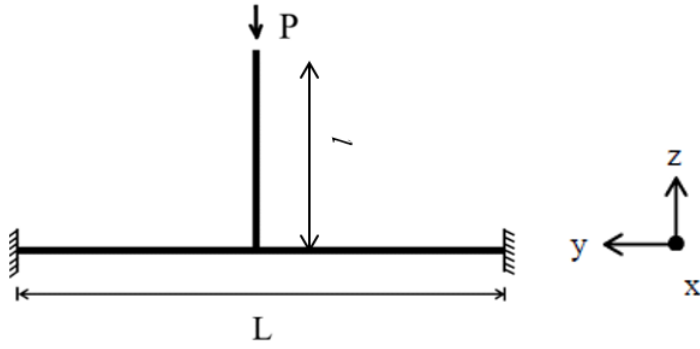
σ_T : gerçek gerilmeyi

göstermektedir.

Yukarıda verilen (2.1) ve (2.2) numaralı denklemler yardımıyla bulunan değerler ile dönüştürme işlemi yapılarak, sonlu elemanlar yönteminde tanımlanacak olan gerilme-birim uzama eğrisi girilmelidir (Boresi ve Schmidt, 2003). Bu dönüştürme işlemi yüksek deformasyonların ve doğrusal olmayan analizlerin yapılması için gereklidir.

2.1.1.4. Mesnet Koşulları

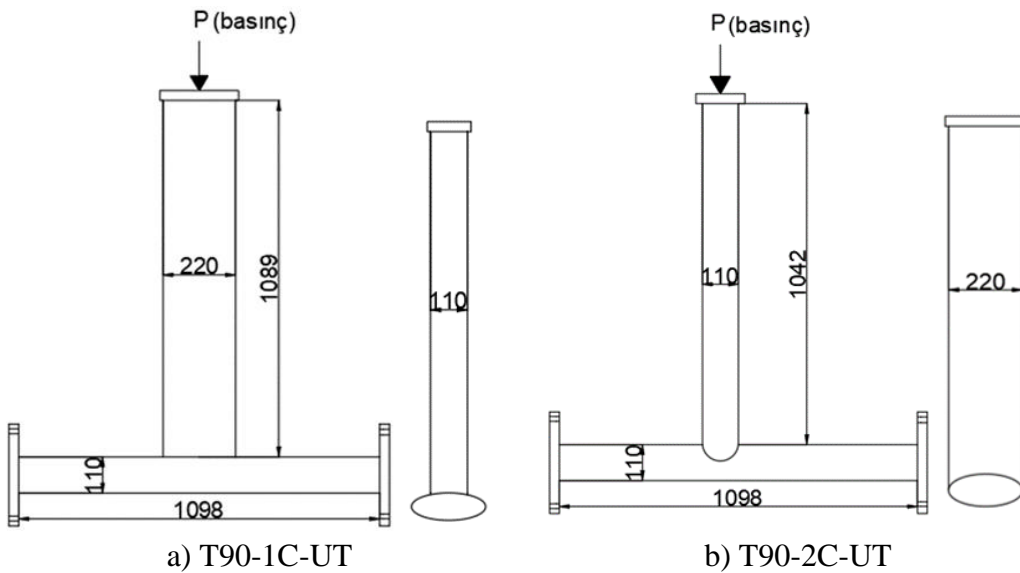
EET-T birleşimlerinin aksenal basınç kuvveti etkisinde yük taşıma kapasiteleri ve göçme modları incelenirken kullanılan yük ve mesnet koşulları Şekil 2.4'te göstermektedir. Aksenal yüklemeyi tanımlamak için örgü elemanı ucuna rijit levha yerleştirilmiştir. Aksenal yük ise rijit levhanın merkezinden düşey yönde olacak şekilde tanımlanmıştır. Ancak yapılan sayısal çalışmalar sonucunda bu yükleme yönteminin güvenilir sonuçlar vermediği kanısına varılmıştır. Bunun sebebi, örgü elemanı ucunda meydana gelen yerel deformasyonlardır. Bunu önlemek için, aksenal yük yerine rijit levha kaldırılarak örgü elemanı ucundan direkt olarak düşey doğrultuda yayılı yük tanımlanmıştır. Birleşimin aksenal yük taşıma kapasitesini hesaplamak için gerekli olan basınç kuvveti, örgü elemanı ucuna uygulanan yayılı yük ile örgü elemanı enkesit elemanı enkesit alanının çarpımından bulunmuştur.



Şekil 2.4. Doğrulaması yapılan birleşimin mesnet koşulları

2.1.2. Doğrulama Çalışması

Packer vd. (2012)'nin raporunda gerçekleştirilen elips enkesitli kaynaklı T birleşimlerinin aksenal yükleme altında deneysel çalışmalarına ait Tip-1 ve Tip-2 numune sonuçları sayısal analizlerin doğrulanmasında kullanılmıştır. Şekil 2.5 EEP-T birleşimlerine ait oryantasyon türleri ve geometrik özelliklerini göstermektedir. Ayrıca, Tablo 2.1'de, test numunelerine ait tüm geometrik özellikleri gösterilmektedir. Yapılacak sayısal modellerin doğrulaması bu iki test sonuçlarına göre yapılmıştır. Bu yüzden testlerde kullanılan tüm geometrik ve malzeme özellikleri aynı şekilde sayısal modellemelerde kullanılmıştır.

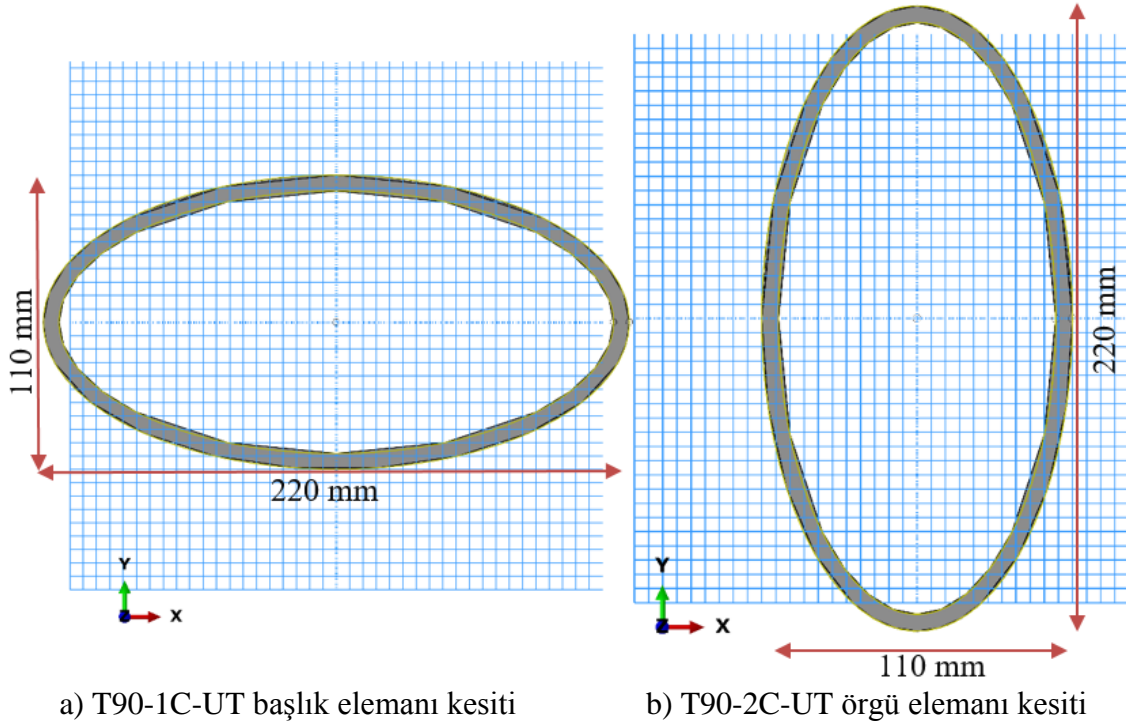


Şekil 2.5. T90-1C-UT ve T90-2C-UT birleşiminin geometrik özellikleri

Tablo 2.1. Packer vd.'nin yapmış olduğu test numunelerinin geometrik özellikleri

Numune	B (mm)	D (mm)	T (mm)	b (mm)	d (mm)	t (mm)	$\beta = \frac{b}{B}$	$\eta = \frac{d}{D}$
T90-1C-UT	220.0	110.0	5.94	110.0	220.0	5.94	1.00	0.50
T90-2C-UT	220.0	110.0	5.94	220.0	110.0	5.94	1.00	0.50

Başlık ve örgü elemanın eliptik yapısı gereği eşdeğer dikdörtgen enkesitli profil yaklaşımıyla “Parts” bölümünden ayrı ayrı oluşturulmuştur. Şekil 2.6’ da görüldüğü gibi dikdörtgenin uzun kenarına elips enkesitin büyük çapı, dikdörtgenin kısa kenarına elips enkesitin küçük çapı girilmiştir. “Create Ellipse” seçeneği ile eliptik kısım elde edilir. “Offset Curves” komutu ile 5.94 mm elipsin içerisine doğru et kalınlığı seçilir. Elips enkesitin başlık ve örgü elemanı için sırasıyla 1. oryantasyon için 1098 mm ve 1089 mm, 2. oryantasyon için 1098 mm ve 1042 mm uzunluklar girilir. T90-1C-UT’de 1.oryantasyona ait başlık elemanı kesiti ve 2. oryantasyona ait örgü elemanı kesiti görülmektedir.

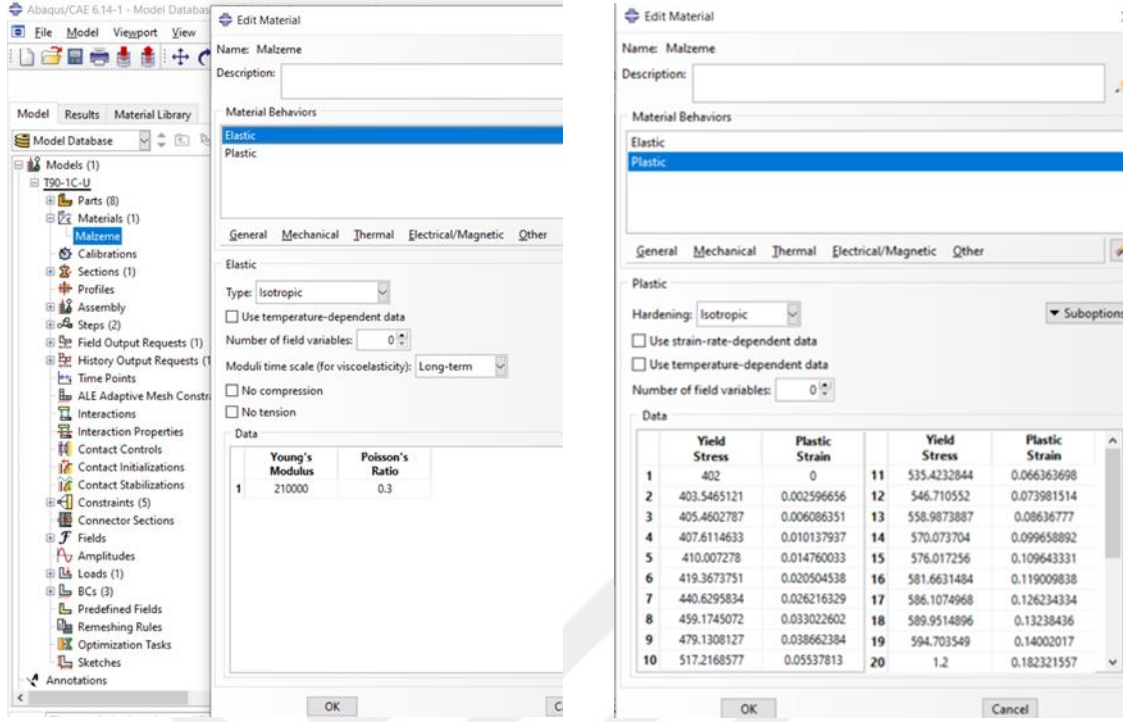


Şekil 2.6. Başlık ve örgü elemanı kesiti

Başlık ve örgü elemanları oluşturulduktan sonra “Assembly” komutu ile birbirine montajlanır. Bu montajlamanın iyi olması ve birbirine bütünleşmesini sağlayan kaynak

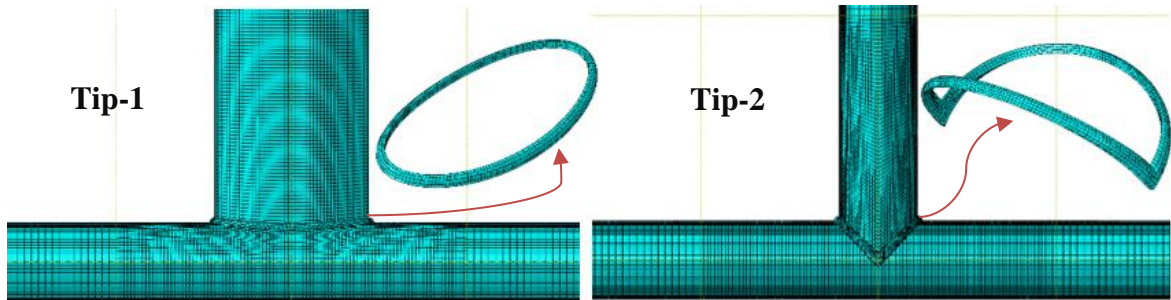
modeline ihtiyaç duyulur ve örgü elemanı kopyalanarak “Sweep” seçeneği ile kaynak modeli oluşturulur. Boru ve kutu enkesitli kaynaklı birleşimlerin maksimum dayanıma ulaşabilmeleri için kaynaklarda herhangi bir göçme olmaması gerekmektedir. Bunun için S355 malzeme özelliğine sahip profillerin birleşimleri güvenli olarak sağlanabilmesi için kaynak kalınlığı birleştirilen malzemenin et kalınlığının 1,10 katına eşit seçilmesi önerilmektedir. (Wardenier vd., 2008). Doğrulama çalışmasında ve sayısal çalışmalarda kaynak kalınlığı, birleştirilen elemanın et kalınlığının 1,10 katı olarak alınmıştır. EEP-T birleşiminin sayısal modeli hacim elemanlar kullanılarak modellendikten sonra mesnet koşulları tanımlanmıştır. Başlık elemanının iki ucu ankastre olarak seçilebilmesi için üç boyutlu ekseninde tüm yerdeğiştirmeler ve dönmeler kapatılmıştır. Örgü elemanının düşey doğrultuda yer değiştirmesi ve tüm eksenlerde dönmeleri serbest bırakılmıştır. Abaqus’te “Constraints” komutuyla örgü elemanı ile başlık elemanının birleşiminde oluşturulan kaynak geometrisinin bulunduğu yüzeylerde “Tie” komutu kullanılarak bağlantı sağlanmıştır. Yükleme olarak “Static, Risk” komutu seçilmiştir. Bu komut; geometrik olarak doğrusal olmayan statik problemlerde, yük-yer değiştirme eğrisinin negatif bir rijitlik gösterdiği burkulma veya çökme davranışını içerir. Bu durumlarda statik denge durumları, “Static riks” yöntemi kullanılarak bulunabilir. “Incrementation” komutu ile maksimum artış sayısı 1000 seçilerek doğrusal olmayan sonlu eleman analizlerinde kullanılan zaman adımının maksimum ve minimum değerleri sırasıyla 0,9 ve 1E-015 alınır. Örgü elemanının ucundaki referans noktası seçilerek noktasal birim tekil yük 100000 N yazılır.

Şekil 2.7’de elastik ve plastik davranışının modellenebilmesi için “Materials” kategorisinden elastik ve plastik malzeme özellikleri girilir.



Şekil 2.7. Malzeme tanımlaması

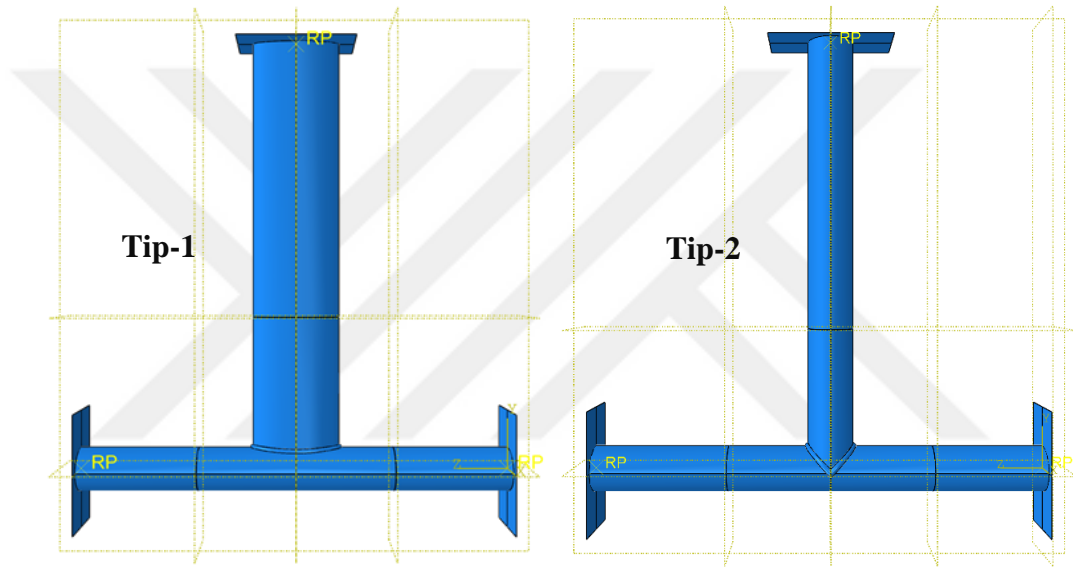
Doğrulama çalışmasında oluşturulan elemanlar uygun ağ aralıklarına (mesh) bölünmelidir. Gereğinden daha küçük ağ aralıkları tercih edilirse analiz çözüm süresi uzayacak, daha büyük ağ aralıkları tercih edilirse analiz sonuçlarının hassasiyeti azalacaktır. Analiz sonuçlarının güvenilir sonuçlar vermesi için sonlu eleman ağ aralıklarına bölme işlemi optimum aralıklarla olması gerekmektedir. EEP-T birleşimlerinin Tip-1 ve Tip-2 oryantasyonlarının örgü elemanı, başlık elemanı ve kaynağın et kalınlığı 5 mm alınmıştır. Sonlu eleman ağ aralığı da et kalınlığıyla eşit tutulmuştur. Yalnız örgü eleman ve başlık elemanının birleşim bölgesine uzak sonlu eleman ağ aralıkları et kalınlığının iki katı olacak şekilde alınmıştır. Şekil 2.8 birleşimlerin ağ aralıklarını göstermektedir.



Şekil 2.8. EEP T Birleşimlerinin Tip-1, Tip-2 sonlu eleman ağ aralıklarına bölünmüş halleri

2.1.2.1. Doğrulama Modeli

Şekil 2.9’da EEP-T birleşimlerine ait sonlu eleman modeli verilmektedir. Doğrulama modelinde başlık elemanı, örgü elemanı ve kaynak oluşturulduktan sonra Abaqus’te “parts” bölümünden “Analitical Rigid” kısmı seçilip iki boyutlu rijit levhalar oluşturulmuştur. Mesnet ve yük koşulları bu rijit levhalara tanıtılmıştır. Parametrik çalışmalarda ise örgü elemanında oluşan yerel deformasyonların önlenmesi için bu rijit levhanın yerine yük ve mesnet koşulları örgü elemanın ucundan eklenmiştir.



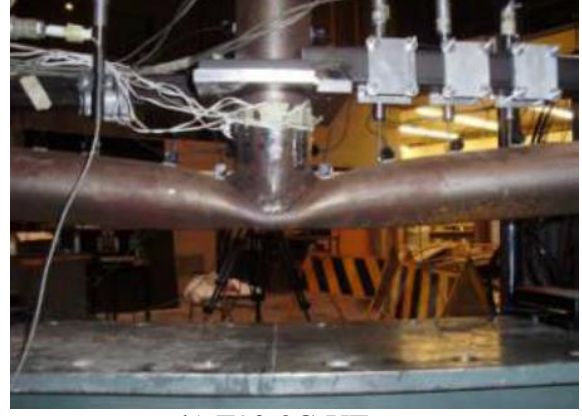
Şekil 2.9. Farklı oryantasyon türlerine ait EEP-T-Birleşimlerinin sonlu eleman modelleri

2.1.2.2. Doğrulama Sonuçları

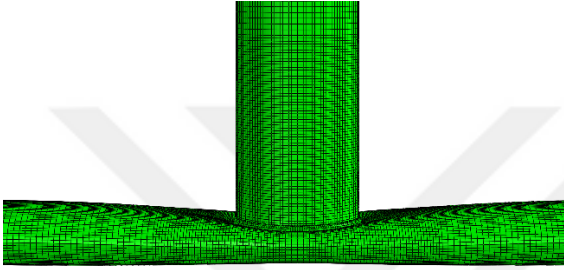
Packer vd. (2012) tarafından yapılan testlerin göçme modlarını ve yük-deplasman eğrileri sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırılarak doğrulama çalışması yapılmıştır. Şekil 2.10’ da Parker vd. (2012) tarafından yapılan deneysel testlerin ve bu çalışmada elde edilen sayısal modellerin göçme modlarını göstermektedir. Test sonuçları ve sayısal modellerden elde edilen deformasyonlar incelendiğinde, göçmelerin başlık elemanı üzerinde oluşan plastikleşmelerden ötürü olduğu görülmektedir. Şekil 2.10’daki karşılaştırmalardan görüleceği üzere, sayısal modellerin test sonuçlarına benzer davranışlar yaptığı söylenebilir.



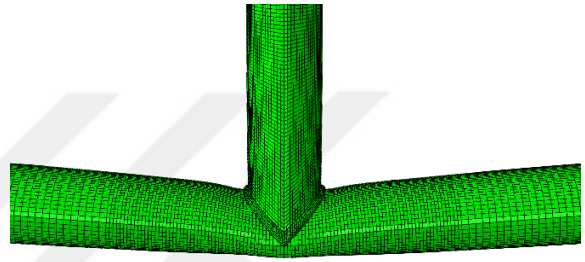
a) T90-1C-UT



b) T90-2C-UT



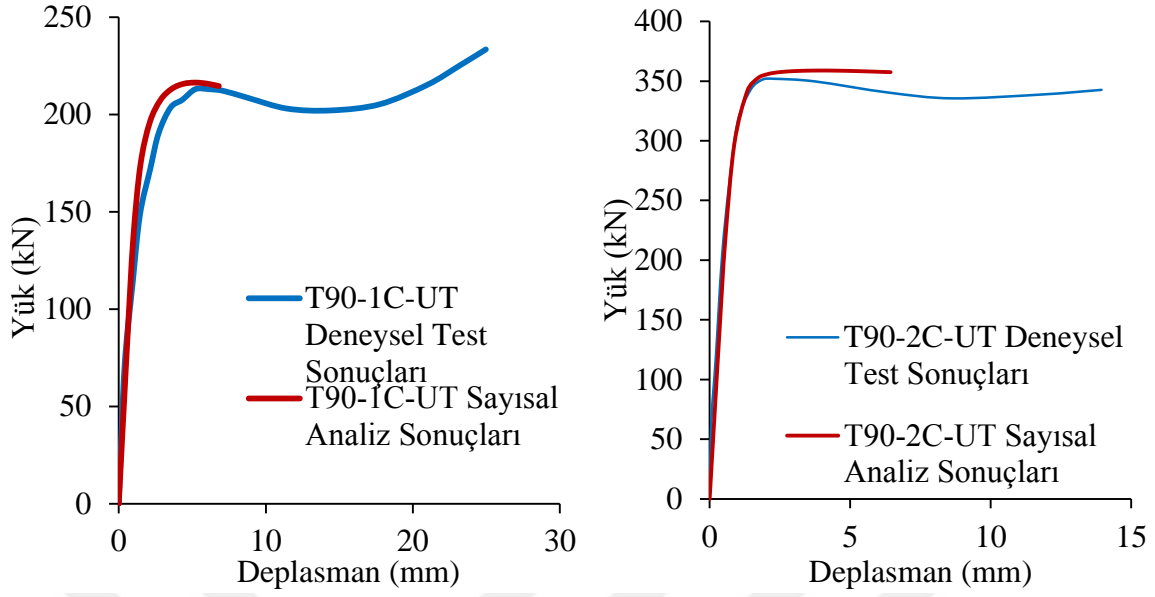
c) T90-1C-UT



d) T90-2C-UT

Şekil 2.10. Packer vd. (2012)'nin test sonuçları ile sayısal çalışmalardan elde edilen göçme modlarının karşılaştırılması

Parker vd.(2012) tarafından EEP-T birleşimleri üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen her bir test için, yük-deplasman eğrileri Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Şekil 2.11'den görüleceği üzere, sayısal analiz sonuçları ile deneysel test sonuçları ile test sonuçları birbirine çok yakındır.



Şekil 2.11. Packer vd. (2012) tarafından yapılan çalışmadan elde edilen T90-1C-UT ve T90-2C-UT test sonuçlarının sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırılması

Packer vd. (2012) raporunda T90-1C-UT'ye ait eksenel yük taşıma kapasitesi (N_{1u}) 216.5 kN olduğu belirtilmiştir. Yapılan sayısal analiz sonuçlarında ise eksenel yük taşıma kapasitesi 214 kN' dur. Bu değerlere bağlı olarak kabul edilebilir hata payının %5'ten küçük olduğu sonucuna varılmıştır. Packer vd. (2012) raporunda T90-2C-UT'ye ait eksenel yük taşıma kapasitesi (N_{1u}) 353 kN olduğu belirtilmiştir. Yapılan sayısal analiz sonuçlarında ise eksenel yük taşıma kapasitesi 357 kN' dur. Bu değerlere bağlı olarak kabul edilebilir hata payının %5'ten küçük olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 2.11' deki grafikten de görüldüğü gibi hata paylarının düşük olması yapılan çalışmanın doğruluğu açısından hem de yapılacak olan analizlerin güvenliliği açısından önemlidir.

2.1.3. Sonuçlar

Elips enkesitli kaynaklı T birleşimlerinin davranışları incelenirken elemanın malzeme özelliği, eleman tipleri, mesnet koşulları, eleman ağ aralıkları gibi parametreler çalışmanın doğruluğunu ortaya koymuştur. Yapılan doğrulama çalışmasından başlıca elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Örgü elemanı, başlık elemanı ve kaynak için 8 düğüm noktalı 3 boyutlu hacim eleman (C3D8I) tercih edilmiştir.
- Sonlu eleman ağ aralığı kaynak modeli için 5 mm alınmıştır.

- Başlık elemanı ve örgü elemanının kaynak ile birleştiği bölgede ağ aralığı, elemanların et kalınlığı ile eşit 5 mm'dir.
- Başlık elemanı ve örgü elemanın uç bölgelerinde yani sıklaştırma bölgesi haricinde sonlu eleman ağ aralığı ise et kalınlığının iki katı 10 mm olarak alınmıştır.
- Yüklemeler Abaqus'te mevcut olan Statik Risk yöntemi ile yapılmıştır.

2.2. Sayısal Analizler

Güçlendirilmiş EEP kaynaklı T birleşimlerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bu birleşimlerin davranışlarını etkileyecek sonlu eleman ağ aralıkları, eleman tipleri, malzeme özelliği gibi parametreler doğrulama çalışmasında incelenmiştir. Bu doğrultuda her bir parametrenin aksenal yük taşıma kapasitelerine ve göçme modlarına etkisi araştırılmıştır.

Sayısal analizlerde; profil en kesit boyutları, başlık uzunluğu, örgü elemanı uzunluğu, profilin et kalınlığı, farklı oryantasyon tipleri ve güçlendirme levhasının geometrik özellikleri dikkate alınmıştır. Çalışmada Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (2016), Eurocode 1993-1-8 (CEN-2005) ve CIDECT No.3 (2020) esas alınmıştır. Bu yönetmeliklerden alınacak formüller yardımıyla EEP çelik T birleşimlerin yük taşıma kapasiteleri, eşdeğer DEP metoduyla analitik olarak belirlenmiştir.

2.2.1. Kullanılan Parametreler

Güçlendirilmiş EEP-T birleşimlerin aksenal yük taşıma kapasitelerini incelemek için birçok parametre dikkate alınmıştır. Bu parametreler; farklı oryantasyon tipleri, örgü - başlık eleman çapına oranı (β), güçlendirme levhasının uzunluğudur. Tablo 2.2' de parametrik çalışmalarda kullanılan birleşimlerin geometrik özelliklerini özetlemektedir.

Tablo 2.2'deki 1. ve 2. Grup, Şekil 1.5'teki Tip 1 ve Tip 2'ye göre modellenmiştir. 1. Grupta 6 adet Tip-1, 6 adet Tip-2 ve 2 adet güçlendirilmemiş birleşim (referans birleşim), 2.Grupta 3 adet Tip-1, 3 adet Tip-2 ve 2 adet güçlendirilmemiş birleşim (referans birleşim) olmak üzere toplam 22 adet EEP T birleşimi modellenmiştir.

Tip-1 ve Tip-2 oryantasyonları dikdörtgen enkesitli profillerle benzerlik gösterdiği için gruplarda Tip-1 ve Tip-2 oryantasyonları kullanılmıştır.

Tablo 2.2. Güçlendirilmiş EEP-T birleşimlerinin elemanlarının boyutları

	1.Grup	2.Grup
Başlık Elemanı Boyutları (mm)	300x150x8 L=3000	300x150x8 L=3000
Örgü Elemanı Boyutları(mm)	250x125x8 L=1500	200x100x8 L=1200
Güçlendirme Levha Boyutları (mm)	300x8 300x16 450x8 450x16 600x8 600x16	300x8 450x8 600x8

Tablo 2.3'te sayısal analizlerde kullanılan elips birleşimlerin adlandırılması ve geometrik özellikleri verilmiştir. Bu adlandırmada;

- T1, T birleşim tipini, 1.grup elemanı ve 1.oryantasyonu
- T2, T birleşim tipini, 2.grup elemanı ve 1. oryantasyonu
- TT1, T birleşim tipini, 1.grup elemanı ve 2.oryantasyonu
- TT2, T birleşim tipini, 2.grup elemanı ve 2. oryantasyonu olduğunu göstermektedir.

Tablo 2.3. Sayısal analizlerde ve analitik hesaplamalarda kullanılan birleşimlerin geometrik özellikleri

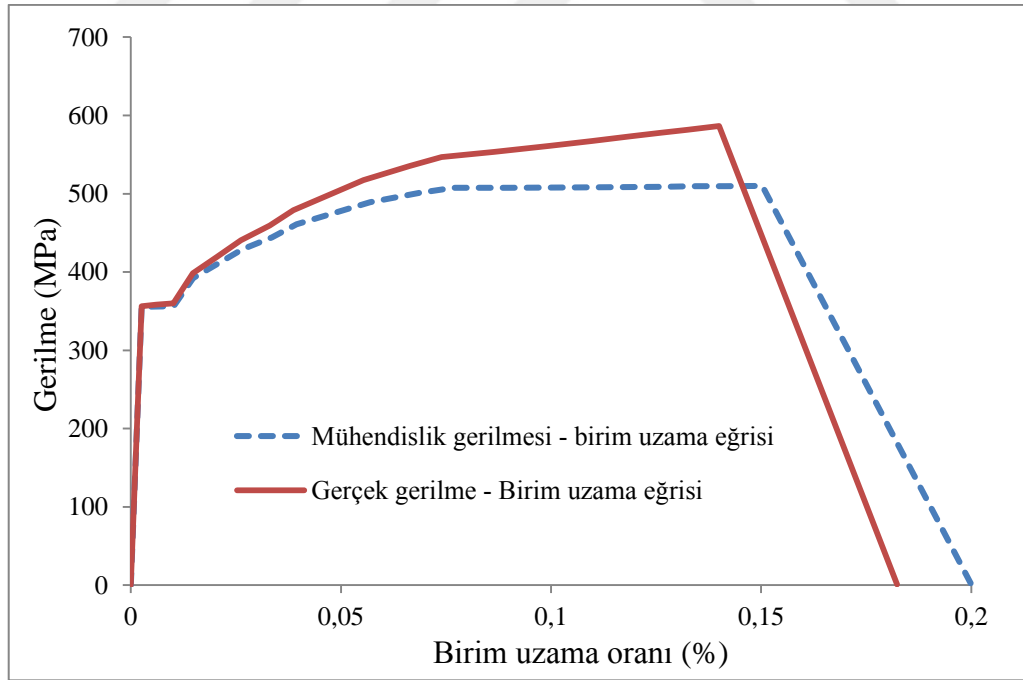
Birleşim Adı	Başlık Elemanı Boyutları	Örgü Elemanı Boyutları	Güçlendirme Levha Boyutları
	(B;D;T;L) (mm)	(b;d;t;l) (mm)	(b ₀ ;t ₀) (mm)
T1	(300;150;8;3000)	(250;125;8;1500)	-
T1-300-8	(300;150;8;3000)	(250;125;8;1500)	(300;8)
T1-300-16	(300;150;8;3000)	(250;125;8;1500)	(300;16)
T1-450-8	(300;150;8;3000)	(250;125;8;1500)	(450;8)
T1-450-16	(300;150;8;3000)	(250;125;8;1500)	(450;16)
T1-600-8	(300;150;8;3000)	(250;125;8;1500)	(600;8)
T1-600-16	(300;150;8;3000)	(250;125;8;1500)	(600;16)
T2	(300;150;8;3000)	(200;100;8;1200)	-
T2-300-8	(300;150;8;3000)	(200;100;8;1200)	(300;8)
T2-450-8	(300;150;8;3000)	(200;100;8;1200)	(450;8)
T2-600-8	(300;150;8;3000)	(200;100;8;1200)	(600;8)
TT1	(300;150;8;3000)	(250;125;8;1500)	-
TT1-300-8	(300;150;8;3000)	(250;125;8;1500)	(300;8)
TT1-300-16	(300;150;8;3000)	(250;125;8;1500)	(300;16)
TT1-450-8	(300;150;8;3000)	(250;125;8;1500)	(450;8)
TT1-450-16	(300;150;8;3000)	(250;125;8;1500)	(450;16)
TT1-600-8	(300;150;8;3000)	(250;125;8;1500)	(600;8)

Tablo 2.3'ün devamı

Birleşim Adı	Başlık Elemanı Boyutları	Örgü Elemanı Boyutları	Güçlendirme Levha Boyutları
	(B;D;T;L) (mm)	(b;d;t;l) (mm)	(b ₀ ;t ₀) (mm)
TT1-600-16	(300;150;8;3000)	(250;125;8;1500)	(600;16)
TT2	(300;150;8;3000)	(200;100;8;1200)	-
TT2-300-8	(300;150;8;3000)	(200;100;8;1200)	(300;8)
TT2-450-8	(300;150;8;3000)	(200;100;8;1200)	(450;8)
TT2-600-8	(300;150;8;3000)	(200;100;8;1200)	(600;8)

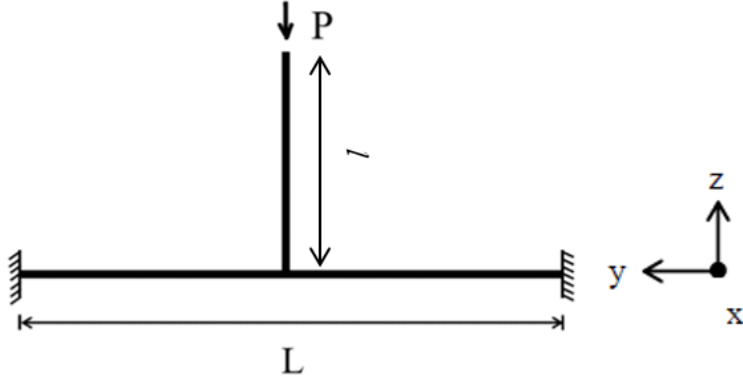
2.2.2. Malzeme Özellikleri ve Mesnet Koşulları

Sayısal analizlerde S355 çelik sınıfı kullanılmıştır. Elastisite modülü (E) 210000N/mm² ve poisson oranı (ν) 0,3 olarak alınmıştır. Karakteristik akma gerilmesi (f_y) 355 N/mm², karakteristik çekme dayanımı (f_u) 510 N/mm² olarak dikkate alınmıştır. Şekil 2.12'de gösterildiği gibi, gerçek gerilme-şekil değiştirme eğrisi kullanılmıştır.



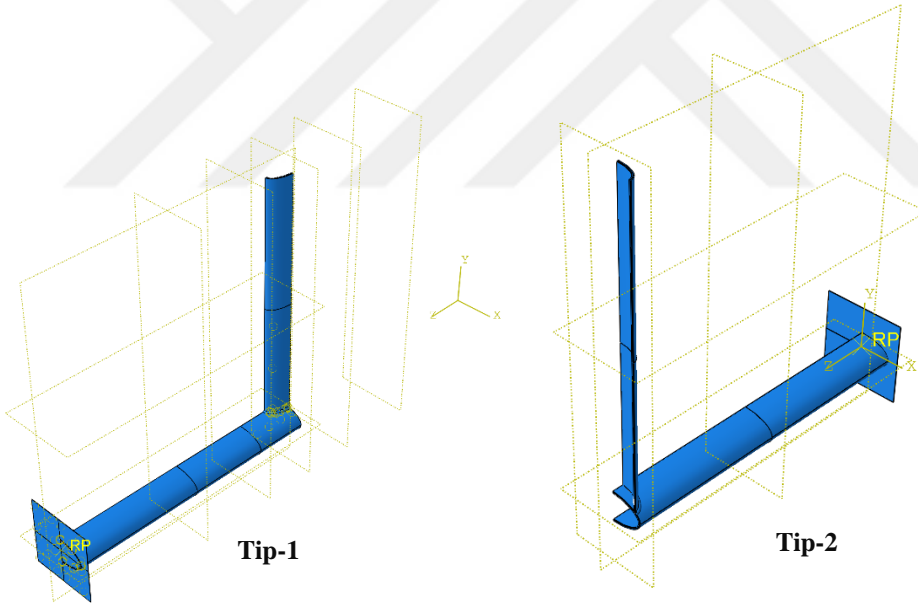
Şekil 2.12. Parametrik çalışmalarda kullanılan gerilme-şekil değiştirme eğrisi

Şekil 2.13, parametrik çalışmalarda kullanılan mesnet koşullarını göstermektedir.



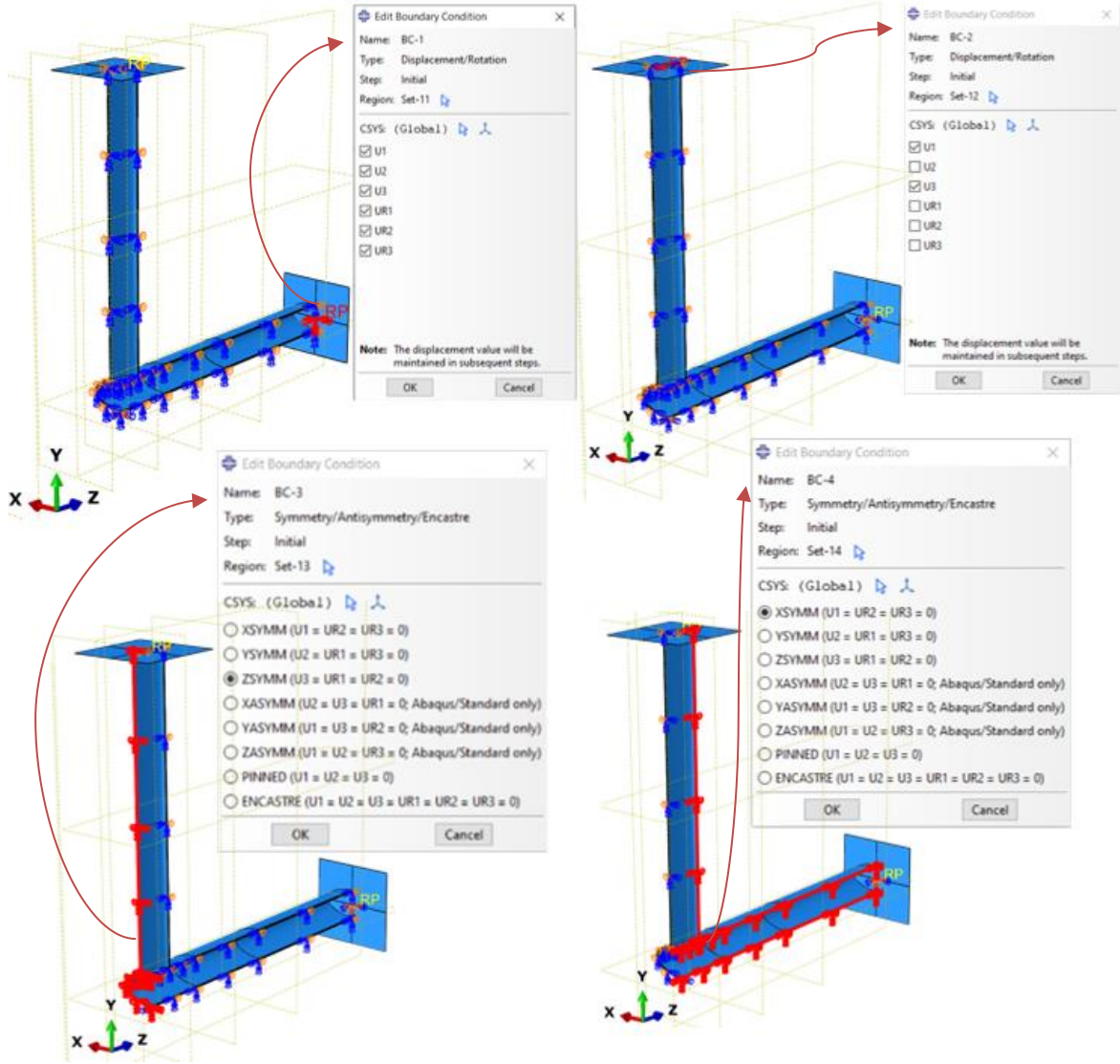
Şekil 2.13. EEP-T birleşimlerine ait sınır koşulları

Mesnet koşulları ve yük durumu simetrik olduğundan birleşimin sadece dörtte biri modellenmiştir. Şekil 2.14’te olduğu gibi birleşimin dörtte biri kısmı üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.14. Sayısal analizlerde kullanılan EEP-T birleşimlerinin mesnet koşulları

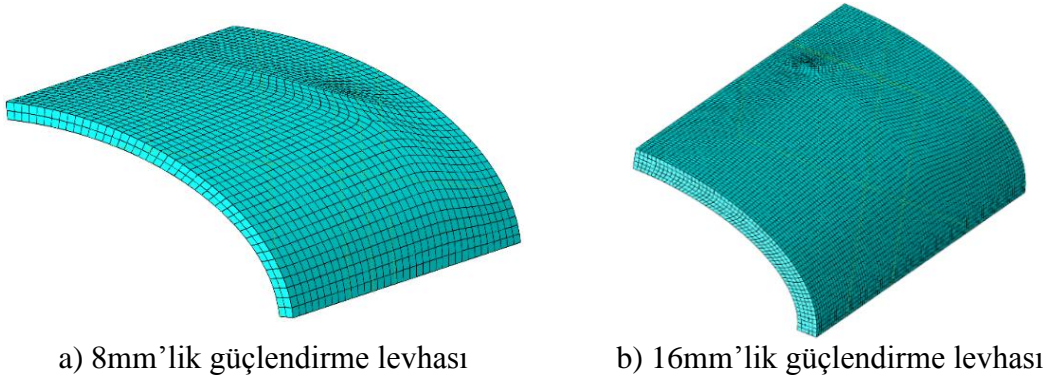
Simetriden ötürü birleşimin kesilen yüzeylerine gerekli mesnet koşulları tanımlanmıştır. Bunun için, simetri ekseninde sınır koşulları ankastre seçilmiş ve eksen doğrultusunda tutulmuştur. Yataydaki serbestlikler tutulu, düşeydekiler ise serbesttir. Şekil 2.15’te EEP-T birleşimlerinin mesnet koşulları gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Sayısal analizlerde kullanılan EEP-T birleşimlerinin mesnet koşulları

2.2.3. Güçlendirme Levhasının Modellenmesi

Elips en kesitli içi boş profillerin aksenal yüklü T birleşimlerinin, Tip-1 ve Tip-2 oryantasyonlarında örgü elemanı ve başlık elemanının kesiştiği birleşim bölgesine kalınlığı 8mm ve 16 mm olan güçlendirme levhaları kullanılmıştır. Şekil 2.16' da bu iki kalınlığa ait sonlu eleman ağ aralıklarına bölünmüş hali gösterilmiştir. Güçlendirme levha uzunlukları 300 mm, 450 mm ve 600 mm olarak dikkate alınmıştır. En küçük levha uzunluğu başlık elemanı genişliğine eşit olacak şekilde seçilmiştir. Bu sayede güçlendirme levhasının geometrik özelliklerinin birleşimde meydana getireceği etki araştırılmıştır.



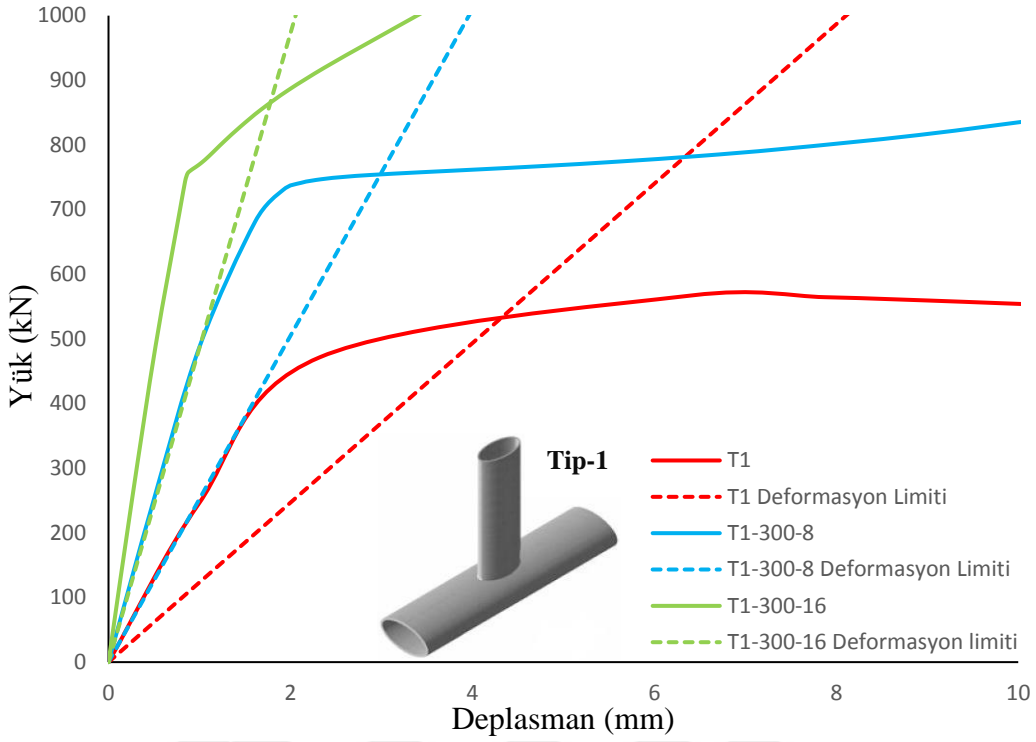
Şekil 2.16. Güçlendirme levhalarının sonlu eleman ağ aralıklarına bölünmüş hali

2.2.4. Analiz Sonuçları

Tablo 2.3'te EEP-T birleşimlerinin geometrik özellikleri verimiştir. Tip-1 ve Tip-2 test sonuçlarında doğrulama çalışması sonucunda elde edilen verileri (eleman türü, yükleme yöntemi, ağ aralıkları ve bağlantı yöntemi) kullanılarak güçlendirilmiş EEP-T birleşimlerinin aksenal basınç kuvveti altında dayanımları ve göçme modları sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

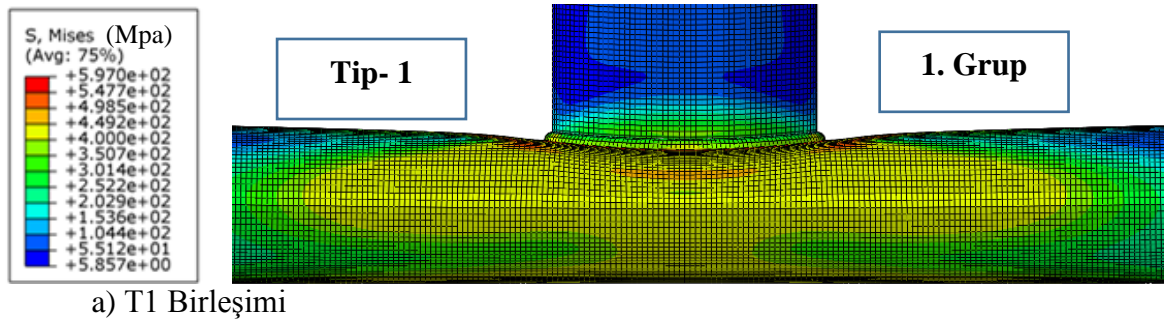
2.2.4.1. Tip 1 Birleşimlerinde Güçlendirme Levha Kalınlığının Aksenal Yük Taşıma Kapasine Etkisi

Tip-1 için 1. Grup birleşimlerinde güçlendirme levha uzunluğu sabit tutularak sadece et kalınlığı değişken olarak kabul edilip birleşimlerin göçme modu ve aksenal yük taşıma kapasitesi incelenmiştir. Şekil 2.17'de güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş T birleşimlerine ait yük-deplasman eğrileri gösterilmiştir. Ayrıca, her bir eğriye ait deformasyon limitleri kesik çizgiler ile belirtilmiştir. T1, T1-300-8 ve T1-300-16 birleşimlerine ait deformasyon limiti eğrilerinin yük eksenine ile yaptıkları açı sırasıyla 49°, 29° ve 11°'dir. Şekil 2.17'den görüleceği üzere, güçlendirme levhasının kalınlığı arttıkça referans numuneye göre (T1) göre aksenal yük taşıma kapasitesi; T1-300-8 birleşiminde %37 ve T1-300-16 birleşiminde ise %62 artış sağladığı sonucuna varılmıştır.



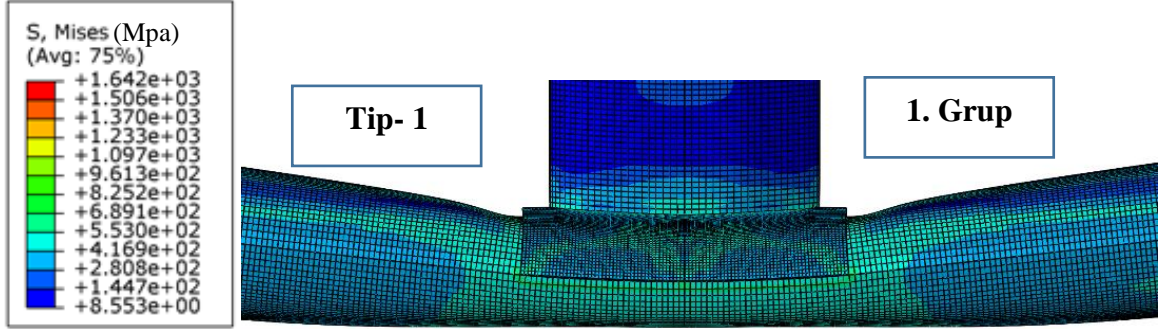
Şekil 2.17. T1, T1-300-8 ve T1-300-16 birleşimlerinin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 2.18'de 1. Grup numuneler için göçme durumuna ait deformasyon ve gerilme kontur diyagramları verilmiştir. Şekil 2.18(a)'da, gerilme yığılmaları kaynağın ucundaki birleşim bölgesinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Güçlendirilmiş birleşimlerde ise, gerilme yığılmaları güçlendirme levhasının ucundaki başlık elemanı üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Şekil 2.18'de görüleceği üzere güçlendirilmiş birleşimlerin akma alanı referans numuneye göre daha büyük olduğundan birleşimin dayanımı artmıştır.

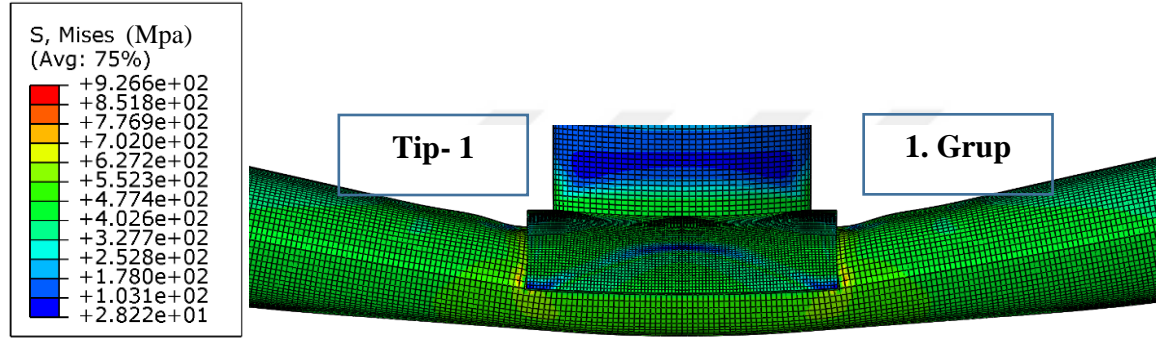


Şekil 2.18. 1. grup birleşimlerde göçmeden sonra meydana gelen gerilme dağılımları

Şekil 2.18'in devamı



b) T1-300-8

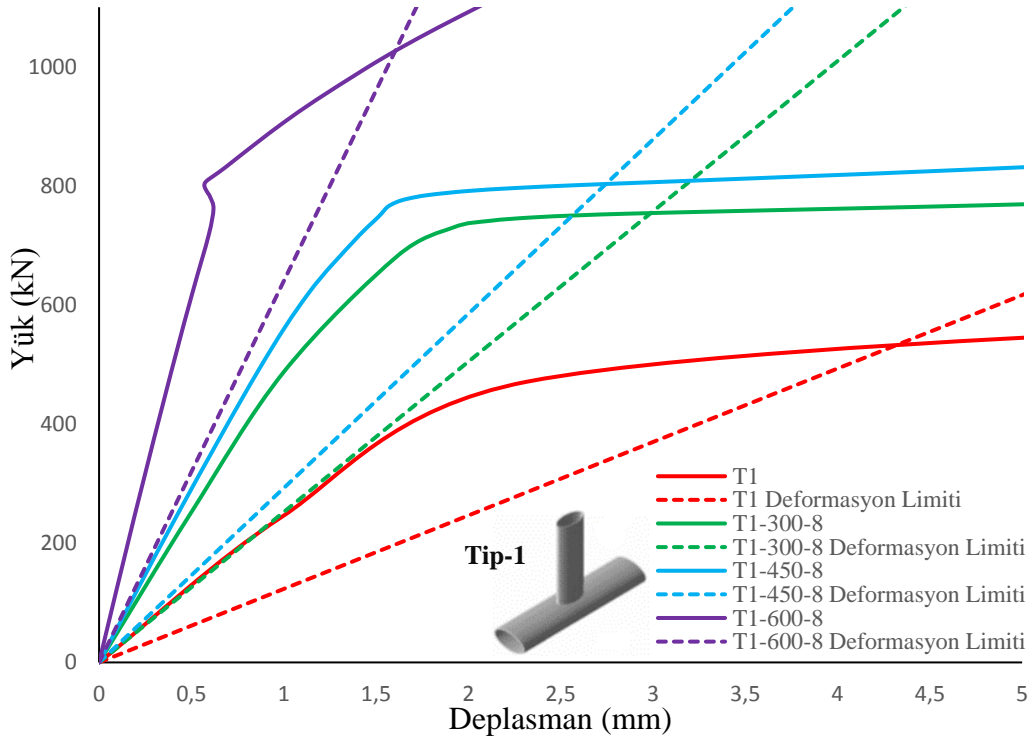


c) T1-300-16

2.2.4.2. Tip 1 Birleşimlerinde Güçlendirme Levha Uzunluğunun Eksenel Yük Taşıma Kapasitesine Etkisi

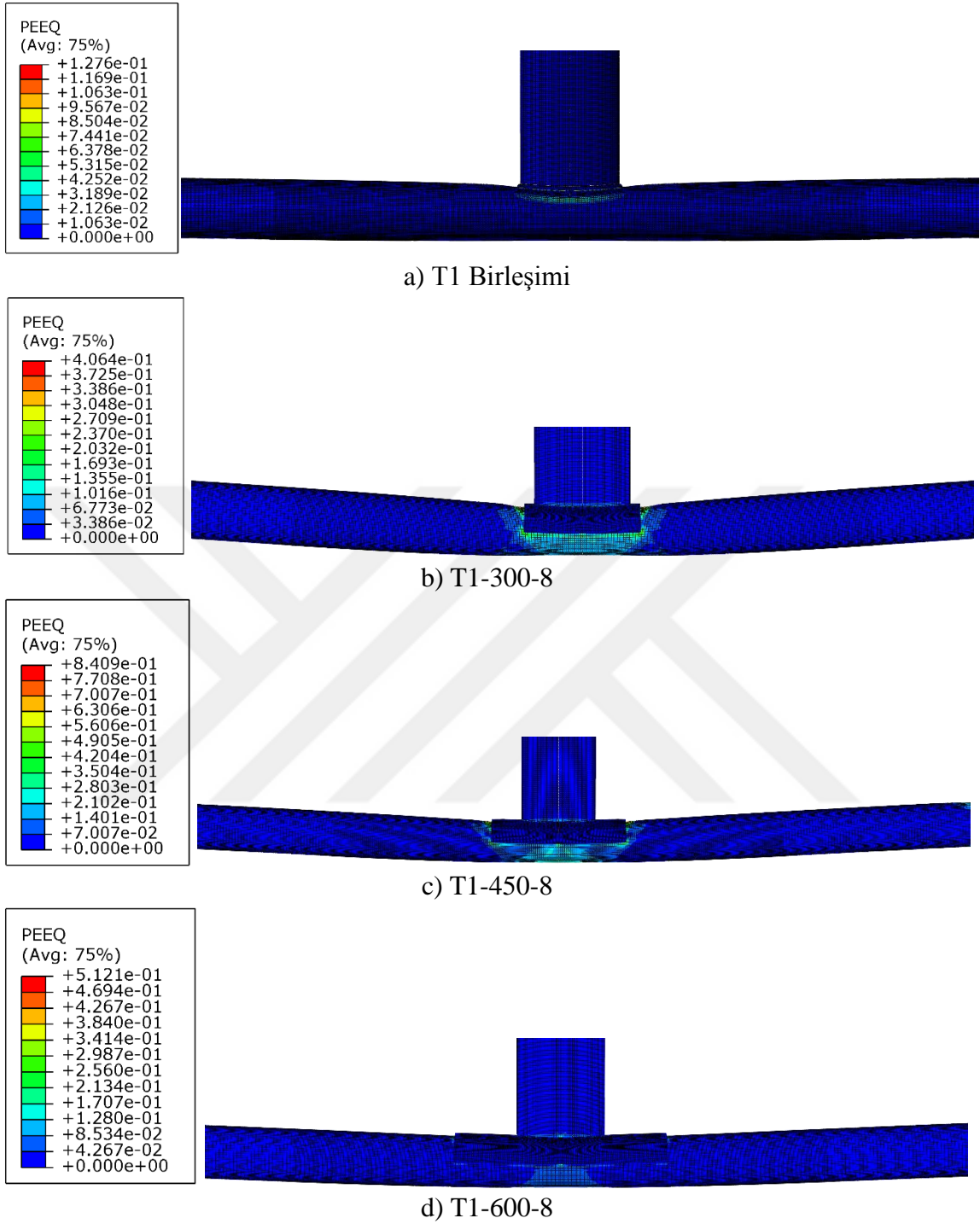
Tip-1, 1. ve 2. grup birleşimlerinde güçlendirme levha kalınlığı sabit tutularak sadece levha uzunluğu değişken olarak değerlendirilip birleşimlerin davranışları ve eksenel yük taşıma kapasitesi üzerine etkileri incelenmiştir.

Şekil 2.19'da, 1. Grup için güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş T birleşimlerine ait yük-deplasman eğrileri deplasman limitleri ile verilmiştir. Her bir eğriye ait deformasyon limitleri kesik çizgiler ile belirtilmiştir. T1, T1-300-8, T1-450-8 ve T1-600-8 birleşimlerine ait deformasyon limiti eğrilerinin yük eksenine yaptıkları açı sırasıyla 69°, 51°, 47° ve 26° dir. Şekil 2.19'dan görüleceği üzere, güçlendirme levhası uzunluğu arttıkça referans birleşim (T1) göre eksenel yük taşıma gücü kapasitesi; T1-300-8 birleşiminde %50 ve T1-600-8'de ise %90 artış sağladığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 2.19. T1-300-8, T1-450-8 ve T1-600-8 birleşimlerinin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

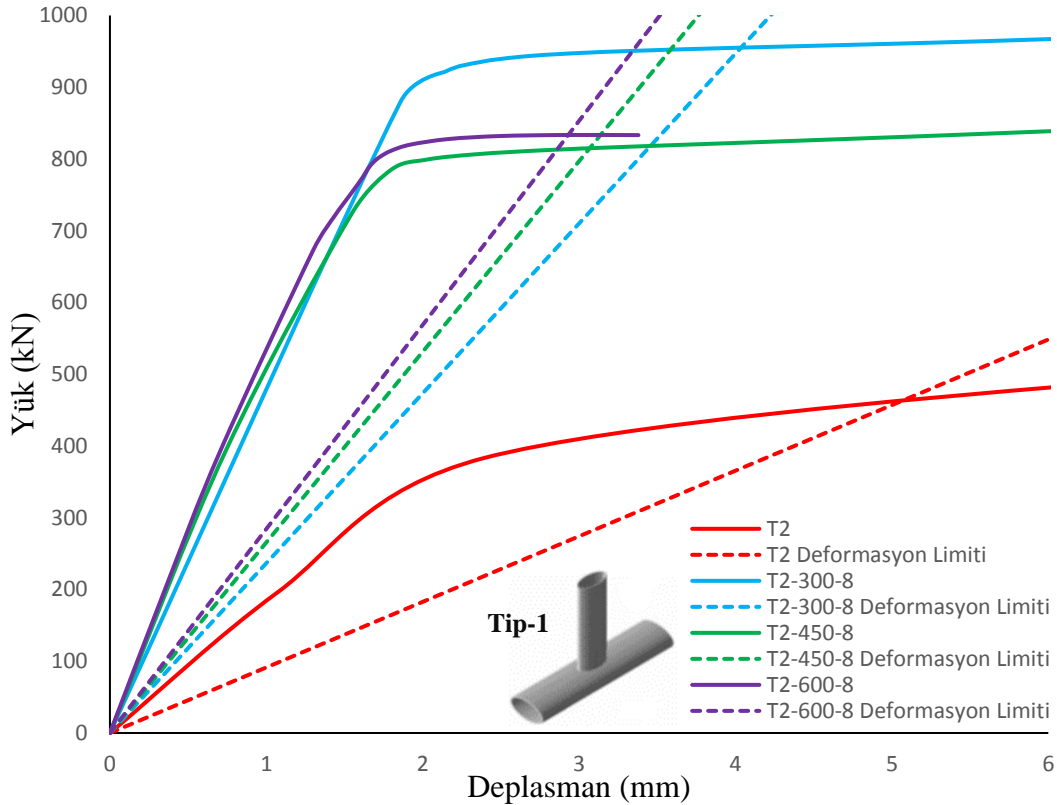
Şekil 2.20, T1, T1-300-8, T1-450-8 ve T1-600-8 birleşimlerine ait plastik şekil değiştirme dağılımlarını göstermektedir. Şekil 2.19'da görülen T1-600-8 birleşimine ait yük-deplasman eğrisi diğer birleşimlerinden farklı bir eğilim göstermektedir. Şekil 2.20'den de görüleceği üzere, bu birleşime ait plastik şekil değiştirmeler güçlendirme levhası üzerinde oluşmaya başlayıp levhanın eğilme dayanımına ulaştığını göstermektedir. Ancak, diğer iki güçlendirilmiş birleşimlerde güçlendirme levhaları daha kısadır ve plastik şekil değiştirmeler başlık elemanı üzerinde yoğunlaşmıştır. Göçme durumundaki bu farklılıktan ötürü T1-600-8 birleşiminin yük-deplasman eğrisi diğer birleşimlerinden farklı bir eğilim izlemiştir.



Şekil 2.20. T1, T1-300-8, T1-450-8 ve T1-600-8 birleşimlerinin plastik şekil değiştirmeleri

Şekil 2.21’de Tip-1, 2.grup birleşimlerinin güçlendirme levhası kalınlığından bağımsız, güçlendirme levhası uzunluğuna göre deformasyon limitleri ile karşılaştırılmıştır. Her bir eğriye ait deformasyon limitleri kesik çizgiler ile belirtilmiştir. T2, T2-300-8, T2-450-8 ve T2-600-8 birleşimlerine ait deformasyon limiti eğrilerinin yük eksenini yaptıkları

açı sırasıyla 67°, 43°, 40° ve 38° dir. Referans numune (T2) birleşiminin aksenal yük taşıma kapasitesi, güçlendirilmiş T2-300-8 birleşiminde %65, T2-450-8 birleşiminde %76 ve T2-600-8 birleşiminde ise %80 arttığı görülmüştür. Tip-2, 1. grup birleşimlerine benzer şekilde levha uzunluğu arttıkça dayanımının arttığı sonucuna varılmıştır.



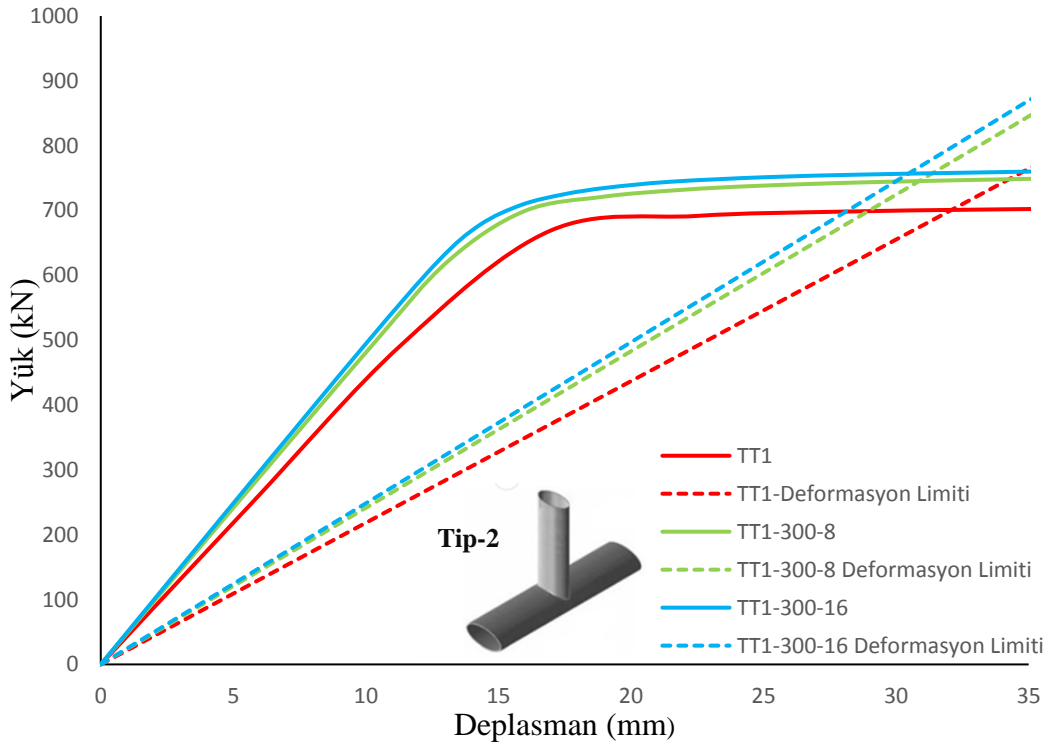
Şekil 2.21. T2-300-8, T2-450-8 ve T2-600-8 birleşimlerinin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

2.2.4.3. Tip 2 Birleşimlerinde Güçlendirme Levha Kalınlığının Aksenal Yük Taşıma Kapasitesine Etkisi

Tip-2, 1.grup birleşimlerinde güçlendirme levha uzunluğu sabit tutularak sadece et kalınlığı değişken olarak değerlendirilip birleşimlerinin davranışları ve aksenal yük taşıma kapasiteleri incelenmiştir.

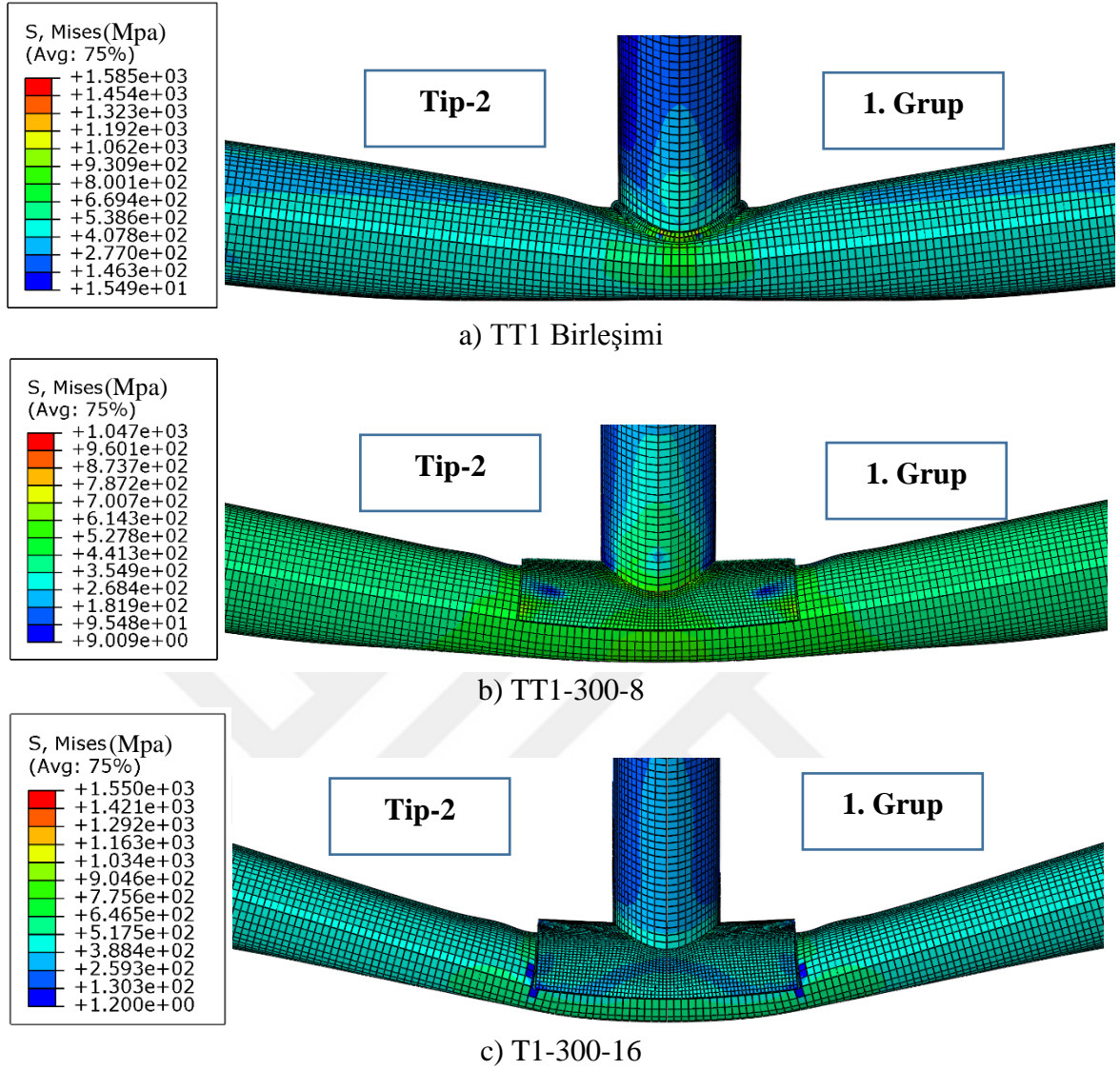
Şekil 2.22’de, güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş T birleşimlerine ait yük-deplasman eğrileri gösterilmiştir. Her bir eğriye ait deformasyon limitleri kesik çizgiler ile belirtilmiştir. TT1, TT1-300-8, ve TT1-300-8 birleşimlerine ait deformasyon limiti eğrilerinin yük eksenine yaptıkları açı sırasıyla 62°, 60° ve 59° dir. Şekil 2.20’den görüleceği üzere, güçlendirme

levhası kalınlığı arttıkça güçlendirilmiş birleşim olan TT1'e göre aksel yük taşıma kapasitesi; TT1-300-8 birleşiminde %6 ve TT1-300-16 birleşiminde ise %7 artış sağladığı görülmüştür. Böylece, Tip-2 birleşimlerinde levha kalınlığının artırılması aksel yük taşıma kapasitesine etkisi yok denecek kadar az olmaktadır.



Şekil 2.22. TT1, TT1-300-8 ve TT1-300-16 birleşimlerinin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 2.23(a)'da güçlendirilmemiş TT1 birleşiminin, Şekil 2.23(b)'de güçlendirilmiş TT1-300-8 birleşiminin, Şekil 2.23(c)'de ise güçlendirilmiş TT1-300-16 birleşiminin göçmeden sonra meydana gelen gerilme dayanımları görülmektedir. Şekillerden görüleceği üzere, et kalınlığının artırılması göçme modunu değiştirmemiştir. Plastik şekil değiştirmeler her birleşim türünde başlık elemanı üzerinde olmuştur. Bu nedenle et kalınlığının aksel yük taşıma kapasitesine etkisi belirgin değildir.



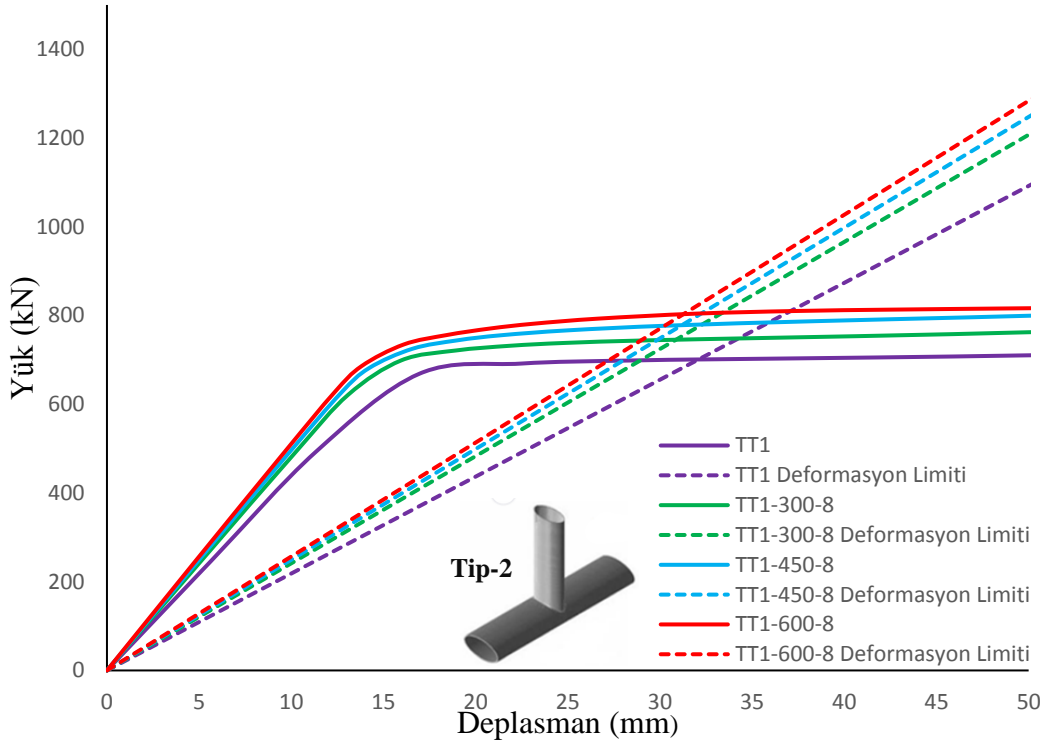
Şekil 2.23. TT1 bileşiminde göçmeden sonra meydana gelen gerilme dağılımları

2.2.4.4. Tip 2 Birleşimlerinde Güçlendirme Levha Uzunluğunun Eksenel Yük Taşıma Kapasitesine Etkisi

Tablo 2.2.'de bahsedilen Tip-2, 1. ve 2. grup birleşimlerinde güçlendirme levha kalınlığı sabit tutularak sadece levha uzunluğu değişken olarak değerlendirip birleşimlerin davranışları ve eksenel yük taşıma kapasiteleri incelenmiştir.

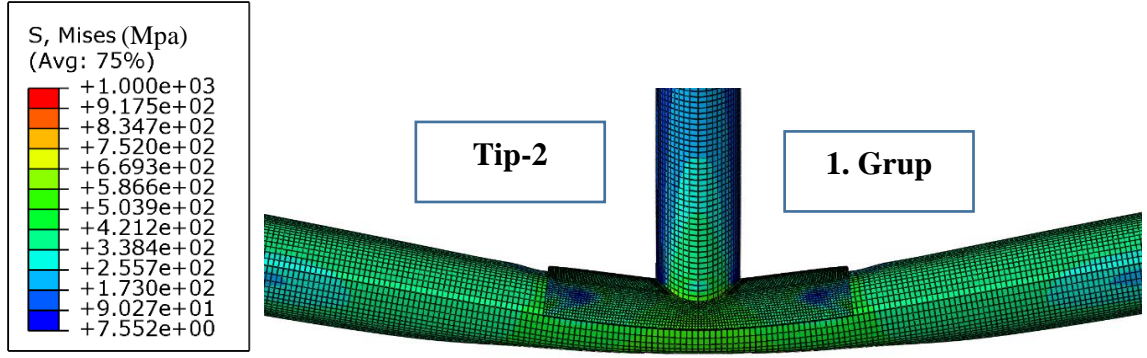
Şekil 2.24'te, güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş Tip-2 T birleşimlerine ait yük-deplasman eğrileri gösterilmiştir. Her bir eğriye ait deformasyon limitleri kesik çizgiler ile belirtilmiştir. TT1, TT1-300-8, TT1-450-8 ve TT1-600-8 birleşimlerine ait deformasyon limiti eğrilerinin yük eksenine yaptıkları açı sırasıyla 62°, 60°, 59° ve 58° dir. Şekil 2.24'ten

görülebileceği üzere, güçlendirme levhası uzunluğu arttıkça referans numuneye (TT1) göre aksel yük taşıma kapasitesi; TT1-300-8 birleşiminde %6, TT1-450-8 birleşiminde %11 ve TT1-600-8'de birleşiminde ise %14 artış sağlanmıştır. Bu artış oranlarından anlaşılacağı üzere, Tip-2 birleşimlerinde güçlendirme levhasının uzunluğu birleşimlerin aksel yük taşıma kapasitesi üzerine etkisi çok azdır.



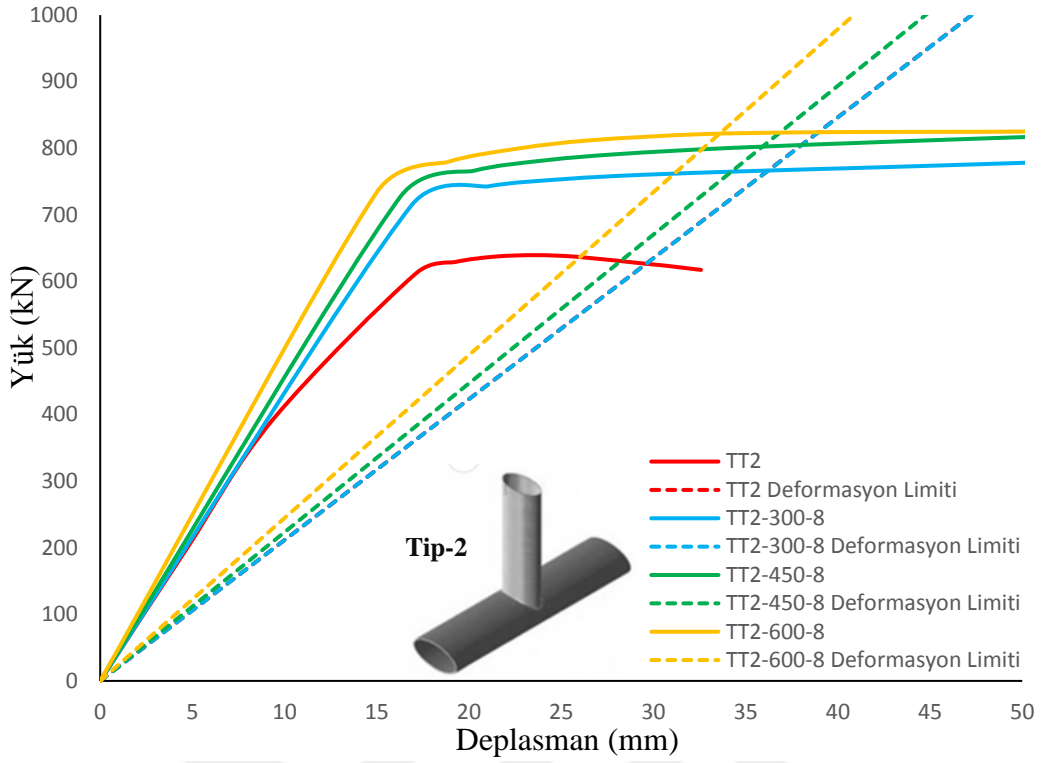
Şekil 2.24. TT1-300-8, TT1-450-8 ve TT1-600-8 birleşimlerinin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 2.25, Tip-2 birleşimlerine ait genel bir göçme modunu ve gerilme dağılımını göstermektedir. Başlık elemanı üzerinde plastik şekil değiştirmeler gözlenmiştir. Diğer birleşimlerin gerilme dağılımları ve göçme modları benzer olduğu için burada eklenmemiştir.



Şekil 2.25. TT1-450-8 bileşiminde göçmeden sonra meydana gelen gerilme dağılımı

Şekil 2.26’da Tip-2, 2. Grup birleşimlerinin güçlendirme levha kalınlığından bağımsız, uzunluğuna göre deformasyon limitleri ile karşılaştırılmıştır. Her bir eğriye ait deformasyon limitleri kesik çizgiler ile belirtilmiştir. TT2, TT2-300-8, TT2-450-8 ve TT2-600-8 birleşimlerine ait deformasyon limiti eğrilerinin yük eksenine ile yaptıkları açı sırasıyla 53°, 53°, 51° ve 49° dir. Referans numune (TT2) birleşiminin aksenal yük taşıma kapasitesindeki artış, TT2-300-8 birleşiminde %32, TT2-450-8 birleşiminde %33 ve TT2-600-8 birleşiminde ise %34 kadar olduğu görülmüştür. Tip-2, 2. Grup birleşimlerinde levha uzunluğu arttıkça aksenal yük taşıma kapasitesini çok az arttığı sonucuna varılmıştır. Ancak, 1. Grup birleşimlerin aksenal yük taşıma kapasitesindeki artış miktarı ile karşılaştırıldığında, 2. Grup birleşimlerin dayanımlarındaki artış daha fazladır. Bunun sebeplerinden bir tanesi 2. Grup birleşimlerin β değeri daha küçük olduğundan güçlendirme levhasının etki alanını daha fazla artmıştır.



Şekil 2.26. TT2, TT2-300-8, TT2-450-8 ve TT2-600-8 birleşimlerinin yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

2.2.5. Önerilen Tasarım Modeli

Parametrik çalışmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, elips enkesitli güçlendirilmiş T birleşimlerinin aksenal yükleme altında taşıma kapasiteleri güvenli olarak hesaplanabilmesi için yeni bir tasarım yöntemi önerilmiştir. Sayısal analiz sonuçları incelendiğinde, güçlendirme levhasının birleşimin dayanıma olan etkisi oryantasyon türüne göre farklılıklar göstermiştir. Bunun için EEP-T birleşimlerine ait Tip-1 ve Tip-2 oryantasyonları için ayrı ayrı tasarım yöntemi geliştirilmiştir.

Önerilen tasarım metodunda, çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen ψ katsayısı mevcut yönetmeliklerden elde edilen eşdeğer DEP yöntemine göre hesaplanan güçlendirilmemiş EEP-T birleşim dayanımlarına çarpan olarak eklenmiştir. Bu çoklu regresyon analizinde; β , γ ve λ değerleri değişken, sayısal analiz sonuçlarının analitik sonuçlara oranları ise bağımlı olan parametrelerdir.

2.2.5.1. Tip-1 Oryantasyonları için Önerilen Yöntem

Tip-1 ve Tip-2 oryantasyonları, örgü elemanının ekseni etrafında 90°'lik açı ile dönmesine bağlı olarak oluşturulan iki ayrı oryantasyondur. Bu oryantasyonlarda başlık elemanının zayıf ekseninde çalışır. Bu çalışma kapsamında zayıf ekseninde çalışan başlık elemanını güçlendirmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Tablo 2.4'te EEP-T birleşimlerinin Tip-1 oryantasyonuna ait sayısal analiz sonuçlarını; eksenel yük taşıma kapasitelerini, güçlendirilmiş birleşimin eksenel yük taşıma kapasitesinin güçlendirilmemiş birleşiminkine oranlarını ve regresyon analizinde kullanılan değişken parametreleri göstermektedir.

Tablo 2.4. EEP T-birleşimlerinin Tip-1 oryantasyonuna göre sonlu elemanlar programı kullanılarak elde edilen sayısal analiz sonuçları

Birleşimin Adı	Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen eksenel yük taşıma kapasiteleri (kN)	Güçlendirilmiş birleşimin eksenel yük taşıma kapasitesinin güçlendirilmemiş birleşiminkine oranı	$\beta = \frac{b}{B}$	$\gamma = \frac{b}{b_0}$	$\lambda = \frac{t_0}{T}$
T1	1075	1.00	0.42	-	-
T1-300-8	1475	1.37	0.42	0.42	1.00
T1-300-16	1750	1.63	0.42	0.42	2.00
T1-450-8	1612.5	1.50	0.42	0.28	1.00
T1-450-16	2000	1.86	0.42	0.28	2.00
T1-600-8	2050	1.91	0.42	0.21	1.00
T1-600-16	2250	2.09	0.42	0.21	2.00
T2	925	1.00	0.33	-	-
T2-300-8	1525	1.65	0.33	0.67	1.00
T2-450-8	1625	1.76	0.33	0.44	1.00
T2-600-8	1662.5	1.80	0.33	0.33	1.00

Tip-1 oryantasyonlarına göre güçlendirilmiş birleşimler için yapılan regresyon analizi sonucunda, regresyon istatistiklerinde çoklu R değeri 0,82 için önerilen katsayı (ψ_1) denklem (2.3)'de sunulmuştur.

$$\Psi_1 = 3,36 - 3,97 * \beta + 0,26 * \gamma - 1,21 * \lambda \quad (2.3)$$

2.2.5.2. Tip-2 Oryantasyonları için Önerilen Yöntem

Tip-2 oryantasyonu, örgü elemanının 90°'lik açı ile dönmesine bağlı olarak oluşturulan oryantasyon türüdür. Bu oryantasyonda başlık elemanının zayıf ekseninde çalışır. Tablo 2.5'te EEP T-birleşimlerinin Tip-2 oryantasyonuna ait sayısal analiz sonuçlarını; eksenel yük taşıma kapasitelerini, güçlendirilmiş birleşimin eksenel yük taşıma kapasitesinin güçlendirilmemiş birleşiminkine oranlarını ve regrasyon analizinde kullanılan değişken parametreleri göstermektedir.

Tablo 2.5. EEP T-birleşimlerinin Tip-2 oryantasyonuna göre sonlu elemanlar programı kullanılarak elde edilen sayısal analiz sonuçları

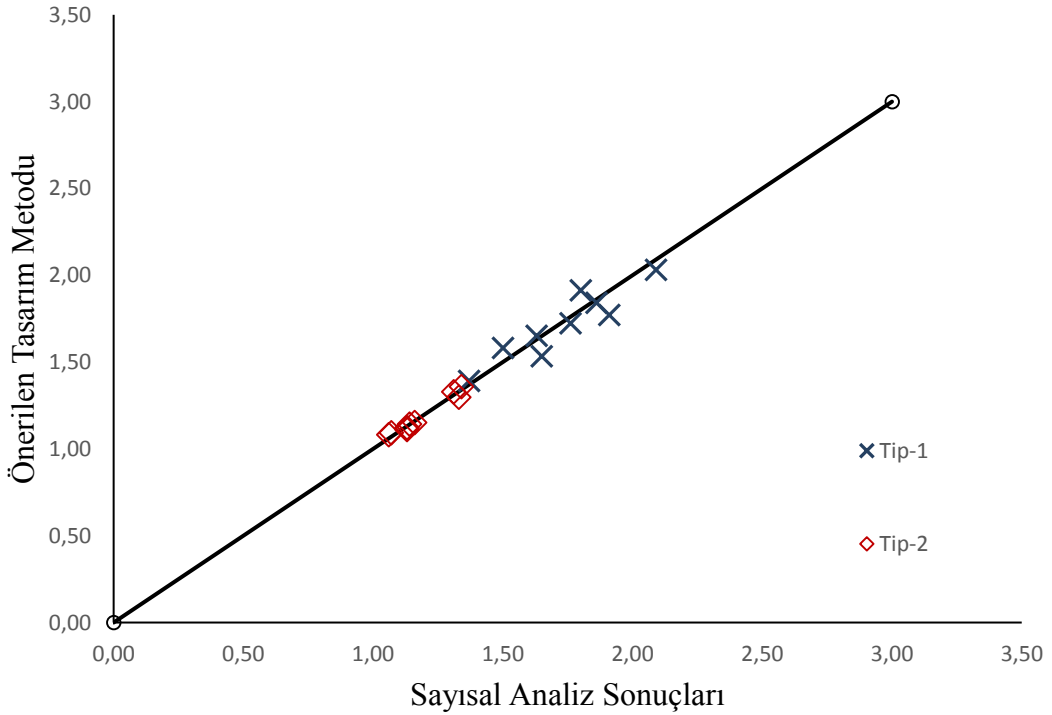
Birleşimin Adı	Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen eksenel yük taşıma kapasiteleri (kN)	Güçlendirilmiş birleşimin eksenel yük taşıma kapasitesinin güçlendirilmemiş birleşimine oranı	$\beta = \frac{b}{B}$	$\gamma = \frac{b}{b_0}$	$\lambda = \frac{t_0}{T}$
TT1	175.0	1.00	0.83	-	-
TT1-300-8	185.5	1.06	0.83	0.83	1.00
TT1-300-16	188.0	1.07	0.83	0.83	2.00
TT1-450-8	195.0	1.13	0.83	0.56	1.00
TT1-450-16	197.5	1.13	0.83	0.56	2.00
TT1-600-8	200.0	1.14	0.83	0.42	1.00
TT1-600-16	202.5	1.16	0.83	0.42	2.00
TT2	152.5	1.00	0.67	-	-
TT2-300-8	202.5	1.33	0.67	0.67	1.00
TT2-450-8	200.0	1.31	0.67	0.44	1.00
TT2-600-8	205	1.34	0.67	0.33	1.00

Tip-2 oryantasyonlarına göre güçlendirilmiş birleşimler için yapılan regresyon analizi sonucunda, regresyon istatistiklerinde çoklu R değeri 0,98 için önerilen katsayı (ψ_2) denklem (2.4)'de sunulmuştur.

$$\psi_2 = 2,21 - 1,23 * \beta + 0,01 * \gamma - 0,16 * \lambda \quad (2.4)$$

2.2.6. Önerilen Tasarım Metodunun Sayısal Analizler ile Karşılaştırılması

Literatür araştırmalarına göre, mevcut yönetmelikler için önerilen eşdeğer DEP yöntemi kullanılarak güçlendirilmemiş EEP-T birleşimlerinin eksenel yük taşıma kapasitesi güvenli şekilde hesaplanabilmektedir. Bu tezde önerilen tasarım yönteminde güçlendirilmemiş birleşimlerin hesaplama yöntemlerine bir ek çarpan ile güçlendirilmiş birleşimlerin yük taşıma kapasitesinin hesaplanabilmesi mümkün olmaktadır. Bu yüzden, sayısal çalışma sonuçlarından elde edilen güçlendirilmiş birleşimin dayanımı güçlendirilmemiş birleşimin dayanımına olan oranı tasarım yöntemindeki Ψ katsayısı ile Şekil 2.27’de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırılmadan da görüleceğe üzere hem Tip-1 hem de Tip-2 birleşimlerine ait önerilen tasarım yöntemi sonuçları ile analiz sonuçları çok yakındır. Dolayısıyla, bu tez çalışmasında önerilen tasarım metodu, güçlendirilmiş EEP-T birleşimlerinin eksenel yük taşıma kapasilerinin hesaplanmasında yüksek doğrulukta kullanılabilir.



Şekil 2.27. Önerilen tasarım yönteminin yapılan tüm sayısal analizlerle karşılaştırılması

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, güçlendirilmiş elips enkesitli kaynaklı T birleşimlerinin aksenal yük taşıma kapasiteleri Sonlu Elemanlar Yöntemi ile incelenmiştir. Elips enkesitli birleşimlerin iki tip oryantasyon tasarımı ve analizi için ABAQUS/Standart v.6-14.1 (2016) paket programı kullanılmıştır. Elips enkesitli birleşimler için hesaplama yöntemi literatürde mevcut değildir. Bu parametrik çalışmadan önce doğrulama çalışması olarak Parker (2012)'nin vd. test verileri ve sayısal analizleri kullanılmıştır.

Sayısal analizlerden elde edilen Tip-1 birleşimlerine ait bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- 1. ve 2. Grup birleşimlerinde güçlendirme levhası kalınlığı başlık eleman kalınlığına eşit ve iki katına denk olan iki ayrı kalınlık referans numuneye göre karşılaştırılmıştır. Levha kalınlığı arttıkça birleşimin aksenal yük taşıma kapasitesi %62'lere kadar bir artış sağladığı sonucuna varılmıştır.
- Kullanılan güçlendirme levhası birleşimin akma alanını genişletmiş olup aksenal yük taşıma kapasitesini arttırmıştır.
- 1. ve 2. Grup birleşimlerinde 300 mm, 450 mm ve 600 mm uzunluğuna sahip üç ayrı güçlendirme levhası kullanılmış ve güçlendirilmemiş birleşime göre aksenal yük taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Levha uzunluğu arttıkça aksenal yük taşıma kapasitesi dayanım %90'a kadar çıkmaktadır.
- Güçlendirme levha uzunluğu Tip-1 birleşimlerinde aksenal yük taşıma kapasitesini yaklaşık iki katına yakın arttıracak şekilde etki etmiştir.
- 1. ve 2. Grup birleşimlerinde örgü elemanının çapı farklıdır. Ancak örgü elemanının başlık eleman çapına oranı (β) birleşimlerin aksenal yük taşıma kapasitelerini sınırlı miktarda etkilemiştir. 1 grupta aksenal yük taşıma kapasitesine %90 etki ederken 2. grupta aksenal yük taşıma kapasitesine %80 etki etmiştir.

Sayısal analizlerden elde edilen Tip-2 birleşimlerine ait bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- 1. ve 2. Grup birleşimlerinde 300 mm, 450 mm ve 600 mm uzunluğuna sahip olan üç ayrı olan güçlendirme levhası kullanılmış ve güçlendirilmemiş birleşime göre davranışları karşılaştırılmıştır. Güçlendirilmiş birleşimde aksenal yük taşıma kapasitesi, levha kalınlığı, arttıkça güçlendirilmemiş birleşiminkine göre yok denecek kadar az olmaktadır.
- Et kalınlığının artması Tip-2 oryantasyonunun göçme modunu değiştirmemiştir.

- 1. ve 2. Grup birleşimlerinde 300 mm, 450 mm ve 600 mm uzunluğuna sahip olan üç ayrı güçlendirme levhası kullanılmış ve güçlendirilmemiş birleşime göre eksenel yük taşıma kapasitesi karşılaştırılmıştır. Güçlendirme levhası uzunluğunun eksenel yük taşıma kapasitesine etkisi sınırlıdır.
- Güçlendirme levhasının uzunluğundaki artış 1. Grupta eksenel yük taşıma kapasitesini en fazla %14 kadar artmıştır. 2. Grupta ise eksenel yük kapasitesi en fazla %34'lere kadar artış sağladığı sonucuna varılmıştır.
- 1. ve 2. Grup birleşimlerin eksenel yük taşıma kapasitelerindeki artış karşılaştırıldığında 2. Grup birleşimlerindeki bu artış daha fazladır.
- 2. Grup birleşimlerinin örgü elemanının boyutunun, başlık elemanı boyutuna oranı (β) değeri daha küçük olduğundan güçlendirme levhası etki alanını daha fazla arttırdığı tespit edilmiştir.

Tip-1 ve Tip-2 oryantasyonlarının davranışlar üzerine olan etkileri birbirinden çok farklı olduğu için regresyon analizi ile iki ayrı çoklu regresyon kat sayısı ve denklemi önerilmiştir. Tüm sayısal analiz sonuçları ile geliştirilen yöntem karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmanın haricinde aşağıda sunulan öneriler ilerki çalışmalarda gerçekleştirilebilir.

- Önerilen yöntemin güvenilirliği yapılacak deneysel testler ile doğrulanabilir,
- Başlık elemanı boyunca eksenel kuvvetin taşıma kapasitesine etkileri araştırılabilir,
- Alternatif güçlendirme yöntemlerinin (örneğin; FRP, beton dolgu, vb.) taşıma kapasitelerine etkileri incelenebilir,
- Kuvvetli ekseninde çalışan oryantasyon türleri için güçlendirme yöntemlerinin etkinliği araştırılabilir.
- Birleşimlerin deprem yükü altındaki davranışları incelenebilir.

4. KAYNAKLAR

- ABAQUS, 2014. 6.14 documentation, Dassault Systems Simula Corporation.
- Balkan, G., 2007. Türk, Amerikan ve Avrupa Çelik Standartlarının İncelenmesi ve Kıyaslanması, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 164 s.
- Bortolotti, E., Jaspard, J.P., Pietrapertosa, C., Nicaud, G., Petitjean P. ve Grimault, J., 2003. Testing and Modelling of Welded Joints Between Elliptical Hollow Sections. Proceedings of the 10th International Symposium on Tubular Structures.
- Chan, C., Shao, Y.B. ve Yang, J., 2015. Study on Fire Resistance of Circular Hollow Section (CHS) T- Joint Stiffened with Internal Rings. Thin-Walled Structures, 92, 104-114.
- Chang, H., Xia, J., Guo, Z., Hou, C., Din, W. ve Qin, F., 2018. Experimental Study on the Axial Compressive Strength of Vertical Inner Plate Reinforced Square Hollow Section T-joints. Engineering Structures, 172, 131-140.
- Choo, Y., Liang, J. ve Lim, L., 2003. Static Strength of Elliptical Hollow Section X-Joint Under Brace Compression. Tubular Structures-International Symposium.
- Fenga, R., Chenb, Y. ve Chenc, D., 2017. Experimental and Numerical Investigations on Collar Plate and Doubler Plate Reinforced SHS T-joints Under Axial Compression. Thin-Walled Structures 110, 75-87.
- Gomes, N.V., Lima, L.R.O., Vellasco, P.C.G., Silva, A.T., Rodrigues, M.C. ve Costa-Neves, L.F., 2019. Experimental and Numerical Investigation of SHS Truss T-Joints Reinforced With Sidewall Plates. Thin-Walled Structures 145, 106404.
- Günaydın, M., 2016., Onarılmış ve Lifli Polimer Kompozit Malzemelerle Güçlendirilmiş Betonarme Binaların Dinamik Davranışlarının Deneysel ve Analitik Yöntemlerle İncelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 282 s.
- Haque, T., Packer, J.A. ve Zhao, X.L., 2012. Equivalent RHS Approach for the Design of EHS in Axial Compression or Bending. Advances in Structural Engineering, 15(1), 107-120.
- Lessani, M., Bahaari, M.R. ve Shokrieh, M.M., 2013. Numerical Investigation of FRP-Strengthened Tubular T-Joints Under Axial Compressive Loads. Composite Structures, 100, 71-78.

- Lesani, M., Bahaari, M.R. ve Shokrieh, M.M., 2014. Experimental Investigation of FRP-Strengthened Tubular T-Joints Under Axial Compressive Loads. Construction and Building Materials, 53, 243–252.
- Lu,L.H., De Winkel, G.D., Yu,Y. ve Wardenier, J., 1994. Deformation Limit for the Ultimate Strength of Hollow Section Joints. Proceedings of the Sixth International Symposium on Tubular Structures. Melbourne,Australia.
- Moffat, D., Hsieh, M.F. ve Lynch., 2001. An assessment of ASME III and CEN TC54 methods of determining plastic and limit loads for pressure system components. M. J. T. J. o. S. A. f. E. D,36, 301-312.
- Nassiraei, H., Lotfollahi-Yaghin, M.A. ve Ahmadi, H., 2016. Static Strength of Doubler Plate Reinforced Tubular T/Y-Joints Subjected to Brace Compressive Loading: Study of Geometrical Effects and Parametric Formulation. Thin-Walled Structures, 107, 231–247.
- Nassiraei, H., Lotfollahi-Yaghin, M.A., Ahmadi, H. ve Zhu, L., 2017. Static Strength of Doubler Plate Reinforced Tubular T/Y-Joints Under in-Plane Bending Load. Journal of Constructional Steel Research, 136, 49–64.
- Ozyurt, E., 2018a. Yangında Elips Enkesitli Eksenel Yük Taşıyan Çelik Kolonların Davranışı. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Bursa, 23, 1, 205-206.
- Ozyurt, E., Wang, Y.C., 2018b. Resistance of Axially Loaded T-and X-Joints of Elliptical Hollow Sections at Elevated Temperatures, A Finite Element Study. In Structures, Elsevier, 15-31.
- Ozyurt, E. ve Das, S., 2019. Experimental and Numerical Studies on Axially Loaded Reinforced Square Hollow Section T-joints. Engineering Structures, 192, 323–334.
- Ozyurt, E. ve Yılmaz, M., 2019. Düzlem İçi Eğilme Momenti Altındaki Elips Enkesitli T-birleşimlerinin Dayanımları. GÜFBED/GUSTIJ, 9 (3), 547-556.
- Packer, J., Choo, Y., Shen, W., Wardenier, J., Van der Vegte, G. ve Mustard, T., 2012. Axially Loaded T and X Joints of Elliptical Hollow Sections. CIDECT Final Report No. 5BW-2/12.
- Packer, J.A., Sun, M. ve Tousignant, K., 2016. Experimental Evaluation of Design Procedures for Fillet Welds to Hollow Structural Sections, Journal of Structural Engineering, , American Society of Civil Engineers. Vol. 142, No. 5, pp. 04016007-1 – 04016007-12.
- Tata Steel., 2011. Celcius 355 Technical Guide- Structural Hollow Sections, Tata Steel Europe.

URL-1, inşaat blogu: NEDEN ÇELİK MALZEME ? (insaatblog.blogspot.com) 15 Mayıs 2021.

URL-.2,

<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&id=33C6098E6B706F65B3929CE11E324AA322B4FA02&thid=OIP.Wh6t3DJeFsE1KIEBYFgyAHaFk&exph=1264&expw=1680&q=+Examples+of+Elliptical+Hollow+Sections+to+day&selectedindex=102&ajaxhist=0&vt=0&eim=0,1,3,4,6,8,10>. 25 Şubat 2020.

URL- 3, https://yandex.com.tr/gorsel/search?from=tabbar&text=Takanawa%20Station%20Building&pos=10&img_url=https%3A%2F%2Fwww.sankei.com%2Fimages%2Fnews%2F200309%2Fecn2003090024-p6.jpg&rpt=simage. 25 Şubat 2020

URL-4, https://yandex.com.tr/gorsel/search?pos=35&from=tabbar&img_url=https%3A%2F%2Fwww.edreams.pt%2Fblog%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F4%2F2012%2F12%2Fmadrid-barajas-airport.jpg&text=.%20Barajas%20Uluslararası%20HavaLiman%C4%B1%20C%20%20C4%B0spanya&rpt=simage. 25 Şubat 2020.

URL-5, jewel changi havalimanı içerisindeki şelale: Yandex.Görsel'de 1 bin görsel bulundu. 25 Şubat 2020.

URL 6, https://www.google.com/search?q=Stuttgart+airport+structure+case+study&sxsr=AleKk02MbqC2f4lz9V-T8zrJxi7ZvZYMQA:1602131874127&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj99fWplqTsAhWK66QKHQMpAcoQ_AUoAXoEAsQAw&biw=1536&bih=754#imgrc=EJ0iWAGTCnI4JM. 25 Şubat 2020.

URL-7, Londra'nın Batısındaki Alışveriş Merkezi, İNGİLTERE: Yandex.Görsel'de 918 görsel bulundu. 25 Şubat 2020.

URL-8, https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=TEb0gcn2&id=9D5E8352C2626553D54728E7DBDD45DE8D7F51B1&thid=OIP.TEb0gcn2KO0XyMbDekPszQHAd4&mediaurl=https%3a%2f%2fcdn.getyourguide.com%2fimg%2flocation_img-4366-160626808-148.jpg&exph=630&expw=1200&q=King%27s+Cross+Tren+%c4%b0stasyonu&simid=608009018255083813&ck=B64F058DF2DC788811B8995CC3D2FF75&selectedIndex=0&FORM=IRPRST&ajaxhist=0. 25 Şubat 2020.

URL-9, http://esnbrusselsunited.org/sites/default/files/imce/baertmarc_starbucksrogier.jpg 25 Şubat 2020.

URL-10, <https://mashayekhi.iut.ac.ir/sites/mashayekhi.iut.ac.ir/files/u32/presentation10.pdf> 4 Nisan 2021.

Wardenier, J., Van der Vegte, G. ve Liu, D., 2007. Chord Stress Function for Rectangular Hollow Section X and T joints. In: Proceedings of the 147 th International off Shore and Polar Engineering Conference, 3363-70.

Wardenier, J., Kurobane, Y., Packer, J., van der Vegte, G. J. ve Zhao, X., 2008 Design Guide for Circular Hollow Section (CHS) Joint Under Predominantly Static Loading. Second Edition. Verlag TUV Rheinland, Germany, Cidect.

Zhu, L., Zhao, Y., Li, S., Huang, Y. ve Ban, L., 2014., “Numerical Analysis of the Axial Strength of CHS T Joints Reinforced with External stiffeners. Thin-Walled Structures, 85, 481–488.

Zhu, L., Han, S., Song, Q., Ma, L., Wei, Y. ve Li, S. 2016., Experimental Study of the Axial Compressive Strength of CHST-Joints Reinforced with External Stiffening Rings. Thin-Walled Structures, 98, 245–251.

Zhu, L., Song, Q., Bai, Y., Wei, Y. ve Ma, L., 2017. Capacity of Steel CHS T-Joints Strengthened with External Stiffeners Under Axial Compression. Thin-Walled Structures, 113, 39–46.



ÖZGEÇMİŞ

İlköğrenimini 2009 yılında Bedri Rahmi Eyübođlu İlköğretim Okulu'nda, Ortaöğrenimini 2013 yılında Yavuz Sultan Selim Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2014 yılında Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde okumaya hak kazanmıştır. 2018 yılında İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda "Yüksek Lisans" eğitimine başlamıştır.

