T.C.

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖVDESİ EĞRİ KEMER ŞEKLİNDE YENİ BİR KİRİŞ TASARIMI VE ANALİZİ

Mustafa GURBANOV

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk KÜLTÜR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2022

Bu çalışma, 21.01.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir

Tez Jürisi

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk Kültür

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Mücteba Uysa
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Turgay Çoşgun
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Eğitim gördüğüm bölüm için IPE kirişlerinin işlenmesi oldukça önemlidir. Bu bağlamda kısıtlı literatüre sahip olmasına rağmen, gelişen bir yapı olan IPE kirişlerinin incelenmesi ve yeni bir tasarım önerisi araştırma alanım açısından önem arzetmektedir. Ben de böylesine önemli bir konuyu işlemekten gurur duymaktayım. Bölüm başkanımız başta olmakla bölümümüzün değerli hocalarına, özellikle böylesine önemli bir konuyu araştırmamda bana yardımcı olan, yardımını ve tavsiyelerini benden esirgemeyen değerli hocam Dr.Öğretim Üyesi Ömer Faruk KÜLTÜR`e teşekkürü kendime borç bilirim.

Ocak 2022 Mustafa GURBANOV

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ivv

İÇİNDEKİLER v

ŞEKİL LİSTESİ vii

TABLO LİSTESİ ix

ÖZET xii

SUMMARY xiii

1. GİRİŞ 1

2. **LİTERATÜR TARAMASI 4**

3. ÇELİK KİRİŞLER VE ÖZELLİKLERİ 10

3.1. Çelik Kirişlerin Özellikleri 10

3.2. Çelik Kirişlerin Türleri 11

3.2.1. Petek Kirişler ve Özellikleri 12

3.2.2. Hadde Kirişler ve Özellikleri 18

3.3. IPE-600 Kirişi 19

3.4. IPE-600: ANSYS Analizlerine Giriş 20

4. ÖNERİLEN KİRİŞ UYGULAMALARI **Error! Bookmark not defined.**

4.1. IPE-600 Analizi 22

4.1.1. Birimler 22

4.1.2. Geometri 22

4.1.3. Ağ 25

4.1.4. Statik Yapısal 26

4.1.5. Materyal Verisi 31

4.1.5.1. Yapısal Çelik NL 31
4.2. Analiz №1: ANSYS Analizi 31
4.2.1. Birimler 31
4.2.2. Geometri 32
4.2.3. Ağ 34
4.2.4. Statik Yapısal 35
4.2.5. Materyal Verisi 40
4.2.5.1. Yapısal Çelik NL 40
4.3. Analiz №2: ANSYS Analizi 41
4.3.1. Birimler 41
4.3.2. Ağ 43
4.3.3. Yapısal Statik 44
4.3.4. Materyal Verisi 49
4.3.4.1. Yapısal Çelik NL 49
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 50
KAYNAKLAR 52

]

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1. Petek Kirişler 13

Şekil 2. Petek Kirişin İmal Şekli 16

Şekil 3. Ara Levhalı ve Ara levhasız Petek Kirişler 16

Şekil 4. Petek Kiriş Şekillerinin Persfektif Görünümleri 17

Şekil 5. Hadde Kirişi 18

Şekil 6. IPE Kirişi 21

Şekil 7. Klasik IPE-600 23

Şekil 8. IPE-600 Yerdeğişme 25

Şekil 9. IPE-600 Ağ (Mesh) 27

Şekil 10. Statik Gerinim 27

Şekil 11. IPE-600 Gerilme 29

Şekil 12. Toplam Deformasyon / IPE-600 30

Şekil 13. Eşdeğer Elastik Gerilme / IPE-600 30

Şekil 14. Eşdeğer Baskı / IPE-600 31

Şekil 15. Hacim / IPE-600 31

Şekil 16. Analiz №1 Görünümü 32

Şekil 17. Analiz №1 Varsayılan 34

Şekil 18. Statik Gerinim 36

Şekil 19. Analiz №1 Yerdeğişme 36

Şekil 20. Analiz №1 Sonuçları 38

Şekil 21. Toplam Deformasyon / Analiz №1 39

Şekil 22. Eşdeğer Elastik Gerilme / Analiz №1 39

Şekil 23. Eşdeğer Baskı / Analiz №1 40

Şekil 24. Hacim / Analiz №1 40

Şekil 25. Analiz №2 Varsayılan 41

Şekil 26. Analiz №2 Statik Gerinim 43

Şekil 27. Analiz №2 Yerdeğişme 44

Şekil 28. Analiz №2 Ağ 45

Şekil 29. Analiz №2 Sonuçlar 47

Şekil 30. Toplam Deformasyon / Analiz №2 48

Şekil 31. Eşdeğer Elastik Gerilme / Analiz №2 48

Şekil 32. Eşdeğer Baskı / Analiz №2 49

Şekil 33. Hacim / Analiz №2 49

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

TABLO 1. BİRİMLER 23

TABLO 2. GEOMETRİ 23

TABLO 3. İSTATİSTİKLER 24

TABLO 4. GEOMETRİ > PARÇALAR 25

TABLO 5. AĞ 26

TABLO 6. ANALİZ 27

TABLO 7. ANALİZ AYARLARI 28

Tablo 8. Analiz Ayarları: Adıma Özel "Adım Kontrolleri" 28

Tablo 9. Sonuçlar 29

Tablo 10. Sabitler 32

Tablo 11. İztropik Esneklik 32

Tablo 12. Bilineer İzotropik Sertleştirme 32

Tablo 13. Birimler 32

Tablo 14. Geometri 33

Tablo 15. İstatistikler 33

Tablo 16. Geometri > Parçalar 34

Tablo 17. Ağ 35

Tablo 18. Analiz 36

Tablo 19. Analiz Ayarları 37

Tablo 20. Analiz Ayarları: Adıma Özel "Adım Kontrolleri" 37

Tablo 21. Sonuçlar 38

Tablo 22. Sabitler 41

Tablo 23. İztropik Esneklik 41

Tablo 24. Bilineer İzotropik Sertleştirme 41

Tablo 25. Birimler 42

Tablo 26. Geometri 42

Tablo 27. İstatistikler 42

Tablo 28. Geometri > Parçalar 43

Tablo 29. Ağ 44

Tablo 30. Analiz 45

Tablo 31. Analiz Ayarları 46

Tablo 32. Analiz Ayarları: Adıma Özel "Adım Kontrolleri" 46

Tablo 33. Sonuçlar 47

KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar **Açıklama**

YM : Young Modülü

CFRP : Karbon Fiber Takviyeli Polimer

UB : Universal Kiriş

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖVDESİ EĞRİ KEMER ŞEKLİNDE YENİ BİR KİRİŞ TASARIMI VE ANALİZİ

Mustafa GURBANOV

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk KÜLTÜR

IPE paslanmaz çelik kirişler ticaret ve sanayide olduğu kadar makine ve teçhizat yapımında da kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik profillerin kullanımı, yüksek bir bileşim esnekliği ve hızlı ve düşük maliyetli bir yapı ile karakterize edilir. Bu bağlamda söz konusu kirişlerin sağlamlığı ve dayanıklılığı konusu tüm dünyada inşaat sektörünün güncel sorunlarından biridir. Bu doğrultuda IPE-600 kirişlerinin basınca dayanıklılığının test edildiği tez çalışmasında araştırmada ele alınan konu ile ilgili yapılmış çalışmalar, özellikle de yabancı dillerdeki literatürün incelemesi yapılmaktadır. Bunun yanı sıra, tez çalışmasında çelik kirişler ve onların özellikleri gibi konular incelenmekte, tez çalışması, çelik kirişlerin özellikleri, çelik kirişlerin türleri, bu bağlamda petek kirişler ve türleri, bunun yanı sıra hadde kirişler ve türleri gibi konulardan bahsetmektedir. IPE-600 kirişlerinin dayanıklılığına odaklanan tez çalışmasında ANSYS programı ile yapılmış özgün çalışma tezin araştırma kısmını kapsamaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın amacı IPE-600 kirişlerinin basınç altındaki dayanıklılığının test edilmesi ve çıkan sonuçların incelenerek sağlam bir öngörüye dönüştürülmesidir. Çalışma bir bütün olarak tümdengelimci yaklaşımla ele alınmış, ANSYS programı vasıtasıyla somut veriler ışığında bir analiz yapılmıştır.

Ocak 2022, 66 sayfa.

Anahtar kelimeler: [Basınç, IPE, IPE-600, Kiriş.]

SUMMARY

M.Sc. THESIS

THE DESIGN AND ANALYSIS OF A NEW BEAM IN THE FORM OF CURVED ARCHES

Mustafa GURBANOV

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Ömer Faruk KÜLTÜR

IPE stainless steel beams are used in trade and industry as well as in machinery and equipment construction. The use of stainless steel profiles is characterized by a high flexibility of composition and a fast and low-cost construction. In this context, the strength and durability of the beams in question is one of the current problems of the construction industry all over the world. In this direction, in the thesis study, in which the pressure resistance of IPE-600 beams is tested, studies related to the subject discussed in the research, especially the literature in foreign languages are examined. In addition, subjects such as steel beams and their properties are examined in the thesis, the thesis study talks about the properties of steel beams, types of steel beams, honeycomb beams and their types in this context, as well as rolling beams and their types. In the thesis study, which focuses on the durability of IPE-600 beams, the original study made with the ANSYS program covers the research part of the thesis. In this direction, the aim of the study is to test the durability of IPE-600 beams under pressure and to analyze the results and turn them into a solid prediction. The study was handled with a deductive approach as a whole, and an analysis was made in the light of concrete data through the ANSYS program.

January 2022, 66. pages.

Keywords: Pressure, IPE, IPE-600, Beam.

1. GİRİŞ

Çalışmanın konusu ve kapsamı. Profil kirişler olarak da bilinen çelik kirişler, özel bir şekillendirilmiş çelik türüdür ve imalat sırasında çelik kirişler uzun bir süredir inşaat sektörünün önemli araştırma konularından biridir. Avrupa`da, özellikle de Almanya`da önemini koruyan bu araştırmalar günümüz dünyasında çok katlı binalarda kullanılan malzeme ve teknolojilerin üretilmesi açısından büyük önem arzetmektedir. Mühendisler, çelik kirişlerini inşaatta yaygın olarak kullanır, birçok farklı uzunluk, boyut ve özellikte kolon ve kiriş oluşturur.

Bu bağlamda tez çalışmamızın konusu çelik kirişlerden olan IPE-600 kirişleridir. IPE, flanşların ve boyutların EN 10365'e göre paralel iç yüzeyi olan çubuk şeklindeki yapı elemanları veya kirişlerin kısa şeklidir. IPE paslanmaz çelik kirişler ticaret ve sanayide olduğu kadar makine ve teçhizat yapımında da kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik profillerin kullanımı, yüksek bir bileşim esnekliği ve hızlı ve düşük maliyetli bir yapı ile karakterize edilir. Tez çalışmasının kapsamı ise tümdengelimci yöntemle çelik kirişlerinden IPE-600`e kadar bir araştırma alanının kapsamaktadır. Tez çalışmasının kapsamına tezin konusu ile ilgili yapılmış çalışmaların, özellikle de yabancı dillerdeki literatürün incelenmesi, bunun yanı sıra, çelik kirişler ve onların özellikleri gibi konular dahildir. Tez çalışması, çelik kirişlerin özellikleri, çelik kirişlerin türleri, bu bağlamda petek kirişler ve türleri, bunun yanı sıra hadde kirişler ve türleri gibi konuları kapsamakta, akabinde ise IPE-600 kirişine odaklanmaktadır. ANSYS programı ile yaptığımız özgün çalışma da tezin kapsamına dahildir.

Çalışmanın literatür taraması. Çalışmada Türkçe ve yabancı dillerdeki kaynaklar incelenmiştir. Mark Stewart, Sheng-Jin Chen ve Gwang-Kai Chen, Konstantinos Daniel Tsavdaridis, Faezeh Faghih ve Nikolaos Nikitas, Anthony Hasham ve Kim Rasmussen vb. araştırmacıların eserleri incelenmiş ve yorumlanmıştır. Mark Stewart'ın 1990 yılında yayınlanmış makalesine göre makalesinde çelik kirişlerin ağırlıklı olarak inşaat sektöründe kullanılan çubuk şekilli parçalar olduğu belirtilmektedir. Sheng-Jin Chen ve Gwang-Kai Chen yazılarında çelik kirişlerin ev çerçevelerini ve çatı yapılarını desteklemek ve yapıları sert hava koşullarından korumak için tasarlandığı gösterilmektedir. Konstantinos Daniel Tsavdaridis, Faezeh Faghih ve Nikolaos

Nikitas`in 2014 yılında yayınlanan makalesine göre çelik kirişlerin uygulama alanları da çok çeşitlidir. Araştırmalarında bu konuya da değinen araştırmacılar çelik kirişlerin pencere ve kapı lentoları oluşturmak için de uygun olmasının söz konusu olduğunu söylemektedir. Anthony Hasham ve Kim Rasmussen`in araştırmasına göre çelik kirişlerle yapılan yapılarda farklı inşaat malzemelerinin kombinasyonu mümkündür. Çelik kirişlerin ekonomik değerlerine de değinen araştırmacılar onların ucuz ve kaynak tasarrufu sağlayan olduğunu söylemektedir.

Çalışmanın önemi. IPE-600 kirişlerinin dayanıklılığı meselesi inşaat sektöründe oldukça önemli bir meseledir. Çelik konstrüksyonlu yapılarda, özellikle de modern çok katlı binalarda çelik kirişlerin sağlamlığı ve basınca dayanıklılık düzeyi en önemli konulardan biridir. Bu bağlamda bizim çalışmamız IPE-600 kirişlerin dayanıklılığının test edilmesi ve veriler ışığında hangi basınçta ne kadar süre dayanabilmesi gibi konuların incelenmesi açısından özgün bir değere sahiptir. Tezin son bölümünde 3 boyutlu analiz yöntemi kullanarak yaptığımız analiz malzeme seçimi, kirişin kütlesi ve basınca dayanıklılık gibi konulara değinmektedir.

Çalışmanın araştırma yöntemleri. Çalışma bir bütün olarak tümdengelimci yaklaşımla yapılmıştır. Tezin ana konusu olan IPE-600 kirişlerine geçiş yapmadan önce çelik kirişler araştırılmış, bu tür kirişler sınıflandırılmış ve bu sınıflandırmadan seçilen IPE-600 kirişleri daha yoğun bir ilgi ile incelenmiştir. Tümdengelimci inceleme ile yaptığımız tezin üçüncü bölümünde ise ampirik bir çalışma yapılmış ve bu çalışma kapsamında ANSYS programı vasıtasıyla somut veriler ışığında bir analiz yapılmıştır. Tez çalışmasında kullandığımız yöntem ile ilgili şunları söylemek mümkündür ki bir şeyin doğruluğunu birden fazla duruma dayanmak suretiyle, ileri sürerek akıl yürütme yöntemine tümdengelim denir. Bu akıl yürütme yönteminde genel ilkeler ele alınarak olaylar konusunda tek tek yargıya varılır. Yani kısaca diğer bir deyişle genelden özele doğru giden bir yöntemdir.

Çalışmanın amacı. Çalışmanın amacı aslında çelik kirişlerin önemi ile ilgilidir. Şöyle ki çelik kirişlerin, özellikle de IPE-600 kirişlerinin bina yapımında yaygın olarak kullanılması onun önemini göstermektedir. Tipik bir bina projesinde, genellikle çelikten yapılmış kiriş, herhangi bir zemin döşemesi veya duvar montajından önce yerine yerleştirilir. Bu kirişlerin yerleştirilmesi, tüm bina için destek ve yapı görevi görür. Bu bağlamda onun dayanıklılığının test edilmesi en önemli mesele haline gelir. Bu doğrultuda çalışmanın amacı IPE-600

kirişlerinin basınç altındaki dayanıklılığının test edilmesi ve çıkan sonuçların incelenerek sağlam bir öngörüye dönüştürülmesidir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Mark Stewart'ın 1990 yılında yayınlanmış makalesine göre çelik kirişler, özel şekillendirilmiş çelik türü olup imalat sırasında sıcak haddeleme ile oluşturulur. Makalede çelik kirişlerin ağırlıklı olarak inşaat sektöründe kullanılan çubuk şekilli parçalar olduğu belirtilmektedir. Çelik kirişlerin dizaynındaki insan hatalarına ilişkin teori incelemesi ile ilgili olan makaleye göre çelik kirişler farklı boyut ve tiplerde olmakta, bu nedenle bina yapımında farklı uygulamalara sahip olmaktadırlar. Araştırmacı, makalesinde çelik kirişlerin H-kiriş, geniş kiriş, W-kiriş, evrensel kiriş (UB) gibi farklı şekilleri olduğundan bahsetmektedir (Stewart, 1990, p. 90).

Stewart'dan üç yıl sonra Sheng-Jin Chen ve Gwang-Kai Chen de çelik kirişler ile ilgili bir makale yayınlamıştır. Bu araştırmacılara göre mühendisler, birçok farklı uzunluk, boyut ve özellikte kolon ve kirişler oluşturarak çelik kirişleri inşaatta yaygın olarak kullanır. Makalede kirişlerin kullanım alanlarının genişliğinden bahsedilir. Sheng-Jin Chen ve Gwang-Kai Chen yazılarında çelik kirişlerin ev çerçevelerini ve çatı yapılarını desteklemek ve yapıları sert hava koşullarından korumak için tasarlandığı gösterilmektedir. Akabinde makalede çelik kirişlerin avantajlarından bahsedilmektedir (Chen & Chen, 1993, s. 383).

Konstantinos Daniel Tsavdaridis, Faezeh Faghih ve Nikolaos Nikitas`in 2014 yılında yayınlanan makalesinde ise çelik kirişlerin kullanım kapsamlarının arttığı, onların sadece ticari ve endüstriyel inşaatlarda, köprü veya salon inşaatlarında değil, özel projeler için de tekrar tekrar talep edildiği belirtilmektedir. Makaleye göre çelik kirişlerin uygulama alanları da çok çeşitlidir. Araştırmalarında bu konuya da değinen araştırmacılar çelik kirişlerin pencere ve kapı lentoları oluşturmak için de uygun olmasının söz konusu olduğunu söylemektedir (Tsavdaridis, Faghih , & Nikitas, 2014, s. 1304).

Bu konu Anthony Hasham ve Kim Rasmussen`in de makalesinde geçmektedir. Araştırmacılara göre çelik kirişlerle yapılan yapılarda farklı inşaat malzemelerinin kombinasyonu mümkündür. Çelik kirişlerin ekonomik değerlerine de değinen araştırmacılar onların ucuz ve kaynak tasarrufu sağlayan olduğunu söylemektedir. Makalenin yazarları paslanmaz çelikten yapılmış kirişlerin büyük ölçüde hurdadan yapılabilir olduğunu belirtmekte ve taşıyıcıların kendilerinin geri dönüştürülmesinin kolay olduğunu iddia etmektedir. Çelik kirişlerine esnekliğine de

değinen yazarlar onların esneklikleri nedeniyle bileşenlerin çok karmaşık inşaat projelerinde de kullanılabilirliğinden bahsetmektedir (Hasham & Rasmussen, 2002, s. 173).

Rebekka Ebel`in 2014 yılında yayınlanan araştırmasında ise çelik kirişlerin sınıflandırılmasından bahsedilmekte, Ebel yeni bir sınıflandırılma şekli teklif etmektedir. Ebel`e göre çelik kirişleri basit destekli, sabit, sarkan, çift asılı, sürekli, konsol ve kafes girişler olarak sınıflandırmak mümkündür. Yazar makalesinde, daha önceden var olan ve geometriye dayanan başka bir sınıflandırmanın da olduğunu belirtmektedir. Yazara göre bu sınıflandırma düz, kavisli, konik kirişler, kanallar ve geniş flan kirişler olarak beşe ayrılmaktadır (Ebel, 2014, s. 71).

Gerardo Belingardi ve Paulina Martell`in 2007 yılında yayınlanmış makalesinde yazarlar petek kirişlerden bahsetmekte, petek kiriş kavramının nereden geldiği ile ilgili tartışmaktadır. Yazarlar petek kirişlerin I kesitli hadde profillerinin gövdeleri boyunca testere dişine benzer şekilde kesildikten sonra özel bir sistemde tekrar kaynaklanmalarıyla elde edilen kirişlere verilen isim olduğunu söylemektedir. Bu tür kirişlere neden petek kiriş adının verildiği konusuna değinen yazarlar bunun gövde boşluklarının altı köşeli ve petek görünüşlü olmaları ile ilgili olduğunu öne sürmektedir. Petek kirişlerinin diğer türlerinden de bahseden makalede gövde boşluklarında, gelişen teknolojinin de etkisiyle, değişik şekillerin kullanıla gelmiş olduğu bilgisi de verilmektedir. Yazarlara göre petek kirişlerin gövde boşlukları ihtiyaç durumlarına ve estetik kaygılara bağlı olarak dikdörtgen, kare, altıgen, sekizgen ve hatta daire bile olabilmektedir (Belingardi & Martell, 2007, s. 1184).

Petek kirişler ile ilgili Türkçe literatür de mevcuttur. Mustafa Kalaycıgil`in tezinde petek kirişlerden bahsedilmekte, onlarn kullanılan malzeme miktarının minimum ağırlık ve minimum malzeme maliyetine ulaşmasını sağlamak için petek geometrisine sahip olması ele alınmaktadır. Tezde ayrıca petek kirişlerin geometrisinin büyük ölçüde değişebilir olduğu, ancak bu tür yapıların ortak özelliğinin, ince dikey duvarlar arasında oluşan bir dizi içi boş hücre olmaları olduğu söylenmektedir. Petek kirişlerin gerilimler ile ilişkisine de değinen yazar insan yapımı petek yapılı yapısal malzemelerin, genellikle, gerilimde mukavemet sağlayan iki ince tabaka arasında bir petek yapılı malzeme katmanlanarak yapıldığından bahsetmektedir (Kalaycıgil, 2007).

Başka bir tez çalışmasında ise Ferhat Erdal petek kirişler ile ilgili yaptığı araştırmada petek kirişlerinin mekanik özelliklerinden bahsetmekte, bu özelliklerin hücre geometrisine, kirişin yapıldığı malzemenin özelliklerine (genellikle katı olarak adlandırılır), Young modülüne, akma stresine ve malzemenin kırılma stresine bağlı olduğunu söylemektedir. Yazara göre petek kirişlerin mekanik özellikleri de yükün uygulandığı yöne göre değişecektir. Petek kirişlerin başarısız olması durumlarına da değinen Erdal, üç mekanizmadan bahsetmektedir. Yazara göre yeterince yüksek basınç yükü altında, petek kiriş kritik bir gerilime ulaşır ve elastik burkulma, plastik akma veya kırılgan ezilme gibi mekanizmalardan biri nedeniyle başarısız olur. Tez çalışmasında ayrıca petek hücrenin şeklinin genellikle farklı mühendislik uygulamalarını karşılamak için değiştirildiğinden de bahsedilmektedir. Yazara göre normal altıgen hücrenin yanı sıra yaygın olarak kullanılan şekiller arasında üçgen hücreler, kare hücreler ve dairesel çekirdekli altıgen hücreler ve dairesel çekirdekli kare hücreler bulunur (Erdal, 2011).

Türkçe kaynaklara baktığımızda bu alanda yapılmış başka bir çalışma Mustafa Sivri ve Mürüvvet Sura`ya aittir. Araştırmacılar makalelerinde petek kirişlerinden de bahsetmekte, petek kirişin kesilme mekaniğini ele almaktadır. Yazarlara göre petek kirişler çeşitli I profillerinin gövdeleri boyuna doğrultuda zigzag benzeri bir kesimle ayrılıp, özel bir sistemde tekrar kaynaklanması ile ortaya çıkan daha yüksek gövdeli kirişlerdir. Yazarlar bu kesişten bahseder, bu kesiş ile elde edilen kiriş parçalarının, aralarına z yüksekliğinde ara levhalar ilave edilerek kaynaklanırsa, kiriş başlıkları arasındaki mesafenin büyüyeceğinden ve yüksek bir kiriş elde edileceğinden yazar (Sivri & Sura, 2017).

Başka bir araştırmada ise Geschrieben von Dominik petek kirişlerinden bahsetmekte, özelliklere gövde boşluklarına odaklanmaktadır. Dominik`e göre gövde boşluklarının belli yararları vardır. Yaklaşık aynı kütle ağırlıklarına sahip birkaç kirişin aralarındaki tek fark gövde yüksekliklerinin artmış olmasıdır. Yazar, gövde yüksekliğini kiriş ağırlığını aynı düzeyde tutarak yükseltebilmenin en güzel yolunun petek kirişler olduğunu söylemektedir. Ayrıca yazara göre kiriş gövdesindeki boşluklar veya petekler, başlıklar arasındaki mesafeyi büyüttüğü gibi, kiriş gövdesindeki malzemeyi de azaltır (Dominik, 2021).

Konumuz ile alakalı başka bir araştırma Swanton Welding`e aittir. Welding, makalesinde hadde kirişlerden bahsetmekte, hadde kirişinin, bir dikey bileşen veya ağ ile birbirine bağlanan,

flanşlar olarak bilinen iki yatay düzlemden oluşmasını ele almaktadır. Flanşların ve ağın şekli bir "I" veya "H" kesiti oluşturur. Yazara göre çoğu hadde kirişi yapısal çelik kullanır, ancak bazıları alüminyumdan yapılmıştır. Yazar, ayrıca, karbon yapı çeliğinin ve yüksek mukavemetli düşük alaşımlı yapı çeliği gibi alt metal yapıların, bina çerçeveleme, köprüler ve genel yapısal amaçlar gibi farklı uygulamalara sahip olmasından da bahsetmektedir (Welding, 2021).

Bunun yanı sıra, Stroy Dom`un araştırmasında da hadde kirişlerden bahsedilmekte, hadde kirişlerin, farklı amaçlar için çeşitli ağırlıklarda, kesit derinliklerinde, flanş genişliklerinde ve gövde kalınlıklarında olduğu söylenmektedir. Çeşitli şekillere sahip kirişlerde ağırlık ve derinliğini hesaplama yönteminin izah edildiği araştırmada inşaat sektöründe kullanılan kirişlerden bahsedilmekte ve inşaatçıların kiriş kullanırken sapma, titreme, bükme, burkulma, basınç gibi meseleleri dikkate alması gerektiğine vurgu yapılmaktadır. Makalede, aynı zamanda, hadde kirişlerinin, yapısal çelik konstrüksiyon endüstrisinde çeşitli önemli kullanımlara sahip olmasından da bahsedilmektedir (Dom, 2021).

Araştırmada, ayrıca, IPE paslanmaz çelik kirişten de bahsedilmekte ve tek bileşenlerinin birbirine kaynaklanmasıyla oluşturulabilir veya sıcak haddelenmiş veya ekstrüde edilebilir olduğu gösterilmektedir. Araştırmacılar, bu ürün grubundaki en yaygın sürümün standart IPE profili olduğunu ileri sürmektedir. Yazarlara göre IPE AAAA'dan A'ya kadar olan daha hafif versiyonlar ve daha ağır olan IPE O, çok daha nadiren kullanılır. Makalede dönme performansına da değinilmekte, dönme performansı açısından IPE kirişleri aşan tek çelik profilin, pahalı ve diğer profillerle birleştirilmesi zor olan içi boş yapısal profilleri olduğu söylenmektedir (Dom, 2021).

Konumuzla ilgili başka bir tez çalışması ise Emre Şen`e aittir. Şen, tez çalışmasında geniş açıklıklı ve yüksek katlı yapıların artmasından, bununla beraber taşıyıcı elemanlarda oluşan dayanım değerlerinin yapıların kullanış amacına ve mimarisine göre statik olarak önem arz ettiğini söylemektedir. Bu tez çalışmasında farklı gövde açıklığı türüne, farklı gövde açıklık adetine ve gövde açıklığının köşe noktalarına eklenen farklı boyutlarda üçgen plaklar ile petek kirişlerde oluşan dayanım ve sehim değerleri incelenmişir. Düşünülen kiriş elemanları SAP2000 programında kabuk eleman olarak çizilmiş ve analizi yapılmıştır. Şen`in tez çalışmasının sonuçlarına bakıldığında gövde açıklığına sahip petek kirişlerde oluşan maksimum

gerilmelerin gövde açıklık köşelerinde oluşurken, petek kirişin yapıldığı I veya H kesitli kirişte maksimum gerilmeler kirişin üst başlığında oluştuğu gözlemlenmiştir (Şen, 2020).

Başka bir tez çalışmasında ise Abdul Majeed Qarizada çelik kirişlerin onarılmasında kullanılan CFRP levhaların ankrajlarının incelenmesini yapmaktadır. Yerel burkulma nedeniyle hasar görmüş çelik kirişlerin ısıl işlemle geçici olarak onarılabilir olduğunu söyleyen tez çalışmasında ısıl işlem görmüş ve Karbon Fiber Takviyeli Polimer (CFRP) levhalarla güçlendirilmiş IPE-80 enkesitli bir kiriş yük altındaki deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmanın sonucunda CFRP levhalarla yapılan güçlendirmenin yük kapasitesinde belirgin bir artışa neden olduğu, ancak epoksinin erken sıyrılması nedeniyle CFRP'nin dayanımından yeteri kadar yararlanılamadığı gözlenmiştir (Qarizada, 2017).

Merve Sağıroğlu`nun 2018 yılında yayınlanmış makalesinde ise kiriş-kolon birleşim noktalarının davranışı ile çelik yapıların davranışı arasındaki ilişki incelenmekte, çeşitli yükler altında çelik yapıların davranışının kiriş-kolon birleşim noktalarının davranışına bağlı olduğu iddia edilmektedir. Bu çalışma kapsamında önerilen alın levhalı birleşimin moment-dönme karakteristiği deneysel olarak incelenmiştir (Sağıroğlu, 2018).

Ahmet Fatih Koç`un tezinde çelik kirişli köprülerden bahsedilmekte, Türkiye`de çelik I-kirişli kompozit köprülerin genellikle 50 ile 80 metre arasındaki açıklıklar için kullanılmakta olduğu söylenmektedir. Yazara göre Türkiye`deki köprü tasarım pratiğinde AASHTO limit durum tasarım kılavuzunun değiştirilmiş versiyonu ve emniyet gerilmeleri tasarım yöntemleri uygulana gelmiştir. Bu tez çalışmasındaki esas amaç çelik I-kirişli kompozit köprülerin tasarımında kullanılacak yeni bir hareketli yük modeli tanımlamak ve bu hareketli yüke uygun yük katsayısı belirlemektir (Koç, 2013).

Zeki Aksoy 1999 yılında yaptığı tez çalışmasında çelik kiriş konusuna değinmiştir. Tez çalışmasında çelik yapıların betonarme yapılara göre daha narin elemanlara sahip olduklarından, stabilitelerinin en önemli problemlerden biri olduğu söylenmektedir. Aksoya göre bu problem endüstriyel yapılar için daha da önem kazanmaktadır. Bu yapıların genelde bir yönde ötelenmesi ve burkulması önlenmiş iken giriş açıklık yönünde yapı serbesttir. Bundan

yola çıkarak, bu tez çalışmasında bu tip yapıların kolon ve kirişlerinin stabilite problemleri incelenmektedir (Aksoy, 1999).

3. ÇELİK KİRİŞLER VE ÖZELLİKLERİ

3.1. Çelik Kirişlerin Özellikleri

Profil kirişler olarak da bilinen çelik kirişler, özel bir şekillendirilmiş çelik türüdür ve imalat sırasında çelik kirişler sıcak haddeleme ile oluşturulur. Ağırlıklı olarak inşaat sektöründe kullanılan çubuk şekilli parçalardır. Çelik kiriş, ağır yükleri desteklemek için yapılmış yapısal bir çelik üründür (Stewart, 1990, p. 96). Çelik kirişler farklı boyut ve tiplerde gelir, bu nedenle yapıların ve binaların yapımında farklı uygulamaları vardır. Bir yapının özellikleri, kirişlerin geometrisini, boyutunu ve şeklini belirler (Chen & Chen, 1993, s. 383). Bu kirişler düz veya kavisli olabilir. Bazı farklı şekilleri vardır. H-kiriş, geniş kiriş, W-kiriş, universal kiriş (UB) ve hadde çelik kiriş olarak da adlandırılan I kirişi, yapısal çelik yapılar için tercih edilen şekildir. I kirişinin tasarımı ve yapısı, onu çeşitli yüklerin üstesinden gelebilecek benzersiz imkanlara sahip kılar (Stewart, 1990, p. 95).

Mühendisler, çelik kirişlerini inşaatta yaygın olarak kullanır, birçok farklı uzunluk, boyut ve özellikte kolon ve kiriş oluşturur. Çelik kirişleri anlamak, modern inşaat mühendisi veya inşaat işçisi için temel bir gerekliliktir (Hasham & Rasmussen, 2002, s. 173).

Kirişlerin kullanım alanları ise geniştir. Esasen inşaat mühendisleri tarafından kullanılan kirişlerin kullanım alanları aşağıdaki şekildedir (Chen & Chen, 1993, s. 383):

- Ev çerçevelerinin ve çatı yapılarının desteklenmesinde kullanılırlar.
- Yapıları zorlu hava koşullarından korumak için kullanılırlar.

Bu bağlamda çelik kirişlerin avantajları aşağıdaki gibidir:

- Termitler veya kemirgenler tarafından saldırıya uğramazlar.
- Çelik büyük miktarda çekme gerilimine dayanabileceğinden kırılma olmaz.
- Yüksek standartta yapısal bütünlük ve dolayısıyla güvenlik sağlarlar.
- Özel tercihlere göre üretilebilirler.
- Korozyona ve yangına karşı dayanıklıdırlar.

Çelik kirişler sadece ticari ve endüstriyel inşaatlarda, köprü veya salon inşaatlarında değil, özel projeler için de tekrar tekrar talep edilmektedir. Çelik kirişlerin uygulama alanları çok çeşitlidir. Bunlar, örneğin asma tavana yerleştirilmiş bileşenleri güçlendirmek için kullanılabilir. Ayrıca pencere ve kapı lentoları oluşturmak için de uygundurlar. Duvar geçişleri

durumunda, bir statik analizden sonra kalan duvar için sabit destek sağlamak için çelik kirişler kullanılır. Genellikle kirişler binaya prefabrik olarak teslim edilir, böylece özellikle hızlı ve verimli bir şekilde kurulabilirler (Tsavdaridis, Faghih, & Nikitas, 2014, s. 1304).

Bu bağlamda çelik kirişlerle bir şey inşa etmek genellikle esnek (farklı inşaat malzemelerinin bir kombinasyonu mümkündür), ucuz ve kaynak tasarrufu sağlayan olarak kabul edilir. Paslanmaz çelikten yapılmış kirişler bile büyük ölçüde hurdadan yapılabilir; taşıyıcıların kendilerinin geri dönüştürülmesi kolaydır. Çelik kirişler, galvanizsiz veya ardından sıcak daldırma galvanizli olarak mevcuttur (Stewart, 1990, p. 96). Esneklikleri nedeniyle bileşenler çok karmaşık inşaat projelerinde de kullanılır.

Çelik kirişler aslında, hem bileşenin hem de ilgili kesiti olan profilin adıdır. Çelik kiriş kaynak, vidalama veya perçinleme ile monte edilebilir ve bağlanabilir. Geleneksel çelik kirişler, sıcak haddeleme sırasında haddeleme yüzeyi verilen standart haddelenmiş kirişlerdir. Değirmen kabuğu olmayan ürünler parlak çelik olarak da bilinir. Katlanır profiller, katlanır bankta bir sac şeritten bükülür. Daha pürüzsüz bir yüzeye ve yuvarlak kenarlara sahip olmaları nedeniyle haddelenmiş kirişlerden farklıdırlar.

Üç ayaklı çelik kirişlerde dış ayaklara flanş veya kayış denir. Bağlantı orta kısmına köprü denir. Dolu duvar kirişlerinin aksine, içi boş kutu kirişler ve içi boş profiller bir boşluğu çevreler ve iki flanşa ek olarak iki veya daha fazla kayışa sahip olabilir ve genellikle çelik profiller arasında sayılmaz, borular veya sac kirişlerle birlikte sayılır. Çünkü haddelemeye ek olarak üretim için daha ileri adımlar gereklidir.

Geniş kirişlere ve daha büyük boyutlara sahip T-kirişler, I-kirişler ve kutu kirişler de T-kirişler olarak bilinir.

Çoğu zaman kiriş, bir inşaat projesine teslim edilmeden önce hassas bir şekilde işlenir. Aşağıdaki işlem adımları önceden mümkündür: testereyle kesme, patlatma, delme, astarlama, astarlama, boyama, bükme, yükseltme, galvanizleme vb (Ebel, 2014).

3.2. Çelik Kirişlerin Türleri

Çelik kirişlerin pek fazla sayıda türleri bulunmaktadır, örneğin, desteğe dayalı çelik kiriş çeşitleri. Bu bağlamda çelik kirişlerin aşağıdaki bazı türleri vardır (Ebel, 2014, s. 72):

- Basit destekli kirişler: Bu kirişler uçlardan desteklenir ve serbestçe dönebilir.
- Sabit kirişler: Bunlar uçlardan desteklenir ancak dönemezler.

- Sarkan kirişler: Bu tür kiriş, bir taraftaki desteğinin ötesine uzanır.
- Çift asılı kirişler: Bunlar, her iki uçtaki desteklerin ötesine uzanır.
- Sürekli kirişler: İki veya daha fazla destek için uzanır.
- Konsol kirişler: Bir uçta sabit ancak dışa doğru çıkıntı yapıyor
- Kafes kirişler: Bu kiriş, bir kafes oluşturmak için bir çubuk veya kablo ile güçlendirilir.

Başka bir sınıflandırma özelliği geometriye dayanmaktadır. Geometriye göre kiriş çeşitleri aşağıdakilerdir (Chen & Chen, 1993, s. 383):

- Düz kiriş: Adından da anlaşılacağı gibi düzdür.
- Kavisli kiriş: Bu kiriş şekli kavislidir.
- Konik kiriş: Bu kiriş, konik bir kesite sahiptir.
- Enine kesitlere göre kiriş çeşitleri (Stewart, 1990, p. 97)
    - I-kirişi: Bu tür kiriş, Standart Amerikan Kirişi veya küçük kiriş olarak da bilinir. I kesiti vardır.
    - T-kirişi: Adından da anlaşılacağı gibi, bu kirişin bir T kesiti vardır.
- Kanallar: C kirişleri olarak da bilinen bu kirişlerin C kesiti vardır.
- Geniş flanş kirişler: Bunlar ayrıca H kirişler veya W kirişler olarak da bilinir. Konik olmayan ve standart I kirişlerden daha geniş olan flanşlara sahiptirler (Sivri & Sura, 2017, s. 40).

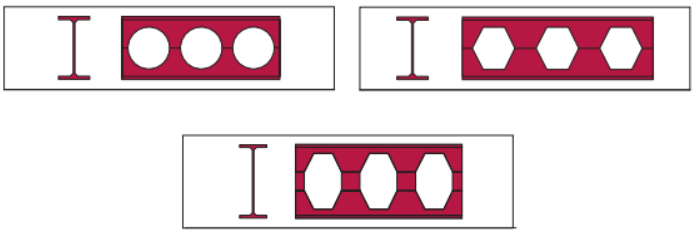
Çelik kirişleri kurarken, büyük bir yük taşımaları gerektiğini bilmek önemlidir. Bu nedenle, boyutları, şekli ve taşıma kapasitesi uygun olan doğru çelik kirişi bulmak gerekir. Doğru çelik kiriş seçildiği sürece endişelenecek bir şey yoktur. Uygun bir çelik kirişin hesaplanması ve seçimi, inşaat ve yapı mühendisi olan, bunun yanı sıea çelik kirişlerin montajında deneyime sahip olan bir uzmana emanet edilmelidir.

3.2.1. Petek Kirişler ve Özellikleri

I kesitli hadde profillerinin (I, IP, IPE profilleri) gövdeleri boyunca testere dişine benzer şekilde kesildikten sonra özel bir sistemde tekrar kaynaklanmalarıyla elde edilen kirişlere çelik yapılarda “petek kiriş” adı verilmiştir. Bu şekilde gövdesinde petek şeklinde altı köşeli boşluklar bulunan daha yüksek bir profil elde edilir (Kalaycıgil, 2007, s. 5). Gövde

boşluklarının altı köşeli ve petek görünüşlü olmaları nedeniyle, bu tür kirişlere genel olarak bu ad verilmektedir. Ancak gövde boşluklarında, gelişen teknolojinin de etkisiyle, değişik şekiller kullanıla gelmiştir. Petek kirişlerin gövde boşlukları ihtiyaç durumlarına ve estetik kaygılara bağlı olarak dikdörtgen, kare, altıgen, sekizgen ve hatta daire bile olabilmektedir (Ebel, 2014, s. 73). Petek kirişler şekil 1`de gösterilmiştir.

Şekil **1.** Petek Kirişler



Petek kirişler, kullanılan malzeme miktarının minimum ağırlık ve minimum malzeme maliyetine ulaşmasını sağlamak için petek geometrisine sahip insan yapımı yapılardır. Petek kirişlerin geometrisi büyük ölçüde değişebilir, ancak bu tür yapıların ortak özelliği, ince dikey duvarlar arasında oluşan bir dizi içi boş hücredir (Kalaycıgil, 2007, s. 6). Hücreler genellikle sütunlu ve altıgen şeklindedir. Petek şeklindeki bir yapı, minimum yoğunluğa ve göreceli olarak yüksek düzlem dışı sıkıştırma özelliklerine ve düzlem dışı kesme özelliklerine sahip bir malzeme sağlar (Belingardi & Martell, 2007, s. 1184).

İnsan yapımı petek yapılı yapısal malzemeler, genellikle, gerilimde mukavemet sağlayan iki ince tabaka arasında bir petek yapılı malzeme katmanlanarak yapılır. Bu, plaka benzeri bir montaj oluşturur. Petek malzemeler, düz veya hafif kavisli yüzeylere ihtiyaç duyulan ve yüksek özgül mukavemetlerinin değerli olduğu yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kalaycıgil, 2007, s. 7). Bu nedenle örneğin, havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar ve alüminyum, cam elyafı ve gelişmiş kompozit malzemelerdeki petek malzemeler 1950'lerden beri uçak ve roketlerde öne çıkmaktadır. Kağıt bazlı petek karton şeklindeki ambalaj malzemelerinden kayak ve snowboard gibi spor malzemelerine kadar pek çok başka alanda da bulunabilirler (Stewart, 1990, p. 98).

Petek üzerine uygulanan iki kaplama ile birlikte yapı, minimum ağırlıkta mükemmel sertliğe sahip bir sandviç panel sunar. Petek kirişlerin davranışı ortotropiktir, yani paneller

yapının yönüne bağlı olarak farklı tepki verir (Hasham & Rasmussen, 2002, s. 177). Bu nedenle, L ve W yönü olarak adlandırılan simetri yönleri arasında ayrım yapmak gereklidir. L yönü en güçlü ve en sert yöndür. En zayıf yön L-yönünden 60°'dir (düzenli bir altıgen olması durumunda) ve en uyumlu yön W yönüdür (Chen & Chen, 1993, s. 384). Petek kirişlerin bir diğer önemli özelliği de sıkıştırma mukavemetidir. Duvarların birbirini desteklediği verimli altıgen konfigürasyon nedeniyle, petek çekirdeklerin sıkıştırma mukavemeti, örneğin köpük çekirdekler veya oluklu çekirdekler gibi diğer sandviç çekirdek yapılarına kıyasla tipik olarak daha yüksektir (aynı ağırlıkta) (Stewart, 1990, p. 97).

Petek kirişlerin mekanik özellikleri, hücre geometrisine, kirişin yapıldığı malzemenin özelliklerine (genellikle katı olarak adlandırılır), Young modülünü, akma stresini ve malzemenin kırılma stresini ve göreceli olarak bağlıdır. Düşük yoğunluklu (çelik olmayan) petek kirişlerin elastik modüllerinin katıdan bağımsız olduğu bulunmuştur. Petek kirişlerin mekanik özellikleri de yükün uygulandığı yöne göre değişecektir (Erdal, 2011, s. 11).

Yeterince yüksek basınç yükü altında, petek kiriş kritik bir gerilime ulaşır ve aşağıdaki mekanizmalardan biri nedeniyle başarısız olur (Kalaycıgil, 2007, s. 7):

- elastik burkulma
- plastik akma
- kırılgan ezilme

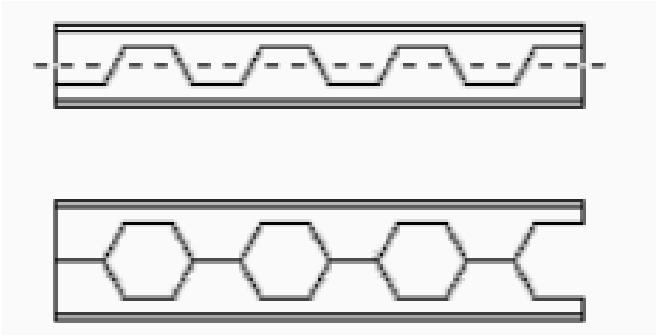
Petek hücrenin şekli genellikle farklı mühendislik uygulamalarını karşılamak için değiştirilir. Normal altıgen hücrenin yanı sıra yaygın olarak kullanılan şekiller arasında üçgen hücreler, kare hücreler ve dairesel çekirdekli altıgen hücreler ve dairesel çekirdekli kare hücreler bulunur. Bu hücrelerin göreceli yoğunlukları, yeni geometrilerine bağlı olacaktır (Stewart, 1990, p. 98).

Çeşitli I profillerinin gövdeleri boyuna doğrultuda zigzag benzeri bir kesimle ayrılıp, özel bir sistemde tekrar kaynaklanması ile ortaya çıkan daha yüksek gövdeli kirişlere petek kiriş adı verilir. Bu isim, kirişlerin gövdelerinde bulunan altı köşeli petek şeklindeki boşluklardan ileri gelir (Kalaycıgil, 2007, s. 8). Bu özel kesiş ile elde edilen kiriş parçaları, aralarına z yüksekliğinde ara levhalar ilave edilerek kaynaklanırsa, kiriş başlıkları arasındaki mesafe büyür ve yüksek bir kiriş elde edilir. Bu halde kiriş gövdesinde sekiz köşeli boşluklar meydana gelir. Bu tarz kirişlere de petek kiriş adı verilir. Günümüzde ilerleyen teknoloji sayesinde özel lazer uçlu kesiciler yardımıyla I profillerin gövdeleri istenilen şekilde örneğin dairesel biçimde

kesilip birleştirilerek daire boşluklu petek kirişler de elde edilebilmektedir (Hasham & Rasmussen, 2002, s. 178). Özellikle İngiltere ve Almanya gibi batı Avrupa ülkelerinde çoğunlukla dairesel boşluk tercih edilmektedir. Petek kirişlerin konstrüksiyonundaki temel prensip petek kirişin imal şeklini gösteren şekil 2'de gösterilmiştir (Chen & Chen, 1993, s. 385).

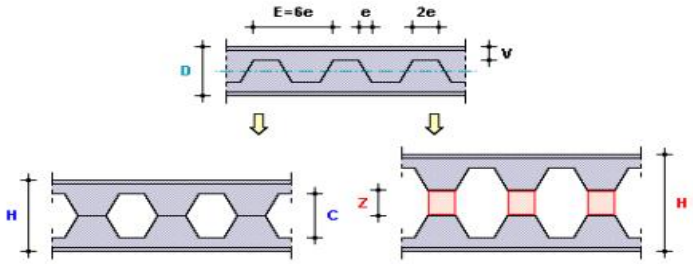
Petek kirişlerin tarihsel gelişimi 1928 yılına dayanmaktadır. Petek kirişlerin Türkiye`de kullanımı yakın tarihe kadar pek yaygın olmamakla birlikte özellikle sanayi yapıları için günümüzde sıkça kullanılır olmuşlardır (Erdal, 2011, s. 12). Avrupa'da mimari açıdan son derece kullanışlı bir form sayılan petek kirişlerin Türkiye'de mimari açıdan değerlendirilmesi söz konusu değildir. Türkiye`de daha çok ekonomik olduğu için tercih konusu olan petek kirişler genel olarak altıgen boşluklu şekilde kullanılmaktadır (Kalaycıgil, 2007, s. 9). Avrupada Petek kiriş kullanımının en yaygın olduğu ülke Almanya'dır. Bu nedenle de gerek hesap gerekse yapımları için en fazla gelişmede bu ülkede olmaktadır (Stewart, 1990, p. 98).

Şekil **2**. Petek Kirişin İmal Şekli



Şekil 3`te ise ara levhalı ve ara levhasız petek kirişler gösterilmiştir.

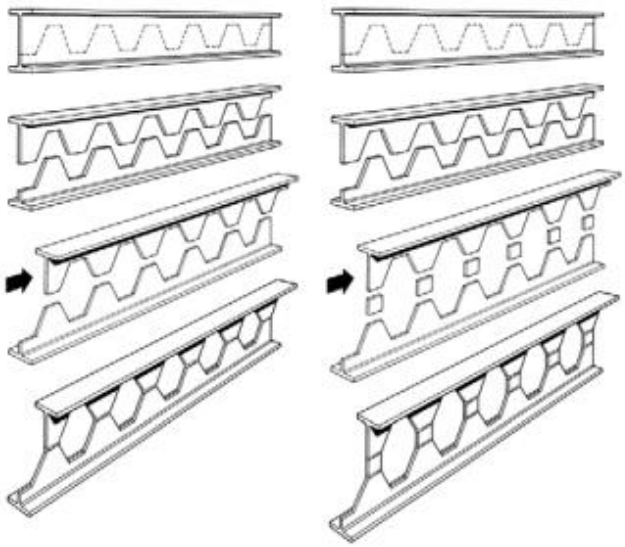
Şekil **3**. Ara Levhalı ve Ara levhasız Petek Kirişler



Gövde boşluklarının belli yararları vardır. Yaklaşık aynı kütle ağırlıklarına sahip (örneğin) dört kirişin aralarındaki tek fark gövde yüksekliklerinin artmış olmasıdır. Gövde yüksekliğini kiriş ağırlığını aynı düzeyde tutarak yükseltebilmenin en güzel yolu petek kirişler ile sağlanmaktadır. Kiriş gövdesindeki boşluklar veya petekler, başlıklar arasındaki mesafeyi büyüttüğü gibi, kiriş gövdesindeki malzemeyi de azaltır (Kalaycıgil, 2007, s. 9).

Putrelin zigzag şeklinde kesilmesi, elde edilen kiriş parçalarının düzeltilmesi, birbirlerine nazaran yarım kesiş adımı kadar kaydırılan kiriş yarılarının doğrudan doğruya kaynaklanması, kiriş yarılarının kiriş yüksekliğini daha da arttıran ara parçalarının ilavesiyle kaynaklanması (Chen & Chen, 1993, s. 386). Bunu şekilde 4`te görmek mümkündür.

Şekil **4**. Petek Kiriş Şekillerinin Persfektif Görünümleri



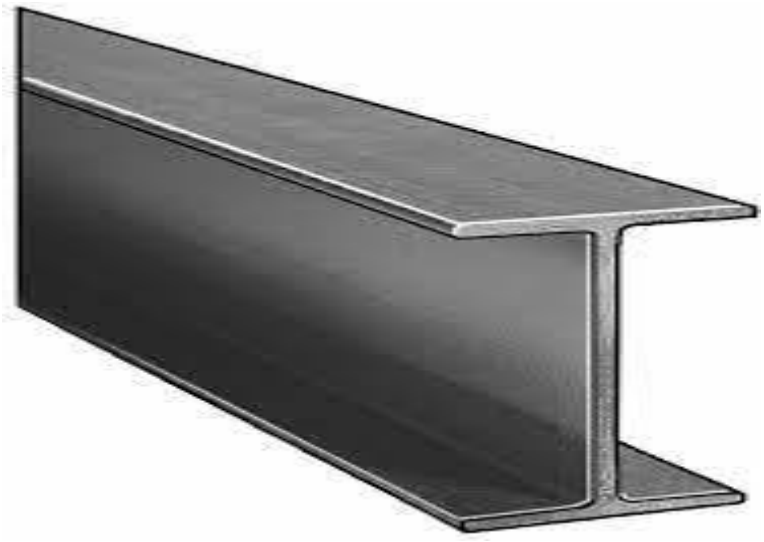
Petek kirişlerin yapı çeliğine getirmiş olduğu en önemli avantaj ekonomik bir malzeme olmasıdır. I profiller özellikle geniş açıklıkların güvenli bir şekilde projelendirilmesinde sıkça

kullanılan yapı malzemeleridir. Ancak I profillerinin mukavemet momentleri ancak profil kesit yüksekliğinin artmasıyla daha yüksek değerlere ulaşmaktadır (Dominik, 2021). Profilin kesit yüksekliğinin artması kiriş öz ağırlığının da artması demektir. İşte petek kiriş formu tam da bu noktada bizlere ne denli gerekli bir uygula olduğunu ispatlamaktadır. Petek kiriş formu kullanılarak elde edilen yeni kirişin hem mukavemet momenti tatminkar ölçüde artmakta hem de kiriş öz ağırlığında ya hiçbir değişiklik olmamakta yada cüzi bir artış meydana gelmektedir (Welding, 2021).

3.2.2. Hadde Kirişler ve Özellikleri

Hadde kirişi, bir dikey bileşen veya ağ ile birbirine bağlanan, flanşlar olarak bilinen iki yatay düzlemden oluşur. Flanşların ve ağın şekli bir "I" veya "H" kesiti oluşturur. Çoğu hadde kirişi yapısal çelik kullanır, ancak bazıları alüminyumdan yapılmıştır (Chen & Chen, 1993, s. 385). Karbon yapı çeliği ve yüksek mukavemetli düşük alaşımlı yapı çeliği gibi alt metal yapılar, bina çerçeveleme, köprüler ve genel yapısal amaçlar gibi farklı uygulamalara sahiptir (Welding, 2021). Hadde kirişinin şeklini şekil 5`te görebilirsiniz.

Şekil **5.** Hadde Kirişi



Hadde kirişler, farklı amaçlar için çeşitli ağırlıklarda, kesit derinliklerinde, flanş genişliklerinde, gövde kalınlıklarında ve diğer özelliklerde gelir. Hadde kirişleri sipariş ederken, alıcılar bunları malzeme ve boyutlarına göre sınıflandırır. Örneğin, bir 11x20 I şekilli hadde kiriş, 11 inç derinliğe ve ayak başına 20 pound ağırlığa sahip olacaktır (Dominik, 2021).

İnşaatçılar, belirli bir binanın ihtiyaçlarına göre belirli boyutlarda I kirişleri seçerler. Bir inşaatçı, aşağıdakiler gibi birçok faktörü dikkate almalıdır (Chen & Chen, 1993, s. 386):

- *Sapma*. İnşaatçı, kirişin deformasyonunu en aza indirmek için bir kalınlık seçecektir.
- *Titreşim*. Binadaki titreşimleri önlemek için belirli bir kütle ve rijitlik seçilmiştir.
- *Bükmek*. I kirişinin enine kesitinin gücü, akma gerilimini karşılamalıdır.
- *Burkulma*. Flanşlar yerel, yanal veya burulma burkulmasını önlemek için seçilir.
- *Tazyik*. İnşaatçı, gerilim altında kırılmayan, bükülmeyen veya dalgalanmayan bir ağ kalınlığına sahip bir I kirişi seçer.
- I kirişinin tasarımı, burkulma yerine yüksek stres altında bükülmesini sağlar. Bunu başarmak için, I kirişindeki malzemenin çoğu, eksenel lifler boyunca bölgelerde bulunur, yani en çok strese maruz kalan yerlerde. İdeal kirişler, istenen şekli elde ederken mümkün olan en az miktarda malzeme gerektiren minimum kesit alanına sahiptir (Welding, 2021).

Hadde kirişleri, yapısal çelik konstrüksiyon endüstrisinde çeşitli önemli kullanımlara sahiptir. Genellikle binalarda kritik destek kafesleri veya ana çerçeve olarak kullanılırlar (Dominik, 2021). Çelik I kirişler, bir yapının bütünlüğünü amansız güç ve destekle sağlar. Hadde kirişlerinin muazzam gücü, çok sayıda destek yapısı içerme ihtiyacını azaltarak zamandan ve paradan tasarruf etmenin yanı sıra yapıyı daha kararlı hale getirir. Hadde kirişlerinin çok yönlülüğü ve güvenilirliği, onları her inşaatçı için imrenilen bir kaynak haline getirir (Welding, 2021).

Hadde kirişler, yüksek işlevsellikleri nedeniyle yapısal çelik yapılar için tercih edilen şekildir. I kirişlerinin şekli, onları ağa paralel tek yönlü bükme için mükemmel kılar. Yatay flanşlar eğilme hareketine, gövde ise kesme gerilimine direnir. Bükülmeden çeşitli yükleri ve kesme gerilmelerini alabilirler (Hasham & Rasmussen, 2002, s. 179). "I" şekli fazla çelik kullanmayan ekonomik bir tasarım olduğundan, aynı zamanda uygun maliyetlidirler. Çok çeşitli I kiriş tipleri ile hemen hemen her gereksinim için bir şekil ve ağırlık vardır. I kirişinin çok yönlü işlevselliği, ona alternatif universal kiriş adını veren özelliktir (Hasham & Rasmussen, 2002, s. 180).

Burada şunu söylemekte fayda vardır ki H-çelik kirişler (HE) ayrıca geniş flanş kirişler olarak da adlandırılır. Bu çelik kirişler makine mühendisliğinde de kullanılmaktadır, genellikle

H-profil ürün grubu içinde muazzam bir çeşitlilik vardır. HEA, HEB ve HEM arasındaki fark genellikle ağırlıkta olur; farklı türler farklı stres seviyelerine dayanabilir. Orta-ağır kirişler olan HEB çelik kirişler inşaatta oldukça yaygındır. Hafif versiyon HEA kirişlerdir, ağır yükler için ağır HEM kirişler kullanılır (Dominik, 2021).

Paralel flanş iç yüzeyleri de I-kirişlerin karakteristiğidir. Bu iki kesit "kemer" olarak da bilinir. En yaygın I-kirişler, orta genişliğe sahip IPE çelik kirişlerdir. Ancak genel olarak, I-çelik kirişler HE kirişlerden daha dardır (Toprak, 2021).

U-profilleri diğer adıyla U-ütüler, çelik ve salon yapımında da oldukça yaygındır. Bu profiller yuvarlak kenarlı, U şeklinde bir profile sahiptir. Flanşlar içe doğru eğimlidir. Ölü ağırlık açısından, IPE ve UNP kirişleri, HE serisinin temsilcilerinden önemli ölçüde daha hafiftir (Welding, 2021).

3.3. IPE-600 Kirişi

IPE, flanşların ve boyutların EN 10365'e göre paralel iç yüzeyi olan çubuk şeklindeki yapı elemanları veya kirişlerin kısa şeklidir. Ürün toleransları EN 10034: 1993 ile karakterize edilir (Дом, 2021).

IPE paslanmaz çelik kiriş, tek bileşenlerinin birbirine kaynaklanmasıyla oluşturulabilir veya sıcak haddelenmiş veya ekstrüde edilebilir. Kirişin üst ve alt yatay kısmına flanş, dikey orta kısmına ise ağ denir. Bu ürün grubundaki en yaygın sürüm standart IPE profilidir. IPE AAAA'dan A'ya kadar olan daha hafif versiyonlar ve daha ağır olan IPE O, çok daha nadiren kullanılır (Дом, 2021).

IPE paslanmaz çelik kirişler ticaret ve sanayide olduğu kadar makine ve teçhizat yapımında da kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik profillerin kullanımı, yüksek bir bileşim esnekliği ve hızlı ve düşük maliyetli bir yapı ile karakterize edilir (çelik üretiminde prefabrikasyon olasılığı sayesinde). Paslanmaz çelik profiller esas olarak hurdadan üretilir ve kullanımdan sonra tekrar geri dönüştürülebilir, böylece yeni kaynaklar korunabilir (Welding, 2021).

Mimarlar, inşaat işçileri ve mühendislerin hepsi, görünürdeki benzerliklerine rağmen tüm metal profillerin eşit şekilde oluşturulmadığını bilmektedir. Farklı çelik bölümlerin değişen kesit alanları, flanş kalınlıkları, toplam derinlikleri, burulma sabitleri vb. daha sonra en iyi yapısal sonucu elde etmek için farklı bölümleri işbirliği içinde kullanılmalıdır. IPE kirişleri, çok yönlü iyi bir yük taşıma performansı sunmaları bakımından benzersizdir. Bunun tek gerçek istisnası, yanal yapısal kapasiteleridir (yani burulma dirençleri) (Dominik, 2021).

Daha önce de söylediğimiz gibi bir IPE kirişi, karakteristik "I" veya "H" şekline sahip yapısal bir çelik kesittir. Bunun gibi bölümler, içi boş veya içi boş dikdörtgen bölümlerin aksine, ağ olarak bilinen bir merkezi eleman ile birbirine bağlanan paralel yüzey flanşlarını içerdikleri için açık profiller olarak tanımlanır. Bu konfigürasyon, IPE kirişlerine, boyuna yöndeki gerilimin yanı sıra, sıkıştırma ve eğilme gerilimine karşı mükemmel direnç sağlar (Chen & Chen, 1993, s. 386). Şekil 5`te bir IPE kirişi verilmiştir.

Şekil **6.** IPE Kirişi



Dönme performansı açısından IPE kirişleri aşan tek çelik profil, pahalı ve diğer profillerle birleştirilmesi zor olan içi boş yapısal profillerdir (HSS). IPE kirişlerini imal etmek için paslanmaz çelik kaliteleri kullanmanın faydalarından biri, paslanmaz grubun yüksek bileşim esnekliğidir. Bu, üreticilerin ekstrüzyon, sıcak haddeleme veya tek tek bileşenlerden kaynak yapma dahil olmak üzere IPE kiriş daraltmada mevcut çeşitli üretim yöntemlerine sahip olduğu anlamına gelir. Bazı metalürji uzmanları, H-kirişlerin birbirine kaynaklandığı, I-

kirişlerin ise tek bir çelik iş parçasından üretildiği ayrımını yapar (Hasham & Rasmussen, 2002, s. 178).

Dar I kirişler (IPN, DIN 1025-1'e göre standartlaştırılmış) orta genişlikteki I kirişlerden (DIN 1025-5'e göre standartlaştırılmış IPE profili) daha ağırdır ve daha küçük kesitli daha yüksek yük kapasitesi ile karakterize edilir. Orta genişlikte I-kirişler ise daha dar ağları nedeniyle bükülmeleri daha kolaydır, ancak yalnızca sınırlı basınca dayanabilirler. Bu nedenle yüksek yükler gerektiğinde geniş flanşlı kirişler kullanılır (Dominik, 2021).

Bunun yanı sıra, 80 mm gövde yüksekliğinden U profiller de çelik kirişler arasında sayılmakta ve şekilleri kendilerine adını veren harflere dayanmaktadır. Diğer şeylerin yanı sıra, bu şekil inşaat için en büyük faydayı sağlıyorsa, köprü inşaatı, salon inşaatı veya endüstriyel inşaatta kullanılabilirler (Дом, 2021).

3.4. IPE-600: ANSYS Analizlerine Giriş

Basınca dayanıklılığın test edildiği üçüncü bölümdeki ANSYS analizlerinin verilerine geçmeden önce yapılmış araştırma ile ilgili küçük bir giriş vermek gerekmektedir. ANSYS programı vasıtasıyla yapılmış araştırma gövdenin kaynak vasıtasıyla sağdan ve soldan sabitlendiği varsayılmaktadır. 10 tonluk bir güç altında yaptığımız test normal hava sıcaklığında yapılmıştır. Bu rakam tesadüfen seçilmemiş, öyle bir ağırlık seçilmiştir ki gövde ne çok eğilmesin ne de ne de çok boşta olsun. 10 ton gövdedeki eğilmeleri, değişmeleri görmek için normal bir rakamdır. Yapımız her iki taraftan sabitlendiğine göre bir bütün olarak incelenmiş ve üretim çizimi şekline salınmamıştır. Bu bağlamda yapının kontakları yoktur. Yapıda standart ağ (*mesh*) kullanılmış, ağın kalitesi yüksek olarak seçilmiştir. Birkaç ağın analizi yapılmış ve 66.78 mm`nin en ideal ölçü olduğuna karar verilmiştir. Bundan daha büyük bir ölçü kullanıldığında parametrreler değişiklik göstermektedir. 66 ile örneğin 10 mm`lik ağın ciddi bir farkı olmadığına göre bu rakam seçilmiştir. Analizde moment 0 olarak kabul edilmektedir. Analizde programın tandığı bileşenlerden istifade edilmiştir. Analizde malzemenin elastikliği 3.52e olarak kabul edilmektedir. Analizde eğilmenin çok olduğu için yapı sağlam olarak kabul edilmemektedir. Analizde sadece 1 saniyede gövdeye verilmiş yük ele alınmaktadır. Bu bağlamda zaman geçtikçe gövdenin özellikle orta kısımdan çok çabuk yorulması ve kopma ihtimali göz önüne alınmalıdır. Analizde tüm detaylar 1 olarak kabul edilmiştir. Analizde koordinat sistemi “global” olarak kabul edilmiştir. Analiz zamanı gövdenin eğildiği zaman orda

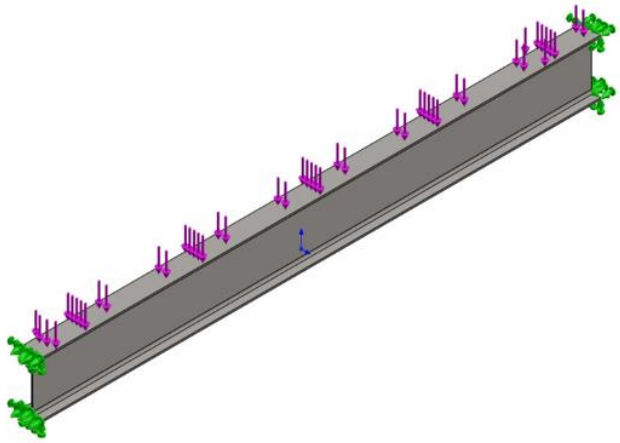
gerçekleşen değişiklikler, özellikle de ısı değişikliği dikkate alınmıştır. Analizde 2 adım dikkate alınmaktadır. 1. adım bilgisayarın kontrolünde, 2. adım ise benim kontrolümde olmuştur. Analizde 10 tonluk yük 30 saniye yapının üzerinde kalmıştır.

4. ÖNERİLEN KİRİŞ UYGULAMALARI

4.1. IPE-600 Analizi

Çalışmamızın bu kısmında kendi önerdiğimiz kiriş uygulamalarını IPE-600 kirişleri ile kıyaslamak suretiyle kendi analizlerimize yer vereceğiz.

Şekil **7**. Klasik IPE-600



4.1.1. Birimler

Tablo **1**. Birimler

Birim sistemi	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s
Açı	Degrees
Dönme Hızı	rad/s
Hava sıcaklığı	Celsius

4.1.2. Geometri

Analizin geometri kısımı ile ilgili veriler tablo 2`de gösterildiği şekildedir.

Tablo **2**. Geometri

Obje adı	Geometri
Durum	Tam Tanımlı
Tanım	
Tip	Parasolid
Uzunluk Birimi	Metre
Eleman Kontrolü	Program Kontrollü

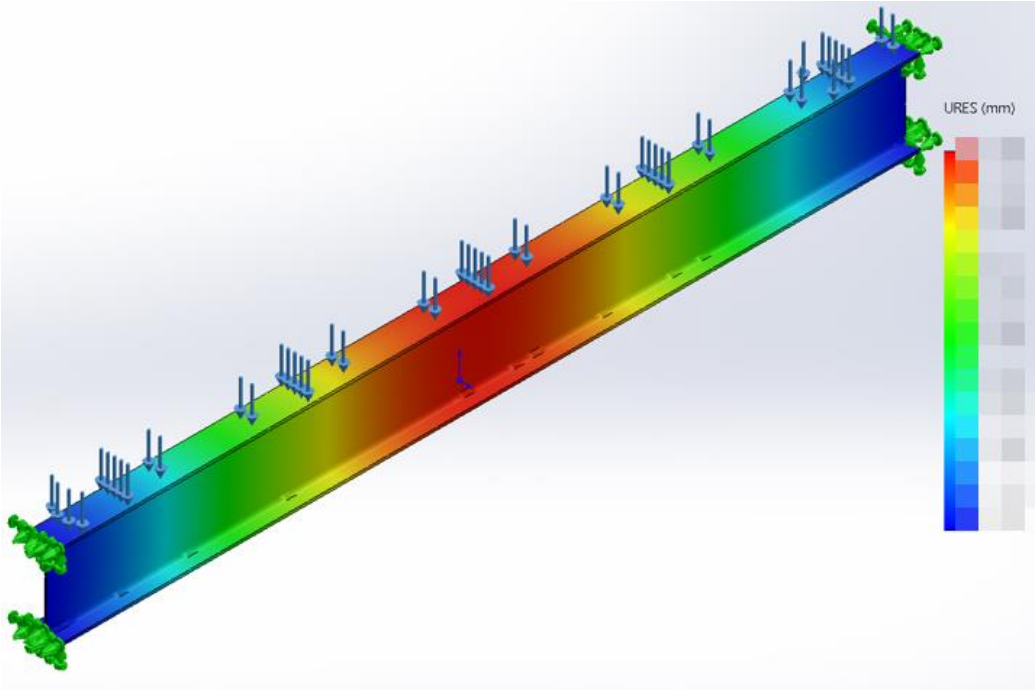
Sınırlama	Sın
uzunluk X	220. mm
uzunluk Y	600. mm
uzunluk Z	6000. mm
Özellikler	
Ses	9.3591e+007 mm^3
Kütle	734.69 kg
Ölçek Faktörü Değeri	1.

Analizin istatistikleri tablo 3`te gösterildiği şekildedir.

Tablo **3**. İstatistikler

Göveler	1
Aktif Gövdeler	1
Düğümler	106753
Elementler	15000
Kafes Metrik	Hiçbirisi
Güncelleme Seçenekleri	
Varsayılan Malzeme	Hayır
Temel Geometri Seçenekleri	
Katı Gövdeler	Evet
Yüzey Gövdeleri	Evet
Çizgi Gövdeleri	Hayır
Parametreler	Bağımsız
Parametre Anahtarı	ANS;DS
Öznitellikler	Hayır
Adlandırılmış Seçimler	Hayır
Malzeme özellikleri	Hayır
Gelişmiş Geometri Seçenekleri	
İlişkilendirmeyi Kullan	Evet
Koordinat sistemleri	Hayır
Okuyucu Modu Güncellenen	Hayır
Örnekleri Kullan	Evet
Akıllı CAD Güncellemesi	Evet
Analiz Türü	3 BOYUTLU
Karışık İthalat	Hiçbiri
İçe Aktarmada Temiz Gövdeler	Hayır
İçe Aktarmada Yüzeyleri	Hiçbiri
Ayrık Geometriyi Ayrıştırma	Evet
Muhafaza ve Simetri İşleme	Evet

Şekil **8**. IPE-600 Yerdeğişme



Tablo **4**. Geometri > Parçalar

Tanım	
Bastırılmış	Numara
Sertlik Davranışı	Esnek
Koordinat sistemi	Varsayılan koordinat
Referans sıcaklığı	Çevreye Göre
Tedavi	Hiçbiri
Malzeme	
Atama	Yapısal Çelik NL
Doğrusal Olmayan	Evet
Termal Gerilme	Evet
Sınırlama	
uzunluk X	220. mm
uzunluk Y	600. mm
uzunluk Z	6000. mm
Özellikler	

Ses	9.3591e+007 mm^3
Kütle	734.69 kg
Merkez X	110. mm
Merkez Y	300. mm
Merkez Z	4.4426e-013 mm
Eylemsizlik	2.2504e+009 kg^mm^2
Eylemsizlik	2.2086e+009 kg^mm2
Eylemsizlik	4.5039e+007 kg^mm2
İstatistikler	
Düğümler	106753
Elementler	15000
Kafes Metrik	Hiçbiri

4.1.3. Ağ

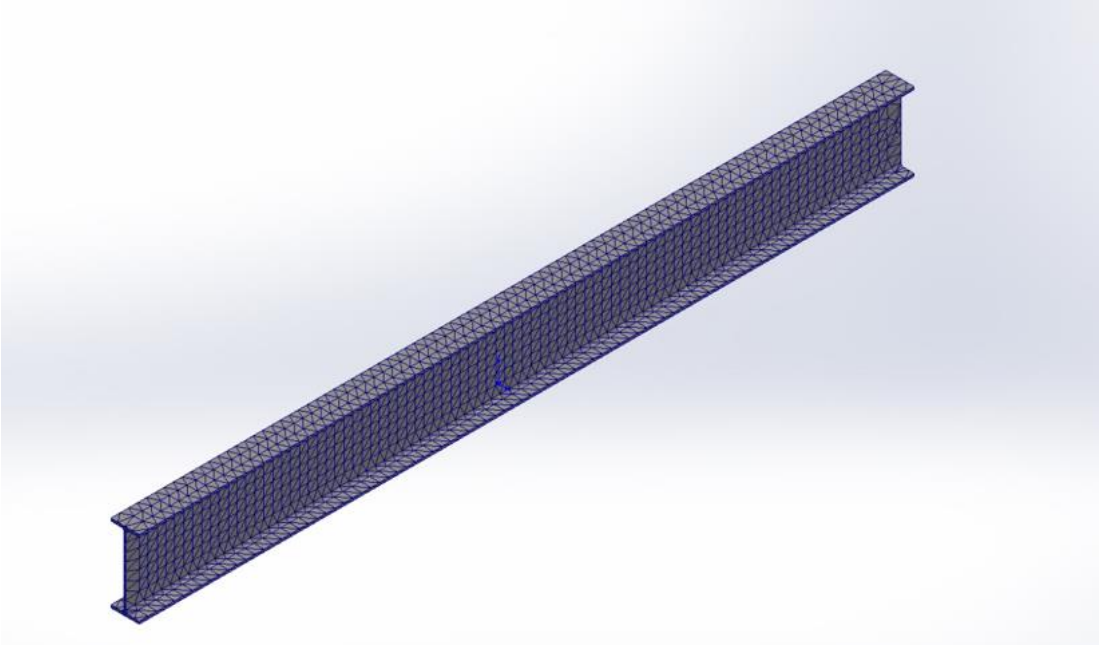
Analizin ağ kısmı ile ilgili veriler tablo 5`de gösterilmiştir.

Tablo **5**. Ağ

Varsayılanlar	
Fizik Tercihi	Mekanik
Eleman Sırası	Program Kontrollü
Eleman Boyutu	20.0 mm
Ölçülendirme	
Uyarlanabilir Boyutlandırmayı	Evet
Çözünürlük	Varsayılan (2)
Kafes Yıkıcı	Evet
Defeature Boyutu	Varsayılan
Geçiş	Hızlı
Sınırlayıcı Kutu Çapraz	6033.9 mm
Ortalama Yüzey Alanı	6.7319e+005 mm^2
Minimum Kenar Uzunluğu	19.0 mm
Kalite	
Ağ Kalite Kontrolu	Evet, Hatalar
Hata Sınırları	Agresif Mekanik
Hedef Kalite	Varsayılan (0.050000)
Şişirme	
Otomatik Enflasyonu Kullan	Hiçbiri
Enflasyon Seçeneği	Yumuşak bir geçiş
Geçiş Oranı	0.272
Maksimum Katmanlar	5
Büyüme oranı	1.2
Gelismis	
Paralel Parça Meshleme için CPU	Program Kontrollü
Düz Taraflı Elemanlar	Hayır
Sert Vücut Davranışı	Boyutsal Olarak
Üçgen Yüzey Ağlayıcı	Program Kontrollü
Topoloji Kontrolü	Evet
İstatistikler	

Düğümler	106753
Elementler	15000

Şekil **9**. IPE-600 Ağ (Mesh)

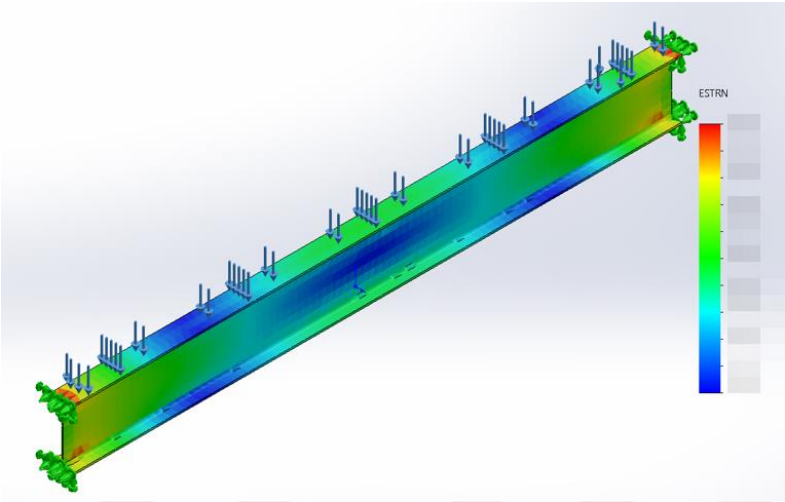


4.1.4. Statik Yapısal

Tablo **6**. Analiz

Tanım	
Fizik Türü	Yapısal
Analiz Türü	Statik Yapısal
Çözücü Hedefi	Mekanik APDL
Seçimler	
Çevre sıcaklığı	22. °C

Şekil **10**. Statik Gerinim



Tablo 7. Analiz Ayarları

Adım Kontrolleri	
Adım Sayısı	2.
Mevcut Adım	2.
İlk Alt Adımlar	30.
Minimum Alt	30.
Maksimum Alt	100.
Çözücü Kontrolleri	
Çözücü Türü	Program Kontrollü
Zayıf Yaylar	Kapalı
Çözücü Pivot	Program Kontrollü
Büyük Sapma	Kapalı
Atalet Rölyefi	Kapalı
Doğrusal Olmayan Kontroller	
Newton-Raphson	Program Kontrollü
Seçenek	Program Kontrollü
Yakınsama Kuvveti	Program Kontrollü
Moment Yakınsama	Program Kontrollü
Yer Değiştirme	Program Kontrollü
Döndürme	Program Kontrollü
Yakınsama	Program Kontrollü
Çıkış Kontrolleri	
Baskı	Evet
Yüzey gerilimi	Hayır
Sırt Stresi	Hayır
Gerginlik	Evet
İletişim Verileri	Evet
Doğrusal	Hayır

Düğüm kuvvetleri	Hayır
Temas Çeşitli	Hayır
Genel Çeşitli	Hayır
Sonuçları şurada	Tüm Zaman Puanları
Sonuç Dosyası	Program Kontrollü

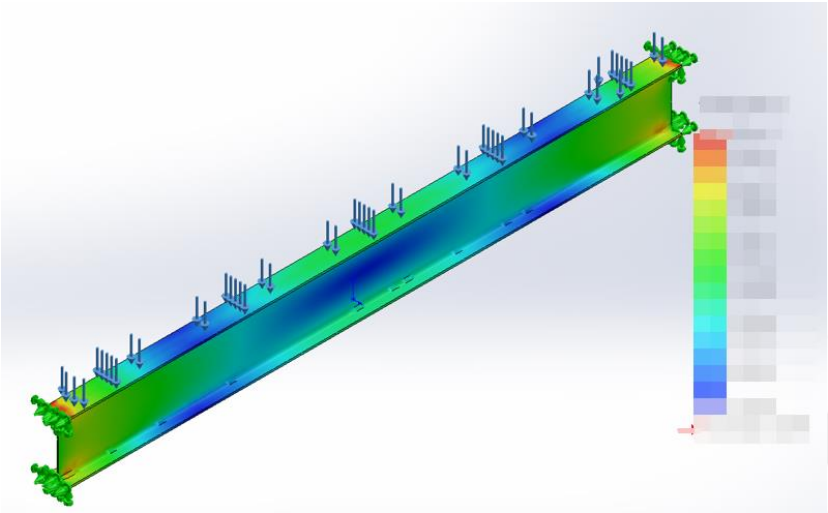
Tablo **8**. Analiz Ayarları: Adıma Özel "Adım Kontrolleri"

Adım	Adım Adım Bitiş	Adım Adım Bitiş Zamanı	Adım Adım	Adım Adım Bitiş Zamanı	Adım Adım Bitiş Zamanı	Adım Adım Bitiş Zamanı	Adım Adım Bitiş Zamanı
1	1. s	Program Kontrollü					
2	2. s	Açık	Alt	Alt Adımlar	30.	30.	100.

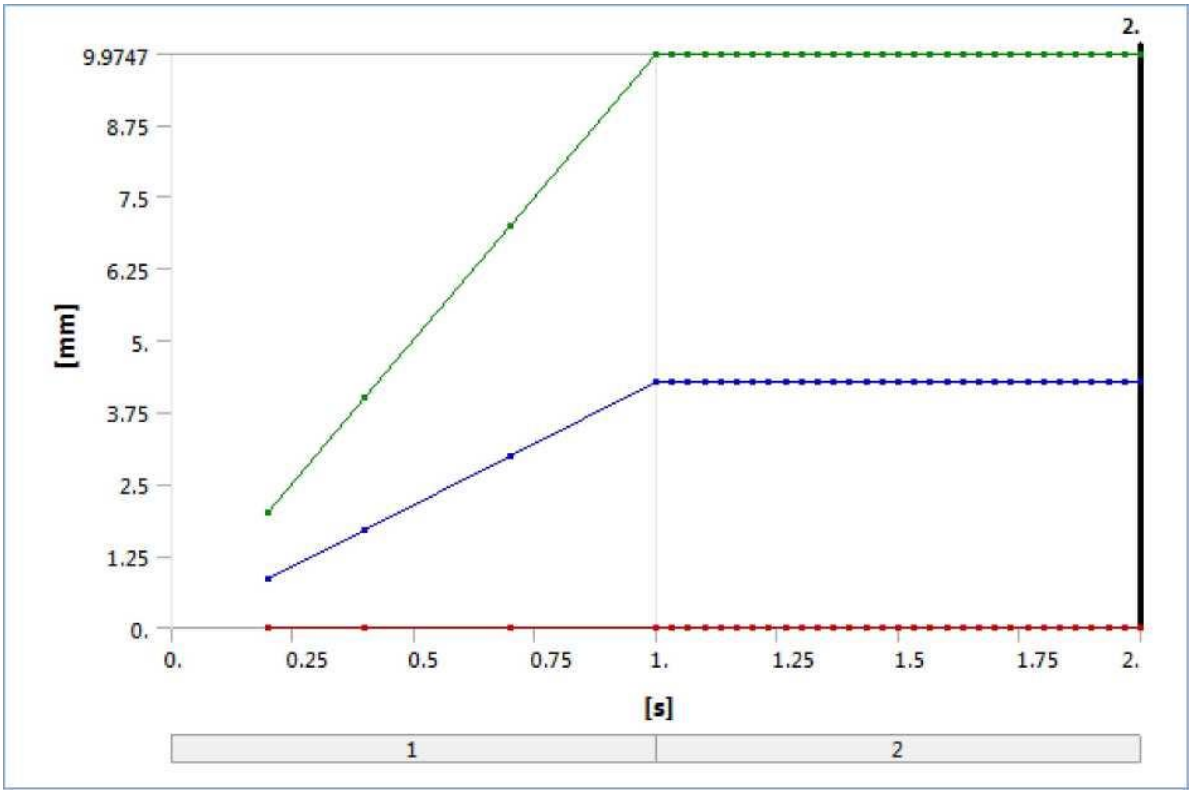
Tablo **9**. Sonuçlar

Kapsam				
Kapsam Belirleme	Geometri Seçimi			
Geometri	Bütün gövdeler			
Tanım				
Type	Toplam Deformasyon	Toplam Deformasyon Eşdeğeri Elastik	Toplam Deformasyon Eşdeğeri Elastik Gerilme	Toplam Def
Görüntüleme Süresi	Geçen			
Zaman Geçmişini Hesapla	Evet			
Tanımlayıcı				
Bastırılmış	Numara			
Sonuçlar				
Asgari	0. mm	8.3971e-008	1.6794e-002 MPa	4744.6 mm^3
Azami	0.4494 mm	1.4004e-004 mm/mm	28.007 MPa	11989 mm3
Ortalama	0.25546 mm	3.4864e-005 mm/mm	6.9386 MPa	
Minimum Oluşma	Bölüm 1			
Maksimum Oluşma	Bölüm 1			
Toplam				9.3599e+007 mm^3
Zaman İçinde Minimum Değer				
Minimum	0. mm	2.799e-009 mm/mm	5.5981e-004 MPa	4744.6 mm3
Maksimum	0. mm	8.3971e-008	1.6794e-002 MPa	4744.6 mm3
Zaman İçinde Maksimum Değer				
Minimum	1.498e-002 mm	4.6679e-006	0.93357 MPa	11989 mm3
Maksimum	0.4494 mm	1.4004e-004 mm/mm	28.007 MPa	11989 mm3

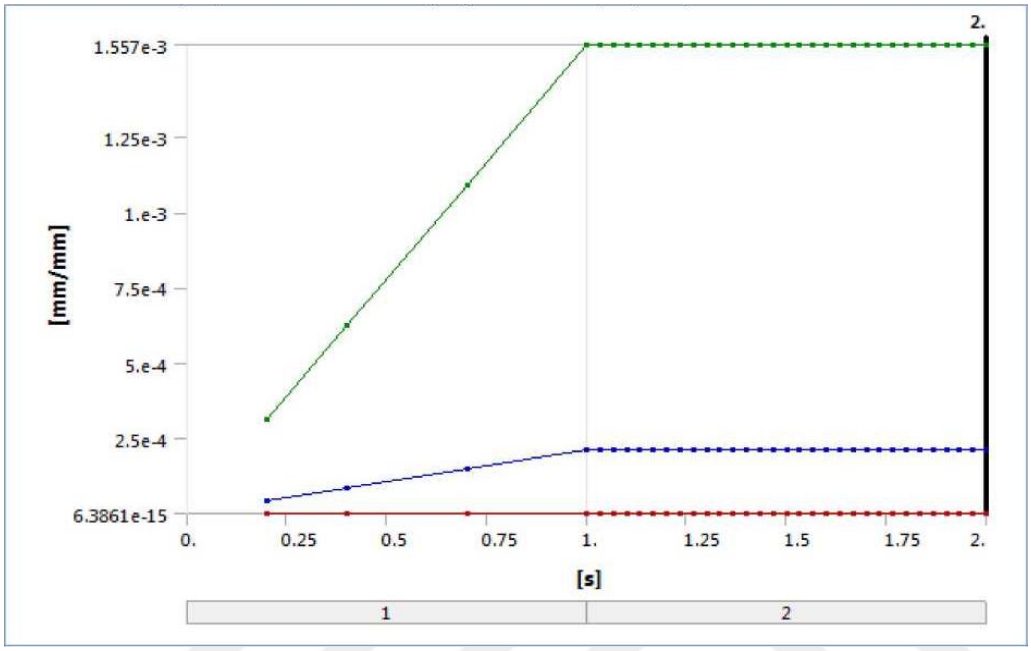
Şekil **11**. IPE-600 Gerilme



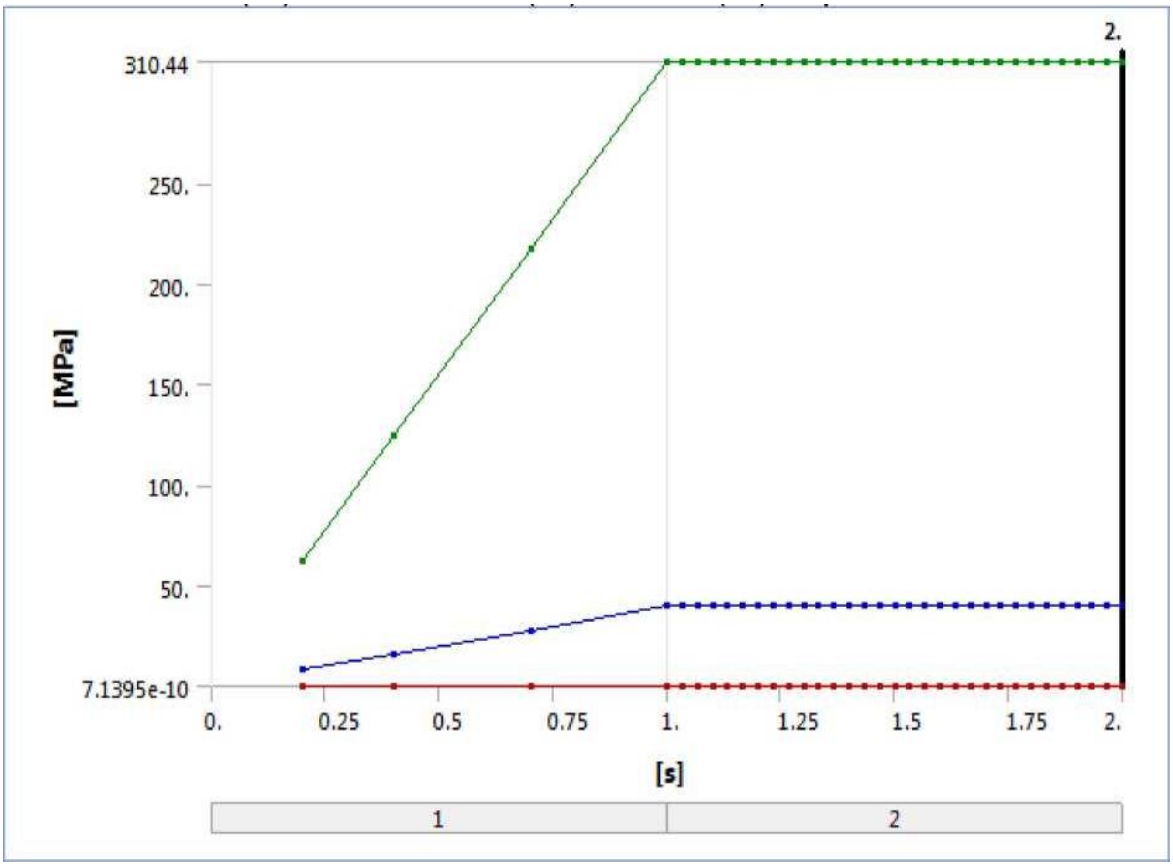
Şekil **12**. Toplam Deformasyon / IPE-600



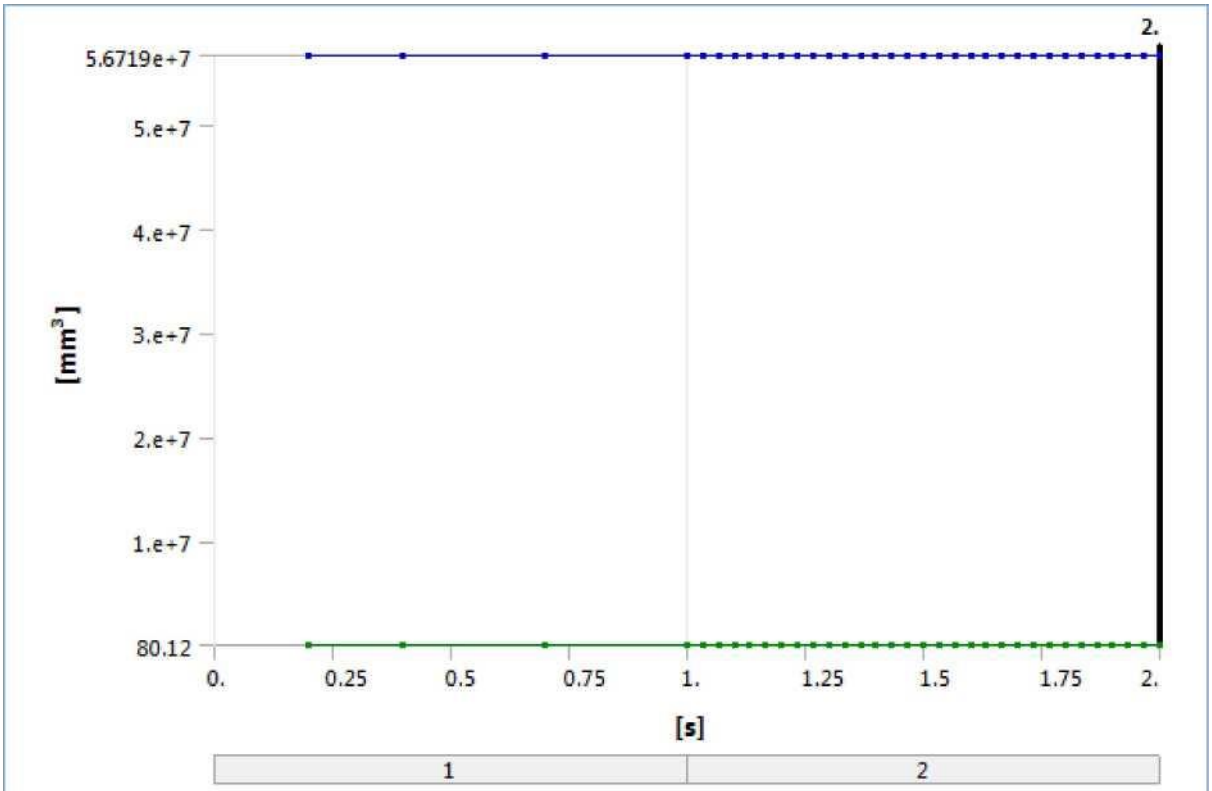
Şekil **13**. Eşdeğer Elastik Gerilme / IPE-600



Şekil **14**. Eşdeğer Baskı / IPE-600



Şekil **15**. Hacim / IPE-600



4.1.5. Materyal Verisi

4.1.5.1. Yapısal Çelik NL

Tablo **10**. Sabitler

Yoğunluk	7.85e-006 kg mm^A-3
Özısı	4.34e+005 mJ kgA-1

Tablo **11**. İzotropik Esneklik

Young Modülü MPa	Poisson Oranı	Toplu Modül MPa	Kayma Modülü	Sıcaklık C
2.e+005	0.3	1.6667e+005	76923	

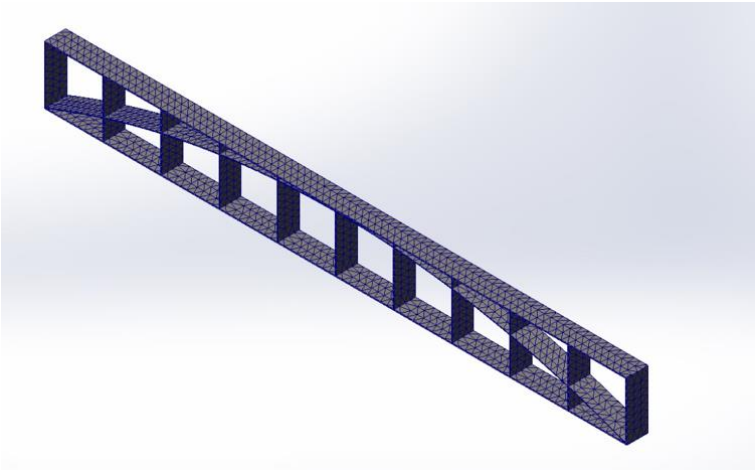
Tablo **12**. Bilineer İzotropik Sertleştirme

Akma Dayanımı	Tanjant Modülü MPa	Sıcaklık C
250	1450	

3.2. Analiz №1: ANSYS Analizi

Analizler ANSYS programı ile yapılmıştır.

Şekil **16**. Analiz №1 Görünümü



4.2.1. Birimler

Tablo **13**. Birimler

Birim sistemi	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s
Açı	Degrees
Dönme Hızı	rad/s
Hava sıcaklığı	Celsius

4.2.2. Geometri

Analizin geometri kısımı ile ilgili veriler tablo 2`de gösterildiği şekildedir.

Tablo **14**. Geometri

Obje adı	Geometri
Durum	Tam Tanımlı
Tanım	
Tip	Parasolid
Uzunluk Birimi	Metre
Eleman Kontrolü	Program Kontrollü
Sınırlama	
uzunluk X	6000. mm
uzunluk Y	600. mm
uzunluk Z	220. mm
Özellikler	
Ses	5.6719e+007 mm^3
Kütle	445.24 kg
Ölçek Faktörü Değeri	1.

Sın

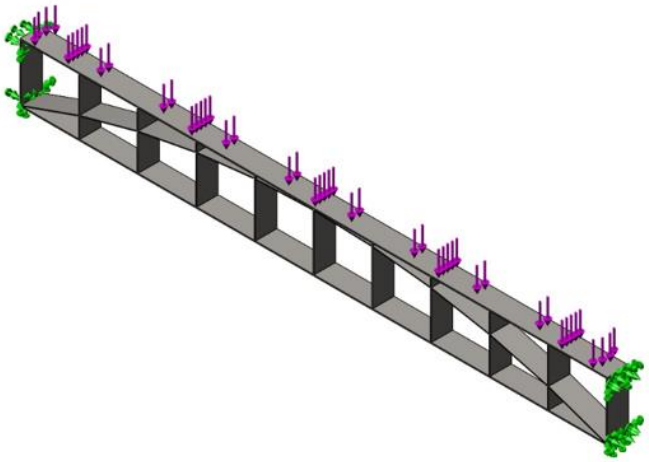
Analizin istatistikleri tablo 3`te gösterildiği şekildedir.

Tablo **15**. İstatistikler

Göveler	1
Aktif Gövdeler	1
Düğümler	144554
Elementler	20328
Kafes Metrik	Hicbirisi
Güncelleme Seçenekleri	
Varsayılan Malzeme	Hayır
Temel Geometri Seçenekleri	
Katı Gövdeler	Evet
Yüzey Gövdeleri	Evet
Çizgi Gövdeleri	Hayır
Parametreler	Bağımsız
Parametre Anahtarı	ANS;DS
Öznitellikler	Hayır
Adlandırılmış Seçimler	Hayır
Malzeme özellikleri	Hayır
Gelişmiş Geometri Seçenekleri	
İlişkilendirmeyi Kullan	Evet

Koordinat sistemleri	Hayır
Okuyucu Modu Güncellenen	Hayır
Örnekleri Kullan	Evet
Akıllı CAD Güncellemesi	Evet
Analiz Türü	3 BOYUTLU
Karışık İthalat	Hiçbiri
İçe Aktarmada Temiz Gövdeler	Hayır
İçe Aktarmada Yüzeyleri	Hiçbiri
Ayrık Geometriyi Ayrıştırma	Evet
Muhafaza ve Simetri İşleme	Evet

Şekil **17**. Analiz №1 Varsayılan



Tablo **16**. Geometri > Parçalar

Tanım	
Bastırılmış	Numara
Sertlik Davranışı	Esnek
Koordinat sistemi	Varsayılan koordinat
Referans sıcaklığı	Çevreye Göre
Tedavi	Hiçbiri
Malzeme	
Atama	Yapısal Çelik NL
Doğrusal Olmayan	Evet
Termal Gerilme	Evet
Sınırlama	
uzunluk X	6000. mm
uzunluk Y	600. mm
uzunluk Z	220. mm
Özellikler	
Ses	5.6719e+007 mm^3
Kütle	445.24 kg

Merkez X	0.46889 mm
Merkez Y	316.81 mm
Merkez Z	110. mm
Eylemsizlik	2.9379e+007 kg^mm^2
Eylemsizlik	1.4268e+009 kg^mm2
Eylemsizlik	1.4526e+009 kg^mm2
İstatistikler	
Düğümler	144554
Elementler	20328
Kafes Metrik	Hiçbiri

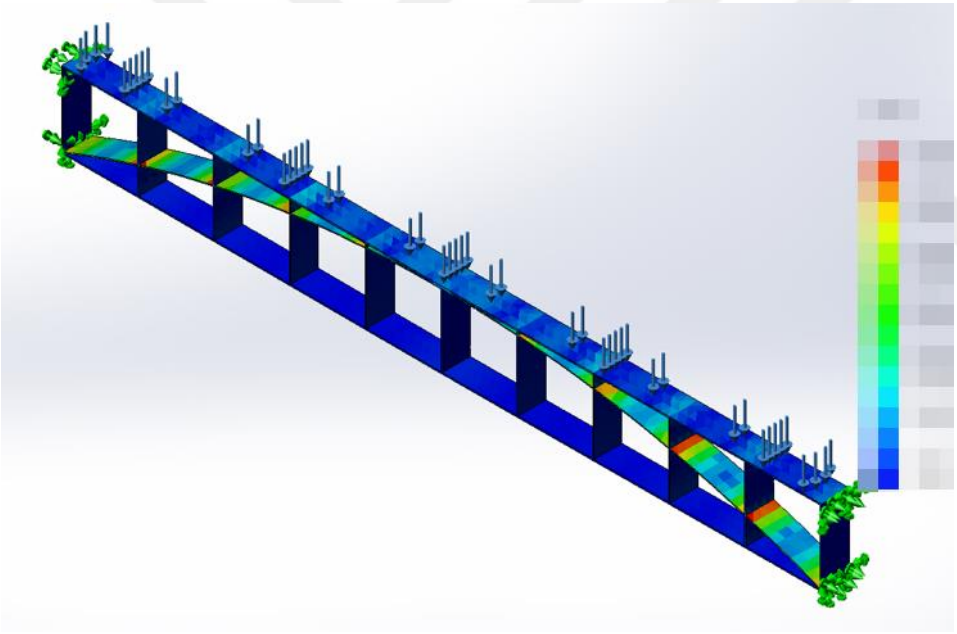
4.2.3. Ağ

Analizin ağ kısmı ile ilgili veriler tablo 5`de gösterilmiştir.

Tablo **17**. Ağ

Varsayılanlar	
Fizik Tercihi	Mekanik
Eleman Sırası	Program Kontrollü
Eleman Boyutu	20.0 mm
Ölçülendirme	
Uyarlanabilir Boyutlandırmayı	Evet
Çözünürlük	Varsayılan (2)
Kafes Yıkıcı	Evet
Defeature Boyutu	Varsayılan
Geçiş	Hızlı
Sınırlayıcı Kutu Çapraz	6033.9 mm
Ortalama Yüzey Alanı	1.3274e+005 mm2
Minimum Kenar Uzunluğu	2.2825 mm
Kalite	
Ağ Kalite Kontrolu	Evet, Hatalar
Hata Sınırları	Agresif Mekanik
Hedef Kalite	Varsayılan (0.050000)
Şişirme	
Otomatik Enflasyonu Kullan	Hiçbiri
Enflasyon Seçeneği	Yumuşak bir geçiş
Geçiş Oranı	0.272
Maksimum Katmanlar	5
Büyüme oranı	1.2
Gelişmiş	
Paralel Parça Meshleme için CPU	Program Kontrollü
Düz Taraflı Elemanlar	Hayır
Sert Vücut Davranışı	Boyutsal Olarak
Üçgen Yüzey Ağlayıcı	Program Kontrollü
Topoloji Kontrolü	Evet
İstatistikler	
Düğümler	144554
Elementler	20328

Şekil **18**. Statik Gerinim

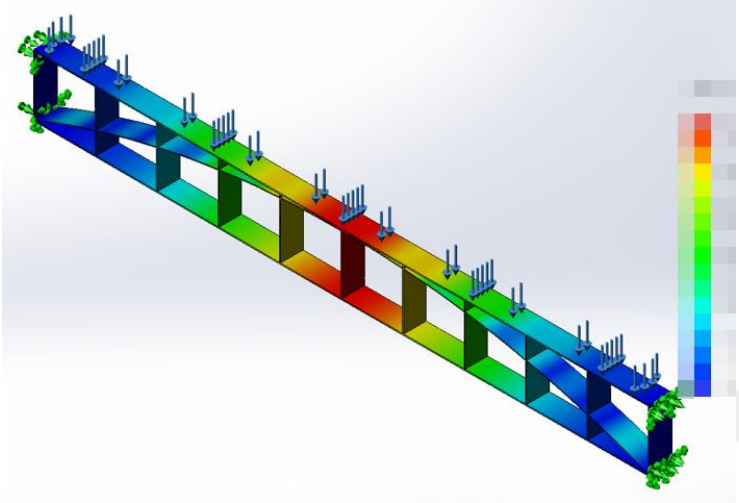


4.2.4. Statik Yapısal

Tablo **18**. Analiz

Tanım	
Fizik Türü	Yapısal
Analiz Türü	Statik Yapısal
Çözücü Hedefi	Mekanik APDL
Seçimler	
Çevre sıcaklığı	22. °C

Şekil **19**. Analiz №1 Yerdeğişme



Tablo **19**. Analiz Ayarları

Adım Kontrolleri	
Adım Sayısı	2.
Mevcut Adım	2.
İlk Alt Adımlar	30.
Minimum Alt	30.
Maksimum Alt	100.
Çözücü Kontrolleri	
Çözücü Türü	Program Kontrollü
Zayıf Yaylar	Kapalı
Çözücü Pivot	Program Kontrollü
Büyük Sapma	Kapalı
Atalet Rölyefi	Kapalı
Doğrusal Olmayan Kontroller	
Newton-Raphson	Program Kontrollü
Seçenek	Program Kontrollü
Yakınsama Kuvveti	Program Kontrollü
Moment Yakınsama	Program Kontrollü
Yer Değiştirme	Program Kontrollü
Döndürme	Program Kontrollü
Yakınsama	Program Kontrollü
Çıkış Kontrolleri	
Baskı	Evet
Yüzey gerilimi	Hayır
Sırt Stresi	Hayır
Gerginlik	Evet
İletişim Verileri	Evet

Doğrusal	Hayır
Düğüm kuvvetleri	Hayır
Temas Çesitli	Hayır
Genel Çeşitli	Hayır
Sonucları surada	Tüm Zaman Puanları
Sonuç Dosyası	Program Kontrollü

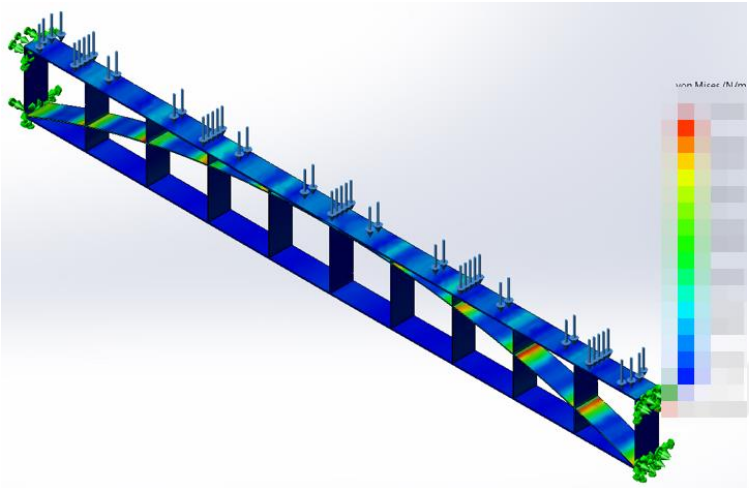
Tablo **20**. Analiz Ayarları: Adıma Özel "Adım Kontrolleri"

Adım	Adım Adım Bitiş	Adım Adım Bitiş Zamanı	Adım Adım	Adım Adım Bitiş Zamanı	Adım Adım Bitiş Zamanı	Adım Adım Bitiş Zamanı	Adım Adım Bitiş Zamanı
1	1. s	Program Kontrollü					
2	2. s	Açık	Alt	Alt Adımlar	30.	30.	100.

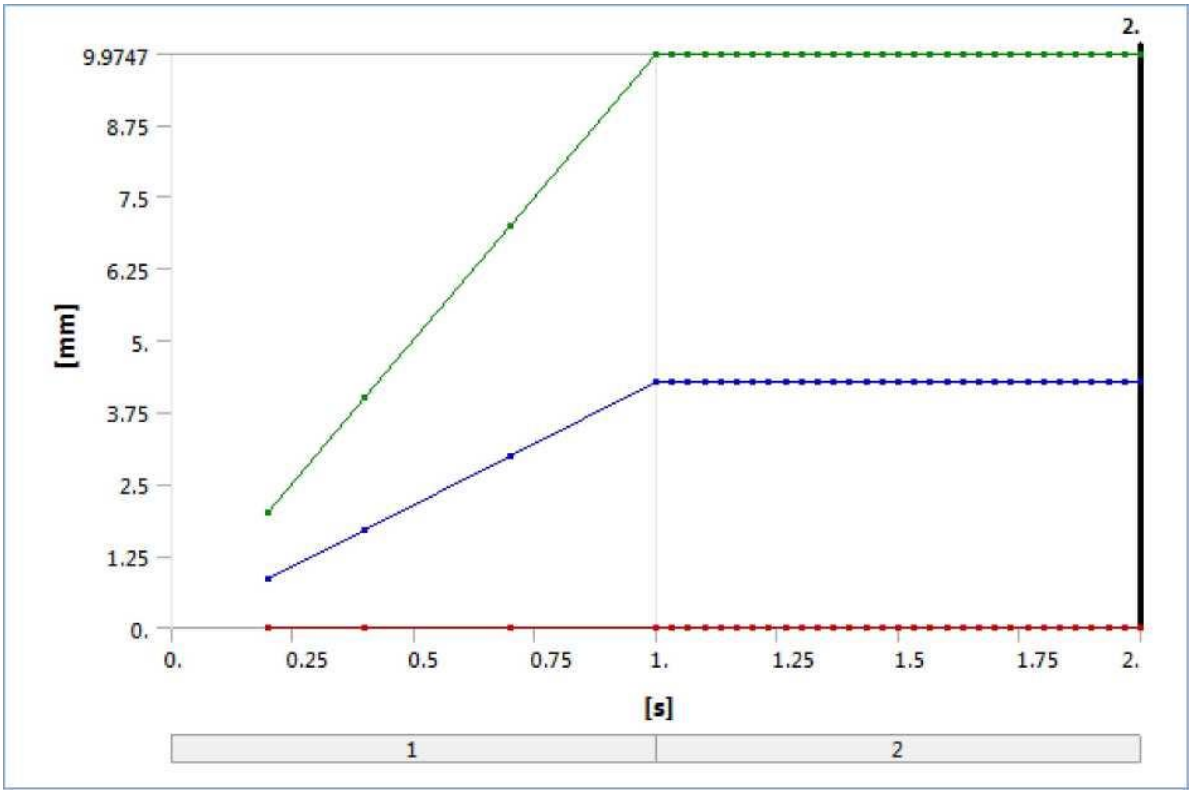
Tablo **21**. Sonuçlar

Kapsam				
Kapsam Belirleme	Geometri Seçimi			
Geometri	Bütün gövdeler			
Tanım				
Type	Toplam Deformasyon	Toplam Deformasyon Eşdeğeri Elastik	Toplam Deformasyon Eşdeğeri Elastik Gerilme	Toplam Def
Görüntüleme Süresi	Geçen			
Zaman Geçmişini Hesapla	Evet			
Tanımlayıcı				
Bastırılmış	Numara			
Sonuçlar				
Asgari	0. mm	3.193e-014 mm/mm	3.5697e-009 MPa	80.12 mm^3
Azami	9.9747 mm	1.557e-003 mm/mm	310.44 MPa	5613.1 mm3
Ortalama	4.2824 mm	2.1425e-004 mm/mm	39.762 MPa	
Minimum Oluşma	Bölüm 1			
Maksimum Oluşma	Bölüm 1			
Toplam				5.6719e+007
Zaman İçinde Minimum Değer				
Minimum	0. mm	6.3861e-015 mm/mm	7.1395e-010 MPa	80.12 mm3
Maksimum	0. mm	3.193e-014 mm/mm	3.5697e-009 MPa	80.12 mm3
Zaman İçinde Maksimum Değer				
Minimum	1.9949 mm	3.114e-004 mm/mm	62.087 MPa	5613.1 mm3
Maksimum	9.9747 mm	1.557e-003 mm/mm	310.44 MPa	5613.1 mm3

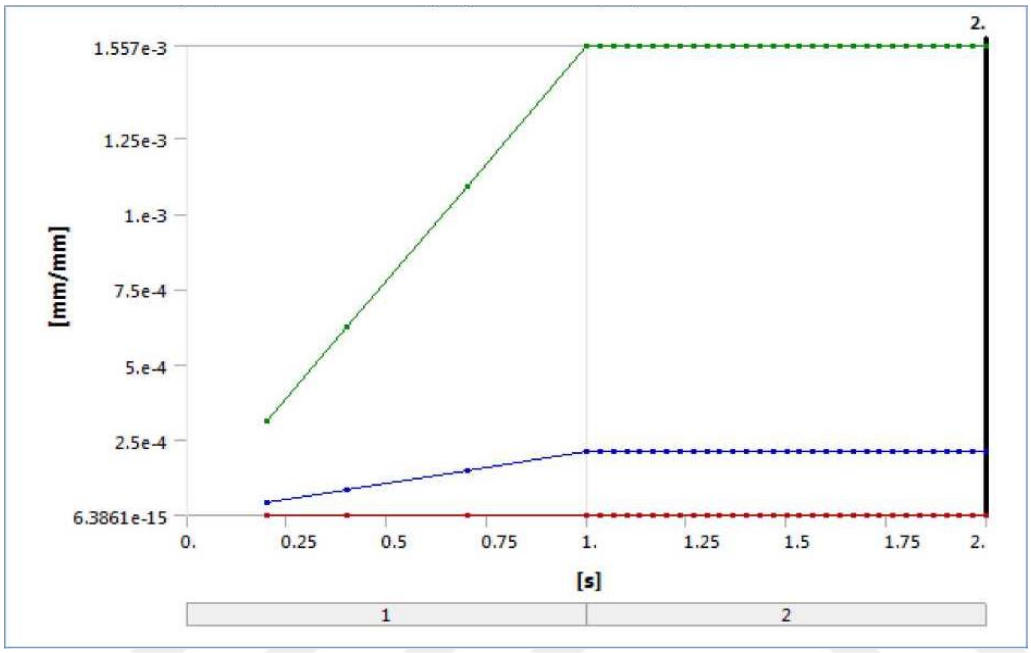
Şekil **20**. Analiz №1 Sonuçları



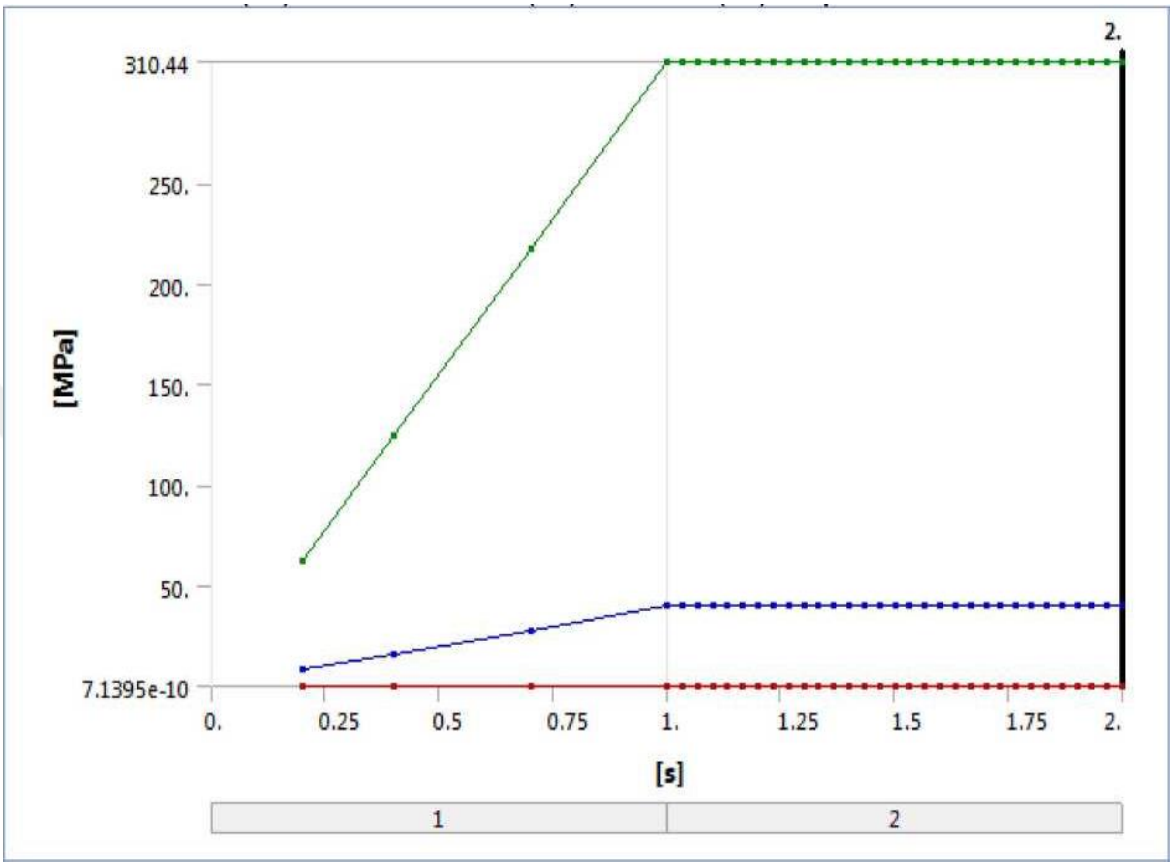
Şekil **21**. Toplam Deformasyon / Analiz №1



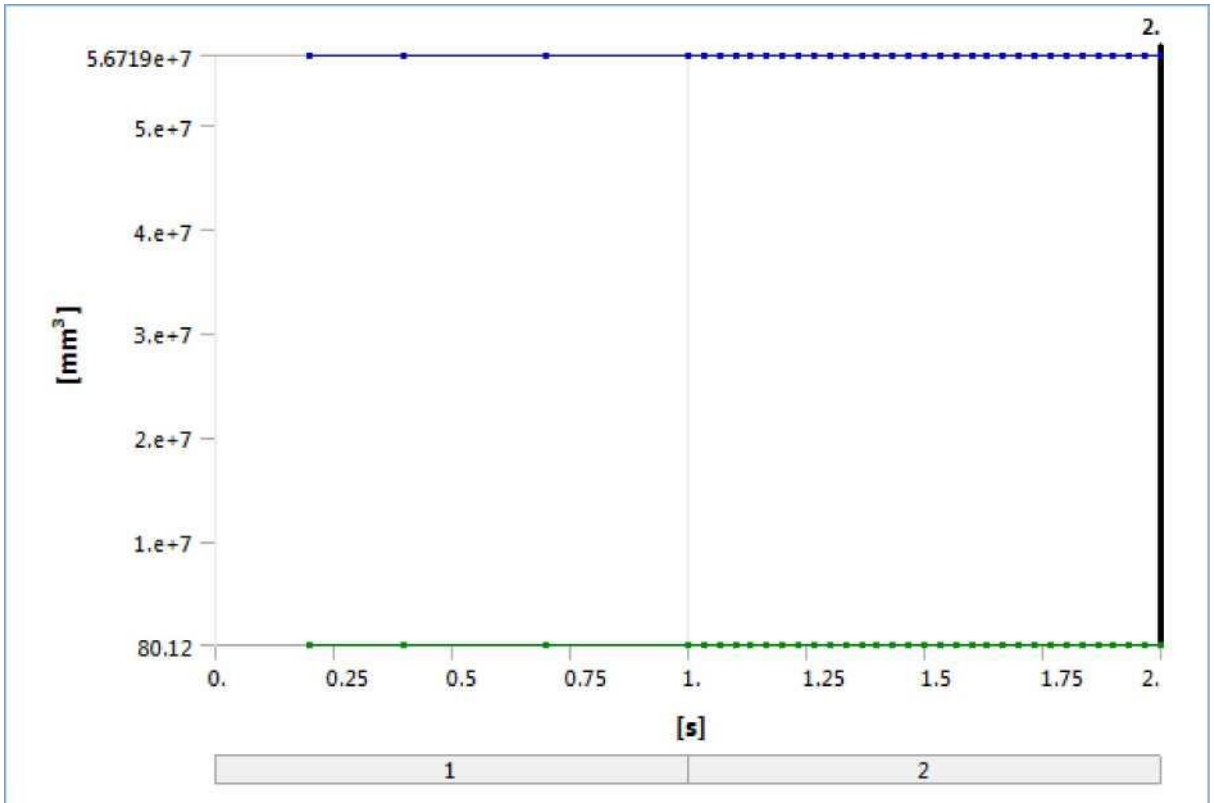
Şekil **22**. Eşdeğer Elastik Gerilme / Analiz №1



Şekil **23**. Eşdeğer Baskı / Analiz №1



Şekil **24**. Hacim / Analiz №1



4.2.5. Materyal Verisi

4.2.5.1. Yapısal Çelik NL

Tablo **22**. Sabitler

Yoğunluk	7.85e-006 kg mm^A-3
Özısı	4.34e+005 mJ kgA-1

Tablo **23**. İzotropik Esneklik

Young Modülü MPa	Poisson Oranı	Toplu Modül MPa	Kayma Modülü	Sıcaklık C
2.e+005	0.3	1.6667e+005	76923	

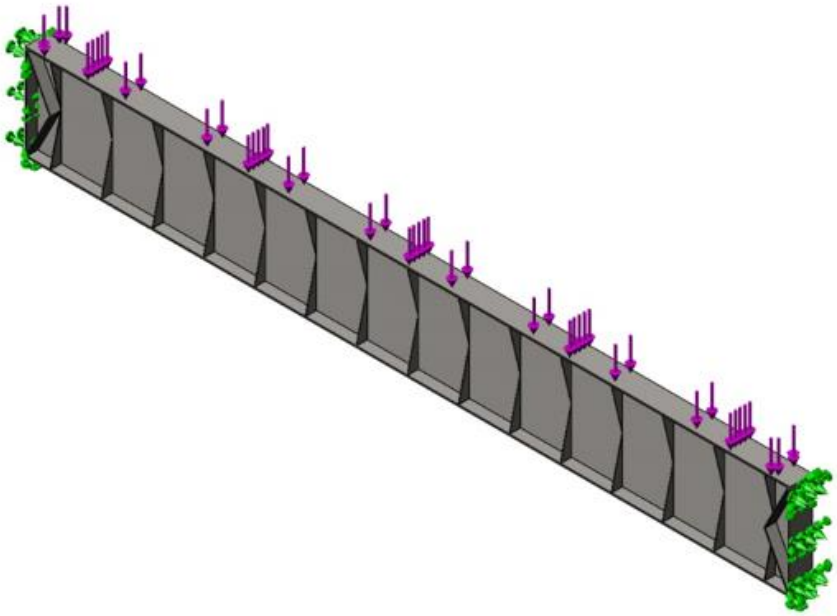
Tablo **24**. Bilineer İzotropik Sertleştirme

Akma Dayanımı	Tanjant Modülü MPa	Sıcaklık C
250	1450	

4.3. Analiz №1: ANSYS Analizi

Analizler ANSYS programı ile yapılmıştır.

Şekil **25**. Analiz №2 Varsayılan



4.3.1. Birimler

Tablo **25**. Birimler

Birim sistemi	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s
Açı	Degrees
Dönme Hızı	rad/s
Hava sıcaklığı	Celsius

Tablo **26**. Geometri

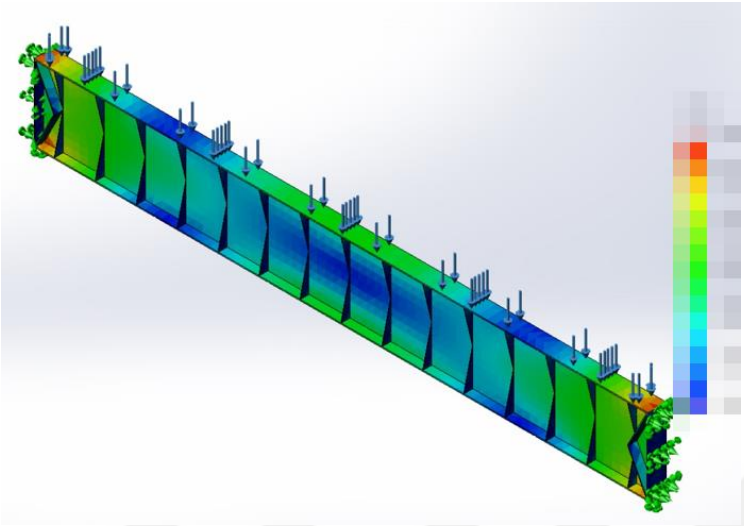
Obje adı	Geometri
Durum	Tam Tanımlı
Tanım	
Tip	Parasolid
Uzunluk Birimi	Metre
Eleman Kontrolü	Program Kontrollü
Sınırlama	
uzunluk X	6000. mm
uzunluk Y	750. mm
uzunluk Z	180. mm
Özellikler	
Ses	7.7247e+007 mm^3
Kütle	606.39 kg
Ölçek Faktörü Değeri	1.

Sın

Tablo **27**. İstatistikler

Göveler	1
Aktif Gövdeler	1
Düğümler	236200
Elementler	117685
Kafes Metrik	Hiçbirisi
Güncelleme Seçenekleri	
Varsayılan Malzeme	Hayır
Temel Geometri Seçenekleri	
Katı Gövdeler	Evet
Yüzey Gövdeleri	Evet
Çizgi Gövdeleri	Hayır
Parametreler	Bağımsız
Parametre Anahtarı	ANS;DS
Öznitellikler	Hayır
Adlandırılmış Seçimler	Hayır
Malzeme özellikleri	Hayır
Gelişmiş Geometri Seçenekleri	
İlişkilendirmeyi Kullan	Evet
Koordinat sistemleri	Hayır
Okuyucu Modu Güncellenen	Hayır
Örnekleri Kullan	Evet
Akıllı CAD Güncellemesi	Evet
Analiz Türü	3 BOYUTLU
Karışık İthalat	Hiçbiri
İçe Aktarmada Temiz Gövdeler	Hayır
İçe Aktarmada Yüzeyleri	Hiçbiri
Ayrık Geometriyi Ayrıştırma	Evet
Muhafaza ve Simetri İşleme	Evet

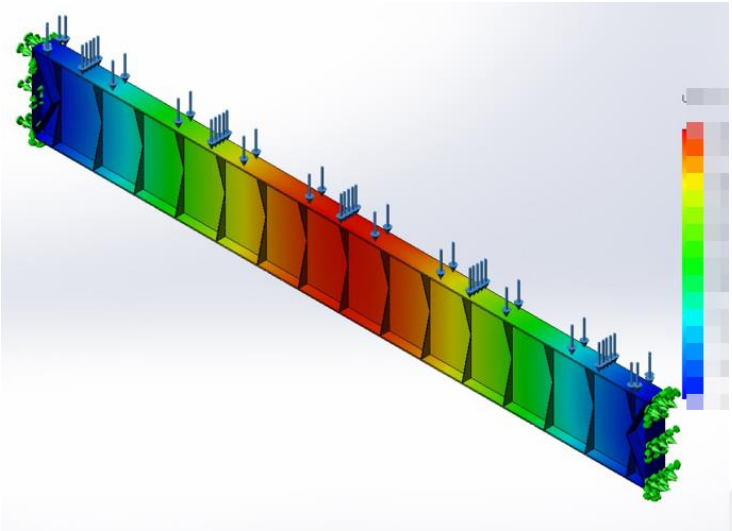
Şekil **26**. Analiz №2 Statik Gerinim



Tablo **28**. Geometri > Parçalar

Tanım	
Bastırılmış	Numara
Sertlik Davranışı	Esnek
Koordinat sistemi	Varsayılan koordinat
Referans sıcaklığı	Çevreye Göre
Tedavi	Hiçbiri
Malzeme	
Atama	Yapısal Çelik NL
Doğrusal Olmayan	Evet
Termal Gerilme	Evet
Sınırlama	
uzunluk X	6000. mm
uzunluk Y	750. mm
uzunluk Z	180. mm
Özellikler	
Ses	7.7247e+007 mm^3
Kütle	606.39 kg
Merkez X	-7.785e-013 mm
Merkez Y	375. mm
Merkez Z	0.67808 mm
Eylemsizlik	4.6726e+007 kg^mm^2
Eylemsizlik	2.0047e+009 kg^mm2
Eylemsizlik	2.0501e+009 kg^mm2
İstatistikler	
Düğümler	236200
Elementler	117685
Kafes Metrik	Hiçbiri

Şekil **27**. Analiz №2 Yerdeğişme



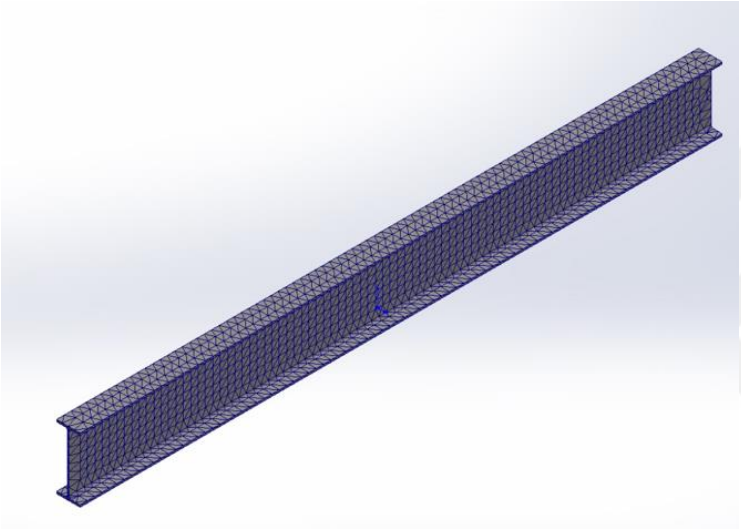
4.3.2. Ağ

Tablo **29**. Ağ

Varsayılanlar	
Fizik Tercihi	Mekanik
Eleman Sırası	Program Kontrollü
Eleman Boyutu	20.0 mm
Ölçülendirme	
Uyarlanabilir Boyutlandırmayı	Evet
Çözünürlük	Varsayılan (2)
Kafes Yıkıcı	Evet
Defeature Boyutu	Varsayılan
Geçiş	Hızlı
Sınırlayıcı Kutu Çapraz	6049.4 mm
Ortalama Yüzey Alanı	53058 mm^2
Minimum Kenar Uzunluğu	0.226 mm
Kalite	
Ağ Kalite Kontrolu	Evet, Hatalar
Hata Sınırları	Agresif Mekanik
Hedef Kalite	Varsayılan (0.050000)
Şişirme	
Otomatik Enflasyonu Kullan	Hiçbiri
Enflasyon Seçeneği	Yumuşak bir geçiş
Geçiş Oranı	0.272
Maksimum Katmanlar	5
Büyüme oranı	1.2
Gelişmiş	
Paralel Parça Meshleme için CPU	Program Kontrollü
Düz Taraflı Elemanlar	Hayır

Sert Vücut Davranışı	Boyutsal Olarak
Üçgen Yüzey Ağlayıcı	Program Kontrollü
Topoloji Kontrolü	Evet
İstatistikler	
Düğümler	236200
Elementler	117685

Şekil **28**. Analiz №2 Ağ



4.3.3. Statik Yapısal

Tablo **30**. Analiz

Tanım	
Fizik Türü	Yapısal
Analiz Türü	Statik Yapısal
Çözücü Hedefi	Mekanik APDL
Seçimler	
Çevre sıcaklığı	22. °C

Tablo **31**. Analiz Ayarları

Adım Kontrolleri	
Adım Sayısı	2.
Mevcut Adım	2.
İlk Alt Adımlar	30.
Minimum Alt	30.
Maksimum Alt	100.
Çözücü Kontrolleri	
Çözücü Türü	Program Kontrollü
Zayıf Yaylar	Kapalı
Çözücü Pivot	Program Kontrollü
Büyük Sapma	Kapalı
Atalet Rölyefi	Kapalı
Doğrusal Olmayan Kontroller	
Newton-Raphson	Program Kontrollü
Seçenek	Program Kontrollü
Yakınsama Kuvveti	Program Kontrollü
Moment Yakınsama	Program Kontrollü
Yer Değiştirme	Program Kontrollü
Döndürme	Program Kontrollü
Yakınsama	Program Kontrollü
Çıkış Kontrolleri	
Baskı	Evet
Yüzey gerilimi	Hayır
Sırt Stresi	Hayır
Gerginlik	Evet
İletişim Verileri	Evet
Doğrusal	Hayır
Düğüm kuvvetleri	Hayır
Temas Çeşitli	Hayır
Genel Çeşitli	Hayır
Sonuçları şurada	Tüm Zaman Puanları
Sonuç Dosyası	Program Kontrollü

Tablo **32**. Analiz Ayarları: Adıma Özel "Adım Kontrolleri"

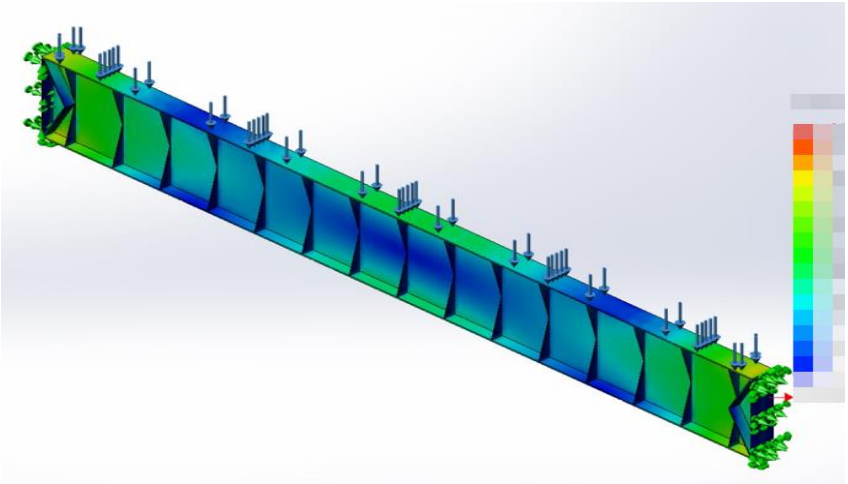
Adım	Adım Bitiş	Adım Bitiş Zamanı	Adım Adım	Adım Bitiş Zamanı	Adım Bitiş Zamanı	Adım Bitiş Zamanı	Adım Bitiş Zamanı
1	1. s	Program Kontrollü					

2	2. s	Açık	Alt	Alt Adımlar	30.	30.	100.

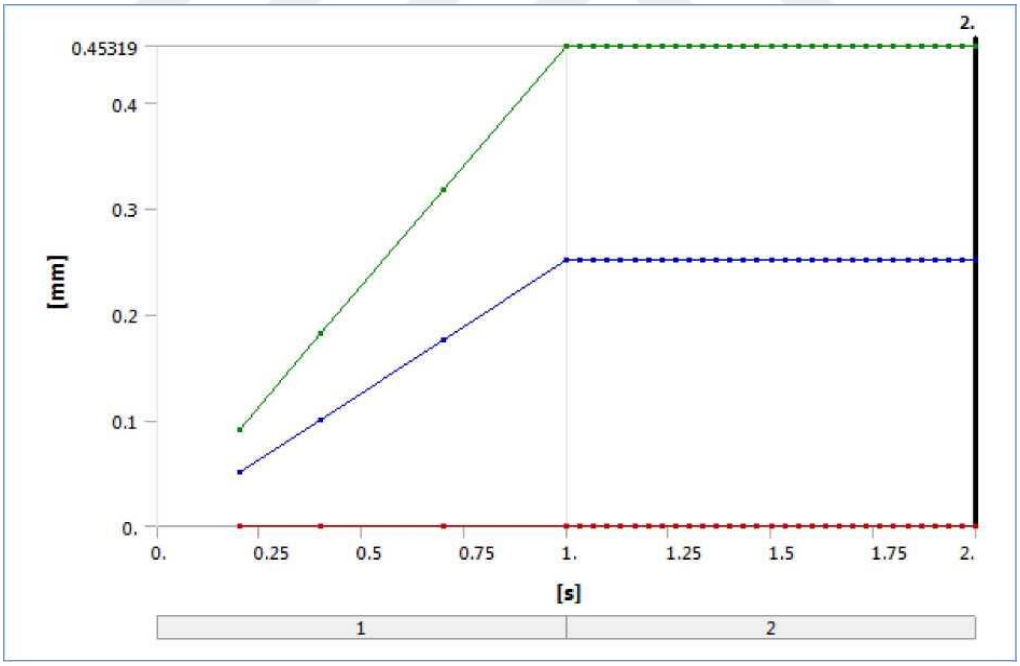
Tablo **33**. Sonuçlar

Kapsam				
Kapsam Belirleme	Geometri Seçimi			
Geometri	Bütün gövdeler			
Tanım				
Type	Toplam Deformasyon	Toplam Deformasyon Eşdeğeri Elastik	Toplam Deformasyon Eşdeğeri Elastik Gerilme	Toplam Def
Görüntüleme Süresi	Geçen			
Zaman Geçmişini Hesapla	Evet			
Tanımlayıcı				
Bastırılmış	Numara			
Sonuçlar				
Asgari	0. mm	9.6696e-009	8.2338e-004 MPa	4.1659 mm^3
Azami	0.45319 mm	1.5744e-004 mm/mm	30.866 MPa	5740.9 mm3
Ortalama	0.25139 mm	3.0597e-005 mm/mm	5.9198 MPa	
Minimum Oluşma	Bölüm 1			
Maksimum Oluşma	Bölüm 1			
Toplam				7.7247e+007 mm3
Zaman İçinde Minimum Değer				
Minimum	0. mm	1.9339e-009 mm/mm	1.6468e-004 MPa	4.1659 mm3
Maksimum	0. mm	9.6696e-009	8.2338e-004 MPa	4.1659 mm3
Zaman İçinde Maksimum Değer				
Minimum	9.0637e-002 mm	3.1489e-005	6.1733 MPa	5740.9 mm3
Maksimum	0.45319 mm	1.5744e-004 mm/mm	30.866 MPa	5740.9 mm3

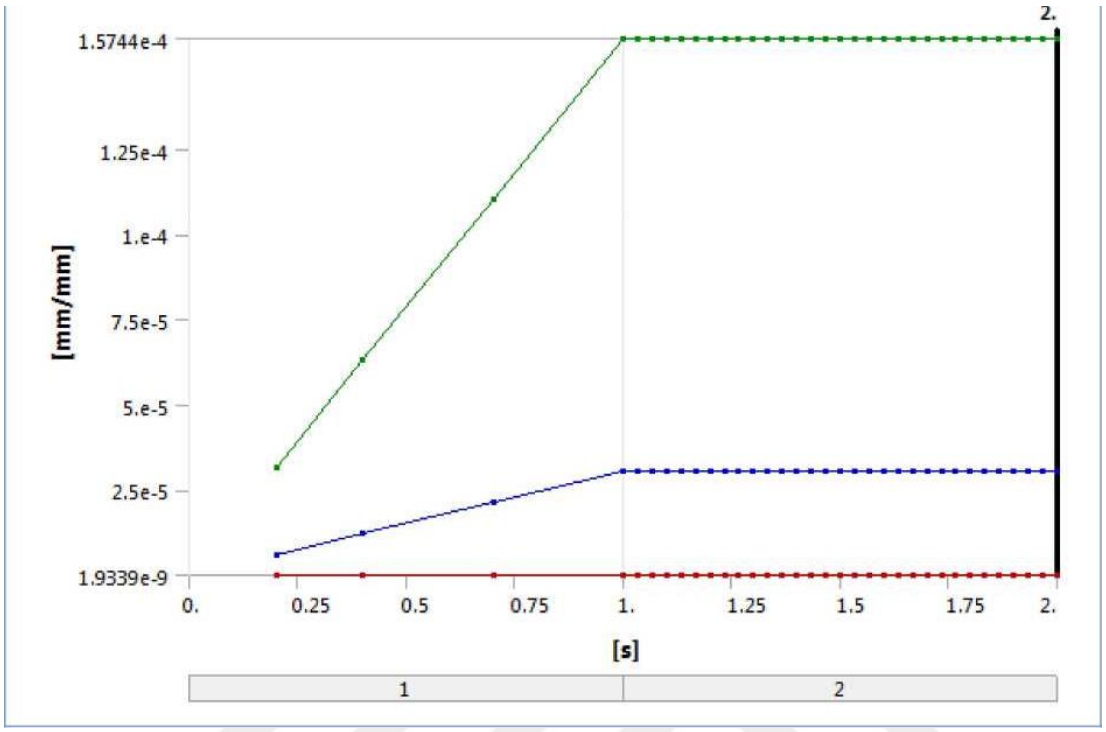
Şekil **29**. Analiz №2 Sonuçlar



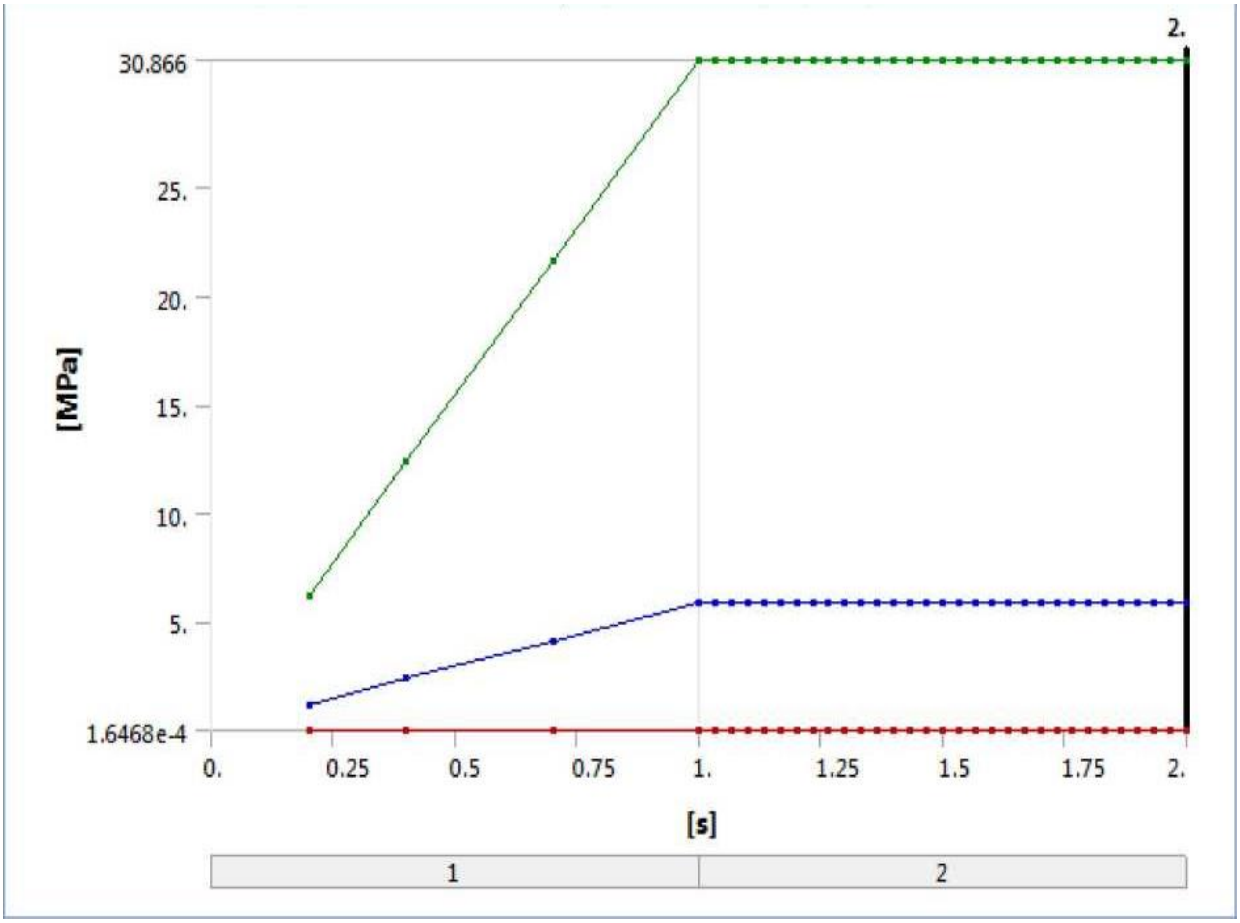
Şekil **30**. Toplam Deformasyon / Analiz №2



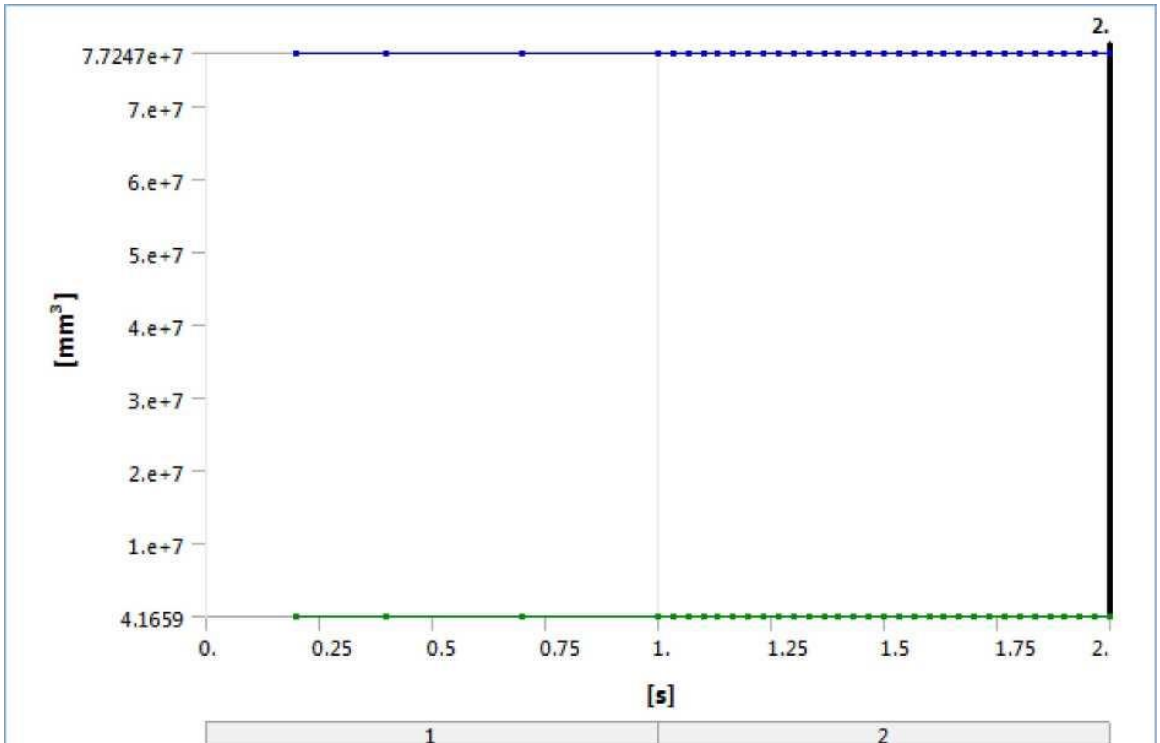
Şekil **31**. Eşdeğer Elastik Gerilme / Analiz №2


2.
1.5744e-4
1.25e-4
1.e-4
7.5e-5
5.e-5
2.5e-5
1.9339e-9
[mm/mm]
0.
0.25
0.5
0.75
1.
1.25
1.5
1.75
2.
[s]
1
2

Şekil **32**. Eşdeğer Baskı / Analiz №2



Şekil **33**. Hacim / Analiz №2



4.3.4. Materyal Verisi

4.3.4.1. Yapısal Çelik NL

Tablo **34**. Sabitler

Yoğunluk	7.85e-006 kg mm^A-3
Özısı	4.34e+005 mJ kgA-1

Tablo **35**. İzotropik Esneklik

Young Modülü MPa	Poisson Oranı	Toplu Modül MPa	Kayma modülü	Sıcaklık C
2.e+005	0.3	1.6667e+005	76923	

Tablo **36**. Bilineer İzotropik Sertleştirme

Akma dayanımı	Tanjant modülü MPa	Sıcaklık C
250	1450	

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

IPE-600 kirişlerini inceleyen ve ona alternatif kirişler teklif eden tezin sonuçlarına göre çelik kirişler, özel bir şekillendirilmiş çelik türüdür ve imalat sırasında çelik kirişler sıcak haddeleme ile oluşturulan kirişlerdir. Bu kirişler düz veya kavisli olabilir. Bazı farklı şekilleri vardır. Mühendisler, çelik kirişlerini inşaatta yaygın olarak kullanır, birçok farklı uzunluk, boyut ve özellikte kolon ve kiriş oluşturur. Bunun yanı sıra, çelik kirişlerin pek fazla sayıda türleri bulunmaktadır. Örneğin petek kirişler, kullanılan malzeme miktarının minimum ağırlık ve minimum malzeme maliyetine ulaşmasını sağlamak için petek geometrisine sahip insan yapımı yapılardır. Petek kirişlerin davranışı ortotropiktir, yani paneller yapının yönüne bağlı olarak farklı tepki verir. Özetlersek, IPE kirişler, yüksek işlevsellikleri nedeniyle yapısal çelik yapılar için tercih edilen şekildir.

IPE-600 ise paslanmaz çelik kiriştir, tek bileşenlerinin birbirine kaynaklanmasıyla oluşturulabilir veya sıcak haddelenmiş veya ekstrüde edilebilir. IPE-600 kirişleri, çok yönlü iyi bir yük taşıma performansı sunmaları bakımından benzersizdir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde IPE-600 kirişleri ile ilgili ANSYS analizi yapılmış ve ona alternatif iki farklı kiriş incelenmiştir. Üçüncü bölümde, 10 tonluk bir yük için tasarlanmış bu kirişlerin detaylı bir incelemesi yapılmış ve ortaya bazı sonuçlar çıkmıştır. Öncelikle şunu belirtmek gerekmektedir ki bu analizleri yapmamızın temel amacı IPE-600 kirişlerine alternatif yapılar teklif etmek ve bu yapıların sağlamlığını, dayanıklılığını test ederek kullanıma uygun olup olmamalarını ortaya çıkarmak olmuştur. IPE-600`ün yerine kullanılabilecek bir konstrüksyon elde etmek amaçlanmıştır.

IPE-600 ile kıyaslamak amacıyla çalışmada iki yapı, diğer bir değişle iki analiz önerilmiştir. Analiz №1 ve Analiz №2 olarak adlandırdığımız kirişler hem IPE-600 ile hem de birbirileri ile kıyaslanmaktadır. Analiz №1 olarak adlandırdığımız kiriş beklentileri karşılamamaktadır. IPE-600`ü standart olarak kabul ettiğimizde Analiz №1 ilkin analiz olarak karşımıza çıkıyor. Analiz №2 ise Analiz №1`in geliştirilmiş versiyonudur. 10 tonluk ağırlık üzerinden incelenen Analiz №1 beklenenden daha fazla eğilme ve gerilme göstermiştir. Bundan mütevellit Analiz №1`in inşaatlarda kullanılması önerilmemektedir.

Elde ettiğimiz sonuçlara göre yapılan analizler sonucunda alınan kirişler IPE-600`den daha dayanıklı ve sağlam değildir. Ancak Analiz №2`ye baktığımızda Analiz №1`e kıyasla daha iyi olduğunu görüyoruz. Analiz №2`in incelemesi sonucunda IPE-600`ün parametrelerine yakın parametreleri olan bir yapı elde edilmiştir. Yaptığımız analizin en önemli avantajı bizim elde ettiğimiz Analiz №2 kirişinin IPE-600`den daha hafif olmasıdır. Yani burada bizim temel avantajımız ağırlığın hafifletilmesi olmuştur. Başka şekilde ifade edersek, bizim elde ettiğimiz yapı IPE-600 ile eşdeğer parametrelere sahip, onunla neredeyse aynı eğilmelere sahip, ancak ondan daha hafif bir yapıdır. Bu, bizim analizimiz sonucunda ortaya çıkan Analiz №2 yapısının temel avantajıdır.

Ancak elde ettiğimiz yapının bazı dezavantajları da bulunmaktadır. İlk dezavantaj masraflarla ilgilidir. Lazer kesimi ve montaj işlemlerinin maliyeti IPE-600`e göre daha fazla olacaktır. İkinci dezavantaj bu yapının istenilen zaman istenilen yerde kullanılamaması, genellikle hafif yapıların kullanılabilir olduğu durumlarda kullanılmasıdır. Örneğin 600 katlı bir binanın 200. katından sonra bizim artık daha hafif yapılara geçmemiz gerekmektedir. Bizim yapımız bu gibi yerlerde kullanıma uygundur.

KAYNAKLAR

Aksoy, Z. (1999). The Stability of steel frames builtup with plate girders. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Belingardi, G., & Martell, P. (2007). Fatigue analysis of honeycomb-composite sandwich beams. Applied Science and Manufacturing, 38: 4, 1183-1191.

Chen, S.-J., & Chen, G.-K. (1993). Fracture of steel beam to box column connections. Journal of the Chinese Institute of Engineers, 16:3, 381-394.

Dom, S. (2021). Стальные балки: виды и характеристики . Retrieved from https://www.stroy-dom.net/?p=6270

Dominik, G. v. (2021). Stahlträger einbauen – eine Anleitung und was Sie noch darüber wissen sollten. Retrieved from https://www.haus-sanierung-info.com/stahltraeger-einbauen-eine-anleitung-und-was-sie-noch-darueber-wissen-sollten/

Ebel, R. (2014). Systemabhängiges Tragverhalten und Tragfähigkeiten stabilitätsgefährdeter Stahlträger unter einachsiger Biegebeanspruchung. Bochum: Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Ruhr-Universität Bochum.

Erdal, F. (2011). Ultimate load capacity of optimally designed cellular beams. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hasham, A., & Rasmussen, K. (2002). Nonlinear Analysis of Locally Buckled I-Section Steel Beam-Columns. Australian Journal of Structural Engineering, 3:3, 171-200.

Kalaycıgil, M. (2007). Petek kirişlerin davranışları ve tasarım esasları. Erciyes: Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Koç, A. F. (2013). Calibration of Turkish LRFD bridge design method for slab on steel plate girders. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Qarizada, A. M. (2017). Effect of mechanical anchorage in heat treated beams retrofitted by CFRP plate . Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sağıroğlu, M. (2018). Kiriş gövdesinde berkitmeli alın levhalı birleşimlerin davranışının deneysel analizi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22:2, 502-508.

Sivri, M., & Sura, M. (2017). Eğilme Etkisi Altındaki Çelik I Kirişlerinde Gövde ve Berkitme Kalınlığının Davranışa Etkisi. Teknik Bilimler Dergisi, 7:1, 38-46.

Stewart, M. (1990). Human error in steel beam design. Civil Engineering Systems, 7:2, 94-101.

Şen, E. (2020). Investigation the stress behavior of castellated steel beams. Gaziantep: Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü .

Toprak, M. (2021). Kiriş Nedir? İnşaatta En Çok Kullanılan Kiriş Örnekleri. Retrieved from https://www.sanalsantiye.com/kiris-nedir-kiris-ornekleri/

Tsavdaridis, K. D., Faghih , F., & Nikitas, N. (2014). Assessment of Perforated Steel Beam-to-Column Connections Subjected to Cyclic Loading. Journal of Earthquake Engineering, 18:8, 1302-1325.

Welding, S. (2021). Why Are I Beams Used in Structural Steel Construction? Retrieved from https://blog.swantonweld.com/i-beams-in-structural-steel-construction

Дом, С. (2021). Стальные балки: виды и характеристики. Retrieved from https://www.stroy-dom.net/?p=6270