



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**CAM ELYAF TAKVİYELİ (FIBER GLASS
REINFORCED) KOMPOZİT BORULARIN
DAYANIM TEST MAKİNESİ TASARIMI VE
FEA ANALİZİ**

MERT BAYRAKTAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mekatronik Anabilim Dalı
Mekatronik Tezli Yüksek Lisans Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

İSTANBUL, 2014



**MARMARA UNIVERSITY
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES
IN PURE AND APPLIED SCIENCES**



**DESIGN OF FIBER GLASS REINFORCED
COMPOSITE PIPE PRODUCTS TESTING
MACHINE AND FEA ANALYSIS**

MERT BAYRAKTAR

(526210008)

MASTER THESIS

Department of Mechatronics

ADVISOR

Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

ISTANBUL, 2014

İÇİNDEKİLER/TABLE OF CONTENTS

	SAYFA
İÇİNDEKİLER/TABLE OF CONTENTS	i
ÖNSÖZ	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
SEMBOLLER	v
KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	x
1. GİRİŞ BÖLÜMÜ/INTRODUCTION	1
1.1. Endüstriyel Önemi	1
1.2. Amaç	2
2. KOMPOZİT TEST MAKİNESİ	3
2.1. Kompozit Bilgisi	3
2.2. Gereklilik	9
2.3. Çalışma Esasları	10
2.4. Tasarımsal Yaklaşımlar	12
3. TASARIM	15
3.1. Mekanik Tasarım	15
3.2. Makine Tasarım Sonlu Elemanlar	16
4. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ	17
4.1. Yapılan Çalışmalar	17
4.2. Elde Edilen Sonuçlar	18
4.3. Sonuçların İrdelenmesi	30
4.4. Montaj ve Devreye Alma	30
5. KOMPOZİT BORULARIN FEA ÇALIŞMASI	33
5.1. Kesit Alanı ve FEA	33
5.2. XYZ Eksenlerinde Gerilim ve Deformasyon Karşılaştırılması	49
5.3. CTP Boruda Geometrik Şeklin Önemi	62
6. SONUÇ	65
6.1. Tezin Genel Sonucu	65
6.2. Ekler	65
KAYNAKLAR/REFERENCES	66
ÖZGEÇMİŞ	

ÖNSÖZ

Globalleşen dünyada, var olan teknoloji her geçen saniye gelişmekte ve yenilikler hayatımızı girmektedir. Bu yeniliklere adapte olup bunları geliştirebildikçe, ileriye gidebildikçe gelişen dünyayı takip edebiliyoruz. Son yıllarda gelişen teknolojilere en büyük örneklerde malzeme sektöründe olmaktadır. Araştırma ve geliştirmelerin en yoğun olduğu çalışmalar kompozit sektöründe olmaktadır. Kompozit ürünlerin dayanım testinde kullanılan makinenin tasarımı ve geliştirilmesinde bana yardımcı olup, araştırmalarım liderlik eden Prof. Dr. Nihat Akkuş'a teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran, 2014

Mert BAYRAKTAR

ÖZET

Bu tez çalışması, kompozit boru ürünlerinin rijitlik testlerini yapabilecek bir test cihazının tasarlanmasını ve geliştirilmesini içerir.

Cam elyaf takviyeli (CTP) kompozit borular, “Sürekli Elyaf Sarma Prosesi” adındaki mekanik ve kimyasal bir proses sonucunda üretilir. Bu proses, devamlı akan cam ipliklerinin otomatik makinede sarma tekniği ile CTP boruların üretilmesidir. Cam elyaf ve reçinenin sıkıştırılması ile boru iç ve dış tabakası oluşmakta ve dolgu malzemesi olarak kum ilave edilmektedir. Yüksek orandaki polyesterlerin cam elyaf ile takviye edilmesiyle borunun iç ve dış yüzeyi kimyasallara son derece dayanıklı hale gelmektedir.

Kompozit boruların günümüzde çok farklı tipleri piyasada bulunmaktadır, bunların arasında en çok tercih edilenlerinden biri ise “cam elyaf takviyeli kompozit boru” türüdür. Bu ürünün en önemli avantajı çelik borulara göre çok daha hafif olmasına rağmen benzer mukavemet özellikleri göstermesidir. CTP borular beton borunun 1/10, çelik borunun ise 1/4 ağırlığındadır.

Bu ürünlerin bir çok kalite parametresi ve bu parametreleri değerlendiren testleri vardır. Bu testlerin en önemlilerinden biri ise, ürünün dayanım/rijitlik değerinin belirlendiği testlerdir.

Dayanım/rijitlik değeri ise dışarıdan borunun dış çeperine belli bir kuvvetin kalite standartlarındaki süreler boyunca sabit bir şekilde tutulmasıyla kontrol edilir. Dünya üzerindeki CTP Boru pazarında ve uluslar arası standartlara göre en çok teste tabii tutulan SN değerleri ise 2,500 N/m², 5,000 N/m² ve 10,000 N/m² ‘dir. [1]

Bu tez çalışmasında ise böyle bir test makinesinin CAD ortamında nasıl tasarlandığını ve FEA sonlu elemanlar analizi yöntemi ile mekanik tasarımın nasıl daha gelişmiş bir seviyeye getirildiğini anlatıyorum. Bu çalışmaya paralel olarak, değişik geometriye ve et kalınlığına sahip malzemelerdeki gerilim ve deformasyon değerlerinin nasıl incelendiğini ve analizine yer veriyorum.

ABSTRACT

This thesis statement includes the design and development of a stiffness testing machine for composite pipe products.

Glass reinforced composite pipe are produced with “Continuous Filament Winding Process” method which is a composition of mechanical and chemical process. This process is an outcome of a system that produce Glass Reinforced Polyester pipes where continuous glass fibers are winded through automated machines. Pipe inner and outer surface is composed of glass fiber and resin where they are mixed and also sand is used as a support matrix here. High composition of polyesters together with glass fibers help pipes’ inner and outer surface become very resistive against chemicals.

Today many different types of composite tubes are commercially available , among which are one of the most preferred versions "glass fiber reinforced composite pipe " type. The main advantage of this product is much lighter than steel pipes although is showing similar strength properties. GRP pipes are 1/10 of concrete pipes and 1/4 of steel pipes in weight.

There are several quality parameters for this product and also test methods which evaluate these parameters. One of the most important of these tests is in which products’ stiffness and rigidity is calculated.

Stiffness value is controlled via a process where a defined amount of load is pushed on the outer surface of pipe for a defined period of time according to standards. Most performed SN values in international standards are 2,500 N/m², 5,000 N/m² ve 10,000 N/m².

In this thesis, such a test machine and how to design in a CAD environment together with FEA finite element analysis is my main concern. Together with that, an analyze and review for the materials which have different geometry and thickness is carried out for their stress and strain values.

SEMBOLLER/SYMBOLS

CTP : Cam Elyaf Takviyeli Polyester

SN : Stiffness Nominal

KISALTMALAR/ABBREVIATIONS

- CAD** : Computer Aided Design
FEA : Finite Element Analysis (Sonlu Elemanlar Yöntemi)
3 D : Three Dimensional (3 Boyut)
2 D : Two Dimensional (2 Boyut)

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 2.1 – Cam elyaf imalatı
- Şekil 2.2 – CTP Boru Üretimi
- Şekil 2.3 – CTP Boru Üretimi (Çap 3000 mm)
- Şekil 2.4 – CTP Boru (15 metre)
- Şekil 2.5 – Konsept Çalışması
- Şekil 2.6 – Mekanik Montaj
- Şekil 2.7 – Mekanik Montaj
- Şekil 2.8 – Montajı Bitmiş Test Makinesi
- Şekil 2.9 – Makine ana gövdesi
- Şekil 2.10 – Makine baskı ünitesi
- Şekil 4.1 – Simülasyon ile çakışma takibi
- Şekil 4.2 – FEA yük hücresi yükleme bölgesi
- Şekil 4.3 – FEA ana gövde mesh işlemi
- Şekil 4.4 – FEA yük hücresi mesh işlemi
- Şekil 4.5 – FEA ana gövde yer değiştirme
- Şekil 4.6 – FEA baskı ünitesi sabitleme noktaları
- Şekil 4.7 – FEA baskı ünitesi yükleme bölgesi
- Şekil 4.8 – FEA baskı ünitesi mesh işlemi
- Şekil 4.9 – FEA baskı ünitesi maksimum gerilim
- Şekil 4.10 – FEA baskı ünitesi yer değiştirme
- Şekil 4.11 – FEA yük hücresi sabitleme noktaları
- Şekil 4.12 – FEA yük hücresi mesh işlemi
- Şekil 4.13 – FEA yük hücresi maksimum gerilim
- Şekil 4.14 – FEA kompozit boruda yükleme altındaki gerilmeler
- Şekil 4.15 – Stres dağılım grafikleri
- Şekil 4.16 – Hatalı tasarım
- Şekil 4.17 – Mekanik montaj boya öncesi
- Şekil 4.18 – Mekanik montaj
- Şekil 4.19 – Montaj sonu
- Şekil 5.1 – Kompozit boru yapısı

- Şekil 5.2 - DN1000 Boru tipleri
- Şekil 5.3 – Malzeme kalınlaştırılmasındaki boru tipleri
- Şekil 5.4 – DN1000, 5 m, 2 adet keskin boğumlu boru yükleme koşulları
- Şekil 5.5 – Gerilim formülü
- Şekil 5.6 – DN1000, 5 m, 2 adet keskin boğumlu boru gerilim değerleri
- Şekil 5.7 – DN1000, 5 m, 2 adet keskin boğumlu boru ölçüm noktaları
- Şekil 5.8 – DN1000, 5 m, 2 adet keskin boğumlu boru ölçüm tablosu
- Şekil 5.9 - DN1000, 5 m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru yükleme koşulları
- Şekil 5.10 – DN1000, 5 m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru gerilim değerleri
- Şekil 5.11 – DN1000, 5 m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru ölçüm tablosu
- Şekil 5.12 – DN1000, 5 m, 3 adet keskin boğumlu boru gerilim değerleri
- Şekil 5.13 – DN1000, 5 m, 3 adet keskin boğumlu boru ölçüm tablosu
- Şekil 5.14 – DN1000, 5 m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru gerilim değerleri
- Şekil 5.15 – DN1000, 5 m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru ölçüm tablosu
- Şekil 5.16 – DN1000, 5 m, 6 adet keskin boğumlu boru gerilim değerleri
- Şekil 5.17 – DN1000, 5 m, 6 keskin boğumlu boru ölçüm tablosu
- Şekil 5.18 – DN1000, 5 m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru gerilim değerleri
- Şekil 5.19 – DN1000, 5 m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru ölçüm tablosu
- Şekil 5.20 – DN1000, 5 m, boğumsuz boru gerilim değerleri
- Şekil 5.21 – Gerilim değerleri karşılaştırması
- Şekil 5.22 – Deformasyon değerleri karşılaştırması
- Şekil 5.23 – DN1000, 5 m, et kalınlığı %25'e indirilmiş boru gerilim değerleri
- Şekil 5.24 – DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru x ekseni gerilimi
- Şekil 5.25 – DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru y ekseni gerilimi
- Şekil 5.26 – DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru z ekseni gerilimi
- Şekil 5.27 – DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru x ekseni deformasyonu
- Şekil 5.28 – DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru y ekseni deformasyonu
- Şekil 5.29 – DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru z ekseni deformasyonu
- Şekil 5.30 – DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru x ekseni gerilimi
- Şekil 5.31 – DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru y ekseni gerilimi
- Şekil 5.32 – DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru z ekseni gerilimi
- Şekil 5.33 – DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru x ekseni deformasyonu

Şekil 5.34 – DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru y ekseni deformasyonu
Şekil 5.35 – DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru z ekseni deformasyonu
Şekil 5.36 – DN1000, 5m, 3 adet keskin boğumlu boru x ekseni gerilimi
Şekil 5.37 – DN1000, 5m, 3 adet keskin boğumlu boru y ekseni gerilimi
Şekil 5.38 – DN1000, 5m, 3 adet keskin boğumlu boru z ekseni gerilimi
Şekil 5.39 – DN1000, 5m, 3 adet keskin boğumlu boru x ekseni deformasyonu
Şekil 5.40 – DN1000, 5m, 3 adet keskin boğumlu boru y ekseni deformasyonu
Şekil 5.41 – DN1000, 5m, 3 adet keskin boğumlu boru z ekseni deformasyonu
Şekil 5.42 – DN1000, 5m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru x ekseni gerilimi
Şekil 5.43 – DN1000, 5m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru y ekseni gerilimi
Şekil 5.44 – DN1000, 5m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru z ekseni gerilimi
Şekil 5.45 – DN1000, 5m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru x ekseni deformasyonu
Şekil 5.46 – DN1000, 5m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru y ekseni deformasyonu
Şekil 5.47 – DN1000, 5m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru z ekseni deformasyonu
Şekil 5.48 – DN1000, 5m, 6 adet keskin boğumlu boru x ekseni gerilimi
Şekil 5.49 – DN1000, 5m, 6 adet keskin boğumlu boru y ekseni gerilimi
Şekil 5.50 – DN1000, 5m, 6 adet keskin boğumlu boru z ekseni gerilimi
Şekil 5.51 – DN1000, 5m, 6 adet keskin boğumlu boru x ekseni deformasyonu
Şekil 5.53 – DN1000, 5m, 6 adet keskin boğumlu boru y ekseni deformasyonu
Şekil 5.53 – DN1000, 5m, 6 adet keskin boğumlu boru z ekseni deformasyonu
Şekil 5.54 – DN1000, 5m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru x ekseni gerilimi
Şekil 5.55 – DN1000, 5m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru y ekseni gerilimi
Şekil 5.56 – DN1000, 5m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru z ekseni gerilimi
Şekil 5.57 – DN1000, 5m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru x ekseni deformasyonu
Şekil 5.58 – DN1000, 5m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru y ekseni deformasyonu
Şekil 5.59 – DN1000, 5m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru z ekseni deformasyonu
Şekil 5.60 – DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru et kalınlığı gerilmeleri
Şekil 5.61 – DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru et kalınlığı gerilmeleri

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 – Kompozit malzeme ile diğer malzemelerin karakteristik özellikleri

Tablo 2.2 – Basınç Sınıfları

Tablo 2.3 – Dayanım Dereceleri

Tablo 4.1 – Malzeme özellikleri listesi

Tablo 4.2 – Mesh Bilgileri

Tablo 4.3 – Analiz değerleri

Tablo 4.4 – Baskı ünitesi analiz değerleri

Tablo 4.5 – 1.0038 çelik malzeme özellikleri

Tablo 5.1 – Analiz konusu boru tipleri ve yapılan analizler

1. GİRİŞ BÖLÜMÜ

1.1. Endüstriyel Önemi

CTP kompozit borular yaklaşık 50 yıllık bir geçmişe sahip olsa da, günümüzde çelik ve beton boruların yerini yeni yeni almaya başlamıştır. Kullanım alanlarının genişliği ve öneminden dolayı CTP kompozit borular son yıllarda hızla büyüyen bir boru sektörü yaratmıştır.

Kullanım alanları:

- İçme suyu hatları
- HES boru hatları
- Kimyasal madde ve içme suyu depoları
- Deniz deşarj uygulamaları
- Kimyasal madde içerikli akışkanların taşınması
- Yağmur suyu drenajı
- Kanalizasyon projeleri
- Endüstriyel atıkların uzaklaştırılması
- Enerji santrallerinde soğutma suyu ve deşarjı
- Jeotermal suların taşınması

Gibi başlıklar altında toplanabilir. Böyle geniş bir kullanım alanına sahip boru sektörü, gelişen teknoloji ve Ar-Ge yatırımlarıyla birlikte daha efektif ve gelişmiş teknolojileri son yıllarda kullanmaya başladı.

1.2 Amaç

Bu tez çalışmasının amacı, ilk önce cam elyaf takviyeli kompozit boruların dayanım testlerini yapabilecek makinenin konsept tasarımının gerçekleştirilmesi. Sonrasında yaratılan konseptin CAD ortamında tasarlanması ve devamında sonlu elemanlar yöntemi ile yine bilgisayar üzerinden tasarımın üretimden önce kontrol edilmesidir.

Yapılan FEA çalışmalarından sonra ise tasarımın çalışabilirliği ve güvenilirliğine dair sonuçlar elde edilir. Bu sonuçlara göre makinenin gerekli görülen bölgelerinde düzeltmeler yapılır ve makinenin fonksiyonelliğinden emin olduktan sonra parça tedariki ve montajına başlanması amaçlanır. Montaj sonunda istenen test makinesinin kurulması amaçlanmıştır.

2. KOMPOZİT TEST MAKİNESİ

2.1. Kompozit Bilgisi

Birçok sektörde son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler, yüksek basınç ve sıcaklık koşullarında, aşındırıcı etmenlerin bulunduğu ortamlarda dayanımı olan malzemelerin gereksinimi doğurmuştur ki geleneksel malzemeler bu talebe cevap vermemektedir. Bu ihtiyaçtan yola çıkarak yapılan çalışmalar, kompozit malzemelerin istenen talepleri yüksek kalite, dayanıklılık ve fiyat-performans ilişkisi açısından karşıladığını göstermiştir.

Neden Kompozit?

Kompozit, form ya da yapı olarak farklılık gösteren en az iki ya da daha fazla malzemenin heterojen olarak bir araya gelmiş halidir. Bu kombinasyon özel performans özelliklerinin en üst düzeye çıkarır bir malzeme ile sonuçlanır. Bileşenler tamamen çözünmez veya birleşmezler ve bu nedenle normal olarak birbirleri arasında bir arabirim gösterirler. Bu formda, iki takviye edici maddeler ve matris fiziksel ve kimyasal kimliklerini korurken, tek başınayken sahip olunamayan yeni özellikleri barındıran bir kombinasyon oluştururlar. Kompozitler yaygın olarak kullanılan matris tipine göre sınıflandırılır. Bunlar polimer, metal ve seramiktir. Elyaf takviyeli kompozitlerde elyaflar esas yük taşıyıcı element görevi görürler. Bu sırada çevreleyen matris, elyafların istenilen yer ve düzen içerisinde bulunmasını sağlar. Matris aynı zamanda elyaflar arasında yük transfer ara birimi olarak bulunur ve yüksek sıcaklık, nem, aşınma gibi çevresel zararlardan korur. Ticari kullanımda olan lifler cam, karbon ve Kevlar türleridir. Tüm bu elyaflar sürekli veya süreksiz bir şekilde bir matris içine katılabilmektedir. Kompozitler aşağıdaki gibi benzersiz özelliklere sahiptir. [2]

- Kompozit malzemeler aynı fonksiyonel gereksinimler için tasarlanmış alüminyum yapılara göre % 30 - 45 daha hafiftir.
- Kompozit borular ve silindirlere metalik olanlara göre daha düşük ağırlığı ile yüksek iç basınçlara dayanabilir. **Tablo 2.1**'de karşılaştırmalı olarak malzeme değerleri belirtilmiştir.
- Mükemmel korozyon direncine sahiptirler.

- Geliştirilmiş dönme direnci ve darbe direnci özellikleri vardır.
- Yüksek yorulma dayanımı sınırı
- Tasarım esnekliği (kompozit malzemeler metallere göre daha çok yönlü, performans ihtiyaçlarını ve karmaşık tasarım gereksinimleri karşılamak için uygun olabilir)
- Kompozitler metallere göre daha düşük maliyetlidir.
- Pürüzsüz yüzeyler ile geliştirilmiş görünüm.

Tablo 2.1 – Kompozit malzeme ile diğer malzemelerin karakteristik özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (g/cc)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
Elyaf Sarım Tekniği ile üretilen Kompozit	1.99	1034	31.02
Aluminyum 7075-T6	2.76	565	71.01
Paslanmaz Çelik - 301	8.02	1275	199.94
Titanyum (Ti-13 V-12 Cr-3 Al)	4.56	1275	110.3

Üretim Teknikleri

Kompozit parçanın son özellikleri sadece bir araya gelen malzemelere bağlı değil aynı zamanda nasıl bir üretim tekniği kullanıldığına da bağlıdır. Bir çok üretim tekniği vardır. Bunlara örnek olarak; reçine transfer kalıplama, otoklav kalıplama, pultrasyon ve elyaf sarma teknolojisi sayılabilir. Bu işlemlerin arasında, elyaf sarma fiber takviyeli silindir bileşenleri ve yüksek basınçlı boru imalatı için, düşük maliyetli ve hızlı bir yöntemdir.

Elyaf Sarma Prosesi (Filament Winding)

Elyaf sarım işleminde, sürekli ilerleyen bir band üzerinde elyaf ve reçine dönen bir mandrel üzerinde bir araya getirilir ve sonrasında oda sıcaklığında bekletilerek ya da bir kürleşme işlemine maruz bırakılarak son ürün elde edilir. [3]

Bu teknik, yüksek hız ve birçok bileşik katmanlar yerleştirmek için kesin bir metot sunar. Mandrel silindirik veya yuvarlak olabilir. Elyaf sarma uygulamaları arasında silindirik ve küresel basınçlı kaplar, boru hatları, oksijen ve diğer gaz silindirleri, helikopter bıçakları, büyük yeraltı depolama tankları vardır. Süreç ekseninden simetrik yapılar ile sınırlı değildir. Mesela prizmatik şekiller ve daha karmaşık ürünler olan T - dirsekler gibi parçaları, serbestlik derecesi uygun makinelerde sarılabilir. Modern sarma makineleri nümerik olarak kontrol edilmektedir. Elyaf sarma sonrasındaki ürünlerin kuvveti sadece bileşen malzemelere bağlı değildir. Aynı zamanda sarım açısı, elyaf gerginliği, reçine kimyası ve kürleşme süresi gibi etkenlere direk olarak bağlıdır.

Proses Teknolojisi:

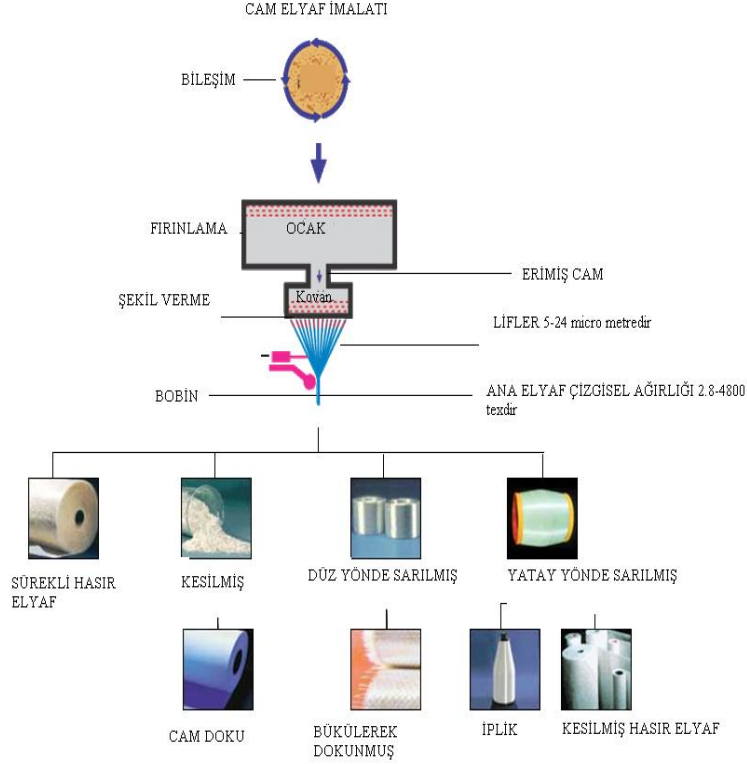
Prosesin başlangıcını mekanik çalışma prensibi oluşturmaktadır. Kendi çevresinde dönen gövde mandreli üzerinde sarım halinde bulunan bir çelik bant vardır. Bu çelik bandın her bir mandrel dönüşünde sürekli olarak ileriye giden ve mandrel sonuna geldiğinde mandrel içerisinden başa dönen bir kapalı devre döngüsü vardır. Bu döngü sürekliliği sağlamaktadır.

Buradaki mekanik sisteme malzemelerin katılımı ise reçineden geçirilmiş elyafların sarımı ile başlar. İki türlü elyaf sarımı aynı anda olabilir. Bunlardan ilki, elyafın mandrele çevresel olarak sarımıdır ve bu sarım şekli çembersel bir dayanım kazandırır. Bir diğeri ise, kesilmiş elyafların mandrel üzerine paralel olarak beslenmesidir. Böylece dikey yönlerdeki kuvvet arttırılmış olur.

Mandrel üzerine sarılacak malzemeler; elyaf, kum ve reçinedir. Kum burada dolgu malzemesi, elyaf ana malzeme, reçine ise bu malzemelerin birleşmesini sağlayan

matristir.

Bütün bu malzemeler mandrel üzerinde bir araya geldikten sonra k rleŐme işlemini tamamlayıp mandrel üzerinden bitmiş bir ürün olarak ayrılır.



Şekil 2.1 – Cam elyaf imalatı

“Şekil 2.2” ise CTP kompozit boru üretiminin k rleŐmeden önceki bölümünü göstermektedir. Burada gözüktüğü üzere cam elyaf, kum ve reÇine ile k rleŐme öncesinde bir araya gelmektedir.



Şekil 2.2 – CTP Boru Üretimi

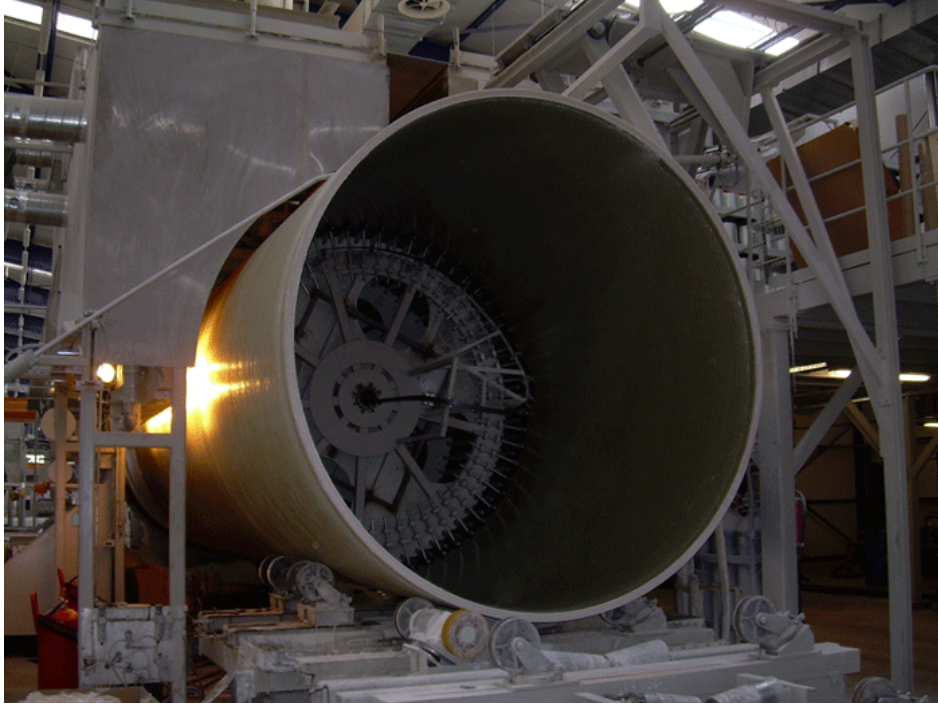
Ürün Özellikleri:

Cam elyaf takviyeli kompozit boruların çapları genel olarak 300 – 4000 mm arasındadır.

Bu büyüklükteki çapa sahip borular,

- İçme ve ham su taşımacılığı ve dağıtımı
- Kent yağmur suyu altyapı hatları
- Basıncılı/basınçsız pis su ve ana tahliye borulama sistemleri
- Evsel ve sanayi atık su sistemleri borulama hatları
- Soğutma sistemleri borulama hatları
- Denizaltı borulama, deniz suyu alma ve soğutma hatları
- Kimyasal tesislerin borulama hatları
- Enerji santralleri devridaim doldurma ve deşarj hatları
- Hidroelektrik santral hatları
- Petrol/kimyevi maddelerin taşınması

- Boru çakma ve eski şebekeye yeniden döşeme uygulamaları gibi kullanım alanlarında değerlendirilir.



Şekil 2.3 – CTP Boru Üretimi (Çap 3000 mm)

Boruların basınç sınıfları ise 1 – 32 Bar arasında değişmektedir.

Tablo 2.2 – Basınç Sınıfları

Basınç Sınıfları (PN)	Basınç (BAR)
1	1
6	6
10	10
16	16
25	25
32	32

Rijitlik değerleri ise 1250 N/m² ve 20,000 N/m² arasında değişir.

Tablo 2.3 – Dayanım Dereceleri

Rijitlik dereceleri (SN)	N/m2 (PA)
1250	1250
2500	2500
5000	5000
10000	10000
20000	20000

Boruların uzunluğu ise istenilen ölçülerde olup, günümüzdeki üretim koşulları ve müşteri taleplerine istinaden maksimum 15 metre'dir.



Şekil 2.4 – CTP Boru (15 metre)

2.2. Gerekliklik

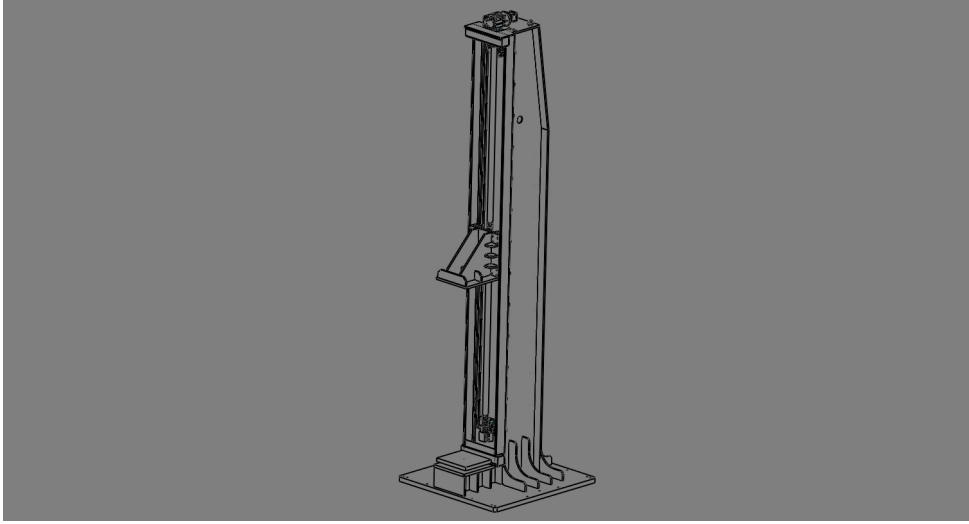
CTP kompozit boruların satışının yapılabilmesi için, birçok sanayi ürünüde olduğu gibi uyulması gereken belirli uluslararası kalite standartları var. Bu kalite standartlarından biri de CTP borularının “dayanım değerlerinin” ölçülebilmesi için ilgili test makinelerinde yapılan ölçüm testidir.

Teze konu olan test makinesinin gereği de belirtilen “dayanım değerleri” testlerinin başarılı bir şekilde yapılmasını sağlamaktır. Su sebeple CTP Boru ve benzeri CTP malzeme kullanılan sektörlerin hepsinde benzer test makinelerinin kullanılması gerekli ve zorunludur.

2.3 Çalışma Esasları

Teze konu olan test makinesinin yapımı için öncelikle bir plan yapıldı. Bu plan dahilinde sırasıyla aşağıdaki adımlar izlendi:

- Makinenin çalışma prensibi belirlendi. Makinenin çalışma şeklindeki esas önceliğin dikey yüklere dayanımlı bir iskelet tasarım yardımıyla, bir baskı ünitesiyle numune borulara dışarıdan istenen kuvveti istenen süreler boyunca uygulanmasına verildi. Uygulanan kuvvetin kontrolünün yük hücresiyle yapılmasına karar verildi.
- Tasarım öncesinde taslak bir tasarım oluşturuldu.



Şekil 2.5 – Konsept Çalışması

- Taslak tasarım üzerinden riskler ve olasılıklar değerlendirildi. Bu sonuçlar ışığında 3D CAD tasarıma “Solidworks” programı kullanılarak başlandı.
- 3D CAD tasarım süreci bitince, “Solidworks Simulation” programı ile sistemin çalışır haldeki hareketli modellemesi yapıldı ve olası hatalar engellendi.
- FEA yöntemiyle makinenin mekanik gruplarının farklı yükleme koşullarındaki davranışları öngörüldü ve tasarımda bu sonuçlardan yola çıkılarak değişiklikler yapıldı.
- 3D CAD tasarım bittikten sonra tasarım 2D olarak teknik resimlere aktarıldı. Mekanik ve standart parçaların listesi çıkarıldı, siparişler verildi.
- Teslim alınan parçaların sırasına göre önce mekanik montaj yapıldı. Daha sonra elektrik montaj bitirildi.



Şekil 2.6 – Mekanik Montaj



Şekil 2.7 – Mekanik Montaj



Şekil 2.8 – Montajı Bitmiş Test Makinesi

- Test sürecinde farklı çap ve tipteki boru numuneleriyle denemeler yapıldı ve çalışmaya uygun hale getirildi.

2.4 Tasarımsal Yaklaşımlar

CTP kompozit boru test makinesinin mekanik tasarımını iki farklı grupta oluşturuldu.

1. Makinenin Ana Gövdesi

Gövde bölümü tasarlanırken ölçülerin istenen boru çapındaki ölçümlere izin vermesi sağlandı. 300 – 4000 mm arasındaki boru çaplarını ölçebilecek şekilde tasarlandı.

Bir diğer dikkat edilen nokta ise, tasarımın ölçüm sırasında oluşan dikey kuvvetlere karşı dayanıklı olması sağlandı.

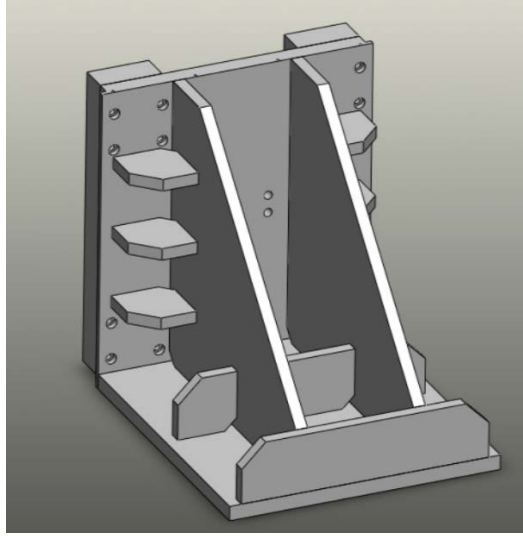


Şekil 2.9 – Makine ana gövdesi

2. Baskı Ünitesi

Test makinesinin en önemli mekanik bölümlerinden biri baskı ünitesidir. Boru numunelerinin üzerine yapacağı baskıdan dolayı, çok büyük zorlanmalara ve deformasyonlara maruz kalacak bir bölüm. Bu yüzden, bu bölümün tasarımında FEA yöntemi tasarım sürecinde çok iyi bir şekilde kullanılmaya çalışıldı.

Makinedeki bütün mekanik üretim parçaları S235JRG2 (1.0038) çelik olarak seçilmiştir.



Şekil 2.10 – Makine baskı ünitesi

3. TASARIM

3.1. Mekanik Tasarım

Mekanik tasarımda yapılan işler aşağıdaki gruplar altında sıralanabilir.

- Konsept çalışması
- 3D Tasarım
- 3D Tasarım Kontrolü
- Sonlu Elemanlar Analizi
- 2D Teknik Resim Hazırlama

Konsept çalışmasında öncelikle, yapılacak olan test makinesinin fonksiyonu belirlenmiştir. Tez konusu olan “Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Boruların Dayanım Test Makinesi” CTP borulardan elde edilen numune parçaların dış yüklere dayanımını ölçmelidir. Bu yüzden konsept çalışmasında böyle bir ölçümü yapmak için gerekli olan yapılar belirlenmiş ve taslak bir tasarım ortaya çıkarılmıştır.

Ortaya konulan konsept çalışma bilgisayar ortamında CAD programı içerisinde tasarıma dönüştürülmüştür. Günümüzün en gelişmiş ve en çok tercih edilen CAD tasarım programlarından biri olan “Solidworks” programını kullanılmıştır.

Tamamlanan mekanik tasarım, daha sonra CAD programının özellikleri kullanılarak bazı tasarım kontrollerinden geçirilmiştir. Bu tasarım kontrolleri makine üretiminde karşılaşılabilecek sorunları önceden çözebilmek adına çok önemlidir. Tasarım kontrolleri, makedeki parçaların çalışabileceği durumlardaki çakışma kontrolleri ve FEA analizini içermektedir. Her iki kontrolde son derece önemlidir. Çakışma kontrollerinde, ölçüsel olarak hatalı tasarlanmış olabilecek mekanik parçaların durumları kontrol edilir. FEA analizi ise, değişik yükleme koşulları altındaki parçaların eğilimlerini ve dayanım durumlarını inceler.

3.2 Makine Tasarım Sonlu Elemanlar

Mekanik tasarımın 3D olarak “Solidworks” programında tasarlanması sırasında ve tasarımın sonunda FEA ile makinenin değişik yükleme ve çalışma koşullarında nasıl davranacağı incelenmiştir. Bu yapılan sonlu elemanlar çalışması ile test makinesi gerektiği kadar sağlam, dayanıklı ve güvenli hale getirilirken aynı zamanda gereksiz pahalı malzeme seçiminden ve gereksiz parça seçiminden kaçınılmıştır. Böylece bir makinenin kalitesini belirleyen en önemli girdilerden biri olan; “istenilen ürünü istenilen ve gereken kalitede yapmak ve fazlasından kaçınmak” gibi önemli bir mühendislik bilgisi doğru bir şekilde uygulanmıştır.

4. Sonlu Elemanlar Analizi

4.1. Yapılan Çalışmalar

Makinenin istenilen performansta sorunsuz çalışması için üretime geçilmeden önce farklı tasarım kontrolleri yapılmıştır. Bu kontroller makinenin fonksiyonelliği ve performansında karşılaşılabilecek olası sorunları önceden, tasarım sırasında öngörüp olabildiğince en fonksiyonel tasarımı yaratmak için yapılmıştır.

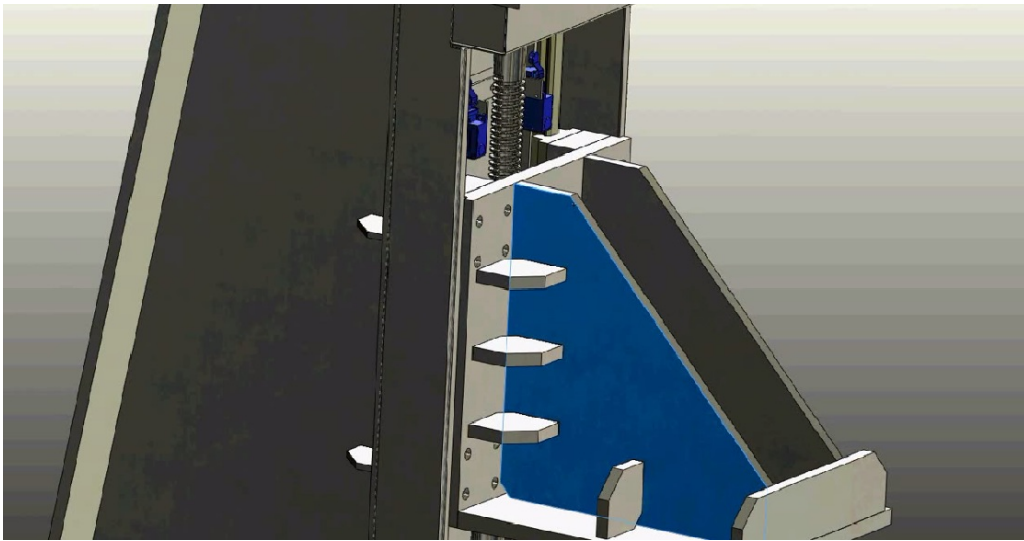
Bu kontrolleri ana grup olarak 3 başlık altında toplayabiliriz.

- Tasarımın hareketli simülasyonu ile olası çakışmaların öngörülmesi
- Yükleme maruz kalacak makine ana gövdesi, baskı ünitesi ve yük hücresi ünitesinin maksimum yükleme koşulları altındaki davranışlarını incelemek için FEA yöntemi ile analiz yapılması.

Tasarımın hareketli simülasyonu ile olası çakışmaların öngörülmesi:

Tasarım programında yer alan çakışmaları bulma fonksiyonu ile makinenin çalışma sırasında yapacağı hareketlerin aynısını simülasyon üzerinde önceden incelendi.

Bu incelemeler sırasında bazı mekanik parçaların olması gerekenden büyük olduğu (**Şekil 4.1**) ve sistemin çalışmasına negatif etki yaptığı saptanmıştır. Buna istinaden mekanik parçalar üzerinde gerekli ölçü değişikliklerini tamamlayıp, sistemin çalışmasını engelleyecek sorunlar çözülmüştür.



Şekil 4.1 – Simülasyon ile çakışma takibi

4.2 Elde Edilen Sonuçlar

Yapılan kontroller ve testler sonucunda, cam elyaf takviyeli kompozit ürün makinesinin

- yükleme koşulları olmadan serbest olarak çalışmasına bir engel olup olmadığına
- maksimum yükleme koşulları altındaki olası davranışlarını

Gzlemeleme şansımız oldu. Bu sonuçlar hiçbir zaman %100 gerçeği yansıtmamakla birlikte, gerçekte olabilecek sorunlara ve makinenin performansına ait ciddi yol gösterici olacaktır.

Yapılan testlerden “tasarımın hareketli simülasyonu” testi ile birlikte olası mekanik ölçü hataları engellenmiştir. Çünkü üretilen mekanik parçaların ve satın alınacak standart malzemelerin hepsinin 2D ve 3D lleri tasarımda aynen bulunmaktadır. Böylece montaj ve devreye alma sırasında doğabilecek sorunlar minimuma indirilmiştir.

Diğer bir test olan “maksimum yükleme koşulları altında FEA yöntemi ile analiz” ile birlikte ise makinenin maksimum yükleme koşulları altındaki davranışları incelenmiştir ve böylece takviye gereken bölümleri belirlenerek güçlendirilmiştir.

FEA analizi makinede 3 farklı bölüme yapılmıştır.

- Makinenin ana gövdesi
- Baskı nitesi
- Yük hcreesi mekanik aksamı

Makine ana gövdesi FEA analizi:

Bu bölüme yapılan FEA analizi makinenin ana gövdesini oluşturan, büyük mekanik üretim parçalarını kapsamaktadır. O yüzden yapılan “mesh” işlemi çok detaylı olmayacak şekilde yapılmıştır. Böylece, FEA analizini yapan denklem zcsnn gereksiz hesap yapmasına ve ayrıca gereğinden fazla kk “mesh” işlemlerinde ortaya çıkan “singularity” problemine engel olunmuştur. [4]

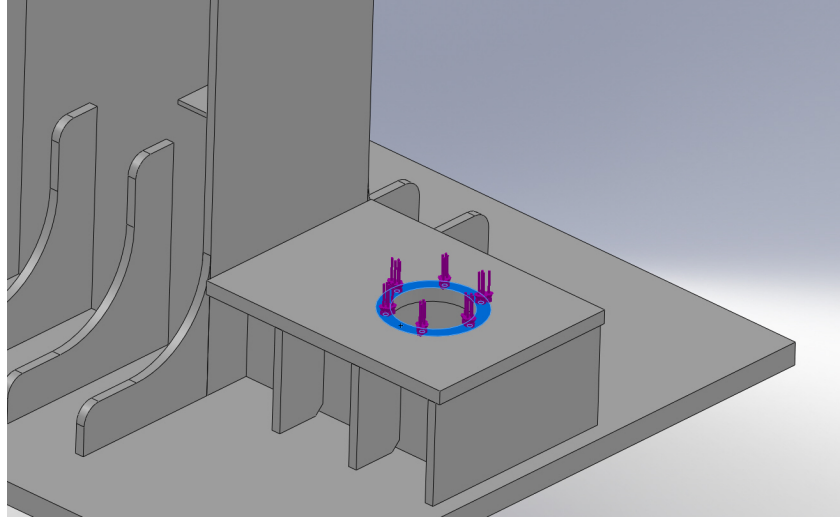
Makine ana gövdesinde S235JRG2 elik kullanılmıştır. Malzeme zellikleri “**Tablo 4.1**”de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 – Malzeme özellikleri listesi

Özellik	Değer	Birim
Elastisite Modülü	2.1e+011	N/m ²
Poisson's oranı	0.28	NA
Kesme Modülü	7.9e+010	N/m ²
Yoğunluk	7800	kg/m ³
Çekme Dayanımı	5.0083e+008	N/m ²
Akma Dayanımı	2.75e+008	N/m ²
Termal genişleme katsayısı	1.1e-005	/Kelvin
Isı iletkenliği	14	W/(m.K)
Isı katsayısı	440	J/(kg.K)

Makinedeki gerçek yükleme bölgesi sonlu elemanlar analizinde gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.2’de plaka üzerine uygulanan yükleme bölgesi gösterilmektedir.



Şekil 4.2 – FEA yük hücresi yükleme bölgesi

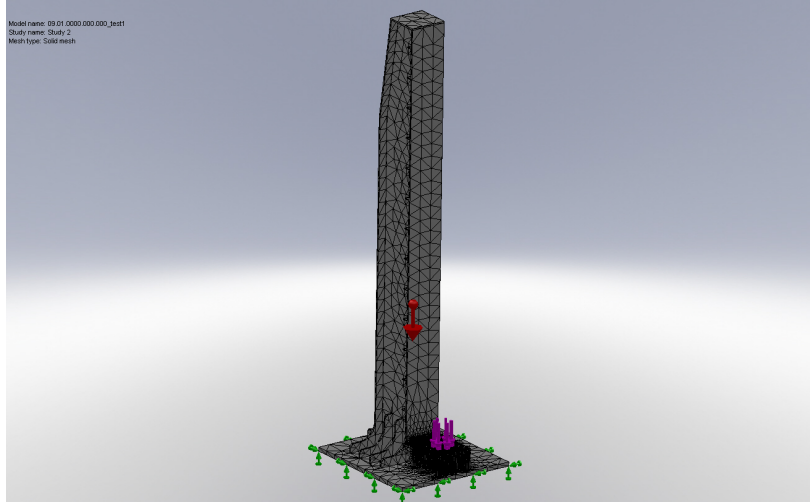
Bu bölüme yapılan FEA analizi makinenin ana gövdesini oluşturan, büyük mekanik üretim parçalarını kapsamaktadır. O yüzden yapılan “mesh” işlemi çok detaylı olmayacak şekilde yapılmıştır. Böylece, FEA analizini yapan denklem çözücüsünün gereksiz hesap yapmasına ve ayrıca gereğinden fazla küçük “mesh” işlemlerinde ortaya çıkan “singularity” probleminde engel olunmuştur. [4]

Kullanılan mesh bilgileri “**Tablo 4.2**” de detaylı olarak gösterilmektedir. Makinenin ana gövdesindeki direkt kuvvet uygulanmayan bölümü çok geniş bir alan ve hacme sahip olduğu için o bölgelerde kullanılan mesh daha büyük parçaları içermektedir. Fakat ölçüm sonucunun makinenin performansı açısından önem taşıyan kuvvet

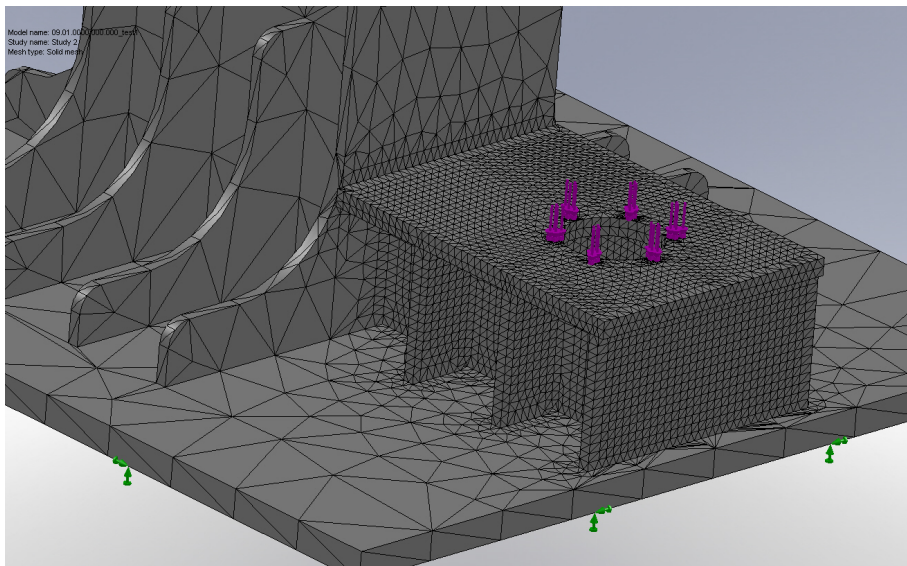
uygulama alanı çok detaylı bir mesh işleme tabii tutulmuştur. Ana gövde ve detaylı mesh işleminin farkı “Şekil 4.3” ve “Şekil 4.4”de detaylı olarak görülmektedir.

Tablo 4.2 – Mesh Bilgileri

Mesh Tipi:	Katı mesh
Mesh Modeli:	Standart mesh
Otomatik Geçiş:	Off
Düzgün Yüzey:	On
Jacobian Kontrolü:	4 Nokta
Element Ölçüsü:	150 mm
Tolerans:	3 mm
Kalite:	Yüksek
Element sayısı:	51199
Node sayısı:	88039
Mesh işlemini bitirme süresi (hh:mm:ss):	00:00:34



Şekil 4.3 – FEA ana gövde mesh işlemi

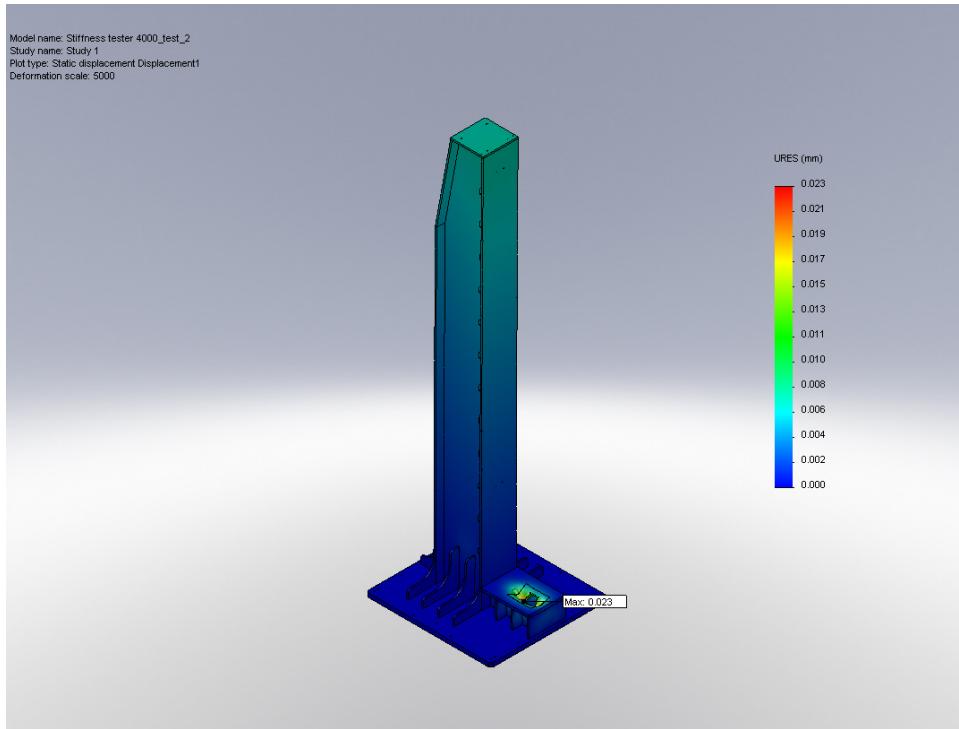


Şekil 4.4 – FEA yük hücresi mesh işlemi

Yapılan analiz sonucunda maksimum gerilim 88.4057 MPa ile kuvvetin uygulandığı bölgede oluşacağı anlaşılmıştır. Ancak bu gerilim limit değerlerin çok altında olduğundan bir sorun teşkil etmemektedir. “**Tablo 4.3**”deki sonuçlar yük hücresi mekanik aksamı tasarımı bölümünde tekrar teyit edilecektir.

Tablo 4.3 – Analiz değerleri

İsim	Tip	Min	Lokasyon	Max	Lokasyon
von Mises Gerilimi	VON: von Mises Gerilimi	3.03722e-005 N/mm ² (MPa) Nod: 5668	(545.723 mm, 50 mm, -647.091 mm)	88.4057 N/mm ² (MPa) Nod: 42197	(617.568 mm, 304.964 mm, 1.31965 mm)
Yer değiştirme	URES: Yer değiştirme sonucu	0 mm Nod: 894	(790 mm, 0 mm, 740 mm)	0.0409708 mm Nod: 21309	(445.006 mm, 304.96 mm, -7.28909e-006 mm)



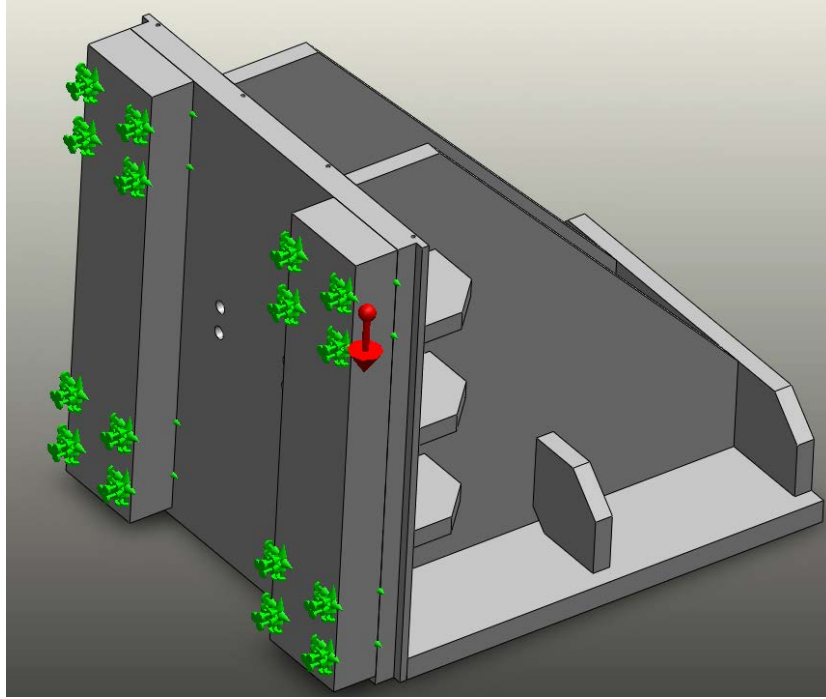
Şekil 4.5 – FEA ana gövde yer değiştirme

Şekil 4.5’da makinenin 10,000N yükleme koşulları altında ve 5000 kat abartılmış durumundaki yer değişikliği davranışını göstermektedir. 5000 kat abartılmasının sebebi makinenin maksimum yükleme koşullarında nasıl bir davranış sergileyeceğini

görmektir. Burada gözüken; yük hücresi aksamına uygulanan kuvvet makinenin gövdesinin ileriye doğru bükülmek istediğini göstermektedir. Fakat burada makine gövdesinde oluşan gerilimler sınır değerlerinin göz ardı edilecek kadar altındadır. O yüzden tasarımda herhangi bir değişikliğe gerek duyulmamıştır.

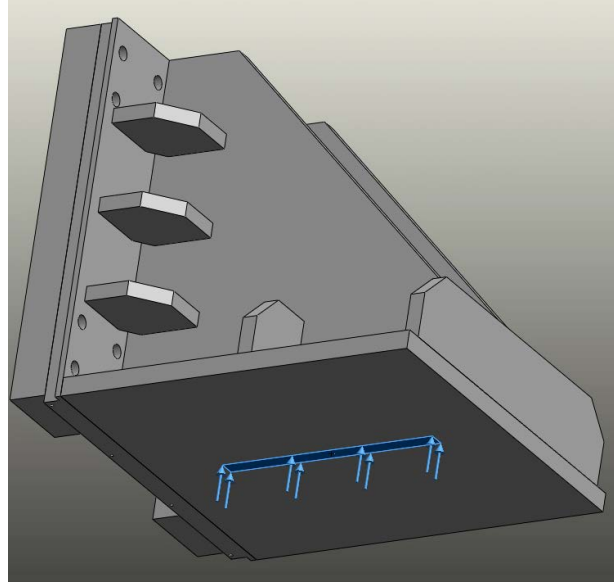
Baskı ünitesi FEA analizi:

Makinenin en önemli bölümlerinden biri olan baskı ünitesine yapılacak olan FEA analizi performans açısından çok önemlidir. Çünkü bu bölge en yoğun yükleme koşullarının gerçekleştiği yerdir. Bu yüzden doğru bir “mesh” çalışması yapıp, sabitleme ve yükleme koşullarının doğru gerçekleştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.6 – FEA baskı ünitesi sabitleme noktaları

Şekil 4.6’de baskı ünitesinin FEA analizinde sabitleme noktaları gösterilmiştir. 4 bölgede toplam 16 adet sabitleme noktası vardır. Bu noktaların nasıl sabitlendiğinin FEA analizinde belirtilmesi çok önemlidir. Resimde görülen gri renkli plakalardan ya da plaka üzerine açılan yuvaların içinden sabitlenmesi arasında çok farklar vardır. Bu yüzden FEA analizi bu farkı da dikkate alır.



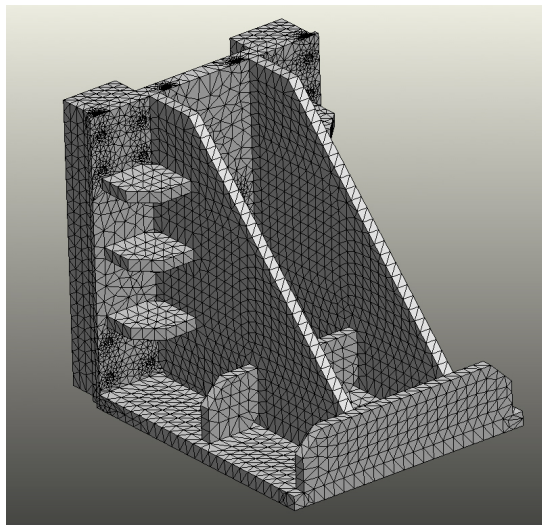
Şekil 4.7 – FEA baskı ünitesi yükleme bölgesi

Şekil 4.7’de ise, yüklemenin hangi bölgeye yapılacağı belirtilmiştir. Yükleme, baskı ünitesinin bütün yüzeylerine olmayacaktır. Sadece boru numunesinin temas ettiği yüzey alanı kadar olacaktır.

Bu sebeple, boru numunesinin tam olarak temas edeceği yüzey FEA analizinde modellenmiştir.

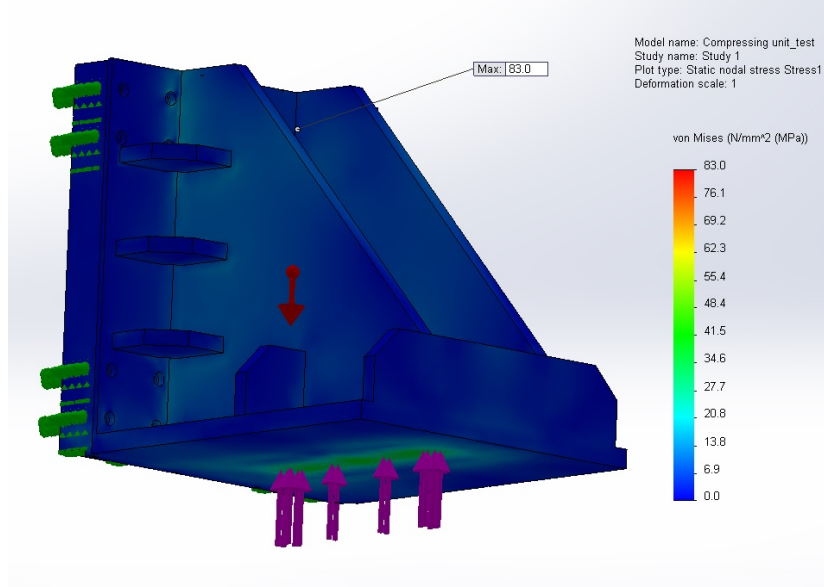
Baskı ünitesine yapılacak “mesh” işlemi çok önemli olduğundan olabildiğince küçük “mesh” ölçüsü kullanılmıştır. Burada yapılan “mesh” işlemi düzenli “mesh” olarak adlandırılır ve her bir element eş büyüklüktedir. [5]

Resimde görülen “mesh” işleminde her bir element 20 mm ölçüye sahiptir. Toplam 86,827 elemente ayrılmıştır. Ek olarak 136,500 nod yaratılmıştır.



Şekil 4.8 – FEA baskı ünitesi mesh işlemi

Yapılan FEA analizlerinde en yüksek streslerin bağlantı noktalarında olduğu görüldü.



Şekil 4.9 – FEA baskı ünitesi maksimum gerilim

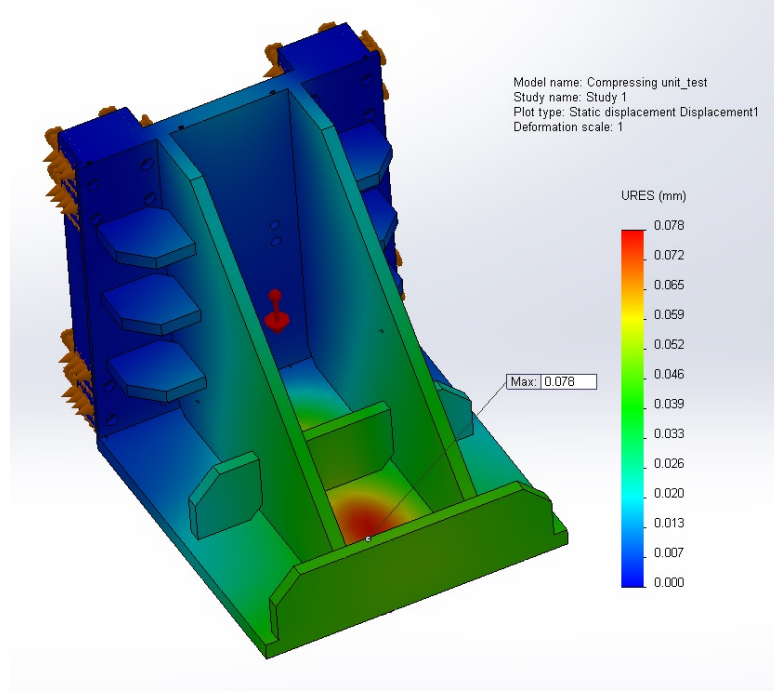
Fakat gerçekleşen stresler kritik değerlerin altındaydı. O yüzden sadece ilgili bölgelere mekanik destek plakaları eklenerek tasarımsal olarak daha güçlü bir makine planlandı.

Analiz sonuçlarına göre maksimum gerilim 83.0 MPa olarak gerçekleşmiştir. Analiz sonuçları “**Tablo 4.4**”de görülmektedir.

Tablo 4.4 – Baskı ünitesi analiz değerleri

İsim	Tip	Min	Lokasyon	Max	Lokasyon
Gerilim1	VON: von Mises Gerilimi	0.0048417 N/mm ² (MPa) Nod: 68870	(-251.483 mm, 493.861 mm, 229.625 mm)	83.0 N/mm ² (MPa) Nod: 75066	(-277.5 mm, 461.381 mm, 121.332 mm)
Yer değiştirme1	URES: Yer değiştirme sonucu	0 mm Nod: 11443	(-277.5 mm, 97.5 mm, -132 mm)	0.078 mm Nod: 1583	(104.529 mm, 0.0355688 mm, 0.0344891 mm)

Maksimum gerilimlerin bağlantı noktasında çıkmasına rağmen, maksimum yer değiştirme ise, **Şekil 4.10** görüntüsünde olduğu gibi, boru numunesinin temas ettiği bölgede gerçekleşmiştir. Böyle bir harekete istinaden destek plakaları eklenerek sistem daha güçlü bir hale getirilmiştir.



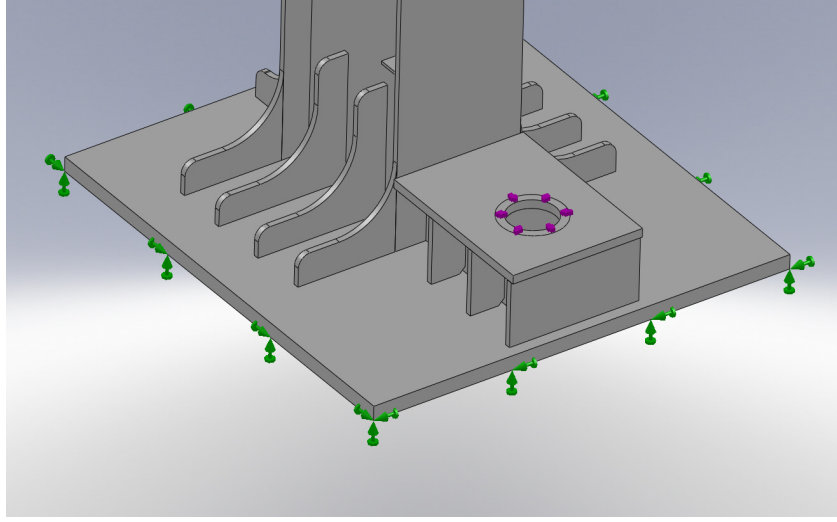
Şekil 4.10 – FEA baskı ünitesi yer değiştirme

Yük hücresi mekanik aksamı FEA analizi:

Makinenin en kritik bölümlerinden biri olan yük hücresi mekanik tasarımına ait FEA analizi de çok önemlidir. Burada incelenecek olan bölüm ise boru numunesinin üzerine oturduğu plakanın yük hücresine ait mekanik bölüme yaptığı baskının incelenmesidir.

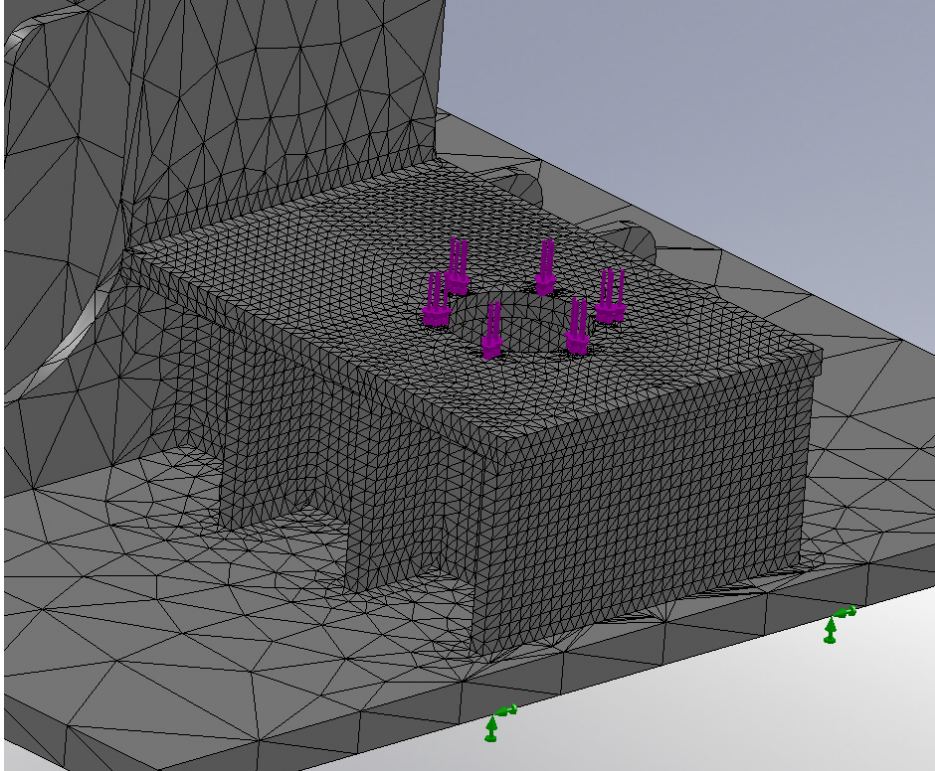
Bu incelemede öncelikle gerçekleşecek olan durum, FEA analiz programı içerisinde tasarlanmaya çalışılmıştır.

Sisteme ait sabitleme bölümleri ve kuvvetin uygulanacağı bölge “**Şekil 4.11**” içerisinde gösterilmiştir.



Şekil 4.11 – FEA yük hücresi sabitleme noktaları

Makinenin zemin plakasından yerçekimi ağırlığı ile bir sabitleme yapılmıştır. Yükleme koşulları ise sadece yüklemenin gerçekleşeceği bölgede uygulanmıştır.



Şekil 4.12 – FEA yük hücresi mesh işlemi

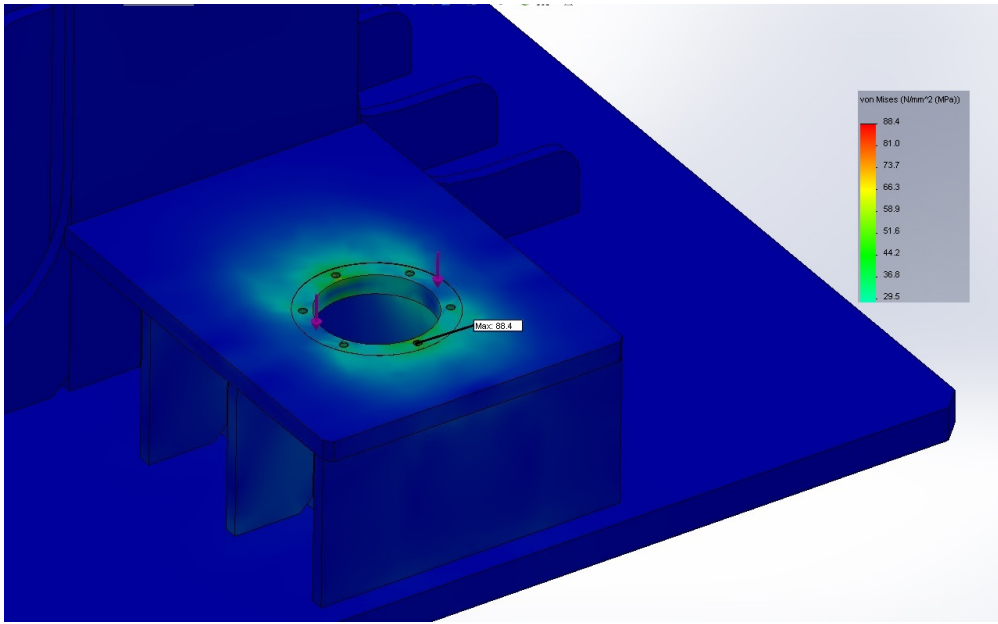
Bu bölgeye ait “mesh” işleminde, kuvvetin uygulanacağı bölgede daha detaylı ancak

makinenin geri kalanında ise büyük “mesh” birimleri kullanılmıştır. Bu tür “mesh” işlemine adaptif “mesh” denir ve detay gerektiren bölgelerde daha başarılıdır.

Bunun sebebi ise fonksiyonları çözecek programın daha az yorulmasını sağlamak ve risk görülen bölgelerde daha detaylı çalışma yapabilmektir.

Burada kullanılan “mesh” element büyüklükleri 150 mm’dir ve 51,199 adet element kullanılmıştır. Ek olarak 88,039 adet nod hesaplamada kullanılmıştır.

1500 kat abartılmış “Şekil 4.13”de gözüktüğü gibi maksimum stres değeri 88,4 MPa’dır ve limit değerlerinin çok altındadır. Bu yüzden bu bölgeye ek bir destek öngörülmemiştir. Sistem güvenlidir.



Şekil 4.13 – FEA yük hücresi maksimum gerilim

Yükleme Koşulları Altındaki Borunun Analizi:

Yükleme koşulları altında cam elyaf takviyeli kompozit borunun nasıl bir davranış sergileyeceğini de üretim öncesinde incelendi. Böylece borunun herhangi bir kırılma anında, hangi bölgesinden en yüksek olasılıkla deforme olma ihtimali bulundu.

Analiz için 4000 mm çapında bir çelik boru tercih edilmiştir. Çelik boru tercih edilmesinin tek sebebi, mekanik özellikleri bilinen bir malzeme analizi daha kolay

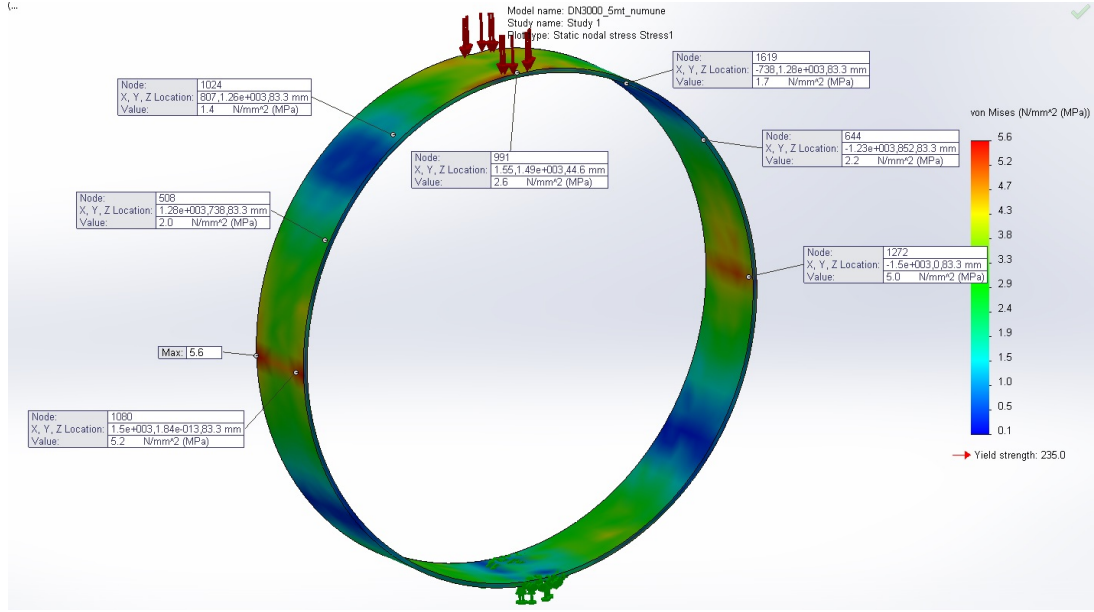
gerçekleştirilebilir kılacaktı. Eğer cam elyaf takviyeli kompozit borunun mekanik özellikleri kullanılmış olsaydı, analiz çok daha kapsamlı bir hal alacaktı. Çünkü kompozit borunun ana grup olarak 3 katman bölgesi bulunmaktadır. Her birinin mekanik özelliklerini analiz programında işlemek sadece fazla iş yükü getirecekti; borunun davranışıyla ilgili yorum yapmamızda bir değişiklik yaratmayacaktı.

Malzeme olarak 1.0038 (S235JRG2) çelik kullanılmıştır. Malzeme ait özellikler “**Tablo 4.5**”de gösterilmektedir.

Tablo 4.5 – 1.0038 çelik malzeme özellikleri

Özellik	Değer	Birim
Elastisite Modülü	2.100000031e+011	N/m ²
Poisson Oranı	0.28	N/A
Kesme Modülü	7.9e+010	N/m ²
Yoğunluk	7800	kg/m ³
Çekme Dayanımı	360000000	N/m ²
Akma Dayanımı	235000000	N/m ²
Termal genleşme katsayısı	1.1e-005	/K
Isı iletkenliği	14	W/(m.K)
Isı katsayısı	440	J/(kg.K)

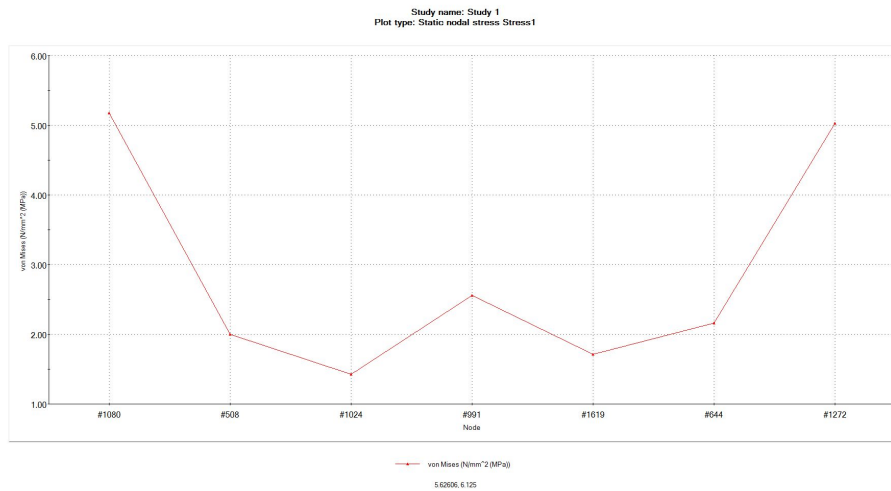
Yapılan analizde 4000 mm çaplı numune borunun yüklemeye koşullarında, maksimum gerilimin yüklemenin olmadığı 90° farklı köşelerdeki bölgelerde gerçekleşmektedir. **Şekil 4.14**'de görüldüğü üzere toplam 7 farklı bölgeden stres değerleri alınmıştır. Maksimum gerilmeler 5 MPa civarında belirtilen bölgelerde gerçekleşmektedir. Buna karşın minimum gerilmeler ise yüklemeye noktaları ve maksimum gerilmeler arasındaki 45° farkta bulunan alanda gözlemlenmektedir.



Şekil 4.14 – FEA kompozit boruda yükleme altındaki gerilmeler

Borunun 90° ve 180° arasında bulunan, yani X eksenindeki gerilmelere bakıldığı zaman başlangıç noktasında yüksek gerilimler gözükmektedir. Yükleme bölgesine doğru gidildikçe gerilimler oldukça azalmaktadır. Yükleme bölümlerinde fark edilebilir bir stres artışından sonra benzer davranış bitiş noktasına doğru olan bölümde de gözlenmektedir. Önce azalan stres, bitiş noktasında yine en yüksek seviyeye çıkmaktadır.

Şekil 4.15’de belirtildiği gibi stres değişimi gözükmektedir. Buradan çıkan sonuç, benzer yükleme koşulları altında borunun deformasyona ve patlamaya en olası bölümü yükleme bölgelerine zıt olan bölgelerdir.

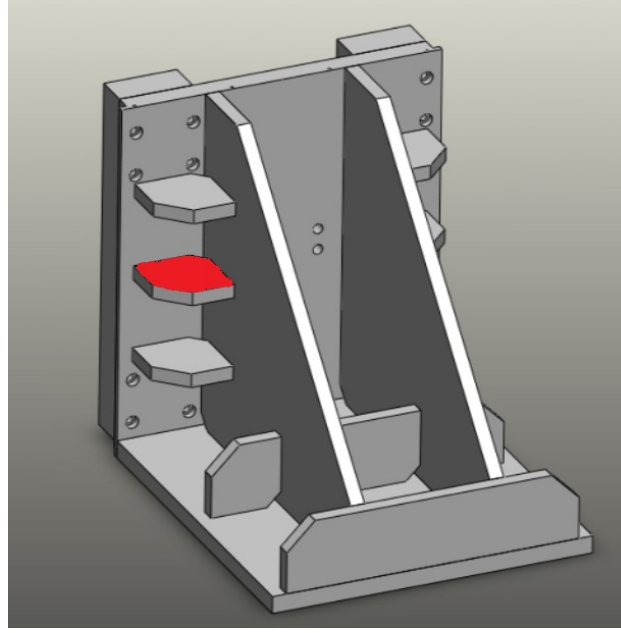


Şekil 4.15 – Stres dağılım grafikleri

4.3 Sonuçların İrdelenmesi

Elde edilen sonuçlara göre, hareketli simülasyon testinde bazı tasarım parçalarının doğru ölçülerde olmadığı görülüp tasarım sırasında değiştirilmiştir.

Baskı nitesindeki destek plakalarının ölçülerinin hatalı tasarlandığı fark edildi ve değiştirildi.



şekil 4.16 – Hatalı tasarım

Ayrıca elde edilen sonuçlara göre makinenin bazı bölümlerinin nasıl bir eğilime sahip olduğu abartılmış simülasyonlarda ortaya ıktı. Buna istinaden ilgili bölümlerde mekanik parçalar ile destek bölümleri yapıldı.

4.4 Montaj ve devreye alma

Makineye ait tasarımın FEA analizi ile doğrulanıp risk gözüken bölgelerde iyileştirmeler yaptıktan sonra 2D teknik resimler mekanik üretim için hazırlandı ve yan sanayilere verildi.

Mekanik retim parçaları ve standart parçaların satın alınmasıyla beraber mekanik montaja başlandı.



Şekil 4.17 – Mekanik montaj boya öncesi

Mekanik grupların birçoğu ayrı ayrı toplandı. **Şekil 4.17'**de baskı ünitesinin kaynakla bir araya getirildiği gözüküyor. Boya işlemine girmeden önceki hali.

Şekil 4.18'de ise makinenin ana gövdesinin montajının yapıldığı gözükmektedir.



Şekil 4.18 – Mekanik montaj

Şekil 4.19'de ise makine montajının bitmiş hali gözüküyor. Test makinesi başarılı bir şekilde imal edilmiştir.



Şekil 4.19 – Montaj sonu

5. Kompozit Boruların FEA Çalışması

5.1. Kesit alanı ve FEA

Test makinesi için yapılan FEA çalışması makinenin kalite ve performansını belirlemeye yöneliktir. Benzer bir çalışmayı kompozit boru üzerinde yaparak farklı geometrik şekillerin ve farklı malzeme bileşimlerinin ürünler üzerinde farklı sonuçlar yarattığını görebiliriz.

Bu çalışma için Solidworks programında 1 metre çapında ve 5 metre uzunluğunda bir CTP boru tasarlandı. Boru **Şekil 5.1**'de gerçek üründen alınmış numune olarak görülmektedir. Dış ve iç çeperinde cam elyaf ağırlıkta ve orta bölümde ise dolgu malzemesi olarak kum yoğunluğu vardır. Programda tasarlanan CTP boruda da benzer bir yapı oluşturulup, ilgili malzemelerin özellikleri programda tanıtılmıştır. Sadece “5.1” bölümündeki analizlerde, analiz kolaylığı açısından ve “5.2” bölümündeki karşılaştırmalar için 1.0038 kalite çelik malzemesi kullanılmıştır.



Şekil 5.1 – Kompozit boru yapısı

Bu bölüm içerisinde, malzeme dayanımına etki eden bazı faktörleri daha detaylı incelemesi yer almaktadır.

İnceleme konuları arasında,

- Kesit alanının malzeme dayanımına etkisi
- Geotmerik şekillerin malzeme dayanımına etkisi
- Et kalınlığının malzeme dayanımına etkisi vardır.

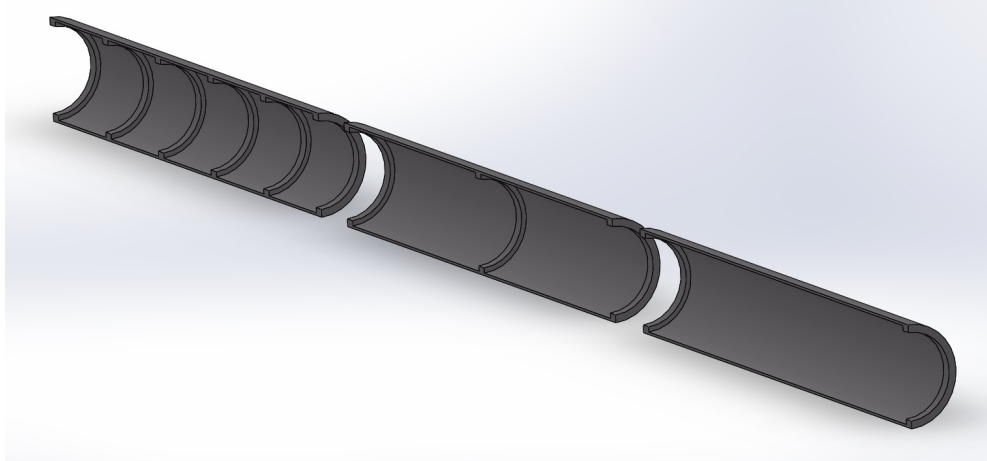
Yapılan analizler **Tablo 5.1**'de gösterilmektedir.

Tablo 5.1 – Analiz konusu boru tipleri ve yapılan analizler

Analiz konusu boru / Yapılan Analizler	Von Mises Gerilimleri	X-Y-Z Eksen Gerilimi	Deformasyon	X-Y-Z Eksen Deformasyonu
DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru	✓	✓	✓	✓
DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru	✓	✓	✓	✓
DN1000, 5m, 3 adet keskin boğumlu boru	✓	✓	✓	✓
DN1000, 5m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru	✓	✓	✓	✓
DN1000, 5m, 6 adet keskin boğumlu boru	✓	✓	✓	✓
DN1000, 5m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru	✓	✓	✓	✓
DN1000, 5m, et kalınlığı %25'e indirilmiş boru	✓			
DN1000, 5m, boğumsuz boru	✓			

CTP borunun gerçek koşullar altındaki davranışlarını incelemek için Solidworks Simulation programında öncelikle 3 farklı tipte boru tasarlandı. Bu borular 1 metre çapında ve 5 metre uzunluğunda 1.0038 kalite çelikten oluşturulmuş ve **Şekil 5.2**'de 3 farklı tipte boru gösterilmektedir. Boruların içerisinde belli bölgelerde et kalınlığı artırma çalışması yapılmıştır.

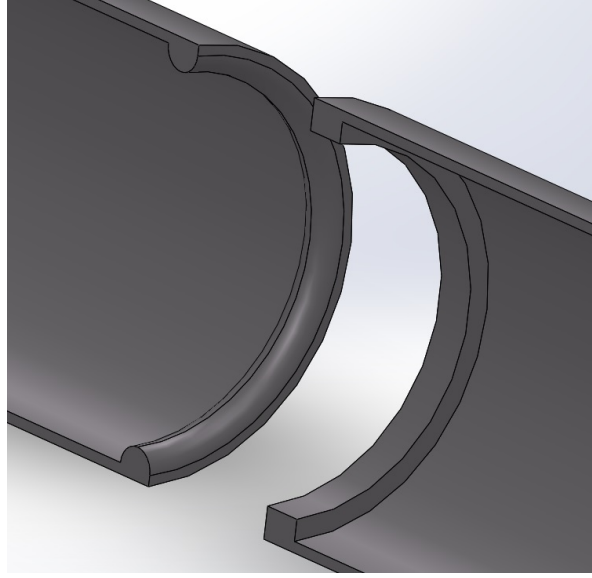
Birince örnekte borunun başında ve sonunda, ikinci örnekte ek olarak borunun orta noktasında ve üçüncü örnekte eşit aralıklarla yerleştirilmiş 6 lokasyonda et kalınlaştırması yapılmış ve analiz edilmiştir.



Şekil 5.2 - DN1000 Boru tipleri

Bu analizlerle et kalınlaştırılması yani kesit alanı artırılmasının FEA sonuçlarında bir değişiklik, bir başka deyişle borunun yükleme koşulları altındaki davranışında değişiklikler olup olmayacağını araştırılması amaçlanmıştır.

Bunun dışında aynı analizler et kalınlaştırılmasının şekli değiştirilecek yapıldı. Yukarıdaki gösterilen örneklerde et kalınlaştırılması keskin köşeli boğumlarla yapıldı, buna karşılık ek olarak **Şekil 5.3**'te gösterildiği gibi yuvarlak boğumlu borularla da aynı testler yapıldı ve FEA analizleri üzerinde malzeme geometrisinin önemi araştırıldı.



Şekil 5.3 – Malzeme kalınlaştırılmasındaki boru tipleri

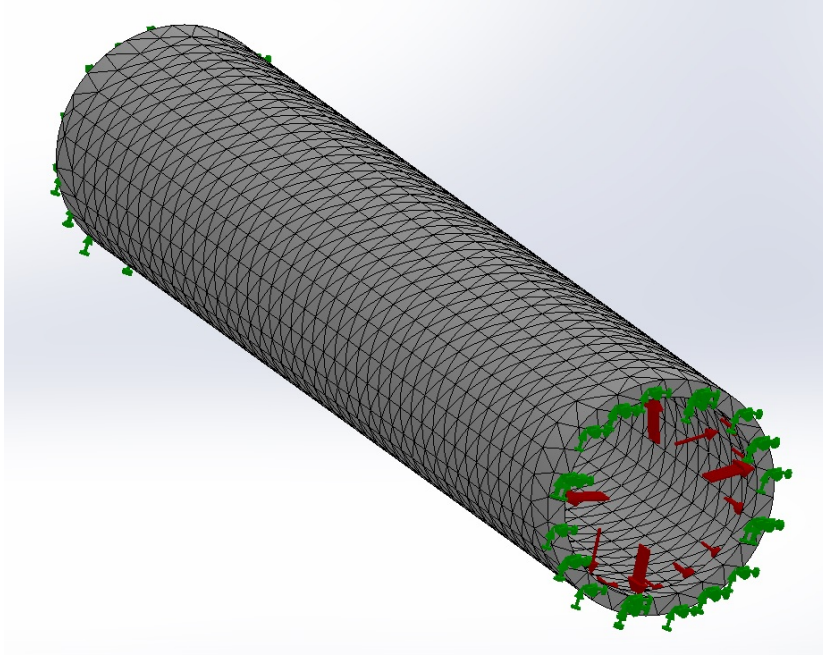
DN1000 5 metre 2 adet keskin boğumlu boru örneğinde öncelikle **Şekil 5.4**'de yeşil renk ile gösterilen noktalar borunun simulasyon sırasında sabitlendiği noktalardır. CTP boru bu noktalardan sabitlenmiş ve hareketsiz kılınmıştır. Kırmızı ile gösterilen ise borunun içinde sıvı akışı olduğunda, borunun iç duvarlarında oluşan basınçın gösterimidir.

Burada basınç olarak 20 Bar alınmıştır. Bununda yükleme koşulları olarak karşılığı 2,000,000 N/m²'dir.

Bu çalışmada görmek istenilen ise; geometrik olarak homojen yapılandırılmış bir CTP borunun bazı bölümlerine eklemeler yaptığımızda FEA sonuçlarında bir değişiklik, bir başka deyişle borunun yükleme koşulları altındaki davranışında değişiklikler olup olmayacağıdır.

Bunu gerçekleştirebilmek için **Şekil 5.4**'de borunun başlangıç ve bitiş bölümünde 2 farklı noktada çembersel olarak malzeme kalınlaştırma yapılmıştır. Bu malzeme kalınlaştırması ile yükleme koşullarındaki gerilim değişmesi incelenmiştir.

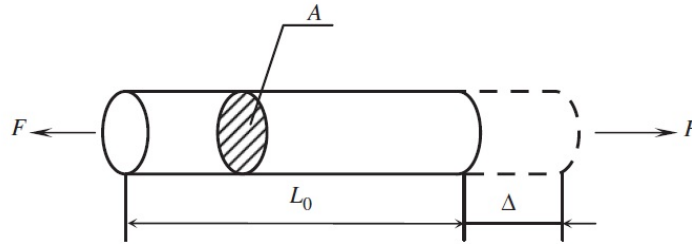
Öncelikle **Şekil 5.4**'de gösterilen şekilde sabitleme ve yükleme koşulları oluşturulmuş, ardından homojen bir mesh işlemine tabii tutulmuştur.



Şekil 5.4 – DN1000, 5 m, 2 adet keskin boğumlu boru yükleme koşulları

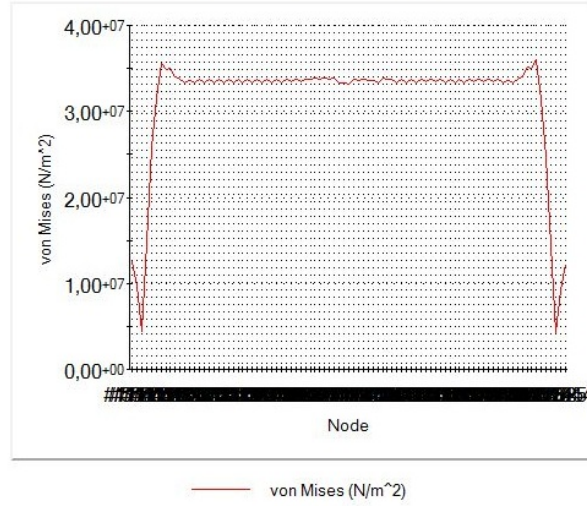
Gerilim formülünü baz aldığımızda, yükleme koşullarında bir değişiklik olmadığı için ve malzeme kalınlaştırılması yapılan bölümün kesit alanında artış olduğu için ilgili bölümlerde gerilim değerlerinin düşmesi gerekmektedir.

$$\sigma = F/A \quad [6]$$



Şekil 5.5 – Gerilim formülü

Yapılan analizler sonucunda boru üzerindeki gerilimler, malzeme kalınlaştırılması yapılan bölgelerde çok düşük çıkmıştır. Aynen gerilim formülündeki sonuç elde edilmiştir. **Resim 5.6'**da gözüktüğü gibi borunun her iki ucunda et kalınlaştırması yapılan bölgelerdeki gerilimler 7-10 MPa aralığındadır ancak aynı kesitin diğer bölümlerinde bu değer 34-37 MPa gibi yüksek bir değerdedir.

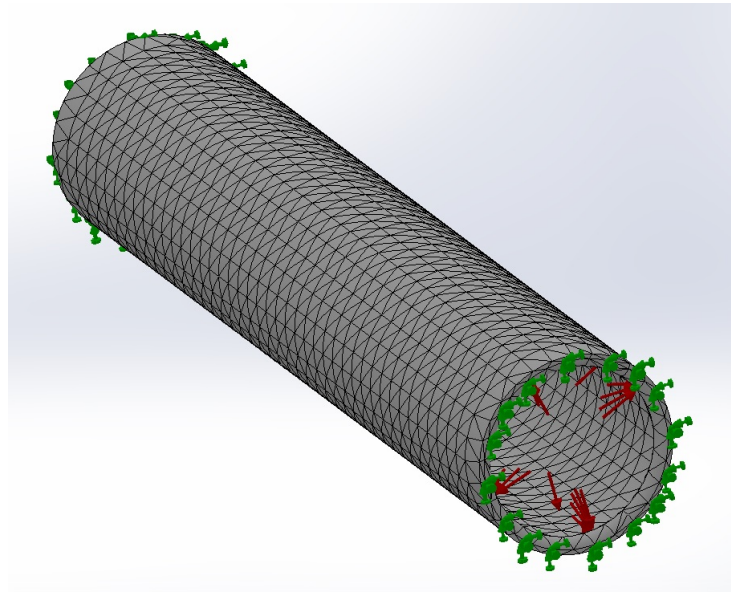


Şekil 5.8 – DN1000, 5 m, 2 adet keskin boğumlu boru ölçüm tablosu

Benzer çalışmanın sadece malzeme kalınlaştırması yapılan yerin geometrisini değiştirip tekrarlayınca oluşacak sonuçlar da incelendi.

Bir önceki örnekte verilen malzeme kalınlaştırmasında dörtgen şeklinde bir malzeme kalınlaştırması yapılmıştı. Benzer noktalarda bu sefer malzeme kalınlaştırması daha yuvarlak hatlar ile yarım daire şeklinde kalınlaştırma yapıldı.

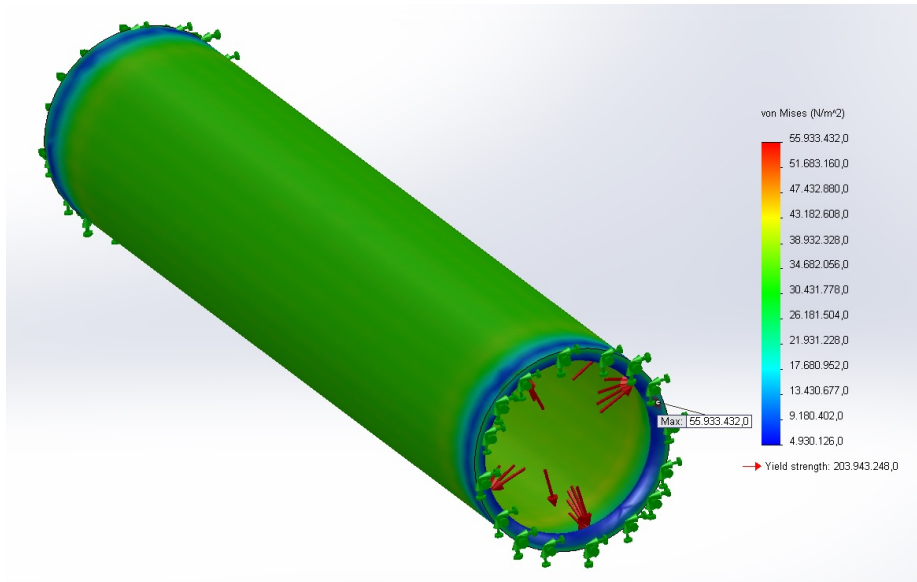
Şekil 5.8’de bu yarım daire kalınlaştırması borunun her iki ucunda da gözükmektedir. Keskin ve yuvarlak boğum farkı Şekil 5.3’te çok daha detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Resimde gözüktüğü gibi öncelikle yükleme, sabitleme koşulları uygulandı. Ardından mesh işlemi tamamlandı.



Şekil 5.9 - DN1000, 5 m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru yükleme koşulları

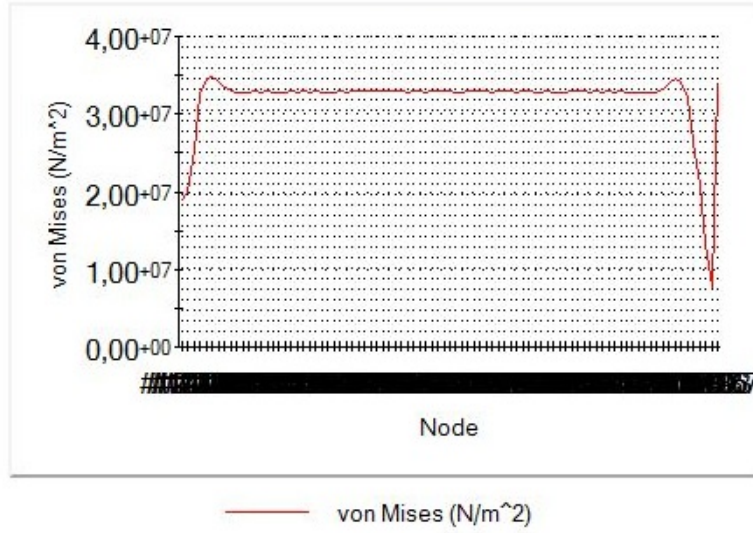
Yapılan analiz sonucunda yuvarlak boğumlu ve keskin boğumlu CTP boru analizleri arasında keskin bir fark gözükmemektedir. Yuvarlak boğumlu boruda yüklemeler boru içerisinde daha homojen dağılmıştır. Boru çeperlerinde oluşan gerilimler kıyaslandığı zaman keskin boğumlu örnekte 35-38 MPa civarında gerilimler, yuvarlak boğumlu örnekte ise **Şekil 5.10**'da gözüktüğü gibi 28-31 MPa civarında gerilimler tespit edilmiştir.

Bu yüzden belli yükleme koşullarına maruz kalan objelerde, gerilimlerin yükselmemesi için keskin köşelerden kaçınılması gerekmektedir. Özellikle CTP boru sektöründe boru içerisindeki akışkanlığı bozabilecek, homojen yapıyı değiştirecek herhangi bir olasılık, yüksek basınçlarda çok ciddi sonuçlar doğurabilir ve çok tehlikelidir.



Şekil 5.10 – DN1000, 5 m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru gerilim değerleri

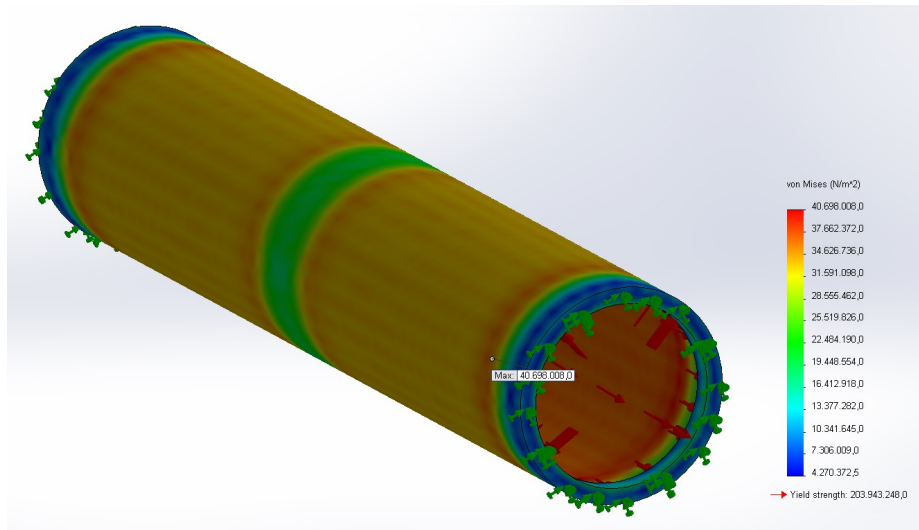
Şekil 5.7'daki belirtilen ölçüm noktalarının aynısı bu örnekte de kullanılmıştır. Benzer ölçüm noktalarından alınan sonuçlar **Şekil 5.11**'de gösterilmektedir.



Şekil 5.11 – DN1000, 5 m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru ölçüm tablosu

Aynı analizler aynı yükleme koşulları altında bu sefer borunun tam orta bölgesine üçüncü boğum gelecek şekilde tekrarlandı. Bu analizlerdeki yükleme koşulları, gerek mesh işlemi gerekse yükleme şartları açısından **Şekil 5.4**'te gösterilenler gibi aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu analizde kesit alanı kalınlaştırılmasının FEA sonuçlarına etkisi ve malzeme kalınlaştırılması sıklığının genel malzeme gerilimleri üzerindeki etkisinin görülmesi amaçlanmıştır.

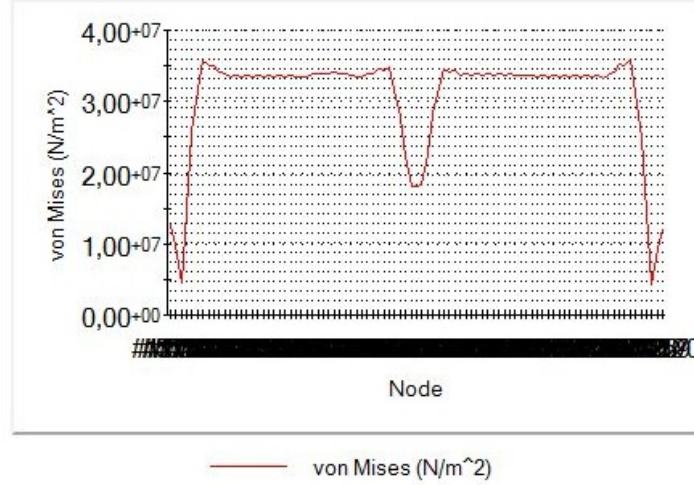
Şekil 5.12'de üç adet keskin boğumlu boruya ait gerilim değerleri gösterilmektedir. Buradaki değerleri **Şekil 5.6** ile karşılaştırdığımızda malzeme üzerindeki genel gerilim değerlerinin azaldığını ve ek olarak gelen keskin boğumun bunda etkisi çok açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.12 – DN1000, 5 m, 3 adet keskin boğumlu boru gerilim değerleri

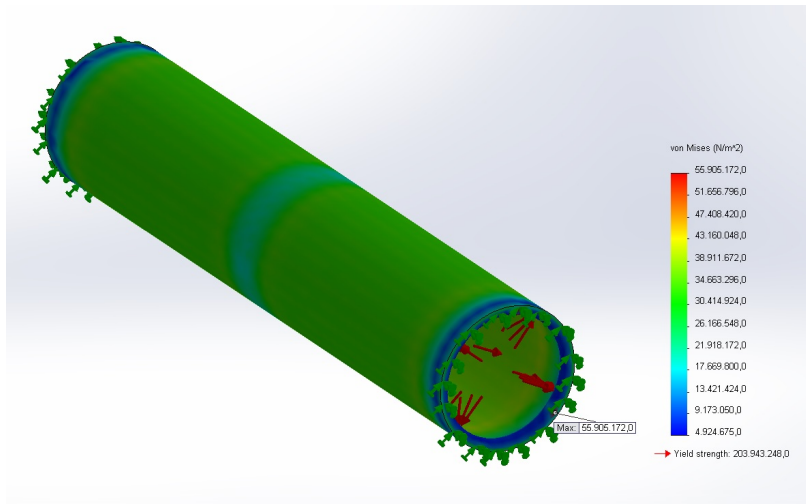
Şekil 5.7'deki belirtilen ölçüm noktalarının aynısı bu örnekte de kullanılmıştır. Benzer ölçüm noktalarından alınan sonuçlar Şekil 5.13'de gösterilmektedir.

Şekil 5.13 – DN1000, 5 m, 3 adet keskin boğumlu boru ölçüm tablosu



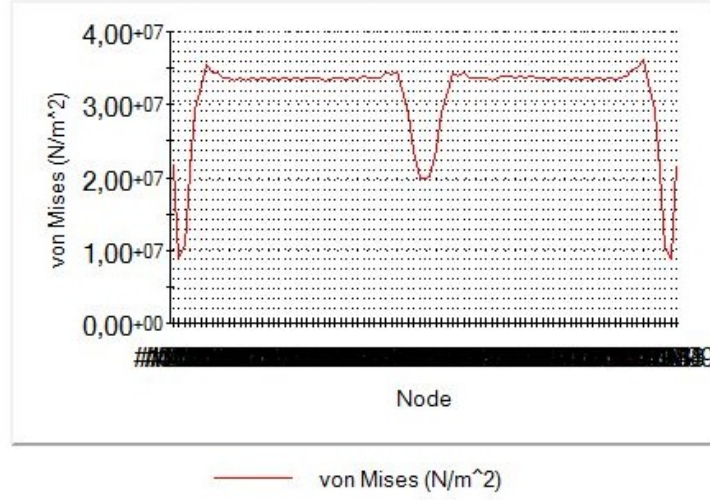
Şekil 5.13 – DN1000, 5 m, 3 adet keskin boğumlu boru ölçüm tablosu

Şekil 5.10'daki yuvarlak boğumlu analizlerin bir benzeri bu örnekte de yapıldı. Boru çepelerinde oluşan gerilimler kıyaslandığı zaman keskin boğumlu örnekte 34-37 MPa civarında gerilimler, yuvarlak boğumlu örnekte ise Şekil 5.14'da gözüktüğü gibi 26-30 MPa civarında gerilimler tespit edilmiştir. Buna ek olarak yuvarlak boğumlu örnekte boğum çevresindeki gerilim dağılımları keskin boğumlara göre çok daha homojen ve yumuşak bir şekilde dağılmıştır.



Şekil 5.14 – DN1000, 5 m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru gerilim değerleri

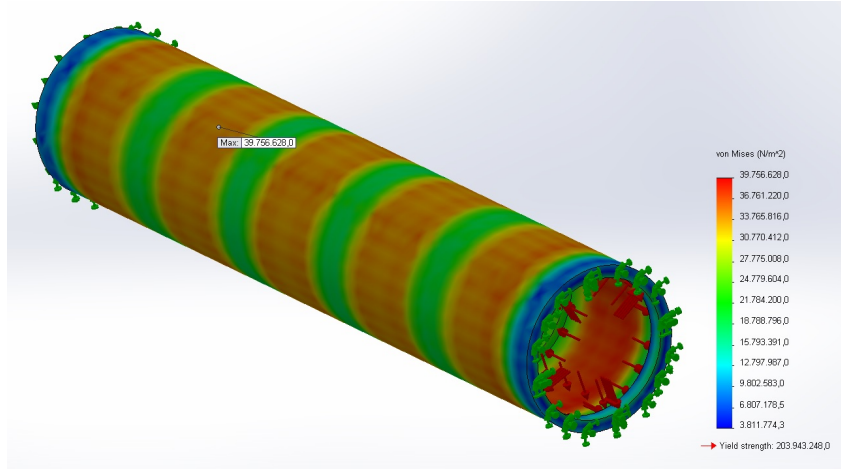
Şekil 5.7'deki belirtilen ölçüm noktalarının aynısı bu örnekte de kullanılmıştır. Benzer ölçüm noktalarından alınan sonuçlar Şekil 5.15'de gösterilmektedir.



Şekil 5.15 – DN1000, 5 m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru ölçüm tablosu

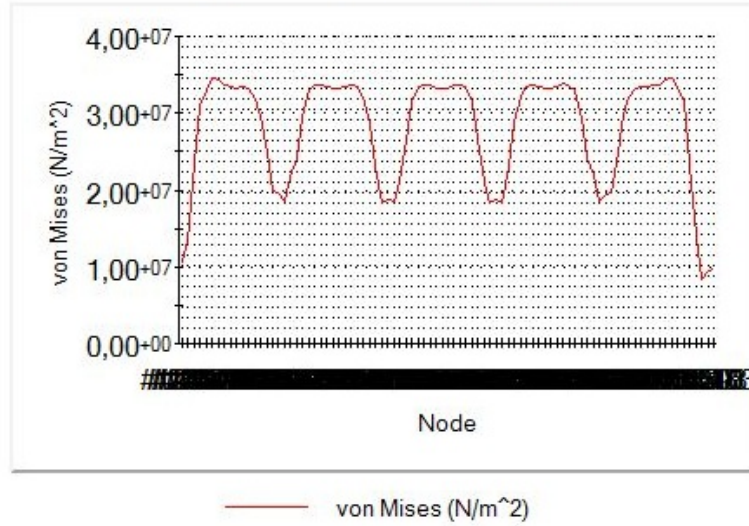
Aynı analizler son kez olarak, aynı yükleme koşulları altında bu sefer borunun içerisine eşit aralıklarla dağılmış 6 adet boğumla tekrarlandı. Bu analizlerdeki yükleme koşulları, gerek mesh işlemi gerekse yükleme şartları açısından Şekil 5.4'te gösterilenler gibi aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu analizde de kesit alanı kalınlaştırılmasının FEA sonuçlarına etkisi ve malzeme kalınlaştırılması sıklığının genel malzeme gerilimleri üzerindeki etkisinin görülmesi amaçlanmıştır.

Şekil 5.16'de üç adet keskin boğumlu boruya ait gerilim değerleri gösterilmektedir. Buradaki değerleri önceki örnekler ile karşılaştırdığımızda malzeme üzerindeki genel gerilim değerlerinin azaldığını ve ek olarak gelen keskin boğumların bunda etkisi çok açık bir şekilde görülmektedir. Boğum olan lokasyonlarda gerilimlerin azaldığı açık bir şekilde görülmektedir.



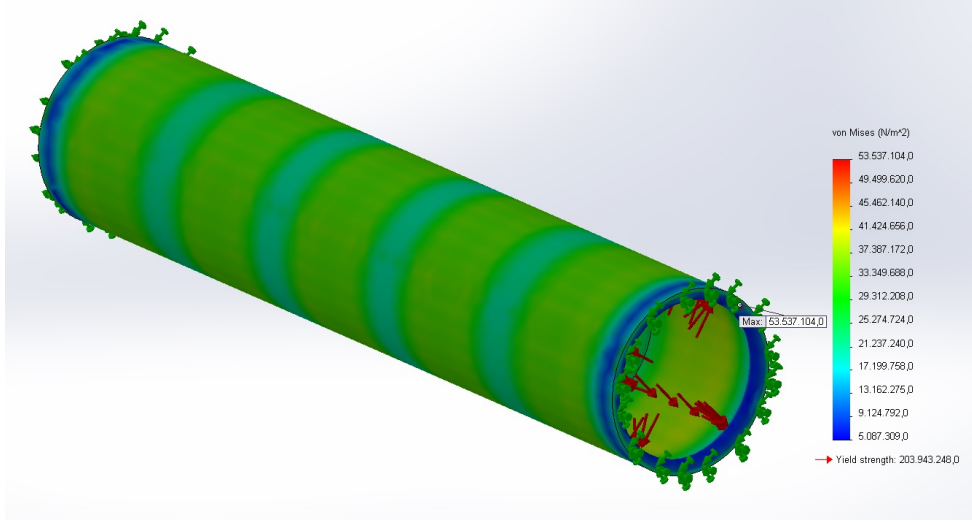
Şekil 5.16 – DN1000, 5 m, 6 adet keskin boğumlu boru gerilim değerleri

Şekil 5.7’deki belirtilen ölçüm noktalarının aynısı bu örnekte de kullanılmıştır. Benzer ölçüm noktalarından alınan sonuçlar Şekil 5.17’de gösterilmektedir.



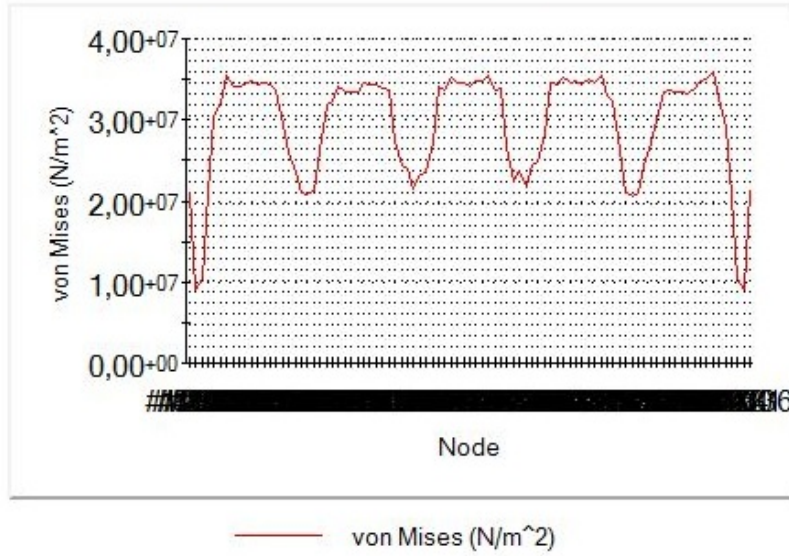
Şekil 5.17 – DN1000, 5 m, 6 keskin boğumlu boru ölçüm tablosu

Önceki örneklerde yapılan yuvarlak boğumlu analizlerin bir benzeri bu örnekte de yapıldı. Boru çeperlerinde oluşan gerilimler kıyaslandığı zaman keskin boğumlu örnekte 30-33 MPa civarında gerilimler, yuvarlak boğumlu örnekte ise Şekil 5.18’de gözüktüğü gibi 25-29 MPa civarında gerilimler tespit edilmiştir. Buna ek olarak yuvarlak boğumlu örnekte boğum çevresindeki gerilim dağılımları keskin boğumlara göre çok daha homojen ve yumuşak bir şekilde dağılmıştır.



Şekil 5.18 – DN1000, 5 m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru gerilim değerleri

Şekil 5.7’deki belirtilen ölçüm noktalarının aynısı bu örnekte de kullanılmıştır. Benzer ölçüm noktalarından alınan sonuçlar önceki tablolarda gösterilmektedir.

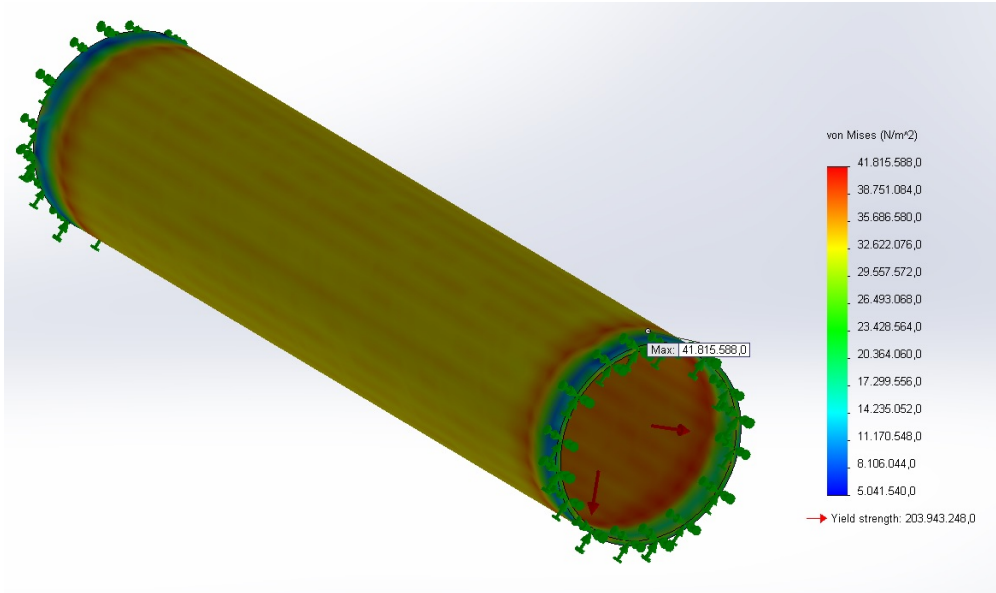


Şekil 5.19 – DN1000, 5 m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru ölçüm tablosu

Aynı analizleri boğumsuz bir boruda yaptığımızda alacağımız sonucu tahmin edersek eğer; kesit alanının malzeme üzerindeki gerilime ters orantısından dolayı boğumsuz borularda daha yüksek gerilimlerle karşılaşmamız gerekmektedir.

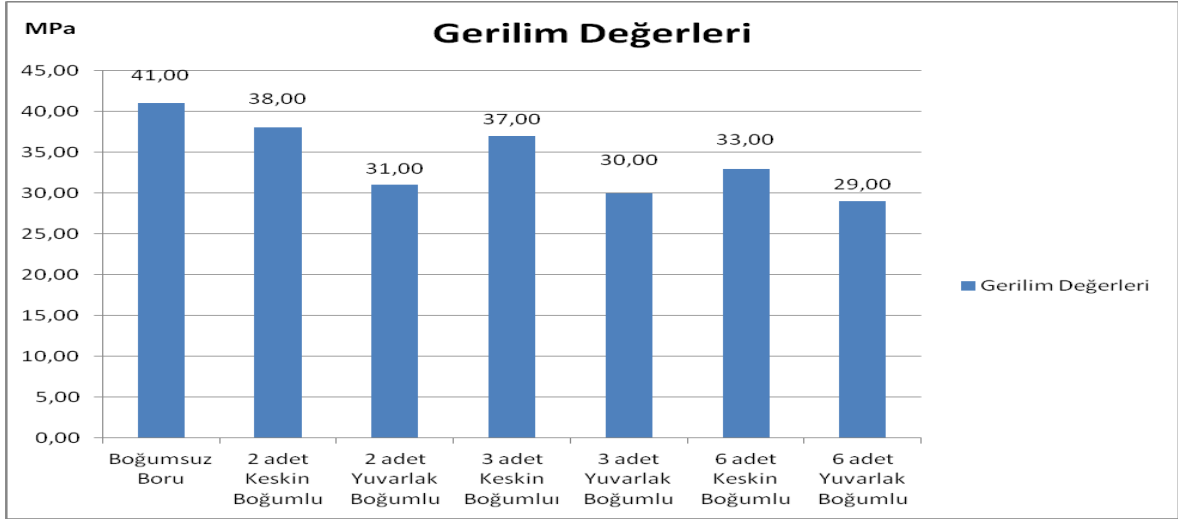
Şekil 5.20’de gösterildiği gibi yapılan FEA çalışmasında boğumsuz bir borudaki gerilim değerleri boğumlu borulara göre daha fazla gerçekleşmiştir.

Bütün boruların gerilim değerleri karşılaştırılması Şekil 5.21’de gösterilmektedir.



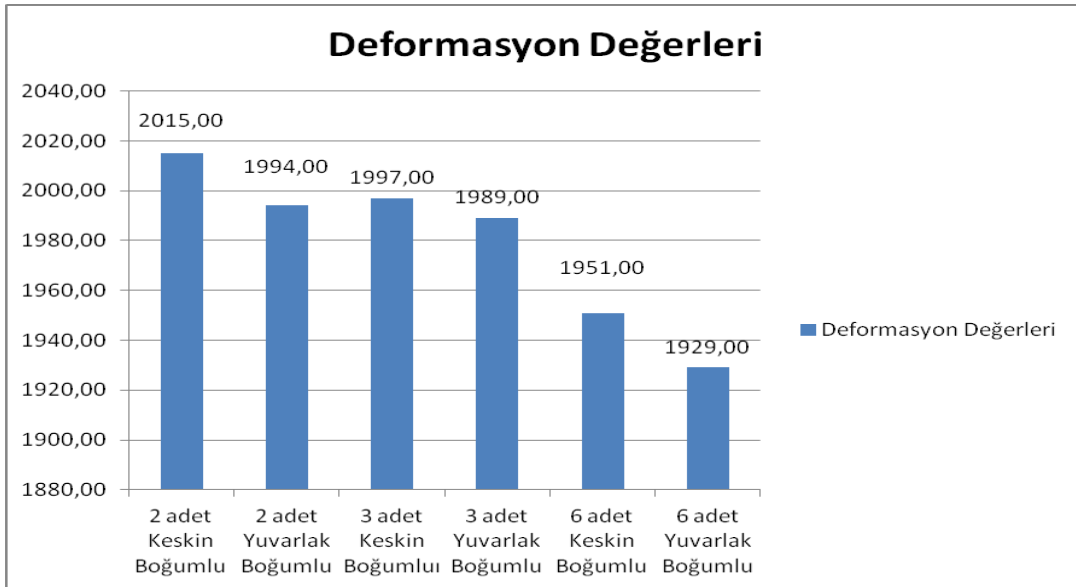
Şekil 5.20 – DN1000, 5 m, boğumsuz boru gerilim değerleri

Tüm bu gerilim değerlerini bir tabloda topladığımızda gerilim değerlerinin malzeme kalınlaştırılmasının artırılması ile beraber düştüğü net bir şekilde gözükmektedir. **Şekil 5.21**'de bütün boru tipleri için gerilim değerleri kıyaslanmıştır. Tablodaki değerler MPa birimindedir.



Şekil 5.21 – Gerilim değerleri karşılaştırması

Benzer şekilde **Şekil 5.22**'de deformasyon değerleri karşılaştırmasında da gerilim değerlerine paralel bir yapılanma gözükmektedir. Deformasyonun gerilimle doğru orantılı olduğunu düşününce elde edilen sonuçların doğruluğundan söz edebiliriz.



Şekil 5.22 – Deformasyon değerleri karşılaştırması

Kesit alanının malzeme gerilimi üzerindeki etkisini vurgulamak için, malzemenin et kalınlığını azaltıp aynı analizlerin tekrarlanması gerekir.

Bu zamana kadar olan analizlerde kullanılan boruların çap ve boğum uzunlukları;

Dış Çap / İç Çap: 1000/950 mm,

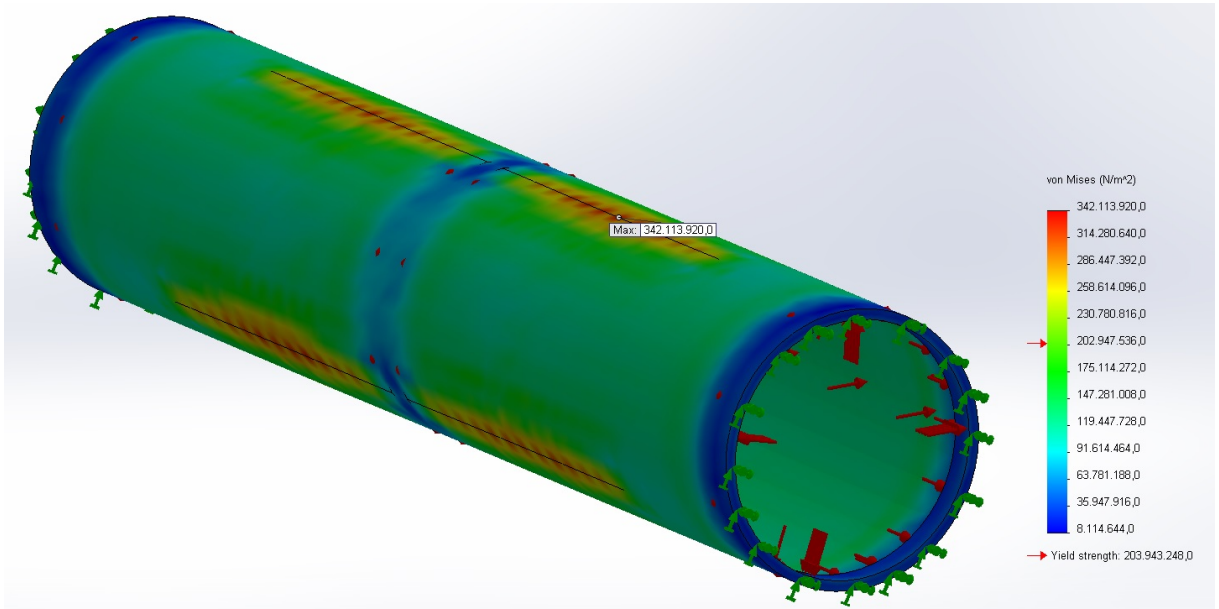
Boğum Dış Çap / İç Çap: 950/850 mm olarak tasarlanmıştır.

Aynı analizi uygularken bu sefer et kalınlıklarını %25 oranına getiriyoruz. Yeni ölçüler;

Dış Çap / İç Çap: 1000/987,5 mm,

Boğum Dış Çap / İç Çap: 987,5/962,5 mm olarak tasarlanmıştır.

Yapılan bu değişiklik sonucunda kesit alanının büyük ölçüde azaltılması gerilim değerlerini çok yüksek boyutlara çıkarmış ve malzemeyi güvensiz bir duruma getirmiştir. Şekil 5.23’de gösterildiği gibi malzeme sınır koşullarının dışına çıkmıştır.



Şekil 5.23 – DN1000, 5 m, et kalınlığı %25’e indirilmiş boru gerilim değerleri

5.2. XYZ Eksenlerinde Gerilim ve Deformasyon Karşılaştırması

Bölüm 5.1’de yapılan örnekler,

- DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru
- DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru
- DN1000, 5m, 3 adet keskin boğumlu boru
- DN1000, 5m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru
- DN1000, 5m, 6 adet keskin boğumlu boru
- DN1000, 5m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru

Tiplerini içermektedir.

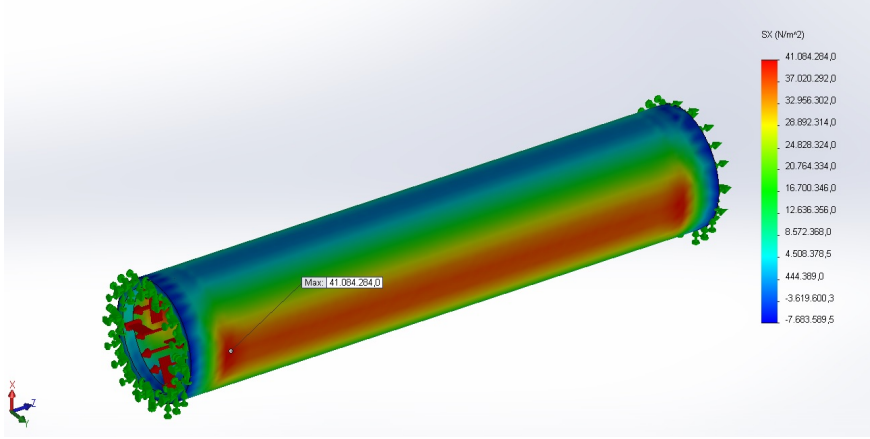
Analizlerdeki gerilim değerleri ise “Von Mises” gerilim değerleridir. Oluşan bu gerilimlerin aslında her bir eksen yönünde bileşenleri vardır ve bu bileşenlerin incelenmesi önemlidir.

Yukarıdaki örneklerde oluşan gerilimlerin kaynağı boru içerisinden geçtiğini varsaydığımız akışkanın yarattığı iç basınçtır.

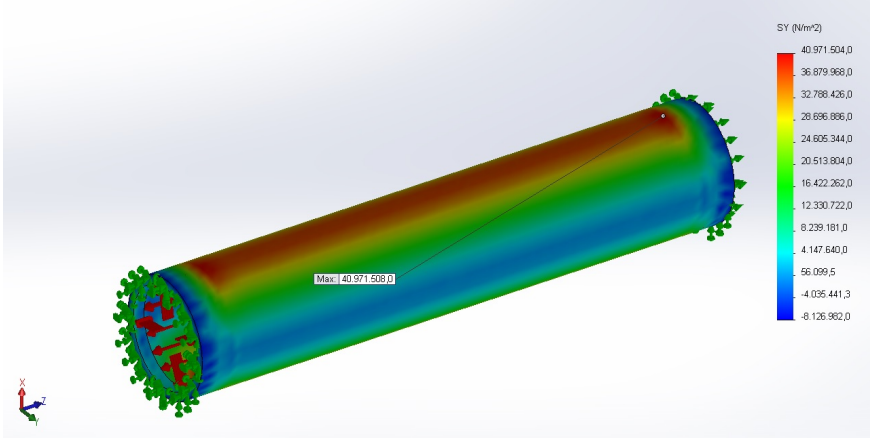
Oluşan bu gerilimlerin her bir eksen yönündeki bileşenleri, ürüne uygulanan kuvvetlerin yönüne göre değişebilir.

Mevcut örneklerdeki yüklemelerin hepsi borunun çevresel eksenini üzerinde oluşmaktadır ve borunun uzunluğu boyunca olan eksende direkt uygulanan bir kuvvet yoktur. Bu yüzden bu doğrultudaki gerilimlerin çok daha düşük çıkacağı beklenebilir.

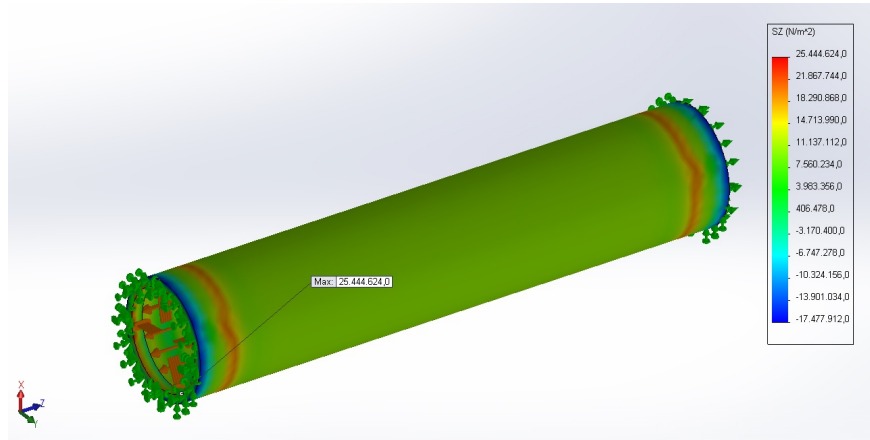
Şekil 5.24, 5.25 ve 5.26’de gözüktüğü gibi eksenler üzerindeki gerilimler X ve Y ekseninde en yüksek 40 MPa civarındayken, yüklemenin direk olmadığı Z ekseninde ise maksimum 25 MPa seviyelerine kadar düşmüştür.



Şekil 5.24 – DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru x eksenli gerilimi

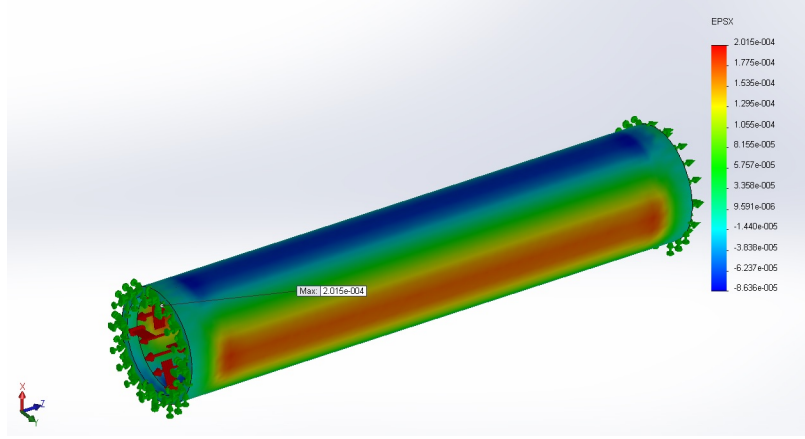


Şekil 5.25 – DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru y eksenli gerilimi

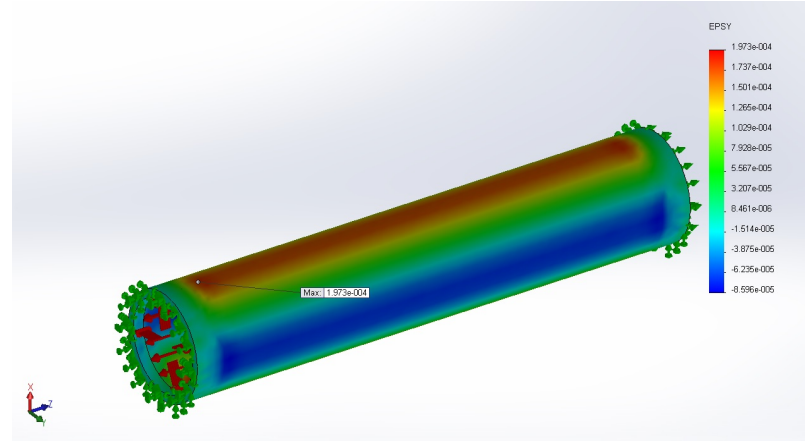


Şekil 5.26 – DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru z eksenli gerilimi

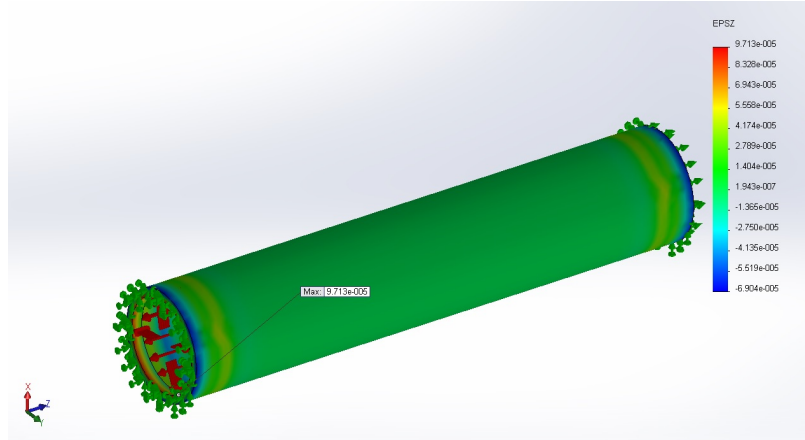
Eksenlerdeki gerilimlere bağı olarak, önceki şekillerle de doğrusal orantılı olarak Şekil 5.27, 5.28 ve 5.29’de deformasyonların X ve Y ekseninde Z eksenine göre daha fazla olduğu gözükmemektedir.



Şekil 5.27 – DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru x eksenli deformasyonu

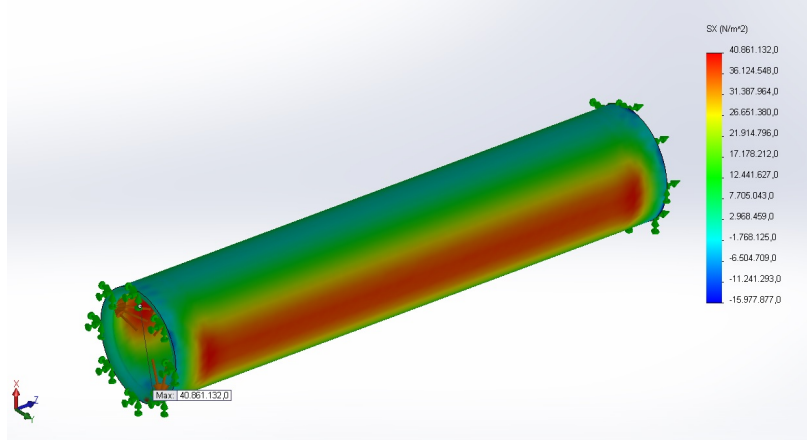


Şekil 5.28 – DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru y eksenli deformasyonu

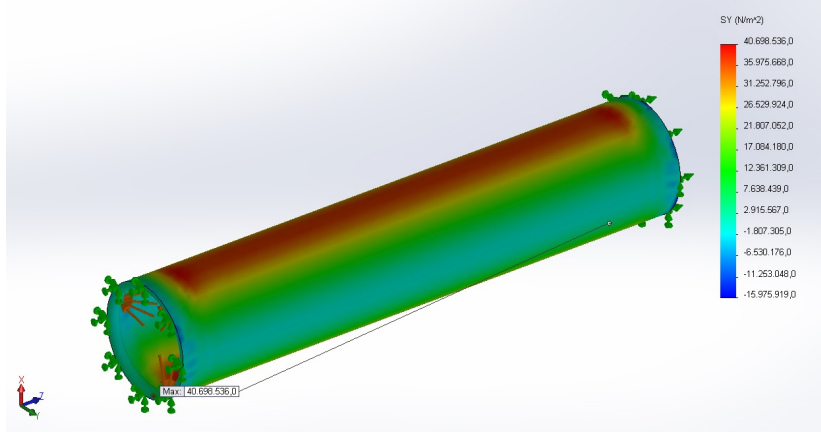


Şekil 5.29 – DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru z eksenli deformasyonu

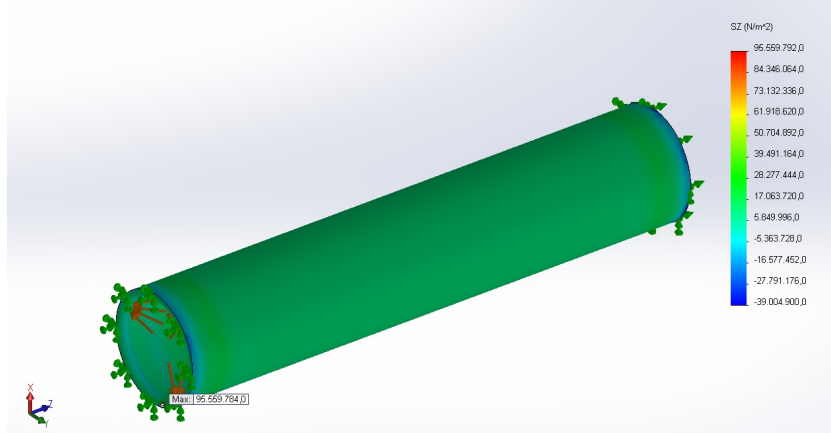
Şekil 5.30, 5.31, 5.32'ü Şekil 5.24, 5.25, 5.26'deki keskin boğumlu örneklerle kıyasladığımızda, gerilimlerin yuvarlak boğumlu örneklerde daha düşük ve daha homojen dağılım gösterdiğini ve çok daha iyi gerilim dayanımına sahip olabileceğini anlıyoruz.



Şekil 5.30 – DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru x eksenli gerilimi

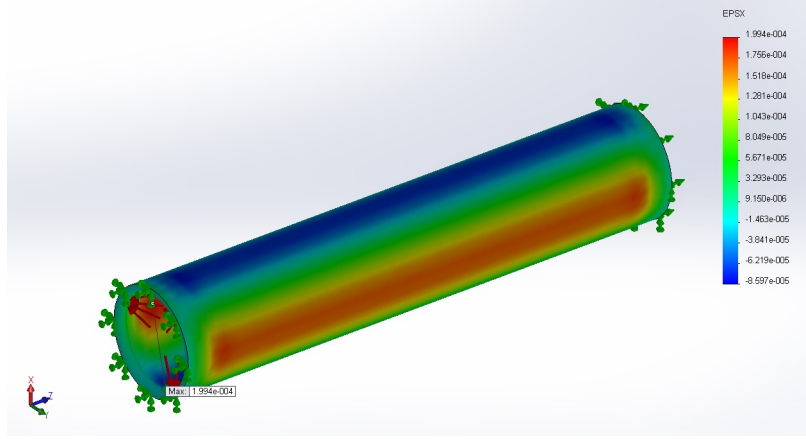


Şekil 5.31 – DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru y eksenli gerilimi

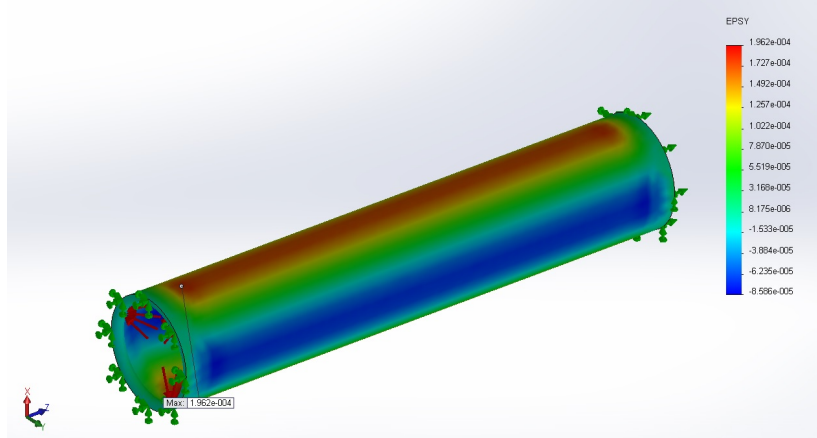


Şekil 5.32 – DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru z eksenli gerilimi

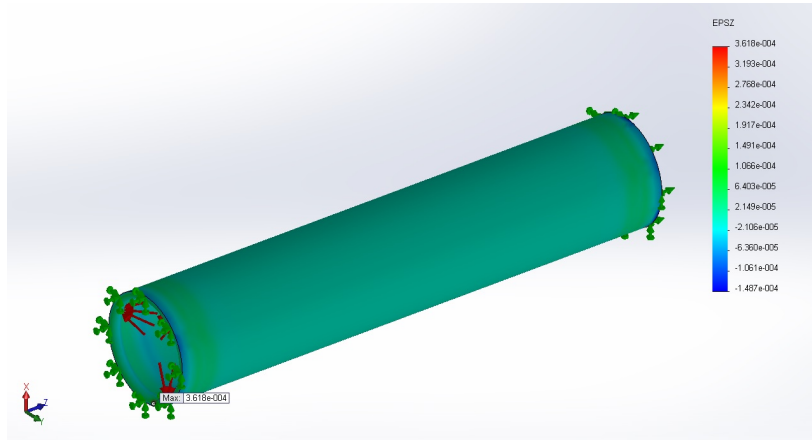
Önceki örneklerle bağlantılı olarak, yuvarlak boğumlu örneklerde gerilimlerin daha düşük düzeyde kalması sebebiyle Şekil 5.33, 5.34, 5.35'deki örneklerde deformasyonlar keskin boğumlu örneklere göre çok düşük kalmaktadır ve daha iyi bir dayanım özelliğine sahip olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 5.33 – DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru x eksenli deformasyonu

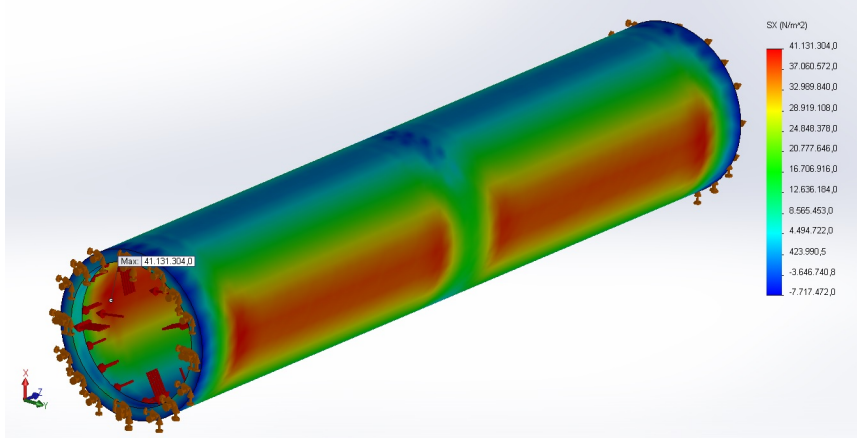


Şekil 5.34 – DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru y eksenli deformasyonu

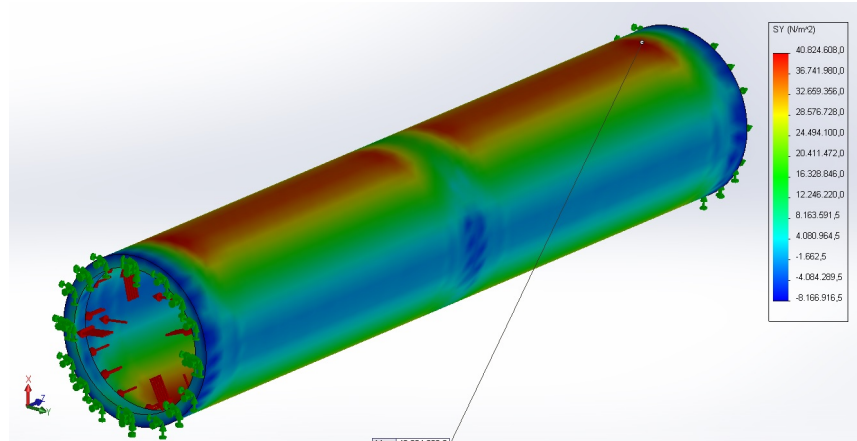


Şekil 5.35 – DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru z eksenli deformasyonu

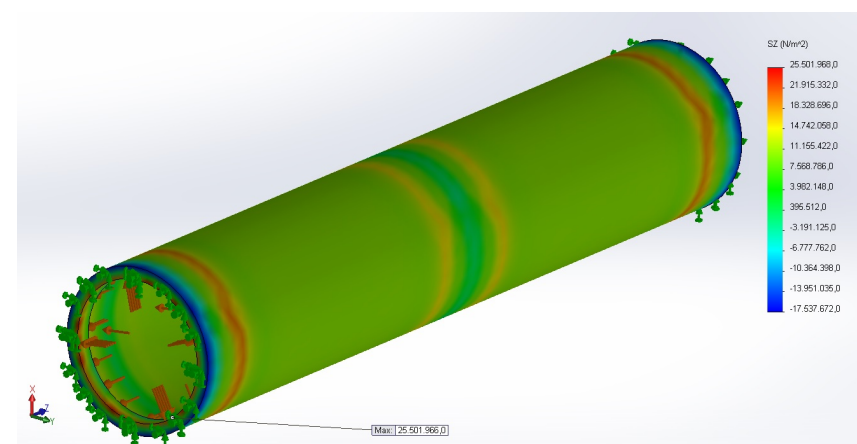
Şekil 5.36, 5.37 ve 5.38’da ise borunun ortasına eklenen boğumun yükleme koşulları altındaki etkisi açık bir şekilde gözükmektedir. Boğumun olduğu bölge ve çevresinde gerilim değerleri düşmüştür.



Şekil 5.36 – DN1000, 5m, 3 adet keskin boğumlu boru x eksenli gerilimi

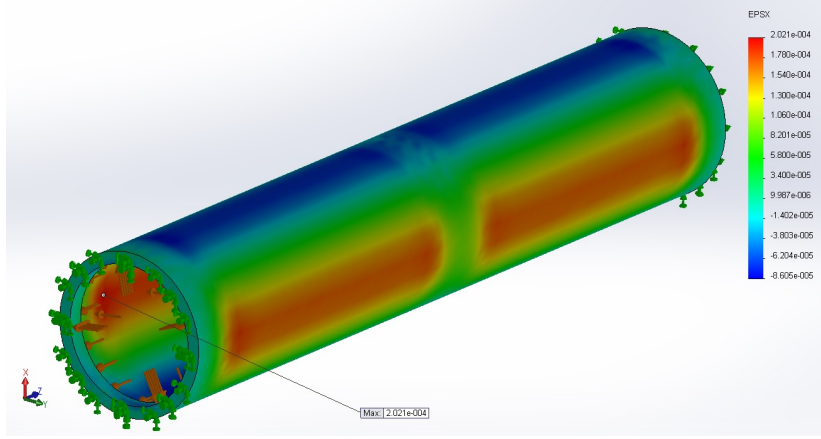


Şekil 5.37 – DN1000, 5m, 3 adet keskin boğumlu boru y eksenli gerilimi

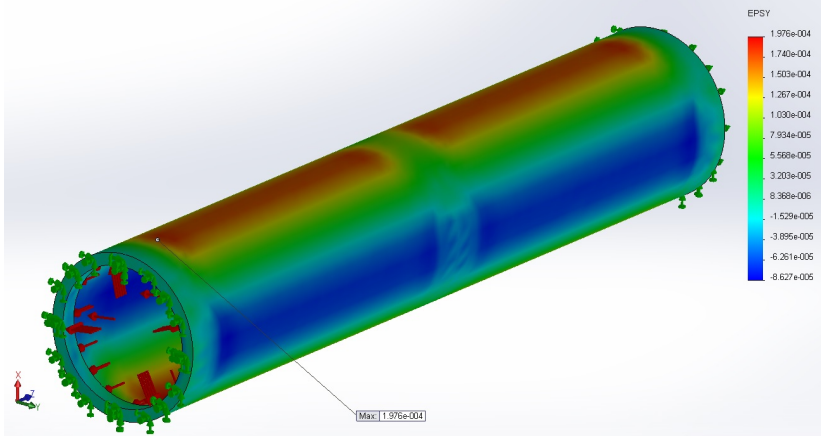


Şekil 5.38 – DN1000, 5m, 3 adet keskin boğumlu boru z eksenli gerilimi

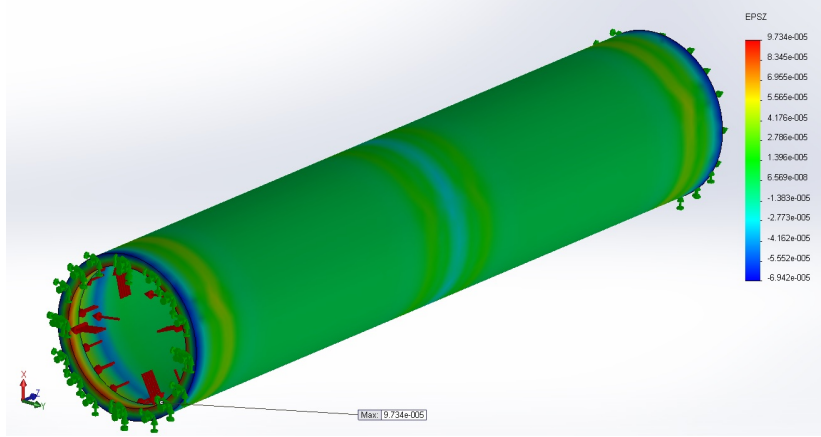
Eksenlerdeki gerilimlere bağılı olarak, önceki şekillerle de doğrusal orantılı olarak **Şekil 5.39, 5.40 ve 5.41**'de deformasyonların X ve Y ekseninde Z eksenine göre daha fazla olduğu gözükmektedir. Orta bölgeye eklenen boğumun etkisi de deformasyonda gözükmektedir.



Şekil 5.39 – DN1000, 5m, 3 adet keskin boğumlu boru x eksenli deformasyonu

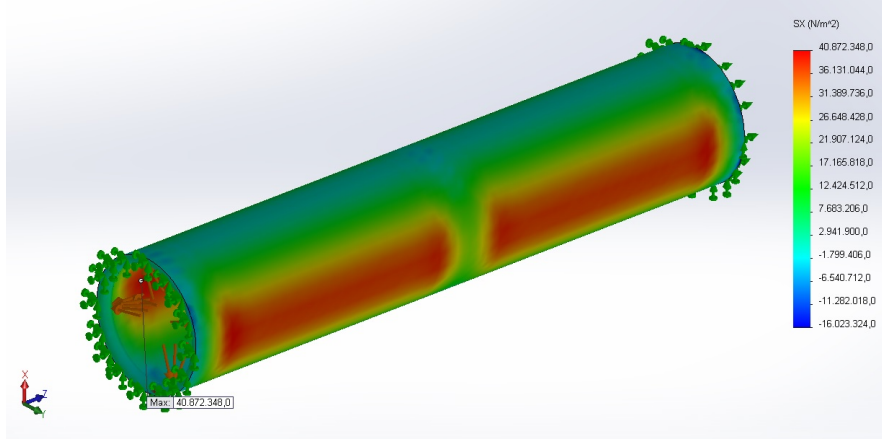


Şekil 5.40 – DN1000, 5m, 3 adet keskin boğumlu boru y eksenli deformasyonu

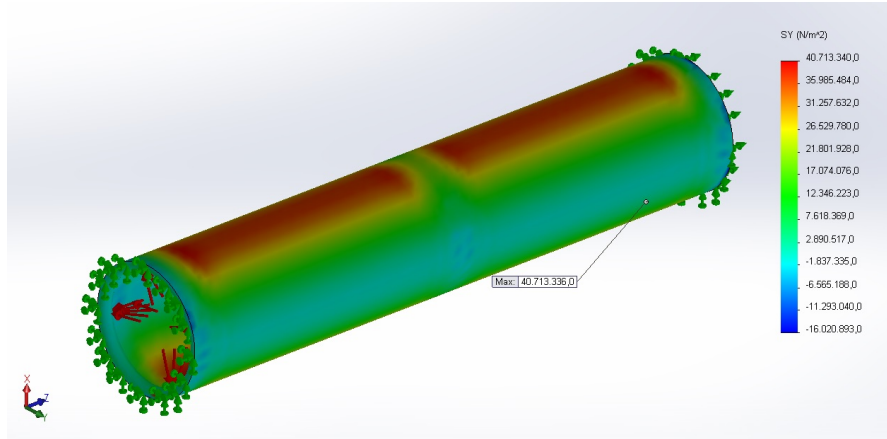


Şekil 5.41 – DN1000, 5m, 3 adet keskin boğumlu boru z eksenli deformasyonu

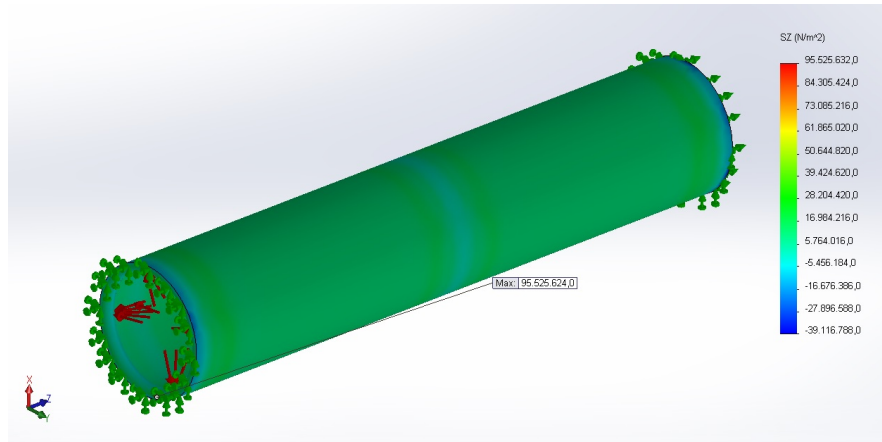
Şekil 5.42, 5.43, 5.44'yı Şekil 5.36, 5.37, 5.38'deki keskin boğumlu örneklerle kıyasladığımızda, gerilimlerin yuvarlak boğumlu örneklerde daha düşük ve daha homojen dağılım gösterdiğini ve çok daha iyi gerilim dayanımına sahip olabileceğini anlıyoruz.



Şekil 5.42 – DN1000, 5m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru x eksenli gerilimi

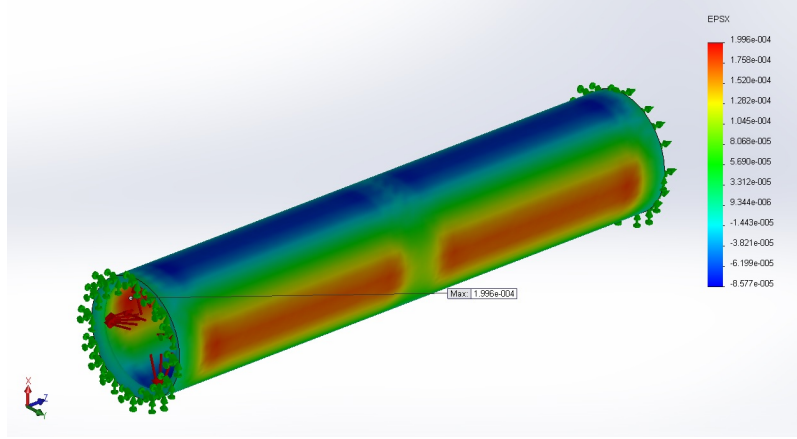


Şekil 5.43 – DN1000, 5m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru y eksenli gerilimi

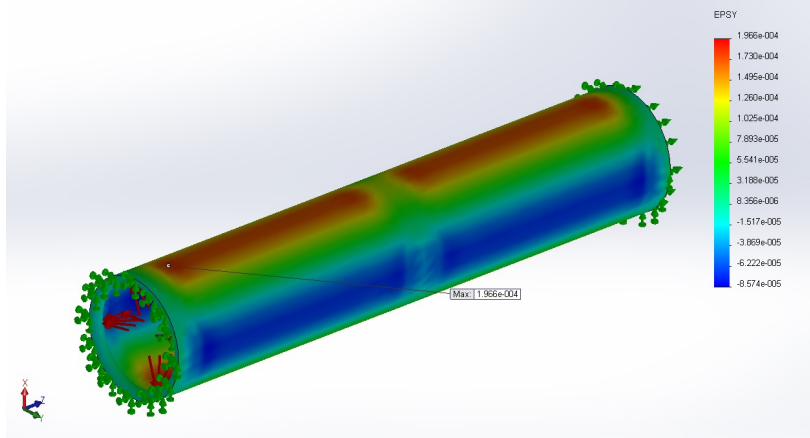


Şekil 5.44 – DN1000, 5m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru z eksenli gerilimi

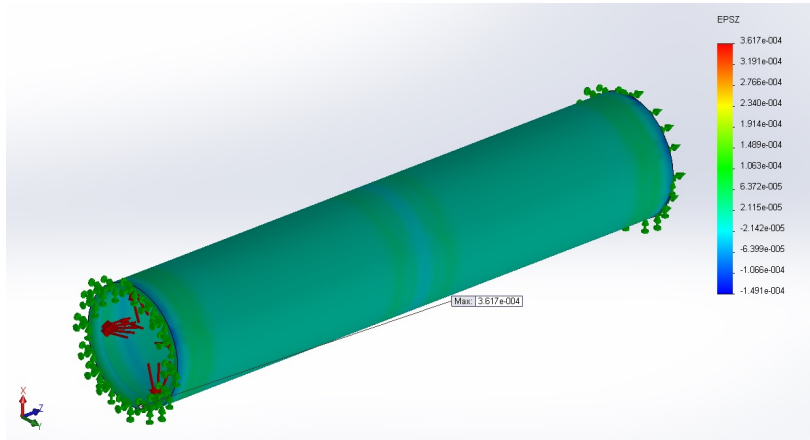
Önceki örneklerle bağlantılı olarak, yuvarlak boğumlu örneklerde gerilimlerin daha düşük düzeyde kalması sebebiyle Şekil 5.45, 5.46, 5.47’deki örneklerde deformasyonlar keskin boğumlu örneklere göre çok düşük kalmaktadır ve daha iyi bir dayanım özelliğine sahip olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 5.45 – DN1000, 5m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru x eksenli deformasyonu

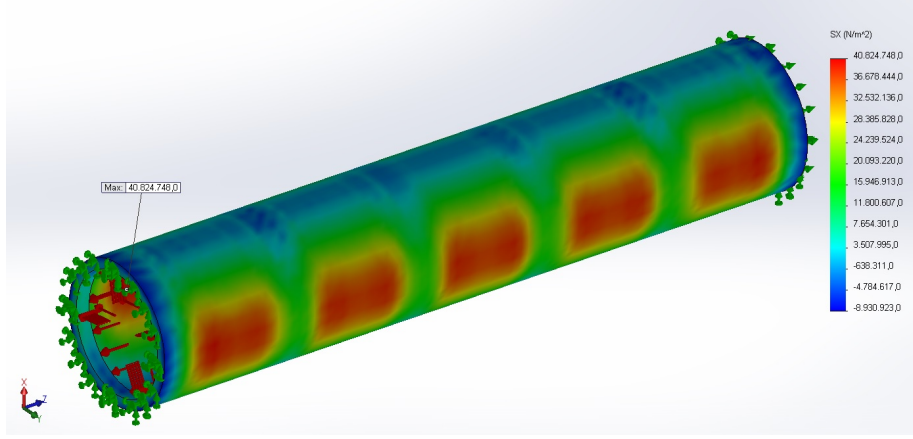


Şekil 5.46 – DN1000, 5m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru y eksenli deformasyonu

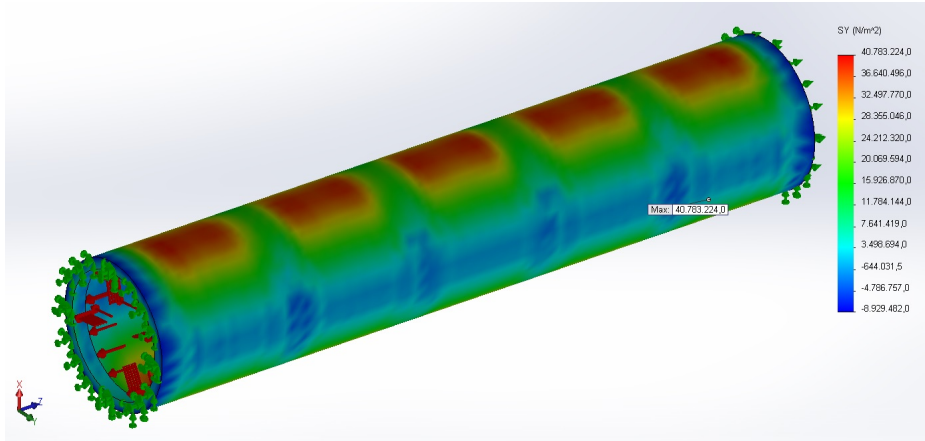


Şekil 5.47 – DN1000, 5m, 3 adet yuvarlak boğumlu boru z eksenli deformasyonu

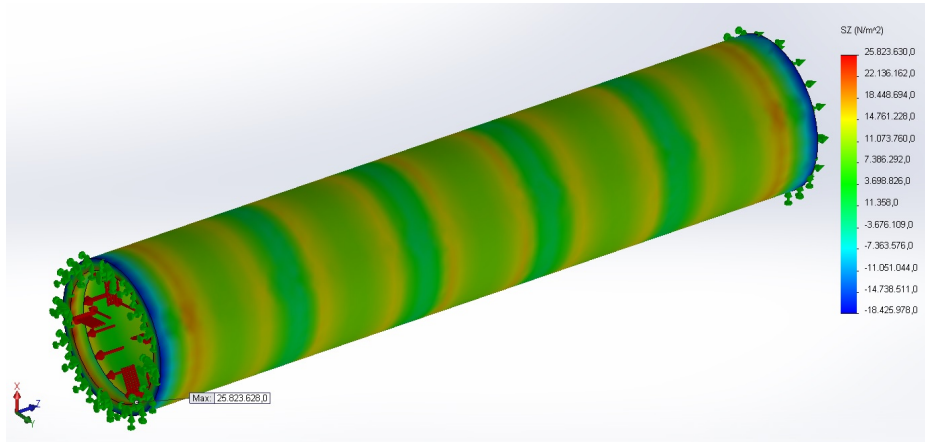
Şekil 5.48, 5.49 ve 5.50’de verilen örneklerde görüldüğü gibi boğum adedi altıya çıkarılmış ve gerilimler incelenmiştir. Boğum adetlerinin artırılması boruda gözle görülür bir mukavemet artışına sebep olmuştur.



Şekil 5.48 – DN1000, 5m, 6 adet keskin boğumlu boru x eksenli gerilimi

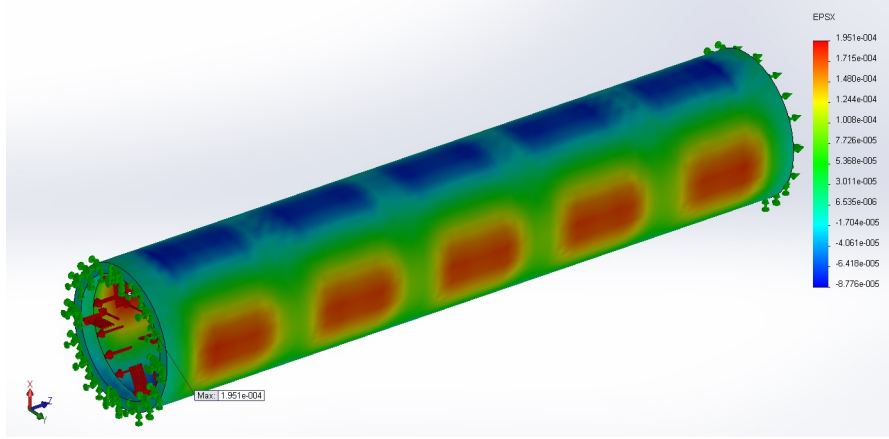


Şekil 5.49 – DN1000, 5m, 6 adet keskin boğumlu boru y eksenli gerilimi

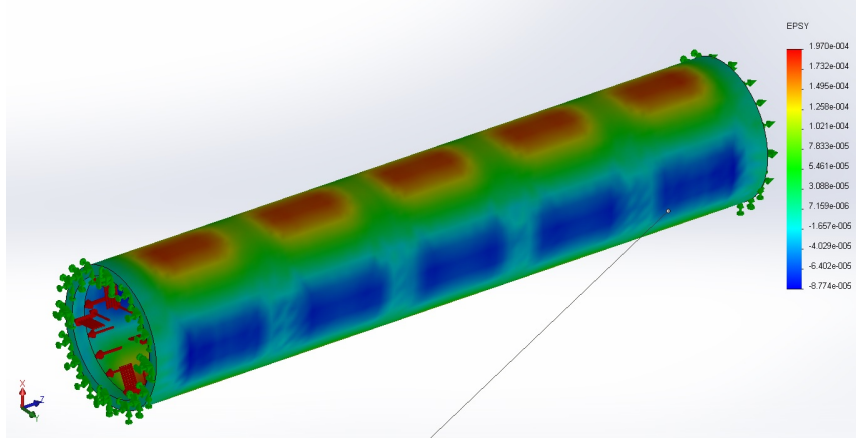


Şekil 5.50 – DN1000, 5m, 6 adet keskin boğumlu boru z eksenli gerilimi

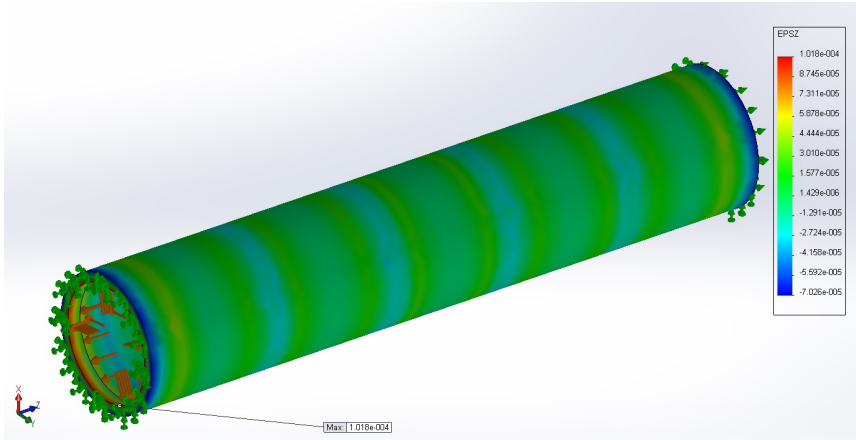
Eksenlerdeki gerilimlere bağılı olarak, önceki şekillerle de doğrusal orantılı olarak **Şekil 5.51, 5.52 ve 5.53**'de deformasyonların X ve Y ekseninde Z eksenine göre daha fazla olduğu ve boğum sayısının artırılmasının deformasyonların oranını azalttığı görülmektedir.



Şekil 5.51 – DN1000, 5m, 6 adet keskin boğumlu boru x eksenli deformasyonu

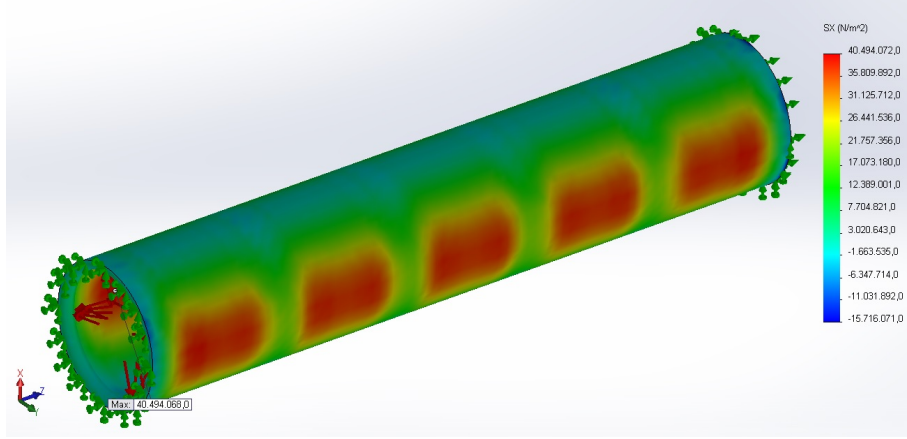


Şekil 5.52 – DN1000, 5m, 6 adet keskin boğumlu boru y eksenli deformasyonu

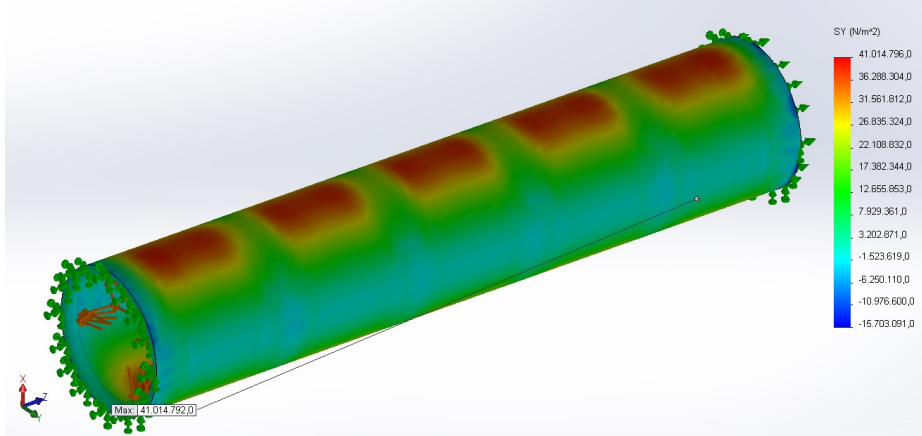


Şekil 5.53 – DN1000, 5m, 6 adet keskin boğumlu boru z eksenli deformasyonu

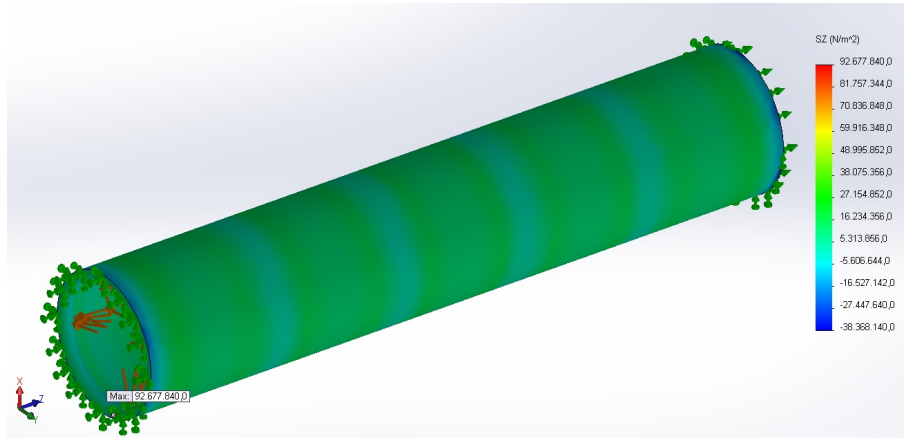
Şekil 5.54, 5.55, 5.56'yı Şekil 5.48, 5.49, 5.50'deki keskin boğumlu örneklerle kıyasladığımızda, gerilimlerin yuvarlak boğumlu örneklerde daha düşük ve daha homojen dağılım gösterdiğini ve çok daha iyi gerilim dayanımına sahip olabileceğini ve boğum sayısının önemi anlayabiliyoruz.



Şekil 5.54 – DN1000, 5m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru x eksenli gerilimi

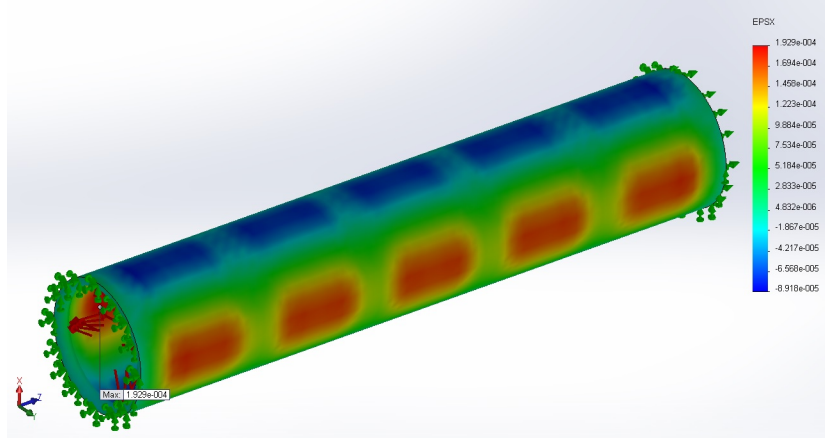


Şekil 5.55 – DN1000, 5m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru y eksenli gerilimi

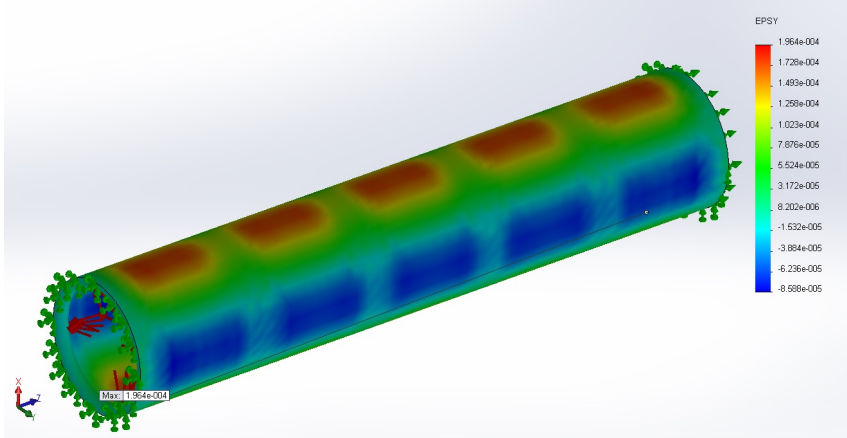


Şekil 5.56 – DN1000, 5m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru z eksenli gerilimi

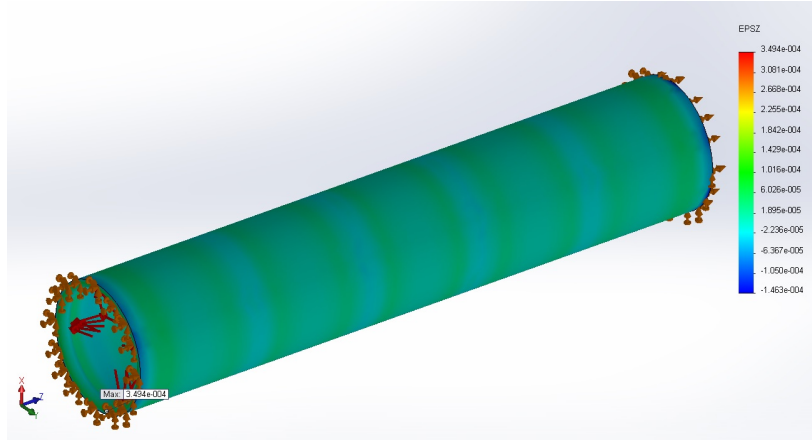
Önceki örneklerle bağlantılı olarak, yuvarlak boğumlu örneklerde gerilimlerin daha düşük düzeyde kalması sebebiyle Şekil 5.57, 5.58, 5.59'deki örneklerde deformasyonlar keskin boğumlu örneklere göre çok düşük kalmakta ve daha iyi bir dayanım özelliğine sahiptirler.



Şekil 5.57 – DN1000, 5m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru x eksenli deformasyonu



Şekil 5.58 – DN1000, 5m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru y eksenli deformasyonu

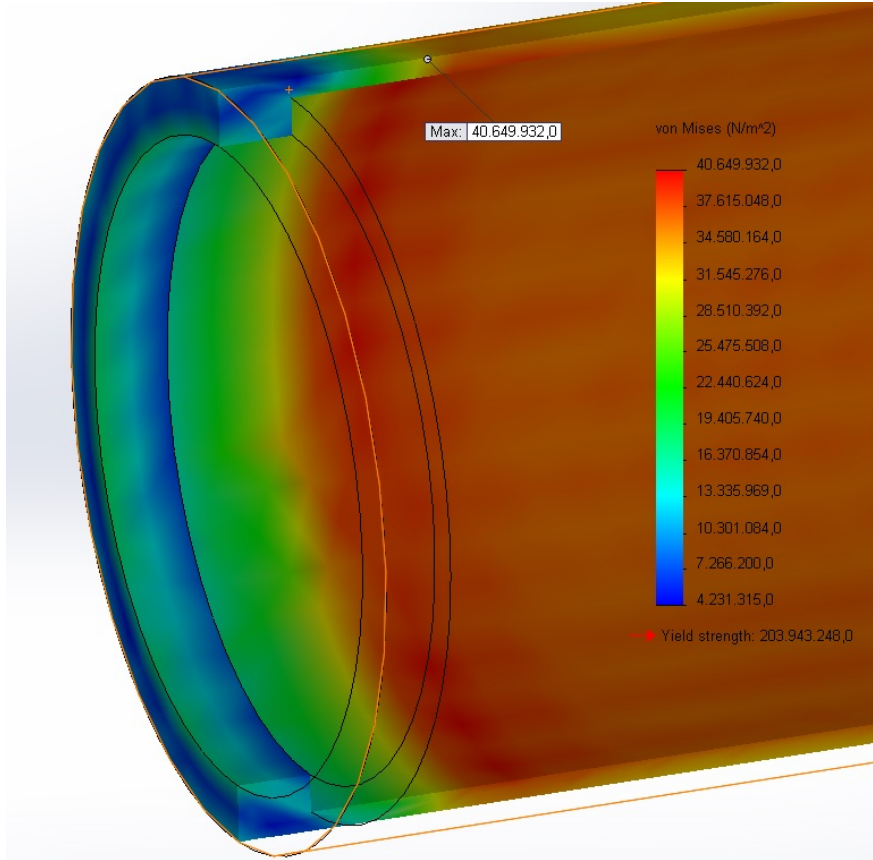


Şekil 5.59 – DN1000, 5m, 6 adet yuvarlak boğumlu boru z eksenli deformasyonu

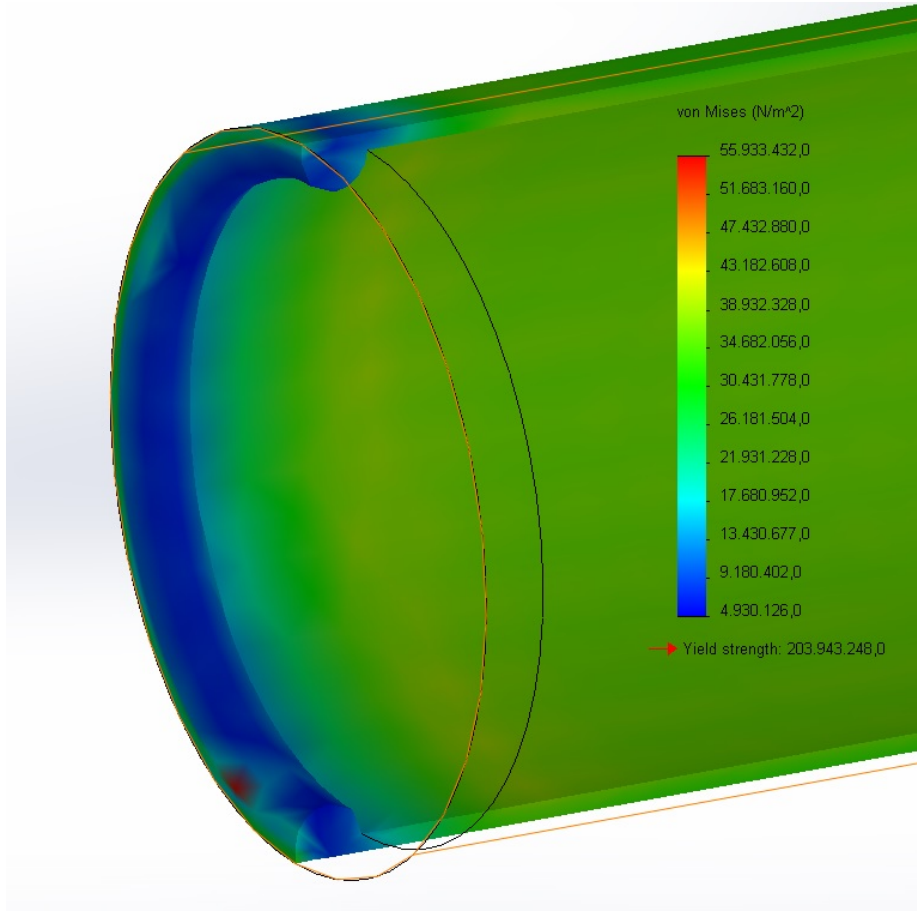
5.3. CTP Boruda Geometrik Şeklin Önemi

CTP boru veya herhangi başka bir malzemenin geometrik şekli, malzeme üzerine uygulanan yükleme sonucunda oluşan gerilimlerde direk etki sahibi olabilir. Aynı et kalınlığı ve yükleme koşullarında bile, malzemenin bir bölümündeki geometrik farklılık çok değişik tepkiler göstermesine sebep olabilir. Bunun sebebi yükleme sırasındaki bu geometrik farklılıkların oluşturduğu gerilim farklılıklarının dağılmasıdır.

Önceki örneklerde yapılan 2 adet keskin ve yuvarlak boğumlu örnekleri kıyasladığımızda bu farklılığı çok net olarak görebiliyoruz. **Şekil 5.60 ve 5.61**'de borulardan kesitler incelenmektedir ve gerilim dağılımları arasındaki fark çok açık bir şekilde gözükmektedir. Keskin boğumlu borudaki boğum bölgesi yuvarlak boğumlu boruya göre daha düzensizdir. Buna ek olarak boğumdan uzak noktalarda bile et kalınlığından alınan gerilim değerlerinin çok farklı olduğu gözükmektedir.



Şekil 5.60 – DN1000, 5m, 2 adet keskin boğumlu boru et kalınlığı gerilmeleri



Şekil 5.61 – DN1000, 5m, 2 adet yuvarlak boğumlu boru et kalınlığı gerilmeleri

6. SONUÇ

6.1. Tezin Genel Sonucu

Bu tez çalışması süresince, bir makine yapılırken ön tasarımdan makinenin devreye alınması ve çalışır duruma getirilmesine ait sürecin hepsinin incelenme şansı olmuştur.

Bu süreç içerisinde CAD destekli tasarımın bir makinenin fonksiyonelliği ve performansı açısından ne kadar önemli olduğu görülmüştür. CAD'ın bir parçası olan FEA analizinin mekanik üretime geçmeden önce hem fiyat hem performans açısından kazançlar sağladığı birebir proje süresince yaşanmıştır. Hatalı ölçülerde üretilen mekanik parçalar tekrar üretilmeden önce tasarımda düzeltilmiş, zaman ve maliyet kayıpları önlenmiştir.

Ayrıca FEA analizleri ile beraber makinedeki güçlendirilmesi gereken bölgeler desteklenmiş ve ileride oluşabilecek kritik sorunların önüne geçilmiştir.

Günümüzde CAD kavramı dışında tasarım neredeyse yapılmamaktadır. Yapılacak her türlü sistem ve makine bilgisayar destekli yapılmaktadır. Bilgisayarlarda yer alan sonlu elemanlar analizi programlarının içerisinde kompleks fonksiyonlar çalışmaktadır ve mühendisleri elle hesap yapmaya gerek bırakmadan hem zaman açısından kısa sürede hem de doğruluk açısından yüksek seviyede sonuçlar almasına yardımcı olmaktadır.

6.2. Ekler

- EK1: 3D Mekanik Tasarım ve 2D teknik resimler
- EK2: FEA analiz videoları
- EK3: Makine Parça Listesi
- EK4: Makine FEA analiz raporları

KAYNAKLAR/REFERENCES

Makale:

- [1] Superlit Boru Sanayi A.Ş. Sürekli Elyaf Sarma Prosesi (CFW).
<http://www.superlit.com/katalog/tr-ctp-urun-katalog.pdf>
- [2] Suresh Babu, M; Srikanth, G; Biswas, S. Composite Fabrication by Filament Winding – An Insight. http://www.tifac.org.in/index.php?option=com_content&id=536&Itemid=205
- [3] Jin, N; Hwang, H; Yeon, J (2012). Structural analysis and optimum design of GRP pipes based on properties of materials. Construction and building materials, s318.
- [4] Foucault, G; Cuilliere, J; François, V; Leon, J; Maranzana, R (2007). Adaptation of CAD model topology for finite element analysis. www.elsevier.com/locate/cad , s178-192
- [5] E. Bellenger; Y. Benhafid; N. Troussier; (2008). Framework for controlled cost and quality of assumptions in finite element analysis. Finite Elements in Analysis and Design, 34.
- [6] Valery V. Vasiliev; Evgeny V. Morozov; (2007). Advanced Mechanics of Composite Materials. s17.

Kişisel Görüşmeler

Schuster, R. (2011) Kişisel Görüşme. Machine Design and Manufacturing S.P.A

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : MERT BAYRAKTAR

Doğum Yeri ve Tarihi : DÜZCE – 15.09.1986

Yabancı Dili : İNGİLİZCE (İLERİ), ALMANCA (ORTA), RUSÇA (BAŞLANGIÇ)

E-Posta : mbayraktar@sabanciuniv.edu

Öğrenim Durumu

DERECE	BÖLÜM/PROGRAM	ÜNİVERSİTE/LİSE	MEZUNİYET YILI
LİSE	Matematik - Fen	Karadeniz Ereğli Anadolu Lisesi	2004
ÜNİVERSİTE/Lisans	Mekatronik Mühendisliği	Sabancı Üniversitesi	2009
ÜNİVERSİTE/Yüksek Lisans	Mekatronik	Marmara Üniversitesi	-

İş Deneyimi

YIL	FİRMA/KURUM	GÖREVİ
2009-2011	Süperlit Boru Sanayi A.Ş.	Mekatronik Mühendisi
2010-2011	Machine Design & Manufacturing S.P.A	Mekatronik Mühendisi
2011-	Bosch Sanayi ve Ticaret A.Ş.	Proje Yöneticisi

Projelerde Yaptığı Görevler:

1. Araç Silecek Kolu Montaj Hattı Otomatikleştirilmesi (Wiper Arm Assembly Line Modification) RBBE, Belçika (2014)
Proje Yöneticisi
2. HDEV5 Enjektörleri için Krom Kaplama Transfer İstasyonu RBTR, Türkiye (2013)
Proje Yöneticisi
3. Araç Silecek Montaj Hattı (Wiper Blade Assembly Line) PciP, Sırbistan (2013)
Proje Yöneticisi
4. HDEV5 Enjektör tipi SL11 otomatik hattı modifikasyonu RBTR, Türkiye (2013)
Proje Yöneticisi
5. Cam Elyaf Takviyeli Poliester Boru Hattı ve Test Cihazları Üretim Hattı Projesi (2011)
Mekatronik Tasarım ve Sonlu Elemanlar Mühendisi
PLC Programlama Mühendisi

Ödüller:

1. Üniversiteye giriş sınavında Sabancı Üniversitesi Bursu