

**İNCE CİDARLI BASINÇLI KAPLARIN YÜK
ALTINDAKİ MEKANİK DAVRANIŞLARININ
DENEYSEL VE SAYISAL ANALİZİ**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Ferdi YILDIRIM

**İNCE CİDARLI BASINÇLI KAPLARIN YÜK ALTINDAKİ MEKANİK
DAVRANIŞLARININ DENEYSEL VE SAYISAL ANALİZİ**

Ferdi YILDIRIM

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Nisan 2012**

Ferdi YILDIRIM tarafından hazırlanan “İNCE CİDARLI BASINÇLI KAPLARIN YÜK ALTINDAKİ MEKANİK DAVRANIŞLARININ DENEYSEL VE SAYISAL ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Sadettin ŞAHİN
Tez Danışmanı, Kırıkkale Üniversitesi

.....


Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 13/ 04/ 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Sadettin ŞAHİN (KKÜ)

Üye : Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU (KBÜ)

.....

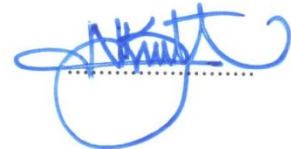
.....

.....


15 /05/2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....


“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ferdi YILDIRIM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İNCE CİDARLI BASINÇLI KAPLARIN YÜK ALTINDAKİ MEKANİK DAVRANIŞLARININ DENEYSEL VE SAYISAL ANALİZİ

Ferdi YILDIRIM

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Sadettin ŞAHİN

Nisan 2012, 77 sayfa

Cisimlerin mukavemetini artırmak için uygulanan tasarım, malzeme seçimi ya da kompozit yapı kullanımı gibi klasik mukavemet artırıcı uygulamaların dışında, malzeme içerisinde basınç oluşturularak mukavemet artışı elde edilmesi bu tez çalışmasında incelenmiştir. Temel mantık, tasarlanan parça içerisinde basınç hücreleri oluşturularak mukavemetin artırılmasının sağlanmasıdır. İç basıncın sebep olduğu cidar gerilmeleri sistemin tamamında bir mukavemet artışına sebep olacağından, bu tip sistemlerin mevcut makine ve yapılar üzerinde kullanılabilmesi fikri ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada içerisinde basınçlı hava konulmuş ince cidarlı silindirik alüminyum tüpler üzerinde değişik gerilme ve dayanım testleri yapılmıştır. Test tüplerinin analitik olarak hesaplamaları, deneysel çalışmaları ve Ansys Sonlu Elemanlar programı ile nümerik analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbirleri

ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların birbirini destekler doğrultuda olduğu görüldükten sonra, sistemin güncel hayatta kullanılabileceğini göstermek için gerçek modeller üzerinde Sonlu Elemanlar Tekniği ile nümerik analizleri yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Basınçlı kap, mukavemet, sonlu elemanlar tekniği

Bilim Kodu : 915.1.093

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

MECHANICAL BEHAVIOUR OF THIN WALLED PRESSURE VESSELS UNDER EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS OF LOAD

Ferdi YILDIRIM

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Metallurgy and Materials Engineering Department

Thesis Advisor:

Asist. Prof. Dr. Sadettin ŞAHİN

April 2012, 77 pages

In this thesis, improving the strength of the material by developing pressure inside the material was investigated which is one of method of increasing strength like design, material choice, and using composite structure. The basic principle is to increase strength by forming pressure cells inside the designed part. Boundary stresses caused by the internal pressure increase the strength of the total system which suggests that this kind of systems can be used in current machines and structures.

In this study, various stress and strength tests were conducted on thin-walled aluminum tubes pressurized with compressed air. Analytical calculations, experiments and numerical analysis with ANSYS Finite Element Program were done for the test tubes. Results were compared to each other. Since the results show a

good correlation, numerical analysis on real models were conducted by Finite Elements Technique in order to show that the system can be used in real life.

Key Words : Pressurized vessels, strength, finite element technique.

Science Code : 915.1.093

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın Yrd. Doç. Dr. Sadettin şAHİN'e ve değerli katkılarını esirgemeyen sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim AYIROğLU'na sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

ANSYS çalıőmalarımnda bilgilerinden istifade ettiğim sayın Doç. Dr. Mustafa YAőAR' a őükranlarımı sunarım.

Maddi manevi hiçbir yardımı esirgemedен beni bugünlere getiren aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	2
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
BÖLÜM 3	6
İNCE CİDARLI BASINÇLI KAPLARIN ANALİTİK VE NÜMERİK HESAPLAMALARI.....	6
3.1. ANALİTİK HESAPLAR.....	7
3.1.1. Eksenel Ve Çevresel Gerilmelerin Bulunması	7
3.2. NÜMERİK HESAPLAR	16
BÖLÜM 4	19
İNCE CİDARLI BASINÇLI KAPLARIN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ.....	19
4.1. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE ANSYS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI	19
4.2. GEOMETRİK MODELLEME	22
4.3. SONLU ELEMANLAR MODELİ.....	23
4.3.1. Analiz Tipinin Belirlenmesi	23

4.3.2. Eleman Tipinin Belirlenmesi	24
4.3.3. Malzeme Ve Eleman Sabitlerinin Tanımlanması (Real Constants).....	25
4.3.4. Malzemenin Mekanik Özelliklerinin Girilmesi.....	25
4.3.5. Elemanlara Ayırma (Mesh) İşleminin Yapılması	29
4.3.6. Parça Numaralarının Aktifleştirilmesi.....	33
4.3.7. Contact (Temas) Yüzeylerinin Belirlenmesi	35
4.3.8. Parametrelerin Belirlenmesi	37
4.3.9. Alüminyum Tüpün Alanlarına Bağlı Elemanlarının Seçilmesi Ve İsim Verilmesi.....	40
4.3.10. Hareketli Üst Basma Çenesine Zaman Ve Kuvvet Parametrelerinin Giydirilmesi	44
4.3.11. Alüminyum Tüpe Zaman Ve Basınç Parametrelerinin Giydirilmesi....	45
4.3.12. Analiz Süresinin Belirlenmesi	46
4.3.13. Analizin Başlatılması	47
4.4. SONLU ELEMENLAR ANALİZ VE SONUÇLARI	47
4.4.1. SEY İle Üç Nokta Eğme Testi Analiz Grafik Sonuçları	47
4.4.2. SEY İle Eğme Testi Analiz Sonuçlarının Görüntüsü.....	51
4.4.3. SEY İle Basma Testi Analiz Grafik Sonuçları	52
4.4.4. SEY İle Basma Testi Analiz Sonuçlarının Görüntüsü	56
BÖLÜM 5	58
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	58
5.1. HAZIRLIK VE TASARIM AŞAMALARI.....	58
5.2. PATLATMA DENEYİ.....	59
5.3. ÜÇ NOKTA EĞME DENEYİ.....	60
5.4. BASMA DENEYİ.....	62
BÖLÜM 6	64
SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	64
6.1. ÜÇ NOKTA EĞME DENEYİ SONUÇLARI	64
6.2. BASMA DENEYİ SONUÇLARI	68
BÖLÜM 7	74
SONUÇLAR.....	74

KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. İnce cidarlı silindirik bir kaptaki oluşmuş boyuna ve çevresel gerilmeler.....	8
Şekil 3.2. Saat ibresi yönünde 20° döndürülmüş düzlemde gerilme hali.....	13
Şekil 3.3. Silindir yanal yüzeyi üzerindeki elemana ait Mohr dairesi.....	15
Şekil 3.4. Alüminyum tüpün yanal alanının herhangi bir bölgesinden seçilen 15 adet düğüm noktasında meydana gelen gerilmeler.....	17
Şekil 3.5. Alüminyum tüpün yanal alanından seçilen bir bölgesindeki gerilmelerin ANSYS çıktısı.....	18
Şekil 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan basınçlı kabın ölçüleri.....	22
Şekil 4.2. Deney düzeneğinin SolidWorks ile modellenmesi.....	22
Şekil 4.3. Analiz tipinin seçilmesi.....	24
Şekil 4.4. Eleman tipinin seçilmesi.....	24
Şekil 4.5. Al tüp için tanımlanan eleman sabitlerinin değerleri.....	25
Şekil 4.6. Hareketli üst basma çenesi için malzeme özellikleri.....	26
Şekil 4.7. Sabit alt çene için malzeme özelliklerinin tanımlanması.....	27
Şekil 4.8. Alüminyum tüpün malzeme özellikleri.....	28
Şekil 4.9. Alüminyum deney tüpünün mekanik testi.....	28
Şekil 4.10. Eleman boyutunun kenar uzunluğu.....	29
Şekil 4.11. Hareketli üst basma çenesi için elemanlara ayırma (mesh) işlemi.....	30
Şekil 4.12. Hareketli üst basma çenesi için elemanlara ayırma özelliklerinin girilmesi.....	30
Şekil 4.13. Alüminyum tüp için elemanlara ayırma işlemi.....	31
Şekil 4.14. Alüminyum tüp için elemanlara ayırma özelliklerinin girilmesi.....	31
Şekil 4.15. Sabit alt çene için elemanlara ayırma işlemi.....	32
Şekil 4.16. Sabit alt çene için elemanlara ayırma özelliklerinin girilmesi.....	32
Şekil 4.17. Elemanlara ayırma işleminin başlatılması.....	33
Şekil 4.18. Elemanlara ayırma işleminin tamamlanması.....	33
Şekil 4.19. Parça numaralarını aktifleştirme.....	34
Şekil 4.20. Parça numaralarının aktif olarak listelenmesi.....	34
Şekil 4.21. Aktif parçaların, numaraları ile birlikte renklendirilmiş görüntüsü.....	35

Şekil 4.22. Contact (temas) yüzeylerinin belirlenmesi.	36
Şekil 4.23. Temas eden parça yüzeylerinin tanımlanması.	36
Şekil 4.24. Bütün yüzeylerdeki temasların tanımlanması.	37
Şekil 4.25. Hareketli üst basma çenesi için kuvvet parametresi.	37
Şekil 4.26. Hareketli üst basma çenesi için kuvvet değerlerinin girilmesi.	38
Şekil 4.27. Hareketli üst basma çenesi için zaman parametresi.	38
Şekil 4.28. Hareketli üst basma çenesi için zaman değerlerinin girilmesi.	39
Şekil 4.29. Alüminyum tüpün yanıl alanları için basınç parametresi.	39
Şekil 4.30. Alüminyum tüpün yanıl alanları için basınç değerlerinin girilmesi.	40
Şekil 4.31. Alüminyum tüpün alanlarının seçilmesi.	41
Şekil 4.32. Alüminyum tüpün alanlarının görüntüsü.	41
Şekil 4.33. Alüminyum tüpün alt-üst kapaklarının alanları ve yanıl alanlarının seçilmesi.	42
Şekil 4.34. Alüminyum tüpün alt-üst kapaklarının alanları ve yanıl alanlarının seçilmiş görüntüsü.	42
Şekil 4.35. Alüminyum tüpün alt-üst kapaklarının alanlarına ve yanıl alanlarına bağlı elemanların seçilmesi.	43
Şekil 4.36. Alüminyum tüpün alt-üst kapaklarının alanlarına ve yanıl alanlarına bağlı elemanların seçilmiş görüntüsü.	43
Şekil 4.37. Alüminyum tüpün alt-üst kapaklarının alanlarına ve yanıl alanlarına bağlı elemanlara isim verme.	44
Şekil 4.38. Hareketli üst basma çenesine zaman ve kuvvet parametrelerinin giydirilmesi.	45
Şekil 4.39. Alüminyum tüpe tanımlanan zaman ve basınç parametrelerinin giydirilmesi.	46
Şekil 4.40. Analiz çözüm zamanının belirlenmesi.	46
Şekil 4.41. Analizin başlatılması.	47
Şekil 4.42. Alüminyum tüpün 0 Psi' daki eğme testinin ansys ve deney sonuçları.	48
Şekil 4.43. Alüminyum tüpün 5 Psi' daki eğme testinin ansys ve deney sonuçları.	48
Şekil 4.44. Alüminyum tüpün 10 Psi' daki eğme testinin ansys ve deney sonuçları.	49
Şekil 4.45. Alüminyum tüpün 15 Psi' daki eğme testinin ansys ve deney sonuçları.	49
Şekil 4.46. Alüminyum tüpün 20 Psi' daki eğme testinin ansys ve deney sonuçları.	50

Şekil 4.47. Alüminyum tüpün 25 Psi' daki eğme testinin ansys ve deney sonuçları.....	50
Şekil 4.48. Alüminyum tüpün 30 Psi' daki eğme testinin ansys ve deney sonuçları.....	51
Şekil 4.49. SEY ile üç nokta eğme testi analiz sonuçlarının görüntüsü.	52
Şekil 4.50. Alüminyum tüpün 0 Psi' daki basma testinin ansys ve deney sonuçları.....	53
Şekil 4.51. Alüminyum tüpün 5 Psi' daki basma testinin ansys ve deney sonuçları.....	53
Şekil 4.52. Alüminyum tüpün 10 Psi' daki basma testinin ansys ve deney sonuçları.....	54
Şekil 4.53. Alüminyum tüpün 15 Psi' daki basma testinin ansys ve deney sonuçları.....	54
Şekil 4.54. Alüminyum tüpün 20 Psi' daki basma testinin ansys ve deney sonuçları.....	55
Şekil 4.55. Alüminyum tüpün 25 Psi' daki basma testinin ansys ve deney sonuçları.....	55
Şekil 4.56. Alüminyum tüpün 30 Psi' daki basma testinin ansys ve deney sonuçları.....	56
Şekil 4.57. SEY ile basma testi analiz sonuçlarının görüntüsü.	57
Şekil 5.1. Üç nokta eğme ve basma testinde kullanılan araç ve gereçler.....	58
Şekil 5.2. Üç nokta eğme ve basma testinde kullanılan araç ve gereçler.....	59
Şekil 5.3. Alüminyum tüp de patladıktan sonra oluşan hasarlar.	60
Şekil 5.4. Üç nokta eğme deneyi deney düzeneği.	61
Şekil 5.5. Autograph marka test cihazında eğme deneyinin uygulama şekli.	61
Şekil 5.6. Basma deneyi deney düzeneği.	62
Şekil 5.7. Autograph marka test cihazında basma deneyinin uygulama şekli.	63
Şekil 6.1. Hava konulmamış boş alüminyum tüpün üç nokta eğme testi sonuçları.	64
Şekil 6.2. 5 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün üç nokta eğme testi sonuçları.	65
Şekil 6.3. 10 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün üç nokta eğme testi sonuçları.	65
Şekil 6.4. 15 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün üç nokta eğme testi sonuçları.	66
Şekil 6.5. 20 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün üç nokta eğme testi sonuçları.	66

Şekil 6.6. 25 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün üç nokta eğme testi sonuçları.	67
Şekil 6.7. 30 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün üç nokta eğme testi sonuçları.	67
Şekil 6.8. Üç nokta eğme testi sonuçlarının birlikte gösterilmesi.	68
Şekil 6.9. Üç nokta eğme testi iç basınç - kuvvet grafiği.	68
Şekil 6.10. Hava konulmamış boş alüminyum tüpün basma testi sonuçları.	69
Şekil 6.11. 5 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma testi sonuçları.	69
Şekil 6.12. 10 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma testi sonuçları.	70
Şekil 6.13. 15 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma testi sonuçları.	70
Şekil 6.14. 20 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma testi sonuçları.	71
Şekil 6.15. 25 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma testi sonuçları.	71
Şekil 6.16. 30 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma testi sonuçları.	72
Şekil 6.17. Basma testi sonuçlarının birlikte gösterilmesi.	72
Şekil 6.18. Basma testi iç basınç - kuvvet grafiği.	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Alüminyum tüpde 0.723 MPa (105 Psi) iç basınç altında meydana gelen gerilme değerleri.	18
Çizelge 4.1. Malzemelere ait değerler.	26

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

r	: yarı çap
t	: et kalınlığı
Al	: alüminyum
D	: dış çap
K	: müsaade edilen gerilme
L	: uzunluk
P	: iç basınç
$\sigma_x = \sigma_L$: boyuna gerilme
$\sigma_y = \sigma_H$: çember gerilmesi
$\sigma_z =$: z yönünde oluşan normal gerilme
σ'_x, σ'_y	: açının olduğu düzlemdeki normal gerilmeler
$\sigma_{xy} = \sigma_{LH}$: yatayla açı yapan düzlemdeki gerilme bileşeni
σ_a, σ_b	: asal gerilme
σ_n	: maksimum ve minimum kayma gerilmesi düzlemindeki norma gerilme
ε_D	: çap doğrultusunda şekil değiştirme
ε_H	: çevresel şekil değiştirme
ε_H	: boyuna şekil değiştirme
θ_a, θ_b	: asal doğrultular
$\theta_{max}, \theta_{min}$: maksimum ve minimum kayma gerilmesi düzlemleri
τ	: kayma gerilmesi
τ_{max}, τ_{min}	: maksimum ve minimum kayma gerilmeleri
τ'_{xy}	: açı yapan düzlemdeki kayma gerilmesi
Δl	: kabın boyundaki değişim
Δd	: kabın çapındaki değişim
SX, SY	: X ve Y yönündeki gerilme
F	: kuvvet

A : kesit alanı
 σ_{y_1} : akma gerilmesi

KISALTMALAR

AISI : American Iron and Steel Institute
PVC : Polivinyklorid
EN : Europeane Norm
TSE : Türk Standartları Enstitüsü
SEY : Sonlu Elemanlar Yöntemi
FEM : Finite Element Method
CAD : Computer Aided Design
IGES : Intrusion Prevention System
EY : Eksplisit Yöntem
IY : Implicit Yöntem

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde tüm statik ve dinamik yapılar mukavemet ve ağırlık oranı en optimum olacak şekilde tasarlanır. Yapılardaki ağırlık artışı mukavemet kazancı getirmesine karşılık hem imalat maliyetini hem de işletme maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Bu maliyetlerin azaltılması bir mühendislik problemidir. Bu amaçla yapılar üzerinde gerçekleştirilen mukavemet artırıcı uygulamalar üç başlık altında incelenebilir. a) Tasarım işlemi ile mukavemetin artırılması b) Malzeme seçimi ile mukavemetin artırılması c) Kompozit yapı kullanılarak mukavemetin artırılması şeklinde sayılabilir.

Bu çalışmada klasik olarak kullanılan bu mukavemet artırıcı yöntemlerden farklı olarak malzeme içerisinde basınç hücresi kullanılarak mukavemet artışı sağlanmıştır. Temel mantık olarak tasarlanan parça içerisinde basınç hücreleri oluşturulmakta ve bu hücreler içerisine istenilen oranda basınçlı hava ya da akışkan konulmaktadır. İç basıncın sebep olduğu cidar gerilmeleri sistemin tamamında bir mukavemet artışına sebep olacağından, bu tip sistemlerin mevcut makine ve yapılar üzerinde kullanılabileceğinin araştırması yapılmıştır.

Bu çalışmada içerisine basınçlı hava konulmuş silindirik alüminyum tüpler üzerinde değişik gerilme ve dayanım deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veriler Ansys Sonlu Elemanlar Programı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu veriler ışığında gerçek parça ve yapıların bu yöntemle nasıl tasarlanabileceği ve geliştirilen yöntemin kullanıma ve ekonomiye nasıl katkı sağlayacağı ortaya konulmuştur.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Zhang ve Yu, ince cidarlı yapılarda iç basınç etkisinin enerji emilimine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında kullanmış oldukları tüplere aksel olarak bası kuvveti uygulamışlardır. Deneylerde üç grup dairesel tüp kullanılmıştır. Bu tüplerin yarıçap et kalınlığı oranı (r / t) 120-200 oranı arasında değişmektedir. Tüplere farklı farklı basınç durumlarında aksel yükler uygulanmıştır. Sonuç olarak iç basınçtaki artış ile deformasyon modunda elmas modundan keskin köşelere oradan yuvarlak köşelere ve sonunda halka moduna doğru geçişler olduğu bilgisine ulaşmışlardır. Deformasyon modlarındaki mekanizmaların enerji dağılımlarındaki teoriksel analizleri ile deneysel analizleri karşılaştırarak uyumluluk gözlemlemişlerdir [1].

Cezary et al., hava ile basınçlandırılmış ince cidarlı tüpün statik ve dinamik analizlerini yapmışlardır. İnce cidarlı tüpü ansys programında da modelleyerek farklı basınçlar altında yük analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Tüp içindeki basıncın yapının yük kapasitesini önemli ölçüde artırdığını kanıtlamışlardır. Yapının yük kapasitesini başlangıç durumu ile karşılaştırmışlar ve yapının 5 kat daha fazla yük kapasitesine ulaştığı sonucuna varmışlardır [2].

Palanivelu et al., geri dönüştürülebilir boş bir metal içecek kutusunun üzerinde patlama çalışmasını deneysel ve sayısal olarak yapmışlardır. Boş bir içecek kutusunun enerji emilimini ve ezilme davranışını ayrıntılı olarak tespit etmek için kutu üzerinde yakın menzilli hava patlatma testleri yapmışlardır. Böyle bir hava patlatma testi yapmak için özel olarak tasarlanmış ve imal edilmiş küçük ölçekli bir test düzeneği kurmuşlardır. Yüzey metalinin alanı ve onun yapısının patlama parametreleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Ayrıca kutunun ataletinin

ezilme performansına olan etkisini de değerlendirmişlerdir. Deneysel testlerden ölçülen patlatma parametrelerini ConWeb tahmin verileri ile karşılaştırmışlardır. Sayısal çalışmalarda elde edilen sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırmışlardır [3].

Eruslu, ince cidarlı tüpler için iki boyutlu ve üç boyutlu sonlu elemanlar modelleri oluşturarak tüplerin içten basınç etkisi altında hasar analizini yapmıştır. Üç boyutlu modellerde hasarı lineer olmayan etkileri göz önüne alarak incelemiştir. İki boyutlu modeller ile mukavemet sonuçları arasında uyum gözlemiştir. Maksimum gerilme kriterine göre bulunan hasar sonuçlarının Von Mises akma gerilmesi sonuçlarıyla uyumlu olduğu sonucuna varmıştır [4].

Sezan, 6063-T6 Alüminyum alaşımından imal edilmiş ince cidarlı tüp geometrisindeki kirişin yük taşıma kabiliyetini artırmak için PVC köpük, cam fiber ve AISI 430 kalite paslanmaz çelik kullanmıştır. Numunenin yüzeyinde flame şeklindeki cam fiberin PVC köpük kullanarak, PVC köpük kullanılmadan ve “T” formundaki paslanmaz çeliğin eğme davranışı üzerindeki etkileri sistematik olarak incelemiştir. Deney sonuçlarında yük taşıma kabiliyetinde %185 değerine ulaşan artışlar sağlanırken, enerji absorbe etme miktarlarında %193 ‘e varan iyileşmeler görmüştür. Özgül yük taşıma kabiliyetindeki artışta %12, özgül enerji absorbe etme kabiliyetindeki artışta %9.7 değerlerine ulaşmıştır [5].

Yüksel, kompozit ve Al-kompozit tüplerini alüminyum köpük ile doldurmuştur. Alüminyum köpük dolgunun tüplerin ezilme davranışlarına ve absorbe ettikleri enerji miktarlarına olan etkilerini incelemiştir. Değişik geometrilerde üretilmiş, boş Al tüp, köpük dolgulu Al tüp ve köpük dolgulu kompozit ile sarılı Al tüplere deformasyon testleri uygulamıştır. Bu testler sırasında tüplerde meydana gelen deformasyon mekanizmalarını gözlemlemiştir [6].

Tanboğa, çok yüksek iç basınç altındaki, kompozit tüpün üzerine darbe tesirli bir parçacığın etki etmesi esnasında kompozit ve Alüminyum katmanlar da oluşan gerilme ve şekil değiştirme davranışını simülasyon yoluyla araştırmıştır. Simülasyonda incelenen tüpe ait deneysel veriler dikkate alınarak simülasyonun genel modellenmesi yapılmıştır. Simülasyon sonuçları impaktör altında kalan bazı

hasara uğramış kısımların kompozit tüplerde yoğun olarak bilinenin aksine çekme kuvvetlerinden farklı olarak basma kuvvetlerinden de etkilendiğini göstermiştir [7].

Çakıroğlu, Nomex® bal peteği ile doldurulmuş ince cidarlı alüminyum tüplerin yarı statik ezilme davranışlarını nümerik ve deneysel olarak incelemiştir. 25 mm çapında ve 0.29 mm kalınlığındaki alüminyum tüpler 3 farklı hücre boyutuna (3.2, 4.8 ve 6.4 mm) ve aynı yoğunluğa sahip (48 kg/m^3) Nomex® bal petekleri ile doldurulmuştur. Basma testleri $1.64 \cdot 10^{-2}$, $6.56 \cdot 10^{-3}$ ve $3.28 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ yarı statik deformasyon hızlarında gerçekleştirmiştir. Sonuçlar hücre boyutunun bal peteği ezilme davranışları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve daha düşük hücre boyutlarında boş tüplerin ezilme yükününün ve spesifik sönmölenen enerji miktarlarının arttığını göstermiştir [8].

Toksoy, hafif köpük malzeme doldurulmuş silindirik tüplerin ezilme özelliklerini köpük doldurmanın kuvvetlendirme etkilerini 16 ve 25 mm çaplı ince alüminyum tüplere polistiren malzeme doldurarak incelemiştir. Boş tüpler asymmetric (asimetrik) moda ezilmişlerdir. Köpük doldurulmuş 25 mm tüplerin deformasyon modu axisymmetric (konsantrik) deformasyon modu olmuştur. Köpük doldurulmuş 16 mm Al tüplerin deformasyon modu boş olanlarla aynı kalmıştır. Köpük doldurmadaki kuvvetlendirme katsayıları dolu tüplerde meydana gelen ortalama ezilme kuvvet artışının boş tüplere ve plato (köpük malzemelerin plato gerilmesine eşit olan kuvvet) yüklerine oranı konsantrik modu için 1.8 elmas modu için 3.2 olarak bulmuştur [9].

Atlı, iç ve dış basınç altındaki çok katmanlı kompozit tüplerin gerilme analizi için analitik bir yaklaşım sunmuştur. Tek, iki ve üç katmanlı tüpler için gerilme ve yer değiştirme ifadelerini elde etmiş ve kritik akma koşullarını Von Mises ve Tresca akma kriterlerini kullanarak incelemiştir. Bulunan analitik çözümler çeşitli malzeme setleri için uygulanmış gerilme ve yer değiştirme dağılımları bulunmuştur. İç veya dış basınç altındaki tek katmanlı tüplerde akmanın iç yüzeyden başladığı tespit edilmiştir. İki katmanlı tüplerde akma iç veya dış tüplerin iç yüzeyinden veya aynı anda bu iki yerden başlayabilir. Üç katmanlı tüplerde ise malzeme özelliklerine göre farklı akma durumları oluşabileceğini bulmuştur [10].

Çuhadar, içten basınca maruz kapların değişik malzemeler için yapılan analizler sonucu optimum cidar kalınlığını elde etmeye çalışmıştır. Sonuç olarak çelik ve kompozit malzemeler için değişik cidar kalınlıklarındaki gerilme değerlerini hesaplamıştır. Yapılan analizler sonucu elde edilen gerilmeleri göz önünde bulundurarak optimum cidar kalınlıklarının seçimini gerçekleştirmiştir [11].

Akbulut vd., tabakalı kompozit malzemedan yapılmış burulmaya maruz ince cidarlı dikdörtgen kesitli tüplerin burulma burkulmasını incelemiştir. En büyük kritik burkulma yükleri $\theta=20^{\circ}-40^{\circ}$ arasında oluşmaktadır. Uzunluğun artmasıyla kritik burkulma düşmekte fakat uzunluk takviye açısı ve kenar oranı kadar etkili olmamaktadır. Takviye açısı burkulmaya dayanım açısından çok etkilidir. Kenar oranı ve uzunluk büyüdükçe takviye açısının etkisinin azalmakta olduğunu bulmuşlardır [12].

Tiniş ve Bazman, deprem yükleri ve değişken çalışma koşulları nedeni ile yeni koşullara uygunluğu incelenen silindirik ince cidarlı kolon üzerinde deprem etkilerini, rüzgâr etkilerini, iç basınç ve dış basınç etkilerini, nozul ve ekipman etkilerini, platform ve izolasyon ağırlıklarının etkilerini hesaba katarak analitik ve sonlu eleman analizi yöntemleri ile burkulma, statik ve dinamik analizleri yapmışlardır. Analizler sonucunda yapının alttan dört donamında takviyelendirme gerekliliği saptanmıştır [13].

Yaylağan, antisimetrik tabakalı ince cidarlı kompozit basınçlı tüpün 2°C , 25°C , 60°C ve 80°C sıcaklıklardaki ilk katman hasarını ve maksimum patlama basıncı için en uygun tabaka açısı yönlerini araştırmıştır. Kompozit basınçlı tüplerin silindirik olanlarını ele almıştır. Sonlu elemanlar metodu ve deneysel çalışmalar kullanılarak en uygun sarım açısını bulmaya çalışmıştır. Bazı nümerik sonuçları sonlu elemanlar programı ANSYS 10.0 sonuçları ile karşılaştırmış ve yakın değerler elde etmiştir. Nümerik sonuçlarda ısı etkisinin patlama basıncı üzerinde fazla bir etkisi olmadığını gözlemiştir. İçten basınca maruz helisel sarımlı kompozit tüplerde en uygun sarım açısının 55° civarında olduğunu tespit etmiştir [14].

BÖLÜM 3

İNCE CİDARLI BASINÇLI KAPLARIN ANALİTİK VE NÜMERİK HESAPLAMALARI

Bir basınçlı kabın makina parçası ya da bir eşya olarak kullanılması durumunda, işletme koşullarından dolayı oluşan yüklerin yanında, bu kabın iç basıncı nedeniyle meydana gelen tüm kuvvetlerin ve hesaplamaların bilinmesi gerekir. Kuvvetler belirlendikten sonra, bu yüklerin sisteme olan etkileri incelenmelidir.

Basınçlı kap içten basınca maruz kalmasının yanında eğer işletme koşullarında farklı dış basınç yüklerine de maruz kalıyor ise bunların da hesaba katılması gerekir.

Basınçlı kaplarda sıcaklık basınçsız olarak çalışan bir kaba göre daha fazla etki unsuruna sahiptir. Örneğin basınçsız bir kapta sıcaklık malzeme üzerinde ısıl genişleme ve bundan dolayı iç gerilmelere neden olur. Oysa basınçlı bir kapta bu gerilmelerin yanında, içteki akışkanın genişmesi nedeniyle ekstra bir basınç artması ve azalmasına neden olacağından bu değişim daha fazla etkili olacaktır.

Eğer sistem üzerinde, sahip olduğu yüklerin dışında, statik veya dinamik yüklerde varsa bu yükler tasarım yüküne ilave edilmelidir.

Basınçlı kabın temel olarak analizinin yapılabilmesi için bu kabın şeklini silindirik olarak kabul etmek uygun olacaktır. Bu sayede aksel ve çevresel yöndeki yükler altında incelenmesi konunun anlaşılmasını sağlayacaktır. Yapılan deneysel çalışmalar silindirik kaplar üzerinde gerçekleştirildiğinden, analitik sonuçlarla deneysel sonuçların karşılaştırılması mümkün olmuştur.

Analitik hesaplarla, deneysel ve nümerik hesapları (Ansys) karşılaştırabilmek için, tüpün üzerine dışarıdan herhangi bir kuvvet uygulamadan, sadece iç basınç

uygulayarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu amaçla deneysel olarak tüpe patlayana kadar basınç uygulanmış ve patlama basıncı 105 psi bulunmuştur.

Deneysel sonuçtan elde edilen patlama basıncı analitik hesaplarda kullanılarak, tüpün yanal ve alın yüzeyindeki gerilmeler, boy ve çapta meydana gelen şekil değişimleri, asal gerilmeler, maksimum ve minimum kayma gerilmeleri, yanal alın kısmına ait mohr dairesi grafiği bulunmuştur. Bulunan sonuçların nümerik ve deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

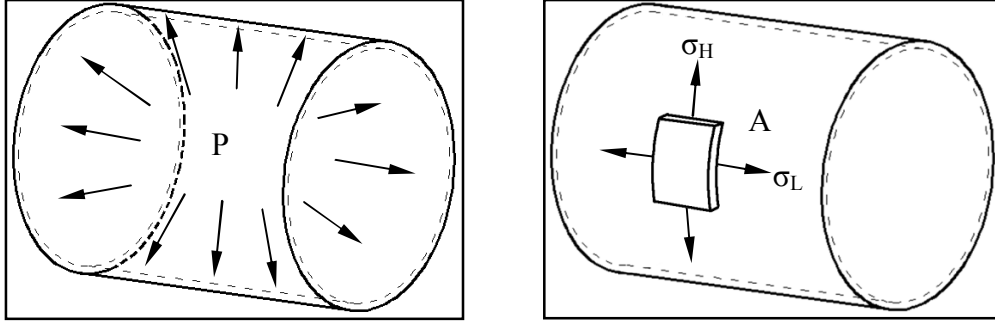
Analitik hesaplamalarda tüpün boyu=167 mm, çapı=65 mm, et kalınlığı=0.15 mm, iç basıncı=105 psi (0,723Mpa), malzemesi AA3104-H19 Alüminyum (Elastisite modülü=69 GPa, Akma mukavemeti=285 MPa, Yoğunluğu=2720 kg/m³, poisson oranı =0.34) alınmıştır.

3.1. ANALİTİK HESAPLAR

3.1.1. Eksenel Ve Çevresel Gerilmelerin Bulunması

Şekil 1’de gösterildiği gibi bir kapalı silindirik kabın içerisine bir P basıncı uygulandığında, tüm yüzeylere aynı basınç etki edecektir. Deneysel çalışmalarda kullanılan tüpünün boyu 167 mm, dış çapı 65 mm, cidar kalınlığı 0.15 mm olmak üzere iç kısmında 0.723 MPa’lık bir basınca maruzdur. Buna göre tüpün analitik hesaplamaları yapılacaktır.

- a) Silindirin yüzeyinde herhangi bir A noktasındaki gerilmeleri,
- b) Silindirin boyunda ve çapında ortaya çıkan değişimleri,
- c) Saat ibresi yönünde yatayla 20° lik açı yapan düzlemdeki gerilme halini,
- d) Asal gerilmeleri, uç kayma gerilmelerini ve doğrultularını,
- e) Tüm büyüklüklerin Mohr dairesinde gösterimini,
- f) Tresca ve Von Mises kriterlerine göre malzemenin en küçük akma gerilmesi tespit edelecektir.



Şekil 3.1. İnce cidarlı silindirik bir kaptaki oluşmuş boyuna ve çevresel gerilmeler.

- a) İnce cidarlı silindirik basınçlı kabın cidar yüzeyindeki bir A noktasından alınan diferensiyel bir elemanda çember gerilmesi.

$$\sigma_H = \frac{pr}{t} = \frac{pd}{2t} \quad (3.1)$$

ve boyuna gerilme

$$\sigma_L = \frac{pr}{2t} = \frac{pd}{4t} \quad (3.2)$$

$$\sigma_L = \frac{\sigma_H}{2} \quad (3.3)$$

ortaya çıkar.

O halde

$$\sigma_H = \frac{(0,723 \cdot 10^6) \cdot (65 \cdot 10^{-3})}{2 \cdot (0,15 \cdot 10^{-3})} = 151,6 \text{ MPa} \quad (3.4)$$

Ve

$$\sigma_L = \frac{(0,723 \cdot 10^6) \cdot (65 \cdot 10^{-3})}{4 \cdot (0,15 \cdot 10^{-3})} = 75,8 \text{ MPa} \quad (3.5)$$

bulunur. Kesit yüzeyinde LH- düzleminde kayma gerilmesi τ_{LH} ortaya çıkmaz.

b) Çap doğrultusunda şekil değiştirme çevresel şekil değiştirmeye eşittir.

Yani,

$$\varepsilon_D = \varepsilon_H \quad (3.6)$$

$$\varepsilon_H = \frac{1}{E} [\sigma_H - \nu(\sigma_L + \sigma_z)] \quad (3.7)$$

$$\sigma_z = 0 \quad (3.8)$$

$$\varepsilon_H = \frac{1}{E} \left[\sigma_H - \nu \left(\frac{\sigma_H}{2} \right) \right] \quad (3.9)$$

$$\varepsilon_H = \frac{\sigma_H}{2E} (2 - \nu) \quad (3.10)$$

$$\varepsilon_H = \frac{pd}{4Et} (2 - \nu) \quad (3.11)$$

$$\varepsilon_D = \varepsilon_H = \frac{(151,6 * 10^6)}{(2 * 69 * 10^9)} (2 - 0,34) \quad (3.12)$$

$$\varepsilon_D = \varepsilon_H = 1,8235 * 10^{-3} \quad (3.13)$$

Çevresel şekil değiştirmeden

$$\varepsilon_H = \frac{\pi * d_2 - \pi * d_1}{\pi * d_1} = \frac{d_2 - d_1}{d_1} \quad (3.14)$$

$$\varepsilon_H = \frac{\Delta d}{d_1} \quad (3.15)$$

Yani

$$\varepsilon_D = \frac{\Delta d}{d_1} \quad (3.16)$$

Yazılabilir. O halde silindirik kabın çapındaki değişim

$$\Delta d = d_1 * \varepsilon_H \quad (3.17)$$

$$\Delta d = 1,8235 * 10^{-3} * (65 * 10^{-3}) \quad (3.18)$$

$$\Delta d = 118,5275 * 10^{-6} \text{ m} \quad (3.20)$$

Boyuna şekil değiştirme

$$\varepsilon_L = \frac{1}{E} [\sigma_L - \nu(\sigma_H + \sigma_z)] \quad (3.21)$$

$$\sigma_z = 0 \quad (3.22)$$

$$\varepsilon_L = \frac{1}{E} [\sigma_L - \nu\sigma_H] \quad (3.23)$$

$$\varepsilon_L = \frac{1}{E} \left[\frac{\sigma_H}{2} - \nu\sigma_H \right] \quad (3.24)$$

$$\varepsilon_L = \frac{\sigma_H}{2E} [1 - 2\nu] \quad (3.25)$$

$$\varepsilon_L = \frac{pd}{4Et} [1 - 2\nu] \quad (3.26)$$

$$\varepsilon_L = \frac{151,6 * 10^6}{2 * 69 * 10^9} [1 - 2 * 0,34] \quad (3.27)$$

$$\varepsilon_L = 0,0003515 \quad (3.28)$$

Silindirik kabın boyundaki değişim

$$\varepsilon_L = \frac{\Delta l}{l} = 0,0003515 \quad (3.29)$$

$$\Delta l = 0,0003515 * l = 0,0003515 * (167 * 10^{-3}) \quad (3.30)$$

$$\Delta l = 5,87 * 10^{-5} \text{ m} \quad (3.31)$$

c) Saat ibresi yönünde yatayla 20° lik açı yapan düzlemdeki gerilme bileşenlerinin tespiti için

$$\sigma_x = \sigma_L = 75,8 * 10^6 \text{ Pa} \quad (3.32)$$

$$\sigma_y = \sigma_H = 151,6 * 10^6 \text{ Pa} \quad (3.33)$$

$$\sigma_{xy} = \sigma_{LH} = 0 \quad (3.34)$$

Maksimum kayma gerilmesinin olduğu düzlemdeki ortalama normal gerilme

$$\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{(75,8 + 151,6) * 10^6}{2} = 113,7 * 10^6 \quad (3.35)$$

Maksimum ve minimum kayma gerilmeleri

$$\tau = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} = \frac{(75,8 - 151,6) * 10^6}{2} = -37,9 * 10^6 \quad (3.36)$$

Saat ibresi yönünde 20° lik açının olduğu düzlemdeki normal gerilme

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta \quad (3.37)$$

$$\sigma_{x'} = 113,7 * 10^6 - 37,9 * 10^6 \cos(-40) \quad (3.38)$$

$$\sigma_{x'} = 84,66 * 10^6 \text{ Pa} \quad (3.39)$$

$$\sigma_{y'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta \quad (3.40)$$

$$\sigma_{y'} = 113,7 * 10^6 + 37,9 * 10^6 \cos(-40) \quad (3.41)$$

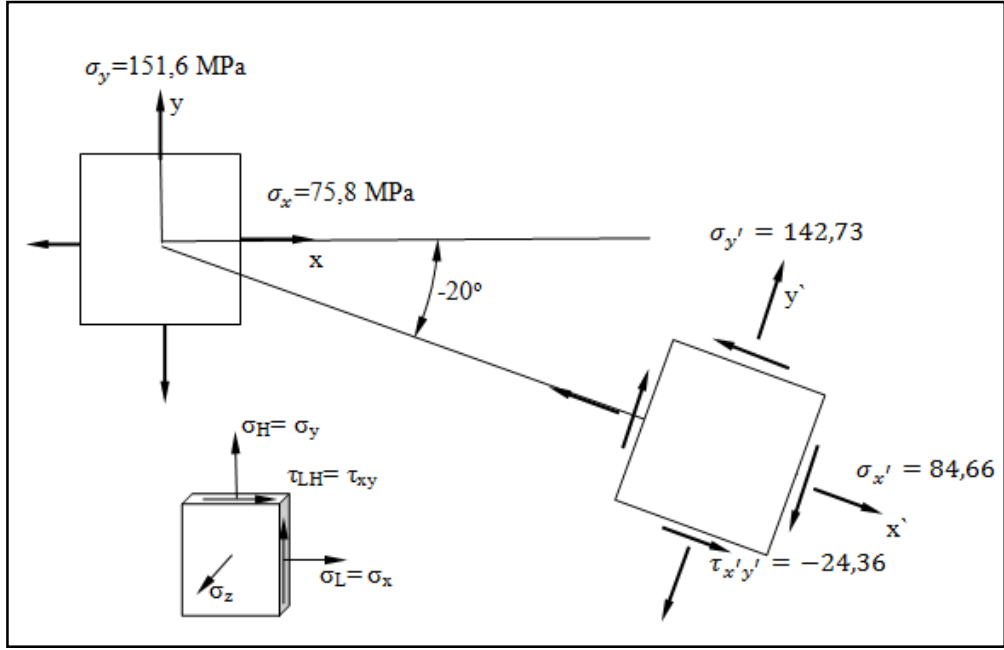
$$\sigma_{y'} = 142,73 * 10^6 \text{ Pa} \quad (3.42)$$

$$\tau_{x'y'} = \frac{\sigma_y - \sigma_x}{2} \sin 2\theta \quad (3.43)$$

$$\tau_{x'y'} = 37,9 * 10^6 \sin(-40) \quad (3.44)$$

$$\tau_{x'y'} = -24,36 * 10^6 \text{ Pa} \quad (3.45)$$

Saat ibresi yönünde 20° döndürülmüş düzlemde gerilme hali aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Saat ibresi yönünde 20° döndürülmüş düzlemde gerilme hali.

d) Asal gerilmeler:

$$\sigma_{a,b} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \mp \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (3.46)$$

$$\sigma_{a,b} = 113,7 * 10^6 \mp 37,9 * 10^6 \quad (3.47)$$

$$\sigma_a = 151,6 * 10^6 \text{ Pa} = \sigma_1 \quad (3.48)$$

$$\sigma_b = 75,8 * 10^6 \text{ Pa} = \sigma_2 \quad (3.49)$$

Asal gerilmeler σ_x ve σ_y değerleri ile aynı olmuş oluyor.

Asal doğrultular;

$$\tan 2\theta_a = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} = 0 \quad (3.50)$$

$$\theta_a = 0^\circ \quad (3.51)$$

$$\theta_b = \theta_a + 90^\circ = 90^\circ \quad (3.52)$$

Maksimum ve minimum kayma gerilmeleri;

$$\tau_{\max,\min} = \mp \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} = \mp 37,9 * 10^6 \text{ Pa} \quad (3.53)$$

Maksimum ve minimum kayma gerilmelerinin düzlemleri;

$$\tan 2\theta_{\max} = \frac{\sigma_y - \sigma_x}{2\tau_{xy}} = \infty \quad (3.54)$$

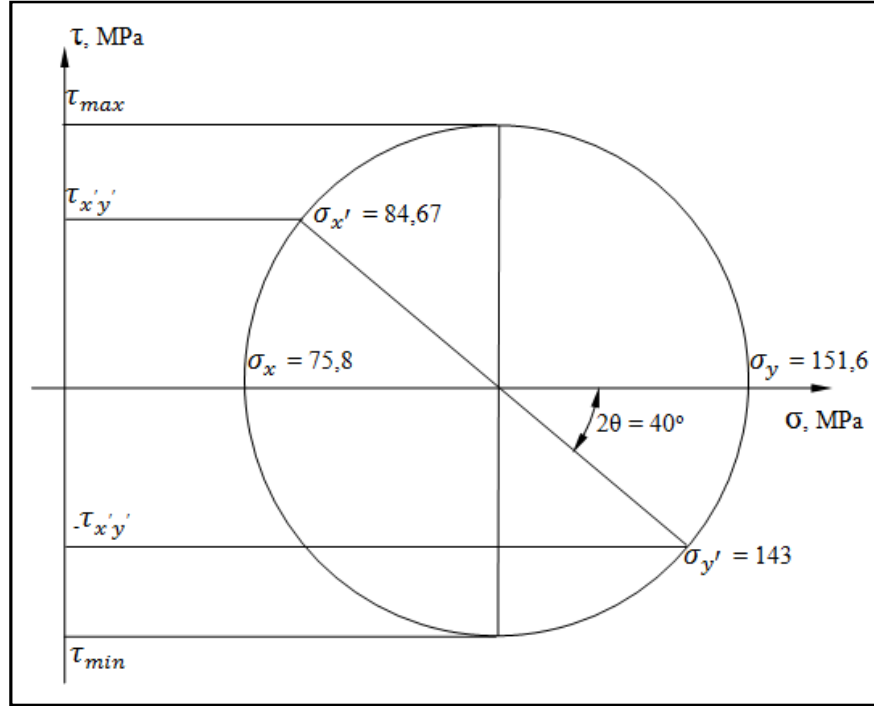
$$\theta_{\max} = 45^\circ \quad (3.55)$$

$$\theta_{\min} = \theta_{\max} + 90^\circ = 135^\circ \quad (3.56)$$

Bu düzlemlerdeki normal gerilmeler;

$$\sigma_n = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = 113,7 * 10^6 \text{ Pa} \quad (3.57)$$

e) Şekil 3.3 Mohr düzleminde gerilme halini göstermektedir. Mohr dairesinden ölçülen değerler:



Şekil 3.3. Silindir yanal yüzeyi üzerindeki elemana ait Mohr dairesi.

f) Akma gerilmesi Tresca hipotezine göre:

$$\frac{\sigma_{y_1}}{2} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{2} \quad (3.58)$$

$$\sigma_{y_1} = 151,6 * 10^6 \text{ Pa} \quad (3.59)$$

Von Mises hipotezine göre

$$2\sigma_{y_1}^2 = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 \quad (3.60)$$

Burada;

$$\sigma_3 = 0 \quad (3.61)$$

olduğundan yukarıdaki denklemden değerler yerine konulursa

$$2\sigma_{y_1}^2 = (151,6 - 75,8)^2 + (151,6 - 0)^2 + (75,8 - 0)^2 \quad (3.62)$$

$$\sigma_{y_1} = 131,28 * 10^6 \text{ Pa} \quad (3.63)$$

bulunur.

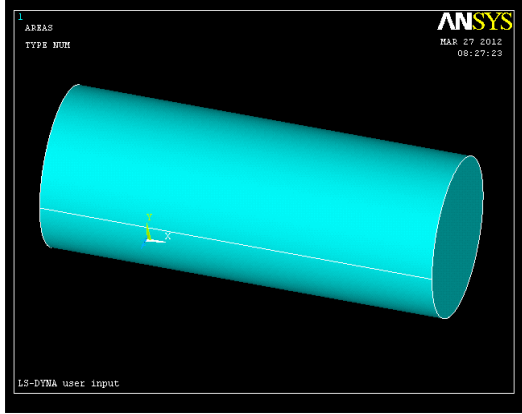
3.2. NÜMERİK HESAPLAR

Denaysel çalışmalarda kullanılan alüminyum tüp ANSYS de yüzey (surface) olarak modellenmiştir (Şekil 3.4). Tüp içerisine patlatma deneyindeki gibi ANSYS LS-DYNA bölümünde 81 saniye ile bağımlı 105 Psi (0.723 MPa) basınç uygulanarak analizi yapılmıştır.

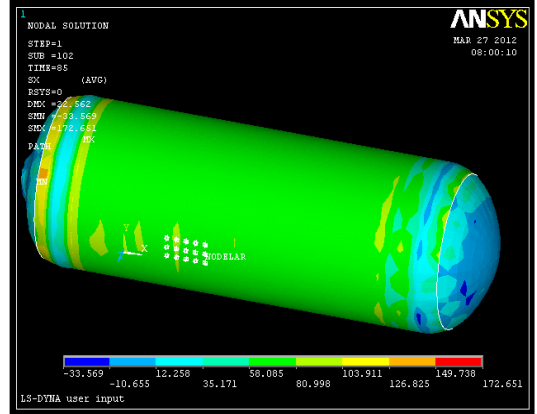
Alüminyum tüpün yan yüzeyin orta kısmındaki bir bölgesinden seçilen 15 adet düğüm (nod) noktasında X yönünde meydana gelen gerilmelerin tüp üzerindeki görüntüsü aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.4).

Alüminyum tüpün yanal alanının herhangi bir bölgesinden seçilen 15 adet düğüm noktasında Y yönünde meydana gelen gerilmelerin tüp üzerindeki görüntüsü aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.4).

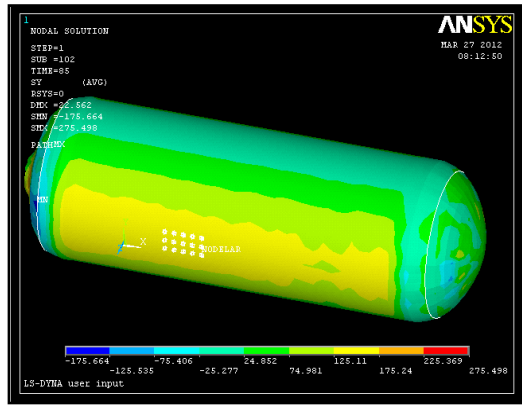
Alüminyum tüpün yanal alanının herhangi bir bölgesinden seçilen 15 adet düğüm noktasında meydana gelen Von Mises gerilmelerin tüp üzerindeki görüntüsü aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.4).



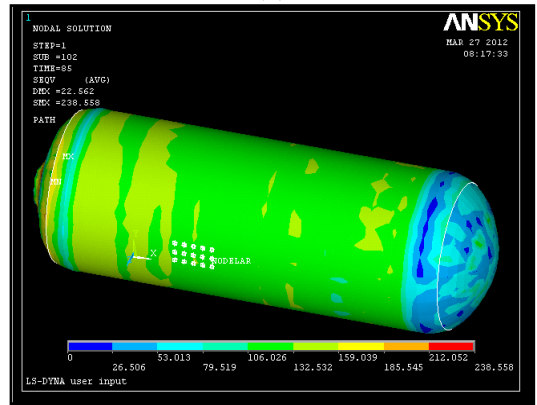
(a)



(b)



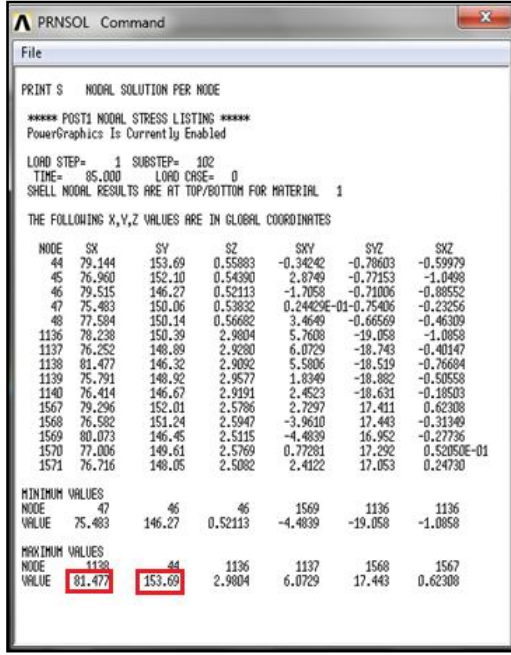
(c)



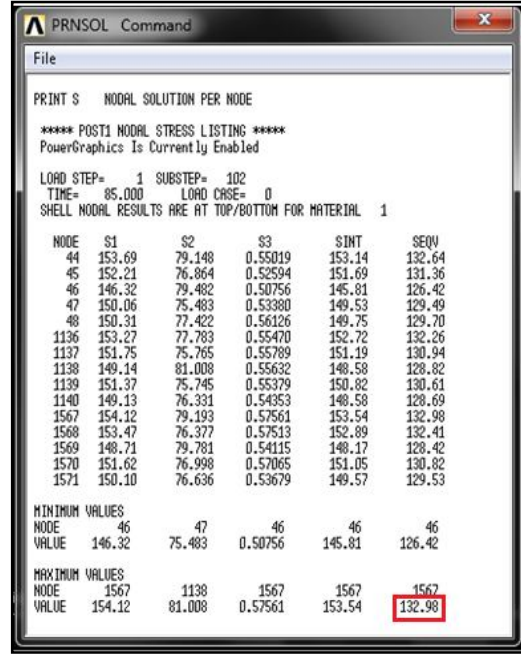
(d)

Şekil 3.4. Alüminyum tüpün yanıl alanının herhangi bir bölgesinden seçilen 15 adet düğüm noktasında meydana gelen gerilmeler: a) ANSYS de modellenne. b) X yönünde oluşan gerilme. c) Y yönünde oluşan gerilme. d) Von Misses gerilmesi.

Alüminyum tüpün yanıl alanından seçilen bir bölgesindeki X, Y yönünde oluşan gerilmelerinin ve Von Misses gerilmesinin ANSYS çıktısı aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.5).



(a)



(b)

Şekil 3.5. Alüminyum tüpün yanal alanından seçilen bir bölgesindeki gerilmelerin ANSYS çıktısı: a) X ve Y yönünde oluşan gerilme. b) Von Mises gerilmesi.

Alüminyum tüpün 0.723 (105 Psi) MPa iç basınç altında analitik ve ANSYS de nümerik hesaplamaları yapılmıştır. Her iki hesaplama da tüpün yanal alanının herhangi bir bölgesinde meydana gelen SX, SY ve Von Mises gerilmeleri elde edilerek tablo halinde aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Alüminyum tüpde 0.723 MPa (105 Psi) iç basınç altında meydana gelen gerilme değerleri.

	X yönündeki gerilme (MPa)	Y yönündeki gerilme (MPa)	Von Mises gerilmesi (MPa)
Analitik Hesap	75.8	151.6	131.28
Nümerik Hesap (ANSYS)	81.477	153.69	132.98

BÖLÜM 4

İNCE CİDARLI BASINÇLI KAPLARIN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

4.1. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE ANSYS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI

Sonlu elemanlar yöntemi, fizik ve mühendislikte karşılaşılan birçok problemin çözümünde kullanılan en yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir. Sonlu elemanlar metodu matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Metot ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklüğün hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer yerdeğişimi veya gerilmenin; ısı analizinde sıcaklık veya ısı akışının; akışkan problemlerinde ise akım veya hız değerleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Hesaplanan büyüklüğün almış olduğu en büyük değeri veya grafiği özel bir önem içerir. Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önceden bilinen birçok elemana bölünür. Elemanlar "nod" adı verilen noktalarla birleştirilirler. Bu birleştirme sonunda yapının tamamını temsil eden bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler nodlarda oluşan denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır [15].

Sonlu eleman metodunu diğer metotlara üstün kılan başlıca hususlar şunlardır:

- a) Sonlu elemanlar, boyutları ve şekillerinin esnekliği nedeniyle verilen bir cisim temsil edebilir, hatta karmaşık şekilli bir cisimde daha güvenilir olabilir.
- b) Çok bağlantılı bölgeler (yani bir veya çok delikli cisimler) veya köşeleri olan bölgeler zorluk çekilmeksizin incelenebilir.

- c) Değişik malzeme ve veya geometrik özellikleri bulunan problemler ek bir zorluk göstermez. Geometri ve malzeme nonlineeriteleri, kalıtsal olsa bile (örneğin zamana bağlı) malzeme özellikleri kolaylıkla göz önüne alınabilir.
- d) Sebep-sonuç bağıntılarına ait problemler tümü temsil eden direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş "kuvvetler" ve "yer değiştirmeler" cinsinden formüle edilebilir. Sonlu eleman metodunun bu özelliği problemin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.
- e) Sınır şartları kolayca uygulanır.
- f) Sonlu eleman metodunun çok yönlülük ve esnekliği karmaşık yapılarda etkin bir şekilde kullanılabilir. Analitik ve deneysel metotlardan daha hassas sonuç verir.
- g) Bitişik elemanlardaki malzeme özellikleri aynı olmayabilir. Sonlu elemanlar metodu birkaç malzemenin birleştirildiği cisimlerde de uygulanabilir.
- h) Eleman boyutları kullanıcı tarafından değiştirilebilir. Böylece önemli değişiklikler beklenen bölgelerde daha küçük elemanlar kullanılarak hassas işlemler yapılabilirken, aynı parçanın diğer bölgeleri büyük elemanlara bölünerek işlem hızı arttırılabilir.
- i) Süreksiz yüzey yüklemeleri gibi sınır durumları yöntem için zorluk oluşturmaz. Karışık sınır durumları kolaylıkla ele alınabilir.
- j) Doğru element tipini seçmek analiz işleminin çok önemli bir parçasıdır. Bu adım için kullanıcının yeterince sonlu elemanlar yöntemi hakkında bilgi sahibi olması gerekir. Çözümü istenen cismin geometrisi, analizin tipi (mukavemet, ısı transferi, manyetik analiz tipi) ve sınırları eleman seçimini etkiler.
- k) Çözümü istenilen problemin geometrisi kullanılan sonlu elemanlar yöntemine dayalı paket program içinde veya bir CAD ortamında oluşturulabilir. Modelin başka CAD ortamında oluşturulması durumunda IGES, SAT, gibi dönüştürücü formatlar kullanılarak sonlu elemanlar programına transfer edilebilir.
- l) Malzeme özellikleri, malzemenin elastikiyet modülü veya özgül ağırlık gibi geometriden bağımsız fiziksel özelliklerdir. Bu noktada malzemenin fiziksel özellikleri tanımlanır. Örneğin katı yapısal problemler için, elastikiyet modülü, poisson oranı, malzemenin yoğunluğu tanımlanabilir.

m) Sonlu elemanlar metodunu kullanarak yapılan bir analiz işleminde ağ oluşturma işlemi sonlu elemanlar metodunun ana kısmını oluşturur. Ağ oluşturma işlemi düğüm noktaları ve elemanların koordinatlarının bağlantılarının oluşturulmasıdır.

Genel olarak, ANSYS kullanılarak sonlu elemanlar analizleri üç kademede gerçekleştirilir:

a) Problemin tanımlanması (Preprocessing): Preprocessing ana kademeleri aşağıda verildiği gibidir:

- a) Anahtar nokta, çizgi, alan ve hacimlerin tanımlanması (Geometrik modelleme)
- b) Eleman tipi ve malzeme ve geometri özelliklerinin tanımlanması
- c) Çizgi, alan ve hacimlerin sonlu elemanlara bölünmesi (Sonlu Elemanlar Modeli).

b) Yüklerin ve sınır şartlarının atanması ve çözümün gerçekleştirilmesi (Solution):

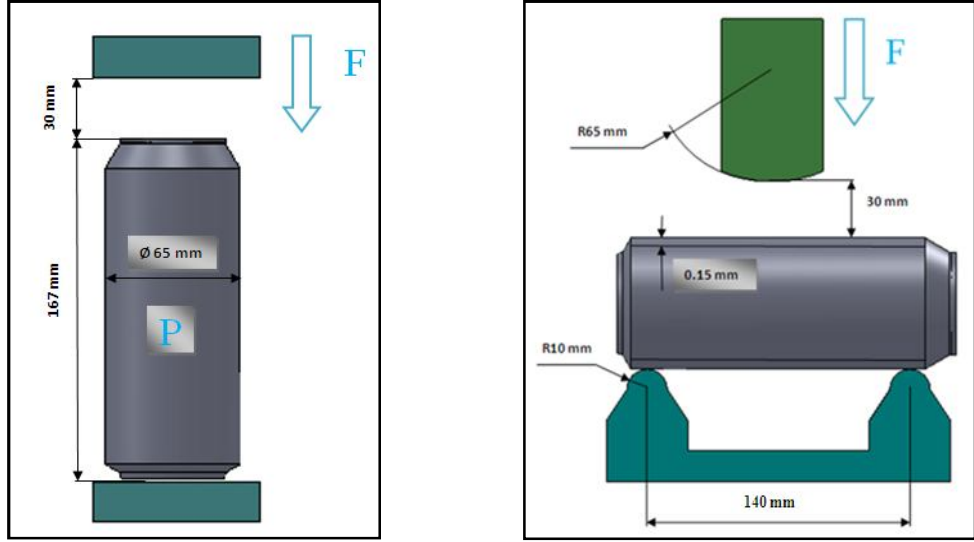
Bu kademede yükler (noktasal veya basınç) belirlenir, sınır şartları tanımlanır ve sonuçta çözüme gidilir. Yük ve sınır şartları preprocessing kademesinde de tanımlanabilir.

c) Sonuçların değerlendirilmesi (Postprocessing): Bu kademede şunlar yapılabilir

- a) Düğüm noktası yer değiştirmelerinin listelenmesi
- b) Eleman kuvvet ve momentlerinin izlenmesi
- c) Yer değiştirme çizimleri, gerilme diyagramları

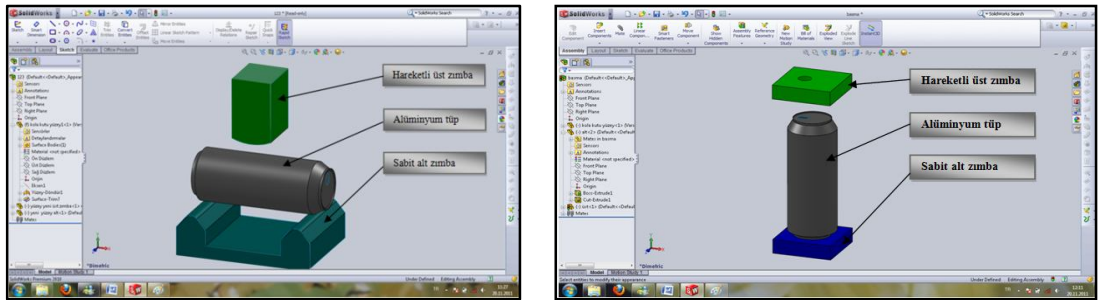
4.2. GEOMETRİK MODELLEME

Yapılan çalışmada iç basınç altında dinamik yüke maruz kalan ince cidarlı alüminyum tüpde yükleme sonucu oluşan gerilmeler analiz edilmiştir. Kullanılan deney tüplerinin ölçüleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deneyel çalışmalarda kullanılan basınçlı kabın ölçüleri.

Yükü temsil eden hareketli üst basma çenesi, sabit alt destekler ve alüminyum tüp SolidWorks programda yüzey modelleme teknikleri kullanılarak Şekil 4.2’deki gibi eğme test düzeneğini temsil edecek şekilde ve Şekil 4.2’deki gibi basma test düzeneğini temsil edecek şekilde modellenmiştir. Daha sonra IGES formatıyla Ansys Sonlu Elemanlar programına aktarılmıştır.



(a)

(b)

Şekil 4.2. Deney düzeneğinin SolidWorks ile modellenmesi: a) Üç nokta eğme test düzeneği. b) Basma test düzeneği.

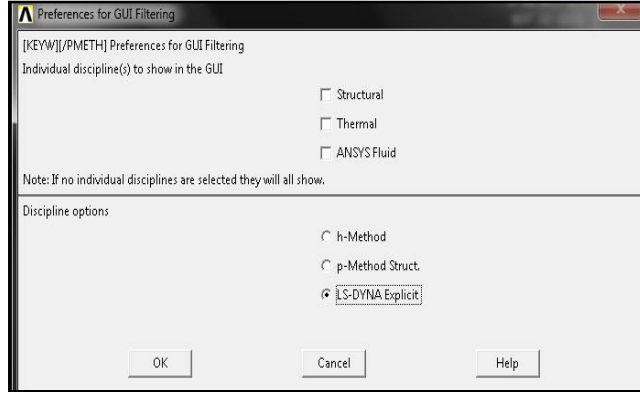
4.3. SONLU ELEMENLAR MODELİ

4.3.1. Analiz Tipinin Belirlenmesi

Ansys’de analiz tipini belirlerken “Main Menu > Preferences > LS-DYNA Explicit” yolu kullanılır. LS-DYNA programı Livermore Software Tech.Corp. firması tarafından geliştirilen genel amaçlı nonlinear zamana bağımlı dinamik problemlerin hesaplanmasında kullanılan sonlu elemanlar yazılımıdır. Geniş kontak tipleri kullanarak ileri düzeyli malzememe modellemesi ile ayrıntılı deformasyon analizleri yapabilmektedir. Ansys ve LS-DYNA birbiri ile entegre olarak çalışmaktadır.

Explicit ve İmplist çözüm teknikleri mükemmel bir şekilde Ansys’de bir araya gelmiştir. Explicit yöntem (EY) ve Implicit yöntem (İY) metodları hareket formüllerinin integrasyonunda kullanılan yöntemlerdir. Explicit metod küçük zaman aralıkları kullanılarak yüksek derecede non-linear olan Problemlerin / sistemlerin çözülmesinde kullanılırken, Implicit metod daha az non-linear olan problemlerin / sistemlerin geniş aralıklar kullanılarak çözülmesinde kullanılır. EY daha az hesap zamanına ve hafızaya gerek duymaktadır. EY’ler çarpma gibi kısa süreli dinamik problemlerin çözümü için çok elverişlidir. Ancak çok sayıda zaman adımına gerek duyarlar. İY’lerde adım aralığı teorik olarak sınırsızdır. Hesap zamanını kısaltmak için EY’lerde yapay olarak bir ivmelendirmeye veya yoğunluğu artırmaya gidilir. Bunun sonucu ortaya çıkacak kütle etkileri ancak yazılım çok iyi tanıyan kullanıcılar tarafından alınacak önlemlerle giderilebilir. İY’lerde fiziksel sistemi değiştirmek gerekmez, çünkü çözüm zaten iterativ olarak yapılmaktadır. EY’ler nümerik açıdan oldukça kararlıdır. Temas şartları küçük zaman adımları sayesinde tam anlamı ile tarif edilebilir. Pot oluşması gibi karasızlık olguları kolayca belirlenir ve yakınsama problemleri ile karşılaşılmaz. İY’ler ise bu durumda işlemeyebilir veya burkulma sonrası gibi ek hesaplara gereksinim duyulabilir.

ASYS/LS-Dyna programında her türlü malzeme modeline uygun malzeme özellikleri bulunmakta ve bünyesinde olmayan malzeme özellikleri de dışarıdan elle girdisi yapılarak çözülmemektedir. Bu sebeple analizde LS-DYNA Explicit metodu kullanılmıştır (Şekil 4.3).



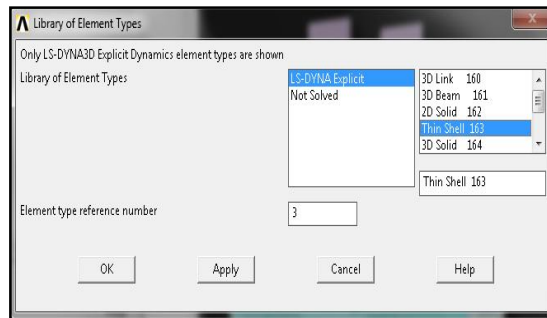
Şekil 4.3. Analiz tipinin seçilmesi.

4.3.2. Eleman Tipinin Belirlenmesi

Sonlu elemanlar modelini oluştururken deney tüpünün cidarları için “Thin Shell 163” eleman tipi seçilmiştir (Şekil 4.4). Alüminyum tüp ve çenelerin geometrik modeli oluşturulurken yüzey modelleme kullanılmıştır. Kabuk şeklindeki modele et kalınlığı verebilmek için bu eleman tipi seçilmiştir. Shell eleman kullanılması modellemeyi basitleştirmiş ve hesaplama zamanını kısaltmıştır. Element tipi için Ansys’de aşağıdaki yol kullanılmıştır.

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete > Ls-DYNA Explicit / Thin Shell 163

Hareketli üst basma çenesi ve sabit alt çene için de aynı “Thin Shell 163” eleman tipi seçilmiştir (Şekil 4.4). Fakat burada çenelerin rijit olarak kalması için malzemenin özellikleri Material Properties’den rijit olarak ayarlanmıştır.

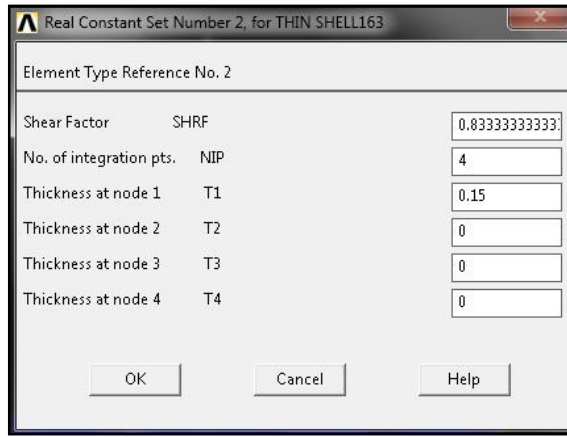


Şekil 4.4. Eleman tipinin seçilmesi.

4.3.3. Malzeme Ve Eleman Sabitlerinin Tanımlanması (Real Constants)

Malzemelere ait fiziksel özellikler ve elemanın geometrik özellikleri bu menüden girilir. Elemanın nodlarındaki kalınlık (thickness) değerleri ve Malzemenin Shear faktörü gibi değerler bu menüden girilir. Aşağıdaki yol kullanılarak (Şekil 4.5)'de görüldüğü gibi uygun değerler girilmiştir. Alt ve üst çeneler rijit olarak alındığından kalınlığın bir önemi olmamıştır. Al tüp için et kalınlığı 0.15 mm girilmiştir.

Main Menu > Preprocessor > Real Constants > Add



Şekil 4.5. Al tüp için tanımlanan eleman sabitlerinin değerleri.

4.3.4. Malzemenin Mekanik Özelliklerinin Girilmesi

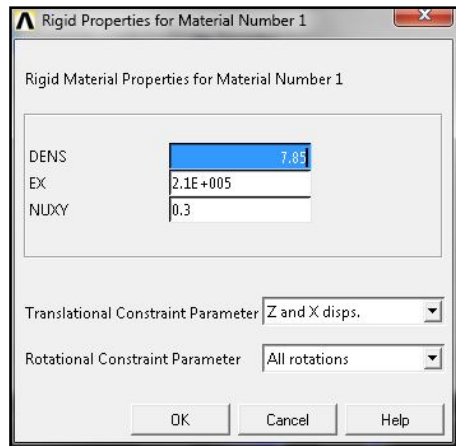
Analizde modellenen Alüminyum tüp, hareketli üst zımba, sabit alt çene kısımlarında kullanılan malzeme özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 4.1). Modellemede Alüminyum malzeme plastik deformasyona maruz kaldığından Akma ve Çekme mukavemet değerleri de girilmiştir. Çeneler için kullanılan demir malzeme ise rijit olarak kabul edildiğinden bu değer girilmemiş sadece Yoğunluk, Elastisite Modülü ve Poisson Oranı değerleri girilmiştir.

Çizelge 4.1 Malzemelere ait değerler

Malzeme Türü	Yoğunluk (kg/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)
Alüminyum tüp (AA3104-H19) [16].	2720	69000	0.34	285	295
Hareketli üst basma çenesi	7850	210000	0.30	-	-
Sabit alt çeneler	7850	210000	0.30	-	-

Malzeme özellikleri tanımlanırken aynı zamanda yer değiştirme ve dönme kısıtlamaları da aynı tablolarda girilmektedir. Hareketli üst basma çenesi için bütün yönlerde dönme ve X eksenini ile Z eksenini doğrultusunda yer değiştirmeye müsaade edilmemiştir. Sadece -Y doğrultusunda hareketine izin verilmiştir (Şekil 4.6). Hareketli üst basma çenesi için malzeme özelliği tanımlanırken şu yol kullanılır;

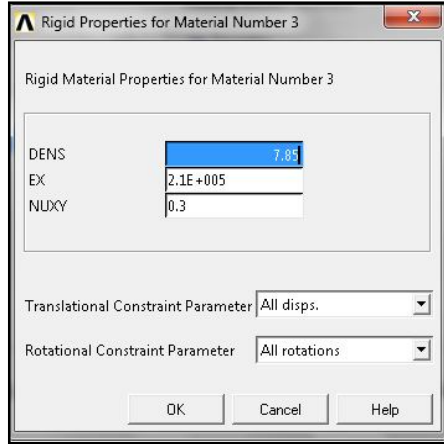
Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models / LS-DYNA / Rigid Material



Şekil 4.6. Hareketli üst basma çenesi için malzeme özellikleri.

Alt çene için bütün yönlerde hem dönme hem de yer değiştirmeye müsaade edilmemiştir. Yani cisim sabitlenmiştir (Şekil 4.7). Sabit alt çene için malzeme özellikleri tanımlanırken şu yol kullanılır;

Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models / LS-DYNA / Rigid Material



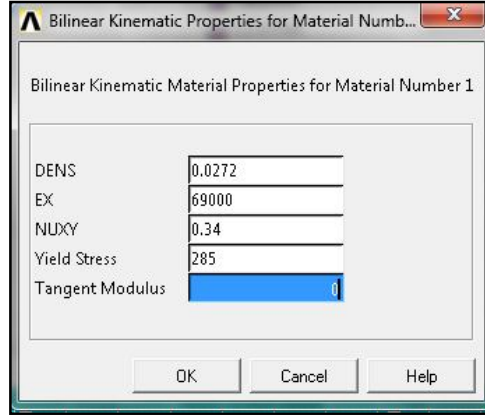
Şekil 4.7. Sabit alt çene için malzeme özelliklerinin tanımlanması.

Alüminyum tüp için belirlenen malzeme özellikleri farklı olduğundan Ansys programına girilirken farklı menüler kullanılır (Şekil 4.8). Alüminyum tüp için malzeme özellikleri tanımlanırken şu yol kullanılır;

Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models / LS-DYNA / Nonlinear / Inelastic / Kinematic Hardening / Bilinear Kinematic

Bilinear Kinematic Hardening modeli bir malzemenin elastik ve plastik gerilme şekil değiştirme davranışını temsilen kullanılır. Burada malzemenin elastik modülü, yoğunluğu, poisson oranı, akma gerilmesi ve tanjant modülü girilmektedir.

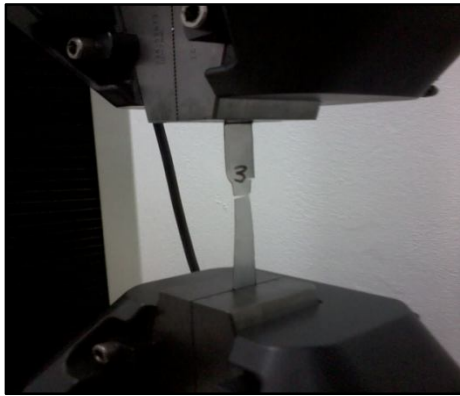
Tanjant modülü, tam olarak gerilme tensörünün şekil değiştirme tensörüne göre türevlenmesi ile ortaya çıkan bir malzeme özelliğidir ve ANSYS ile non-linner, yani elastoplastik bölgede çalışıldığı zaman bilinmesi gereken bir özelliktir.



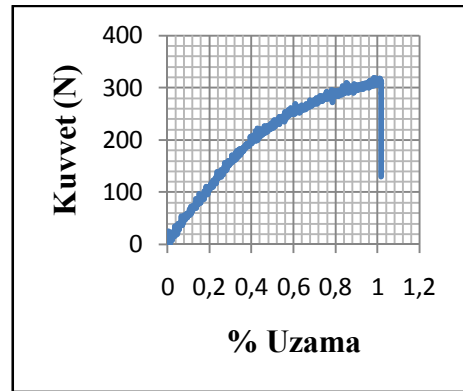
Şekil 4.8. Alüminyum tüpün malzeme özellikleri.

Alüminyum tüplerin analizinde kullanılan değerlerin belirlenmesi için ayrıca bir çekme testi yapılmıştır (Şekil 4.9). Alüminyum tüpün çekme testi sonucundan kuvvet-uzama grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.9). Bu tip tüplerde kullanılan malzemelerin özellikleri araştırılmış ve bulunan sonuçların bunlara yakın olduğu görülmüştür.

Alüminyum içecek kutuları üretilirken 0.25-0.30 mm kalınlıklarında soğuk haddelenmiş büyük sac bobin halinde üretilir. Bu malzemeler yaklaşık %1 manganez ve %1 magnezyum alüminyum alaşımından oluşur ve AA 3104 veya EN-AW 3104 olarak adlandırılır [17]. Bu malzemenin yoğunluğu 2720 kg/m^3 , Elastisite modülü 69000 Mpa, Poisson Oranı 0.34, Akma mukavemeti 260 Mpa, Çekme Mukameti 290 Mpa'dır.



(a)



(b)

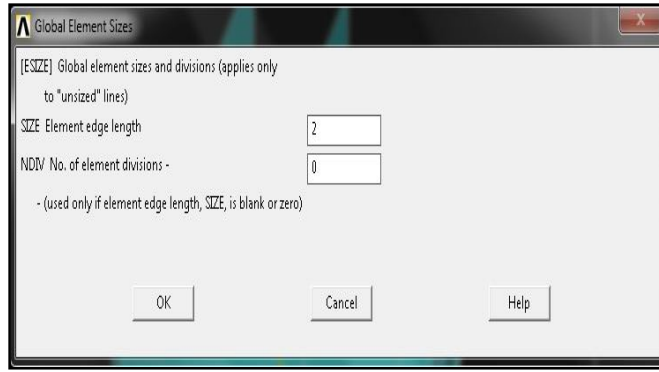
Şekil 4.9. Alüminyum deney tüpünün mekanik testi: a) Çekme deneyi. b) Çekme testi grafiği.

4.3.5. Elemanlara Ayırma (Mesh) İşleminin Yapılması

Oluşturulan modellerin analizini yapabilmek için yani sonlu çözümünü gerçekleştirebilmek için modelin sonlu sayıda elemana bölünmesi gerekmektedir. Ansys programında elemanlara ayırma işlemi “mesh” komutu ile olur. Mesh işleminden önce eleman boyutunun kenar uzunluğu ayarlamak için şu yol izlenir;

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Manual Size > Global > Size

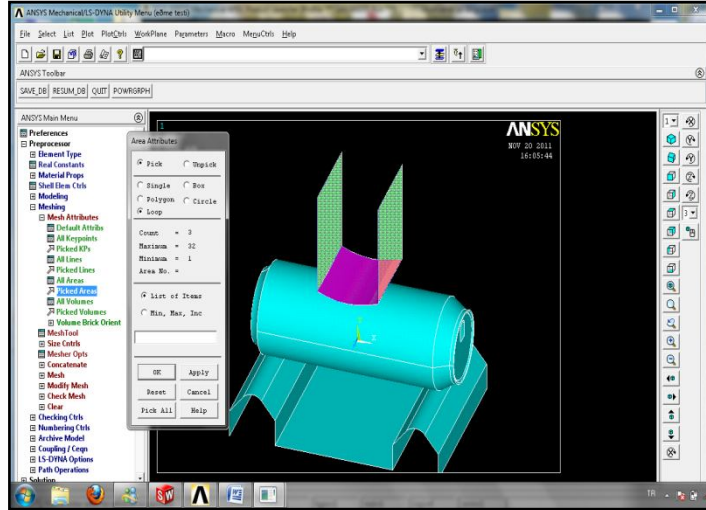
Hareketli üst basma çenesi, alüminyum tüp ve sabit alt çene için mesh size 2 mm olarak girilir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Eleman boyutunun kenar uzunluğu.

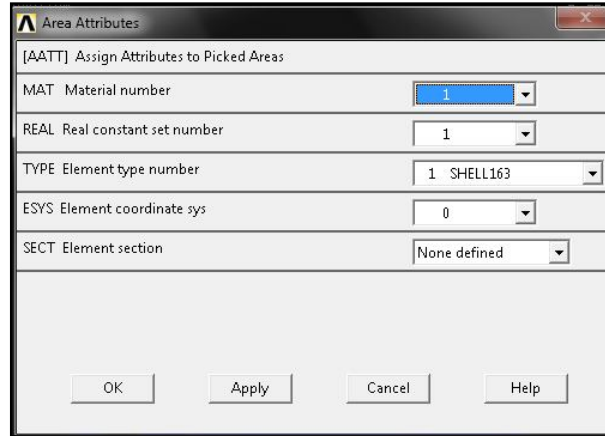
Hareketli üst basma çenesinin mesh işlemi için şu yol izlenir (Şekil 4.11);

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Areas / Loop / Hareketli üst basma çenesi / OK



Şekil 4.11. Hareketli üst basma çenesi için elemanlara ayırma (mesh) işlemi.

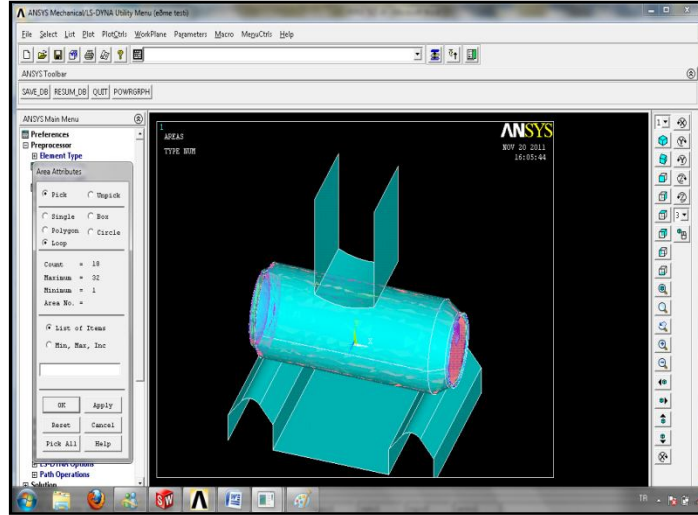
Ekrana gelen pencereden seçimler yapılır ve OK tıklanır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Hareketli üst basma çenesi için elemanlara ayırma özelliklerinin girilmesi.

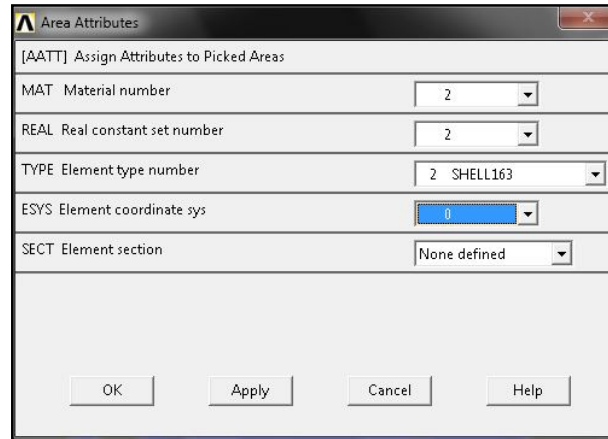
Alüminyum tüpün mesh işlemi için şu yol izlenir (Şekil 4.13);

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Areas / Loop / Alüminyum tüp / OK



Şekil 4.13. Alüminyum tüp için elemanlara ayırma işlemi.

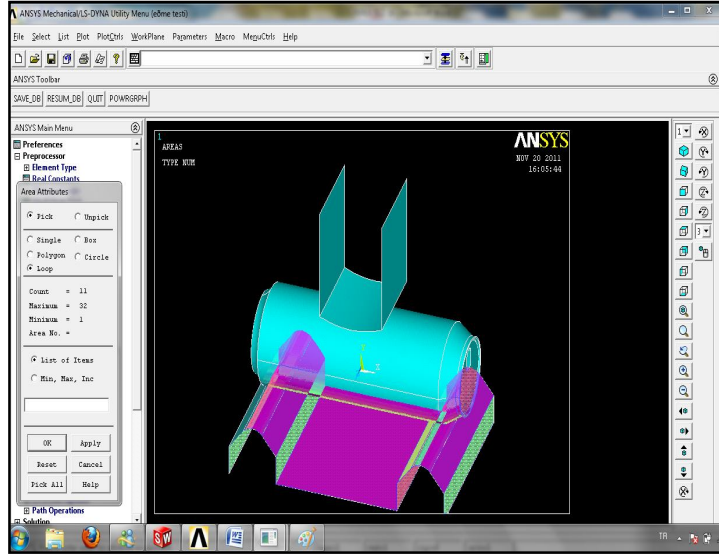
Ekrana gelen pencereden seçimler yapılır ve OK tıklanır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Alüminyum tüp için elemanlara ayırma özelliklerinin girilmesi.

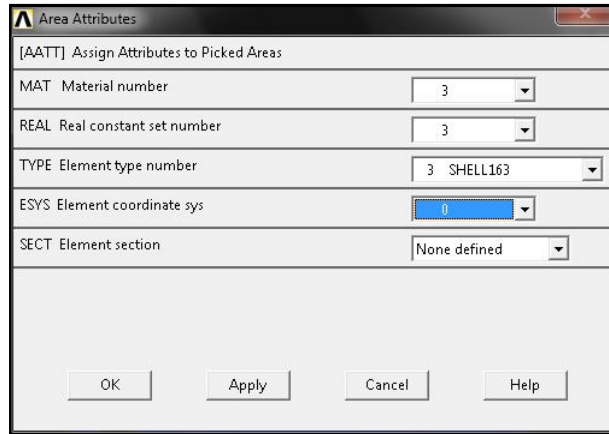
Sabit alt çenenin mesh işlemi için şu yol izlenir (Şekil 4.15);

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Areas / Loop / Sabit alt çene / OK



Şekil 4.15. Sabit alt çene için elemanlara ayırma işlemi.

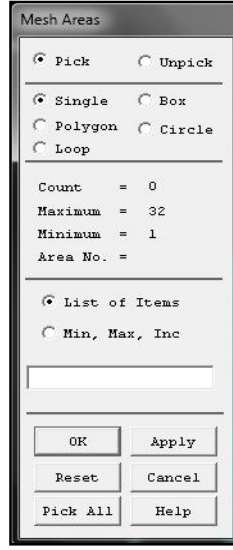
Ekrana gelen pencereden seçimler yapılır ve OK tıklanır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Sabit alt çene için elemanlara ayırma özelliklerinin girilmesi.

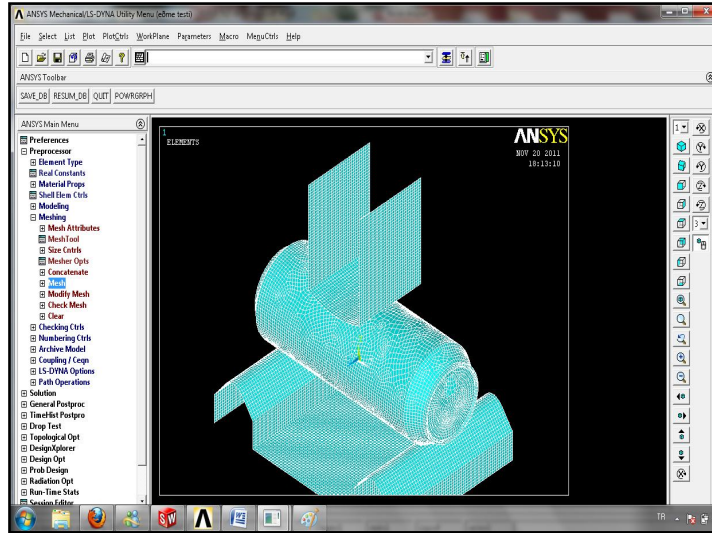
Elemanlara ayırma (mesh) işleminin başlatılması için şu yol izlenir (Şekil 4.17);

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh > Areas > Free > Pick All > OK



Şekil 4.17. Elemanlara ayırma işleminin başlatılması.

Ekranı aşağıdaki pencerede görüldüğü gibi elemanlara ayırma işleminin tamamlanmış görüntüsü gelecektir (Şekil 4.18).



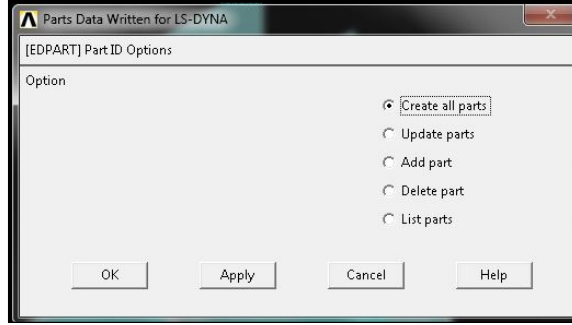
Şekil 4.18. Elemanlara ayırma işleminin tamamlanması.

4.3.6. Parça Numaralarının Aktifleştirilmesi

Elemanlara ayırma işleminden sonra program her bir malzemeye parça numarası atamaktadır. Bu özellik, yük uygulama aşamasına gelindiğinde hangi parçalara

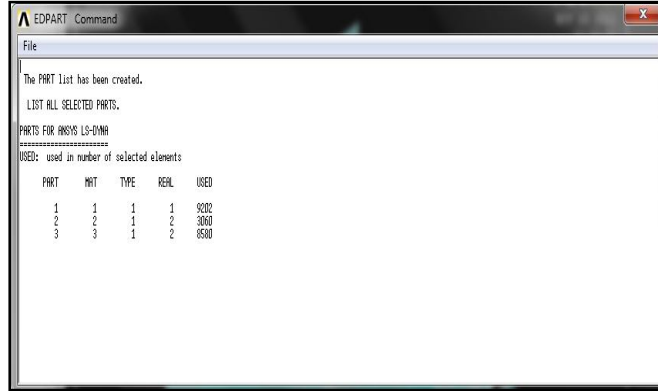
yükler uygulanacaksa o parçanın numarasının bilinmesi açısından önemlidir. Parça numaralarını aktifleştirmek için şu yol izlenir (Şekil 4.19);

Main Menu > Preprocessor > LS-DYNA Options > Parts Options > Create all parts > OK



Şekil 4.19. Parça numaralarını aktifleştirme.

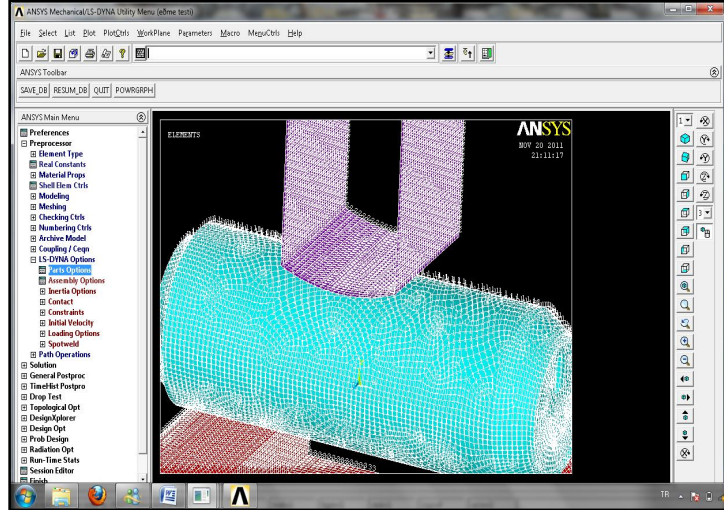
Ekranada açılan pencerede, parça numaraları ve malzeme numaralarının aktif olarak listelendiği görülecektir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Parça numaralarının aktif olarak listelenmesi.

Aktif parçaların, numaraları ile birlikte renklendirilmiş görüntüsünü elde etmek için şu yol izlenir;

Main Menu > PlotCtrls > Numbering / Part numbers / OK tıkladığında ekranda açılan pencerede aktif parçaların, numaraları ile birlikte renklendirilmiş görüntüsü gelecektir (Şekil 4.21).

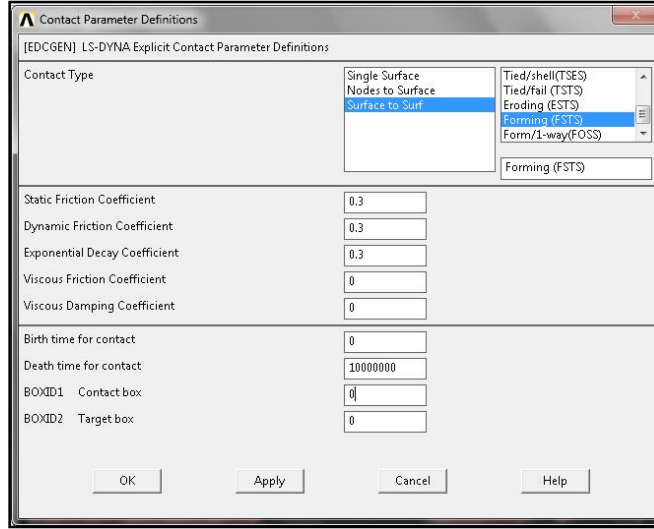


Şekil 4.21. Aktif parçaların, numaraları ile birlikte renklendirilmiş görüntüsü.

4.3.7. Contact (Temas) Yüzeylerinin Belirlenmesi

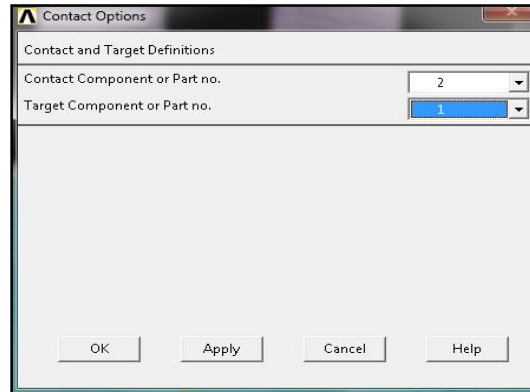
Analiz sonuçlarının doğruluğu açısından parçalar arasındaki temas yüzeylerinin tanımlanması gerekmektedir. Aksi takdirde doğru sonuçlar elde edilemez. Parçalar arasındaki temas yüzeylerini tanımlamak için şu yol izlenir;

Main Menu > Preprocessor > LS-DYNA Options > Contact > Define contact tıklanır. Ekrana gelen pencereden seçimler yapılarak OK tıklanır (Şekil 4.22).



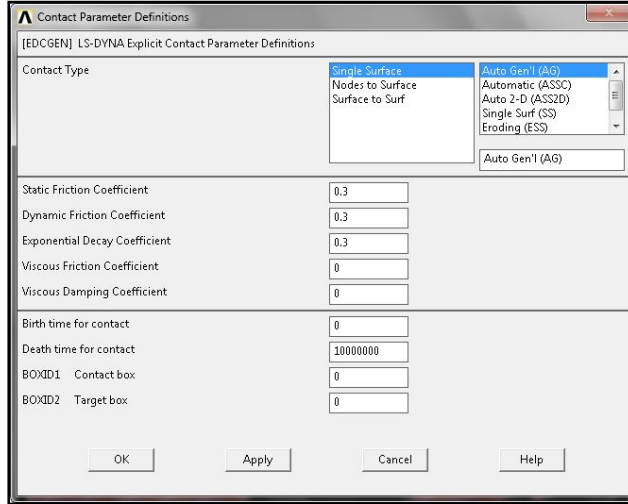
Şekil 4.22. Contact (temas) yüzeylerinin belirlenmesi.

Ekrana gelen pencereden temas eden yüzeyler seçilerek “Apply” tıklanılır (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Temas eden parça yüzeylerinin tanımlanması.

Hareketli üst basma çenesi, alüminyum tüp ve sabit alt çene arasındaki temas yüzeyleri yukarıdaki penceredeki gibi tanımlanır (Şekil 4.23). Son olarak belirlenemeyen temas yüzeyleri olabileceğinden bütün yüzeyler arasındaki temaslara aşağıdaki pencereden seçilir (Şekil 4.24).



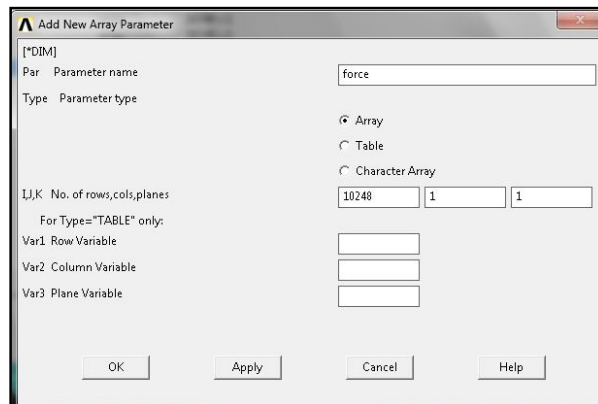
Şekil 4.24. Bütün yüzeylerdeki temasların tanımlanması.

4.3.8. Parametrelerin Belirlenmesi

Hareketli üst basma çenesine zaman ve kuvvet parametreleri tanımlanmıştır. Bu sayede hareketli üst basma çenesi zamana bağımlı olarak –y yönünde hareket ederek alüminyum tüpe kuvvet uygulamaktadır. Hareketli üst basma çenesinin kuvvet parametrelerinin belirlenmesi için şu yol izlenir;

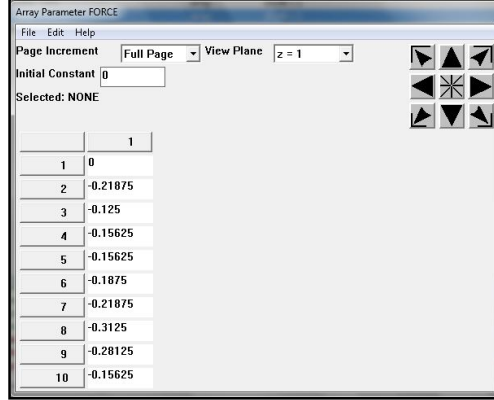
Main Menu > Parameters > Array parameters > Define / Edit > Add tıklanır.

Ekrana gelen pencereden aşağıdaki seçimler yapılır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Hareketli üst basma çenesi için kuvvet parametresi.

Yukarıdaki pencereden (Şekil 4.25) “Apply” tıklanır ekrana gelen pencereden seçimler yapılır (Şekil 4.26).



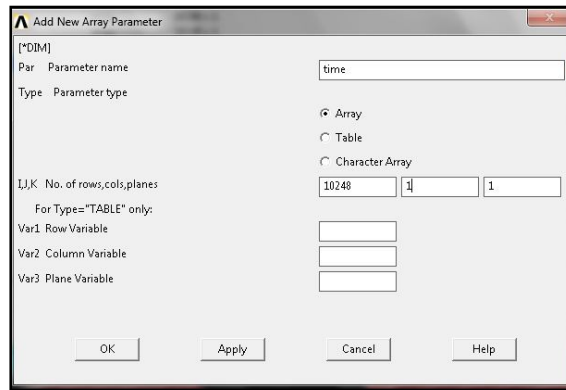
Şekil 4.26. Hareketli üst basma çenesi için kuvvet değerlerinin girilmesi.

Yukarıdaki pencereden hareketli üst basma çenesine kuvvet vermemiz için gerekli değerler girdikten sonra File > Apply / Quit tıklanarak çıkılır (Şekil 4.26).

Hareketli üst basma çenesinin zaman parametrelerinin belirlenmesi için şu yol izlenir;

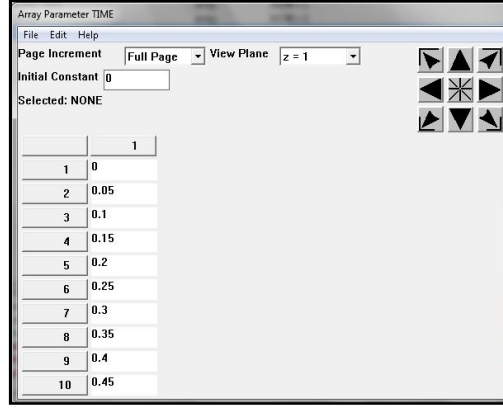
Main Menu > Parameters > Array parameters > Define / Edit > Add tıklanır.

Ekrana gelen pencereden aşağıdaki seçimler yapılır ve “Apply” tıklanır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Hareketli üst basma çenesi için zaman parametresi.

Ekrana gelen aşağıdaki pencreden seçimler yapılır (şekil 4.28).



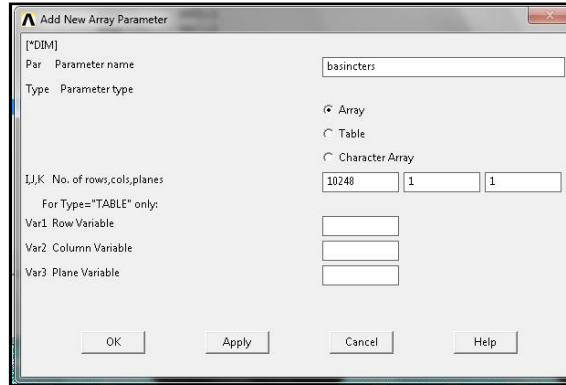
şekil 4.28. Hareketli st basma çenesi için zaman değerlerinin girilmesi.

Yukarıdaki pencereden hareketli st basma çenesine zaman değerlerini vermemiz için gerekli değerler girdikten sonra File > Apply / Quit tıklanarak çıkılır (şekil 4.28).

Alüminyum tüpün yanal alanlarının basınç parametrelerinin belirlenmesi için şu yol izlenir;

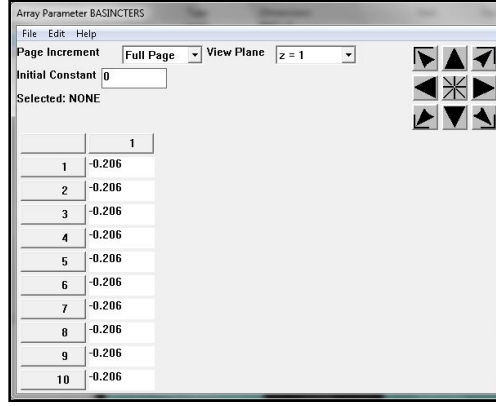
Main Menu > Parameters > Array parameters > Define / Edit > Add

Ekrana gelen pencereden aşağıdaki seçimler yapılır ve OK tıklanır (şekil 4.29).



şekil 4.29. Alüminyum tüpün yanal alanları için basınç parametresi.

Ekrana gelen aşağıdaki pencreden seçimler yapılır (Şekil 4.30).



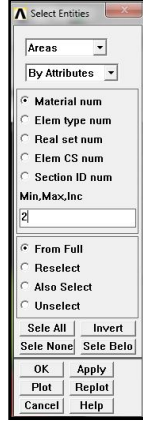
Şekil 4.30. Alüminyum tüpün yanal alanları için basınç değerlerinin girilmesi.

Alüminyum tüpün üst-alt kapakların alanlarının basınç parametreleri için ise Şekil 4.30' daki penceredeki basınç değerlerinin pozitif (+) olanları girilir.

4.3.9. Alüminyum Tüpün Alanlarına Bağlı Elemanlarının Seçilmesi Ve İsim Verilmesi

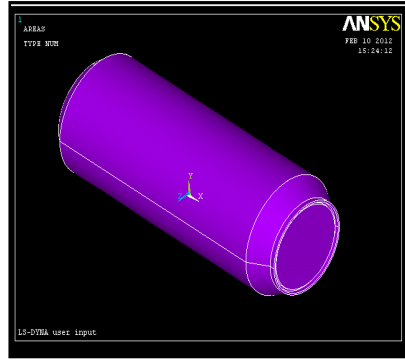
Alüminyum tüpe kuvvet uygularken aynı zamanda iç basınç da uygulanmıştır. Alüminyum tüpe basınç uygulamak için tüpün alt-üst kapaklarının alanları ve yanal alanları seçilir. Seçilen alanlara basınç uygulamak için alana bağlı elemanların seçilmesi gerekir. Alana bağlı elemanları seçmek için ilk önce alüminyum tüpün alanları malzeme numarası girilerek seçilir (Şekil 4.31) ve şu yol izlenir;

Utility > Select > Entities > Areas > By Attributes > Meterial num > Min, Max, Inc > 2 > From Full > Apply > Plot > OK



Şekil 4.31. Alüminyum tüpün alanlarının seçilmesi.

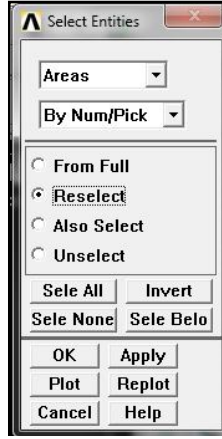
Yukarıdaki pencereden (Şekil 4.31) OK tıklandıktan sonra ekrana aşağıdaki alüminyum tüp görüntüsü gelecektir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. Alüminyum tüpün alanlarının görüntüsü.

Alüminyum tüpün alt-üst kapaklarının alanları ve yanal alanları seçmek için şu yol izlenir;

Utility > Select > Entities > Areas > By Num/Pick > From Full > Reselect > Apply > Plot > OK



Şekil 4.33. Alüminyum tüpün alt-üst kapaklarının alanları ve yanal alanlarının seçilmesi.

Yukarıdaki pencereden (Şekil 4.33) OK tıklandıktan sonra alanlar seçildiğinde aşağıdaki seçilmiş alanlar ekrana gelecektir (Şekil 4.34).



Şekil 4.34. Alüminyum tüpün alt-üst kapaklarının alanları ve yanal alanlarının seçilmiş görüntüsü.

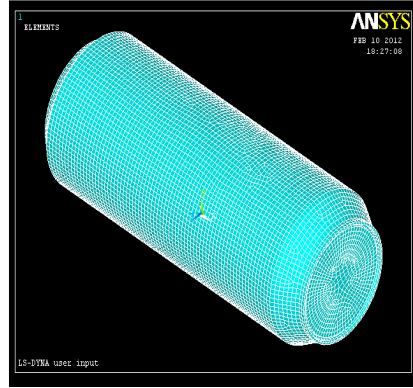
Alüminyum tüpün alt-üst kapaklarının alanları ve yanal alanları seçildikten sonra bu alanlara bağlı elemanları seçmek için şu yol izlenir;

Utility > Select > Entities > Elements > Attached to > Areas > Reselect > Apply > Plot > OK



Şekil 4.35. Alüminyum tüpün alt-üst kapaklarının alanlarına ve yanal alanlarına bağlı elemanların seçilmesi.

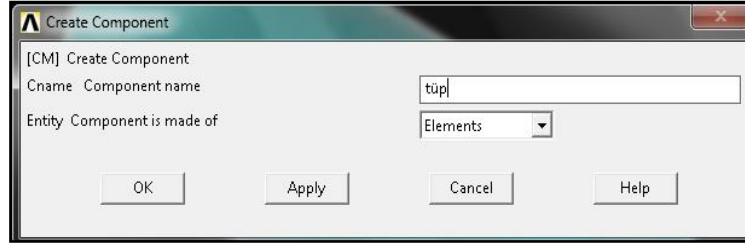
Yukarıdaki pencereden (Şekil 4.35) OK tıklandıktan sonra aşağıdaki pencerede alana bağlı elemanların seçilmiş görüntüsü gelecektir (Şekil 4.36).



Şekil 4.36. Alüminyum tüpün alt-üst kapaklarının alanlarına ve yanal alanlarına bağlı elemanların seçilmiş görüntüsü.

Alüminyum tüpün alt-üst kapaklarının alanlarına ve yanal alanlarına bağlı elemanlar seçildikten sonra bu elemanlara isim vermek için şu yol izlenir;

Utility > Select > Comp/Assembly > Create Component tıklanır ve ekrana aşağıdaki pencere gelir (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. Alüminyum tüpün alt-üst kapaklarının alanlarına ve yanal alanlarına bağlı elemanlara isim verme.

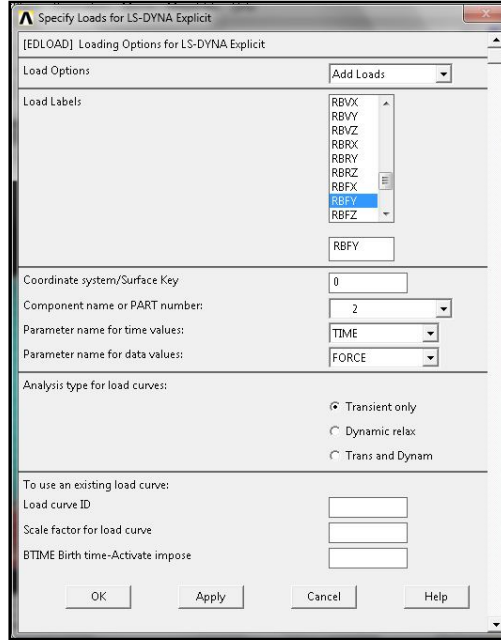
Alüminyum tüpün alt-üst kapaklarının alanlarına ve yanal alanlarına bağlı elemanlara isim vermemizin amacı basınç uygulama esnasında kolaylık sağlamasıdır. Tüpün üst kapağına, alt kapağına ve yanal alana bağlı elementlere ayrı ayrı isim verilmelidir. Çünkü üst ve alt kapaklara pozitif (+) basınç değeri, yanal alan ise negatif (-) basınç değeri girilecektir.

4.3.10. Hareketli Üst Basma Çenesine Zaman Ve Kuvvet Parametrelerinin Giydirilmesi

Hareketli üst basma çenesine tanımlanan zaman ve kuvvet parametrelerinin giydirilmesi için şu yol izlenir;

Main Menu > Preprocessor > LS-DYNA Options > Loading Options > Specify Loads

Ekrana gelen aşağıdaki pencereden seçimler yapılır (Şekil 4.38).



Şekil 4.38. Hareketli üst basma çenesine zaman ve kuvvet parametrelerinin giydirilmesi.

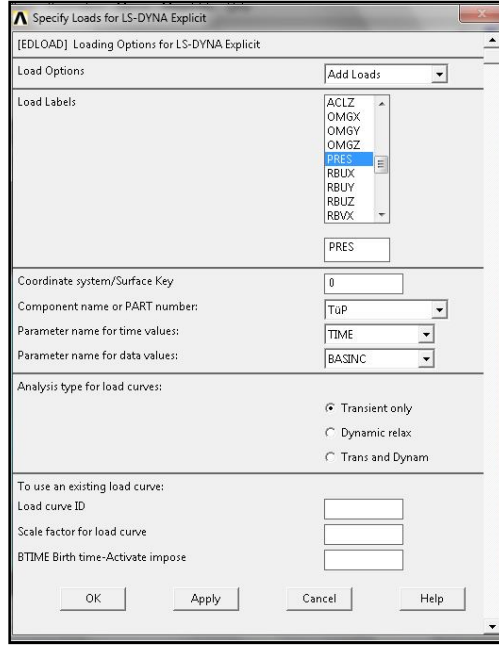
Yukarıdaki pencereden OK tıklanarak işlem tamamlanır (Şekil 4.38).

4.3.11. Alüminyum Tüpe Zaman Ve Basınç Parametrelerinin Giydirilmesi

Alüminyum tüpün üst kapak, alt kapak ve yanal alanlarına tanımlanan zaman ve basınç parametrelerinin ayrı ayrı giydirilmesi için şu yol izlenir;

Main Menu > Preprocessor > LS-DYNA Options > Loading Options > Specify Loads

Ekrana gelen aşağıdaki pencereden seçimler yapılır (Şekil 4.39).



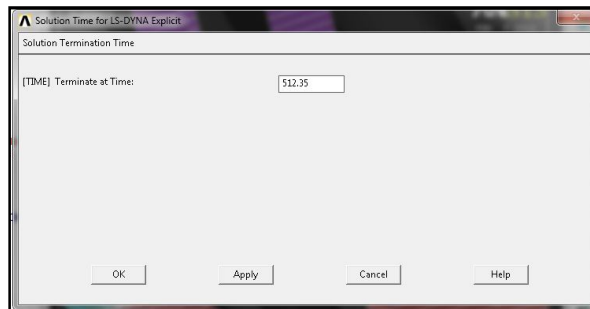
Şekil 4.39. Alüminyum tüpe tanımlanan zaman ve basınç parametrelerinin giydirilmesi.

Yukarıdaki pencereden OK tıklanarak işlem tamamlanır (Şekil 4.39).

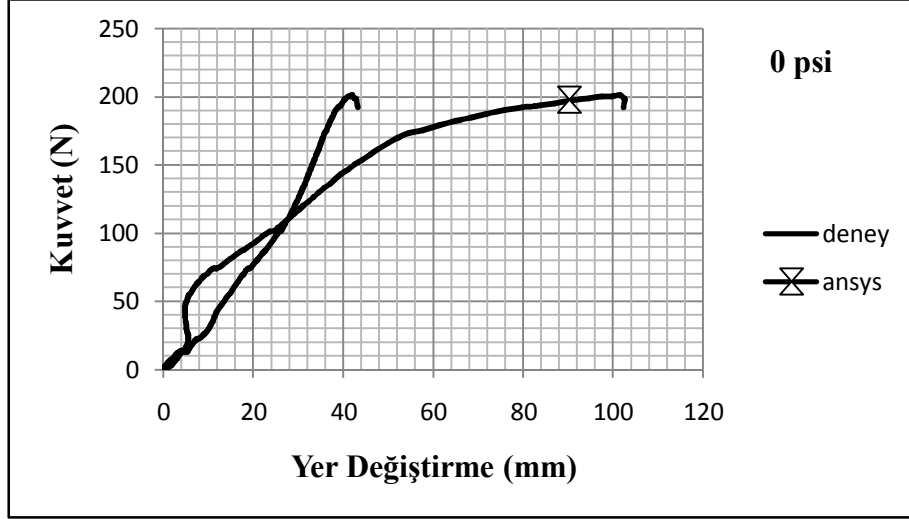
4.3.12. Analiz Süresinin Belirlenmesi

Analizin ne kadar sürede tamamlanacağını belirlemek için zaman parametrelerinden son değer girilir ve bu işlem için şu yol izlenir (Şekil 4.40);

Main Menu > Preprocessor > Solution > Time Controls > Solution Time > OK

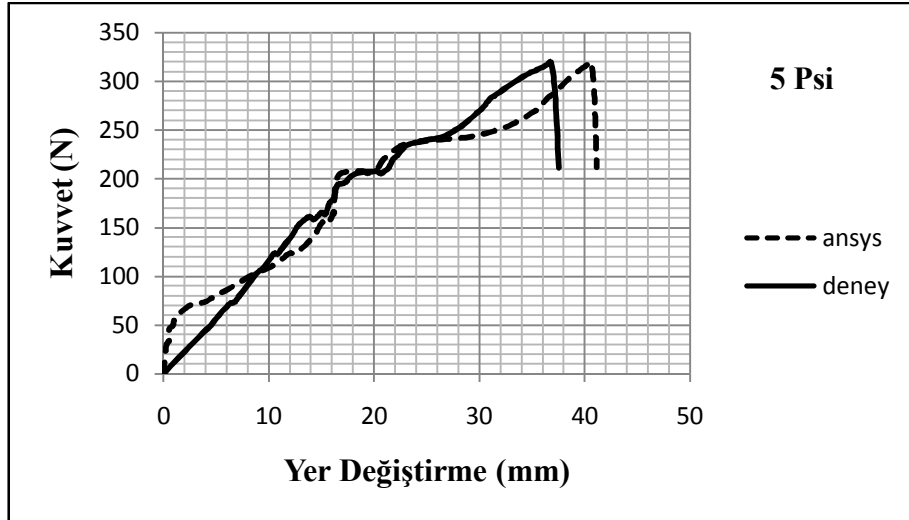


Şekil 4.40. Analiz çözüm zamanının belirlenmesi.



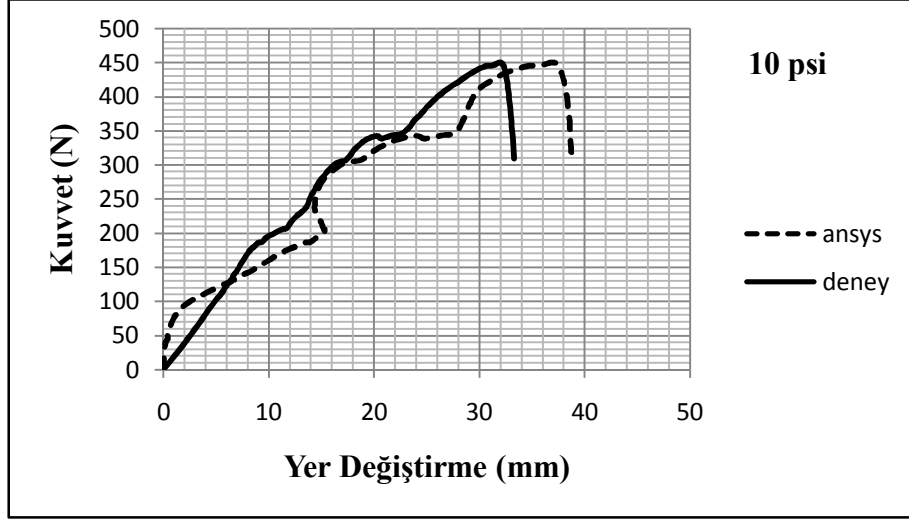
Şekil 4.42. Alüminyum tüpün 0 Psi' daki eğme testinin ansys ve deney sonuçları.

Alüminyum tüp 5 Psi iken analiz 3 saat 15 dakika sürmüştür. Analizde ve deneyden elde edilen kuvvet - yer değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.43).



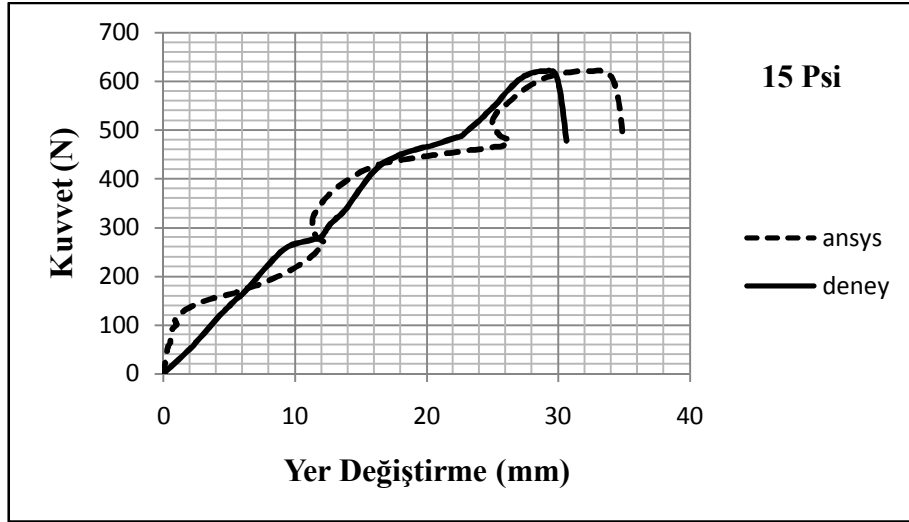
Şekil 4.43. Alüminyum tüpün 5 Psi' daki eğme testinin ansys ve deney sonuçları.

Alüminyum tüp 10 Psi iken analiz 3 saat 19 dakika sürmüştür. Analizde ve deneyden elde edilen kuvvet - yer değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.44).



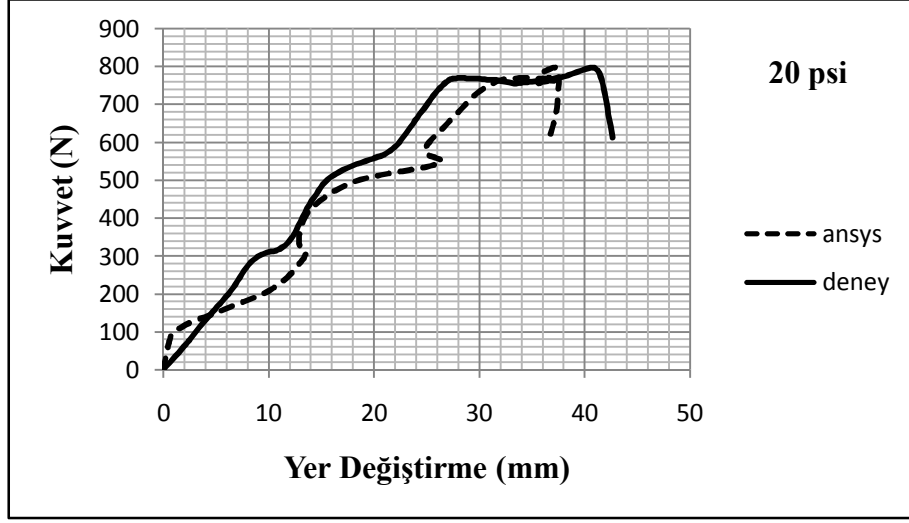
Şekil 4.44. Alüminyum tüpün 10 Psi' daki eğme testinin ansys ve deney sonuçları.

Alüminyum tüp 15 Psi iken analiz 3 saat 21 dakika sürmüştür. Analizde ve deneyden elde edilen kuvvet - yer değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.45).



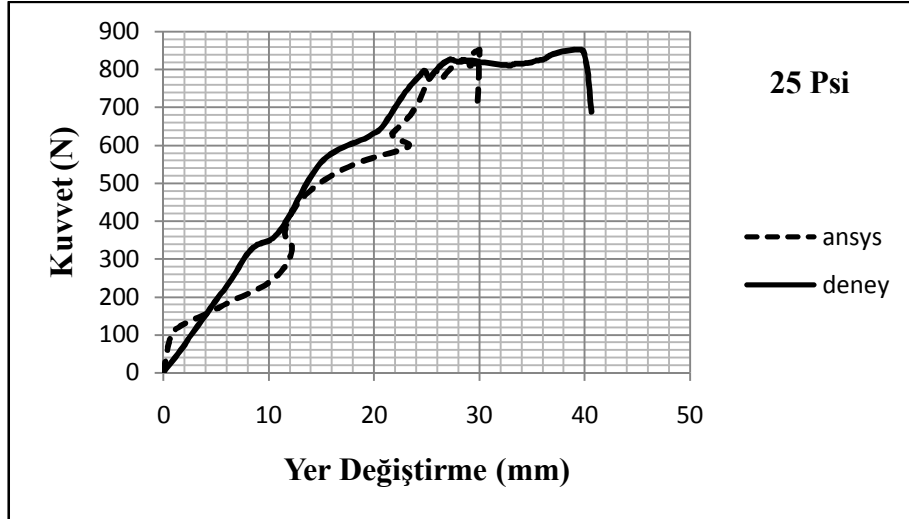
Şekil 4.45. Alüminyum tüpün 15 Psi' daki eğme testinin ansys ve deney sonuçları.

Alüminyum tüp 20 Psi iken analiz 3 saat 28 dakika sürmüştür. Analizde ve deneyden elde edilen kuvvet - yer değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.46).



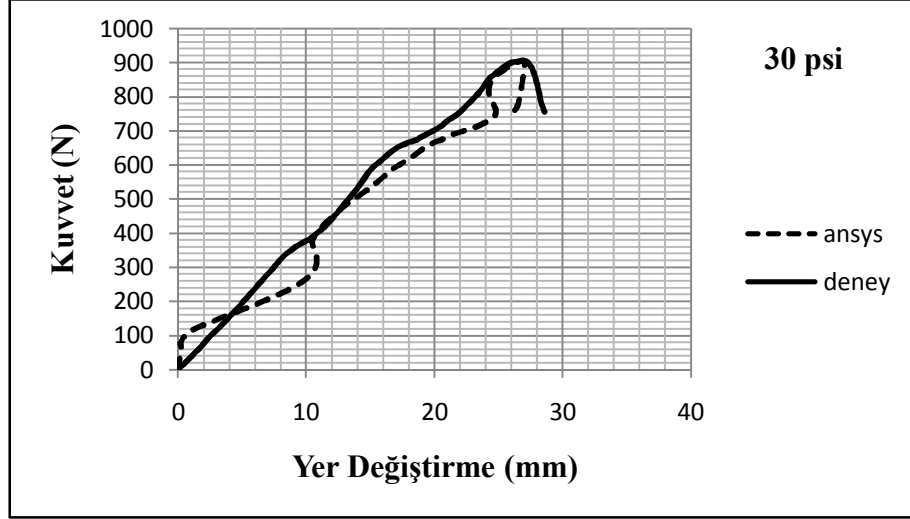
Şekil 4.46. Alüminyum tüpün 20 Psi' daki eğme testinin ansys ve deney sonuçları.

Alüminyum tüp 25 Psi iken analiz 3 saat 33 dakika sürmüştür. Analizde ve deneyden elde edilen kuvvet - yer değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.47).



Şekil 4.47. Alüminyum tüpün 25 Psi' daki eğme testinin ansys ve deney sonuçları.

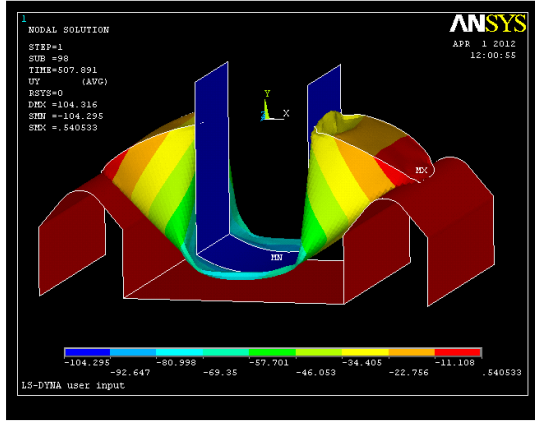
Alüminyum tüp 30 Psi iken analiz 3 saat 35 dakika sürmüştür. Analizde ve deneyden elde edilen kuvvet - yer değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.48).



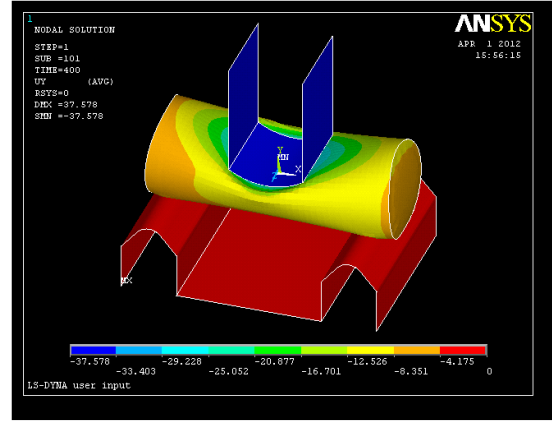
Şekil 4.48. Alüminyum tüpün 30 Psi' daki eğme testinin ansys ve deney sonuçları.

4.4.2. SEY İle Eğme Testi Analiz Sonuçlarının Görüntüsü

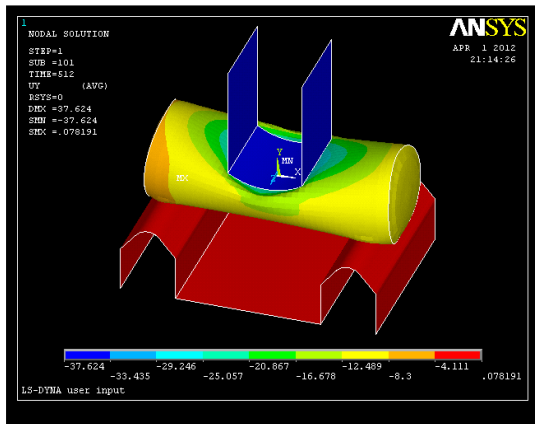
Alüminyum tüpün farklı iç basınçlar altında Sonlu Elamanlar Yöntemi (SEY) ile yapılan üç nokta eğme testi analizi sonucunda elde edilen y yönündeki yer değiştirmeleri gösteren resimler aşağıda verilmiştir (Şekil 49).



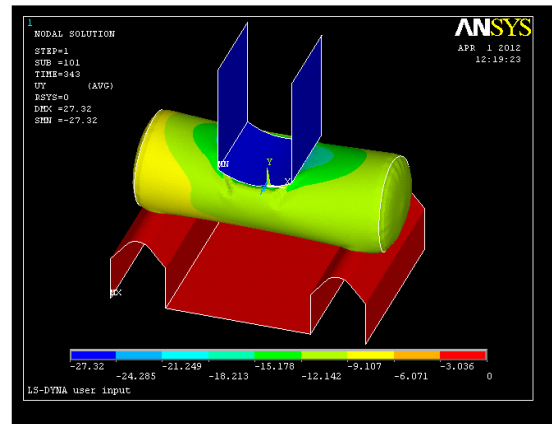
(a)



(b)



(c)



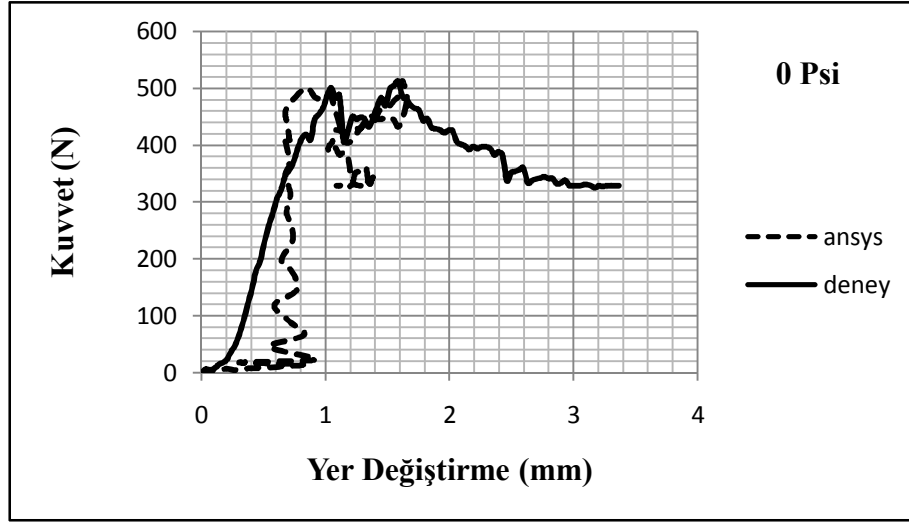
(d)

Şekil 4.49. SEY ile üç nokta eğme testi analiz sonuçlarının görüntüsü: a) 0 Psi iç basınç altında üç nokta eğme testi. b) 10 Psi iç basınç altında üç nokta eğme testi. c) 20 Psi iç basınç altında üç nokta eğme testi. d) 30 Psi iç basınç altında üç nokta eğme testi.

4.4.3. SEY İle Basma Testi Analiz Grafik Sonuçları

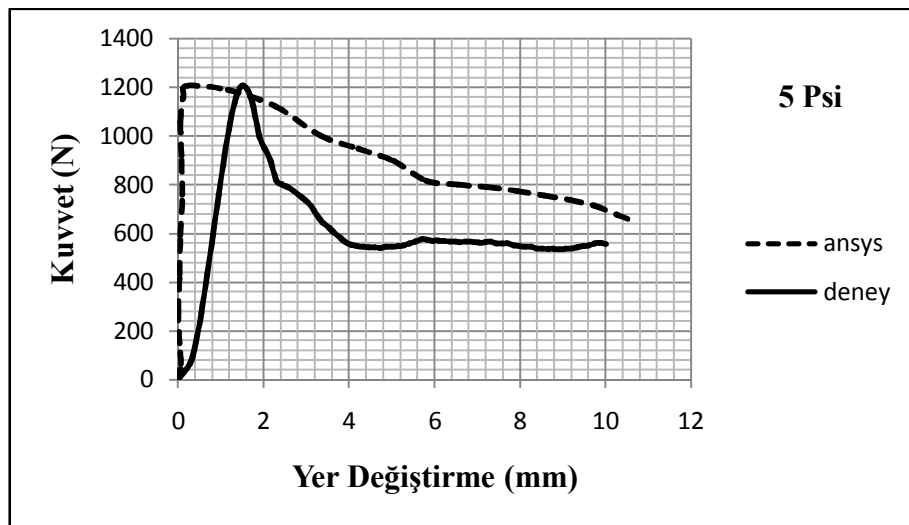
Analizler, alüminyum tüp boş (0 Psi) iken ve alüminyum tüp 5 Psi, 10 Psi, 20 Psi 30 Psi farklı basınçlandırma koşullarında iken deneylerde elde edilen kuvvet ve zaman parametreleri hareketli üst basma çenesine tanımlanarak basma testi yapılmıştır. Analiz sonuçlarından yer değiştirme miktarı ve kuvvet-yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Analizlerde elde edilen grafikler deneylerde elde edilen grafiklerle karşılaştırılmış ve grafikler arasında uyumluluk gözlenmiştir.

Alüminyum tüp boş (0 Psi) iken analiz 2 saat 21 dakika sürmüştür. Analizde ve deneyden elde edilen kuvvet - yer değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.50).



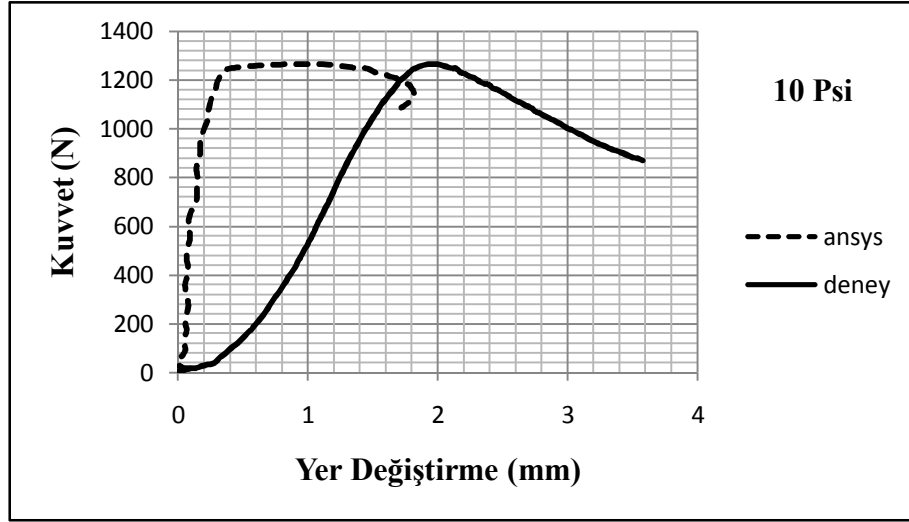
Şekil 4.50. Alüminyum tüpün 0 Psi' daki basma testinin ansys ve deney sonuçları.

Alüminyum tüp 5 Psi iken analiz 2 saat 28 dakika sürmüştür. Analizde ve deneyden elde edilen kuvvet - yer değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.51).



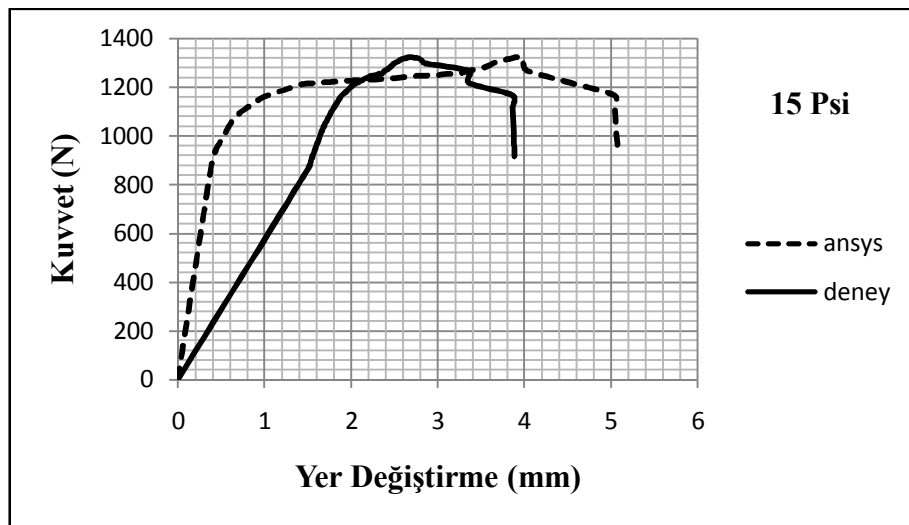
Şekil 4.51. Alüminyum tüpün 5 Psi' daki basma testinin ansys ve deney sonuçları.

Alüminyum tüp 10 Psi iken analiz 2 saat 32 dakika sürmüştür. Analizde ve deneyden elde edilen kuvvet - yer değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.52).



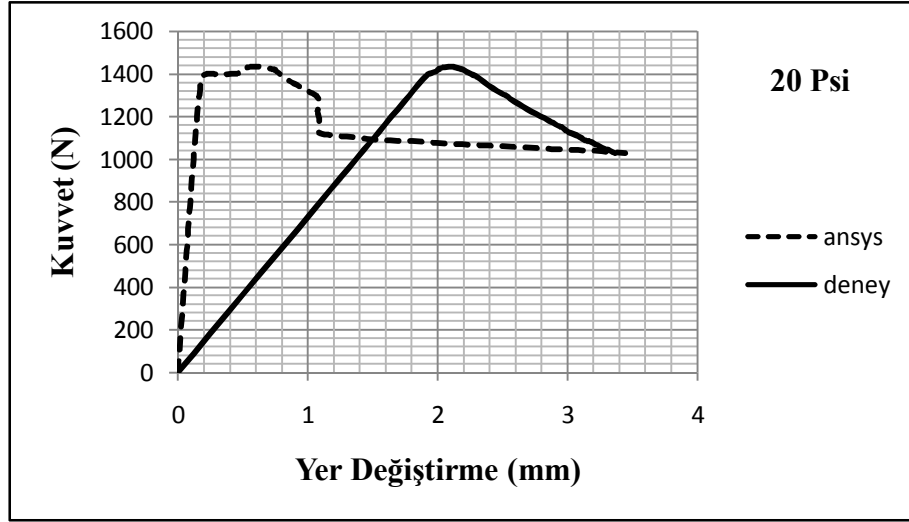
Şekil 4.52. Alüminyum tüpün 10 Psi' daki basma testinin ansys ve deney sonuçları.

Alüminyum tüp 15 Psi iken analiz 2 saat 41 dakika sürmüştür. Analizde ve deneyden elde edilen kuvvet - yer değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.53).



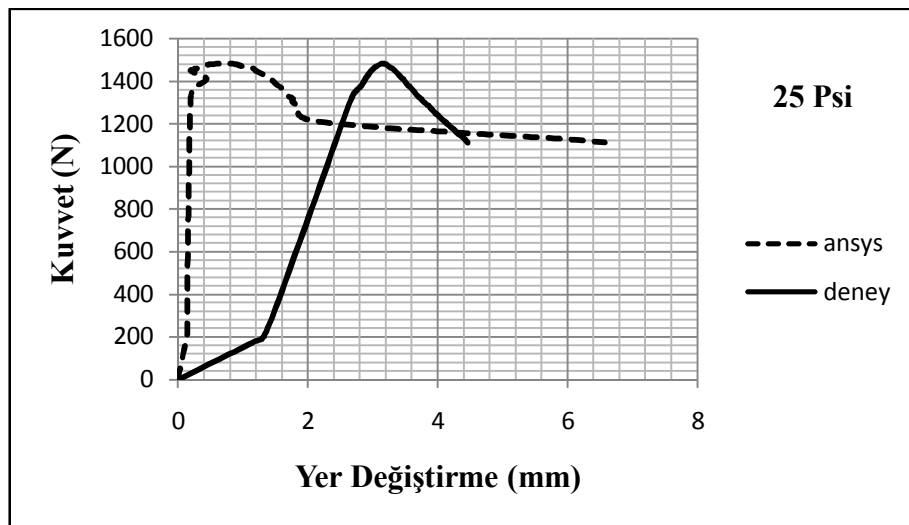
Şekil 4.53. Alüminyum tüpün 15 Psi' daki basma testinin ansys ve deney sonuçları.

Alüminyum tüp 20 Psi iken analiz 2 saat 45 dakika sürmüştür. Analizde ve deneyden elde edilen kuvvet - yer değıştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.54).



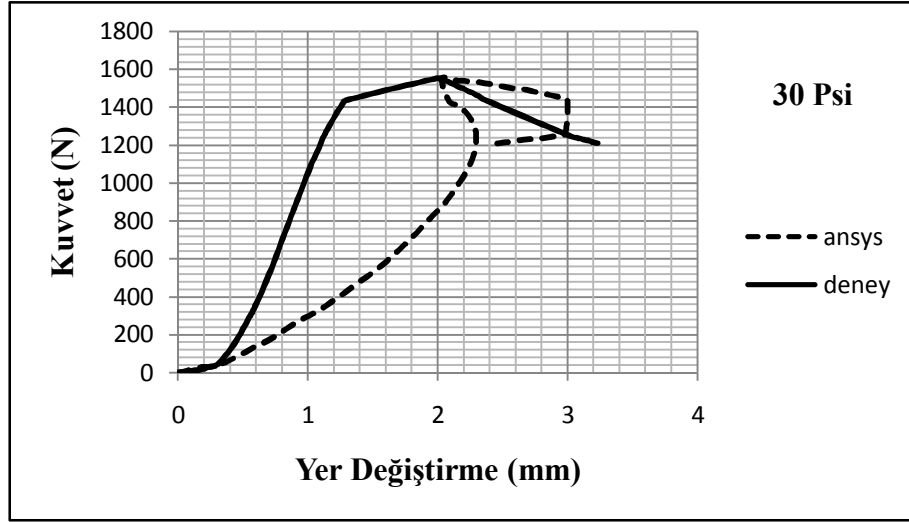
Şekil 4.54. Alüminyum tüpün 20 Psi' daki basma testinin ansys ve deney sonuçları.

Alüminyum tüp 25 Psi iken analiz 2 saat 51 dakika sürmüştür. Analizde ve deneyden elde edilen kuvvet - yer değıştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.55).



Şekil 4.55. Alüminyum tüpün 25 Psi' daki basma testinin ansys ve deney sonuçları.

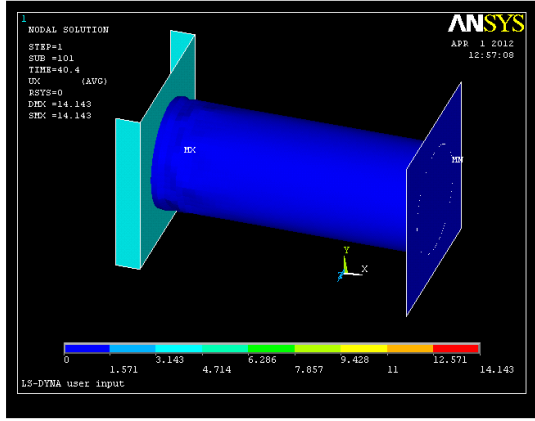
Alüminyum tüp 30 Psi iken analiz 2 saat 57 dakika sürmüştür. Analizde ve deneyden elde edilen kuvvet - yer değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.56).



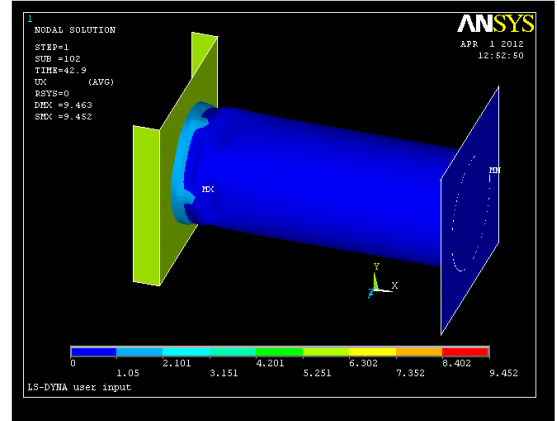
Şekil 4.56. Alüminyum tüpün 30 Psi' daki basma testinin ansys ve deney sonuçları.

4.4.4. SEY İle Basma Testi Analiz Sonuçlarının Görüntüsü

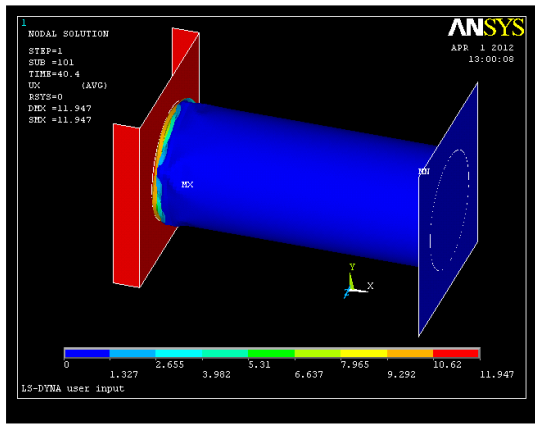
Alüminyum tüpün farklı iç basınçlar altında Sonlu Elamanlar Yöntemi (SEY) ile yapılan basma testi analizi sonucunda elde edilen y yönündeki yer değiştirmeleri gösteren resimler aşağıda verilmiştir (Şekil 57).



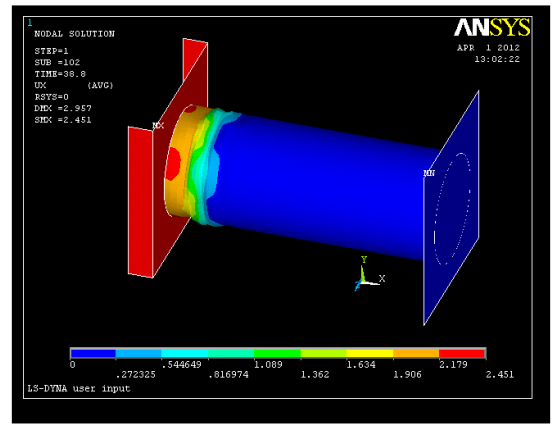
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.57. SEY ile basma testi analiz sonuçlarının görüntüsü: a) 0 Psi iç basınç altında basma testi. b) 10 Psi iç basınç altında basma testi. c) 20 Psi iç basınç altında basma testi. d) 30 Psi iç basınç altında basma testi.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. HAZIRLIK VE TASARIM AŞAMALARI

Üç nokta eğme ve basma deneylerinde, boyut ve ağırlık açısından aynı olan et kalınlığı $t=0.15$ mm, uzunluğu $L=167$ mm, çapı $D=65$ mm olan alüminyum tüpler kullanılmıştır (Şekil 5.1).



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.1. Üç nokta eğme ve basma testinde kullanılan araç ve gereçler: a) Deneylerde kullanılan alüminyum tüp. b) Hava doldurma düzeneği. c) Deneylerde kullanılan kompresör. d) Deneylerde kullanılan manometre.

Deneylerde kullanılan her bir tüpe görsellik kazandırmak için boyama işlemi uygulanmıştır. Hava doldurmak için tüplere oto lastik sibobu monte edilmiştir. Hava

doldurma işlemini yapabilmek için kompresör ve hava basıncının değerini tespit edebilmek için manometre kullanılmıştır (Şekil 5.1).

Tüplerin her biri hava dolmuş düzeneğinde sırasıyla 0 psi - 5 psi - 10 psi - 15 psi – 20 psi – 25 psi – 30 psi' ya kadar hava ile doldurulmuştur (Şekil 5.1).

Eğme ve basma deneylerinde Şekil. 5.2' deki sabit alt çene ve hareketli üst basma çenesi kullanılmıştır. Farklı hava basınçlarında doldurulmuş tüplerin eğme ve basma testleri Şekil 5.2' deki AUTOGRAPH marka test cihazında yapılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 5.2. Üç nokta eğme ve basma testinde kullanılan araç ve gereçler: a) Deneylerde kullanılan sabit alt çene ve hareketli üst basma çenesi. b) Üç nokta eğme ve basma testinde kullanılan cihaz.

5.2. PATLATMA DENEYİ

Eğme ve basma deneylerinde alüminyum tüplere doldurulacak maksimum basınç değerini tespit edebilmek için patlatma deneyi yapılmıştır. Alüminyum tüpe kompresör yardımıyla patlayıncaya kadar hava pompalanmıştır. Tüpün patladığı anda içindeki basınç değeri 105 psi olarak ölçülmüştür.

Patlatma işleminden sonra tüpün farklı bölgelerinde farklı hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 5.3).

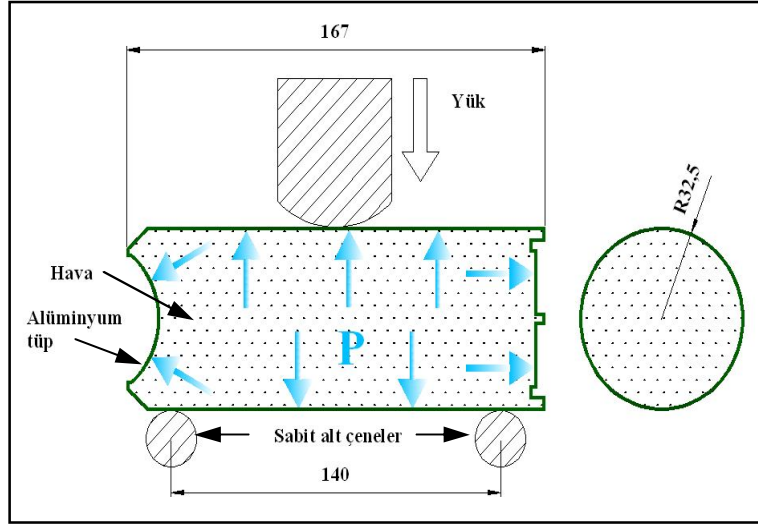


Şekil 5.3. Alüminyum tüp de patladıktan sonra oluşan hasarlar.

Alüminyum tüpün deneydeki gibi nümerik ve analitik patlama hesapları yapılmıştır. Deneyde tüp, sibop kısımandan patlamıştır ve tüpün yüzeyi üzerindeki ufak şekil bozuklukları erken patlamaya neden olmuştur. Bu nedenle ideal şartlar gösteren analitik sonuçlarla nümerik sonuçlar tam uyumluluk göstermemiştir.

5.3. ÜÇ NOKTA EĞME DENEYİ

Üç nokta eğme deneyi her farklı basınçta 2 tüp olmak üzere 14 adet alüminyum tüp kullanılmıştır. Basıncısız ve farklı basınçlarda hava doldurularak üst basma çenesi hızı 5 mm/dak olacak şekilde yapılmıştır. Deney cihazından kuvvet - yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümü aşağıda verilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Üç nokta eğme deneyi deney düzeneği.

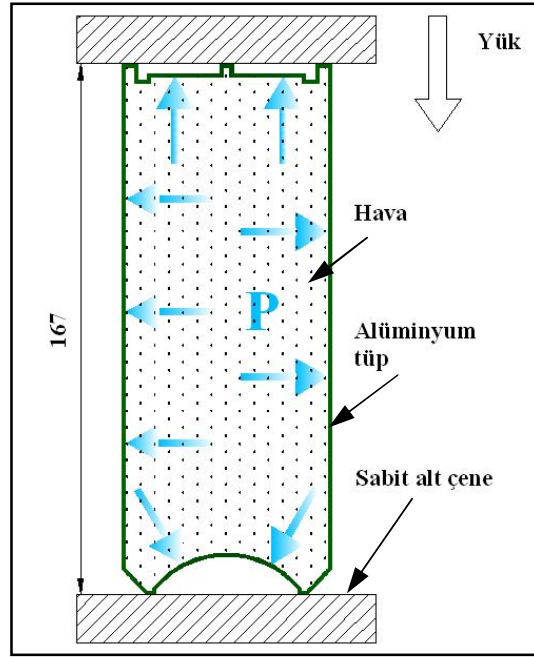
Üç nokta eğme deneyinin uygulama şekli aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Autograph marka test cihazında eğme deneyinin uygulama şekli

5.4. BASMA DENEYİ

Basma deneyi her farklı basınçta 2 tüp olmak üzere 14 adet alüminyum tüp kullanılmıştır. Basıncsız ve farklı basınçlarda hava doldurularak üst basma çenesi hızı 5 mm/dak olacak şekilde yapılmıştır. Deney cihazından kuvvet - yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümü aşağıda verilmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Basma deneyi deney düzeneği.

Basma deneyinin uygulama şekli aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.7).



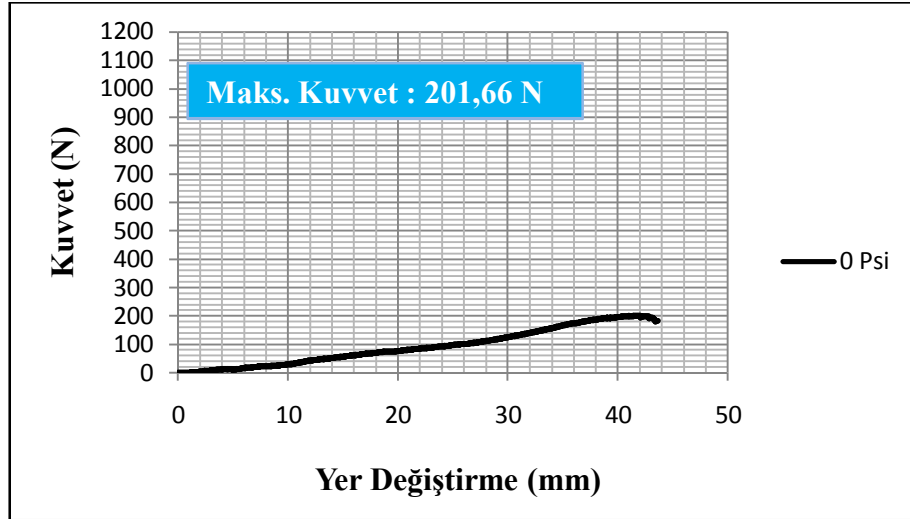
Şekil 5.7. Autograph marka test cihazında basma deneyinin uygulama şekli.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

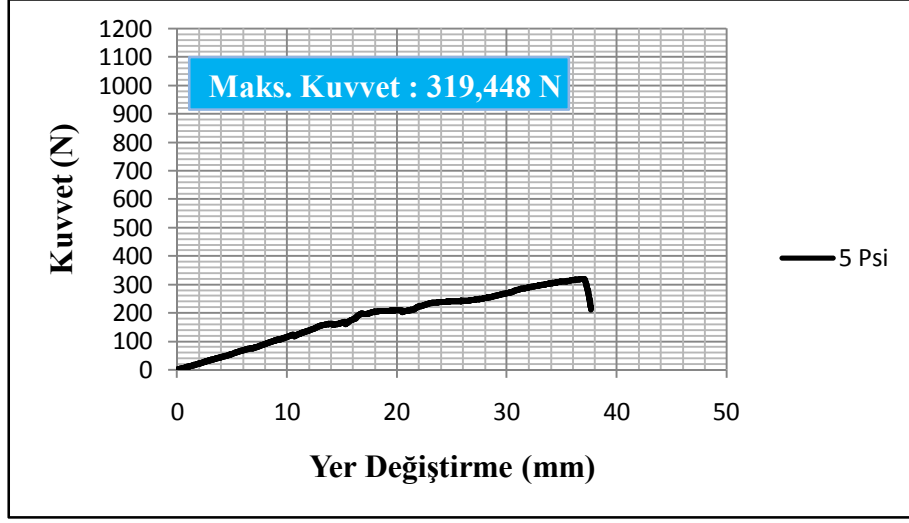
6.1. ÜÇ NOKTA EĞME DENEYİ SONUÇLARI

Hava konulmamış boş (0 Psi) alüminyum tüpün eğme deneyi sonuçları Şekil 6.1’ de gösterilmiştir.



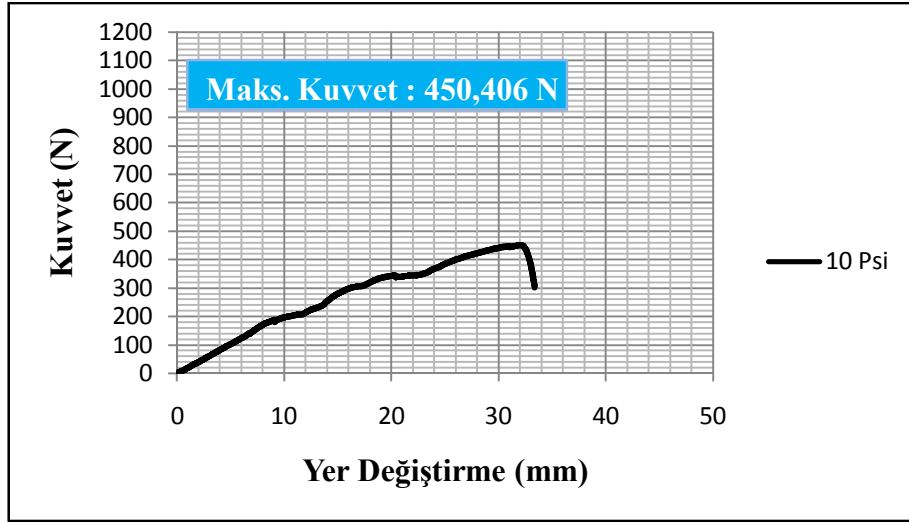
Şekil 6.1. Hava konulmamış boş alüminyum tüpün üç nokta eğme testi sonuçları.

5 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün eğme deneyi sonuçları Şekil 6.2’ de gösterilmiştir.



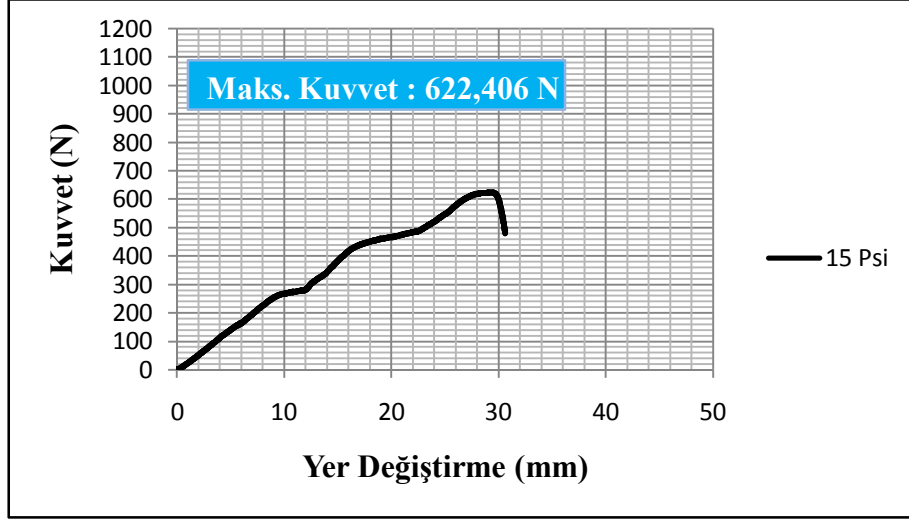
Şekil 6.2. 5 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün üç nokta eğme testi sonuçları.

10 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün eğme deneyi sonuçları Şekil 6.3’te gösterilmiştir.



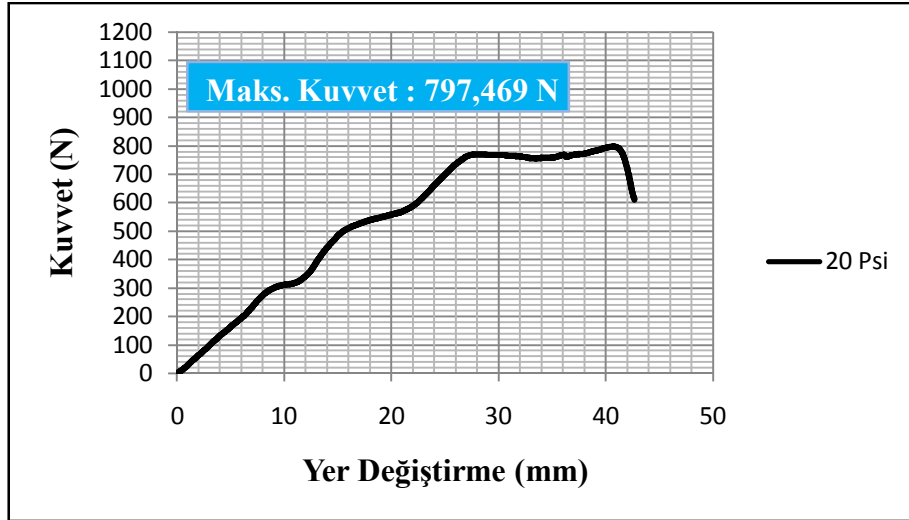
Şekil 6.3. 10 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün üç nokta eğme testi sonuçları.

15 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün eğme deneyi sonuçları Şekil 6.4’te gösterilmiştir.



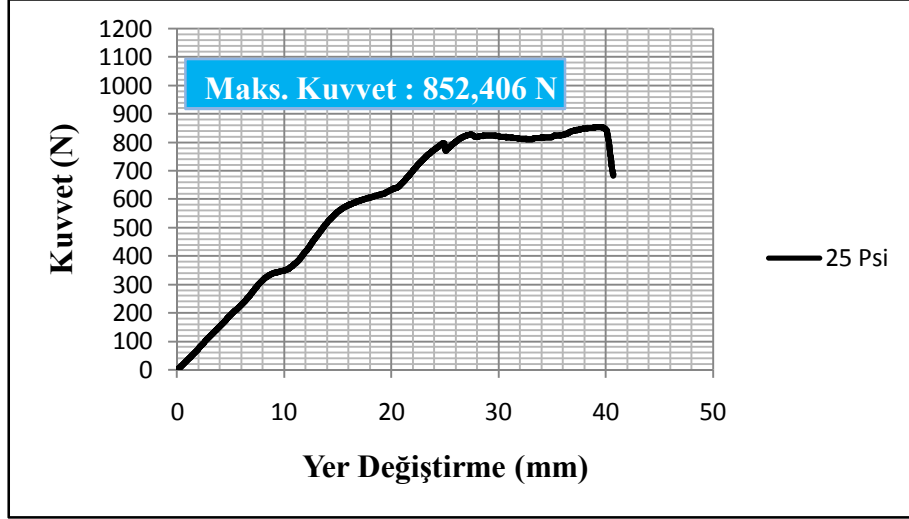
Şekil 6.4. 15 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün üç nokta eğme testi sonuçları.

20 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün eğme deneyi sonuçları Şekil 6.5’te gösterilmiştir.



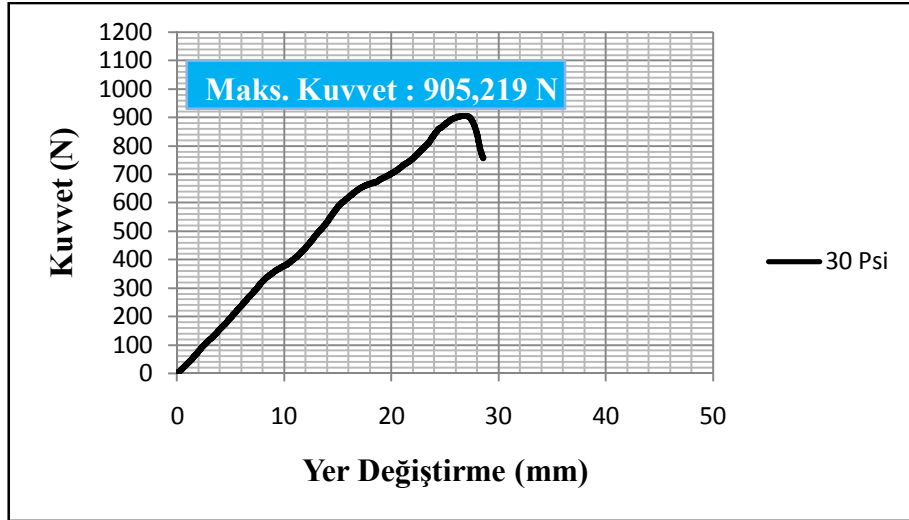
Şekil 6.5. 20 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün üç nokta eğme testi sonuçları.

25 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün eğme deneyi sonuçları Şekil 6.6’da gösterilmiştir.



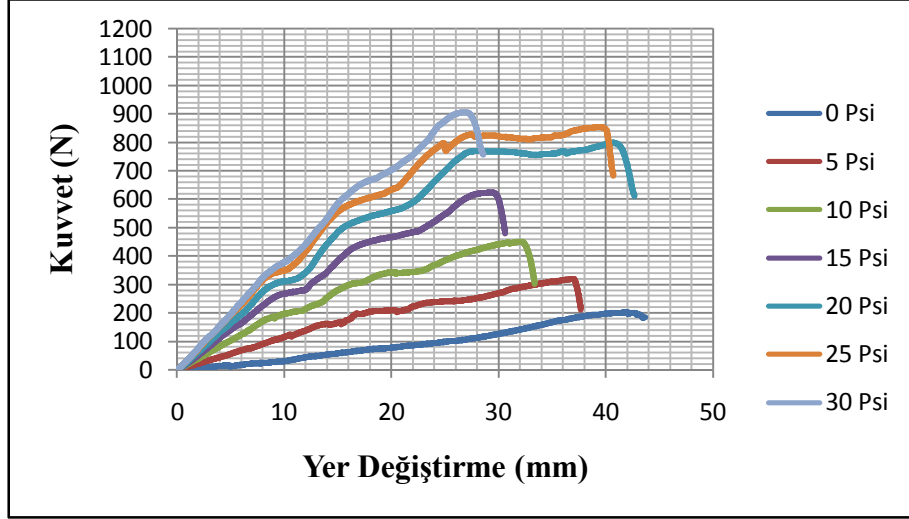
Şekil 6.6. 25 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün üç nokta eğme testi sonuçları.

30 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün eğme deneyi sonuçları Şekil 6.7' de gösterilmiştir.



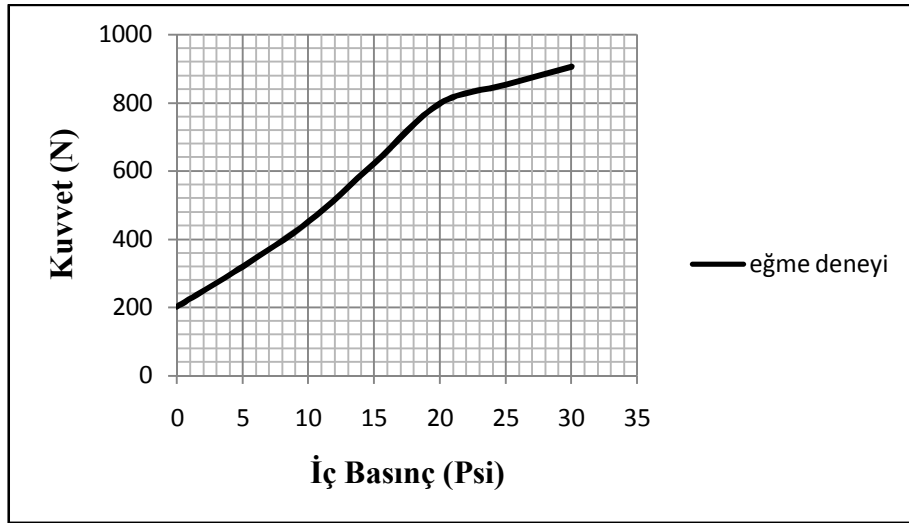
Şekil 6.7. 30 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün üç nokta eğme testi sonuçları.

Farklı basınçlardaki eğme deney sonuçları Şekil 6.8' de birlikte gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Üç nokta eğme testi sonuçlarının birlikte gösterilmesi.

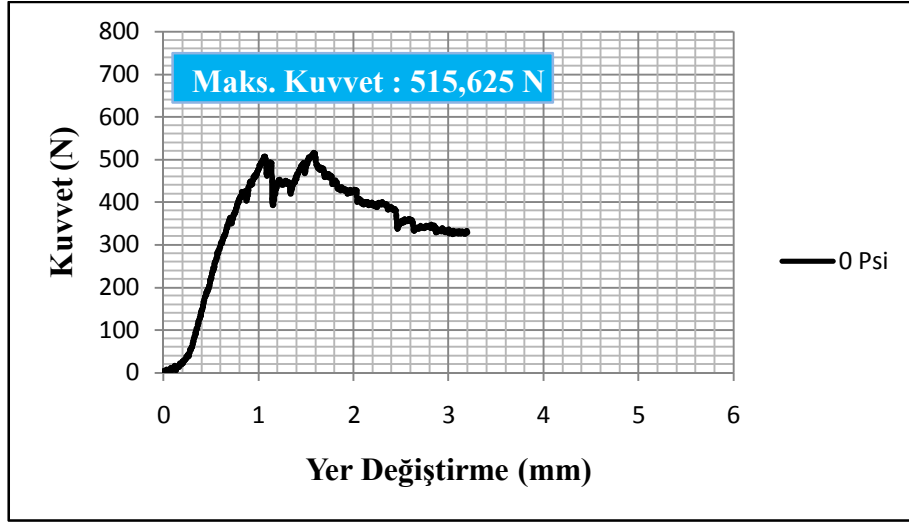
Alüminyum tüpün eğme deneyinde iç basıncına bağlı olarak taşıyabildiği maksimum kuvvet aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. Üç nokta eğme testi iç basınç - kuvvet grafiği.

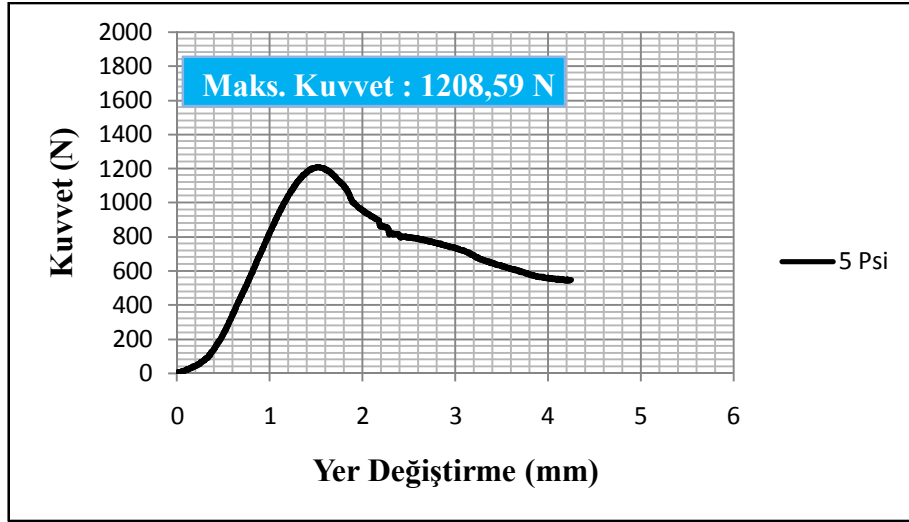
6.2. BASMA DENEYİ SONUÇLARI

Hava konulmamış boş (0 Psi) alüminyum tüpün basma deneyi sonuçları Şekil 6.10' da gösterilmiştir.



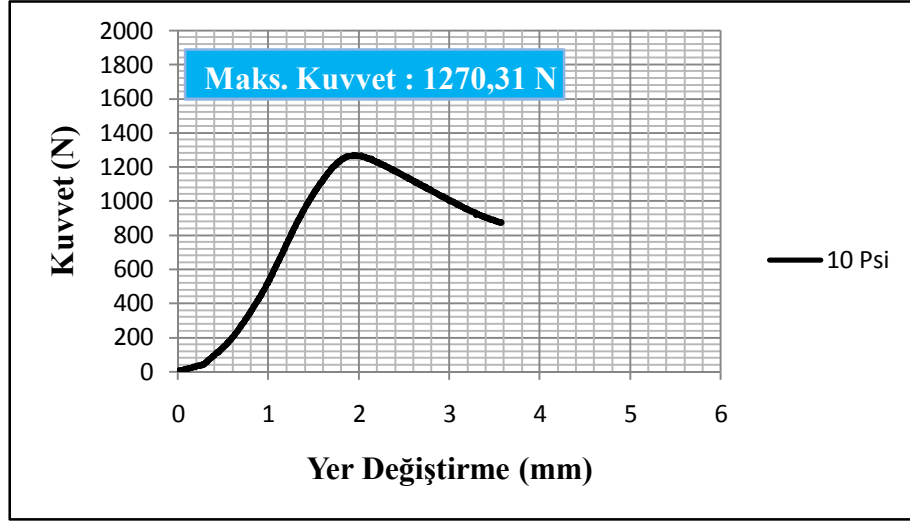
Şekil 6.10. Hava konulmamış boş alüminyum tüpün basma testi sonuçları.

5 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma deneyi sonuçları Şekil 6.11’ de gösterilmiştir.



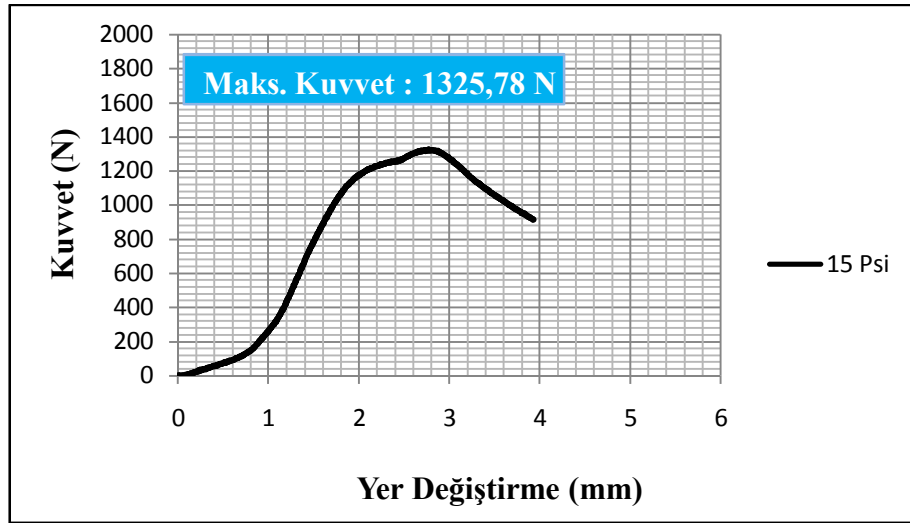
Şekil 6.11. 5 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma testi sonuçları.

10 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma deneyi sonuçları Şekil 6.12’ de gösterilmiştir.



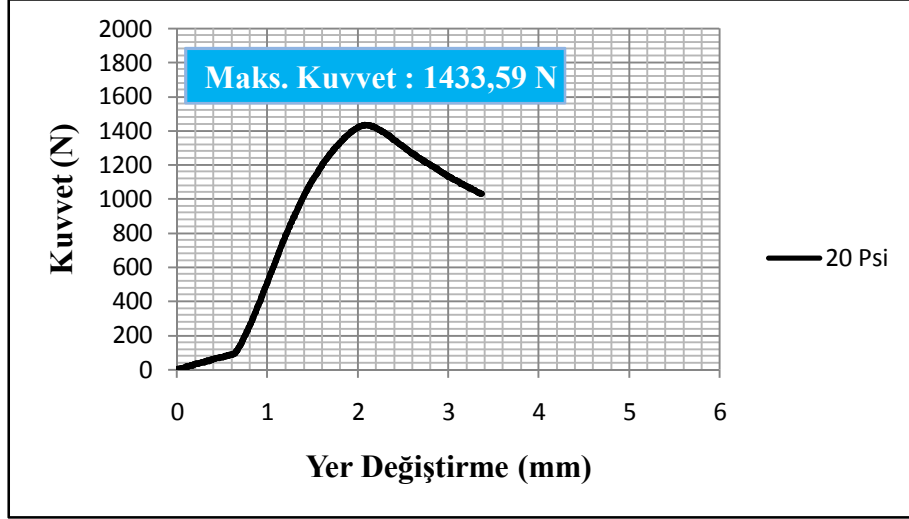
Şekil 6.12. 10 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma testi sonuçları.

15 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma deneyi sonuçları Şekil 6.13' te gösterilmiştir.



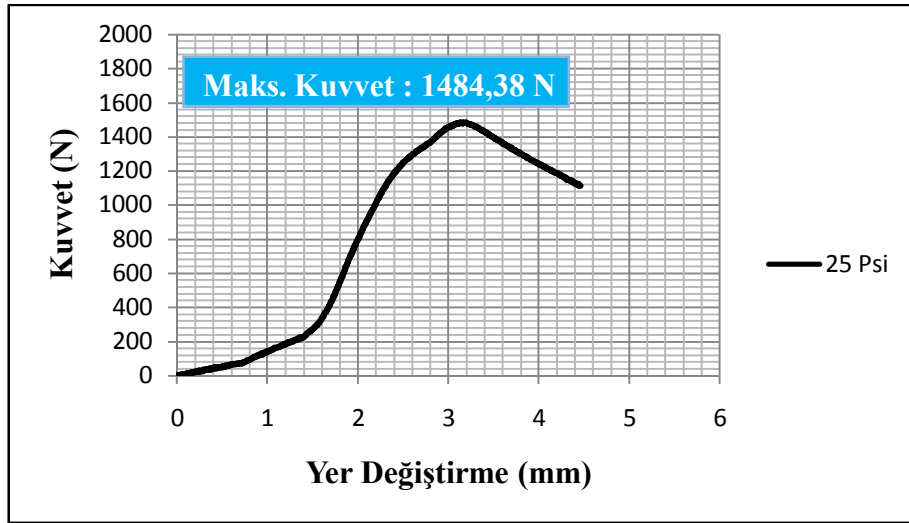
Şekil 6.13. 15 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma testi sonuçları.

20 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma deneyi sonuçları Şekil 6.14' te gösterilmiştir.



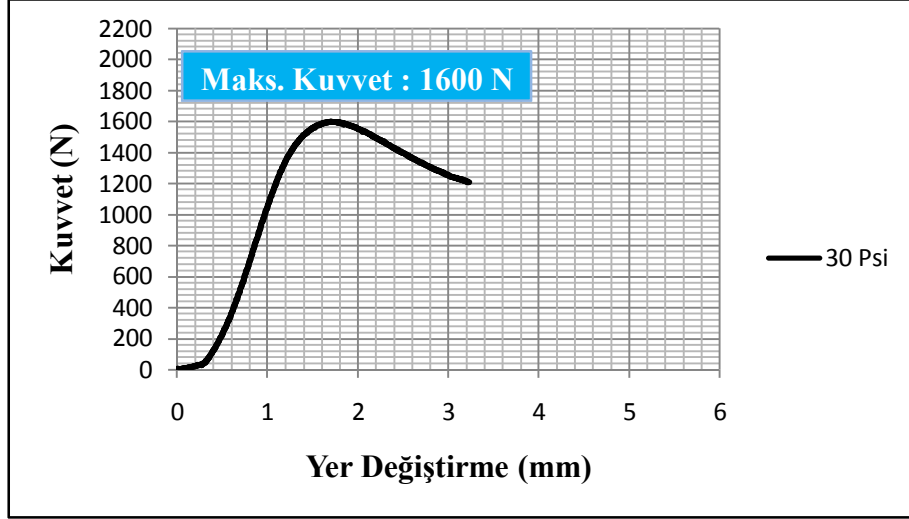
Şekil 6.14. 20 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma testi sonuçları.

25 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma deneyi sonuçları Şekil 6.15’ te gösterilmiştir.



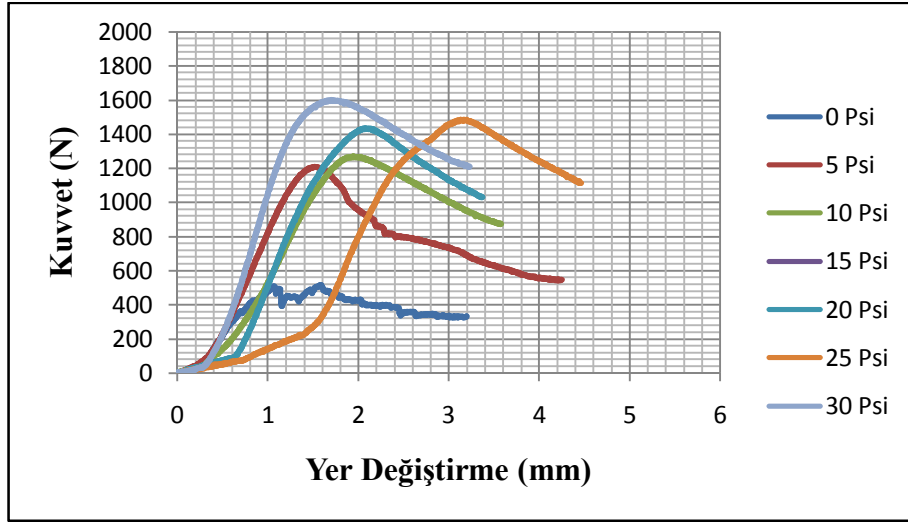
Şekil 6.15. 25 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma testi sonuçları.

30 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma deneyi sonuçları Şekil 6.16’ da gösterilmiştir.



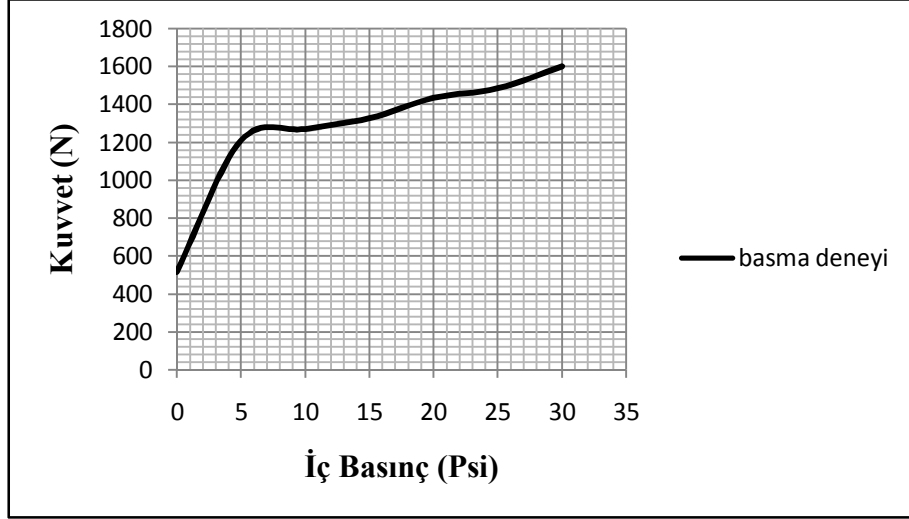
Şekil 6.16. 30 Psi hava ile basınçlandırılmış alüminyum tüpün basma testi sonuçları.

Farklı basınçlardaki basma deney sonuçları Şekil 6.17’ de birlikte gösterilmiştir.



Şekil 6.17. Basma testi sonuçlarının birlikte gösterilmesi.

Alüminyum tüpün basma deneyinde iç basıncına bağlı olarak taşıyabildiği maksimum kuvvet aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 6.18).



Şekil 6.18. Basma testi iç basınç - kuvvet grafiği.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, ince cidarlı alüminyum tüp içerisinde basınç hücreleri oluşturulmuş ve bu hücreler içerisine farklı değerlerde basınçlı hava konularak mukavemet artışı sağlanmıştır. Bu tip sistemler mevcut makine ve yapılar üzerinde kullanılabilir. Bu tip sistemler mevcut makine ve yapılar üzerinde kullanılabilir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen üç nokta eğme ve basma testi grafik sonuçlara bakıldığında 30 Psi iç basınç altında dinamik bir yüke maruz kalan alüminyum tüpün taşıyabileceği maksimum yük, iç basınç yok iken (0 Psi) taşıyabileceği maksimum yüke oranla 4.5 kat daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır.

Eğme ve basma testlerinde tüp içindeki basınç arttıkça taşıyabileceği maksimum kuvvetin de arttığı gözlenmiştir.

Alüminyum tüpde 0,723 Mpa (105 Psi) iç basınç altında meydana gelen X yönündeki gerilmeler, Y yönündeki gerilmeler ve Von Mises gerilmeleri hem analitik olarak hem de sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik hesaplama sonuçları karşılaştırılmış ve birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir.

Deneysel çalışmalarda elde edilen grafik sonuçları ile sonlu elemanlar yönteminden elde edilen grafik sonuçları birbirini destekler niteliktedir.

Bundan sonraki çalışmalarda bu tip benzer tüpler kullanılarak tüp içerisinde daha yüksek basınçlı hava hücreleri, farklı akışkanlar, köpük malzemeler kullanılarak mekanik testlerin yapılması mukavemet artışına sebep olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Zhang, X.W. and Yu, T.X., “Energy absorption of pressurized thin-walled circular tubes under axial crushing” *International Journal of Mechanical Sciences*, 51: 335-349 (2009).
2. Cezary, G., Rafal, C. and Jan, H., “Controlled impact absorption in adaptive pressurized structures” *European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS*, Jyvaskyla, 98-102 (2004).
3. Palanivelu, S., Paepegem, W.V., Degrieck, J., Reymen, B., Ndambi, J.M., Vantomme, J., Kakogiannis, D., Wastiels, J. and Hemelrijck, D.V., “Close-range blast loading on empty recyclable metal beverage cans for use in sacrificial cladding structure” *Engineering Structures*, 33: 1966-1987 (2011).
4. Eruslu, S., “İnce cidarlı basınçlı tüplerin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi”, *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14: 169-174 (2008).
5. Sezan, T., “İnce cidarlı 6063-T6 alüminyum tüpün yük taşıma kabiliyetinin artırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 1-4 (2010).
6. Yüksel, S., “Crushing behavior of aluminum foam-filled composite tubes”, Master Of Science, *A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology*, İzmir, 1-5 (2005).
7. Tanboğa, B., “Darbe altındaki elyaf takviyeli kompozit tüpün sonlu elemanlar modellemesi ile incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-5 (2007).
8. Çakıroğlu, C., “Quasi-static crushing behavior of nomex® honeycomb filled thin-walled aluminum tubes”, Master Of Science, *A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology*, İzmir, 1-5 (2008).
9. Toksoy, A. K., “Quasi-static axial compression behavior of empty and polystyrene foam filled aluminum tubes”, Master Of Science, *İzmir Institute of Technology*, İzmir, 1-3 (2003).

10. Atlı, A., “Analytical investigation of multi-layer composite tubes subject to pressure”, Master Of Science, *A Thesis Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of Atilim University*, Ankara, 1-5 (2010).
11. Çuhadar, B., “İçten basınca maruz kapların dizaynı”, Bitirme Projesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü*, İzmir, 1-4 (2005).
12. Akbulut, H., Öner, G., ve Özel, A., “Dikdörtgen kesitli açılı takviyeli ince cidarlı kompozit tüplerde burulma burkulması”, *TİMAK-Tasarım İmalat Analiz Kongresi*, Balıkesir, 321-326(2006).
13. Tiniş, F. ve Bazman, F., “Silindirik ince cidarlı basınçlı kolonların artan deprem yüklerine karşı takviyelendirilmesi”, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Konya Şubesi III. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi*, Konya, 548-552 (2005).
14. Yaylağan, E., “Determination of composite pressure vessels under various loadings”, Master Of Science, *Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences*, İzmir, 1-5 (2010).
15. Peñçe, E., “Eğitim amaçlı ansys paket programının tanıtılması, ansys öğretimi ve uygulama örnekleri”, Mezuniyet Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitim Bölümü*, Karabük, 8-9 (2007).
16. İnternet: Material Group Search. Aspx. “Material Property Data” <http://www.matweb.com/search/materialtype/metal/nonferrousmetal/aluminumalloy/3000Seriesaluminumalloy.pdf> (2012).
17. Engler, O., Mertens, N. and Dam, V. P., “Texture-based design of a convoluted cut-edge for earing-free beverage cans”, *Journal of Materials Processing Technology*, 211: 1278-1284 (2011).

ÖZGEÇMİŞ

Ferdi YILDIRIM 1985 yılında Bartın'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Bartın Merkez Teknik Lisesi Elektronik Bölümü'nden mezun oldu. 2005 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2009 yılında sınıf birincisi olarak mezun oldu. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda lisansüstü eğitimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Ahatlar köyü no:60
Amasra/BARTIN
Tel: (0546) 458 42 36
E-posta: ferdi_yildirim74@hotmail.com