

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPISAL KOMPOZİT MALZEMELERDE
GERİLME ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Abdullah DÖNMEZ**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPISAL KOMPOZİT MALZEMELERDE
GERİLME ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Abdullah DÖNMEZ
501061002**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 05 Haziran 2009

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Şenol ATAÖĞLU (İTÜ)
Eş Danışman : Prof.Dr. Ziya ABDULALİYEV (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Reha ARTAN (İTÜ)
Yrd.Doç.Dr. Semih SEZER (YTÜ)
Yrd.Doç.Dr. Cihan DEMİR (YTÜ)**

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Kompozit malzemelerin kullanımının giderek yaygınlaşması ve geri dönüşüm endüstrisinin gelişmesi ile kompozit malzemeler önemli bir endüstri alanı haline gelmiştir. Gelişen teknoloji ve silah sanayisi ile birlikte kompozit malzemelerin savunma sanayinde kullanımı da artmıştır. Savunma sanayinde kompozit malzemelerin kullanımı kompozit zırhların geliştirilmesi şeklinde kendini göstermekte ve bu zırhların tasarımı kompozit bir kombinasyonun en düzgün şeklini ifade etmektedir. Bu kombinasyonlarda birçok deneyler yapılmakta ve teknoloji kullanılarak modellemeler yapılmaktadır. Çalışmalarında kompozit malzemelerin birleşimlerinden oluşan modellemeler esas alınmıştır.

Çalışmalarım boyunca her zaman desteğini gördüğüm, yüksek lisans çalışmalarım boyunca beni yönlendirerek yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü olanağı sağlayan değerli hocalarım Yr. Doç. Dr. Şenol ATAÖGLÜ'na ve Prof. Dr. Ziya ABDULALİYEV'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, hayatımdaki tüm dönemlerde olduğu gibi bu önemli dönemde de bana destek veren değerli aileme çok teşekkür ediyorum.

Mayıs 2009

Abdullah DÖNMEZ
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	xiii
SUMMARY.....	xv
1.GİRİŞ	1
2.ANSYS İLE MODELLEME	3
2.1 Kompozit Zırh.....	3
2.2 ANSYS ile Modelin Oluşturulması.....	3
2.3 Modelin Çözümü.....	6
2.4 Uygun Mesh Tayini.....	9
3. MODELLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	25
3.1 Sınıflandırma.....	25
3.2 Çözümleme	26
3.2.1 Tek malzemeli modelin incelenmesi.....	26
3.2.2 Tek halkalı üç malzemeli modelin incelenmesi	28
3.2.3 İki halkalı modelin incelenmesi	32
3.3 Modelin Boyutlarının Belirlenmesi.....	42
3.4 Uygun Modelin Belirlenmesi.....	46
4. NİHAİ MODELLEME	61
4.1 Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi	61
4.2 Model-7 İçin Sonlu Eleman Modellemesi.....	62
4.2.1 Model-7 için çözüm.....	70
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	77

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Cam ve epoksi malzemelerin elastisite modülleri.....	18
Çizelge 4.1 : Seçilen Al ve çelik için malzeme özellikleri.....	62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tek halkalı model.	4
Şekil 2.2 : ANSYS model.	6
Şekil 2.3 : Modelin deforme olmuş hali.	6
Şekil 2.4 : Modelin y eksenini boyunca σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişim grafiği.	8
Şekil 2.5 : 1 birimlik yayılı yüklü modelin çözümünde σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişim grafiği.	9
Şekil 2.6 : 0.5 mesh aralığındaki y ekseninde oluşan σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişim grafiği.	10
Şekil 2.7 : 0.1 mesh aralığındaki y ekseninde oluşan σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişim grafiği.	10
Şekil 2.8 : 0.05 mesh aralığındaki y ekseninde oluşan σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişim grafiği.	11
Şekil 2.9 : Quad mesh shape ile modele yük uygulanan aralığın σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişimi	12
Şekil 2.10 : Tri mesh shape ile modele yük uygulanan aralığın σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişimi	13
Şekil 2.11 : Line'lar için divide işlemi ile çıkan pencerede girilen veriler.	13
Şekil 2.12 : Quad mesh shape ile modele yük uygulanan aralığın σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişimi	14
Şekil 2.13 : Tri mesh shape ile modele yük uygulanan aralığın σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişimi	15
Şekil 2.14 : Yedi eşit parçaya bölünmüş halka çizgileri.	15
Şekil 2.15 : Divide komutu ile çıkan pencerede bölme işleminin yapılması.	16
Şekil 2.16 : Bölme işleminden sonra alt çizgide oluşan line aralıkları.	16
Şekil 2.17 : Epoksi levhanın fotoğrafı.	18
Şekil 2.18 : P=94.51kg için gerilim ve mertebe dağılım eğrileri.	18
Şekil 2.19 : Fotoelastik deneyin ANSYS'de modellenmesi.	19
Şekil 2.20 : Epoksi levhada oluşan gerilmeler.	19
Şekil 2.21 : Deney ve ANSYS'ten alınan verilerin karşılaştırmalı grafiği.	20
Şekil 2.22 : Modellemede kullanılacak kompozit model.	21
Şekil 2.23 : P=91,63 kg için gerilim ve mertebe dağılım eğrileri.	21
Şekil 2.24 : Modellemede kullanılacak kompozit model.	22
Şekil 2.25 : Kompozit modelin ANSYS'de çözümü.	22
Şekil 2.26 : Kompozit modelde oluşan gerilmelerin ANSYS ve deney karşılaştırmalı grafiği.	23
Şekil 3.1 : Tek malzeme içeren modeldeki elemanlar.	25
Şekil 3.2 : Üç malzeme içeren tek halkadan oluşan modelde elemanlar.	25
Şekil 3.3 : Üç malzeme içeren iki halkadan oluşan modelde elemanlar.	26
Şekil 3.4 : Boş levhanın x eksenini üzerinde ve uygulanan kuvvet aralığındaki σ_x ve	

σ_y gerilmeleri.....	27
Şekil 3.5 : Boş levhadanın x ekseninde ve uygulanan kuvvet aralığındaki ϵ_x ve ϵ_y birim şekil değiştirmeleri.....	28
Şekil 3.6 : Tek halkalı levhada y ekseninde oluşan σ_x gerilmelerinin değişimi.....	29
Şekil 3.7 : Tek halkalı levhada x ekseninde oluşan σ_y gerilmelerinin değişimi.....	29
Şekil 3.8 : y ekseninde σ_y ve x ekseninde σ_x gerilmeleri	30
Şekil 3.9 : Tek halkalı modelin x ekseninde oluşan boyutsuz σ_y gerilme farklarının t'nin artması ile değişimi.	31
Şekil 3.10 : Tek halkalı modelin y ekseninde oluşan boyutsuz σ_x gerilme farklarının t'nin artması ile değişimi	31
Şekil 3.11 : t=2mm olduğunda δ aralığının değişimi ile O noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P' nin değişimi	32
Şekil 3.12 : t=4mm olduğunda δ aralığının değişimi ile O noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P' nin değişimi	33
Şekil 3.13 : t=6mm olduğunda δ aralığının değişimi ile O noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P' nin değişimi	33
Şekil 3.14 : t=2mm olduğunda δ aralığının değişimi ile C noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P' nin değişimi	34
Şekil 3.15 : t=2mm olduğunda δ aralığının değişimi ile O noktasında oluşan σ_x ve σ_y gerilmelerin C noktasında oluşan σ_x ve σ_y gerilmelerine oranı.....	35
Şekil 3.16 : $\delta=1$ mm olduğunda t(halka inceliği) değişimine göre O noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P' nin değişimi	35
Şekil 3.17 : $\delta=4$ mm olduğunda t(halka inceliği) değişimine göre O noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P' nin değişimi	36
Şekil 3.18 : $\delta=5$ mm olduğunda t(halka inceliği) değişimine göre O noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P' nin değişimi	36
Şekil 3.19 : $\delta=4$ mm olduğunda t(halka inceliği) değişimine göre C noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P' nin değişimi	37
Şekil 3.20 : $\delta=4$ mm olduğunda t değişimine göre O noktasında oluşan gerilmelerin C noktasında oluşan gerilmelere oranının incelenmesi.....	37
Şekil 3.21 : $\delta=4$ mm t=1mm olduğunda küçük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ/P' nin 0, 90, 180 ve 270 derece açılardaki değerleri ...	38
Şekil 3.22 : $\delta=4$ mm t=1mm olduğunda büyük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ/P' nin 0, 90, 180 ve 270 derece açılardaki değerleri ...	39
Şekil 3.23 : $\delta=4$ mm t=2mm olduğunda küçük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ/P' nin 0, 90, 180 ve 270 derece açılardaki değerleri ...	39
Şekil 3.24 : $\delta=4$ mm t=2mm olduğunda büyük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ/P' nin 0, 90, 180 ve 270 derece açılardaki değerleri ...	40
Şekil 3.25 : $\delta=4$ mm t=3mm olduğunda küçük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ/P' nin 0, 90, 180 ve 270 derece açılardaki değerleri ...	41
Şekil 3.26 : $\delta=4$ mm ve t=3mm olduğunda büyük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ/P' nin 0, 90, 180 ve 270 derece açılardaki değerleri ...	41
Şekil 3.27 : $\delta=2$ mm ve t=1mm olduğunda büyük ve küçük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ teğetsel gerilmelerinin değişimi.	42
Şekil 3.28 : $\delta=2$ mm ve t=2mm olduğunda büyük ve küçük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ gerilmelerinin değişimi.	43
Şekil 3.29 : $\delta=2$ mm ve t=3mm olduğunda büyük ve küçük halka kenarının iç ve dış	

YAPISAL KOMPOZİT MALZEMELERDE GERİLME ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada kompozit malzemelerin gelen etkilere karşı davranışı gerilme analizleriyle incelenmiştir. Son yıllarda hızlı bir şekilde gelişen kompozit malzemelerin kullanımı kendisini savunma sanayiinde kompozit zırhların geliştirilmesi şeklinde göstermektedir. Bu çalışmada; kompozit zırhlar için farklı bir yaklaşım ile kompozit malzemelerden oluşturulan bir modelin gerilme analizi yapılmıştır. Kompozit zırh tasarımında farklı malzemelerden farklı yaklaşımlar yapılmıştır. Kompozit zırh Al, Ti ve çelikten oluşan modellemelerle en uygun tasarım aranmıştır. Alüminyum levha içine çelik ve Ti'dan oluşan borular yerleştirilerek yüke maruz bırakılıp, bu yük altında oluşan gerilmelerin davranışları incelenmiştir. Bu inceleme için ANSYS programı kullanılmıştır. ANSYS programının kullanılma amacı ANSYS programının, modelin realiteye dönüştürülmesinde en önemli safha olan modelin meshleme işlemini başarılı bir şekilde yapıyor olmasıdır. Fotoelastik yöntemle yapılan mekanik deneyin sonuçlarıyla ANSYS'de aynı modelin gerilme analizleri karşılaştırılmış ve gerilmeler arasında kabul edilebilir bir hata oranı ile uyum olduğu görülmüştür. Bu çalışmada; ANSYS programı kullanılarak modelin oluşturulması adım adım gösterilmiştir. Modelde ilk başta üç farklı malzeme kullanılmıştır. Al, çelik ve Ti'dan oluşan modelde iki boyutlu bir inceleme yapılmıştır. Sonuçların analizinden modelin boyutları ve iki malzeme seçimi yapılmıştır. ANSYS ile modelin üzerinde farklı şekillerde değişiklikler yapılarak Sonlu eleman modellemeleri tekrar edilmiştir ve en sonunda hem maliyet hem de gerilme değerleri dikkate alınarak optimum bir kombinasyon bulunmuştur. Sonuç olarak çelik boruları ihtiva eden Al levhaların gelen darbelerden oluşan gerilmeleri karşılaması bakımından başarılı oldukları anlaşılmaktadır. Alüminyum ve çelikten oluşan kompozit zırhların iki ve üç boyutlu incelemelerinde halkaların sayısı, halka kalınlığı ve çelik halkalar arasındaki mesafeler değiştirilerek bu değişikliklerden kaynaklanan gerilme farklılıkları dikkate alınmıştır. Gerilmelerin karşılaştırılması ile farklı bir zırh tasarımı oluşturulmuştur. Bu model Model-7 olarak adlandırılmış ve gerçek yük ile ANSYS modellemesi yapılmıştır. Bulunan bu modelin diğer modellerden daha başarılı olduğu görülmüş ve modelin 3 boyutlu incelemesi yapılmıştır. Tasarlanan bu modelin balistik performans açısından diğer modellerden daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. ANSYS, MATLAB, ve Microsoft Office programlarının yardımıyla grafikler halinde modellerin gerilme diyagramları şekillerle gösterilmiştir.

STRESS ANALYSIS FOR THE STRUCTURAL COMPOSITE MATERIALS

SUMMARY

The usage of composite materials is shown itself as improvements in composite armour in the defence industry. In this thesis, there are different approaches to the composite armour modeling. The stress analysis was made for this different perspective. Composite armours are mostly made of Al and steel. Al block consist of steel pipe cylinders and this composite model subjected to pressure. And the formed stresses, which has been come into existence of the pressure was analyzed. ANSYS program was used in this study. The main reason for the usage of ANSYS is the successful ability for meshing areas and volumes, which is one of the most important process for the finite element modeling. In the mechanical experiment ANSYS modeling was checked with the photoelastic method. And this comparison, based on the stresses were read from ANSYS fem and photoelastic method, showed up that the finite element modeling using ANSYS was well enough for the accurate results. In this thesis; the modeling has been shown step by step by using the ANSYS. At first, three different materials were used for the study. Two dimensional investigations were made with Al, Steel and Ti. 2D modeling was clarified some dimensional questions and gave some information about the dimensional selections for the 3D modeling in ANSYS. Two different materials were used after some selections in 3D and 2D modeling. The modeling was replicated with differing the model in dimensions and shapes. Changing the model in ANSYS gave information for the best choice and optimum combination for the composite armour regarding to the cost and strength. Consequently, aluminum blocks that comprise steel pipes countervailing the projectile or another impact effects, have a successful ability to absorb energy. In the analysing of 2D and 3D modeling investigations of composite armours which was made of aluminium and steel pipes as changing the dimensions of the steel pipes' wall thickness, number of the pipes and the distance between the pipes and stresses have been examined. The differences about the stresses between the distinct models were analyzed carefully. A new model which is called "Model-7" in this thesis defined consequently by examining the stress differences. It was seen that Model-7 is more successful than the others. In the 3D analysis with the use of ANSYS, some graphs, which is specifying the stresses shows the diagrams schematically with the help of MATLAB and Microsoft Excell programs.

1. GİRİŞ

İnsanlar tarihten bu yana korunma ihtiyacı hissetmiş ve bu korunma ihtiyacı söz konusu ateşli silahlar, kesici ve sivri uçlu aletler veya başka türlü bir darbe söz konusu olduğunda kendisini zırh olarak tanımlanan ilkel veya gelişmiş tasarımların kullanımı şeklinde göstermiştir. Temel olarak yapılan zırhlar gelen darbenin şekline göre mukavim olacak şekilde düzenlenmiştir. Nihai planda zırhın varoluş amacı aslında darbe mukavemetinin insanların kullanımına sunulmasından ibarettir. Tasarlanan zırhlar tarih içerisinde değişiklik göstermektedir. 19. yüzyılda düello savaşçıların birkaç kat ipek gömleklerle korunması, çelik başlıkların ve yeleklerin kullanılması, daha sonraları silah sanayiinde görülen gelişmelerle tek bir sertleşmiş tabakayla muharebe araçlarının korunması ve zamanla farklı sertlik değerlerinde ve muhtelif kalınlıklarda plakaların oluşturduğu konfigürasyonlardan (kompozit) daha iyi sonuçlar alınarak kompozit zırhların tasarımı zırh gelişimiyle ilgili genel bir anlayışı ortaya koymaktadır. Gelişen teknoloji ile tehdit olabilecek darbe şekillerinden korunma şekilleri zırhların tarihsel gelişimini yönlendirmektedir. Bu amaçla istenilen korunma teknolojisi gelişimi, daha çok balistik etkilere maruz bırakılan kompozit malzemelerin yüksek mobilité ve dayanım geliştirilmesi yönündeki tasarımı şeklinde günümüzde devam etmektedir. Modern silahlar kopyalama yöntemleri ile üretilemezler. Gerekli altyapı oluşturulmadan ve önemli teknolojik transferler yapılmadan silah ve savunma sistemlerinin bir ülkede üretilmesi, üretim maliyetlerinin doğrudan satın alma maliyetlerinin çok üzerinde olmasından dolayı ülke kaynaklarının israf edilmesinden başka bir şey değildir [1].

Zırh, savaş araçları için vazgeçilmeyen bir unsur, kara, hava ve deniz kuvvetlerinde yer alan değişik savaş araçlarında (tank, zırhlı personel taşıyıcı, saldırı helikopterleri, uçaklar ve savaş gemileri, v.s.) geniş bir kullanıma sahiptir. Silah teknolojilerinde görülen ilerlemeler zırh teknolojilerinde de aynı derecede ilerlemelere sebep olmakta ve malzeme teknolojisinde de önemli gelişmeleri beraberinde getirmektedir. Türkiye, bahsedilen temel modern silah sistemlerini eninde sonunda kendisi üretmek zorunda ve bu alanda teknolojiyi sonuna kadar kullanmak durumundadır.

Bu konuda mevcut olan rekabette başarılı olmak ancak ulusal teknolojinin üretilmesi yoluyla, bilime ve bilimsel çalışmalara önem veren bir yaklaşımla mümkün olabilmektedir [2].

2. ANSYS İLE MODELLEME

2.1 Kompozit Zırh

Kompozit malzemeler geleneksel olarak ulaşım araçlarında ve ulaştırma alanındaki büyük yapılarda enerji tasarrufu için kullanılmıştır. Daha çok hızlı ve hafif üretimi zorunlu olan deniz, hava ve kara taşıtlarında kullanılan kompozit malzemeler şimdiki zamanlarda darbeden gelen enerjiyi absorbe ederek can ve mal kaybını önleme alanında kullanılmaktadır. Kompozit zırhlar basit olarak mermi ile korunması gereken can veya malın arasına konan kütlenin, enerjiyi absorbe ederek gelen darbenin zararlı etkisini azaltması şeklinde çalışmaktadır. Momentumun korunumu bu işleyişte esas görevi yapar. Önemli olan gelen merminin korunan nesneye ulaşmadan zararsız hale gelmesidir. Kompozit zırhın koruma görevinde başarısız olması büyük ölçüde gelen darbenin hızına bağlıdır [3, 4].

Günümüzde insanların kullanabileceği vücut zırhının gelişmesi üzerinde yoğun talepler olmaktadır. Bu iş için çelik ağır olduğu halde çok doğru bir seçim olmaktadır. Daha güçlü darbelere karşı daha büyük kütleli ve daha ağır zırhlar kompozit zırhların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır [5].

Kompozit zırh modellemesinde zırh kalınlığı sabit tutulduğunda malzemeler arasında optimum bir oranın var olduğu gerçeği bilinmektedir. Bu oranla birlikte bir çok faktörde etkilidir. En başta gelen faktör malzeme özellikleri ve model geometrisidir. Kompozit zırh modellemesinde kullanılan ANSYS programı üstün meshleme özelliği ve doğru sonuçlar üretmedeki başarısı ile sonlu eleman modellemesinde isabetli bir seçim olmaktadır. Bu çalışmada yoğun olarak FEM (Finite Element Modeling) analizinde ANSYS (Plane Stress elemanlar) kullanılmaktadır [6, 7].

2.2 ANSYS ile Modelin Oluşturulması

ANSYS programının açılışıyla birlikte UtilityMenu-ChangeJobName seçilerek çalışılacak modelin ismi belirlenir. İsim belirlendikten sonra ANSYS ile

modellemede Preferences seçeneğiyle çıkan pencerede h-metod ve Structural seçenekleri işaretlenir.

MainMenu>Preprocessor>ElementType>Add/Edit/Delete seçeneğinde çıkan pencerede add ikonuyla Plane-82-solid (8node82) elemanı seçilir. Çözüm plane stress olarak verilecektir. Modelde kullanılan malzemeler lineer izotrop elastik malzemeler olup özellikleri aşağıdaki gibidir.

ANSYS Main Menu bölümünde Preprocessor tıklanarak aşağıdaki şekilde malzeme seçimleri yapılır.

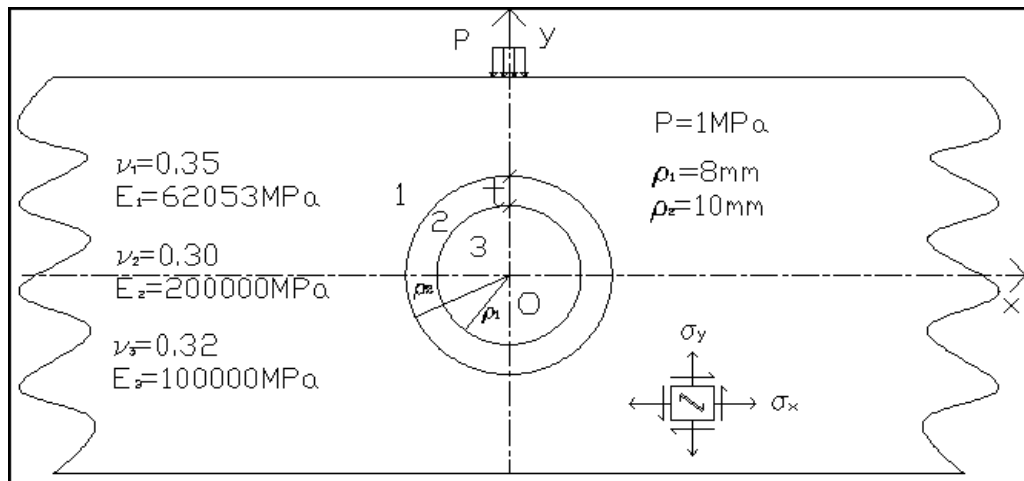
MainMenu>Preprocessor>MaterialProps>MaterialModels-NewModel-Structural-Linear-Elastic-Isotropic seçeneği ile modelde kullanılacak elemanların özellikleri belirlenir.

EX - Elastisite modülü

NUXY – Poisson oranı, olmak üzere veriler aşağıda gösterildiği şekilde girilir.

Material number 1 (Al)	Elastisite modülü (E_1) : 62053MPa
	Poisson oranı (ν_1) : 0.35
Material number 2 (Çelik)	Elastisite modülü (E_2) : 200000MPa
	Poisson oranı (ν_2) : 0.30
Material number 3 (Ti)	Elastisite modülü (E_3) : 100000MPa
	Poisson oranı (ν_3) : 0.32

Bu şekilde 3 malzeme de tanımlanır. Tanımlanan malzemelerin ve yükün uygulama aralığını belirten modelin şekli Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Tek halkalı model.

ANSYS ile modellemeye aşağıdaki adımlar izlenerek devam edilir :

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Create>Keypoint>In activeCS komutu ile biri üst orta çizginin orta noktası olmak üzere beş keypoint tanımlanır.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Create>Area>Circle>ByDimension komutu ile dış yarıçapı 10mm iç yarıçapı 8mm olan dış halka ve yarıçapı 8mm olan içteki daire alanı tanımlanır.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Create>Lines>StraightLine komutu ile tanımlanan keypointler birleştirilir.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Arbitrary>ByLines komutu ile keypointler arasında çizilen çizgiler ile dış halkanın etrafında oluşan çizgiler seçilerek çizgiler arasında kalan boşluk alanla doldurulur. Böylece merkezde 10mm dış yarıçaplı ve 8mm iç yarıçaplı halka ile 8mm yarıçaplı daire bulunan yüksekliği 40mm ve genişliği 200mm olan dikdörtgen şekil oluşturulmuş olur.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Areas komutu ile tüm alanlar seçilir ve beraber çalışmalarını için glue işlemi ile yapıştırılır.

Sonlu eleman modellemesinde Meshleme işleminin büyük bir önemi vardır. Mesh atma işlemiyle modellenen katı model elemanlar ve noktalarla doldurulmuş olur. Oluşturulan bu elemanlar ve noktalar çözüm işleminde esas rolü oynamaktadır. Bu yüzden mesh işlemi FEM (sonlu eleman modeli) 'de dikkat edilmesi gereken bir süreçtir.

MainMenu>Preprocessor>Meshing>MeshAttributes>PickedAreas komutu ile seçilen alanların malzeme ve eleman seçimleri yapılır. Tüm elemanların numaraları 1 yani eleman tipleri Plane 82 seçilir. En içteki dairesel alanın malzeme numarası daha önce tanımlanan material number 3; ortada bulunan halkanın malzeme numarası material number 2; en dıştaki alanın malzeme numarası 1 seçilir.

MainMenu>Preprocessor>Meshing>MeshTools komutu ile çıkan pencerede;

Smart size : 3

Mesh : areas

Shape : Tri (triangular)

Free Mesh seçilerek tüm alanlar meshlenir.

MainMenu>Solution>DefineLoads>Apply>Structural>Displacement>OnLines komutu ile en alttaki kenar seçilir ve çıkan pencerede UY eksenini seçilerek Y ekseninde tutulmuş ve X ekseninde hareketli mesnetler oluşturulur.

MainMenu>Solution>DefineLoads>Apply>Structural>Displacement>OnKeypoint komutu ile alttaki kenarın sol ucunda bulunan Keypoint seçilerek tüm serbestlik dereceleri tutulur ve bu noktada sabit mesnet oluşturulur.

MainMenu>Solution>DefineLoads>Apply>Structural>Force/Moment>OnKeypoints komutu seçilir ve Keypoint numarası olarak 2 yazılarak üst kenarın orta noktası seçilir. Çıkan pencerede

Direction of Force/moment : FY

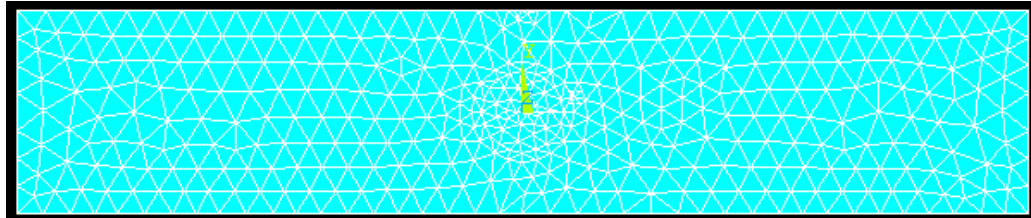
Apply as: Constant Value

Value Force : -1 yazılır ve modelin üst orta noktasından 1N'luk bir yük uygulanmış olur.

2.3 Modelin Çözümü

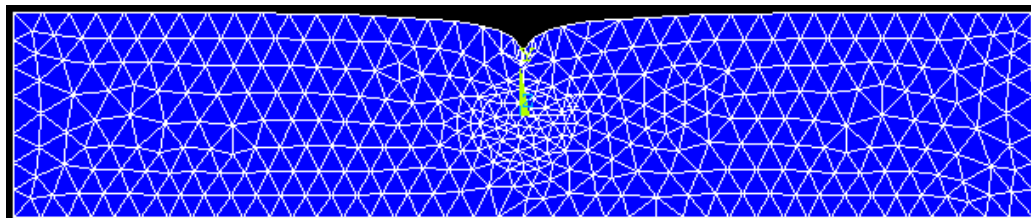
1N luk yüke maruz kalan kompozit malzemelerin çözümü aşağıda verilen sıralamalar ile yapılır.

MainMenu>Solution>Solve>Current LS komutu ile program mevcut modeli çözümler ve çözüm modeli Şekil 2.2'de görülmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : ANSYS model.

MainMenu>GeneralPostproc>PlotResults>DeformedShape komutu ile modelin şekil değiştirmiş hali Şekil 2.3'te gösterilmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Modelin deforme olmuş hali.

MainMenu>GeneralPostproc>OptionsForOutp komutu ile çıkan pencerede

Results Coord System : Global Cartesian seçilir.

MainMenu>GeneralPostproc>PathOperation>DefinePath>ByLocation komutu ile çıkan pencerede alınmak istenen veriler için gerekli path'in koordinatları aşağıdaki gibi girilir.

Define Path name : path1

Number Of Points : 2

Number Of Data Sets : 40

Number Of Divisions : 40 seçilir. Böylece modelin y eksenı yönündeki normal gerilmeler ve kayma gerilmesi verilerini (σ_x , σ_y ve τ_{xy}) okumak için path 1 kullanılacaktır.

Path Point Number : 1

X,Y,Z Location in Global CS : 0 : 20 : 0

Interpolation CS : 0

Ok seçilerek 2. nokta için

Path Point Number : 2

X,Y,Z Location in Global CS : 0: -20 : 0

Interpolation CS : 0

verileri girilerek path oluşturulur.

MainMenu>GeneralPostproc>PathOperation>MapOntoMap komutu ile map results item onto map başlıklı pencere açılır ve bu pencerede tanımlanan path için ne tür veriler görölmek isteniyorsa onlar tanımlanır. Burada:

X Direction-SX

Y Direction-SY

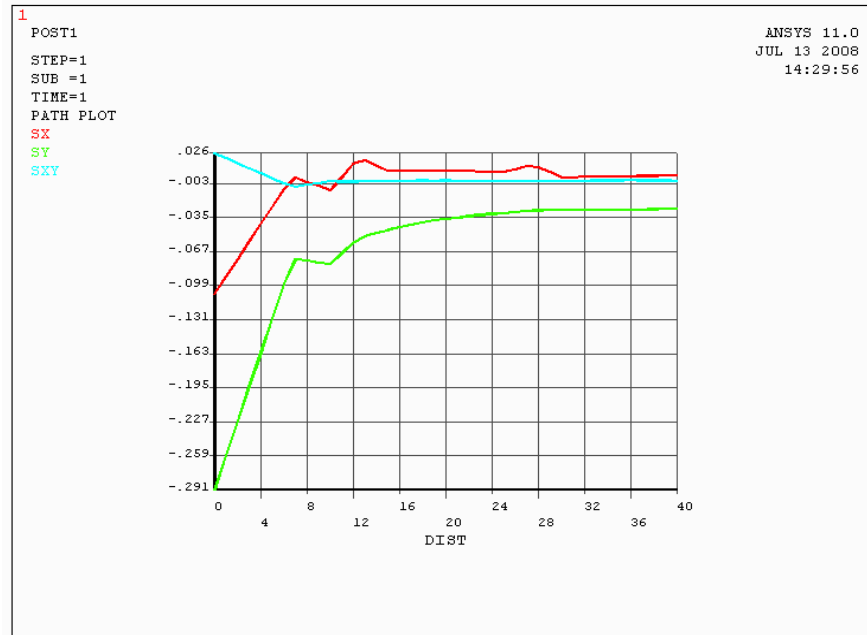
XY Shear-SXY seçilir ve böylece modelin tanımlanan path doğrultusunda σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerini okumak mümkün olmaktadır.

MainMenu>GeneralPostproc>ListResults>PathItems komutu ile path 1 seçilir ve bu listede görölmek istenilen SX, SY ve SXY seçilerek okunması istenen verilerin listesi tanımlanan şekliyle görüntölenmiş olur.

Burada ;

MainMenu>GeneralPostproc>PlotResults>PlotPathItem>OnGraph seçilerek çıkan pencerede grafiklerinin çizilmesi istenen veriler seçilir. İlk örnek için burada SX, SY,

SXY yani σ_x , σ_y , τ_{xy} seçilir. ANSYS sonuç grafiği Şekil 2.4'te görülmektedir (Şekil 2.4).



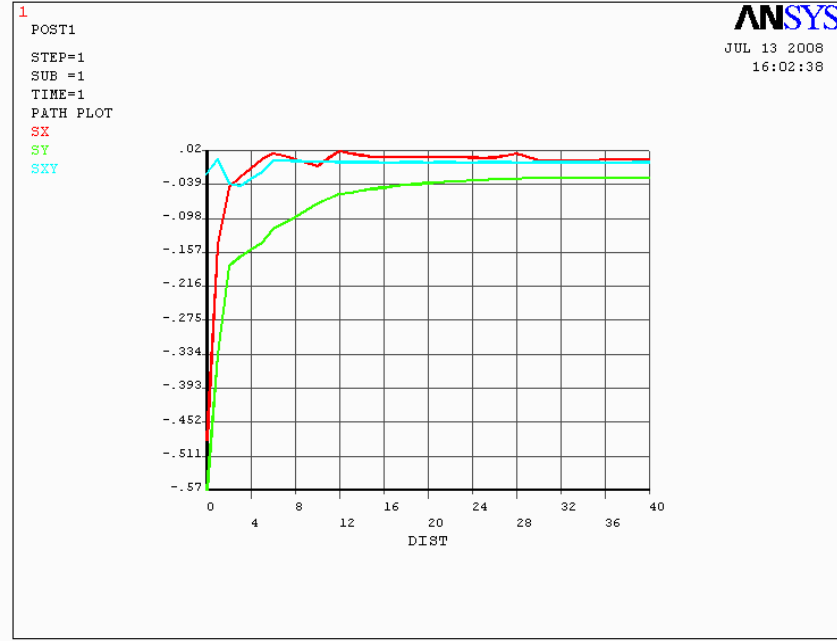
Şekil 2.4 : Modelin y eksenı boyunca σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerının değışim grafiği.

Grafikte okunan verilerde ve oluşturulan path'in liste halindeki değerlerinde modelin üst orta noktasında (yükün uygulanma noktasında) σ_x ve σ_y verilerinin -1 veya -1'e çok yakın bir değeri olması gerekirken farklı değeri olduğu görülmektedir.

Doğru sonuç alınabilmesi için orta noktaya 1 birimlik tekil yük yerine ortada bulunan 1 birimlik bir aralığa 1 birimlik yayılı yük uygulanır.

Problemi çözmek için ilk başta oluşturulan beş keypoint yerine altı keypoint tanımlanır ve bunlardan ikisi modelin üst orta noktasında 1 birimlik alan oluşturulması için kullanılmıştır.

MainMenu>Solution>DefineLoads>Apply>Structural>Pressure>OnLines seçilerek üst orta kısımdaki yayılı yükün uygulanacağı aralık seçilir ve değeri olarak 1 birim yazılır. Yapılan bu değışiklikle model tekrar çözölür (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : 1 birimlik yayılı yüklü modelin çözümünde σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişim grafiği.

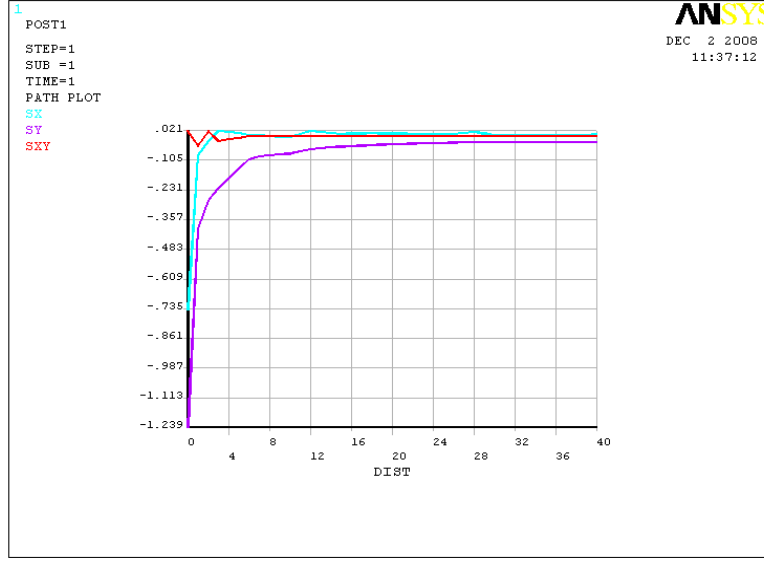
Modelin tekrar çözülmesi halinde oluşan grafikte σ_x 'in σ_y 'ye yaklaştığı görülür fakat oluşan hata oranı %43 tür.

2.4 Uygun Mesh Tayini

Modelin doğru oluşturulması, hassas ve düzgün sonuç alınması model için en uygun mesh seçimiyle doğrudan ilişkili olmaktadır. En uygun mesh aralığı ve mesh tipi seçimi için modelin birkaç kez denenmesi gerekmektedir. Yükün uygulandığı line için mesh düzenlemesi yapılır ve bu line için

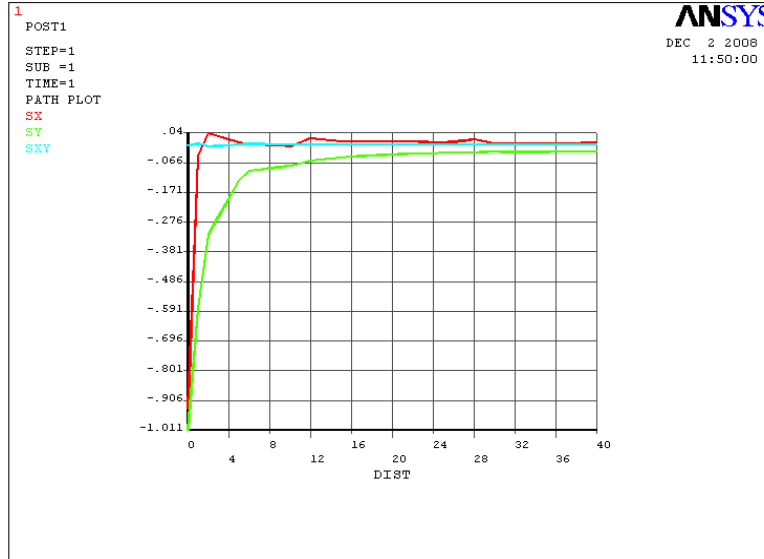
MainMenu>Preprocessor>Meshing>MeshTool seçilir. Çıkan pencerede Lines seçeneğinden uygulanmak istenen yükün bulunduğu aralık seçilir ve çıkan pencerede Element Sizes On Picked Lines penceresinden

Size Element Edge Length: 0.5 seçilir ve çözüm bu şekilde denenir. Sonuç Şekil 2.6'da görülmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : 0.5 mesh aralığındaki y ekseninde oluşan σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişim grafiği.

Bu şekilde alınan sonuçlarda da σ_y 'nin -1.239 çıktığı görülür ve bu %24 oranında bir hataya karşı gelmektedir. Mesh aralığı tekrar değiştirilerek çözüm yeniden yapılır. Size Element Edge Length: 0.1 seçilir ve çözülürse Şekil 2.7'de gösterilen grafikteki sonuç elde edilir (Şekil 2.7).



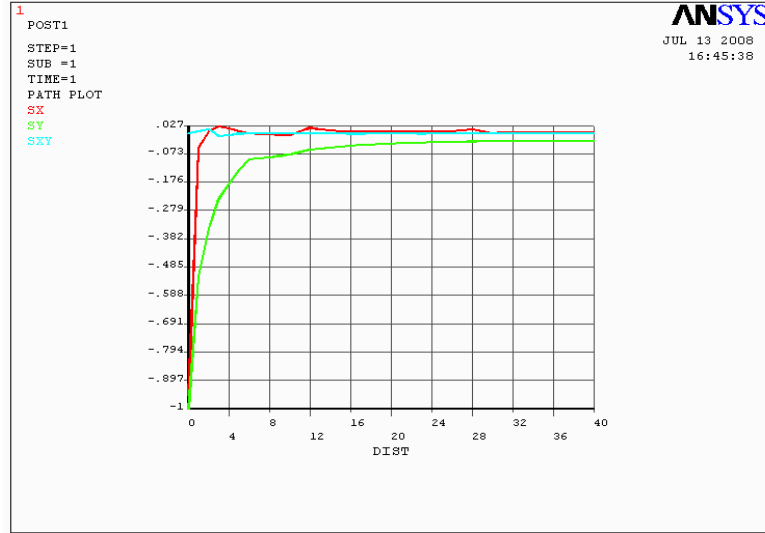
Şekil 2.7 : 0.1 mesh aralığındaki y ekseninde oluşan σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişim grafiği.

Şekil 2.7'deki grafikten görüldüğü üzere $\sigma_y = -1.011 \text{ MPa}$

$$\sigma_x = -0.906 \text{ MPa}$$

olduğu görülür ve σ_y esas alındığında %1.1 hata oranına ulaşıldığı görülmektedir.

Size Element Edge Length: 0.05 seçilerek tekrar denenirse Şekil 2.8'deki sonuçlar elde edilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 : 0.05 mesh aralığındaki y ekseninde oluşan σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişim grafiği.

Bu durumda oluşan değerler aşağıdaki gibidir:

$$\sigma_y = -0.9998\text{MPa}$$

$$\sigma_x = -0.9522\text{MPa}$$

Son uygulanan mesh aralığı için bulunan değerler olması gereken $\sigma_y = \sigma_x = -1$ eşitliğine oldukça yakın olduğu görülmektedir. σ_y için %0.1 σ_x için %5 hata olduğu görülmektedir.

Size Element Edge Length: 0.01 seçilerek tekrar denenirek yeni değerler alınır.

$$\sigma_y = -1.0000\text{MPa}$$

$$\sigma_x = -0.9153\text{MPa}$$

Bu durumda σ_x için hata oranı artmaktadır.

Size Element Edge Length: 0.04 seçilerek tekrar denenirse bu durumda oluşan değerler:

$$\sigma_y = -1.0003\text{MPa}$$

$$\sigma_x = -0.9449\text{MPa}$$

Size Element Edge Length: 0.06 seçilerek tekrar denenirse bu durumda oluşan değerler:

$$\sigma_y = -1.0015\text{MPa}$$

$$\sigma_x = -0.9519\text{MPa}$$

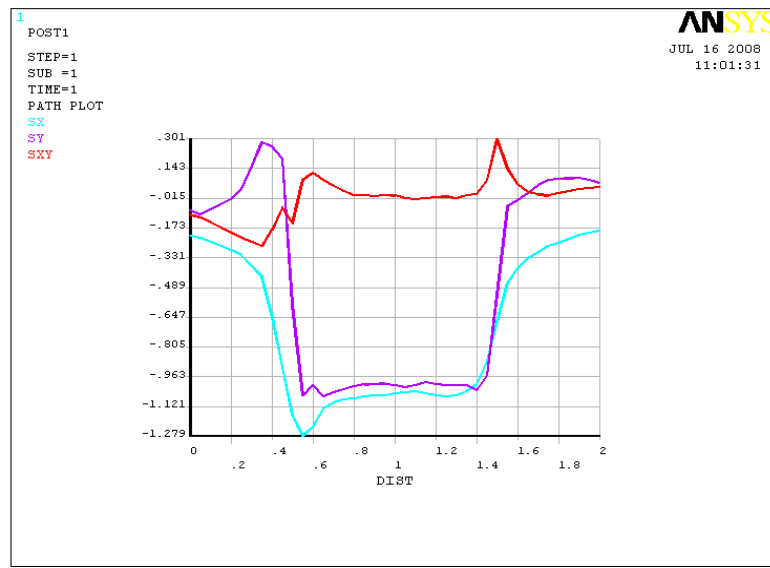
Mesh size tayini çalışmaları Element Edge Length seçeneği için en uygun mesh aralığı 0.05 olduğu anlaşılmakta olup statik analiz için mesh aralığı olarak

Size Element Edge Length: 0.05 seçilir.

Seçilen mesh aralığı için mesh shape kısmındaki seçeneği tri yerine mesh shape kısmını quad seçerek tekrar çözüm yapılırsa:

Size Element Edge Length: 0.05

MainMenu>Preprocessor>Meshing>MeshTools-Shape: Quad seçilerek çözüm yapılırsa, Şekil 2.9'daki grafik elde edilir (Şekil 2.9).

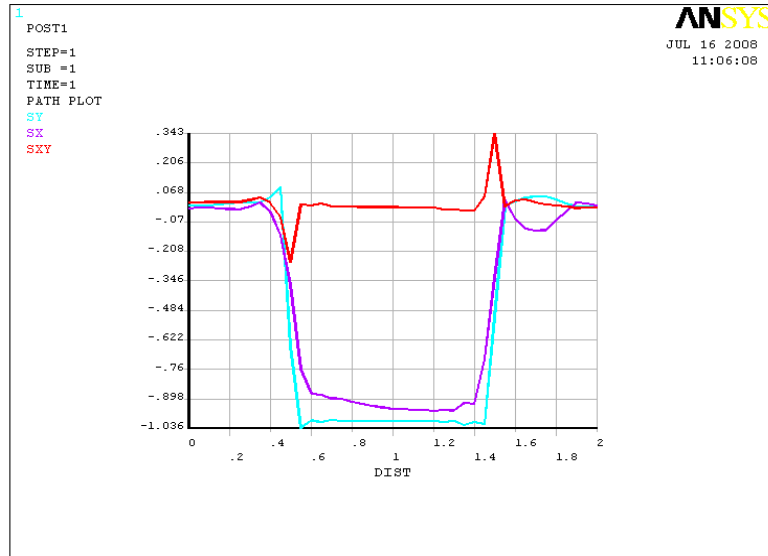


Şekil 2.9 : Quad mesh shape ile modele yük uygulanan aralığın σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişimi.

Mesh shape seçeneği triangular (tri) seçilir ve çözüm tekrar yapılırsa yükün uygulandığı aralıktaki gerilmelerin değişimi tekrar incelenerek Şekil 2.10'daki grafik elde edilir (Şekil 2.10).

Size Element Edge Length :0.05

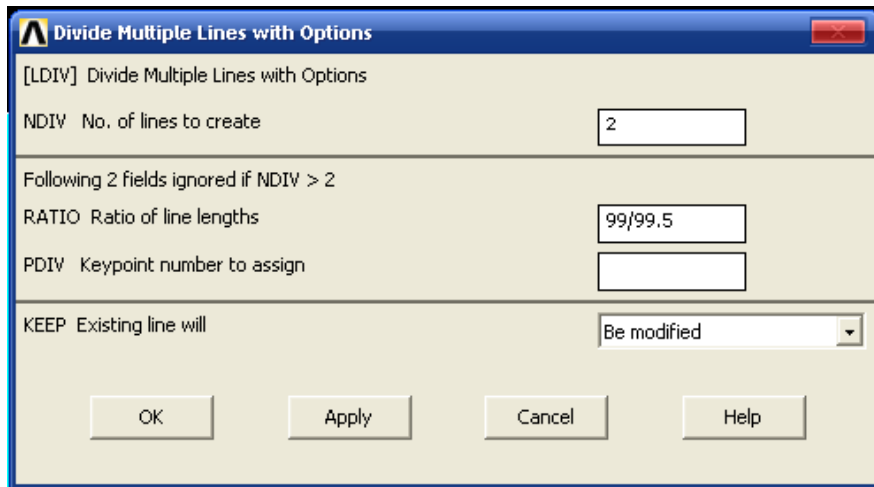
MainMenu>Preprocessor>Meshing>MeshTools-Shape: Tri



Şekil 2.10 : Tri mesh shape ile modele yük uygulanan aralığın σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişimi.

Şekil 2.10'daki grafikten anlaşıldığı gibi σ_x değerleri düzgün bir dağılım göstermekte fakat çözüm istenilen kesinlikte olmamaktadır. Bu durum yayılı yükün uygulama aralığının sınırlarında mesh düzenlemesi yapılarak düzeltilir. Mesh atma işlemini yayılı yükün başlangıç ve bitiş sınırlarından 0.5 birim kadar sağ ve sol taraflarına genişletilir.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Divide>Lines w/Options seçeneğiyle yükün uygulandığı aralığın sağındaki line seçilir ve çıkan pencerede Ratio of line lengths: 99/99.5 seçilerek 1 birimlik aralığa uygulanan yükün sağ tarafında 0.5 birimlik farklı bir line oluşturulur (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : Line'lar için divide işlemi ile çıkan pencerede girilen veriler.

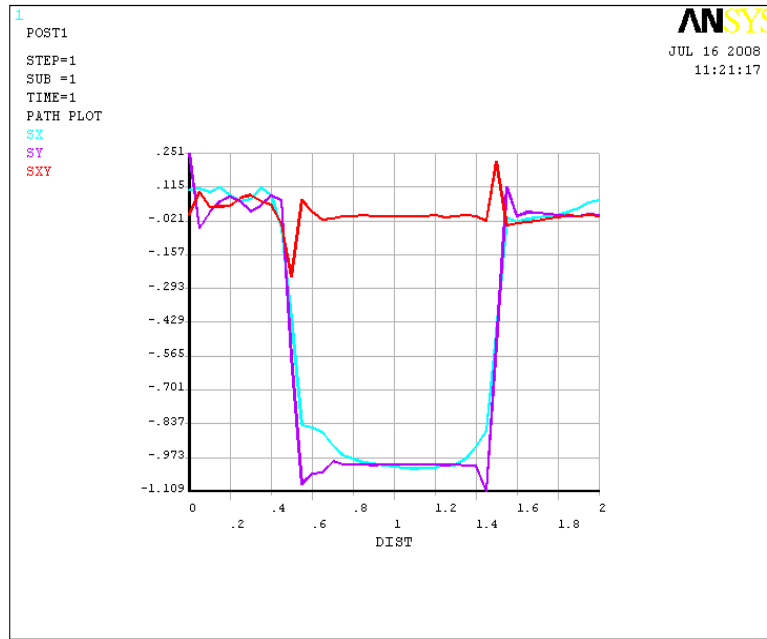
Aynı işlem sol tarafa bu sefer ratio of line lengths: 0.5/99.5 yazılarak yapılır ve yükün uygulandığı aralığın sağ kısmına da 0.5 birimlik bir line oluşturulmuş olur.

Oluşturulan yeni çizgilerle (line) beraber yükün uygulandığı aralık için mesh düzenlenmesi aşağıdaki şekilde yapılır.

Size Element Edge Length: 0.05

Preprocessor-Meshing-Mesh Tools-Shape: Quad

seçenekleriyle çözümler yeniden düzenlenerek yapılırsa Şekil 2.12'deki grafik elde edilir (Şekil 2.12).

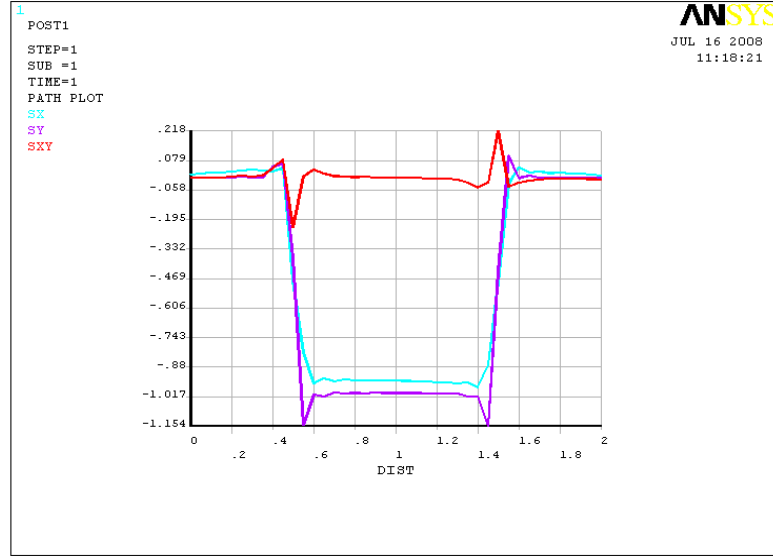


Şekil 2.12 : Quad mesh shape ile modele yük uygulanan aralığın σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişimi.

Şekil 2.12'deki grafikten anlaşıldığı üzere seçilen mesh aralıklarıyla yapılan çözümde σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmeleri önceki grafiklere göre daha düzgün bir dağılım göstermektedir. Mesh shape kısmında triangular seçeneği (tri) seçilerek tekrar denenir.

Size Element Edge Length: 0.05

MainMenu>Preprocessor>Meshing>MeshTools-Shape: Tri seçenekleriyle çözüm tekrar yapılır ve bu durumda Şekil 2.13'deki grafik elde edilir (Şekil 2.13).

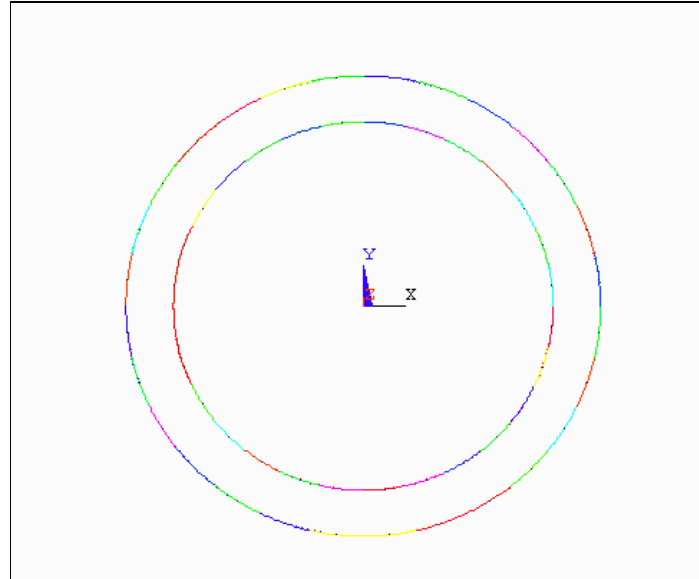


Şekil 2.13 : Tri mesh shape ile modele yük uygulanan aralığın σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin değişimi.

Şekil 2.13'deki grafikte gerilmeler düzgün bir dağılım göstermektedir. Analizlerden Triangular mesh shape'in daha uygun olduğu görülmektedir.

Modelin halka kısımlarının değerlendirilmesi için yapılması gereken mesh atma işlemi için halkada oluşan dört adet line'ın her biri yediye bölünür.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Divide>Line w/Options seçeneğinden bölünmesi istenilen halkanın çizgileri işaretlenerek gelen pencerede her bir line için yediye bölme işlemi gerçekleştirilir (Şekil 2.14).

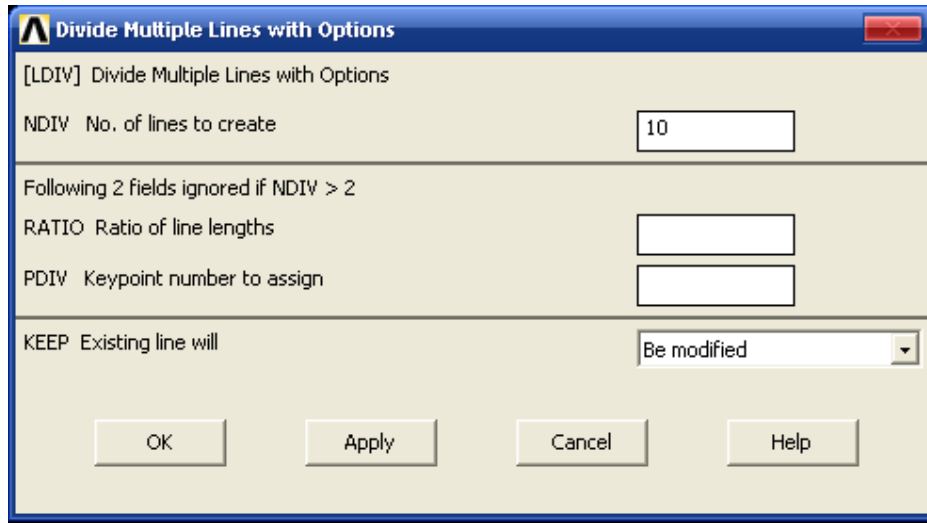


Şekil 2.14 : Yedi eşit parçaya bölünmüş halka çizgileri.

Oluşan her bir halka için yirmisekiz çizgiden x eksenine ve y eksenine komşu olan bitişik çizgiler ve 45 derecelik açıyla çizilen ekseni dik olarak kesen çizgiler için (her halka için sekiz adet) meshleme işlemi yapılır. Mesh aralığı için önceden belirlenen Size Element Edge Length: 0.05 seçilir.

Halkada oluşan line'ların meshleme işlemi bittikten sonra modelin alt kısmındaki yükün uygulandığı eksene komşu ve bitişik olan aralıklar için de aynı işlem uygulanır önce alt çizgi seçilir ve bu çizgi ilk etapta ona bölünür.

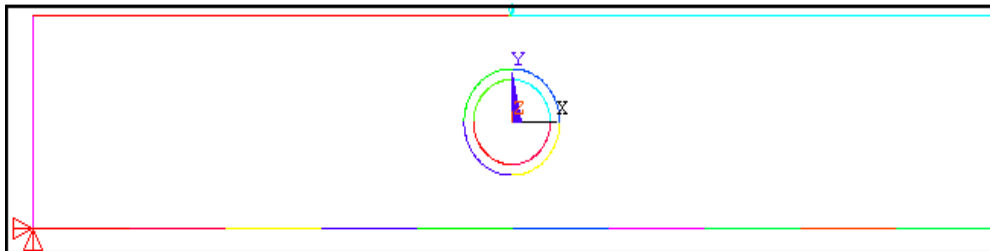
MainMenu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Divide>Line w/Options seçeneğinden çıkan pencerede alt çizgi seçilerek 10 eşit line elde edilir. Divide işleminden sonra halkanın alt kısmına denk gelen line'lar seçilir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 : Divide komutu ile çıkan pencerede bölme işleminin yapılması.

MainMenu>Preprocessor>Meshing>MeshTool

Size Element Edge Length: 0.05 seçilir ve incelenmesi gereken yükün modelin alt kısmındaki gerilme dağılımları için gerekli mesh atma işlemi yapılmış olur (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 : Bölme işleminden sonra alt çizgide oluşan line aralıkları.

Şekil 2.16’da gösterilen şeklin alt kısımlarında modifiye edilen line’ların yükün uygulanma eksenini kesen kısımları ince olarak meshleme işlemine tabi tutulur ve ilerideki kısımlarda detaylı olarak incelenmektedir.

Ortaya çıkan bu durum ile ANSYS modellemesine devam edilir ve ANSYS ile oluşturulan modellerin gerilme dağılımları ayrıntılı biçimde incelenir. Gerilme dağılımlarından hareketle yeni modeller geliştirilmeye çalışılır.

Modelin sahip olması gereken özellikler olan sağlamlık, yüksek mobilite ve düşük maliyetli olma unsurları her zaman göz önünde bulundurulur.

Çelik, malzeme olarak yüksek mekanik özelliklere sahip olmakla birlikte ağırlığı bakımından diğer çoğu malzemelerden daha dezavantajlıdır. Ortalama 7800 kg/m^3 yoğunluğa sahip olan çelik oluşturulacak olan modelin ağırlığında büyük pay sahibidir.

Sonlu eleman analizi oluşturulan dizayn için yükleme koşullarını ve modelin bu yükleme koşullarındaki davranışını simule etmenin bir yoludur.

Dizayn birbirlerinden farklı olan elemanlar aracılığıyla modellenmektedir. Her elemanın gelen yüke karşı verdiği tepkiyi tanımlayan kesin bir denklemi oluşur. Tüm elemanların verdiği tepkilerin toplamı dizaynlanan modelin yüke karşı olan davranışını belirler.

Elemanlar sonsuz sayıda dillerdir, fakat bilinmeyen bir sonlu sayıdadır. Finite elements (sonlu elemanlar) ismi bu durumu ifade etmektedir. Sonlu sayıda bilinmeyen elemanı olan sonlu eleman modeli sonsuz sayıda elemanı olan gerçek fiziksel sistemin maruz kaldığı yüke olan cevabını sadece yaklaşık olarak belirleyebilir. Bu durumda bu yaklaşımın ne kadar iyi olduğunu belirlemek kullanılan bilgisayar programlarının ayarlarıyla ilgilidir.

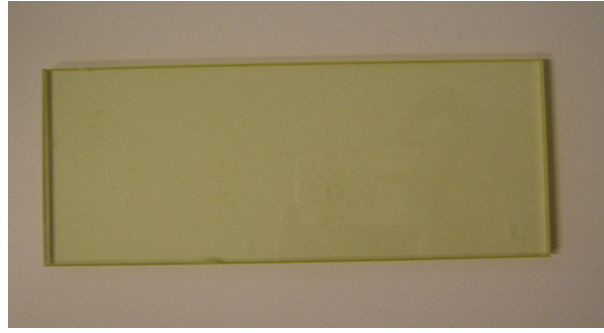
Fotoelastik modelleme yöntemi ile kompozit malzeme üzerine uygulanan yükün model üzerindeki gerilme dağılımları görülmektedir.

Yapılan deneyde iki farklı malzeme kullanılmış olup kullanılan malzemelerin elastisite modülleri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 : Cam ve Epoksi malzemelerinin elastisite modülleri.

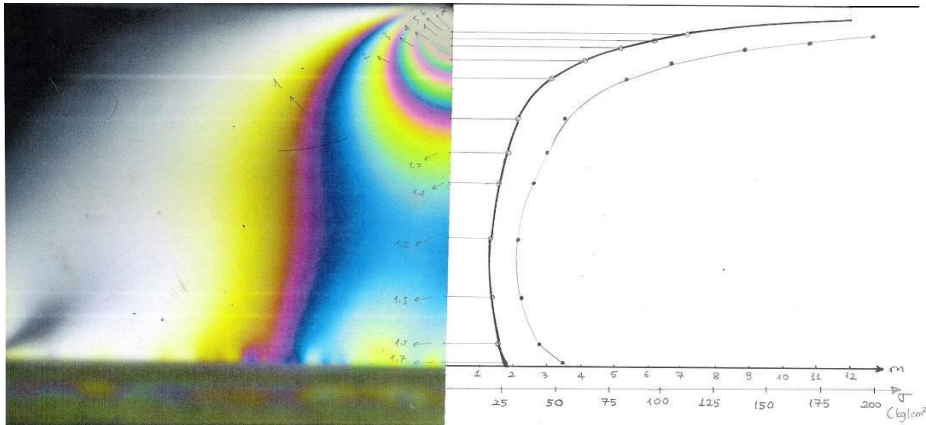
Malzemeler	Elastisite modülü (kg/cm^2)
Cam	$7 \cdot 10^5$
Epoksi	$35 \cdot 10^3$

Kompozit zırh tasarımı için iki farklı deney üzerinde durulacaktır. Cam ve epoksi malzemeler modellemede kullanılmıştır. Deneylerin ilkinde boyu 160mm eni 70mm olan epoksi levha kullanılacaktır. Bu model tek malzeme olarak yüke maruz bırakılıp oluşan gerilme diyagramları incelenmektedir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 : Epoksi levhanın fotoğrafı.

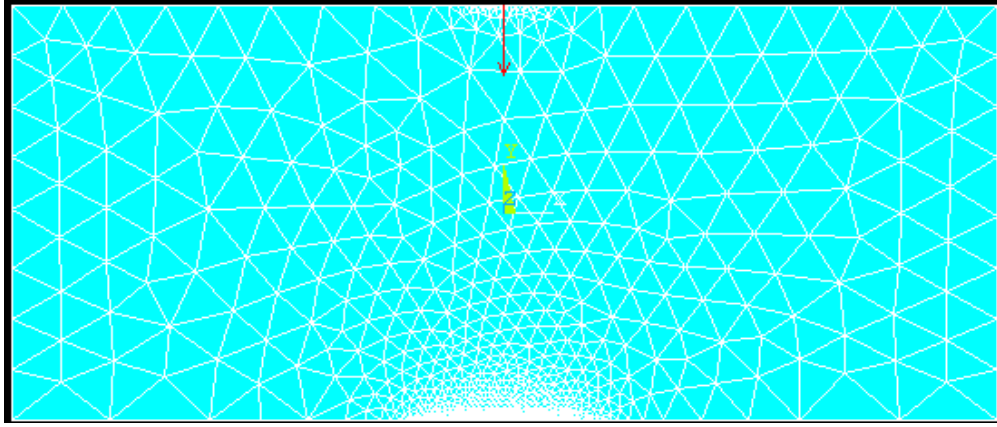
Şekil 2.17’de gösterilen kompozit plakanın modeli ile yapılan deneyin $P=94.51 \text{ kg}$ yükünün etkisinde oluşan interferans şeritlerinin fotoğrafı, interferans şeritlerinin mertebesi ve gerilmelerinin simetri eksenı boyunca değişim diyagramları Şekil 2.18’de verilmektedir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 : $P=94.51\text{kg}$ için gerilim ve mertebe dağılım eğrileri.

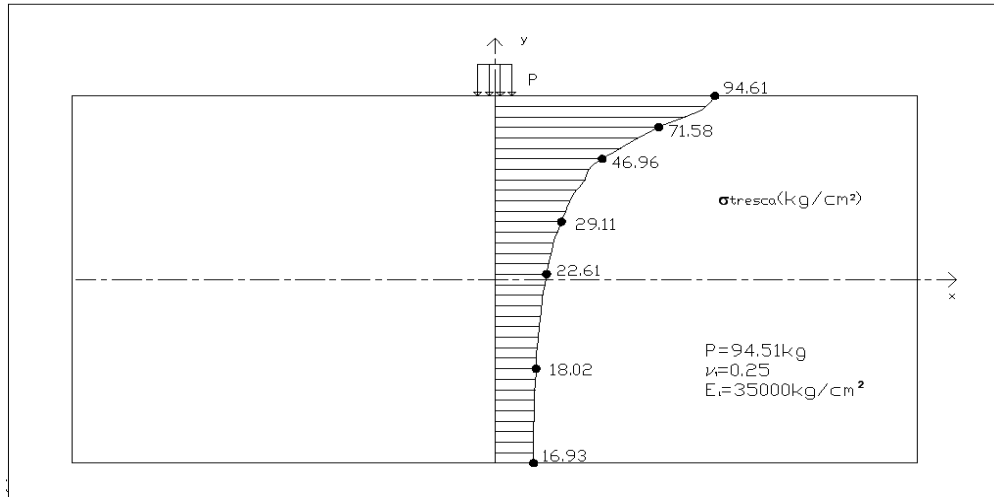
Deneyi gerçekleştirilen model için aynı veriler kullanılarak ANSYS modellemesi yapılır. ANSYS’de modelleme için gerekli olan mesh sıklığı ve eleman seçimi için

daha önce kritik bölgelerde seçilen 0.05 mesh sıklığı ve malzeme tipi için de Plane82 tekrar kullanılır. Daha önce belirlenen program özellikleriyle ANSYS’de oluşturulan model aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19 : Fotoelastik deneyin ANSYS’de modellenmesi.

ANSYS’de yapılan model çözülmesi ile oluşan gerilmelerin değerlendirilmesini yapmak için modelin orta noktasından geçen (y eksenini doğrultusunda) bir path oluşturulur ve path üzerinde okunması gereken σ_{int} gerilmeleri seçilir. σ_{int} (Tresca) gerilmeleri fotoelastik deneyde değerlendirilmeye alındığından ANSYS’de yapılan modelde de σ_{int} (Tresca) gerilmeleri dikkate alınır. Aşağıdaki şekil ANSYS modelinin 94.51kg yük altında oluşturduğu σ_{int} (Tresca) gerilmelerini AutoCAD programı kullanılarak oluşturulan grafiğini göstermektedir. Grafikte kullanılan veriler ANSYS programının verdiği sonuçlardan alınmıştır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 : Epoksi levhada oluşan gerilmeler.

Deneyin ANSYS ile çözümünde oluşan grafikte gerilmelerin fotoelastik deney sonucu bulunan değerlerden yaklaşık %50 daha az olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise fotoelastik deneyde kullanılan malzeme modelinin kalınlığının 5mm olması ve bu kalınlık σ_{int} (Tresca) gerilmelerinin hesabında 0.5 ile bölümü şeklinde katılmasındandır. Gerilme hesabında $\sigma = (m \cdot \sigma^{1.0}_o) / t$ denklemi kullanılmaktadır. Burada kullanılan parametreler;

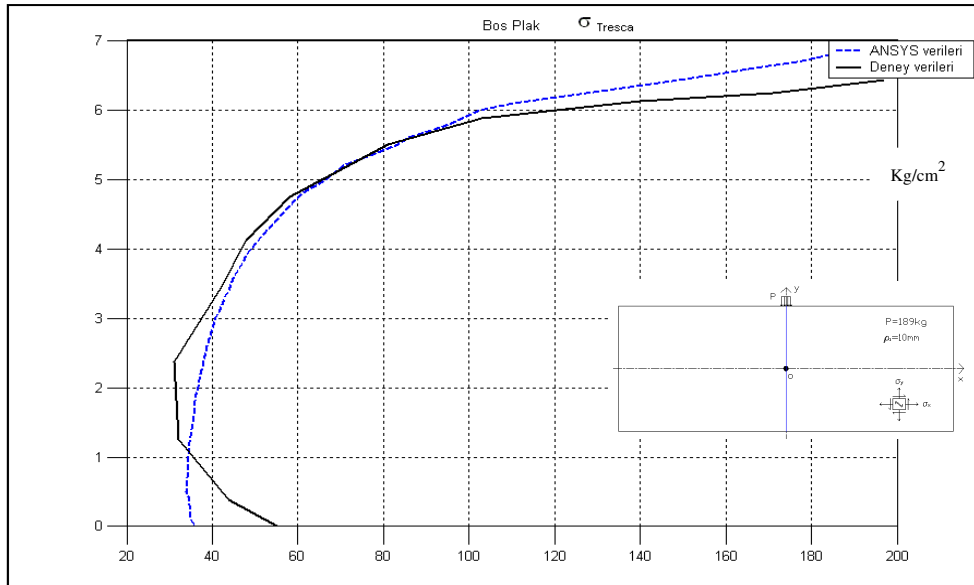
m = Model üzerindeki oluşan şeritlerin mertebesi

$\sigma^{1.0}_o$ = Malzemenin optik hassasiyeti

t = Modelin kalınlığı, olmaktadır.

Görüldüğü üzere t (modelin kalınlığı) bölen olarak formüle katılmakta ve 0.5cm alınan bu değer ANSYS’de yapılan Plane Stress modellemelerinde 1cm olarak alınmaktadır. Bu yüzden ANSYS modellemesinde bulunan gerilme değerleri yaklaşık olarak iki kat fazla olmaktadır.

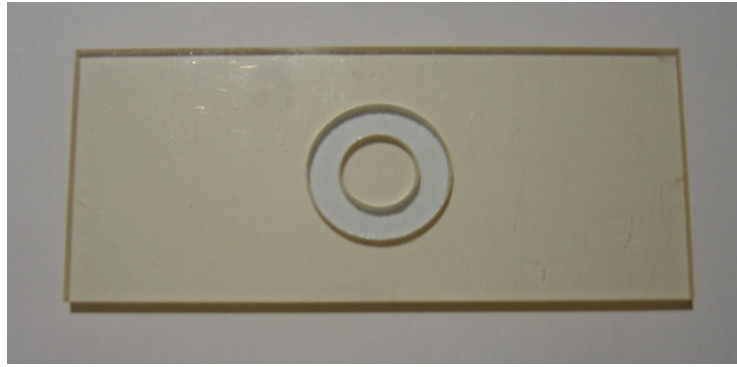
ANSYS de oluşan gerilmeler 2 ile çarpılarak sonuçlar MATLAB programı kullanılarak karşılaştırmalı olarak tekrar incelenir. Boş plakta uygulanan yüklemeyle oluşan gerilmeler MATLAB programı kullanılarak çizilen grafik karşılaştırmalı olarak aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21 : Deney ve ANSYS’ten alınan verilerin karşılaştırmalı grafiği.

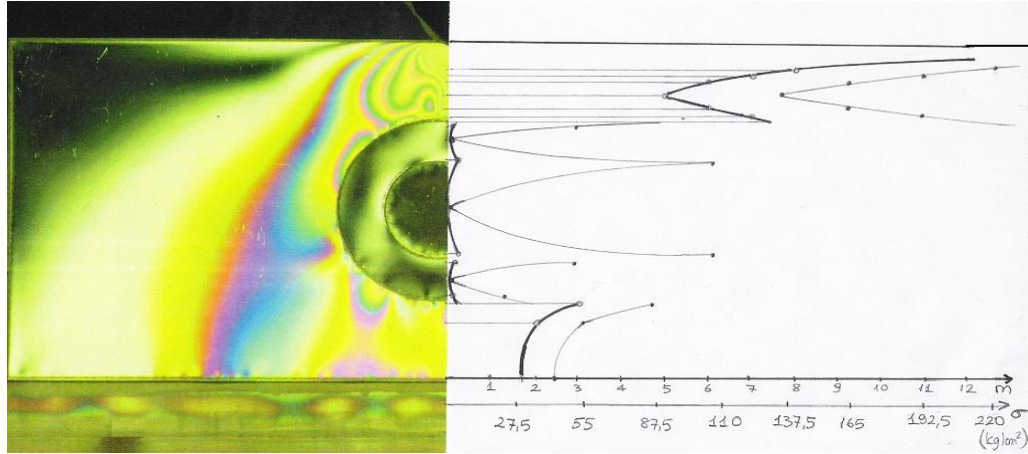
Şekil 2.21’de gösterilen grafikte epoksi levha için deneyden alınan verilerle bu levhanın ANSYS’de modellenmesi sonucunda oluşan gerilmelerin paralellik gösterdiği anlaşılmaktadır.

Fotoelastik yöntemle yapılan bir diğer deney ise kompozit malzemeler üzerinedir. Boyutlar aynı kalarak epoksi levhanın merkezinden 18mm’lik bir daire parça olarak çıkarılır ve içine dış yarıçapı 18mm ve iç yarıçapı 10mm olan cam halka yapıştırılmaktadır. Cam halkanın içine ise dış malzemenin aynısı (epoksi) konmaktadır. Şekil 2.22’de görülen cam ve epoksi karışımı kompozit malzeme üzerine 91.63kg’lık bir tekil yük uygulanmaktadır (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 : Modellemede kullanılacak kompozit model.

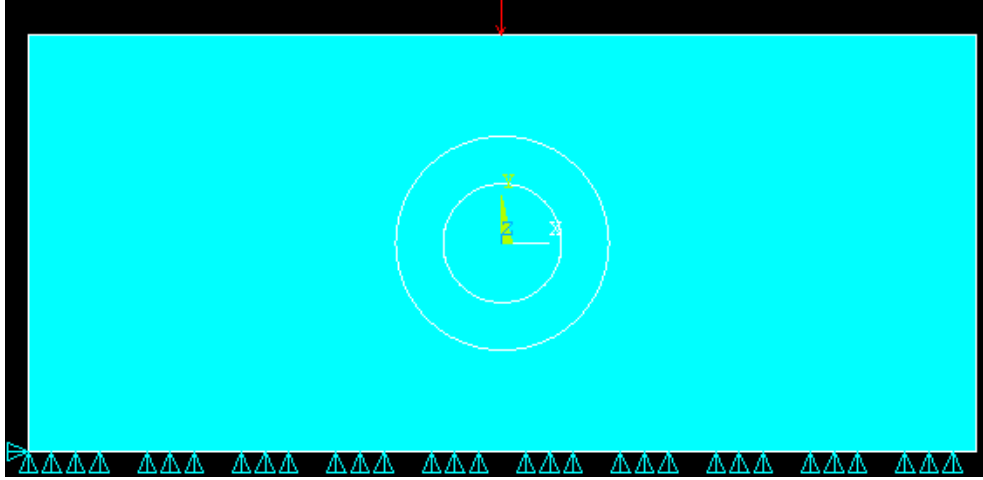
Oluşturulan kompozit modelin fotoelastik yöntemle çözümü ve ortaya çıkan deney sonuçları aşağıda gösterilmektedir (Şekil 2.23).



Şekil 2.23 : P=91,63 kg için gerilim ve mertebe dağılım eğrileri.

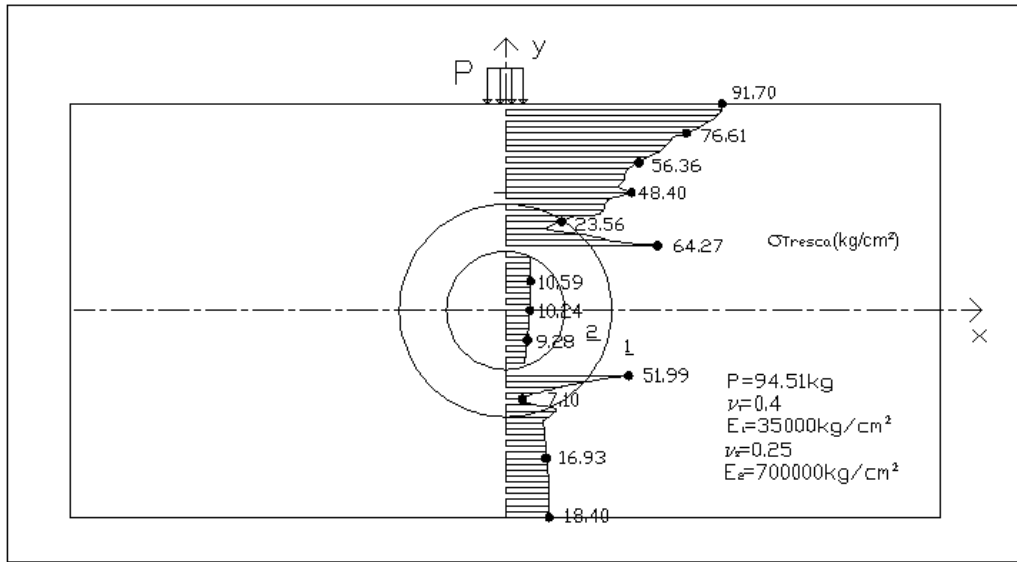
Bu deneyden anlaşıldığı üzere kompozit bir model için eğriler sıçralamalar göstermektedir ve bu sıçramalar malzeme geçiş noktalarında olmaktadır. Epoksi ile cam arasında Tresca gerilmeleri farkedilir bir sıçrama göstermekte ve bu model

içerisindeki gerilme dağılımını oldukça etkilemektedir [8]. Deneyin ANSYS ortamında çözümü aşağıdaki şekilde görülmektedir (Şekil 2.24).



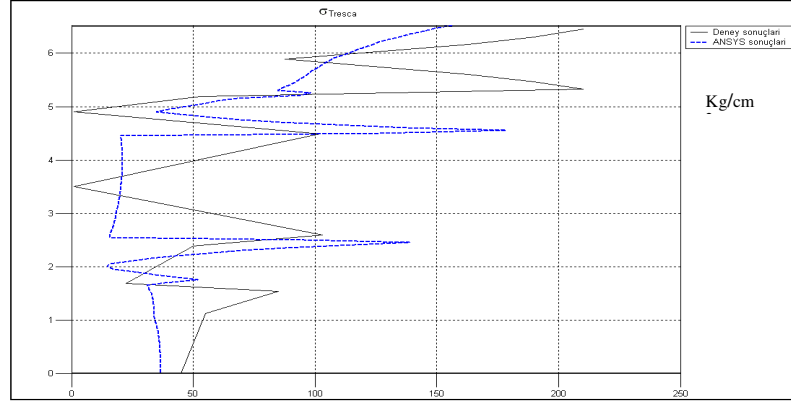
Şekil 2.24 : Modellemede kullanılacak kompozit model.

ANSYS’de oluşturulan model için daha önce belirlenen aralıkta meshler oluşturulur ve çözüme geçildiğinde ortaya çıkan gerilme dağılımı Şekil 2.25’de gösterilmektedir (Şekil 2.25).



Şekil 2.25 : Kompozit modelin ANSYS’de çözümü.

MATLAB programı kullanılarak oluşturulan karşılaştırmalı grafik Şekil 2.26’da gösterilmektedir (Şekil 2.26).



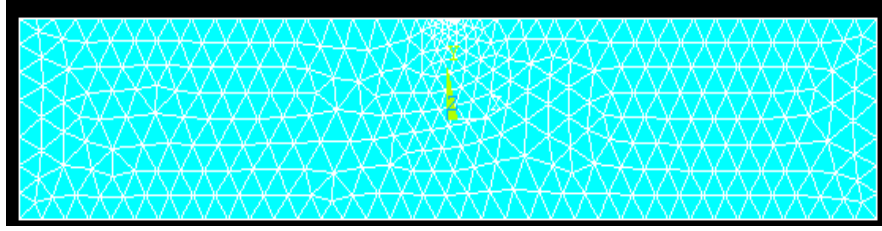
Şekil 2.26 : Kompozit modelde oluşan gerilmelerin ANSYS ve deney karşılaştırmalı grafiği.

Ortaya çıkan deney sonuçlarından görüldüğü üzere ANSYS’de yapılan çözüm ile fotoelastik yöntemle yapılan çözüm grafikleri yaklaşık olarak aynı eğilim çizgisine sahiptir. Bu durumda ANSYS’de kullanılan mesh aralıkları ve çözüm yöntemi kabul edilebilir bir hata oranı ile doğru sonuçlar vermektedir.

3 MODELLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

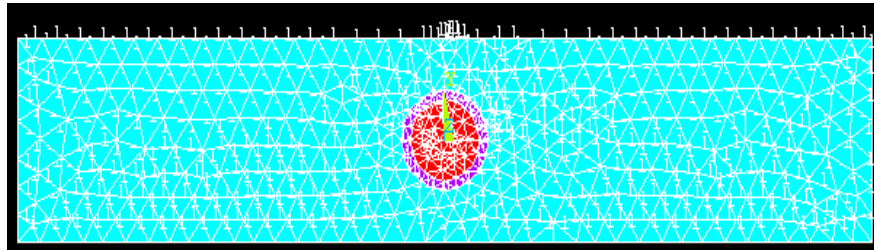
3.1 Sınıflandırma

Modellerin sınıflandırılmasındaki amaç uygulanan yüklere maruz kompozit malzemelerin incelenmesinde uygun tespitlerin elde edilmesi ve elde edilen tespitlerin çözümlemesinde düzenli bulgular sağlanmasıdır. Meshleme işlemleri bittikten sonra yapılması gereken modelleme işlemi için ilk önce halka olmadan tek malzemeli düz levhanın modellenmesi yapılır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Tek malzeme içeren modeldeki elemanlar.

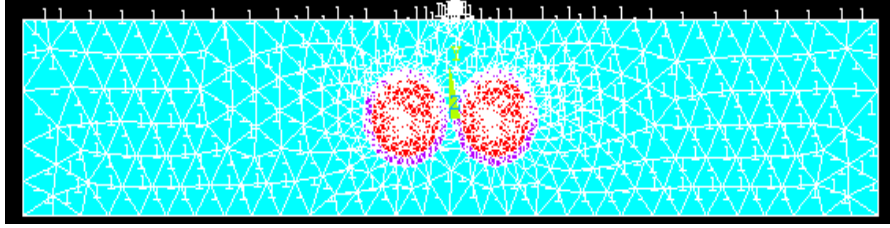
Boş modelin çözümüyle y eksenini boyunca oluşan gerilmeler düzgün bir dağılım göstermektedir. Boş modelin çözümünden sonra tek halkalı üç malzeme içeren modelin çözümüne geçilir. Tek halkalı modelin ANSYS’de modellenmesi ile oluşan elemanların görünümü Şekil 3.2’de gösterilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Üç malzeme içeren tek halkadan oluşan modelde elemanlar.

Tek halkalı modelle yapılan incelemelerde uygulanacak olan yük modelin üst orta noktasında olduğunda halkaları iki eşit parçaya bölen eksen doğrultusunda aplike edilerek oluşacak gerilmeler incelenir. Görünen model incelemenin başlarında tek halkadan oluşmakta daha sonraları ise yükün uygulandığı noktalara yardım eden diğer elemanlar da dikkate alınarak sonlu eleman modeli oluşturulmaktadır. Tek halkalı modelden sonra ise Şekil 3.3’te görünen 2 halkalı modelin çözümlemesi

yapılır. Yapılan bu çözümlerden kompozit zırh için aranan optimum halka genişliği ve aralığı bulunmaya çalışılır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Üç malzeme içeren iki halkadan oluşan modeldeki elemanlar.

Zırh tasarımında dikkate alınması gereken hafiflik, mukavemet ve ergonomik kullanım özelliklerinin optimum oranının tespiti için malzemelerin, halkaların kalınlıklarının, halkalar arası mesafenin ve modelin geometrisinin değiştirilerek incelenmesi gereklidir.

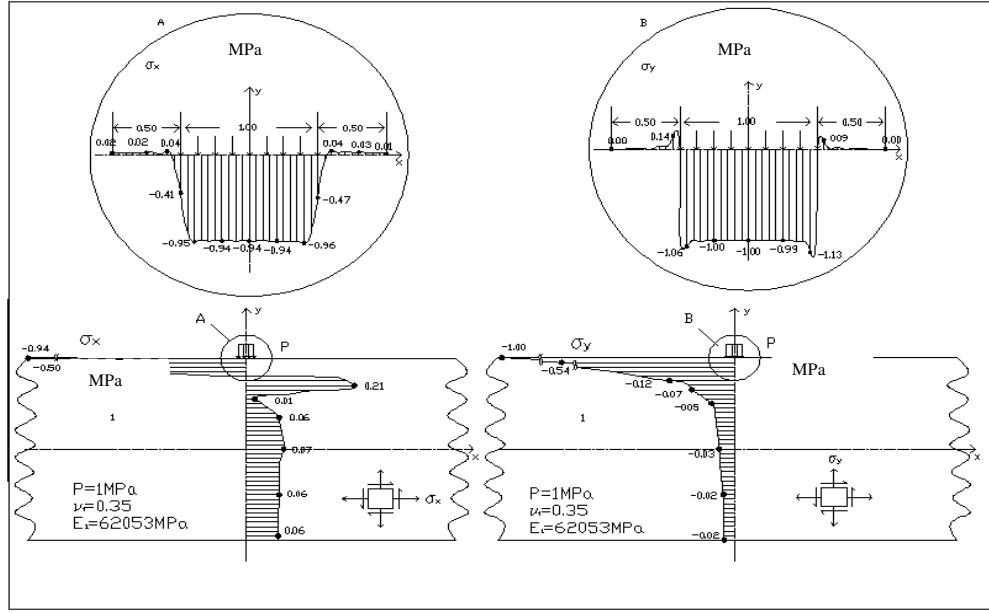
3.2 Çözümleme

3.2.1 Tek malzemeli modelin incelenmesi

Kompozit zırh tasarımı birden çok malzemelerin beraber çalışması prensibine göre çalışır. Tek malzemeli modelin incelenmesi aksenal kuvvetin düzlemsel gerilmelerin incelenmesinde ve ANSYS’de yapılacak olan ayarların doğruluğunun araştırılmasında yardımcı olmaktadır.

Seçilen mesh aralığı ile gerilme dağılımını incelemeye boş bir levha modeli üzerinde başlandığında oluşan gerilme dağılışı incelenmiştir.

Boş levha üzerinde bir birimlik alana uygulanan bir birimlik yayılı yükten oluşan gerilmelerin y eksenini üzerindeki σ_x gerilmeleri ve yükün uygulandığı aralıktaki σ_x gerilmelerini bununla beraber boş levha üzerinde bir birimlik alana uygulanan bir birimlik yayılı yükten oluşan gerilmelerin y eksenini üzerindeki σ_y gerilmeleri ve yükün uygulandığı aralıktaki σ_y gerilmelerini aynı alanda göstererek aşağıdaki grafik elde edilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : Boş levhanın y eksenı üzerindekı ve uygulanın kuvvet aralığındakı σ_x ve σ_y gerılmelerının değışimi.

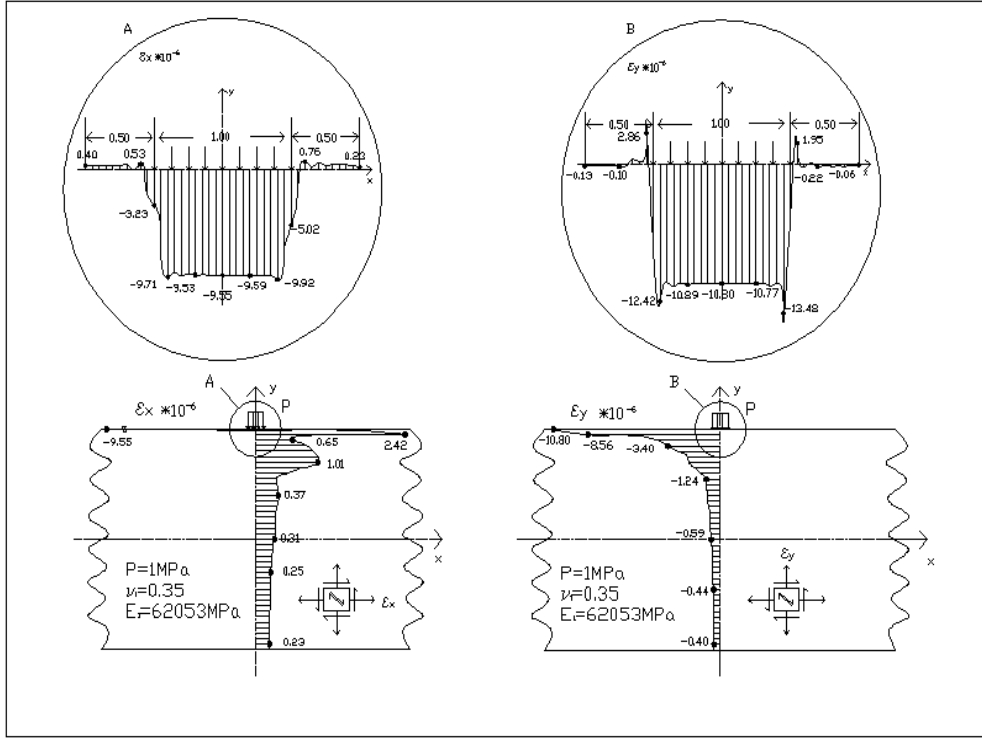
Şekil 3.4'te görüldüğü gibi y eksenı üzerinde oluşın σ_x gerılmeleri yükün uygulandığı noktaya yakın yerlerde değışken bir dağılım göstermekle birlikte uzaklaştıkça daha lineer bir davranış göstermektedir.

Yükün uygulandığı eksen üzerinde oluşın σ_y gerılmeleri yükün uygulandığı noktada yüke eşit bir değerde olup uygulama noktasından uzaklaştıkça azalarak sıfıra yaklaşmaktadır. Gerilmeler yükün uygulandığı aralıkta ise yükün uygulanmaya başladığı noktalarda sıçrama yapmakta ve uygulanma alanlarında 1'e yakın değler almaktadır.

Gerilmelerden σ_y gerilmeleri modelin aşağılarına inildikçe hızlı bir şekilde sıfıra yaklaşmaktadır. Bu durum σ_y gerilmeleri dikkate alındığında balistik performans bakımından düşünıldüğünde modelin yükün uygulandığı noktalara yakın yerlerde kırılmaların oluşacağını göstermektedir.

σ_x gerilmeleri yükün uygulandığı noktaya yakın yerlerde salınım göstererek daha düzensiz bir şekilde azalma göstermektedir.

Boş levhada oluşın elastik birim şekil değıştirmeler incelendiğinde kısmen gerilme dağılımına benzer bir grafik ortaya çıkmaktadır (Şekil 3.5).



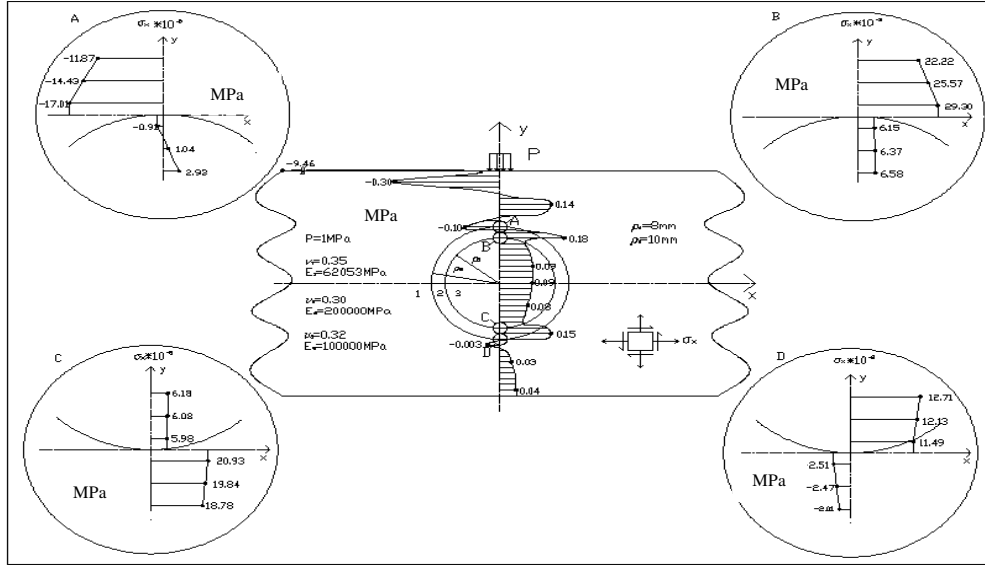
Şekil 3.5 : Boş levhada y eksenı üzerinde ve uygulanan kuvvet aralığındaki ϵ_x ve ϵ_y birim şekil değıştirmeleri.

Boş levhada bir birimlik alana bir birimlik bir yayılı yük uygulandığında yükün uygulama aralığındaki ϵ_x ve ϵ_y birim şekil değıştirmeleri aynı noktalardaki gerilme dağılımlarına benzer bir eğilim göstermektedir.

3.2.2 Tek halkalı üç malzemeli modelin incelenmesi

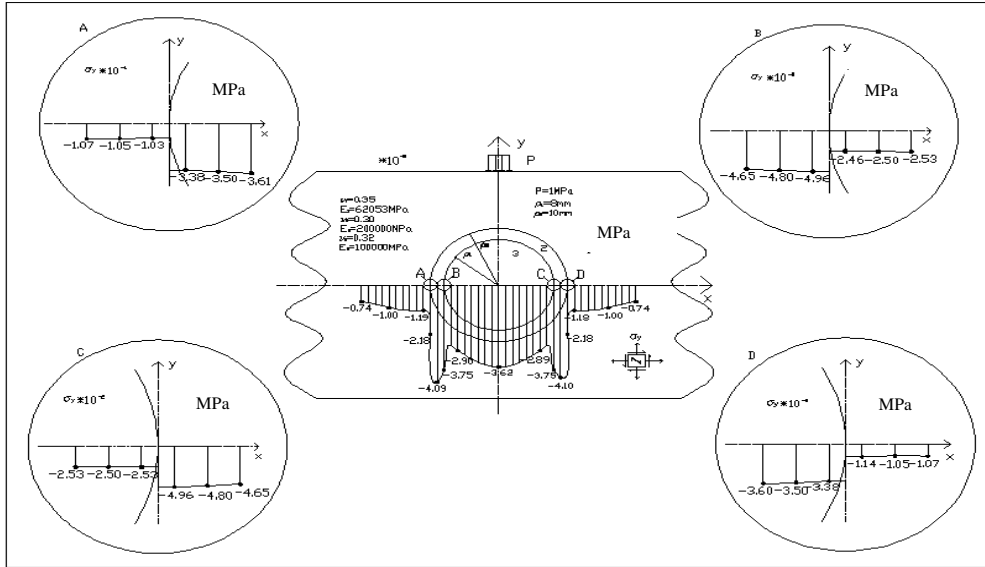
Boş levhanın incelenmesinden sonra tek halkalı modelin incelenmesine geçilir ve önce σ_x gerilmeleri ele alınır.

Tek halkalı modelin y eksenı üzerinde oluşan σ_x gerilmeleri malzemelerin birleşim noktalarında yani modelimizde bulunan üç adet farklı malzemenin sınırlarında sıçrama gösterir. İncelemeye esas olan grafik aşağıdadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 : Tek halkalı levhada y ekseninde oluşan σ_x gerilmelerinin değişimi.

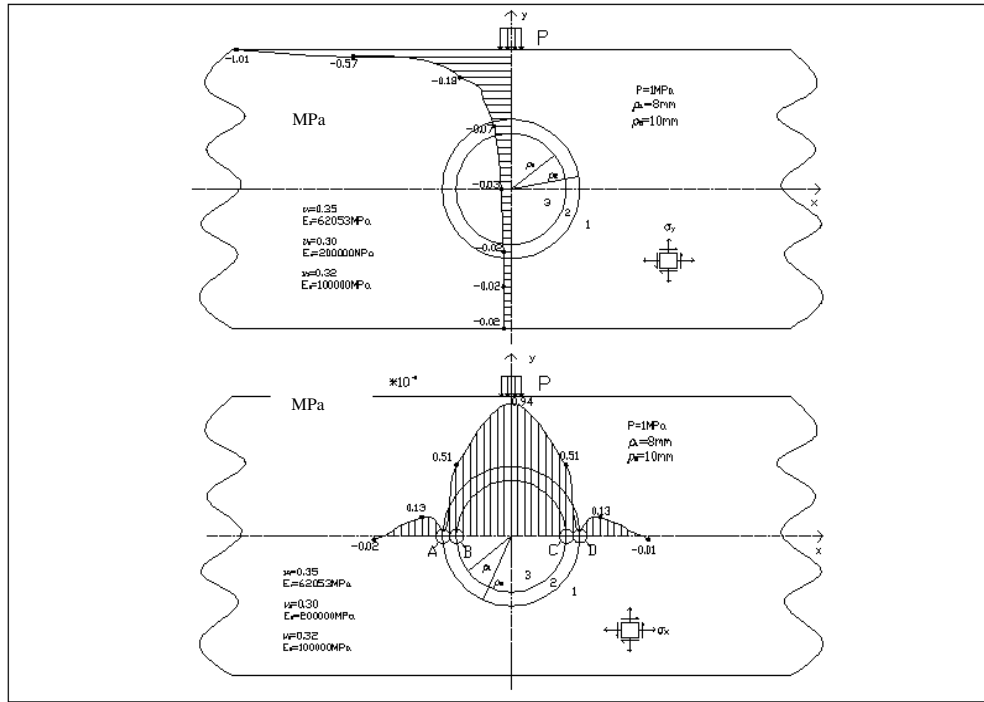
Tek halkalı modelin y eksenindeki σ_x gerilmeleri incelendiğinde A, B, C, D bölgelerindeki sıçramalar açık olarak grafikte görülmektedir. Tek halkalı modelin σ_y gerilmelerinde ise bahsedilen sıçramalar x ekseninde gerçekleşmektedir. Tek halkalı modelin x eksenindeki σ_y gerilmeleri Şekil 3.7’de gösterilmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Tek halkalı levhada x ekseninde oluşan σ_y gerilmelerinin değişimi.

Tek halkalı modelin x eksenindeki σ_x gerilmeleriyle y eksenindeki σ_y gerilmeleri belirgin bir sıçrama oluşturmaz ve farklı malzemelerin geçiş sınırlarının her iki tarafındaki gerilmeler birbirlerine çok yakındır. Tek halkalı modelin y eksenindeki σ_y gerilmeleriyle x eksenindeki σ_x gerilmeleri belirgin bir sıçrama oluşturmaz ve farklı malzemelerin geçiş sınırlarının her iki tarafındaki gerilmeler birbirlerine çok yakındır.

üzerindeki σ_y ve x eksenini üzerindeki σ_x gerilmelerinin grafikleri Şekil 3.8’de gösterilmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : y eksenini üzerindeki σ_y ve x eksenini üzerindeki σ_x gerilmeleri.

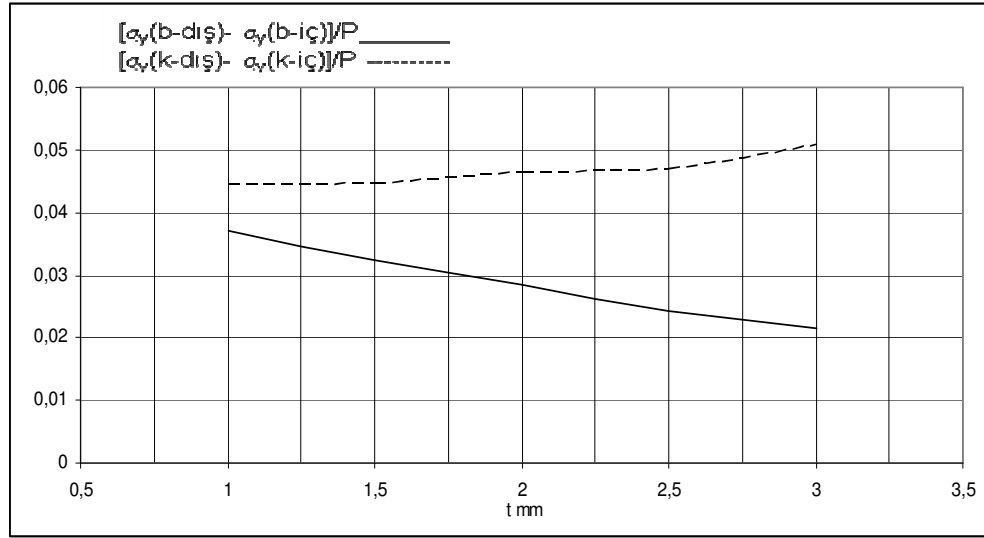
Bu grafiklerde görüldüğü üzere y eksenini üzerindeki σ_y gerilmeleri yükün uygulandığı noktada yükün değerine yaklaşık olarak eşit olup yükün uygulandığı noktadan uzaklaştıkça sıfıra yaklaşmaktadır.

Tek halkalı üç malzemeli modelde t’nin (halkanın et kalınlığı) değişimi ile eleman geçişleri arasında oluşan sıçramalar incelenmektedir.

İncelemede halkanın x eksenini kesen noktalarında oluşan sıçramalar σ_y gerilmeleri dikkate alınarak incelenmiştir.

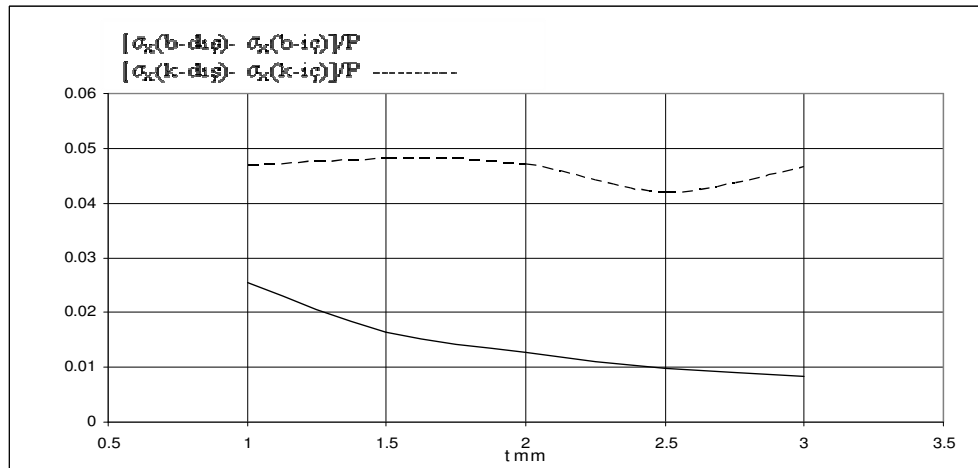
Şekil 3.9’da gösterilen küçük “b” harfi 1 no’lu malzeme ile 2 no’lu malzeme arasındaki geçiş sınırını küçük “k” harfi ise 2 no’lu malzeme ile 3 no’lu malzeme arasındaki geçiş sınırını belirtmektedir.

Grafikte gerilmeler birim yüke bölünerek birimden bağımsız gösterim tercih edilmektedir. (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 : Tek halkalı modelin x ekseninde oluşan boyutsuz σ_y gerilme farklarının t'nin artması ile değişimi.

Şekil 3.9'daki grafikte görüldüğü üzere (t) halka kalınlığının artması x ekseninde, dıştaki malzeme geçiş sınırında σ_y gerilmelerinde oluşan gerilme farklarının (sıçramaların) artmasına neden olmaktadır. 1mm ile 3mm'lik halka kalınlıkları arasında oluşturulan grafikte gerilme farklarının en fazla %1'den az bir artış olduğu görülmektedir. Fakat aynı grafikten içteki malzeme geçiş sınırında oluşan gerilme farklarının azaldığı görülmekte ve 2 no'lu malzeme ile 3 no'lu malzeme arasındaki geçişte sıçramaların 2mm'lik bir artış ile %1.5 kadar bir azalma görülmektedir. Şekil 3.10'da ise y ekseninde oluşan σ_x gerilmelerinin sıçramaları incelenmektedir (Şekil 3.10).

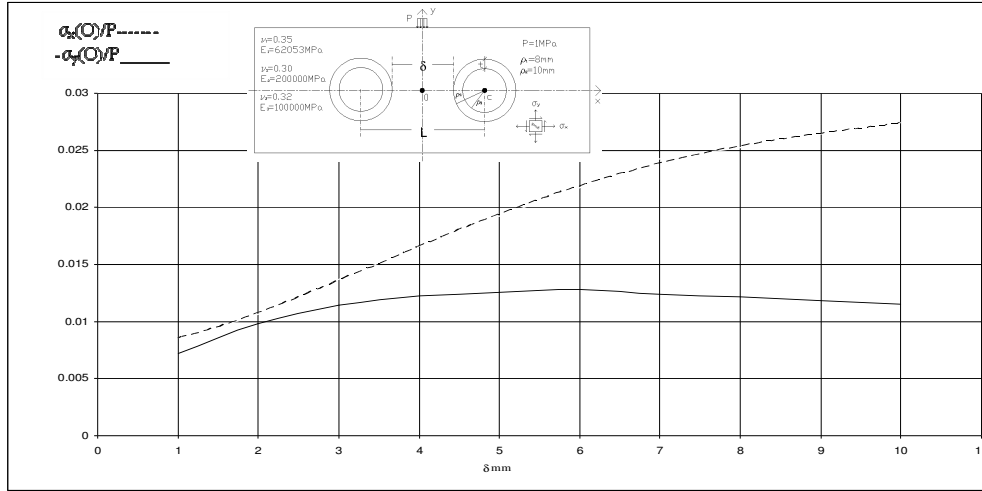


Şekil 3.10 : Tek halkalı modelin y ekseninde oluşan boyutsuz σ_x gerilme farklarının t'nin artması ile değişimi.

Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'daki grafiklerde tek halkalı model için t 'nin (et kalınlığı) artmasıyla malzeme geçişleri arasındaki sıçramaların şiddetinin değişimi incelenmiştir. Halkanın dış yarıçapı sabit olacak şekilde (10mm) iç yarıçapı değiştirilerek halka kalınlığı değiştirilmiştir. Halka kalınlığının artması dıştaki sınırda oluşan sıçrayışı arttırmaktadır. İçteki sınırda oluşan sıçramalar ise halka kalınlığının artmasıyla azalmaktadır.

3.2.3 İki halkalı modelin incelenmesi

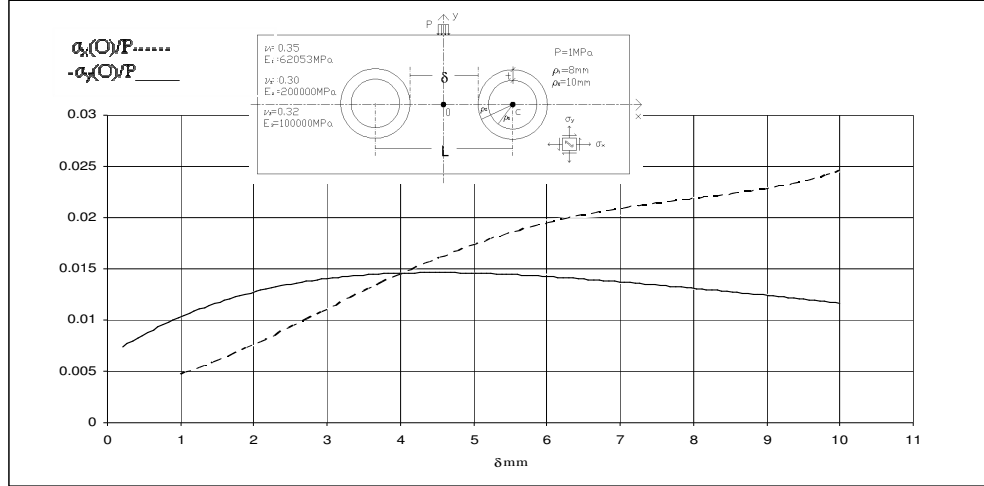
Çift halkalı modelin incelemesinde ilk başta iki halka arasındaki mesafenin değişimine göre merkezde (O noktasında) oluşan gerilmelerin analizi incelenmiştir. Bu inceleme halkaların et kalınlığının (t) 2 mm olduğu durum için yapıldırsa σ_x ve σ_y gerilmelerinde oluşan değişim aşağıdaki grafikte gösterilmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 : $t=2\text{mm}$ olduğunda δ aralığının değişimi ile O noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P 'nin değişimi.

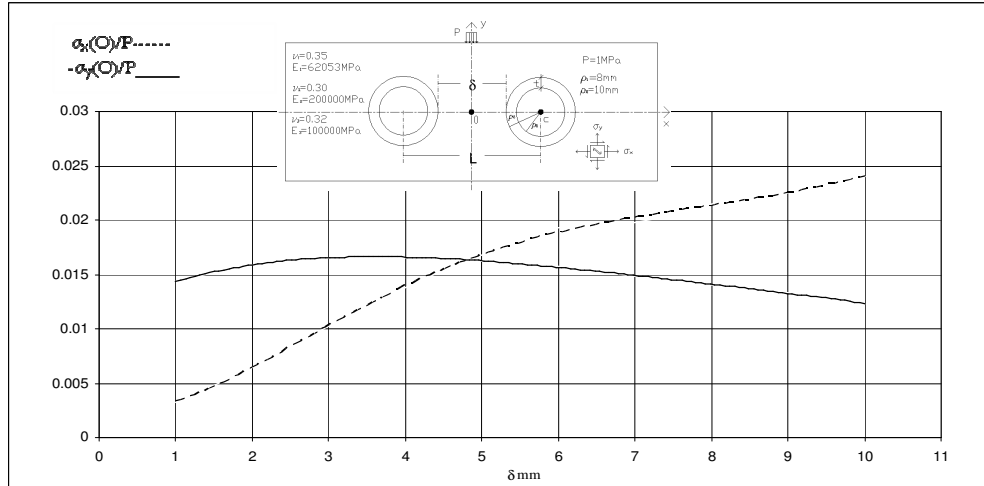
$t=2\text{mm}$ olduğunda δ aralığının değişimi ile O noktasında oluşan σ_x gerilmeleri de artmaktadır. Grafikten de anlaşıldığı üzere σ_y değerleri σ_x değerlerinden daha düzgün bir dağılım göstermektedir.

Aradaki δ mesafesinin değişmesi σ_x gerilmelerinin değerini çok az değiştirmektedir. $t=4\text{mm}$ olduğunda aynı inceleme yapıldığında gerilme davranışlarının benzerlik gösterdiği görülmektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 : $t=4\text{mm}$ olduğunda δ aralığının değişimi ile O noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P 'nin değişimi.

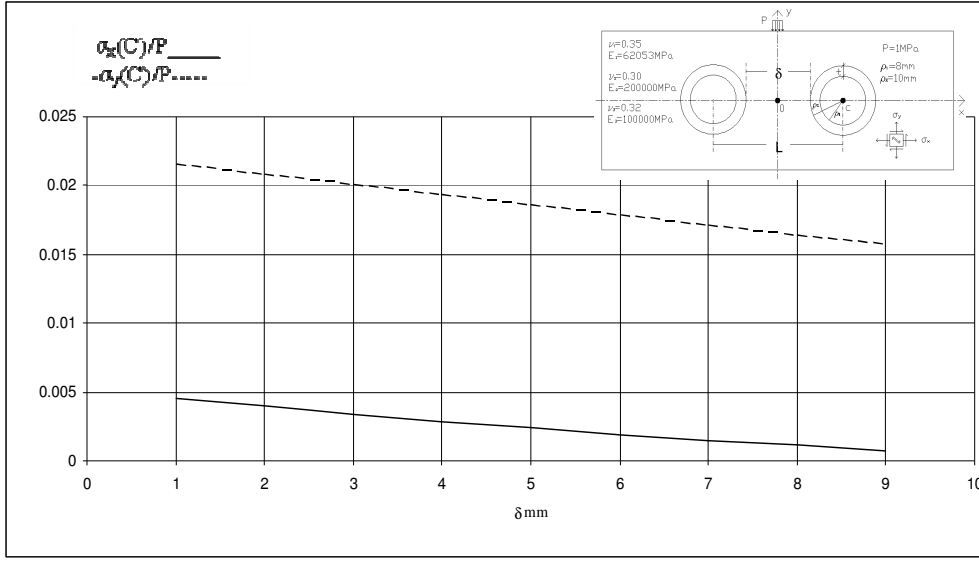
$t=6\text{mm}$ olduğunda aynı inceleme yapıldığında gerilme davranışlarının benzerlik gösterdiği görülmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 : $t=6\text{mm}$ olduğunda δ aralığının değişimi ile O noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P 'nin değişimi.

Yukarıda gösterilen üç grafikten anlaşıldığı üzere σ_y gerilmeleri δ mesafesinin artmasıyla önemli bir değişim göstermemektedir. Diğer taraftan σ_x gerilmeleri çok az değişerek düzgün bir dağılım göstermektedir.

Bu sefer $t=2\text{mm}$ olduğunda halkanın merkezinde (C noktası) oluşan σ_x ve σ_y gerilme değerlerinin halkalar arasındaki mesafenin (δ) değişimine göre aldığı değerlerin grafiği incelenir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 : $t=2\text{mm}$ olduğunda δ aralığının değişimi ile C noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P 'nin değişimi.

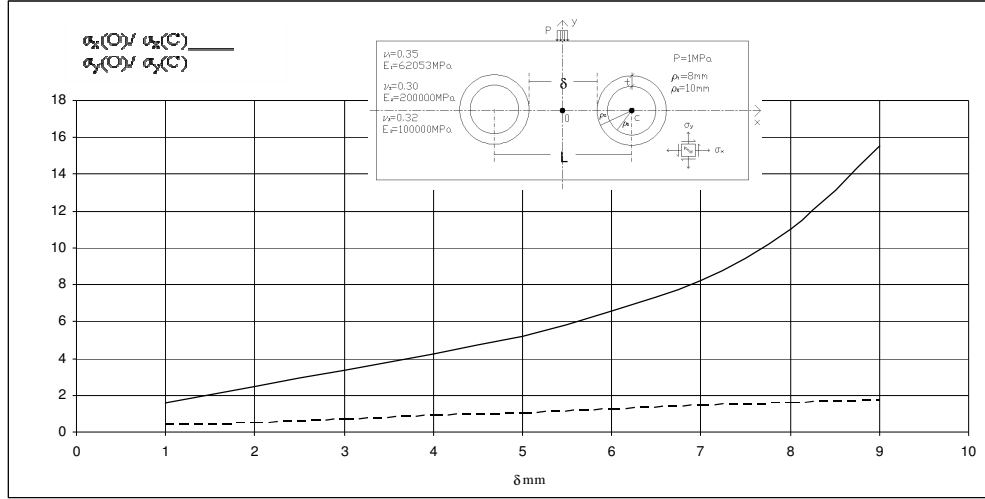
Şekil 3.14'ten de anlaşıldığı üzere $t=2\text{mm}$ halka kalınlığında yapılan incelemede halkalar arasındaki mesafenin artması ile halka merkezinde oluşan σ_x ve σ_y gerilme değerleri azalmaktadır.

Merkezde oluşan gerilmelerin halkanın ortasında (C noktasında) oluşan gerilmelere oranı incelendiğinde halkalar arasındaki δ aralığının artmasıyla merkezde oluşan gerilmelerin halkanın merkezinde oluşan gerilmelere oranının doğal olarak arttığı görülmektedir.

Halkalar arası mesafenin $\delta=2\text{mm}$ olduğu durumda merkezde oluşan σ_x gerilmelerinin halkanın merkezinde oluşan σ_x gerilmelerine oranı parabolik olarak artmaktadır. Yani C noktasında oluşan σ_x gerilmeleri O noktasındaki gerilmelere oranla daha fazla azalmaktadır.

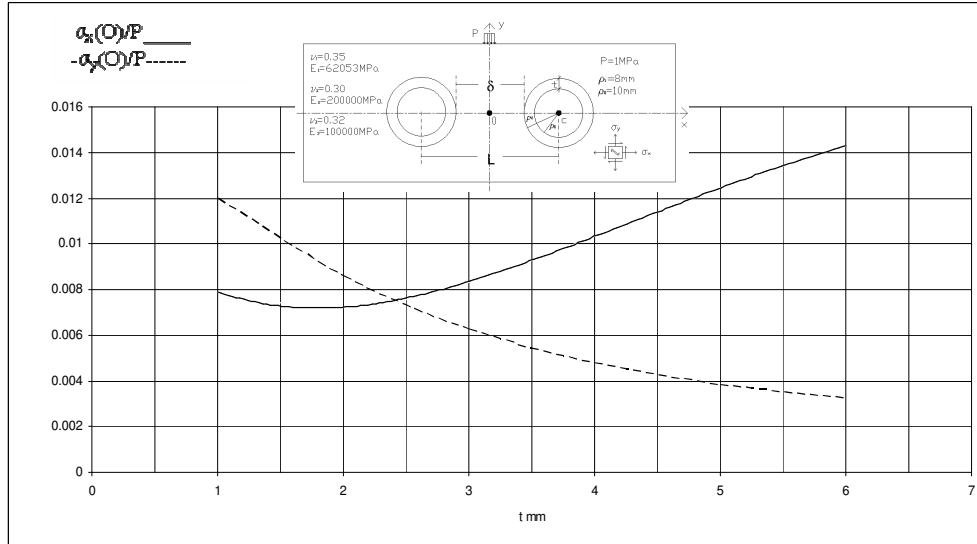
Yukarıdaki grafiklerden görüldüğü üzere C noktasında oluşan gerilmeler halkalar arasındaki δ mesafenin artmasıyla mutlak değerce azalmaktadır. Yani hem σ_x hem de σ_y "0" değerine yaklaşmaktadır.

Aşağıdaki grafik $t=2\text{mm}$ olduğunda O noktasında oluşan gerilmelerin C noktasında oluşan gerilmelere oranını göstermektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 : $t=2\text{mm}$ olduğunda δ aralığının değişimi ile O noktasında oluşan σ_x ve σ_y gerilmelerin C noktasında oluşan σ_x ve σ_y gerilmelerine oranı.

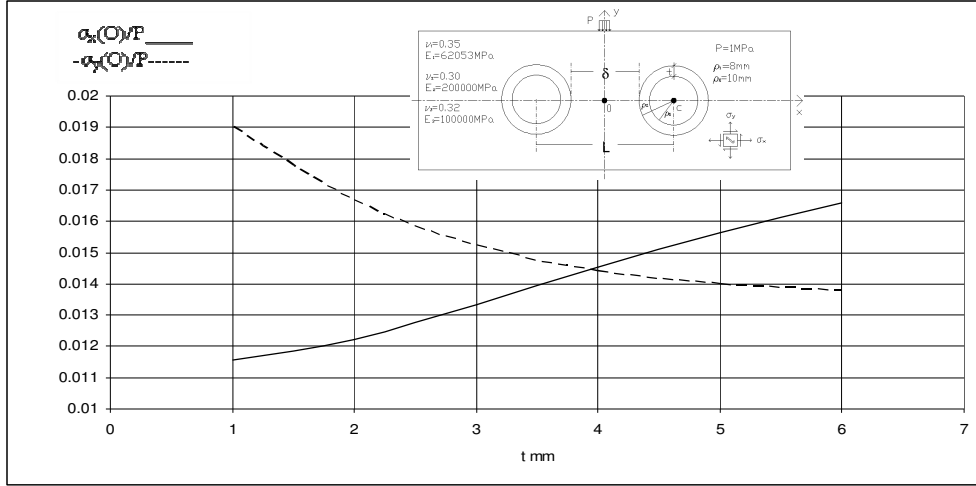
Aşağıdaki grafik $\delta=1\text{mm}$ olduğunda t (halka kalınlığı) nin değişimine göre O noktasında oluşan σ_x ve σ_y gerilmelerinin değişimini göstermektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 : $\delta=1\text{mm}$ olduğunda t (halka inceliği) değişimine göre O noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P 'nin değişimi.

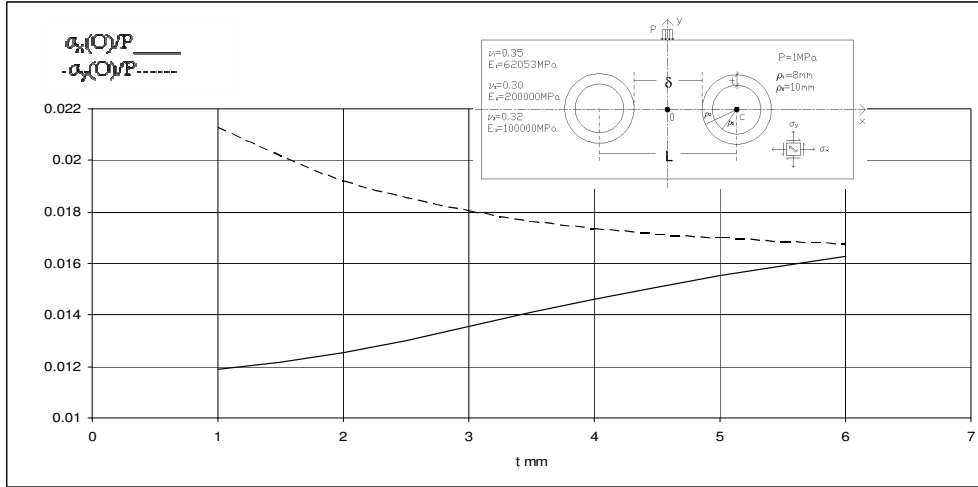
Yukarıdaki grafikte görüldüğü üzere t 'nin artmasıyla O noktasında oluşan σ_y gerilmelerinde azalma ve σ_x gerilmelerinde de artma gözlenmektedir.

Aynı inceleme ele alındığında aşağıdaki grafik $\delta=4\text{mm}$ olduğunda t (halka kalınlığı) nin değişimine göre O noktasında oluşan σ_x ve σ_y gerilmelerinin değişimini göstermektedir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 : $\delta=4\text{mm}$ olduğunda t (halka inceliği) değişimine göre O noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P 'nin değişimi.

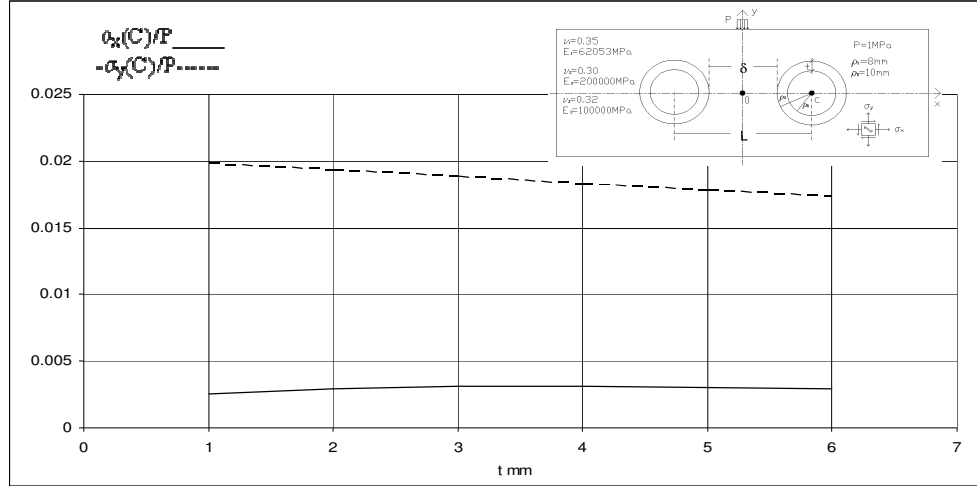
$\delta=4\text{mm}$ olduğunda yine O noktasında oluşan σ_y gerilmelerinde azalma ve σ_x gerilmelerinde de artış gözlenmektedir. Aynı inceleme bu seferde $\delta=5\text{mm}$ için yapılırsa aşağıdaki grafik elde edilir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 : $\delta=5\text{mm}$ olduğunda t (halka inceliği) değişimine göre O noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P 'nin değişimi.

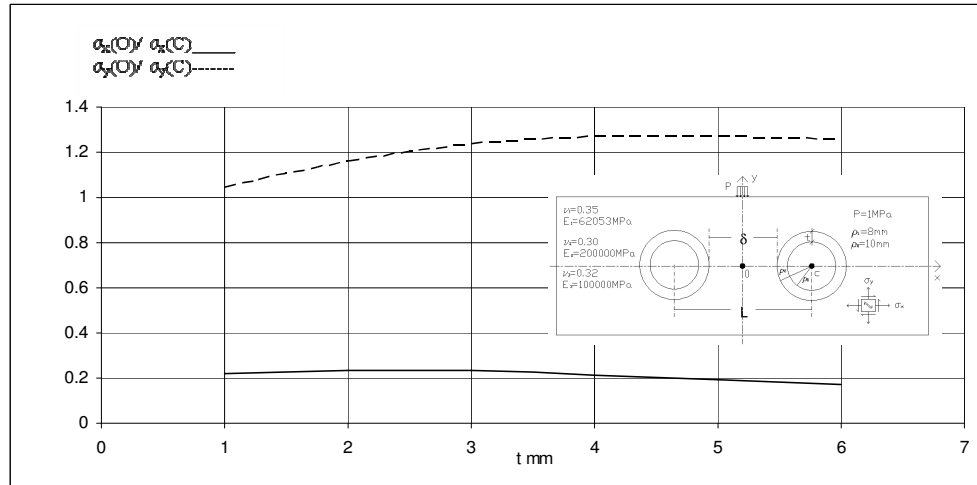
Yukarıda çizilmiş olan üç grafikten (Şekil 3.16, 3.17 ve 3.18) anlaşıldığı üzere σ_y gerilmelerinde δ 'nin değişmesi ile azalırken σ_x gerilmelerinde ise artış gözlenmektedir.

$\delta=4\text{mm}$ olduğunda halka kalınlığının (t) değişimi ile halkanın merkezinde (C noktasında) oluşan gerilmelerin değişimi aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 : $\delta=4\text{mm}$ olduğunda t (halka inceliği) değişimine göre C noktasında oluşan σ_x/P ve σ_y/P 'nin değişimi.

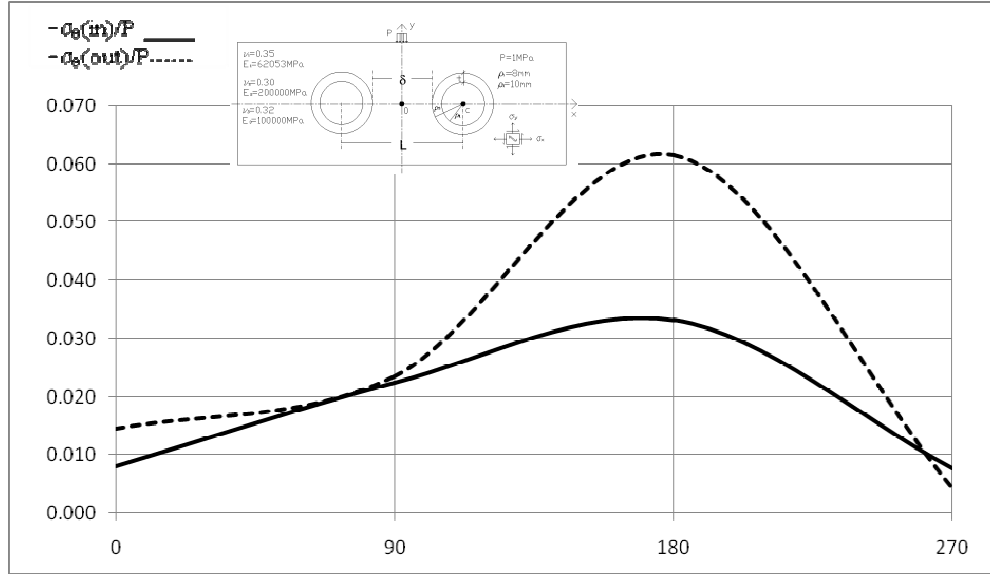
Grafikten anlaşıldığı üzere t nin artmasıyla halka merkezinde oluşan σ_x gerilmelerinde fazla bir değişim olmamakla birlikte σ_y gerilmeleri az da olsa azalmaktadır. Aynı inceleme O merkezinde oluşan gerilmelerin C noktasında oluşan gerilmelere oranı olarak düzenlenip aşağıdaki grafikte gösterilmektedir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 : $\delta=4\text{mm}$ olduğunda t değişimine göre O noktasında oluşan gerilmelerin C noktasında oluşan gerilmelere oranının değişimi.

Modelin üst orta noktasında uygulanan yük ile halkaların etrafında oluşan gerilmelerin değerleri incelenir. Bu değerlendirme 1 nolu malzeme ile 2 nolu malzeme arasındaki yani Alüminyumdan oluşan plak ile çelikten oluşan halka arasındaki geçiş sınırı büyük halka sınırı olarak adlandırılarak ve 2 nolu malzeme ile 3 nolu malzeme yani çelikten oluşan halka eleman ile Titanyumdan oluşan dairesel eleman arasındaki geçiş sınırı küçük halka sınırı olarak adlandırılarak yapılmaktadır.

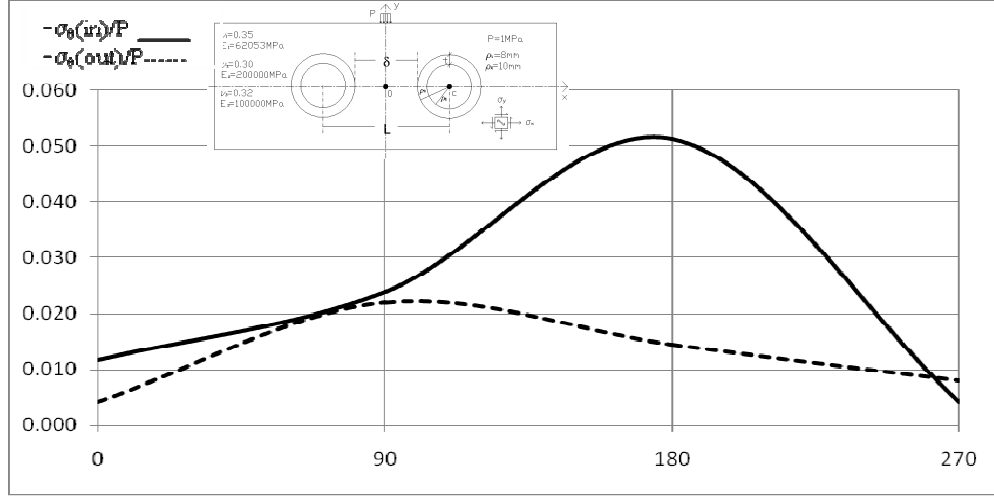
Değerlendirmede ANSYS'den Global cylindric kordinat sistemi seçilerek teğetsel gerilme (σ_θ) değerleri okunur. Şekil 3.21'de $\delta=4\text{mm}$ $t=1\text{mm}$ olduğunda küçük halka etrafında içte ve dışta oluşan gerilmelerin 0, 90, 180 ve 270 derecelerdeki değerleri gösterilmektedir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 : $\delta=4\text{mm}$ $t=1\text{mm}$ olduğunda küçük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ/P 'nin 0, 90, 180 ve 270 derece açılardaki değerleri.

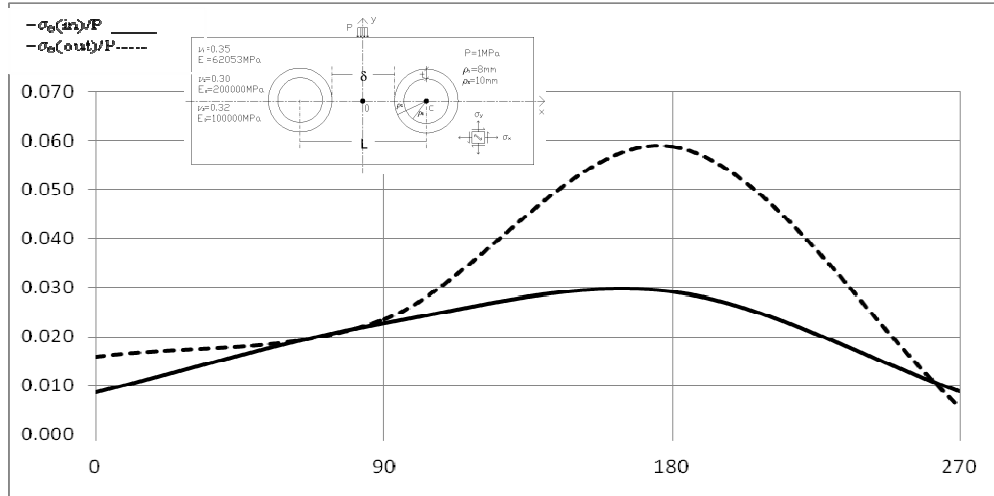
Bu grafik modelin sol tarafındaki halka için düzenlenmiştir. Gerilmenin maksimum olduğu yer yükün uygulanma noktasına en yakın yerde oluşmuştur (180 derece). Bu noktadaki gerilmeler arasındaki sıçramalar dıştan içe doğru geçişte %46 oranında azalma göstermiştir. 2 no'lu elemandan 3 no'lu eleman arasındaki bu geçiş noktasında oluşan ani gerilme azalışı 2 no'lu eleman ile 3 no'lu eleman arasındaki elastisite modülü farkından kaynaklanmaktadır.

2 no'lu elemanın elastisite modülü 200,000MPa iken 3 no'lu elemanın elastisite modülü: $E=100,000\text{Mpa}$ 'dır. Elastisite modülleri arasındaki %50 oranında olan azalma $\delta=4\text{mm}$, $t=1\text{mm}$ olduğunda σ_θ gerilmelerinde %46 oranında bir azalmaya neden olmaktadır. Şekil 3.20'de $\delta=4\text{mm}$ $t=1\text{mm}$ olduğu durum için büyük halka kenarında σ_θ gerilmelerinin 0, 90, 180 ve 270 derece açılardaki değerleri gösterilmiştir (Şekil 3.22).



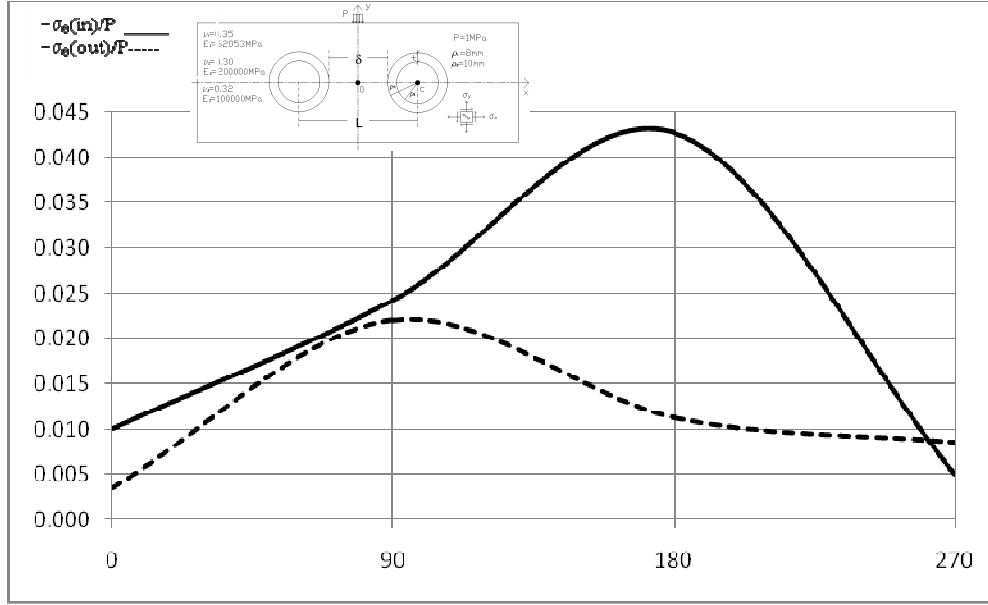
Şekil 3.22 : $\delta=4\text{mm}$ $t=1\text{mm}$ olduğunda büyük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ/P gerilmelerinin 0, 90, 180 ve 270 derece açılardaki değerleri.

Şekil 3.22’de 1 no’lu eleman ile 2 no’lu eleman arasındaki geçişte oluşan halka üzerindeki gerilme farklarını göstermektedir. 1 no’lu malzeme olan Al’nin elastisite modülü 62053MPa ve 2 no’lu malzeme olan çeliğin elastisite modülü: $E= 200000$ MPa dır. Bu eleman geçişlerinde $\delta=4\text{mm}$ $t=1\text{mm}$ olduğunda dıştan yani 1 no’lu elemandan 2 no’lu elemana geçişte %250 oranında bir gerilme artışı gerçekleşmiştir. Bu artış elastisite modüllerinde ise %222 oranındadır. $\delta=4\text{mm}$ $t=2\text{mm}$ olduğunda çelik borunun iç kısmındaki geçiş noktasında oluşan gerilmeler aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 : $\delta=4\text{mm}$ $t=2\text{mm}$ olduğunda küçük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ/P gerilmelerinin 0, 90, 180 ve 270 derece açılardaki değerleri.

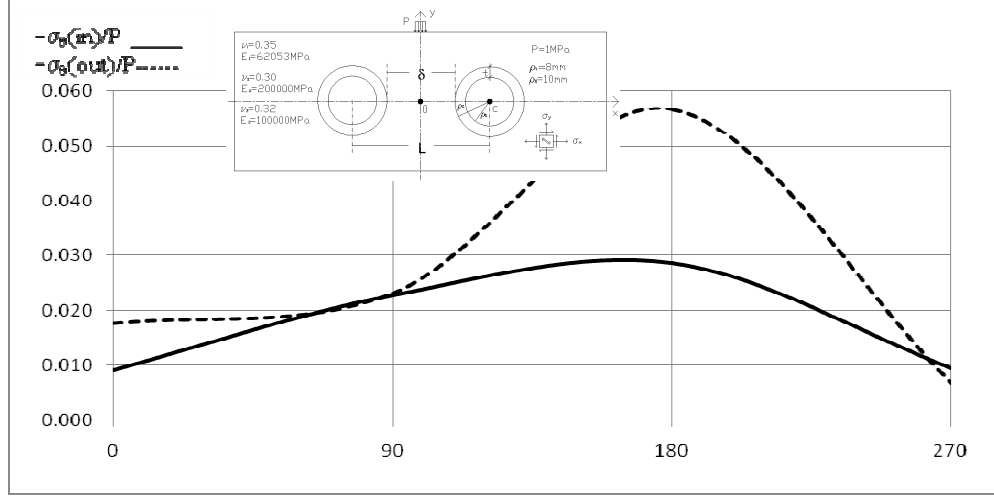
Şekil 3.23’de 2 no’lu eleman ile 3 no’lu eleman arasındaki geçiş yine elastisite modülü arasındaki %50 oranındaki azalma halkanın 180 derecedeki (x eksenini kesen noktada) σ_θ gerilmelerinde yine %50 oranında bir azalmaya neden olmaktadır. Aynı inceleme $\delta=4\text{mm}$ $t=2\text{mm}$ olduğunda 1 no’lu eleman ile 2 no’lu eleman arasındaki geçiş sınırındaki gerilmelerin içten ve dıştan yaklaşımları için yapıldığında oluşan gerilmeler arası sıçramalar aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 : $\delta=4\text{mm}$ $t=2\text{mm}$ olduğunda büyük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ/P gerilmelerinin 0, 90, 180 ve 270 derece açılardaki değerleri.

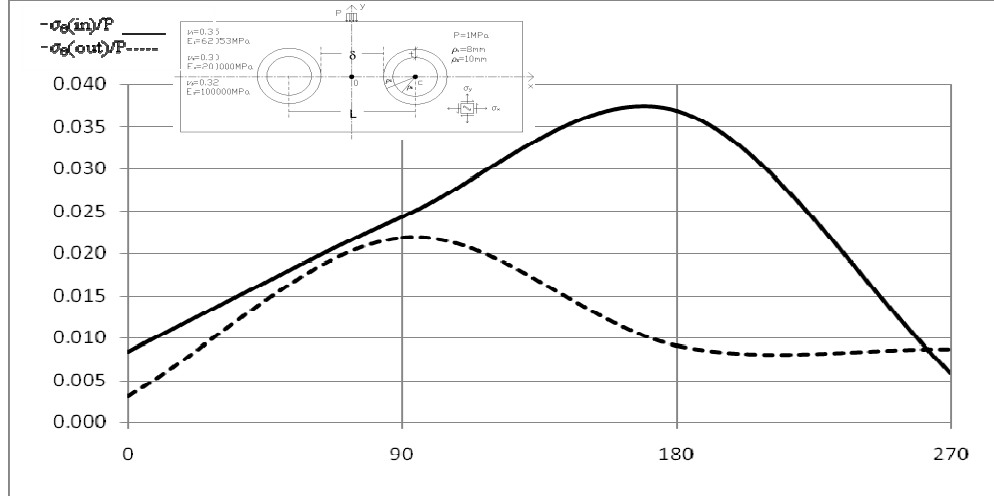
Şekil 3.24’de gösterilen grafikte büyük halka kenarında yani 1 no’lu eleman ($E=62,053\text{MPa}$) ile 2 no’lu eleman ($E=200,000\text{MPa}$) arasında olan geçiş sınırında σ_θ gerilmelerinde oluşan gerilmeler ve sınırın içinde ve dışında oluşan gerilmelerin farkları görülmektedir. %222 oranında olan elastisite modüllerindeki azalış gerilmelerde %276 oranındaki bir artışa neden olmaktadır.

Aynı inceleme son olarak $t=3\text{mm}$ olduğu durum için yapılmıştır. $t=1\text{mm}$ ve $t=2\text{mm}$ olduğu durumlar için gösterilen grafiklerde diyagramların birbirlerine çok benzerlik gösterdiği görülmüştür (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 : $\delta=4\text{mm}$ $t=3\text{mm}$ olduğunda küçük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_{θ}/P gerilmelerinin 0, 90, 180 ve 270 derece açılardaki değerleri.

$\delta=4\text{mm}$ $t=3\text{mm}$ olduğunda küçük halkanın kenarında oluşan gerilmeler daha önce çizilen $t=1\text{mm}$ ve $t=2\text{mm}$ durumları için oluşan grafiğe benzemektedir. 2 no'lu elemandan 3 no'lu elemana geçişte σ_{θ} gerilmelerinde yine %50 oranında bir azalma olmuştur. Son olarak $t=3\text{mm}$ olduğunda $\delta=4\text{mm}$ için büyük halkanın kenarında oluşan σ_{θ} gerilmeleri incelenmektedir (Şekil 3.26).

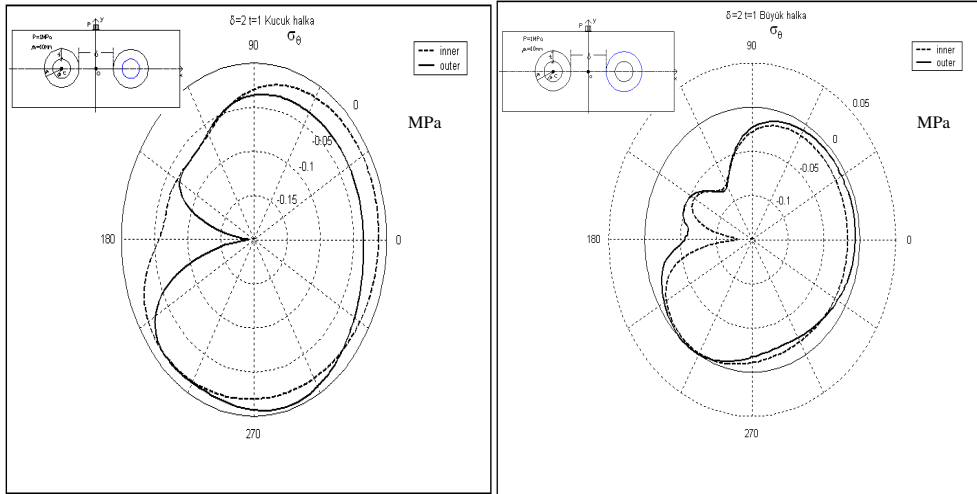


Şekil 3.26 : $\delta=4\text{mm}$ $t=3\text{mm}$ olduğunda büyük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_{θ}/P gerilmelerinin 0, 90, 180 ve 270 derece açılardaki değerleri.

$\delta=4\text{mm}$ $t=3\text{mm}$ olduğunda büyük halka kenarında oluşan gerilme farkları Şekil 3.24'deki grafikten okunmaktadır. Elastisite modülleri arasında %222 oranında bir artış ve σ_{θ} gerilmelerinde %300 oranında bir artışa neden olmaktadır.

3.3 Modelin Boyutlarının Belirlenmesi

Kompozit zırhlar genel olarak 2 veya daha çok malzemenin bir arada çalışması sağlanarak malzemelerin tekil halde mevcut olan özelliklerinden daha üstün mekanik özellikleri olan yeni bir ürün olarak tasarlanır. Daha önce yapılan araştırmalar göstermiştir ki sabit bir zırh kalınlığı içerisinde en iyi korumayı sağlayan kompozit zırhların malzemeleri arasında optimum bir oran vardır [6]. Daha önce yapılan araştırmalarda zırhlarda oluşan hasar büyüklüğünün ve artık gerilme dağılımının birçok faktöre bağlı olduğu anlaşılmıştır. Bu faktörler daha çok kompozit zırhın içerdiği malzemelerin oranıyla ve şekliyle doğrudan ilişkilidir [7, 9]. Bu çalışmada zırh için oluşturulacak model için 2 farklı malzeme seçilir. Alüminyum ve Çelik seçilen malzemelerdir. Bu malzemelerin birbirleri ile etkileşimi halkaların sınırlarında daha detaylı olarak aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir. σ_θ gerilmeleri, Global silindirik eksen takımında açısal gerilmeleri ifade etmektedir. ANSYS’de SY gerilmeleri σ_θ gerilmelerine karşı gelir. Şekil 3.27’de $\delta=2\text{mm}$ ve $t=1\text{mm}$ olduğunda büyük ve küçük halka sınırlarında oluşan σ_θ gerilmelerinin içteki ve dıştaki değişimini göstermektedir (Şekil 3.27).

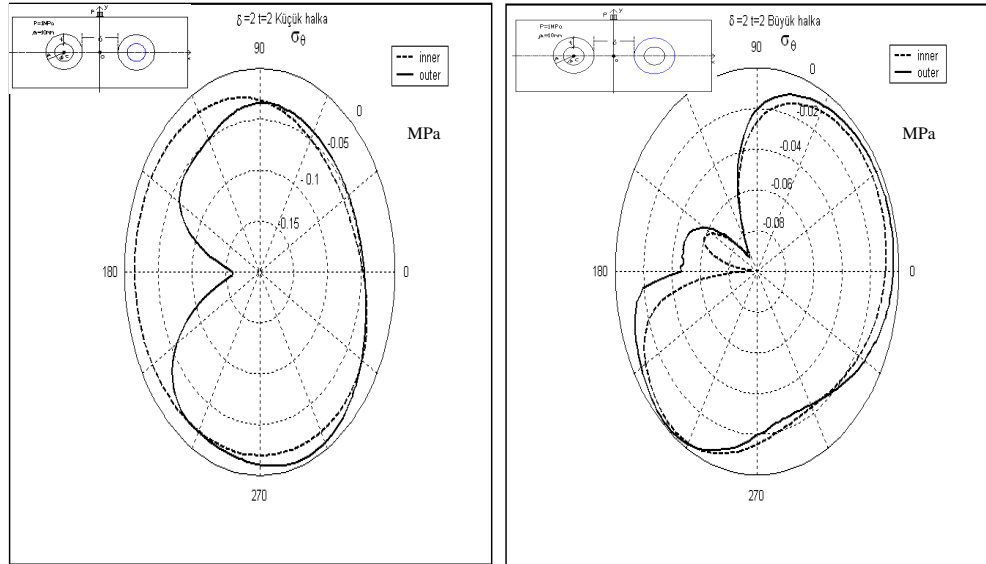


Şekil 3.27 : $\delta=2\text{mm}$ ve $t=1\text{mm}$ olduğunda küçük ve büyük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ teğetsel gerilmelerinin değişimi.

Gerilmelerin grafikleri ANSYS ile Global cylindric koordinat sisteminde oluşturulan dairesel pathlerin Microsoft Excell ve MATLAB programları kullanılarak matris oluşturulması ve bu matrislerin MATLAB programının grafik arayüzü kullanılarak diyagram haline getirilmesi ile oluşturulmuştur. Şekil 3.27’de büyük halkanın dış ve

iç sınırlarındaki gerilemelerin dağılımı gösterilmiştir. Kesik çizgili diyagram malzeme geçiş sınırının iç taraftaki gerilmelerini (inner) göstermekte ve dolu çizgiler ise dış taraftaki gerilmeleri (outer) göstermektedir.

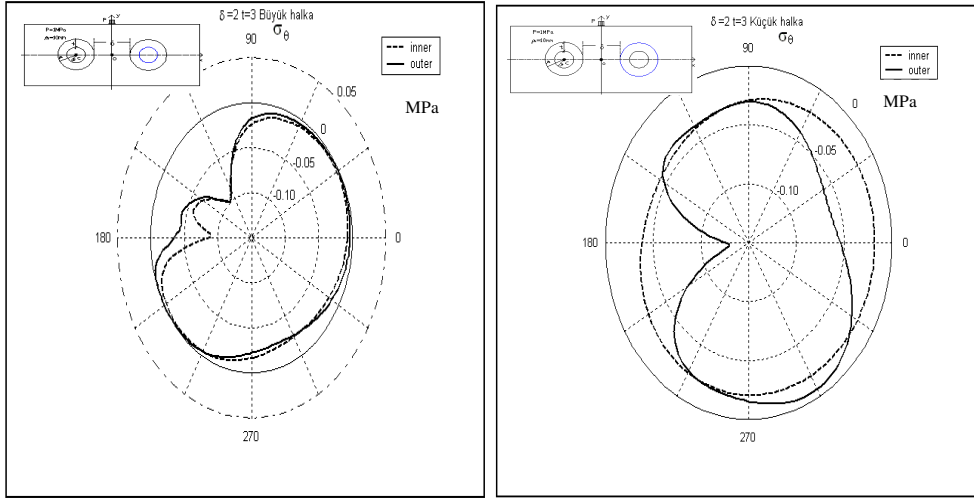
Gerilmelerin değerleri incelendiğinde iç taraftaki malzeme olan çeliğin elastisite modülünün daha büyük olması gerilmelerde (negatif yönde) bir artış meydana getirmektedir. Gerilmelerin şiddeti çelik malzemeye geçildiği sırada artmaktadır. Şekil 3.27’de görüldüğü üzere $\delta=2\text{mm}$ ve $t=1\text{mm}$ olduğunda σ_θ gerilmelerinin değerleri dıştan içe doğru şiddetleri bakımından bir azalma göstermektedir. Bu azalma çelik malzemeden Al malzemeye geçiş noktasında olmaktadır. Şekil 3.28’de t (et kalınlığı) 1mm arttırılarak oluşturulan gerilme grafikleri gösterilmektedir (Şekil 3.28).



Şekil 3.28 : $\delta=2\text{mm}$ ve $t=2\text{mm}$ olduğunda büyük ve küçük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ gerilmelerinin değerleri.

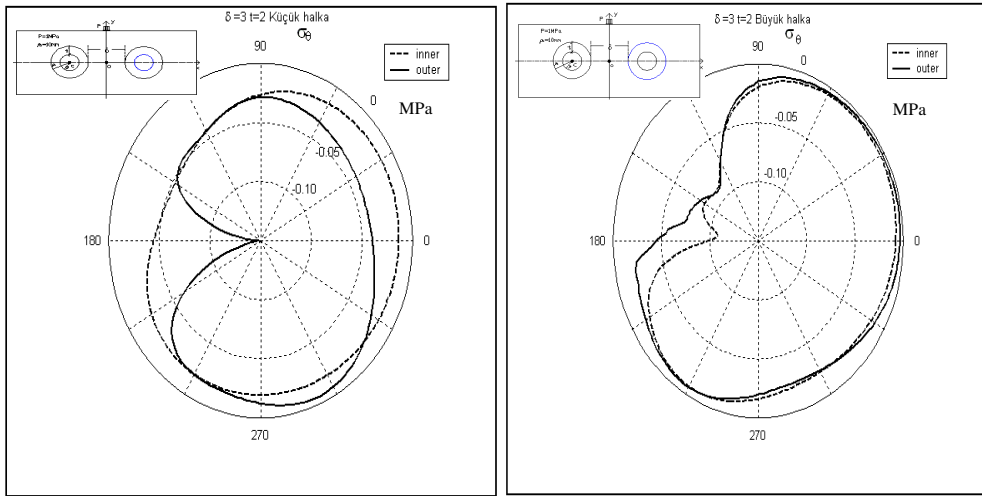
Halka kalınlığının 1mm arttırılmasıyla dıştaki halka sınırında oluşan gerilme sıçramalarında fazla bir değişim olmamaktadır fakat küçük halka etrafında oluşan sıçramalar halka kalınlığının artmasıyla artmaktadır.

Artış hızı azalan bir davranış göstermektedir. Şekil 3.29’da $\delta=2\text{mm}$ ve $t=3\text{mm}$ olduğu durumda büyük ve küçük halka kenarlarında oluşan gerilme dağılımları gösterilmektedir (Şekil 3.29).



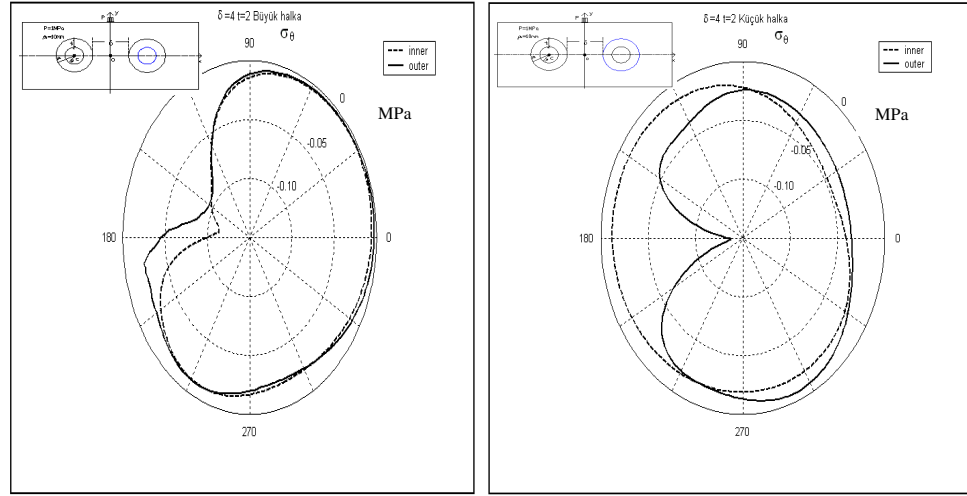
Şekil 3.29 : $\delta=2\text{mm}$ ve $t=3\text{mm}$ olduğunda büyük ve küçük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ gerilmelerinin değerleri.

Şekil 3.29’da halkaların çevresindeki gerilmelerde t ’nin artması ile küçük halka etrafında oluşan sıçramaların büyüklüğü azalmaktadır. Aynı zamanda halka kalınlığının (t) artmasıyla büyük halka kenarındaki gerilmelerin düştüğü görülmektedir. Halka üzerindeki en kritik noktada oluşan gerilmeler t ’nin artmasıyla azalmaktadır. Halka kalınlığında t ’nin artması zırhın ağırlığında artışa neden olacak ve kullanımda zorluklara neden olacaktır. Bu husus nihai zırh tasarımında dikkate alınmalıdır. Metal spiral şeklinde üretilmesi gereken halkaların modellenmesinde metal spiraller arası mesafenin de dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 3.30’da $\delta=3\text{mm}$ ve $t=2\text{mm}$ olduğunda büyük ve küçük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ gerilmelerinin grafikleri gösterilmiştir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30 : $\delta=3\text{mm}$ ve $t=2\text{mm}$ olduğunda büyük ve küçük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ gerilmelerinin değerleri.

Şekil 3.30'da $t=2\text{mm}$ ve $\delta=3\text{mm}$ olduğu durumda gerilmelerin dağılımı gösterilmiştir. Metal matrisli kompozitlerin mukavemetine halkalar arası mesafenin değişiminin ne derece etkili olduğunu daha net görebilmek için $\delta=4\text{mm}$ ve $t=2\text{mm}$ olduğu durumda oluşan gerilmelerin de gösterilmesi gerekmektedir. Şekil 3.31'de bu durumda oluşan gerilmeler gösterilmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31 : $\delta=4\text{mm}$ ve $t=2\text{mm}$ olduğunda büyük ve küçük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ gerilmelerinin değerleri.

Metal spiraller arası mesafenin artması halka kenarlarında oluşan gerilmeleri azaltmakta ve sıçramaların büyüklüğünün azalmasına neden olmaktadır. Yalnız mesafenin artması yükün uygulandığı ekseninde dezavantajlı bir durum oluşturmakta ve yükün karşılanmasında mekanik özellikleri daha güçlü olan çelik elemanın yardımı azaltmaktadır. Daha genel bir ifadeyle yukarıdaki gerilme grafiklerinden anlaşıldığı üzere daha çok dış halkalarda yani 1 no'lu malzeme ile 2 no'lu malzeme arasında oluşan belirgin farklar t (halka kalınlığı) artışı ile oluşan gerilme değişimlerini olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Halka kalınlığı t için gösterilen grafiklerden t halka kalınlığının artması gerilmelerin dağılımı ve gerilmelerin karşılanması açısından model için olumlu sonuçlar doğurduğu görülmüştür. Halka kalınlığının çok artması maliyet ve tasarlanan zırhın ağırlığı açısından sakıncalı olmaktadır. Bu yüzden halka kalınlığı ve δ (halkalar arası mesafe) için optimum bir çözüm bulunmalıdır.

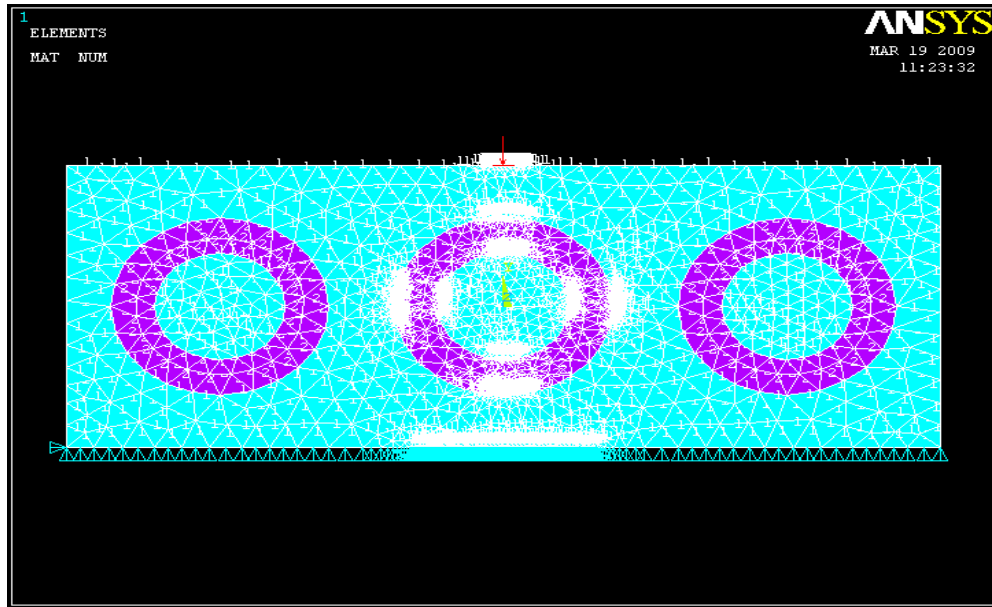
Halka kalınlığı 2mm civarında olmalıdır. Toplam plak kalınlığı en fazla 16 mm olmalıdır. Çelik halkanın iç yarıçapı 3mm halka kalınlığı 2mm ve halkalar arası mesafe $\delta=3\text{mm}$ seçilmiştir. Model Al blok ve Çelik spiral halka sistemlerinden

oluşmaktadır. Toplam kalınlık 16mm'dir. Al blok içine iç yarıçapı 3mm ve dış yarıçapı 5mm olan çelik borular yerleştirilmiştir.

3.4 Uygun Modelin Belirlenmesi

Doğru kombinasyon için seçilen boyutlar ve malzemeler ile mevcut kompozit zırh modellerinin karşılaştırılması yapılmalıdır. ANSYS ile oluşturulan iki malzemeli modele seçilen boyutları ile 1MPa birim yük uygulanır. Uygulanan yük ile malzemelerin kırılma teorilerinden von Mises gerilmeleri ile modelin kırılmasında önemli bir etkiye sahip σ_x gerilmeleri de incelenmektedir.

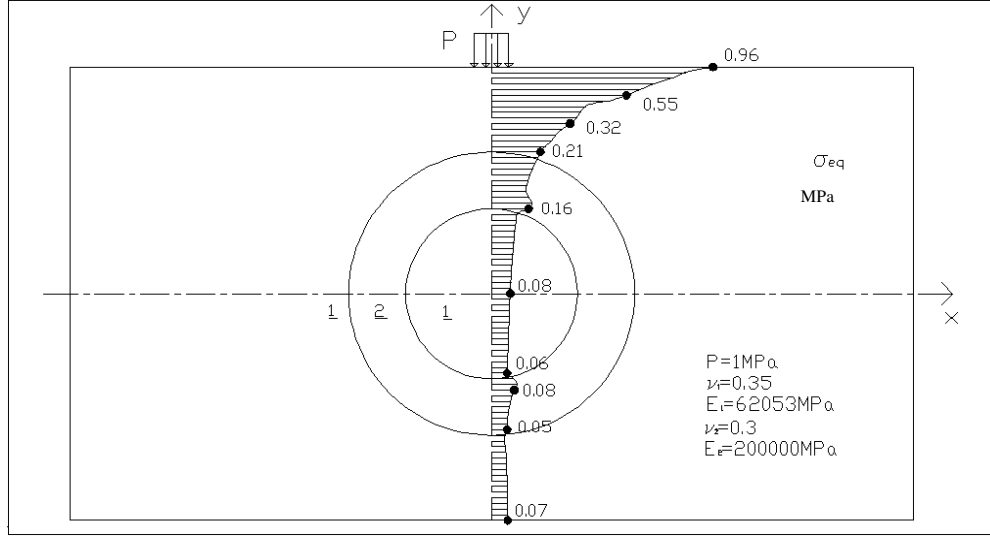
İnceleme için düz tekli halkalardan oluşan bir model oluşturulur. Model-1 için ANSYS de oluşturulan FEM (sonlu eleman modeli) Şekil 3.32'de gösterilmektedir (Şekil 3.32).



Şekil 3.32 : Model-1.

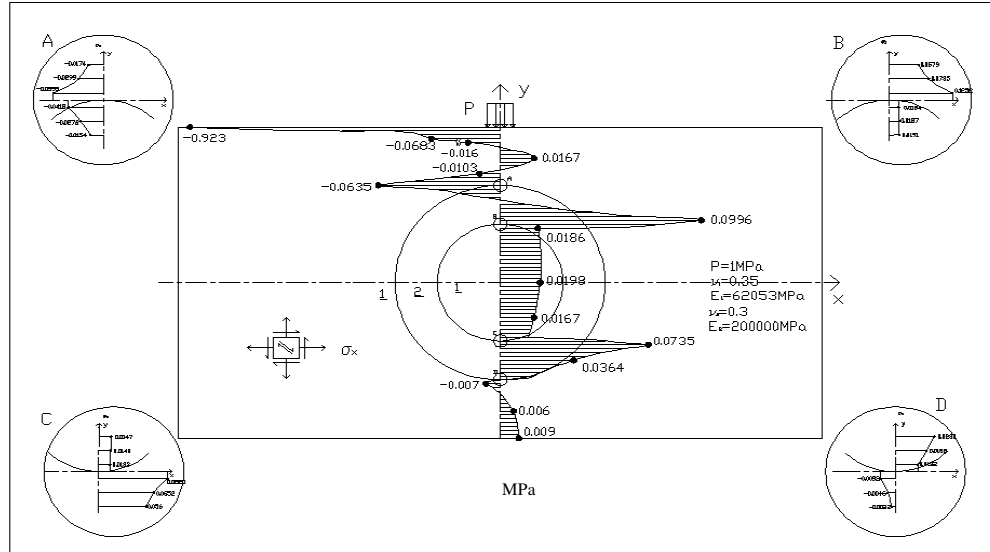
Şekil 3.32'deki modelin yüksekliği 16mm genişliği 40mm, kalınlığı plane stress olması dolayısıyla 1mm, büyük halkanın yarıçapı 5mm küçük halkanın yarıçapı 3mm ve halkalar arası mesafe 3mm seçilmiştir. Model-1'in ihtiva ettiği çelik 23.56% dır. Yük ise birim olmakla beraber 1 birimlik bir aralığa düzgün yayılı yük olarak etki etmektedir. Burada kullanılan modelin boyutları ve yükün uygulanma şekli karşılaştırılacak diğer modellerde de hemen hemen aynı olacaktır.

ANSYS ile oluşturulan model-1'in çözümünden elde edilen von Mises gerilmeleri değerleri Şekil 3.33'de gösterilmiştir (Şekil 3.33).



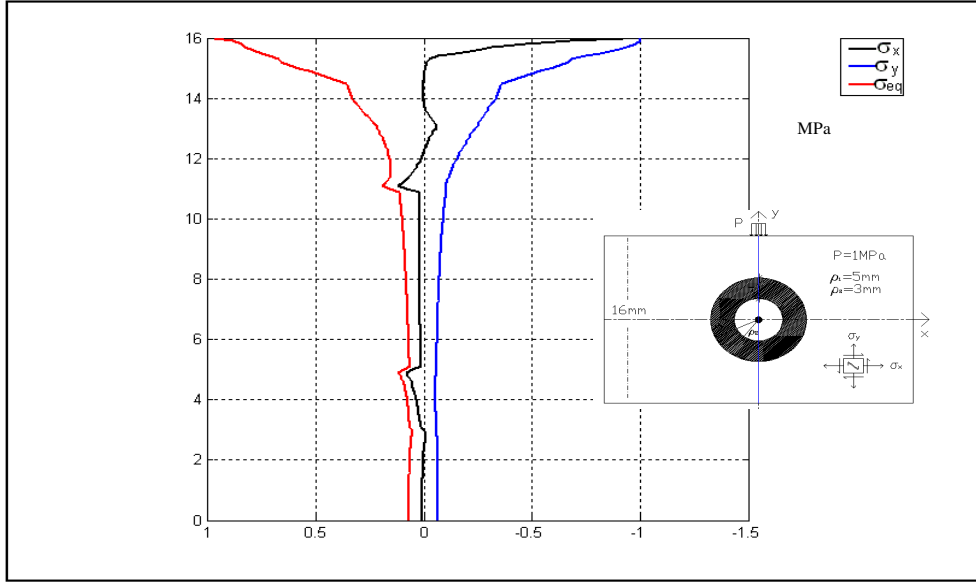
Şekil 3.33: Model-1'in σ_{eq} (von Mises) gerilmeleri.

Birim yük içim oluşturulan modelin σ_{eq} gerilmeleri aşağıya doğru kısmen düzgün bir eğilimle azalmaktadır. Model-1 için oluşturulan σ_x gerilmeleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 3.34).



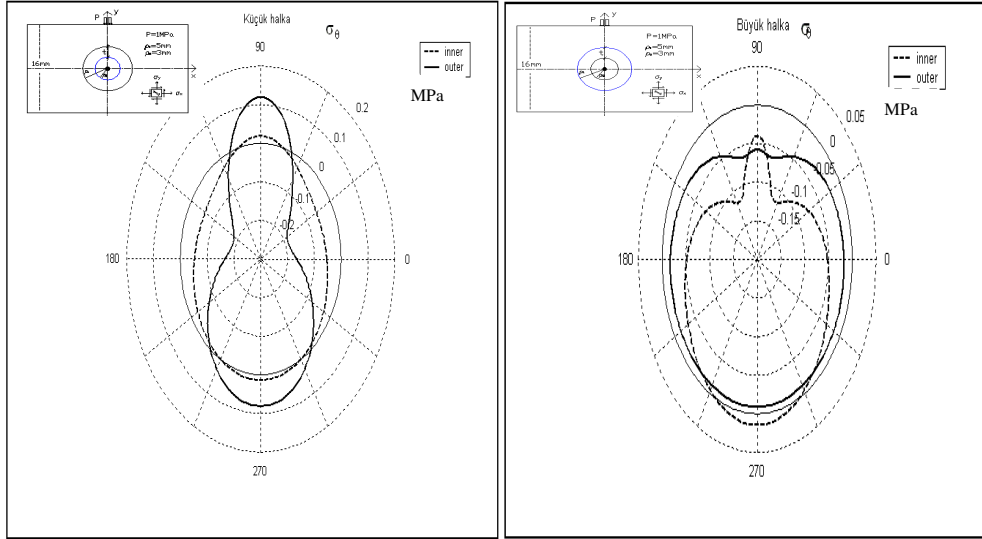
Şekil 3.34 : Model-1'in σ_x gerilmeleri.

Model-1'in y eksenindeki σ_x gerilmelerinde malzeme geçiş noktalarındaki sıçramalar daha belirgin olmaktadır. Model-1'in σ_x , σ_y , ve σ_{eq} (von Mises) gerilmeleri MATLAB programı kullanılarak Şekil 3.35'te gösterildiği şekilde çizilmiştir (Şekil 3.35).



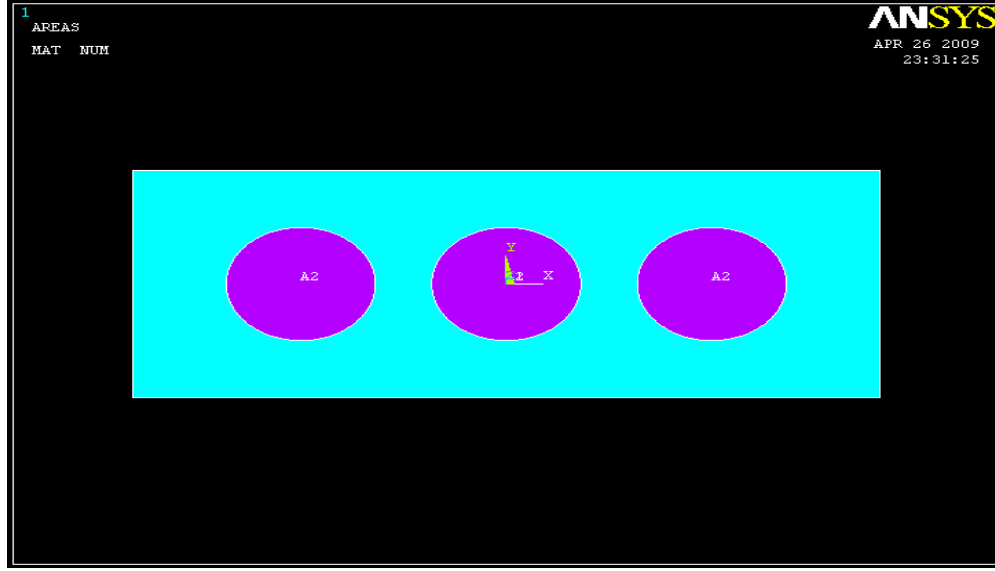
Şekil 3.35 : Model-1'in σ_x , σ_y , ve σ_{eq} (von Mises) gerilmeleri.

Model-1'in σ_x gerilmeleri modelin en alt kısmında sıfıra oldukça yakın bir değer almaktadır. Model-1'in halkaları etrafındaki gerilmeler Şekil 3.36'da gösterilmiştir.



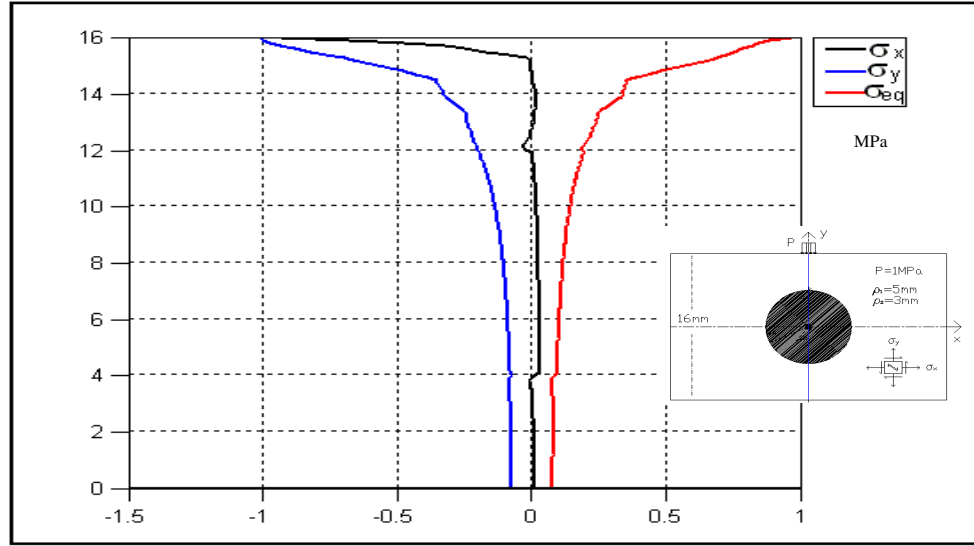
Şekil 3.36 : Model-1'in büyük ve küçük halka kenarının iç ve dış taraflarındaki σ_θ gerilmelerinin değişim grafiği.

Halkaları Model-1 ile karşılaştırmada esas olmak üzere dolu haliyle tekrar bir model oluşturulur. Model-1 ile aynı boyutlarda ve aynı ağırlığa sahip Model-2'nin ANSYS'de görünüşü Şekil 3.37'de gösterilmiştir (Şekil 3.37).



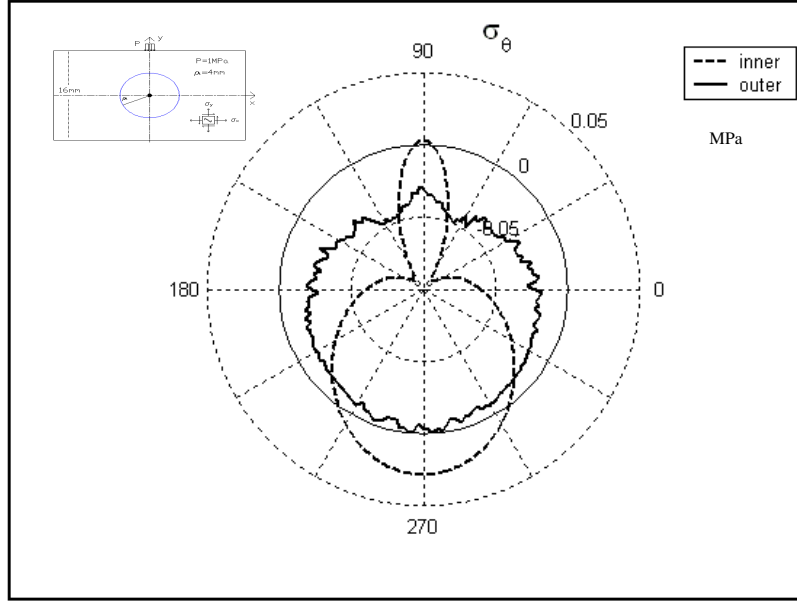
Şekil 3.37 : Model-2.

Model-2’de metal matrisler içi dolu halkalar şeklinde Al plak içerisine konulur. Model yüksekliği, genişliği ve ağırlığı Model-1 ile aynıdır. İhtiva ettiği çelik 23.56% oranındadır. Model 2’nin yükün uygulandığı eksenindeki gerilmeleri ANSYS programı ile tayin edilir. Gerilmeler Şekil 3.38’de gösterilmektedir (Şekil 3.38).



Şekil 3.38 : Model-2’nin σ_x , σ_y ve σ_{eq} gerilmelerinin değişimi.

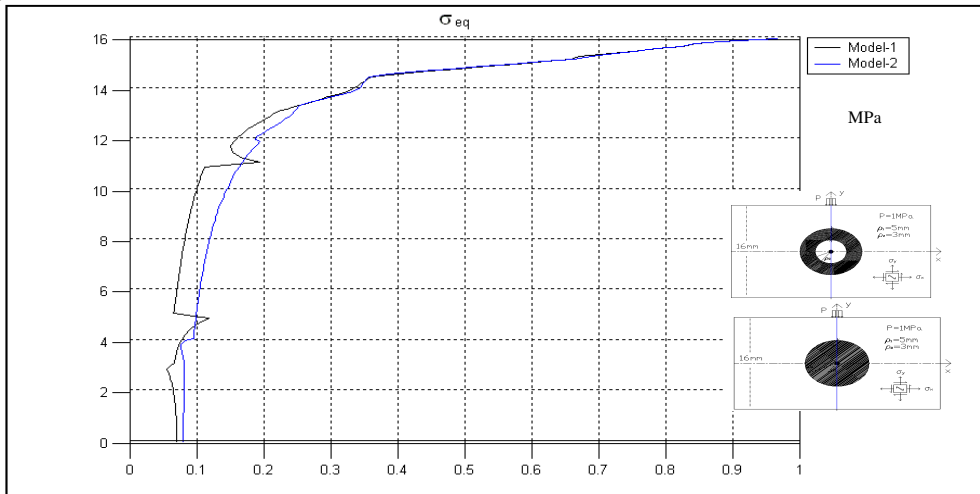
Model-2’nin eksen doğrultusunda oluşan gerilmeleri yanı sıra halka çevresinde oluşan gerilmeleri de dikkate alınır. Model-2’nin halka çevrelerinde oluşan gerilme dağılımları Şekil 3.39’da gösterilmektedir (Şekil 3.39).



Şekil 3.39 : Model-2'nin σ_{θ} gerilmeleri.

Yükün uygulandığı ekseninde halkanın dışında bulunan Al malzemede oluşan gerilmeler dolu halka içindeki çelik malzemede oluşan gerilmelerden daha düşük olmaktadır. Bu durum eksenden yatay uzaklığın artmasıyla birlikte tersine dönmektedir.

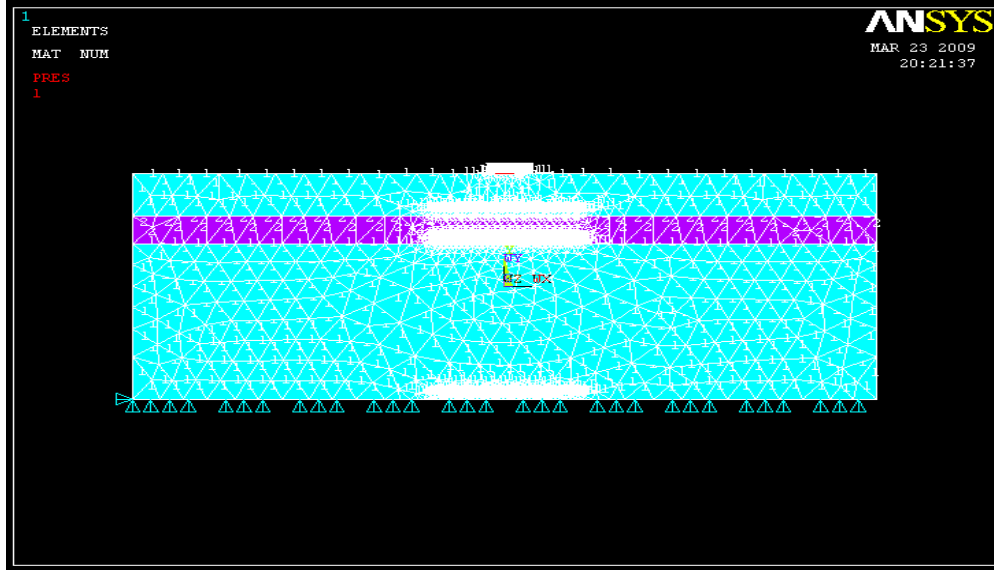
Model-1 ile Model-2 arasında von Mises gerilmelerinin karşılaştırması yapılırsa bu karşılaştırmada daha çok modelin en alt kısmındaki gerilmeler önem arz etmektedir. Modelin alt ucundaki gerilmeler modelin geneli hakkında bilgi vermekle birlikte zırh tasarımında kullanılması gereken bir veridir. Model-1 ile Model-2 arasındaki σ_{eq} (von Mises) gerilmelerinin karşılaştırılması Şekil 3.40'da görülmektedir (Şekil 3.40).



Şekil 3.40 : Model-1 ile Model-2'nin σ_{eq} gerilmelerinin karşılaştırılması.

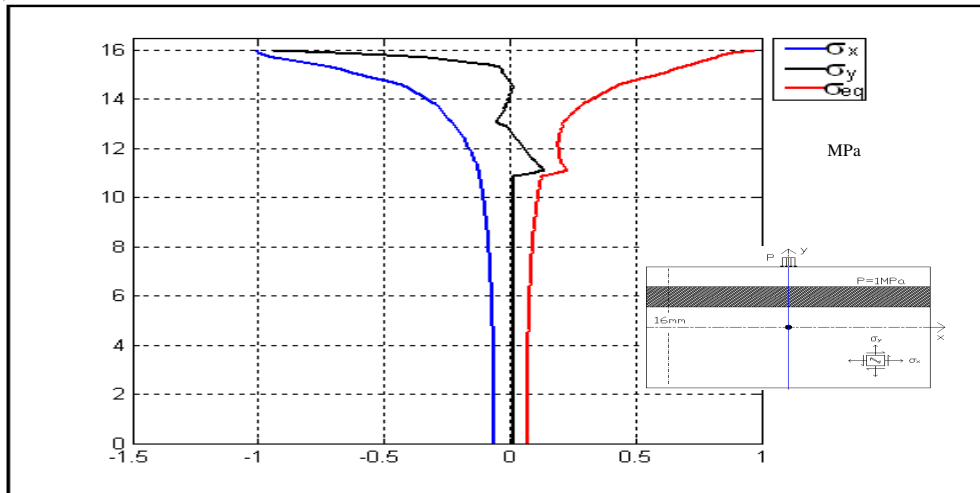
Şekil 3.40’da Model-1’in alt kısımdaki gerilmelerin Model-2’den daha küçük olduğu görülmektedir. Model-1 genel olarak gerilmeler açısından Model-2’den daha avantajlı olduğu görülmektedir. Başka bir ifadeyle balistik performans bakımından daha uygun olduğu sonucuna varılabilir.

Zırh modellemesinde yaygın olarak kullanılan düz plak şeklindeki modellerin karşılaştırılmasıyla devam edilecektir. İlk olarak tek düz plak şeklindeki model ANSYS ile modellenmektedir. Model-3 Şekil 3.41’de gösterilmektedir (Şekil 3.41).



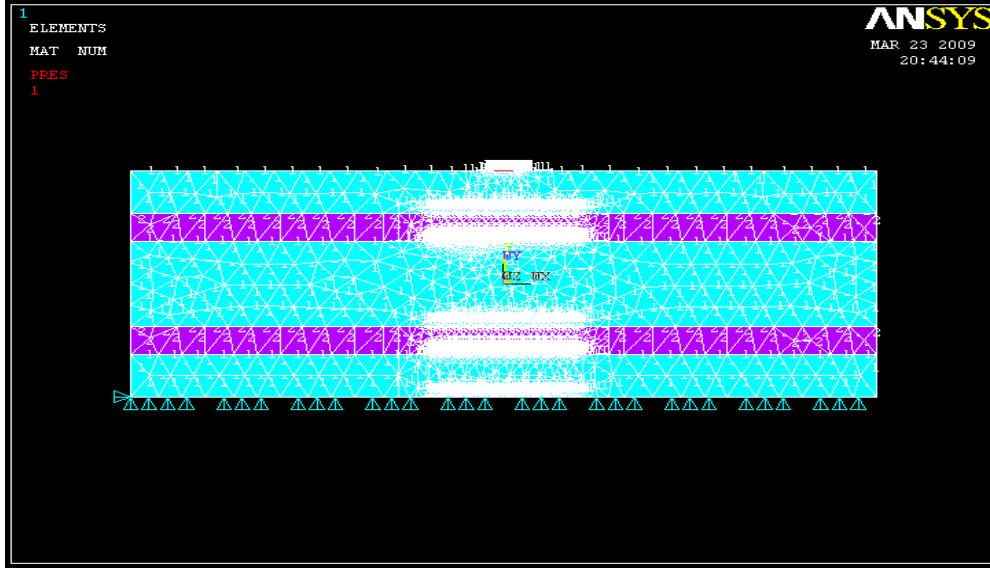
Şekil 3.41 : Model-3.

Şekil 3.41 tek plak modelini (Model-3) göstermektedir (Çelik yüzdesi = 12.50%) ve bu model için bulunan gerilme değerleri Şekil 3.42’de gösterilmektedir (Şekil 3.42).



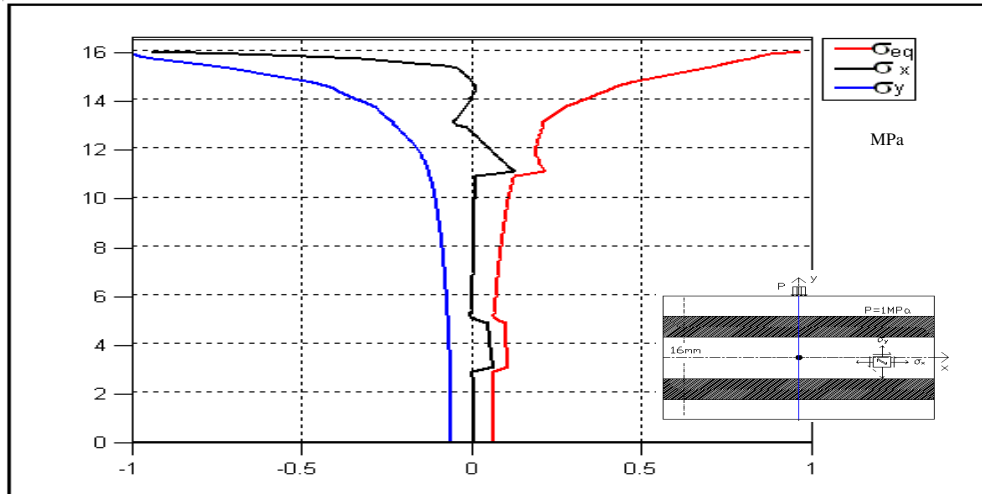
Şekil 3.42 : Model-3’ün σ_x , σ_y ve σ_{eq} gerilmelerinin değişimi.

Model-3 ile 2 çelik plaktan oluşan Model-4 (Çelik yüzdesi = 25%) karşılaştırılırsa Model-4'ün Model-3'ten farkı 2 adet çelik plak ihtiva etmesidir. Bu karşılaştırma plak sayısının artmasıyla gerilme dağılımındaki değişim arasındaki etkileşimi ortaya koymaktadır. Şekil 3.43'te Model-4 ün ANSYS'de elemanlara bölünmüş hali görülmektedir (Şekil 3.43).



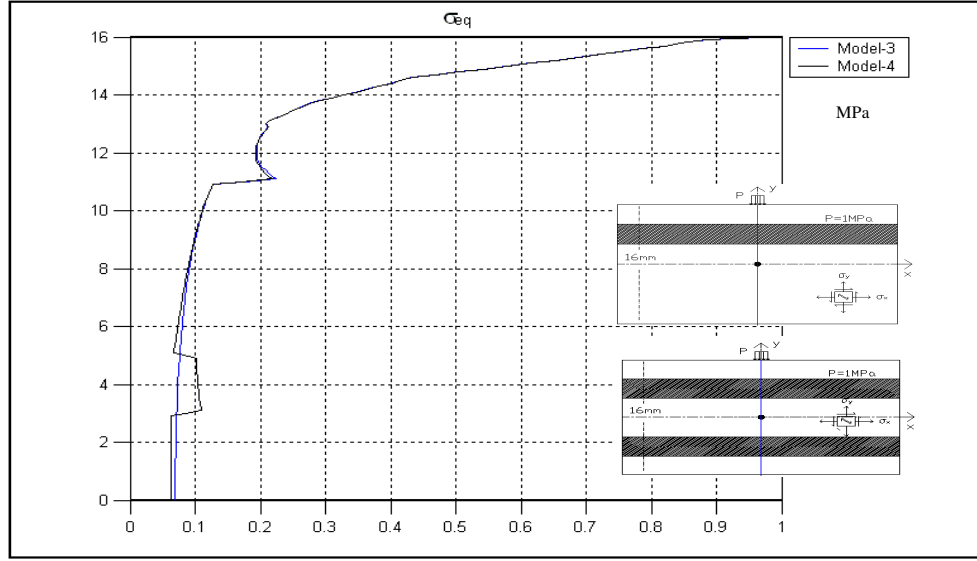
Şekil 3.43 : Model-4.

İki çelik plaktan oluşan model için bulunan gerilme değerleri Şekil 3.44'de gösterilmektedir (Şekil 3.44).



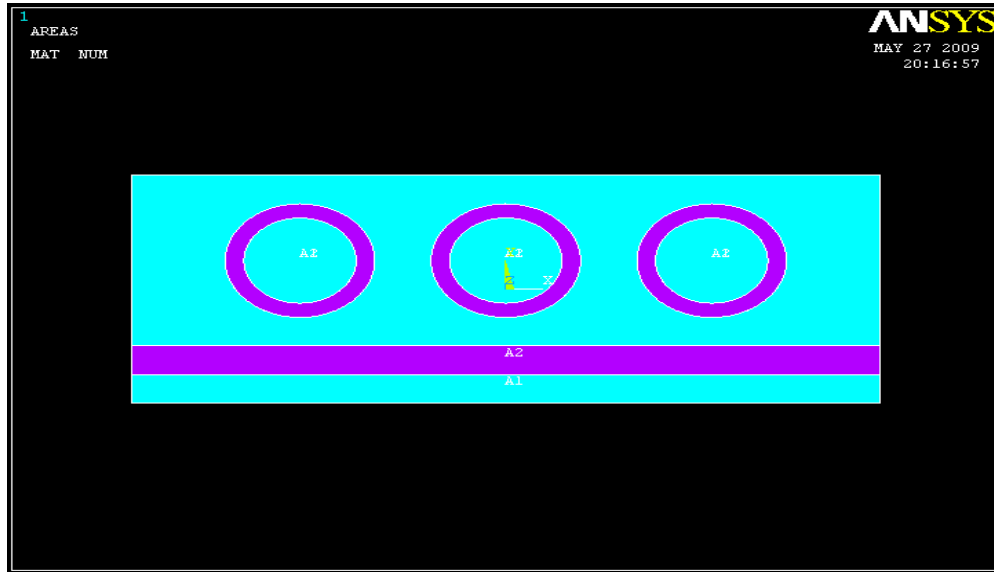
Şekil 3.44 : Model-4'ün σ_x , σ_y ve σ_{eq} gerilmelerinin değişimi.

Bu iki modelin karşılaştırmalı grafiği Şekil 3.45'te gösterilmektedir (Şekil 3.45).



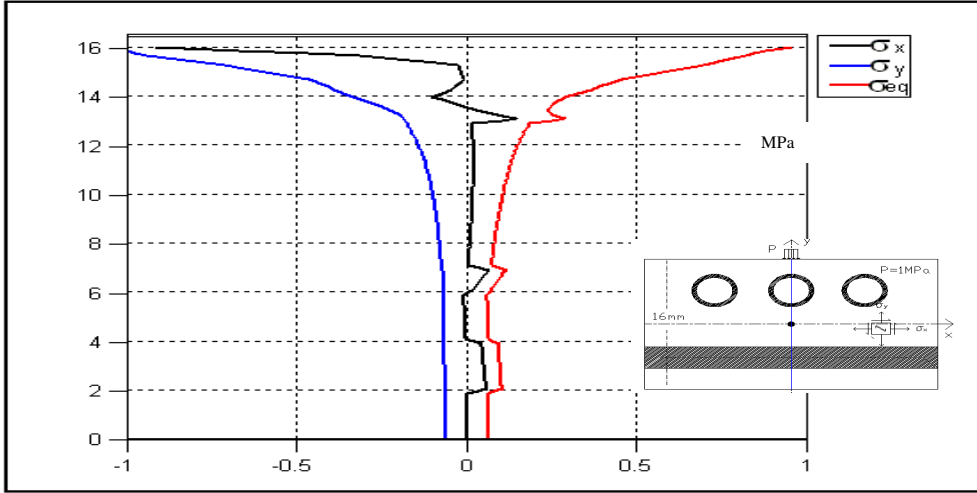
Şekil 3.45 : Model-3 ile Model-4'ün σ_{eq} gerilmelerinin karşılaştırılması.

Model-3 ile Model-4'ün karşılaştırılmasında Model-4'ün daha avantajlı olduğu görülmüştür. 2 çelik plaklı model tek plaklı modelden alttaki gerilmeler dikkate alındığında daha düşük gerilme değerlerine sahip olmakta ve bu durum plak sayısının artmasının doğal bir sonucudur. Plak sayısının fazla olması zırh modelinin ağırlığında artışa neden olmaktadır. İstenmeyen bu durumu aşmak için farklı bir model denenmektedir. Model-5 (Çelik yüzdesi = 15.94%) adı verilen yaklaşımın şekli Şekil 3.46'da verilmektedir (Şekil 3.46).



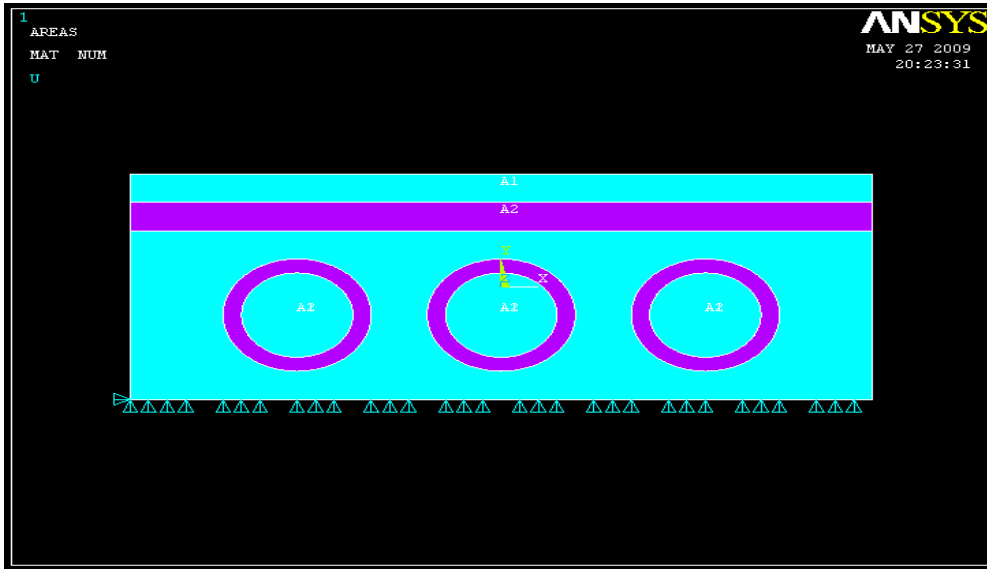
Şekil 3.46 : Model-5.

Bu modelde metal halkalar ve düz plak beraber kullanılmıştır. Şekil 3.46’da görülen model için bulunan gerilme değerleri Şekil 3.47’de gösterilmektedir (Şekil 3.47).



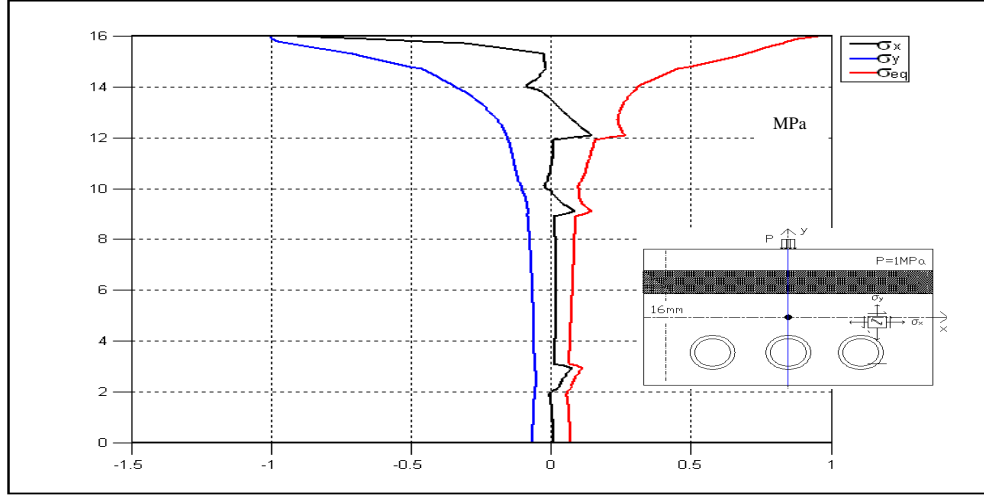
Şekil 3.47 : Model-5’in σ_x , σ_y ve σ_{eq} gerilmelerinin değişimi.

İstenilen özellikte bir zırh modelinin bulunması için farklı fakat Model-5’e benzer bir tasarım Şekil 3.48’de gösterilmiştir. Model-6 (Çelik yüzdesi = 15.94%) olarak adlandırılan bu modelde farklı olarak düz plak ile halkaların yerleri x eksenine göre yer değiştirmektedir (Şekil 3.48).



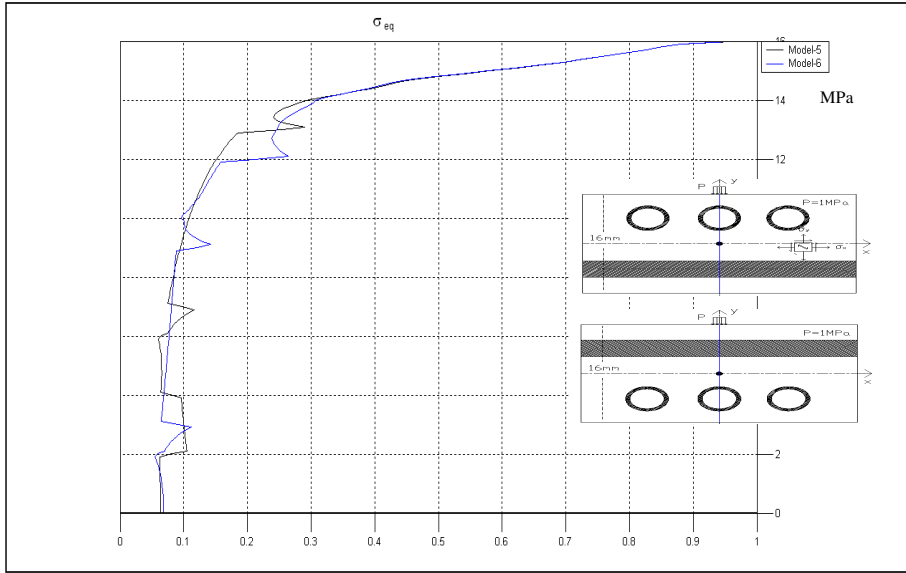
Şekil 3.48 : Model-6.

Model-6’da uygulanan yükü ilk olarak Al blok malzeme sonra çelikten düz plak karşılamaktadır. Model-6 için bulunan gerilmeler Şekil 3.49’da gösterilmektedir (Şekil 3.49).



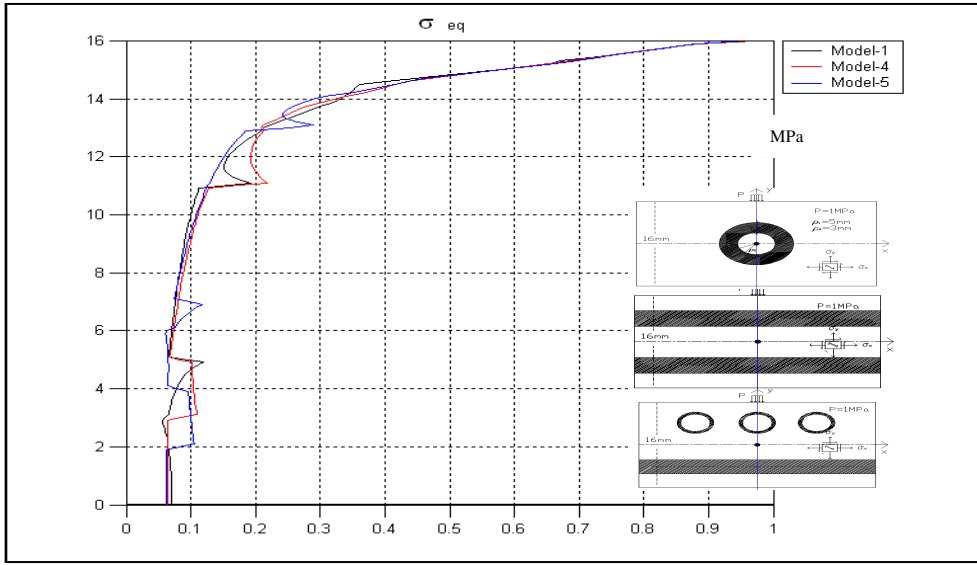
Şekil 3.49 : Model-6'nın σ_x , σ_y ve σ_{eq} gerilmelerinin değişimi.

Oluşturulan modeller arasında gerilme karşılaştırması yapılırsa von Mises gerilmeleri esas alınır. Model-5 ile Model-6 arasında von Mises gerilmeleri esas alınarak yapılan karşılaştırmanın grafiği Şekil 3.50'de verilmektedir (Şekil 3.50).



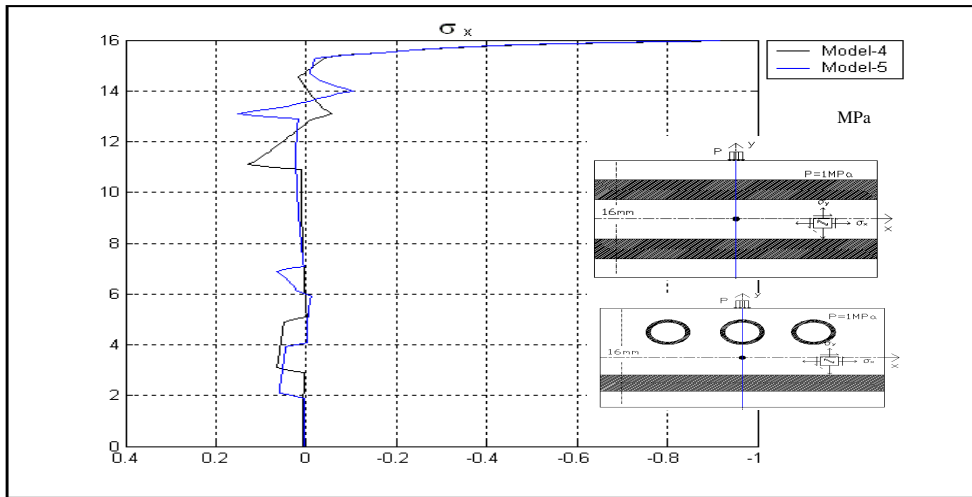
Şekil 3.50 : Model-5 ile Model-6'nın σ_{eq} gerilmelerinin karşılaştırılması.

Şekil 3.50'de görüldüğü üzere Model-5'in gerilmeleri Model-6'ya göre daha düşük çıkmıştır. Model 5 ile yapılan diğer karşılaştırmalarda bulunan uygun modeller arasında tekrar bir karşılaştırma yapılarak en uygun model bulunmaya çalışılır. Model-1, Model-4 ve Model-5 arasındaki karşılaştırmalı grafik Şekil 3.51'de gösterilmektedir (Şekil 3.51).



Şekil 3.51 : Model-1, Model-4 ve Model-5'in σ_{eq} gerilmelerinin karşılaştırılması.

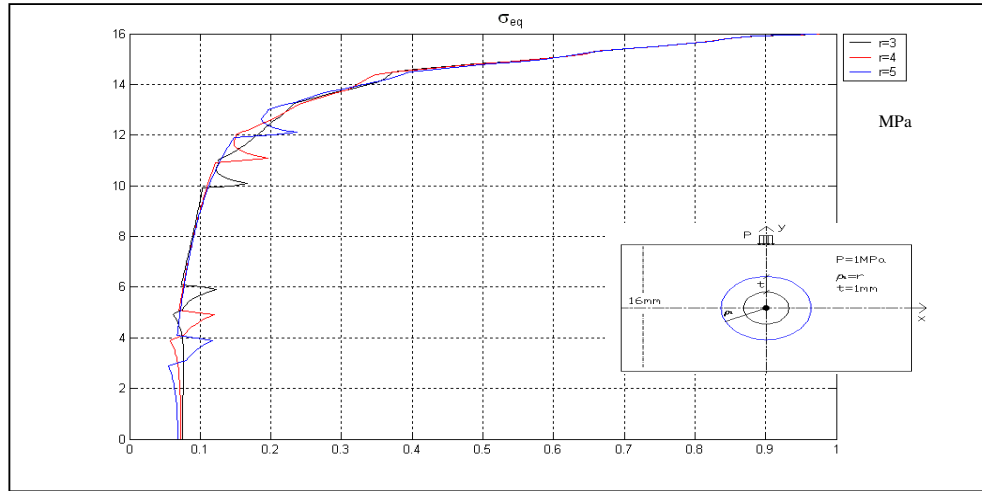
En uygun modeller Model-4 ile Model-5 olduğu görülmektedir. Bu modeller von Mises gerilmeleri söz konusu olduğunda birbirlerine çok yakın değerler almaktadır. Bu modellerin σ_x gerilmelerinin karşılaştırılması birbirlerine olan üstünlükleri açısından bir fikir vermektedir. Bu 2 modelin (Model-4 ve Model-5) σ_x gerilmelerinin karşılaştırılması Şekil 3.52'de gösterilmektedir (Şekil 3.52).



Şekil 3.52 : Model-4 ve Model-5'in σ_x gerilmelerinin karşılaştırılması.

Model-4 ve Model-5'in σ_x gerilmelerinin karşılaştırılmasında Model-5'in fazla bir fark olmamakla birlikte daha küçük gerilmelere sahip olduğu görülmektedir. Model-4'ün en alt noktasındaki von Mises gerilmesi $\sigma_{eq}=0.0633\text{MPa}$ ve Model-5 için bu gerilme $\sigma_{eq}=0.0631\text{MPa}$ 'dır. Bu çok küçük farka rağmen Model-5'in ihtiva ettiği

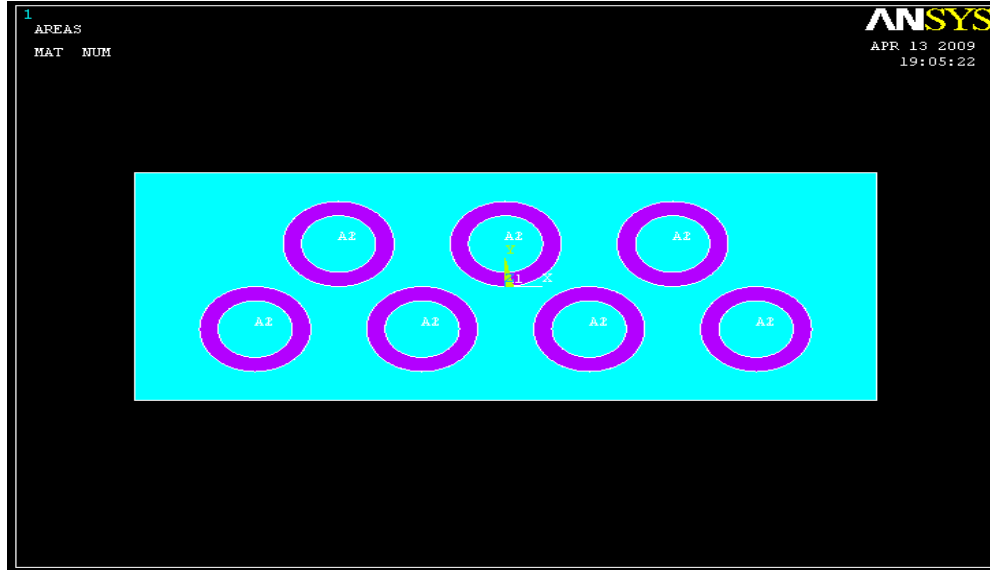
elik malzeme Model 4'ten %20.5 daha az olmaktadır. Bu durum hem maliyet hem de ağırlık bakımından daha avantajlı olmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda elik malzemeler elastisite modülünün yüksek olmasından dolayı son gerilmelerde azalmaya neden olmaktadır. Kompozit malzemelerde çeliklerin ne şekilde tasarlanıp modelin oluşturulması ise deneylerle belirlenmektedir. Yapılan deneyler sonucunda modelin ihtiva ettiği elik malzeme oranı arttıkça modelde oluşan gerilmeler daha uygun hale gelmektedir. Aynı şekilde halka şeklinde kullanılan metaller aynı orandaki düz plaklardan daha avantajlı olmaktadır. Halkaların kalınlığının artması da modelde oluşan gerilmelerde azalmalara neden olmaktadır. Halkalar arası mesafelerin artması modelin altındaki ve halkalar arasındaki noktalarda oluşacak gerilmelerde artışa neden olmaktadır. Daha genel bir ifadeyle anlatmak gerekirse modelin maximum seviyede mukavim olması için halkaların daha kalın halkalar arası mesafenin daha az ve elik oranının artması ve şeklinin dairesel olması gerekir. Bu durum modelde ağırlık, maliyet ve ergonomi bakımlarından sorun teşkil etmektedir. Yapılması gereken diğer bir tahkik ise modelde kullanılacak dairesel elik matrislerin halka et kalınlığı sabit kalmak şartı ile çaplarının değişiminin modelde oluşan gerilmelerde nasıl bir değişim göstereceğidir. Bu durumun tahkiki ANSYS'de yapılan testler sonucunda alınan verilerle yapılan grafik şekil 3.53'te gösterilmektedir (şekil 3.53).



şekil 3.53 : Farklı çaplarda halkalardan oluşan modellerin σ_{eq} gerilmelerinin karşılaştırılması.

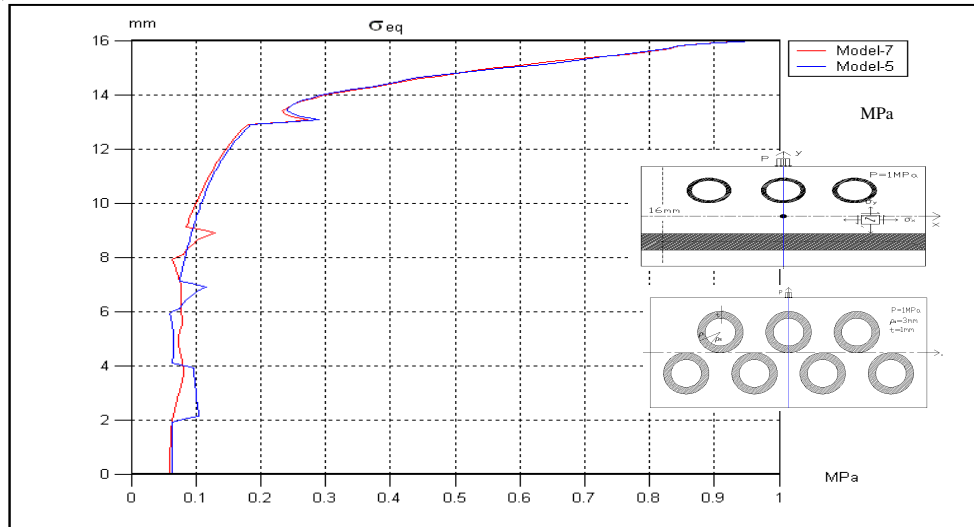
şekil 3.53'te görüldüğü üzere kullanılan elik halkaların et kalınlığı sabit kalmak şartı ile halka çapı arttıkça modelin gerilmeleri azalmaktadır. Mevcut bilgiler ışığında

yeni bir model daha karşılaştırılmak üzere ANSYS programında çözülür. Bu modelin şekli Şekil 3.54'te gösterilmektedir (Şekil 3.54).



Şekil 3.54 : Model-7.

Halkaların şaşırtmalı bir şekilde dizildiği bu model Model-7 olarak adlandırılmış olup ihtiva ettiği çelik yüzdesi = 17.18%'dir. Halka kalınlığı 1mm halka dış yarıçapı 3mm iç yarıçapı 2mm ve halkalar arası yatay mesafe 3mm seçilmiştir. Bu model ile Model-5'in karşılaştırmalı grafiği Şekil 3.55'te gösterilmektedir (Şekil 3.55).



Şekil 3.55 : Model-5 ve Model-7'nin σ_{eq} gerilmelerinin karşılaştırılması.

Model-7 σ_{eq} gerilmeleri bakımından Model-5'ten daha üstün olmaktadır. Model-7 von Mises gerilmelerindeki üstünlüğü nedeniyle bu çalışmada üzerinde durulacak olan model olarak seçilmiştir. Bu modelin 3-D modellenmesi ANSYS ile

yapılmaktadır. Model-7 için yapılan gerilme analizlerinden bu zırh tasarımının diğer modellerden maruz bırakılan yükte oluşan gerilmeler açısından daha avantajlı olduğu ve Model-7'nin ihtiva ettiği çelik oranı fazla olmamakla birlikte taşınabilirliği ve kullanılabilirliği açılarından diğer modellerden daha üstün olduğu görülmektedir.

4. NİHAİ MODELLEME

4.1 Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Daha önce yapılan araştırmalarda kullanılan malzemeler seramik, cam, metal, epoksi, alüminyum, ve tekstil vs. oluşmaktadır. Çeşitli malzemelerin birarada kullanıldığı modeller arasında D. Fernández ve R. Zaera'nın kullandığı zırh modelinde seramik ve metal kompozit karışımı söz konusu olmakta ve bu modelde metal plak kalınlığı seramik kalınlığının en az üçte biri kalınlığında olmaktadır [10].

Zırh tasarımında statik analizlerde kullanılacak olan silah ve mermi çeşidi ve mermi çıkış noktasındaki hızı ve hedefe ulaştığı andaki hızının bilinmesi önemlidir. Modellemede G3 (Germany Assault Rifle) tüfeği ve 7.62x51mm'lik AP mermisi referans olarak seçilmiştir. Seçilen silah ve merminin başlıca özellikleri aşağıdadır:

G3 (Germany Assault Rifle)

7,62x51 mm lik kurşun AP (Armor Piercing)

Hızı (V) =878 m/s $\pm$ 9.1 m/s

10.8 g

30.06 M2 AP Full Metal Jacket

NIJ Standartlarına göre uzun menzilli silahlarla yapılan zırh deneylerinde 15m lik mesafe göz önünde bulundurulur [11].

Merminin namludan çıkış hızını $V_1=880$ m/s olarak kabul edilirse merminin 15m mesafedeki hedefi bulduğu andaki hızı, merminin hızında her 100m'de ortalama %15 düşüşün olduğu da dikkate alınarak ortalama 860m/s kabul edilir. 300 μ s'lik bir zaman aralığında sönmüldüğü kabul edilirse darbe etkisi yaklaşık olarak 28,000N olur.

Modellemede kullanılacak olan Al ve Çelik için malzeme özellikleri Çizelge 4.1'de belirtilmektedir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 : Seçilen Al ve Çelik için malzeme özellikleri.

	Al (6061 T6)	Çelik (AISI 4340)
Elastisite Modülü E (MPa)	73000	208000
Poisson Oranı ν	0.33	0.30
Yoğunluk (g/cm^3)	2.705	7.850
σ_{em} (MPa)	335	1150
Kayma Modülü G (MPa)	27443	80000

Çizelgede belirtilen mekanik özellikler ANSYS’de uygulanacak model için kullanılır.

4.2 Model-7 İçin Sonlu Eleman Modellemesi

ANSYS Product Launcher çalıştırılır ve çıkan pencerede File Management bölümünde dosyanın çalışma yeri ve dosya için bir isim seçilir. Dosya klasörü ANSYS çözüm yaparken oluşturacağı dosyaların kaydedileceği bir klasör olduğundan çözümün ayrıntılı yapılacağı durumlarda bu klasörde yeterli bellek durumundan emin olunulmalıdır.

ProductLauncher - Costumuzation/Preferences-Total Workspace(MB) = 1000

Database(MB) = 64

Belirtilen değerler girilerek ANSYS çözüm aşamasına geldiğinde bellek problemiyle karşılaşması önlenmeye çalışılmıştır. ANSYS programının kullanılan bilgisayarın belleğinden yeteri kadar yer ayırması için Total Workspace kısmında bulunan çalışma alanı büyüklüğünü tedricen arttırmak ve her seferinde ANSYS in çalışıp çalışmadığını kontrol etmek gerekir. Bu tez için kullanılan ANSYS, 2GB RAM

belleğe sahip İntel Core2Duo 1.66GHz işlemcili, 966 FrontSpeedBus hızına sahip 200GB hafızası olan bir bilgisayar düzeneğinde çalıştırılmıştır.

ANSYS için gerekli hafıza ayarları yapıldıktan sonra RUN ikonuna basılarak ANSYS'in istenilen ayarlarla çalışması sağlanır.

Açılan ANSYS sayfasında model için:

MainMenu>Preferences - Structural , Discipline options=h-Method Explicit seçilir.

Üç boyutlu modelleme için belirlenen boyutlar ANSYS ortamına aktarılır. ANSYS ile açılan pencerede üç boyutlu model için SOLID92 elemanı seçilir. Seçilen elemandan sonra malzeme tanımına geçilir.

Material number 1 (Al) Elastisite modülü (E_1) : 73000 MPa

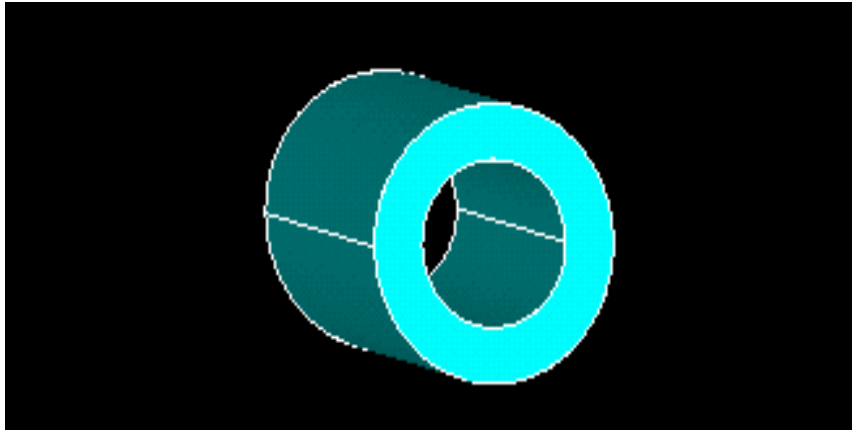
Poisson oranı (ν_1) : 0.33

Material number 2 (Çelik) Elastisite modülü (E_2) : 208000MPa

Poisson oranı (ν_2) : 0.30

Malzeme tayininden sonra modelin ANSYS ile çizimine geçilir.

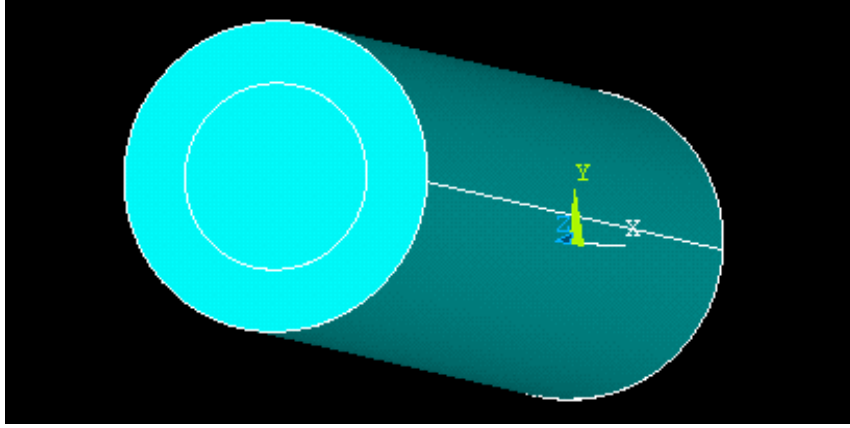
MainMenu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Cylinder>HollowCylinder seçenği ile silindir oluşturulur. Çıkan pencerede WPX=0, WPY=0, Rad-1=3mm, Rad-2=2mm, Depth=20mm verileri girilerek model için t=1mm et kalınlığı olan 3mm dış yarıçapı 2mm iç yarıçapı olan 20mm derinliğe sahip çelik boru oluşturulur. Bu borunun içine 1 no'lu elemanla aynı malzeme olan dolu silindir yerleştirilmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : Çelik boru.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Cylinder>HollowCylinder tekrar seçilerek çıkan pencerede WPX=0, WPY=0, Rad-1=2mm, Rad-2=0mm,

Depth=20mm verileri girilir ve istenilen kompozit boru silindirler oluşturulur. Oluşan silindirin şekli aşağıda gösterilmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Kompozit metal matrislerin ANSYS’de görünüşü.

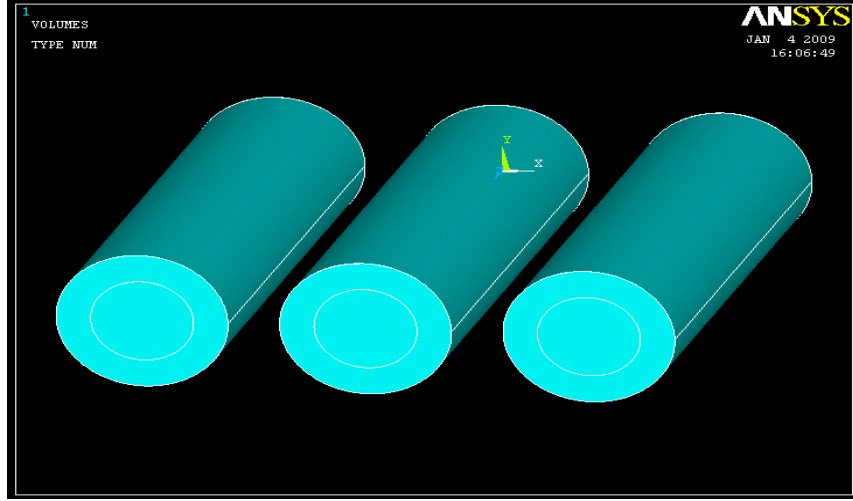
Şekil 4.2’deki kompozit parça için malzeme tayini yapılır ve hacimler glue işlemiyle yapıştırılır.

MainMenu>Preprocessor>Meshing>MeshAttributes>PickedVolumes seçilerek dıştaki halka işaretlenir ve malzeme 2 olarak atama yapılır. MAT: 2, TYPE: 1 SOLID92 . İçteki dolu silindir için malzeme 1 ataması yapılır. MAT: 1, TYPE: 1 SOLID92.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Volumes>PickAll tıklanarak 2 farklı volume (hacim) beraber çalışmaları için yapıştırılmış olur.

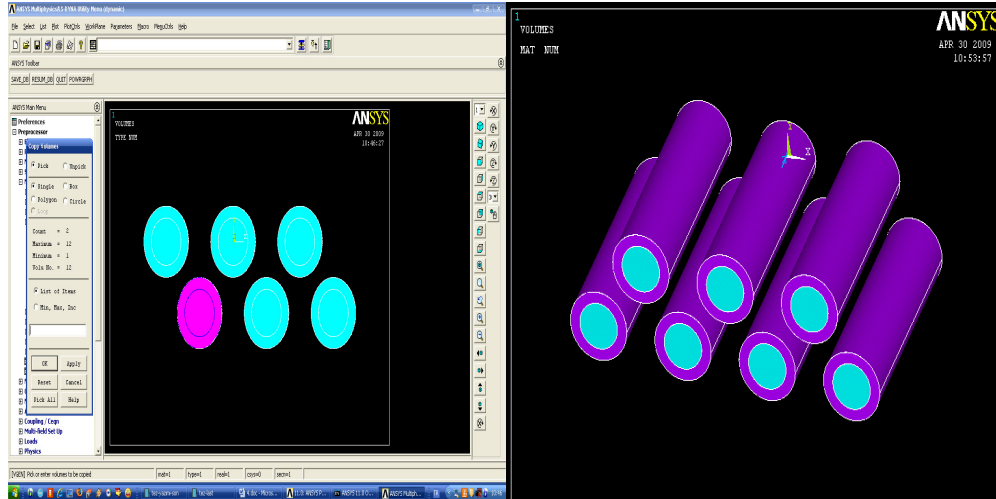
Kompozit silindirin kopyası oluşturulur bunun için 2 adet kopya gereklidir.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Copy>Volumes>PickAll seçilir ve ITIME=3, DX=9 girilerek OK tıklanır. Çıkan pencerede silindirler seçilir ve üç kopya yapılması için ITIME =3, DX x-offset in active CS =9 yazılır ve böylece t=1mm halka kalınlığı olan, halkalar arası mesafe $\delta=3\text{mm}$ olan 3 adet kompozit dolu silindir çizilmiş olur. Kompozit silindirleri istenilen konuma getirmek ve sayısını yediye çıkarmak için ANSYS’de kullanılan komutlar aşağıda sıralanmaktadır. Bu işlemde silindirler şaşırtmalı bir şekilde sıralanarak Model-7nin üç boyutlu modellemesi yapılır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Üç adet kompozit dolu silindir.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Move/Modify>Volumes>PickAll komutu ile tüm silindirleri merkeze taşımak için x yönünde -9 birim taşımak gereklidir. DX=-9 girilerek bu işlem yapılır. Dolu silindirleri aşağıda da şaşırtmalı olarak sıralamak için kopyalama işlemi yapılır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : ANSYS’de oluşan kompozit silindir elemanlar ve kopyalama işlemi.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Copy>Volumes>PickAll; ITIME=2, DX=4.5, DY=-6 girilir.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Copy>Volumes ile en sondaki silindir seçilir ve x yönünde DX=-9 seçilerek simetrikliği sağlamak için bir adet daha silindir oluşturulur.

UtilityMenu>PlotCtrls>Numbering>ElemAttrib-Numbering:MaterialNumbers seçilir ve OK seçilir ve ObliqueView tıklanır.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Move/Modify>Volumes-PickAll-DY=3 seçilerek model kordinat ekseninin merkezine taşınır.

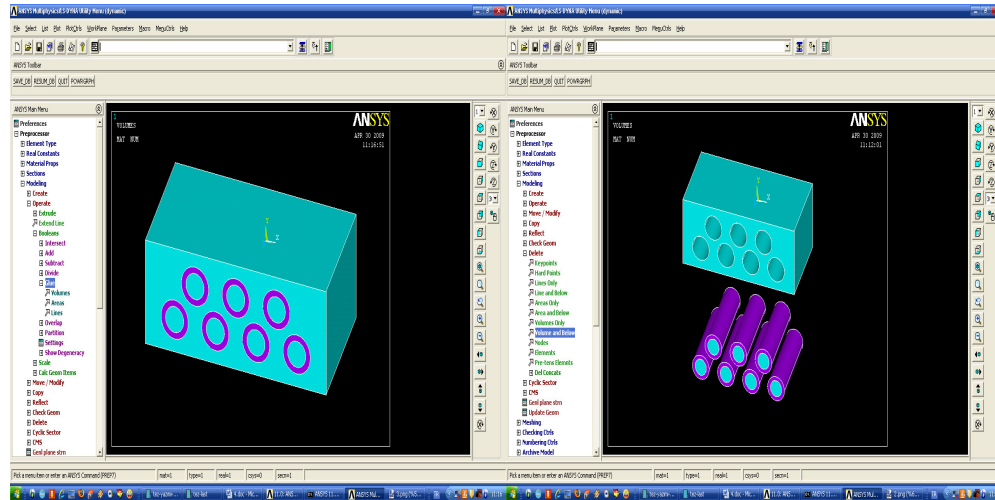
MainMenu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Block>ByCentr,Cornr,Z ile çıkan pencerede WPX=0, WPY=0 Width=40, Height=16, Depth=20 seçilerek blok oluşturulur.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Copy>Volumes ile tüm silindirler seçilir ve DY=-30 girilerek silindirlerin bir kopyası oluşturulur. Bloktan silindirlerin kapladığı hacmi çıkarmak için Overlap işlemi ve Delete işlemi sırasıyla yapılır.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Overlap>Volumes ile blok ve içinde bulunan silindirler seçilir.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Delete>VolumesAndBelow ile blok içindeki volume'lar seçilir ve blok içinden çıkartılır. Çıkan silindirler yerine alta kopyalanmış olan silindirler yerleştirilir.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Move/Modify>Volumes ile alttaki silindirler seçilerek DY=30 girilir. Yapılan işlemler Şekil 4.5'te gösterilmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Blok ve silindir borular.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Volumes>PickAll seçilir ve tüm model beraber çalışacak şekilde yapıştırılmış olur.

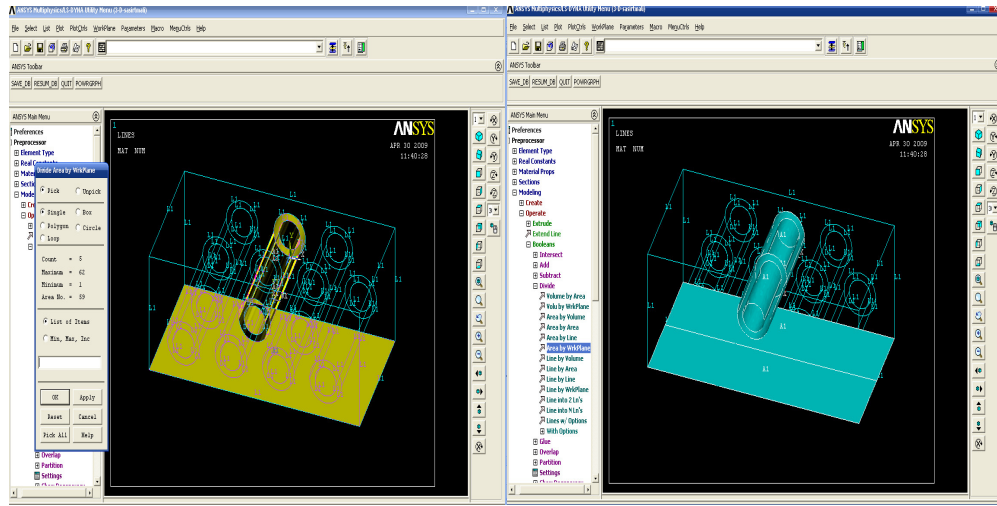
Ortada bulunan silindirlerin Mesh atma işleminde daha düzgün bir meshleme işlemi için silindir elemanlardan ortada olanlar merkezde iki eşit parçaya bölünür. Bu

Volume'ların bölme işlemi için WorkingPlane merkeze getirilir ve DivideByWorkingPlane işlemi gerçekleştirilir.

UtilityMenu>WorkPlane>OffsetWPbyIncrements-Snaps=10 seçilir ve koordinat eksenine +z yönünde Z=10 değerine gelene kadar öteleme yapılarak OK tıklanır.

UtilityMenu>Plot>Lines

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Operate>Divide>AreaByWrkPlane ile çıkan pencerede ortada ve üstte bulunan silindirik çeperlerindeki alanlar ve modelin taban alanı seçilir. Seçilen bu alanlar OK tıklanarak ikiye bölünmüş olur (Şekil 4.6).



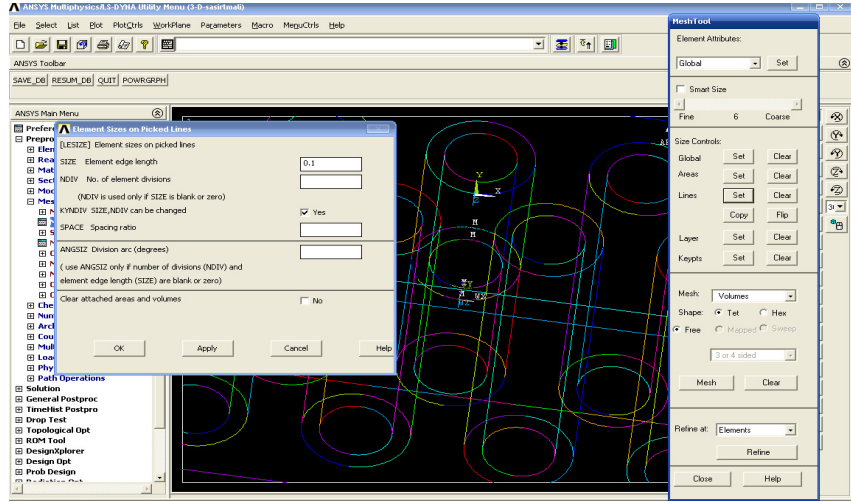
Şekil 4.6 : ANSYS'de seçilen alanlar ve bölüm işlemi.

Alanların tümü seçilerek glue işlemi bölünen alanlar için tekrar yapılır sonra oluşan yeni line'lar divide işlemi ile bölünür. Alanların bölünmesiyle oluşan orta çizgilerin mesh aralıkları ince ayarlanır ve modelin diğer kısımlarında kalın mesh uygulaması yapılır.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Glue>Areas>PickAll sonra çizgiler gösterilir UtilityMenu>Plot>Lines ile çizgiler çizdirilir daha sonra halka için MainMenu>Preprocessor>Modeling>Operate>Booleans>Divide>Lines w/Options ile çıkan pencerede üstteki merkez halka etrafındaki çizgiler 5 eşit parçaya model tabanındaki orta çizgi 10 eşit parçaya bölünür.

Oluşturulan modelde mesh atma işlemine geçilir ve önce ortadaki silindirin ve modelin altında bulunan çizgilerin meshleme işlemi yapılır. Sonra modelin üst noktasındaki yükün uygulandığı alanda meshleme yapılır.

MainMenu>Preprocessor>Meshing>MeshTools-Lines-Set ile orta halkanın ortasında oluşan çizgilerin üst ve alt kısımları seçilerek çıkan pencerede SIZE=0.1 girilir. Aynı işlem tekrarlanarak bu sefer modelin altında oluşan orta çizginin ortasında bulunan iki line için yapılır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : ANSYS’de line için mesh işlemi.

Aynı şekilde Mesh Tools bölümünde bulunan Areas bölümünden modelin üstünde bulunan yük uygulama alanı seçilir ve element edge length=0.1 seçilerek meshleme işlemi yapılır.

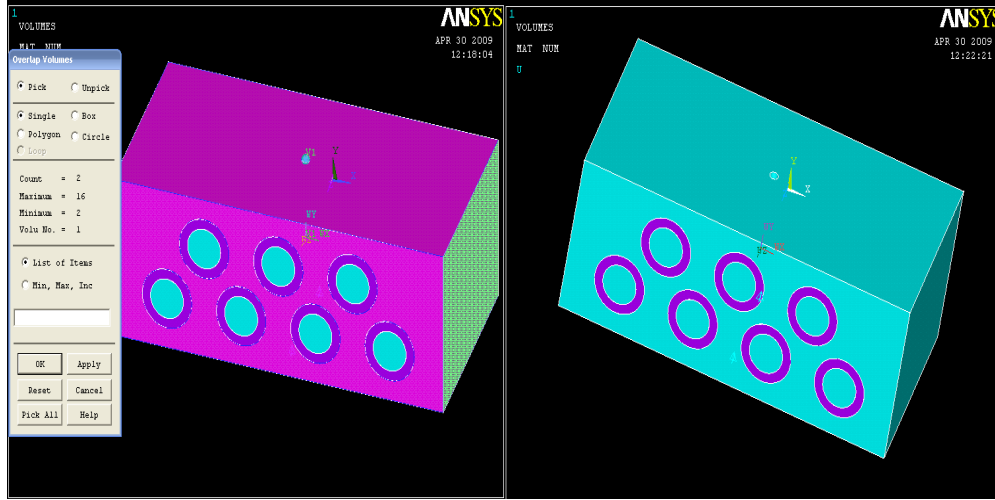
MainMenu>Solution>DefineLoads>Apply>Structural>Displacement>OnAreas ile modelin altındaki alan seçilir ve bu alan y ekseninde tutularak kayıcı mesnet oluşturulmuş olur. Ayrıca modelin uygulanan yüklerle beraber yatay hareketini engellemek için modelin sol alt kısımlarında sabit mesnetler oluşturulur. Bunun için : MainMenu>Solution>DefineLoads>Apply>Structural>Displacement>OnLines ile modelin sol alt tarafında bulunan iki adet line işaretlenerek AllDOF seçilir ve modelin sol alt kısmında sabit mesnet oluşturulmuş olur.

Modelin üstünde yarım küre şeklinde bir oyuk oluşturmak için bir tam küre tanımlanır ve bu küre hacmi modelin üst orta kısmına yerleştirilir ve yerleştirilen küre modelden çıkarılarak yarım küre şeklinde oyuk oluşturulmuş olur. Modele uygulanacak olan yayılı yük için yarım küre şeklinde bir oyuk oluşturmak gerekir.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Create>Volumes>Sphere>HollowSphere ile çıkan pencerede WPX=0, WPY=8, Rad-1=0.5, Rad-2=0 girilerek küre oluşturulur.

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Operate>Overlap>Volumes ile oluşturulan küre ve blok seçilerek overlap işlemi yapılır sonra

MainMenu>Preprocessor>Modeling>Delete>VolumesAndBelow seçilerek oluşturulan küre seçilir ve modelde yarım küre şeklinde oyuk oluşturulur (Şekil 4.8).

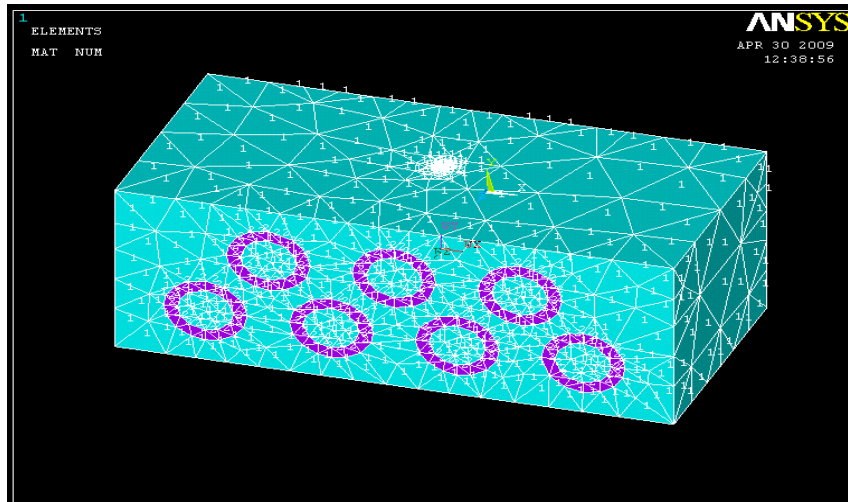


Şekil 4.8 : ANSYS’de overlap işlemi ve oluşan oyuk.

Tasarlanan modele birim yük uygulanır. Bu işlem aşağıda gösterilmektedir.

MainMenu>Preprocessor>DefineLoads>Apply>Structural>Pressure>OnAreas ile oyuk alan seçilir ve çıkan pencerede VALUE kısmına 1 yazılarak birim yayılı yük uygulanmış olur.

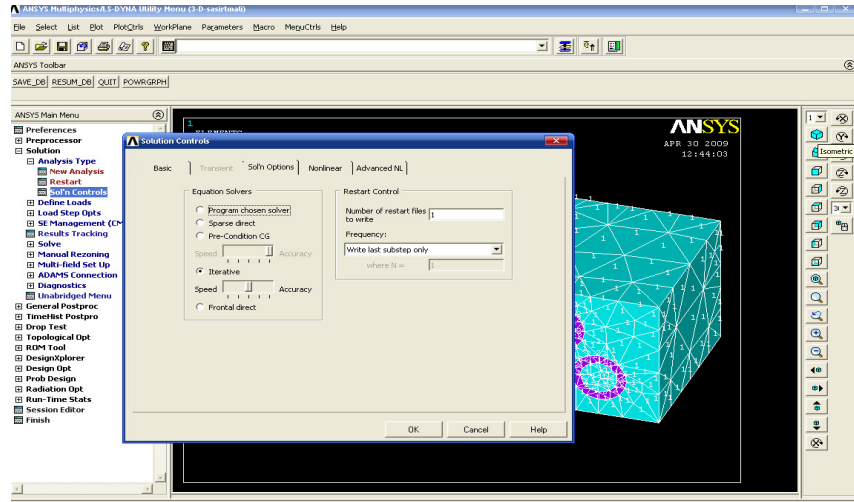
MainMenu>Preprocessor>Meshing>MeshTools ile SmartSize=5 , Mesh=Volumes, Shape=Tet, Free, Mesh-PickAll ile tüm hacimler meshlenir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : Mesh işlemi ile modelde oluşan elemanlar.

Bu model çok fazla noktada çözüm yapacağından çözüm süresi oldukça uzun olacaktır bu yüzden çözüm için iterasyon yöntemi uygun olmaktadır. Bunun için ANSYS'de ;

MainMenu>Solution>AnalysisType>Sol'nControls ile .Çıkan pencerede Sol'nOptions sekmesi açılarak Iterative işaretlenir ve Speed-Accuracy skalası ortalanarak çözüm yapılır. (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 : Solution Controls ile çıkan pencerede yapılan ayarlar.

Meshleme işleminden sonra çözüme geçilir ve çözüm için ANSYS'de MainMenu>Solution>Solve>CurrentLS ile modelin üç boyutlu çözümü yapılır.

4.2.1 Model-7 için çözüm

ANSYS ile çözümü yapılan modelin sonuçlarının değerlendirilmesi için ANSYS programında en kesit tanımlanır ve bu tanımlanan en kesit için sonuçlar değerlendirilir. İlk işlem olarak en kesit tanımlarken WorkingPlane'in modelin merkezinde olması gerekir. Gereken işlemler aşağıda gösterilmektedir:

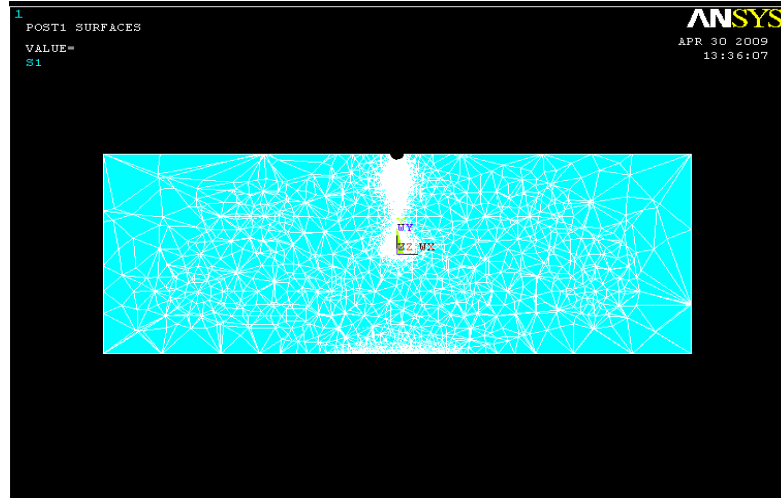
UtilityMenu>WorkPlane>OffsetWP by Increments seçilir ve çıkan pencerede Working Plane de z=10 olana kadar +Z tıklanır. (Bu örnekte daha önce yapılan işlemden dolayı WorkingPlane modelin merkezinde bulunmaktadır).

MainMenu>GeneralPostproc>SurfaceOperation>CreateSurface>OnCuttingPlane seçilir. Çıkan pencerede SurfaceName=Surface olarak seçilir.

MainMenu>GeneralPostproc>SurfaceOperation>MapResults seçilir ve çıkan pencerede von Mises Stress, X-component of stress-Apply , Y-component of stress-

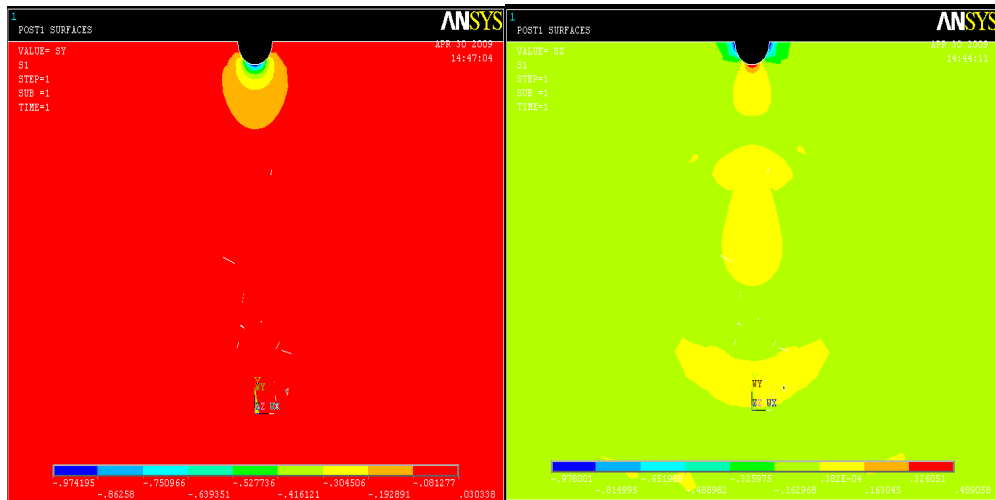
Apply ve gerektiğinde diğer gerilmeler için de seçim işlemi yapılarak sonuçlarda kullanılabilir.

MainMenu>GeneralPostproc>SurfaceOperation>PlotResults ile çıkan pencerede Surface adı verilen en kesit seçilir ve görmek istenilen sonuç skalası oluşturulur. Aşağıdaki grafikte modelin merkezinden alınan en kesitte meshleme işlemi ile oluşturulan elemanlar gösterilmektedir (Şekil 4.11).



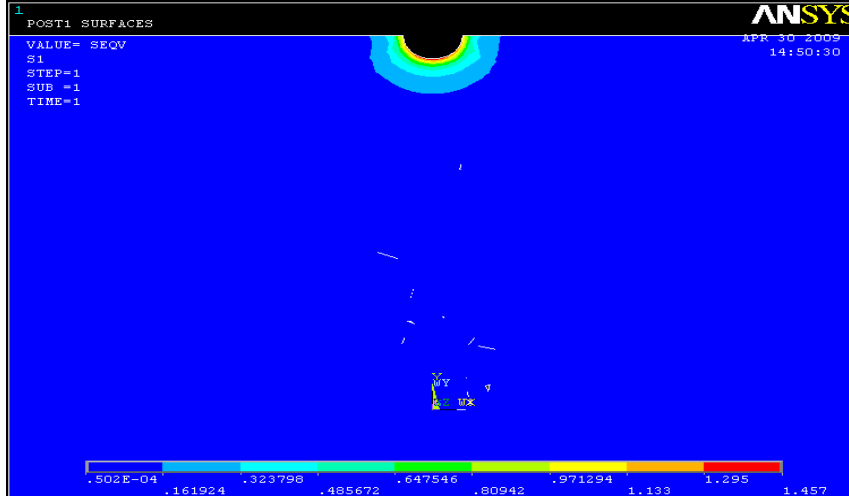
Şekil 4.11 : En kesit geometrisi.

Aşağıdaki grafik ise Surface olarak adlandırılan en kesitte oluşan σ_x ve σ_y gerilmeleri gösterilmektedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 : En kesitte oluşan σ_x ve σ_y gerilmeleri.

Gerilme dağılışı oyuk etrafında belirgin olarak görülmektedir. Aşağıdaki grafikte tanımlanan en kesitte oluşan σ_{eq} gerilmeleri gösterilmiştir (Şekil 4.13).

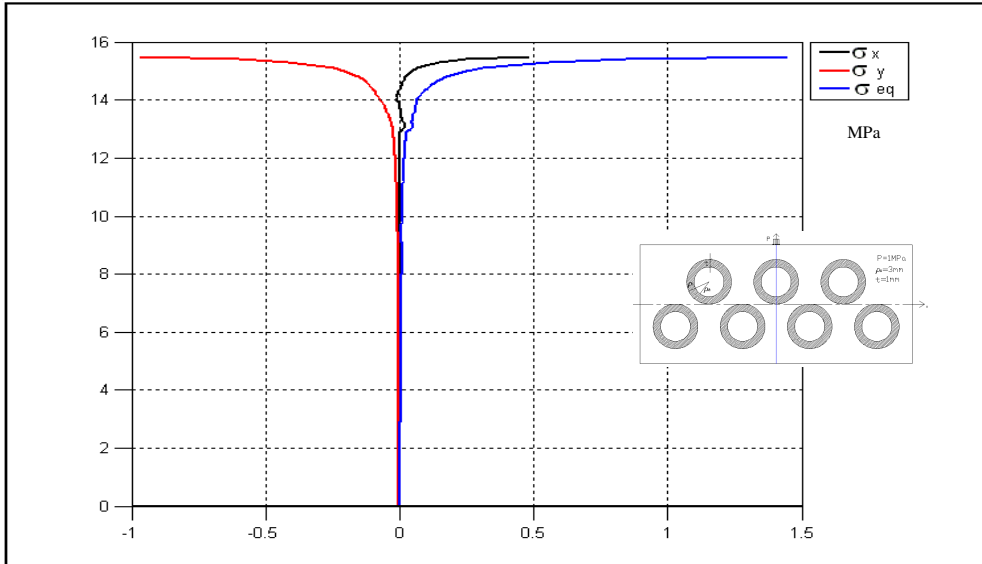


Şekil 4.13 : En kesitte oluşan σ_{eq} gerilmeleri.

von Mises gerilmeleri dikkate alındığında model üç boyutlu olduğundan diğer elemanların yardımı oldukça fazla olmakta ve modelde oluşan σ_{eq} gerilmeleri oldukça kısıtlı bir alanda etkili olabilmektedir.

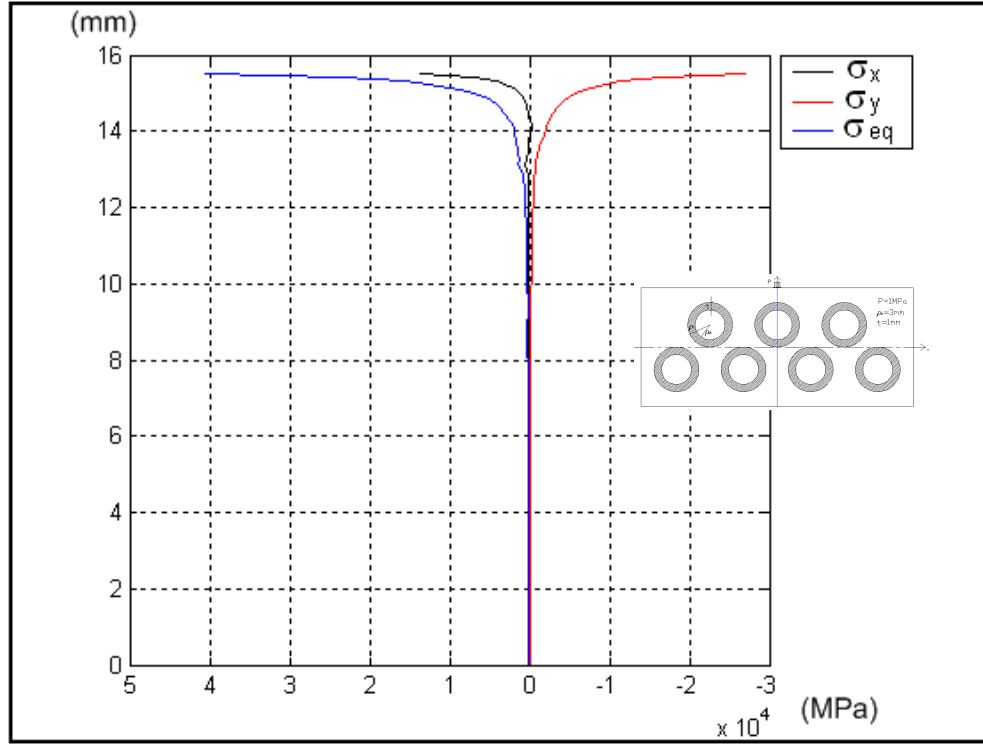
MainMenu>GeneralPostproc>PathOperations>DefinePath>ByLocation ile merkezden geçen y eksenine paralel bir path tanımlanır. Tanımlanan path modelin merkezinde üst orta noktasından alt orta noktasına kadardır. Tanımlanan path üst merkezde oyuk dikkate alınarak 0.5mm kısa olmalıdır.

Üç boyutlu modelin eksen üzerindeki σ_x , σ_y , σ_{eq} gerilmeleri Şekil 4.14'te gösterilmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 : Modelin orta düşey doğrultusundaki σ_x , σ_y ve σ_{eq} gerilmeleri.

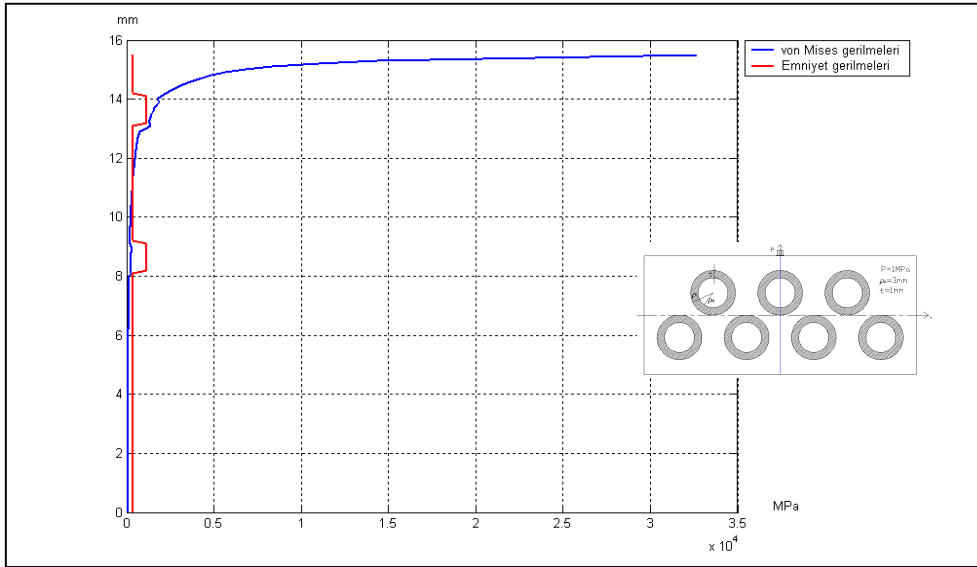
Şekil 4.14'te gerilmelerin ani bir şekilde düşerek sıfıra yakın bir değerde seyrettiği görülmektedir. Modele birim yük yerine G3 tüfeğinden çıkan bir AP mermisinin 15m mesafede bulunan hedefi bulduğu anda yüzeyde oluşturacağı darbe yükü uygulanır. Bu darbe yükü merminin ağırlığına ve hedefi bulduğu andaki hızına bağlıdır. Model-7'nin maruz kalabileceği darbeden gelen yüklerle tekrar çözüm yapıldığında oluşacak gerilmeler Şekil 4.15'te gösterilmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 : Model-7 için üç boyutlu çözümde oluşan σ_x , σ_y ve σ_{eq} gerilmeleri.

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere modelde oluşan gerilmeler hızla azalmaktadır. Model-7 için emniyet gerilmeleri dikkate alınarak oluşturulan şekilde modelin ilk 4mm'lik kısmında kırılmalar meydana gelecektir. Bu kırılmalar daha çok Al levhadan kaynaklanan kırılmalar olacaktır.

Al için emniyet gerilmesi 335MPa ve Çelik için de 1150MPa olarak kabul edilip von Mises gerilmeleriyle karşılaştırmalı grafiği Şekil 4.16'da gösterilmektedir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 : Model-7'nin emniyet gerilmeleri ile oluşan von Mises gerilmeleri.

Çelik için ise halkanın üst orta noktası kritiktir. Modelin en kesidinin ilk 3mm'lik mesafesinde ise 2mm alüminyum ve 1mm çelik bulunmaktadır. Grafikten de anlaşıldığı gibi zırh tasarımında seçilen Model-7'de gelen yükün karşılanmasında genel olarak emniyet sınırlarının altında gerilmeler oluşmakta ve bu da balistik performansı olumlu etkilemektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan analizlerde görülmüştür ki kompozit zırh tasarımında çelik borular kullanılarak başarılı bir model oluşturulmaktadır. Çelik boruların et kalınlığının 1mm olması ve halkalar arası mesafelerin 3mm olması oldukça başarılı bir zırh tasarımını mümkün kılmaktadır. Kompozit malzemelerin kullanılma amaçları doğrultusunda yapılan çalışmalar kompozit malzemelerden oluşan çeşitli kombinasyonlarda farklı sonuçlar elde edileceğini göstermektedir. Bu çalışmada yapılan kombinasyon zırh tasarımı için kullanılabilir bir yaklaşımdır. Modelin 16mm kalınlıkta olması tasarlanan zırhın kullanım alanını genişletmektedir ve zırhın esnekliğini arttırmaktadır. Esnek zırhlar hareket kabiliyetini engellemediği gibi yüksek mobilite özelliği kazandırmaktadır ve büyük kalibreli mermilere karşı oldukça uygun bir korunma aracıdır [8, 12].

Modelde kullanılan Al ve Çelik malzemeleri tasarlanan zırh için uygun bir kombinasyon oluşturmaktadır. Çelik boruların 1mm olması imalat kolaylığı sağlamaktadır ve maliyet açısından uygun bir optimizasyonun parçası olarak görülmektedir. 1mm kalınlıkta ve dış yarıçapı 3mm olan çelik halkalar arasındaki mesafe 3mm olmaktadır. 3mm mesafesi halkaların arasında olması gereken Al malzemesi için uygun görülmektedir. İmalat açısından 3mm mesafesi Al blok imalatı için yeterli bir aralıktır. Mesafenin değişimi ile gerilme değişimi grafiklerinden aradaki mesafenin artmasıyla gerilmeler dikkate alındığında σ_x ve σ_y ve σ_{eq} gerilmelerinde olumsuz bir dağılımın olduğu görülmektedir. 3mm aralıklı halkalar oldukça yakın ve sık bir halka dizinimi oluşturmaktadır. Gelen darbenin modelin elemanları arasındaki gerilme paylaşımı açısından uygun bir boyut olmaktadır ve özellikle gelen darbeyi ilk olarak karşılayacak olan σ_y gerilmelerinin daha büyük aralıklara nispeten azalmasına neden olmaktadır [13]. Model-7'nin düz plak şeklindeki kompozit zırhlara ve üstünde çalışılan diğer modellere olan üstünlükleri çelik silindirlerin şaşırtmalı olarak düzenlenmesinin doğru bir tercih olduğunu göstermektedir. Halkalar arası mesafenin 3mm olması kullanım kolaylığı sağlamakla birlikte çeliğin Al'a olan üstünlükleri bakımından da zırhın üstünlüğünü

arttırmaktadır. Bulunan model için yapılan ANSYS çözümleri göstermektedir ki model için farklı malzemeler de kullanılabilir. Cam, seramik, elyaf veya epoksi gibi malzemeler kompozit zırhlar konusunda yeni yaklaşımlara yol açabilirler. Model-7 için bulunan geometri polimer matrisli kompozitler, Al alaşımları diğer malzemeler kullanılarak da yüksek kinetik enerji absorbe edebilen zırh tasarımları denenebilir [14, 15]. von Mises gerilmeleri kırılma hipotezleri arasında modelimize en uygun hipotez olarak düşünülebilir. Tresca kırılma teorisi de göz önünde bulundurulmuştur ve bu iki hipotezden bulunan gerilmeler çok fazla değişim göstermemektedir. Ayrıca halkaların et kalınlığı sabit kalmak koşuluyla çaplarının artması kompozit zırhın üstünlüğünü arttırmaktadır. Çapların küçülmesi dairesel halka şeklinden içi dolu silindir şekle doğru bir yönelim olarak düşünülebilir ve bu yüzden de (Model-2’de de gösterilmiştir) halka şeklinde nüfus eden çelik elemanlar kompozit zırh tasarımında daha uygun olmaktadır. Metal matrisli halkaların uygun bir mesh aralığıyla sonlu eleman modellemesi yapılması ANSYS programı kullanılarak oldukça başarılı şekilde düzenlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Wright, A., and French, M.**, 2008. The Response of Carbon Fibre Composites to Blast Loading Via the Europa CAFV Programme, *Springer Science+Business Media*, **43**, 6619–6629.
- [2] **Acar, B.**, 2002. Kompozit Zırhlarda Penetrasyonun Eksplisit Yöntemlerle Simülasyonu, *Savunma Teknolojileri Kongresi*, ODTÜ, Ankara, Ekim 24-25.
- [3] **Hogg, P. J.**, 2006. Materials Science: Composites in Armor, *Science*, **314**, 1100-1101.
- [4] **Rusinek, A., Rodriguez-Martinez, J.A., Zaera, R., Klepaczko, J.R., Arias, A., and Sauvelet, C.**, 2009. Experimental and Numerical Study on the Perforation Process of Mild Steel Sheets Subjected to Perpendicular Impact by Hemispherical Projectiles, *International Journal of Impact Engineering*, **36**, 565-587.
- [5] **Cork, C. R., and Foster, P. W.**, 2005. The Ballistic Performance of Narrow Fabrics, *International Journal of Impact Engineering*, **34**, 495-508.
- [6] **Cakir, T., Yıldırım, R. O., and Ogel, B.**, 2004. Optimisation of Ceramic/Steel Composite Armour of a Constant Thickness, *ESDA2004-7th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis*, Manchester, United Kingdom, July.
- [7] **Davies, G. A. O., Olsson, R.**, 2004. Impact On Composite Structures, *Aeronautical Journal*, **108**, 541-563.
- [8] **Sumer, P., Çakıroğlu, M. E., Erbiş, S., İçdemir, İ.**, *Metal Matrisli Çelik Yay Takviyeli Kompozit Zırh Tasarımı* 32-38.
- [9] **Lavine, M.**, 2006. The Right Combination, *Science*, **314**, 1099.
- [10] **NIJ Standard-0101.06**, 2008. Ballistic Resistance of Body Armor, *National Institute of Justice*, Washington D.C.
- [11] **Fernández-Fdz, D., Zaera, D.**, 2008. A New Tool Based on Artificial Neural Networks for the Design of Lightweight Ceramic–Metal Armour Against High-Velocity Impact of Solids, *International Journal of Solids and Structures*, **45**, 6369-6383.
- [12] **Koh, C. P., Shim, V. P. W., Tan, V. B. C., Tan, B. L.**, 2008. Response of a High-Strength Flexible Laminate to Dynamic Tension, *International*

- Journal of Impact Engineering*, **35**, 559.
- [13] **Übeyli, M., Yildırım, R. O., Ögel, B.**, 2007. On the Comparison of the Ballistic Performance of Steel and Laminated Composite Armors, *Materials and Design*, **28**, 1257–12.
- [14] **Faur-Csukat, G.**, 2006. A Study on the Ballistic Performance of Composites, *Macromol. Symp*, 239, 217-226.
- [15] **Karamis, M.B., Nair, F., Cerit, A. A.**, 2009. The Metallurgical and Deformation Behaviours of Laminar Metal Matrix Composites After Ballistic Impact, *Journal of Materials Processing Technology*, **PROTEC-12508**, 1-10.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Abdullah DÖNMEZ

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara , 14/03/1982

Adres: Fulya Mahallesi Yeşilçam Sokak 7/5 Mecidiyeköy-İstanbul

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi-İnşaat Mühendisliği Bölümü