

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

**KOMPOZİT MALZEMELERİN KAYMA TESTİ İÇİN
APARAT TASARIMI, İMALATI VE KAYMA
GERİLMESİ ANALİZİ**

BİTİRME PROJESİ

Kerim Deniz KAYA
Servet Serkan KILINÇ

Projeyi Yöneten
Prof. Dr. Ramazan KARAKUZU

Haziran, 2008
İZMİR
TEZ SINAV SONUÇ FORMU

Bu çalışma ... / ... / günü toplanan jürimiz tarafından BİTİRME PROJESİ olarak kabul edilmiştir.

Yarıyıl içi başarı notu 100 (yüz) tam not üzerinden (.....) dir.

Başkan

Üye

Üye

Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığına,
..... numaralı jürimiz tarafından ... / ... / günü saat da
yapılan sınavda 100 (yüz) tam not üzerinden almıştır.

Başkan

Üye

Üye

ONAY

TEŞEKKÜR

Kompozit malzemelerin kayma mukavemetinin belirlenmesi için aparat tasarımı konusunda hazırlamış olduğumuz bu bitirme tezinde bize rehberlik eden Prof. Dr. Ramazan KARAKUZU' ya , proje boyunca bize her konuda destek veren Arş. Görev. Mehmet Emin DENİZ'e ve Ansys programının kullanımı konusunda bizden desteğini esirgemeyen Yüksek Lisans Öğrencisi Mustafa İlhan UYSAL' a çok teşekkür ederiz.

Kerim Deniz KAYA
Servet Serkan KILINÇ

ÖZET

Bu çalışmada klasik endüstriyel malzemelere karşı mekanik ve ekonomik avantajları olan kompozit malzemelerin kayma gerilmelerinin ve kayma modüllerinin bulunması için test aparatları tasarlanmış ve gerekli testler yapılmıştır .

Çalışmanın ilk bölümünde V- çentikli test aparatı Solidworks programıyla modellenmiş , teknik resimleri çizilmiştir. Daha sonra parçalar talaşlı imalat yöntemiyle imal edilmiştir .

İkinci bölümde V- çentikli kompozit numuneler standarda uygun ölçülerde üretilmiş ve gerekli kayma testleri yapılarak kayma mukavemetleriyle ilgili datalar elde edilmiştir .

Üçüncü bölümde ANSYS programında kayma analizi yapılmış ve bilgisayar ortamında , numune kesitindeki kayma gerilmesi değerleri saptanmıştır .

Çalışmanın sonuç bölümünde ise yapılan deney sonuçları ve bilgisayarda yapılan analizler karşılaştırılmış ve elde edilen grafikler yorumlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İçindekiler.....	V
Tablo Listesi.....	VII
Şekil Listesi.....	VII

Bölüm Bir

GİRİŞ

1. Kompozit Malzemeler.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.1.1 Takviye Elemanları.....	2
1.1.2 Matriksler.....	3
1.2 Tabakalı Kompozitler	6
1.3 Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	7
1.3.1 El ile Yayma Metodu.....	7

Bölüm İki

2. Kompozit Numunelerde Kayma Gerilmesi Testleri İçin ASTM standartları.....	8
2.1 ASTM D 2344 Standardı	8
2.2 ASTM D 3518 Standardı	9
2.3 ASTM D 4255 Standardı	10

2.4 ASTM D 5379 Standardı	12
---------------------------------	----

Bölüm Üç

3. ASTM D 7078 V- Çentikli Numunelerin Kayma Özelliklerinin Tespitinde Kullanılan Aparat ve Numune	13
3.1 V- Çentikli Kayma Testi Aparatının Tanıtımı.....	13
3.2 V- Çentikli Kayma Testi Aparatının Tasarımı ve İmalatı.....	16
3.2.1 Aparatın Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	16
3.2.2 V- Çentikli Kayma Testi Aparatının Tasarımı.....	18
3.2.3 Aparatın Üretimi ve Montajı.....	22
3.2.4 Numunenin Üretimi ve Montajı.....	24

Bölüm Dört

4. Çekme Cihazında Kayma Gerilmesi ve Kayma Modülü Testleri.....	28
4.1 Kayma Gerilmesi Testi.....	28
4.1.1 Deney Düzenekinin Ayarlanması.....	28
4.1.2 Deneyin Yapılışı.....	29
4.2 Strain-gage ‘ li numuneler ile kayma modülü tespiti	36

Bölüm Beş

5. ANSYS 10.0 Programıyla Numunede Kayma Gerilmesi Analizi.....	40
5.1 Analiz Türünün Belirlenmesi.....	40
5.2 Ansys Ortamında Numunenin Oluşturulması ve Özelliklerinin Belirlenmesi.....	41
5.3 Parçanın Mesh Edilmesi ve Sınır Şartlarının Tanımlanması.....	50
5.4 Çözüm ve Analiz Sonuçları.....	58

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.2.2.1 Aparatı Oluşturan Parçaların Listesi.....	18
Tablo 3.2.3.1 AISI E 8620 Çeliğin Mekanik Özellikleri.....	23
Tablo 3.2.3.2 AISI E 8620 Çeliğin Malzeme Bileşenleri.....	24
Tablo 3.2.4.1 Eglass (cam lifi) Genel Karakteristikleri	26
Tablo 3.2.4.2 Eglass Fiber – Epoksi Genel Karakteristikleri.....	26
Tablo 4.1.2.1 90° Fiber Açılı Numuneler İçin Ort. Kayma Gerilmesini Gösteren Tablo.....	33
Tablo 4.1.2.2 90° Fiber Açılı Numuneler İçin Ortalama Kayma Gerilmesini Gösteren Tablo.....	35
Tablo 4.2.1 90° Fiber Açılı Numunenin Ortalama Kayma Modulünü Veren Excel Tablosu.....	39
Tablo 4.2.2 0° Fiber Açılı Numunenin Ortalama Kayma Modulünü Veren Excel Tablosu.....	39

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1.2.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	5
Şekil 1.2.1 Birleştirilmemiş (45/-45/90/0) fiber açılı tabakalar.....	6
Şekil 1.3.1.1 El ile yayma methodu.....	7
Şekil 2.1.1 ASTM D 2344 Test Düzeneği.....	8
Şekil 2.1.2 Kısa Kiriş Testinde Hata Modları.....	9
Şekil 2.2.1 D 3518 Numunesi ve Malzeme Eksenleri.....	10
Şekil 2.3.1 İkili Ray Sistemi Test Düzeneği.....	11
Şekil 2.3.2 Üçlü Ray Sistemi Test Düzeneği.....	12
Şekil 2.4.1 Iosipescu Metodu Test Düzeneği.....	13
Şekil 3.1.1 Wyoming Firmasının Ürettiği Kayma Testi Elemanlarının Genel Görüntüsü.....	14
Şekil 3.1.2 V Çentikli Aparatın Başka Bir Görünüşü.....	15
Şekil 3.1.3 Ray Genişliği Değişebilen Test Numuneleri İçin Özel Genişlik Ayarlı Test Aparatı.....	16

Şekil 3.2.2.1	Alt ve Üst Tutucu Parça.....	18
Şekil 3.2.2.2	Tutucu Plaka.....	19
Şekil 3.2.2.3	M10 Cıvata.....	20
Şekil 3.2.2.4	Kademeli Mil.....	20
Şekil 3.2.2.5	Kontra Somun.....	21
Şekil 3.2.2.6	V- Çentikli Test Aparatı Montaj Görünümü.....	22
Şekil 3.2.3.1	Parçanın Birleştirilmiş Genel Görünüşü.....	23
Şekil 3.2.4.1	V- Çentikli Numune.....	25
Şekil 3.2.4.2	V- Çentikli Numune Boyutları.....	25
Şekil 3.2.4.3	90° lik Fiber Açısına Sahip Numune.....	26
Şekil 3.2.4.4	0° lik Fiber Açısına Sahip Numune.....	27
Şekil 3.2.4.5	Montajı Yapılmış Test aparatı ve Numune.....	27
Şekil 4.1.1.1	Aparatın bağlanması ve çekme test cihazının genel görünüşü.....	28
Şekil 4.1.2.1	Aparatın bağlanmış hali ve test başlamış.....	29
Şekil 4.1.2.2	Test Düzeneği Çalıştırılmaya Başlamadan Önce.....	30
Şekil 4.1.2.3	Herhangibir Deformasyona Uğramamış Numune.....	31
Şekil 4.1.2.4	Kayma Gerilmesine Maruz Kalmış 90° lik Numune.....	32
Şekil 4.1.2.5	N(90)1 Numunesinin Kuvvet Deplasman Grafiği.....	33
Şekil 4.1.2.6	Kayma Gerilmesine Maruz Kalmış 0° lik numune.....	34
Şekil 4.1.2.7	N(0°)1 Numunesinin Kuvvet Deplasman Grafiği.....	35
Şekil 4.2.1	Teste Hazır , Strain-gage Takılmış Numune ve Aparatlar.....	36
Şekil 4.2.2	Strain-gage ‘ li Numune.....	37
Şekil 4.2.3	Strain-gage İndikatörleri.....	38
Şekil 4.2.4	Strain-gage’ li Test Düzeneğinin Genel Görüntüsü.....	38
Şekil 5.1.1	Analiz Türünün Belirlenmesi.....	40
Şekil 5.2.1	IGES Dosyasının Ansys Programına İmport Edilmesi.....	41
Şekil 5.2.2	İmport Edilen İki Boyutlu Numunenin Çizgisel Görüntüsü.....	42
Şekil 5.2.3	Keypoint Noktalarının Görünüşü.....	43
Şekil 5.2.4	Eleman Tipinin Seçilmesi.....	44
Şekil 5.2.5	90° ‘ lik Fiber Açılı Numunelerin Tabaka Özelliklerinin Girilmesi.....	45
Şekil 5.2.6	0° ‘ lik Fiber Açılı Numunelerin Tabaka Özelliklerinin Girilmesi.....	45
Şekil 5.2.7	Malzeme Davranışının Tanımlanması ve Mekanik Özelliklerin Girilmesi.....	46
Şekil 5.2.8	Keypoint Noktalarının Birleştirilmesiyle Çizgilerin Oluşturulması.....	47

Şekil 5.2.9 Çizgiler Yardımıyla Alanların Oluşturulması.....	48
Şekil 5.2.10 Extrude Komutuyla Derinliğin Girilmesi.....	48
Şekil 5.2.11 Extrude Komutu ile Hacimlerin Oluşturulması.....	49
Şekil 5.2.12 Glue Komutu ile Birleştirilmiş Hacimler.....	50
Şekil 5.3.1 Parçanın Mesh Edilmesi.....	51
Şekil 5.3.2 Mesh Edilmiş Parçanın Görünümü.....	51
Şekil 5.3.3 Sınır Şartlarını Uygulamak İçin Alt Yüzeylerin Seçilmesi.....	52
Şekil 5.3.4 All DOF Seçeneği ile Bütün Yönlerde Hareketin Sınırlandırılması.....	53
Şekil 5.3.5 Sınır Şartlarını Uygulamak İçin Üst Yüzeyin Seçilmesi.....	54
Şekil 5.3.6 UY seçeneği ile Y Yönünde Hareketin Sınırlandırılması.....	55
Şekil 5.3.7 Basınç Uygulanacak Olan Yüzeyin Seçimi.....	56
Şekil 5.3.8 90° 'lik Oryantasyon Açısına Sahip Numuneye Uygulanan Basınç Değerinin Girilmesi....	57
Şekil 5.3.9 0° 'lik Oryantasyon Açısına Sahip Numuneye Uygulanan Basınç Değerinin Girilmesi....	57
Şekil 5.3.10 Uygulanan Sınır Şartları ve Basınçların Görünümü.....	58
Şekil 5.4.1 xy Yönünde Kayma Gerilmesinin Seçilmesi.....	59
Şekil 5.4.2 90° 'lik Oryantasyon Açısına Sahip Numunenin Kayma Gerilmesi Dağılımı.....	59
Şekil 5.4.3 90° 'lik Oryantasyon Açısına Sahip Numunenin x Yönünde Deformasyonu.....	60
Şekil 5.4.4 0° 'lik Oryantasyon Açısına Sahip Numunenin Kayma Gerilmesi Dağılımı.....	61
Şekil 5.4.5 0° 'lik Oryantasyon Açısına Sahip Numunenin x Yönünde Deformasyonu.....	62

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.KOMPOZİT MALZEMELER

1.1 Giriş

İki veya daha fazla sayıdaki organik veya inorganik bileşenin aynı veya farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin fiziksel olarak birleştirilmesiyle oluşan malzemelere **kompozit malzeme** denir.

Kompozit malzemeler matriks ve fiber denilen iki ana bileşenden oluşmaktadır. Matriks ana malzeme olmakta fiber ise malzemenin mukavemetini ve yük taşıma kabiliyetini belirlemektedir. Matriksin görevleri; fiberleri birbirine bağlayarak uygun yerleşimi sağlamak, fiberleri çevreden gelen risklere karşı korumak, plastik deformasyon oluşumunda çatlak yayılışına karşı direnç sağlamak ve malzemenin kopmasını geciktirmek, yüksek sıcaklık ve korozyona karşı koymaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra elyafları sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir. Yukarıda belirtildiği gibi kompozit malzemenin mukavemetini ve sertliğin tamamına yakını fiberler tarafından sağlanmaktadır. Kompozit malzeme üretimindeki en önemli kavram daha iyi özelliklere sahip malzeme elde etmek için fiber ve matriksin uygun olanının seçilmesidir. Mukavemet, rijitlik, yorulma, ısı ve nem direnci gibi özelliklerin daha iyi olması için uygun fiber yönü seçilmelidir. Bu özellikler fiber açısına ve yönüne bağlı olarak büyük değişimler göstermektedir. Bu sebeplerden dolayı fiber ve matriks çeşidi kompozit tasarımında oldukça önemlidir.

Kompozitler farklı malzemelerin bir araya gelmesinden oluşurlar bundaki amaç kompozit malzemelere yüksek mukavemet, yüksek korozyon dayanımı, uygun aşınma ve yorulma

dayanıklılığı ve düşük ağırlık gibi önemli özellikler kazandırmaktır. Ağırlık tasarrufundaki değer % 25 civarına kadar ulaşmaktadır.

En çok kullanılan kompozit malzeme birleşimleri; Cam elyafı/polyester, karbon Elyafı/epoksi ve aramid elyafı/epoksi birleşimleridir. Kompozit malzemeler katlı tabakalar veya ince tabakalar halinde uygulanabilmektedir. Bugün üretilen tüm kompozit malzemeler çoğunlukla havacılık , otomotiv ve tekne imalatı endüstrilerinde kullanılmaktadır. Kompozit birleşimleri günümüzde tercih edilmesinin ve kullanımlarındaki artışın mutlak sebepleri sağlamlıkları ve hafiflikleridir. Çeşitli plastik malzemelerin seramik, metal bazen de sert polimerlerin elyafları ile güçlendirilerek ileri derecede faydalar sağlayan malzemeler üretmek mümkündür. İçindeki plastik sayesinde kolaylıkla şekil verilebilen ve takviye elyaflar sayesinde son derece sağlam, sert ve hafif olan bu malzeme birleşimleri, kompozitler her gün yepyeni uygulama alanlarında karşımıza çıkmaktadırlar. Ayrıca metallere kıyasla malzeme yorulması, malzeme üzerinde hasarların tolere edilmesi ve korozyona dayanıklılık özellikleri bakımından avantaj sağlamaktadır. Tüm bu faydalarına rağmen kompozitlerin tamamıyla metalin yerine geçmemesinin üç ana sebebi vardır;

1. Titanyum ve çelik gibi metallerin bazı uygulamalarda ihtiyaç duyulan kritik düzeyde ısı, mekanik özellikleri günümüz kompozitleri karşılayamamaktadır.
2. Bazı karmaşık biçimler düşük maliyetler çerçevesinde üretilmemektedir.
3. Kompozitler kg basına düşen üretim maliyeti rakamları metallerden (alüminyum) daha yüksek olacaktır.

1.1.1 TAKVİYE ELEMANLAR

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak fiberler kullanılmaktadır. Önceden de bahsedildiği gibi fiberler mukavemet ve rijitliği sağlarlar. En çok kullanılan fiber türleri de aşağıdaki gibidir.

Cam Fiberler (Fiberglas) : Uçaklarda panellerde kullanıldığı gibi roket motorlarında da kullanılmaktadır. Avantajları; fiyatının göreceli olarak ucuz olması, kolay temin edilmesi, işlenme kolaylığı, yüksek mukavemeti, esnek olması ve düşük kalıp maliyetidir. Dezavantajı ise neme karşı çok duyarlı olmasıdır.

Karbon Fiberler: Karbon fiberler yüksek performanslı kompozit yapılarda en çok kullanılan takviye elemanlarıdır.

Yüksek elastik modül ve yüksek mukavemete sahip, yüksek sıcaklıkta bile diğer fiberlerle karşılaştırıldığında dayanıklılığı hissedilir derecede fazla olan süreksizlik göstermeyen sürekli fiberler halinde imal edilirler. Yüksek mekanik özelliklere sahip olması nedeniyle, uçak endüstrisinde yer alan ileri kompozitlerin basında gelir.

Uçaklarda; kanatlar, dümenler, stabilizerler gibi kontrol yüzeyleri, helikopter panelleri, otomobil ve denizcilik sektöründe yapısal destek elemanları, bisiklet pedalları, roketler, olta, yarış otosu kaportaları, roketler, uzay araçları ve füzelerin yapısal elemanlarında kullanılır. Normal sıcaklıklarda yorulma direnci ile sabit bir yük altındaki deformasyonları düşüktür. Dezavantajları; kırılğan olmaları, düşük basma direnci, şok yüklenmelere karşı düşük ısısal genleşme katsayısına sahip olması ve fiyatının pahalı olmasıdır.

Kevlar 49: Kevlar 49 Güçlü ve hafif bir maddedir . Roket imalatlarında (stinger füzeleri , roketatarlar , roket topları) ve kurşun geçirmez materyallerin yapımında kullanılırlar (can yelekleri , miğferler)

Seramik Lifler: Seramik lifler SiC , Al_2O_3 gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerdir. SiC ve Al_2O_3 in erime noktaları sırasıyla 2830°C ve 2045°C dir. SiC , 650°C de özelliğini kaybetmeye başlarken Al_2O_3 1370°C de özelliğini kaybetmeye başlar . Bu malzemeler metal matrixlerin (alüminyum ,titanyum vs.) takviyelerinde kullanılırlar.

Boron Fiberler: Elastisite modülü yüksek kompozit teşkili için kullanılır. Boron fiberleri normal olarak önceden reçine emdirilmiş teypler halinde sağlanabilir. Yüksek modül ve yüksek mukavemete sahip olmalarına rağmen işleme zorluğu nedeniyle pahalıdırlar. Hava ve deniz kuvvetlerinde takviye elemanı olarak kullanılır.

1.1.2 MATRİKSLER

Matriksler kompozit içinde fiberleri bağlayıcı ve bir arada tutucu özelliğe sahiptirler. Fiberden daha düşük yoğunluk, rijitlik ve mukavemete sahiptirler. Uygulanan tüm yükün tamamına yakını fiberler üzerine aktarmayı sağlarlar. Lineer ve non- lineer gerilme- şekil

değiştirme davranışı gösterirler çünkü matriksler kullanılan matriksin türüne göre, gevrek, elastik, sünek ve plastik olabilirler. Günümüzde en çok kullanılan matriks türleri karbon, cam, seramik ve polimerdir.

Karbon Matriksler : Karbon matriksler birim ağırlıklarına göre yüksek sıcaklık kapasitesine sahiptirler. Roket lülelerinde, uçak kavrama ve fren yastıklarında kullanılırlar.

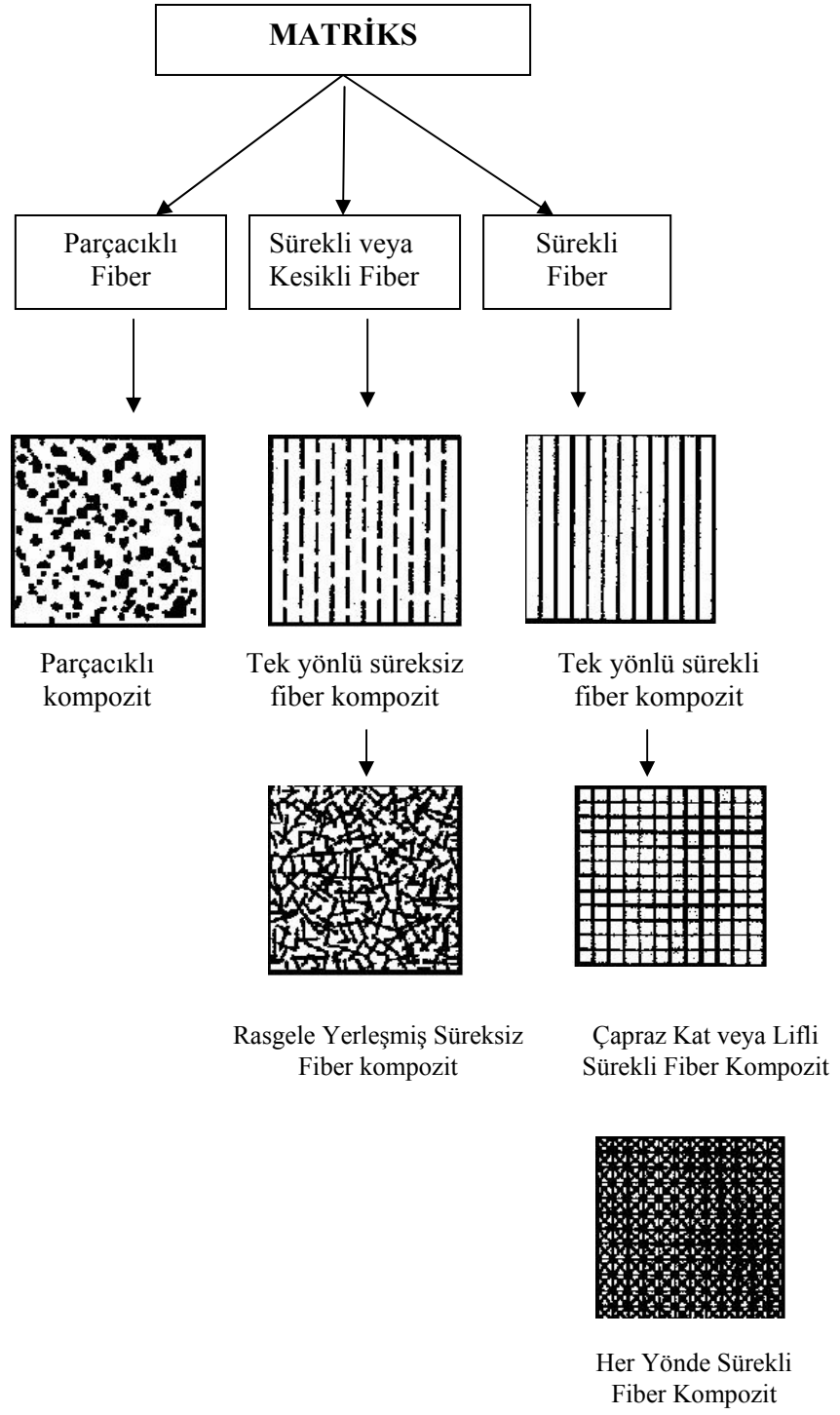
Cam Matriksler: Cam ve cam-seramik kompozitler kendilerine taşıyıcı görevi yapan fiberlerden daha düşük elastisite modülüne sahiptirler. Karbon ve metal oksit fiberler genellikle cam matriksli kompozitlere taşıyıcı görevi yaparlar. Cam ve seramik matriksli kompozit malzemelerin en önemli özellikleri mukavemetleri ve yüksek servis sıcaklıklarıdır. Cam matriksli kompozit malzemelerin ilk kullanım alanları ısı direnç gerektiren makine parçaları ve elektriksel bileşenlerdir.

Seramik Matriksler: Genel itibariyle gevreklerdir. Yüksek sıcaklık istenen uygulamalarda karbon, seramik, metal ve cam fiberlerle birlikte kullanılırlar.

Polimer Matriksler: Ucuz olduklarından en çok kullanılan matriks türüdür. Doğal olarak kehribar, zift ve reçine şeklinde bulunurlar. Polimerlerin proses kolaylığı ve iyi nem tutabilme gibi avantajları vardır. Düşük yoğunluklu malzemeler olup tipik polimer matriksler zaman, sıcaklık ve nem etkisine bağlı olarak viskoelastik ve viskoplastik davranış gösterirler.

Kompozit Malzemelerin Türleri ve Sınıflandırılması:

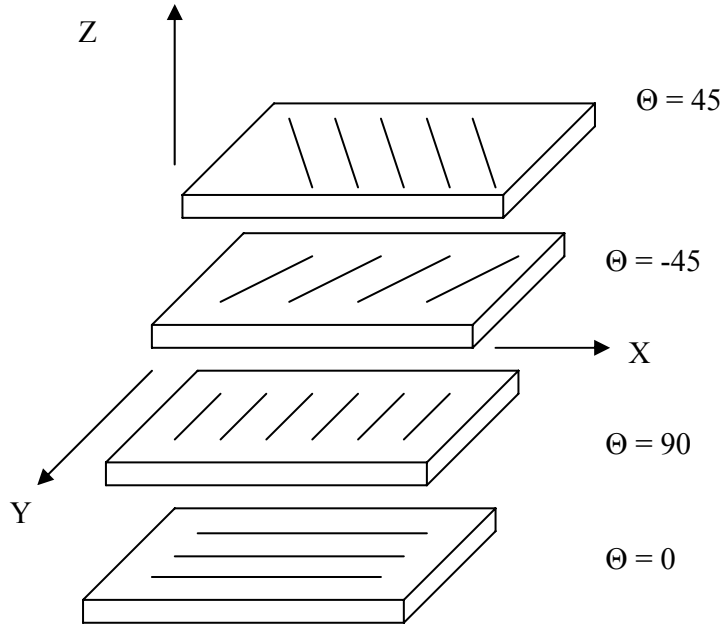
Kompozit malzemeler kendisini oluşturan fiberin ve matriksin türüne, geometrisine ve fiberin oryantasyonuna bağlı olarak üçe ayrılırlar (Şekil 1.1.2.1). Burada fiber türlerine göre parçacıklı fiber, sürekli veya kesikli fiber ve sürekli fiber olarak adlandırılır.



Şekil 1.1.2.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

1.2 Tabakalı Kompozitler

Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Levhalar istiflendikten sonra sıcaklık ve basınç altında preslenirler. Birçok tabakalı kompozit mevcuttur. Bunlardan bazıları; metal-matriks kompozit (MMK), karbon matriks-karbon fiber kompozit (KKK), seramik matriksli kompozit (SMK), titanyum matriksli kompozit (TMK) gibidir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler. Şekil de farklı fiber açlarına sahip tabakaların birleştirilmesi görülmektedir.



Şekil 1.2.1 Birleştirilmemiş (45/-45/90/0) fiber açılı tabakalar

Şekil 1.2.1 ' de birleştirilmemiş farklı fiber açlarındaki (45/-45/90/0) plakalar görülmektedir.

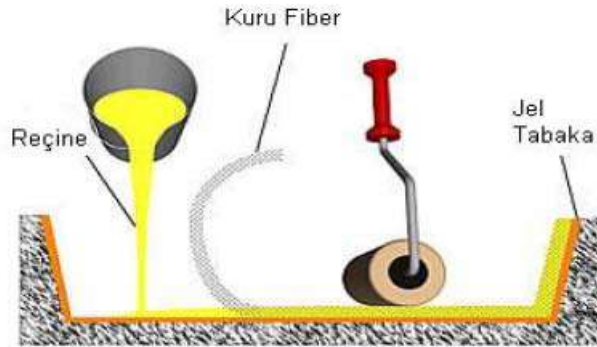
1.3 Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemelerin üretim methodları aşağıda verildiği gibidir. Bu yöntemlerden en yaygın olanı el ile yayma methodu olduğu için sadece bunun üzerinde durulacaktır.

- El ile yayma methodu
- Otoklav methodu (prepreg methodu)
- Vakum altında şekillendirme
- Hazır kalıplama
- Reçine transfer kalıplama
- Püskürtme yöntemi
- İplik sarma methodu
- Profil çekme (Pultruzyon)
- Preslenebilir takviyeli termoplastik

1.3.1 El ile Yayma Methodu :

Fiberler hazırlanmış olan kalıp üzerine elle yatırılarak üzerine sıvı reçine emdirilir. Fiber yatırılmadan önce kalıp temizlenerek jelkot sürülür. Jelkot yapışmayı engelleme amaçlı kullanılan bir maddedir. Yarı şeffaf, jöle gibidir. Kalıba mek (sertleştirici) ve kobalt ile karıştırıldıktan sonra sürülür, isteğe göre renk pigmenti eklenir. Jelkot sertleştikten sonra fiber katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için en son sürülür. Bu işlemden elyaf kumaşına reçinenin iyi nüfuz etmesi önemlidir. El ile yayma tekniği en çok fiberglastan üretilen kompozit parçalar için kullanılır. El ile yayma yoğun işçilik gerektirmesine rağmen düşük sayıdaki üretimler için çok uygundur.



Şekil 1.3.1.1 El ile yayma methodu

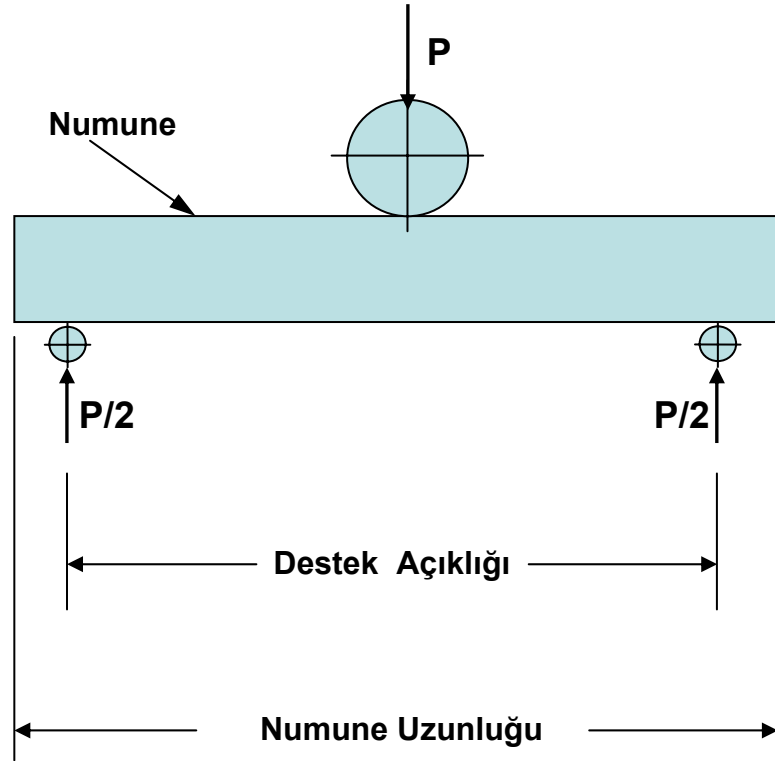
BÖLÜM İKİ

2. KOMPOZİT NUMUNELERDE KAYMA GERİLMESİ TESTLERİ İÇİN ASTM STANDARTLARI

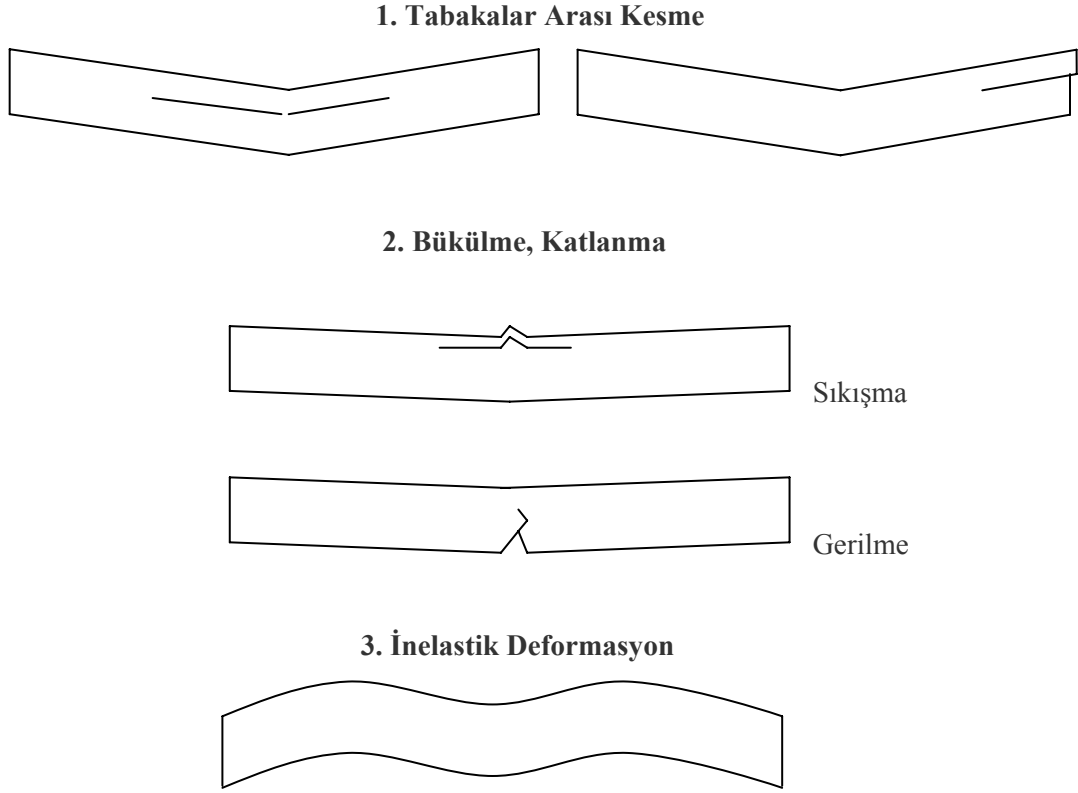
ASTM, açılımı ‘american standards for testing material’ şeklinde olan amerikan standartları kurumudur. Kompozit malzemelerde kayma gerilmesi test metodları bu ASTM standartlarına uygun olarak yapılmaktadır. Bu standart metodlardan bazıları şunlardır :

2.1 (ASTM D 2344) Polimer Matریksli Kompozitler ve Onların Tabakalarının Kısa kiriş Metoduyla Kayma Özelliklerinin Tespiti

Bu test metodu, yüksek elastisite modülüne sahip elyaflar kullanılarak takviyelendirilmiş kompozit malzemelerin kısa-kiriş kayma dayanımlarının tespit edilmesi için kullanılır. Kısa kiriş test numuneleri merkez noktasından şekilde gösterildiği gibi yüklenir. Numune yanal harekete izin veren destekler üzerine yerleştirilir. Yük, yükleme ucu vasıtasıyla doğrudan test numunesinin merkezine uygulanır. Bu test metodunda numune eğimli veya düz plaka olabilir



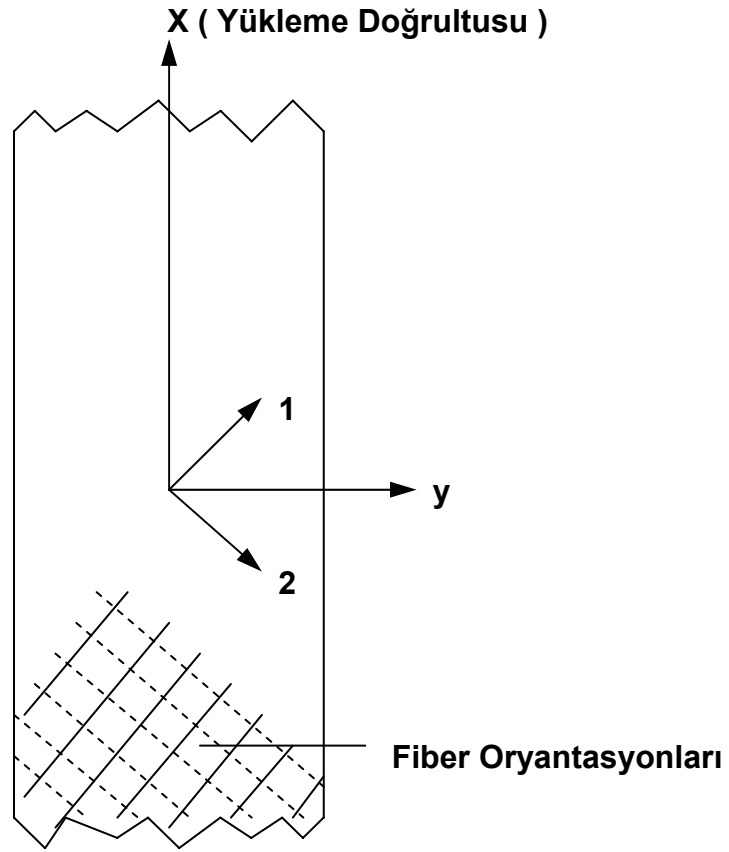
Şekil 2.1.1 ASTM D 2344 Test Düzeni



Şekil 2.1.2 Kısa Kiriş Testinde Hata Modları

2.2 (ASTM D 3518) $\pm 45^\circ$ lik Tabakalardan Elde Edilmiş Polimer Matriksli Kompozitlerin Kayma Özelliklerinin Tespiti

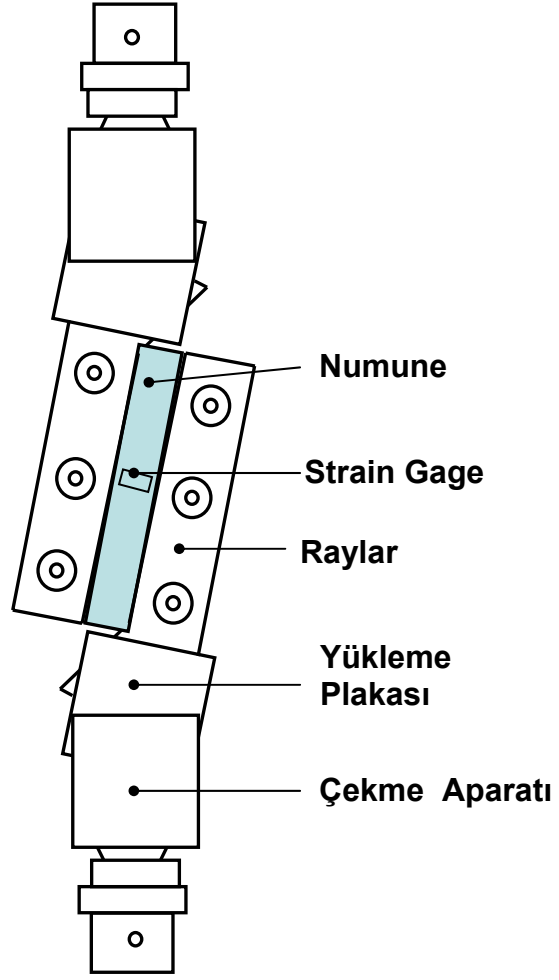
Bu test metodu, yüksek elastisite modülüne sahip elyaflar ile takviyelendirilmiş polimer matriksli kompozitlerin düzlem kayma özelliklerinin tespitinde kullanılır. Kompozitler $\pm 45^\circ$ lik elyaflar ile takviyelendirilmiş olup x yönünde yüklemeye maruz bırakılır. Tabakalı plaka teorisinden türetilmiş ifadeleri kullanarak, malzemenin koordinat sistemindeki tabaka içi kayma gerilmesi direk olarak uygulanan eksenel yükten hesaplanır ve onla ilişkili kayma gerilmeleri, transdüzerlerden alınan boyuna ve enine normal gerilme datalarından hesap edilir.



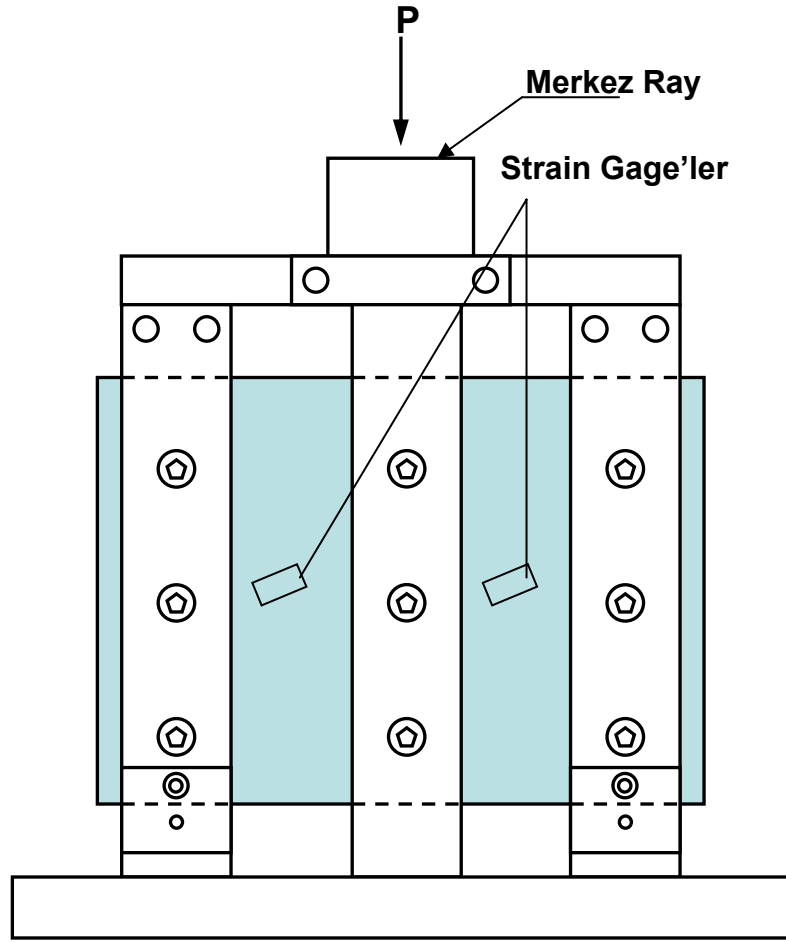
Şekil 2.2.1 D 3518 Numunesi ve Malzeme Eksenleri

2.3 (ASTM D 4255) Polimer Matriksli Kompozitlerin Ray Sistemi Metoduyla Kayma Özelliklerinin Tespiti

Bu test metodu yüksek elastisite modülüne sahip fiber takviyeli kompozit malzemelerin iki farklı prosedür ile belirlenmesini sağlar. Prosedür A ' da iki çift yük uygulayan rayın arasına sıkıştırılan tabakalar test edilir. Kuvvet uygulandığı zaman raylar numune kesitinde kayma kuvvetleri oluşturur. Prosedür B 'de tabakalar, çeki veya bası kuvveti uygulanabilen, karşılıklı kenarları olan üç çift rayın merkezinde olacak şekilde sıkıştırılır ve test edilir. Bu test metodunun uygulanması fiber takviyeli polimer matriksli kompozitlerin sürekli veya süreksiz malzeme formlarına göre değişiklik gösterir.



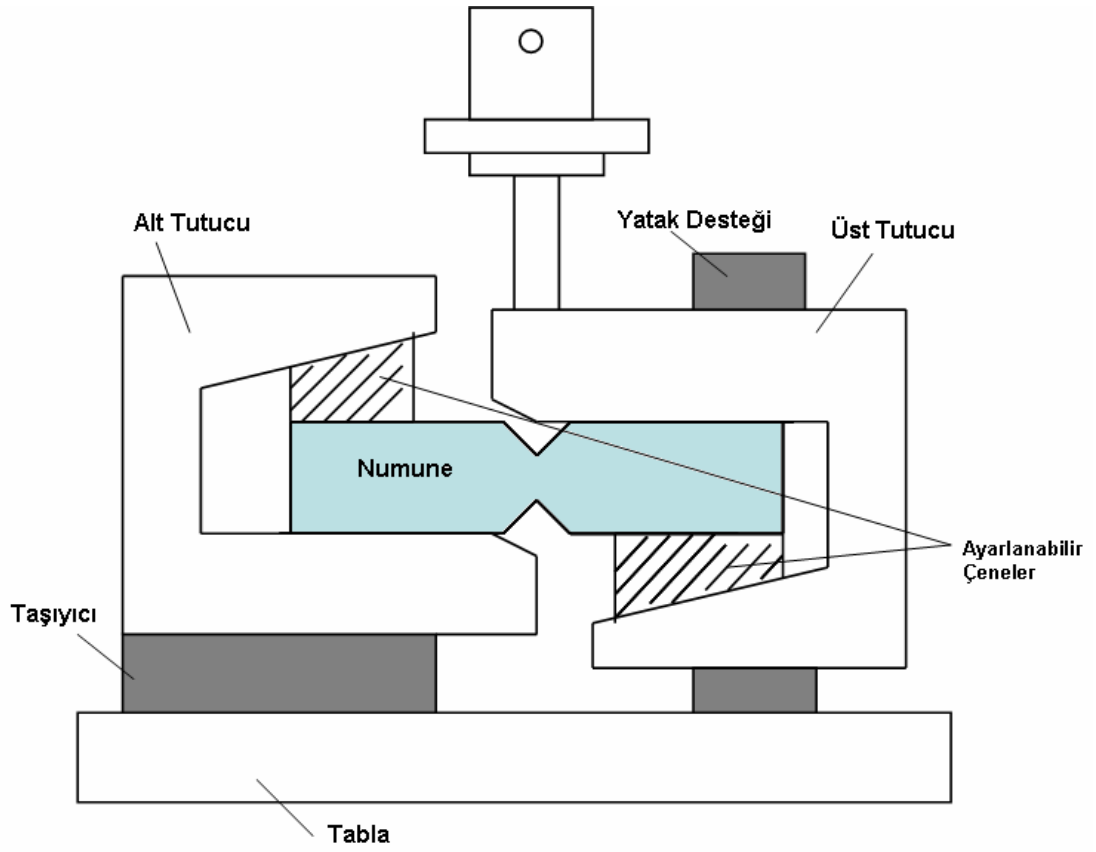
Şekil 2.3.1 İkili Ray Sistemi Test Düzenneđi



Şekil 2.3.2 Üçlü Ray Sistemi Test Düzeneği

2.4 (ASTM D 5379) V – Çentikli Kiriş ile Kompozit Malzemelerin Kayma Özelliklerinin Tespiti

Bu test metodu, yüksek elastisite modülüne sahip elyaf ile takviyelendirilmiş kompozitlerin kayma özelliklerinin tespitinde kullanılır. Tabakalı kompozitlerin sadece elyaf doğrultusunda değil doğrultuya paralel yönlerde de düşey olarak yüklenmeleri söz konusudur. Bu test metodu elyafların hem 0° hem de 90° ' lik oryantasyona sahip kompozitlerin kayma özelliklerinin tespitinde kullanılır. Kırpıklı elyafların hem düzenli hem de düzensiz dizilmeleri ile elde edilmiş kompozitlerin kayma özelliklerinin tespitinde de kullanılabilir.



Şekil 2.4.1 Iosipescu Metodu Test Düzeneği

BÖLÜM ÜÇ

3. (ASTM D 7078) V – ÇENTİKLİ NUMUNELERİN KAYMA ÖZELLİKLERİNİN TESPİTİNDE KULLANILAN APARAT VE NUMUNE

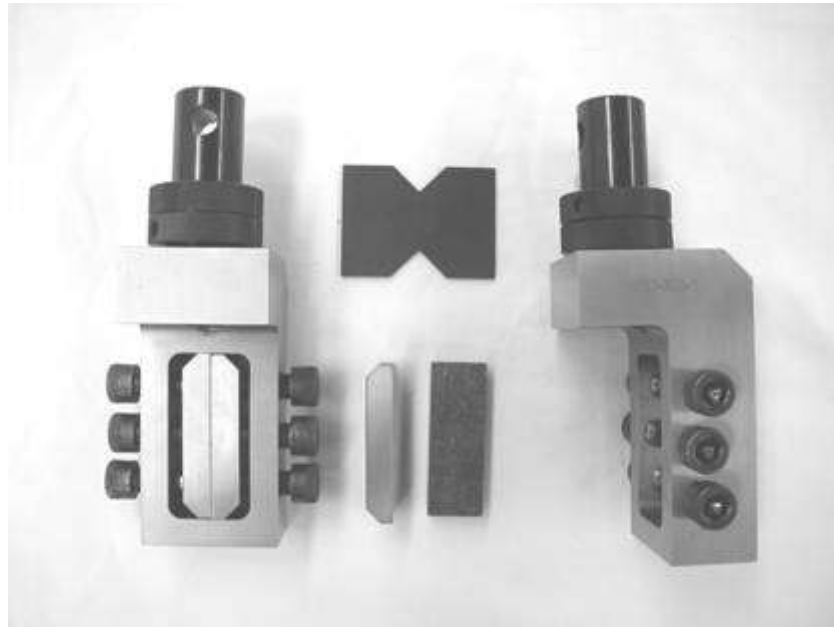
3.1 V- ÇENTİKLİ KAYMA TESTİ APARATININ TANITIMI

Bu test metodu , yüksek elastisite modülüne sahip fiber takviyeli kompozitlerin kayma özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. V- çentikli numune bir çift yükleme aparatıyla yüklenir. Çekme doğrultusunda yük uygulandığında, aparatlar numune yüzeylerinde kayma kuvvetleri oluşturur.

ASTM D 5379 (Losipescu) standardının bundan farkı alt ve üst kenarlardan yük uygulanmasıydı. V- çentikli test aparatında ise yük, tutucu plakaların bastırdığı numune

yüzeylerine paralel olarak uygulanır. Bu durum daha büyük kayma kuvvetleri uygulanabilmesini sağlar. Bunun yanında şu an kullanılan test metodu , numuneyi ASTM D 5379 test metodundaki V- çentikli numuneye göre , numuneyi daha geniş bir ölçü alanıyla kullanılmasını sağlar. Her iki test metodunda da, V- çentikli numune kullanımı ölçüm bölgesini genişletir. Kayma gerilmeleri tutucu plakaların bastırıldığı yüzeylerdeki kuvvetlerle bağlantılıdır. Bu şekilde hasar bölgesi V- çentikli olmayan numunelere göre daha uniform bir yapıda olmaktadır.

ASTM D 4255 (ray sistemleri) standart metodunun farkı ise V- çentiksiz numunenin bir çift rayın arasına civatalarla sıkıştırılarak yüklenme yapılmasıydı. Şu an kullanılan metodun ray sistemine göre en önemli avantajı numunenin delinmek zorunda olmamasıdır. Sonuçta ASTM D 7078 metodu bu iki eski metodun iyi yönlerini birleştirerek daha gerçekçi kayma özellikleri tespiti sağlamaktadır.



Şekil 3.1.1 Wyoming Firmasının Ürettiği Kayma Testi Elemanlarının Genel Görüntüsü

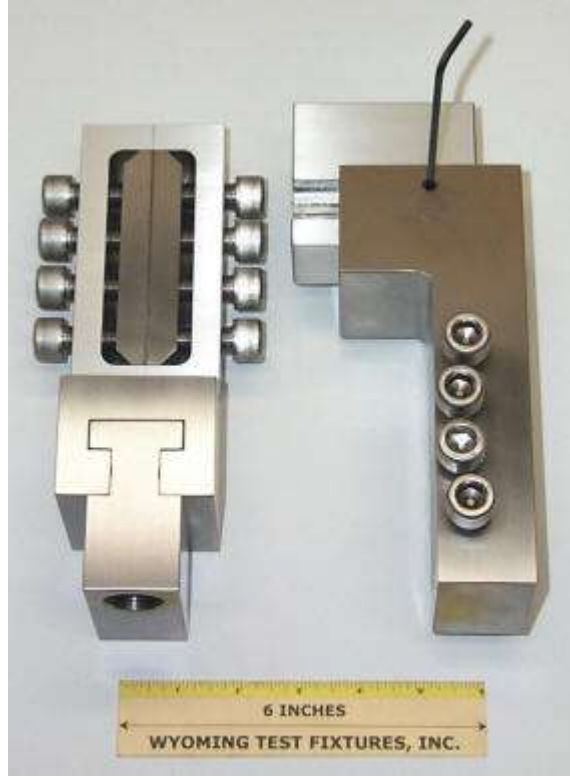
Şekilde gösterildiği gibi yüzeylerine tırtır açılmış tutucu plakalar deliklere açılmış vidalar aracılığıyla numuneye doğru baskı yapmaktadırlar. Bu da numuneye delik açma ihtiyacını gidermekte ve yüksek oranda kayma yüklerinin uygulanmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.1.2 V -Çentikli Aparatın Başka Bir Görünüşü

Şekilde tutucu plakaların montaj edilmiş hali görülmektedir. Burada soldaki kısma dikkat edildiği zaman parçaya kanal açıldığı görülmektedir. Bu kanal numune üst tutucuya yerleştirildikten sonra alt tutucunun hareketi sonrası numunenin bu kanaldan geçerek alt tutucuya yerleştirilme kolaylığını sağlamaktadır.

Bu tür aparatlardan başka özel yapıdaki aparatlar tasarlanmış ve imal edilmişlerdir. Şekil 3.1.3 de özel olarak tasarlanmış ray aralığı genişliği ayarlanabilen bir aparat görülmektedir.



Şekil 3.1.3 Ray Genişliği Değişebilen Test Numuneleri İçin Özel Genişlik Ayarlı Test Aparatı

3.2 V – ÇENTİKLİ APARATIN TASARIMI VE İMALATI

3.2.1 APARATIN TASARIMINDA DİKKAT EDİLEN HUSUSLAR

V çentikli kayma test aparatı kompozit malzemelerin kayma gerilmelerini, ASTM D 7078 standardına uygun, çentikli test numuneler ile deneyler yapılmak üzere tasarlanmıştır. Numuneler V şeklinde çentikli oldukları için isimleri V- çentikli test aparatı olarak geçmektedir.

Aparat standart Losipescu kayma testi ve Two – Rail kayma test metotlarının eksik özellikleri görülerek bunların giderilmesi amaçla üretilmiştir. Wyoming ve Utah üniversitelerinde yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkmıştır. Bu projede ise bu çalışma göz önünde alınarak aparatın üretimi yapılmış ve standartlara uygun olarak hazırlanmış numunelerle testler yapılmıştır.

Test aparatı standart aparatın beraberinde getirdiği konstrüktif problemler minimize edilecek şekilde yeniden tasarlanmıştır. Tasarım ve modelleme, Solidworks 2006

programında yapılmıştır. Aparatın dış ölçüleri Wyoming Test Fixtures sitesindeki ölçekli modellere ve minimum maliyet getirmesi göz önünde bulundurularak tespit edilmiştir. Aparat iç ölçüleri ise ASTM D 7078 standardındaki numune ve aparat iç boyutları göz önünde bulundurularak standarda uygun biçimde verilmiştir.

Tasarım sırasında en önemli nokta olarak alt tutucu ve üst tutucudaki dişli millerin eksenlerinin çakışık olmasına dikkat edilmiştir. Bu aynı zamanda oluşan momenti azaltmakta ve aparatta oluşan deformasyon azalmaktadır.

Önemli olan durumlardan bir diğeri ise civataların merkezlerinin aynı hizada olmamasıdır. Bunun sebebi tutucu plakalara bastıran civataların tutucu plakalara ve dolayısıyla numunenin 21 mm'lik kısmına eşit miktarda baskı yapabilmesini sağlamaktır. Bu yüzden civata delikleri simetrik ve ortadaki civata diğerlerine göre 5 mm daha yukarıya açıldı. Ayrıca her civata açılmış delik karşısındaki civata deliğiyle aynı eksenli olmasına dikkat edildi. Aksi halde sıkma sonucu oluşan momentten dolayı tutucu plakaların dönmesi ve analizin başarısız olmasına sebep olmaktadır.

Test sırasında kuvvet doğrultularının numuneye geçtiği yer numune yüzeyleri olduğu için bu bölgede tutucu plakaların numune yüzeyine çok iyi bastırması gerekmektedir. Bu sebeple tutucu plakaların numune ile temas ettiği yüzeylere önem verilmektedir. Deney esnasında numune kayma olmadan kesme kuvvetiyle kesilmesi gerekmektedir. Kaymaya bağlı olan bu durumu engellemek için plaka yüzeylerinin dönmeye karşı oldukça yüksek bir sürtünmeye sahip olması gerekmektedir. Standart aparatta sürtünmeyi artırmak için yüzeyler tungsten karbür ile kaplanmıştır. Bizim üretimimiz olan tutucu plakalarda ise bu durum tutucu plaka yüzeyinin numuneyle temas eden kısmının tamamına tırtır çekilerek engellenmiştir.

Aparatın test cihazına bağlanan mil kısımları, konik pimler, kontra somunlar ve civatalar üretimi yapılmadan kompozit araştırma laboratuvarından temin edilmiştir. Aparat test cihazına mil kısımlarından pimlerle bağlanmaktadır. Millere tutuculara takıldığı yerlere ve hemen sonraki bölümlerine de diş açılmıştır. Bu kısma da milin çözülmesini engellemek için kontra somun üretilmiş ve takılmıştır. Somun dış yüzeyi sıkılırken kayma yapmaması için tırtık çekilmiştir.

Standartta da görüldüğü üzere gerekli bölgelere yuvarlatmalar verilerek çentik etkisi azaltılmalıdır. Bunun etkisinin en önemli olduğu bölge tutucuların yatay ve düşey kısımlarının birleştiği bölgelerdir.

3.2.2 APARATIN TASARIMI

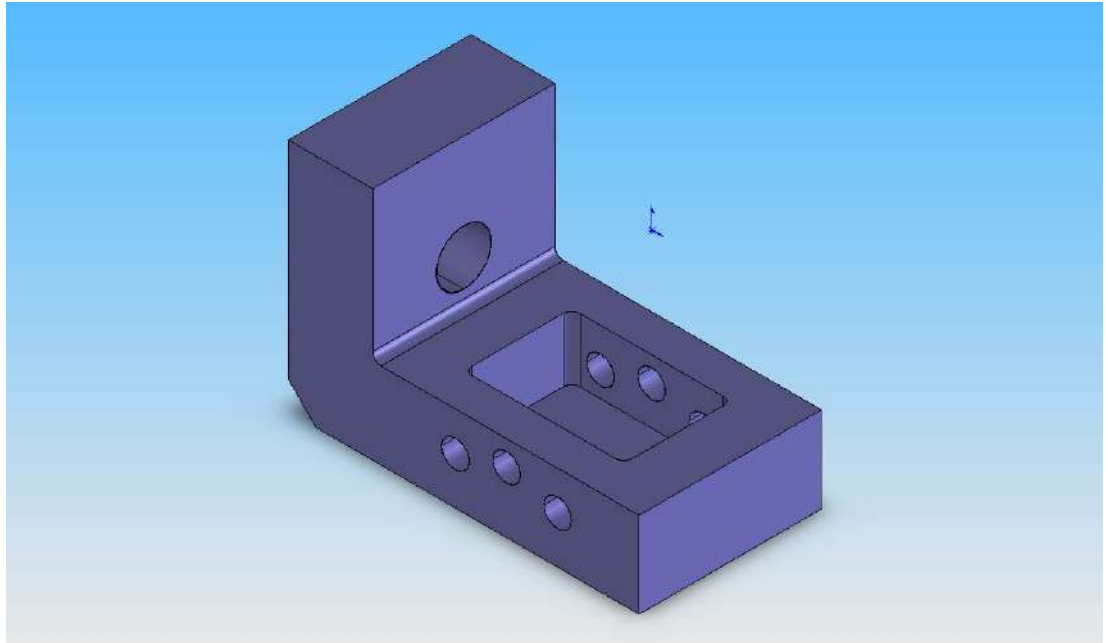
Aparat toplam olarak yirmi dört adet parçadan oluşmaktadır ve bu parçalar SOLIDWORKS programında katı modelleme tekniğiyle modellenmiştir.

PARÇA ADI	PARÇA ADEDİ
Alt Tutucu Parça	1
Üst Tutucu Parça	1
Kademeli Dişli Mil	2
Kontra Somunlar	4
Tutucu Plakalar	4
Cıvatalar (M10)	12

Tablo 3.2.2.1 Aparatı Oluşturan Parçaların Listesi

Alt ve Üst Tutucu Parçalar;

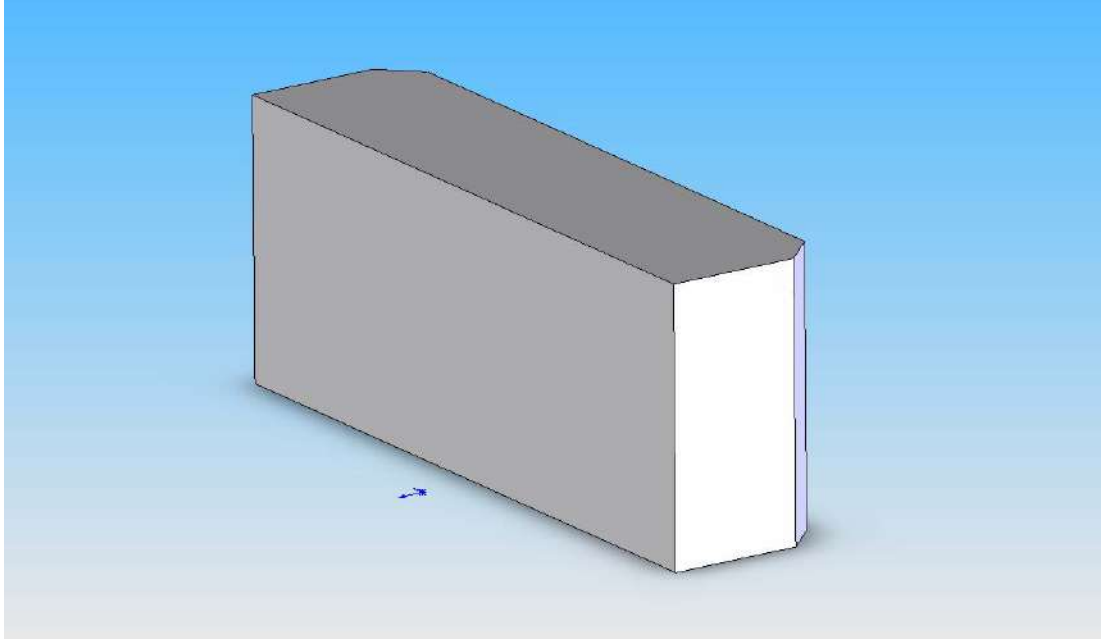
Alt ve üst tutucu parçalar birbirinin aynısıdır. Bu parçalar numunenin, test sırasında kaymadan tutunabilmesi için yeniden tasarlanmıştır. Açık olan kısımlar kapatılmıştır. Cıvata delikleri yukarı kaydırılmıştır ve maliyet açısından alt kısım et kalınlığı 10 mm azaltılmıştır. Alt ve üst tutucu parçalara millerin takıldığı bölgelere M20*1.5'lik diş açılmıştır.



Şekil 3.2.2.1 Alt ve Üst Tutucu Parça

Tutucu Plakalar:

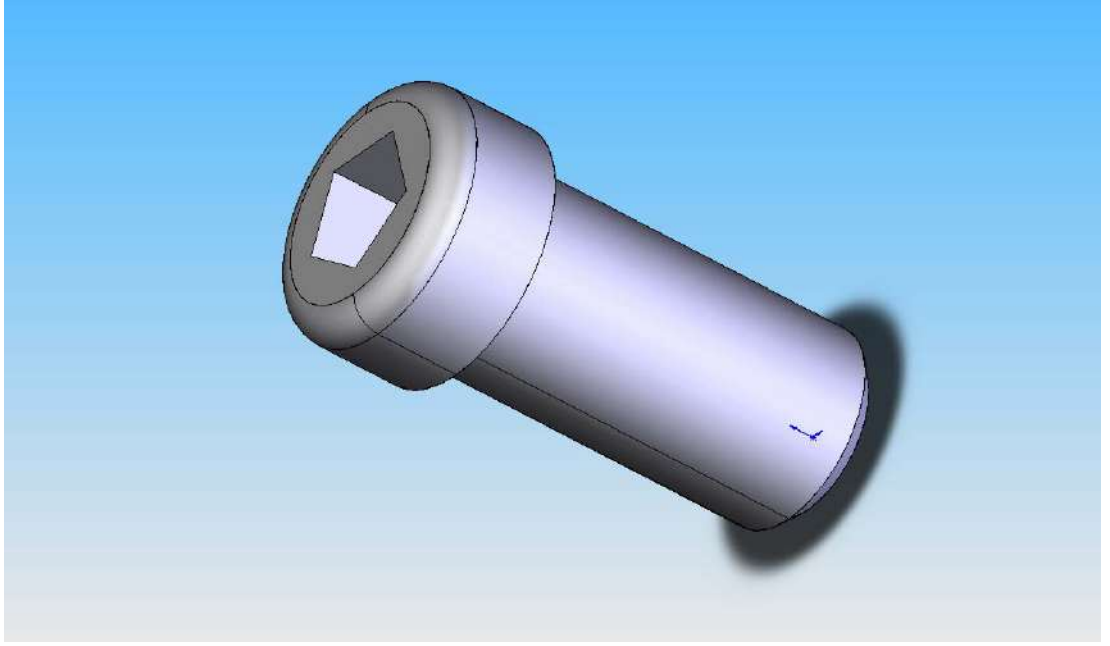
Tutucu palakalar ölçüleri yapılan değişikliklere göre yeniden düzenlenmiş ve modellenmiştir.



Şekil 3.2.2.2 Tutucu Plaka

Civatalar:

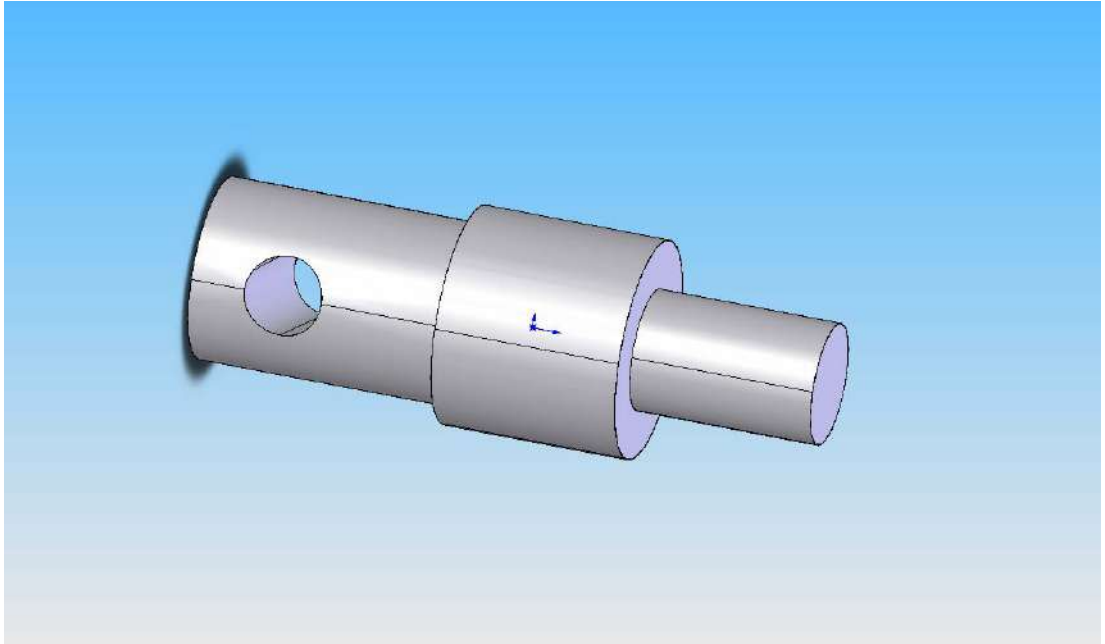
Projede alyan başlı çelik civatalar kullanılmıştır.



Şekil 3.2.2.3 M10 Civata

Kademeli Miller:

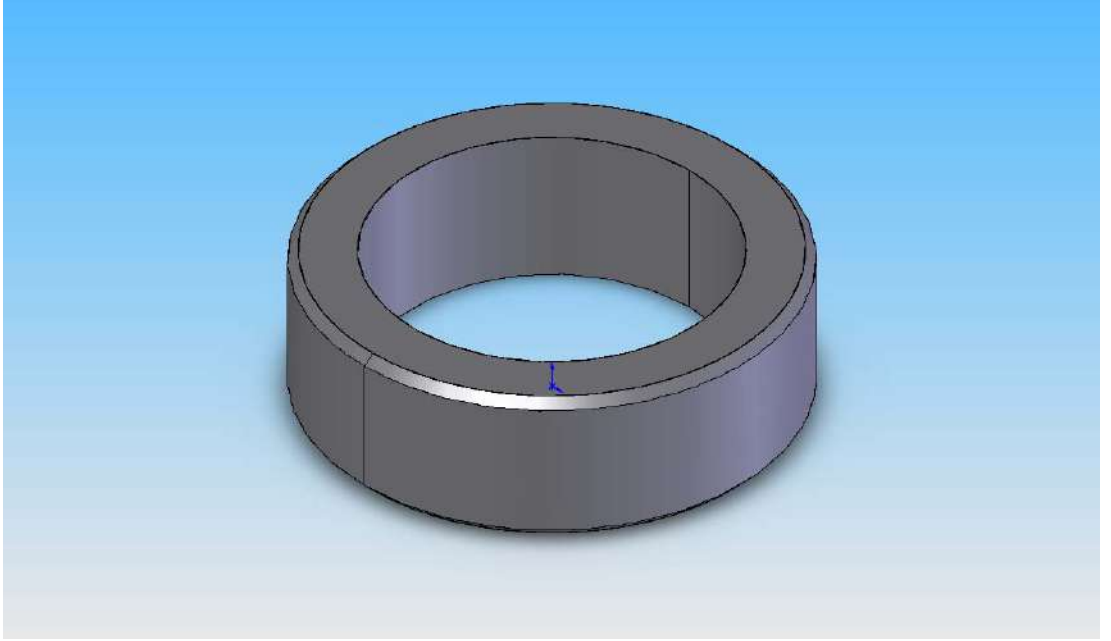
Kademeli millerde çekme cihazına bağlamak için pim delikleri vardır. Mil üzerinde kontra somunların ve tutucu parçaların takıldığı yüzeylere diş açılmıştır.



Şekil 3.2.2.4 Kademeli Mil

Kontra Somunlar:

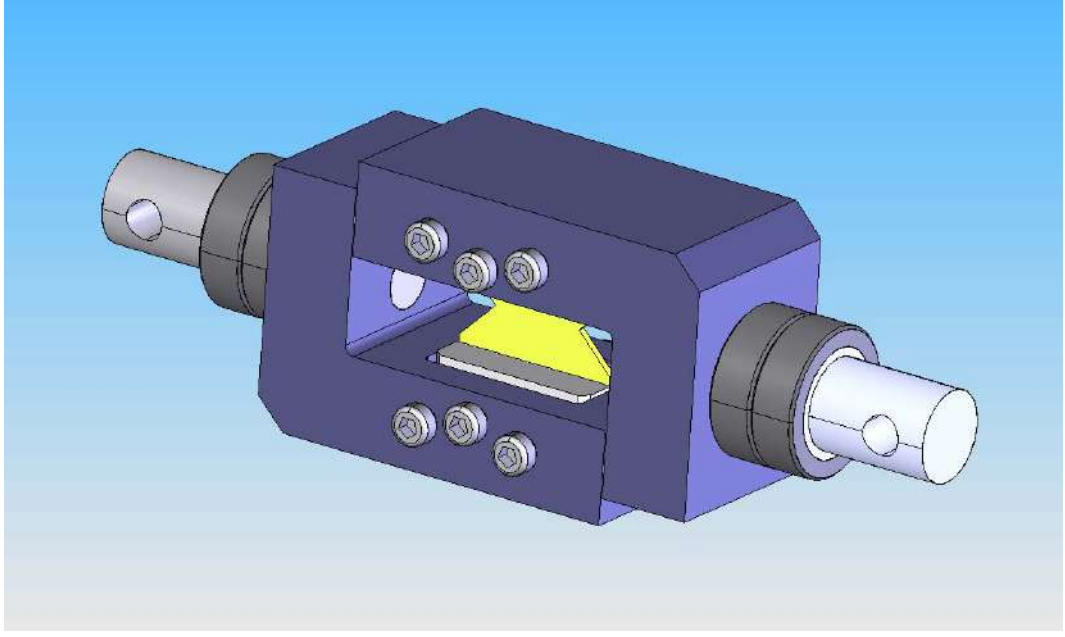
Aparatın eksenel yönde sabitlenmesi amacıyla tasarlanmışlardır, dış yüzeyleri montaj kolaylığı açısından pürüzlüdür.



Şekil 3.2.2.5 Kontra Somun

Montaj:

Parçalar SOLİDWORKS programının assembly modunda montajlanmış ve genel görünüm elde edilmiştir.



Şekil 3.2.2.6 V- Çentikli Test Aparatı Montaj Görünümü

3.2.3 APARATIN ÜRETİMİ VE MONTAJI

V- çentikli test aparatının parçaları çizilen teknik resimler kullanılarak talaşlı imalat yöntemiyle üretilmişlerdir. Parçaların hepsi birbirinin aynısıdır çünkü simetrik bir yükleme istediğimiz için simetrik bir montaj olması gerekmektedir. Kullanılan malzeme civataları sıkarken oluşabilecek ön gerilme kuvvetlerine karşı dayanıklı olmalıdır. Çünkü oluşan tepki kuvvetleri parçayı dışa doğru açabilir ve aparatta çarpılmalar meydana gelebilir. Bu durum testlere etki edebilir. Plakaların civata baskısına maruz kalan yüzeyleri ezilmeye karşı dayanıklı olmalıdır.



Şekil 3.2.3.1 Parçanın Birleştirilmiş Genel Görünüşü

Aparatın parçalarının malzeme olarak AISI E 8620 kullanılmıştır. AISI E 8620 , dişliler, ekzantrik milleri, bağlayıcılar , zincirler ve pimler gibi orta dayanımlı elemanlarda kullanılan alaşımlı bir çeliktir.

Mekanik Özellikleri Şu şekildedir:

Sertlik, Brinell	149	
Sertlik, Knoop	169	
Sertlik, Rockwell B	80.0	
Sertlik, Vickers	155	
Çekme Gerilmesi,	530 MPa	
Kırılma Uzaması	31.0 %	50 mm de
Elastisite Modülü	205 GPa	
Bulk Modulus	140 GPa	
Poisson Oranı	0.290	Hesaplanmış
Kayma Modülü	80.0 GPa	

Tablo 3.2.3.1 AISI E 8620 Çeliğin Mekanik Özellikleri

Malzeme Bileşenleri:

KarbonCarbon, C	0.180 - 0.230 %
Krom, Cr	0.400 - 0.600 %
Demir, Fe	96.9 - 98.02 %
Manganez, Mn	0.700 - 0.900 %
Molibden, Mo	0.150 - 0.250 %
Nikel, Ni	0.400 - 0.700 %
Fosfor, P	<= 0.0350 %
Silikon, Si	0.150 - 0.350 %
Sülfür, S	<= 0.0400 %

Tablo 3.2.3.2 AISI E 8620 Çeliğin Malzeme Bileşenleri

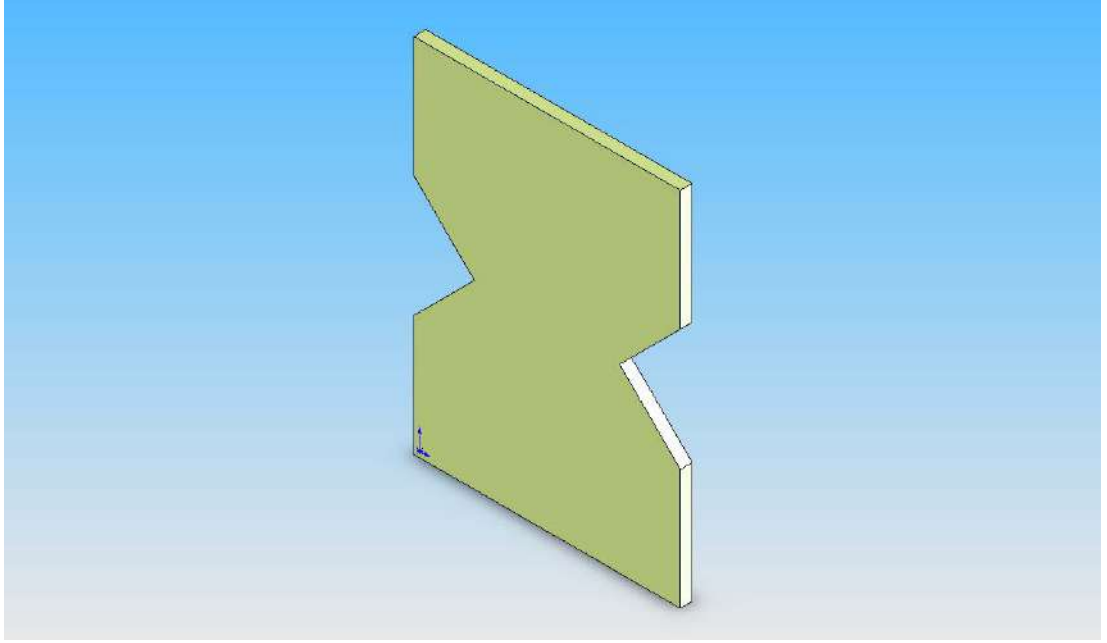
Üretimi yapılan aparatta civata olarak standart alyan başlı civatalar kullanılmıştır. Civatalar M10 olup 8.8 kalitesindedir. Aynı şekilde miller kademeli olup kademe kısmına kadar diş açılmıştır. Kademeli kısımda ise kontra somunların genişliği kadar M36*1.5'lik dişler açılmıştır.

Önceden belirtildiği gibi parçalar freze ve torna tezgâhlarında üretilmişlerdir. Kademeli dişli miller, kontra somunlar yatay torna tezgâhında üretilmişlerdir. Alt ve üst tutucu parçalar ve tutucu plakalar dik freze tezgâhlarında üretilmişlerdir.

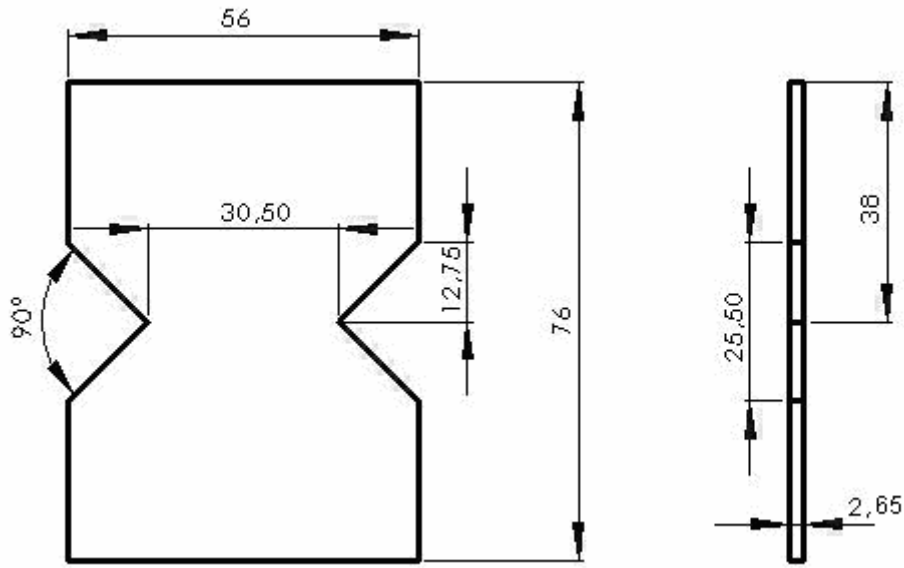
Parçalar üretildikten sonra yüzey sertleştirilmesi yapmak ve pas oluşumunu önlemek için ısıtıl işlem uygulanmıştır. Isıtıl işlem sonucunda şekil de görüldüğü gibi yüzeylerde siyahlaşma görülmüştür.

3.2.4 NUMUNENİN ÜRETİMİ VE MONTAJI

ASTM D7078 standardına göre numune 76 mm uzunluğunda (Losipescu'nun standart numunesiyle aynı) fakat genişliği 20 mm olan Losipescu numunesinden farklı olarak 56mm dir. Bu yüzden daha büyük kesit alanı oluşmaktadır.



Şekil 3.2.4.1 V- Çentikli Numune



Şekil 3.2.4.2 V- Çentikli Numune Boyutları

Numune imalatı okulumuzun takım tezgahları laboratuvarında yapılmıştır. Numunelerimiz, 8 tabakalı cam elyafı takviyeli kompozit plakalardır. Birleştirici eleman olarak epoksi kullanılmıştır.

Genel Karakteristikler:

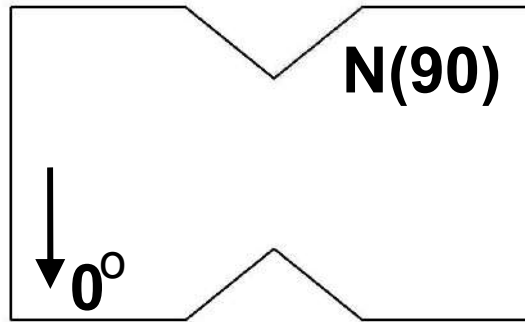
	Çap (mm)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Modül (GPa)	Çekme Gerilmesi (GPa)	Kopma Uzaması (%)	Isıl Genleşme (10 ⁻⁶ 1/C°)
Eglass(Camlifi)	10	2,54	72	3,45	4.8	5

Tablo 3.2.4.1 Eglass (cam lifi) Genel Karakteristikleri

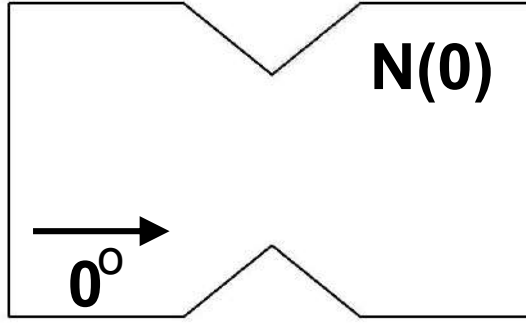
	Yoğunluk (gr/cm ³)	Modül (GPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Akma Gerilmesi (MPa)	Modül/Ağırlık 10 ⁶ (m)	Çekme Mukaveti/Ağırlık 10 ³ (m)
Eglass Fiber - Epoksi	1.85	39	965	Ø	2.164.8	53.2

Tablo 3.2.4.2 Eglass Fiber – Epoksi Genel Karakteristikleri

Numunelerimiz fiber oryantasyon açısı olarak 90° ve 0° derecelik olmak üzere 2 tipte hazırlanmıştır ve ayrı ayrı test edilmiştir.



Şekil 3.2.4.3 90°'lik Fiber Açısına Sahip Numune



Şekil 3.2.4.4 0° 'lik Fiber Açısına Sahip Numune

Numunenin her iki ucundan 21 mm'lik kısımları aparat tarafından sıkıştırılmaktadır. Böylece çentikli kısım hariç alt ve üst kısımlar aparatların içinde kalmaktadır. Numuneyi aparata yerleştirirken herhangi bir moment oluşmaması için merkezlemeye önem vermek gerekir. Hem düşeyde hemde yatayda tam bir merkezleme olması için civatalar eşit miktarda sıkılmalı ve numune çentiği ile mil merkezlerinin eksenlerinin çakışık olması gerekmektedir. Bunun için imal edilmiş olan merkezleme aparatları mevcuttur. Eksen kontrolü ,ucuna bir kütle asılı olan bir ip yardımıyla yapılmıştır.



Şekil 3.2.4.5 Montajı Yapılmış Test aparatı ve Numune

BÖLÜM DÖRT

4. ÇEKME CİHAZINDA KAYMA GERİLMESİ VE KAYMA MODULU TESTLERİ

4.1 KAYMA GERİLMESİ TESTİ

Kayma gerilmesi aparatı ve numuneler imal edildikten sonra okulumuzun mekanik laboratuvarındaki çekme test cihazında , kayma gerilmelerini bulmak için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneye başlamadan önce V- çentikli test numuneleri baştan ve sondan 21 mm olacak şekilde markalanmıştır.

4.1.1 DENEY DÜZENEGİNİN AYARLANMASI

İlk önce alt tutucu parçaya numune, plakaların arasına 21 mm çizgisine denk gelecek şekilde takılarak civatalar sıkılmıştır. Daha sonra alt ve üst tutucular cihazın üst çenesine pimlerle takılmıştır. Numune bu konumundayken alt çene yukarı-aşağı doğru hareket ettirilerek üst aparata da girmesi sağlanır. Ardından üst tutucunun civataları sıkılarak numune kayma gerilmesi aparatına dolayısıyla çekme test cihazına tesbit edilmiş olur.



Şekil 4.1.1.1 Aparatın bağlanması ve çekme test cihazının genel görünüşü

Numunede markalanan yerler merkezlemeyi doğru sağlayacak şekilde ayarlandığına dikkat edilmelidir. Buna ek olarak çentik eksenleriyle mil eksenlerinin çakışıp çakışmadığı da kontrol edilmelidir. Bununla beraber dişlerin kesilmemesi ve numunenin ezilmemesi için civatalar aşırı sıkılmamalıdır.

4.1.2 DENEYİN YAPILIŞI

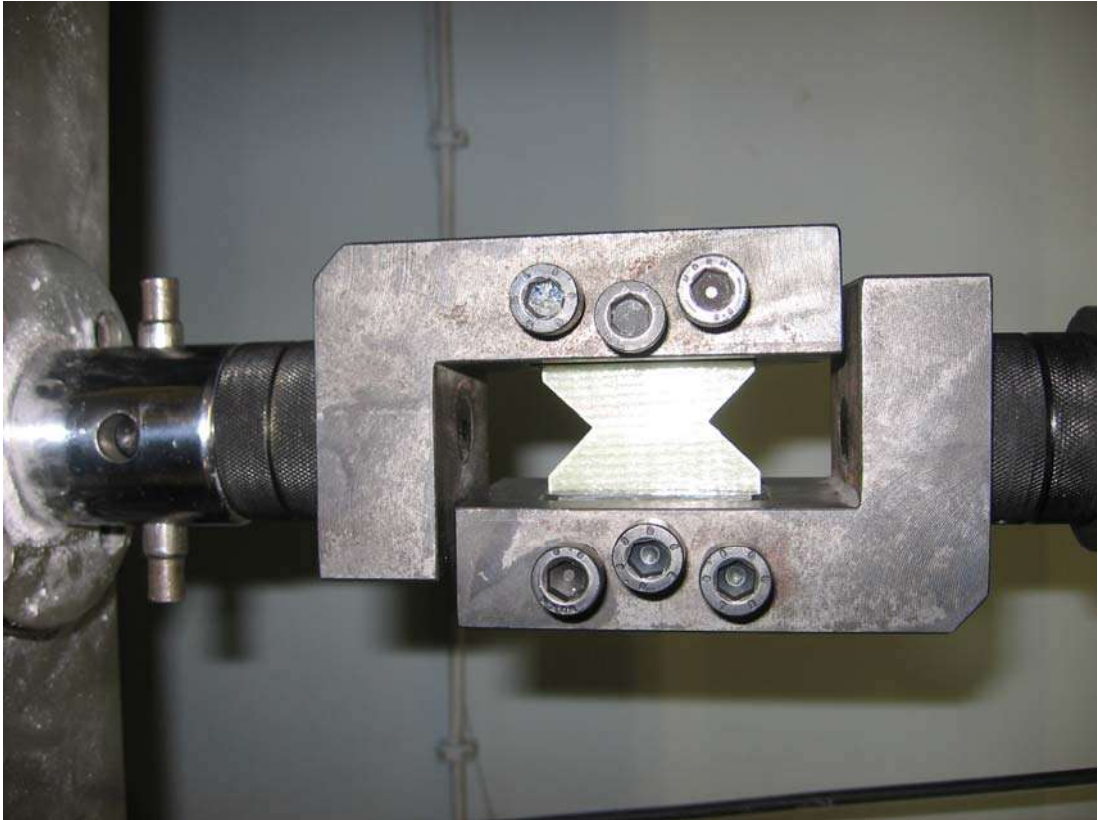
Gerekli ayarlar yapıldıktan sonra cihaz çalıştırılır ve teste başlanır. Cihazın yavaş hareket düğmesiyle çekme başlatılır. Şekil(4.1.2.1)'de aparatın cihaza bağlanmış olduğu ve deney esnasında çekilmiş bir resmi görülmektedir.



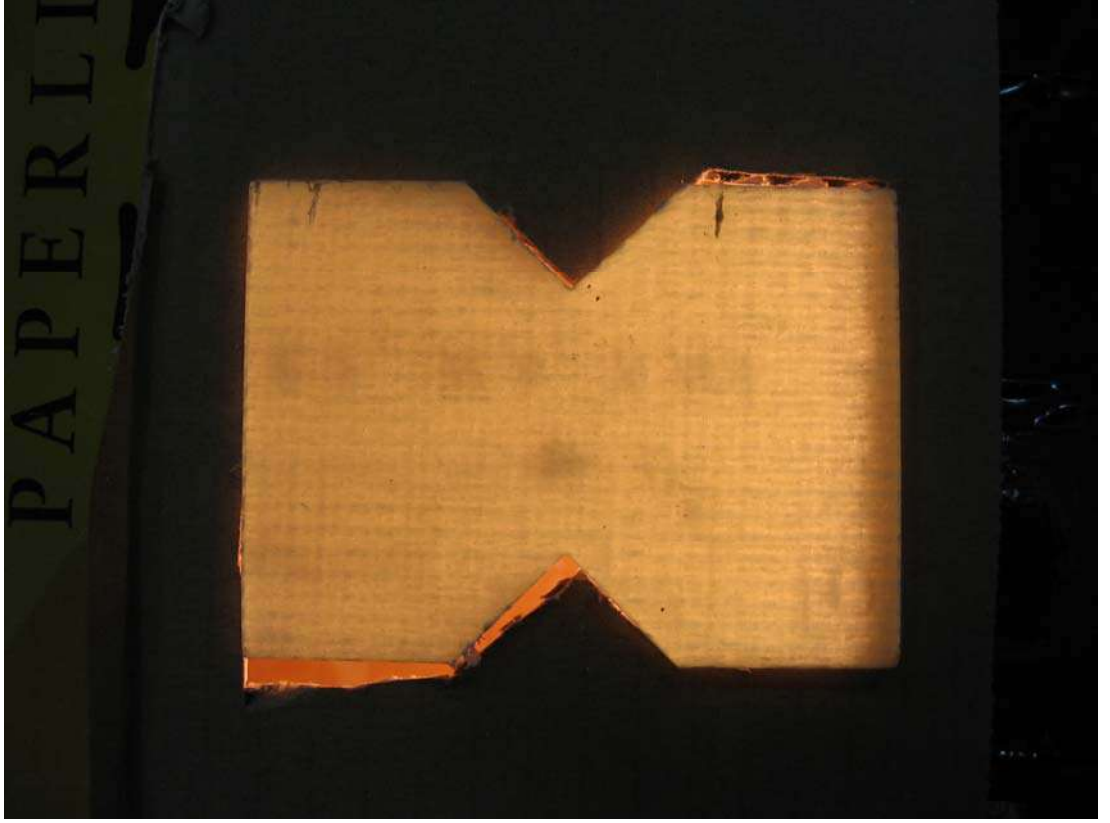
Şekil 4.1.2.1 Aparatın bağlanmış hali ve test başlamış

Deney sırasında çekme test cihazına bağı bir bilgisayar tarafından her an için kuvvet ve uzama dataları kaydedilmiş ve bu datalar eş zamanlı olarak bir grafiğe aktarılmıştır. Bunun sonucunda bilgisayar ekranında tipik kuvvet-uzama diyagramları oluştuğu gözlemlenmiştir.

Grafik düşmeye başladıktan 2-3 saniye sonra numune kopmaktadır ve deformasyon bölgesi netliğini kaybetmektedir. Bu sebeple kuvvet grafiği azalmaya başladığı anda çekme test cihazı durdurulmakta ve deney sonlandırılmaktadır. Deney sonucunda elde edilen datalar bir excel dosyası halinde bilgisayarın hafızasına kaydedilmiştir. Buraya kadar yapılan işlemler 3 adet 90°'lik ve 6 adet 0°'lik numuneler için ayrı ayrı yapılmıştır. Karşılaştırmak amacıyla deney öncesinde numunelerin fotoğrafları çekilmiştir.



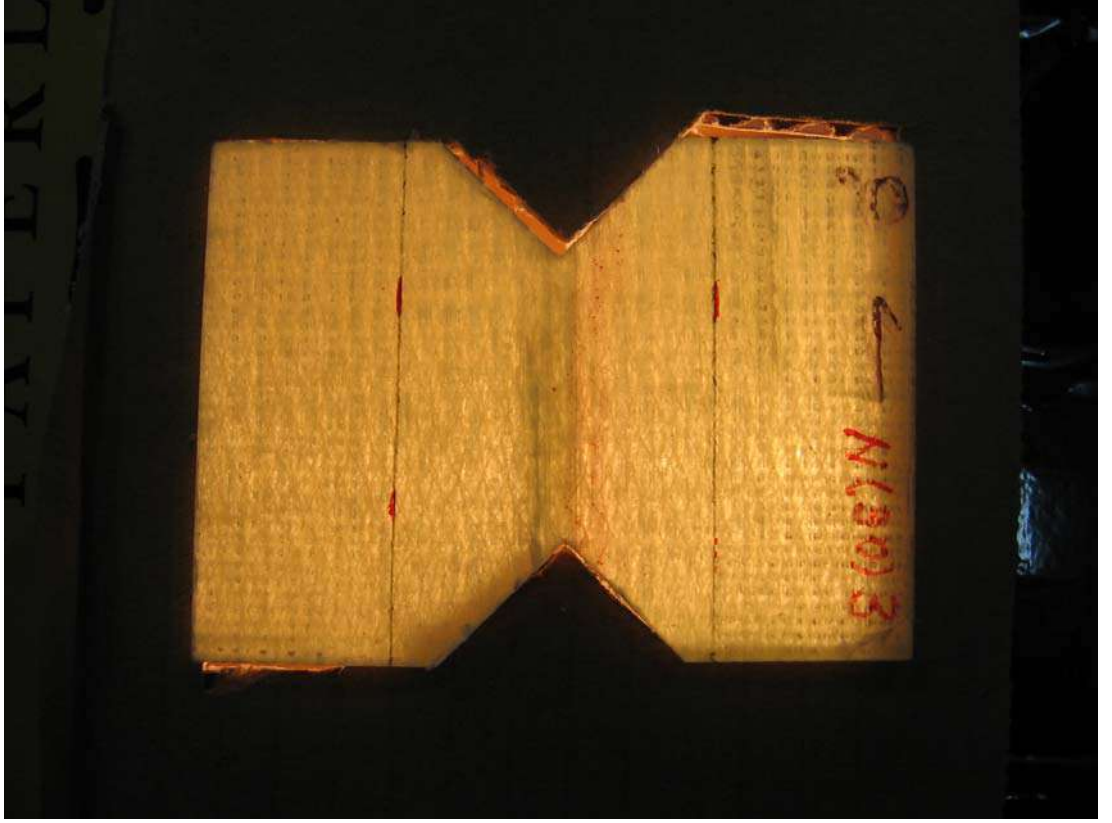
Şekil 4.1.2.2 Test Düzeneği Çalıştırılmaya Başlamadan Önce



Şekil 4.1.2.3 Herhangi bir deformasyona uğramamış numune

90°'lik Numuneler:

3 adet 90°'lik fiber açılı numune çekme test cihazında kaymaya zorlandıktan sonra çentik bölgesinde oluşan deformasyonlar gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1.2.4 Kayma Gerilmesine Maruz Kalmış 90°'lik Numune

Şekilde de görüldüğü gibi tam çentik hizasında lifler deforme olmuş ve numune kesilmeye maruz kalmıştır.

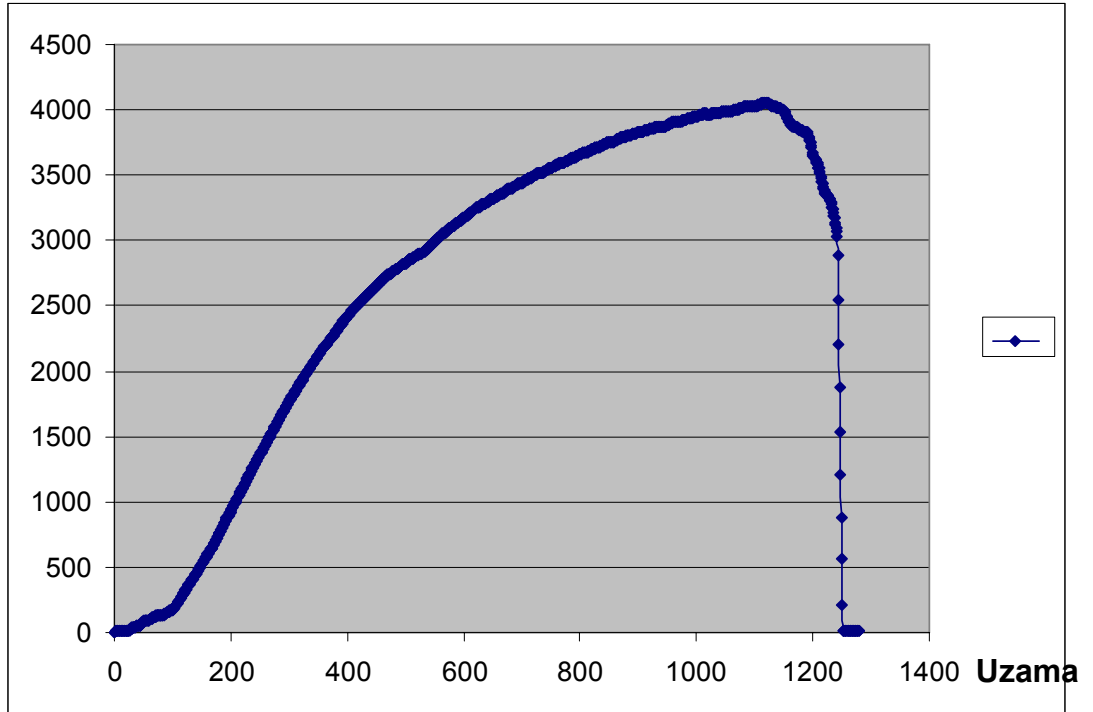
Kayma gerilmesi hesabında ihtiyacımız olan değerler, kesit alanı ve maksimum kuvvet değerleridir. Kayma gerilmesi formülü $\tau = \frac{P}{A}$ 'dir. Kayma gerilmesi formülüyle her bir numune için maksimum kuvvet altındaki τ değerleri belirlenmiştir . Örneğin N(90°)1 numunesi için:

$$\tau = \frac{4051,53(N)}{81.62(mm^2)} = 49,64MPa \text{ 'dir.}$$

Numune	Alan (mm ²)	Maksimum kuvvet (N)	Kayma Gerilmesi (MPa)
N(90)1	81,62	4051,53	49,64
N(90)2	81,53	5581,89	68,46
N(90)3	81,36	5532,84	68,00
		ortalama kayma gerilmesi	62,04 MPa

Tablo 4.1.2.1 90° Fiber Açılı Numuneler İçin Ort. Kayma Gerilmesini Gösteren Tablo

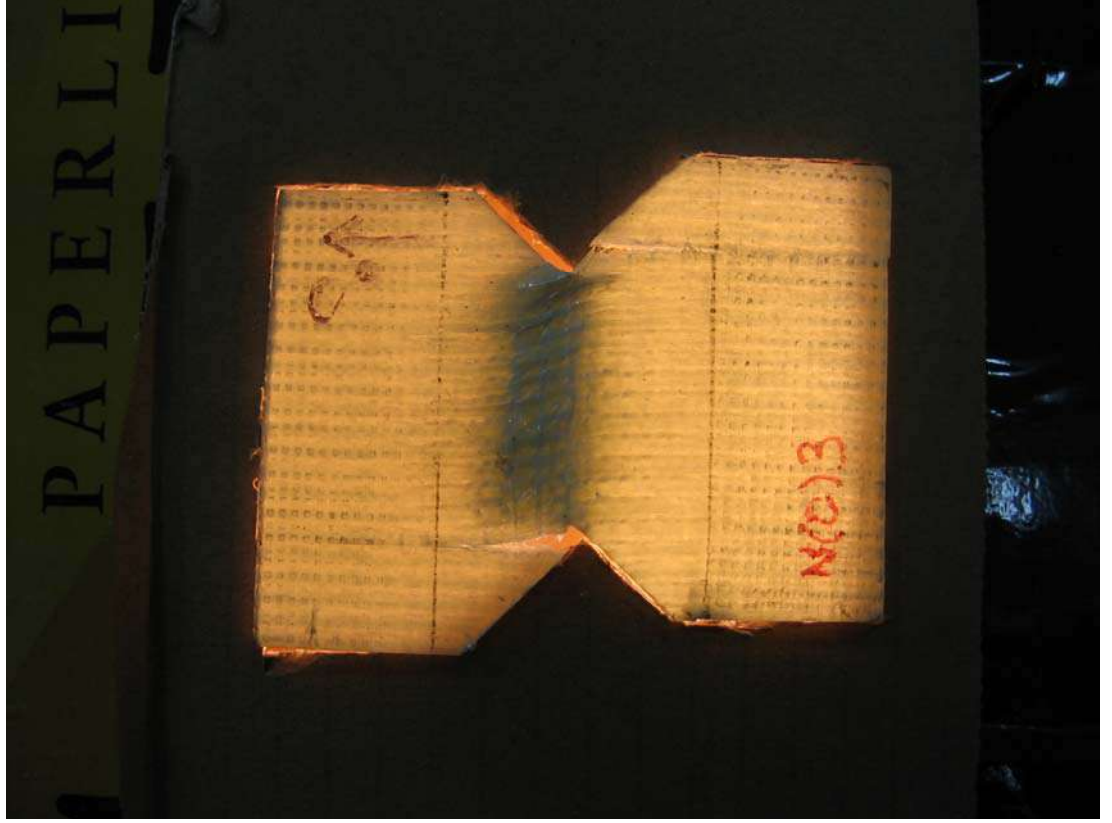
Kuvvet



Şekil 4.1.2.5 N(90)1 Numunesinin Kuvvet Deplasman Grafiği

0°'lik Numuneler:

6 Adet 0°'lik fiber açılı numune çekme test cihazında kaymaya zorlandıktan sonra çentik bölgesinde oluşan deformasyonlar gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1.2.6 Kayma Gerilmesine Maruz Kalmış 0°'lik numune

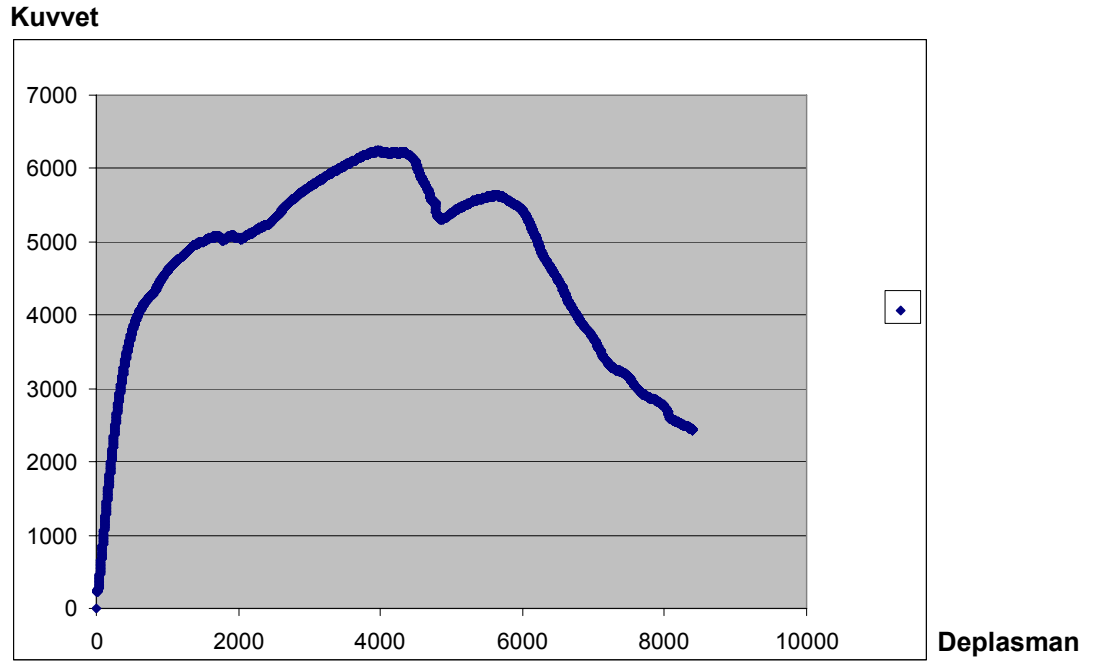
Şekilde de görüldüğü gibi tam çentik hizasında lifler kaymış olmuş ve numune kesilmeye maruz kalmıştır. Kayma gerilmesi hesabında ihtiyacımız olan değerler, kesit alanı ve maksimum kuvvet değerleriydi. Kayma gerilmesi formülünde $\tau = \frac{P}{A}$ idi. Kayma gerilmesi formülüyle her bir numune için maksimum kuvvet altındaki τ değerleri belirlenmiştir .

Örneğin N(0°)1 numunesi için:

$$\tau = \frac{5640,75(N)}{79,335(mm^2)} = 71,1MPa \text{ 'dır.}$$

Numune	Alan(mm ²)	Maksimum Kuvvet (N)	Kayma Gerilmesi(Mpa)
N(0)1	79,335	5640,75	71,10
N(0)2	73,488	6347,07	86,37
N(0)3	80,995	6248,97	77,15
N(0)4	79,664	5836,95	73,27
N(0)5	81,969	6513,84	79,47
N(0)6	77,774	6023,34	77,45
		ortalama kayma gerilmesi	77,47

Tablo 4.1.2.2 90° Fiber Açılı Numuneler İçin Ortalama Kayma Gerilmesini Gösteren Tablo

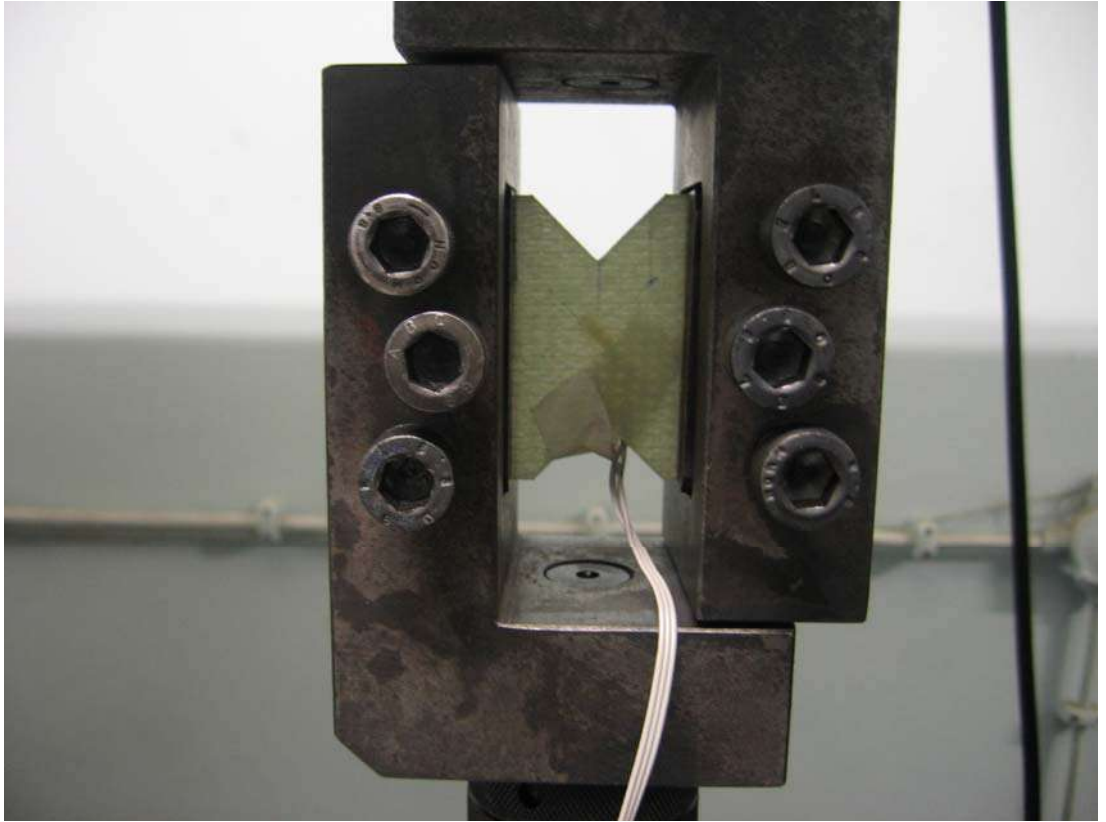


Şekil 4.1.2.7 N(0°)1 Numunesinin Kuvvet Deplasman Grafiği

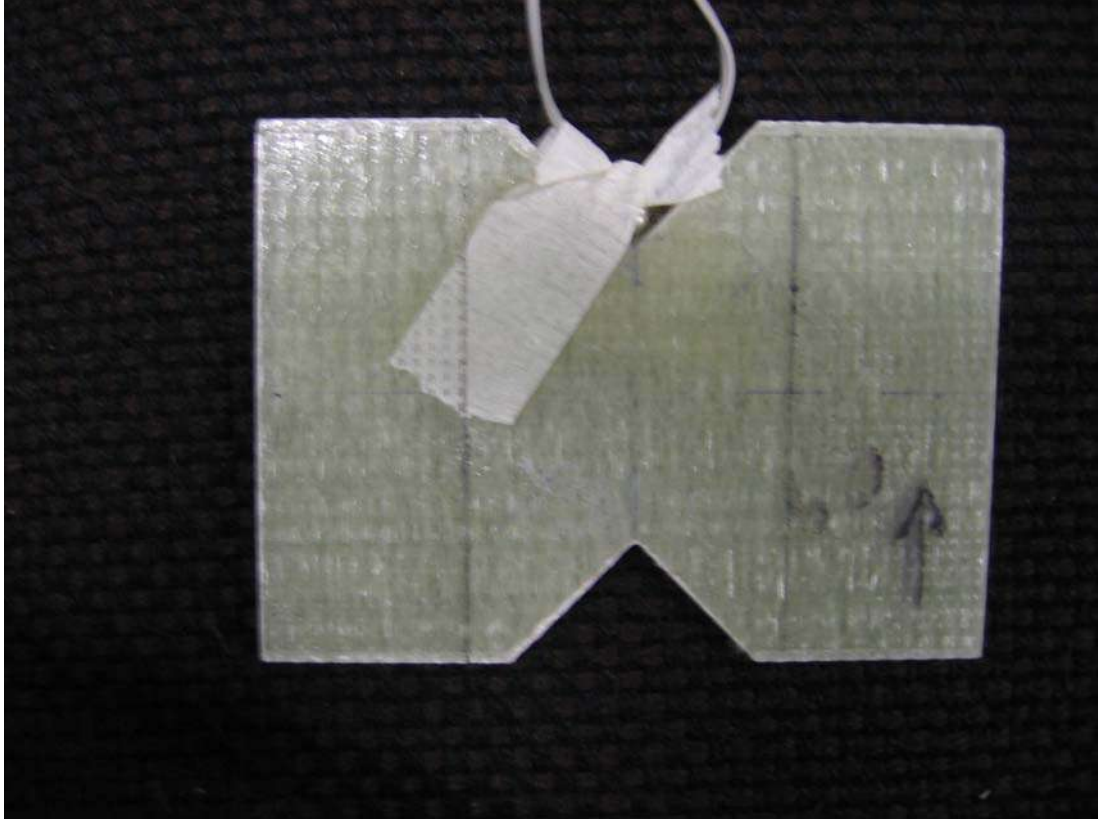
Grafiklerde görüldüğü gibi kuvvet parabolik olarak artıp daha sonra düşmektedir. Burada bir süre artışın sonunda grafikte dalgalanmalar görülebilmektedir. Bir süre sonra da hasar tamamen görülmekte ve kuvvet hızlı bir şekilde düşmektedir. Burada bahsedilen dalgalanmaların sebebi numune içindeki liflerin yer yer kopmaya başlıyor olmasıdır ve bu yüzden kuvveti taşıyamıyor olmasıdır ve bu durum bir süre daha devam ettikten sonra hasar başlangıcı görülmektedir.

4.2 STRAIN-GAGE'Lİ NUMUNELER İLE KAYMA MODÜLÜ TESPİTİ

Deney kapsamında 0° 'lik ve 90° 'lik numunelere strain-gage bağlayarak kayma modülleri de tespit edilmiştir. Strain-gageler numunelere 45° 'lik açıyla takılmıştır. Kablolar aracılığıyla numuneler strain-gege indikatörlerine bağlanmıştır.



Şekil 4.2.1 Teste Hazır, Strain-gage Takılmış Numune ve Aparatlar



Şekil 4.2.2 Strain-gage ‘ li Numune

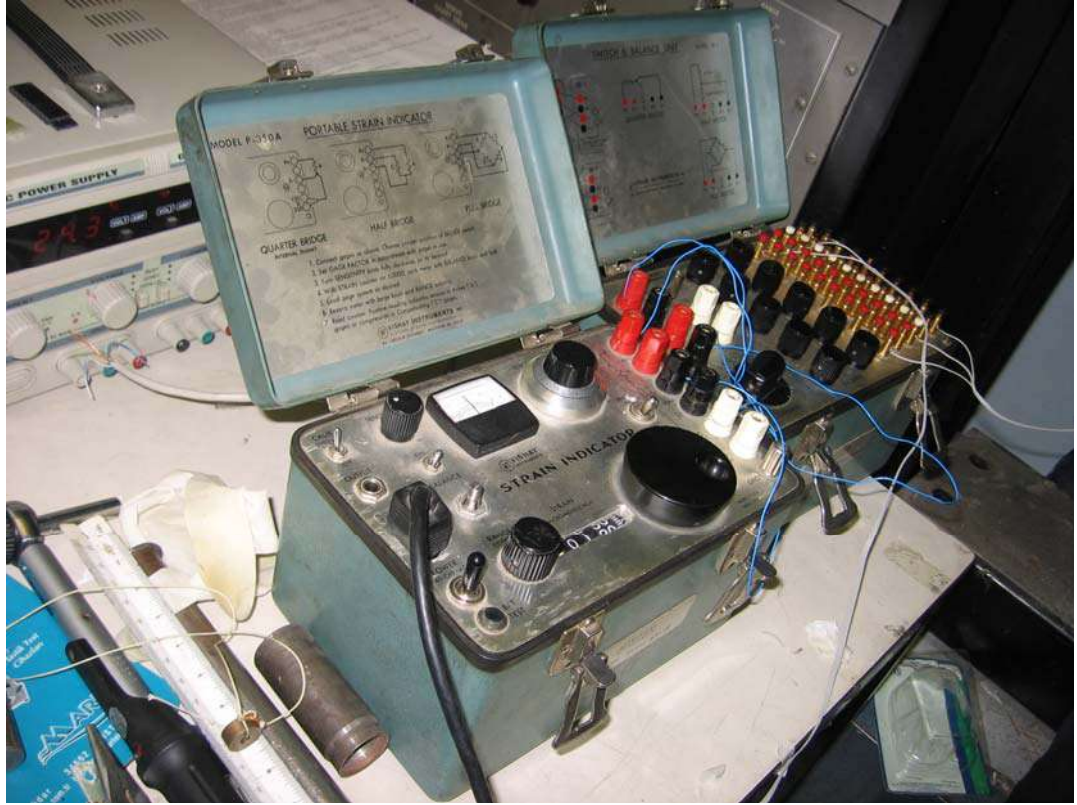
Kayma Modülü Hesap Formülasyonu :

$$\tau = \frac{P}{A} = G_{12} \cdot \gamma_{12}$$

$$\gamma_{12} = 2 \cdot \varepsilon$$

$$G_{12} = \frac{P}{A \cdot 2 \cdot \varepsilon}$$

Deney yapılırken belirli aralıklarla çekme test cihazı durdurulup 10 farklı noktada, bilgisayar ekranından kuvvet ve indikatör göstergesinden ε değerleri okunmuştur. Okunan bu değerler bir excel tablosuna aktarılmıştır ve yukarıdaki formüller uygulanarak her bir nokta için kayma modülü bulunmuştur . Bulunan kayma modüllerinin ortalaması alınarak o numunenin kayma modülü hesaplanmıştır.



Şekil 4.2.3 Strain-gage İndikatörleri



Şekil 4.2.4 Strain-gage' li Test Düzeneginin Genel Görüntüsü

90° lik Numuneler:

Numune (90)					
P(N)	$\epsilon(10^{-6})$	Alan	Kuvvet Farkı (N)	ϵ farkı(10^{-6})	Kayma Kodülü(MPa)
245,25	3582	78,819	245,25	3582	
549,36	3286	78,819	304,11	296	6517,46
824,04	3080	78,819	578,79	502	7314,02
1088,91	2688	78,819	843,66	894	5986,45
1471,5	2172	78,819	1226,25	1410	5516,95
1824,85	1680	78,819	1579,6	1902	5268,36
2184	930	78,819	1938,75	2652	4637,54
2491,74	450	78,819	2246,49	3132	4550,11
2560,4	118	78,819	2315,15	3464	4239,75
2668,32	-128	78,819	2423,07	3710	4143,15
				Ortalama Kayma Modülü	5352,64

Tablo 4.2.1 90° Fiber Açılı Numunenin Ortalama Kayma Modülünü Veren Excel Tablosu**0° lik Numuneler:**

Numune(0)					
P(N)	$\epsilon(10^{-6})$	Alan (mm ²)	Kuvvet farkı (N)	ϵ farkı(10^{-6})	Kayma Modülü(MPa)
824,04	6937	85,96	824,04	6937	
1432,26	6660	85,96	608,22	277	12771,87
1648,08	5612	85,96	824,04	1325	3617,48
2040,48	4870	85,96	1216,44	2067	3423,13
2207,44	4482	85,96	1383,4	2455	3277,71
2521,17	3764	85,96	1697,13	3173	3111,13
2697,23	3223	85,96	1873,19	3714	2933,69
2854,71	2725	85,96	2030,67	4212	2804,30
3060,72	2073	85,96	2236,68	4864	2674,75
3237,37	1380	85,96	2413,33	5557	2526,10
				Ortalama Kayma Modülü	4126,68

Tablo 4.2.2 0° Fiber Açılı Numunenin Ortalama Kayma Modülünü Veren Excel Tablosu

BÖLÜM BEŞ

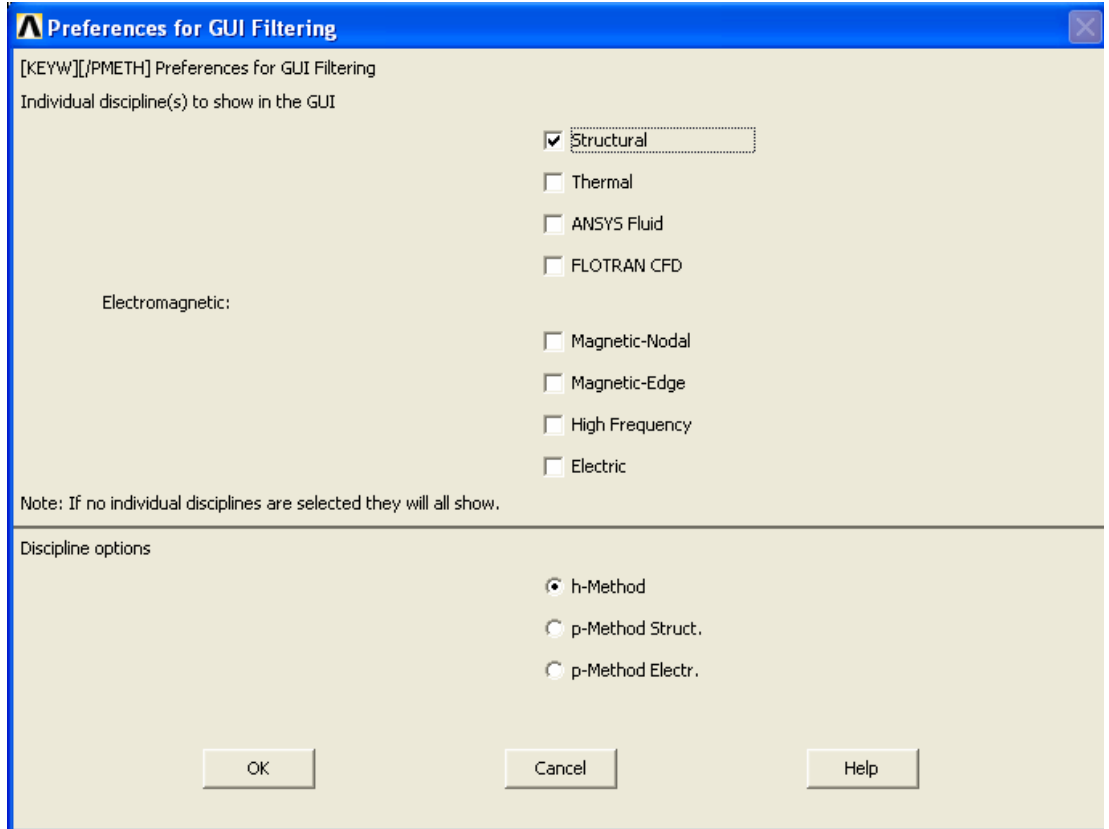
5. ANSYS 10.0 PROGRAMIYLA NUMUNEDE KAYMA GERİLMESİ ANALİZİ

ANSYS programıyla numunede kayma gerilmesi analizi yapılmadan önce, SOİLDWORKS 2006 programında numune birebir ölçülerle ve 2 boyutlu olarak çizilmiştir. SOLİDWORKS programında yapılan bu çizim IGES (.igs uzantılı dosya) dosyası olarak kaydedilmiştir.

Yapılan bu işlemin ardından ANSYS programına geçilmiştir.

5.1 ANALİZ TÜRÜNÜN BELİRLENMESİ

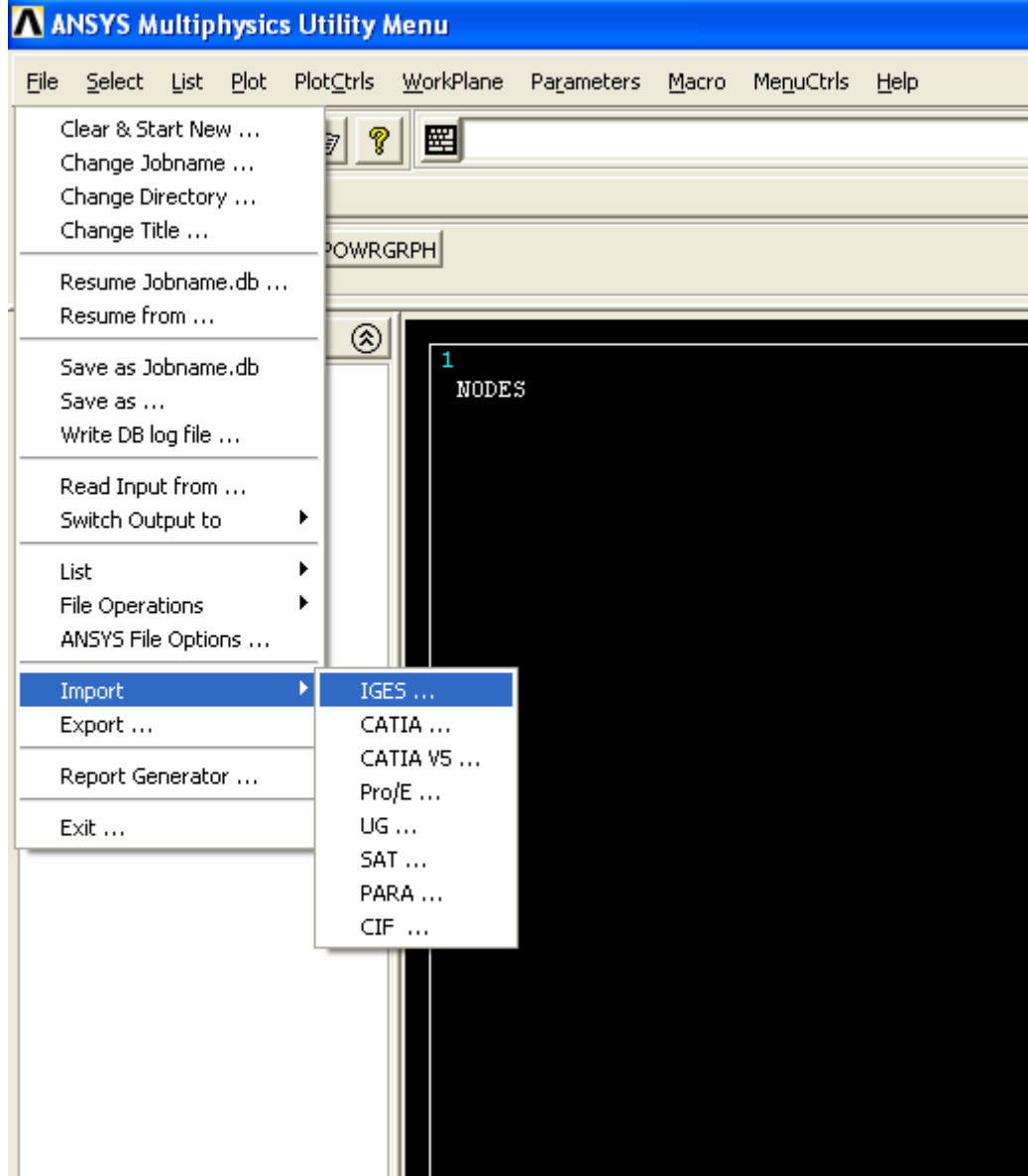
Yapılan ilk işlem analiz türünün belirlenmesidir. Kayma gerilmesi analizi yapısal bir analiz olduğu için. **Ansys Main Menu > Preferences** yolunu izleyerek çıkan pencerede **Structural** seçeneği işaretlenir.



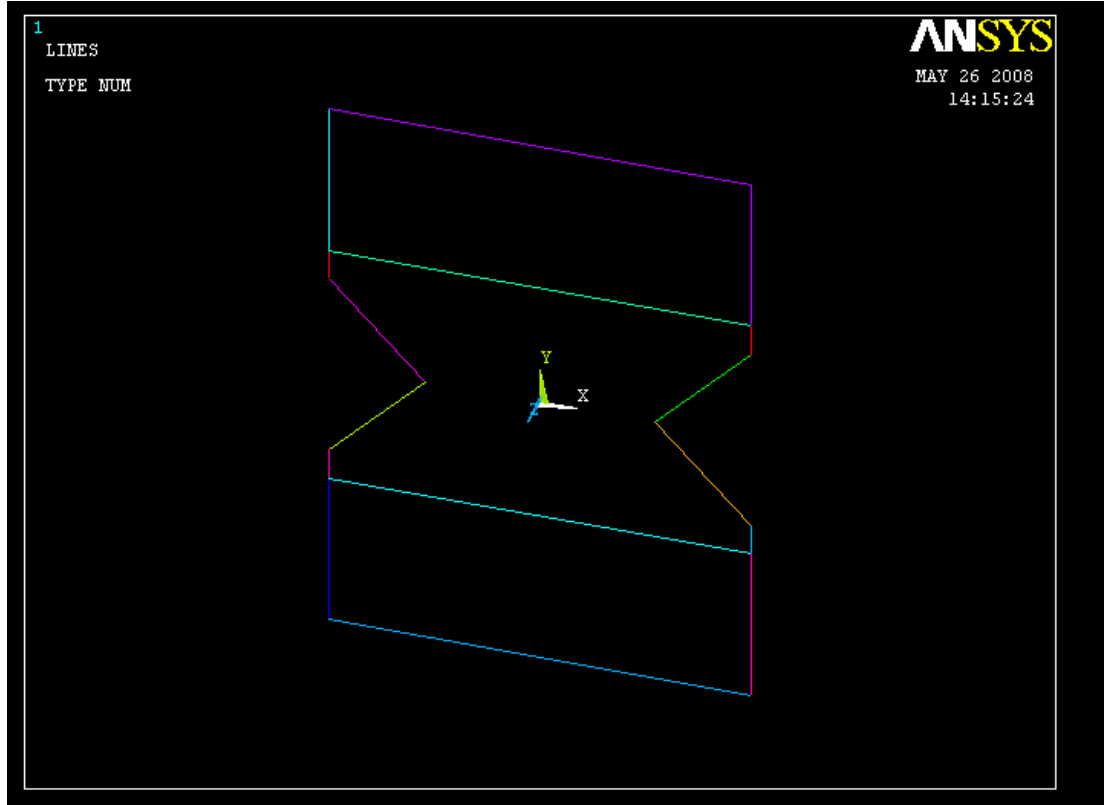
Şekil 5.1.1 Analiz Türünün Belirlenmesi

Ardından SOLİDWORKS programında hazırlanan ve IGES dosyasına çevrilen numunenin iki boyutlu çizimi ANSYS programına import edilmiştir.

5.2 ANSYS ORTAMINDA NUMUNENİN OLUŞTURULMASI VE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

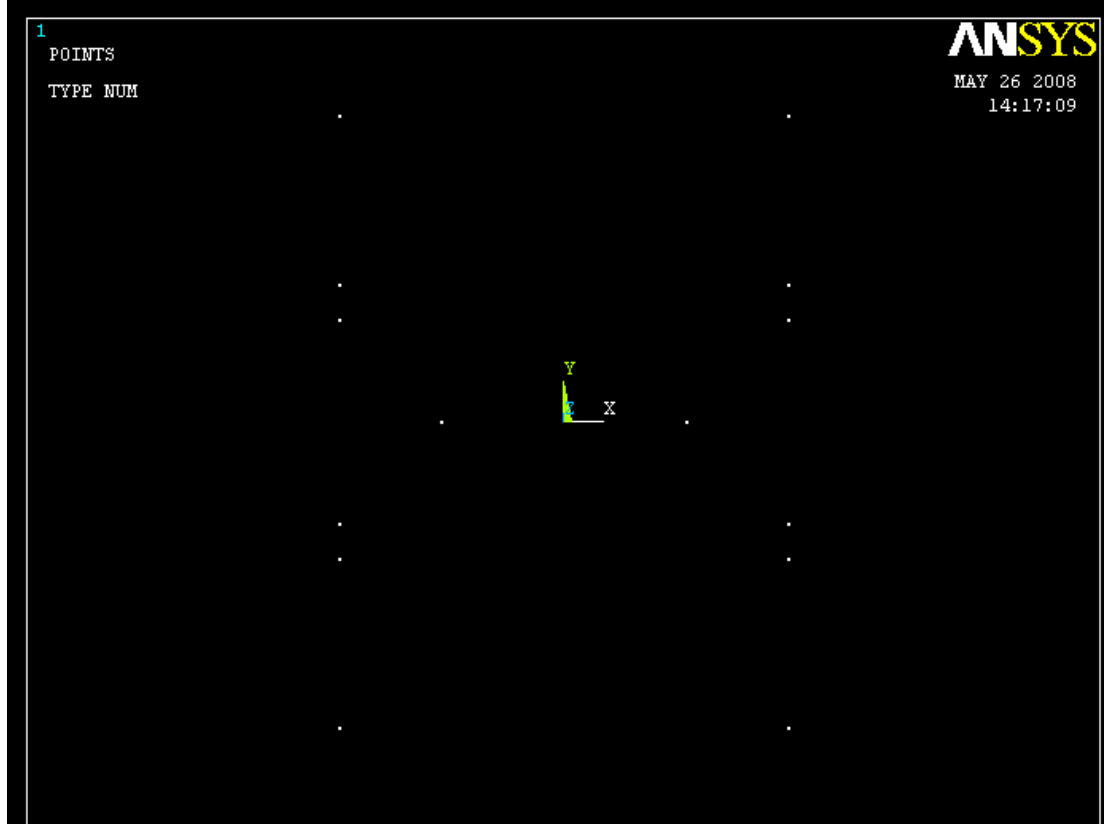


Şekil 5.2.1 IGES Dosyasının Ansys Programına İport Edilmesi



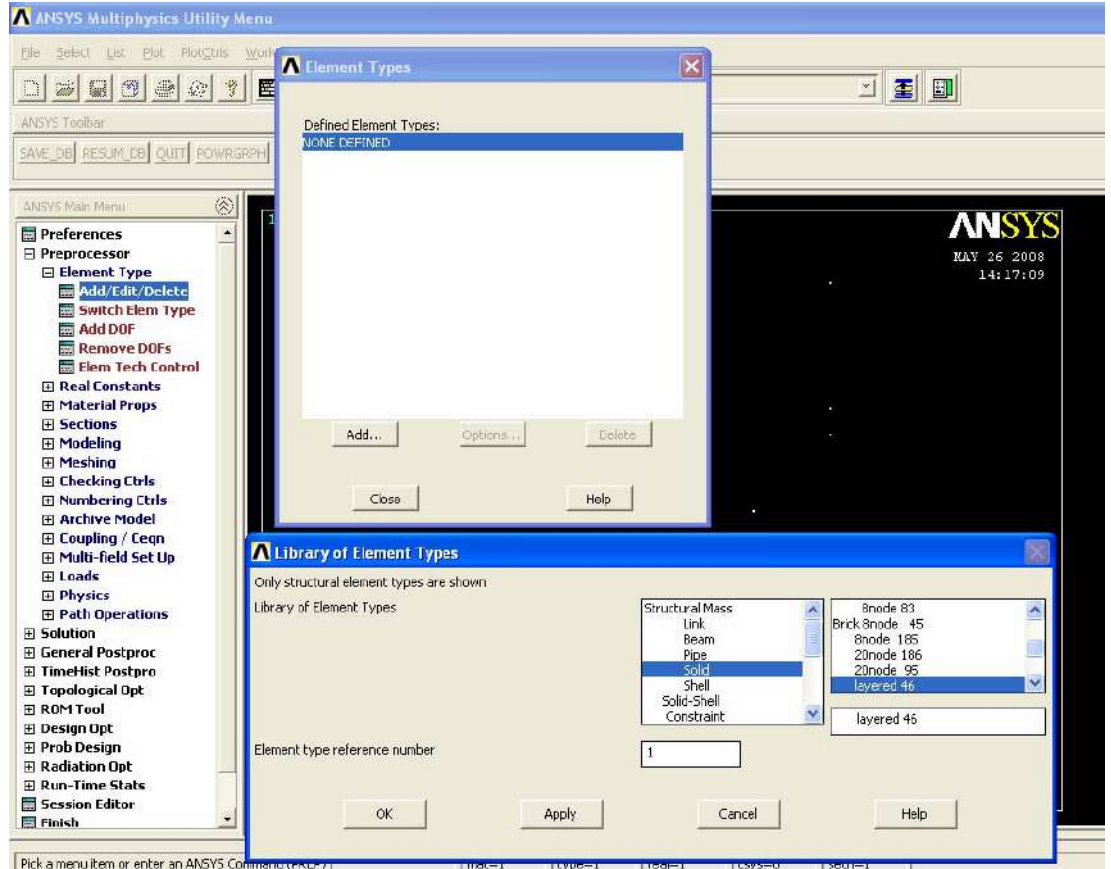
Şekil 5.2.2 İmport Edilen İki Boyutlu Numunenin Çizgisel Görüntüsü

Ardından çizimimiz yalnızca keypoint noktalarının görüleceği şekilde değiştirilmiştir. Bunun için **Plot > Keypoints > Keypoints** yolu izlenmiştir.



Şekil 5.2.3 Keypoint Noktalarının Görünüşü

Bu işlemin ardından eleman tipi seçilmelidir .Numunemiz çok tabakalı bir kompozit olduğu için Layered 46 eleman tipi seçilmelidir. Bunun için **Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete** Yolu izlenerek çıkan pencerede add butonuna basılır . Çıkan ikinci pencerede ilk listeden **solid** , ikinci listeden ise **layered 46** seçeneği seçilir.



Şekil 5.2.4 Eleman Tipinin Seçilmesi

Eleman tipinin seçilmesinin ardından tabaka sayısı oryantasyon açıları ve tabaka kalınlıkları tanımlanmalıdır. Bunun için **Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete** yolu izlenerek çıkan pencerelerde gerekli tabaka sayısı, her tabakanın oryantasyon açısı ve tabaka kalınlığı değerleri sayısal olarak girilmiştir. Burada oryantasyon açıları 90° ve 0° lik numuneler için iki ayrı analiz yapılmıştır.

Real Constant Set Number 1, for SOLID46

Mat no., X-axis rotation, layer thk	MAT	THETA	TK
Layer number 1	1	90	0.33125
Layer number 2	1	90	0.33125
Layer number 3	1	90	0.33125
Layer number 4	1	90	0.33125
Layer number 5	1	90	0.33125
Layer number 6	1	90	0.33125
Layer number 7	1	90	0.33125
Layer number 8	1	90	0.33125

OK Cancel Help

Şekil 5.2.5 90°'lik Fiber Açılı Numunelerin Tabaka Özelliklerinin Girilmesi

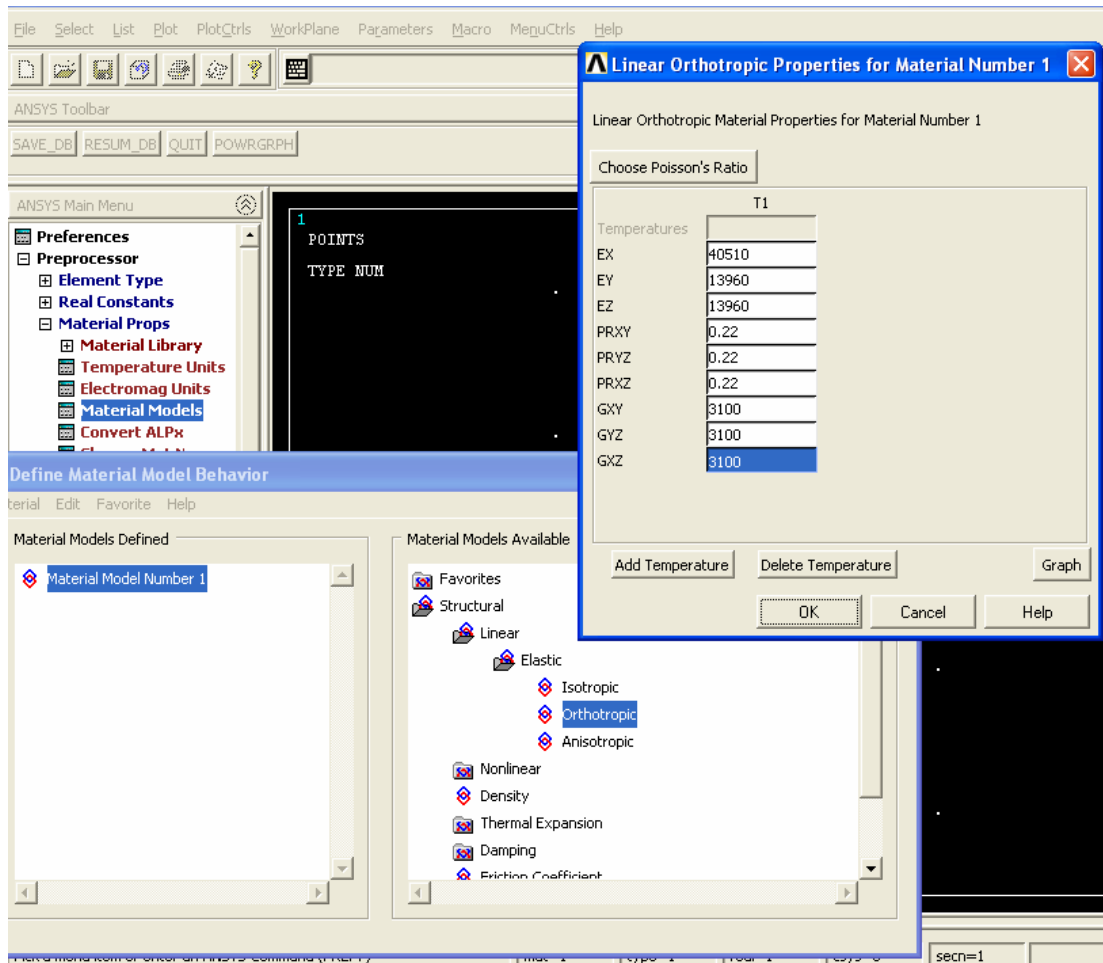
Real Constant Set Number 1, for SOLID46

Mat no., X-axis rotation, layer thk	MAT	THETA	TK
Layer number 1	1	0	0.33125
Layer number 2	1	0	0.33125
Layer number 3	1	0	0.33125
Layer number 4	1	0	0.33125
Layer number 5	1	0	0.33125
Layer number 6	1	0	0.33125
Layer number 7	1	0	0.33125
Layer number 8	1	0	0.33125

OK Cancel Help

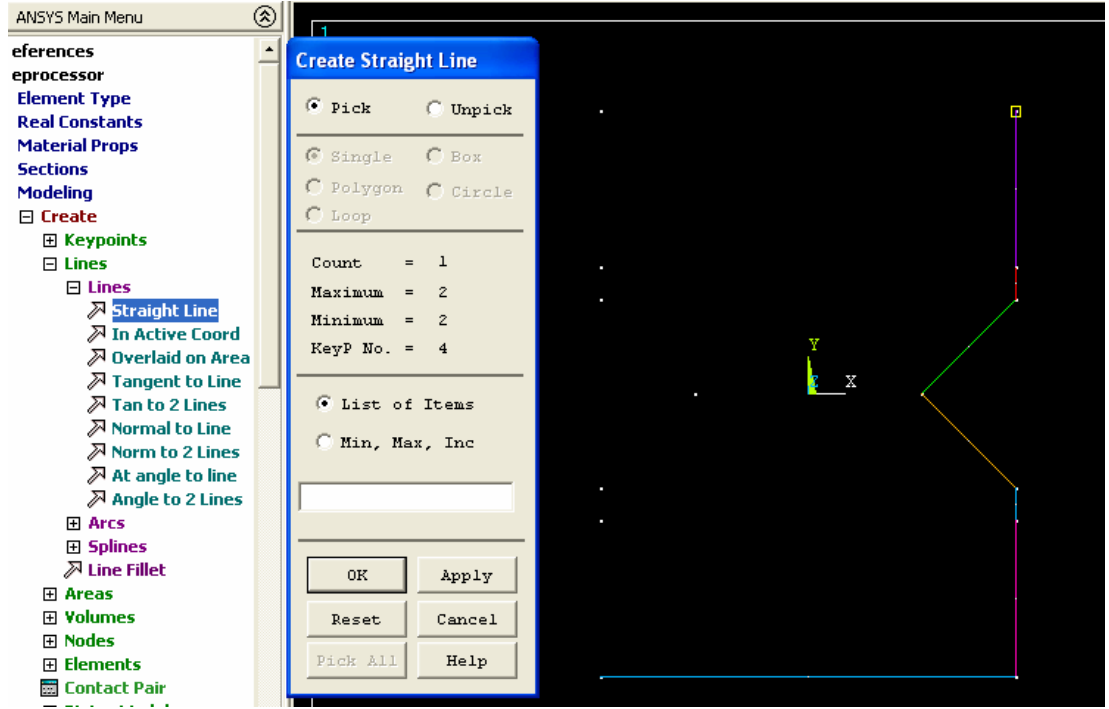
Şekil 5.2.6 0°'lik Fiber Açılı Numunelerin Tabaka Özelliklerinin Girilmesi

Bu işlemin ardından malzeme davranışlarının belirlenmesi gerekir malzememiz lineer, elastik bir yapıya sahiptir. Yapısında 3 adet simetri düzlemi bulunan malzemelere ortotropik malzeme denir. Bundan dolayı malzememiz **ortotropik** malzemedir. Bunun yanında malzemenin mekanik özelliklerinin de tanımlanması gerekir. Bu işlem **Preprocessor > Material Props > Material Models** yoluyla çıkan pencerede **Structural > Linear > Elastic > Orthotropic** yolu izlenmelidir. Çıkan ikinci pencerede ise malzemenin mekanik özellikleri girilmiştir.



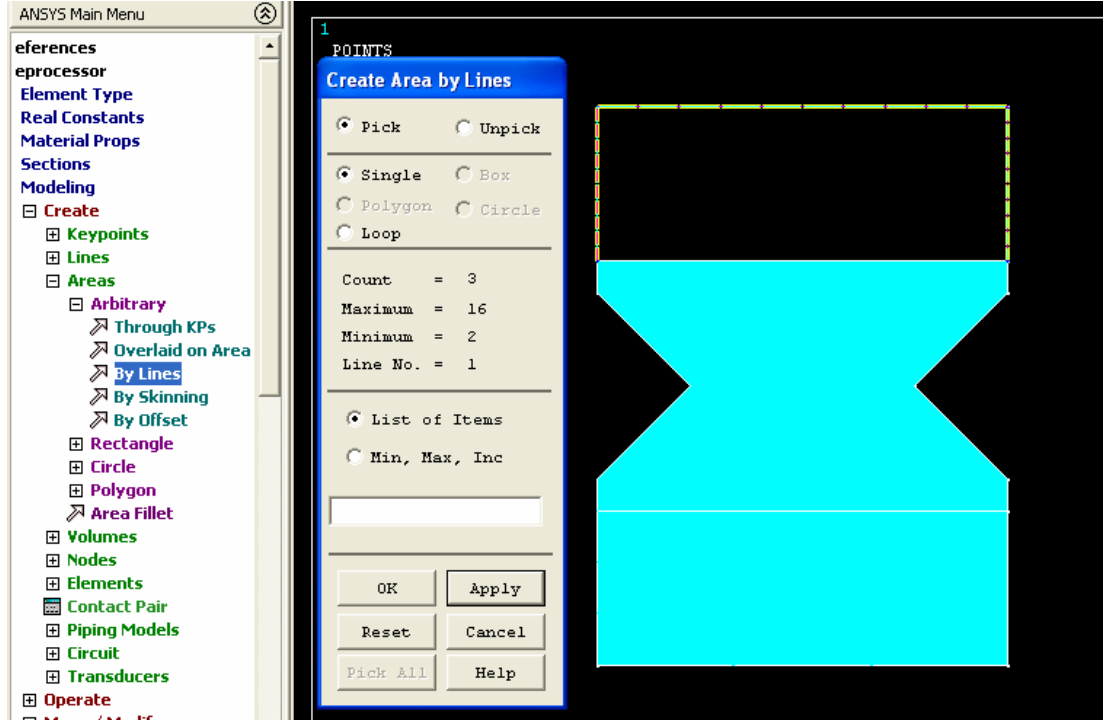
Şekil 5.2.7 Malzeme Davranışının Tanımlanması ve Mekanik Özelliklerin Girilmesi

Ardından numunenin modellenmesi yapılmıştır. Bunun içinde ilk önce ,daha önceden varolan keypoint noktalarının birleştirilerek çizgiler oluşturulmuştur . Bunun için **Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Straight Line** yolu izlenmiştir ve keypoint noktaları tek tek birleştirilerek çizgiler oluşturulmuştur.



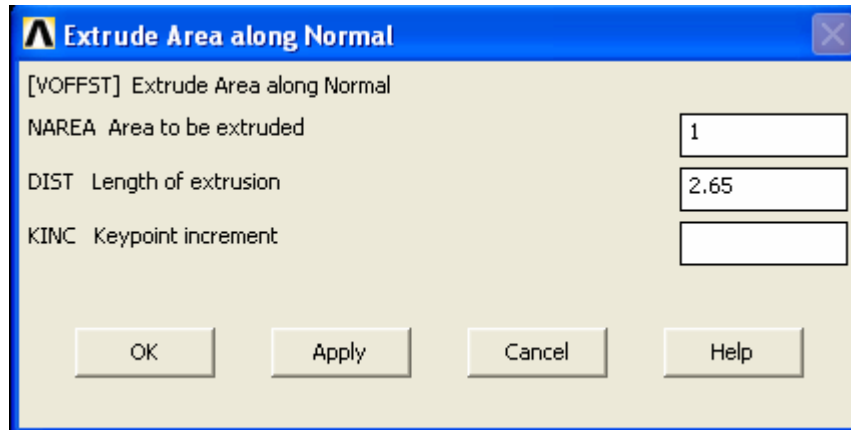
Şekil 5.2.8 Keypoint Noktalarının Birleştirilmesiyle Çizgilerin Oluşturulması

Bundan sonra varolan çizgiler yardımıyla düzlemler oluşturulmalıdır. Bunun için **Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Arbitrary > By Lines** yolu izlenmiştir ve çizgiler tek tek seçilerek alanlar oluşturulmuştur.

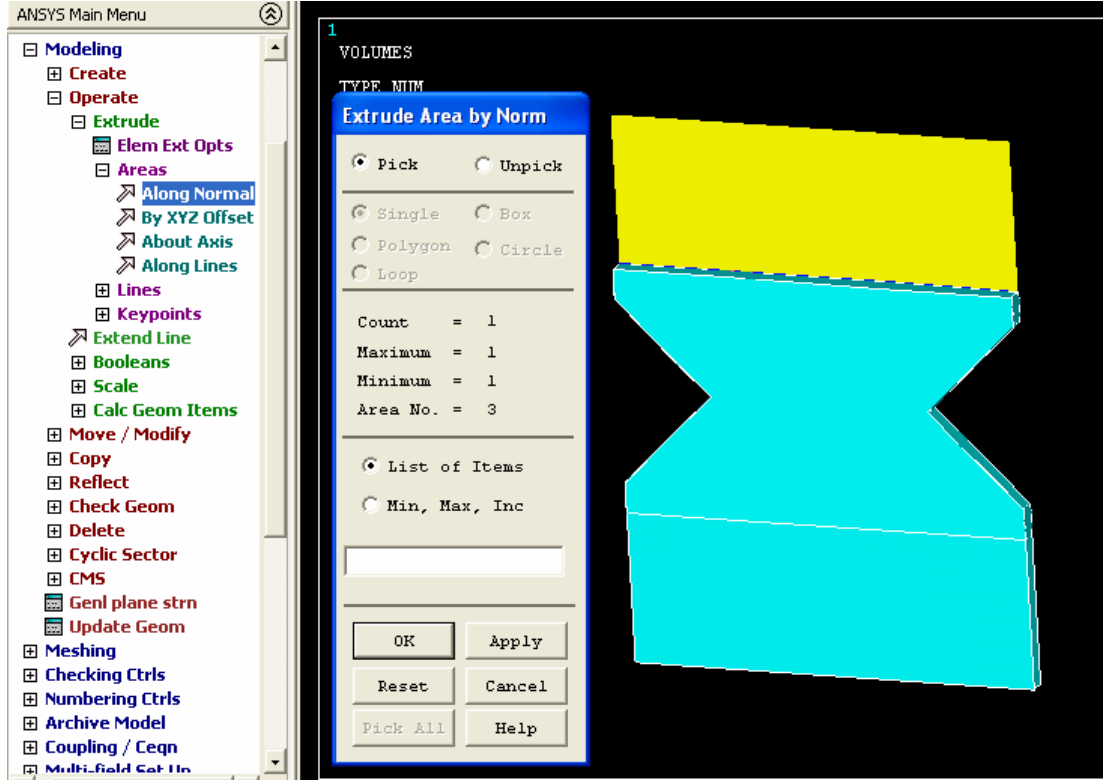


Şekil 5.2.9 Çizgiler Yardımıyla Alanların Oluşturulması

Oluşturulan bu alanlar bir derinlik verilerek hacim haline getirilmelidir. Bunun için **Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Areas > Along Normal** yolu izlenmelidir. Çıkan pencerede derinlik olarak 2.65 mm girilmiştir.

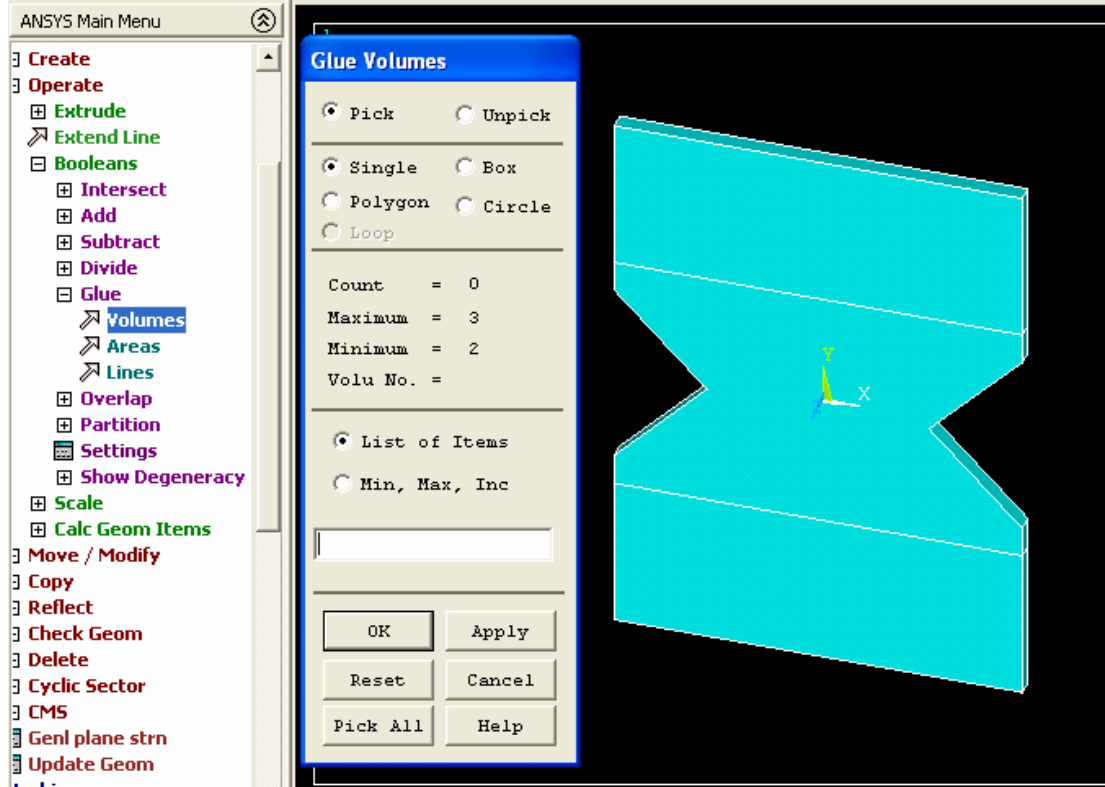


Şekil 5.2.10 Extrude Komutuyla Derinliğin Girilmesi



Şekil 5.2.11 Extrude Komutu ile Hacimlerin Oluşturulması

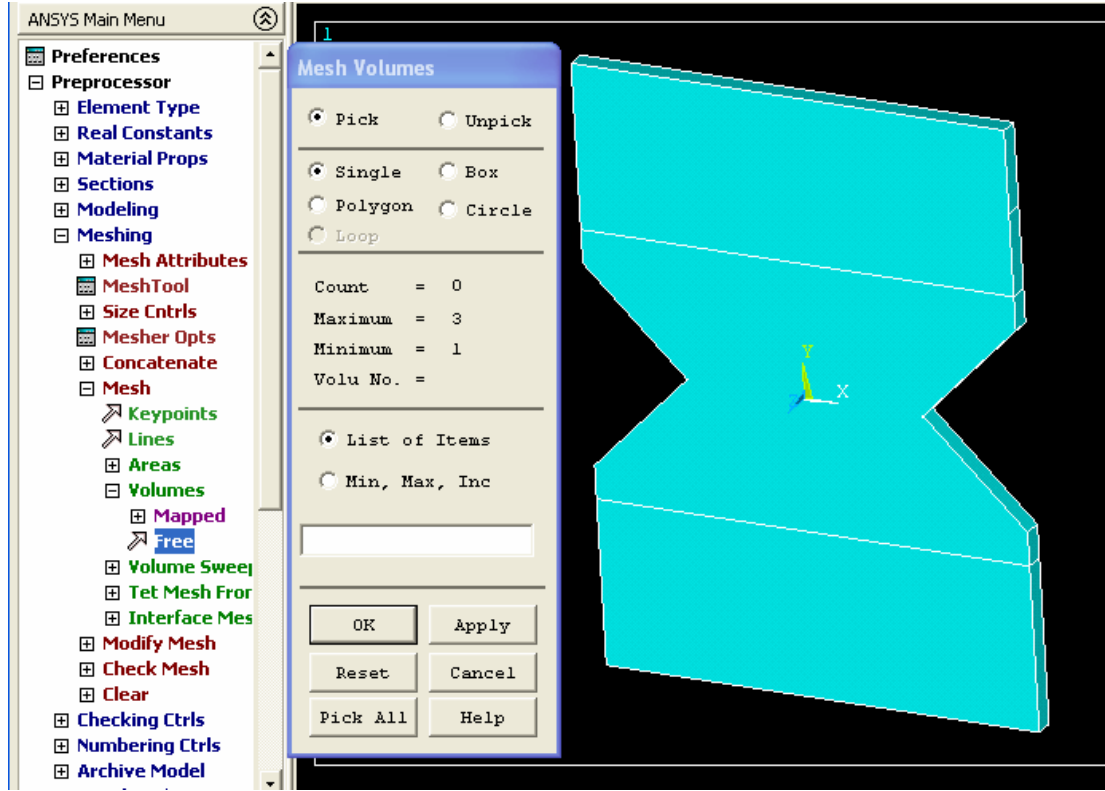
Bu işlemin ardından elimizde 3 adet birbirinden bağımsız hacim vardır ve bunların birleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için **Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Glue > Volumes** yolu izlenerek çıkan pencerede pick all seçeneği tıklanmalıdır.



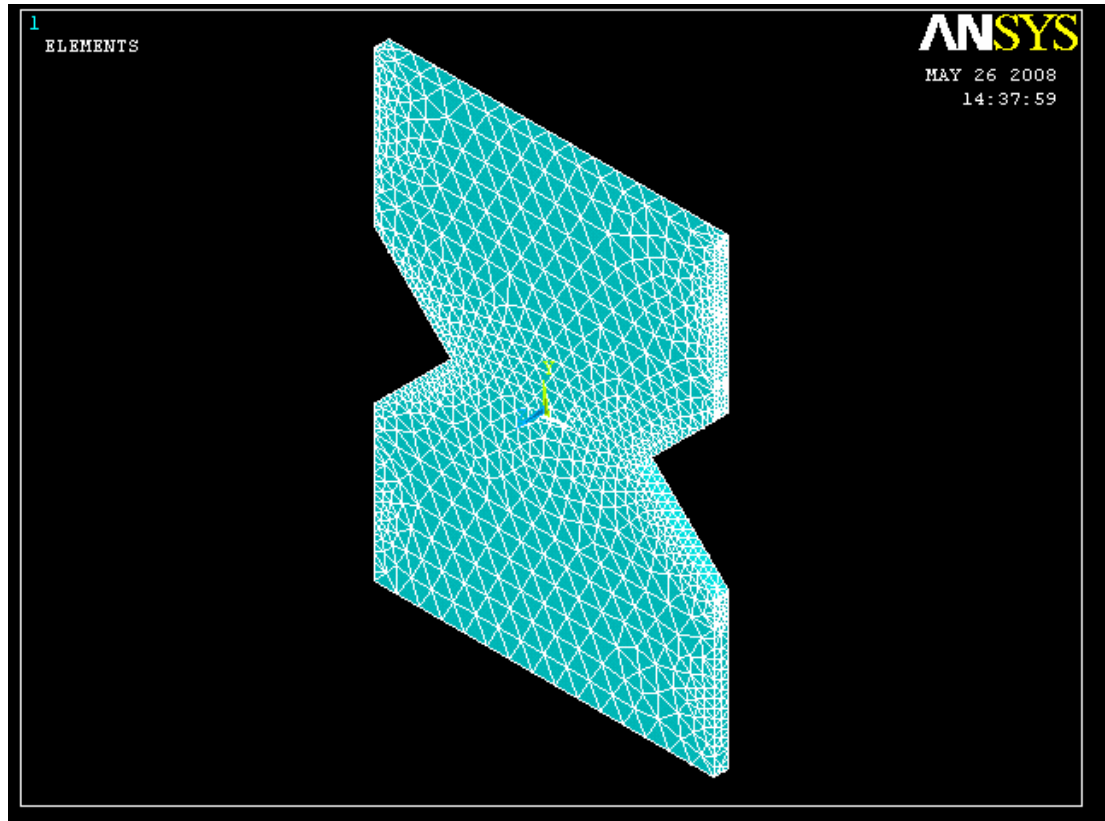
Şekil 5.2.12 Glue Komutu ile Birleştirilmiş Hacimler

5.3 PARÇANIN MESH EDİLMESİ VE SINIR ŞARTLARININ TANIMLANMASI

Parçaların birleştirilmesiyle numunemiz mesh edilmeye hazır hale gelmiştir bunun için **Preprocessor > Meshing > Mesh > Volumes > Free** yolu izlenerek çıkan pencerede **Pick All** butonuna basılmalıdır.

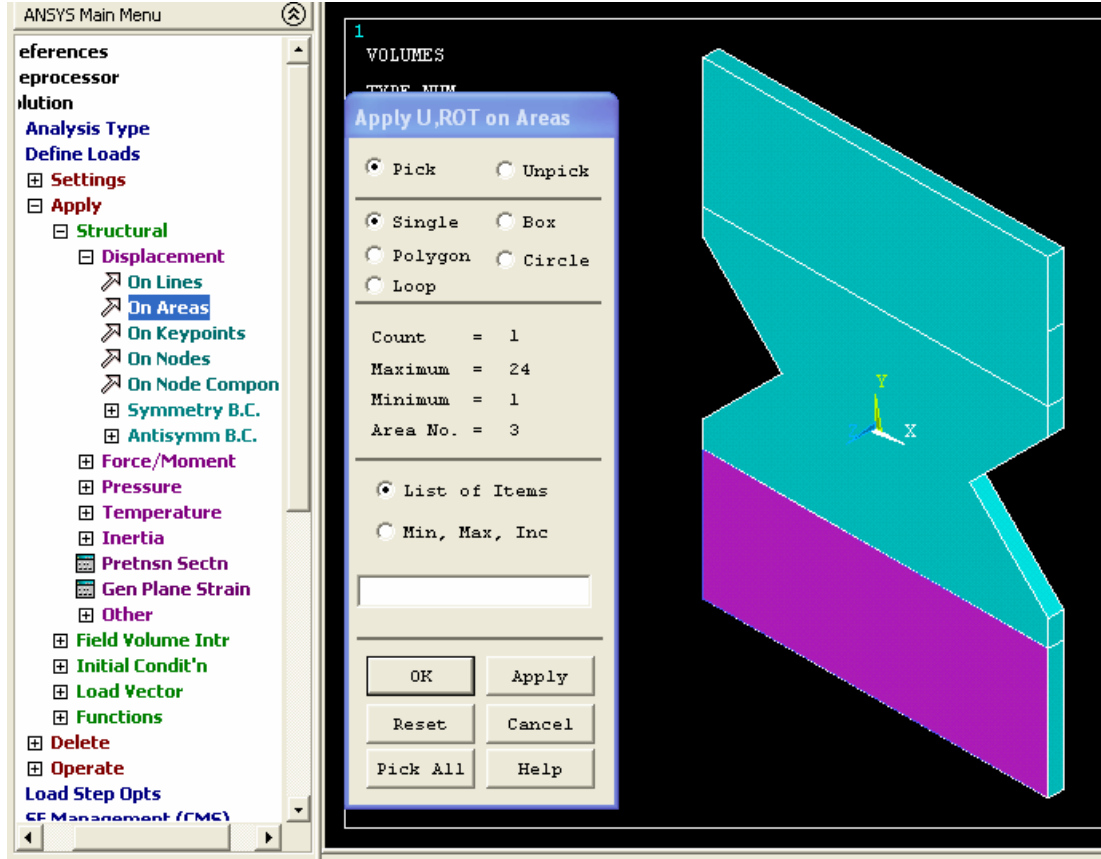


Şekil 5.3.1 Parçanın Mesh Edilmesi



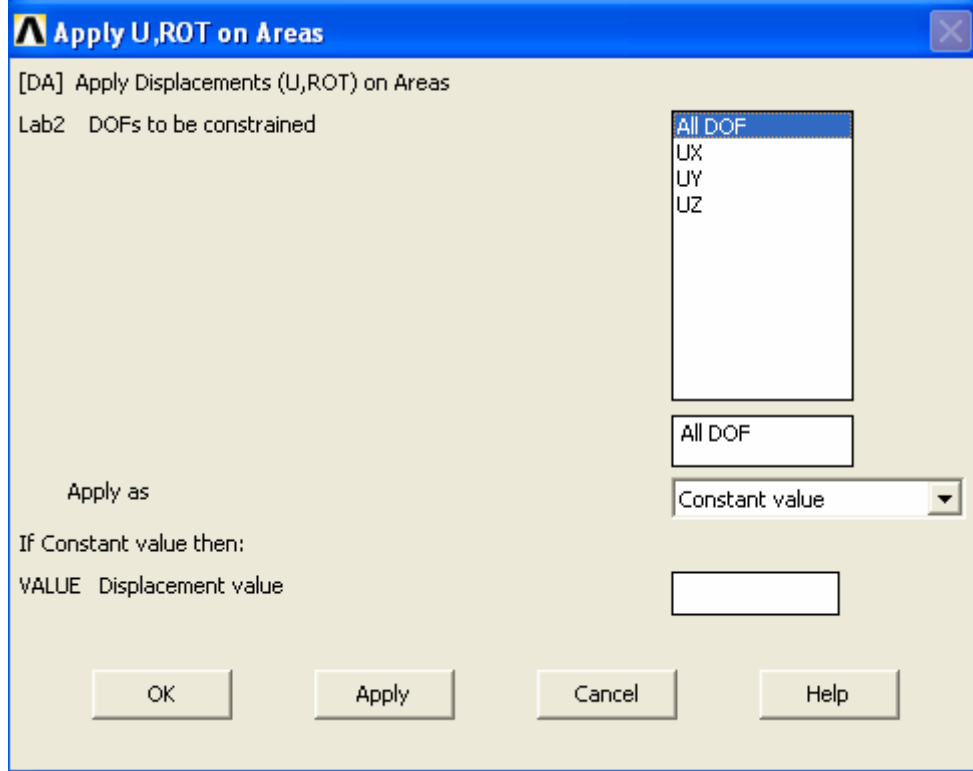
Şekil 5.3.2 Mesh Edilmiş Parçanın Görünümü

Parça mesh edildikten sonra gerekli sınır koşulları ve kuvvetler tanımlanmalıdır. Çekme test cihazında yapılan deneylerde numunelerin alt kısmı sabit üst kısmı ise x eksenı yönünde hareket edebilmektedir. Buna uygun olması için numunenin tutucu plakalar tarafından basılan alt yüzeyleri tüm yönlerde harekete karşı sınırlandırılmıştır. Bunun için **Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Areas** yolu izlenerek tutucu plakaların bastırıldığı alt yüzeyler seçilir .



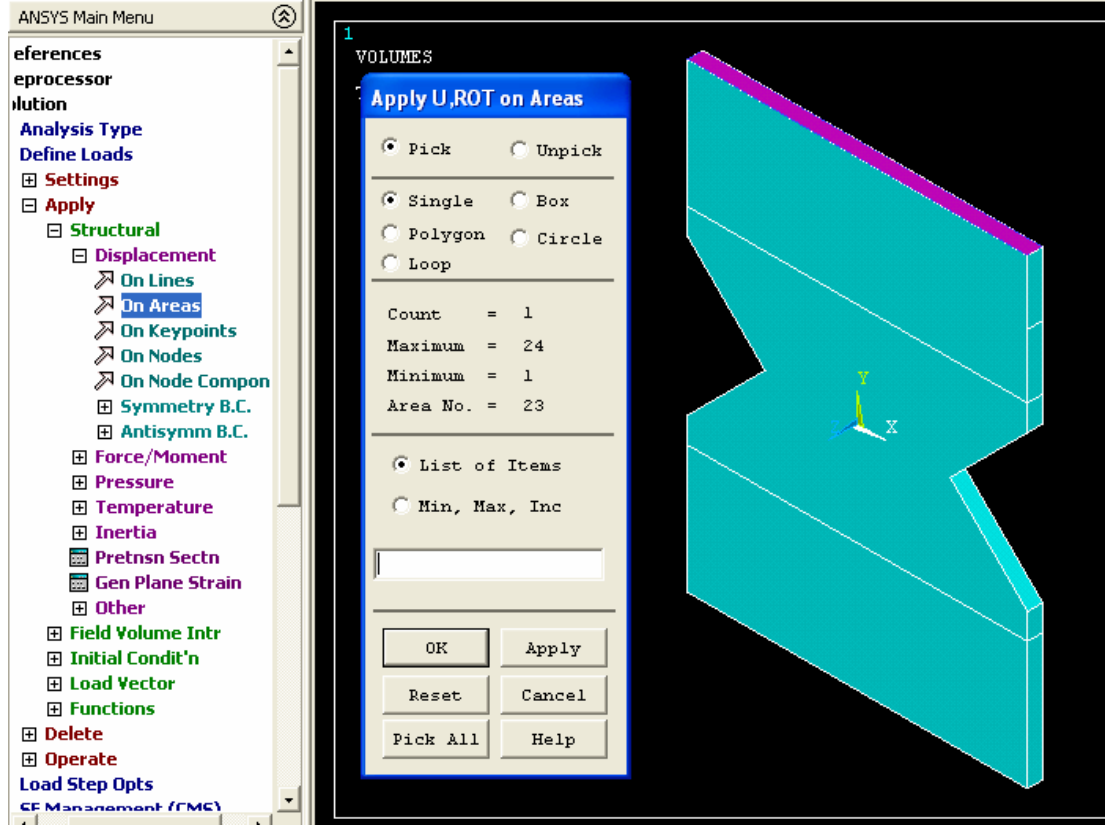
Şekil 5.3.3 Sınır Şartlarını Uygulamak İçin Alt Yüzeylerin Seçilmesi

Bütün yönlerde hareketin sınırlandırılması için açılan pencerede **All DOF** seçeneği seçilmiştir.



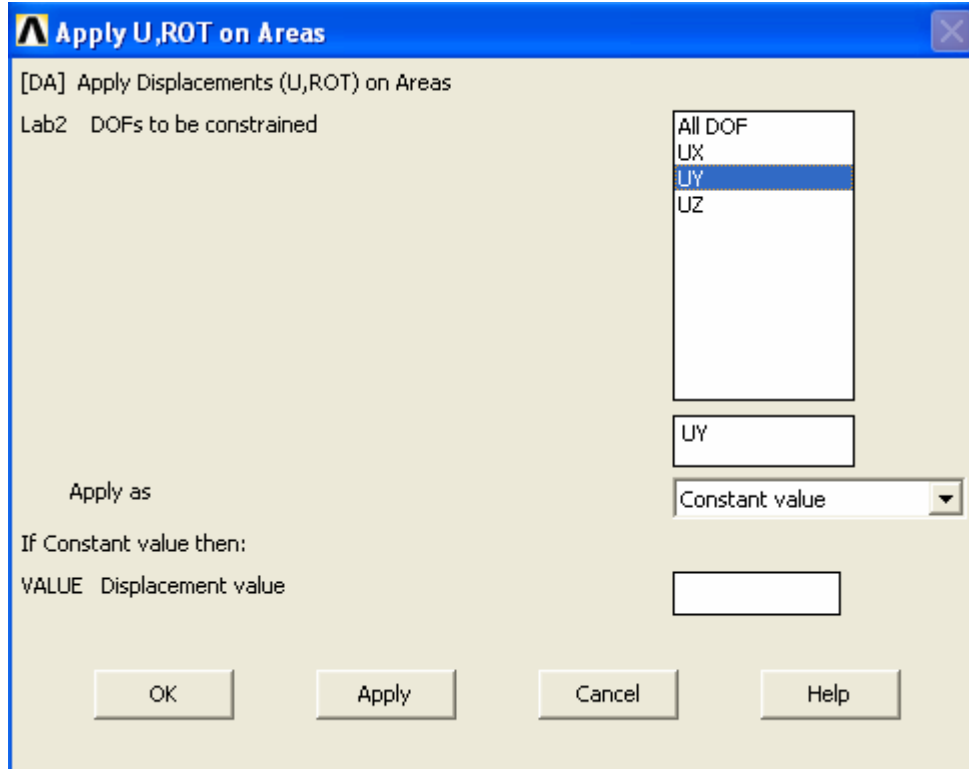
Şekil 5.3.4 All DOF Seçeneği ile Bütün Yönlerde Hareketin Sınırlandırılması

Çekme test cihazında numuneye uygulanan P kuvvetinin doğrultusu çentik merkezinden geçmektedir. Fakat ANSYS programında uygulanacak olan kuvvet numunenin üst tarafına etki edecek şekilde kaydırılmıştır. Bu durum numunenin üst kısmında bir moment meydana getirir. Bu moment kayma gerilmesi aparatına numunenin, tutucuların kapalı kısımlarına dayanmasıyla ortadan kaldırılmıştır. ANSYS ortamında ise numunenin üst yüzeyine y ekseninde bir hareket sınırlaması verilerek bu moment etkisi ortadan kaldırılmıştır. Bunun için **Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Areas** yolu izlenerek numunenin en üst yüzeyi seçilir.



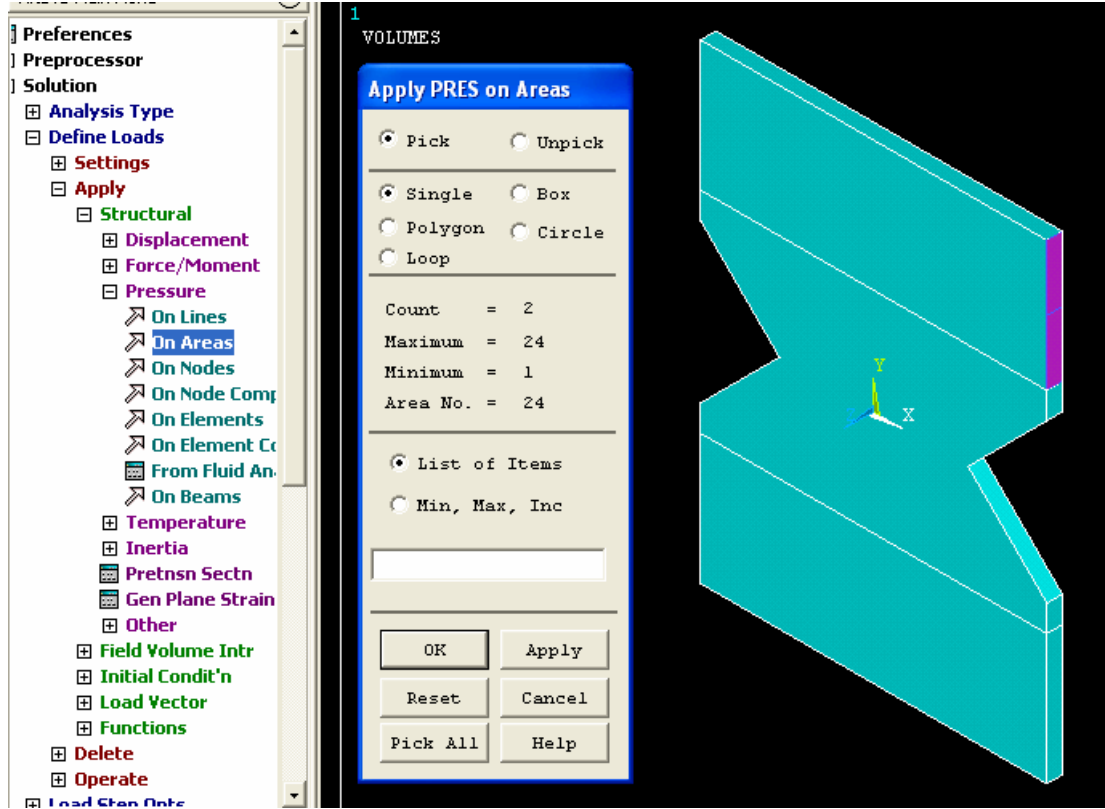
Şekil 5.3.5 Sınır Şartlarını Uygulamak İçin Üst Yüzeyin Seçilmesi

Hareketin yalnızca y (kayar mafsalsal) yönünde sınırlandırılması için açılan pencerede UY seçeneği seçilmiştir.



Şekil 5.3.6 UY seçeneği ile Y Yönünde Hareketin Sınırlandırılması

Sıra numuneye etki eden yüklerin uygulanmasına gelmiştir. Uygulanacak olan kuvvet numunenin yan yüzeyine etki eden bir basınç olarak tanımlanmıştır. Bunun için **Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Areas** yolu izlenmelidir.



Şekil 5.3.7 Basınç Uygulanacak Olan Yüzeyin Seçimi

Uygulanacak olan basınç çekme test cihazında numunelere uygulanan maksimum kuvvetin, kuvvetin uygulanacağı alana bölünmesiyle hesaplanır. 90°'lik ve 0°'lik oryantasyon açısına sahip numuneler için iki farklı maksimum kuvvet değeri vardır ve bunlar için iki ayrı basınç değeri hesaplanmıştır.

90° 'lik oryantasyon açısına sahip numuneye uygulanacak olan basınç değeri :

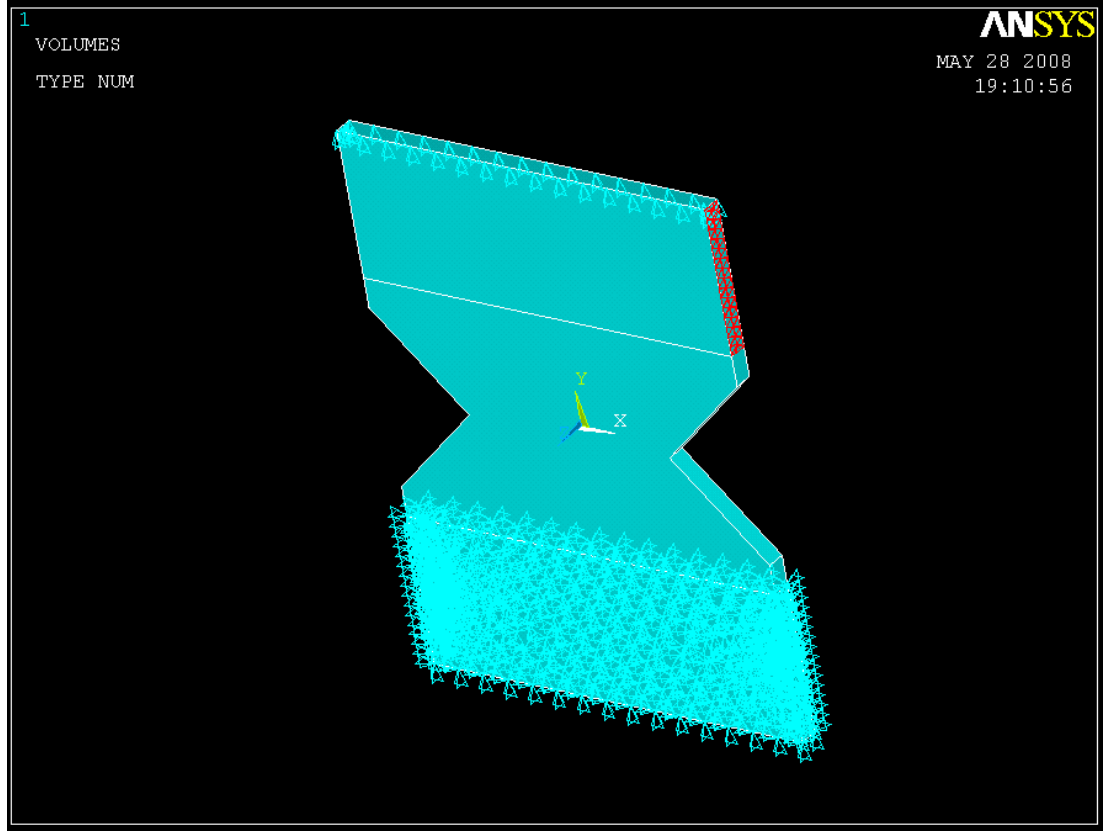
$$P = \frac{F}{A} = \frac{5581.89N}{(21 \times 2.5)mm^2} = 106.32MPa \text{ dır.}$$

Şekil 5.3.8 90°'lik Oryantasyon Açısına Sahip Numuneye Uygulanan Basınç Değerinin Girilmesi

0°'lik oryantasyon açısına sahip numuneye uygulanacak olan basınç değeri :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{6513.84N}{(21 \times 2.5)mm^2} = 124.07MPa$$

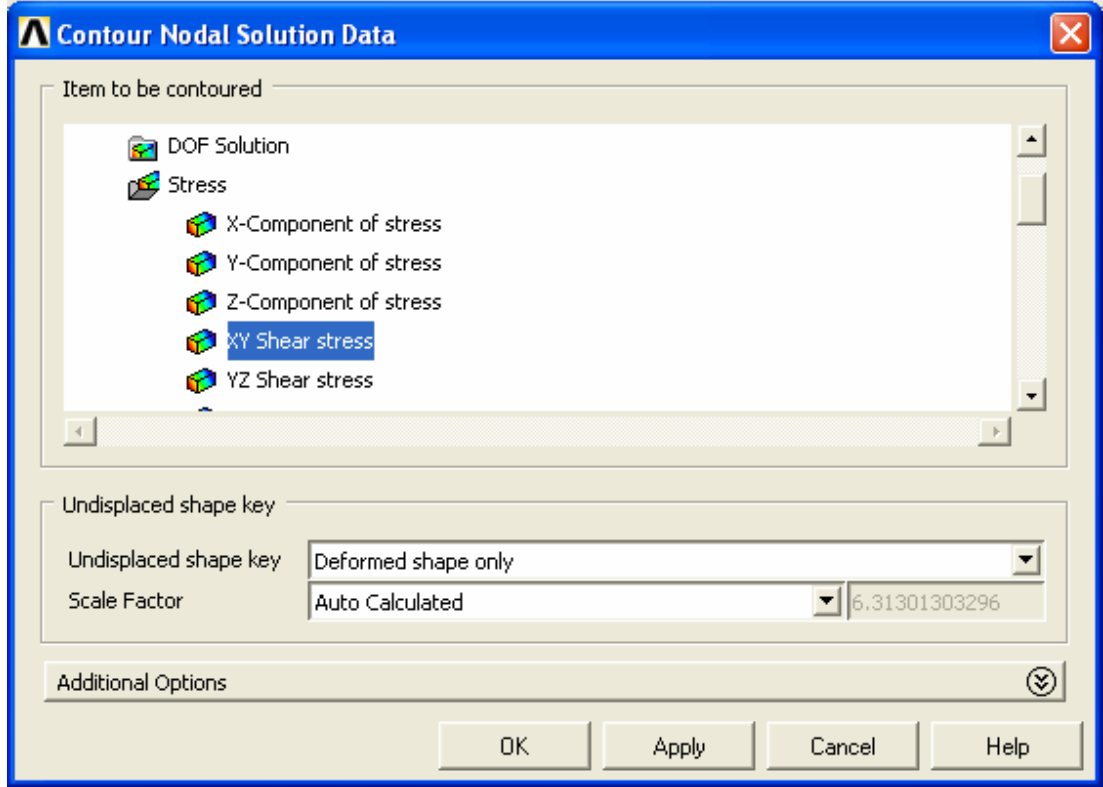
Şekil 5.3.9 0°'lik Oryantasyon Açısına Sahip Numuneye Uygulanan Basınç Değerinin Girilmesi



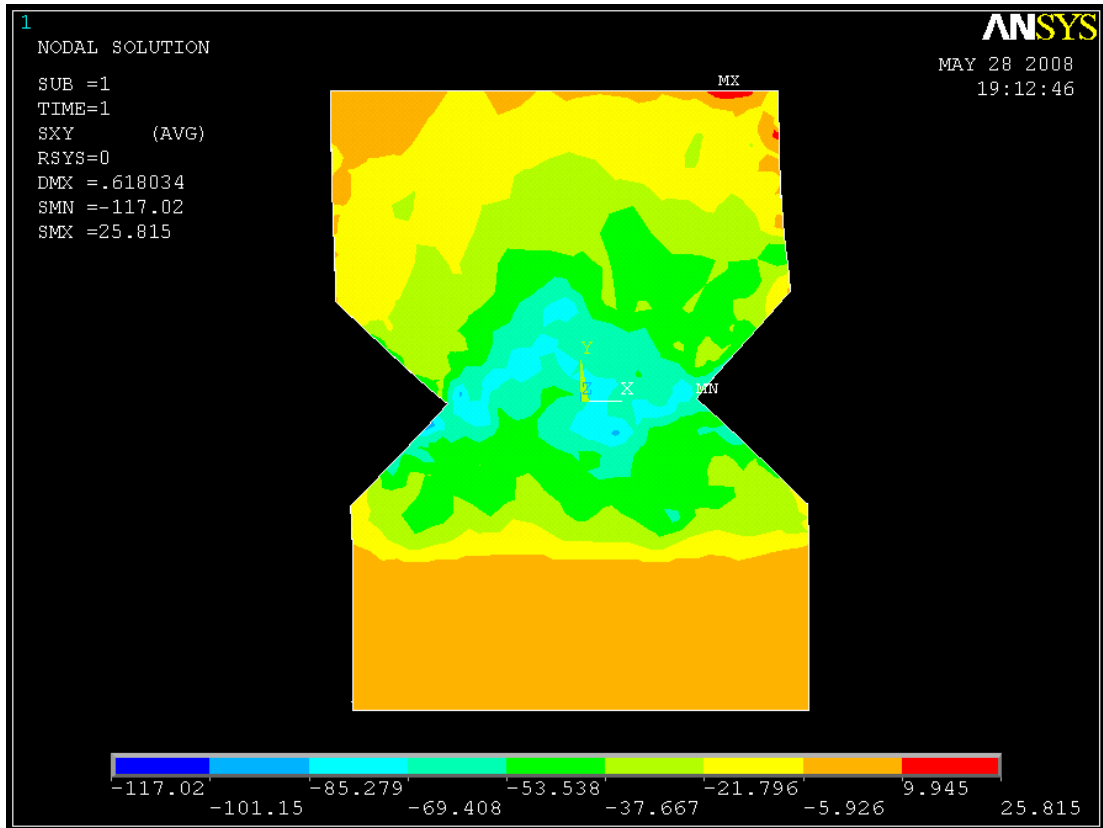
Şekil 5.3.10 Uygulanan Sınır Şartları ve Basınçların Görünümü

5.4 ÇÖZÜM VE ANALİZ SONUÇLARI

Sınır şartları belirlendikten ve uygulanan kuvvetler tanımlandıktan sonra. Analiz çözülmeye hazır hale gelmiştir. ANSYS programına çözüm yaptırmak için sırasıyla **Solution > Solve > Current LS** adımları izlenmelidir . Çözüm yapıldıktan sonra analiz sonuçlarını görmek için **General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solution** adımları takip edilmelidir. XY kayma gerilmesini tespit edebilmek için açılan pencerede **Nodal Solution > Stress > XY Shear Stress** seçeneği seçilmelidir.

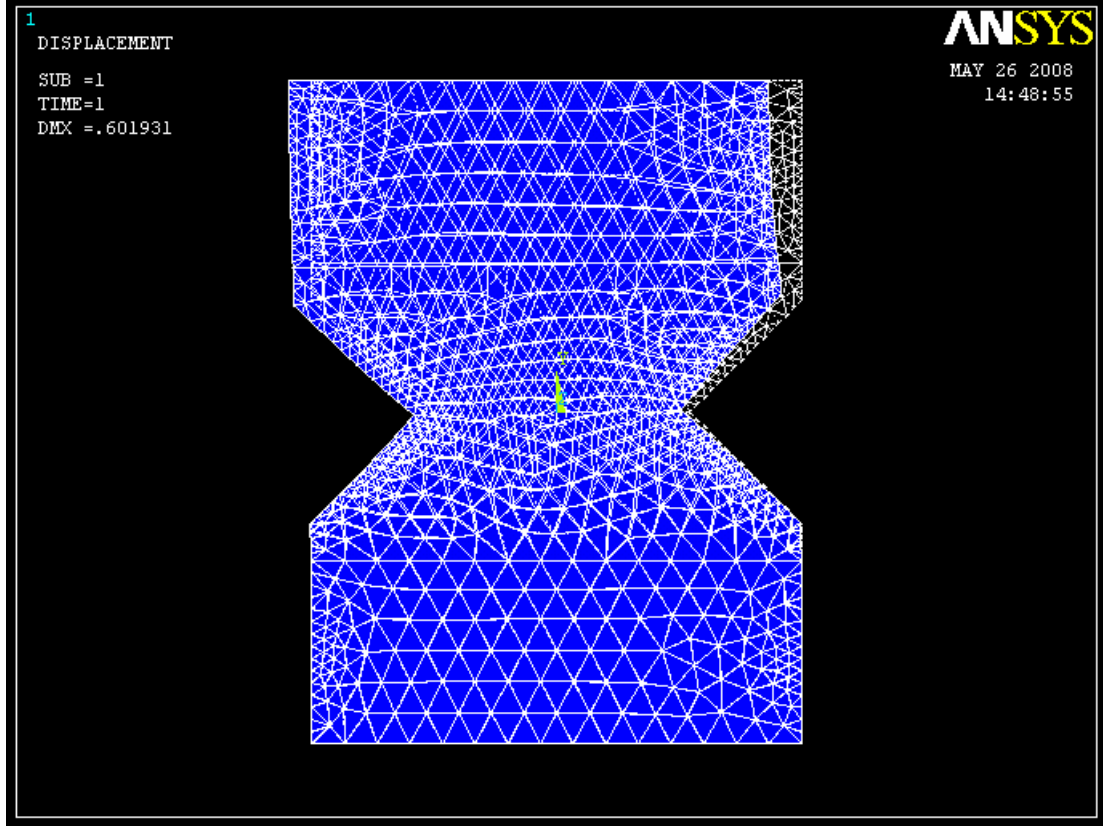


Şekil 5.4.1 XY Yönünde Kayma Gerilmesinin Seçilmesi



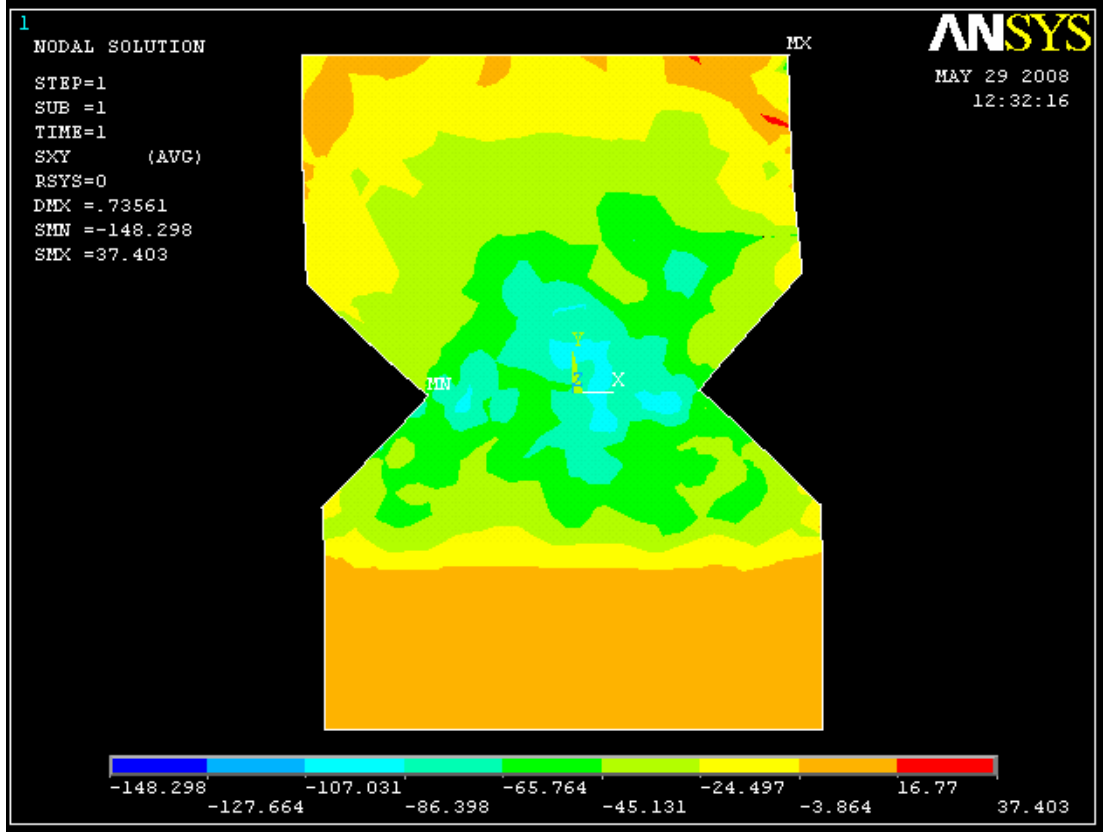
Şekil 5.4.2 90°'lik Oryantasyon Açısına Sahip Numunenin Kayma Gerilmesi Dağılımı

Şekilde görüldüğü gibi çentik bölgesinde (yeşil bölge) 69.4 Mpa civarında bir kayma gerilmesi oluşmuştur.



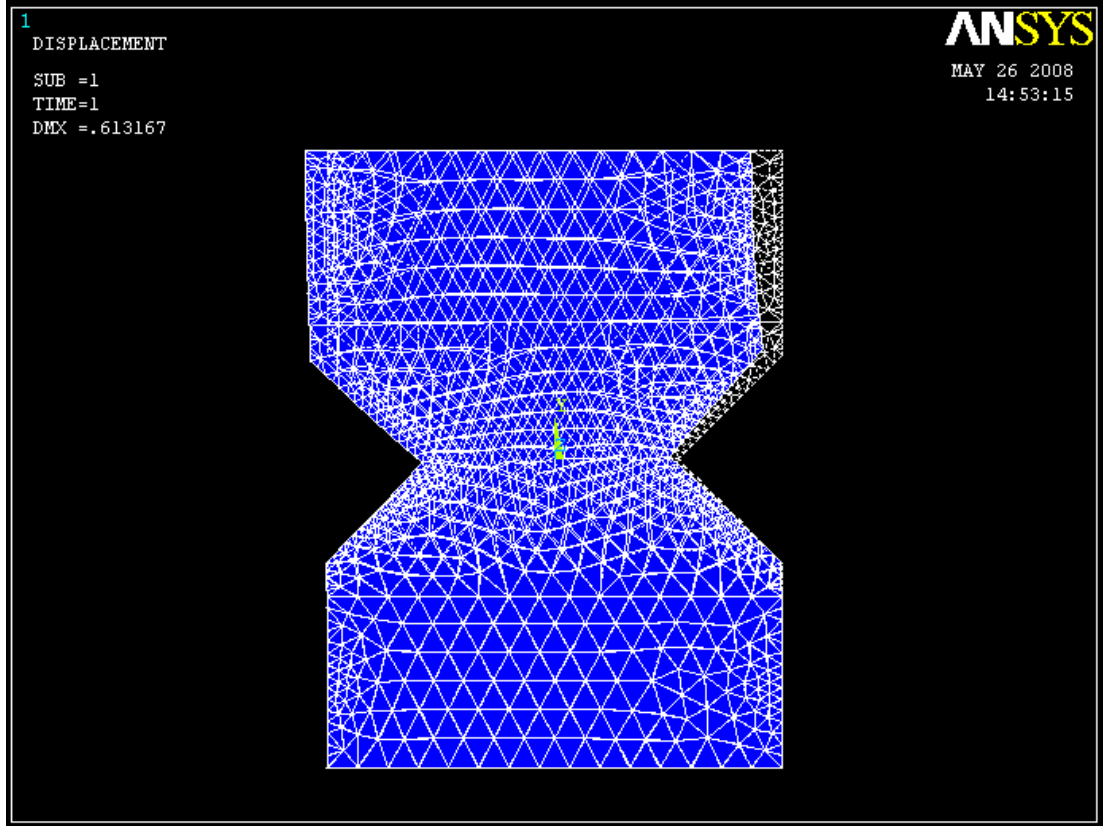
Şekil 5.4.3 90°'lik Oryantasyon Açısına Sahip Numunenin x Yönünde Deformasyonu

Aynı çözümlerler 0°'lik oryantasyon açısına sahip numune içinde yapılarak sonuçlar görüntülenmiştir.



Şekil 5.4.4 0°'lik Oryantasyon Açısına Sahip Numunenin Kayma Gerilmesi Dağılımı

Şekilde görüldüğü gibi çentik bölgesinde (yeşil bölge) ortalama 85 MPa civarında bir kayma gerilmesi oluşmuştur.



Şekil 5.4.5 0°'lik Oryantasyon Açısına Sahip Numunenin x Yönünde Deformasyonu

Sonuçlar ve Değerlendirme

Yapılan deneyler esnasında 90°'lik ve 0°'lik oryantasyon açısına sahip numuneleri , kayma gerilmesi ve kayma modülü olarak karşılaştırma imkanı olmuştur. Kayma gerilmeleri açısından, 77.477 MPa lık bir ortalama kayma gerilmesine sahip 0°'lik oryantasyon açısına sahip numunelerin , 62.03 MPa lık bir ortalama kayma gerilmesine sahip 90°'lik oryantasyon açısına sahip numunelerden daha mukavim oldukları görülmüştür. Kayma modülü açısından ise 90°'lik oryantasyon açısına sahip numunelerin 0°'lik numunelere göre daha büyük kayma modülüne sahip oldukları gözlemlenmiştir.

Ansysis programıyla yapılan analiz sonuçlarıda gerçek hayatta yapılan test sonuçlarıyla uyumluluk göstermiştir. 0° için yapılan testler sonucu elde edilen ortalama kayma gerilmesi değeri 77.467 MPa iken ANSYS programında yapılan analizde 85 MPa lık bir değer elde

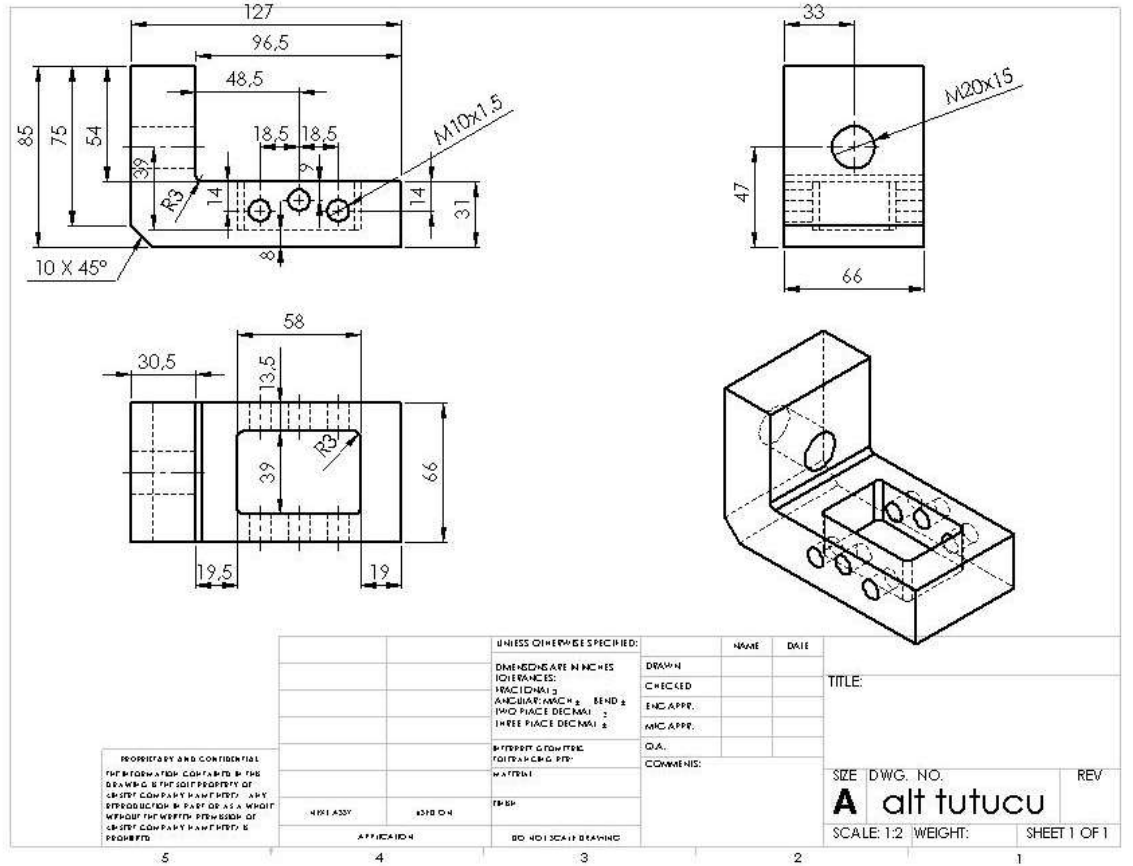
edilmiştir . Aynı şekilde 90° için yapılan testler sonucunda elde edilen ortalama kayma gerilmesi değeri 62.03 Mpa iken ansys programında yapılan analizde 69.408 MPa lık bir değer elde edilmiştir . Aradaki bu farklar ANSYS analizi sırasında mesh elemanlarının yapısının ve sayısının değişmesinden ve uygulanan sınır şartlarının yapılan deneyle birebir aynı olmamasından kaynaklanmaktadır.

Kaynaklar

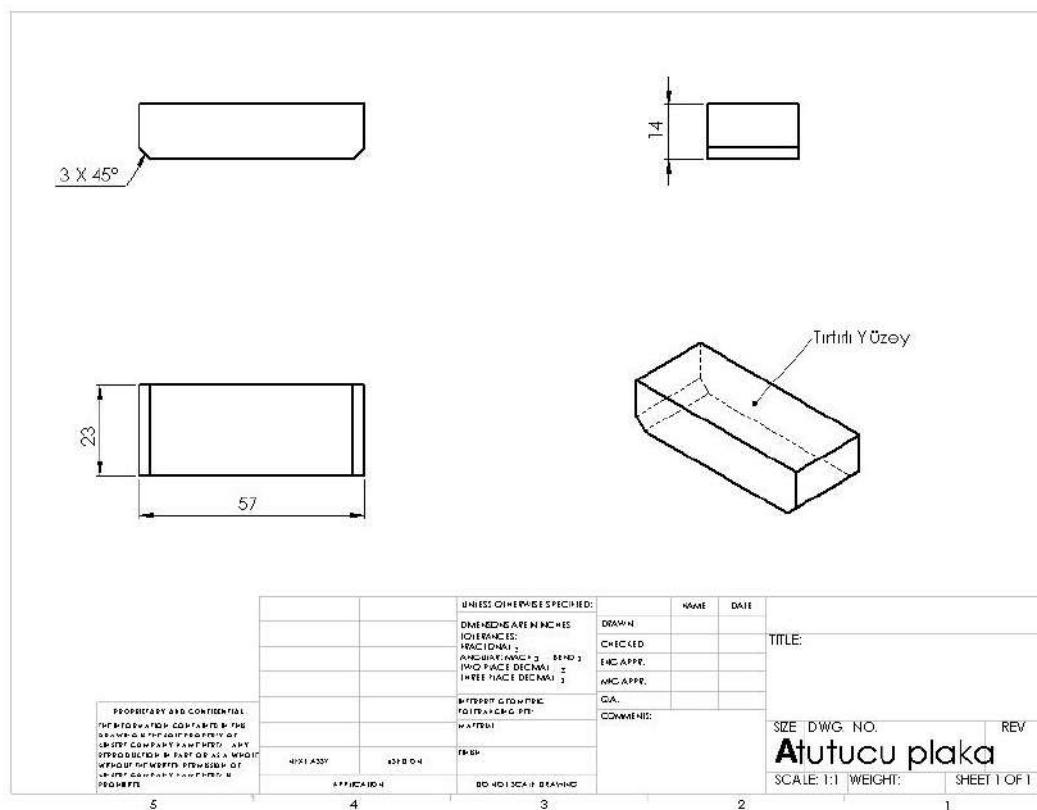
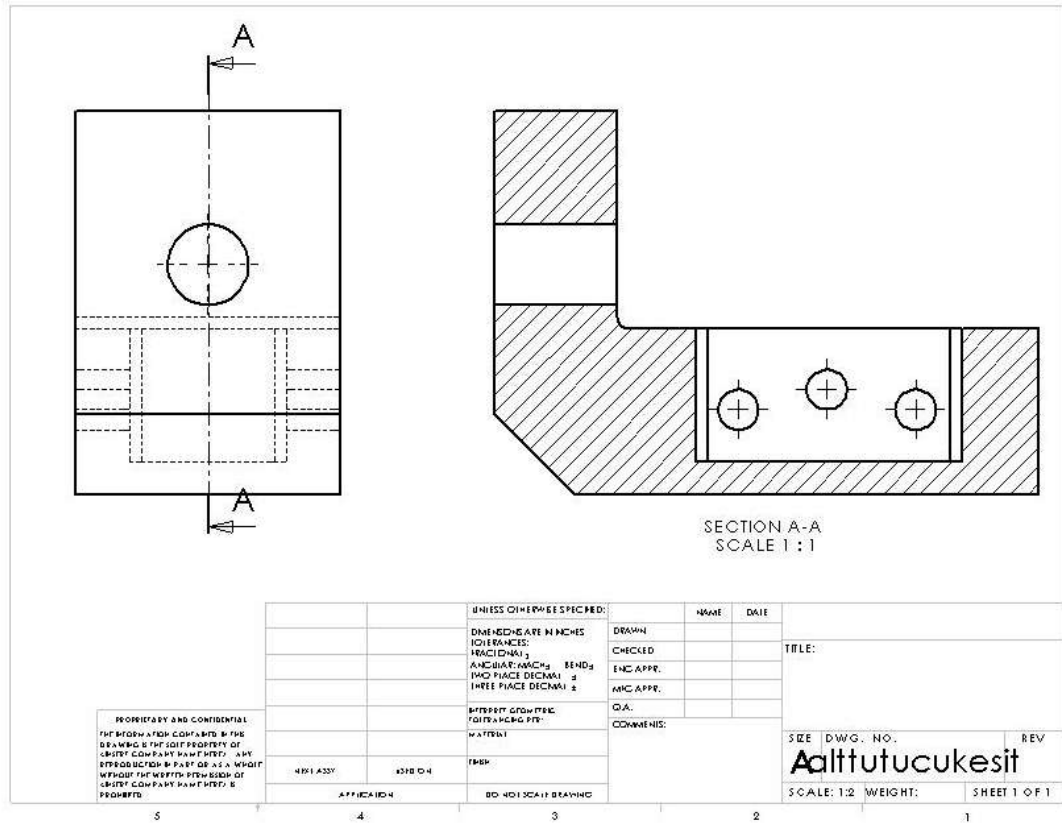
- a) FINITE ELEMENT ANALYSIS
Saeed Muoveni- Minnesota State University
PRENTICE HALL
- b) Wyoming Test Fixtures , Web Sayfası
<http://www.wyomingtestfixtures.com/Products/a2.htm>
- c) FIBER REINFORCED COMPOSITES Materials , Manufacturing and Design
P.K. MALLICK
- d) American Standarts For Testing Material Web Sitesi
www.astm.org
- e) “Kompozit Malzemelerin Kayma Testi İçin Aparat İmalatı”
Bitirme Tezi – Emre Çetinel 2007

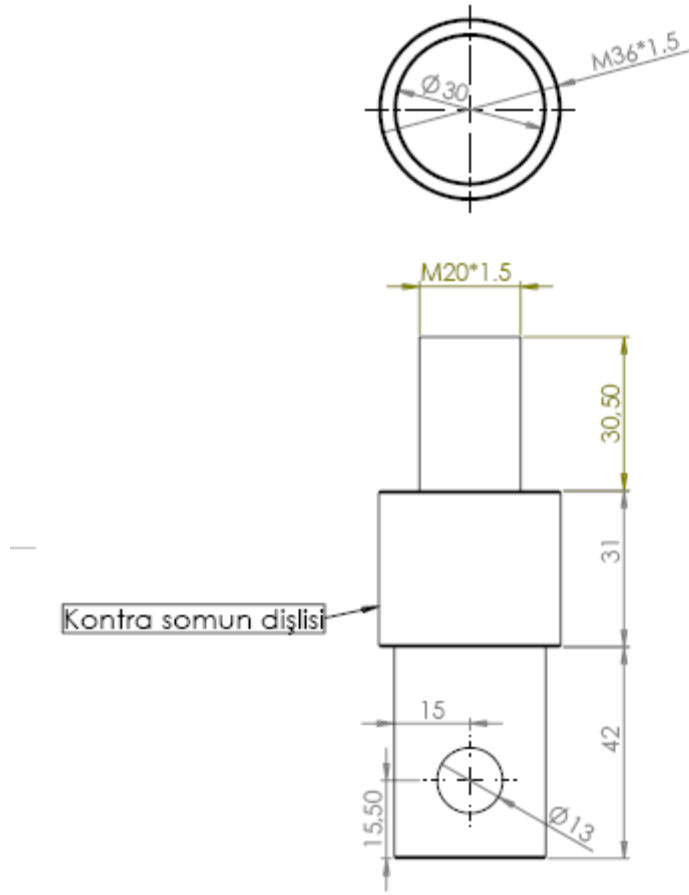
-Ekler-

1) Parçaların Teknik resimleri :



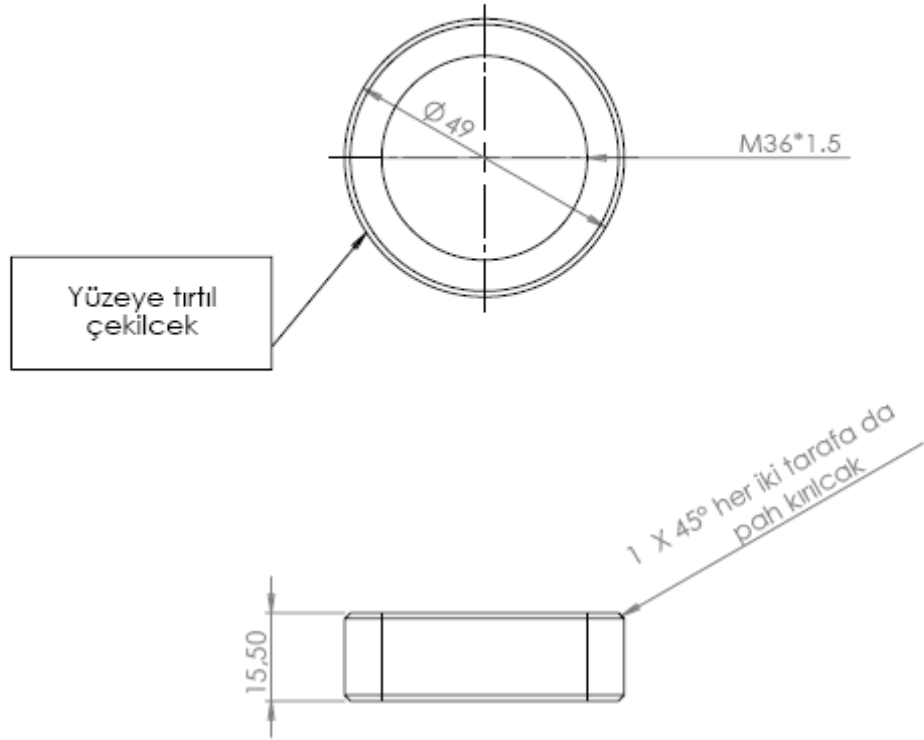
Tutucu Parçaların Teknik Resmi





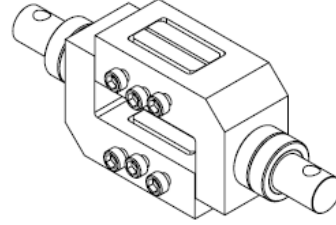
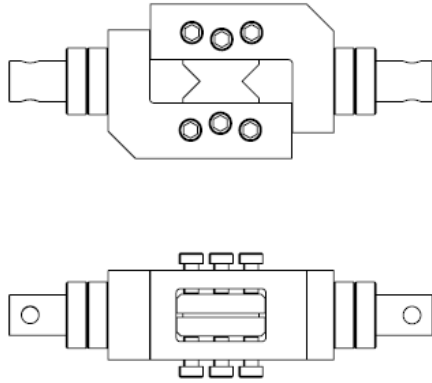
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	NAME	SIGNATURE	DATE					2 ADET	
DRAWN	Emre Cetinel								
CHECKED									
APPROVED									
MFG									
Q.A.								Kademeli Dişli Mil	
								DWG NO.	
								SCALE:1:1	
								SHEET 1 OF 1	

Kademeli Mil Teknik Resmi



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME				SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN: Emre Çetinel								4 ADET			
CHIEF											
APPROV											
MFG											
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.			
						ST-37		Kontra Somun			
						WEIGHT:		SCALE:1:1			
								SHEET 1 OF 1			

Kontra Somun Teknik Resmi



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACE FINISH:							
TOLERANCES:							
LINEAR:							
ANGULAR:							
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:	
CHK'D	Emre Cetinel						
APP'D							
MFG							
Q.A					MATERIAL:	DWG NO.	
						Montaj	

Montaj Resmi

