

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖRGÜ TİP DOKUMA KOMPOZİT MALZEMELERİN
BİRLEŞTİRİLMESİNDE FARKLI UÇ GEOMETRİLERİNİN YAPIŞTIRMA
DAYANIMINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ADİL NADİR KAPLANSEREN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. OLCAY ERSEL CANYURT

MART 2013

DENİZLİ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 091111024 nolu öğrencisi ADİL N. KAPLANSEREN tarafından hazırlanan “**ÖRGÜ TİP DOKUMA KOMPOZİT MALZEMELERİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE FARKLI UÇ GEOMETRİLERİNİN YAPIŞTIRMA DAYANIMINA ETKİSİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı: Prof. Dr. OLCAY ERSEL CANYURT (PAÜ)
(Jüri Başkanı)



Jüri Üyesi: Doç. Dr. TEZCAN ŞEKERCİOĞLU (PAÜ)



Jüri Üyesi: Yrd.Doç. Dr. ENGİN TAN (PAÜ)



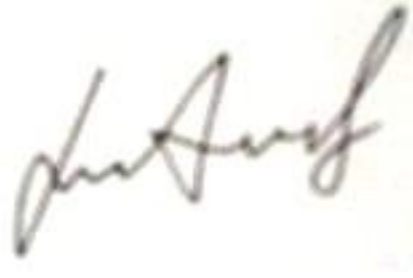
Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20.03.2013. tarih ve ...D.7/D.7.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza:



Öğrenci Adı Soyadı : **ADİL NADİR KAPLANSEREN**

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında ve tamamlanmasında benden desteğini esirgemeyen, her türlü konuda yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. O.Ersel CANYURT'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışma, Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen 2011FBE041 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Son olarak yüksek lisans eğitimim boyunca çalışmalarımda bana destek olup sabreden aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

MART 2013

Adil Kaplanseren

(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	viii
SUMMARY.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	6
2.1 Kuramsal Bilgiler	6
2.2 Literatür Bilgileri.....	15
3. MATERYAL VE METOT.....	23
3.1 Deney Numuneleri ve Malzemeleri	23
3.2 Yapıştırma ve Numunelerin Hazırlanışı.....	26
3.3 Kullanılan Cihaz ve Mekanizmalar	30
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	31
4.1 Gruplandırma Ve Tanıtma.....	31
4.2 Numuneler ve Sonuçlar	39
4.2.1 Ön deneyler	39
4.2.2 Deney sonuçları	43
5. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ UYGULAMASI.....	63
5.1 Ansys 12.1 Programı Analiz Adımları	63
5.2 Deney Yükleriyle Yüklenmiş Ansys Modelleri ve Sonuçları	70
5.2.1 Ön deneylerin Ansys analizi	72
5.2.2 F03 ve F06 modellerinin analizi	75
5.2.3 Dairesel uç geometrili numunelerin Ansys analizi	78
5.2.4 Üçgen uç geometrili numunelerin Ansys analizi	94
5.2.5 Numunelerin Ansys analizinde deformasyon tipleri.....	106
5.3 Ansys 12.1’de Tüm Numune Modellerine Aynı Yük Uygulaması Ve Analizi.....	109
5.3.1 Doğru boyunca gerilme değişimleri.....	109
5.3.2 Aynı yük uygulamasının belirlenen model formül ile yorumu.....	116
5.3.2.1 Dairesel uç geometrili grupların analizi	115
5.3.2.2 Üçgen uç geometrili grupların analizi	125
5.3.3 Ansys modelinde bir doğru boyunca çıkan sonuçların süreklilik analizi	134
6. FARKLI UÇ GEOMETRİSİNDEKİ SON DENEYLER	138
6.1 Son Deneylerin Ansys Analizi	139
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	143
KAYNAKLAR.....	147

KISALTMALAR

ASTM : Amerikan test ve malzeme topluluğu
CFRP : Karbon elyaf takviyeli polimer
GFRP : Cam elyaf takviyeli polimer

TABLO LİSTESİ

Tablolar

2.1: Malzemelerin mekanik değerleri, Mallick P. K.(2001).....	8
3.1: Kompozit malzemenin mekanik dayanım özellikleri.....	23
3.2: Dairesel ve üçgen formların parametreleri.....	26
4.1: Ön deney numunelerinin isimlendirmesi ve özel durumları.....	31
4.2: Gruplandırma ve numunelere karşılık gelen harf ve sayıdan oluşan isimler.....	32
5.1: Kopma kuvvetleri ve karşılık gelen kopma basınçları.....	71
5.2: Pathlerin numaraları ve merkeze göre koordinatları.....	110
5.3: D1 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.....	116
5.4: D2 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.....	118
5.5: D3 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.....	119
5.6: D4 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.....	120
5.7: D5 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.....	122
5.8: D6 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.....	123
5.9: D7 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.....	124
5.10: U1 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.....	126
5.11: U2 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.....	127
5.12: U3 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.....	129
5.13: U5 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.....	130
5.14: U6 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.....	131
5.15: U7 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.....	133
5.16: Path 4 üzerinden alınan değerler ve süreklilik işlemleri.....	135
5.17: Path 5 üzerinden alınan değerler ve süreklilik işlemleri.....	136
6.1: Son grup ve sonuçlar.....	138

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

1.1: Kompozit malzeme oluşum formülü	1
1.2: Fiber takviyeli kompozit yapıların basit oluşum şeması	2
1.3: Tek parça cam fiber/epoksi kayak malzemesi ve kalıbı	5
2.1: Eurofighter isimli uçağın dış çerçevesinin malzeme dağılımı.....	6
2.2: Denizcilik uygulamalarından cam takviyeli plastik kullanımına örnekler	6
2.3: Mekanik bağlantı ve yapıştırma bağlantıda gerilme dağılımı ve kararsız bölge boyu.....	10
2.4: Yapıştırıcı ile birleştirme şekilleri	11
2.5: Dil-oluk birleştirmesi.....	11
2.6: Metal bölümü kalın kompozit tabakaya bağlamak için kullanılan dil.....	12
2.7: Bir savaş uçağındaki kanat bağlantısı.....	12
2.8: Gerilme tipleri a) Kesme b) Çekme c) Soyulma d) Yarıлма.....	13
2.9: Yapıştırılan malzemelerin kalınlığının fonksiyonu olarak yapıştırma bağlantısının seçimi	14
3.1: Tüm numunelerde sabit olan ölçüler	24
3.2: Uç bölgesindeki parametreler (a) Dairesel form a ve b parametreleri (b) Üçgen form c ve d parametreleri	25
3.3: Örnek su jeti makinaları (a) Yatay su jeti (b) Dikey su jeti.....	27
3.4: Kesimi yapılmış farklı uç formunda kompozitler.....	28
3.5: Yapıştırılmış ve temizlenmiş farklı formda numuneler.....	29
4.1: a = 10 mm için b parametresinin değişimi	33
4.2: a = 14 mm için b parametresinin değişimi	33
4.3: a = 18 mm için b parametresinin değişimi	34
4.4: b = 0 mm için a parametresinin değişimi	34
4.5: b = 1 mm için a parametresinin değişimi	35
4.6: b = 2 mm için a parametresinin değişimi	35
4.7: b = 4 mm için a parametresinin değişimi	35
4.8: c = 10 mm için d parametresinin değişimi	36
4.9: c = 14 mm için d parametresinin değişimi	36
4.10: c = 18 mm için d parametresinin değişimi	37
4.11: d = 1 mm için c parametresinin değişimi	37
4.12: d = 2 mm için c parametresinin değişimi	38
4.13: d = 4 mm için c parametresinin değişimi	38
4.14: İlk deneyler öncesi numuneler F02, F05	39
4.15: F02 ve F05 deney sonrası görünümü.....	40
4.16: Oluk parçasının kesitinde değişiklik.....	40
4.17: Açılmayı önlemek için kullanılan U profil.....	41

4.18: Numuneler (a) F03 ilk düzenleme U profil kullanıldı. (b) F06 yeni düzenleme U profil kullanılmadı.....	41
4.19: Yeni düzenlemelerden sonra F06 numunesinin deney sonuçları	42
4.20: Genişletmeden sonra da oluşan açılma.....	43
4.21: Çekme anında oluşan hasarların bölgeleri	44
4.22: Çekme anında oluşan hasarlar	44
4.23: Deney öncesi F20 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	45
4.24: Deney öncesi F17 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	45
4.25: Deney öncesi F14 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	46
4.26: Deney öncesi F11 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	46
4.27: D1 grubu deney sonuçları grafiği	46
4.28: Deney öncesi F19 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	47
4.29: Deney öncesi F16 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	47
4.30: Deney öncesi F13 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	48
4.31: Deney öncesi F10 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	48
4.32: D2 grubu deney sonuçları grafiği	48
4.33: Deney öncesi F18 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	49
4.34: Deney öncesi F15 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	49
4.35: Deney öncesi F12 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	50
4.36: Deney öncesi F09 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	50
4.37: D3 grubu deney sonuçları grafiği	50
4.38: D4 grubu deney sonuçları grafiği	51
4.39: D5 grubu deney sonuçları grafiği	51
4.40: D6 grubu deney sonuçları grafiği	52
4.41: D7 grubu deney sonuçları grafiği	52
4.42: a parametresini sabit olduğu b parametresinin değiştiği grupların grafiği	53
4.43: b parametresinin sabit olduğu a parametresinin değiştiği grupların grafiği	54
4.44: Deney öncesi F30 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	54
4.45: Deney öncesi F29 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	55
4.46: Deney öncesi F26 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	55
4.47: Deney öncesi F23 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	55
4.48: U1 grubu deney sonuçları grafiği	56
4.49: Deney öncesi F28 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	56
4.50: Deney öncesi F25 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	57
4.51: Deney öncesi F22 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	57
4.52: U2 grubu deney sonuçları grafiği	57
4.53: Deney öncesi F27 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	58
4.54: Deney öncesi F24 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	58
4.55: Deney öncesi F21 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	59
4.56: U3 grubu deney sonuçları grafiği	59
4.57: U5 grubu deney sonuçları grafiği	60
4.58: U6 grubu deney sonuçları grafiği	60
4.59: U7 grubu deney sonuçları grafiği	61
4.60: c parametresinin sabit olduğu d parametresinin değiştiği grupların grafiği	62
4.61: d parametresinin sabit olduğu c parametresinin değiştiği grupların grafiği	62
4.62: Taralı olarak gösterilen, çekme sonucu uç bölgesinde oluşan ve oluk kollarını açmaya çalışan yan basınç alanları	63
5.1: Tabaka sayısının girilmesi	64
5.2: Malzeme numarası ve tabaka açıları ile kalınlığı girilmesi	64
5.3: Kompozit malzeme değerlerinin girilmesi	65

5.4: Yapıştırıcı malzemenin değerlerinin girilmesi	65
5.5: Malzeme özelliklerinin mesh öncesi atanması	66
5.6: Mesh için eleman boyutunun girilmesi.....	67
5.7: Contact Manager penceresi.....	67
5.8: Contact Wizard penceresi	68
5.9: Yüklenmiş meshli numune modeli	69
5.10: U profil kullanılan modelin mesh sonrası yüklemesi	69
5.11: F09 ve U profil meshli modeli.....	70
5.12: F21 ve U profil meshli modeli.....	70
5.13: F02 von Mises gerilmesi yakın görünüm	72
5.14: F02 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	73
5.15: F05 von Mises gerilmesi yakın görünüm	74
5.16: F05 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	74
5.17: F03 von Mises gerilmesi yakın görünüm	75
5.18: F03 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	76
5.19: F06 von Mises gerilmesi yakın görünüm	77
5.20: F06 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	77
5.21: F09 von Mises gerilmesi yakın görünüm	78
5.22: F09 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	79
5.23: F10 von Mises gerilmesi yakın görünüm	80
5.24: F10 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	80
5.25: F11 von Mises gerilmesi yakın görünüm	81
5.26: F11 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	82
5.27: F12 von Mises gerilmesi yakın görünüm	83
5.28: F12 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	83
5.29: F13 von Mises gerilmesi yakın görünüm	84
5.30: F13 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	84
5.31: F14 von Mises gerilmesi yakın görünüm	85
5.32: F14 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	86
5.33: F15 von Mises gerilmesi yakın görünüm	87
5.34: F15 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	87
5.35: F16 von Mises gerilmesi yakın görünüm	88
5.36: F16 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	88
5.37: F17 von Mises gerilmesi yakın görünüm	89
5.38: F17 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	89
5.39: F18 von Mises gerilmesi yakın görünüm	90

5.40: F18 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	91
5.41: F19 von Mises gerilmesi yakın görünüm	92
5.42: F19 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	92
5.43: F20 von Mises gerilmesi yakın görünüm	93
5.44: F20 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	94
5.45: F21 von Mises gerilmesi yakın görünüm	95
5.46: F21 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	95
5.47: F22 von Mises gerilmesi yakın görünüm	96
5.48: F22 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	97
5.49: F23 von Mises gerilmesi yakın görünüm	98
5.50: F23 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	98
5.51: F24 von Mises gerilmesi yakın görünüm	99
5.52: F24 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	99
5.53: F25 von Mises gerilmesi yakın görünüm	100
5.54: F25 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	100
5.55: F26 von Mises gerilmesi yakın görünüm	101
5.56: F26 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	101
5.57: F27 von Mises gerilmesi yakın görünüm	102
5.58: F27 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	102
5.59: F28 von Mises gerilmesi yakın görünüm	103
5.60: F28 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	103
5.61: F29 von Mises gerilmesi yakın görünüm	104
5.62: F29 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	104
5.63: F30 von Mises gerilmesi yakın görünüm	105
5.64: F30 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	105
5.65: Toplam von mises mekanik şekil değiştirme.....	106
5.66: Toplam von mises mekanik şekil değiştirme animasyon kareleri (a) ilk kare (b) ikinci kare (c) üçüncü kare (d) dördüncü kare (Şekil 5.69)	107
5.67: von Mises toplam mekanik şekil değiştirme	107
5.68: von Mises toplam mekanik şekil değiştirme animasyon kareleri (a) ilk kare (b) ikinci kare (c) üçüncü kare (d) dördüncü kare (e) beşinci kare (Şekil 5.67).....	108
5.69: Ansys’de parçalar üzerindeki pathlerin durumu.....	109
5.70: Koordinatların merkezi.....	110
5.71: Path1 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri	111
5.72: Path2 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri	112
5.73: Path3 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri	112
5.74: Path4 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri	113

5.75: Path5 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri	113
5.76: Path6 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri	114
5.77: Path7 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri	115
5.78: Path8 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri	115
5.79: D1 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri	117
5.80: D1 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerlerinin grafikleri ..	117
5.81: D1 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması	117
5.82: D2 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri	118
5.83: D2 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerlerinin grafikleri ..	118
5.84: D2 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması	119
5.85: D3 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri	119
5.86: D3 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerlerinin grafikleri ..	120
5.87: D3 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması	120
5.88: D4 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri	121
5.89: D4 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerlerinin grafikleri ..	121
5.90: D4 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması	121
5.91: D5 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri	122
5.92: D5 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerlerinin grafikleri ..	122
5.93: D5 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması	123
5.94: D6 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri	123
5.95: D6 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerlerinin grafikleri ..	124
5.96: D6 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması	124
5.97: D7 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri	125
5.98: D7 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerlerinin grafikleri ..	125
5.99: D7 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması	125
5.100: U1 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri	126
5.101: U1 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerlerinin grafikleri	126
5.102: U1 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması	127
5.103: U2 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri	128
5.104: U2 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerlerinin grafikleri	128
5.105: U2 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması	128
5.106: U3 Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri	129
5.107: U3 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerlerinin grafikleri	129
5.108: U3 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması	130
5.109: U5 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri	130
5.110: U5 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerlerinin grafikleri	131
5.111: U5 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması	131
5.112: U6 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri	132
5.113: U6 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerlerinin grafikleri	132
5.114: U6 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması	132
5.115: U7 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri	133
5.116: U7 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerlerinin grafikleri	133
5.117: U7 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması	134
5.118: Path 4 kuvvet sürekliliği grafiği	137
5.119: Path 5 kuvvet sürekliliği grafiği	137
6.1: F31 ve F32 numuneleri	138
6.2: Deney öncesi F31 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	139
6.3: Deney öncesi F32 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar	139
6.4: F31 von Mises gerilmesi yakın görünüm	140

6.5: F31 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	140
6.6: F32 von Mises gerilmesi yakın görünüm	141
6.7: F32 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri	142

SEMBOL LİSTESİ

a	Dairesel numunelerde uç geometrisi genişliği
b	Dairesel numunelerde dil genişliğinin dışında kalan uç geometrisi genişliği
c	Üçgensel numunelerde uç geometrisi genişliği
d	Üçgensel numunelerde dil genişliğinin dışında kalan uç geometrisi genişliği
kN	Kilo Newton
MPa	Megapascal
σ_{von}	von Mises gerilmesi
σ_{Model}	Oluşturulan model formül sonucu elde edilen gerilme
σ	Normal gerilme
F	Kuvvet
A	Alan
x	Genişlik
t	Kalınlık

ÖZET

ÖRGÜ TİP DOKUMA KOMPOZİT MALZEMELERİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE FARKLI UÇ GEOMETRİLERİNİN YAPIŞTIRMA DAYANIMINA ETKİSİ

Bu tez çalışmasında yapıştırıcı ile birleştirmede kullanılan dil oluk birleştirme yönteminin uç geometrileri değiştirilerek farklı tasarımlar önerilmiştir. Ana malzeme olarak dokuma tip kalın kompozit plakalar kullanılmıştır. Bu plakalar cam elyaf/epoksi tabakalardan 0/90 derece açılı üretilmiştir. Önerilen geometrik tasarımlar ile oluşturulan deney numuneleri, statik çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Dil üzerindeki oluşan geometrik tasarımın, yapıştırma bağlantısı dayanımı üzerine etkisi incelenmiştir. Deney sonuçları ve analitik sonuçlar değerlendirilmiş ve geometrik tasarımın yapıştırma dayanımı üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Analitik çalışmada sonlu elemanlar analizinin paket bilgisayar programından da (ANSYS 12.1) faydalanılmıştır. Dil ve oluk bağlantı tipinde dairesel ve üçgensel uç profili tasarımları parametrik olarak gruplanmış ve incelenmiştir. Parametrik olarak uç profili tasarımları ile bağlantı dayanımı arasındaki ilişki ortaya çıkarılmıştır. Yapıştırma dayanımında dil uç geometrisi genişliği ve dil uç geometrisi yüksekliğinin etkili olduğu görülmüştür. Dairesel ile üçgensel profil karşılaştırıldığında üçgensel profil geometrisinin yapıştırma dayanımının daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı yapıştırma uzunluğunda dil uç geometrisi oluşturulmadan yapılan deneylerden dairesel uç geometrili numunelerde 1.8 kat, üçgensel uç geometrili numunelerde 2 kat daha iyi sonuç elde edilmiştir. Son deneylerde ise yarım daire uç geometrisi uygulanmış ve daha iyi dayanım gösteren üçgensel numunenin sonuçlarına yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kalın kompozitler, yapıştırma bağlantısı, uç geometrisi, bağlantı dayanımı

SUMMARY

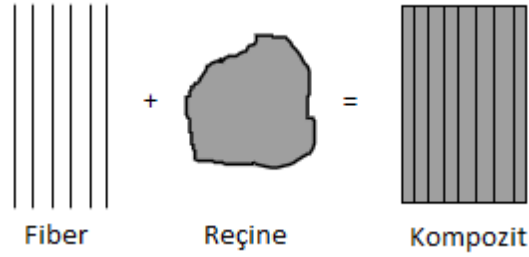
THE EFFECT OF THE DIFFERENT TIP GEOMETRIES ON THE STRENGTH OF BONDED JOINTS IN TYPE OF WOVEN FABRIC COMPOSITE MATERIALS JOINING

In this study, tongue and groove joint with different tip geometries were suggested in the bonded joints. Thick woven fabric composite structures were used in the research. These plates were manufactured from *fiber glass / epoxy* with 0/90 degrees ply orientation. Test specimens with recommended geometric designs were subjected to static tensile tests. The effects of geometric designs on the joint strength were examined. According to the experimental results and the analytical results, geometric design has an influence on the joint adhesively bonded joint strength. Finite element analysis computer program (Ansys12.1) was used in the numerical methods. The circular and triangular tip designs are investigated parametrically in the tongue-and-groove joint profile. Parametric correlation between the strength of the joint and the effect of profile designs were revealed. The width and height of the tongue was found to be effective in the bonding strength. Compared with the triangular profile and circular profile geometry, the triangular profile joint is stronger than circular profile. Semicircular tip geometry was applied in last experiments, and similarly results were obtained with triangular tip geometry specimens results. Specimens of circular tip geometry 1.8 times and specimens of triangular tip geometry 2 times better results were obtained from experiments which wasn't generated tongue tip geometry in the same bonding length.

Keywords: Thick composites, bonded joints, tip geometry, joint strength

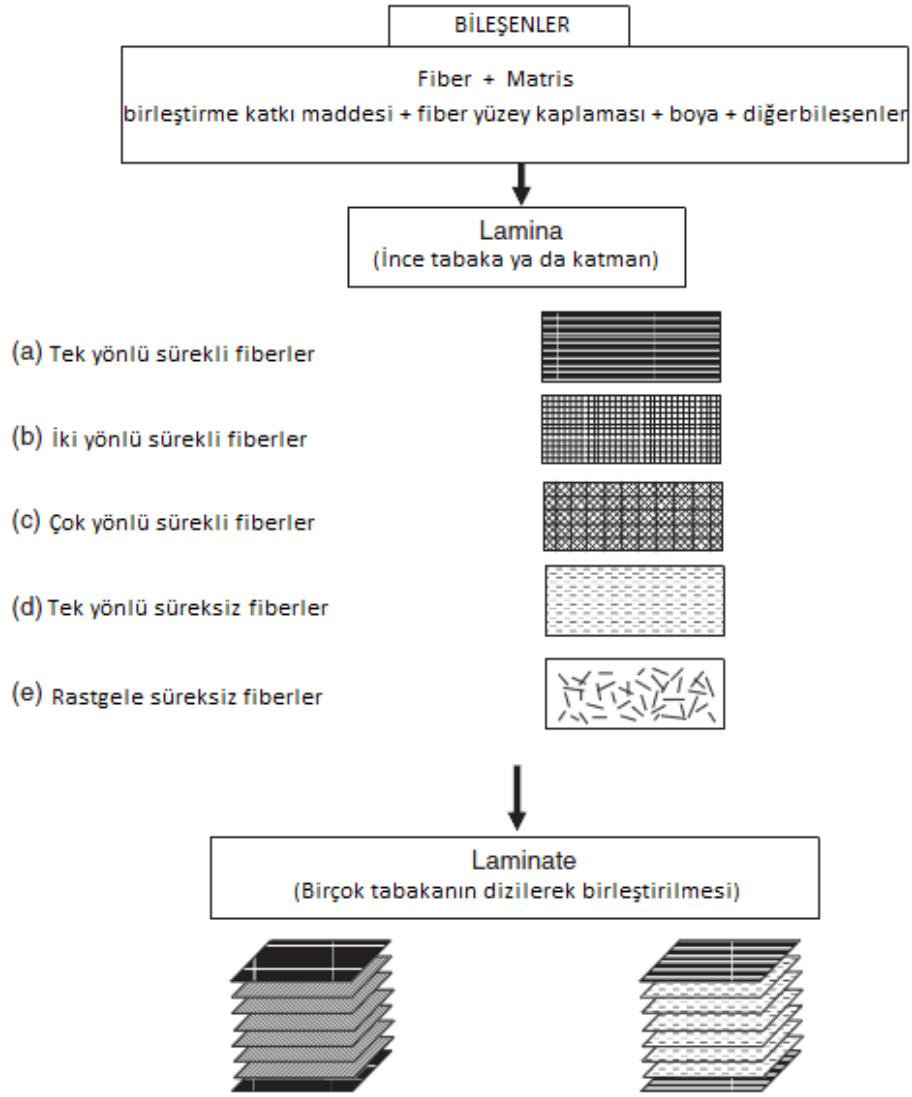
1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin hızla ilerlediği son yıllarda gereksinim duyulan malzemeler ve özellikleri sürekli değişmekte, yeni malzeme türleri imal edilmekte ve bunların kullanım alanları artmaktadır. Bu gelişmeler kompozit malzemelerin önem kazanmasına yol açmıştır. Kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmalara hız verilmiştir ve günümüz teknolojisinde birçok uygulamada temel ya da yardımcı malzeme olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.1: Kompozit malzeme oluşum formülü.

Yapısal amaçlı kullanılan bir kompozit, mekanik performansı ve özellikleri kendini oluşturan iki veya daha fazla fazdan, daha üstün olması için dizayn edilmiş bir malzeme sistemidir. Fazlardan biri genellikle kesintili, daha katı, daha güçlüdür ve fiber (destek) olarak adlandırılır. Bunun yanında daha az katı ve daha zayıf olan faz ise sürekli ve matris olarak adlandırılır. Bazen, matris ve fiberin arasında meydana gelebilecek kimyasal tepkimeleri engellemek amacıyla araya bir faz daha konur ve bu da ara faz olarak adlandırılır. Yapısal uygulamalarda ise sürekli fiberler yani uzun fiberli kompozitler tercih edilir.



Şekil 1.2: Fiber takviyeli kompozit yapıların basit oluşum şeması Mallick P.K. (2001).

Kompozit malzemenin özellikleri onu oluşturan malzemelerin özelliklerine, geometrisine ve fazların dağılımına bağlıdır. En önemli parametrelerden biri de fiberin hacim (ya da ağırlık) oranıdır. Fiberlerin dağılımı, malzeme sisteminin homojenliğini ya da düzenini tayin eder. Fiberlerin geometrisi ve oryantasyonu (açısal dağılımı) ise sistemin anizotropiklik derecesini belirler. Kompozitler anizotropik ve homojen olmayan malzemeler oldukları için mekanik davranışları metal gibi homojen ve izotropik bir malzemeye kıyasla daha karmaşıktır. Ancak gelişen üretim yöntemleri ve modelleme teknikleri ile bu sorunlar çözülmeye başlanmıştır.

Dvorak, G.J. ve diğ. (2001). Çeşitli kompozit malzemelerin içinden; çalışma aşaması boyunca cam elyaf takviyeli dokuma kompozit kullanmışlardır. Ve bu malzeme ile ilgili açıklamalarda bulunmuşlardır. Cam elyafı elastik bir malzemedir. Yük altında düzgün olarak kopma noktasına kadar uzayan cam elyafı, çekme yükünün kalkması sonucunda herhangi bir akma özelliği göstermeden başlangıç boyutuna döner. Diğer metallerde ve organik liflerde bulunmayan bu elastiklik ve yüksek mukavemet özellikleri; cam elyafına büyük miktarda enerjiyi, kayıpsız olarak depolama ve bırakma olanağı sağlamaktadır. Cam elyafı takviyeli plastiklerde, cam elyafı takviyesinin yönü önemli bir etkidir ve bu, cam elyafının reçine ile kaplanabilirliğini de etkiler. Dolayısıyla takviye miktarının artışı ile birlikte cam elyafın o yöndeki mukavemeti de artar.

Ateş, C. (2006) notlarında matris malzemelerden bahsetmiştir. En çok kullanılan üç temel plastik (termoset) reçine türü vardır. Bunlar polyester, vinilester ve epoksidir. Uygun şartlar sağlandığında epoksi yüksek gerilme dayanımı sağlar. Fakat uygulamada polyester ve vinilester epoksiye oranla standart ticari kullanımı daha fazladır. Bunun sebebi; polyester ve vinilester daha ucuzdur, polyester ve vinilester reçineler en basit ve çok yönlü üretim alanlarında çok kolaylıkla uygulanabilir. Vinilester reçineler katmanlı yapının fiziksel özelliklerinde önemli avantaj sağlar. Yüksek uzama kabiliyeti, yüksek elastiklik sınırı ve polyestere göre yüksek korozyon direnci ve mekanik dayanıma sahiptir. Ayrıca yoğunluğu ve su tutuculuğu da azdır, fakat fiyat olarak polyesterden pahalıdır. Epoksi ise yüksek sürtünme direncine sahiptir, daha az su tutar ve daha az büzülür. Ayrıca uygun şartlar altında fabrikasyon olarak oluşturulan katmanlı yapı, polyester ve vinilestere göre daha mukavimdir. Epoksi ise bu kadar mukavim olması yanında fiyatı yüksektir ve özel uygulamalar için kullanılır.

Yapıştırıcı (adhesive) ASTM tarafından, “yüzey teması ile malzemeleri bir arada tutabilen madde” olarak tanımlanmıştır.

Kodakoğlu L. (1996) çalışmasında yaptığı tanıma göre yapıştırma; en az iki malzemenin birbirine adhezyon kuvvetleri aracılığı ile güçlü bir şekilde yapıştırılması işlemi; istenilen özellikleri veren epoksi, polyamid, fenolik, polyimid ve silikon gibi malzemelerin kimyasal olarak birleştirilmesinden oluşan bir karışımla yapılan bir işlemdir.

Yapıştırılan malzeme molekülleri ile yapıştırıcı molekülleri arasındaki çekim kuvvetine yüze yapışma kuvveti ya da adhezyon kuvveti, yapıştırma işleminde kullanılacak olan yapıştırıcı molekülleri arasındaki çekim kuvvetine yapıştırıcının iç kuvveti ya da kohezyon kuvveti denir.

Genel olarak bütün bağlantıların amacı, yükleri bir parçadan diğerine transfer etmek ya da iki parça arasında bir hareket oluşturmaktır. Ancak bir yapıda kullanımı, dezavantajları olmasına rağmen genelde kaçınılmazdır.

- Bağlantılar gerilme yoğunluğunun olduğu yerlerdir ve yük transferinde süreksizlik meydana getirirler.
- Bir bağlantı oluşturmak iş gücü gerektirir ve özel kurallara uyularak yapılır.
- Bağlantılar üretim zamanını artırır ve yapıya ayrı bir maliyet katar.

En ideal üretim tek parça üretilmesidir. Fiber takviyeli kompozitler büyük yapılar oluşturmak için imkân sağlarlar, karmaşık şekilli parçalarda bu özellik önemlidir ve parça sayısını azaltmak tek hedefi oluşturur. Ancak kompozit yapılarda bağlantının mecbur olacağı yerlerde iki tip bağlantı kullanılır; yapıştırma bağlantı ve mekanik bağlantı. Bu tezde, yapıştırma bağlantısının farklı bir çeşidi incelenmiştir.



Şekil 1.3: Tek parça cam fiber/epoksi kayak malzemesi ve kalıbı.

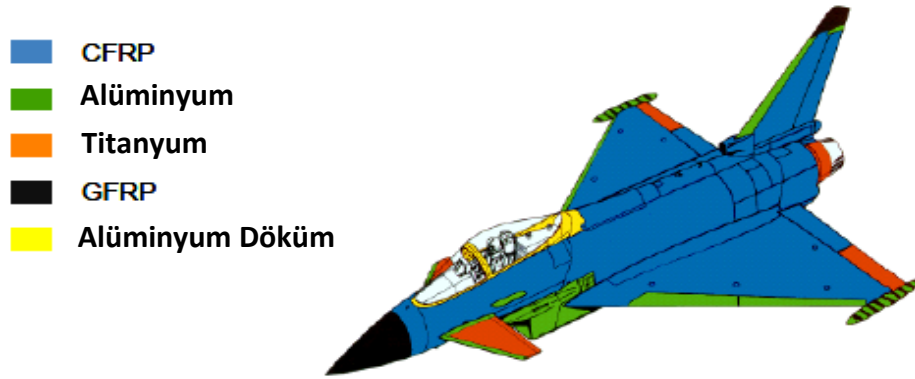
Kompozit yapıların son yıllardaki gelişmeleri, çok kuvvetli epoksi tipi yapıştırıcıların geliştirilmesi ve yapıştırma tekniklerindeki yenilikler; yapıştırma bağlantıları tercih edilir hale getirmiştir. Kaynak, perçin, lehim ve benzeri diğer bağlantı şekillerinde olduğu gibi ergime sonucu kristal yapıda değişikliğe neden olmadığı, gerilme yığılmaları meydana getirmedeği ve yapışmanın genellikle birleştirilen parçaların ergime sıcaklıklarının da çok altında yapılabilmesi gibi nedenlerden dolayı yapıştırıcılar, kendisine uygun bir gelişme alanı bulmuştur. Yapıştırıcıların endüstride yaygınlaşmasının diğer temel nedenleri ise, birbirinden farklı olan malzemelerin birleştirilmesi, düzgün gerilme dağılımlarının olması, diğer bağlantılarda olduğu gibi zamanla gevşeme olmaması, yapısal özelliklerinin değişime uğramaması ve istenilen mukavemet değerlerinin elde edilebilmesidir.

Kompozit malzemelerin metalik malzemelerle veya kompozit malzemelerin diğer kompozitlerle yapıştırılmasıyla oluşan yapılar şu anda ticari uçak ve deniz taşıtlarında sıkça kullanılmakta ve bu yapılar hızlı bir şekilde geliştirilmektedir. Önceleri uçaklar için yapıştırılmalı bağlantı tekniği ciddi bir birleştirme metodu olmuş ve bu gelişmeden itibaren bu yöntemin kullanımının diğer sanayi kollarında arttığı görülmüştür. Yapıştırıcı üreticileri mevcut malzemelerin çalışma sıcaklıklarının daha geniş aralıkta kullanılması için üretimlerini sürekli geliştirmektedirler.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Kuramsal Bilgiler

Denizcilik, uçak ve uzay sanayinde yapısal uygulamalarda hafiflik ve yüksek dayanıma sahip olması sebebiyle kompozit malzemelerin kullanımı oldukça artmıştır. Kompozit malzemenin kullanımında farklı yapısal tasarımları sonucunda birleştirme problemleri ile karşılaşmış ve bu konuda yapılan araştırmalar hız kazanmıştır. Kompozit malzemelerin maliyet yüksekliği ve kullanıldığı alandaki yapının kritik öneme sahip olması da birleştirme çalışmalarının önemini daha da arttırmıştır.



Şekil 2.1: Eurofighter isimli uçağın dış çerçevesinin malzeme dağılımı.



Şekil 2.2: Denizcilik uygulamalarında cam takviyeli plastik kullanımına örnekler. Aran, A. (1990) ve Deborah D. L. Chung (2009)'nın literatür çalışmalarına göre kompozit malzeme kullanımının mekanik ve deneysel açıdan avantajları şunlardır;

- Düşük yoğunluk, yüksek mukavemet gösterir.

- Titreşim sönümlenme kabiliyeti iyidir.
- Yüksek rijitliğe sahiptir.
- İyi sürünme dayanımı ve iyi tokluk dayanımı vardır.
- Düşük sürtünme katsayısı ve yüksek aşınma direnci vardır.
- Korozyon dayanımı yüksektir.
- Çatlak ilerlemesi durumu çok azdır.
- Hasar toleransı yüksektir.
- Darbe ve yorulma dayanımı iyidir.

Dezavantajları ise ;

- Kopma uzaması azdır.
- Kompozit malzemeler farklı doğrultularda farklı mekanik özellik gösterirler.
- Yorulma dayanımı düşüktür
- Üretimi nispeten pahalıdır.

Düşük yoğunluk, yüksek mukavemet en belirgin özelliği olan kompozitler için iki farklı terim oluşturulmuştur ve açıklaması şöyledir: Bunlardan birincisi spesifik modül olarak anılan ve elastisite modülünün (E), materyalin yoğunluğuna (ρ) oranı ile tanımlanan bir parametredir. Diğer parametre spesifik direnç, materyal dayanıklılığının (σ_{kop}) materyalin yoğunluğuna (ρ) oranı olarak tanımlanır. Bu parametreler uzay ve havacılık sahasında kullanılan önemli parametrelerdendir.

$$spesifik\ modül = E / \rho$$

$$spesifik\ direnç = \sigma_{kop} / \rho$$

Nedeni ise şu örnekle açıklanabilir;

Basit olarak, malzemeye uygulan aksenal çekme ve aksenal basma kuvvetleri sonucu deformasyon formülü $U = \frac{P.L}{A.E}$ dir. Öncelikle burada E paydada bulunduğu için sonucu küçültür yani düşük deformasyon. Sonra kütle formülü ($M = \rho.A.L$)

deformasyon formülüne uygulanarak ($\frac{P.L^2}{U.E/\rho}$), *spesifik modül* gösterilmiş olur ki

burada da azaltıcı etki görülmektedir. Aynı işlemi gerilme formülüne uyguladığımızda *spesifik direncin* etkisini görebiliriz. Farklı olarak uzun çubukların burkulmasında Euler formülünde yine aynı deformasyonu azaltıcı etkiler görülmektedir. Yine birçok örnek verilebilir. Buradan da anlaşılacağı gibi

kompozitler ağırlıklarına göre çeliklerden daha üstün özellikler göstermektedir. Bu Tablo 2.1 de görüleceği gibi farklı malzemelerin özellikleri arasında kompozitler hafiflik ve dayanım oranlaması yapıldığında öne çıkmaktadır. Kaw, A. K. (1997).

Tablo 2.1: Malzemelerin mekanik değerleri, Mallick P. K.(2001).

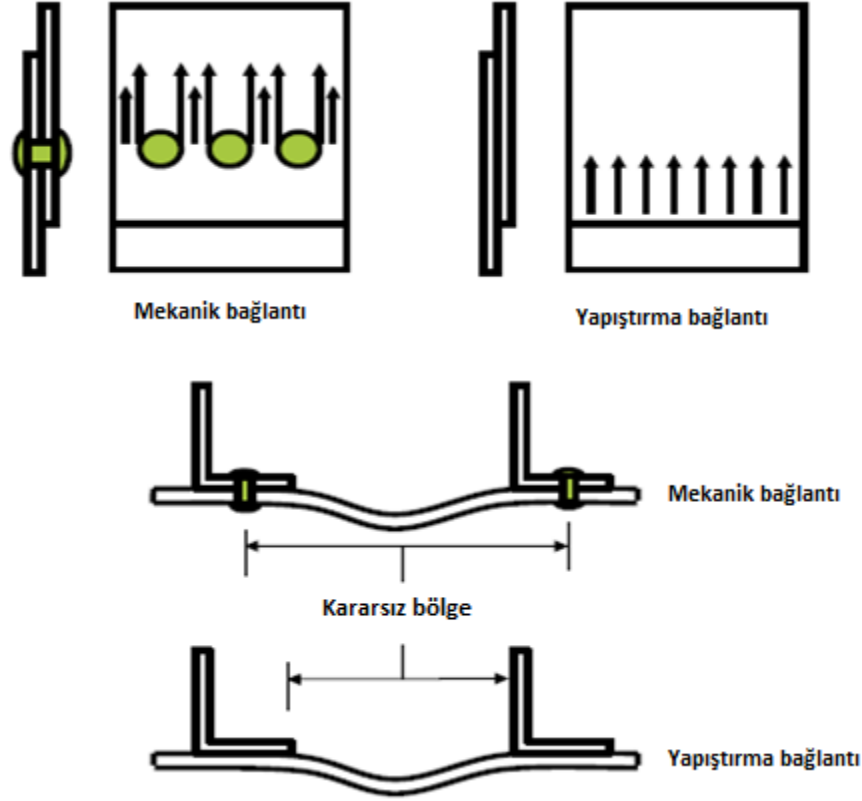
MALZEME	Yoğunluk (ρ)(g/cm ³)	Çekme Dayanımı (σ_c)(MPa)	Elastisite Modülü (E)(GPa)	Özgül Çekme Dayanımı (σ_c/ρ)	Özgül Elastisite Modülü (E/ ρ)
METALLER					
Dökme demir	7	140	100	20	14.3
Alaşımız çelik	7.89	459	203	58	26
Alaşımız Alüminyum	2.8	84	71	30	25
Alüminyum 2024-T4	2.8	247	69	88	25
Pirinç	8.5	320	97	38	11
PLASTİKLER					
Nylon	1.15	82	2.9	71	2.52
Polypropilen	0.9	33	1.4	37	1.55
Epoksi	1.25	69	3.5	55	2.8
Fenolik	1.35	6	3	4	2.22
SERAMİKLER					
Alumina	3.8	170	350	45	92.1
MgO	3.6	60	205	17	56.9
KOMPOZİTLER					
Bor-Epoksi	1.8	1600	224	889	124
Karbon-Epoksi	1.59	1730	142	1080	89.3
S camı-Epoksi	1.8	1400	56	824	33
E camı-Epoksi	1.8	1150	42	639	23
Kevlar-Epoksi	1.35	1100	63.6	810	47.1

Yapıştırıcıların da son zamanlarda endüstride kullanımı hızla artış göstermektedir. Günümüzde artık havacılık, uzay, gemi, otomotiv, altyapı sistemleri, tıp, elektronik, inşaat ve spor gibi birçok sektörde yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Yapıştırıcılar diğer bağlantı türlerinin (cıvata, perçin, kaynak, lehim v.b. gibi) giderek yerini alırken onları tamamlayıcı görevini de sürdürmektedir. Yapısal elemanların birleştirme

yöntemlerinde etkili ve güvenilir ilerlemelerin ortaya çıkması, tasarımda yapıştırma bağlantıları kullanılmasını mekanik birleştirme yöntemlerinden önce düşünülen bir yöntem haline getirmiştir. Yine yapıştırıcılar mekanik veya diğer bağlantı uygulamalarının kullanıldığı yerlerde de tercih edilerek tasarımda yer alabilmektedirler.

Literatür çalışmalarında ve farklı yapıştırıcı araştırmalarında yapıştırıcıların avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur. Bu çalışmada yapıştırıcıların özellikle mekanik araştırma için kullanımı ve deney uygulamalarından dolayı avantaj ve dezavantajları şöyledir; Habenicht, G. (2009) avantajlar:

- Düzgün gerilme dağılımı olur ve parçada hasar oluşturmaz.
- Yükler altında kararsız, rijitliği az olan bölgeler, bağlantı boyunca temas sayesinde azalmış olur (Şekil 2.3).
- Çoğunlukla kaynak bağlantısındaki gibi yapısal değişim olmaz.
- Pim, civata, perçin, kelepçe vs. kullanımı olmadığından parça adeti azalır.
- En az diğer bağlantılarda olduğu kadar mukavemettir.
- Bağlantı zamanla, vida bağlantısında olduğu gibi, gevşeme olayına maruz kalmaz.
- Bağlama elemanı üretiminde yüksek enerji girişine gerek yoktur.
- Sönümleyici özelliğinden ötürü titreşimleri absorbe eder.
- Zaman ve maliyet azalması sağlar.

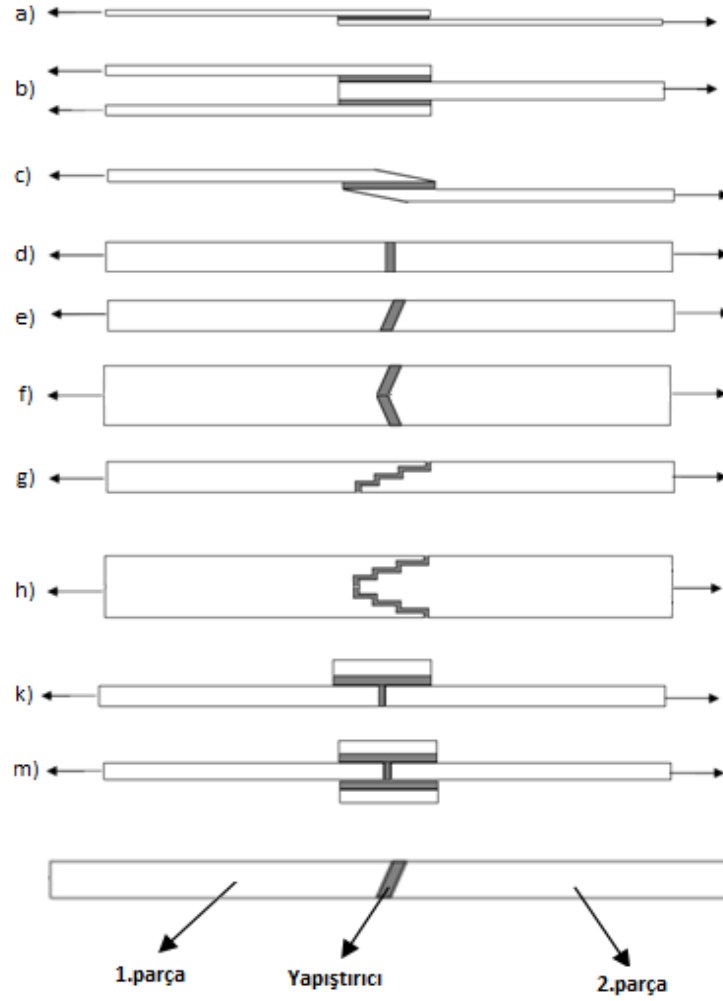


Şekil 2.3: Mekanik bağlantı ve yapıştırma bağlantıda gerilme dağılımı ve kararsız bölge boyu.

Dezavantajlar ise;

- Yüksek ısıya karşı dayanımı düşüktür.
- Yüzey temizliği hassasiyet gerektirir.
- Bağlantının durumuna göre bağlantı tam oluşabilmesi için gerekli olan süre uzun olabilir.
- Bazı durumlarda uygun bağlantı için basınç ve ısı kullanılması gerekebilir.
- Bağlantı ara birimleri veya aparatları gerekebilir.
- Düşük sıcaklıklarda bazı ürünlerde kolay kırılabilirlik görülebilir.
- Bükülebilir ürünlerde sürünme dayanımı düşüktür.
- Zehirleyici ve alev alma problemlerini içermektedir.

Yapıştırma bağlantılarının avantajları kullanarak yapılan bağlantı çeşitleri oldukça fazladır. Bu bağlantılar geometrik formları farklı tasarımlar içerebilir, ancak en çok kullanılan ve araştırmaları yapılan şekiller şunlardır:



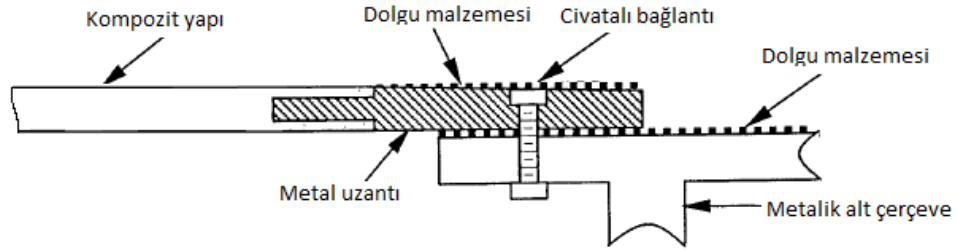
Şekil 2.4: Yapıştırıcı ile birleştirme şekilleri.

Şekil 2.4'deki bağlantılar; a) tek tesirli bindirme b) çift tesirli bindirme c) açılı tek tesirli bindirme d) alın birleştirme e) açılı alın birleştirme f) çift açılı alın birleştirme g) basamaklı bindirme h) çift basamaklı bindirme k) tek takviyeli bindirme m) çift takviyeli bindirme

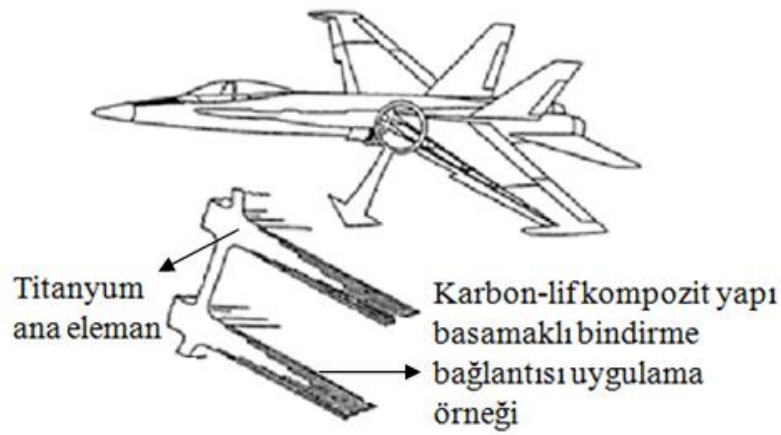
Bu şekillerin dışında bazı birleştirmeler önerilmiştir. Bu tezde dil oluk tipi bağlantının (Şekil 2.5) farklı uç geometrileri ile birleştirilmesi incelenmiştir. Bu konuda araştırma ve uygulama çalışmaları sürmektedir (Şekil 2.6, 2.7).



Şekil 2.5: Dil-oluk birleşmesi



Şekil 2.6: Metal bölümü kalın kompozit tabakaya bağlamak için kullanılan dil oluk birleştirmesi.

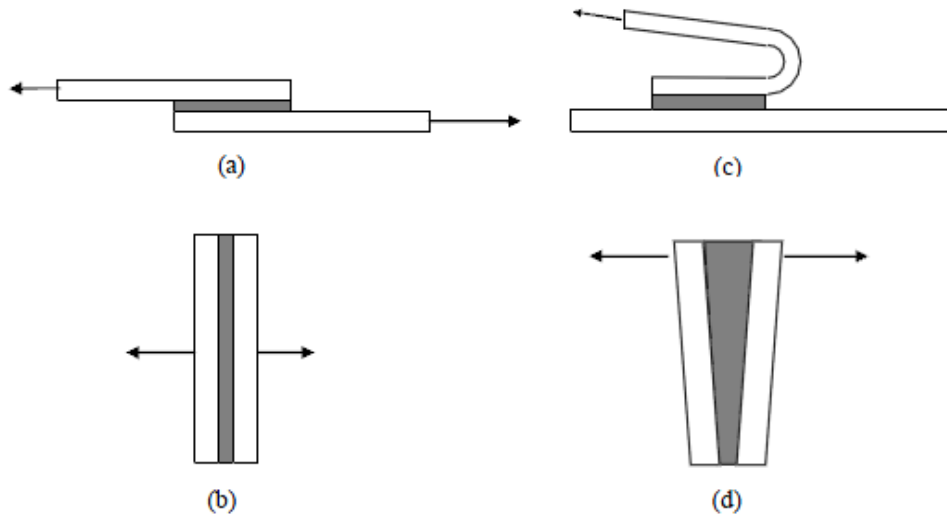


Şekil 2.7: Bir savaş uçağındaki kanat bağlantısı.

Hart Smith L.J. (1974) yaptığı çalışmada yapıştırma bağlantılarının dayanımını araştırmıştır. Yapıştırma bağlantıları soyulma ve yarıma (çatlama) gerilmelerine (Şekil 2.8) karşı hassastır. Tasarımda kayma gerilmesi ile normal gerilmeleri öne çıkararak uygun yükleme yapmak ve yüksek bölgesel gerilme yığılmalarını dikkate almak önemlidir. Bunun için ise bağlantıda bölgesel geometrik tasarımları incelemek, yüzey hazırlama işlemleri uygulamak, uygun yapıştırıcıyı seçmek ve yapıştırma işlemi için gereken ön hazırlıkları yapmak gereklidir. Yine de tüm bağlantı tiplerini bu kurallarla en iyi hale getirmek imkânsızdır, ancak bu kurallar tasarımı hangi şekilde yönlendireceğimizi gösterir. Yüksek gerilme yığılmalarını azaltmak için ise bu kurallardan geometrik değişiklikler ilk ele alınan unsurdur. Yapıştırılacak malzemeler ve yüzey son-kat işlemleri; çoğunlukla uygun değer yapıştırıcı ve ek yeri tasarımında birinci seçim kriteridir, fakat en uygun yapıştırıcının belirlenmesinde malzemelerin mekanik özellikleri ve parçaların sertliği de çok önemlidir. Bağlantının çalışma ortamı (sıcaklık, kimyasallar/solventler, nem, vs.) yapıştırıcı seçimini doğrudan etkiler. Çalışma ortamı ve tatbik edilen kuvvetler

dayanıklılığı belirleyen en önemli parametrelerdir. Ek yeri tasarımı, seçilen yapıştırıcıdan en yüksek verimi almakta, en önemli parametredir. Tasarım yapıştırıcının özelliklerine göre ayarlanmalı (örneğin hacimsel küreleşme, boşluk doldurma, vs.) ve en zor yük şartları (soyulma, yarıлма) engellenecek şekilde optimize edilmelidir.

Adams, R.D. ve diğerleri (1997) çalışmalarında, yapıştırıcıların yükler karşısında davranışlarının önemli olduğunu, çekmeye maruz kaldıklarında soyulma ve yarıлма gerilmeleri en çok hasara neden olan gerilmeler olduğunu belirtmişlerdir. Kesme gerilmesinin etkisi ise daha az ve dağılımı daha düzgün olduğunu, bu yüzden yapıştırma tasarımı kesme gerilmelerine maruz kalacak şekilde yapılması fayda sağlayacağını göstermişlerdir. Çok yönlü tabakalı kompozit malzemeler izotrop malzemelere göre kayma gerilme dayanımı daha düşük, boyuna gerilme dayanımı daha iyi olduğunu ancak yapıştırma tasarımları için uygun olan kayma gerilmesine maruz bırakılırsa daha dayanıklı olacağını belirtmişlerdir. Bu yüzden tabakalı kompozitlerin yapıştırma bağlantılarının çekme durumlarında yapıştırma tasarımı önemlidir.



Şekil 2.8: Gerilme tipleri a) Kesme b) Çekme c) Soyulma d) Yarıлма.

Loctite Handbook (1998). Firma araştırmalarını bir kitapta toplamıştır. Gerilmeler sonucu oluşabilecek iki farklı hasar türü bulunmaktadır. Yapıştırılmış bir ek yerindeki kopmanın bazı önemli nedenleri parçaların gözle kontrolü ile tespit

2.2 Literatür Bilgileri

He, Xiaocong (2011)'un yaptığı çalışmada yapıştırma bağlantılarının sonlu elemanlar metodu ile analizi konusunda geçmiş araştırmalar tartışılmıştır. Bölümler ise statik yükleme analizi, çevresel etkilere karşı davranışlar, yorulma yüklemesi analizleri ve yapıştırma birleştirmelerinin dinamik karakteristiğidir. Çalışmada; yapıştırma bağlantılarının sonlu elemanlar analizinin; başarılı bir bağlantı üretimi için, olabildiğince geniş bir proses penceresi veren sistem parametrelerinin seçilebilmesine olanak sağlayarak yapıştırma işleminin gelecekteki uygulamalarına katkıda bulunacağı söylenmiştir. Bunun birçok farklı tasarımı simüle ederek uzun ve yapılması çok zor olan testler yapmadan uygun tasarımın seçilmesinde etkili olacağı anlatılmıştır.

Canyurt, O.E. ve diğ. (2010) yapıştırma bağlantılarında yapıştırma dayanımının birçok faktöre bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Örneğin; yapışma çizgisi kalınlığı, yapıştırma çizgisine yakın olan serbest bölgelere uygulanan ön gerilme, birleştirilen malzeme vb. Bu faktörler yapıştırma ile bağlanmış parçaların dayanımını etkilediği için bu parametreleri araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu anlatmışlardır. Çalışmada tahmini araştırma işlemi olan basit genetik algoritma tanımlanmaktadır. Bu işlem yapıştırılmış kalın dokuma E-glass/epoksi çok katmanlı yapının çekme dayanımının tahminini geliştirmektedir. Genetik algoritma kullanarak nonlineer tahmini modeller geliştirilmiştir. Bu geliştirilen modeller deneysel bilgilerle karşılaştırılmıştır. Yapıştırılmış dil oluk bağlantılarının dayanımını tahmin etmek için genetik algoritma çekme dayanımı tahmin modeli (GATSEM) geliştirilmiştir. S235JR ve AA 5083 bağlantı parçalarının yapıştırma dayanımı kompozit ile karşılaştırıldığında 1.7 ile 1.2 kat arttığı, ön gerilme uygulandığında ise dayanımın iki kat arttığı gösterilmiştir. Bağlantı dayanımının farklı tasarım parametreleri seçilerek geliştirileceği anlatılmıştır.

İşcan, B. ve diğ. (2009)'nin yaptığı çalışmada Z şeklinde bükülmüş ve değişik yapıştırıcılarla yapıştırılmış çelik sacların gerilme analizi yapılmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı 0.20 mm ve bindirme açısı $\alpha=45^\circ$ alınarak b bindirme mesafesi değiştirilip analiz gerçekleştirilmiştir. Analizde sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Bu metodun en yaygın programı olan Ansys (10) tercih edilmiştir. Analiz sonuçları ile

deneysel sonuçlar grafiklerle karşılaştırılmıştır. Sonuçların oldukça iyi bir uyum gösterdikleri gözlenmiştir.

Campilho, R.D. ve diğ. (2009), çalışmalarında üç boyutlu karbon-epoksi kompozitlerin tek ve çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının gerilme davranışlarını deneysel ve nümerik olarak analiz etmişlerdir. Deneysel olarak yapılan çalışmada farklı bindirme uzunlukları ve kapak kalınlıklarının hasar modu, rijitlik ve hasar yüküne etkisi araştırılmıştır. Tamir sonrası bağlantının davranışını anlamak için, rijitlik ve kapağı yüzeyden kaldıracak yükleri verecek şekilde nümerik simülasyon yapılmıştır. Sünek yapıştırıcının mekanik özelliklerinin belirlenmesinde Mod I, Mod II ile karışık modlu kohesif hasar modelini içeren kohesif elemanlar kullanılmıştır. Yapılan çalışmada en iyi sonuçlar 15 mm bindirme uzunluğundaki çift takviyeli kapaklar üzerinde oluşmuştur. Diğer taraftan kapak kalınlığının dayanım üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını gözlemişlerdir.

Adamson, B.P. ve Fox, B.L. (2009). Yaptıkları çalışmada farklı bir birleştirme metodu kullanmışlardır. Ergiterek birleştirme verimli bir üç adımlı kompozit birleştirmesidir ki; bu yapıştırma bağlantısının, yapıştırıcı malzemenin kullanımı ile kendi reçine sistemi oluşturulmasından önce seçili kompozit yapıştırıcıların sertleşmesini kapsar. Birleştirme fazla prosese ihtiyaç duymaz ve geleneksel tekniklere benzer yapıştırma birleştirmesi, mekanik birleştirme vb. ile uyum gösterir. Taguchi tasarımı gibi deneysel teknikler çok yönlü prepreg malzemeler için üçlü birleştirme bağlantı faktörlerini optimize etmek için kullanılmıştır. Bağlantının performansı çekme, eğme dayanımı ve eğme modülü kullanarak değerlendirilmiştir.

Ichikawa, K. ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmada, basamak tipi bağlantı yöntemiyle yapıştırılmış farklı malzemelerin eğilme momenti altındaki gerilme dağılımlarını sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz etmişler ve yapıştırma metodunu optimize edebilmek için bazı faktörlerin etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak araştırmacılar yapışkan ara yüzeyinde oluşan maksimum gerilme ve elastisite modülü değerlerini bulmuşlardır. İki yapışkan arasındaki elastisite modülü oranı kadar maksimum gerilme değeri düşmektedir. Aynı şekilde yapıştırma kalınlığı da, kademe numaralarının artması ile düşmektedir. Ayrıca bağlantı gerilmesi, ara yüzey gerilme dağılımları elde edilerek de bulunmuştur. Sonlu elemanlar metodunun hesabını doğrulamak için deneylerle bağlantı gerilmeleri ve ara yüzey gerilmeleri ölçülmüştür. Ve sonuçların örtüştüğü görülmüştür. Farklı malzemelerin

yapıştırılmasındaki bağlantı gerilmesinin, benzer malzemelerin yapıştırılmasıyla oluşan bağlantı gerilmesinden daha küçük olduğu gözlemlenmiştir.

Temiz Ş. ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmada tek bindirme bağlantı geometrisini, yapıştırma geometrileri arasında en yaygın olanı olarak kabul etmişlerdir. Bu bağlantı tipinde, soyulma direnci, yüklemeye eksantrikliğinden dolayı birleşmenin sonunda meydana gelir ve yapıştırma yüzeyinin sonunda kesme gerilmesi oluşur. Birleşmenin, boyuna eksenindeki yanal gerilme boyunca meydana gelen soyulma direnci ve yapışkan kesme gerilmesi, bağlantıda hata oluşmasına neden olur. Bu oluşan gerilmelerdeki azalmalar, yüklemeye kapasiteleri artırılarak ve daha yüksek bağlantı gerilmeleri ile önlenir. Araştırmacılar, başlangıçta değişken yay uzunluklu eğri parçaları formunda elastik kabiliyetli metal yapışkan yüzeyler kullanmışlardır. Kavisli bölümleri olan bu yüzeyler yapıştırılmadan önce, düz üst üste binen bölge elde etmek amacıyla kavisli bölümleri düzleştirecek kadar yapıştırma basıncı ile tekli bindirme geometrisinde birleştirilmiştir. Yapıştırılmış elastik metalin eski haline dönme eğiliminden dolayı birleştirme alanındaki yapışkan tabakalarda artık gerilmeler meydana gelmektedir. Bu yeni artık gerilmeler sonlu elemanlar metoduyla modellenmiştir. Birleştirmenin sonuna eğilme momenti uygulanması durumuna ait analiz de başarıyla yapılmıştır. Sonlu eleman analizinin sonuçları, etkin eğilme momenti tarafından oluşturulan artık gerilmelerin ve yüklemeye kapasitelerinin etkilerini vermiştir. Araştırmacılar bu artık gerilmelerin tekli bindirmedeki gerilmelerle karşılaştırıldığında yüklemeye kapasitesinin oldukça arttığını kabul etmişlerdir.

Karakaya, Ş.(2008) Polimer matrisli kompozit malzemelerin hafiflikleri ile birlikte üstün dayanım ve rijitliklerinden dolayı hava uzay yapıları, otomotiv ve denizcilik endüstrilerinde kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu malzemelerden yapılan yapılar; tamir için, gerek birbirleriyle gerekse de diğer yapı elemanlarıyla bağlantıları için çeşitli avantajlarından dolayı yapıştırılarak birleştirilmektedir. Bu çalışmada epoksi yapıştırıcıyla birleştirilmiş polimer matrisli dokumalı kompozitlerin eğilme halindeki davranışı deneysel olarak araştırılmış ve sonlu eleman modellemesi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan yapıştırıcı BMS 5-101 tipi film yapıştırıcıdır ve kullanılan dokumalı cam kompozit 0/45/90/-45 şeklinde dizilmiştir. Sonlu eleman modeli ile yapılmış elemanlardaki gerilmeler, oluşacak hasar durumları irdelenmiş ve sonuçlar deneysel çalışma ile karşılaştırılmıştır. Tek bindirmeli olarak

yapıştırılmış dokumalı kompozit yapının yapıştırma bölgesindeki kayma gerilmesinin hasara olan etkisi incelenmiştir. Uç nokta eğme deneyi esnasında numunede oluşan eğrilik yarıçapı belirlenmiş, oluşan hasarın kritik eğrilik yarıçapı ile olan ilişkisi araştırılmıştır. Ayrıca yapıştırma bölgesi yakınında oluşan kayma gerilmeleri tabaka yerleşim durumuna bağlı olarak karşılaştırılmıştır.

Kim, K.S. (2007), yaptıkları çalışmada tekil bağlantı tipli kompozitlerin hata tahmini için bir yöntem sunmuşlardır. Sunulan bu yöntemde hem yapıştırıcı, hem de bağlantı hataları gözönüne alınmıştır. Yapıştırıcının elastik mükemmel plastik modeli ve delaminasyon hata ölçütü bu yöntemde kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan hata tahminleri ve önerilen metot bu çalışmada kullanılmıştır. Hata modu ve dayanım gibi hata tahmin sonuçları, çeşitli başlama metodu ve parametleri ile bağlantı modelleri için çok iyi uyuma göstermiştir. Sayısal araştırma sonuçları temel alındığında, optimum bağlantı koşulları bulunmuş ve yeni bağlantı dayanım artırma teknikleri önerilmiştir. Önerilen tekniğin bağlantı dayanımını arttırmada önemli bir etkisi olduğu doğrulanmıştır.

Güneş, R. ve diğ. (2007), yaptıkları çalışmada yapıştırılmış, işlevsel olarak derecelendirilmiş tekil bağlantıların üç boyutlu serbest titreşim ve gerilme analizleri incelenmiştir. Yapıştırılan malzemenin elastisite modülü, poisson oranı ve yoğunluğu gibi özellikleri ilk on doğal frekansta ve yapıştırılmış bağlantının şekil modunda ihmal edilmiştir. Hem sonlu elemanlar metodu hem de yapay sinir ağları, yapıştırma kalınlığı, plaka kalınlığı, üst üste uzunluk gibi geometrik parametlerin etkisini ve doğal frekansta malzeme bileşimindeki değişim şekil modunu ve yapıştırıcı bağlantısının gerilme enerjisini incelemek için kullanılmıştır. Uygun yapay sinir ağları modelleri, serbest titreşim dizilerini, çeşitli rastgele seçilen geometri parametlerini ve üsleri kullanabilmek için geliştirilmiştir. Yapay sinir ağları modelleme sonuçları, destek uzunluğunun, plaka kalınlığının ve üslerin doğal frekansta önemli bir rol oynadığını, şekil modunun ve yapıştırıcı bağlantılarında gerilme enerjisi modelinin, yapıştırma kalınlığının etkisinin aksine büyük önem taşıdığını göstermiştir. Ayrıca genetik algoritma ve yapay sinir ağları modelleri kullanılarak uygun yapıştırma ölçülerine ve üslere karar verilmiştir. Böylece maksimum doğal frekans ve minimum gerilme enerjisi koşulları, yapıştırıcı yapıştırılmış ve işlevsel olarak derecelendirilmiş tekil bağlantıların her doğal frekansı için belirlenmiştir.

Taib, A.A. ve diğ. (a) (2006) gerçekleştirdikleri çalışmada, cam elyafı ile güçlendirilmiş vinil ester kompozit malzemenin farklı bağlantı konfigürasyonlarını araştırmışlardır. Yapıştırma kalınlığı, malzeme içinde bulunan hata, nem, malzeme rijitliği gibi parametrelerin çekme dayanımı üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. L kesit bağlantı ile tek bindirme ve çift bindirme bağlantı şekilleri test edilmiştir. Yapıştırma kalınlığındaki ve nem oranındaki artışın bağlantı dayanımını azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca malzeme sertliği ve esnekliğinin de yapışma üzerine önemli etkisi olduğu bulunmuştur.

Taib, A.A. ve diğ. (b) (2006) çalışmalarında iki farklı; tek bindirmeli ve kerti bindirmeli, yapıştırma bağlantısı konfigürasyonunun, önceden yapılan uzun deneysel çalışmaların sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Yapıştırılan malzemeler lineer elastik malzeme şeklinde davranış gösterdiği kabul edilmiş, yapıştırıcı ise nonlineer alınmıştır. Bağlantının nonlineer geometrik deformasyonu dikkate alınmıştır. Nümerik sonuçlar 2000N'a kadar olan deneysel sonuçlarla örtüşmektedir. Buna ek olarak yük altında kerti bindirmeli bağlantılarda görülen karakteristik geometrik deformasyonlar, sonlu elemanlar metoduyla doğru olarak tahmin edilebilmiştir.

Kilic, B. ve diğ. (2005), sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlar ve farklı açıklamalarda bulunmuşlardır. Yapıştırıcı kullanılmış bindirme bağlantılar geometride keskin değişiklikler ve farklı malzemelerde birleşim bölgeleri içermektedir. Bu da hasar oluşumuna ortam hazırlamaktadır. Bununla birlikte sonlu elemanlar metodu, yapıştırılmış bağlantı modeli için oldukça uygundur. Geleneksel sonlu elemanlar benzer olmayan malzemelerin birleşmesinde gerilmelerin yapışmayan özelliklerinden dolayı gerilme durumunu çözmek için yeterince doğru değildir. Çünkü gerilmelerin yapısı sınırsızdır. Yapıştırılmış bağlantıların geleceğin yapılarında kullanılmasına yardımcı olmak için yapılan bu çalışma, geleneksel elemanlarla özel elemanları eşleştirerek sonlu elemanlar modelinden yararlanılmasını içermiştir. Özel elemanlar serbest yüzeyli ya da yüzeysiz farklı malzemelerin birleşme yerlerinde tekil davranış içerirler.

Chikahiro O. ve diğ. (2005), yaptıkları çalışmada reçine kompozit malzeme ile Fe-Pt magnetik alaşımı arasındaki yapışma kuvvetini incelenmişlerdir. Fe-Pt magnetik alaşımı ile reçine kompozitin dört farklı yapıştırıcı metal primer kullanılarak oluşturulan bağlantıda yapışma mukavemeti de çalışmada ele alınmıştır.

Hammami ve Al-Ghuilani (2004), yaptıkları çalışmada cam/vinilester kompozitlerin dayanıklılığını ve çevresel faktörlere karşı gösterdiği direnci saptayabilmek için, kompoziti yüksek sıcaklığa, neme, deniz suyuna ve korozif sıvılara maruz bırakarak sonuçları incelemişlerdir.

Engin, A. (2003), doktora tezinde yaptığı araştırmalarda yük taşıyan yapılarda yapıştırıcıyla birleştirmenin kullanımı ahşap ve plastik endüstrileri kadar, hava/uzay ve otomotiv endüstrilerinde de büyük ilgi çektiğini belirtmiştir. Sonlu eleman metodu gibi sayısal metotlar yoluyla gerilme analizleri daha kolay yapılabilen ve bilgisayar destekli tasarım sistemleri ile birleştirilebilmekte olduğunu vurgulamıştır. Teorik ve deneysel gerilme ve deformasyon analizleri kritik bağlantı bölgelerinin tespitinde tasarımcıya önemli bilgiler verdiğini önermiştir.

Melograna, J.D. ve diğ. (2003), literatüre farklı bir katkıda bulunmuşlardır. Kalın kompozit plakaların dil ve oluk ortak geometrisi için literatürde yeni uygulamaları sürülmektedir. Bu çalışmada ince bir karbon fiber kompozit ve paslanmaz çelik arasında deneysel olarak dokuz farklı geometrik dil ve oluk tasarımları incelenmiştir. Örneklerde parça genişliği ve dil uzunluğu sabit tutulmuştur, fakat dillerin sayısı ve tipi çeşitlendirilmiştir. Lollipop versiyonu gibi bir geometri araştırılmıştır. Karbon fiber dil ve oluk numuneleri reçinelenmiş malzemeden kesilerek fırın iyileştirmesi yapılmıştır. Ve su jeti kesici kullanarak kesilmiştir. Numuneler epoksi macun yapıştırıcı ile oluşturulmuştur. Tek eksenli gerilim testleri yapılmıştır. Genişliği ve uzunlukları belirli olan dil ve oluk örneklerinin dil uzunlukları eşit olup aynı zaman diliminde imal ve test edilmiştir. Bu çalışmanın geometri faktörü açısından önemi büyüktür.

Mortensen, F. ve Thomsen, O.T. (2002), yaptıkları çalışmada yapıştırıcı bağlantı tiplerinin analiz ve tasarımında birleştirilmiş yeni analitik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Kalın ortotropik kompozit plakalar eksenel yükleme ve moment etkisi dikkate alınarak modelleme yapılmıştır. Basamaklı bindirme, çift basamaklı bindirme ve çift açılı alın birleştirme şekilleri incelenmiştir.

Mouritz A.P. ve diğ. (2001), çalışmalarında kompozit malzemelerin ileri teknoloji kullanımı için önemli bir malzeme olduğu ve bu amaçla donanmanın kullanacağı gemilerde ve denizaltılarında sağlam yapıların yapılabilmesi için çok güçlü bağlantıların olması gerektiği belirtilmiştir. Güçlü yapılar için güçlü şekilde

yapıştırmanın önemi üzerinde durulmuştur. Kompozit malzeme kullanımı ile yapının ağırlığı azaltılabileceği gibi korozyona karşı yüksek dayanımının olduğu anlatılmıştır.

George J. Dvorak ve diğ. (2001), yaptıkları çalışmada, denizcilikte gemi inşa uygulamaları ile birlikte, kalın dokuma e-glass/vinyl ester kompozit levhaların çelik veya diğer kompozit levhalarla yapıştırılarak birleştirilmesi ile ilgili yeni bir yaklaşım bulmuşlardır. Bu çalışmada yapıştırıcı, dil ve oluk birleştirilmesi geometrisi kullanılarak kalın dış çevre yüzeyleri arasına uygulanmıştır. Deneyler ve sonlu elemanlar metodu sonuçlarına göre; boylamsal gerilimi düzenli şekilde arttırılarak yüklenmiş levhalar ile kompozit levhalar arasındaki yapıştırılarak bağlanmış dil ve oluk birleştirmeleri, geleneksel bindirme bağlantılarına göre ve ince tabakalarla karşılaştırıldığında bile daha güçlüdür. Örnek ise, 0,5 inch (12.7 mm) kalınlığında bir levhadaki oluğa, Dexter-Hysol 9339 yapıştırıcısı ile yapıştırılan 0.25 inch (6.3 mm) genişliğinde ve 8–12 inch (200–300 mm) uzunluğunda bir çelik dilin 20000 lbs (9071,8 kg) gerilme gücüne dayanabildiğini ve levhanın kalınlığı ile orantılı olarak bu gücün artabildiğini göstermektedir. Basit tasarım kurallarına göre yapıştırıcı bağ, dillerden daha kuvvetli olabilir. Yüksek bağlama kuvveti yeterliliği her kalınlıktaki levha için sağlanabilir.

Bahei El Din, YA. ve Dvorak, G.J. (2000) Çok tabakalı kalın kompozitlerin yapıştırma bağlantısı için yeni bağlantı tasarımları önermişlerdir. Amaç delaminasyon ve çekme ile ilgili olan hasar tiplerini azaltmak ya da bindirmeli bağlantılarda sık rastlanan yüzey katmanlarının kesme hasarlarını yok etmek ve yapıştırıcıda daha iyi gerilim dağılımı sağlamaktır. İç yüzeylerde çekme gerilmelerinin taşındığı ve yüzey tabakalarının üst bölgesindeki kaymalar ile yapıştırılan malzemedeki plaka çiftine etki eden diğer yükleri içeren bindirme tipi bağlantıların aksine; yeni bağlantı konfigürasyonları, iç düzlemlerin kaymasından ve normal gerilmelerden oluşan yüklerin çoğunu taşımaktadır. İkili katmanlar yüklemenin hesaplanmış bir yüzdesini transfer eder. Tabakalardaki iç gerilmelerin sonlu elemanlar değerlendirmesi ki bu değerlendirme yeni tasarımı ve klasik bindirme metodunu içerir, tasarlanan yük taşıma mekanizması bağlantı verimliliğini, önemli miktarda yapıştırma alanı miktarını arttırma ve plakanın kalınlığı boyunca gerilmelerin eş dağılmasını sağlama yöntemleri kullanılarak tahmin etmek için kullanılmıştır. Bazı tasarımlar kesmenin seçilmiş oranlarına yapıştırıcı çizgisinde

normal gerilmelere göre izin verir. Genelde klasik tasarımlarda görülen, parçanın yapıştırılan yüzey katmanları ve iki katlıların ön yüzlerine gelen kenarlarındaki yapıştırıcı çizgisinde bulunan gerilme yığılmaları bu tasarımla büyük ölçüde azaltılmıştır.

Kotsikos ve diğ.(2000); İngiltere’de yaptıkları çalışmalarda, limanlarda ve deniz uygulamalarında yer alan örgü (0°/90°) cam elyaf takviyeli ve polyster reçineli matris kullanmışlardır. Deniz suyu etkisini gözlemleyebilmek için numunelerin bir kısmını 6 ay deniz suyunda bekletmişlerdir. Bütün numuneler üç nokta eğme testine tabi tutulmuş aynı zamanda yorulma deneyi de uygulanmıştır.

Li W. ve diğ. (1999) çalışmalarında T bağlantıların gerilme analizi yapılmıştır. T bağlantı aynı veya iki farklı malzemenin yüzeylerini 90 derece olarak birbirine bağlanmak için kullanıldığını belirtmişlerdir. Bütün bağlantıların tasarımı ve analizleri, bağlantı geometrisine ve yapışan yüzeyler ile yapıştırıcının rijitlik ilişkisine bağlı olduğunu açıklamışlardır. Yapıştırıcı ve yapışan yüzey arasındaki rijitlik ilişkisinin etkileri analizlerde gösterilmiştir. Lineer elastik sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Bağlantı modeli iki lineer yük ve bir eğilme momentine maruz bırakılmıştır. Yapıştırılan malzemelerin ve yapışan yüzeylerin lineer elastik olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada T bağlantıların rijitliğinin belirlenmesi ve bağlantının uygun ölçüsü için tavsiyeler üzerine çalışılmıştır.

Sheppard A. ve diğ. (1998), çalışmalarında yapıştırma bağlantılı yapılarda yapılacak tasarımın, bağlantı sonlarında bulunan gerilme yığılmaları yüzünden karmaşık olduğu belirtilmiştir. Hasar bölgelerinin öncelikle bağlantının uç noktalarında olduğu anlatılmıştır. Hasar bölgelerine yönelik model ile kritik hasar bölge boyutu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu şekilde bağlantıda oluşacak bozulma yükü modellenmeye çalışılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

Deney olarak çekme deneyi uygulaması yapılmıştır. Numuneler örgü tip cam elyaf katmanlardan oluşmuş kompozit plakaların farklı geometrik tasarımlarda kesilerek yapıştırılması ile oluşturulmuştur.

3.1 Deney Numuneleri ve Malzemeleri

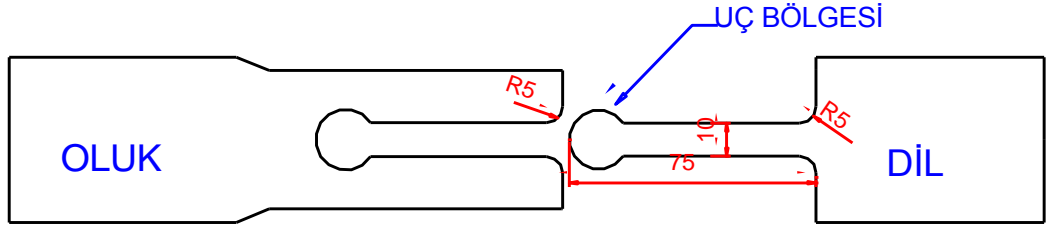
Kompozit malzeme olarak Epoksi / cam elyafı (E-glass) karışımı kullanılmıştır. Elyaf lar örgü kumaş (woven fabric) halindedir. Ve $0^{\circ}/90^{\circ}$ açıları ile düzenlenmiştir. Bunlardan 26 kat bulunmaktadır. Her biri yaklaşık 0.5 mm ölçüsünde olup toplamda 12 mm civarındadır. Malzeme yaklaşık 1.2 m²'lik tabaka halinde üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemenin mekanik dayanım özellikleri Tablo 3.1'de gösterilmektedir.

Tablo 3.1: Kompozit malzemenin mekanik dayanım özellikleri.

Örgü tip	Elastisite modülü (GPa)			Kayma modülü (GPa)			Kopma gerilmesi (MPa)		
	E ₁₁	E ₂₂	E ₃₃	G ₁₂	G ₂₃	G ₁₃	F _{1T}	F _{2T}	F ₆
E Glass/Epoksi Kompozit	22	22	9	5.3	3.1	3.1	350	350	95

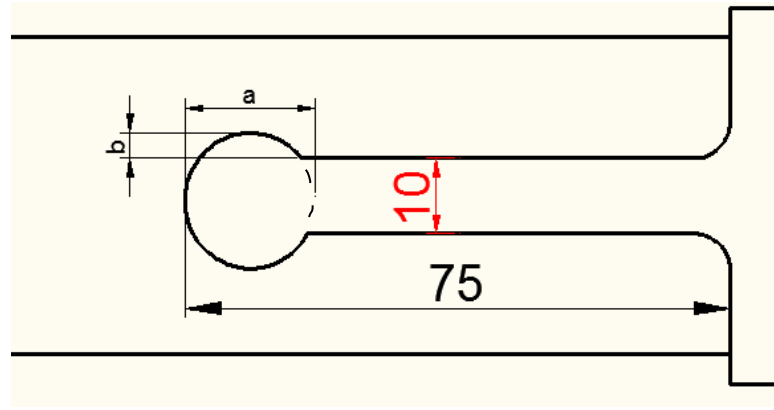
Yapıştırıcı malzeme olarak Loctite 9464 kullanılmıştır. Bu yapıştırıcı tipinin seçilmesinde; literatür çalışmaları, kompozit malzeme yüzeylerine uygunluk, yüksek mekanik dayanım yani yüksek açılma dayanımı (peel strenght) gibi özellikler göz önüne alınmıştır. Yapılan araştırma ve firma ile görüşme sonucunda Loctite 9464'ün katalog bilgilerinde bulunmayan mekanik dayanım özellikleri için Loctite 9461'in katalog bilgilerinin kullanılabilmesine ulaşılmıştır. Buna göre ASTM D1002 / EN 1465'e göre kesme dayanımı (Epoksi takviyeli cam elyaf malzeme için) 13 N/mm², ASTM D638'e göre elastisite modülü 2757 N/mm² ve çekme dayanımı 30 N/mm²'dir. Literatürdeki çalışmalara göre epoksi içeren yapıştırıcı poisson oranı 0.37'dir.

Numuneler; dil oluk birleştirmeleri gibi olup Şekil 3.1’de de görüldüğü gibi dil genişliği ve dil uzunluğu sabittir. Aynı zamanda yapıştırma kalınlığı da sabit olup 0.2 mm’dir. Ancak bu lği kesim hassasiyetine bağlı olarak + 0.05 mm değişebilmektedir. Çalışmada uç geometrisi değişkendir. Diğer değerleri sabit tutmanın sebebi uç geometrisinin etkisini anlayabilmektedir. Dil uzunluğu alınırken uç geometrisinden kaynaklanan boyda uzama, dil bölgesine yani ie alınmış böylece dil boyu sabit tutulmuştur.

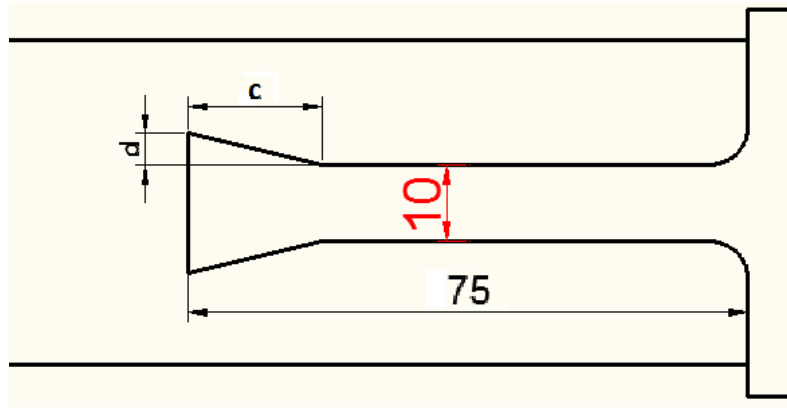


Şekil 3.1: Tüm numunelerde sabit olan lğler.

Yukarıdaki Şekilde de görülen uç bölgesine parametre verilerek değişik geometriler oluşturulmuştur. Bu parametreler dairesel formun değişik Őekillerindeki uçlarda a ve b (Şekil 3.2a), üçgen formun uçlarda c ve d olarak adlandırılmıştır. (Şekil 3.2b) Őeklin uç bölgesindeki kesit alanda incelemeler yapılmış, dil ve oluk parçalarında orantılı bir dağılım yapılarak a, b, c, d parametrelerinin büyüklükleri belirlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.2: Uç bölgesindeki parametreler (a) Dairesel form a ve b parametreleri
(b) Üçgen form c ve d parametreleri.

Bu parametrik değerlerde her a sayısına bir b sayısı ve her c sayısına bir d sayısı ile birlikte bir şekil oluşturmaktadır. Bu şekiller numune haline getirilip statik çekme deneyleri yapılmıştır. Burada dairesel formda a; uç geometrisi genişliğini, b; dil genişliğinin dışında kalan uç geometrisi genişliğini, üçgen formda c; uç geometrisi genişliğini, d; dil genişliğinin dışında kalan uç geometrisi genişliğini göstermektedir.

Tablo 3.2: Dairesel ve üçgen formların parametreleri.

DAİRESEL		ÜÇGEN	
a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)
18	0	18	0
18	1	18	1
18	2	18	2
18	4	18	4
14	0	14	0
14	1	14	1
14	2	14	2
14	4	14	4
10	0	10	0
10	1	10	1
10	2	10	2
10	4	10	4

Bu parametrelere göre çizilen şekillerin kesimi su jetinde yapılmış ve yapıştırılarak bağlantılar oluşturulmuş sonra da çekme deneyinde dayanımları belirlenmiştir. Çıkan değerler hem ayrı ayrı kendi içinde hem de birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

3.2 Yapıştırma ve Numunelerin Hazırlanışı

Literatür araştırmalarına göre benzer çalışmalarda su jeti kullanımı oldukça fazladır. Sistem, bir basınç artırıcıda basıncı artırılan suyun, bir lüleden geçirilerek çok yüksek hızlara ulaştırılması ve yüksek hızlara çıkarılan bu su huzmesinin, içinde bulunan ince taneli kumlarla birlikte malzeme yüzeyini aşındırması esasına dayanır. Sistem bilgisayar kontrollü çalışmaktadır. En önemli faydası ise ısıdan etkilenen bölgenin olmayışıdır. Bir artısı da malzeme kesiminde aşındırıcı kum kullanıldığından yapıştırma için gerekli bir faktör olan yüzey pürüzlülüğünün oluşmasıdır. Bu kesim yönteminde istenen niteliğe göre farklı parametreler değiştirilebilir. Bunlar su basıncı, ilerleme hızı, aşındırıcı kum özelliği, püskürtme ucunun malzemeye uzaklığı ve çapı gibi özelliklerdir. Püskürtme ucunun kalitesi de önemli bir unsurdur. Aşınmadan dolayı zamanla uç şeklinde değişimler olabilmektedir. Çalışmada kullanılan kompozit malzeme kesiminde; ilerleme hızı önceki çalışmalarda belirlendiği gibi 500 mm/dakika olarak seçilmiş, deneme ve

kontrol amaçlı aynı hızda kesim yaptırılmıştır. Aşındırıcı kum özelliği, püskürtme ucunun malzemeye uzaklığı ve çapı, su basıncı özellikleri kesim işlemleri boyunca değiştirilmemiş, sadece kesim yaptırılan firmada cihaz sürekli çalıştığı için, püskürtme ucu olabildiğince yeni tutulmaya çalışılmıştır. Yapıştırma kalınlığı toleransı (+ 0.05 mm) bu yüzdendir.

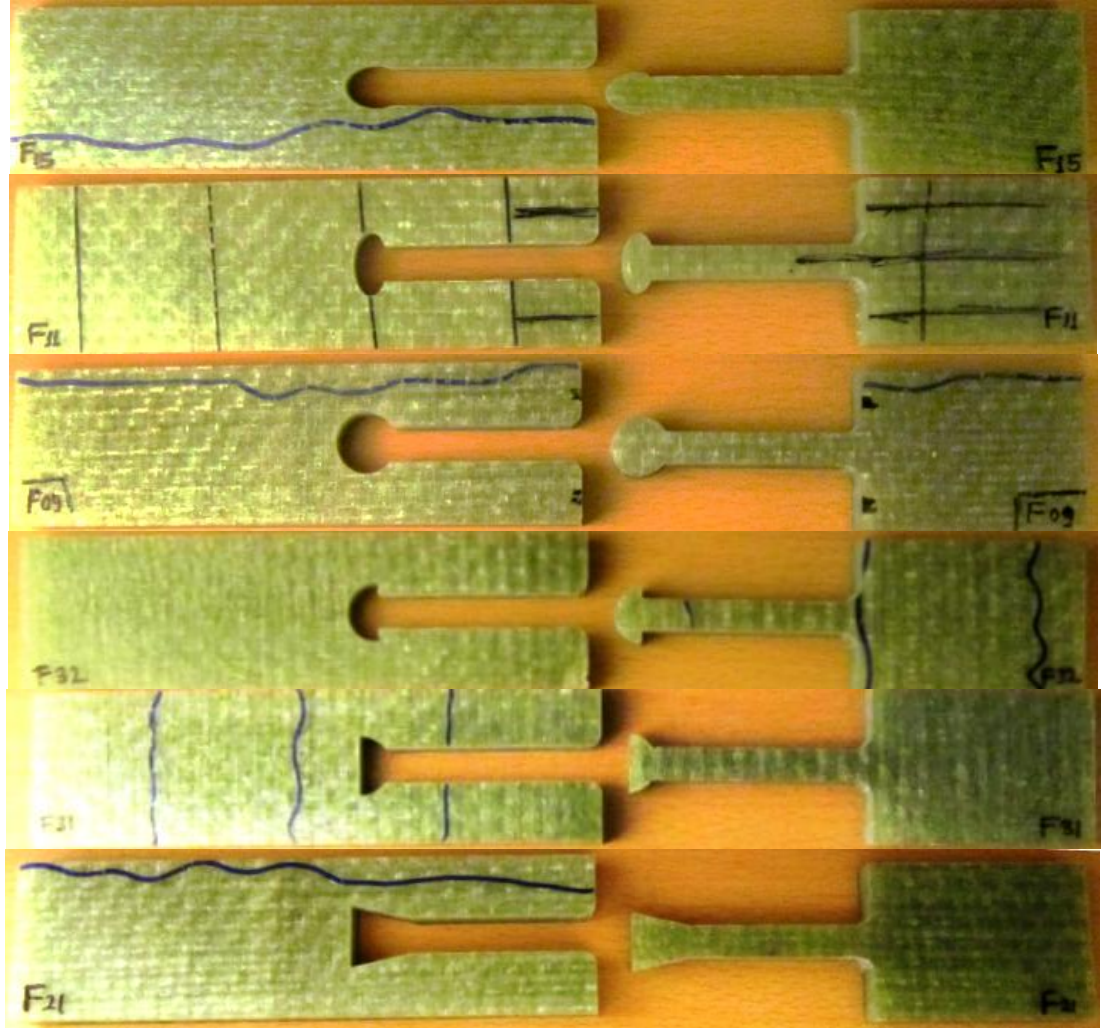


(a)



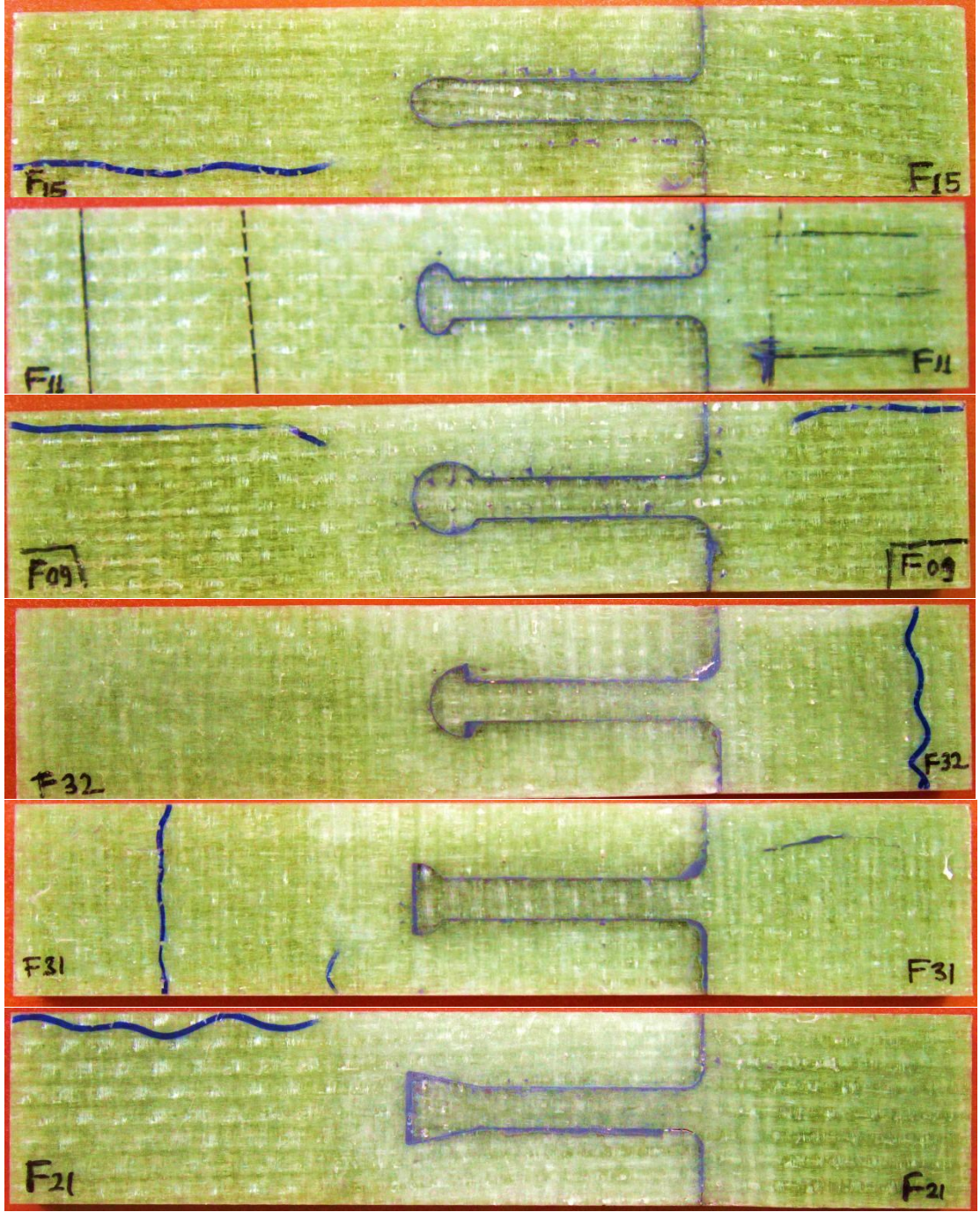
(b)

Şekil 3.3: Örnek su jeti makinaları (a) Yatay su jeti (b) Dikey su jeti.
Kesim sonrası farklı geometride numuneler Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Kesimi yapılmış farklı uç formunda kompozitler.

Yapıştırma işlemi ise iki karışımdan oluşan Loctite 9464'ün dil ve oluk bölgelerine sürülmesiyle olur. Yapıştırma işleminden sonra kurumunun tam olması için en az iki gün beklenmiştir. Sonra yapıştırma işleminden kalan fazla yapıştırıcı şerit taşlamada malzemeye zarar vermeden temizlenmiştir. Bu şekilde oluşan deney numuneleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Yapıştırılmış ve temizlenmiş farklı formda numuneler.

3.3 Kullanılan Cihaz ve Mekanizmalar

Hazırlanan numunelerin çekme deneyi INSTRON 8801 (Şekil 3.6) cihazında yapılmıştır. Deney statik çekme şeklinde ve kuvvetin zamanla artırımı şeklinde yük kontrol modunda yapılmıştır. Kullanılacak zamanla kuvvetin artışı değeri ise literatürden ve önceki çalışmalardan alınmış ve 2000 N/dakika olarak belirlenmiştir. Açılmaları önlemek için de ön yüklemesiz olarak U profil kullanılmıştır.



Şekil 3.6: Çekme cihazı INSTRON 8801.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Gruplandırma Ve Tanıtma

Numunelere a,b,c,d şeklinde parametre verilmiştir. Bu parametrik değişkenleri gruplandırarak karşılaştırmayı daha kolay yapmak amaçlanmıştır. Gruplandırma dairesel gruplar için a sabit büyüklükte olup b değişken ve b sabit olup a değişken alınarak, üçgen gruplar için de c sabit d değişken ve d sabit c değişken alınarak yapılmıştır. Bu gruplandırma ön deneyler Tablo 4.1’de diğer deneyler Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Bu parametrelere karşılık gelen numunelerin tam ölçüleri; ön deneyler yapıldıktan ve bu deney verilerinin sonuçlarının değerlendirmesine göre hazırlanmıştır. Ön deney numuneleri dahil olmak üzere tüm numunelere bir harf ve sayıdan oluşan isimlendirme uygulanmıştır. Bu isimlendirme F01, F02 şeklinde olup yine Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Çalışmada ön deneyler de değerlendirilmiştir. Ön deneylerde kullanılan numunelere karşılık gelen isimlendirmeler Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Aynı tabloda özel durumlarda gösterilmiştir, bunlar bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

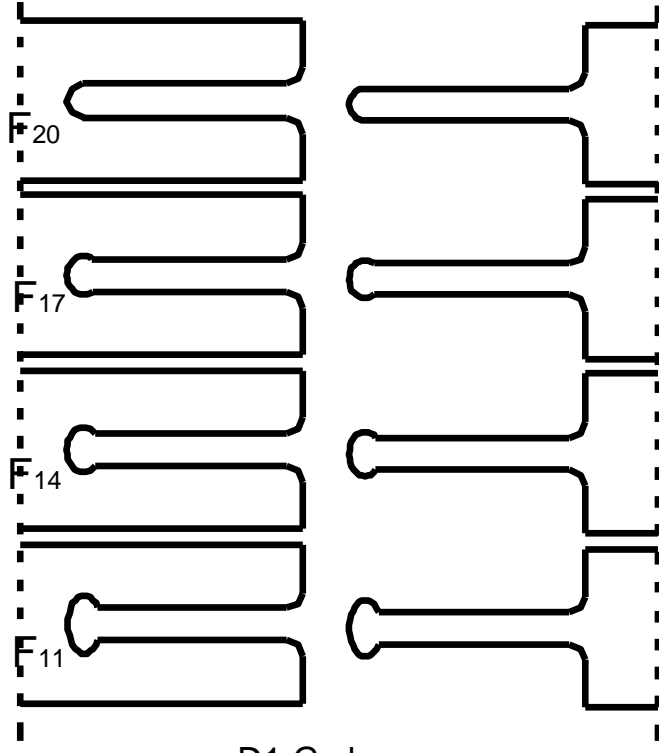
Tablo 4.1: Ön deney numunelerinin isimlendirmesi ve özel durumları.

Form	Fxx	a (c)	b (d)	Özel durum
Dairesel	F02	18	4	Uç bölge kesiti genişliği 42 mm
Dairesel	F03	18	4	U profil kullanımı
Üçgen	F05	18	4	Uç bölge kesiti genişliği 42 mm
Dairesel	F06	18	4	Uç bölge kesiti genişliği 50 mm

Tablo 4.2: Gruplandırma ve numunelere karşılık gelen harf ve sayıdan oluşan isimler.

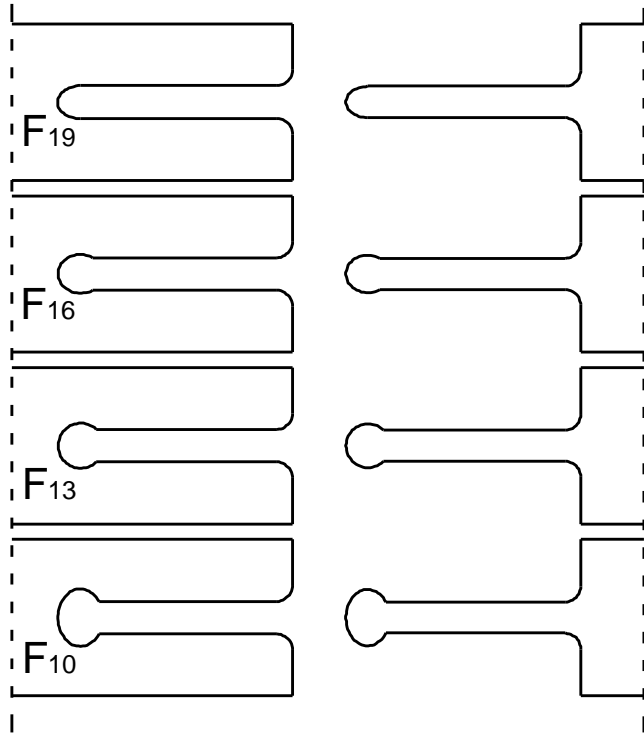
Grup	Fxx	a (mm)	b (mm)	Grup	Fxx	a (mm)	b (mm)
D1	F20	10	0	D4	F20	10	0
	F17	10	1		F19	14	0
	F14	10	2		F18	18	0
	F11	10	4	D5	Fxx	a (mm)	b (mm)
D2	Fxx	a (mm)	b (mm)		F17	10	1
	F19	14	0		F16	14	1
	F16	14	1		F15	18	1
	F13	14	2	D6	Fxx	a (mm)	b (mm)
	F10	14	4		F14	10	2
D3	Fxx	a (mm)	b (mm)		F13	14	2
	F18	18	0		F12	18	2
	F15	18	1	D7	Fxx	a (mm)	b (mm)
	F12	18	2		F11	10	4
	F09	18	4		F10	14	4
					F09	18	4
U1	Fxx	c (mm)	d (mm)	U4	Fxx	c (mm)	d (mm)
	F30	10	0		F30	10	0
	F29	10	1		F30	14	0
	F26	10	2		F30	18	0
	F23	10	4	U5	Fxx	c (mm)	d (mm)
U2	Fxx	c (mm)	d (mm)		F29	10	1
	F30	14	0		F28	14	1
	F28	14	1		F27	18	1
	F25	14	2	U6	Fxx	c (mm)	d (mm)
	F22	14	4		F26	10	2
U3	Fxx	c (mm)	d (mm)		F25	14	2
	F30	18	0		F24	18	2
	F27	18	1	U7	Fxx	c (mm)	d (mm)
	F24	18	2		F23	10	4
	F21	18	4		F22	14	4
					F21	18	4

Bu numunelerin şekilsel değişimleri de dairesel gruplar Şekil 4.1 - 4.7 arasında; üçgen gruplar Şekil 4.8 - 4.13 arasında gösterilmiştir.



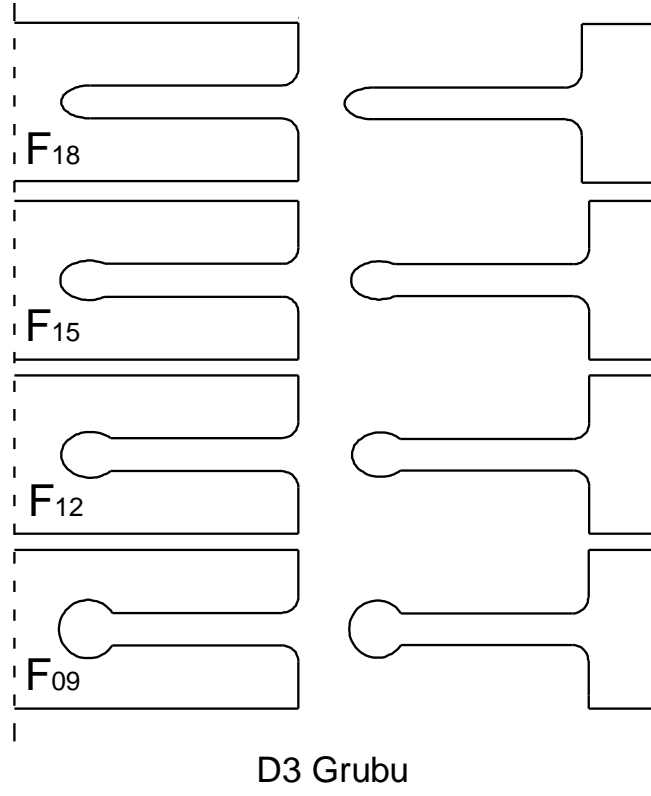
D1 Grubu

Şekil 4.1: $a = 10$ mm için b parametresinin değişimi.

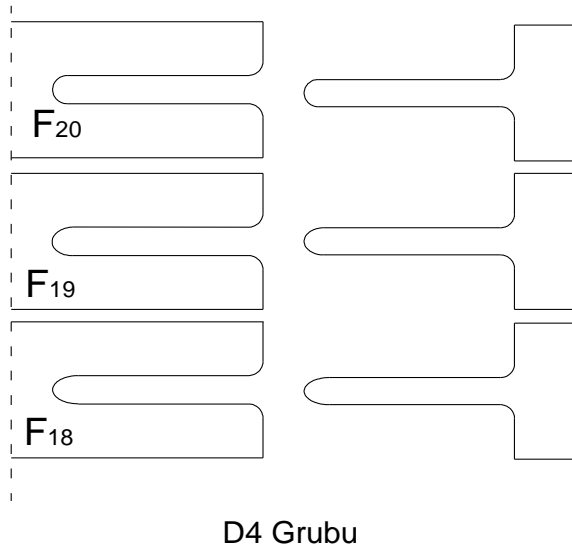


D2 Grubu

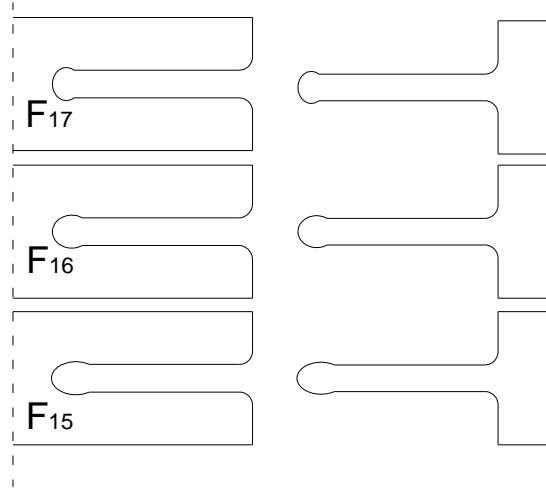
Şekil 4.2: $a = 14$ mm için b parametresinin değişimi.



Şekil 4.3: $a = 18$ mm için b parametresinin değişimi.

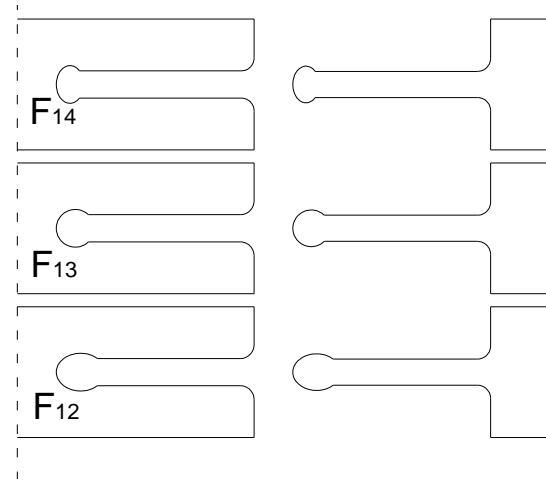


Şekil 4.4: $b = 0$ mm için a parametresinin değişimi.



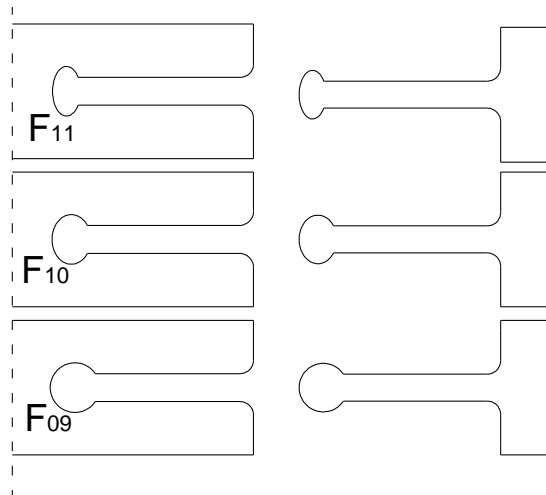
D5 Grubu

Şekil 4.5: $b = 1$ mm için a parametresinin değişimi.



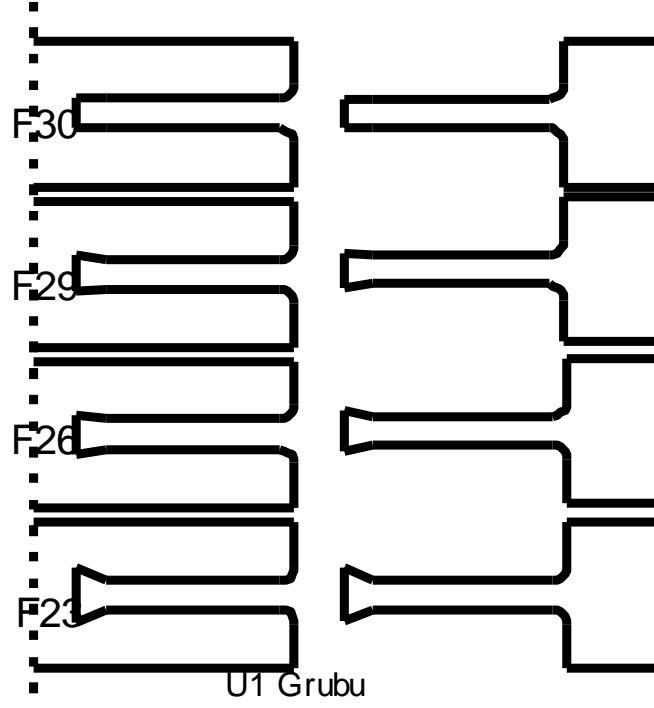
D6 Grubu

Şekil 4.6: $b = 2$ mm için a parametresinin değişimi.

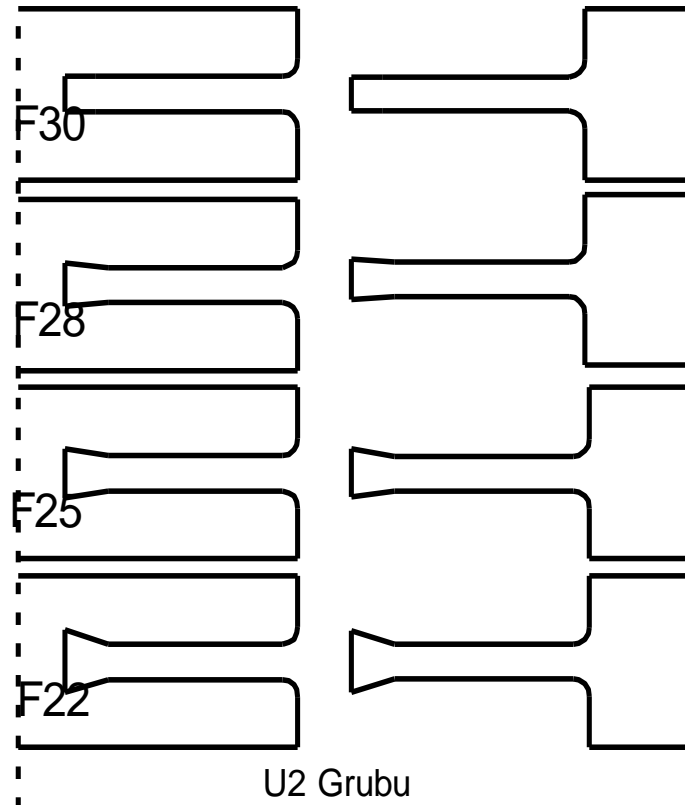


D7 Grubu

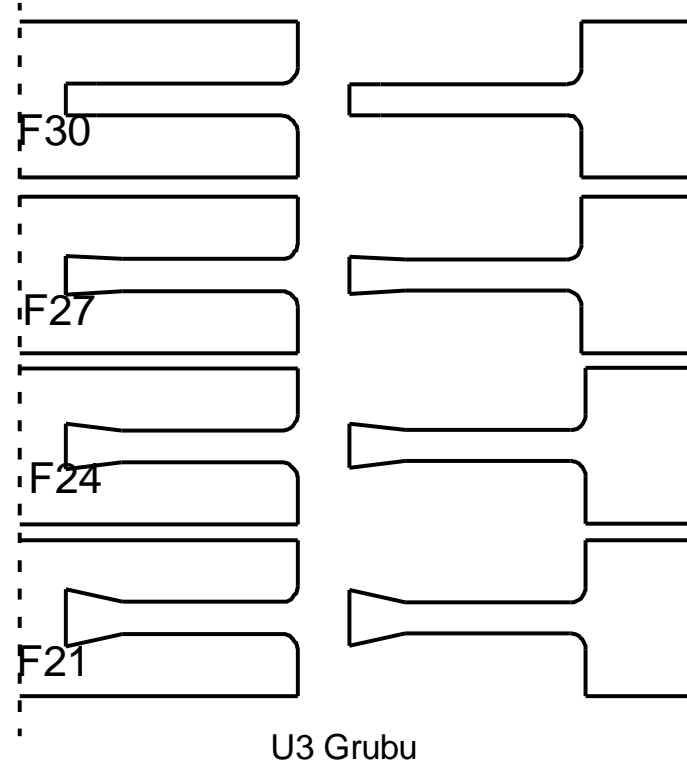
Şekil 4.7: $b = 4$ mm için a parametresinin değişimi.



Şekil 4.8: $c = 10$ mm için d parametresinin değişimi.

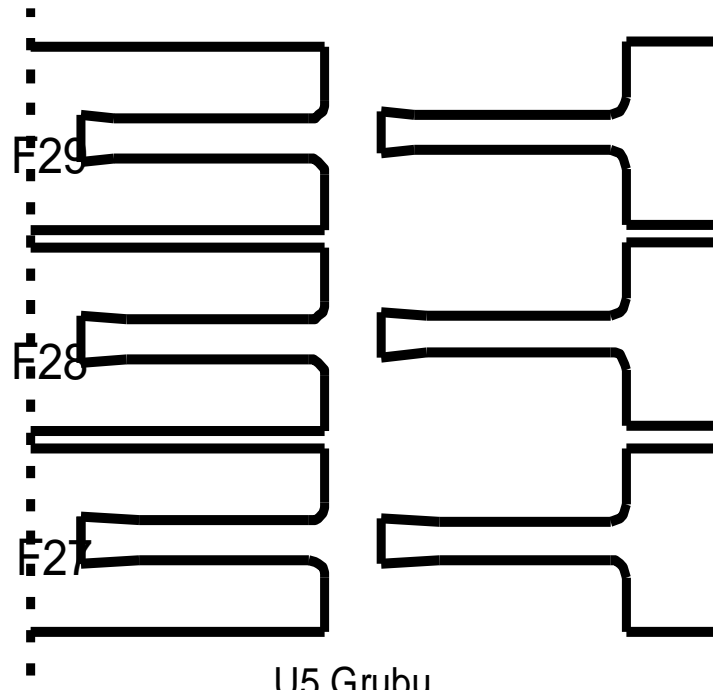


Şekil 4.9: $c = 14$ mm için d parametresinin değişimi.

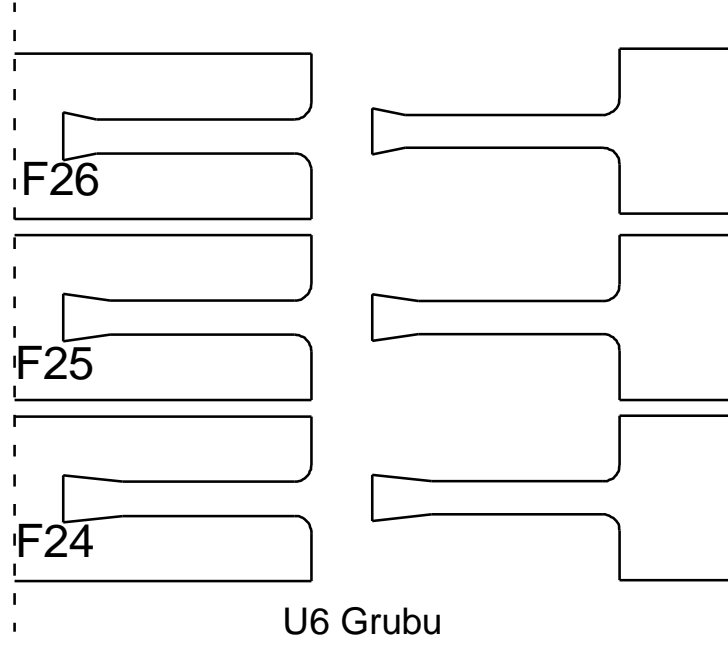


Şekil 4.10: $c = 18 \text{ mm}$ için d parametresinin değişimi.

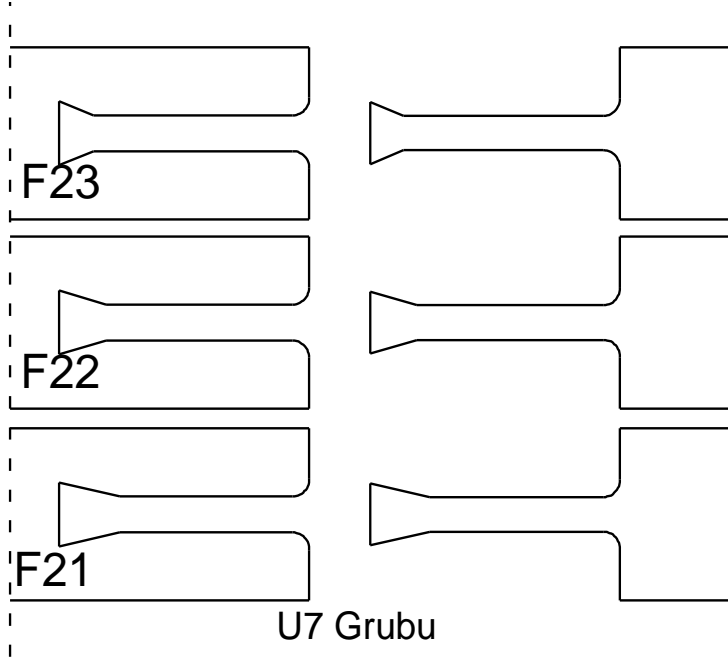
U4 grubu üç adet F30'dan oluştuğundan yani $d = 0$ için c parametresi değişse de geometride bir değişme olmayacağından aynı şekil kullanıldı.



Şekil 4.11: $d = 1 \text{ mm}$ için c parametresinin değişimi.



Şekil 4.12: $d = 2$ mm için c parametresinin değişimi.

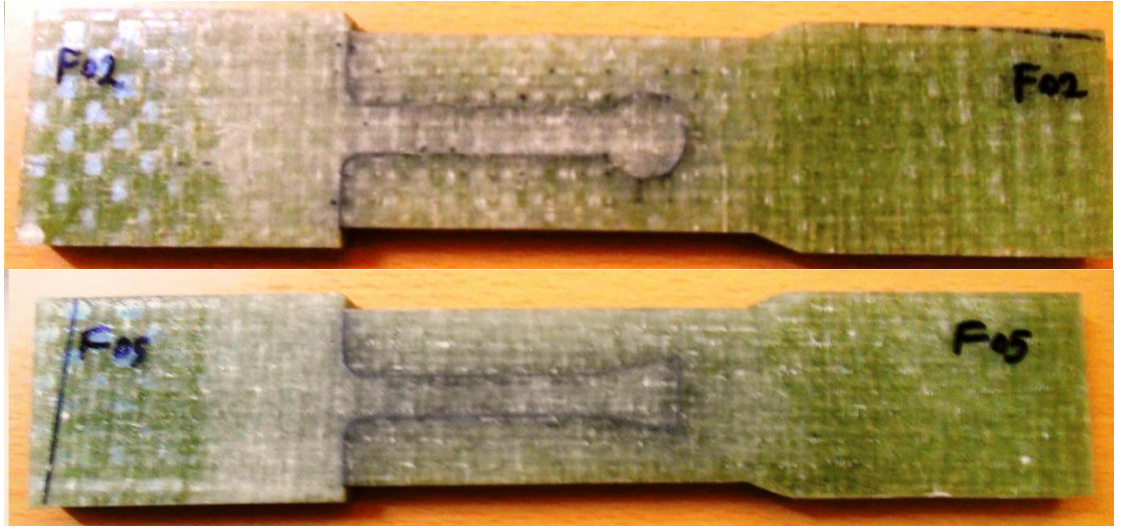


Şekil 4.13: $d = 4$ mm için c parametresinin değişimi.

4.2 Numuneler ve Sonuçlar

4.2.1 n deneyler

İlk yapılan deneyler n deneyler olarak adlandırılmıştır. nk bazı istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmıştır ve bunun sonucunda düzeltmeler yapılmıştır. Şekil 4.14'te deney öncesi numuneler grlmektedir.



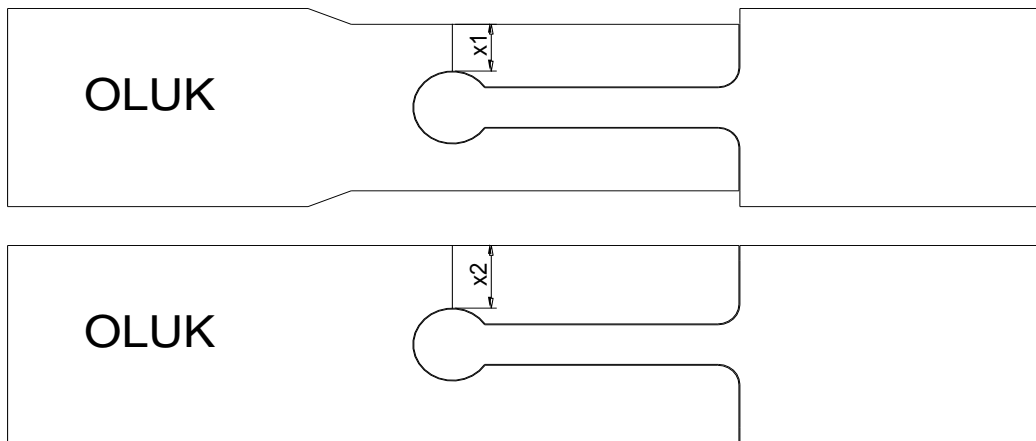
Şekil 4.14: İlk deneyler öncesi numuneler F02, F05.

Bölüm 3.3'te belirtildiği gibi uygulanan deneyler sonucunda F02 15.38 kN ve F05 18.6 kN'da kopmuş ve üçgen uç formlu numunenin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Ancak hasar olarak; düşünüldüğü gibi sıyrılma olmamış oluk parçasının kollarında kırılma meydana gelmiştir (Şekil 4.15).



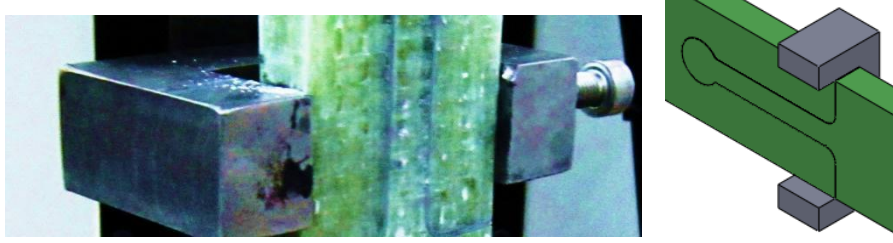
Şekil 4.15: F02 ve F05 deney sonrası görünümü.

Şekilde görüldüğü gibi kırılma, oluk parçasının uç geometrisi bölgesinde oluşmuştur. Bu bölge kesit alanı düşük olan bölgedir. Kuvvet iletimi; çekme cihazında dil parçası alt çeneye bağlandığından ve cihaz aşağı yönlü çekme yaptığından, dil parçası - yapıştırıcı - oluk parçası sırasıyla olmaktadır. Ancak uç bölgede b ve d parametrelerinden dolayı dil parçası oluk parçasını çekmektedir. Bu çekme sırasında eğilme momenti ve gerilme oluşmaktadır. Momentten dolayı oluşan gerilme etkisiyle kırılma oluşmuştur. Eğilmeden dolayı oluşan gerilme formülünde de olduğu gibi kesit alanı yani genişlik artırarak I atalet momentini büyütme gerilmeyi azaltacaktır. Bu durum çizimlere uygulanmıştır. Şekil 4.16'da gösterildiği gibi x1 genişliği x2 genişliğine büyütülmüştür.



Şekil 4.16: Oluk parçasının kesitinde değişiklik.

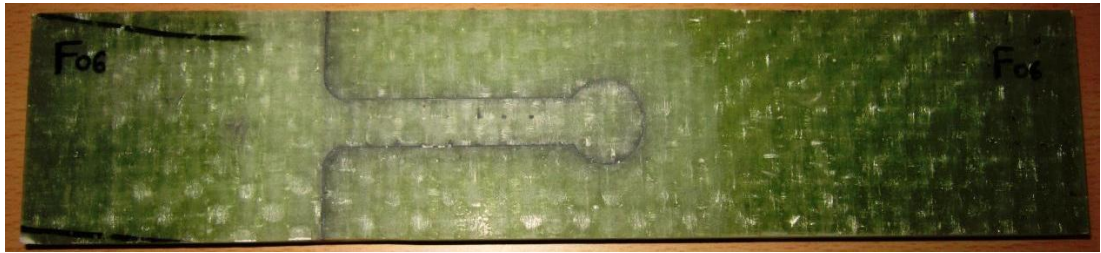
Genişlik artırımından sonra bir de önceki çalışmada kullanılan U profil mekanizması (Şekil 4.17) oluğun kollarındaki açılmayı önleyerek kırılmayı ortadan kaldırmak için kullanılmıştır. Bu deneyler öncesi numuneler Şekil 4.19’da gösterildiği gibi hazırlanmıştır.



Şekil 4.17: Açılmayı önlemek için kullanılan U profil.



(a)



(b)

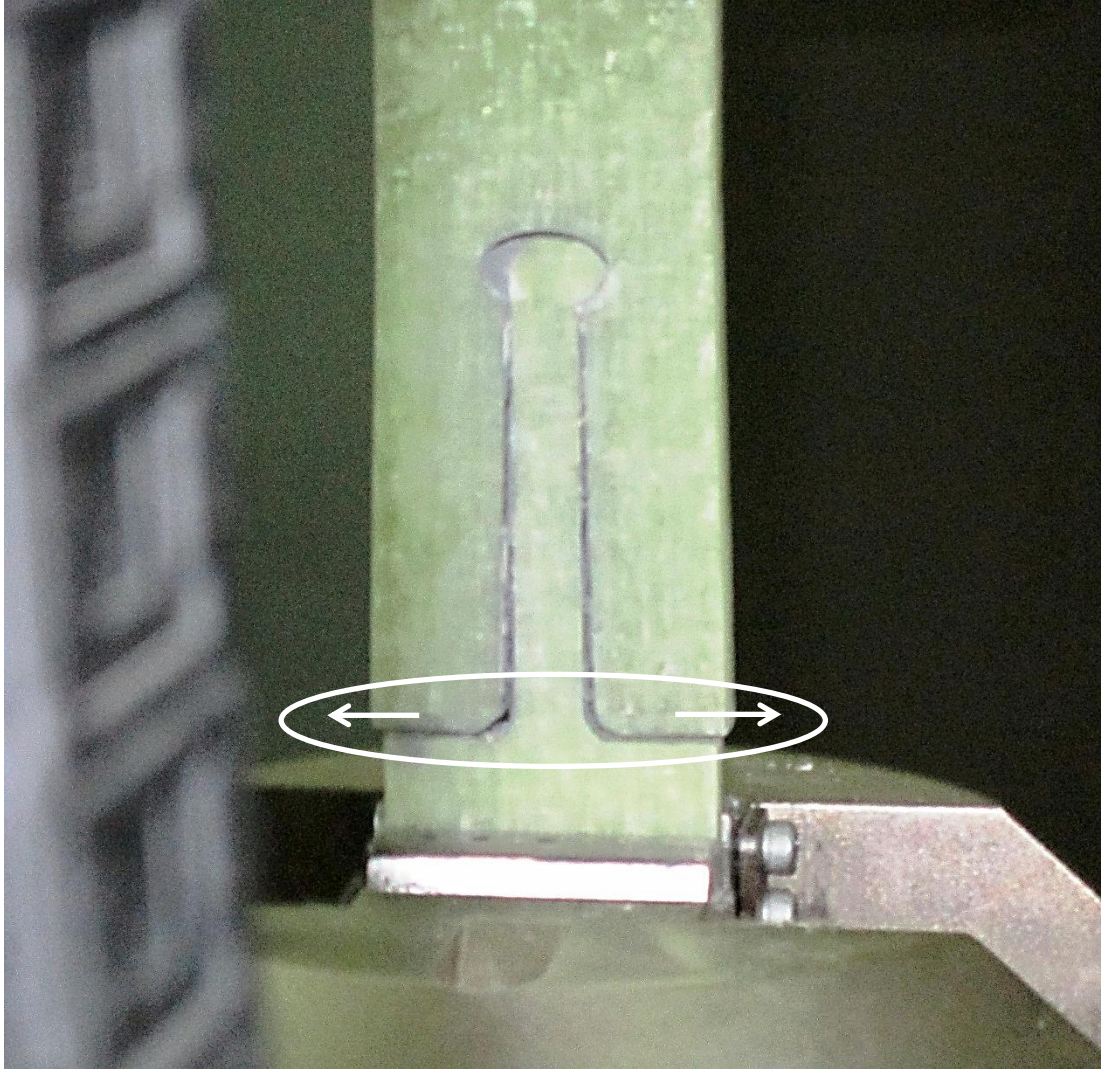
Şekil 4.18: Numuneler (a) F03 ilk düzenleme U profil kullanıldı. (b) F06 yeni düzenleme U profil kullanılmadı.

Hazırlanan numunelerde; statik çekme deneyinden sonra F03 20.07 kN, F06 21.06 kN değerlerinde kopma oluşmuştur. Bu değerler ilk deney sonuçlarına göre daha iyi çıkmıştır. Birbirine göre karşılaştırıldığında ise F06 daha iyi sayılabilir, nedeni ise hem daha fazla dayanım göstermiştir hem de U profil kullanılmadan iyi sonuç vermiştir. Hasar durum incelendiğinde (Şekil 4.19) ise her ikisinde kompozitte üst tabakalarda ayrılma ve ara tabakalarda delaminasyon görülmüştür. Bu da kompozit malzemenin katlar arası dayanım sınırlarının üstüne çıktığını göstermektedir ki uç geometrisinin etkisini anlayabilmek için önemlidir.



Şekil 4.19: Yeni düzenlemelerden sonra F06 numunesinin deney sonuçları.

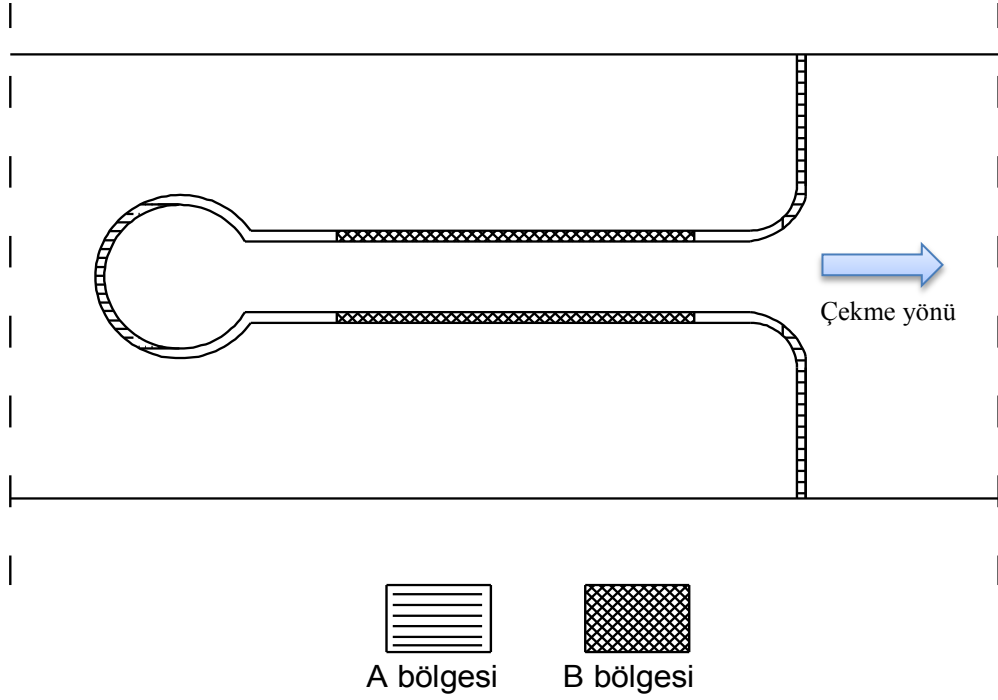
Bu deneylerden sonra U profil kullanmak yerine genişliği arttırmanın daha verimli olduğu görülmüştür. Ve bu şekilde bir numune oluşturulmuş ve deneyi yapılmıştır. Daha iyi sonuçlar alınmıştır; ancak uç geometrisi bölgesi genişliğini arttırdıktan sonra, kırılma olmasa da oluk parçasının kollarında açılma meydana gelmiştir (Şekil 4.20) ve numune erken hasara uğramıştır. Bunun önüne geçebilmek için oluk kollarında U profil kullanılmıştır. Son olarak uygulanan deney şekli hasarları ve sonuçları sonraki başlıkta incelenmiştir.



Şekil 4.20: Genişletmeden sonra da oluşan açılma.

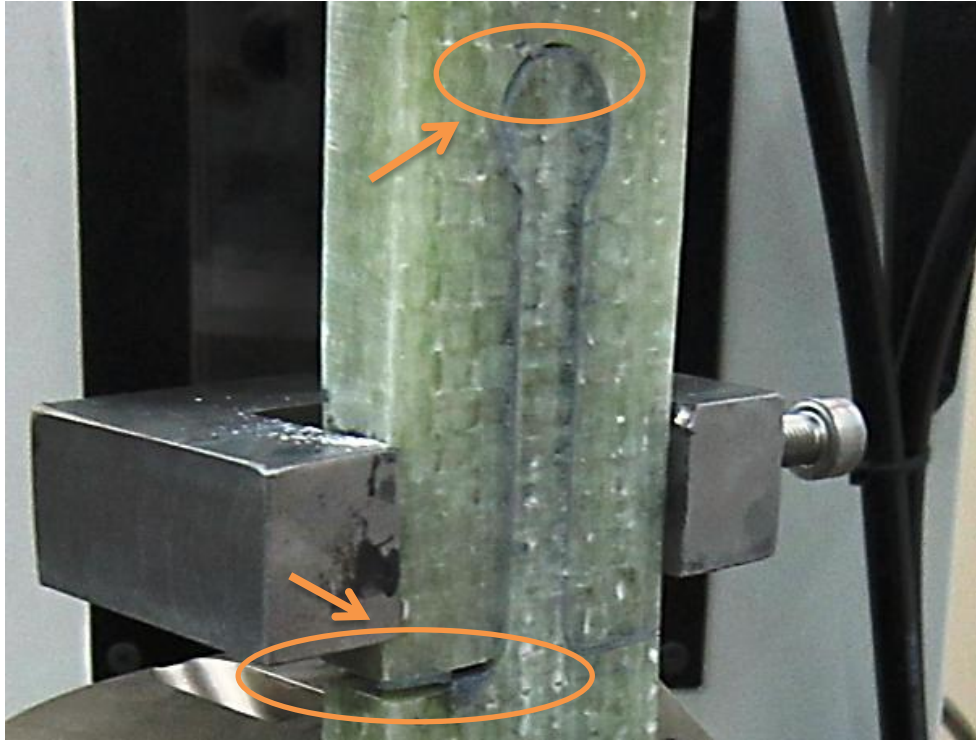
4.2.2 Deney sonuçları

Yapılan deneyler sırasında numunelerin genelinde gözlemlenen hasara uğrama bölgeleri; çekme, kayma ve açılma gerilmeleri sonucu oluşmaktadır. Bu bölgeler Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Dil parçasının oluktan ayrılması ilk olarak çekme gerilmeleri sonucu A bölgelerinde meydana gelmekte; sonra dil uzunluğu boyunca B bölgesinde kayma ve açılma gerilmeleriyle beraber, A bölgesinin radyüslü kısmındaki ayrılma sonucu oluşan çatlak ilerlemesinin etkisiyle B bölgesinde devam etmektedir. Son olarak b ve d parametrelerinin bulunduğu kısım kesit değişiminden dolayı bağlantının ayrılmasına karşı direnmektedir.



Şekil 4.21: Çekme anında oluşan hasarların bölgeleri.

Bu durumun diğer bir görüntüsü Şekil 4.22’de görülmektedir. A bölgesinden ayrılma başlamıştır.



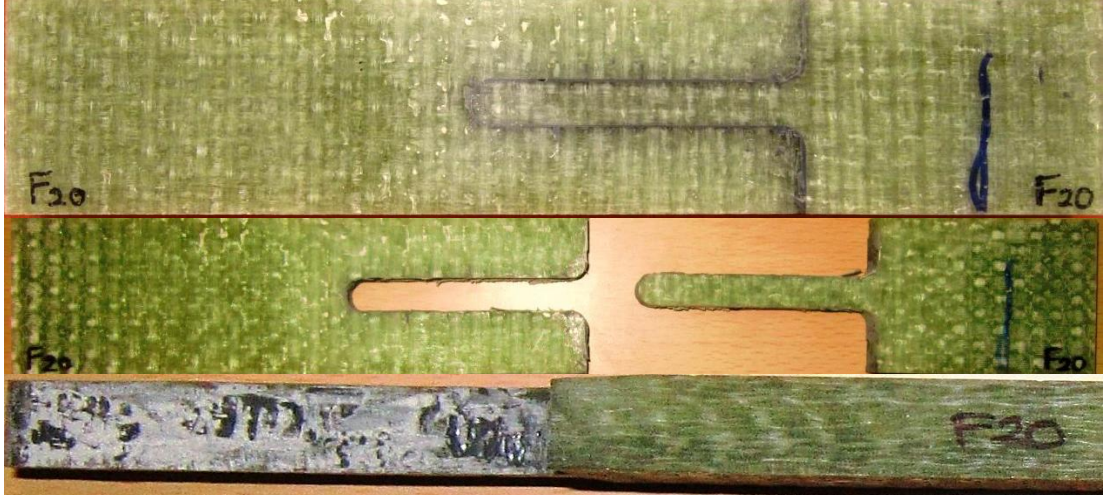
Şekil 4.22: Çekme anında oluşan hasarlar.

Ön deneylerde; genişletme ve U kullanımlarından sonra öngörülen sonuçlara yaklaşılmıştır. Grupların anlatıldığı bölümdeki parametrik değişime sahip numuneler,

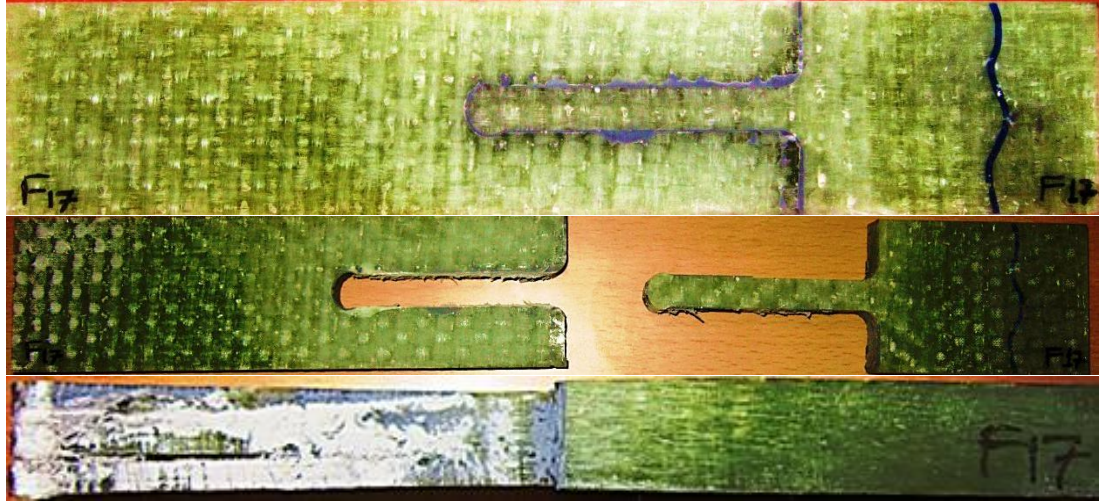
hazırlanıp deney uygulanabilir hale gelmiştir. İlk uygulamalardan sonra görülmüştür ki; benzer hasarlar meydana gelmesine rağmen kopma öncesi yük taşıma kapasitesinin %40 ve %50 aralığında arttığı görülmüştür.

4.2.2.1 Dairesel uç geometrili grupların karşılaştırılması ve sonuçlar

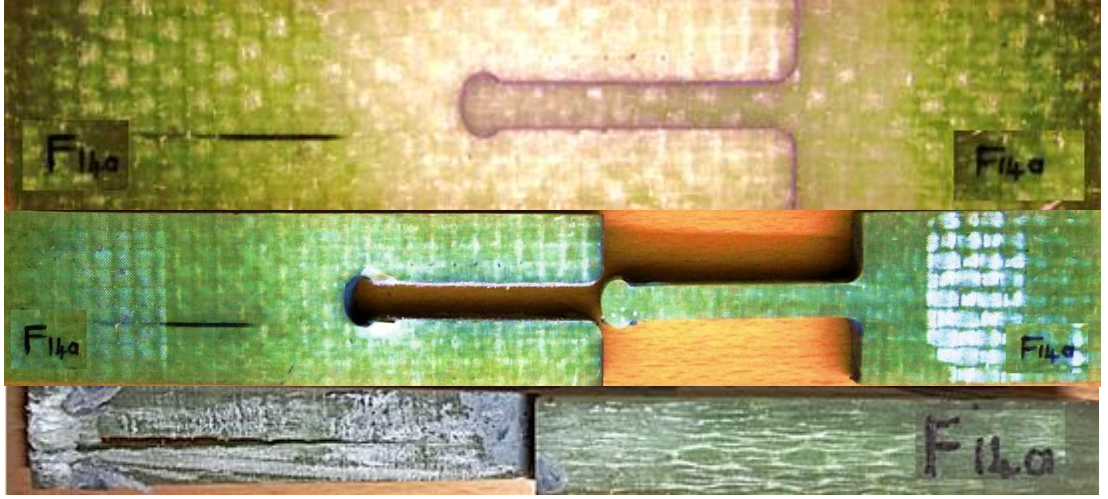
D1 grubu ile başlanırsa; numuneler ve deney sonrası durumları Şekil 4.23 - 4.26 arasında, sonuçların grafiği Şekil 4.27’de görülmektedir.



Şekil 4.23: Deney öncesi F20 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



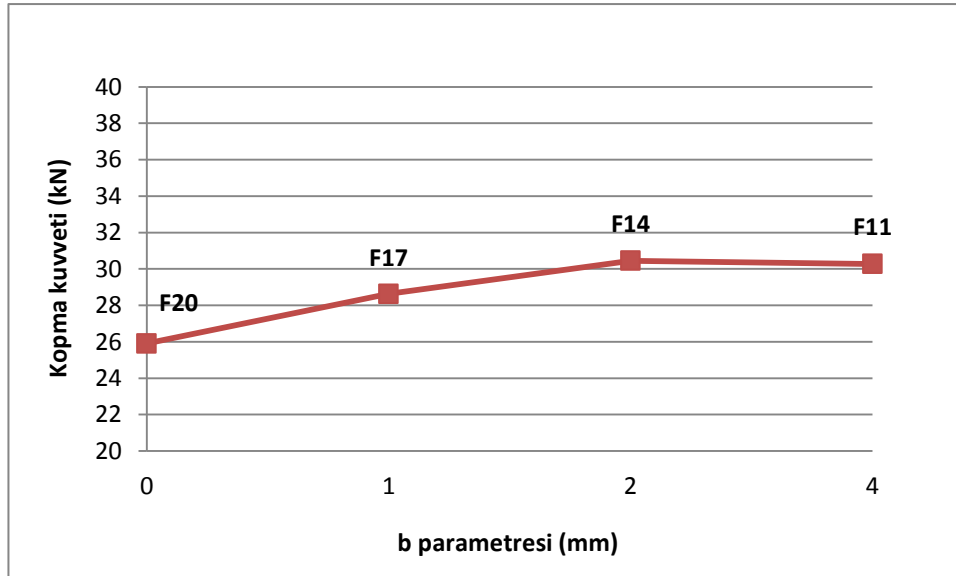
Şekil 4.24: Deney öncesi F17 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



Şekil 4.25: Deney öncesi F14 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



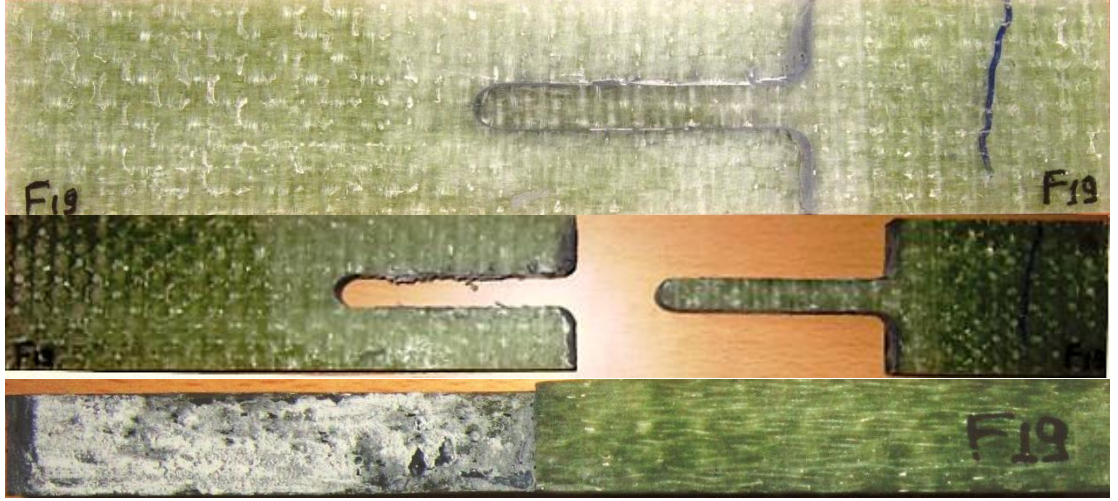
Şekil 4.26: Deney öncesi F11 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



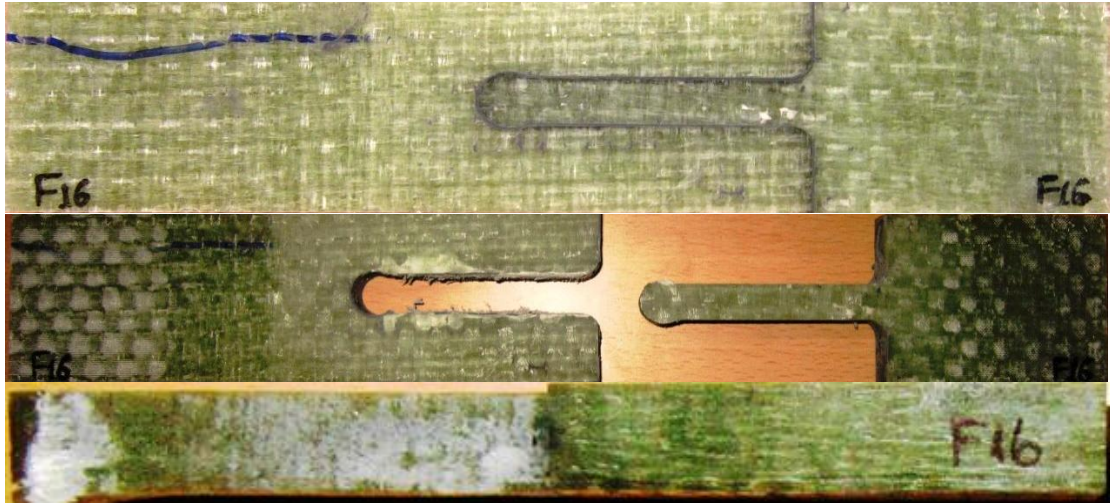
Şekil 4.27: D1 grubu deney sonuçları.

D1 grubunda a parametresi 10 mm sabit olup b değişkendir. Değişken b'nin arttırılmasıyla kopma dayanımı artmış, ancak b=2 mm olan F14 numunesinden sonra önemli bir değişme gözlenmemiştir.

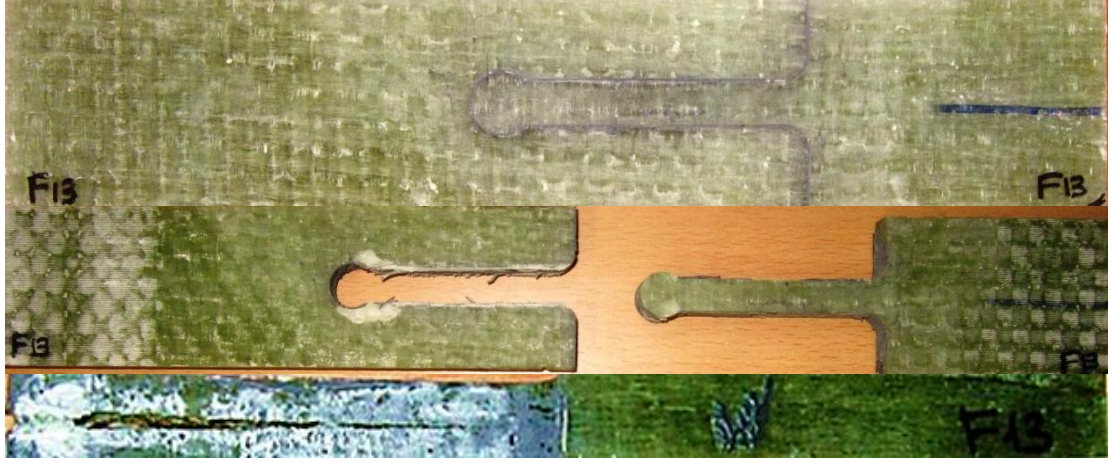
D2 grubu; numuneler ve deney sonrası durumları Şekil 4.28 - 4.31 arasında, sonuçların grafiği Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



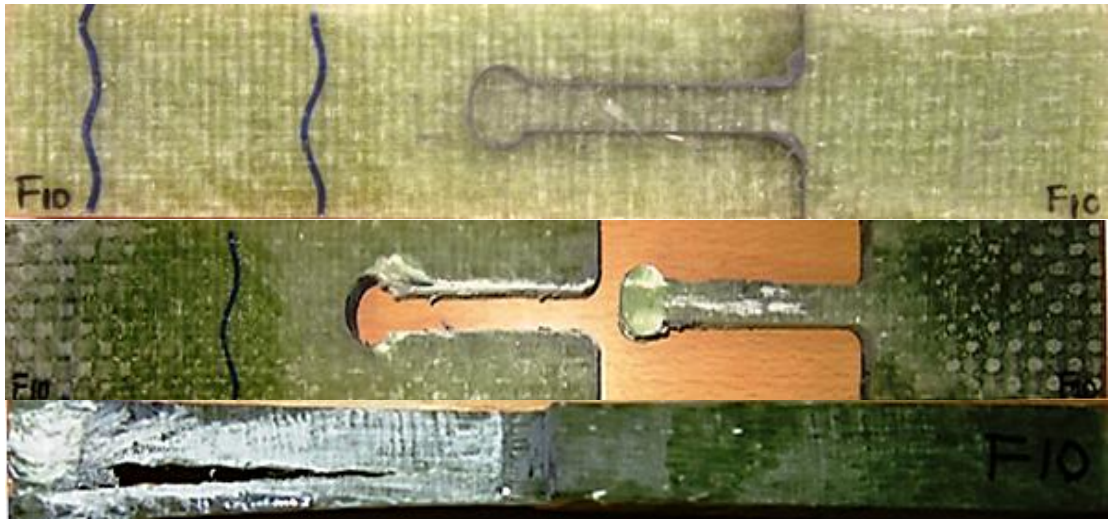
Şekil 4.28: Deney öncesi F19 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



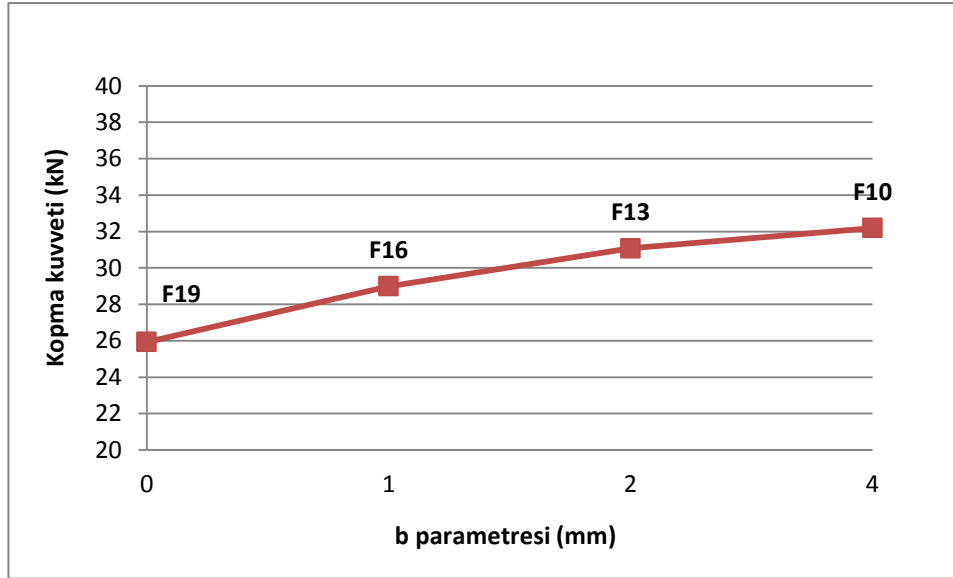
Şekil 4.29: Deney öncesi F16 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



Şekil 4.30: Deney öncesi F13 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



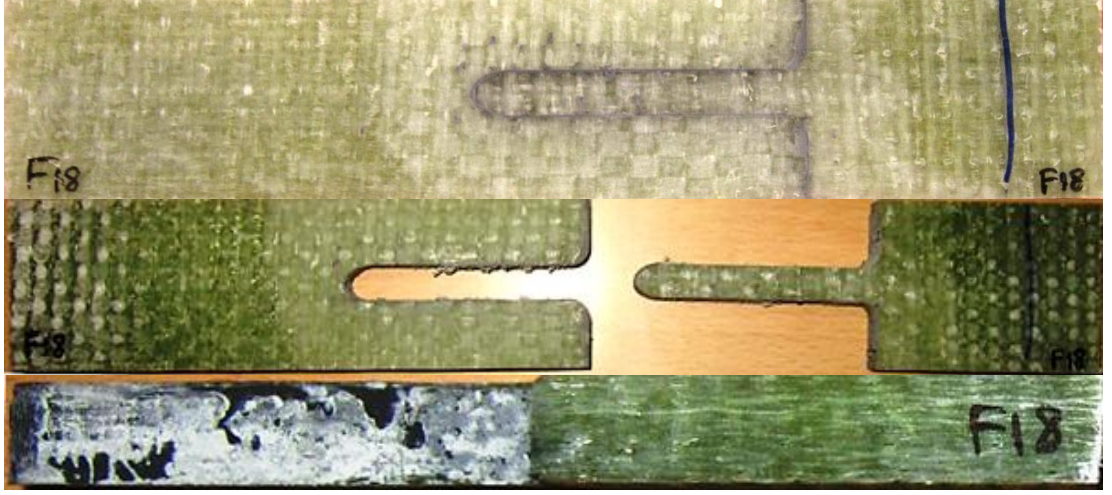
Şekil 4.31: Deney öncesi F10 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



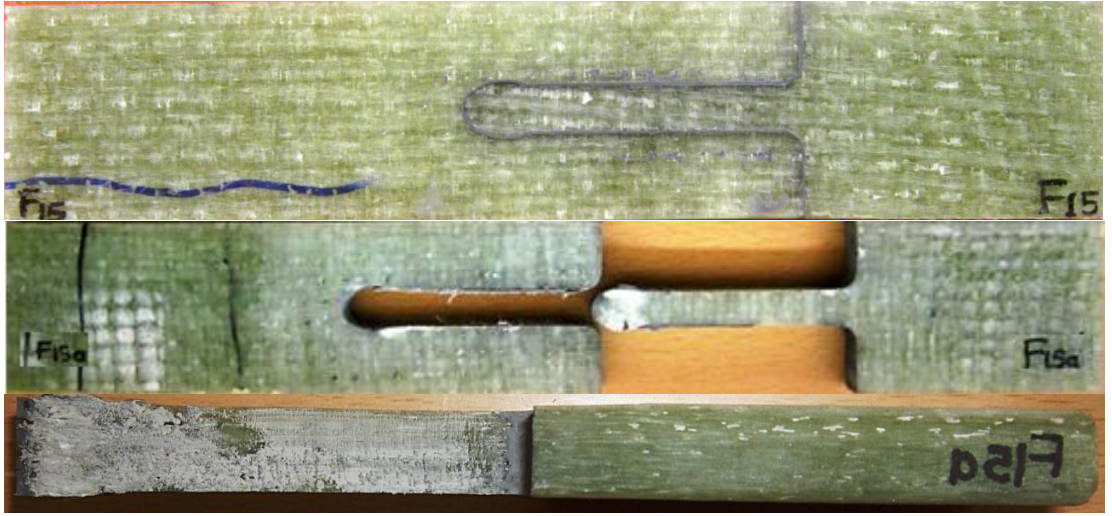
Şekil 4.32: D2 grubu deney sonuçları.

D2 grubunda a sabit 14 mm olup b arttırılmıştır. Kopma dayanımı ise b arttıkça artmıştır.

D3 grubu; numuneler ve deney sonrası durumları Şekil 4.33 - 4.36 arasında, sonuçların grafiği Şekil 4.37’de gösterilmiştir.



Şekil 4.33: Deney öncesi F18 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



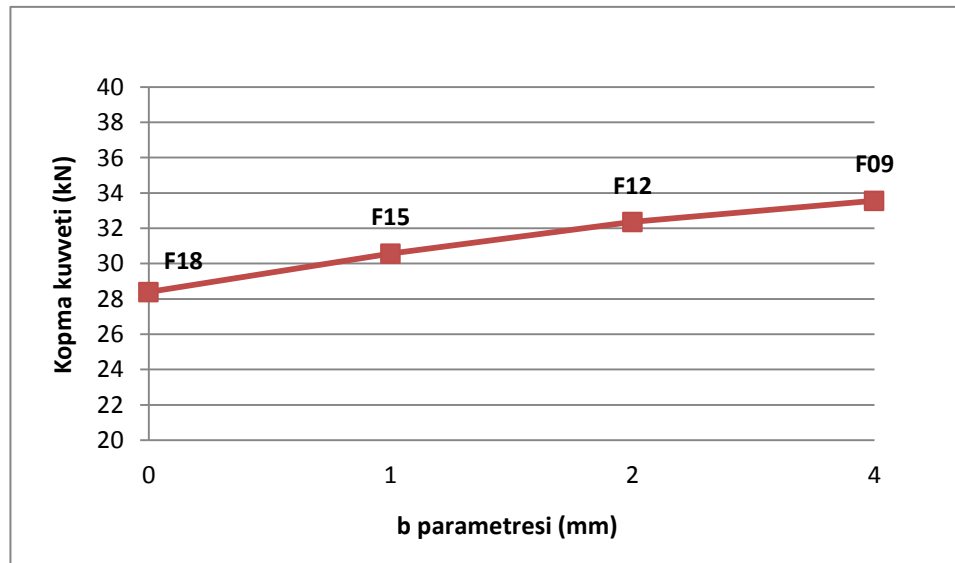
Şekil 4.34: Deney öncesi F15 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



Şekil 4.35: Deney öncesi F12 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



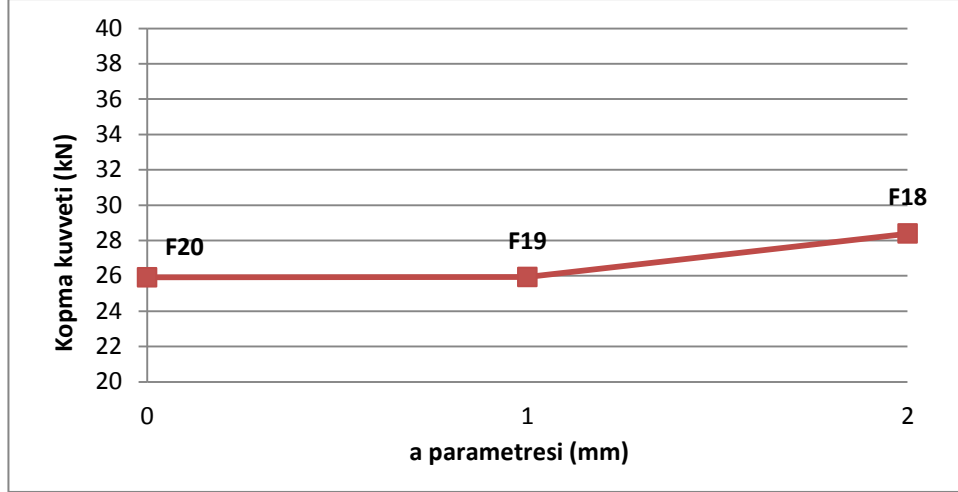
Şekil 4.36: Deney öncesi F09 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



Şekil 4.37: D3 grubu deney sonuçları.

D3 grubunda a sabit 18 mm olup b artırılmıştır. Kopma dayanımı ise b arttıkça artmıştır.

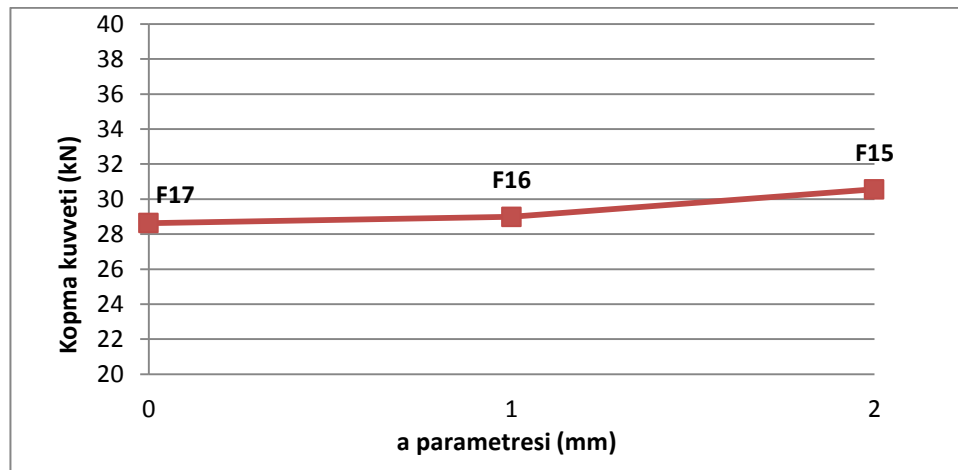
D4 grubu; numuneler ve deney sonrası durumları önceki şekillerden Şekil 4.23, Şekil 4.28 ve Şekil 4.33'te, sonuçların grafiği Şekil 4.38'de gösterilmiştir.



Şekil 4.38: D4 grubu deney sonuçları.

D4 grubunda a değişken b sabittir ve 0 mm'dir. Numunede yapıştırıcı ayrıldıktan sonra dil parçasının, oluk parçasına takılarak dayanımı arttırıcı bir formu olmadığı için değerler biraz düşüktür; ancak az da olsa oluşan açılmayı engellemek için kullanılan U profilin etkisiyle iyi sonuçlar elde edilmiştir.

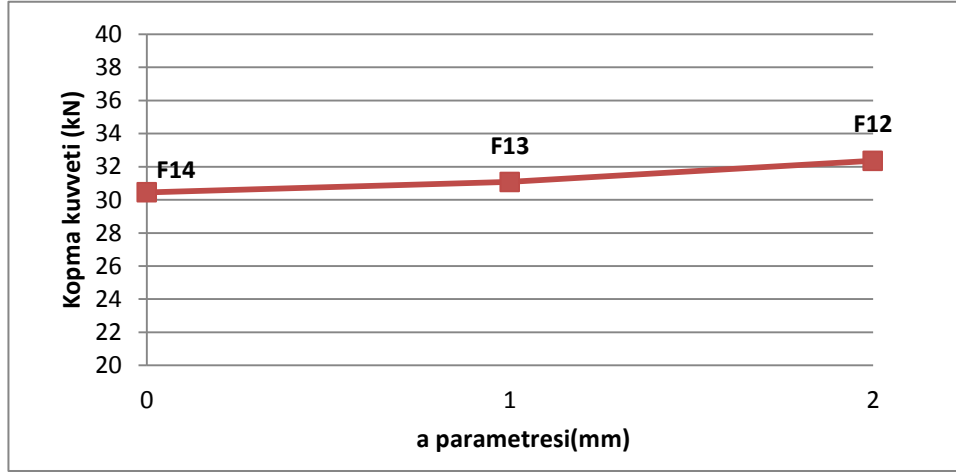
D5 grubu; numuneler ve deney sonrası durumları önceki şekillerden Şekil 4.24, Şekil 4.29 ve Şekil 4.34'te, sonuçların grafiği Şekil 4.39'da gösterilmiştir.



Şekil 4.39: D5 grubu deney sonuçları.

D5 grubunda a parametresi değişken $b=1$ mm sabittir. Dil kalınlığını (10 mm) aşan enine boyut, üst ve alt tarafta 1 mm olup toplamda 2 mm'dir. Bu uzunluk sabit kaldığında; a'nın değişmesi sadece dairesel uç ile radyüslü kısım arasında ve L boyunun uç geometrisi dışında kalan uzunluğu değiştirdiği için bir farklılık oluşmuş ve a = 18 mm için oluşan geometride yüksek dayanım elde edilmiştir.

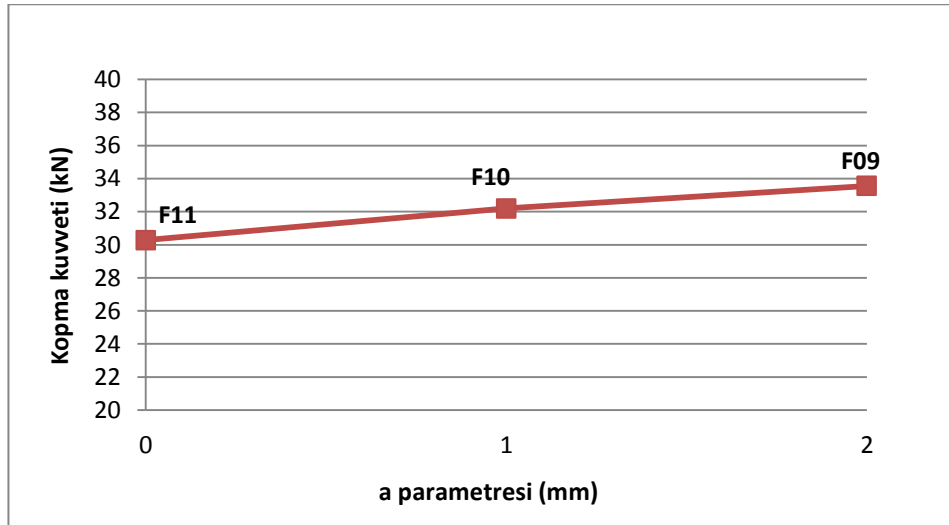
D6 grubu; numuneler ve deney sonrası durumları önceki şekillerden Şekil 4.25, Şekil 4.30 ve Şekil 4.35'de, sonuçların grafiğı Şekil 4.40'ta gösterilmiştir.



Şekil 4.40: D6 grubu deney sonuçları.

D6 grubunda $b = 2$ mm olup a parametresi arttırılmıştır. Bu artış sonucu D5 grubundaki gibi L boyunun uç geometrisi dışında kalan uzunluğu ve dairesellik değişmiştir. Bu değişim dayanımda artış olarak görülmüştür.

D7 grubu; numuneler ve deney sonrası durumları önceki şekillerden Şekil 4.26, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de, sonuçların grafiğı Şekil 4.41'de gösterilmiştir.

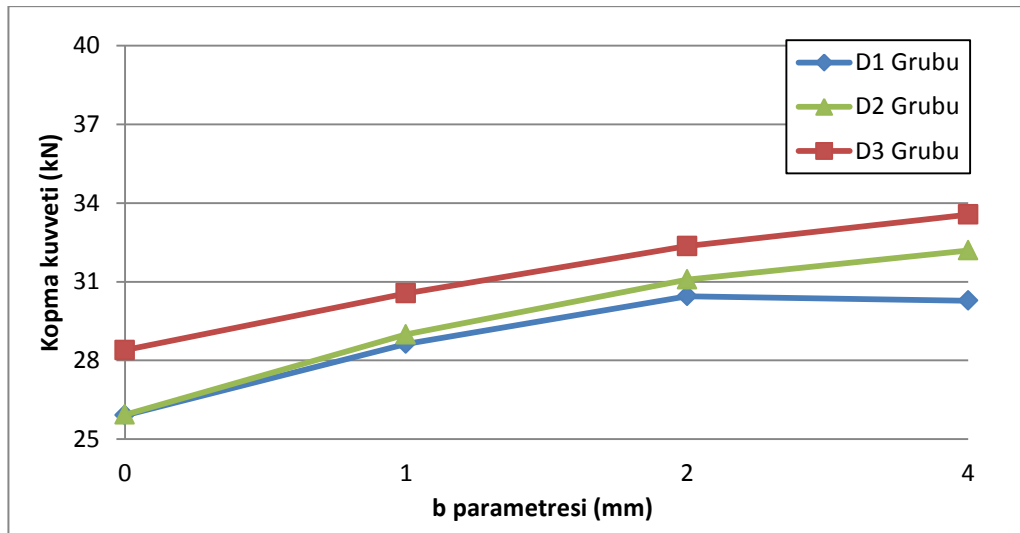


Şekil 4.41: D7 grubu deney sonuçları.

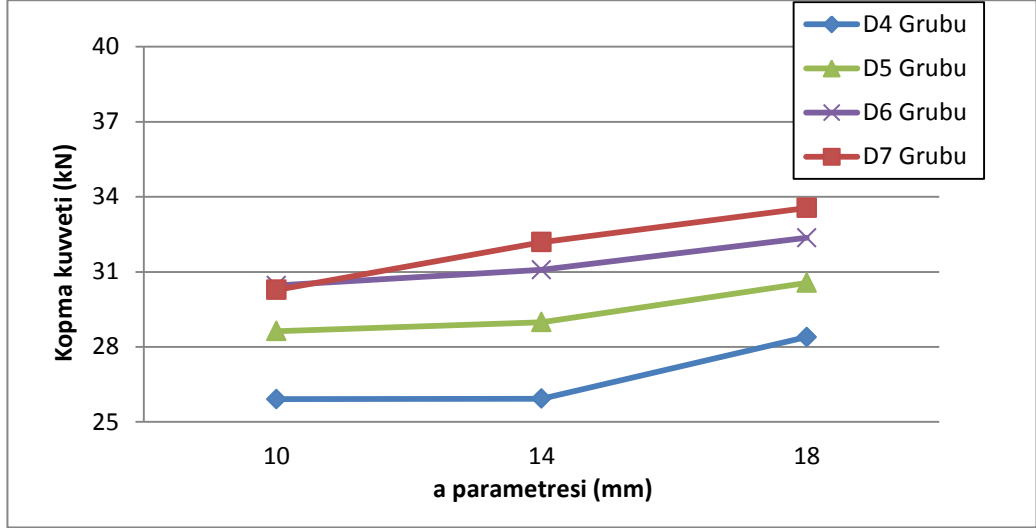
D7 grubunda $b = 4$ mm olup a parametresi arttırılmıştır. Bu artış sonucu D5 grubundaki gibi L boyunun uç geometrisi dışında kalan uzunluğu ve dairesellik değişmiştir. Ve a parametresinin artışına karşılık dayanım da artmıştır.

Genel olarak deney sonrası fotoğraflara bakıldığında, uç bölgesinin üst tabakasında açılma ve dil boyunca kompozit malzemede oluşan delaminasyon görülmektedir. Delaminasyon ilk olarak $b = 1$ mm genişliğinde görülmekte ve $b = 2$ mm, $b = 4$ mm parametrelerinin bütün numunelerinde bulunmaktadır. Bu hasarın oluşumunda, çekme sonucu yapıştırma bölgesinin ayrılmasından sonra uç geometrisinin bağlantıyı tuttuğu ve bu olay sırasında uç bölgesinde içe doğru kuvvet oluştuğu düşünülmektedir. Bu kuvvet uç bölgedeki kompozit katmanlarında kayma gerilmeleri meydana getirerek ezilmeye ve sonra katmanlı yapıda ayrılma yani delaminasyona neden olmaktadır. Bu hasar üçgen uç geometrisi gruplarında da görülmekte olup benzer kuvvetler sonucu oluşmaktadır.

Daire grupları kendi aralarında karşılaştırılacak olursa; D1, D2, D3 gruplarında b parametresi arttıkça kopma dayanımı artmıştır. D4, D5, D6, D7 gruplarında a parametresi arttıkça grafiğin daha yüksek değerler ulaştığı görülmektedir. Her iki grafikte de artışın x eksen parametresinin artışına bağlı olarak sürdüğü görülmektedir (Şekil 4.42 - 4.43).



Şekil 4.42: a parametresinin sabit olduğu b parametresinin değiştiği gruplar.



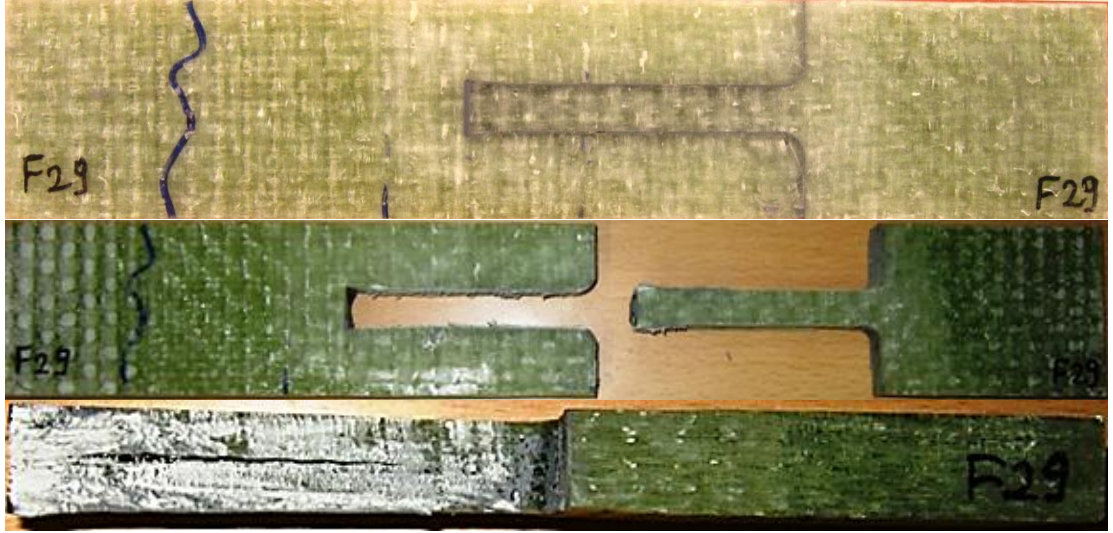
Şekil 4.43: b parametresinin sabit olduğu a parametresinin değiştiği gruplar.

4.2.2.2 Üçgen uç geometrili grupların karşılaştırılması ve sonuçlar

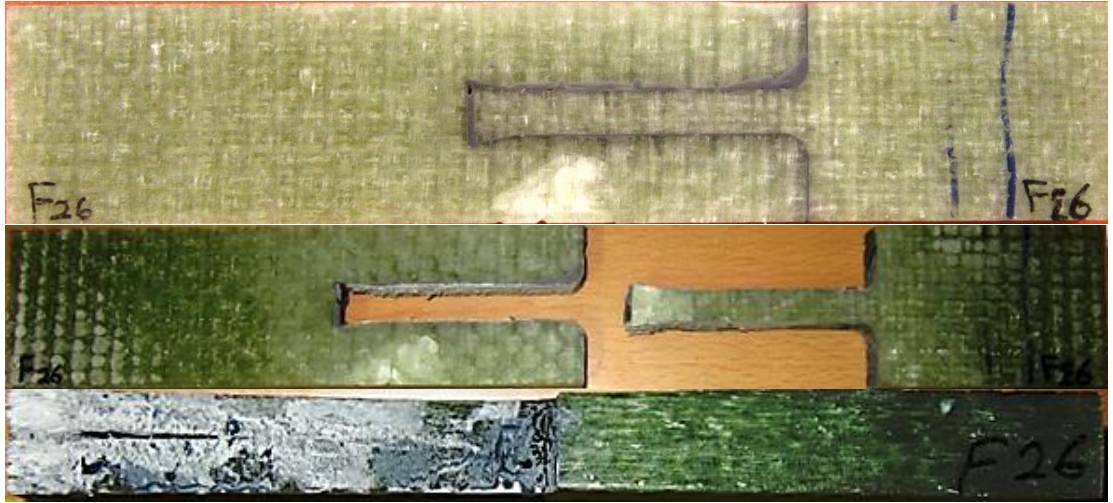
U1 grubu için numuneler ve deney sonrası durumları Şekil 4.44 - 4.47 arasında, sonuçların grafiği Şekil 4.48'de görülmektedir.



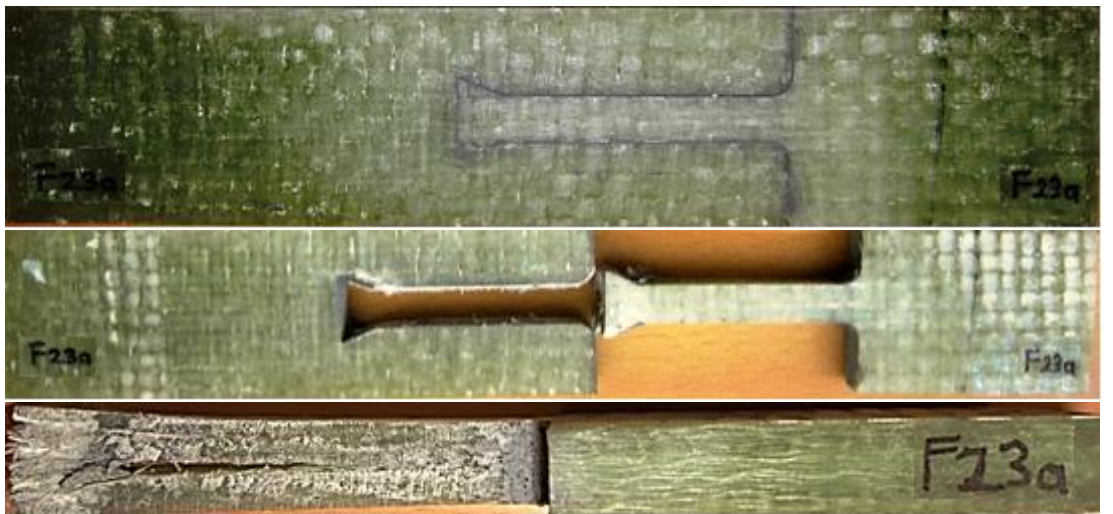
Şekil 4.44: Deney öncesi F30 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



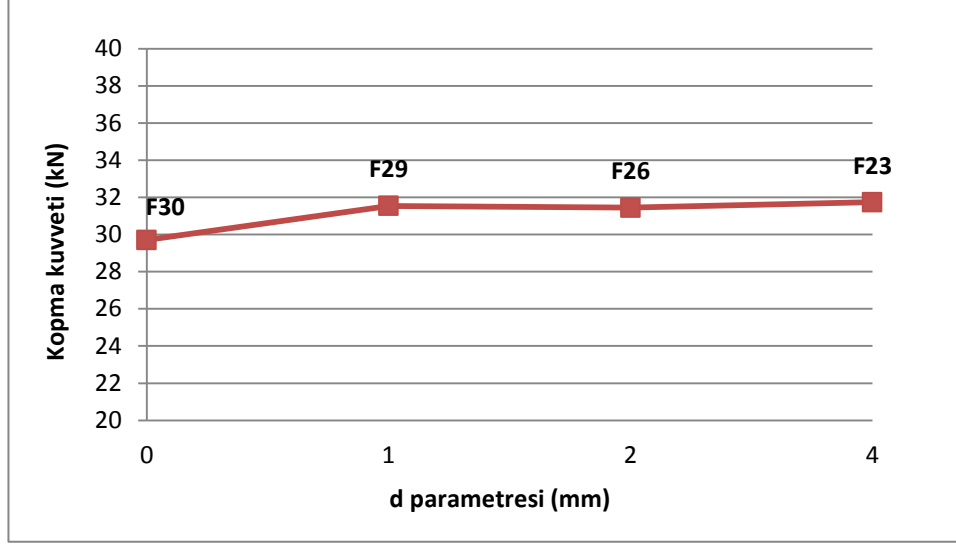
Şekil 4.45: Deney öncesi F29 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



Şekil 4.46: Deney öncesi F26 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



Şekil 4.47: Deney öncesi F23 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



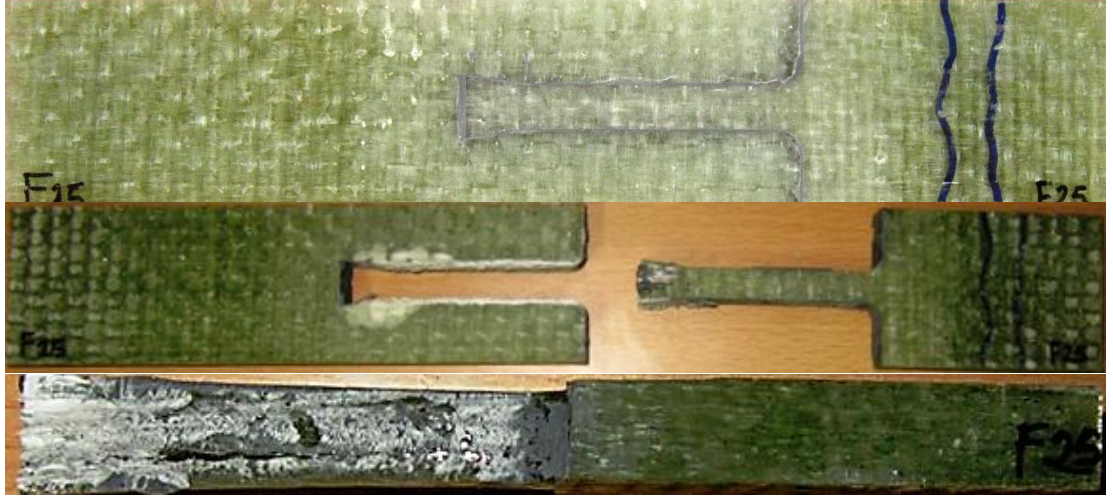
Şekil 4.48: U1 grubu deney sonuçları.

U1 grubunda c parametresi 10 mm sabit olup d değişkendir. Değişken d'nin artırılmasıyla kopma dayanımı artmış, ancak d = 1 mm olan F29 numunesinden sonra önemli bir değişim gözlenmemiştir.

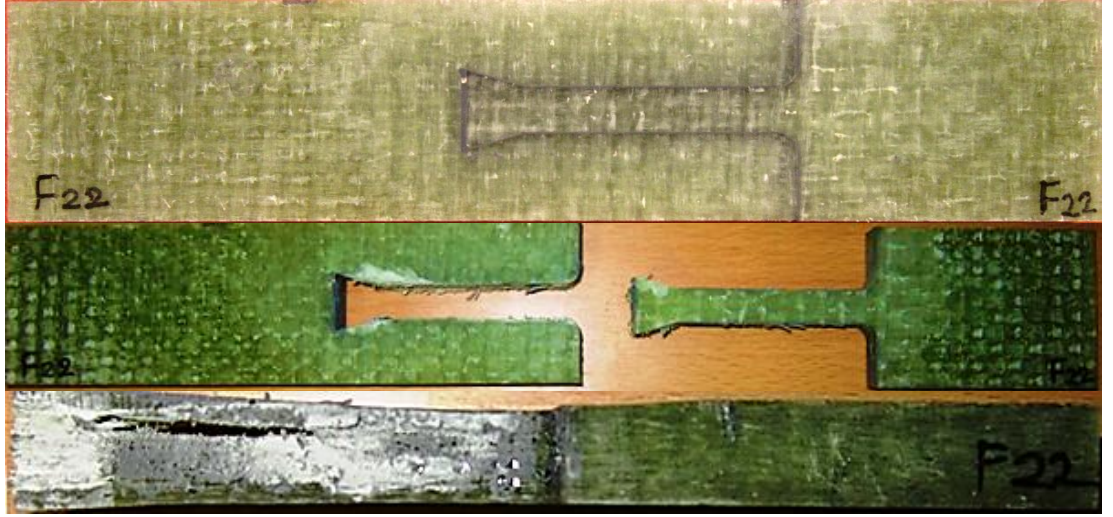
U2 grubu için numuneler ve deney sonrası durumları Şekil 4.44 ve Şekil 4.49 - 4.51 arasında, sonuçların grafiği Şekil 4.52'de görülmektedir.



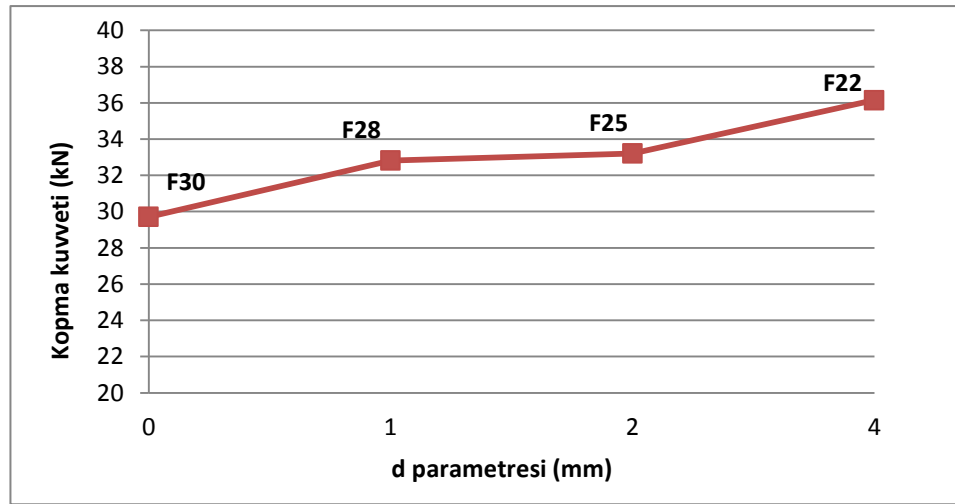
Şekil 4.49: Deney öncesi F28 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



Şekil 4.50: Deney öncesi F25 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



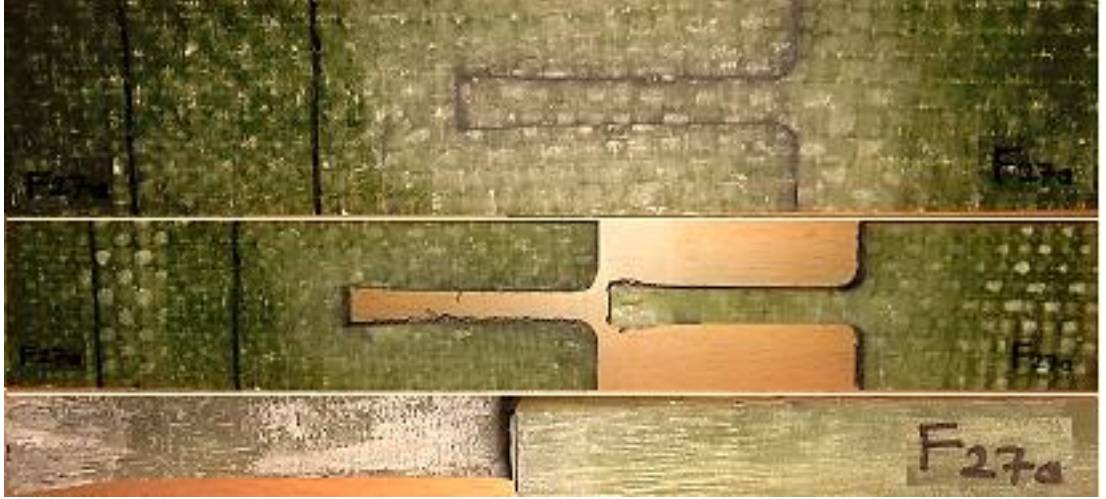
Şekil 4.51: Deney öncesi F22 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



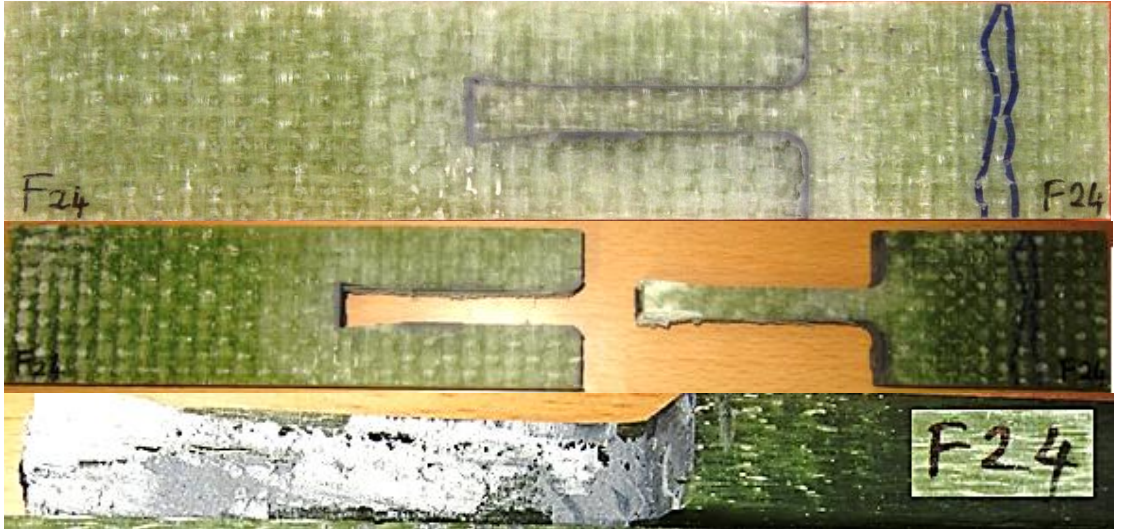
Şekil 4.52: U2 grubu deney sonuçları.

U2 grubunda c parametresi 14 mm sabit olup d değişkindir. Değişken d'nin arttırılmasıyla kopma dayanımı artmış, d = 4 mm olan F22'de maksimuma ulaşmıştır.

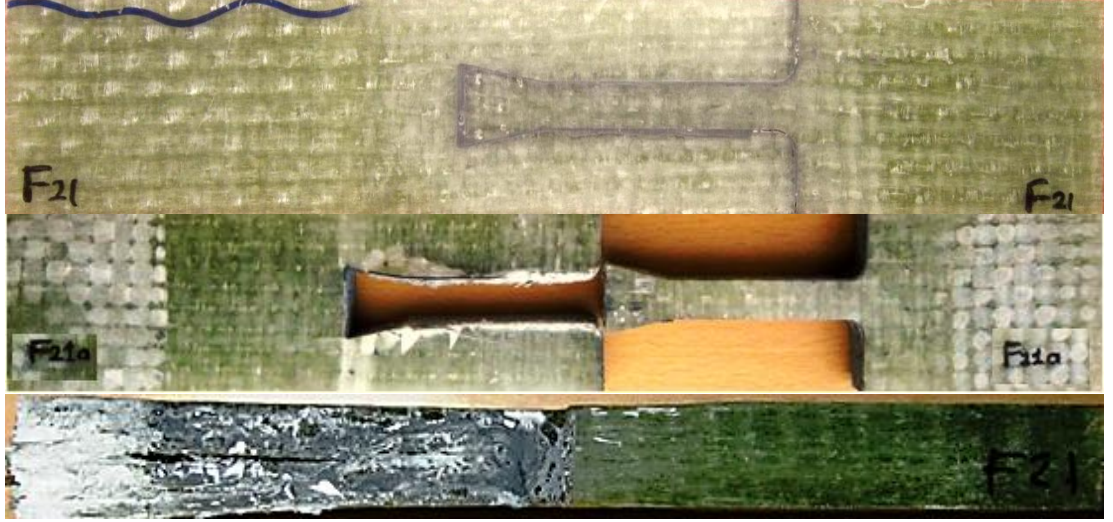
U3 grubu için; numuneler ve deney sonrası durumları Şekil 4.44, Şekil 4.53 - 4.55 arasında, sonuçların grafiği Şekil 4.56'da görölmektedir.



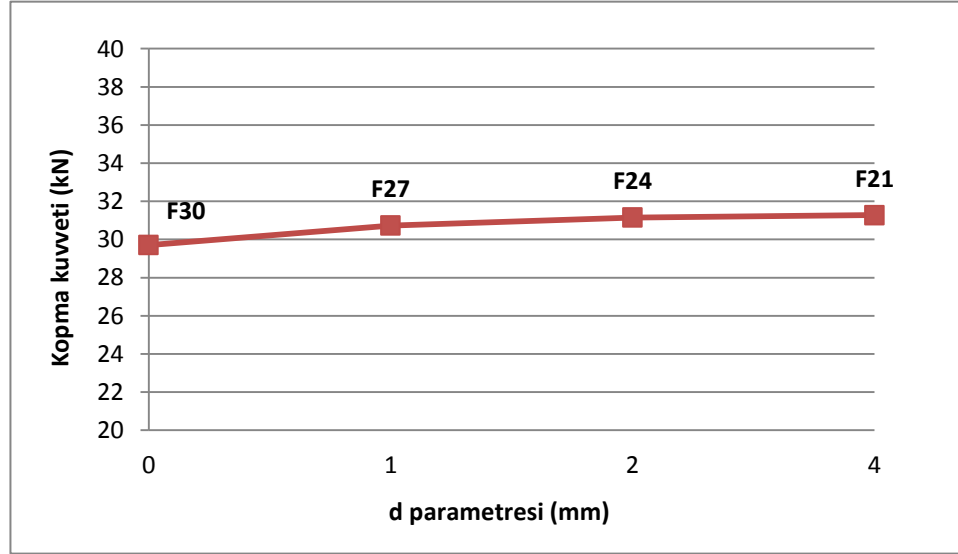
Şekil 4.53: Deney öncesi F27 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



Şekil 4.54: Deney öncesi F24 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.



Şekil 4.55: Deney öncesi F21 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.

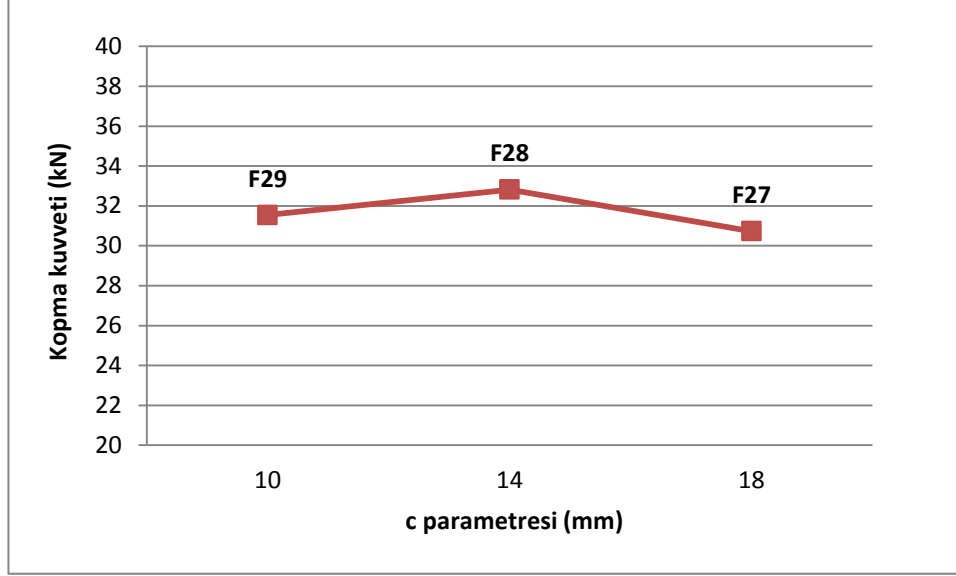


Şekil 4.56: U3 grubu deney sonuçları.

U3 grubunda c parametresi 18 mm sabit olup d değişkendir. Değişken d'nin artırılmasıyla kopma dayanımı artmıştır, ancak değerler arası fark çok azdır.

U4 grubunda d parametresi 0 mm olup sabittir. C parametresi d = 0 mm iken değiştiğinde geometride bir değişme olmadığından c = 10, 14, 18 mm için aynı geometri ortaya çıkmaktadır. Bu durumda U4 grubunun tablosu ve grafiği üç aynı numuneden F30'dan ve üç aynı sonuçtan oluşmaktadır.

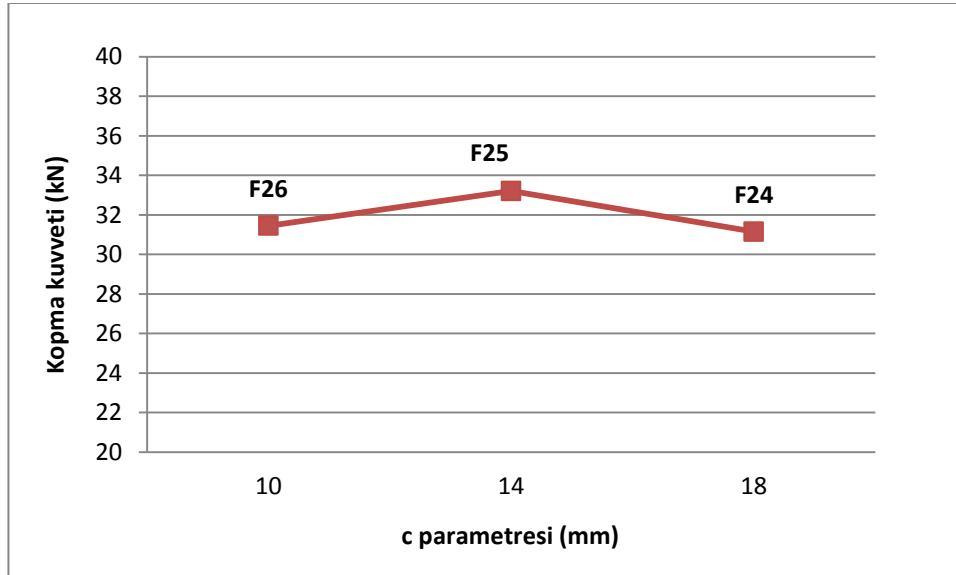
U5 grubu için numuneler ve deney sonrası durumları önceki şekillerden Şekil 4.45, Şekil 4.49 ve Şekil 4.53'te, sonuçların grafiği Şekil 4.57'de görülmektedir.



Şekil 4.57: U5 grubu deney sonuçları.

U5 grubunda d parametresi 1 mm sabit olup c değişkendir. Burada D5'teki gibi L boyunun uç geometrisi dışında kalan uzunluğu değiştiği için bir farklılık oluşmuştur aynı zamanda uç geometrisinde eğim değişmiştir. Burada $c = 14$ mm (F28) olan numune daha iyi dayanım göstermiştir.

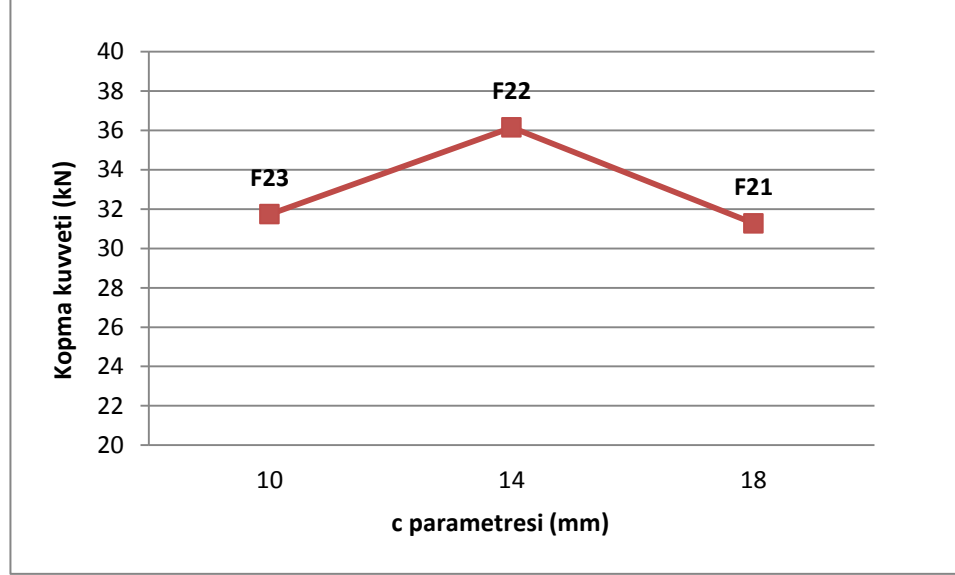
U6 grubu için numuneler ve deney sonrası durumları Şekil 4.46, Şekil 4.50 ve Şekil 4.54, sonuçların grafiği Şekil 4.58'de görülmektedir.



Şekil 4.58: U6 grubu deney sonuçları.

U6 grubunda d parametresi 2 mm sabit olup c değişkindir. Burada da geometride U5'teki gibi bir değişiklik olmuştur. Bu değişiklikler sonucu c = 14 mm (F25) olan numune daha iyi dayanım göstermiştir.

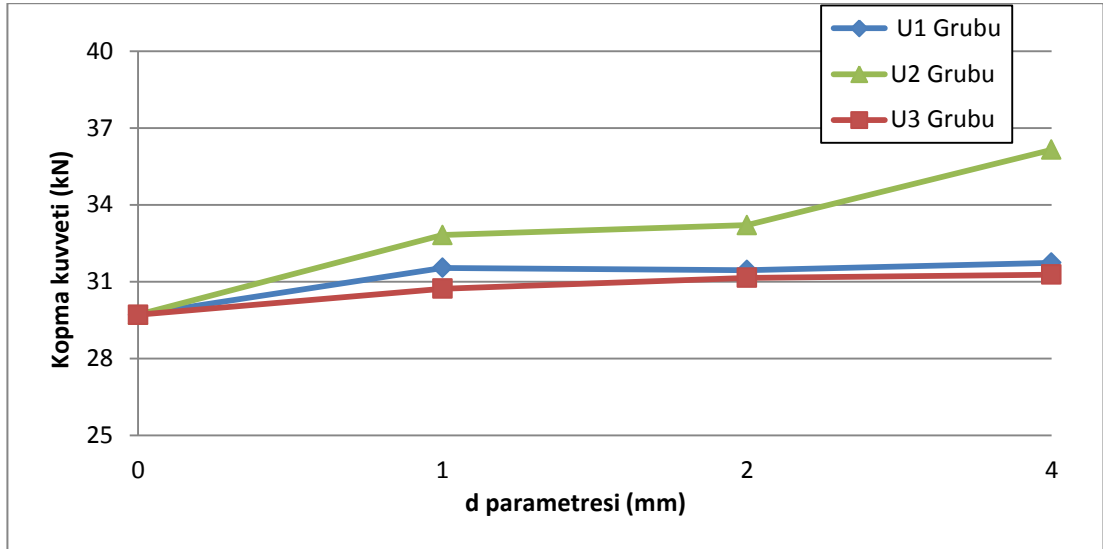
U7 grubu için numuneler ve deney sonrası durumları Şekil 4.47, Şekil 4.51 ve Şekil 4.55, sonuçların grafiği Şekil 4.59'da görölmektedir.



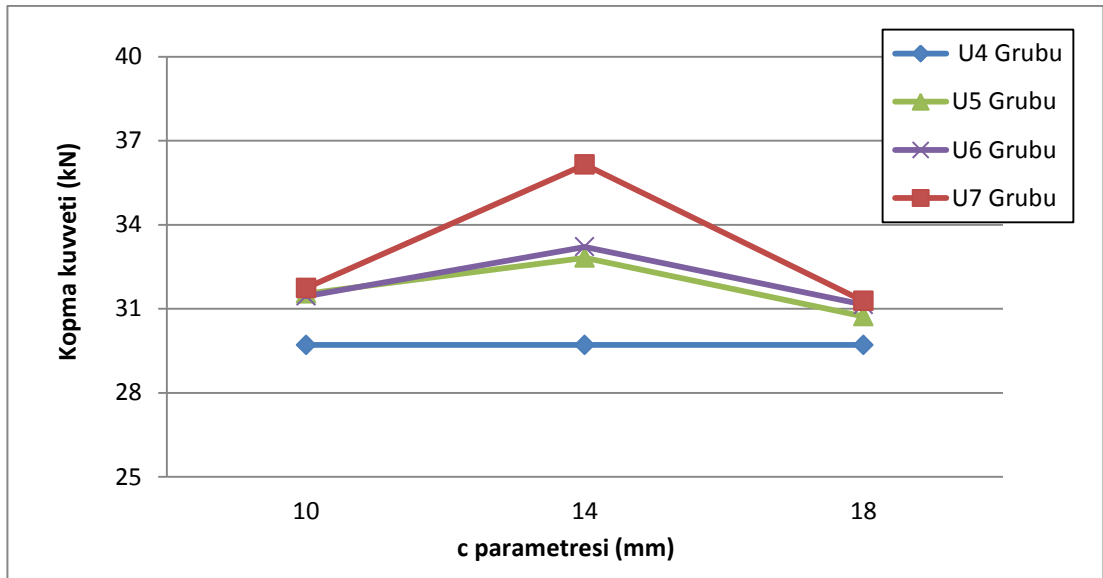
Şekil 4.59: U7 grubu deney sonuçları.

U7 grubunda d parametresi 4 mm sabit olup c değişkindir. Burada da geometride U5'teki gibi bir değişiklik olmuştur. Bu değişiklikler sonucu c = 14 mm (F22) olan numune daha iyi dayanım göstermiştir.

Üçgen gruplarını aralarında karşılaştıracak olursak U1, U2, U3 gruplarında d parametresi arttıkça kopma dayanımının artmış ancak bir noktadan sonra sabit kalmıştır, sadece U2 grubunda ikinci bir artış görölmektedir. Uç geometrisi genişliği olan c parametresi arttıkça U4, U5, U6, U7 gruplarında grafikte kopma dayanımının arttığı c = 14 mm noktasından sonra düştüğü gözlenmiştir. (Şekil 4.60, Şekil 4.61)



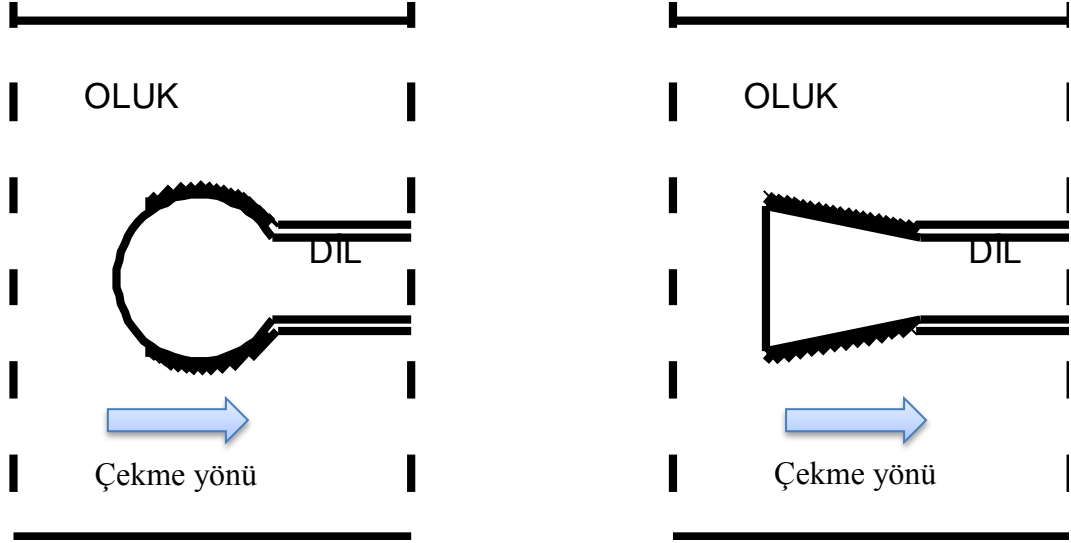
Şekil 4.60: c parametresinin sabit olduğu d parametresinin değiştiği gruplar.



Şekil 4.61: d parametresini sabit olduğu c parametresinin değiştiği gruplar.

4.2.2.3 Dairesel ve üçgen grupların birbiri ile karşılaştırılması

Kopma dayanımları incelendiğinde üçgen uç geometrisine sahip numunelerin daha yüksek dayanım gösterdiği görülmüştür. Bunun nedeni oluk parçasının kollarını açmaya zorlayan yan basınç alanının, şekli ve yüzey alanı farklılığı ile birlikte eğimde dairesel uç geometrisinin hızlı büyümesi gösterilebilir. Şekil 4.62’de yan basınç alanları görülmektedir.



Şekil 4.62: Taralı olarak gösterilen, çekme sonucu uç bölgesinde oluşan ve oluk kollarını açmaya çalışan yan basınç alanları.

5. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ UYGULAMASI

5.1 Ansys 12.1 Programı Analiz Adımları

Çekme deneyi yapılan numuneler Ansys 12.1 sonlu elemanlar analizi programında da modellenerek çözülmüştür. Bu programda uygulanan modelleme ve çözüm aşamaları açıklanmıştır.

Programda önce eleman tipi seçimi ile başlanmıştır. Modellenecek malzeme çeşidine göre seçilen bu özellik aynı zamanda meshli yapıda elemanların birbirine hangi özelliklerle bağlandığını da göstermektedir.

Kompozit malzeme için Solid46 çok tabakalı üç boyutlu eleman tipi seçilmiştir.

Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete > Add > Solid46 şeklinde seçim yapılmış ve Options özelliklerine girilerek K5 isimli özellik Output Both olarak değiştirilmiştir.

Yapıştırıcı için Solid45 katı cisim eleman tipi seçilmiştir.

Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete > Add > Solid45

Eleman tipinden sonra tabakalı olarak seçilen kompozit malzemenin tabaka kalınlıklarının kaç tabaka olduğu ve yönleri girilmiştir.

Preprocessor > Real Constant > Add / Edit / Delete > Add>Set1>Solid46 seçilir. Sonra element type referans no penceresine ok tıklanır. Gelen pencerede tabaka sayısı seçilir ve ok tıklanır (Şekil 5.1). Yine gelen pencerede malzeme seçimindeki malzeme numarası, açı ve tabaka kalınlığı girilir. Tabaka sayısı kadar giriş yapılır (Şekil 5.2). Ok tıkladıkça sayfa açılır ve giriş devam edilir.

Element Type Reference No. 4		
Number of layers (250 max) NL		24
Layer Symmetry Key LSYM		0
First layer for output LP1		0
Second layer for output LP2		0
Location of reference plane KREF		0

OK Cancel Help

Şekil 5.1: Tabaka sayısının girilmesi.

Mat no., X-axis rotation, layer thk	MAT	THETA	TK
Layer number 1	2	0	0.5
Layer number 2	2	90	0.5
Layer number 3	2	0	0.5
Layer number 4	2	90	0.5
Layer number 5	2	0	0.5
Layer number 6	2	90	0.5
Layer number 7	2	0	0.5
Layer number 8	2	90	0.5
Layer number 9	2	0	0.5
Layer number 10	2	90	0.5

Press [OK] for next 10 layers

OK Cancel Help

Şekil 5.2: Malzeme numarası ve tabaka açıları ile kalınlığın girilmesi.

Malzeme özellikleri ile devam edilir. Kompozit malzeme için Orthotropic seçilir.

Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural >Linear> Elastic > OK. Orthotropic. Sonra deney malzemeleri bölümünde verilen değerler girilmiştir (Şekil 5.3). Bu giriş yapılırken malzeme numarası, real constant'taki malzeme numarası ile aynı olmalıdır.

Temperatures	T1
EX	22000
EY	22000
EZ	9000
PRXY	0.27
PRYZ	0.38
PRXZ	0.38
GXY	5300
GYZ	3100
GXZ	3100

Şekil 5.3: Kompozit malzeme değerlerinin girilmesi.

Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural >Linear> Elastic > OK. Isotropic. Burada da aynı işlemler yapılır sadece malzeme çeşidi olarak Isotropik seçilir. Sonra yapıştırıcı özellikleri girilir (Şekil 5.4).

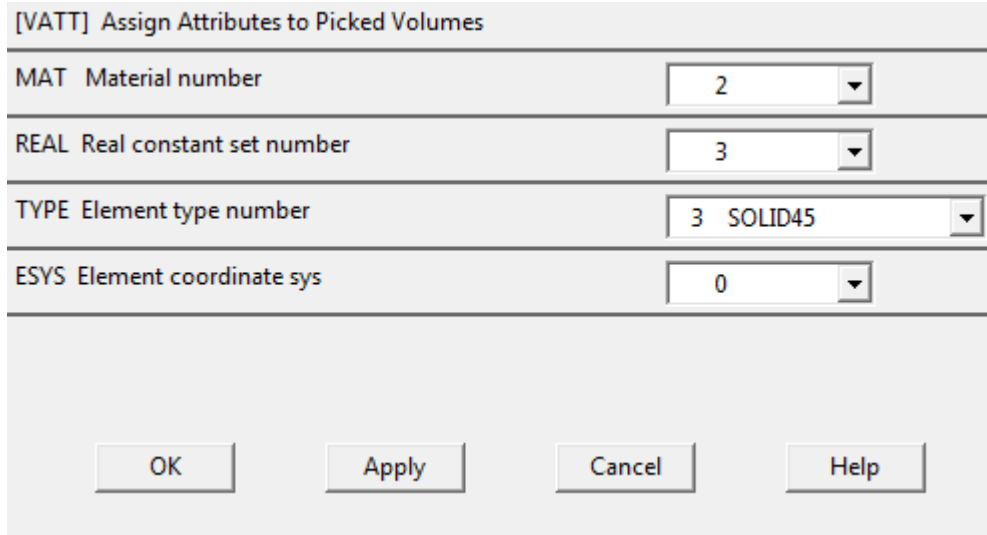
Temperatures	T1
EX	2757
PRXY	0.37

Şekil 5.4: Yapıştırıcı malzemenin değerlerinin girilmesi.

Bu değişiklikler yapıldıktan sonra numuneler boyutlarına uygun olarak çizilir ve hacim şeklinde oluşturulur. Çizimde Autocad 2010 programından faydalanılmış ve ölçüler bu programdan alınmıştır. Model tamamen Ansys'te yapılmıştır. İki boyut oluşturulduktan sonra extrude komutu ile 12 mm kalınlıkta üç boyutlu numune oluşturulmuştur.

Model oluştuktan sonra mesh kısmına gelinir. Bu kısımda Meshing menüsü kullanılır. İlk olarak mesh attributes ile malzeme numarası, real constant set numarası ve eleman tipi girilerek parçalar mesh öncesi tanımlanmış olur. Bu işlem öncesi atanacak parça seçilir (Şekil 5.5). Menü sıralaması ise şöyledir:

Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Volumes. Sonra seçilecek parça seçilir ve malzeme özellikleri Şekil 5.5'teki gibi girilir.



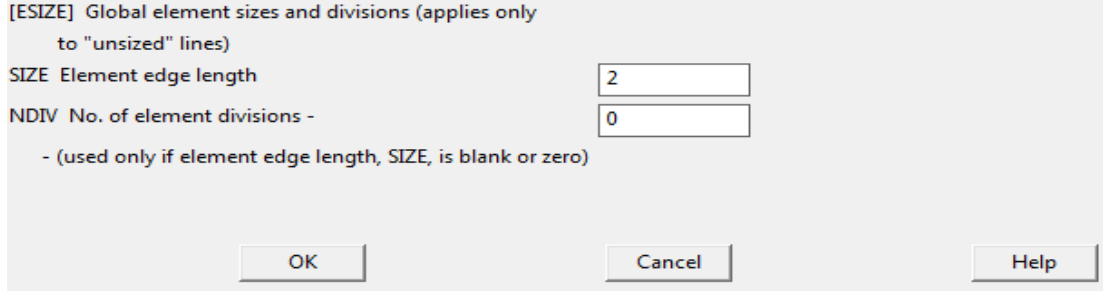
[VATT] Assign Attributes to Picked Volumes	
MAT Material number	2
REAL Real constant set number	3
TYPE Element type number	3 SOLID45
ESYS Element coordinate sys	0

OK Apply Cancel Help

Şekil 5.5: Malzeme özelliklerinin mesh öncesi atanması.

Sonra meshli yapıda oluşacak sonlu elemanların boyutu belirlenir. Bu işlemi yaparken iki yöntemden otomatik ve yönlendirmeli (Manuel, Smart) ölçülerden biri seçilir. Burada manual size seçilmiştir. Hacim için ise manuel size menüsünden global size seçilmiştir. Bu seçim sonrası Şekil 5.6'daki gibi eleman boyutu girilir. Yalnız parçalarda farklı mesh boyutu ve yapısı isteniyorsa bu işlem ayrı ayrı Mesh menüsü uygulamalarından geçmelidir (Mesh Attributes, size controls, mesh).

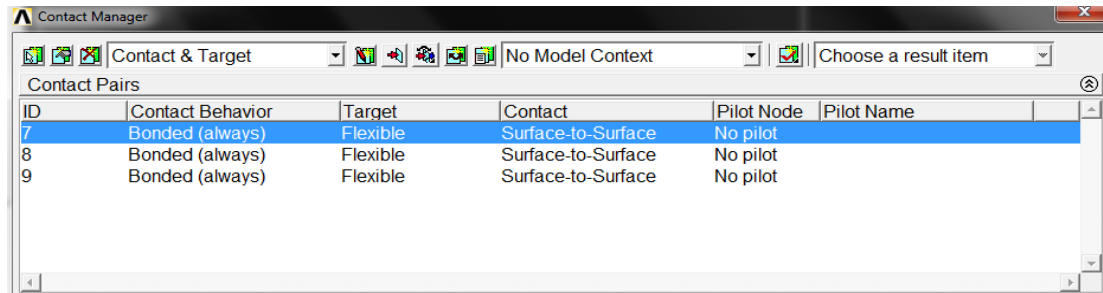
Burada tek mesh boyutu belirlenmiştir ve bütün parçalara uygulanmıştır. Menü sıralaması ise; Preprocessor > Meshing > Size control > Manuel Size > Global > Size şeklindedir.



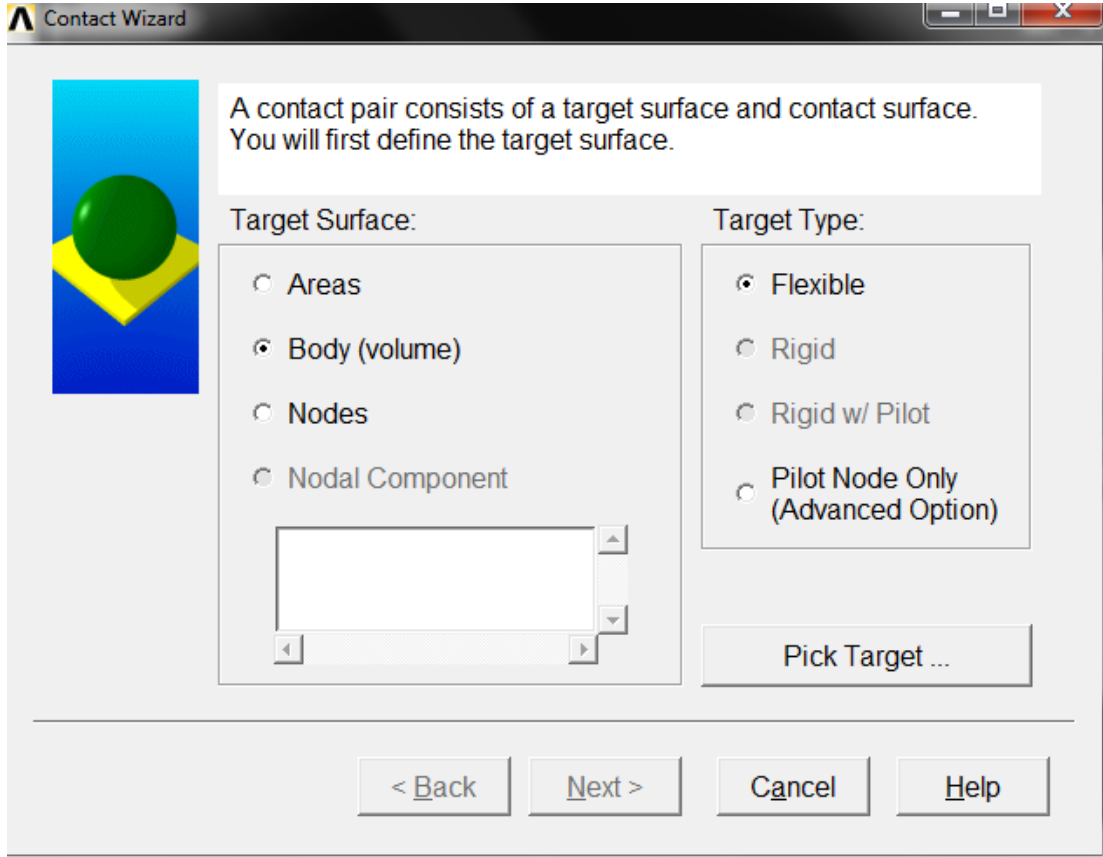
Şekil 5.6: Mesh için eleman boyutunun girilmesi.

Sonra mesh yapımı için mesh menüsü seçilir burada volumes ve sonra mapped ve free seçenekleri vardır. Bunlardan free seçilir çünkü parçalarda dairesel ve açılı kısımlar bulunduğu için mapped mesh yapılamamakta ve hacim şeklindeki modeli parçalara ayırmak zor olmaktadır. Menü sıralaması şöyledir: Preprocessor > Meshing > Mesh > Volumes > Free > Pick all

Meshten sonra parçalar arasında contact tanımlama yapılmıştır. Contact tanımlaması yapılırken parçaların ayrı ayrı modellenmiş olmasına dikkat edilmelidir. Bu tanımlama Preprocessor > Modeling > Create > Contact pair menü sıralamasıyla yapılmaktadır. Şekil 5.7'deki gibi pencere açılmaktadır. Burada Contact manager adlı pencerede contact wizard (Şekil 5.8) aracılığıyla alan veya hacim işaretlenerek sonra da target ve contact yüzeyleri seçilerek ilerleme sağlanır. Üç adet tanımlama yapılmıştır; bunlar oluk parçası-yapıştırıcı, yapıştırıcı dil parçası ve U profil kullanılan numunelerde U profil uçları ile oluk parçasıdır. Son olarak options'tan Contact behavior kısmında Bonded always seçilir.



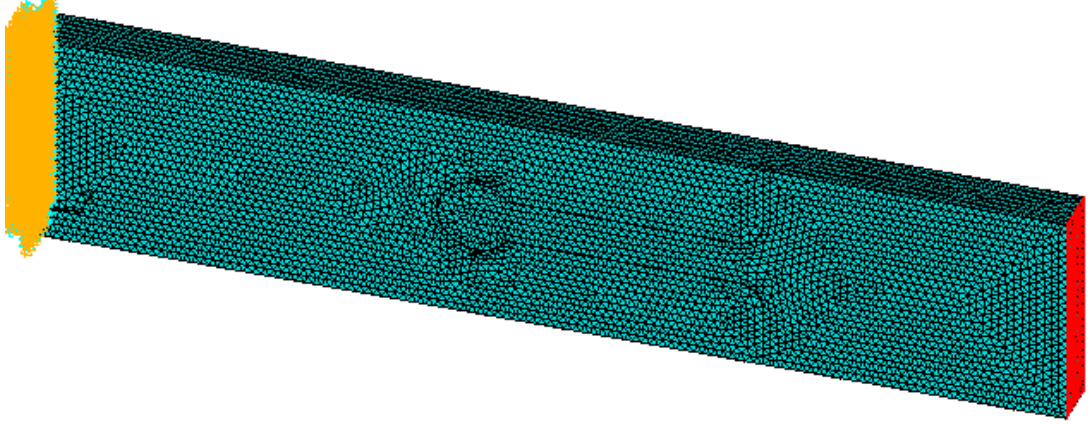
Şekil 5.7: Contact Manager penceresi.



Şekil 5.8: Contact Wizard penceresi.

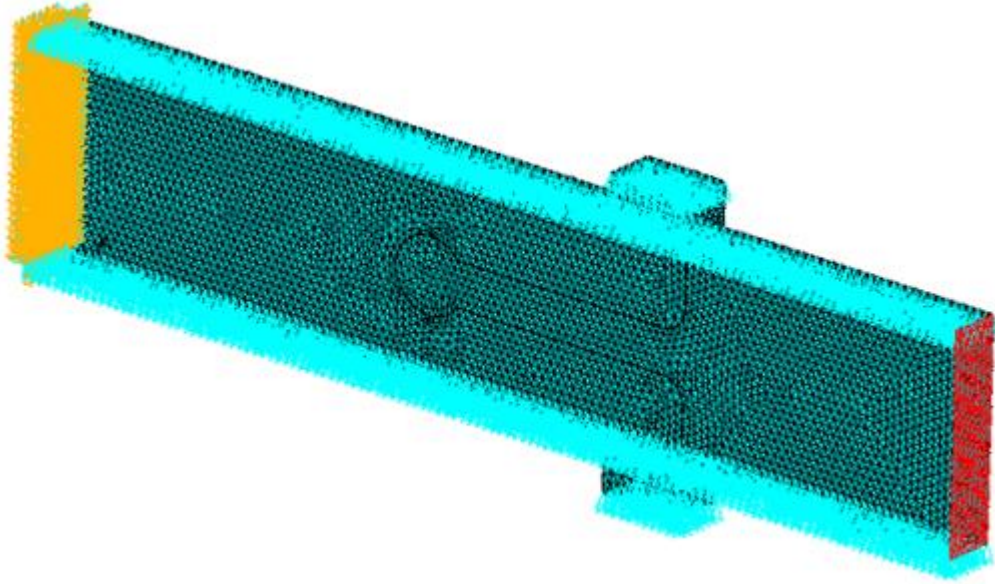
Bonded always seçilmesi ise yapıştırmaya en uygun modelleme özelliği olmasındandır.

Model artık yükleme aşamasına gelmiştir. Çekme deneyi uygulaması yapılacağı için çekme bölgesi ve sabitleme bölgesi bu uygulamaya göre seçilir. Çekme cihazındaki durum da göz önüne alınarak oluk parçası ankastre tutturulup dil parçası kesit alanına basınç uygulanmıştır (Şekil 5.9). Menü yolları ise; basınç alanı için Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Areas Şekil 5.9'daki kırmızı alan, sabitleme alanı için Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Areas turuncu alan seçilerek All Dof tüm yer değiştirme ve dönme sabitlemesi yapılarak çözüme geçilebilir. Solution menüsünden solve ve current ls seçilerek çözüm yaptırılır.



Şekil 5.9: Yüklü meshli numune modeli.

U profil kullanıldığında ise yükleme durumunda; kırmızı basınç bölgesi ve turuncu sabitleme aynı kalmış, U profil koyulan modelde oluk kolları sabitlendiğinden kalınlık boyunca, aynı zamanda U profilde rijit olarak tanımlandığından U profilin üst yüzeyleri düşey doğrultuda Uy sabitlemeleri yapılmıştır (Şekil 5.10). Sonra da çözüme geçilebilir.

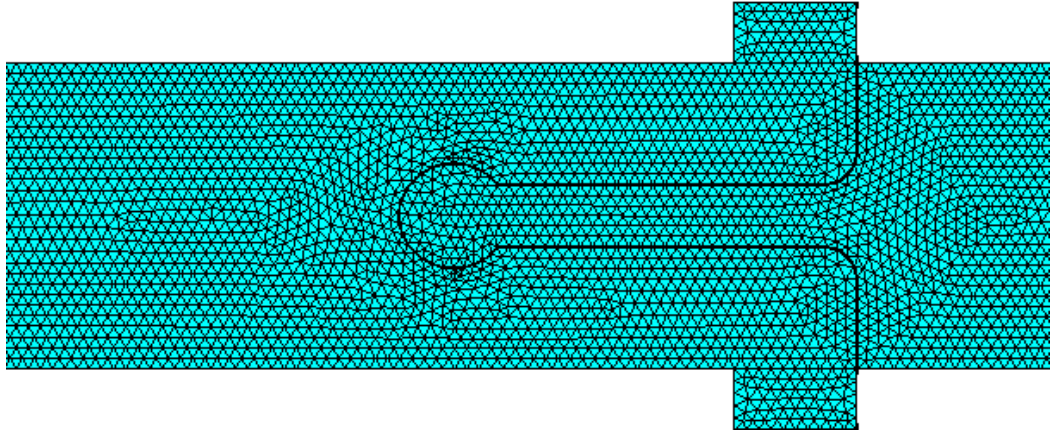


Şekil 5.10: U profil kullanılan modelin mesh sonrası yüklemesi.

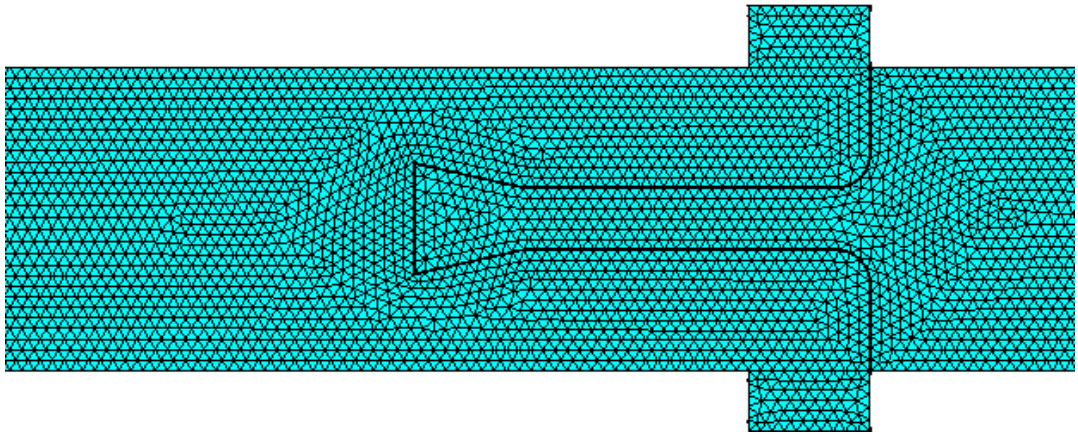
Çözümünden sonra sonuçların değerlendirilmesi; renk farklılıkları, sayısal sonuçların düğüm ve elemanlara göre değişimi ve doğru boyunca oluşan gerilme grafikleri yardımıyla yapılır.

5.2 Deney Yükleriyle Yüklenmiş Ansys Modelleri ve Sonuçları

Deney yükleriyle yüklenen numunelerin modelleri manuel size mesh yapılmış ve size 2 olarak kullanılmıştır. Bu büyüklükte size seçilmesinin nedeni kullanılan bilgisayarın kapasitesidir. Daha küçük değerlerle ince mesh yapılabilir. Meshli yapıların en uygun hale getirilme çalışmalarından sonraki durumları Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Bu şekilde bir dairesel uç geometri ve bir üçgen geometri örnek verilmiştir. Ayrıca bu meshler kalınlık boyunca olup hacimsel özellik göstermektedir.



Şekil 5.11: F09 ve U profil meshli modeli.



Şekil 5.12: F21 ve U profil meshli modeli.

Yüklemelerde kullanılan birimler kuvvet N, uzunluk mm, alan mm^2 , basınç MPa olarak alınmıştır. Yükleme modellemesi tekil kuvvet uygulaması şeklinde değil basınç şeklinde alınmış ve kesit alan boyunca uygulanmıştır. Üç boyutlu bir model olması bu şekilde yükleme yapılmasında etkili olmuştur. Ansys’te parçaların modellemesinde boyutlar 12 mm kalınlık ve 50 mm genişlik alındığı için kesit alan 600 mm^2 olmuştur. Deneylerin sonucu olan kopma yüklerinin uygulaması

yapılacağından Tablo 5.1’de kopma kuvvet değerlerinin kesit alan boyunca ne kadarlık basınca eşit olduğu görülmektedir. Basınç değerleri kuvvetin kesit alana bölünmesiyle bulunmuştur.

Tablo 5.1: Kopma kuvvetleri ve karşılık gelen kopma basınçları.

F _{xx}	Kopma kuvveti (kN)	Kopma basıncı (MPa)
F02	15.38	25.63
F03	20.07	33.45
F05	18.6	31
F06	21.06	35.1
F09	33.56	55.93
F10	32.19	53.65
F11	30.28	50.46
F12	32.36	53.93
F13	31.08	51.08
F14	30.95	51.58
F15	30.56	50.93
F16	28.99	48.32
F17	28.63	47.72
F18	28.39	47.32
F19	25.93	43.22
F20	25.91	43.2
F21	31.28	52.13
F22	36.15	60.25
F23	31.74	52.9
F24	31.15	51.92
F25	33.21	55.35
F26	31.45	52.42
F27	30.73	51.22
F28	32.82	54.7
F29	31.54	52.58
F30	29.71	49.52
F31	35.88	59.8
F32	34.03	56.72

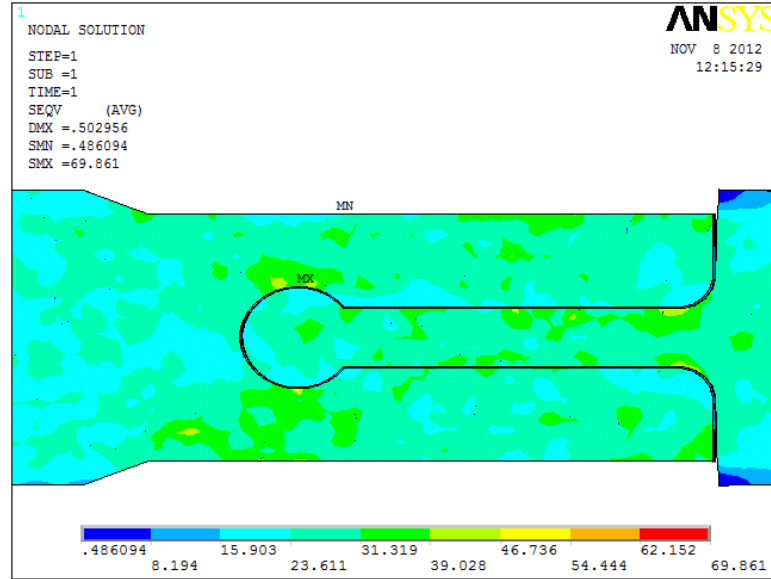
Bu modelleme ve analizlerin sonuçları; von Mises gerilmesi, x eksenini boyunca oluşan normal gerilme, y eksenini boyunca oluşan normal gerilme ve x-y düzleminde oluşan kayma gerilmeleri üzerinden incelenmiştir. Ansys programında; von Mises gerilmesi SEQV, x eksenini boyunca oluşan normal gerilme SX, y eksenini boyunca oluşan normal gerilme SY, x-y düzleminde oluşan kayma gerilmeleri SXY olarak isimlendirilmiştir. Bu sonuçlar sadece malzemenin nasıl bir davranış gösterdiğini

anlamak için kullanılmıştır. Numune analizlerinin birbiri ile karşılaştırılması için aynı yük analizi kullanılacak olup bu analizler bir sonraki bölümde anlatılmıştır.

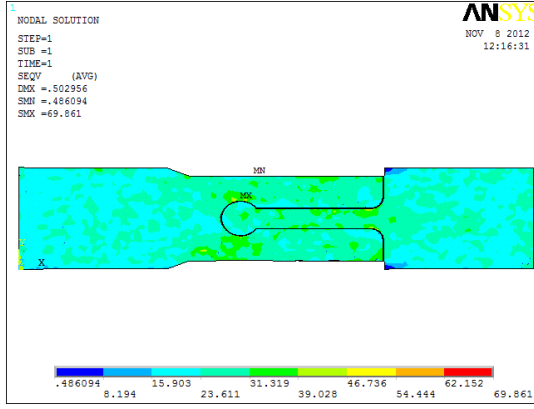
5.2.1 Ön Deneylerin Ansys Analizi

5.2.1.1 F02 ve F05 modellerinin analizi

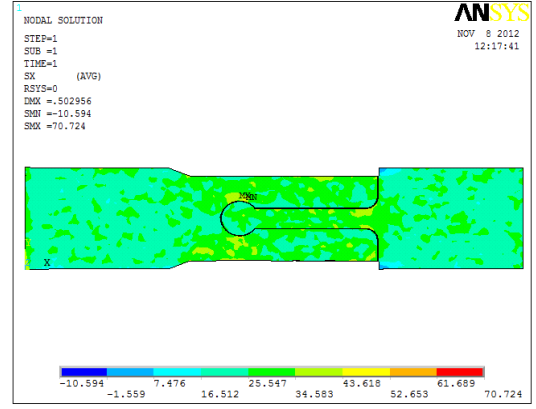
F02 ve F05 ilk yapılan deneylerin arasından iyi sonuç verenler ve tasarımı değiştirdikten sonra oluşan şekillerdir. Ansys analizi yukarıda açıklandığı gibi yapıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 5.13'te F02 modelinin von Mises gerilmeleri yakınlaştırılmış görünümde sonuçları, Şekil 5.14'te normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir.



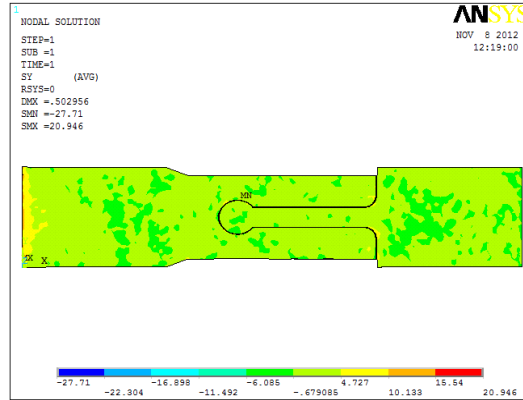
Şekil 5.13: F02 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



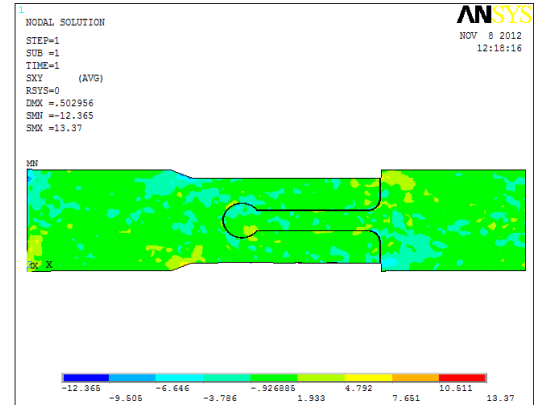
(a)



(b)



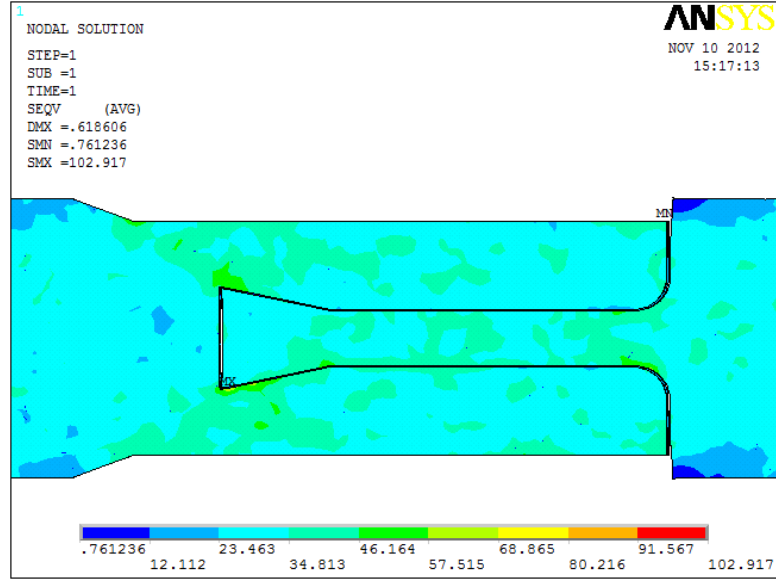
(c)



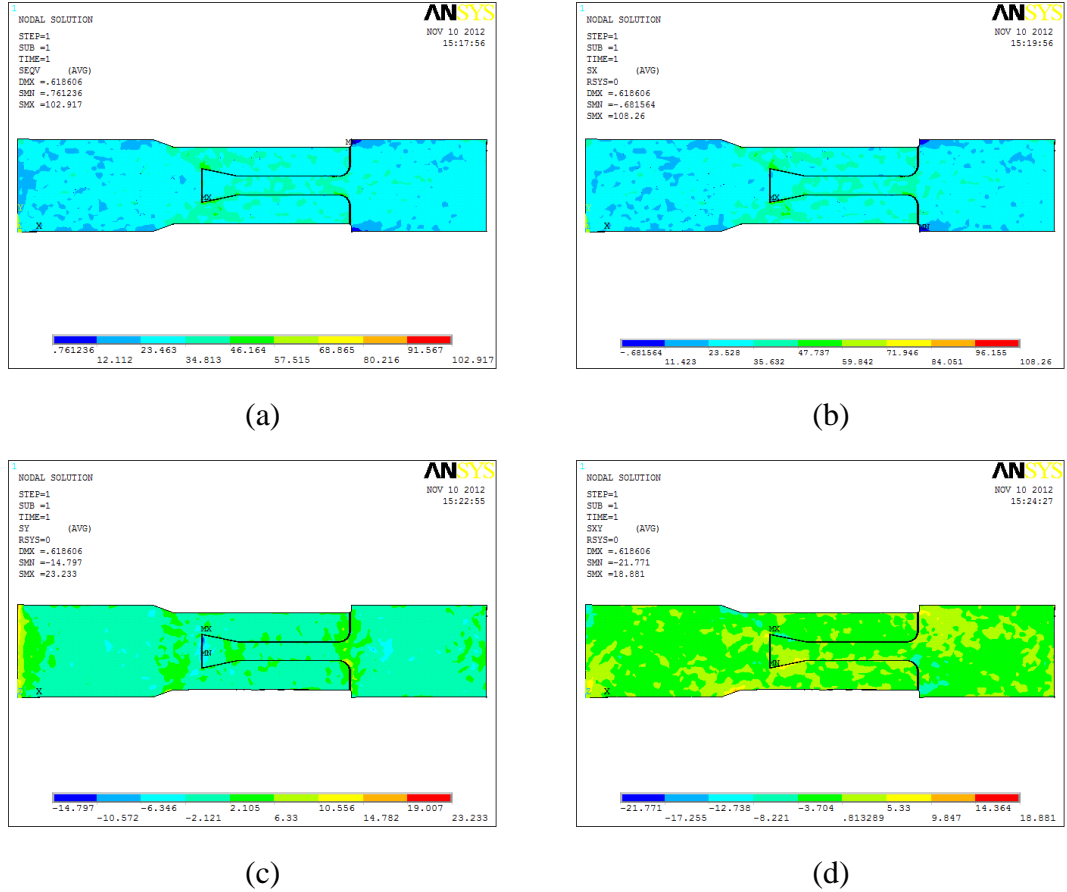
(d)

Şekil 5.14: F02 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

Bu modelde düğüm sayısı 28156 eleman sayısı 159850'dir. Deneylerde oluk parçası kollarında kırılma oluşmuştur. Şekil 5.13'te görüldüğü gibi kırılma bölgesi ve uç bölgesinde gerilme yığılması oluşmuştur. F05 modelinde düğüm sayısı 28672 eleman sayısı 163162'dir. Şekil 5.15'te von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.16'da normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Bu numune de oluk parçası kollarından kırılmış ve Şekil 5.15'te yine aynı bölgelerde gerilme yığılması oluşmuştur.



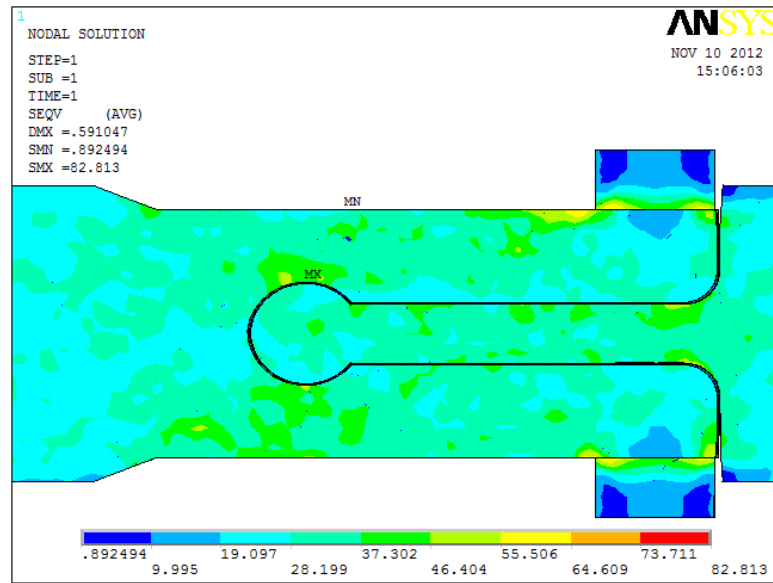
Şekil 5.15: F05 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



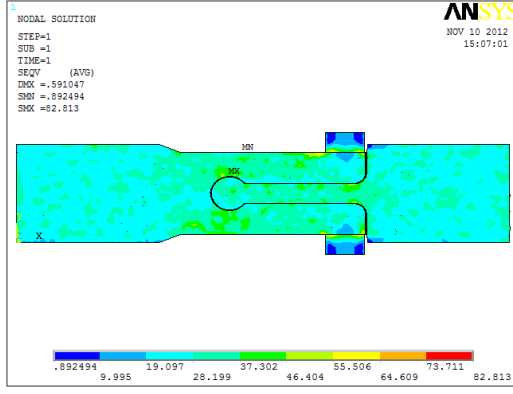
Şekil 5.16: F05 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

5.2.2 F03 ve F06 modellerinin analizi

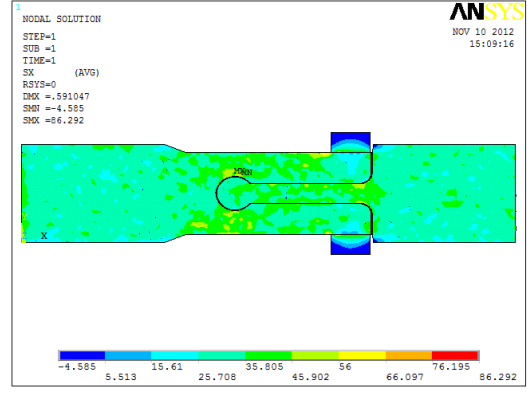
F02 ve F05 deneylerini iyileştirmek için U profil kullanımı ve uç geometrisi bölgesinin genişletilmesi uygulamaları yapılmıştır. Bunlardan F03'te U profil kullanılmıştır. U profil açılmanın en fazla olduğu yerde oluk parçası kollarında kullanıldığından modelde de aynı bölgeye yerleştirilmiştir. F03 numunesi deneylerinde tahmin edilen hasar şekli sıyrılma oluşmuş ancak dayanım kuvveti düşük çıkmıştır. Şekil 5.17'de von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.18'de normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Düğüm sayısı 29405 eleman sayısı 178624'tür. Şekil 5.18'de görüldüğü gibi U profilde hem x yönünde hem de y yönünde gerilmeler oluşmuş; oluk parçası kollarındaki açılma, x yönünde çekme eksenini boyunca uzama y yönünde ise genişlikte artma meydana getirdiğinden dolayı bu gerilmeler ortaya çıkmıştır.



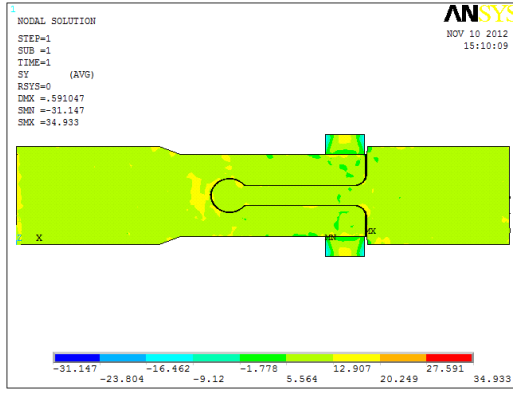
Şekil 5.17: F03 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



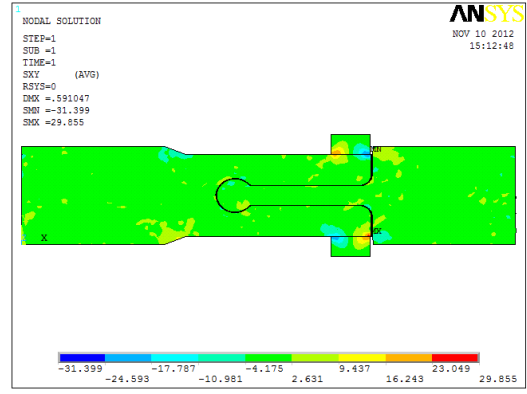
(a)



(b)



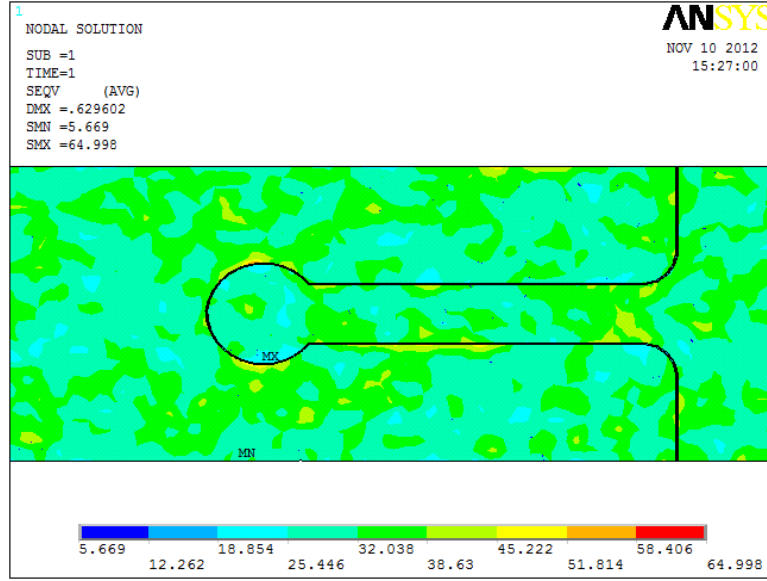
(c)



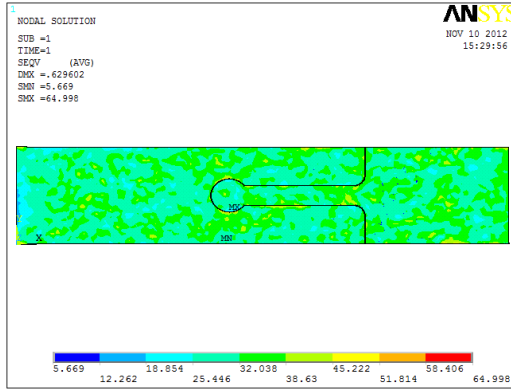
(d)

Şekil 5.18: F03 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

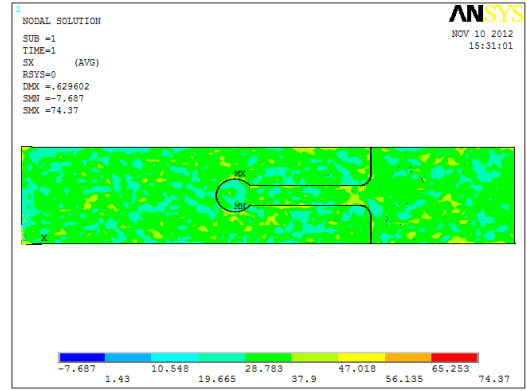
F06 numunesinde yapılan genişlikte artış sonrası deneyde oluk parçası kolları açılma oluşturmuş ve daha erken kopma meydana gelmiştir. Bu açılmanın Ansys APDL 12.1 programında tamamen görüntülenmesi olanaksız olduğundan gösterilememiş, ancak hasar öncesi davranışlara ulaşılabilmektedir. Şekil 5.19'da von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.20'de normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Modelde düğüm sayısı 30233 eleman sayısı 171976'dır.



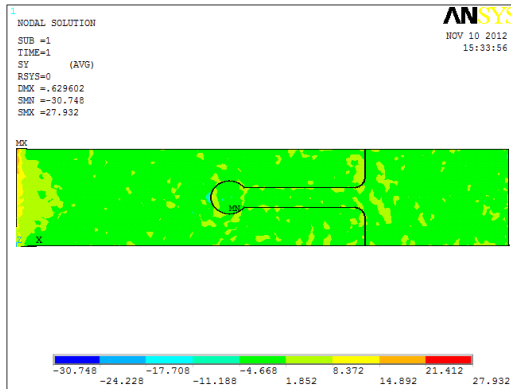
Şekil 5.19: F06 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



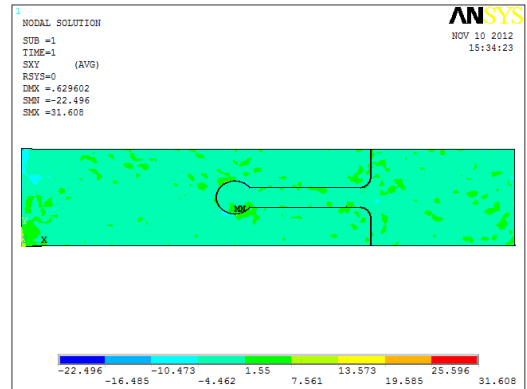
(a)



(b)



(c)



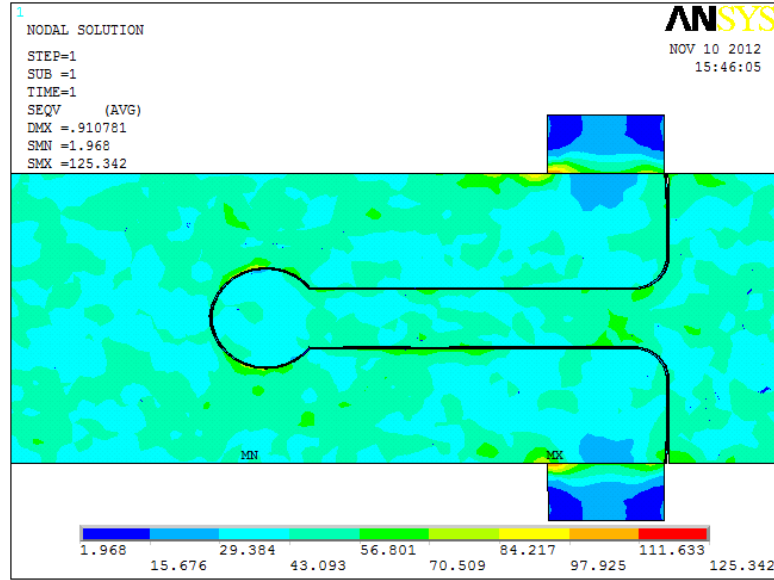
(d)

Şekil 5.20: F06 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

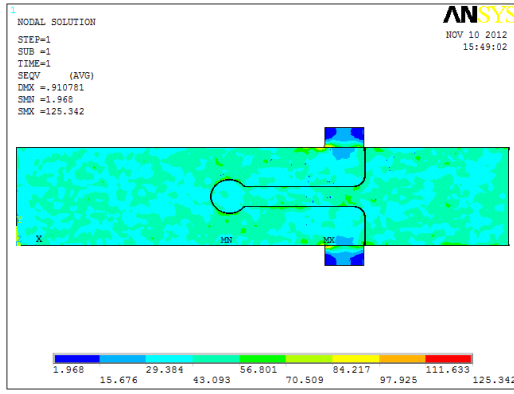
5.2.3 Dairesel uç geometrili numunelerin Ansys analizi

Gruplardaki numunelerin analizleri bu bölümde numara sırasına göre yapılmıştır.

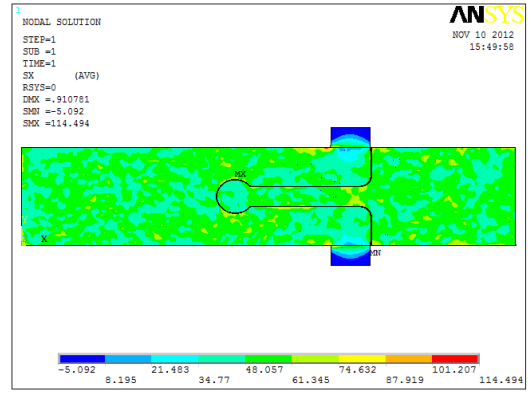
F09 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31489 eleman sayısı 191687'dir. Şekil 5.21'de von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.22'de normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. U profilin bulunduğu kısımda oluk parçasının kolları açılma gösteremediğinden maksimum gerilme burada bulunmaktadır. Y eksenini boyunca oluşan gerilmeye bakıldığında, uç geometrisinden kaynaklanan ve çekme sonucu oluşan açılmanın etkisiyle oluk parçası kolları deplasmana uğrar ve gerilme düşüşü oluşur. Bu düşüş Şekil 5.22 (c)'de görülmektedir. Açılma durumunu oluşturan uç geometrisi bölgesinde de gerilme yığılması bulunmaktadır.



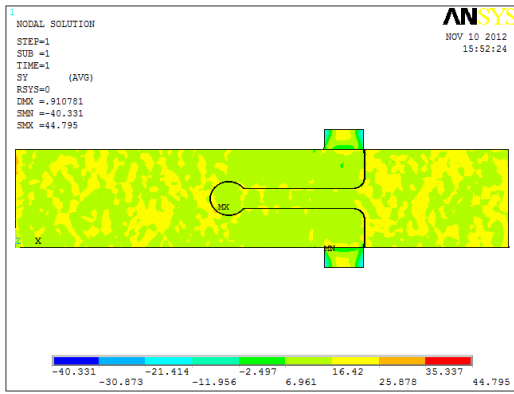
Şekil 5.21: F09 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



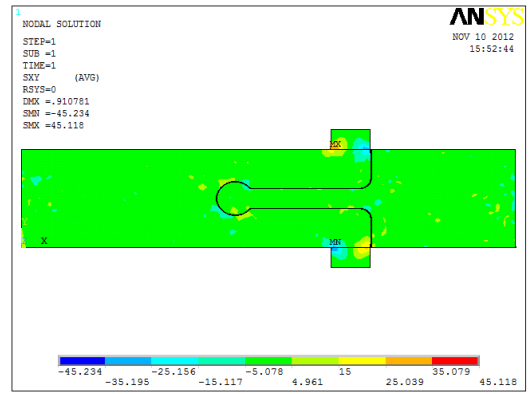
(a)



(b)



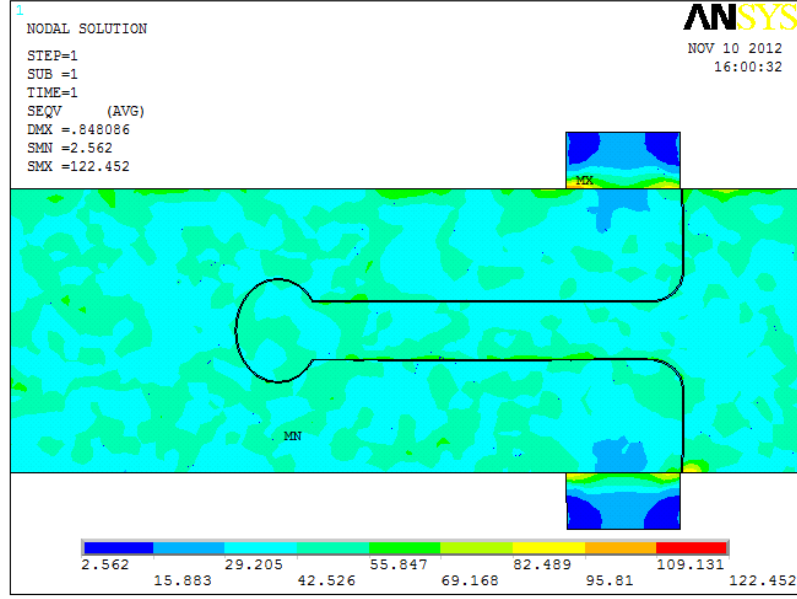
(c)



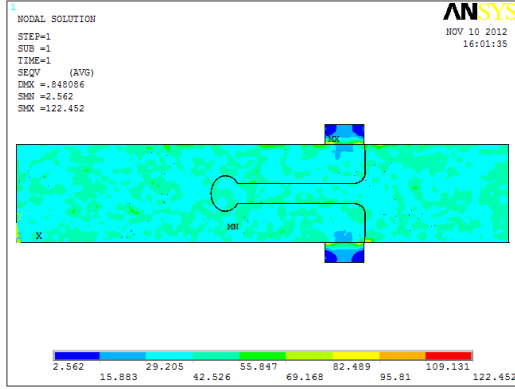
(d)

Şekil 5.22: F09 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

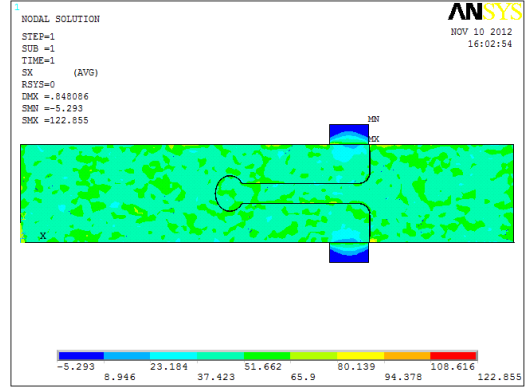
F10 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31603 eleman sayısı 182936'dır. Şekil 5.23'de von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.24'te normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Y eksenı boyunca oluşan gerilmelere bakıldığında gerilme dağılımları dil bölgesinde ve u profilin oluk parçası kollarıyla temas ettiği bölgede artış göstermiştir. X eksenı boyunca oluşan gerilmelerde de maksimum gerilme U profil temas bölgesindedir.



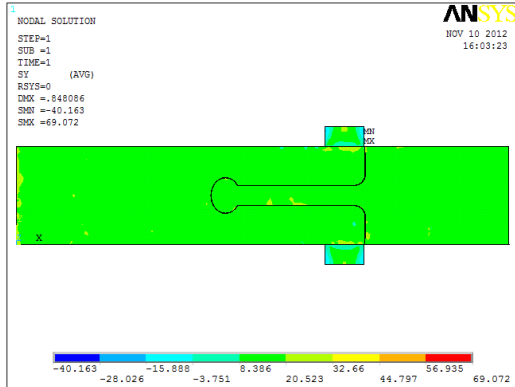
Şekil 5.23: F10 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



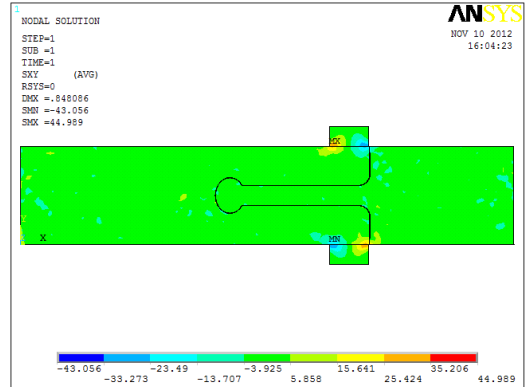
(a)



(b)



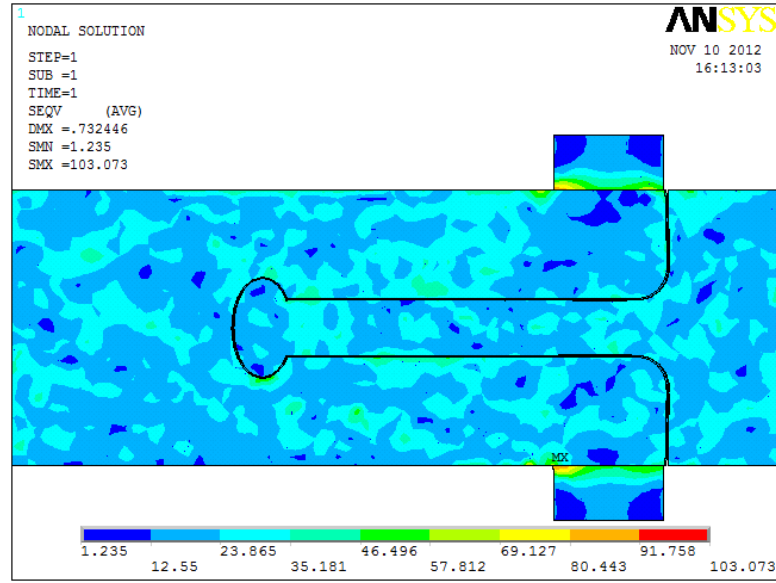
(c)



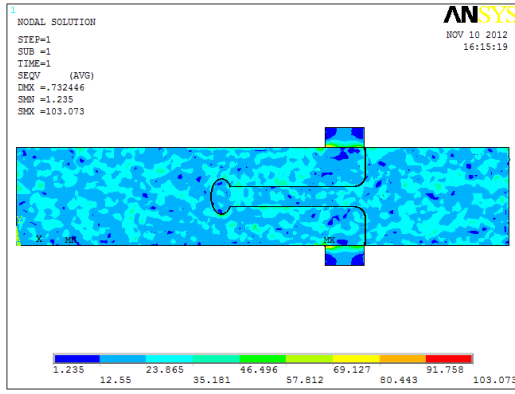
(d)

Şekil 5.24: F10 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

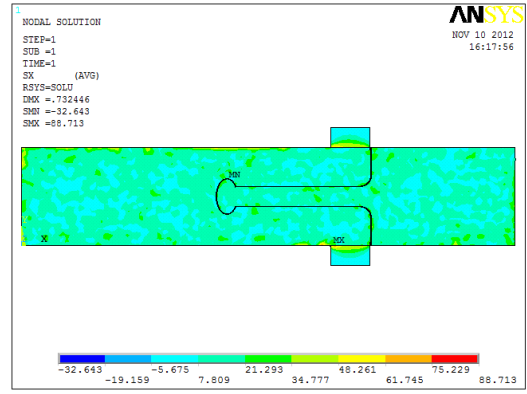
F11 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31736 eleman sayısı 193275'tir. Şekil 5.25'de von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.26'da normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında malzeme genelinde gerilme dağılımı düşük oluşurken U profil temas bölgesi ve uç bölgesinde artış göstermiştir. Y eksenini boyunca oluşan gerilmelerde ise bu numunede farklı olarak uç bölgesinin oluşturduğu açılma ve itme sonucu deplasman fazla ve ani olacağından oluk etrafında gerilme düşüşü görülmemiştir.



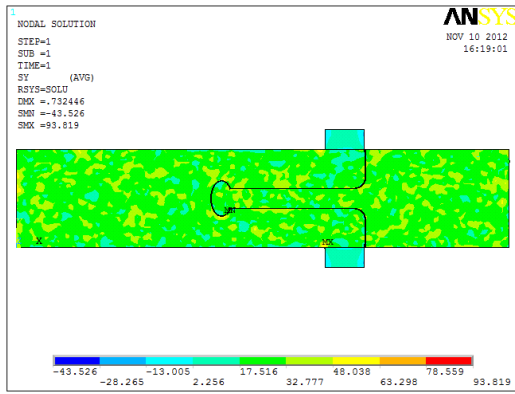
Şekil 5.25: F11 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



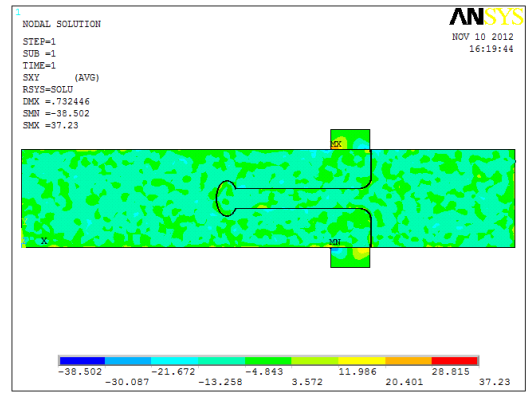
(a)



(b)



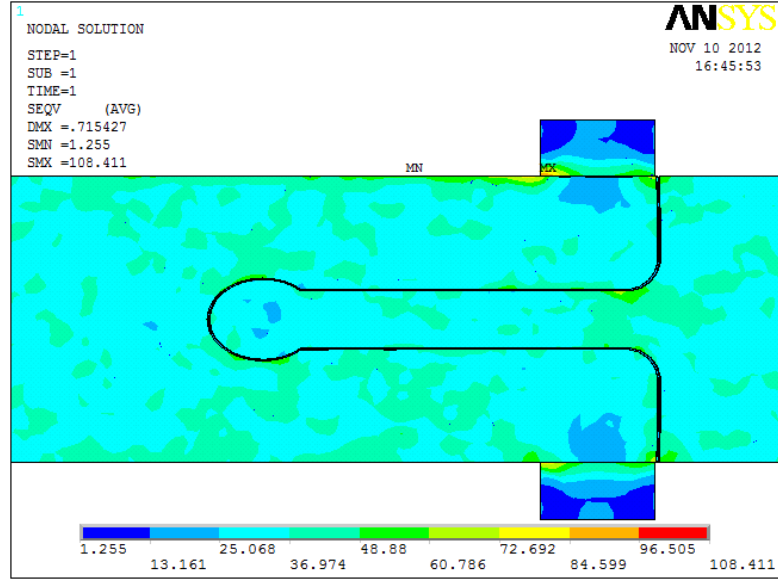
(c)



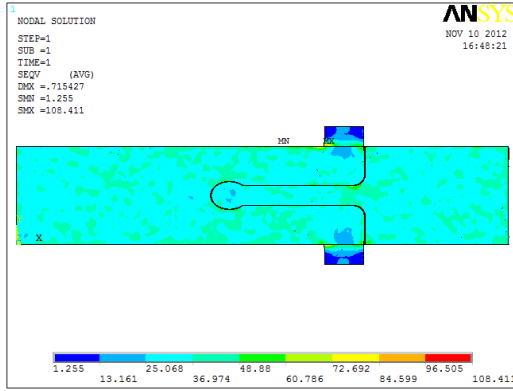
(d)

Şekil 5.26: F11 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

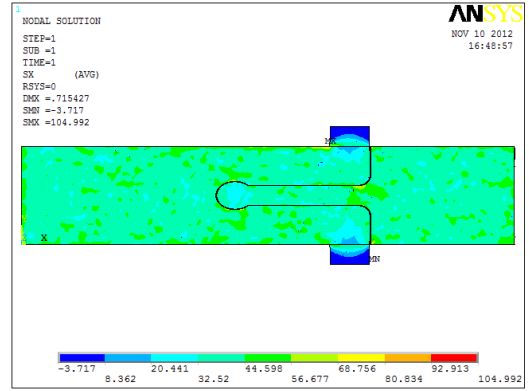
F12 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31456 eleman sayısı 191406'dır. Şekil 5.27'de von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.28'de normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. X eksenı boyunca gerilmeler incelendiğinde U profil temas bölgesi ve uç geometrisi dışında dil bölümünün radyüslü bölgesinde gerilme artışı görülmüştür.



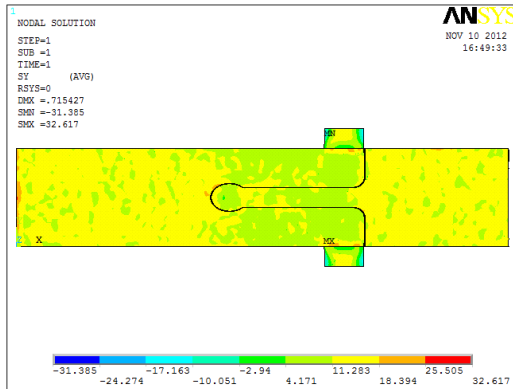
Şekil 5.27: F12 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



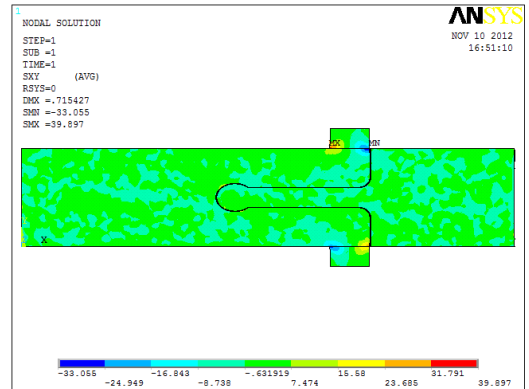
(a)



(b)



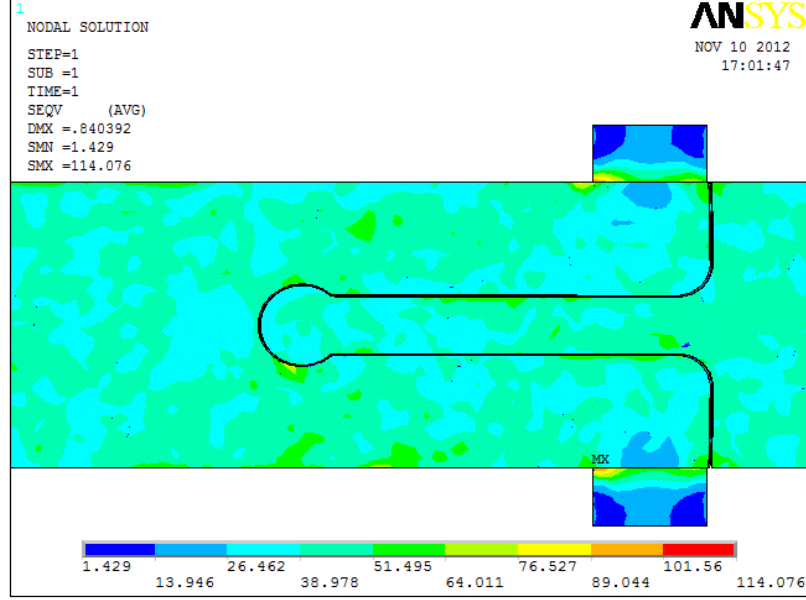
(c)



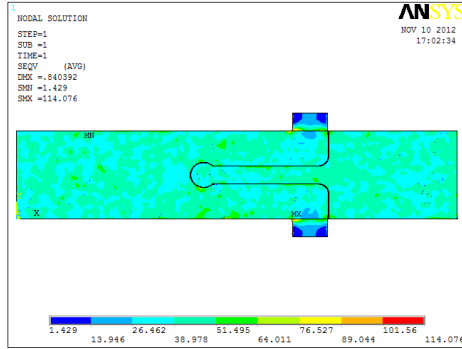
(d)

Şekil 5.28: F12 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

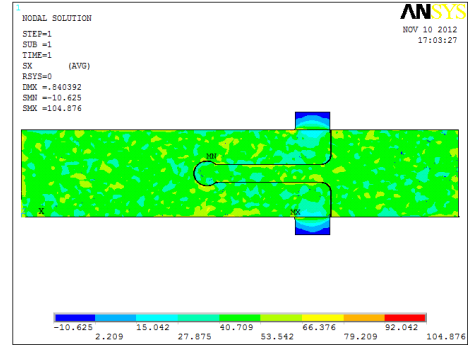
F13 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31109 eleman sayısı 189239'dur. Şekil 5.29'da von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.30'da normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Maksimum gerilme U profil temas noktasında ve U profilde meydana gelmiştir.



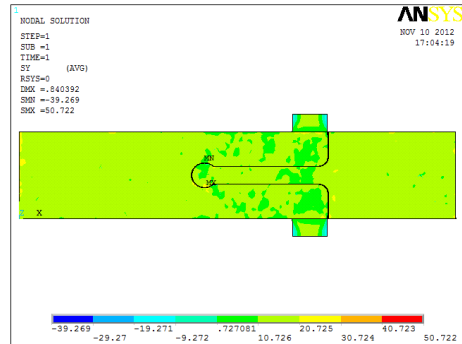
Şekil 5.29: F13 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



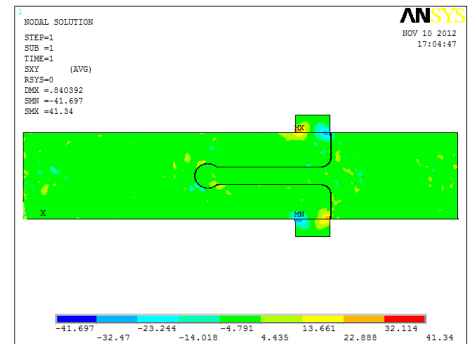
(a)



(b)



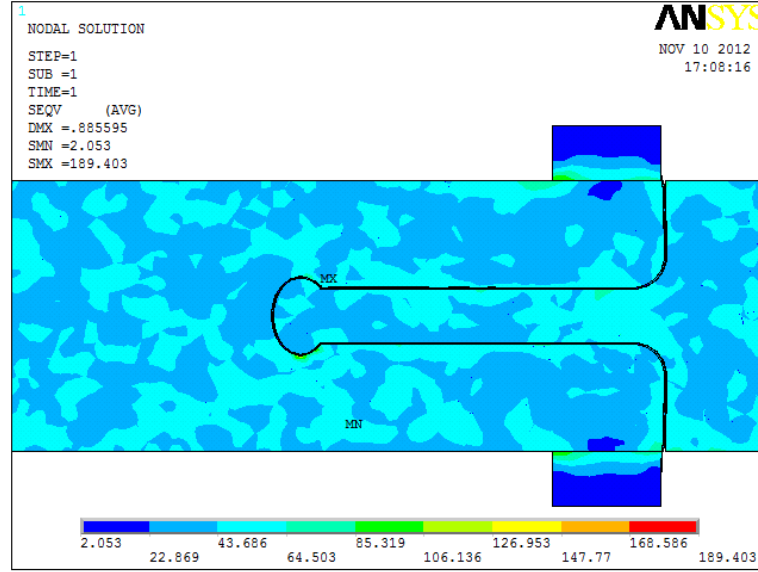
(c)



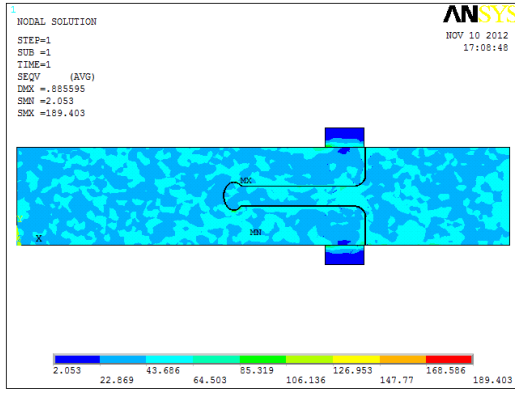
(d)

Şekil 5.30: F13 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

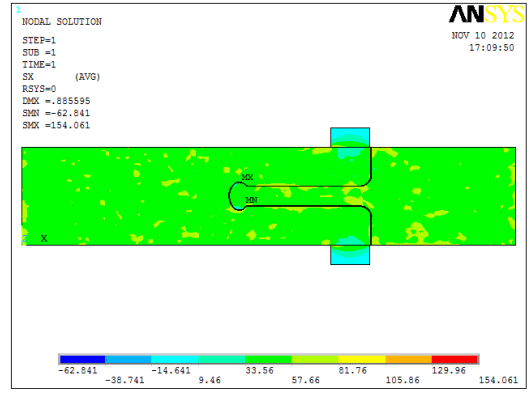
F14 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 30989 eleman sayısı 188617'dir. Şekil 5.31'de von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.32'de normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Dil parçasının radüslü kısmında gerilme alanı fazladır. Y eksenı boyunca gerilme çok azdır. U profil temas noktasındaki ve U profildeki gerilmenin çoğı x eksenı boyunca oluşan gerilmenin sonucudur. Uç geometrisinin etrafında da gerilme artışı gözlenmektedir.



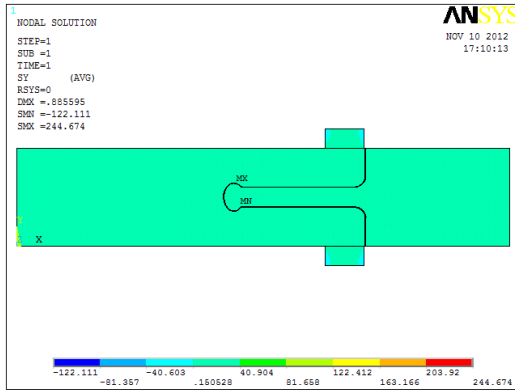
Şekil 5.31: F14 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



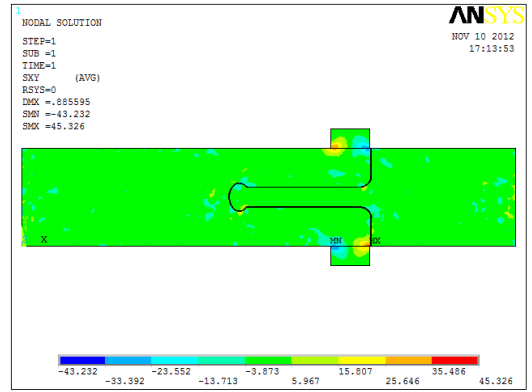
(a)



(b)



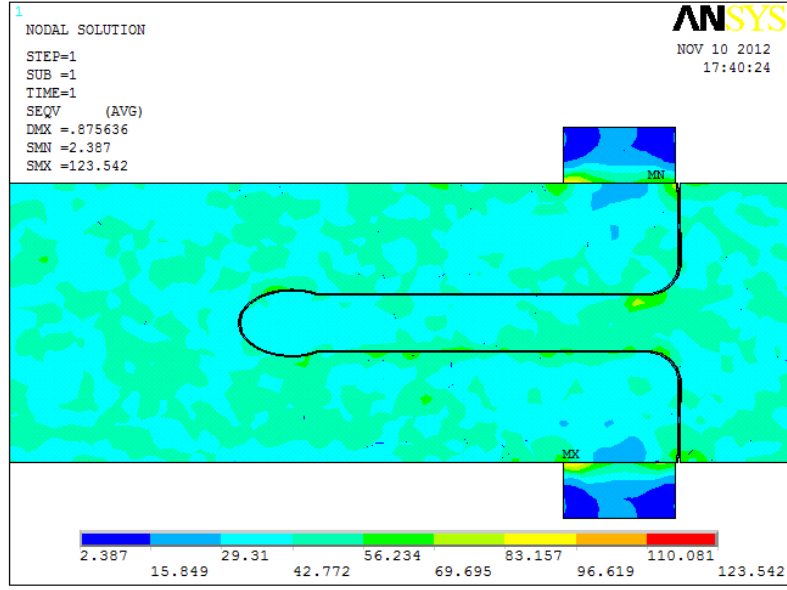
(c)



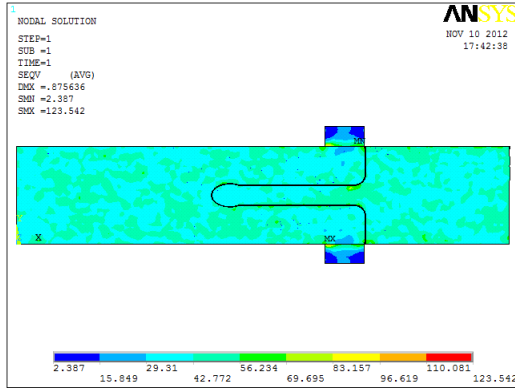
(d)

Şekil 5.32: F14 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

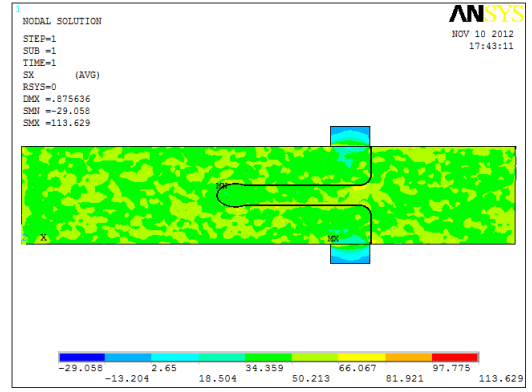
F15 numunesının mesh modelinde düğüm sayısı 31350 eleman sayısı 190797'dir. Şekil 5.33'de von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.34'te normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Gerilmeler U profil temas bölgesi, U profil ve dil parçasının radyüslü bölgesinde toplanmıştır.



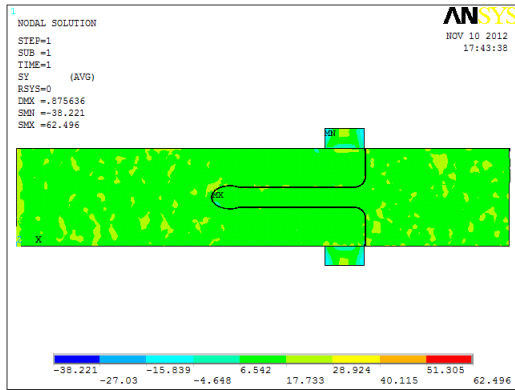
Şekil 5.33: F15 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



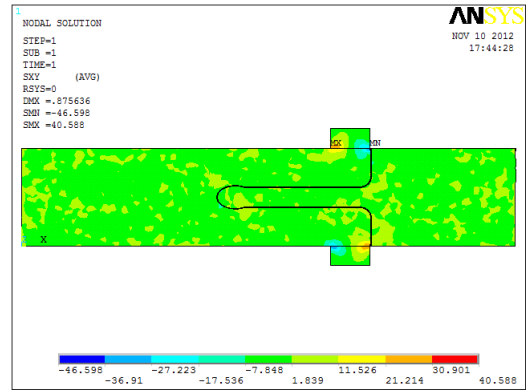
(a)



(b)



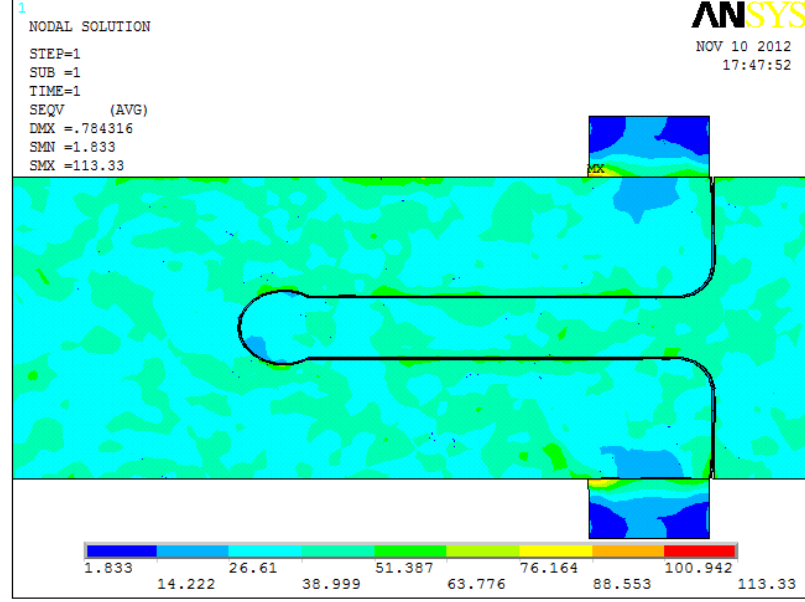
(c)



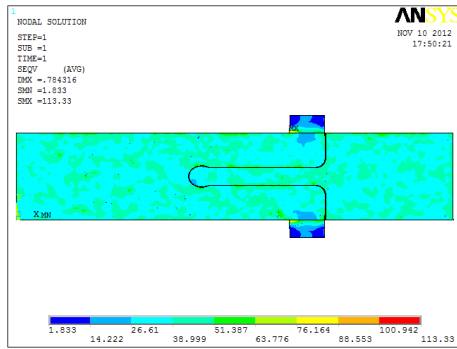
(d)

Şekil 5.34: F15 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

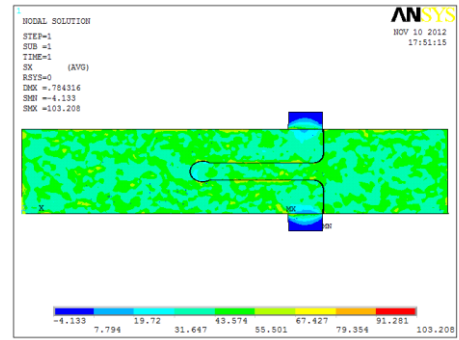
F16 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31707 eleman sayısı 193134'tür. Şekil 5.35'de von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.36'da normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Maksimum gerilme U profilinde ve U profil temas bölgesinde oluşmaktadır.



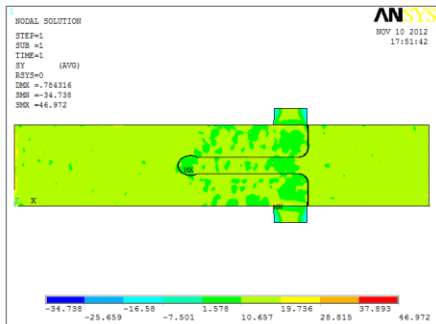
Şekil 5.35: F16 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



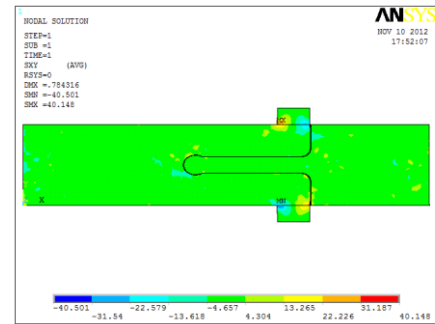
(a)



(b)



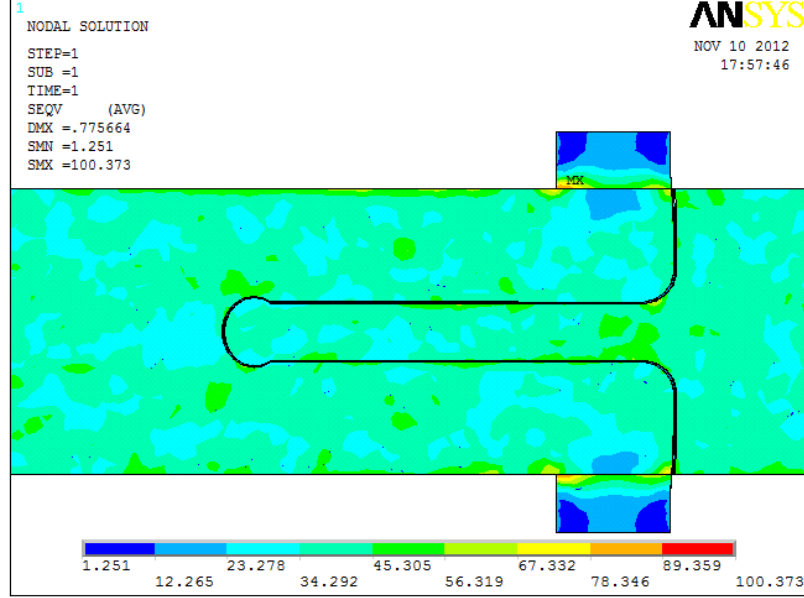
(c)



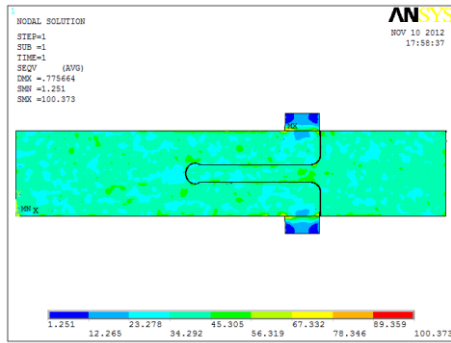
(d)

Şekil 5.36: F16 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

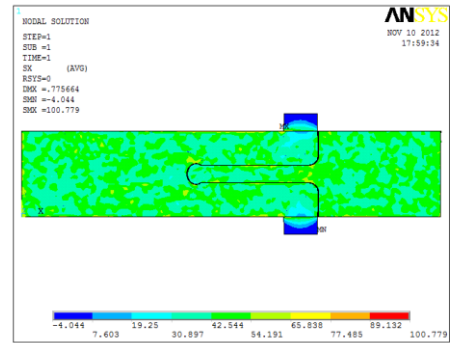
F17 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31662 eleman sayısı 192775'tir. Şekil 5.37'de von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.38'de normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Maksimum gerilmeler U profilinde temas bölgesinde oluşmaktadır. Dil parçasının radüslü kısmında da gerilmeler fazladır.



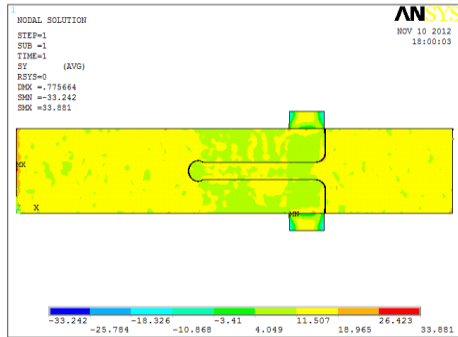
Şekil 5.37: F17 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



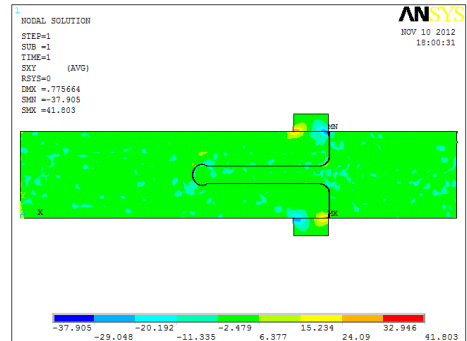
(a)



(b)



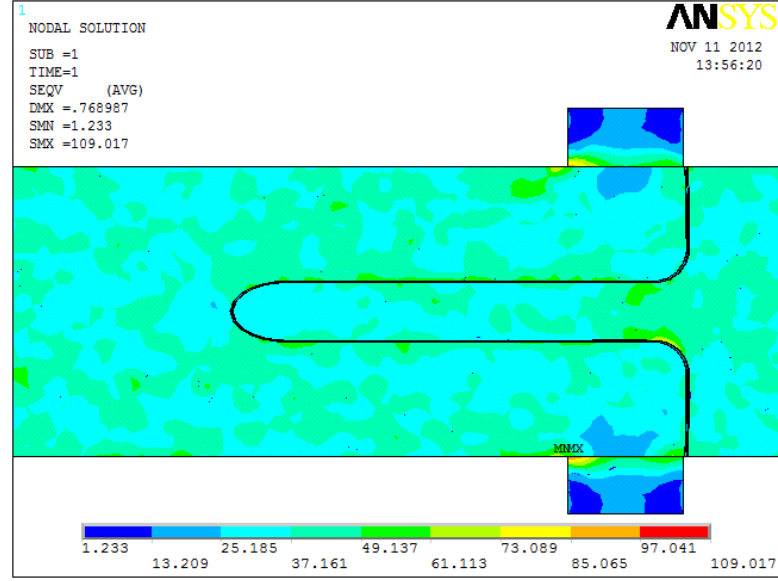
(c)



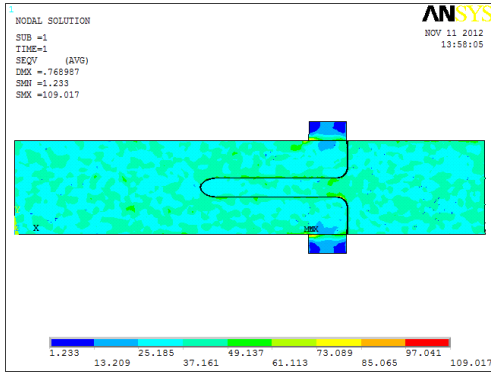
(d)

Şekil 5.38: F17 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

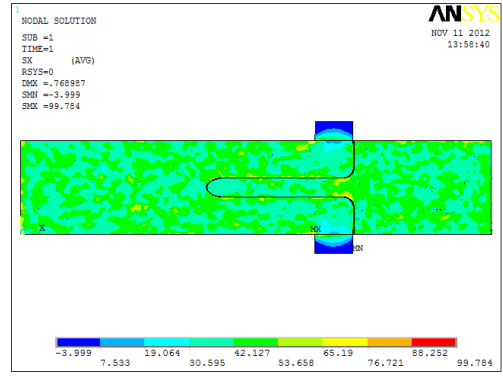
F18 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31367 eleman sayısı 191148'dir. Şekil 5.39'da von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.40'ta normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Maksimum gerilmeler U profilinde ve U profil temas bölgesinde oluşmaktadır. Dil parçasının radüslü kısmında da gerilmeler fazladır. Bu numunede b parametresi 0 mm, yani dil kalınlığını aşan bir uç bölgesi yoktur. Ancak benzer gerilmeler görülmektedir.



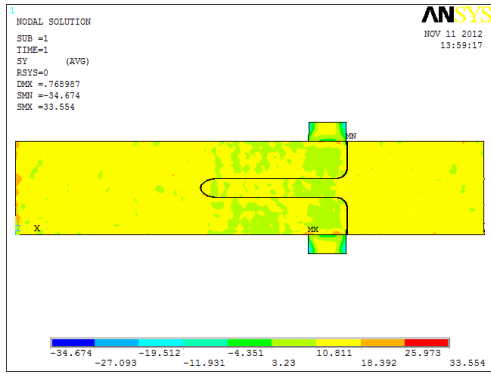
Şekil 5.39: F18 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



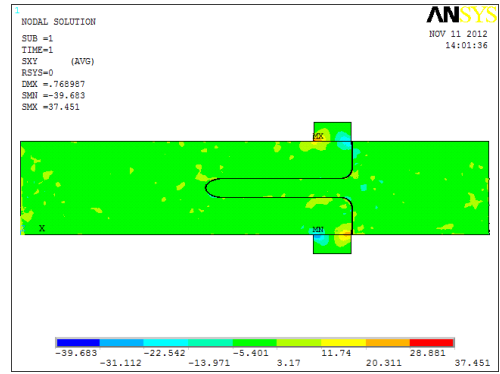
(a)



(b)



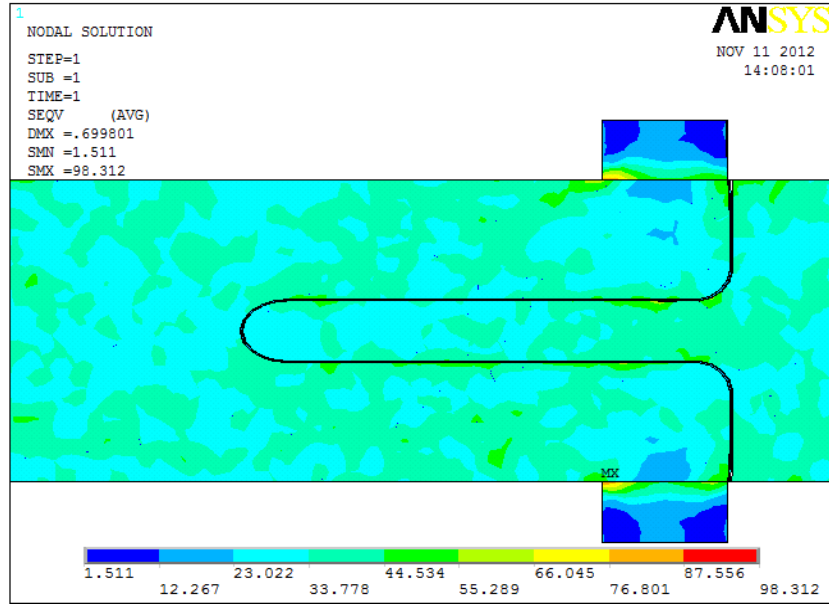
(c)



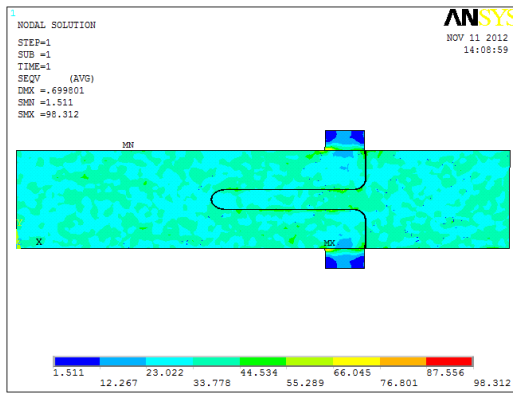
(d)

Şekil 5.40: F18 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

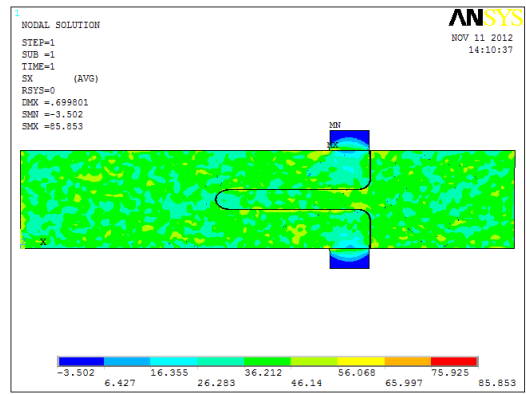
F19 numunesının mesh modelinde düğüm sayısı 31176 eleman sayısı 189860'tır. Şekil 5.41'da von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.42'ta normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Maksimum gerilme U profil temas noktasında ve U profilde meydana gelmiştir.



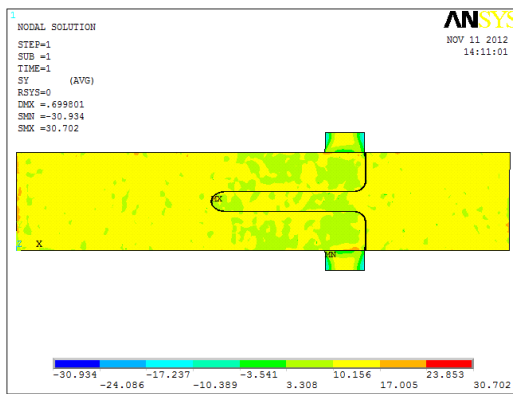
Şekil 5.41: F19 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



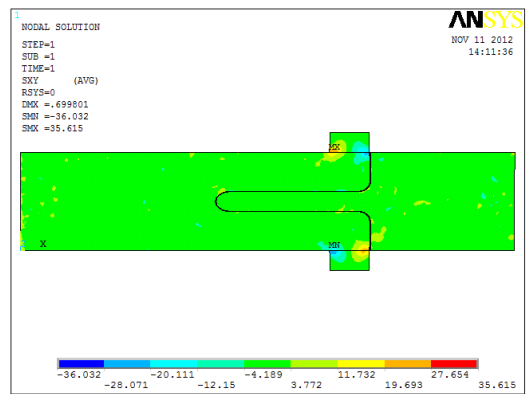
(a)



(b)



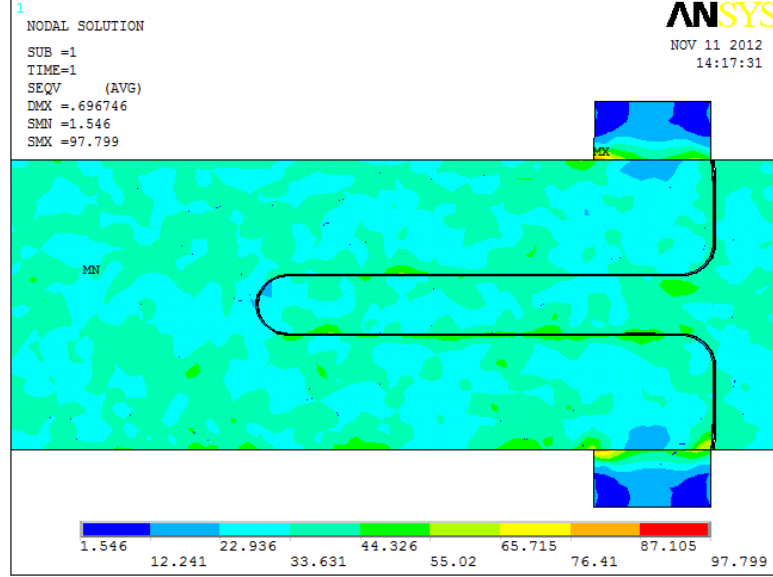
(c)



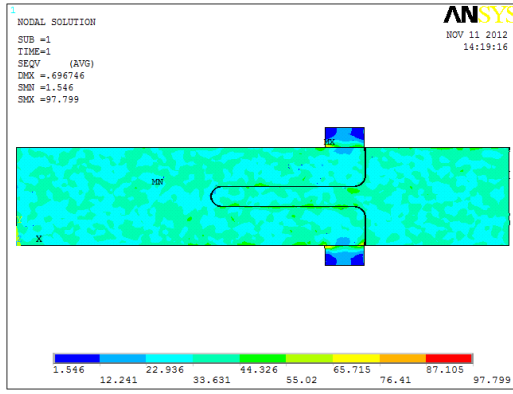
(d)

Şekil 5.42: F19 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

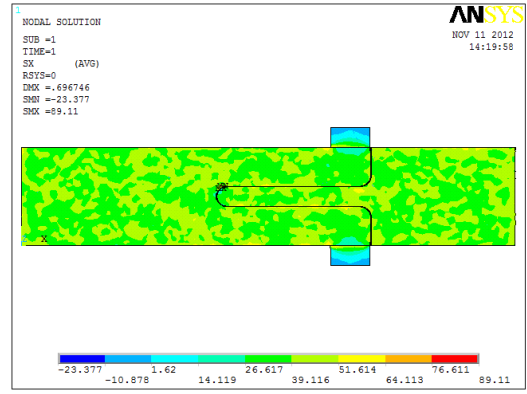
F20 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31776 eleman sayısı 193606'dır. Şekil 5.43'te von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.44'te normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Son üç modelde görüldüğü gibi b parametresi 0 mm olduğu için uç geometrisi etrafında bir gerilme artışı görülmemiştir, x eksenini boyunca oluşan gerilmeler de bunu göstermektedir.



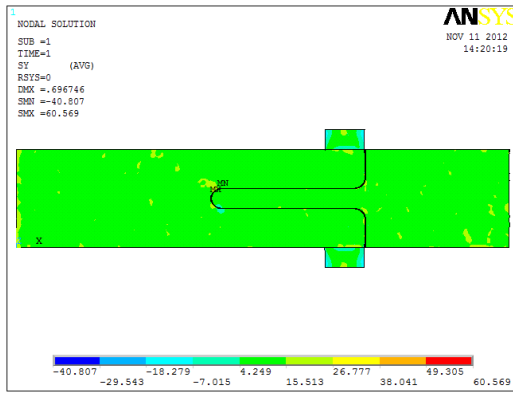
Şekil 5.43: F20 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



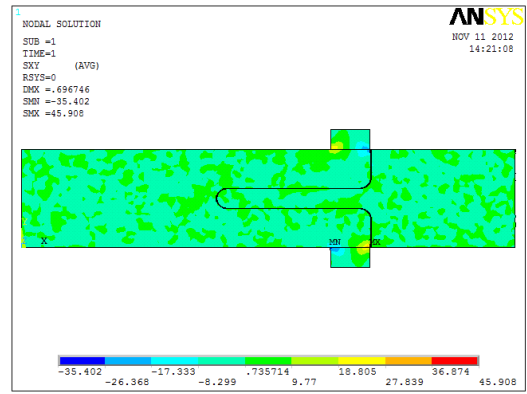
(a)



(b)



(c)

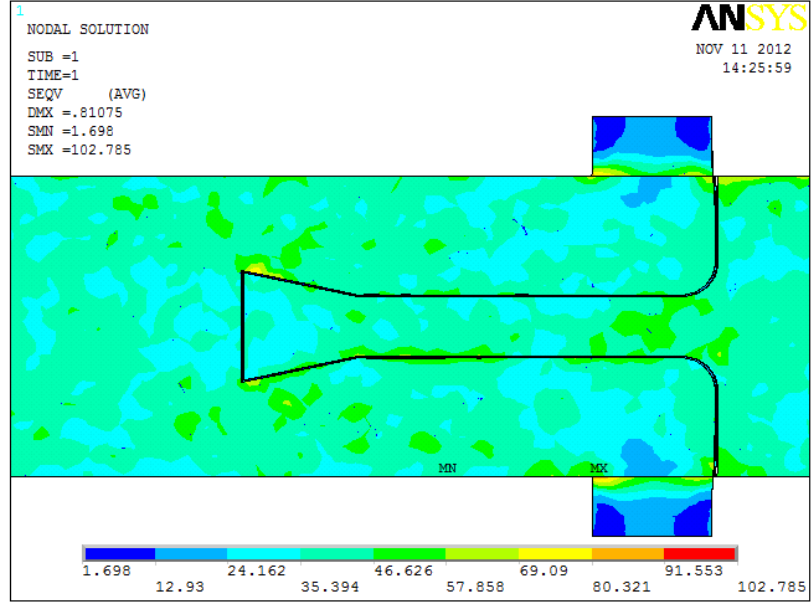


(d)

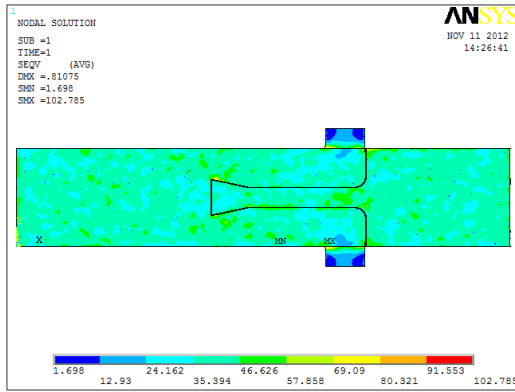
Şekil 5.44: F20 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

5.2.4 Üçgen uç geometrili numunelerin Ansys analizi

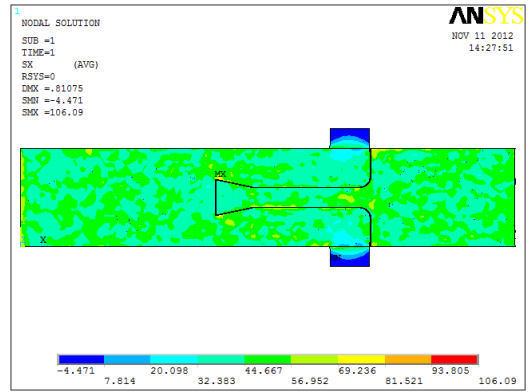
F21 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31780 eleman sayısı 193471'dir. Şekil 5.45'te von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.46'da normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Gerilmelerin maksimum olduğu bölgeler U profil temas noktası, U profil, dil parçasının radüslü olan bölgesi ve uç geometrisi etrafıdır.



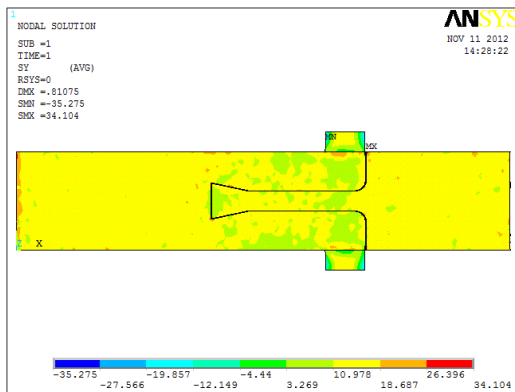
Şekil 5.45: F21 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



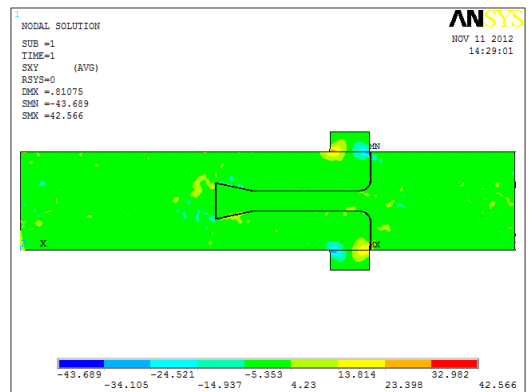
(a)



(b)



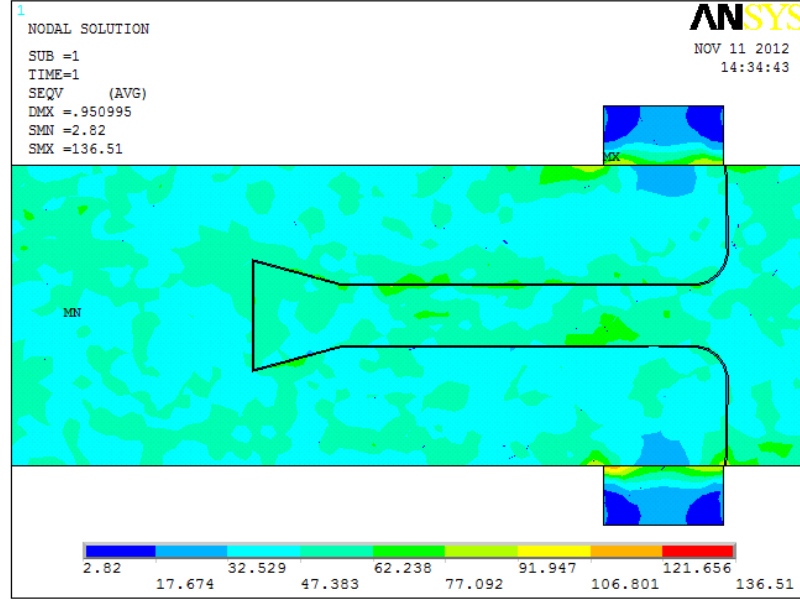
(c)



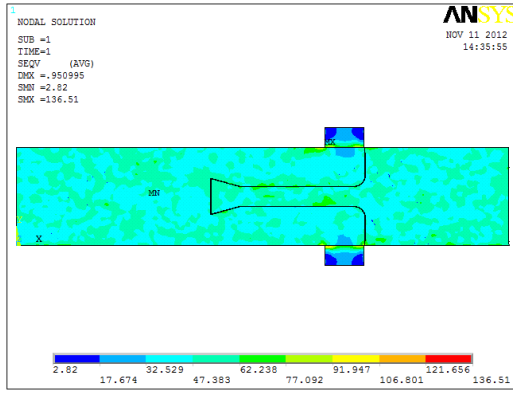
(d)

Şekil 5.46: F21 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

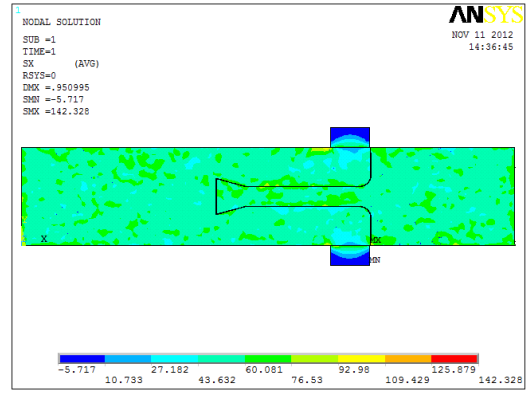
F22 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 29896 eleman sayısı 181985'tir. Şekil 5.47'de von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.48'de normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Y eksenini boyunca oluşan gerilmelere bakıldığında bu numunede farklı olarak uç bölgesinin oluşturduğu açılma ve itme sonucu deplasman fazla ve ani olacağından oluk etrafında gerilme düşüşü görülmemiştir. Maksimum gerilmeler u profilinde, u profil temas noktasında ve dil bölgesinde meydana gelmiştir.



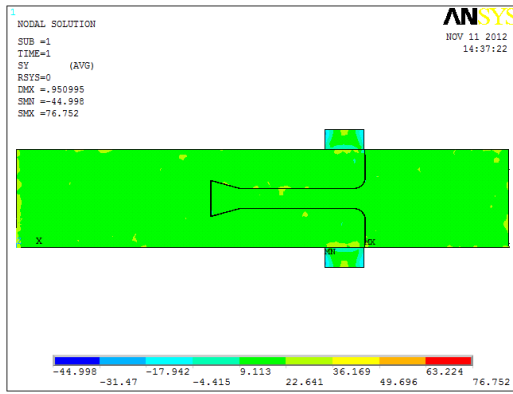
Şekil 5.47: F22 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



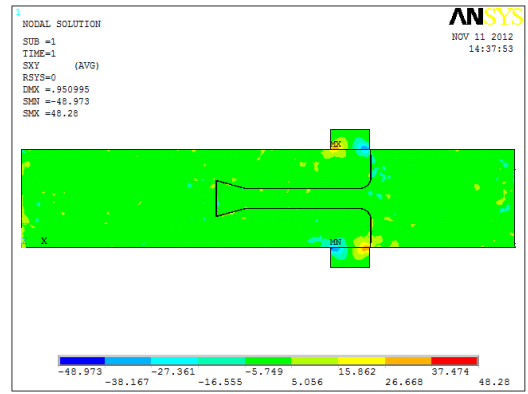
(a)



(b)



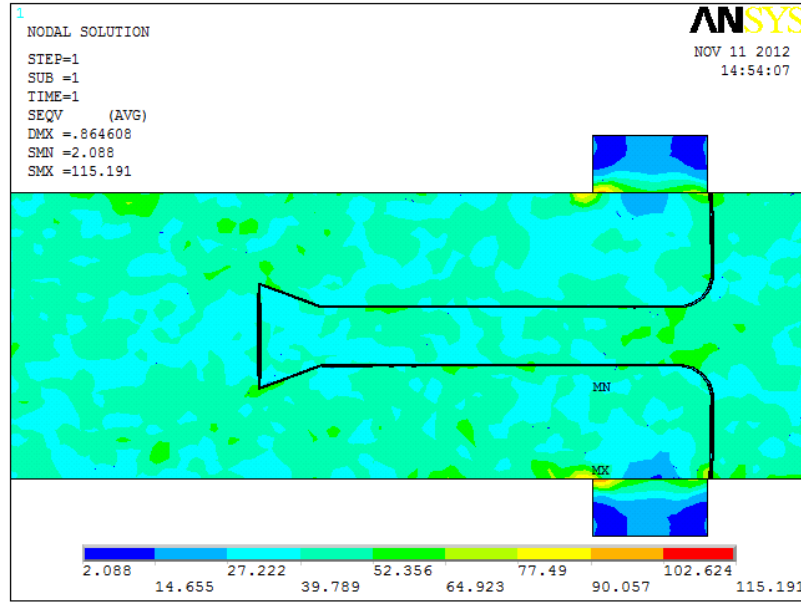
(c)



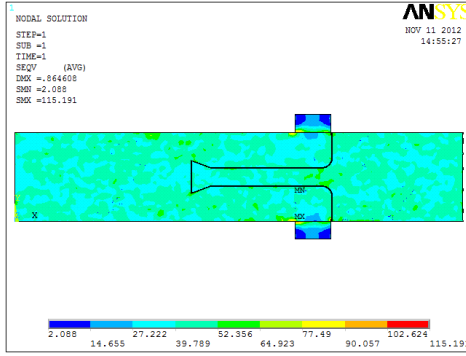
(d)

Şekil 5.48: F22 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

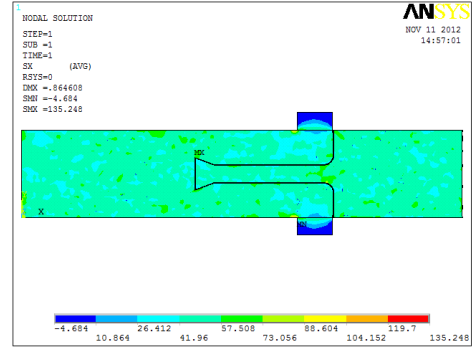
F23 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 32036 eleman sayısı 195095'tir. Şekil 5.49'da von Mises gerilmesi ve Şekil 5.50'de normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Gerilmelerin maksimum olduğu bölgeler U profil temas noktası, U profil, dil parçasının radyüslü olan bölgesi ve uç geometrisi etrafıdır.



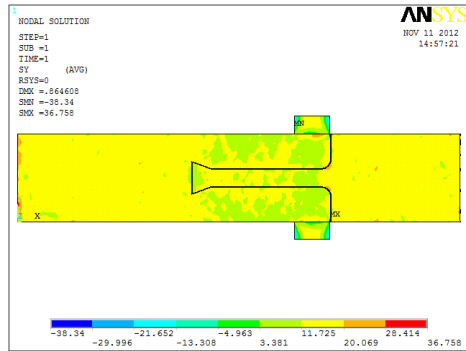
Şekil 5.49: F23 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



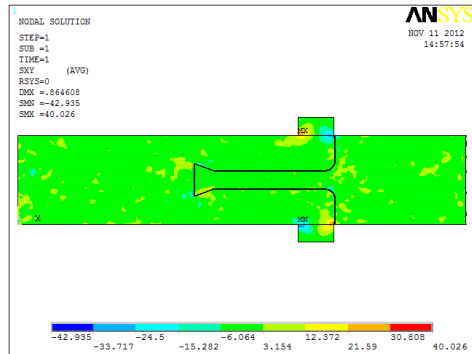
(a)



(b)



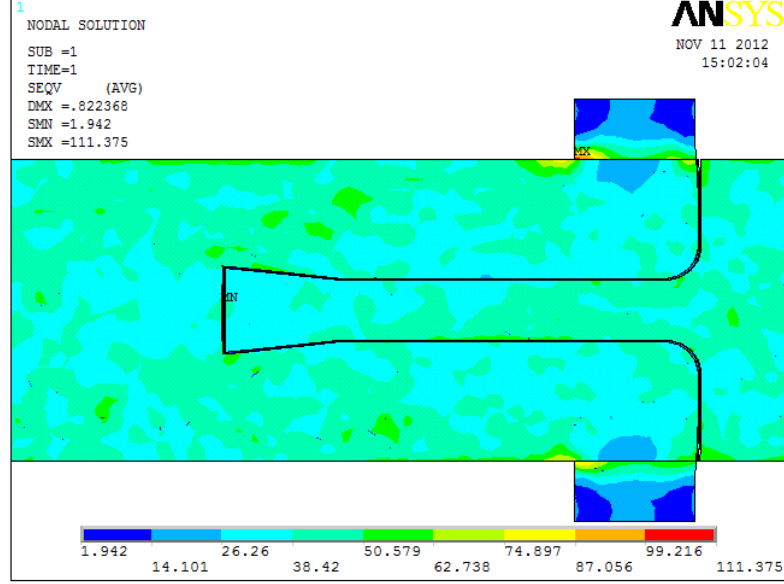
(c)



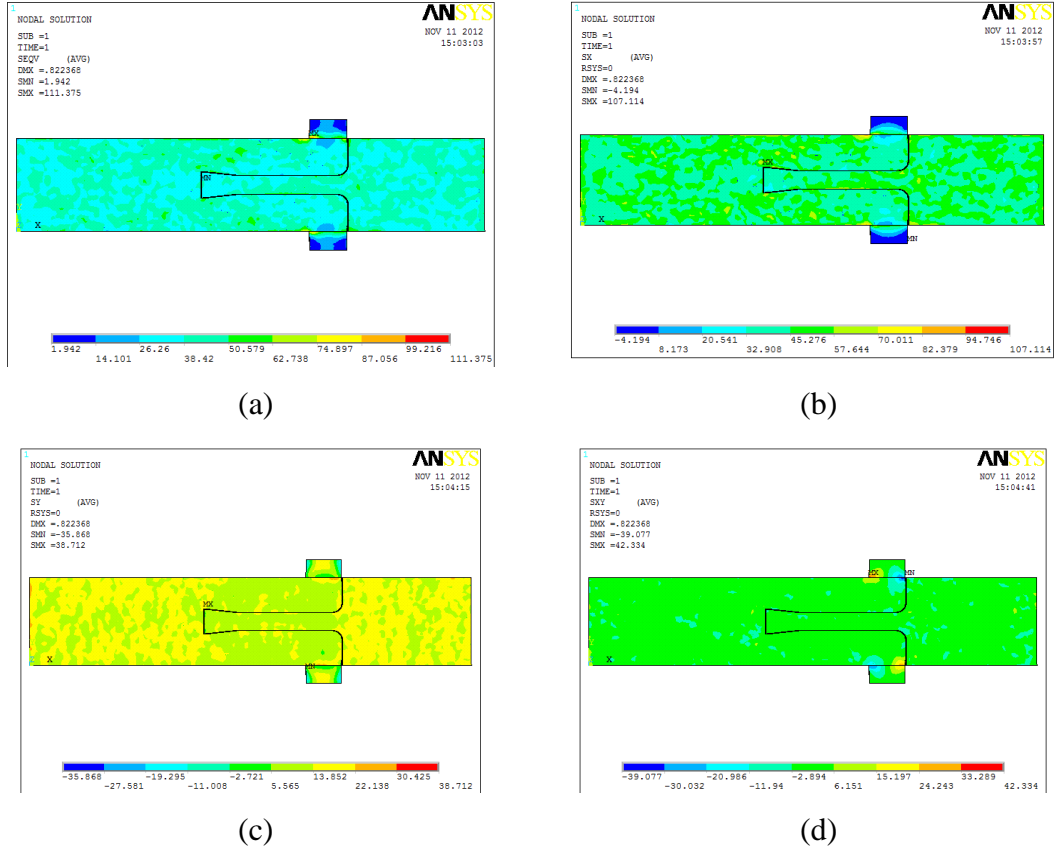
(d)

Şekil 5.50: F23 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

F24 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31561 eleman sayısı 192125'tir. Şekil 5.51'de von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.52'de normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Gerilmelerin maksimum olduğu bölgeler U profil temas noktası, U profil, dil bölgesi ve uç geometrisi etrafıdır.

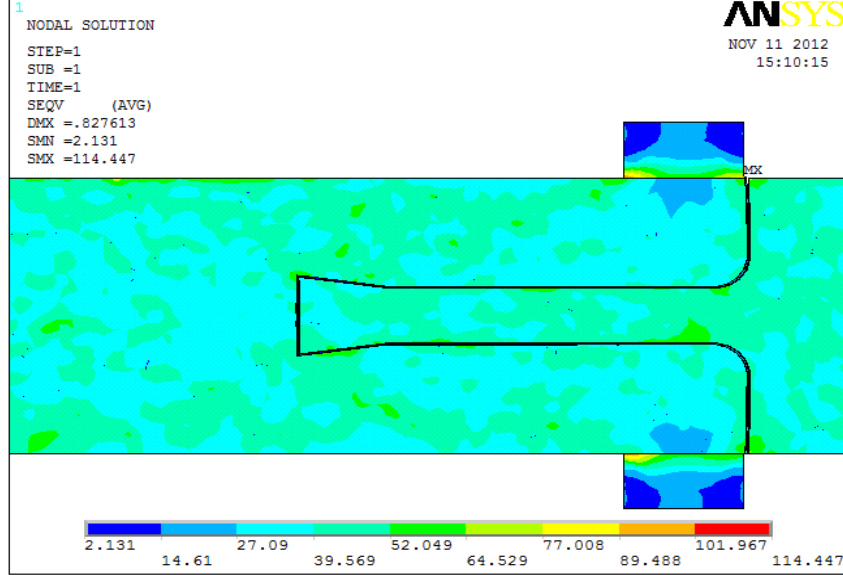


Şekil 5.51: F24 von Mises gerilmesi yakın görünüm.

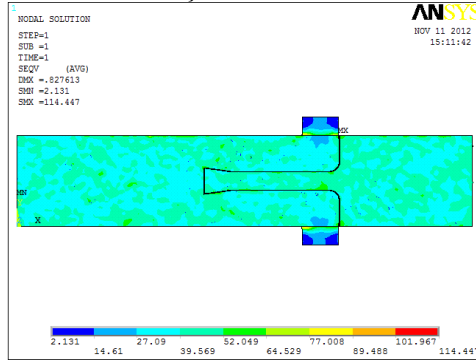


Şekil 5.52: F24 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

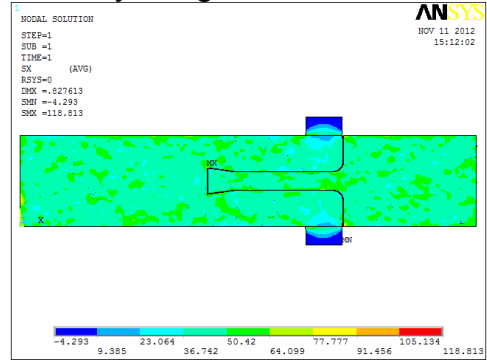
F25 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31682 eleman sayısı 193094'tür. Şekil 5.53'te von Mises gerilmesi yakın ve Şekil 5.54'te normal ve kayma gerilmeleri gösterilmiştir. Gerilmelerin maksimum olduğu bölgeler U profil temas noktası, U profil, dil parçasının radyüslü olan bölgesi ve uç geometrisi etrafıdır.



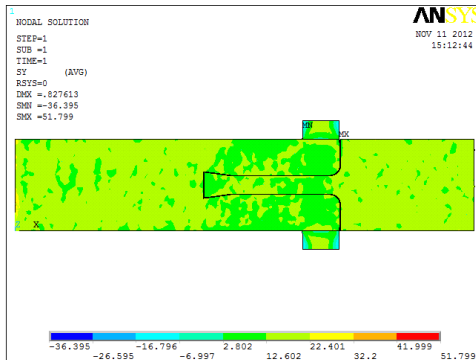
Şekil 5.53: F25 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



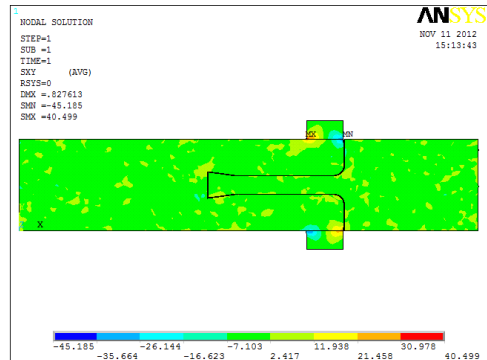
(a)



(b)



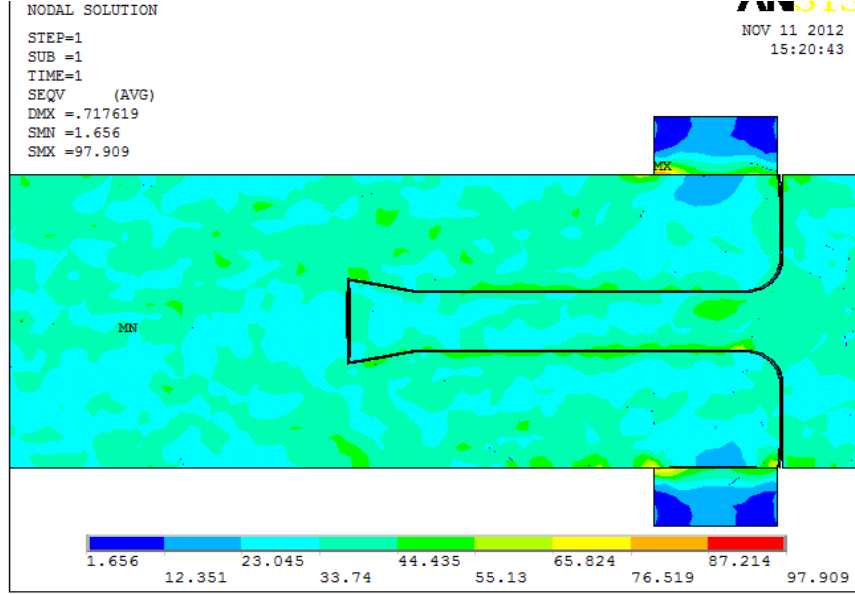
(c)



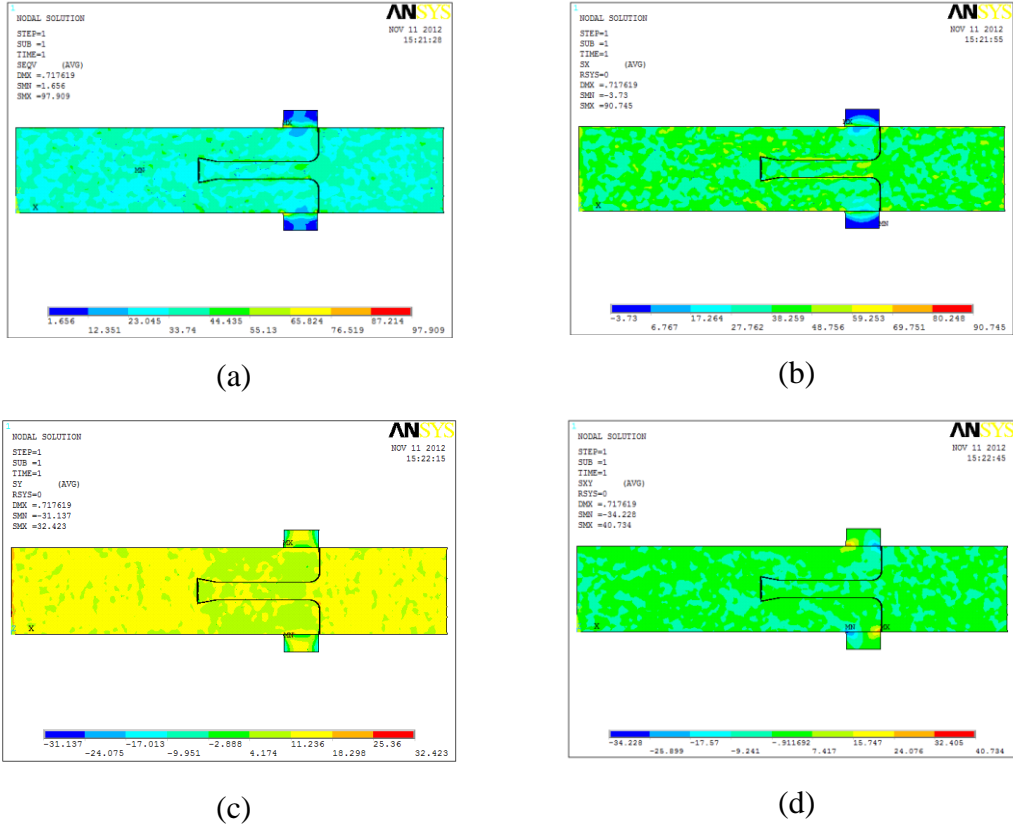
(d)

Şekil 5.54 F25 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

F26 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31472 eleman sayısı 191752'dir. Şekil 5.55'te von Mises gerilmesi yakın ve Şekil 5.56'da normal ve kayma gerilmeleri gösterilmiştir. Gerilmelerin maksimum olduğu bölgeler U profil temas noktası, U profil, dil parçasının radyüslü olan bölgesi ve uç geometrisi etrafıdır.

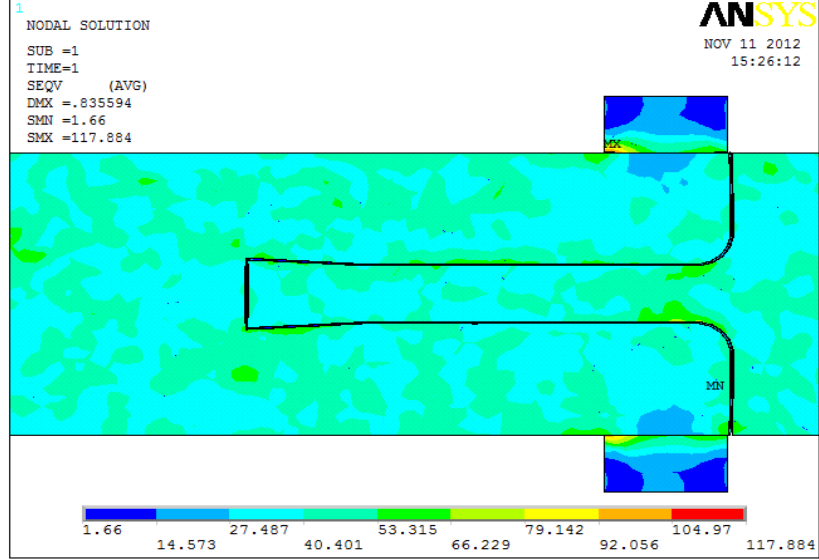


Şekil 5.55: F26 von Mises gerilmesi yakın görünüm.

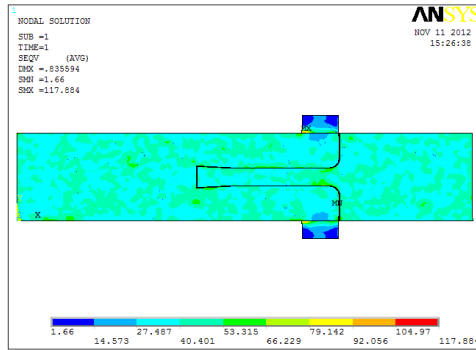


Şekil 5.56: F26 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

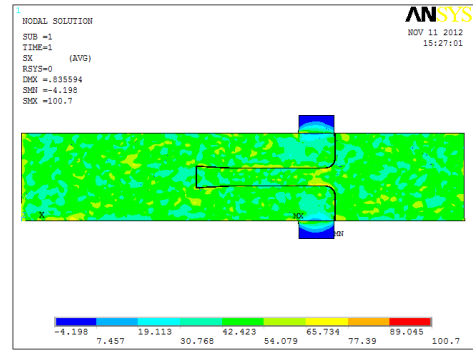
F27 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31794 eleman sayısı 193611'dir. Şekil 5.57'de von Mises gerilmesi yakın ve Şekil 5.58'de normal ve kayma gerilmeleri gösterilmiştir. Gerilmelerin maksimum olduğu bölgeler U profil temas noktası, U profil, dil parçasının radyüslü olan bölgesi ve uç geometrisi etrafıdır.



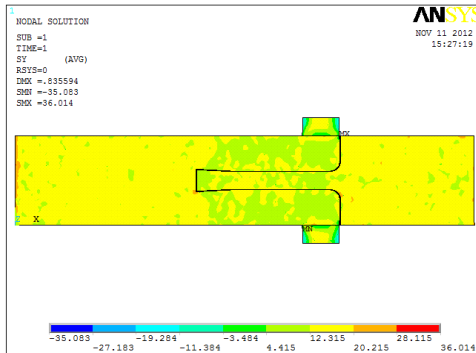
Şekil 5.57: F27 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



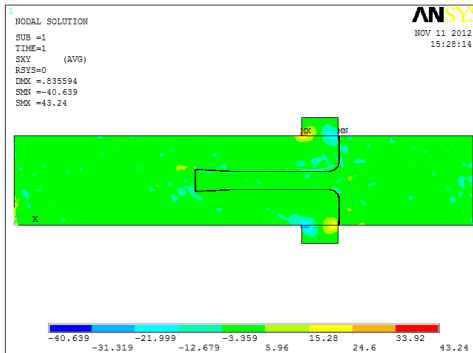
(a)



(b)



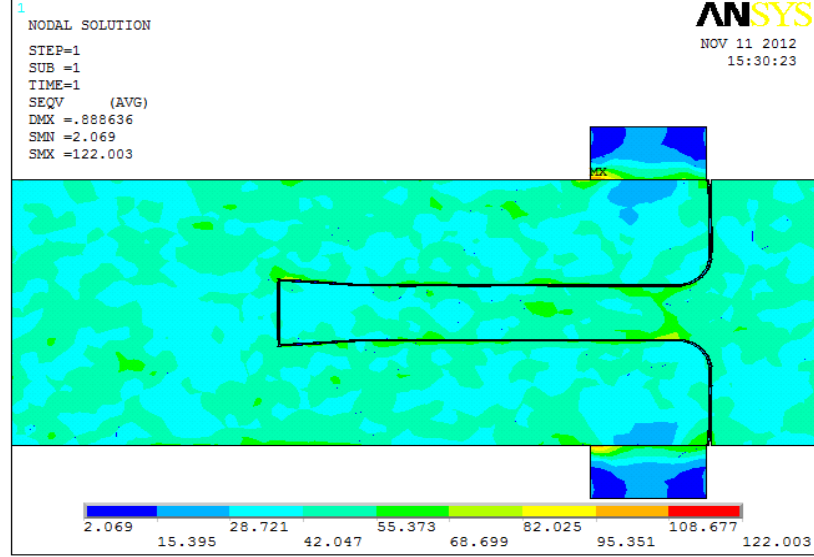
(c)



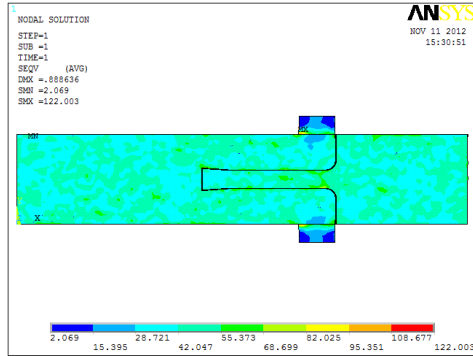
(d)

Şekil 5.58: F27 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

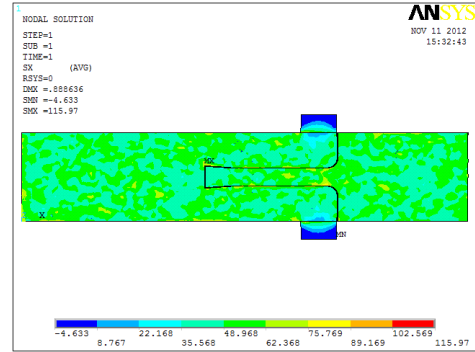
F28 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31742 eleman sayısı 193417'dir. Şekil 5.59'da von Mises gerilmesi yakın ve Şekil 5.60'ta normal ve kayma gerilmeleri gösterilmiştir. Gerilmelerin maksimum olduğu bölgeler U profil temas noktası, U profil, dil parçasının radyüslü olan bölgesi ve uç geometrisi etrafıdır.



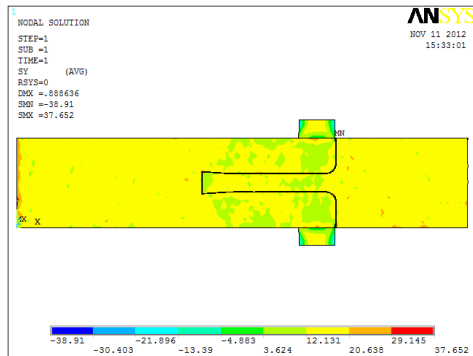
Şekil 5.59: F28 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



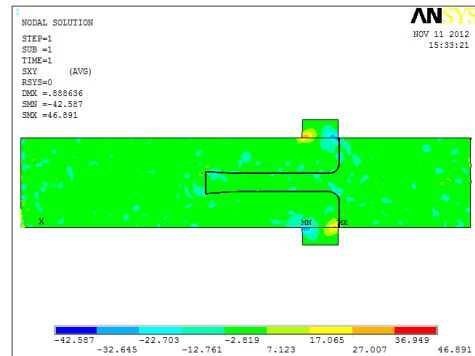
(a)



(b)



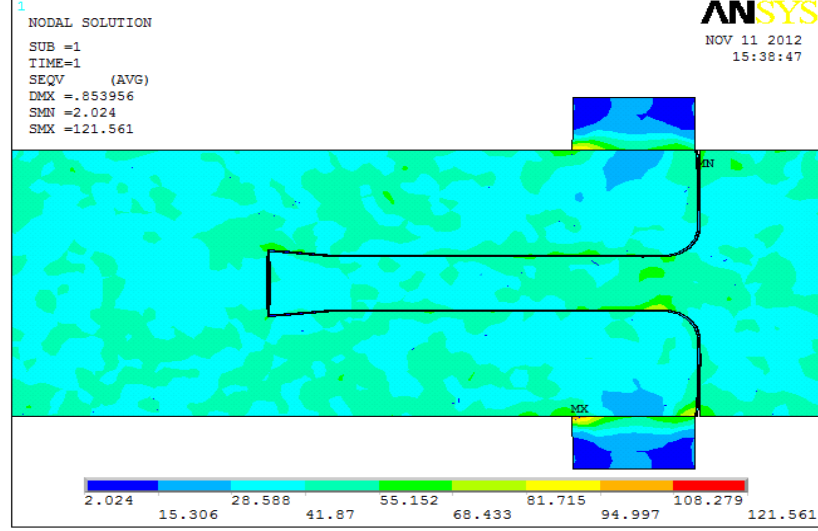
(c)



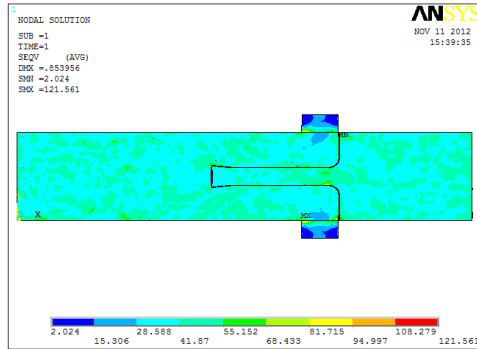
(d)

Şekil 5.60: F28 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

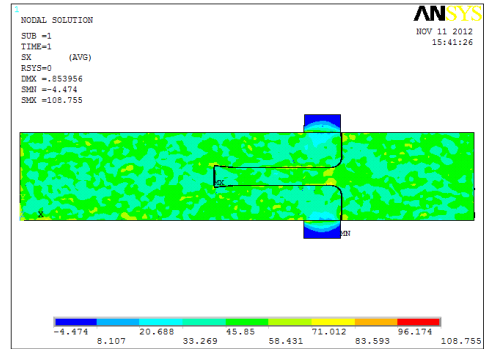
F29 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31469 eleman sayısı 191701'dir. Şekil 5.61'de von Mises gerilmesi yakın ve Şekil 5.62'de normal ve kayma gerilmeleri gösterilmiştir. Gerilmelerin maksimum olduğu bölgeler U profil temas noktası, U profil, dil parçasının radyüslü olan bölgesi ve uç geometrisi etrafıdır.



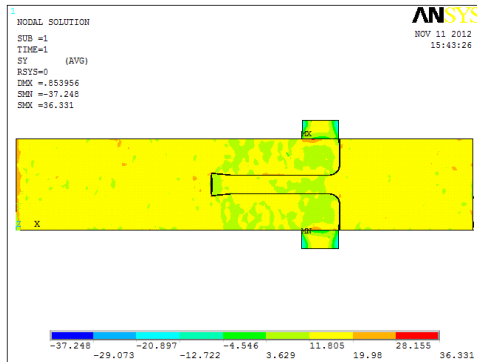
Şekil 5.61: F29 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



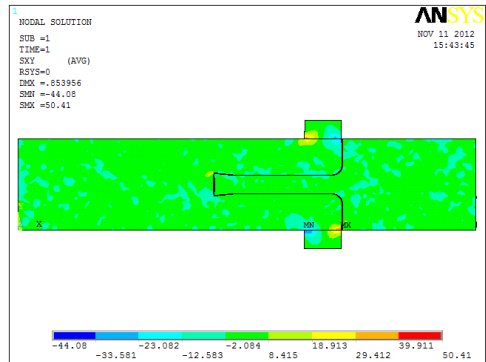
(a)



(b)



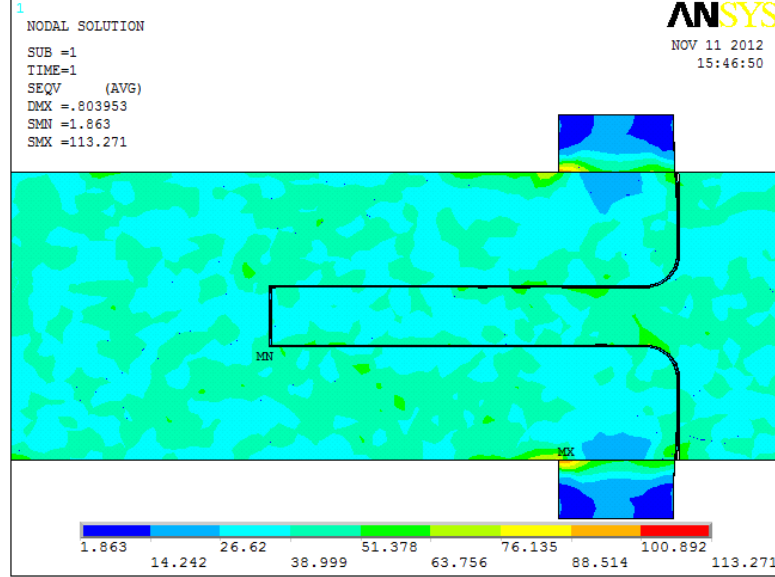
(c)



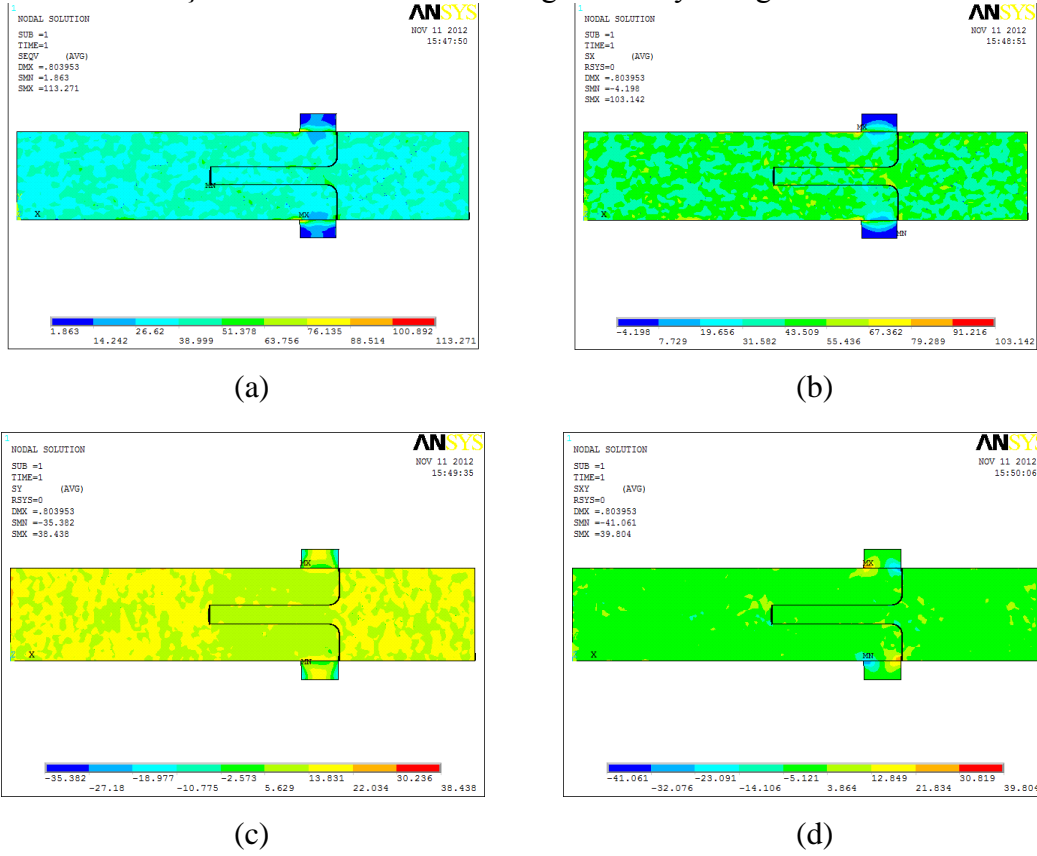
(d)

Şekil 5.62: F29 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

F30 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31500 eleman sayısı 191968'dir. Şekil 5.63'te von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 5.64'te normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Gerilmelerin maksimum olduğu bölgeler U profil temas noktası, U profil ve dil parçasının radyüslü olan bölgesidir.



Şekil 5.63: F30 von Mises gerilmesi yakın görünüm.

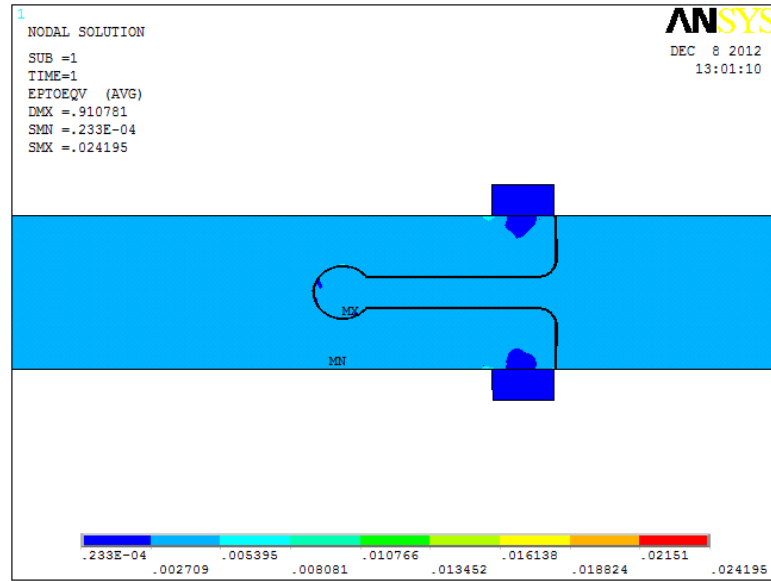


Şekil 5.64: F30 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

5.2.5 Numunelerin Ansys analizinde deformasyon tipleri

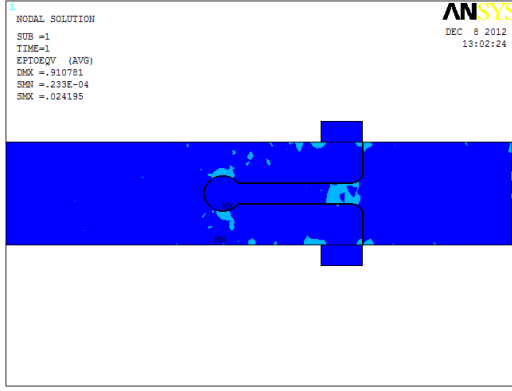
Gerilmelerde maksimum noktalar genellikle birbirine benzediği gibi deformasyonlar da benzemektedir. Ansys analizlerindeki deplasman animasyonlarından alınan kareler ve deformasyon görüntüleri verilerek, genel olarak numunelerde şekil değiştirme hakkında bilgi sahibi olunmuştur.

Önce F09 numunesi Ansys 12.1 analizi deformasyon şekilleri verilmiştir. Bunlar Şekil 5.65’de von Mises toplam mekanik deformasyonu ve Şekil 5.66’da toplam mekanik uzama animasyonunun birkaç görüntüsü verilmiştir.

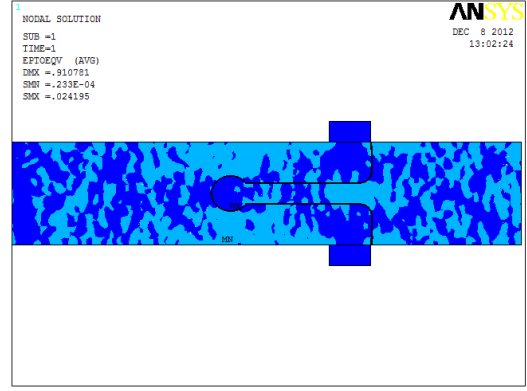


Şekil 5.65: Toplam von Mises mekanik şekil değiştirme.

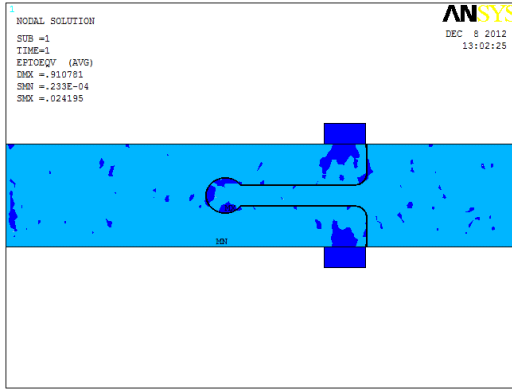
Şekilde de görüldüğü gibi maksimum şekil değiştirme uç geometrisi etrafında ve oluk parçasının U profil temas bölgesinde oluşmaktadır. Şekil 5.66’da ise bu deplasmanın uygulanan kuvvete bağlı olarak nasıl oluştuğu animasyondan alınarak görüntülenmiştir. Burada da uç geometrisiyle dil parçasının radyüslü bölgesi ve oluk parçasının U profil temas bölgesinden başlayarak tüm parçalara yayılan şekil değiştirme görülmektedir.



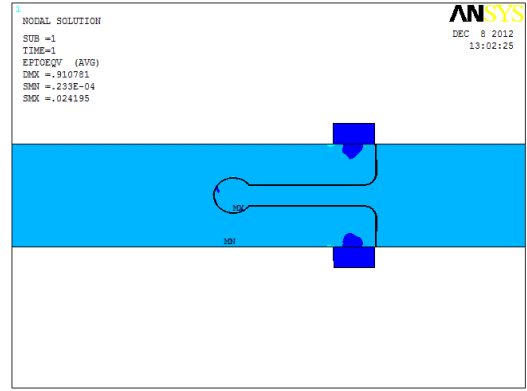
(a)



(b)

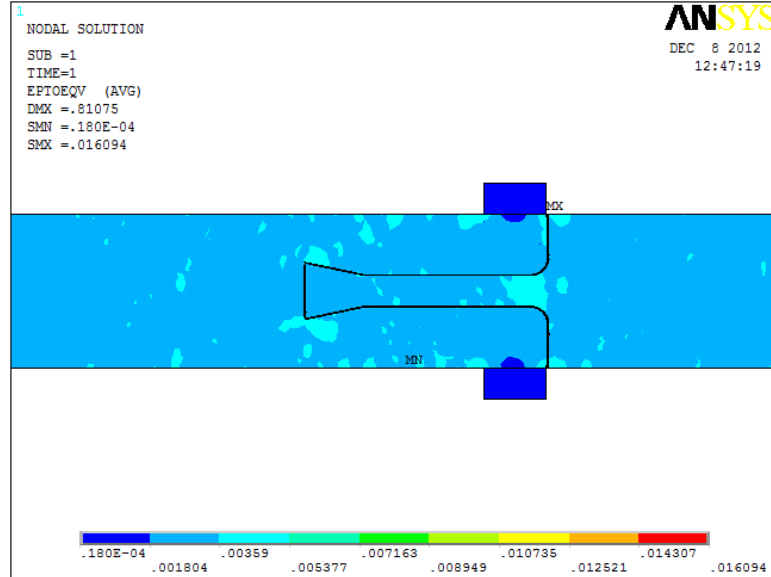


(c)



(d)

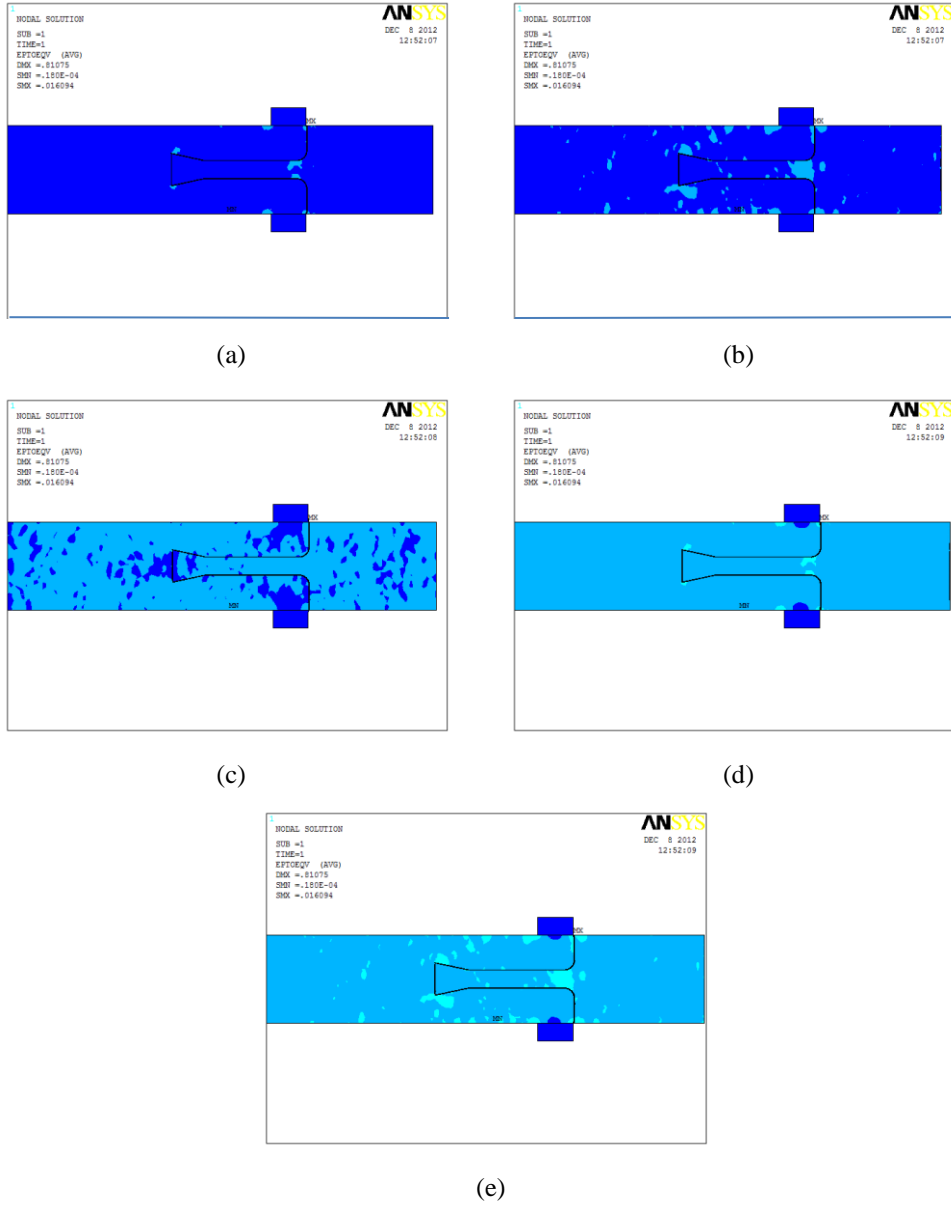
Şekil 5.66: Toplam von Mises mekanik şekil değiştirme animasyon kareleri (a) ilk kare (b) ikinci kare (c) üçüncü kare (d) dördüncü kare (Şekil 5.69).



Şekil 5.67: von Mises toplam mekanik şekil değiştirme.

F21 numunesi Ansys 12.1 analizi deformasyon şekilleri verilmiştir. Bunlar Şekil 5.67’de von mises toplam mekanik deformasyonu ve Şekil 5.68’de toplam mekanik uzama animasyonunun birkaç görüntüsü verilmiştir.

Şekil 5.67’de görüldüğü gibi maksimum şekil değiştirme uç geometrisi etrafında, oluk parçasının u profil temas bölgesinde ve dil parçasının radüslü bölgesinde oluşmaktadır. Şekil 5.68’de ise bu deplasmanın uygulanan kuvvete bağlı olarak nasıl oluştuğu, animasyondan alınarak görüntülenmiştir. Burada da uç geometrisiyle dil parçasının radüslü bölgesi ve oluk parçasının u profil temas bölgesinden başlayarak tüm parçalara yayılan şekil değiştirme görülmektedir.



Şekil 5.68: von Mises toplam mekanik şekil değiştirme animasyon kareleri (a) ilk kare (b) ikinci kare (c) üçüncü kare (d) dördüncü kare (e) beşinci kare (Şekil 5.67)

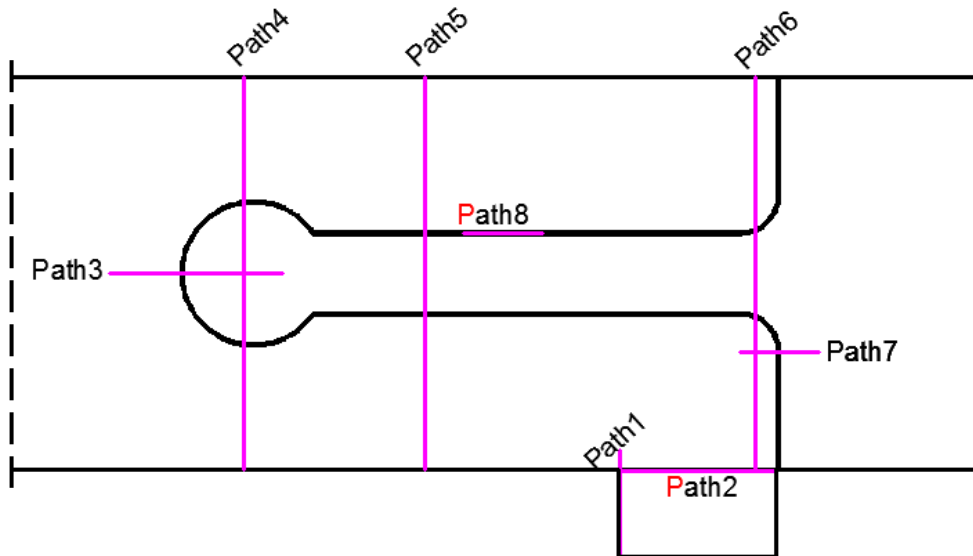
5.3 Ansys 12.1'de Tüm Numune Modellerine Aynı Yük Uygulaması Ve Analizi

Bu bölümün uygulanmasının nedeni şöyle açıklanabilir. Gerek yapıştırıcıda gerekse kompozit malzemenin farklı bölümlerinde oluşan gerilmelerin büyüklüğüne bakıldığında daha az gerilmeye maruz kalan numune modeli daha çok yük taşıma kapasitesine sahiptir denebilir ve buna göre analiz yapılabilir. Bu analiz için numunelerin kopma kuvvetlerinin basınç karşılıklarına bakıp ortalamalarına yakın bir değer olan 45 MPa seçilmiştir.

5.3.1 Doğru boyunca gerilme değişimleri

Doğru boyunca seçilen noktalar arasındaki gerilme değişimlerine ve parçalar arasındaki gerilme farklılıklarına Ansys'te path özellikleri yardımıyla bakılabilir. Bu bölümdeki pathler iki nokta seçilerek arada kalan doğru üzerinde oluşan noktaları simgelemektedir. Ansys programında pathlerin sonuç verileri ve grafiklerine bakıldığında başlangıç noktaları her zaman 0 olarak gösterir. Ancak bu noktalar parça üzerinde herhangi bir nokta olabilir. Bu özellikten dolayı parça üzerinde başlangıç noktası ayrıca tanımlanmalıdır. Ve path çizgisi 0 noktası model üzerinde merkez koordinat 0 noktası değil path başlangıç noktasını gösterir.

Numunelerin modellerine uygulanacak olan pathler Şekil 5.69'da gösterilmiştir.



Şekil 5.69: Ansys'de parçalar üzerindeki pathlerin durumu.

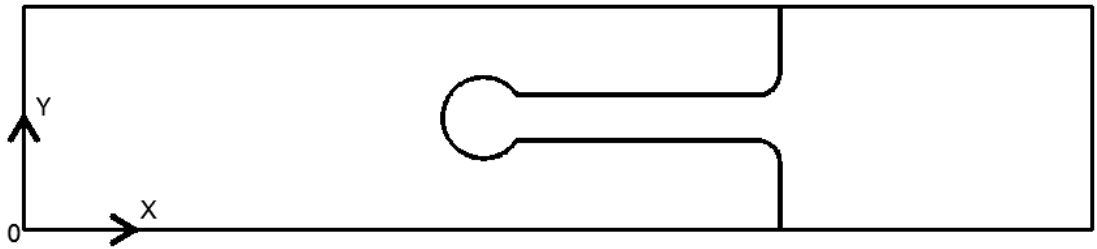
Çekme sonucu oluşacak olan çekme, kayma ve açılma gerilmelerinin kompozitte ve yapıştırıcıda ulaştığı büyüklükleri bulmak için şekildeki koordinatlarda yollar

çizilmiştir. Malzeme olarak da kompozit, kompozit-yapıştırıcı, yapıştırıcı, kompozit-u profilin aralarında ve kendi içlerindeki gerilmeleri bulmak hedeflenmiştir.

Bu pathlerin koordinatları da Tablo 5.2’de gösterilmiştir. Merkez ise modellerin başlangıç noktası olup Şekil 5.70’te gösterilmiştir. Tablo 5.2’de verilen koordinatlar Şekil 5.70’teki gibi 50 mm genişliği olan parametrik değişkenli grupların pathlerinin koordinatlarıdır.

Tablo 5.2: Pathlerin numaraları ve merkeze göre koordinatları.

Path	Nokta	x koordinatı (mm)	y koordinatı (mm)
Path1	1.nokta	149.8	0
	2.nokta	149.8	-10
Path2	1.nokta	149.8	0
	2.nokta	169.8	0
Path3	1.nokta	85	25
	2.nokta	107	25
Path4	1.nokta	103	0
	2.nokta	103	50
Path5	1.nokta	125	0
	2.nokta	125	50
Path6	1.nokta	167	0
	2.nokta	167	50
Path7	1.nokta	165	15
	2.nokta	175	15
Path8	1.nokta	130	30.1
	2.nokta	140	30.1

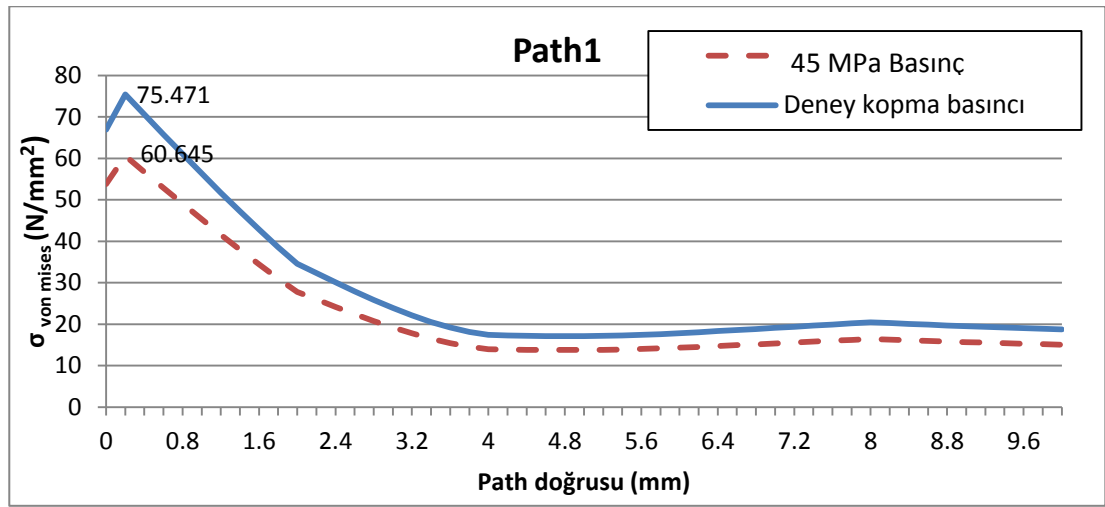


Şekil 5.70: Koordinatların merkezi.

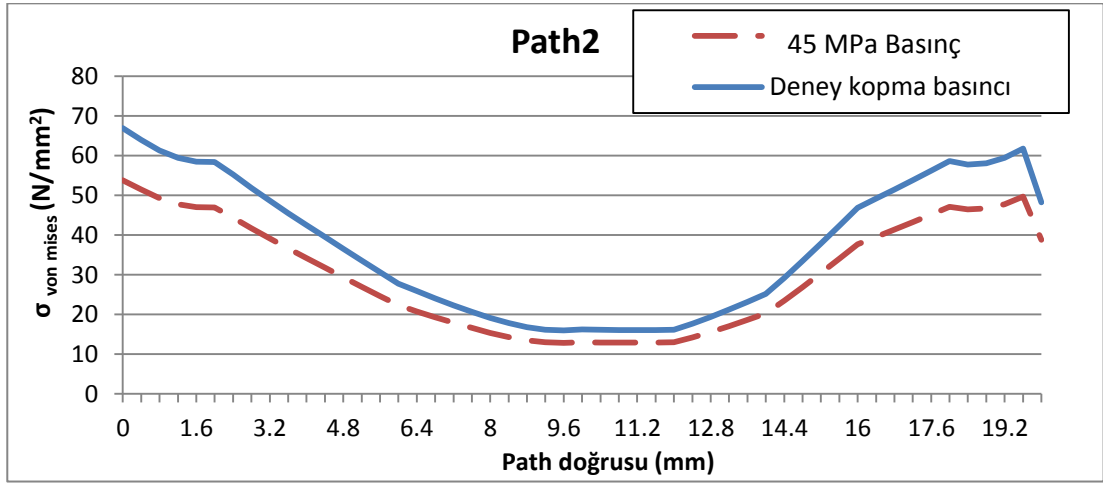
Bu path çizimleri ve analizinin aynı yük uygulamasında yapılmasının nedeni hem aynı yükte gerilme taşıyabilme özelliklerinin karşılaştırılması hem de deney yükü, belirtilen 45 MPa’dan büyük ya da küçük olsun path grafiklerinde değerler aynı oranda ve eğilimde değişmesidir. Bu değişim F09 numunesinin modelinde

gösterilmiştir. Aynı zamanda path boyunca gerilme değişimleri de gösterilmiş ve yorumlanmıştır, böylece bütün pathlerde ne şekilde grafik ortaya çıkacağı belirtilmiştir.

F09 numunesi modeline 45 MPa basınç uygulanmış ve Şekil 5.69 ile Tablo 5.2’de verilen pathlerin grafikleri çizdirilmiştir. F09 için deney kopma yükü (55.93 MPa) modele uygulanmış ve grafikleri çizdirilmiştir. Bu grafikler tek grafikte üst üste konmuştur. Grafiklerde von Mises gerilmeleri verilmiştir. Şekil 5.71’de ve diğerlerinde görüldüğü üzere, uygulanan yüke göre grafikte sadece değerlerin büyüklüğü değişmekte grafik karakteristiği aynı kalmaktadır.

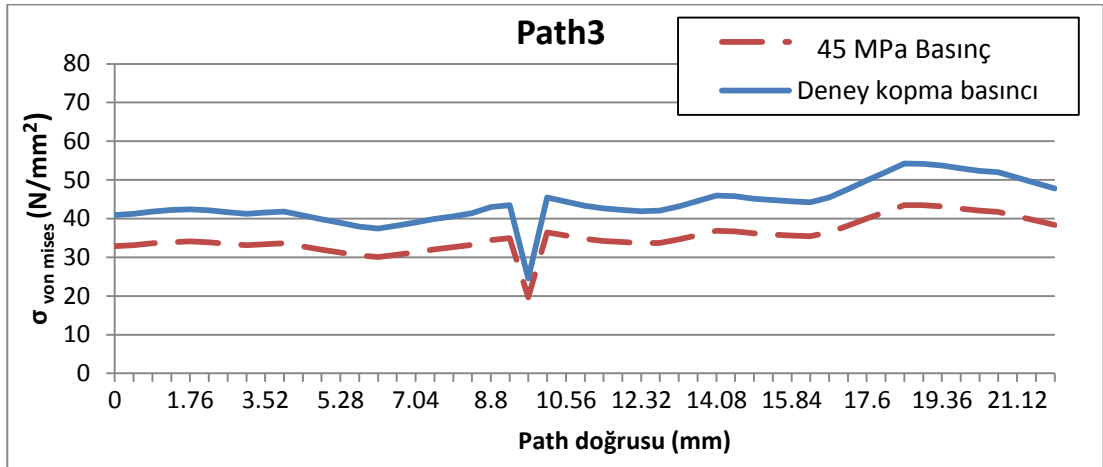


Şekil 5.71: Path1 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri. Grafik analizi yapılacak olursa Şekil 5.69’da görüldüğü gibi Path1 u profil üzerinde bulunmaktadır ve u profil üzerindeki gerilmeleri göstermektedir. Gerilme temas noktasından hemen sonra maksimum değere ulaşmış 45 MPa basınç yükü için 60.64 MPa, deney kopma basıncı yükü için 75.47 MPa çıkmıştır.



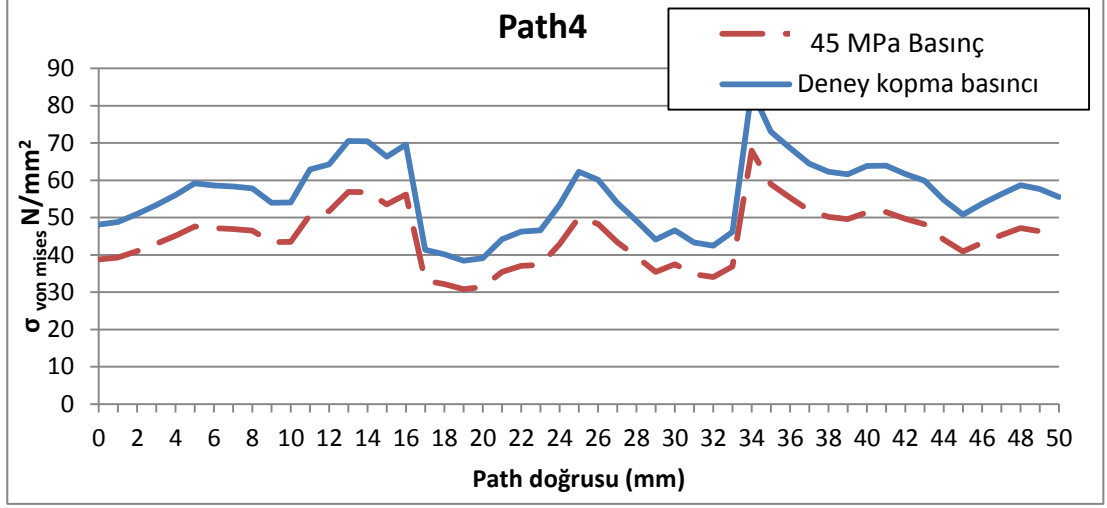
Şekil 5.72: Path2 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri.

Şekil 5.69’da görüldüğü gibi Path2 U profil kalınlığı boyunca yatay şekilde çizilmiştir. Bu doğru üzerindeki gerilmeler kalınlık boyunca ortalarda 15-18 MPa’ a kadar düşüp sonra tekrar yükselmektedir. U profil iki taraflı gerilmeye maruz kalmıştır denebilir.



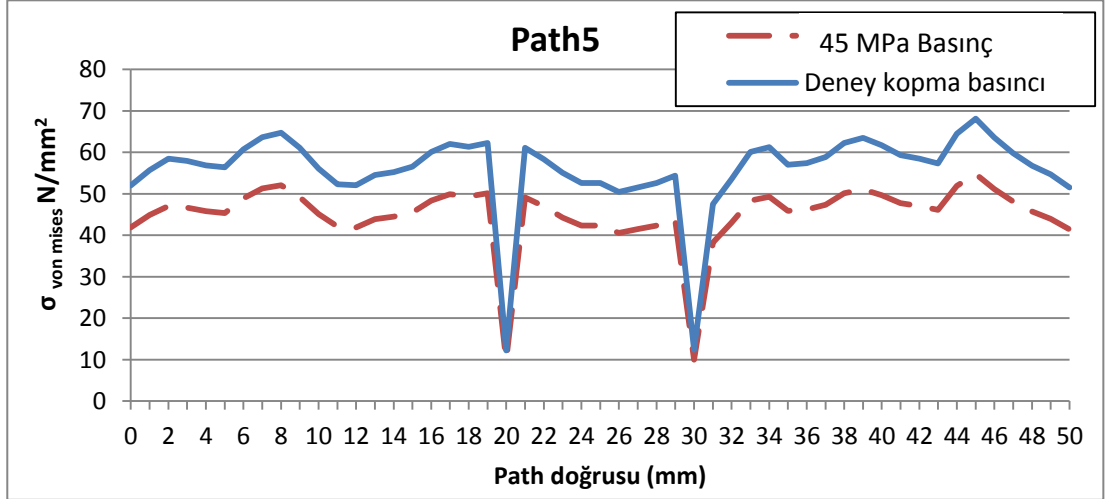
Şekil 5.73: Path3 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri.

Şekil 5.69’te görüldüğü gibi Path3 kompozit oluk parçası, yapıştırıcı ve kompozit dil parçası üzerinde ve uç geometrisi bölgesinde yatay çizilmiştir. Bu doğru üzerindeki gerilmeler 45 MPa basınç için kompozit oluk parçasında 30 – 35 MPa civarında yapıştırıcı için 20 MPa’ a düşüş göstermekte ve kompozit dil parçasında tekrar artarak 45 MPa civarına ulaşmaktadır. Deney kopma basıncı için ise kompozit oluk parçasında 40 – 45 MPa civarında yapıştırıcı için 25 MPa’ a düşmekte ve kompozit dil parçasında artarak 55 MPa civarına ulaşmaktadır. Burada yapıştırıcı için deney kopma basıncı uygulandığında çıkan gerilmenin büyüklüğü hasar oluştuğunun göstergesidir.



Şekil 5.74: Path4 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri.

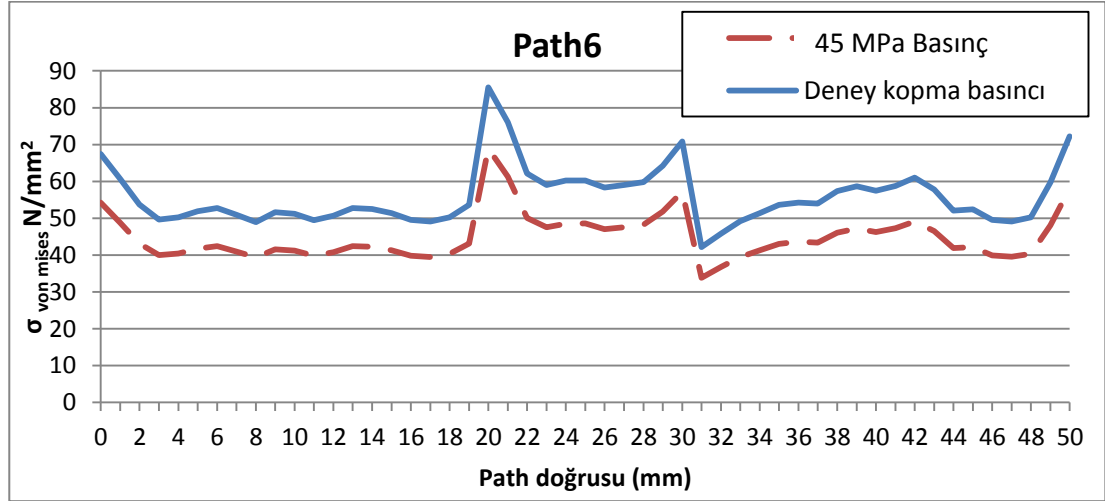
Şekil 5.69’te görüldüğü gibi Path4 kompozit oluk parçası, yapıştırıcı ve kompozit dil parçası üzerinde olup uç geometrisi bölgesinde dikey olarak çizilmiştir. Kompozit oluk parçası - yapıştırıcı ve yapıştırıcı - kompozit dil parçası geçişinde düşüş gözlenmiş, uç geometrisinin dikey olarak ortalarında kompozit malzemede gerilme artmıştır. Bu da ezilme oluştuğunun göstergesidir. Yine dikey olarak geçişte yapıştırıcıdan dolayı gerilme düşüş göstermiştir. Dil parçasının uç geometrisinde orta noktada gerilme yığılması gözlemlenmiştir. Bunun da hasar olarak ezilme oluştuğunun ve tabakalar arası ayrılmada etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.75: Path5 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri.

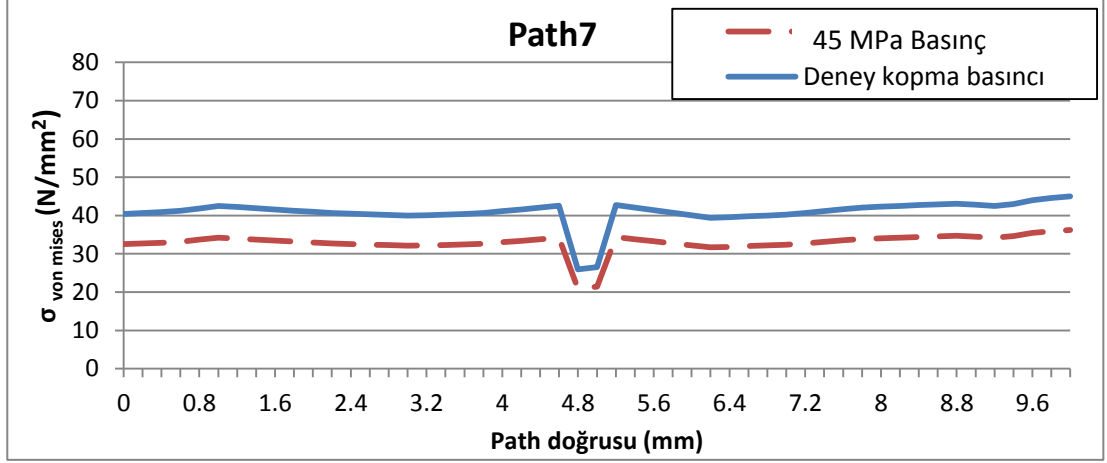
Şekil 5.69’te görüldüğü gibi Path5 kompozit oluk parçası, yapıştırıcı ve kompozit dil parçası üzerinde dikey olarak çizilmiştir. Bu doğru üzerindeki gerilmeler, 45 MPa basınç için kompozit oluk parçasında 45 – 50 MPa civarında yapıştırıcı için 10

MPa'a düşüş göstermekte ve kompozit dil parçasında tekrar artarak 45 MPa civarına ulaşmaktadır. Deney kopma basıncı için ise kompozit oluk parçasında 55 – 60 MPa civarında yapıştırıcı için 12 MPa'a düşmekte ve kompozit dil parçasında artarak 55 MPa civarına ulaşmaktadır. Burada yapıştırıcı için deney kopma basıncı uygulandığında çıkan gerilmenin büyüklüğü, yükleme anı başlangıcında yapıştırıcının dayanım gösterdiğini belirtmektedir.



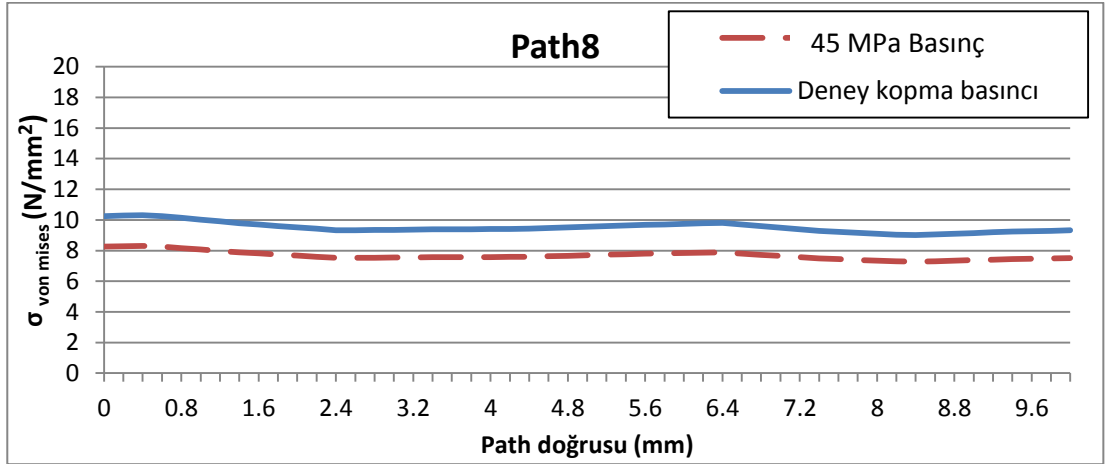
Şekil 5.76: Path6 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri.

Şekil 5.69'te görüldüğü gibi Path6 kompozit oluk parçası radyüslü kısmı, yapıştırıcı ve kompozit dil parçası radyüslü kısmı üzerinde dikey olarak çizilmiştir. Bu doğru üzerindeki gerilmeler, 45 MPa basınç için, kompozit oluk parçasında 45 – 50 MPa civarındadır. Sonra yükselme gösterdiği bölge, yapıştırıcı kısmı yerine dil parçasının radyüslü kısmıdır. Bu bölgede kenarlarda maksimum olan gerilme ortalarında düşmektedir. Tekrar gerilme 45 – 50 MPa civarına gelmektedir. Deney kopma basıncı için ise aynı durum mevcuttur. Burada ilk yükleme anında maksimum gerilmelerin kompozit dil parçasının radyüslü kısmında oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5.77: Path7 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri.

Şekil 5.69’te görüldüğü gibi Path7 kompozit oluk parçası, yapıştırıcı ve kompozit dil parçası üzerinde yatay çizilmiştir. Bu doğru üzerindeki gerilmeler 45 MPa basınç için kompozit oluk parçasında 30 - 35 MPa civarında yapıştırıcı için 20 MPa’a düşüş göstermekte ve kompozit dil parçasında tekrar artarak 30 - 35 MPa civarına ulaşmaktadır. Deney kopma basıncı için ise kompozit oluk parçasında 40 – 45 MPa civarında yapıştırıcı için 25 MPa’a düşmekte ve kompozit dil parçasında artarak 55 MPa civarına ulaşmaktadır. Burada yükleme anında yapıştırıcı için, deney kopma basıncı uygulandığında çıkan gerilmenin büyüklüğü hasar oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 5.78: Path8 doğruları üzerindeki von Mises gerilmesi değişimleri.

Şekil 5.69’te görüldüğü gibi Path8 yapıştırıcı üzerinde ve dil bölgesi ile oluk bölgesi yapışma kısmında yatay çizilmiştir. Bu doğru üzerindeki gerilmeler 45 MPa basınç için 8 MPa civarında, deney kopma basıncı için 10 MPa civarında çıkmıştır. Bu değerlere göre yükleme anında yapıştırıcının dayanım gösterdiği görülmektedir.

5.3.2 Aynı yük uygulamasının belirlenen model formül ile yorumu

Yukarıda belirtilen 45 MPa yük uygulamasında, aynı yüke maruz numune modellerinde oluşan gerilmelerin farklı oluşu ve birbiri ile karşılaştırıldığında daha az gerilme değeri çıkan modelin daha çok yük taşıma kapasitesi olduğu belirtilmişti. Bu durumun, path grafikleri ve oluşturulan model formül yardımı ile grafikleri gösterilmiştir. Formül ile düşük gerilmeye sahip numune modelinin daha çok gerilme taşıyabileceği yani karşılaştırmada altta kalan gerilme grafiğinin yük taşıma kapasitesi bakımından üstte olduğu ve deney sonuçları grafiklerinin artma ve azalma eğilimleri model formül grafikleri ile paralelliği de gösterilecektir. Formül ansys grafiklerini ters çevirmiştir. Formül

$$\sigma_{i \text{ (Model)}} = \sigma_{(ort)} - (\sigma_i - \sigma_{\min}) \quad (5.1)$$

şeklinde modellenmiştir. Burada $\sigma_{i \text{ (Model)}}$ deney kopma yükleriyle aynı eğilimi gösteren seçili numune modelinin gerilmesini, $\sigma_{(ort)}$ seçilen path grafiklerindeki bir noktanın dört ya da üç numune modelinin von Mises değerinin ortalamasını, σ_i seçilen numune modelinin path grafiğinde seçilen noktanın değerini, σ_{\min} grup içinde en düşük von Mises gerilmesine sahip seçilen path grafiği noktasının değeridir.

Formül açılımı ise grupların 4 ya da 3 elemanlı olmasına göre değişmekte olup değerler karşılaştırma grafiği için çevrilmiş olur.

5.3.2.1 Dairesel uç geometrili grupların analizi

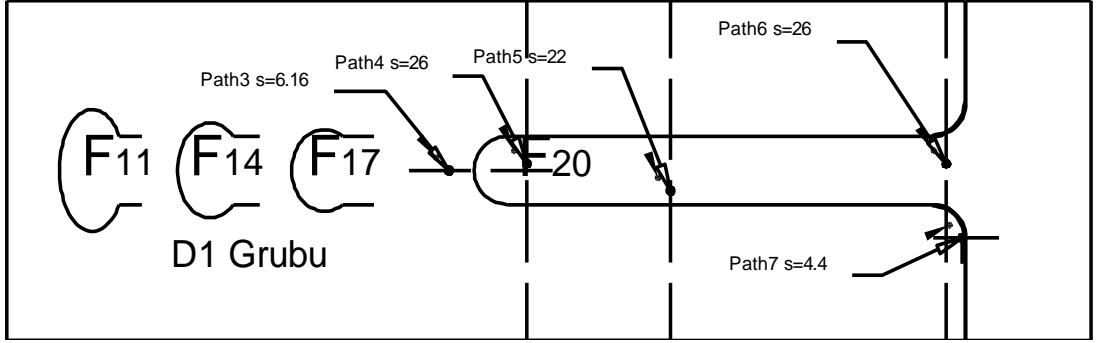
D1 grubu kopma kuvveti ve kopma basıncı Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3: D1 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.

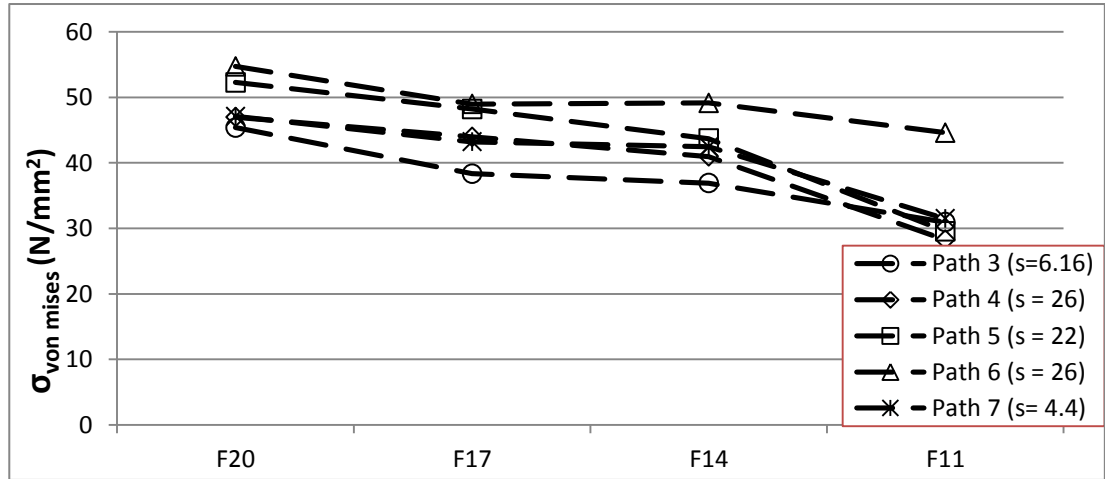
D1 Grubu	Fxx	a (mm)	b (mm)	Çekme deneyi sonucu	
				Kopma kuvveti (kN)	Kopma basıncı (MPa)
	F20	10	0	25.91	43.21
	F17	10	1	28.63	47.72
	F14	10	2	30.45	51.58
	F11	10	4	30.28	50.46

Numune modellerinin üstünde dil oluk bölgesine yakın seçilen noktalar Şekil 5.83'te gösterilmiştir. Bu noktalar grupların kendi içinde, numune modelleri path grafiklerinin üst üste çizdirilmesiyle oluşan grafikten, deney sonuçlarıyla paralel olan bölgelerden seçilmiştir. Seçilen noktalardaki gerilme değerlerinin grafiği Şekil

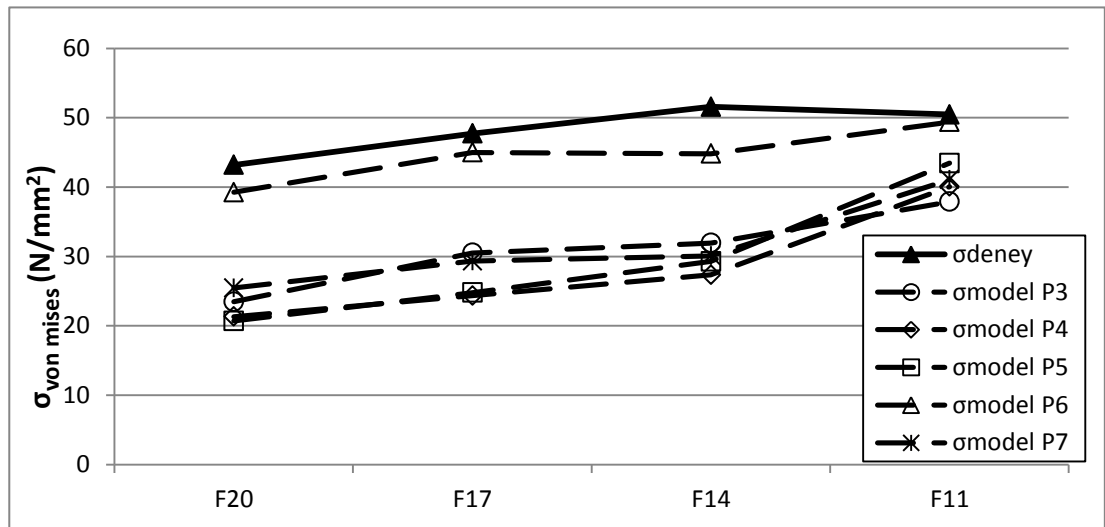
5.80'te verilmiştir. Bu grafik ile noktadaki değerlerin eğilimi de belirlenmiştir. Bu grubun Ansys modellerinde noktaların değerlerinin grafik eğilimi düşüş şeklindedir. Formül modelinden sonra çıkan değerlerin grafiği ile deney sonuçlarının grafiği Şekil 5.81'de gösterilmiştir.



Şekil 5.79: D1 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri.



Şekil 5.80: D1 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerleri.



Şekil 5.81: D1 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması.

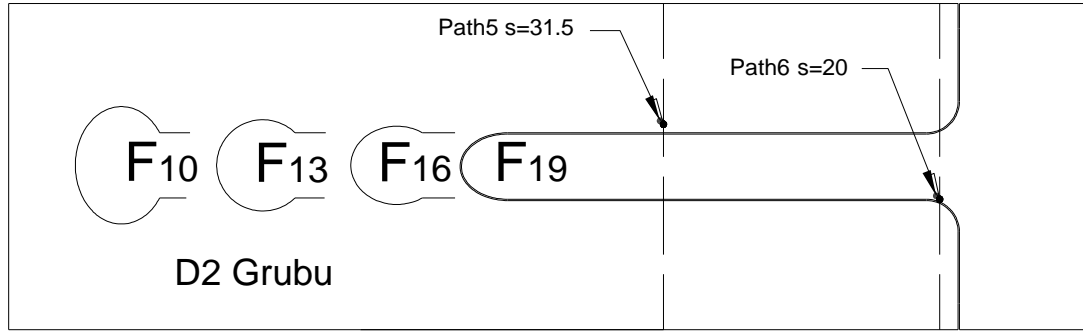
Şekil 5.81'de görüldüğü gibi Ansys modelindeki noktalarda çıkan gerilmeler ile deney sonuçları grafiği eğilimi artış şeklindedir.

D2 grubu kopma kuvveti ve kopma basıncı Tablo 5.4'te verilmiştir.

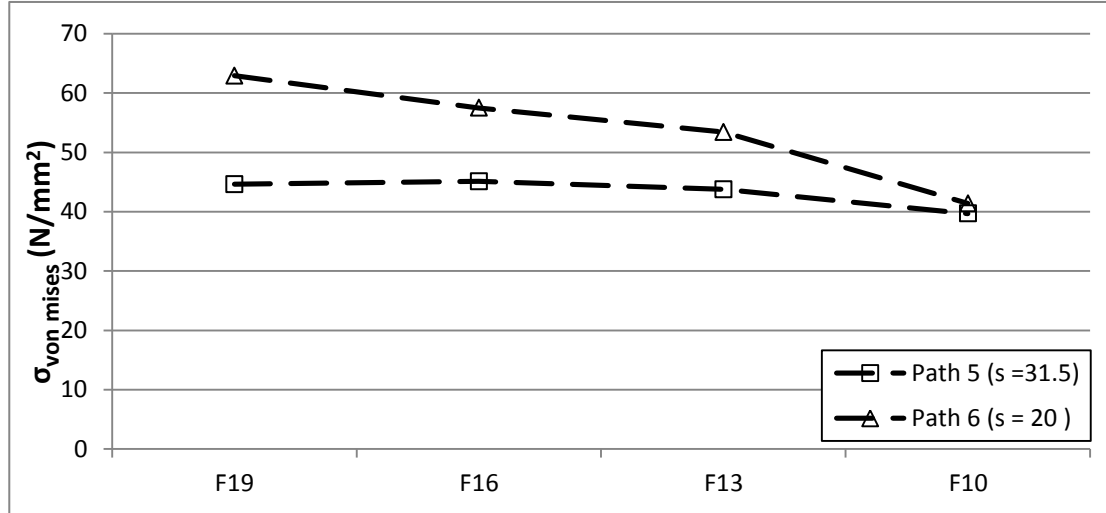
Tablo 5.4: D2 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.

D2 Grubu	F _{xx}	a (mm)	b (mm)	Çekme deneyi sonucu	
				Kopma kuvveti (kN)	Kopma basıncı (MPa)
	F19	14	0	25.93	43.22
	F16	14	1	28.99	48.32
	F13	14	2	31.08	51.08
	F10	14	4	32.19	53.65

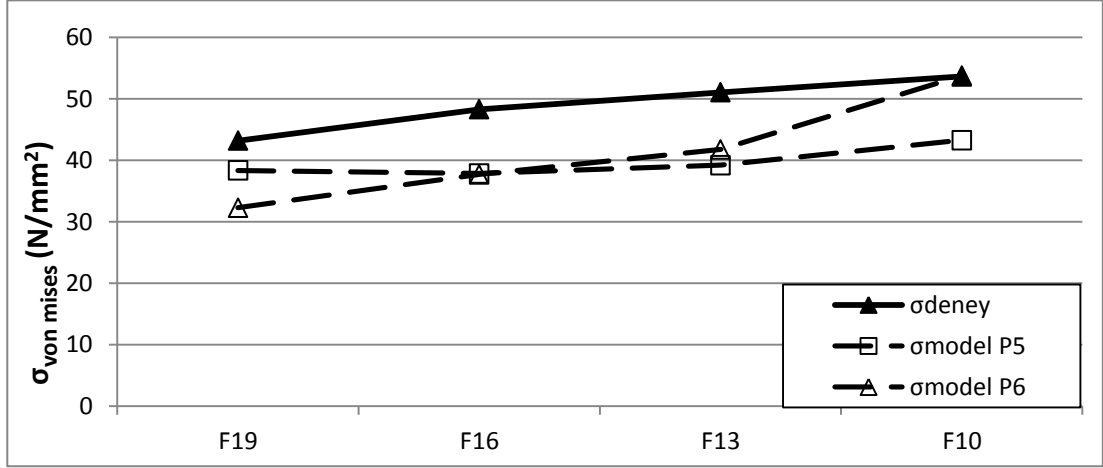
Noktalar Şekil 5.82'de gösterilmiştir. Noktaların von Mises gerilmeleri değerlerinin grafiği Şekil 5.83'te verilmiştir. Bu grafik ile noktalardaki değerlerin eğilimi düşüştü olduğu görülmüştür. Formül modelinden sonra çıkan değerlerin grafiği ile deney sonuçlarının grafiği Şekil 5.84'te gösterilmiştir.



Şekil 5.82: D2 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri.



Şekil 5.83: D2 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerleri.



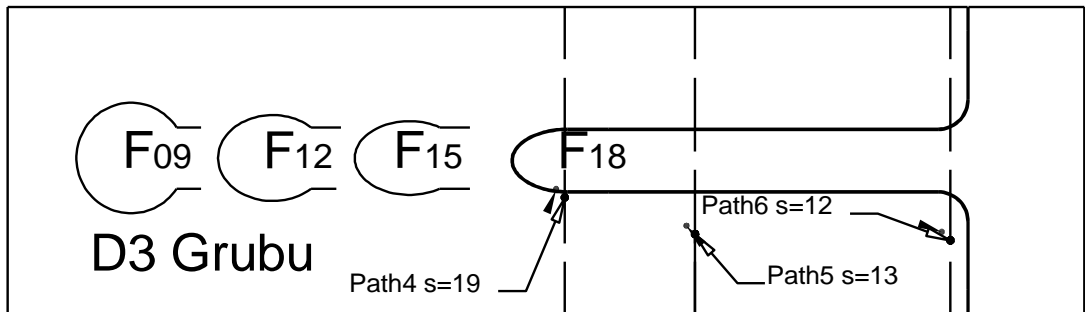
Şekil 5.84: D2 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması. Şekil 5.84'te görüldüğü gibi Ansys modelindeki noktalarda çıkan gerilmeler ile deney sonuçları grafiği eğilimi artış şeklindedir.

D3 grubu kopma kuvveti ve kopma basıncı Tablo 5.5'de verilmiştir.

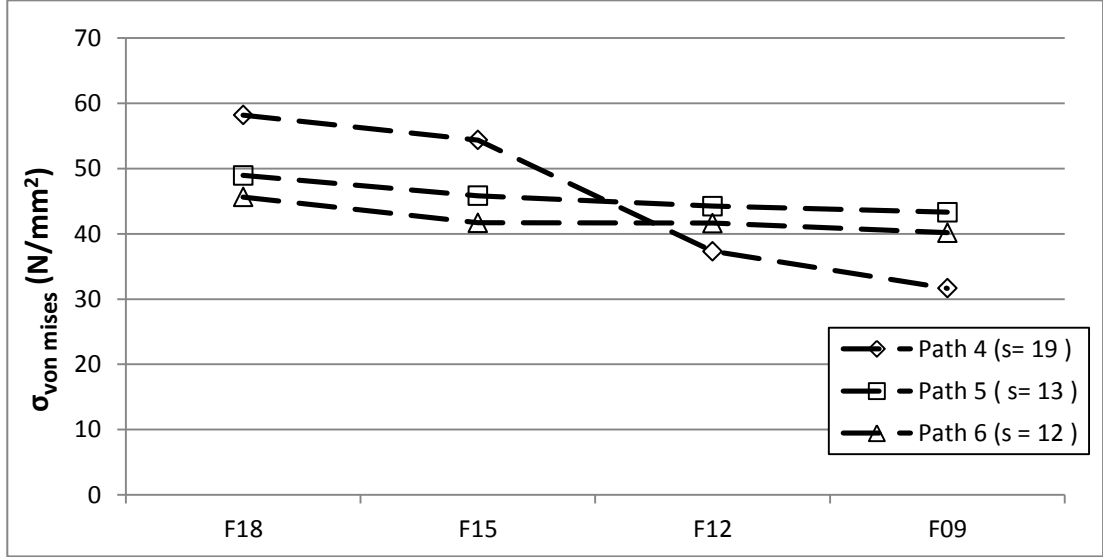
Tablo 5.5: D3 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.

D3 Grubu	Fxx	a (mm)	b (mm)	Çekme deneyi sonucu	
				Kopma kuvveti (kN)	Kopma basıncı (MPa)
	F18	18	0	28.39	47.32
	F15	18	1	30.56	50.93
	F12	18	2	32.36	53.93
	F09	18	4	33.56	55.93

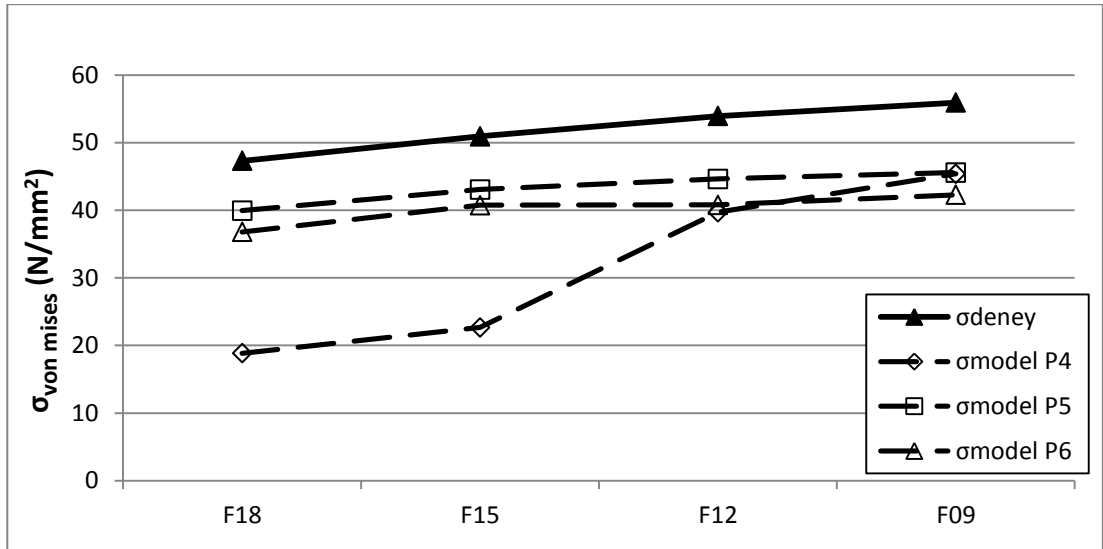
Noktalar Şekil 5.85'te gösterilmiştir. Noktaların von Mises gerilme değerleri grafiği Şekil 5.86'da verilmiştir. Bu grafik ile noktalardaki değerlerin eğilimi düşüştü olduğu görülmüştür. Formül modelinden sonra çıkan değerler grafiği ile deney sonuçlarının grafiği Şekil 5.87'de gösterilmiştir.



Şekil 5.85: D3 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri.



Şekil 5.86: D3 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerleri.



Şekil 5.87: D3 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması. Şekil 5.87’de görüldüğü gibi Ansys modelindeki noktalarda çıkan gerilmeler ile deney sonuçları grafiği eğilimi artış şeklindedir.

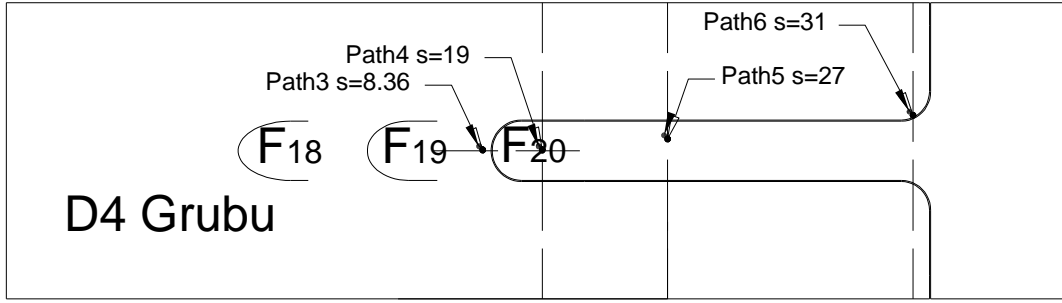
D4 grubu kopma kuvveti ve kopma basıncı Tablo 5.16’da verilmiştir.

Tablo 5.6: D4 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.

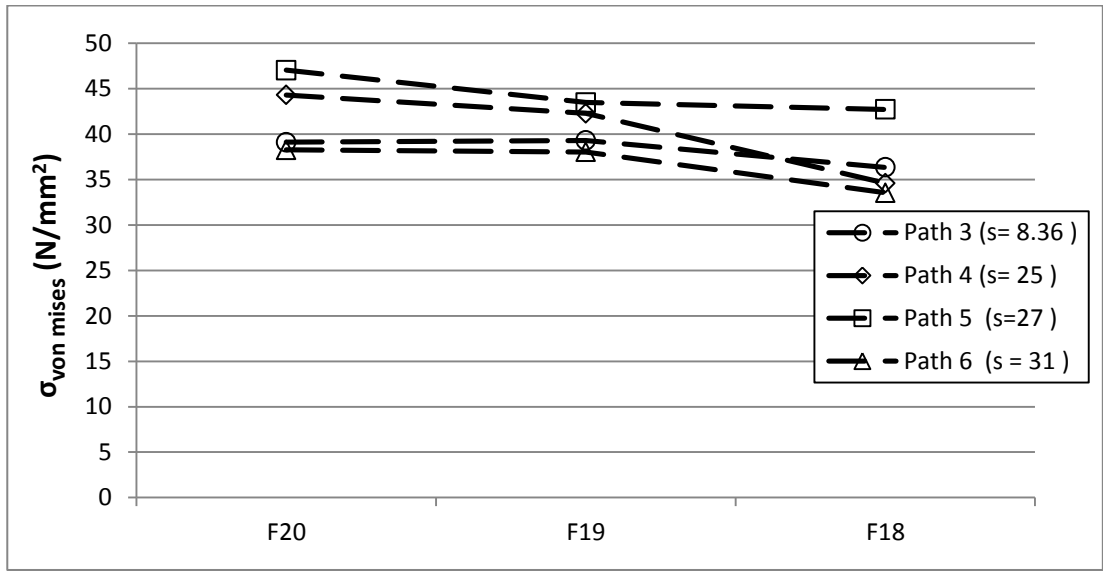
D4 Grubu	F _{xx}	a (mm)	b (mm)	Çekme deneyi sonucu	
				Kopma kuvveti (kN)	Kopma basıncı (MPa)
	F20	10	0	25.91	43.20
	F19	14	0	25.93	43.20
	F18	18	0	28.39	47.32

Noktalar Şekil 5.88’de gösterilmiştir. Noktaların von Mises gerilmeleri değerlerinin grafiği Şekil 5.89’da verilmiştir. Bu grafik ile noktalardaki değerlerin eğilimi düşüştü

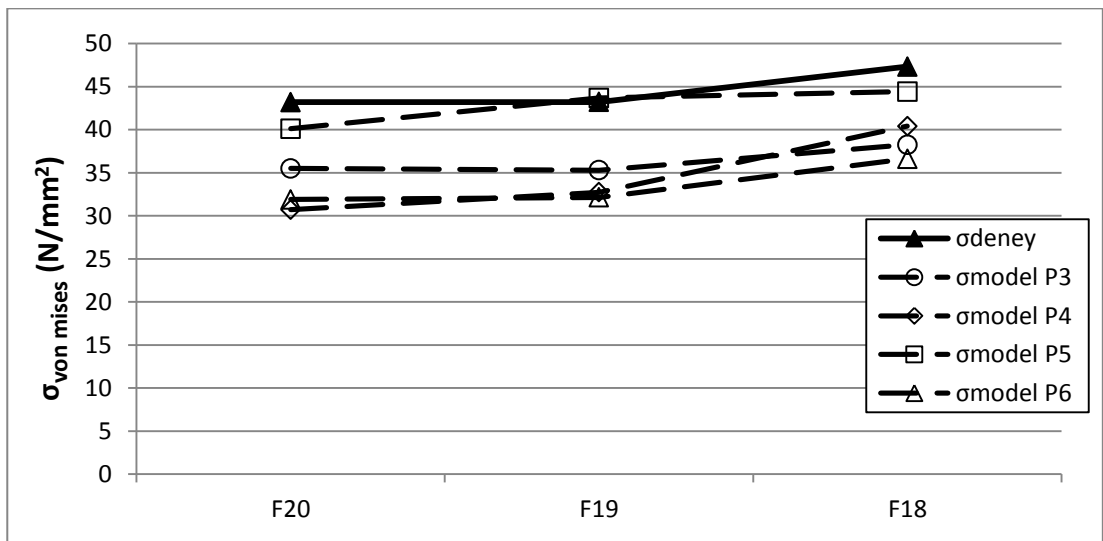
olduğu görülmüştür. Formül modelinden sonra çıkan değerlerin grafiği ile deney sonuçlarının grafiği Şekil 5.90'de gösterilmiştir.



Şekil 5.88: D4 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri.



Şekil 5.89: D4 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerleri.



Şekil 5.90: D4 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması.

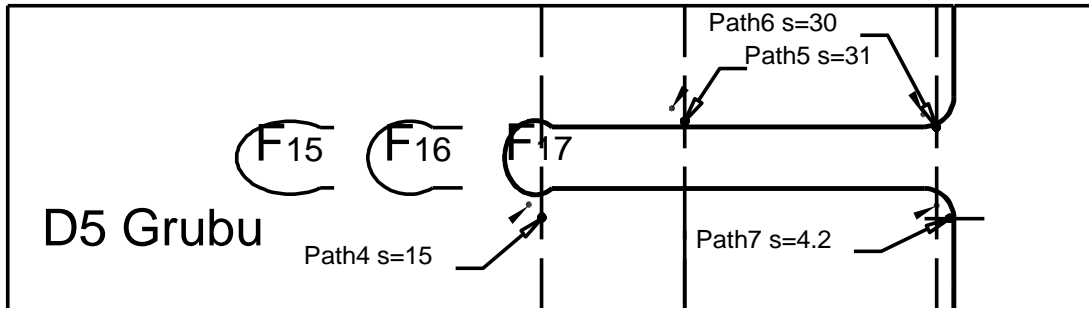
Şekil 5.90’da görüldüğü gibi Ansys modelindeki noktalarda çıkan gerilmeler ile deney sonuçları grafiği eğilimi artış şeklindedir.

D5 grubu kopma kuvveti ve kopma basıncı Tablo 5.7’de verilmiştir.

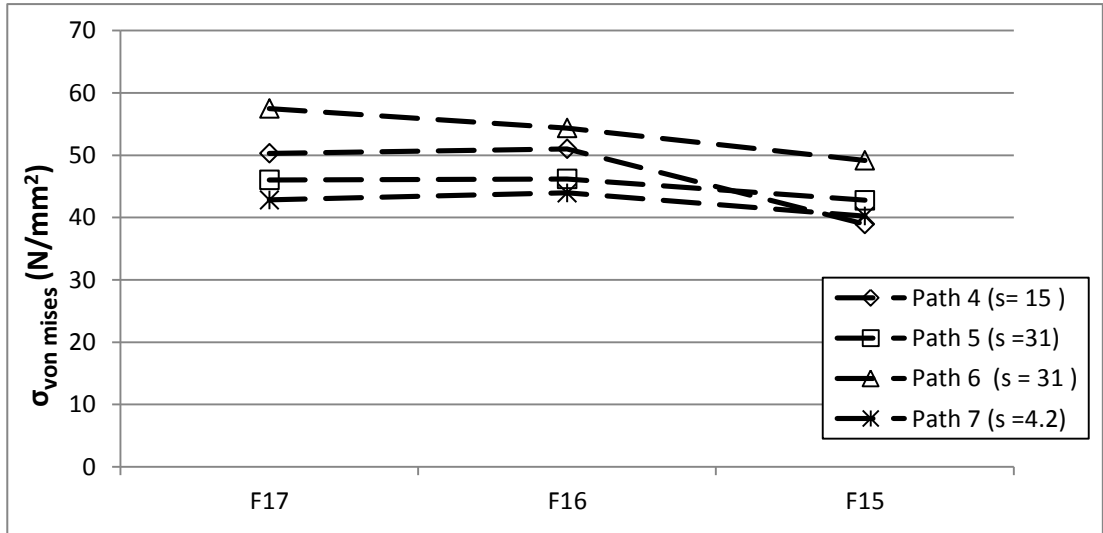
Tablo 5.7: D5 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.

D5 Grubu	F _{xx}	a (mm)	b (mm)	Çekme deneyi sonucu	
				Kopma kuvveti (kN)	Kopma basıncı (MPa)
	F17	10	1	28.63	47.72
	F16	14	1	28.99	48.32
	F15	18	1	30.56	50.93

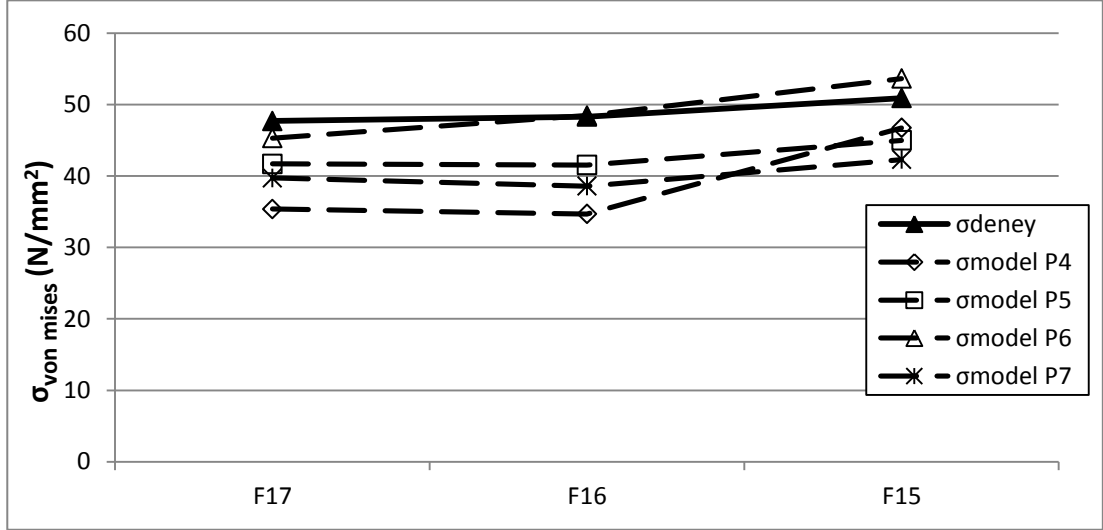
Noktalar Şekil 5.91’de gösterilmiştir. Noktaların von Mises gerilmeleri değerlerinin grafiği Şekil 5.92’de verilmiştir. Bu grafik ile noktalardaki değerlerin eğilimi düşüştü olduğu görülmüştür. Formül modelinden sonra çıkan değerlerin grafiği ile deney sonuçlarının grafiği Şekil 5.93’te gösterilmiştir.



Şekil 5.91: D5 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri.



Şekil 5.92: D5 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerleri.



Şekil 5.93: D5 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması.

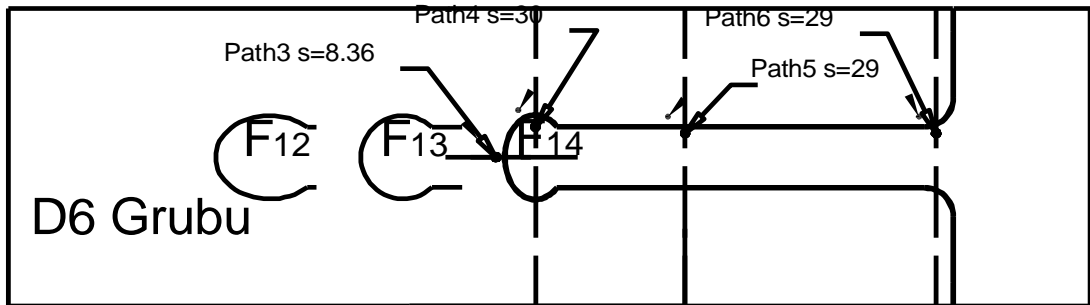
Şekil 5.93'te görüldüğü gibi Ansys modelindeki noktalarda çıkan gerilmeler ile deney sonuçları grafiği eğilimi artış şeklindedir.

D6 grubu kopma kuvveti ve kopma basıncı Tablo 5.8'de verilmiştir.

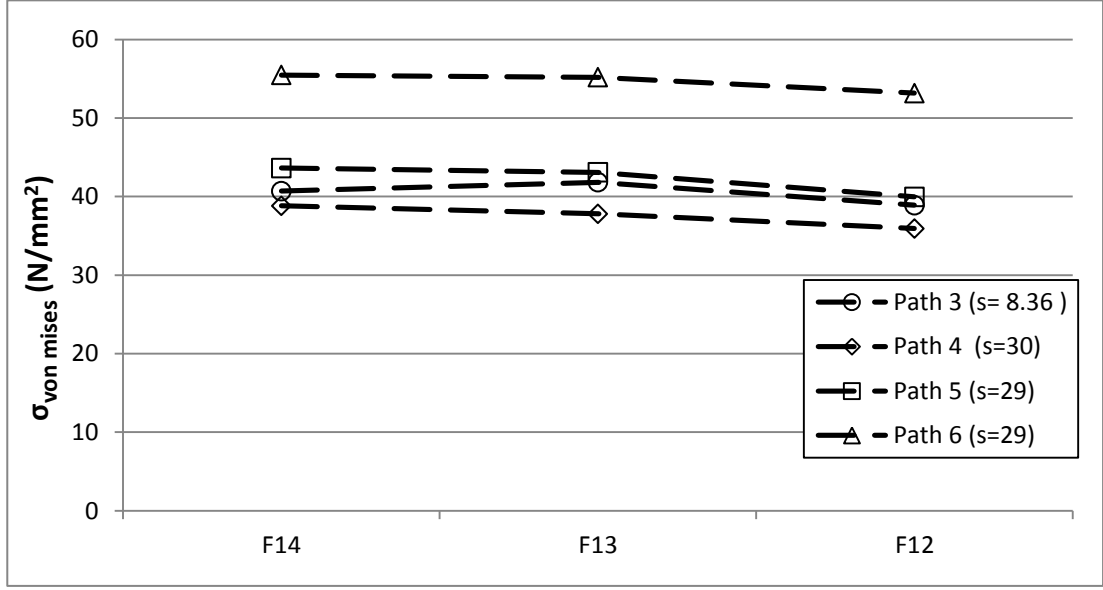
Tablo 5.4: D6 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.

D6 Grubu	Fxx	a (mm)	b (mm)	Çekme deneyi sonucu	
				Kopma kuvveti (kN)	Kopma basıncı (MPa)
	F14	10	2	30.45	51.58
	F13	14	2	31.08	51.08
	F12	18	2	32.36	53.93

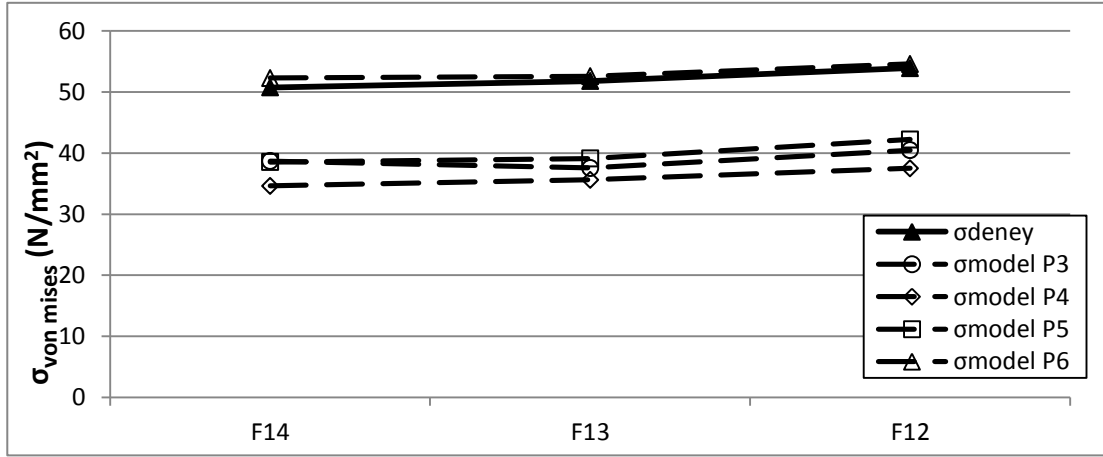
Noktalar Şekil 5.94 'de gösterilmiştir. Noktaların von Mises gerilmeleri değerlerinin grafiği Şekil 5.95'de verilmiştir. Bu grafik ile noktalardaki değerlerin eğilimi düşüştü olduğu görülmüştür. Formül modelinden sonra çıkan değerlerin grafiği ile deney sonuçlarının grafiği Şekil 5.96'da gösterilmiştir.



Şekil 5.94: D6 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri.



Şekil 5.95: D6 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerleri.



Şekil 5.96: D6 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.96'da görüldüğü gibi Ansys modelindeki noktalarda çıkan gerilmeler ile deney sonuçları grafiği eğilimi artış şeklindedir.

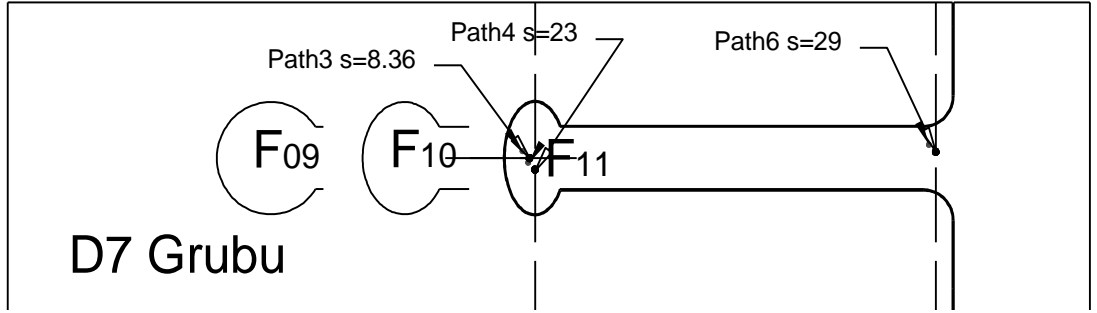
D7 grubu kopma kuvveti ve kopma basıncı Tablo 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.5: D7 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı

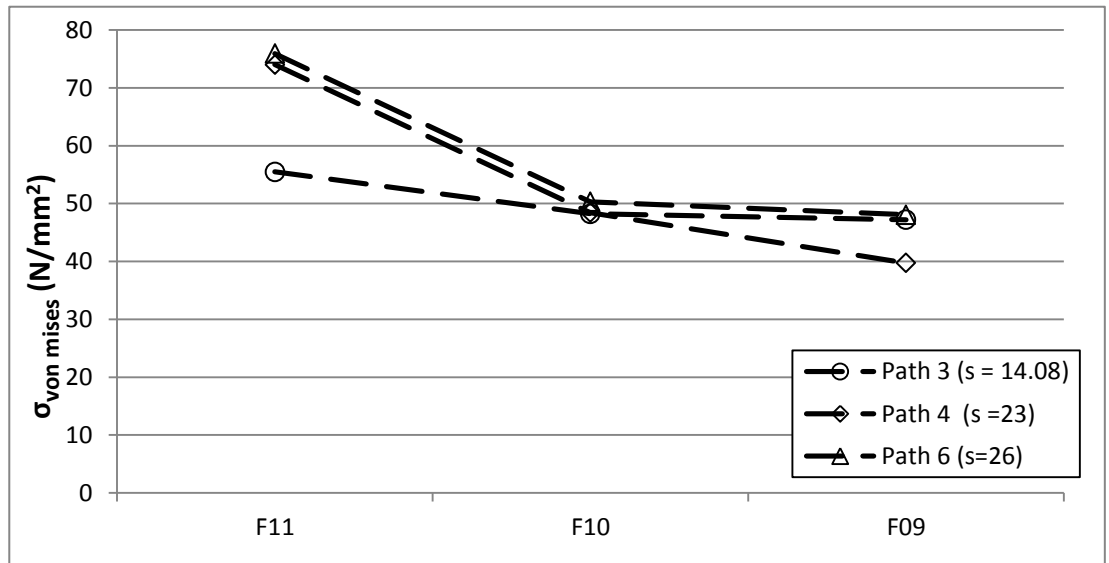
D7 Grubu	Fxx	a (mm)	b (mm)	Çekme deneyi sonucu	
				Kopma kuvveti (kN)	Kopma basıncı (MPa)
	F11	10	4	30.28	50.46
	F10	14	4	32.19	53.65
	F09	18	4	33.56	55.93

Noktalar Şekil 5.97'de gösterilmiştir. Noktaların von Mises gerilmeleri değerlerinin grafiği Şekil 5.98'de verilmiştir. Bu grafik ile noktalardaki değerlerin eğilimi düşüştür.

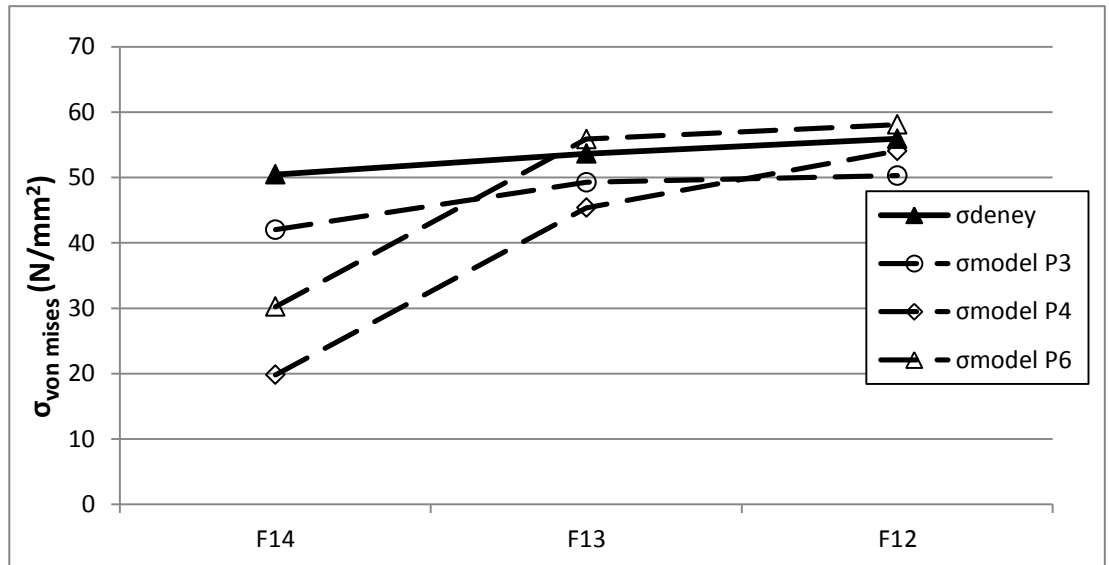
olduğu görülmüştür. Formül modelinden sonra çıkan değerlerin grafiği ile deney sonuçlarının grafiği Şekil 5.99'da gösterilmiştir.



Şekil 5.97: D7 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri.



Şekil 5.98: D7 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerleri.



Şekil 5.99: D7 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.99’da görüldüğü gibi Ansys modelindeki noktalarda çıkan gerilmeler ile deney sonuçları grafiği eğilimi artış şeklindedir.

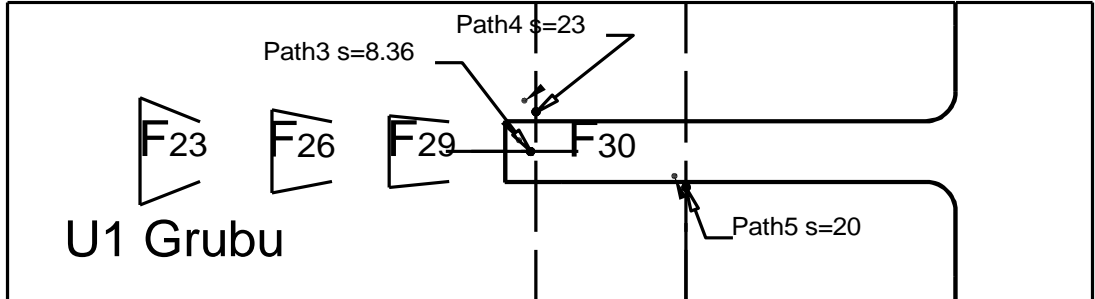
5.3.2.2 Üçgen uç geometrili grupların analizi

U1 grubu kopma kuvveti ve kopma basıncı Tablo 5.10’da verilmiştir.

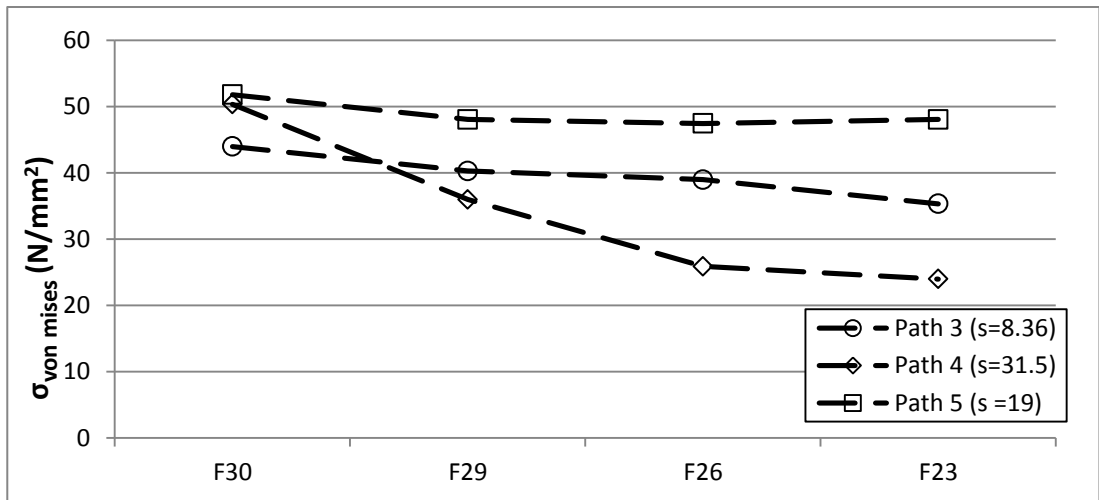
Tablo 5.10: U1 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.

U1 Grubu	Fxx	a (mm)	b (mm)	Çekme deneyi sonucu	
				Kopma kuvveti (kN)	Kopma basıncı (MPa)
	F30	10	0	29.71	49.52
	F29	10	1	31.54	52.58
	F26	10	2	31.45	52.42
	F23	10	4	31.74	52.91

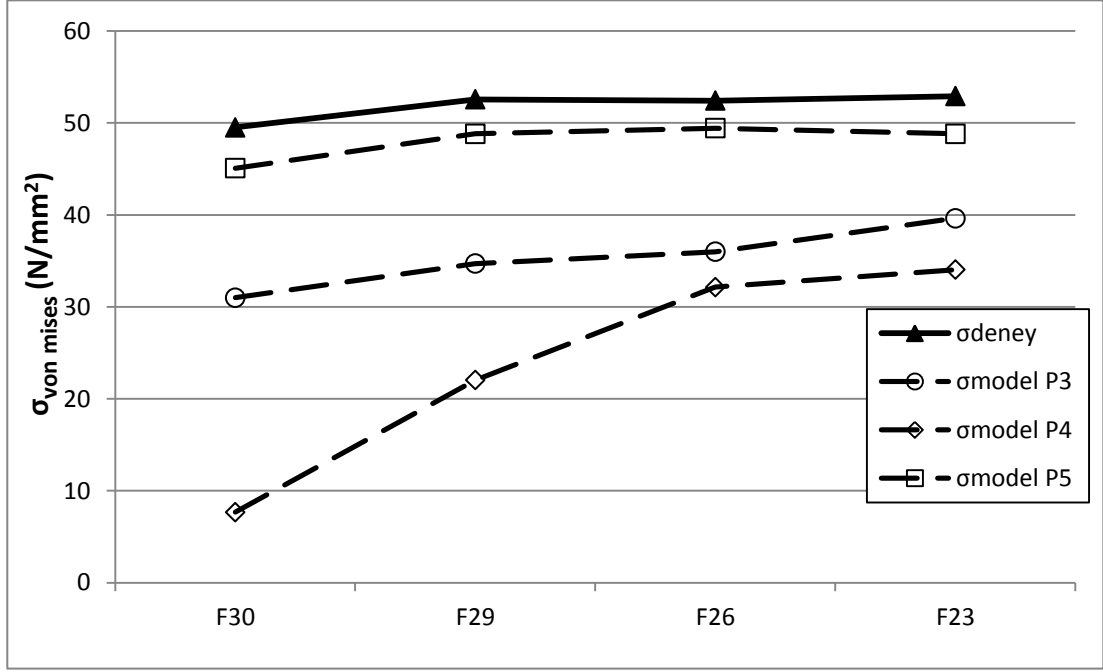
Noktalar Şekil 5.100’de gösterilmiştir. Noktaların von Mises gerilmeleri değerlerinin grafiği Şekil 5.101’de verilmiştir. Bu grafik ile noktalardaki değerlerin eğilimi düşüşte olduğu görülmüştür. Formül modelinden sonra çıkan değerlerin grafiği ile deney sonuçlarının grafiği Şekil 5.102’de gösterilmiştir.



Şekil 5.100: U1 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri.



Şekil 5.101: U1 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerleri.



Şekil 5.102: U1 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması.

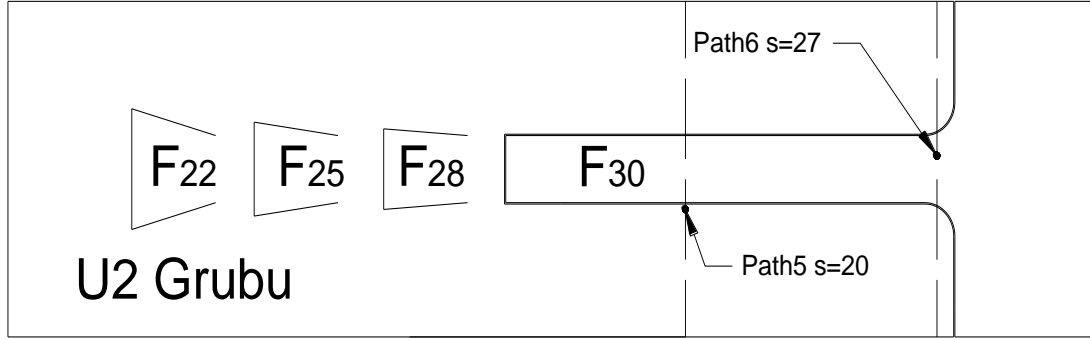
Şekil 5.102’de görüldüğü gibi Ansys modelindeki noktalarda çıkan gerilmeler ile deney sonuçları grafiği eğilimi artış şeklindedir.

U2 grubu kopma kuvveti ve kopma basıncı Tablo 5.11’de verilmiştir.

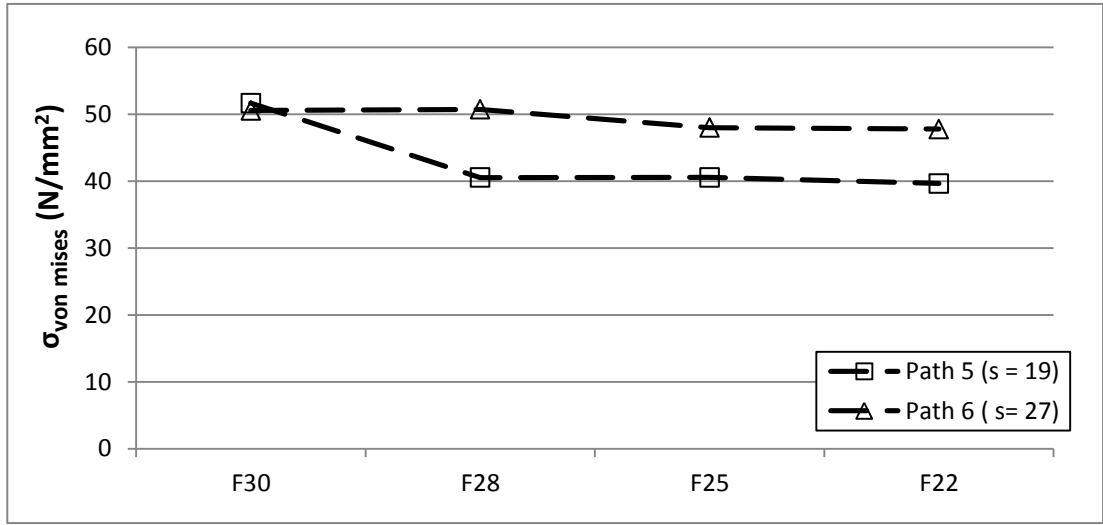
Tablo 5.11: U2 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.

U2 Grubu	Fxx	a (mm)	b (mm)	Çekme deneyi sonucu	
				Kopma kuvveti (kN)	Kopma basıncı (MPa)
	F30	14	0	29.71	49.52
	F28	14	1	32.82	54.70
	F25	14	2	33.21	55.35
	F22	14	4	36.15	60.25

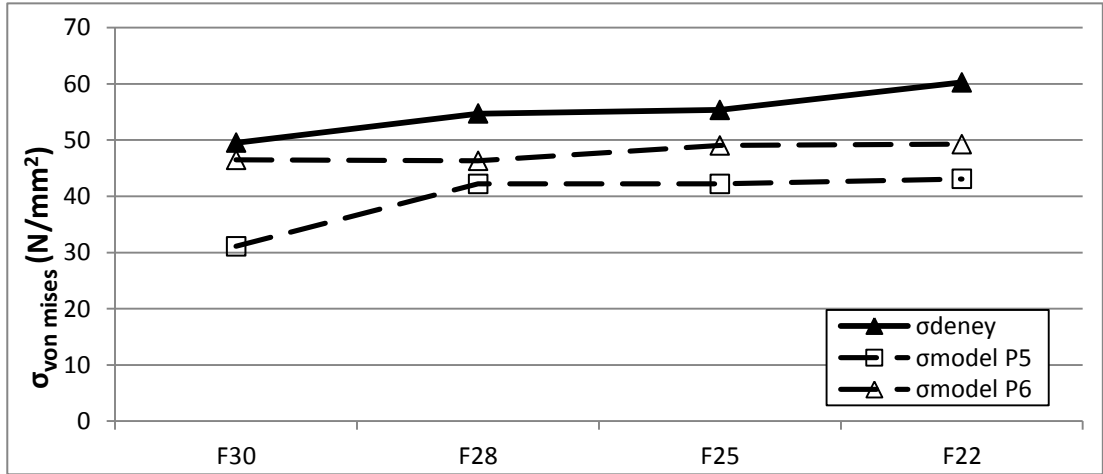
Noktalar Şekil 5.103’de gösterilmiştir. Noktaların von Mises gerilmeleri değerlerinin grafiği Şekil 5.104’te verilmiştir. Bu grafik ile noktalardaki değerlerin eğilimi düşüşte olduğu görülmüştür. Formül modelinden sonra çıkan değerlerin grafiği ile deney sonuçlarının grafiği Şekil 5.105’de gösterilmiştir.



Şekil 5.103: U2 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri.



Şekil 5.104: U2 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerleri.



Şekil 5.105: U2 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması.

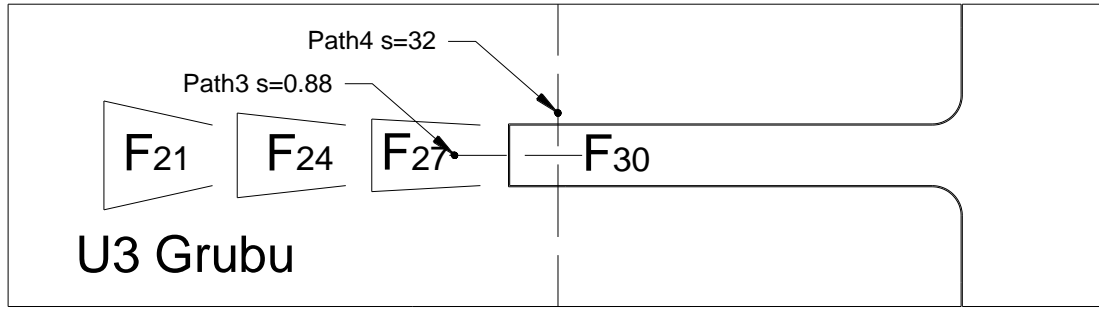
Şekil 5.105’de görüldüğü gibi Ansys modelindeki noktalarda çıkan gerilmeler ile deney sonuçları grafiği eğilimi artış şeklindedir.

U3 grubu kopma kuvveti ve kopma basıncı Tablo 5.12’de verilmiştir.

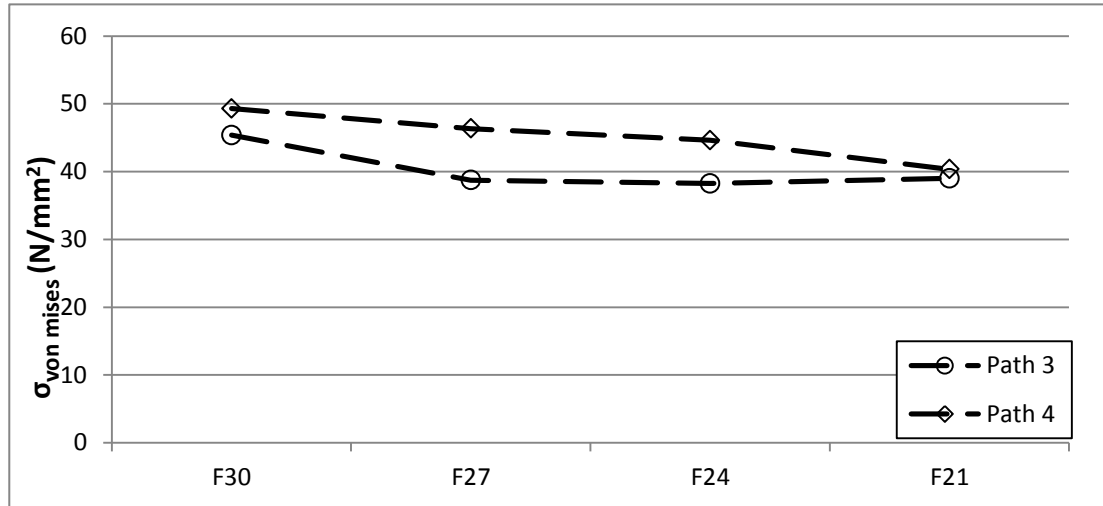
Tablo 5.12: U3 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.

U3 Grubu	Fxx	a (mm)	b (mm)	Çekme deneyi sonucu	
				Kopma kuvveti (kN)	Kopma basıncı (MPa)
	F30	18	0	29.71	49.52
	F27	18	1	30.73	51.22
	F24	18	2	31.15	51.92
	F21	18	4	31.28	52.13

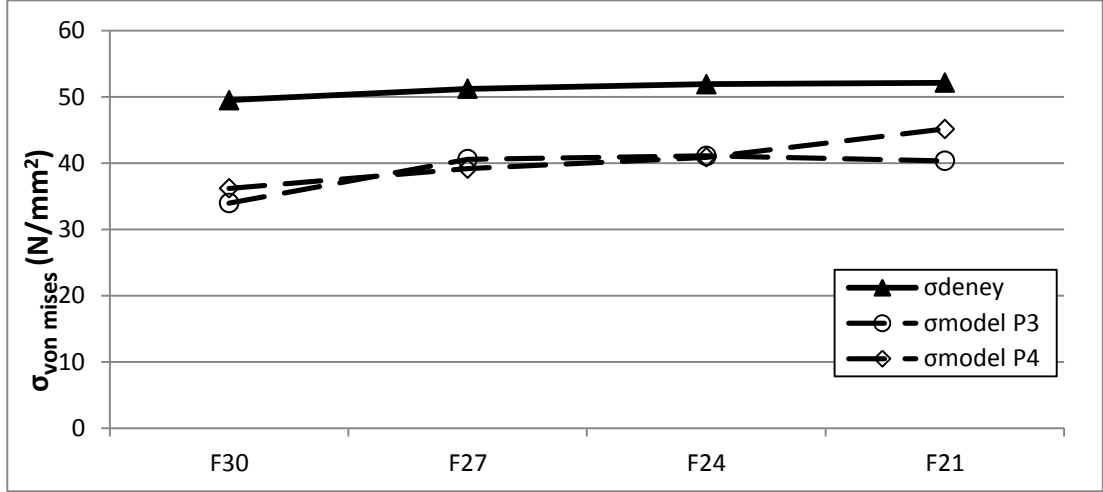
Noktalar Şekil 5.106 ‘da gösterilmiştir. Noktaların von Mises gerilmeleri değerlerinin grafiği Şekil 5.107’de verilmiştir. Bu grafik ile noktalardaki değerlerin eğilimi düşüştü olduğu görülmüştür. Formül modelinden sonra çıkan değerlerin grafiği ile deney sonuçlarının grafiği Şekil 5.108’de gösterilmiştir.



Şekil 5.106: U3 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri.



Şekil 5.107: U3 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerleri.



Şekil 5.108: U3 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması. Şekil 5.108’de görüldüğü gibi Ansys modelindeki noktalarda çıkan gerilmeler ile deney sonuçları grafiği eğilimi artış şeklindedir.

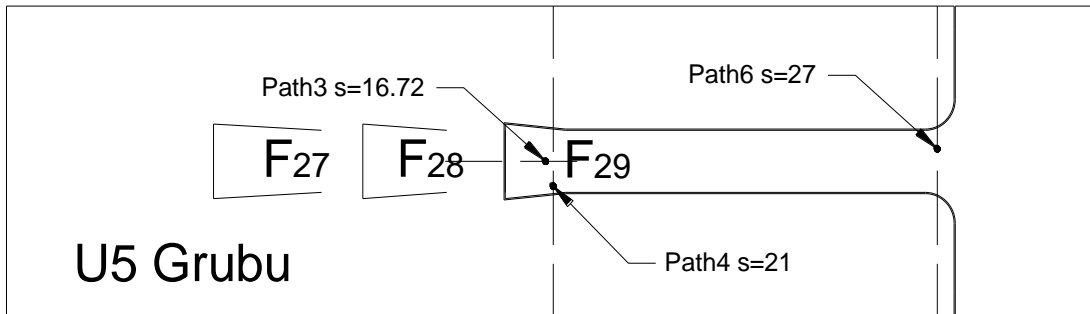
U4 grubu aynı uç geometrisine sahip F30’dan oluştuğu için incelenmemiştir.

U5 grubu kopma kuvveti ve kopma basıncı Tablo 5.13’te verilmiştir.

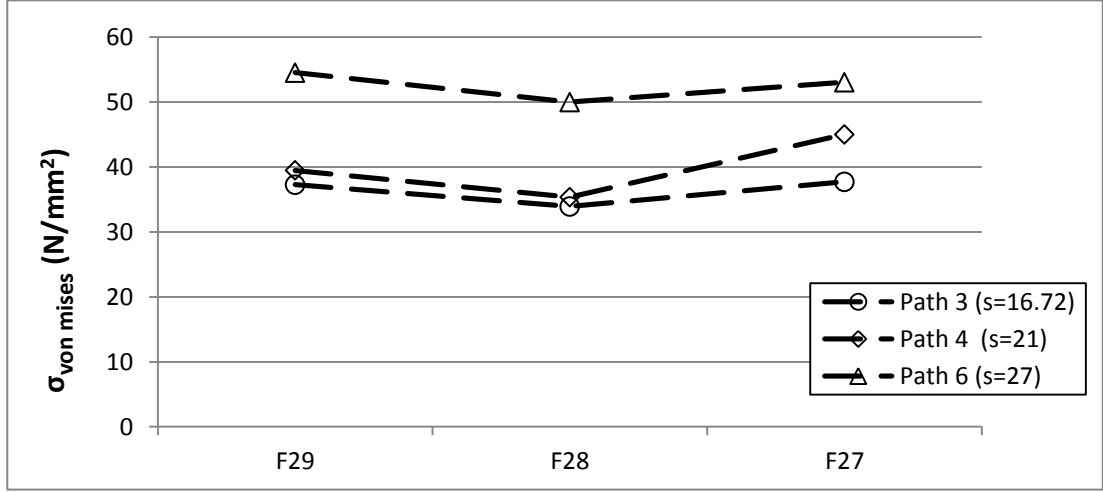
Tablo 5.6: U5 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.

U5 Grubu	Fxx	a (mm)	b (mm)	Çekme deneyi sonucu	
				Kopma kuvveti (kN)	Kopma basıncı (MPa)
	F29	10	1	31.54	52.58
	F28	14	1	32.82	54.71
	F27	18	1	30.73	51.22

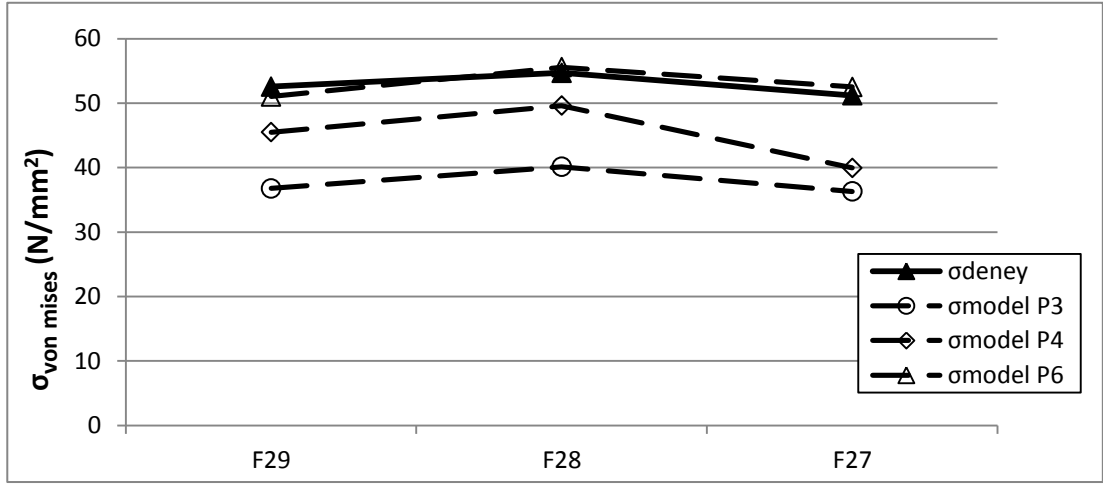
Noktalar şekil 5.109’da gösterilmiştir. Noktaların von Mises gerilmeleri değerlerinin grafiği Şekil 5.110’da verilmiştir. Bu grafik ile noktalardaki değerlerin eğilimi önce azalış sonra artış olduğu görülmüştür. Formül modelinden sonra çıkan değerlerin grafiği ile deney sonuçlarının grafiği Şekil 5.111’de gösterilmiştir.



Şekil 5.109: U5 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri.



Şekil 5.110: U5 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme.



Şekil 5.111: U5 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması.

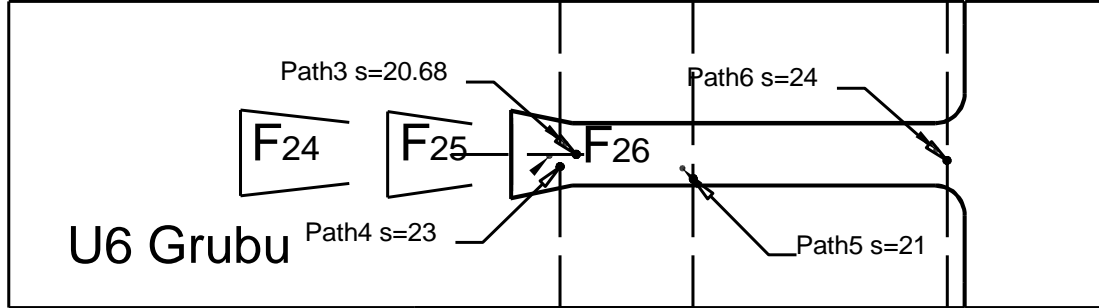
Şekil 5.111’de görüldüğü gibi (üstteki) Ansys modelindeki noktalarda çıkan gerilmeler ile deney sonuçları grafiği eğilimi önce artış şeklinde olup sonra düşüş görülmektedir.

U6 grubu kopma kuvveti ve kopma basıncı Tablo 5.14’te verilmiştir.

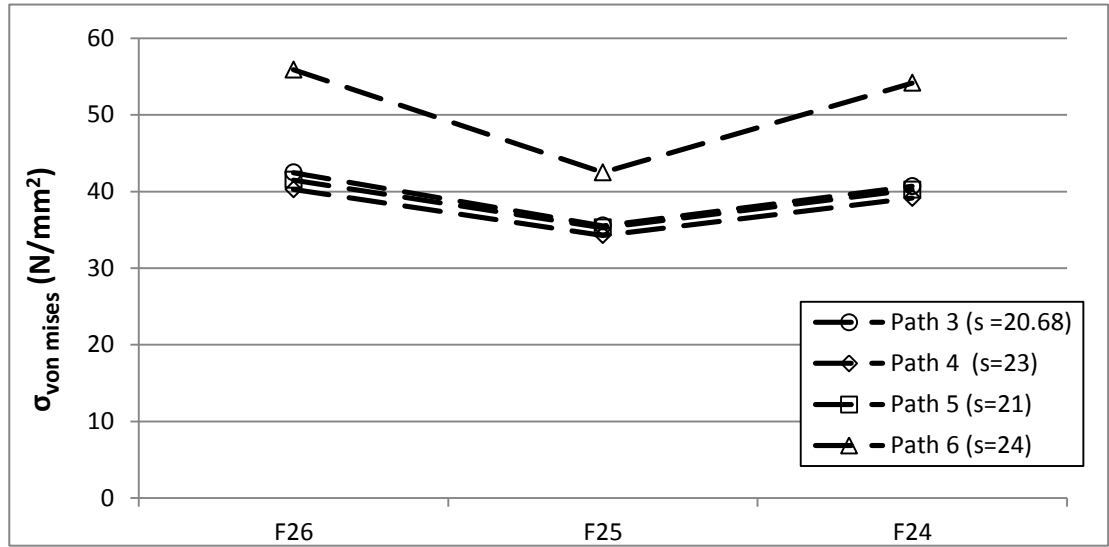
Tablo 5.14: U6 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı.

U6 Grubu	Fxx	a (mm)	b (mm)	Çekme deneyi sonucu	
				Kopma kuvveti (kN)	Kopma basıncı (MPa)
	F26	10	2	31.45	52.42
	F25	14	2	33.21	55.35
	F24	18	2	31.15	51.92

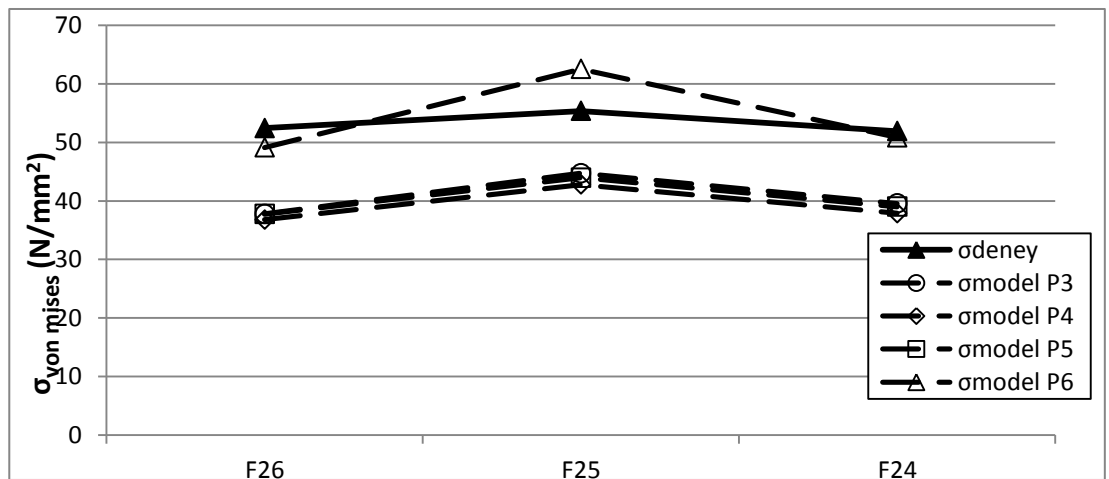
Noktalar Şekil 5.112’de gösterilmiştir. Noktaların von Mises gerilmeleri değerlerinin grafiği Şekil 5.113’te verilmiştir. Bu grafik ile noktalardaki değerlerin eğilimi önce azalış sonra artış olduğu görülmüştür. Formül modelinden sonra çıkan değerlerin grafiği ile deney sonuçlarının grafiği Şekil 5.114’te gösterilmiştir.



Şekil 5.112: U6 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri.



Şekil 5.113: U6 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerleri.



Şekil 5.114: U6 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması.

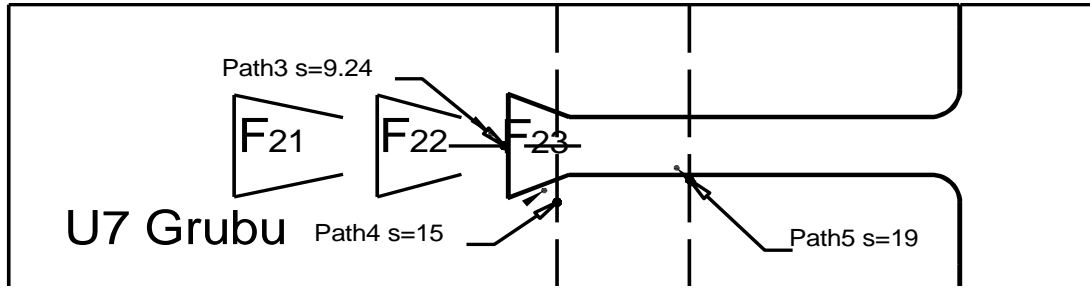
Şekil 5.114'te görüldüğü gibi Ansys modelindeki noktalarda çıkan gerilmeler ile deney sonuçları grafiği eğilimi önce artış şeklinde olup sonra düşüş görülmektedir.

U7 grubu kopma kuvveti ve kopma basıncı Tablo 5.15'de verilmiştir.

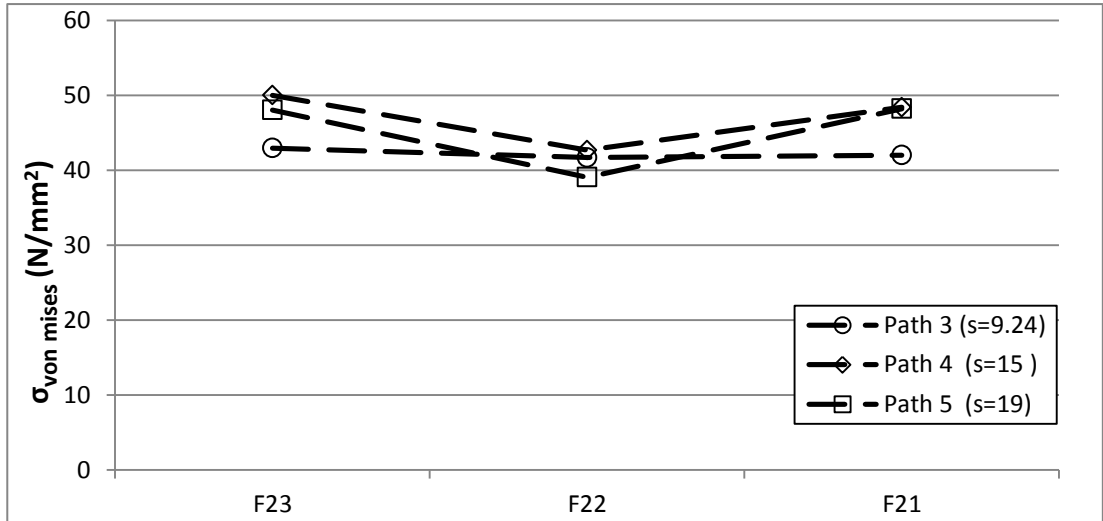
Tablo 5.15: U7 grubu kopma kuvvetleri ve kesit alanda oluşan kopma basıncı

U7 Grubu	Fxx	a (mm)	b (mm)	Çekme deneyi sonucu	
				Kopma kuvveti (kN)	Kopma basıncı (MPa)
	F23	10	4	31.74	52.91
	F22	14	4	36.15	60.25
	F21	18	4	31.28	52.13

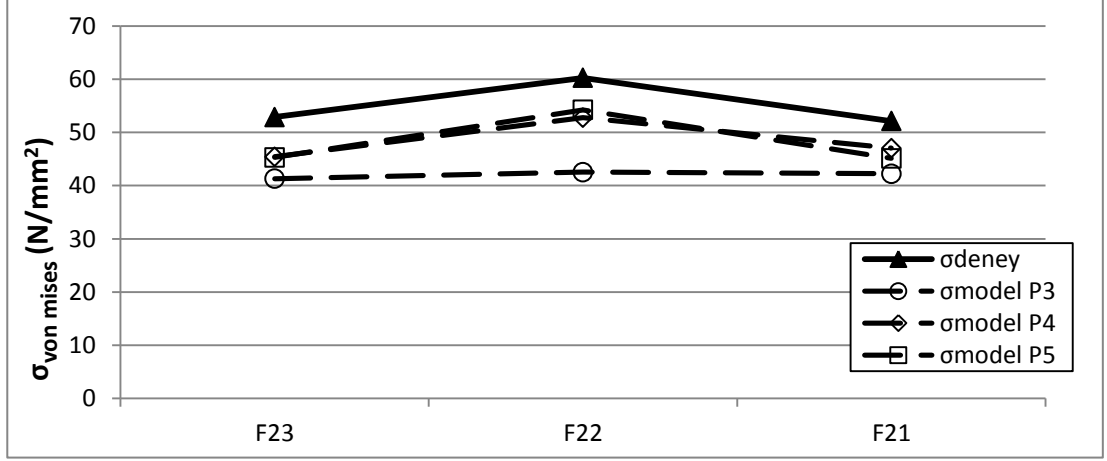
Noktalar Şekil 5.115 'de gösterilmiştir. Noktaların von Mises gerilmeleri değerlerinin grafiği Şekil 5.116'da verilmiştir. Bu grafik ile noktalardaki değerlerin eğilimi önce azalış sonra artış olduğu görülmüştür. Formül modelinden sonra çıkan değerlerin grafiği ile deney sonuçlarının grafiği Şekil 5.117'de gösterilmiştir.



Şekil 5.115: U7 grubu Ansys modellerindeki ortak noktaların yerleri.



Şekil 5.116: U7 grubu Ansys modellerindeki noktaların gerilme değerleri.



Şekil 5.117: U7 grubu deney sonuçları ile formül değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.117’de görüldüğü gibi Ansys modelindeki noktalarda çıkan gerilmeler ile deney sonuçları grafiği eğilimi önce artış şeklinde olup sonra düşüş görülmektedir.

5.3.3 Ansys modelinde bir doğru boyunca çıkan sonuçların süreklilik analizi

Ansysde sonuçların doğruluğu kontrol etmek için kuvvetin sürekliliğine bakılabilir. Burada F09 numune modelinin path4 ve path5 doğruları üzerindeki gerilmelere bakılmıştır. Gerilmelerin belirlenen path boyunca yani y dikey eksenı boyunca değişimi doğrusal olmadığından her bir veri noktasındaki gerilme için bir kuvvet belirlenir. Bu kuvvet o noktanın kesiti boyunca etki eder.

$$\sigma = F / A \quad (5.2)$$

Formülündeki A kesit alanı temsil etmektedir ve

$$A = x * t \quad (5.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada x numune genişliğini ve t numune kalınlığını göstermektedir. Bu boyutlardan x genişlik boyunca gerilmelerin değişimi sabit değildir ve gerilmelere karşılık gelen kuvvetleri noktasal belirtmek gerekir. Noktasal alan tanımlanır ve bu alan boyunca etkiyen kuvvetlerin toplamı da uygulanan kuvveti verecektir. Burada noktasal alan x genişliğinde seçilen küçük bir nokta yani $x_{\text{birim}} = 1$ mm ve $t = 12$ mm olduğundan noktasal alan $x_{\text{birim}} * t = 12 \text{ mm}^2$ olur. Bu alana etkiyen kuvvetler bulunur ve toplanır.

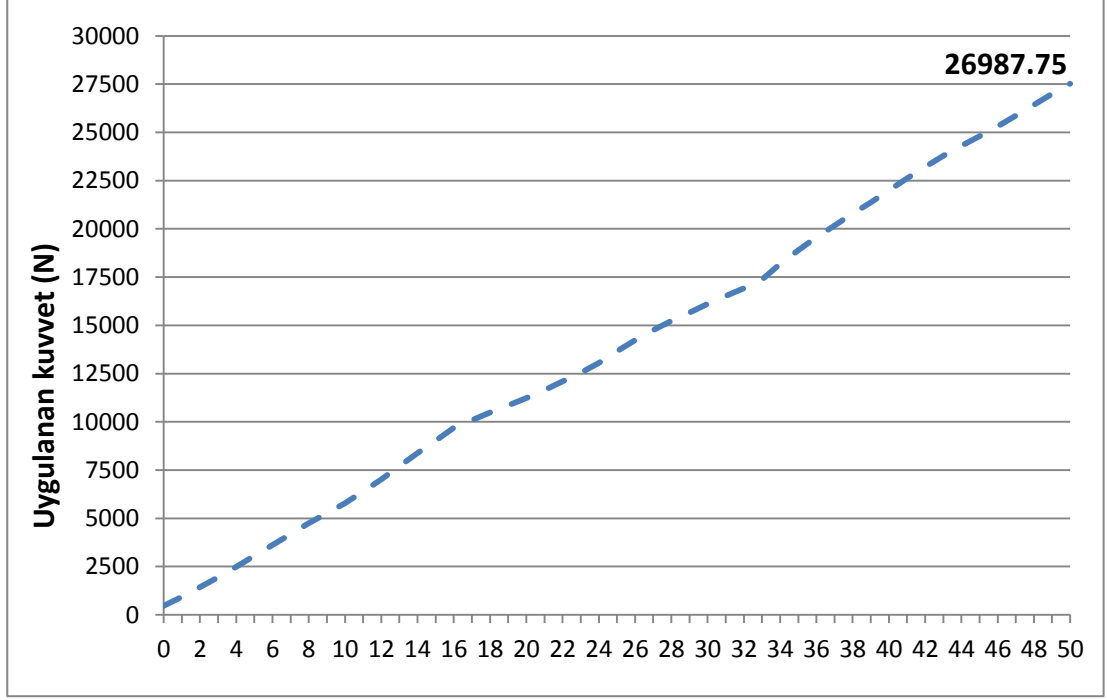
Tablo 5.16: Path 4 üzerinden alınan değerler ve süreklilik işlemleri.

Veri noktaları	Gerilme (MPa)	Kuvvet (N)	Seri Toplamı
1	38.73	464.81	464.81
2	39.28	471.35	936.16
3	41.01	492.16	1428.32
4	42.93	515.17	1943.49
5	45.09	541.04	2484.53
6	47.59	571.10	3055.64
7	47.17	565.98	3621.62
8	46.94	563.30	4184.92
9	46.50	558.05	4742.97
10	43.43	521.11	5264.08
:	:	:	:
37	55.31	663.73	19556.30
38	51.88	622.57	20178.87
39	50.14	601.70	20780.57
40	49.61	595.31	21375.88
41	51.41	616.91	21992.79
42	51.44	617.32	22610.11
43	49.63	595.60	23205.71
44	48.20	578.42	23784.12
45	44.06	528.73	24312.85
46	40.87	490.47	24803.32
47	43.20	518.37	25321.69
48	45.29	543.45	25865.15
49	47.20	566.39	26431.53
50	46.35	556.22	26987.75

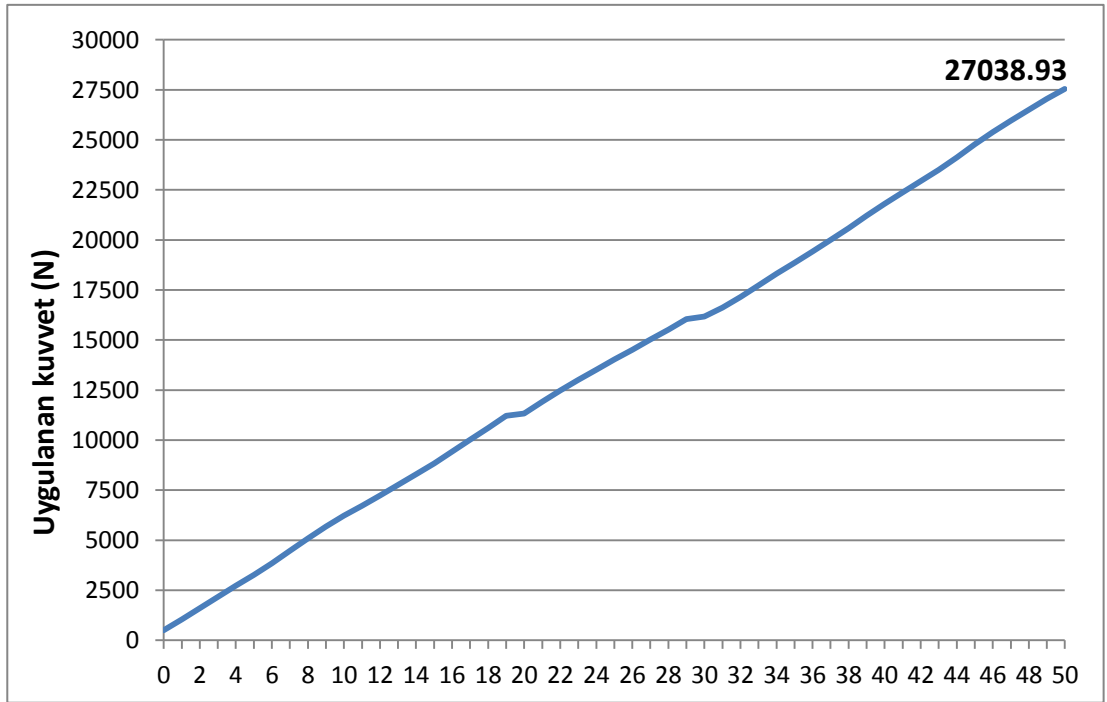
Tablo 5.16’da x genişliği boyunca 1 mm’lik küçük parçalar alınacağı belirlendiği için 50 mm / 1 mm ‘den 50 adet veri alınmış olur ki Ansys pathlerinde de 50 adet veri noktasına karşılık gelen gerilmeler ölçülmüştür ve bu değerler yazılmış aynı zamanda hesaplamaları yapılmıştır. Şekil 5.118’de toplamın grafiği çizdirilmiştir. Benzer şekilde Tablo 5.17’de verilen değerler işleme alınmış ve grafikte çizdirilmiştir. Şekil 5.119’daki grafikte eşitliğin sağlandığı gösterilmiştir.

Tablo 5.17: Path 5 üzerinden alınan değerler ve süreklilik işlemleri.

Veri noktaları	Gerilme (MPa)	Kuvvet (N)	Seri toplamı
1	41.86	502.34	502.34
2	44.86	538.32	1040.67
3	47.09	565.10	1605.77
4	46.69	560.24	2166.01
5	45.81	549.68	2715.69
6	45.40	544.77	3260.46
7	48.88	586.58	3847.05
8	51.28	615.32	4462.37
9	52.11	625.33	5087.70
10	49.22	590.64	5678.34
:	:	:	:
36	45.88	550.57	18864.79
37	46.20	554.40	19419.19
38	47.41	568.87	19988.06
39	50.13	601.61	20589.66
40	51.09	613.04	21202.70
41	49.67	596.05	21798.75
42	47.74	572.91	22371.66
43	47.06	564.77	22936.43
44	46.12	553.42	23489.85
45	51.94	623.26	24113.11
46	54.82	657.84	24770.95
47	51.16	613.91	25384.86
48	48.11	577.34	25962.20
49	45.73	548.74	26510.94
50	44.00	527.99	27038.93



Şekil 5.118: Path 4 kuvvet sürekliliği.

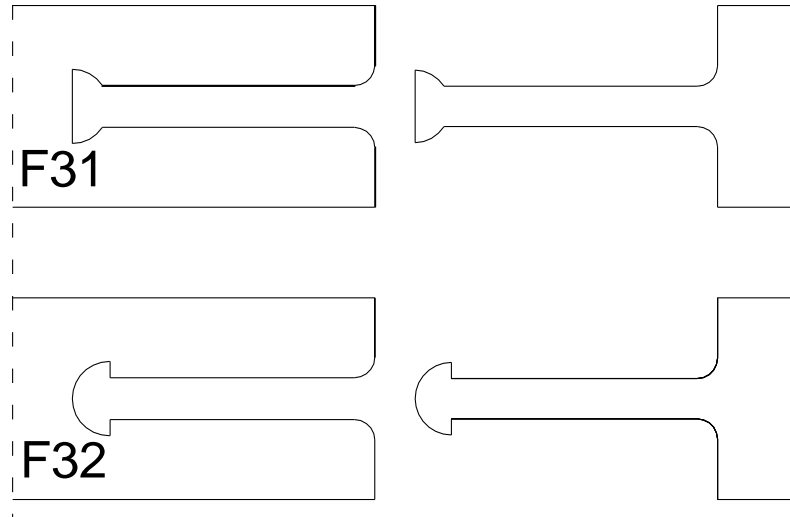


Şekil 5.119: Path 5 kuvvet sürekliliği.

Grafiklerde görüldüğü üzere veri noktalarındaki gerilmelerde ani artma ve azalma bölgesi az olduğundan doğrusal grafiğe yakın bir eğilim bulunmaktadır.

6. FARKLI UÇ GEOMETRİSİNDEKİ SON DENEYLER

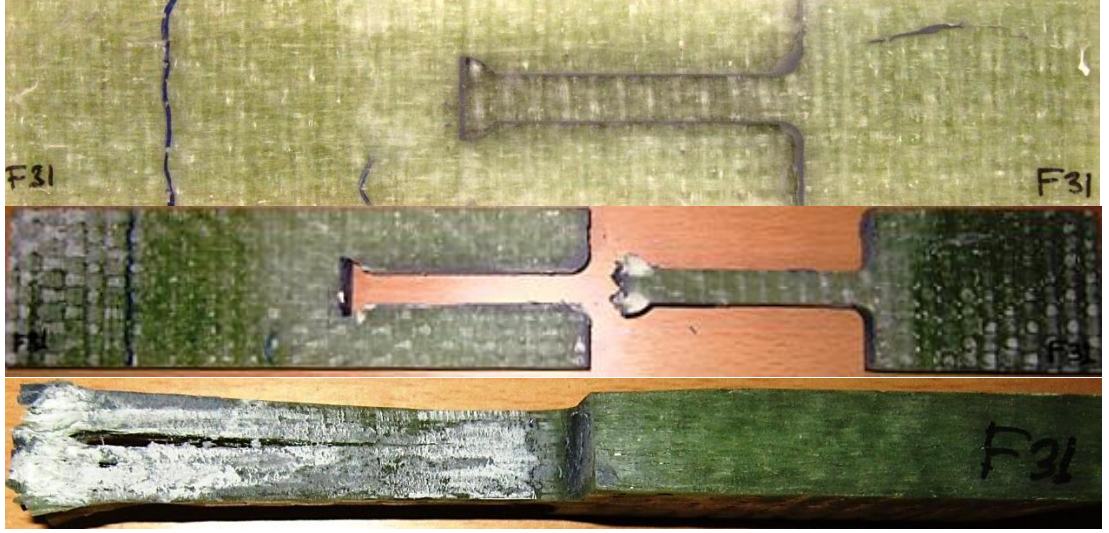
Dairesel ve üçgen formların dışında yarım daireden oluşan uç geometrisine sahip numuneler hazırlanmış ve deneyi yapılmıştır. Bu geometrilerin seçilmesinde kullanılan tasarımlara yakınlık göz önüne alınmış ve karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 6.1’de parametre ve sonuçları verilmiş, Şekil 6.1’de çizimleri ve Şekil 6.2, Şekil 6.3’te deney öncesi ve sonrası durumları görülmektedir.



Şekil 6.1: F31 ve F32 numuneleri.

Tablo 6.1: Son grup ve sonuçlar.

Fxx	a (mm)	b (mm)	Çekme deneyi sonucu (kN)
F31	9	4	35.88
F32	9	4	34.03



Şekil 6.2: Deney öncesi F31 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.

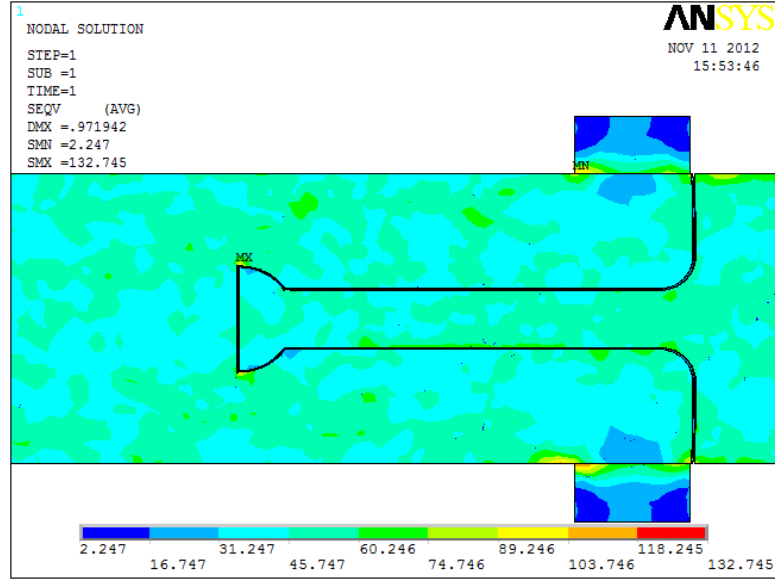


Şekil 6.3: Deney öncesi F32 numunesi ve deney sonrası oluşan hasarlar.

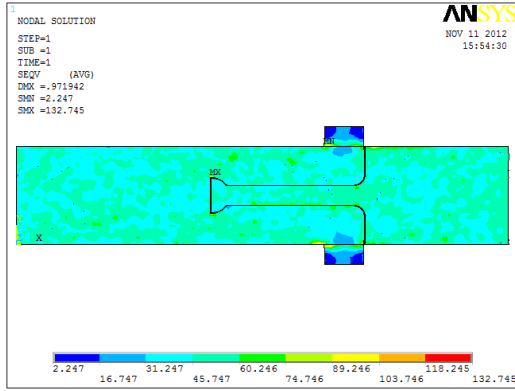
Bu iki numune arasındaki farklılık yarım dairenin ters yönlü olmasıdır. Ters yönlü yarım daire F32 numunesi, dik kenarı kuvvet taşımış ancak delaminasyon daha erken görülmüştür. Yani dayanımı daha düşüktür. Neden olarak oluşacak çentik etkisi ve keskin köşeden dolayı tabakalar arası ayrılma eğilimi kabul edilebilir.

6.1 Son Deneylerin Ansys Analizi

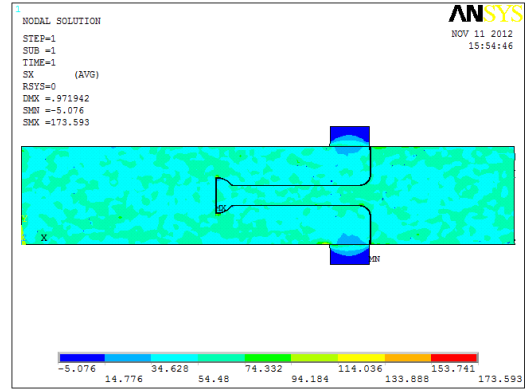
F31 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 31590 eleman sayısı 198572'dir. Şekil 6.4'te von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 6.5'te normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Maksimum gerilmeler uç geometrisi bölgesinde, u profil temas noktası, u profil ve dil parçasının radüslü olan bölgede meydana gelmiştir.



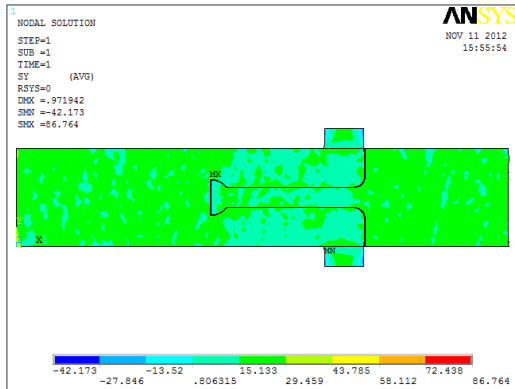
Şekil 6.4: F31 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



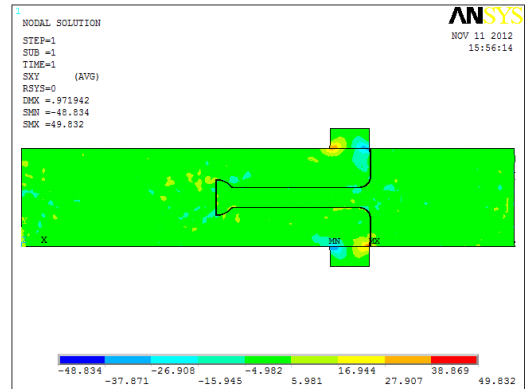
(a)



(b)



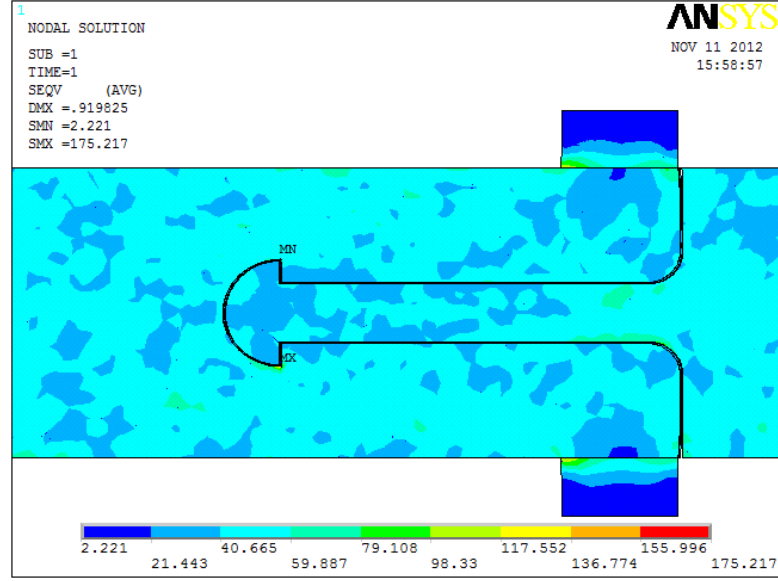
(c)



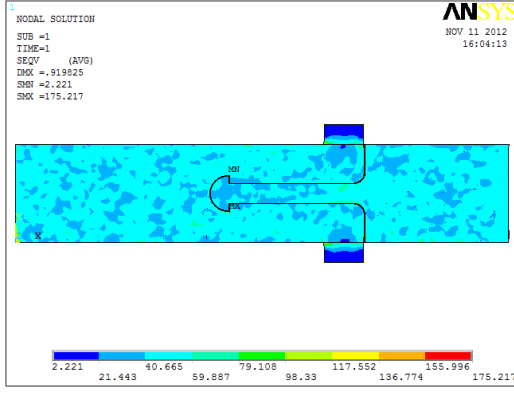
(d)

Şekil 6.5: F31 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

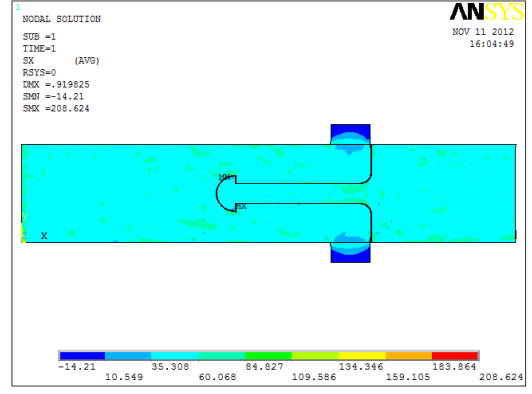
F32 numunesinin mesh modelinde düğüm sayısı 32902 eleman sayısı 200432'dir. Şekil 6.6'da von Mises gerilmesi yakın görünüm ve Şekil 6.7'de normal ve kayma gerilmeleri renklendirme ile gösterilmiştir. Burada farklı olarak U profil, U profil temas bölgesinde ve dil parçasının radyüslü bölgesinde yine gerilme oluşmuştur. Ancak gerilmeler uç geometrisi etrafında toplanmış ve maksimum gerilmeler burada oluşmuştur. Bu da dayanımı etkilemiştir.



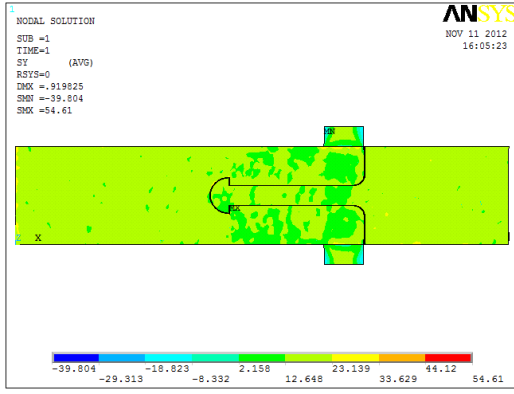
Şekil 6.6: F32 von Mises gerilmesi yakın görünüm.



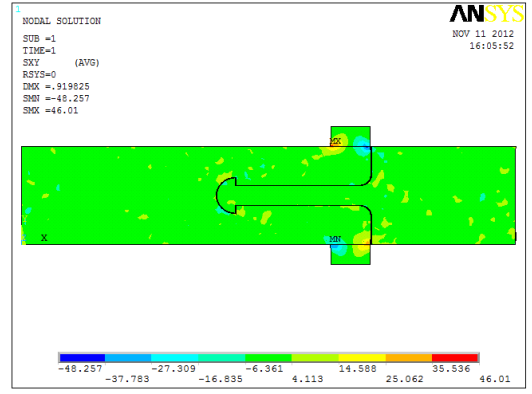
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6.7: F32 analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada tasarlanan farklı uç geometrilerinin, dil uzunluğu sabit tutularak, parametrik olarak değiştirilmesiyle kompozit ana malzeme bağlantılarında dayanım arttırılmaya çalışılmıştır. Bu dayanım aksenal statik çekme deneyi aracılığıyla ölçülmüş, ayrıca Ansys 12.1 sonlu elemanlar programıyla modellemeler yapılarak hasar tahminleri ve gerilme analizleri yapılmıştır. Bu çalışmaların ardından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Dairesel uç geometrili numunelerde a parametresinin sabit olup b parametresinin değiştiği gruplarda (D1, D2, D3) b arttıkça bağlantı dayanımı artmıştır. Uç bölgesinde dil genişliği aşan kısım artması sonucu mekanik tutunma oluşturup bağlantı dayanımı arttırdığı görülmüştür.
- Dairesel uç geometrili numunelerde b parametresinin sabit olup a parametresinin değiştiği gruplarda (D4, D5, D6, D7) a arttıkça bağlantı dayanımı artmıştır. Uç geometrisinde elips şeklinin dikey çapı sabit olduğundan yatay çapı artışıyla bu dayanım artışının olduğu görülmüştür. Dikey çap yatay çaptan ne kadar büyük olursa dayanım orantılı olarak düşer.
- D4 grubunda b parametresi 0 mm ve c parametresi 10, 14, 18 mm değerlerine göre hazırlanan numunelerin deneylerinden sonra c = 18 mm b = 0 mm olan numune (F18) daha iyi dayanım göstermiştir. Buna bağlı olarak b = 0 mm alındığında, elips şeklinin yatay çapının büyük olması dayanımı arttırmaktadır.
- Üçgen uç geometrili numunelerde c parametresinin sabit olup d parametresinin değiştiği gruplarda (U1, U2, U3) d arttıkça bağlantı dayanımı artmıştır. Burada da mekanik tutunma görülmüştür. Ancak d parametresinin artışına bağlı olarak mekanik dayanımda sürekli bir artış görülmemektedir.
- Üçgen uç geometrili numunelerde d parametresinin sabit olup c parametresinin değiştiği gruplarda (U5, U6, U7) c arttıkça bağlantı dayanımı artmış ancak c = 14 noktasında maksimum olmuş ve sonra düşüş

görülmüştür. Burada c parametresinin artışına rağmen dayanımdaki azalmanın nedeni olarak kompozit malzemelerde oluşan hasar mekanizmasının uç geometrisindeki eğime göre farklı davranışlar gösterdiği söylenebilir.

- Son deneyler yarım daire uç formuna sahip numunelerin (F31, F32) sonuçları incelendiğinde dairesel ve üçgen uç formuna sahip numunelerde dayanımın en yüksek olduğu sonuçları ile yaklaşık değerlerde olduğu görülmüştür. Özellikle F31 numunesi için uç geometrisinde, yarım dairenin düz olan bölgesinin dayanıma etkisinin olmadığı görülmüştür.
- Dil üzerinde herhangi bir geometrik profil oluşturulmadığı takdirde 75 mm yapıştırıcı uzunluğunda maksimum dayanım 18 kN civarında olmaktadır. Aynı uzunlukta üçgensel uç profili kullanıldığında dayanım 36 kN. Dairesel uç profili kullanıldığında 33 kN olmuştur. Kısaca dairesel uç profilinde 1.8 kat üçgensel uç profilinde 2 kat bir artış gözlemlenmiştir.

Yukarıdakilere ilave olarak ana malzemenin yani kompozit malzemenin üretiminde cam elyaf katmanların iyi yapışmış olmasına dikkat edilmelidir. Üretim yöntemi de buna göre seçilmeli ve uygun cihazlar kullanılmalıdır. Yapıştırma işleminde, yapıştırılacak malzemenin kesimi sonrası tasarlanan yapıştırma boşluğunun doldurulması ve belirlenen ölçülerde kalması önemlidir. Bu işlemin elle yapılmasından dolayı gerek boşluk toleranslarına gerekse geometrik toleranslara dikkat edilmelidir. Yapıştırma işlemi sonrası kuruduktan sonra numuneler üzerindeki fazla yapıştırıcının temizliği sırasında da hassas işlem yapılmalı ana malzemeye yani birleştirilen parçalara dikkat edilmelidir. Bu çalışmada kompozit kompozit birleştirme yapılmıştır. Dil veya oluk profilinde farklı malzemelerin kullanılması durumunda dayanımda artış olacağı düşünülmektedir. Kopmaların bir kısmı dil profili üzerinde katmanlar arası (inter lamina) açılma sonucu oluşmuştur. Özellikle dil malzemesinde metal kullanılması faydalı olacağı düşünülmektedir.

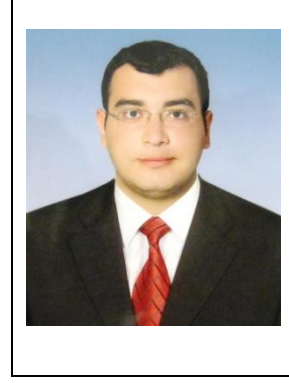
KAYNAKLAR

- Adams, R.D. Comyn, J. Wake, W. C.,** 1997. Structural Adhesive Joints in Engineering. Chapman & Hall, London.
- Adamson, B.P., Fox, B.L.** 2009. An evaluation of the performance of advanced mended composite joints *Composite Structures* Volume 92, Issue 9 Pages 2071-2076
- Aran, A.,** 1990. Elyaf takviyeli karma malzemeler. İstanbul: İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi.
- ASTM,** Definition of Terms Relating To Adhesives, 1974.
- Ateş, C.,** 2006. Kompozit malzemeler ders notu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Bahei-El-Din, Y.A. and Dvorak, G.J.,** 2000. New designs of adhesive joints for thick composite laminates *Composites Science and Technology* 61 (2001) 19-40
- Campilho, R.D.S.G., deMoura, M.F.S.F., Ramantani D.A., Morais J.J.L., and Dominues, J.J.M.S.,** 2009. Tensile behaviour of three dimensional carbon epoxy adhesively bonded single- and double-strap repairs, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 29, 678-686
- Canyurt, O.E, Meran, C. and Uslu, M.,** 2010. Strength estimation of adhesively bonded tongue and groove joint of thick composite sandwich structures using genetic algorithm approach. . *International Journal of Adhesion & Adhesives* 30 281–287
- Chikahiro, O. Hiroyuki, K. Yasuhiro, T. Ikuya, W.,** 2005. Shear bond strength of resin composite to magnetic Fe-Pt alloy, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, Volume 93, Issue 5, Pages 478-482.
- Çalık, A.,**2009. Yapıştırıcılar ve köşeleri yuvarlatılmış basamaklı bindirme yapıştırıcı bağlantılarda gerilme analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak.
- Çitil, Ş.,** 2010. Kapakları parça içine gömülü çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Erzurum
- Dean Minford J.,** 1993. Handbook of Aluminum Bonding Technology and Data
- Deborah, D. L. Chung,** 2009. Composite Materials Science and Applications, *Second Edition*, Springer
- Dvorak, G. Zhang, J. and Canyurt O.E.,** 2001. Adhesive tongue and groove joints for thick composite laminates. *Composite Science and Technology*, 61(8): 1123–1142.

- Erbil, C.**, 2005. Cam elyafli kompozit malzemelerin korozif ortamda yorulması, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, İzmir
- Engin, A.**, 2003. Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Bindirme Bağlantılarında Hasar Bölgesi Oluşumu ve Gelişiminin incelenmesi. *Doktora Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- G. Kotsikos, J.T Evans, A.G Gibson, J.M Hale**, 2000. Environmentally enhanced fatigue damage in glass fibre reinforced composites characterised by acoustic emission, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Volume 31, Issue9, Pages 969–977.
- Güneş, R. , Apalak, M.K. and Yıldırım, M.**, 2007. The free vibration analysis and optimal design of an adhesively bonded functionally graded single lap joint. *International Journal of Mechanical Sciences* 49: 479–499.
- Habenicht, G.**, 2009. Applied Adhesive Bonding: A Practical Guide for Flawless Results WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Hammami, A. Al-Ghuilani N.**, 2004. Durability and Environmental Degradation of Glass-Vinylester Composites , *Society of Plastics Engineers*, Vol.25, No.6.
- Hart-Smith L J.**, 1974 . Analysis and Design of Advanced Composite Bonded Joints, *NASA Langley Contract Report NASA CR-2218*, January 1973; reprinted
- Ichikawa, K. Shin Y, Sawa T.**, 2009. A Three-Dimensional Finite Element Stress Analysis and Strength Prediction of Stepped-lap Adhesive Joints of Dissimilar Adherends Subjected to Bending Moments. *Ace-x Abstract Book*, Page 86.
- İşcan, B. Adin, H. ve Turgut, A.**, 2009. Yapıştırıcı malzeme ile birleştirilmiş z tipi bağlantılarda bindirme mesafesinin etkisi, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, Türkiye
- Karakaya, Ş. Soykasap, Ö.**, 2008. Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Tek Bindirmeli Dokümalı Kompozit Yapıların Eğilme Hasarı, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (2) 43-52
- Kaw, A. K.** 1997. Mechanics of composite materials. New York: CRC Press
- Kilic, B. , Madenci, E. and Ambur D.R.**, 2005. Influence of adhesive spew in bonded single-lap joints. *Engineering Fracture Mechanics*, Volume 73, pp.1472–1490.
- Kim, K.S. , Yi, Y.M, Cho, G.R. and Kim C-G.**, 2007. Failure prediction and strength improvement of uni-directional composite single lap bonded joints. *Composite Structures*, Volume 82, Issue 4, Pages 513–520.
- Kodakoğlu L.**, 1996. Yapıştırıcıların Genel Özellikleri ve Çekme Gerilmesine Maruz Yapışma Birleşmesinin Analitik ve Nümerik Olarak İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dan. Kotil T. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Türkiye, 139 s.

- Li, W. Blunt, L. and Stout K.J.** 1999. Stiffness analysis of adhesive bonded Tee joints. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, Volume 19, pp. 31- 320.
- Loctite European Group**, 1998. Worldwide Design Handbook, Düzeltilmiş 2. Baskı, Erasmusdruck GmbH Mainz, Almanya.
- Mallick P.K.** 2001. Composites Engineering Handbook, First edition
- Melogramaa, J.D. Grenestedt, J.L. and Maroun W.J.**, 2003. Adhesive tongue and groove joints between thin carbon fiber laminates and steel. *Composites: Part A*, Volume 34, pp. 119–124
- Mortensen, F., Thomsen, O.T.**, 2002. Analysis of adhesive bonded joints, Aunified approach. *Composites Science and Technology*, Volume 62, 1011–1031.
- Mouritz, A.P. Gellert, E. Burchill P. and Challis K.**, 2001. Review of advanced composite structures for naval ships and submarines *Composite Structures*, Volume 53(1):21–41, pp. 647–656.
- Sheppard, A. Kelly, D. and Tong, L.** 1998. A damage zone model for the failure analysis of adhesively bonded joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 18, Pages 385–400.
- Taib, A.A. , Boukhili, R. , Achiou, S. , Gordon, S. and Boukehili H.**, 2006. Bonded joints with composite adherends. Part I. Effect of specimen configuration, adhesive thickness, spew fillet and adherend stiffness on fracture. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, Volume 26, pp. 226–236
- Taib A. A. , Boukhili R. , Achiou S. , Boukehili H.**, 2006. Bonded joints with composite adherends. Part II. Finite element analysis of joggle lap joints *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 26, Issue 4, July, Pages 237–248
- Temiz, Ş. Aydın, M.D. Özel, A., Sancaktar, E.**, 2009. Increasing Single Lap Joint Strength by Adherend Curvature Induced Residual Stresses. *Ace-x Abstract Book*, Page 37.
- Topçu, M., Altan, G., and Ergun, E.**, 2007. An Experimental Investigation On Damage Loads Of Butterfly Joints In Composite Structures. *Advanced Composites Letters*, 16: 197-203
- Uslu, M.**, 2010. Kalın Woven Kompozit Laminelerde Dil ve Oluk Birleştirme Tekniği ile Yapıştırma ve Dayanımı Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Denizli
- Xiaocong He.**, 2011 A review of finite element analysis of adhesively bonded joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 31, Issue 4, June, Pages 248–264

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: ADİL NADİR KAPLANSEREN

Doğum Yeri ve Tarihi: DENİZLİ, 25.10.1986

Lisans Üniversitesi: PAMUKKALE ÜNİ. MAKİNE MÜH. BÖLÜMÜ

Lisans öğrenimini 2004 – 2008 yılları arasında yapmıştır. Bir süre Denizli’de iş makinaları ekipmanları üretimi fabrikasında üretim mühendisi olarak çalışmıştır. Sonra otomotiv sektöründe bir yetkili serviste servis mühendisi olarak çalışmaya devam etmiştir. Halen bir otogaz dönüşüm firmasında çalışmaktadır. Otomotiv sektörüne geçişin arkasından yüksek lisans eğitimine başlamış ve aynı zamanda 2011FBE041 nolu PAÜ BAP yüksek lisans tez projesinde çalışmıştır.