

**KALIN WOVEN KOMPOZİT LAMİNELERDE DİL VE OLUK
BİRLEŞTİRME TEKNİĞİ İLE YAPIŞTIRMA VE DAYANIMI
ETKİLEYEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Mine USLU

Danışman: Doç. Dr. O. Ersel CANYURT

**Aralık, 2010
DENİZLİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Mine USLU tarafından Doç. Dr. O. Ersel CANYURT yönetiminde hazırlanan “**Kalın Woven Kompozit Laminelerde Dil ve Oluk Birleştirme Tekniği İle Yapıştırma ve Dayanımı Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



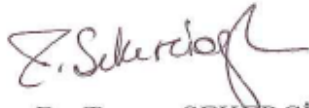
Doç. Dr. O. Ersel CANYURT
Jüri Başkanı



Doç. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ
Jüri Üyesi



Doç. Dr. Hasan ÇALLIOĞLU
Jüri Üyesi



Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU
Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Sema PALAMUTÇU
Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

15 .../12./2010 tarih ve .../31./21. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmayı gerçekleőtirmemde benden maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen, her türlü fedakrlığı gösteren tez danıőmanım Doç. Dr. O. Ersel CANYURT 'a, yüksek lisans eğitimim boyunca çalıőmalarımda bana destek olan ve her zaman yanımda olan aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

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 atfedildiğini beyan ederim.

İmza

Öğrenci Adı Soyadı

:

Mine USLU



ÖZET

KALIN WOVEN KOMPOZİT LAMİNELERDE DİL VE OLUK BİRLEŞTİRME TEKNİĞİ İLE YAPIŞTIRMA VE DAYANIMI ETKİLEYEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Uslu, Mine

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği ABD

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. O. Ersel CANYURT

Aralık 2010, 157 Sayfa

Yapışkanla bağlanmış bağlantıların dayanımı, malzeme, öngerilme, yapıştırma kalınlığı ve yapıştırma boyu gibi birçok faktör etkiler. Tüm bu faktörlerin bağlantı dayanımına etkisi araştırılmalıdır. Bu çalışmada malzeme, ön gerilme, yapıştırma kalınlığı ve dil uzunluğunun bağlantı dayanımına etkileri incelenmiştir. Basit ve etkin tasarımlarla kalın kompozit tabaka malzemenin bağlantı dayanımının artırılması sağlanabilir. İncelenen bağlantı cam-elyaf/vinil ester tabakalardan meydana gelmiştir ve dil oluk geometrisini içerir. Yapılan sonlu elemanlar analizlerinin sonuçları, ön gerilme uygulanan bağlantılarda yapıştırılan kenarlarda yoğun bir kayma ve açılma gerilmesi oluştuğunu göstermektedir ve bu, bağlantı dayanımının artmasına öncülük eder. Dil uzunluğu, ön gerilme, yapıştırma kalınlığı ve çelik, kompozit, alüminyum gibi farklı dil malzemesi kullanılması yapışma dayanımına etki eder. Sonlu elemanlar analiz sonuçları, yanal ön gerilme uygulanması ile bağlantı dayanımında büyük artışlara işaret eder. Uygun tasarım parametreleri seçilerek bağlantı dayanımı önemli bir biçimde artırılabilir.

Anahtar Kelimeler: Kalın kompozitler, sandviç yapılar, yapıştırılmış bağlantılar, gerilme kuvveti dizaynı, dil oluk geometrisi, sonlu elemanlar analizi

Doç. Dr. O. Ersel CANYURT

Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU

Doç. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ

Doç. Dr. Hasan ÇALLIOĞLU

Yrd. Doç. Dr. Sema PALAMUTÇU

ABSTRACT**INVESTIGATION OF PARAMETERS WHICH EFFECT THE BONDING AND STRENGHT ON ADHESIVELY BONDED TONGUE AND GROOVE JOINT OF THICK COMPOSITE SANDWICH**

Mine USLU

M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Professor O. Ersel CANYURT

December 2010, 157 Pages

The bonding strength of adhesives is influenced by many factors such as, the length of bond line, bonding thickness, pre-stress on near the free edges of bond line and material of the joining parts, etc. Since all these factors affect the strength of the adhesively joined parts, the effects of these parameters need to be investigated. In this paper the joint the behavior caused by the material, pre-stress, bonding thickness and the tongue length is investigated. A simple but effective design can considerably improve the joint strength of thick adhesive composite joints. The joint under investigation consists of thick woven E-glass/vinyl ester laminates joined together with tongue and groove geometry. Finite element analysis further confirms that longitudinal tensile loads were applied to the joints, resulting in large concentrated shear and peel stresses near the free edges of bondlines. The bonding clearances, tongue length, pre-stress and using different tongue made of steel/aluminum, composite have an effect on the joint strength. Finite element analysis further confirms that joint strength increases significantly by applying the transverse pre-stress. The joint strength can be significantly improved by selecting appropriate the design parameter values.

Keywords: Thick composites; Sandwich structures; Adhesive bonding; Design Tensile strength, Tongue and groove geometry, finite element analysis

Assoc. Prof. Dr. O. Ersel CANYURT
Assoc. Prof. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU
Assoc. Prof. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ
Assoc. Prof. Dr. Hasan ÇALLIOĞLU
Asst. Prof. Dr. Sema PALAMUTÇU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Yüksek Lisans Tezi Onay Formu.....	i
Teşekkür.....	ii
Bilimsel Etik Sayfası.....	iii
Özet.....	iv
Abstract.....	v
İçindekiler.....	vi
Şekiller Dizini.....	viii
Tablolar Dizini.....	xi
Simge ve Kısaltmalar Dizini.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMALARI.....	3
3. MATERYAL VE METHOD.....	20
3.1. Deney Numuneleri.....	20
3.1.1. Çelik (St37-2).....	22
3.1.2. Alüminyum(5083).....	22
3.1.3. Kompozit malzeme.....	22
3.2. Teknik Cihazlar.....	23
3.2.1. Test cihazı.....	23
3.2.2. Video ekstensometre.....	24
3.3. Kullanılan Yapıştırıcılar.....	26
3.3.1. Loctite Hysol 9464.....	26
3.4. Kullanılan Alet ve Mekanizmalar.....	26
3.4.1. Torkmetre.....	26
3.4.2. Ön yükleme mekanizması.....	27
4. DİL OLUK ÇİFTİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ.....	29
4.1. Modelleme, Malzemenin Tanıtılması ve Yükleme.....	29
4.1.1. Malzeme Tipinin Belirlenmesi.....	29
4.1.2 Malzeme Özellikleri ve Ön Hazırlık.....	33
4.1.3 Malzemenin Modellenmesi.....	33
4.1.4. Modelin Sonlu Elemanlara Bölünmesi.....	34
4.1.5 Yükleme.....	36
4.1.3 Problemin Çözdürülmesi.....	38
5. YAPIŞTIRICI ÜZERİNDE OLUŞAN GERİLME ANALİZLERİ.....	39
5.1. Dil Uzunluğunun Etkisi.....	39
5.1.1. Kompozit – Kompozit Tipi Birleştirmede Dil Uzunluğunun Etkisi.....	39
5.1.2. Kompozit – Çelik Tipi Birleştirmede Dil Uzunluğunun Etkisi.....	44
5.1.3. Kompozit – Alüminyum Tipi Birleştirmede Dil Uzunluğunun Etkisi.....	49
5.2 Yapıştırma Kalınlığının Etkisi.....	53
5.2.1. Kompozit – Kompozit Tipi Birleştirmede Yapıştırma Kalınlığının Etkisi.....	54
5.2.2. Kompozit – Çelik Tipi Birleştirmede Yapıştırma Kalınlığının Etkisi.....	58

5.2.3. Kompozit – Alüminyum Tipi Birleştirmede Yapıştırma Kalınlığının Etkisi	62
5.3 Ön Gerilme Etkisi	67
5.3.1. Kompozit – Kompozit Tipi Birleştirmede Ön Gerilmenin Etkisi	67
5.3.2. Kompozit – Çelik Tipi Birleştirmede Ön Gerilmenin Etkisi	72
5.3.3. Kompozit – Alüminyum Tipi Birleştirmede Ön Gerilmenin Etkisi	77
5.4. Malzemenin Etkisi	80
6. GERİLME ANALİZİ	86
6.1. Parametrelere Bağlı Gerilme Dağılımı	86
6.1.1. 101 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	86
6.1.2. 106 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	87
6.1.3. 110 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	87
6.1.4. 105 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	88
6.1.5. 108 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	89
6.1.6. 111 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	90
6.1.7. 201 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	91
6.1.8. 209 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	92
6.1.9. 214 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	93
6.1.10. 207 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	94
6.1.11. 212 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	95
6.1.12. 218 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	96
6.1.13. 301 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	97
6.1.14. 306 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	98
6.1.15. 312 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	99
6.1.16. 302 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	100
6.1.17. 307 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	101
6.1.18. 313 Numaralı Deney Numunesinin Analizi	102
6.2. Kesit Boyunca Gerilme Analizi	103
6.2.1. Dil Boyunun Etkisi	104
6.2.1.1 Kompozit Malzemede Kesit Boyunca Gerilme Dağılımlarına Dil Boyunun Etkisi	104
6.2.1.2 Çelik Malzemede Kesit Boyunca Gerilme Dağılımlarına Dil Boyunun Etkisi	111
6.2.1.3 Alüminyum Malzemede Kesit Boyunca Gerilme Dağılımlarına Dil Boyunun Etkisi	119
6.2.2. Malzemenin Etkisi	125
6.2.3. Dil Boyunca Gerilme Analizi	138
6.2.3.1 Kompozit Malzemede Dil Boyunca Gerilme Analizi	138
6.2.3.2 Çelik Malzemede Dil Boyunca Gerilme Analizi	143
6.2.3.3 Alüminyum Malzemede Dil Boyunca Gerilme Analizi	146
7. SONUÇLAR	151
KAYNAKLAR	152
ÖZGEÇMİŞ	157

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Dil oluk geometrisi	20
Şekil 3.2 Dil-oluk geometrisinin ölçüleri.....	21
Şekil 3.3 Deney numuneleri.....	21
Şekil 3.4 Instron 8801	23
Şekil 3.5 Instron 8801’de deneyin yapılışı.....	24
Şekil 3.6 Video ekstensometre.....	26
Şekil 3.7 Mekanik torkmetre.....	27
Şekil 3.8 Ön yükleme mekanizması.....	27
Şekil 3.9 Üniform gerilme dağılımı... ..	28
Şekil 3.10 Lineer ilişki	28
Şekil 4.1 Shell 99 element tipine özelliklerin girilmesi	30
Şekil 4.2 Plane 82 element tipine özelliklerin girilmesi	30
Şekil 4.3 Shell 99 element tipindeki malzemenin katman sayısının girilmesi.....	31
Şekil 4.4 Kompozit malzemede her bir katmanın kalınlığının ve açı oryantasyonun atanması	32
Şekil 4.5 Plane 82 element tipine ait malzemelerin kalınlığının belirlenmesi.....	32
Şekil 4.6 Sonlu elemanlara ayrılacak bölgeye özelliklerin atanması.....	34
Şekil 4.7 Sonlu elemanlara bölünme sayısının girilmesi	35
Şekil 4.8 Modelin sonlu elemanlara bölünmüş hali.....	35
Şekil 4.9 Ön yüklemesiz durumun yükleme koşulları	36
Şekil 4.10 Ön yüklemeli durumun yükleme koşulları	37
Şekil 5.1 Yapıştırıcı üzerinde oluşan gerilme analizlerinin yapılması için seçilen kritik noktalar.....	39
Şekil 5.2 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi	41
Şekil 5.3 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi.....	42
Şekil 5.4 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi.....	44
Şekil 5.5 Çelik-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi	46
Şekil 5.6 Çelik-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi.....	47
Şekil 5.7 Çelik-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi.....	49
Şekil 5.8 Alüminyum-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi	50
Şekil 5.9 Alüminyum-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi	52
Şekil 5.10 Alüminyum-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi	53
Şekil 5.11 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin dil uzunluğu ve yapıştırma kalınlığına göre değişimi.....	55

Şekil 5.12 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin dil uzunluğu ve yapıştırma kalınlığına göre değişimi.....	56
Şekil 5.13 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin dil uzunluğu ve yapıştırma kalınlığına göre değişimi.....	58
Şekil 5.14 Çelik-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin ön gerilme ve yapıştırma kalınlığına göre değişimi.....	59
Şekil 5.15 Çelik-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin ön gerilme ve yapıştırma kalınlığına göre değişimi.....	61
Şekil 5.16 Çelik-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin ön gerilme ve yapıştırma kalınlığına göre değişimi.....	62
Şekil 5.17 Alüminyum-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi.....	64
Şekil 5.18 Alüminyum-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi.....	65
Şekil 5.19 Alüminyum-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi.....	67
Şekil 5.20 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi.....	69
Şekil 5.21 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi.....	70
Şekil 5.22 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi.....	72
Şekil 5.23 Kompozit-çelik bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi.....	73
Şekil 5.24 Kompozit-çelik bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi.....	75
Şekil 5.25 Kompozit-çelik bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi.....	76
Şekil 5.26 Kompozit-alüminyum bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin ön gerilmeye göre değişimi.....	78
Şekil 5.27 Kompozit-alüminyum bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin ön gerilmeye göre değişimi.....	79
Şekil 5.28 Kompozit-alüminyum bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin ön gerilmeye göre değişimi.....	80
Şekil 5.29 Kompozit, çelik ve alüminyum dil malzemelerinin kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi için von Mises gerilme değerlerinin ön gerilmeye göre değişimi.....	82
Şekil 5.30 Kompozit, çelik ve alüminyum dil malzemelerinin kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi için kayma gerilme değerlerinin ön gerilmeye göre değişimi.....	84
Şekil 5.31 Kompozit, çelik ve alüminyum dil malzemelerinin kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi için açılma gerilme değerlerinin ön gerilmeye göre değişimi.....	85
Şekil 6.1 101 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	86
Şekil 6.2 106 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	87
Şekil 6.3 110 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	88
Şekil 6.4 105 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	89
Şekil 6.5 108 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	90

Şekil 6.6 111 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	91
Şekil 6.7 201 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	92
Şekil 6.8 209 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	93
Şekil 6.9 214 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	94
Şekil 6.10 207 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	95
Şekil 6.11 212 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	96
Şekil 6.12 218 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	97
Şekil 6.13 301 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	98
Şekil 6.14 306 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	99
Şekil 6.15 312 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	100
Şekil 6.16 302 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	101
Şekil 6.17 307 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	102
Şekil 6.18 313 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları.....	103
Şekil 6.19 Kesit boyunca gerilmelerin incelenebilmesi için belirlenen kritik kesitler	103
Şekil 6.20 Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	105
Şekil 6.21 Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	106
Şekil 6.22 Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	107
Şekil 6.23 Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	109
Şekil 6.24 Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	110
Şekil 6.25 Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	111
Şekil 6.26 Çelik – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	113
Şekil 6.27 Çelik – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	114
Şekil 6.28 Çelik – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	115

Şekil 6.29 Çelik – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	116
Şekil 6.30 Çelik – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	117
Şekil 6.31 Çelik – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	118
Şekil 6.32 Alüminyum – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	120
Şekil 6.33 Alüminyum – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	121
Şekil 6.34 Alüminyum – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	122
Şekil 6.35 Alüminyum – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	123
Şekil 6.36 Alüminyum – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	124
Şekil 6.37 Alüminyum – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm	125
Şekil 6.38 Dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti	127
Şekil 6.39 Dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilmesi dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti	128
Şekil 6.40 Dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilmesi dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti	130
Şekil 6.41 Dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti	131
Şekil 6.42 Dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilmesi dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti	132
Şekil 6.43 Dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilmesi dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti	133
Şekil 6.44 Dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti	135
Şekil 6.45 Dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilmesi dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti	136
Şekil 6.46 Dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilmesi dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti	137
Şekil 6.47 A-B noktaları arasında seçilen patika	138
Şekil 6.48 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – kompozit dil oluk çiftlerinin seçilen patika boyunca von Mises gerilmeleri a) ön gerilmemiş durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum c) 22 MPa ön gerilmeli durum	140
Şekil 6.49 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – kompozit dil oluk çiftlerinin patika boyunca kayma gerilmeleri a) ön gerilmemiş durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum c) 22 MPa ön gerilmeli durum.....	141
Şekil 6.50 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – kompozit dil oluk çiftlerinin patika boyunca açılma gerilmeleri a) ön gerilmemiş durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum c) 22 MPa ön gerilmeli durum.....	143
Şekil 6.51 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – çelik dil oluk çiftlerinin patika boyunca von Mises gerilmeleri a) ön gerilmemiş durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum	144

Şekil 6.52 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – çelik dil oluk çiftlerinin patika boyunca kayma gerilmeleri a) ön gerilmesiz durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum.....	145
Şekil 6.53 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – çelik dil oluk çiftlerinin patika boyunca açılma gerilmeleri a) ön gerilmesiz durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum	146
Şekil 6.54 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – alüminyum dil oluk çiftlerinin patika boyunca von Mises gerilmeleri a) ön gerilmesiz durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum	148
Şekil 6.55 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – alüminyum dil oluk çiftlerinin patika boyunca kayma gerilmeleri a) ön gerilmesiz durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum	149
Şekil 6.56 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit - alüminyum dil oluk çiftlerinin patika boyunca açılma gerilmeleri a) ön gerilmesiz durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum	150

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1 Çelik (St 37–2) malzeme özellikleri	22
Tablo 3.2 Alüminyum (5083) malzeme özellikleri.....	22
Tablo 3.3 Kompozit malzeme özellikleri.....	23
Tablo 3.4 Video ekstensometre teknik özellikleri.....	25
Tablo 3.5 Loctite 9464 yapıştırıcının teknik özellikleri.....	26
Tablo 4.1 Kompozit malzeme özellikleri.....	33
Tablo 4.2 Yapışkan malzeme özellikleri	33
Tablo 4.3 Çelik ve alüminyum özellikleri.....	33
Tablo 4.4 ANSYS’de uygulanan basınç değerleri	37
Tablo 5.1 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)	40
Tablo 5.2 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa).....	42
Tablo 5.3 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa).....	43
Tablo 5.4 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)	45
Tablo 5.5 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa).....	47
Tablo 5.6 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa).....	48
Tablo 5.7 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)	50
Tablo 5.8 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa).....	51
Tablo 5.9 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa).....	53
Tablo 5.10 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)	54
Tablo 5.11 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa).....	56
Tablo 5.12 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa).....	57
Tablo 5.13 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)	59
Tablo 5.14 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa).....	60
Tablo 5.15 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa).....	62
Tablo 5.16 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa).....	63
Tablo 5.17 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa)	65
Tablo 5.18 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa).....	66
Tablo 5.19 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)	68
Tablo 5.20 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa).....	70
Tablo 5.21 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa).....	71
Tablo 5.22 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)	73
Tablo 5.23 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa).....	74
Tablo 5.24 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa).....	76
Tablo 5.25 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)	77
Tablo 5.26 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa).....	78
Tablo 5.27 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa).....	79
Tablo 5.28 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)	81
Tablo 5.29 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa).....	83
Tablo 5.30 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa).....	84
Tablo 6.1 Kesit boyunca gerilmelerin incelendiği ön gerilmemiş kompozit – kompozit dil oluk çiftleri.....	104
Tablo 6.2 Kesit boyunca gerilmelerin incelendiği ön gerilmeli kompozit – kompozit dil oluk çiftleri.....	108

Tablo 6.3 Kesit boyunca gerilmelerin incelendiği ön gerilmesiz kompozit – çelik dil oluk çiftleri	112
Tablo 6.4 Kesit boyunca gerilmelerin incelendiği ön gerilmeli kompozit – çelik dil oluk çiftleri	115
Tablo 6.5 Kesit boyunca gerilmelerin incelendiği ön gerilmesiz kompozit – alüminyum dil oluk çiftleri	119
Tablo 6.6 Kesit boyunca gerilmelerin incelendiği ön gerilmeli kompozit – alüminyum dil oluk çiftleri	122
Tablo 6.7 Farklı dil malzemesine sahip ön gerilmesiz dil oluk çiftleri.....	126
Tablo 6.8 Farklı dil malzemesine sahip 12 MPa ön gerilmeli dil oluk çiftleri	130
Tablo 6.9 Farklı dil malzemesine sahip 22 MPa ön gerilmeli dil oluk çiftleri	134
Tablo 6.10 Farklı dil uzunluklarına sahip ön gerilmesiz ve ön gerilmeli kompozit – kompozit dil oluk çiftleri.....	139
Tablo 6.11 Farklı dil uzunluklarına sahip ön gerilmesiz ve ön gerilmeli kompozit – çelik dil oluk çiftleri	143
Tablo 6.12 Farklı dil uzunluklarına sahip ön gerilmesiz ve ön gerilmeli kompozit – alüminyum dil oluk çiftleri	147

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

N	Newton
dev/dak	Devir/dakika
FEM	Sonlu Elemanlar Metodu
GRP	Cam Elyafı Güçlendirilmiş
SEM	Scanning Electron Microscope-Taramalı Elektron Mikroskobu
LEMF	Linear Elastic Fracture Mechanics-Linear Elastik Kırılma Mekaniği
ANN	Artificial Neural Network –Yapay Sinir Ağları
FPZ	Failure Process Zone-Hata İşlem Bölgesi

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler iki ya da daha fazla malzemenin uygun özelliklerini tek malzemede toplayarak veya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi sonucu oluşturulan malzemelerdir ve kompozit malzeme kullanılarak üretilecek olan parçalar tasarlanırken, parçanın hangi alanda kullanılacağı ve kullanıma yönelik özellikli ihtiyaçların neler olduğunun bilinmesi gereklidir. Tasarımda en büyük zorluklardan birisi kompozit malzemelerin izotropik özellikler göstermemesidir.

Kompozit malzemelerde çekirdek olarak, bir fiber malzeme ve bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunmaktadır. Burada fiber malzeme, kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini sağlamaktadır. Matris malzeme ise, plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önler ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Matris olarak kullanılan malzemenin diğer bir amacı da, fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylelikle fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olunur.

Kullanılan kompozit malzeme cam elyaf takviyeli woven (dokuma) esterdir. Öyle ki, 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 (tezde yer alan kalın kompozit tabakadaki açılar 0–90 derecedir) ve bu, cam elyafının reçine ile kaplanabilirliğini de etkiler. Dolayısıyla takviye miktarının artışı ile birlikte cam elyafının o yöndeki mukavemeti de artar.

Tez başlığında kalın dokuma kompozit tabaka isminin kullanılmasının ve kullanılan tabakanın kalın olduğunun vurgulanmasının sebebi ise şöyle açıklanmıştır. İnce plakalı, kompozit malzemelerin çok çeşitli yapıştırıcılar (epoxy) ile yapıştırılmasına günümüz yapı, otomotiv ve havacılık sanayisinde çok fazla rastlanılmaktadır. Bu tip ince

malzemelerin yapıştırıcılar ile yapıştırılması üzerine çok fazla araştırma yapılmıştır. Analitik ve teorik olarak üst üste tekil/çiftli bağlantı şekilleri literatürde geniş olarak kullanılmıştır. Bu çalışmaların çoğunda ince düz plakalardaki bağlantılar üzerine aksenal gerilmeler uygulanmıştır. Burada bağlantıdaki dayanım, yapıştırıcı üzerinde oluşan gerilme konsantrasyonu ve öncülük eden kenarlardaki gerilmeler, yapıştırıcının sahip olduğu düşük kayma gerilmesi ve açılma gerilmesine bağlı olarak sınırlı kalmaktadır. Dolayısı ile bağlantılı yapıların güçlendirilmesi için en zayıf bölge olan yapıştırma bölgelerinin güçlendirilmesi; bu amaçla değişik bağlantı tiplerinin ve bağlantı bölgelerinde oluşan gerilmelerin araştırılması ayrıca bu gerilmeleri etkileyen faktörlerin incelenmesi son derece önem arz etmektedir.

Kalın kompozit tabakaların kullanımı tercih edilmiş fakat tek başına yeterli olamamıştır. Çünkü kalın kompozit malzemelerin bağlantısında birçok ilave problem ortaya çıkmaktadır. Bunlardan en önemlilerinden birisi elverişsiz bağlantı boyu olmakla birlikte en ciddi problem olarak kompozit malzeme tabakaları arası kayma gerilmesinin düşük olması olarak ortaya çıkmaktadır. Bağlantı bozukluğu, yapışan bölge yerine, en üst tabakanın sıyrılması şeklinde oluşmaktadır. Dolayısı ile bağlantı dayanımı, kompozit malzemenin en üst tabakasının dayanımı ile sınırlı kalmaktadır. Malzeme kalınlığı ve yapışma yüzeyi arttırılsa bile malzemenin taşıyabileceği yük miktarında bir artış oluşmamaktadır. Bu bağlamda literatür incelenmiş ve literatürde çeşitli kompozit malzemelerin yapıştırılması için çok çeşitli yöntemler kullanıldığı görülmüştür. Kalın fabrik kompozit malzemelerin bağlantı yöntemi olarak basamaklı, açılı, çiftli bağlantı tipi kullanılmıştır. Ancak dil ve oluk bağlantı tipi yapıştırmaya ilişkin çok az sayıda çalışma yapılmıştır. Literatürde bu konuya ait ilk çalışma tez yöneticisinin araştırmacı olarak yer aldığı, Amerikan Deniz Kuvvetlerine ait olan bir proje raporudur. Kendisi tarafından Rensselaer Polytechnic Institute, New York, ABD de, sadece kompozit-paslanmaz çelik arasındaki ilişki analitik ve deneysel olarak gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada ise, statik yükleme durumunda dil uzunluğunun, yapıştırma kalınlığının ve ön yüklemenin kompozit-kompozit, kompozit-çelik ve kompozit-alüminyum tipi birleştirmelere etkileri analiz edilmiştir.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMALARI

Temiz vd (2009) yaptıkları çalışmalarda tekil bağlantı geometrisini, yapıştırma geometrileri arasında en yaygın olanı olarak kabul etmişlerdir. Bu bağlantı tipinde, soyulma direnci, yüklemeye ekzantrikliğinden 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 arttırılarak ve daha yüksek bağlantı gerilmeleri ile önlenebilir. Araştırmacılar, başlangıçta değişken yay uzunluklu eğri parçaları formunda elastik kabiliyetli metal yapışkan yüzeyler kullanılmıştır. Kavisli bölümleri olan bu yüzeyler yapıştırılmadan önce, düz üst üste binen bir bölge elde etmek amacıyla kavisli bölümleri düzleştirecek kadar yapıştırma basıncı ile tekil bağlantı 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 analizde başarıyla yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizinin sonuçları, etkin eğilme momenti tarafından oluşturulan artık gerilmelerin ve yüklemeye kapasitelerinin etkilerini vermiştir. Araştırmacılar, bu artık gerilmelerin tekil bağlantıdaki gerilmelerle karşılaştırıldığında yüklemeye kapasitesini oldukça arttırdığını kabul etmişlerdir.

Nemes vd (2009), çiftli bağlantıda gerilme dağılımlarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, tüm gerilmeleri (σ_{xx} ve σ_{xy}) fonksiyonun bir parçası olarak almışlardır. Araştırmacılar, deformasyondaki potansiyel enerjiye uygulanan yeni bir method kullanılmışlardır ve farklı denklemlerin optimize edilmesi ile çözüme gitmişlerdir. Bu model, çiftli bağlantı geometrisindeki gerilme dağılımlarını daha iyi tanımlar.

Ichikawa vd (2009) yaptıkları çalışmada basamak tipi bağlantı yöntemiyle yapıştırılmış farklı malzemelerin eğilme momenti altındaki gerilme dağılımlarını üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analiz etmişler ve yapıştırma metodunu optimize edebilmek için bazı faktörlerin etkileri incelemişlerdir. Sonuç olarak araştırmacılar yapışkan ara yüzeyinde oluşan maksimum gerilme ve Young Modülü değerlerini bulmuşlardır. Bu çalışmada yapıştırma kalınlığı, kademe numaralarının

artmasıyla 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. Nümerik hesapların, deneysel sonuçlar ile örtüştüğü görülmüştür. Farklı malzemelerin yapıştırılmasındaki bağlantı gerilmesinin, benzer malzemelerin yapıştırılmasıyla oluşan bağlantı gerilmesinden daha küçük olduğu gözlemlenmiştir.

Castagnetti vd (2009), yapışkan bağlantılı yapıların hata analizinde kullanılan sonlu elemanlar yöntemini esas alan etkin bir yöntem tarif etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, elastik ve post elastik bağlantılara karşı önerilen yöntemlerin doğruluğunu değerlendirmişlerdir. Parçalar, tekil serbest gerilme hata kriteri ile T-bağlantı geometrisinde birleştirilmiştir. Önerilen metod ticari paketlerle düzenli olarak desteklenen düzenli elemanlara ve standart modellemeye dayanmaktadır. Yöntem, plak ya da kabuk elemanları, tek katmanlı katı elemanları ve yapısal süreklilikle çoğalan dâhili kinematik kısıtlar içeren uygulamaları tanımlamaktadır. Araştırmacıların yayınladıkları önceki çalışmalarda, birçok iki ve üç boyutlu geometriler için elastik gerilmenin azaltılmasına ilişkin modeller doğrulanmıştır. Daha sonra post elastik alan için bu metod tekil serbest gerilmeye dayanan basit hata kriteri uygulanarak genişletilmiş ve teşvik edici sonuçlara ulaşılmıştır. T-bağlantı geometrisinde deneysel sonuçlara göre yük deplasman eğrileri modellenmiştir. Araştırmacılar deneyleri en iyi sonucu alabilmek için düzenlenmiş olan deney kriterlerine uygun olarak yapılmışlardır. Modelden elde edilen sonuçlar, hem post elastik davranışların hem de maksimum yüklerin deneysel sonuçları ile örtüşmüştür.

Borsellino vd (2009) yaptıkları çalışmada çoklu sızdırmaz bölge yapısına sahip bir gemi gövdesinde birçok bölme kabuğu bulunan yapıyı incelemişlerdir. Bu bölmeler, çeşitli yükleme koşulları altındaki gemi rijitliğinin başlıca temellerini oluşturmaktadır. Tipik T-bağlantı geometrisindeki yapıştırımda yanal gerilmelere karşı kabuklar, bölmeler ve ana sızdırmaz korumalar birbirlerine bağlanır. Bu yapılan çalışmanın amacı, T-bağlantı geometrisindeki kompozitin davranışlarını Sicilya gemi inşaat kurallarına dayandırarak incelemektir. Bu çalışmada, yapıştırıcının yapısı, $0^{\circ}/90^{\circ}$ katmanlaşma ve $+45^{\circ}/-45^{\circ}$ katmanlaşma olarak üç konfigürasyon incelenmiştir; Bağlantı bölgesi çeşitli malzemelerden oluşmaktadır. İlk durum, cam ile güçlendirilmiş plastiğin (GRP) sandviç yapıda birleştirilmesi, ikinci durum ise bir GRP sandviçin

ahşap sandviç yapısıyla birleştirilmesidir. Bu bağlantıların tabakalarındaki çekme yükleri incelenmiştir. Farklı dizaynların gerilme kuvvet analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak, nümerik model ticari bir program olan Ansys yardımıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model bağlantıların verimli mekanik bağlantıların uygun dizaynlarının tasarlanmasında kullanılabilir.

Barreto vd (2009), belirttikleri gibi ahşap ve ahşap ürünleri inşaat malzemeleri arasında çok geniş bir yer kaplamaktadır. Ahşap; bina çatı iskeletleri, köprüler, kuleler, tren rayları, gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Kesme kuvveti ya da basınç altında ahşabın gerilme altındaki hasar ve hata kriterleri ahşap yapıların yüksek çalışma gerilimlerini hesaplamak açısından önemlidir. Dış yüklemeye bağlı ahşap gerilmesi, farklı yükleme durumlarına ve ahşabın lif yönelimine göre değişmektedir. Ahşap, en iyi gerilme kuvvetini lif boyunca taşımaktadır. Güvenilir dizaynlar için kestirimci metot ve yapısal davranışların simülasyon modeline gerek duyulmaktadır. Bu işlem için sonlu elemanlar metodu uygun bir yaklaşımdır. Bu çalışmada, araştırmacılar gerilme altında ahşapta oluşan gerilme kuvvetlerini nümerik ve deneysel olarak gidermek için karbon epoksi yamalar kullanmışlardır. Ahşabın hasarlı kısmının yeniden onarılması sağlanmış ve karbon epoksi ile güçlendirilmiş tabakalar yüzyüze bağlanmıştır. Kompozitle güçlendirilmiş ve hasar görmemiş kısım arasında oluşan bölümün uzunluğu parametrik olarak belirlenmiştir. Nümerik analizde hasar başlangıcını göstermek için yapıştırıcı bölge modeli ve farklı malzemelerde yapışkanın yayılması metodları kullanılmıştır. İkizkenar yamuk şeklinde yapıştırma durumlarında kullanılan yapışkanın sünekliği hesaplanmıştır. Ahşap krişte hesaplanan deneysel hatalar ve yayılan hasarlar simüle edilmiştir. Test sonuçları ve simülasyonlar arasında iyi bir bağlantı olduğu gözlemlenmiştir.

Sawa vd (2009) yaptıkları çalışmada, genellikle şaft ve dişliler gibi silindirik bağlantı parçalarının birleştirilmesinde kullanılan sıkı geçme elemanlarını incelemişlerdir. Bilindiği gibi son zamanlarda yapışma dayanımı arttırmak ve montaj ağırlığını azaltmak için sıkı geçme bağlantılar anerobik yapıştırıcılarla bağlanmaktadır. Sıkı geçme bağlantılarının güvenli bir şekilde tasarlanmasında, ara yüzeylerdeki bağlantı gerilme dağılımlarının bilinmesi gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada, itme gücü altındaki sıkı geçme bağlantılarının ara yüzey gerilme dağılımları ve bağlantı problemlerinde uygulanan asimetric elastik teorisi kullanılarak burulma yükleri analiz

edilmiştir. Normal gerilme ve kesme gerilmesi arasındaki ilişkiyi belirlemek için bir davranış testi yapılmıştır. Ara yüzey gerilme dağılımları ve test sonuçları kullanılarak, bağlantı gerilmelerinin hesaplanması konusunda yeni bir metot önerilmiştir. Nümerik hesaplarda dış çapın etkisi, halkaların Young modülü, yapıştırma uzunluğuna bağlı olarak ara yüzey bağlantı gerilme dağılımları incelenmiştir. Burulma gibi itme yükü altında da sıkı geçme elemanların bağlantı dayanımları ölçülmüştür. Deneysel, bağlantı dayanımına halkanın dış çapının ve sıkı geçmenin etkisi araştırılmıştır. Nümerik sonuçların deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir. Sıkı geçme bağlantı elemanlarının gerilmelerinin hem itme gücü hemde burulma etkisi altında yapıştırılan bağlantılara göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Castagnetti vd (2009) yaptıkları çalışmada, üniform gerilme dağılımlarına karşı ince yapışkan tabakaların mekanik özelliklerinin ölçülmesini, çalışma koşulları altındaki yapışkan davranışının bilinmesi açısından önemli olduğunu belirtmişlerdir. İnce tabakalı ucuca yapıştırılmış bağlantılar ve burulma yükü etkisi, genellikle yeterli kesme gerilmesinin olduğu bölgelerdeki yapıştırıcının karakterini belirlemek için kullanılmıştır. Aynı geometrideki aksel yük uygulamaları, bağlantının güçlü yoğunluklu yapışkanla yapıştırılmamasından dolayı direkt gerilme dağılımlarının oluşmasını sağlamaktadır. Bu gerilme yoğunluğu, yapışkanın ve yapıştırılan malzemenin farklı rijitlikte olmasından, üniform gerilme altındaki yapışkanın test edilmesinde tehlike yaratmaktadır. Yapılan bu çalışma aksel gerilme, düzenli kesme gerilmesi ve burulma altındaki gerilme dağılımları etkisindeki yeni tubular bağlantı geometrisi karakterize edilmektedir. Bağlantının iç ve dış yüzeyindeki olukların yapışkandaki gerilme yoğunluğuna uyumu sağlamak amaçlanmıştır. Olukların optimal şekilleri iki adımda tanımlanmıştır. İlk olarak, en başarılı hedef profilinin kararlı özelliklerini tanımlamak için sayısal optimizasyon gerçekleştirilir. İkinci adımda Taguchi yaklaşımı kullanarak gerçekleştirilen en az hata kontrolü ile kurulmuş doğru oluk geometrisini belirlemektir. Bu ikinci adım birçok deneysel koşul altındaki en iyi gerilmeyi içeren tekil oluk şeklinin, yapışkan özelliğini ve geometrisinin analizini içermektedir. İlk optimizasyon yapıştırıcı/yapıştırılan madde ara yüzeyindeki gerilme yoğunluğunu güçlü bir şekilde sınırlamakta olan dairesel oluk için yapılmıştır.

Goglio vd (2009) gerçekleştirdikleri, yapışkan bağlantılarda tekil elastik gerilmenin yapışkan özelliklerinin incelendiği çalışma birçok çalışmaya öncülük etmiştir. Bundan

sonra birçok araştırma tekillik faktörleri ve koşulları üzerine yapılmıştır. Son araştırmaların bakış açısı doğrultusunda, gerilme yoğunluğu faktörünün değerlendirilmesi basitleştirilmiş, yapıştırma bölgesindeki sonlu elemanlar parçası detaylarına duyulan ihtiyaç azalmıştır. Gerçekte ara yüzeylerin, tekillikte varsayılan birbirine dik kare köşeleri sağlayamaması bu tanımın dezavanyajıdır. Yapışkan bağlantılarla ilgili bir başka bir amaç ise ara yüzey gerilme yoğunluklarının optimal geometri koşullarıyla azaltılmasıdır. Araştırmacılar yaptıkları çalışma, yapıştırılan malzemeye yiv açılması ya da yapışkan kusturulması gibi çeşitli geometrik detaylarla ilgili problemlerin çözümünde optimizasyona başvurmuşlardır. Optimal koşullar tepe gerilmeleri dikkate alınarak ve yapışmamış yerlerdeki tekillik yüzünden meshlemeye bağlı olacak şekilde sonlu elemanlar yöntemiyle yapılmıştır. Yapılan bu çalışmanın amacı, yukarıdaki bakış açılarının incelemektir. Yapışkan kusması ve biftek olarak adlandırılan daha gerçekçi yerel geometriler dikkate alınmış ve bu geometrik detaylar, tekillik düzenini azaltmak için formülize edilen optimizasyonda dikkate alınmıştır.

Salomonsson vd (2008) yaptıkları deneysel çalışmada ince yapışkan tabakaların sonlu elemanlar modelini geliştirmişlerdir. Bu model önceden gerçekleştirilmiş deney sonuçlarına göre yapılmıştır. Yapışkan tabakalar monoton artan bir şekilde soyulma ve kesme yükleriyle yüklenmiştir. Çalışma SEM (Scanning Electron Microscope) ile gerçekleştirilmiş ve modelleme ve kalibrasyon tekniklerinden yararlanılmıştır. Sonlu elemanlar modelinin amacı, yapışkan katmanlar için oluşturulan kuralların geliştirilmesini kolaylaştırmaktır. Böylece, yapışkan katmanlardaki kırıklar ve bütün olarak bozulma sürecinin modellenmesi sağlanmıştır. Kalibrasyon için bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Bu simülasyon deneylerle iyi bir uyuma göstermiştir.

Lin vd (2007) yaptıkları deneylerde; Ag-Cu-Ti kısa karbon fiberlerini, Ti alaşımı ve SiC kompozit malzemesine karbon fiber takviyesi için lehim malzemesi olarak kullanmışlardır. Kısa karbon fiber takviyesinin etkisi, lehimleme sıcaklığı ve kesme gerilmesini tutma süresi ve lehimlemedeki mikro yapılar incelenmiştir. Oluşturulmuş lehim çizgisindeki fiberlerin düzenli dağılımı lehimde kompozit ve Ti alaşımı yüzeylerine paralel olarak konumlandırılmıştır. Fiberlerin lehim katmanındaki Titanyuma tepkisi, TiC_x ince katmanlarının fiberlerle şekillenmesi ve lehim katmanındaki TiC_x küçük parçaları incelenmiştir. Lehimleme ısısı düşük olduğunda ve tutma süresi kısa olduğunda ($950^{\circ}C$ ve 5 dakika) kısa karbon fiberler, lehim katmanı ile

karbon fiber reaksiyonundan dolayı kompozit arasındaki ara yüzey bağlama kuvvetini düşürmektedir. Yüksek lehimleme ısı ve uzun tutma süresi (950°C ve 15 dakika) lehim tabakasındaki gözenekleri de beraberinde getirir. Lehimle bağlantısı yalnızca en uygun lehimleme sıcaklığında ve süresinde, uygun karbon fiber takviyeleriyle maksimum kesme gerilmesine sahip olabilir. Kesme gerilmesi, karbon fiberler tarafından tedarik edilen güçlendirilmiş etki ve bağlantıdaki termal gerilmenin azalmasından dolayı saf Ag-Cu-Ti durumundaki maksimum gerilmeden %30 daha fazladır.

Güneş vd (2007) çalışmada yapışkanla yapıştırılmış işlevsel olarak derecelendirilmiş tekil bağlantıların üç boyutlu serbest titreşim ve gerilme analizlerini incelenmişlerdir. Yapışkan malzemenin elastisite modülü, poisson oranı ve yoğunluğu gibi malzeme özellikleri ilk on doğal frekansta ve yapışkan bağlantının şekil modunda ihmal edilmiştir. Hem sonlu elemanlar metodu hem de ANN (Artificial Neural Network) yapay sinir ağları metodu, yapıştırma kalınlığı, plaka kalınlığı, üst üste uzunluğu gibi geometrik parametrelerin etkisini ve doğal frekansta malzeme bileşimindeki değişim şekil modunu ve yapışkan bağlantının gerilme enerjini incelemek için kullanılmıştır. Uygun ANN modelleri, serbest titreşim dizilerini, çeşitli rastgele seçilen geometri parametrelerini ve üsleri kullanabilmek için geliştirilmiştir. ANN modelleme sonuçları destek uzunluğunun, plaka kalınlığının ve üslerin doğal frekansta önemli bir rol oynadığını ve şekil modunun ve yapışkan bağlantılarda gerilme enerjisi modelinin yapıştırma kalınlığının etkisinin aksine büyük önem taşıdığını göstermiştir. Ayrıca genetik algoritma ve ANN modelleri kullanarak uygun yapıştırma ölçüleri ve üslere karar verilmiştir, böylece maksimum doğal frekans ve minimum gerilme enerjisi koşulları, yapışkanla yapıştırılmış işlevsel olarak derecelendirilmiş tekil bağlantıların her doğal frekansı için belirlenmiştir.

Kim vd (2007), yaptıkları çalışmada tekil bağlantı tipli kompozitlerin hata tahmini için bir yöntem sunmuşlardır. Sunulan bu yöntemde hem yapıştırıcı, hem de bağlantı hattı hataları göz önüne 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 bağlama metodu ve parametreleri ile bağlantı modelleri için çok iyi uyuma göstermiştir. Sayısal araştırma sonuçları temel

alındığında, optimum bağlantı koşulları bulunmuş ve yeni bağlantı dayanım arttırma teknikleri önerilmiştir. Önerilen tekniğin bağlantı dayanımını arttırmada önemli bir etkisi olduğu doğrulanmıştır.

Gu vd (2007) yaptıkları deneylerde; alüminyum ara yüzey kullanarak geçici sıvı faz ile bağlanmış magnezyum metal matris kompozit takviyeli bağların bileşimi, mikro yapısal ve mekanik özellikleri, bağlanma zamanı ve sıcaklığına bağlı olduğu görülmüştür. 460°C bağ sıcaklığında, bağlanma süresinin yükselmesi ile bağ çizgisindeki Al yoğunluğu düşer ve bağ mikro yapısı Mg katı çözeltisi, AlMg ve Al₁₂Mg₁₇ bileşiklerinden Mg, Al₁₂Mg₁₇ ve TiC partiküllerine dönüşür. 480°C bağlanma sıcaklığında bağın mikro yapısı Mg, Al₁₂Mg₁₇ ve TiC partiküllerinden oluşmuştur ve bağlanma süresi 60 dakika iken TiC partikülleri bağ çizgisinde toplanmıştır. Al₁₂Mg₁₇ bileşiğinin artan miktarı ve TiC partiküllerinin toplanması bağın mekanik özelliklerinin etkilenmesinin ana sebepleridir. 58 MPa üzerindeki bağ yüzey gerilimi 460°C ve 480 °C bağ sıcaklığı ve 20 dakikalık bağlanma süresi ile sağlanabilir.

Patra vd (2007) yaptıkları çalışmada elastik-plastik yapışkan bağlantılarda yüzey pürüzlülüğü, asimetrik özellikleri için anahtar parametre olarak Weibull'un asimetrik dağılımlar ve asimetrik yükseklikler içeren eğrilik dağılımlarını kullanarak saptamışlardır. İyi tasarlanmış elastik yapışkan dizin ve plastik dizin, yükleme sonuçları ve malzeme özellikleri gibi değişik alanlardaki farklı koşullar göz önüne alınıp kullanılmıştır. Yapışkan dizinlerin yüklemeli ve yüklemesiz farklı kombinasyonları plastik dizin ve eğrilik değerleri için yüzeyler arasındaki ayırma fonksiyonu elde edilmiştir. Negatif eğrilikteki yüzeylerin yapışmaları pozitif ve sıfır yüzey eğrilikleriyle karşılaştırılığında daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Deng vd (2007), yapıştırma/birleştirme tekniklerini polimerlerle güçlendirilmiş (CFRP) plakalarda geniş bir biçimde kullanmışlardır. Yeni teknolojiye uygulanan giriş katmanlarında püskürtme dolgular ve konik sivri sonlar gerilme dağılımlarını indirmek için önerilmiştir. Yapılan bu çalışmada sonlu elemanlar metodu püskürtme dolgularının etkilerinin belirlenmesinde, ara yüzey yapıştırma gerilmeleri ve CFRP plakasındaki gerilmeyi belirlemek için kullanılmıştır. Sekiz çeşit püskürme dolgusu ve farklı konikliklerde konfigürasyonlar göz önünde bulundurulmuştur. Sonuçlar büyük oranla bağlantılarının bulgularıyla uyumludur. Fakat püskürtme dolgularının etkileri

bağlantılarından daha azdır. Ayrıca sonuçlar iç açıcı kombinasyonları ve üçgensel dolgu ara yüzey gerilmesinde en fazla azalma vermektedir. Sonlu elemanlar metodundaki sonuçlar ayrıca püskürtme dolgu ölçüsünün plaka sonuna doğru gerilmelerin yakınlığını göstererek önceki analitik ve deneysel sonuçları doğrulamaktadır.

You vd (2007), çiftli bağlantı yöntemiyle yapıştırılmış alüminyumda hem yapıştırılan yerin ortasındaki hem de ara yüzey boyunca yapışkan boşluklarındaki gerilme dağılımlarını ve uzunluk boyunca yapışkan boşluklarının etkisini incelemek üzere elastik sonlu elemanlar metodu ve deneysel metot kullanılmışlardır. Yapıştırılan yerin ortasındaki uç gerilme dağılımları değerleri, 8 mm uzunluk boyunca yapıştırma boşlukları simetrik olarak düzenlendiğinde az bir artış göstermiştir. Yapıştırma boşluğunun uzunluğu artığında, hem uç gerilmesi hem de boşluğun kenar noktalarındaki gerilmeler artmıştır. Fakat bağlantı uzunluğu 16 mm'den daha büyük olmadığı durumlarda uç gerilmesindeki artış küçüktür. Sonlu elemanlar metodunun sonuçları göstermektedir ki; bağlantının en son yüklemesindeki yapıştırma boşluğunun etkisi, boşluk boyunun artması kadar küçülür. Bu, yapıştırma boşluğunun uzunluğunu çiftli bağlantı yöntemiyle yapıştırılmış alüminyumun bağlantının yapıştırma uzunluğu 12 mm'den daha az olduğu zamanda azaldığını gösteren, deney sonuçlarıyla desteklenmiştir.

Da Silvaa vd (2007) yaptıkları çalışmada aynı veya farklı tipte iki adet yapıştırıcının karıştırılması ile elde edilen yapıştırıcının düşük ve yüksek sıcaklık durumlarında yapışma dayanımına etkisi araştırmıştır. Bu çalışmada çiftli bağlantı tipinin dayanımı, titanyum-titanyum ve titanyum-kompozit malzeme kullanılarak incelenmiştir.

Oh Je Hoon (2006), boru şeklinde tekil bağlantılı kompozitlerin yapıştırıcılarla lineer olmayan analizini, yapıştırıcının lineer olmayan davranış analizinin araştırma içine alınması sayesinde gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla tabaka edilmiş kompozit tüpteki zorlama ve gerilme, genel yükleme planı altında ilk olarak hesaplanmıştır ve daha sonra bağlantıların yenilenen çözümleri yapışkanın lineer olmayan özelliklerini içerecek şekilde elde edilmiştir. Yapışkandaki gerilme dağılımları farklı tipteki kompozit yapıştırıcılar için incelenmiş ve lineer analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapışma uzunluğunun tork iletim kapasitesi üzerine etkisi de ayrıca incelenmiştir.

Sonuçlar göstermiştir ki; bağlantı kenarındaki gerilme yoğunluğundaki azalma bağlantı gerilmesindeki tahmini doğrulamadan daha fazladır.

Brochu vd (2006) yaptıkları araştırmada Cu/Cu-W bağlarının oluşturulmasının elektriksel temas için uygun olduğunu kanıtlayan alternatif bir yöntem sunmuşlardır. Cu'nun, Cu-W kompozitine katılması için uygulanan işlem, ince alüminyum folyonun erimesi ile ara yüzeyde bir geçici sıvı faz oluşturulması için, iletim modunda kullanılan bir elektron ışın kaynağı makinesi gerektirmektedir. Optimize işlem şartları için bağın mikro yapısal analizi göstermiştir ki; Cu-Al ara metalleri Cu/Cu-W ara yüzey bölgesinde bulunmamıştır. Bu mikro yapısal karakteristikli bağlar için Cu ve Cu-W kompozitleri arasındaki ara yüzeyin mekanik bütünlüğünün ölçümü, montajın bakır kısmında plastik deformasyon ve kırıklar olduğunu göstermiştir.

Fessel vd (2006) yaptıkları çalışmalarında; yapıştırma ile bağlamanın otomotiv endüstrisinde metalik ve kompozit malzemelerin yapısal parçalarının bağlanmasında artan bir şekilde kullanıldığına değinmişlerdir. En yaygın bağlantı konfigürasyonu geniş bir şekilde araştırılan ve performansının gelişmesi için çeşitli fikirlerin önerildiği kesme bağlantısıdır. Örneğin, bindirme sonlarındaki çubukların girişi ve alt katmanların sivriliği bindirme sonundaki soyulma gerilmesini düşürebilir. Diğer yaklaşımlar, soyulma gerilmesini düşürecek, ters eğimli ve dalgalı bağlantıların geleneksel kesme bağlantısının gerilmesiyle birlikte gerilme dağılımlarını sonlu elemanlar metodu kullanarak karşılaştırılmıştır. Parametrik çalışma, yapışan yüzeylerdeki gerilme etkilerinin eğilimin göstermek için kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonlu elemanlar metodunda bulunan ve kullanılan kabullerin hesaplanmasıyla ilişkilendirilmiştir. Ters eğimli bağlantıların bağ kuvvetleri çeşitli alt tabaka malzemelerin yapışkanların ve bindirme uzunluklarının kullanılmasında düz bağlantıyla karşılaştırıldığında %40 daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Kwon vd (2006) burkulma ve yapıştırma kuvvet kaybı görülen başlangıç yapıştırma kuvveti içeren yapışkanla bağlanmış kompozit flanşlardaki gerilme değerini deneysel olarak ölçmüşlerdir. Başlangıç yapıştırma kuvvet geometrisini flanşın malzeme sertliği ve yapışkanın kritik burkulma enerjisi bırakma hızını içeren (Gc) test parametreleri incelenmiştir. Yapıştırma kuvvetinin artmasının başlangıç yapıştırma uzunluğuna kuvvetli bir şekilde bağımlı olduğu; ancak flanş genişliğine daha az bağlı olduğu bulunmuştur. Örneğin; yapıştırma kuvvet direnci bağın üst üste gelme boyutu ile

doğru orantılı olarak artmamıştır. Daha yüksek eğilme rijitliğine sahip flanşlar belli bir şekilde yapışma zorlanması göstermiştir. Sonunda; yapışkan iyileştirme sıcaklığı ve bağ hattı kalınlık kontrolü ile üç düzeyde Gc etkisi değerlendirilmiştir.

Kweon vd (2006) yaptıkları çalışmada, kompozit-alüminyum çifti bozulma yükleri ve durumları elde etmek için bağlantıların üç tipi, yapıştırıcılı bağlama, civatalı bağlama ve yapıştırıcı bağlamaları hibrit bağ test etmişlerdir. FM73 yapıştırıcı film tipi ve EA93944S yapıştırıcı ve yapıştırma tipi alüminyum kompozit bağında kullanılmıştır. Dijital mikroskop kamera kaydecisi bağlantıların bozulmasını görüntülemek için kullanılmıştır. Hibrit bağlama, yapışkan bağlama tipi kullanıldığında civatalı bağlantıdan güçlü olduğu zaman bağlantı gücünü iyileştirir. Diğer yandan civatalı bağlantının gücü bağlantı gücünden düşük olduğu zaman yapışkan film tipi kullanıldığında civatalı bağlantı hibrit bağlantının gücüne katkıda bulunur.

Canyurt vd (2006), üst üste bindirme bağlantı tipi üzerindeki araştırma yapmışlardır. Üst üste bindirme bağlantı tipi için uygulanabilecek ön bası kuvvetini incelenmişlerdir. Ön bası kuvvetinin, açılma gerilmelerini azattığı ve dolayısı ile ön yüklemeli durumda, yapışkan bağlantının daha yüksek çeki kuvvetlerine dayanabildiği deneysel olarak gösterilmiştir.

Taib vd (2006) gerçekleştirdikleri çalışmada cam elyafı ile güçlendirilmiş vinyl ester kompozit malzemenin farklı bağlantı konfigürasyonları araştırılmışlardır. Yapışma kalınlığı, malzemede bulunan kusur, nem, malzeme rijitliği gibi parametrelerin çekme dayanımı üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Birbiri üzerine geçmeli bağlantı, L-kesit bağlantı ile popüler tekli bağlantı ve çiftli bağlantı şekilleri test edilmiştir. Yapışma kalınlığında ve nem oranındaki artışın bağlantı dayanımını azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca malzeme sertliği ve esnekliğinin de yapışma üzerine önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur.

Quaresimin vd (2005) yaptıkları bu çalışmada, reçine kompozit malzeme ile Fe-Pt magnetik alaşımı arasındaki yapışma kuvvetini incelenmişlerdir. Fe-Pt magnetik alaşımı ile reçine kompozitin dört farklı yapışkan metal astar kullanılarak yapışma mukavemeti çalışmada ele alınmıştır.

Kılıç vd (2005)'nin yaptıkları çalışma, yapıştırıcıyla bağlanmış bağlantılar erken hataya yol açacak geometride keskin değişikliklere ve benzer olmayan malzeme birleşmelerini içermektedir. Bununla birlikte sonlu elemanlar metodu, yapışmış bağlantı modeli için oldukça uygundur. Geleneksel sonlu elemanlar benzer olmayan malzemelerin birleşmesinde gerilmelerin yapışmayan doğalarından dolayı gerilme durumunu çözmek için yeterince doğru değildir. Yapışmış bağlantılarının geleceğin yapılarında kullanılmasına yardımcı olmak için yapılan bu çalışma geleneksel elemanlarla birleştirilmiş özel kullanılan sonlu elemanlar tekniğini gösterir. Özel eleman çekme serbestliği yüzeyli veya yüzeysiz benzer olmayan malzemelerin birleştirilmesinde tekil davranışlar içerir.

Magalha vd (2004) bu çalışmada, tek katlı kompozit bağlantıların iki boyutlu sonlu elemanlar metodu ile analizini sunulmuştur. Katı modellemede izometrik sekiz düğüm noktası ile uyumlu altı ara yüzey düğüm noktası seçilmiştir. Sonlu elemanlar ara yüzeyi, yapışkanla yapıştırılan yüzey arasına, yapışkanın orta düzlemindeki katmanına ve ara yüzey ve yapışkanın farklı yönlü katmanları arasına uygulanmıştır. Ara yüzeylerde çalışmanın amacı, geleneksel sonlu elemanlar metodu ile belirlenememiş olan ara yüzey ile farklı malzemeler arasındaki gerilme dağılımlarını elde etmektir. Normal kesme ve soyulma gerilmeleri malzemenin lineer elastikiyeti ve geometrinin linear olmayan analizi dikkate alınarak bağlanan ara yüzey boyunca hesaplanmıştır. Yapışkanla yapıştırılmış yanı ve farklı malzeme özellikleri üzerine çalışılmıştır. Sonuçlar, üst üste binme uzunluğunun yanında, yapıştırma kalınlığı boyunca da önemli gerilme değişmelerinin olduğunu gösterir. Bu gerilme yoğunluğunun tek katlı kompozit malzemede meydana getirebileceği hasarlar ayrıca tartışılmıştır.

Matous vd (2004) yaptığı çalışmada, dil ve oluk tipi geometrisine sahip bağlantıya moment uygulaması halinde kompozit-çelik malzeme bağlantısının dayanımı ve farklı malzeme kalınlıklarının etkileri incelenmeye çalışılmışlardır.

Melogranaa vd (2003), dil ve oluk tipi yapışkanlı bağlantılarını araştırmışlardır. Bu amaçla dokuz adet farklı geometrik şekilde dil ve oluk tipi bağlantı, karbon/epoksi kompozit malzeme ile paslanmaz çelik için incelenmiştir. Bu çalışmada dil ucundaki yapışma geometrisi değiştirilirken, dil ve malzeme kalınlığı sabit tutulmuştur. Aynı yapışma uzunluğu ele alınarak flanş bağlantı tipi ile dil oluk tipi bağlantı karşılaştırılmış

ve tüm dil oluk tipi bağlantı geometrisine sahip bağlantıların daha güçlü olduğu belirtilmiştir.

Mortensen vd (2002) gerçekleştirdikleri bu çalışmada yapışkanlı bağlantı tiplerinin analiz ve tasarımında, birleştirilmiş yeni analitik bir yaklaşım geliştirilmişlerdir. Kalın ortotropik kompozit plakalar aksenal yükleme ve moment etkisi dikkate alınarak modelleme yapılmıştır. Tekli yan çentikli bağlantı, tekli yan basamaklı bağlantı, çiftli yan basamaklı bağlantı ve çiftli yan çentikli bağlantı şekilleri incelenmiştir.

Dvorak vd (2001) bu çalışmada dil ve oluk tipi yapışkanlı bağlantıda kompozit oluk malzeme ile çelik dil arasında oluşan etkileşimi incelemişlerdir. Bu çalışmada yapışma yüzeyinde oluşan kayma gerilme dağılımları incelenmiştir. Yük taşıma kapasitesi geleneksel üst üste bindirme şeklinde bağlantı ile karşılaştırılmış ve dil oluk tipi yapıştırmanın daha fazla yük taşıyabileceği gösterilmiştir.

Mouritz vd (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 belirtilmişlerdir. Güçlü yapılar için güçlü bir şekilde yapıştırmanın önemi üzerinde durulmuştur. Kompozit malzeme kullanımı ile yapının ağırlığının azaltılabileceği gibi korozyona karşı yüksek dayanım sağlamasından dolayı da faydalı olduğu anlatılmıştır.

Youn vd (2001) yaptıkları çalışmada yapışkan katman özelliklerinin gerilme dağılımlarına etkisi incelenmişlerdir. Bu incelemede, hasarlı bölgeler, yapışkan reçine malzemeye onarılmıştır. Üç boyutlu sonlu elemanlar metodu ile analiz sonuçlarına göre polimerizasyon büzülmesinin erken bir bozulmaya yol açtığı görülmüştür. Polimerizasyon büzülmesi yüzünden kompozit malzemenin rijitliği ile birlikte büzülme gerilmelerinin arttığı sonucuna varılmıştır.

Zhang vd (2001) bu çalışmada denizcilikte gemi inşa uygulamaları ile birlikte kalın dokuma e-cam/vinil ester kompozit levhaların çelik veya diğer kompozit levhalarla birleştirilmesine yeni bir yaklaşım getirilmişlerdir. Yapıştırıcı dil oluk dış çevre yüzeyleri arasına uygulanmış ve sonuçlar sonlu elemanlar metodu ile incelenmiştir. Sonuçlara göre boylamsal gerilimi sürekli olarak artarak yüklenen levhalar ve kompozit

levhalar arasındaki yapıştırılarak bağlanmış dil ve oluk birleştirilmeleri geleneksel ince tabakalara karşılaştırıldığında daha güçlüdür.

Vel vd (2001) Nikel esaslı alaşımla lehimlenmiş ve kompozit tabakayla güçlendirilmiş WC'nin (Wolfram karbür) yapışma kuvveti ve mikroyapısı incelenmişlerdir. Lehim kompozitin yıpranma direnci aynı kompozisyondaki alev kaplamanınkinden daha iyi olduğu görülmüştür.

Bahei-El-Din vd (2000) yaptıkları çalışmada, çok katmanlı kalın kompozit malzemeler üzerinde yapışkan bağları için yeni tasarımlar sunmuşlardır. Tabakalı kompozit malzeme üzerinde genelde en üst tabakada oluşan delaminasyon, çekme ve kayma bozulma modlarını azaltmaya ve üniform gerilme dağılımı sağlamaya yönelik tasarım üzerine çalışılmışlardır.

Chang vd (1999) bu çalışmada nokta kaynağı, tekil bağlantı ve nokta kaynağı ile beraber tekil yapıştırma bağlantı tipleri karşılaştırmışlardır. Uygulanan yükler karşısında nokta kaynağı bölgesinde yüksek gerilme konsantrasyonları oluştuğu ve yapıştırma tekniği kullanıldığında gerilmelerin daha düşük olduğu, böylece yorulma testlerinde yapışma ile beraber nokta kaynağının birleştirme tekniğinin nokta kaynağına göre daha iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur. Yapıştırma etkisi ile yırtılma dayanımının güçlendiği bağlantının mekanik özelliklerinin arttığı belirtilmiştir. Nokta kaynağında oluşan gerilme konsantrasyonlarının, yapıştırma teknolojisinin kullanılması ile önlenileceği gösterilmiştir.

Li vd (1999) bu çalışmalarında T-bağlantıların rijitlik analizi incelenmiştir. T-bağlantı aynı veya farklı malzemelerin iki yüzeyinin 90° birbirine bağlamak için kullanılır. Bütün bağlantıların dizaynı ve analizleri, bağlantı geometrisine ve de yapışkan yüzeylerin ve yapıştırıcının rijitlik ilişkisine bağlıdır. Yapıştırıcı ve yapışkan yüzey arasındaki rijitlik ilişkisinin etkileri analizde verilmiştir. Lineer elastik sonlu elemanlar metodu T-bağlantıların incelenmesinde kullanılmıştır. Bağlantı modeli iki lineer yük ve bir eğilme momentine maruz kalmıştır. Yapışkan ve yapışan yüzeylerin lineer elastik olduğu kabul edilmiştir. Bu çalışmada T-bağlantıların rijitliğinin belirlenmesi ve bağlantının uygun ölçüsü için tavsiyeler üzerine çalışılmıştır.

Dowling vd (1999), kompozit malzemelerde yapışma kalınlığına karşı gerilme ve gerilme dağılımlarını sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmişlerdir. Kalın bağlar için

yapılan analizlerde bağın serbest kenarlarındaki kesme gerilmelerin ve açılma gerilmelerinin yapışma kalınlığına göre önemli derecede değiştiği gözlemlenmiştir. Maksimum kesme ve açılma gerilmelerinin bağ kalınlığı ve elastise modülü yükseldikçe artacağı sonucuna varılmıştır.

Meyers vd (1999) yaptıkları deneysel çalışmada kompozit yama yapıştırması ile ince (3.173 mm) ve kalın (6.35 mm) alüminyum panellerin tamir edilmesi incelenmiştir. Yapılan destek onarımının, yorulma çatlaklarındaki ilerlemelere ve yapışma karakteristiklerine bağlı olduğu gözlemlenmiştir.

Sheppard vd (1998) yaptıkları çalışmada, yapışkan bağlantılı yapılarda yapılacak tasarımın, bağlantı sonlarında bulunan tekillik yüzünden karmaşık olduğunu belirtmişlerdir. Hasar bölgelerinin öncelikle bağlantının uç noktalarında gerçekleştiği anlatılmıştır. Hasar bölgelerine yönelik model, kritik hasar bölge boyutu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu şekilde yapışkanlı bağlantıda oluşacak bozulma yükü belirlenmeye çalışılmıştır.

Adams vd (1997), yapışmalarda yüzey işleme ve bağlantı tasarımının önemine değinmişlerdir. Yapışmayı etkileyen parametrelerin yapışma mukavemeti üzerine etkileri testlerle incelenmiştir.

Tong vd (1995), çiftli üst üste bindirme bağlantı şeklini incelenmişlerdir. Yapışma yüzeyinde oluşan açılma gerilmesinin bağlantı mukavemeti üzerine önemi belirtilmiş ve açılma gerilmesi ile yüzeyde oluşacak yer değiştirme arasındaki ilişki ampirik olarak bulunmuştur.

Hart-Smith vd (1994) yaptıkları deneysel çalışmada yapıştırmalı bağlantılar için tasarım parametrelerini belirlemişlerdir. Kalınlığı $t=0.040$ inç olan bir plaka için yapışma uzunluğunun $30t$ olması; ve kalınlığı $t=0.125$ inç olan bir plaka için ise yapışma uzunluğunun $23t$ olması gerektiği gibi yapışma yüzeyinin bir optimum değeri olduğunu belirlemiştir.

Adams (1990) yaptığı bu çalışmada, en yaygın olarak kullanılan yapıştırma geometrisini üst üste bindirme geometrisi tipi olarak gösterilmiş ve yapışma yüzeyinin

düz normal ve konik şekilde yapılması ile yük transferinin düzenli bir şekilde yapılabileceğini, böylece gerilme konsantrasyonlarını azaltarak bağlantı dayanımının artırılabilceğini, belirtmiştir. Bu tip yapıştırma şeklinde bağlantı dayanımının ve tabaka üzerine etki eden yükün nasıl tabakalar arası taşındığına bağlı olduğu araştırılmıştır. Tabaka içindeki zayıf bölgenin bozulması ile erken bozulmanın nasıl oluştuğu anlatılmıştır.

Ikegami vd (1990), cam elyaf ile güçlendirilmiş plastik kompozit malzeme ile metalleri çentikli bağlantı tipi ile birleştirilmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada deneysel olarak yapışkan bağlantının dayanımı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Adams (1989) kompozit malzemede üst üste birleştirme şeklini analitik ve deneysel olarak incelemiştir. Çeşitli yükleme durumunda bağlantının dayanımı tahmin etmeye çalışmıştır.

Adams vd (1987), köşelerde yapılacak geometrik değişikliklerin üst üste bindirme bağlantıları üzerindeki etkisi incelemiştir. Sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanılarak gerilme dağılımları araştırmışlardır. Köşeler üzerinde yapılacak yuvarlamaların bağlantı mukavemetini önemli oranda arttırdığı belirtmişlerdir.

Yamaguchi vd (1986) gerçekleştirdikleri çalışmada T ve L tipi geometri için gerilme dağılımı incelenmiştir. Yapışkanla birleştirilmiş malzemeler üzerine moment uygulanarak maksimum gerilme ile bağlantı geometrisi arasında ilişki kurularak bağlantı bölgesinin boyutları bulunmaya çalışmışlardır. Bu denklemlerin deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Hart-Smith (1981), kompozit malzemenin en üst tabakasının sıyrılmasının önlenmesi için yapıştırma işlemi basamaklı bağlantı şeklinde yapılmıştır. Yapışma yüzeyi üzerine tasarım geliştirmeye çalışmıştır.

Delale vd (1981) yaptıkları çalışmada yapıştırma ile yapılan bağlantılarda gerilmeleri incelemiştir. Basamaklı bağlantı birleştirme ile en üst yapışma yüzeyi üzerinde oluşacak gerilmeyi, yapışma yüzeyi kalınlık yönünde dağıtılarak azaltılmaya çalışılmıştır.

Yapışkanla yapıştırılmış kompozit malzemelerin incelenmesi durumundaki literatür taraması aşağıda verilmiştir;

Bermejo (2009) çalışmasında, yapışkan bağlantı kuvvetini doğru olarak tahmin edebilmek için, yapışkanın özelliklerinin doğru bilinmesi gerektiğini vurgulamıştır. Böylece yapışkan tabakaların davranışları için geliştirilen, güvenilir test metodları karşılaştırılabilmektedir. Bu çalışmada, yapışkanla ince tabakalar yapıştırılmıştır. Tabakalar arasındaki bir yapışkanın, yığın malzeme şeklindeki yapıştırıcıyla karşılaştırıldığında farklı davranması beklenmektedir. Yükleme altında, yapışkan tabakadaki hata bölgesi (FPZ) büyüklüğü genellikle tabakanın kalınlığından daha büyüktür. Bundan dolayı, küçük ölçekli FPZ koşulu tamamen doldurulmaz ve geleneksel doğrusal elastik kırık mekaniği (LEMF) uygulanamaz. Aynı zamanda; deneyler; test numunelerinin kararsız çatlak yayılmasına müsait olduğunu ve yapıştırıcı yapışkan birleşimlerinde özellikle kesme ve soyulma yüklemeleri birlikte uygulandığı zamanda kırıkların sık sık görüldüğünü göstermektedir. Yapışkan belirlemek için deneysel yöntemlerle belirlenmiş yapıştırıcı kanunlarından temel kırılma prensibi dikkate alınmıştır. Yükleme oranının etkileri ve yapışkan kanunundaki yapıştırıcı kalınlığı deneysel olarak araştırılmıştır. Esneklik, yapışma ve deney sonuçlarından yorumlanan kırılmalar, özellikle eğer yapışkan elastomer ve yüzde gerilme hatalarına sahip olduğu durumda görülmektedir. Sonuçlar kırıkla ilgili yapılan çalışmaların ve tüm katmanlarda eş zamanlı aktif rol oynayan yapışkan sistemindeki yapışkan enerjisinin rijitliğe yakın çıktığını göstermektedir.

Khalili vd (2009) yaptıkları bu çalışmada yüksek gerilme yoğunluğu olan perçinleme ve civatalama gibi diğer bağlantı metodlarıyla karşılaştırıldığında, yapışkan ile bağlantıların daha düzenli gerilme dağılımları sergilediklerine değinmişlerdir. Ayrıca, son on yılda yapılan birçok araştırma polimer kompozitin termal ve mekanik özelliklerinin, kompozitin içine kil ilave edilerek etkin bir şekilde iyileştirilebileceğini kanıtlamıştır. Bu çalışmada statik ve dinamik yükleme altında tekil bağlantı geometrisinde yapıştırılmış kil ilave edilmiş yapıştırıcının mekanik özelliklerinin tayini üzerinde durulmuştur. Epoksi reçineye %1, %3, %5 oranlarında kil ilave edilmiştir. Kil parçaları reçine içine karıştırıcı aygıtla ilave edilmiş, karıştırılmış ve kil parçaları ultrasonik cihaz kullanılarak dağıtılmıştır. Yapıştırılacak cam-elyaf kompozit malzeme

üretmiş ve yapışkan bağlantının özellikleri incelenmiştir. Güçlendirilmiş yapışkanın kesme altındaki gerilme özellikleri ASTM D3165 standartlarına göre incelenmiştir. Aynı zamanda bağlantı yeri çentik darbe testine maruz bırakılmıştır. Sonuçlar; %1 kil içeren yapışkan bağlantının maksimum gerilme kuvveti gösterdiğini ve %3 kil içeren bağlantının ise en yüksek çentik darbe enerjisi değerine sahip olduğunu göstermiştir.

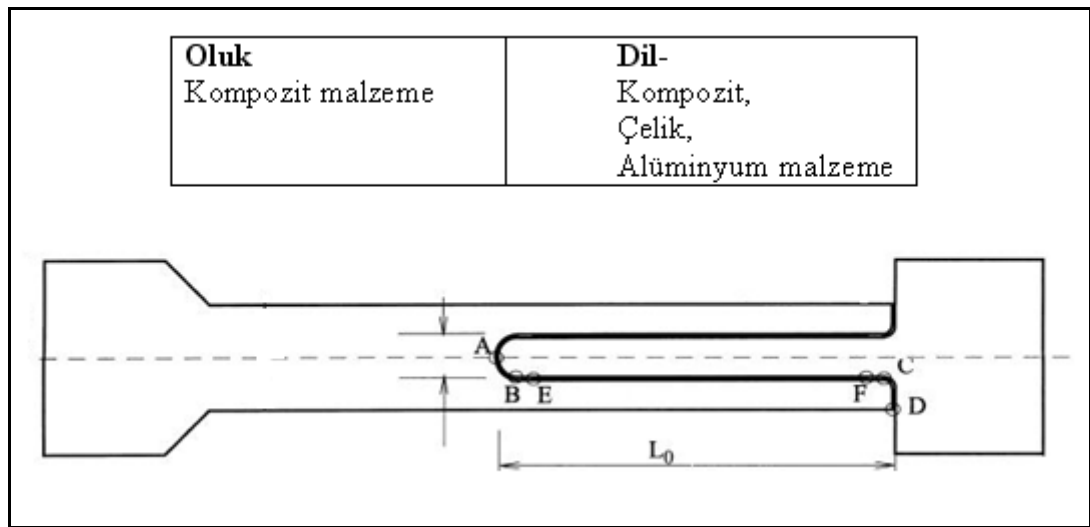
Chen vd (2009) yaptıkları çalışmada, yapışkanın karakterize edilmesinin hem imalatçı hem de kullanıcı açısından önemli bir nokta olduğunu vurgulamışlardır. Birçok mühendislik uygulamalarında yapışkandan istenen, normal gerilme ve soyulma gerilmesinden ziyade yanal gerilmedir. Böylece yapışkanın kesme gerilmesinin doğru olarak bilinmesi zorunludur. Yapışkanın kesme gerilmesinin ölçülmesindeki standart metotlar arasında ASTM D5656 standardı en uygun olduğu için seçilmiştir. Bu çalışma uniform olmayan kesme gerilme dağılımlarının minimize edilmesindeki ve yerel eğilmeye maruz kalan ASTM D5656 numunesinin soyulma direncine göre geometrisinin optimize edilmesine ilişkin ilk araştırmadır.

Bu tezin amacı; değişik dil uzunluklarında, yapıştırma kalınlıklarında, yanal gerilme (ön yükleme) durumunda ve değişik malzemelerin birbirleri ile olan yapışkanlı bağlantı davranışlarının incelenmesidir.

3. MATERYAL VE METHOD

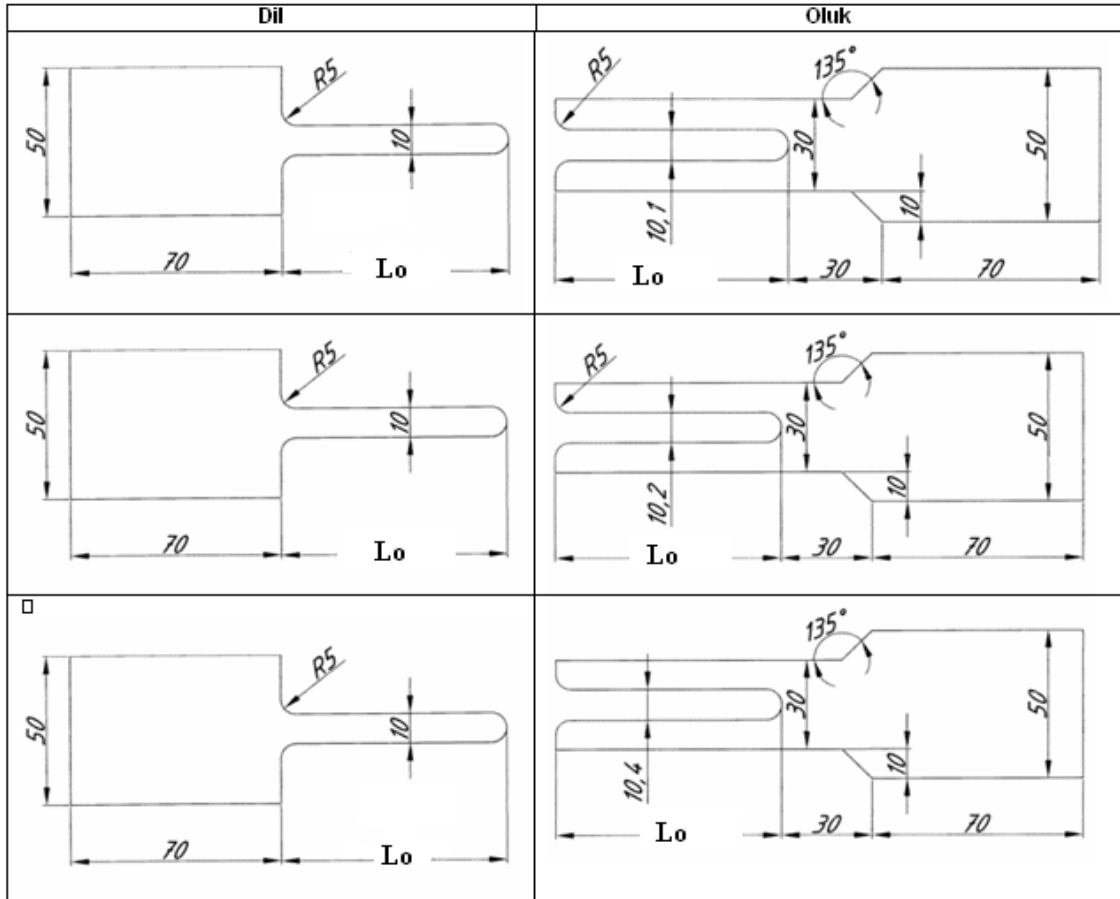
3.1. Deney Numuneleri

Yapılan bu çalışmada kompozit, alüminyum, çelik olmak üzere üç çeşit malzeme kullanılarak, Şekil 3.1’de gösterilen dil-oluk geometrisine sahip malzemeler hazırlanmıştır.



Şekil 3.1 Dil-oluk geometrisi

$L_0=75, 150, 225$ mm olmak üzere üç tip dil uzunluğu kullanılmıştır. Bu amaçla üç tip dil uzunluğuna (L_0) bağlı, dil ve oluk geometrisine sahip malzemeler Şekil 3.2’de gösterilen dil-oluk geometrisi ölçülerinde hazırlanmıştır. Ayrıca yapıştırma kalınlığı $t=0.1, 0.2$ ve 0.4 mm olarak sağlanacaktır. Bu amaçla $10.1, 10.2$ ve 10.4 mm boyutlarında oluk geometrisine sahip kompozit malzemeler Şekil 3.2’deki gibi hazırlanmıştır.



Şekil 3.2 Dil-oluk geometrisinin ölçüleri

Aşağıda görüldüğü üzere birkaç deney numunesi su jeti ile kesilerek istenilen geometriye sahip olacak şekilde hazırlanmıştır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3 Deney numuneleri

3.1.1. Çelik (St 37-2)

Bu çalışmada yukarıda belirtildiği gibi çelik (St 37–2) malzemesi tedarik edilmiş ve belirtilmiş olan dil ölçülerinde şekillendirilmiştir. Çeliğe ait malzeme özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Çelik (St 37–2) malzeme özellikleri

Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Eksenel Gerilme (σ , MPa)		Eğilme (σ , MPa)		Burulma (τ , MPa)	
		Statik	Tam Değişken σ_{cbD}	Statik σ_{ea}	Tam Değişken σ_{eD}	Statik $(\tau)_{ba}$	Tam Değişken $(\tau)_{bD}$
SAE 235 (St37)	360	235	150	330	170	140	100

3.1.2. Alüminyum (5083)

Bu çalışmada alüminyum (5083) malzemesi, verilen çeşitli dil geometrisi ölçülerine göre şekillendirilmiştir. Alüminyum (5083) ait malzeme özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Alüminyum (5083) malzeme özellikleri

Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Sınırı (MPa)	Uzama Miktarı %	Kayma Modülü (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
Alüminyum (5083)	290	145	22	170	70

3.1.3. Kompozit Malzeme

Bu çalışmada Tablo 3.3’de malzeme özellikleri verilen kompozit malzeme hem dil hemde oluk geometrisinde şekillendirilerek kullanılmıştır.

Tablo 3.3 Kompozit malzeme özellikleri

	Elastite Modülü (GPa)			Kayma Modülü (GPa)			Çekme Dayanımı (MPa)		
	E_{11}	E_{22}	E_{33}	G_{12}	G_{23}	G_{13}	F_{1t}	F_{2t}	F_6
Woven Fabrik Kompozit Malzeme (E-Glass Vinyl Ester)	22	22	9	5.3	3.1	3.1	350	350	95

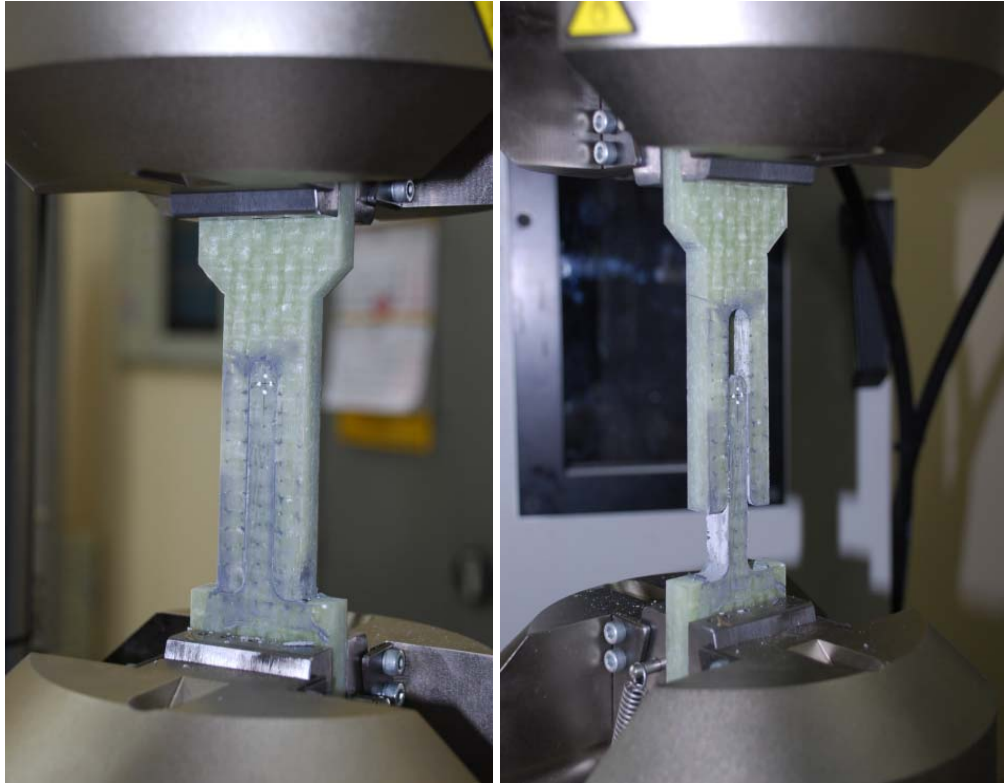
3.2. Teknik Cihazlar

3.2.1. Test Cihazı

Yapılan tüm deneylerde Şekil 3.4’de gösterilen Instron 8801 statik-dinamik yükleme özelliklerine sahip test cihazı kullanılmıştır.

**Şekil 3.4** Instron 8801

Yapıştırılan deney numuneleri, Instron 8801 model çekme cihazında Şekil 3.5’de görüldüğü gibi test edilmiştir.



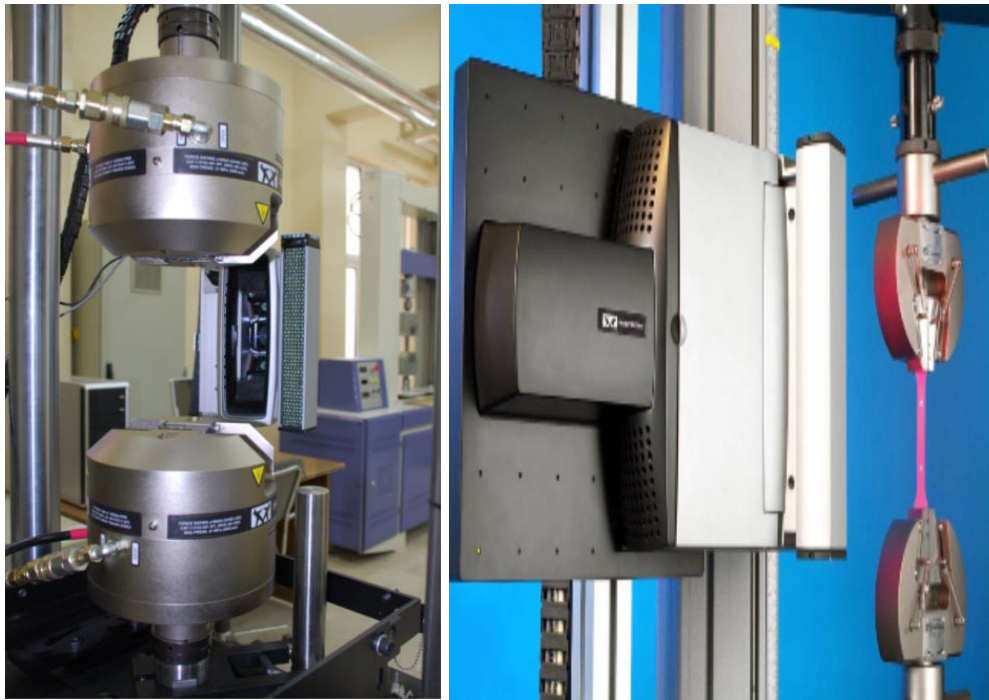
Şekil 3.5 Instron 8801’de deneyin yapılışı

3.2.2. Video Ekstensometre

Deneyler sırasında eksenel ve yanal yüzeylerde oluşan birim uzamanın/daralmanın doğru olarak ölçülmesi gerekmektedir. Şekil 3.6’da görülen temassız video ekstensometre ile deney sırasında birim uzamanın sağlıklı bir şekilde bulunması sağlanmıştır. Video ekstensometrenin teknik özellikleri aşağıda ve Tablo 3.4’de verilmektedir.

- Farklı FOV (Field Of View) ile çeşitli uygulamalarda (Plastik, metal, kompozit, tekstil, biomalzemelerde) kullanılabilir.
- Bluehill Malzeme Test Yazılımına sahiptir.
- Eksenel ve transverse (yanal) gerinim ölçme özelliği ile poisson oranı ve young modülünü tespit eder.
- Kolay kurulum ve operasyon olanağı sağlar.
- Yüksek doğruluk içerir.
- İstenen ölçüde gauge uzunluğu seçimine izin verir.

- Temassız ölçüm özelliği sayesinde test malzemesinde strain gauge ve tırnaklı ekstensometrelerin ortaya çıkardığı hasar oluşumu önlenmektedir.
- Yüksek uzamalarda ölçüm yapabilme özelliği vardır.
- Strain gaugelerde yüksek uzama durumlarında strain gaugelerin bozulması sorunu burada oluşmamaktadır.
- Temas halindeki ekstensometrelerde sıkıştırma kuvveti ile tırnakların kayması sonucu yanlış ölçüm, video ekstensometrelerde oluşmamaktadır.
- Plastik ve kompozitler için gerekli olan Çekme ASTM D 638, ASTM D 882 ISO 527 , Basma ASTM D 695, ASTM D 1621, ISO 604 şartlarını sağlamaktadır.



Şekil 3.6 Video ekstensometre

Tablo 3.4 Video ekstensometrenin teknik özellikleri

	Eksenel Ölçüm	Yanal Ölçüm
Rezolasyon	0.5 μm	0.5 μm
Doğruluk	$\pm 2.5 \mu\text{m}$	$\pm 2.5 \mu\text{m}$
Data transfer hızı	50 Hz	50 Hz
Maksimum takip hızı	150 mm/dak	

3.3. Kullanılan Yapıştırıcılar

3.3.1. Loctite Hysol 9464:

Epoksi ve sertleştiricinin, ağırlık ve hacimsel olarak 1:1, 1:2 oranda (üretici firmaya bağlı olarak belirli oranda) karıştırılarak uygulandığı bir yapıştırıcıdır. Yüksek soyulma direnci ve kayma gerilmesine sahip bu yapıştırıcı, hızlı kürleşmeye ihtiyaç duyulan uygulamalar için uygundur. 3 mm yapıştırma aralığına kadar aynı tür malzemelerin (metal, seramik, plastik, vb.) ve farklı malzemelerin (GRP, SCM, kompozit, vb.) yapıştırılması için ideal bir yapıştırıcıdır. Uygulanma sonrasında 180 dakikalık sabitleme süresine sahip yapıştırıcı için üretici firma tarafından belirtilen başlıca mekanik özellikler Tablo 3.5’de verilmektedir.

Tablo 3.5 Loctite 9464 yapıştırıcının teknik özellikleri

Kesme Mukavemeti	22 N/mm ²
Hacimce karışım oranı	1:1
Çalışma süresi	20 dak
Soyulma direnci	10.5 N/mm
Viskozite	270 Pa.s
Sıcaklık Dayanımı	100°C

3.4. Kullanılan Alet ve Mekanizmalar

3.4.1. Torkmetre

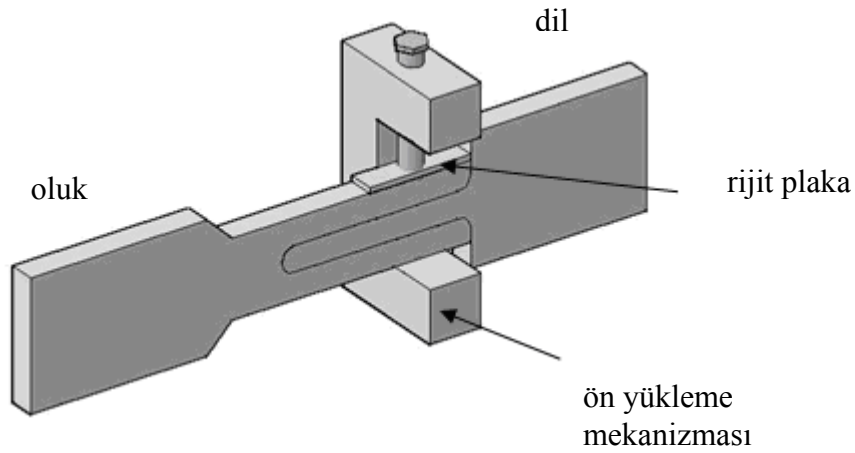
Bu tez içerisindeki deneylerin yapılmasında Şekil 3.7’de görülen mekanik torkmetre kullanılmıştır.



Şekil 3.7 Mekanik torkmetre

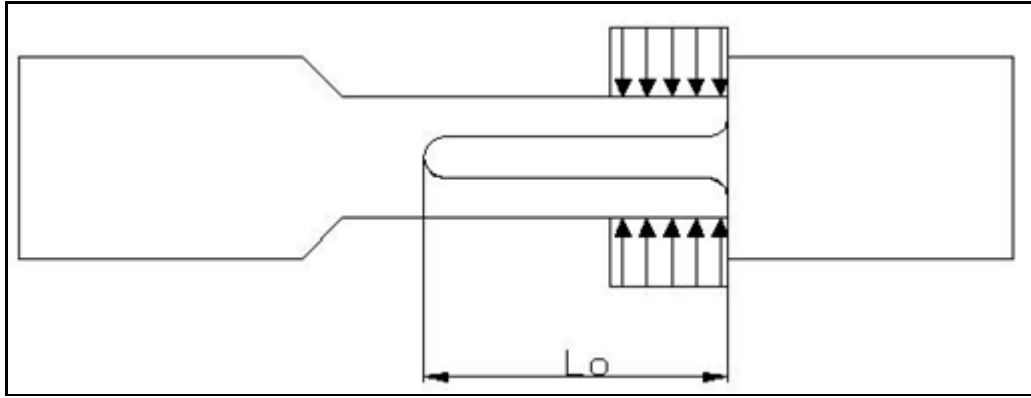
3.4.2. Ön Yükleme Mekanizması

Bu tez döneminde kompozit/çelik (St 37-2)/alüminyum (5083) malzeme dil ve oluk geometrisinin meydana gelen çiftler üzerine statik yükleme yapılmıştır. Bu çalışmalarda statik deney çiftlerinde dil uzunluğu (sırasıyla 75 mm 150 mm ve 225 mm) ve yapıştırma kalınlıkları (sırasıyla $t=0.1$ mm, $t=0.2$ mm ve $t=0.4$ mm) ve ön gerilme momentleri (sırasıyla 0 Nm, 7 Nm ve 15 Nm) olarak uygulanmıştır. Statik deneylerdeki ön yüklemeyi sağlamak için uygulanan tork M8 civata vasıtası ile Şekil 3.8’de gösterilen ön yükleme mekanizması ile gerçekleştirilmiştir.



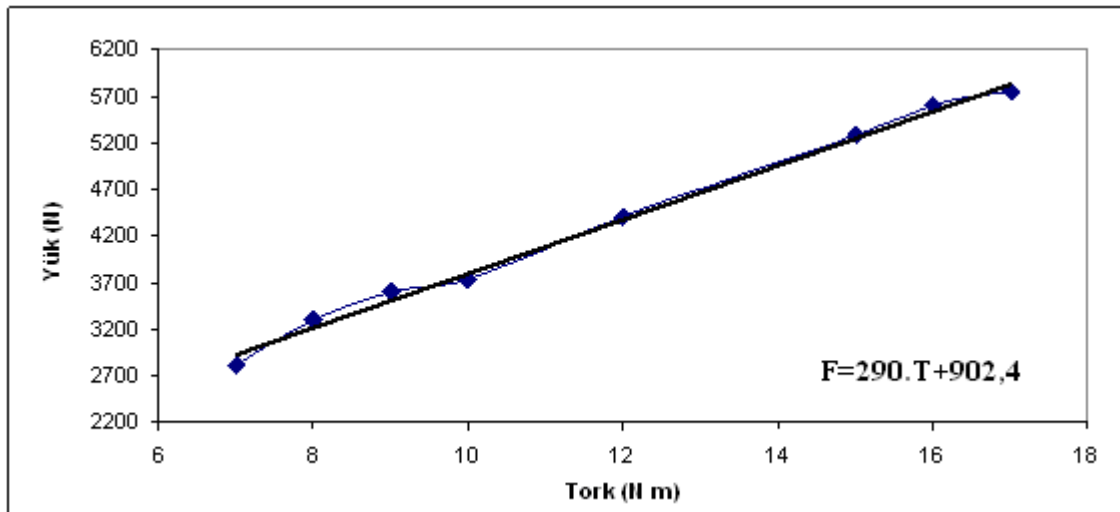
Şekil 3.8 Ön yükleme mekanizması

Bu mekanizma ile oluk geometrisinin uç bölgesine üniform bir gerilme dağılımı sağlanması amacı ile vida ucuna 20x12 mm’lik rijit bir plaka yerleştirilmiştir. Gerilme bu plaka sayesinde üniform bir dağılım göstermiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Üniorm gerilme dağılımı

Yanal yönde uygulanan yük, vidalara uygulanan tork vasıtası ile sağlanmıştır. Kontrollü bir yük değeri için torkmetre kullanılmıştır. Uygulanan torklara karşılık gelen yük değerleri deneysel olarak yük hücreleri vasıtası ile elde edilmiştir. Uygulanan tork ve elde edilen aksenal yük değerleri arasında beklendiği gibi lineer bir ilişkinin olduğu Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10 Lineer ilişki

Statik deneylerde uygulanan 7 Nm ve 15 Nm tork değerlerine karşılık 2.93 kN ve 5.25 kN'luk yük değerleri elde edilmiştir. Bu değerler, sonucu oluk geometrisinin uç bölgesine 12 MPa ve 22 MPa'lık transverse basınç elde edilmiş ve deneyler bu ön gerilme değerlerine göre yapılmıştır.

4. DİL OLUK ÇİFTİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

4.1 Modelleme, Malzemenin Tanıtılması ve Yükleme

Bu bölümde, 12 mm kalınlığında geometrisi verilen dil oluk çiftinin, çeşitli yüklemelere karşılık verdiği gerilme cevapları sonlu elemanlar programı kullanılarak incelenmektedir. Yapılan analizde ANSYS 11.1 paket programı kullanılmıştır.

4.1.1 Malzeme Tipinin Belirlenmesi

Ansys'te çalışmaya başlamadan önce hangi sonlu eleman modelinin kullanılacağı önceden belirlenmelidir. Adım adım yapılacak işlemler sırasıyla şu şekildedir;

Kompozit için:

Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete > Add > Shell 99

Çelik ve alüminyum için:

Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete > Add > Plane 82

Yapışkan malzeme için:

Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete > Add > Plane 82

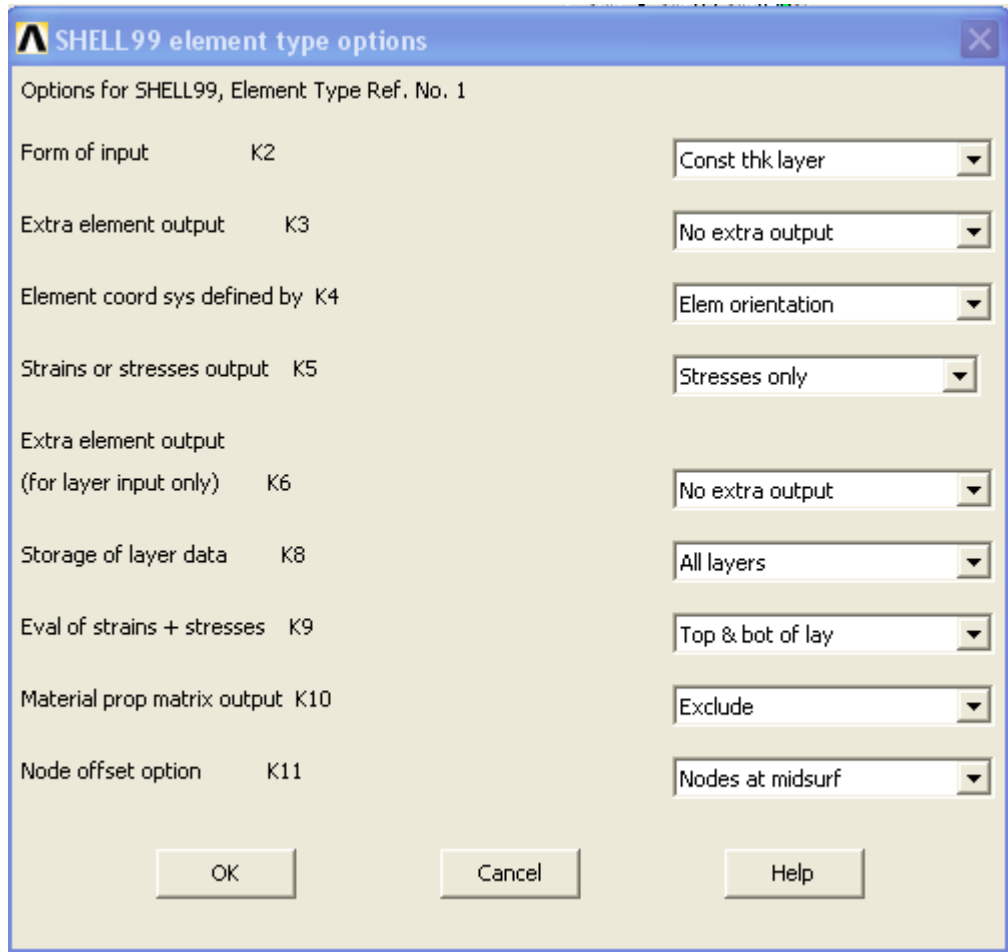
Ayrıca

Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete > Add > Shell 99 >Options

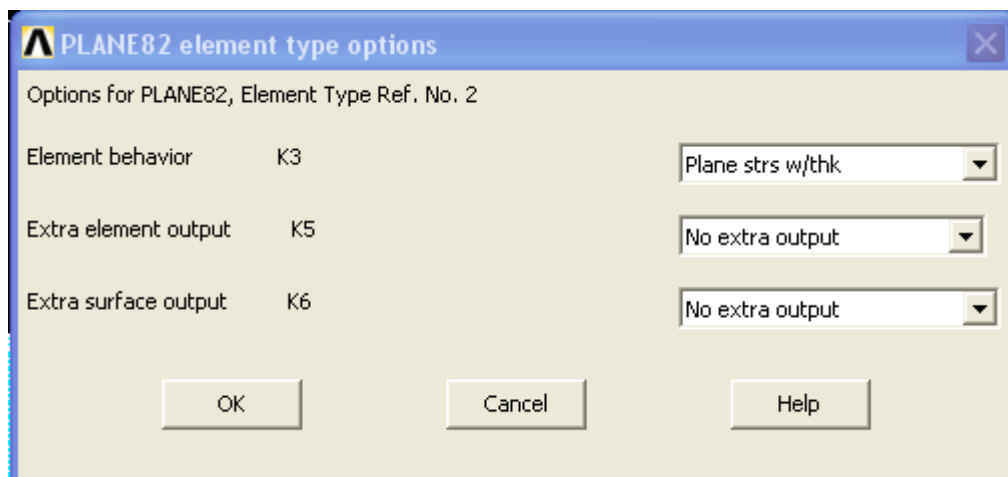
Kompozit malzemenin özellikleri Şekil 4.1'de gösterildiği gibi girilmiştir.

Preprocessor > Element Type > Add / Edit / Delete > Add > Plane 82 >Options

Plane 82 olarak seçilen element tipinin davranışın kalınlık boyunca olması gerektiği belirlenmiştir (Şekil 4.2).



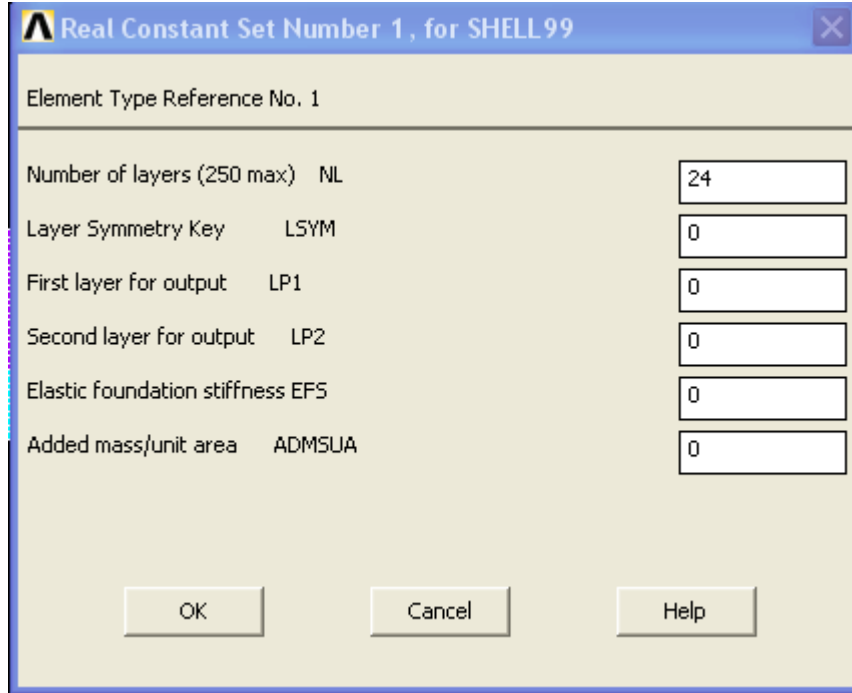
Şekil 4.1 Shell 99 element tipine özelliklerin girilmesi



Şekil 4.2 Plane 82 element tipine özelliklerin girilmesi

Preprocessor > Real Constant > Add / Edit / Delete > Add>Set1>Shell99>

Bu prosedürde açılan pencerede “Number of layers” kısmına kompozit malzemenin katman sayısı 24 olarak girilir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Shell 99 element tipindeki malzemenin katman sayısının girilmesi

Preprocessor > Real Constant > Add / Edit / Delete > Add>Set1>Shell99>

Kompozit malzemenin katman sayısı girildikten sonraki adım olarak her bir katmanın kalınlığı ve 0° - 90° açı oryantasyonları Şekil 4.4’de gösterildiği gibi girilmiştir.

Layer number	MAT	THETA	TK
Layer number 1	1	0	0.5
Layer number 2	1	90	0.5
Layer number 3	1	0	0.5
Layer number 4	1	90	0.5
Layer number 5	1	0	0.5
Layer number 6	1	90	0.5
Layer number 7	1	0	0.5
Layer number 8	1	90	0.5
Layer number 9	1	0	0.5
Layer number 10	1	90	0.5

Press [OK] for next 10 layers

OK Cancel Help

Şekil 4.4 Kompozit malzemede her bir katmanın kalınlığının ve açı oryantasyonunun atanması

Preprocessor > Real Constant > Add / Edit / Delete > Add>Set1>Plane 82
Malzeme kalınlığı 12 mm olarak girilmiştir (Şekil 4.5).

Element Type Reference No. 2

Real Constant Set No. 2

Real Constant for Plane Stress with Thickness (KEYOPT(3)=3)

Thickness THK 12

OK Apply Cancel Help

Şekil 4.5 Plane 82 element tipine ait malzemelerin kalınlığının belirlenmesi

4.1.2 Malzeme Özellikleri ve Ön Hazırlık

Analizi yapılacak olan kompozit, çelik, alüminyum ve yapışkan malzemelerin özellikleri Tablo 4.1 – Tablo 4.3’de verilmektedir.

Tablo 4.1 Kompozit malzeme özellikleri

	Elastite Modülü (GPa)			Kayma Modülü (GPa)			Poisson oranları		
	E ₁₁	E ₂₂	E ₃₃	G ₁₂	G ₂₃	G ₁₃	v _{xy}	v _{yz}	v _{xz}
Woven Fabrik Kompozit Malzeme (E-Glass Vinyl Ester)	22	22	9	5.3	3.1	3.1	0.27	0.38	0.38

Tablo 4.2 Yapışkan malzeme özellikleri

	Elastite Modülü (GPa)	Poisson oranı
Yapışkan Malzeme Loctite 9464	1.78	0.37

Tablo 4.3 Çelik ve alüminyum özellikleri

	Elastite Modülü (GPa)	Poisson oranları
Çelik St37-2	210	0.3
Alüminyum 5083	70	0.3

Malzeme özelliklerini girilmesi;

Preprocessor > Material Props > Material Model > Structural >Linear> Elastic > OK
Orthotropic (Kompozit malzeme için)

Preprocessor > Material Props > Material Model > Structural >Linear> Elastic > OK
Isotropic (Çelik, alüminyum ve yapışkan için)

4.1.3 Malzemenin Modellenmesi

Analizi yapılacak dil-oluk geometrileri Autocad 2007 paket programında çizilmiş ve ANSYS 11.1’e aktarılmıştır.

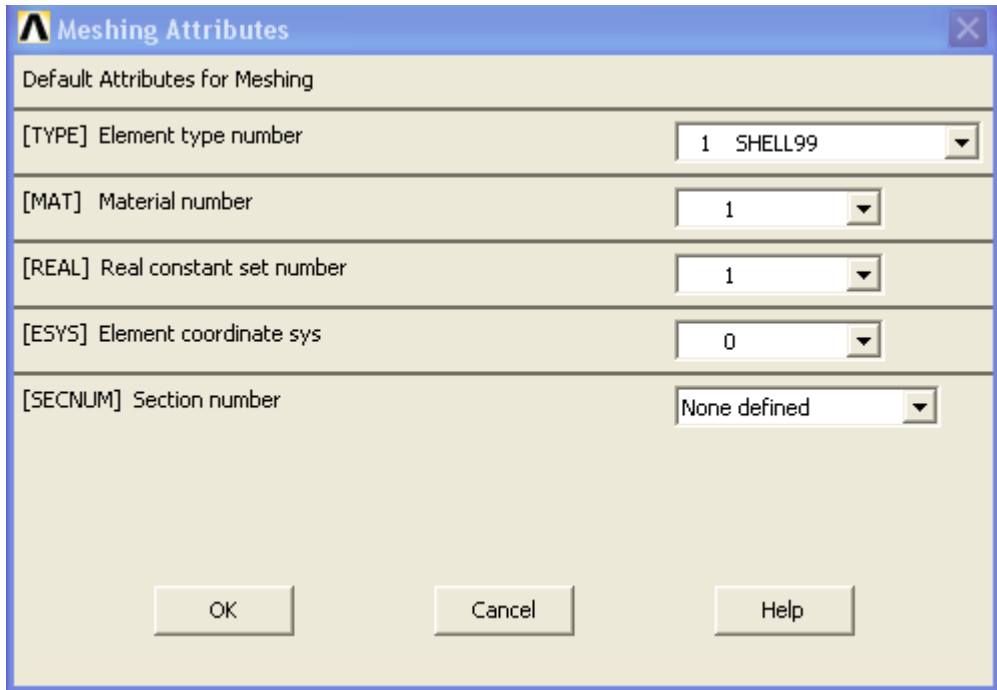
4.1.4 Modelin Sonlu Elemanlara Bölünmesi

Modeli sonlu elemanlara bölmek, başlangıçta eleman seçiminin doğru yapılmasıyla birebir ilişkilidir. Eleman tipine göre mesh tarzı değişmektedir. Sonlu elemanlara ayırma işlemi iki şekilde yapılabilir. Birinci yöntem “Meshing” alt menüsü altında “MESH” menüsü ile ikinci yöntem ise “MESHTOOL” kullanılarak yapılmasıdır. Yapılacak işlemler sırasıyla aşağıda anlatılmaktadır;

Sonlu elemanlara ayırma işlemine başlamadan önce mesh atılacak alanların özellikleri atanmalıdır.

Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Default Attributes > OK

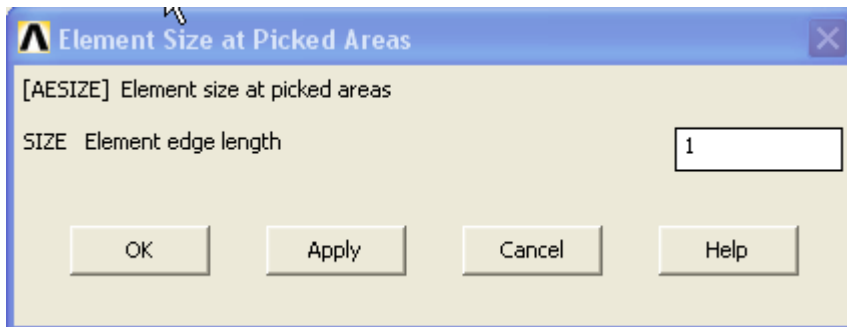
Şekil 4.6’da kompozit elemana ait daha önce belirlenen element tipi, set numarası ve malzeme özelliklerinin sonlu elemanlara bölünecek alanlara tayin edilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Sonlu elemanlara ayrılacak bölgeye özelliklerin atanması

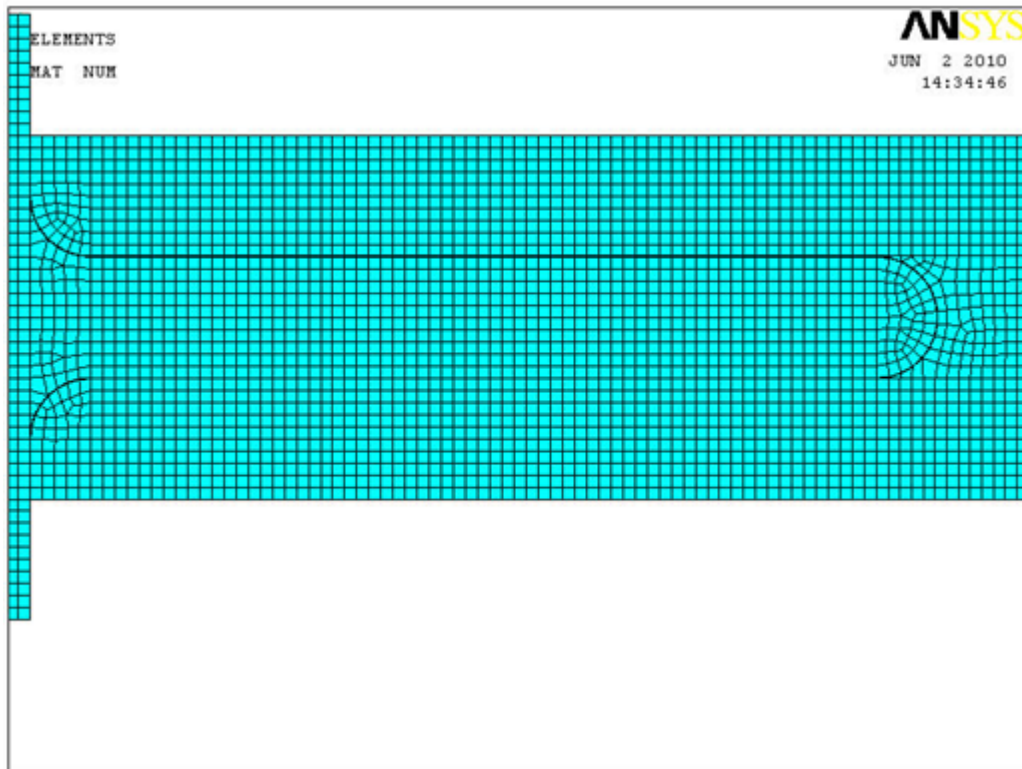
Preprocessor > Meshing > Size control > Manuel Size> Areas>Picked Areas

Seçilen alanlar kaç mm bölünmek isteniyorsa, “Element edge length” bölümüne bu değer yazılır (Şekil 4.7). Modelde oluk ve dil geometrileri 1 mm, yapışkan geometrisi ise 0.025 mm olarak sonlu elemanlara ayrılmıştır.



Şekil 4.7 Sonlu elemanlara bölünme sayısının girilmesi

Dil oluk geometrisinin uygun bir şekilde sonlu elemanlara bölüldüğü Şekil 4.8’de görülmektedir.



Şekil 4.8 Modelin sonlu elemanlara bölünmüş hali

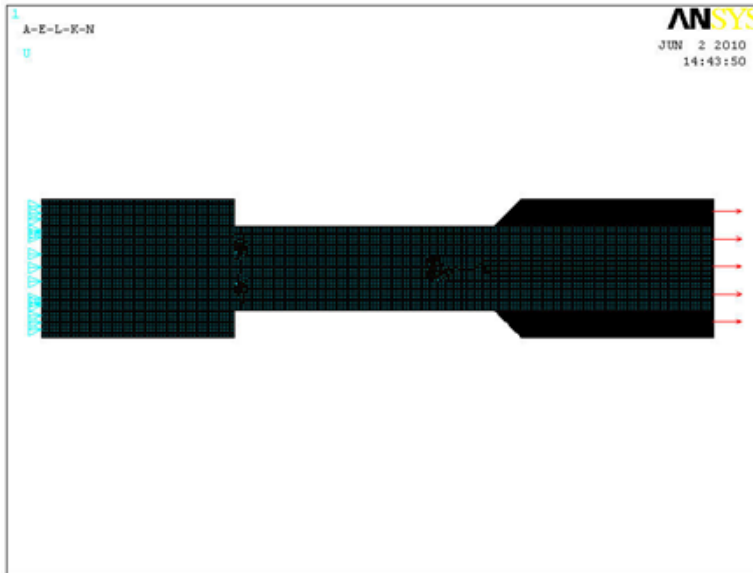
4.1.5 Yükleme

Ön yüklemesiz analizler için öncelikle dil oluk çiftinin mesnetlenmesi gerekmektedir. Bunun için;

Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Lines > Y doğrultusundaki dil malzemesinin sınır çizgisi seçilir > OK > Constrained UX

Yüklemenin yapılması;

Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Lines > Y doğrultusundaki oluk malzemesinin sınır çizgisi seçilir > OK. Load Press Value girilir (Şekil 4.9).

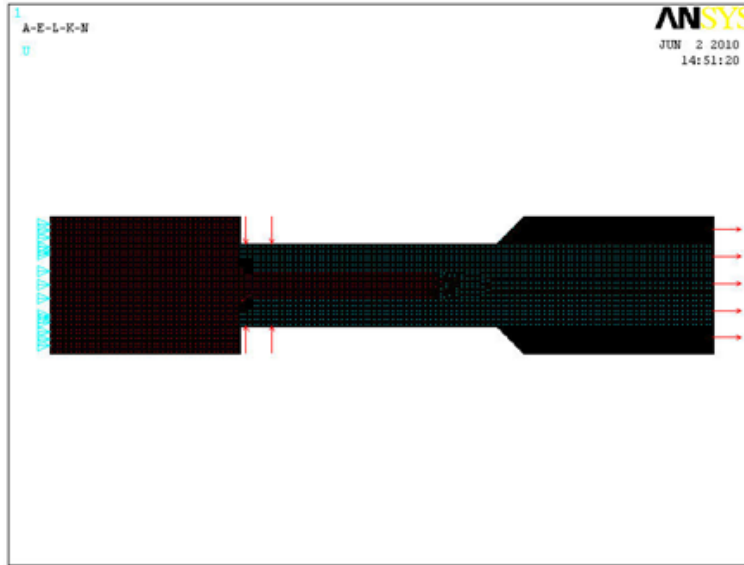


Şekil 4.9 Ön yüklemesiz durumun yükleme koşulları

Ön Yüklemenin yapılması;

Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Lines > Ön yükleme bölgesi seçildi (20 mm) > OK. Load Press Value

“Load Press Value” değeri: 22 MPa’dır ve Şekil 4.10’da gösterilmektedir.



Şekil 4.10 Ön yüklemeli durumun yükleme koşulları

Ön yüklemeli ve ön yüklemesiz tüm analizlerde kullanılan basınç değerleri, ilgili deney sonucundan alınıp uygulanan geometrinin alanı olan 600 mm^2 ($12 \times 50 \text{ mm}$) bölünmesi ile elde edilmiş ve Tablo 4.4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.4 ANSYS’de uygulanan basınç değerleri

Deney No	Malzeme	Dil Uzunluğu [mm]	Yapıştırma Kalınlığı [mm]	Ön Gerilme Momenti [Nm]	Maksimum Deneysel Yük [kN]	Ansysis Analizinde Uygulanan Basınç [N/mm^2]
101	Kompozit	75.00	0.1	0	18.33	30.55
102	Kompozit	75.00	0.2	0	19.68	32.80
103	Kompozit	75.00	0.1	7	33.17	55.28
105	Kompozit	75.00	0.2	15	36.83	61.38
106	Kompozit	150.00	0.1	0	22.18	36.97
107	Kompozit	150.00	0.1	15	39.40	65.67
108	Kompozit	150.00	0.2	15	39.78	66.30
110	Kompozit	225.00	0.1	0	23.88	39.8
111	Kompozit	225.00	0.2	15	41.02	68.37
112	Kompozit	225.00	0.2	0	27.30	45.50
113	Kompozit	75.00	0.4	0	24.87	41.45
117	Kompozit	225.00	0.4	0	34.71	57.85
118	Kompozit	225.00	0.2	7	38.22	63.7
201	Çelik	75.00	0.1	0	37.38	62.3
202	Çelik	75.00	0.1	7	37.90	63.16
204	Çelik	75.00	0.2	0	38.51	64.18
205	Çelik	75.00	0.2	7	38.01	63.35

206	Çelik	75.00	0.4	0	38.72	64.53
207	Çelik	75.00	0.4	7	38.17	63.61
209	Çelik	150.00	0.1	0	38.89	64.82
212	Çelik	150.00	0.4	7	39.07	65.11
214	Çelik	225.00	0.1	0	39.08	65.13
218	Çelik	225.00	0.4	7	39.31	65.51
301	Alüminyum	75.00	0.1	0	26.9	44.83
302	Alüminyum	75.00	0.1	7	28.40	47.33
304	Alüminyum	75.00	0.2	7	30.27	50.45
305	Alüminyum	75.00	0.4	7	32.17	53.61
306	Alüminyum	150.00	0.1	0	29.1	48.50
307	Alüminyum	150.00	0.1	7	30.67	51.11
308	Alüminyum	150.00	0.2	0	29.28	48.80
311	Alüminyum	150.00	0.4	0	29.08	48.46
312	Alüminyum	225.00	0.1	0	29.48	49.13
313	Alüminyum	225.00	0.1	7	30.80	51.33

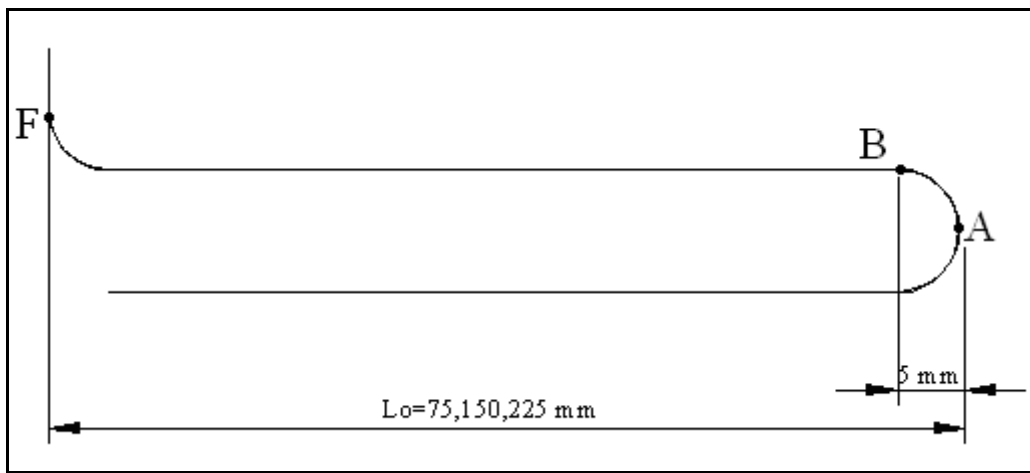
4.1.6 Problemin Çözdürülmesi

Tablo 4.4’de verilen yükleme durumlarından herhangi biri uygulandıktan sonra problem, aşağıdaki şekilde çözdürülmektedir.

Solution > Solve > Current LS

5. YAPIŞTIRICI ÜZERİNDE OLUŞAN GERİLME ANALİZLERİ

Yapıştırma üzerinde oluşan gerilme analiz sonuçları, dil uzunluğunun, yapıştırma kalınlığının, ön gerilmenin ve malzemenin etkileri olarak alt başlıklar altında sunulmuştur. Deney numuneleri, deneysel parametrelerin değişimini gözlemlemek amacıyla yapılan üçlü gruplar şeklinde karşılaştırılmıştır. Şekil 5.1’de görülen yapıştırıcı üzerinde alınan A, B, F bölgelerinde gerilme analizlerinin sonuçları irdelenmiş ve bu bölgelerdeki gerilme değerleri karşılaştırılarak yapışkan ile birleştirilmiş geometrinin kopma davranışı incelenmiştir.



Şekil 5.1 Yapıştırıcı üzerinde oluşan gerilme analizlerinin yapılması için seçilen kritik noktalar

Analizlerden elde edilen gerilme değerleri ilgili numunlerle birlikte tablolar halinde verilmiş olup, deneysel parametrelerin değişimi çizilen grafiklerle verilmiştir.

5.1 Dil Uzunluğunun Etkisi

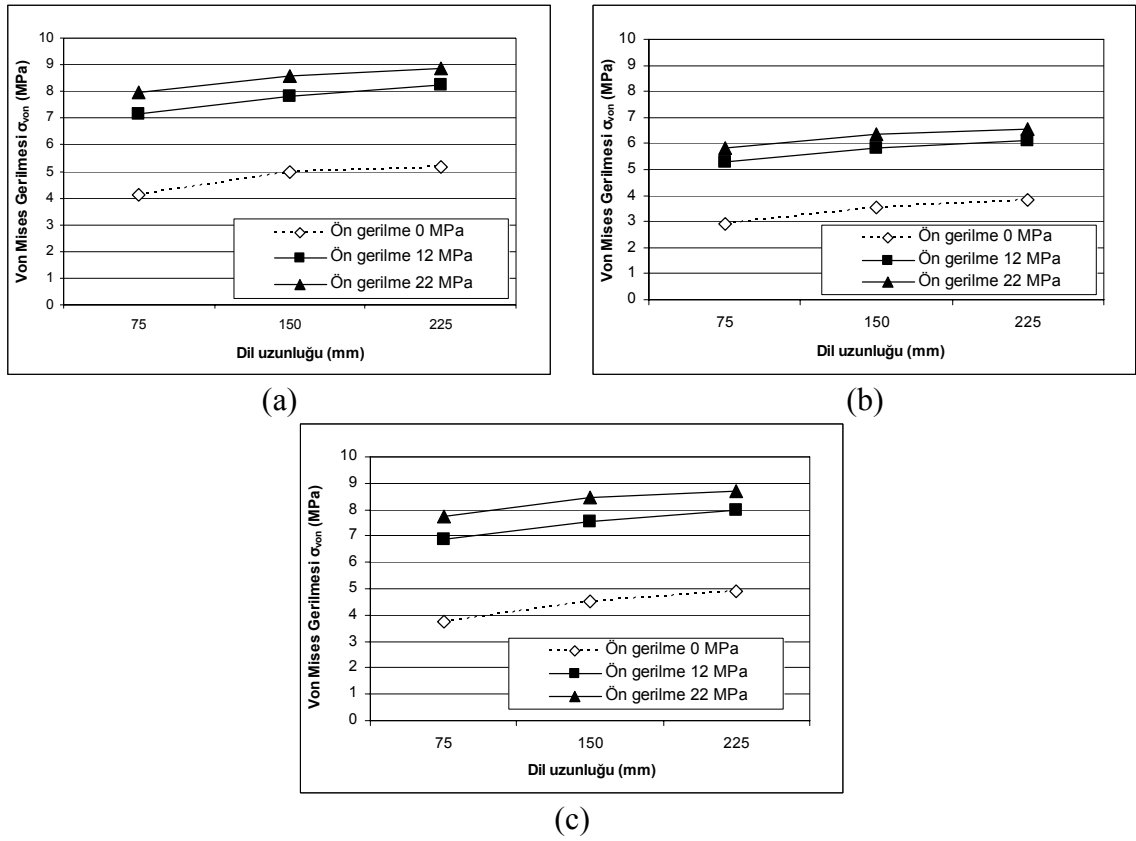
5.1.1 Kompozit – Kompozit Tipi Birleştirmede Dil Uzunluğunun Etkisi

Yapılan analizlerden elde edilen von Mises, kayma ve açılma gerilmelerine dil uzunluğunun etkisi, seçilen kritik bölgelerde incelenmiştir. Tablo 5.1, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3’de kritik bölgelerden elde edilen gerilme değerleri görülmektedir. Dil uzunluğu 75 mm’den 150 mm’ye getirildiğinde von Mises gerilmesinde; A kesitinde %21.06, B kesitinde %22 ve F kesitinde %20.38 oranında artış görülmektedir. Dil uzunluğu 75 mm’den 225 mm’ye arttırıldığında ise von Mises gerilmesi; A kesitinde

%24.96, B kesitinde %31.35 ve F kesitinde %30.59 oranında artmaktadır. Ön gerilme değeri 12 MPa olarak uygulandığında von Mises gerilme değerlerinin; A kesitinde 75 mm için 1.74 kat, 150 mm için 1.56 kat ve 225 mm için 1.6 kat arttığı, B kesitinde bu oranların sırasıyla 1.8, 1.63 ve 1.6 katlarında arttığı ve F kesitinde ise 1.83, 1.68 ve 1.63 katlarında arttığı gözlemlenmiştir. Ön gerilme değeri 22 MPa olarak uygulandığında ise von Mises gerilme değerlerinin; A kesitinde 75 mm için 1.92 kat, 150 mm için 1.72 kat ve 225 mm için 1.72 kat arttığı, B kesitinde bu oranların sırasıyla 2, 1.79 ve 1.72 katlarında arttığı ve F kesitinde ise 2.06, 1.87 ve 1.78 katlarında arttığı görülmüştür (Şekil 5.2). Bu artış oranları diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, dil uzunluğunun etkisinin en fazla kompozit malzemede olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.1 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)

					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
101	Kompozit	75	0.1	0	4.1191	2.9111	3.7455
106	Kompozit	150	0.1	0	4.9864	3.5515	4.5088
110	Kompozit	225	0.1	0	5.1473	3.8238	4.8912
105	Kompozit	75	0.2	22	7.9473	5.8435	7.7276
108	Kompozit	150	0.2	22	8.5779	6.3717	8.4426
111	Kompozit	225	0.2	22	8.8423	6.5687	8.7161
103	Kompozit	75	0.1	12	7.1635	5.2672	6.8565
116	Kompozit	150	0.1	12	7.8114	5.8023	7.5715
118	Kompozit	225	0.2	12	8.2383	6.1200	7.9647

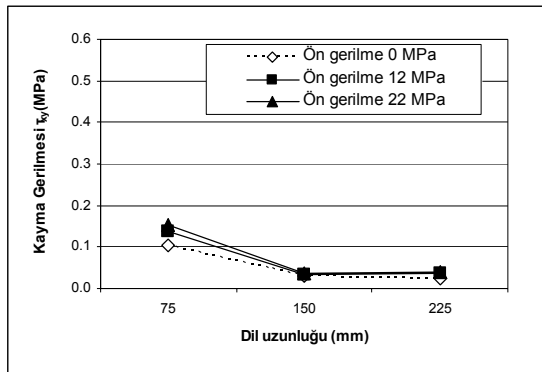


Şekil 5.2 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi

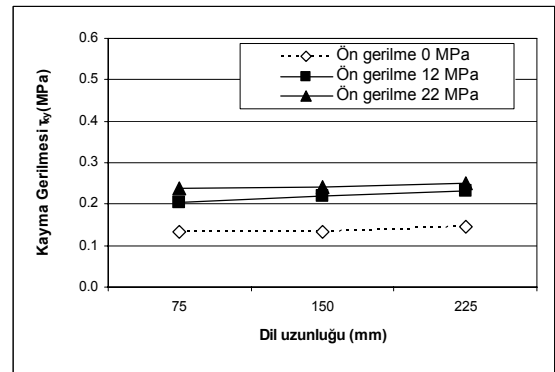
Dil uzunluğu 75 mm'den 150 mm'ye getirildiğinde kayma gerilmesinde; A kesitinde %70.82 oranında azalma, B kesitinde %0.61 ve F kesitinde %14.28 oranında artma görülmektedir. Dil uzunluğu 75 mm'den 225 mm'ye arttırıldığında ise kayma gerilmesi; A kesitinde %77.44 oranında azalmakta, B kesitinde %9 ve F kesitinde %27.38 oranında artmaktadır. Ön gerilme değeri 12 MPa olarak uygulandığında ise kayma gerilme değerlerinin; A kesitinde 75 mm için 1.32 kat, 150 mm için 1.34 kat ve 225 mm için 1.6 kat arttığı, B kesitinde bu oranların sırasıyla 1.52, 1.63 ve 1.6 katlarında arttığı ve F kesitinde ise 0.79, 0.8 ve 0.89 katlarında arttığı görülmüştür. Ön gerilme değeri 22 MPa olarak uygulandığında kayma gerilme değerlerinin; A kesitinde 75 mm için 1.46 kat, 150 mm için 1.25 kat ve 225 mm için 1.72 kat arttığı, B kesitinde bu oranların sırasıyla 1.78, 1.79 ve 1.72 katlarında arttığı ve F kesitinde ise 2.58, 2.41 ve 2.18 katlarında arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.3).

Tablo 5.2 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa)

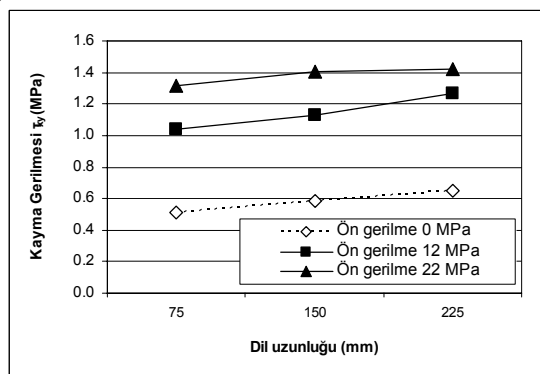
					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
101	Kompozit	75	0.1	0	0.1044	0.1333	0.5102
106	Kompozit	150	0.1	0	0.0305	0.1342	0.5831
110	Kompozit	225	0.1	0	0.0236	0.1453	0.6499
105	Kompozit	75	0.2	22	0.1526	0.2376	1.3157
108	Kompozit	150	0.2	22	0.0382	0.2407	1.4054
111	Kompozit	225	0.2	22	0.0405	0.2497	1.4201
103	Kompozit	75	0.1	12	0.1375	0.2027	1.0378
116	Kompozit	150	0.1	12	0.0347	0.2192	1.1297
118	Kompozit	225	0.2	12	0.0377	0.2326	1.2638



(a)



(b)



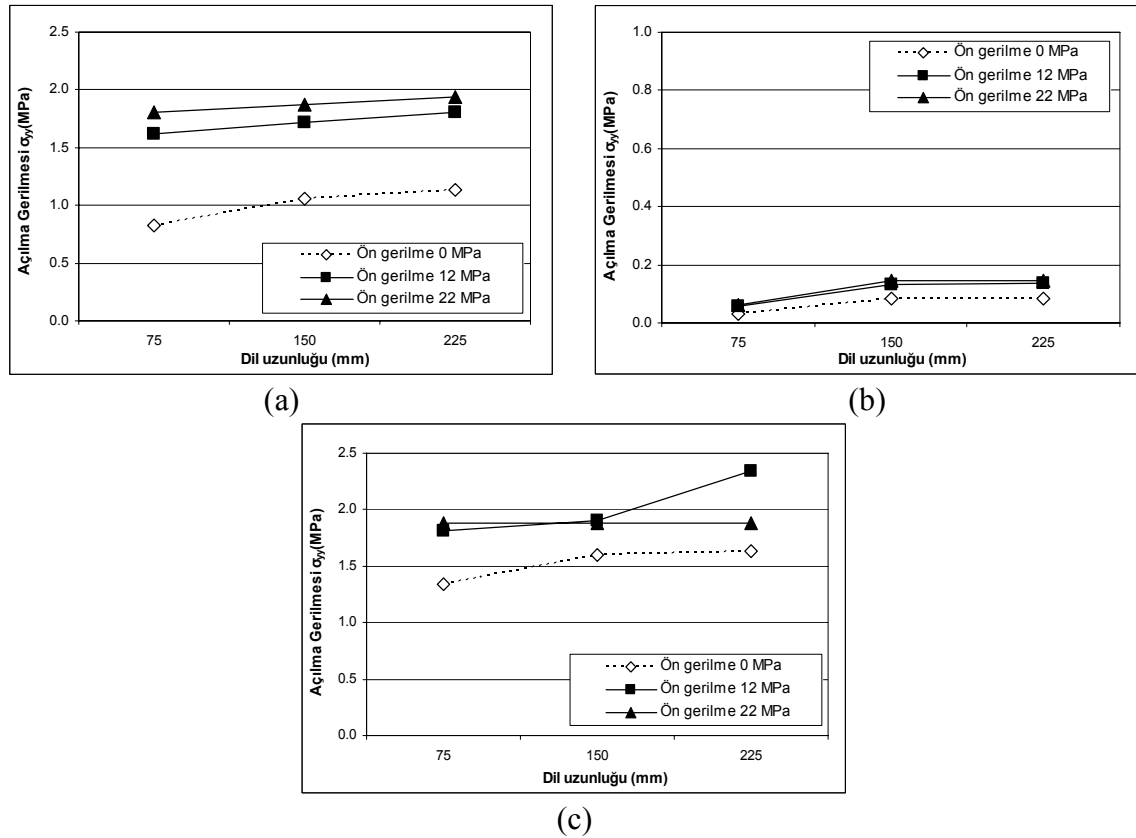
(c)

Şekil 5.3 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi

Dil uzunluğu 75 mm'den 150 mm'ye getirildiğinde açılma gerilmesinde; A kesitinde %27.81, B kesitinde %161.28 ve F kesitinde %19.74 oranında artış görülmektedir. Dil uzunluğu 75 mm'den 225 mm'ye arttırıldığında ise açılma gerilmesi; A kesitinde %37.02, B kesitinde %173.02 ve F kesitinde %21.67 oranında artmaktadır. Ön gerilme değeri 12 MPa olarak uygulandığında açılma gerilme değerlerinin; A kesitinde 75 mm için 2.18 kat, 150 mm için 1.77 kat ve 225 mm için 1.71 kat arttığı, B kesitinde bu oranların sırasıyla 1.97, 1.79 ve 1.71 katlarında arttığı görülmüştür. F kesitinde ise 1.40, 1.17 ve 1.15 katlarında artmış olduğu gözlemlenmiştir. Ön gerilme değeri 22 MPa olarak uygulandığında ise açılma gerilme değerlerinin; A kesitinde 75 mm için 1.96 kat, 150 mm için 1.62 kat ve 225 mm için 1.60 kat arttığı, B kesitinde bu oranların sırasıyla 1.79, 1.63 ve 1.60 katlarında arttığı ve F kesitinde ise 1.34, 1.18 ve 1.43 katlarında arttığı görülmüştür (Şekil 5.4).

Tablo 5.3 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa)

					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
101	Kompozit	75	0.1	0	0.8257	0.0313	1.3394
106	Kompozit	150	0.1	0	1.0553	0.0819	1.6038
110	Kompozit	225	0.1	0	1.1314	0.0856	1.6297
105	Kompozit	75	0.2	22	1.8021	0.0620	1.8760
108	Kompozit	150	0.2	22	1.8748	0.1469	1.8822
111	Kompozit	225	0.2	22	1.9435	0.1470	1.8842
103	Kompozit	75	0.1	12	1.6242	0.0562	1.8076
116	Kompozit	150	0.1	12	1.7163	0.1338	1.9015
118	Kompozit	225	0.2	12	1.8108	0.1370	2.3412



Şekil 5.4 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi

5.1.2 Kompozit – Çelik Tipi Birleştirmede Dil Uzunluğunun Etkisi

Analizlerden elde edilen von Mises, kayma ve açılma gerilmesi değerleri Tablo 5.4, Tablo 5.5 ve Tablo 5.6’da görülmektedir. Dil uzunluğu 75 mm’den 150 mm’ye getirildiğinde von Mises gerilmesinde; A kesitinde 12.72 MPa’dan 13.23 MPa’ya yaklaşık % 4 artış gözlemlenmiştir. Bu oran dil uzunluğu 75 mm’den 225 mm’ye çıkarıldığında ise % 7.7 olmaktadır. B kesitinde aynı şekilde von Mises gerilmesinin değeri, dil uzunluğu 75 mm’den sırasıyla 150 mm’ye ve 225 mm’ye çıkartıldığında, %1.5 ve %2 artış şeklindedir. F kesitinde von Mises gerilme değerleri 75 mm dil uzunluğundan 150 mm dil uzunluğuna gelindiğinde %4.7, 150 mm dil uzunluğundan 225 mm dil uzunluğuna gelindiğinde ise artış az miktarda ve yaklaşık %0.49 oranında olmaktadır. Dil uzunluğunun etkisi en az çelik malzeme üzerinde görülmektedir.

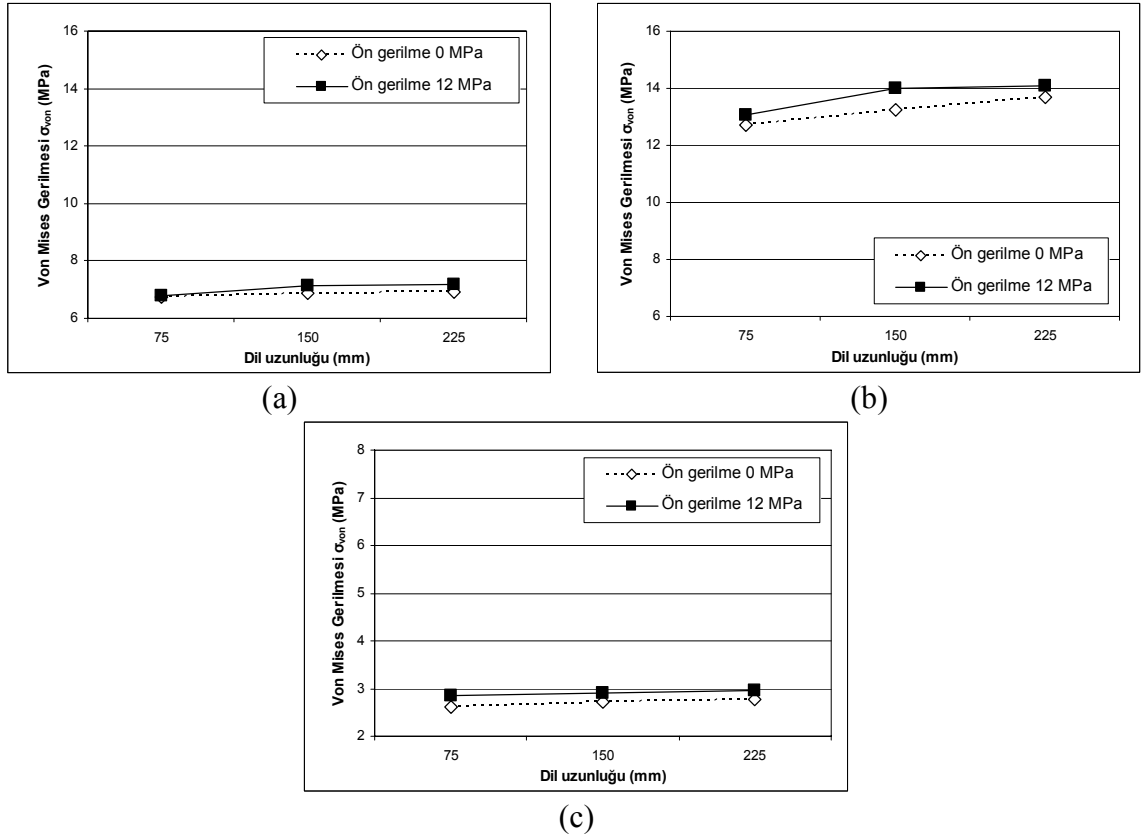
Dil uzunluğunun artırılması ile von Mises gerilmesinde de artma görülmektedir. Gözlenen artışlar, analizlerin deneysel çalışmalardan elde edilen maksimum kopma

yüklerinin uygulanarak yapılmasından ve kopma yüklerinin artan dil uzunluğu ile artmasından kaynaklanmaktadır.

Ön gerilme değeri 12 MPa ve yapıştırma kalınlığı 0.4 mm olacak şekilde analizler gerçekleştirildiğinde, A noktasında çelik dil uzunluğunun 75 mm'den sırasıyla 150 mm'ye ve 225 mm'ye çıkarıldığında, von Mises gerilmesi %6.8 ve %0.75 oranlarında artmıştır. B kesitindeki von Mises gerilmesinin artış oranı, dil uzunluğu 75 mm'den 150 mm'ye çıkarıldığında %5.24, 225 mm'ye çıkarıldığında ise %0.76'dır. F kesitinde 75 mm için von Mises gerilmesi 2.86 MPa, 150 mm için 2.91 MPa ve 225 mm dil uzunluğunda 2.96 MPa değerindedir. Bu değerler dil uzunluğunun 75 mm'den 225 mm'ye arttırılmasının, gerilme değerini %3.54 arttırdığını göstermektedir (Şekil 5.5).

Tablo 5.4 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)

					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
201	Çelik	75	0.1	0	12.7200	6.7641	2.6205
209	Çelik	150	0.1	0	13.2360	6.8702	2.7171
214	Çelik	225	0.1	0	13.6990	6.9033	2.7702
207	Çelik	75	0.4	12	13.0789	6.7857	2.8601
212	Çelik	150	0.4	12	13.9778	7.1410	2.9112
218	Çelik	225	0.4	12	14.0824	7.1955	2.9613

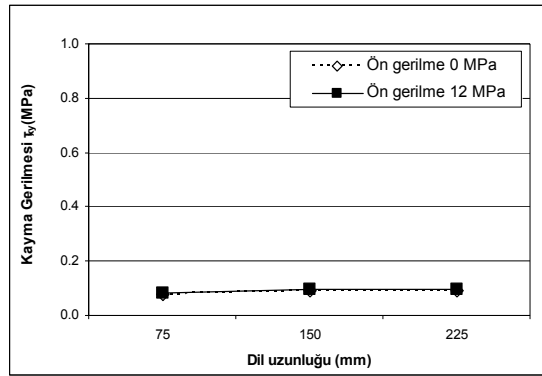


Şekil 5.5 Çelik-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi

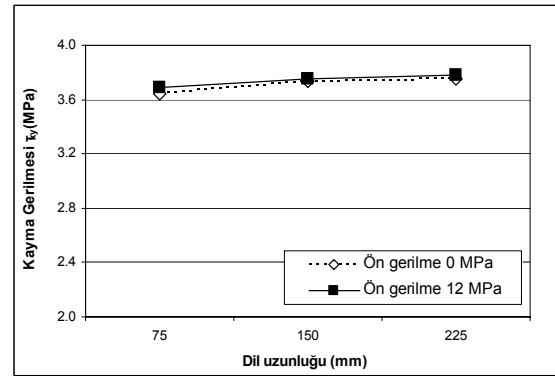
Kritik noktadaki kayma gerilmeleri incelendiğinde; A, B ve F kesitlerinde kayma gerilmelerinde dil uzunluğu 75 mm'den 150 mm'ye ve 225 mm'ye getirildiğinde artma olduğu görülmüştür. Bu artış oranı A kesitinde, dil uzunluğu 75 mm'den 150 mm'ye getirildiğinde %13.50, B kesitinde %2.7, F kesitinde % 6'dır. Dil uzunluğunun 150 mm'den 225 mm'ye getirildiğinde kayma gerilmelerindeki oranlar ise A kesitinde %0.34, B kesitinde 0.48 ve F kesitinde %1.18 dir. Görüldüğü üzere çelik malzemede dil uzunluğunun 150 mm'den 225 mm'ye çıkarılması durumunda fazla bir gerilme artışı gözlenmemiştir. Optimum tasarımlarda uygun dil boyunun belirlenmesi malzeme maliyetinde azaltmaya yol açacağından, maliyet açısından günümüzde oldukça önemlidir. Benzer durum çelik kompozit malzeme çiftlerinin 0.4 mm yapışkan kalınlığı ve 12 MPa ön gerilme altındaki analizlerinde de görülmüştür. Kritik noktadaki kayma gerilme değerleri incelenmiş ve A kesitinde dil uzunluğu 75 mm'den 150 mm'ye getirildiğinde %15.80, B kesitinde %1.6, F kesitinde %5.57 artış gözlemlenmiştir. Dil uzunluğunun 150 mm'den 225 mm'ye getirildiğinde kayma gerilmelerindeki artış oranları ise A kesitinde % 0.67, B kesitinde %0.79 ve F kesitinde %0.76 şeklindedir (Şekil 5.6).

Tablo 5.5 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa)

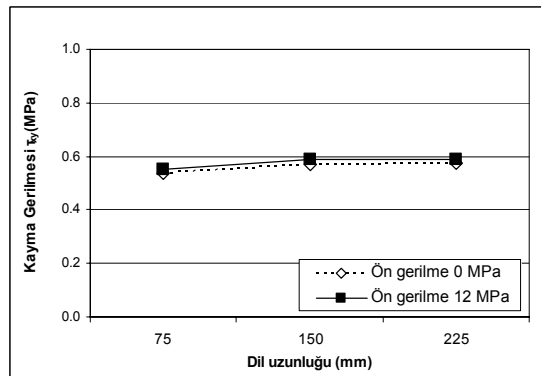
					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
201	Çelik	75	0.1	0	0.0789	3.6395	0.5373
209	Çelik	150	0.1	0	0.0895	3.7377	0.5696
214	Çelik	225	0.1	0	0.0898	3.7558	0.5763
207	Çelik	75	0.4	12	0.0811	3.6917	0.5530
212	Çelik	150	0.4	12	0.0940	3.7529	0.5866
218	Çelik	225	0.4	12	0.0946	3.7826	0.5878



(a)



(b)



(c)

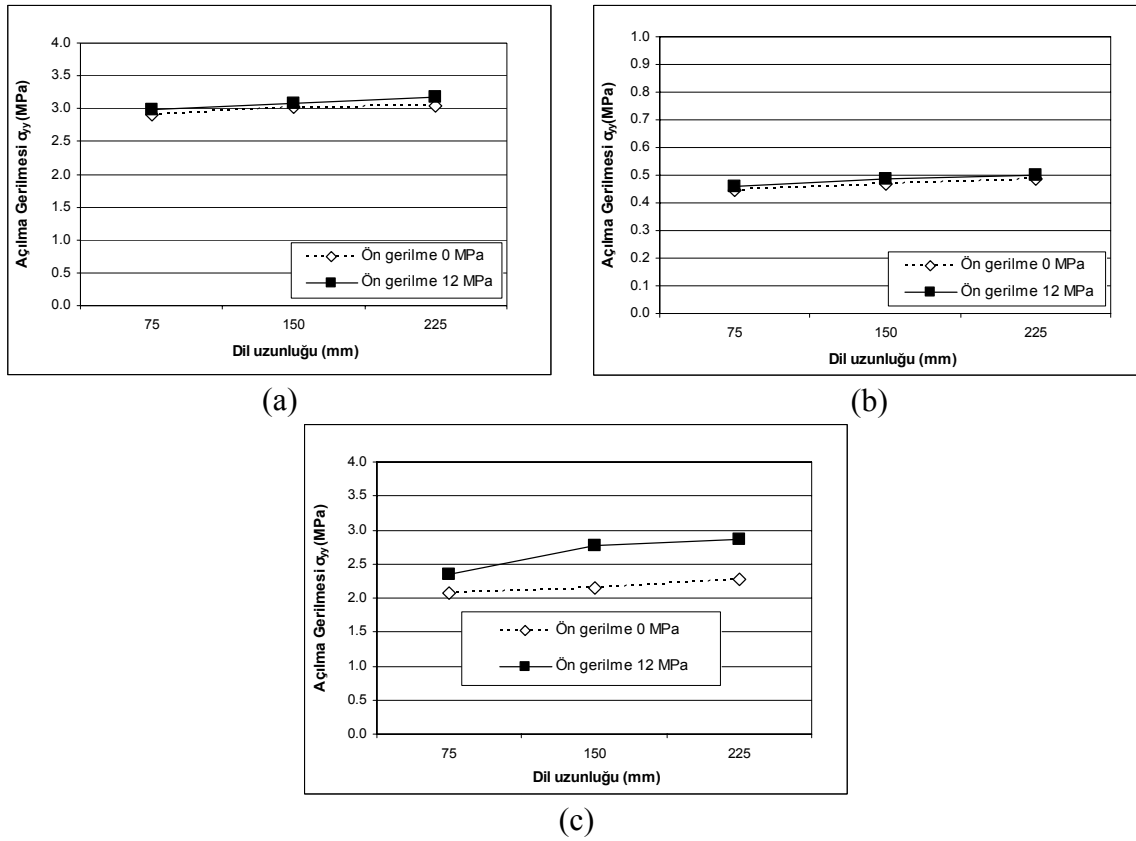
Şekil 5.6 Çelik-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi

Açılma gerilmeleri incelendiğinde, çelik-kompozit dil oluk çiftinde açılma gerilmeleri hem ön gerilmeli hem de ön gerilmemiş durumda incelenmiştir. Ön gerilmemiş durumda, dil uzunluğu 75 mm'den 150 mm'ye getirildiğinde açılma gerilmesinde; A kesitinde %4.05, B kesitinde %5.19 ve F kesitinde %3.38 oranında artış

görülmektedir. 12 MPa ön gerilmeli durumda, dil uzunluğu 75 mm'den 150 mm'ye getirildiğinde açılma gerilmesinde; A kesitinde %2.97, B kesitinde %5.78 ve F kesitinde %18.22 oranında artış görülmektedir (Şekil 5.7). Dil uzunluğu 75 mm'den 225 mm'ye arttırıldığında ise ön gerilmersiz durumda açılma gerilmesi; A kesitinde %0.48, B kesitinde %4.13 ve F kesitinde %5.22 oranında artmaktadır. Ön gerilme değeri 12 MPa olarak uygulandığında açılma gerilme değerleri incelenmiş olup A kesitinde 75 mm için 1.02 kat, 150 mm için 1.01 kat ve 225 mm için 1.04 kat artma gözlenmiştir. B kesitinde bu oranların sırasıyla 1.02, 1.03 ve 1.02 katlarında artarak az bir artış olduğu ve F kesiti incelendiğinde ise 1.12, 1.28 ve 1.26 katlarında arttığı görülmüştür.

Tablo 5.6 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa)

					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
201	Çelik	75	0.1	0	2.9118	0.4455	2.0773
209	Çelik	150	0.1	0	3.0297	0.4687	2.1537
214	Çelik	225	0.1	0	3.0442	0.4880	2.2662
207	Çelik	75	0.4	12	2.9938	0.4582	2.1234
212	Çelik	150	0.4	12	3.0826	0.4847	2.7721
218	Çelik	225	0.4	12	3.1791	0.4998	2.8579



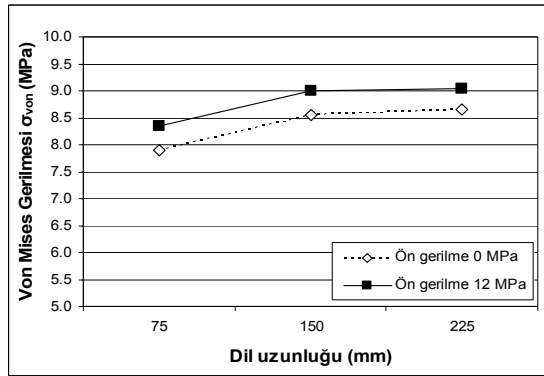
Şekil 5.7 Çelik-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi

5.1.3 Kompozit – Alüminyum Tipi Birleştirmede Dil Uzunluğunun Etkisi

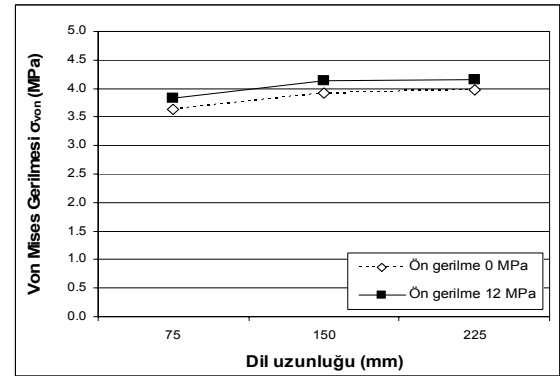
Von Mises, kayma ve açılma gerilmesi değerleri Tablo 5.7, Tablo 5.8 ve Tablo 5.9'da görülmektedir. Alüminyum malzemede dil uzunluğu arttıkça von Mises gerilmesinde artış görülmektedir. Ayrıca 12 MPa ön gerilme koşulundaki von Mises gerilmelerinin ön gerilmesiz duruma göre daha fazla olduğu görülmüştür. Dil uzunluğu 75 mm'den 150 mm'ye getirildiğinde von Mises gerilmesinde; A kesitinde %8.19 artış, B kesitinde %8.24 artış, F kesitinde %8.25 artış göstermiştir. Bu oran dil uzunluğu 75 mm'den 225 mm'ye çıkarıldığında ise; A kesitinde %1.30 artış, B kesitinde %1.30 artış, F kesitinde %1.77 artış göstermiştir. Dil uzunluğunun 150 mm'den sonra arttırılmasının gerilme değerlerinde çok büyük bir değişmeye sebep olmadığı gözlemlenmiştir. 12 MPa ön gerilme durumunda 75 mm dil uzunluğu için A kesitinde görülen gerilme değeri 8.33 MPa'dır ve bu değer ön gerilmesiz durumun 1.05 katıdır. Ön gerilmenin etkisiyle artan von Mises gerilmelerin değerleri de benzer şekilde ön gerilmesiz 150 mm için 1.05, 225 mm dil boyu için ise 1.04 kat olmaktadır. B ve F kesitlerindeki durumda A kesitindeki artış değerlerine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.8).

Tablo 5.7 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)

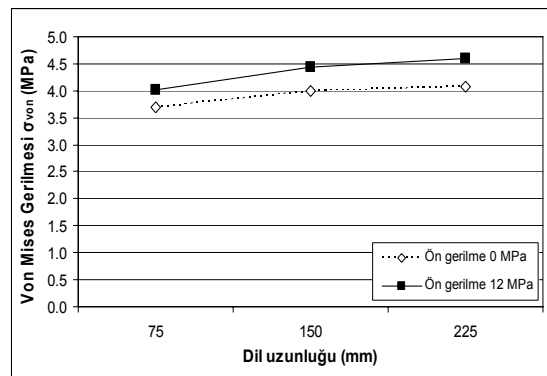
					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
301	Alüminyum	75	0.1	0	7.8990	3.6262	3.6980
306	Alüminyum	150	0.1	0	8.5456	3.9253	4.0027
312	Alüminyum	225	0.1	0	8.6566	3.9765	4.0736
302	Alüminyum	75	0.1	12	8.3391	3.8277	4.0211
307	Alüminyum	150	0.1	12	9.0055	4.1365	4.4457
313	Alüminyum	225	0.1	12	9.0442	4.1546	4.5891



(a)



(b)



(c)

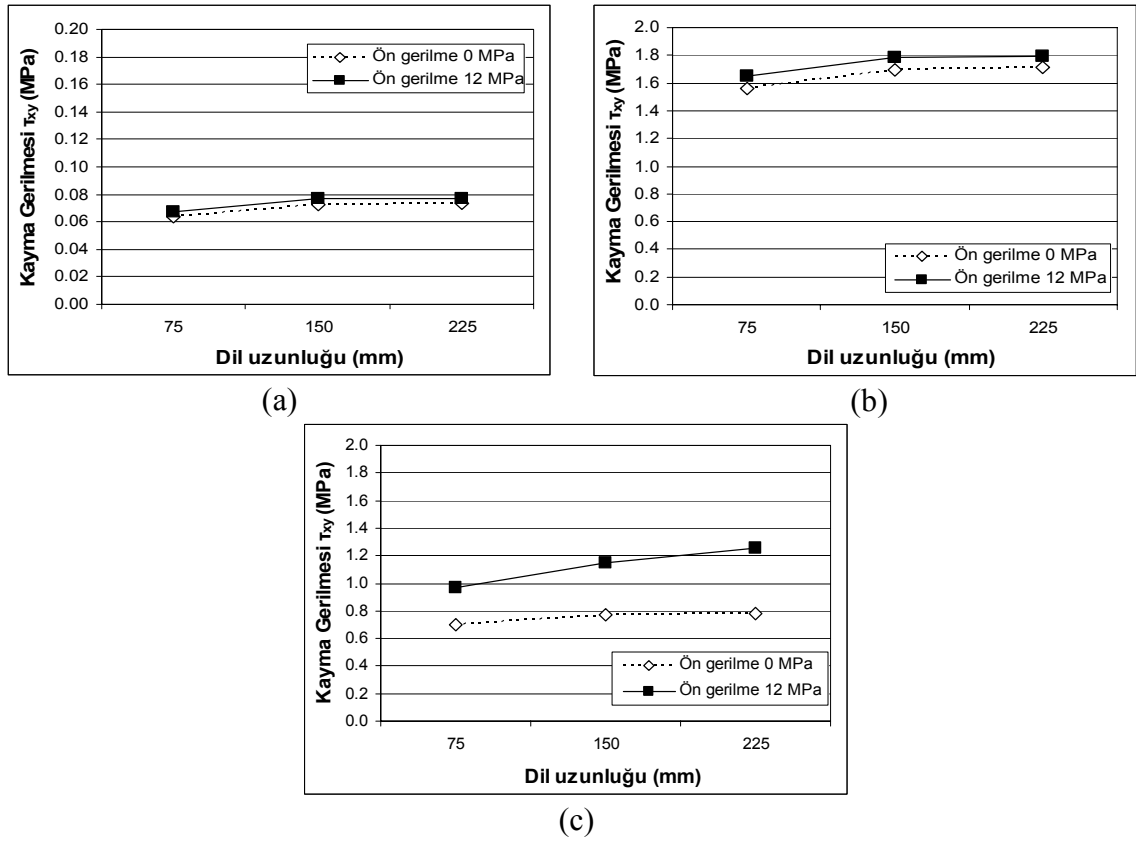
Şekil 5.8 Alüminyum-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi

Kayma gerilmeleri incelendiğinde, dil uzunluğu 75 mm'den 150 mm'ye getirildiğinde; A kesitinde %15.04 oranında artma, B kesitinde %8.28 ve F kesitinde %9.88 oranında artma görülmektedir. Dil uzunluğu 75 mm'den 225 mm'ye arttırıldığında ise kayma gerilmesi; A kesitinde %1.16 oranında azalmakta, B kesitinde

%1.31 ve F kesitinde %2.10 oranında artmaktadır. Ön gerilme değeri 12 MPa olarak uygulandığında ise kayma gerilme değerlerinin; A kesitinde 75 mm için 1.06 kat, 150 mm için 1.05 kat ve 225 mm için 1.04 kat arttığı görülmüştür. B kesitinde bu oranlardaki artış sırasıyla 1.06, 1.05 ve 1.04 katlarında ve F kesitinde ise 1.39, 1.49 ve 1.60 katlarında olduğu görülmüştür (Şekil 5.9). Yapışma boyunun üç kat artmasına rağmen kayma gerilmelerinde gerçekleşen artış oranları düşük olmaktadır. Yapışma boyunca kayma gerilmesinin üniform bir şekilde dağılmadığı ve bazı bölgelerin yük taşımadığı açıkça anlaşılmaktadır. Ön gerilme durumunda en zayıf bağlantı kompozit – alüminyum dil oluk çifti olmaktadır.

Tablo 5.8 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa)

					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
301	Alüminyum	75	0.1	0	0.0633	1.5634	0.6982
306	Alüminyum	150	0.1	0	0.0728	1.6928	0.7672
312	Alüminyum	225	0.1	0	0.0737	1.7149	0.7833
302	Alüminyum	75	0.1	12	0.0668	1.6501	0.9718
307	Alüminyum	150	0.1	12	0.0767	1.7839	1.1444
313	Alüminyum	225	0.1	12	0.0770	1.7917	1.2526

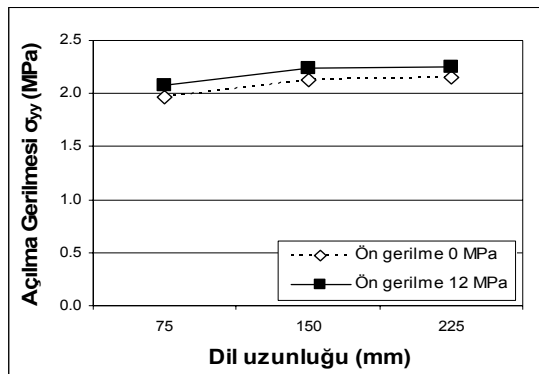


Şekil 5.9 Alüminyum-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi

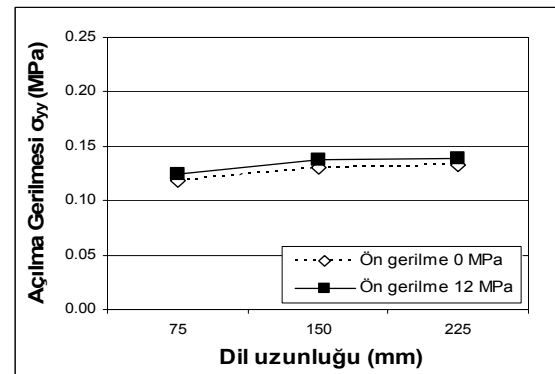
Kompozit – alüminyum dil oluk çiftinde açılma gerilmeleri incelendiğinde ise; A, B ve F kesitlerinde dil uzunluğu 75 mm’den 150 mm’ye ve 225 mm’ye getirildiğinde artış görülmüştür. Bu artış oranı ön gerilmesiz durumda A kesitinde, dil uzunluğu 75 mm’den 150 mm’ye getirildiğinde %8.10, B kesitinde %10.50, F kesitinde %17.81 olarak hesaplanmıştır. Dil uzunluğu 150 mm’den 225 mm’ye arttırıldığında açılma gerilmelerinde ki oranlar ise A kesitinde %0.13, B kesitinde %0.15 ve F kesitinde %3.36 olmaktadır. Benzer durum kompozit – alüminyum malzeme çiftlerinin 12 MPa ön gerilme altındaki analizlerinde de görülmüştür. Kritik noktadaki kayma gerilme değerleri incelenmiş ve A kesitinde, dil uzunluğu 75 mm’den 150 mm’ye getirildiğinde %8.08, B kesitinde %10.35, F kesitinde %7.54 artış gözlemlenmiştir. Dil uzunluğunun 150 mm’den 225 mm’ye arttırılması ise açılma gerilmelerinde A kesitinde %1.50, B kesitinde %1.54 ve F kesitinde %8.68 artmaya yol açmıştır (Şekil 5.10).

Tablo 5.9 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa)

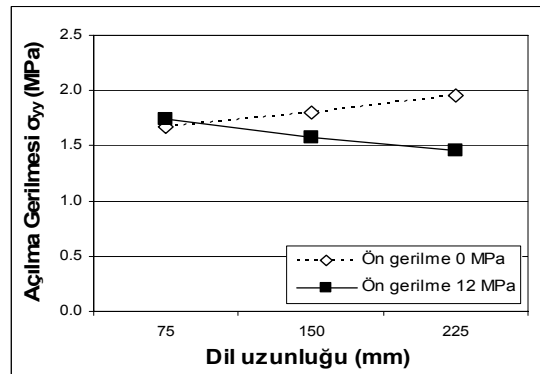
					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
301	Alüminyum	75	0.1	0	1.9628	0.1184	1.6717
306	Alüminyum	150	0.1	0	2.1235	0.1308	1.7997
312	Alüminyum	225	0.1	0	2.1510	0.1325	1.9520
302	Alüminyum	75	0.1	12	2.0723	0.1247	1.7368
307	Alüminyum	150	0.1	12	2.2378	0.1378	1.5733
313	Alüminyum	225	0.1	12	2.2474	0.1385	1.4516



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.10 Alüminyum-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin ön gerilme ve dil uzunluğuna göre değişimi

5.2 Yapıştırma Kalınlığının Etkisi

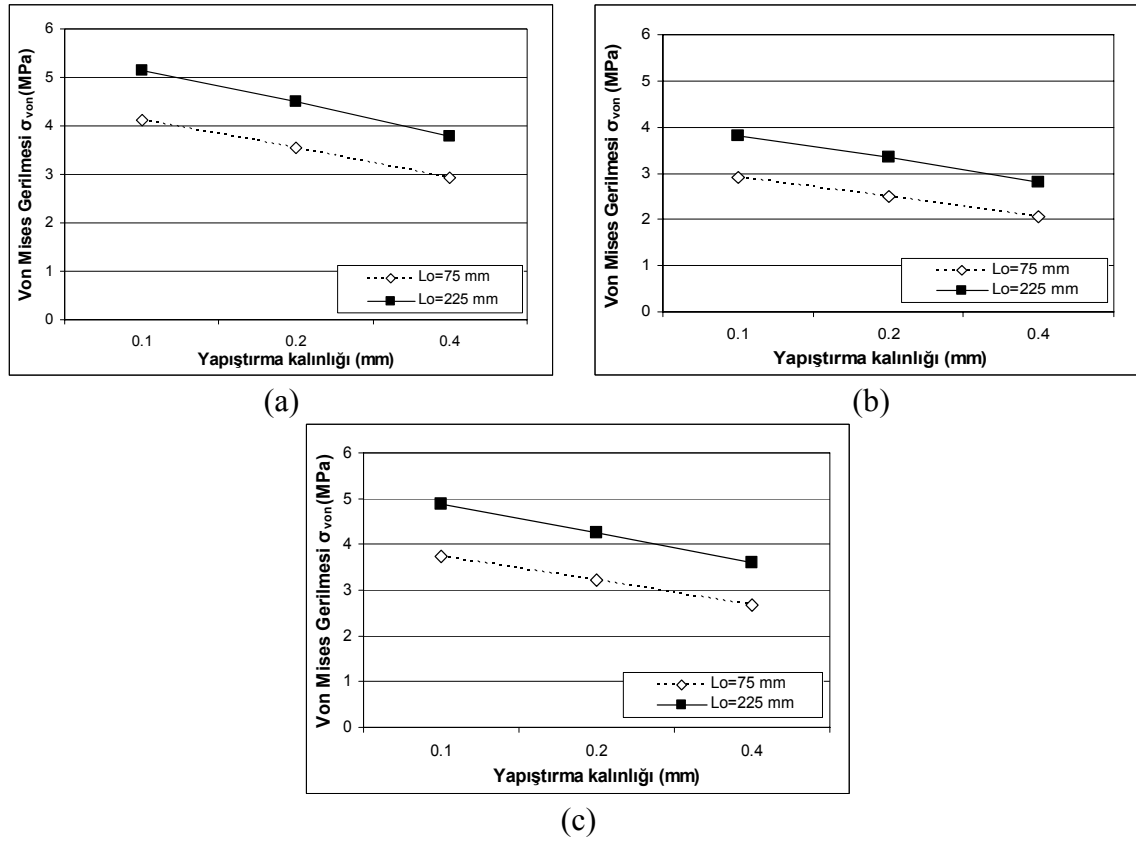
Yapıştırma kalınlığı, dil uzunluğundan sonra incelenen ikinci parametre olarak belirlenmiştir. Farklı yapıştırma kalınlıklarında modellenen dil oluk geometrisindeki modeller üzerindeki gerilmeler, farklı malzemelere göre sırasıyla verilmiştir.

5.2.1 Kompozit – Kompozit Tipi Birleştirmede Yapıştırma Kalınlığının Etkisi

Yapıştırma kalınlığının kompozit malzeme üzerindeki etkisini incelemek üzere ön gerilmemiş koşullarda analiz edilen ve dil uzunluğu hem 75 mm, hem de 225 mm olan numuneler üzerindeki gerilmeler Tablo 5.10, Tablo 5.11 ve Tablo 5.12’de verilmektedir. Dil uzunluğu 75 mm ve yapıştırma kalınlığı 0.1 mm olan modellerin analizleri sonucunda von Mises gerilmeleri A kesitinde 4.11 MPa, B kesitinde 2.91 MPa, F kesitinde ise 3.74 MPa olmaktadır. Yapıştırma kalınlığı 0.2 mm olduğunda A kesitinde von Mises gerilmesi 3.54 MPa’ya azalmıştır ve bu azalma oranı yaklaşık %16.2 oranındadır. Yapıştırma kalınlığı 0.2 mm’den 0.4 mm’ye arttırıldığında ise von Mises gerilmesindeki azalış oranı %21 şeklindedir. Yapıştırma kalınlığı 0.1 mm’den 0.4 mm’ye arttırıldığında von Mises gerilmesindeki azalma ise %40.6 oranındadır. 225 mm dil uzunluğu için ise benzer şekilde düşmeler gözlenmiştir. 0.1 mm’den 0.2 mm’ye yapıştırma kalınlığı arttığında gerilmedeki düşme oranı %14.6, 0.1 mm’den 0.4 mm artan yapıştırma kalınlığında ise von Mises gerilmesindeki azalma %35.9 oranındadır. Yapıştırma kalınlığının artması, kuvvetin etkilediği alanın artmasından dolayı von Mises gerilmesinde düşmeye sebep olmaktadır (Şekil 5.11).

Tablo 5.10 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)

					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
101	Kompozit	75	0.1	0	4.1191	2.9111	3.7455
102	Kompozit	75	0.2	0	3.5448	2.5050	3.2230
113	Kompozit	75	0.4	0	2.9296	2.0705	2.6639
110	Kompozit	225	0.1	0	5.1473	3.8238	4.8912
112	Kompozit	225	0.2	0	4.4915	3.3366	4.2681
117	Kompozit	225	0.4	0	3.7871	2.8134	3.5987

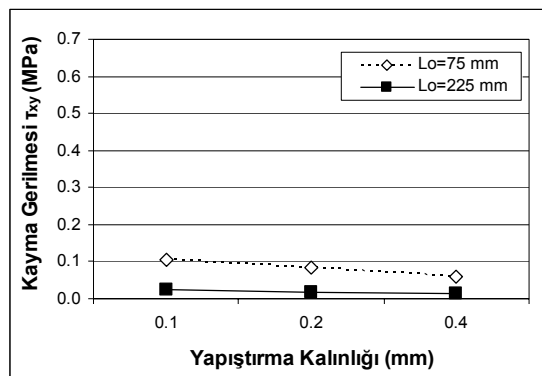


Şekil 5.11 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin dil uzunluğu ve yapıştırma kalınlığına göre değişimi

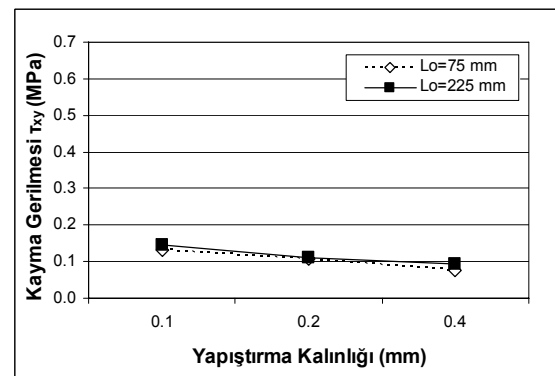
Yapıştırma kalınlığı 0.1 mm'den 0.2 mm'ye arttırıldığında dil uzunluğu 75 mm için yapılan analiz sonuçlarında kayma gerilmesinde; A kesitinde %24.4 oranında azalma görülmüştür. Yapıştırma kalınlığı 0.2 mm'den 0.4 mm'ye getirildiğinde 75 mm dil uzunluğu durumunda kayma gerilmesinde B kesitinde %44 ve F kesitinde %78.56 oranında azalma görülmüştür. Dil uzunluğu 225 mm olduğunda ise, A kesitinde %31.06 oranında azalma gözlemlenmiştir. Dil uzunluğu 225 mm için yapıştırma kalınlığının 0.2 mm'den 0.4 mm'ye arttırılması, kayma gerilmesinde B kesitinde %18.95 ve F kesitinde %55.89 oranında azalmaya neden olmuştur (Şekil 5.12).

Tablo 5.11 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa)

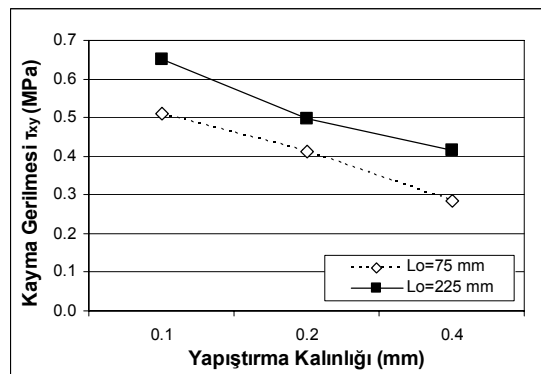
					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
101	Kompozit	75	0.1	0	0.1044	0.1333	0.5102
102	Kompozit	75	0.2	0	0.0842	0.1075	0.4115
113	Kompozit	75	0.4	0	0.0585	0.0747	0.2857
110	Kompozit	225	0.1	0	0.0236	0.1453	0.6499
112	Kompozit	225	0.2	0	0.0180	0.1109	0.4961
117	Kompozit	225	0.4	0	0.0151	0.0932	0.4169



(a)



(b)



(c)

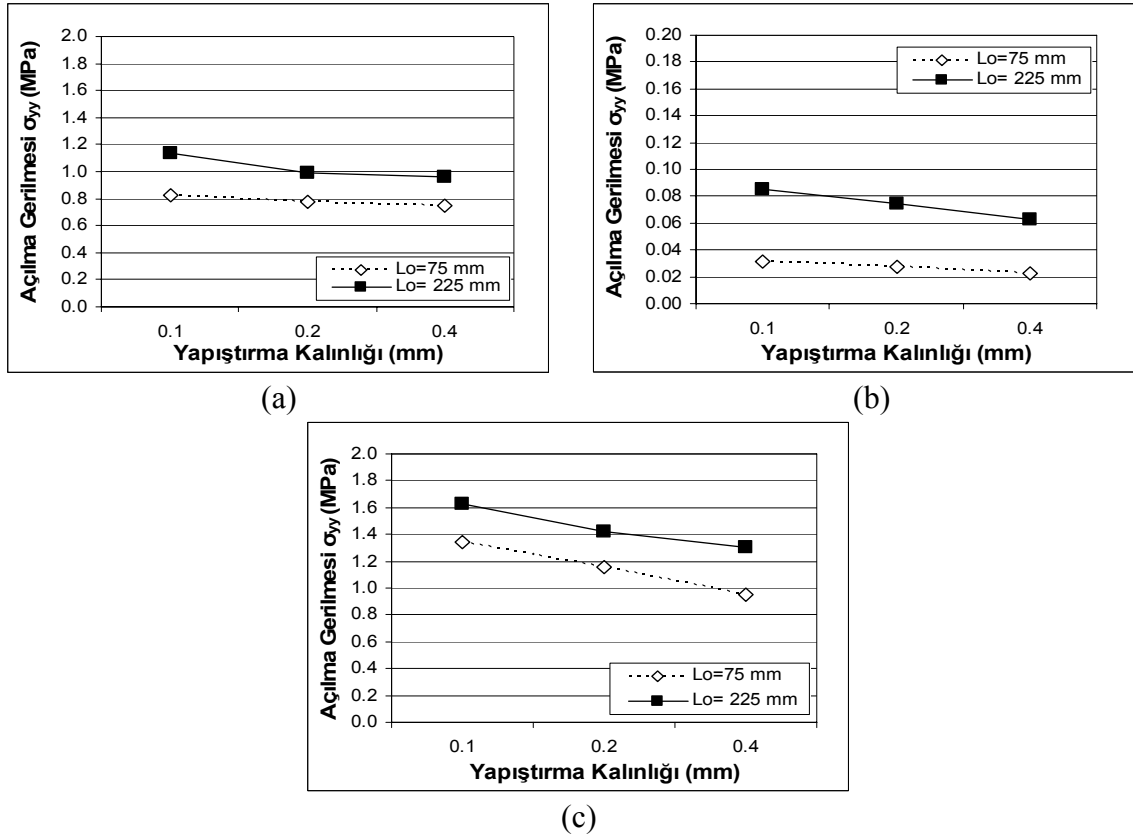
Şekil 5.12 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin dil uzunluğu ve yapıştırma kalınlığına göre değişimi

Kompozit – kompozit dil oluk çiftlerinde açılma gerilmeleri hem 75 mm hem de 225 mm dil uzunluklarında incelenmiştir. Dil uzunluğu 75 mm olduğunda, yapıştırma kalınlığı 0.1 mm'den 0.2 mm'ye getirildiğinde açılma gerilmesinde; A kesitinde %5.46, B ve F kesitlerinde ise %13.94 oranında azalma görülmektedir. Dil uzunluğu 225 mm durumunda, yapıştırma kalınlığı 0.1 mm'den 0.2 mm'ye getirildiğinde açılma

gerilmesinde; A ve B kesitlerinde %12.74 ve F kesitinde %17.81 oranında azalma görülmektedir (Şekil 5.13). Dil uzunluğu 75 mm durumda, yapıştırma kalınlığı 0.2 mm'den 0.4 mm'ye getirildiğinde açılma gerilmesinde; A kesitinde %4.27, B ve F kesitlerinde % 17.36 oranında azalma gözlemlenmektedir. Dil uzunluğu 225 mm olduğunda ise, yapıştırma kalınlığı 0.2 mm'den 0.4 mm'ye artırıldığında açılma gerilmesinde; A kesitinde %2.52, B kesitinde %15.68 ve F kesitinde %18.94 oranlarında azalma görülmektedir (Şekil 5.7).

Tablo 5.12 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa)

					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
101	Kompozit	75	0.1	0	0.8257	0.0313	1.3394
102	Kompozit	75	0.2	0	0.7806	0.0270	1.1527
113	Kompozit	75	0.4	0	0.7473	0.0223	0.9526
110	Kompozit	225	0.1	0	1.1314	0.0856	1.6297
112	Kompozit	225	0.2	0	0.9873	0.0747	1.4221
117	Kompozit	225	0.4	0	0.9624	0.0630	1.2991



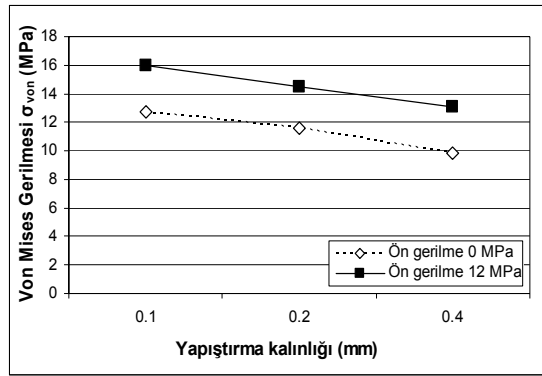
Şekil 5.13 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin dil uzunluğu ve yapıştırma kalınlığına göre değişimi

5.2.2 Kompozit – Çelik Tipi Birleştirmede Yapıştırma Kalınlığının Etkisi

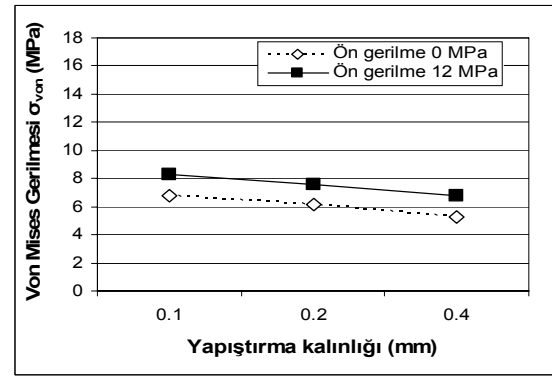
Çelik malzemede von Mises gerilmeleri 75 mm dil uzunluğu için ön gerilmemiş ve ön gerilmeli durumlar için incelenmiş ve yapıştırma kalınlığının von Mises, kayma ve açılma gerilmelerine etkisi gözlemlenmiştir. Yapıştırma kalınlığı 0.1 mm'den 0.2 mm'ye getirildiğinde von Mises gerilmelerinde; A kesitinde %9.09 oranında azalma, B kesitinde %9.20 ve F kesitinde %9.07 oranında azalma görülmektedir. Yapıştırma kalınlığı 0.1 mm'den 0.4 mm'ye arttırıldığında ise von Mises gerilmesi; A kesitinde %22.48 oranında azalmaktadır. Benzer azalma oranı B ve F kesitlerinde de görülmektedir. Ön gerilme değeri 12 MPa olarak uygulandığında ise von Mises gerilme değerlerinin; A kesitinde 75 mm için 1.26 kat, 150 mm için 1.23 kat ve 225 mm için 1.22 kat arttığı görülmüştür (Şekil 5.14). Ön gerilmenin von Mises gerilmesine çelik malzemede de kompozit malzemedeği gibi artışa yol açtığı, yapıştırma kalınlığındaki artmanın ise ters orantılı olarak von Mises gerilmesini azalttığı sonucuna varılabilmektedir (Şekil 5.14).

Tablo 5.13 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)

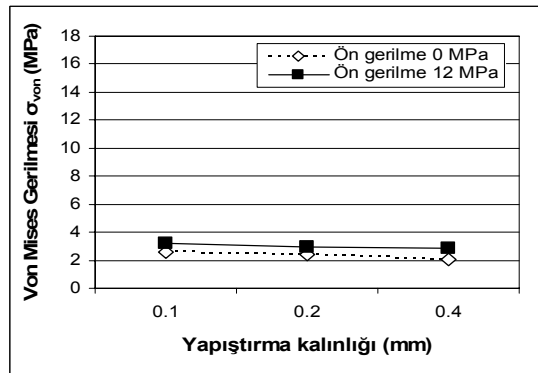
					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
201	Çelik	75	0.1	0	12.7200	6.7641	2.6205
204	Çelik	75	0.2	0	11.5636	6.1418	2.3827
206	Çelik	75	0.4	0	9.8601	5.2420	2.0312
202	Çelik	75	0.1	12	15.9752	8.2884	3.2299
205	Çelik	75	0.2	12	14.5246	7.5348	2.9364
207	Çelik	75	0.4	12	13.0789	6.7857	2.8601



(a)



(b)



(c)

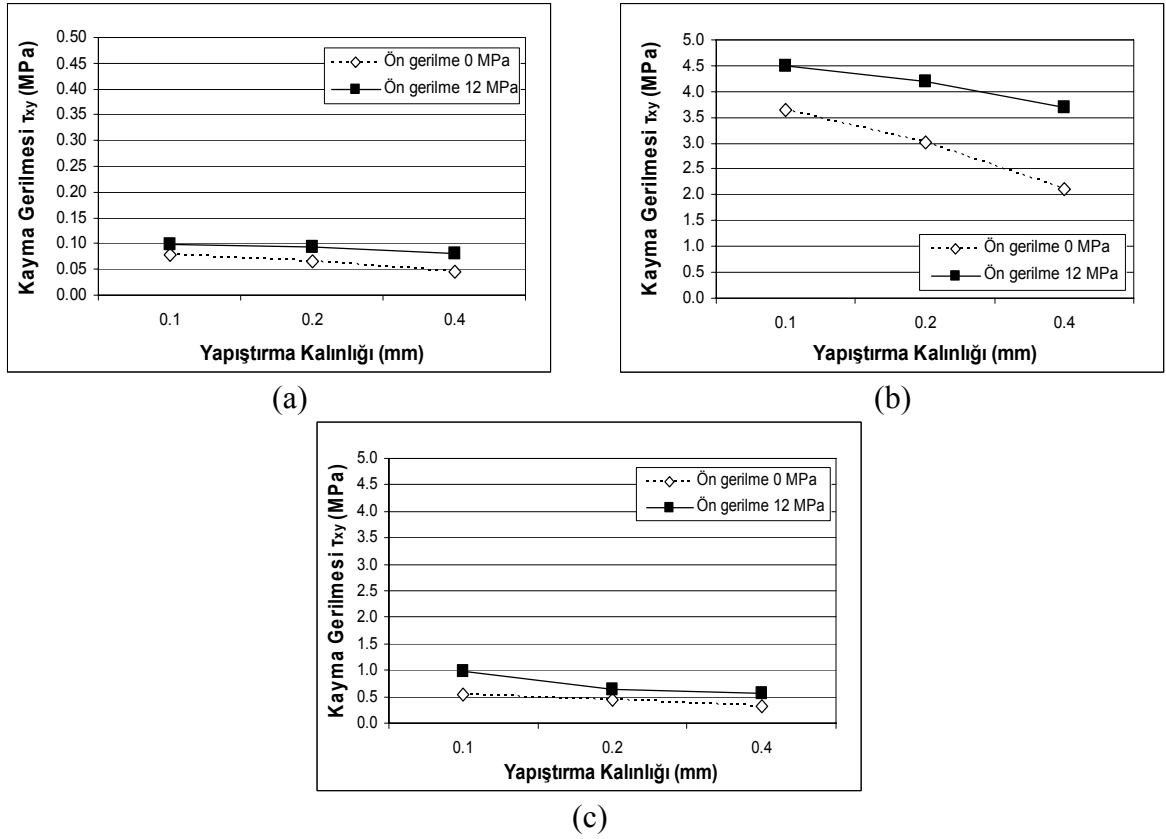
Şekil 5.14 Çelik-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin ön gerilme ve yapıştırma kalınlığına göre değişimi

Kritik noktadaki kayma gerilmeleri incelendiğinde, A, B ve F kesitlerinde kayma gerilmelerinde yapıştırma kalınlığı 0.1 mm'den 0.2 mm ve 0.4 mm'ye getirildiğinde azalma olduğu görülmüştür. Bu azalma oranları, 75 mm ön gerilmemiş durumda A kesitinde, yapıştırma kalınlığı 0.1 mm'den 0.2 mm'ye getirildiğinde %17.36

oranındadır. Yapıştırma kalınlığı 0.2 mm'den 0.4 mm'ye getirildiğinde ise kayma gerilmelerindeki azalma oranı A kesitinde %30.06 olarak hesaplanmıştır. Aynı kesitte 12 MPa ön gerilme uygulanmış analizlerde yapıştırma kalınlığının 0.1 mm'den 0.2 mm'ye getirilmesi kayma gerilmesinde, %6.67 oranında azalma; yapıştırma kalınlığının 0.2 mm'den 0.4 mm'ye arttırılması durumunda ise %12.28 oranında azalma meydana gelmiştir. Çelik malzemede incelenen 3 kesit arasında en fazla kayma gerilmesi değerleri B kesitinde görülmüştür (Şekil 5.15).

Tablo 5.14 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa)

					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
201	Çelik	75	0.1	0	0.0789	3.6395	0.5373
204	Çelik	75	0.2	0	0.0652	3.0079	0.4440
206	Çelik	75	0.4	0	0.0456	2.1038	0.3106
202	Çelik	75	0.1	12	0.0990	4.5092	0.9709
205	Çelik	75	0.2	12	0.0924	4.2085	0.6305
207	Çelik	75	0.4	12	0.0811	3.6917	0.5530

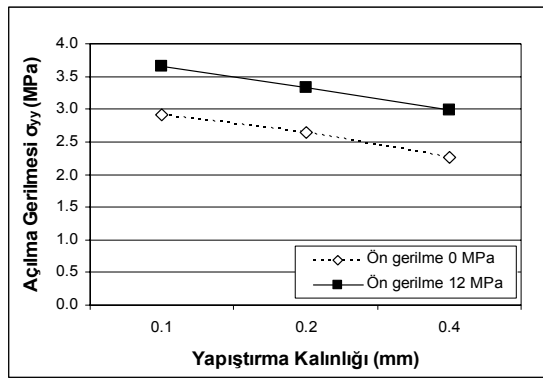


Şekil 5.15 Çelik-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin ön gerilme ve yapıştırma kalınlığına göre değişimi

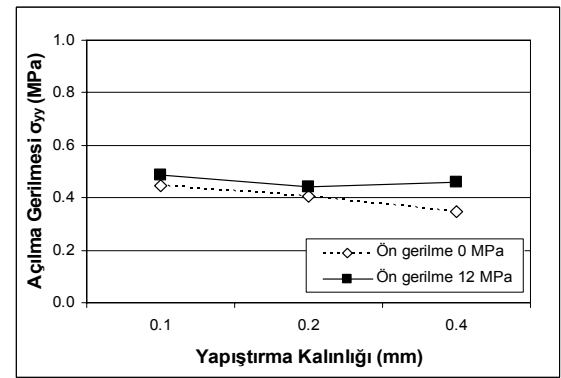
Kompozit – çelik dil oluk çiftinde açılma gerilmeleri incelendiğinde, A kesitinde yapıştırma kalınlığının 0.1 mm’den 0.2 mm’ye çıkartılması ile açılma gerilmesinin ön gerilmesiz durum için 2.91 MPa’dan 2.64 MPa’a düştüğü gözlenmiştir. Yapıştırma kalınlığının artması ile birim alana düşen kuvvet azaldığından açılma gerilmesi de azalmıştır. Bu durum 12 MPa ön gerilme koşulunda analiz yapılan 75 mm dil uzunluğuna sahip modeller için de görülmektedir. Ön gerilmeli koşulda da gerilmedeki azalma A kesitinde yaklaşık %9 oranındadır. Ön gerilmesiz durumda B kesitindeki açılma gerilmesi yapıştırma kalınlığı 0.2 mm’den 0.4 mm’ye arttığında %14.7 azalma göstermiştir. Benzer şekilde; ön gerilmeli durumda 0.2 mm’den 0.4 mm’ye yapıştırma kalınlığının artması F kesitinde açılma gerilmesini %11.3 azaltmıştır (Şekil 5.16).

Tablo 5.15 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa)

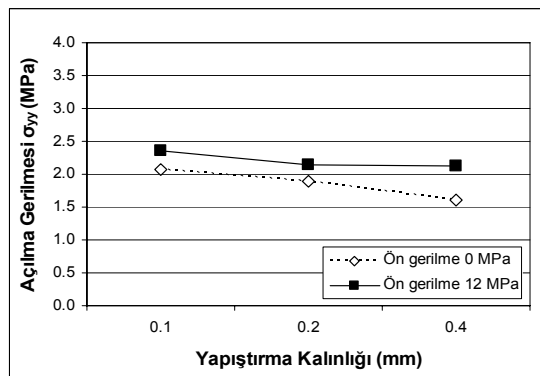
					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
201	Çelik	75	0.1	0	2.9118	0.4455	2.0773
204	Çelik	75	0.2	0	2.6471	0.4050	1.8885
206	Çelik	75	0.4	0	2.2572	0.3454	1.6103
202	Çelik	75	0.1	12	3.6568	0.4867	2.3625
205	Çelik	75	0.2	12	3.3244	0.4425	2.1477
207	Çelik	75	0.4	12	2.9938	0.4582	2.1234



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.16 Çelik-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin ön gerilme ve yapıştırma kalınlığına göre değişimi

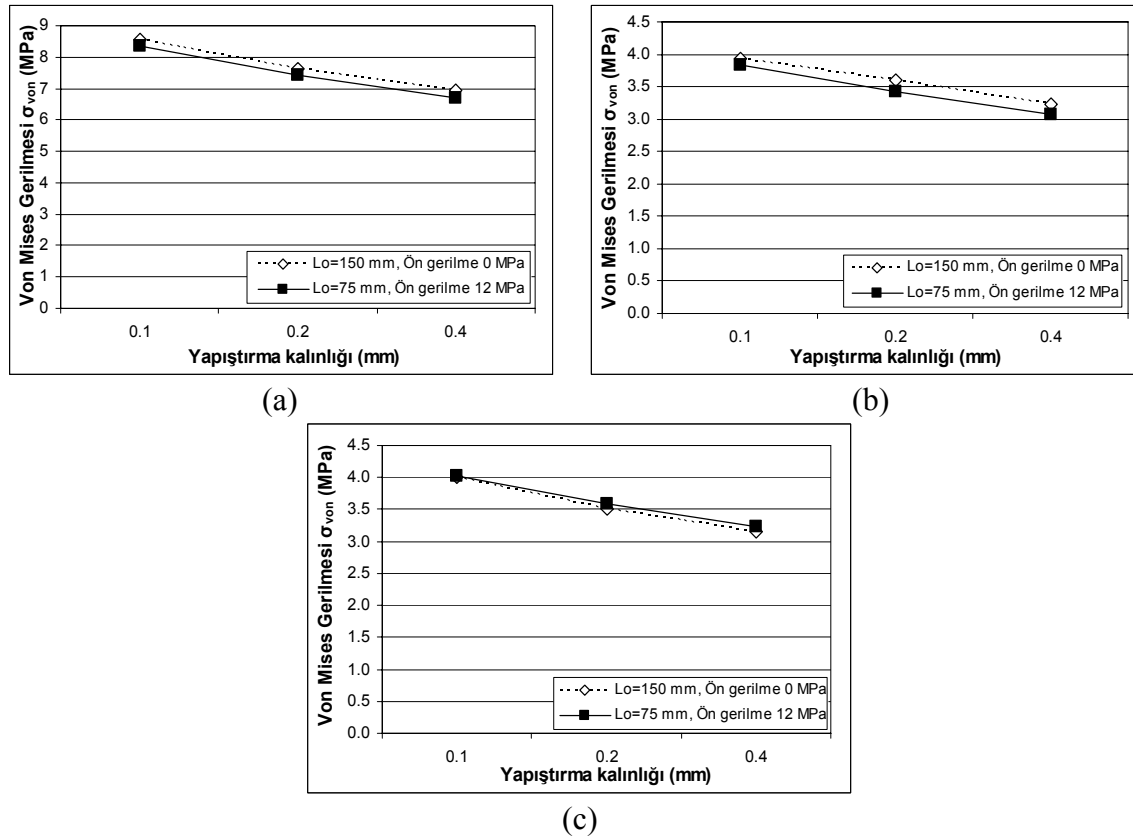
5.2.3 Kompozit – Alüminyum Tipi Birleştirmede Yapıştırma Kalınlığının Etkisi

Kompozit – alüminyum dil oluk çiftinin kritik noktadaki von Mises, kayma ve açılma gerilmeleri Tablo 5.16, Tablo 5.17 ve Tablo 5.18’de verilmiştir. Von Mises

gerilme değerlerinin çelik malzemeden daha az, kompozit malzemeden ise daha fazla olduğu görülmüştür. Yapıştırma kalınlığı 0.1 mm olduğunda; 150 mm dil uzunluğu ve ön gerilmemiş durumda von Mises gerilme değerleri A noktasında 8.54 MPa, B noktasında 3.9 MPa, F noktasında 4 MPa iken, 75 mm dil uzunluğu ve 12 MPa ön gerilme durumunda ise elde edilen sonuç A noktasında 8.3 MPa, B noktasında 3.8 MPa, F noktasında 3.5 MPa olmakta ve 75 mm ön gerilmemiş duruma göre gerilmelerde azalma görülmektedir. Ön gerilmemiş 75 mm dil uzunluğuna sahip alüminyum dil kompozit oluk içeren modelde yapıştırma kalınlığının 0.2 mm'den 0.4 mm'ye çıkması von Mises gerilmesinde A, B ve F bölgelerinde yaklaşık %10 azalmaya sebep olmaktadır (Şekil 5.17). Ön gerilmeli durum için von Mises gerilmesinde benzer azalmalar gözlemlenir. Yapıştırma kalınlığının diğer parametlerle karşılaştırıldığında fazla etkili bir parametre olmadığı görülmektedir.

Tablo 5.16 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)

					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
306	Alüminyum	150	0.1	0	8.5456	3.9263	4.0027
308	Alüminyum	150	0.2	0	7.6325	3.6047	3.5118
311	Alüminyum	150	0.4	0	6.9370	3.2345	3.1538
302	Alüminyum	75	0.1	12	8.3391	3.8277	4.0211
304	Alüminyum	75	0.2	12	7.4456	3.4145	3.5902
305	Alüminyum	75	0.4	12	6.7078	3.0789	3.2345

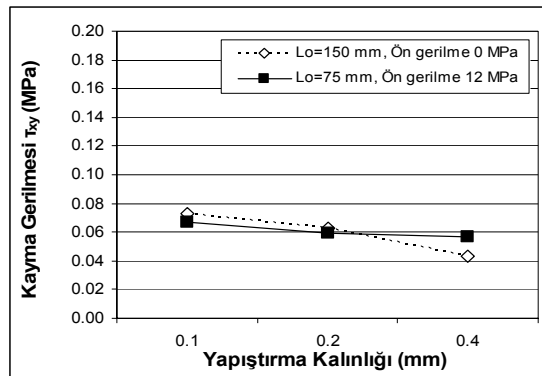


Şekil 5.17 Alüminyum-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi

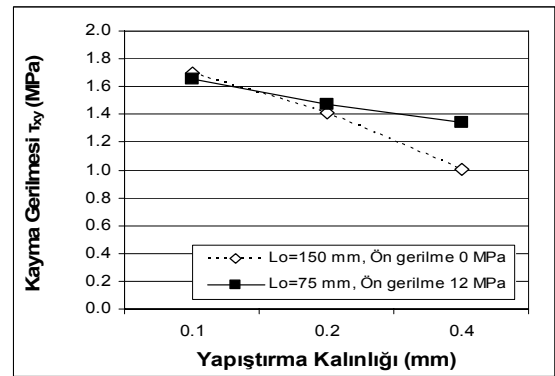
Kritik noktadaki kayma gerilmeleri incelendiğinde, A, B ve F kesitlerinde kayma gerilmelerinde yapıştırma kalınlığı 0.1 mm'den 0.2 mm'ye ve 0.4 mm'ye getirildiğinde azalma olduğu görülmüştür. Bu azalma oranları, 150 mm ön gerilmesiz durumda A noktasında, yapıştırma kalınlığı 0.1 mm'den 0.2 mm'ye getirildiğinde %13.92 oranında olmaktadır. Yapıştırma kalınlığı 0.2 mm'den 0.4 mm'ye getirildiğinde kayma gerilmelerindeki azalma oranı ise A kesitinde %31.34 oranındadır. Aynı noktada 75 mm dil uzunluğu 12 MPa ön gerilme uygulanmış analizlerde yapıştırma kalınlığının 0.1 mm'den 0.2 mm'ye getirilmesi kayma gerilmesinde, %10.81 azalma; 0.2 mm'den 0.4 mm'ye getirilmesi ise %4.80 azalma meydana getirmiştir. Yapıştırma kalınlığının artması her üç bölgede de kayma gerilmelerinde azalan bir etkiye sebep olmuştur (Şekil 5.18).

Tablo 5.17 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa)

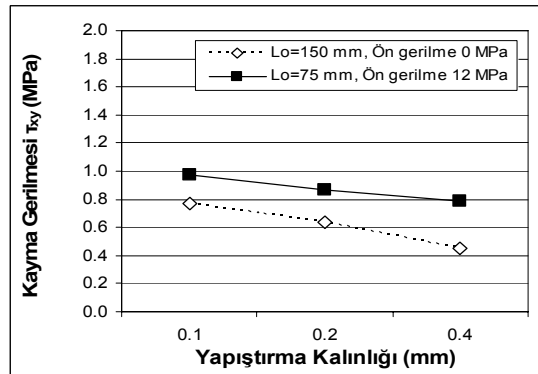
					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
306	Alüminyum	150	0.1	0	0.0728	1.6928	0.7672
308	Alüminyum	150	0.2	0	0.0627	1.4107	0.6393
311	Alüminyum	150	0.4	0	0.0430	1.0005	0.4534
302	Alüminyum	75	0.1	12	0.0668	1.6501	0.9718
304	Alüminyum	75	0.2	12	0.0596	1.4733	0.8676
305	Alüminyum	75	0.4	12	0.0567	1.3417	0.7910



(a)



(b)



(c)

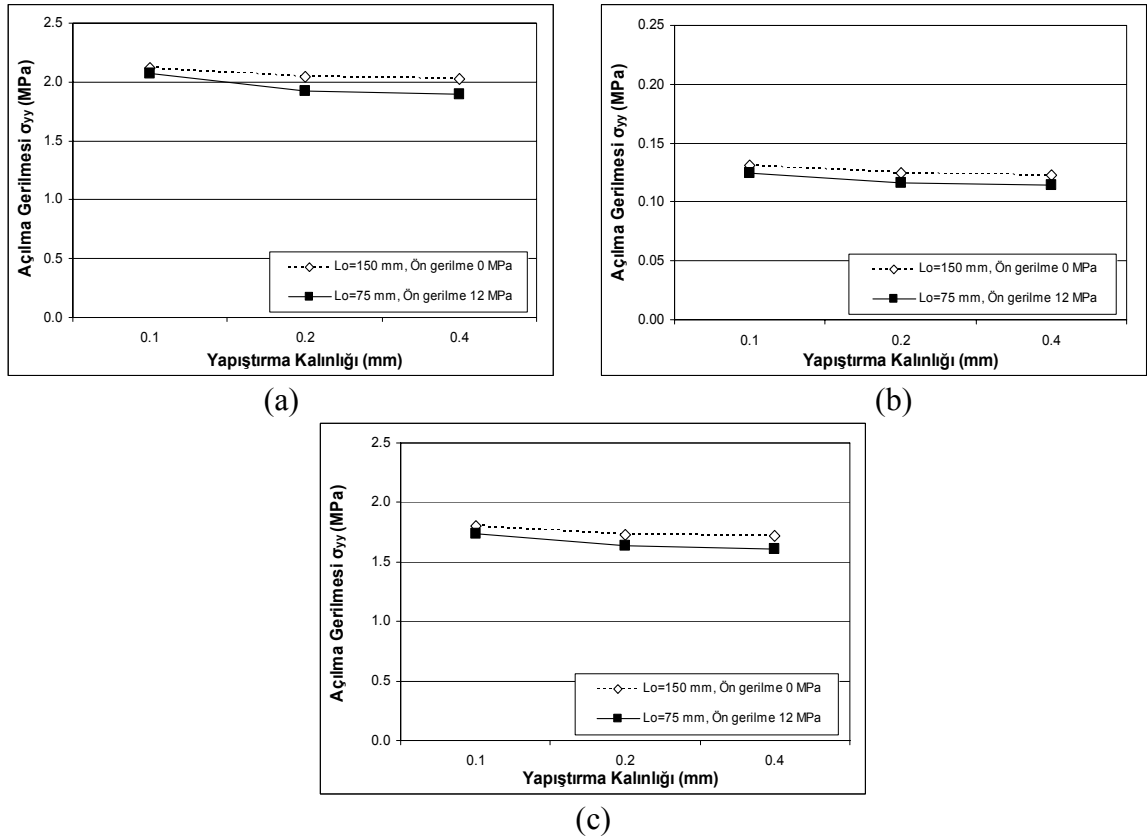
Şekil 5.18 Alüminyum-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi

Açılma gerilmeleri, kompozit – alüminyum dil oluk çiftinde açılma gerilmeleri hem ön gerilmeli hem de ön gerilmemiş durumda incelenmiştir. Ön gerilmemiş durumda 150 mm dil uzunluğunda, yapıştırma kalınlığı 0.1 mm'den 0.2 mm'ye getirildiğinde açılma gerilmesinde; A kesitinde %3.50, B kesitinde %4.63 ve F kesitinde %4.07 oranında azalma görülmektedir. 75 mm dil uzunluğu 12 MPa ön gerilme durumunda, yapıştırma

kalınlığı 0.1 mm'den 0.2 mm'ye getirildiğinde açılma gerilmesinde; A kesitinde %7.35, B kesitinde %6.75 ve F kesitinde %6.10 oranında azalma gözlemlenmiştir (Şekil 5.19). Ön gerilmesiz durumda 150 mm dil uzunluğunda, yapıştırma kalınlığı 0.2 mm'den 0.4 mm'ye getirildiğinde açılma gerilmesi; A kesitinde %0.90, B kesitinde %1.86 ve F kesitinde %0.56 oranında azalmıştır. Dil uzunluğu 75 mm ve 12 MPa ön gerilme durumunda, yapıştırma kalınlığı 0.2 mm'den 0.4 mm'ye getirildiğinde açılma gerilmesinde; A kesitinde %1.38, B kesitinde %1.42 ve F kesitinde %1.40 oranında azalma görülmektedir (Şekil 5.19).

Tablo 5.18 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa)

					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
306	Alüminyum	150	0.1	0	2.1235	0.1308	1.7997
308	Alüminyum	150	0.2	0	2.0491	0.1247	1.7264
311	Alüminyum	150	0.4	0	2.0306	0.1224	1.7167
302	Alüminyum	75	0.1	12	2.0723	0.1247	1.7368
304	Alüminyum	75	0.2	12	1.9200	0.1163	1.6323
305	Alüminyum	75	0.4	12	1.8935	0.1147	1.6098



Şekil 5.19 Alüminyum-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi

5.3 Ön Gerilme Etkisi

Ön gerilme, yapıştırma kalınlığından sonra incelenen üçüncü parametredir. Farklı ön gerilme durumlarında dil oluk geometrisindeki modeller üzerinde gerilmeler, farklı malzemelere göre sırasıyla incelenmiştir.

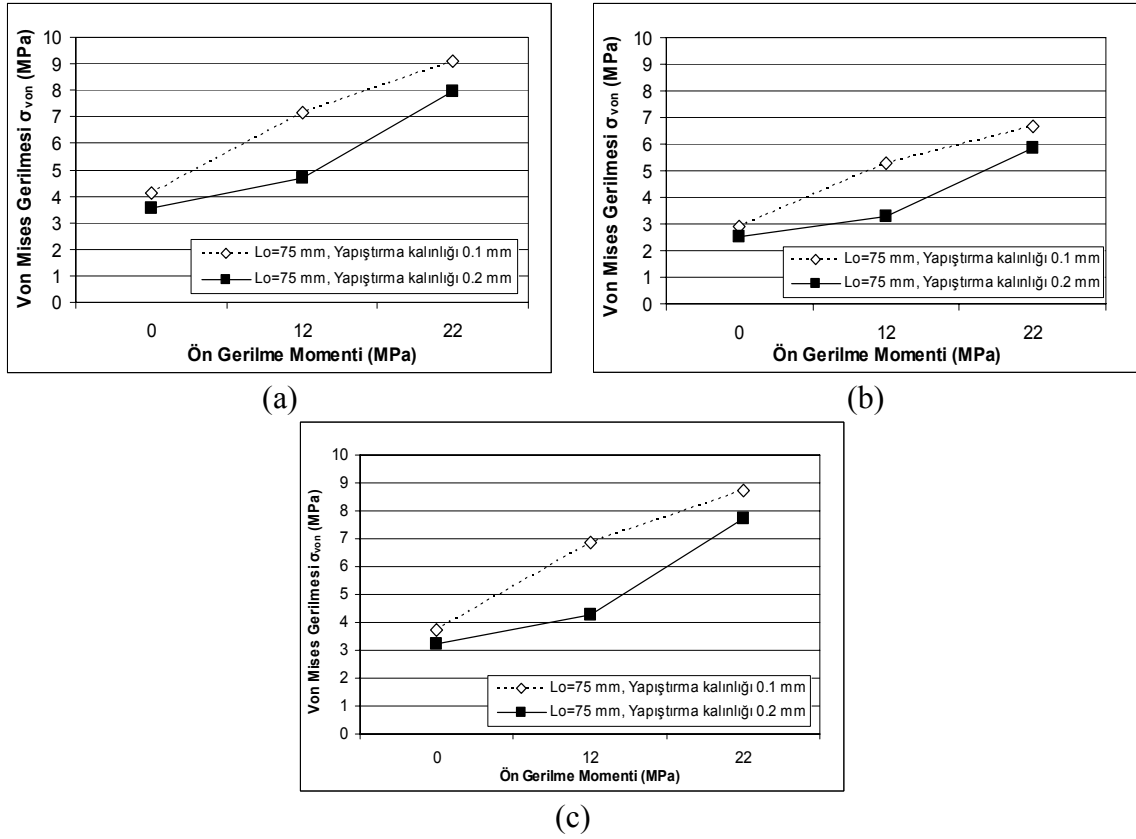
5.3.1 Kompozit – Kompozit Tipi Birleştirmede Ön Gerilmenin Etkisi

Analizlerden elde edilen von Mises, kayma ve açılma gerilmelerine ön gerilmenin etkisi, seçilen kritik bölgelerde incelenmiştir. Tablo 5.19, Tablo 5.20 ve Tablo 5.21’de kritik bölgelerden elde edilen gerilme değerleri görülmektedir. Dil uzunluğu 75 mm ve yapıştırma kalınlığı 0.1 mm olan numunelerin analizinde ön gerilmemiş durumdan 12 MPa ön gerilmeli duruma gelindiğinde von Mises gerilmesi A noktasında %73.91, B noktasında %80.94, F noktasında %83.06 oranında artmıştır. Ön gerilmemiş durum ile 22 MPa ön gerilmeli durumun karşılaştırılmasında ise von Mises gerilmesinin A noktasında % 120.86, B noktasında %129.79, F noktasında ise %132.49 artış gösterdiği

görülmüştür. Diğer bir karşılaştırma olan dil uzunluğu 75 mm ve yapıştırma kalınlığı 0.2 mm olan numunelerin analizinde; ön gerilmemiş durumdan 12 MPa ön gerilmeli duruma gelindiğinde von Mises gerilmesi A noktasında %32.31, B noktasında %29, F noktasında %32.06 oranında artmıştır. Ön gerilmemiş durum ile 22 MPa ön gerilmeli durumun karşılaştırılmasında ise von Mises gerilmesinin A noktasında %69.84, B noktasında %76.70, F noktasında ise %75.44 artış gösterdiği görülmüştür (Şekil 5.20). Ön gerilmemiş durumda en kötü bağlantı dayanımı kompozit – kompozit dil oluk çiftlerinde görülmektedir.

Tablo 5.19 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)

					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
101	Kompozit	75	0.1	0	4.1191	2.9111	3.7455
103	Kompozit	75	0.1	12	7.1635	5.2672	6.8565
114	Kompozit	75	0.1	22	9.0976	6.6893	8.7078
102	Kompozit	75	0.2	0	3.5448	2.5052	3.2233
104	Kompozit	75	0.2	12	4.6792	3.3069	4.2548
105	Kompozit	75	0.2	22	7.9473	5.8435	7.7276

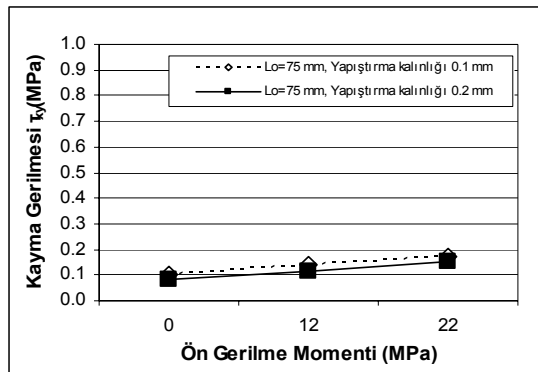


Şekil 5.20 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi

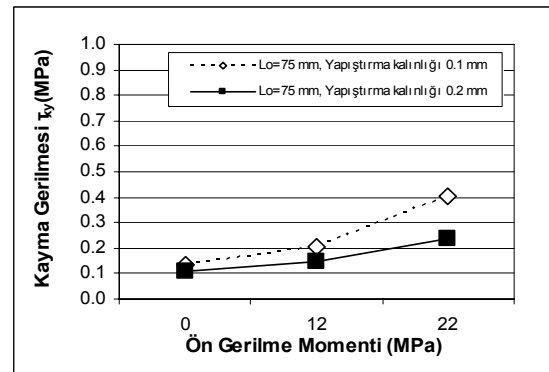
Kritik noktadaki kayma gerilmeleri incelendiğinde, A, B ve F kesitlerinde kayma gerilmelerinde ön gerilmenin 0 MPa'dan, 12 MPa'a ve 22 MPa'a çıkartılması durumunda 75 mm dil uzunluğunda, hem 0.1 mm yapıştırma kalınlığında hem de 0.2 mm yapıştırma kalınlığında analizler gerçekleştirilmiş ve kayma gerilmelerinde artma olduğu gözlenmiştir. Bu artma oranları, 0.1 mm yapıştırma kalınlığı durumunda A noktasında, ön gerilmesiz durumdan ön gerilme 12 MPa değerine getirildiğinde %31.69, ön gerilme durumu 12 MPa'dan 22 MPa'a getirildiğinde ise %66.14 şeklindedir. Aynı noktada 75 mm dil uzunluğu 0.2 mm yapıştırma kalınlığına sahip ön gerilmesiz analizler ile 12 MPa ön gerilme uygulanmış analizler karşılaştırıldığında kayma gerilmesinde, %39 artma; 12 MPa'dan 22 MPa'a getirildiğinde ise kayma gerilmelerinde %81.15 artma meydana gelmiştir. Ön gerilmenin artması her üç bölgede de kayma gerilmelerinde artan bir etkiye sebep olmaktadır (Şekil 5.21).

Tablo 5.20 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa)

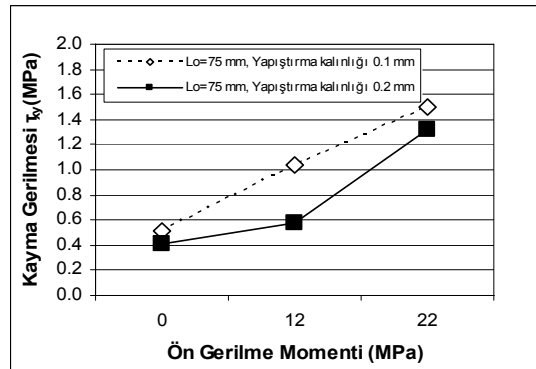
				A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)		
101	Kompozit	75	0.1	0	0.1044	0.1333
103	Kompozit	75	0.1	12	0.1375	0.2027
114	Kompozit	75	0.1	22	0.1735	1.4963
102	Kompozit	75	0.2	0	0.0842	0.1075
104	Kompozit	75	0.2	12	0.1171	0.1495
105	Kompozit	75	0.2	22	0.1526	1.3157



(a)



(b)



(c)

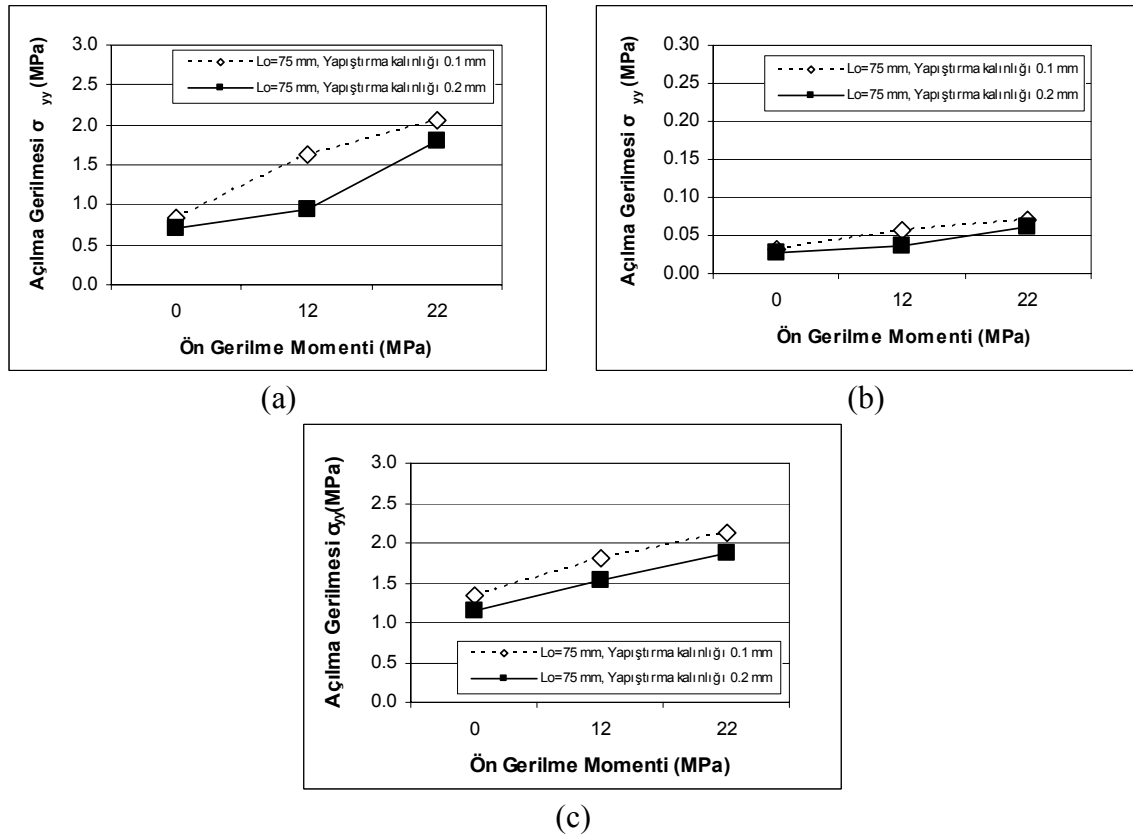
Şekil 5.21 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi

Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde açılma gerilmeleri hem 0.1 mm yapıştırma kalınlığında hem de 0.2 mm yapıştırma kalınlığında incelenmiştir. Yapıştırma kalınlığı 0.1 mm ve dil uzunluğu 75 mm olarak belirlendiğinde; ön gerilme durumu 0 MPa'dan 12 MPa'a getirildiğinde açılma gerilmesinde; A kesitinde %96.70, B kesitinde %79.34 ve F kesitinde %34.96 oranında artma görülmektedir. Aynı şartlarda ön gerilme durumu

12 MPa'dan 22 MPa'a getirildiğinde açılma gerilmesinde; A kesitinde %26.18, B kesitinde %25.40 ve F kesitinde %18.10 oranında artma görülmektedir (Şekil 5.22). Ön gerilmenin açılma gerilmesine olan etkisi 0.2 mm yapıştırma kalınlığında, 75 mm dil uzunluğunda olan analizlerde de incelenmiştir. Açılma gerilmesinde, ön gerilmesiz durum ile 12 MPa ön gerilmeli durumun karşılaştırması sonucunda A kesitinde %32, aynı kesitte 12 MPa ön gerilmeli durum ile 22 MPa ön gerilmeli durumun karşılaştırılması sonucunda ise %92.13 artış gözlemlenmiştir (Şekil 5.22).

Tablo 5.21 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa)

					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
101	Kompozit	75	0.1	0	0.8257	0.0313	1.3394
103	Kompozit	75	0.1	12	1.6242	0.0562	1.8076
114	Kompozit	75	0.1	22	2.0495	0.0705	2.1347
102	Kompozit	75	0.2	0	0.7106	0.0270	1.1527
104	Kompozit	75	0.2	12	0.9380	0.0356	1.5215
105	Kompozit	75	0.2	22	1.8021	0.0620	1.8760



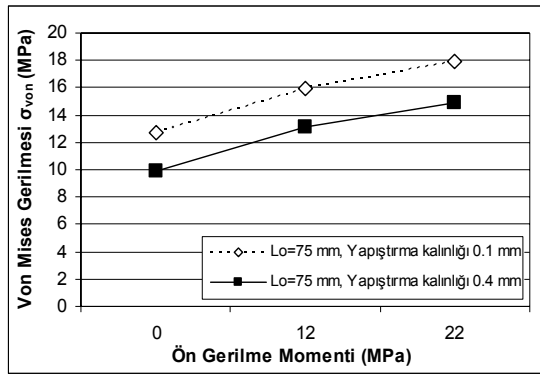
Şekil 5.22 Kompozit-kompozit bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi

5.3.2 Kompozit – Çelik Tipi Birleştirmede Ön Gerilmenin Etkisi

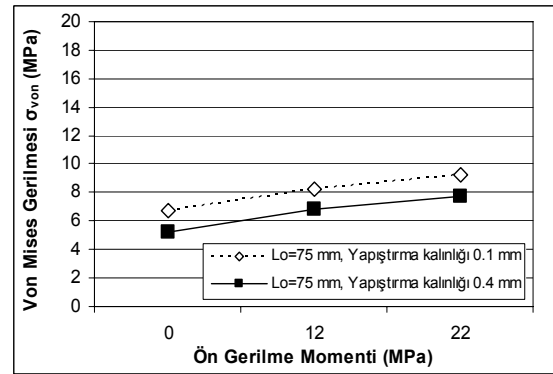
Çelik dil malzemelerde kritik noktadaki von Mises gerilmeleri incelendiğinde, A, B ve F kesitlerinde von Mises gerilmelerinde ön yüklemenin 0 MPa'dan, 12 MPa'a ve 22 MPa'a çıkartılması durumunda 75 mm dil uzunluğunda, hem 0.1 mm yapıştırma kalınlığında hem de 0.4 mm yapıştırma kalınlığında analizler gerçekleştirilmiş ve von Mises gerilmelerinde artma olduğu gözlenmiştir. Bu artma oranları, 0.1 mm yapıştırma kalınlığında A noktasında, ön gerilmesiz durumdan ön gerilme 12 MPa değerine getirildiğinde %25.59, ön gerilme durumu 12 MPa'dan 22 MPa'a getirildiğinde ise %11.92 olarak hesaplanmıştır. Aynı noktada 75 mm dil uzunluğu 0.4 mm yapıştırma kalınlığına sahip ön gerilmesiz analizler ile 12 MPa ön gerilme uygulanmış analizler karşılaştırıldığında von Mises gerilmesinde, %32.64, 12 MPa'dan 22 MPa'a getirildiğinde ise %14.15 artma meydana gelmiştir (Şekil 5.23). Ön yüklemenin artması her üç bölgedede von Mises gerilmelerinde artan bir etkiye sebep olmaktadır. Ön gerilme büyüklüğünün artması, yapışkanın başlangıç kenarlarından ayrılabilme yeteneğini azaltmaktadır.

Tablo 5.22 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)

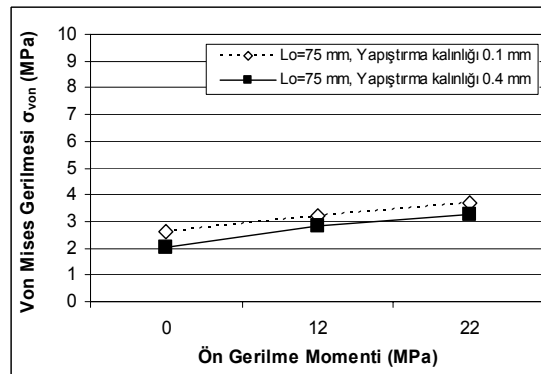
				A	B	F	
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
201	Çelik	75	0.1	0	12.7200	6.7641	2.6205
202	Çelik	75	0.1	12	15.9752	8.2884	3.2299
203	Çelik	75	0.1	22	17.8793	9.2765	3.7111
206	Çelik	75	0.4	0	9.8605	5.2435	2.0314
207	Çelik	75	0.4	12	13.0789	6.7857	2.8601
208	Çelik	75	0.4	22	14.9100	7.7357	3.2605



(a)



(b)



(c)

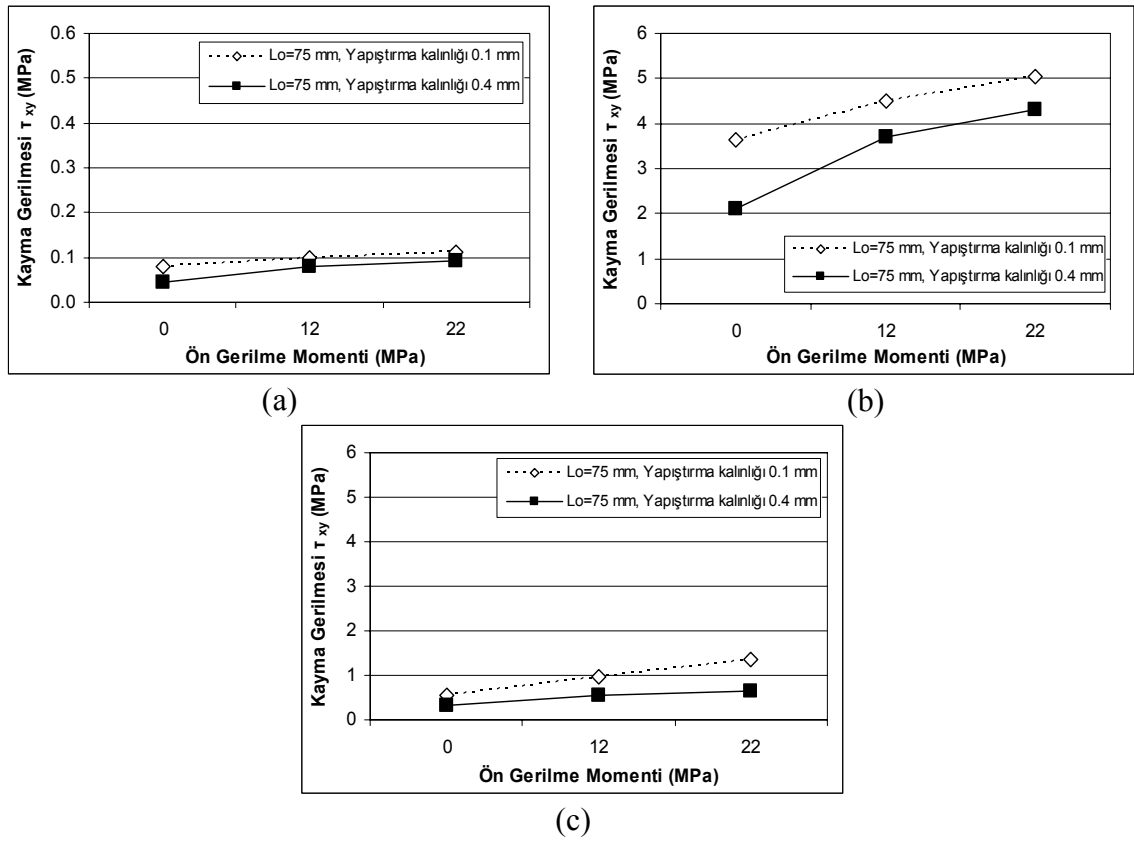
Şekil 5.23 Kompozit-çelik bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi

Kayma gerilmeleri, çelik – kompozit dil oluk çiftinde hem 0.1 mm yapıştırma kalınlığında hem de 0.2 mm yapıştırma kalınlığında incelenmiştir. 0.1 mm yapıştırma kalınlığında ve 75 mm dil uzunluğunda, ön gerilme durumu 0 MPa'dan 12 MPa'a getirildiğinde açılma gerilmesinde; A kesitinde %25, B kesitinde %23.90 ve F kesitinde %80.70 oranında artma görülmektedir. Ön gerilme durumu 12 MPa'dan 22 MPa'a

getirildiğinde açılma gerilmesinde; A kesitinde %11.92, B kesitinde %10.02 ve F kesitinde %40.51 oranında artma görülmektedir (Şekil 5.24) Ön gerilmenin kayma gerilmesine olan etkisi 0.4 mm yapıştırma kalınlığında, 75 mm dil uzunluğundaki modellerin analizleri yapılarak da incelenmiştir. Ön gerilmemiş durum ile 12 MPa ön gerilmeli durumun karşılaştırması sonucunda A kesitinde %77,88 aynı kesitte 12 MPa ön gerilmeli durum ile 22 MPa ön gerilmeli durumun karşılaştırılması sonucunda ise kayma gerilmesinde %14 artış meydana gelmiştir (Şekil 5.24).

Tablo 5.23 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa)

					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
201	Çelik	75	0.1	0	0.0789	3.6395	0.5373
202	Çelik	75	0.1	12	0.0990	4.5092	0.9709
203	Çelik	75	0.1	22	0.1108	5.0467	1.3642
206	Çelik	75	0.4	0	0.0456	2.1038	0.3106
207	Çelik	75	0.4	12	0.0811	3.6917	0.5630
208	Çelik	75	0.4	22	0.0924	4.3085	0.6305

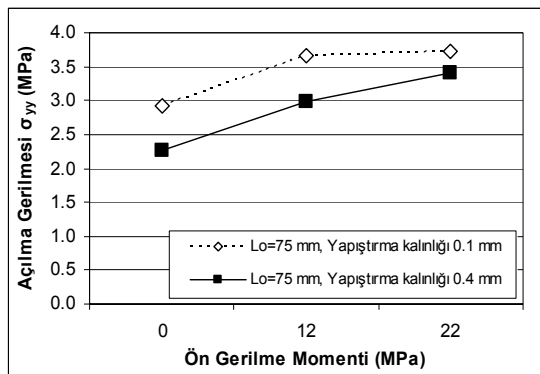


Şekil 5.24 Kompozit-çelik bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi

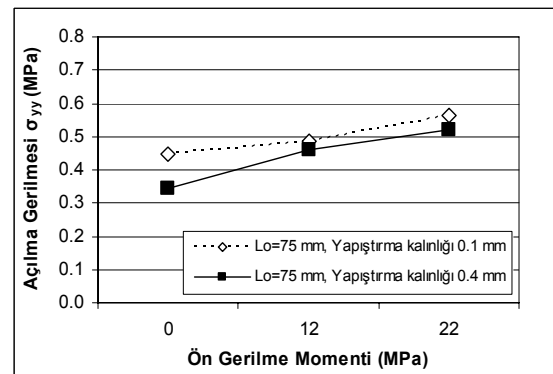
A, B ve F kritik noktadaki açılma gerilmeleri incelendiğinde, ön gerilmenin 0 MPa'dan, 12 MPa'a ve 22 MPa'a çıkartılması durumunda 75 mm dil uzunluğunda, hem 0.1 mm yapıştırma kalınlığında hem de 0.4 mm yapıştırma kalınlığındaki modellerin analizinde açılma gerilmelerinde artma olduğu gözlenmiştir. Bu artma oranları, 0.1 mm yapıştırma kalınlığı durumunda A noktasında, ön gerilmesiz durumdan ön gerilme 12 MPa'a getirildiğinde %25.75, ön gerilme 12 MPa'dan 22 MPa'a getirildiğinde ise %1.87 şeklindedir. Aynı noktada 75 mm dil uzunluğu 0.4 mm yapıştırma kalınlığına sahip ön gerilmesiz analizler ile 12 MPa ön gerilme uygulanmış analizler karşılaştırıldığında kayma gerilmesinde, %32.63 artma; 12 MPa'dan 22 MPa'a getirildiğinde ise kayma gerilmelerindeki %13.80 artma meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 5.25). Ön gerilmenin artması her üç bölgedede açılma gerilmelerinde artan bir etkiye sebep olmuştur.

Tablo 5.24 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa)

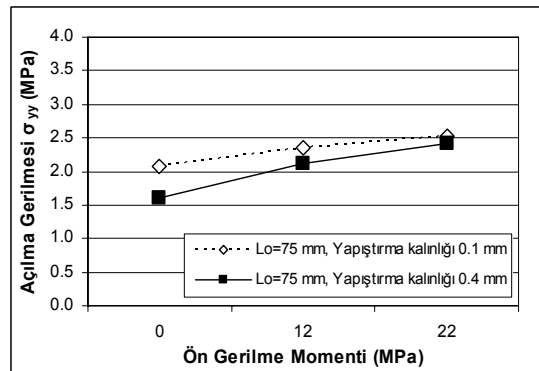
				A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)		
201	Çelik	75	0.1	0	2.9118	0.4455
202	Çelik	75	0.1	12	3.6568	0.4867
203	Çelik	75	0.1	22	3.7253	0.5618
206	Çelik	75	0.4	0	2.2572	0.3454
207	Çelik	75	0.4	12	2.9938	0.4582
208	Çelik	75	0.4	22	3.4129	0.5224



(a)



(b)



(c)

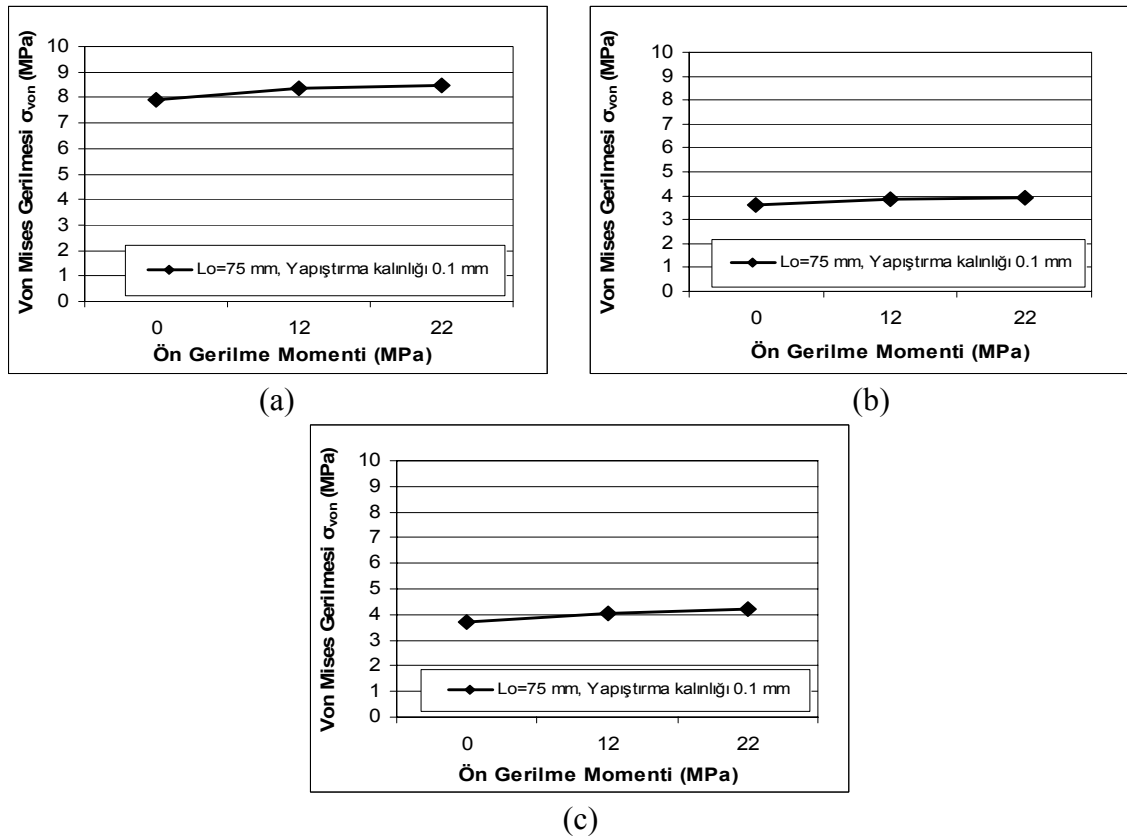
Şekil 5.25 Kompozit-çelik bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmeye göre değişimi

5.3.3 Kompozit – Alüminyum Tipi Birleştirmede Ön Gerilmenin Etkisi

Analizlerden elde edilen von Mises, kayma ve açılma gerilmelerine ön gerilmenin etkisi, alüminyum malzeme için seçilen kritik bölgelerde incelenmiştir. Tablo 5.25, Tablo 5.26 ve Tablo 5.27’de kritik bölgelerden elde edilen gerilme değerleri görülmektedir. Dil uzunluğu 75 mm ve yapıştırma kalınlığı 0.1 mm olan modellerin analizinde ön gerilmeksiz durumdan 12 MPa ön gerilmeli duruma gelindiğinde von Mises gerilmesi, A noktasında %5.57, B noktasında %5.94, F noktasında %8.74 oranında artmıştır. Ön gerilmeksiz durum ile 22 MPa ön gerilmeli durumun karşılaştırılmasında ise von Mises gerilmesinin A noktasında %7.46, B noktasında %7.79, F noktasında ise %14.31 artış gösterdiği görülmüştür (Şekil 5.26).

Tablo 5.25 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)

				A	B	F	
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
301	Alüminyum	75	0.1	0	7.8990	3.6262	3.6980
302	Alüminyum	75	0.1	12	8.3391	3.8277	4.0211
303	Alüminyum	75	0.1	22	8.4885	3.8959	4.2272

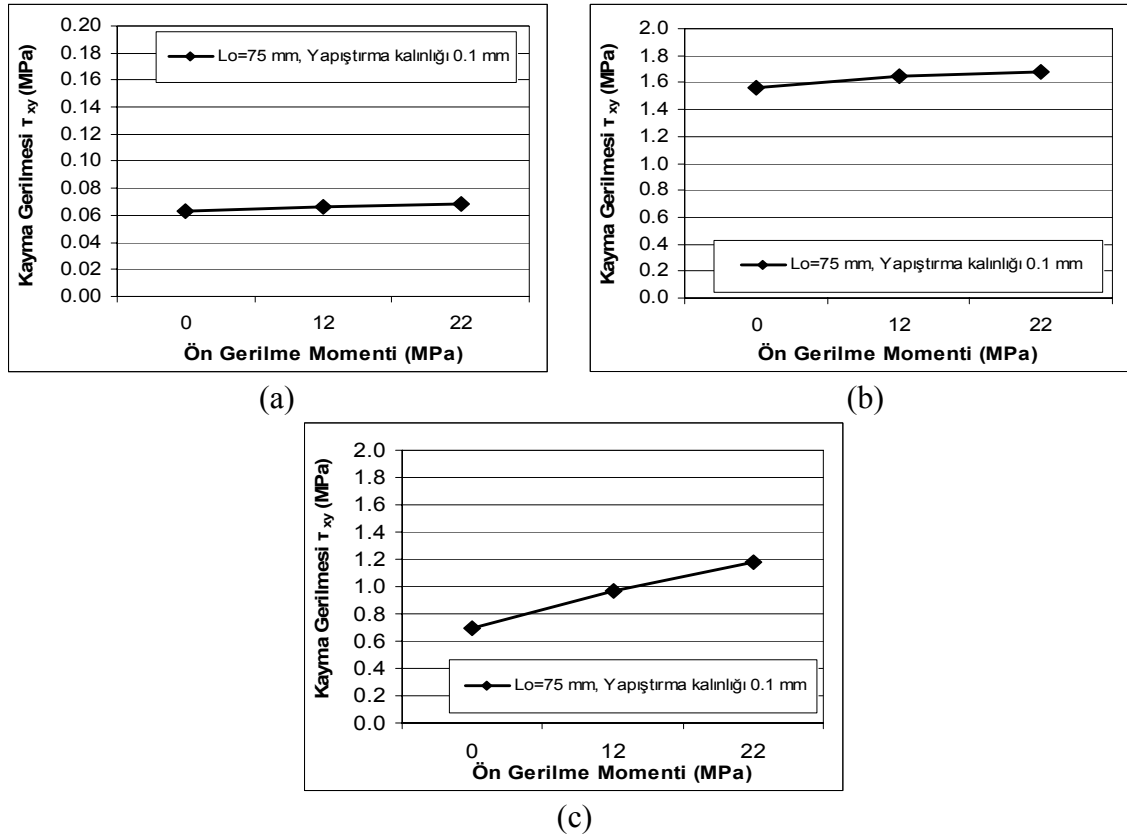


Şekil 5.26 Kompozit-alüminyum bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi von Mises gerilmesinin ön gerilmeye göre değişimi

Alüminyum dil malzemelerde kayma gerilmeleri karşılaştırmaları, 75 mm dil uzunluğu 0.1 mm yapıştırma kalınlığı için yapılmıştır. Ön gerilmenin artması çelik ve kompozit malzemedeki gibi alüminyum malzemede de kayma gerilmesini arttırmıştır. Bu artış A noktasında incelendiğinde ön gerilmesiz ve 12 MPa ön gerilmeli durum karşılaştırmasında %5.62 oranındadır. Ön gerilme durumu 12 MPa'dan 22 MPa'a arttırıldığında ise kayma gerilmesinde %1.79 artış gözlemlenmiştir. Ön gerilmesiz durum ile 22 MPa ön gerilmeli durum için kayma gerilmeleri karşılaştırıldığında, kayma gerilmesinde %7.47 artış görülmüştür (Şekil 5.27).

Tablo 5.26 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa)

				A	B	F	
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
301	Alüminyum	75	0.1	0	0.0633	1.5634	0.6982
302	Alüminyum	75	0.1	12	0.0668	1.6501	0.9718
303	Alüminyum	75	0.1	22	0.0680	1.6794	1.1805

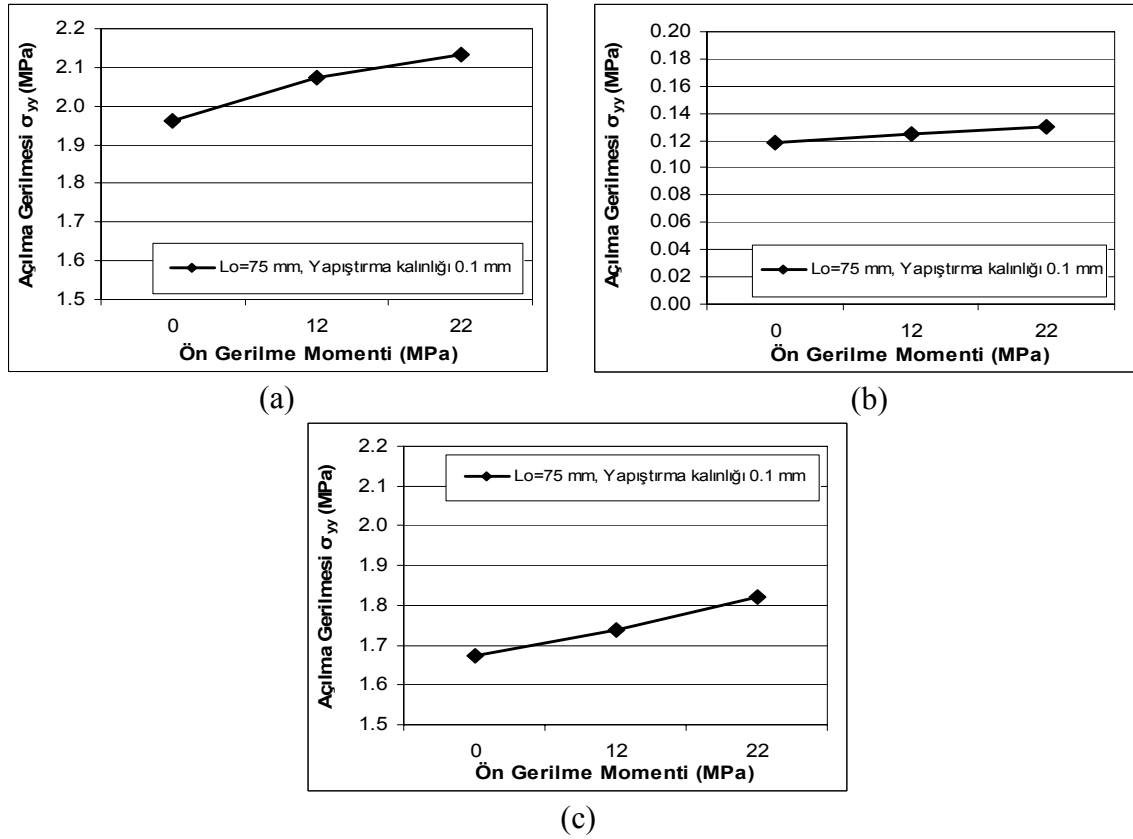


Şekil 5.27 Kompozit-alüminyum bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi kayma gerilmesinin ön gerilmeye göre değişimi

Alüminyum malzemede açılma gerilmesinin en fazla görüldüğü nokta kritik noktalar arasında A noktasıdır. A noktasında 75 mm dil uzunluğu ve 0.1 mm yapıştırma kalınlığında analiz edilen modelin açılma gerilmesi değeri 1.96 MPa'dır. Bu değer ön gerilme durumu 12 MPa iken 2.07 MPa, ön gerilme durumu 22 MPa iken ise 2.13 MPa olarak gözlemlenmiştir, bu artış ön gerilmesiz duruma göre %8.74 oranındadır (Şekil 5.28).

Tablo 5.27 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa)

					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
301	Alüminyum	75	0.1	0	1.9628	0.1184	1.6717
302	Alüminyum	75	0.1	12	2.0723	0.1247	1.7368
303	Alüminyum	75	0.1	22	2.1344	0.1302	1.8202



Şekil 5.28 Kompozit-alüminyum bağlantı tipinde kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi açılma gerilmesinin ön gerilmeye göre değişimi

5.4 Malzemenin Etkisi

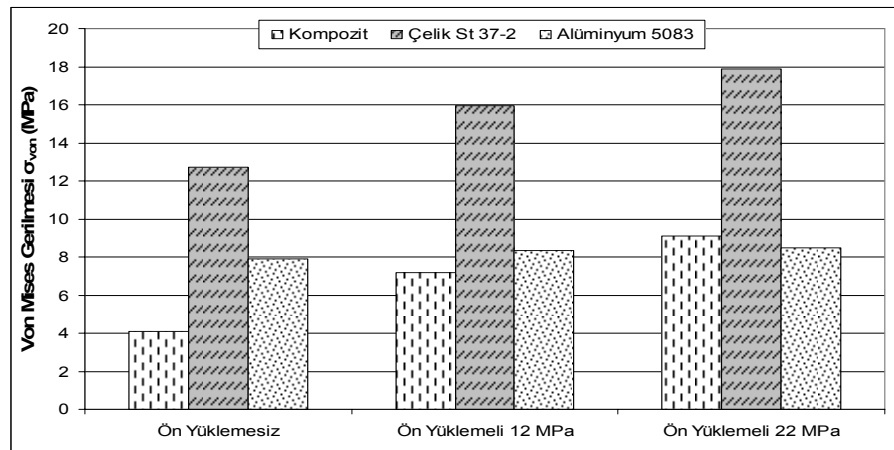
Dil oluk çiftlerinde malzemenin von Mises, kayma ve açılma gerilmelerine etkilerinin anlaşılması için yapılan analizlerde dil uzunluğu 75 mm ve yapıştırma kalınlığı 0.1 mm sabit kabul edilerek, ön gerilmesiz, 12 MPa ve 22 MPa ön gerilmeli durumlar karşılaştırılmıştır. Tablo 25, Tablo 26 ve Tablo 27’de verilen bu karşılaştırmalar A, B ve F kesitleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Ön gerilmesiz durumda en kötü bağlantı tipi kompozit-kompozit dil oluk çifti iken, en iyi bağlantı dayanımı ise kompozit-çelik dil oluk çiftlerinde görülmektedir.

Ön gerilmesiz durumda çelik malzeme için A kesitinde elde edilen von Mises gerilmesi kompozit malzemeden 3.08 kat ve alüminyum malzemeden ise 1.61 kat daha fazladır. Bu oranlar; 12 MPa ön gerilme durumunda sırasıyla 2.23 ve 1.92 kat ve 22 MPa ön gerilme durumunda sırasıyla 1.96 ve 2.1 kat olarak elde edilmiştir. Ön gerilme en fazla kompozit malzemeye etki etmektedir. A kesitindeki durum B kesiti için de geçerli olmaktadır. Ancak F kesitinde maksimum von Mises gerilmeleri kompozit

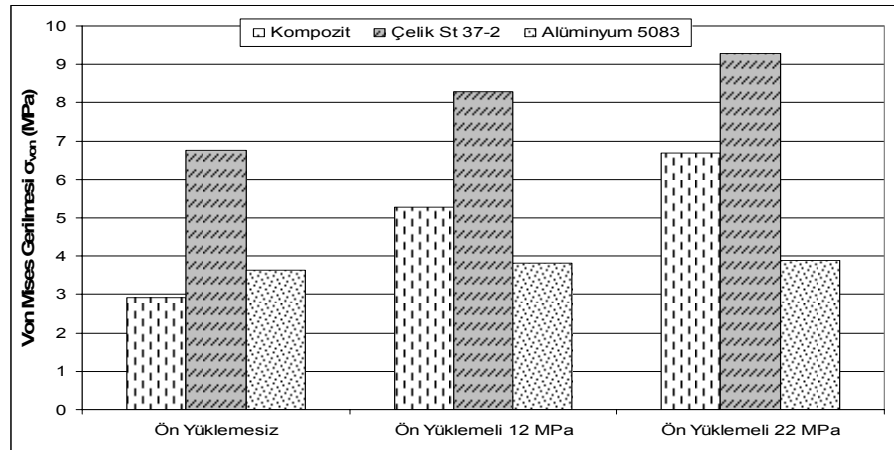
malzemelerde görülmektedir (Şekil 5.29). Kompozit – kompozit dil oluk çiftlerinin ön gerilmeden en fazla etkilenen bağlantı tipi olduğu söylenebilmektedir.

Tablo 5.28 Kritik bölgelerde oluşan von Mises gerilmeleri (MPa)

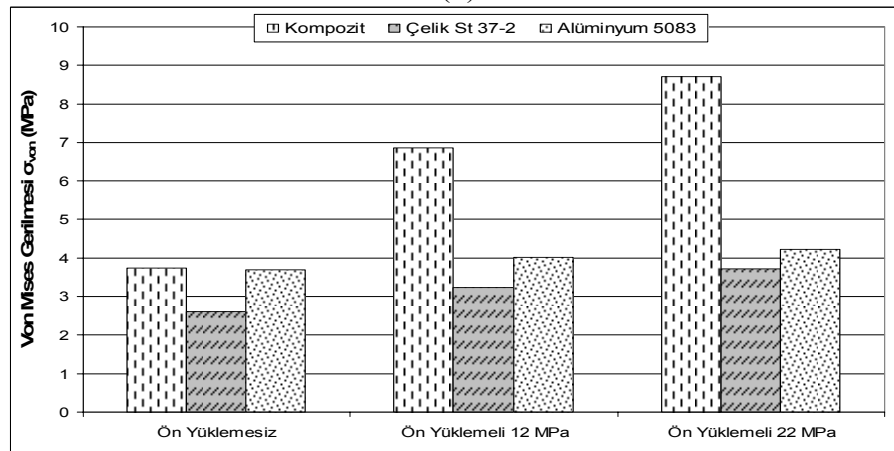
					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
101	Kompozit	75	0.1	0	4.1191	2.9111	3.7455
201	Çelik	75	0.1	0	12.7200	6.7641	2.6205
301	Alüminyum	75	0.1	0	7.8990	3.6262	3.6980
103	Kompozit	75	0.1	12	7.1635	5.2672	6.8565
202	Çelik	75	0.1	12	15.9752	8.2884	3.2299
302	Alüminyum	75	0.1	12	8.3391	3.8277	4.0211
114	Kompozit	75	0.1	22	9.0976	6.6893	8.7078
203	Çelik	75	0.1	22	17.8793	9.2765	3.7111
303	Alüminyum	75	0.1	22	8.4885	3.8959	4.2272



(a)



(b)



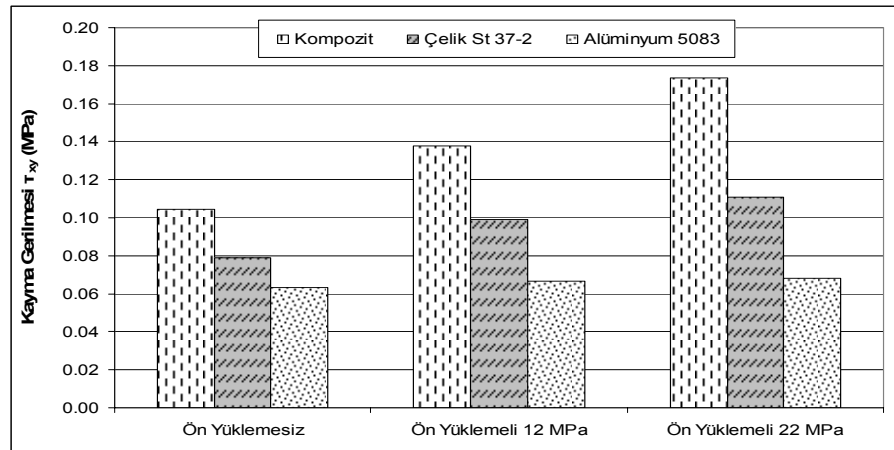
(c)

Şekil 5.29 Kompozit, çelik ve alüminyum dil malzemelerinin kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi için von Mises gerilme değerlerinin ön gerilmeye göre değişimi

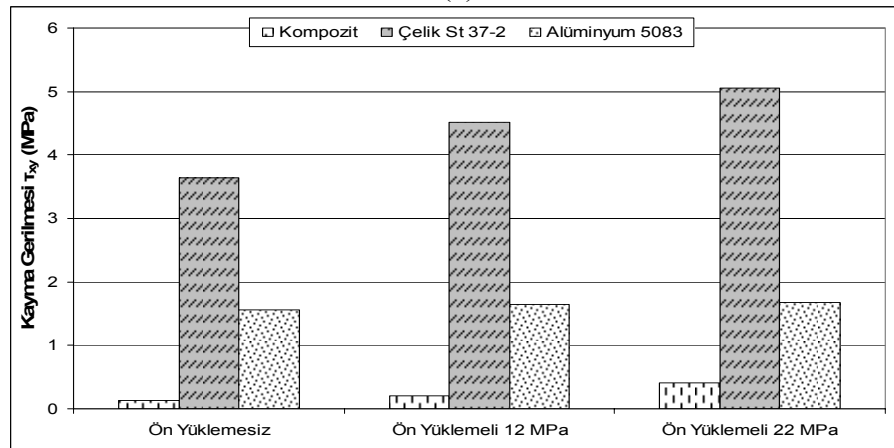
Malzeme etkisinin analiz edilmesi için kayma gerilmeleri karşılaştırıldığında, A kesitinde kompozit malzeme için ön gerilmeksiz durumdan 12 MPa ön gerilme durumuna geçildiğinde %31, 22 MPa ön gerilme durumuna geçildiğinde ise %66.2 artış görülmüştür. Bu oranlar çelik malzeme için sırasıyla %25.5 ve %40.4, alüminyum malzeme için ise sırasıyla %5.5 ve %7.42 olmaktadır. Diğer kesitler için de ön gerilmenin artmasıyla kayma gerilmesi değerlerinde artış görülmekte ve ön gerilme en fazla kompozit malzemelerden elde edilen kayma gerilmesi değerlerini etkilemektedir (Şekil 5.30).

Tablo 5.29 Kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri (MPa)

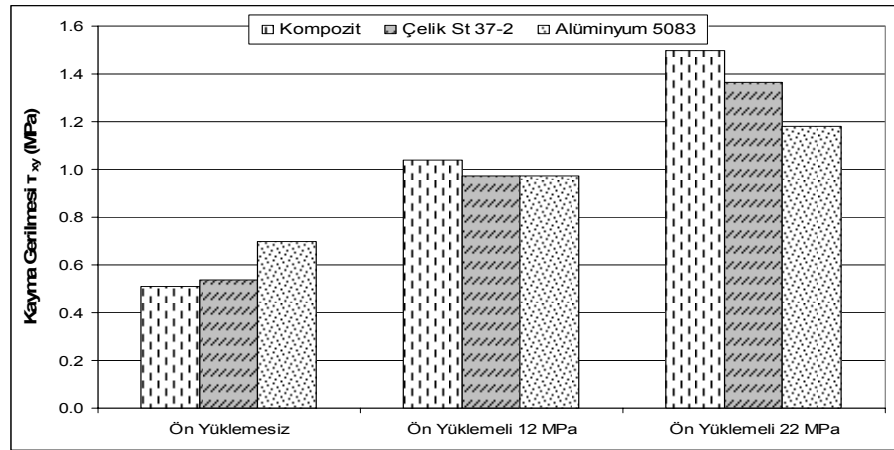
					A	B	F
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)			
101	Kompozit	75	0.1	0	0.1044	0.1333	0.5102
201	Çelik	75	0.1	0	0.0789	3.6395	0.5373
301	Alüminyum	75	0.1	0	0.0633	1.5634	0.6982
103	Kompozit	75	0.1	12	0.1375	0.2027	1.0378
202	Çelik	75	0.1	12	0.0990	4.5092	0.9709
302	Alüminyum	75	0.1	12	0.0668	1.6501	0.9718
114	Kompozit	75	0.1	22	0.1735	0.4067	1.4963
203	Çelik	75	0.1	22	0.1108	5.0467	1.3642
303	Alüminyum	75	0.1	22	0.0680	1.6794	1.1805



(a)



(b)



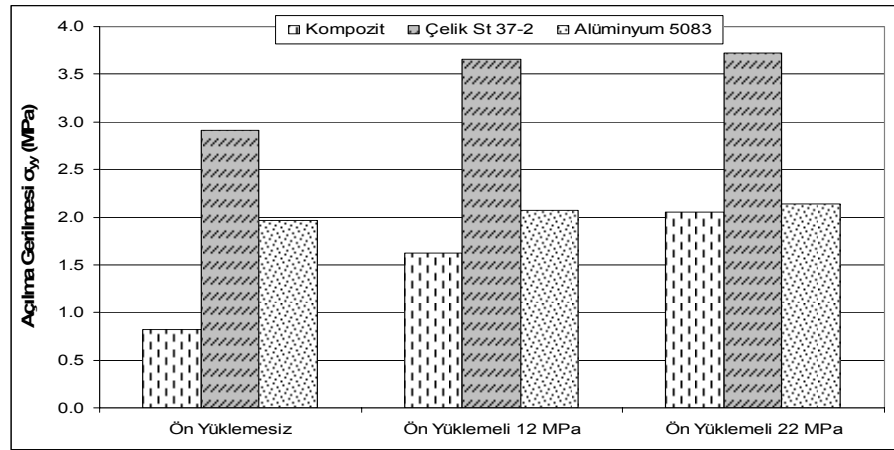
(c)

Şekil 5.30 Kompozit, çelik ve alüminyum dil malzemelerinin kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi için kayma gerilme değerlerinin ön gerilmeye göre değişimi

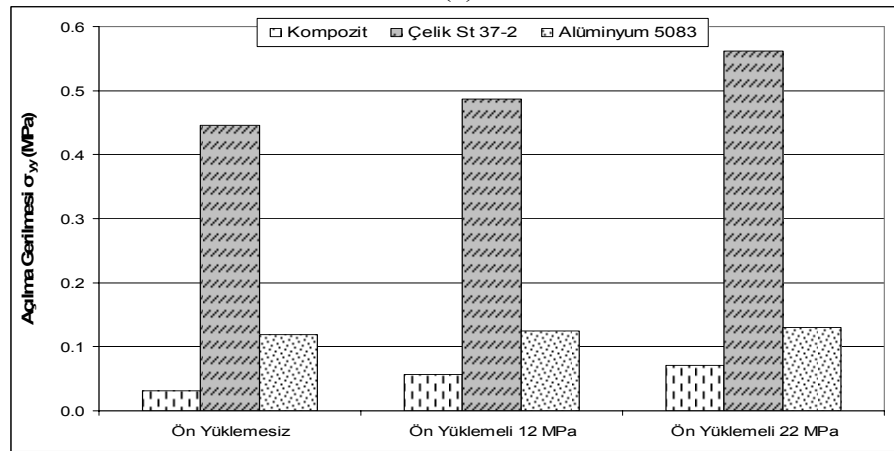
Kritik bölgelerde dil malzemelerinin açılma gerilmelerine etkileri incelendiğinde ise, F kesitinde ön gerilmeksiz durumda çelik malzeme, kompozit malzemeden %252.6 ve alüminyum malzemeden %48.3 daha fazla olmaktadır. Bu oranlar; ön gerilme durumu 12 MPa olduğunda sırasıyla %125.1 ve %76.5, ön gerilme durumu 22 MPa olduğunda ise sırasıyla %81.8 ve %74.5 olmaktadır. Açılma gerilmesi için benzer artışlar B ve F kesitleri içinde görülmektedir. Ön gerilmenin artırılması açılma gerilmesi değerleri karşılaştırıldığında yine en fazla kompozit malzeme üzerinde etki etmektedir (Şekil 5.31).

Tablo 5.30 Kritik bölgelerde oluşan açılma (peel) gerilmeleri (MPa)

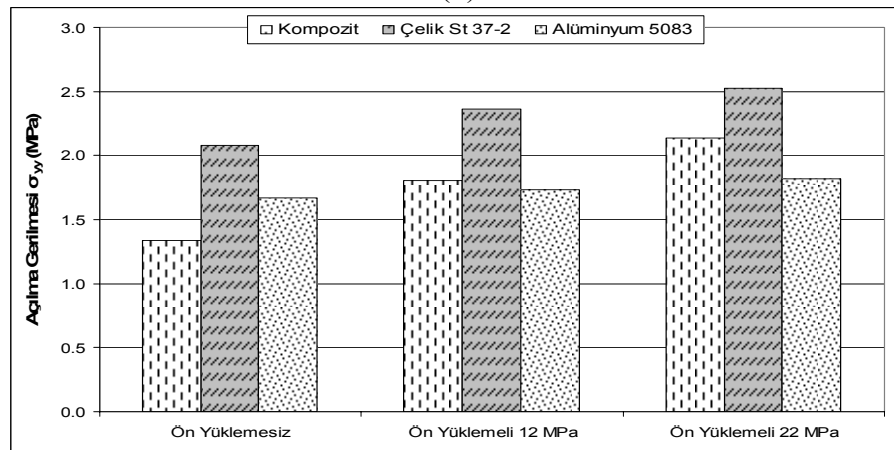
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)	A	B	F
101	Kompozit	75	0.1	0	0.8257	0.0313	1.3394
201	Çelik	75	0.1	0	2.9118	0.4455	2.0773
301	Alüminyum	75	0.1	0	1.9628	0.1184	1.6717
103	Kompozit	75	0.1	12	1.6242	0.0562	1.8076
202	Çelik	75	0.1	12	3.6568	0.4867	2.3625
302	Alüminyum	75	0.1	12	2.0723	0.1247	1.7368
114	Kompozit	75	0.1	22	2.0495	0.0705	2.1347
203	Çelik	75	0.1	22	3.7253	0.5618	2.5262
303	Alüminyum	75	0.1	22	2.1344	0.1302	1.8202



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.31 Kompozit, çelik ve alüminyum dil malzemelerinin kritik a) A bölgesi b) B bölgesi c) F bölgesi için açılma gerilme değerlerinin ön gerilmeye göre değişimi

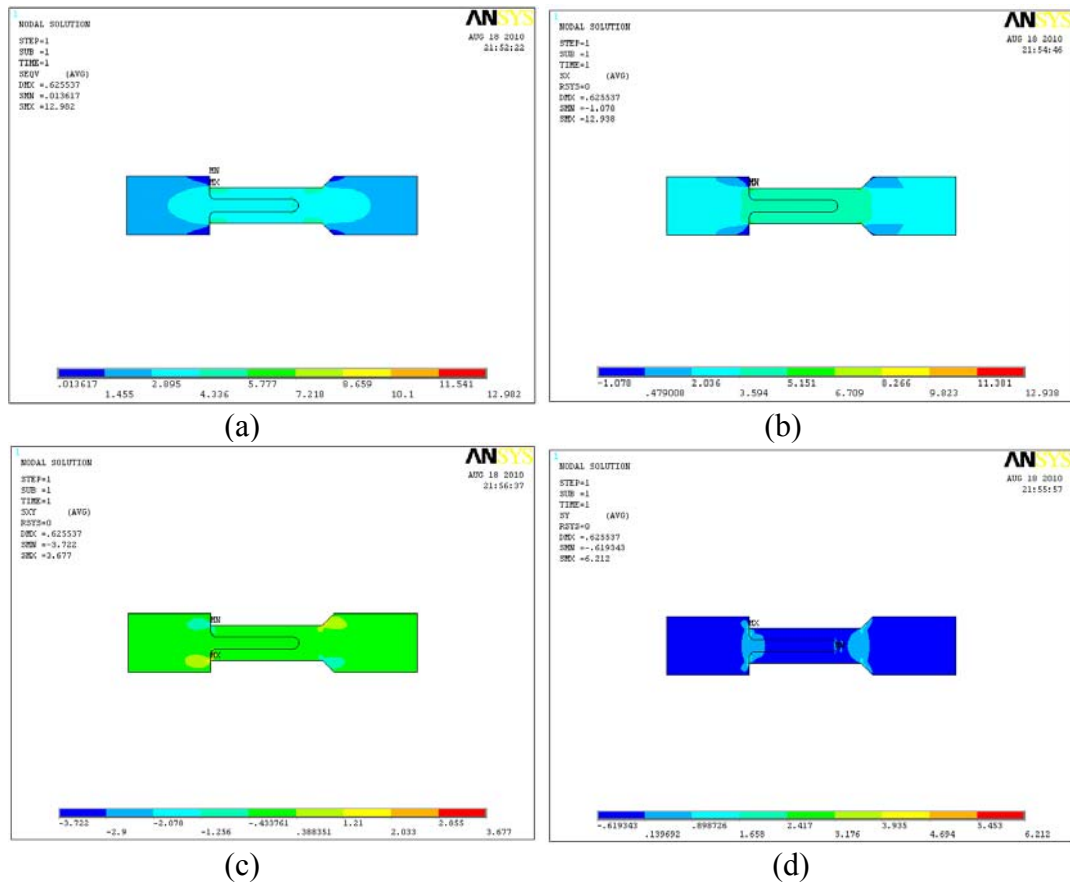
6. GERİLME ANALİZİ

6.1 Parametrelere Bağlı Gerilme Dağılımı

Deney numunelerinin, her malzeme için farklı dil boyu ve farklı ön gerilme durumlarında analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda oluşan gerilme dağılımları aşağıda verilmiştir. Von mises, kayma, açılma ve x eksenli boyunca oluşan gerilmelerin numuneler üzerindeki maksimum ve minimum noktaları gösterilmiştir.

6.1.1 101 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

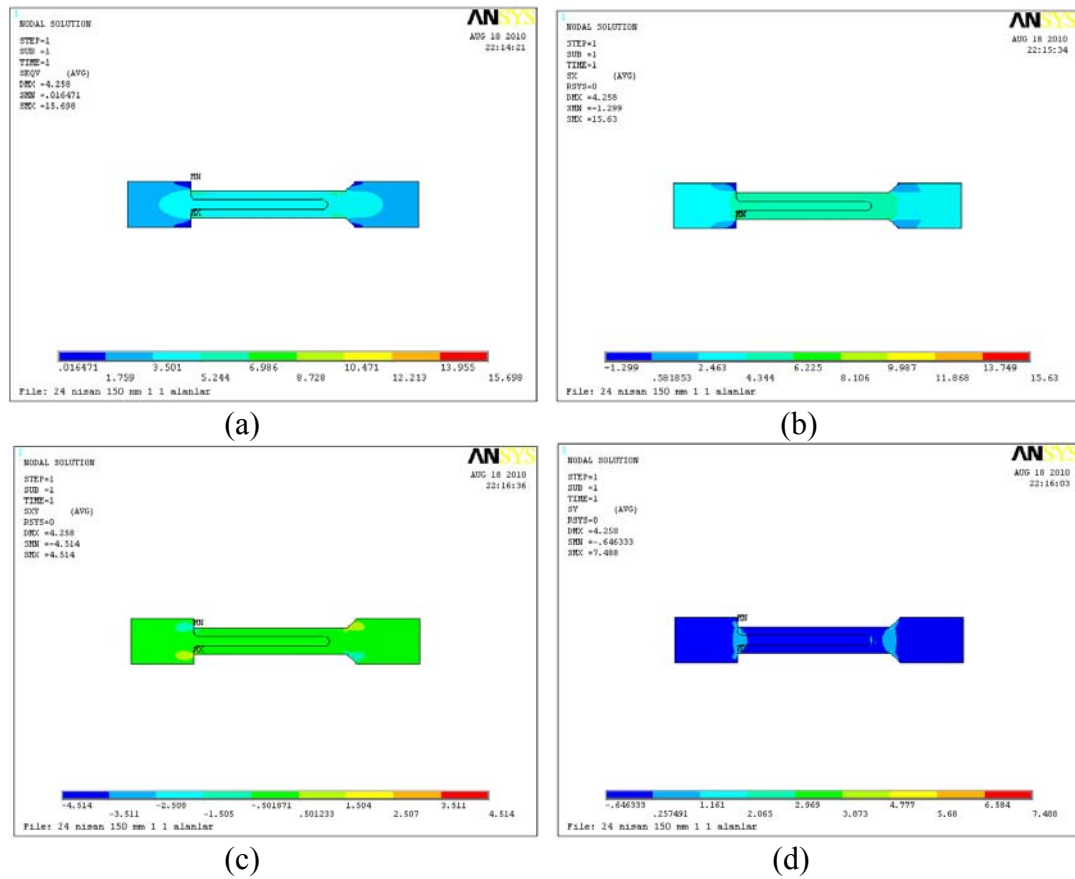
Dil uzunluğu 75 mm, yapıştırma kalınlığı 0.1 mm ve ön gerilmesiz kompozit – kompozit dil oluk çiftinin, von Mises, kayma, açılma ve x eksenli boyunca gerilme dağılımları Şekil 6.1’de verilmektedir. Von Mises, kayma, açılma ve x eksenli boyunca gerilme dağılımları incelendiğinde maksimum gerilmelerin oluk bacaklarının dil malzemesine yapıştırıldığı bölgede olduğu görülmektedir. Açılma gerilme dağılımı incelendiğinde minimum gerilme değeri dil uç bölgesinde oluşmaktadır.



Şekil 6.1 101 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenli boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.2 106 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde, dil uzunluğu 150 mm, yapıştırma kalınlığı 0.1 mm ve ön gerilmemiş olarak analiz edilen 106 numaralı deney numunesinin gerilme dağılımları Şekil 6.2’de verilmektedir. Von Mises, kayma, açılma ve x eksenini boyunca gerilme dağılımlarında maksimum ve minimum gerilmelerin oluştuğu bölgeler görülmektedir. Deney numunesinin analizi sonucunda oluşan açılma gerilmesinin minimum noktası, 101 numaralı deney numunesinden farklı olarak oluk bacaklarında oluşmuştur. Dil boyundaki artış minimum açılma gerilmesinin dil ucundan, oluk bacaklarının olduğu yapışma bölgesine taşınmasına sebep olmuştur.

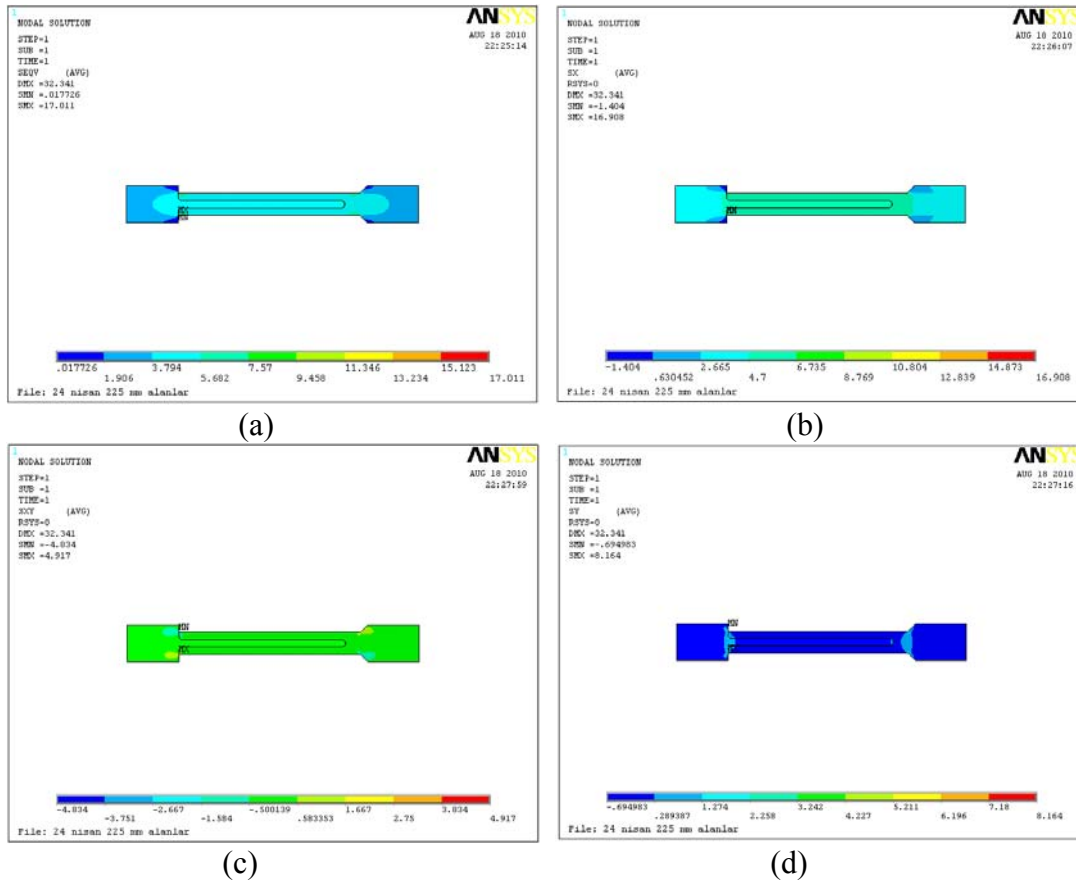


Şekil 6.2 106 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.3 110 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

110 numaralı deney numunesi, 225 mm dil uzunluğuna, 0.1 mm yapıştırma kalınlığına sahip kompozit – kompozit dil oluk çiftidir. Ön gerilmemiş olarak yapılan analizler sonucunda von Mises, kayma, açılma ve x eksenini boyunca gerilme dağılımları

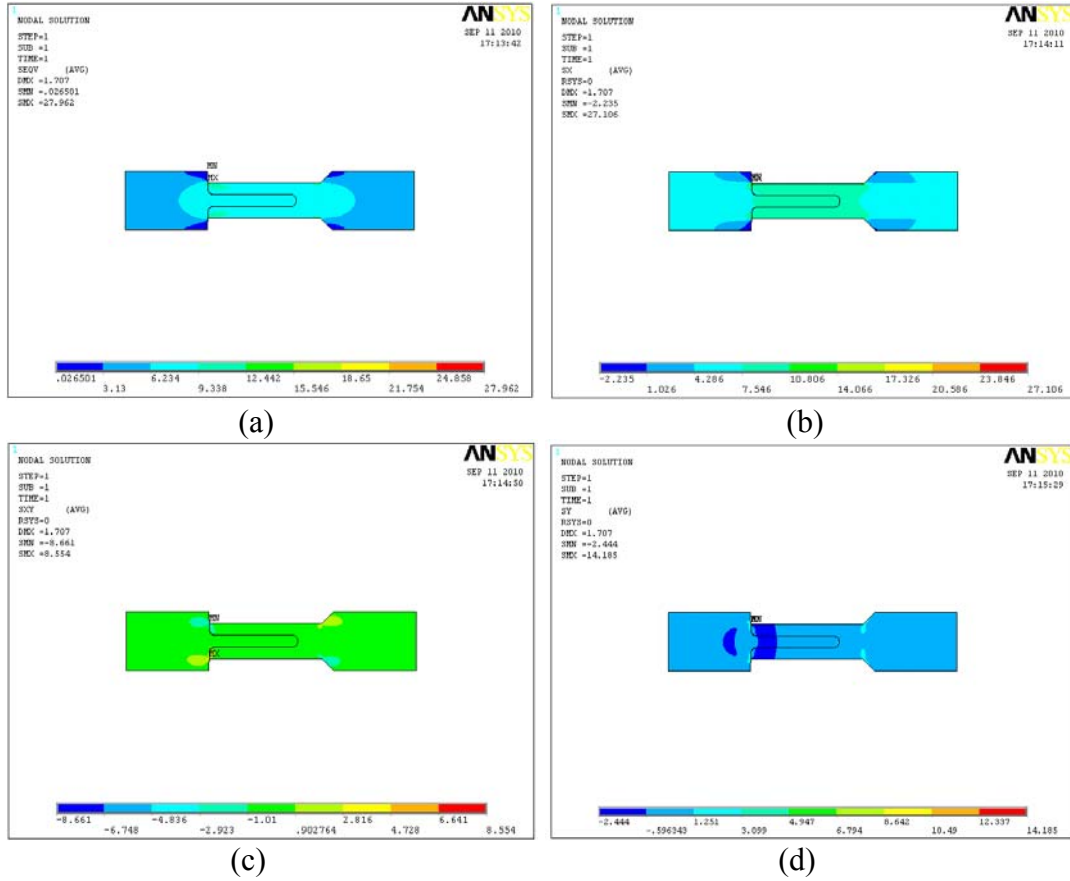
Şekil 6.3’de görülmektedir. Maksimum gerilme değerleri yine oluk bacaklarının dil malzemesine yapıştırıldığı bölgede olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 6.3 110 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.4 105 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

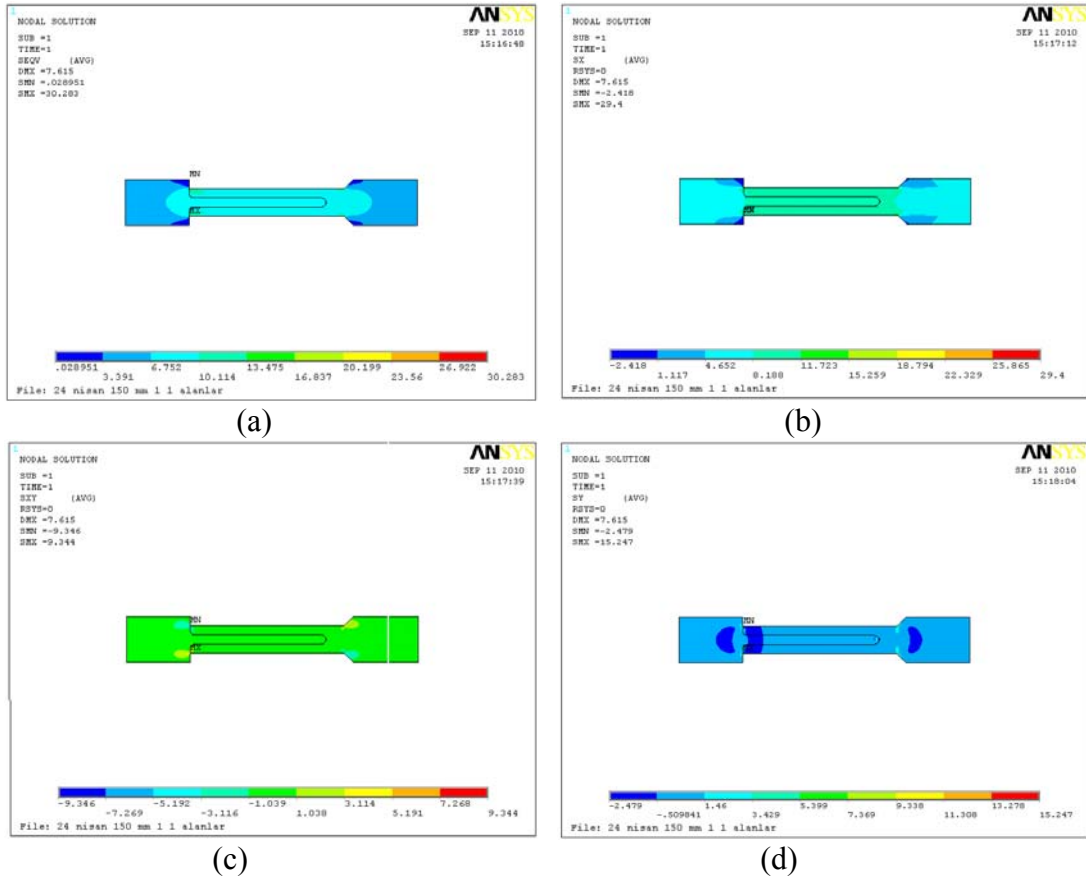
Ön gerilme değeri 22 MPa, yapıştırma kalınlığı 0.2 mm ve dil uzunluğu 75 mm olan deney numunesinin analizi sonucunda elde edilen von Mises, kayma, açılma ve x kseni boyunca gerilme dağılımları verilmektedir (Şekil 6.4). Ön gerilmenin malzeme üzerinde oluşan gerilmeler dağılımlarına artan bir etki sağladığı görülmektedir.



Şekil 6.4 105 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenli boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.5 108 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

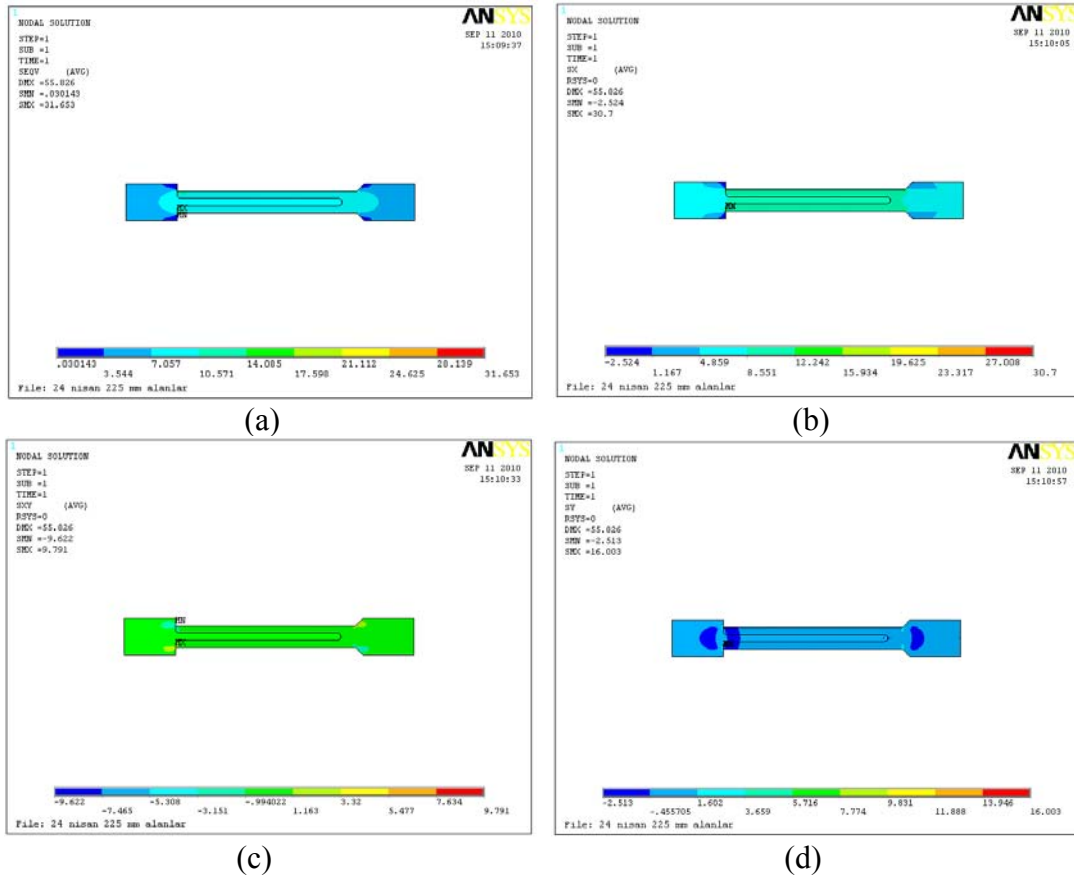
Dil uzunluğu 150 mm, yapıştırma kalınlığı 0.2 mm ve ön gerilme 22 MPa durumunda analiz edilen kompozit – kompozit dil oluk çiftinin gerilme dağılımları Şekil 6.5’de görülmektedir. X eksenli boyunca gerilme dağılımları incelendiğinde, maksimum ve minimum gerilmelerin aynı bölgede olduğu görülmekte ancak maksimum gerilme yapışkan üzerinde, minimum gerilme ise o bölgede kompozit malzeme üzerinde oluşmaktadır.



Şekil 6.5 108 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.6 111 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

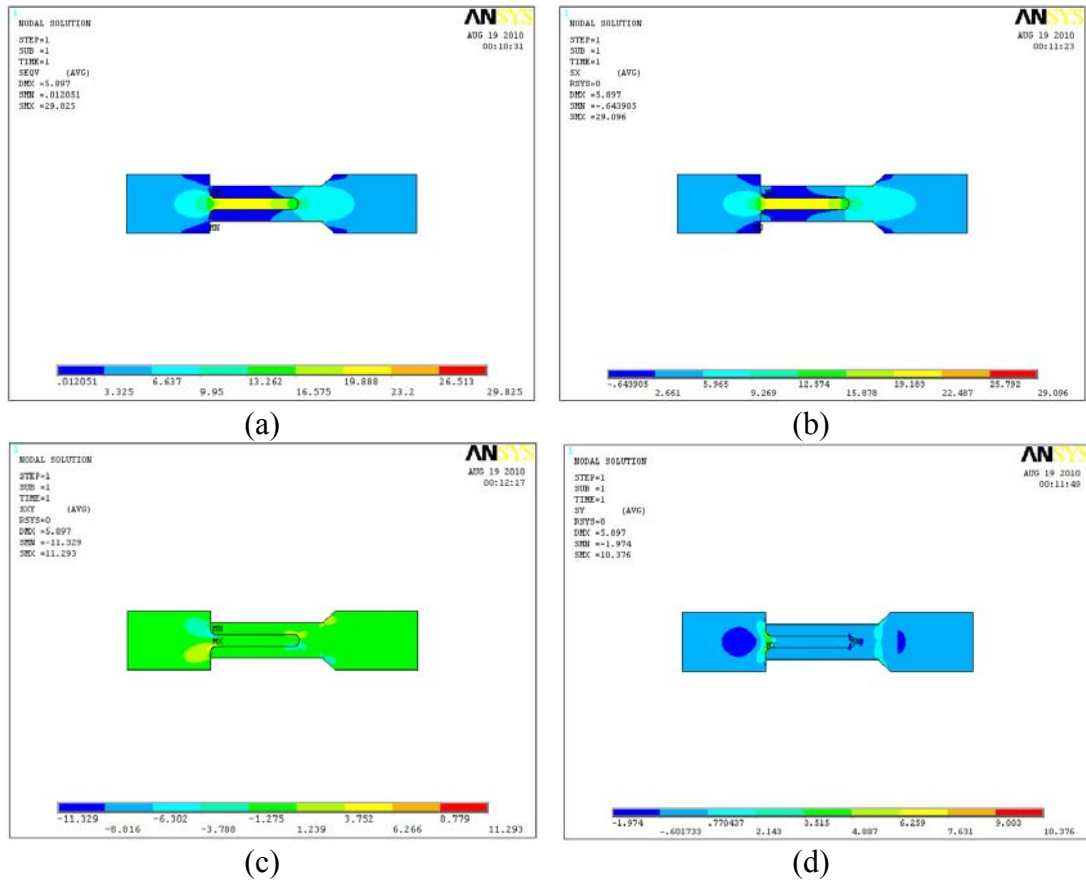
Dil uzunluğu 225 mm, yapıştırma kalınlığı 0.2 mm ve ön gerilme 22 MPa olacak şekilde analiz edilen kompozit – kompozit dil oluk çiftinin analiz sonuçları göstermiştir ki; maksimum von Mises gerilmesi 31.6 MPa, x eksenı boyunca oluşan maksimum gerilme 30.7 MPa, maksimum kayma gerilmesi 9.79 MPa ve maksimum açılma gerilmesi 16 MPa olmaktadır (Şekikl 6.6).



Şekil 6.6 111 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.7 201 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

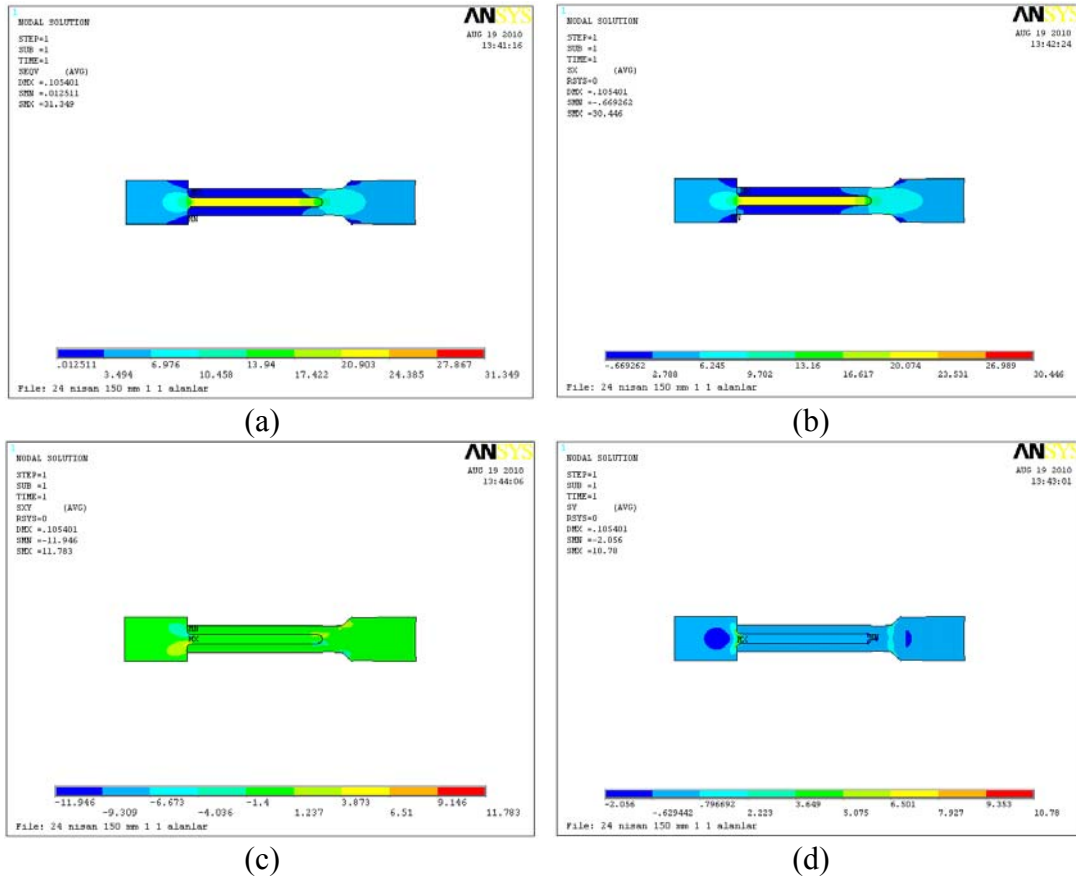
Çelik – kompozit dil oluk çiftinin analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.7’de verilmektedir. Bu analiz, dil uzunluğu 75 mm, yapıştırma kalınlığı 0.1 mm ve ön gerilmesiz durumda yapılmıştır. Gerilme dağılımlarının malzemeden malzemeye farklılık gösterdiği aynı parametrik koşullardaki kompozit ve alüminyum dil içeren numuneler ile karşılaştırıldığında görülmektedir. Açılma gerilmesinin maksimum noktasının geometri üzerindeki radyuslu bölgeler olduğu Şekil 6.7 (d)’de dikkat çekici bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6.7 201 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.8 209 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

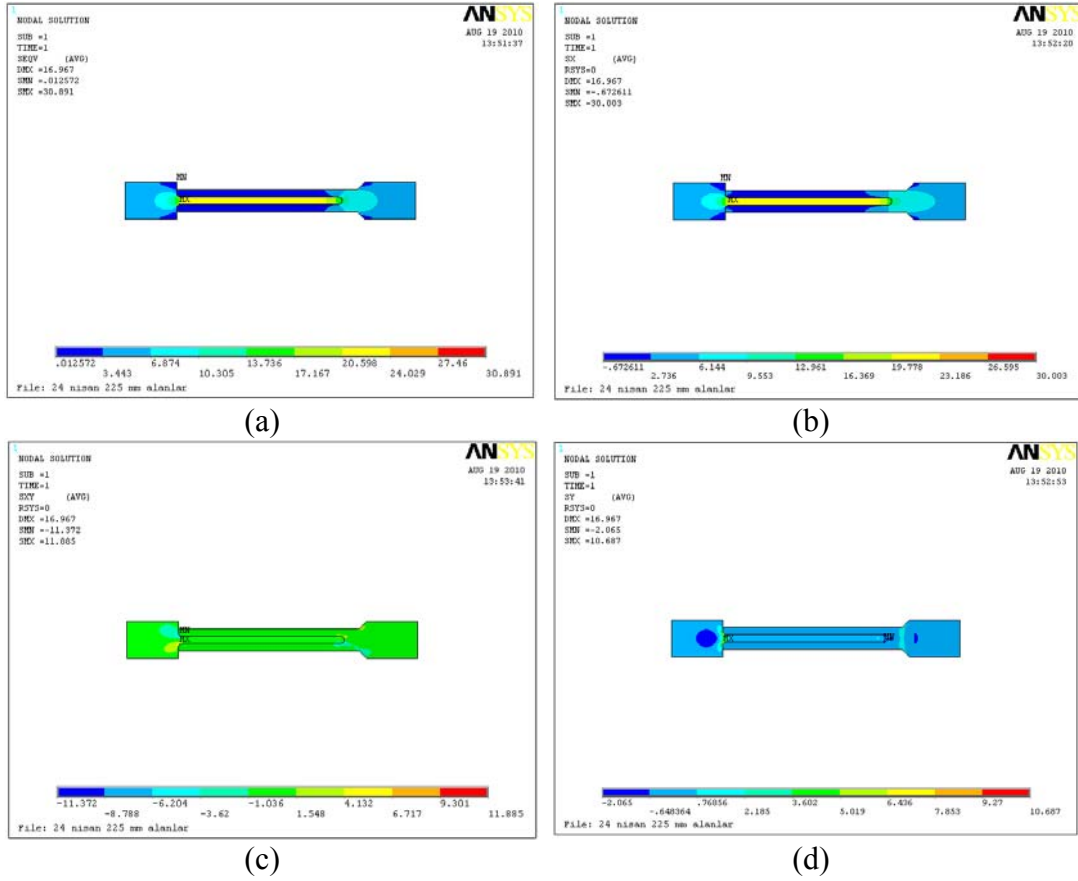
Dil uzunluğu 150 mm ve yapıştırma kalınlığı 0.1 mm olan kompozit – çelik dil oluk çiftinin ön gerilmesiz durumda yapılan analizi sonucunda elde edilen von Mises, kayma, açılma ve x eksenı boyunca gerilme dağılımları incelendiğinde maksimum gerilmelerin oluk bacaklarının dil malzemesine yapıştırıldığı bölgede olduğu görülmektedir (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 209 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenli boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.9 214 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

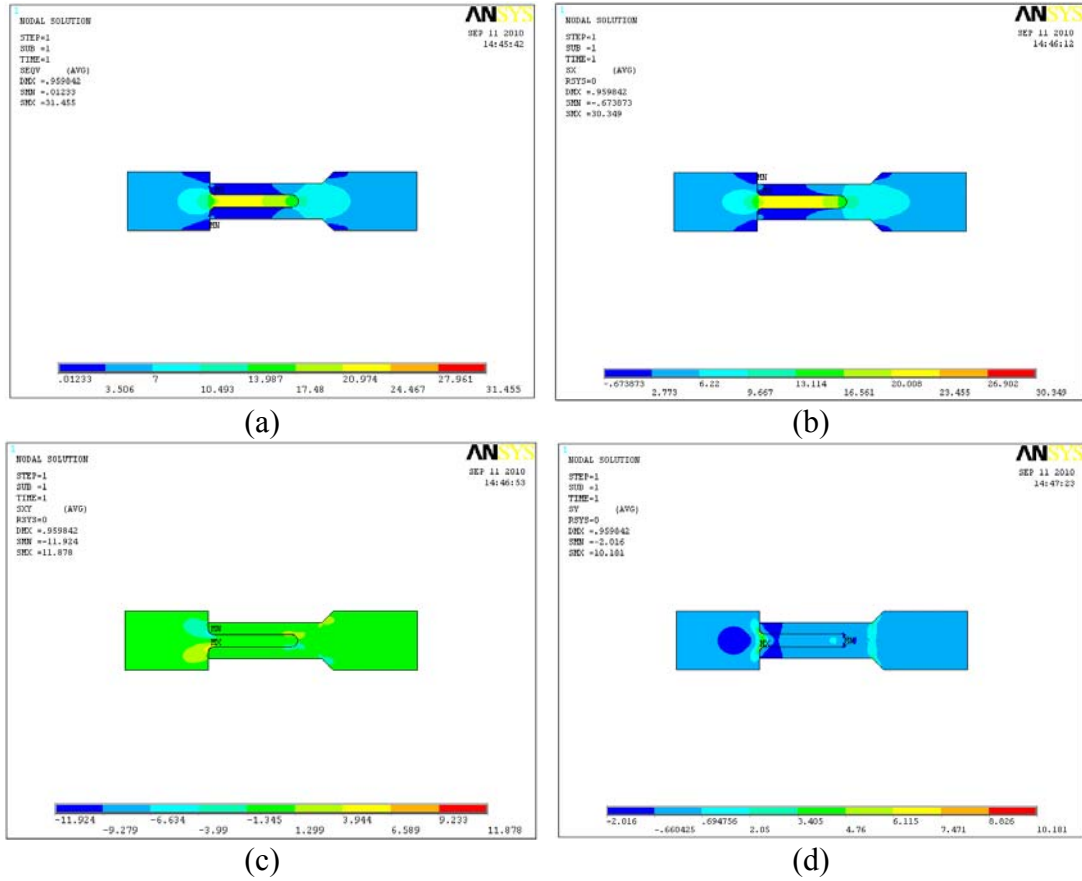
Yapıştırma kalınlığı 0.1 mm, dil uzunluğu 22 mm olan kompozit – çelik dil oluk çiftinin ön gerilmesiz durumda yapılan analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.9’da verilmektedir. Kayma gerilmelerinin minimum ve maksimum değerleri Şekil 6.9 (c)’den de görüldüğü gibi kritik olan radyüslü bölgelerdir. Kayma gerilme değerlerinin negatif olması o bölgedeki gerilmenin yönünü belirtmektedir.



Şekil 6.9 214 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.10 207 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

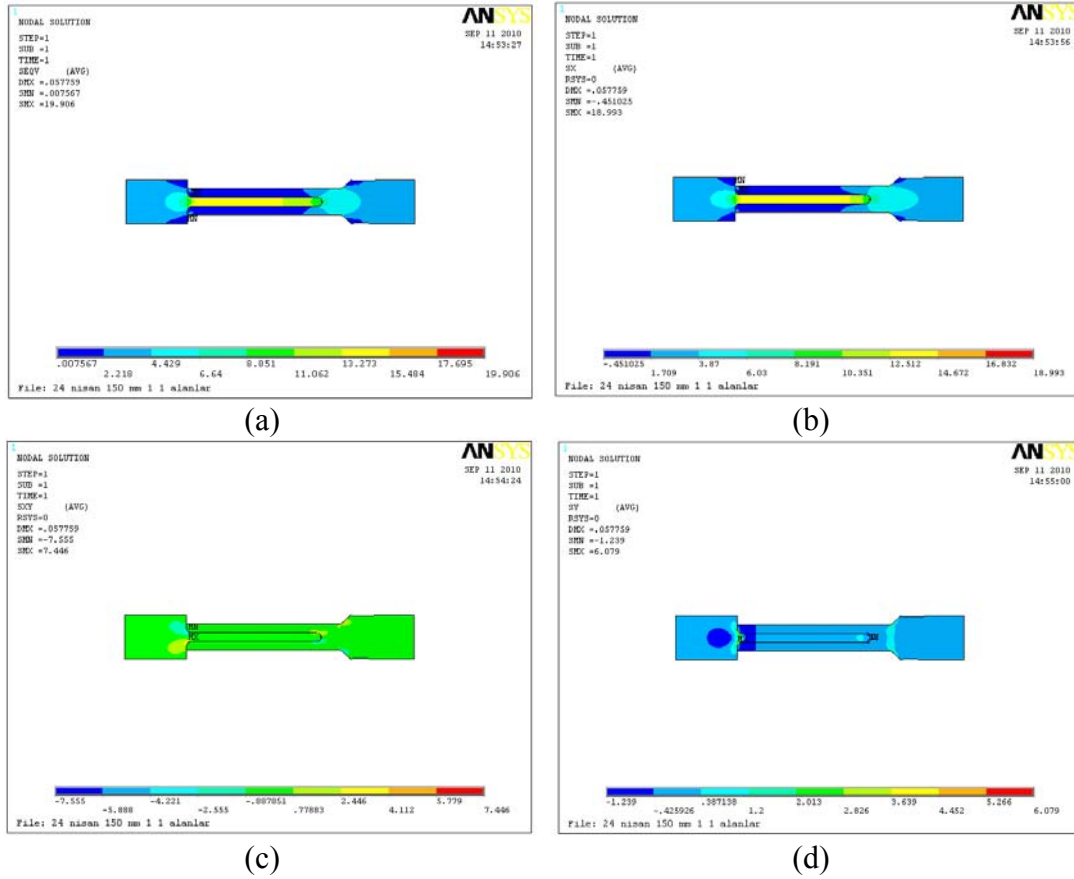
Ön gerilme değeri 12 MPa olan çelik dil – kompozit oluk çiftinin dil uzunluğu 75 mm ve yapıştırma kalınlığı 0.4 mm olan modelin analizi sonucu çelik malzemede ön gerilme etkisinin von Mises, kayma, açılma ve x eksenı boyunca gerilme dağılımlarına etkisi Şekil 6.10’da verilmektedir. Ön gerilme uygulanması gerilme değerlerinde belli oranlarda artışa neden olmaktadır.



Şekil 6.10 207 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.11 212 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

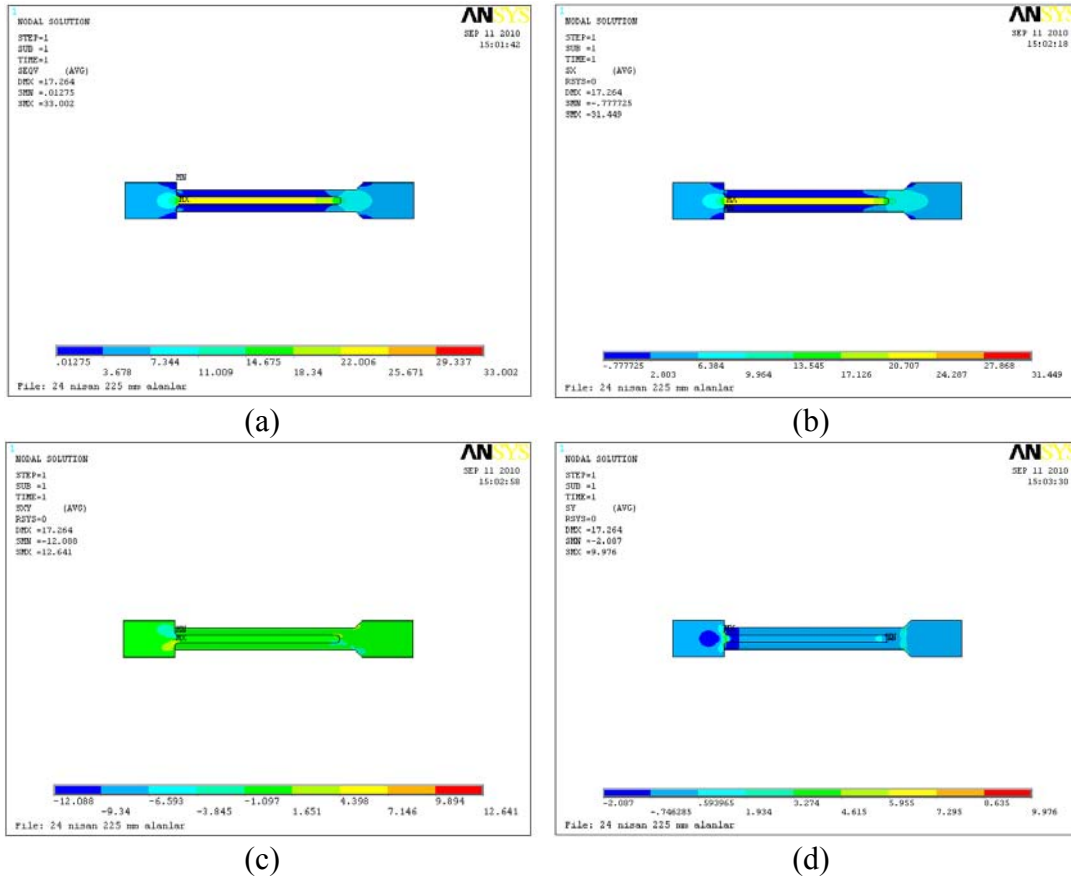
Şekil 6.11’de, yapıştırma kalınlığı 0.4 mm olan 150 mm dil uzunluğuna sahip kompozit – çelik dil oluk çiftinin 12 MPa ön gerilme altındaki gerilme dağılımları verilmektedir. Analiz sonucunda elde edilen açılma gerilmesi grafiğine bakıldığında, minimum açılma gerilmesinin dil ucunda meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 6.11 212 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.12 218 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

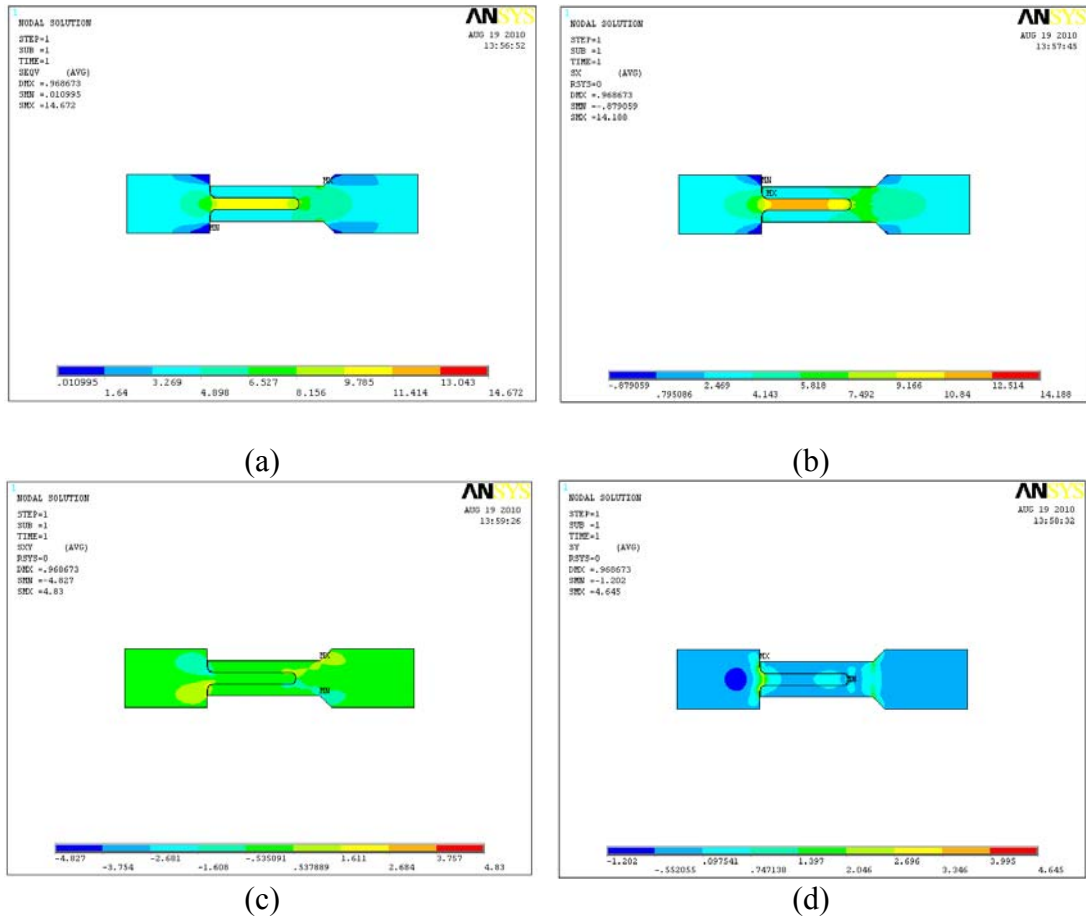
Dil malzemesi olarak 225 mm çelik kullanılan, yapıştırma kalınlığı 0.4 mm olan kompozit – çelik dil oluk çiftinin 12 MPa ön gerilme uygulanarak gerçekleştirilen analizlerinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.12’de verilmektedir. Gerilme dağılımları incelendiğinde von Mises gerilmesinin, kayma, açılma ve x eksenı boyunca olan gerilmenin maksimum noktaları oluk bacaklarında olduğu görülmektedir.



Şekil 6.12 218 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.13 301 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

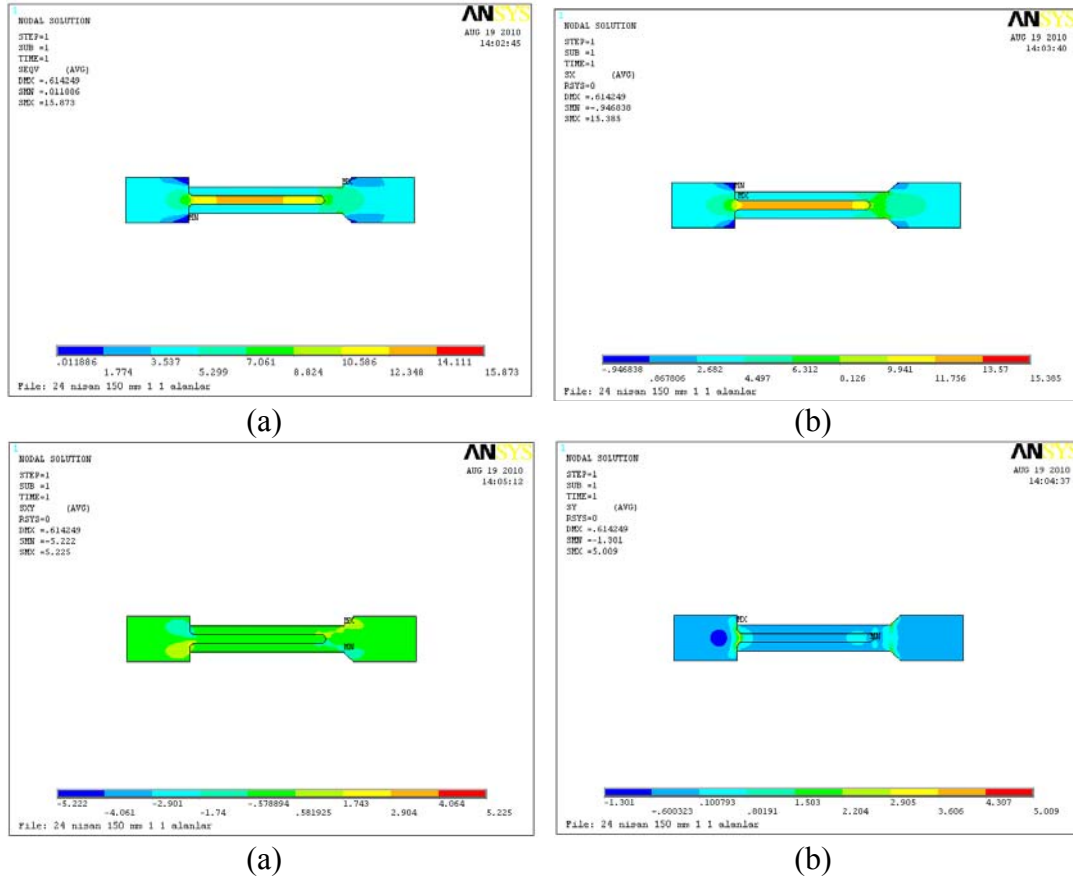
Alüminyum dil – kompozit oluk çiftinden oluşan dil uzunluğu 75 mm, yapıştırma kalınlığı 0.1 mm olan modelin ön gerilmesiz durumda gerçekleştirilen analizi sonucunda elde edilen von Mises, kayma, açılma ve x eksenı boyunca gerilme dağılımları Şekil 6.13’de görülmektedir. Dil malzemesi olarak alüminyumun seçildiği bu eşleşmede, diğer durumlardan farklı olarak maksimum von Mises gerilmesi kompozit oluk üzerindeki açılı bölgede oluşmaktadır.



Şekil 6.13 301 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.14 306 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

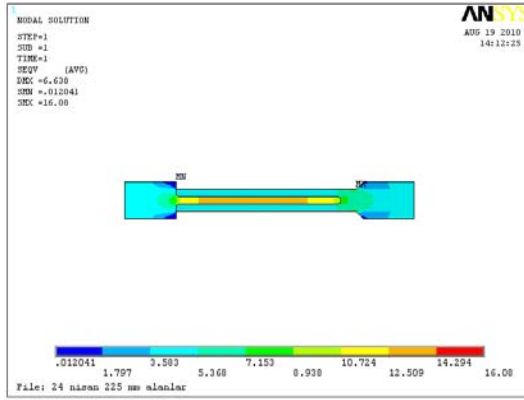
Dil uzunluğu 150 mm, yapıştırma kalınlığı 0.1 mm olan alüminyum dil – kompozit oluk çiftinin ön gerilmesiz analizi sonucunda oluşan gerilme dağılımları Şekil 6.14’de verilmektedir. Von mises gerilmesinin maksimum noktası kompozit oluk, minimum noktası alüminyum dil üzerinde görülmektedir.



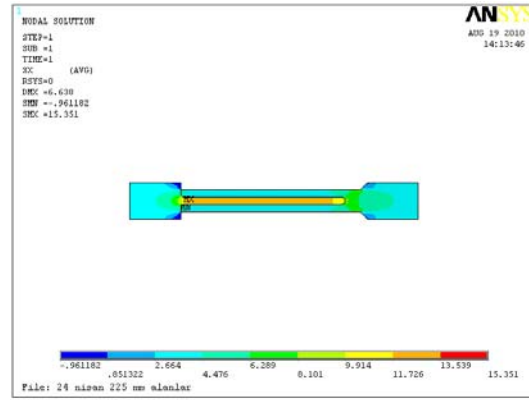
Şekil 6.14 306 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.15 312 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

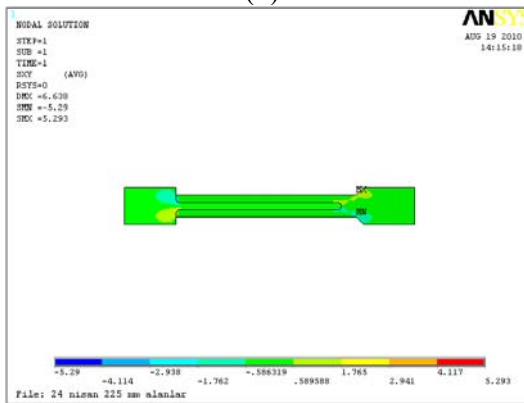
Dil malzemesi olarak 225 mm alüminyumun kullanıldığı, yapıştırma kalınlığının 0.1 mm olduğu kompozit – alüminyum dil oluk çiftinin ön gerilmesiz olarak analizinden elde edilen von Mises, kayma, açılma ve x eksenı boyunca gerilme dağılımları Şekil 6.15’de verilmiştir. Von Mises ve kayma gerilme dağılımlarına bakıldığında dil malzemesinin zorlandığı ve ayrıca minimum açılma gerilmesinin dil uç bölgesinde oluştuğu görülmektedir.



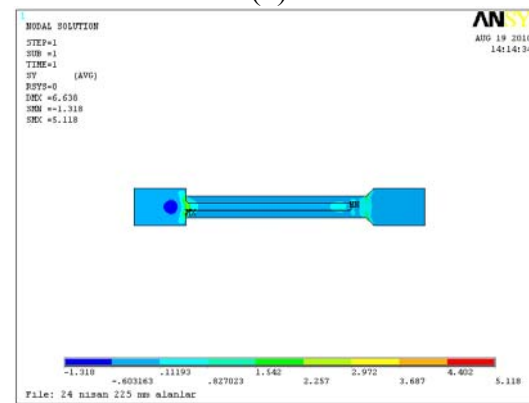
(a)



(b)



(a)

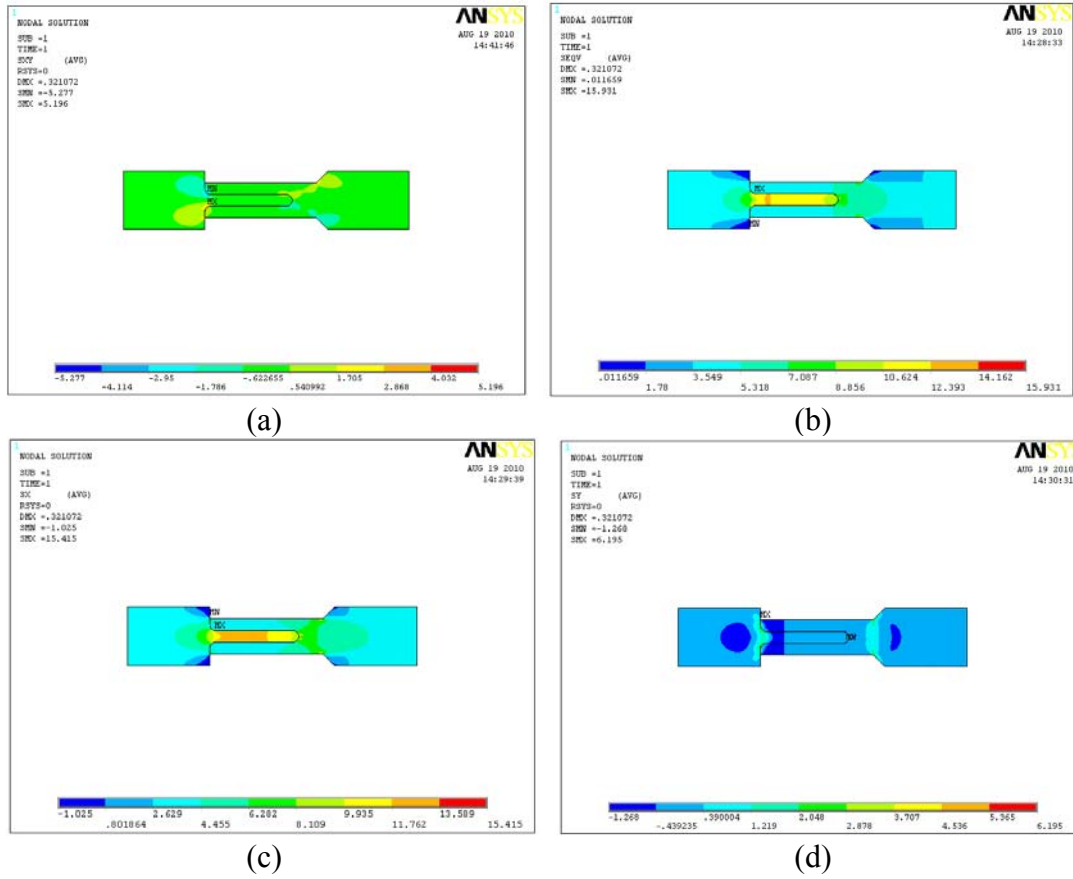


(b)

Şekil 6.15 312 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.16 302 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

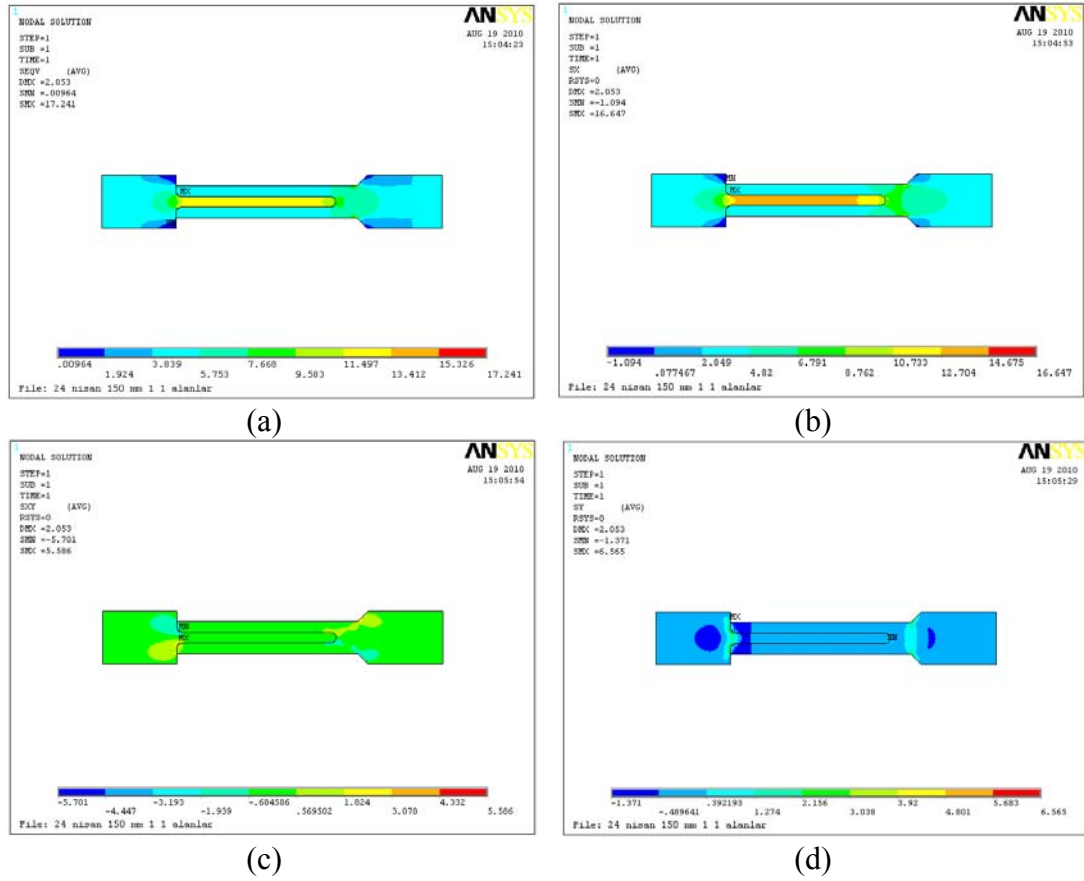
Yapıştırma kalınlığı 0.1 mm ve dil uzunluğu 75 mm olan kompozit – alüminyum dil oluk çifti 12 MPa ön gerilme koşulunda analiz edilmiştir. Analiz sonucunda von Mises gerilmesinde maksimum ve minimum değerler oluk geometrisinin bacaklarında yer alan bölgede görülmektedir (Şekil 6.16).



Şekil 6.16 302 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.17 307 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

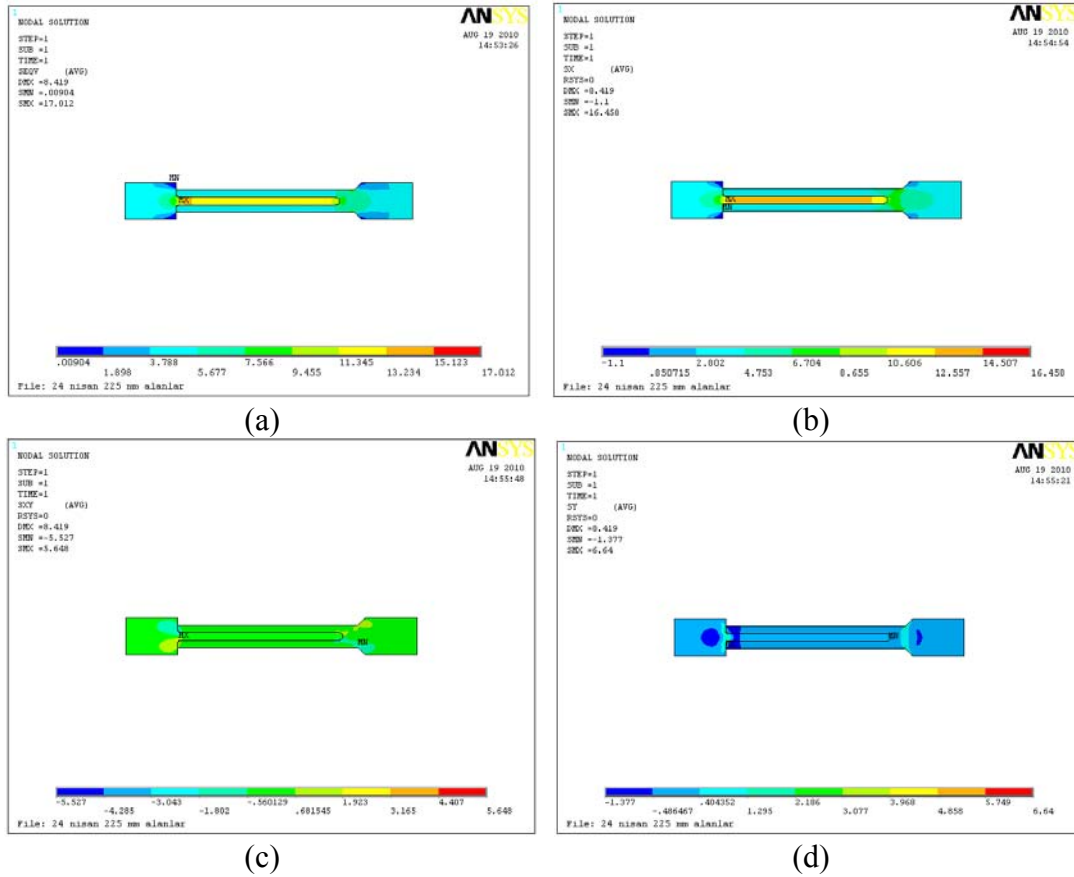
Alüminyum dil – kompozit oluk çifti, dil uzunluğunun 150 mm, yapıştırma kalınlığının 0.1 mm ve ön gerilmenin 12 MPa olduğu durumda analiz edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.17’de verilmektedir. Açılma gerilmesi dil uzunluğu 75 mm olan 302 numaralı deney numunesine benzer olarak dil ucunda görülmektedir.



Şekil 6.17 307 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.1.18 313 Numaralı Deney Numunesinin Analizi

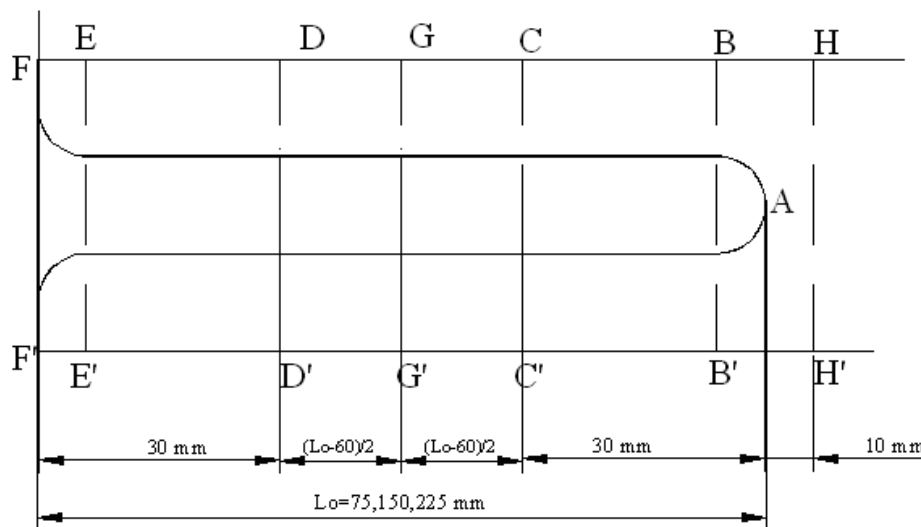
Dil uzunluğu 225 mm, yapıştırma kalınlığı 0.1 mm ve ön gerilme değeri 12 MPa olan kompozit – alüminyum dil oluk çiftinin analizi sonucunda elde edilen von Mises, kayma, açılma ve x eksenı boyunca olan gerilme dağılımları Şekil 6.18’de verilmektedir. Von mises gerilmesinin minimum değeri alüminyum malzemedeki dil geometrisinde, maksimum değeri ise dilin başladığı radyüslü bölgede oluşmaktadır.



Şekil 6.18 313 numaralı deneyin a) von Mises (σ_{von}) b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) c) kayma (τ_{xy}) d) açılma (σ_{yy}) gerilme dağılımları

6.2. Kesit Boyunca Gerilme Analizi

Bu bölümde, dil oluk geometrisi üzerinden 30 mm uzunluğundaki A-A', B-B', C-C', D-D', E-E', F-F', G-G', H-H' kesitler von Mises, kayma ve açılma gerilmelerinin incelenmesi için alınmıştır (Şekil 6.19).



Şekil 6.19 Kesit boyunca gerilmelerin incelenebilmesi için belirlenen kritik kesitler

6.2.1 Dil Boyunun Etkisi

Dil boyunun 75 mm'den, 150 mm'ye ve 225 mm'ye arttırılması ile 8 adet patika üzerinde meydana gelen von Mises, kayma ve açılma gerilme dağılımları karşılaştırmalı olarak kompozit, çelik ve alüminyum malzemeler için ön gerilmeli ve ön gerilmemiş durumda incelenmiştir.

6.2.1.1 Kompozit Malzemede Kesit Boyunca Gerilme Dağılımlarına Dil Boyunun Etkisi

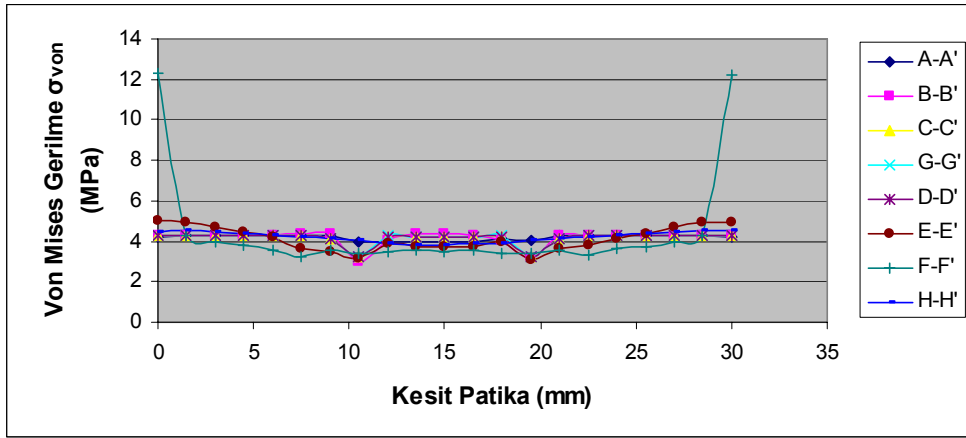
Kompozit malzeme için Tablo 6.1'de verilen deney numuneleri üzerinde kesit boyunca gerilme dağılımları incelenmiştir. Yapıştırma kalınlıkları 0.1 mm ve ön gerilmemiş olarak yapılan analizlerde değişken parametre dil uzunluğudur. Dil uzunluğunun değişmesi durumunda 8 adet kesitte von Mises gerilmelerindeki değişim Şekil 6.20'de, kayma gerilmelerindeki değişim Şekil 6.21'de ve açılma gerilmelerindeki değişim Şekil 6.23'de gösterilmektedir.

Tablo 6.1 Kesit boyunca gerilmelerin incelendiği ön gerilmemiş kompozit – kompozit dil oluk çiftleri

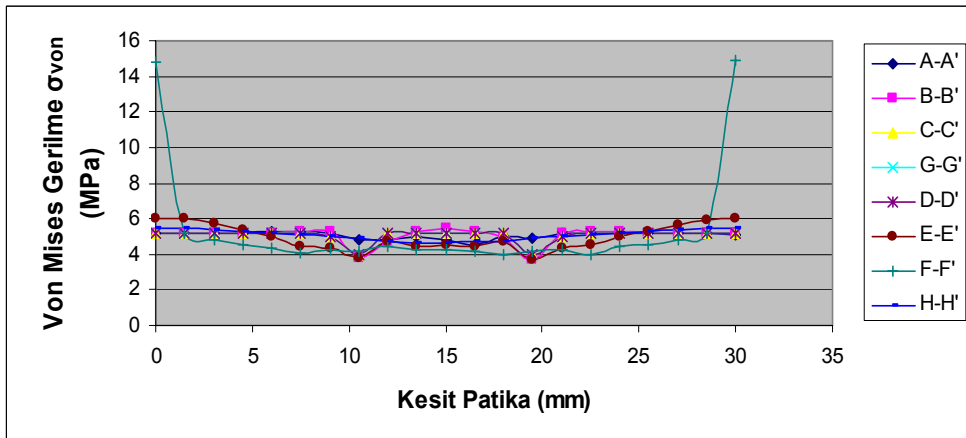
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)
101	Kompozit	75	0.1	0
106	Kompozit	150	0.1	0
110	Kompozit	225	0.1	0

Von Mises gerilmelerindeki değişim 75 mm, 150 mm, 225 mm, dil uzunluğu için incelendiğinde, en yüksek değer F kesitinde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak diğer kesitlerin oluk malzemesinden başlaması F-F' kesitinin ise yapıştırıcı üzerinden başlaması olarak söylenebilir. Her bir dil uzunluğunda, yapıştırma kalınlığı 0.1 mm için 10.1 mm ve 20.1 mm'e denk gelen yerlerde yapışkan malzeme bulunmaktadır. H-H' kesiti dışında kalan diğer kesitler boyunca oluşan gerilmelerde, yapışkan malzemeye gelindiğinde şıçramalar görülmektedir. Dil boyunun artması ile kesitlerde görülen gerilme değerlerinin eğri karakteristikleri aynı olmakta ancak sayısal

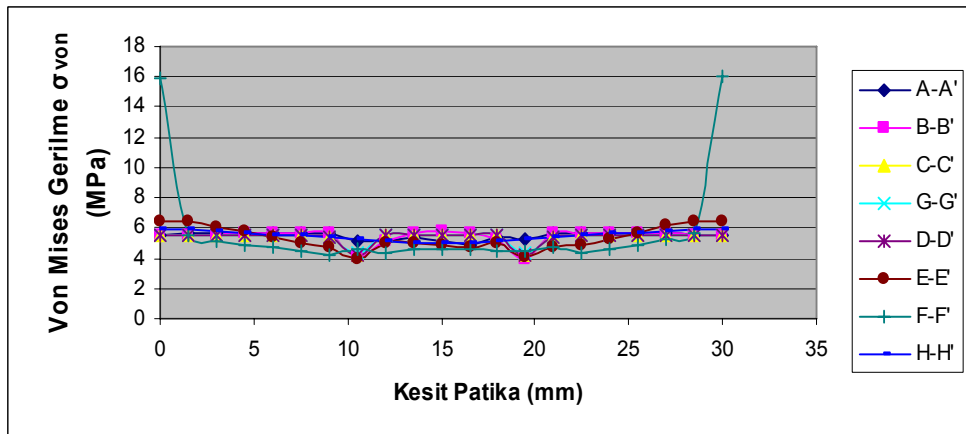
değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Dil boyunun etkisi en fazla kompozit-kompozit dil oluk çiftinde kendisini göstermektedir.



(a)



(b)

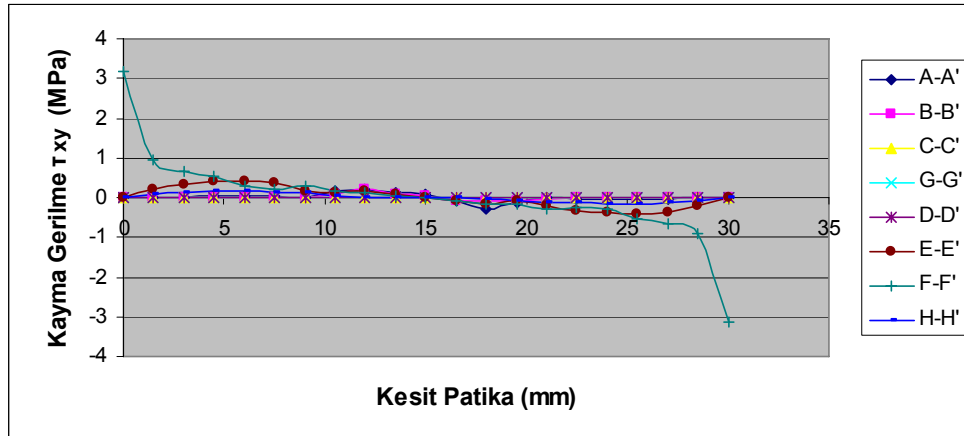


(c)

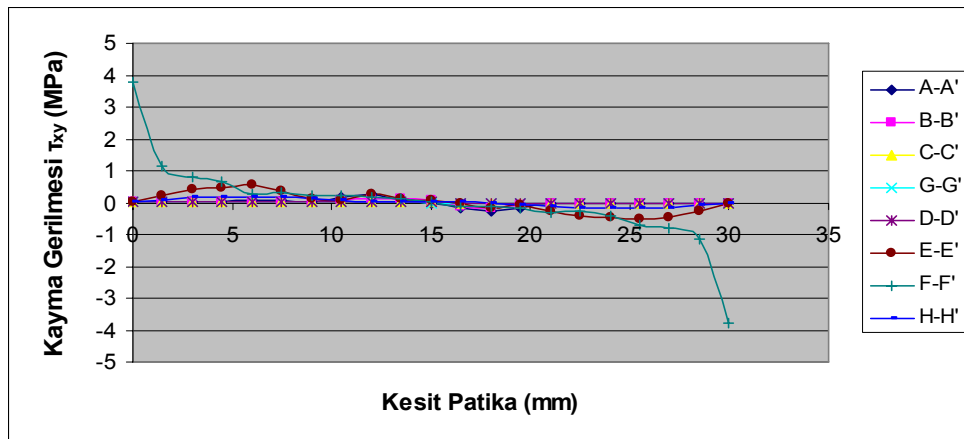
Şekil 6.20 Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

Farklı dil uzunluklarındaki dil oluk çiftleri üzerinden alınan kesitlerdeki kayma gerilmeleri Şekil 6.21'de karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Şekil 6.21(a)'da 75 mm

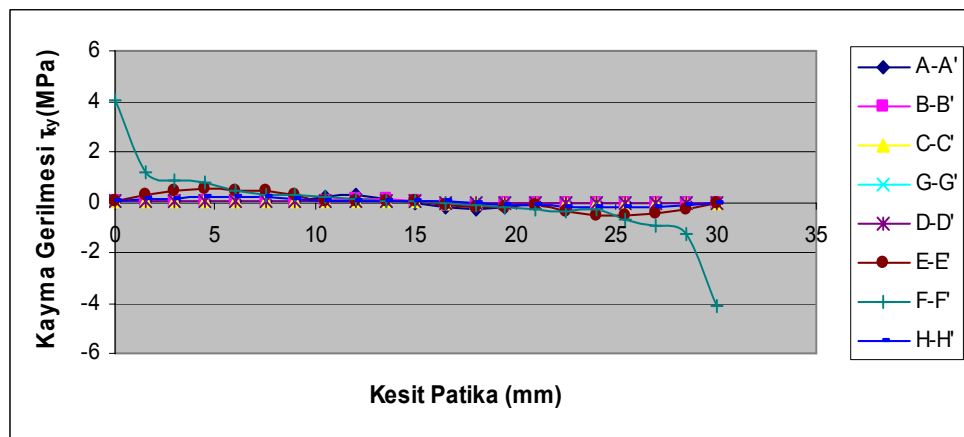
maksimum kayma gerilmesi F-F' ve E-E' kesitlerinde görülmektedir. Şekil 6.21(b)'de 150 mm dil uzunluğundaki kayma gerilmesi değerlerinin Şekil 6.21(a) ile karşılaştırıldığında arttığı ve bunun doğrultusunda dil uzunluğunun artmasının kesme kuvvetinden doğan yapışkan üzerindeki kayma gerilmesini arttırdığı sonucuna varılabilmektedir.



(a)



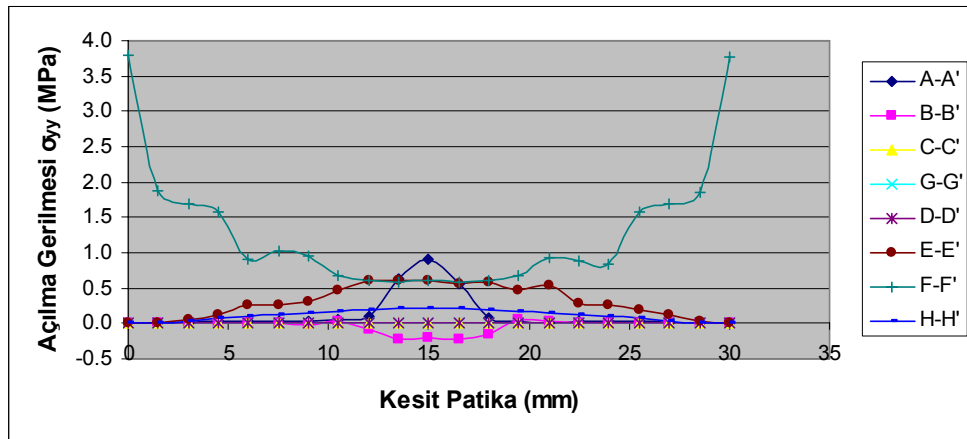
(b)



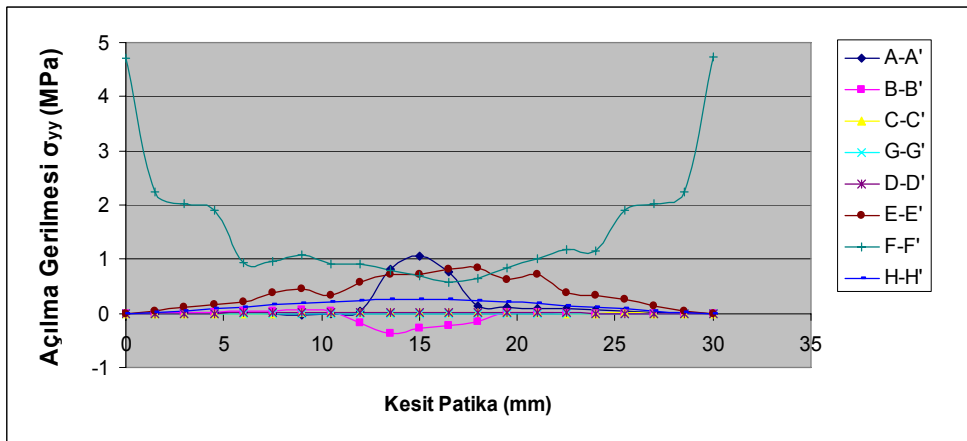
(c)

Şekil 6.21 Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

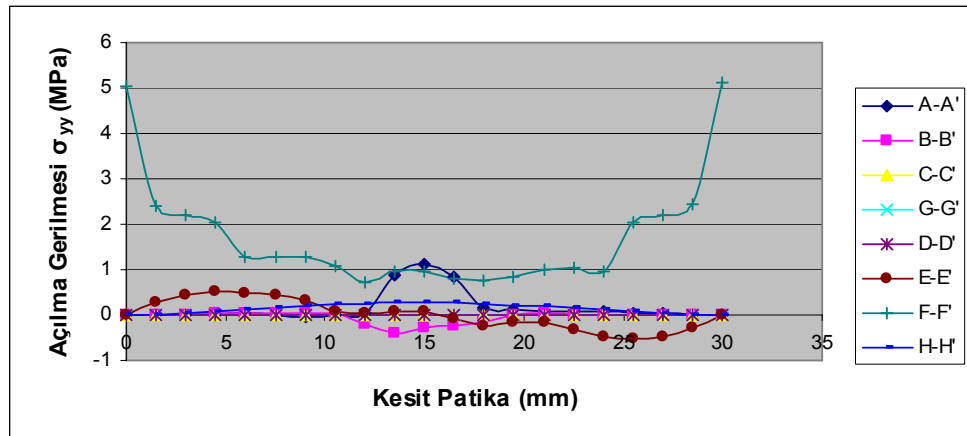
Açılma gerilmeleri hem 75 mm hem de 150 ve 225 mm dil uzunluklarına sahip numuneler için incelenmektedir (Şekil 6.22). Tüm dil uzunluklarında D-D', G-G' ve C-C' kesitlerinde oluşan açılma gerilmeleri birbirlerine benzer davranışlar sergilemektedir. Dil oluk geometrisi üzerindeki konumları benzer davranış sergilemelerinin sebebidir. Açılma gerilmelerinin maksimum noktaları dil oluk çiftinin birleşme bölgesi olan oluk bacaklarından geçen F-F' kesitidir.



(a)



(b)



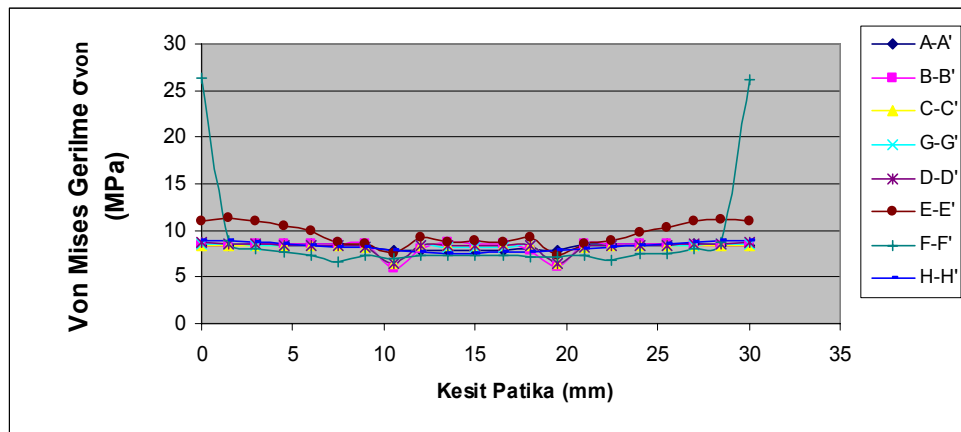
(c)

Şekil 6.22 Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

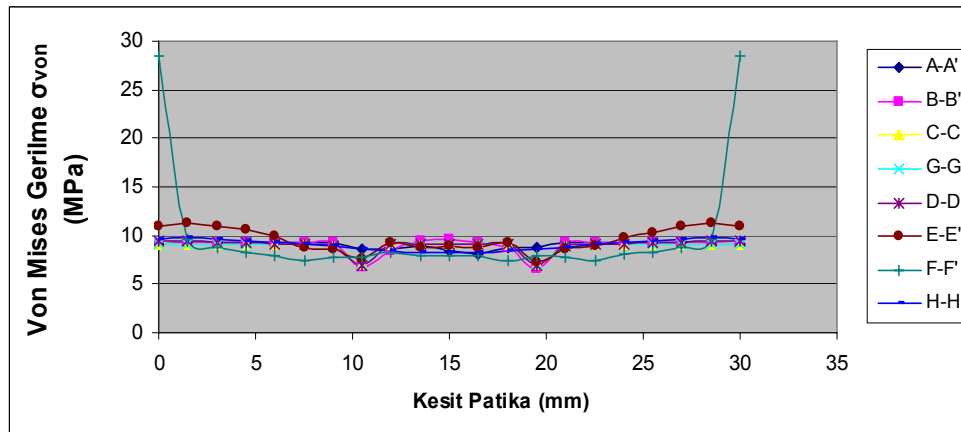
Von Mises gerilmeleri, farklı dil uzunlukları için 22 MPa ön gerilme uygulanarak kompozit – kompozit dil oluk çiftleri için incelenmiştir. Her dil uzunluğu için ön gerilme uygulanması von Mises gerilmelerinde artışa sebep olmaktadır. Bu artış F-F' kesitlerindeki değerler ön gerilmemiş durum ile karşılaştırıldığında görülmektedir. Şekil 6.23'de dil uzunluğunun 75 mm'den 150 mm ve 225 mm'ye arttırılması ile konumları Şekil 6.19'da belirtilen kesitler üzerindeki von Mises gerilmelerinin artmış olduğu görülmektedir.

Tablo 6.2 Kesit boyunca gerilmelerin incelendiği ön gerilmeli kompozit – kompozit dil oluk çiftleri

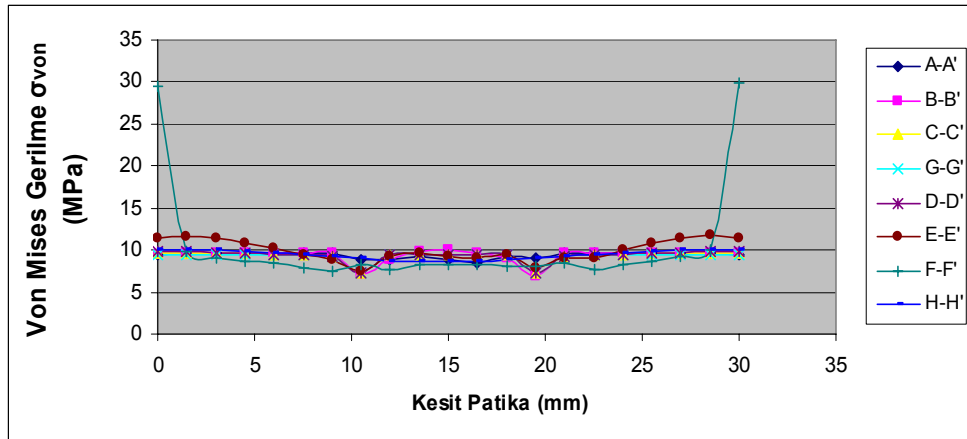
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)
105	Kompozit	75	0.2	22
108	Kompozit	150	0.2	22
111	Kompozit	225	0.2	22



(a)



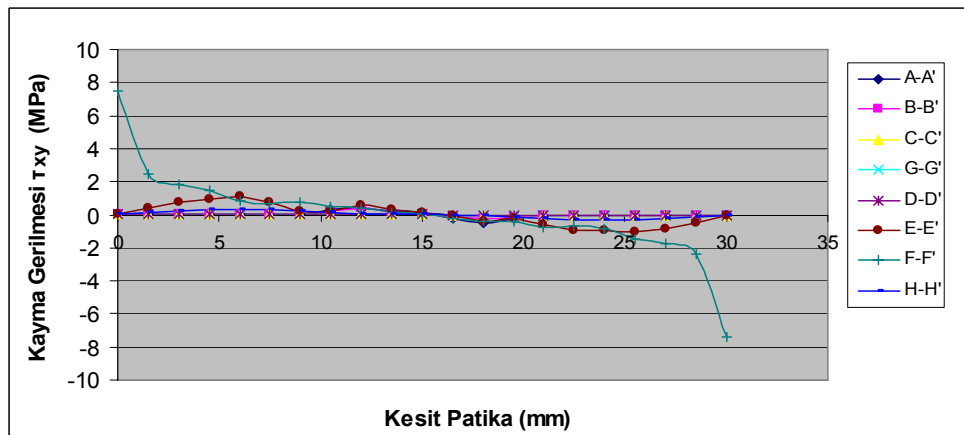
(b)



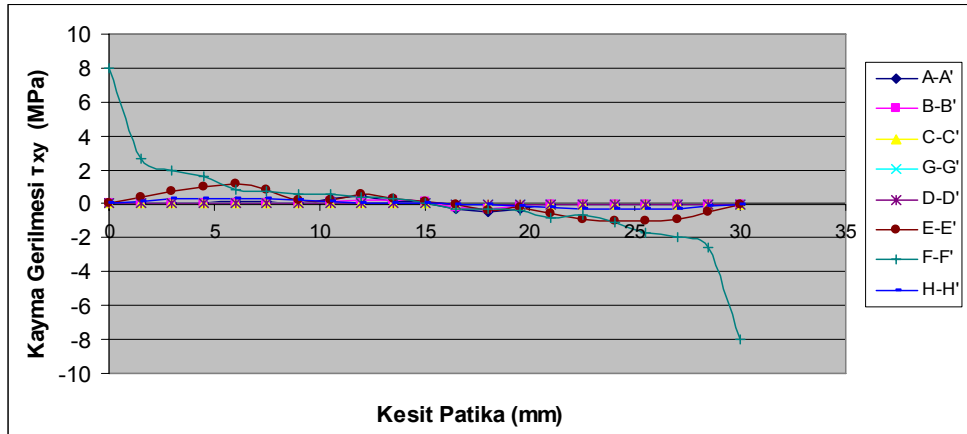
(c)

Şekil 6.23 Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

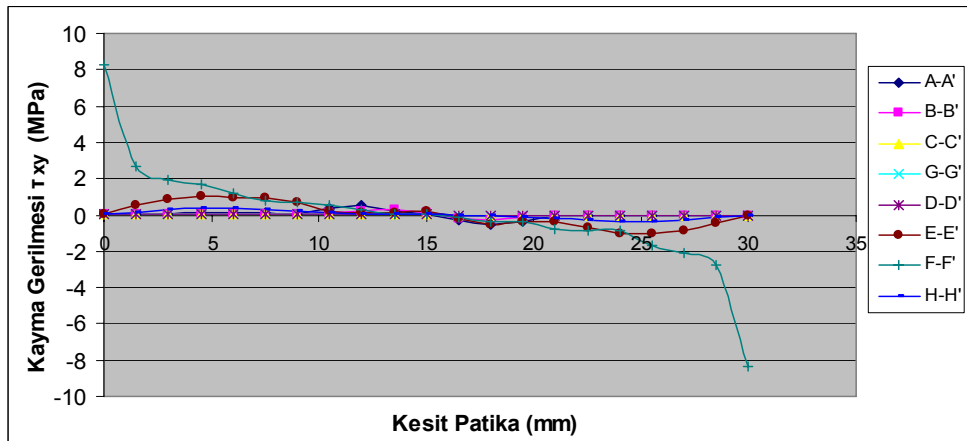
8 adet kesit üzerinde her bir dil uzunluğu için kayma gerilmeleri incelenmiştir. Yapışkan üzerindeki kayma gerilmelerinin x eksenine göre simetrik olduğu görülmektedir. Negatif yöndeki gerilme değerleri kayma gerilmesinin yönünü tayin etmektedirler. Kesitler kendi içerisinde karşılaştırıldığında D-D', C-C' ve G-G', kesitlerinin benzer davranış sergilediği ve yapıştırıcı üzerinden geçmeyen H-H' kesitinde ise gerilme sıçlamalarının olmadığı görülmektedir (Şekil 6.24).



(a)



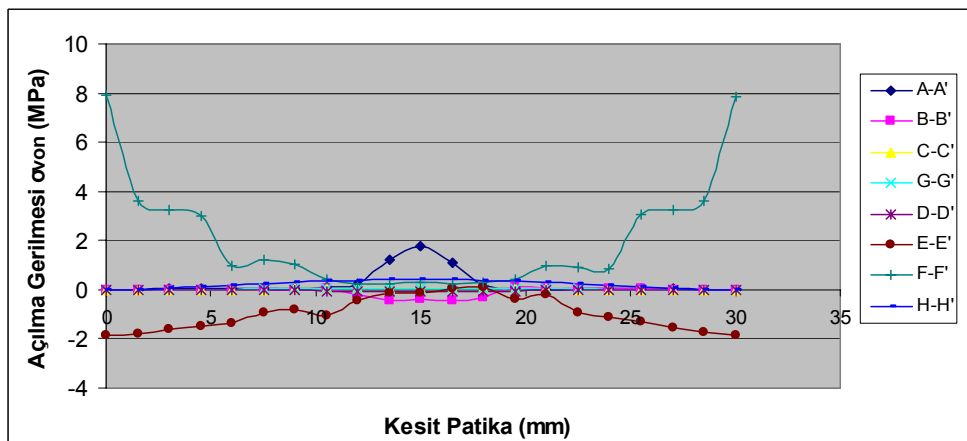
(b)



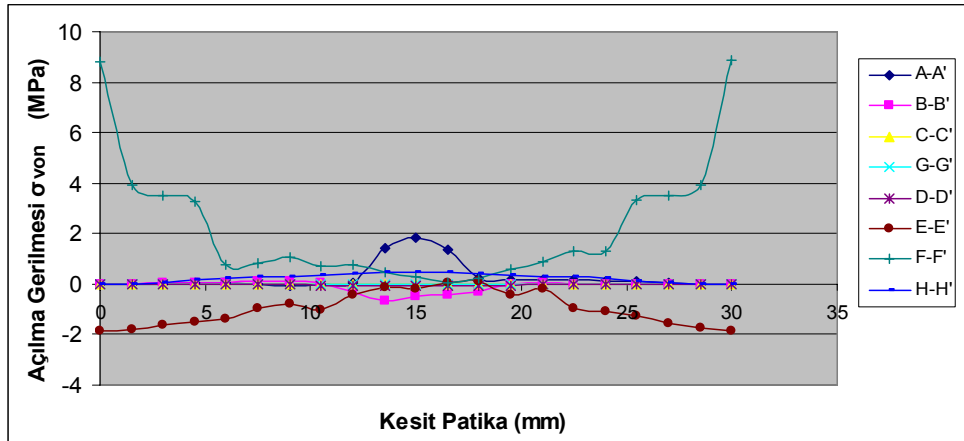
(c)

Şekil 6.24 Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

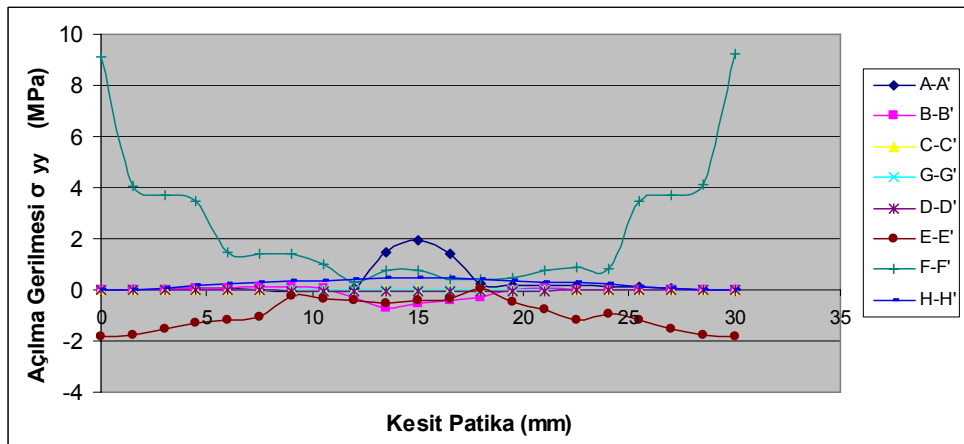
Kompozit malzemede ön gerilmenin etkisi ile açılma gerilmeleri artmaktadır (Şekil 6.25). Açılma gerilmelerinin A-A' kesitinde 15 mm'e denk gelen maksimum noktası, dil oluk geometrisinde dil ucuna denk gelmektedir. Dil ucundaki açılma değerlerinden daha büyük açılma gerilmesi değerleri ise F-F'de oluk bacaklarının dil ile yapıştırıldığı bölgede görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.25 Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

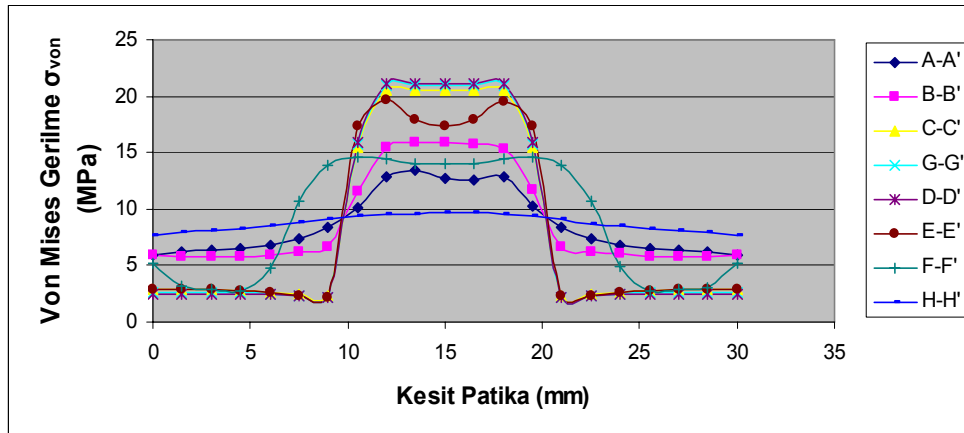
6.2.1.2 Çelik Malzemede Kesit Boyunca Gerilme Dağılımlarına Dil Boyunun Etkisi

Tablo 6.3’de farklı dil uzunluklarında, 0.1 mm yapıştırma kalınlığında çelik dil kompozit oluktan oluşan modellerin ön gerilmesiz olarak analiz edilmesinde kullanılan parametreler verilmektedir. Analizi yapılan kompozit – çelik dil oluk çiftlerinin kesitler boyunca von Mises, kayma ve açılma gerilmelerinin dağılımı Şekil 6.26, Şekil 6.27, ve Şekil 6.28’de verilmektedir.

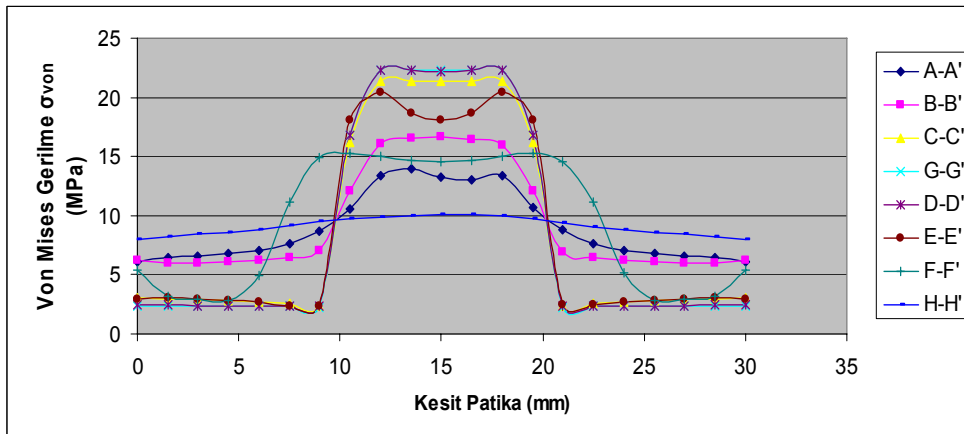
Tablo 6.3 Kesit boyunca gerilmelerin incelendiği ön gerilmemiş kompozit – çelik dil oluk çiftleri

	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)
201	Çelik	75	0.1	0
209	Çelik	150	0.1	0
214	Çelik	225	0.1	0

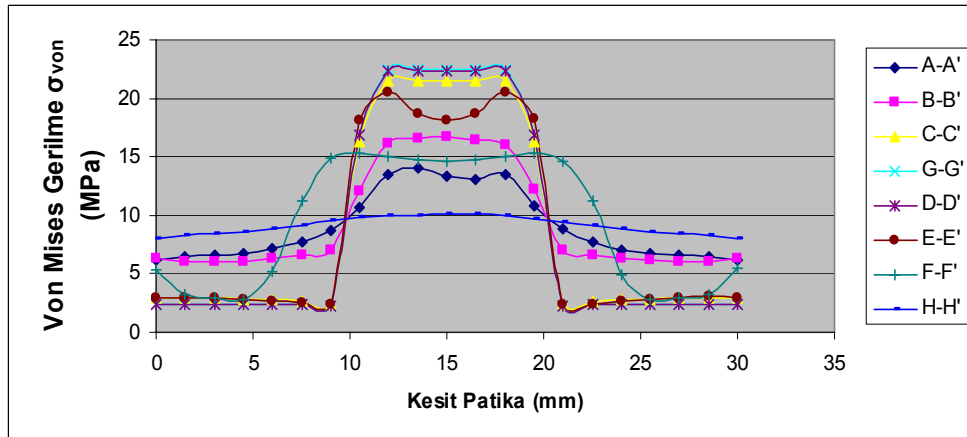
Dil oluk geometrisi üzerinden seçilen 8 adet patika üzerindeki von Mises gerilmeleri incelendiğinde, gerilme değerleri oluk malzemesinde belli bir değerde seyretmekte ve yapışkan malzemenin olduğu olduğu 10.1 mm’de artış görülmektedir. Tüm grafikler y eksenine göre simetriklik göstermektedir. H-H’ kesiti oluk malzemesi olan kompozit malzeme üzerindeki von Mises gerilme dağılımının eğrisini belirtmektedir ve davranışı diğer kesitlerden farklıdır (Şekil 6.26).



(a)



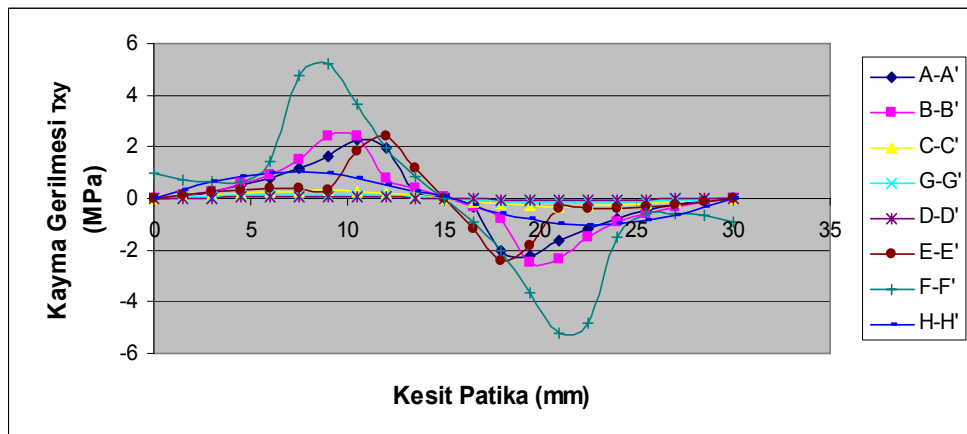
(b)



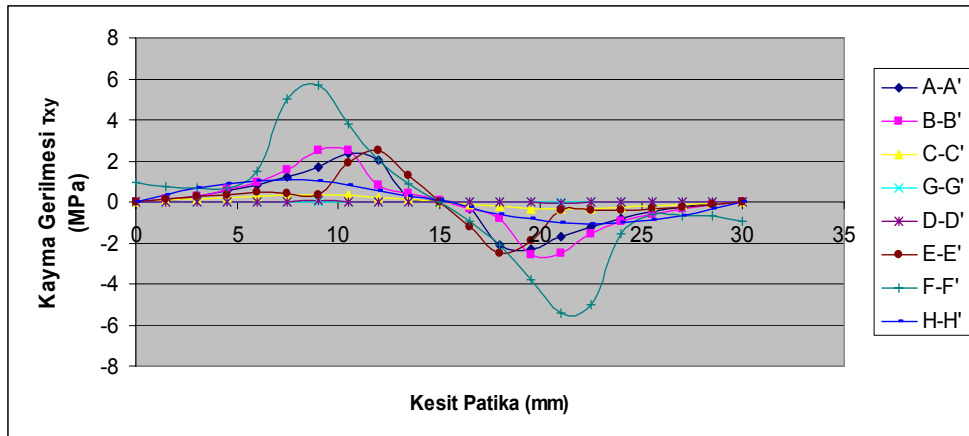
(c)

Şekil 6.26 Çelik – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

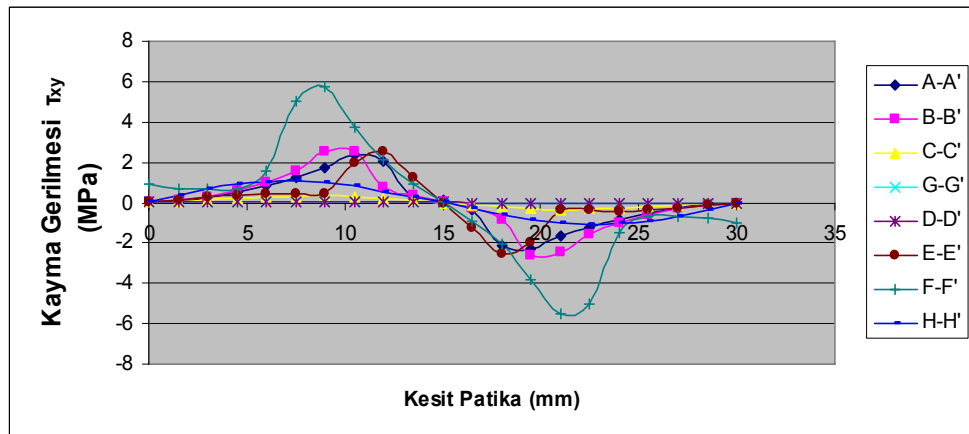
Kompozit – çelik dil oluk çiftlerinde, dil uzunluğunun artması ile kayma gerilmelerindeki artış Şekil 6.27’de görülmektedir. A-A’, B-B’, E-E’ ve F-F’ kesitleri yapışkan bölgenin olduğu ve radyüslü bölgelerdir ve buralardaki kayma gerilmelerinin davranışları yapışkan bölgelerde daha belirgindir. Başlangıçta pozitif olan kayma gerilmesinin işareti x eksenine göre simetrik olduğundan negatif olmaktadır. Dil – oluk geometrisinin ortasından alınan G-G’, C-C’ ve D-D’ kesitlerinde her dil boyu için kayma gerilmesinde meydana gelen artış değerlerinin diğer kesitlere oranla daha az olduğu görülmektedir.



(a)



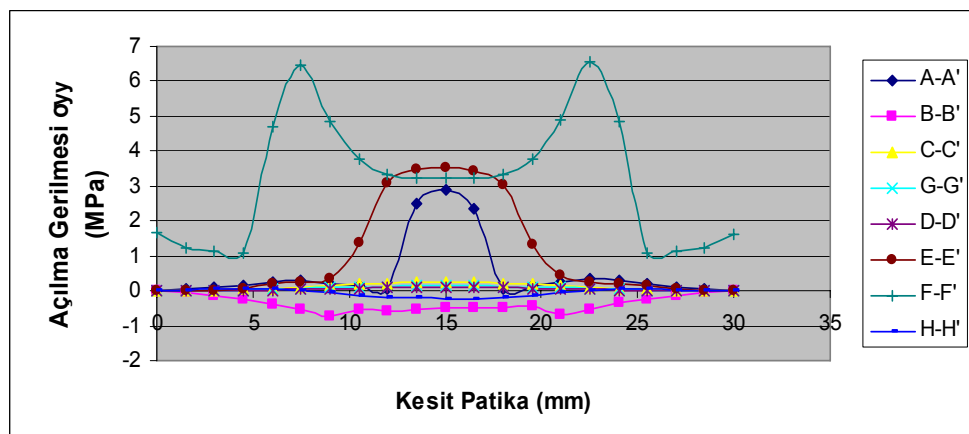
(b)



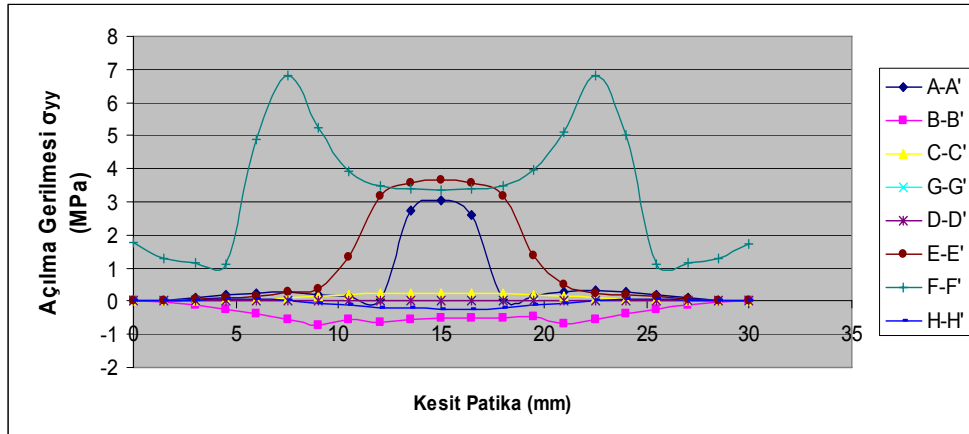
(c)

Şekil 6.27 Çelik – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

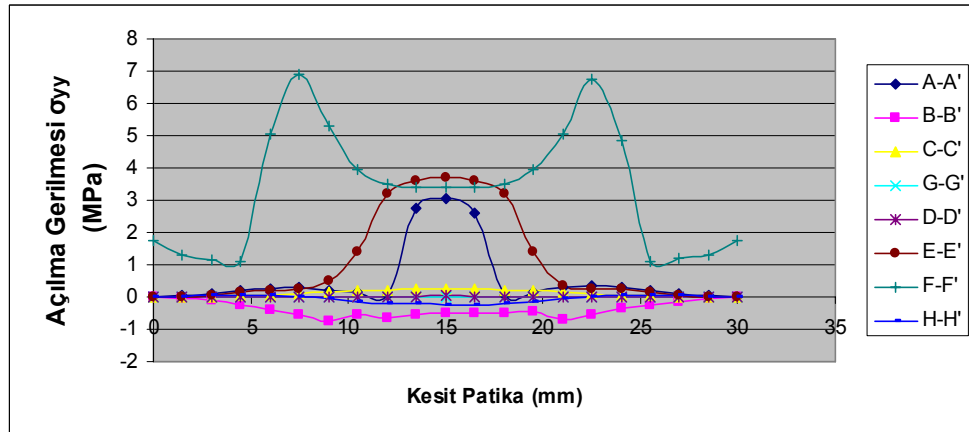
Açılma gerilmeleri, çelik dil malzeme için ön gerilmemiş durumda kesitler boyunca incelenmiştir (Şekil 6.28). Her üç dil uzunluğunda da aynı kesitlerde benzer gerilme dağılımları görülmüş olup, en fazla açılma gerilmesi değeri F-F' kesiti üzerinde ve yapışkanın bulunduğu bölgelerde meydana gelmektedir.



(a)



(b)



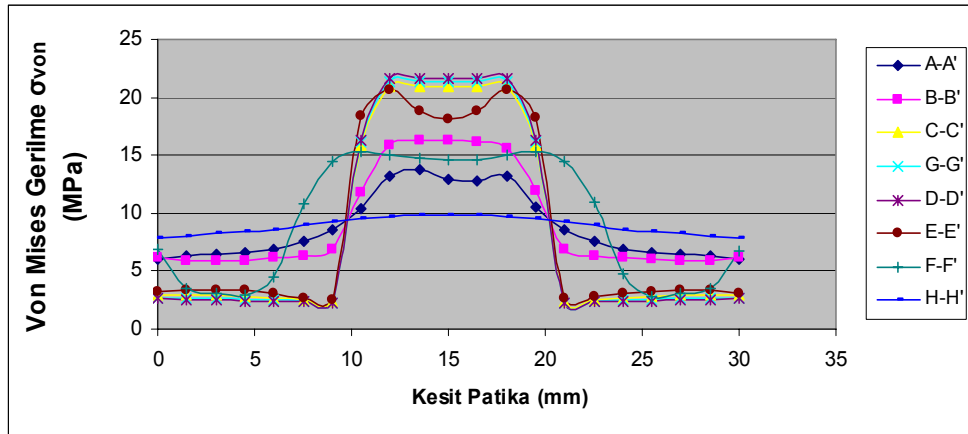
(c)

Şekil 6.28 Çelik – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

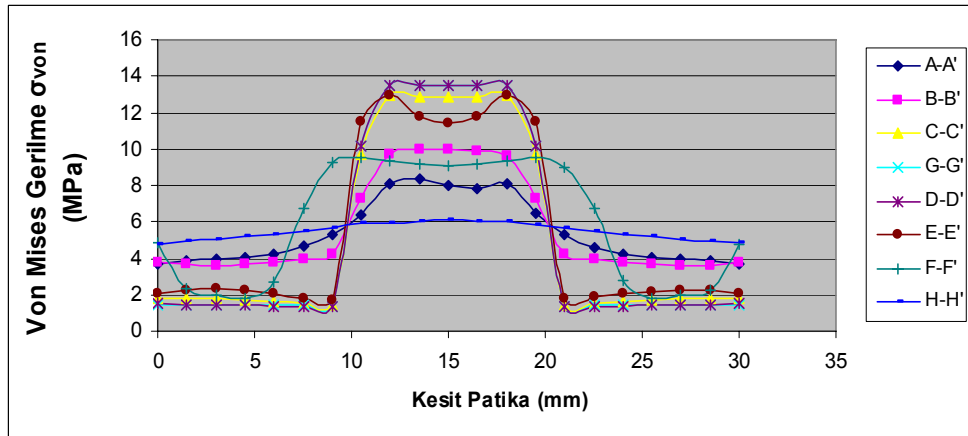
12 MPa ön gerilme ile analiz edilen kompozit – çelik dil oluk çiftlerinde yapıştırma kalınlığı 0.4 mm ve dil uzunlukları sırasıyla 75 mm, 150 mm, ve 225 mm'dir (Tablo 6.4). Von Mises gerilmelerindeki dağılımlar her bir dil uzunluğu için Şekil 6.29'da verilmiştir. H-H' kesitindeki von Mises gerilmesinin davranışında bir şıçramanın olmaması bu kesitin oluk malzemesi üzerinden alınan bir kesit olması ve yapışkan malzemenin olmamasıdır.

Tablo 6.4 Kesit boyunca gerilmelerin incelendiği ön gerilmeli kompozit – çelik dil oluk çiftleri

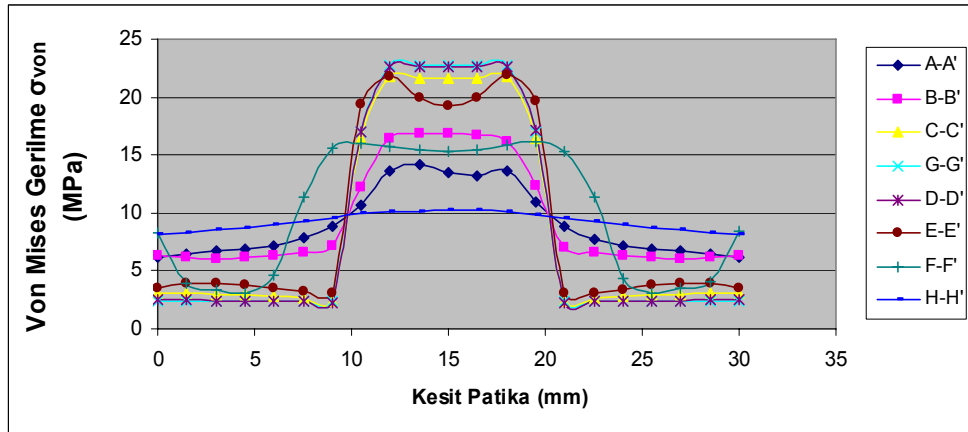
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)
207	Çelik	75	0.4	12
212	Çelik	150	0.4	12
218	Çelik	225	0.4	12



(a)



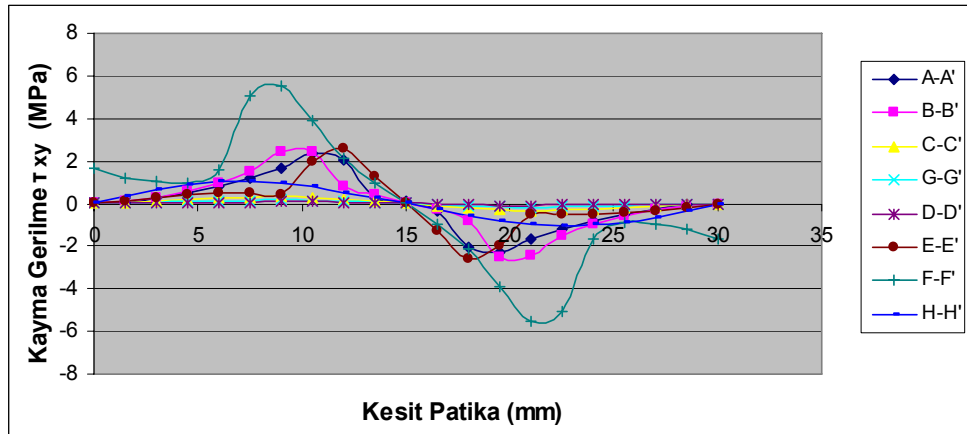
(b)



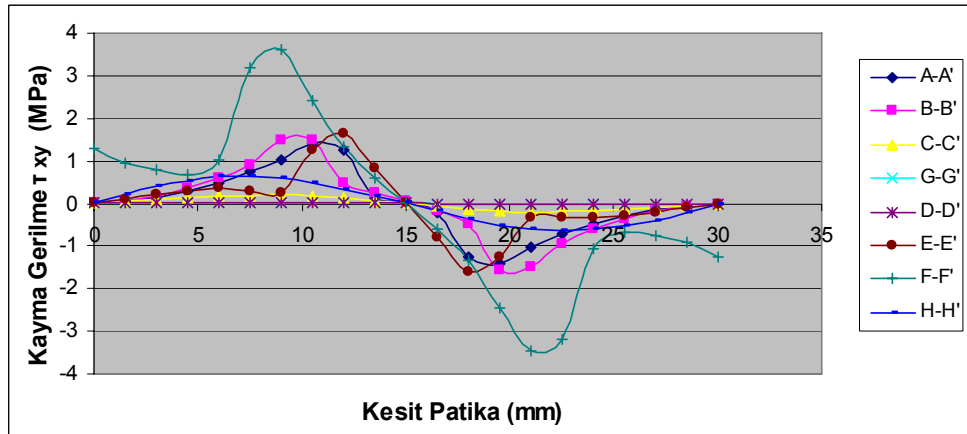
(c)

Şekil 6.29 Çelik – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

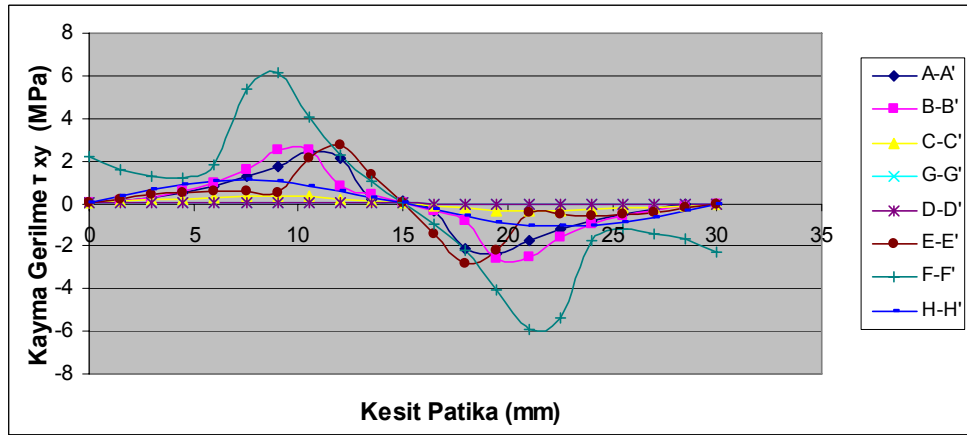
Kayma gerilmelerinin karşılaştırmalı olarak verildiği Şekil 6.30'da, ön gerilmersiz duruma benzer olarak kayma gerilmelerinin davranışlarının A-A', B-B', E-E' ve F-F' kesitlerinde belirgin artışlar sergilediği görülmektedir. Diğer kesitlerdeki kayma gerilme değerleri daha düşük olmaktadır.



(a)



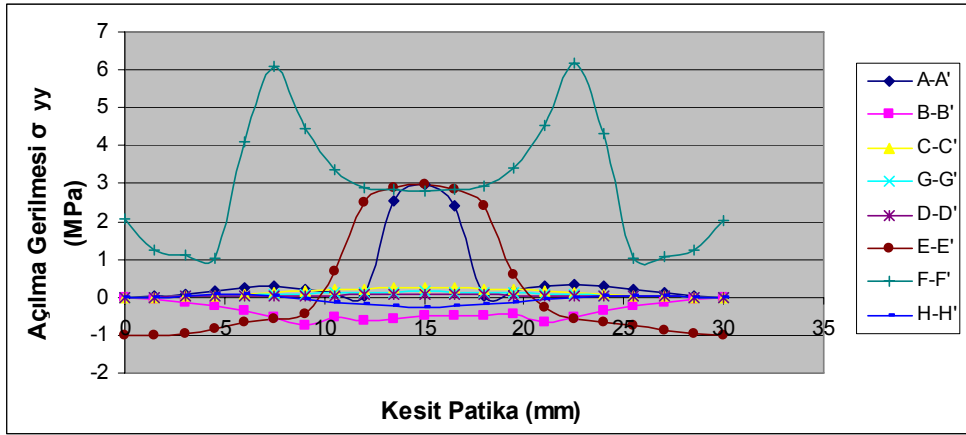
(b)



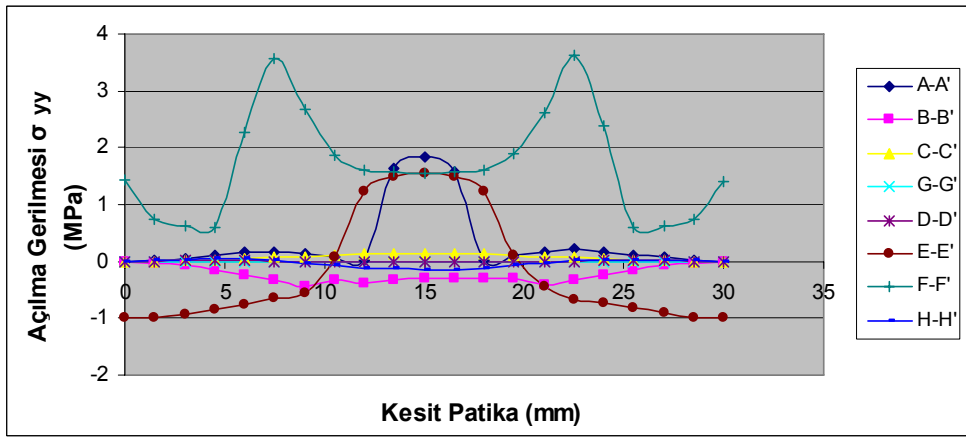
(c)

Şekil 6.30 Çelik – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

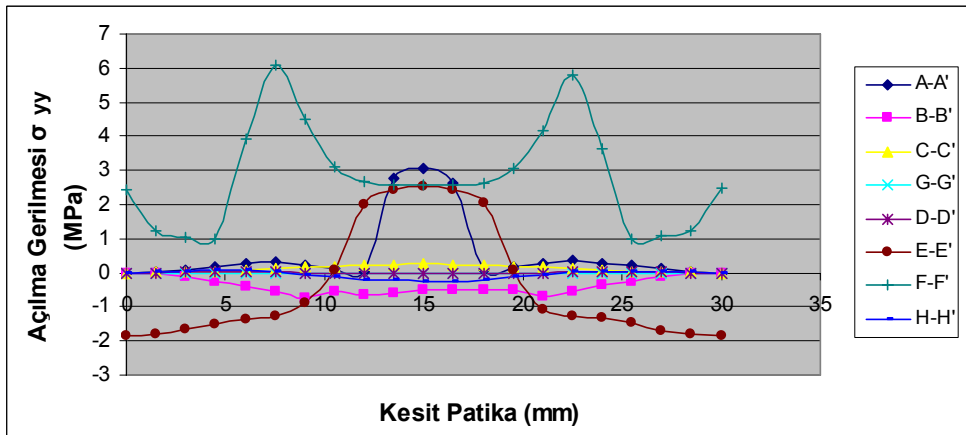
Kompozit – çelik dil oluk çiftlerinde farklı dil uzunluklarında yapılan analiz sonuçlarından elde edilen farklı kesitler için açılma gerilme değerleri Şekil 6.31’de verilmektedir. Yapıştırıcı üzerinde bulunan F-F’ kesitinde maksimum açılma değerleri görülmektedir. Ayrıca A-A’ kesitinde dil uç bölgesinde maksimum gerilme oluşmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.31 Çelik – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

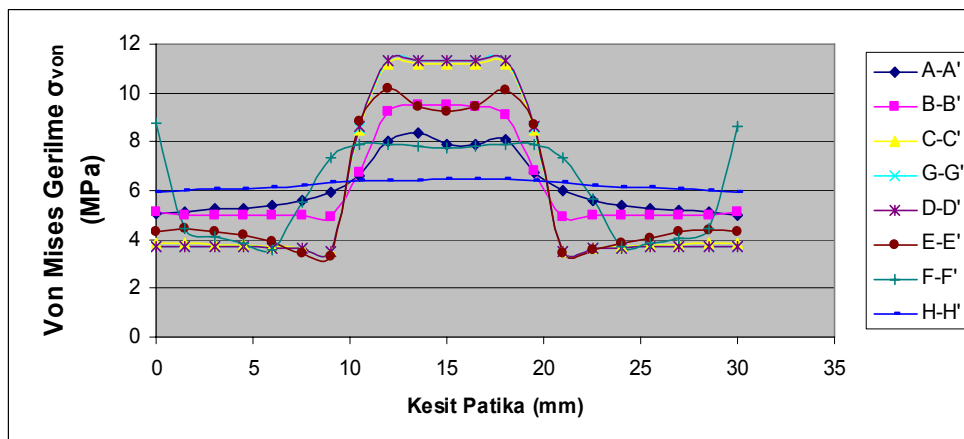
6.2.1.3 Alüminyum Malzemede Kesit Boyunca Gerilme Dağılımlarına Dil Boyunun Etkisi

Kompozit - alüminyum dil oluk çiftlerinde, 0.1 yapıştırma kalınlığı ve ön gerilmesiz durumda analizler gerçekleştirilmiştir (Tablo 6.5). Analiz sonuçları doğrultusunda elde edilen von Mises, kayma ve açılma gerilmeleri Şekil 6.32–6.34’de verilmektedir.

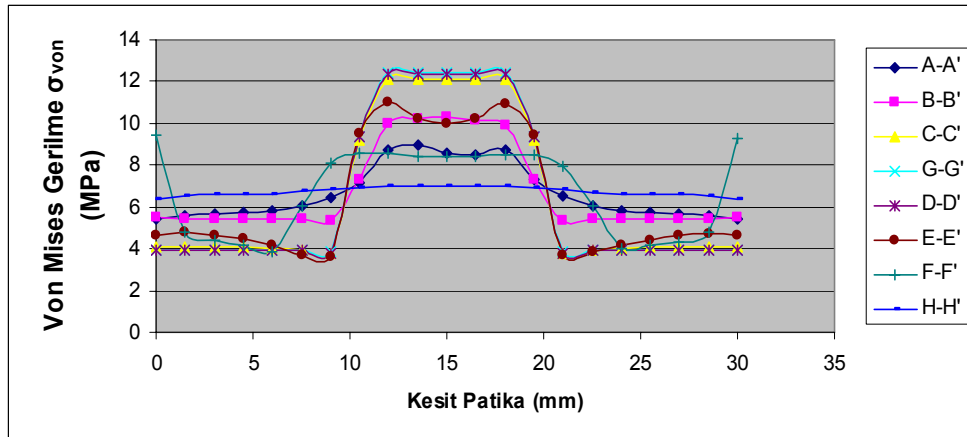
Tablo 6.5 Kesit boyunca gerilmelerin incelendiği ön gerilmesiz kompozit – alüminyum dil oluk çiftleri

	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)
301	Alüminyum	75	0.1	0
306	Alüminyum	150	0.1	0
312	Alüminyum	225	0.1	0

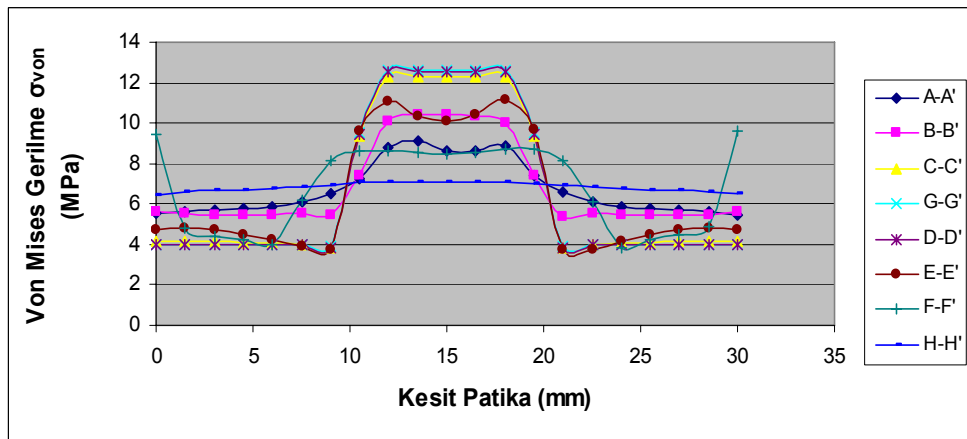
Her üç dil uzunluğu için de von Mises gerilmeleri incelenmiştir. Farklı dil uzunluklarında çizilen von Mises eğrileri karşılaştırıldığında, dil uzunluğunun artırılması ile eğrilerin maksimum noktalarının da arttığı görülmektedir. Diğer malzemelerde olduğu gibi yine eğrilerdeki artış yapışkan malzemenin olduğu bölgelerde görülmektedir.



(a)



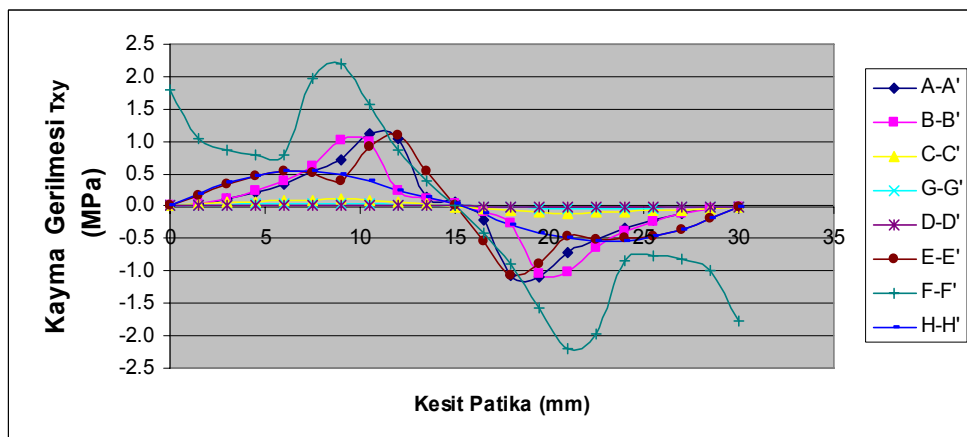
(b)



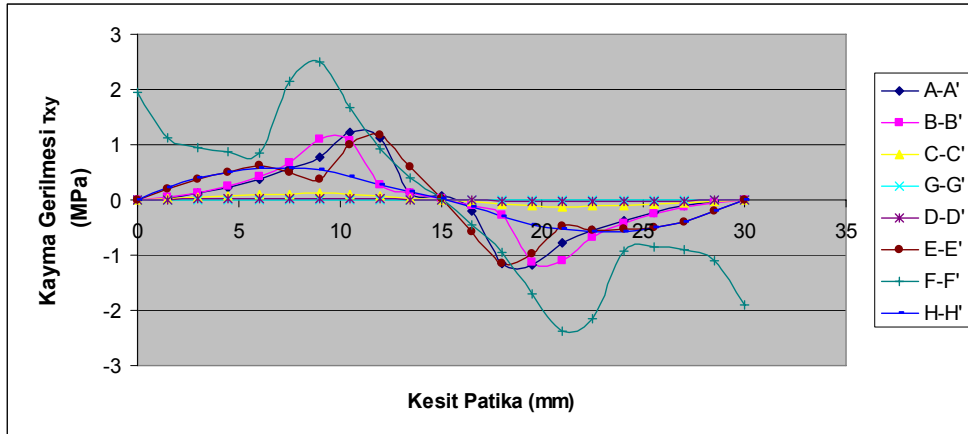
(c)

Şekil 6.32 Alüminyum – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

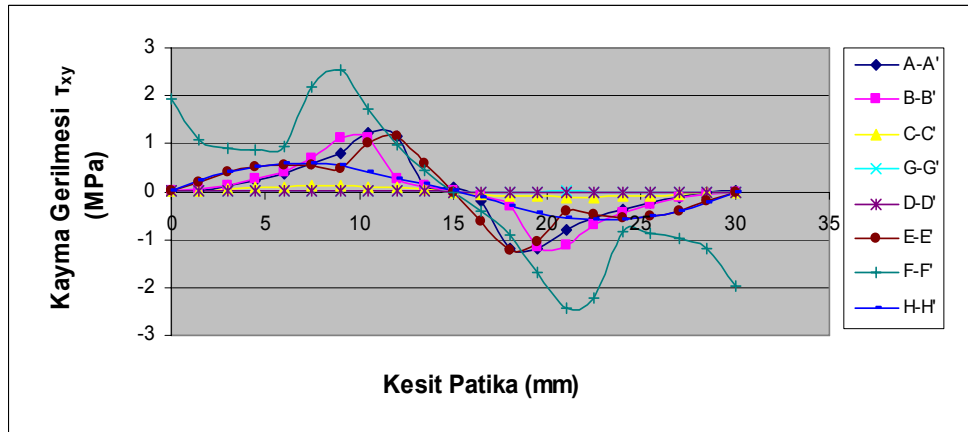
Kayma gerilmelerinin, dil uzunluğunun 75 mm'den 150 mm'ye arttığında arttığı Şekil 6.33(a) ve Şekil 6.34 (b)'de görülmektedir. Bu artış sayısal olarak dil uzunluğunun 150 mm'den 225 mm'ye çıkartıldığındaki artış oranından daha fazla olup, her üç dil uzunluğunda da kayma gerilmesinin maksimum değeri F-F' kesiti üzerindedir.



(a)



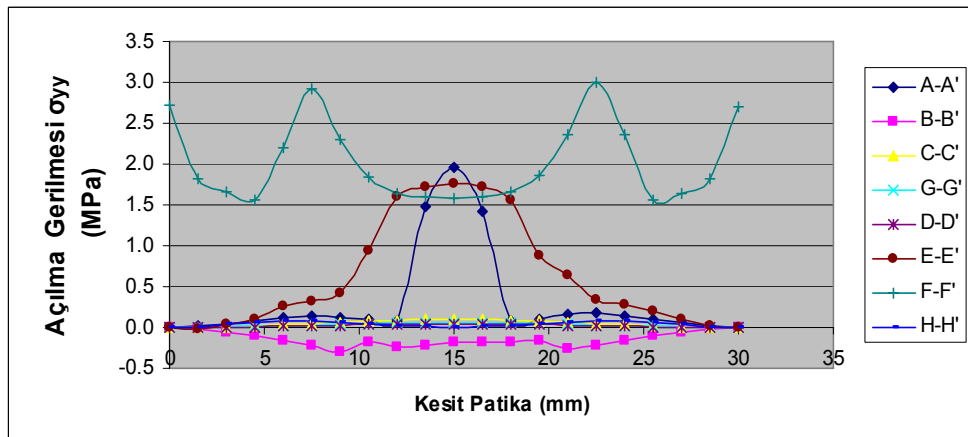
(b)



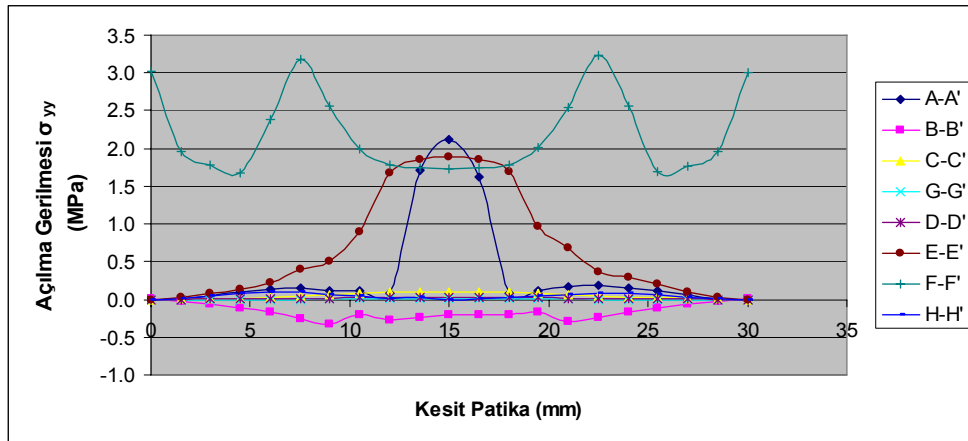
(c)

Şekil 6.33 Alüminyum – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

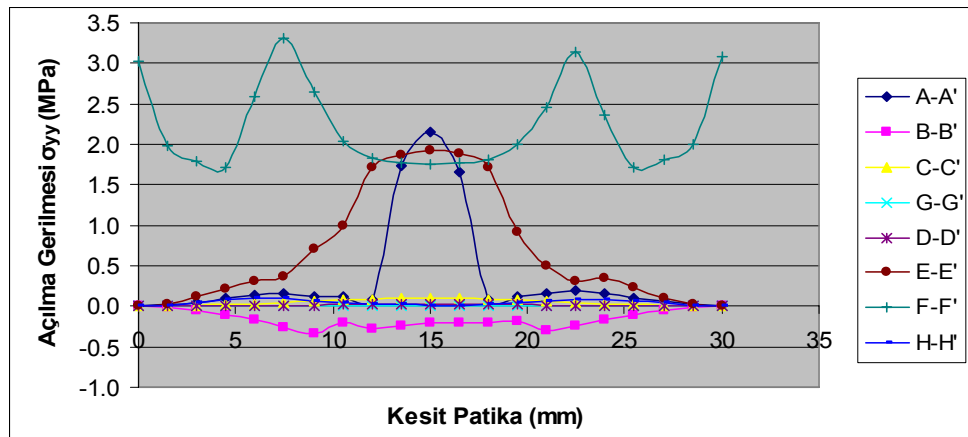
Açılma gerilmelerinin karşılaştırmalı grafikleri incelendiğinde dil uzunluğunun alüminyum malzemede artmasının açılma gerilmesini arttırdığı ve kritik kesitlerin yani açılma gerilmelerinin maksimum olduğu kesitlerin A-A', E-E' ve F-F' kesitleri olduğu görülmektedir (Şekil 6.34).



(a)



(b)



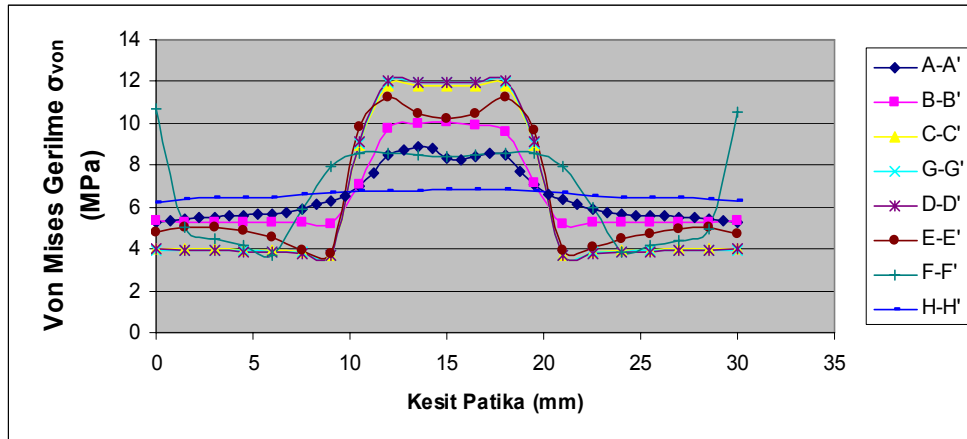
(c)

Şekil 6.34 Alüminyum – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

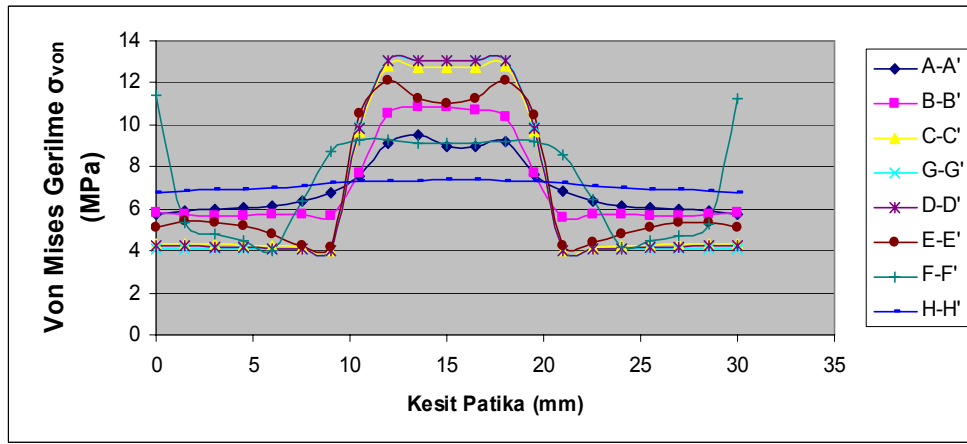
Alüminyum dil kompozit oluk çiftlerinden oluşan 0.1 mm yapıştırma kalınlığına sahip 12 MPa ön gerilmeli modellerin analizlerinde kullanılan parametreler Tablo 6.6'da verilmektedir. Analiz sonuçlarından elde edilen von Mises gerilmelerinin seçilen 8 adet kesit üzerindeki dağılımları Şekil 6.35'de görülmektedir. Maksimum von Mises gerilmeleri D-D', G-G' ve C-C' kesitlerinde oluşmaktadır.

Tablo 6.6 Kesit boyunca gerilmelerin incelendiği ön gerilmeli kompozit – alüminyum dil oluk çiftleri

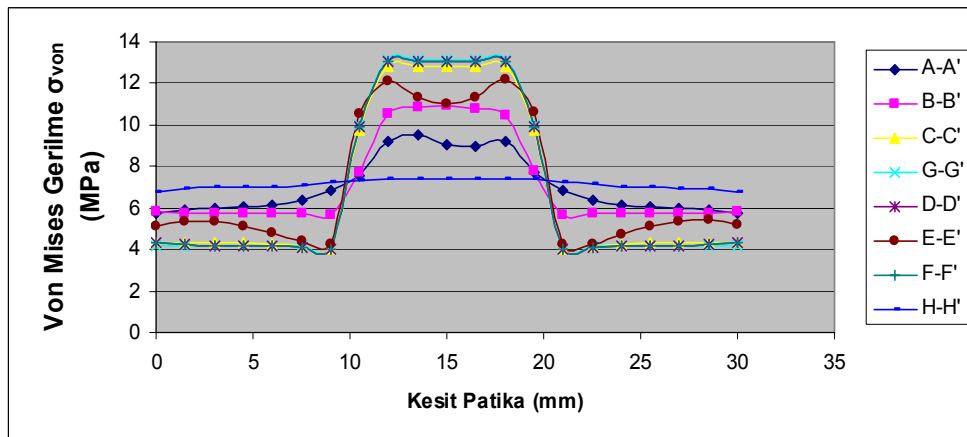
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)
302	Alüminyum	75	0.1	12
307	Alüminyum	150	0.1	12
313	Alüminyum	225	0.1	12



(a)



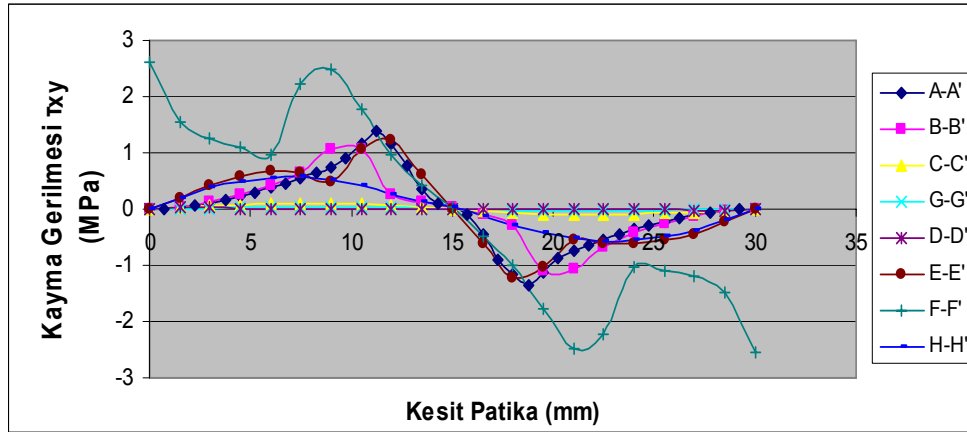
(b)



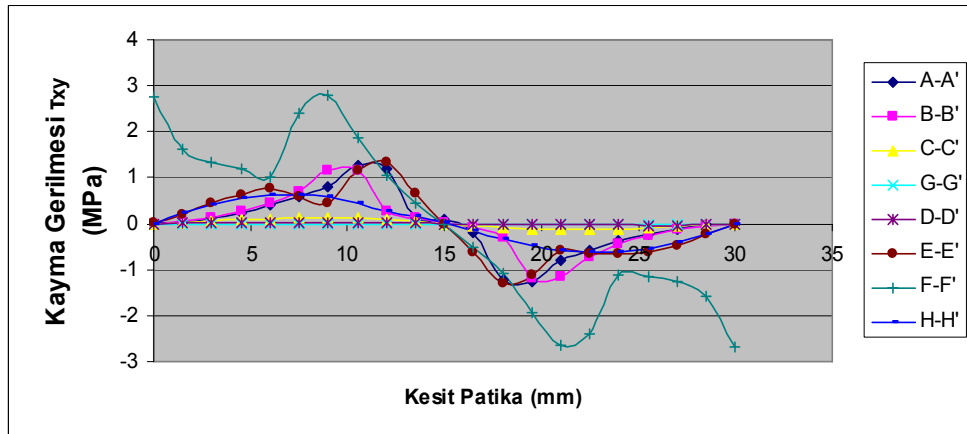
(c)

Şekil 6.35 Alüminyum – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

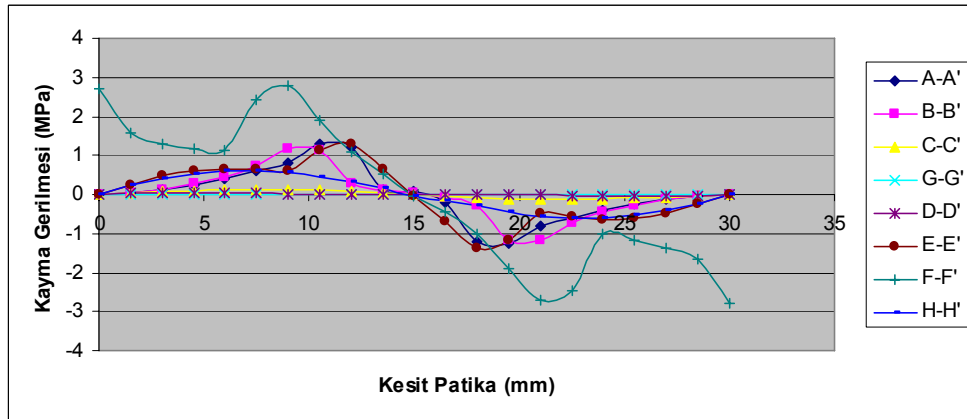
Kayma gerilmelerinin alüminyum dil malzemesi üzerinde dil uzunluğu arttıkça arttığı, her üç dil uzunluğu için simetriklik gösterdiği ve gerilme eğrilerinin maksimum noktalarının yapışkan malzemenin olduğu bölgelere geldiği görülmektedir (Şekil 6.33).



(a)



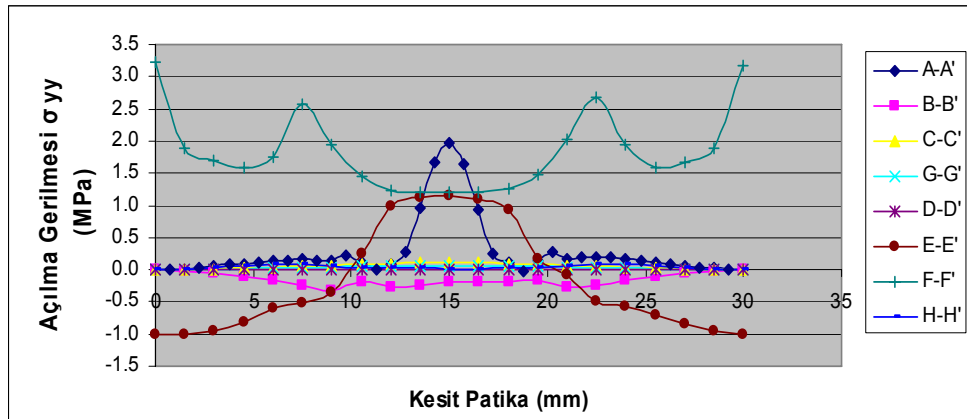
(b)



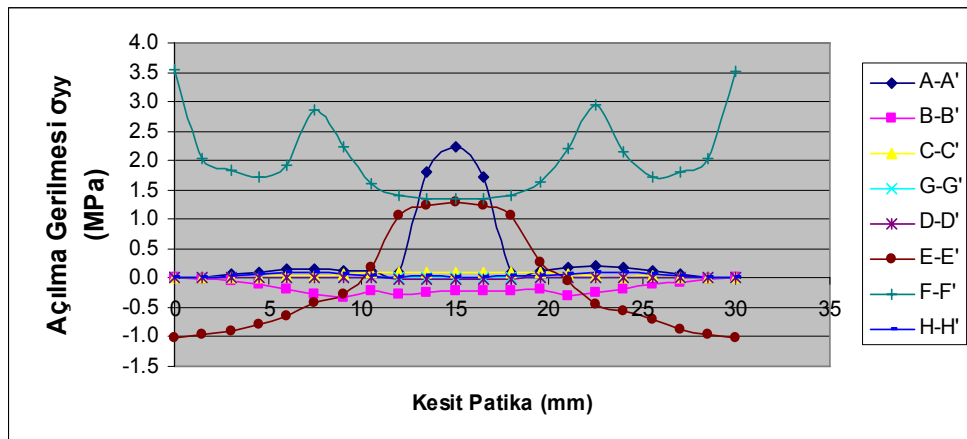
(c)

Şekil 6.36 Alüminyum – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

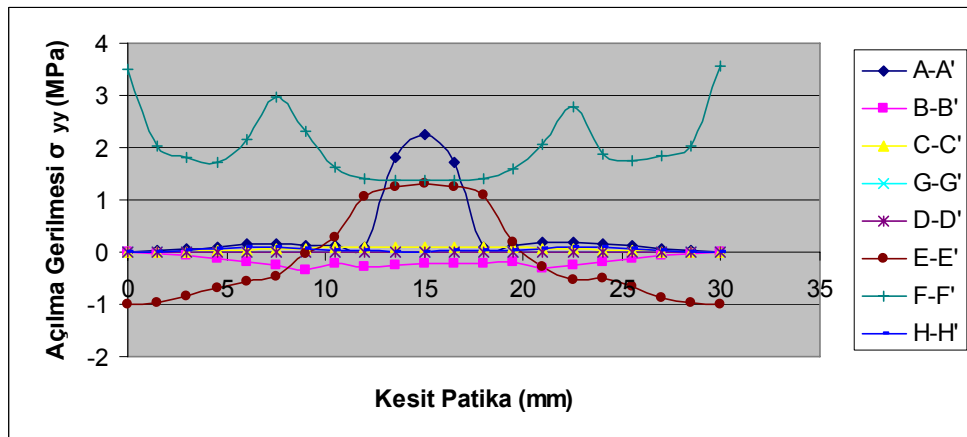
Dil malzemesi olarak alüminyum kullanıldığında, ön gerilmeli durumda da ön gerilmemiş duruma benzer olarak açılma gerilmesinin maksimum değerleri A-A' ve F-F' kesitleri üzerinde görülmektedir. Bu kesitlerdeki maksimum açılma gerilmesinin olduğu bölgeler oluk geometrisinin dil geometrisine yapışkanla yapıştırıldığı bacak bölgesine ve dil ucu bölgesine denk gelmektedir (Şekil 6.34).



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.37 Alüminyum – kompozit dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilme dağılımlarına dil boyunun etkisi a) 75 mm, b) 150 mm ve c) 225 mm

6.2.2 Malzemenin Etkisi

Bu bölümde, dil malzemesi kompozit, çelik ve alüminyum olan numunelerde A-A', E-E' ve F-F' kesitleri boyunca gerilmeler incelenmekte ve malzeme karşılaştırması yapılmaktadır. Tablo 6.7'de ön gerilmemiş dil oluk çiftleri, Tablo 6.8'de 12 MPa ön

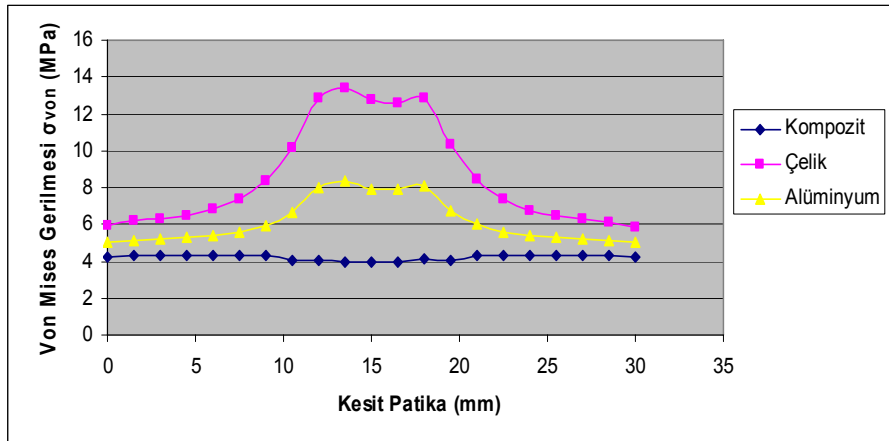
gerilmeli dil oluk çiftleri, Tablo 6.9’da ise 22 MPa ön gerilmeli dil oluk çiftleri farklı malzemeler için verilmektedir.

Analizi yapılan dil oluk çiftlerinde, oluk malzemesi olarak kompozit malzeme seçilmiştir. Dil malzemesi olarak ise kompozit, çelik, alüminyum malzemeler kullanılmıştır. Dil malzemesinin farklı seçilmesinin, belirlenen kesitler boyunca oluşan von Mises, kayma ve açılma gerilmelerine etkisi incelenmiştir. Dil uzunluğu 75 mm, yapıştırma kalınlığı 0.1 mm ve ön gerilmesiz (Tablo 6.7) olarak analizi yapılan farklı dil malzemesine sahip dil oluk çiftlerinde, kesit boyunca meydana gelen gerilmeler Şekil 6.35, Şekil 6.36 ve Şekil 6.37’de verilmektedir.

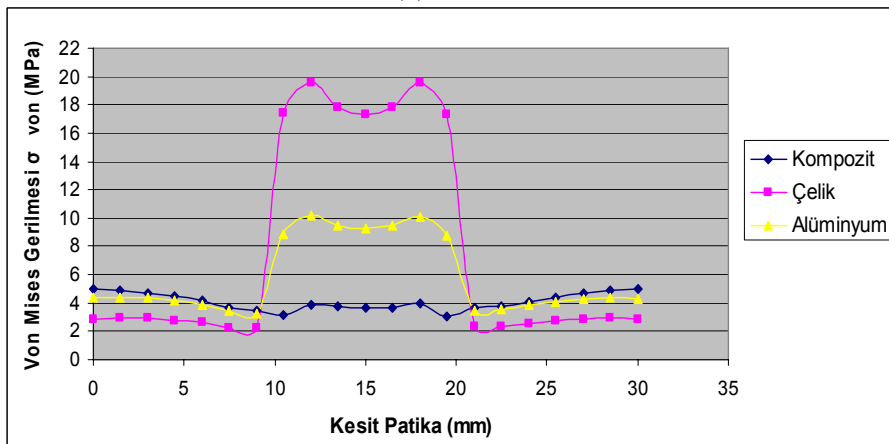
Tablo 6.7 Farklı dil malzemesine sahip ön gerilmesiz dil oluk çiftleri

	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)
101	Kompozit	75	0.1	0
201	Çelik	75	0.1	0
301	Alüminyum	75	0.1	0

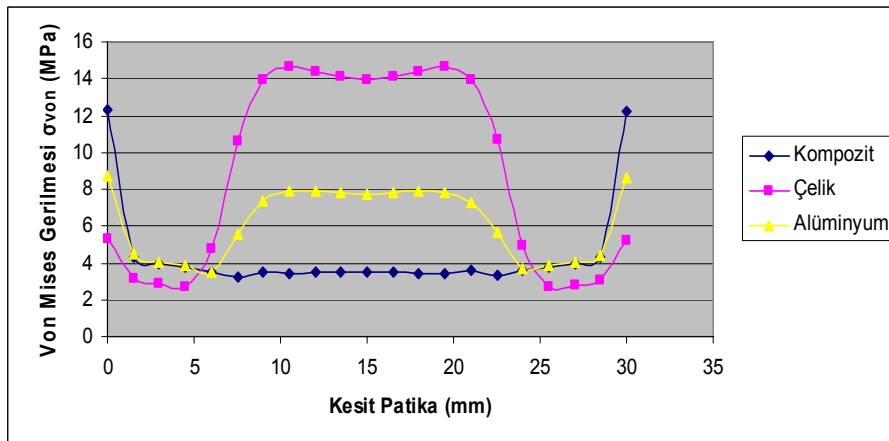
Von Mises gerilmeleri kompozit, çelik, alüminyum dil malzemesi için karşılaştırıldığında, A-A’ kesitindeki gerilme dağılımı Şekil 6.35 (a), E-E’ kesitindeki gerilme dağılımı Şekil 6.35 (b), F-F’ kesitindeki gerilme dağılımı ise Şekil 6.35 (c)’de görülmektedir. A-A’ kesitinde çelik malzeme için von Mises gerilme değeri dil ucunda 15 mm’de 12.72 MPa iken bu değer alüminyum malzemede 7.89 MPa, kompozit malzemede 3.95 MPa değerine düşmektedir. E-E’ kesitinde ise 10.1 mm mesafede yapışkan üzerindeki gerilme değerlerindeki sıçramalar çelik için 17.38 MPa, alüminyum için 8.81 MPa ve kompozit malzeme için 3.12 MPa değerinde olmaktadır. Von Mises gerilmesine göre malzeme sıralaması çelik, alüminyum kompozit şeklindedir. F-F’ ve E-E’ kesitleri üzerindeki nodlardan alınan gerilme değerleri ile çizilen grafiklerin geometri üzerindeki x eksenine göre simetriklik gösterdiği görülür. A-A’ kesitinde ise değerler dil ucunun radyüslü geometrisi sebebiyle o bölgedeki yoğun nodlar üzerinden alınmıştır, sayısal değerler çok yakın olması sebebiyle simetrik kabul edilebilir.



(a)



(b)

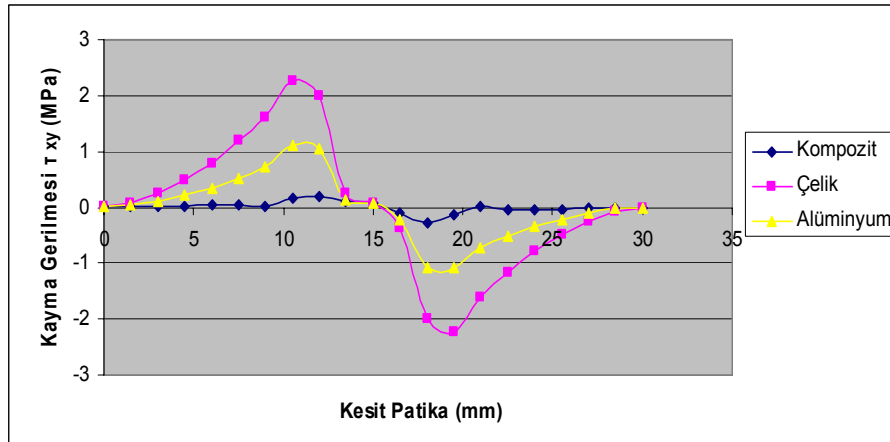


(c)

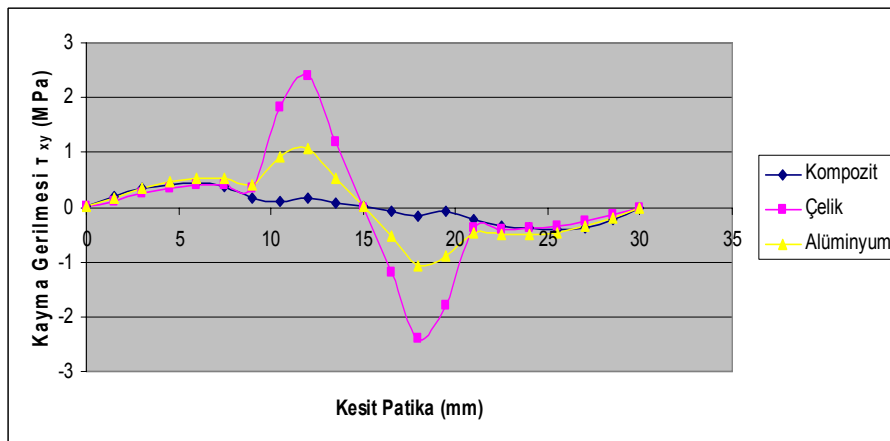
Şekil 6.38 Dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti

Dil malzemesinin kayma gerilmelerine etkisi için Şekil 6.36 incelendiğinde, kayma gerilmelerinin oluk malzemesi (kompozit) üzerinden alınan A-A' ve E-E' kesitlerinde 0 MPa'dan başlayıp 0 MPa'da bittiği, yapıştırıcı üzerinden başlayarak alınan F-F' kesitinin ise, yapıştırıcı malzemenin o bölgedeki kayma gerilmesi değeri ile başlayıp, yine o değer ile bittiği görülmektedir. Kayma gerilmeleri en fazla F-F' kesitinde ve çelik

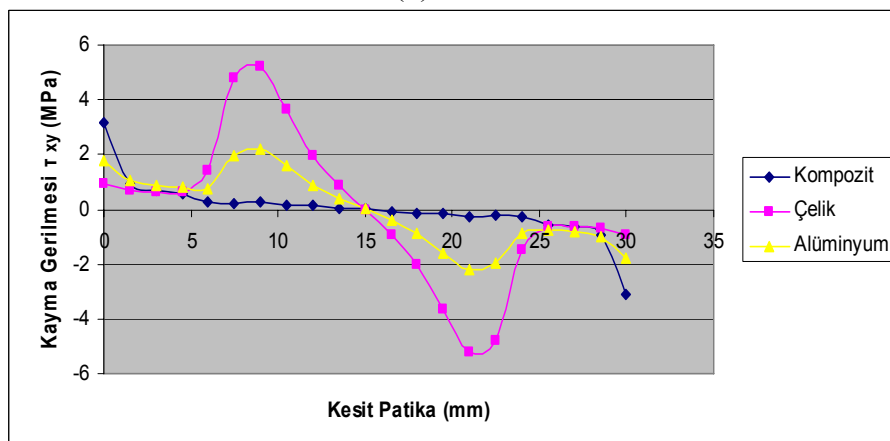
malzeme için 10.1 mm’de eğrilerin maksimum olduğu noktadaki değeri 5.22 MPa olmaktadır. Alüminyum malzemede ise bu değer 2.20 MPa’ya kadardır. Kayma gerilmesi her üç kesitte de en fazla çelik malzemede, en az kompozit malzemede görülmektedir.



(a)



(b)

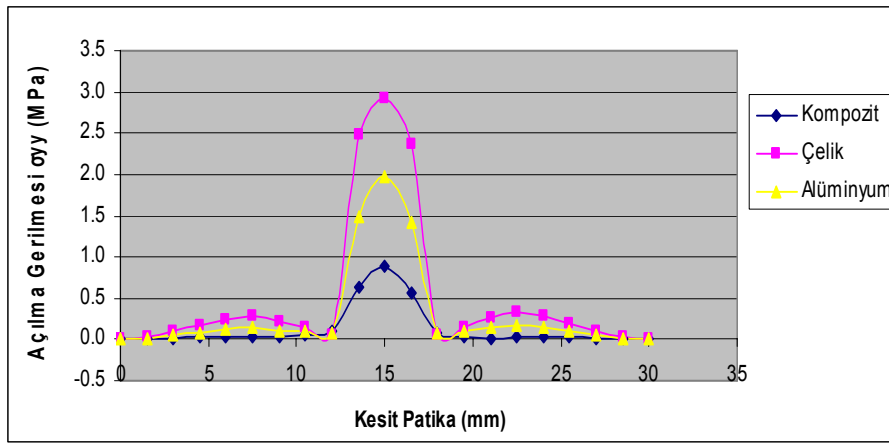


(c)

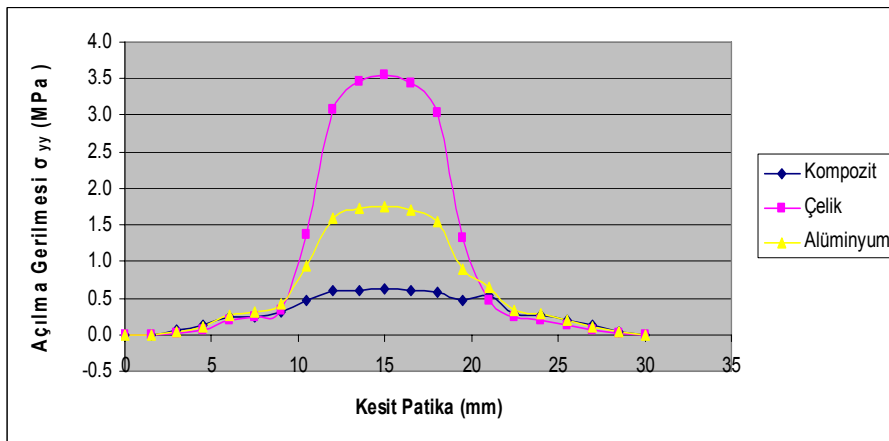
Şekil 6.39 Dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilmesi dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A’ kesiti b) E-E’ kesiti ve c) F-F’ kesiti

Farklı dil malzemelerinde açılma gerilmesi dağılımı incelendiğinde A-A’ kesitinde, kompozit, çelik ve alüminyum için benzer eğri karakteristikleri görülmektedir. Bu

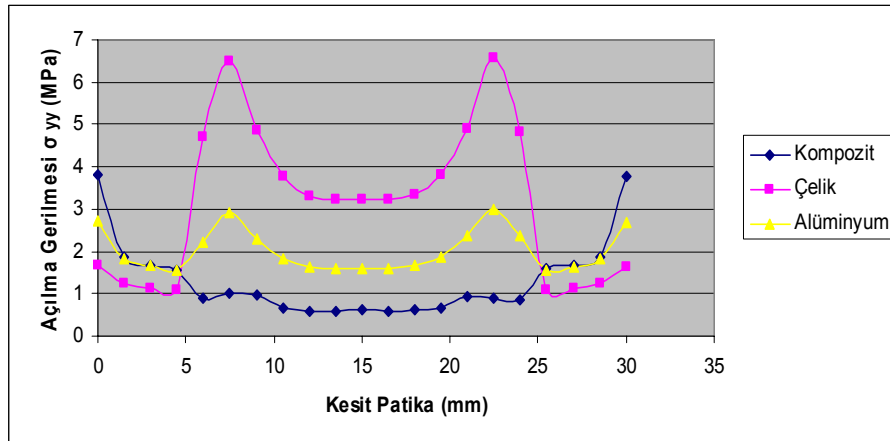
eğriler her malzeme için 15 mm mesafeye denk gelen dil ucu bölgesinde maksimum değer almaktadır. Açılma gerilmeleri A-A' kesitinde 15 mm'de sırasıyla çelik için 2.91 MPa, alüminyum için 1.91 MPa ve kompozit malzeme için 0.89 MPa olmaktadır. E-E' kesiti için açılma gerilmesinin artmaya başladığı değer, yapışkan malzemenin bulunduğu bölge olan 10.1 mm'deki değerdir. F-F' kesitindeki açılma gerilmesi eğrisi diğer kesitlerden farklıdır ve 5 mm'den sonra dil geometrisinin kritik noktaları olan radyüslü bölgede maksimum değerleri almaktadır (Şekil.6.37). Açılma gerilmesinin maksimum olduğu kesit, F-F' kesiti yani oluk geometrisinin dil geometrine yapışkan malzeme ile yapıştırıldığı yerdeki kesittir. F-F' kesitindeki açılma gerilmelerinin maksimum noktaları sırasıyla çelik, alüminyum ve kompozit malzeme için 6.47 MPa, 2.92 MPa ve 1.02 MPa olmaktadır.



(a)



(b)



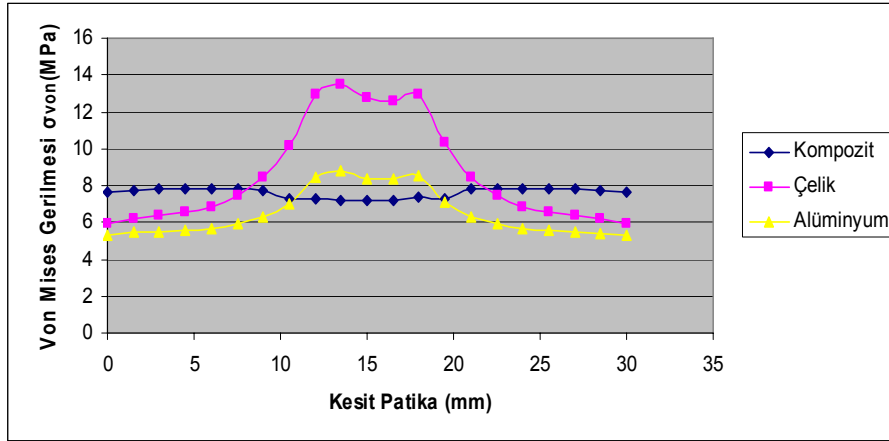
(c)

Şekil 6.40 Dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilmesi dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti

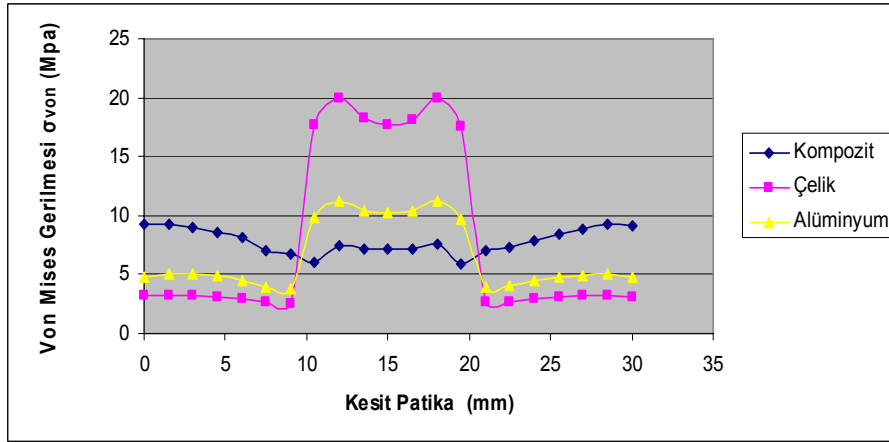
Malzemenin von Mises, kayma ve açılma gerimesi değerlerine etkisi ön gerilme durumunda da incelenmiştir. Bunun için ön gerilme değerleri 12 MPa olan, 0.1 mm yapıştırma kalınlığı ve 75 mm dil uzunluğun sahip dil oluk çiftleri analiz edilmiştir. Von mises gerilme değerleri A-A', E-E' ve F-F' kesitlerinde incelendiğinde ön gerilme tüm dil oluk çiftlerinde gerilme değerlerinin artmasına neden olmakta ancak en büyük artış değeri kompozit – kompozit dil oluk çiftinde görülmektedir. Ön gerilme uygulanmış ve uygulanmamış durumlarda A-A' kesitinden alınan von Mises gerilme değerlerinde; çelik dil malzemesi için 12.72 MPa'dan 12.79 MPa'a, alüminyum için 7.89 MP'dan 8.35 MPa'a bir artış olurken, kompozit için ise 3.95 MP'dan 7.16 MPa'a yaklaşık 2 kat artış görülmektedir (Şekil 6.38).

Tablo 6.8 Farklı dil malzemesine sahip 12 MPa ön gerilmeli dil oluk çiftleri

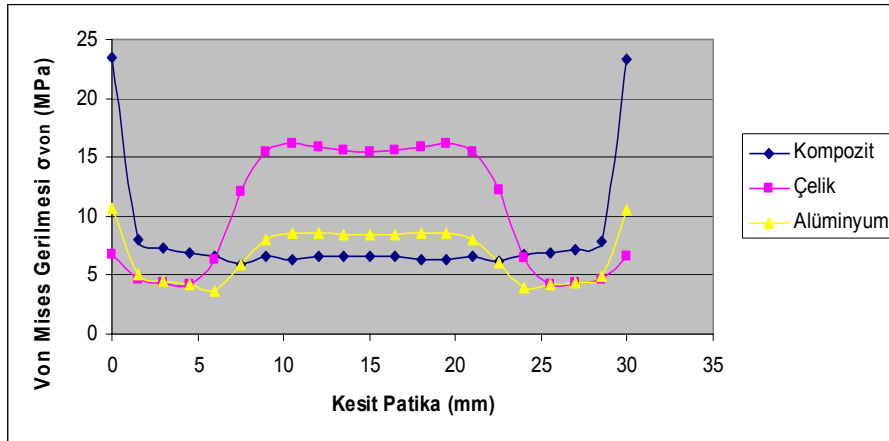
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)
103	Kompozit	75	0.1	12
202	Çelik	75	0.1	12
302	Alüminyum	75	0.1	12



(a)



(b)

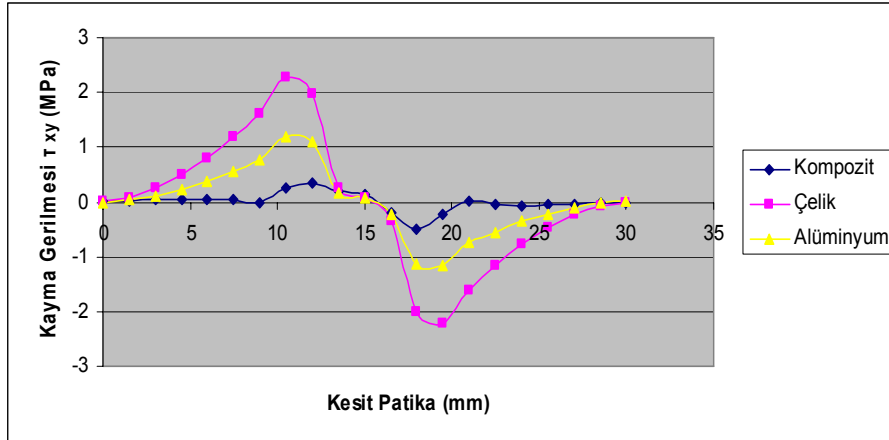


(c)

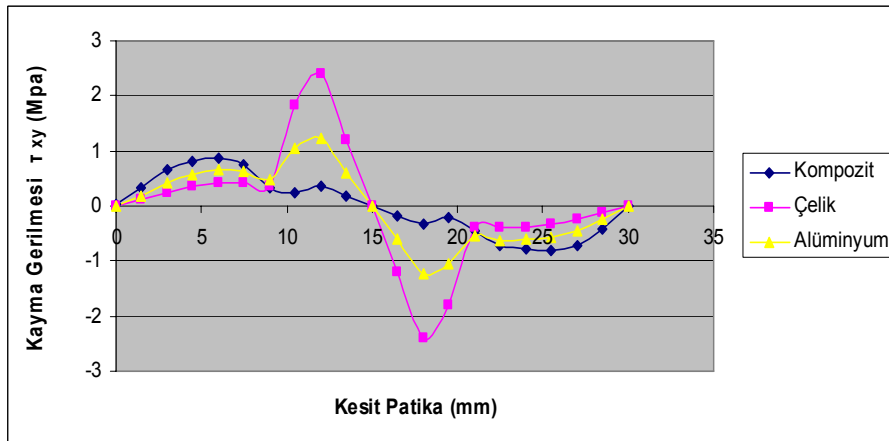
Şekil 6.41 Dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti

Kayma gerilmelerinin kesit boyunca dağılımı Şekil 6.39'da verilmektedir. A-A', E-E' ve F-F' kesitlerinde kayma gerilmesinin yönü başlangıçta pozitif daha sonra ise negatif olmaktadır. Tüm kesitlerde ön gerilmesiz duruma benzer şekilde, kayma gerilmesinin maksimum olduğu malzeme çelik, minimum olduğu malzeme ise kompozittir. Kayma gerilmelerinin en az olduğu kesit E-E' kesitidir ve bu kesitteki kayma

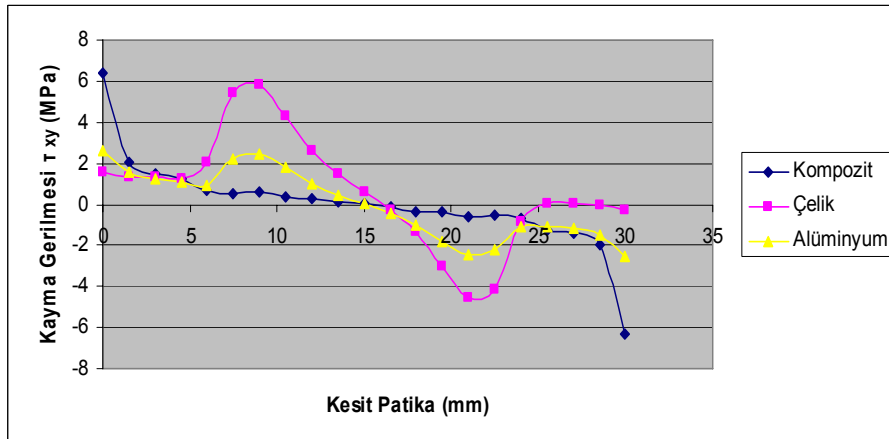
gerilmelerinin 10.1 mm'deki değerleri, elik dil malzemesi için 2.41 MPa, alüminyum dil malzemesi için 1.12 MPa ve kompozit dil malzemesi için kayma gerilmesi değeri 0.37 MPa olmaktadır.



(a)



(b)

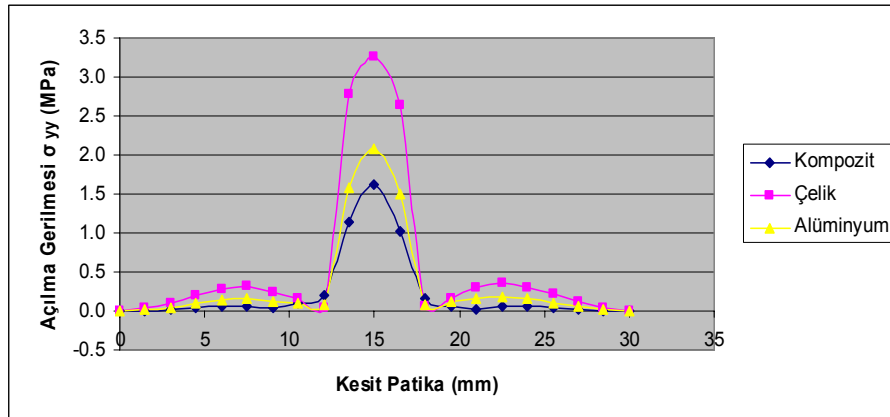


(c)

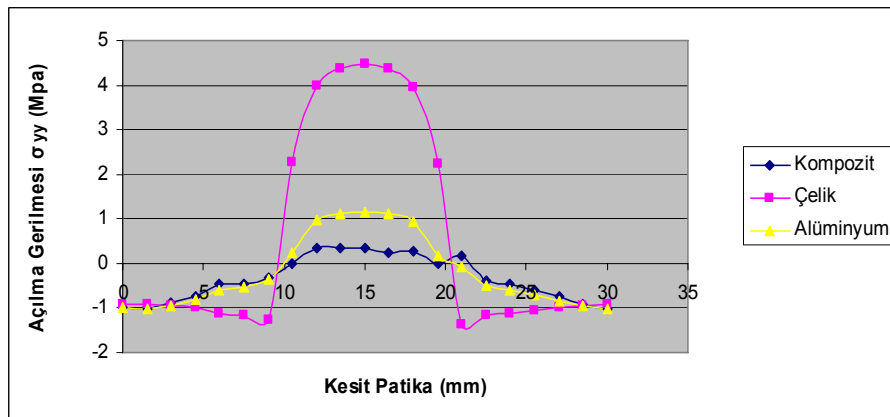
Şekil 6.42 Dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilmesi dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti

Dil oluk çiftlerinin 12 MPa n gerilmeli durumda analizlerinin seçilen kesit boylarında açılma gerilmelerine göre karşılaştırmaları yapıldığında; kompozit –

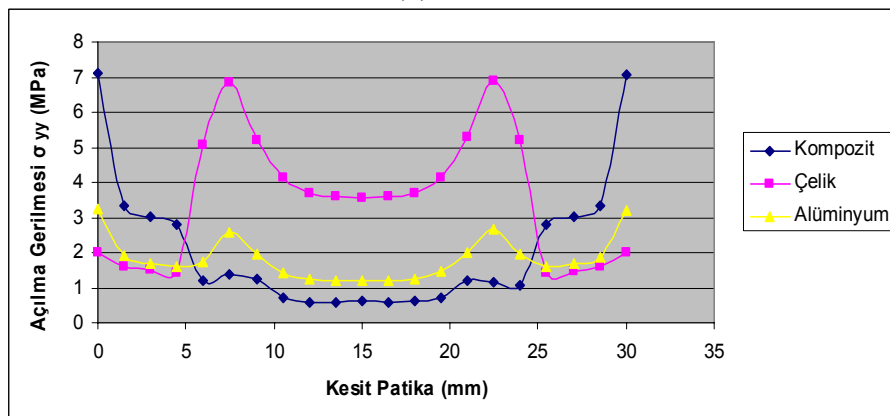
kompozit dil oluk çiftinde en az açılma değerlerinin oluştuğu görülmektedir (Şekil 6.40). E-E' kesiti boyunca alınan açılma gerilmeleri, oluk malzemesinde negatif olurken yapışkan malzemeye gelindiğinde pozitif değerlere sıçramaktadır. Bu da gerilmenin bu bölgelerde yön değiştirdiğini göstermektedir. Bu gerilme değerleri yapışkan bölgeye denk gelen 10.1 mm için incelendiğinde, kompozit – çelik dil oluk çiftinde görülen değer 2.28 MPa, kompozit – alüminyum çiftinde 0.24 MPa ve kompozit – kompozit çiftinde ise 0.12 MPa olmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.43 Dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilmesi dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti

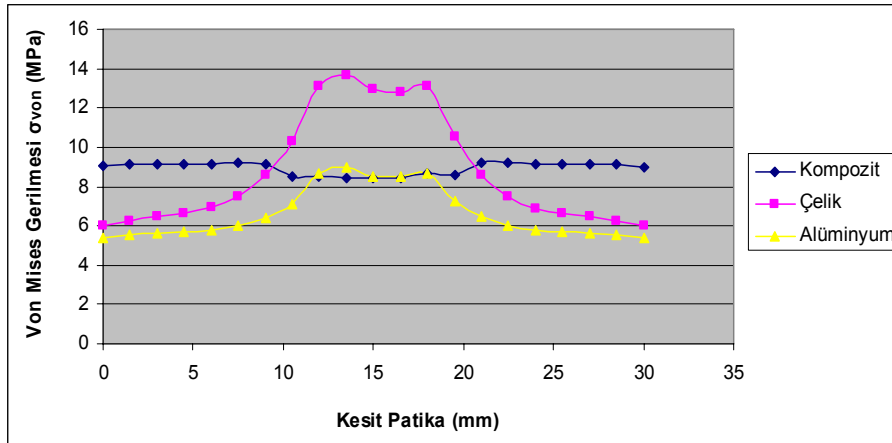
Tablo 6.9’da 22 MPa ön gerilme uygulanmış, dil uzunluğu 75 mm, yapıştırma kalınlığı 0.1 mm ve farklı dil malzemesine sahip dil oluk çiftleri verilmektedir. Bu dil oluk çiftleri üzerinde yapılan analizler sonucunda elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.41, Şekil 6.42 ve Şekil 6.43’de görülmektedir.

Tablo 6.9 Farklı dil malzemesine sahip 22 MPa ön gerilmeli dil oluk çiftleri

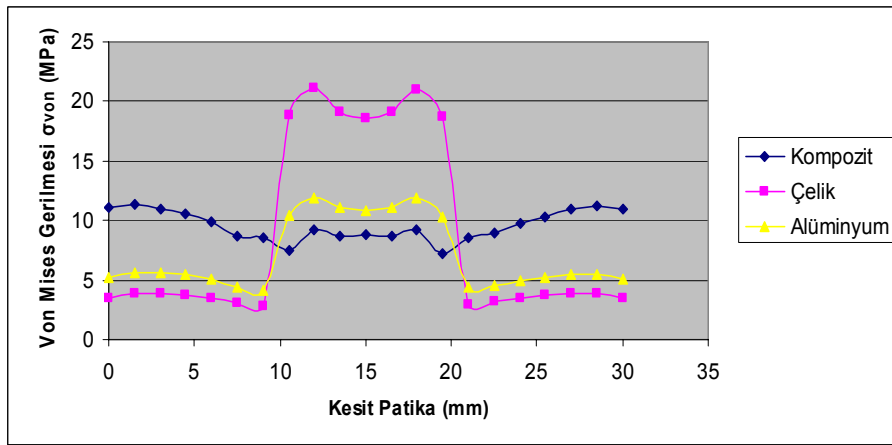
	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)
114	Kompozit	75	0.1	22
203	Çelik	75	0.1	22
303	Alüminyum	75	0.1	22

Dil oluk çiftlerinde; dil malzemesi olarak kompozit, çelik ve alüminyum malzemelerin kullanılması durumunda, 22 MPa ön gerilme altında belirlenen kesitlerde oluşan von Mises, kayma ve açılma gerilme karşılaştırmaları yapılmıştır. Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde von Mises gerilme değerlerinin A-A’ kesitinde kompozit – alüminyum çiftine yaklaşmakta ve hatta bir miktar geçmektedir. A-A’ kesitinde uç noktadaki gerilmeler, dil malzemesi olarak çelik kullanıldığında 13.25 MPa, alüminyum kullanıldığında 8.45 MPa ve kompozit kullanıldığında 8.47 MPa olmaktadır (Şekil 6.42). Bu gerilme değerleri, 12 MPa ön gerilme uygulandığı durumda elde edilen değerlerden daha fazla olmaktadır. Ön gerilmenin artırılması çelik ve alüminyum malzeme üzerinde kompozit malzemeye oranlara daha az etki etmekle beraber tüm dil oluk çiftlerinde belli oranlarda artışa neden olmaktadır.

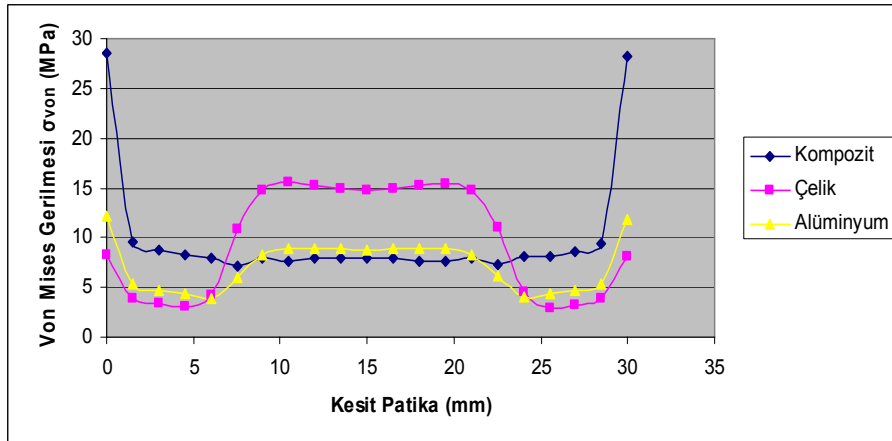
Şekil 6.41 (b)’den, E-E’ kesitinde yapışkan malzemenin bulunduğu bölgelerde von Mises gerilmesinde sıçramalar gerçekleştiği görülmektedir. Bu değerler 10.1 mm mesafede çelik dil malzemesi kullanılan durumda 18.82 MPa, alüminyum kullanılması durumunda 10.43 MPa ve kompozit kullanılması durumunda 7.51 MPa olmaktadır.



(a)



(b)

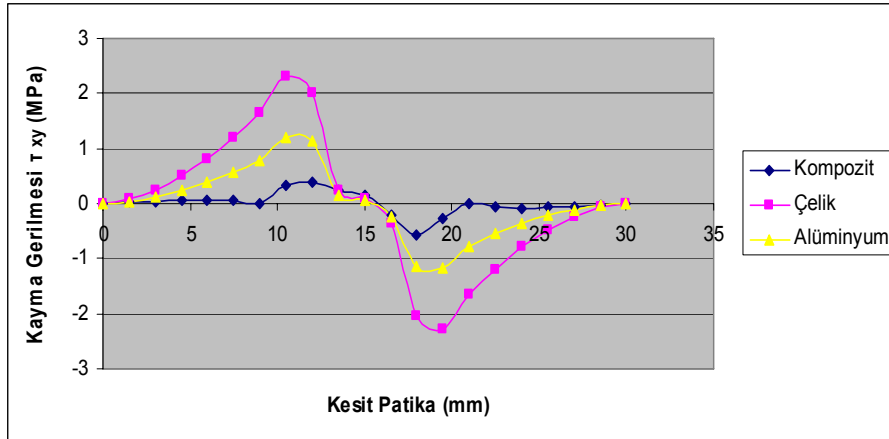


(c)

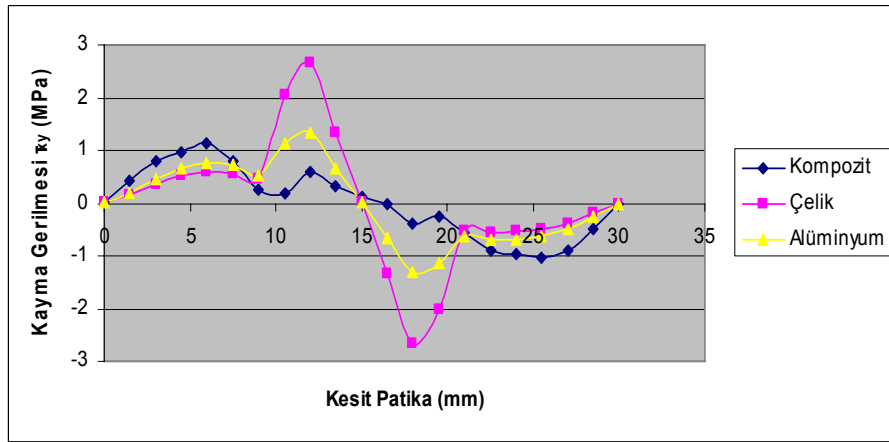
Şekil 6.44 Dil oluk çiftinde kesit boyunca von Mises gerilme dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti

22 MPa ön gerilmeli durumda analiz edilen dil oluk çiftlerinin kayma gerilmelerine ait eğrileri Şekil 6.42'de verilmektedir. E-E' kesiti incelendiğinde, her bir dil malzemesi için yapışkan bölgeye denk gelen 10.1 mm mesafesinde kayma değerleri pik yapmakta ve çelik dil malzemesi için 2.65 MPa, alüminyum dil malzemesi için 1.32 MPa ve

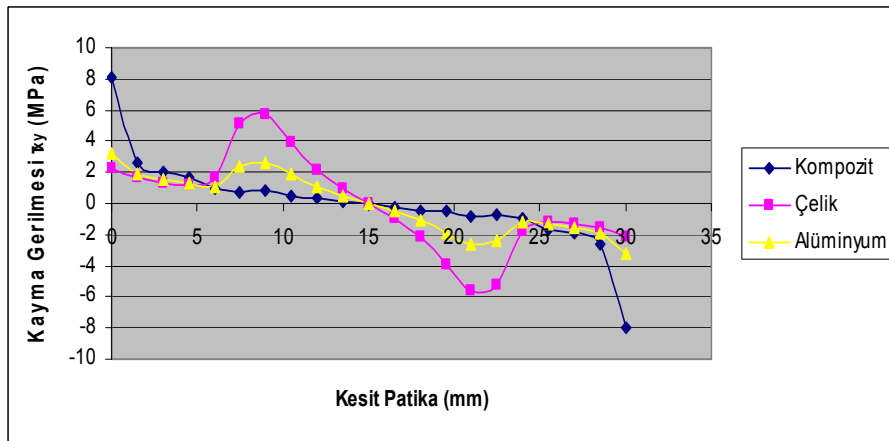
kompozit dil malzemesi için 0.58 MPa olmaktadır. Ön gerilmenin artırılmasıyla kayma gerilmelerinde de artış görülmektedir.



(a)



(b)

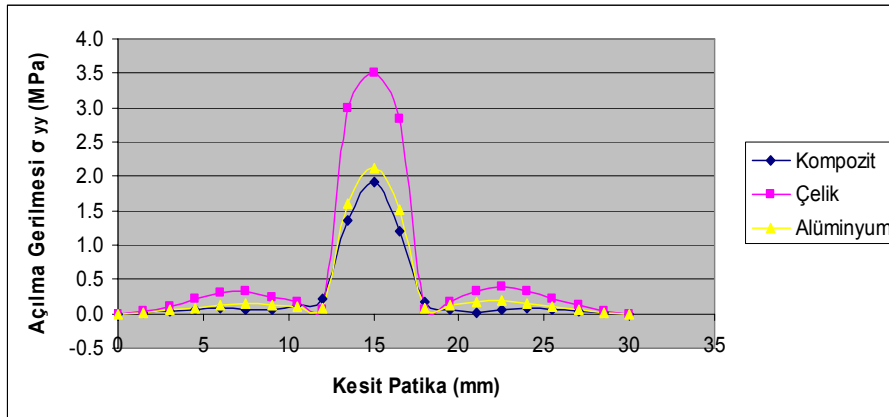


(c)

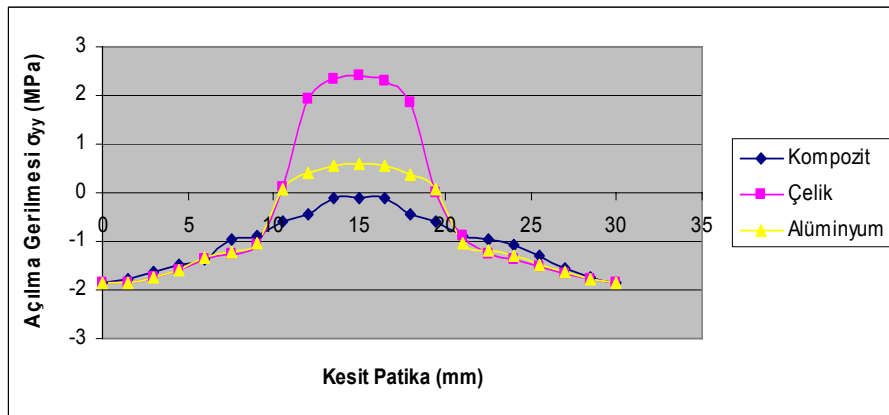
Şekil 6.45 Dil oluk çiftinde kesit boyunca kayma gerilmesi dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti

Ön gerilmenin artırılmasının her dil malzemesi için açılma gerilmelerine etkileri incelendiğinde ise yine en çok kompozit – kompozit dil oluk çiftinin ön gerilmekten etkilendiğini ve açılma dayanımının tüm dil oluk çiftlerinde artış gösterdiği Şekil

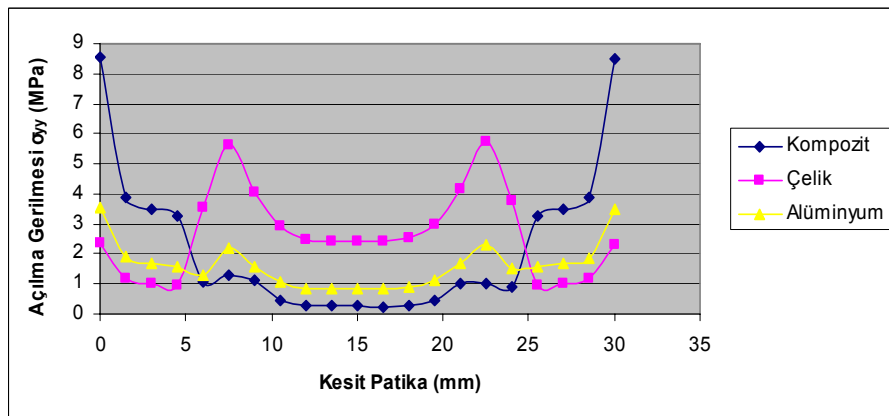
&.43'den görülmektedir. Açılma dayanımları açısından dil oluk çiftleri iyiden kötüye sıralandığında, yine kompozit - çelik, kompozit – alüminyum ve kompozit – kompozit dil oluk çifti sırası elde edilmektedir. A-A' kesitinde dil uç bölgesine denk gelen 15 mm mesafesinde açılma değerleri, çelik dil için 3.505 MPa, alüminyum dil için 2.10 MPa ve kompozit dil için 1.90 MPa olmaktadır. Ön gerilme uygulamaları etkin olarak açılma gerilmelerinin yönünü ters çevirmekle beraber tüm numunelerde bağlantı dayanımını arttırmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.46 Dil oluk çiftinde kesit boyunca açılma gerilmesi dağılımlarına malzemenin etkisi a) A-A' kesiti b) E-E' kesiti ve c) F-F' kesiti

6.2.3 Dil Boyunca Gerilme Analizi

Dil boyunca meydana gelen von Mises, kayma ve açılma gerilmelerin incelenmesi için Şekil 6.44'de görülen A ve B noktaları arasında patika seçilmiştir. Yapışkan malzeme üzerinden seçilen bu patikada meydana gelen gerilmeler her malzeme ve dil boyu için ön gerilmeli ve ön gerilmesiz durumlarda karşılaştırmalı olarak incelenmiş, grafikleri çizilmiştir.



Şekil 6.47 A-B noktaları arasında seçilen patika

6.2.3.1 Kompozit Malzemede Dil Boyunca Gerilme Analizi

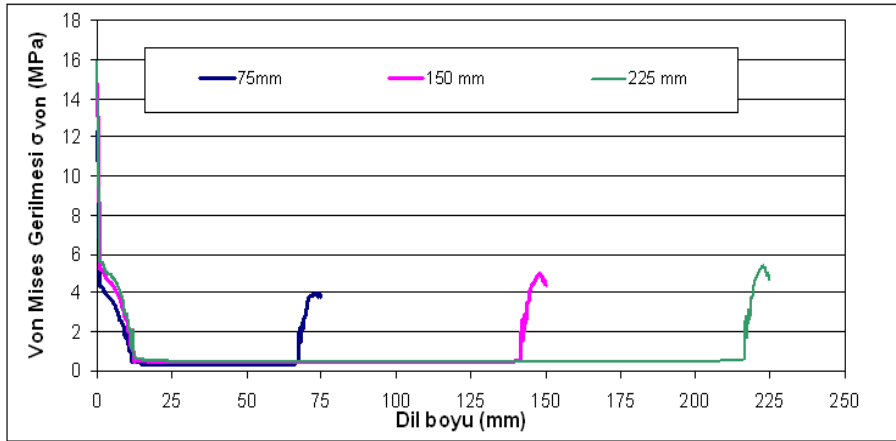
Kompozit malzeme için patika boyunca gerilmelerin karşılaştırması Tablo 6.10'da, 0.1 mm yapıştırma kalınlığına sahip dil oluk çiftleri için yapılmıştır. Ön gerilmesiz olarak analizi yapılan dil oluk çiftlerinin A-B patikası boyunca von Mises gerilmeleri karşılaştırmalı olarak Şekil 6.45(a)'da verilmektedir. Şekil 6.45 (b)'de 12 MPa ön gerilme uygulanmış, Şekil 6.45 (c)'de ise 22 MPa ön gerilme uygulanmış dil oluk çiftlerinin von Mises gerilmeleri görülmektedir.

Kompozit – kompozit dil oluk çiftlerinde, A-B patikası üzerinde kayma ve açılma gerilmeleri de incelenmiş olup, Şekil 6.46'da ön gerilmesiz, 12 MPa ön gerilmeli ve 22 MPa ön gerilmeli durumdaki kayma gerilmeleri karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Açılma gerilmelerinin ön gerilmesiz ve 12MPa, 22 MPa ön gerilme koşulu altındaki patika boyunca gerilmeleri ise Şekil 6.47'de verilmektedir.

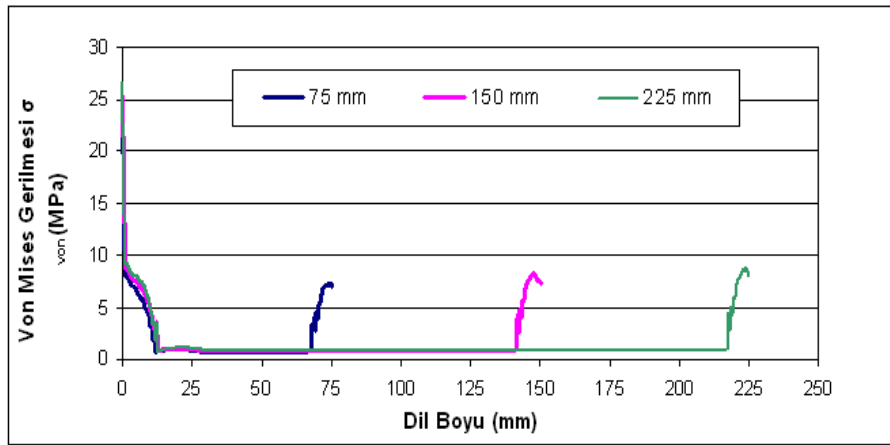
Tablo 6.10 Farklı dil uzunluklarına sahip ön gerilmemiş ve ön gerilmeli kompozit – kompozit dil oluk çiftleri

	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)
101	Kompozit	75	0.1	0
106	Kompozit	150	0.1	0
110	Kompozit	225	0.1	0
103	Kompozit	75	0.1	12
116	Kompozit	150	0.1	12
118	Kompozit	225	0.2	12
105	Kompozit	75	0.2	22
108	Kompozit	150	0.2	22
111	Kompozit	225	0.2	22

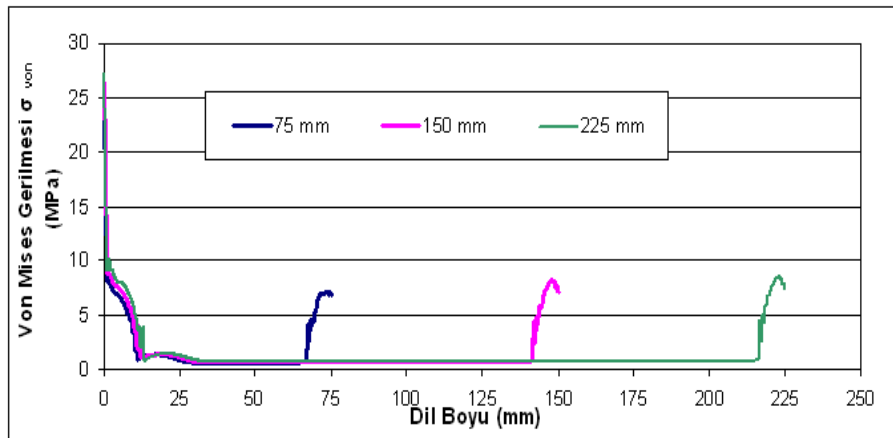
Von Mises gerilmelerinde, tüm dil uzunluklarında A-B patikasının radyüslü bölgelerinde ani değişimler gözlenmektedir (Şekil 6.45). Seçilen patikanın uç bölgesindeki radyüslü bölgede oluşan maksimum von Mises gerilme değerleri ön gerilmemiş durumda; 75 mm dil uzunluğu için 3.79 MPa, 150 mm dil uzunluğu için 4.90 MPa ve 225 mm dil uzunluğu için 5.30 MPa değerinde olmaktadır (Şekil 6.45 (a)). 12 MPa ön gerilmeli durumda analiz edilen 75 mm dil uzunluğundaki dil oluk çiftlerinin patika uç bölgesindeki von Mises gerilme değeri 6.83 MPa'dır. Aynı koşulda 150 mm dil uzunluğu için von Mises gerilmesi 8.03 MPa, 225 mm dil uzunluğu için 8.67 MPa olmaktadır. Kompozit – kompozit dil oluk çiftinde dil boyunun arttırılması ile von Mises gerilmelerinde artma gözlenmektedir. Ayrıca ön gerilmenin de her dil uzunluğu için von Mises gerilmesini arttırmış olduğu Şekil 6.45'den görülmektedir. 22 MPa ön gerilme durumunda, 75 mm dil uzunluğu için uç bölgede von Mises gerilme değeri 7.12 MPa'dır ve bu değer ön gerilmemiş ve 12 MPa ön gerilmeli durumda meydana gelen gerilme değerlerinden daha fazla olmaktadır. 22 MPa ön gerilme durumunda elde edilen gerilme değerlerinin, ön gerilmenin etkisi ile daha fazla olması beklenmekte ancak yapıştırma kalınlığının 0.1 mm'den 0.4 mm'e arttırılması birim alana etkiyen kuvvetin azalmasına neden olduğundan bu değerlerde de belli oranda azalma görülmektedir.



(a)



(b)

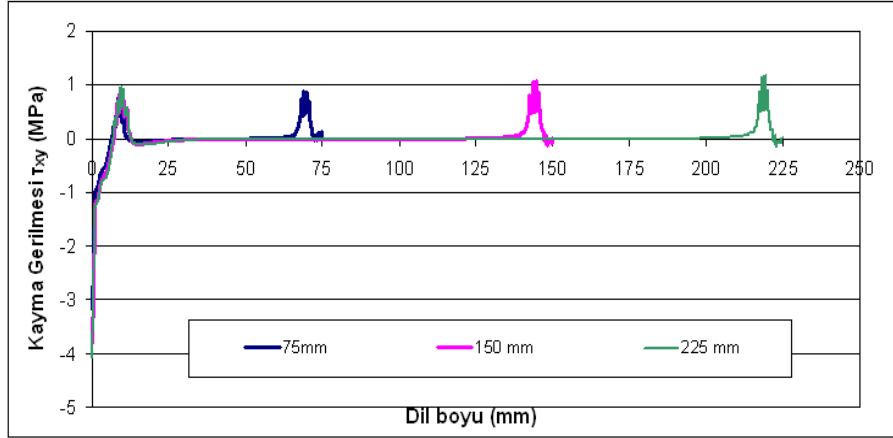


(c)

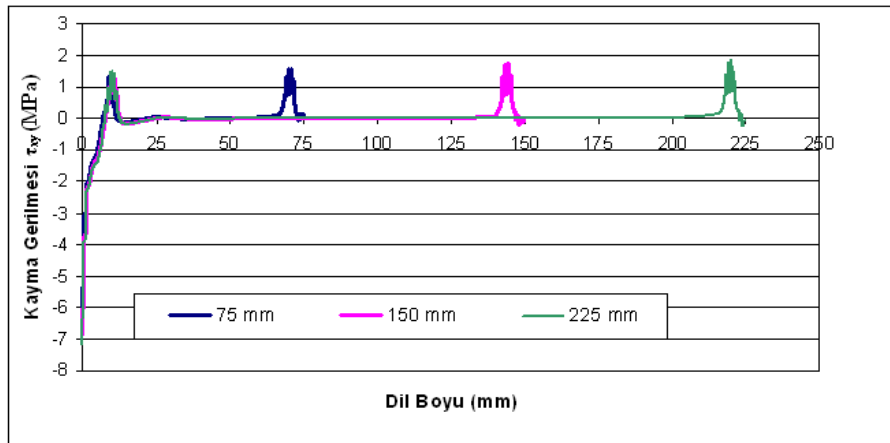
Şekil 6.48 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – kompozit dil oluk çiftlerinin seçilen patika boyunca von Mises gerilmeleri a) ön gerilmemiş durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum c) 22 MPa ön gerilmeli durum

Kompozit – kompozit dil oluk çiftlerinde A-B patikası boyunca kayma gerilmesi incelendiğinde, eğrilerin negatif değerden başlamadıkları görülmektedir (Şekil 6.46). Bu durum, patikanın başlangıç noktası olan A noktasında, yani oluk geometrisinin dil geometrisine yapışkanla yapıştırıldığı noktadaki kayma gerilmelerinin yönlerinin

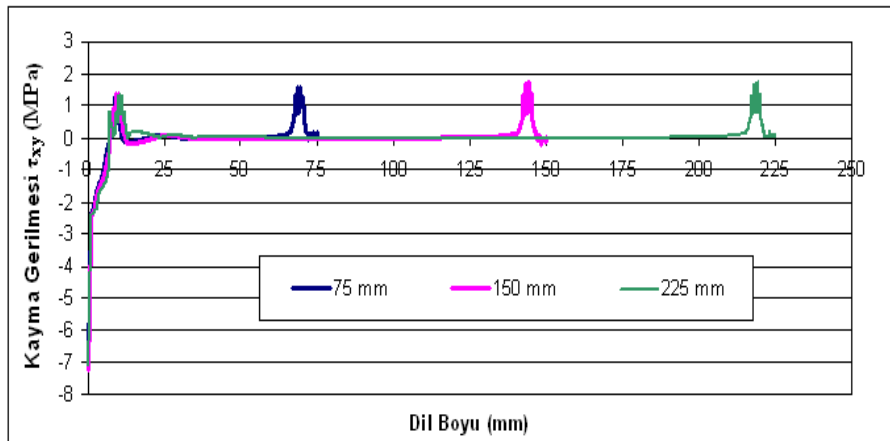
negatif olduğunu göstermektedir. İşaret yalnızca yön belirttiği için her dil uzunluğundaki maksimum kayma değerleri patika başlangıcında ve daha sonra sırasıyla radyüslü bölgelerde görülmektedir. Hem dil uzunluğunun artması ile hem de ön gerilmenin artması ile kayma gerilemelerinin arttığı görülmektedir.



(a)



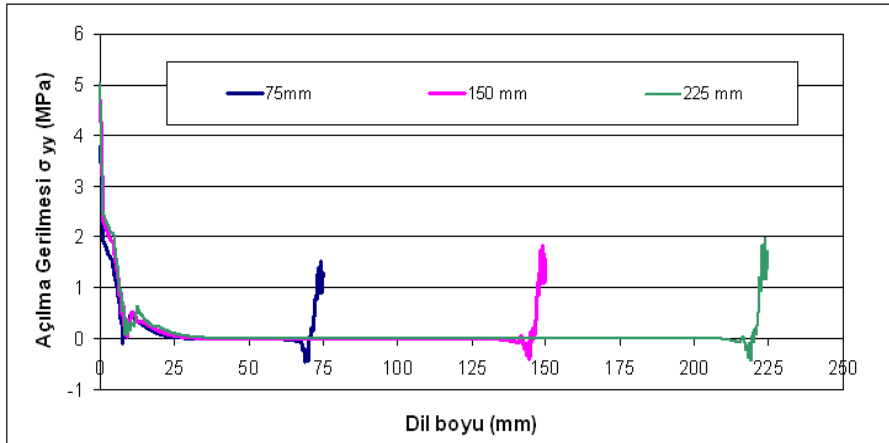
(b)



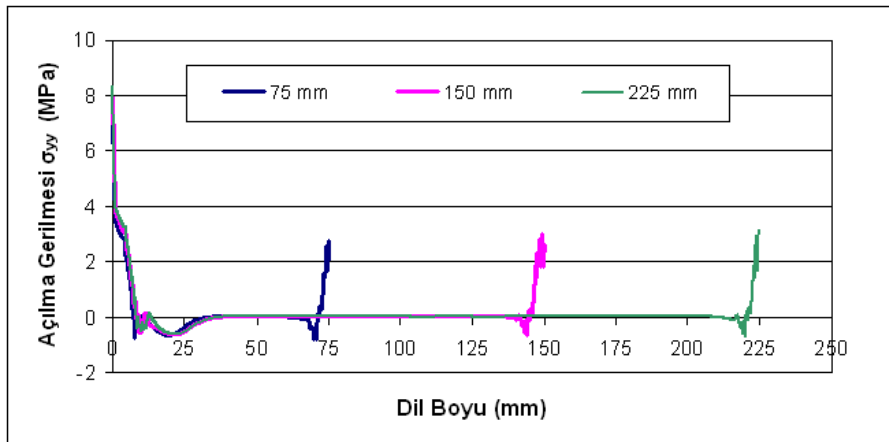
(c)

Şekil 6.49 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – kompozit dil oluk çiftlerinin patika boyunca kayma gerilmeleri a) ön gerilmemiş durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum c) 22 MPa ön gerilmeli durum

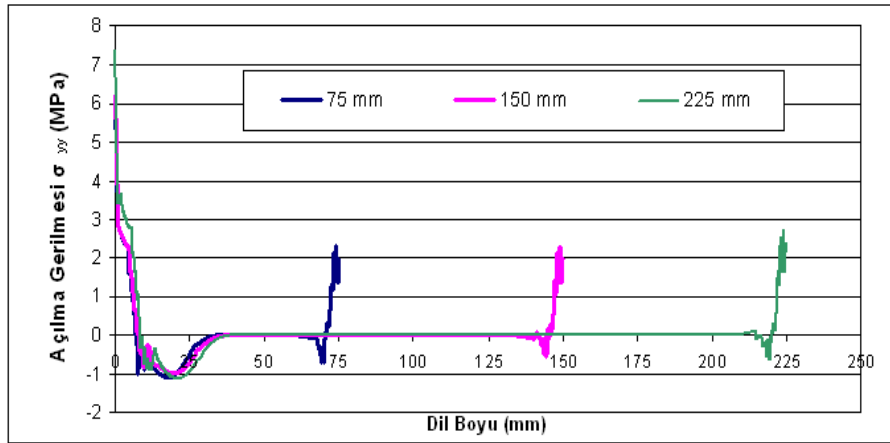
Kompozit malzeme için açılma gerilmelerin dağılımları, hem ön gerilmeli hem de ön gerilmemiş durumlar için Şekil 6.47’de verilmektedir. Açılma gerilmelerinin A-B patikası boyunca her dil uzunluğu için maksimum noktaları patikanın başlangıç noktası olan A noktasıdır. Eğriler radyüslü bölgelerde sıçramalar göstermektedir. Dil ucundaki radyüslü bölgelerde açılma gerilmeleri incelendiğinde, ön gerilmemiş durumda 75 mm için 1.53 MPa, 150 mm dil uzunluğu için 1.80 MPa ve 225 mm dil uzunluğu için 1.97 MPa değerleri elde edilmektedir. Dil uzunluğunun artması von Mises ve kayma gerilmelerinde olduğu gibi hem gerilmeli hem de ön gerilmemiş durumda açılma gerilmesinin artmasına yol açmaktadır. Şekil 6.47(b) ve Şekil 6.47(c) incelendiğinde ise 20 mm’e denk gelen bölgede uygulanan ön gerilmenin o bölgedeki açılma gerilmesinin yönlerini değiştirdiği sonucuna varılmaktadır. Grafiklerde ön gerilmeli durumda 0 ile 20 mm arasındaki gerilme değerlerinin işaretinin negatif olduğu görülmektedir. Ön gerilme uygulanması açılma gerilmelerinin yönünü ters çevirse bile tüm numunelerde olduğu gibi bağlantı dayanımını kompozit – kompozit dil oluk çiftleri içinde arttırmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.50 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – kompozit dil oluk çiftlerinin patika boyunca açılma gerilmeleri a) ön gerilmemiş durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum c) 22 MPa ön gerilmeli durum

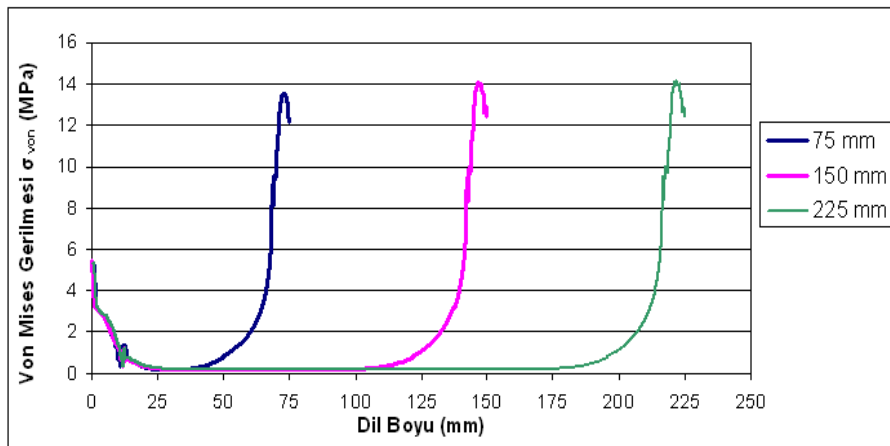
6.2.3.2 Çelik Malzemede Dil Boyunca Gerilme Analizi

A-B patikası boyunca karşılaştırması yapılan, farklı dil uzunluklarında ve ön gerilmemiş ve 12 MPa ön gerilmeye sahip kompozit - çelik dil oluk çiftleri Tablo 6.11’de verilmektedir. Analizi yapılan farklı dil uzunluklarındaki numuneleri için A-B patikası boyunca von Mises gerilme dağılımları Şekil 6.48, kayma gerilmeleri dağılımları Şekil 6.49, açılma gerilmeleri dağılımları ise Şekil 6.50’de karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

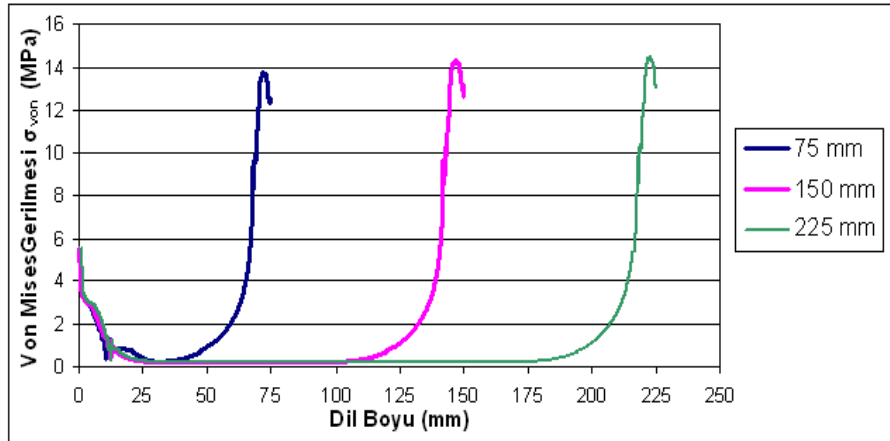
Tablo 6.11 Farklı dil uzunluklarına sahip ön gerilmemiş ve ön gerilmeli kompozit – çelik dil oluk çiftleri

	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)
201	Çelik	75	0.1	0
209	Çelik	150	0.1	0
214	Çelik	225	0.1	0
207	Çelik	75	0.4	12
212	Çelik	150	0.4	12
218	Çelik	225	0.4	12

Çelik malzemede A-B patikası üzerinden alınan von Mises gerilmelerinin değerleri ile çizilen eğrilerin maksimum noktaları kompozit malzemeden farklı olarak dil ucunda görülmektedir. Bu maksimum gerilme değerleri ön gerilmemiş durumda 75 mm dil uzunluğu için 13.35 MPa, 150 mm dil uzunluğu için 14.04 MPa, 225 mm dil uzunluğu için 14.17 MPa olmaktadır. 12 MPa ön gerilme koşulunda ise von Mises gerilme değerleri 75 mm dil uzunluğu için 13.86 MPa'a, 150 mm dil uzunluğu için 14.26 MPa'a, 225 mm dil uzunluğu için ise 14.52 MPa olmaktadır. Ön gerilmenin uygulanmış olması, tüm dil uzunluklarında von Mises gerilme değerlerinin incelenen bölgede artmasına neden olmaktadır (Şekil 6.48).



(a)

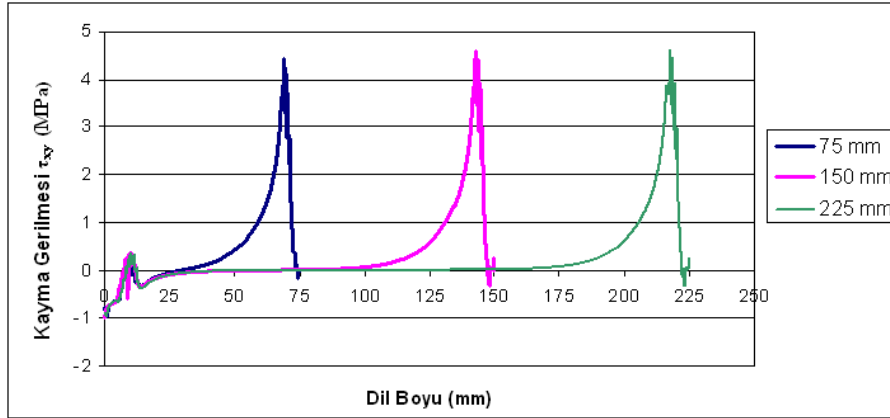


(b)

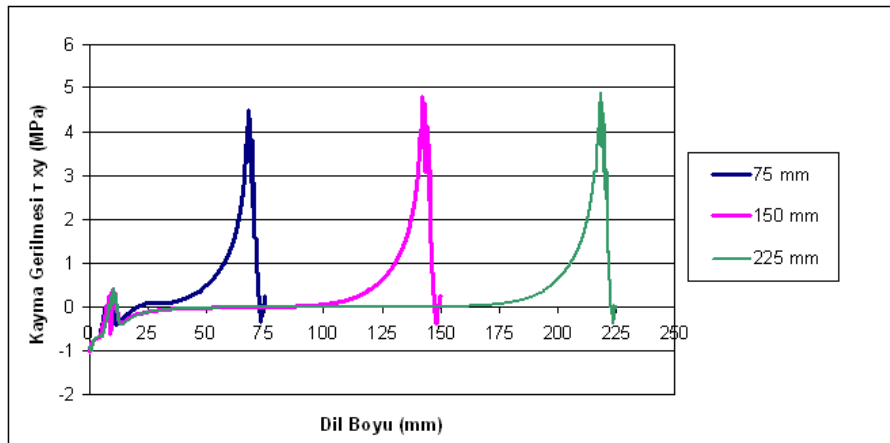
Şekil 6.51 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – çelik dil oluk çiftlerinin patika boyunca von Mises gerilmeleri a) ön gerilmemiş durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum

Kompozit – çelik dil oluk çiftlerinin kayma gerilmeleri incelendiğinde, kompozit – kompozit dil oluk çiftlerinde gözlemlendiği gibi A-B patikasının başlangıç bölgesinde kayma gerilmelerinin yönü negatif ve her dil malzemesi için eğrilerin başlangıç noktası eksi değerde olmaktadır. Ancak kompozit dil malzemesi kullanılan durumdan farklı

olarak, kayma gerilmesi eğrilerinin maksimum noktaları A-B patikasının uç noktasında görülmektedir. Kayma gerilmeleri hem ön gerilmeli ve hem ön gerilmemiş koşullarda dil uzunluğunun artması ile artmakta ve dil ucundaki radyüsün başladığı yerde maksimum değere ulaşmaktadır. Yapışkanın kayma gerilmesi yığılmaları tüm numunelerde ön gerilme uygulanmasından az etkilenmekte fakat ön gerilmeli numunelerde yapışkanın başlangıç kenarlarında az bir azalma görülebilmektedir.



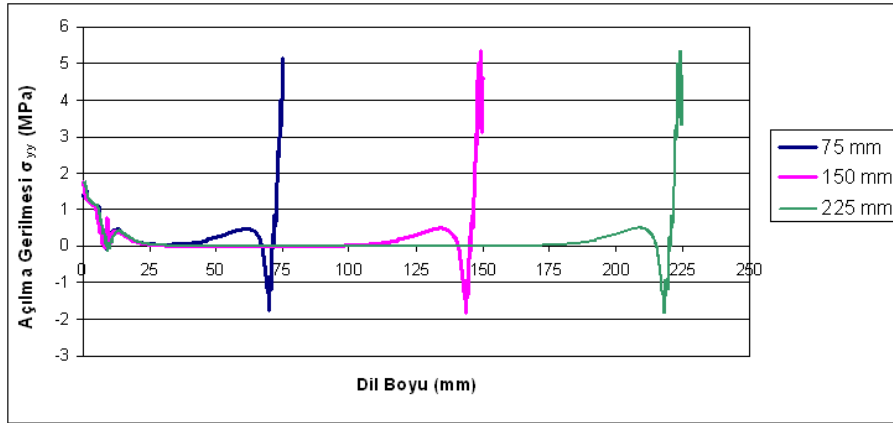
(a)



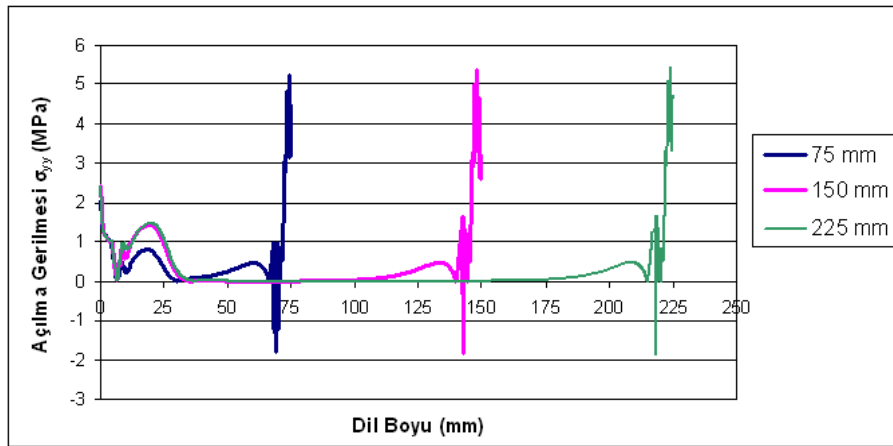
(b)

Şekil 6.52 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – çelik dil oluk çiftlerinin patika boyunca kayma gerilmeleri a) ön gerilmemiş durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum

Kompozit - çelik dil oluk çiftlerinde A-B patikasında oluşan açılma gerilmelerinin incelenmesi sonucunda, ön gerilmemiş ve ön gerilmeli durumlar için farklı dil uzunluklarındaki gerilme dağılımları Şekil 6.50’de gösterilmektedir. Maksimum açılma gerilmeleri kompozit dil malzemesi kullanılan durumun aksine dil ucunda oluşmaktadır. Kompozit – çelik çiftinde, 12 MPa ön gerilmeli durumda tüm dil uzunluklarında radyüslü bölgeye denk gelen bölgede açılma gerilmelerinde artma görülmektedir (Şekil 6.49(b)).



(a)



(b)

Şekil 6.53 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – çelik dil oluk çiftlerinin patika boyunca açılma gerilmeleri a) ön gerilmersiz durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum

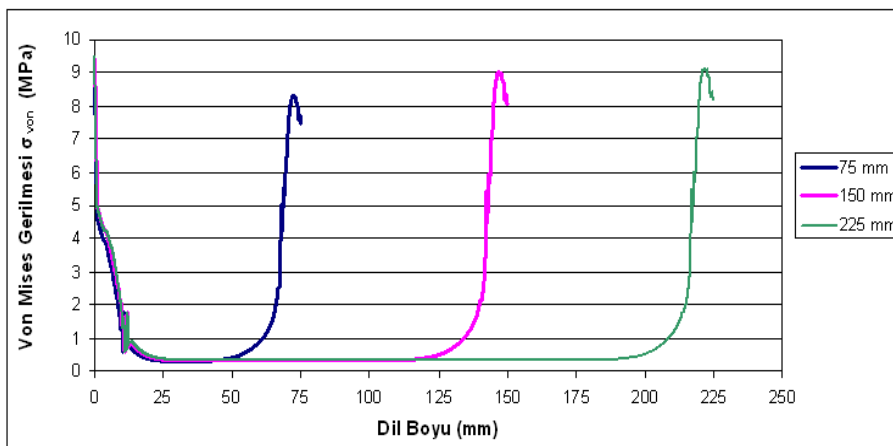
6.2.3.3 Alüminyum Malzemede Dil Boyunca Gerilme Analizi

Kompozit - alüminyum dil oluk çiftleri için yapılan analizler Tablo 6.12 doğrultusunda karşılaştırılmıştır. A-B patikası boyunca von Mises gerilmesi, kayma ve açılma gerilmelerine dil uzunluğunun etkisi sırasıyla Şekil 6.51, Şekil 6.52 ve Şekil 6.53'de verilmektedir.

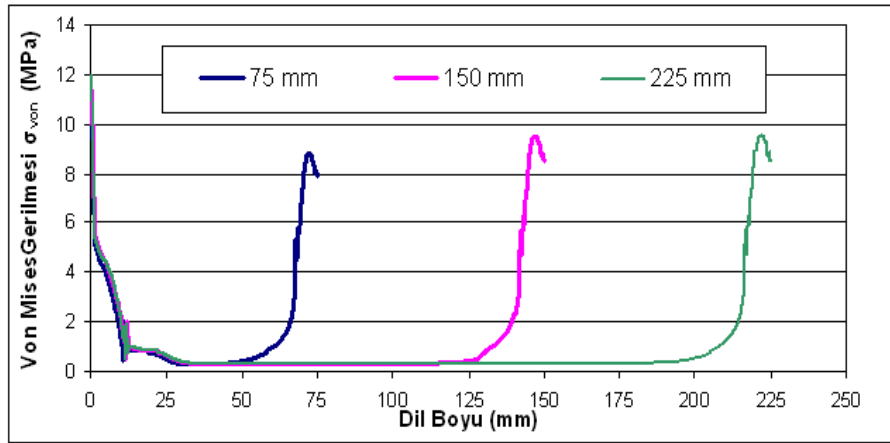
Tablo 6.12 Farklı dil uzunluklarına sahip ön gerilmemiş ve ön gerilmeli kompozit – alüminyum dil oluk çiftleri

	Malzeme	Dil Uzunluğu (mm)	Yapıştırma Kalınlığı (mm)	Ön Gerilme Momenti (MPa)
301	Alüminyum	75	0.1	0
306	Alüminyum	150	0.1	0
312	Alüminyum	225	0.1	0
302	Alüminyum	75	0.1	12
307	Alüminyum	150	0.1	12
313	Alüminyum	225	0.1	12

Ön gerilmemiş durumda kompozit- alüminyum dil oluk çiftlerinde von Mises gerilmesine dil uzunluğunun etkisini incelemek için A-B patikasının uç bölgesindeki radyüslü kısımdan alınan gerilme değerleri karşılaştırıldığında; 75 mm dil uzunluğu için 8.23 MPa, 150 mm dil uzunluğu için 9.03 MPa, 225 mm dil uzunluğu için ise 9.12 MPa değerleri elde edilmektedir. Dil uzunluğunun artırılması von Mises gerilme değerlerini de arttırmaktadır. Ayrıca aynı bölgede 12 MPa ön gerilmeye sahip numunelerinin analiz edilesi sonucunda 75 mm dil uzunluğunda gerilme değerinin 8.75 MPa'a, 150 mm dil uzunluğunda 9.45 MPa'a ve 225 mm dil uzunluğunda 9.54 MPa'a arttığı görülmektedir. Bu durum, ön gerilemin alüminyum dil malzemesi içinde von Mises gerilmesini incelenen bölgede arttırdığını göstermektedir (Şekil 6.51).



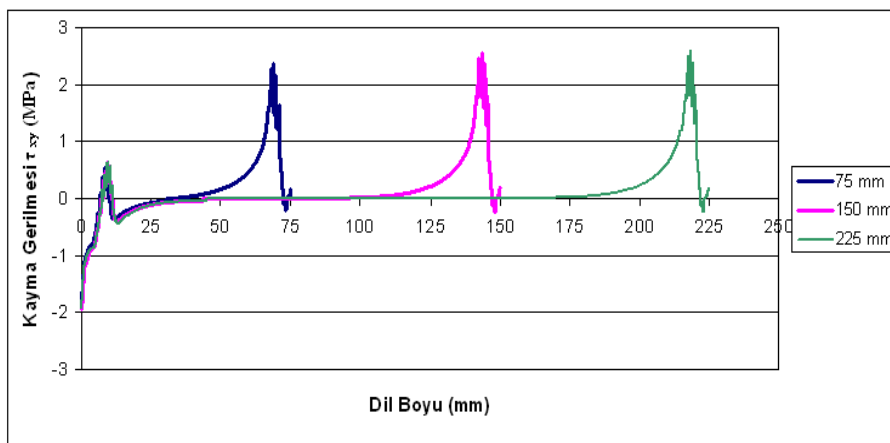
(a)



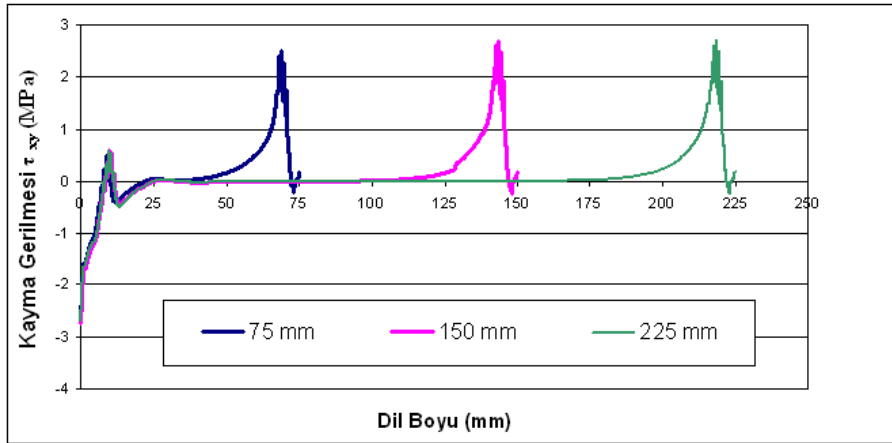
(b)

Şekil 6.54 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – alüminyum dil oluk çiftlerinin patika boyunca von Mises gerilmeleri a) ön gerilmemiş durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum

Dil malzemesi olarak alüminyum kullanıldığında, kayma gerilmelerine dil uzunluğunun etkisi hem ön gerilmeli hem de ön gerilmemiş durumlar için Şekil 6.52’de verilmektedir. A-B patikasının geometrisi göz önüne alındığında radyüslü bölgelerde kayma gerilmelerinde artmalar olduğu görülmektedir. Dil uzunluğunun etkisinin incelenmesi için dil ucundaki radyüslü bölgeden maksimum kayma gerilmelerinin değerleri okunduğunda, ön gerilmemiş durum için 75 mm dil uzunluğunda 2.37 MPa, 150 mm dil uzunluğunda 2.54 MPa, 225 mm dil uzunluğu için 2.61 MPa olduğu görülmektedir. Dil uzunluğunun artması ile kayma gerilmesi de artar ve bu durum ön gerilmeli durum içinde geçerli olmaktadır.



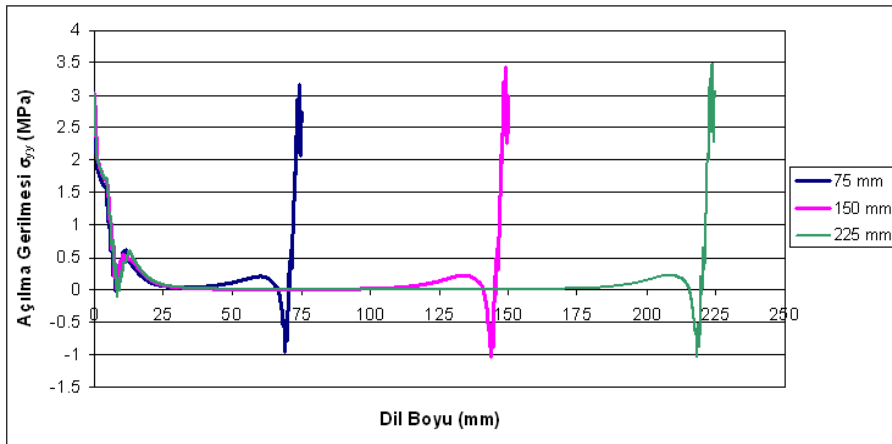
(a)



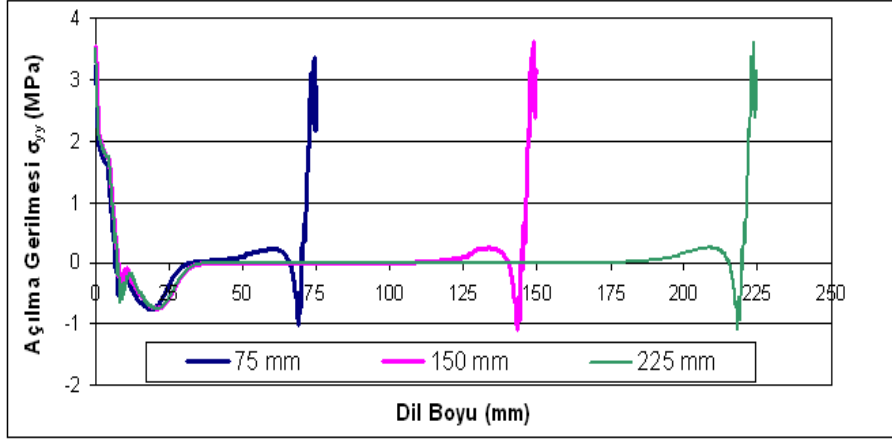
(b)

Şekil 6.55 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit – alüminyum dil oluk çiftlerinin patika boyunca kayma gerilmeleri a) ön gerilmemiş durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum

Ön gerilmeli durumda açılma gerilmeleri dil malzemesi olarak alüminyum kullanıldığında incelenecek olursa, kompozit – kompozit dil oluk çiftlerine benzer şekilde ön gerilmenin uygulandığı bölgede yön değiştirdiği, çizilen eğride o bölgenin değerlerinin negatif değerler aldığı görülmektedir. Tüm dil uzunluklarında, ön gerilmemiş ve ön gerilmeli halde açılma gerilmesinin en fazla görüldüğü noktalar A-B patikasının başlangıç ve uç noktadaki radyüslü bölgeler olmaktadır (Şekil 6.53).



(a)



(b)

Şekil 6.56 Farklı dil uzunluklarına sahip kompozit - alüminyum dil oluk çiftlerinin patika boyunca açılma gerilmeleri a) ön gerilmemiş durum b) 12 MPa ön gerilmeli durum

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, değişik dil uzunluklarında, yapıştırma kalınlıklarında, ön gerilme durumunda ve değişik malzemelerin birbirleri ile olan yapışkanlı bağlantı davranışlarını incelenmiştir. Basit dizayn kuralları ile yapışkan kullanılarak birleştirilmiş bağlantılarda mukavemetin arttırılabildiği görülmüştür. Aşağıda yapılan deneyler ve sonlu elemanlar analizleri sonuçları doğrultusunda elde edilen bulgular verilmektedir;

- Yüksek gerilme yığılmaları yapışkanın ayrılmaya başladığı başta gelen kenarlarında görülmektedir.
- Ön gerilme uygulamaları etkin bir şekilde açılma gerilmelerinin yönünü ters çevirse bile tüm numunelerde bağlantı dayanımını arttırmaktadır.
- Yapılan sonlu elemanlar analizlerinin sonuçları doğrultusunda dil uzunluğunun etkisi en fazla dilin kompozit malzemedan yapıldığı durumda, en az ise çelik malzemedan yapıldığı durumda görülmektedir.
- Ön gerilme yapılması, çelik-kompozit ve alüminyum-kompozit dil oluk çiftlerine göre kompozit-kompozit dil oluk çiftlerinde daha fazla yarar sağlamaktadır.
- Ön gerilmenin arttırılmasıyla, en zayıf bağlantı tipi olarak kompozit-alüminyum dil oluk çiftleri elde edilmektedir.
- Metal-kompozit bağlantı durumunda, çelik ve alüminyum bağlantıların sonlu elemanlar analiz sonuçları karşılaştırıldığında, yapıştırma kalınlığının fazla bir etkisi olmadığı görülmektedir.
- Ön gerilmesiz koşullarda kompozit-kompozit bağlantı çiftlerinin diğer malzeme çiftleri arasında en kötü bağlantı dizaynı olduğu elde edilmektedir.
- Dil oluk geometrisinde yapıştırma tekniği, yapıştırılan tabakalalı malzemelerde açılma gerilmesine duyarlı ve kat kat ayrılmaya eğilimli bağlantılarda yararlı olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Adams, R. D. and Haris, J. A. (1987) The influence of local geometry on the strength of adhesive joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 7, Issue 2, April, Pages 69–80.
- Adams, R. D. and Drinkwater B. W. (1997) Nondestructive testing of adhesively-bonded joints. *NDT & E International*, Volume 30, Issue 2, Pages 93–98.
- Adams, R.D. (1990) The nondestructive evaluation of bonded structures. *Construction and Building Materials*, Volume 4, Issue 1, March, Pages 3–8.
- Adams, R.D. Atkins, R.W. Harris, J.A. and Kinloch, A.J. (1989) Stress analysis and failure properties of carbon-fibre-reinforced-plastic /steel double-lap joints. *Journal of Adhesion*, Volume 20, pp. 29–53.
- Bahei-El-Din, Y.A. Dvorak, G.J. (2000) New designs of adhesive joints for thick composite laminates. *Composites Science Technology*, 61(1): 19–40.
- Barreto, A.M.J. P. Campilho, R.D.S.G. Moura, M.F. S.F. and Morais J.J.L (2009) Repair of Wood Trusses Loaded in Tension with Adhesively-Bonded Carbon-Epoxy Patches. *Ace-x Abstract Book*, Page 57.
- Bermejo, Suarez J.C. (2009) Tearing/Debonding as a Test for Characterization of Cohesive Laws in Adhesives. *Ace-x Abstract Book*, Page 71.
- Borsellino, C. Bella, D.B. Pollicino E. and Ruisi, V.F. (2009) Experimental and Numerical Study of Composite T-Joints for Marine Applications “*Ace-x Abstract Book*, Page 33.
- Brochu, M. and Wanjara P. (2006). Transient liquid phase bonding of Cu to Cu–W composite using an electron beam energy source. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, Volume 25, Issue 1, Pages 67–7.
- Castagnetti, D. Spaggiari, A. and Dragoni, E (2009) Failure analysis of bonded t-peel joints: efficient modelling by standard finite elements with experimental validation *Ace-x Abstract Book*, Page 55.
- Castagnetti, D. Spaggiari, A. and Dragoni E (2009) Robust Shape Optimization of the Tubular Butt Joint for Characterizing Thin Adhesive Layers under Uniform Direct and Shear Stresses “*Ace-x Abstract Book*, Page 60.

- Canyurt, O.E. and Zhang, J (2006) Pre-stressed adhesive strap joints for thick composite sandwich structures. *International Journal of Mechanical Sciences*, Volume 48, Issue 4, pp 389–399.
- Chang, B. Shi, Y. and Dong, S. (1999) Comparative studies on stresses in weld-bonded, spot-welded and adhesive-bonded joints. *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 87, pp. 230–236
- Chen, B. and Tong, L. (2009) Optimum Configuration of Adhesively Bonded Thick Adherend Lap Shear Specimen. *Ace-x Abstract Book*, Page 30.
- Da Silva, L.F. M. and Adams, R.D. (2007) Adhesive joints at high and low temperatures using similar and dissimilar adherends and dual adhesives. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, Volume 27, Pages 216–226.
- Delale, F. Erdogan F. and Aydinoglu, M.N. (1981) Stresses in adhesively bonded joints. *J. Applied Mechanics*, 48, pp. 331–338.
- Deng, J. and Lee, M.K. (2008). Effect of plate end and adhesive spew geometries on stresses in retrofitted beams bonded with a CFRP plate. *Composites: Part B*, 61(2): 123–114.
- 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.
- Dowling N.E (1999). *Mechanical Behaviour of Materials*”, *Prentice Hall*, 2. Edition, ABD.
- Fessel, G. Broughton, J.G. Fellows, N.A. Durodola, J.F. and Hutchinson A.R., (2006). Evaluation of different lap-shear joint geometries for automotive applications. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, Volume 27 pp. 574–583.
- Goglio, L. and Rossetto, M. (2009) Stress Intensity Factor in Bonded Joints: Influence of the Geometry. *Ace-x Abstract Book*, Page 69.
- Gu, X.Y. Sun, D.Q. and Liu, L (2007) Transient liquid phase bonding of TiC reinforced magnesium metal matrix composites (TiCP/AZ91D) using aluminum interlayer. *Materials Science & Engineering A*, Volume 487, Issue: 1-2, Pages: 86–92.
- 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.

- Hart-Smith L. J. (1994) The key to designing durable adhesively bonded joints. *Composites*, 25(8), pp 835–837.
- Hart-Smith L.J. (1981) Further developments in the design and analysis of adhesively bonded structural joints. *Joining of Composite Materials*, ASTM STP, 749, pp. 3–31,
- Ichikawa, K. Shin Y and 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.
- Ikegami, K. Takeshita, T. Matsuo, K. and Sugibayashi T (1990). Strength of adhesively bonded scarf joints between glass fibre-reinforced plastics and metal, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, volume 10(3), pp. 199–206.
- Khalili, M.R. and Tavakolian M. (2009). Mechanical Properties of Nanoclay Reinforced Epoxy Adhesive in Bonded Joint for Composite Material “*Ace-x Abstract Book*, Page 78.
- 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.
- Kweon, Jin-Hwe. Jung, Jae-Woo. Kim, Tae-Hwan. Choi, Jin-Ho. Kim, Dong-Hyun. (2006). Failure of carbon composite-to-aluminum joints with combined mechanical fastening and adhesive bonding. *Composite Structures*, Volume 75, pp 192–198.
- Kwon, H. and Kim H. (2006). Buckling and debond growth of partial debonds in adhesively bonded composite splice joints. *Composite Structures*, Volume 79, Issue 4, Pages 590–598.
- 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.
- Lin, G. Huang, J. and Zhang H, (2007). Joints of carbon fiber-reinforced SiC composites to Ti-alloy brazed by Ag-Cu-Ti short carbon fibers *Journal of Materials Processing Technology*, 189:256-261.
- Matous, K. and Dvorak G.J (2004) Analysis of tongue and groove joints for thick laminates. *Composites: Part B*, volume 35, pp. 609–617,

- Melogranaa, 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.
- Meyers M. A. and Chawla K. K. (1999), “Mechanical Behavior of Materials”, *Prentice Hall*,
- Mortensen, F. and Thomsen, O.T. (2002). Analysis of adhesive bonded joints, A unified 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.
- Magalhaesa, A.G. Mourab, M.F. S.F. de. Gonc-alvesc, J.P.M (2005). Evaluation of stress concentration effects in single-lap bonded joints of laminate composite materials. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 25 313–319.
- Nemes, O. and Lachaud, F. (2009). Double -Lap Adhesive Bonded -Joints Assemblies Modeling. *Ace-x Abstract Book*, Page 64.
- Oh, Je Hoon (2006). Nonlinear analysis of adhesively bonded tubular single-lap joints for composites in torsion. *Composites Science and Technology*, Volume 67, Issues 7–8, Pages 1320–1329.
- Patra, S. Ali, S.M. and Sahoo P. (2008) Elastic-plastic adhesive contact of rough surfaces with asymmetric distribution of asperity heights. *Science Direct*, Volume 265, Issues 3–4, 31 July Pages 554–559.
- Quaresimin, M. and Ricotta M. (2005) Stress intensity factors and strain energy release rates in single lap bonded joints in composite materials. *Composites Science and Technology*, Volume 66.
- Salomonsson, K. and Andersson T. (2008). Modeling and parameter calibration of an adhesive layer at the meso level. *Mechanics of Materials*, 40: 48–65.
- Sawa, T. (2009). Stress Analyses and the Strength Predictions of Bonded Shrink Fitted Joints under Push-off and Torsional Loadings. *Ace-x Abstract Book*, Page 74.
- 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.
- Temiz, Ş. Aydın, M.D. Özel, A. and Sancaktar, E.(2009). Increasing Single Lap Joint Strength by Adherend Curvature Induced Residual Stresses. *Ace-x Abstract Book*, Page 37.
- Tong, L. Sheppard, A. and Kelly D.(1995). Relationship between surface displacement and adhesive peel stress in bonded double lap joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 15, Issue 1, Pages 43–48.
- Vel , S.S. and Pelletier J.L. (2001). Multi-objective optimization of functionally graded thick shells for thermal loading . *Composite Structures* 81:386–400,
- Yamaguchi, Y. and Sato S.(1986). Stress distribution and mechanical strength of T- and L-type adhesive-bonded joints subjected to applied bending moments. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 6, Issue 2, Pages 81–87.
- You, M. Yan, Z-M. Zheng, X-L. Yu, H-Z. and Li, Z. (2007). A numerical and experimental study of gap length on adhesively bonded aluminum double-lap joint. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 27 696–702
- Yong, M. Falzon, B.G. Iannucci, L (2001). On the application of genetic algorithms for optimising composites against impact loading . *International Journal of Impact Engineering* 35:1293–1302.
- Zhang ,L. Zhang, N. Zhao, F. and Chen, Y.A.(2003) A genetic-algorithm-based experimental technique for determining heat transfer coefficient of exterior wall surface. *Applied Thermal Engineering*, Volume 24, Issues 2–3, February 2004, Pages 339–349

ÖZGEÇMİŞ

Mine USLU 02.01.1983 yılında Eskişehir ilinde doğmuştur. İlköğrenimini Şeker İlköğretim Okulun'da, orta öğrenimini Sami Sipahi Ortaokulunda tamamladıktan sonra öğrenim hayatına Yunus Emre Lisesi'nde devam etmiştir. Lisans öğrenimi Pamukkale Üniversitesi'nde 2001–2005 yılları arasında tamamlamıştır. Daha sonra Pamukkale Üniversitesi'nde Yüksek Lisans eğitimine başlamış ve aynı zamanda Doç. Dr. O. Ersel CANYURT yöneticiliğindeki TÜBİTAK projesinde Yüksek Lisans öğrenimine devam etmiştir. Şu anda Yıldız Teknik Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

