

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**CAM ELYAF TAKVİYELİ KALIN ÖRGÜ TİP DOKUMA
KOMPOZİT MALZEMELERİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE FARKLI
UÇ GEOMETRİLERİNİN YAPIŞTIRMA DAYANIMINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ONUR AVAN

DENİZLİ, EYLÜL-2019

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



CAM ELYAF TAKVİYELİ KALIN ÖRGÜ TİP DOKUMA
KOMPOZİT MALZEMELERİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE FARKLI
UÇ GEOMETRİLERİNİN YAPIŞTIRMA DAYANIMINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ONUR AVAN

DENİZLİ, EYLÜL-2019

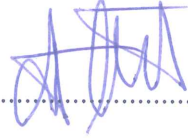
KABUL VE ONAY SAYFASI

Onur AVAN tarafından hazırlanan “**CAM ELYAF TAKVİYELİ KALIN ÖRGÜ TİP DOKUMA KOMPOZİT MALZEMELERİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE FARKLI UÇ GEOMETRİLERİNİN YAPIŞTIRMA DAYANIMINA ETKİSİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 02.09.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Olcay Ersel CANYURT
Pamukkale Üniversitesi




Üye
Prof. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU
Pamukkale Üniversitesi



Üye
Doç. Dr. Hüseyin Kürşad SEZER
Gazi Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
10/09/2019 tarih ve 36/23 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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



ONUR AVAN

ÖZET

**CAM ELYAF TAKVİYELİ KALIN ÖRGÜ TİP DOKUMA KOMPOZİT
MALZEMELERİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE FARKLI UÇ
GEOMETRİLERİNİN YAPIŞTIRMA DAYANIMINA ETKİSİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ONUR AVAN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. OLCAY ERSEL CANYURT)

DENİZLİ, EYLÜL - 2019

Bu tez çalışmasında kalın tabakalı kompozit malzemelerin, epoksi ile yapışkanlı birleştirilmesi durumunda beşgen ve sekizgen uç geometrilerinin etkisi sunulmuştur. Cam elyaf 0/90 derece açılı dokuma kumaş malzemenin polimer epoxy ile üst üste yapıştırılması ile 26 katmanlı kalın kompozit plakalar üretilmiştir. Kompozit plakaların birleştirilmesinde dil oluk yapıştırma tekniği kullanılmıştır. Dil parçasının uç bölgesinde beşgen ve sekizgen geometri ile oluşturulan tasarımlı deney numunelerine, monotonik statik çekme deneyleri uygulanmıştır. Dil parçası üzerine oluşturulan geometrik tasarımların, yapıştırma bağlantısı dayanımı üzerine etkisi incelenmiştir. Analitik ve deney sonuçları değerlendirildiğinde beşgen ve sekizgen uç tasarımının yapıştırma dayanımı üzerinde etkili olduğu değerlendirilmiştir. Analitik çalışmada sonlu elamanlar analizi paket programı Ansys kullanılmıştır. Dil ve oluk bağlantısında beşgen ve sekizgen uç profili tasarımları parametrik olarak gruplanmış ve incelenmiştir. Bu amaçla dil uç geometrisi yüksekliği ve dil uç geometrisi genişliği olarak iki parametre tanımlanmıştır. Parametrik olarak belirlenen uç profili tasarımları ile yapıştırıcı bağlantı dayanımı arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Yapışkanlı bağlantı dayanımında oluşturulan iki parametrenin etkili olduğu anlaşılmıştır. Herhangi bir geometrik profil oluşturulmayan duruma göre, beşgen tasarım uygulandığında 1,37 kat, sekizgen tasarım uygulandığında 1,51 kat kopma mukavetinde artış olduğu deneysel olarak belirlenmiştir. Beşgen ile sekizgen uç tasarımları karşılaştırıldığında, sekizgen uç profilinin yapışkanlı bağlantı dayanımında beşgen profile kıyasla 1,1 kat daha mukavemetli olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELELER: Cam elyaf takviyeli kompozitler, yapıştırma bağlantısı, uç geometrisi, bağlantı dayanımı, dil oluk birleştirme, statik çekme

ABSTRACT

THE EFFECT OF DIFFERENT TIP GEOMETRIES FOR THICK GLASSFIBER REINFORCED FABRIC COMPOSITE MATERIALS ON THE STRENGTH OF BONDED JOINTS

MSC THESIS

ONUR AVAN

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR:PROF. DR. OLCAY ERSEL CANYURT)

DENİZLİ, SEPTEMBER 2019

In this thesis, the effect of pentagonal and octagonal tip geometries of thick layered composite materials bonded with epoxy adhesive was presented. 26 layer thick composite plates was produced by bonding overlap 0/90 degree woven fabric material with polimer based epoxy. Tongue and groove joint method was used for joining composite materials. Quasi static tensile tests were applied to the designed test specimens formed with pentagonal and octagonal geometry at the end of the tongue piece. The effects of geometric design on tongue piece on the bonded joint strength were examined. When the analytical and experimental results were evaluated, the pentagonal and octagonal tip design was considered to be effective on the bonded joint strength. In the analytical study, finite element analysis program Ansys was used. The pentagonal and octagonal tip designs in the tongue and groove joint were grouped and examined parametricly. For this purpose, two parameters are defined as height of tongue geometry and width of tongue geometry. The relationship between the parameticall defined tip designs and the adhesive bonded joint strength has been demonstrated. Two parameters formed in adhesive bonded joint strength were found to be effective. According to the case where no geometric profile is formed, it has been experimentally determined that the tensile strength was increased 1,37 times for an application of pentagonal design and 1,51 times for an application of octagonal design. When the pentagonal and octagonal tip geometries were compared, it was seen that the octagonal tip profile 1,1 times stronger in adhesive bond strength than the pentagonal tip profile.

KEYWORDS: Glass-fiber reinforced composites, bonded joints, tip geometry, joint strength, tongue and groove joint, static tensile

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	xi
SEMBOLE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Literatür Özeti	2
2. KOMPOZİTLER	11
2.1 Kompozit Malzemelerin Sağladığı Avantajlar	11
2.2 Kompozitlerin Uygulama Alanları	13
2.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması ve Özellikleri	15
2.3.1 Elyaf (Fiber) Takviyeli (Tek Tabakalı) Kompozitler	15
2.3.2 Parçacıklı Kompozitler	16
2.3.3 Tabakalı Kompozitler	16
2.3.4 Karma (Hibrid) Kompozitler	18
2.4 Kompozitlerin Mekanik Özellikleri	18
3. MATERYAL VE METOT	20
3.1 Deney Numuneleri Ve Malzemeleri	20
3.2 Deney Numunelerinin Hazırlanışı ve Birleştirme	23
3.3 Deney için Kullanılan Cihaz	26
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	27
4.1 Numunelerin Gruplandırılması	27
4.2 Deney Sonuçları	35
4.2.1 Beşgen Dil Tasarımlarının Karşılaştırılması Ve Sonuçlar	36
4.2.2 Sekizgen Dil Tasarımlarının Karşılaştırılması Ve Sonuçlar	44
4.2.3 Beşgen Ve Sekizgen Dil Tasarımlarının Karşılaştırılması	53
4.3 Deney Sonuçlarına Göre Dil Tasarımlarının Karşılaştırılması	53
5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE AŞAMALARI	56
5.1 Ansys 14.0 Sonlu Elemanlar Programı Analiz Adımları.....	56
5.2 Deney Yükleriyle Yüklenmiş Ansys Modelleri ve Sonuçları.....	60
5.2.1 Beşgen Dil Tasarımlı Numunelerin Ansys Analizi.....	62
5.2.2 Sekizgen Dil Tasarımlı Numunelerin Ansys Analizi.....	75
5.3 Numuneler Üzerinde Gerilmelerin Ölçüleceği Yolların Belirlenmesi	86
5.4 Yollar Boyunca Gerilme Değişimleri.....	86
5.4.1 Beşgen Dil Tasarımlı Numunelerin Yollar Boyunca Gerilme Değişimleri	87
5.4.2 Sekizgen Dil Tasarımlı Numunelerin Yollar Boyunca Gerilme Değişimleri	90

5.5 Beşgen Dil Tasarımlı Numunelerin Kopma Kuvvetleri Ve Von Mises Gerilmeleri	93
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	98
6.1 Sonuçlar	98
6.2 Öneriler	99
7. KAYNAKLAR	101
8. ÖZGEÇMİŞ	104



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Uçağın dış kaplamasındaki malzeme kullanımı	14
Şekil 2.2: Kompozit çeşitleri.....	15
Şekil 2.3: Elyaf takviyeli kompozitler: (a) sürekli lif takviyeli (b) kesikli lif takviyeli.....	15
Şekil 2.4: Parçacıklı kompozit	16
Şekil 2.5: Tabakalı kompozit.....	17
Şekil 2.6: Sandviç kompozit paneller	17
Şekil 2.7: Karma (hibrid) kompozit	18
Şekil 3.1: Bütün numuneler için standart ölçüler.....	21
Şekil 3.2: Uç bölgesindeki tırnak uzunluğu ve tırnak genişliğinin gösterimi (a) beşgen dil tasarımı (b) sekizgen dil tasarımı	22
Şekil 3.3: Su jeti makineleri (a) normal görünüm (b) yakın görünüm.....	24
Şekil 3.4: Yapıştırma yoluyla birleştirilmiş ve taşlama ile temizlenmiş beşgen ve sekizgen dil tasarımlı numuneler.....	25
Şekil 3.5: INSTRON 8801 (100 kN) yorulma test cihazı.....	26
Şekil 4.1: Dil uç geometrisi oluşturulmayan tasarım.....	27
Şekil 4.2: Beşgen tasarımda tırnak uzunluğu 10 mm için tırnak genişliği Değişimi.....	29
Şekil 4.3: Beşgen tasarımda tırnak uzunluğu 14 mm için tırnak genişliği Değişimi.....	29
Şekil 4.4: Beşgen tasarımda tırnak uzunluğu 18 mm için tırnak genişliği değişimi	30
Şekil 4.5: Beşgen tasarımda tırnak genişliği 1 mm için tırnak uzunluğu Değişimi.....	30
Şekil 4.6: Beşgen tasarımda tırnak genişliği 2 mm için tırnak uzunluğu Değişimi.....	31
Şekil 4.7: Beşgen tasarımda tırnak genişliği 4 mm için tırnak uzunluğu Değişimi.....	31
Şekil 4.8: Sekizgen tasarımda tırnak uzunluğu 10 mm için tırnak genişliği değişimi.....	32
Şekil 4.9: Sekizgen tasarımda tırnak uzunluğu 14 mm için tırnak genişliği değişimi.....	32
Şekil 4.10: Sekizgen tasarımda tırnak uzunluğu 18 mm için tırnak genişliği değişimi.....	33
Şekil 4.11: Sekizgen tasarımda tırnak genişliği 1 mm için tırnak uzunluğu değişimi.....	33
Şekil 4.12: Sekizgen tasarımda tırnak genişliği 2 mm için tırnak uzunluğu değişimi.....	34
Şekil 4.13: Sekizgen tasarımda tırnak genişliği 4 mm için tırnak uzunluğu değişimi.....	34
Şekil 4.14: Çekme gerilmesi sırasında oluşan deformasyon bölgeleri.....	35
Şekil 4.15: Çekme gerilmesi sırasında oluşan deformasyonlar.....	36

Şekil 4.16: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A01 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	36
Şekil 4.17: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A02 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	37
Şekil 4.18: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A03 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	37
Şekil 4.19: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm için değişen tırnak genişliğinin kopma mukavemetine etkisi.....	38
Şekil 4.20: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A04 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	38
Şekil 4.21: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A05 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	38
Şekil 4.22: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A06 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	39
Şekil 4.23: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm için değişen tırnak genişliğinin kopma mukavemetine etkisi.....	39
Şekil 4.24: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A07 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	40
Şekil 4.25: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A08 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	40
Şekil 4.26: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A09 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	40
Şekil 4.27: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm için değişen tırnak genişliğinin kopma mukavemetine etkisi.....	41
Şekil 4.28: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu (a) ve tırnak genişliğinin (b) kopma mukavemetine etkisi (a sabit).....	41
Şekil 4.29: Beşgen dil tasarımında tırnak genişliği 1 mm için değişen tırnak uzunluğunun kopma mukavemetine etkisi.....	42
Şekil 4.30: Beşgen dil tasarımında tırnak genişliği 2 mm için değişen tırnak uzunluğunun kopma mukavemetine etkisi.....	42
Şekil 4.31: Beşgen dil tasarımında tırnak genişliği 4 mm için değişen tırnak uzunluğunun kopma mukavemetine etkisi.....	43
Şekil 4.32: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu (a) ve tırnak genişliğinin (b) kopma mukavemetine etkisi (b sabit).....	44
Şekil 4.33: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B01 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	44
Şekil 4.34: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B02 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	45
Şekil 4.35: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B03 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	45
Şekil 4.36: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm için değişen tırnak genişliğinin kopma mukavemetine etkisi.....	46
Şekil 4.37: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B04 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	46
Şekil 4.38: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B05 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	47
Şekil 4.39: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B06 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	47
Şekil 4.40: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm için değişen tırnak genişliğinin kopma mukavemetine etkisi.....	48

Şekil 4.41: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B07 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	48
Şekil 4.42: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B08 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	49
Şekil 4.43: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B09 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar.....	49
Şekil 4.44: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm için değişen tırnak genişliğinin kopma mukavemetine etkisi.....	50
Şekil 4.45: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu (a) ve tırnak genişliğinin (b) kopma mukavemetine etkisi (a sabit).....	50
Şekil 4.46: Sekizgen dil tasarımında tırnak genişliği 1 mm için değişen tırnak uzunluğunun kopma mukavemetine etkisi.....	51
Şekil 4.47: Sekizgen dil tasarımında tırnak genişliği 2 mm için değişen tırnak uzunluğunun kopma mukavemetine etkisi.....	51
Şekil 4.48: Sekizgen dil tasarımında tırnak genişliği 4 mm için değişen tırnak uzunluğunun kopma mukavemetine etkisi.....	52
Şekil 4.49: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu (a) ve tırnak genişliğinin (b) kopma mukavemetine etkisi (b sabit).....	52
Şekil 4.50: Tırnak uzunluğu 10 mm ve değişen tırnak genişliği için beşgen ve sekizgen dil tasarımlarının kopma mukavemetine etkisi.....	54
Şekil 4.51: Tırnak uzunluğu 14 mm ve değişen tırnak genişliği için beşgen ve sekizgen dil tasarımlarının kopma mukavemetine etkisi.....	54
Şekil 4.52: Tırnak uzunluğu 18 mm ve değişen tırnak genişliği için beşgen ve sekizgen dil tasarımlarının kopma mukavemetine etkisi.....	54
Şekil 4.53: Tırnak genişliği 1 mm ve değişen tırnak uzunluğu için beşgen ve sekizgen dil tasarımlarının kopma mukavemetine etkisi.....	55
Şekil 4.54: Tırnak genişliği 2 mm ve değişen tırnak uzunluğu için beşgen ve sekizgen dil tasarımlarının kopma mukavemetine etkisi.....	55
Şekil 4.55: Tırnak genişliği 4 mm ve değişen tırnak uzunluğu için beşgen ve sekizgen dil tasarımlarının kopma mukavemetine etkisi.....	55
Şekil 5.1: Kompozit malzemenin değerlerinin girilmesi.....	57
Şekil 5.2: Yapıştırıcı malzemenin değerlerinin girilmesi.....	57
Şekil 5.3: Mesh işlemi öncesi malzeme özelliklerinin belirlenmesi.....	58
Şekil 5.4: Mesh için eleman boyutunun girilmesi.....	58
Şekil 5.5: Bağlantı yönteminin belirlenmesi.....	59
Şekil 5.6: Sabitlenmiş ve yüklenmiş meshli numune modeli.....	60
Şekil 5.7: Beşgen dil tasarımı için tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 1 mm (A01 numunesi) meshli modeli.....	60
Şekil 5.8: Sekizgen dil tasarımı için tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 1 mm (B01 numunesi) meshli modeli.....	61
Şekil 5.9: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 1 mm (A01 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	63
Şekil 5.10: Beşgen dil tasarımında a=10 mm ve b=1 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	63
Şekil 5.11: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 2 mm (A02 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	64
Şekil 5.12: Beşgen dil tasarımında a=10 mm ve b=2 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	65

Şekil 5.13: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 4 mm (A03 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	66
Şekil 5.14: Beşgen dil tasarımında a=10 mm ve b=4 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenine boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	66
Şekil 5.15: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm ve tırnak genişliği 1 mm (A04 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	67
Şekil 5.16: Beşgen dil tasarımında a=14 mm ve b=1 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenine boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	68
Şekil 5.17: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm ve tırnak genişliği 2 mm (A05 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	69
Şekil 5.18: Beşgen dil tasarımında a=14 mm ve b=2 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenine boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	69
Şekil 5.19: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm ve tırnak genişliği 4 mm (A06 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	70
Şekil 5.20: Beşgen dil tasarımında a=14 mm ve b=4 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenine boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	70
Şekil 5.21: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm ve tırnak genişliği 1 mm (A07 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	71
Şekil 5.22: Beşgen dil tasarımında a=18 mm ve b=1 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenine boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	72
Şekil 5.23: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm ve tırnak genişliği 2 mm (A08 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	73
Şekil 5.24: Beşgen dil tasarımında a=18 mm ve b=2 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenine boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	73
Şekil 5.25: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm ve tırnak genişliği 4 mm (A09 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	74
Şekil 5.26: Beşgen dil tasarımında a=18 mm ve b=4 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenine boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	74
Şekil 5.27: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 1 mm (B01 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	75
Şekil 5.28: Sekizgen dil tasarımında a=10 mm ve b=1 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenine boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	76
Şekil 5.29: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 2 mm (B02 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	77
Şekil 5.30: Sekizgen dil tasarımında a=10 mm ve b=2 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenine boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	77
Şekil 5.31: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 4 mm (B03 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	78
Şekil 5.32: Sekizgen dil tasarımında a=10 mm ve b=4 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenine boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	79

Şekil 5.33: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm ve tırnak genişliği 1 mm (B04 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	80
Şekil 5.34: Sekizgen dil tasarımında a=14 mm ve b=1 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	80
Şekil 5.35: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm ve tırnak genişliği 2 mm (B05 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	81
Şekil 5.36: Sekizgen dil tasarımında a=14 mm ve b=2 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	81
Şekil 5.37: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm ve tırnak genişliği 4 mm (B06 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	82
Şekil 5.38: Sekizgen dil tasarımında a=14 mm ve b=4 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	82
Şekil 5.39: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm ve tırnak genişliği 1 mm (B07 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	83
Şekil 5.40: Sekizgen dil tasarımında a=18 mm ve b=1 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	83
Şekil 5.41: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm ve tırnak genişliği 2 mm (B08 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	84
Şekil 5.42: Sekizgen dil tasarımında a=18 mm ve b=2 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	84
Şekil 5.43: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm ve tırnak genişliği 4 mm (B09 numunesi) için von Mises gerilmesi.....	85
Şekil 5.44: Sekizgen dil tasarımında a=18 mm ve b=4 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri.....	85
Şekil 5.45: Numune üzerinde oluk boyunca yollar.....	86
Şekil 5.46: Beşgen dil tasarımı tırnak genişliği b=1 mm için Yol 5 boyunca gerilme değerleri.....	87
Şekil 5.47: Beşgen dil tasarımı tırnak genişliği b=1 mm için Yol 3 boyunca gerilme değerleri.....	87
Şekil 5.48: Beşgen dil tasarımı tırnak genişliği b=2 mm için Yol 5 boyunca gerilme değerleri.....	88
Şekil 5.49: Beşgen dil tasarımı tırnak genişliği b=2 mm için Yol 4 boyunca gerilme değerleri.....	88
Şekil 5.50: Beşgen dil tasarımı tırnak genişliği b=4 mm için Yol 3 boyunca gerilme değerleri.....	89
Şekil 5.51: Beşgen dil tasarımı tırnak genişliği b=4 mm için Yol 7 boyunca gerilme değerleri.....	89
Şekil 5.52: Sekizgen dil tasarımı tırnak genişliği b=1 mm için Yol 5 boyunca gerilme değerleri.....	90
Şekil 5.53: Sekizgen dil tasarımı tırnak genişliği b=1 mm için Yol 4 boyunca gerilme değerleri.....	90
Şekil 5.54: Sekizgen dil tasarımı tırnak genişliği b=2 mm için Yol 3 boyunca gerilme değerleri.....	91

Şekil 5.55: Sekizgen dil tasarımı tırnak genişliği $b=2$ mm için Yol 7 boyunca gerilme değerleri.....	91
Şekil 5.56: Sekizgen dil tasarımı tırnak genişliği $b=4$ mm için Yol 5 boyunca gerilme değerleri.....	92
Şekil 5.57: Sekizgen dil tasarımı tırnak genişliği $b=4$ mm için Yol 1 boyunca gerilme değerleri.....	92
Şekil 5.58: Tırnak uzunluğu $a=10$ mm için kopma kuvveti sonuçları.....	93
Şekil 5.59: Tırnak uzunluğu $a=10$ mm için von Mises sonuçları.....	93
Şekil 5.60: Tırnak uzunluğu $a=14$ mm için kopma kuvveti sonuçları.....	94
Şekil 5.61: Tırnak uzunluğu $a=14$ mm için von Mises sonuçları.....	94
Şekil 5.62: Tırnak uzunluğu $a=18$ mm için kopma kuvveti sonuçları.....	94
Şekil 5.63: Tırnak uzunluğu $a=18$ mm için von Mises sonuçları.....	95
Şekil 5.64: Tırnak uzunluğu $a=10$ mm için kopma kuvveti sonuçları.....	95
Şekil 5.65: Tırnak uzunluğu $a=10$ mm için von Mises sonuçları.....	95
Şekil 5.66: Tırnak uzunluğu $a=14$ mm için kopma kuvveti sonuçları.....	96
Şekil 5.67: Tırnak uzunluğu $a=14$ mm için von Mises sonuçları.....	96
Şekil 5.68: Tırnak uzunluğu $a=18$ mm için kopma kuvveti sonuçları.....	96
Şekil 5.69: Tırnak uzunluğu $a=18$ mm için von Mises sonuçları.....	97

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Malzemelerin mekanik özellikleri	19
Tablo 3.1: Kompozit malzemenin mekanik dayanım özellikleri.....	20
Tablo 3.2: Yapıştırıcının mekanik ve fiziksel özellikleri.....	21
Tablo 3.3: Beşgen ve sekizgen dil tasarımlarının ölçüleri	23
Tablo 4.1: Gruplandırma ve numunelere verilen isimler	28
Tablo 5.1: Beşgen uç tasarımında kopma kuvvetleri.....	61
Tablo 5.2: Sekizgen uç tasarımında kopma kuvvetleri	62



SEMBOL LİSTESİ

a	: Beşgen ve sekizgen dil tasarımlarında tırnak uzunluğu
b	: Beşgen ve sekizgen dil tasarımlarında tırnak genişliği
kN	: Kilo Newton
MPa	: MegaPascal
σ_{von}	: Von Mises gerilmesi, N/mm ²
R	: Çap, mm
σ	: Normal gerilme, N/mm ²
F	: Kuvvet, N
S	: Numune üzerindeki yol boyu, mm



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli ve danışman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren Prof. Dr. Olcay Ersel CANYURT'a teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum. Beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan aileme sonsuz teşekkürler. Ayrıca eşime de bu zorlu süreçte sabırla her an yanımda olduğu için çok teşekkür ediyorum.

1. GİRİŞ

Günümüzde gemi yapımından bina yapımına, ev aletleri üretiminden uzay teknolojisine kadar birçok alanda yaygın bir kullanım alanı olan kompozit malzemenin üretimi son birkaç yüz yıla dayandırılmış olsa da ilk örnekleri çok daha eskilere dayanmaktadır. Kompozit malzeme kavramının ortaya çıkması ve bir mühendislik konusu olarak incelenmesi ancak 1940'lı yılların başında mümkün olmuştur. Çok bileşenli malzemenin ilk örnekleri, doğada bulunan malzemeye yapılan müdahalelerle onun kullanılabilir hale getirilmeye başlandığı aşamadır. İlk çağlardan beri insanlar kırılabilir malzemelerin içine bitkisel veya hayvansal lifler koyarak bu kırılabilirlik özelliğinin giderilmesine uğraşmışlardır. Bu duruma en iyi örneklerden biri kerpiç malzemedir. Kerpiç üretiminde killi çamur içine katılan saman, sarmaşık dalları gibi sap ve lifler, malzemenin hem üretim hem de kullanım sırasındaki dayanımını artırmaktadır. Diğer yandan, günümüzde kompozit malzemenin oluşturulmasında yaygın olarak kullanılan liflerle ilgili uygulamanın da epey eskiye dayandığı eldeki bulgulardan anlaşılmaktadır. Örnek olarak; cam liflerinin üretimi, eski Mısır'a dayanmaktadır. Daha M.Ö 1600 yıllarında Mısır'da ince cam liflerinin yapımının bilindiği, XVIII. Hanedan devrinden kalan, çeşitli renkte cam lifleriyle bezenmiş amforaların mevcudiyetinden anlaşılmaktadır. Cam sanayide kullanımıyla ilgili ilk tespit, 1877 tarihlidir. Hidrolik bağlayıcılar ve elyaf malzeme kullanılarak yapay taş plakaların üretilmesi yöntemi hakkında 18. yüz yılın başında alınmış patentlere rastlanmaktadır. Günlük uygulamalarda en fazla kullanım olanağı bulmuş liflerle donatılmış kompozit malzemelerden ikisi, asbest lifleriyle donatılmış kompozit malzemeler ve cam lifleriyle donatılmış poliyester kompozitlerdir. İlk kez ince levha yapımında kullanılan çimento ve asbest kompozitleri yıllarca önemini koruyarak günümüzde hala kullanılan bir malzeme olma özelliğini sürdürmektedir. Diğer taraftan, liflerle donatılmış sentetik reçineler 1950'li yılların ortalarından beri endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Bu reçinelerin en tanınmış grubunu "cam lifi donatılmış poliyester reçinesi kompoziti" oluşturmaktadır. Ülkemizde "cam-elyaf" diye bilinen bu malzeme 1960'lı yılların başından beri sıvı depoları, çatı levhaları ve yat yapımı gibi alanlarda kullanılmıştır. Ülkemizde seri üretimi yapılmış ilk yerli otomobil olan Anadol'un kaportası bu malzemeden üretilmiştir.

Cam lifleriyle donatılı sentetik reçine matrisli malzemeler için dilimizde “Cam Takviyeli Plastik (CTP)” adı yerleşmiştir. Cam takviyeli plastiklerin üretiminde, en fazla kullanılan malzeme olan polyester dışında günümüzde, diğer termoset ve termoplastik reçineler de kullanılmaktadır.

1.1. Tezin Amacı

Günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılan kompozit malzemelerden, kalın örgü tip dokuma cam elyaf takviyeli kompozit malzeme kullanılarak su jeti yöntemiyle dil ve oluk parçaları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu parçalar yapıştırma yöntemiyle birleştirilerek tek parça numuneler elde edilmiştir. Bu numuneler birbirlerinden farklı dil tasarımlarına sahiptir. Temel olarak beşgen ve sekizgen olarak iki farklı tasarım mevcuttur ancak bu tasarımlarda sadece uç geometride ölçüler değiştirilerek toplamda 18 numune elde edilmiştir. Bu numunelerin hepsi çekme gerilmesine tabi tutulmuştur. Uygulanan bu yöntemdeki amaç numunelerde meydana gelen kopma dayanımlarını ve hasar durumlarını kıyaslamaktır. Kalın tabakalı cam fiber kompozit malzemenin 9000 serisi epoksi yapıştırıcı kullanılarak, monotonik statik çekme deneyi altında, dil uç bölgesinde oluşturulan geometri tasarım değişikliğinin yapışkanlı bağlantı dayanımını üzerine etkisi analitik ve deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan tez ile beraber kopma dayanımı daha iyi dil tasarımının belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.2. Literatür Özeti

Lim G.H., ve diğ. (2018) bu çalışmada esnek epoksi yapıştırıcı özelliklerinin periyodik yükleme altında ve kompozit hibrid bağlantıları üzerinde denk etkisi incelenmiştir. Bu çalışma iki yönlüdür. Birincisi, yapıştırma gerilmesi değişikliğinin kitle yapıştırıcı incelemesi üzerinde periyodik çekme testleridir. Sonuçlar göstermiştir ki plastik deformasyonun birikmesiyle genlik ve sünme gerilmesi gittikçe azalmıştır. Yükleme döngüsü devam ettikçe; gerilme/gerinme, birbirine doğru hareket eden kısıtlayıcı bu birikmeye cevap vermiştir. Sonuç olarak, periyodik gerilme testleri hibrid bağlantılarda uygulanmıştır. Yapıştırıcı özelliklerinin davranışının bahsi geçen konuda katkısı, yük paylaşımının bir noktada birleşimine

ulaşana kadar gittikçe arttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma periyodik yükleme altında esnek yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin değişimini anlama üzerine katkı sağlamıştır ve hibrid bağlantı uygulamalarında onların potansiyelini daha fazla desteklemiştir.

Ghorbani, Amir (2018) kompozit yapıların dikkate değer özellikleri ile birlikte, mekanik ya da yapıştırma bağlantısı sağlayarak farklı parçaların montajında ve hasar görmüş bölgelerin onarımında sıklıkla kullanıldığını söylemiştir. Kalıcı bağlantı teknikleri arasından yapıştırma bağlantısının en etkili ve yaygın olarak kullanılan teknik olduğunu belirtmiştir. Bağlantıda oluşan gerilme analizi dağılımı, mühendislik dayanım ölçütlerini geliştirmeyi amaçlamakla birlikte bunun için çaba gösterilen bu araştırmanın en önemli alanı olduğunu söylemiştir. Bu çalışmanın amacı, çekme yüklemesi altında tek etkili ve ek yerine sahip bağlantıların üzerlerinde oluşan gerilme alanlarının belirlenmesidir. Bu iki boyutsal nümerik analiz sonlu eleman metodu yardımıyla yapılmış ve gelişmiş analitik çözüm, sonuçların karşılıklı ilişkini anlamak için uygulanmıştır. Yapıştırma kalınlığı, örtüşen uzunluk ve ek açısı bağlantı geometri parametreleri olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerin yapıştırma bağlantılarının kırılma davranışı üzerine etkisi değerlendirilmiştir.

Bai, Ruixiang ve diğ. (2017) sonlu elemanlar metodu ile birleştirilen hibrid ters çevirme metodu ve tam alan yer değiştirme bilgisi kompozit tek tur birleştirme bağlantısında yapıştırıcı ara yüzey gerilmesini analiz etmek için önerilmiştir. Çakışık kompozit plakanın dış yüzeyi için yer değiştirme alan dağılımı farklı zamanlarda çekme testleri uygulanarak iki boyutlu dijital görüntü alma metoduyla ölçüldü. Aynı zamanda yapısal deformasyon özellikleri üzerinde bilgi sağlayan tek tur birleştirme bağlantısının sonlu elemanlar analizi uygulandı. Sonra, iç ve dış yüzey arasındaki yer değiştirme ilişkisini bulmak için polinomiyal interpolasyon metodu kullanılmıştır. Plakanın iç yüzey yer değiştirmesi, polinomiyal fonksiyon kullanılarak plakanın dış yüzeyinin ölçülen yer değiştirme bilgisinden hesaplanabilir. Plakanın iç yüzeyinin yer değiştirmesi, yapıştırıcı tabakanın sonlu elemanlar modelini bulmak için plakanın iç ve dış yüzeyleri için yer değiştirme yükleme durumları olarak kabul edilir. Hibrid ters çevirme metodunun geçerliliği, sonlu elemanlar metodu analizi ve tecrübeleriyle ispatlanmıştır.

Akpınar, İclal Avinç ve diğ. (2017) bu çalışmada nanopartiküller yapıştırma ile bağlı tek etkili kompozit bağlantıların hasar yüklemelerini artırmak için yapıştırılarak eklenmiştir ve bu bağlantıların çekme ve bükme momentlerinin hasar yüklemeleri deneysel olarak bulunmuştur. Çalışmada düz dokuma karbon-fiber takviyeli kompozit (0/90 derece) kullanılmıştır, yapıştırıcı olarak rijit sert ve esnek yapıştırıcı çeşidi olan yapıştırıcı kullanılmıştır ve %1 grafen karbonsilik asit, karbon nanotüp karbonsilik asit ve karbon allotrobu C60 nanopartiküller olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak, AA2024-T3 alüminyum alaşımına dayalı Akpınar'ın liderliğinde yürütülen bu çalışmada yapıştırılan olarak karbon elyaf takviyeli kompozitin kullanımıyla yapıştırma cinsine bağlı olarak bağlantının hasar yükü önemli ölçüde arttığı görülmüştür.

Fernandez, Garbine ve diğ. (2017) araştırma çalışmasında ana deneysel süreçler kullanarak bağlantı dayanımını tanımlamışlardır. Kalıplar farklı koşullardaki hem yarı statik ve hem de yorulma yüklemelerine bağlı kalmıştır. Deneysel çalışma sürecinde geçen değişken durumu ortaya koymak için, olasılık yaklaşımı en uygun hata kriteri tanımlanmıştır. Dayanım tahmini metodu, sadece gerilme dağılımının genliğinin değil aynı zamanda da bu olaya etki eden hacim artışının malzemenin dayanımında statiksel boyut etkisi olduğunu belirlenmiştir. Hem yarı statik hem de yorulma sonuçları, iyi sonuçlar elde edilecek uygun araçlar kullanılarak analiz edilmiştir.

Lopez-Cruz, Pedro ve diğ. (2017) bu çalışmanın amacı hibrid bağlantı kuvvetleri üzerinde tasarım tecrübe metodunu uygulayarak nicel bakımdan birçok faktörün etkisini değerlendirmektir. Çalışma faktörleri; yapıştırılan kalınlığını, yapıştırma modülünü, yapıştırıcı kalınlığını, yapışma alanı ve civata deliği açıklığını içerir. Hibrid bağlantıların, çözülebilir veya çözülemeyen bağlantılardan daha güçlü olduğu ve hibritlenmenin deneysel olarak yakalanması nedeniyle çatlak önleme kabiliyetlerinin de daha iyi olduğu bulunmuştur. En sonunda, ANOVA sonuçları göstermiştir ki hibrid bağlantı kuvveti esas olarak yapıştırılan kalınlığı, yapıştırıcı, mekanik özellikler ve civata deliği açıklığına bağlı olduğu görülmüştür.

Budhe, S. ve diğ. (2017) bu çalışmada kompozit malzemelerde birleştirme bağlantısının, 2009-2016 yılları arasında yayımlanan makaleleri kapsayan güncel incelemesi sunulmuştur. Yapıştırma bağlantısının performansına etki eden ana

parametreler: yüzey işleme, bağlantı konfigürasyonu, geometri ve malzeme parametreleri, hasar modu, birleştirme öncesi nem, nem ve sıcaklık gibi çevresel faktörler tartışılmıştır. Yapıştırma bağlantılarının dayanımını nasıl etkiledikleri incelenmiştir. Birçok eksiklikler son yıllarda geliştirilen yeni malzemeler, yeni metotlar ve yeni modellerle giderilmiştir. Kompozit birleştirme bağlantısında en iyi performansı verecek, parametrelerin en uygun kombinasyonunu değerlendirmek ve belirlemek için seçeneklerin olduğu belirtilmiştir.

Canyurt, O.E ve Meran, C. (2012) yapılan bu çalışmada katılaştırılmış epoksi yapıştırıcıyla birleştirilmiş dil ve oluk birleştirmenin yorulma davranışını incelemiştir. Eksenel devirli testler farklı tasarım yapı durumları tarafından uygulandı ve tasarım parametrelerinin etkileri değerlendirilmiştir. Yorulma yükü altında yapıştırıcının bağlantı dayanımı; bağlantı yüzeyi uzunluğu, yapışma kalınlığı, birleştirme yüzeyi üzerindeki serbest uç boyunca ön gerilme ve birleştirilen parçaların malzemesi gibi birçok faktörden etkilenmiştir. Çünkü bütün bu faktörler yapıştırılan parçaların yorulma dayanımlarını etkilemiştir, bu parametrelerin etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışma yapıştırıcı ile birleştirilmiş E Sınıfı cam vinil ester kalın dokuma tip kompozit tabakaların artan yorulma dayanımı durumunda genetik algoritmanın temeli olan tahmini araştırma sürecinin kullanımını tanımlamaktadır. Dil ve oluk birleştirmeleri için genetik algoritma yorulma dayanımı tahmini modeli yapıştırılmış bağlantıların yorulma dayanımını ifade etmek için geliştirilmiştir. Geliştirilmiş tasarımlar deneysel verilerle doğrulanmıştır. Dayanıklı yapışkanlı bağlantının, uygun tasarım parametreleri seçilerek başarılabilirliği ifade edilmiştir. Logaritmik yorulma dayanımının, kompozit malzemenin yerine alüminyum EN AW 5083 kullanıldığında 2.46 kat arttığı görülmüştür. Uygun tasarım parametreleri seçildiğinde bağlantı yorulma dayanımının önemli ölçüde geliştirdiği belirlenmiştir.

He, Xiaocong (2011)'un yaptığı çalışmada yapıştırma bağlantılarının sonlu elemanlar metodu ile analizi konusunda geçmiş araştırmalar tartışılmıştır. Bölümler ise statik yükleme analizi, çevresel etkilere karşı davranışlar, yorulma yüklemesi analizleri ve yapıştırma birleştirmelerinin dinamik karakteristiğidir. Çalışmada; yapıştırma bağlantılarının sonlu elemanlar analizinin; başarılı bir bağlantı üretimi için, olabildiğince geniş bir proses penceresi veren sistem parametrelerinin seçilebilmesine olanak sağlayarak yapıştırma işleminin gelecekteki uygulamalarına

katkıda bulunacağı söylenmiştir. Bunun birçok farklı tasarımı simüle ederek uzun ve yapılması çok zor olan testler yapmadan uygun tasarımın seçilmesinde etkili olacağı anlatılmıştır.

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

İşcan, B. ve diğ. (2009)'nin yaptığı çalışmada Z şeklinde bükülmüş ve değişik yapıştırıcılarla yapıştırılmış çelik sacların gerilme analizi yapılmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı 0,20 mm ve bindirme açısı $a=45^\circ$ alınarak b bindirme mesafesi değiştirilip analiz gerçekleştirilmiştir. Analizde sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Bu metodun en yaygın kullanılan programı olan Ansys 10 tercih edilmiştir. Analiz sonuçları ile deneysel sonuçlar grafiklerle karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça iyi bir uyum gösterdiği gözlenmiştir.

Campilho, R.D. ve diğ. (2009), çalışmalarında üç boyutlu karbon-epoksi kompozitlerin tek ve çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının gerilme davranışlarını deneysel ve nümerik olarak analiz etmişlerdir. Deneysel olarak yapılan çalışmada farklı bindirme uzunlukları ve kapak kalınlıklarının hasar modu, rijitlik ve hasar yüküne etkisi araştırılmıştır. Düzeltme sonrası bağlantının davranışını anlamak için, rijitlik ve kapağı yüzeyden kaldıracak yükleri verecek şekilde nümerik simülasyon yapılmıştır. Sünek yapıştırıcının mekanik özelliklerinin belirlenmesinde Mod I, Mod

II ve karışık modlu kohesif hasar modelini içeren kohesif elemanlar kullanılmıştır. Yapılan çalışmada en iyi sonuçlar 15 mm bindirme uzunluğundaki çift takviyeli kapaklar üzerinde oluşmuştur. Öbür yandan kapak kalınlığının dayanım üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı gözlemlenmiştir.

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

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

Temiz Ş. ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmada tek bindirme bağlantı geometrisini, yapıştırma geometrileri arasında en yaygın olanı olarak kabul etmişlerdir. Bu bağlantı tipinde, soyulma direnci, yükleme eksantrikliğinden dolayı birleşmenin sonunda meydana gelir ve yapıştırma yüzeyinin sonunda kesme gerilmesi oluşur. Birleşmenin, boyuna eksenindeki yanal gerilme boyunca meydana

gelen soyulma direnci ve yapışkan kesme gerilmesi, bağlantıda hata oluşmasına neden olur. Bu oluşan gerilmelerdeki azalmalar, yükleme kapasiteleri artırılarak ve daha yüksek bağlantı gerilmeleri ile önlenebilir. Araştırmacılar, başlangıçta değişken yay uzunluklu eğri parçaları formunda elastik kabiliyetli metal yapışkan yüzeyler kullanmışlardır. Kavisli bölümleri olan bu yüzeyler yapıştırılmadan önce, düz üst üste binen bölge elde etmek amacıyla kavisli bölümleri düzleştirecek kadar yapıştırma basıncı ile tekli bindirme geometrisinde birleştirilmiştir. Yapıştırılmış elastik metalin eski haline dönme eğiliminden dolayı birleştirme alanındaki yapışkan tabakalarda artık gerilmeler meydana gelmektedir. Bu yeni artık gerilmeler sonlu elemanlar metoduyla modellenmiştir. Birleştirmenin sonuna eğilme momenti uygulanması durumuna ait analiz de başarıyla yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizinin sonuçları, etkin eğilme momenti tarafından oluşturulan artık gerilmelerin ve yükleme kapasitelerinin etkilerini vermiştir. Araştırmacılar bu artık gerilmelerin tekli bindirmedeki gerilmelerle karşılaştırıldığında yükleme kapasitesinin oldukça arttığını kabul etmişlerdir.

Karakaya, Ş. (2008) Polimer matrisli kompozit malzemelerin hafiflikleri ile beraber üstün dayanım ve rijitliklerinden dolayı hava ile uzay yapıları, otomotiv ve denizcilik endüstrilerinde kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu malzemelerden yapılan yapılar; hem birbirleriyle hem de diğer yapı elemanlarıyla bağlantıları gibi çeşitli avantajlarından dolayı yapıştırılarak birleştirilmektedir. Bu çalışmada epoksi yapıştırıcıyla birleştirilmiş polimer matrisli dokumalı kompozitlerin eğilme halindeki davranışı deneysel olarak araştırılmış ve sonlu eleman modellemesi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan yapıştırıcı BMS 5-101 tipi film yapıştırıcıdır ve kullanılan dokuma cam kompozit 0/45/90/-45 şeklinde yerleştirilmiştir. Sonlu eleman modeli ile; yapışmış elemanlardaki gerilmeler, oluşacak hasar durumları incelenmiş ve sonuçlar deneysel çalışma ile karşılaştırılmıştır. Tek bindirme olarak yapıştırılmış dokumalı kompozit yapının yapıştırma bölgesindeki kayma gerilmesinin hasara olan etkisi incelenmiştir. Uç nokta eğme deneyi esnasında numunede oluşan eğrilik yarıçapı belirlenmiş, oluşan hasarın kritik eğrilik yarıçapı ile olan ilişkisi araştırılmıştır. Aynı zamanda yapıştırma bölgesi yakınında oluşan kayma gerilmeleri tabaka yerleşim durumuna bağlı olarak karşılaştırılmıştır.

Kim, K.S. (2007), yaptıkları çalışmada tekil bağlantı tipli kompozitlerin hata tahmini için bir yöntem sunmuşlardır. Sunulan bu yöntemde hem yapıştırıcı, hem de

bağlantı hataları 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 başlama metodu ve parametreleri ile bağlantı modelleri için çok iyi uyuşma 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.

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

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

azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca malzeme sertliği ve esnekliğinin de yapışma üzerine önemli etkisi olduğu bulunmuştur.

Matous, Karel ve Dvorak, George J. (2004) yapıştırıcı ve yapıştırılan içindeki bölgesel gerilmelerin sonlu eleman değerlendirilmesi, homojenize kalın kompozit tabaların çelik yüzeyine olan dil ve oluk birleştirmesi için sunuldu. Yarı eş yönlü tabakalar, vinil ester cam elyaf tabakalardan yapılmıştır. Birçok sonuç son deneylerde kullanılan Dexter-Hysol 9338 yapıştırıcısının elastik tepkisi için elde edilmiştir. Doğrusal olmayan viskoelastik yapıştırıcı da FM-73 sistemi üzerinden deneysel olarak alınan açıklayıcı özellikler ile belirlenmiştir. Hem yüzey içindeki kuvvet sonuçları hem de yüzey dışındaki moment uygulamalı yükler içermiştir. Yüzey kalınlığına bağlı olarak elastik sonuçların ölçüsü, toplam gerilmelerin verilen seviyesinin yapıştırılan yüzeylere uygulandığını, gerilmelerin yüzey kalınlığına bağlı olmadan yapıştırıcı tarafından desteklendiğini göstermiştir. Yapıştırma gerilmesi azalmasının küçüğe yakın ve kısa zaman aralıklarında olduğu gösterilmiştir.

2. KOMPOZİTLER

Kompozit malzemeler; belirli bir amaca yönelik olarak en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle meydana gelen malzeme grubudur. Üç boyutlu nitelikteki bu bir araya getirmede amaç, bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir anlatımla, hedeflenen doğrultuda bileşenlerden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi amaçlanmaktadır.

Kompozit malzemedeki genelde dört koşul aranmaktadır:

- İnsan yapısı olmaması, dolayısıyla doğal bir malzeme olması,
- Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı belirli ara yüzeylerle ayrılmış en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmiş olması,
- Farklı malzemenin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması,
- Bileşenlerin hiçbirinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması.

Buna göre malzeme, mikroskobik açıdan heterojen bir malzeme özelliği göstermekte fakat makroskobik açıdan homojen bir malzeme gibi davranmaktadır.

2.1 Kompozit Malzemelerin Sağladığı Avantajlar

- Yüksek mukavemet: Kompozit malzemeler yüksek mukavemet değerleri sağlayan malzemeler arasında en önemli olanlardan birisidir.
- Hafiflik: Kompozit malzemeler birim alan ağırlığında hem takviyesiz plastiklere, hem de metallere göre daha yüksek mukavemet değerleri göstermektedir.
- Tasarım esnekliği: Kompozit malzemeler bir tasarımcının düşünebileceği her türlü karmaşık, basit, geniş, küçük, yapısal, estetik, dekoratif ya da fonksiyonel amaçlı olarak tasarlanabilir.
- Boyutsal stabilite: Çeşitli mekanik, çevresel baskılar altında termoset kompozit ürünler şekillerini ve işlevselliklerini muhafaza etmektedir.
- Yüksek Dielektrik Direnimi: Kompozit malzemelerin göze çarpan elektrik yalıtım özellikleri, birçok komponentin üretimi konusunda açık bir tercih nedenidir.

- Korozyon dayanımı: Kompozit malzemelerin antikorrozif özelliği, diğer üretim malzemelerinden üstün olan niteliklerinden biridir.
- Kalıplama kolaylığı: Kompozit malzemeler, çelik türündeki alışıl gelmiş malzemelerde karşılaşılan birçok parçanın birleştirilmesi ve sonradan monte edilmesi işlemini tek parçada kalıplama olanağı ile ortadan kaldırmaktadır.
- Yüzey uygulamaları: Kompozit malzemelerde kullanılan polyester reçine, özel pigment katkıları ile renklendirilmek suretiyle, amaca uygun kendinden renkli olarak da üretilebilir.
- Şeffaflık özelliği: Kompozit malzemeler, cam kadar ışık geçirgenliğine sahip olabilir. Tam şeffaf olması ile ışığı yayması sayesinde, diffüze ışığın önem kazandığı seralarda ve güneş kolektörü yapımında önemli avantaj sağlar.
- Beton yüzeylere uygulama imkanı: Beton yüzeylere, kompozit malzemeler mükemmel yapışır. Özellikle, betonun gözenekli olması nedeniyle, kompoziti oluşturan ana malzemelerden polyester reçinenin beton gözeneklerinden sızması ve beton kütle içinde sertleşmesinden dolayı mükemmel bir yapışma sağlanır.
- Ahşap yüzeylere uygulama imkanı: Kompozit malzemeler ahşap yüzeylere yapışma özelliğine sahiptir fakat ahşabın kuru olması ve stiren içeren polyester reçine ile iyi bir şekilde emdirilmesi gerekir.
- Demir yüzeylere uygulama imkanı: Demir yüzeydeki pas ve yağ kalıntıları temizlendikten sonra kompozit malzemelerle kaplanabilir. Bu sayede demir ve çelik yüzeyler, kompozit malzeme kaplanarak korozyon etkilerinden korunmaktadır.
- Yanmazlık özelliği: Kompozit malzemelerin alev dayanımı, kullanılan polyesterin özelliğine bağlıdır. Alev dayanımı özelliğinin istendiği yerlerde “Alev dayanımlı” polyester kullanılmalıdır.
- Kompozit malzemeler sıcaklıktan etkilenmez: Kompozit ürünler, termoset plastikler grubundan polyester reçineler ile yapıldığı için yumuşamaz ve şekil değiştirmez. Isı dayanıklılığı kullanılan polyester reçinenin cinsine bağlıdır.

- Kompozitler içine farklı malzemeler gömülebilir: Kompozitler içine; demir, ahşap, halat, tel, mukavva ve poliüretan sert köpük gibi malzemeler gömülerek mekanik özellikleri farklılaştırılabilir.
- Tamir edilebilirlik özelliği: Tamir izlerinin görünmemesi için, tamir işleminin bir kalıp üzerinde yapılması ya da tamirden sonra zımpara veya boya yapılması gerekir.
- Kompozit malzemeler kesilip delinebilir: Kompozit malzemeler, tahta gibi kolayca kesilir, delinir ve zımparalanır. Bu amaçla kullanılan aletlerin sert çelik veya elmas uçlu olması halinde daha iyi sonuç alınmaktadır.

2.2 Kompozitlerin Uygulama Alanları

- Kompozit malzeme teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, kompozitler sanayi ve teknoloji uygulamalarında gittikçe artan oranlarda kullanılmaya başlanmıştır.
- Özellikle havacılık ile uçak sanayisinde ve daha birçok sektörde önemli ölçüde kullanılan kompozit malzemeler üzerindeki bilimsel çalışmalar günümüzde yoğun bir şekilde devam etmektedir.
- Kompozit malzemeler yapıları ve özellikleri sayesinde çok çeşitli alanlarda kullanılır. Her sektörün farklı ihtiyaçları ve beklentileri olduğundan dolayı kompozit malzemelerin ürün esneklikleri önemli bir avantajdır.
- Kompozit malzemeler, farklı sektörlerde hammadde olarak kullanılmasının yanı sıra imalat yardımcı ekipmanları olarak da kullanılır.

Kompozit malzemelerin yaygın olarak kullanıldığı başlıca sektörler ve bu sektörlerde kullanılan ürün çeşitleri aşağıda kısaca özetlenmektedir:

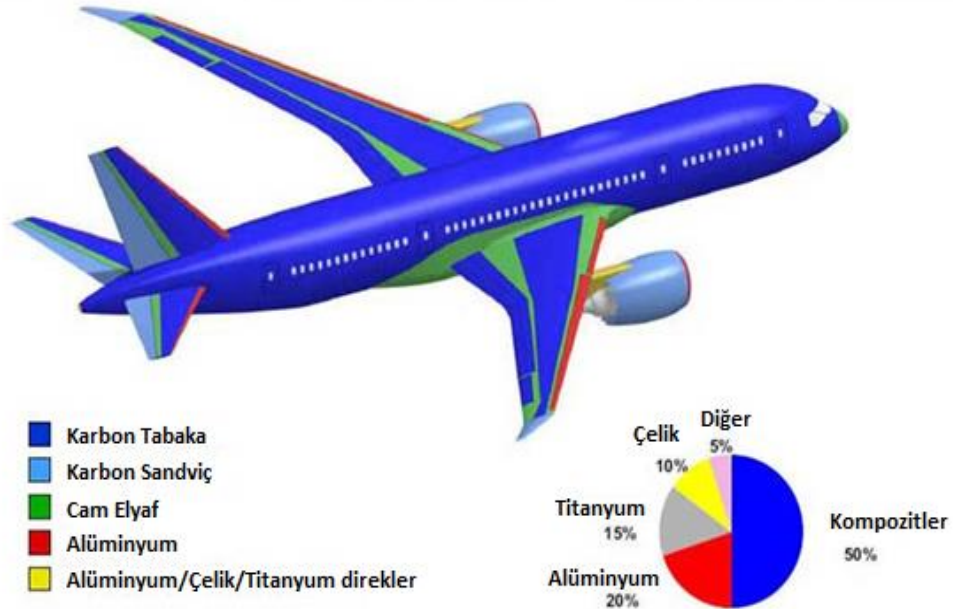
Kompozitler;

- Havacılık ve uzay teknolojisi,
- Denizcilik sektörü,
- Tıp alanında (Tıbbi cihazların imalatı),
- Robot teknolojisi,
- Kimya sanayisi,

- Elektrik-Elektronik teknolojisi,
- Müzik aletleri endüstrisi,
- İnşaat ve yapı sektörü,
- Otomotiv sektörü,
- Savunma sanayi,
- Gıda ve tarım sektörü,
- Spor malzemeleri imalatı (yüksek atlama sırkaları, tenis raketleri, sörf, kayak vb.) gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Savunma Sanayi Uygulamaları:

- Uçak ve helikopter gövde parçaları,
- Uçak burun ve kanat parçaları,
- Havan topları gövdeleri ve sandıkları,
- Kurşun geçirmez panel gövde imali,
- Miğferler,
- Mayın, hücum bot parça ve gövdeleri,
- Barınaklar.

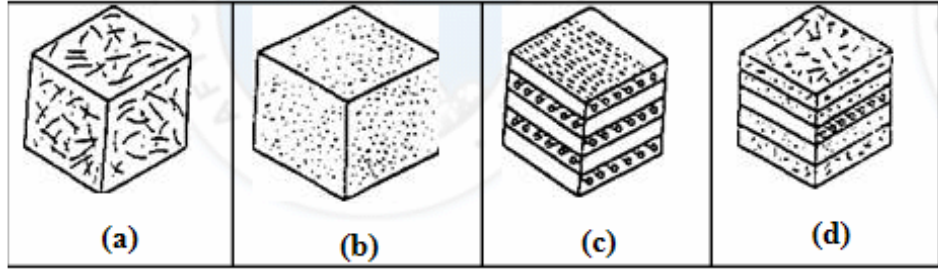


Şekil 2.1: Uçağın dış kaplamasındaki malzeme kullanımı (Url-1 2019)

2.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması ve Özellikleri

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar belirlemek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki malzemelerinin formuna göre bir sınıflandırma yapmak mümkündür. Takviye elemanların şekil ve yerleştirilmesine göre kompozitleri şu şekilde sınıflandırabiliriz:

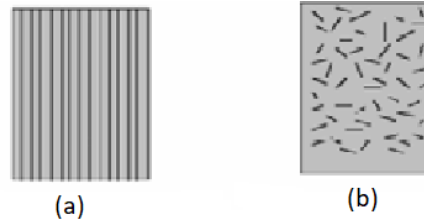
- Elyaflı Kompozitler (a)
- Parçacıklı Kompozitler (b)
- Tabakalı Kompozitler (c)
- Karma Kompozitler (d)



Şekil 2.2: Kompozit çeşitleri (Url-2 2019)

2.3.1 Elyaf (Fiber) Takviyeli (Tek Tabakalı) Kompozitler

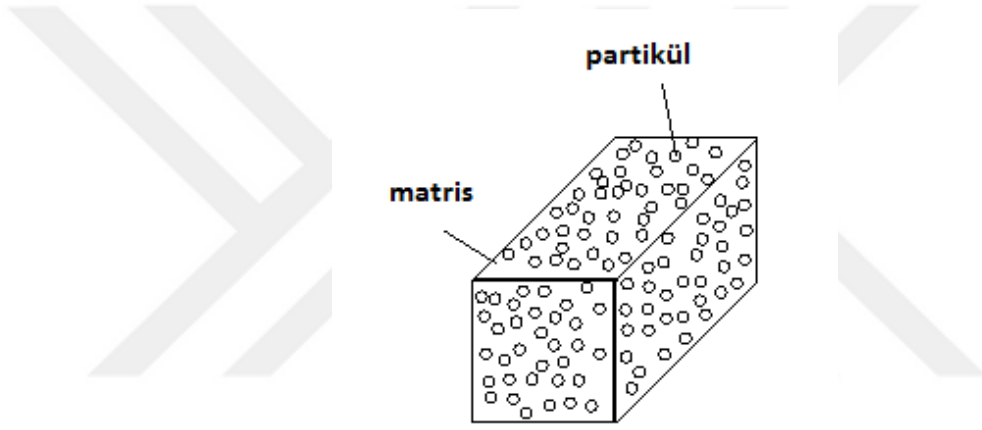
Bu kompozit türü ince elyafların matris yapıda yer almasıyla oluşmuştur. Elyafların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir etkidir. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir, iki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür.



Şekil 2.3: Elyaf takviyeli kompozitler: (a) sürekli lif takviyeli (b) kesikli lif takviyeli

2.3.2 Parçacıklı Kompozitler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılarıdır. Diğer bir deyişle, tüm yönlerde aynı malzeme davranışı gösterirler. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. Partikül ve matris birbiri içinde çözülmez (makro bağlantı). En yaygın türü plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısıl ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilirler. Partikül boyutu nanometre seviyesinde ise bu tür kompozitlere nano kompozitler denir.

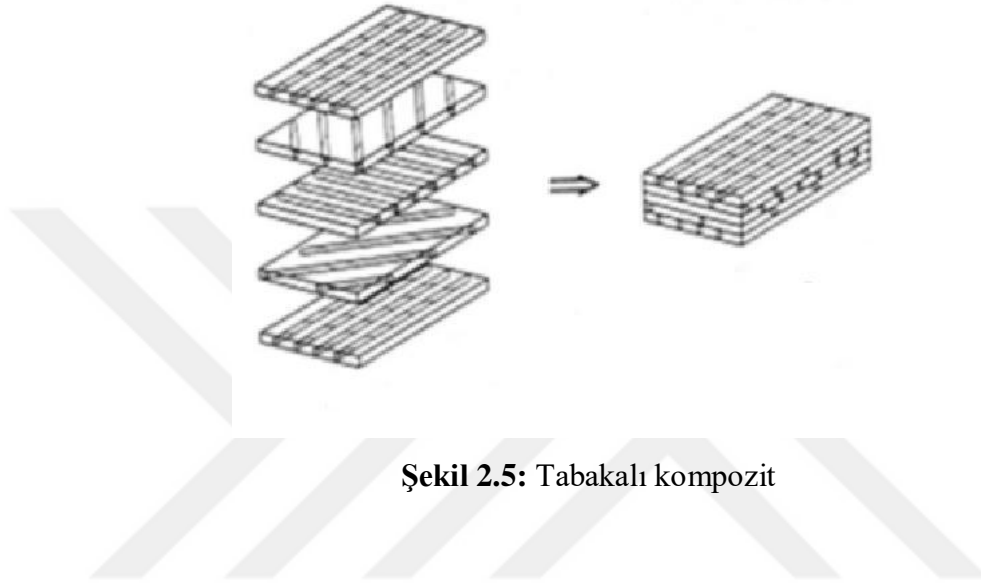


Şekil 2.4: Parçacıklı kompozit (Url-3 2019)

2.3.3 Tabakalı Kompozitler

Matris ismi verilen malzeme, kendisinden daha mukavemetli fiber (çubuk veya örgü) malzemelerle birleştirilerek bir kompozit tabaka elde edilir. Sonrasında birden fazla tabakanın birleştirilmesi ile tabakalı kompozit malzemeler elde edilir. Bunlar matris cinsine, fiber malzeme cinsine veya fiber örgü şekline göre adlandırılır. Fiberlerin diziliş yönü tabakalar arasında farklılık gösterebilir. Sanayide yaygın bir uygulama alanı vardır. Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan türdür. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılarıdır. Metallerle göre hafif ve mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilirler.

Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Bunun yanı sıra, uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanı olan sandviç yapılar da tabakalı kompozit malzeme örneğidirler. Sandviç yapılar, yük taşımayarak sadece izolasyon özelliğine sahip olan düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli levhaların yapıştırılması ile elde edilirler.



Şekil 2.5: Tabakalı kompozit

2.3.3.1 Sandviç Kompozitler

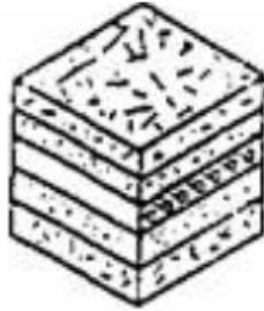
İki tabaka arasına, farklı bir formdaki başka bir malzemenin yerleştirilmesiyle elde edilen yapılara sandviç kompozitler adı verilir. Tabakaların her birisi hem izotropik bir malzeme, hem de fiber takviyeli malzeme olabilir.



Şekil 2.6: Sandviç kompozit paneller (Url-4 2019)

2.3.4 Karma (Hibrid) Kompozitler

Aynı kompozit yapıda iki veya daha fazla elyaf çeşidinin bulunması mümkündür. Bu tür kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tür kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyafdır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyafdır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır.



Şekil 2.7: Karma (hibrid) kompozit (Url-2 2019)

2.4 Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Kompozit malzemeleri özellikle mekanik özellikler bakımından diğer malzemelerle karşılaştıracak olursak üstün özelliklere sahip olduğu daha kolay anlaşılacaktır. Bu durumu en iyi şekilde özetlemek istersek kompozit malzemeler hafif olmasının yanında yüksek dayanıma sahiptir. Bu en önemli parametreden dolayı da kompozitler; metallere, seramiklere ve plastiklere daha üstün özellikler göstermektedir. Tablo 2.1’de görüleceği gibi farklı türden malzemelerin mekanik özellikleri listelenmiştir. Bu listeleme sonucunda kompozit malzemelerin özellikleri dikkat çekmiştir.

Tablo 2.1: Malzemelerin mekanik özellikleri

MALZEME	Yoğunluk (ρ) (g/cm ³)	Çekme Mukavemeti (σ_c) (MPa)	Elastisite Modülü (E) (GPa)	Özgül Çekme Mukavemeti (σ_c/ρ)	Özgül Elastisite Modülü (E/ ρ)
Ahşap (Kayın)	0,7	110	13	157	19
Kemik	1,8	138	26	75	14
Alaşımısız Çelik	7,9	459	203	58	26
Alüminyum	2,8	84	71	30	25
Alüminyum Alaşımı-2024	2,8	247	69	88	25
Pirinç	8,5	320	97	38	11
Dökme Demir	7	140	100	20	14,3
Naylon	1,15	82	2,9	71	2,52
Polipropilen	0,9	33	1,4	37	1,55
Epoksi	1,25	69	3,5	55	2,8
Fenolik	1,35	6	3	4	2,22
Alümina	3,8	170	350	45	92,1
Magnezyum Oksit	3,6	60	205	17	56,9
Bor-Epoksi	1,8	1600	224	889	124
Karbon-Epoksi-1	1,6	1260	218	788	136
Karbon-Epoksi-2	1,5	1650	140	1100	93
S-Camı-Epoksi	1,8	1400	56	824	33
E-Camı-Epoksi	1,8	1150	42	639	23
Kevlar-Epoksi	1,4	1400	77	1000	55

3. MATERYAL VE METOT

Deney numuneleri, kalın örgü tip cam elyaf katmanlardan oluşturulmuş kompozit plakaların birbirinden farklı geometrilere kesilerek yapıştırılması ile oluşturulmuştur. Yöntem olarak çekme deneyi kullanılmıştır.

3.1 Deney Numuneleri Ve Malzemeleri

Kompozit malzeme olarak epoksi/cam elyafı (E-Camı) karışımı kullanılmıştır. Polimer matris ise; epoksi reçine Polires 840 ve sertleştirici olarak Polidur 875 karıştırılarak 1,0/0,8 (epoksi/sertleştirici) oluşturulmuştur. Elyaf örgü kumaştır. Elyafın dizilimi $0^{\circ}/90^{\circ}$ açılı olacak şekildedir. Bu şekilde 26 kat tabaka bulunmaktadır. Her biri yaklaşık 0,5 mm olup toplam kalınlığı 12 mm civarındadır. Malzeme yaklaşık 1,2 metrekarelik tabaka halinde üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemenin mekanik dayanım özellikleri Tablo 3.1’de gösterilmektedir.

Tablo 3.1: Kompozit malzemenin mekanik dayanım özellikleri

Örgü Tip E-Camı/Epoksi Kompozit	Elastisite Modülü (GPa)			Kayma Modülü (GPa)			Kopma Gerilmesi (MPa)		
	E ₁₁	E ₂₂	E ₃₃	G ₁₂	G ₂₃	G ₁₃	F _{1T}	F _{2T}	F ₆
	22	22	9	5.3	3.1	3.1	350	350	95

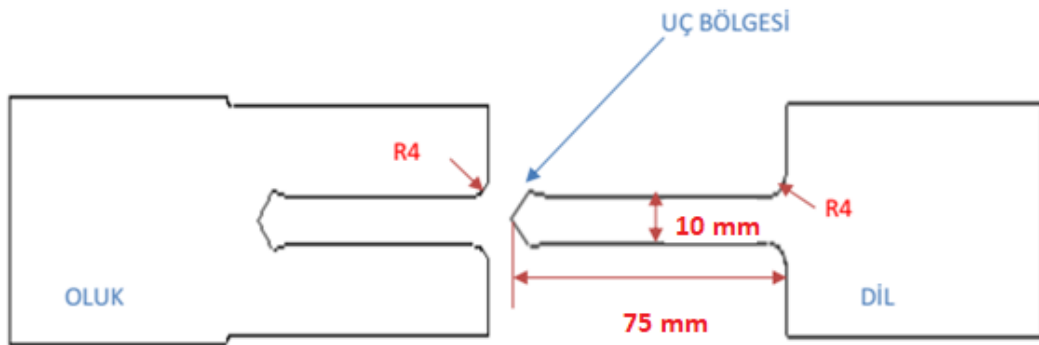
Yapıştırıcı malzeme olarak Loctite Hysol 9466 kullanılmıştır. Bu yapıştırıcı tipinin seçilmesinde; literatür çalışmaları, kompozit malzeme yüzeylerine uygunluk, yüksek mekanik dayanım, yüksek soyulma dayanımı ve çekme dayanımı gibi özellikler göz önüne alınmıştır. Yapılan araştırma ve firma ile görüşme sonucunda Loctite Hysol 9466'nın katalog bilgilerinde yer almayan mekanik dayanım özellikleri için Loctite 9461'in katalog bilgilerinin kullanılacağı öğrenilmiştir. Buna istinaden ASTM (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu) D1002/ EN 1465'e göre kesme dayanımı (epoksi takviyeli cam elyaf malzeme için) 13 N/mm², ASTM D638'e göre elastisite modülü 2757 N/mm²'dir.

Tablo 3.2: Yapıştırıcının mekanik ve fiziksel özellikleri

Loctite Hysol 9466 Mekanik ve Fiziksel Özellikleri	
Çalışma/Sabitlenme Süreleri	60 min/180 min
Çekme Dayanımı	32 N/mm ²
Viskozite	35 Pa-s
Soyulma Dayanımı	8 N/mm
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-55 ⁰ C - +120 ⁰ C
Türü	2K Epoksi, Dolgu

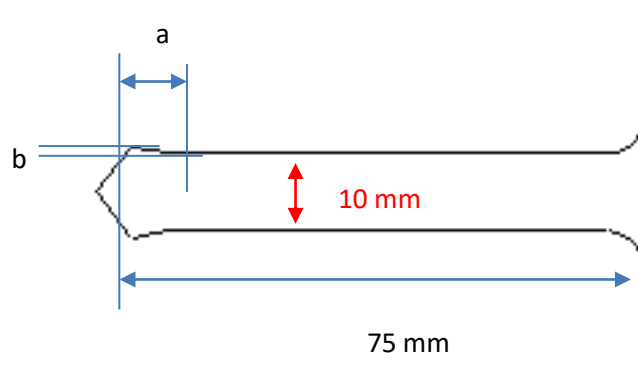


Numuneler; dil oluk birleştirmeleri gibi olup Şekil 3.1’de de görüldüğü gibi dil genişliği ve dil uzunluğu sabittir. Yapıştırma kalınlığı da literatürden faydalanılarak 0,2 mm seçilmiş ve sabit tutulmuştur. (Kaplanseren, 2013) Bu ölçü kesim hassasiyetine bağlı olarak +0,05 mm olarak değişebilmektedir. Araştırmada uç bölgesinin ölçüleri değişkendir. Diğer değerler ise uç bölgesinde oluşan etkiyi anlayabilmek için sabit tutulmuştur.

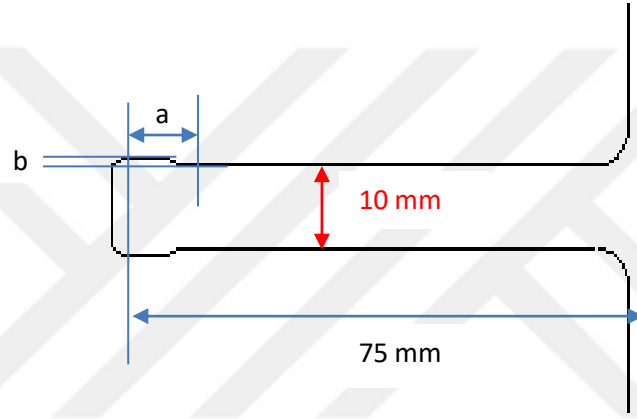


Şekil 3.1: Bütün numuneler için standart ölçüler

Yukarıda yer alan şekilde görülen uç bölgesinin ölçüleri değiştirilerek farklı uç profilleri oluşturulmuştur. Bu profiller hem beşgen dil tasarımında (Şekil 3.2a) hem de sekizgen dil tasarımında (Şekil 3.2b) tırnak uzunluğu (a) ve tırnak genişliği (b) olarak adlandırılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.2: Uç bölgesindeki tırnak uzunluğu ve tırnak genişliğinin gösterimi (a) beşgen dil tasarımı (b) sekizgen dil tasarımı

Bu uç bölgelerindeki değişken tırnak uzunluğu (a) ve tırnak genişliği (b) ölçüleri ile farklı birer şekil oluşmaktadır. Oluşan şekiller deney numunesi haline getirilmiş ve statik çekme deneyleri uygulanmıştır. Burada beşgen ve sekizgen dil tasarımında a; tırnak uzunluğunu, b; tırnak genişliğini göstermektedir.

Tablo 3.3: Beşgen ve sekizgen dil tasarımlarının ölçüleri

Beşgen		Sekizgen	
a (mm)	b (mm)	a (mm)	b (mm)
10	1	10	1
10	2	10	2
10	4	10	4
14	1	14	1
14	2	14	2
14	4	14	4
18	1	18	1
18	2	18	2
18	4	18	4

Bu ölçülere göre Autocad 2015 programında çizilen şekiller su jeti tezgahına yüklenmiş ve kompozit bloklar su jeti tezgahında istenilen ölçüde kesilmiştir. Dil ve oluk olarak iki parça halinde kesilen parçalar yapıştırılmış ve çekme deneyine tabi tutulup dayanımları ortaya çıkarılmıştır. Çıkan değerler hem kendi içinde hem de birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

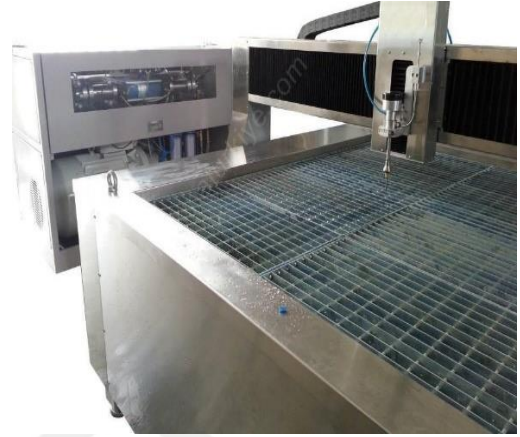
3.2 Deney Numunelerinin Hazırlanışı ve Birleştirme

Literatür araştırmalarında yapılan benzer çalışmalarda su jeti kullanımının sıklıkla tercih edilen bir yöntem olduğu görülmüştür. Su jeti tezgahının çalışması, bir basınç artırıcıda basıncı artırılan suyun, bir lüleden geçirilerek çok yüksek hızlara ulaştırılması ve yüksek hızlara çıkarılan bu su huzmesinin içinde bulunan ince taneli kurumlarla birlikte malzeme yüzeyini aşındırması esasına dayanır. Bilgisayar kontrollü olarak çalışan bir tezgahdır. Tezgahın en önemli avantajı ısıdan etkilenen bölge meydana getirmemesidir. Diğer avantajlarından birisi de malzeme kesiminde aşındırıcı kum kullanıldığından yapıştırma için gerekli yüzey pürüzsüzlüğünü sağlamasıdır. Bu kesim yönteminde istenilen duruma göre değiştirilebilen parametreler bulunmaktadır. Bunlar su basıncı, ilerleme hızı, aşındırıcı kum özelliği, püskürtme ucunun malzemeye olan uzaklığı ve püskürtme ucunun çapı gibi parametrelerdir. Püskürtme ucunun kalitesi de önemli bir bileşendir. Aşınmadan

dolayı zamanla uç şeklinde değişmeler olabilmektedir. Çalışmada kullanılan kompozit malzeme kesiminde; ilerleme hızı önceki çalışmalarda belirtildiği gibi 500 mm/min olarak seçilmiş, deneme ve kontrol amaçlı aynı hızda kesim yapılmıştır. Aşındırıcı kum özelliği, püskürtme ucunun malzeme uzaklığı ve çapı, su basıncı özellikleri kesim işlemleri boyunca değiştirilmemiş, püskürtme ucu olarak yeni uç kullanılmıştır.



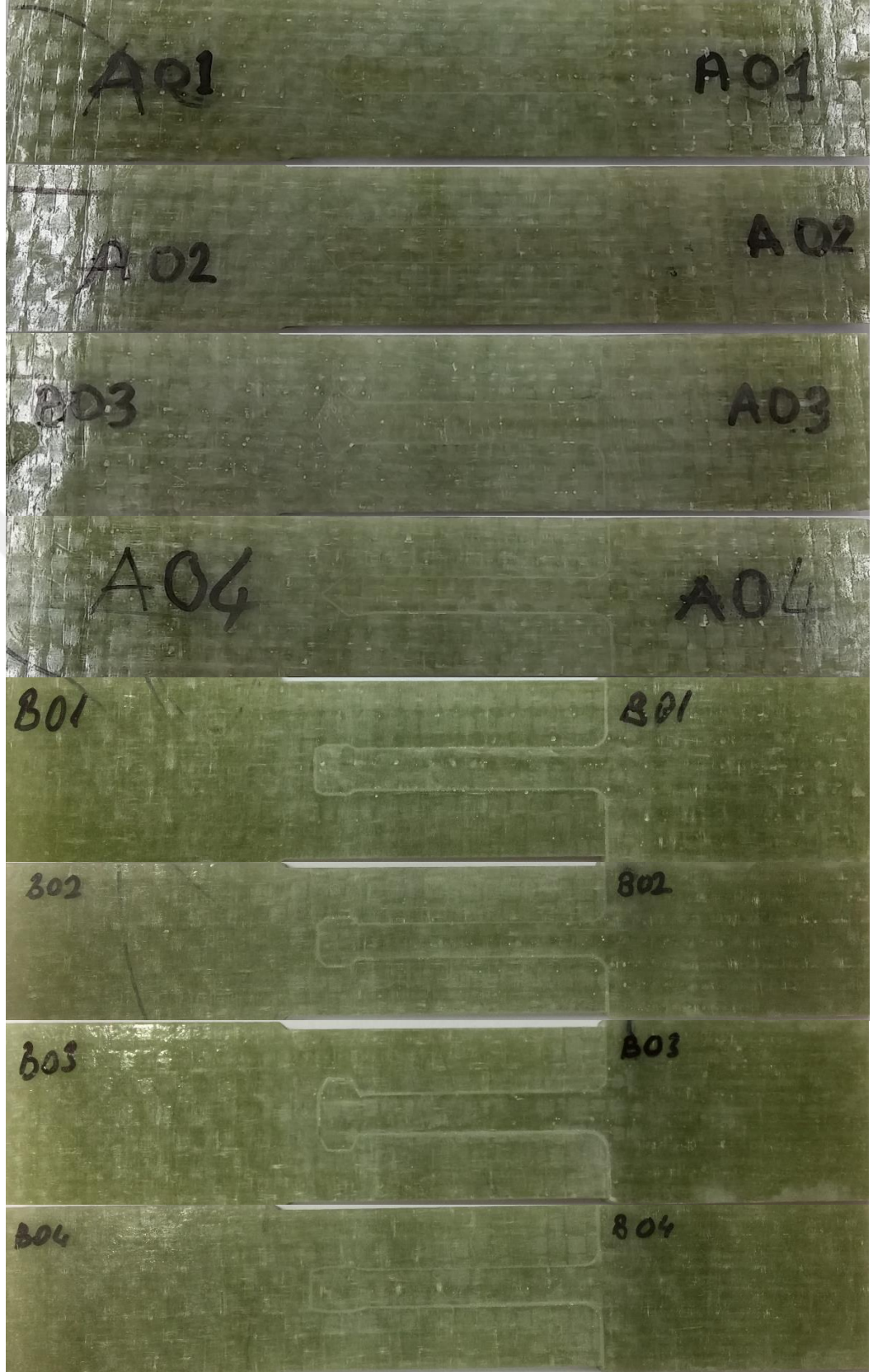
(a)



(b)

Şekil 3.3: Su jeti makineleri (a) normal görünüm (b) yakın görünüm (Url-5 2019)

Su Jeti tezgahında kesilerek meydana getirilen dil ve oluk parçalarını birleştirmek için yapıştırma yöntemi kullanılmıştır. Yapıştırma işlemi ise Loctite Hysol 9466'nın dil ve oluk bölgelerine uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Yapıştırma sonrasında kürleşme işleminin tam olarak gerçekleşebilmesi için yedi gün beklenmiştir. Kürleşme sonrası geometri dışına taşan epoksi malzemeye zarar verilmeden temizlenmiştir. Bu aşamalar sonucu oluşan deney numuneleri Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Yapıştırma yoluyla birleştirilmiş ve taşlama ile temizlenmiş beşgen ve sekizgen dil tasarımlı numuneler

3.3 Deney için Kullanılan Cihaz

Araştırma için hazır hale getirilen numunelerin çekme deneyleri INSTRON 8801 (Şekil 3.5) yorulma test cihazında yapılmıştır. Deneyler statik çekme olarak ve kuvvetin zamanla arttırımı şeklinde yük kontrol modunda yapılmıştır. Zamanla kuvvetin artış değeri ise literatürden ve önceki çalışmalardan alınmış 2000 N/min olarak seçilmiştir.

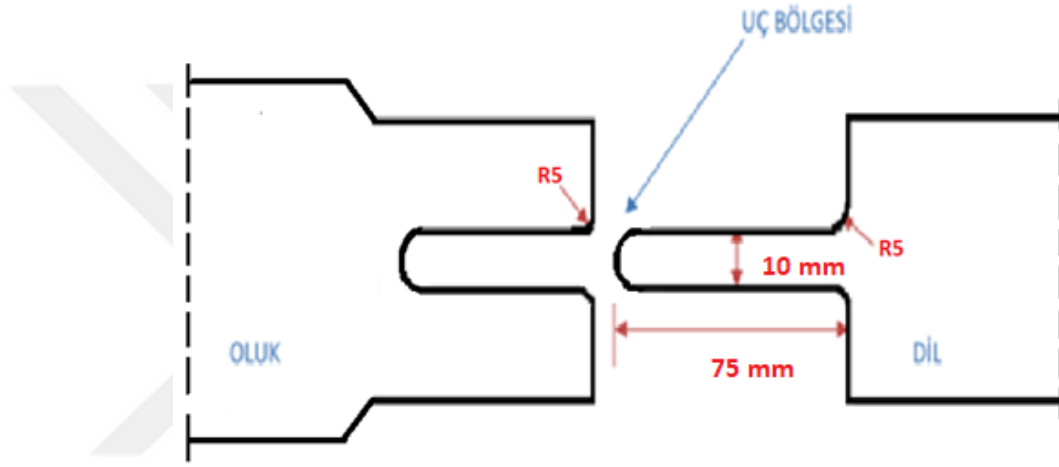


Şekil 3.5: INSTRON 8801 (100 kN) yorulma test cihazı

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Numunelerin Gruplandırılması

Yapılan deneylerin sonucunu karşılaştırmak üzere hiçbir dil uç geometrisi oluşturulmayan tasarım da göz önüne alınmıştır. Bu tasarım, yapıştırma kalınlığı 0,2 mm ve dil uzunluğu 75 mm ölçülerine sahip olup Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Statik çekme deney sonucuna göre 19,68 kN kopma dayanımı göstermiştir. (Uslu, 2010), (Canyurt, 2010).



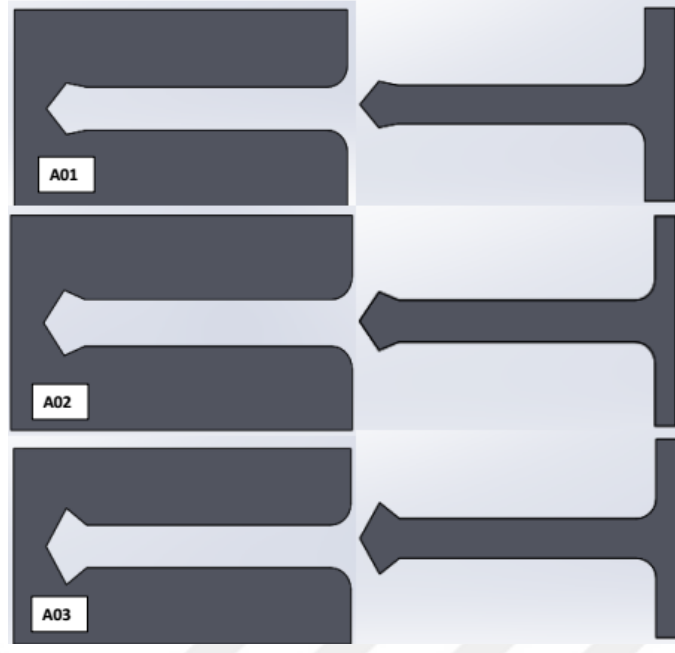
Şekil 4.1: Dil uç geometrisi oluşturulmayan tasarım

Deneylere tabi tutulan numunelere tırnak uzunluğu (a) ve tırnak genişliği (b) olarak isimlendirme yapılmış olup, kademeli ölçüler kendi içlerinde gruplandırılarak karşılaştırmaların daha etkin yapılması öngörülmüştür. Gruplandırma; beşgen ve sekizgen gruplar için tırnak uzunluğu (a) sabit olup tırnak genişliği (b) değişken ve tırnak genişliği (b) sabit olup tırnak uzunluğu (a) değişken alınarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılan parametre değerleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Her bir parametre için üç farklı deney yapılarak üç değer ortalaması alınarak dayanım değerleri belirlenmiştir.

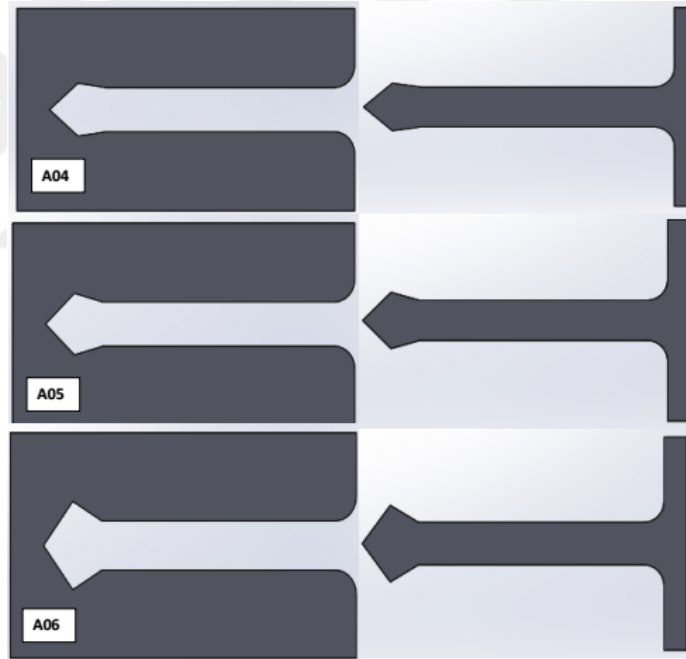
Tablo 4.1: Gruplandırma ve numunelere verilen isimler

Grup	Beşgen	a (mm)	b (mm)	Grup	Sekizgen	a (mm)	b (mm)
Beşgen 1	A01	10	1	Sekizgen 1	B01	10	1
	A02	10	2		B02	10	2
	A03	10	4		B03	10	4
Beşgen 2	A04	14	1	Sekizgen 2	B04	14	1
	A05	14	2		B05	14	2
	A06	14	4		B06	14	4
Beşgen 3	A07	18	1	Sekizgen 3	B07	18	1
	A08	18	2		B08	18	2
	A09	18	4		B09	18	4
Beşgen 4	A01	10	1	Sekizgen 4	B01	10	1
	A04	14	1		B04	14	1
	A07	18	1		B07	18	1
Beşgen 5	A02	10	2	Sekizgen 5	B02	10	2
	A05	14	2		B05	14	2
	A08	18	2		B08	18	2
Beşgen 6	A03	10	4	Sekizgen 6	B03	10	4
	A06	14	4		B06	14	4
	A09	18	4		B09	18	4

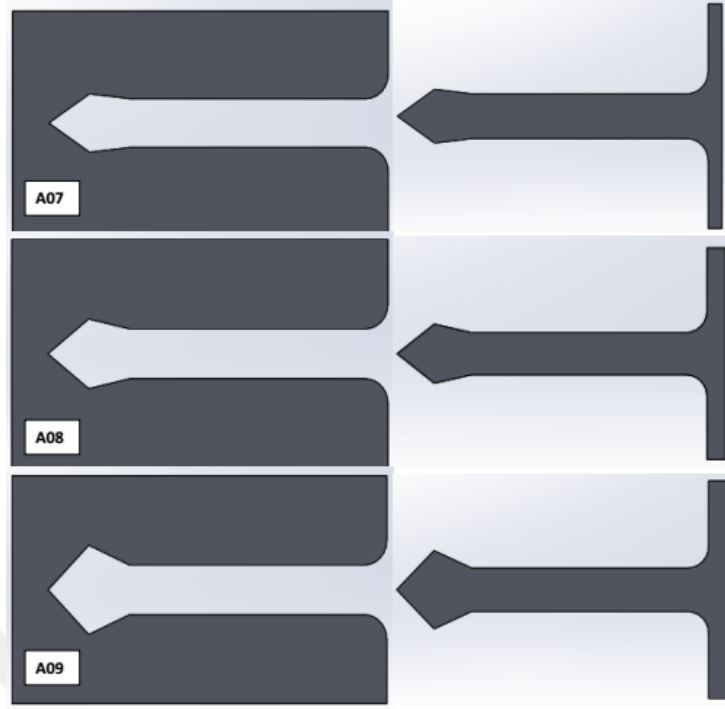
Bu deney numunelerinin şekilsel değişimleri, beşgen dil tasarımları için Şekil 4.2-4.7 arasında sekizgen dil tasarımları için ise Şekil 4.8-4.13 arasında gösterilmiştir.



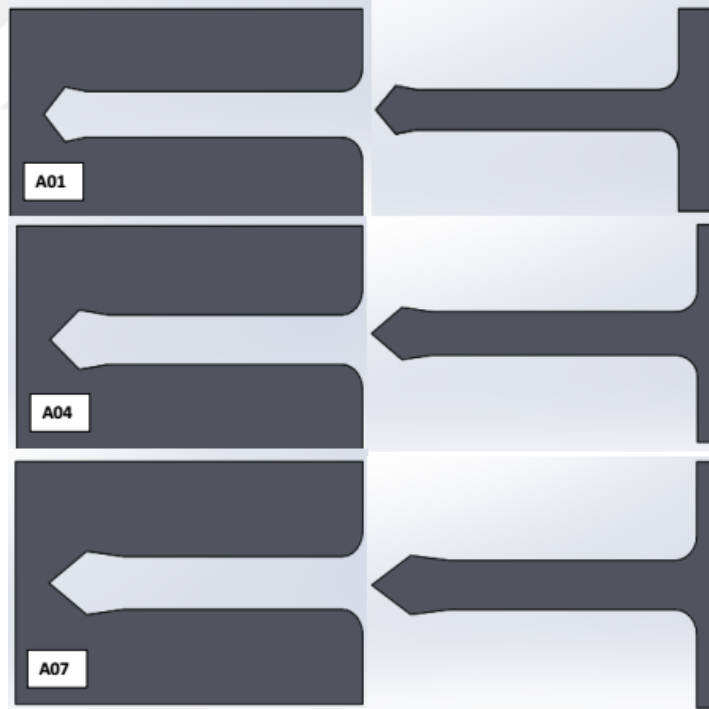
Şekil 4.2: Beşgen tasarımda tırnak uzunluğu 10 mm için tırnak genişliği değişimi



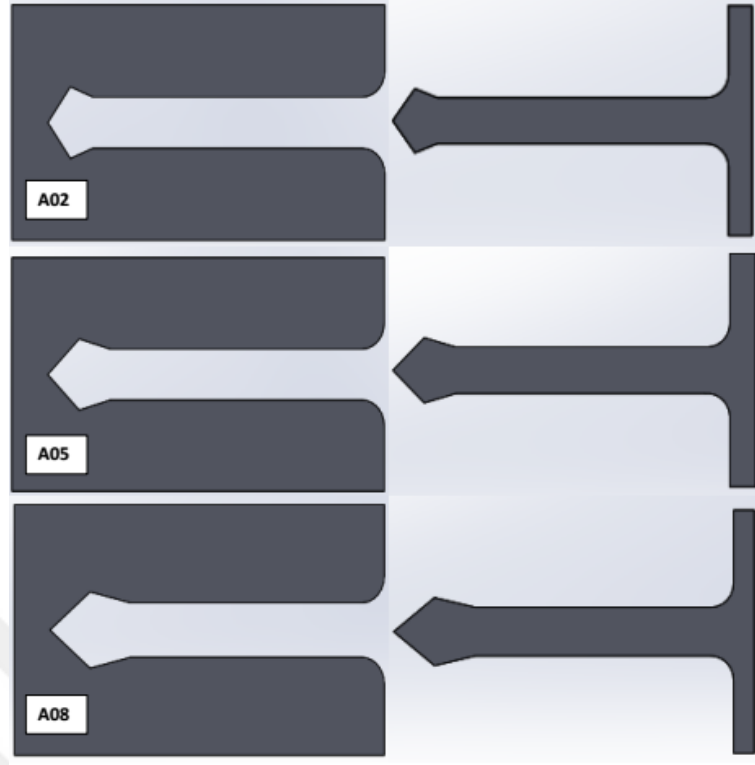
Şekil 4.3: Beşgen tasarımda tırnak uzunluğu 14 mm için tırnak genişliği değişimi



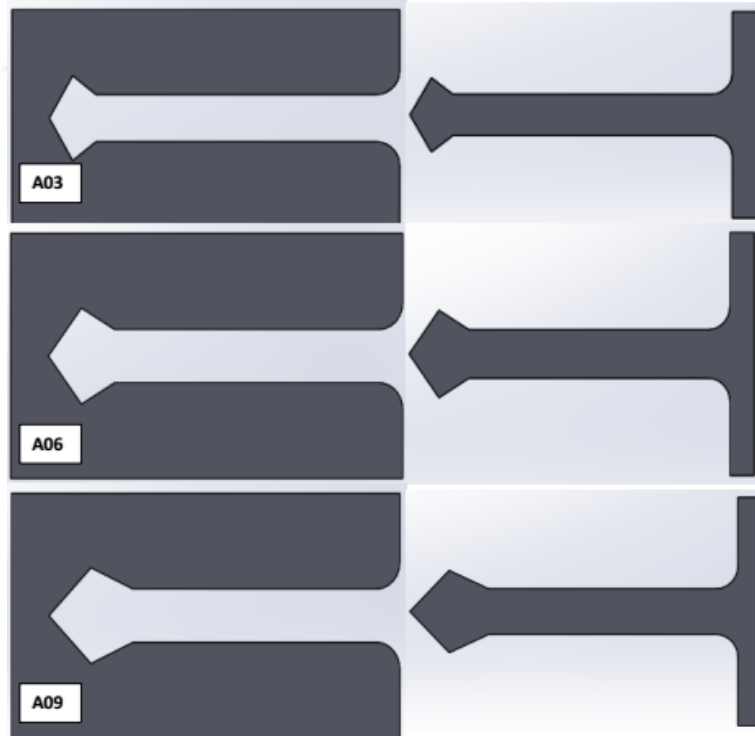
Şekil 4.4: Beşgen tasarımda tırnak uzunluğu 18 mm için tırnak genişliği değişimi



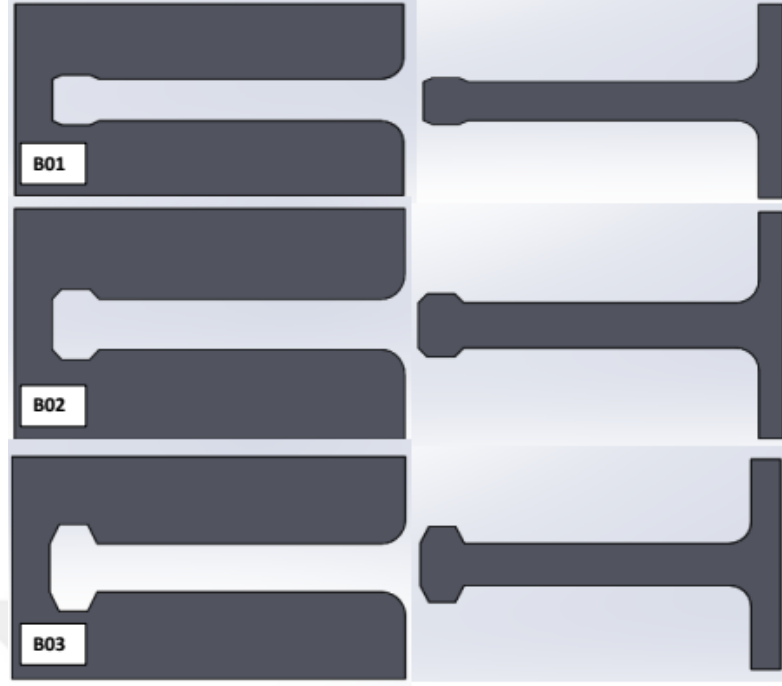
Şekil 4.5: Beşgen tasarımda tırnak genişliği 1 mm için tırnak uzunluğu değişimi



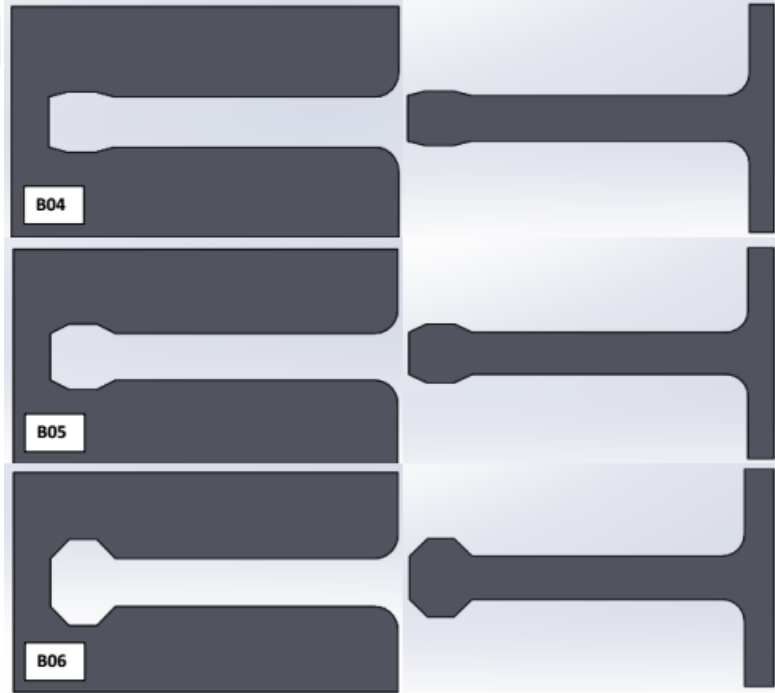
Şekil 4.6: Beşgen tasarımda tırnak genişliği 2 mm için tırnak uzunluğu değişimi



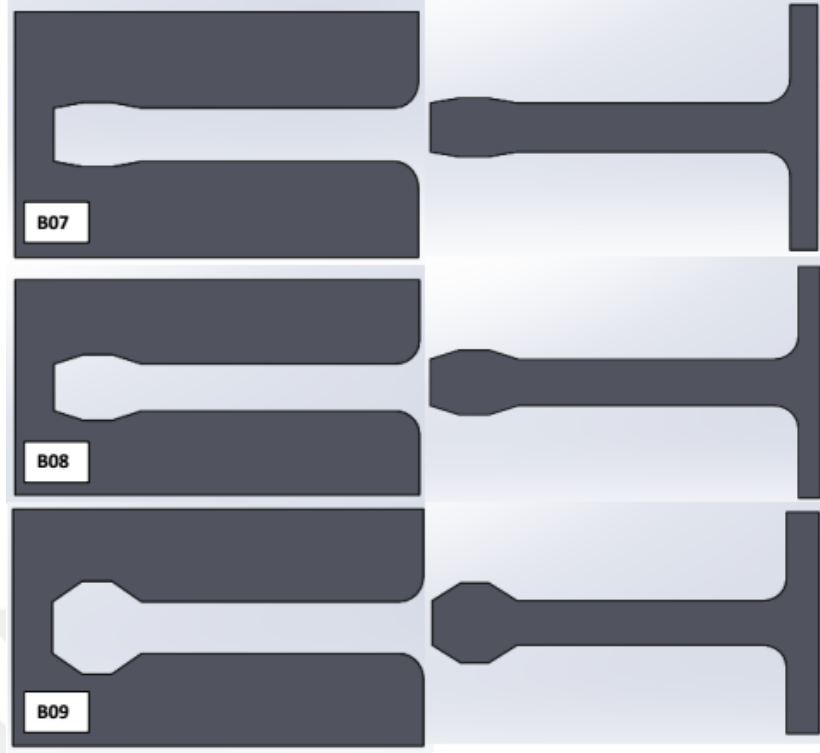
Şekil 4.7: Beşgen tasarımda tırnak genişliği 4 mm için tırnak uzunluğu değişimi



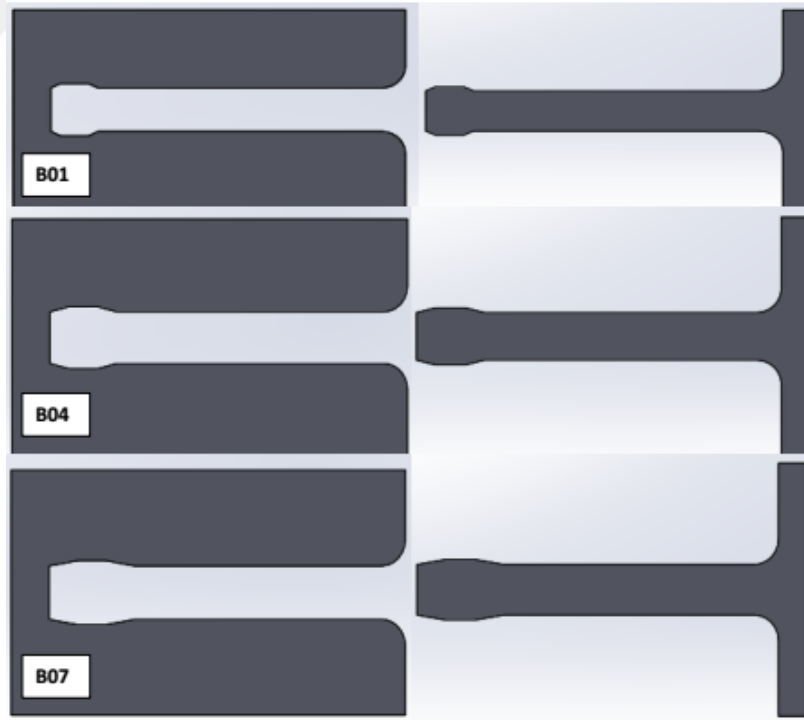
Şekil 4.8: Sekizgen tasarımda tırnak uzunluğu 10 mm için tırnak genişliği değişimi



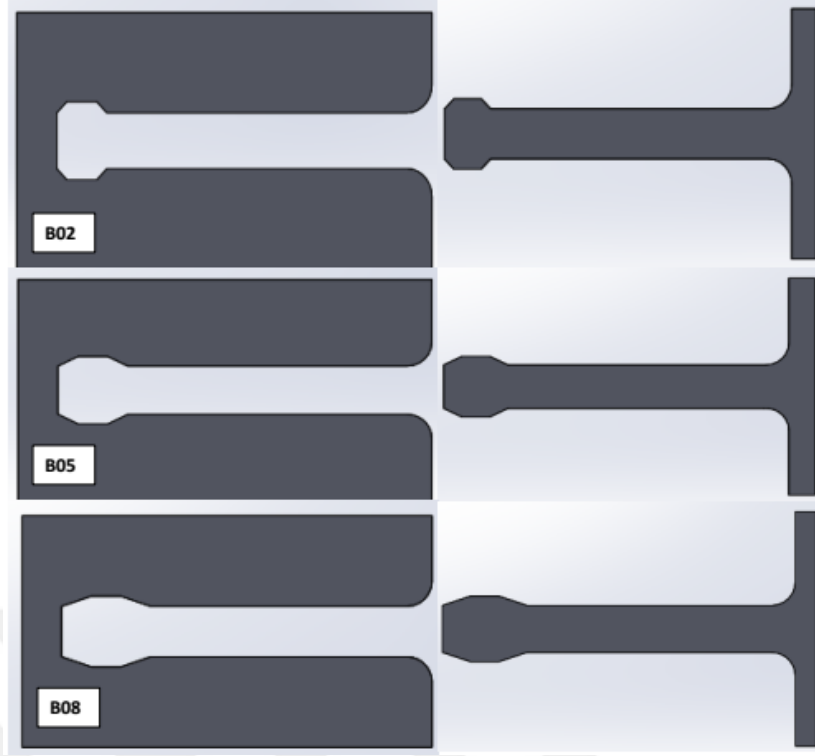
Şekil 4.9: Sekizgen tasarımda tırnak uzunluğu 14 mm için tırnak genişliği değişimi



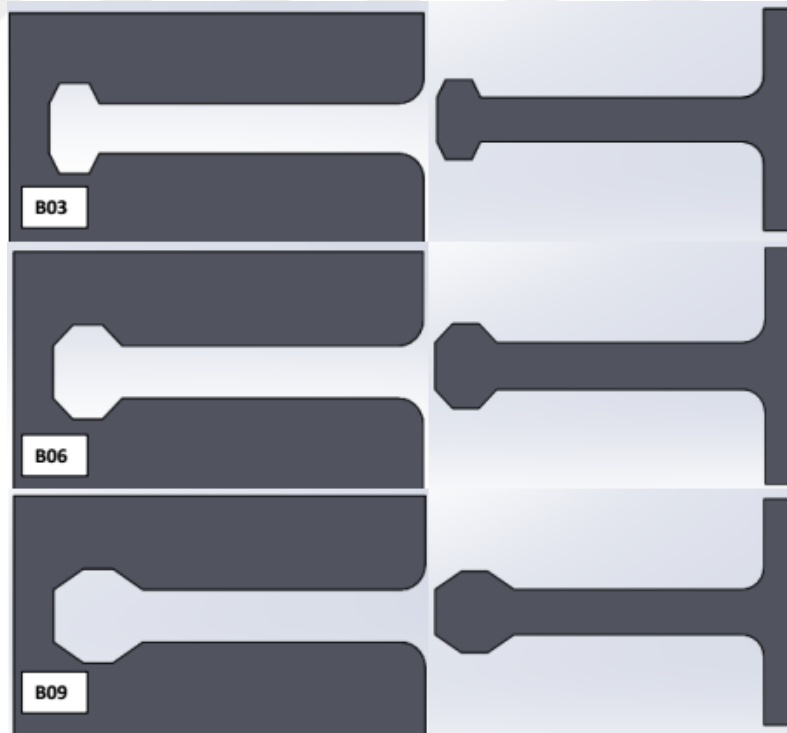
Şekil 4.10: Sekizgen tasarımda tırnak uzunluğu 18 mm için tırnak genişliği değişimi



Şekil 4.11: Sekizgen tasarımda tırnak genişliği 1 mm için tırnak uzunluğu değişimi



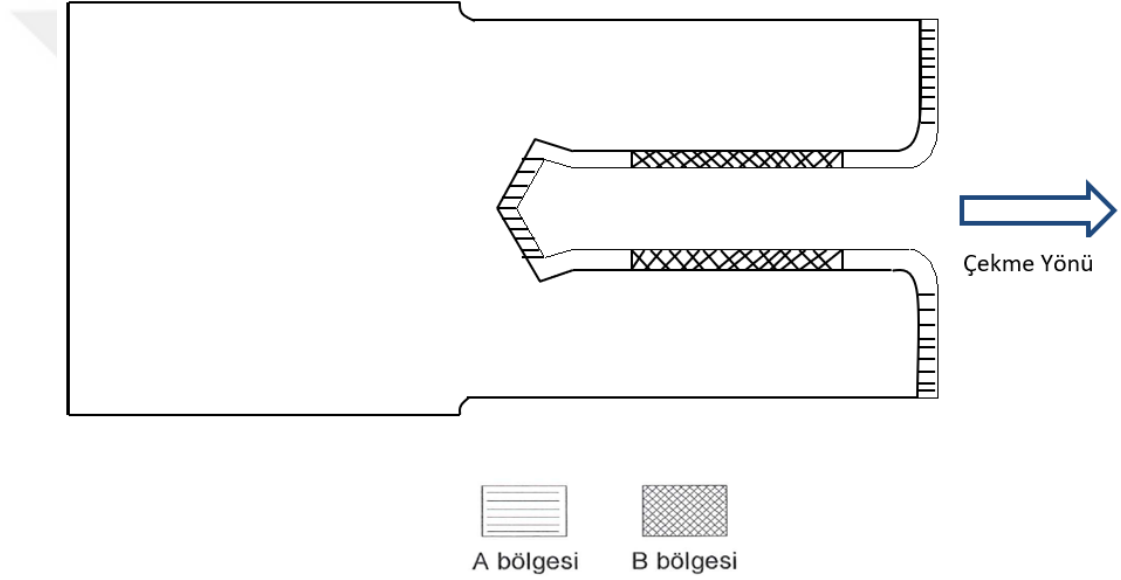
Şekil 4.12: Sekizgen tasarımda tırnak genişliği 2 mm için tırnak uzunluğu değişimi



Şekil 4.13: Sekizgen tasarımda tırnak genişliği 4 mm için tırnak uzunluğu değişimi

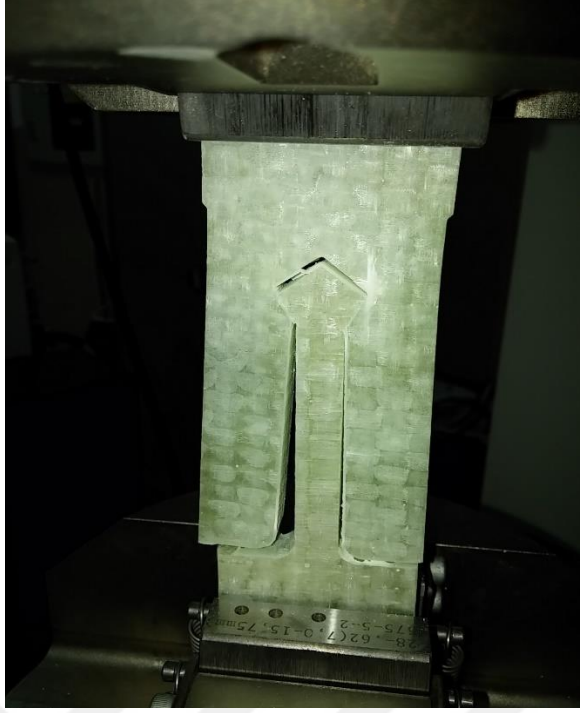
4.2 Deney Sonuçları

Uygulanan deneyler esnasında numunelerin genelinde görülen hasara uğrama bölgeleri; çekme, kayma ve açılma gerilmeleri sonucu meydana gelmektedir. Bu hasara uğrayan bölgeler Şekil 4.14’de A ve B bölgesi olarak gösterilmiştir. Dil parçasının oluk parçasından ayrılması ilk olarak çekme gerilmeleri sonucu A bölgelerinde meydana gelmekte; daha sonra dil parçası uzunluğu boyunca B bölgesinde kayma ve açılma gerilmeleri ile beraber A bölgesinin radyüslü kısmındaki ayrılma sonucu oluşan çatlak ilerlemesinin etkisiyle B bölgesinde devam etmektedir. Son olarak tırnak genişliğinin bulunduğu kısım kesit değişiminden dolayı bağlantının ayrılmasına karşı direnç göstermektedir.



Şekil 4.14: Çekme gerilmesi sırasında oluşan deformasyon bölgeleri

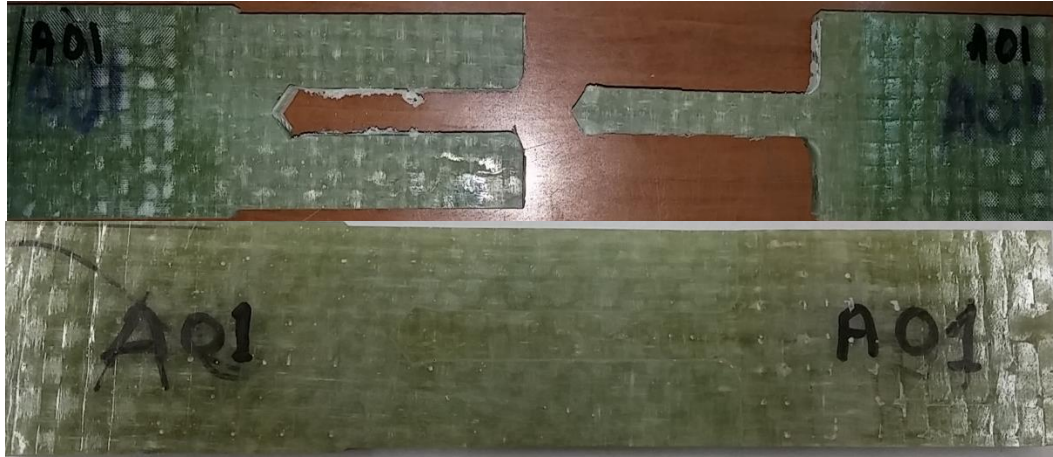
Hasar oluşumu Şekil 4.15’de gösterilmiştir. A bölgesinde ayrılma yaşanmış ve oluşturulan dil tasarımının kopmaya karşı direnç gösterdiği görülmüştür.



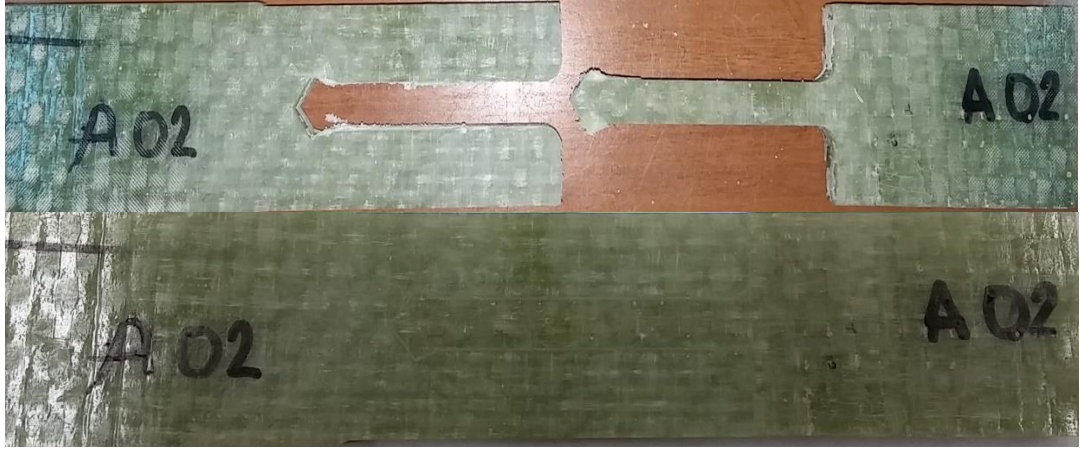
Şekil 4.15: Çekme gerilmesi sırasında oluşan deformasyonlar

4.2.1 Beşgen Dil Tasarımlarının Karşılaştırılması Ve Sonuçlar

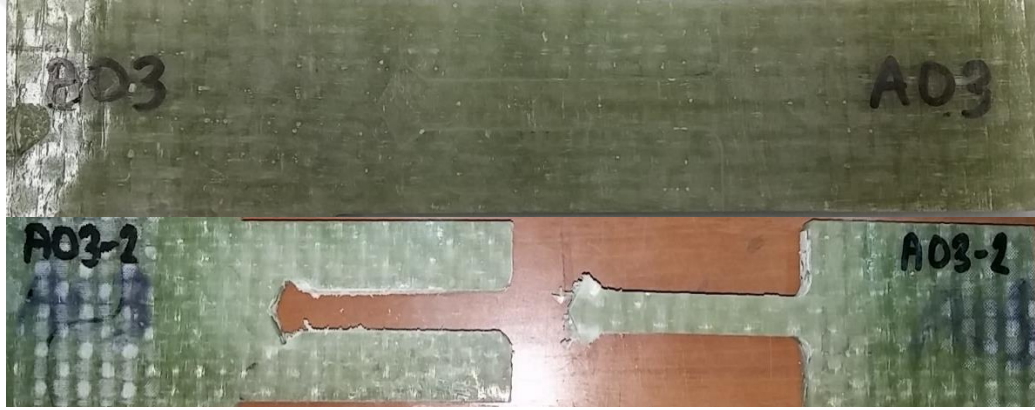
Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 10 mm ve sabit olduğu tırnak genişliğinin ise değiştiği numunelerin deney öncesi ve deney sonrası durumları Şekil 4.16-4.18 arasında görülmektedir.



Şekil 4.16: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A01 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar

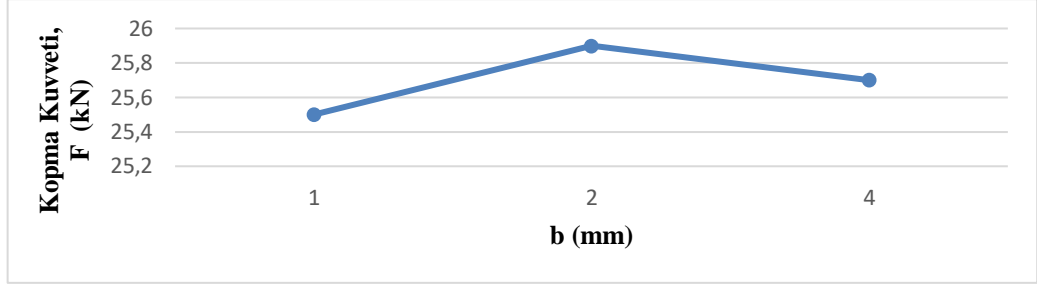


Şekil 4.17: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A02 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar



Şekil 4.18: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A03 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar

Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm için tırnak genişliğinin etkisi Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Tırnak genişliği 2 mm olduğunda kopma dayanımı en yüksek seviyeye çıkmış ancak tırnak genişliği 4 mm olduğunda kopma dayanımı düşmüştür. Tırnak genişliği 4 mm olduğunda kopma dayanımı düşmesine rağmen yine de tırnak genişliğinin 1 mm olduğu numuneden daha iyi dayanım göstermiştir.

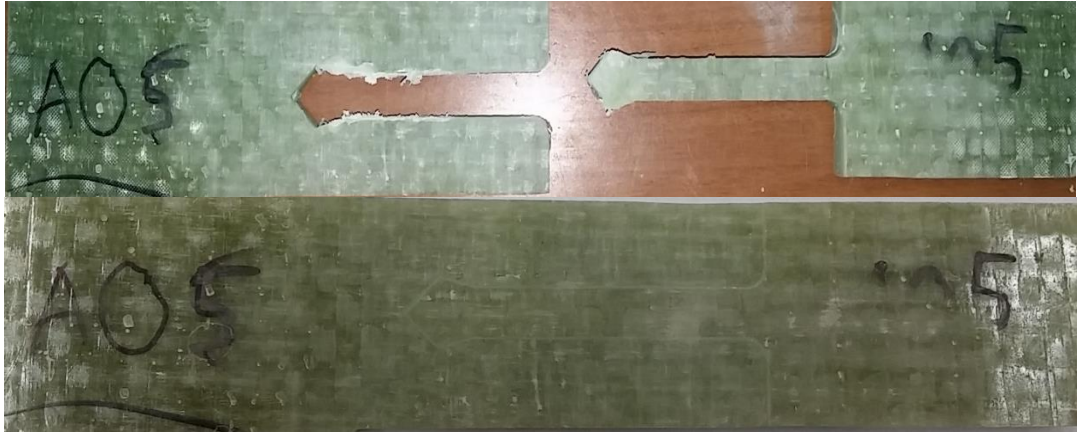


Şekil 4.19: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm için değişen tırnak genişliğinin kopma mukavemetine etkisi

Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 14 mm ve sabit olduğu tırnak genişliğinin ise değiştiği numunelerin deney öncesi ve deney sonrası durumları Şekil 4.20-4.22 arasında görülmektedir.



Şekil 4.20: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A04 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar

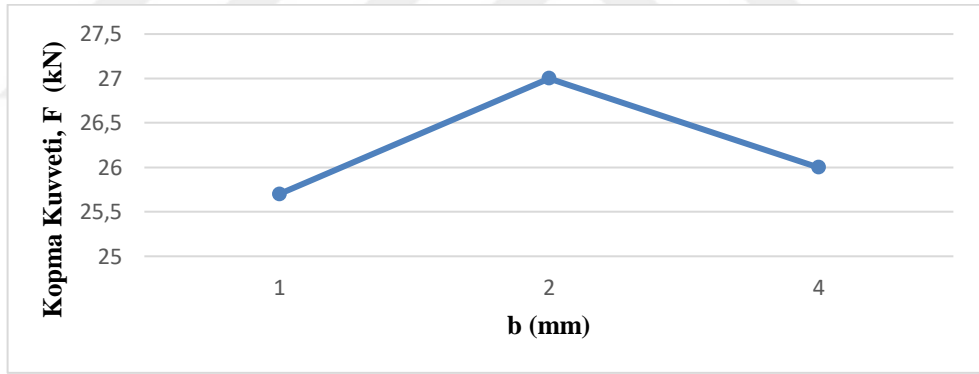


Şekil 4.21: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A05 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar



Şekil 4.22: Deneysel öncesi beşgen dil tasarımı (A06 numunesi) ve deneysel sonrası oluşan deformasyonlar

Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm için tırnak genişliğinin etkisi Şekil 4.23’de gösterilmiştir. Tırnak genişliği 2 mm olduğunda en yüksek seviyeye çıkmış ancak tırnak genişliği 4 mm olduğunda düşmüştür. Tırnak genişliği 4 mm olduğunda kopma dayanımı düşmesine rağmen yine de tırnak genişliğinin 1 mm olduğu numuneden daha iyi dayanım göstermiştir.

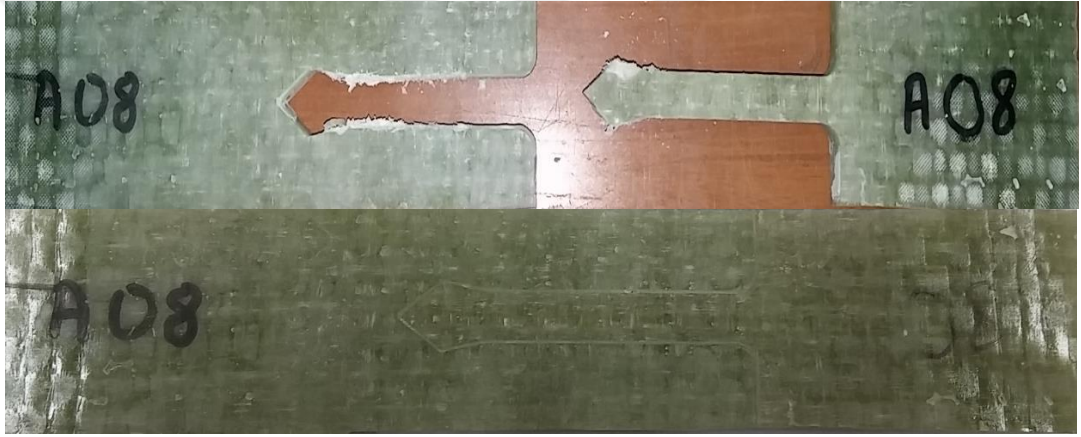


Şekil 4.23: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm için değişen tırnak genişliğinin kopma mukavemetine etkisi

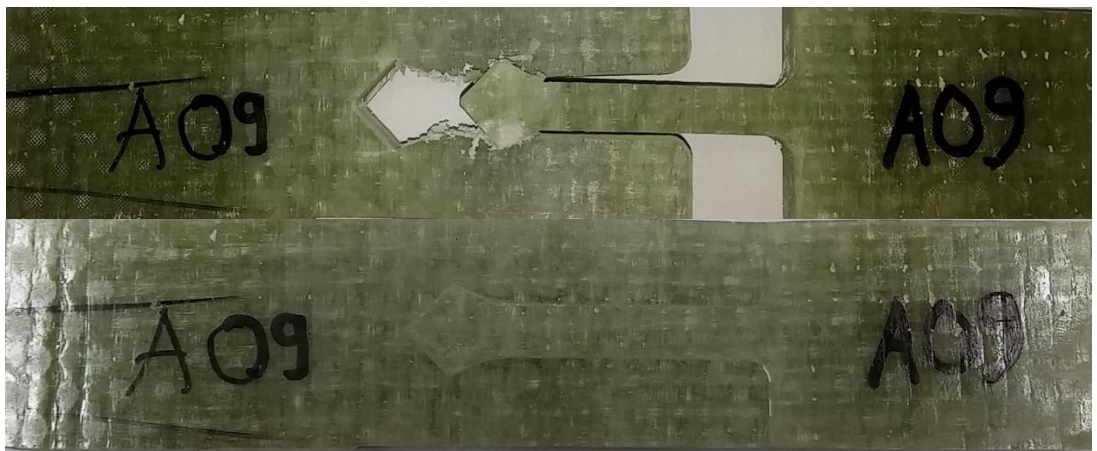
Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 18 mm ve sabit olduğu tırnak genişliğinin ise değiştiği numunelerin deneysel öncesi ve deneysel sonrası durumları Şekil 4.24-4.26 arasında görülmektedir.



Şekil 4.24: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A07 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar

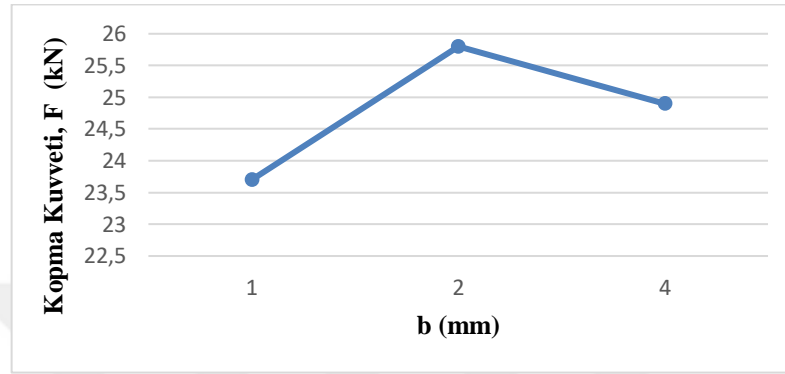


Şekil 4.25: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A08 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar



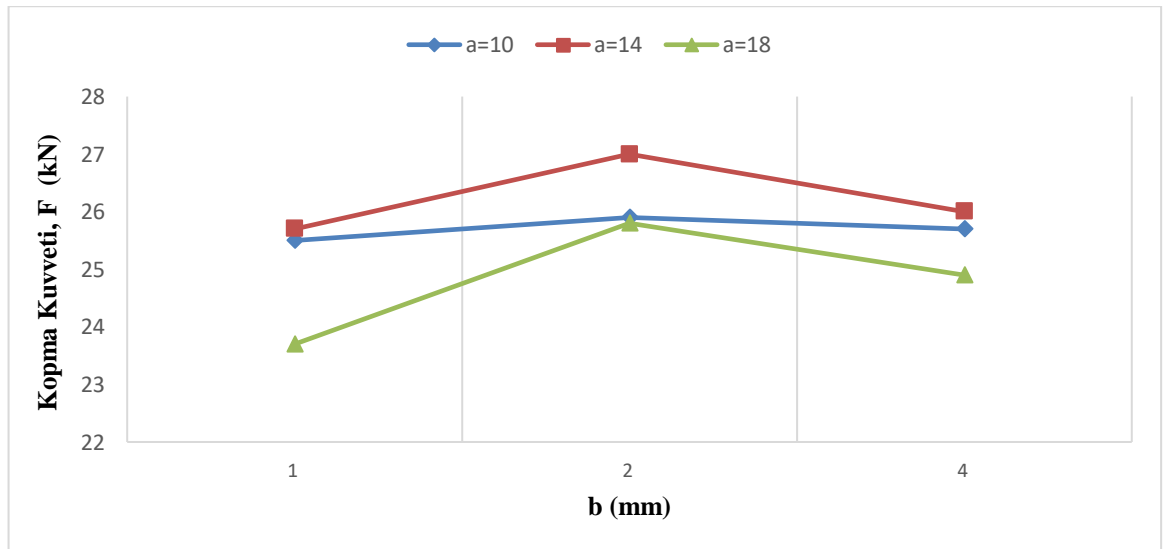
Şekil 4.26: Deney öncesi beşgen dil tasarımı (A09 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar

Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm için tırnak genişliğinin etkisi Şekil 4.27’de gösterilmiştir. Tırnak genişliği 2 mm olduğunda en yüksek seviyeye çıkmış ancak tırnak genişliği 4 mm olduğunda düşmüştür. Tırnak genişliği 4 mm olduğunda kopma dayanımı düşmesine rağmen yine de tırnak genişliğinin 1 mm olduğu numuneden daha iyi dayanım göstermiştir.



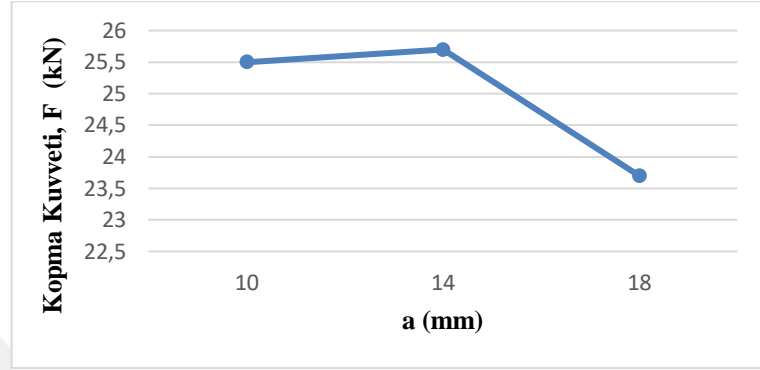
Şekil 4.27: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm için değişen tırnak genişliğinin kopma mukavemetine etkisi

Beşgen dil tasarımlarını kendi aralarında karşılaştıracak olursak; beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu sabit tutulduğunda, tırnak genişliği 1 mm’den 2 mm değerine getirildiğinde yapışkanlı bağlantının dayanımının arttığı, 4 mm değerine getirildiğinde dayanımın bir miktar düştüğü belirlenmiştir. Durum, Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



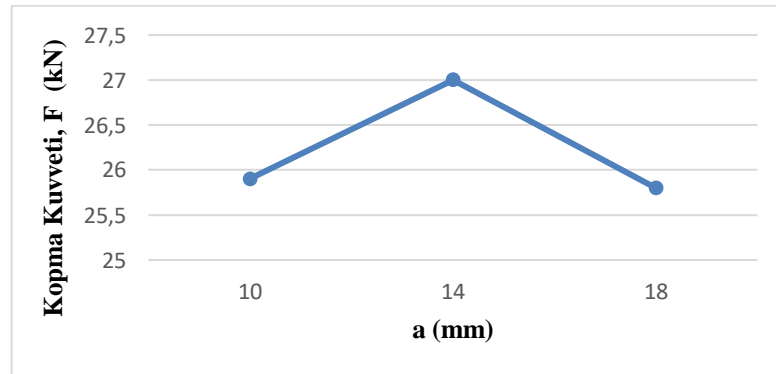
Şekil 4.28: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu (a) ve tırnak genişliğinin (b) kopma mukavemetine etkisi (a sabit)

Beşgen dil tasarımında tırnak genişliğinin (b) 1 mm için tırnak uzunluğuna (a) etkisi Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Tırnak uzunluğu 14 mm olduğunda kopma dayanımı en yüksek seviyeye çıkmış, tırnak uzunluğu 18 mm olduğunda kopma dayanımında büyük düşüş görülmüştür.



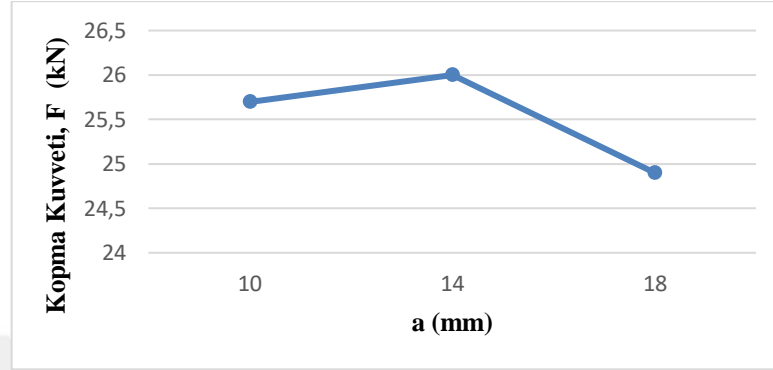
Şekil 4.29: Beşgen dil tasarımında tırnak genişliği 1 mm için değişen tırnak uzunluğunun kopma mukavemetine etkisi

Beşgen dil tasarımında tırnak genişliğinin (b) 2 mm için tırnak uzunluğuna (a) etkisi Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Tırnak uzunluğu 14 mm olduğunda kopma dayanımı en yüksek seviyeye çıkmış, tırnak uzunluğu 18 mm olduğunda kopma dayanımı en düşük seviyeye inmiştir.



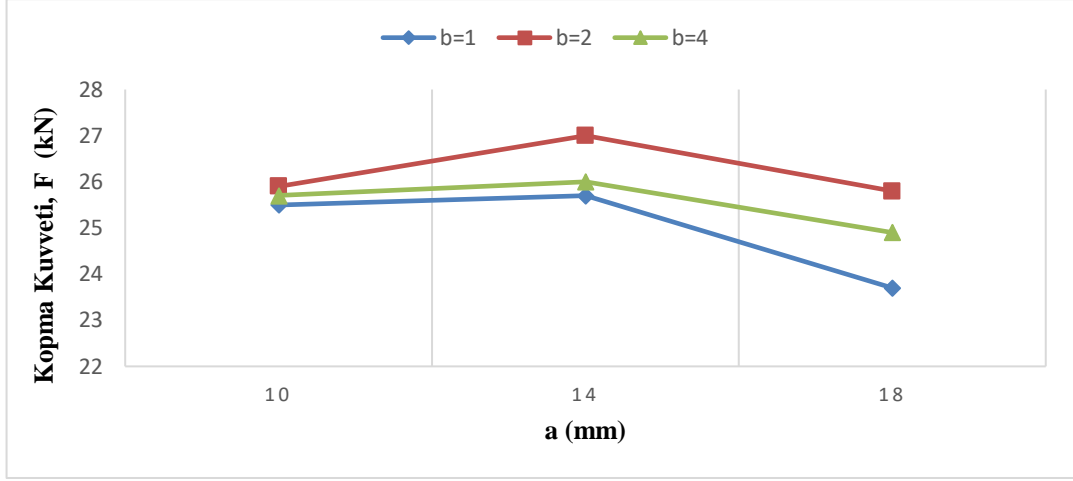
Şekil 4.30: Beşgen dil tasarımında tırnak genişliği 2 mm için değişen tırnak uzunluğunun kopma mukavemetine etkisi

Beşgen dil tasarımında tırnak genişliğinin (b) 4 mm için tırnak uzunluğuna (a) etkisi Şekil 4.31’de gösterilmiştir. Tırnak uzunluğu 14 mm olduğunda kopma dayanımı en yüksek seviyeye çıkmış, tırnak uzunluğu 18 mm olduğunda kopma dayanımında büyük düşüş görülmüştür.



Şekil 4.31: Beşgen dil tasarımında tırnak genişliği 4 mm için değişen tırnak uzunluğunun kopma mukavemetine etkisi

Beşgen dil tasarımlarını kendi aralarında karşılaştıracak olursak; beşgen dil tasarımında tırnak genişliği sabit tutulduğunda, tırnak uzunluğu 10 mm’den 14 mm değerine getirildiğinde yapışkanlı bağlantının dayanımının arttığı, 18 mm değerine getirildiğinde dayanımın özellikle $b=1$ mm ve $b=4$ mm için önemli oranda düştüğü belirlenmiştir. Tırnak uzunluğu 18 mm seçildiğinde en düşük dayanım değerleri oluştuğu, Tırnak uzunluğu 14 mm seçildiğinde kopma dayanımının arttığı değerlendirilmiştir. Tırnak uzunluğu 14 mm ve tırnak genişliği 2 mm olduğunda kopma dayanımının en yüksek seviyeye çıktığı görülmüştür. Durum, Şekil 4.32’de görülmektedir.

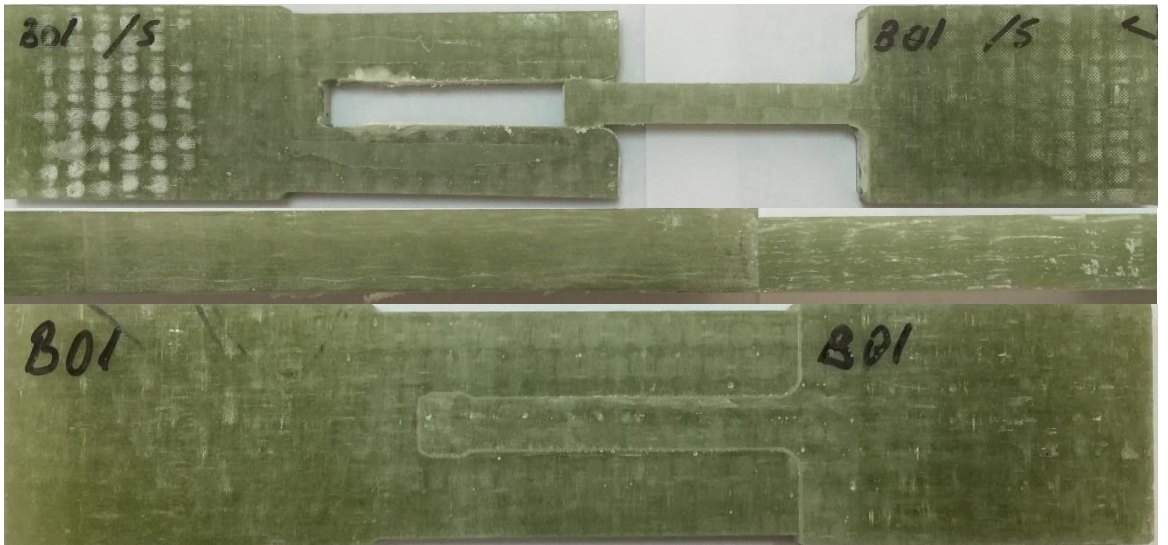


Şekil 4.32: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu (a) ve tırnak genişliğinin (b) kopma mukavemetine etkisi (b sabit)

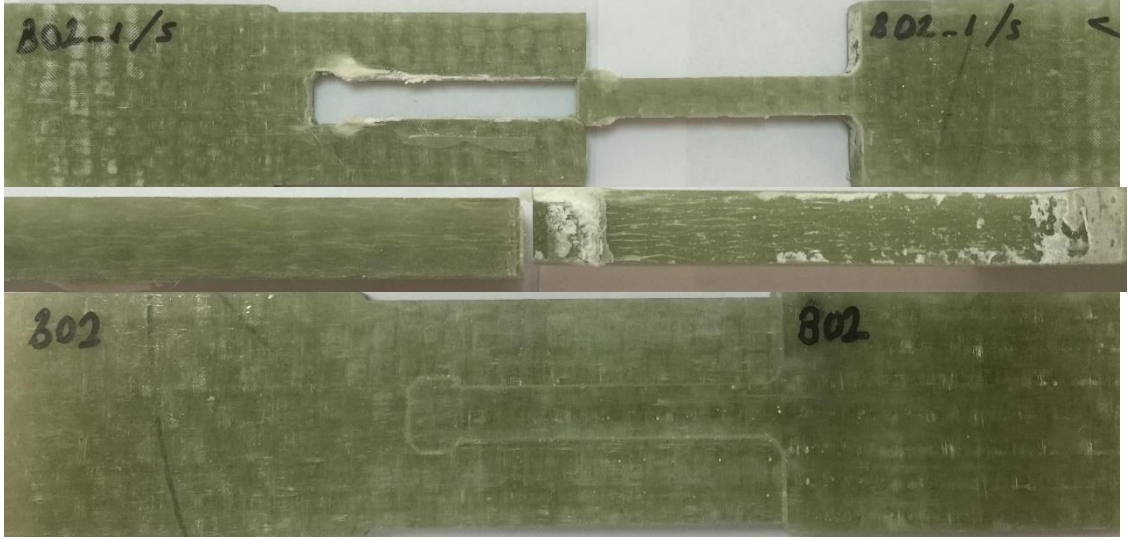
Deney sonrası fotoğraflara bakıldığında beşgen uç bölgesi etrafında açılma ve dil bölgesi boyunca delaminasyon meydana gelmiştir.

4.2.2 Sekizgen Dil Tasarımlarının Karşılaştırılması Ve Sonuçlar

Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 10 mm ve sabit olduğu tırnak genişliğinin ise değiştiği numunelerin deney öncesi ve deney sonrası durumları Şekil 4.33-4.35 arasında görülmektedir.



Şekil 4.33: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B01 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar

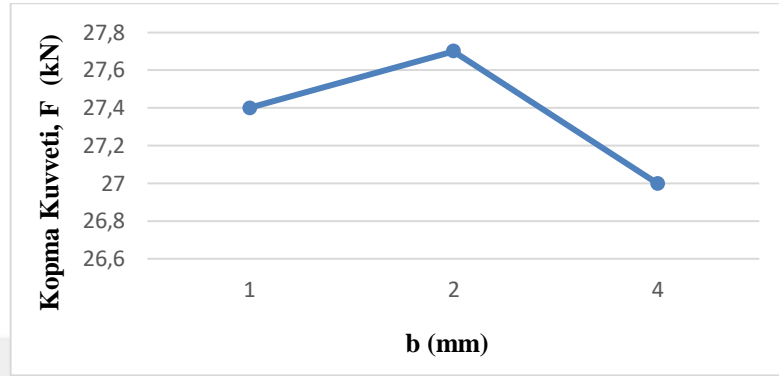


Şekil 4.34: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B02 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar



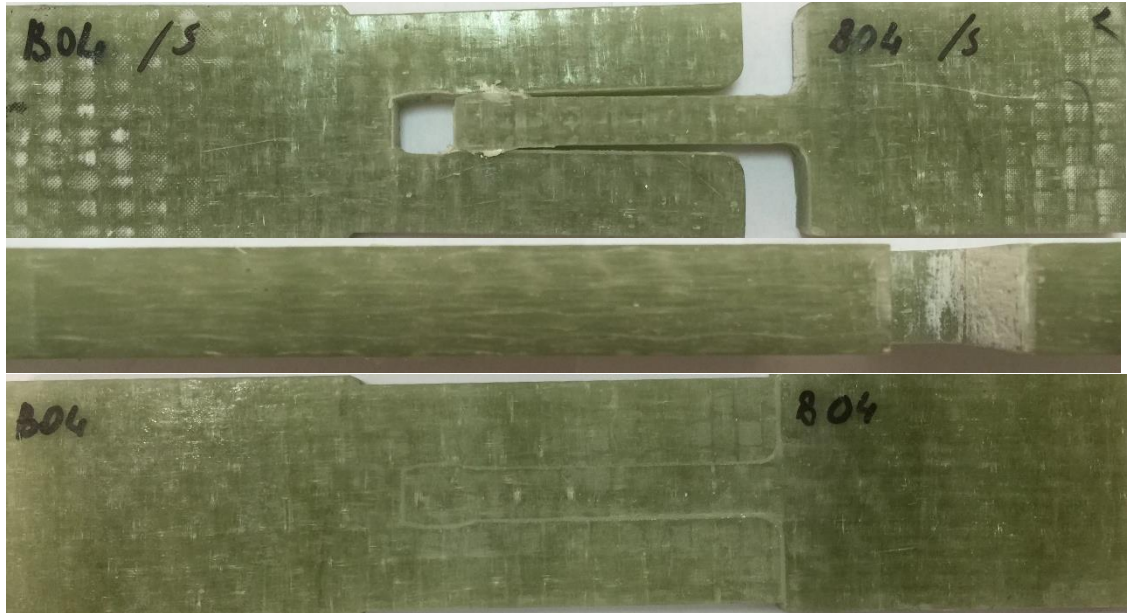
Şekil 4.35: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B03 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar

Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm için tırnak genişliğinin etkisi Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Tırnak genişliği 2 mm olduğunda kopma dayanımı en yüksek seviyeye çıkmış ancak tırnak genişliği 4 mm olduğunda kopma dayanımı büyük düşüş göstermiştir.



Şekil 4.36: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm için değişen tırnak genişliğinin kopma mukavemetine etkisi

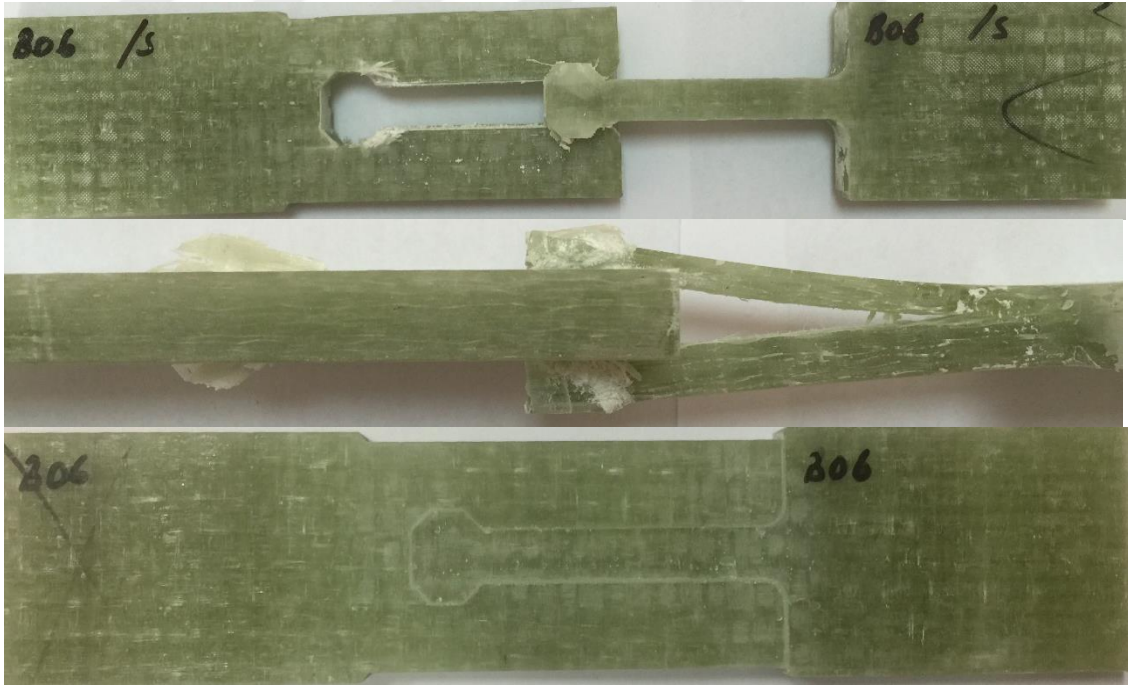
Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 14 mm ve sabit olduğu tırnak genişliğinin ise değiştiği numunelerin deney öncesi ve deney sonrası durumları Şekil 4.37-4.39 arasında görülmektedir.



Şekil 4.37: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B04 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar

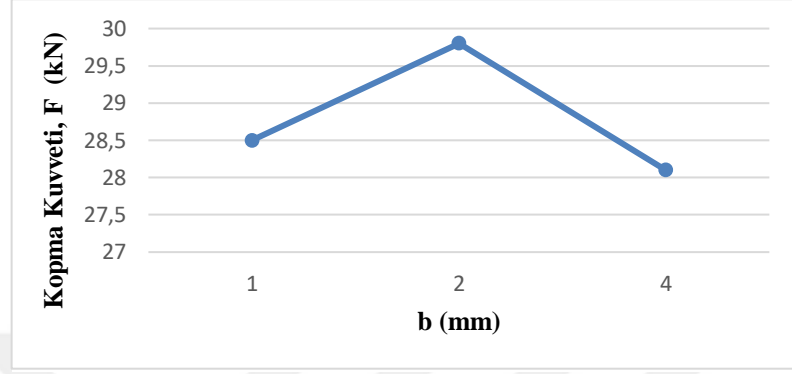


Şekil 4.38: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B05 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar



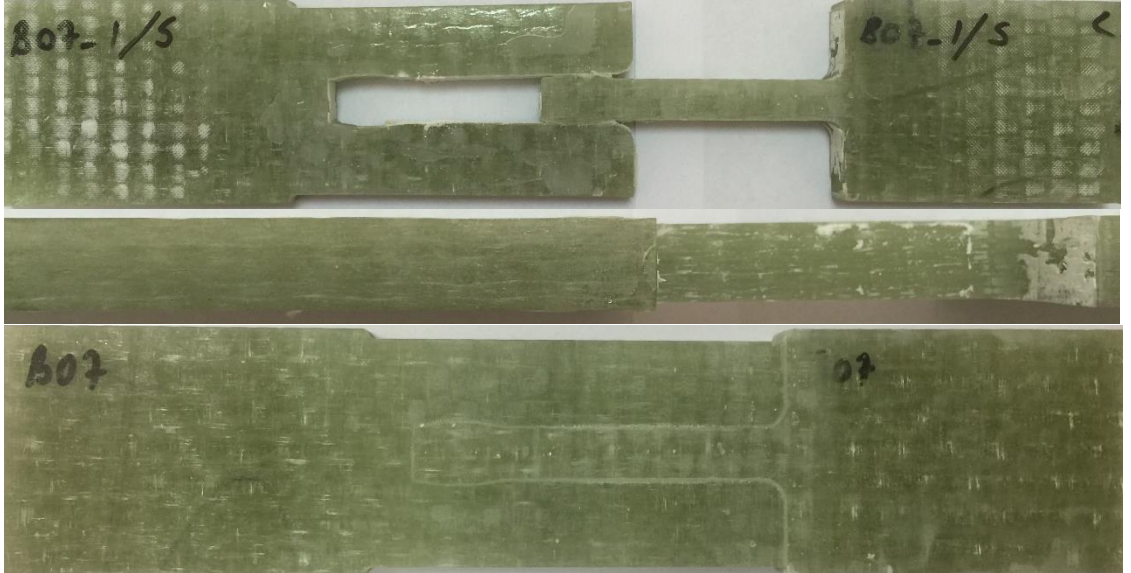
Şekil 4.39: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B06 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar

Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm için tırnak genişliğinin etkisi Şekil 4.40'da gösterilmiştir. Tırnak genişliği 2 mm olduğunda en yüksek seviyeye çıkmış ancak tırnak genişliği 4 mm olduğunda düşmüştür.



Şekil 4.40: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm için değişen tırnak genişliğinin kopma mukavemetine etkisi

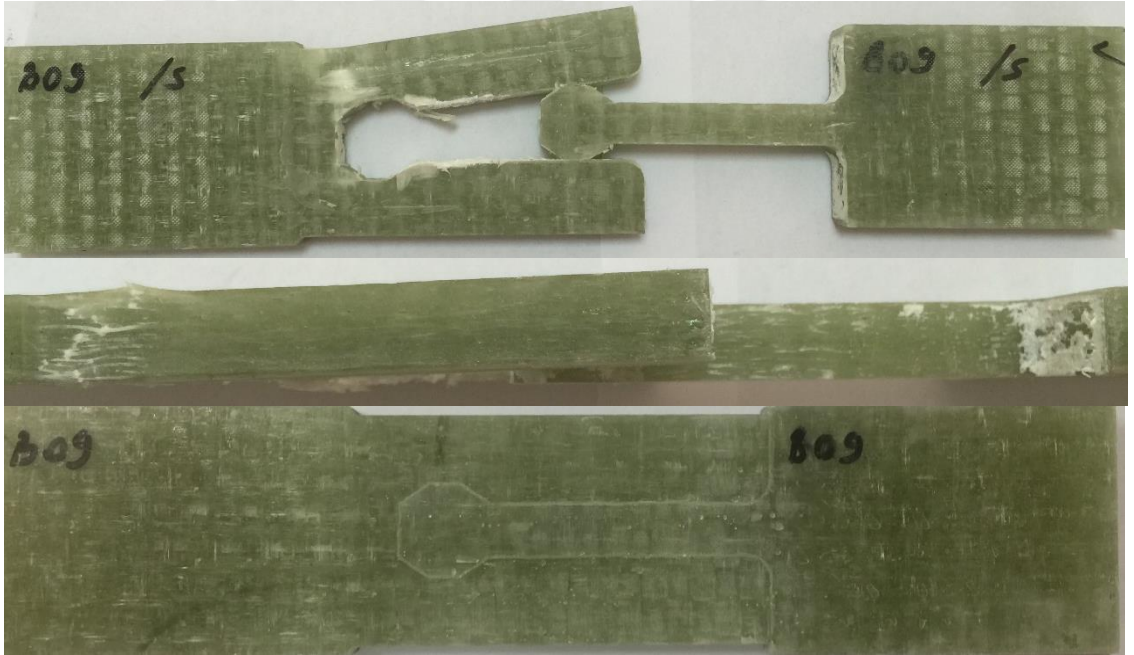
Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 18 mm ve sabit olduğu tırnak genişliğinin ise değiştiği numunelerin deney öncesi ve deney sonrası durumları Şekil 4.41-4.43 arasında görülmektedir.



Şekil 4.41: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B07 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar

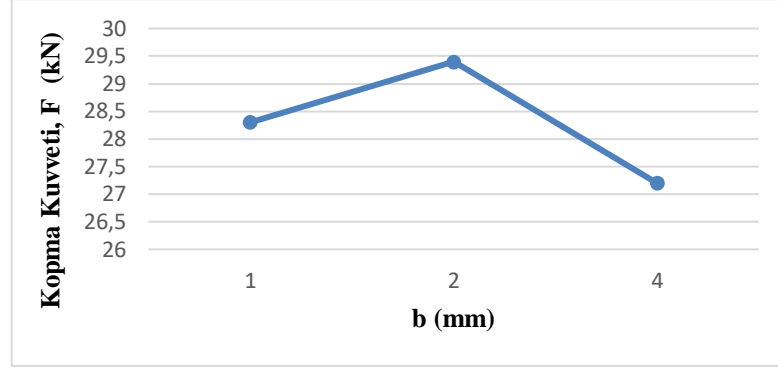


Şekil 4.42: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B08 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar



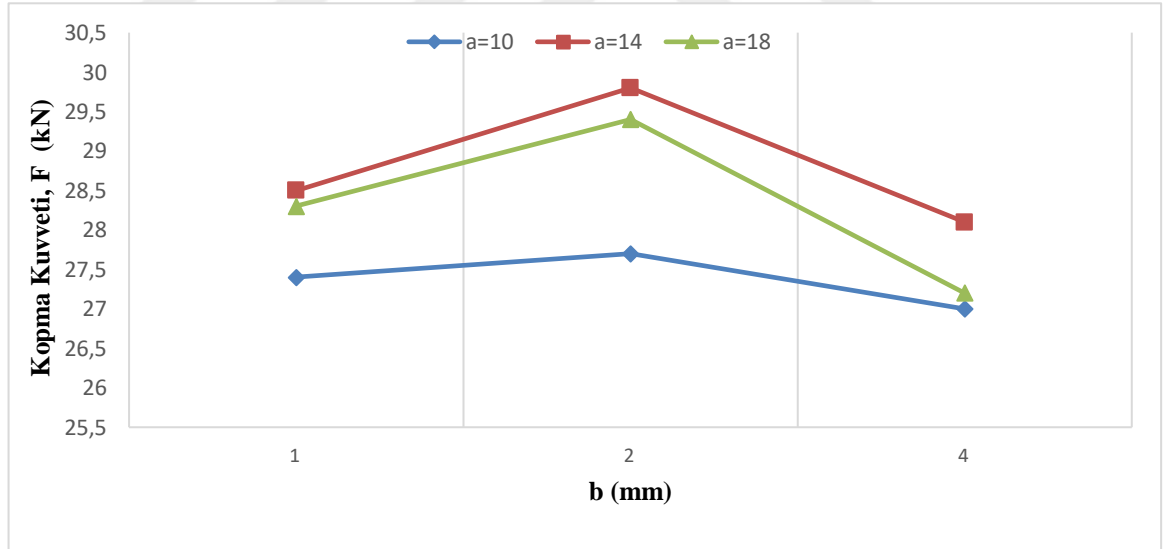
Şekil 4.43: Deney öncesi sekizgen dil tasarımı (B09 numunesi) ve deney sonrası oluşan deformasyonlar

Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm için tırnak genişliğinin etkisi Şekil 4.44'de gösterilmiştir. Tırnak genişliği 2 mm olduğunda kopma dayanımı en yüksek seviyeye çıkmış ancak tırnak genişliği 4 mm olduğunda kopma dayanımı azalmış ve en düşük seviyeye gerilemiştir.



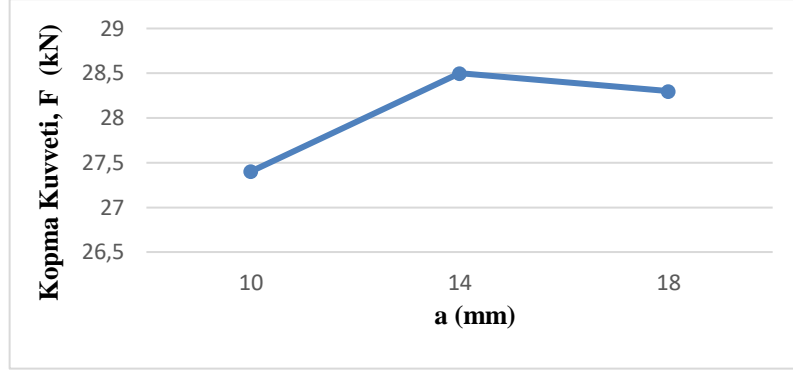
Şekil 4.44: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm için değişen tırnak genişliğinin kopma mukavemetine etkisi

Sekizgen dil tasarımlarını kendi aralarında karşılaştıracak olursak; sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu sabit tutulduğunda, tırnak genişliği 1 mm'den 2 mm değerine getirildiğinde yapışkanlı bağlantının dayanımının arttığı, 4 mm değerine getirildiğinde dayanımın bir miktar düştüğü belirlenmiştir. Durum, Şekil 4.45'de gösterilmiştir.



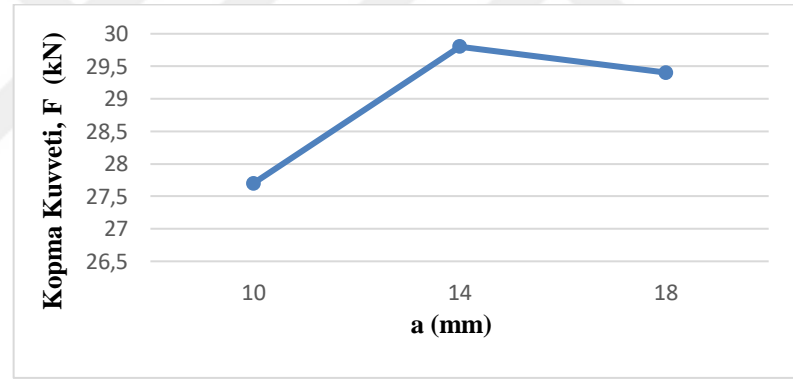
Şekil 4.45: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu (a) ve tırnak genişliğinin (b) kopma mukavemetine etkisi (a sabit)

Sekizgen dil tasarımında tırnak genişliğinin (b) 1 mm için tırnak uzunluğuna (a) etkisi Şekil 4.46'da gösterilmiştir. Tırnak uzunluğu 14 mm olduğunda kopma dayanımı en yüksek seviyeye çıkmış, tırnak uzunluğu 10 mm olduğunda kopma dayanımında büyük düşüş görülmüştür.



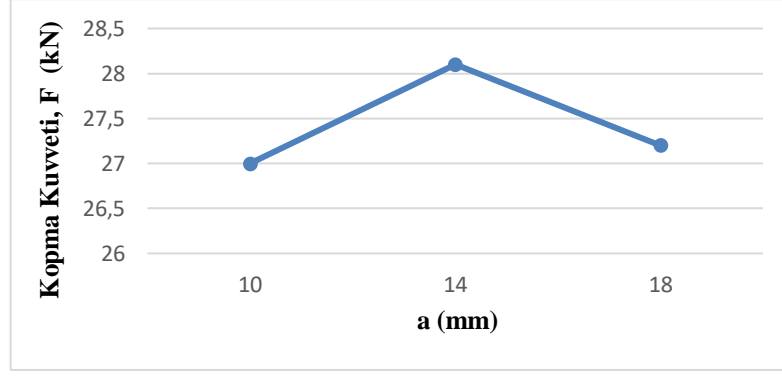
Şekil 4.46: Sekizgen dil tasarımında tırnak genişliği 1 mm için değişen tırnak uzunluğunun kopma mukavemetine etkisi

Sekizgen dil tasarımında tırnak genişliğinin (b) 2 mm için tırnak uzunluğuna (a) etkisi Şekil 4.47’de gösterilmiştir. Tırnak uzunluğu 14 mm olduğunda kopma dayanımı en yüksek seviyeye çıkmış, tırnak uzunluğu 10 mm olduğunda kopma dayanımında büyük düşük görülmüştür.



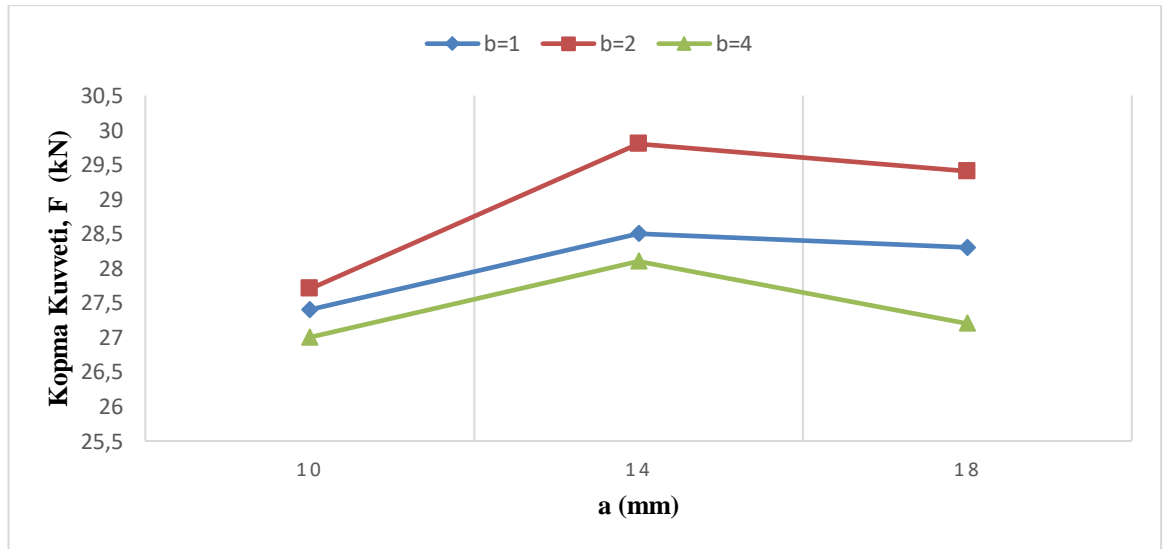
Şekil 4.47: Sekizgen dil tasarımında tırnak genişliği 2 mm için değişen tırnak uzunluğunun kopma mukavemetine etkisi

Sekizgen dil tasarımında tırnak genişliğinin (b) 4 mm için tırnak uzunluğuna (a) etkisi Şekil 4.48’de gösterilmiştir. Tırnak uzunluğu 14 mm olduğunda kopma dayanımı en yüksek seviyeye çıkmış, tırnak uzunluğu 10 mm olduğunda kopma dayanımı en düşük seviyeye inmiştir.



Şekil 4.48: Sekizgen dil tasarımında tırnak genişliği 4 mm için değişen tırnak uzunluğunun kopma mukavemetine etkisi

Sekizgen dil tasarımlarını kendi aralarında karşılaştıracak olursak; sekizgen dil tasarımında tırnak genişliği sabit tutulduğunda, tırnak uzunluğu 10 mm'den 14 mm değerine getirildiğinde yapışkanlı bağlantının dayanımının arttığı, 18 mm değerine getirildiğinde dayanımın özellikle $b=1$ mm ve $b=4$ mm için önemli oranda düştüğü belirlenmiştir. Tırnak uzunluğu 10 mm seçildiğinde en düşük dayanım değerleri oluştuğu, Tırnak uzunluğu 14 mm seçildiğinde kopma dayanımının arttığı değerlendirilmiştir. Tırnak uzunluğu 14 mm ve tırnak genişliği 2 mm olduğunda kopma dayanımının en yüksek seviyeye çıktığı görülmüştür. Durum, Şekil 4.49'da görülmektedir.



Şekil 4.49: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu (a) ve tırnak genişliğinin (b) kopma mukavemetine etkisi (b sabit)

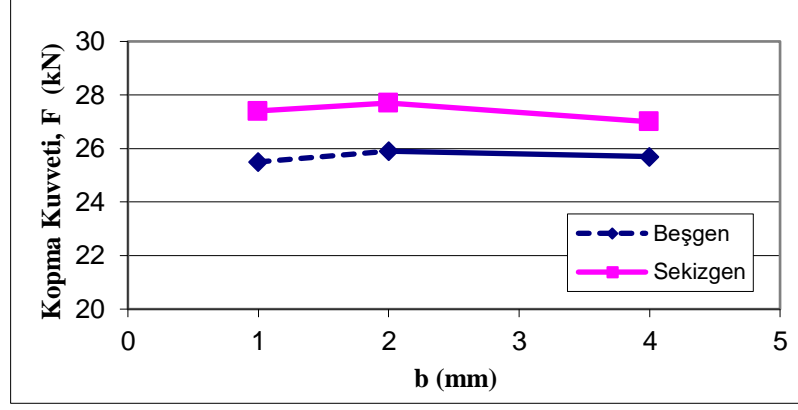
Deney sonrası fotoğraflara bakıldığında beşgen uç bölgesi etrafında açılma ve dil bölgesi boyunca delaminasyon meydana gelmiştir.

4.2.3 Beşgen Ve Sekizgen Dil Tasarımlarının Karşılaştırılması

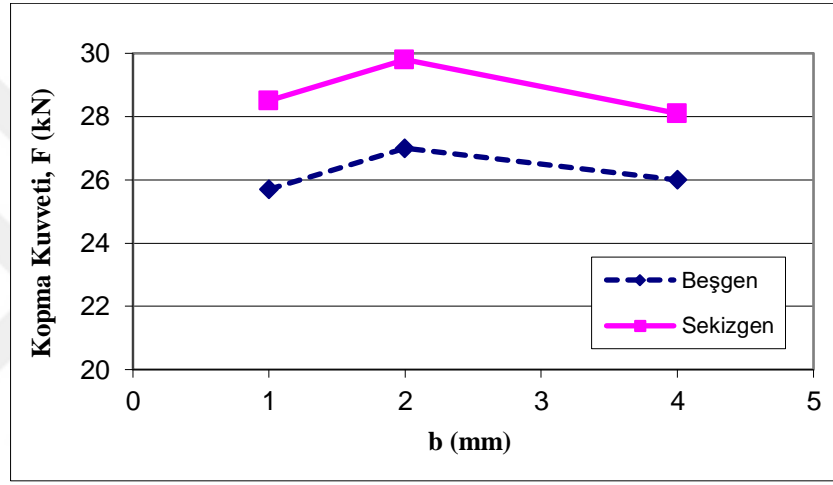
Deney sonrası beşgen ve sekizgen numunelerin hasar sonrası resimlerine bakıldığında genel olarak uç bölgesinin etrafında açılma ve dil bölgesi boyunca delaminasyon meydana gelmiştir. Tabakalar arası delaminasyon, bütün numunelerde görülmektedir. Çekme sonucu ilk olarak oluk çene bölgesi kopmakta (Şekil 4.14 A-Bölgesi), sonra dil boyunca dil oluk arasındaki epoksi kayma ve açılma gerilmelerine maruz kalarak bozulmakta (Şekil 4.14 B-Bölgesi), daha sonra oluşturulan beşgen ve sekizgen bölge gerilmelere maruz kalmaktadır. İlk iki bölgedeki hasardan sonra uç geometrisi bağlantıyı tutmaktadır. Beşgen ve sekizgen bölge üzerinde yüksek gerilmeler oluşmakta ve bu gerilmeler uç bölgede, tabakalar arası delaminasyona ve sıyrılma sırasında ezilmeye sebep vererek kopmaya neden olmaktadır. Deformasyon her iki dil tasarımlarında da gözlemlenmekte olup benzer gerilmeler sonucu oluşmaktadır. Kopma dayanımları incelendiğinde sekizgen uç geometrisine sahip numunelerin daha yüksek dayanım gösterdiği görülmüştür. Sekizgen uç geometri oluk parçasının dil parçasını daha iyi kavradığı tespit edilmiştir.

4.3 Deney Sonuçlarına Göre Dil Tasarımlarının Karşılaştırılması

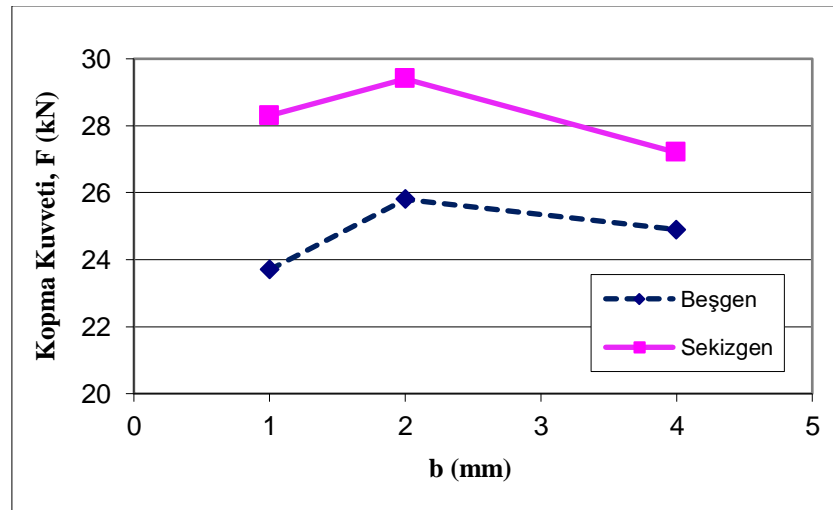
Bu bölümde ise deney sonuçlarına göre beşgen ve sekizgen dil tasarımına sahip numunelerin tırnak uzunluğunun (a) sabit tutulup tırnak genişliğinin (b) değiştiği ve tırnak genişliğinin (b) sabit tutulup tırnak uzunluğunun (a) değiştiği durumlara ilişkin karşılaştırmalı grafikler yer almaktadır. Bu grafiklerde numunelerin kopma kuvvetlerinin karşılaştırılması üzerinde durulmuştur. Aşağıda yer alan grafiklerden de anlaşılacağı üzere aynı ölçülerde sekizgen dil tasarımına sahip numuneler beşgen dil tasarımına sahip numunelerden daha iyi kopma dayanımı göstermiştir.



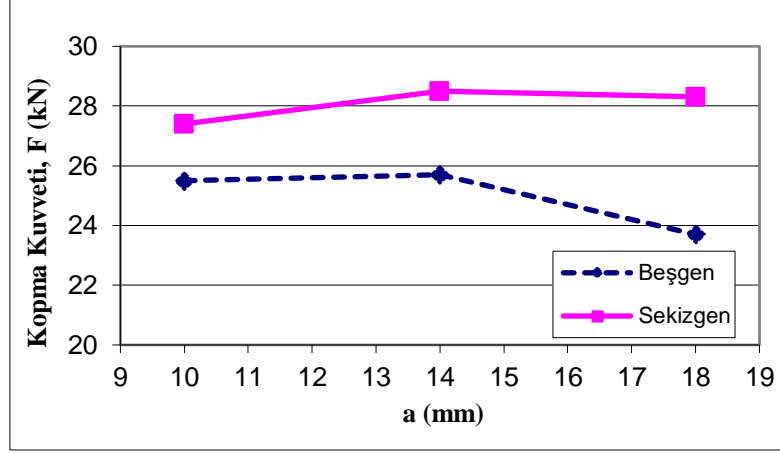
Şekil 4.50: Tırnak uzunluğu 10 mm ve değişen tırnak genişliği için beşgen ve sekizgen dil tasarımlarının kopma mukavemetine etkisi



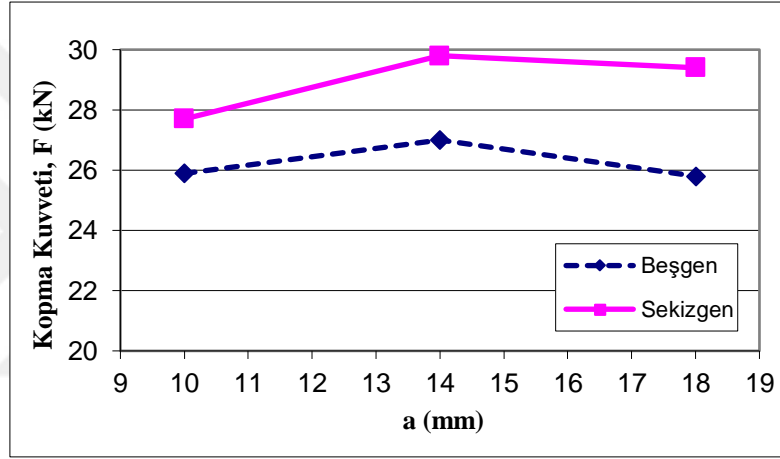
Şekil 4.51: Tırnak uzunluğu 14 mm ve değişen tırnak genişliği için beşgen ve sekizgen dil tasarımlarının kopma mukavemetine etkisi



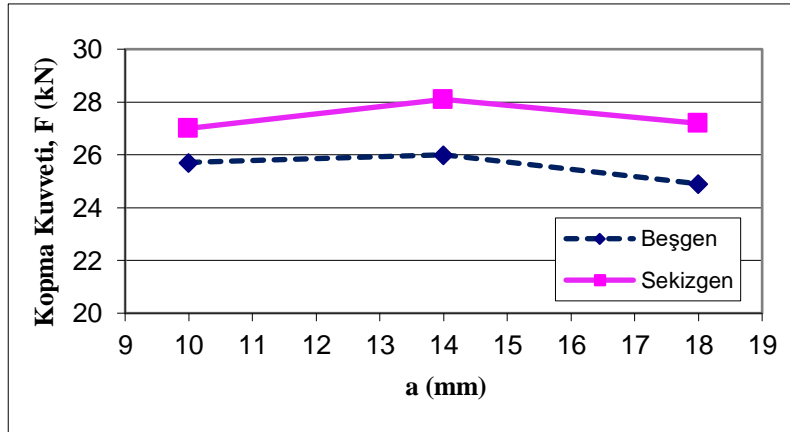
Şekil 4.52: Tırnak uzunluğu 18 mm ve değişen tırnak genişliği için beşgen ve sekizgen dil tasarımlarının kopma mukavemetine etkisi



Şekil 4.53: Tırnak genişliği 1 mm ve değişen tırnak uzunluğu için beşgen ve sekizgen dil tasarımlarının kopma mukavemetine etkisi



Şekil 4.54: Tırnak genişliği 2 mm ve değişen tırnak uzunluğu için beşgen ve sekizgen dil tasarımlarının kopma mukavemetine etkisi



Şekil 4.55: Tırnak genişliği 4 mm ve değişen tırnak uzunluğu için beşgen ve sekizgen dil tasarımlarının kopma mukavemetine etkisi

5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE AŞAMALARI

5.1 Ansys 14.0 Sonlu Elemanlar Programı Analiz Adımları

Çekme deneyi uygulanan numuneler, Ansys 14.0 sonlu elemanlar analizi programında modellenmiş ve çözülmüştür. Analiz programında gerçekleştirilen modelleme ve çözüm aşamaları detaylı olarak anlatılmıştır:

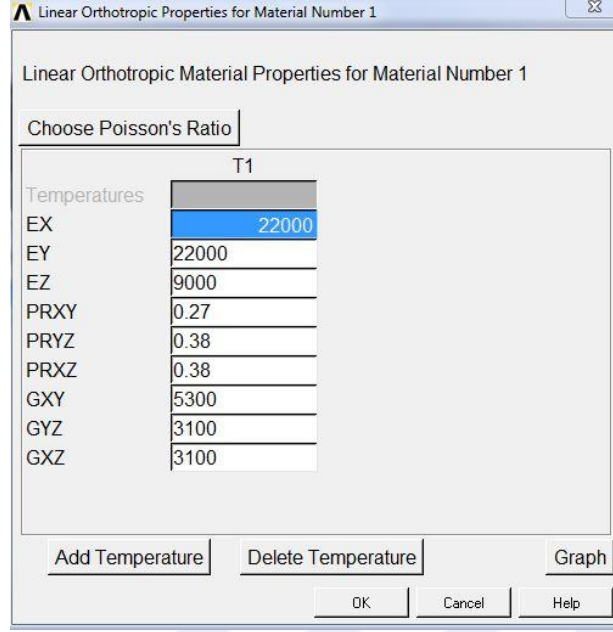
İlk başta malzeme özelliği seçimi yapılmıştır. Tabakalı kompozit malzeme için Solid186 çok tabakalı üç boyutlu malzeme tipi seçilmiştir.

Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add > Solid186 aşamaları kullanılarak seçim yapılmıştır. Yapıştırıcı için Solid185 katı cisim malzeme tipi aşağıdaki aşamalarla seçilmiştir.

Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add > Solid185 daha sonra tabakalı kompozit malzemenin; kaç tabaka olduğu, tabakaların kalınlıkları ve yönleri aşağıdaki aşamalarla belirlenmiştir.

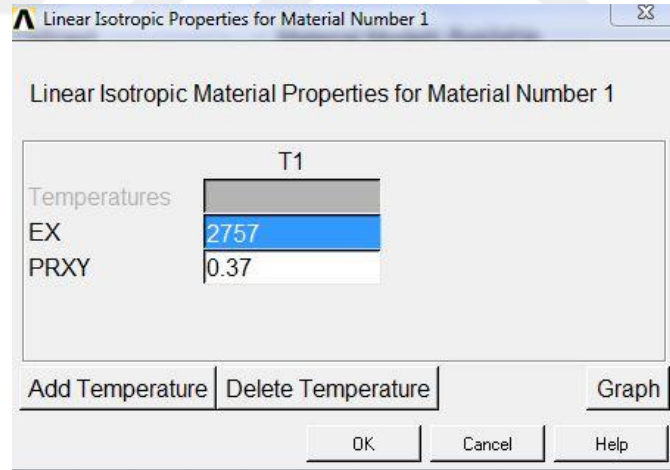
Preprocessor > Real Constant > Add/Edit/Delete > Add > Set1 > Solid186 aşamaları seçilir, ardından Eleman Type Reference No.1 penceresinde ok tıklanır. Açılan ekranda tabaka sayısı seçilir ve ok tıklanır. Yine gelen pencerede malzeme seçimindeki malzeme numarası, kompozit malzemenin açısı ve tabaka kalınlığı belirlenir. Tabaka sayısı kadar giriş yapılır.

Malzeme özellikleri bölümüne geçilir, bu bölümde kompozit malzeme için Orthotropic seçilir. Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > OK Orthotropic. Sonrasında kompozit malzemenin kendi karakteristiği olan değerler girilmiştir (Şekil 5.1). Bu veri girişi enasında malzeme numarası real constant'taki malzeme numarası ile aynı olmalıdır. Bunun nedeni ise girilen değerlerin daha önce tabakalı olarak tanımlanan kompozit malzemeye atanabilmesidir.



Şekil 5.1: Kompozit malzemenin değerlerinin girilmesi

Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > OK Isotropic. Burada yine aynı işlemler gerçekleştirilir yalnız malzeme türü olarak Isotropic seçilir. Daha sonra yapıştırıcı özellikleri girilir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2: Yapıştırıcı malzemenin değerlerinin girilmesi

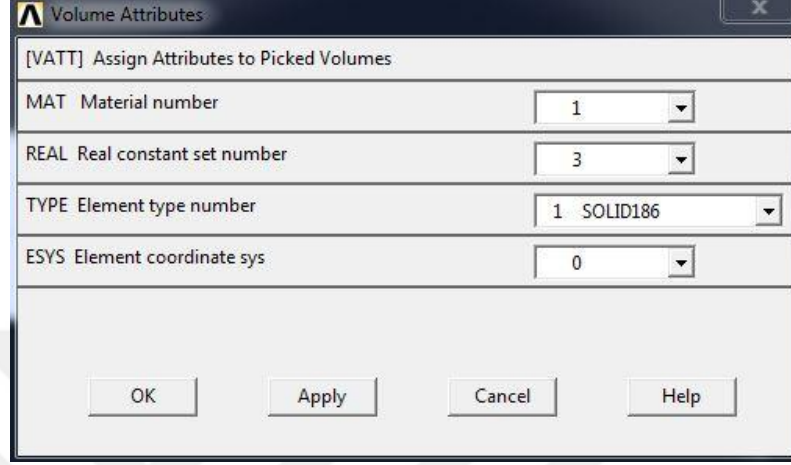
Bu değişiklikler gerçekleştirildikten sonra Solidworks 2015 programında gerçek ölçülerine göre çizilen numuneler 3 boyutlu olarak Ansys 14.0 programına aktarılmıştır. 3 boyutlu numuneler aktarıldıktan sonra sonra mesh kısmına gelinir. Bu kısımda Meshing menüsü kullanılır. Önce; mesh attributes ile malzeme numarası, real constant set numarası ve malzeme tipi girilerek numuneyi oluşturan parçalar

mesh öncesi tanımlanmış olur. Bu işlem öncesi atanacak parça seçilir (Şekil 5.3).

Menü sırasıyla şöyledir:

Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picket Volumes

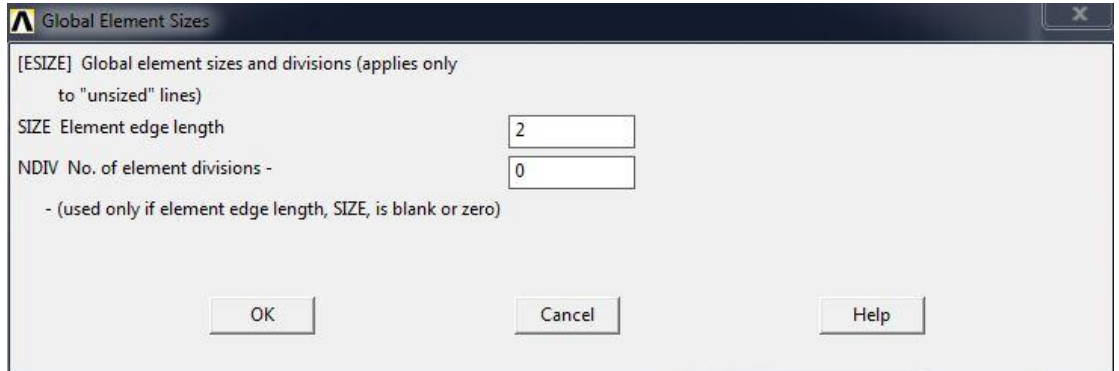
Sonra özellikleri seçilecek parça seçilir ve malzeme özellikleri Şekil 5.3'deki gibi girilir.



Şekil 5.3: Mesh işlemi öncesi malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Daha sonra meshli yapıda oluşacak sonlu elemanların boyutu belirlenir. Bu işlem gerçekleştirilirken manuel size seçilmiştir. Hacim için ise global size seçilmiştir. Bu seçim sonrası Şekil 5.4'deki gibi eleman boyutu girilir.

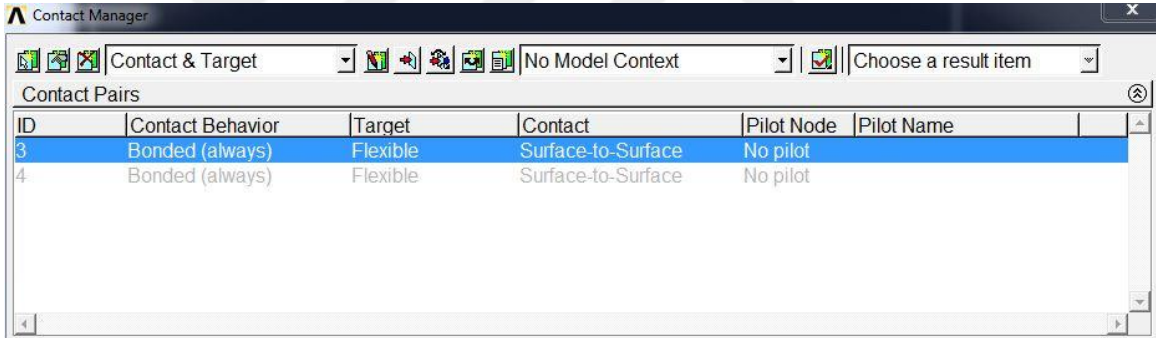
Burada ortak bir mesh boyutu belirlenmiş ve bütün parçalara uygulanmıştır. Menü akışı ise; Preprocessor > Meshing > Size Control > Manual Size > Global > Size şeklindedir.



Şekil 5.4: Mesh için eleman boyutunun girilmesi

Mesh işleminin parçalara uygulanması için üç boyutlu numunelerin ayrı ayrı parçaları seçilir, bu menüde volumes seçeneğinden sonra free seçeneği seçilir. Özellikle free seçeneğinin seçilmesi, numune parçalarının farklı geometrik yapılarda olmasına ve bu yapıların serbest olarak daha uygun meshlenmesine dayanmaktadır. Menü sırası şöyledir: Preprocessor > Meshing > Mesh > Volumes > Free > Pick all

Mesh işleminden sonra parçalar arasında contact tanımlama gerçekleştirilmiştir. Contact tanımlama yapılırken numune parçalarının ayrı birer parça olarak çizilmiş olması önem arz etmektedir. Bu tanımlama işlemi Preprocessor > Modeling > Create > Contact pair menü akışı ile yapılmaktadır. Bu işlemin gerçekleştirildiği ekran Şekil 5.5’de görülmektedir. Daha sonra contact manager isimli pencerede contact wizard aracılığıyla hacim işaretlenerek ardından target ve contact yüzeyleri seçilerek işleme devam edilir. Bu bölümde iki tanımlama yapılmıştır; bunlar oluk parçası-yapıştırıcı, yapıştırıcı-dil parçasıdır. En son options bölümünden contact behaviour kısmında Bonded (always) seçilir.

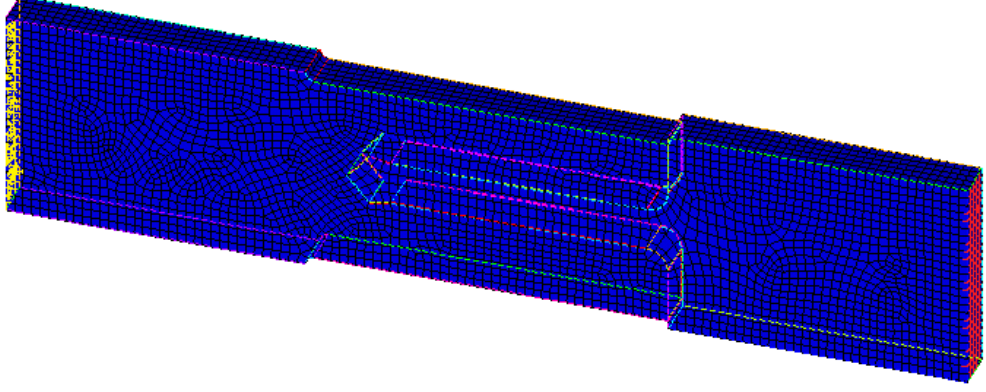


Şekil 5.5: Bağlantı yönteminin belirlenmesi

Bonden always seçilmesinin nedeni ise yapıştırma uygulamasının çözülemeyen bağlantı grubu içerisinde değerlendirilmesine dayanmaktadır.

Gerekli bağlantıları tanımlanan numuneye artık son tanımlamaların yapılması kalmıştır. Çekme deneyi uygulanacağı için çekme bölgesi ve sabitleme bölgesi bu uygulamaya göre seçilir. Çekme cihazındaki durum da göz önüne alınarak oluk parçası ankastre tutturulmuş, dil parçası kesit alanına basınç uygulanmıştır (Şekil 5.6). Menü akışı ise; basınç alanı için Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Areas Şekil 5.6’daki kırmızı alan, sabitleme alanı için ise Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Areas sarı alan seçilerek

All Dof tüm yer değiştirme ve dönme sabitlemesi yapılarak çözüm işleme geçilir. Solution menüsünden solve “current ls” seçilir.

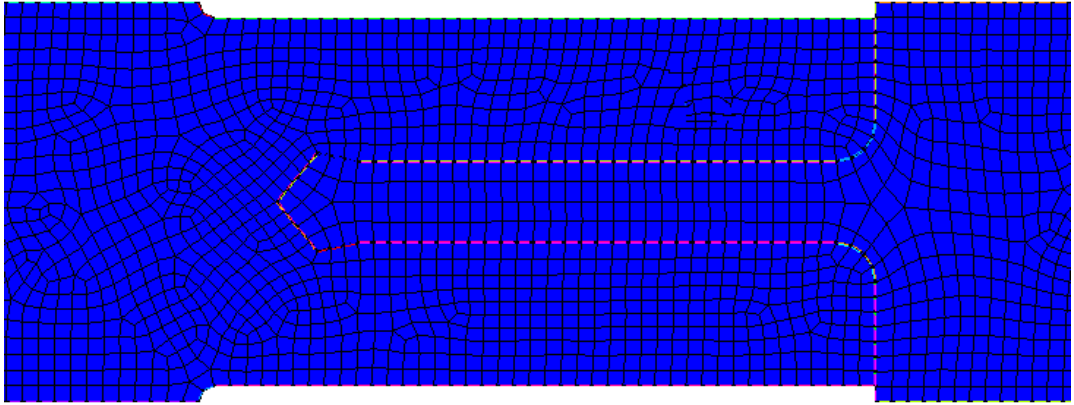


Şekil 5.6: Sabitlenmiş ve yüklenmiş meshli numune modeli

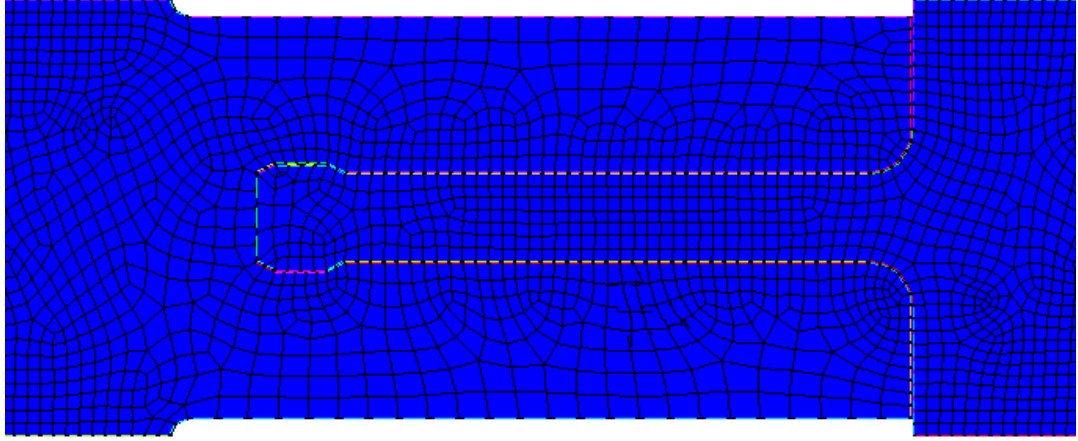
Çözüm yapıldıktan sonra hesaplanan gerilme değerleri ile sonuçlar değerlendirilir.

5.2 Deney Yükleriyle Yüklenmiş Ansys Modelleri ve Sonuçları

Deney yükleriyle yüklenen numunelerin modelleri manuel size mesh yapılmış ve size 2 olarak kullanılmıştır. Bu büyüklükteki size kullanılan bilgisayarın kapasitesi doğrultusunda seçilmiştir. Meshli yapılar; hem beşgen (Şekil 5.7) hem de sekizgen (Şekil 5.8) numuneler için örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.7: Beşgen dil tasarımı için tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 1 mm (A01 numunesi) meshli modeli



Şekil 5.8: Sekizgen dil tasarımı için tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 1 mm (B01 numunesi) meshli modeli

Yüklemelerde; kuvvet N, uzunluk mm, alan mm², basınç MPa olarak kullanılmıştır. Yükleme, yüzeye etki eden aksenal yük şeklinde alınmış ve kesit alan boyunca uygulanmıştır. Solidworks 2015 programında parçaların modellemesinde boyutlar, 12 mm kalınlık ve 50 mm genişlik alınarak kesit alanı 600 mm² olmuştur. Deneylein sonucu olan kopma yükleri Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de görölmektedir.

Tablo 5.1: Beşgen uç tasarımında kopma kuvvetleri

Beşgen Dil Tasarımlı Numuneler	Kopma Kuvveti (kN)
A01	25,50
A02	25,90
A03	25,70
A04	25,70
A05	27,00
A06	26,00
A07	23,70
A08	25,80
A09	24,90

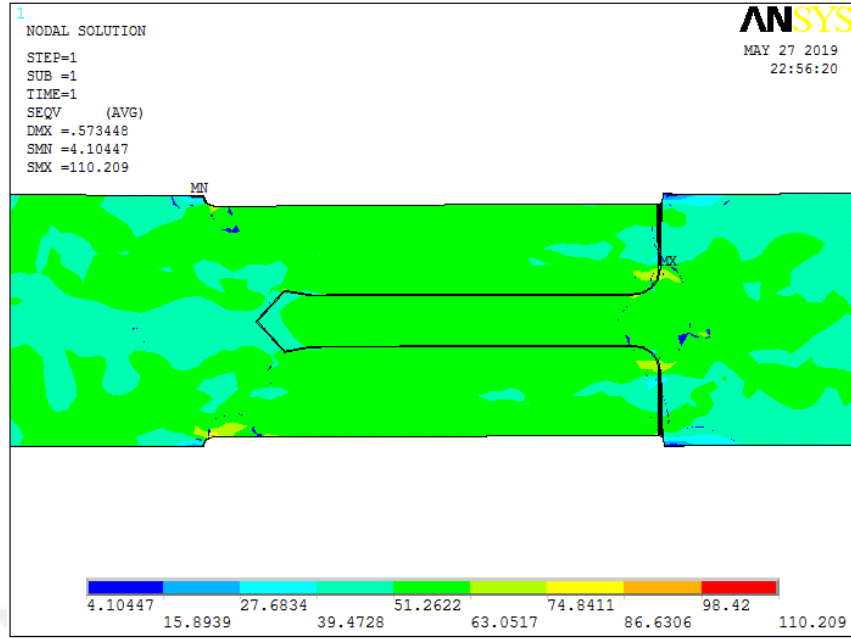
Tablo 5.2: Sekizgen uç tasarımında kopma kuvvetleri

Sekizgen Dil Tasarımılı Numuneler	Kopma Kuvveti (kN)
B01	27,40
B02	27,70
B03	27,00
B04	28,50
B05	29,80
B06	28,01
B07	28,30
B08	29,40
B09	27,20

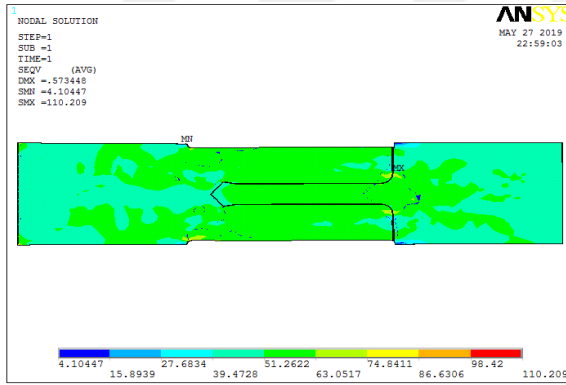
Bu modelleme ve analizlerin sonuçları; von Mises gerilmesi, x eksenini boyunca oluşan normal gerilme, y eksenini boyunca oluşan normal gerilme ve x-y düzleminde oluşan kayma gerilmeleri üzerinden incelenmiştir. Ansys programında; von Mises gerilmesi SEQV, x eksenini boyunca oluşan normal gerilme SX, y eksenini boyunca oluşan normal gerilme SY, x-y düzleminde oluşan kayma gerilmeleri SXY olarak adlandırılmıştır. Bu sonuçlar numunelerin nasıl bir davranış gösterdiği bilgisine ulaşmak için kullanılmıştır.

5.2.1 Beşgen Dil Tasarımılı Numunelerin Ansys Analizi

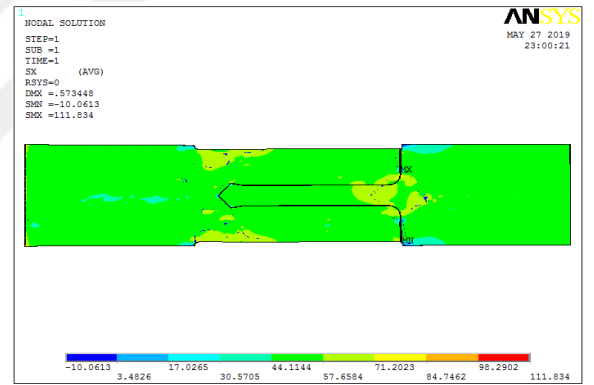
Bu bölümde numunelerin analizleri numara sırasına göre yapılmıştır. Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 10 mm ve tırnak genişliğinin 1 mm olduğu numunenin (A01 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 63828 eleman sayısı 21485'dir. Şekil 5.9'da von Mises gerilmesi ve Şekil 5.10'da normal gerilmeler ve kayma gerilmesi renk skalası ile gösterilmiştir. Y eksenini boyunca oluşan gerilmeye bakıldığında, uç geometrisinden kaynaklanan ve çekme sonucu oluşan açılmanın etkisiyle oluk parçası kolları deplasmana uğrar ve gerilme düşüşü oluşur. Bu düşüş Şekil 5.10 (c)'de görülmektedir. X eksenini boyunca gerilmelere bakıldığında ise oluk parçasından yapıştırıcıyı sıyrıp ayrılan dil bölgesinde maksimum gerilme mevcuttur.



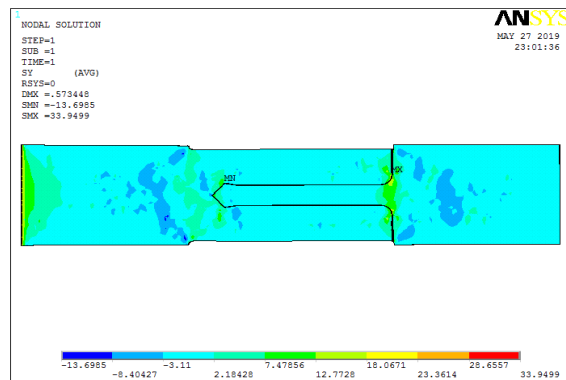
Şekil 5.9: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 1 mm (A01 numunesi) için von Mises gerilmesi



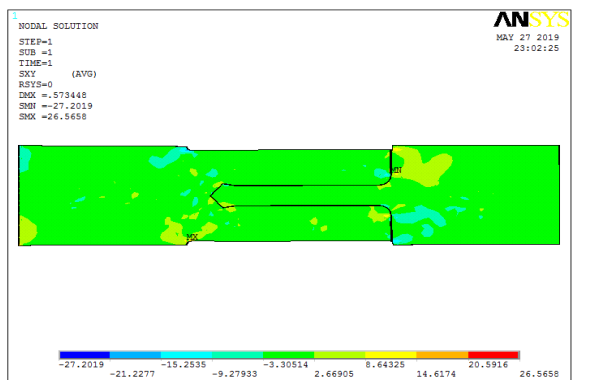
(a)



(b)



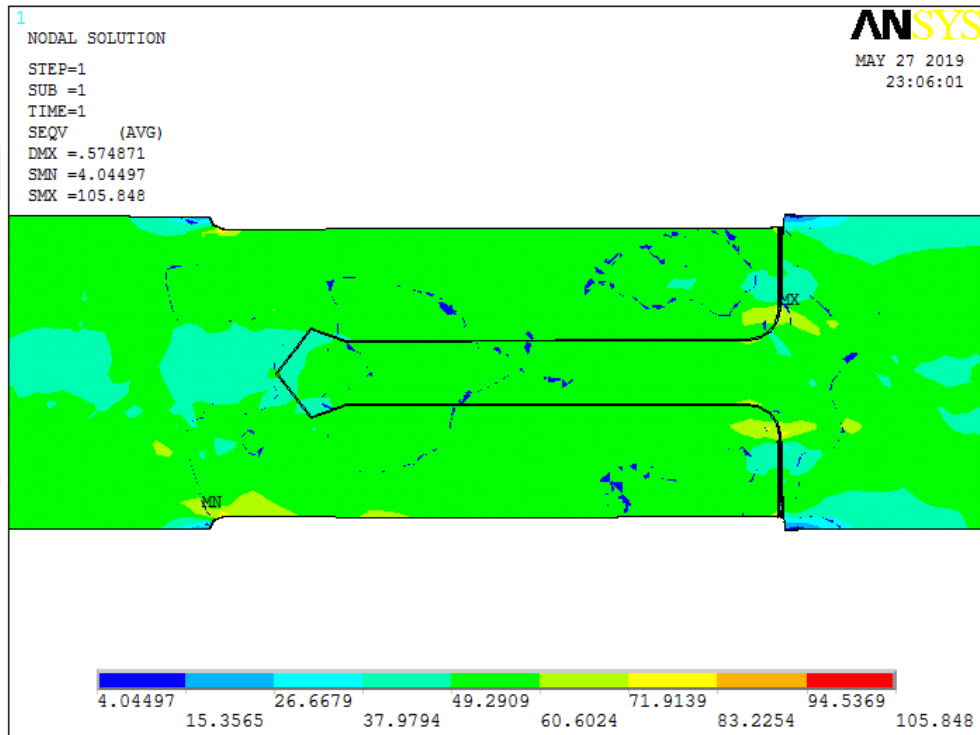
(c)



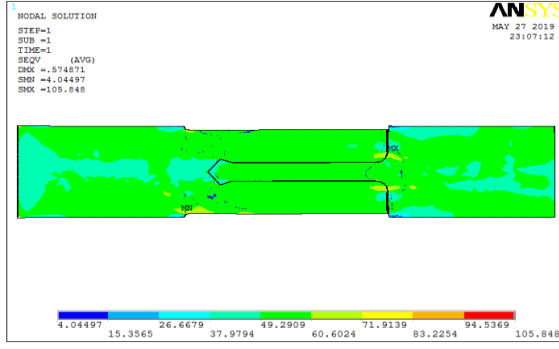
(d)

Şekil 5.10: Beşgen dil tasarımında a=10 mm ve b=1 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

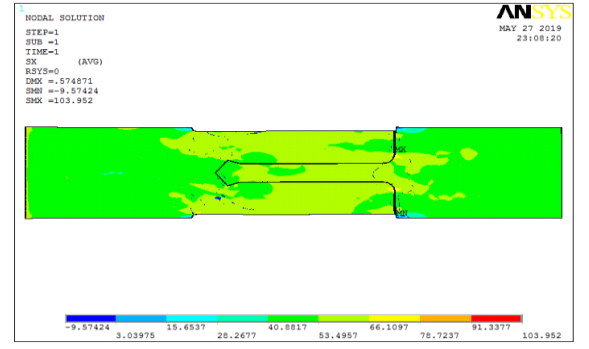
Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 10 mm ve tırnak genişliğinin 2 mm olduğu numunenin (A02 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 65893 eleman sayısı 22166'dır. Şekil 5.11'de von Mises gerilmesi ve Şekil 5.12'de normal gerilmeler ve kayma gerilmesi renk skalası ile gösterilmiştir. Y eksenine boyunca oluşan gerilmeye bakıldığında, uç geometrisinden kaynaklanan ve çekme sonucu oluşan açılmanın etkisiyle oluk parçası kolları deplasmana uğrar ve gerilme düşüşü oluşur. X eksenine boyunca oluşan gerilmeler, dil ve oluk parçalarının birleşimi boyunca artış göstermektedir.



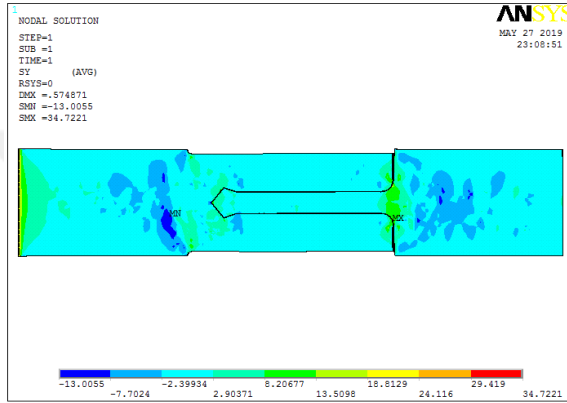
Şekil 5.11: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 2 mm (A02 numunesi) için von Mises gerilmesi



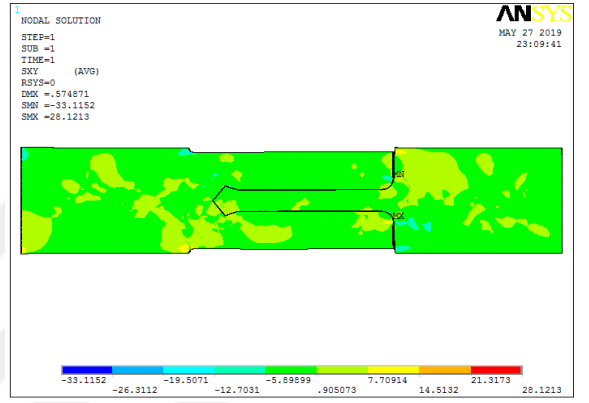
(a)



(b)



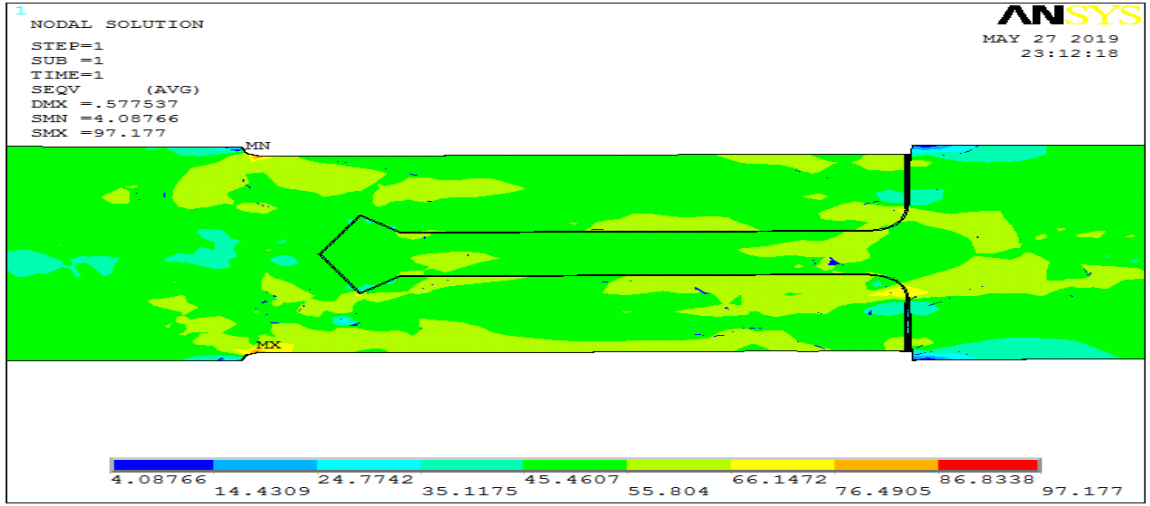
(c)



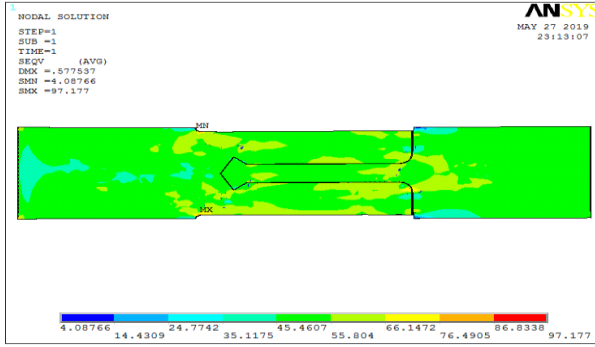
(d)

Şekil 5.12: Beşgen dil tasarımında $a=10$ mm ve $b=2$ mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

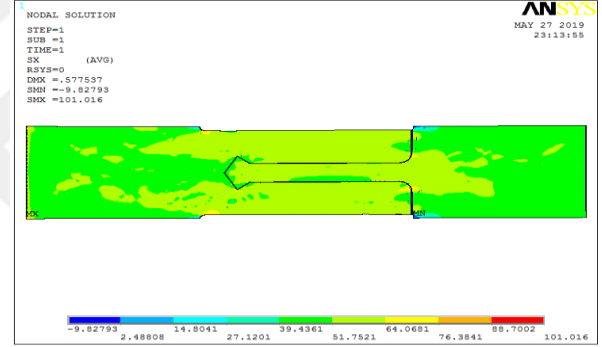
Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 10 mm ve tırnak genişliğinin 4 mm olduğu numunenin (A03 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 66207 eleman sayısı 22307'dir. Şekil 5.13'de von Mises gerilmesi ve Şekil 5.14'de normal gerilmeler ve kayma gerilmesi renk skalası ile gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında X eksenı boyunca gerilme dağılımı yoğun olarak yaşanırken, Y eksenı boyunca dil ve oluk parçalarında gerçekleşen ayrılmadan dolayı dil ve oluk çevresinde gerilme düşüşü yaşanmıştır.



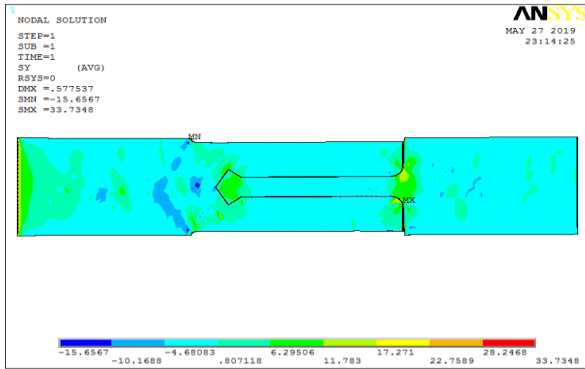
Şekil 5.13: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 4 mm (A03 numunesi) için von Mises gerilmesi



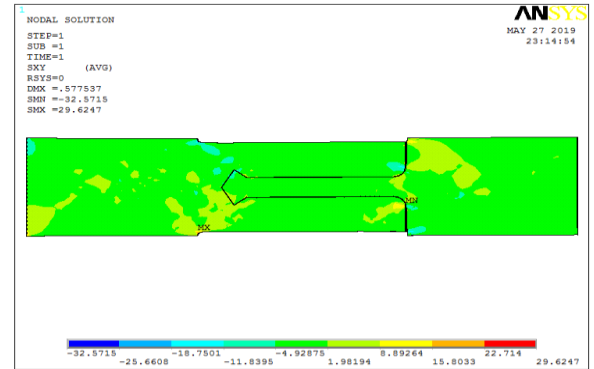
(a)



(b)



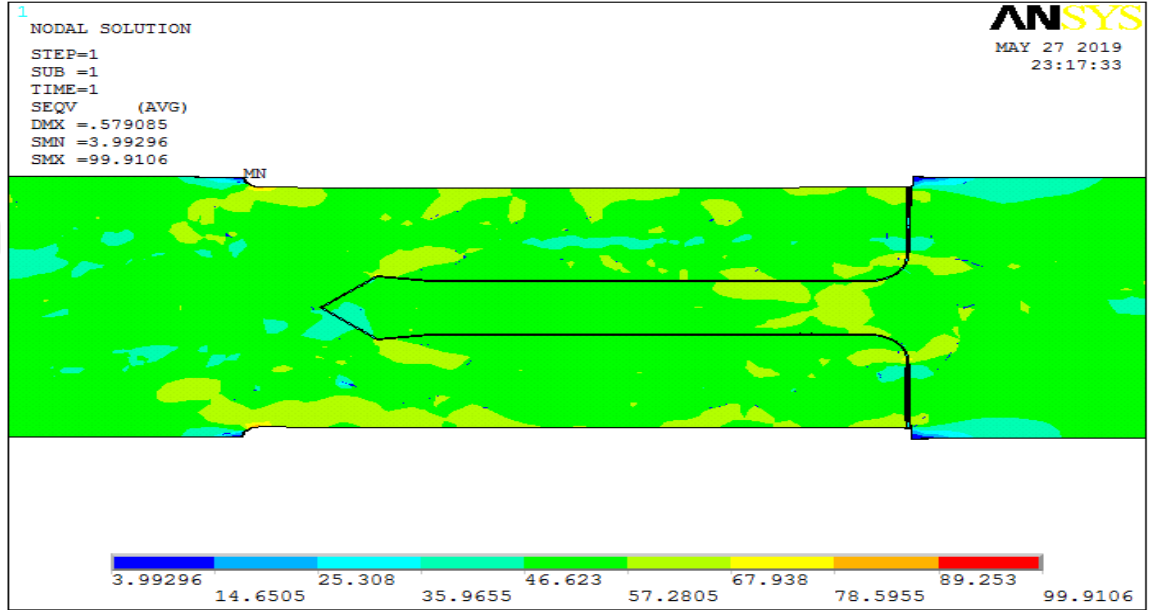
(c)



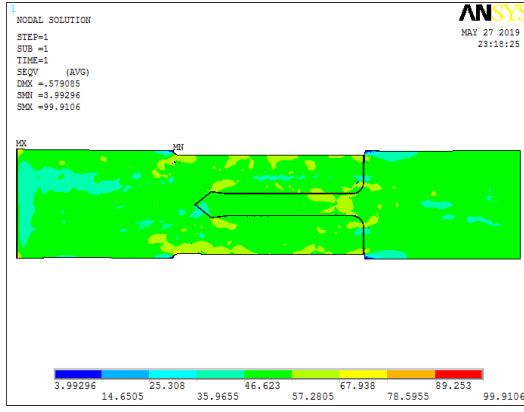
(d)

Şekil 5.14: Beşgen dil tasarımında a=10 mm ve b=4 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

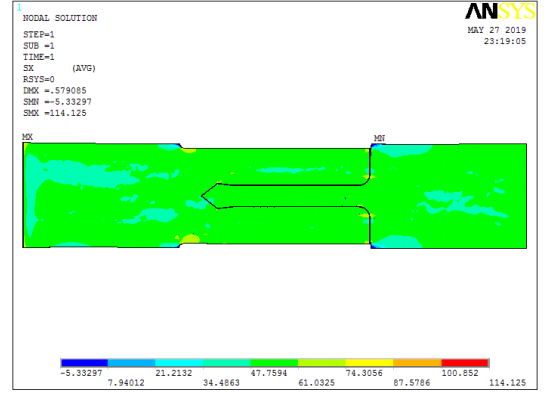
Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 14 mm ve tırnak genişliğinin 1 mm olduğu numunenin (A04 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 151089 eleman sayısı 47490'dır. Şekil 5.15'de von Mises gerilmesi ve Şekil 5.16'da normal gerilmeler ve kayma gerilmesi renk skalası ile gösterilmiştir. X eksenini boyunca gerilmeler incelendiğinde özellikle dil parçasının oluk parçasından ayrıldığı iki bacak bölgesinde gerilme artışı görülmüştür.



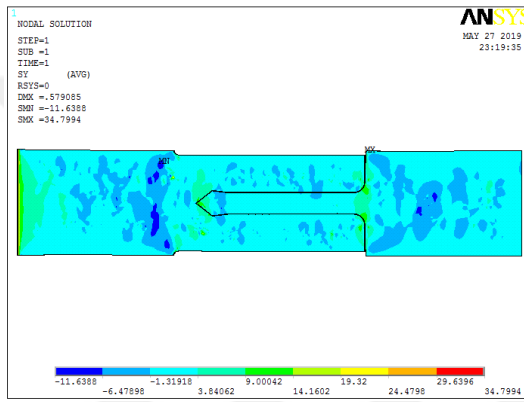
Şekil 5.15: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm ve tırnak genişliği 1 mm (A04 numunesi) için von Mises gerilmesi



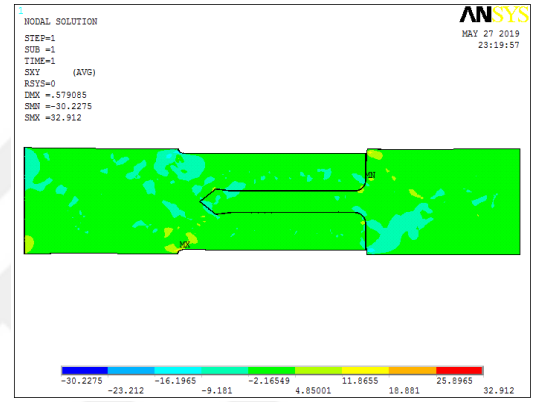
(a)



(b)



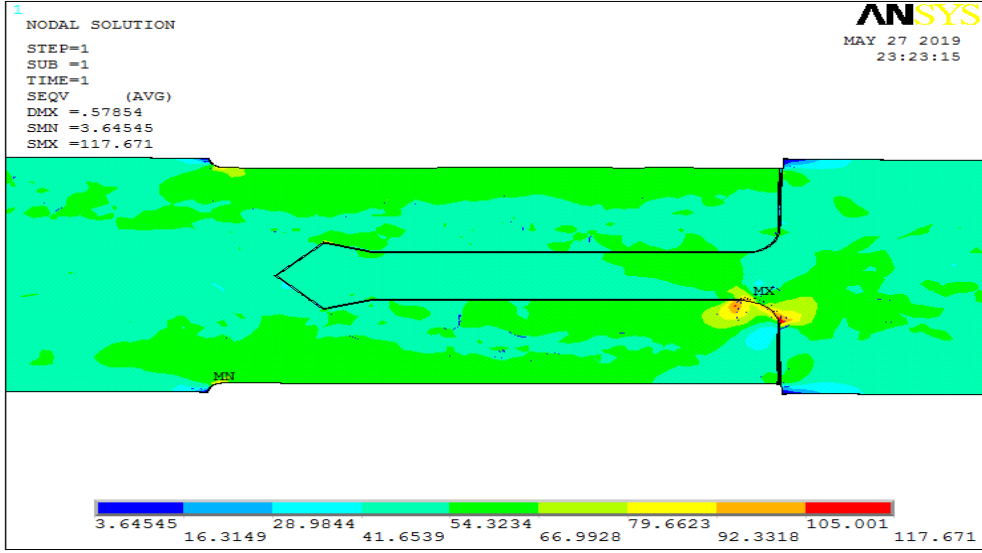
(c)



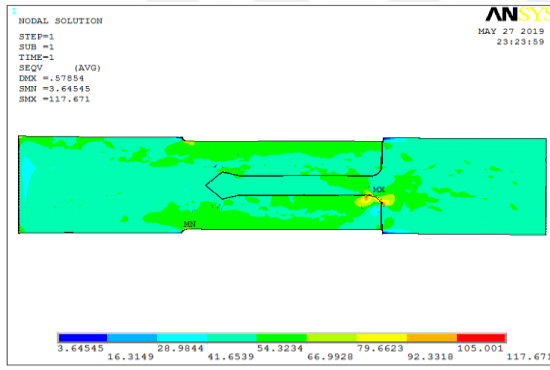
(d)

Şekil 5.16: Beşgen dil tasarımında $a=14$ mm ve $b=1$ mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

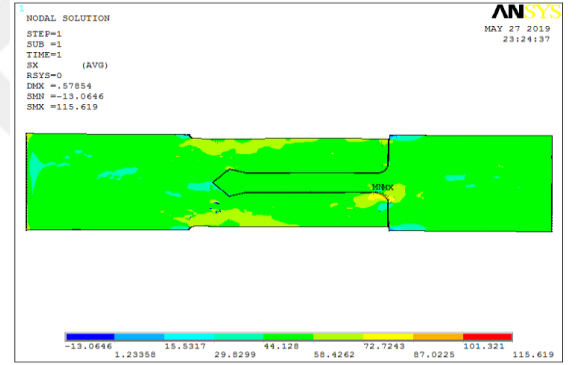
Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 14 mm ve tırnak genişliğinin 2 mm olduğu numunenin (A05 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 150853 eleman sayısı 48061'dir. Şekil 5.17'de von Mises gerilmesi ve Şekil 5.18'de normal gerilmeler ve kayma gerilmesi renk skalası ile gösterilmiştir. Maksimum gerilme dil parçasının oluk parçasından ayrıldığı bacak bölgesinde meydana gelmiştir.



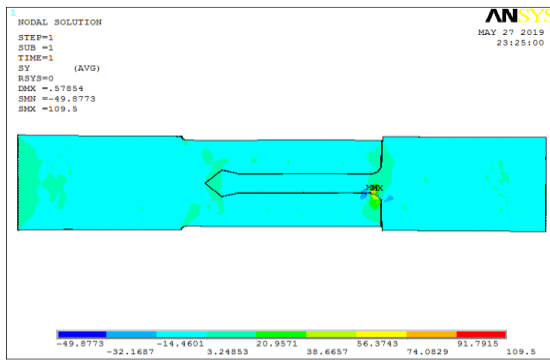
Şekil 5.17: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm ve tırnak genişliği 2 mm (A05 numunesi) için von Mises gerilmesi



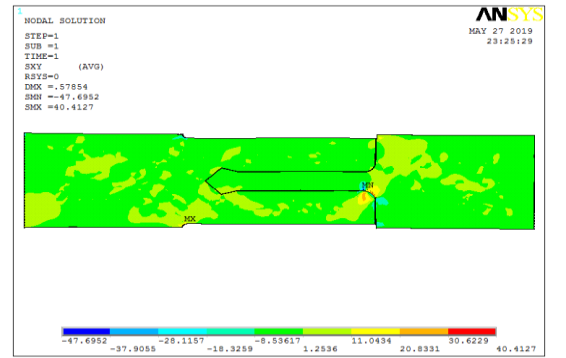
(a)



(b)



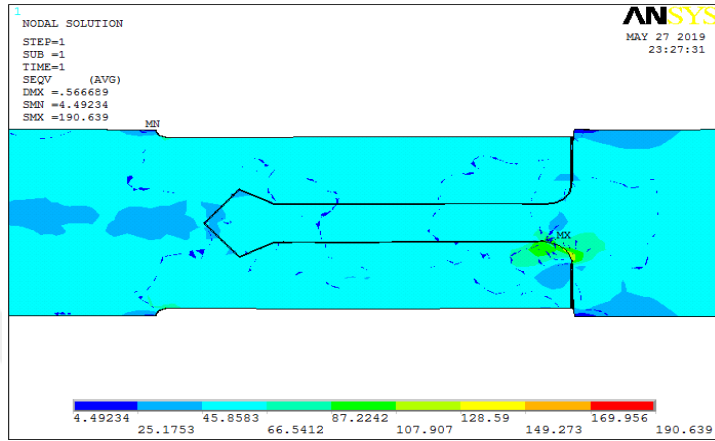
(c)



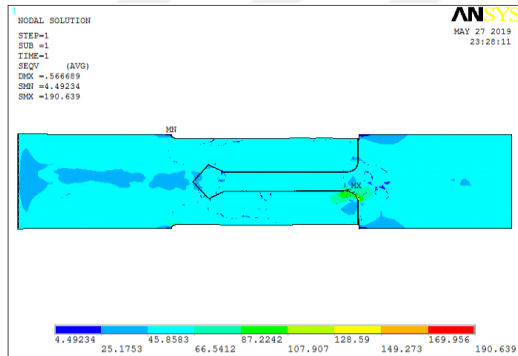
(d)

Şekil 5.18: Beşgen dil tasarımında a=14 mm ve b=2 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

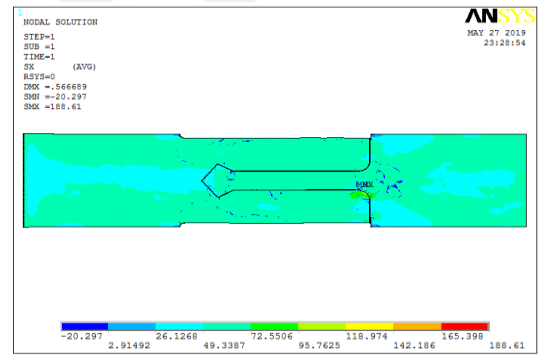
Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 14 mm ve tırnak genişliğinin 4 mm olduğu numunenin (A06 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 65823 eleman sayısı 22416'dır. Şekil 5.19'da von Mises gerilmesi ve Şekil 5.20'da normal gerilmeler ve kayma gerilmesi renk skalası ile gösterilmiştir. X eksenı boyunca dil parçasının oluk parçasından ayrıldığı bacak bölgesinde gerilme artışı gözlenmektedir. Y eksenı boyunca gerilme oldukça düşüktür.



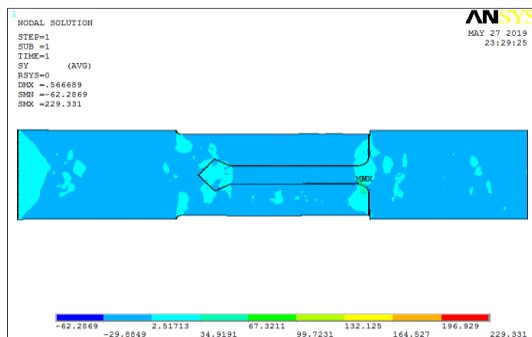
Şekil 5.19: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm ve tırnak genişliği 4 mm (A06 numunesi) için von Mises gerilmesi



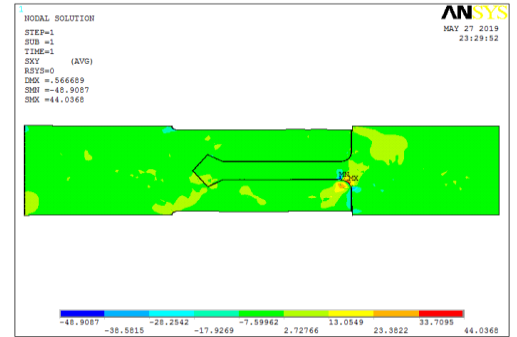
(a)



(b)



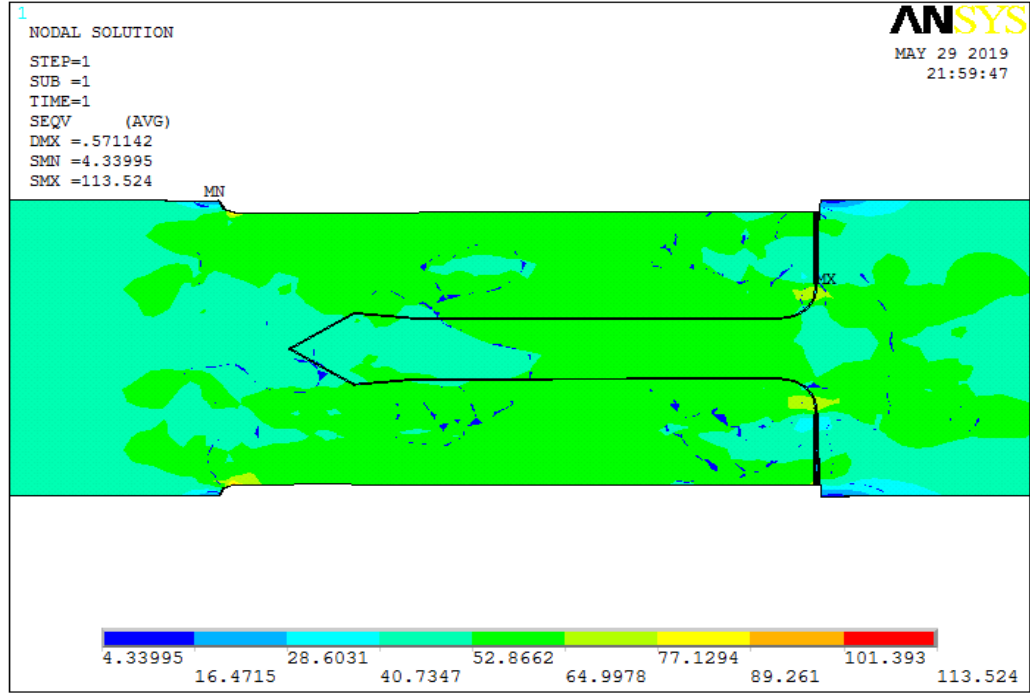
(c)



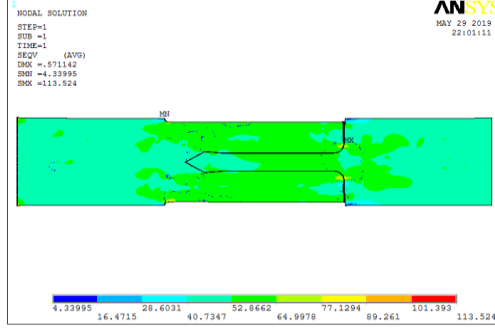
(d)

Şekil 5.20: Beşgen dil tasarımında a=14 mm ve b=4 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

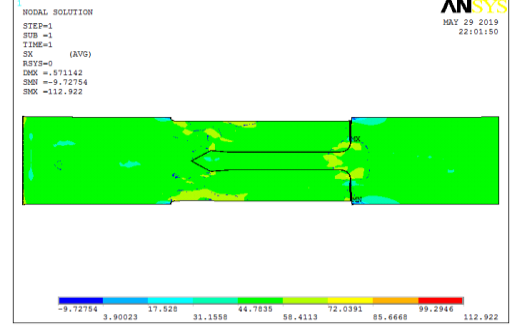
Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 18 mm ve tırnak genişliğinin 1 mm olduğu numunenin (A07 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 65167 eleman sayısı 21961'dir. Şekil 5.21'de von Mises gerilmesi ve Şekil 5.22'de normal gerilmeler ve kayma gerilmesi renk skalası ile gösterilmiştir. Gerilmeler dil parçasının oluk parçasından ayrıldığı bacak bölgesinde yoğunlaşmıştır.



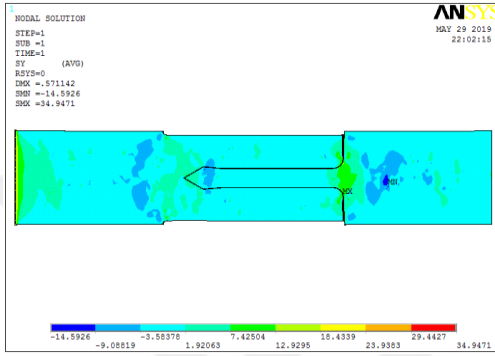
Şekil 5.21: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm ve tırnak genişliği 1 mm (A07 numunesi) için von Mises gerilmesi



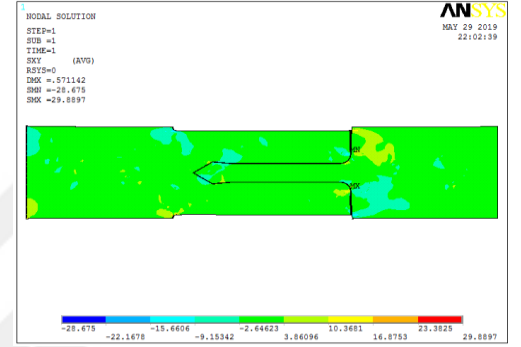
(a)



(b)



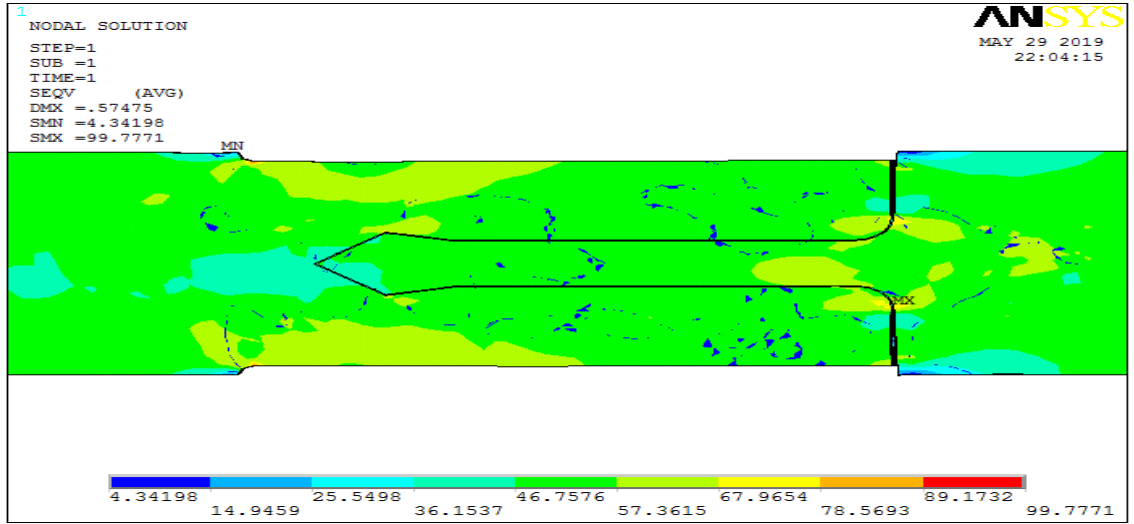
(c)



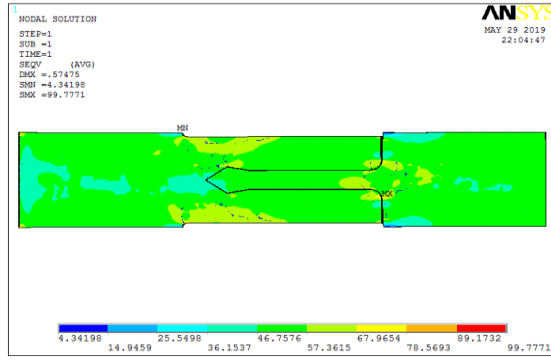
(d)

Şekil 5.22: Beşgen dil tasarımında $a=18$ mm ve $b=1$ mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

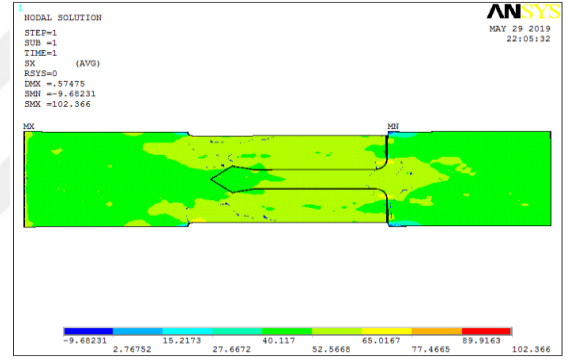
Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 18 mm ve tırnak genişliğinin 2 mm olduğu numunenin (A08 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 67663 eleman sayısı 22642'dir. Şekil 5.23'de von Mises gerilmesi ve Şekil 5.24'de normal gerilmeler ve kayma gerilmesi renk skalası ile gösterilmiştir. Gerilmeler dil ve oluk boyunca, dil parçasının oluk parçasından ayrıldığı bacak bölgesinde yoğunlaşmıştır.



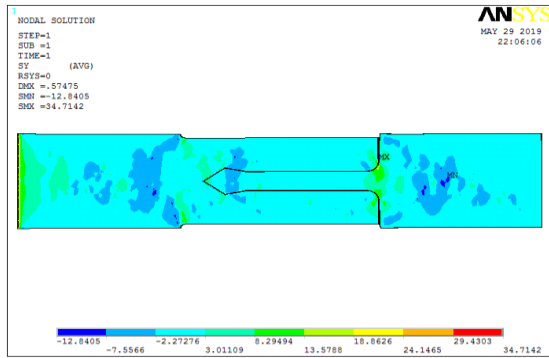
Şekil 5.23: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm ve tırnak genişliği 2 mm (A08 numunesi) için von Mises gerilmesi



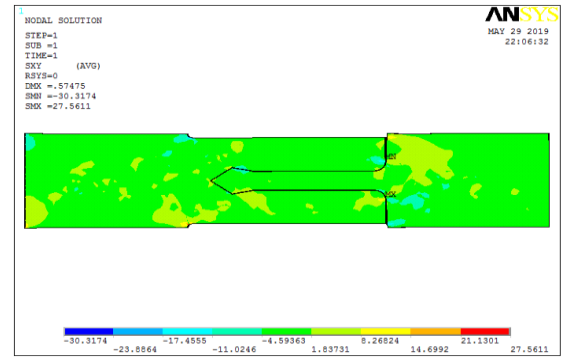
(a)



(b)



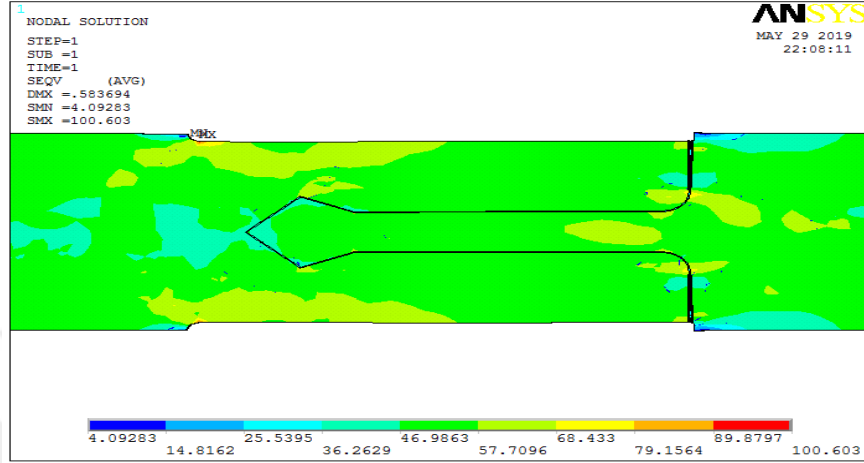
(c)



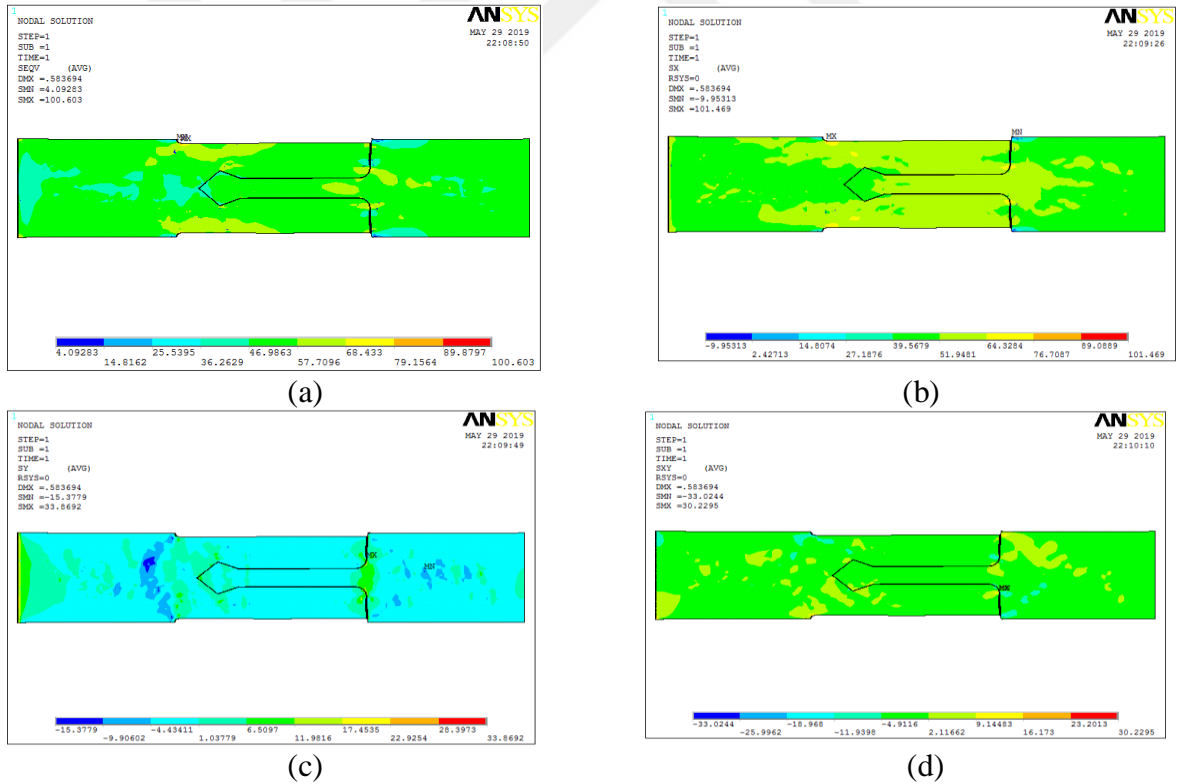
(d)

Şekil 5.24: Beşgen dil tasarımında a=18 mm ve b=2 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 18 mm ve tırnak genişliğinin 4 mm olduğu numunenin (A09 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 67917 eleman sayısı 22719'dur. Şekil 5.25'de von Mises gerilmesi ve Şekil 5.26'da normal gerilmeler ve kayma gerilmesi renk skalası ile gösterilmiştir. Gerilmeler X eksenini boyunca dil ve oluk boyunca artış göstermiştir.



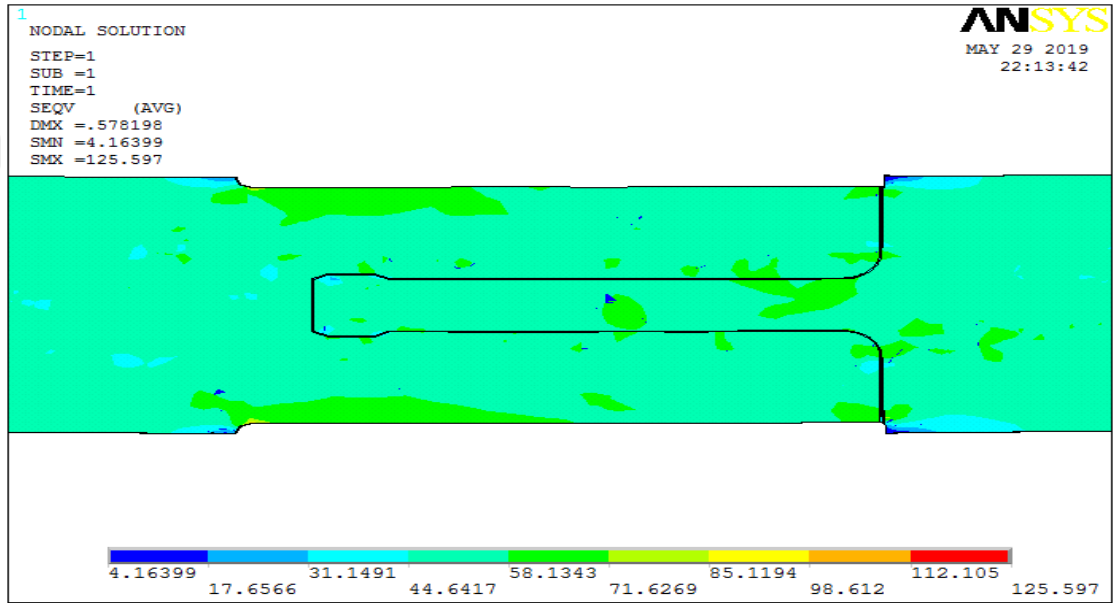
Şekil 5.25: Beşgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm ve tırnak genişliği 4 mm (A09 numunesi) için von Mises gerilmesi



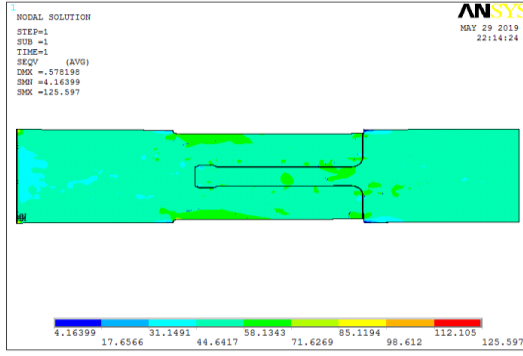
Şekil 5.26: Beşgen dil tasarımında a=18 mm ve b=4 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

5.2.2 Sekizgen Dil Tasarımlı Numunelerin Ansys Analizi

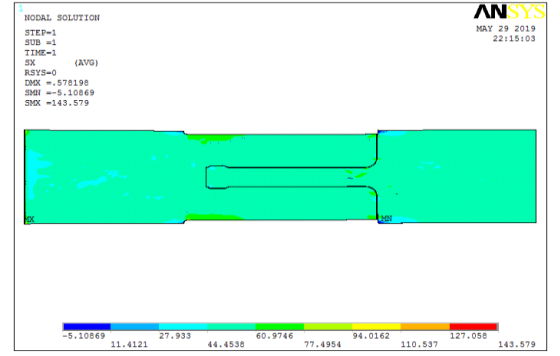
Bu bölümde numunelerin analizleri numara sırasına göre yapılmıştır. Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 10 mm ve tırnak genişliğinin 1 mm olduğu numunenin (B01 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 137918 eleman sayısı 43316'dır. Şekil 5.27'de von Mises gerilmesi ve Şekil 5.28'de normal gerilmeler ve kayma gerilmesi renk skalası ile gösterilmiştir. Gerilmeler, dil parçasının oluk parçasıyla bağlandığı bölge boyunca belli oranda artış göstermiştir.



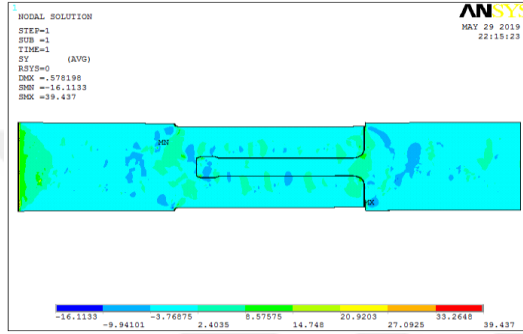
Şekil 5.27: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 1 mm (B01 numunesi) için von Mises gerilmesi



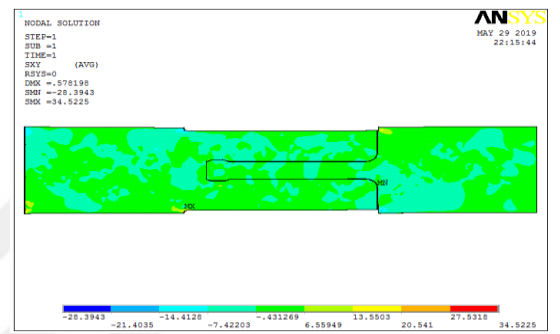
(a)



(b)



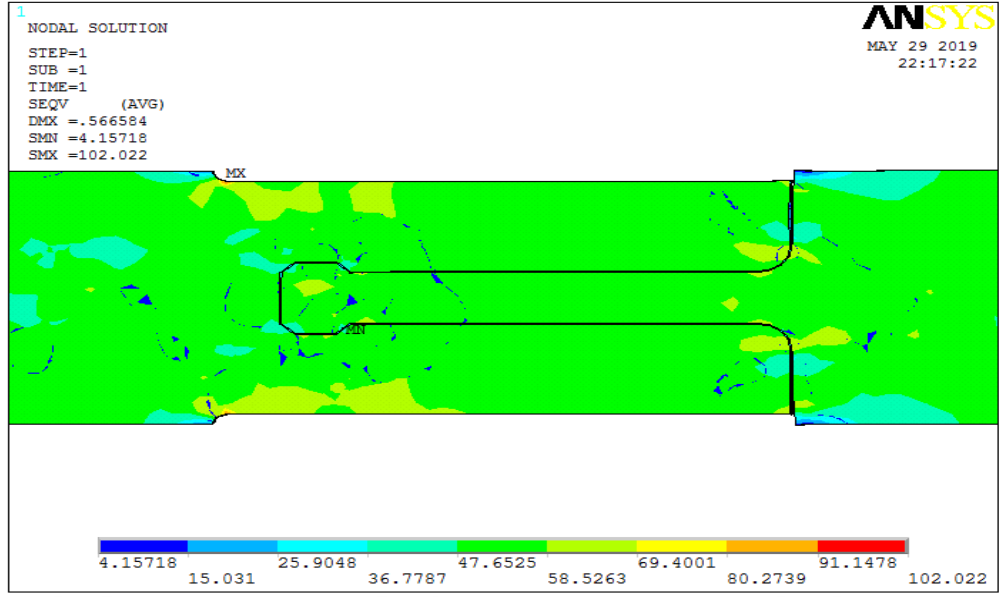
(c)



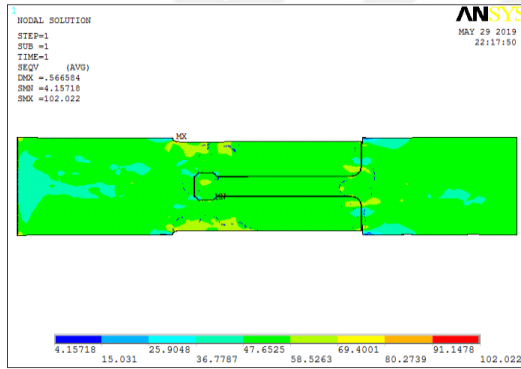
(d)

Şekil 5.28: Sekizgen dil tasarımında $a=10$ mm ve $b=1$ mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

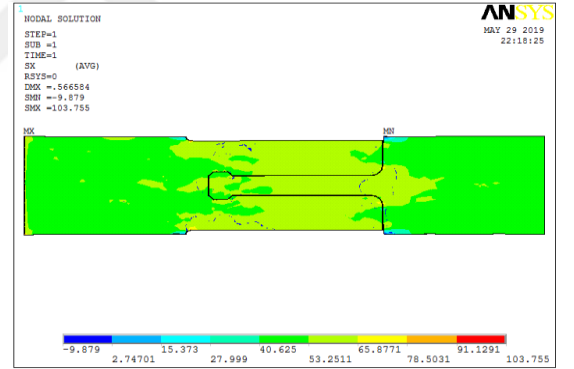
Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 10 mm ve tırnak genişliğinin 2 mm olduğu numunenin (B02 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 63514 eleman sayısı 21281'dir. Şekil 5.29'da von Mises gerilmesi ve Şekil 5.30'da normal gerilmeler ve kayma gerilmesi renk skalası ile gösterilmiştir. Y eksenini boyunca oluşan gerilmelere bakıldığında bu numunede oluk bölgesinde düşüşler görülmüştür. Maksimum gerilmeler dil bölgesinde meydana gelmiştir.



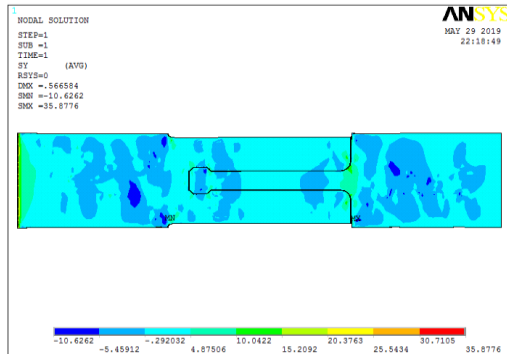
Şekil 5.29: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 2 mm (B02 numunesi) için von Mises gerilmesi



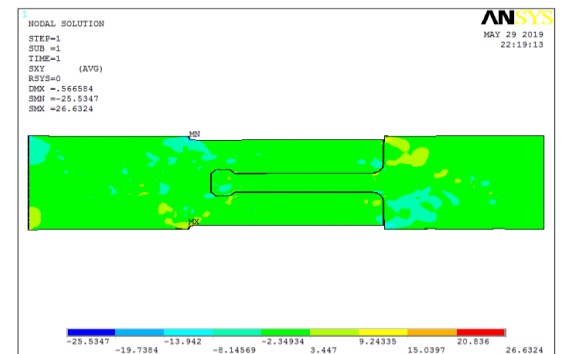
(a)



(b)



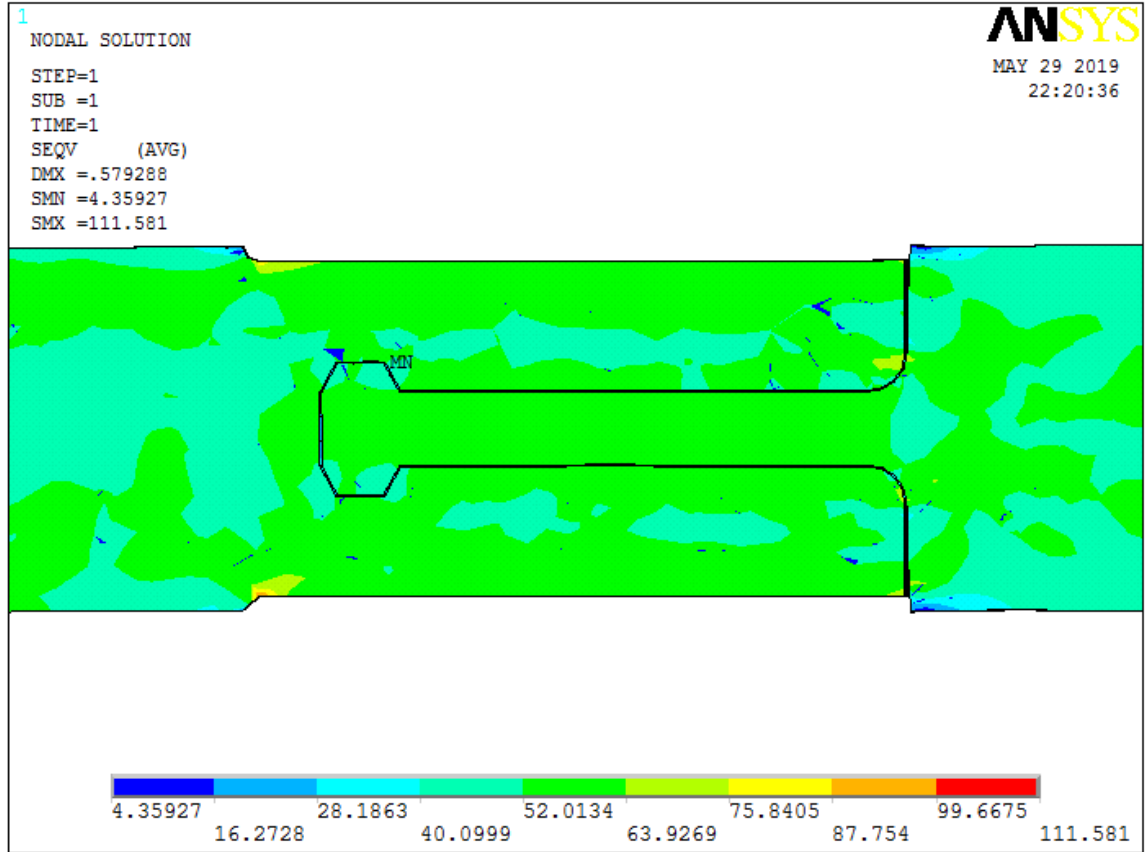
(c)



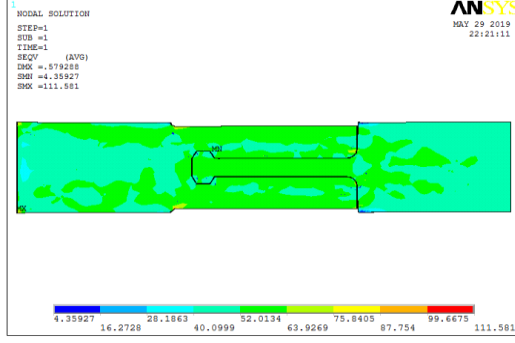
(d)

Şekil 5.30: Sekizgen dil tasarımında a=10 mm ve b=2 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

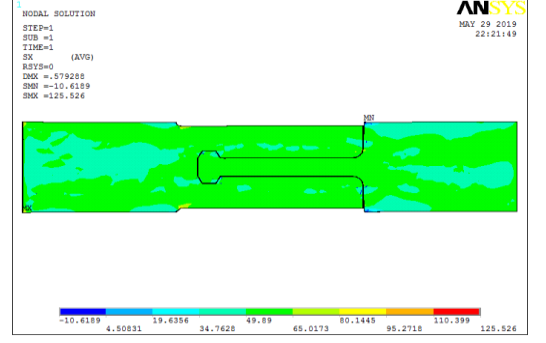
Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 10 mm ve tırnak genişliğinin 4 mm olduğu numunenin (B03 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 58500 eleman sayısı 19714'dür. Şekil 5.31'de von Mises gerilmesi ve Şekil 5.32'de normal gerilmeler ve kayma gerilmesi renk skalası ile gösterilmiştir. X eksenı boyunca gerilmelerin maksimum olduğu bölgeler dil parçasının radüslü olan bölgesi ve uç geometrisi etrafıdır.



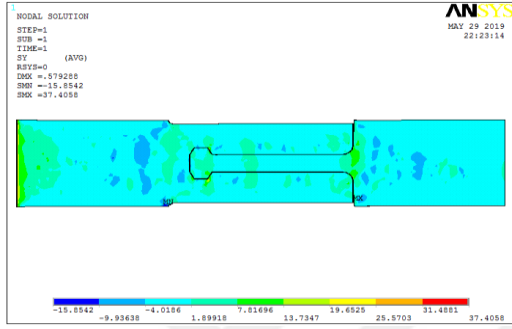
Şekil 5.31: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 10 mm ve tırnak genişliği 4 mm (B03 numunesi) için von Mises gerilmesi



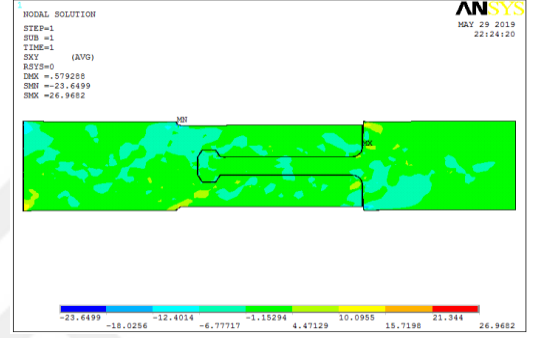
(a)



(b)



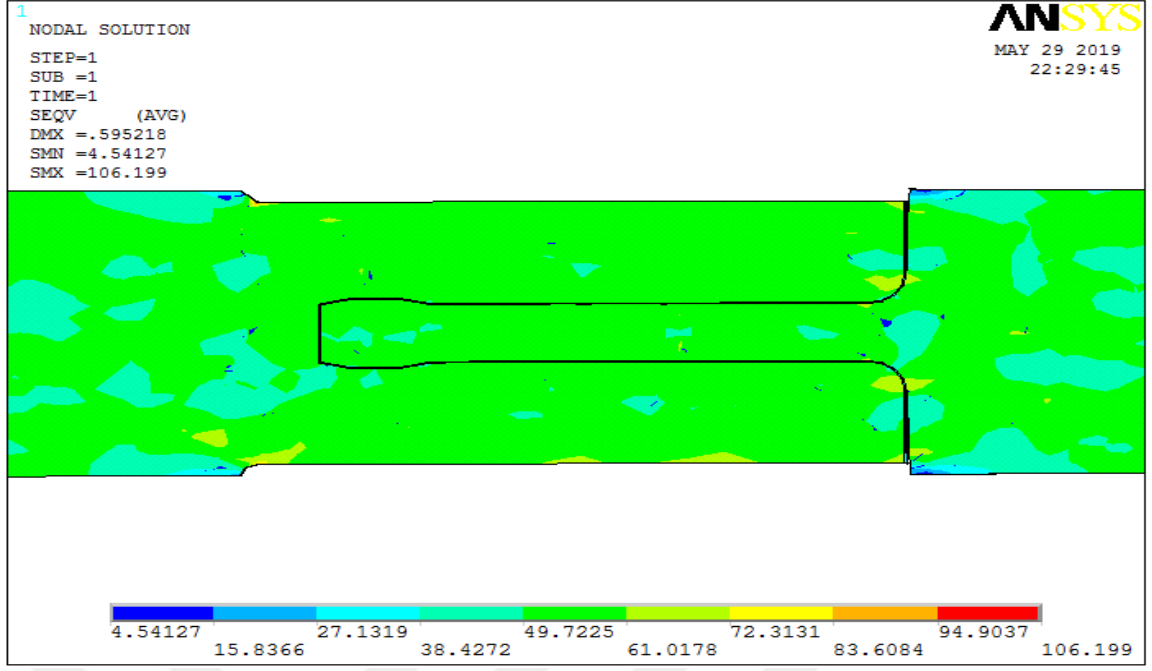
(c)



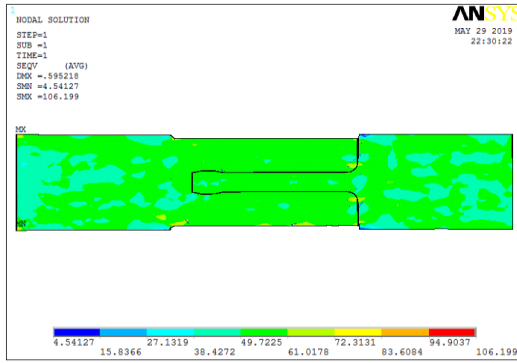
(d)

Şekil 5.32: Sekizgen dil tasarımında $a=10$ mm ve $b=4$ mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenı boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenı boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

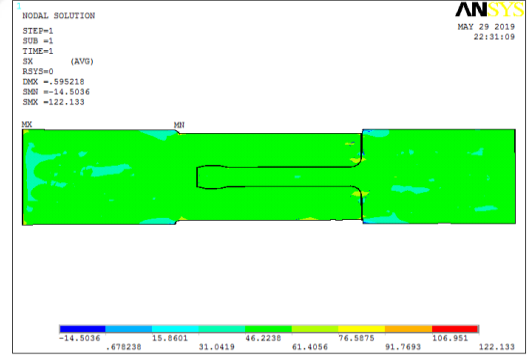
Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 14 mm ve tırnak genişliğinin 1 mm olduğu numunenin (B04 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 59669 eleman sayısı 20025'dir. Şekil 5.33'de von Mises gerilmesi ve Şekil 5.34'de normal gerileler ve kayma gerilmesi renk skalası ile gösterilmiştir. Y eksenı boyunca numunedeki açılma durumu göz önüne alındığında gerilme düşüşünün dil ve oluk birleşme noktasında gözlemlendiği görülmüştür.



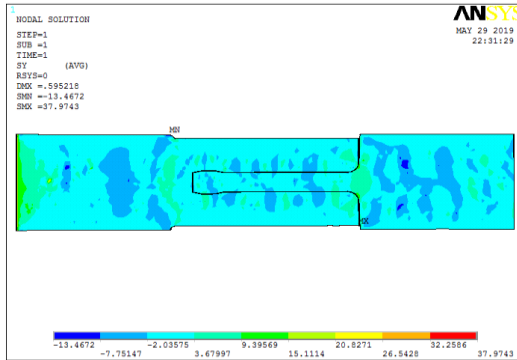
Şekil 5.33: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm ve tırnak genişliği 1 mm (B04 numunesi) için von Mises gerilmesi



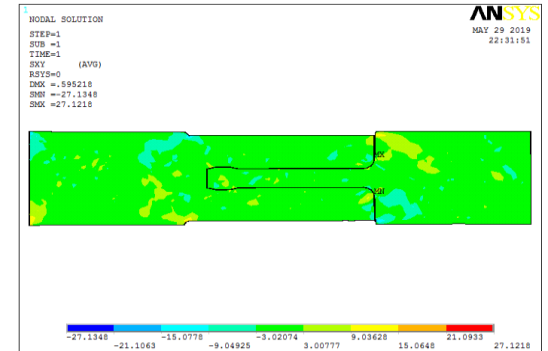
(a)



(b)



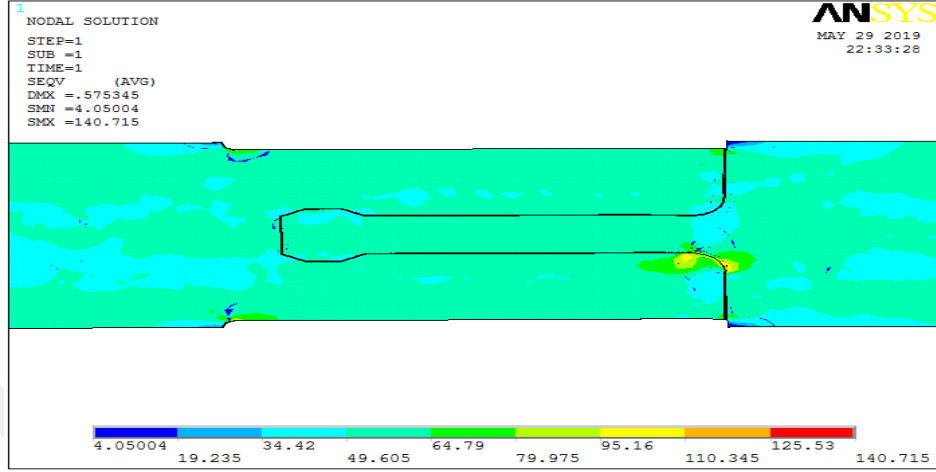
(c)



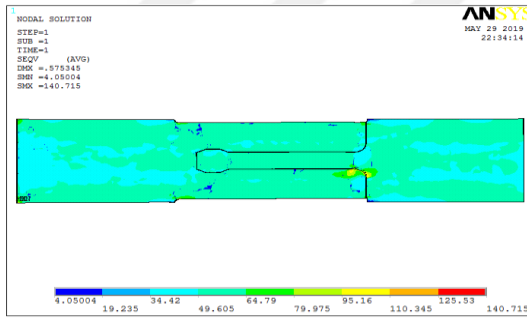
(d)

Şekil 5.34: Sekizgen dil tasarımında a=14 mm ve b=1 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

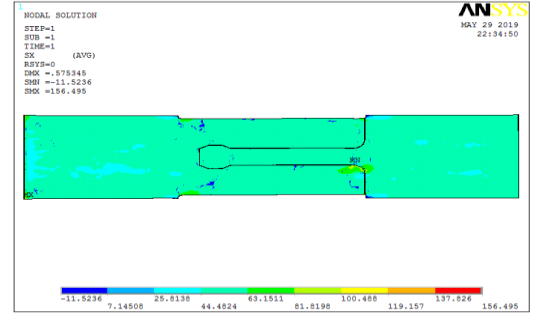
Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 14 mm ve tırnak genişliğinin 2 mm olduğu numunenin (B05 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 143108 eleman sayısı 45503'dür. Şekil 5.35'de von Mises gerilmesi ve Şekil 5.36'da normal gerilmeler ve kayma gerilmesi gösterilmiştir. X eksenini boyunca gerilmelerin maksimum olduğu bölgeler oluk kısmının bacaklarının dil ile birleştiği noktalarıdır.



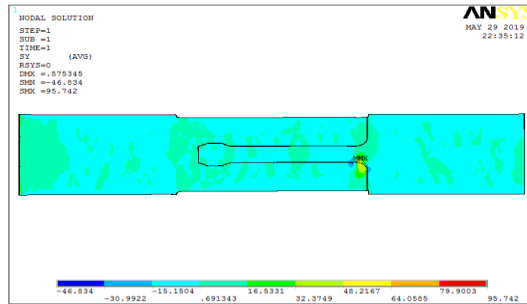
Şekil 5.35: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm ve tırnak genişliği 2 mm (B05 numunesi) için von Mises gerilmesi



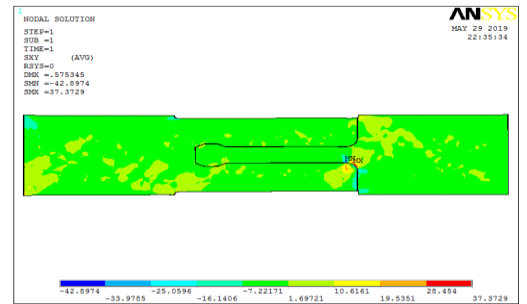
(a)



(b)



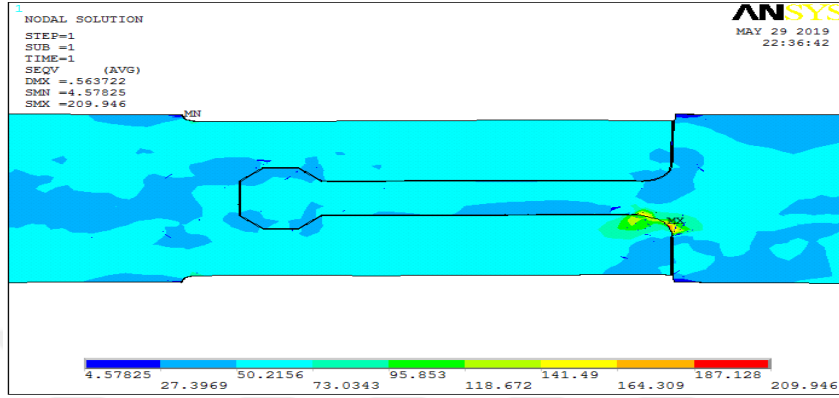
(c)



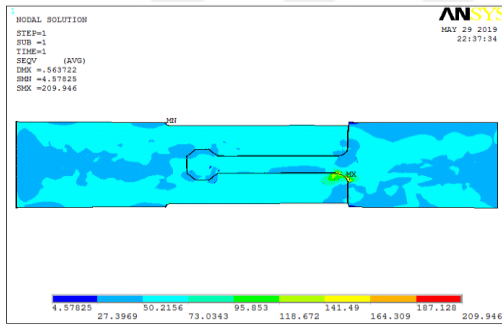
(d)

Şekil 5.36: Sekizgen dil tasarımında a=14 mm ve b=2 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

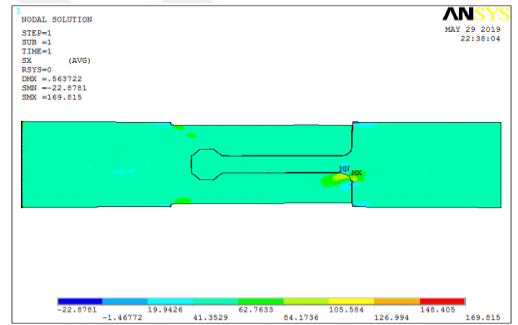
Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 14 mm ve tırnak genişliğinin 4 mm olduğu numunenin (B06 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 65288 eleman sayısı 22135'dir. Şekil 5.37'de von Mises gerilmesi ve Şekil 5.38'de normal gerilmeler ve kayma gerilmesi gösterilmiştir. X eksenini boyunca gerilmelerin maksimum olduğu bölgeler oluk kısmının bacaklarının dil ile birleştiği noktalarıdır.



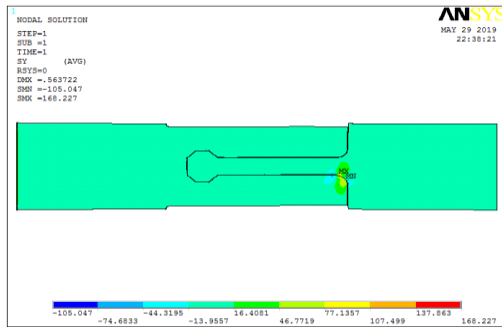
Şekil 5.37: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm ve tırnak genişliği 4 mm (B06 numunesi) için von Mises gerilmesi



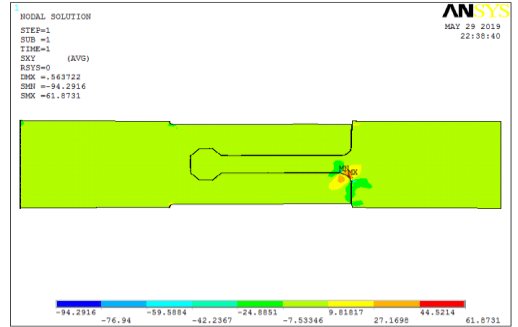
(a)



(b)



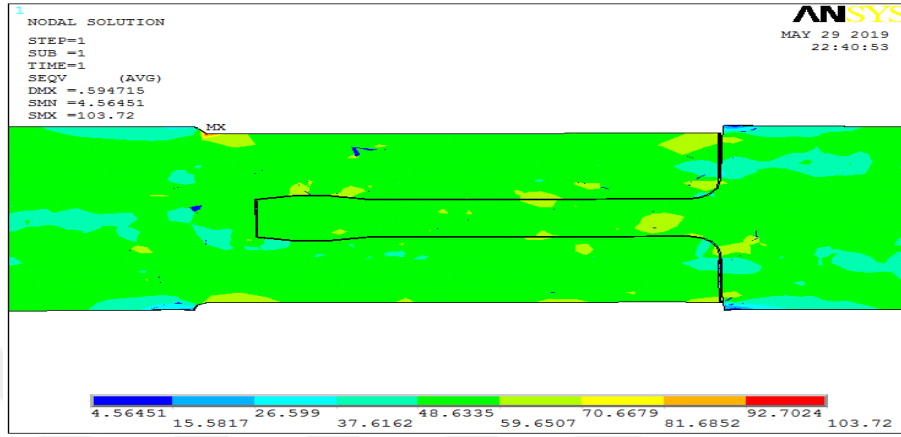
(c)



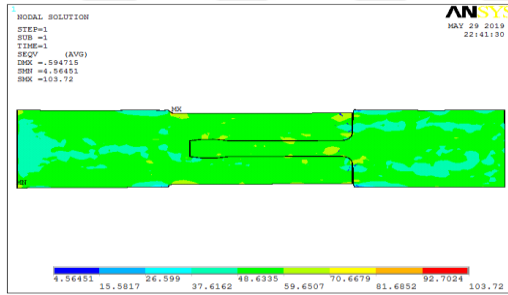
(d)

Şekil 5.38: Sekizgen dil tasarımında a=14 mm ve b=4 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

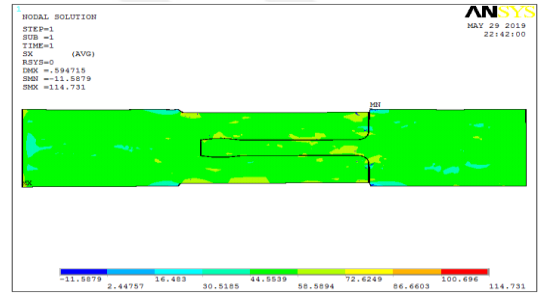
Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 18 mm ve tırnak genişliğinin 1 mm olduğu numunenin (B07 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 58243 eleman sayısı 19600'dür. Şekil 5.39'da von Mises gerilmesi ve Şekil 5.40'da normal gerilmeler ve kayma gerilmesi gösterilmiştir. Y eksenini boyunca numunedeki açılma durumu göz önüne alındığında gerilme düşüşünün dil ve oluk birleşme noktasında gözlemlendiği görülmüştür.



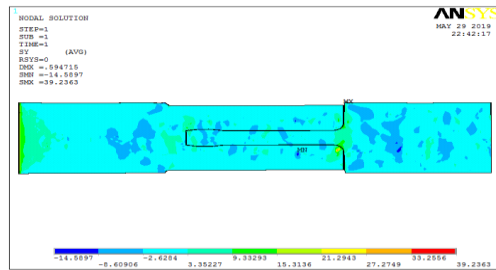
Şekil 5.39: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm ve tırnak genişliği 1 mm (B07 numunesi) için von Mises gerilmesi



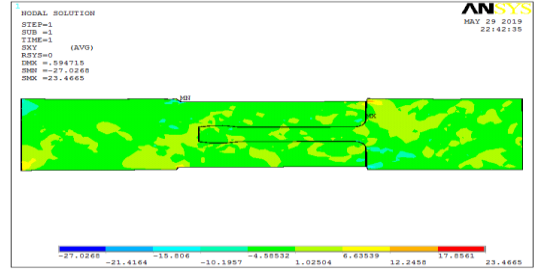
(a)



(b)



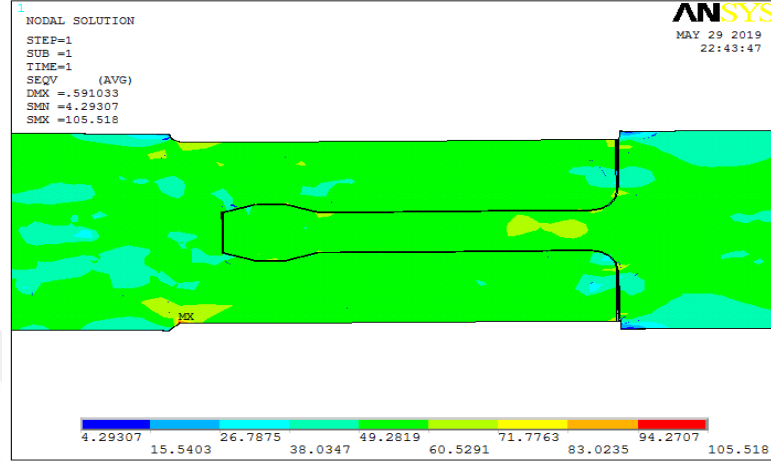
(c)



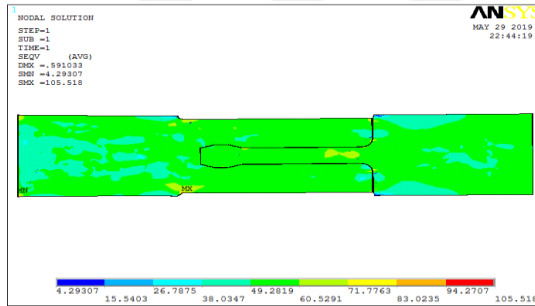
(d)

Şekil 5.40: Sekizgen dil tasarımında a=18 mm ve b=1 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

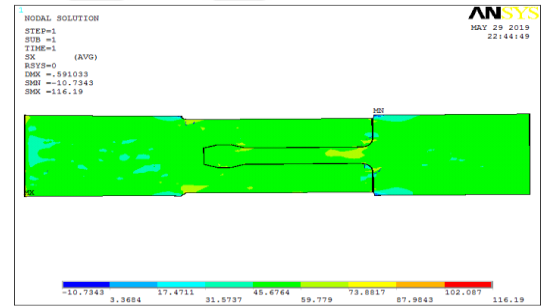
Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 18 mm ve tırnak genişliğinin 2 mm olduğu numunenin (B08 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 60601 eleman sayısı 20328'dir. Şekil 5.41'de von Mises gerilmesi ve Şekil 5.42'de normal gerilmeler ve kayma gerilmesi gösterilmiştir. X eksenini boyunca gerilmelerin maksimum olduğu bölgeler oluk kısmının bacaklarının dil ile birleştiği noktalarıdır.



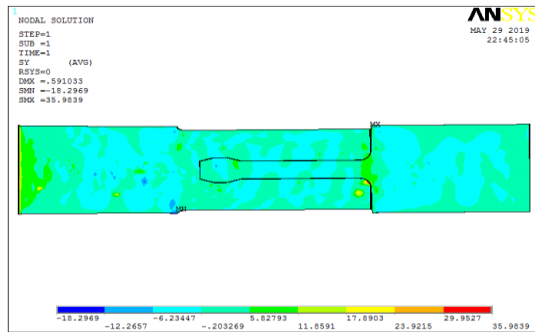
Şekil 5.41: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm ve tırnak genişliği 2 mm (B08 numunesi) için von Mises gerilmesi



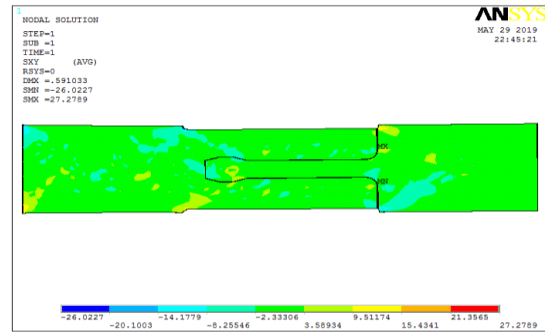
(a)



(b)



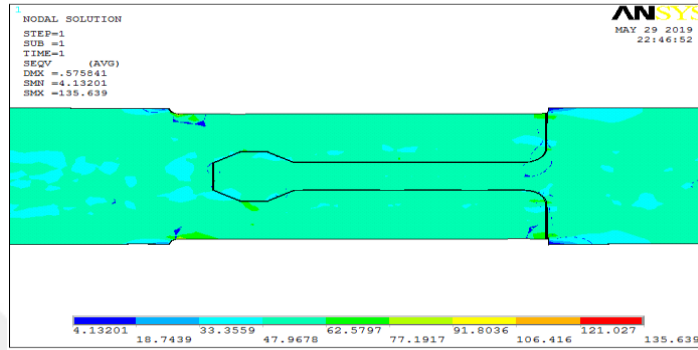
(c)



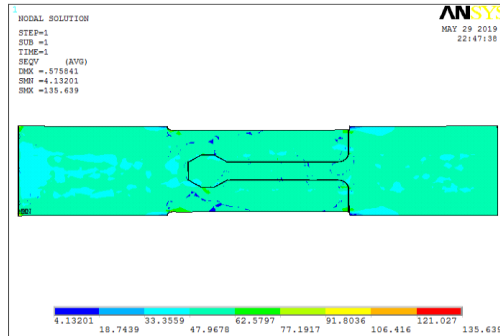
(d)

Şekil 5.42: Sekizgen dil tasarımında a=18 mm ve b=2 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenini boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenini boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

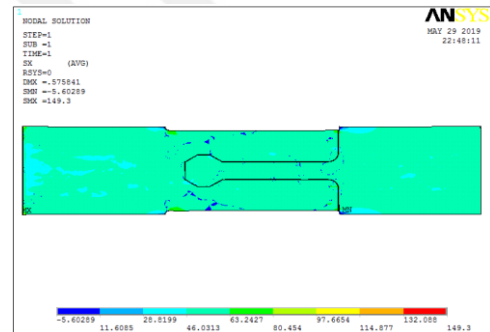
Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğunun 18 mm ve tırnak genişliğinin 4 mm olduğu numunenin (B09 numunesi) mesh modelinde düğüm sayısı 140779 eleman sayısı 44166'dır. Şekil 5.43'de von Mises gerilmesi ve Şekil 5.44'de normal gerilmeler ve kayma gerilmesi gösterilmiştir. Y eksenine boyunca numunedeki açılma durumu göz önüne alındığında gerilme düşüşünün dil uç geometrisinin birleşme noktasında gözlemlendiği görülmüştür.



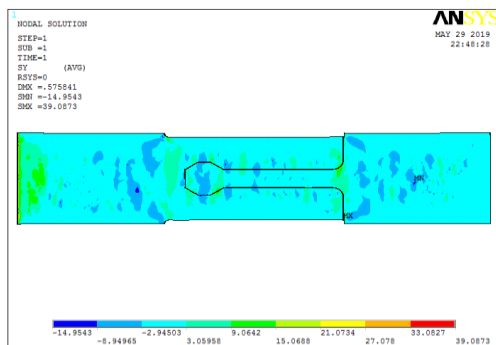
Şekil 5.43: Sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 18 mm ve tırnak genişliği 4 mm (B09 numunesi) için von Mises gerilmesi



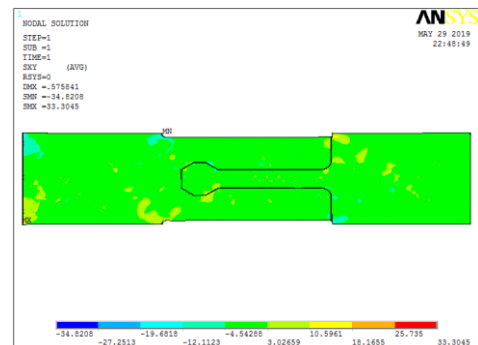
(a)



(b)



(c)

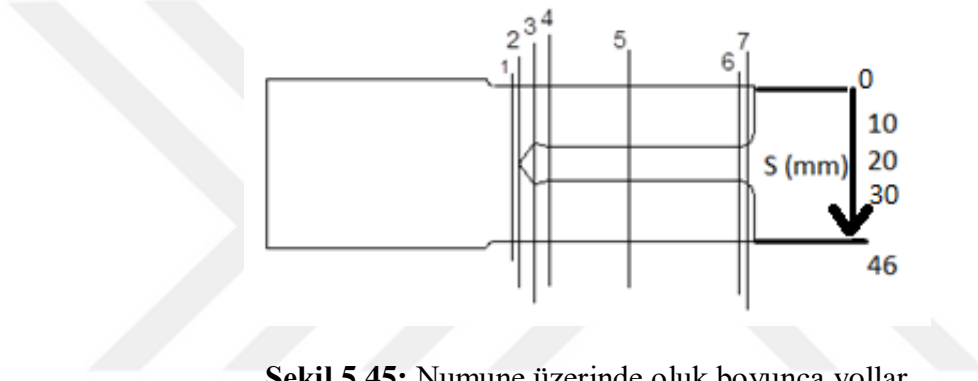


(d)

Şekil 5.44: Sekizgen dil tasarımında a=18 mm ve b=4 mm için analiz sonuçları (a) von Mises (σ_{von}) (b) x eksenine boyunca (σ_{xx}) (c) y eksenine boyunca (açılma) (σ_{yy}) (d) kayma (τ_{xy}) gerilmeleri

5.3 Numuneler Üzerinde Gerilmelerin Ölçüleceği Yolların Belirlenmesi

Eksenel gerilme altında numunelerde oluşan gerilmeleri tespit etmek amacıyla, numunelerin üzerinde iki nokta belirlenir ve bu iki nokra arasında oluşturulan doğru boyunca gerilmelerin değişimi gözlemlenebilmektedir. Bu durum Ansys analiz programı içerisinde yer alan path (yol) bölümünden yapılmaktadır. Path (Yol) bu program içerisindeki anlamıyla doğru boyunca uzanan yol anlamında karşımıza çıkmaktadır. Numuneler üzerinde 7 yol seçilmiştir. Seçilen yollar Şekil 5.45'de numune üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca numuneler üzerindeki yol uzunluğu da S olarak gösterilmiştir. Yolların boyu grafiklerdeki gerilme değişimlerinin de görülebileceği 46 mm'dir.



Şekil 5.45: Numune üzerinde oluk boyunca yollar

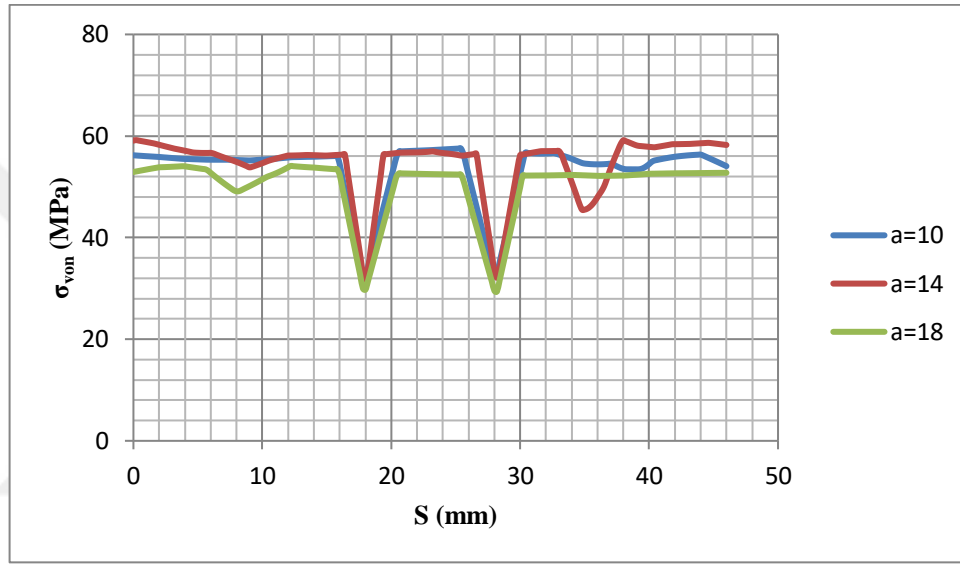
Yol seçiminin yapılmasının temel amacı, ansys analiz programında çekme işlemi sonucu oluşan kopma, kayma ve açılma gerilmelerinin kompozitte oluşturduğu etkilerin tespitidir. Bu etkinin olduğu alanlar ise kompozit, kompozit-yapıştırıcı, yapıştırıcı olarak belirlenmiştir.

5.4 Yollar Boyunca Gerilme Değişimleri

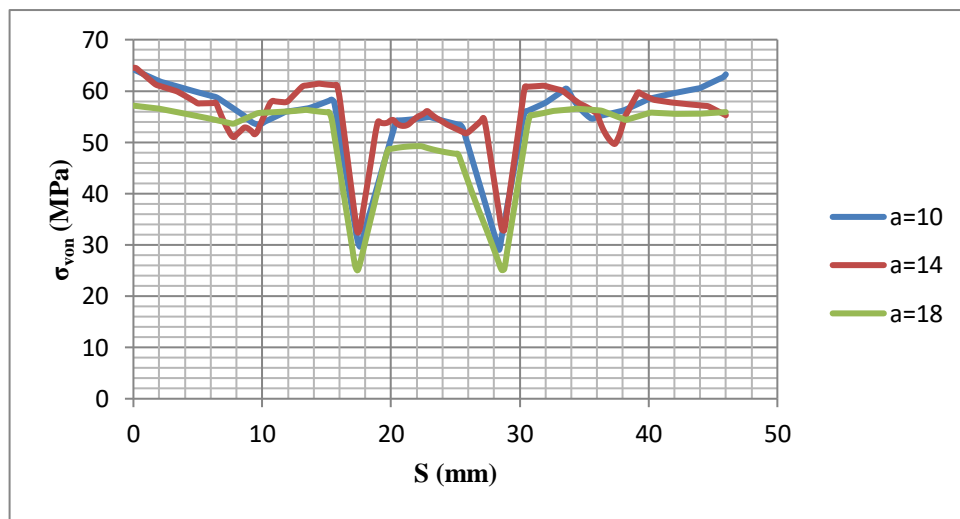
Bu kısımda öncelikle bütün numuneler için deneyler sonucunda elde edilen yük verilerinden oluşan gerilme değerleri toplanmıştır. Bu deney gerilme değerleri doğrultusunda hem beşgen hem de sekizgen dil tasarımına sahip numunelerin tırnak genişliği (b) değerlerine göre gruplandırılarak belirlenen yollar boyunca gerilmelerde meydana gelen değişimler üzerinde durulmuştur.

5.4.1 Beşgen Dil Tasarımlı Numunelerin Yollar Boyunca Gerilme Değişimleri

Beşgen dil tasarımı numuneler arasında b değerinin sabit ve 1 olup a değerinin değiştiği durumlara ilişkin gerilme değişimleri Yol 5 ve Yol 3 boyunca görülebilmektedir (Şekil 5.46 ve Şekil 5.47). Yol 5 ve yol 3 boyunca $b=1$ için numunelerde meydana gelen gerilme değişimleri büyük oranda benzerlik göstermiştir. $a=14$ numunesinin daha fazla gerilmeye maruz kaldığı görülmektedir. Bu durum da daha fazla dayanım gösterdiği anlamına gelmektedir.

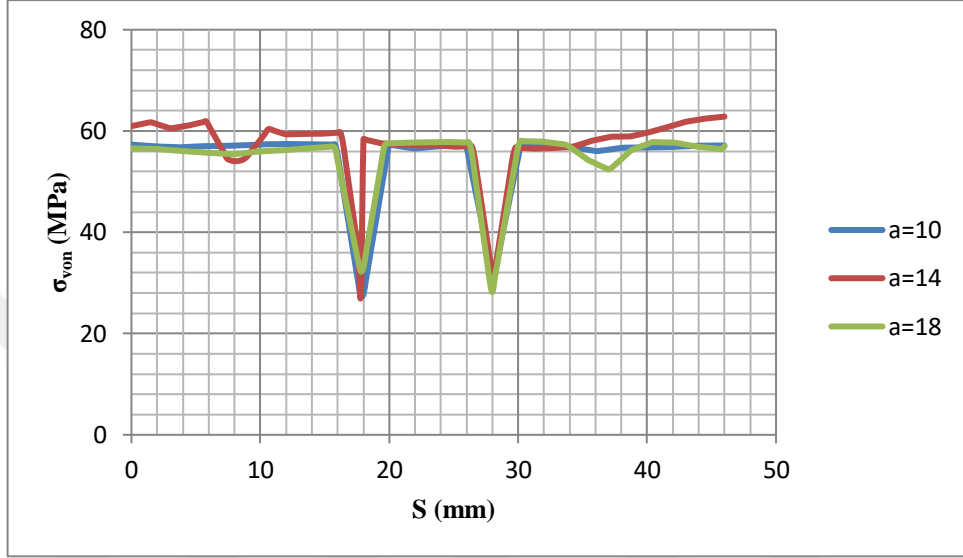


Şekil 5.46: Beşgen dil tasarımı tırnak genişliği $b=1$ mm için Yol 5 boyunca gerilme değerleri

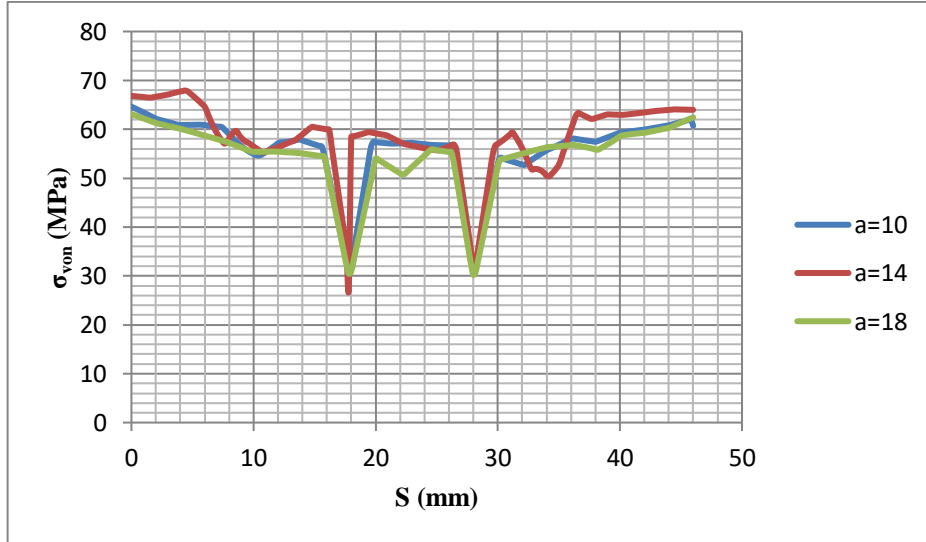


Şekil 5.47: Beşgen dil tasarımı tırnak genişliği $b=1$ mm için Yol 3 boyunca gerilme değerleri

Beşgen dil tasarımı numuneler arasında b değerinin sabit ve 2 olup a değerinin değiştiği durumlara ilişkin gerilme değişimleri Yol 5 ve Yol 4 boyunca görülebilmektedir (Şekil 5.48 ve Şekil 5.49). Yol 5 ve Yol 4 boyunca $b=2$ için numunelerde benzer gerilme dağılımları gözlemlenmiştir. Yapıştırma bölgesi dışında $a=18$ mm için gerilme değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumda kopma dayanımı en düşüktür.

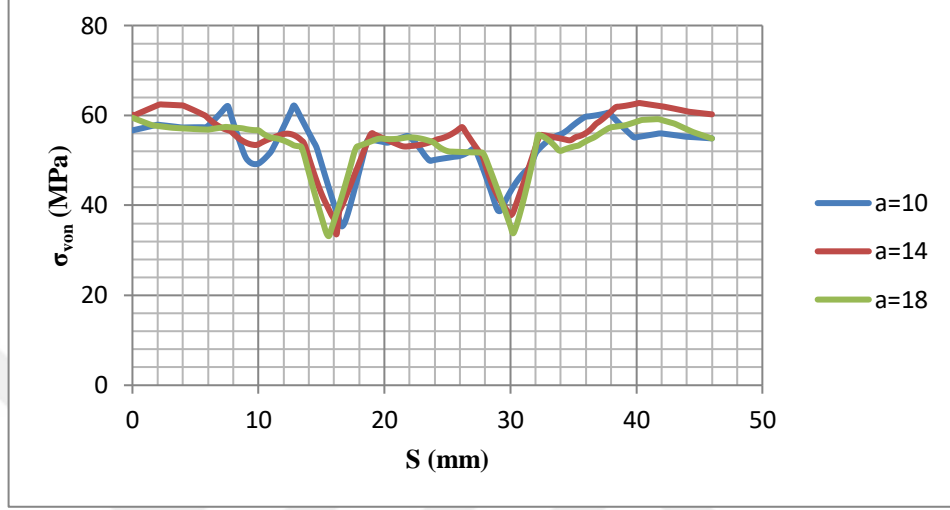


Şekil 5.48: Beşgen dil tasarımı tırnak genişliği $b=2$ mm için Yol 5 boyunca gerilme değerleri

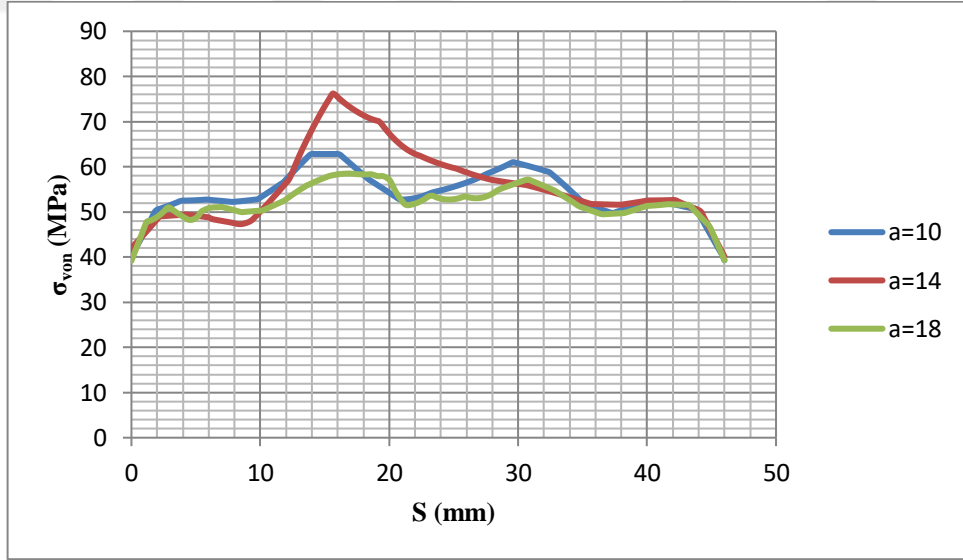


Şekil 5.49: Beşgen dil tasarımı tırnak genişliği $b=2$ mm için Yol 4 boyunca gerilme değerleri

Beşgen dil tasarımı numuneler arasında b değerinin sabit ve 4 olup a değerinin değiştiği durumlara ilişkin gerilme değişimleri Yol 3 ve Yol 7 doğrusu boyunca görülebilmektedir (Şekil 5.50 ve Şekil 5.51). Yol 3 ve Yol 7 boyunca anlık gerilme farklılıkları görülmektedir. $a=10$ mm için gerilmenin $a=18$ mm'den daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



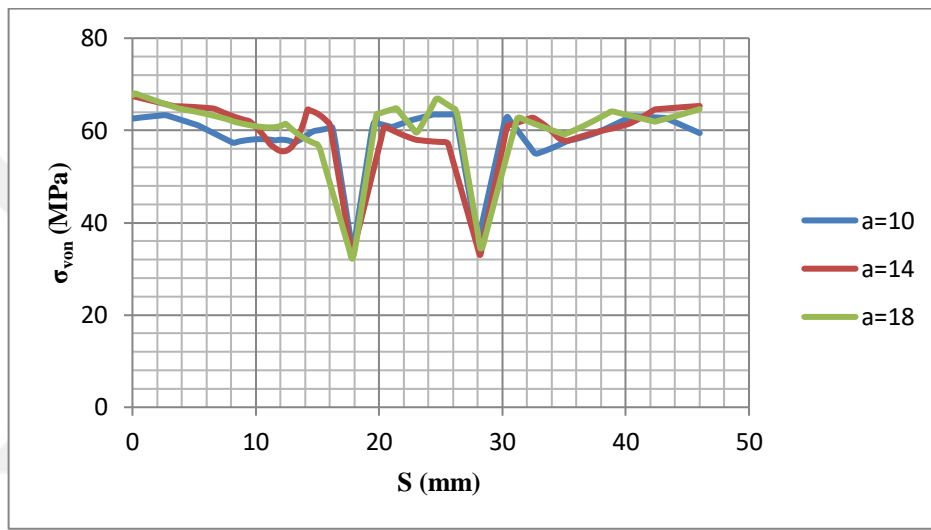
Şekil 5.50: Beşgen dil tasarımı tırnak genişliği $b=4$ mm için Yol 3 boyunca gerilme değerleri



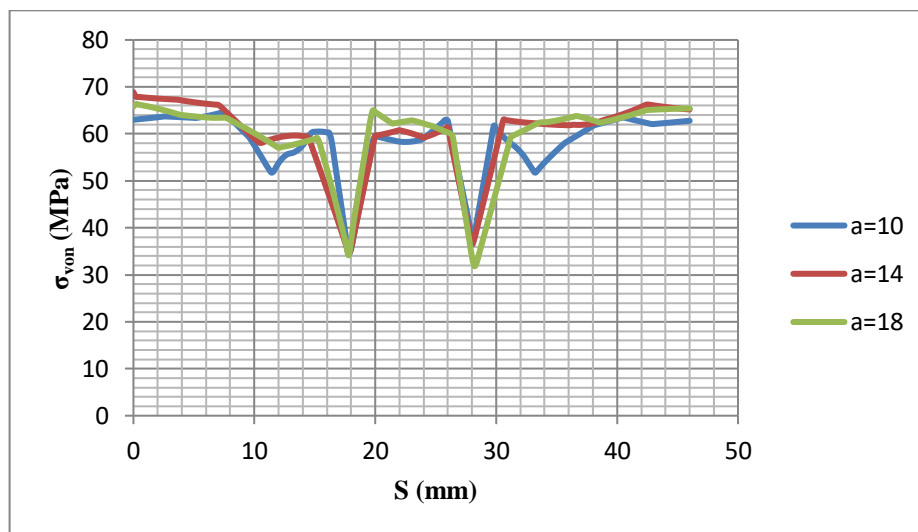
Şekil 5.51: Beşgen dil tasarımı tırnak genişliği $b=4$ mm için Yol 7 boyunca gerilme değerleri

5.4.2 Sekizgen Dil Tasarımlı Numunelerin Yollar Boyunca Gerilme Değişimleri

Sekizgen dil tasarımı numuneler arasında b değerinin sabit ve 1 olup a değerinin değiştiği durumlara ilişkin gerilme değişimleri Yol 5 ve Yol 4 boyunca görülebilmektedir (Şekil 5.52 ve Şekil 5.53). Yol 5 ve Yol 4 boyunca gerilme dağılımlarının benzer olduğu ancak $a=18$ mm için gerilmelerin $a=10$ mm'den daha yüksek olduğu görülmektedir.

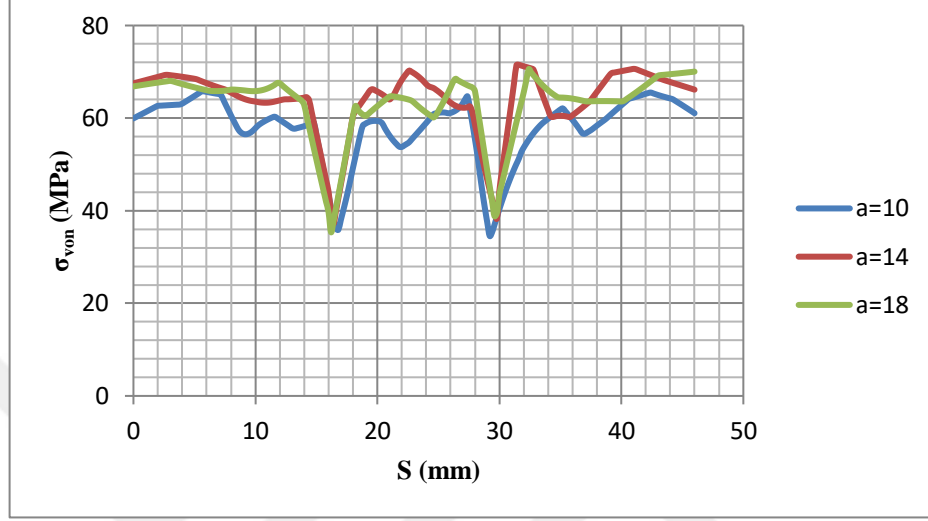


Şekil 5.52: Sekizgen dil tasarımı tırnak genişliği $b=1$ mm için Yol 5 boyunca gerilme değerleri

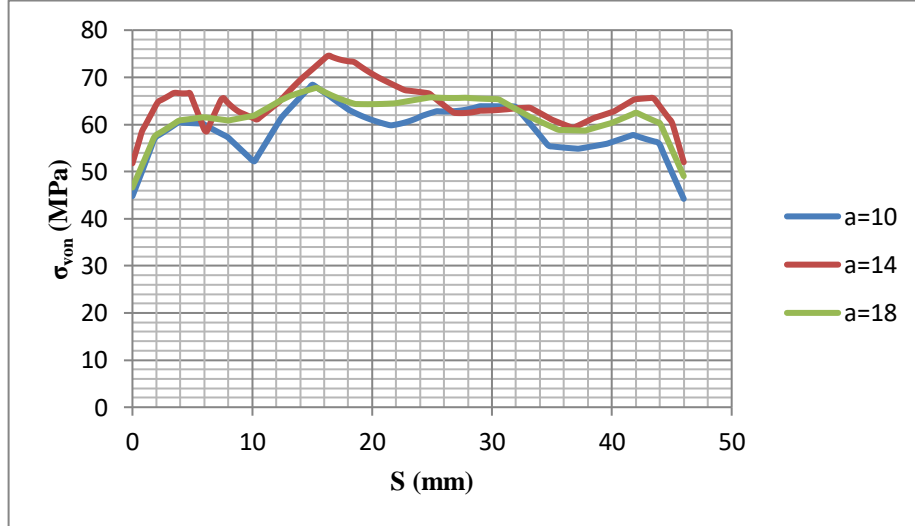


Şekil 5.53: Sekizgen dil tasarımı tırnak genişliği $b=1$ mm için Yol 4 boyunca gerilme değerleri

Sekizgen dil tasarımlı numuneler arasında b değerinin sabit ve 2 olup a değerinin değiştiği durumlara ilişkin gerilme değişimleri Yol 3 ve Yol 7 boyunca görülebilmektedir (Şekil 5.54 ve Şekil 5.55). Yol 3 ve Yol 7 boyunca a=10 mm için gerilme değerlerinin daha düşük olduğu ve en düşük dayanıma sahip olduğu görülmektedir.

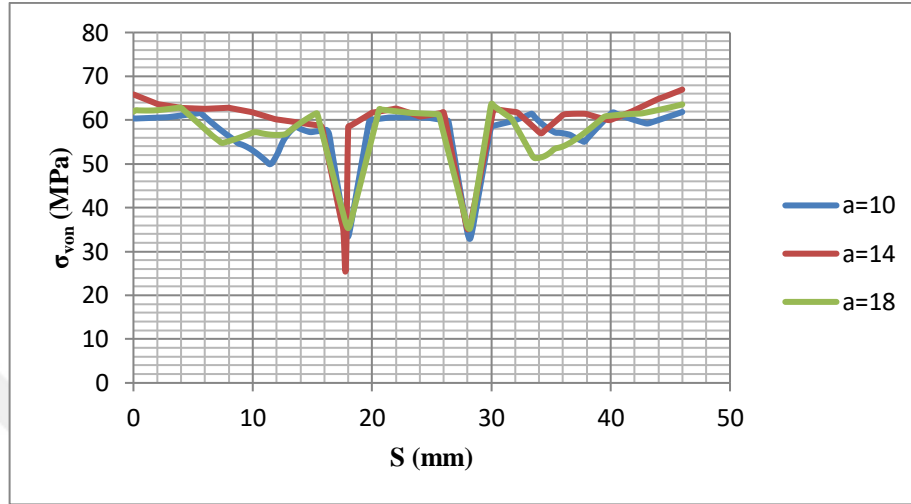


Şekil 5.54: Sekizgen dil tasarımlı tırnak genişliği b=2 mm için Yol 3 boyunca gerilme değerleri

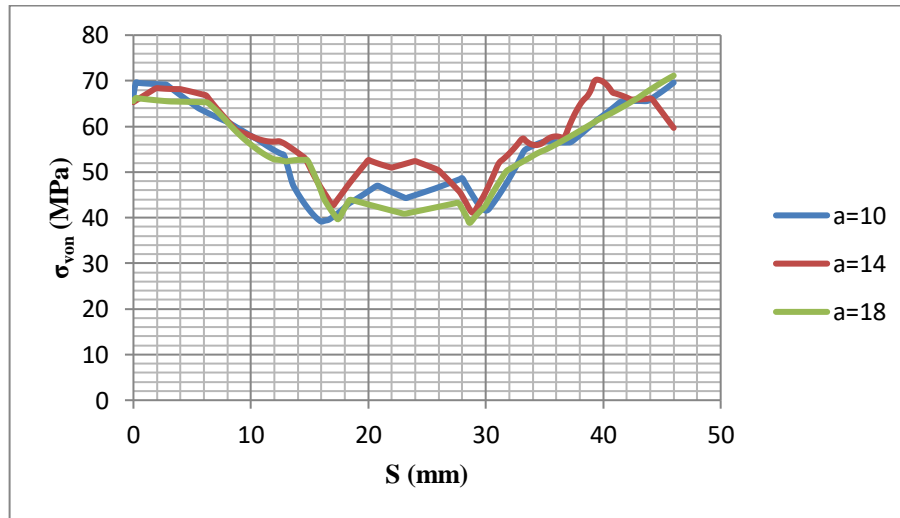


Şekil 5.55: Sekizgen dil tasarımlı tırnak genişliği b=2 mm için Yol 7 boyunca gerilme değerleri

Sekizgen dil tasarımı numuneler arasında b değerinin sabit ve 4 olup a değerinin değiştiği durumlara ilişkin gerilme değişimleri Yol 5 ve Yol 1 doğrusu boyunca görülebilmektedir (Şekil 5.56 ve Şekil 5.57). Yol 5 ve Yol 1 boyunca a=14 için gerilme değerlerinin daha yüksek olduğu ve daha iyi dayanıma sahip olduğu görülmektedir.



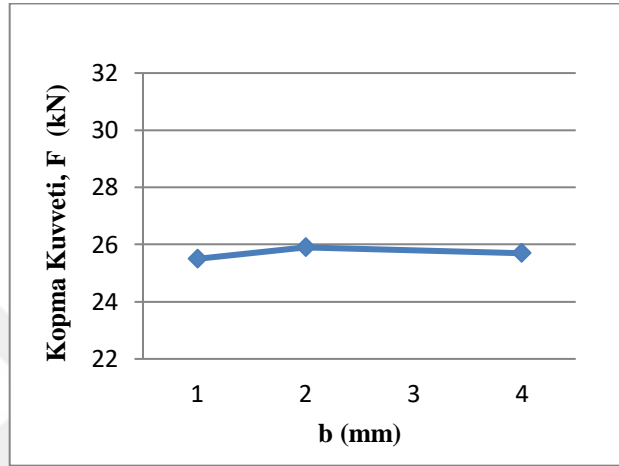
Şekil 5.56: Sekizgen dil tasarımı tırnak genişliği b=4 mm için Yol 5 boyunca gerilme değerleri



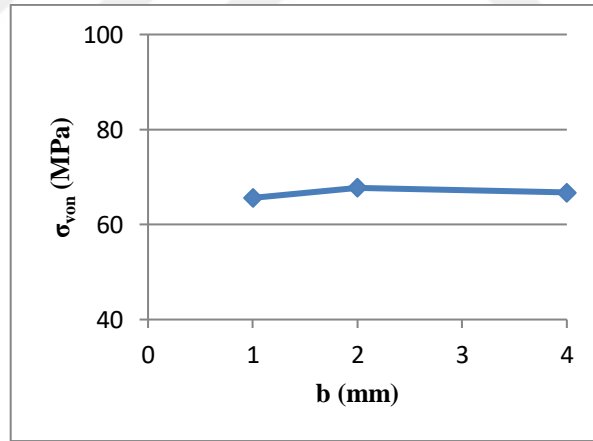
Şekil 5.57: Sekizgen dil tasarımı tırnak genişliği b=4 mm için Yol 1 boyunca gerilme değerleri

5.5 Beşgen Dil Tasarımlı Numunelerin Kopma Kuvvetleri Ve Von Mises Gerilmeleri

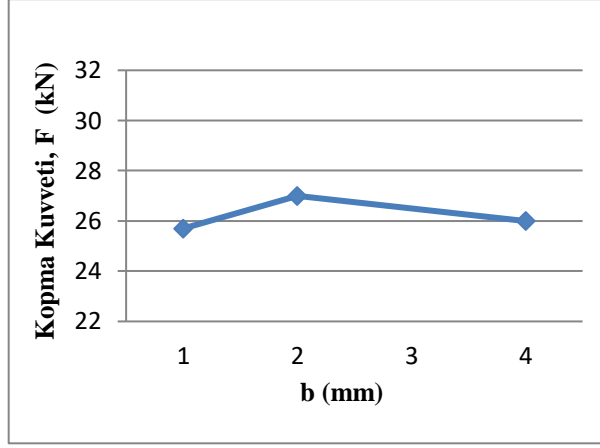
Beşgen dil tasarımı numuneler için tırnak uzunluğunun sabit olup tırnak genişliğinin değiştiği durumlara ilişkin kopma kuvvetlerini ve von Mises gerilmelerini gösteren grafikler aşağıda yer almaktadır.



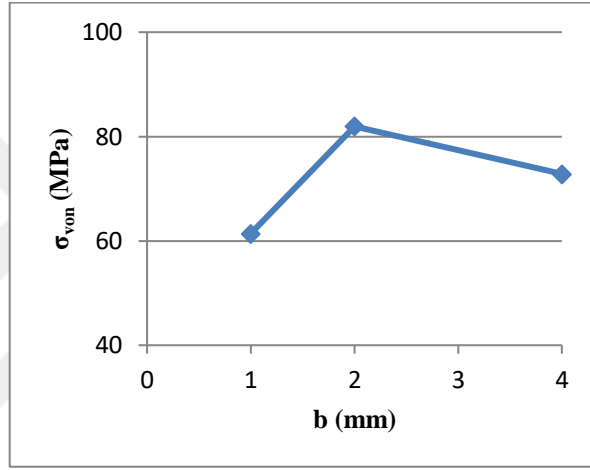
Şekil 5.58: Tırnak uzunluğu a=10 mm için kopma kuvveti sonuçları



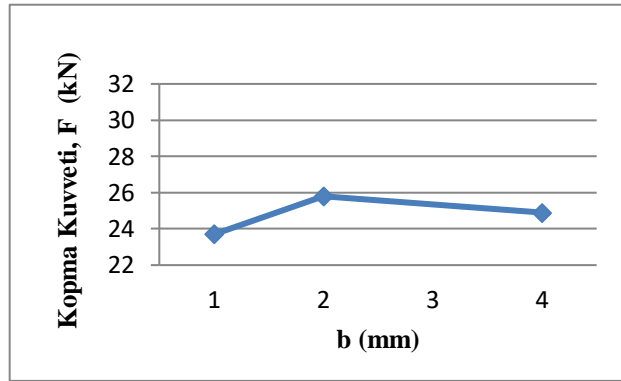
Şekil 5.59: Tırnak uzunluğu a=10 mm için von Mises sonuçları



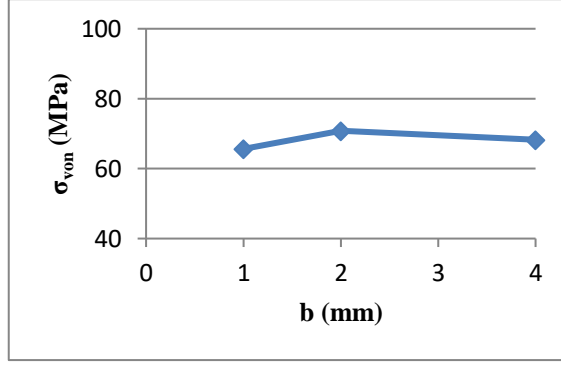
Şekil 5.60: Tırnak uzunluğu a=14 mm için kopma kuvveti sonuçları



Şekil 5.61: Tırnak uzunluğu a=14 mm için von Mises sonuçları



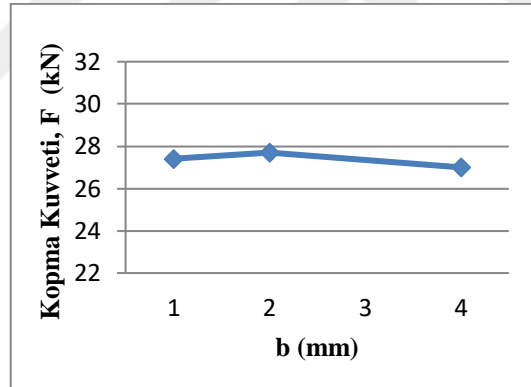
Şekil 5.62: Tırnak uzunluğu a=18 mm için kopma kuvveti sonuçları



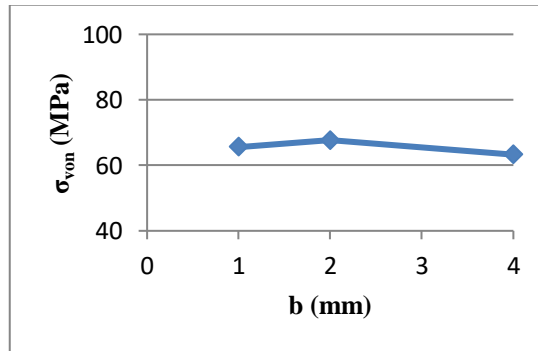
Şekil 5.63: Tırnak uzunluğu a=18 mm için von Mises sonuçları

5.6 Sekizgen Dil Tasarımlı Numunelerin Kopma Kuvvetleri ve Von Mises Gerilmeleri

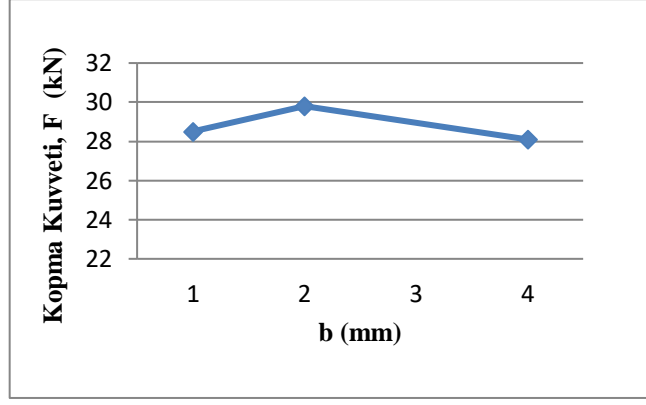
Sekizgen dil tasarımlı numuneler için a değerlerinin sabit olup b değerlerinin değiştiği durumlara ilişkin kopma kuvvetlerini ve von Mises gerilmelerini gösteren grafikler aşağıda yer almaktadır.



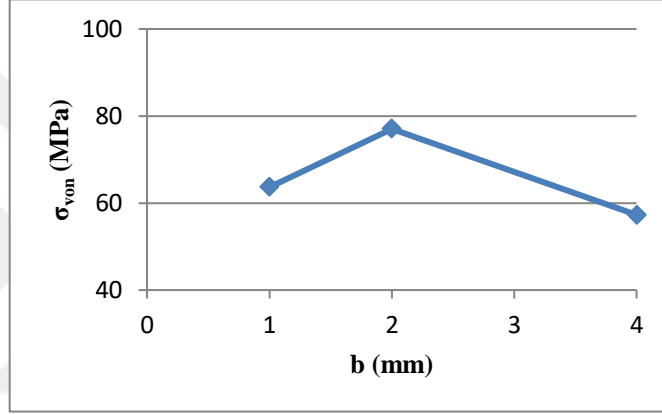
Şekil 5.64: Tırnak uzunluğu a=10 mm için kopma kuvveti sonuçları



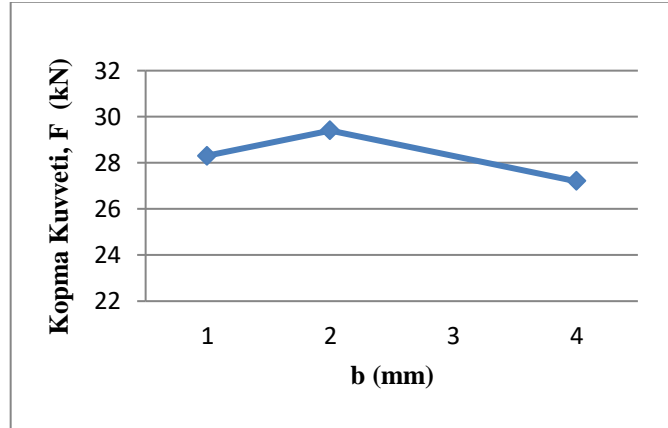
Şekil 5.65: Tırnak uzunluğu a=10 mm için von Mises sonuçları



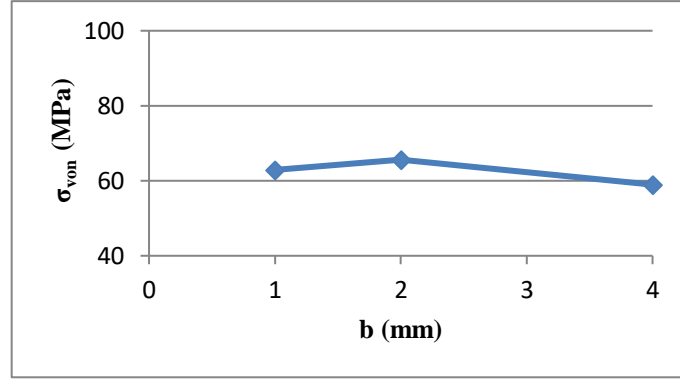
Şekil 5.66: Tırnak uzunluğu a=14 mm için kopma kuvveti sonuçları



Şekil 5.67: Tırnak uzunluğu a=14 mm için von Mises sonuçları



Şekil 5.68: Tırnak uzunluğu a=18 mm için kopma kuvveti sonuçları



Şekil 5.69: Tırnak uzunluğu $a=18$ mm için von Mises sonuçları



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Bu çalışmada tabakalı kalın örgü tip dokuma kompozit malzemeden beşgen ve sekizgen tasarım için sistematik ölçüler dahilinde sadece uç geometrileri farklı olacak şekilde numuneler oluşturulmuş ve dayanımları karşılaştırılmıştır. Yapılan tasarımlar ile en iyi dayanım gösteren numunenin bulunması amaçlanmıştır. Oluşturulan tasarımlar Instron malzeme test cihazında monotonik çeki yüklemesi yapılarak dayanım değerleri incelenmiştir. Solidworks 2015 programında çizilen tasarımlar, Ansys 14.0 sonlu elemanlar analiz programı içine yüklenerek, gerilme analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerin deneyler ile uyumluluğu incelenmiştir. Tırnak uzunluğu ve tırnak genişliği parametrelerinin yapışkanlı bağlantılarda dayanımı etkileyen parametreler olduğu yapılan deneysel ve analitik çalışmalarda görülmüştür.

Deney sonuçları ile analiz sonuçları karşılaştırıldığında; iki durum için elde edilen grafiklerin aynı eğilimleri gösterdiği görülmektedir. Bu durum analiz sonuçlarının deneysel çalışmayı desteklediğinin bir göstergesidir. Analiz sonuçlarında; yapıştırma bağlantısı üzerinden geçen yollar boyunca gerilme değerleri incelendiğinde, yapıştırma bölgesinde meydana gelen gerilme düşüşleri net bir şekilde görülebilmektedir. Yapıştırma bölgesinde meydana gelen ayrılmalar bu duruma yol açmaktadır.

İki farklı dil tasarımdan öncelikle beşgen dil tasarımı ele alındığında; tırnak genişliğinin 2 mm olduğunda kopma dayanımının en yüksek seviyeye çıktığı görülmüştür, tırnak genişliği 4 mm olduğunda ise dayanım düşmüştür. Tırnak genişliği 4 mm ile tırnak genişliği 1 mm kıyaslandığında kopma dayanımı tırnak genişliği 4 mm olduğunda daha yüksektir. Kopma dayanımı, tırnak genişliğinin belli bir değere ulaşmasına kadar artış göstermiş ancak maksimum seviyeye ulaştıktan sonra genişliğinin artması ile dayanım değerlerinde düşüş yaşanmıştır.

Beşgen dil tasarımında ikinci parametre olarak ele alınan tırnak uzunluğunun 14 mm değerinde kopma dayanımının en yüksek seviyeye çıktığı görülmüştür. Tırnak uzunluğu 18 mm olduğunda dayanımın, tırnak uzunluğunun 10 mm olduğundan bile daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durumda uç geometrisindeki

uzunluk belli bir seviyeye ulaşana kadar dayanımı artırmış ancak maksimum seviyeye ulaştıktan sonra uzunluğun artması kopma dayanımını oldukça dūřürmüřtür.

Sekizgen dil tasarımı ele alındığında, tırnak genişliği 2 mm olduğunda kopma dayanımının en yüksek seviyeye çıktığı görölmüştür. Tırnak genişliği 4 mm olduğunda dayanımın, tırnak genişliğinin 1 mm olduğundan bile daha düşük olduğu görölmüştür. Uç geometri tasarımında tırnak genişliği belli bir seviyeye ulaşana kadar yapışkanla birleştirilmiş kompozit malzemenin dayanımını artırmış ancak maksimum seviyeye ulaştıktan sonra uç geometrisinin genişliğinin artması dayanımı dūřürmüřtür.

Beřgen dil tasarımında olduğu gibi, sekizgen dil tasarımında tırnak uzunluğu 14 mm olduğunda kopma dayanımının en yüksek seviyeye çıktığı görölmüştür. Tırnak uzunluğu 18 mm'ye çıkarıldığında dayanımda bir miktar dūřüř görölmüştür. Tırnak uzunluğu 18 mm ile tırnak uzunluğu 10 mm kıyaslandığında kopma dayanımı tırnak uzunluğu 18 mm olduğunda daha yüksektir. Yapışkanlı bağlantı dayanımında, 14 mm'nin optimum tırnak uzunluğu değeri olduğu görölmüştür. Tırnak uzunluğu değerinin belli bir değere kadar artış göstererek dayanımın maksimum seviyeye ulaştığı, daha sonra tırnak uzunluğu değerinin artması ile dayanımın dūřtüęü belirlenmiştir.

Dil üzerinde herhangi bir geometrik profil oluşturulmadığı taktirde 75 mm yapıştırıcı uzunluğunda maksimum dayanım 19,68 kN civarında olmaktadır. Aynı yapıştırıcı kullanılarak oluşturulan beşgen tasarımda kopma dayanımı 27 kN, sekizgen tasarımda ise kopma dayanımı 29,80 kN olarak geręekleřmiřtir. Cam elyaf takviyeli tabakalı kalın kompozit malzemelerde, herhangi bir geometrik profil oluşturulmayan duruma göre (Uslu, 2010) beşgen tasarım uygulandığında 1,37 kat, sekizgen tasarım uygulandığında ise 1,51 kat kopma mukavemetinde artış olduğu deneysel olarak belirlenmiştir.

6.2 Öneriler

Bu çalışmada cam elyaf takviyeli kalın örgü tip dokuma kompozit malzeme kullanılmıştır. Araştırmada sadece statik çekme deneyleri yapılarak sonuca gidilmiştir. Dayanımın etkisi araştırılırken malzemenin yorulma dayanımının etkisi

de dikkate alınmalıdır Aynı dil tasarımları için yorulma deneyleri yapılarak numunelerin dayanımları ortaya çıkarılabilir. Dil parçası olarak cam elyaf takviyeli kompozit malzeme yerine karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler veya kompozit dışında çelik malzemeler kullanılarak da deneyler yardımıyla dayanım etkisi araştırılabilir. Kompozit malzeme kullanıldığında dilde meydana gelen deliminasyon, dil parçası olarak metal malzeme kullanıldığında meydana gelmeyebilir. Bu konu ileride çalışılarak kompozit malzemelerde karşılaştırılması mümkün olabilir. Bu çalışmada sekizgen dil tasarımının beşgen dil tasarımdan daha yüksek dayanım göstermesini referans alarak uç geometrisinin daha köşeli olması daha iyi tutunma sergilemiştir. Bu durumda daha köşeli (dokuzgen, ongen gibi) tasarımların daha iyi dayanım göstereceği düşünülebilir. Yapılacak çalışmalar bu durumu doğrulayabilecektir.

7. KAYNAKLAR

- Adamson ve Fox, “An evaluation of the performance of advanced melded composite joints”, *Composite Structures*, 92 (9), 2071-2076, (2009).
- Akpınar, ve diğ, “Research on strength of nanocomposite adhesively bonded composite joints”, *Composites Part B: Engineering*, 126, 143-152, (2017).
- Ateş, C., Kompozit malzemeler ders notu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, (2006).
- Bai ve diğ, “Numerical and experimental study of dynamic buckling behavior of a J-stiffened composite panel under in-plane shear”, *Composite Structures*, 166, 96-103, (2017).
- Budhe, ve diğ, “An updated review of adhesively bonded joints in composite materials”, *Int. Journal of Adhesion and Adhesives*, 72, 30-42, (2017).
- Campilho ve diğ, “Tensile behaviour of three dimensional carbon epoxy adhesively bonded single- and double-strap repairs”, *Int. Journal of Adhesion and Adhesives*, 29, 678-686, (2009).
- Canyurt ve Meran, “Fatigue strength estimation of adhesively bonded tongue and groove joint of thick woven composite sandwich structures using genetic algorithm approach”, *Int. Journal of Adhesion and Adhesives*, 33, 80-88, (2012).
- Canyurt ve diğ, “Strenght estimation of adhesively bonded tongue and groove joint of thick composite sandwich structures using genetic algorithm approach”, *Int. Journal of Adhesion and Adhesives*, 30, 281-287, (2010).
- Chikahiro ve diğ., “Shear bond strength of resin composite to magnetic Fe-Pt alloy”, *the Journal of Prosthetic Dentistry*, 93 (5), 478-482, (2005).
- Çalık, A., “Yapıştırıcılar ve köşeleri yuvarlatılmış basamaklı bindirme yapıştırıcı bağlantılarda gerilme analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, (2009).

- Çitil, Ş., “Kapakları parça içine gömülü çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, (2010).
- Erbil, C., “Cam elyafli kompozit malzemelerin korozif ortamda yorulması”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2005).
- Ersoy, M.S., “Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, (2005).
- Fernandez, ve diğ., “Experimental identification of static and dynamic strength of epoxy based adhesives in high thickness joints”, *Int. Journal of Solids and Structures*, 120, 292-303, (2017).
- Ghorbani, A., “Stress analysis of composite adhesive bonded joints under incipient failure conditions”, *Procedia Structural Integrity*, 8, 552-560, (2018).
- Güneş ve diğ., “The free vibration analysis and optimal design of an adhesively bonded functionally graded single lap joint” *Int. Journal of Mechanical Sciences*, 49, 479-499, (2007).
- İşcan ve diğ., “Yapıştırıcı malzeme ile birleştirilmiş z tipi bağlantılarda bindirme mesafesinin etkisi”, *3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, Türkiye, (2009).
- Kaplanseren, A.N., “Örgü Tip Dokuma Kompozit Malzemelerin Birleştirilmesinde Farklı Uç Geometrilerinin Yapıştırma Dayanımına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2013).
- Karakaya, Ş. ve Soykasap, Ö., “Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Tek Bindirmeli Dokumalı Kompozit Yapıların Eğilme Hasarı”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (2), 43-52, (2008).
- Kim ve diğ., “Failure prediction and strength improvement of uni-directional composite single lap bonded joints”, *Composite Structures*, 82 (4), 513-520, (2007).

Lim G.H., ve diğ, “Evolution of mechanical properties of flexible epoxy adhesives under cyclic loading and its effects on composite hybrid bolted/bonded joint design”, *Composite Structures*, 189, 54-60, (2018).

Lopez-Cruz, ve diğ, “Investigation of bolted/bonded composite joint behaviour using design of experiments”, *Composite Structures*, 170, 192-201, (2017).

Taib ve diğ, “Bonded joints with composite adherends. Part I. Effect of specimen configuration, adhesive thickness, spew fillet and adherend stiffness on fracture”, *Int. Journal of Adhesion and Adhesives*, 26, 226-236, (2006).

Taib ve diğ, “Bonded joints with composite adherends. Part II. Finite element analysis of joggle lap joints”, *Int. Journal of Adhesion and Adhesives*, 26 (4), 237-248, (2006).

Uslu, M., “Kalın Woven Kompozit Laminelerde Dil ve Oluk Birleştirme Tekniği ile Yapıştırma ve Dayanımı Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2010).

Zor, M., Kompozit malzeme mekaniği ders notları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, (2018).

Xiacong, He., “A review of finite element analysis of adhesively bonded joints”, *Int. Journal of Adhesion and Adhesives*, 31 (4), 248-264, (2011).

Url-1,<https://malzemebilimi.net/sivil-havacilikta-kompozit-cagini-baslatanucak-boeing-787-dreamliner.html>, (15 Mart 2019).

Url-2,<https://www.metalurjik.net/kompozit-malzemelerin-siniflandirilmesi>, (20 Mart 2019).

Url-3,<https://malzemebilimi.net/seramik-matrisli-kompozitler.html>, (23 Mart 2019).

Url-4,<https://www.aterstore.com.tr/urun/cati-malzemeleri/sandwich-panel/tas-yunu-sandwich-panel/tasyunu-dolgulu-sandvic-cephe-paneli/>, (21 Mart 2019).

Url-5,<https://www.interjet.com.tr/ju-jeti-kesim-makinalari/>, (22 Mart 2019).

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Onur AVAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir 26.05.1989

Lisans Üniversite : Süleyman Demirel Üniversitesi

Elektronik posta : oavan09@gmail.com

İletişim Adresi : Kavaklıdere Mah. Bankacı Sok. No:5/1

Çankaya/ANKARA