T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM-KARBON ELYAF SANDVİÇ LEVHALARIN BÜKME İŞLEMİ SONRASI GERİ ESNEMELERİNİN İNCELENMESİ

ALİ IŞIKTAŞ

DOKTORA TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi VEDAT TAŞKIN

EDİRNE – 2019

ALİ IŞIKTAŞ'ın hazırladığı "ALÜMİNYUM-KARBON ELYAF SANDVİÇ LEVHALARIN BÜKME İŞLEMİ SONRASI GERİ ESNEMELERİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri: İmza

Prof.Dr. Metin AYDOĞDU

Prof.Dr. Fikret İŞIK

Dr.Öğr. Üyesi Vedat TAŞKIN

Dr.Öğr. Üyesi Aytaç MORALAR

Dr.Öğr. Üyesi Olcay EKŞİ

Tez Savunma Tarihi: 08/07/2019

Bu tezin Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Dr.Öğr. Üyesi Vedat TAŞKIN

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof.Dr. Murat YURTCAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI DOKTORA PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

08/07/2019

Ali IŞIKTAŞ



Doktora Tezi

Alüminyum-Karbon Elyaf Sandviç Levhaların Bükme İşlemi Sonrası Geri Esnemelerinin İncelenmesi

Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmada, alüminyum-karbon elyaf sandviç levhaların V bükme operasyonu neticesinde oluşan geri esneme davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Alüminyum serisi, alüminyum kalınlığı, karbon elyaf kalınlığı, bükme açısı ve bükme yönü deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda bükme hızı 5 mm/s ve zımba uç yarıçapı R8 mm olarak sabit alınmıştır. Bükme sonrası alüminyum-karbon elyaf sandviç levhalardaki geri esneme açıları koordinat ölçüm cihazı (CMM) kullanılarak ölçülmüştür.

Farklı kalınlıklarda Al-5754-H22 ile 0.15 mm karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında şekillendirilmesi neticesinde, bükme açısının artması ile sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme miktarının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, alüminyum kalınlığının artmasıyla, sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme miktarının arttığı görülmüştür. Farklı kalınlıkta karbon elyaf plakalardan üretilen sandviç kompozit levhaların 30° bükme açısında şekillendirilmesi neticesinde, karbon elyaf kalınlığının artmasıyla sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme miktarının azaldığı görülmüştür. Farklı bükme yönlerinde şekillendirilen sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme değerlerinin birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, T1 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların 75° ve 90° bükme açılarındaki testlerinde alüminyum ve karbon elyaf plakalar arasında açılmalar görülürken, T2 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların 75° ve 90° bükme açılarında ise dış taraftaki alüminyum sac levhalarda yırtılmalar oluşmuştur. Farklı alüminyum serilerinden oluşturulan sandviç kompozit levhaların geri esneme davranışları karşılaştırıldığında, Al 5754 sac levha kullanılan

sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme miktarı tüm bükme açılarında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Yıl : 2019

Sayfa Sayısı : 108

Anahtar Kelimeler : Sandviç Kompozit Levha, V Bükme, Geri Esneme, Karbon Elyaf Plaka

Doctoral Thesis

Investigation of Springback of Aluminum-Carbon Fiber Sandwich Plates In Bending Process

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

In this study, the springback behavior that occurs as a result of V-bending operation of aluminum-carbon fiber sandwich plates is examined experimentally. Aluminum series, aluminum thickness, carbon fiber thickness, bending angle and bending direction are determined as the parameters of the experiment. In experimental studies, the constant bending speed was 5 mm/s and punch radius was R8. The springback angles in aluminum-carbon fiber sandwich plates after bending were measured by using coordinate measuring machine (CMM).

As a result of shaping of sandwich composite plates made of 0.15 mm carbon fiber plates with Al-5754-H22 in different thicknesses in different bending angles, it was observed that the amount of springback in sandwich composite plates increased when the bending angle was increased. It was also observed that the increase in aluminum thickness increased the amount of springback in sandwich composite plates. When sandwich composite plates made of carbon fiber plates in different thickness were shaped in 30° of bending angle, it was observed that the amount of springback in the sandwich composite plates decreased when the carbon fiber thickness increased. It was found that the springback values that occurred in sandwich composite plates that were shaped in different bending directions were very close. In addition, while separations between aluminum and carbon fiber plates were found in tests performed at 75° and 90° of bending angles in T1 bending direction, the aluminum sheet metals on the outer part were partly cracks at 75° and 90° of bending angles in T2 bending direction. When springback behaviors of sandwich composite plates made of different aluminum series were

compared, it was found that the amount of springback in sandwich composite plates made of Al 5754 sheet metal was higher at all bending angles.

Year : 2019

Number Of Pages : 108

Keywords : Sandwich Composite Plate, V Bending, Springback, Carbon Fiber Plate

ÖNSÖZ

Doktora eğitimim süresince bilgi ve tecrübesiyle beni her zaman destekleyen, dinleyen, yol gösteren ve cesaretlendiren değerli hocam, danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Vedat TAŞKIN'a üzerimdeki tüm emekleri için çok teşekkür ederim.

Başta Prof. Dr. Metin AYDOĞDU hocam olmak üzere değerli yorum ve önerileri için Prof. Dr. Fikret İŞIK, Dr. Öğr. Üyesi Aytaç MORALAR ve Dr. Öğr. Üyesi Olcay EKŞİ'ye teşekkür ederim.

Her ihtiyaç duyduğumda yanıma koşan, bugünlere gelmemde en büyük paya sahip annem ve babama, maddi ve manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan tüm aileme çok teşekkür ederim.

Hayat arkadaşım Kübra IŞIKTAŞ'a ve biricik kızımız Yade IŞIKTAŞ'a bu uzun süreçte beni daima destekledikleri, moral verdikleri, sabır ve anlayış gösterdikleri için çok teşekkür ederim.

Deneysel nitelikli bu çalışma, Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (TÜBAP) tarafından 2017-185 Nolu proje ile desteklenmiştir.

Ali IŞIKTAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖZET……...iv
ABSTRACT……vi
ÖNSÖZ…….....viii
İÇİNDEKİLER……...…ix
SİMGELER DİZİNİ…….xii
KISALTMALAR DİZİNİ……xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ……..xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ……..xvii
BÖLÜM 1.....1
GİRİŞ 1
1.1. Problemin Önemi 1
1.2. Tezin Konusu ve Kapsamı 1
1.3. Literatür Özeti 2
1.4. Tezin Organizasyonu 7
BÖLÜM 2.....8
GENEL BİLGİLER.....8
2.1. Malzemelerde Bükme İşlemi 9
2.1.1. Bükme 9
2.1.2. Bükme Tekniği.....9
2.1.3. Bükme Çeşitleri.....10
2.1.3.1. V Bükme 11
2.1.3.2. Kenar Bükme 12
2.1.3.3. Serbest Bükme 13
2.2. Geri ve İleri Esneme.....13
2.2.1. Geri Esnemeyi Etkileyen Parametreler 14

2.2.1.1. Malzeme Cinsi ve Özelliklerinin Geri Esnemeye Etkisi 15
2.2.1.2. Malzeme Kalınlığının Geri Esnemeye Etkisi 16
2.2.1.3. Haddeleme ve Fiber Yönünün Geri Esnemeye Etkisi 16
2.2.1.4. Bükme Açısının Geri Esnemeye Etkisi 17
2.2.1.5. Zımba Uç Yarıçapının Geri Esnemeye Etkisi 17
2.2.1.6. Zımbanın Malzeme Üzerinde Bekleme Süresinin Geri Esnemeye Etkisi 18
2.2.1.7. Uygulanan Bükme Kuvvetinin Geri Esnemeye Etkisi 18
2.2.1.8. Sıcaklığın Geri Esnemeye Etkisi 20

BÖLÜM 3 21

FİBER/METAL TABAKALI SİSTEMLER VE SANDVİÇ KOMPOZİT YAPILAR 21

3.1. Fiber/Metal Tabakalı (FML) Sistemler 21
3.2. Sandviç Kompozit Yapılar 22
3.2.1. Sandviç Kompozitlerin Bileşenleri 23
3.2.1.1. Yüzeyler 23
3.2.1.2. Çekirdek 24
3.2.2. Sandviç Kompozitlerin Özellikleri 24
3.2.3. Sandviç Kompozitlerin Avantajları 25
3.2.4. Sandviç Kompozitlerin Dezavantajları 26
3.2.5. Sandviç Kompozitlerin Endüstride Uygulama Alanları 26

BÖLÜM 4 27

MATERYAL VE YÖNTEM 27

4.1. Deneylerde Kullanılan Sandviç Kompozit Levha 28
4.2. Sandviç Kompozit Levha Numunelerinin Hazırlanması 28
4.2.1. Alüminyum Malzemelerin Hazırlanması 28
4.2.2. Karbon Elyaf Plakaların Hazırlanması 30
4.3. Yapıştırma İşlemi 31
4.3.1. Yapıştırma Yüzeylerinin Aşındırılması 31
4.3.2. Yapıştırma Yüzeylerinin Temizlenmesi 31
4.3.3. Yüzey Düzenleyici Primerin Uygulanması 32
4.3.4. Yapıştırma İşleminin Yapılması 33
4.4. Sandviç Kompozit Levhaların Kesilmesi 36

4.5. Deneylerde Kullanılan Bükme Kalıpları 38
4.6. Metot 40
4.7. Bükme Deneyi ve Deneysel Çalışma Ortamı 42
4.8. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Makine ve Cihazlar 45
4.8.1. Giyotin Makas 45
4.8.2. Cnc Freze 46
4.8.3. TA.HDPlus Tekstür Cihazı 47
4.8.4. Ölçme İşleminde Kullanılan Cihazlar 48
BÖLÜM 5 50
SONUÇLAR 50
5.1. Sandviç Kompozit Levhalarda Oluşan Geri Esnemenin Değerlendirilmesi 51
5.1.1. Sandviç Kompozit Levhaların Farklı Bükme Açılarındaki Geri Esneme Değerleri .. 51
5.1.2. Sandviç Kompozit Levhalardaki Karbon Elyaf Kalınlığının Geri Esnemeye Etkisi . 54
5.1.3. Sandviç Kompozit Levhalarda Bükme Yönünün Geri Esnemeye Etkisi 55
5.1.4. Sandviç Kompozit Levhalarda Farklı Seride Alüminyum Kullanılmasının Geri Esnemeye Etkisi 57
5.2. Sandviç Kompozit Levhaların Şekillendirilmesinde Bükme Kuvveti-Zımba Strok Eğrileri 59
BÖLÜM 6 68
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 68
KAYNAKLAR 71
EKLER 75
ÖZGEÇMİŞ 91

SİMGELER DİZİNİ

Al	Alüminyum
B	Sac malzeme genişliği
C	W/T oranına bağlı bir katsayıyı
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
K	Geri esneme oranı
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
Pb	Kurşun
P_e	Emniyetli Bükme kuvveti
P_v	V bükme kuvveti
R	Zımba uç yarıçapı
R_d	Kalıp radyüsü
R_p	Zımba radyüsü
Si	Silisyum
T	Sac malzeme kalınlığı
Ti	Titanyum
W	Kalıp ağzı açıklığı
Zn	Çinko
θ	Bükme açısı
θ'	Bükme sonrası açısı
σ_b	Malzeme çekme mukavemeti

KISALTMALAR DİZİNİ

AA	Alüminyum alaşım
CFRP	Carbon fiber reinforced plastic
CMM	Coordinate measurement machine
CNC	Computer numerical control
FBG	Fiber bragg grating
FML	Fiber/metal lamina
Mm	Milimetre
N	Newton
PPS	Polyphenylenesulfide
PREPREG	Pre-impregnated
SEY	Sonlu elemanlar yöntemi
T1	Pozitif bükme yönü
T2	Negatif bükme yönü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bükme işlemi sonucunda malzemede oluşan gerilmeler ve şekil değişimleri 10
Şekil 2.2. Bükme yöntemleri. 11
Şekil 2.3. V Bükme operasyonu 11
Şekil 2.4. V Bükmenin safhaları 12
Şekil 2.5. Kenar bükme yöntemi ve elemanları 12
Şekil 2.6. Serbest bükme yöntemi. 13
Şekil 2.7. Bükme işlemi sonrası geri ve ileri esneme. 14
Şekil 2.8. Gerilme-birim şekil değişim eğrisi. 15
Şekil 2.9. Bükme işleminde hadde yönünün gösterilmesi. 16
Şekil 2.10. Farklı fiber oryantasyonlarının gösterilmesi 17
Şekil 2.11. Bükme yöntemi ve bükme kuvveti 19
Şekil 2.12. Kompozit levhaların düşük sıcaklıklarda bükülmesinde çatlak oluşumu. 20
Şekil 3.1. Fiber/Metal sistemin şematik gösterimi **21**
Şekil 3.2. Tipik sandviç kompozit malzemenin yapısal görünüşü. 22
Şekil 3.3. Sandviç kompozitin geometrik özelliklerinin gösterilişi 25
Şekil 4.1. Sandviç kompozit levhaların oluşumu **28**
Şekil 4.2. Alüminyum sac levhaların giyotin tezgâhta kesilmesi 29
Şekil 4.3. Karbon elyaf kumaş ve üretimi yapılan karbon elyaf plaka 30
Şekil 4.4. Primer uygulanmış alüminyum levha yüzeyi 32
Şekil 4.5. Sandviç kompozit levha yapıştırma aparatı 34
Şekil 4.6. Sandviç kompozit levhalar 36
Şekil 4.7. Sandviç kompozit levhaların su jeti ile kesimi 37
Şekil 4.8. Sandviç kompozit levha numuneleri 38
Şekil 4.9. Deneysel çalışmada kullanılan 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açılarındaki kalıplar 40
Şekil 4.10. Bükme deney düzeneğinin genel görüntüsü 43

Şekil 4.11. Tekstür cihazı yazılımının ekran görüntüsü 43
Şekil 4.12. Sandviç kompozit levhalarda bükme işlemi 45
Şekil 4.13. Mvd Ishear B Serisi hidrolik giyotin makas 45
Şekil 4.14. Delta Seiki 1050 Serisi Cnc freze 46
Şekil 4.15. Deneysel çalışmaların yapıldığı TA.HDPlus tekstür analiz cihazı 47
Şekil 4.16. Dijital açı ölçer cihazı 48
Şekil 4.17. Sandviç kompozit levha numunelerinin açısını ölçmede kullanılan CMM cihazı 49
Şekil 4.18. Sandviç kompozit levhaların CMM ile açı ölçümü 49
Şekil 5.1. 0.6 mm Al 5754 ve 0.15 mm karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarındaki geri esnemeleri **51**
Şekil 5.2. 0.6 mm Al 5754 ve 0.15 mm karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların bükme sonrası görünümleri 52
Şekil 5.3. 1.2 mm Al 5754 ve 0.15 mm karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarındaki geri esnemeleri 52
Şekil 5.4. 1.2 mm Al 5754 ve 0.15 mm karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların bükme sonrası görünümleri 53
Şekil 5.5. 75° ve 90° bükülen numunelerde oluşan yırtılmalar 53
Şekil 5.6. Farklı kalınlıkta Al 5754 kullanılan sandviç kompozit levhalarda geri esneme davranışının karşılaştırılması 54
Şekil 5.7. Karbon elyaf kalınlığının geri esneme miktarına etkisi 55
Şekil 5.8. Farklı bükme yönlerinde şekillendirilen sandviç kompozit levhalarda geri esneme davranışının karşılaştırılması 56
Şekil 5.9. 75° ve 90° bükülen numunelerde oluşan açılmalar 56
Şekil 5.10. 75° ve 90° bükülen numunelerde oluşan yırtılmalar 57
Şekil 5.11. 0.6 mm Al 1050 ve 0.15 mm karbon elyaf plakayla hazırlanan sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarındaki geri esnemeleri 58
Şekil 5.12. Farklı serilerde alüminyumun kullanılan sandviç kompozit levhalarda geri esneme davranışının karşılaştırılması 59
Şekil 5.13. Farklı kalınlıkta Al-5754 kullanılan sandviç kompozit levhaların 15° bükme açısındaki bükme kuvvetleri 60

Şekil 5.14. Farklı kalınlıkta Al-5754 kullanılan sandviç kompozit levhaların 30° bükme açısındaki bükme kuvvetleri 60
Şekil 5.15. Farklı kalınlıkta Al-5754 kullanılan sandviç kompozit levhaların 45° bükme açısındaki bükme kuvvetleri 61
Şekil 5.16. Farklı kalınlıkta Al-5754 kullanılan sandviç kompozit levhaların 60° bükme açısındaki bükme kuvvetleri 61
Şekil 5.17. Farklı kalınlıkta Al-5754 kullanılan sandviç kompozit levhaların 75° bükme açısındaki bükme kuvvetleri 62
Şekil 5.18. Farklı kalınlıkta Al-5754 kullanılan sandviç kompozit levhaların 90° bükme açısındaki bükme kuvvetleri 63
Şekil 5.19. Farklı serilerde alüminyum kullanılan sandviç kompozit levhaların 15° bükme açısındaki bükme kuvvetleri..... 64
Şekil 5.20. Farklı serilerde alüminyum kullanılan sandviç kompozit levhaların 30° bükme açısındaki bükme kuvvetleri..... 64
Şekil 5.21. Farklı serilerde alüminyum kullanılan sandviç kompozit levhaların 45° bükme açısındaki bükme kuvvetleri..... 65
Şekil 5.22. Farklı serilerde alüminyum kullanılan sandviç kompozit levhaların 60° bükme açısındaki bükme kuvvetleri..... 65
Şekil 5.23. Farklı serilerde alüminyum kullanılan sandviç kompozit levhaların 75° bükme açısındaki bükme kuvvetleri..... 66
Şekil 5.24. Farklı serilerde alüminyum kullanılan sandviç kompozit levhaların 90° bükme açısındaki bükme kuvvetleri..... 67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Alüminyum 5754-H22 kimyasal bileşimi 29
Çizelge 4.2. Alüminyum 5754-H22 mekanik özellikleri 29
Çizelge 4.3. Alüminyum 1050-H14 kimyasal bileşimi 29
Çizelge 4.4. Alüminyum 1050-H14 mekanik özellikleri 29
Çizelge 4.5. Karbon elyafın bazı özellikleri 30
Çizelge 4.6. Lps Hdx teknik özellikleri 31
Çizelge 4.7. Metal Prep 90 Primer teknik özellikleri 32
Çizelge 4.8. Devcon Plastic Welder teknik özellikleri 35
Çizelge 4.9. Sandviç kompozit levhaların kodlanması 36
Çizelge 4.10. A kodu verilen sandviç kompozit levhaya ait kesim şablonu 37
Çizelge 4.11. Alüminyum 6082 T6 kimyasal bileşimi 38
Çizelge 4.12. Alüminyum 6082 T6 mekanik özellikleri 39
Çizelge 4.13. Deneysel çalışmada kullanılan bükme parametreleri 42
Çizelge 4.14. Delta Seiki 1050 Serisi Cnc Frezenin teknik özellikleri 47
Çizelge 4.15. TA.HDPlus tekstür analiz cihazının teknik özellikleri 48

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bu bölümde problemin önemi, tezin konusu ve kapsamı, ilgili literatür özeti ve tezin organizasyonuna yer verilmiştir.

1.1. Problemin Önemi

Sandviç kompozit levhaların yüksek mukavemet ve düşük yoğunluk gibi özelliklerinin yanında korozyon direnci gibi çevresel etkilere karşı dayanımlarından dolayı kullanım alanları artmaya başlamıştır. Metaller ile kıyaslandığında sandviç kompozit levhalar daha hafif ve yüksek yorulma mukavemetine sahip olması sebebiyle özellikle uçak sanayisi, uzay teknolojisi, denizcilik sektörü ve otomotiv sektörü gibi birçok alanda tercih edilmektedir.

Sandviç kompozit levhaların kullanım alanlarının artmasıyla, kullanıldığı yere göre sandviç kompozit levhaların şekillendirilme ihtiyacı da ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, sandviç kompozit levhaların şekillendirilme kabiliyeti araştırılmıştır. Deneysel çalışmada, metal sac malzemelerin şekillendirilmesinde karşılaşılan en büyük problemlerden birisi olan geri esneme sorununun, yüksek performans ve çevresel etkilere karşı dayanımlarından dolayı tercih sebebi olan sandviç kompozit levhalara nasıl etki edeceği araştırılmıştır.

1.2. Tezin Konusu ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında, alüminyum-karbon elyaf sandviç levhaların bükme işlemi sonrası geri esneme davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda literatürde problemin çözümüne yönelik teorik ve deneysel çalışmalar incelenmiştir. Literatür

taraması neticesinde, daha önce sandviç kompozit levhaların şekillendirilmesi sonrası oluşan geri esneme davranışı üzerine çalışmaların literatürde yer aldığı ancak konu ile ilgili henüz çalışılmamış kısımların bulunduğu görülmüştür. Bu çalışmada, karbon elyaf ve alüminyum sac levhalardan üretilen sandviç kompozit levhalar kullanılmıştır. Sandviç kompozit levhaların dış tabakasında 0.6 ve 1.2 mm kalınlıklarında Al-5754-H22 ve 0.6 mm kalınlığında Al-1050-H14 alüminyum sac levhalar kullanılmıştır. Sandviç kompozit levhaların orta tabasında ise düz dokuma karbon elyaf kumaştan prepreg tekniği ile üretilen farklı kalınlıklarda karbon elyaf plakalar kullanılmıştır. Sandviç kompozit levhalarda farklı kalınlıkta alüminyum ve karbon elyaf plaka kullanılarak, malzeme değişkenlerinden kalınlığın geri esnemeye nasıl etki ettiği araştırılmıştır. Bükme işleminde, bükme açısının sandviç kompozit levhalarda geri esneme değerlerine etkisini incelemek amacıyla 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açıları kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Özetle; sandviç kompozit malzeme ve bükme işlemine ait değişkenlerin geri esnemeye etkisi detaylı bir biçimde deneysel olarak incelenmiştir. Karbon elyaf plaka ve alüminyum sac levhaların yapıştırılmasıyla oluşturulan sandviç kompozit levhalarda bükme açısı ve bükme yönü parametrelerinin geri esneme davranışına etkisini araştıran herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Sonuç olarak, gerçekleştirilen bu deneysel çalışmanın sandviç kompozit levhalarda geri esneme davranışı üzerine yapılacak çalışmalara öncülük etmesi ve literatüre ışık tutması hedeflenmiştir.

1.3. Literatür Özeti

Malzemelere şekil verme işleminde, malzemelerin elastik sınırları aşılmakta fakat en büyük çekme gerilmeleri aşılamamaktadır. Bu nedenle, malzeme başta sahip olduğu esnekliğinin bir kısmını hala korumaktadır (Ötü & Demirci, 2013). Bükme işleminde, malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığında malzemenin iç deformasyon bölgesinde basma, dış deformasyon bölgesinde ise çekme gerilmeleri oluşur. Malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığında, oluşan bu gerilmelerden dolayı malzeme ilk halini almaya çalışmakta ve bu durum bükülen malzemenin esneyerek açılmasına neden olmaktadır. Malzemede oluşan bu olay geri esneme olarak adlandırılmaktadır (Tekaslan, 1998). Genellikle metal sac malzemelerde bükme sonrası oluşan geri esneme, malzemeyi final formundan uzaklaştırarak istenilen ölçülerin değişmesine yol açmaktadır.

Kim ve arkadaşları, Al2024 sacının arasına cam elyaf koyarak hazırladıkları kompozit levhaların 90° V bükme kalıbında şekillendirilmesi sonucu oluşan geri esneme miktarını deneysel olarak araştırmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada zımba radyüsü, bükme hızı ve sıcaklık parametrelerinin geri esnemeye etkisini incelemişlerdir. Deneylerde zımba radyüs değerleri 6, 7, 8, 9, 10 mm seçilmiştir. Kompozit levhalar 5, 10, 20 mm/dakika bükme hızlarında ve 25°C, 50°C, 75°C, 100°C sıcaklıklarında şekillendirilmiştir. Deneyler neticesinde, plastik deformasyona bağlı olarak zımba radyüsünün artmasıyla geri esneme miktarı arttığı tespit edilmiştir. Bükme hızının artmasıyla geri esnemenin çok az miktarda arttığı görülmüştür. Ayrıca, daha yüksek sıcaklıklarda bükülen kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme miktarında azalma tespit edilmiştir (Kim, Choi & Park, 2007).

Uriya ve arkadaşları, karbon fiber takviyeli plastik saclara sıcak ve soğuk ortamda, 90° V bükme işlemi uyguladıktan sonra malzemelerde meydana gelen geri esneme açılarını araştırmışlardır. Prepreg yöntemiyle üretilen farklı dizilime sahip karbon fiberlerin alt ve üst yüzeyine dummy sheets olarak adlandırdıkları A2024 sac metal ile birleştirerek karbon fiber takviyeli plastik sacları üretmişlerdir. Deneylerde, karbon fiber takviyeli plastik sacları 20°C, 100°C ve 200°C sıcaklıklarında 90° V bükme kalıbında şekillendirmişlerdir. Yapılan deneylerde, bükme sıcaklığının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, A2024 kullanılmadan sadece karbon fiberden oluşan deney numunelerinin bükülmesinde ise numune yüzeyinde deforme ve yırtılmaların olduğu belirtilmiştir (Uriya, Ikeuch & Yanagimoto, 2014).

Tekaslan, sac malzemelerin bükme kalıplarında şekillendirilmesiyle oluşan geri esnemenin belirlenmesi için deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmasında, modüler bir V bükme kalıbı kullanarak dkp, pirinç, bakır, alüminyum ve paslanmaz sacları bükmüşlerdir. Farklı kalınlıklardaki 0.5 mm, 0.75 mm ve 1 mm sacları farklı bükme açılarında, zımbayı sac üzerinde bekletmeden ve bekleterek yaptıkları deneylerde ortaya çıkan geri esneme sonuçlarını grafik ve çizelgelere dönüştürmüşlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, malzeme kalınlığı ve bükme açısının arttırılmasıyla geri esneme miktarının arttığı belirtilmiştir. Ayrıca, zımbanın sac üzerinde bekletilmesiye geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir (Tekaslan, 1998).

Han ve arkadaşları, farklı dizilimlere sahip karbon fiber takviyeli polifenilin sülfür kompozit malzemesinin 92° V bükme kalıbında şekillendirilmesiyle oluşan geri esneme sonuçlarını sonlu elemanlar yöntemiyle karşılaştırmışlardır. Deney numunesi olarak, [[(0,90)/(±45)]2]S ve [[(±45)/(0,90)]2]S şeklinde iki farklı dizilimdeki karbon fiber takviyeli polifenilin sülfür kompozitleri kullanmışlardır. Deney numuneleri 80°C, 110°C, 170°C, 200°C ve 230°C sıcaklıklarındaki kalıplarda 180 saniye bekletilerek bükülmüştür. Koordinat ölçüm cihazı kullanılarak yapılan ölçümlerde, ileri esneme değerlerinin sıcaklıkla doğru orantılı olarak 2.0865° ile 3.4310° arasında arttığı tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen sonuçların uyum içinde olduğu belirtilmiştir (Han, Butterfield, Price, Murphy & Mullan, 2011).

Parsa ve arkadaşları, metal/polimer/metal tabakalı sandviç malzemelerin V bükme kalıbıyla şekillendirilmesinde, zımba radyüsünün geri esnemeye etkisini deneysel ve sonlu elamanlar yöntemiyle araştırmışlardır. Metal olarak alüminyum A3105, polimer olarak polipropilen kullanılarak oluşturulan sandviç malzemeler 90° V bükme kalıbında şekillendirilmiştir. Farklı kalınlıklarda üretilen sandviç numuneler 4, 8, 12 mm zımba radyüsleri kullanılarak bükülmüştür. Deneylerden elde edilen verilere göre, zımba radyüsünün artmasıyla malzemede oluşan geri esnemenin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, sandviç sac kalınlığının artmasıyla tüm zımba radyüslerinde geri esneme miktarının azaldığı belirtilmiştir (Parsa, Mohammadi & Aghchai, 2014).

Choi ve arkadaşları, hibrit kompozitlerin 90° V bükme kalıbında şekillendirilmesiyle oluşan geri esnemenin deneysel olarak tespiti üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, CFRP/CR340 hibrit kompozitler kullanılmıştır. Yapılan deneylerde zımba basıncı, zımba radyüsü, CFRP tabaka sayısı ve CR340 hadde yönü gibi parametrelerin geri esnemeye etkisi araştırılmıştır. Deneylerde CFRP'nin tabakaları 5, 10 ve 20 katman olarak seçilmiştir. CR340 saclarının haddeleme yönleri olarak 0° ve 90° kullanılırken, zımba radyüs değerleri ise 2, 5, 8 mm olarak belirlenmiştir. Deneylerde, CFRP/CR340 kompozit malzemelerde geri esneme görülürken, CR340/CFRP kompozit malzemelerde ileri esneme olduğu tespit edilmiştir. CFRP/CR340 kompozit malzemelerde, CFRP'nin tabaka sayısı artıkça geri esnemenin azaldığı görülmüştür. CR340/CFRP kompozit malzemelerde ise CFRP'nin tabaka sayısı artıkça, ileri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, hadde yönü değiştiğinde hibrit kompozitlerdeki geri esnemenin değiştiği belirtilmiştir (Choi, Lee & Kang, 2016).

Hahn ve arkadaşları, 80° V bükme kalıbı kullanarak, farklı fiber yönlerindeki (0° ve 90°) fiber-metal tabakalı (FML) kompozitlere bükme işlemi uygulamışlardır. Deneylerde, farklı zımba radyüs değerinin (1.5, 2, 3, 4.5, 6 mm) geri esneme davranışına etkisi incelenmiştir. Çalışmada, malzeme olarak karbon fiber poliamid ve HC340LA/HX340LAD sac kullanılmıştır. Bükme işlemleri neticesinde 0° fiber yönü kullanılan malzemelerdeki geri esneme oranı K değeri, 90° fiber yönündeki malzemelere göre daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, zımba radyüsünün artmasıyla geri esneme oranı K'nın azaldığı belirtilmiştir (Hahn, Weddeling, Khalifa & Shabaninejad, 2016).

Padovec ve arkadaşları, C/PPS kompozit plakaların dijital fırında farklı sıcaklık ve sürelerde bekletilmesiyle meydana gelen açı değişimlerinin incelenmesi üzerine deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde 20°C, 40°C, 60°C, 80°C, 100°C, 120°C, 140°C ve 160°C fırın sıcaklıkları kullanılmıştır. Çalışmada, malzemelerde oluşan açı değişimlerini görüntü işleme, FBG sensörü ve analitik tahmin yöntemi kullanarak karşılaştırmışlardır. FBG sensörü ile yapılan ölçümlerde sıcaklığın etkisiyle sensörde kayma olduğu ve bu yöntemle 120°C'ye kadar sıcaklıklarda ölçümler yapılabildiği belirtilmiştir. 120°C'den yüksek sıcaklıklarda ise Graphreader yazılımı kullanılarak görüntü işleme yapılabildiği belirtilmiştir. Yapılan deney sonuçlarında, sıcaklığının artmasıyla geri esnemenin arttığı grafiklerle gösterilmiştir. Analitik tahmin yöntemi ile elde edilen sonuçların diğer ölçme yöntemleriyle elde edilen sonuçlarla uyum içinde olduğu tespit edilmiştir (Padovec, Růžička, Dvořák & Chlup, 2013).

Yanagimoto ve Ikeuchi, karbon fiber takviyeli plastik sacların 90° V bükme ile şekillendirilmesini deneysel olarak araştırmışlardır. Prepreg yöntemi kullanılarak üretilen 0°, 45° ve 90° dizilimdeki karbon fiberlerin alt ve üst yüzeylerine yumuşak sacların birleştirilmesiyle karbon fiber takviyeli plastik sacları üretmişlerdir. 300 mm uzunluğundaki kompozit levhaların, oda sıcaklığında bükülmesi işleminde yırtılmalar meydana geldiği belirtilmiştir. Bu yırtılmaların, zımbanın keskin köşesine dik olarak uzanan karbon elyafların kırılmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Kalıp 100 °C'ye ısıtıldığında ise karbon fiber takviyeli plastik sacların bükülebildiği görülmüştür (Yanagimoto & Ikeuchi, 2012).

Mahzan ve arkadaşları, palmiye fiber takviyeli polipropilen kompozitlerin bükme işlemi neticesinde oluşan geri esneme davranışı üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada bükme hızı, zımba radyüsü, sıcaklık ve fiber oranının geri esnemeye etkisi araştırılmıştır. Deneylerde zımba radyüs değerleri 2, 4, 6 mm ve bükme hızı değerleri 300, 400, 500 mm/dakika seçilmiştir. Deneylerde 130°C, 140°C ve 150°C fırın sıcaklıkları kullanılarak bükme işlemleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, geri esnemeye en çok sıcaklığın etki ettiği tespit edilmiştir. Diğer parametreler etki derecesine göre sıralandığında ikinci zımba radyüsü, üçüncü fiber oranı ve sonuncunun bükme hızı olduğu belirtilmiştir. Sıcaklık, fiber oranı ve bükme hızının artmasıyla kompozit malzemede oluşan geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, zımba radyüsü büyüdükçe, geri esneme miktarının arttığı belirtilmiştir (Mahzan, Malingam, Selamat & Said, 2014).

Ötü ve Demirci, AA 5754-O ve AL 1050-O sac malzemelerin farklı açılarındaki V bükme kalıplarında şekillendirilmesiyle meydana gelen geri esnemeleri deneysel ve teorik olarak araştırmışlardır. Deneylerde 60°, 90° ve 120° bükme açıları kullanılmıştır. Zımba radyüsleri ise 2, 4 ve 6 mm olarak seçilmiştir. Deney numuneleri için 0°, 45° ve 90° hadde yönleri belirlenmiştir. Malzemede hadde yönü değişiminin, bükme sonrası meydana gelen geri esneme miktarında farklılıklar oluşturduğu belirtilmiştir. Çalışmada, zımba radyüsü ve ütüleme süresinin artmasının malzemede oluşan geri esnemeyi azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar yöntemi (SEY) karşılaştırılmış ve sonuçların kabul edilebilir yakınlıkta olduğu belirtilmiştir (Ötü & Demirci, 2012 ve Ötü & Demirci, 2013).

Şahin, kompozit köpük malzemelerin yapıştırma bağlantılarının incelenmesi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, bağlantı tipi olarak tek taraflı bindirme bağlantısı, bağlayıcı olarak da metakrilat esaslı yapısal yapıştırıcı kullanılmıştır. Alüminyum plakalar ve kompozit köpükler birleştirildikten sonra 200 °C sıcaklıkta 15, 30, 45, 60 dakika bekletilmiştir. Yapıştırılan malzemelerin kesme kuvvetleri altında bağlantı mukavemetleri test edilmiştir. Deneyler neticesinde, metal köpükler ve alüminyum plakalar arasındaki yapıştırma bağlantılarında yeterli bağlantı kuvvetinin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yapıştırma öncesi yüzeylere primer uygulanması, metakrilat esaslı yapıştırıcının yapışma dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir (Şahin, 2011).

1.4. Tezin Organizasyonu

Tezin birinci bölümünde bükme sonrası malzemelerde oluşan geri esneme probleminin öneminden bahsedilmiş, tezin konusu ve kapsamı sunulmuş, ilgili literatür özeti ve tezin organizasyonuna yer verilmiştir.

İkinci bölümde malzemelerin şekillendirilmesinde uygulanan bükme işlemi, bükme tekniği ve bükme çeşitleri tanıtılmıştır. Bükme işlemi sonrası oluşan geri ve ileri esneme olayından bahsedilmiş, geri esnemeyi etkileyen parametrelere detaylı bir şekilde yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde fiber/metal tabakalı sistemler ve sandviç kompozit yapılar tanıtılmış, sandviç kompozitlerin bileşenleri olan yüzeyler ve çekirdek hakkında bilgi verilmiştir. Sandviç kompozitlerin özellikleri, avantajları, dezavantajları ve endüstride kullanım alanlarına yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde deney numunesi olarak kullanılan sandviç kompozit levhaların özellikleri, sandviç kompozit levhayı oluşturan alüminyum ve karbon elyaf malzemelerin hazırlanma sürecine yer verilmiştir. Hazırlanan alüminyum ve karbon elyafın yapıştırılma süreci aşamalar halinde verilmiştir. Bükme testlerinin yapılacağı kalıplarının tasarım ve imalat safhalarından bahsedilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan metot hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Bükme deneyi ve bükme işlemi sonrası açı ölçümüne yer verilmiştir.

Beşinci bölümde sandviç kompozit levhaların bükme işlemi sonrası oluşan geri esneme sonuçları ve bükme kuvvetleri grafiklerle verilmiştir.

Altıncı bölümde tezde elde edilen bulgular özetlenmiştir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

Teknolojinin gelişimine paralel olarak geleneksel malzemelerin tek başlarına ihtiyaçları karşılayamaması nedeniyle uygulama alanlarına göre daha üstün mekanik ve fiziksel özellikler elde edebilmek için farklı malzemeleri bir araya getirerek oluşturulan kompozit malzemelerle ilgili çalışmalar hız kazanmıştır (Demirhan, 2016).

Kompozit malzeme; iki veya daha fazla sayıdaki, aynı ya da farklı türdeki malzemelerin sahip olduğu en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla makro düzeyde bir araya getirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Şahin, 2006). Farklı türdeki malzemelerin makroskopik ölçekte birleştirilmesiyle oluşturulan kompozit malzemeler sayesinde hafiflik, yüksek mukavemet, yorulma ömrü, katılık, ısıl iletkenlik, aşınma direnci ve korozyon direnci gibi özellikler iyileştirilebilmektedir (Jones, 1999).

Sandviç kompozit yapılar, bileşenlerinin farklı özelliklerinden faydalanmak için sert ve yüksek dayanıma sahip kabuk olarak adlandırılan iki yüzey ile çevrelenmiş, ortasında hafif ve mukavemeti düşük bir çekirdek tabaka kullanılarak tasarlanan kompozit yapılardır (Aghchai, Abolghasemi, Moradkhani & Tajik, 2016). Sandviç kompozit yapıların yüzey tabakalarında genellikle alüminyum, titanyum, çelik, ahşap veya beton kullanılmaktadır. Sandviç kompozit levhaların çekirdek tabakasında ise mantar, plastik, bal peteği formundaki alüminyum veya elyaf türevleri kullanılmaktadır (Davies, 2008).

Karbon elyaf malzemelerin sahip olduğu korozyon direnci, hafiflik, yüksek yorulma direnci ve yüksek mukavemet gibi malzeme özellikleri metallere olan talebi azaltmıştır. Karbon elyafın bu üstün özelliklerinin yanında şekillendirebilme kabiliyetinin düşük olması bir dezavantaj oluşturmaktadır. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için karbon

elyaf-metal hibrid kompozitler geliştirilmiştir. Örneğin Karbon elyaf-Alüminyum hibrid kompozit yapılar, eşdeğer bir alüminyum malzemeye göre %56 daha hafif olmasının yanında sertlik ve mukavemet yönünden daha yüksek performans sağlamaktadır (Huang, Sugiyama & Yanagimoto, 2013).

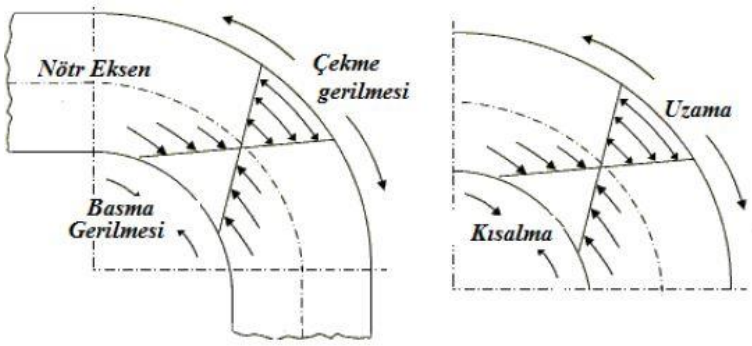
2.1. Malzemelerde Bükme İşlemi

2.1.1. Bükme

Bükme işlemi, modern endüstride malzemelere şekil vermede çok sık kullanılan bir üretim sürecidir. Bükme; malzemeden talaş kaldırmadan belirli bir eksen etrafında, bir kalıp yardımıyla parçaya istenilen şeklin verilmesi olarak tanımlanabilir (Aslan & Karaağaç, 2014). Bükme işleminde uygulanan kuvvet, malzeme üzerinde deformasyona sebep olmaktadır. Bükme işlemi sırasında malzemeye uygulanan kuvvet, malzemenin sahip olduğu akma değerini aşması durumunda plastik deformasyon (kalıcı şekil değişim), aşmadığı durumlarda ise elastik deformasyon (kalıcı olmayan şekil değişim) görülmektedir.

2.1.2. Bükme Tekniği

Bükme işleminde, malzeme üzerine uygulan kuvvetin etkisiyle malzemede gerilmeler meydana gelmektedir. Oluşan bu gerilmeler malzemenin iç kısmında basma gerilmesi, dış kısmında ise çekme gerilmesi oluşturmaktadır. Normal şartlar altında bükme işleminde malzemenin kalınlığının değişmediği kabul edildiği için, malzemenin ortasından nötr eksen geçtiği kabul edilir (Marciniak, Duncan & Hu, 2002). Malzemenin kalıp içinde bükülmesi esnasında basma gerilmesinin oluştuğu nötr eksenin iç kısmında kalan malzeme, esas genişliğinden daha büyük olmaktadır. Çekme gerilmesinin oluştuğu nötr eksenin dış kısmında kalan malzeme ise esas genişliğinden daha küçük olmaktadır (Şekil 2.1). Bükme işlemi sırasında malzemede oluşan gerilmeler, malzemenin iç yüzeyinde kısalmalar oluştururken, dış yüzeyinde uzama meydana getirmektedir.



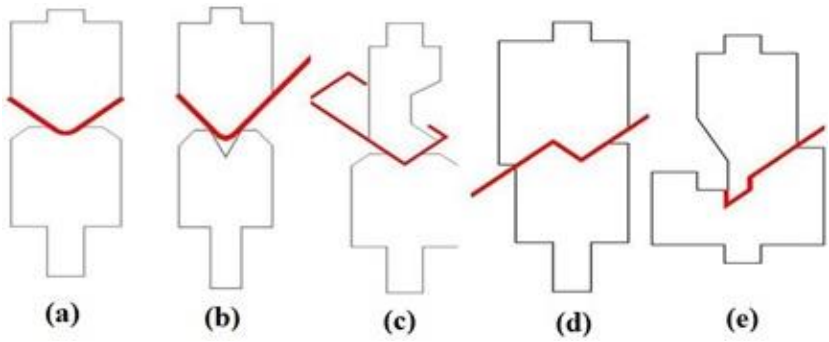
Şekil 2.1. Bükme işlemi sonucunda malzemede oluşan gerilmeler ve şekil değişimleri (Özdemir, 2015).

Bükülen malzeme kesitinde meydana gelen gerilme ve şekil değişimlerinin genel olarak malzeme cinsine, malzeme kalınlığına, bükme açısına, zımbanın uç yarıçapına, bükme kuvvetine, ütüleme süresine, bükme hızına ve dişi kalıp ile zımba arasındaki boşluğa bağlı olduğu tespit edilmiştir (Ataşimşek, 1979 ve Ostergaart, 1977).

2.1.3. Bükme Çeşitleri

Sac malzemelerin şekillendirilmesi işleminde endüstride birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunların arasında en yaygın kullanılanlar ise V bükme ve U bükme yöntemleridir. V bükme yöntemi de kendi içinde serbest bükme, kenar bükme, açısal bükme gibi alt sınıflara ayrılabilir.

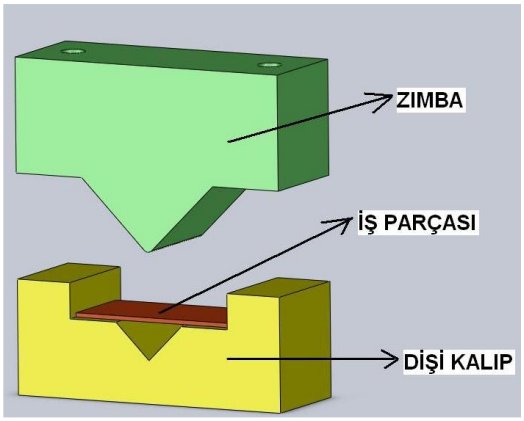
Malzemelerin tasarımı ve üretim kolaylığı göz önünde bulundurulduğunda, endüstride en çok 90° V-bükme kalıbı kullanılmaktadır. 90° V-bükme yapılacak malzemelerin çekme gerilmesi yüksek ise zımba uç yarıçapı büyük alınır (Şekil 2.2.a). "Dar açılı V-bükme" işlemi genellikle, basınçlı havayla çalışan bükme kalıplarında yapılmaktadır (Şekil 2.2.b). "Geri dönüşlü flanş bükme" kalıpları şekil olarak 90° V bükme kalıbına benzer, fakat bükme işleminin merkezden dışarıya doğru olması sebebiyle fazla yüklemelerde kullanılamamaktadır (Şekil 2.2.c). "Ofset bükme" kalıbı, iki adet 90° bükme işlemi yapılabilmekte olup adını bu özelliğinden almıştır (Şekil 2.2.d). Bükme açısı 90°'den büyük olan bükme kalıplarına "Z bükme kalıbı" denir (Şekil 2.2.e) (Özdemir, 2015).



Şekil 2.2. Bükme yöntemleri; a) V dip bükme, b) Dar açılı V-bükme, c) Flanş bükme, d) Ofset bükme, e) Z bükme kalıbı (Özdemir, 2015).

2.1.3.1. V Bükme

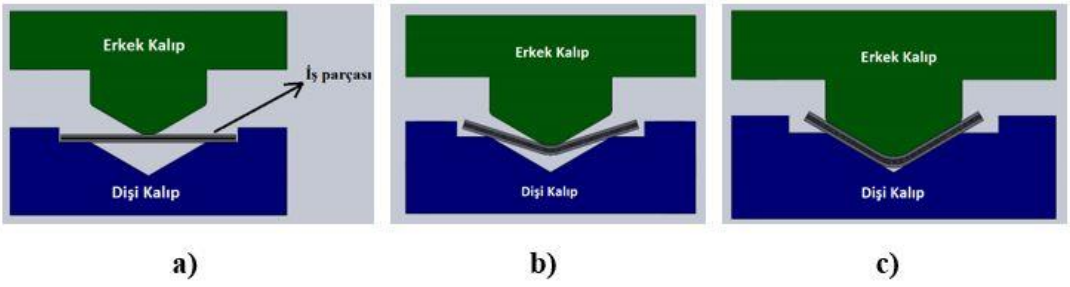
V bükme kalıplarına, kalıp kesitlerinin "V" harfine benzemesinden dolayı bu ad verilmiştir. Dolayısıyla bükme işlemi sonrası kalıptan çıkan parçada "V" harfine benzemekte olup, genellikle bu işlem apkant presler kullanılarak yapılmaktadır. V bükme operasyonunda kalıp ağzı genişliği ve zımba uç yarıçapı uygun ölçülerde seçilmelidir. Şekil 2.3'de V bükme operasyonunda, V bükme kalıbının elemanları ve iş parçası yer almaktadır.



Şekil 2.3. V Bükme operasyonu

Bükme işleminin V bükme kalıplarında nasıl meydana geldiği Şekil 2.4'de gösterilmiştir. V bükme işleminin analiz edilmesi, üç ayrı safhada gösterilmiştir. A görünüşü, V bükme işleminde erkek kalıp (zımba) aşağı doğru inerek kalıp içinde bulunan iş parçasına temas eder. B görünüşünde, kuvvetin etkisiyle bükme kolları yukarı doğru hareket etmeye başlar. Bu safhada, erkek kalıp düşey yönde daha fazla indikçe

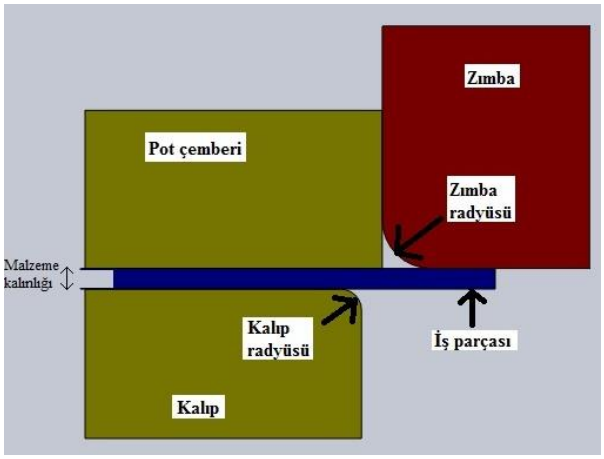
malzemenin tepkisi de buna paralel olarak artmaktadır. Bu artan tepkiyle malzemenin kol uçları daha fazla bükülmektedir. C görünüşünde gösterilen bükme safhası, erkek kalıp ile dişi kalıp arasındaki mesafe, malzeme kalınlığına eşit oluncaya kadar devam etmektedir. Bu durumda sadece erkek kalıbın ucu değil, yan yüzeyleri de parça ile tamamen temas halindedir. Bu aşamada malzemede kalıcı şekil değimi olmaktadır.



Şekil 2.4. V Bükmenin safhaları

2.1.3.2. Kenar Bükme

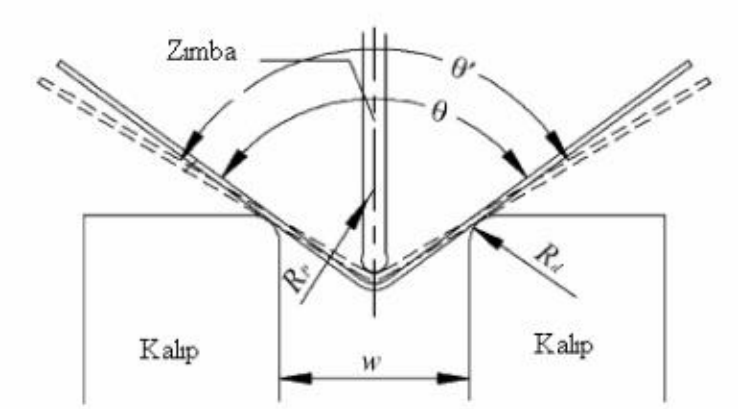
Kenar bükme yöntemi, sac malzemenin pot çemberi tarafından sabit pozisyonda tutularak şekillendirici ıstampanın aşağı yönde hareketi ile sacın şekillendirilmesi işlemidir. Bu yöntem flanşların üretilmesinde endüstride sıkça kullanılmaktadır. Bükülecek malzemenin uzunluğu, geriye kalan malzeme uzunluğuna oranla daha kısa ise kenar bükme yöntemi tercih edilmektedir. Şekil 2.5'de kenar bükme yöntemi ve elemanları gösterilmiştir (Ling, Lee & Cheok, 2005).



Şekil 2.5. Kenar bükme yöntemi ve elemanları

2.1.3.3. Serbest Bükme

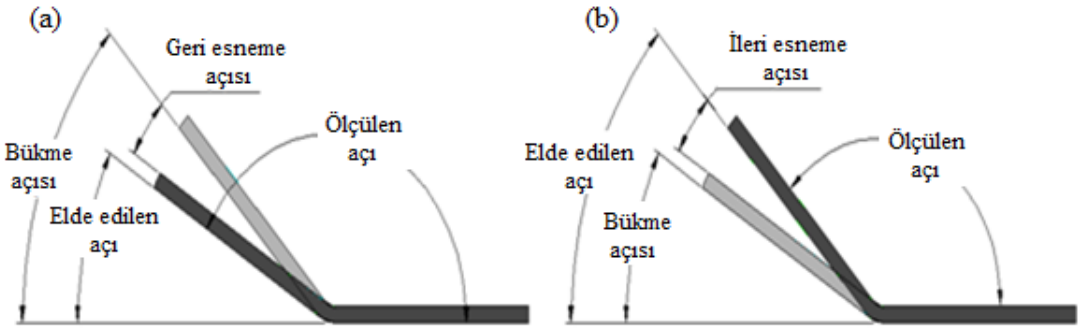
Serbest bükme yönteminde, bükülecek parça aşağıda gösterilen kalıbın iki tarafından desteklenerek zımbanın aşağı yönlü hareketi ile gerekli bükme açısı elde edilmektedir. Serbest bükmede, farklı bükme açıları elde etmek için kalıbı ya da herhangi ekipmanı değiştirmeye gerek yoktur. Zımbanın basma yüksekliği değiştirilerek farklı bükme açıları elde edilebilmektedir. Şekil 2.6'da serbest bükme yönteminde; w kalıp açıklığı, Rp zımba radyüsü, Rd kalıp radyüsü, θ bükme açısı ve θ' bükme sonrası açısı gösterilmektedir (Arslan, 2004).



Şekil 2.6. Serbest bükme yöntemi (Arslan, 2004).

2.2. Geri ve İleri Esneme

Malzemelerin çeşitli yöntemler ile şekillendirilmesinde, başta sac metal ve türevlerinin şekillendirme işleminden sonra istenilen açı ve geometriye sahip ürünler elde edebilmek için malzemelerin geri esneme miktarının bilinmesi önem arz etmektedir. Bükme işlemlerinde malzemelerin akma sınırları aşılmakta, ancak rezilyans enerjileri aşılamamaktadır (Özdemir, 2015). Bu nedenle, malzeme ilk formunun sahip olduğu esnekliğini hala korumaktadır. Bükme işleminde, malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığında malzemenin iç deformasyon bölgesinde basma, dış deformasyon bölgesinde ise çekme gerilmeleri oluşur. Malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığında, oluşan bu gerilmelerden dolayı malzeme ilk halini almaya çalışmakta ve bu durum bükülen malzemenin esneyerek açılmasına neden olmaktadır. Malzemede oluşan bu olay ileri veya geri esneme olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Bükme işlemi sonrası geri ve ileri esneme; a) Geri esneme, b) İleri esneme (Özdemir, 2015).

Bükme işlemi sonucunda, elde edilen açı değeri bükme açısından küçükse geri esneme (Şekil 2.7.a), elde edilen açı bükme açısından büyük ise ileri esneme meydana gelmektedir (Şekil 2.7.b). Geri ve ileri esneme değerlerinin bulunmasında, teorik hesaplamalardan çok deneysel verilerden yararlanmak, daha sağlıklı bir bükme operasyonunun gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Teorik hesaplama kesin çözüm olmadığından, uzun hesaplamalar yerine deneysel veriler daha kullanışlı olmaktadır (Tekaslan, 1998).

2.2.1. Geri Esnemeyi Etkileyen Parametreler

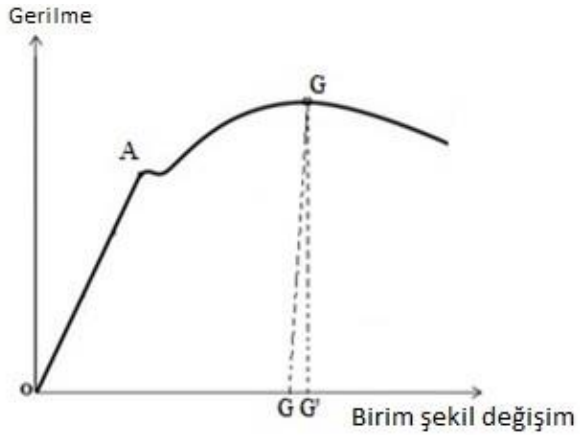
Bükme işleminin sonucunda, malzemelerde meydana gelen geri esneme miktarı malzeme ve bükme işlemine ait parametrelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Geri esneme miktarını etkileyen faktörlerden bazıları aşağıda verilmiştir (Uzun & Erişkin, 1997).

- Malzemenin cinsi (mekanik ve kimyasal özelliklerine),
- Malzemenin kalınlığı,
- Sac malzemelerde hadde ve kompozitlerde fiber yönü,
- Bükme açısı,
- Zımbanın uç yarıçapı,
- Zımbanın malzeme üzerinde bekleme süresi,
- Uygulanan bükme kuvveti,
- Sıcaklık.

Yukarıda verilen faktörlerin, malzemelerin şekillendirilmesi sonrası oluşan geri esnemeye nasıl etki etkidiği aşağıda detaylı olarak verilmiştir (Uzun & Erişkin, 1997 ve Tiryakioğlu, 2013).

2.2.1.1. Malzeme Cinsi ve Özelliklerinin Geri Esnemeye Etkisi

Bükme ile şekillendirme sonrası oluşan geri esneme, malzemelerin cinsine ve sahip olduğu mekanik ve kimyasal özelliklere göre değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, malzemenin bükme işleminden sonra istenilen geometri ve ölçülerde olabilmesi için, malzemenin cinsi ve özelliklerinin göz önünde bulundurarak kalıp tasarımı yapılmalıdır. Şekil verilen malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı, kopma dayanımı ve elastikiyet modülü gibi mekanik özelliklerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Geri esnemeye etki eden malzeme cinsi ve özellikleri, malzemenin gerilme-birim şekil değişim ilişkisi ile açıklanabilmektedir. Şekil 2.8'de gerilme-birim şekil değişim eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Gerilme-birim şekil değişim eğrisi (Yenice, 2006).

Gerilme-birim şekil değişim eğrisinin gösterildiği Şekil 2.8'deki G noktası, malzemenin şekillendirilmesi sırasında uygulanan kuvvete ait gerilmeyi göstermektedir. Gerilme-birim şekil değişim ilişkisinin orantılı olarak değiştiği elastik bölge ise OA doğrusu ile gösterilmiştir. Malzemeye şekil verme işlemi tamamlandıktan sonra parça üzerindeki kuvvet kaldırıldığında gerinim G değerini alır. Oluşan G gerinim değeri, malzemenin plastik bölgedeki elastikiyetini göstermektedir. G-G' aralığı, malzemenin eski haline dönmeye çalışan miktarını belirtir. Şekillendirme işlemi esnasında, gerilmenin akma bölgesini aşması durumunda geri esneme etkisi gözlemlenmektedir (Yenice, 2006).

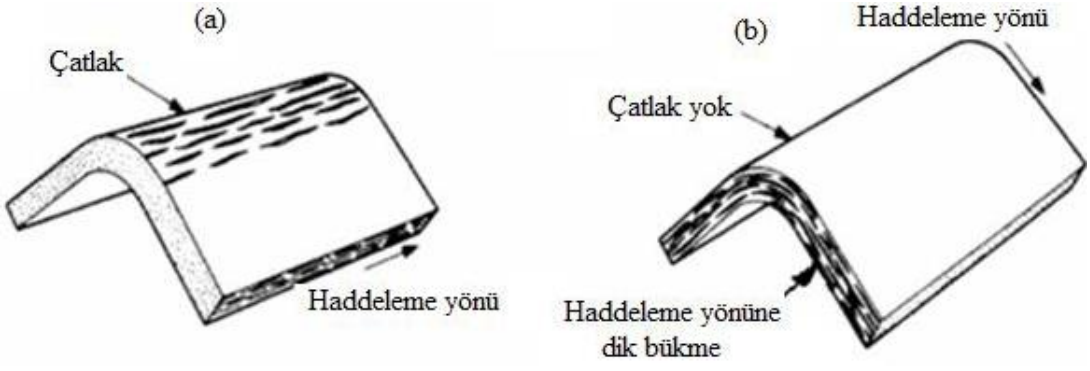
2.2.1.2. Malzeme Kalınlığının Geri Esnemeye Etkisi

Malzemelerin şekillendirilmesi ile meydana gelen geri esnemeye önemli derecede etki eden parametrelerden biri kalınlıktır. Kalınlık parametresinin geri esnemeye etkisi, zımba radyüsünün kalınlığa oranı olan R/t ile ifade edilmektedir. Bükme işlemi uygulanan malzemenin kalınlığının artması, R/t oranını azaltacağı için oluşan geri esneme değeri azalır. Malzeme kalınlığının azalması ise R/t oranının artışına sebep olacağından, oluşan geri esneme değeri artar (Livatyalı & Altan, 2001).

2.2.1.3. Haddeleme ve Fiber Yönünün Geri Esnemeye Etkisi

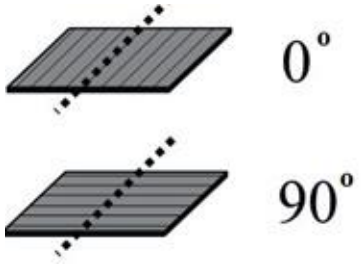
Malzemelerin şekillendirmesi işlemlerinde, hadde ve fiber yönü önemli bir parametre oluşturmaktadır. Sac metaller hadde yönüne, kompozit malzemeler fiber yönüne bağlı olarak farklı mekanik özellikler göstermektedir. Bu sebeple, yöne bağlı olarak mekanik özellikleri değişen malzemelere anizotropik malzeme denilirken, diğer taraftan yöne bağlı olarak özellikleri değişmeyen malzemelere izotropik malzeme denir.

Sac malzemelerin bükme ile şekillendirilmesi işleminde, hadde yönü bükülebilme kabiliyeti açısından önem arz etmektedir. Şekil verme işleminde, bükme ekseni sac metalin hadde yönüne dik olacak şekilde bükülmelidir. Aksi durumda ise malzemenin bükme bölgesinde deformasyonlar ve çatlaklar oluşmaktadır (Şekil 2.9). Bu sebeple, sac levhaların bükülmesinde veya bükme yapılacak sac levha tabladan kesilirken hadde yönü dikkate alınarak işlem yapılmalıdır (Çapan, 1999).



Şekil 2.9. Bükme işleminde hadde yönünün gösterilmesi; a) Hadde yönüne paralel bükme, b) Hadde yönüne dik bükme (Çapan, 1999).

Kompozit malzemeler arasında en yaygın kullanılan türü tabakalı kompozitlerdir. Tabakalı kompozitler, farklı fiber oryantasyon açılarına sahip tabakalar bir araya gelmesiyle oluşturulmaktadır. Bu sebeple anizotropik yapıdadırlar. Şekil 2.10'da farklı fiber oryantasyonları gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Farklı fiber oryantasyonlarının gösterilmesi (Uriya vd., 2014).

Kompozit levhaların şekillendirilmesinde, 0° fiber yönünde bükülen numunelerde meydana gelen ortalama geri esneme oranı K, 90° fiber yönünde bükülen numunelere göre daha büyüktür (Hahn vd., 2016).

Sonuç olarak, sac malzemelerde hadde ve kompozitlerde fiber yönünün değişmesi, bükme sonrası sac metal ve kompozit levhalarda oluşan geri veya ileri esneme miktarında değişmeye sebep olmaktadır.

2.2.1.4. Bükme Açısının Geri Esnemeye Etkisi

Bükme açısı, geri esnemeyi etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. Bükme işlemi sonrası, malzemenin istenilen geometride kalıptan çıkabilmesi için malzemede oluşacak geri esneme miktarı kadar bükme açısı azaltılır veya arttırılır.

Farklı bükme açıları kullanılarak yapılan çalışmalarda, bükme açısının değişmesiyle malzemede oluşan geri esneme miktarı değişmektedir. Bükme açısının artması ile malzemede meydana gelen geri esneme miktarı artmaktadır (Padovec vd., 2013).

2.2.1.5. Zımba Uç Yarıçapının Geri Esnemeye Etkisi

Malzemelerin şekillendirilmesi işleminde, bükme yarıçapının geri esnemeye etkisi önemli bir yer tutmaktadır. Bükme yarıçapı, malzemede çatlaklar veya diğer istenmeyen durumlar meydana gelmeden, bükülmesini mümkün kılan en küçük yarıçaptır. Bükme işleminde, malzeme ve bükme parametrelerine göre farklı değerlerde zımba uç yarıçapları

kullanılmaktadır. Fakat çok küçük zımba uç yarıçaplarında bükme işlemi gerçekleştirilememektedir. Özellikle, çok küçük zımba uç yarıçapı kullanılarak bükülen malzemelerin dış tarafında gerilme ve uzama artar. Malzemede oluşan bu aşırı şekil değişimi, bükülen parçanın çatlamasına ve hasar görmesine sebep olmaktadır. Uygun değerde seçilmeyen zımba uç yarıçapı, malzemenin hasar görmesine neden olmasının yanısıra, bükme sonrası oluşan geri esneme miktarına da etki etmektedir.

Çeşitli türden kompozit levhaların, farklı zımba uç yarıçaplarında bükülmesiyle elde edilen geri esneme sonuçları ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar arasında metal/polimer/metal tabakalı kompozitlerin V bükme kalıbı kullanılarak bükülmesi işleminde, zımba radyüsünün artmasıyla malzemede oluşan geri esnemenin arttığı tespit edilmiştir (Parsa vd., 2014). Karbon elyaf ve metal sac ile yapılan hibrit kompozitlerde, zımba uç yarıçapı değişikliği karmaşık sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Zımba radyüsü arttığında, CFRP/CR340 kompozit malzemelerde geri esneme görülürken, CR340/CFRP kompozit malzemelerde ileri esneme olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, kompozit levhalarında zımba radyüs değişikliği farklı geri ve ileri esnemelerin oluşmasına neden olmuştur (Choi vd., 2016).

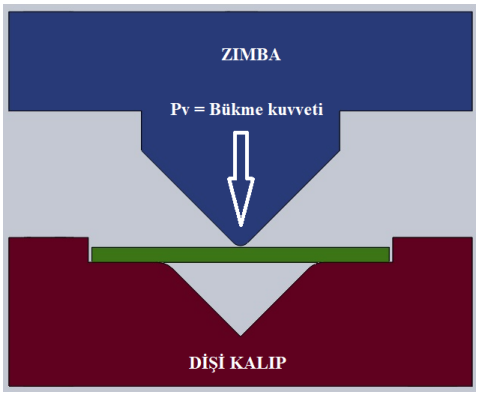
2.2.1.6. Zımbanın Malzeme Üzerinde Bekleme Süresinin Geri Esnemeye Etkisi

Zımbanın malzeme üzerinde bekletilmesi, dislokasyon yoğunluğunun artmasına ve elastikiyetin kaybolmasına yol açtığı için bu durum geri esneme miktarını etkilemektedir. Zımbanın malzeme üzerinde bekletilme süresindeki artışın, malzemede meydana gelen geri esnemeyi oransal olarak azalttığı belirlenmiştir (Tekaslan, Şeker & Özdemir 2006). Kompozit levhaların şekillendirilmesinde zımbanın bekletilmesi, sac metal malzemelerde olduğu gibi geri esnemeyi azalttığı görülmüştür (Hahn vd., 2016). Malzemelerin şekillendirilmesi esnasında, elastikiyetinin azalması için zımbanın malzeme üzerinde bekletilmesi gerektiği görülmektedir. Fakat bu bekleme süresindeki artış, malzemelerin üretim sürecini uzatarak maliyet artışına neden olmaktadır (Uzun & Erişkin, 1997).

2.2.1.7. Uygulanan Bükme Kuvvetinin Geri Esnemeye Etkisi

Bükme kuvvetinin tam olarak hesaplanması için bükülen malzeme ve şekillendirme parametrelerinin uygun ve doğru seçilmesi çok önemlidir. Bükülen malzemenin mekanik özelliklerinin yanında zımba radyüsü ve bükme hızı gibi parametrelerin de bükme

kuvvetine etki ettiği bilinmektedir. Ayrıca, bükme kuvveti belirlenirken kalıbı oluşturan elemanlara gelen kuvvet dağılımları da dikkate alınmalıdır. Deneysel çalışmalarda bükme kuvvetinin arttırılmasıyla, malzemelerde daha fazla plastik deformasyon oluştuğu ve geri esneme miktarında azalma olduğunu görülmektedir (Bruni, Celeghini, Geiger & Gabrielli, 2007). Bükme kuvvetinin gereğinden fazla uygulanması durumunda ise hem malzemenin dayanımı azalacak hem de malzemede istenmeyen şekil değişimine neden olacaktır. V bükme kalıplarında, bükme yöntemi ve bükme kuvveti Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Bükme yöntemi ve bükme kuvveti

V bükme kalıplarında bükme kuvveti hesabı 4.1 eşitliğine göre yapılmaktadır (Tekaslan, Gerger & Şeker, 2007).

$$P_V = C \left(\frac{B\, T^2 \sigma_b}{W} \right) \text{ x } 10 \text{ (N)} \qquad (4.1)$$

C; W/T'ye bağlı bir katsayı olup 4.2 eşitliği ile bulunur.

$$C = 1 + \frac{4\,T}{W} \qquad (4.2)$$

Pe, Emniyetli bükme kuvveti ise 4.3 eşitliği ile bulunur.

$$P_e = 2.P_V \text{ (N)} \qquad (4.3)$$

Bu eşitliklerde;

Pv; V bükme kuvveti (N),

Pe; Emniyetli Bükme kuvveti (N),

B; Sac malzeme genişliği (mm),

T; Sac malzeme kalınlığı (mm),

σ_b; Malzeme çekme mukavemeti (N/mm^2),

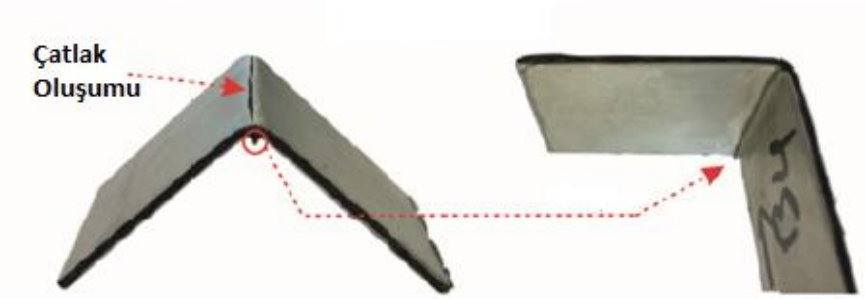
W; Kalıp ağzı açıklığı (mm),

C; W/T oranına bağlı bir katsayıyı ifade etmektedir.

2.2.1.8. Sıcaklığın Geri Esnemeye Etkisi

Sıcaklık, malzemelerin şekillendirilme kabiliyetini etkilemesinin yanında, malzemelerde oluşan geri esnemeye etki eden önemli bir parametredir. Sıcaklığın artması, bükme işlemi yapılan malzemenin iç ve dış yüzeyinde oluşan çekme ve basma kalıntı gerilmeleri arasındaki farkı azaltmaktadır (Kim & Koç, 2008).

Bazı kompozit levhaların düşük sıcaklıklarda şekillendirilmesinde, büküm bölgesi üzerinde yırtılma ve çatlaklar oluşmaktadır (Şekil 2.12). Yüksek sıcaklıklarda bükülen kompozit levhalarda ise çatlak oluşumu az ya da hiç görülmemiştir (Hahn vd., 2016).



Şekil 2.12. Kompozit levhaların düşük sıcaklıklarda bükülmesinde çatlak oluşumu (Hahn vd., 2016).

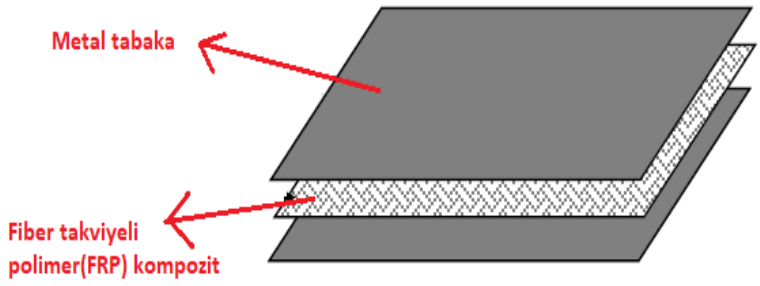
Sonuç olarak, kompozit malzemelerde çatlak oluşumu ve geri esneme miktarı sıcaklık artmasına paralel olarak azalmaktadır (Kim, Choi & Park, 2007)

BÖLÜM 3

FİBER/METAL TABAKALI SİSTEMLER VE SANDVİÇ KOMPOZİT YAPILAR

3.1. Fiber/Metal Tabakalı (FML) Sistemler

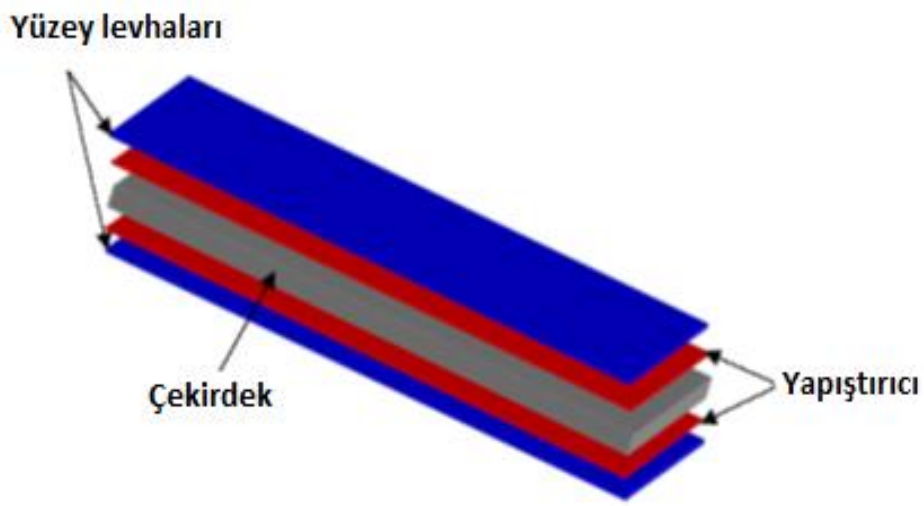
Havacılık, otomotiv ve elektronik endüstrisi gibi çeşitli uygulama alanlarında önemli avantajlar sunan fiber/metal tabakalı (FML) kompozit yapıların kullanımına ve imalatına oldukça artan bir ilgi bulunmaktadır (Reyes & Kang, 2007). Metal ve polimer kompozit yapıların çeşitli kombinasyonlarla bir araya gelmesiyle oluşan fiber/metal tabakalı sistemler, geleneksel malzemelere göre üstünlük sağlamaktadır. Fiber/metal sistemlerde, metal malzeme ile termoset veya termoplastik türdeki kompozitler birlikte Şekil 3.1'deki gibi Fiber/Metal hibrit sistemleri oluştururlar. Fiber/Metal hibrit sistemler ile diğer malzeme sistemleri kıyaslandığında, Fiber/Metal hibrit sistemler mükemmel darbe dayanımı, yüksek yorulma ömrü, geliştirilmiş mukavemet ve setlik bakımından avantaj sağlamaktadır (Mosse, Compston, Cantwell, Cardew-Hall & Kalyanasundaram, 2005).



Şekil 3.1. Fiber/Metal sistemin şematik gösterimi

3.2. Sandviç Kompozit Yapılar

Sandviç kompozitler, çekirdek olarak adlandırılan tabakanın her iki tarafına yerleştirilen yüzey levhaları ile birleştirilmesiyle meydana gelmektedir (Demirhan, 2017). Sandviç kompozitler çekirdek, yüzey levhaları ve yapıştırıcı olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır (Şekil 3.2). Dış kısımdaki yüzey levhaları ve iç kısımdaki çekirdek bir yapıştırıcı bileşen ile bir araya gelmesi, yapıyı oluşturan her bir elamanın üstün özelliklerinin sandviç yapıda buluşmasını sağlamaktadır (Demirhan, 2019). Genellikle sandviç kompozitlerde, güçlü ve sert dış yüzey levhalar ile daha az mukavemet ve yoğunluğa sahip çekirdek yapılar bir araya gelmektedir (Sarzynski, 2003).



Şekil 3.2. Tipik sandviç kompozit malzemenin yapısal görünüşü (Sarzynski, 2003).

Seçilen yapıştırıcı, bileşenler arasında meydana gelen kesme ve kayma gerilmelerine dayanacak kadar kuvvetli olmalıdır. Bu nedenle, çekirdek kısım ile yüzey levhalarının birleştirilmesini sağlayan yapıştırıcı, mekanik performans bakımından önem arz etmektedir.

Plaka, panel veya faklı şekillerdeki çekirdek ve yüzey levhaları, farklı kombinasyonlar ile bir araya getirilerek çeşitli tipte sandviç kompozitler oluşturulabilir (Gupta, 2003). Çekirdek ve yüzey levha kalınlıkları arasında da herhangi bir kural olmamakla beraber, tamamen uygulamaya ve istenilen özelliklere bağlı olarak kalınlık tercihi yapılabilir (Njuguna, 2016).

3.2.1. Sandviç Kompozitlerin Bileşenleri

Sandviç kompozit yapının bileşenleri tüm yapının mekanik özellikleri açısından kritik öneme sahiptir. Bileşenlerin bireysel özelliklerinin yanında sandviç yapının tasarımı da, oluşturulan hibrid sistemlerin genel performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle bileşenler, sandviç yapının uygulama alanı ve çalışma ortamı göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Sandviç kompozitlerin özellikleri, yapıyı oluşturan çekirdek ve yüzeylerin bireysel özelliklerine, bunların bağıl kalınlıklarına ve birleştirme için kullanılan yapıştırıcının oluşturduğu bağın karakteristiğine bağlıdır (Njuguna, 2016).

3.2.1.1. Yüzeyler

Yüzeyler, kuvvet altındaki sandviç kompozitlerin eğilme dayanımını karşılama görevini üstlenmektedir. Bunun yanında, sandviç yapının çekme ve basma gerilmelerine karşı dayanıklı olması da gerekmektedir. Çünkü yüzeyler, oldukça düşük mukavemetli çekirdek malzemesinin sahip olduğu mukavemet açığını kapatacak ve sandviç yapının mukavemet performansını arttıracaktır. Bu nedenle yüzeylerde, mukavemet bakımından üstün olan malzemeler kullanılmaktadır. Sandviç yapılarda yüzey malzemesi olarak genellikle alüminyum, titanyum, çelik ve fiber takviyeli plastikler kullanılmaktadır.

Sandviç yapının bu kısmı dış ortam ile doğrudan temas halinde olduğu için yüzey malzemesi seçilirken, sandviç yapının kullanılacağı çalışma ortamı dikkate edilmelidir. Korozyon, ısı transferi karakteristikleri, termal genleşme karakteristikleri, nem emilimi ve sandviç kompozitin diğer tüm özellikleri sadece sandviç yapının dış kısmında bulunan uygun yüzey levha malzeme seçimi ile kontrol edilebilir (Njuguna, 2016).

Sandviç kompozitlerin dış kısmındaki alt ve üst yüzeyler için genellikle aynı türden malzeme ve kalınlık kullanılmaktadır. Bu şekilde oluşturulan sandviç yapılara simetrik sandviç yapı denilmektedir. Fakat farklı çalışma ortamı ve yükleme koşulları nedeniyle istisnai durumlarda alt ve üst yüzeylerde farklı malzemeler ve farklı kalınlıklar kullanılmak zorunda kalınmaktadır. Bu tür sandviç yapılara ise asimetrik sandviç yapı denilmektedir (Gupta, 2003).

3.2.1.2. Çekirdek

Sandviç kompozitlerin iç kısmında bulunan çekirdek, genellikle yapının toplam ağırlığın azaltmak için düşük yoğunluklu malzemelerden seçilir. Sandviç yapının çalışma şartlarındaki performans gereksinimine göre birçok malzeme çekirdek olarak seçilebilir. Sık kullanılan çekirdek malzemeleri aşağıdaki gibi üç sınıfa ayrılmaktadır (Njuguna, 2016).

1. Düşük yoğunluklu katı malzemeler: Açık ve kapalı hücre yapılı köpükler, balsa ve diğer ağaç türleri.
2. Hücresel formda genişletilmiş yüksek yoğunluklu malzemeler: bal peteği ve ağ çekirdek.
3. Oluklu formda genişletilmiş yüksek yoğunluklu malzemeler: Kiriş ve oluklu levha.

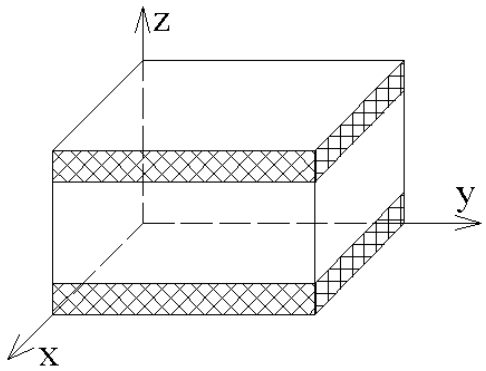
Çekirdeklerin yapımında kullanılan yüksek yoğunluklu malzemeler alüminyum, titanyum ve çeşitli polimerler içermektedir. Çekirdek malzemesinin yapısı sandviç kompoziti oluşturan bileşenler arasındaki temas bölgesini etkiler. Genişletilmiş yüksek yoğunluklu malzemeler düşük yoğunluklu malzemelere kıyasla genellikle daha küçük temas alanı sağlarlar. Sandviç yapının çalışma koşulları göz önüne alınarak yapılan uygun çekirdek yapısının seçimi, sandviç kompozit tasarlamada önemli bir parametre oluşturmaktadır (Njuguna, 2016).

Kapalı hücre yapılı köpük içeren çekirdekler, açık hücre yapılı köpük içeren çekirdeklerden daha fazla basma mukavemetine dayanma ve daha fazla enerji absorbe etme özelliğine sahiptir. Bu durum, kapalı hücre yapılı köpük içeren çekirdekleri açık hücre yapılı köpük içeren çekirdeklere kıyasla avantaj sağlamaktadır (Njuguna, 2016).

3.2.2. Sandviç Kompozitlerin Özellikleri

Kompozit malzemelerin en önemli avantajı uygulamaya bağlı özelliklerinin ayarlanabilir olmasıdır. Bu avantaj sandviç kompozitler içinde geçerlidir. Uygun çekirdek ve yüzey levha seçimi ile sandviç kompozitler çevre şartlarına ve birçok uygulama alanına uyumlu hale getirilebilmektedir. Sandviç kompozitlerin bazı karakteristik özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

1. Düşük yoğunluk: Hafif çekirdek veya genişletilmiş yüksek yoğunluklu malzeme seçimi, sandviç kompozitin toplam yoğunluğunu düşürmektedir.
2. Eğilme dayanımı: Bu özellik, sandviç kompozitin dış kısmında bulunan yüzey malzemesinden gelmektedir. Sandviç kompozitin sertliğinin yüksek olması, yanal deformasyonun düşük ve burkulma direncinin yüksek olması sonucunu ortaya çıkarmaktadır.
3. Çekme ve basma dayanımı: Şekil 3.3'de gösterildiği gibi sandviç kompozitin z yönündeki özellikleri çekirdek yapının özellikleri ile kontrol edilirken, x ve y yönündeki özellikleri yüzey yapısı ile kontrol edilmektedir.



Şekil 3.3. Sandviç kompozitin geometrik özelliklerinin gösterilişi

4. Hasar toleransı: Çekirdek olarak esnek köpük veya ezilebilir malzemenin kullanılması, sandviç kompozitlerin hasar toleransını arttırarak daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır (Njuguna, 2016).

3.2.3. Sandviç Kompozitlerin Avantajları

Sandviç kompozitlerin diğer kompozitler ve geleneksel malzemeler ile karşılaştırıldığında tercih edilmelerinin başlıca nedenleri şunlardır:

- Sandviç kompozit özelliklerinin gereksinimlere göre ayarlanabilmesi,
- Çekirdek ve yüzeyler için çok fazla malzeme seçeneğinin olması,
- Düşük yoğunluk nedeniyle oluşan yapının hafif olması,
- Eğilme dayanımlarının yüksek olması,
- Hasar toleranslarının yüksek olması,

- Yerinde imalat yapılabilmesi,
- Titreşim sönümleme özelliğinin iyi olması (Njuguna, 2016).

3.2.4. Sandviç Kompozitlerin Dezavantajları

Sandviç kompozitlerin, gelişen malzeme teknolojisi ve yeni imalat yöntemleri ile aşılabilecek eksiklikleri bulunmaktadır. Sandviç kompozitlerin kullanımını kısıtlayan bazı dezavantajları şunlardır;

- Sandviç kompozitlerin diğer kompozitlere göre nispeten daha kalın olması,
- Sandviç kompozitlerin geleneksel malzemelere göre daha pahalı olması,
- Sandviç kompozitleri işlemenin zor ve pahalı olması,
- Birleştirme işleminde zorlukların olması,
- Zarar gördüklerinde tamirlerinin zor olması,
- Birleştirme esnasında katlar arasında kalan hava ve gazların malzeme ömrünü azaltması.

3.2.5. Sandviç Kompozitlerin Endüstride Uygulama Alanları

Düşük yoğunluklu, yüksek mukavemetli ve yüksek hasar toleranslı malzemelerin kullanılması gerektiği yerlerde sandviç kompozitler tercih edilmektedir. Sandviç kompozitlerin hafif olması sebebiyle hava, yer ve deniz taşımacılığında kullanılan araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Njuguna, 2016). Sandviç kompozitlerin başlıca kullanım alanları şunlardır:

- Yapısal uygulama alanları: Uzay araçları, uçaklar, denizaltılar, tekneler, bina malzemeleri.
- Paketleme malzemelerinde,
- Isı ve elektrik yalıtımında,
- Depolama tanklarında (Njuguna, 2016).

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, alüminyum-karbon elyaf sandviç levhaların V bükme operasyonu neticesinde oluşan geri esneme davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Sandviç kompozit levhaların dış tabakasında 0.6 ve 1.2 mm kalınlıklarında Al-5754-H22 ve 0.6 mm kalınlığında Al-1050-H14 alüminyum sac levhalar kullanılmıştır. Sandviç kompozit levhaların ara tabakasında ise 0/90º fiber oryantasyon açısına sahip, düz dokuma prepreg karbon elyaf kumaşlardan üretilen karbon elyaf plakalar kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan karbon elyaf plakalar 0.15, 0.25, 0.35, 0.50 mm kalınlıklarında üretilmiştir.

Alüminyum-karbon elyaf sandviç levhaların V bükme yöntemi ile şekillendirilmesinde; malzeme cinsi, malzeme kombinasyonu, kalınlık, bükme açısı ve bükme yönü parametrelerinin geri esnemeye etkisi araştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar neticesinde, sandviç kompozit levhaların şekillendirilmesinde uygun bükme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

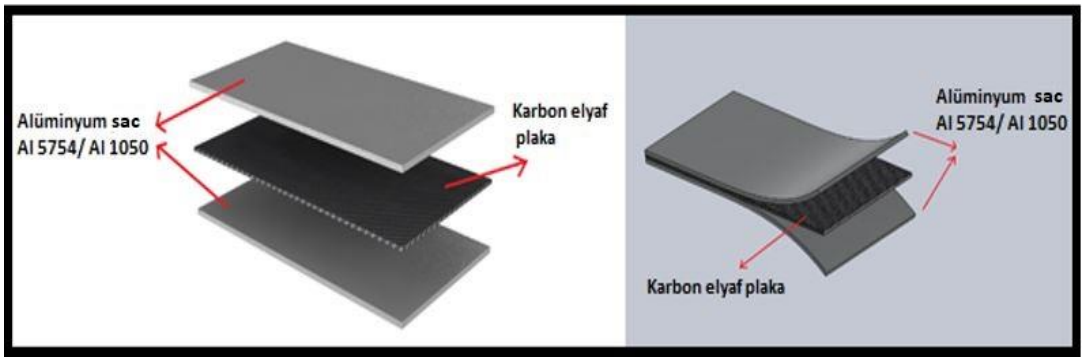
Alüminyum-karbon elyaf sandviç levhaların bükme işlemi sonrası geri esnemelerinin deneysel olarak incelenmesinde şu adımlar takip edilmiştir:

- Alüminyum malzemelerin hazırlanması,
- Karbon elyaf malzemelerin hazırlanması,
- Yapıştırma aparatının işlenmesi,
- Yapıştırma işleminin yapılması,
- Sandviç kompozit levhalarının su jeti ile kesilmesi,
- Bükme deneylerinde kullanılan kalıpların tasarlanması ve işlenmesi,
- Bükme deneylerinin yapılması ve deney verilerin toplanması,

- Bükme deneyi sonrası, sandviç kompozit levhaların açı ölçümünün yapılması,
- Geri esneme sonuçlarının analizi ve yorumlanması.

4.1. Deneylerde Kullanılan Sandviç Kompozit Levha

Bükme deneylerinde, 30x60 mm boyutlarında sandviç kompozit levhalar kullanılmıştır. Sandviç kompozit levhaların dış tabakalarında farklı kalınlıklarda Al-1050-H14 ve Al-5754-H22 alüminyum sac levhalar bulunmaktadır. Sandviç kompozit levhaların orta tabakasında ise 0/90º fiber oryantasyon açısına sahip, düz dokuma prepreg karbon elyaf kumaşlardan üretilen karbon elyaf plakalar kullanılmıştır. Alüminyum sac levha ve karbon elyaf plakanın yapıştırılması ile sandviç kompozit levha oluşturulmuştur. Sandviç kompozit levhayı oluşturan karbon elyaf plaka ve alüminyum sac levhanın birleştirilmesine ait şema Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Sandviç kompozit levhaların oluşumu

4.2. Sandviç Kompozit Levha Numunelerinin Hazırlanması

4.2.1. Alüminyum Malzemelerin Hazırlanması

Sandviç kompozit levhaların alt ve üst yüzeyinde bulunan alüminyum (Al) sac levhalarda Al-5754-H22 ve Al-1050-H14 serileri kullanılmıştır. Al-5754-H22'nin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri sırasıyla Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de, Al-1050-H14'ün kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri ise Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de verilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan alüminyum (Al) levhalar 0.6 ve 1.2 mm kalınlıklarında ve 1000x2000 mm boyutlarında sertifikalı olarak tedarik edilmiş olup sertifikalar *Ek 1*'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Alüminyum 5754-H22 kimyasal bileşimi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Al
0.087	0.223	0.008	0.141	2.827	0.008	0.012	0.021	95.2

Çizelge 4.2. Alüminyum 5754-H22 mekanik özellikleri

Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yüzde uzama (%)
206.9	255	17.6

Çizelge 4.3. Alüminyum 1050-H14 kimyasal bileşimi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Pb	Al
0.102	0.13	0.001	0.002	0.06	0.013	0.012	0.01	1	99.51

Çizelge 4.4. Alüminyum 1050-H14 mekanik özellikleri

Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yüzde uzama (%)
121	119	5

1000x2000 mm boyutlarında temin edilen alüminyum sac levhalar, Mvd marka giyotin tezgâh kullanılarak haddeleme yönünde (0º), 200x250 mm ölçülerine kesilmiştir. Alüminyum sac levhaların giyotin tezgâhta kesilmesi Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Alüminyum sac levhaların giyotin tezgâhta kesilmesi

4.2.2. Karbon Elyaf Plakaların Hazırlanması

Sandviç kompozit levhaların orta tabakasını oluşturan karbon elyaf plakalarda, 0/90º fiber oryantasyon açısına sahip düz dokuma karbon elyaf kumaşlar kullanılmıştır. Karbon elyaf kumaşlar 93 g/m^2 alansal yoğunluğa sahip, %37 oranında reçine içeren karbon elyaf/epoksi reçine prepreg çeşitidir. Karbon elyaf plakalar 120 °C'de 1 saat kürlenmiş olup 0.15, 0.25, 0.35, 0.50 mm kalınlıklarında ve 200x250 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan prepreg karbon elyaf plakalar, Fibermak Kompozit San. ve Tic. Ltd. Şti'den temin edilmiştir. Kullanılan karbon elyafın bazı özellikleri Çizelge 4.5'de verilmiştir. Karbon elyaf kumaş ve üretimi yapılan karbon elyaf plaka Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Karbon elyafın bazı özellikleri

Çekme Dayanımı	3421 MPa
Elastisite Modülü	230 GPa
Yoğunluk	1.76 g/cm^3
Uzama	% 1.8
Termal İletkenlik	22 W/MK
Spesifik Elektriksel Direnç	1.5x10^{-3} W cm



Şekil 4.3. Karbon elyaf kumaş ve üretimi yapılan karbon elyaf plaka

4.3. Yapıştırma İşlemi

Sandviç kompozit levhaların yapıştırma işlemi dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar aşağıda verilmiştir.

1. Yapıştırma yüzeylerinin aşındırılması,
2. Yapıştırma yüzeylerinin temizlenmesi,
3. Yüzey düzenleyici primerin uygulanması,
4. Yapıştırma işleminin yapılması.

4.3.1. Yapıştırma Yüzeylerinin Aşındırılması

Sandviç kompozit levhaları oluşturan alüminyum ve karbon elyaf plakalar arasında daha iyi bir yapışma dayanımı elde etmek için mikroskobik yapışma alanını arttıran pürüzlendirme işlemi yapılmıştır (Taşkın, 2016). Alüminyum sac levhaların yüzeyini pürüzlendirmek için P80D numaralı silikon karbid zımpara kâğıdı kullanılmıştır. Karbon elyaf plakaların yüzeyini pürüzlendirmek için P220C numaralı silikon karbid zımpara kâğıdı kullanılmıştır.

4.3.2. Yapıştırma Yüzeylerinin Temizlenmesi

Zımpara ile aşındırma işlemi esnasında yüzeylerde biriken alüminyum ve karbon elyaf tozları temizlemek için LPS marka Hdx temizleyici kullanılmıştır. Bu yüzey temizleyici solvent, zımparalama işleminde oluşan talaş, kir ve tozların yapıştırma yüzeyindeki gözenekleri doldurmasını engellemek amacıyla kullanılmıştır (Taşkın, 2011). Üretici firmadan alınan ürüne ait teknik özellikler Çizelge 4.6'da bulunmaktadır.

Çizelge 4.6. Lps Hdx teknik özellikleri

Özgül Ağırlığı	1.44 g/cm^3 (25 °C 'de)
KB Değeri	133
Kaynama Noktası	87 °C
İtici Gaz	Karbon dioksit
Katı Madde	100m

4.3.3. Yüzey Düzenleyici Primerin Uygulanması

Deneylerde, yapıştırma işlemi öncesi Devcon marka Metal Prep 90 primer kullanılmıştır. Metal Prep 90 alüminyum ve paslanmaz çelik yüzeylerde metakrilat bazlı yapıştırıcıların daha uzun süreli ve daha kalıcı yapışmasını sağlayan kimyasal bir primer ve yüzey düzenleyicidir (Taşkın, 2018). Deneylerde bu primer, yapıştırılacak malzeme yüzeylerine ince bir katman halinde yüzeyi kaplayıncaya kadar püskürtülerek uygulanmıştır. Primer uygulanması yapıldıktan sonra yapıştırma işlemine geçmek için kullanma talimatında belirtildiği üzere en az 3 dakika beklenmiştir. Kullanılan primer oda sıcaklığında hızlı kuruma yaptığı için 3 dakika bekledikten sonra hemen yapıştırma işlemine geçilmiştir. Primer uygulanmış alüminyum levha yüzeyi Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Metal Prep 90 Primer'e ait üretici firmadan alınan teknik özellikler Çizelge 4.7'de bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Primer uygulanmış alüminyum levha yüzeyi

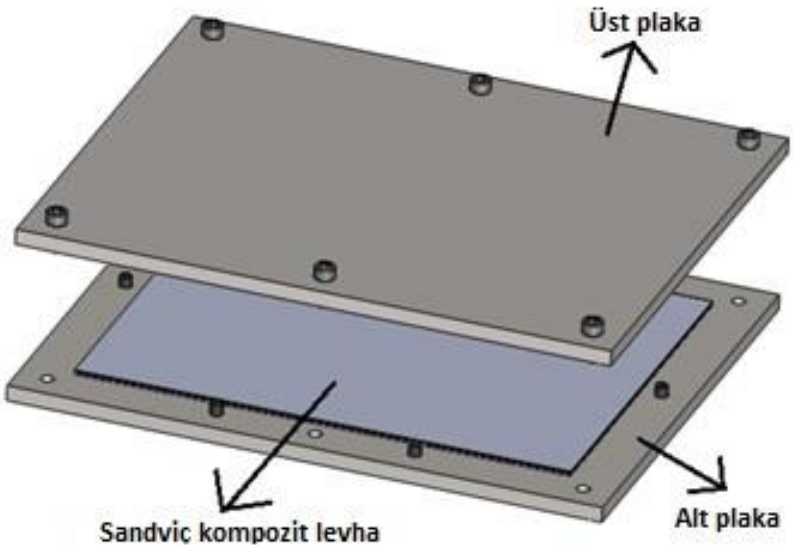
Çizelge 4.7. Metal Prep 90 Primer teknik özellikleri

Katı Madde	% 5
İçerik	Isopropyl Alcohol
Renk	Şeffaf kırmızı boya
Yoğunluk	0.977 g/cm^3
Kuruma Süresi (24 °C 'de)	1-3 dakika, yüzeye tatbik edildikten sonra
Alev Alma Noktası	13 °C

4.3.4. Yapıştırma İşleminin Yapılması

Yapıştırılacak olan alüminyum sac levha ve karbon elyaf levha boyutlarının büyük olması nedeniyle yapıştırıcı tabakasının yüzeye eşit ve düzgün dağılması, deney parametrelerinin doğru analiz edilmesinde önem arz etmektedir. Bu nedenle, yapıştırıcının yüzeye eşit kalınlıkta ve homojen olarak sürülebilmesi için bir yapıştırma aparatına ihtiyaç duyulmuştur. Gerekli araştırma ve tasarım çalışmaları yapıldıktan sonra tasarımı yapılan yapıştırma aparatının imalatı yapılmıştır. Yapıştırma aparatında bulunan plakalar sayesinde sandviç kompozit levhanın tüm noktalarına eşit baskı kuvveti uygulanmış, bu sayede kullanılan yapıştırıcı yüzeye eşit ve dengeli olarak dağılmıştır.

Yapıştırma aparatı 8'er mm kalınlığında alt ve üst plaka olmak üzere iki ana parçadan oluşmaktadır. Alt ve üst plakanın yapıştırılacak parçalara temas eden yüzeyleri hassas bir şekilde talaşlı imalat ile işlenmiştir. İki plaka arasında bağlantının yapılabilmesi için üst plakaya altı adet Ø6.3 mm'lik delik delinirken, alt plakaya altı adet M6 cıvata deliği açılmıştır. Üst plaka ile alt plakayı birbirine bağlamak için altı adet M6 imbus cıvata kullanılmıştır. Bu bağlantı cıvataları ile yapıştırma aparatına yerleştirilen malzeme yüzeylerine eşit baskı uygulanmış ve düzgün bir yapışma kontrolü sağlanmıştır. Deneylerde, farklı kalınlıkta alüminyum sac ve karbon elyaflar kullanıldığı için yapıştırma işlemi sonrası farklı kalınlıkta sandviç kompozit levhalar oluşmaktadır. Farklı kalınlıklarda sandviç kompozit levhalar oluşacağı göz önüne alınarak, yapıştırma aparatında üst plakanın yüksekliğinin ayarlanabilir olması için alt plakaya bağlı setskurlar kullanılmıştır. Alt plakanın yüzeyine bu nedenle ilave olarak, altı adet M6 delik açılmıştır. Bu deliklere yerleştirilen M6 setskur yardımı ile iki plaka arasında yükseklik ayarlanabilmektedir. Şekil 4.5'de sandviç kompozit levhaların yapıştırılmasında kullanılan yapıştırma aparatı gösterilmiştir.



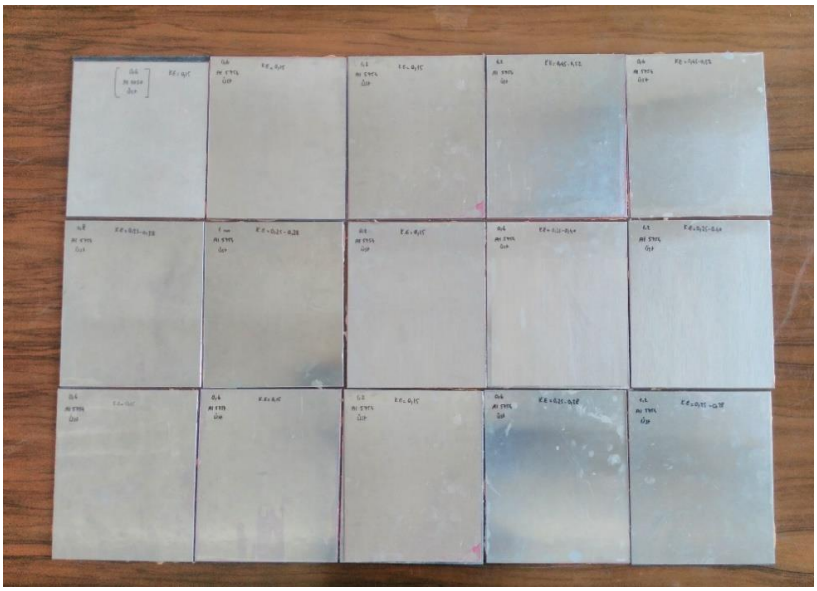
Şekil 4.5. Sandviç kompozit levha yapıştırma aparatı

Yapıştırılacak olan alüminyum ve karbon elyaf plaka arasına Devcon marka Plastic Welder cinsi metakrilat bazlı yapısal yapıştırıcı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan bu ürün oda sıcaklığında kürleşebilen iki bileşenli (yapıştırıcı ve aktivatör) bir yapıştırıcıdır. İki bileşenli plactic welder ilk önce kaba boşaltılmış ve burada homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır. Karıştırılan plastic welder bir mala yardımı ile yapıştırma yapılacak parçaların yüzeylerine düzgün bir biçimde sürülmüştür. Bu sürme esnasında, yapıştırıcı içerisinde mümkün olduğunca hava kabarcığı ve boşluk oluşması engellenmiştir. Yapıştırıcıyı dağıtma işlemi tamamlandıktan sonra oluşturulan sandviç kompozit levhalar yapıştırma aparatında bulunan plakalar arasına yerleştirilmiştir. Plakalar arasında etkin bir yapışma oluşabilmesi için yapıştırma aparatında bulunan M6 imbus civatalar kullanılarak sandviç kompozit levhaya hafif bir basınç uygulanmıştır. Kullanılan bu yapıştırma aparatı sayesinde tüm yüzeyde yaklaşık 0.3 mm yapıştırıcı kalınlığı elde edilmiştir. Yapıştırılacak malzemeler arasına sürülen Plastic Welder yapıştırıcı, sürülme anından itibaren 15 dakika içinde ilk tutunmayı gerçekleştirme özelliğine sahiptir. Ancak, yapıştırıcının oda sıcaklığında iyi bir yapıştırma mukavemetine sahip bir tabaka oluşturabilmesi için yapıştırılan malzemeler sabit basınç altında en az 24 saat yapıştırma aparatı içinde bekletilmiştir. Üretici firmadan alınan ürüne ait teknik özellikler Çizelge 4.8'de bulunmaktadır.

Çizelge 4.8. Devcon Plastic Welder teknik özellikleri

Sertleşme (Kürleşme) Öncesi Fiziksel Özellikler		
	Yapıştırıcı	**Aktivatör**
Viskozite TB @ 10 rpm	55.000 cps	50.000 cps
Renk	Kırık Beyaz	Kırık Beyaz
Ağırlık kg/lt	1.011	972
Karışım Yoğunluğu	0.99 g/cm^3	
Alev Alma Noktası	11 °C	
Karışım Sonrası Maksimum Uygulama Süresi (22 °C'de)	4-6 dakika	
İlk Kuruma Süresi (22 °C 'de)	10-15 dakika	
Fonksiyonel Kuruma Süresi	45 dakika-1 saat	
Tam Kuruma Süresi	24 saat	
Saflık	% 100	
Performans Değerleri (Oda sıcaklığında 7 gün bekledikten sonra)		
Yapışma Mukavemeti (ASTM D1002)		
Polycarbonate ve Alaşımları	98 kg/cm^2	
ABS	91 kg/cm^2	
Kumlanmış Çelik	210 kg/cm^2	
T-Soyulma Mukavemeti (ASTM D1876, 25.4cm/1.5mm, 6061 Alüminyum)	35-40 pli	
Darbe Mukavemeti (ASTM D950-61T kumlanmış çelik)	22 ft.lb./in.	
Shore Sertliği	78 D	
Boşluk Doldurma, tek katta tavsiye edilen	3.2 mm	
Gerilme Esneme Kabiliyeti	% 15-25	

İdeal yapışma için malzemeler aparat içerisinde gerekli kürleşme süresinde bekletildikten sonra yapıştırma aparatının alt ve üst plakası ayrılarak malzemeler çıkartılır. Yapıştırma aparatına uygulanan basınç nedeniyle fazla olan yapıştırıcı yanlardan dışarı taşmaktadır. Bu durum yapıştırılan malzemeler ile yapıştırma aparatı arasında gereksiz bir bağ oluşmasına neden olmaktadır. Bu sorunu çözmek için yapıştırma aparatı ile sandviç kompozit levha arasında şeffaf naylon kullanılmıştır. Bu sayede, taşan yapıştırıcı aparat üzerinde bağ oluşturamamaktadır. Yapılan imalat sonucunda toplam 15 adet sandviç kompozit levha üretilmiştir. Şekil 4.6'da yapıştırma işlemi sonrası imalatı tamamlanan sandviç kompozit levhalar gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Sandviç kompozit levhalar

4.4. Sandviç Kompozit Levhaların Kesilmesi

Sandviç kompozit levhalar farklı kalınlıklarda alüminyum ve karbon elyaf plaka kombinasyonlarından oluştuğu için her bir levhaya kod olarak A'dan O'ya kadar harfler verilmiştir. Malzemelerin cinsi ve kalınlığını gösteren sandviç kompozit levha kodları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Sandviç kompozit levhaların kodlanması

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Üst	Al 5754 0.6 mm	Al 5754 0.6 mm	Al 5754 1.2 mm	Al 5754 1.2 mm	Al 5754 0.6 mm	Al 5754 0.8 mm	Al 5754 1.0 mm	Al 5754 1.2 mm	Al 5754 0.6 mm	Al 5754 1.2 mm	Al 5754 0.6 mm	Al 5754 1.2 mm	Al 5754 0.6 mm	Al 5754 1.2 mm	Al 1050 0.6 mm
Orta	K.E 0.15 mm	K.E 0.15 mm	K.E 0.15 mm	K.E 0.15 mm	K.E 0.25 mm	K.E 0.25 mm	K.E 0.25 mm	K.E 0.25 mm	K.E 0.35 mm	K.E 0.35 mm	K.E 0.50 mm	K.E 0.50 mm	K.E 0.15 mm	K.E 0.15 mm	K.E 0.15 mm
Alt	Al 5754 0.6 mm	Al 5754 0.6 mm	Al 5754 1.2 mm	Al 5754 1.2 mm	Al 5754 0.6 mm	Al 5754 0.8 mm	Al 5754 1.0 mm	Al 5754 1.2 mm	Al 5754 0.6 mm	Al 5754 1.2 mm	Al 5754 0.6 mm	Al 5754 1.2 mm	Al 5754 1.2 mm	Al 5754 0.6 mm	Al 1050 0.6 mm

Deney numunelerinin kesim sonrası levha üzerindeki konumunun belirlenebilmesi için kesim şablonu oluşturulmuştur. Bu kesim şablonuna göre her bir levha üzerine numaralar kodlanmıştır. Bu kodlama sayesinde kesimi yapılan numunelerin karışmaması sağlanmıştır. A kodu verilen sandviç kompozit levhaya ait kesim şablonu Çizelge 4.10'da verilmiştir. Bu şekilde tüm levhalar kesim öncesi numaralandırılmıştır.

Çizelge 4.10. A kodu verilen sandviç kompozit levhaya ait kesim şablonu

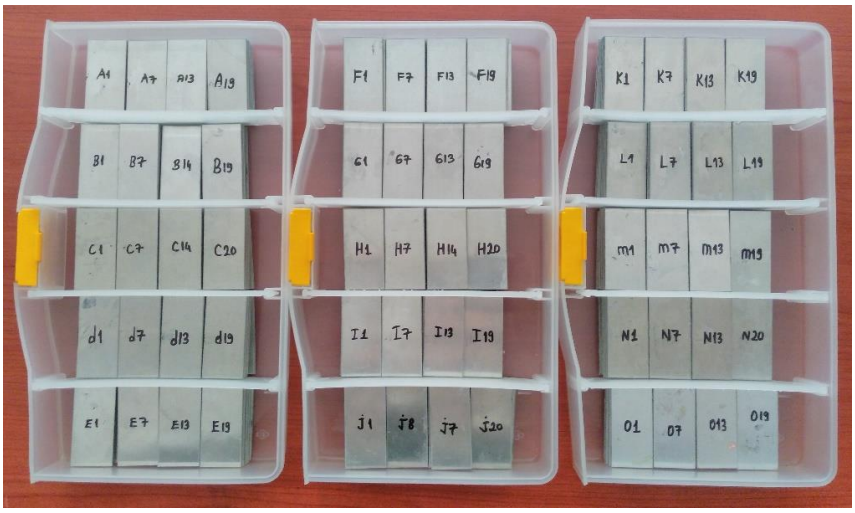
A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_{11}	A_{12}
A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}	A_{17}	A_{18}
A_{19}	A_{20}	A_{21}	A_{22}	A_{23}	A_{24}

Yapıştırma işlemi sonrası 200x250 mm boyutlarındaki sandviç kompozit levhaları su jeti ile alüminyum sac haddeleme yönünde (0º), 30x60 mm ebatlarında kesilerek deney numuneleri oluşturulmuştur. Su jeti kullanıldığı için kesilen deney numunelerinin kenarlarında herhangi bir çapak meydana gelmemiştir. Sandviç kompozit levhaların su jeti ile kesimi Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Sandviç kompozit levhaların su jeti ile kesimi

Sandviç kompozit levhalar, hazırlanan kesim şablonuna göre su jeti ile kesildikten sonra 30x60 mm boyutlarında deney numuneleri oluşturulmuştur. Kesme işlemi sonrası her bir levhadan 24 adet deney numunesi elde edilmiştir. Bükme deneylerinde kullanılan sandviç kompozit levha deney numuneleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Sandviç kompozit levha numuneleri

4.5. Deneylerde Kullanılan Bükme Kalıpları

Malzemelerin şekillendirilmesinde en çok kullanılan bükme yöntemlerinden biri V bükme işlemidir. Bu nedenle, sandviç kompozit levhaların şekillendirilmesi deneylerinde V bükme yöntemi kullanılmıştır. Sandviç kompozit levhaları V bükme yöntemiyle şekil verebilmek için öncelikle çizim programı kullanılarak uygulamada en sık kullanılan bükme açılarında kalıplar tasarlanmıştır. Bu nedenle deneylerde 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açıları kullanılmıştır.

Bükme deneylerinin yapıldığı kalıp elemanları; erkek zımba, dişi kalıp ve erkek zımbayı tekstür cihazına bağlayan tutucudan oluşmaktadır. Bükme deneylerinin yapılacağı cihazın hassas olduğu düşünülerek, bükme kalıplarının daha hafif olması için malzeme seçiminde Alüminyum 6082 T6 tercih edilmiştir. 50x50x3000 mm boyutlarında olan Alüminyum 6082 T6 kare profiller testere kullanılarak 50x50x100 mm kalıp ham ölçülerine kesilmiştir.

Alüminyum 6082 T6'nın kimyasal bileşimi Çizelge 4.11'de ve mekanik özellikleri ise Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Alüminyum 6082 T6 kimyasal bileşimi

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Diğer	Al
0.5	0.7-1.3	0.1	0.4-1.0	0.6-1.2	0.2	0.15	0.15	Kalan

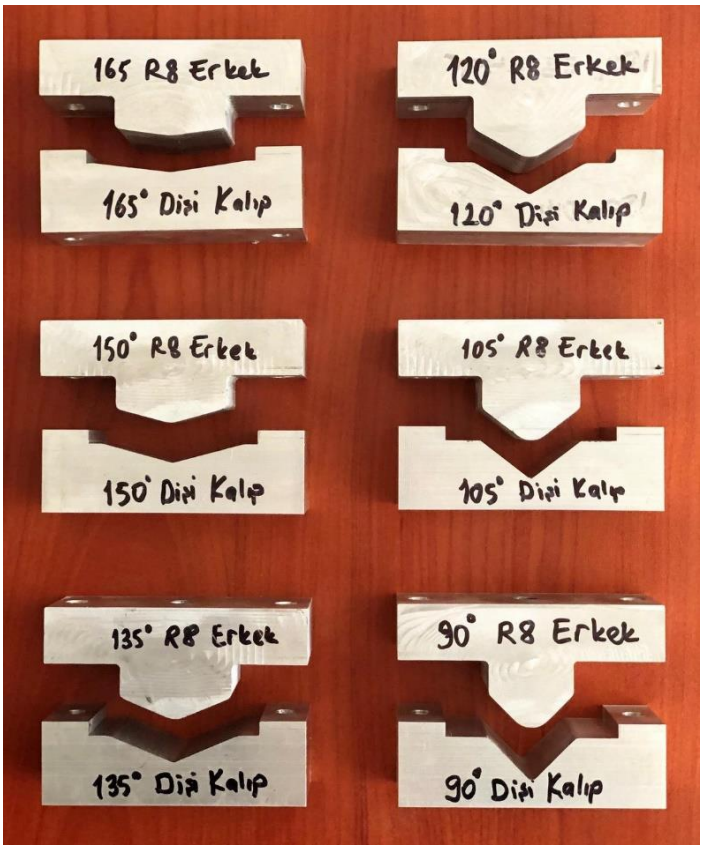
Çizelge 4.12. Alüminyum 6082 T6 mekanik özellikleri

Temper	Akma Mukavemeti (MPa) min-max	Çekme Mukavemeti (MPa) min-max	Uzama (%50) min-max	Sertlik (Brinel) min-max
T6	260-310	310-340	19	95

Bükme kalıpları, Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (Tutagem)'nde bulunan Cnc dik işleme merkezinde işlenmiştir. Bükme kalıplarının imali sırasında Cnc freze tezgâhı, torna tezgâhı ve hidrolik testere kullanılmıştır. Kalıpların bükme yüzeylerinin pürüzsüz olması ve deney sonuçlarına olumsuz etki etmemesi için özellikle Cnc freze tezgâhında hassas işlem teknikleri kullanılmıştır.

Cnc frezede işlenen kalıp elemanlarının montajı yapılarak V bükme kalıpları oluşturulmuştur. Erkek ve dişi kalıp arasında 9.8 mm çapında iki adet mil kullanılmıştır. Burada kullanılan iki adet mil, erkek kalıbın düşey hareketi sırasında dişi kalıp ile aynı eksende hareket etmesini sağlamaktadır. Miller, bükme anında yuvalarından çıkmaması için dişi kalıplarda bulunan yatay deliklere yerleştirilen M6 setskurlar ile bağlanmıştır.

Şekil 4.9'da deneysel çalışmada kullanılan kalıplar gösterilmiştir. Bükme işleminde kullanılan kalıpların komple ve detay resimleri ise *EK 2*'de verilmiştir.



Şekil 4.9. Deneysel çalışmada kullanılan 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açılarındaki kalıplar

4.6. Metot

Sandviç kompozit levhaların V bükme yöntemi ile şekillendirilmesinde; malzeme cinsi, malzeme kombinasyonu, kalınlık, bükme açısı ve bükme yönü parametrelerinin geri esnemeye etkisi araştırılmıştır. Sandviç kompozit levhaların V bükme operasyonu neticesinde oluşan geri esneme davranışları deneysel olarak incelenmesinde dört değişik deney serisi kullanılmıştır. Bükme işlemleri esnasında, zımba ile dişi kalıp arasında sandviç kompozit levha kalınlığı kadar boşluk bırakılmış ve numunenin ezilerek deformasyona uğraması engellenmiştir. Bu şekilde, numunenin ezilmesi ve deformasyona uğraması engellendiği için geri esnemeye etkisi önlenmiştir. Yapılan tüm deney serilerinde bükme hızı 5 mm/s ve zımba uç yarıçapı R8 mm olarak sabit seçilmiştir. Her deney aynı özellik ve ölçülere sahip 5 numune kullanılarak tekrarlanmıştır.

Birinci deney serisinde, deney numunesi olarak kullanılan sandviç kompozit levhalarda 0.6 ve 1.2 mm kalınlıklarında Al-5754-H22 ile 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plaka kullanılmıştır. Hazırlanan bu sandviç kompozit levha numuneleri 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90° bükme açılarında şekillendirilmiştir.

İkinci deney serisinde, deney numunesi olarak kullanılan sandviç kompozit levhalarda 1.2 mm kalınlığında Al-5754-H22 ile 0.15, 0.25, 0.35 ve 0.50 mm kalınlıklarında karbon elyaf plakalar kullanılmıştır. Hazırlanan bu sandviç kompozit levha numuneleri 30° bükme açısında şekillendirilmiştir.

Üçüncü deney serisinde, deney numunesi olarak kullanılan sandviç kompozit levhaların alt ve üst yüzeylerinde farklı kalınlıkta Al-5754-H22 kullanılmıştır. T1 bükme yönündeki numunelerin üst yüzeyinde 0.6 mm ve alt yüzeyinde 1.2 mm kalınlığında Al-5754-H22 bulunmaktadır. T2 bükme yönündeki numunelerin üst yüzeyinde 1.2 mm ve alt yüzeyinde 0.6 mm kalınlığında Al-5754-H22 bulunmaktadır. Karbon elyaf kalınlığı ise T1 ve T2 de eşit 0.15 mm kullanılmıştır. Bükme yönünün geri esneme miktarına etkisini incelemek amacıyla T1 ve T2 bükme yönlerindeki sandviç kompozit levhalar 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açılarında şekillendirilmiştir.

Dördüncü deney serisinde, deney numunesi olarak kullanılan sandviç kompozit levhalarda 0.6 mm kalınlığında Al-1050-H14 ile 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plaka kullanılmıştır. Hazırlanan bu sandviç kompozit levha numuneleri 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açılarında şekillendirilmiştir. Dış tabakada farklı alüminyum serileri kullanılmasının geri esneme miktarına etkisini incelemek için bu serideki deney sonuçları ile birinci deney serisindeki 0.6 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levha sonuçları karşılaştırılmıştır.

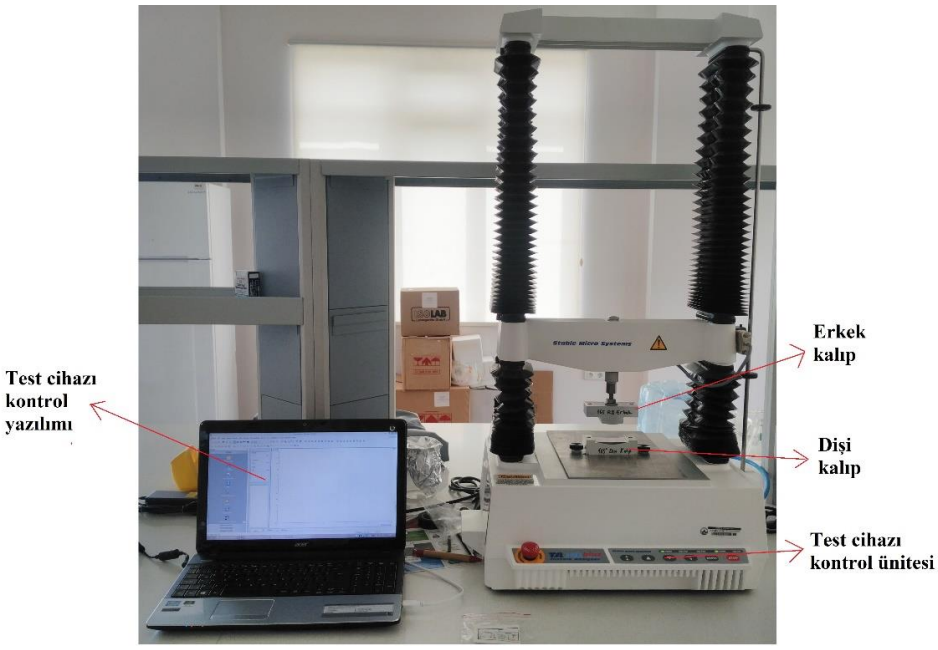
Deneysel çalışmalarda kullanılan bükme parametreleri Çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Deneysel çalışmada kullanılan bükme parametreleri

Deney Serisi	Sandviç Kompozit Malzeme Kalınlığı		Bükme Açısı (Derece)
	Al-5754-H22 (mm)	Karbon Elyaf (mm)	
1	0.6	0.15	15
			30
			45
	1.2		60
			75
			90
2	1.2	0.15	30
		0.25	
		0.35	
		0.50	
3	Üst = 0.6 Alt = 1.2	0.15	15
			30
			45
	Üst = 1.2 Alt = 0.6		60
			75
			90
4	Al-1050-H14 0.6	0.15	15
			30
			45
			60
			75
			90

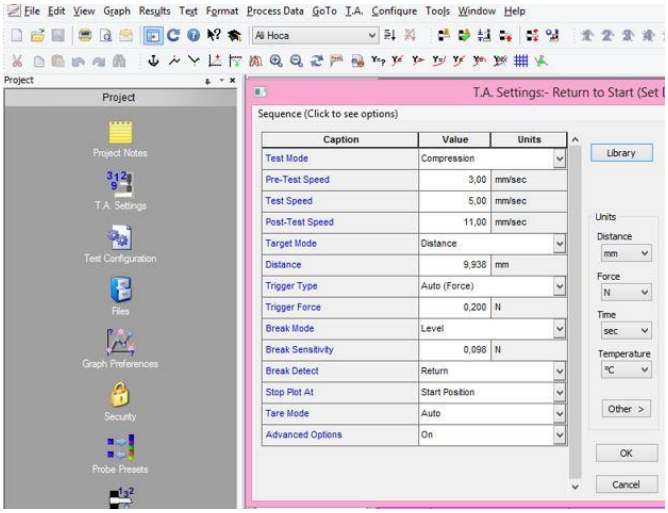
4.7. Bükme Deneyi ve Deneysel Çalışma Ortamı

Bükme deneyleri, Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan TA.HDPlus marka tekstür analiz cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların yapıldığı deney düzeneğinin genel görüntüsü Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Bükme deney düzeneğinin genel görüntüsü

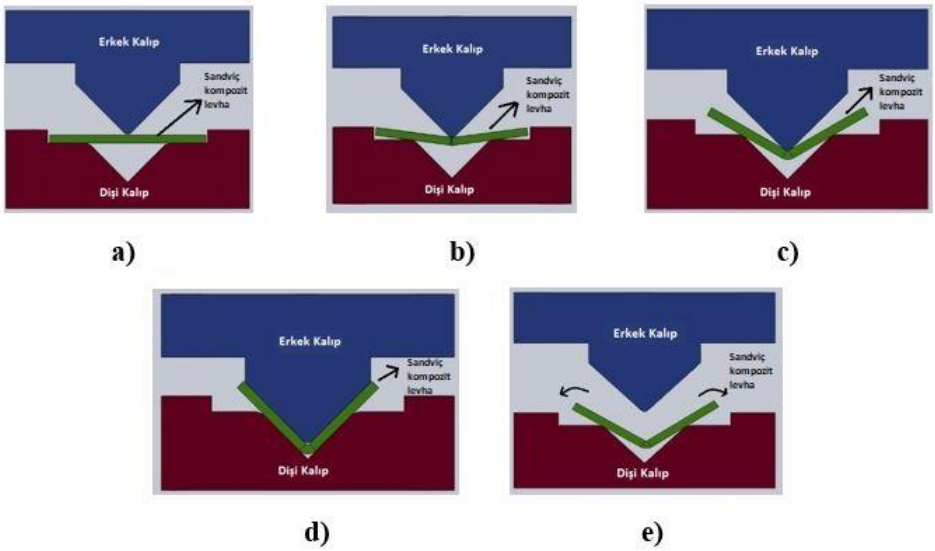
TA.HDPlus Tekstür Analiz Cihazı Exponent yazılım programı ile kontrol edilmektedir. Bükme testi öncesi yaklaşma hızı, bükme hızı, bükme sonrası çekilme hızı ve bükme stroku değerleri Şekil 4.11'de gösterilen Tekstür cihazı yazılımına girilerek bükme deneyleri yapılmıştır.



Şekil 4.11. Tekstür cihazı yazılımının ekran görüntüsü

V bükme deneylerinde, ilk olarak şekillendirilecek sandviç kompozit levha kalıba yerleştirmiştir. Kalıplar tasarlanırken sandviç kompozit levhaların konulacağı yer,

numune boyutundan 1.5 mm geniş yapıldığı için numune kalıp boşluğuna düzgün bir şekilde yerleşmektedir. Bu sayede, yapılan her bükme testinde malzemenin konumu aynı olmaktadır. Tekstür cihazının bağlı olduğu bilgisayar yazılımına, sandviç kompozit levha kalınlığı dikkate alınarak basma yüksekliği değeri girilmiştir. Deneylerde tüm numuneler için bükme hızı sabit 5 mm/s kullanılmıştır. Yazılıma girilmesi gereken basma yüksekliği, bükme hızı vb. tüm veriler girildikten sonra bükme testlerine geçilmiştir. İlk olarak numune kalıba yerleştirildikten sonra bükme cihazının bağlı olduğu bilgisayar yazılımı ile deney başlatılmıştır. Sabit hızla aşağı inen zımbanın sandviç kompozit levhaya temas etmesi ile bükme işlemi başlar (Şekil 4.12.a). Bükme kuvvetinin etkisiyle sandviç kompozit levhanın bükme kolları yukarı doğru hareket etmektedir (Şekil 4.12.b). Erkek kalıp, zımba kanalına daha fazla girmesiyle sandviç kompozit levhanın tepkisi de buna paralel olarak artmaktadır. Bu artan tepkiyle malzemenin kol uçları daha fazla bükülmektedir (Şekil 4.12.c). Bükme işlemi, zımba ile dişi kalıp arasında malzeme kalınlığı kadar mesafe kalana kadar devam etmektedir. Bükme işlemi esnasında, zımba ile dişi kalıp arasında sandviç kompozit levha kalınlığı kadar boşluk bırakılarak numunenin ezilerek deformasyona uğraması engellenmiştir (Şekil 4.12.d). Erkek kalıp bilgisayar yazılımına girilen basma derinliğine indiğinde, sandviç kompozit levha istenilen bükme geometrisine ulaşmakta ve V bükme işlemi tamamlanmaktadır. Bükme işleminin tamamlanmasıyla pres ters yönde düşey hareketini gerçekleştirmekte ve zımba da sandviç kompozit levha üzerinden kalkmaktadır. V bükme işleminin tamamlanmasıyla sandviç kompozit levhada geri esneme görülmektedir (Şekil 4.12.e).



Şekil 4.12. Sandviç kompozit levhalarda bükme işlemi

4.8. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Makine ve Cihazlar

4.8.1. Giyotin Makas

Alüminyum sac levhaların 200x250 mm ebatlarında kesilmesinde Mvd Ishear B Serisi hidrolik giyotin makas kullanılmıştır. Kesim işleminde kullanılan hidrolik giyotin makas Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Mvd Ishear B Serisi hidrolik giyotin makas

Mvd Ishear B Serisi Hidrolik Giyotin Makasın genel özellikleri aşağıda verilmektedir.

- Modern imalat teknolojisi ile üretilmiş, rijit, kaynaklı ve ağır yekpare gövde,
- NC kontrolör,
- Hassas kesim için kolay ayar yapılabilir cetvelli bıçak ayar sistem özelliği,
- Hareketli kumanda kolu,
- Kolay sac sürmek için bilyalı tabla,
- Arka dayama programlanabilir,
- Hidrolik baskı basınç ayarı ile kesim esnasında parçaları korunma özelliği,
- Honlanmış hidrolik silindir ve sertleştirilmiş ve kromlanmış hidrolik piston,
- Bıçak boşluk ayar sistemi,
- Ayarlanabilir alt bıçak tutucusu,
- Çift devirli çalışma sistemi.

4.8.2. Cnc Freze

Deneylerde kullanılan bükme kalıpları, Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (Tutagem)'nde bulunan Delta Seiki 1050 Serisi Cnc frezede işlenmiştir. Kalıpların işlendiği Cnc freze Şekil 4.14'de, teknik özellikleri ise Çizelge 4.14'da verilmiştir.



Şekil 4.14. Delta Seiki 1050 Serisi Cnc freze

Çizelge 4.14. Delta Seiki 1050 Serisi Cnc Frezenin teknik özellikleri

Tabla ölçüsü	1270 x 400 (mm)
Maksimum iş parçası ağırlığı	500 (kg)
Eksen hareketi (x,y,z)	1020, 500, 570 (mm)
Aktarım sistemi	Kasnak tahrikli
Kesme hızı	1-10 (m/dak)
Magazin kapasitesi	24 Takım
Fener mili motor gücü	11/15 (Kw)
Bilgi aktarımı	RS 232 Bilgi aktarım port sistemi

4.8.3. TA.HDPlus Tekstür Cihazı

Deneysel çalışmalar, Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (Tutagem)'nde bulunan TA.HDPlus marka tekstür analiz cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların yapıldığı bükme cihazı Şekil 4.15'de, bükme cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.15. Deneysel çalışmaların yapıldığı TA.HDPlus tekstür analiz cihazı

Çizelge 4.15. TA.HDPlus tekstür analiz cihazının teknik özellikleri

Güç Kapasitesi	750kg.f (7500N)
Güç Çözünürlüğü	0.1g
Yük Hücreleri	1, 5, 30, 50, 100, 250, 500, 750kg.f
Yük Hücresi Özellikleri	Kullanıcı tarafından değiştirilebilir.
Hız Aralığı	0.01-20mm/s
Çalışma Mesafesi	1-524mm
Kolonlar Arası Mesafe	300mm
Veri Alma	Saniyede 500 noktadan fazla
Veri Örnekleme Oranı	8KHz
Harici Cihaz Kanalları	Dört kanallı RS485
PC Arayüzü	USB
Güç Kaynağı	220 Volt

4.8.4. Ölçme İşleminde Kullanılan Cihazlar

Bükme işlemi sonrası sandviç kompozit levha numunelerinin açıları ilk olarak Tronic marka dijital açı ölçer kullanılarak ölçülmüştür. İlk açı ölçümünün yapıldığı dijital açı ölçer cihazı Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



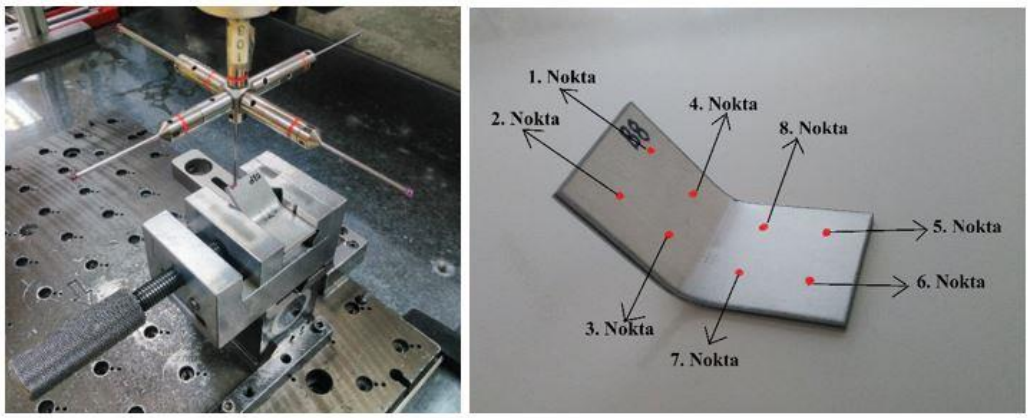
Şekil 4.16. Dijital açı ölçer cihazı

İkinci ölçümde ise her bir deney numunesi Zeiss Pmc 500 koordinat ölçüm cihazı (CMM) kullanılarak hassas olarak ölçülmüştür. Sandviç kompozit levha numunelerinin açısını ölçmede kullanılan CMM cihazı Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17. Sandviç kompozit levha numunelerinin açısını ölçmede kullanılan CMM cihazı

Ölçme işleminde, ölçme cihazının probu sandviç kompozit levhanın bir büküm yüzeyindeki dört farklı noktaya değdirilerek bir düzlem oluşturulmuştur. Aynı işlemi bu sefer numunenin diğer büküm yüzeyindeki dört farklı noktaya prob temas ettirilerek ikinci bir düzlem elde edilmiştir. Elde edilen bu iki düzlem arasındaki açı ölçülerek geri esneme açısı elde edilmiştir. Sandviç kompozit levha açı ölçümü ve numune üzerinden alınan ölçüm noktaları Şekil 4.18'da gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Sandviç kompozit levhaların CMM ile açı ölçümü a) Açı ölçümü b) Numune üzerinden alınan ölçüm noktaları

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Sandviç kompozit levhaların V bükme operasyonu neticesinde oluşan geri esneme davranışlarının deneysel olarak incelenmesinde dört değişik deney serisi kullanılmış ve sonuçlar bu serilere göre bölümlendirilmiştir. Yapılan tüm deney serilerinde bükme hızı 5 mm/s ve zımba uç yarıçapı R8 mm olarak sabit seçilmiştir.

İlk bölümde, bükme açısının geri esneme miktarına etkisini incelemek amacıyla 0.6 ve 1.2 mm Al-5754-H22 ile 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan sandviç kompozit levhalar üretilmiş ve 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açılarında şekillendirilmiştir.

İkinci bölümde, karbon elyaf plaka kalınlığının geri esneme miktarına etkisini incelemek amacıyla 1.2 mm Al-5754-H22 ile farklı kalınlıklarda (0.15, 0.25, 0.35 ve 0.50 mm) karbon elyaf plakalardan üretilen sandviç kompozit levhalar 30° bükme açısında şekillendirilmiştir.

Üçüncü bölümde, bükme yönünün geri esneme miktarına etkisini incelemek amacıyla, farklı yönlerde yerleştirilmiş sandviç kompozit levhalar 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açılarında şekillendirilmiştir. T1 bükme yönündeki numunelerin üst yüzeyinde 0.6 mm ve alt yüzeyinde 1.2 mm kalınlığında Al-5754-H22 bulunmaktadır. T2 bükme yönündeki numunelerin üst yüzeyinde 1.2 mm ve alt yüzeyinde 0.6 mm kalınlığında Al-5754-H22 bulunmaktadır. Karbon elyaf kalınlığı ise T1 ve T2 de eşit 0.15 mm kullanılmıştır.

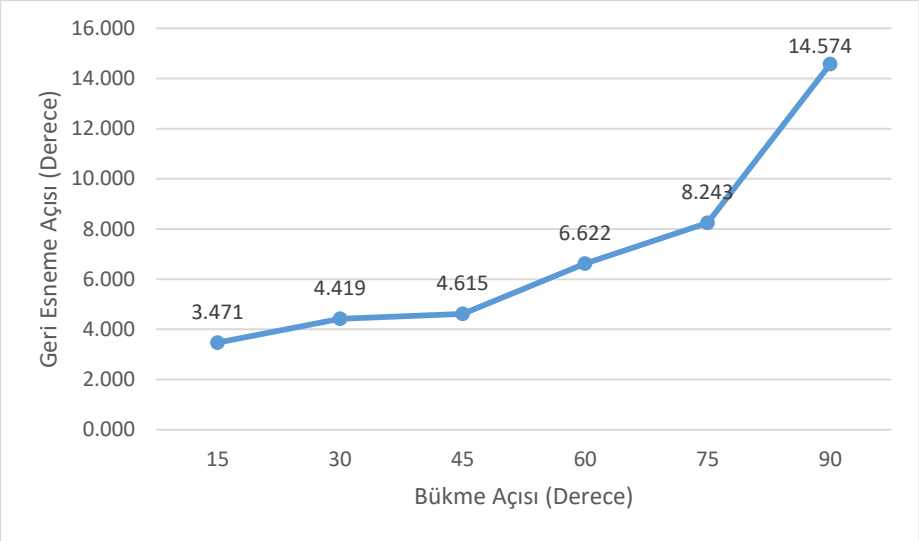
Dördüncü bölümde, dış tabakada farklı alüminyum serileri kullanılmasının geri esneme miktarına etkisini incelemek amacıyla 0.6 mm kalınlığında Al-1050-H14 ile 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan sandviç kompozit levhalar üretilmiştir. Bu sandviç kompozit levhalar 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açılarında şekillendirilmiş ve

birinci deney serisindeki 0.6 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levha sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

5.1. Sandviç Kompozit Levhalarda Oluşan Geri Esnemenin Değerlendirilmesi

5.1.1. Sandviç Kompozit Levhaların Farklı Bükme Açılarındaki Geri Esneme Değerleri

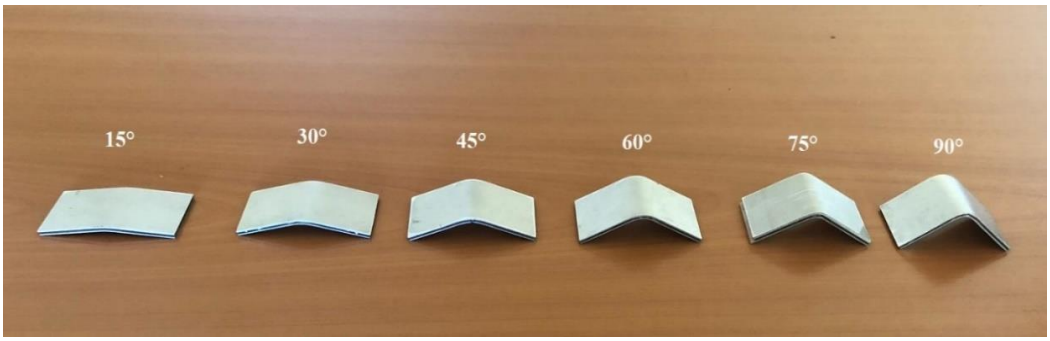
0.6 mm Al-5754-H22 ve 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında (15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) şekillendirilmesiyle oluşan geri esneme sonuçları Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. 0.6 mm Al 5754 ve 0.15 mm karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarındaki geri esnemeleri

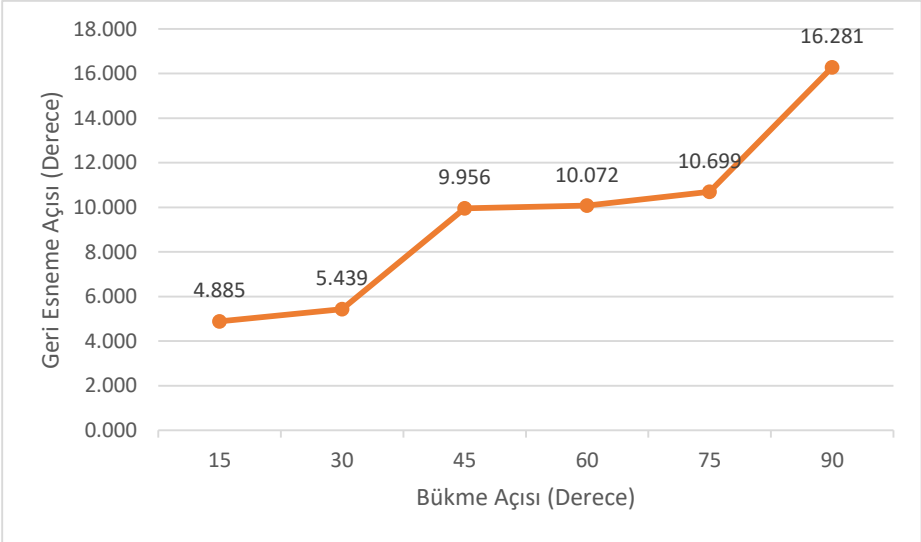
Şekil 5.1 incelendiğinde, 0.6 mm Al-5754-H22 ve 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında şekillendirilmesi neticesinde en az geri esnemenin 3.471° ile 15° bükme açısında olduğu görülürken, en fazla geri esnemenin 14.574° ile 90° bükme açısında olduğu belirlenmiştir. Bükme işlemi sonucunda, bükme açısının artması ile bu kombinasyondaki sandviç kompozit malzemede meydana gelen geri esneme miktarının arttığı tespit edilmiştir.

0.6 mm Al-5754-H22 ve 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların bükme işlemi sonrası görünümleri Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. 0.6 mm Al 5754 ve 0.15 mm karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların bükme sonrası görünümleri

1.2 mm Al-5754-H22 ve 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında (15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) şekillendirilmesiyle oluşan geri esneme sonuçları Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

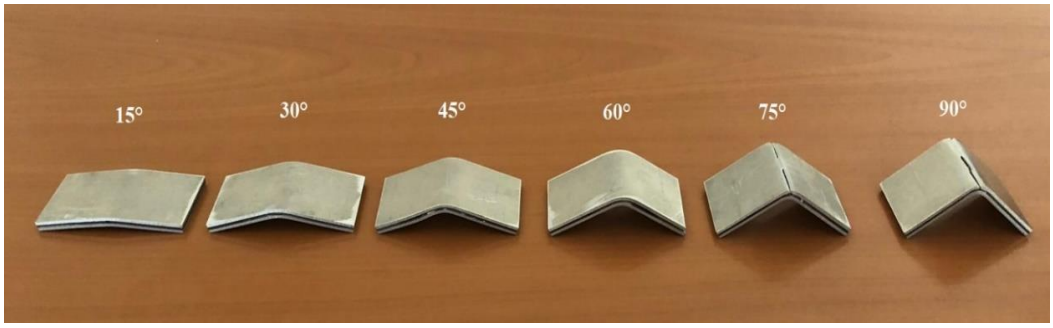


Şekil 5.3. 1.2 mm Al 5754 ve 0.15 mm karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarındaki geri esnemeleri

Şekil 5.3 incelendiğinde, 1.2 mm Al-5754-H22 ve 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında şekillendirilmesi neticesinde en az geri esnemenin 4.885° ile 15° bükme açısında olduğu görülürken, en fazla geri esnemenin 16.281° ile 90° bükme açısında olduğu belirlenmiştir. Bükme işlemi

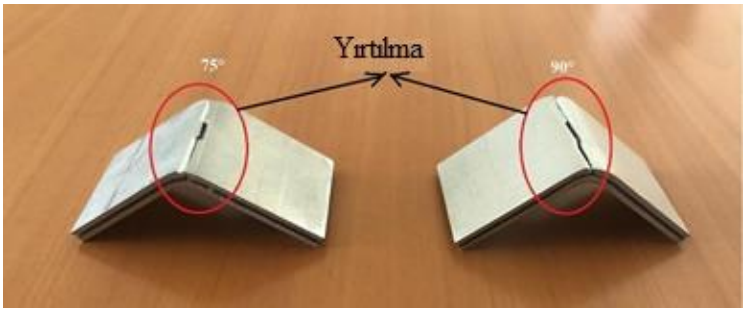
sonucunda, bükme açısının artması ile bu kombinasyondaki sandviç kompozit malzemede meydana gelen geri esneme miktarının arttığı tespit edilmiştir.

1.2 mm Al-5754-H22 ve 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların bükme işlemi sonrası görünümleri Şekil 5.4'de verilmiştir.



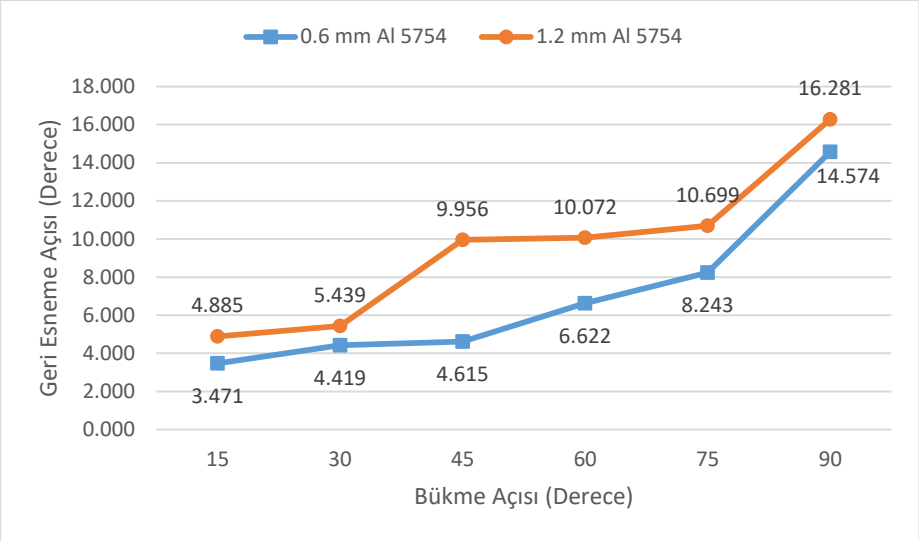
Şekil 5.4. 1.2 mm Al 5754 ve 0.15 mm karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların bükme sonrası görünümleri

Bükme işlemi sonunda 15°, 30°, 45°, 60° bükme açılarındaki numunelerde yırtılma görülmezken, 75° ve 90° bükülen numunelerin dış yüzeyindeki alüminyumlarda yırtılmalar oluşmuştur. 75° ve 90° bükülen numunelerde oluşan yırtılmalar Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. 75° ve 90° bükülen numunelerde oluşan yırtılmalar

0.15 mm karbon elyaf plaka ile iki farklı (0.6 ve 1.2 mm) kalınlıkta Al 5754 sac levhadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarındaki geri esneme sonuçları Şekil 5.6'da karşılaştırılmıştır.

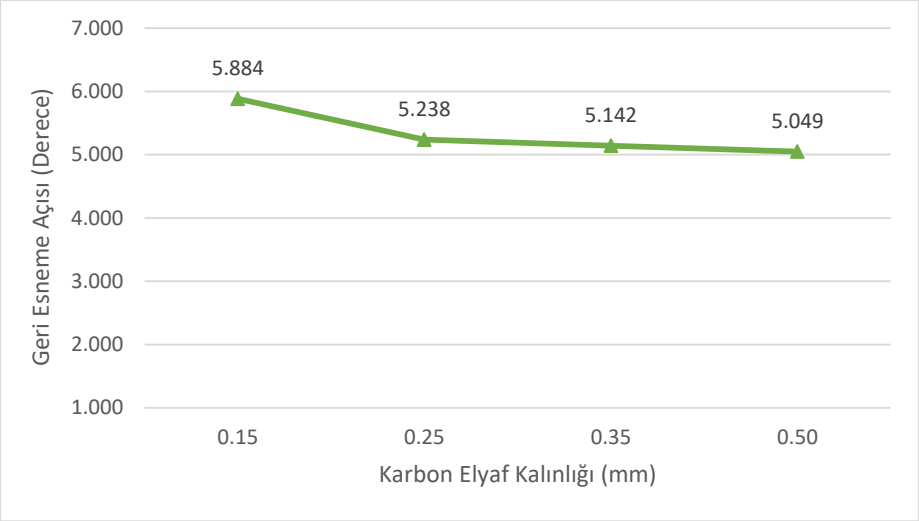


Şekil 5.6. Farklı kalınlıkta Al 5754 kullanılan sandviç kompozit levhalarda geri esneme davranışının karşılaştırılması

Şekil 5.6 incelendiğinde, 1.2 mm Al 5754 sac levha kullanılan sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme miktarının tüm bükme açılarında daha fazla olduğu belirlenmiştir.

5.1.2. Sandviç Kompozit Levhalardaki Karbon Elyaf Kalınlığının Geri Esnemeye Etkisi

Sandviç kompozit levha numuneleri, 1.2 mm kalınlığında Al-5754-H22 ile farklı kalınlıklarda (0.15, 0.25, 0.35 ve 0.50 mm) karbon elyaf plakalardan üretilmiştir. Karbon elyaf kalınlığının geri esneme miktarına etkisini incelemek amacıyla, farklı kalınlıklara sahip karbon elyaf plakalardan üretilen sandviç kompozit levhaların 30° bükme açısında şekillendirilmesiyle oluşan geri esneme sonuçları Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



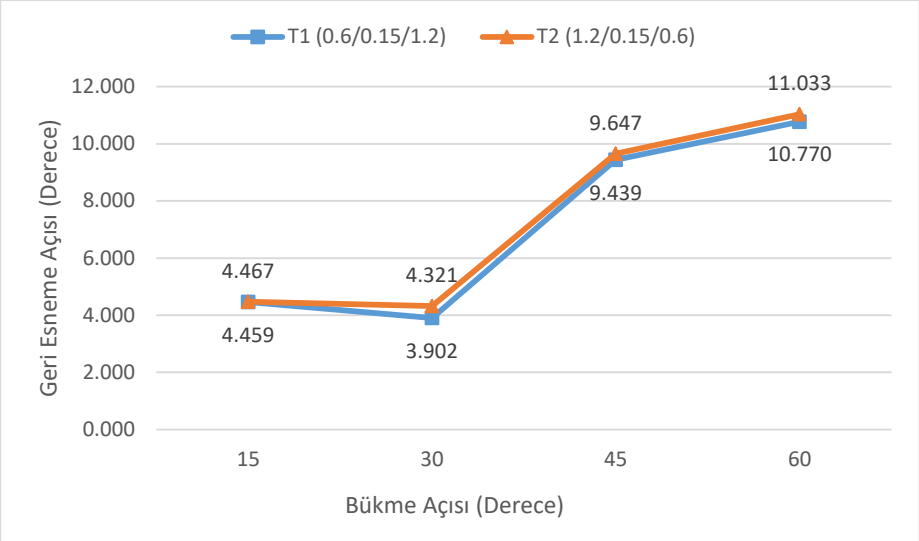
Şekil 5.7. Karbon elyaf kalınlığının geri esneme miktarına etkisi

Şekil 5.7 incelendiğinde, bükme işlemi neticesinde 5.884° ile en fazla geri esnemenin 0.15 mm karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhalarda olduğu görülmüştür. En az geri esnemenin ise 5.049° ile 0.50 mm karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhalarda olduğu belirlenmiştir. Bükme işlemi sonucunda, karbon elyaf kalınlığının artması ile sandviç kompozit malzemede meydana gelen geri esneme miktarının azaldığı tespit edilmiştir.

5.1.3. Sandviç Kompozit Levhalarda Bükme Yönünün Geri Esnemeye Etkisi

Sandviç kompozit malzemelerde, bükme yönünün geri esneme davranışına etkisi araştırılmıştır. Deney numunesi olarak kullanılan sandviç kompozit levhaların alt ve üst yüzeylerinde farklı kalınlıklarda Al-5754-H22 kullanılmıştır. T1 bükme yönündeki numunelerin üst yüzeyinde 0.6 mm ve alt yüzeyinde 1.2 mm kalınlığında Al-5754-H22 bulunmaktadır. T2 bükme yönündeki numunelerin üst yüzeyinde 1.2 mm ve alt yüzeyinde 0.6 mm kalınlığında Al-5754-H22 bulunmaktadır. Karbon elyaf kalınlığı ise T1 ve T2 de eşit 0.15 mm kullanılmıştır.

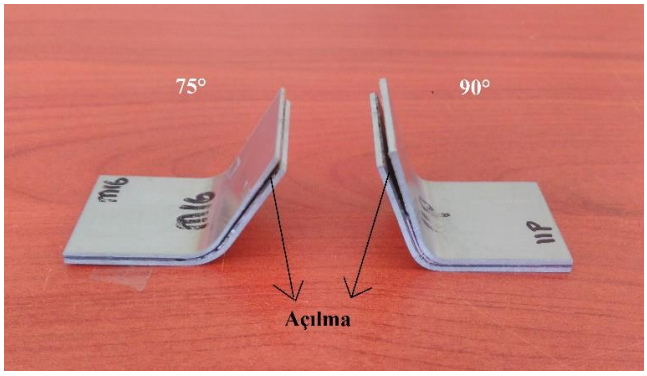
Sandviç kompozit levhalarda, bükme yönünün geri esneme miktarına etkisini incelemek amacıyla, T1 ve T2 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında (15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) şekillendirilmesiyle oluşan geri esneme sonuçları Şekil 5.8'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.8. Farklı bükme yönlerinde şekillendirilen sandviç kompozit levhalarda geri esneme davranışının karşılaştırılması

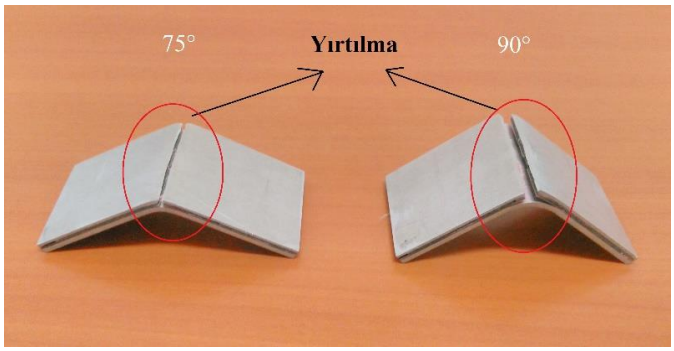
Şekil 5.8 incelendiğinde, T1 ve T2 bükme yönündeki tüm sandviç kompozit levhalarda geri esneme meydana gelmiştir. T1 ve T2 bükme yönündeki sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

T1 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların 75° ve 90° bükme açılarındaki testlerinde, alüminyum ve karbon elyaf plakalar arasında açılmalar görülmüştür. Açılma sebebi olarak, bükme işlemi sırasında alüminyum ve karbon elyaf levhalar arasında oluşan gerilmelerin yapıştırma bağlantı dayanımından daha fazla olduğu söylenebilir. 75° ve 90° bükülen numunelerde oluşan açılmalar Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. 75° ve 90° bükülen numunelerde oluşan açılmalar

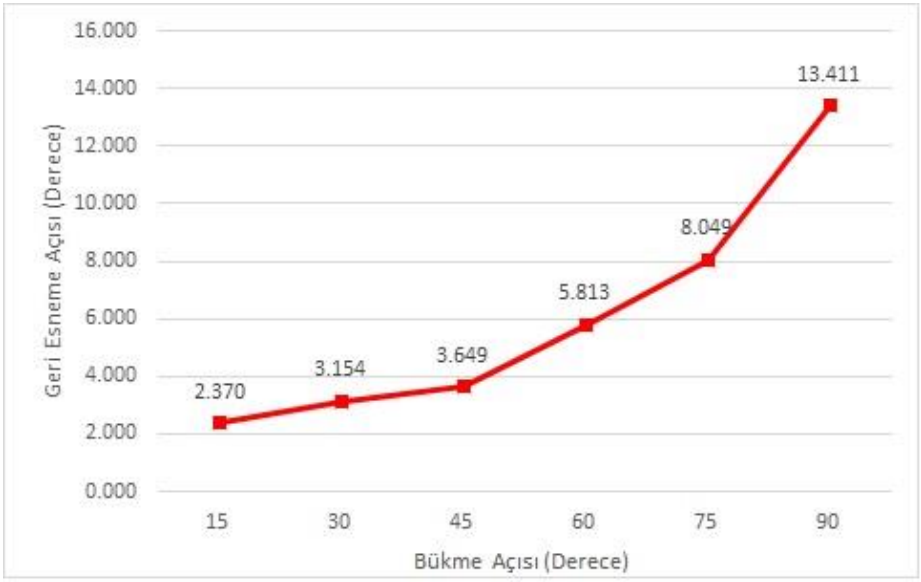
T2 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların 75° ve 90° bükme açılarındaki testlerinde ise dış taraftaki alüminyum sac levhalarda yırtılmalar oluşmuştur. Yırtılmanın sebebi olarak, 0.6 mm kalınlığındaki alüminyum sac malzemenin çekme dayanımının bükme işlemi esnasında kesitte oluşan çekme gerilme değerinden düşük olduğu söylenebilir. 75° ve 90° bükülen numunelerde oluşan yırtılmalar Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. 75° ve 90° bükülen numunelerde oluşan yırtılmalar

5.1.4. Sandviç Kompozit Levhalarda Farklı Seride Alüminyum Kullanılmasının Geri Esnemeye Etkisi

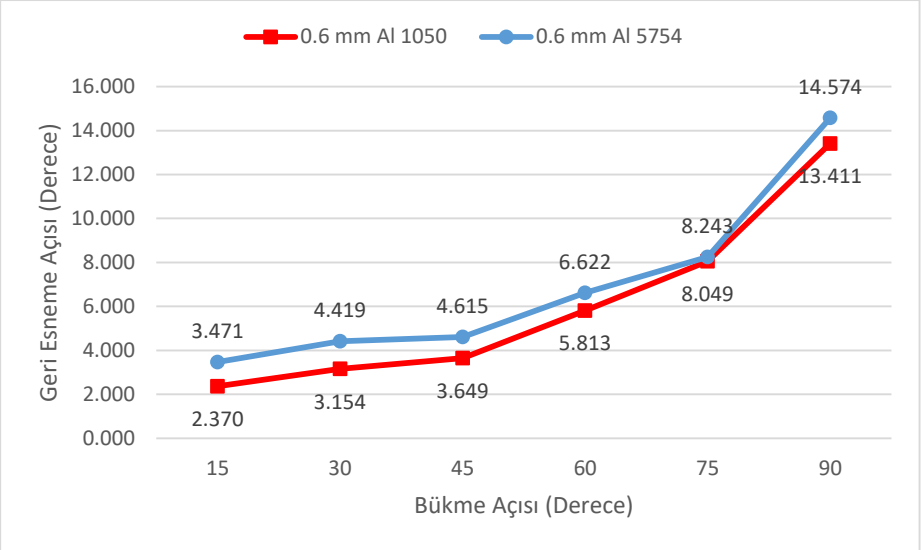
0.6 mm Al-1050-H14 ve 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında (15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) şekillendirilmesiyle oluşan geri esneme sonuçları Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. 0.6 mm Al 1050 ve 0.15 mm karbon elyaf plakayla hazırlanan sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarındaki geri esnemeleri

Şekil 5.11 incelendiğinde, 0.6 mm Al-1050-H14 ve 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında şekillendirilmesi neticesinde en az geri esneme davranışının 2.370° ile 15° bükme açısında olduğu görülürken, en fazla geri esnemenin 13.411° ile 90° bükme açısında olduğu belirlenmiştir. Bükme işlemi sonucunda, bükme açısının artması ile bu kombinasyondaki sandviç kompozit malzemede meydana gelen geri esneme miktarının arttığı tespit edilmiştir.

0.15 mm karbon elyaf plaka ile iki farklı alüminyum serisinden (Al 1050 ve Al 5754) oluşturulan sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarındaki geri esneme sonuçları Şekil 5.12'de karşılaştırılmıştır.

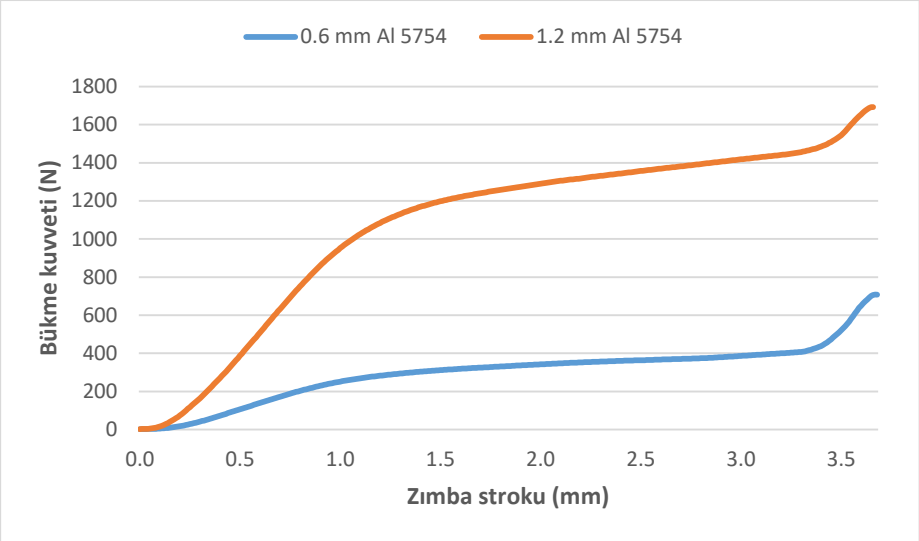


Şekil 5.12. Farklı serilerde alüminyumun kullanılan sandviç kompozit levhalarda geri esneme davranışının karşılaştırılması

Şekil 5.12 incelendiğinde, 0.6 mm Al 5754 sac levha kullanılan sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme miktarının tüm bükme açılarında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

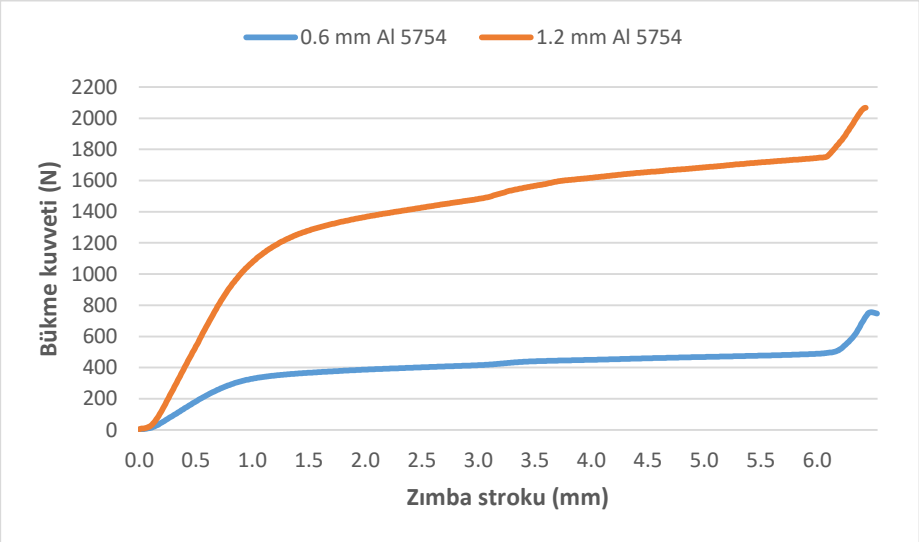
5.2. Sandviç Kompozit Levhaların Şekillendirilmesinde Bükme Kuvveti-Zımba Strok Eğrileri

Sandviç kompozit levhaların ara yüzeyinde 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakalar kullanılırken, dış yüzeyinde ise iki farklı kalınlıkta (0.6 ve 1.2 mm) Al-5754-H22 kullanılmıştır. Üretilen sandviç kompozit levhalar 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açılarında şekillendirilmiştir. Farklı kalınlıkta Al-5754 kullanılan sandviç kompozit levhaların şekillendirilmesinde bükme kuvveti-zımba strok eğrileri gösterilmiştir.



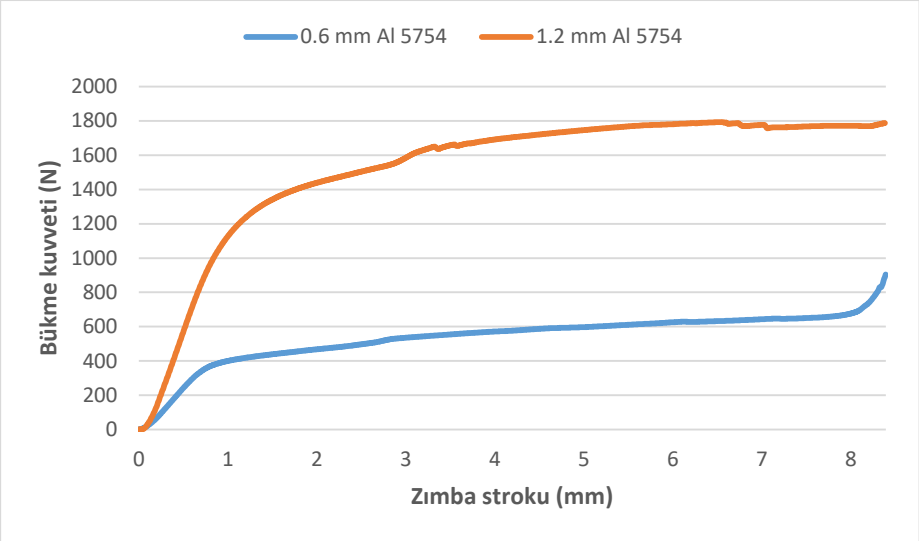
Şekil 5.13. Farklı kalınlıkta Al-5754 kullanılan sandviç kompozit levhaların 15° bükme açısındaki bükme kuvvetleri

Şekil 5.13 incelendiğinde, 15°'lik bükme işleminde 0.6 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ortalama bükme kuvveti 708 N iken, 1.2 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ise 1692 N olarak ölçülmüştür.



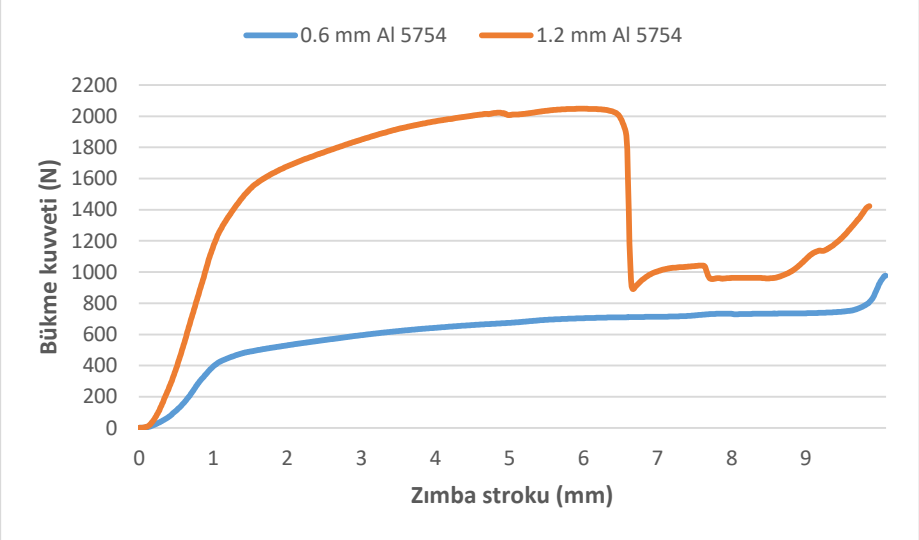
Şekil 5.14. Farklı kalınlıkta Al-5754 kullanılan sandviç kompozit levhaların 30° bükme açısındaki bükme kuvvetleri

Şekil 5.14 incelendiğinde, 30°'lik bükme işleminde 0.6 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ortalama bükme kuvveti 747 N iken, 1.2 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ise 2066 N olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.15. Farklı kalınlıkta Al-5754 kullanılan sandviç kompozit levhaların 45° bükme açısındaki bükme kuvvetleri

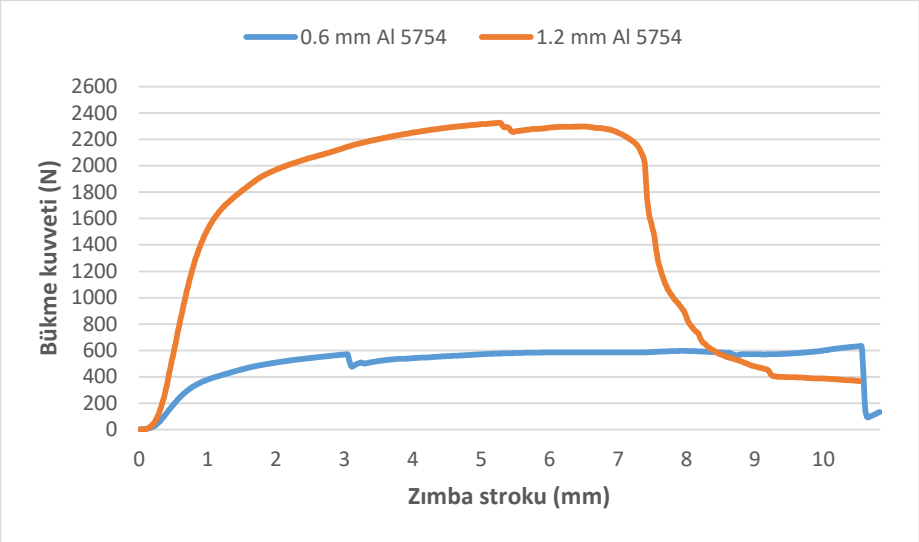
Şekil 5.15 incelendiğinde, 45°'lik bükme işleminde 0.6 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ortalama bükme kuvveti 904 N iken, 1.2 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ise 1787 N olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.16. Farklı kalınlıkta Al-5754 kullanılan sandviç kompozit levhaların 60° bükme açısındaki bükme kuvvetleri

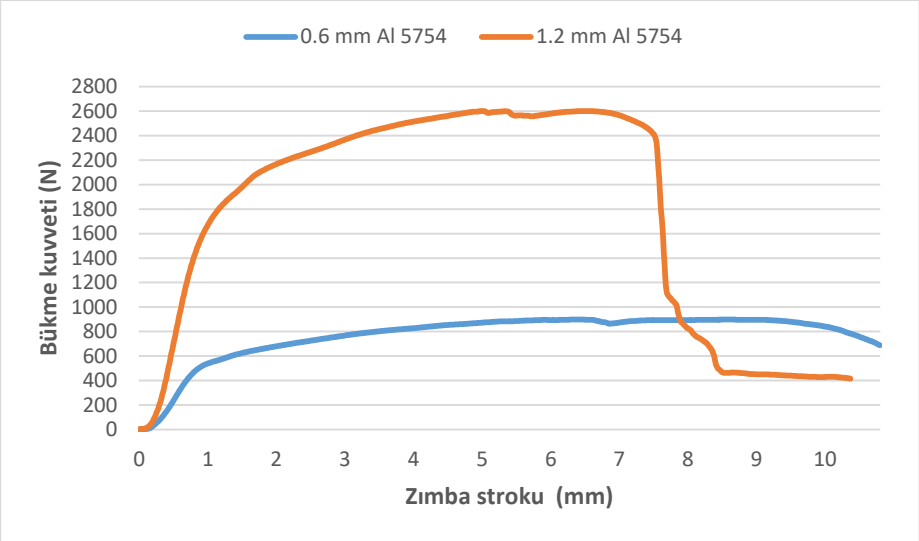
Şekil 5.16 incelendiğinde, 60°'lik bükme işleminde 0.6 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ortalama bükme kuvveti 976 N iken, 1.2 mm Al-5754-H22

kullanılan sandviç kompozit levhalarda ise yapışma yüzeyleri ayrıldığı için bükme kuvvetinde 2047 N'dan sonra azalma görülmüştür.



Şekil 5.17. Farklı kalınlıkta Al-5754 kullanılan sandviç kompozit levhaların 75° bükme açısındaki bükme kuvvetleri

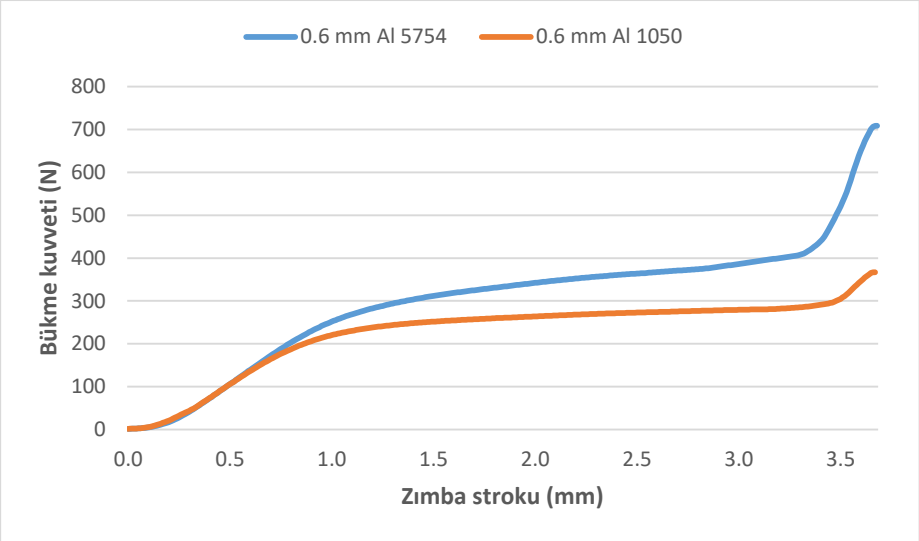
Şekil 5.17 incelendiğinde, 75°'lik bükme işleminde 0.6 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda yapışma yüzeyleri ayrıldığı için bükme kuvvetinde 633 N'dan sonra azalma görülürken, 1.2 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ise numunelerin dış yüzeyindeki alüminyumlarda yırtılma meydana geldiği için bükme kuvvetinde 2326 N'dan sonra azalma görülmüştür.



Şekil 5.18. Farklı kalınlıkta Al-5754 kullanılan sandviç kompozit levhaların 90° bükme açısındaki bükme kuvvetleri

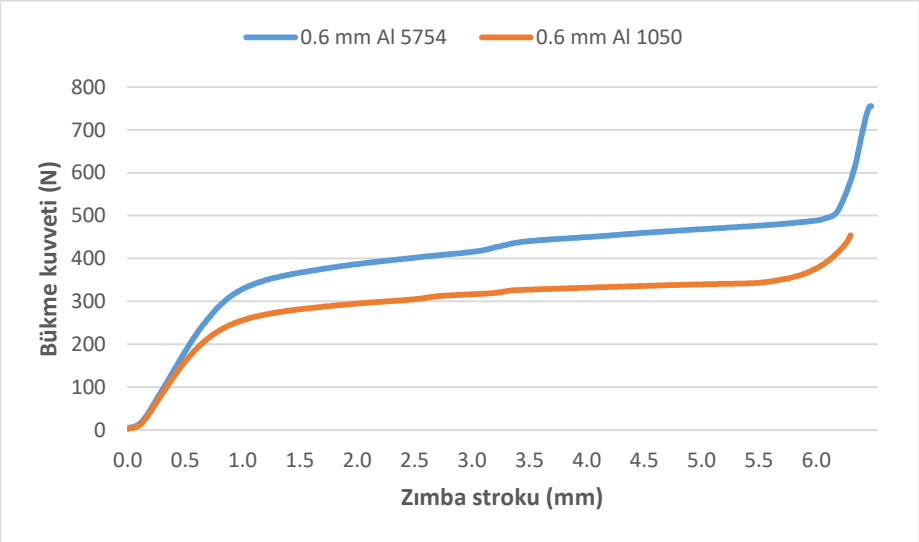
Şekil 5.18 incelendiğinde, 90°'lik bükme işleminde 0.6 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ortalama bükme kuvveti 897 N iken, 1.2 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ise numunelerin dış yüzeyindeki alüminyumlarda yırtılma meydana geldiği için bükme kuvvetinde 2600 N'dan sonra azalma görülmüştür.

Sandviç kompozit levhaların ara yüzeyinde 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakalar kullanılırken, dış yüzeyinde ise 0.6 kalınlığında iki farklı alüminyum serisi (Al-5754-H22 ve Al-1050-H14) kullanılmıştır. Üretilen sandviç kompozit levhalar 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açılarında şekillendirilmiştir. Farklı serilerde alüminyum kullanılan sandviç kompozit levhaların şekillendirilmesinde bükme kuvveti-zımba strok eğrileri gösterilmiştir.



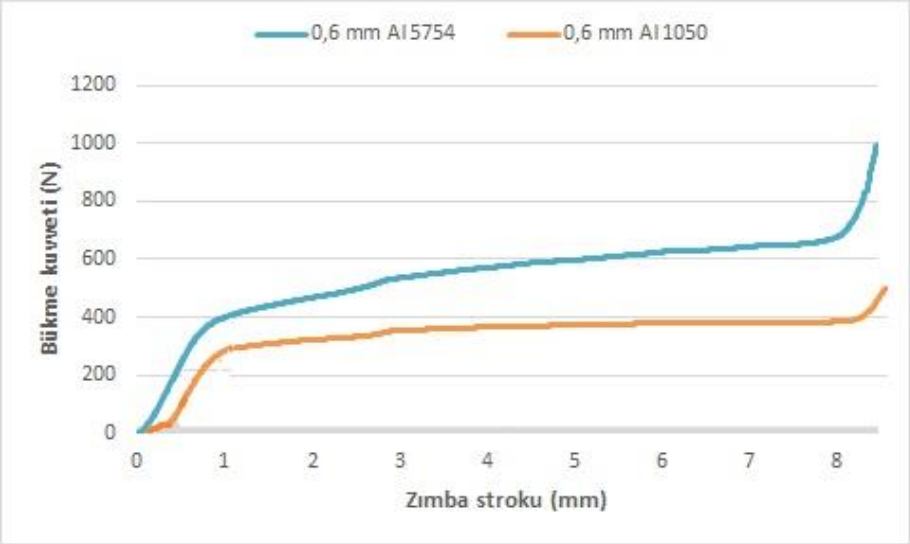
Şekil 5.19. Farklı serilerde alüminyum kullanılan sandviç kompozit levhaların 15° bükme açısındaki bükme kuvvetleri

Şekil 5.19 incelendiğinde, 15°'lik bükme işleminde 0.6 mm Al-1050-H14 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ortalama bükme kuvveti 366 N iken, 0.6 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ise 708 N olarak ölçülmüştür.



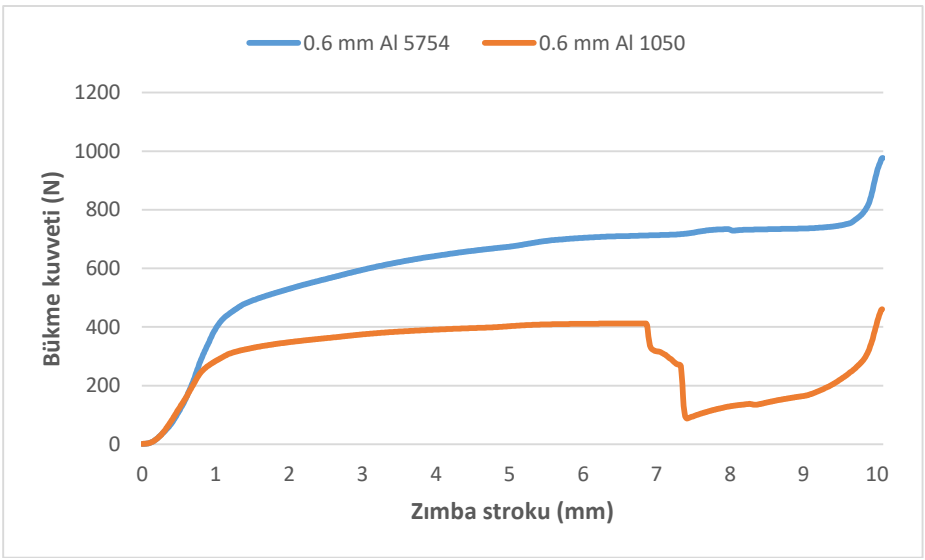
Şekil 5.20. Farklı serilerde alüminyum kullanılan sandviç kompozit levhaların 30° bükme açısındaki bükme kuvvetleri

Şekil 5.20 incelendiğinde, 30°'lik bükme işleminde 0.6 mm Al-1050-H14 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ortalama bükme kuvveti 454 N iken, 0.6 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ise 755 N olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.21. Farklı serilerde alüminyum kullanılan sandviç kompozit levhaların 45° bükme açısındaki bükme kuvvetleri

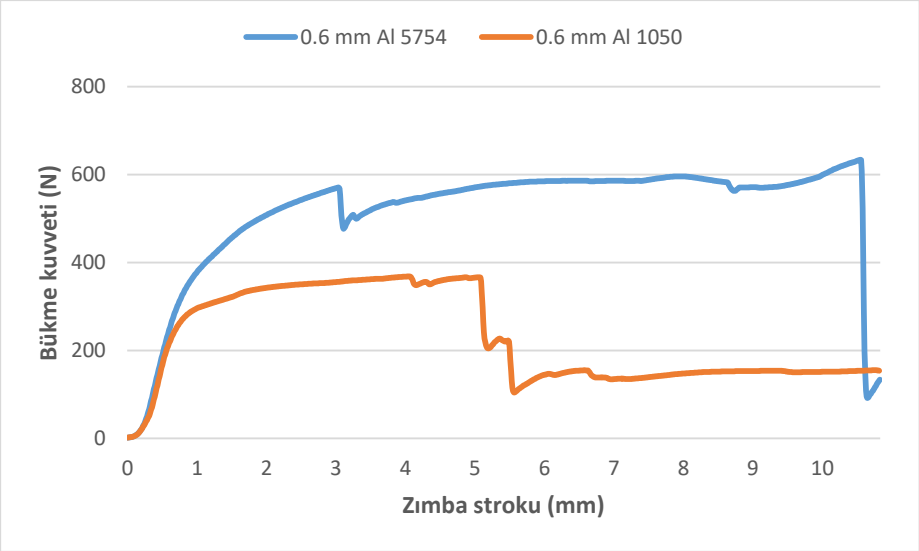
Şekil 5.21 incelendiğinde, 45°'lik bükme işleminde 0.6 mm Al-1050-H14 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ortalama bükme kuvveti 499 N iken, 0.6 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ise 989 N olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.22. Farklı serilerde alüminyum kullanılan sandviç kompozit levhaların 60° bükme açısındaki bükme kuvvetleri

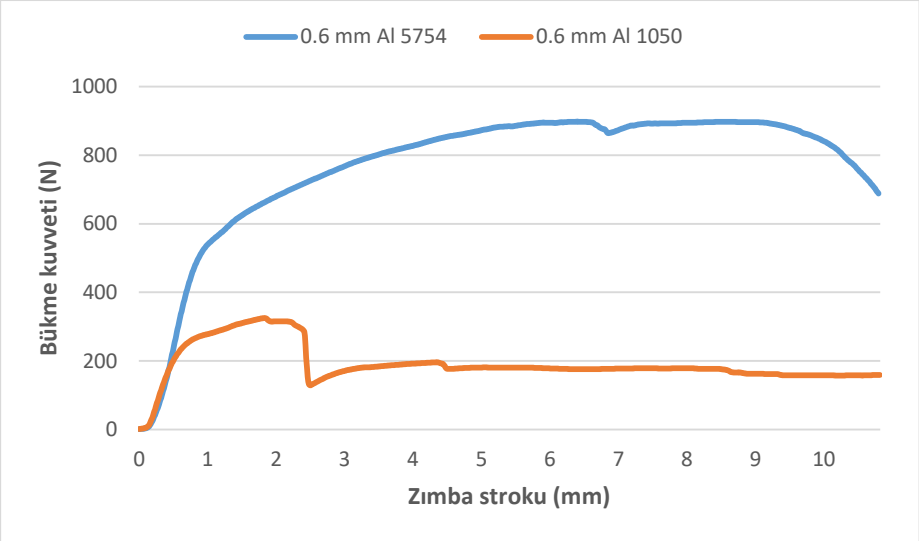
Şekil 5.22 incelendiğinde, 60°'lik bükme işleminde 0.6 mm Al-1050-H14 kullanılan sandviç kompozit levhalarda yapışma yüzeyleri ayrıldığı için bükme kuvvetinde 412

N’dan sonra azalma görülürken, 0.6 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ise ortalama bükme kuvveti 976 N olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.23. Farklı serilerde alüminyum kullanılan sandviç kompozit levhaların 75° bükme açısındaki bükme kuvvetleri

Şekil 5.23 incelendiğinde, 75°’lik bükme işleminde 0.6 mm Al-1050-H14 kullanılan sandviç kompozit levhalarda yapışma yüzeyleri ayrıldığı için bükme kuvvetinde 368 N’dan sonra azalma görülürken, 0.6 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ise yapışma yüzeyleri ayrıldığı için bükme kuvvetinde 633 N’dan sonra azalma görülmüştür.



Şekil 5.24. Farklı serilerde alüminyum kullanılan sandviç kompozit levhaların 90° bükme açısındaki bükme kuvvetleri

Şekil 5.24 incelendiğinde, 90°'lik bükme işleminde 0.6 mm Al-1050-H14 kullanılan sandviç kompozit levhalarda yapışma yüzeyleri ayrıldığı için bükme kuvvetinde 325 N'dan sonra azalma görülürken, 0.6 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda ise numunelerin dış yüzeyindeki alüminyumlarda az miktarda çatlama meydana geldiği için bükme kuvvetinde 897 N'dan sonra azalma görülmüştür.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Deneysel çalışmada, sandviç kompozit levhaların V bükme operasyonu neticesinde oluşan geri esneme davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada; alüminyum cinsi (Al-5754-H22 ve Al-1050-H14), alüminyum kalınlığı (0.6 ve 1.2 mm), karbon elyaf kalınlığı (0.15, 0.25, 0.35 ve 0.50 mm), bükme açısı (15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) ve bükme yönü (T1 ve T2) deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda bükme hızı 5 mm/s ve zımba uç yarıçapı R8 mm olarak sabit alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

0.6 mm Al-5754-H22 ve 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında şekillendirilmesi neticesinde, tüm bükme açılarında geri esneme olduğu görülmüştür. Ayrıca, bükme açısının artması ile bu kombinasyondaki sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme miktarının arttığı tespit edilmiştir.

1.2 mm Al-5754-H22 ve 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında şekillendirilmesi neticesinde, tüm bükme açılarında geri esneme olduğu görülmüştür. Ayrıca, bükme açısının artması ile bu kombinasyondaki sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme miktarının arttığı tespit edilmiştir. Bükme işlemi sonunda 15°, 30°, 45°, 60° bükme açılarındaki numunelerde yırtılma görülmezken, 75° ve 90° bükülen numunelerin dış yüzeyindeki alüminyumlarda yırtılmalar oluşmuştur.

0.15 mm karbon elyaf plaka ile iki farklı (0.6 ve 1.2 mm) kalınlıkta Al 5754 sac levhadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarındaki geri esneme davranışları karşılaştırılmıştır. 1.2 mm Al 5754 sac levha kullanılan sandviç kompozit levhalarda

meydana gelen geri esneme miktarının tüm bükme açılarında daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Farklı kalınlıklarda (0.15, 0.25, 0.35 ve 0.50 mm) karbon elyaf plakalardan üretilen sandviç kompozit levhaların 30° bükme açısında şekillendirilmesi neticesinde, karbon elyaf kalınlığının artmasıyla sandviç kompozit malzemede meydana gelen geri esneme miktarının azaldığı görülmüştür.

Sandviç kompozit levhaların farklı bükme yönlerinde (T1 ve T2) şekillendirilmesi neticesinde, her iki bükme yönünde şekillendirilen tüm sandviç kompozit levhalarda geri esneme meydana gelmiştir. T1 ve T2 bükme yönündeki sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme değerlerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, T1 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların 75° ve 90° bükme açılarındaki testlerinde alüminyum ve karbon elyaf plakalar arasında açılmalar görülmüştür. T2 bükme yönündeki sandviç kompozit levhaların 75° ve 90° bükme açılarındaki testlerinde ise alüminyum ve karbon elyaf plakalar arasında yırtılmalar oluşmuştur.

0.6 mm Al-1050-H14 ve 0.15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında (15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) şekillendirilmesi neticesinde, tüm bükme açılarında geri esneme olduğu görülmüştür. Ayrıca, bükme açısının artması ile bu kombinasyondaki sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme miktarının arttığı tespit edilmiştir.

0.15 mm karbon elyaf plaka ile iki farklı alüminyum serisinden (Al 1050 ve Al 5754) oluşturulan sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarındaki geri esneme davranışları karşılaştırılmıştır. 0.6 mm Al 5754 sac levha kullanılan sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri esneme miktarı tüm bükme açılarında daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Farklı kalınlıkta (0.6 ve 1.2 mm) Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında (15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) şekillendirilmesi esnasında, 1.2 mm Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda daha fazla bükme kuvveti gerektiği tespit edilmiştir.

Eşit kalınlıkta Al-5754-H22 ve Al-1050-H14 kullanılarak üretilen sandviç kompozit levhaların farklı bükme açılarında (15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) şekillendirilmesi

esnasında, Al-5754-H22 kullanılan sandviç kompozit levhalarda daha fazla bükme kuvveti gerektiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Kim, S. Y., Choi, W. J., & Park, S. Y. (2007). Spring-back characteristics of fiber metal laminate (GLARE) in brake forming process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *32*(5-6), 445-451.

Uriya, Y., Ikeuch, K., & Yanagimoto, J. (2014). Cold and warm V-bending test for carbon-fiber-reinforced plastic sheet. *Procedia Engineering*, *81*, 1633-1638.

Tekaslan, Ö. (1998). *Bükme Kalıplarında Farklı Kalınlık ve Özellikteki Sac Malzemelerin Geri Esneme Durumlarının İncelenmesi Üzerine Deneysel Çalışma.* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Han, P., Butterfield, J., Price, M., Murphy, A., & Mullan, M. (2011). *Part Form Prediction Methods for Carbon Fibre Reinforced Thermoplastic Composite Materials*. In Proceedings of the18th International Conference on Composite Materials (ICCM-18). Jeju Island, Korea.

Parsa, M. H., Mohammadi, S. V., & Aghchai, A. J. (2014). Al3105/polypropylene/Al3105 laminates springback in V-die bending. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *75*(5-8), 849-860.

Choi, S. W., Lee, M. S., & Kang, C. G. (2016). Effect of process parameters and laminating methods on spring-back in V-bending of CFRP/CR340 hybrid composites. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, *17*(3), 395-400.

Hahn, M., Weddeling, C., Khalifa, N. B., & Shabaninejad, A. (2016). *Springback Behavior of Carbon-Fiber-Reinforced Plastic Laminates with Metal Cover Layers in V-Die Bending*. In ASME 2016 11th International Manufacturing Science and Engineering Conference.

Padovec, Z., Růžička, M., Dvořák, M., & Chlup, H. (2013). *Experimental Verification of Springback Phenomenon Analysis by Fbg Sensors and Image Processing Methods in Ac/Pps Composite.* The 19th International Conference on Composite Materials.

Yanagimoto, J., & Ikeuchi, K. (2012). Sheet forming process of carbon fiber reinforced plastics for lightweight parts. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, *61*(1), 247-250.

Mahzan, A. B. C., Malingam, S. D., Selamat, M. Z. B., & Said, R. B. (2014). A study on the mechanical and forming performance of oil palm fiber reinforced polypropylene composite. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, *8*(4), 141-147.

Ötü, R., & Demirci, H. I. (2012). *60º'lik V Bükme Kalıbında AA5754 ve AL1050 Sac Malzemelerin Farklı Bükme Metotları Kullanılarak Geri Esneme Miktarlarının Tespiti*. In International Iron & Steel Symposium.

Ötü, R., & Demirci, H. İ. (2013). Farklı bükme yöntemleri uygulanarak v bükme kalıplarında AA 5754-O sac malzeme ile elde edilen numunelerin geri esneme miktarının tespiti. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *10*(3), 27-42.

Şahin, A. (2011). *Kompozit Metal Köpük Malzemelerin Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarının Kesme Mukavemetinin İncelenmesi.* (Doktora Tezi). Trakya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Demirhan, P. A. (2016). *Fonksiyonel Derecelendirilmiş Sandviç Kiriş ve Plakların Dört Değişkenli Kayma Deformasyon Teorisi ile Eğilme ve Titreşim Analizi.* (Doktora Tezi). Trakya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Şahin, Y. (2006). *Kompozit Malzemelere Giriş*. Ankara: Seçkin.

Jones, R. M. (1999). *Mechanics of composite materials*. New York: Taylor & Francis.

Aghchai, A. J., Abolghasemi, A., Moradkhani, B., & Tajik, M. (2016). Experimental, theoretical and numerical investigation of springback behavior of Al/composite/Al sandwich sheet. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, *19*(6), 659-678.

Davies, J. M. (Ed.) (2008). *Lightweight sandwich construction*. Cib Working Commission.

Huang, Z., Sugiyama, S., & Yanagimoto, J. (2013). Hybrid joining process for carbon fiber reinforced thermosetting plastic and metallic thin sheets by chemical bonding and plastic deformation. *Journal of Materials Processing Technology*, *213*(11), 1864-1874.

Aslan, Y., & Karaağaç, İ. (2014). V bükmede geri esneme davranışları. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, *2*(3), 255-263.

Marciniak, Z., Duncan, J.L. & Hu, S.J. (2002). *Mechanics of Sheet Metal Forming* (2. Baskı). Butterworth-Heinemann: Great Britain.

Ataşimşek, S. (1979). *Sac Kalıpları*. Bursa.

Ostergaart, D.E. (1977). *Temel Kalıp Yapımı*, Ankara: YTÖO.

Özdemir, M. (2015). *1.5415 (16Mo3) Sac Malzemenin Geri-İleri Esneme Miktarı ve Deformasyon İlişkisinin Deneysel ve Matematiksel Olarak İncelenmesi*. (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Ling, Y. E., Lee, H. P., & Cheok, B. T. (2005). Finite element analysis of springback in L-bending of sheet metal. *Journal of Materials Processing Technology*, *168*(2), 296-302.

Arslan, B. (2004). *Geri Esnemenin Sac Parçaların Biçim Tamlığı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi Uygulamaları ile Değerlendirilmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Uzun, İ., & Erişkin, Y. (1997). *Sac Metal Kalıpçılığı*. Ankara: Milli Eğitim Yayınları.

Tiryakioğlu, M.F. (2013). *AA 2024 ve AL 5754 Sac Metal Malzemelerde Bükme Esnasında Oluşan Geri Esneme Miktarının Deneysel Verilerle Matematiksel Olarak Modellenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yenice, M. (2006). *Bükme ile Şekillendirilen Saclarda Geri Yaylanma Davranışının İncelenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Livatyali, H., & Altan, T. (2001). Prediction and elimination of springback in straight flanging using computer aided design methods. *Journal of Materials Processing Technology*, *117*(1-2), 262-268.

Çapan, L. (1999). *Metallere Plastik Şekil Verme*. İstanbul: Çağlayan Kitabevi.

Tekaslan, Ö., Şeker, U., & Özdemir, A. (2006). Determining springback amount of steel sheet metal has 0.5 mm thickness in bending dies. *Materials & design*, *27*(3), 251-258.

Bruni, C., Celeghini, M., Geiger, M., & Gabrielli, F. (2007). A study of techniques in the evaluation of springback and residual stress in hydroforming. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *33*(9-10), 929-939.

Tekaslan, Ö., Gerger, N., & Şeker, U. (2007). Determination of spring-back of stainless steel sheet metal in "V" bending dies. *Materials & Design*, *29*(5), 1043-1050.

Kim, H. S., & Koç, M. (2008). Numerical investigations on springback characteristics of aluminum sheet metal alloys in warm forming conditions. *Journal of Materials Processing Technology*, *204*(1-3), 370-383.

Reyes, G., & Kang, H. (2007). Mechanical behavior of lightweight thermoplastic fiber–metal laminates. *Journal of Materials Processing Technology*, *186*(1-3), 284-290.

Mosse, L., Compston, P., Cantwell, W. J., Cardew-Hall, M., & Kalyanasundaram, S. (2005). Stamp forming of polypropylene based fibre–metal laminates: the effect of process variables on formability. *Journal of Materials Processing Technology*, *172*(2), 163-168.

Demirhan, P. A., & Taşkın, V. (2017). Levy solution for bending analysis of functionally graded sandwich plates based on four variable plate theory. *Composite Structures*, *177*, 80-95.

Demirhan, P. A., & Taşkın, V. (2019). Static Analysis of Simply Supported Functionally Graded Sandwich Plates by Using Four Variable Plate Theory. *Teknik Dergi*, *30*(2), 8987-9007.

Sarzynski, M. D. (2003). *Carbon foam characterization: sandwich flexure, tensile and shear Response.* (Master of Science). Texas A&M University, Texas.

Gupta, N. (2003). *Characterization of syntactic foams and their sandwich composites: modeling and experimental approaches*. (Doctoral Thesis). Louisiana State University, Baton Rouge.

Njuguna, J. (Ed.). (2016). *Lightweight composite structures in transport: design, manufacturing, analysis and performance*. Cambridge: Woodhead publishing.

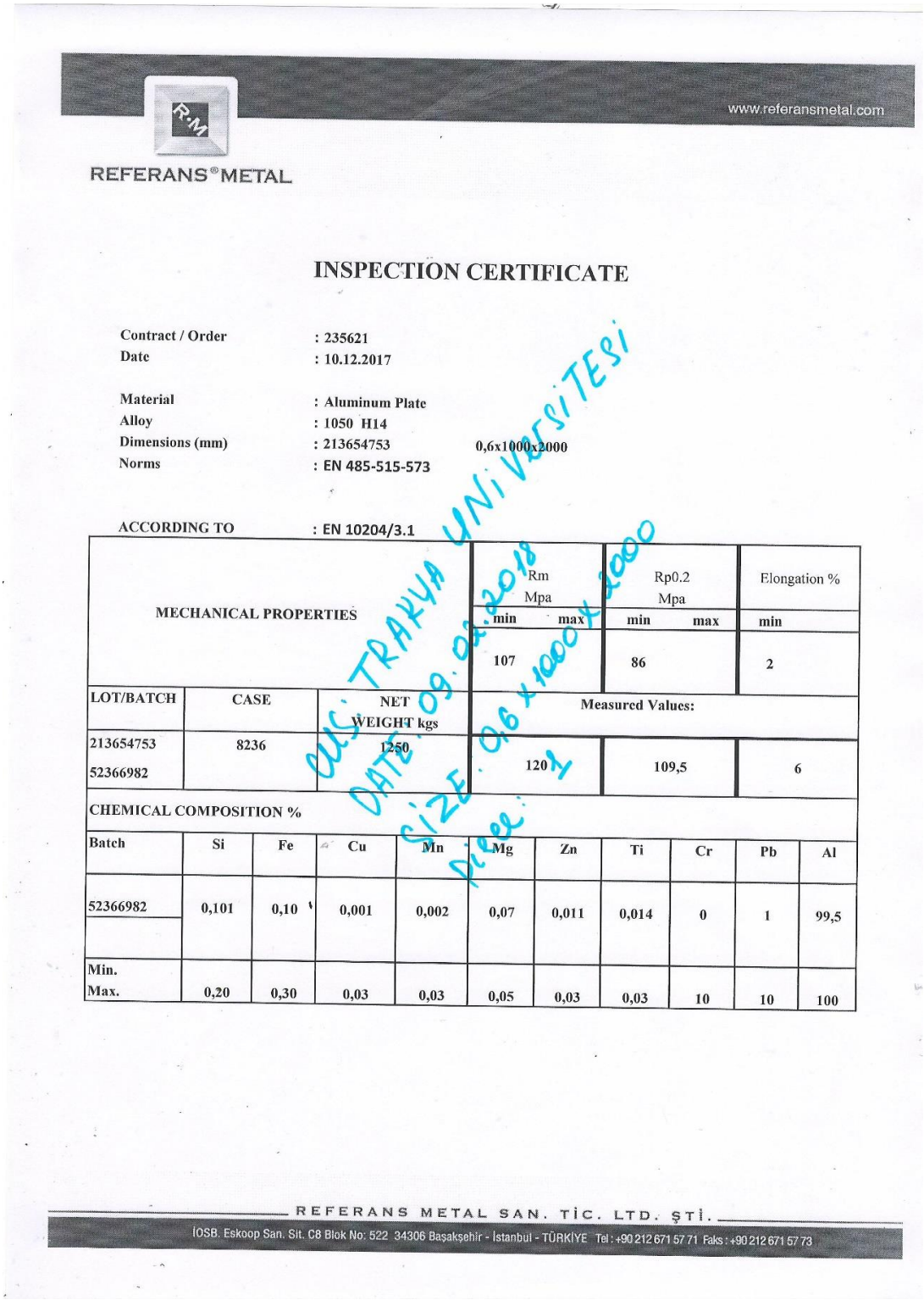
Taşkın, N. Ü., Taşkın, V., & Şahin, A. (2016). *Kompozit Metal Köpük Malzemelerin Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarının Kesme Dayanımının İncelenmesi.* 4th International Conference on Welding Technologies and Exhibition.

Taşkın, V., Taşkın, N. Ü., Demirhan, P. A., & Şahin, A. (2011). *Adhesive Joining of Composite Foam Materials.* 16th International Conference on Composite Structures.

Taşkın, N. Ü., & Sahin, A. (2018). Effect of Aging Time at High Temperature on the Shear Strength of Adhesively Bonded Aluminum Composite Foam Joints. *The Journal of Adhesion*, *95*(4), 308-324.

EKLER

Ek 1. Alüminyum sac malzeme sertifikaları



REFERANS®METAL

www.referansmetal.com

INSPECTION CERTIFICATE

Contract / Order : 235621
Date : 10.12.2017

Material : Aluminum Plate
Alloy : 1050 H14
Dimensions (mm) : 213654753 0,6x1000x2000
Norms : EN 485-515-573

ACCORDING TO : EN 10204/3.1

MECHANICAL PROPERTIES			Rm Mpa		Rp0.2 Mpa		Elongation %
			min	max	min	max	min
			107		86		2
LOT/BATCH	CASE	NET WEIGHT kgs	Measured Values:				
213654753 52366982	8236	1250	120		109,5		6

CHEMICAL COMPOSITION %

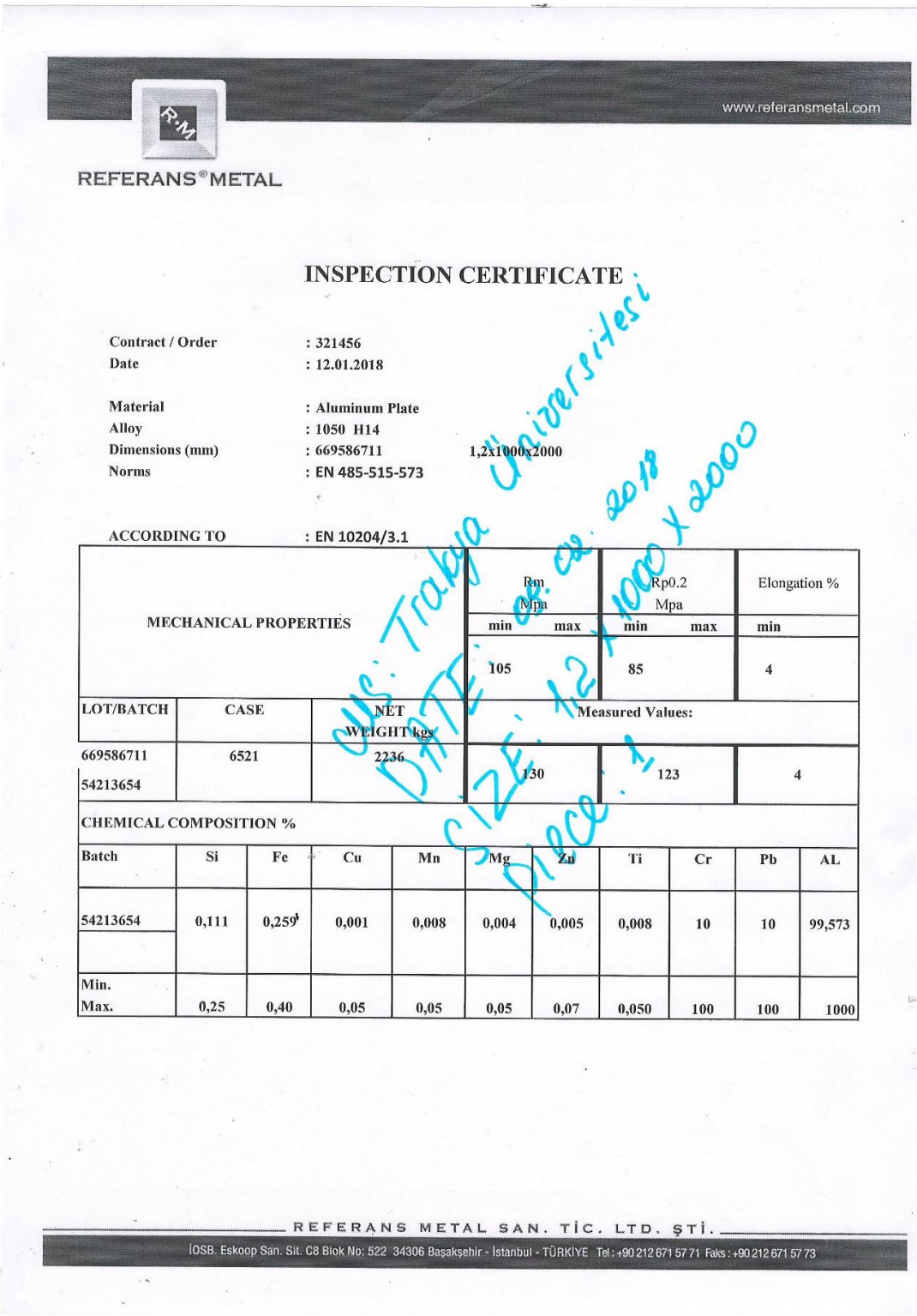
Batch	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Pb	Al
52366982	0,101	0,10	0,001	0,002	0,07	0,011	0,014	0	1	99,5
Min. Max.	0,20	0,30	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	10	10	100

OUS: TRAKYA UNİVERSİTESİ
DATE: 09.01.2018
SİZE: 0,6 x 1000 x 2000
Piece: 1

REFERANS METAL SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
İOSB. Eskoop San. Sit. C8 Blok No: 522 34306 Başakşehir - İstanbul - TÜRKİYE Tel: +90 212 671 57 71 Faks: +90 212 671 57 73

Resim 1.1. 0.6 mm kalınlığındaki Al-1050-H14'ün sertifikası

Ek 1. (devam) Alüminyum sac malzeme sertifikaları



www.referansmetal.com

REFERANS® METAL

INSPECTION CERTIFICATE

Contract / Order : 321456
Date : 12.01.2018

Material : Aluminum Plate
Alloy : 1050 H14
Dimensions (mm) : 669586711 1,2x1000x2000
Norms : EN 485-515-573

ACCORDING TO : EN 10204/3.1

MECHANICAL PROPERTIES	Rm Mpa		Rp0.2 Mpa		Elongation %
	min	max	min	max	min
	105		85		4

LOT/BATCH	CASE	NET WEIGHT kgs	Measured Values:		
669586711 54213654	6521	2236	130	123	4

CHEMICAL COMPOSITION %

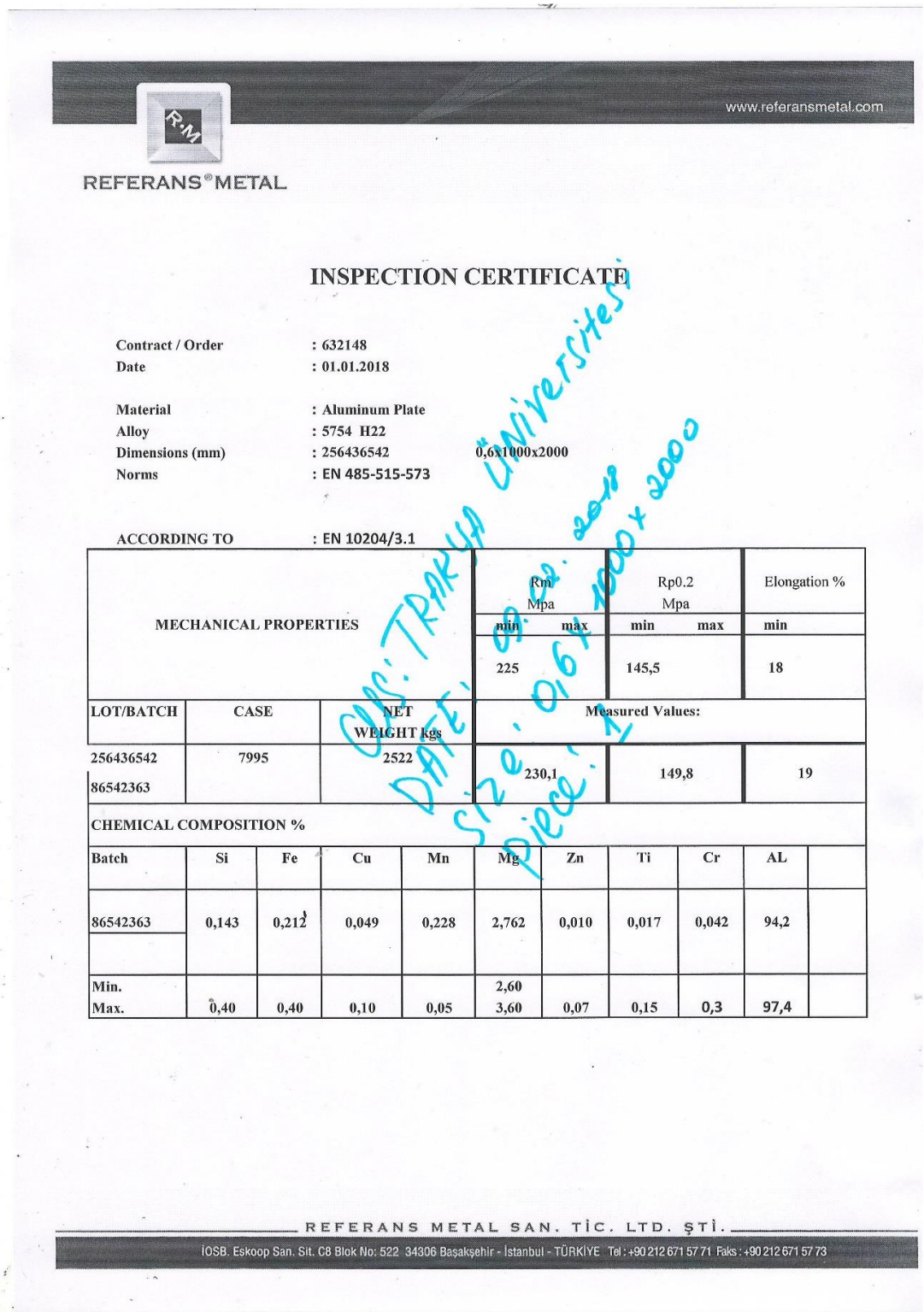
Batch	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Pb	AL
54213654	0,111	0,259	0,001	0,008	0,004	0,005	0,008	10	10	99,573
Min. Max.	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	0,07	0,050	100	100	1000

Ons: Trakya Üniversitesi
DATE: 08.08.2018
SIZE: 1,2 x 1000 x 2000
Piece: 1

REFERANS METAL SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
İOSB. Eskoop San. Sit. C8 Blok No: 522 34306 Başakşehir - İstanbul - TÜRKİYE Tel: +90 212 671 57 71 Faks: +90 212 671 57 73

Resim 1.2. 1.2 mm kalınlığındaki Al-1050-H14'ün sertifikası

Ek 1. (devam) Alüminyum sac malzeme sertifikaları



www.referansmetal.com

REFERANS®METAL

INSPECTION CERTIFICATE

Contract / Order : 632148
Date : 01.01.2018

Material : Aluminum Plate
Alloy : 5754 H22
Dimensions (mm) : 256436542 0,6x1000x2000
Norms : EN 485-515-573

ACCORDING TO : EN 10204/3.1

MECHANICAL PROPERTIES			Rm Mpa		Rp0.2 Mpa		Elongation %
			min	max	min	max	min
			225		145,5		18
LOT/BATCH	CASE	NET WEIGHT Kgs	Measured Values:				
256436542 86542363	7995	2522	230,1		149,8		19

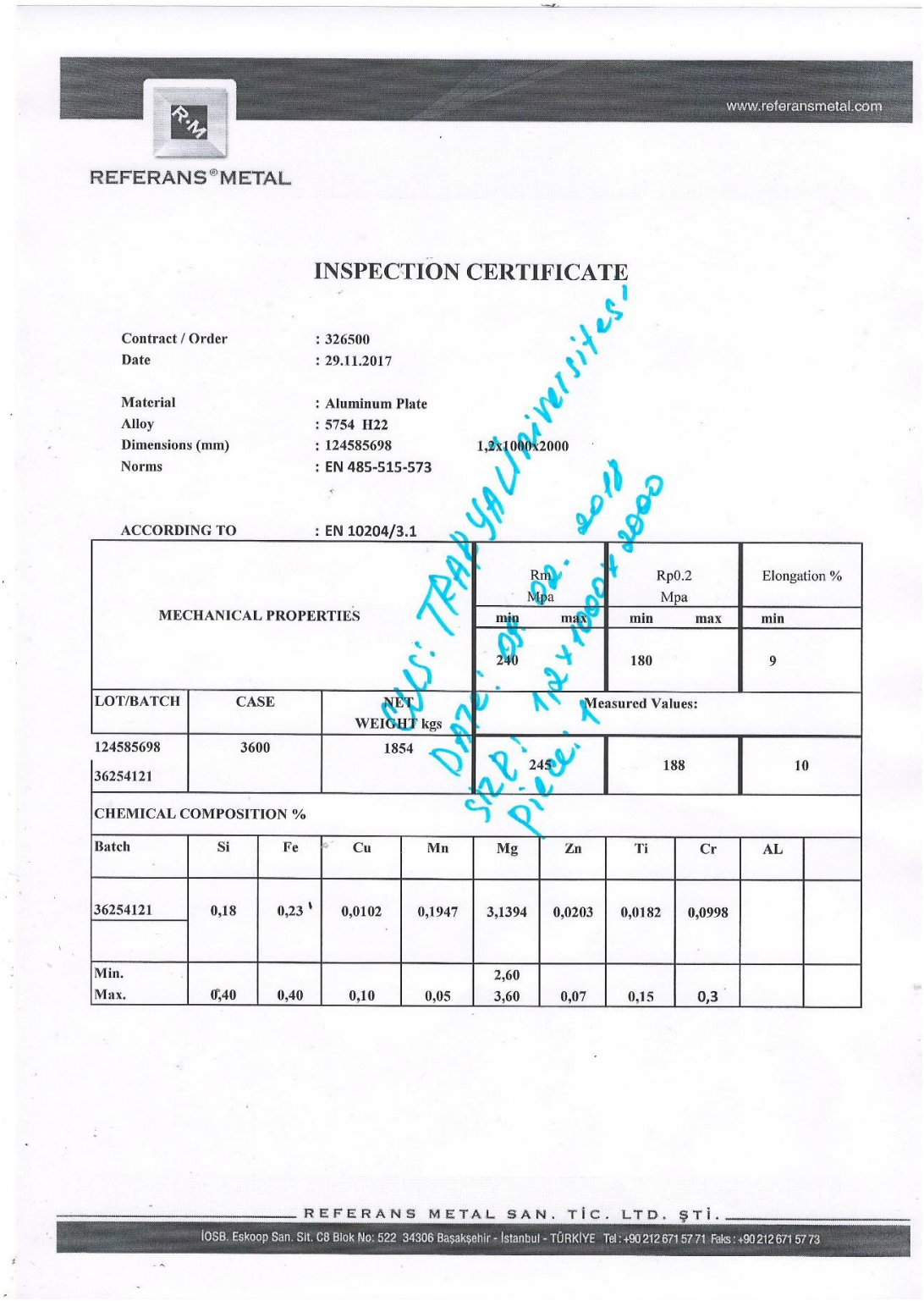
CHEMICAL COMPOSITION %

Batch	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	AL	
86542363	0,143	0,212	0,049	0,228	2,762	0,010	0,017	0,042	94,2	
Min.					2,60					
Max.	0,40	0,40	0,10	0,05	3,60	0,07	0,15	0,3	97,4	

REFERANS METAL SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
İOSB. Eskoop San. Sit. C8 Blok No: 522 34306 Başakşehir - İstanbul - TÜRKİYE Tel: +90 212 671 57 71 Faks: +90 212 671 57 73

Resim 1.3. 0.6 mm kalınlığındaki Al-5754-H22'ün sertifikası

Ek 1. (devam) Alüminyum sac malzeme sertifikaları



www.referansmetal.com

REFERANS®METAL

INSPECTION CERTIFICATE

Contract / Order : 326500
Date : 29.11.2017

Material : Aluminum Plate
Alloy : 5754 H22
Dimensions (mm) : 124585698 1,2x1000x2000
Norms : EN 485-515-573

ACCORDING TO : EN 10204/3.1

MECHANICAL PROPERTIES			Rm Mpa		Rp0.2 Mpa		Elongation %
			min	max	min	max	min
			240		180		9
LOT/BATCH	CASE	NET WEIGHT kgs	Measured Values:				
124585698 36254121	3600	1854	245		188		10

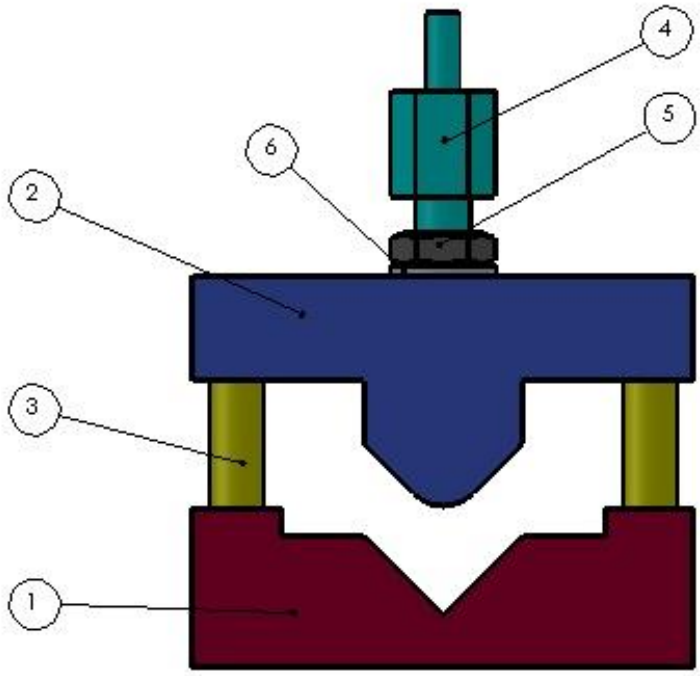
CHEMICAL COMPOSITION %										
Batch	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	AL	
36254121	0,18	0,23	0,0102	0,1947	3,1394	0,0203	0,0182	0,0998		
Min.					2,60					
Max.	0,40	0,40	0,10	0,05	3,60	0,07	0,15	0,3		

REFERANS METAL SAN. TİC. LTD. ŞTİ.

İOSB. Eskoop San. Sit. C8 Blok No: 522 34306 Başakşehir - İstanbul - TÜRKİYE Tel: +90 212 671 57 71 Faks: +90 212 671 57 73

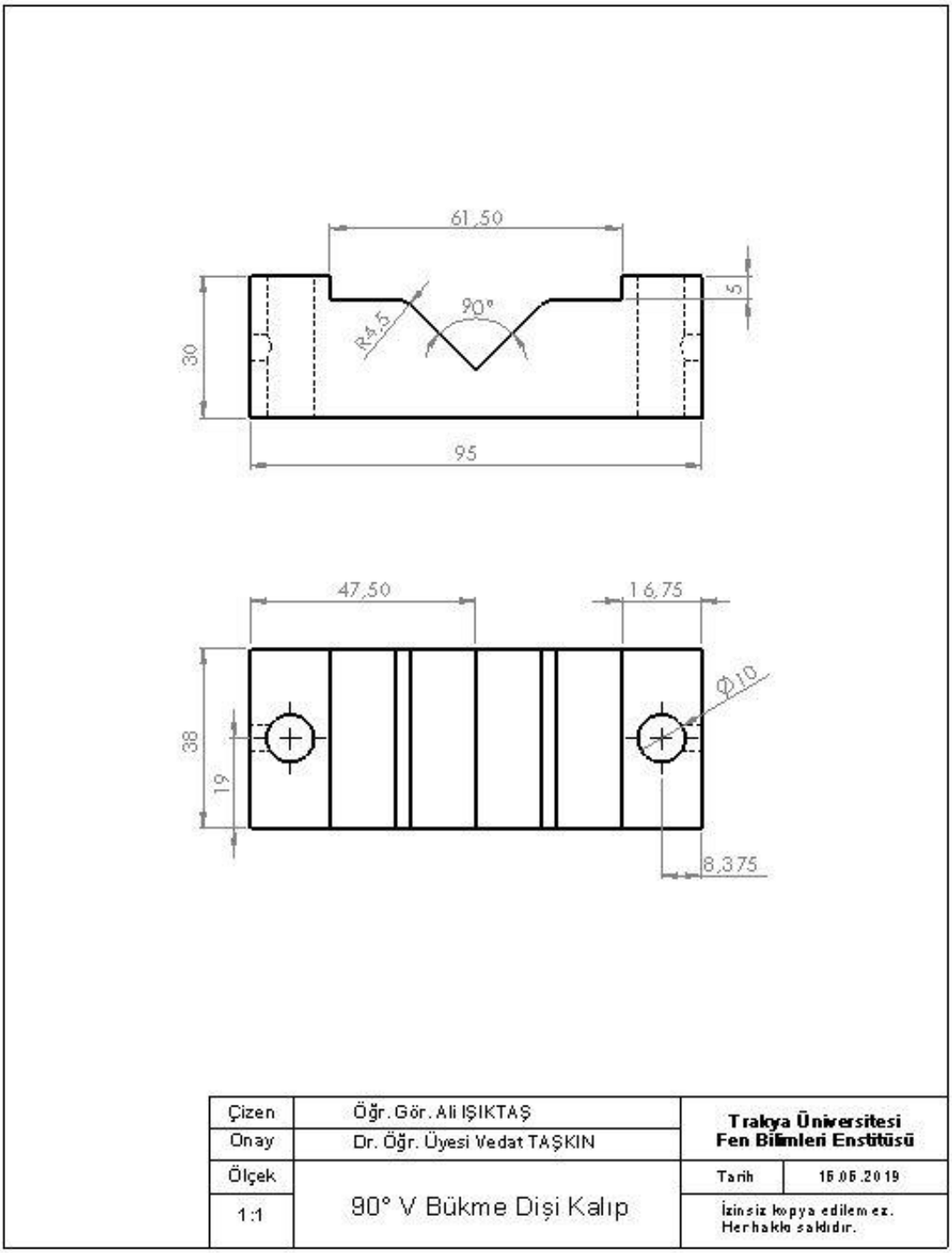
Resim 1.4. 1.2 mm kalınlığındaki Al-5754-H22'ün sertifikası

Ek 2. Bükme kalıbı ve elemanları



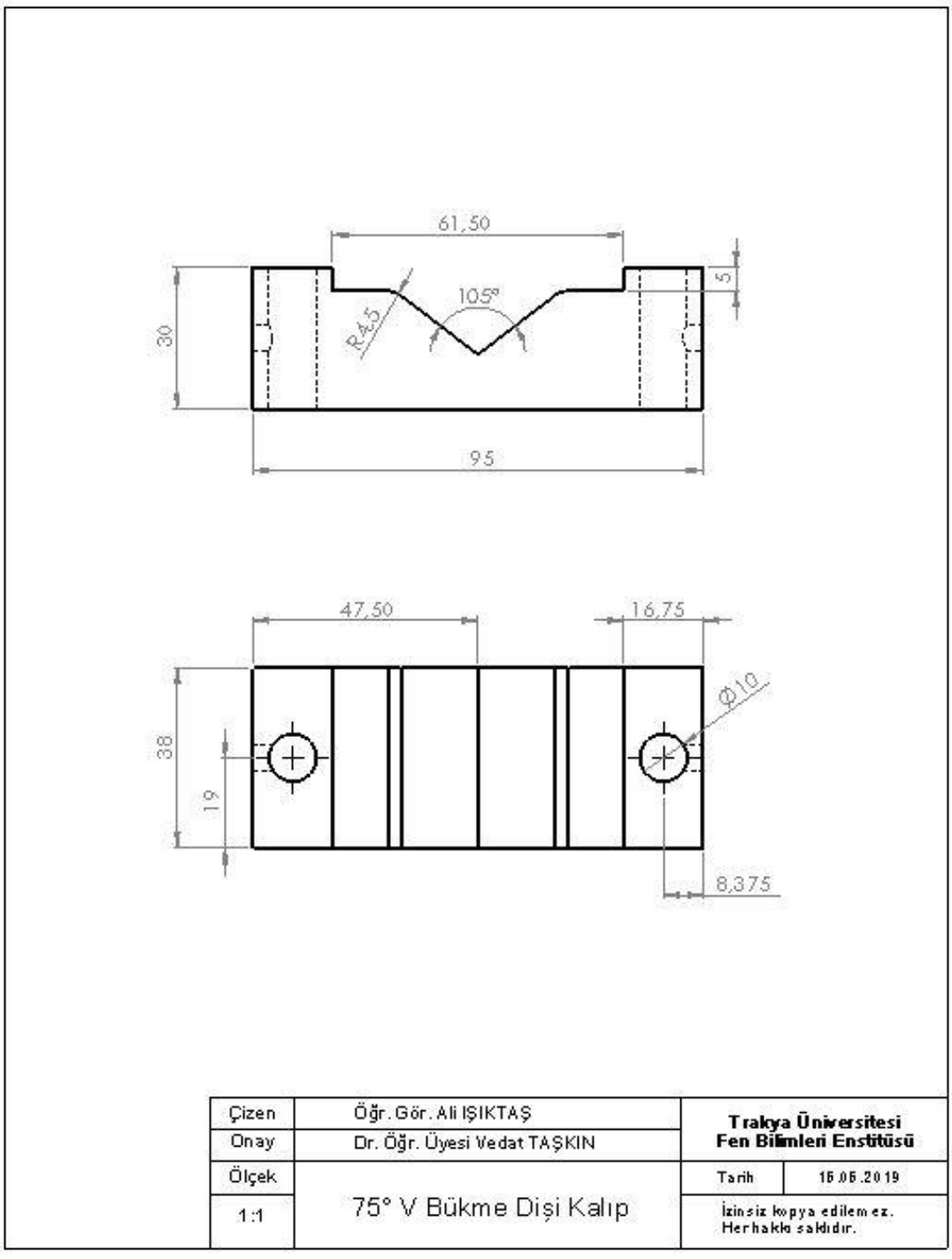
ELEMAN NO.	ELEMAN ADI
1	Dişi Kalıp
2	Erkek Kalıp
3	Kalıp Yataklama Mili
4	Erkek Kalıp Tutucu
5	M10 Somun
6	M10 Pul

Ek 2. (devam) Bükme kalıbı ve elemanları

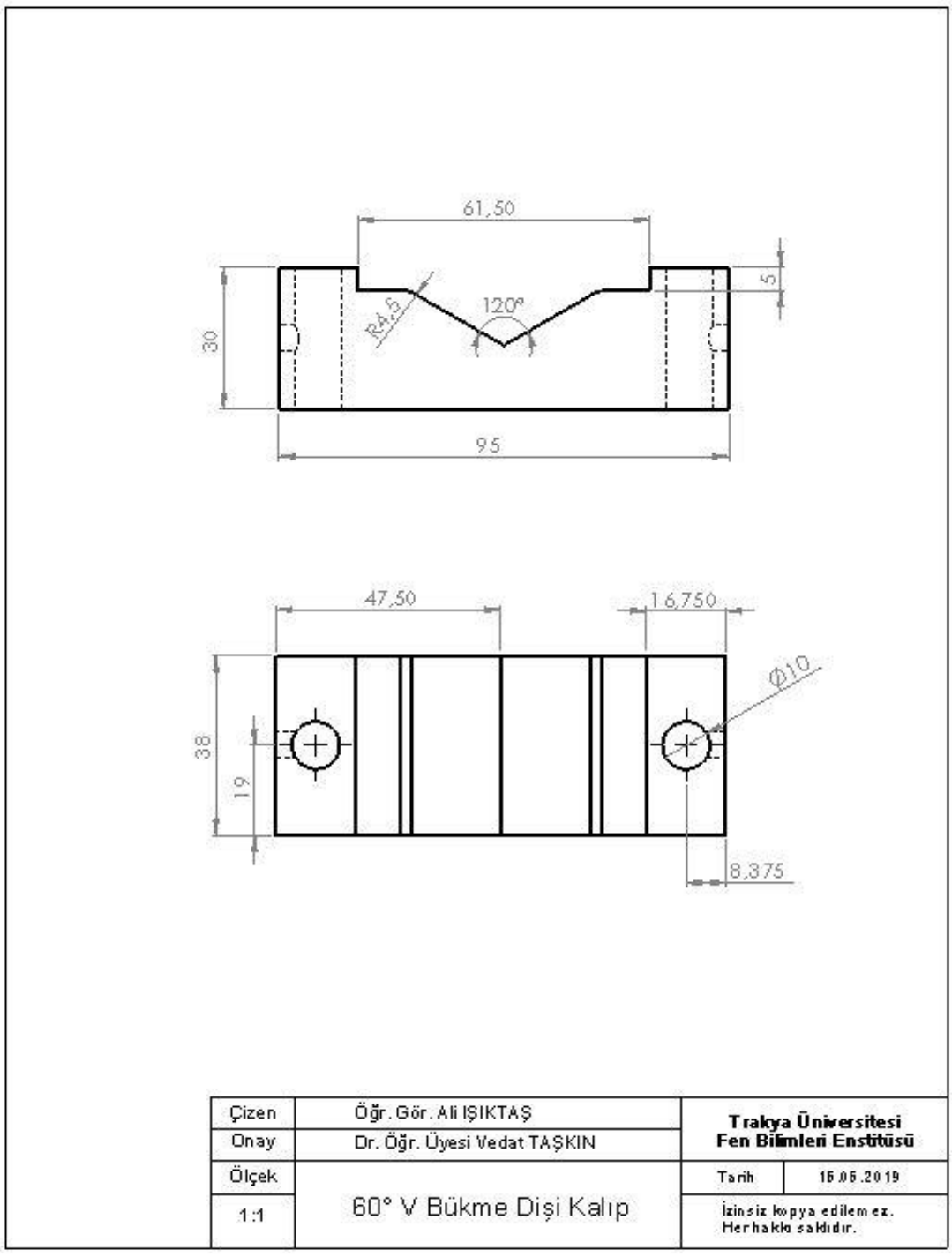


Çizen	Öğr. Gör. Ali IŞIKTAŞ	Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Onay	Dr. Öğr. Üyesi Vedat TAŞKIN	
Ölçek	90° V Bükme Dişi Kalıp	Tarih 15.05.2019
1:1		İzinsiz kopya edilemez. Her hakkı saklıdır.

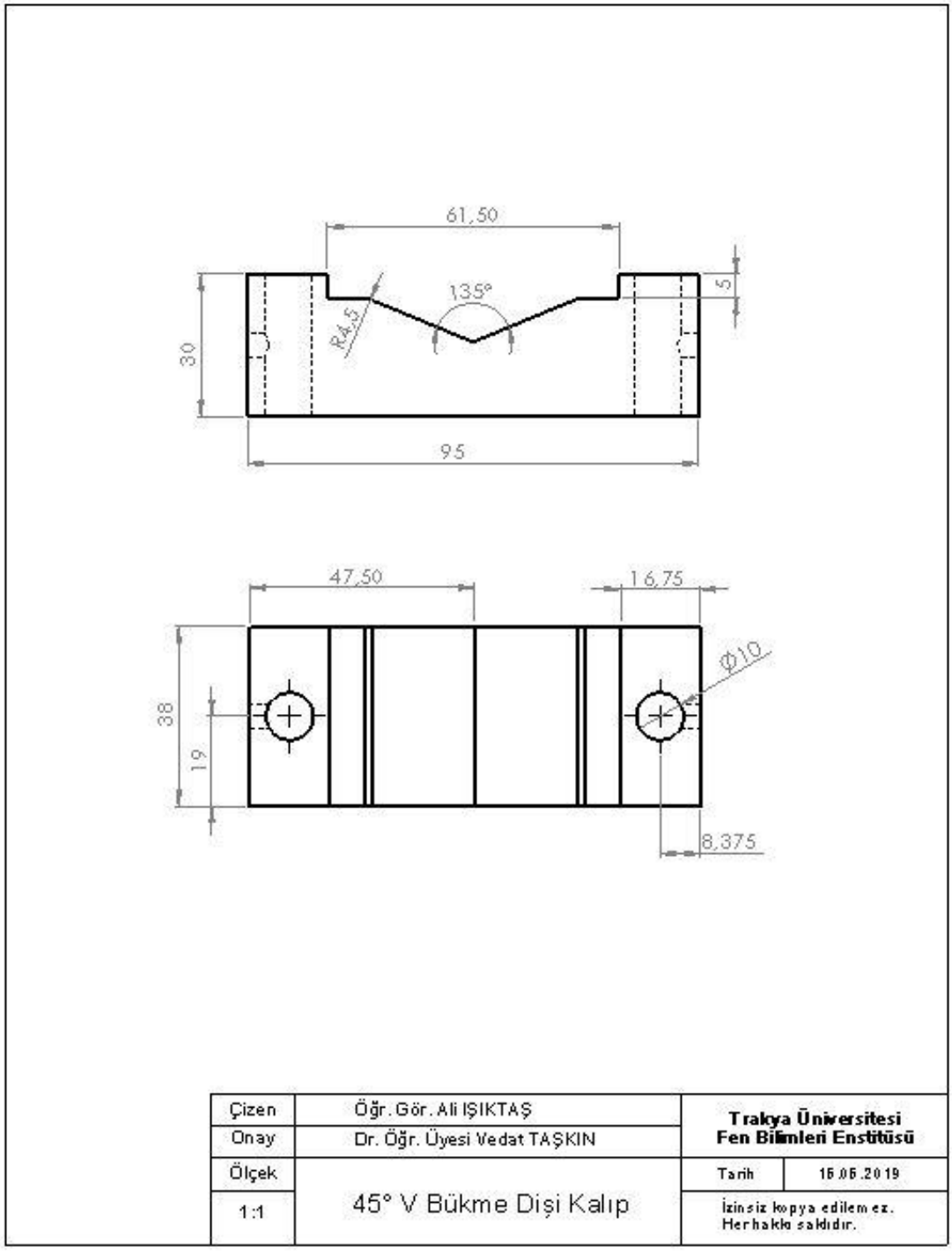
Ek 2. (devam) Bükme kalıbı ve elemanları



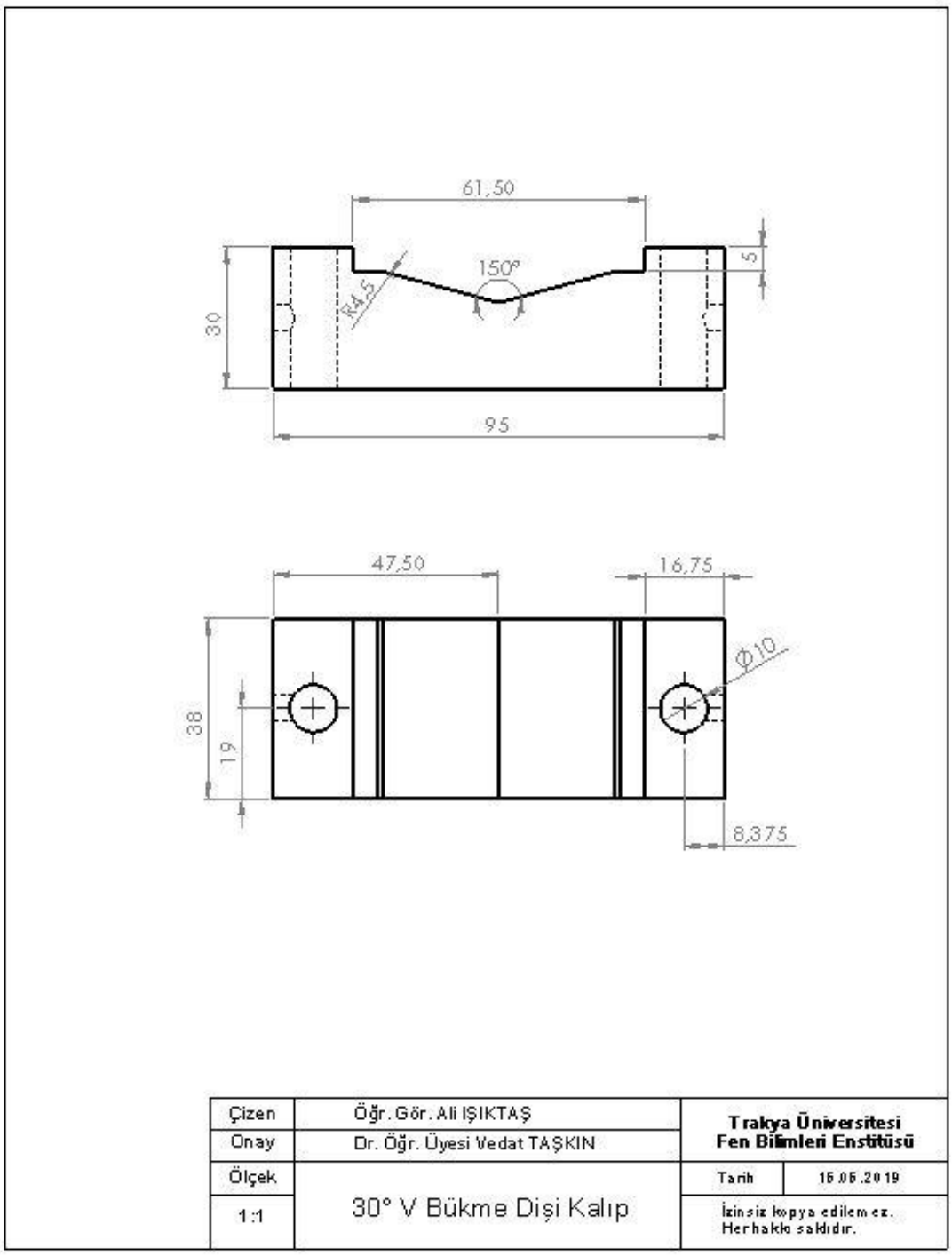
Ek 2. (devam) Bükme kalıbı ve elemanları



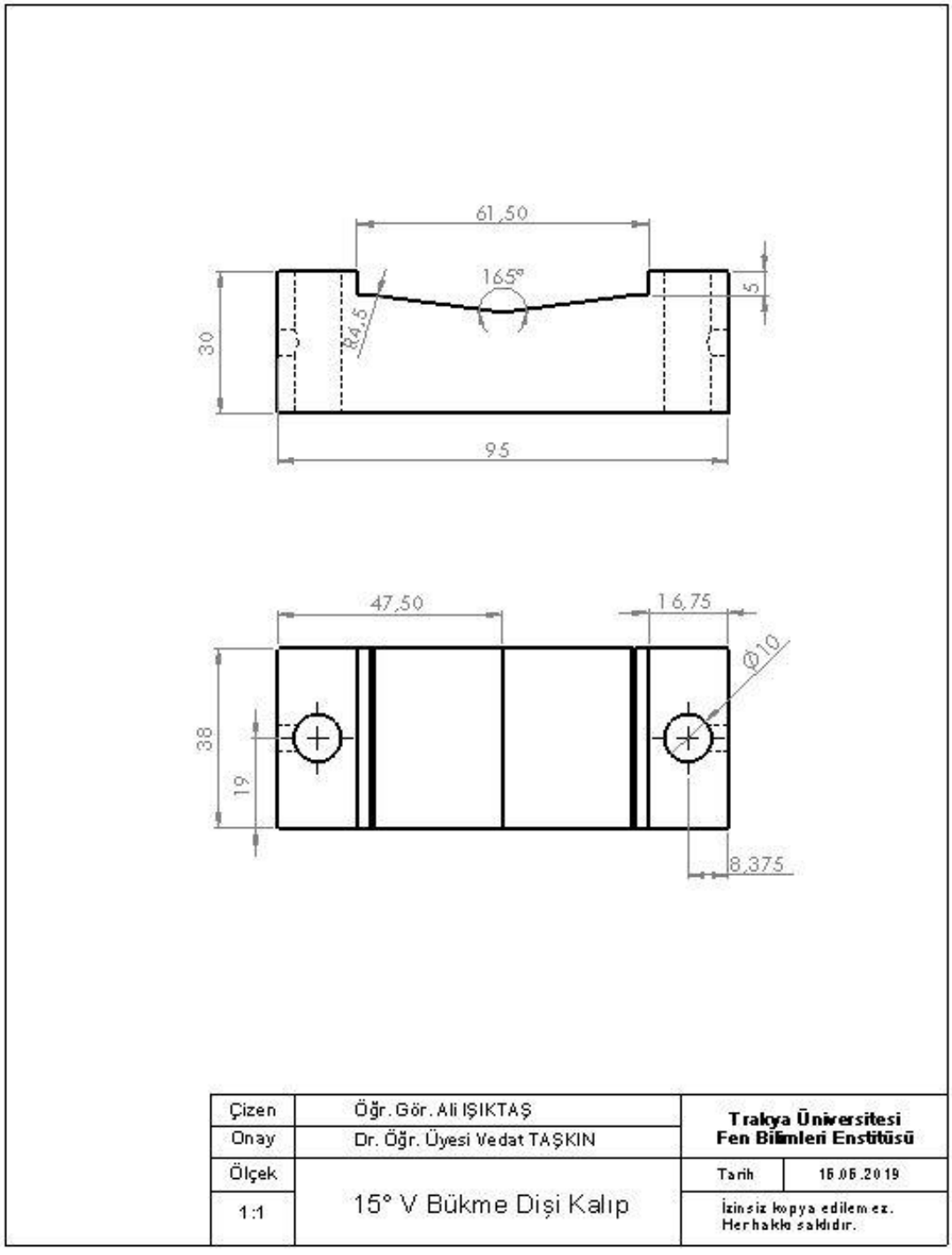
Ek 2. (devam) Bükme kalıbı ve elemanları



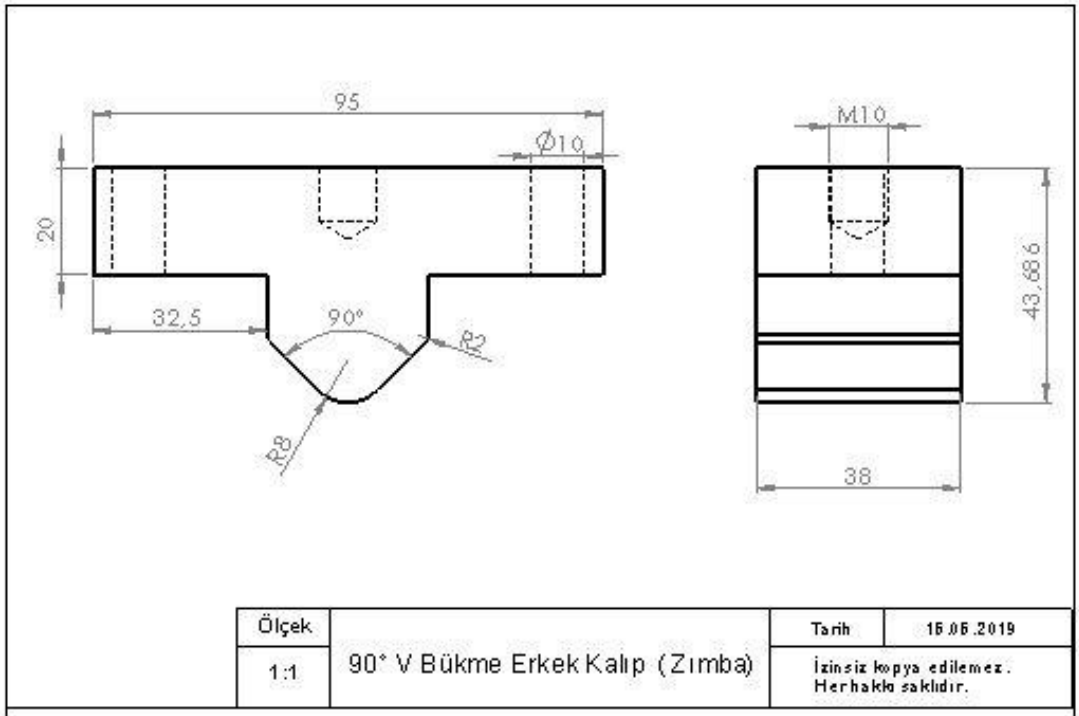
Ek 2. (devam) Bükme kalıbı ve elemanları



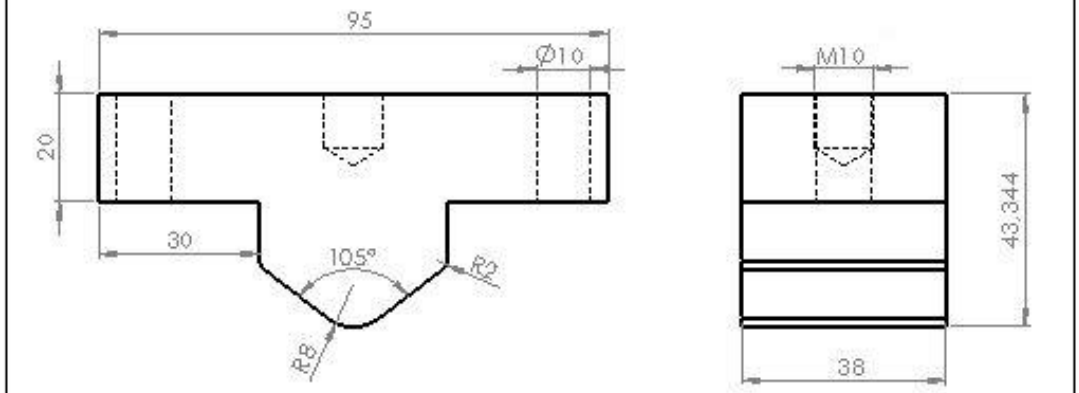
Ek 2. (devam) Bükme kalıbı ve elemanları



Ek 2. (devam) Bükme kalıbı ve elemanları

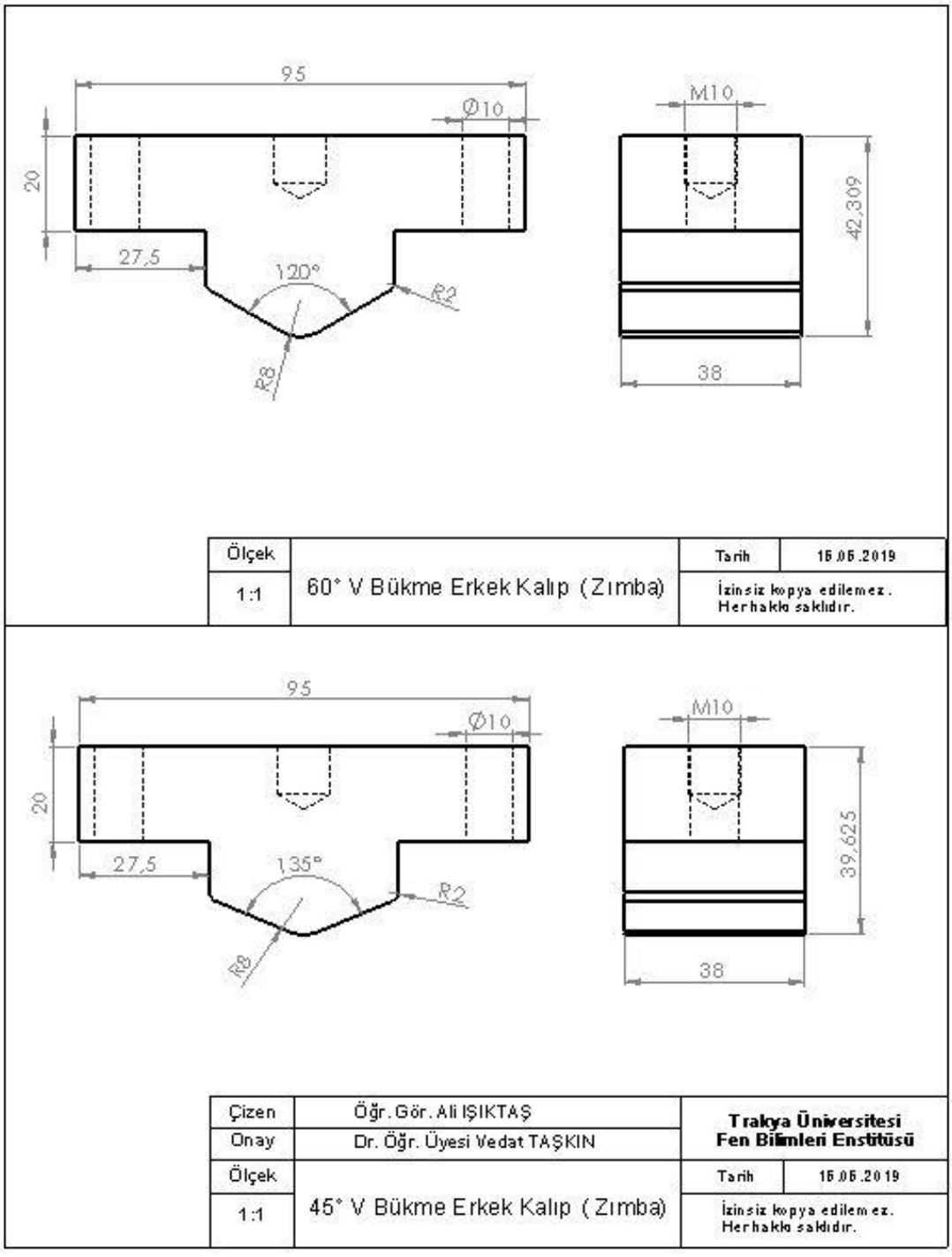


Ölçek	90° V Bükme Erkek Kalıp (Zımba)	Tarih	15.05.2019
1:1		İzinsiz kopya edilemez. Her hakkı saklıdır.	

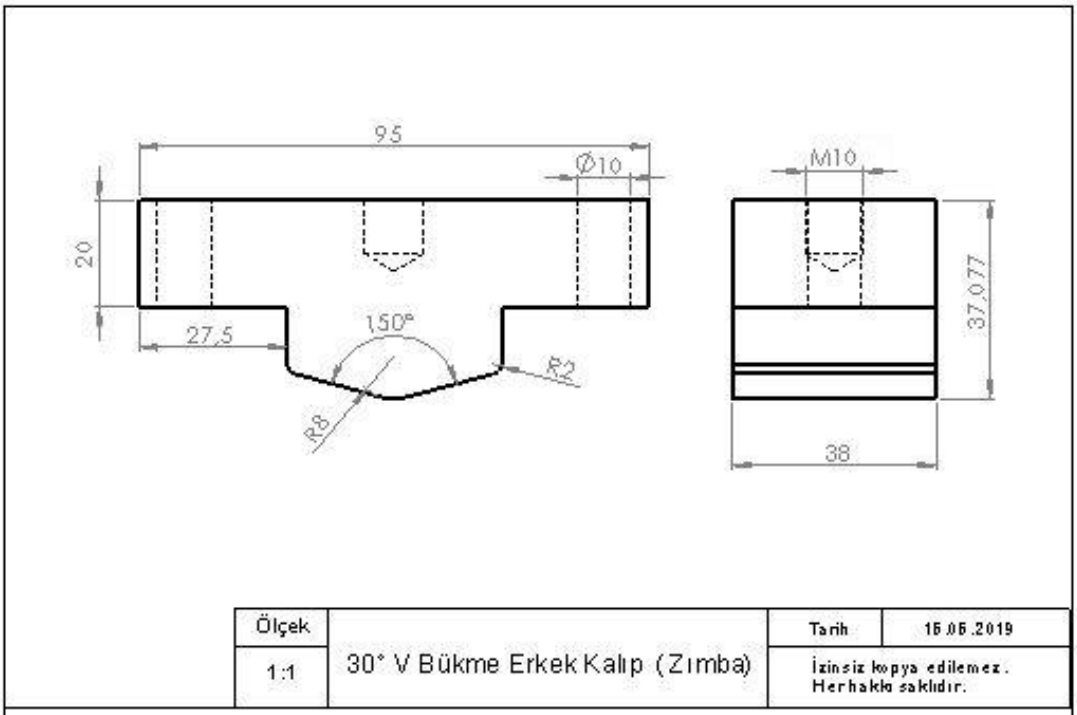


Çizen	Öğr. Gör. Ali IŞIKTAŞ	Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	
Onay	Dr. Öğr. Üyesi Vedat TAŞKIN		
Ölçek	75° V Bükme Erkek Kalıp (Zımba)	Tarih	15.05.2019
1:1		İzinsiz kopya edilemez. Her hakkı saklıdır.	

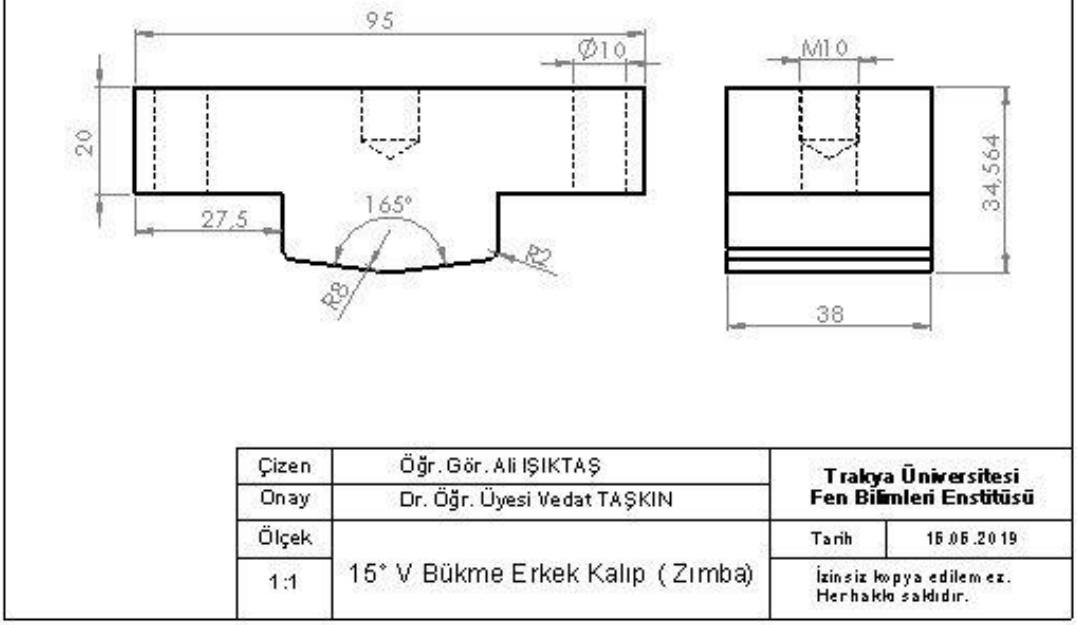
Ek 2. (devam) Bükme kalıbı ve elemanları



Ek 2. (devam) Bükme kalıbı ve elemanları

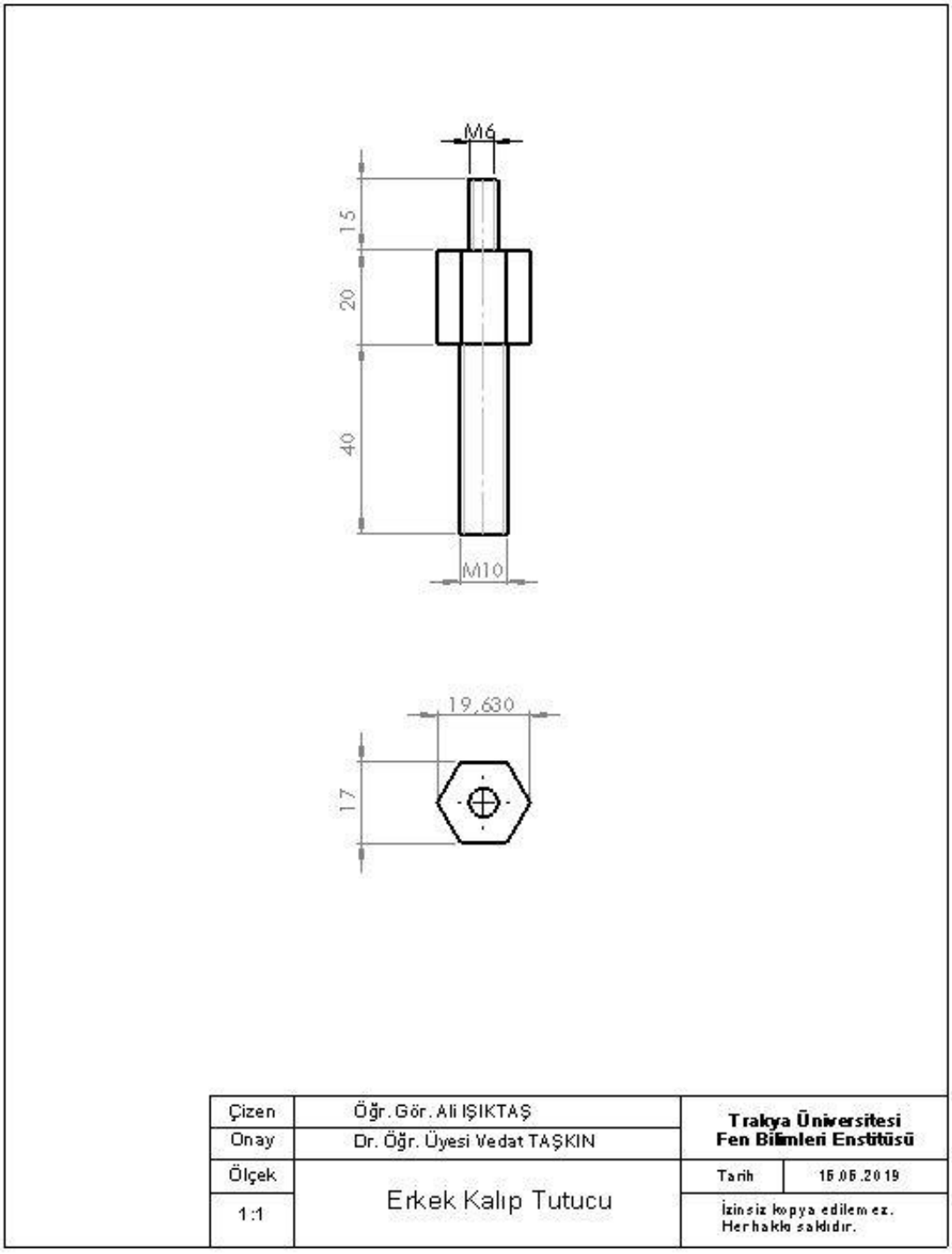


Ölçek	30° V Bükme Erkek Kalıp (Zımba)	Tarih	15.05.2019
1:1		İzinsiz kopya edilemez. Her hakkı saklıdır.	



Çizen	Öğr. Gör. Ali IŞIKTAŞ	Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	
Onay	Dr. Öğr. Üyesi Vedat TAŞKIN		
Ölçek	15° V Bükme Erkek Kalıp (Zımba)	Tarih	15.05.2019
1:1		İzinsiz kopya edilemez. Her hakkı saklıdır.	

Ek 2. (devam) Bükme kalıbı ve elemanları



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	10.12.1986
Doğum yeri	Balıkesir
Lise	2000-2004 Balıkesir Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi
Lisans	2005-2009 Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı (2009 - 2011)
Doktora	Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı (2015 - 2019)

Çalıştığı Kurumlar

2010-2011	Eğinlioğlu Zincir A.Ş. (Arge Mühendisi)
2011-2012	Yarış Kabin (Ölçme ve Kaynak Lab. Sorumlusu)
2013-Devam ediyor	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Hayrabolu Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü Öğretim Görevlisi