

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM/FİBER TABAKALI KOMPOZİT
MALZEMELERİN V BÜKME DAVRANIŞLARININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmed Ozan ÖRNEKÇİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı

ŞUBAT 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM/FİBER TABAKALI KOMPOZİT
MALZEMELERİN V BÜKME DAVRANIŞLARININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmed Ozan ÖRNEKÇİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Seçil EKŞİ

ŞUBAT 2024

Ahmed Ozan ÖRNEKÇİ tarafından hazırlanan “ALÜMİNYUM/FİBER TABAKALI KOMPOZİT MALZEMELERİN V BÜKME DAVRANIŞLARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 07.02.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof.Dr. Gözde Fatma ÇELEBİ EFE**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Seçil EKŞİ (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Sedat İRİÇ**
Sakarya Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “ALÜMİNYUM/FİBER TABAKALI KOMPOZİT MALZEMELERİN V BÜKME DAVRANIŞLARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

Ahmed Ozan ÖRNEKÇİ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca gerek ders dönemlerinde, gerek tez döneminde fikirlerinden, bilgilerinden ve deneyimlerinden yararlandığım, bu zorlu tez sürecinde hiçbir yardımını ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sn. Doç.Dr. Seçil EKŞİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Beraber olduğumuz günden itibaren her konuda bana destek olan, güvenen hayat arkadaşım Sn. Şüheda Karakurt ÖRNEKCI'ye ve değerli aileme teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamda bilgi ve birikimlerinden istifade ettiğim, malzeme hazırlama ve deney sürecinde her türlü yardımı esirgemeyen çalıştığım iş yeri personellerinden Sn. Mustafa ŞİNAR'a, Sn. Samet KAYA'ya ve Sn. Yusuf KOCA'ya teşekkür ederim.

Ahmed Ozan ÖRNEKCI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Araştırması.....	2
2. KOMPOZİT MALZEMELER	7
2.1. Takviye Malzemesi	8
2.1.1. Fiber (Elyaf) takviyeli kompozit malzemeler	8
2.1.2. Partikül takviyeli kompozit malzemeler	10
2.1.3. Tabaka yapılı kompozit malzemeler	11
2.1.4. Dolgu takviyeli kompozit malzemeler	11
2.2. Matris Malzemesi.....	11
2.2.1. Polimer matrisli kompozit malzemeler	12
2.2.1.1. Termosetler	12
2.2.1.2. Termoplastikler	13
2.2.1.3. Elastomerler	14
2.2.2. Metal matrisli kompozit malzemeler	14
2.2.3. Seramik matrisli kompozit malzemeler	15
2.3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	15
2.3.1. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri	15
2.3.1.1. El ile yatırma yöntemi.....	15
2.3.1.2. Püskürtme yöntemi	16
2.3.1.3. Elyaf sarım yöntemi	16
2.3.1.4. Vakumlu torbalama yöntemi.....	17
2.3.1.5. Preste kalıplama	17
2.3.1.6. Profil çekme yöntemi	18
2.3.1.7. Reçine transfer kalıplama yöntemi.....	18
3. MALZEMELERDE BÜKME İŞLEMİ	19
3.1. Bükme İşlemi Çeşitleri.....	19
3.1.1. V Bükme	19
3.1.2. U Bükme	20
3.1.3. Serbest bükme	21
3.2. Bükmeyi Etkileyen Faktörler	21
3.3. Geri ve İleri Yaylanma.....	22
3.3.1. Geri ve ileri yaylanmayı etkileyen faktörler	23

3.3.2. Geri ve ileri yaylanmayı telafi etme yöntemleri.....	24
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
4.1. Elyaf Malzemelerin Hazırlanması.....	25
4.2. Alüminyum Alaşımli Malzeme.....	28
4.3. V-Bükme Deneyleri.....	29
4.4. Deney Sonuçları.....	32
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	41
5.1. Genel Sonuçlar.....	41
5.2. Öneriler.....	42
KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ.....	49

KISALTMALAR

AE	: Aramid Elyaf
CE	: Cam Elyaf
KCE	: Karbon-Cam Elyaf
KE	: Karbon Elyaf
FEA	: Sonlu elemanlar yöntemi
VARTM	: Vakum destekli reçine transfer kalıplama yöntemi
T	: Kalınlık
V	: Büküm kalıbı genişliği

SİMGELER

SiO₂ : Silisyum dioksid

Al : Alüminyum

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Karbon elyaf örnekleri.....	9
Şekil 2.2. Aramid elyaf örnekleri.....	10
Şekil 2.3. Cam elyaf örnekleri.	10
Şekil 2.4. Tabakalı kompozitler.	11
Şekil 2.5. Dolgu takviyeli kompozit.	11
Şekil 2.6. El ile yatırma yöntemi safhası.	16
Şekil 2.7. Püskürtme yöntemi.	16
Şekil 2.8. Elyaf sarma yöntemi.	17
Şekil 2.9. Vakum torbası kalıplama ile gerçekleştirilen kompozit üretim işlemi.	17
Şekil 2.10. Profil çekme düzeneği.	18
Şekil 3.1. V Bükme Operasyonu.....	20
Şekil 3.2. U Bükme Operasyonu.....	21
Şekil 3.3. Serbest Bükme Operasyonu.....	21
Şekil 3.4. Bükme İşlemi Sonrası Yaylanma a) Geri yaylanma, b) İleri yaylanma	23
Şekil 4.1. Alüminyum/Aramid Fiber Tabakalı Kompozit Malzemenin Şematik Görüntüsü.....	25
Şekil 4.2. Elyaf malzemelere ait görüntü a) Karbon elyaf, b) Karbon/Cam elyaf, c) Cam Elyaf, d) Aramid elyaf.....	26
Şekil 4.3. Kompozit malzeme imalatında kullanılan epoksi reçine ve sertleştiricisi.	27
Şekil 4.4. Kompozit malzeme imalatı aşamaları	28
Şekil 4.5. Kompozit malzeme imalatı aşamaları	28
Şekil 4.6. Kompozit malzeme imalatı aşamaları	28
Şekil 4.7. V Bükme deneylerinde kullanılan CNC Abkant Pres	30
Şekil 4.8. Geri ve İleri Yaylanmanın Şematik Olarak Gösterimi	30
Şekil 4.9. V-Bükme Kalıbının Şematik Olarak Gösterimi	31
Şekil 4.10. Yapılan deneyler esnasında çekilen fotoğraflar.....	32
Şekil 4.11. Bükümü yapılan deney numunesinin dijital açı ölçer ile ölçümü	33
Şekil 4.12. Kalıp açısına bağlı olarak geri yaylanmanın değişimi.....	34
Şekil 4.13. 1 mm kalınlık için bükülmüş numunelerin görünümü, a) 140°, b) 150°, c) 160°	35
Şekil 4.14. 1,5 mm kalınlık için bükülmüş numunelerin görünümü, a) 140°, b) 150°, c) 160°	35
Şekil 4.15. Kalıp açısına bağlı olarak geri yaylanmanın değişimi(a-) t=1mm , V=16 mm. b)t=1,5 mm. , V=16 mm. c-) t=1mm. , V=20 mm. d-) t=1,5mm , V=20 mm.)	37
Şekil 4.16. 1mm. Kalınlığındaki Alüminyum Malzemelerin Büküm Sonrası Görünümü(a- Karbon Elyaf , b- Cam-Karbon Elyaf, c- Cam Elyaf, d- Aramid Elyaf).....	39
Şekil 4.17. 1,5mm. Kalınlığındaki Alüminyum Malzemelerin Büküm Sonrası Görünümü(a- Karbon Elyaf , b- Cam-Karbon Elyaf, c- Cam Elyaf, d- Aramid Elyaf).....	40

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1. Alüminyum 6061-T6 malzemenin ısıtım işlem şartlarına göre değişen mekanik özellikleri.....	29
Tablo 4.2. Alüminyum 6061-T6 malzemenin kimyasal kompozisyonu	29
Tablo 4.3. Deneye tabii tutulan levha listesi	31
Tablo 4.4. Alüminyum plaka için V-bükme deney sonuçları	33
Tablo 4.5. 16 mm kalıp genişliğinde gerçekleştirilen fiber-metal sandviç kompozitlerin deney sonuçları	35
Tablo 4.6. 20 mm kalıp genişliğinde gerçekleştirilen fiber-metal sandviç kompozitlerin deney sonuçları	36

ALÜMİNYUM/FİBER TABAKALI KOMPOZİT MALZEMELERİN V BÜKME DAVRANIŞLARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Malzemeleri yüksek mekanik özelliklerde, daha düşük maliyetlerle imal etmek günümüz endüstrisindeki en büyük araştırma ve geliştirme konularından biridir. Kompozit malzemeler, savunma, havacılık, otomotiv sanayi, uzay teknolojileri ve enerji gibi sektörlerde ait çeşitli imalatlarda kullanılan mevcut malzemelerin yerine kullanılmak üzere araştırılan ve geliştirilen malzemelerden biridir. Kompozit malzemeler, değişik türdeki elyaf malzemelerin takviye elemanı olarak kullanılması ile avantajlı alternatif malzeme haline gelmiştir. Kompozit malzemeler, değişik takviye elemanlarının sahip oldukları özellikleri tek başına buldukları için mekanik özellikleri ile avantajlı hale gelmektedir. Bu malzemelerin özellikleri ile ilgili sürekli araştırma yapılmaktadır. Yapılan araştırmalar ilerleyen zamanlarda kompozit malzemelerin endüstride daha sık kullanılacağını öngörmektedir. Bu malzemelerin mekanik özelliklerini daha da iyileştirmek için farklı elyaflar, farklı diziliş sıraları aynı kompozit yapıda kullanılarak kompozit malzemeler elde edilmektedir.

Alüminyum alaşımları mekanik özellikleri, hafif olması ve ekonomik olması gibi sebepleriyle günümüz endüstrisinde geniş bir kullanım alanı sunmaktadır. Savunma sanayi, havacılık sektörü, otomotiv endüstrisi, kazan imalatları gibi birçok alanda sıkça tercih edilmektedir.

Bu çalışmada farklı kalınlıklardaki iki alüminyum plaka arasına farklı elyaf türlerinden imal edilen kompozit malzemeler yapıştirılarak sandviç levhalar imal edilmiştir. Üretilen sandviç kompozit levhaların v-bükme işlemi sonrası geri yaylanma davranışları incelenmiştir.

Bu çalışmada üretilen sandviç kompozit levhada kullanılan alüminyum alaşımı Al6061 serisi olup, ısıl işlem türü T6'dır. Bu çalışmada kullanılan alüminyum alaşımın 1mm ve 1,5mm kalınlığındadır. Deneyler 70x70 mm ölçülerindeki numunelerle yapılmıştır. Kullanılan alüminyum plaka kalınlığı ile aynı kalınlıkta ve aynı ölçülerde karbon elyaf, karbon-cam elyaf, cam elyaf ve aramid elyaf takviye malzemeli kompozit malzemeler üretilmiştir. Karbon elyaf olarak plain dokuma ve yoğunluğu 200 g/mm² olan serisi kullanılmıştır. Karbon-cam elyaf olarak twill dokuma ve yoğunluğu 220 g/mm² olan serisi kullanılmıştır. Aramid elyaf olarak twill dokuma ve yoğunluğu 170 g/mm² olan serisi kullanılmıştır. Cam elyaf olarak twill dokuma ve yoğunluğu 280 g/mm² olan serisi kullanılmıştır. Kullanılan kumaş ağırlığının %60'ı kadar reçine ve ¼ oranında sertleştirici kullanılarak homojen bir karışım hazırlanmıştır.

İmal edilen sandviç levhalar farklı ölçülerdeki kalıp genişliklerinde, farklı kalıp açılılarıyla CNC abkant preste V bükme deneyine tabii tutulmuştur. Bu deneylerden sonra geri ve ileri yaylanma miktarları ölçülmüştür.

Bu sonuçlar incelendiğinde alüminyum-karbon elyaf ve alüminyum- karbon-cam elyaf malzemelerde geri yaylanma olduğu görülmüştür. Alüminyum-cam elyaf ve alüminyum-aramid elyaf malzemelerde ise ileri yaylanma olduğu görülmüştür. Alüminyum alaşımlı numunenin deneylerinde, malzeme kalınlığına uygun ölçüdeki v-bükme kalıbı kullanıldığında geri yaylanma, daha büyük ölçüdeki v-bükme kalıplarında ise ileri yaylanma tespit edilmiştir. Malzeme kalınlığına uygun ölçüdeki v-bükme alt kalıbı seçildiğinde istenilen sonuca daha yakın sonuçlar tespit edilmiştir.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF V-BENDING BEHAVIOR OF ALUMINUM/FIBER LAYERED COMPOSITE MATERIALS

SUMMARY

Manufacturing materials with high mechanical properties and at lower costs is one of the biggest research and development issues in today's industry. Aluminum alloys offer a wide range of uses in today's industry due to their mechanical properties, light weight and economic nature. It is frequently preferred in many areas such as the defense industry, aviation industry, automotive industry and boiler manufacturing. Composite materials are one of the materials researched and developed as alternative materials to existing materials used in many sectors such as the defense industry, aviation industry, automotive industry, space technologies and energy. Composite material; It is defined as materials created by combining two or more materials of the same or different types at a macro level in order to collect their best properties in a new and single material. Composite materials become advantageous alternative materials by using different types of fiber materials as reinforcement elements. has arrived. Composite materials have superior mechanical properties because they contain the properties of different reinforcement materials in a single structure. In parallel with the development of technology, studies on composite materials created by combining different materials in order to obtain superior mechanical and physical properties according to their application areas have accelerated, as traditional materials alone cannot meet the needs. Research predicts that composite materials will be used more frequently in industry in the future. In order to further improve the mechanical properties of these materials, composite materials are obtained by using different fibers and different sequences in the same composite structure. Thanks to composite materials created by combining different types of materials on a macroscopic scale, properties such as lightness, high strength, fatigue life, rigidity, thermal conductivity, wear resistance and corrosion resistance can be improved. Sandwich composite structures are composite structures designed by using a light and low-strength core layer in the middle, surrounded by two surfaces called hard and high-strength shells, in order to benefit from the different properties of their components.

Aluminum, titanium, steel, wood or concrete are generally used in the surface layers of sandwich composite structures. Cork, plastic, aluminum or fiber derivatives in honeycomb form are used in the core layer of sandwich composite sheets. Material properties of fiber materials such as corrosion resistance, lightness, high fatigue resistance and high strength have reduced the demand for metals. In addition to these superior properties of fibers, their low shaping ability is a disadvantage. To overcome this disadvantage, fibre-metal hybrid composites have been developed.

In this study, fiber metal sandwich panels were manufactured by gluing composite materials made of different fiber types between two aluminum plates of different thicknesses. Fiber metal laminated composites are hybrid structures composed of different metal sheets (usually aluminum) and fiber reinforced polymer matrix composites such as carbon, glass or aramid. Today, it is widely used in the automobile,

aircraft and aerospace industries. Compared to metals, sandwich composite sheets are preferred in many areas such as the aircraft industry, space technology, maritime industry and automotive industry, as they are lighter and have higher fatigue strength. As the usage areas of sandwich composite sheets increase, the need to shape sandwich composite sheets according to where they are used has emerged. Therefore, the forming ability of sandwich composite sheets was investigated. In the experimental study, it was investigated how the springback problem, which is one of the biggest problems encountered in the shaping of sheet metal materials, would affect sandwich composite sheets, which are preferred due to their high performance and resistance to environmental effects.

Bending is a frequently used manufacturing process in shaping materials in modern industry. Bending; It can be defined as giving the desired shape to the part with the help of a mold, around a certain axis, without removing material from the material. The force applied in the bending process causes deformation on the material. If the force applied to the material during the bending process exceeds the yield value of the material, plastic deformation (permanent deformation) occurs, and if it does not exceed it, elastic deformation (non-permanent deformation) occurs. In the process of shaping the materials, the elastic limits of the materials are exceeded, but the greatest tensile stresses cannot be exceeded. Therefore, the material still retains some of its original flexibility. In the bending process, when the force applied to the material is removed, compressive stresses occur in the inner deformation zone of the material and tensile stresses occur in the outer deformation zone. When the force applied to the material is removed, the material tries to return to its initial state due to these stresses, and this causes the bent material to stretch and open. This phenomenon occurring in the material is called springback. Springback, which generally occurs after bending in sheet metal materials, removes the material from the final form and causes the desired dimensions to change.

It has been determined that the stress and shape changes occurring in the bent material cross-section generally depend on the type of material, material thickness, bending angle, tip radius of the punch, bending force, ironing time, bending speed and the gap between the female mold and the punch.

In this study, the springback behavior of the sandwich composite plates after the v-bending process was investigated. The aluminum alloy used is Al6061 series and the heat treatment type is T6. Thickness of aluminum sheets are 1 mm and 1.5 mm. The experiments were carried out with samples measuring 70x70 mm. Composite materials with carbon fiber, carbon-glass fiber, glass fiber and aramid fiber reinforcement materials were produced with the same thickness and dimensions as the aluminum plate thickness used. Plain weave series with a density of 200 g/mm² were used as carbon fiber. Twill weave with a density of 220 g/mm² was used as carbon-glass fiber. Twill weave with a density of 170 g/mm² was used as aramid fiber. Twill woven series with a density of 280 g/mm² was used as glass fiber. A homogeneous mixture was prepared by using 60% resin and ¼ hardener by weight of the fabric used.

The manufactured sandwich sheets were subjected to V bending tests on a CNC press brake with different mold widths and different die angles. After these experiments, the springback and spring-go amounts were measured.

When these results were examined, it was seen that there was springback in aluminum-carbon fiber and aluminum-carbon-glass fiber materials. It has been observed that there is spring-go in aluminum-glass fiber and aluminum-aramid fiber materials. In the

experiments of the aluminum alloy sample, springback was detected when a v-bending die of a size appropriate to the material thickness was used, and spring-go was detected in larger v-bending dies. When the v-bending sub-die suitable for the material thickness was selected, results closer to the desired result were determined.

1. GİRİŞ

Asgari iki farklı malzemenin birbirleriyle fiziksel olarak karıştırılması sonucunda imal edilen yeni malzemelere, kompozit malzemeler denir. Birbiri ile karıştırılan malzemeler kimyasal olarak birbirlerini etkilemezler. Kompozit malzemeleri, alaşım malzemelerden ayıran temel özellik budur. Kompozit malzeme imal etmenin amacı, tek bir malzeme ile elde etmenin mümkün olmadığı mekanik (mukavemet, rijitlik, tokluk) ve/veya fiziksel (elektrik ve/veya termal iletkenlik) özelliklerin iyileştirilmesi ve bir araya getirilmesidir. Genellikle kompozit malzemeler matris (ana bileşen) ve takviye malzemesi adı verilen bir başka bileşenden imal edilir. Bu bileşenlerden takviye malzemesi kompozit malzemeye, mukavemet, rijitlik ve diğer mekanik özellikleri verir. Bununla beraber termal genleşme katsayısı, iletkenlik ve termal taşınım gibi özellikleri belirlemede etkindir. Ana bileşen olan matris ise, kompozit malzemenin şeklini verir, takviye malzemelerini çevresel faktörlere karşı korur, takviye malzemelerine yük aktarımı yapar ve tokluk gibi özelliklere katkı verir.

Kompozit malzemelerin avantajlarından bahsedecek olursak;

- Yüksek mukavemet
- Ağırlık olarak hafiflik
- Yüksek korozyon direnci
- Yüksek ısı ve termal iletkenlik
- Yüksek yorulma dayanımı

Dezavantajları ise;

- Üretiminin pahalı olması
- Delme, kesme vb. durumlarda liflerde hasara yol açmaktadır
- Geri dönüşümünün olmaması
- Hava etkenleri malzemenin yorulma ömrünü etkiler [1].

Alüminyum yaşantımızın pek çok alanında kullandığımız cazip özellikleri sebebi ile vazgeçilmez bir malzemedir. Kullanılan ve geliştirilen yeni yöntemler ile ekonomik olmasının yanı sıra geniş bir ürün yelpazesi de sunmaktadır. Bu özelliklerine ek olarak

düşük yoğunluk, iletkenlik, işlenebilirlik gibi konularda iyi özelliklerde olması alüminyumun önemini artırmaktadır[2].

Bu çalışmada; cam elyaf, karbon elyaf ve karbon-cam elyaflar kullanılarak epoksi reçinesi ile vakum infüzyon yöntemi kullanılarak farklı kombinasyonlarda kompozit malzemeler üretilmiştir. Elde edilen malzemeler iki alüminyum plaka arasına yapıştırılarak çekme testi ve V bükme ile oluşan uzama miktarlarının gözlemlenmesi deneyleri uygulanmıştır. Aynı deneyler alüminyum plakalara da yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarının mukayesesi yapılmıştır.

1.1. Kaynak Araştırması

Sayer ve ark. [3] bu çalışmada elyaf kompozit malzemelerin darbe davranışını incelenmiştir. Farklı darbe enerjilerine göre iki tip kompozit malzeme üzerinde (cam-karbon) gerçekleştirilmiştir. Epoksi reçinesi ve sertleştiricisi kullanılmıştır. Farklı darbe enerjileri için hasarlı numunelerin arıza süreçleri yük-deplasman eğrileri ve görüntülerin karşılaştırılması ile değerlendirilme yapılmıştır. Karbon elyaflı yüzeyden darbeli kompozitin delme sınır değeri, cam fiberli yüzeye göre yaklaşık %30 yüksek ölçülmüştür.

Dong ve Davies [4] bu çalışmada karbon ve cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin eğilme davranışları üzerinde bir çalışmıştır. İstifleme sırasının eğilme özellikleri üzerindeki etkisini öğrenmek amacı ile hem deneysel hem de simülasyon yolu ile inceleme yapmışlardır. Deney ve simülasyon sonuçlarından baskı yüzeyine cam elyaflar yerleştirildiğinde pozitif hibrit etkiler tespit edilmiştir.

Subagia ve ark. [5] karbon ve bazalt elyafların farklı istiflenme dizilerinin eğilme üzerindeki etkisini incelemiştir. Hibrit kompozitler vakum destekli reçine transfer kalıplama yöntemi ile üretilmiştir. Eğilme testi yapıldıktan sonra taramalı elektron mikroskobu ile kırılma yüzeyleri görüntülenmiştir. Sonuçlara göre hibrit kompozit plakaların mukavemetinin elyaf dizilişine büyük ölçüde bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Baskı tarafında karbon elyaflı kompozit malzeme daha yüksek eğilme mukavemeti göstermiştir.

Kumar ve ark. [6] bu çalışmada karbon elyaf ile cam elyaf üç farklı diziliş ile vakum destekli reçine infüzyon yöntemi ile imal edildi. Bu yöntem hava kabarcığı oluşumunu önlemek ve elyaflar ile matris arasındaki bağın iyileştirilmesi için uygun görülmüştür.

Kompozit malzemeler için darbe testi yapıldı. P3 isimli kompozit malzemenin darbe dayanımı diğer malzemelere göre yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak kompozit malzemedeki elyaf dizilişi kompozit malzemelerin özelliklerini belirlemede etkilidir.

Srivathsan ve ark. [7] bu çalışmada kevlar elyaf ile cam elyaf kullanılmıştır. Elle yatırma işlemi ile üretilen farklı dizilişteki kompozit malzemeler sonrasında çekme testine tabii tutulmuştur. Numunelerin çekme testinde elyafların dizilişinin öneminin büyük olduğu görülmüştür.

Song [8] bu çalışmada karbon ve aramid elyafların oluşturduğu farklı elyaf dizilişi ile oluşturulan altı hibrit yapı ve karbon ve cam elyafların oluşturduğu farklı elyaf dizilişi ile olan altı hibrit yapı olarak üretilmiştir. Numuneler imal edilirken vakum destekli reçine transfer kalıplama (VARTM) yöntemi kullanılmıştır. Numunelerin mekanik özelliklerinin eşleştirme etkilerine bağımlılığı incelenmiştir. Çekme testlerinden elde edilen verilere göre hem karbon ve aramid hem karbon ve cam eşleşmelerinin gerilme davranışının karbon elyafın özellikleri hakim olmasına rağmen cam ve aramid elyafların farklı özellikleri hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinde önemli bir farklılık göstermemiştir.

Aktaş ve ark. [9] bu çalışmada dokuma/örme kumaşların farklı dizilişlerinin darbe davranışına etkisi incelenmiştir. Dokuma ve örgü kumaşlar 6 farklı tipte imal edilmiştir. Bu kompozit yapılar elle yatırma tekniği ile üretildi ve kürlendi. Kompozit malzemeler yaklaşık 3 mm kalınlığındadır. Hibrit kompozitlerin çeşitli darbe enerjilerinde darbe ve darbe sonrası davranışları incelenmiştir.

FEA (Sonlu Elemanlar Yöntemi) sonuçları deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldı. Sonuçlar gösteriyor ki dokunmuş kumaştan dış katmanlı olan numuneler, örülmüş kumaştan dış katmanlı ile olandan daha iyi darbe özellikleri göstermiştir. Darbe dayanımı açısından en kötü sonuç örgü/örme kompozitlerde görülmüştür. FEA analizleri deney sonuçları ile iyi bir örtüşme sağlamıştır.

Wang ve ark. [10] bu çalışmada karbon ve keten elyaflarla farklı dizilişe sahip hibrit kompozit malzemeler imal etmiştir. İmal edilen hibrit kompozitlerin istifleme dizisinin düşük hızlı çarpma üzerindeki etkileri ve sönümlenme özellikleri incelenmiştir. Hibrit kompozitlerin sönümlenme performansı yüzeydeki elyafın çeşidine bağlıdır. Üzerinde keten elyaf tabakası bulunan yüzeyin daha iyi sürtünme enerjisi dağıtma kapasitesine

sahip olduğu görülmüştür. FCFCF'nin sönümlenme katsayısı CFFFC'den %26,4 daha yüksektir.(F=Keten, C=Karbon)

Nagaraja ve ark. [11] bu çalışma cam elyaf ile karbon elyafın epoksi matrisi ile takviye edilmesiyle özel bir tür hibrit yapılar geliştirmeyi amaçlamaktadır. Numuneler reçine infüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Bu hibrit kompozit malzemeler her bir cam ve karbon tabakasının farklı bir diziliş sırasının çeşitli mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. İki farklı elyaf dizilişinin karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak hibrit 1 için en yüksek çekme dayanım değeri hibrit 2'ye göre daha yüksektir. Hibrit 2'nin eğilme mukavemeti ise hibrit 1'e kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür.

Sarasini ve ark. [12] bu çalışmada karbon (C) ve keten (F) elyafları kullanılarak epoksi matrisi ile üretilen hibrit kompozitler dış katmanlar olarak keten elyafı ve iç katmanlar olarak karbonun (FCF) veya tam tersi (CFC) varlığına bağlı olarak iki farklı kompozit malzeme üretilmiştir. Hazırlanan numuneler farklı enerjilerde darbe ve eğilme testine tabi tutulmuştur. CFC, eğilme performansı açısından FCF'den biraz üstün olduğu görülmüştür. İki hibrit kompozit karşılaştırıldığında FCF numunesinin CFC'ye göre daha iyi mekanik ve darbe emme özelliklerine sahip olduğu anlaşılmıştır.

Das ve ark. [13] bu çalışmada elyaf sırasının doğal elyaf (jüt), sentetik elyaf (cam) ve polyester reçine kullanılan hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üretilen kompozitler jüt-polyester, cam-polyester ve hibrit cam-jüt-polyester şeklindedir. Üretilen numunelere çekme, eğme ve darbe deneyleri yapılmıştır.

Sonuç olarak cam-polyester kompozit diğer kompozitlere göre daha iyi mekanik özellikler göstermiştir. Ayrıca cam elyaf ile oluşturulan kompozitlerin malzeme özelliklerini önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir.

Santhanam ve ark. [14] bu çalışmada elyaf takviyeli kompozit , muz elyafı ve cam elyafının epoksi reçinesinin dahil edilmesiyle üretilmiştir. Muz elyafın kompozitlerdeki elyaf sıralamasının mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Numuneler elle yatırma yöntemi ile hazırlanmıştır. Sonuç olarak numunelerin diziliş sırasının çekme deneyinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğu, eğilme ve darbe mukavemetinin ise cam elyafın ve muz elyafın sıralama düzeninden büyük ölçüde etkilendiği gözlemlenmiştir.

Gemi [15] bu çalışmada hibrit borular , filament sarma yöntemi ile çeşitli dizilişlerde cam ve karbon fiberler kullanılarak imal edilmiştir. Hibrit kompozitler karbon /cam/cam , cam/karbon/cam ve cam/cam/karbon olarak ayarlanmıştır. Numunelere farklı enerjilerde darbe testi deneyi yapılmıştır. Dış/iç yüzeylerde matris çatlaması, radyal çatlaklar, yarıma ve sızıntı gibi hasar oluşumunun gerçekleşebileceği tespit edilmiştir. Hibrit borunun elyaf diziliş sırası hasar oluşumunu büyük ölçüde etkilemiştir. Özellikle GGC numunelerinde karbon fiber tabakasının kırılğan karakteri nedeniyle numuneler elastik olarak deformasyona uğrar ve hasar başlangıcına yol açabilir.

Thiagamani ve ark.[16] bu çalışmada matris malzemesi epoksi, takviye elemanı olarak kenevir (H) ve sisal(S) elyaflar kullanılarak kompozit malzemeler üretilmiştir. Sisal/kenevir elyafı hibrit kompozitler elle yatırma yöntemi ile imal edildi ve ardından farklı diziliş dizilerine sahip sıcak presleme yapıldı. Deneysel sonuçlar hibrit kompozitlerin elyafların dizilişi değiştirildiğinde çekme mukavemetinde küçük değişiklikler göstermiştir. HSHS hibrit kompozit, diğer hibrit kompozitlere göre en yüksek çekme mukavemetine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Sreenivas ve ark.[17] bu çalışmada kenaf ve kevlar elyafların diziliş sırası dikkate alınarak hibrit kompozitin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Matris olarak polyester kullanılmıştır. Oluşturulan hibrit malzemelere çekme, eğme ve darbe deneyleri uygulanmıştır. Hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri kenaf elyafının dizilişinden büyük ölçüde etkilendiği tespit edilmiştir.

Raajeshkrishna ve ark. [18] elle yatırma metodu ile kompozit malzemeler üretmişlerdir. Bu kompozit malzemeleri imal etmek için epoksi reçine ile cam ve bazalt elyaflar kullanılmıştır. Oluşturulan deney numunelerine çekme testi uygulanmıştır. Sonuç olarak elyaf dizilişi tüm kompozitlerde etkili olmuştur. Deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar analizi sonuçları karşılaştırıldığında sonuçlar tutarlı çıkmıştır.

Tekaslan [19], bu çalışmada sac malzemelerin bükme kalıplarında bükülmesiyle oluşan geri ve ileri yaylanmanın belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Bu çalışmada V bükme kalıbı kullanılarak DKP, pirinç, bakır, alüminyum ve paslanmaz saclar bükülmüştür. 0.5 mm, 0.75 mm ve 1 mm. kalınlığındaki saclar farklı bükme açılarında, zımbayı sac üzerinde bekletmeden ve bekleterek yapılan deneylerde ortaya çıkan geri yaylanma sonuçları grafik ve çizelgelerde belirtilmiştir. Sonuç olarak, malzeme

kalınlığı ve bükme açısı arttığında geri yaylanma miktarının arttığı belirtilmiştir. Ayrıca, zımbanın sac üzerinde bekletilmesiyle geri yaylanmanın azaldığı görülmüştür. Parsa ve ark. [20], bu çalışmada metal, polimer, metal tabakalı sandviç malzemelerin V bükme kalıbı kullanılarak bükülmesinde, zımba radyüsünün geri yaylanmaya etkisini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılmıştır. Metal olarak alüminyum A3105, polimer olarak polipropilen kullanılarak oluşturulan malzemeler 90° V bükme kalıbında bükülmüştür. Farklı kalınlıklarda üretilen sandviç malzemeler 4, 8, 12 mm zımba radyüsleri kullanılarak bükülmüştür. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, zımba radyüsünün artırılmasıyla malzemedeki oluşan geri yaylanmanın arttığı görülmüştür. Ayrıca, sandviç malzeme sac kalınlığının artmasıyla tüm zımba radyüslerinde geri yaylanma miktarının azaldığı görülmüştür.

Andersson [21], bu çalışmada, farklı malzemelerin geri esneme davranışları incelenmiş ve yapılan deneysel çalışmalar sonlu elemanlar analizi ile karşılaştırılmıştır. Altı sac levhaların bükülmesinde oluşan geri esnemenin, tahmini ve telafisine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, geri esnemeye etki eden faktörlerin sac kalınlığı, kullanılan malzeme cinsi, hadde yönü olduğu gözlemlenmiştir. Bazı araştırmacılar ise, uygun zımba bükme yarıçapı ve açısı olarak geri esnemenin olmaması için çeşitli modeller geliştirerek literatüre kazandırmışlardır. Bu çalışmaların amacı geri esneme miktarlarını asgari seviyeye indirebilmektir.

Esat ve ark. [22], bu çalışmada farklı kalınlık ve mekanik özelliklerdeki alüminyum malzemelerin geri yaylanma miktarları sonlu elemanlar analizi ile incelenmiştir. Malzemenin akma dayanımı arttıkça geri yaylanma miktarının arttığı görülmüştür. Sonlu elemanlar analizi kullanılarak büküm açıları cinsinden geri yaylanmaların kolaylıkla tespit edileceği görülmüştür.

Işıktas ve ark. [23], bu çalışmada, alüminyum-karbon elyaf sandviç levhaların V bükme operasyonu neticesinde oluşan geri yaylanma davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Oluşturulan levhalar 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açılarında bükülüp geri yaylanmaları ölçülmüştür. Bükme açısı değiştikçe sandviç kompozit levhalarda meydana gelen geri yaylanma değerleri farklılık göstermiştir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit sözcük olarak, en az iki farklı parçanın birleşmesiyle oluşan malzeme anlamına gelmektedir. Kompozit malzemeler kısaca ‘birbiriyle aynı olmayan en az iki bileşenin bir ara yüzey boyunca bir araya gelmesiyle oluşan malzemeler’ şeklinde tanımlanabilir. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin özellikleri genel olarak korunmaktadır. Amerika’da 1930’lu yıllarda cam elyafın keşfedilmesi ile modern kompozitin imalatı başlamış ve cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler dünya piyasasında görülmeye başlamıştır. Kompozit malzemeler, malzeme teknolojisi açısından ele alındığında oldukça yeni ve ileri teknoloji malzemeler olarak değerlendirilebilir. Kompozit malzemenin en önemli özelliklerinden birisi mikro düzeyde homojen olmasıdır[24].

Kompozit malzemenin keşfi ve geliştirilmesi ile;

- Rijitlik
- Korozyon direnci
- Hafiflik ve Mukavemet
- Aşınma direnci
- Yorulma ömrü
- Çevresel etkilere dayanım
- Isıya dayanıklılık
- Ses yalıtımı

gibi istenilen özelliklere sahip yeni malzemeler üretilmiştir.

Kompozit malzemelere geçişin başlıca nedenlerinden biri, kompozit malzemelerin, alternatif malzemelere göre daha hafif ve daha yüksek mukavemette olmasıdır. Bunun dışında kompozit malzemeler imalatlarındaki esneklik, iyi korozyon ve aşınma dirençleri, düşük ısı iletkenlikleri ile birçok uygulama alanlarında alternatif malzemelere göre üstünlük sağlamaktadır.

Kompozit malzemeler, yapısını oluşturan malzeme ve yapı bileşenlerine göre; matris malzemesi ve takviye malzemesi olarak iki sınıfta değerlendirilebilir..

Matris türüne göre kompozit malzemeler; polimer matrisli, metalik matrisli ve seramik matrisli kompozit malzemeler olarak sınıflandırılır..

Takviye türüne göre kompozit malzemeler; fiber (elyaf) takviyeli, dolgu yapılı, partikül (parçacık) takviyeli ve tabaka yapılı (lamine) kompozit malzemeler olarak sınıflandırılır [25].

2.1. Takviye Malzemesi

Takviye elemanı malzemenin üstüne gelen yükü yaklaşık %90 seviyelerinde taşıyan elemanlardır. Genel olarak elyaflardan oluşur. Takviye malzemesinin amacı matrisin rijitliğini arttırmak, yüksek sıcaklık dayanımı ve yüksek elastik modül sağlamak, malzemenin mukavemetini arttırmaktır.

2.1.1. Fiber (Elyaf) takviyeli kompozit malzemeler

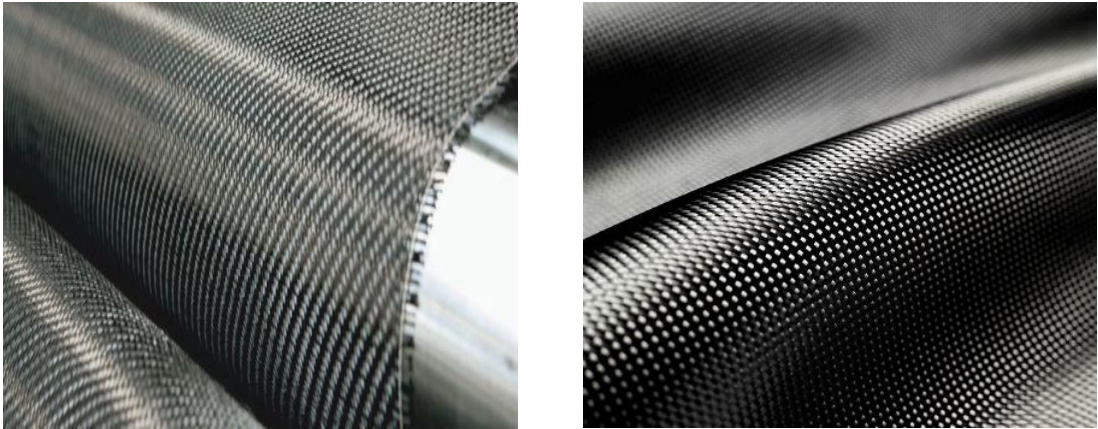
Elyaf takviyeli kompozit malzemeler, takviye elemanı olarak elyafın kullanıldığı kompozit malzemelerdir. Bu kompozit malzemeler çekme, eğme, darbe dayanımı gibi birçok mekanik özellikleri iyileştirmek için kullanılır. Fiber kullanılan kompozit malzemelerde matris malzemesi, fiber malzemesini bir arada tutar ve daha rijit olmasını sağlar. Fiber ve matris malzemesi kompozit malzemeleri oluştururken belli bir hacimsel oran mevcuttur. Hacimsel oranlar değiştikçe kompozit malzemenin mekanik özellikleri de değişir. Elyaf oranı belli bir seviyede arttıkça kompozit malzemenin mekanik özellikleri artar elyaf oranı daha da arttırılırsa matris malzemesinin oranı azalacağından kompozit malzemenin mukavemeti düşecektir.

Elyafın çapı kompozit malzemenin mukavemetini belirlemede önemli bir faktördür. Elyafın çap ölçüsünün düşük olması ile reçine, elyafı iyi ıslatır ve elyaf ile reçine arasında iyi bir bağ kuvveti oluşur. Böylelikle üretilen kompozit malzemenin mukavemeti artmış olur.

Elyaf malzemesi kullanılırken elyaf demetine dışarıdan uygulanan yük nedeniyle kırılma, kopma gibi hasara uğrayabilir. Fakat bu hasar diğer elyaf demetlerine iletilmez. Bu da elyaf takviyeli kompozit malzemelerin önemli avantajlarından biridir. Bunun dışında elyaf takviyeli kompozit malzemelerin korozyon dayanımı ve yorulma dayanımları gibi özellikleri de yüksektir. Bu özellikleri bakımından inşaat, otomotiv sanayi, uzay teknolojisi ve havacılık gibi farklı sektörlerde tercih edilirler.

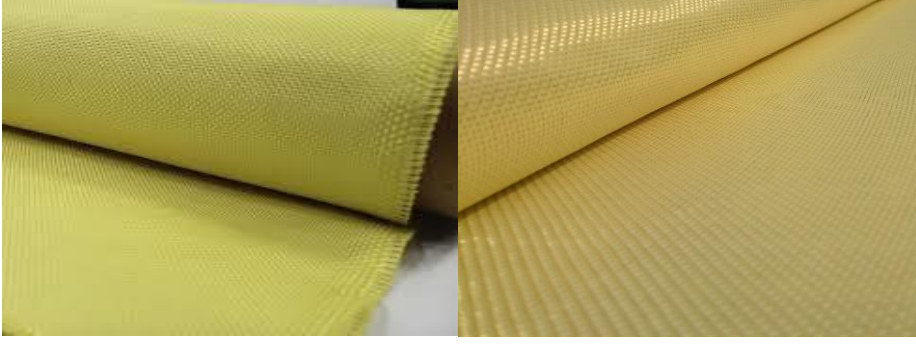
En yaygın olarak kullanılan elyaf türleri karbon elyaf, cam elyaf ve aramid elyaftır [26].

Karbon elyafı: yüksek mukavemette olması sebebiyle tercih edilen, karbon liflerinden meydana gelen bir kompozit malzemedir. Karbon elyaf, hafif ve kimyasal dayanımının yüksek olması nedeniyle yaygın olarak güçlendirme uygulamalarında kullanılmaktadır. Yüksek dayanımlı olması sebebiyle, malzemenin ömrü başka mukavemetli malzemelere göre daha uzun olmaktadır. Yüksek darbe dayanımı, aşınma dayanımı, yorulma dayanımı gibi özellikleri en önemli avantajlarından. Liflerinin uzama miktarının sınırlı olması sebebiyle darbe dayanımı sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu malzemenin en büyük dezavantajlarından birisi budur. Bu sorunun çözümü için araştırmalar devam etmektedir. Bir diğer dezavantajı ise diğer malzemelere göre daha pahalı olmasıdır. Askeri ve sivil uçakların imalatında yaygın olarak kullanılır. Karbon elyaf örnekleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



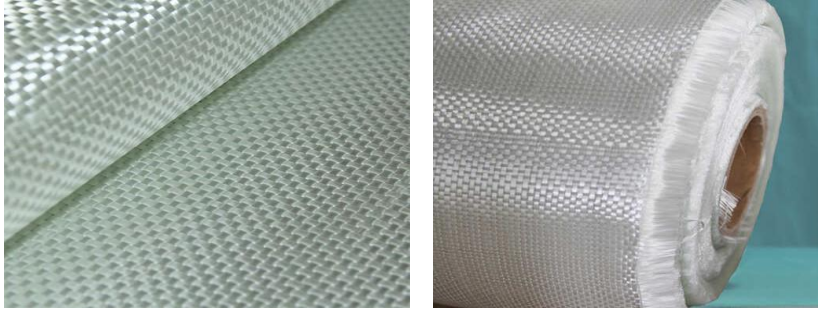
Şekil 2.1. Karbon elyaf örnekleri.

Aramid elyafı: Aramid elyaf, cam elyaftan daha hafif ve daha rijittir. Aramid elyafların basma dayanımlarının daha düşük olmasından dolayı karbon elyaf ile birlikte hibrit kompozit oluşturularak kullanılmaktadır. Basma dayanımlarının düşük olmasından dolayı aramid elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin nem tutma özelliği de zayıftır. Yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir. Aramid elyaf örnekleri Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Aramid elyaf örnekleri.

Cam elyafı: Cam fiberin temelini silisyumdioksit (SiO_2) oluşturur. Bununla beraber belirli bir oranda alüminyum, kalsiyum, sodyum bor ve demir gibi elementlerin oksitlerini de içerebilir. Cam elyafların kimyasallara karşı dayanımı yüksek, nem alma özellikleri ise zayıftır. Cam elyaf ucuz bir takviye malzemesi olması sebebiyle çok tercih edilmektedir. Yaygın olarak plastik esaslı kompozitlerde kullanılır. Cam elyaf örnekleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir [27]. Cam elyafların, korozyona karşı dayanıklı olması, hafif olması, küflenme ve paslanma yapmaması gibi özellikleri vardır.



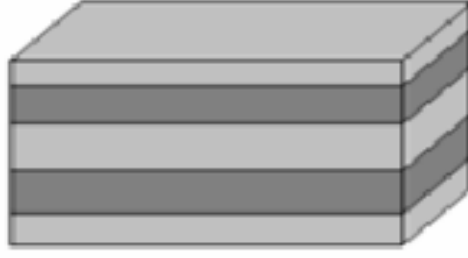
Şekil 2.3. Cam elyaf örnekleri.

2.1.2. Partikül takviyeli kompozit malzemeler

Partikül takviyeli kompozit malzemeler bir matris malzemesi içine makro ölçekli parçacıkların eklenmesiyle elde edilen kompozit malzemelerdir. Partikül takviyeli kompozitlerde parçacık ve matris etkileşimi atomik veya moleküler düzeydedir. Takviye malzemesinin etkisinin yüksek olması için matris malzemesinin içerisinde eşit olarak dağılması gerekmektedir. Takviye malzemesi ve matris malzemesinin hacimsel oranı kompozit malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Partikül takviyeli kompozit malzemeler, seramik, metal veya polimer matrislerle kullanılabilir. Yüksek servis sıcaklığı ve yüksek aşınma dayanımı gereken alanlarda yaygın olarak kullanılır. [28].

2.1.3. Tabaka yapılı kompozit malzemeler

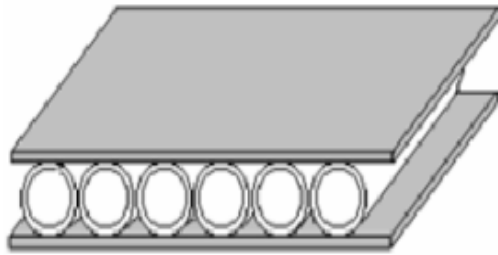
Tabakalı kompozit malzemeler en çok tercih edilen ve en eski kompozit malzeme türüdür. Bu kompozitler özellikleri aynı olmayan en az iki tabakadan oluşturulur. Bu kompozitler farklı kombinasyonlarla üretilebilmektedir. Farklı elyaf yönlerine sahip tabakaların birleşimi ile yüksek mukavemet değerlerine ulaşılabilir. Tabakalı kompozit Şekil 2.4'te gösterilmiştir [29].



Şekil 2.4. Tabakalı kompozitler.

2.1.4. Dolgu takviyeli kompozit malzemeler

Üç boyutlu sürekli bir matris malzemesinin üç boyutlu bir dolgu malzemesi ile doldurulmasıyla oluşan malzemelere dolgu takviyeli kompozitler denir. Matris malzemesi farklı geometrik şekillere sahip iskelet veya şebeke yapıdadır. Düzgün petekler, hücreler veya sünger tipli gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri yer alabilir. Dolgu takviyeli kompozit Şekil 2.5'te gösterilmiştir [30].



Şekil 2.5. Dolgu takviyeli kompozit.

2.2. Matris Malzemesi

Matris malzemesi, kompozit malzemelerde takviye elemanını bir arada tutan maddedir. İmalat aşamasında sıvı formda olup , daha sonra katı forma kolaylıkla

geçebilmektedir. Kompozit malzemenin üzerine gelen yükler önce matris malzemesi tarafından karşılanır ve sonra elyaflara aktarılır. Kompozit yapıya rijitlik kazandırır. Matris malzemesinin amacı, kompozit yapı içerisindeki elyafları desteklemek ve onları bir arada tutmaktır.

2.2.1. Polimer matrisli kompozit malzemeler

Polimerler, seramik ve metallere göre daha karmaşık yapıdaki malzemelerdir. Kompozit yapıda matris olarak kullanılırlar.

Polimerler düşük elastik modül ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptir. Polimer matrisli kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek elastiklik modülü ve yüksek mukavemete sahip olmasıdır.

Polimerlerin üretimi için yüksek sıcaklık ve basınç gerekmez.

Polimerler, termoset, termoplastik ve elastomer olarak üç gruba ayrılır. Matris olarak en sık kullanılanları termosetler ve termoplastiklerdir [31].

2.2.1.1. Termosetler

Termosetler katalizör, reçine veya sertleştiricinin karıştırılmasıyla kürlenmektedir. Bu işlem tamamlandıktan sonra eski formlarına dönüştürülemezler. Termosetler çapraz bağ adında moleküler zincirler meydana getirirler. Bu bağlar sayesinde esnek bir yapıya sahip olamazlar. Bu sebeple ergitilerek tekrar şekillendirmek mümkün değildir. Bu bağların sayısı arttıkça malzemenin termal kararlılığı artar ve malzeme daha rijit bir hal alır [32].

Termoset polimerler, yüksek termal ve boyutsal kararlılığı, rijit yapıları, yüksek kimyasal çözücü direnci ve oda sıcaklığında sıvı halde bulunmaları gibi avantajlarından dolayı kompozit malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılır [32].

Matris malzemesi olarak en çok kullanılan termosetler, epoksi, polyester ve vinil ester reçinelerdir.

Polyester reçineler: Düşük maliyetleri ve yüksek korozyon direnci sayesinde denizcilik sektöründe çok sık kullanılır. Polyester reçineler termoset ya da termoplastik özellikler gösterebilmektedir. Polyester reçineler doymamış halde termoset, doymuş halde ise termoplastik özellik göstermektedirler [32].

Epoksi reçineler: Genellikle birbirine bağlı halde bulunan iki farklı karbon atomu ile oksijen atomunun bağlanmasıyla oluşur. Bu yapıya alfa epoksi adı verilir. Epoksi reçineler yüksek kimyasal ve yüksek korozyon dirençlerinin yanında fiberler üzerinde çok iyi tutunma özelliği göstermeleri sayesinde savunma ve havacılık sanayisinde çok sık kullanılmaktadır. Mukavemetli yapıları, uzama katsayıları ve yapışma özelliklerinin iyi olması sebebiyle epoksi reçineleri, fiber malzemeler için iyi bir matris malzemesidir [32].

Epoksi reçinelerinin avantajları arasında fiber yapılar için bağ dayanımının yüksek olması, aşınma direncinin yüksek olması, uçucu olmamaları, yüksek kimyasal dayanıma sahip olması, kopma dayanımının yüksek olması ve geniş sıcaklık değerlerinde sertleşebilme özellikleri sayılabilir [33].

Dezavantajları ise, polyeşterlere göre daha yüksek maliyette olması ve polyeşterlere oranla daha az vizkoziteye sahip olması söylenebilir [33].

Vinil Ester Reçineler: Epoksi reçinelerinin avantajları ve doymamış polyeşterlere özgü olan üretimi kolay ve hızlı sertleşme özelliklerini bir araya getirebilmek için geliştirilmiştir. Fiber ve matris arasında iyi bir bağ dayanımına sahip olması en önemli avantajlarındanır. Bu malzemeler, kimyasal dayanımın yüksek olması gereken kimya tesislerinde, borularda ve depolama tanklarında kullanılmaktadır [33].

2.2.1.2. Termoplastikler

Termoplastikler, birbirlerine Van Der Waals bağları ile bağlanan hidrokarbon moleküllerinden meydana gelir. Van Der Waals bağları, kovalent bağlara göre zayıf bağ olduğundan termoplastikler ısıtılarak kolay bir şekilde eritilebilir. Sıcaklığın artırılması ile termoplastiklerin viskoziteleri kolayca düşürülebilir. Termoplastikler oda sıcaklığında katı halde bulunurlar. Isıtıldıklarında yumuşadıkları gibi soğutulduklarında yeniden sertleşirler. Termoplastikler kristal yapı veya amorf yapıda olabilirler. Kristal yapıda bulunan termoplastiklerde moleküller kristal yapıdan kaynaklanan düzenden dolayı uzak mesafelerde düzenli şekil oluştururlar. Amorf yapıda ise bu kristal düzen olmadığı için polimer zinciri birçok noktada karışarak düzensiz yapıda kalmıştır [34].

Termoplastik malzemelere örnek verecek olursak;

Polivinil klorür; düşük maliyetli, dayanıklı ve montajı kolaydır. Bu nedenle inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

Polipropilen; tekstil, kırtasiye ve laboratuvar ekipmanlarında çok sık kullanılmaktadır. Bu polimerin mukavemeti yüksektir.

Polikarbonat; elektronik, veri depolama, otomotiv, uçak ve güvenlik uygulamalarında kullanılmaktadır. Darbe dayanımı yüksektir.

Akrilonitril-bütadien-stiren (ABS); makine sektöründe çok sık kullanılan sert bir polimerdir. ABS birçok endüstride ve çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Genellikle ucuzdur, lakin stres altında çatlamaya eğilim gösterebilmektedir [35].

2.2.1.3. Elastomerler

Çapraz bağlı olan elastomerler uzun zincir moleküllerden oluşur. Bazı elastomerler %500'den fazla uzar ve tekrar eski şekline döner. En çok bilinen elastomer ise kauçuktur. Kauçuklar iki sınıfa ayrılabilir.

Doğal kauçuk; Çeşitli bitkilerden çıkartılan kauçuklar,

Sentetik kauçuk: Termoplastik ve termosetler benzer polimerizasyon işlemleri ile üretilmektedir. Elastomerlerde çapraz bağ sayısı arttıkça daha rijit hale gelir [36].

2.2.2. Metal matrisli kompozit malzemeler

Kompozit malzemelerin üretiminde matris malzemesi olarak genellikle yüksek mukavemetli ve hafif metaller kullanılır. En sık olarak kullanılan metal matrisler alüminyum, titanyum ve magnezyumdur. Molibden, çelik, tungsten ve berilyum elyaflar takviye elamanı olarak kullanılabilir. Elyaf, bu matrislere tokluk ve mukavemet özelliklerini kazandırır. Metal matrisler ise elyafları bir arada tutarlar [37].

Metal matrisli kompozitlerde kullanılacak pekiştiriciler belirli özellikler içermelidir. Bunlardan bazıları yoğunluk, üretim kolaylığı, kimyasal uygunluk ve ısıl direnç olarak sayılabilir.

Metal matrisli kompozit malzemelerin yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı çok iyidir. Bu nedenle uçak motorlarında sıkça kullanılır [37].

2.2.3. Seramik matrisli kompozit malzemeler

Seramik matrisli kompozitler yüksek sıcaklık dayanımı, düşük yoğunluk ve ısıl şok direnci gibi özelliklere sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı farklı alanlarda kullanılmaktadır. Matris malzemesi sert ve kırılğan özellikte olan seramiklerden oluşur [38].

Seramik kompozitler farklı yapılara sahip olup kullanım alanlarına göre bir ya da bir kaç bir arada kullanılarak seramik matrisli kompozitler üretilir. Bu kompozitlerin yaygın olarak kullanıldığı alanlar sandviç zırhlar, uzay mekiklerinin üretimi ve askeri amaçlı farklı parçaların üretimidir [38].

2.3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

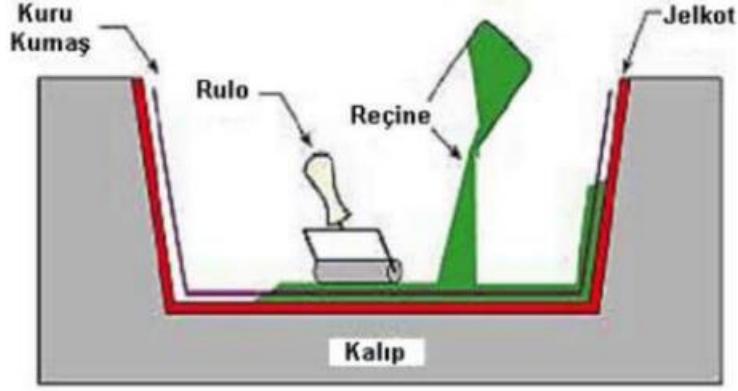
Her kompozit malzeme için üretim yöntemi farklılık gösterir. Üretim yöntemlerinin farklı olmasının sebebi kullanım alanlarının farklı olmasından dolayıdır. Uygun üretim yöntemini seçmek oldukça önemlidir. İmal edilen kompozit malzemenin kalitesi üretim yönteminin kalitesine bağlıdır [39].

Kompozit malzemelerde en yaygın olarak kullanılan malzeme elyaf takviyeli kompozit malzemelerdir.

2.3.1. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri

2.3.1.1. El ile yatırma yöntemi

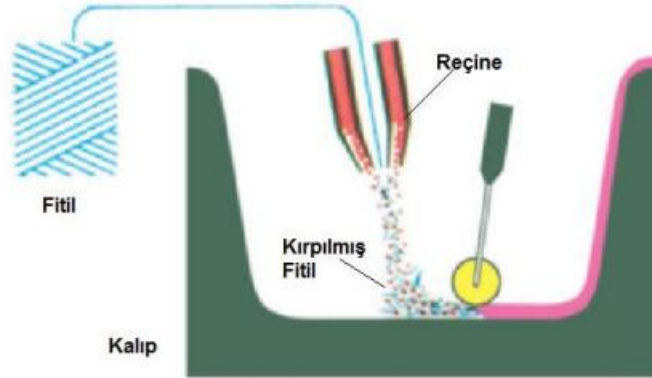
Takviye malzemesi olarak elyaf (cam, karbon ve aramid elyaf vb.) kullanılmaktadır. İlk başta kalıp temizlenir ve kalıp ayırıcı vaks sürülür. Kalıp ayırıcı vaks, kompozit malzemenin kalıptan ayrılmasını kolaylaştırır. Bu işlemden sonra elyaf katmanları yatırılmaktadır. Yatırma işlemi sırasında reçinenin emdirilmesi için bir rulo veya fırça kullanılmaktadır. Reçinenin elyaf kumaşa iyi nüfuz etmesi ve homojen dağılması sağlanmaktadır. İstenilen kalınlık elde edilinceye kadar bu işlem devam ettirilir ve tabakalı kompozit malzeme üretilir. El ile yatırma yöntemi safhası Şekil 2.6'da gösterilmiştir [40].



Şekil 2.6. El ile yatırma yöntemi safhası.

2.3.1.2. Püskürtme yöntemi

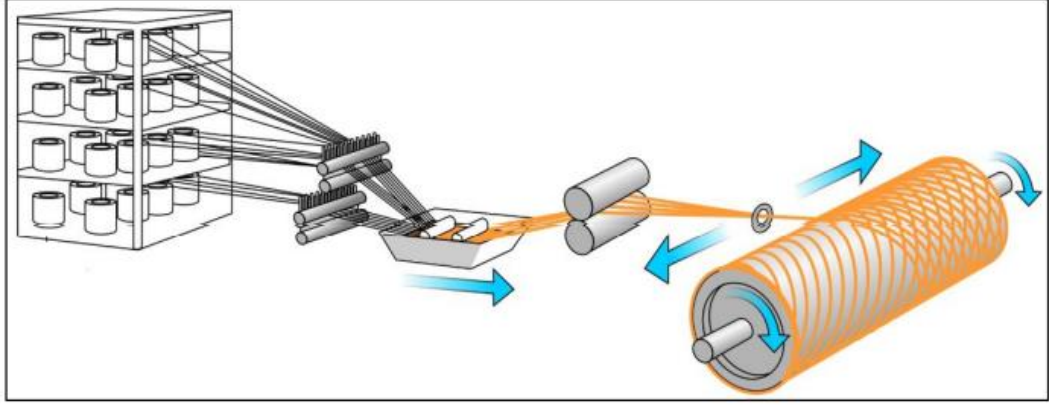
Püskürtme yöntemi el ile yatırma yönteminin aletli şekli olarak tanımlanabilir. Kırılmış elyaflar ile reçine karışımı özel bir tabanca ile püskürtülür. Elyafın kırılma işlemi tabanca üzerinde bir kırıcı tarafından yapılır. Püskürtme işleminden sonra bir rulo ile yüzey düzeltilir ve malzeme hazır hale gelir. Püskürtme yöntemi Şekil 2.7’de gösterilmiştir [41].



Şekil 2.7. Püskürtme yöntemi.

2.3.1.3. Elyaf sarım yöntemi

Elyafın reçine banyosuna daldırılmasından sonra iki punta arasında dönmekte olan ve üzerine kalıp ayırıcı sürülmüş kalıp üzerine sarılması yöntemidir. Basınçlı kap ve tüp benzeri silindirik şeklindeki formların üretimi için uygundur. Adetli parçalar bu yöntemle uygun fiyatlara üretilebilmektedir. Elyaf sarma yöntemi Şekil 2.8’de gösterilmiştir [42].

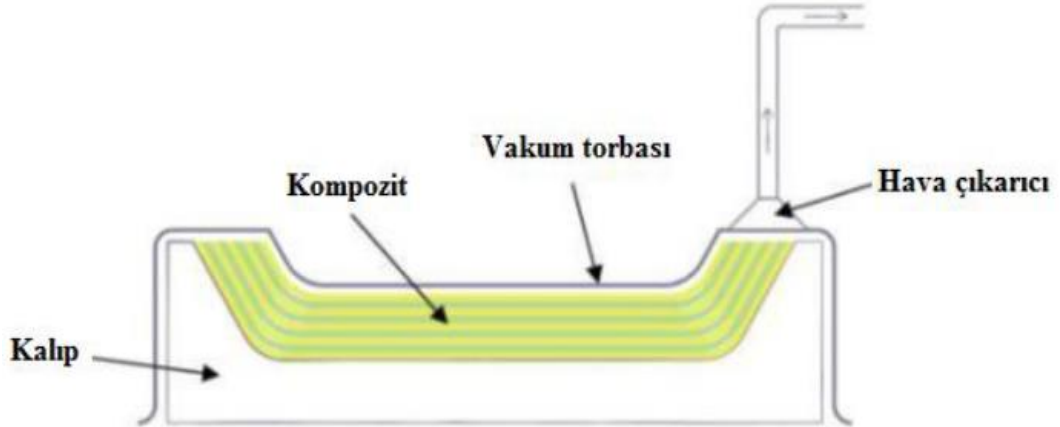


Şekil 2.8. Elyaf sarma yöntemi.

2.3.1.4. Vakumlu torbalama yöntemi

Elyaf kombinasyonu ve reçine ile daha yüksek kalitede ürün elde etmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, sertleşmemiş kompozit malzemenin kalıba yerleştirilmesi ve düzeneğin bir torba ile kaplanmasından oluşur. Elyaf ve reçine karışımı Şekilde gösterildiği gibi yerleştirilir. Vakum torbası kalıplama ile gerçekleştirilen kompozit üretim işlemi Şekil 2.9’da gösterilmiştir [43].

Bu tez çalışmasında imal edilen kompozit malzemelerin imalat aşamaları deneysel çalışmalar kısmında detaylı açıklanacaktır.



Şekil 2.9. Vakum torbası kalıplama ile gerçekleştirilen kompozit üretim işlemi.

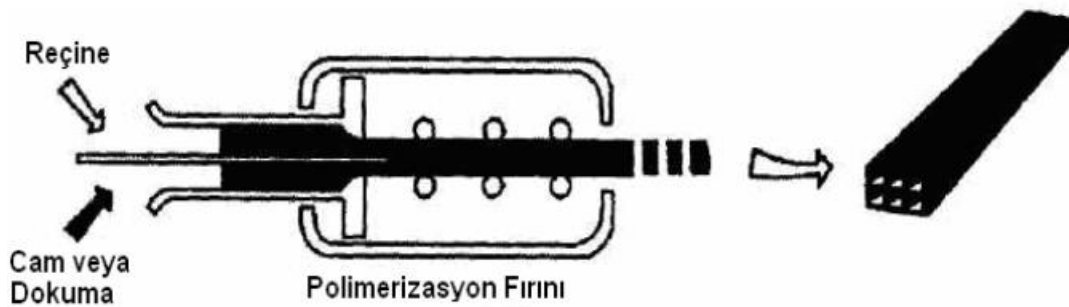
2.3.1.5. Preste kalıplama

Bu yöntemde reçine ve pekiştirici karışımı, iki parçadan oluşan kalıplarda basınç ve ısı altında şekillenir. Preslemede keçeler, kıyılmış fiberler, örgü ve kumaşlar kullanılabilir. Bu yöntemin avantajları:

- Üretim hızı yüksektir.
- Tüm parçalar aynı kalitede üretilebilir.
- Elyaf-reçine oranı ve boşluk miktarı çok iyi bir şekilde kontrol edilebilir [44].

2.3.1.6. Profil çekme yöntemi

Profil çekme yönteminde reçine malzemesi olarak genellikle epoksi, polyester ve vinil ester kullanılır. Takviye malzemesi olarak ise sürekli fiber malzemesi kullanılır. Şekilde profil çekme yöntemi gösterilmiştir. Profil çekme düzeneği Şekil 2.10'da gösterilmiştir [45].



Şekil 2.10. Profil çekme düzeneği.

2.3.1.7. Reçine transfer kalıplama yöntemi

Bu yöntemde genel olarak sürekli lifler kullanılır. Kalıp iki kısımdan meydana gelir. Birinci kısım, ikinci kısım üzerine geldikten sonra iki kısım birleşir. Sonra dağıtım ekipmanları kullanılarak, basınç altında tutulan katalizör, reçine, renk vb. karışımı kalıp içerisine basılır. Kür kinetiğine bağlı olarak karışım, 6-30 dakika kür edilir ve kalıptan çıkarılır.

Reçine transfer kalıplama yöntemi genellikle havacılık, otomotiv ve spor malzemeleri üretiminde kullanılır. Genel olarak bu yöntemle; kasklar, hokey sopası, kapılar ve uçak parçaları üretilmektedir [46].

3. MALZEMELERDE BÜKME İŞLEMİ

Bükme en basit tanımıyla düzlemsel bir eksen etrafında, düz levhaya kalıcı bir eğrilik verilmesi için uygulanan en temel sac malzeme şekillendirme yöntemi olarak bilinmektedir. [47].

Sac bükme işlemi, metal levhaların çeşitli ürün parçalarına dönüştürülmesinde kullanılır.

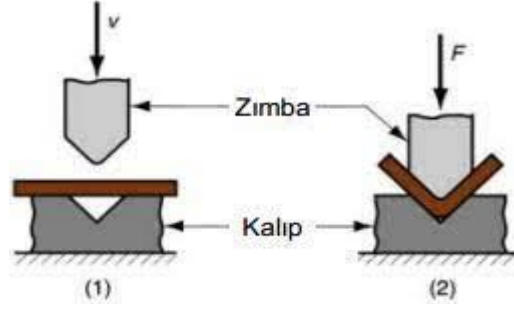
3.1. Bükme İşlemi Çeşitleri

Sac malzemelerin bükülmesi işlemlerinde ilgili sektörlerde farklı yöntemler kullanılmaktadır. En sık kullanılan yöntemlerden bazıları V bükme ve U bükme yöntemleridir. V bükme yöntemi kendi içinde serbest bükme, kenar bükme, açısız bükme gibi bazı alt sınıflara ayrılabilir.

Günümüzde bükme işlemleri genellikle hidrolik veya mekanik presler kullanılarak gerçekleştirilir. Bu presler NC, CNC ve manuel kontrollü olabilir. Bu işlemlerde kullanılan kalıplar genellikle iki parçadan oluşur. Çıkıntılı olan “erkek kalıp,” zımba (istampa) olarak adlandırılırken, bu kalıpla çalışan ve girintili şekilli dişi kalıp,” matris (kalıp) olarak adlandırılır.

3.1.1. V Bükme

V bükme kalıplarına, kalıp kesitlerinin “V” harfine benzemesinden dolayı bu isim verilmiştir. Dolayısıyla bükme operasyonundan sonra kalıptan çıkan malzeme “V” harfine benzemekte olup, genellikle bu işlem abkant presler kullanılarak yapılmaktadır. V bükme operasyonunda kalıp ağzı genişliği ve zımba uç yarıçapı uygun ölçülerde tercih edilmelidir. Şekil 3.1’de V bükme operasyonunda, V bükme kalıbının elemanları ve iş parçası yer almaktadır.

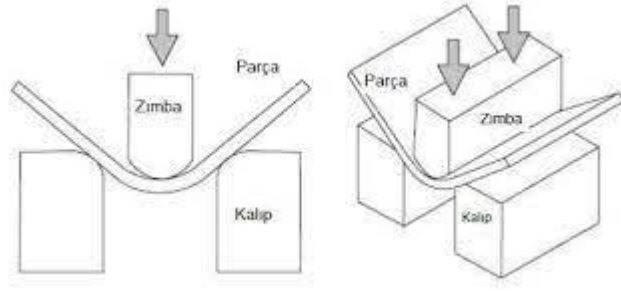


Şekil 3.1. V Bükme Operasyonu

V bükme işleminde zımba aşağı işlem yapılacak parçaya doğru hareket ederken ilk olarak desteksiz sac ile temas eder. Zımba iş parçasının merkezinden aşağı bastırır. Bu durumda bükme kollarının uçları yukarı esneyerek kalıp radüsleri etrafında çok az bir miktar hareket ederek reaksiyon gösterirler. Malzemenin kalıp radüslerindeki hareketi sallanma değil, sürüklenme ve kayma hareketi olmaktadır. Bükme olayı ilerledikçe sürüklenme ve dolayısı ile malzemenin reaksiyonu daha da artmaktadır. Bu durumda kollar bir öncekine göre daha da yukarıya kalkmış bulunmaktadır. Son süreçte yalnız zımba ucu değil artık yan yüzeyleri de temas halinde ve zımba parçayı kalıp içine yatırmış durumdadır[48].

3.1.2. U Bükme

U bükme yöntemi, sac malzemenin U şeklinde bükülmesi amacıyla kullanılan bir bükme yöntemidir. Bu işlemde sac metalin bir U şeklindeki kalıba yerleştirilmesiyle başlar. Ardından zımba aşağı doğru hareket ederek malzemeye temas eder. Kalıbın dibine doğru ilerlerken malzemeye U şeklini verir. U bükme işleminde, zımbanın uyguladığı kuvvet, kalıbın derinliği, açıklığı ve zımbanın yarıçapı gibi faktörlere bağlı olarak tanımlanabilir. Aynı bükme açısıyla yapıldığında, U bükme işlemindeki şekil değişimi miktarının, V bükme işlemine göre daha fazla olduğu söylenebilir. U bükme işleminde, malzemenin alması gereken şekle bağlı olarak erkek ve dişi kalıp seçimi yapılır, böylece bükme işlemi gerçekleştirilir. İşlem kalıp radyusunun, derinliğinin, açıklığının; bükme radyusunun ve uygulanan kuvvetin bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Şekil 3.2’de U bükme operasyonunda, U bükme kalıbının elemanları ve iş parçası yer almaktadır.



Şekil 3.2. U Bükme Operasyonu

3.1.3. Serbest bükme

Serbest bükmede; sac parça altta yer alan kalıbın kenarları tarafından desteklenirken zımbanın aşağı doğru inmesi ile gerekli bükme açısı oluşur. Sac parçanın aldığı şekil itibari ile V bükmeye benzemesine rağmen sac parçanın kenarları bükme işleminin başlangıcında ve bitiminde serbest haldedir [48]. Şekil 3.3'te serbest bükme operasyonu yer almaktadır.



Şekil 3.3. Serbest Bükme Operasyonu

3.2. Bükmeyi Etkileyen Faktörler

Bükme işlemi sırasında, sac malzemenin dış yüzeyindeki lifler uzar, bu sebeple çekme gerilmesi oluşur. Bununla birlikte, iç kısımdaki lifler kısalır ve basmaya zorlanır. Bükülen malzemede iç kısımda basma gerilmeleri, dış kısımda çekme gerilmeleri oluşur. Bükme işlemi sırasında herhangi bir ezilme veya malzeme kalınlığının değişmediği varsayılırsa, nötr eksen bu çekme ve basma bölgelerini ayırır. Nötr eksen bir değişiklik olmadığından lif uzunluğu değişmez[49].

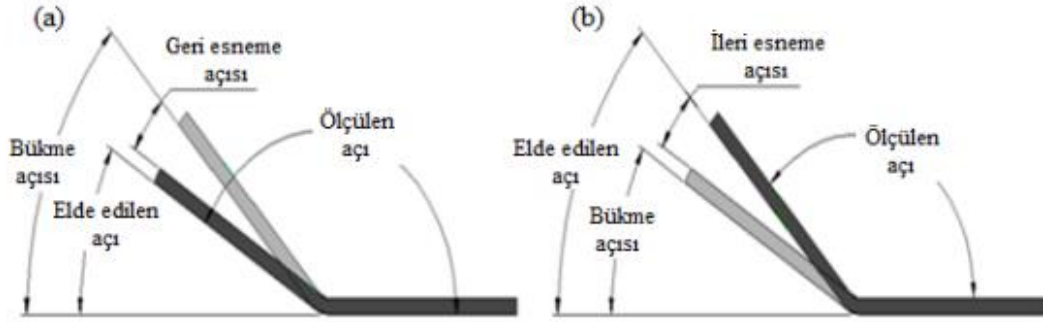
Sac bükme işlemi birçok faktörden etkilenir ve bu faktörlerin doğru bir şekilde yönetilmesi, istenilen sonuçların eldesinde önemlidir[50].

- Malzeme Türü: Sac bükme işlemi için kullanılan malzemenin türü, işlem sırasındaki davranışı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Farklı alaşımlar farklı özelliklere sahiptir.
- Malzeme Kalınlığı: Metal levhanın kalınlığı, bükme işlemi üzerinde önemlidir. Daha kalın malzemeler daha fazla kuvvet gerektirir ve daha büyük yarıçap gerektirebilir.
- Bükme Yarıçapı: Bükme işleminde kullanılan yarıçap, bükme sonucunu etkiler. Daha büyük yarıçaplar daha az gerilmeye neden olur.
- Bükme Açısı: Bükme açısı, malzeme üzerindeki gerilimi ve deformasyonu etkiler. Daha büyük açılar daha fazla deformasyona yol açabilir.
- Pres Kuvveti: Bükme işleminde kullanılan presin kuvveti, malzeme üzerindeki stresi belirler. İhtiyaca uygun bir pres kuvveti seçimi önemlidir.
- Malzeme Sıcaklığı: Sac bükme işlemi sırasında malzemenin sıcaklığı, bükme davranışını etkileyebilir. Soğuk işleme ve sıcak işleme farklı sonuçlar doğurabilir.
- Yüzey Kalitesi: Metal levhanın yüzey kalitesi, bükme işlemi sırasında deformasyonu ve yüzey pürüzsüzlüğünü etkileyebilir.
- Kalıp ve Matris Tasarımı: Kullanılan kalıp ve matris tasarımı, bükme işleminin sonucunu etkiler. Kalıp ve matrislerin şekli ve malzemesi, bükme işlemi için kritik öneme sahiptir.
- Ön Germe (Pre-Bükme): Malzemenin ön gerilmesi veya ön bükülmesi, bükme işleminin sonucunu iyileştirebilir ve geri yaylanmayı azaltabilir.
- Malzeme Özellikleri: Malzemenin elastiklik modülü, akma dayanımı ve gerilmekayma davranışı, geri yaylanma davranışı gibi özellikleri önemlidir.

3.3. Geri ve İleri Yaylanma

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 çok önemlidir. Bükme işlemlerinde malzemelerin akma sınırları aşılmakta, ancak rezilyans enerjileri aşılamamaktadır [51]. 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 geri veya ileri yaylanma olarak adlandırılır. (Şekil 3.4.)



Şekil 3.4. Bükme İşlemi Sonrası Yaylanma a) Geri yaylanma, b) İleri yaylanma

Bükme işlemi sonucunda, ölçülen açı değeri bükme açısından küçükse geri yaylanma (Şekil 3.4.a), ölçülen açı bükme açısından büyük ise ileri yaylanma oluşmaktadır (Şekil 3.4.b). Geri ve ileri yaylanma değerlerinin bulunmasında, teorik hesaplamalardan çok deneysel verilerden yararlanmak, bükme açısına daha kolay ulaşmayı sağlamaktadır. Teorik hesaplama kesin çözüm olmadığından, uzun hesaplamalar yerine deneysel veriler daha kullanışlı olmaktadır[52].

3.3.1. Geri ve ileri yaylanmayı etkileyen faktörler

Bükme işleminin sonucunda, malzemelerde meydana gelen geri ve ileri yaylanma miktarı malzeme ve bükme işlemine ait parametrelere göre değişkenlik göstermektedir. Geri ve ileri yaylanma miktarını etkileyen bazı faktörler aşağıda verilmiştir[53].

- Malzeme cinsi (mekanik ve kimyasal özelliklerine)
- Malzeme kalınlığı
- Sac malzemelerde hadde, kompozit malzemelerde elyaf yönü
- Büküm açısı
- Zımbanın uç yarıçapı
- Zımbanın malzeme üzerinde beklediği süre (Presleme süresi)
- Uygulanan büküm kuvveti
- Ortam sıcaklığı

3.3.2. Geri ve ileri yaylanmayı telafi etme yöntemleri

Sac malzemeler büküm işleminden sonra eski haline dönmek ister. Bu sebeple büküm yapılan levhada, malzeme ve büküm parametrelerine göre geri veya ileri yaylanma meydana gelebilir. Bu yaylanma sorununu çözmek ve istenilen büküm açlarına ulaşabilmek için bazı yöntemler mevcuttur.

- **Aşırı Bükme:** Geri esneme miktarını azaltmanın en yaygın yolu, sac malzemesini bükme işlemi sırasında istenilen açıdan daha fazla bükme işlemidir. Bu sayede istenilen açığa daha yakın sonuçlar elde etmek mümkün olmaktadır.
- **Yüksek Mukavemetli Malzemeler:** Sac malzemenin geri yaylanma özelliği, kullanılan malzemenin bazı özelliklerine bağlıdır. Yüksek mukavemetli malzemeler, daha az geri yaylanma özelliğine sahip olabilir. Bu nedenle, geri yaylanmayı azaltmak için uygun mukavemet özelliklerine sahip malzemelerin seçimi önem arz etmektedir.
- **Sıcak İşlem:** Sıcak işlem yöntemleri, sac malzemesinin geri yaylanma miktarını azaltabilir. Malzeme yüksek sıcaklıklarda şekillendirildiğinde, moleküler yapısı değişir ve daha az geri yaylanma eğiliminde olur.
- **Kesim ve Düzeltme İşlemleri:** Bükülen sac malzemenin istenilen ölçülere ulaşmasını sağlamak için kesim ve düzeltme işlemleri yapılabilir. Bu işlemler, geri veya ileri yaylanmayı telafi edebilir ve istenilen toleranslara ulaşmayı kolaylaştırabilir.
- **Kalite Kontrol:** Bükme işlemi sonrası ürünlerin geri veya ileri yaylanma miktarını belirlemek için kalite kontrol prosedürleri kullanılabilir. Bu sayede malzeme ölçülerinin istenen toleranslara uygun olduğundan emin olunabilir.

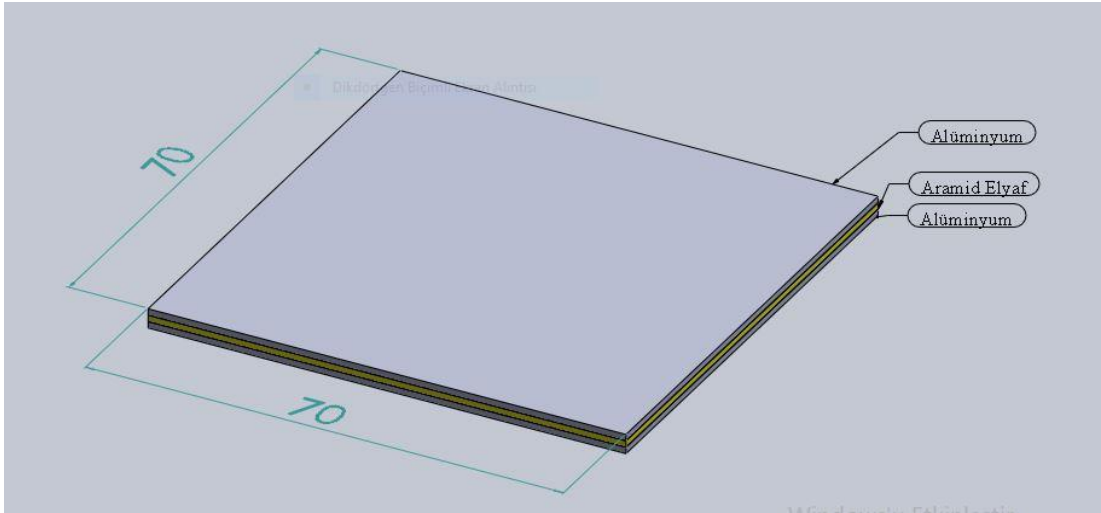
Geri veya ileri yaylanmayı telafi etmenin en önemli yollarından birisi deneysel metotlardır. Geri veya ileri yaylanma miktarı birçok parametreye bağlı olduğundan dolayı uygun şartlarda, istenilen ölçüye ulaşana kadar deney yapmak önemlidir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, alüminyum- çeşitli elyaf (Karbon, cam-karbon, cam ve aramid) sandviç levhaların v-bükme işlemi neticesinde oluşan geri ve ileri yaylanma davranışları deneysel olarak incelenmiştir.

Fiber- metal kompozit levhaların, iki dış kabuk tabakası olarak Al 6061-T6 kalitesinde alüminyum ve iç tarafında ise alüminum ile aynı kalınlıklarda üretilen elyaf takviyeli epoksi levhalar kullanılmıştır.

Fiber-metal sandviç levhaların v-bükme yöntemi ile şekillendirilmesinde; malzeme cinsi, malzeme kombinasyonu, kalınlık, bükme açısı parametrelerinin geri ve ileri yaylanmaya etkisi araştırılmıştır.

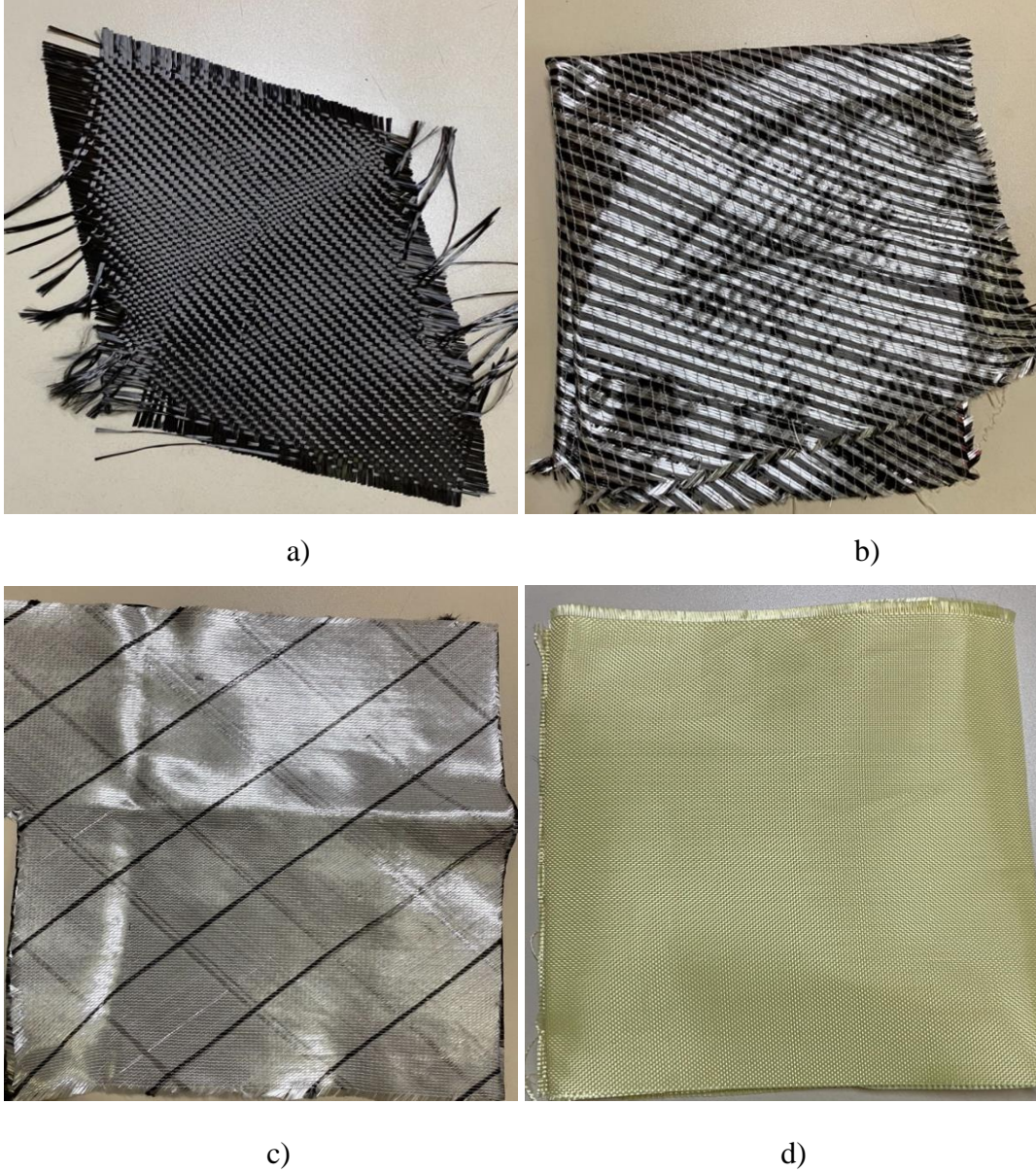


Şekil 4.1. Alüminyum/Aramid Fiber Tabakalı Kompozit Malzemenin Şematik Görüntüsü

4.1. Elyaf Malzemelerin Hazırlanması

Bu çalışmada fiber takviyeli epoksi kompozit plakalarda çeşitli elyaf malzemeler kullanılmıştır. Karbon elyaf olarak plain dokuma ve yoğunluğu 200 g/mm^2 olan serisi kullanılmıştır. Karbon-cam elyaf olarak twill dokuma ve yoğunluğu 220 g/mm^2 olan serisi kullanılmıştır. Aramid elyaf olarak twill dokuma ve yoğunluğu 170 g/mm^2 olan serisi kullanılmıştır. Cam elyaf olarak twill dokuma ve yoğunluğu 280 g/mm^2 olan serisi kullanılmıştır.

serisi kullanılmıştır. Kullanılan kumaş ağırlığının %60'ı kadar reçine ve ¼ oranında sertleştirici kullanılarak homojen bir karışım hazırlanmıştır. Elyaf malzemelere ait görüntü Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Elyaf malzemelere ait görüntü a) Karbon elyaf, b) Karbon/Cam elyaf, c) Cam Elyaf, d) Aramid elyaf

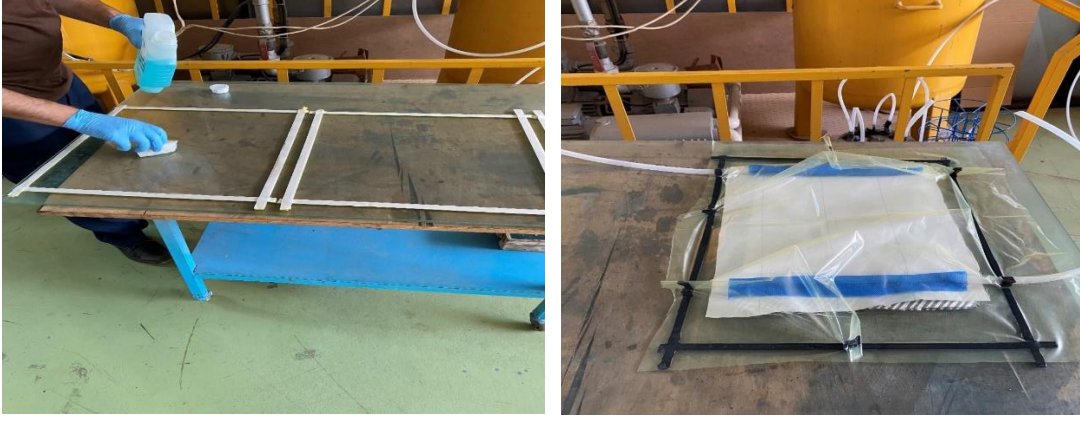
Elyaf malzemeler vakum torbalama metodu ile imal edilmiştir. İmalat aşamasında aşağıdaki işlemler uygulanmıştır.

Temizlenmiş 10 mm. kalınlığındaki cam levhanın üzerine ayırıcı SW-6 sürülüp kuruması beklendikten sonra bez yardımıyla yüzey parlatma yapılmıştır. Aynı işlem daha sonra Polimax EN kullanılarak tekrar edilmiştir. Cam levha üzerine, imal edilecek parça ölçülerinden beşer cm. daha büyük ölçülerde olacak şekilde vakum

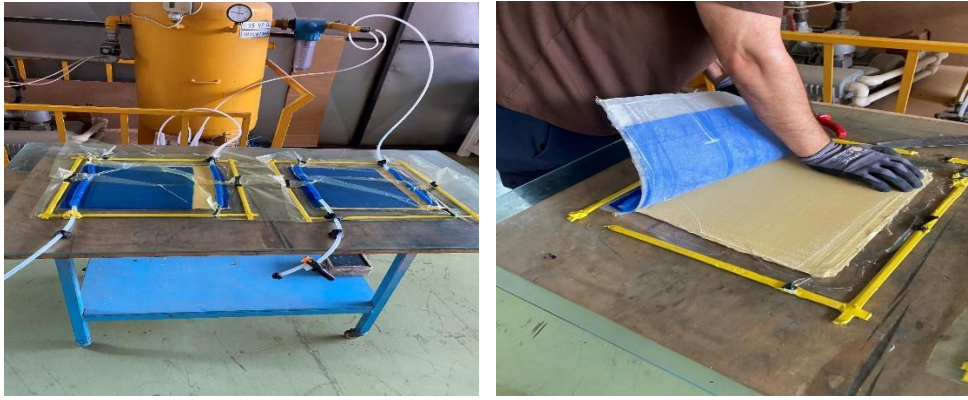
macunu ile çerçeve oluşturulmuştur. Sıvı ayırıcı bu çerçevenin içine bütün yüzey kuru kalmayacak şekilde sürülmüş ve kuruması beklenmiştir. Çerçevenin ortasına bir plaka alüminyum levha koyularak üzerine elyaf kumaşlar düzgün şekilde yerleştirilmiştir. Kumaşların üzerine ayırıcı peel ply kumaş serilmiştir. Üzerine reçine akış ağı serilmiştir. Reçine hattı ve vakum hattı, spiral hortum dışına reçine akış ağı sarılarak oluşturulmuştur. Ayırıcı peel ply kumaş, elyaf kumaşlara zımbalanmıştır. Vakum hattı, 12mm. çapındaki hortum yardımıyla vakum tankına bağlanmıştır. Reçine hattı hortum yardımı ile uzatılmıştır. Vakum filmi levhanın üzerine farklı noktalardan pot yükseklikler verilerek yapıştırılmıştır. Vakum hattının vanası açılarak -0,6 bar basınçta oluşturulan levhanın içindeki havanın alınması sağlanmıştır. Kumaş ağırlığının %60'ı kadar reçine, ¼ oranında sertleştirici kullanılarak hazırlanmıştır. Karışım homojen olana kadar karıştırılmıştır. Reçine hattından, oluşturulan levhaya reçine emdirilmiştir. Vakum hattı aktif kalacak şekilde 12 saat beklenmiştir. 12 saat beklemeden sonra levha, sistemden söküldü ve tesviyesi yapılarak hazır hale getirilmiştir. Ürünün alüminyum olmayan tarafına Araldite 2011 epoksi yapıştırıcı sürülerek bu tarafına alüminyum levha yapıştırılmıştır. Elde edilen ürün 24 saat boyunca hidrolik preste baskı altında kalarak deneye hazır hale getirilmiştir. Deneye hazır olan tüm ürünler 300 mm x 300 mm ölçülerinde hazırlanan sandviç plakalardan 70 mm x70 mm ölçüsünde v-bükme numuneleri kesilerek hazırlanmıştır.



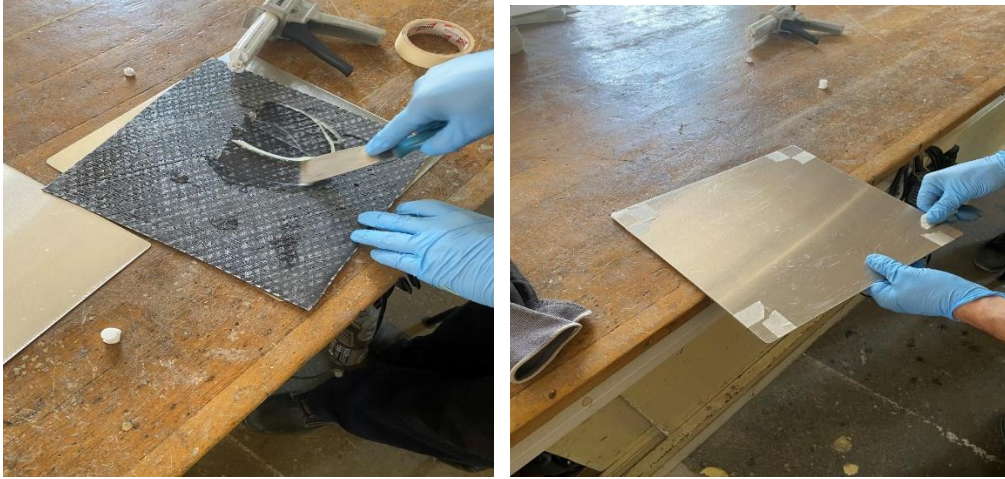
Şekil 4.3. Kompozit malzeme imalatında kullanılan epoksi reçine ve sertleştiricisi



Şekil 4.4. Kompozit malzeme imalatı aşamaları



Şekil 4.5. Kompozit malzeme imalatı aşamaları



Şekil 4.6. Kompozit malzeme imalatı aşamaları

4.2. Alüminyum Alaşım Malzeme

Deney aşamasında kullanılan alüminyum alaşım malzemenin kalitesi Al6061 olup, ısıl işlem türü T6'dır. Bu malzemeler daha çok uçak sanayi, savunma sanayi, boru, kazan

imalatı, vagon imalatlarında kullanılır. Bu malzemeye ait mekanik ve kimyasal özellikler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.1. Alüminyum 6061-T6 malzemenin ısıtım işlem şartlarına göre değişen mekanik özellikleri

Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Oranı	Uzama Oranı	Brinell Sertliği (500 kg. , 10 mm. , 30s.)	Kesme Dayanımı (MPa)
310	276	12	17	95	207

Tablo 4.2. Alüminyum 6061-T6 malzemenin kimyasal kompozisyonu

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Al 6061	0,4-0,8	0,7	0,15-0,4	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35	0,25	0,15	Kalan

4.3. V-Bükme Deneyleri

Her bir numune 70 mm x70 mm ölçülerinde hazırlanıp CNC Abkant preste bükülmeye hazır hale getirilmiştir. Kullanılan CNC abkant pres Dener Marka Puma XL 30135 modelidir ve görseli aşağıdaki şekilde verilmiştir. 1 mm. ve 1,5 mm kalınlığındaki alüminyum alaşımı malzeme için aynı kalınlıkta imal edilen kompozit malzemeler yapıştırılarak deneye tabii tutulmuştur.



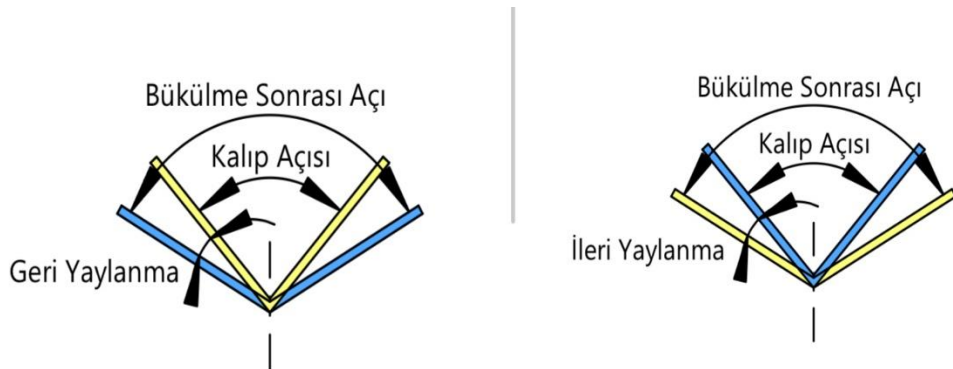
Şekil 4.7. V Bükme deneylerinde kullanılan CNC Abkant Pres

Her bir numune V16 ve V20 ölçüsündeki alt kalıplarda 140° , 150° ve 160° açılarında ayrı ayrı bükülmüştür. Ek olarak malzeme kalınlığına uygun olan V10 kalıbında 1mm ve 1,5 mm. kalınlığındaki alüminyum alaşımlı malzemelerin bükümü yapılmıştır. Yapılan işlem fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Abkant presin numunelere uyguladığı baskı kuvvetleri; 1mm kalınlığındaki malzeme için 1,5 ton, 1,5 mm kalınlığındaki malzeme için 2,3 ton, 3 mm kalınlığındaki malzeme için 4,6 ton, 4,5 mm kalınlığındaki malzeme için 6,9 ton olarak tespit edilmiştir.

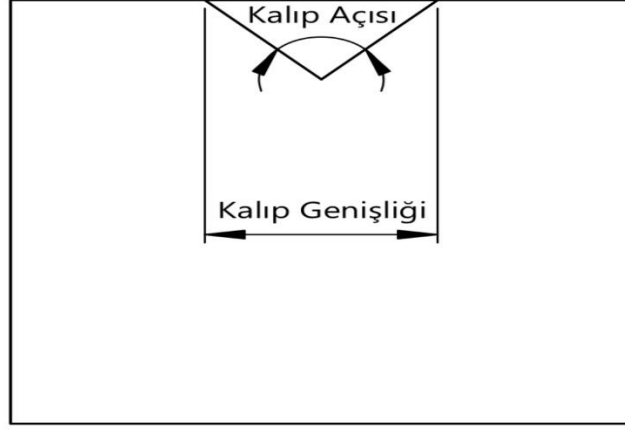
Şekil 4.8’de geri ve ileri yaylanmanın şematik gösterimi verilmiştir.

Şekil 4.9’da V-Bükme kalıbının şematik gösterimi verilmiştir.

Bu çalışmada deney yapılan levhaların listesi Tablo 4.3.’te verilmiştir.



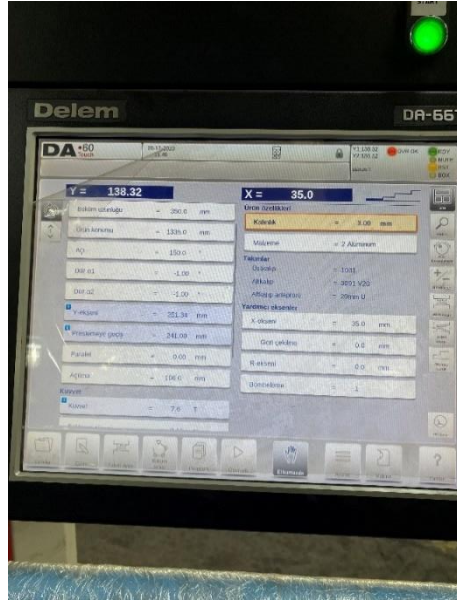
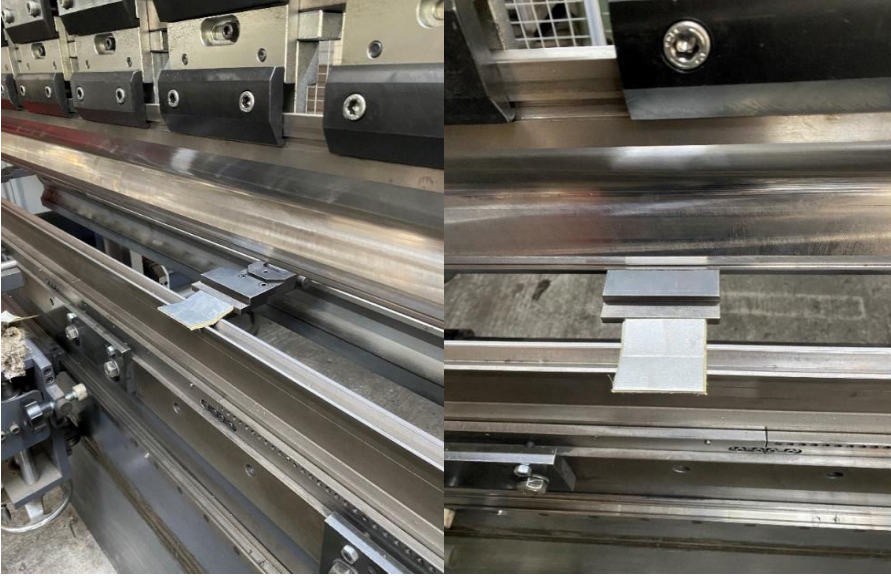
Şekil 4.8. Geri ve İleri Yaylanmanın Şematik Olarak Gösterimi



Şekil 4.9. V-Bükme Kalıbının Şematik Olarak Gösterimi

Tablo 4.3. Deneye tabii tutulan levha listesi

Deney Yapılan Malzemeler			
Alt Plaka	Orta Plaka	Üst Plaka	Deney Yapılan Kalıp Genişliği
1mm. Alüminyum	-	-	V10/V16/V20
1,5mm. Alüminyum	-	-	V10/V16/V20
1mm. Alüminyum	1mm. Karbon Elyaf	1mm. Alüminyum	V16/V20
	1mm. Karbon-Cam Elyaf		
	1mm. Cam Elyaf		
	1mm. Aramid Elyaf		
1,5mm. Alüminyum	1,5mm. Karbon Elyaf	1,5mm. Alüminyum	V16/V20
	1,5mm. Karbon-Cam Elyaf		
	1,5mm. Cam Elyaf		
	1,5mm. Aramid Elyaf		



Şekil 4.10. Yapılan deneyler esnasında çekilen fotoğraflar

4.4. Deney Sonuçları

V-bükme deneyleri sonucunda geri ve ileri yaylanma miktarları dijital açı ölçer ile ölçülmüştür. Açı cinsinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.



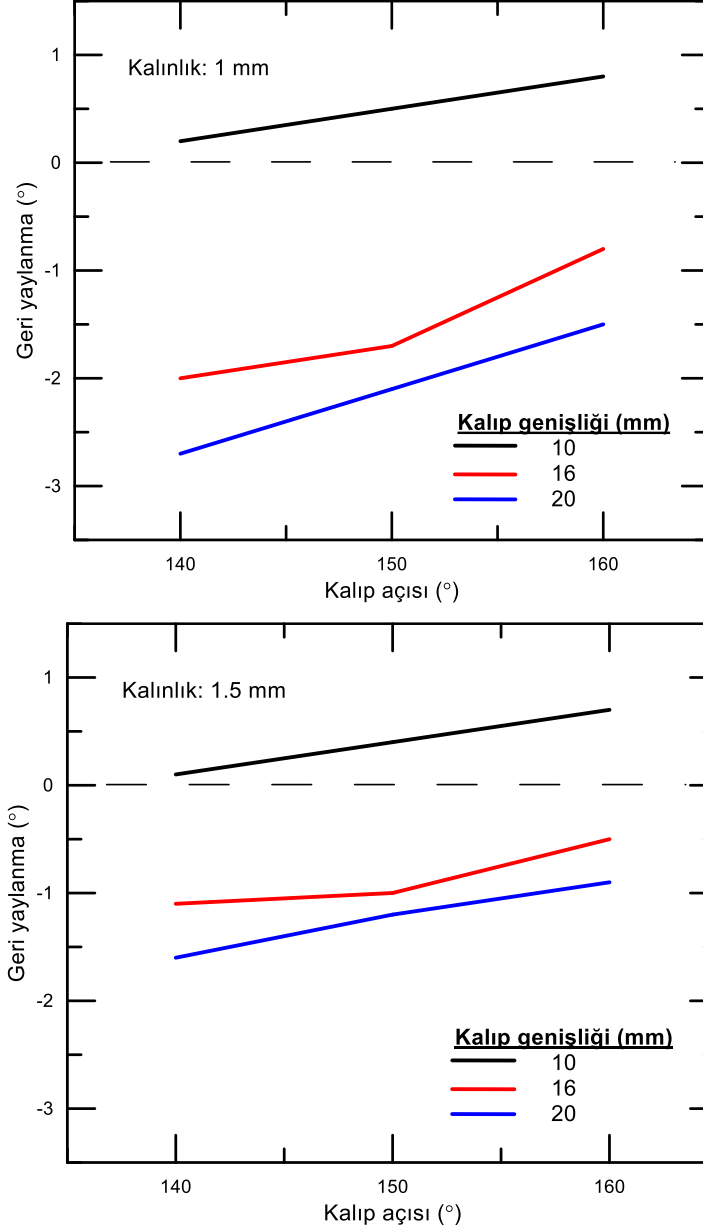
Şekil 4.11. Bükümü yapılan deney numunesinin dijital açı ölçer ile ölçümü

Alüminyum plaka için farklı kalıp açısı ve kalıp genişliğinde gerçekleştirilen v-bükme deney sonuçları Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4. Alüminyum plaka için V-bükme deney sonuçları

Kalınlık (mm)	Kalıp açısı (°)	Geri yaylanma (°) (V10)	İleri yaylanma (°) (V16)	İleri yaylanma (°) (V20)
1	140	0,2	-2	-2,7
1	150	0,5	-1,7	-2,1
1	160	0,8	-0,8	-1,5
1,5	140	0,1	-1,1	-1,6
1,5	150	0,4	-1	-1,2
1,5	160	0,7	-0,5	-0,9

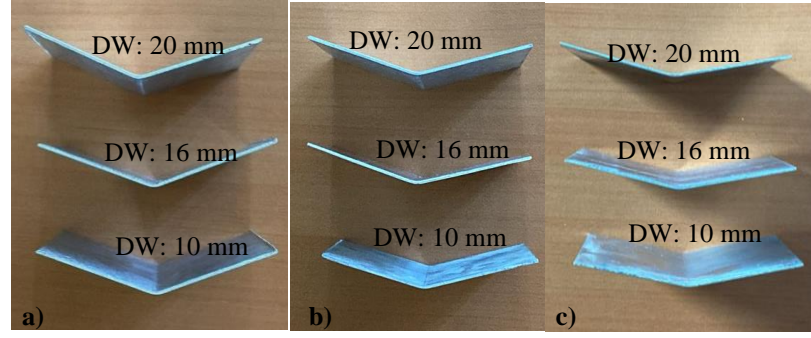
Tablo incelendiğinde 10 mm genişliğindeki kalıp ile 1 mm sac kalınlığına sahip numuneler üzerinde yapılan deneylerde geri yaylanma, 16 ve 20 mm genişliğindeki kalıplarda yapılan bükme işlemlerinde ise ileri yaylanma dikkati çekmektedir. Kalıp açısı arttıkça geri esneme açısı da artmıştır. Sac kalınlığı 1,5 mm olduğunda geri yaylanma veya ileri yaylanma davranışı 1 mm sonuçları ile benzerdir. Kalınlık arttıkça geri yaylanma ve ileri yaylanma değerleri azalmıştır. İki farklı sac kalınlığı için kalıp açısına ve kalıp genişliğine bağlı olarak geri esnemenin değişimi Şekil 4.12'de verilmiştir.



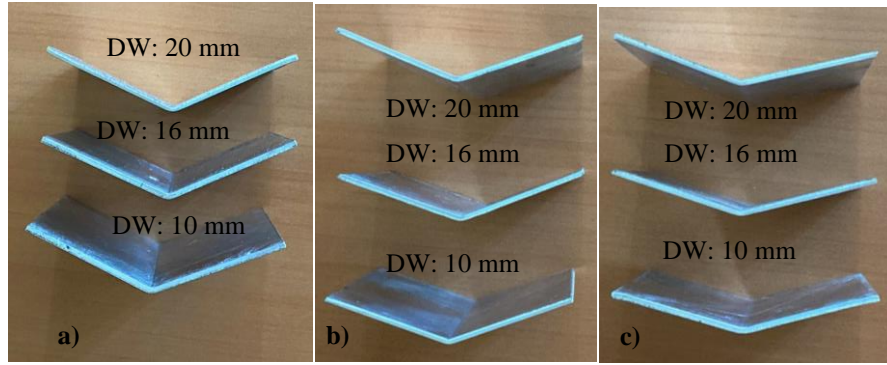
Şekil 4.12. Kalıp açısına bağlı olarak geri yaylanmanın değişimi

Şekil 4.9 incelendiğinde 1 mm kalınlık ve 10 mm kalıp genişliğinde kalıp açısı 140° olduğunda ileri yaylanma 0,2° iken 160°'de 4 kat artarak 0,8°'ye çıkmıştır. 16 mm kalıp genişliği ile ileri yaylanma 140°'de -2° iken, 160°'de %40 artışla -0,8°'ye çıkmıştır. 20 mm kalıp genişliğinde ileri yaylanma 160°'de %55 artarak 1,5°'ye yükselirken, 140°'de -2,7° olmuştur. Aynı kalıp açısı kullanılarak farklı kalınlıklarda deneyler yapıldığında kalınlık arttıkça geri esneme açısının azaldığı gözlemlenmiştir.

Deney sonrası numunelere ait görüntüler Şekil 4.13-14'te verilmiştir.



Şekil 4.13. 1 mm kalınlık için bükülmüş numunelerin görünümü, a) 140°, b) 150°, c) 160°



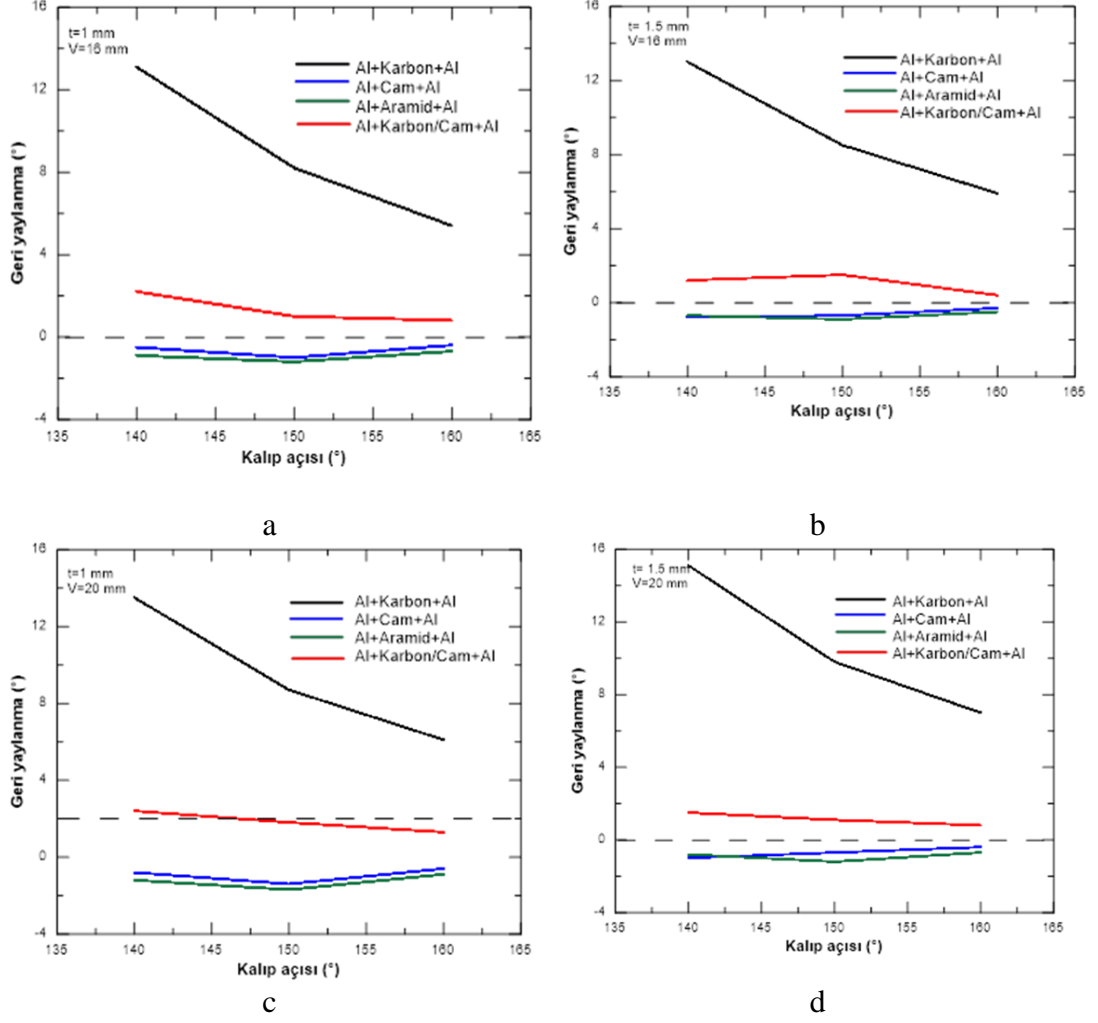
Şekil 4.14. 1,5 mm kalınlık için bükülmüş numunelerin görünümü, a) 140°, b) 150°, c) 160°

Tablo 4.5. 16 mm kalıp genişliğinde gerçekleştirilen fiber-metal sandviç kompozitlerin deney sonuçları

Malzeme kalınlığı (mm)	Malzeme sırası	Kalıp açısı (°)	Geri Yaylanma (°)	Geri yaylanma/İleri yaylanma tipi
1	Al-KE-Al	140	13,1	Geri yaylanma
		150	8,2	Geri yaylanma
		160	5,4	Geri yaylanma
	Al-CE-Al	140	-0,5	İleri yaylanma
		150	-1	İleri yaylanma
		160	-0,4	İleri yaylanma
	Al-AE-Al	140	-0,9	İleri yaylanma
		150	-1,2	İleri yaylanma
		160	-0,7	İleri yaylanma
	Al-KCE-Al	140	2,2	Geri yaylanma
		150	1	Geri yaylanma
		160	0,8	Geri yaylanma
1.5	Al-KE-Al	140	13	Geri yaylanma
		150	8,5	Geri yaylanma
		160	5,9	Geri yaylanma
	Al-CE-Al	140	-0,8	İleri yaylanma
		150	-0,7	İleri yaylanma
		160	-0,3	İleri yaylanma
	Al-AE-Al	140	-0,7	İleri yaylanma
		150	-0,9	İleri yaylanma
		160	-0,5	İleri yaylanma
	Al-KCE-Al	140	1,2	Geri yaylanma
		150	1,5	Geri yaylanma
		160	0,4	Geri yaylanma

Tablo 4.6. 20 mm kalıp genişliğinde gerçekleştirilen fiber-metal sandviç kompozitlerin deney sonuçları

Malzeme kalınlığı (mm)	Malzeme sırası	Kalıp açısı (°)	Geri Yaylanma (°)	Geri yaylanma/ İleri yaylanma tipi
1	Al-KE-Al	140	13,5	Geri yaylanma
		150	8,7	Geri yaylanma
		160	6,1	Geri yaylanma
	Al-CE-Al	140	-0,8	İleri yaylanma
		150	-1,4	İleri yaylanma
		160	-0,6	İleri yaylanma
	Al-AE-Al	140	-1,2	İleri yaylanma
		150	-1,7	İleri yaylanma
		160	-0,9	İleri yaylanma
	Al-KCE-Al	140	2,4	Geri yaylanma
		150	1,8	Geri yaylanma
		160	1,3	Geri yaylanma
1.5	Al-KE-Al	140	15,1	Geri yaylanma
		150	9,8	Geri yaylanma
		160	7	Geri yaylanma
	Al-CE-Al	140	-1	İleri yaylanma
		150	-0,7	İleri yaylanma
		160	-0,4	İleri yaylanma
	Al-AE-Al	140	-0,8	İleri yaylanma
		150	-1,2	İleri yaylanma
		160	-0,7	İleri yaylanma
	Al-KCE-Al	140	1,5	Geri yaylanma
		150	1,1	Geri yaylanma
		160	0,8	Geri yaylanma



Şekil 4.15. Kalıp açısına bağlı olarak geri yaylanmanın değişimi (a-) t=1mm , V=16 mm. b)t=1,5 mm. , V=16 mm. c-) t=1mm. , V=20 mm. d-) t=1,5mm , V=20 mm.)

Elde edilen sonuçlarda ölçüm sonucu, test yapılan açı derecesinden büyükse malzemede geri yaylanma, küçükse ileri yaylanma olduğu görülmüştür. 1 mm ve 1,5 mm kalınlığındaki alüminyum alaşımlı malzemelerin V-bükümü için uygun V bükme alt kalıbı ölçüsü 10 mm olarak değerlendirilmiştir. Bu kalınlıktaki malzemelerin V10 alt kalıbındaki büküm ölçüleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

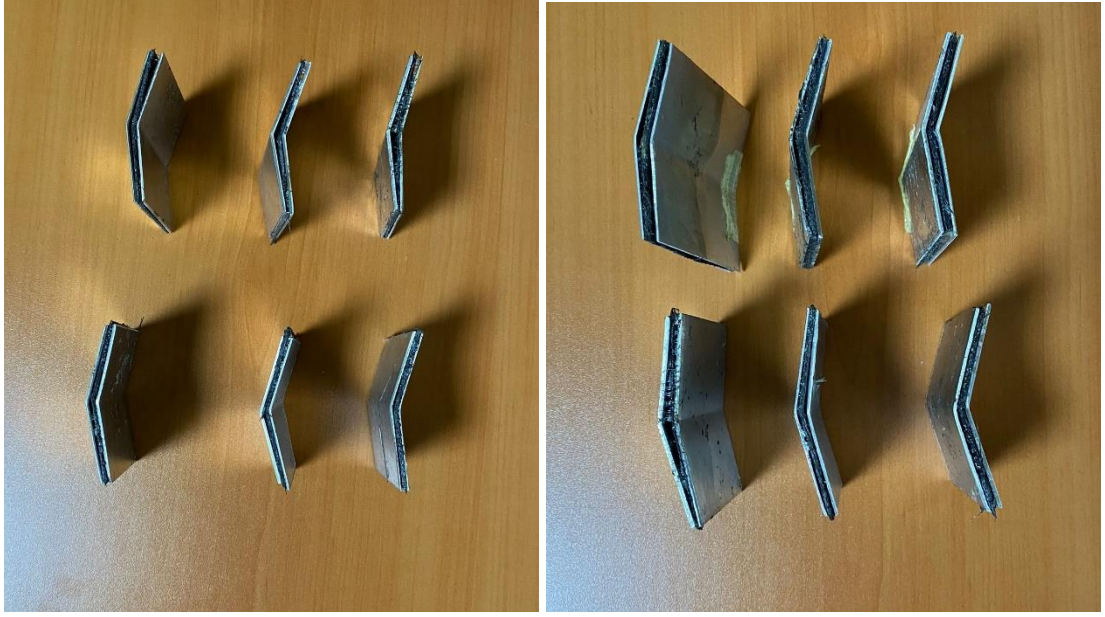
Yapılan deneyler sonucunda Karbon Elyaf ve Karbon-Cam elyaf ile üretilen kompozit malzemelerde geri yaylanma oluşurken Cam elyaf ve Aramid elyaf ile üretilen kompozit malzemelerde ileri yaylanma olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçların Gemi'nin [15] yaptığı çalışmayı doğrular nitelikte olduğu tespit edilmiştir. Parsa ve ark. [20] yaptığı çalışmada malzeme kalınlığının artmasıyla geri yaylanma miktarlarının azaldığını gözlemlemiştir. Işıktaş ve ark. [23] yaptığı çalışmada karbon fiber malzeme kullanarak alüminyum sandviç levhalar üretmiştir. 1,2mm. ve 0,6mm.

kalınlığındaki alüminyum levhaların arasına 0,15mm. kalınlığında karbon elyaf malzeme yapıştırarak oluşturdukları levhalara farklı açılarda bükümler vermişlerdir. 150 ° büküm verildiğinde 4,35° geri yaylanma açısı tespit edilmiştir.

1 mm. kalınlığındaki alüminyum malzeme ile imal edilen karbon elyaf malzemelerde, 16mm. genişliğindeki büküm kalıbında 140° büküm açısı ile yapılan testte 13,1° geri yaylanma ölçülmüştür. Büküm açısı 150° olduğunda 8,2°, 160° olduğunda 5,4° geri yaylanma ölçülmüştür. 1 mm. kalınlığındaki alüminyum malzeme ile imal edilen karbon elyaf malzemelerde, 20 mm. genişliğindeki büküm kalıbında 140° büküm açısı ile yapılan testte 13,5° geri yaylanma ölçülmüştür. Büküm açısı 150° olduğunda 8,7°, 160° olduğunda 6,1° geri yaylanma ölçülmüştür. Büküm kalıbı genişliği artınca geri yaylanma miktarının da derece cinsinden arttığı görülmüştür. Büküm açısı büyüdükçe istenilen büküm derecesine daha yakın sonuçlar ölçüldüğü tespit edilmiştir.

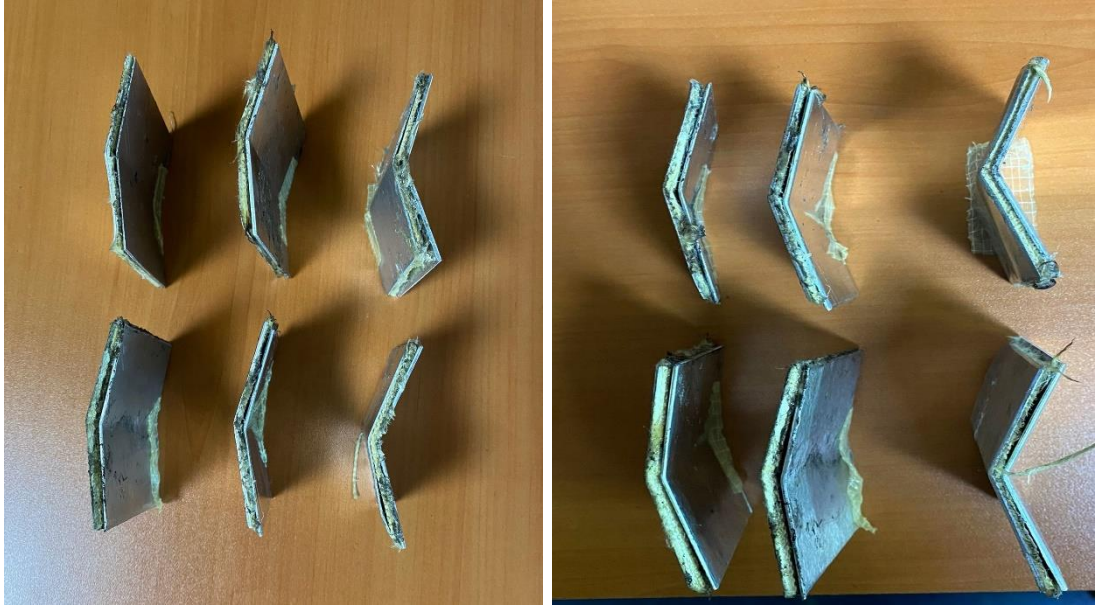
1,5 mm. kalınlığındaki alüminyum malzeme ile imal edilen aramid elyaf malzemelerde, 16mm. genişliğindeki büküm kalıbında 140° büküm açısı ile yapılan testte -0,7° ileri yaylanma ölçülmüştür. Büküm açısı 150° olduğunda -0,9°, 160° olduğunda -0,5° ileri yaylanma ölçülmüştür. 1,5 mm. kalınlığındaki alüminyum malzeme ile imal edilen aramid elyaf malzemelerde, 20 mm. genişliğindeki büküm kalıbında 140° büküm açısı ile yapılan testte -0,8° ileri yaylanma ölçülmüştür. Büküm açısı 150° olduğunda -1,2°, 160° olduğunda -0,7° ileri yaylanma ölçülmüştür.

Deneyle sonrasında malzemelerin oluşan görüntüleri Şekil 4.16-17'de verilmiştir.



a)

b)



c)

d)

Şekil 4.16. 1mm. Kalınlığındaki Alüminyum Malzemelerin Büküm Sonrası Görünümü(a- Karbon Elyaf , b- Cam-Karbon Elyaf, c- Cam Elyaf, d- Aramid Elyaf)



a)



b)



c)



d)

Şekil 4.17. 1,5mm. Kalınlığındaki Alüminyum Malzemelerin Büküm Sonrası Görünümü(a- Karbon Elyaf , b- Cam-Karbon Elyaf, c- Cam Elyaf, d- Aramid Elyaf)

Şekil 4.16-17’da bulunan görüntülerde üst sıradaki malzemeler V16 kalıbında, alt sıradaki malzemeler V20 kalıbında bükülmüştür. Sırasıyla soldan sağa 160°, 150°, 140° büküm açıları ile bükülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bükme proseslerinde sıklıkla görülen geri ve ileri yaylanma davranışı , CNC Abkant preste V büküm yapılarak sandviç kompozit malzemeler ve 6061 serisi alüminyum alaşımlı plakalar üzerinde incelenmiştir. Farklı kalınlıktaki plakalar, farklı ölçülerdeki V bükme kalıpları ile 140, 150, 160 büküm açılarında bükülerek dijital açı ölçerle geri ve ileri yaylanma açısı ölçülmüştür. Her bir numune farklı ölçülerdeki bükme kalıplarında teste tabii tutulmuştur. Tahmin edilen geri yaylanma açısı ölçülmüş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak açılar arasındaki hatalar tespit edilmiştir. Bununla birlikte simülasyon ve deney sonuçları arasındaki büküm kuvveti arasındaki fark incelenmiştir.

5.1. Genel Sonuçlar

Deneysel sonuçlardan elde edilen geri ve ileri yaylanmaya etki eden faktörler aşağıda belirtilmiştir:

Deneysel sonuçlar ele alındığında aynı büküm açısında, plaka kalınlığının artmasıyla birlikte geri yaylanma açısının azaldığı görülmüştür.

Büküm açısının artmasıyla birlikte geri yaylanma açısının arttığı deney sonuçlarından elde edilmiştir.

Kompozit malzemeler kendi içerisinde kıyaslandığında geri yaylanması derece cinsinden en çok olan malzeme karbon elyaf takviyeli malzeme olmuştur. Bunu sırasıyla karbon-cam elyaf, cam elyaf ve aramid elyaf takip etmiştir.

V16 ve V20 bükme kalıbı kullanıldığında 1mm. ve 1,5mm. kalınlığındaki alüminyum alaşımlı malzemelerde ileri yaylanma görülürken, bu malzeme kalınlıklarında kullanılması daha doğru olan V10 kalıbı kullanıldığında istenilen sonuca daha yakın sonuçlar elde edilip, geri yaylanma tespit edilmiştir.

5.2. Öneriler

Elde edilmek istenen büküm açısına ulaşmak için doğru V-bükme kalıbının seçimi çok büyük önem arz etmektedir. Doğru V bükme kalıbı kullanıldığında istenilen açı değerine daha yakın sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Doğru V bükme kalıbı seçimi yapmak için aşağıdaki unsurlara dikkat edilmelidir;

- Malzeme cinsi,
- Malzeme kalınlığı,
- Büküm açısı,
- Zımba uç yarıçapı,
- Ortam sıcaklığı,
- Büküm yapılacak presin özellikleri.

İstenilen büküm açısına ulaşmak için deneysel çalışmalar yaparak doğru sonuca ulaşmanın mümkün olduğu değerlendirilmiştir.

Havacılık, otomotiv, savunma sanayi vb. sektörlerde ağırlığı azaltmak ve daha iyi mekanik özellikler elde etmek için alüminyum/fiber tabakalı kompozit malzemelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Devam eden araştırma, üretim ve geliştirme çalışmaları ile bu malzemelerin ilerleyen süreçlerde kullanımının artacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Günay İ. Ç. (2022). Karbon / Cam elyaf hibrit kompozit borularda hasar analizi [Yüksek lisans tezi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi
- [2] Çakanyıldırım Ç. ve Gürü M., “Alüminyum üretim teknolojilerindeki gelişmeler, çevreye etkisi ve uygulama alanları”, *Politeknik Dergisi*, 24(2): 585-592, (2021).
- [3] Sayer, M., Bektaş, N.B., Sayman, O. (2010). An experimental investigation on the impact behavior of hybrid composite plates. *Elsevier*, 92(5), 1256-1262. <https://doi.org/10.1016/j.compsruct.2009.10.036>
- [4] Dong, C., Davies, I.J. (2018). Effect of stacking sequence on the flexural properties of carbon and glass fibre-reinforced hybrid composites. *Adv Compos Hybrid Mater* 1,530-540. <https://doi.org/10.1007/s42114-018-0034-5>
- [5] Subagia, I.D.G.A., Kim, Y., Tijing, L.D., Kim, C.S., Shon, H.K. (2014). Effect of stacking sequence on the flexural properties of hybrid composites reinforced with carbon and basalt fibers. *Elsevier*, 58, 251-258. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.027>
- [6] Kumar, R., Rani, M., Zafar, S. (2021). Influence of stacking sequence on impact strength / hardness of CF / GF hybrid composites fabricated by VARIMC technique. *Elsevier*, 45(6), 4666-4670. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.114>
- [7] Srivathsan, A., Vijayaram B., Ramesh, R., Gokuldass. (2016). Investigation on mechanical behavior of woven fabric glass/kevlar hybrid composite laminates made of varying fibre inplane orientation and stacking sequence. *Elsevier*, 4(8), 8928-8937. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.244>
- [8] Song, J.H. (2015). Pairing effect and tensile properties of laminated high performance hybrid composites prepared using carbon/glass and carbon/aramid fibers. *Elsevier*, 79, 61-66. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.04.015>
- [9] Aktaş, A., Aktaş, M., Turan, F. (2013). The effect of stacking sequence on the impact and post-impact behavior of woven/knit fabric glass/epoxy hybrid composites. *Elsevier*, 103, 119-135. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2013.02.004>
- [10] Wang, A., Wang, X., Xian, G. (2021). The influence of stacking sequence on the low-velocity impact response and damping behavior of carbon and flax fabric reinforced hybrid composites. *Elsevier*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107384>

- [11] Nagaraja, K.C., Rajanna, S., Prakash, G.S., Rajeshkumar, G. (2019). The role of stacking order on mechanical properties of glass/carbon reinforced epoxy hybrid composites prepared by resin infusion technique. *Elsevier*, 22(4), 2446-2451. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.371>
- [12] Sarasini, F., Tirillo, J., Altiglia, S., Valente, T., Santulli, C., Touchard, F., Arnault, L.C., Mellier, D., Lampani, L., Gaudenzi, P. (2016). Damage tolerance of carbon/flax hybrid composites subjected to low velocity impact. *Elsevier*, 91, 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.01.050>
- [13] Das, S.C., Paul, D., Grammatikos, S.A., Siddiquee, A.B., Papatzani, S., Koralli, P., Islam, J.M.M., Khan, M.A., Shauddin, S.M., Khan, R.A., Vidakis, N., Petousis, M. (2021). Effect of stacking sequence on the performance of hybrid natural/synthetic fiber reinforced polymer composite laminates. *Elsevier*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114525>
- [14] Santhanam, V., Dhanaraj, R., Chandrasekaran, M., Venkateshwaran, N., Baskar, S. (2020). Experimental investigation on the mechanical properties of woven hybrid fiber reinforced epoxy composite. *Elsevier*, 37(2), 1850-1853. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.444>
- [15] Gemi, L. (2018). Investigation of the effect of stacking sequence on low velocity impact response and damage formation in hybrid composite pipes under internal pressure. A comparative study. *Elsevier*, 153, 217-232. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.07.056>
- [16] Thiagamani, S.M.K., Krishnasamy, S., Muthukumar, C., Tengsuthiwat, J., Nagarajan, R., Siengchin, S., Ismail, S.O. (2019). Investigation into mechanical, absorption and swelling behaviour of hemp/sisal fibre reinforced bioepoxy hybrid composites: Effects of stacking sequences. *Elsevier*, 140, 637-646. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.166>
- [17] Sreenivas, H.T., Krishnamurthy, N., Murali, M.S., Arpitha, G.R. (2021). Influence of stacking sequence and orientation of the fabric on mechanical properties of twill kenaf/kevlar reinforced unsaturated polyester hybrid composites. *Journal of Industrial Textiles*, 51(8), 1330-1351. <https://doi.org/10.1177/152808372111019901>
- [18] Salman, S.D. (2020). The influence of kenaf contents and stacking sequence on drop-weight impact properties of hybrid laminated composites reinforced polyvinyl butyral composites. *Journal of Industrial Textiles*, 51(5), 8645-8667. <https://doi.org/10.1177/1528083720937388>
- [19] 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.
- [20] 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

- [21] Andersson, A. 2005. Numerical and experimental evaluation of springback in a front side member. *Journal of Material Processing Technology*, 169: 352-356.
- [22] Esat, V., Darendeliler, H., Gokler, M.I. 2002. Finite element analysis of springback in bending of aluminium sheets. *Materials and Design*, 23: 223-229.
- [23] Işıktaş, A., Taşkın, V., Alüminyum-karbon elyaf sandviç kompozit levhaların V-bükme işleminde bükme açılarının ve bükme yönlerinin geri esneme üzerindeki etkisi, *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 22(1), 281-290, (2020)
- [24] Kaya, Ali İhsan. "Kompozit malzemeler ve özellikleri." *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi* 29 (2016): 38-45.
- [25] Akyüz, B.H. (2012). Dönen ve sıcaklık etkisindeki metal matrisli kompozit bir diskteki ısı gerilmelerin analizi [Yüksek lisans tezi]. Aksaray Üniversitesi
- [26] Asi, D. (2018). Polimer matrisli kompozit malzemelerde ilave olarak kullanılan parçacıkların geometrisinin kompozit malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkisinin araştırılması [Doktora tezi]. Uşak Üniversitesi
- [27] Yanen, C. (2016). Tabakalı hibrit kompozitlerin bireysel zırh malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması [Yüksek lisans tezi]. Fırat Üniversitesi
- [28] Bayraktar, Ö. (2016). Ön gerilimli karbon elyaf takviyeli kompozit üretimi için sistem tasarımı , imalatı ve kompozit malzeme üretimi [Yüksek lisans tezi].Gazi Üniversitesi
- [29] Bulut, M. (2014). Türkiyede kompozit malzeme üretimi ve kompozit malzeme sektörünün genel değerlendirilmesi [Yüksek lisans tezi]. Gazi Üniversitesi
- [30] Onat, Doç. Dr. Adem ve Kompozit Malzemeler Ders Notu, Sakarya Meslek Yüksekokulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, Metalurji Programı, Sakarya 2015.
- [31] Kurt, H. (2010). Alüminyum-Alümina kompozit malzeme üretiminde karıştırma tekniğinin kompozitin aşınma davranışı üzerine etkilerinin araştırılması [Yüksek lisans tezi]. Gazi Üniversitesi
- [32] İnce, E. (2014). Amfibi zırhlı araçlar için kompozit-alüminyum denge plakası tasarımı, sonlu elemanlar analizi ve üretimi [Yüksek lisans tezi]. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
- [33] Yalçın, E.B. (2012). Farklı kumaş ve farklı yöntemlerle üretilmiş CTP kompozitlerin balistik davranışlarının incelenmesi [Doktora tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi
- [34] Yıldız, D. (2021). Çekirdek malzemeli polimer matrisli elyaf takviyeli kompozitlerde boron nano malzemelerin arayüz özelliklerine etkisinin mekanik testlerle incelenmesi [Yüksek lisans tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi

- [35] Mayda, İ. (2020). Polimer matrisli granit kompozit malzemenin takım tezgahlarında kullanılması [Yüksek lisans tezi]. Celal Bayar Üniversitesi
- [36] Deniz, M.E. (2005). Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri ve ısıl işlemle presleme tekniğini kullanarak kompozit malzeme üretecek bir düzeneğin tasarım ve imalatı [Yüksek lisans tezi]. Harran Üniversitesi
- [37] Öğrenci, H.D. (2012). Mekanik olarak bağlanmış kompozitlerin dayanımı [Yüksek lisans tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi
- [38] Çolak, M. (2019). Nano kompozit ve hibrit kompozitlerin üretim ve deneyleri sırasında insan sağlığını etkileyen riskler ile alınması gereken iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinin araştırılması [Yüksek lisans tezi]. Gaziantep Üniversitesi
- [39] Topuz, S. (2021). Farklı takviye malzemelerinin polyester esaslı kompozit üretiminde değerlendirilmesi ve karakterizasyonu [Yüksek lisans tezi]. Fırat Üniversitesi
- [40] Okta, C. (2021). Polimer matris esaslı kompozit üretiminde kullanılan farklı karbon fiber yapıların mekanik dayanımına etkisinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi]. Pamukkale Üniversitesi
- [41] Daban, Y. (2016). Kompozit plakalarda farklı tabaka sayısı, farklı yapı ve istifleme sırasına bağlı optimum mekanik özelliklerin belirlenmesi [Yüksek lisans tezi]. Balıkesir Üniversitesi
- [42] Sarıkaya, E. (2019). Doğal fiber takviyeli kompozit üretimi ve mekanik özelliklerinin tespiti [Doktora tezi]. Pamukkale Üniversitesi
- [43] Yıldız, R. (2019). Karbon prepreg, cam prepreg ve bazalt elyaf ile üretilmiş hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi]. Marmara Üniversitesi
- [44] Mağdala, M.Ö. (2009). Isı kalkanları için kalıplanabilir karbon fenolik kompozit üretimi ve karakterizasyonu [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi
- [45] Yıldızhan, H. (2008). Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi].Süleyman Demirel Üniversitesi
- [46] Ersoy, M.S. (2005). Lif takviyeli polimerik kompozit malzeme tasarımı[Yüksek lisans tezi]. Sütçü İmam Üniversitesi
- [47] Marciniak, Z., Duncan, J. L. and Hu, S. J., “Mechanics of Sheet Metal Forming” Butterworth-Heinemann, England, 567-599 (2002)
- [48] Arslan, B., “Geri esnemenin sac parçaların biçim tamlığı üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve sonlu elemanlar yöntemi uygulamaları ile değerlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 45-55 (2003).
- [49] Işıқтаş, A. (2011). Farklı kalınlıklardaki dkp ve paslanmaz sacların farklı açılarda yapılan V-bükme işlemindeki geri yaylanmalarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir

- [50] Ötü, R. (2012). V bükme kalıplarında alüminyum alaşımlı sacların şekillendirilmesi ve geri esneme miktarlarının tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [51] 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.
- [52] 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.
- [53] Uzun, İ., & Erişkin, Y. (1997). Sac Metal Kalıpcılığı. Ankara: Milli Eğitim Yayınları.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ahmed Ozan ÖRNEKÇİ

ÖĞRENİM DURUMU

Lisans : 2014, Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği

Yüksek lisans : Devam ediyor, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Tasarım ve İmalat

İŞ DENEYİMLERİ

2015 - 2016 : Türk Standardları Enstitüsü- Asansör ve İş Ekipmanları Denetleme ve Muayene Uzmanı

2017 - 2019 : MSC Uluslararası Belgelendirme- Asansör ve İş Ekipmanları Teknik Yönetici

2020-Devam Ediyor : Milli Savunma Bakanlığı 41. Bakım Fabrika Müdürlüğü- Makine Mühendisi