



**ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ YAPILARDA  
YAPIŞTIRMA PARAMETRELERİN DENEYSEL  
OLARAK İNCELENMESİ**

**İlker Mesih KILINÇ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ YAPILARDA YAPIŞTIRMA  
PARAMETRELERİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**İlker Mesih KILINÇ**  
0000-0001-9313-7986

Prof. Dr. M.Cemal ÇAKIR  
0000-0003-0816-4029  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

## TEZ ONAYI

İlker Mesih KILINÇ tarafından hazırlanan 'Alüminyum Köpük İle Oluşturulan SandviçYapı Bağlantı Elemanlarının Etkisinin Kayma Testi İle İncelenmesi' adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. M.Cemal ÇAKIR

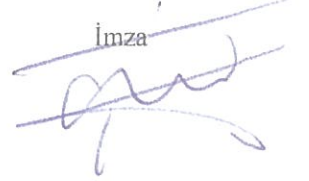
**Başkan** : Prof. Dr. M. Cemal Çakır  
0000-0003-08164029  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza




**Üye** : Prof. Dr. Agah UĞUZ  
0000-0003-08164029  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



**Üye** : Doç. Dr. Hüseyin LEKESİZ  
0000-0003-08164029  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN

Enstitü Müdürü

.././....

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

30.08.2019

**İlker Mesih KILINÇ**



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ YAPILARDA YAPIŞTIRMA PARAMETRELERİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

**İlker Mesih KILINÇ**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. M.Cemal ÇAKIR

Bu çalışmada, alüminyum esaslı köpük malzemeden çeşitli bağlama elemanlarıyla AFS yapısı elde edilmesi ve farklı yapıştırma yöntemleriyle oluşturulan yapıların kayma testiyle karşılaştırmalı incelemesi ele alınmıştır. Alüminyum köpük malzemeler 50x40x10 mm ölçülerinde kesilmiş, bu plakalar farklı yapıştırma metodlarıyla ve bağlantı elemanlarıyla Al 5457 alaşımına sahip levha alın yüzeylere sabitlenmiştir. Son aşama da ise bu malzemelere Kayma testine sokulmuş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak detaylıca irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Köpük, AFS, Yapıştırma Yöntemleri, Yapıştırma parametreleri, Kayma testi

**2019, viii + 59 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF BONDING PARAMETERS FOR ALUMINIUM FOAM SANDWICH (AFS) STRUCTURES**

**İlker Mesih KILINÇ**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. M.Cemal ÇAKIR

In this study, forming of AFS structures from aluminum foams using different bonding methods and comparative examination of these structures by shear test are discussed. Aluminum foam materials are cut to dimensions of 50x40x10 mm and these plates are fixed to the face surfaces of Al 5457 alloy with different bonding methods and fasteners. In the last stage, these materials were subjected to shear test and the results were examined in detail.

**Key words:** Foam, AFS, Bonding Methods, Bonding Parameters, Shear Test

**2019, viii + 59 sayfa.**

## TEŞEKKÜR

Öğrenim hayatım boyunca bana zaman ayıran, bilgi birikimini benimle paylaşan ve kendimi geliőtirmemde bana yardımcı olan danışman hocam Sn. Prof. Dr. M.Cemal ÇAKIR 'a teşekkürlerimi sunarım.

İlker Mesih KILINÇ

.../.../.....

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
2.1 Metal Köpükler, Alüminyum Köpük Yapısı .....	4
2.2. Metalik Köpüklerin Önemli Özellikleri .....	6
2.4. Alüminyum Metal Köpük.....	9
2.5. Sandviç Yapılar.....	12
2.6. Sandviç Yapıların Sınıflandırılması.....	14
2.7. Sandviç panel Üretimi .....	17
2.8. Sandviç Yapı Uygulamaları.....	19
3.MATERYAL VE YÖNTEM .....	25
3.1. AFS Yapıyı Oluşturacak Bileşenler .....	25
3.2. Deney parametreleri ve Numunelerin Teste Hazırlanması.....	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	41
5. SONUÇ .....	56
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	57



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### **Simgeler**      **Açıklama**

MPa      Megapaskal  
Pa      Paskal

### **Kısaltmalar**      **Açıklama**

AFS      Alüminyum Köpük Sandviç Yapı  
UWA      University of Western Australia  
IFAM      Fraunhofer malzeme araştırma enstitüsü  
CVD      Kimyasal buhar ayrışması



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1 Metal Köpük .....	4
Şekil 2.2. Gözenek yapısına göre Metal Köpüklerin sınıflandırılması.....	5
Şekil 2.3. Katı metal köpük.....	5
Şekil 2.4. Açık Gözenekli Metal Köpük Yapısı.....	6
Şekil 2.5. Köpüğün ezilme davranışını gösteren basma gerilmesi- birim şekil değiştirme grafiği (6061 Al. Alaşımı) .....	7
Şekil 2.6. Basma Eğrilerinin karşılaştırması (Cmat, Alporas) .....	8
Şekil 2.7. Alüminyum köpük uygulama alanları .....	9
Şekil 2.8. (a) Cymat firması tarafından üretilmiş olan alüminyum tüten oluşan darbe emici ve (b) Metcomb alüminyum köpük malzemeyi temel alan tasarım yapısı. ....	10
Şekil 2.9. İçerisine Al köpük konularak desteklenmiş süspansiyon parçası .....	10
Şekil 2.10. Toz Metalurjisi metoduyla köpürtülen alüminyum köpük numune.....	11
Şekil 2.11. Sandviç yapı temel elemanlarının gösterimi.....	12
Şekil 2.12. Sandviç yapı üzerine gelen yükler .....	14
Şekil 2.13. Alüminyum sandviç yapının a) yapay bağlanma b)Köpüğün iki alın yüzey arasında gaz genişlemesiyle üretimi c) Üç tabaka arasında köpürtücü ajanla üretim metodu d) İntegral köpük üretim metodu.....	23
Şekil 2.14. Dört farklı şekilde işlenmiş Aramid elyaf ile işlenmemiş elyafın gösterdiği özellikler.....	21
Şekil 2.15. Numunelerin açı ve zorunlu yer değiştirmelerine bağlı olarak maruz kaldığı kuvvetler.....	21
Şekil 2.16. Alüminyum köpük ve beraberinde yapılan AFS yapıların karşılaştırılması.. ..	22
Şekil 2.17. a) İşlem görmüş alüminyum yüzeyinin içindeki epoksi reçine dağılımı b) yapı içerisindeki elyafların dağılımı. ....	23
Şekil 2.18. a) Karbon elyaf – metal yüzey bağlantısı b) Karbon elyaf-armid- metal yüzey bağlantısı .....	24
Şekil 3.1. Alüminyum 5757 Alaşımı .....	25
Şekil 3.3. Karbon elyaf kesilmiş hali .....	26
Şekil 3.2. Karbon elyaf bütün halde .....	26
Şekil 3.4. Kesilmemiş aramid elyaf.....	26
Şekil 3.5. Kesilmiş aramid elyaf.....	27
Şekil 3.6. Döküm Tipi epoksi reçinenin hazırlanma şeması .....	28
Şekil 3.7. ARC 150-N Döküm tipi epoksi reçine özellikleri .....	29
Şekil 3.8. Epoksi bazlı kimyasal dübel .....	29
Şekil 3.9. Epoksi bazlı kimyasal dübele ait özellikler .....	30
Şekil 3.10. Akfix 705 hızlı yapıştırıcı.....	31
Şekil 3.11. Akfix 705 hızlı yapıştırıcı özellikleri .....	31
Şekil 3.12. Al köpük malzeme .....	32
Şekil 3.13. Çalışmamızda kullanılan temsili AFS yapısı.....	33
Şekil 3.14. Akfix ile yapıştırılan Sandviç yapı örneği.....	34
Şekil 3.15. Deney şeması Akfix-alüminyum alaşımı.....	34
Şekil 3.16. Döküm tipi epoksi reçine ile hazırlanmış sandviç yapı.....	35
Şekil 3.17. Kimyasal Dübel kullanılarak oluşturulan sandviç yapı.....	35

Şekil 3.18. 105 ve 210 dakika aralığında kürlenmeye bırakılmış karbon elyaf takviyeli sandviç yapısı.....	36
Şekil 3.19. Deneyin hazırlanması.....	37
Şekil 3.20. Aramid elyaf takviyeli Sandviç yapısı (Bağlayıcı eleman Döküm tipi epoksi Reçine) .....	38
Şekil 3.21. Akfix- karbon elyaf sandviç yapısı .....	39
Şekil 3.22. Akfix - Aramid Sandviç yapısı .....	39
Şekil 3.23. Akfix-Aramid- Karbon elyaf sandviç yapısı .....	40
Şekil 4.1. SHIMADZU AG-X Plus Test Cihazı.....	41
Şekil 4.2. 50 x 20 x 12 mm dayama parçası.....	42
Şekil 4.3. �rnek ekme testi yapılıma anı.....	42
Şekil 4.4. Sandviç yapısı için sadece hızlı yapıştırıcı kullanılarak elde edilen kayma testine ait izelge.....	43
Şekil 4.5. Sade akfix kullanılan numune.....	43
Şekil 4.6. Numune 1 Deney sonrasında elde edilen kuvvet yer değiştirme grafiği.....	44
Şekil 4.7. Numune 2 Kırılma.....	44
Şekil 4.8. Numune 3 Kırılımı .....	45
Şekil 4.9. Numune 3 Kırılımı .....	45
Şekil 4.10. Numune 4 Kuvvet - Yer değiştirme .....	46
Şekil 4.11. Karbon Elyaf Takviyeli 105 dakika da k�rleşen malzeme .....	46
Şekil 4.12. 210 dakika bekletilen numune 7 .....	47
Şekil 4.13. Numune 6 ekme testi grafiği .....	48
Şekil 4.14. Numune 6 Deney Sonrası.....	56
Şekil 4.15. Numune 6 Deney Kuvvet- Yer değiştirme .....	57
Şekil 4.16. Aramid Döküm Tipi Epoksi K�rleşme 60 Dakikaya gelen kuvvet miktarının zamana göre değişimi.....	57
Şekil 4.17. Numune 7 Deney Kuvvet - Yer değiştirme miktarı.....	49
Şekil 4.18. Aramid-Karbon ve Aramid Elyaf.....	50
Şekil 4.19. Numune 8 Deney Kuvvet - Yer değiştirme .....	51
Şekil 4.20. Numune 9 Verileri.....	51
Şekil 4.21. Numune 9. Kuvvet - Yer değiştirme grafiği .....	51
Şekil 4.22. Numune 10 Test Verileri .....	52
Şekil 4.23. Numune 10 Deney Kuvvet – Yer değiştirme.....	52
Şekil 4.24. Epoksi kullanılan numunelerin karşılaştırılması.....	53
Şekil 4.25. Akfix yapıştırıcı kullanılan numunelerin karşılaştırılması .....	54
Şekil 4.26. Tüm numuneler arasında kıyaslama.....	55

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Bazı Yapıştırıcıların Mekaniksel Özellikler .....	16
Çizelge 2.2. Ortalama kırılma yüklemesi (8 numune 15 farklı kevlar ve zylon fiber birleşimi) (Craven 2011). .....	20
Çizelge 3.1. Alüminyum 5754 Alaşımı Mekaniksel Özellikler .....	25
Çizelge 4.1. Tüm Numunelerin Maksimum Dayanımda ki Değerleri.....	55



## 1. GİRİŞ

Malzeme bilimi teknolojiyle doğru orantılı bir ilişki içerisinde. Teknolojinin ilerlemesi için gelişmiş (mekaniksel, kimyasal vb.) malzemelere ve malzemelerin geliştirilebilmesi için de ileri teknolojiye ihtiyaç vardır. Yeni malzemeler bu denge sistemi içerisinde ortaya çıkar. Günümüzde bu ihtiyacın bir sonucu olarak birçok mühendislik alanında mekanik özelliklerini koruyan ama aynı zamanda da daha hafif malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu ihtiyaç yeni geliştirilen malzemeler ile veya kompozitlerde olduğu gibi mevcut malzemelerin çeşitli türevlerinin üretilmesi ile giderilmektedir. Bu yeni malzemeler içerisinde hafif yapı olarak anılan yüksek özgül dayanım (mukavemet/ağırlık) gösteren sandviç malzemeler önemli bir yere sahiptir.

Sandviç yapılar bize çok uzak olmayan bir yerdedir. Yetişmiş ağaçların dalları ve omurgalı hayvan iskeletini oluşturan kemikler köpüğe benzer iç kısımları ve yoğun dış kısımları ile sandviç yapılara iyi bir örnek teşkil ederler. Bu doğal sandviç yapılar oldukça çeşitli ve karmaşık yüklemelere maruz kalır ve bu kuvvetlere karşı çeşitli özellikler sergilerler. Örneğin bacağımızdaki kaval kemiği statik ve tekrarlı yüklemelere, yanal darbe, ani basma yüklemesi ve diğer birçok kuvvete karşı mukavemet gösterir. Dahası bu çeşitli yüklemelere dayanan yapının kuş kemiklerinde olduğu gibi hafifliğinin de çok önemli olduğu yerler olabilir. Bu yapılara incelediğimiz de, bu yapı çeşitlerinin de minimum malzeme sarf ederek daha fazla performans ve yapı olarak en uygun şekle sokma ilke edinilmiştir (Hermann ve ark. 2005).

Sandviç yapılar farklı fiziksel ve / veya kimyasal özelliklere sahip malzemelerin tabakalar halinde bir araya getirilmesi ile elde edilir. Genellikle iki dış tabaka arasına nüve olarak adlandırılan ara malzeme yerleştirilerek elde edilir. Bu tür yapılarda sahip olunan toplam mukavemet; tasarım, üretim yöntemi, ara yüzey bağı gibi çeşitli faktörlere bağlı olmakla birlikte çekirdeğin tasarımı ve malzemesi ile yakından ilişkilidir. Çekirdek malzemesi olarak genellikle ahşap (balza ağacı), polimer ve kâğıt (bal peteği) kullanılır. Bu tür malzemelerin oda sıcaklığının çok daha üstündeki sıcaklıklarda kullanılmama, rutubete

dayanaksız ve yanıcı olma gibi bazı olumsuz yanları vardır ve bu olumsuzluklar kullanıldıkları sandviç yapıya da yansır. Bunun yanında sandviç yapı yerine Z, T, I gibi profiller ile desteklenmiş paneller de kullanılabilir. Fakat bu ilaveler ekstra yük ve maliyet oluşturmanın yanı sıra genelde anizotropik dayanım gösterir ve sadece bir yüzeyleri kullanılabilir. Bunlara alternatif olarak çekirdek malzemesi metal köpük olan sandviç yapılar hem sıcaklık ve rutubete maruz kalınan ortamlarda kullanılabilir hem de iki yüzeyi de şekillendirilebilir ve nispeten daha izotropiktir (Ashby 2000, Chang 2005).

Nüve diğer bir deyişle çekirdek malzemesi olarak köpük gibi gözenekli yapıların kullanılması çeşitli avantajlar sağlamakla birlikte gözenekğin şekli ve üretildiği malzeme cinsi oldukça önemlidir ve kullanılacakları uygulama alanı ve ortam dikkate alınarak seçilmelidir. Metalik köpük malzemeler diğer malzeme türünden üretilmiş olan köpük malzemelerden farklılık göstermektedir. Örnek olarak; termal ve elektrik iletkenliği (özellikle açık hücreli üretilmiş hali için) , yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri polimer köpüklerden çok daha iyidir. Seramik köpüklere göre ise plastik deforme olabilme ve bu sayede enerji absorbe edebilme özelliğine sahiptir (Kapalı hücreli üretilmiş) . Bu verilen örneklemelerden Metalik köpüğü kullanmak diğer malzemelerden üretilmiş köpük yapılardan daha avantajlıdır (Simancık 2002, Yu 2008, Banhart 2008).

Al köpükler düşük yoğunluğa sahip, korozyon direncinde yüksek değerlere ulaşabilen, uygun maliyeti ve başka cinsden metallerle karşılaştırıldığında kolay üretilebilirlik gibi birçok üstün avantajları olması sebebiyle öncelikli otomotive ve diğer endüstriler tarafından öncelikli olarak tercih edilmiştir (Ashby 2000, Banhart 1995). Yeni bir mühendislik malzemesi olarak bahsedebileceğimiz alüminyum köpükler ayrıca, iyi darbe direnci, nispeten yüksek rijitlik, yüksek enerji absorpsiyon kapasitesi, karmaşık şekillerde kolay üretimi, iyi aşınma direnci gibi birçok kullanışlı özelliğe de sahiptir. Bu faktörler alüminyum köpüklere ve çekirdek malzemesi olarak kullanıldığı sandviç yapılara geniş bir potansiyel kullanım alanı oluşturmaktadır (Simancık 2002, Banhart 1995, 2004). Bu sayılan avantajlarını yanı sıra ikincil işleme özelliklerin de bazı dez avantajları da bulunmaktadır. Metal köpüklerin üretiminde parametre kontrolü önemlidir. Özellikle köpüğe ait gözenek boyutunun kontrolü, oluşturulan köpüğün homojen ve izotropik özellik sağlayabilmesine dayalıdır. Birçok noktada ilerleme gösteren bu malzemenin

ikincil işlemler görmesi gerekmektedir. Bu koşul sağlanmadığında darbe ve ses sönümleme haricinde birçok üstün özellik göstermesine karşın kullanılamayacaktır. İkincil işlemlerin araştırması ve bu araştırmaların geliştirilmesi bu noktada ön plana çıkmaktadır. Az sayıda üretim, özel şekilli parçaların cıvata, kaynak gibi yöntemlerle birleştirilmeleri ve köpük malzemelerle farklı malzemelerin birleştirilmesi gibi konular bu malzemeleri sanayide kolay kullanılabilir hale getirecek ve endüstriyel uygulamalarda kullanım oranını arttıracaktır.

Bu çalışmada nüve malzeme olarak farklı karışım tozlarından üretilen alüminyum alaşımlı köpük ve üst, alt tabaka olarak da ticari saflıkta alüminyum levha kullanılarak alüminyum sandviç köpük (Aluminium Foam Sandwich, AFS) üretilmiştir. Bunun için üretim aşamasında gaz çıkaran metal partiküllerin eriyik içerisinde çözülmesi yöntemi kullanılarak alüminyum köpük ön malzemeleri hazırlanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalardan önce, literatür çalışması olarak sandviç yapılar ve onları doğrudan etkileyen metal ve özellikle alüminyum köpükler hakkında genel bilgi verilmiştir. Alüminyum köpük sandviç yapıların ve metal köpüklerin üretim yöntemleri, fiziksel özellikleri ve bu özelliklere bağlı olarak hali hazırdaki ve potansiyel kullanım alanlarından bahsedilmiştir. Daha sonra uygulanan deneysel yöntemler ve deneysel sonuçlar ortaya konularak irdelenmiştir.

Sonuç olarak; alüminyum köpükler ve alüminyum levha kullanılarak çeşitli bağlayıcı malzeme kullanılarak sandviç yapı üretilmiştir. Üretilen sandviç yapı ve kullanılan bağlama elemanlarıyla kıyaslanmış ve kayma testi sonuçlarına göre sandviç köpük üretimi için hangisinin daha uygun olduğu sonuçları ile ortaya konulmuştur.

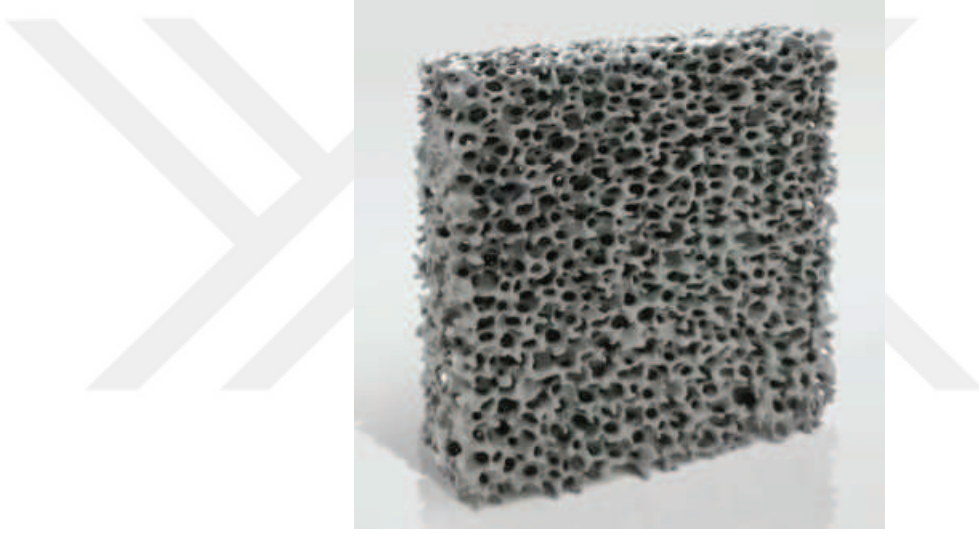
Bu çalışmada AFS yapının oluşturulmasında kullanılan bir yöntem olan yapıştırma yöntemi ele alınmış, farklı yapıştırma yöntemleriyle elde edilen AFS yapıları Kayma Testine tabi tutularak karşılaştırılmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1 Metal Köpükler, Alüminyum Köpük Yapısı

#### Metal Köpükler

Metal köpükler gözenekli yapıların bir türü olup doğada saf halde bulunan ürünler değildir. Şekil 2.1 'de metal köpük gösterilmiştir. Metal köpüklerin gözenekli yapıya sahip olabilmeleri kullanılan köpürtücü ajanlara bağlıdır (Ma ve He, 1999). Metal köpüklerle ilgili çalışmalar yalnızca bilimsel alanda değil, endüstriyel olarak da faydalı çalışmalar olmuştur. Son zamanlarda düşük yoğunluklu malzemelerin geliştirilmesine karşın talepler önemli ölçüde artmıştır (Elliot, 1956).



*Şekil 2.1* Metal Köpük

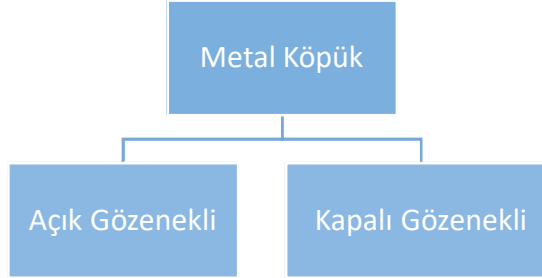
Metal köpükler, iyi enerji absorbe edebilme kabiliyeti, yüksek basma dayanımı, düşük özgül ağırlığına rağmen yüksek rijitlik gibi mekanik ve fiziksel özellikleri ile bilinirler. Bu özelliklerinden dolayı alüminyum köpükler ses ve enerji absorpsiyonunda sıklıkla kullanılmaktadır.

Metal köpükler farklı üretim yöntemlerine bağlı olarak çeşitlendirilirler. Dolayısıyla, metal köpüklerin türünün tam olarak teşhis edilmesi şarttır. Bu teşhis için ise hüresel metallerin, gözenekli metallerin, katı metal köpüklerin ve metal süngerlerin yapılarının bilinmesi gerekir (Banhart 2001).



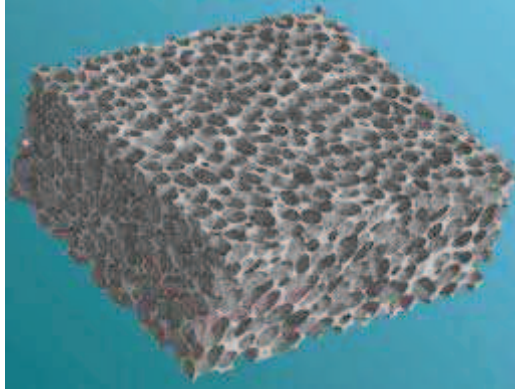
**Hücresel Metaller:** Metalik yapıyı en iyi tanımlayan ifadedir. Açık ve kapalı hücre. Metalik yapı bir çeşit gaz boşluğuna sahiptir.

**Gözenekli Metaller:** Hücresel metallerin özelleştirilmiş şeklidir. Boşluk yapısı sınırlandırılmıştır ve gözenekler genel itibariyle yuvarlaktır, birbirinden ayrıdır.



**Şekil 2.2.** Gözenek yapısına göre Metal Köpüklerin sınıflandırılması

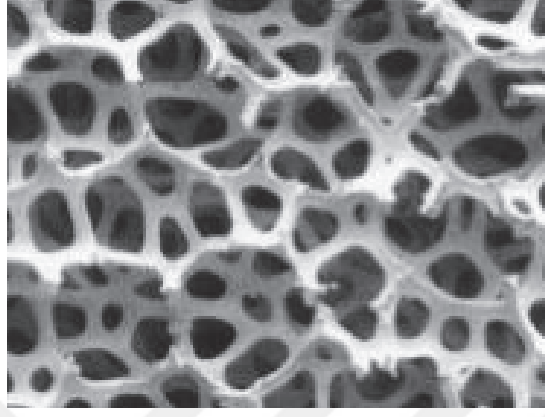
**Katı Metal Köpükler (Kapalı Gözenekli Metal Köpükler):** Köpük metaller tipik olarak ana metalin bazı fiziksel özelliklerini korurlar. Sıvı metalden dolayı meydana gelmiştir, bundan dolayı morfolojik yapıları sınırlıdır (kapalı, yuvarlak veya elipos formunda). Yanmaz niteliktedir ve genellikle ana malzemeye geri dönüştürülebilir. Termal iletkenlik katsayısı düşerken termal genişleme katsayısı benzer kalır.



**Şekil 2.3.** Katı metal köpük

**Açık Gözenekli Metal Köpükler:** Metal sünger olarak da adlandırılan açık hücreli köpük metal, ısı eşanjörlerinde (kompakt elektronik soğutma, kriyojen tankları, PCM ısı değiştiriciler), enerji emilimi, akış difüzyonu ve hafif optiklerde kullanılabilir. Malzemenin yüksek maliyet sebebiyle kullanımını ileri teknoloji, havacılık ve üretim ile sınırlamaktadır. İnce ölçekli açık hücreli köpükler, tek başına olarak görülebilen küçük hücrelerle, kimya endüstrisinde yüksek sıcaklık filtreleri olarak kullanılır. Osmiyum ve

paladyum hidrit gibi metaller göreceli olarak ‘metal süngerler’ olarak adlandırılırlar, fakat bu terim, fiziksel yapıdan ziyade hidrojen bağlama özelliklerine değinmektedir (Banhart 2003).



**Şekil 2.4.** Açık Gözenekli Metal Köpük Yapısı

## 2.2. Metalik Köpüklerin Önemli Özellikleri

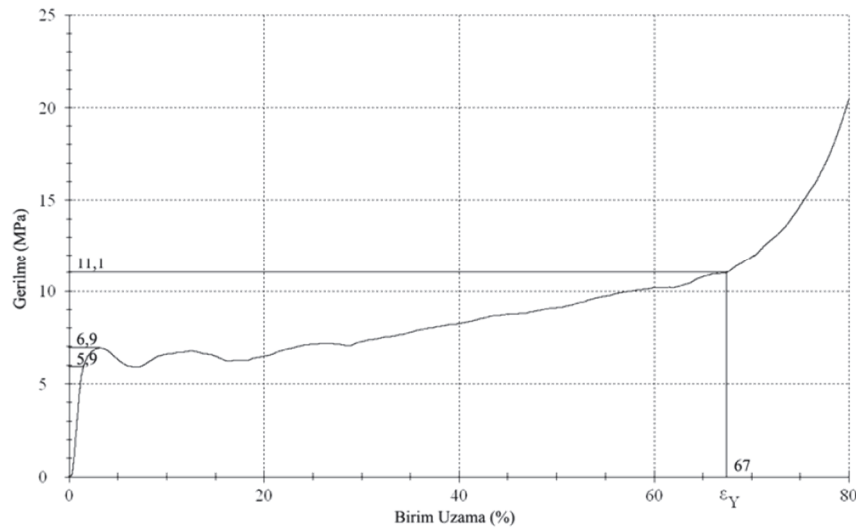
### Mekanik Özellikler

Metal köpüklerin mekanik özellikleri içeriğinde kullanılan malzemenin mekanik özelliklerinden gelmektedir. Aynı tip malzemededen elde edilmiş köpükler için mekanik özelliklerinin tespit için en önemli parametre bağıl yoğunluktur. Bağıl yoğunluk metal köpüğün yoğunluğunun köpüğün üretildiği matris malzemenin yoğunluğuna oranıdır ( $\rho/\rho_m$ ). Bu parameter genelde ne kadar yüksekse malzemenin dayanımı da o kadar yüksek olmaktadır. Köpük malzemeler yani hücreli yapıları malzemeler açık ve kapalı hücre olarak (içerdikleri boşluk oranına) göre ikiye ayrılmaktadır. Basma yükleri altında kapalı hücreli malzemelerde akma gerilmesinden sonra açık hücreli malzemelerden farklı olarak birim uzama ile yavaşça artan gerilmeler dikkat çekmektedir. Bu artışın sebebi köpüklerde hücre duvarlarını birleştiren yüzeylerin de ezilme sırasında yük taşımasıdır (Avalle 2007).

Metal köpüklerin basma yükleri altındaki davranışı şu şekildedir: akma noktasına kadar doğrusala yakın bir gerilme artışı, akma noktası sonrasında uzun birim şekil değiştirme

bölgesi boyunca sabit kalan veya yavaşça artan gerilme değeri ve son bölgede yoğunlaşma birim şekil değiştirmesinin aşılmasıyla hızla artan gerilme değeri. Gerilmenin az değiştiği akma gerilmesi ( $\sigma_{ak}$ ) değerinden yoğunlaşmanın başladığı birim şekil değiştirmeye denk gelen gerilme değeri plato bölgesi olarak da adlandırılır. Plato bölgesi malzemede ki boşluklu yapının tümüyle çökmesi ile sona erer ( $Y_\epsilon$ ) ve sonrasında hızlı bir gerilme artışı görülür (Şekil 2.5).

Şekilde görüldüğü üzere akma gerilmesinden yoğunlaşma birim uzamasına kadar devam eden plato bölgesinde az bir değişim gösteren gerilme değeri plato gerilmesi  $\sigma_{pl}$  olarak adlandırılır.  $\sigma_{pl}$  ve  $\epsilon_Y$  değerleri ile bağlı yoğunluk arasındaki bağıntı Ashby ve Gibson tarafından Denklem 2,1 deki gibi verilmiştir.



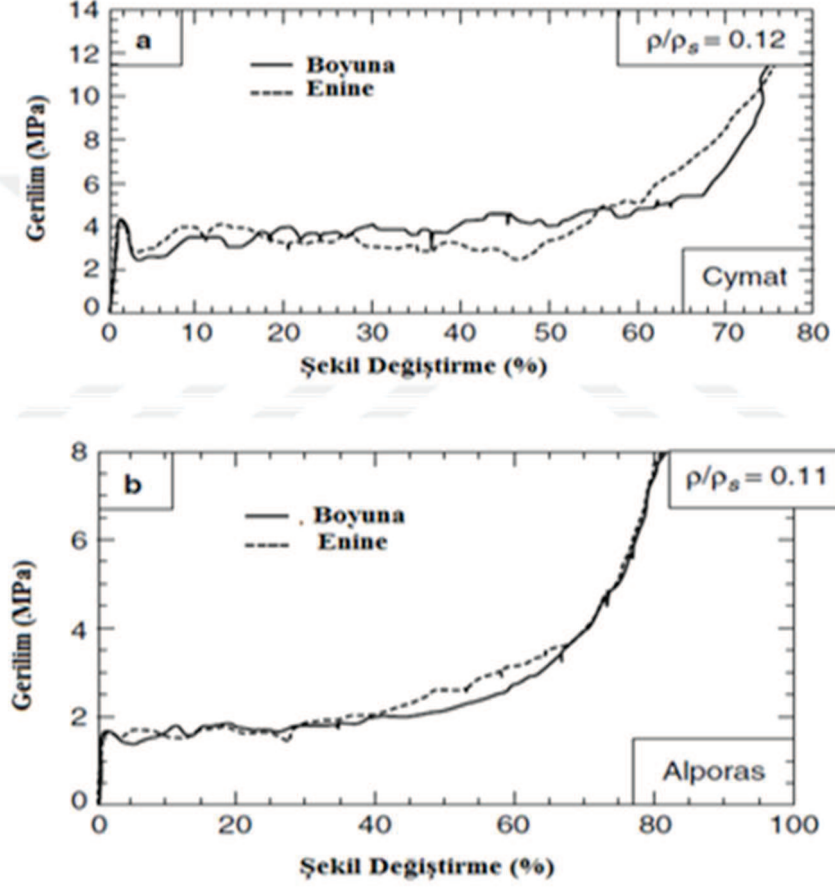
**Şekil 2.5.** Köpüğün ezilme davranışını gösteren basma gerilmesi-birim şekil değiştirme grafiği (6061 Al. Alaşımı) (Yazıcıoğlu 2007).

$$\sigma_{pl} \approx (0,25 - 0,35 \text{arası}) \sigma_{ak,m} \left( \frac{\rho}{\rho_m} \right)^n \quad \epsilon_Y \approx \left( 1 - \alpha_1 \frac{\rho}{\rho_m} \right) \quad \text{.Denklem 2.1}$$

Denklemd e  $\sigma_{ak,m}$  matris malzemenin akma dayanımı,  $\rho_m$  matris malzemenin yoğunluğu,  $\rho$  köpüğün yoğunluğudur (Yazıcıoğlu 2007)

Şekil 2.6' a ve b' de basma yükü altında Cymat ve Alporas metal köpüklere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri yer almaktadır. Grafikteki  $\rho / \rho_s$  göreceli yoğunluktur. Cymat

marka köpüklerde çökme gerilmesi % 70 şekil değişimine kadar hemen hemen sabit devam ederken, Alporas marka köpüklerde % 40 şekil değişiminden itibaren gerilim değerlerinde artış gözükmektedir.



Şekil 2.6. Basma Eğrilerinin karşılaştırması (Cmat, Alporas)

ği

### Elektriksel Özellikler

Elektrik iletkenliği ile ilgili tek parametre dirençtir (R). Bu değer, göreceli yoğunlukla birlikte yaklaşık olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Ashby 2000).

$$R \approx R_s \left( \rho / \rho_s \right)^{-r}$$

Denklem 1.1.

R: Metal köpük direnci

$R_s$ : Matris malzemenin direnci

$\rho$ : Metal köpüğün yoğunluğu

$\rho_s$ : Matris malzemenin yoğunluğu r değeri 1,6

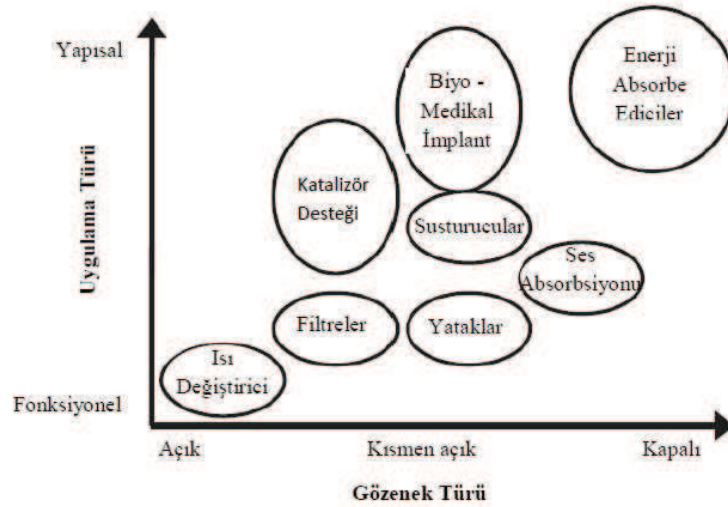
ile 1,85 arasındadır.

Formülden de anlaşılacağı üzere köpük metalin yoğunluğu düştükçe direnç artmaktadır, yoğunluk arttıkça direnç azalmaktadır.

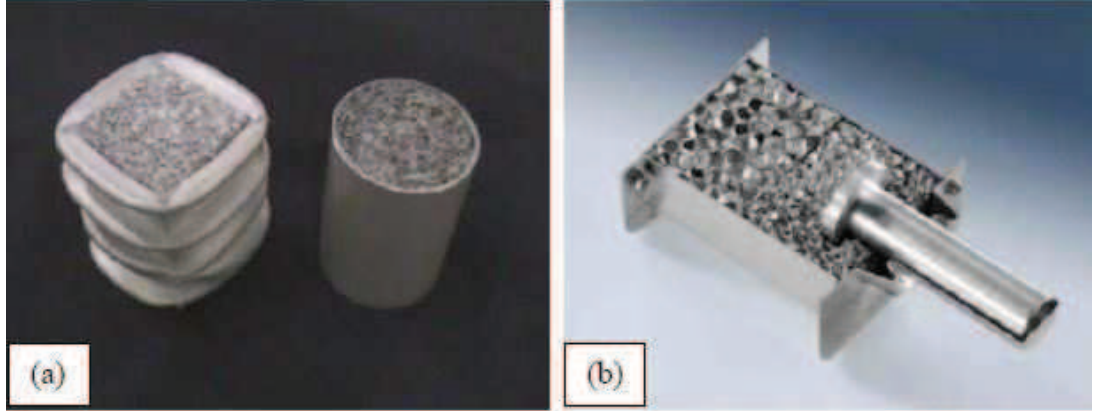
#### 2.4. Alüminyum Metal Köpük

Çok yüksek akustik konfor ve güvenlik gereksinimlerine sahip araçlar, uçaklar ve trenler için artan talep, özellikle otomotiv endüstrisinde, yapısal ağırlığın artmasına neden olmaktadır. Öte yandan, daha az yakıt tüketen taşıtlara olan talep hafif yapılar gerektirmektedir. Modern ulaşım mühendisliğinin tüm gereksinimlerini karşılamak için, düşük özgül ağırlık, yüksek sertlik ve güç, iyi ses etkisi enerji emilimi kabiliyetine sahip yeni malzemeler geliştirilmelidir. Bu yapılar hem mekaniksel hem de fiziksel özelliklerin ilginç birleşimine sahiptir.

Doğada, sıklıkla yük taşıma veya işlevsel amaçlar için hüresel malzeme kullanır (yani tahta, kemik vb.) (Gibson, Ashby 2000). Genellikle metal köpüğü, % 40 – 98 aralığındaki hacim oranıyla katı metalde düzgün bir şekilde yayılmış gaz gözeneklerine sahiptir. Köpüğün özellikleri özellikle gözenekliliğine ve hücre tipine bağlıdır; en yaygın üç hücre yapısı vardır: açık hücre, kapalı hücre (Gibson, Ashby 2000) ve ikisinin birleşimi (Stöbener ve ark. 2005). Hücre tipi, Şekil 2.7’de (Banhart 2001) gösterildiği gibi metal köpüğün uygulama alanını belirler. Metalik köpükler, matrisin metalik yapısından ve gözeneklilik davranışından kaynaklanan mükemmel ve benzersiz özellik birleşimine sahiptir.



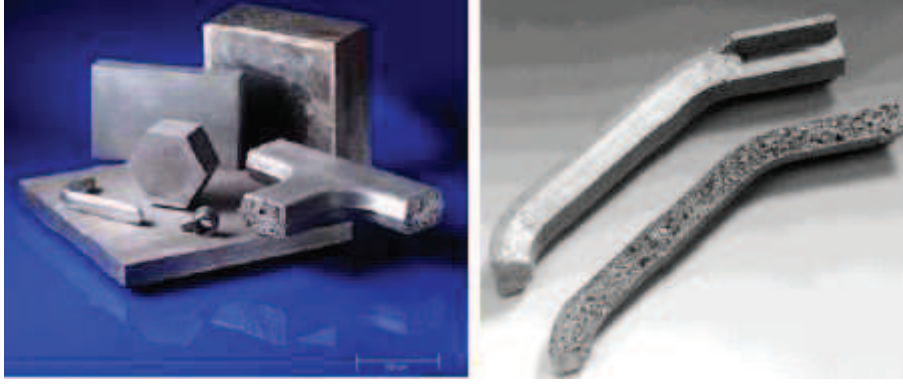
Şekil 2.7. Alüminyum köpük uygulama alanları (Banhart 2001).



**Şekil 2.8.** (a) Cymat firması tarafından üretilmiş olan alüminyum tütten oluşan darbe emici ve (b) Metcomb alüminyum köpük malzemeyi temel alan tasarım yapısı (Banhart 2007).



**Şekil 2.9.** İçerisine Al köpük konularak desteklenmiş süspansiyon parçası (Simancık 2001).



**Şekil 2.10.** Toz Metalurjisi metoduyla köpürtülen alüminyum köpük numune (Stöbener 2003), (Koerner 2008).

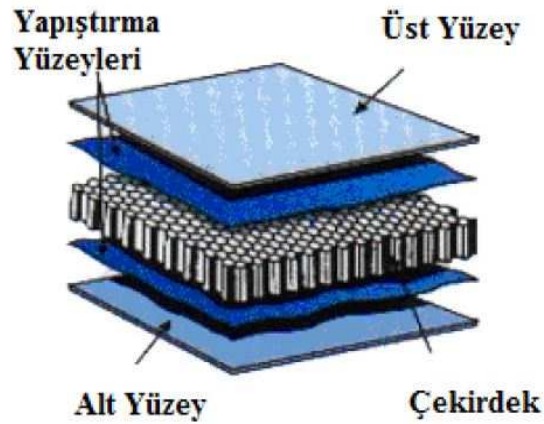
Şekil 2.8, 2.9 ve 2.10 dan görüleceği üzere Al köpük bir çok sektör de kendine uygulama alanı bulmuştur. Teknolojinin ilerlemesine bağlı olarak bu ihtiyaç ve araştırmalar daha da artacaktır.

## 2.5. Sandviç Yapılar

Genel bir tanım olarak sandviç yapılar, farklı mekanik özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemenin tabakalar halinde çeşitli yöntemlerle birleştirilerek bir araya getirilmiş halidir. Bu yapılar nüve (çekirdek) malzemenin sert iki dış tabaka arasında bağlanmsıyla (doğal, yapay) üretilir ve aynı ölçülerdeki ana malzemeye göre özgül mukavemeti daha yüksektir (Jackson 2008).

Sandviç yapı tarihi, aralarında belirli bir mesafe bulunan iki yüzeyin bir araya getirilerek kullanılması esaslı 1820 yıllarında Delau tarafından bulunmuştur ve bu yapılar yoğun olarak ilk defa 2. Dünya Savaşı sırasında kullanılmıştır. Savaş sırasında İngiltere’de uçak yapımında kullanılan diğer malzemelerin bulunmaması sebebiyle Mosquito uçağında sandviç yapı kullanılmıştır. Bu sandviç yapıdaki yüzeyler kaplama tahtasından (vener) ve çekirdek de balsa ağacından yapılmıştır (Anonim, 2003a).

Sandviç kompozitler teknolojik kompozitlerin en önemli uygulamalarındandır. Tanım olarak kompozit malzeme, iki veya daha fazla malzemenin istenilen yerdeki özelliği sağlamak amacıyla, makro düzeyde bir araya gelmesiyle elde edilen yeni bir malzemedir. Sandviç kompozitler de tanım olarak kompozit malzemelerin tanımına uymaktadır. Sandviç kompozitlerde farklı yapılar, istenilen yerdeki özelliğin sağlanması için birbirleri içinde çözünmeden bir araya getirilirler. Bir araya getirme işlemi, adhesive adı verilen yapışkan yüzeylerle sağlanmaktadır.



*Şekil 2.11. Sandviç yapı temel elemanlarının gösterimi.*



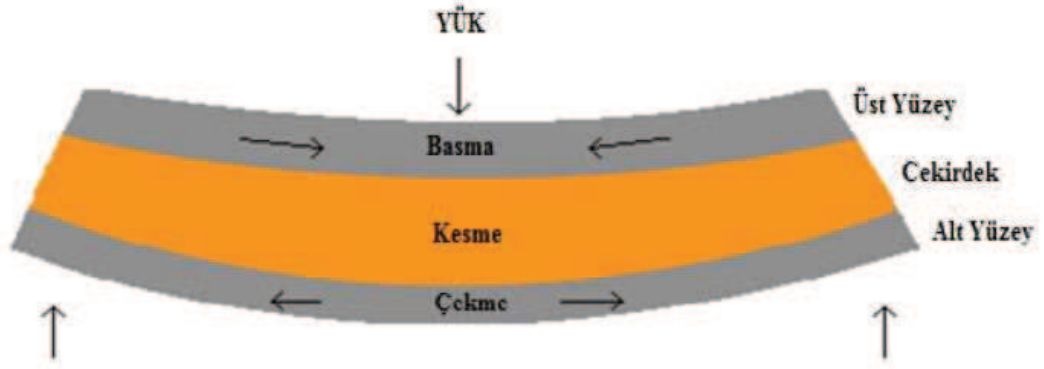
Sandviç yapılar üç temel elemandan meydana gelmektedir. Şekil 3.1 'de görüldüğü üzere en dış (alın yüzeyler) alt ve üst yüzeyler, orta kısımda çekirdek (nüve malzeme) olarak adlandırılan malzeme ve bağlantıyı sağlayan yapıştırıcı (adhesive) katmanlardan oluşmaktadır. Her bir parça bir birim olarak kendisine ait olan fonksiyonunu yerine getirmektedir. Burada amaç malzemeleri maksimum verimlilikte kullanmak ve daha iyi spesifik özellikler elde etmektir. Yüzey malzemeleri atalet momentini artırmak için birbirlerinden belirli bir mesafede yerleştirilirler ve dolayısıyla eğilme rijitliği artırılmış olur. Sandviç bir kiriş katı bir kiriş ile kıyaslandığında, aynı genişlik ve ağırlıktaki katı kirişe göre daha yüksek atalet momenti sebebiyle kayda değer derecede daha yüksek rijitliğe sahiptir.

Sandviç yapıyı oluşturan alt elemanlarını şu şekilde açıklayabiliriz.

**Alın Yüzeyler;** sandviç yapı içerisindeki basma ve çekme gerilmelerini taşırlar. Genellikle yüzey elemanı olarak çelik, paslanmaz çelik, alüminyum gibi konvansiyonel malzemeler kullanılmaktadır. Birçok durumda cam veya fiber takviyeli plastikler, uygulama basitliği nedeniyle, yüzey malzemesi olarak seçilirler. Yüzeyler aynı zamanda bölgesel basınçları da taşımaktadır. Bölgesel basınç yüksek olduğunda yüzeyler kayma kuvvetleri için bölgesel basınçlara bağlı olarak değiştirilmelidir.

**Nüve (çekirdek) Malzeme;** sandviç yapılarda yüzeyler arasındaki mesafeyi korumak için yeterince rijit olmalıdır. Bu durum yüzeylerin kayma kuvvetine olan eğiliminden kaynaklıdır. Eğer çekirdek malzeme yeterince rijit olmazsa sandviç yapıyı oluşturan alt elemanlar bu kuvvet etkisinde yırtılarak birbirinden ayrılır.

**Yapıştırıcı Malzeme;** Alın yüzeylerinin ve çekirdek malzemenin bir arada hareket etmesini sağlayan bağlantı elemanlarıdır. Oluşan gerilmeleri taşıyabilmesi gerekir özellikle de sandviç yapılar için kayma gerilmesini. Sandviç yapıya gelen kuvvetler Şekil 3.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Sandviç yapı üzerine gelen yükler

## 2.6. Sandviç Yapıların Sınıflandırılması

Yapının sınıflandırılması kendini oluşturan ve bahsedilen üç alt yapının kendi içerisindeki türavlerine göre gerçekleştirilmektedir. Kısaca çekirdek malzeme, alın yüzeylerinde kullanılan malzemeler ve bağlayıcı elemanların kendi içerisindeki değişimleri olarak nitelendirilebilir.

### **Alın yüzeyler de kullanılan malzemelere göre sınıflandırma;**

Kalın olmayan levhalar halindeki neredeyse tüm yapısal malzemeler sandviç kompozit yüzeyleri oluşturmak için kullanılabilirler. Genellikle yüzey malzemesi olarak kullanılan materyaller metal olan ve metal olmayan malzemeler olarak iki guruba ayrılır. Metal malzemeler grubunda çelik, alüminyum ve alaşımları gibi materyaller, metal olmayan malzemeler grubunda ise kontraplak, ahşap, takviyeli plastik ve fiber kompozitler gibi malzemeler yer alır. Yüzeylerde bulunması gereken öncelikli özellikler şunlardır; (Jappesen 1997, Middleton 1990). Çalışmada kullanacağımız malzemeler metal olarak sınıflandırılan alüminyum 5754 malzemesi ve metal olmayan takviye lemanı olarak kullnacağımız ürünler is ekarbon elyaf ve aramid fiber malzemedir.

Karbon Elyaf; mukavemet olarak cam ve aramid elyaflarından çok daha üstün özelliklere sahiptirler. Darbelerin sönmelenmesi ve çok düşük ağırlıklar altında rijitlik sağlamak amacıyla kullanılırlar. Düşük uzama seviyeleri ve kırılganlıkları başlarda dezavantaj olmuş olsa da günümüzdeki yüksek uzamalı karbon elyaflarının bulunmasıyla bu sıkıntılar ortadan kalkmıştır.

Aramid Elyaf; Aramid Lifler; cam ve karbon elyaflar gibi takviye elemanı olarak kullanılan alternatif ve tamamlayıcı özellik sunan ileri teknolojik malzemeler için uygun bir birleşimdir. Birçok mekaniksel özelliği (sertlik, yüksek mukavemet vb.) bünyesinde birleştiren bir malzemedir. Bir çelik halatın taşıyabileceği kuvvetin 5 ile 6 kat arasında daha fazla yük taşıyabilmesine karşın bu malzeme bası kuvvetlerinde zayıf kalmaktadır. Ayrıca nemlenmesi durumunda beraberinde kullanılacak bağlama elemanı özellikle yapıştırıcılarla rijit bir bütünlük sağlayamadığından yapısal bütünlüğü tehlikeye atar.

### **Yapıştırıcı malzemelere göre sınıflandırma;**

Birleştirme işlemi için çok çeşitli yapıştırıcı (bağlama elemanı) bulunmaktadır. Isıya karşı direnç, sürekli yüklemelere karşı dayanıklılık gibi özellikler yapıştırıcılar ile ilgili öncelikli olan parametrelerdir. Genel olarak sarf edilen yapıştırıcılar; epoksi reçineler, güçlendirilmiş epoksi reçineler, fenolikler, poliüretanlar, akrilatlar, polyester ve vinilester reçinelerdir. Kullandığımız malzemeler döküm tipi epoksi reçine (ARC 150 - N), infüzyon tipi epoksi reçine (EPIKOTETM Resin MGS® L 160), Hızlı yapıştırıcı (Akfix 705), Kimyasal Dübel (Pattex CF 900) dir.

**Çizelge 2.1.** Bazı Yapıştırıcıların Mekaniksel Özellikleri

Yapıştırıcı madde	Uygulama koşulları Sıcaklık/basınç °C / Nmm <sup>-2</sup>	Mukavemet	Elastiklik	Yaşlanma mukavemeti	Sıcaklık dayanımı °C	İnsan ve çevreye zarar derecesi
PSA Yapıştırıcılar	10 ... 20 / 1 ila 5	4	1	1-2	120	1
Yüzey yapıştırıcılar	10 - 20 / ca. 1	3 - 4	1	2-3	120	3-4
Dispersiyon yapıştırıcı	10 - 20 / ca. 1	3 - 4	1	3	100	2
Isı ile eriyen reçine	>100 / Temas basıncı	3 - 4	1	2	120	1
PVC pasta	150 - 250 / Basıncısız	3 - 4	1	2	120	3
Epoksi reçine 2-K	RT / Basıncısız	1 - 2	2	3	80	3 - 4
Epoksi reçine 1-K	120 / Basıncısız	1	2	2	150	2 - 3
Fenolik reçine 1-K	ca. 150 / 8	1	3	1-2	200	2 - 3
Poliüretan reçine 2-K	RT / Basıncısız	2 - 3	1	2-3	80	2 - 3
Poliüretan reçine 1-K	80 / Temas basıncı	3	1	2-3	110	1 - 2
Silikon reçine 1-K	RT / Basıncısız	4	1	1	200	1 - 2
Siyanakrilat (japon) 1-K	RT / Basıncısız	2	3-4	3	80	1 - 2
Diakrilik asit ester 1-K	RT / Basıncısız	1 - 2	2	1-2	100	3 - 4

1-K Bir komponentli , 2-K İki komponentli ; RT Oda sıcaklığı ; 1- Çok yüksek, 2- Yüksek, 3- Orta, 4- Düşük

### Çekirdek Yapılarına göre sınıflandırma;

Nüve (Çekirdek) malzemelerin sandviç uygulamalarında ahşap, petek ve köpük çekirdek yapıları gibi birçok çeşidi mevcuttur. (Jappesen 1997, Middleton 1990).

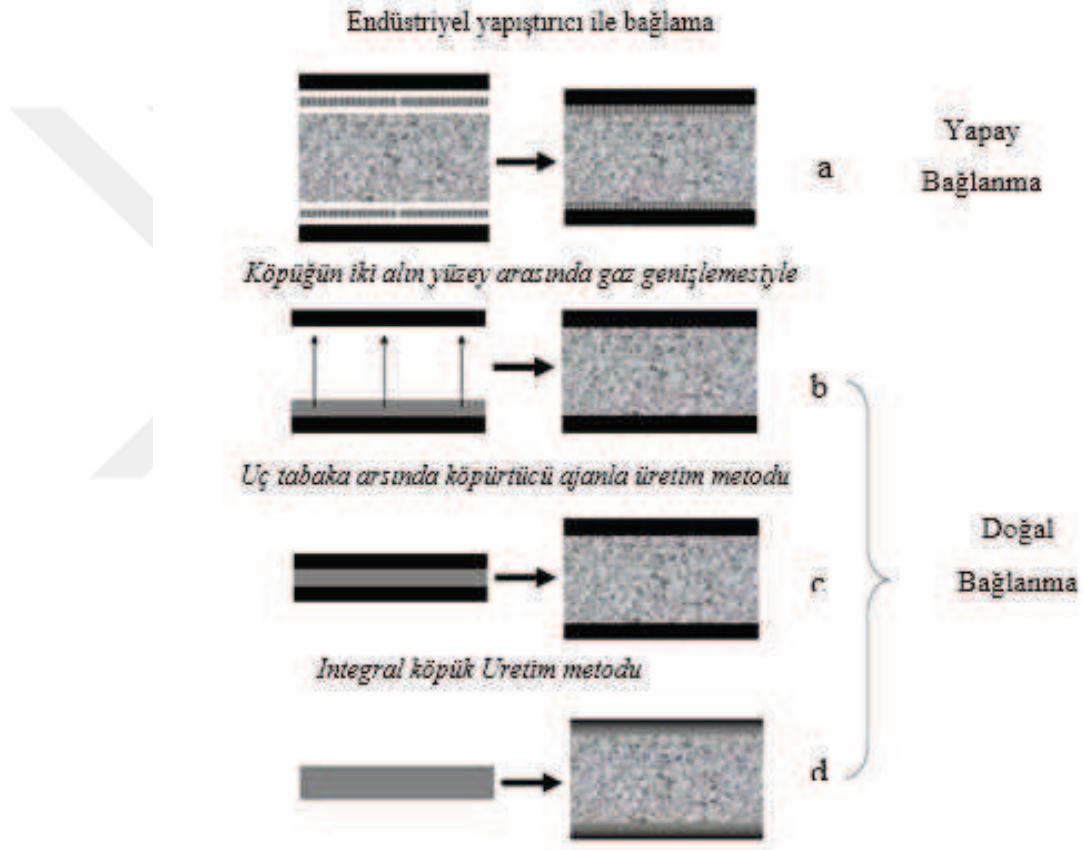
Kullanılan bazı nüve Malzemeler;

- ✓ Honeycomb
- ✓ Ahşap (Balsa ağacı vb.)
- ✓ Poliüretan köpük
- ✓ Pvc Köpük
- ✓ Suni Köpük
- ✓ Üretan Köpükler
- ✓ Metal Köpükler

Çalışmamızda metal köpük olarak sınıflandırılan alüminyum köpük kullanılacaktır. Üretim yöntemi ise; 2.2.4 konu başlığı altında incelenen 'Gaz çıkaran metal partiküllerin eriyik içerisinde çözülmesi' metodu kullanılacaktır.

## 2.7. Sandviç panel Üretimi

Sandviç yapılar da alın yüzeyleri metal köpüğe çeşitli metodlarla bağlama imkânı vardır. Bu metotlar köpüğün tipine ve imalat metoduna değişmesine karşın, alüminyum köpük sandviç yapı üretimi, bağlanma mekanizmaları yönünden temel olarak in-situ bonding (doğal bağlanma) ve ex-situ bonding (yapay bağlanma) olarak iki guruba ayrılır. Şekil 2.13’de bu iki yöntem şematize edilmiştir.



Şekil 2.13 Alüminyum sandviç yapının a) yapay bağlanma b) Köpüğün iki alın yüzey arasında gaz genişlemesiyle üretimi c) Üç tabaka arasında köpürtücü ajanla üretim metodu d) İntegral köpük üretim metodu (Banhart 2008).

### **Doğal Bağlanma Metodu;**

Yapay bağlanma ile sandviç üretimine alternatif olarak geliştirilen bu yöntem diğer yöntemin bahsedilen olumsuzlarının bazılarını ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca; sıra metalik bağ sayesinde yapıştırıcılara kıyasla ısı hassasiyeti azaldığından, ısı direnç duvarı şeklinde yeni kullanım alanları da oluşturmuştur. Bu tip yapılardaki temel mantık metal köpük oluşurken aynı zamanda sandviç yapının da oluşmasıdır. Bir başka deyişle, ikincil olarak başka bir işlem gerekmemektedir. Onun yerine uygulanan yöntemle göre köpürtme öncesi bazı ön işlemler yapılır. Doğal bağlanma metodunun kaydadeğer dezavantajıysa; alaşım bileşiminin sınırlı olmasıdır.

- Köpüğün iki levha arasında genleşmesi (Şekil 2.13.b) ile sandviç üretiminde, iki sabit levha arasına ön malzeme yerleştirilir ve köpürtme işlemi yapılır. Köpürerek aradaki boşluğu dolduran köpük materyal, yüzey plakalarına difüze olarak birleşir. Ancak bu işlemde iki yüzey levhası ve köpükteki oksit tabakası düzgün bir metalik bağ oluşumunda problemlere oluşmasına sebep vermektedir. Köpürtme öncesi yüzeyler işlemde geçirilse (temizlenme) bile köpürtme esnasında da oksitlenmeye karşı korunması gerekmektedir. Ayrıca ısı, köpüğe levhalar üzerinden iletildiği için alın yüzeylerdeki levhaların ergime ihtimali bulunmaktadır ve bu da sıcaklık kontrolünü zorlaştırır. Bu gibi sebepler ile bu yöntem tam olarak uygulamaya geçmemiş deneysel bir yaklaşımdır.
- Üç tabakalı kompozitin köpürtülmesi ile sandviç üretimi (Şekil 2.13 c) 1992' de Fraunhofer enstitüsünde gerçekleştirilmiştir (Simancık 2001). Bu yöntemin uygulanabilirliği diğer yöntemlere göre daha elverişlidir. Toz metalürjisi metoduyla aynı yol haritasını izleyen bu yöntem daha sonrasında haddeleme, presleme gibi bir dış kuvvet yardımıyla ön malzemenin yüzeyi plaka ile kaplanır. Sonrasında köpürebilir alüminyum alaşımlı metalik çekirdek malzeme tabakasını oluşturur ve alın yüzeylere konulan levha ile üçlü bir katman oluşturur. Buradaki amaç köpürtme öncesi yüzey plakası ile köpürecek malzeme arasında mekanik bir kilitleme sağlamak ve aynı zamanda ara yüzeydeki oksit tabakalarının parçalanmasını sağlayarak köpürme esnasında bağlanmayı kolaylaştırmaktır. Yüzeyi kaplanan numune eğer ihtiyaç duyulur ise köpürtme öncesinde de ön şekillendirmeye tabi tutulur. Son işlem olarak numune sıcaklık ve zaman göz

önünde bulundurulurak köpürtülür Sonuçta alüminyum alaşımlı köpük ile plaka arasında metalik bir bağ oluşur. Oluşan bu yoğun bağlanma tipi kompozit bileşenleri arasında maksimum kuvvet iletimini sağlamaktadır. (Stöbener 2003).

- İntegral köpük kullanarak (Şekil 2.13 d) AFS üretimi kullanılabilecek diğer bir yöntemdir. Ön malzeme hazırlama işlemlerinde değişiklikler yaparak herhangi bir yoğun levha kullanmadan yoğun yüzey tabakaları oluşturma prensibine dayanır. Bu yöntem toz metalurjisi ile üretimde köpürmeyen toz karışımı tabakası, köpürebilen toz karışımı ve yine köpürmeyen toz karışım tabakasının bir arada yoğunlaştırılıp sonra köpürtülmesi olarak düşünülebilir. Ancak böyle bir yaklaşımın ne kadar uygulanabilir ve ihtiyaçları karşılayabilir olduğu emin olunulamamaktadır.

### **Yapay Bağlanma Metodu;**

Bu metotta alın yüzeylere gelecek olan ince plakalar yapıştırıcı malzeme ile bir birine bağlanmaktadır. Yapıştırıcı malzemelere alakalı bilgiler daha sonraki bölümde, sandviç malzemelerin sınıflandırılması kısmında anlatılmıştır.

### **2.8. Sandviç Yapı Uygulamaları**

Sandviç yapı çalışmalarına yön verecek ve ayrıca çalışmamızla alakalı bazı çalışmalardan bahsedeceğiz. Bu çalışmalar da; yapay bağlanma metodu kullanılması ve bunların sandviç yapı üzerindeki mekaniksel etkileri üzerinde nasıl sonuçlar verdiği inceleyecektir. İlk çalışma da; UWA (University of Western Australia)'da 2011 yılında yapılmış ve kısa elyaf takviyesinin, kullanılan bağlatıcı eleman miktarının (epoksi reçine) deliminasyon üzerinde ki etkisinden bahsedilmiştir. Sandviç yapı elemanları nüve (çekirdek) malzeme olarak toz metalürjisi ile üretilmiş Alporas Köpük 1200 x 700 x15 mm parça, alın yüzey olarak da keklar ve karbon elyaf kullanılmıştır. Çalışmadaki amaç sandviç yapı da en fazla rastlanan deliminasyon problemi için çözüm oluşturabilecek bir uygulama etmektir.

Deney malzemesi hazırlanırken Alüminyum köpük 190 x 100 mm uzunluğundaki karbon fiber kumaşı 6 parçaya kesilmiş ve 3 katman olacak şekilde alüminyum köpük ile epoksi

reçine ile sandviç yapı elde edilmiştir. Oluşturulan numuneler sıkıştırma testine tabi tutulmuş ve Çizelge 2,2’ deki sonuçlar elde edilmiştir.

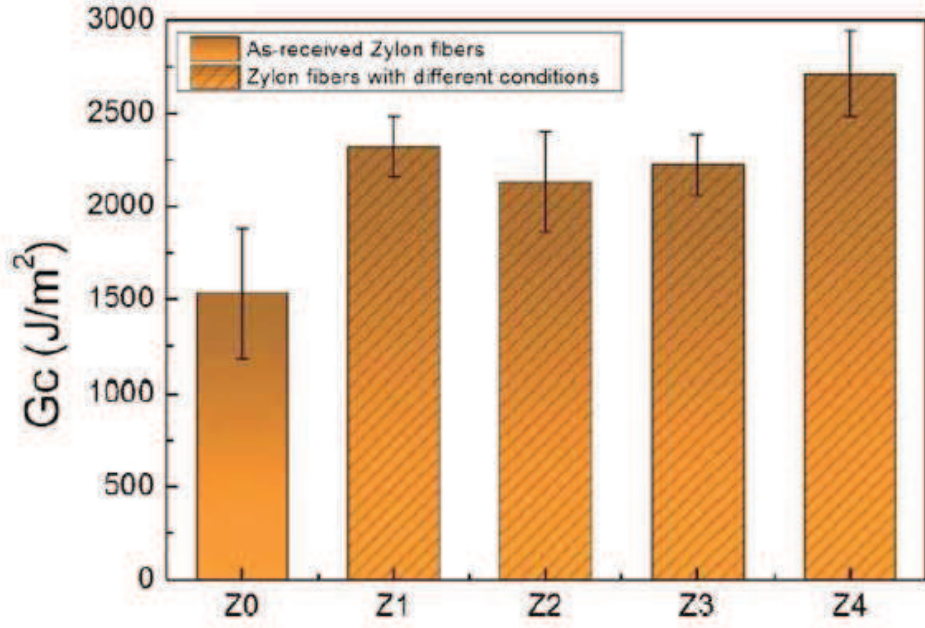
**Çizelge 2.2.** Ortalama kırılma yüklemesi (8 numune 15 farklı kevlar ve zylon fiber birleşimi) (Craven 2011).

DENEY NO	Kullanılan Epoksi ağırlıkça (gr)	Kevlar Fiber Uzunluğu (mm)	Gr/m2 ye düşen Kevlar yoğunluğu	Akma noktası (kN)	Standart Deviasyon
2	100	-	-	1,65	0,25
3	40	-	-	3,33	0,66
4	40	-	-	3,98	0,45
13	50	-	-	4,03	0,25
15	50	16K/16Z	32	3,26	0,37
14	50	16	32	3,48	0,7
11	40	16	53	3,96	0,65
9	40	16	32	3,94	0,6
12	40	16	16	3,66	0,7
7	40	10	53	3,56	0,43
8	40	10	32	2,84	0,4
6	40	10	16	3,67	0,5
1	40	10	8	4,18	0,5
5	40	6	16	3,56	0,32
10	40	6	32	3,22	0,86

Sonuç olarak; epoksi reçinenin yukarıda kullanılan miktarlar içerisinde en iyi sonucu 40-50 gr kullanımlarında verdiği ve karbon elyafı ile beraber kullanılan kevlar malzemenin deliminasyonu azalttığı gözlemlenmiştir.

İkinci çalışma da; 2014 yılında Çin’de Dalian University of Tecnology’de yayımlanmış bir çalışmadır. Karbon fiber ve işlem görmüş aramid elyafın kırılma oluşumundaki etkisi incelenmiş ve işlenilmiş aramid elyafın epoksi reçinenin bağlama özelliklerini arttırdığı görülmüştür. Kısa halde (6 mm) kesilen aramid elyafı işlem görek alüminyum levhya epoksi reçine ile yapıştırılmıştır. Burada kullanılan yapıştırıcı 5/2 ağırlıkça karışan çift komponentli bir yapıştırıcıdır. Kesilen aramidler den ilki sadece asetonla işlem görmektedir. Diğer numuneler ise etil alkolle, polivinil alkol ve polivinil alko ile aseton da ultrasonik olarak işlenmiş ve sonuçlar Şekil 2.14 ‘deki gibi oluşmuştur.

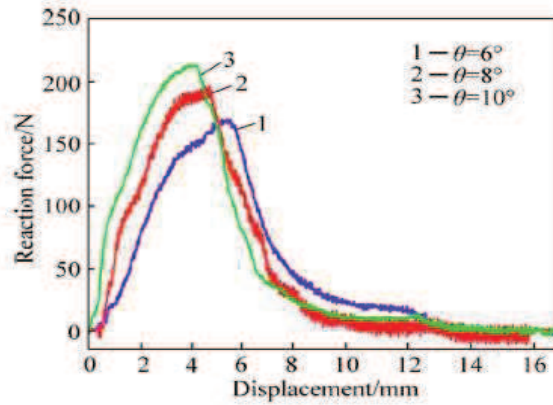




Şekil 2.14. Dört farklı şekilde işlenmiş Aramid elyaf ile işlenmemiş elyafın gösterdiği özellikler (Sun 2014).

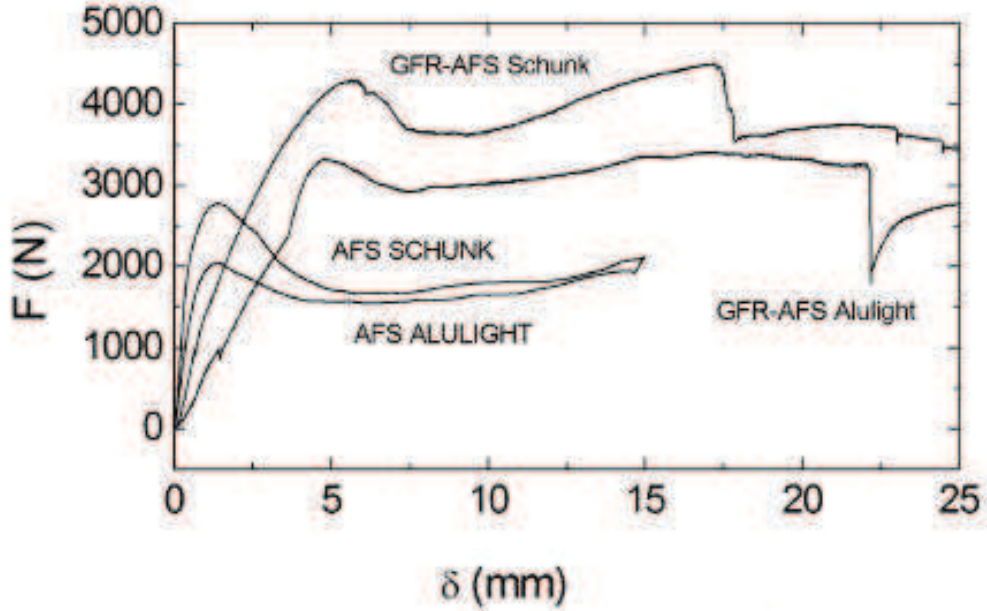
Sonuç olarak, kritik enerji salınımının  $G_c$  nin aseton kullanılan ultrasonik işlem görmüş parçanın diğer işlem görmüş parçalar göre daha etkili olduğu ve daha fazla enerji sönmülebildiği ortaya konmuştur. (Sun 2014)

Üçüncü çalışmada; 2015 yılında Central South University Press ve Springer-Verlag Berlin Heidelberg de ortak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı konik yapıştırıcı ile oluşturulmuş alüminyum köpük malzemedeki kayma testinin sonuçlarını 3 farklı açı değerinde ( $6^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $10^\circ$ ) 3 mm'den 12 mm'ye kadar 3'er milim aralıklarla zorunlu yer değiştirmelere maruz bırakıldığında elde edilen sonuçları incelemektir.



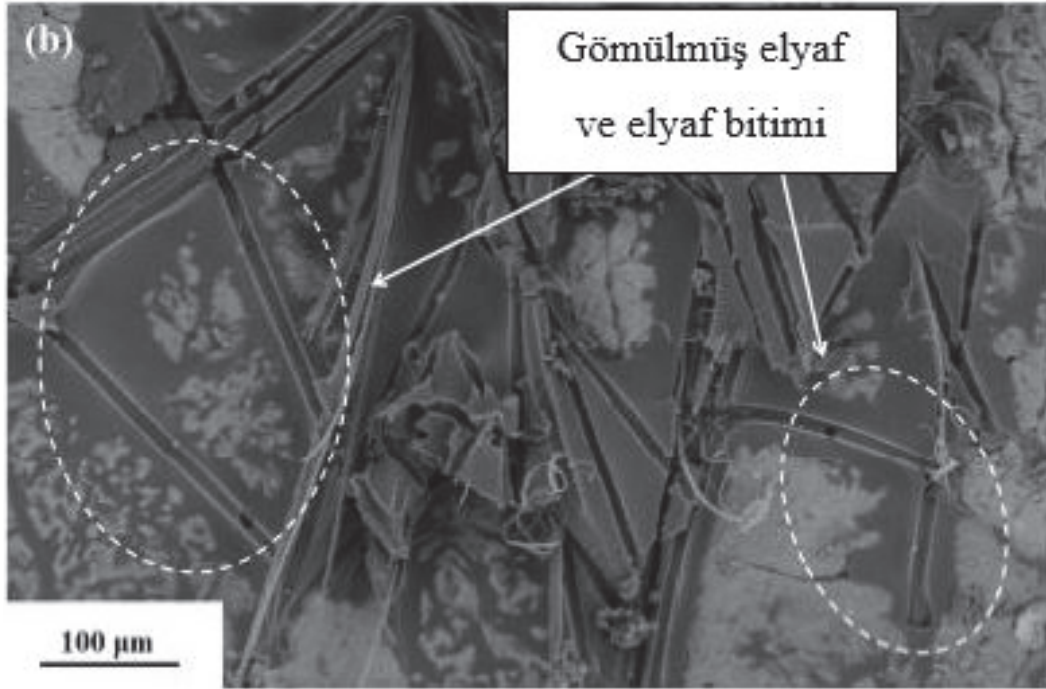
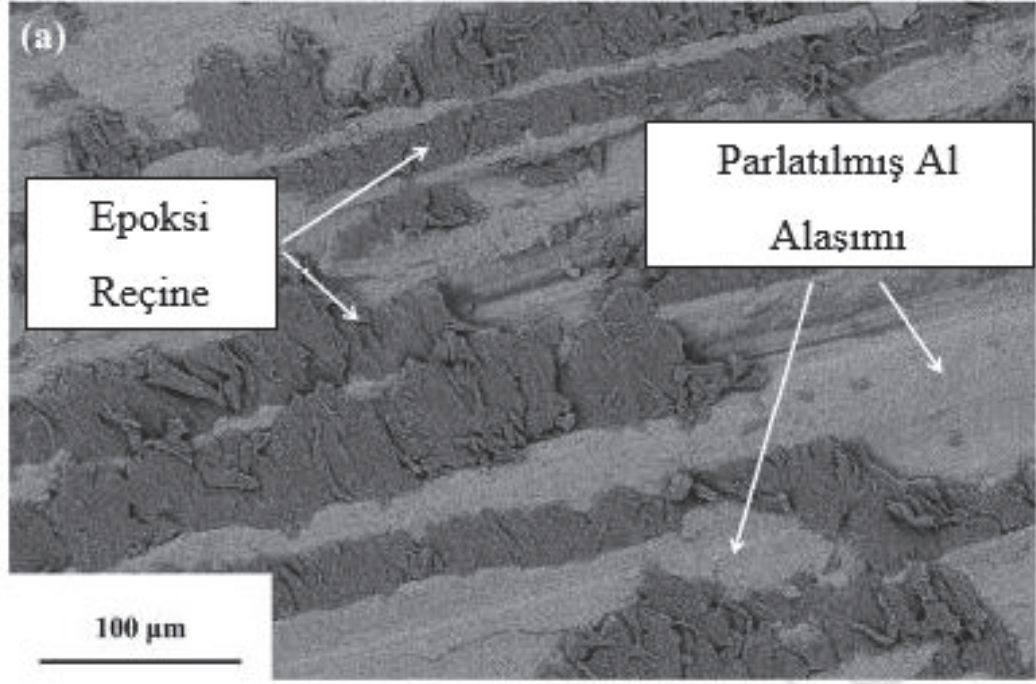
Şekil 2.15. Numunelerin açı ve zorunlu yer değiştirmelerine bağlı olarak maruz kaldığı kuvvetler (Sun 2015).

2015 yılında uluslararası dergide parlaşılan bir uygulamaya ait çalışma da cam elyaf takviyeli alüminyum köpük sandviç yapının (Schunk, Alulight köpük ile oluşturulmuş); Alulight, schunk alüminyum köpükleriyle enerji absorbe etme kapasitesi darbe testi sonucuna göre incelemektir. AFS yapısının elde edilmesi için ticari bir epoksi bazlı reçine kullanılmıştır (SikaFlex-265). Yapılan testler ışığında cam elyaf ile güçlendirilmiş alüminyum köpük malzemenin; alüminyum köpük malzemeye göre dah iyi darbe sönümlediği gözlenmiştir. Şekil 2.16.'da elde edilen sonuçlar ifade edilmiştir.

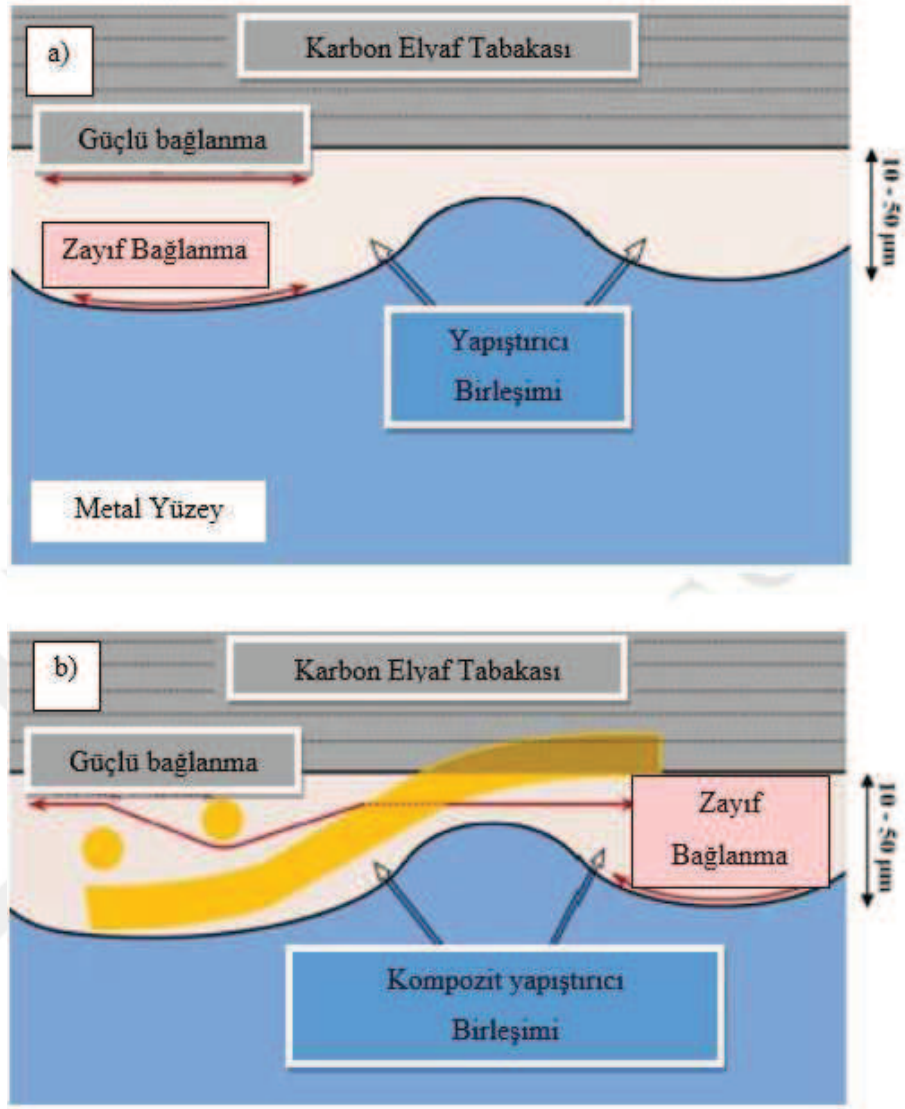


Şekil 2.16. Alüminyum köpük ve beraberinde yapılan AFS yapıların karşılaştırılması. (Crupi 2015).

Kısa aramid elyaf malzemelerin yapıştırıcı malzeme ile birlikte güçlü bir enerji sönümleyebildiğini gösterme amacıyla da bir çalışma yapılmıştır. Yüzey olarak kullanılacak alüminyum levhalar yüzey işlemi görmüştür (parlatılmıştır). Bir yüzey de sadece alüminyum levha ile karbon elyaf diğ erinde ise m<sup>2</sup> başına 12 gr düş en aramid elyaf takviyeli karbon elyaf la birleştirilmiş alüminyum levhanın sonuçları tartışılmıştır. Şekil 2.17. ve Şekil 2.18.'de sonuçlar gösterilmiştir. (Xiao 2015).



Şekil 2.17. a) İşlem görmüş alüminyum yüzeyinin içindeki epoksi reçine dağılımı  
b) yapı içerisindeki elyafların dağılımı (Xiao 2015).



Şekil 2.18. a) Karbon elyaf – metal yüzey bağlantısı b) Karbon elyaf- aramid- metal yüzey bağlantısı (Xiao 2005).

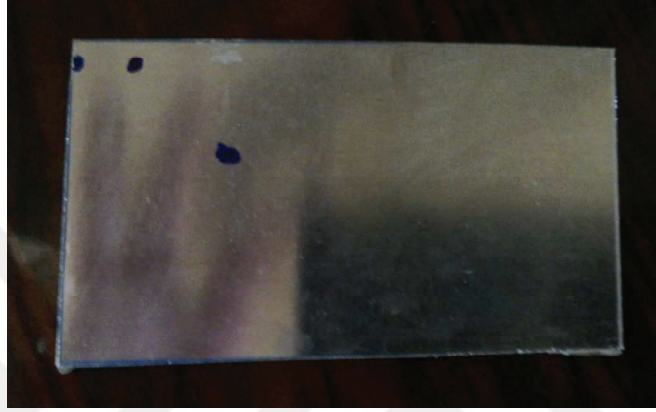
Şekil 2.18'den anlaşıldığı üzere Aramid elyaf gömülmüş olan sandviç yapı zayıf yapıştırma kuvvetine sahip alanları doldurarak kritik enerji emme kapasitesinde önemli bir rol oynamaktadır.

### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. AFS Yapıyı Oluşturacak Bileşenler

##### Alüminyum 5754 Alaşımı

Alüminyum 5757 Alaşımına sahip 2000 x 1000 x 1,5 mm kalınlığındaki malzemeden 70x 50x 5 mm uzunluğunda 24 adet parça halinde kesilmiştir. Şekil 3.1 'de ise kesilmiş alüminyum levhalar gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Alüminyum 5757 Alaşımı

Alüminyum 5754 alaşımına ait mekaniksel özellikler Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Alüminyum 5754 Alaşımı Mekaniksel Özellikler

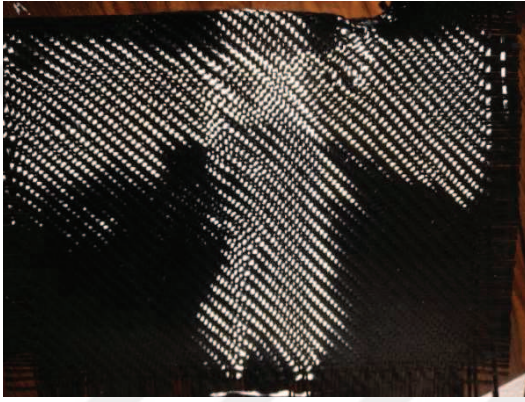
Temper	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%50)	Sertlik (Brinel)
0/H111	80-100	190-215	24	50-55
HX2	130-185	220-245	14	65-70
HX4	160-215	240-270	12	73-75
HX6	190-245	265-290	9	80
HX8	250-270	290-345	8	85-90
HX9	300	340	0-4	95

### Karbon Elyaf

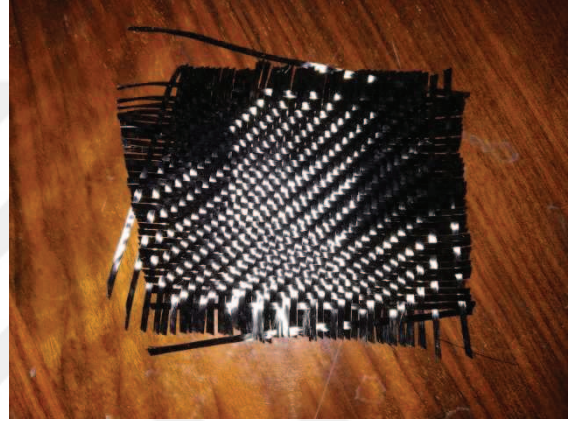
Çalışmamızda kullandığımız karbon elyafa ait özellikler;

- Germe Modülü; 220-240 GPa
- Germe Dayanımı; 3460-4820 Mpa
- Elektriksel öz direnç, 1650  $\mu\Omega$
- Kopma uzaması , %1,5-2,0

Elyaf malzeme alüminyum alaşımındaki 70 x 50 e boy ölçüsünden yaklaşık 5' er mm fark gözeterek kesilmiştir. Karbon elyaf malzemenin kesilmeden önceki ve sonraki halleri Şekil 3.2 ve 3.3'de gösterilmiştir.



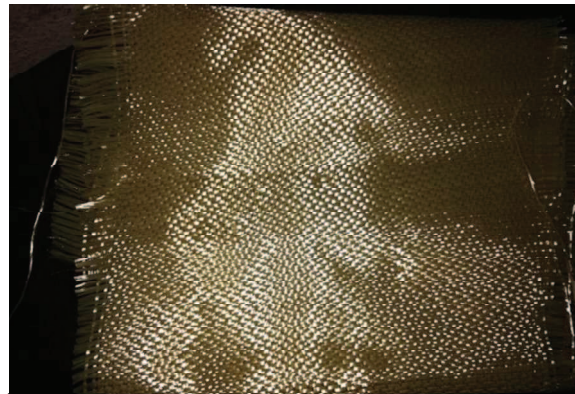
Şekil 3.2. Karbon elyaf bütün halde



Şekil 3.3. Karbon elyaf kesilmiş hali

### Aramid Elyaf

Aramid Elyaf malzeme de aynı karbon elyaf malzeme de olduğu ölçüler de (70 x 55 mm) ölçüler de kesilerek hazırlanmıştır. Malzemeye ait kesilmiş ve kesilmemiş halleri Şekil 3.4 ve 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Kesilmemiş aramid elyaf



**Şekil 3.5.** Kesilmiş aramid elyaf

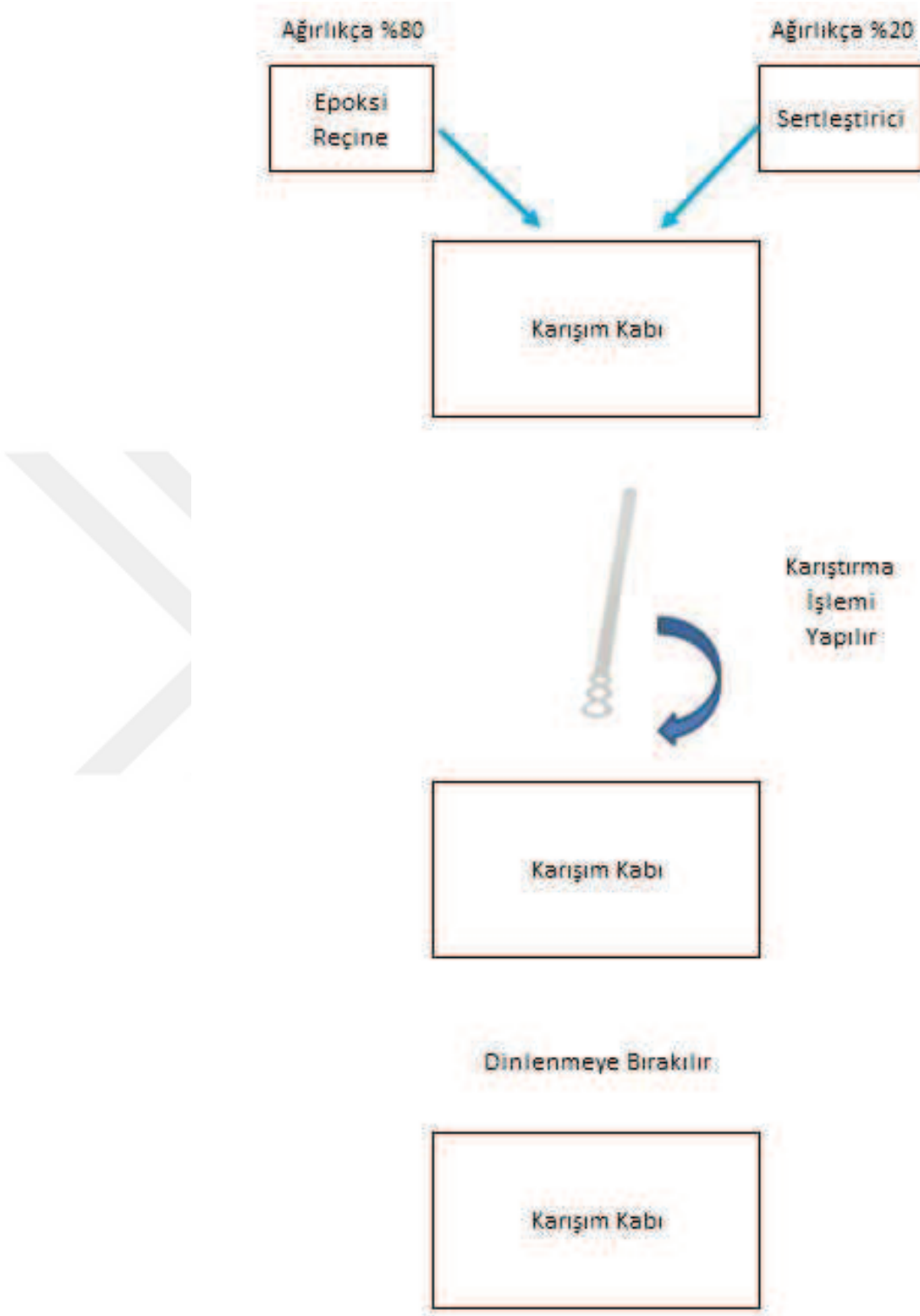
Kullanılan Aramid Elyafa ait özellikler;

- ✓ Young modülü (sertliği): 130-179 GPa.
- ✓ Aşınma ve kesme direnci çok iyidir.
- ✓ Aramid lifleri büyük sertlik ve penetrasyona olan dirençleri ile tanınırlar.

#### **Döküm Tipi Epoksi Reçine (ARC – 150N)**

Alın Yüzeyleri kullanacağımız epoksi bazlı Döküm tipi reçine türüdür. Karışım Oranı 4'e 1 (ağırlıkça) Reçine/Serleştirici oranına sahiptir. Karışımın hazır hale gelme süresi 4 ila 6 saat arasında gerçekleşmektedir.

Karışım hazırlanırken ağırlıkça verilmiş olan 4:1 oranda malzemeler birbirilerine yavaşça karıştırılır ve plastik malzeme vasıtasıyla saat yönünde içinde qaz boşluğu kalmayacak şekilde karıştırıldıktan sonra kürlenmeye bırakılır. İşlemin şematizme edilmiş hali Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Döküm Tipi epoksi reçinenin hazırlanma şeması



Epoksi malzemeye ait özellikler aşağıda Şekil 3.7’de verilmiştir.

SİSTEM ÖZELLİKLERİ				
<b>REÇİNE</b>				
Viscosity	25°C	10-1040 (EN13702-2)	mPas	1.200 - 1.800
<b>Hardener</b>				
Viscosity	25°C	10-1040 (EN13702-2)	mPas	10 - 15
Jelleşme Zam.	25°C	10-1042a (EN 8791)	dk	240 - 360
<b>REÇİNE</b>				
Renk				ŞEFFAF
Density	25°C	10-1041 (ASTM D 1475)	g/ml	1,06-1,10
<b>Hardener</b>				
Renk				ŞEFFAF
Viscosity	25°C	10-1040 (EN13702-2)	mPas	10 - 15
Density	25°C	10-1041 (ASTM D 1475)	g/ml	0,92-0,96
<b>Proses Bilgileri</b>				
Karışım oranı		100 g/100g	g	100:25
Pot life	25°C (50mm,200ml)	10-1043 (*)	dk	120-150
Exothermic peak	25°C (50mm,200ml)	10-1043 (*)	°C	65
Jelleşme Zam.	25°C (1mm)	10-1046	Saat	4 - 6
Dokunma Kuruma	25°C (15ml,6mm)		Saat	12-18

Şekil 3.7. ARC 150-N Döküm tipi epoksi reçine özellikleri

## Kimyasal Dübel

Genellikle inşaat sektöründe kullanılan hızlı ve yüksek mukavemet gösteren bir yapıştırıcı türüdür. Sandviç yapıda alın yüzeyler de kullanılacaktır. Şekil 4.9’da bu malzemenin şekli ve Şekil 4.10’da bu malzemeye ait özellikler verilmiştir.



Şekil 3.8. Epoksi bazlı kimyasal dübel

### GENEL FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Basınç mukavemeti (ASTM 695) > 56 N/mm<sup>2</sup>

Gerilme mukavemeti (ASTM 638) > 10 N/mm<sup>2</sup>

Eğilme mukavemeti (ASTM 790) > 16 N/mm<sup>2</sup>

Elastisite modülü 3034 N/mm<sup>2</sup>

Karşım yoğunluğu 1.65 g/cm<sup>3</sup>

### DÜBEL SEÇİMİ

- Güvenlik faktörleri zeminin yapısına ve sertliğine göre dikkate alınmalıdır.
- İçi boş yapı elemanlarının ve tuğlaların tutarsız karakteristiklerinden ötürü gerilme değerleri değişiklik gösterebilir. Hususi uygunluk aranan durumlarda bölge denemesi yapılmalıdır. En iyi neticeyi alabilmek için dübellerin arasındaki mesafe en az derinliklerinin 2 katı ve kenarlardan asgari uzaklıklarıysa dübel derinliklerinin 1,25 katı olmalıdır.

### TEKNİK BİLGİ

Sıcaklık Jelleşme Yüke ilk dayanım

(°C)	Süresi (Dakika)	Süresi (Dakika)
5	12	50
10	9	45
15	6	35
20	5	30
25	3	30

Şekil 3.9. Epoksi bazlı kimyasal dübele ait özellikler

### Akfix 705 Hızlı Yapıştırıcı

Akfix 705 Hızlı Yapıştırıcı; bir adet siyanoakrilat ve bir adet sertleştirici malzemeden oluşan bir settir. Ko0mpozit malzeme yüzeylerinde ve özellikle yüzey kalitesi düzgün olmayan malzemelerin yapıştırılmasın da kullanılır. Viskozite değerinin yüksek olması sebebiyle yapışma mulavemeti yüksektir ve düzgün form da olmayan malzeme yüzeylerinin yapıştırılmasında kullanılabilir. Bu yapıştırıcıya ait görsel Şekil 3.10'da gösterilmiş ve özellikleri de 3.11'de anlatılmıştır. Bağlama elemanı olarak alın yüzeyler de kullanılacaktır.



Şekil 3.10. Akfix 705 hızlı yapıştırıcı

#### Yapıştırıcı

Kimyasal Yapısı	: Ethyl Cyanoacrylate / Hekzan
Görünüm	: Sıvı jel /Aerosol
Renk	: Renksiz
Uygulama sıcaklığı	: +5°C ile +35°C
Yoğunluk	: 1,06 ± 0,01 g/cm <sup>3</sup> ASTM D1875
Parlama Noktası	: >81°C
Vizkosite	: 1200 - 1800 Cps at 25°C ASTM D1084
Sıcaklık Dayanımı	: -20°C ile +70°C

#### Aktivatör

Kimyasal Yapısı	: Hekzan
Görünüm	: Aerosol
Renk	: Renksiz
Uygulama sıcaklığı	: +5°C ile +35°C
Sıcaklık Dayanımı	: -20°C ile +70°C

Şekil 3.11. Akfix 705 hızlı yapıştırıcı özellikleri

### **Alüminyum Köpük Malzeme**

Sandviç yapı da kullanacağımız çekirdek malzememiz bir metal köpük çeşidi olan alüminyum köpüktür. Üretimi ‘Gaz Salan Partiküllerin Eriyik İçinde Çözünmesi’ metoduyla ALUPAM A.Ş firmasınca gerçekleştirilmiştir. Kullanılacak numune sayısı 12 adet olup boyutları 50 x 43 x 20 mm dir. Kullanılacak Numuneye ait resim Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.12.** Al köpük malzeme

### **3.2. Deney parametereleri ve Numunelerin Teste Hazırlanması**

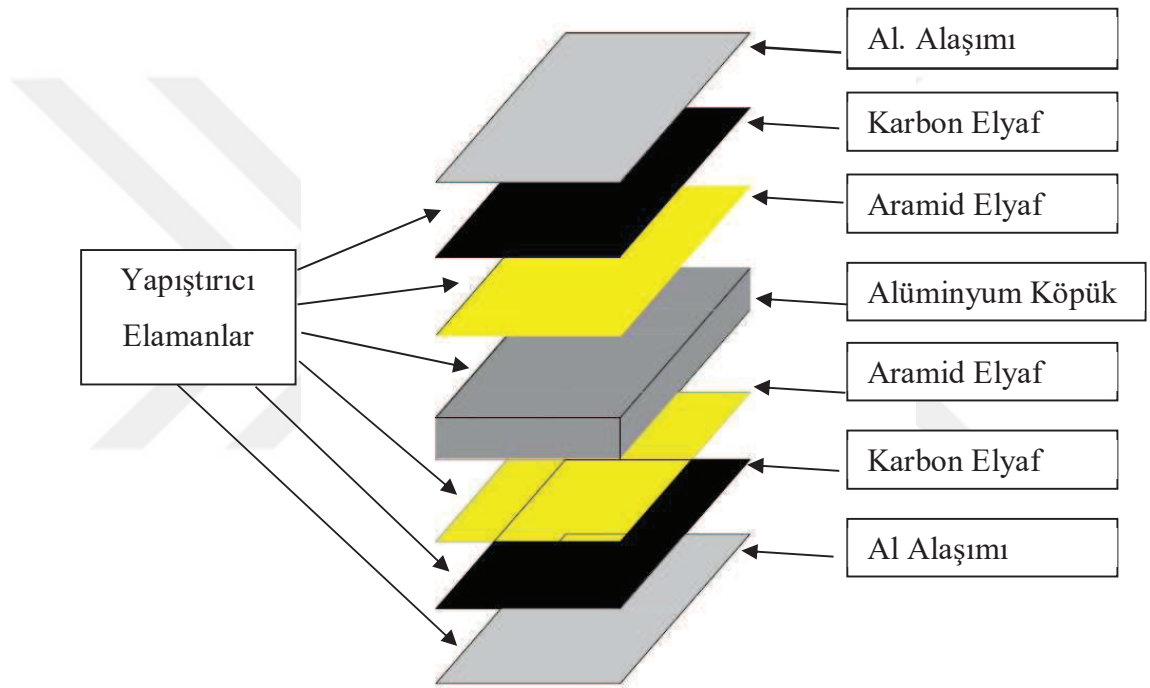
Bu çalışmadaki amaç; bağlama elemanları ve takviye elemanı olarak kullanılan karbon elyaf ile aramid elyaf malzemelerin kayma testinde göstereceği davranışı incelemektir.

Bu nedenle numune olarak kullanılan malzemelerdeki parametreler:

- Aramid elyafın kullanılmasının test üzerindeki etkisi
- Kullanılan döküm tipi epoksi reçinenin kürleşme zamanına bağlı parçalar daki etkisinin incelnemesi
- Karbon elyaf malzemenin etkisini incelenmesi
- Hızlı yapıştırıcının diğer yapıştırıcı türleriyle karşılaştırılması
- Epoksi bazlı kimyasal dübelin diğer yapıştırıcı cinsleriyle karşılaştırılması
- Kimyasal dübel kullanılan numuneler de delik çapının incelenmesi

- Aramid ve Karbon Elyafın kullanıldığı yapının diğer numuneler ile karşılaştırılması

Parametre seçiminde alın yüzeyler de kullanılan malzemelerin ve yapıştırma yöntemlerinin etkisi bulunmaktadır. Oluşturulacak numunelerin sandviç yapı üstündeki dizilimi Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



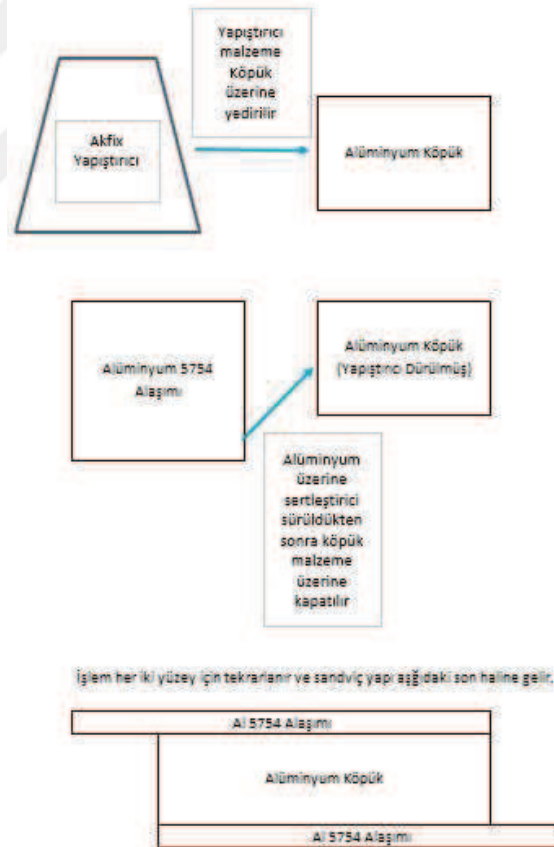
*Şekil 3.13. Çalışmamızda kullanılan temsili AFS yapısı*

### **Numune 1:**

Alüminyum köpük malzeme Al. 5754 alaşımına sahip ince tabakayla Akfix 705 hızlı yapıştırıcıyla bağlanır. Bağlanma; yüzey kalitesi bozuk olan, yani çalışmada çekirdek malzeme olarak kullanılan, köpük malzemenin üzerine yüzeylere yaklaşık 20 mm sürüldükten sonra levhalar çekirdek malzeme ile yapıştırılır ve sertleştirici olan malzeme yapıştırılan yüzeylere sıkılarak sandviç yapı oluşturulmuş olur. Yapışma sonrasında elde edilen resim Şekil 3.14’de paylaşılmıştır.



**Şekil 3.14.** Akfix ile yapıştırılan Sandviç yapı örneği



**Şekil 3.15.** Deney şeması Akfix-alüminyum alaşımı.

### **Numune 2;**

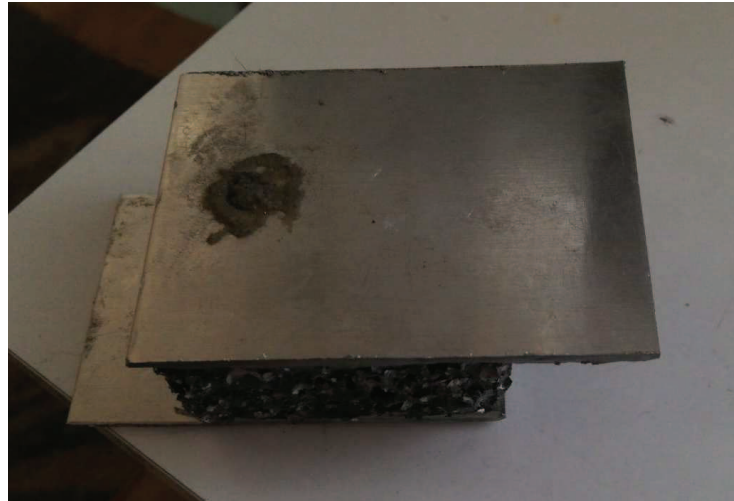
Arc 150-N döküm tipi epoksi reçine karışımı 4:1 ağırlık oranınca hazırlanır ve Alüminyum 5754 alaşımına sahip olan tabakalar alın yüzeylerle birleştirilir. Numunenin hazırlandıktan sonraya ait resimler Şekil 3.16'da paylaşılmıştır.



**Şekil 3.16.** Döküm tipi epoksi reçine ile hazırlanmış sandviç yapı.

### **Numune 3**

Köpük malzeme ile alüminyum alaşımı önce kısmi tutunma yüzeyi oluşturmak amacıyla Akfix 705 hızlı yapıştırıcı uygulanmış ve yüzeylere kimyasal dübel nüfuz ettirilmiştir. Sonrasında kurumaya bırakılarak deneye hazır olması beklenmiştir. Şekil 3.17'de bu yöntemle oluşturulmuş numuneye ait resim bulunmaktadır.



**Şekil 3.17.** Kimyasal Dübel kullanılarak oluşturulan sandviç yapı.

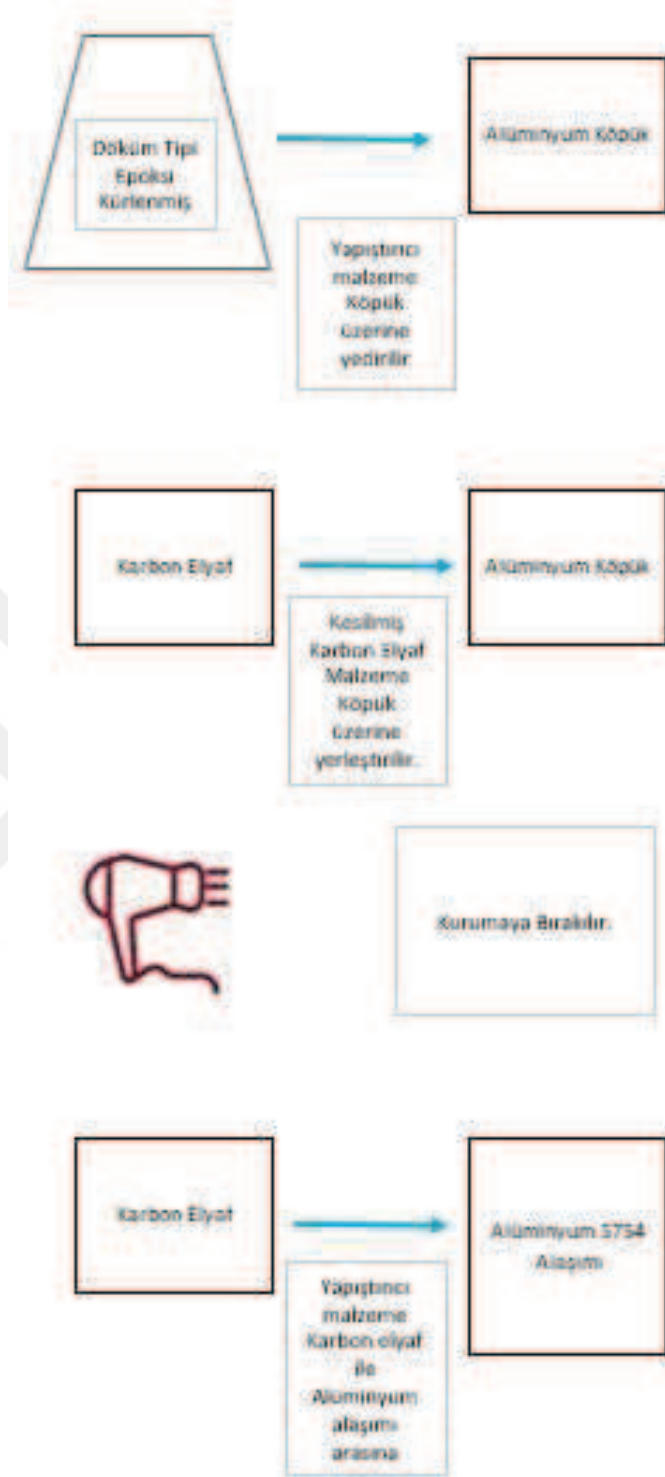
### **Numune 4.5**

Alüminyum köpük malzeme hazırlanan döküm tipi epoksi reçine ile öncelikle karbon elyaf ile yapıştırılmış ve sonrasında Al alşımı da karbon elyaf malzeme ile aynı reçine ile birleştirilerek işlem sandviç yapının ön kısmı için bitirilmiş ve sonrasında aynı işlemler arka yüzey gerçekleştirilerek numuneler oluşturulmuştur. Burada reçine kürleşme zamanı ele alınmış, zaman olarak birinde 105 dakika diğesinde ise 210 dakika bekletilip yapıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. İlgili numune resimleri Şekil 3.18’de ve hazırlanma şeması 3.19’da gösterilmiştir.



**Şekil 3.18.** 105 ve 210 dakika aralığında kürlenmeye bırakılmış karbon elyaf takviyeli sandviç yapı

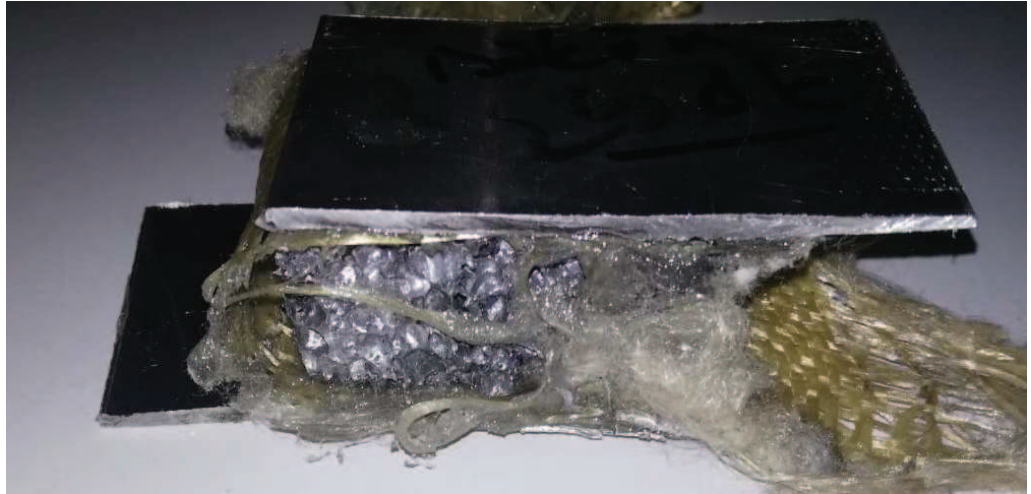




Şekil 3.19. Deneyin hazırlanması.

### Numune 6. 7

Alüminyum köpük malzeme hazırlanan döküm tipi epoksi reçine öncelikle aramid elyaf ile yapıştırılmış ve sonrasında Al alaşımı da karbon elyaf malzeme ile aynı reçine ile birleştirilerek işlem sandviç yapının ön kısmı için bitirilmiş ve sonrasında aynı işlemler arka yüzey için gerçekleştirilerek numuneler oluşturulmuştur. Burada da reçine kürleşme zamanı ele alınmış, birinde 30 dakika, diğesinde ise 60 dakika bekletilip yapıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. İlgili numune resimleri Şekil 3.20'de paylaşılmıştır.



**Şekil 3.20.** Aramid elyaf takviyeli Sandviç yapısı (Bağlayıcı eleman Döküm)

**Numune 8:**

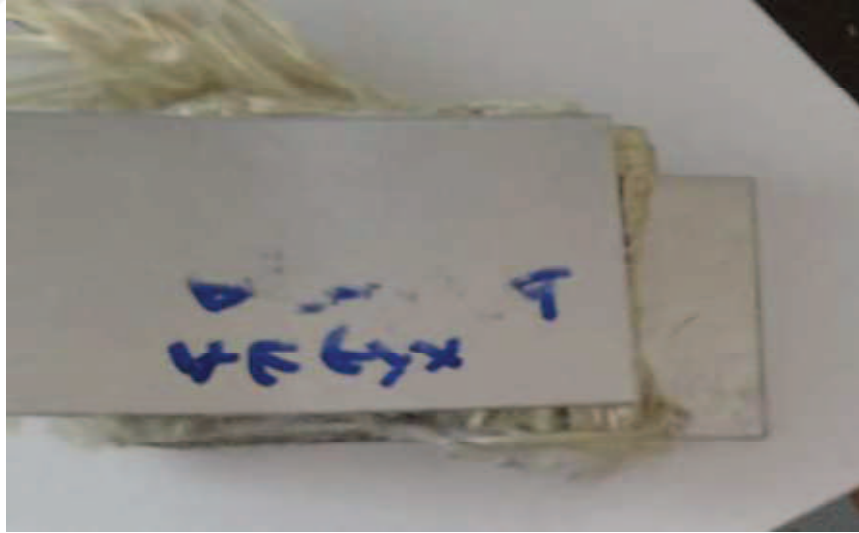
Alüminyum köpük malzeme aramid elyaf ve alüminyum alaşımı malzeme ile birbirine akfix yapıştırıcı ile bağlanmıştır. Numune Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Akfix- karbon elyaf sandviç yapısı

**Numune 9:**

Alüminyum köpük çekirdek malzemesi karbon elyaf ve alüminyum alaşımı malzeme ile birbirine akfix yapıştırıcı ile bağlanmıştır. Numune Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Akfix - Aramid Sandviç yapısı

**Numune 10:**

Alüminyum köpük çekirdek malzemesi takviye elemanı olan aramid elyaf lifleri yapıştırıldıktan sonra karbon elyaf lifleri ile birbirine paralel olacak şekilde, karbon elyaf ile aramid elyaf lifleri yapıştırılmış ve en son olarak alın yüzeyle alüminyum alaşımı ile bağlanmıştır. Bu işlem her iki yüzey için de gerçekleştirilerek deneye hazır hale getirilmiştir. Hazır haldeki numune Şekil 3.23’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.22.** Akfix-Aramid- Karbon elyaf sandviç yapısı

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneyle, 10 farklı numune için yapıştırma kuvvetinin kullanılan takviye elemalarıyla birlikte incelenmesi için SHIMADZU AG-X Plus (250kN) makinasında test hızı 0.032 mm/saniye olacak şekilde yapılmıştır. Test yapılan cihaza ait görsel Şekil 4,1'de paylaşılmıştır. Kullanılacak çene malzemesi toplam da 23 mm sandviç yapı yüksekliğinden çene kalınlığı 11,50 mm olarak seçilmiştir. Deneyle oluşturulan sandviç yapı Z şekli verilmiş olup plaka kalınlığı 1,5 mm olarak seçildiğinden ötürü bu parçaların çeneye oturması için soğuk çekme malzemedan yapılmış 50 x 20 x 12 mm kalınlığında dayama parçası kullanılmıştır. İlgili görsel Şekil 4,2'de paylaşılmıştır. Örnek parça çekmesi Şekil 4,3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. SHIMADZU AG-X Plus Test Cihazı.

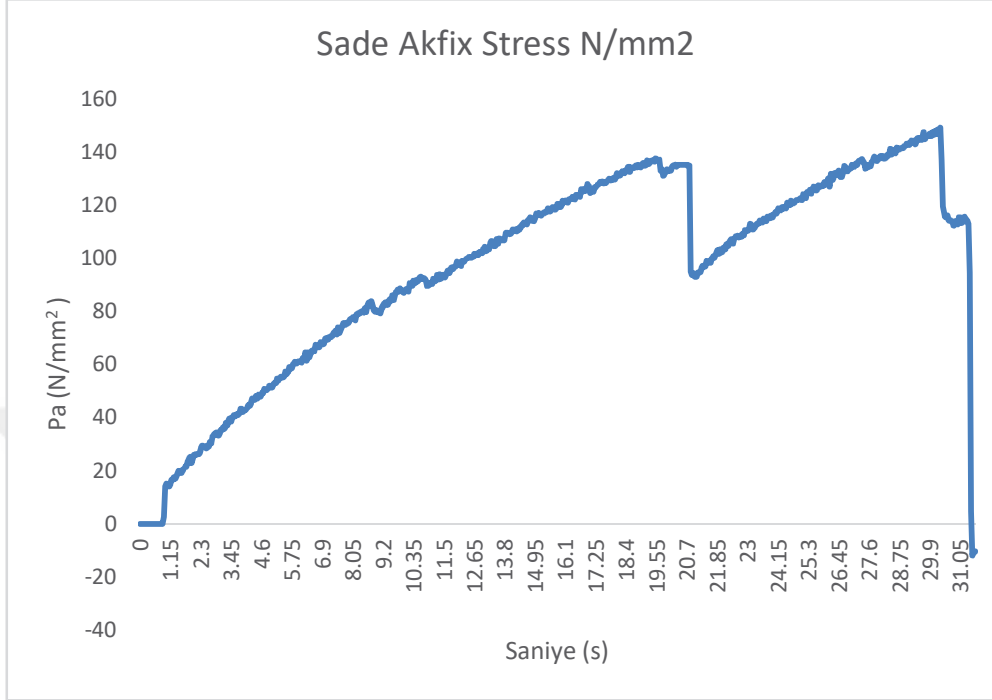


Şekil 4.2. 50 x 20 x 12 mm dayama parçası



Şekil 4.3. Örnek Çekme testi yapılma anı.

Numune 1; hızlı yapıştırıcının tek başına kullanıldığı örnek olup deneye hazırlanmış, soğuk çekme dayama parçasıyla beraber çeneye sabitlenmiş ve deney gerçekleştirilmiştir. İlgili sonuçlar Şekil 4,4’de gösterilmiştir.

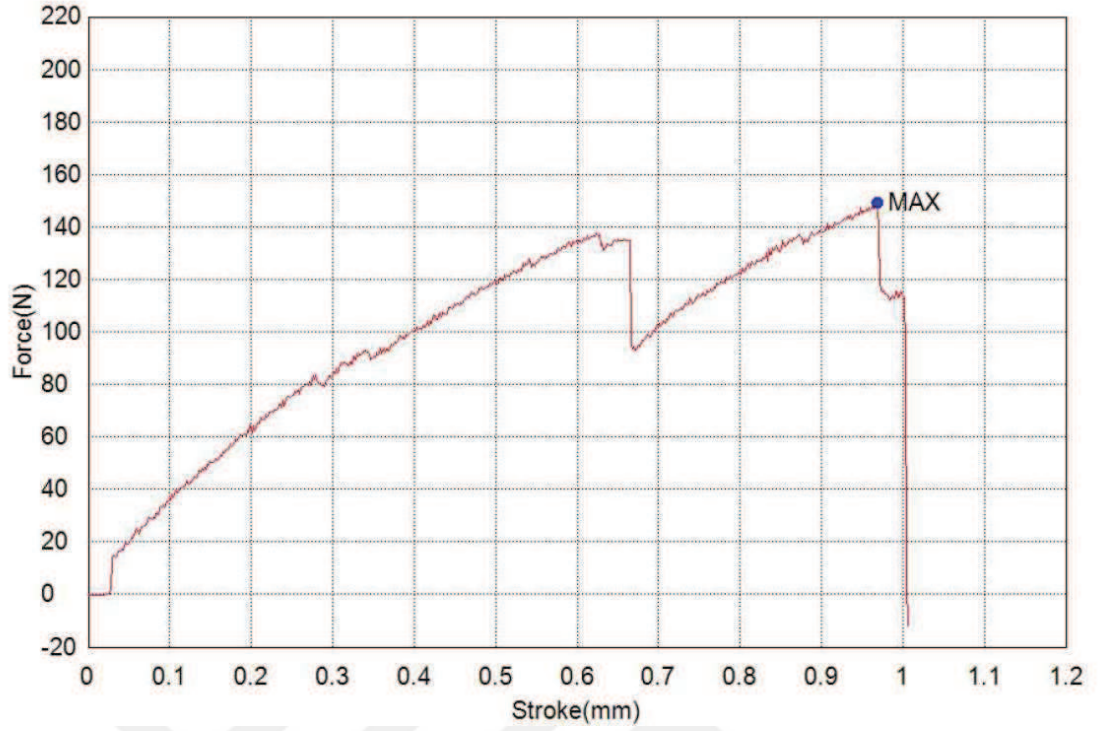


**Şekil 4.4.** Sandviç yapı için sadece hızlı yapıştırıcı kullanılarak elde edilen kayma testine ait çizelge

Numune 1 Şekil 4.27’de görüldüğü üzere, 150 Pa (N/mm<sup>2</sup>) değerinde, sandviç yapıyı oluşturan malzemeler birbirinden ayrılmıştır. Malzemenin erken dağılmasında etken rol oynayan sebep kullanılan reçine miktarının yapıyı oluşturan malzemelere iyice nüfuz edememesi ve bundan dolayı yeterli tutunma kuvveti oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Deney sonrasında dağılan numunenin görseli Şekil 4.6’de gösterilmiştir.

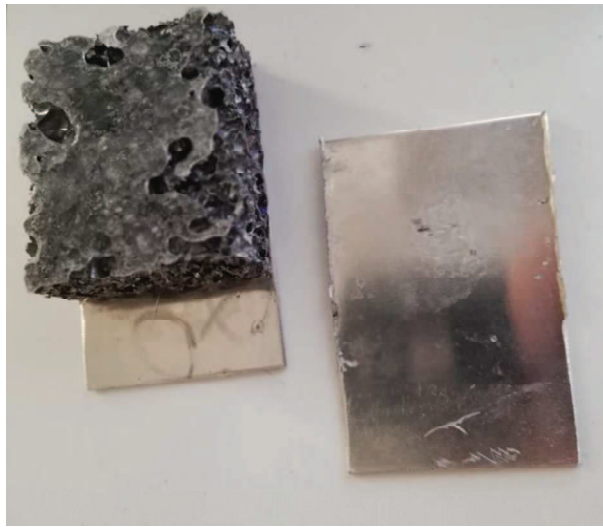


**Şekil 4.5.** Sade akfix kullanılan numune.



Şekil 4.6. Numune 1 Deney sonrasında elde edilen kuvvet yer değıştirme grafiği

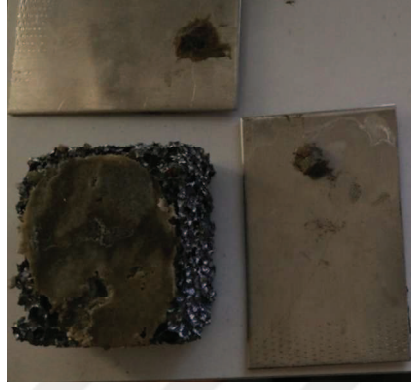
Numune 2 deneye hazırlanma aşamasında çeneye monte edildiği sırada alın yüzeyler çekirdek malzemeden ayrılmış ve deney gerçekleştirilememiştir. Deneyin başarısız olmasında kūrleşme sırasında ortaya çıkan komplikasyonlar etkili olmuştur. Reçine içerisinde kalan gaz boşlukları süreci uzatmış ve reçinenin tam olarak etkimesinde yetersiz kalmıştır. Ayrılan parçayla alakalı görsel Şekil 4,7’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 7. Numune 2 Kırılma

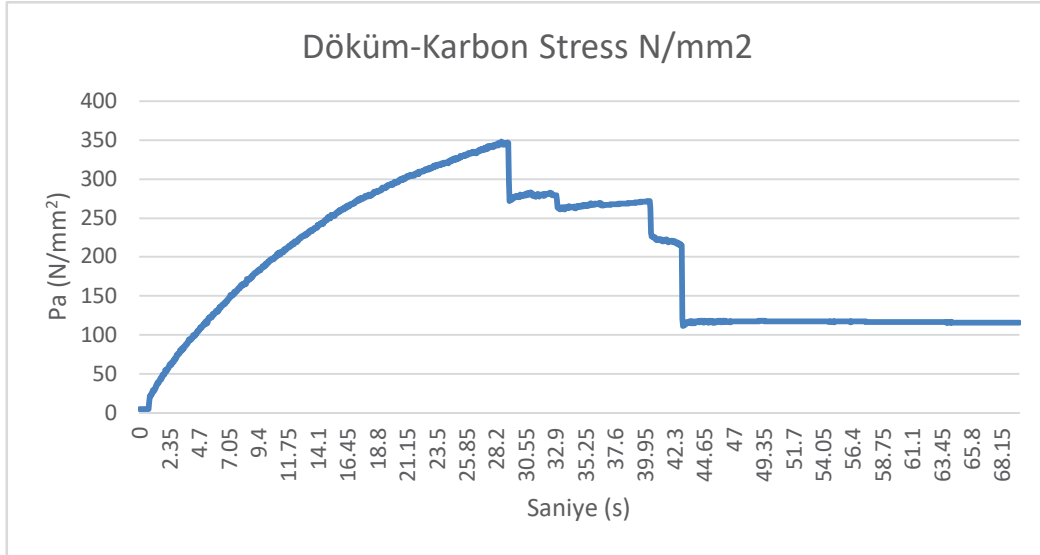


Numune 3; kimyasal dübelin yüzeyler nüfuz ettirilmiş ve kürlenmesi beklenmişti fakat yüzey üzerinde kalması için kullanılan hızlı yapıştırıcı ile reaksiyona girmiş ve kuruma süreci tamamlanamamıştır. Bu sebeple deney parçası test cihazında hazırlanırken yüzeylerden ayrılmıştır. İlgili görsel Şekil 4. 8’de gösterilmiştir.

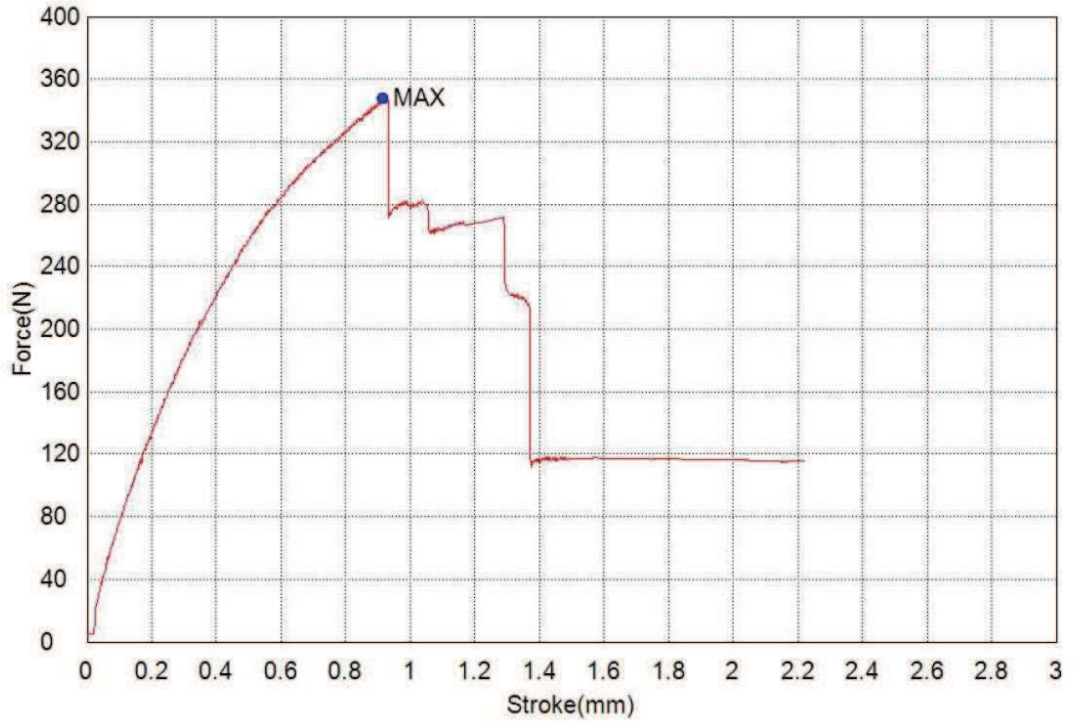


Şekil 4.8. Numune 3 Kırılımı

Numune 4 ve 5’inci malzemeler; Karbon elyaf ile döküm tipi epoksi reçine malzeme birleşimiyle oluşturulmuş ve küreleşme zamanının etkisi incelemek amacıyla hazırlanmıştır. İlk olarak 4. numune deneye tabi tutulmuştur. 4. Numune 105 dakika beklenen döküm tipi epoksi reçine olup çekme testine alınmış ve Şekil 4,9’daki sonuçlar elde edilmiştir.

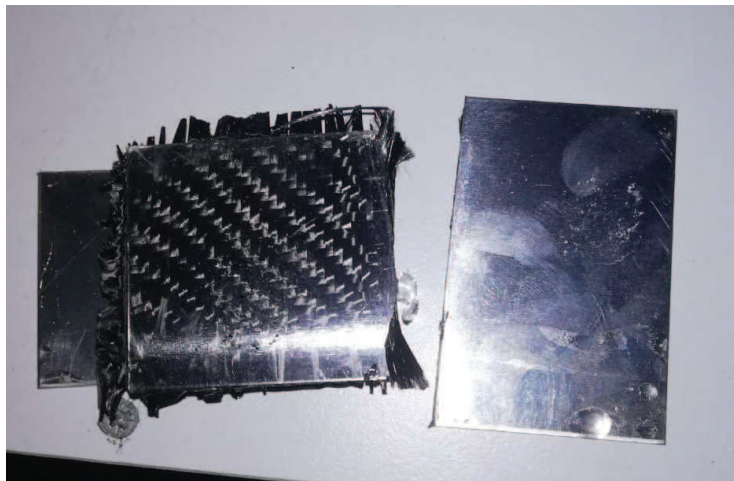


Şekil 4.9. Numune 3 Kırılımı



Şekil 4.10. Numune 4 Kuvvet - Yer değiştirme

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi makaslama kuvveti 350 Pa değerine ulaşabilmiş ve karbon elyaf ile alüminyum 5754 alaşımı arasındaki yapıştırma alanından malzeme ayrılmıştır. Şekil 4.11'de ilgili görsel paylaşılmıştır.



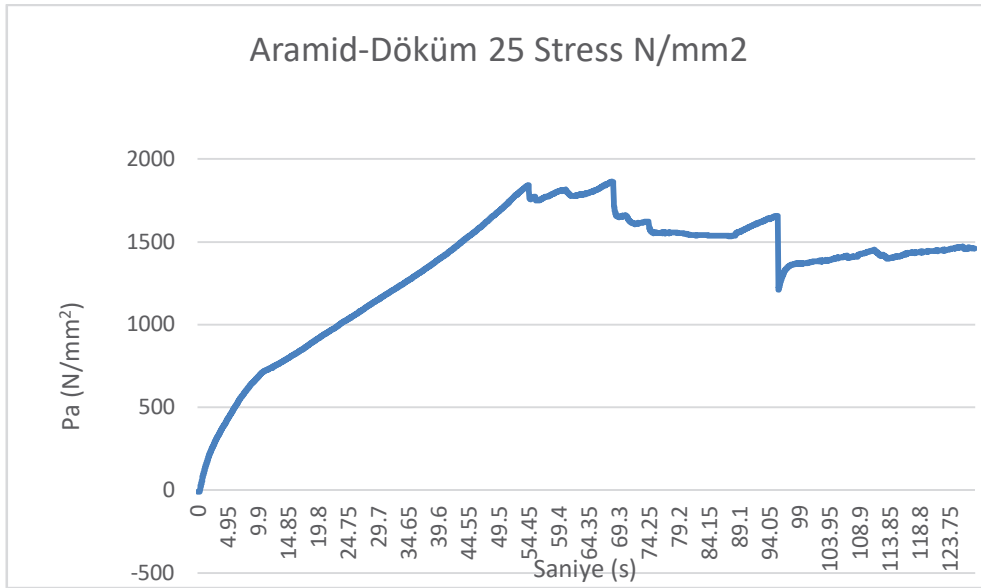
Şekil 4.11. Karbon Elyaf Takviyeli 105 dakika da kūrleşen malzeme

Numune 5 deneye hazırlanırken takviye elemanı olarak kullanılan karbon elyaf malzeme ile alüminyum alaşımı malzeme arasında oluşan reçine kalınlıklarındaki dağılım homojen olmadığı için reçinenin fazla olmuş olduğu bölgeden ayrılmıştır. İlgili görsel Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. 210 dakika bekletilen numune 7

Numune 6 ve 7’inci malzemeler aramid elyaf takviyesiyle oluşturulmuş olup yapıştırıcı yani bağlama elemanı olarak döküm tipi epoksi reçine ile çalışılmıştır. 25 dakika ve 60 dakika bekletilen reçine sandviç yapıyı oluşturmuş ve deneyler yapılmıştır. Deneylerin ilki 6 numaralı parça ile yapılmış ve şekil 4.13’deki sonuçlar elde edilmiştir.

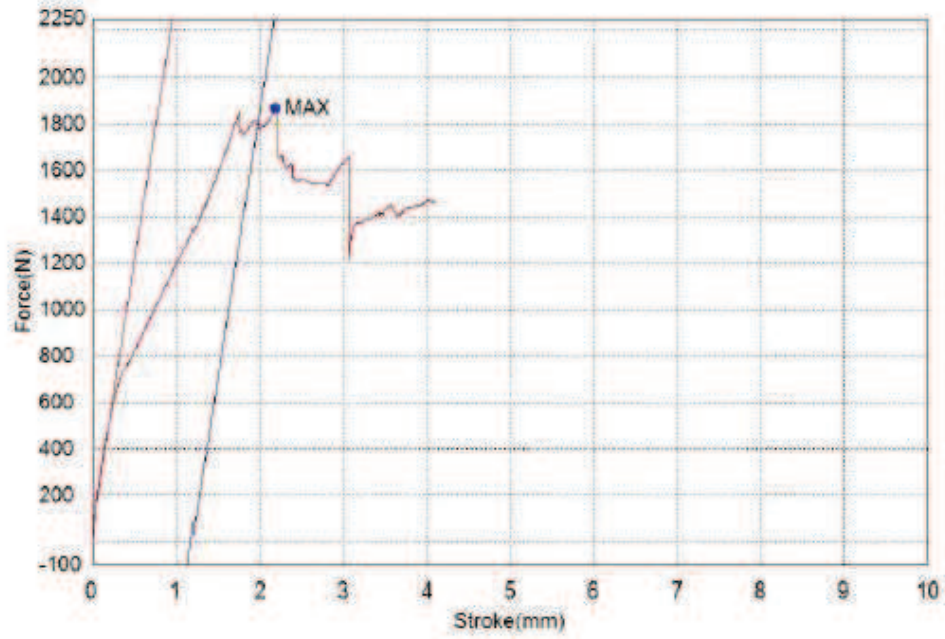


Şekil 4.13. Numune 6 Çekme testi grafiği

Şekil 4.14’de görüldüğü gibi 1,8 Mpa kuvvete ulaşmış ve bu noktada sandviç yapıyı oluşturan elemanlar birbirinden ayrılmıştır. Deney sonrasında malzemenin ayrılmasına ilişkin şekil aşağıda gösterilmiştir.

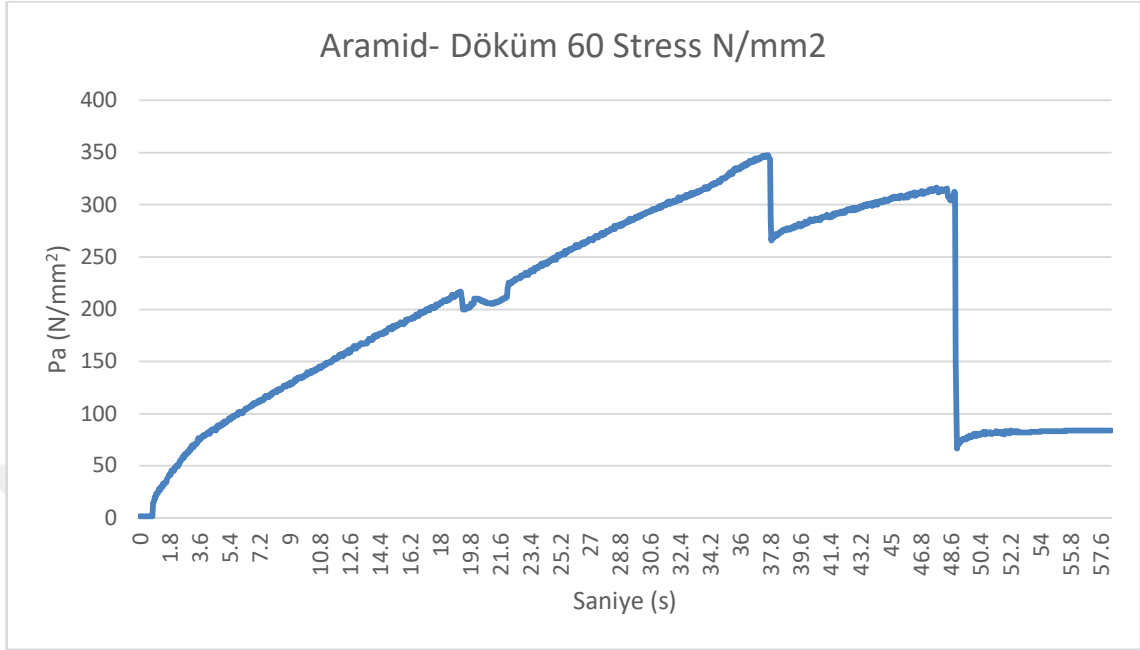


Şekil 4.14. Numune 6 deney sonrası

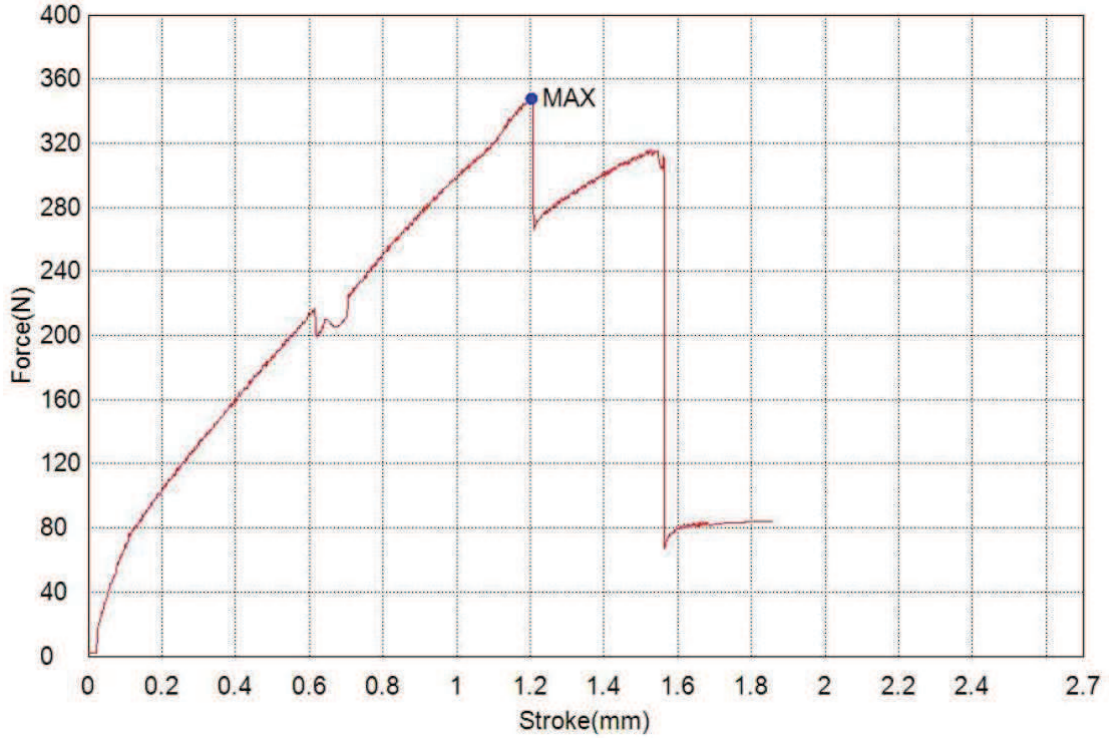


Şekil 4.15. Numune 6 Deney Kuvvet- Yer değiştirme

Numune 7 aramid elyaf takviyesi kullanılarak oluşturulmuş ve kullanılan reçine 60 dakika bekletilerek sandviç yapı elde edilmiştir. (Şekil 4.16.)

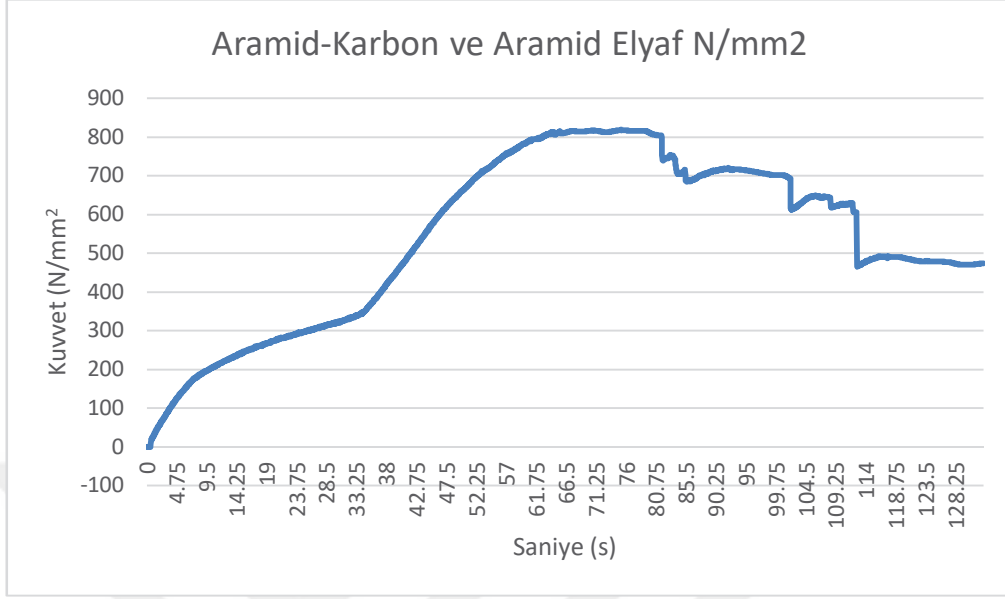


Şekil 4.16. Aramid - Döküm Tipi Epoksi Kürleşme 60 Dakika gelen kuvvet miktarının zamana göre değişimi

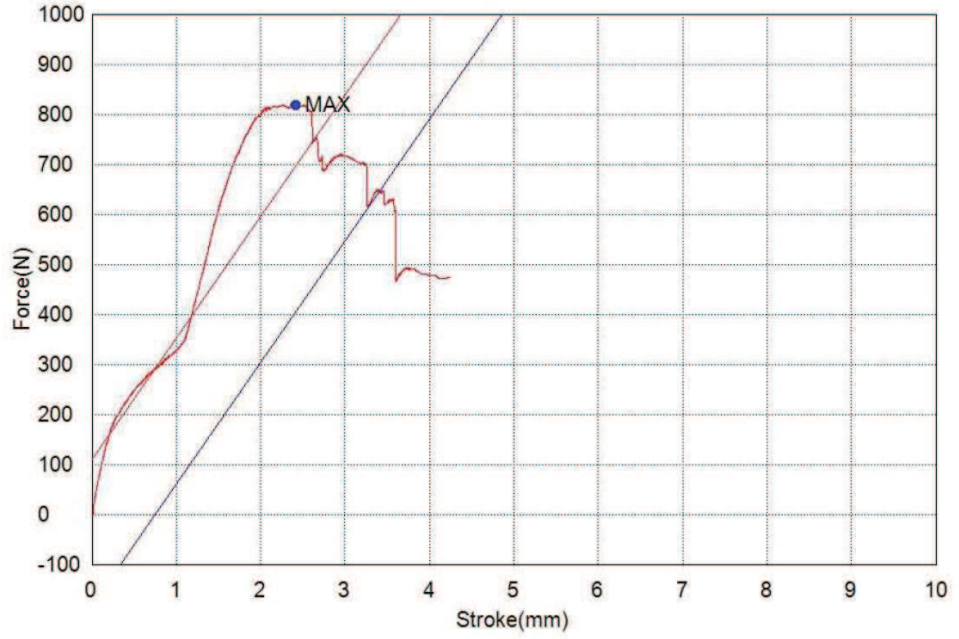


Şekil 4.17. Numune 7 Deney Kuvvet - Yer değişirme miktarı

Numune 8; Aramid elyaf takviyeli ve yapıştırma elemanı olarak akfixin kullanıldığı testtir (Şekil 4.40).

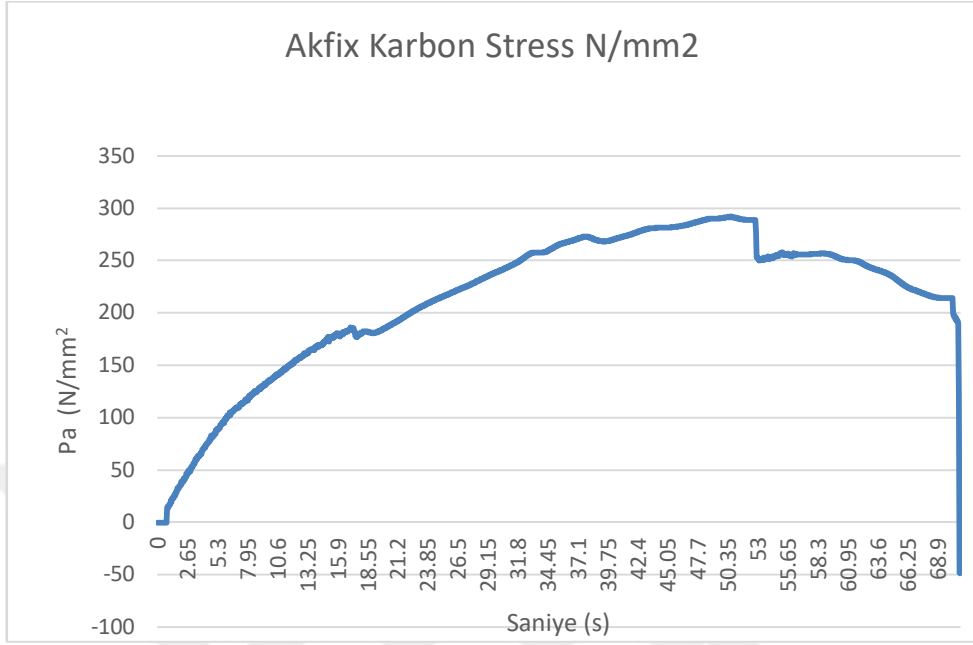


Şekil 4.18. Aramid-Karbon ve Aramid Elyaf

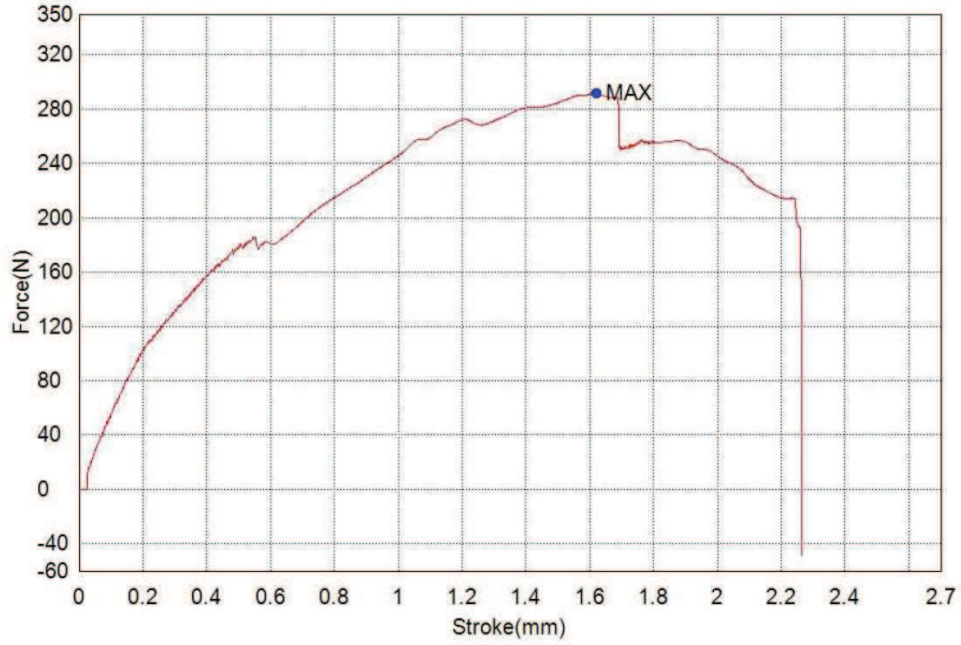


Şekil 4.19. Numune 8 Deney Kuvvet - Yer değiştirme

Numune 9; Akfix yapıştırıcı ve karbon elyaf takviyeli sandviç yapıya ait veriler;

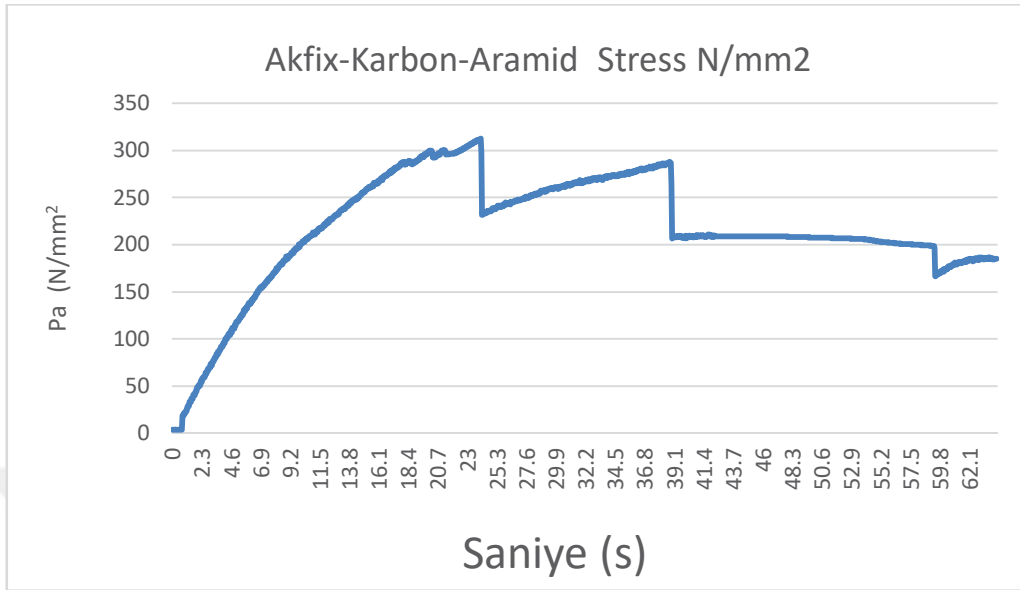


Şekil 4.20. Numune 9 Verileri



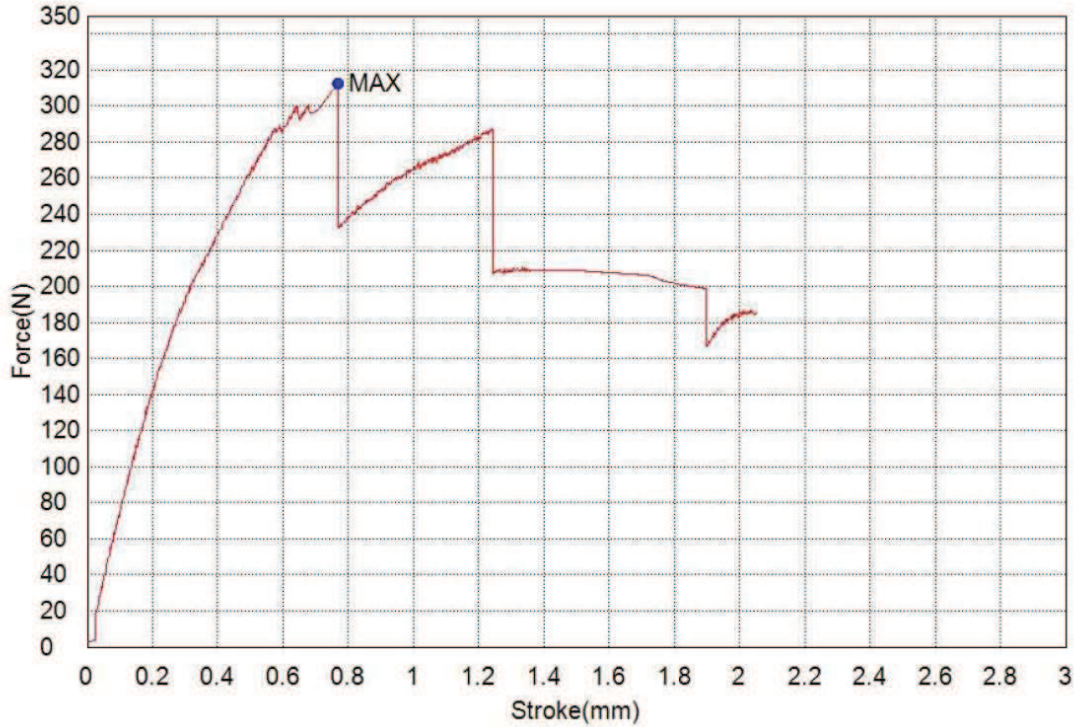
Şekil 4.21. Numune 9. Kuvvet - Yer değiştirme grafiği

Numune 10; akfix yapıştırma elemanı ve aramid kısa lifler ve karbon elyaf takviyeli sandviç yapıya ait veriler;



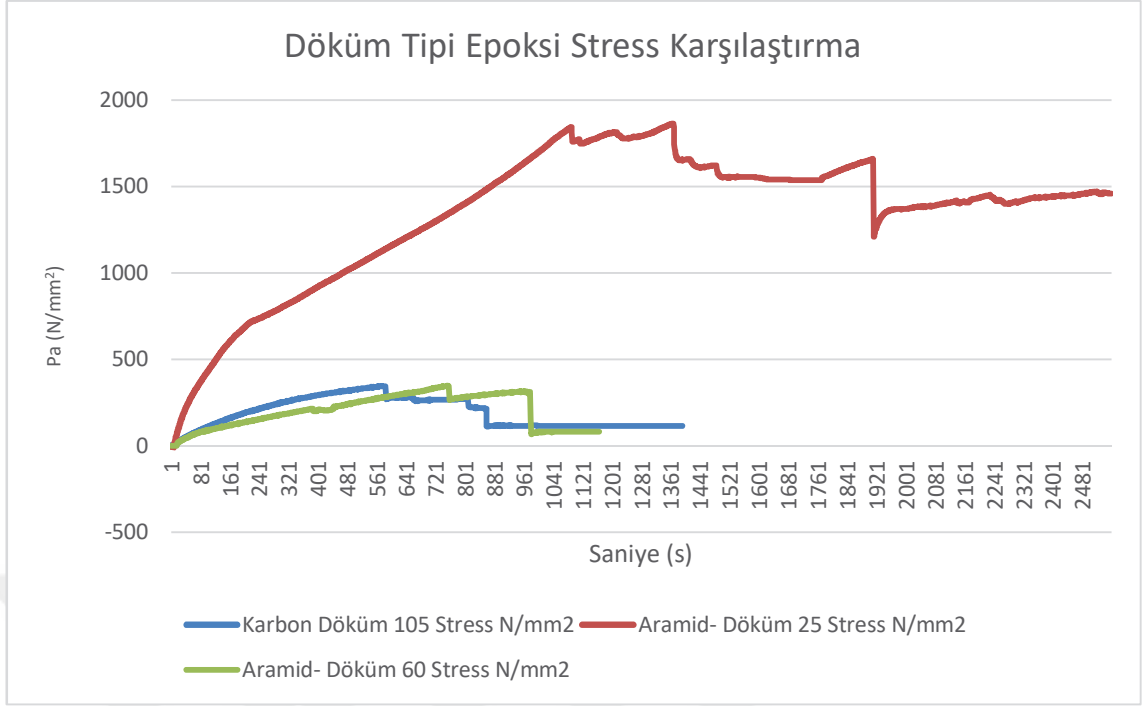
Şekil 4.44. Numune 10 Test Verileri

Şekil 4.22. Numune 10 Kuvvet - Yer değiştirme grafiği



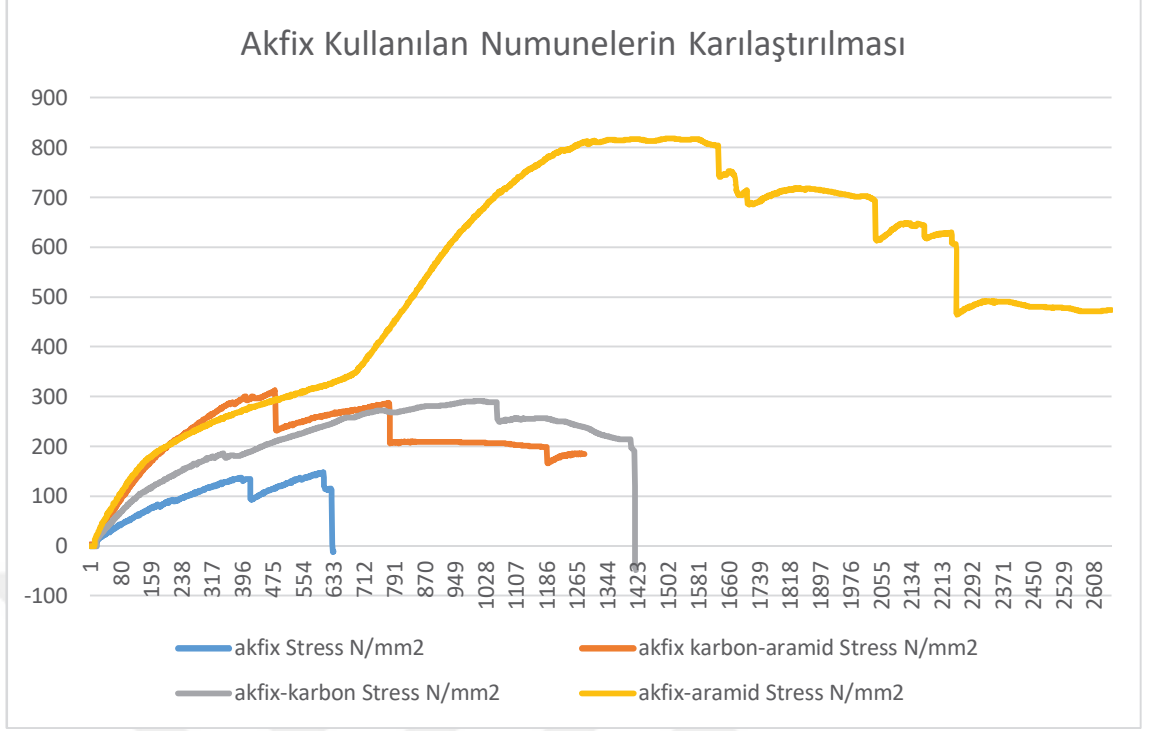
Şekil 4.23. Numune 10 Deney Kuvvet – Yer değiştirme





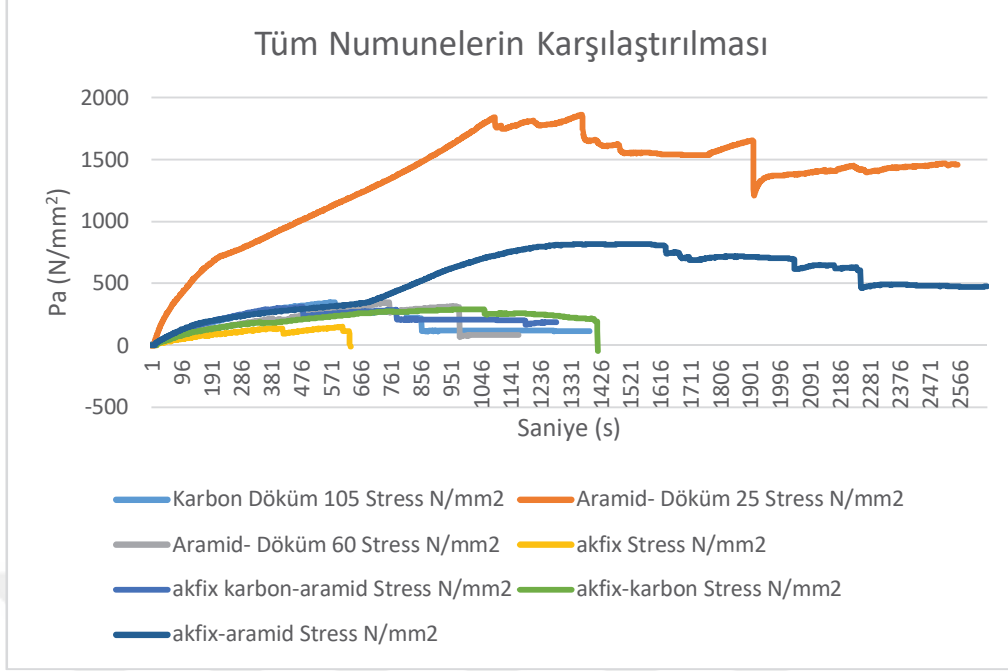
**Şekil 4.24.** Epoksi kullanılan numunelerin karşılaştırılması

Döküm tipi epoksi reçinenin bağlayıcı eleman olarak kullanıldığı veriler yukarıda Şekil 4.24 'de gösterilmiştir. Numuneler arasında Aramid elyafın kullanılmış olduğu deneyde diğerlerine göre daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. En kötü sonucu ise 105 dakika kürlenmiş reçineyle kullanılan takviye elemanı karbon elyafa aittir. Parçalarda simetrik olmaması yani; gerek oluşan sandviç yapıların yüksekliklerinin birbirinden farklı olması gerekse kuvvetlerin tam merkezde toplanmasından dolayı net sonuçlara erişilememiştir. Bununla beraber aramid elyafın 1,8 MPa değerlerine ulaştığı, kürleşme süresi düşük olan numunenin kürleşmesi daha sonra gerçekleşene göre daha iyi sonuç verdiği ve aramidin karbon elyaf malzemeye göre daha iyi tutunmayı, çekirdek ve alın yüzeyler arasında sağladığı gözlenmiştir.



**Şekil 4.25.** Akfix yapıştırıcı kullanılan numunelerin karşılaştırılması

Akfix hızlı yapıştırıcı kullanılarak elde edilen numunelere ait deney verileri Şekil 4.25’de gösterilmiştir. En iyi sonucu veren döküm tipi epoksi kullanılan reçinelerin karşılaştırmasında olduğu gibi aramid elyafın kullanıldığı numunedir. En kötü sonucu ise Sadece akfix’in kullanıldığı malzeme vermiştir. Aynı döküm tipi epoksi kullanılan deneylerin karşılaştırmasında olduğu gibi sonuçlar net sonuç değildir. Buna karşın; kullanılan yapıştırıcı miktarının (20 mL) yeterli miktarda tutunmayı sağlayamadığı anlaşılmıştır. Buna sebep olarak ana malzememizin çok gözenekli bir yapıya sahip olması ve yapıştırıcıyı bünyesinde yeteri kadar tutaması gösterilmiştir. Ayrıca aramid malzemenin tutunması açısından kısa lifler halinde kullanılan aramid-karbon elyafın karbon elyaf uygulamasına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.



**Şekil 4.26.** Tüm numuneler arasında kıyaslama

**Çizelge 4.1.** Tüm Numunelerin Maksimum Dayanımda ki Değerleri

NUMUNE MAKSİMUM GERİLMEDEKİ DEĞERLER	Çekme Hızı	Zaman (Saniye) (s)	Gerilme (N/mm) (Pa)	Yer Değiştirme (mm)	Kuvvet N
Sade Akfix	0.032 mm/sn	30.3	149.0911	0.9685417	149.0911
Akfix- Karbon- Aramid	0.032 mm/sn	24	312.6462	0.7669271	312.6462
Akfix-Karbon	0.032 mm/sn	50.5	291.5462	1.614927	291.5462
Akfix-Aramid	0.032 mm/sn	75.15	818.491	2.40375	818.491
Karbon Döküm 105sn	0.032 mm/sn	28.6	347.7335	0.914125	347.7335
Aramid- Döküm 25sn	0.032 mm/sn	68.15	1863.36	2.179719	1863.36
Aramid- Döküm 60sn	0.032 mm/sn	37.6	347.5348	1.202156	347.5348
Karbon- Döküm 210sn	0.032 mm/sn	-	-	-	-
Kimyasal Dübel	0.032 mm/sn	-	-	-	-
Sade Döküm	0.032 mm/sn	-	-	-	-

Tüm numuneler de en iyi sonuç döküm tipi epoksi ile elde edilen Aramid elyaf katkılı sandviç yapıyı ile elde edilmiştir. Diğer başarılı sonuç ise aramid elyaf katkılı akfix yapıştırıcı uygulamasıdır. En kötü sonucu sade akfix yapıştırıcı kullanılan sandviç yapısıyla elde edilmiş olup döküm yoluyla yapılan sandviç yapılarının akfix'e göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Ayrıca Aramidin oluşan gerilme sırasında çekirdek ve alın yüzeylere tutunma kabiliyeti karbon elyafa göre daha üstündür.

## 5. SONUÇ

Yapılan deneylerden; Aramid elyafın yüzey de oluşacak gerilmelere daha etkin olduğu ve seçilen yapıştırıcı malzemelerin çekirdek malzemedden ötürü daha fazla kullanılması gerektiği anlaşılmıştır. Ayrıca Döküm tipi kullanılan epoksi reçinenin kürleşme süresi incelenmiştir, ancak bu malzemenin tam kürleşme hali uzun süre almakta ve tam donmanın gerçekleşmesi diğer kullanılan malzemelere göre daha uzun sürmektedir.



## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Amjad, S. 2001.** Thermal Conductivity and Noise Attenuation in Aluminium Foams. A dissertation submitted for the degree of Master of Philosophy in Materials Modelling at the University of Cambridge.
- Ashby, M.F., Evans, A.G., Fleck, N.A., Gibson, L.J., Hutchinson, J.W. 2000.** H.N.G. Metal Foams: A Design Guide, Butterworth-Heinemann, Boston, 1, 113-114, 158, 173–175.
- Avalle M, Belingardi, G, Ibba A 2007.** Mechanical models of cellular solids: Parameters identification from experimental tests. . *Int J Impact Eng*; 34(1): 3-27.
- BA Baumeister J, Banhart J, Weber M. 1997.** *Aluminium foams for transport industry*. Mater Design; 18: 217-220.
- Babcsan, N. , Banhart J. , Leitmeier, D. 2003.** Metal foams – manufacture and physics of foaming. Smolenice/ Slovakia: ‘ International Conference ‘Advanced Metallic Materials
- Banhart J. , Baumeister J., Weber M. 1995.** Powder Metallurgical Technology for the Production of Metallic Foams, Proceedings of the European Conference on Advanced PM Materials, Birmingham, 201–208
- Banhart, J. 2007.** *Metal Foams from Fundamental Research to Applications*, Frontiers in the Design of Materials, 279–289
- Banhart, J. 2001.** Manufacturing Routes for Metallic Foams. *Journal of Materials*, 52(12), 22-27
- Baumgärtner F. , Duarte I. And John Banhart J. 2000.** Industrialization of Powder Compact Foaming Process, *Advanced Engineering Materials* (4): 168–174.
- Chang, S., Hong, D., Chiang, F.P. 2004.** Macro and micro deformations in a sandwich foam core, *Composites: Part B*, 35: 503–509 ()
- Craven, Nicholas. 2004.** *Carbon Fibre and Aluminium Foam Composites*, , 56.
- Gibson, L.J. and Ashby, M.F. 1999.** Cellular solids: structure and properties, Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- Herrmann, A. S., Zahlen, P. C. And Zuardy, I. 2005.** Sandwich structures technology in commercial aviation’, Sandwich Structures 7, *Airbus Deutschland GmbH*, Netherlands, 13–26.
- İnternet: Alulight international GmbH “Sandwich data sheet”  
<http://www.alulight.com/en/downloads/afs-en.pdf>
- Jackson, K.P. Allwood, J.M. Landert, M. 2008.** Incremental forming of sandwich panels, *Journal of Materials Processing Technology*, 1–14.
- Jappesen, A.P. 1997.** Technician Airframe Textbook. Jeppesen sunderson Training Product, USA, 794 p.
- Kara E. 2005.** Farklı Ortamların Sandviç Kompozitlerin Kırılma Tokluğu üzerindeki Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Koerner C. 2008.** Integral Foam Molding of Light Metals, Springer – Verlag, Berlin, 10.
- Lefebvre, L. P., Banhart, J., Dunand, D.C. 2008.** Porous Metals and Metallic Foams: Current Status and Recent Developments, *Advanced Engineering Materials* 10 (9): 775–787 ()
- Lefebvre, Louis-Philippe & Banhart, John & Dunand, David. 2008.** Special Issue Metallic Foams. *Advanced Engineering Materials*. 10. 767-767.

- Middleton, D.H. 1990.** Composite Materials in Aircraft Structures. Longman, USA, 394 p.
- Simancik F. 2002.** Introduction: The Strange World of Cellular Metals, Handbook of Cellular Metals, Degischer H.P. And Kriszt B., Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim 1–4 .
- Simančík, F. 2001.** Metallic foams – ultra light materials for structural applications’ Inżynieria Materiałowa, 5: 823–828.
- Stöbener, K., Baumeister, J., Lehmhus, D., Stanzick, H., Zöllmer, V. 2003.** Composites based on metallic foams: phenomenology, production, properties and principles, International Conference Advanced Metallic Materials, Smolenice, Slovakia, 281–286 .
- Stöbener, K., Baumeister, J., Rausch, G. and Rausch, M. (2005).** Forming metal foams by simpler methods for cheaper solutions, *Met. Powder Rep.*, **60**(1), 12-16.
- Temiz H. (2009),** Yapıştırma bağlantıları, İstanbul Teknik Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi, İstanbul.
- Wadley, H., N., (2002),** Cellular metals manufacturing. *Advanced Engineering Materials*, 4(10), s.729.
- Yazıcıoğlu M. Uçak, Altıntaş. 2007.** Alüminyum köpüklerin mekaniksel özellikleri. XV. Ulusal Mekanik Kongresi.
- Yu, J., Wang, E., Li, J., Zheng, Z. 2008.** Static and low-velocity impact behavior of sandwich beams with closed-cell aluminum foam core in three-point bending, *International Journal of Impact Engineering*, 1–26.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İlker Mesih KILINÇ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 15.08.1993  
Yabancı Dil : İngilizce, Fransızca

### Eğitim Durumu

Lise : Bursa Anadolu Kız Lisesi, 2011  
Lisans : Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, (2011- 2015)  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, (2016- 2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : M.S.K Motor Kompresör Mak.San.Tic.Ltd.Şti.

İletişim (e-posta) : [ilkermesh@gmail.com](mailto:ilkermesh@gmail.com)