



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Tekrarlanan Yükler Altında Kompozit Malzemelerin Yapılarının İncelenmesini Amaçlayan Deney Aygıtı Tasarımı

Fırat YASTIMOĞLU<sup>a,\*</sup>, Arif ÖZKAN<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Kompozit Malzeme Teknolojileri, Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: firatyastimoglu@duzce.edu.tr

### ÖZET

Kompozit malzemeler malzeme biliminin gelişmekte olan dallarından biridir. Geleneksel üretim metotlarına uygunluğu ve özel üretim metotlarına izin vermesi nedeniyle otomotiv, denizcilik, havacılık, tekstil ve savunma sanayinde oldukça tercih edilir hale gelmiştir. Dolgu yani takviye malzeme, kompozit malzemelerde mekanik mukavemetin sağlanmasında önemli rol oynar. Kompozit malzemelerde takviye elemanı lifler, partiküller, tabaka formunda olabilir. Matris malzeme ise kompozit yapıyı birtütün halinde tutar. Aynı zamanda matris formu yapının fiziki, kimyasal, ısıl özelliklerini ve mukavemetini belirler. Matris malzemesi olarak Seramikler, Metaller ve bunların alaşımları kullanılabilirdiği gibi yaygın olarak reçineler tercih edilmektedir. Reçinenin tercih edilmesinin temel nedenlerinden biri imalat kolaylığı ve üretim maliyetidir. Bu çalışmada sürekli titreşim ve sürünme olayına maruz kalan kompozit malzemelerin yapılarının ve oluşturdıkları ara bağ yüzeyinin analizi ve yapının ömrünün analitik olarak hesaplanabilmesini amaçlayan deney düzeneğinin tasarımı hedeflenmiştir. Deney düzeneği tasarımımda SOLIDWORKS® programı kullanılmıştır. Deney numunelerinin tasarımı ve eldesi sürecinde, kompozit dolgu malzemesinin geometrisi ve yerleşim yönleri araştırılmış ve hangi şartlar altında çalışması gerektiğinin uygun olduğu araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tasarım, Kompozit, Kompozit Matris, Kompozit test düzeneği tasarımı, Fiber

## Test Device Design for Investigation of Composite Materials Structures

### ABSTRACT

Composite materials are one of the emerging subjects of the materials science. Due to the special production methods and to compatibility allowance with traditional/conventional production methods composite materials have become highly preferred on automotive, marine, aviation, textile and defense industry. Reinforcing material has an important role in providing mechanical strength of composite materials. Reinforcing element in composite materials can be fibers, particles or sheet forms. The matrix structure in composite materials keeps the structure as an intact form. Therewithal, matrix structure determined the physical structure, chemical, and

thermal properties and strength of composite materials. Matrix material commonly preferred resins and also limited preferred ceramics, metals and their alloys. One of the main reasons for the preferred resins is the ease of manufacture and production method and costs. This study aimed to constant vibration and the design of the structure of the rest of composite materials subjected to creep events and experiments aimed at the intermediate surface where they form analysis and the mechanical life of composite structure can be calculated analytically. The experimental setup designed in SolidWorks® software. In composite materials testing unit design and obtaining the test specimen geometry and orientation of the composite filling material it was researched and which appropriate working conditions that investigated in this study.

*Keywords: Design, Composite Material, Composite Matrix, Fiber, Composite Testing Unit Design, Fiber*

## I. GİRİŞ

**K**ompozit malzeme yeni ve istenilen nitelikler sahip malzeme üretmek amacıyla bir araya getirilen, pratik olarak birbiri içinde çözülmeyen iki veya daha fazla bileşenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan yapılardır. Sistem olarak kompozit malzeme, takviye elemanı (lifler, partiküller, tabakalar) ve takviye elemanını bir arada tutan matrisin uygun koşullarda, belli fiziksel ve kimyasal şartlarda bir araya getirilmesi ile meydana getirilir. Kompozit malzemeler genellikle düşük mukavemetli, düşük elastisite modüllü reçine (matris) ve reçineye oranla daha az bir miktarda olan takviye elemanının yapı içerisine dağıtılması ile oluşturulur. Moleküler ve 6 atomlu yapıda oluşturulan malzemeler (alaşım) mikroskobik olarak homojen bir yapıda olduklarından kompozit malzeme olarak adlandırılmazlar [2]. Homojen yapıya sahip alaşımlar oluşturdukları malzemenin her noktasında aynı özellikleri taşırlar (İzotropi). Kompozit malzemelerde bu durum atomik veya moleküler seviyede değildir. Bu nedenle heterojen özelliklere sahiptir. Matris fazı sayesinde homojen yapı özellikleri gösterirler. Kompozit malzemeleri oluşturan bileşen malzemelerin kendi özellikleri dışında amaçlanan ve istenen yeni özellikleri de bulundurmaları sağlanabilir. Bu özellikler; korozyon direnci, yüksek mukavemet, rijitlik, hafiflik, tasarım kolaylığı, boyutsal stabilite, kimyasal direnç ve kullanım yerine göre gerekli olan diğer özellikler (UV dayanımı, ısı ve ses yalıtımı) olarak sıralanabilir. Metal ve alaşımları ile kıyaslandığında hafif olması tercih nedenidir. Eşit ağırlıktaki kompozit malzemenin, metal malzemelere karşı mukavemet değeri daha yüksek olabilmektedir. Kuvvet yönüne paralel tasarlanan aramid-karbon fiber kompozitler çelik ve alaşımlarına göre daha fazla çekme dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Kuvvet yönüne paralel grafit-epoksi kompozitler ise çelik ve alüminyumdan 3,5-5 kat daha fazla çekme dayanımına sahiptir [3]. Kompozit malzemeler kullanılacakları yer ve çalışma koşullarına bağlı olarak gerektiği gibi karakterize edilebilir. Malzemenin özellikleri artırılıp azaltılabilir. Kompozit malzemeler tıpkı döküm prosesinde olduğu gibi, karmaşık ve birçok parçanın birleştirilmesi şeklinde yapılan tasarımlarda tercih edilir. Kompozit malzemelerin tercih edildiği imalatlarda parça sayısında azalma, talaşlı imalat gereksiniminde azalma, daha az enerji ve iş gücü kullanımı gibi avantajlar bulunmaktadır. Kompozit malzemelerin kalitesi kullanılan malzemelerin teknolojik özellikleri ve imalat yöntemleri ile doğru orantılıdır. Standartlaşmış bir kaliteden bahsedilemez [1],[2]. Tekrarlanabilirlik en büyük problemlerden biridir. Uygulanan bazı proseslerde (elle yatırma, püskürtme v.b.) ve imalat yöntemlerinde aynı kalitenin yakalanması zordur.

Kompozit malzeme incelendiğinde üç ana yapı görülür.

- ✓ Matris
- ✓ Takviye elemanı (Dolgu malzemeleri)

✓ Ara yüzey (bağ yapı)

Matris Malzemesi, kompozit yapıyı oluşturan diğer malzemelerin bir arada tutulmasını ve istenilen formu almasını sağlayan malzemedir. Özelliklerine bağlı olarak kimyasal ve fiziksel etkilere karşı yapıyı koruyan ve takviye elemanları üzerine etkiyen yük ve kuvvetleri ileten fazı oluşturur. Matris kompozit malzemelerin yapısında meydana gelen gerilmelerin karşılanmasına yardımcı olarak, liflerde meydana gelen çatlama ve kopmaları önleyerek tok bir yapı oluşturur. Kompozit malzemelerde basınç dayanımı matris malzemesinin dayanımına bağlıdır. Matris malzemeleri ıslatıcılık özelliği ve şekillendirilebilme kolaylığı nedeniyle sıvı halde kullanılır. Matrisin akışkanlık direnci (Viskozite) önemlidir. Kompozit malzeme kullanılarak yapılacak imalatta matrisin kimyasal özelliği, ısıl direnci, kütleme süresi ve ekonomik değeri gibi unsurlar belirleyicidir [1-4].

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak değişik form ve tür de malzemeler tercih edilir. Takviye elemanı olarak elyaflar, kırılmış lifler, viskerler, seramik ve metal partiküller, tabakalar kullanılabilir. Bu takviye elemanları değişik konfigürasyonlar da (hibrid, karma kompozitler) bir arada da kullanılabilir. Kompozit malzemeler kullanılan takviye elemanlarının şekilleriyle anılırlar. Takviye elemanının temel fonksiyonu kompozit yapıyı oluşturan matris yapıya destek, gelen yükü taşımak ve malzeme hacmini arttırmaktır.

#### *A. PARÇACIK TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELER*

Matris malzeme içerisine takviye malzemesinin partiküller halinde yerleştirilmesi ile meydana getirilen yapılardır. Yapının dayanımı kullanılan parçacıkların sertliğine bağlıdır. Yaygın olarak polimer matris içerisine metal ve seramik parçacıkların kullanılması tercih edilir. Özellikle metal parçacıkların kullanılması ısıl ve elektriksel iletkenliği sağlarken, metal matris içerisine kullanılan seramik parçacıklar kompozit malzemenin sertliğini ve ısıl direncinin artmasına neden olur.

##### *A.1. DAĞINIMLA (DİSPERSİYON) MUKAVETLENDİRİLMİŞ KOMPOZİT MALZEMELER*

Yüksek ısıl kararlılığa sahip ve boyutları mikrondan küçük parçacıkların homojen bir dağılım halinde metal matris içerisinde bulundurulmasıyla oluşturulur. Diğer takviye elemanlarının kullanıldığı kompozit malzemelere göre dayanımı daha yüksektir. Metal alaşımlarında görülen izotropik yapıya benzer homojen yapı meydana getirir.

#### *B. ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELER*

Çekme, eğilme, çarpma dayanımları düşük değerlere sahip olan kırılğan matris malzemelerinin zayıf teknolojik özelliklerinin iyileştirilmesi ve malzemenin tokluk ve sünekliğinin artırılması gibi amaçlarla elyaflarla takviye edilmesiyle üretilen yapılardır. Elyaf, kesiti boyuna göre oranı en az 1:100 olan ve katı olmasına rağmen kalıplanabilecek kadar esnek malzemeler olarak tanımlanır. Değişik tür ve çeşitleri vardır. Dışarıdan etkiyen yük ve kuvvetleri karşılayan ana birim elyaftır [1],[3]. Matris malzeme tarafından istenilen biçim ve yapıda tutulur. Belirli tasarım prensipleri dahilinde malzemenin teknolojik yapısını oluşturur. Özellikle polimerik kompozitler hazırlanırken bazı önemli noktalar malzemenin karakterini belirler. Elyafın mekanik özellikleri, elyafın matris malzemeye miktar olarak oranı, elyafın kalınlığı, elyafın uygulanan yük ve kuvvetlere göre yönlenme biçimi bu temel noktaların en önemlileridir.

## KOMPOZİT MALZEMELER

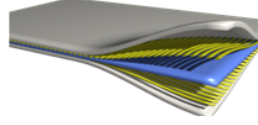
ELYAF TAKVİYELİ  
KOMPOZİTLER



PARÇACIK TAKVİYELİ  
KOMPOZİTLER



TABAKALI  
KOMPOZİTLER



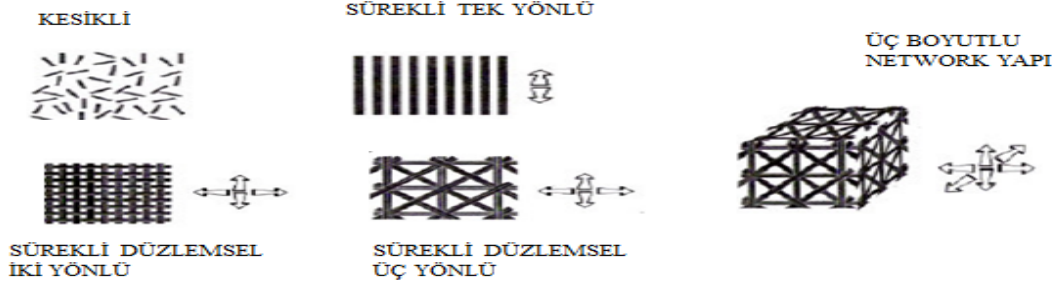
KARMA (HİBRİD)  
KOMPOZİTLER



Şekil 1 Dolgu türlerine göre Kompozit Malzemeler[6]

Elyafın dağılımı kompozit malzemenin mukavemetini belirler. Elyafın çap ve uzunluğu arttıkça, matrisin elyaf liflere ilettiği yük miktarı artar. Elyafın hatasız olması malzemeye homojen davranış kazandırır. Belli bir oranın üzerinde kullanılan takviye malzemeleri, takviye elaman miktarının matris malzeme miktarına göre fazla olması teknolojik özelliklerde azalmalara neden olur. Polimer matrisin işlevini tamamen veya kısmen kaybetmesi kompozit malzeme içerisinde bulunan elyafı bir arada tutamayacağından, malzemeyi işlevlerini yerine getiremez hale getirir [3]. Kompozitlerin özelliklerini elyaf kalınlığı da direkt olarak etkilediği görülmektedir. İnce liflerle oluşturulan kompozitlerde polimer matris tarafından ıslatılan alan daha büyük olmaktadır. Polimerin elyaf eğme yüzeyinin artması elyaf-matris etkileşiminin artmasına neden olur. Bu şekilde kompozit yapı içerisinde yük ve kuvvet dağılımının daha sağlıklı gerçekleşmesi sağlanır. Elyaf bir araya getirilerek oluşturulan demetler elyafın imal edildiği polimerin blok halinde olan formuna göre daha mukavemetli yapıya sahiptir. Demet halindeki elyafı etkileyen yük ve kuvvetler elyafı kopma ve çatlama gibi kusurlar oluştursa da, zarar sadece etkilenen elyafı ile sınırlı kalır [3]. Demeti oluşturan diğer elyafı bu olumsuzluklar aktarılmaz. Yığın halindeki malzemelerden, özellikle büyük parçacıklardan oluşturulan kompozitlerde ise hasar malzeme içerisinde ilerleyerek malzeme kalıcı hasarlar oluşmasına neden olur. Elyaf takviyeli kompozitler bu nedenle daha fazla tercih edilir. Elyafın malzeme içerisindeki dağılımı da yapının mukavemetini etkileyen bir diğer unsurdur. Uzun elyafın birbirine paralel şekilde yerleştirilmesi elyaf doğrultusunda etkileyen kuvvetlere karşı yüksek çekme dayanımı sağlarken elyaf doğrultusuna dik etkileyen kuvvetler karşısında mukavemetinin yetersiz olduğu görülmektedir. İki boyutlu elyaf yerleştirmeleri sonucu iki yönde de eşit dayanım sağlanır. Böylelikle boyutsal olarak kısa elyafın kullanıldığı kompozitlerde izotropik bir yapı oluşturulabilmektedir [9]. Elyafın kompozit malzemenin kullanım alanı özelliklerine göre yerleştirilmesi sonucu değişik yüklemelere karşı farklı dayanım davranışları geliştirilebilir [15]. Çarpma, vurma, ısı iletkenlik, ısı genleşme gibi davranışlar elyafın yönlendirme eksenine bağlıdır. Kompozit malzemelerde elyafın yapı içerisindeki yönlendirilmesi ile teknolojik özelliklerde gelişme sağlanır. Mukavemet değerlerinin maksimum olduğu yerleşim şekilleri ve mekanik dayanımın yüksek olduğu yönler Şekil 2 de görülmektedir.

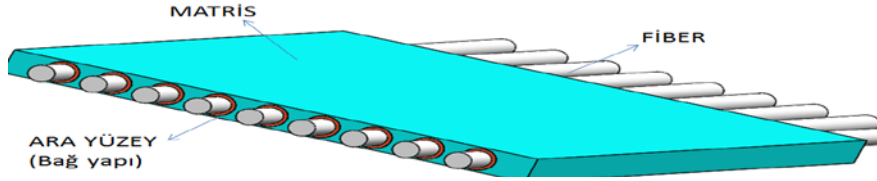
### ELYAF YERLEŞİM KONFİĞÜRASYONLARI



Şekil 2 Kompozit malzeme içerisinde elyafın yerleşim şekilleri [3]

### C.KOMPOZİT MALZEMELERDE ARA BİRİM (BAĞ YAPI) OLUŞUMU

Kompozit malzemelerin imali esnasında matris ve takviye elemanı etkileşimi sonucu ara birim kavramı ortaya çıkmıştır. Çok ince bir yapıya sahip olmasına rağmen kompozitin özelliklerini belirleyen yapıdır. Matris ve Takviye elemanının sahip olduğu bağlanma kuvvetinin veya yapışma değerinin yüksek olması kompozitin yüklemeler karşısındaki karakterini belirler. Arabirimdeki bağ değerinin yüksek olması kompoziti mukavemetli ve sert yaparken bağ değerinin düşük olması mukavemet ve katılık yönünden zayıf yapı meydana gelmesine neden olur [5].



**Şekil 3** Kompozit Malzede Arayüzey oluşumu

### D.KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK DAVRANIŞI

Malzemelerin sabit yükleme şartları, gerilme durumu ve ısı etkileşim sonucu yapısında meydana gelen plastik deformasyonun zamana bağlı değişimini belirten olgudur. Sürünme davranışı kompozit malzemede kullanılan yapıların tür ve türevlerine, kullanım ortamına, sıcaklığa, yükleme cinsi ve yükleme miktarına bağlıdır. Malzemelerde meydana gelen sürünme olayı istenmeyen bir durumdur. Sıcaklık ve yükleme miktarındaki artış sürünme olayındaki artışı tetikler. Kullanım yerinde sıcaklık, basınç ve yüklemelerden dolayı sürünme etkisine maruz kalan malzemelerin iç yapılarında değişiklikler yapılması yaygın bir yöntemdir[8]. İyaparı üzerinde yapılan revizyonlarla kullanım yerine uygun özelliklere sahip malzeme geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Çok rijit yapıdaki metal malzemelerdeki gibi karbon liflerle güçlendirilmiş plastikler de gevrek ve kırılğan bir yapıya sahiptir. Karbon lifli kompozitler darbe karşısında bir direnç göstermezler ve darbe dirençleri oldukça düşüktür. Kompozit malzemelerde lifler kuvvet yönüne dik, paralel veya geliş güzel yerleştirilebilir. Lifler yönlenmiş durumdayken kompozit anizotropik yapıdadır. Liflerin rastgele dağıtılmasıyla kompozit malzemenin düzlemsel boyutta izotropik yapı alması sağlanır. Malzemeye uygulanan kuvvet ve lifler birbirine paralel ise yapıda bulunan lifler ve matris malzemesi aynı oranda şekil değiştirir. Buna eş şekil değiştirme durumu denir ve (1) numaralı formül ile ifade edilir [8].

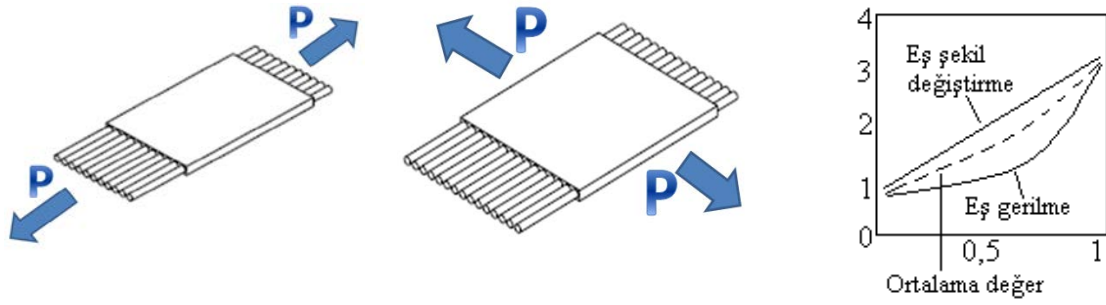
$$E_k = E_f \times V_f + (1 - E_m)$$

**Formül 1** Eş şekil değiştirme hali

Kompozit malzemelerin çekme mukavemeti yapıyı oluşturan liflerin mukavemeti kadardır. Liflerin kopması malzemenin özelliklerini yitirmesi anlamına gelir. Malzeme yapısında kullanılan liflerin kuvvet yönüne dik şekilde bulunduğu durumda matris ile lifler aynı oranda yük taşır. Eş gerilme hali diye bilinen bu yükleme durumunda elastikiyet modülü (2) numaralı formül ile ifade edilebilir [15].

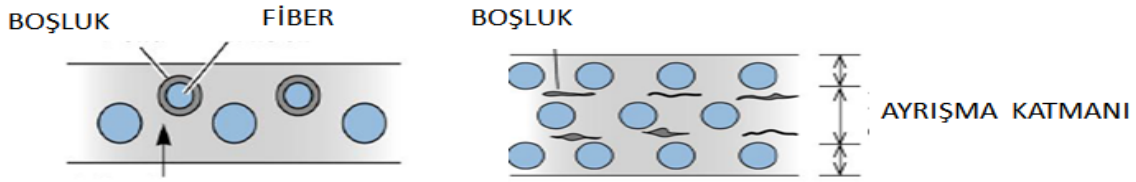
$$E_k = \frac{E_m - E_f}{E_m \times V_f + (1 - V_f) \times E_f}$$

**Formül 2** Eş gerilme halinde elastikiyet modülü [15]



Şekil 4 Kompozitlerin yükleme durumları[8]

Kompozit malzemelerin yapısında liflerin kuvvet doğrultusuna paralel olarak yerleştirilmesiyle maksimum mukavemet değeri elde edilmiş olur. Kompozit malzemelerin mukavemetini etkileyen diğer bir unsur da matris ve elyaf arasında oluşan bağın yapısıdır. Kompozit malzemelere uygulanan testler sonucu meydana gelen kırılma yüzeylerinin incelenmesiyle malzemenin iç yapısı, reçinenin ıslatma kabiliyeti ve bağ yapının oluşumu hakkında taramalı elektron mikroskopisi yöntemiyle bilgi sahibi olunabilir. Deney sonucu yapılan analizde numune yapısında meydana gelebilecek deformasyonlar; yorulma kırılması, ayrılma (delaminasyon) şeklinde olmaktadır. Fiber takviyeli kompozitler değişik hasar mekanizmaları tarafından etkilenir. Matris ve fiberler arasında zayıf bağ yapı oluşumu ile aralarında meydana gelen boşluklar neticesinde hasara uğrar. Reçinenin katmanlar halinde bulunması ile boşluklar oluşturarak ayrışır [15].

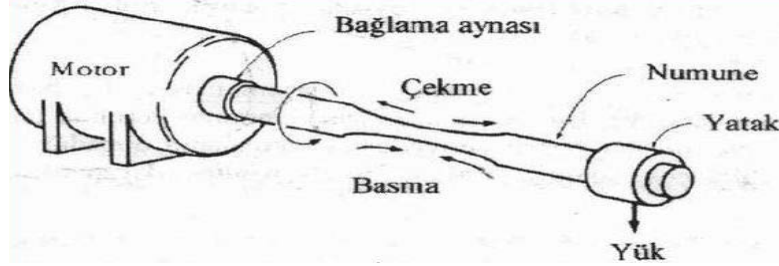


Şekil 5 Elyaf hasar mekanizmaları [7]

## II. PROBLEM VE ANALİZ

Problem temel olarak kompozit malzemelerin periyodik kuvvet uygulamaları karşısında gösterecekleri mukavemetin incelenmesi ve araştırmanın yapılma şeklidir. Anizotropik yapıya sahip olan kompozit malzemelerden hazırlanacak deney numunesi üzerinde yapılacak deneylerde sürünme ve yorulma durumları incelenmiştir. Homojen malzemelere uygulanan yorulma ve sürünme deneyleri net ve kantitatif sonuçlar verirken, aynı cihazlarda yapılsa bile kompozit malzemelerde farklı ve değişken sonuçlar alınabilmektedir. Bu durumun en önemli nedenleri malzemenin anizotropik yapıya sahip olması tekrarlanabilirlik oranı ve imalat sürecinde meydana gelen süreksizliklerdir. Metal ve alaşımlarından meydana getirilen numunelere yorulma ve sürünme testleri yapılarak malzeme ömrü belirlenebilirken yerine kullanılması düşünülen kompozit malzemeler için bu ömrü tespit etmek zordur. Kuvvet yönü ve elyafların yerleşim biçimi belirleyici rol oynamaktadır. Ancak yine de metal malzeme yerine (ağırlık ve imalat kolaylığı açısından) tercih edilmesi, uygun tasarım ve malzeme konfigürasyonunun düzenlenmesi ile sağlanabilir. Kompozit malzemenin kullanım yerine ve kuvvet

yönüne göre iş parçası üzerinde yapılacak takviye ve düzenlemeler ile metal alaşımlarının yerine kullanımı sağlanabilir. Kompozit malzemelerin yorulma ömrü tesbitinde genellikle metal ve alaşımlarına uygulanan deneyler ve çekme deneyinin sürekli tekrarı şeklinde yüklemeler yapılması şeklindeki uygulamalar söz konusu olmaktadır. Periyodik olarak uygulanan yüklemeler eş gerilme durumu oluşturmazken  $f+$  ve “0” değerleri arasında yapılmaktadır. Metal ve alaşımlarına uygulanan deneylerde eş gerilme hali oluşmaktadır [13].



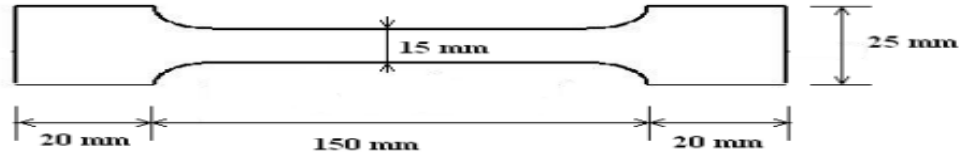
**Şekil 6** Metallerde uygulanan yorulma deneyi[14]

Şekilde malzeme basma ve çekme kuvvetlerinin etkisinde olduğu görülmektedir. Kompozit malzemelerde bu durum elyaf ve matris etkileşimine bağlıdır. Elyafın bir kısmı çekme doğrultusunda gerilime uğrarken, diğer kısımda bulunan elyaflar basma kuvvetine maruz kaldığı görülmektedir. Periyodik olarak değişen bu durum sonucunda yapıda delaminasyon (ayrışma) durumunun oluşması beklenebilir. Metallerde uygulanan deneylerin sonuçları Wöhler diagramında yorumlanırken özellikle demir dışı metallerde farklı sonuçların alındığı örneğin; Alüminyum alaşımlarının bir yorulma sınırının olmadığı belli bir gerilme sınırından sonra da hasara uğradığı görülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar Wöhler ve Smith diagramları ile incelenerek Gerber, Goodman ve Soderberg kriterleri kullanılarak yorumlanabilmektedir [11].

### III. MATARYEL VE YÖNTEM

Fiber takviyeli kompozitlerin yapısı karmaşıktır. Heterojen ve farklı fazlarda malzemeleri (fiberler ve matris) bünyelerinde barındırmaları, farklı yayılma hızlarına sahip çok çeşitli hasar mekanizmalarının ortaya çıkmasına sebep olur. Çatlak tespiti ve ana yapının kalan ömür hesabının yapılması zor bir görev olarak ortaya çıkmaktadır. En sık karşılaşılan hasar türü darbeye bağlı ortaya çıkan hasarlardır. Kompozit yapıların, kalınlık doğrultusunda sahip oldukları düşük dayanımlarına bağlı olarak düşük hızlı darbe yüklemeleri sonrası mekanik mukavemetlerindeki önemli düşüş, gözle görülür hasar bölgelerinin oluşmasına sebep olur. Düşük hızlı darbe yüklemeleri, matris patlaması, delaminasyon (bitişik tabakalar arasında ayrılma) ve fiber kırılmalarına bağlı olarak malzeme dayanımında ve yorulma ömründe önemli düşümelere sebep olabilir [10].

Kompozit malzemelerde sürünme davranışını gözlemleyebilmek ve kırılma ve öncesinde malzemenin yapısında meydana gelen değişimleri tesbit etmek amacıyla deney düzeneği tasarlanmaya çalışılmıştır. Standard çekme numunelerinin (Şekil 7) kullanılması öngörülmüş olup, bu aşamada dolgu malzemelerinin çeşitli varyasyonlarının (lif takviyeli, partikül takviyeli, tabaka takviyeli) kullanılabilmesi düşünülmüştür [12].



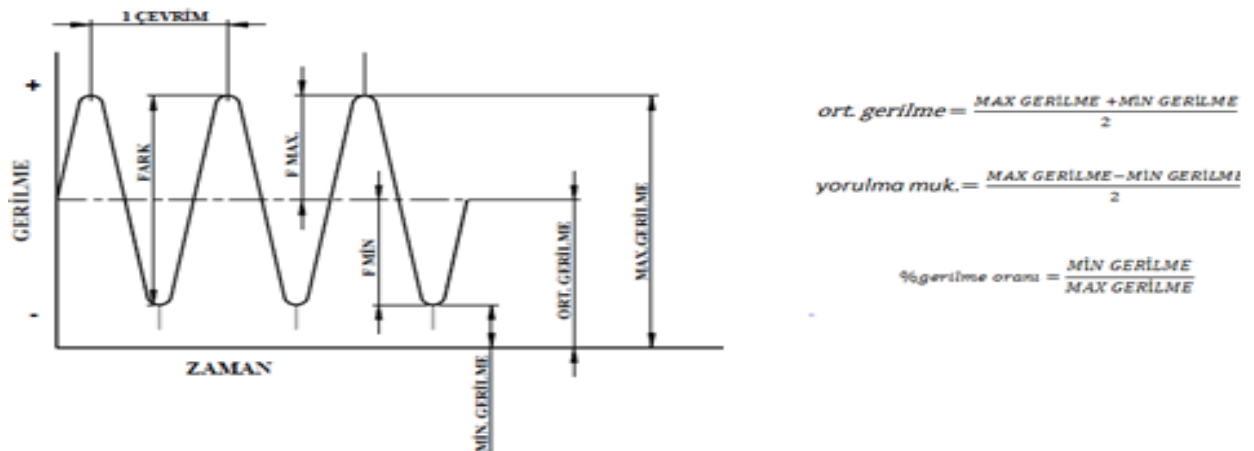
Şekil 7 Çekme deney numunesi [12]

Deney için standarda uygun olarak hazırlanan numuneler su jeti ile işlenerek form verilmelidir. Kompozit malzemelerin karakteristik özelliklerinden biri olan takviye elemanının sertliğinin ve mukavemetinin matris malzemesinden fazla oluşu bilindiği için geleneksel talaşlı işleme sürecinde matris fazında kılcal çatlakların oluşma ihtimali gözardı edilmemelidir. Deney düzeneğinin tasarımı aşamasında değişik olasılıklar düşünülmüştür. Malzemeyi belli bir frekansta rezonansa tabi tutmak veya hareketli çeneleri hidrolik piston ile tahrik etmek gibi değişik olasılıklar araştırılmış ve sonuç olarak mekanik sistemde karar kılınmıştır. Mekanik sistemde serbest çalışma ortamı sağlanarak malzemenin iç direnci sayesinde kritik hasar çevrimine kadar dayanabileceğinin ve kaçınıcı çevrim (cycle) sonucu ara bağ yapısının çözülmeye başlayacağını (bozulmaya başlama) izlenebileceği düşünülmüştür. Deney numunesi üzerine monte edilen STRAIN GAGE (gerilim ölçer) numune geriliminin ve Ekstansiyometre ile boyutsal değişiminin tesbit edilebileceği unutulmamalıdır (Şekil8).



Şekil 8 Deney numunesine strain gage uygulaması

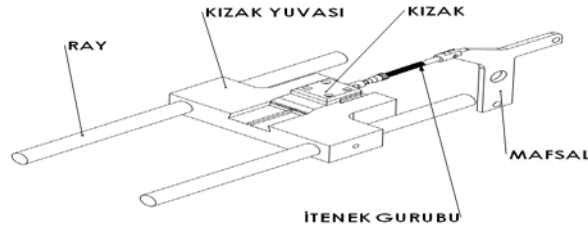
Deney düzeneğinin tasarımında, belirli bir frekansta yükleme yapılması ve bu yükleme işleminin sabit bir ağırlıkta olması deney sonucunun daha sağlıklı olacağını düşündürmektedir. Sinusoidal (Şekil 9) dalgalar şeklinde uygulanacak yükleme değeri ve yükleme zamanı çevrimi ayarlanabilmektedir.



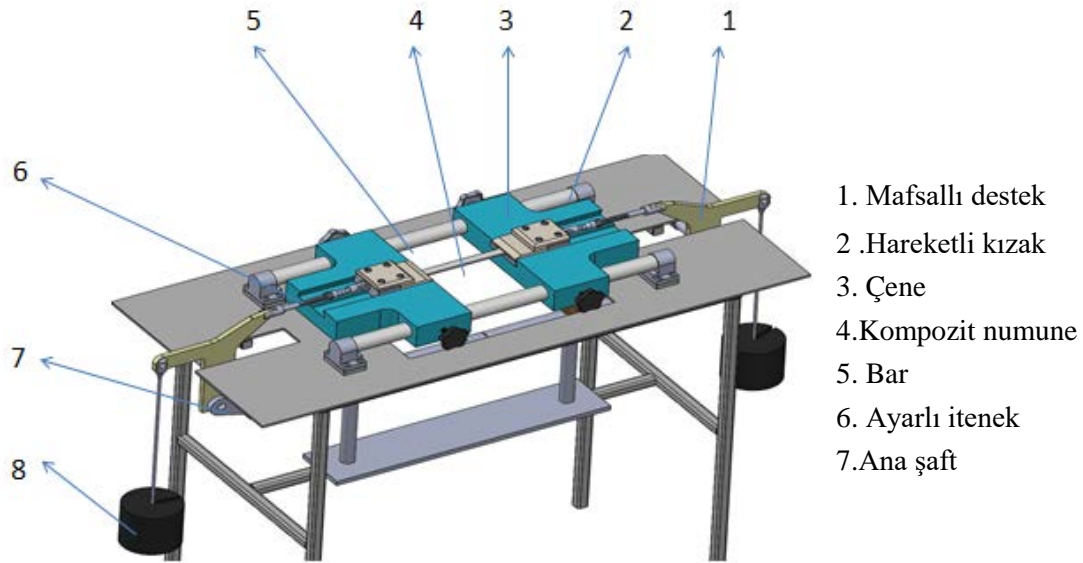
Şekil 9 Kuvvet uygulama frekansı



Düzenek çekme doğrultusunda (pozitif yönde ) sıfır ve  $F_{max}$  değerinde (çekme) yükleme yapabildiği gibi gerektiğinde sıfır ve  $F_{min}$  (negatif yönde) degerinde de (basma) yükleme yapabilmektedir. Düzenegın çalışma şekli sabit  $F$  ağırlığının belirli bir frekansta çekme kuvveti uygulanması ve tekrar  $F$  yükünün kaldırılması temeline dayanmaktadır. Test edilecek numune ASTM standard ölçü ve özelliklerine göre hazırlanır (Şekil 7). Numuneye gereken form su jeti ile verilir ve işlemeden dolayı oluşacak olumsuzlukların (kılcal çatlak) önüne geçilmiş olunur. Hazırlanan numune cihaz çenelerine sıkıca bağlanır. Hareketli kızak çenelerin rahatça hareketine izin verecek şekilde bar üzerine sabitlenir (kızığın hareketli olması değişik ölçülerde numunelerin test edilmesine olanak sağlayabileceğini düşündürmektedir). Elektrik motoru ile tahrik edilerek HARMONİK hareket yapması sağlanan 7 numaralı ana şaft, mafsallı destek sayesinde hareketi çenelere iletir (Şekil 10).



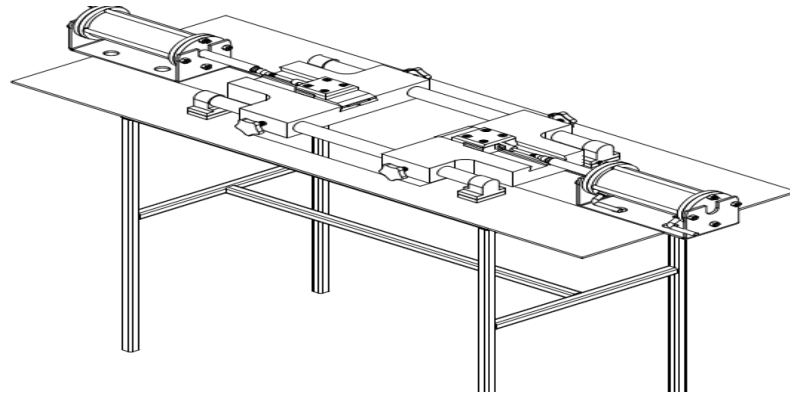
Şekil10 Deney düzeneği temel parçaları



Şekil 11 Deney Düzeneği Montaj Durumu

Çenelere bağlı halde olan kompozit deney numunesine etkiyen kuvvet düzenege monte edilmiş olan sabit ağırlıktan kaynaklanmaktadır ve bu ağırlık miktarı değiştirilebilir. Deney numunesi bu şekilde yapısında bozulma meydana gelene kadar yüklemeye maruz bırakılarak malzeme ömrü tayin edilmeye çalışılır. Ayrıca bozulma meydana gelmeden kompozit deney numunesi üzerine monte edilmiş olan gerinim ölçer (strain gage) ile malzeme boyutlarında meydana gelen değişim izlenebilir. Hidrolik sistem uygulaması ile mekanik olarak elde edilemeyen ara değer uygulamaları elde

edilebileceği için ayarlı ve nümerik kontrollü silindirler ile mekanik çekme işlemi sağlanmaktadır (Şekil 12). Böylelikle istenilen değerde kuvvet uygulaması ve doğrusal enkoder ile de mesafe kontrolü sağlanmaktadır.



*Şekil 12 Tasarlanan deney düzeneğinde hidrolik sistem uygulaması*

Kompozit yapının mukavemetinde önemli unsur elyaf ile matris arasındaki bağın yapısıdır. Kompozit malzemelerde kırılma yüzeylerinin incelenmesine dayanarak, takviye sistemi, matris sistemi ara yüzeyi, matris içindeki partikül dağılımı ve matrisin takviye malzemesini ıslatabilirliği hakkında bilgiyi taramalı elektron mikroskopisi yöntemini kullanarak elde etmek mümkündür [15]. Deney sonucunda yapılacak değerlendirmelerde numune yapısında meydana gelen kalıcı deformasyon, yorulma kırılması ve ayrılma (delamination) durumu araştırılabilir.

#### IV. SONUÇ

Deney düzeneği kompozit malzemelerin yapısal bozulma ömürlerinin tesbiti ve uygulanan yükleme değerleri sonucunda, ne büyüklükte bir boyutsal sapma gösterdiklerinin tesbiti amacıyla tasarlanmaya çalışılmıştır. Deney sonucunda kullanım yeri ve özelliklerine göre hangi form ve yerlesim düzeninde takviye malzemesi seçilmesi gerektiği konusunda yol gösterici veriler üretilebileceği düşünülmektedir. Tasarımı tamamlanan deney düzeneği metal, polimer ve seramik matrisli kompozit malzemelerde de kullanılabilirliği ön görülmektedir. Bu deney düzeneği ile elde edilecek deney sonuçları ile malzemeye ait WÖHLER diagramı (S-N) elde edilecektir. Böylelikle deney konusu olan kompozit yapının mekanik özelliklerin elde edilmesi sağlanacaktır. Buradan ulaşılan veriler bir grafik olarak veya girdi tablosu halinde bilgisayar destekli sonlu elemanlar analizi gibi yapısal simülasyonlar için oluşturulacak malzeme dosyasına kullanılabilir veriler sağlamaktadır. Deney çeşitliliği ve malzeme geometri, boyut ve yapı değişikliği ile yapılacak deneyler için esnek bir test düzeneğinin gerekli olduğu tespit edilmiştir.

#### SEMBOLLER

Em: Matrisin elastisite modülü

Ef: Liflerin elastisite modülü

Vf: liflerin hacimsel oranı

Tk: Paralel doğrultulu yüklemde kompozitin elastisite modülü

## V. KAYNAKLAR

- [1] H.Y. Ersoy, *Kompozit Malzeme*, Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama, San. Tic. Ltd. Şti. İSTANBUL (2001).
- [2] Y. Şahin, *Kompozit Malzemelere Giriş*, GAZİ Kitabevi, ANKARA (2000)
- [3] M.Saçak, *Polimer Kimyası*, GAZİ Kitabevi, ANKARA (2002)
- [4] Y.Olcay, M.Akyol,R.GEMCİ, Polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metodlarının incelenmesi: *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **7(1)** (2002) 93.
- [5] Anonim, <http://docplayer.biz.tr/2254217-Kompozit-malzemelerle-ilgili-genel-bilgiler>.(Erişim Tarihi: 02.02.2016)
- [6] V. Vasiliev, E. V. Morozov, *Mechanics and Analysis of Composite Materials*, 1. Basım, Elsevier Science Ltd. (2001)
- [7] Anonim, <http://abdullahdemir.netMalzeme-Bilimi> (Erişim Tarihi: 02.02.2016)
- [8] O.Ünsal, <http://www.Haddemetal.com.tr> (Erişim Tarihi: 02.02.2016)
- [9] G. Demircioğlu, *Kısa Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerde Elyaf Boyutunun Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara-Türkiye (2006)
- [10] V.Ceyhun, M.Turan ,*Mühendis ve Makine*, 52(614) (2011) 95.
- [11] Anonim, <http://web.itu.edu.tr/ozgulkeles/dersler/MalzemeBilimi>(Erişim Tarihi: 01.02.2016)
- [12] ASTM Subcommittee D20. 10 on Mechanical Properties, Standard test method for tensile properties of plastics. American Society for Testing and Materials International ,Philadelphia (1993) 174-182.
- [13] S.Şahin, *Yorulma ve Aşınma Malzeme Bilgisi* (Erişim Tarihi: 23.03,2016)
- [14] Anonim, [http://docplayer.biz.tr/11812227-Malzeme -bilimi ve muhendisligi bolum mekanik ozellikler ve davranislar.html](http://docplayer.biz.tr/11812227-Malzeme-bilimi-ve-muhendisligi-bolum-mekanik-ozellikler-ve-davranislar.html) (Erişim Tarihi: 01.02.2016)
- [15] A.Aran, *Mal 201 Malzeme Bilgisi Ders Notları*, 2007-2008