

## DENİZ SEKTÖRÜNDE KULLANILAN KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BASİT BİR DENEY DÜZENEGİ

Savaş SEZEN\*, Süleyman DUMAN\*, Ozan KAPLAN\* ve Yalçın ÜNSAN\*, Emin KORKUT\*  
*\*İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi*

### ÖZET

Bu çalışmada, kompozit malzeme çeşitleri ve üretim aşamalarından bahsedilerek uygun deney düzeneği tasarımları araştırılarak en uygun sistemin seçiminin yapılması anlatılmıştır. Farklı örgü ve gramajlara sahip cam elyaf malzemesinden elle yatırma tekniği ile deney numunelerinin nasıl üretildiği üzerinde durulmuştur. Ayrıca mekanik özelliklerin belirlenmesi için deneyin yapılabileceği çekme deney düzeneği imal edilerek kompozit numunelerin kopma gerilmeleri ölçülmüştür. Bu deney düzeneği çoğu işletmede ucuz ve kolay kurulabilecek bir sistem amaçlanarak geliştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kompozit, Cam Elyaf, Çekme Deney Cihazı Tasarımı, Üretim Tekniği, Belirsizlik Analizi.

### 1. Giriş

Sürekli değişen günümüz koşullarında mühendislik alanında gerçekleşen yeni gelişmelerin biz mühendisler için faydalı olması araştırma ve bilgi birikimiyle mümkün olmaktadır. Edinilen bu bilgi ve birikimler doğru metotlar uygulanarak mühendislik temelinin gelişmesine ışık tutmaktadır [1].

İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Yüksek Lisans Programı kapsamında açılan, ‘Applied Experimental Methods in Naval Architecture’ dersinin kapsamında yapılan çalışmalar mühendislik hayatımızın temelini oluşturarak bizlere yol gösterici olmuştur. Hocalarımızın bizlere verdiği fikirler ve bizlerin yaptığı araştırmalarla hem ekonomik hem de çözüm odaklı çalışmak birinci hedefimiz olmuştur. Dersin temelinde yatan amaç bir deneyin nasıl yapılacağını, deneyi yapılacak konunun hangi problemin çözümü için kullanılacağını açıklamak ve sonuçlarının doğuracağı etkilerin tartışılarak en iyi şekilde analiz edilmesini sağlamaktır [2].

Bu ders çerçevesinde kurulan ÇEK-BAS grubu olarak deneyimize ait çalışmaların başlangıcından itibaren bir takım olarak çalışma duygusunu benimsemiş ve birbirimize aktardığımız bilgi ve birikimler sayesinde gerekli araştırmalarımız ve çalışmamız sonucunda ortaya koyduğumuz bu deney çalışmalarımızın meyvesi olmuştur. Deney konumuzun belirlenmesinden sonra gerek piyasa araştırmamız gerekse akademik açıdan yaptığımız araştırmalar değişik fikirlerin oluşmasına neden olmuştur. Deneyimizde kullandığımız malzemeler, üretim aşamaları ve bu malzemelerin testlerinin yapılması için tasarladığımız düzenek, bizlerin araştırmaları ve çalışmalarını sonucunda üretilebilirlik ve ekonomik açıdan en uygun olacak şekilde seçilmiştir [2].

## 2. Kompozit Malzemeler

İki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere “Kompozit Malzeme” denir. Başka bir deyişle birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir [3-4].

## 3. Kompozit Malzeme Çeşitleri

Kompozit malzemeler yapım metotlarına ve yapılarını oluşturan malzemelere göre iki ayrı şekilde sınıflandırılmıştır [5]. Bunlar Bölüm 3.1 ve 3.2 ‘ de özetlenmiştir.

### 3.1. Yapılarını Oluşturan Malzemelere Göre Kompozitler

Yapılarını oluşturan malzemelere göre kompozit malzemeler aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir;

- Plastik - Plastik Kompozitler
- Plastik – Cam Elyaf Kompozitler
- Plastik – Metal Fiber Kompozitler
- Plastik – Köpük Kompozitler
- Metal Matrisli Kompozitler
- Seramik Kompozitler
- Kâğıt

### 3.2. Yapım Şekillerine Göre Kompozitler

Yapım şekillerine göre kompozit malzemeler aşağıdaki başlıklar altında sınıflandırılabilir;

- Karışık Malzeme ve Sinterleme
- Yüzey Kaplamaları
- Lif Takviyesi
- Karbon Fiber Üretimi

## 4. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemeler bazı özelliklerinden dolayı diğer malzemelere göre avantajlı olurken, sahip olduğu bazı özellikler sebebiyle de dezavantajları mevcuttur [3,6].

### 4.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları

Kompozit malzemelerin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

**Yüksek Mukavemet** Kompozit malzemelerin çekme ve eğilme mukavemetleri, birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir.

**Kolay Şekillendirme** Kompozit malzeme kullanılarak yapılan büyük ve karmaşık parçalar, tek işlemlerle bir parça halinde kalıplanabilir. Bu ise malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

**Elektriksel Özellikler** Uygun malzemelerin seçilmesiyle, çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir.

**Isıya ve Ateşe Dayanıklılık** Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşan kompozitlerin ısıya dayanıklılık özellikleri, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak tanımaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozit malzemenin ısıya dayanımı artırılabilir.

**Titreşim Sönümlenme** Kompozit malzemelerin sünekliği nedeniyle, doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Bu sayede çatlak yürümesi de engellenmiş olur.

**Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Dayanıklılık** Kompozit malzemeler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler; kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörleri, tekne ve deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır.

## 4.2. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

Kompozit malzemelerin dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

**Hammaddenin pahalı olması;** örneğin uçaklarda kullanılacak kalitede karbonun m<sup>2</sup> lik kumaşının maliyeti yaklaşık 60 \$' dir.

**Lamine edilmiş** kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesime dayanıklılık özelliği bulunmaktadır.

**Malzemenin kalitesi** üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur.

**Kompozitler kırılğan (gevrek) malzeme** olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarılmaları yeni problemler yaratabilir.

## 5. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Gelişen dünya ile birlikte birçok alanda daha dayanıklı ve hafif malzemeler tercih edilmeye başlanmıştır. Bununla birlikte kompozit malzemelerin oldukça geniş bir kullanım alanı vardır [3]. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Havacılık,
- Denizcilik,
- Spor Araçları,
- Korozyona Dayanıklı Ürünler,
- Sağlık,
- Ulaşım,
- Formula 1 Arabaları,
- Müzik aletleri,
- Yapı Sektörü, vs.

## 6. Kompozit Malzeme Üretim Teknikleri

### 6.1. Elle Yatırma (Hand Lay-Up) Yöntemi

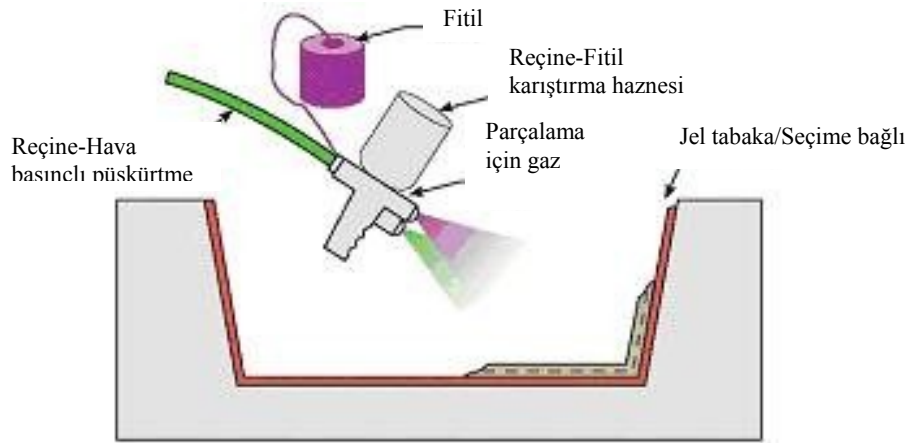
Dokuma veya kırılmış elyaflarla hazırlanmış takviye kumaşları hazırlanmış olan kalıp üzerine elle yatırılarak üzerine sıvı reçine elyaf katmanlarına emdirilir [3,7,8]. Şekil 1’de yöntemin uygulaması görülmektedir.



Şekil 1. Elle yatırma yöntemi.

### 6.2. Püskürtme (Spray-Up) Yöntemi

Püskürtme yöntemi elle yatırma yöntemini aletli gerekli olarak kabul edilebilir. Kırılmış elyaflar kalıp yüzeyine, içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülür [3,7,8]. Şekil 2’de uygulamaya ait bir şema görülmektedir



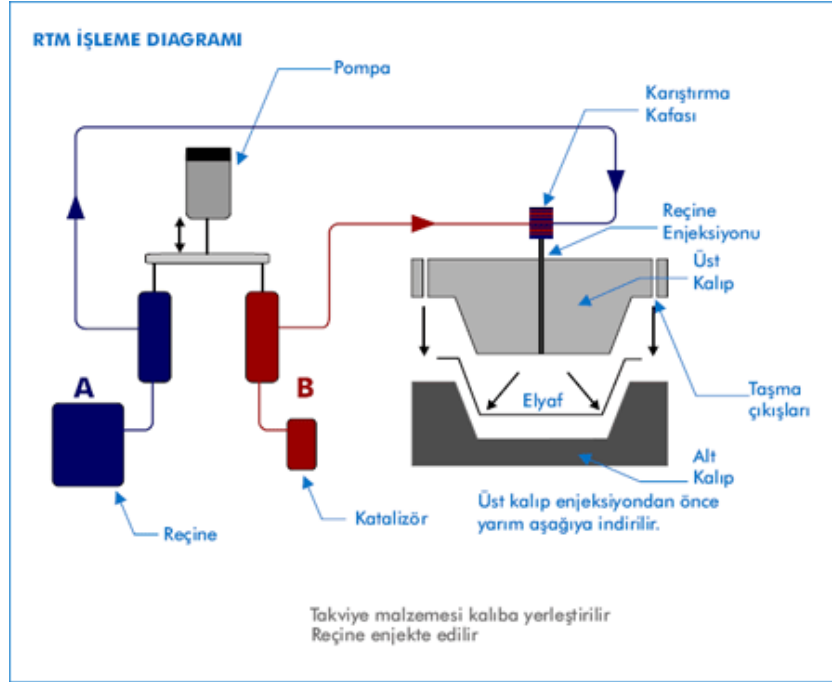
Şekil 2. Püskürtme yöntemi. [7]

### 6.3. Elyaf Sarma (Filament Winding) Yöntemi

Bu yöntem özel biçime sahip ürünlerin seri üretimine uygundur [3,7,8].

#### 6.4. Reçine Transfer Kalıplama RTM / Reçine Enjeksiyonu Yöntemi

Bu kompozit üretim yönteminde elle yatırma sistemlere (bkz. Şekil 3) daha hızlı ve uzun ömürlü olmakla birlikte iki parçalı kalıp kullanmak gereklidir. Kalıbın kompozit malzemeyle yapılması çelik kalıp maliyetine göre daha düşük kalmasına neden olmaktadır [3,7,8].



Şekil 3. RTM işlemi. [7]

#### 6.5. Profil Çekme / Pultruzyon (pultrusion) Yöntemi

Pultruzyon işlemi sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilebildiği düşük maliyetli seri üretim yöntemidir [3,7,8].

#### 6.6. Hazır Kalıplama / Compression Molding (SMC, BMC) Yöntemi

Hazır kalıplama bünyesinde cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin (SMC, BMC) sıcak baskı kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir [3,7,8].

#### 6.7. Vakum Torbalama / Vakum Bagging Yöntemi

Kompozit malzeme (genellikle geniş sandviç yapılar) önce bir kalıba yerleştirilir, ardından bir vakum torbası en üst katman olarak yerleştirilir. İçerideki havanın emilmesiyle vakum torbası, yatırılan malzemenin üzerine 1 atmosferlik basınç uygulayarak aşağıya çekilir. Sonraki aşamada tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kür işlemi için ısıtılır. Bu yöntem sıklıkla elyaf sarma ve yatırma teknikleri ile bağlantılı olarak uygulanır. Kompozit malzeme tamir işlemlerinde de vakum bagging yöntemi (bkz. Şekil 4) kullanılmaktadır [3,7,8,9].





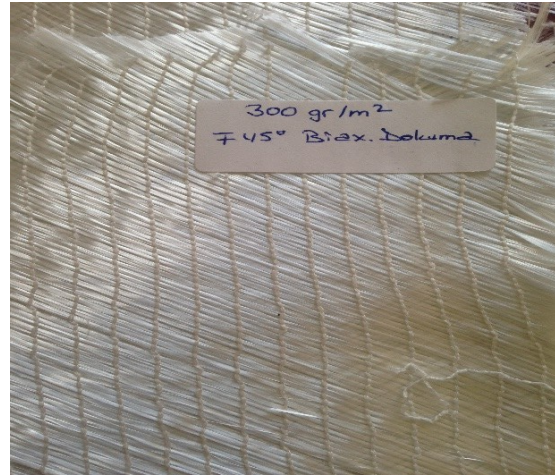
Şekil 5. 0°/90° Biaxial Cam Elyaf, 200 gr/m<sup>2</sup>.



Şekil 6. +/- 45° Biaxial Cam Elyaf, 450 gr/m<sup>2</sup>.



Şekil 7. +/- 45° Biaxial Cam Elyaf, 450 gr/m<sup>2</sup>.



Şekil 8. +/- 45° Biaxial Cam Elyaf, 300 gr/m<sup>2</sup>.

## 8. Deneyde Kullanılan Numunelerin Üretim Aşamaları

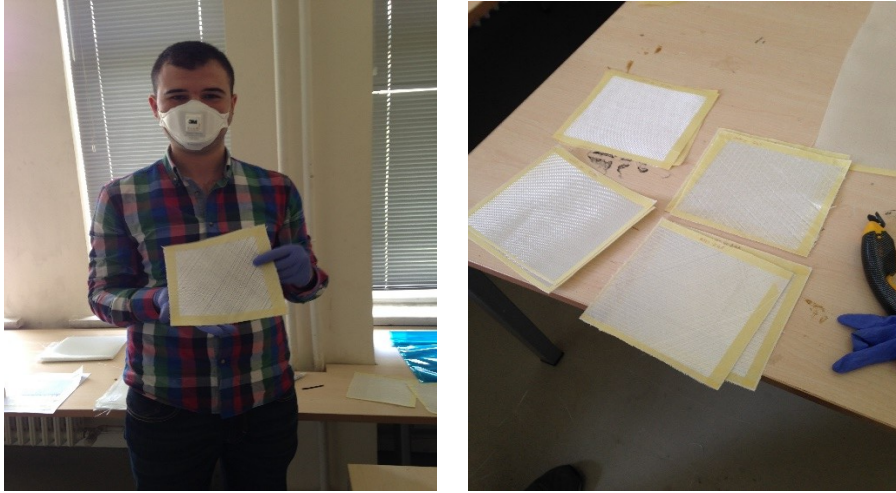
Kompozit malzeme üretiminde kullanılan elyaf tipi cam elyafıdır. Elle yatırma yöntemi özellikle az miktarda numune üretimi için uygun ve verimli sonuçlar vermektedir. Numunelerimiz sırasıyla vakum makinesinin ölçülerine uygun olarak ölçülmüş ve düz bir zemin üzerinde elyaf iplikçiklerinin dağılmadığı ve düzgün olan bölgeleri işleme sokulmuştur.

İplikçiklerin düzgün olduğu bölgeler tespit edildikten sonra kesimin daha kolay ve düzgün olması açısından uygun olan 180x200 ölçülerine göre işaretlenmiştir [11]. Bu işlem Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Numunelerin uygun ölçülerde işaretlenmesi.

Bu işaretlenen kısım özel elyaf kesme makinasıyla dikkatli bir şekilde kesilmiştir. Kesimin düzgün bir şekilde yapılması elyaf iplikçilerinin dağılmaması açısından çok önemlidir. Kesim işlemi dört farklı numune için yapılmıştır (Şekil 10).

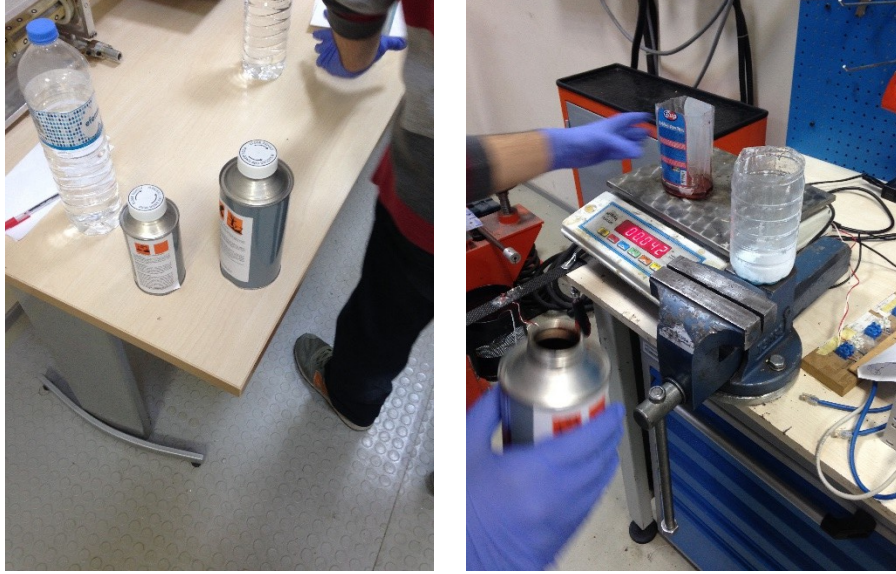


Şekil 10. Numunelerin uygun ölçülerde kesilmesi.

Numunelerin her birinin belirlenen ölçülerde kesilmesi aşamasından sonra sıra reçine ve sertleştirici oranının ayarlanarak el yatırma yöntemine geçilmesi olmuştur.

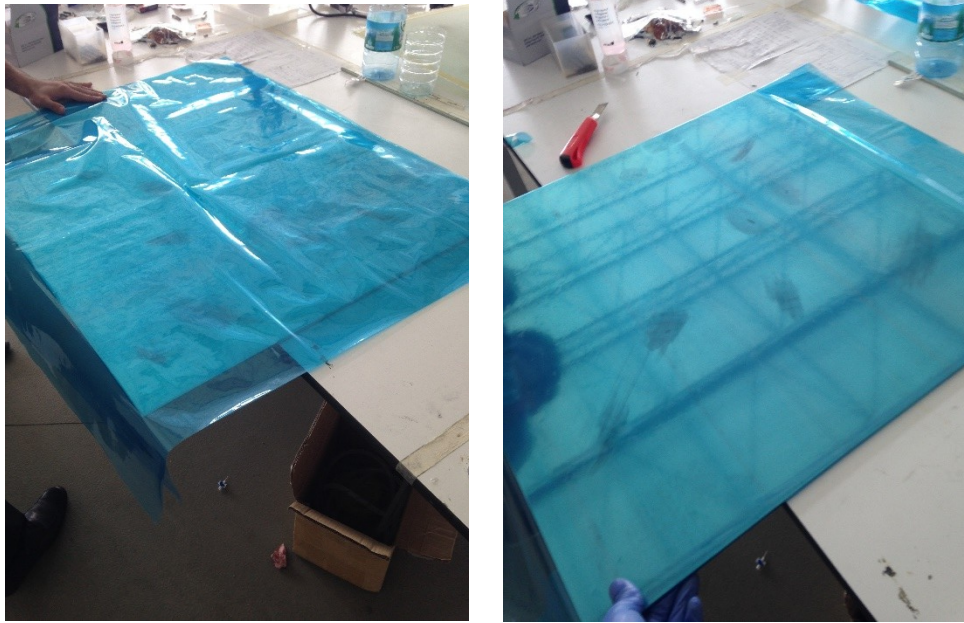
Öncelikle terazinin darası alındıktan sonra kumaşlar tartılmış ve reçine firmasının vermiş olduğu hacimce 1/5 oranı ayarlanarak plastik kap içerisine koyulmuştur. Ağırlık olarak toplam elyaf ağırlığı gerekli işlemlerden sonra 1/5,5 oranında belirlenerek terazi yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 11). Buradaki yapılması gerekirken yapılmayan unsur; her bir numune için ayrı reçine-sertleştirici hazırlanmaması olmuştur [12].





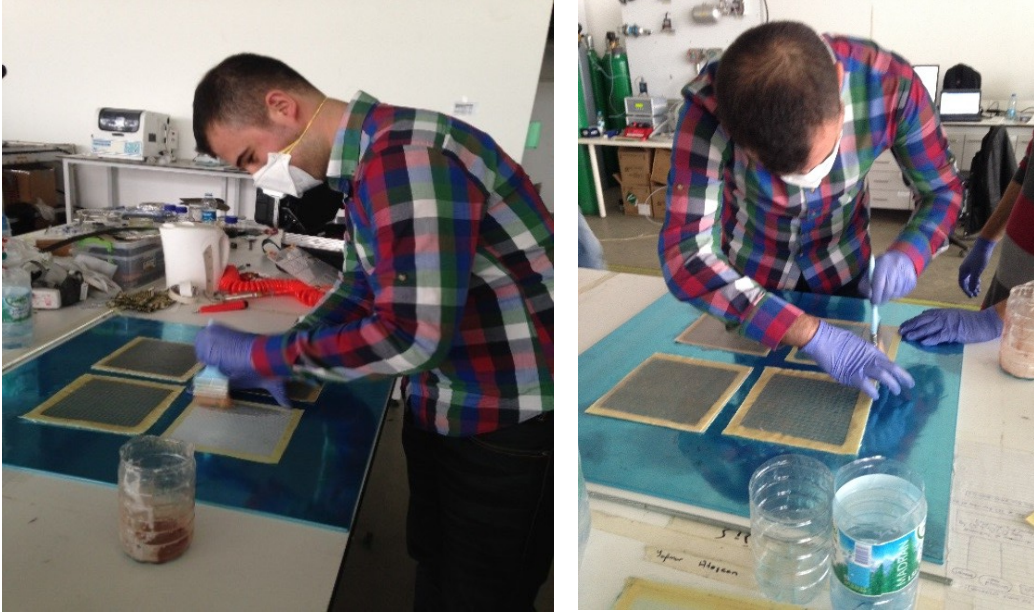
Şekil 11. Numuneler için reçine-sertleştirici oranının ayarlanması.

Belirlenen reçine-sertleştirici oranı ayarlandıktan sonra numuneler vakum makinesine alınmıştır. Öncelikle vakum makinesine koyacağımız numuneler için ihtiyaç duyacağımız alüminyum tabakalar vakum naylonu ile içerisinde hava kalmayacak şekilde özel vakum bandı ile bantlanmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Alüminyum tablaların vakum naylonu ile kaplanması.

Vakum naylonu ile kaplama bittikten sonra reçine-sertleştirici karışımı numunelere el yatırma yöntemiyle dikkatli ve iyi emdirilerek sürülmüştür (Şekil 13).



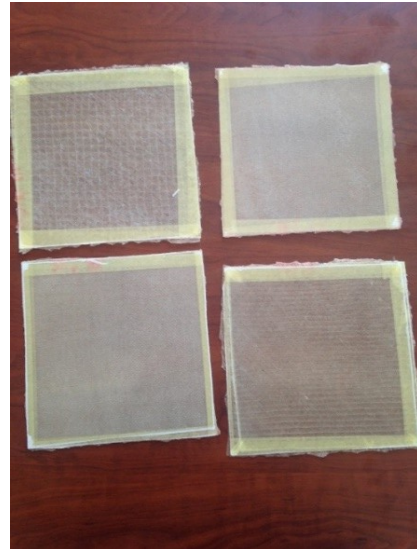
Şekil 13. El-yatırma yönteminin uygulanması.

Reçine-sertleştirici karışımı numunelere iyi bir şekilde işlendikten sonra vakum makinası için hazır duruma getirilmiştir. Daha sonra üzerine diğer tabaka kapatılarak hava almaması için cam elyaf türünden bez parçası üzerine konularak vakumlamaya hazır hale getirilmiştir.

Vakum makinesine bırakılan malzemelerimiz 12 saat sonra fırından çıkararak deneye hazır hale gelmiştir (Şekil 14-15).



Şekil 14. Vakumlama işlemleri.



Şekil 15. Üretimi tamamlanan numuneler.

## 9. Çekme DeneY Düzenİğİnİn Tasarımı

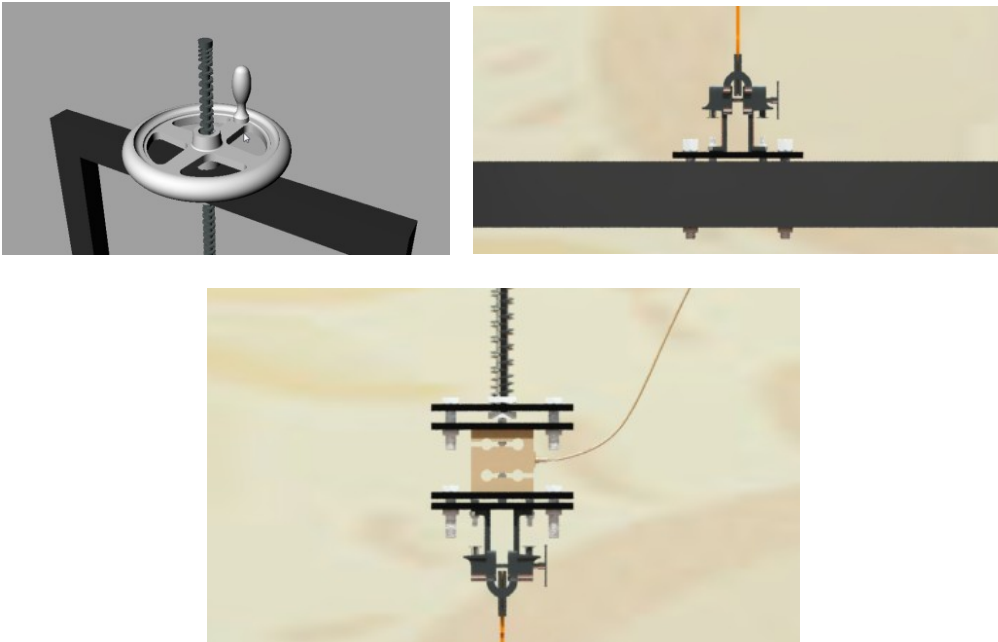
### 9.1. Çekme Cihazı Tasarımı

Çekme cihazının tasarımı için daha önce yapılmış amatör ve profesyonel çekme cihazları araştırılmış ve bunlardan esinlenerek bir tasarım yapılmıştır. Cihazın 3 boyutlu görselleri bilgisayar ortamında hazırlanmıştır. 3 boyutlu tasarım hangi malzemelere ihtiyaç duyulacağı ve montajın nasıl yapılacağı hakkında fikir oluşturmuştur.

Tasarlanan ilk cihaz, çift taraflı güç vidaları ile aksenal hareket verilecek ve aynı zamanda sabitlenmiş olacak bir sisteme sahiptir. Çerçevenin en üst noktasına bağlanacak bir motor ile dişli çark sistemi aracılığıyla dikey güç vidaları döndürülecek ve buna bağlı olan üst tabla da dikey doğrultuda hareket edecektir.

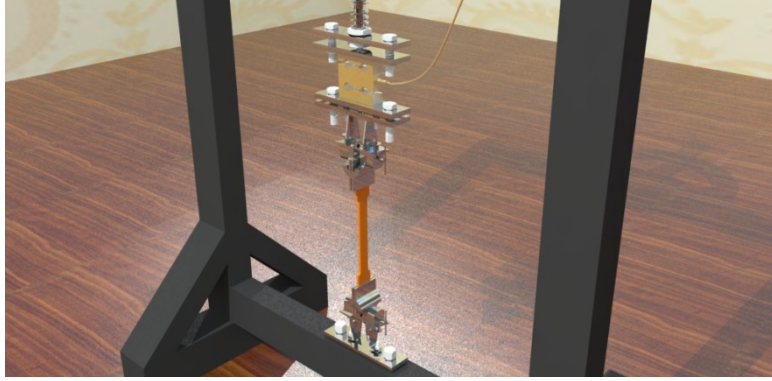
Bu cihazın ölçekli üretimi, zamanın yetersizliğinden dolayı gerçekleştirilememiştir. Cihazın üst (hareketli) ve alt (sabit) tablasının döküm olması gerekmiştir. Fakat bu durumda cihaz çok ağır ve maliyetli olacağı öngörülmüştür. Çerçevenin en üst noktasına konması gereken motorun 500 kgf kuvveti verebilmesi ve step motor veya hidrolik motor olması gerekmektedir. Bu da maliyeti istenmeyen düzeyde arttırmıştır. Bu sebeplerden dolayı, fiziksel olarak üretilmesi zor ve maliyeti fazla olan bu modelden vazgeçilmiştir. Ancak ilerideki aşamalarda bir TUBİTAK projesi ile bilgisayar kontrollü bir cihaz üzerinde çalışma yapılması planlanmaktadır.

Zamanın yeterli olabileceği öngörüsü ile tasarlanan ikinci cihaz, yükü manuel olarak bir güç vidasının döndürülmesi ile verecek şekilde tasarlanmıştır. Güç vidasının ucuna loadcell yük ölçüm elemanı ve onun altına da malzemenin tutturulacağı bir mengene düşünülmüştür. Çerçevenin alt kısmına da güç vidası ekseninde bir mengene tasarlanmıştır. Ekipman Şekil 16'da verilmiştir. Cihazın çerçevesinin üst kısmına yerleştirilecek bir volan yardımı ile güç vidasının döndürülmesi hedeflenmiştir.



Şekil 16. Bilgisayar ortamında tasarlanan çekme cihazı.

Tasarlanan sistemde numuneye verilen yükün ölçümü S-tipi loadcell ile yapılmıştır. Loadcell, ölçtüğü yükü analog olarak bir indikatöre yollamış, indikatör de bu veriyi RS 232 bağlantısı ile bilgisayara iletmıştır. Bilgisayara iletilen veriler “Hyper Terminal” ara yüzü ile görüntülenip, kayıt yapılmıştır. Tasarımın bilgisayar ortamındaki 3 boyutlu görüntüsü Şekil 17’deki gibidir.



Şekil 17. Tasarlanan çekme cihazı görseli.

## 9.2. Gerekli Malzemelerin Araştırılması ve Temin Edilmesi

Deneyin yapılabilmesi için aşağıdaki ekipmanlar hazırlanmış ve biraraya getirilmiştir:

**Çerçeve:** Üretilecek olan çekme cihazı için öncelikle taşıyıcı bir çerçeveye ihtiyaç duyulmuştur. Çerçeve boyutları:

- Çerçevenin içten içe ölçüsü : 500 mm x 700 mm
- Döküm demir kalınlığı : 3 mm
- Kare profil boyutları : 40 mm x 60 mm
- Destek ayakların boyu : 300 mm

**Güç Vidası:** Malzemeye yük vermek için metrik 16 güç vidası seçilmiştir.

**Bağlantı Cıvataları:** Loadcell’in numune ile bağlantıları ve mengene bağlantıları için metrik 10 vida kullanılması yeterli bulunmuştur.

**Yük Ölçümü ve Veri Kaydı:** Yük ölçümü için 500 kg’a kadar ölçüm yapabilen S-tipi loadcell uygun görülmüştür. Verilerin bilgisayara transfer edilmesi için loadcell’den gelen analog sinyalleri bilgisayara transfer edecek bir indikatöre ihtiyaç duyulmuştur. İndikatör, üretici firma tarafından 100 g hassasiyette kalibre edilmiştir.

**Mengene:** Numunelerin sabitleneceği mengine, YTÜ Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi Temel İşlem Atölyesi’nde grup ÇEK-BAS eşliğiyle teknikerler tarafından üretilmiştir. Dışarıdan hazır bir mengene alınmamıştır.

## 9.3. Montaj

Taşıyıcı çerçeve, demirci atölyesinde yaptırılmıştır. Cihazın tamamen tasarımını yapmak üzere çeşitli atölyeler ile konuşulmuş ve fiyat istenmiştir. Montaj için istenen fiyatlar çok yüksek olduğundan montaj ÇEK-BAS tarafından yapılmıştır.

Çekme deney cihazının montajı, YTÜ Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi Temel İşlem Atölyesi'nde teknikerlerin yardımıyla yapılmıştır. Cihazın üretimine, ilk önce çerçeveye metrik 16 güç vidasının hareket edeceği yuvanın açılması ile başlanmıştır. Yuva, freze ile açılmıştır. Vida yatağı açıldıktan sonra metrik 16 güç vidası bu yatağa geçirilmiş ve hareket sağlayabilmek için çerçeveye bir adet somun kaynak edilmiştir. Çekme cihazının imalatı Şekil 18'de verilmiştir.



Şekil 18. Çekme cihazının imalatı.

Daha sonra loadcell'in güç vidası ile ve numuneyi tutacak olan mengene ile bağlantısı üretilmiştir. Loadcell bağlantıları üretildikten sonra güç vidasının üst ucuna tork verebilmek için metal bir boru kaynatılmıştır. Bu işlem yapılmadan önce güç vidasının ihtiyaç duyulmayacak olan fazlalık kısımları kesilmiştir (Şekil 19).



Şekil 19. İmal edilen çekme cihazı.

Üretilen bağlantılar ile Loadcell sabitlenmiş ve mengene üretimine geçilmiştir. Numunelerin tutturulacağı mangelere, karşılıklı sabit duran iki adet metal plakadan oluşturulmuştur. Bu plakaların bir tanesine diş açılmıştır. Numune, sabit duran metal plakalar arasına geçirildikten sonra serbest halde başka 2 metal levha numunenin her iki yanına yerleştirilmiştir. Vida dişi

açılan metal levhadan metrik 10 vida geçirilmiş ve bu serbest parçalar sıkıştırılmıştır. Numunenin uç kısımlarına yerleştirilen zımparalar sayesinde numune sabitlenmiştir. Bütün parçalar birleştirildikten sonra çekme deney cihazı son halini almıştır. Bu aşamadan sonra numuneler mengenalere tutturulmuş ve çekme deneyine başlanmıştır.

## 10. Çekme Deneyinin Yapılışı

### 10.1. Numunelerin Sabitlenmesi ve Yük Verilmesi

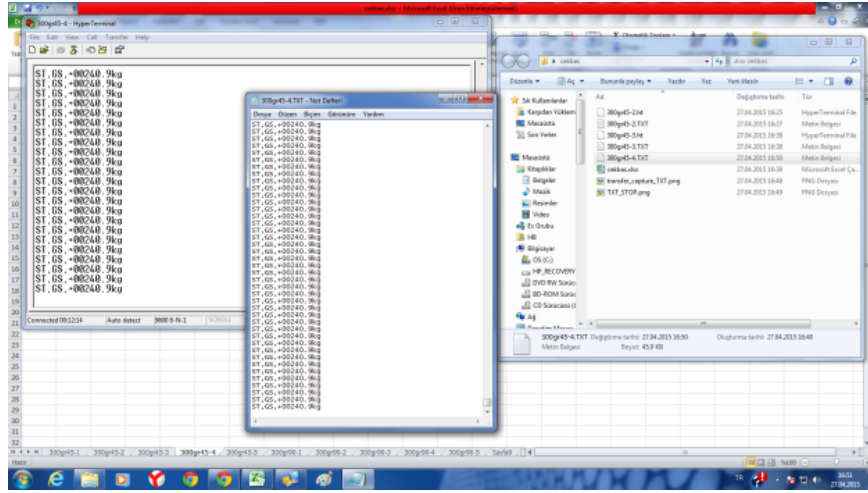
Numuneler sabit mengenalere arasına geçirildikten sonra serbest 2 metal levha çift taraftan numunelere yanaştırılır. Diş açılmış olan mengene levhasından bir cıvata sıkılarak serbest levhalar sıkıştırılır. Böylece numune de sıkıştırılmış olur. Numunenin kaymaması için metal plakalar çizilmiş olup ayrıca zımpara da koyulmuştur. Numuneler sabitlendikten sonra metrik 16 güç vidasına kaynak edilen kol sayesinde malzeme dikey yönde zorlanmıştır (Şekil 20).



Şekil 20. Numunelerin mengenalere tutturulması.

### 10.2. Deney Verilerinin Kaydedilmesi

Numune üzerine binen yükler, loadcell'den indikatöre oradan da bilgisayara aktarılmıştır. Ölçüm hassasiyeti 100 gramdır. Veriler bilgisayara kurulan "Hyper Terminal" programı ile gersel hale getirilmiş ve kaydedilmiştir. Hyper Terminal yazılımında "transfer" sekmesi altında "capture/text" seçeneği ile ölçülen bütün veriler "text" dosyasına yazdırılmıştır. Kopma gerçekleşikten sonra ölçüm verilerinin kaydına son vermek için yine aynı sekmeden "capture/text/stop" seçilmiştir (Şekil 21).



Şekil 21. Deneysel verilerin bilgisayara kaydedilmesi.

### 10.3. Deneysel Verilerin Elde Edilmesi

Deneysel 4 adet numune grubu için beşer kez, toplamda 20 kez tekrar edilmiştir. Numunelerin kopma değerleri Tablo 1’de verilmiştir:

Tablo 1. Deneysel verilerin elde edilmesi.

450 GRAM 45° ÖRGÜ AÇILI NUMUNELERİN KOPMA DEĞERLERİ (kg)				
Deneysel 1	Deneysel 2	Deneysel 3	Deneysel 4	Deneysel 5
299,4	307,1	285,3	272,9	276,1
300 GRAM 45° ÖRGÜ AÇILI NUMUNELERİN KOPMA DEĞERLERİ (kg)				
Deneysel 1	Deneysel 2	Deneysel 3	Deneysel 4	Deneysel 5
147,1	154,1	154,5	170,6	138,9
200 GRAM 90° ÖRGÜ AÇILI NUMUNELERİN KOPMA DEĞERLERİ (kg)				
Deneysel 1	Deneysel 2	Deneysel 3	Deneysel 4	Deneysel 5
259,5	248,9	267	292,3	269,9
300 GRAM 90° ÖRGÜ AÇILI NUMUNELERİN KOPMA DEĞERLERİ (kg)				
Deneysel 1	Deneysel 2	Deneysel 3	Deneysel 4	Deneysel 5
523,1	421,6	510	495,5	513,6

### 11. Deneysel Verilerin Yorumlanması

Üretilen kompozit malzemelere ait kalınlıkların 1 mm olması dolayısıyla ve yapılan literatür taraması sonucunda cam elyaf kompozit malzemeye ait bu kalınlıkta herhangi bir veri bulunmadığından, yanlış yorumlamaya mahal vermemek adına deneysel sonuçları üzerinden yorum yapılmıştır.

Tablo 1’de belirtilen gram ve örgü açıları farklı olan 4 adet malzeme için yapılan ve 5 defa tekrarlanan deney sonuçları kıyaslanmıştır. İlk olarak örgü açıları aynı, gramajları farklı olan malzemeler incelendiğinde, Deney-1 için 450 gram 45 derece örgü açısına sahip malzemeye ait kopma değerinin 149,7 MPa, 300 gram 45 derece örgü açısına sahip malzemeye ait kopma değerinin ise 73,55 MPa olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar da bize aynı örgü açısındaki kompozit malzemelerin gramajları arttıkça kopma noktası değerlerinin arttığını göstermektedir. Diğer 4 deneye ait verileri kıyaslanacak olunursa da bu sonuca varılması mümkündür.

Diğer bir kıyaslama ise, gramajları ve örgü açıları farklı iki malzemenin kopma değerleridir. Bu defa Deney-2 verileri üzerinden kıyaslama yapılacak olunursa, 200 gram 90 derece örgü açısına sahip malzemenin kopma değerinin 129,75 MPa, 300 gram 45 derece örgü açısına sahip kompozit malzemenin ise kopma değerinin 77,05 MPa olduğu görülmektedir. Yani, gramajı düşük fakat 90 derecelik örgü açısına sahip malzemenin kopma değeri, gramajı yüksek fakat 45 derecelik örgü açısına sahip malzemenin kopma değerinden daha yüksektir (Şekil 22). Bu karşılaştırmadan, örgü açılarının cam elyaf kompozit malzeme üzerinde ne kadar önemli olduğunu bize göstermektedir.



Şekil 22. Numunelerin kopma şekilleri.

Tasarlanan çekme deney düzeneğinde ilk olarak 45 derece örgü açısına sahip kompozit malzemelerin testi, daha sonra ise 90 derece örgü açısına sahip kompozit malzemenin testi yapılmıştır. Deneyler sonucunda 90 örgü açısına sahip malzemenin 45 derece örgü açısına sahip malzemeye göre yukarıdaki deney sonucunda elde edilen değerlerden de anlaşılacağı gibi kopma değeri daha yüksektir. Bu da bize bu malzemenin kopma dayanımının daha yüksek olduğunu gösterir. Diğer bir sonuç ise aynı örgü açılı numunelerden yüksek gramaja sahip olanın kopma değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

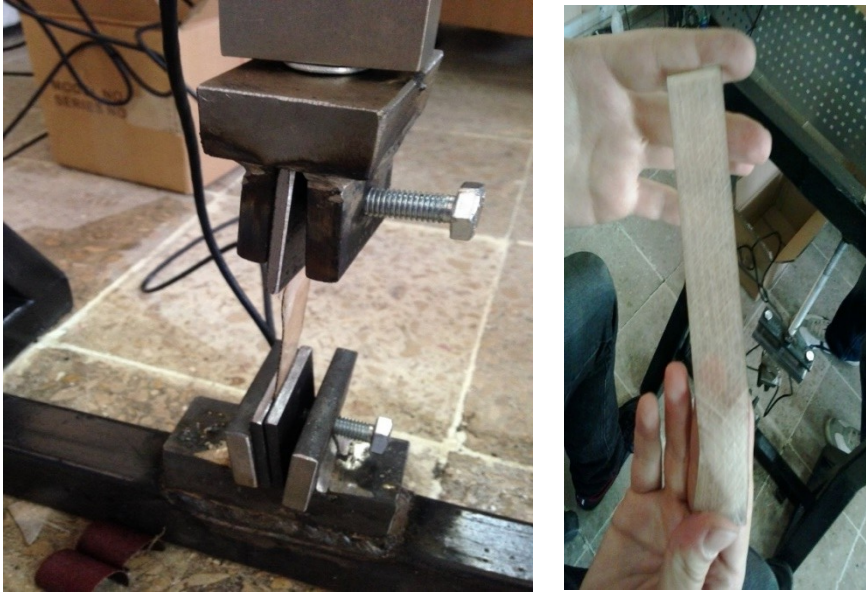
## 12. Deneyde Karşılaşılan Pratik Problemler

İlk olarak 450 gram 45 derece örgü açısına sahip kompozit malzemeyi çekme deney düzeneğindeki mengene levhaya, iki adet serbest levhayı da malzemeyi daha iyi sıkıştırabilmek için her iki tarafına koyup vida ile sıkma işlemi uygulanmıştır. Bu durumda; alt mengene levhasının çerçeveye temas ettiği tek taraftan kaynakta işlemi uygulandığı için vida döndükçe mengene levhanın esneme yaptığı ve sıkma işlemine devam edildikçe vida ucunun serbest levhayı aşındırdığı için de daha fazla burulmaya maruz kaldığı tespit edilmiştir.



Daha sonra malzeme ve loadcell düzeneği üzerinden sökülerek, mengene levhaya düzeltme işlemi uygulandıktan sonra çerçeveye temas eden diğer yüzüne de kaynatma işlemi uygulandıktan sonra deneye kalınan yerden devam edilmiştir.

Diğer karşılaşılan problem; yine 450 gram 45 derece örgü açısına sahip kompozit malzemeyi serbest levha yardımıyla sıkıştırıldıktan sonra güç kolunun döndürülerek çekme deneyine başlandığında, indikatör üzerinden uygulanan yükün yaklaşık 60 MPa olduğu değerde malzemenin kopma sesinin geldiği duyulmuş, ve indikatörün de o değerde donduğu görülmüştür. Fakat, malzeme yerinden çıkarıldığında kopmadığı sadece esnemenin kaynaklı deformasyona uğradığı görülmüş ve zannedilen kopma sesinin de çekme esnasında malzemenin serbest levha yüzeyinde kaymasından kaynaklı geldiği tespit edilmiştir. Kopma Şekil 23’de verilmiştir.



Şekil 23. Numunelerin kopma şekilleri.

Karşılaşılan diğer problem ise, deney düzeneğinin alt tarafına iki adet mengene levhalarının deformasyona uğramasıdır. Levhalar karşılıklı kaynatıldıktan sonra üstüne soğuk su dökülerek kaynak yerinin çabuk soğuması sağlanmıştır. Yaklaşık 5 dakika beklendikten sonra malzemeyi mengene levhaya sıkıştırıp çekme testine başlandığında indikatörün yaklaşık 27,5 MPa kuvvet değerine ulaştığında donduğu görülmüş ve malzeme söküldüğünde mengene levhanın kaynaktan dolayı hali hazırda soğumadığı ve ısıdan dolayı da malzemenin deformasyona uğradığı tespit edilmiştir.

### 13. Belirsizlik Analizi

#### 13.1. Hata Analizinde Kullanılan Terimler

Hata analizlerinde kullanılan terimler aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

**Ölçüm** Ölçümün amacı, tanımlanmış ölçüm niceliğinin değerini belirlemektir. Bu nedenle ölçüm, ölçülecek niceliğin, ölçüm işleminin ve ölçüm yönteminin uygun bir şekilde tanımıyla başlar [13].

**Doğruluk (Accuracy)** Okunan değer kalibre edilmiş değerden veya gerçek değerden sapmasıdır.

**Keskinlik (Precision)** Art arda okunan değerlerin tekrar edilebilirliğidir. Art arda yapılan okumalar için farkın ne kadar küçük olduğudur.

**Hata, etki ve düzeltme** Genelde ölçüm, sonuçlarda hatalara neden olan, bir takım mükemmellikten uzak unsurlar içerir. Geleneksel olarak hata unsuru iki bileşenden oluşur, bunlar raslantısal ve sistematik bileşendir.

Raslantısal hata, ölçülen değeri etkileyen niceliklerin, önceden kestirilemeyen, stokastik (kaderci), temporal (hayali olmayan) veya spatial (uzayda) değişimleridir.

Sistematik hatalar da raslantısal hatalar gibi tamamen yok edilemez fakat onların değeri de düşürülebilir. Eğer sistematik hata, ölçümü etkileyen niceliğin bilinen bir etkisinden kaynaklanıyorsa bu etki saptanabilir ve bu etkiyi dengelemek için düzeltme veya düzeltme faktörü uygulanır.

**Belirsizlik (Uncertainty)** Ölçülen değerlerin belli bir olasılıkla ortalama değer etrafında bulunduğu aralığı tanımlar. Belirsizlik genelde bir rakam olarak verilirken, mutlak veya göreceli olabilir. Bir ölçümün sonucunda verilen belirsizlik, ölçülen değer tam olarak bilinmemesinden kaynaklanır [13].

### 13.2. Belirsizlik Analizi

Farklı örgü açılarında ve farklı gramaj değerlerine sahip olan cam elyaf kompozit malzemelerin kopma değerlerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan deney için sistematik hatayı (bias error) rastlantısal hata (precision error) analizi her bir malzeme değerleri için hesaplanmıştır [13].

$$U^2 = P^2 + B^2$$

Burada U toplam belirsizliği (hata), P rastlantısal hatayı, B de sistematik hatayı göstermektedir.

#### 13.2.1. Rastlantısal (Precision) Hatanın Bulunması

Rastlantısal hatanın bulunmasında aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır:

$$P = \frac{K S_{deviation}}{\sqrt{N}} \quad S_{deviation} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - P_{av})^2}{N-1}}$$

Burada K=2 ( student's "t" distribution-t dağılımına göre),  $S_{deviation}$ ; standart sapma ve N'de tekrar sayısıdır. Örnek hata hesabı Tablo 2 -5'de verilmiştir.

**Tablo 2.** 450 gr 45° örgü açılı cam elyaf malzeme için rastlantısal hata değeri.

	Ölçülen kuvvet değerleri (MPa)	$\Delta P = P - P_{av}$	$(\Delta P)^2$
1	149,7	5,63	31,697
2	153,55	9,48	89,87
3	142,65	-1,42	2,016
4	136,45	-7,62	58,064
5	138	-6,07	36,845
$P_{av}$	144,07		

$$S_{deviation} = \sqrt{1/4(31,697 + 89,87 + 2,016 + 58,064 + 36,845)}$$

$$S_{deviation} = 7,39 \text{ (Standard deviation)}$$

$$P = \frac{2 \times 7,39}{\sqrt{5}} = 6,6 \text{ (katsayı 2 alındığından \%95 olasılıkla)}$$

$$\frac{P}{P_{av}} = \frac{6,6}{144,07} = 0,045 = \%4,5 \text{ (rastlantısal hata değeri)}$$

**Tablo 3.** 300 gr 45° örgü açılı cam elyaf malzeme için rastlantısal hata değeri.

	Ölçülen kuvvet değerleri (MPa)	$\Delta P = P - P_{av}$	$(\Delta P)^2$
1	73,55	-2,96	8,762
2	77	0,49	0,24
3	77,25	0,74	0,548
4	85,3	8,79	77,264
5	69,45	-7,06	49,844
$P_{av}$	76,51		

$$S_{deviation} = \sqrt{1/4(8,762 + 0,24 + 0,548 + 77,264 + 49,844)}$$

$$S_{deviation} = 5,845 \text{ (Standard deviation)}$$

$$P = \frac{2 \times 5,845}{\sqrt{5}} = 5,228 \text{ (katsayı 2 alındığından \%95 olasılıkla)}$$

$$\frac{P}{P_{av}} = \frac{5,228}{76,51} = 0,068 = \%6,8 \text{ (rastlantısal hata değeri)}$$

**Tablo 4.** 200 gr 90° örgü açılı cam elyaf malzeme için rastlantısal hata değeri.

	Ölçülen kuvvet değerleri (MPa)	$\Delta P = P - P_{av}$	$(\Delta P)^2$
1	129,75	-4,01	16,08
2	124,45	-9,31	86,676
3	133,5	-0,26	0,068
4	146,15	12,39	153,512
5	134,95	1,19	1,416
$P_{av}$	133,76		

$$S_{deviation} = \sqrt{1/4(16,08 + 86,676 + 0,068 + 153,512 + 1,416)}$$

$$S_{deviation} = 8,027 \text{ (Standard deviation)}$$

$$P = \frac{2 \times 8,027}{\sqrt{5}} = 7,18 \text{ (katsayı 2 alındığından \%95 olasılıkla)}$$

$$\frac{P}{P_{av}} = \frac{7,18}{133,76} = 0,054 = \%5,4 \text{ (rastlantısal hata değeri)}$$

**Tablo 5.** 300 gr 90° örgü açılı cam elyaf malzeme için rastlantısal hata değeri.

	Ölçülen kuvvet değerleri (MPa)	$\Delta P = P - P_{av}$	$(\Delta P)^2$
1	261,55	15,17	230,129
2	210,8	-35,58	1265,936
3	255	8,62	74,304
4	247,75	1,37	1,877
5	256,8	10,42	108,576
$P_{av}$	246,38		

$$S_{deviation} = \sqrt{1/4(230,129 + 1265,936 + 74,304 + 1,877 + 108,576)}$$

$$S_{deviation} = 20,499 \text{ (Standard deviation)}$$

$$P = \frac{2 \times 20,499}{\sqrt{5}} = 18,335 \text{ (katsayı 2 alındığından \%95 olasılıkla)}$$

$$\frac{P}{P_{av}} = \frac{18,335}{246,38} = 0,074 = \%7,4 \text{ (rastlantısal hata değeri)}$$

### 13.2.2. Sistemik Hatanın Bulunması

Deney sırasında sistemik hatayı oluşturan bazı bileşenler bulunmaktadır. Bunlar:

- Kalibrasyon hataları
- Numunenin sabitlenmesi sırasındaki eksenel sapmalar

**Kalibrasyon Hataları** Loadcell kalibrasyonu yapıldıktan sonra mevcut kontrol ağırlıkları ile ölçümler yapılmış ve buradaki hata oranı hesaplamalar sonucunda  $B_1 = \%0.04$  bulunmuştur.

**Numunenin Sabitlenmesi Sırasındaki Eksenel Sapmalar** Numunenin loadcell ve demir çerçeve ile bağlantılarının kaynak noktalarına etkiyen kuvvetler sonucu eğilmesiyle eksen kaçıklıkları meydana gelmiştir. Yapılan ölçümlerdeki aynı numuneye ait değerler referans alınarak birbirini takip eden deneyler sonucunda bulunan yaklaşık hata değeri  $B_2 = \%1.5$  olarak tespit edilmiştir.

Bu değerlere göre toplam sistematik hata:  $B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \%1,5005$

### 13.2.3. Toplam Belirsizlik (Hata)

U toplam belirsizlik, rastlantısal ve sistematik hatalara göre Tablo 6’da verilmiştir.

**Tablo 6.** Rastlantısal ve sistematik toplam hata değerleri.

Malzeme Tipi	P(%)	B(%)	U(%)
300 gr 45 <sup>0</sup>	6,8	1,6005	6,964
450 gr 45 <sup>0</sup>	4,5	1,5005	4,744
200 gr 90 <sup>0</sup>	5,4	1,5005	5,605
300 gr 90 <sup>0</sup>	7,4	1,5005	7,551

## 14. Sonuç

Tasarlanan çekme deney düzeneğinde 45 derece ve 90 derece örgü açılına sahip cam elyaf kompozit malzemeden üretilmiş farklı gramajlarda numuneler bir dizi çekme testine tabi tutulmuştur. Deneyde kullanılan numunelerin özellikleri aşağıdaki gibidir:

- +/- 45° Biaxial Cam Elyaf, 450 gr/m<sup>2</sup>
- 0°/ 90° Biaxial Cam Elyaf, 300 gr/m<sup>2</sup>
- 0°/ 90° Biaxial Cam Elyaf, 200 gr/m<sup>2</sup>
- +/- 45° Biaxial Cam Elyaf, 300 gr/m<sup>2</sup>

Deney sonuçlarına göre aynı örgü açılı numunelerden gramajı yüksek olanın kopma değerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Diğer bir yaklaşım ise aynı gramajlı ve farklı örgü açısına sahip numunelerden 90 derece örgü açılı olanların 45 dereceliklere göre daha yüksek kopma dayanımına sahip oldukları görülmüştür.

Bu çalışmada temel amaç bir ölçme sistemi tasarlamak, deney parçaları üretmek, deneyin yapılmasındaki zorlukları algılamak ve sonuçları belirsizlik analizi de kullanarak yorumlamak idi. Bu temelden hareketle en basit bir ölçme sisteminin tasarlanması ve deneylerin yapılmasının ne kadar ciddi bir bilimsel çalışma olduğunun farkına varılmıştır.

### Kaynaklar:

- [1] <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-45.pdf>  
 [2] Applied Experimental Methods in Naval Architecture Ders Notları  
 [3] [http://kisi.deu.edu.tr//mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel\\_bilgiler.pdf](http://kisi.deu.edu.tr//mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel_bilgiler.pdf) [4]

- [4] <https://compositesuk.co.uk/composite-materials>
- [5] <http://webb.deu.edu.tr/ansys/tezler/lisans/12.pdf>
- [6] [http://www.ae.metu.edu.tr/~ae469/Advantages%20and%20Disadvantages%20of%20Compos  
ite%20Materials\\_Resin%20Systems.pdf](http://www.ae.metu.edu.tr/~ae469/Advantages%20and%20Disadvantages%20of%20Compos%20Materials_Resin%20Systems.pdf)
- [7] <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-57.pdf>
- [8] [https://www.poliya.com/tr/products/materials/infusion\\_vacuum\\_bagging/](https://www.poliya.com/tr/products/materials/infusion_vacuum_bagging/)
- [9] [http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/b70e8fe62e40c57\\_ek.pdf?dergi=96](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/b70e8fe62e40c57_ek.pdf?dergi=96)
- [10] <http://www.gurit.com/reinforcements-vacuum-consumables-and-ancillaries.aspx>
- [11] İTÜ Uzay Bilimleri Fakültesi Vakum Makinesi Ölçü Standartları
- [12] <http://www.gurit.com/adhesives-1.aspx>
- [13] Ünsan, Y. ve Korkut, E., 2015, Applied Experimental Methods in Naval Architecture Ders Notları