



T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



Polimer Kompozit Malzeme Laboratuvarı

Güz Dönemi

Ders Sorumlusu: Doç. Dr. Fatih BALIKOĞLU

Uygulama: Vakum Destekli Reçine Transfer
Kalıplama (VARTM) Tekniği ile
Laminat Kompozit Üretimi

GENEL BİLGİLER

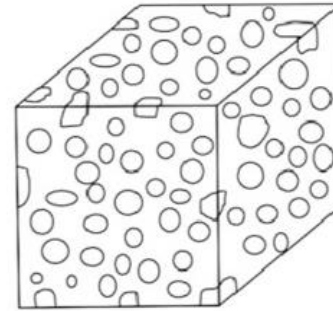
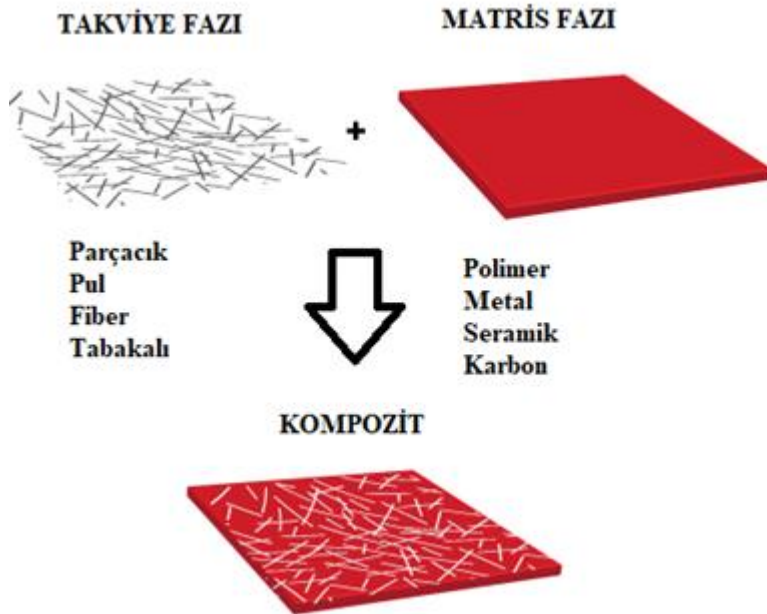
□ Kompozit Malzemelerin Tanımı

- Kompozit malzeme; iki veya daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki bileşenin en iyi özelliklerini tek bir yapı altında toplamak için, makro seviyede ve birbiri içinde çözünmeden bir araya getirilmesiyle oluşturulan yeni tip yapı malzemesi olarak tanımlanmaktadır.
- Malzemeler birbiri içerisinde çözünürse ve atom seviyesinde bir karışım söz konusu ise, bu tür malzemeler kompozit değil alaşım olur.
- Bileşenlerden biri takviye elemanı diğeri ise matris fazı olarak sınıflandırılmaktadır.
- Matris fazı sürekli ve esnektir, görevi ise takviye elemanlarını dış ve çevresel etkilere karşı korumak (aşınma, darbe, korozyon vb.), uygulanan yükü takviye elemanlarına iletmek ve tüm yapıyı bir arada tutmaktır.
- Takviye elemanı; matrise göre daha rijit ve dayanıklı olup kompozit yapı içerisinde yükün büyük kısmını taşıyan ve matris faz içerisinde rastgele veya sürekli düzenlemeye sahip olan malzemelerdir.
- Kompozitler homojen değildir, heterojen yapılarından dolayı özellikleri malzemenin değişik noktalarında farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca genel olarak özellikleri yönlerden bağımsız değildir; anizotropik davranışa sahiptirler.

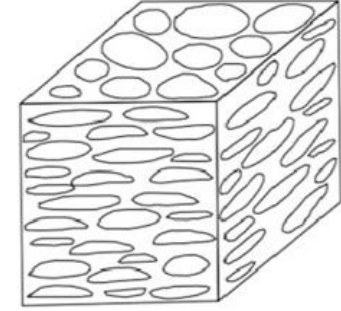
GENEL BİLGİLER

❑ Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

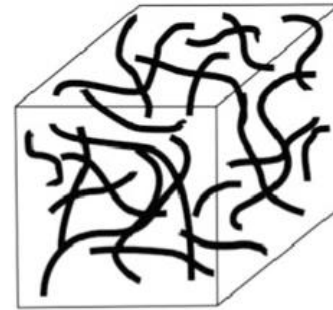
- Kompozit malzemelerin sınıflandırılması ise takviye geometrisi: fiber, parçacık, pul, tabakalı ve matris malzemesine: polimer, metal, seramik ve karbon göre yapılabilmektedir.
- Karışım nanometre seviyesindeki partiküller düzeyinde olursa ise bu tip kompozitler nano kompozitler olarak tanımlanmaktadır.
- Endüstride en geniş kullanım alanı olan kompozit malzeme sınıfı ise fiber takviyeli polimer matris kompozit malzemelerdir.



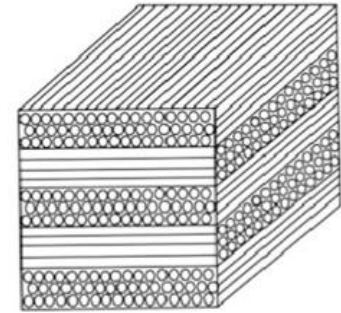
Parçacık Takviyeli



Pul Takviyeli



Fiber Takviyeli

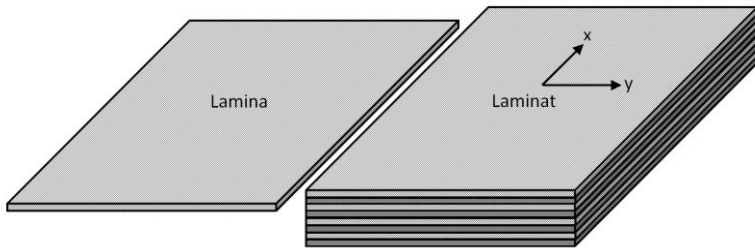


Tabakalı Takviyeli

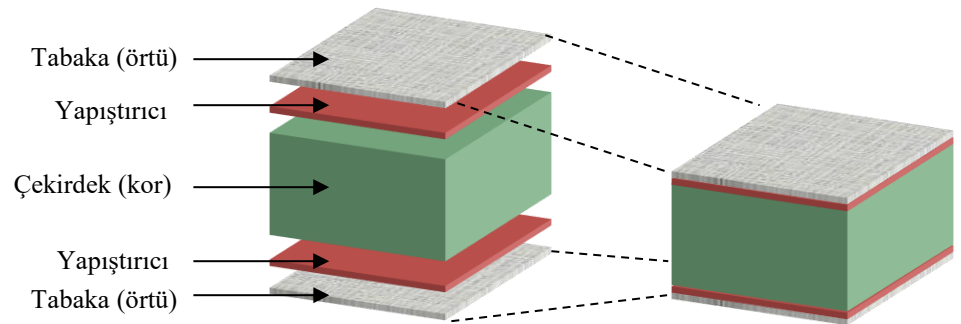
Sürekli veya kısa fiber takviyeli tabakalar içerir: Laminat ve Sandviç Kompozitler

Tabakalı Kompozit Malzemeler

- ❑ Yapısal **uygulamalar için laminat ve sandviç** yapıya sahip **tabakalı takviyeli** şeklinde kompozit malzemeler üretilmektedir. Tabakalı kompozitler sürekli veya kısa fiber içerebilir; fiber takviyeli kompozitlerin farklı formudur.
- ❑ **Laminat kompozitler** tasarım amaçlarına bağlı olarak fiber yönelimlerine sahip iki boyutlu tabakaların; fiber takviyeli laminelerin üst üste istiflenmesi ve yapıştırılması ile üretilen çok katmanlı yapılardır. Tabaka sayısı artışı ve tabakaların kuvvet-yönünde düzenlenmesi sağlanarak; x-y düzleminde (düzlem içi) etki eden kuvvetlere karşı daha mukavim laminat yapılar üretilebilmektedir. Laminat kompozit yapılarda düzleme (kesite) dik doğrultuda; z- yönünde kuvvet uygulanması durumunda ise fiberlerin yük taşıma kabiliyetleri düşmektedir.
- ❑ **Sandviç kompozitler** ise rijit ve ince iki tabaka arasına, nispeten daha kalın ve hafif çekirdek malzemelerin yerleştirildiği tabakalı kompozitlerin özel bir türüdür. Laminat kompozit malzemeye göre farkı z-yönünde yük taşımasını ve eğilme rijitliği sağlayan çekirdek (kor) malzemeye sahip olmasıdır.



Laminat kompozit



Sandviç kompozit

POLİMER MATRİS KOMPOZİT ÜRETİM BİLEŞENLERİ

Takviye elemanı+Reçine+Katalizör+Sertleştirici+Dolgular
+ Kaplama+Renklendirici+vb.



Lamina=Tek Tabaka

Tek yönlü elyaf
Unidirectional



Keçe= Mat
Random Discontinuous
Fibers



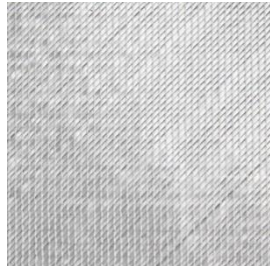
Çift yönlü elyaf
Bidirectional



Kırpılmış kısa elyaf
Chopped strands



Çok yönlü elyaf
Multiaxial



Cam fitil
Roving glass



Tabakalı Kompozit

- a. Laminat
- b. Sandviç Kompozit



Takviye Elemanları

- Tabakalı kompozit malzemelerde, takviye elemanı olarak genellikle **cam, karbon ve para-aramid** ürünü kumaşlar kullanılmaktadır.
- Farklı yönlerde yük taşıma kabiliyetlerini artırmak için **sürekli ve kesik fiberlerin** kullanıldığı iki (2) boyutlu ve üç (3) boyutlu kumaşlar üretilmektedir. Kumaşlar tek yönlü, keçe (rastgele kesik kısa veya sürekli fiber takviyeli), dokuma (weave), örgü (braided, knitted) ve dikişli (stitched, atkı ve çözgü) formlara sahip olabilirler



Cam fiber kumaş

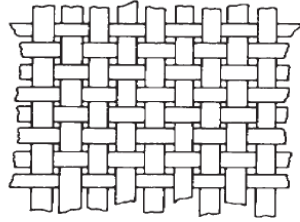


Karbon fiber kumaş

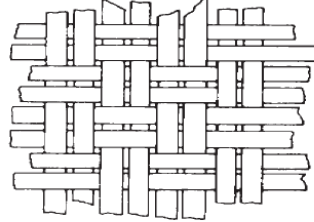


Aramid kumaş

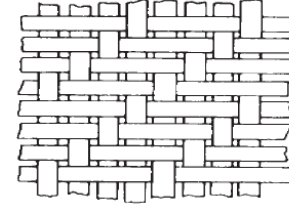
Sürekli Fiberlerin Kullanıldığı Kumaş Formları



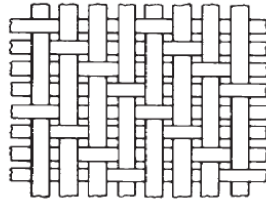
Plain weave



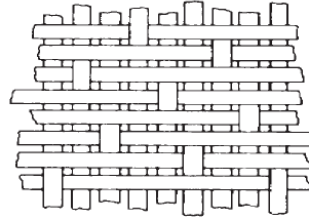
Basket weave



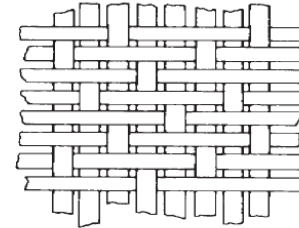
Twill



Crowfoot satin

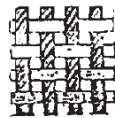


8 harness satin



5 harness satin

- Günümüzde çeşitli tekstil mimarisine sahip fiberler; dokuma, dikişli, örgülü, tek yönlü ve keçe gibi vs. kumaş formlarında kompozit malzemelerin üretiminde takviye elemanı olarak kullanılmaktadır.
- Plain, twill, harness, tek yönlü (unidirectional), stitched (dikişli) ve keçe (mat) kumaşlar sıklıkla kullanılmaktadır.



Biaxial Woven



High Modulus Woven



Multilayer Woven



Triaxial Woven



Tubular Braid



Tubular Braid Laid in Warp



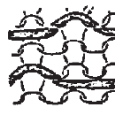
Flat Braid



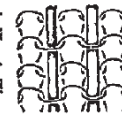
Flat Braid Laid in Warp



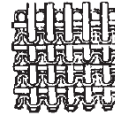
Weft Knit



Weft Knit Laid in Weft



Weft Knit Laid in Warp



Weft Knit Laid in Warp Laid in Weft



Square Braid



Square Braid Laid in Warp



3-D Braid



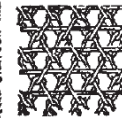
3-D Braid Laid in Warp



Warp Knit



Warp Knit Laid in Warp



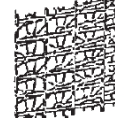
Weft Inserted Warp Knit



Weft Inserted Warp Knit Laid in Warp



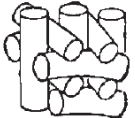
Fiber Mat



Stichbonded Laid in Warp

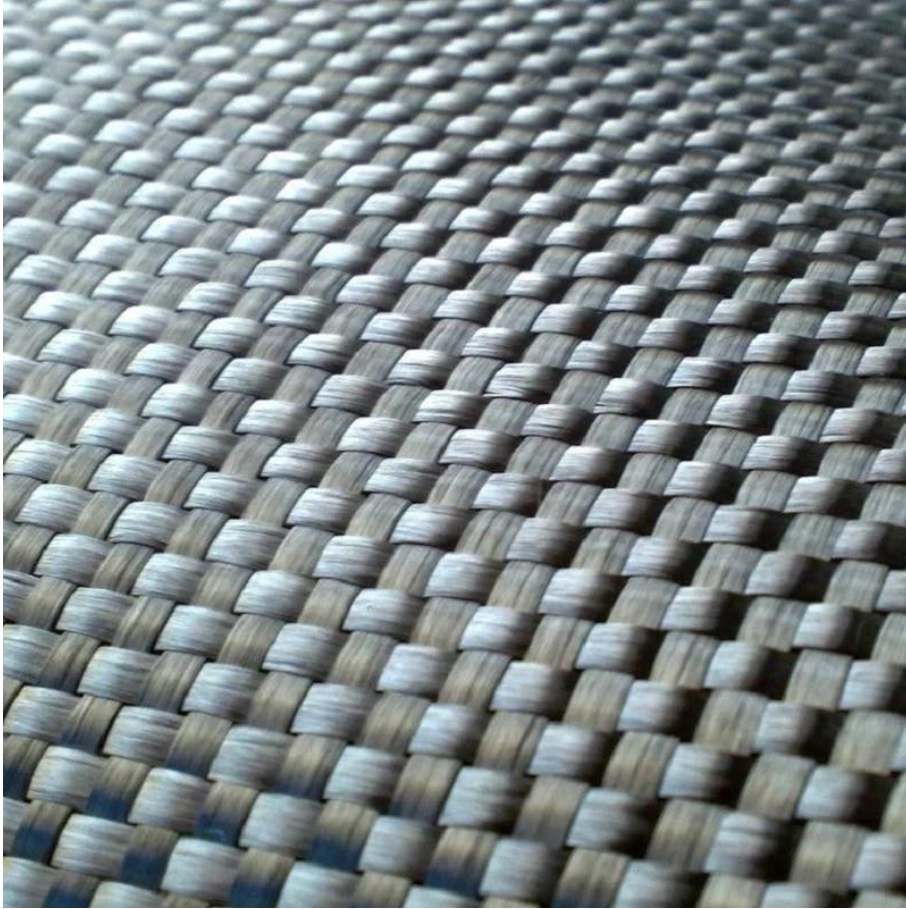


Biaxial Bonded

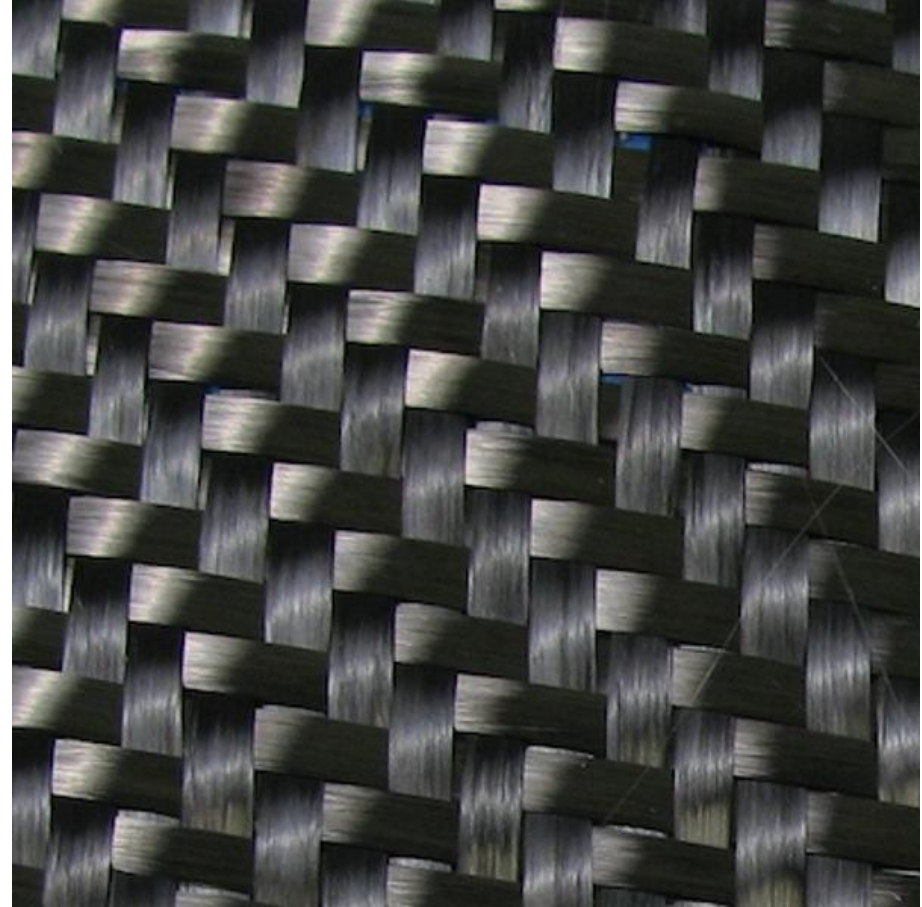


XYZ Laid in System

Plain ve Twill Weave Karbon Kumaşlar



Plain Dokuma

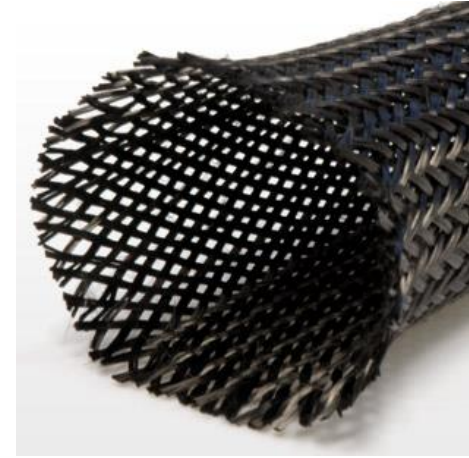


Twill Dokuma

UD ve Braided Karbon Kumaşlar



Unidirectional (Tek ynl)
Kumaş

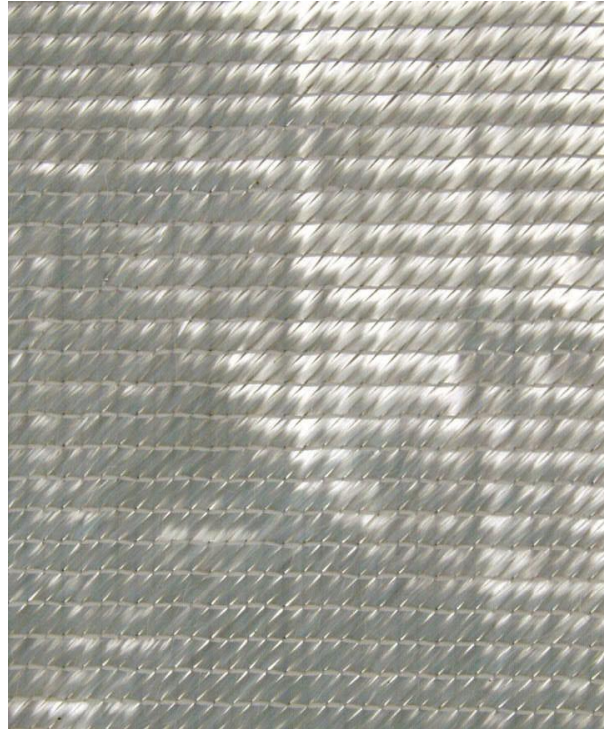


Braided (rg) carbon
Kumaş

Woven (Dokuma), Stitched (Dikişli) ve Mat (Keçe) Cam Kumaşlar



Dokuma (Woven)
Cam Kumaş



Dikişli (Stitched)
Cam Kumaş



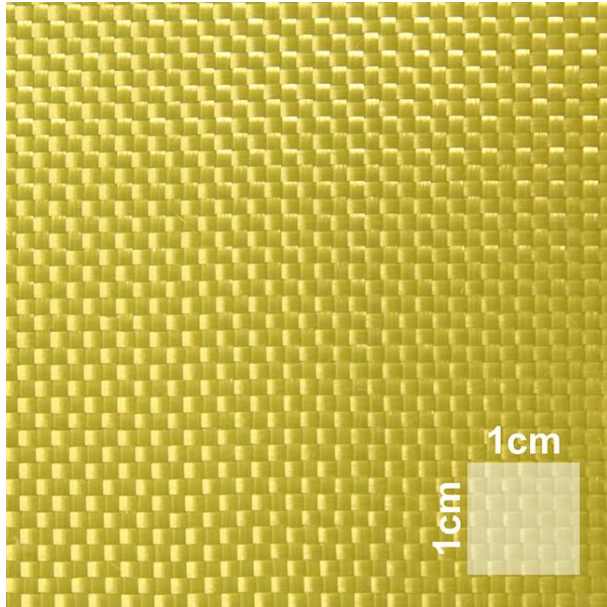
Keçe (Mat) Cam Kumaş



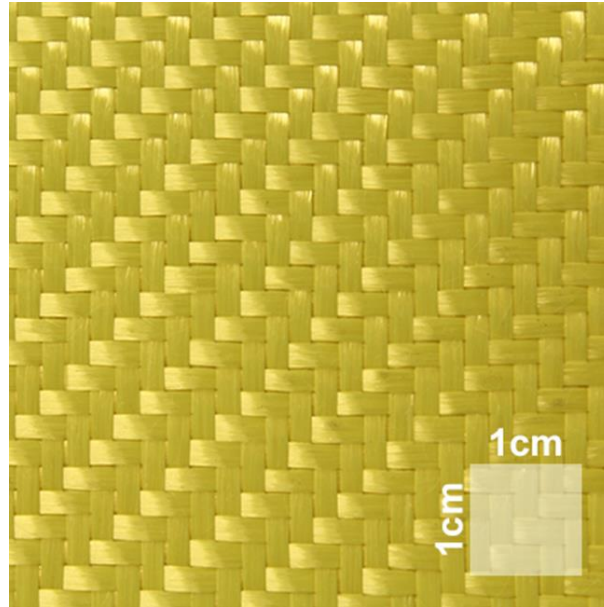
Kırpık (Kesik)
Cam Kumaş

Para-Aramid ve Karbon-Aramid Hibrit KUMAŞLAR

- Para-aramid kumaşlar piyasada Dupont firmasına ait ticari marka Kevlar® ve Tejin firmasına ait ticari marka Twaron® ismiyle satılmaktadır. Bu kumaşlar plain ve twill dokuma formunda üretilmektedir. Kevlar®/Karbon hibrit kumaşlar da bulunmaktadır.



Plain Dokuma



Twill Dokuma



Kevlar®/Karbon Hibrit
Dokuma

Matris Malzemeler

- Polimerler, kumaşlara kolaylıkla emdirilebildiği için tabakalı kompozitlerin üretiminde sıklıkla kullanılan matrislerdir.
- Matris fazı olarak en çok tercih edilen polimerler ise termosetler: epoksi (EP), doymamış polyester (izoftalik ve ortoftalik), vinilester, poliüretan (PUR), fenolik ve amino (üre ve melamin-formaldehit) reçinelerdir.
- Termoplastik reçineler ise poliamid (PA), polieterimid (PEI), polipropilen (PP), polistiren (PS), polietilen (PE), polietereterketon (PEEK) matris fazı olarak kullanılmaktadır.
- Fiber takviyeli polimer matris kompozit malzemelerde kullanılan reçinelerin kendilerine has karakteristikleri bulunmaktadır; örnek olarak yoğunluk, viskozite, kimyasal direnç, hacimsel çekme, sertlik, mekanik özellikleri (çekme dayanımı, eğilme dayanımı, çekme kopma uzaması), jelleşme süresi ve fiyat vs. gibi.
- Bu reçinelerin satışı kullanılacakları üretim proseslerine göre ayrılmaktadır. Örneğin; döküm tipi, el yatırması, püskürtme, fitil sarma, infüzyon, pultrüzyon ve sıcak/soğuk pres yöntemleri belirtilmektedir.

Polimer Matris Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

- **Kısa-Fiber Kullanılan Üretim Yöntemleri:**

- SMC (sheet molding compound),
- BMC (bulk molding compound),
- Enjeksiyon,
- Püskürtme (Spray-up) Yöntemleri.



İplik Sarma



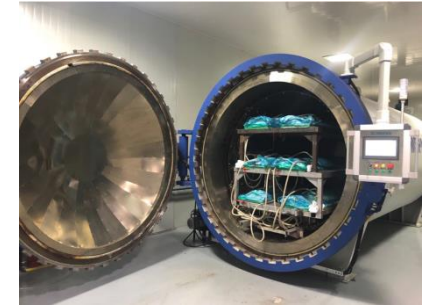
El Yatırma

- **Sürekli- Fiber Kullanulan Üretim Yöntemleri:**

- İplik Sarma (Filament Winding),
- Pultrüzyon (Pultrusion),
- RTM (Resin Transfer Molding),
- El yatırma (Hand Lay-up),
- Otoklav (Autoclave),
- İnfüzyon sistemleri (Vartm, Rift, Scrimp...).



Püskürtme



Otoklav



Vartm

Üretimde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

❑ Kompozit malzemelerin üretiminde bazı hususların dikkat edilmesi gerekir:

1. Elyafın eşit aralıklı ve homojen bir dağılım göstermesi istenir.
2. Elyaf malzemeleri mekanik temaslara karşı hassas olduklarından matris tarafından iyice ıslatılmalıdır.
3. Elyaf ile matris arasında kuvvetli ara yüzeyin oluşturulması gerekir.

POLİMER MATRİS KOMPOZİT ÖRNEKLERİ:

ENERJİ



Kara ve Açık Deniz Rüzgar Türbinleri



Açık Deniz Platformları



VARIM metodu ile
rüzgar türbin kanat imalatı



Yüksek Basınç
Sondaj Borusu

POLİMER MATRİS KOMPOZİT ÖRNEKLERİ: DENİZCİLİK



a.



Motorlu Tekneler



b.



c.



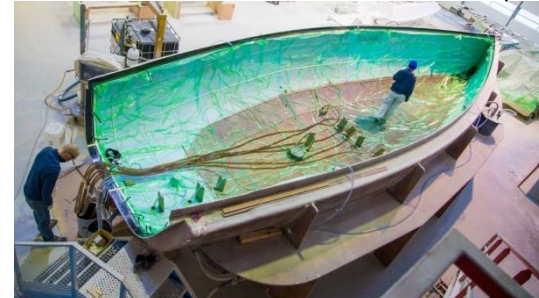
d.



a) Visby Sınıfı Korvet, b) HMŞ Wilton MCMV, c) Hunt Sınıfı MCMV, d) Landsort Sınıfı MCMV, e) Standard Flex 300



Yelkenli Tekneler,



VARIM metodu ile
Tekne Gövde İmalatı

POLİMER MATRİS KOMPOZİT ÖRNEKLERİ: HAVACILIK



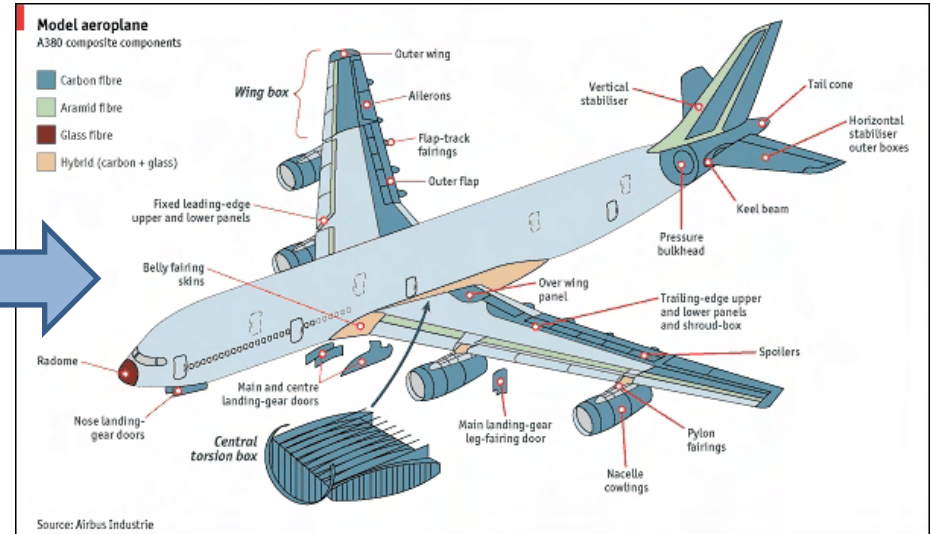
Bayraktar-Akinci SİHA



Helios İnsansız Hava Aracı



AIRBUS A380 Yolcu Uçağı



POLİMER MATRİS KOMPOZİT ÖRNEKLERİ: KARA TAŞITLARI



Raylı Sistemler



Kamyon-Tır Parçaları: Rüzgarlık, kabin tavan ve motor kaput parçaları



Karbon-fiber motosiklet parçaları



Formula aracı sürücü kabini

POLİMER MATRİS KOMPOZİT ÖRNEKLERİ: PARA-ARAMİD KULLANIMI



Personel yumuşak zırh



Miğfer



Güvenlik Güçleri için Kalkan



Kesici etkilere karşı eldivenler



Isı koruyucu eldivenler



Personel taşıyıcı askeri araçlar

-LABORATUVAR UYGULAMASI-

- I. Mekanik ve Kompozit Laboratuvarı imkanları,
- II. Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Kalıplama
(VARTM: Vacuum Assisted Resin Transfer Molding) tanıtımı,
 - I. VARTM: Avantajları & Dezavantajları,
 - II. VARTM Tekniği Çalışma Prensipleri,
 - III. VARTM kalıp ve üretim bileşenleri,
 - IV. VARTM kalıp ve üretim bileşenlerinin görevleri,
 - V. Faydalı Linkler,
 - VI. Laboratuvar Uygulaması_Videolar.

MEKANİK VE KOMPOZİT LABORATUVARI



Malzeme Hazırlık Odası



Temiz Oda

Laboratuvar İmkanları

1. Vakum infüzyon ve torbalama teknikleri için temiz oda,
2. Zinisan ZYVP-063 Vakum Pompası ve deposu,
3. Nüve FN-120 marka doğal sirkülasyonlu 45 lt hacme sahip etüv,
4. Shimadzu UW6200H marka hassas terazi, 1/1000 gr hassasiyete sahip maksimum 6200 gr,
5. Bosch marka sabit devirli, değiştirilebilir bıçaklı, gönyeli dairesel testere,
6. Black & Decker KS633E dekupaj testere,
7. Makita 9557HNGX zımpara, kesme ve temizleme avuç taşlama makinesi.



Zinisan ZYVP-063 Vakum Pompası

VAKUM DESTEKLİ REÇİNE TRANSFER KALIPLAMA (VARTM)

- 1990 yılında Bill Seeman tarafından patenti alınan Seemann kompozit reçine infüzyon yöntemi (SCRIMP) yöntemi başta ABD olmak üzere tüm dünyada, farklı sanayi dallarında uygulanmakta olan kapalı kalıp kompozit imalat tekniğidir. Bu yöntem ile tabakalı kompozitler: laminat ve sandviç kompozit malzemeler üretilmektedir.
- Bu yöntem çeşitli farklı isimler ve kısaltmalar ile tarif edilmiştir: VARTM, RIF, SCRIMP, RFI, RFIM, VAIM, VARI, VARIM, VIM, VIMP vb. akronimler kullanılmaktadır.
- En yaygın isimler, esnek kalıplama altında reçine infüzyon (RIFT), Seemann kompozit reçine infüzyon kalıplama işlemi (SCRIMP) ve **vakum destekli reçine transfer kalıplama (VARTM)**' dir.
- VARTM metodunda reçine ve takviye malzemelerin seçimi önemlidir. Genellikle, takviye fazına daha kolay nüfuz edebilecek düşük viskozite özelliğine sahip reçineler tercih edilmektedir. Piyasada infüzyon tipi olarak sınıflandırılan reçineler kullanılmaktadır.
- Tüm kumaşlara infüzyon tekniği uygulanabilir, ancak farklı malzemeler ve tekstil stilleri reçine akış hızlarını ciddi şekilde etkileyebilir. Özellikle, dokuma kumaşlarda daha az çözgü ve atkı kesişmesi bulunduğu için reçine ilerlemesi daha kolay gerçekleşmektedir. Örme kumaşlar ve keçe takviyeleri de, reçine emilimi için yüksek miktarda boşluk içerir. Dikişli kıvrımsız kumaşlar ise reçine emilimi hızının en düşük olduğu takviye elemanlarıdır.
- VARTM ile sandviç kompozit üretiminde kullanılan çekirdek malzemelerin kapalı hücreli olması gerekir (Reçine ile dolup ağırlaşmaması için).

VARTM: AVANTAJLARI & DEZAVANTAJLARI

❑ AVANTAJLARI

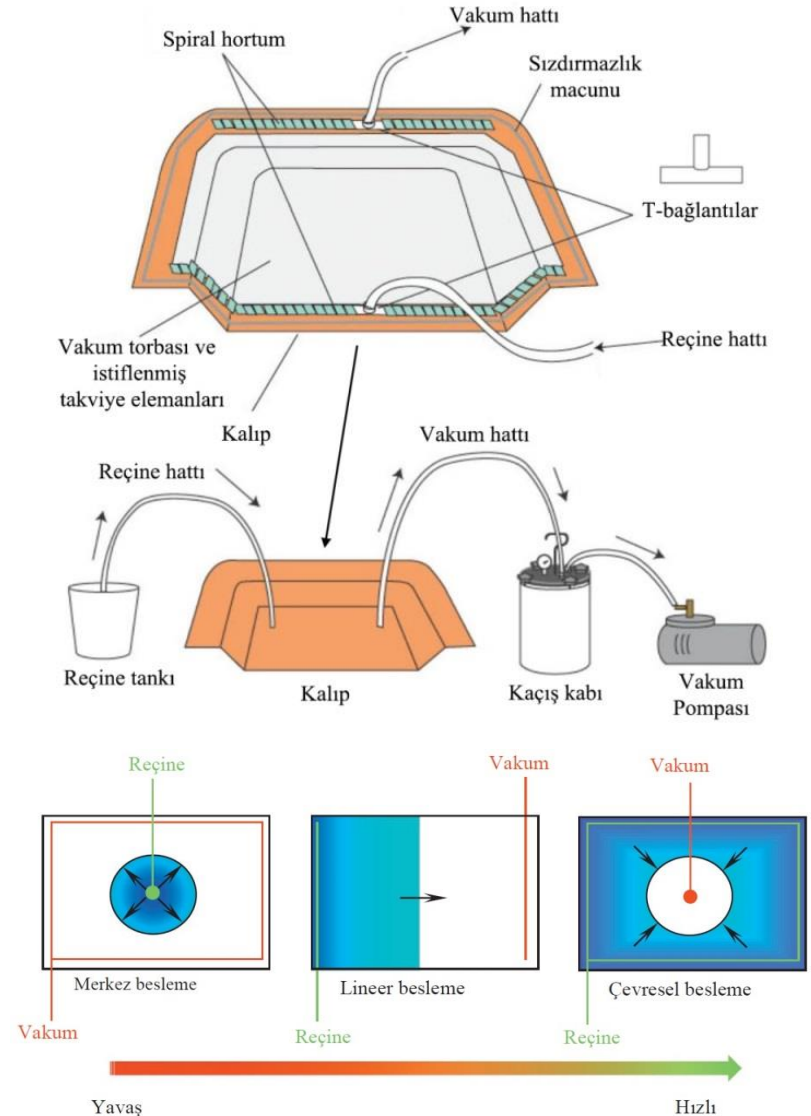
- Yüksek fiber/reçine oranı sağlar; hafif, dayanıklı ve rijit yapılar sağlanır;
- Düşük hava boşluk içeriği (%1 den az) sağlar; hasar başlangıcı riski azalır;
- Reçinece zengin veya kuru bölgelerin oluşmasını engeller, homojen dağılım sağlar;
- Düşük stren buhar emisyonu sağlar;
- El yatırma süreci içermez böylece düşük atık ve malzeme tasarrufu sağlar;
- Diğer yöntemler gibi reçine jelleşmesinin neden olduğu süre kısıtlaması yoktur; **tabakalar kuru olarak kalıba yerleştirilir;**
- Üretim kusurlarını azaltır, örneğin; reçinece zengin bölgelerin neden olduğu yüksek ekzotermik sıcaklıklar oluşmaz ve üretilen parçalarda çarpılma gözlenmez;
- Reçine infüzyon, tekrarlanabilir laminat özellikleri sağlar. Vakum basıncı ve reçine viskozitesi gibi proses değişkenleri ölçülebilir ve ayarlanabilir. Çalışanların katman sayısı ve elyaf sıralama işlemlerini laminasyon planı doğrultusunda yapması yeterlidir.

❑ DEZAVANTAJLARI

- Personelin infüzyon süreci konusunda eğitim almış olması gerekir; infüzyon sarf malzemeleri ve tesisatı bilgisine, laminasyon planlarını okuma ve uygulama becerisine sahip olması şarttır;
- VARTM metodu yatırım ve üretim maliyetleri bakımından, açık kalıplama yöntemlerine göre masraflıdır;
- Üretim parametre sayısı açık kalıplama yöntemlerine göre daha fazladır. Genel olarak atölye sıcaklığı ve nem değerleri, elyaf ağırlıkları, reçine, sertleştirici ve hızlandırıcı karışım oranları ve kalıp sıcaklığı gibi değişkenler kontrol edilir. Infüzyon sürecinde ilave olarak reçine viskozitesi ve vakum basınç seviyeleri gibi parametrelerin takip edilmesi gerekir;
- VARTM yöntemi herhangi bir boyuttaki parça için kullanılabilir, ancak karmaşık şekle sahip küçük parçalar için tercih edilmez, oysa tekne gövdeleri gibi kısa sürede üretilen geniş parçalar için en uygun tekniktir;
- Kalıp ve vakum torbasında oluşacak hava kaçaklarına karşı dikkatli olunmalıdır;
- VARTM yönteminde ise reçinenin kalıba aktarılması sonrası geri dönüş imkânsızdır, örneğin elektrik kesintisi nedeniyle vakum seviyesinin azalması veya hazır olmayan reçinenin katmanlara emdirilmesi üretimin sonlandırılmasına neden olmaktadır.

VARTM TEKNİĞİ ÇALIŞMA PRENSİBİ

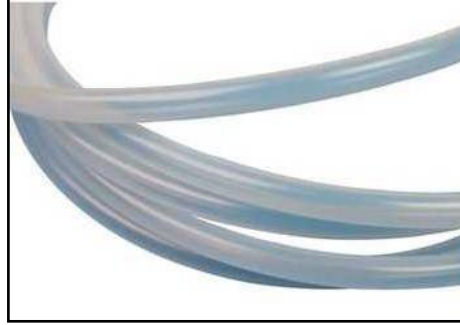
- VARTM yönteminde kalıp bileşenleri: kalıp, spiral hortum, T-bağlantılar, polietilen (PE) reçine ve vakum boruları, akış filesi, soyma kumaşı, sızdırmazlık macunu ve vakum naylonu olarak sıralanabilir.
- Bu yöntem dört (4) bölümden oluşur: vakum pompası, reçine kaçış deposu, kalıp ve reçine tankı.
- Sistem basit tanımıyla; kapalı kalıp sistemde reçinenin besleme hattından vakum hattına doğru ilerlemesini sağlayan infüzyon sürecini içermektedir.
- Reçine hatları kalıp içerisinde merkez, lineer ve çevresel besleme yapacak şekilde ayarlanmaktadır. Vakum ve besleme hatlarının farklı düzenlemesi ise üretimi sürelerini etkilemektedir



VARTM KALIP BİLEŞENLERİ



Spiral hortum



PE hortum



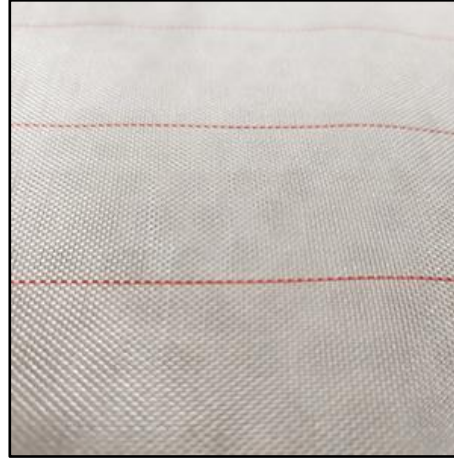
Vakum Naylonu



T-bağlantı



Akış filesi



Peel-ply (soyma kumaşı)



Sızdırmazlık macunu

VARTM ÜRETİM BİLEŞENLERİ



Vakum pompası



Reçine Kaçış Tankı



Modular vakum sistemi

VARTM KALIP VE ÜRETİM BİLEŞENLERİN GÖREVLERİ

- **Spiral hortum:** PE hortumların T-bağlantıları ile kalıp içerisinde bağlandığı hava ve reçine akışını sağlayan hortumlardır.
- **PE hortum:** Vakum ve reçine hatları için kullanılan hortumlardır.
- **Vakum naylonu:** Kapalı kalıplamayı sağlayan üretilecek ürünün üzerini kaplayan bileşendir.
- **Akış filesi:** Üretilecek tabakalı kompozit parçanın en alt ve en üst kısmında kullanılan ve reçine akışını sağlayan kalıp bileşenidir.
- **Peel-ply (soyma kumaşı):** Akış filesi altında kullanılan üretim sonrası akış filesinin üretilen parçadan sökülmesini sağlayan bileşendir.
- **Sızdırmazlık macunu:** Vakum naylonunu kalıp çevresine yapışmasını sağlayan bant malzemedir.
- **T-Bağlantı:** Spiral hortuma vakum ve reçine hatları PE hortumlarının bağlanmasını sağlar.
- **Vakum pompası:** Negatif basınç sağlayan VARTM üretim bileşenidir.
- **Reçine kaçış tankı:** Vakum hattına ulaşan reçinenin vakum pompasına ulaşmasını engelleyen VARTM üretim bileşenidir.

VARTM TEKNIĞİ İLE LAMİNAT KOMPOZİT ÜRETİMİ

AŞAMALARI

❑ VARTM yöntemi ile laminat tabaka üretimi şu aşamalardan oluşmaktadır:

- Kalıp ölçüsü alınarak elyaf katları önceden bir tezgâh üzerinde kesilmesi ve numaralandırma yapılması gerekir;
- Kalıbın temizlenir ve kalıp ayırıcı uygulanır;
- Kuru elyaflar laminasyon planına uygun şekilde kalıba yerleştirilmesi sağlanır;
- Kalıp içerisinde reçine ve vakum hatları için spiral hortumlar kesilir, spiral hortumlara vakum ve reçine emiş hortumlarının bağlanması için T bağlantılar takılır, çift taraflı sızdırmazlık macunu kalıbı çevreleyecek şekilde uygulanır;
- Vakum torbası kalıp üzerine yeterli basınç uygulayabilmesi için parça kalınlığı ve kalıp derinliği hesaba katılarak kesilir. Vakum torbası kesildikten sonra sızdırmazlık macunu ile kalıp çevresine yapıştırılır;
- Vakum ve reçine emiş hatları için polietilen hortumlar kesilir, spiral hortumlara T bağlantılar vasıtasıyla bağlanırlar. Vakum hortumu reçine kaçış kabına bağlanır, reçine emiş hortumu ise kapalı tutulur. Vakum torbasında kaçak olup olmadığı reçine kaçış kabı ve pompa üzerindeki manometreler karşılaştırılarak kontrol edilir;
- Laminasyon planına göre reçine miktarı belirlenir, bu miktar hazırlanırken hortumlarda kalacak reçine miktarı dikkate alınmalıdır. Reçineye gerekli sertleştirici ve hızlandırıcılar eklenir ve karıştırılır;
- Reçine hattı açılır ve kompozit yapının tamamı ıslandıktan sonra, reçine girişleri kapatılır ve laminat kompozit tabakanın kürleşmesine izin verilir. Kürleşme atmosfere açık ortamda veya fırınlama yöntemi (reçine kürleşme döngüsü dikkate alınır) ile yapılabilir.

FAYDALI LINKLER

- ❑ <https://www.youtube.com/watch?v=VodfQcrXpxc>
- ❑ <https://www.youtube.com/watch?v=x42LwtuU5fQ>
- ❑ <https://www.youtube.com/watch?v=DaSS5ShH0FA>
- ❑ <https://www.youtube.com/watch?v=mbrq2fDN8bA>
- ❑ <https://www.youtube.com/watch?v=wTwUg9BI6Uk>
- ❑ <https://www.youtube.com/watch?v=UgKvDw1E60E>
- ❑ https://www.youtube.com/watch?v=YWbGx_BJVvM
- ❑ <https://www.youtube.com/watch?v=P8ucNBRaBYs>