



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

**BUTEXCOMP**

# KOMPOZİT MALZEME TASARIMI VE MODELLENMESİ



T.C. SANAYİ VE  
TEKNOLOJİ BAKANLIğI



**BTSO**  
BURSA TİCARET VE SANAYİ ODASI



**BUTEKOM**  
Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Ar-Ge Merkezi



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

# 1. Kompozit Nedir?

Kompozit malzeme; iki ya da daha fazla sayıda farklı malzemenin en iyi özelliklerini tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro-düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan yeni malzemedir [1-5].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## i.Kompozit Malzeme Oluşturma Amaçları

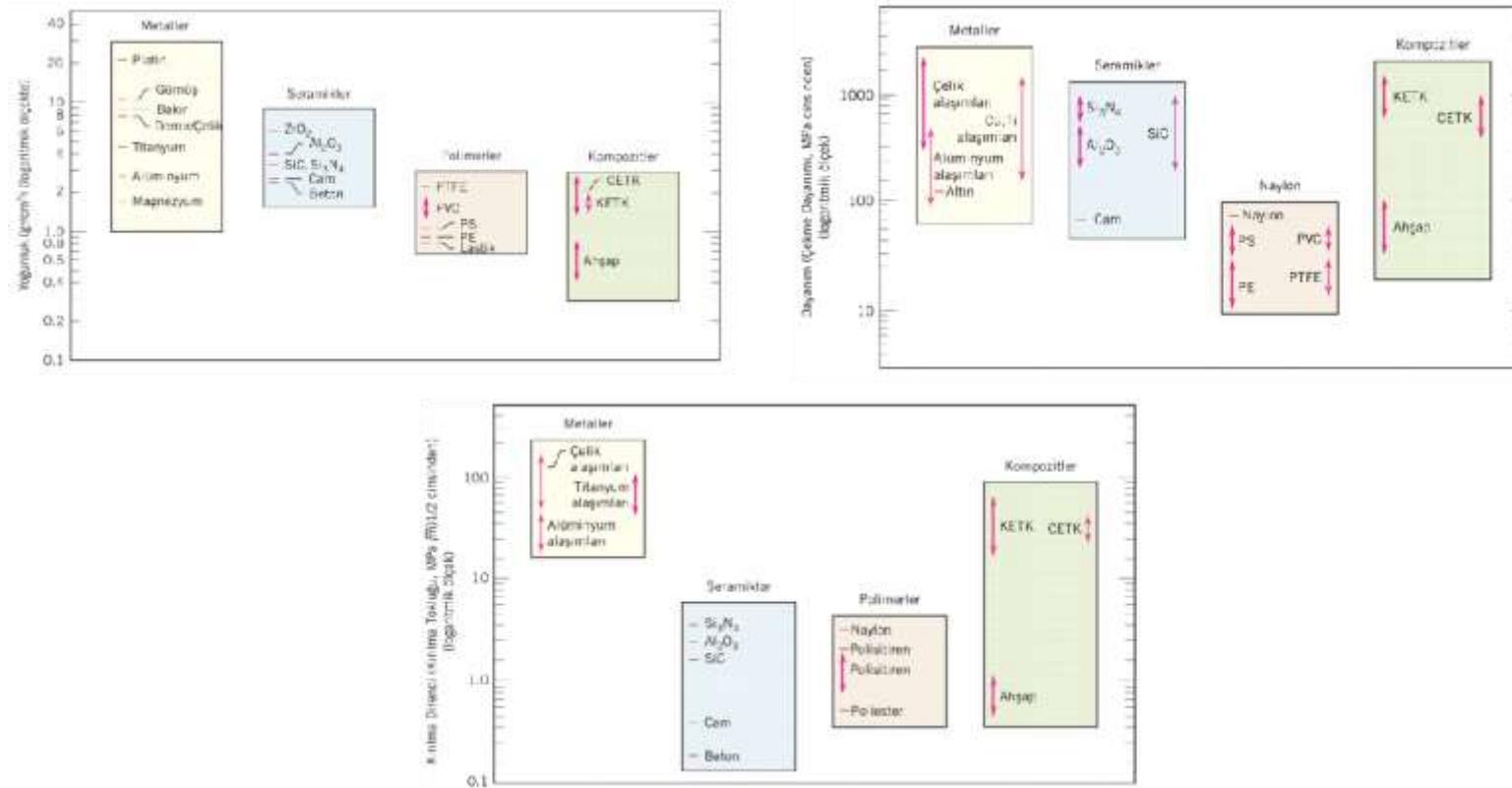
- Rijitlik
- Kırılma tokluğu
- Yüksek sıcaklık özellikleri
- Elektrik iletkenliği
- Hafiflik
- Çekme dayanımı
- Aşınma dayanımı
- Yorulma dayanımı
- Korozyon dayanımı
- Termal iletkenlik
- Akustik iletkenlik
- Ekonomiklik
- Estetik görünüm





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

# i. Kompozit Malzeme Oluşturma Amaçları

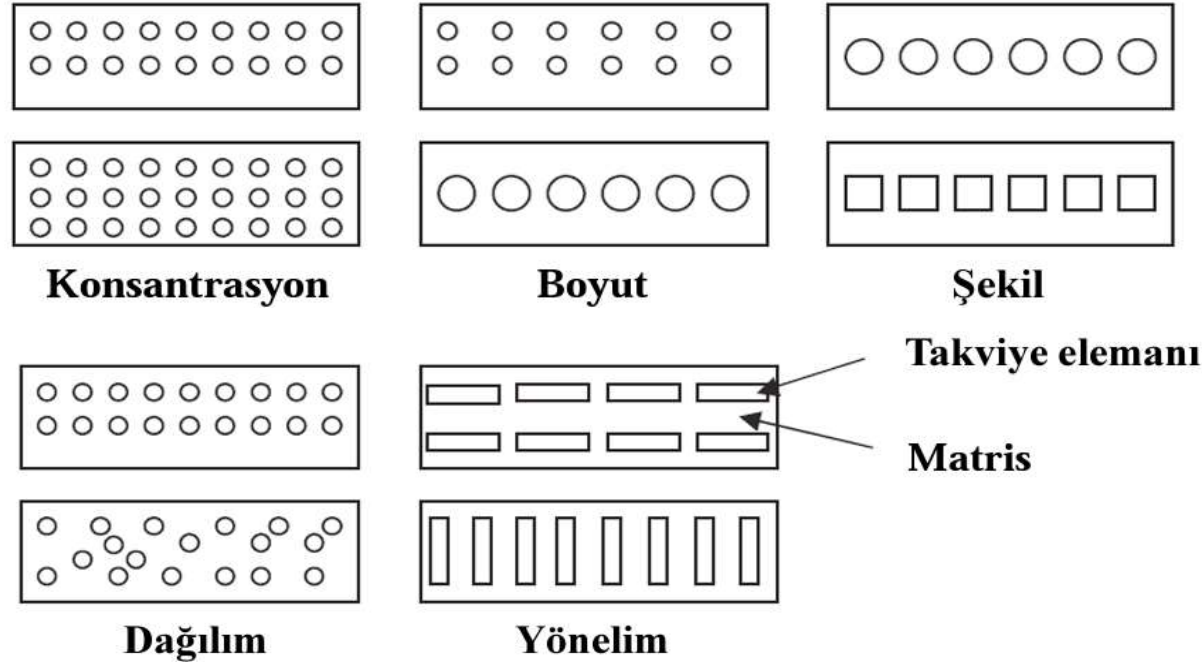


Şekil 1. Kompozitlerin mühendislik malzemeleriyle karşılaştırılması [6]



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## i.Kompozit Malzeme Oluşturma Amaçları

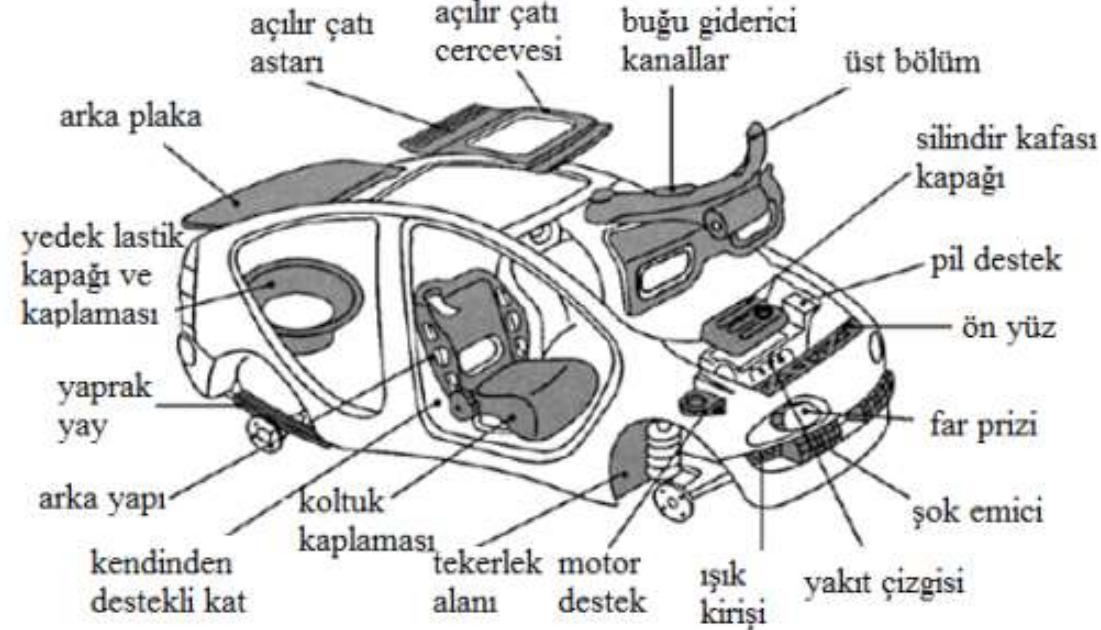


Şekil 2. Kompozitlerin özelliklerini etkileyen faz parçacıklarının çeşitli geometrik ve konumsal özelliklerinin şematik gösterimi [7]



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## ii. Kompozit Malzeme Kullanım Alanları



Şekil 3. Kompozit malzemelerin otomotiv sektöründeki kullanım alanları [8]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## ii. Kompozit Malzeme Kullanım Alanları



Şekil 4. Kompozit malzemelerin havacılık sektöründeki kullanım alanları [8]





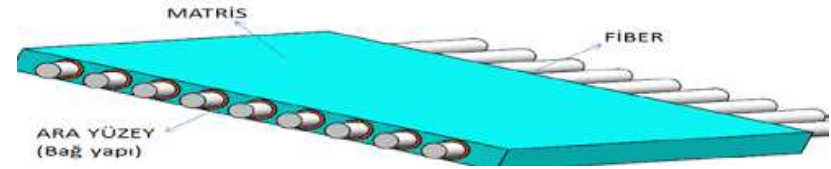
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler

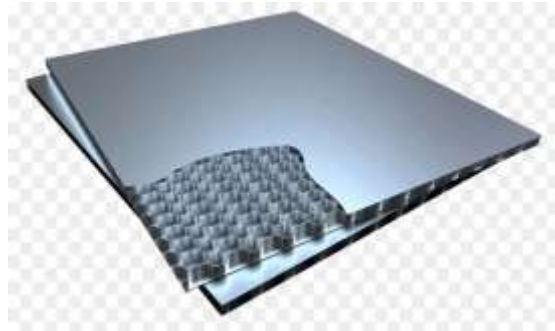
### Matris Malzemeleri

Ana malzeme/faz olarak ifade edilen matris malzeme polimer, metal, metal alaşımlı, seramik esaslı malzemelerden oluşur. Matrislerin 3 temel fonksiyonu vardır:

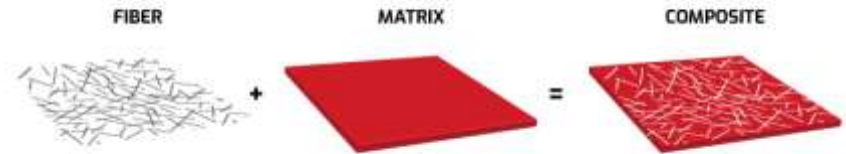
- 1) Elyafı bir arada tutmak
- 2) Yüğü elyafıya dağıtmak ve
- 3) Elyafı çevresel etkilere korumaktır.



Şekil 5. Kompozit Malzemedeki Arayüzey oluşumu [9]



Şekil 6. Sandviç kompozit yapı örneği [10]



Şekil 7. Kompozit Malzeme Yapısı [11]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler ve Özellikleri

### a. Epoksi Reçine Matrisler

Epoksiler iki ya da daha fazla epoksit içeren bileşenlerden oluşurlar. Polifenol'ün epikloridi ile bazik şartlarda reaksiyonu sonucu elde edilirler.

#### Avantajları

- Kapma mukavemetleri yüksektir.
- Elyaf yapılarda yüksek bağ mukavemeti sağlarlar.
- Yüksek aşınma direncine sahiptirler.
- Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir.
- Düşük ve yüksek sıcaklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler.

**Kullanım Alanları:** Temel olarak uçak-uzay uygulamalarında



Şekil 8. Epoksi reçine kullanım yerleri ve şekilleri [12-13]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler

### Polyester Reçine Matrisler

Polyester matrisler dibazik asitlerin, dihidrik alkoller (glikol) yada dihidrik fenollerle karışımının yoğunlaşması ile şekil alırlar. Polyesterlerin ana tipleri polyester bileşeninin doymuş asitle yada alternatif malzeme olarak glikolle modifikasyonu temeline dayanır.

#### Avantajları

- Takviyelerin nemini dışarı kolayca atabilmesini sağlayan düşük vikoze
- Düşük maliyet
- İyi çevresel dayanım

**Kullanım Alanları:** Genel olarak otomotiv, denizcilik, kimya ve elektriksel uygulamalarda



Şekil 9. Cam elyaf takviyeli polyester reçine kullanılmış uçak [14]



Şekil 10. Dekoratif amaçlı polyester reçine kullanımı [15]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler

### Polyester Reçine Matrisler

Polyester reçinelere benzerler. En önemli avantajları elyaf ve matris arasında iyileştirilmiş bir bağ mukavemetine sahip olmalıdır. Polyesterle glikolün bir kısmının yerine doymamış hidrosilik bileşenlerin kullanılması ile elde edilirler.

Korozif ortamlardaki kullanımlar için donatılı plastik bileşenlerin üretiminde yararlanılmaktadır.

Bu polimerler kimyasal dayanım gerektiren kimya tesislerinde, borularda ve depolama tanklarında kullanılmaktadır.

**Kullanım Alanları:** Spor ekipmanları, kimyasal konteynerler, basınçlı kaplar, savunma sanayi uygulamalarında



Şekil 11. Vinilester reçine kullanım alanları [16]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler

### Fenolik Reçine Matrisler

Fenolik reçinelerin ısı stabiliteleri, elektrik özellikleri, suya ve alkaliler dışındaki kimyasal maddelere dayanımları çok iyidir. Bu reçineler 300 °C'ye kadar sürekli, asbest lifleriyle donatılmaları halinde ise kısa süreli olarak 1000 °C'ye kadar kullanılabilirler.

**Kullanım Alanları:** Elektrik malzemesi ve eşyası yapımı, askeri amaçlı olarak özellikle mayın yapımında, katı kalıp bileşenlerinde



Şekil 12. 600-800 Ohm Termistörler Aşırı Akım Koruması [17]



Şekil 13. Rus yapımı TM-46 patlayıcı tanksavar mayını [18].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler

Silikon reçineler, diğerlerinden farklı olarak yapılarında karbon yerine inorganik esaslı silikonlar bulunan malzemelerdir. Mekanik ve elektriksel özelliklerini çok az değişikliklerle 250 °C'ye kadar koruyabilen silikon esaslı reçinelerin kullanımları, mekanik dayanımlarının diğer reçinelere göre daha düşük ve maliyetinin de genelde daha yüksek olması nedeniyle kısıtlıdır. Süpersonik arabalarda kullanılırlar.



Şekil 14. Süpersonik araba [19].







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler

Tablo 1. Bazı reçinelerin özellikleri [20]

Property	UP	Vinyl Ester	Epoxy	Phenolic	BMI	PMR-15	ACTP
Density (g cm <sup>-3</sup> )	1.2	1.2	1.2–1.3	1.3	1.4	1.32	1.35
Tensile modulus (GPa)	4.0	3.3	4.5	3.0	4–19	3.9	4.1
Tensile strength (MPa)	80	75	130	70	70	38.6	82.7
Strain to failure (%)	2.5	4	2–6	2.5	1	1.5	1.5
Cure shrinkage (%)	5–12	5.4–10.3	1–5	—	—	—	—
CTE (10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup> )	80	50	110	10	80	—	—
T <sub>g</sub> (°C)	80	80	180	—	230–290	340	320
Service temperature (°C)	60–200	100	90–200	120–200	250–300	315	280





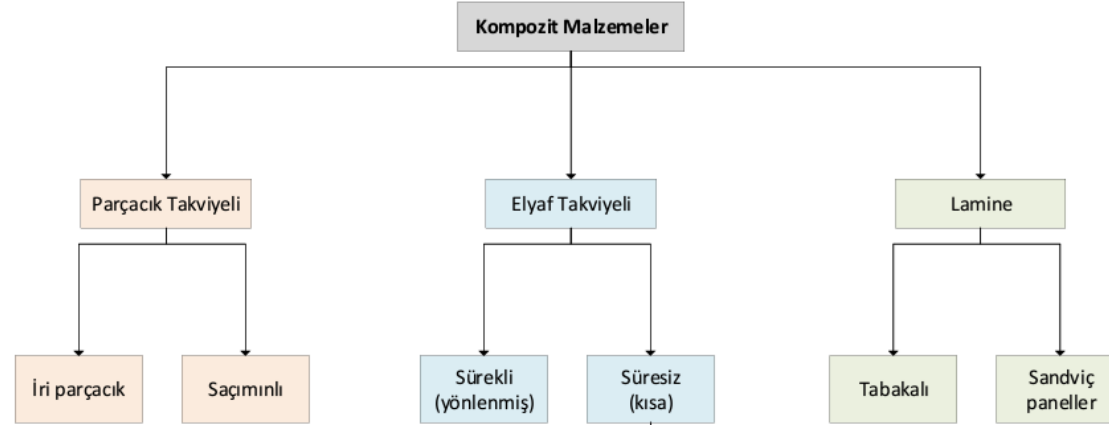


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler

### Parçacık Takviye Malzemeleri

Takviye Elemanlarını Parçacık takviye elemanları, süresiz takviye elemanları ve sürekli (fiber) takviye elemanları olarak sınıflandırmak mümkündür [22].



Şekil 15. Kompozit malzemelerin takviyeye göre sınıflandırılması [21].



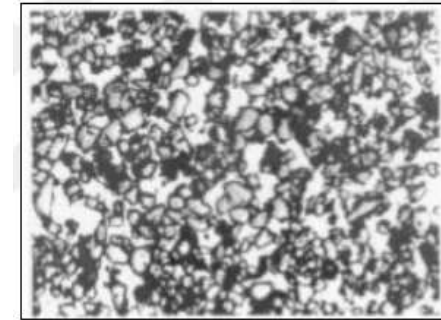
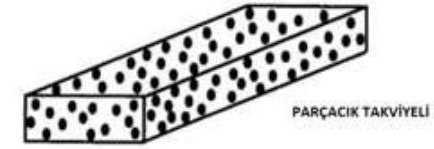


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler

Parçacık takviye elemanları  
Takviye malzemesinin boyutları, takviye malzeme özelliklerinin, kompozit malzemeye olan katkısını belirler. Parçacıklar, çoğunlukla kompozitin sertliğini artırmada etkili fakat dayanımı artırmada fazla bir etkiye sahip değildir.

Parçacık dolgulu malzemede performansı etkileyen çok değişik unsurlar vardır. Bunların içinde, parçacık boyutları, boyut dağılımları, yüzey enerjileri, hacimsel oranlar, homojen dağılıp dağılmadıkları, eksen oranı kompozit özelliklerini etkiler



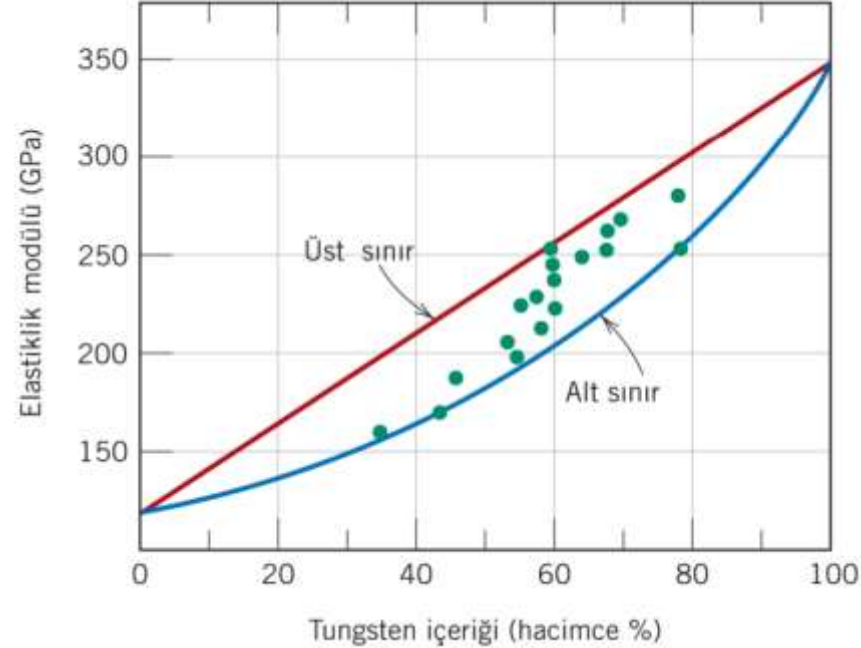
Şekil 16. Al matrisli SiC parçacıklı takviyeli kompozit malzeme mikroyapısı [23]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler



Şekil 17. Bakır matris içerisinde saçınmış tungstenin elastik modölü-hacim oranı grafiği

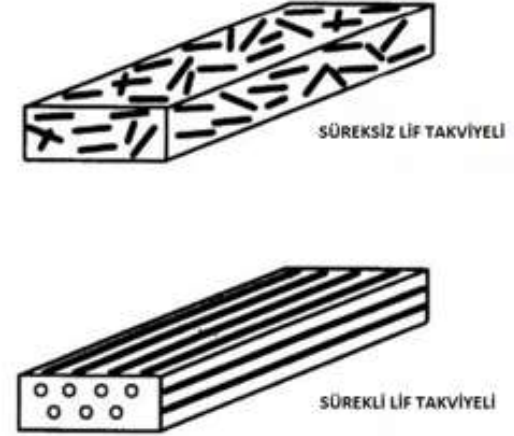


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler

Elyaf takviye elemanları

Elyaf lar kompozit içerisinde farklı tür yapı lar da bulunabilirler. Bunlar sürekli ve süreksiz lif takviye li olmak üzere iki şekilde sınıflandırılabilir. En yaygın kullanılan elyaf malzemelerine; karbon elyaf, cam elyaf ve aramid elyaf örnek verilebilir. Sürekli elyaf takviye li kompozitler anizotropik özelliktedirler.



Şekil 18. Sürekli-süreksiz fiber takviye li kompozit yapısı [21]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler

Tablo 2. Bazı elyaf takviyeli malzemelerin özellikleri

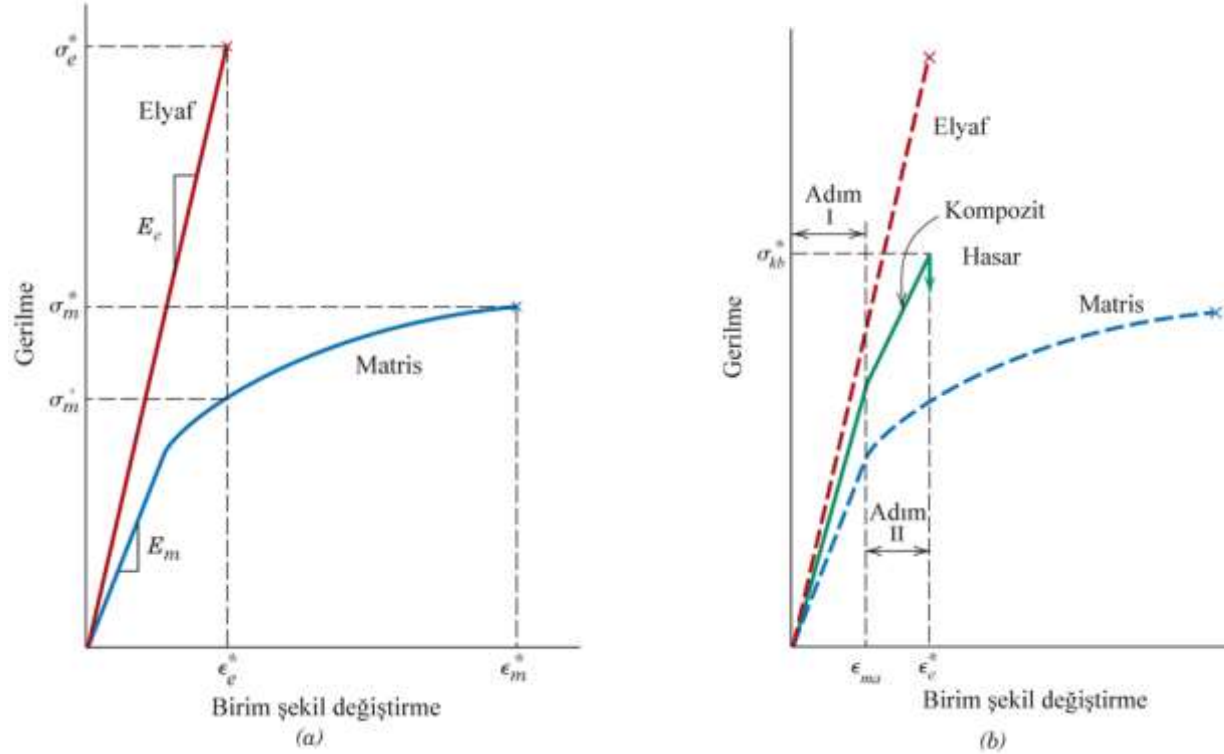
Malzeme	Özgül Ağırlık	Çekme Dayanımı [GPa]	Özgül Dayanım (GPa)	Elastiklik Modülü [GPa]	Özgül Modül (GPa)
<i>Viskerler</i>					
Grafit	2,2	20	9,1	700	318
Silisyum nitrür	3,2	5-7	1,56-2,2	350-380	109-118
Alüminyum oksit	4,0	10-20	2,5-5,0	700-1500	175-375
Silisyum karbür	3,2	20	6,25	480	150
<i>Elyaf</i>					
Alüminyum oksit	3,95	1,38	0,35	379	96
Aramid (Kevlar 49)	1,44	3,6-4,1	2,5-2,85	131	91
Karbon <sup>g</sup>	1,78-2,15	1,5-4,8	0,70-2,70	228-724	106-407
E-camı	2,58	3,45	1,34	72,5	28,1
Bor	2,57	3,6	1,40	400	156
Silisyum karbür	3,0	3,9	1,30	400	133
UHMWPE (Spectra 900)	0,97	2,6	2,68	117	121
<i>Metalik Teller</i>					
Yüksek dayanımlı çelik	7,9	2,39	0,30	210	26,6
Molibden	10,2	2,2	0,22	324	31,8
Tungsten	19,3	2,89	0,15	407	21,1





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler



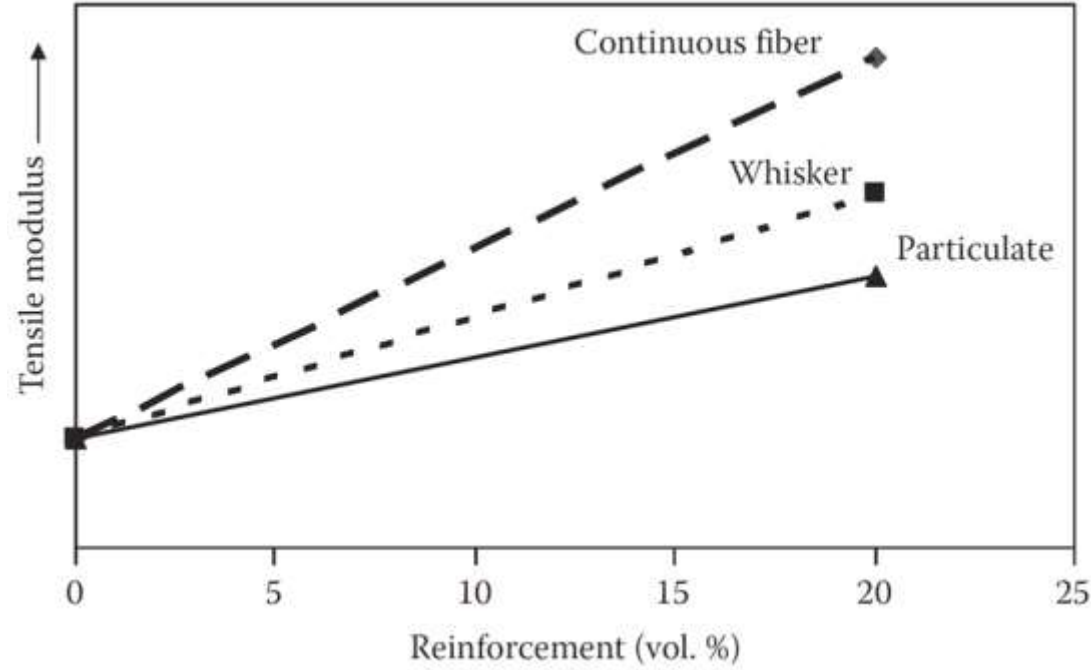
Şekil 19 . Elyaf takviyeli kompozit malzemesinin gerilme-gerinim grafiği





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler



Şekil 20 . Takviye elemanına göre katkı oranının-çekme modülüne etkisi [7]



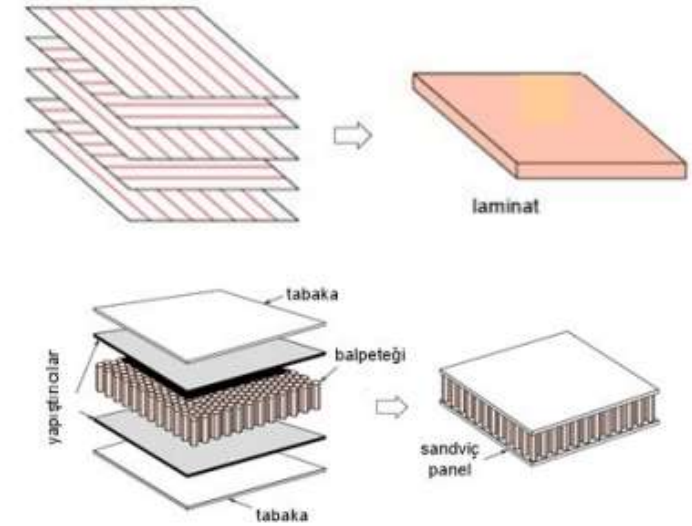
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler

### Yapısal Kompozitler

#### Tabakalı kompozitler

Temel malzeme eksenleri doğrultusunda farklı yönlerdeki tabaka ve katmanların üst üste gelecek bir şekilde yerleştirilmesiyle oluşmaktadır. Tabakalı kompozitler; matris içerisinde rastgele yönlenmiş elyaflar, tek yönlü elyaflar veya farklı türde elyaf takviyeli tabakalardan oluşabilir



Şekil 21. Tabakalı kompozitlerin yapısal diziliş ve sandviç panellerin yapısı [24].



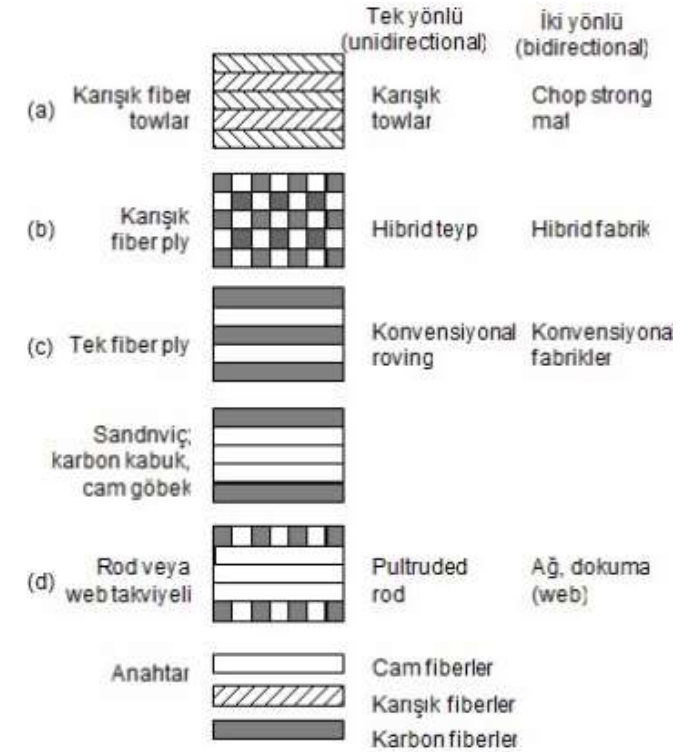


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## iii. Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler

### Hibrit kompozitler

İki ya da daha fazla takviye elemanının matris ile bir araya getirilmesiyle oluşturulan daha iyi mekanik özelliklere sahip yeni malzemelere hibrit kompozitler denir. En çok bilineni cam ve karbon elyaf takviyeli polimerik reçinelerdir. Hafif, su ve hava taşımacılığı ve spor malzemelerinde kullanılmaktadır.



Şekil 22. Farklı hibrit konfigürasyonlar ve tipik tek-yönlü ve iki yönlü örnekler





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 2. Kompozit Malzeme Çeşitleri

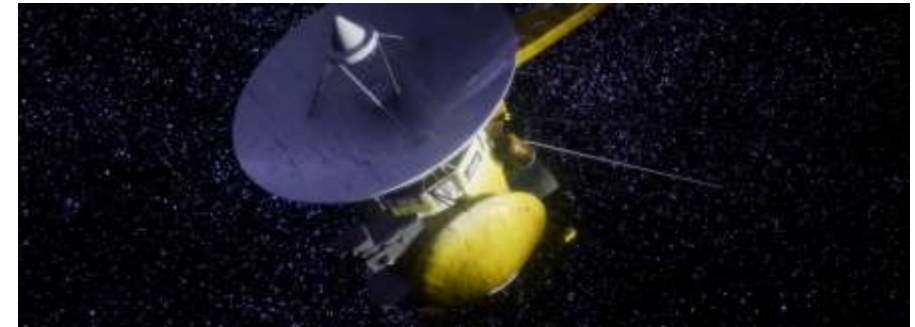
### i. Metal Matris Kompozitler (MMC)

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak MMC'ler elde edilirler (Yıldırım, 2009).

**Kullanım alanları:** Daha çok uzay ve havacılık alanlarında



Şekil 23. NASA Hubble Uzay Telekobu [25]



Şekil 24. Türkiye Uzay Ajansı Uydu Bileşenleri [26]

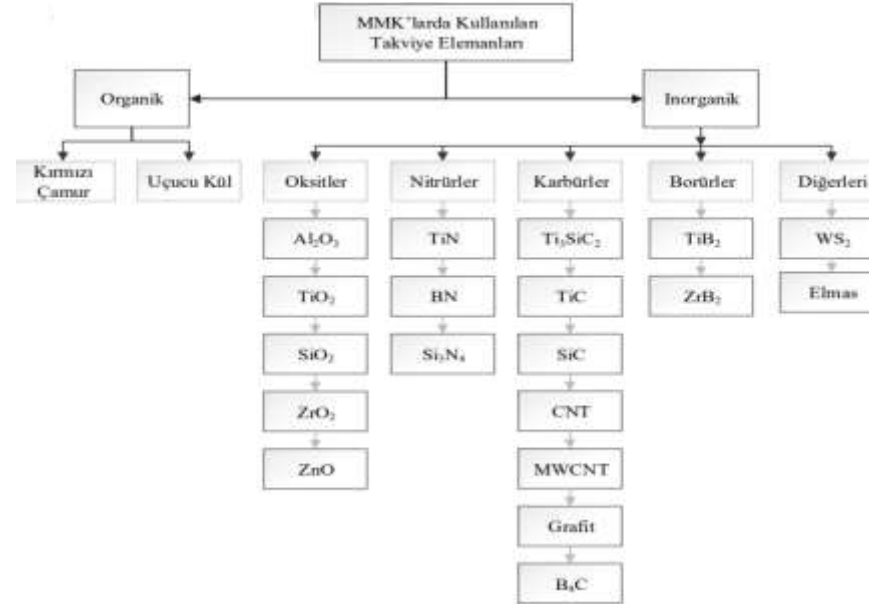




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 2. Kompozit Malzeme Çeşitleri

### i. Metal Matris Kompozitler (MMC)



Şekil 25. Metal matrisli kompozitlerde kullanılan takviye elemanları [27]



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 2. Kompozit Malzeme Çeşitleri

### i. Metal Matris Kompozitler (MMC)

**Tablo 3.** Sürekli ve yönlenmiş elyafı takviye edilmiş bazı metal matrisli kompozit malzemelerin özellikleri [28]

<i>Elyaf</i>	<i>Matris</i>	<i>Elyaf İçeriği (%)</i>	<i>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</i>	<i>Elyaf Yönünde Çekme Modülü (GPa)</i>	<i>Elyaf Yönünde Çekme Dayanımı (MPa)</i>
Karbon	6061 Al	41	2,44	320	620
Bor	6061 Al	48	—	207	1515
SiC	6061 Al	50	2,93	230	1480
Alümina	380,0 Al	24	—	120	340
Karbon	AZ31 Mg	38	1,83	300	510
Borsik	Ti	45	3,68	220	1270



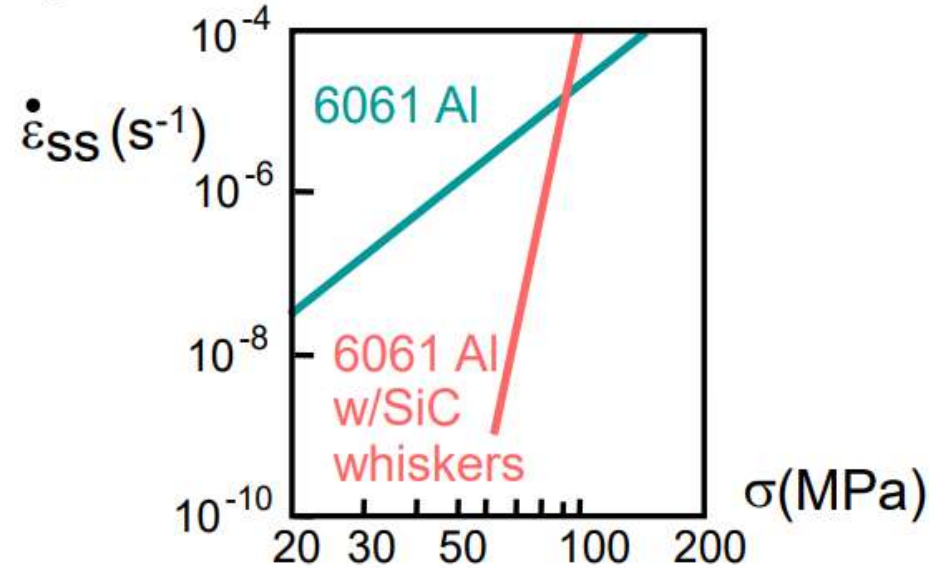




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 2. Kompozit Malzeme Çeşitleri

### i. Metal Matris Kompozitler (MMC)



Şekil 26. Metal matrisli kompozit malzemelerdeki artan sürtünme direnci değişimi [29]



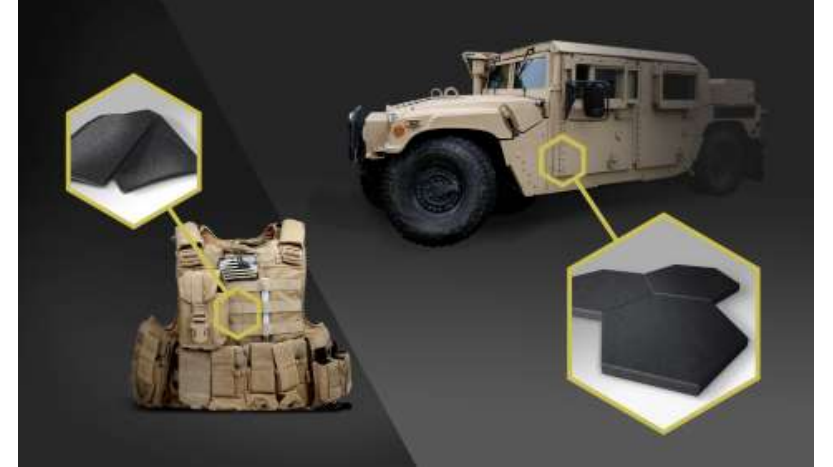
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 2. Kompozit Malzeme Çeşitleri

### ii. Seramik Matris Kompozitler (CMC)

Bu amaçla yapısal ve fonksiyonel nitelikli yüksek teknoloji seramikleri kullanılmaktadır. Başlıcaları  $Al_2O_3$ , SiC,  $Si_3N_4$ ,  $B_4C$ , CbN, TiC, TiB, TiN, AlN' dir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir yada bir kaçı beraber kullanılarak CMC' ler elde edilir.

**Kullanım alanları:** Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar imali ile uzay araçları



Şekil 27. Seramik matrisli kompozit malzeme örnekleri [30]



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 2. Kompozit Malzeme Çeşitleri

### ii. Seramik Matris Kompozitler (CMC)

**Tablo 4.** Farklı SiC visker oranlarında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> malzemelerinin kırılma dayanımı ve kırılma tokluğu değerleri [31]

<i>Visker İçeriği (hacimsel %)</i>	<i>Kırılma Dayanımı (MPa)</i>	<i>Kırılma Tokluğu (MPa√m)</i>
0	—	4,5
10	455 ± 55	7,1
20	655 ± 135	7,5–9
40	850 ± 130	6

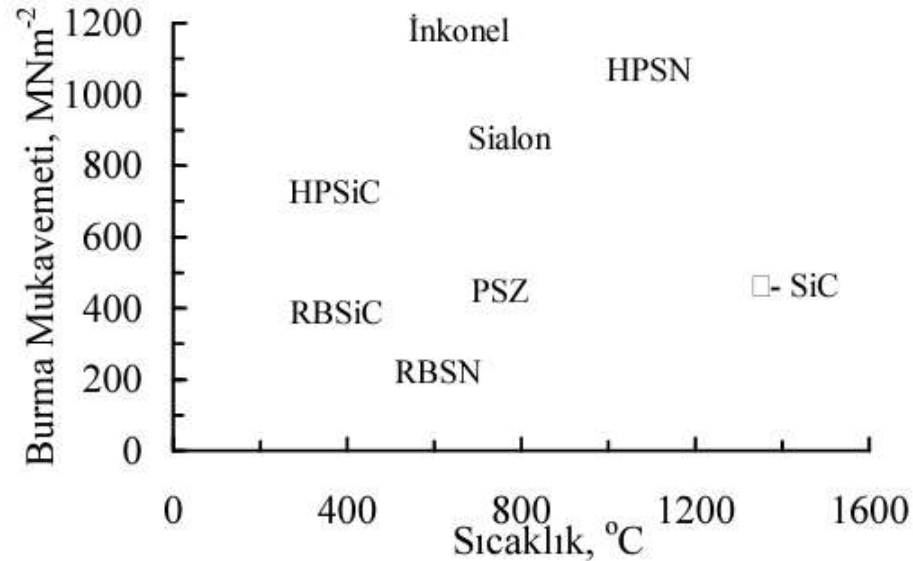




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 2. Kompozit Malzeme Çeşitleri

### ii. Seramik Matris Kompozitler (CMC)



HPSN: Sıcak preslenmiş Silisyum Nitrür  
RBSN: Reaksiyon bağlı Silisyum Nitrür  
HPSiC: Sıcak preslenmiş Silisyum Karbür  
a - SiC: Sinterlenmiş Silisyum Karbür  
PSZ: Kısmen Stabilize edilmiş Zirkonya

Şekil 28. Seramik kompozitlerin yüksek sıcaklık mukavemetleri [32]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

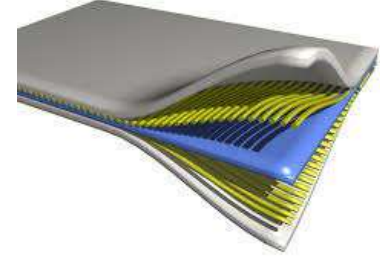
## 2. Kompozit Malzeme Çeşitleri

### iii. Polimer Matris Kompozitler (PMC)

Liflerle pekiştirilmiş polimer kompozitler endüstride çok geniş kullanma alanına sahiptir. Pekiştirici olarak cam, karbon, kevlar ve bor lifleri kullanılır.

Pekiştirici liflerin miktarı arttıkça kompozitin mukavemeti yükselir. Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet (mukavemet/ özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülüdür.

**Kullanım alanları:** Uçak ve uzay endüstrisinde alüminyum alaşımlarına tercih edilir.



Şekil 29. Plastik matrisli kompozit malzeme örnekleri [33,34]



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 2. Kompozit Malzeme Çeşitleri

### iii. Polimer Matris Kompozitler (PMC)

Tablo 5. Rastgele yönlenmiş Cam elyaf takviyeli ve saf haldeki polikarbonatın özellikleri [35]

Özellik	Takviyesiz	Elyaf Takviye (% Hacimce)		
		20	30	40
Özgül ağırlık	1,19–1,22	1,35	1,43	1,52
Çekme Dayanımı [MPa]	59–62	110	131	159
Elastiklik Modülü [GPa]	2,24–2,345	5,93	8,62	11,6
Uzama (%)	90–115	4–6	3–5	3–5
Darbe dayanımı, çentik Izod (N/cm)	21–28	3,5	3,5	4,4



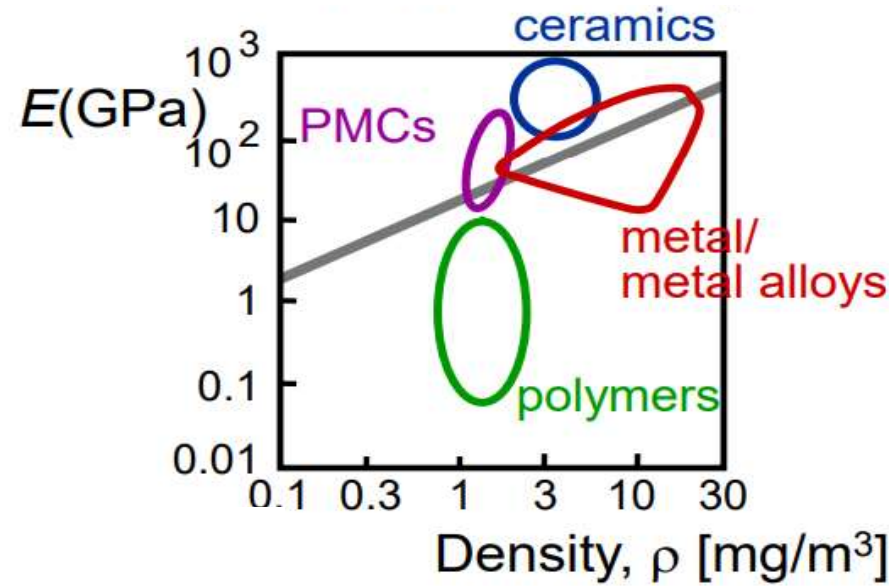




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 2. Kompozit Malzeme Çeşitleri

### iii. Polimer Matris Kompozitler (PMC)



Şekil 30. Polimer matrisli kompozit malzemelerdeki artan  $E/\rho$  değişimi [29]



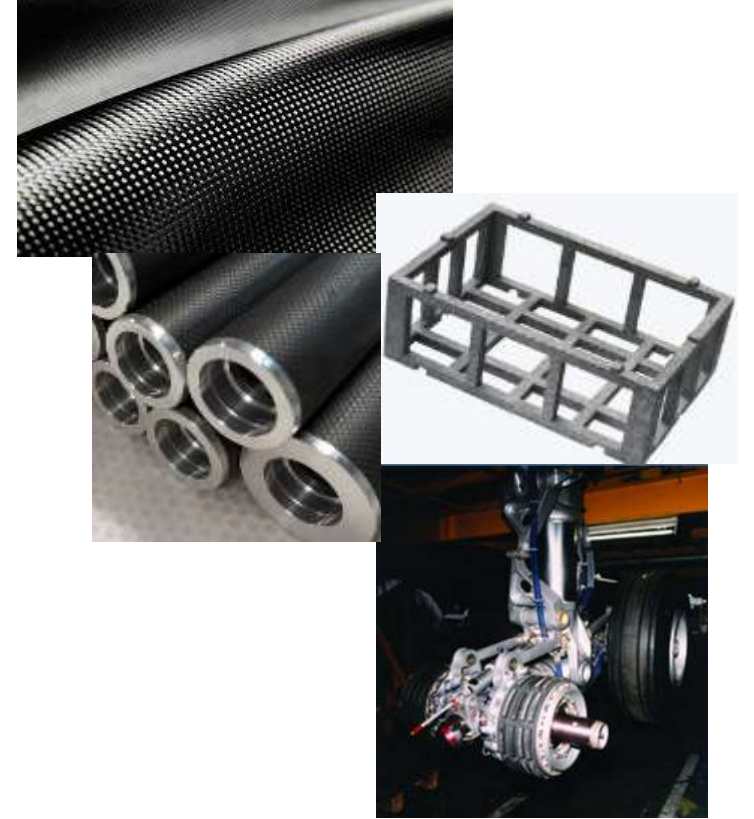
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 2. Kompozit Malzeme Çeşitleri

### IV. Karbon-karbon Kompozitler

Karbon esaslı matris içerisine karbon fiberlerinin yerleştirilmesi ile üretilmektedir.

**Kullanım alanları:** Özgün özelliklerinden dolayı elektronik, otomotiv ve diğer ulaştırma vasıtaları, savunma sanayi, endüstriyel fırınlar, çevre ve enerji alanlarında, roket motorları, yüksek performanslı otomobil frenleri, tren fren balataları ve hava araçları için sürtünme malzemesi olarak



Şekil 31. Karbon-karbon kompozit malzeme örnekleri [36,37]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

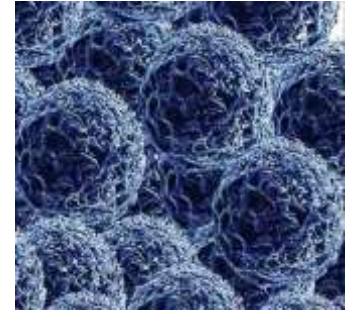
## 2. Kompozit Malzeme Çeşitleri

### V. Nano Kompozitler

Malzemeyi oluşturan farklı fazlar arasında nano ölçekli tekrar mesafelerine sahip yapıların bulunduğu çok fazlı katı kompozitlerdir.

**Kullanım alanları:** Doğada deniz kulağı kabuğu ve kemiğinin yapısında bulunur.

- Bilgisayar çipleri için ince film kapasitörler
- Yeni yangın geciktirici malzemeler
- Korozyon önleyici bariyer kaplamalar
- Üstün mukavemetli lifler ve filmler
- Yağlayıcı ve streç boyalar



Şekil 32. Nano kompozit malzeme örnekleri [38,39]





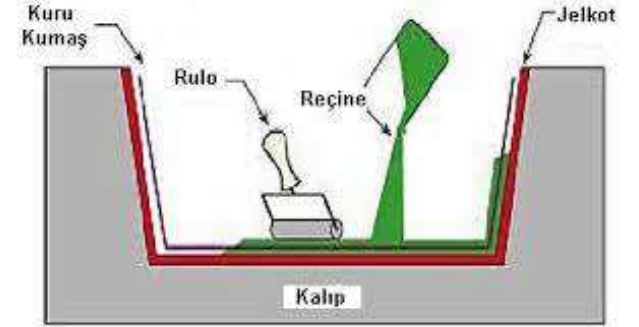
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### i. Açık Kalıp Üretim Yöntemleri

#### a. Elle Yatırma Üretim Yöntemi

En az miktarda ekipman gerektirdiği için **en yaygın ve en ucuz açık kalıplama yöntemidir**. Elyaf takviyeleri bir kalıba elle yerleştirilir ve reçine bir fırça veya rulo ile uygulanır. Bu işlem, tekneler, depolama tankları, küvetler ve duşlar dahil olmak üzere hem büyük hem de küçük parçaların üretiminde kullanılır.



Şekil 33. Elle yatırma yöntemi [40,41]

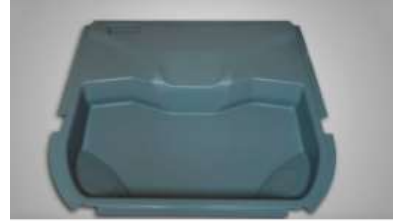




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### a. Elle Yatırma Üretim Yöntemi



Şekil 34. Elle yatırma yöntemi ile üretilen kompozit malzemeler





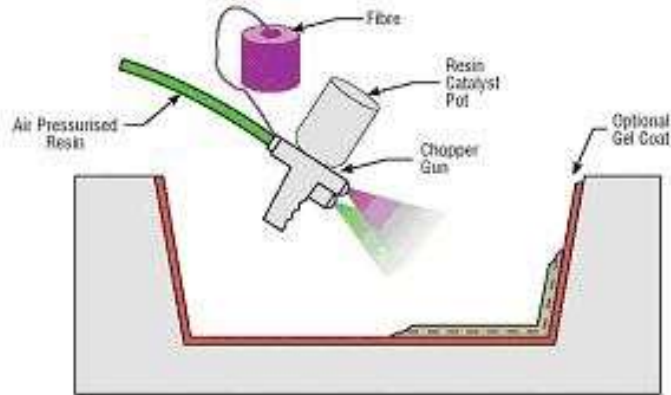
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### i. Açık Kalıp Üretim Yöntemleri

#### b. Püskürtme Üretim Yöntemi

Bu üretim yönteminde operatör reçine ve kırılmış elyafları püskürten bir ekipman yardımıyla kalıp yüzeyine uygulama yapar.



Şekil 35. Püskürtme yöntemi [42,43]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### b. Püskürtme Üretim Yöntemi



Şekil 36. Püskürtme yöntemi ile üretilen kompozit malzemeler



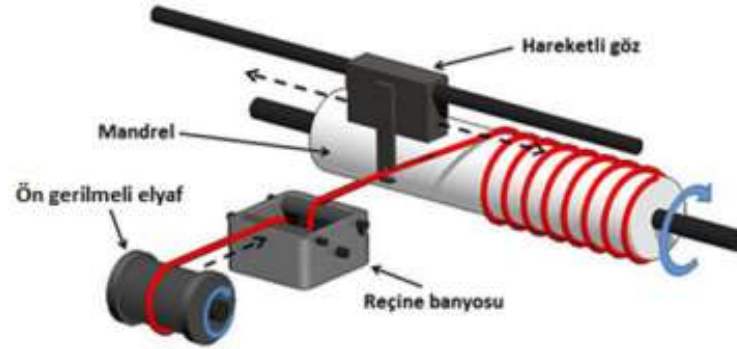
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### i. Açık Kalıp Üretim Yöntemleri

#### c. Filament/Elyaf sarma Üretim Yöntemi

Sürekli elyafın reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp (mandrel) üzerine sarılmasıdır. Sürekli elyafın farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilir.



Şekil 37 . Elyaf sarma yöntemi [44,45]



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### c. Filament/Elyaf Sarma Üretim Yöntemi



Şekil 38. Filament/Elyaf sarma yöntemi ile üretilen kompozit malzemeler





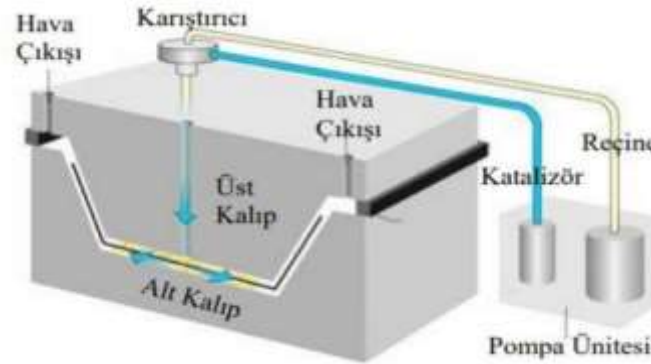
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### ii. Kapalı Kalıp Üretim Yöntemleri

#### a. Reçine Transfer Kalıplama (RTM)

Kuru elyaf takviyelerin kalıp boşluğuna yerleştirilip, sıvı reçinenin kalıp içerisine enjekte edilmesi esasına dayanan bir üretim yöntemidir.



Şekil 39 . Reçine transfer kalıplama yöntemi [46,47]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### a. Reçine Transfer Kalıplama(RTM)



Şekil 40. Reçine transfer kalıplama yöntemi ile üretilen kompozit malzemeler







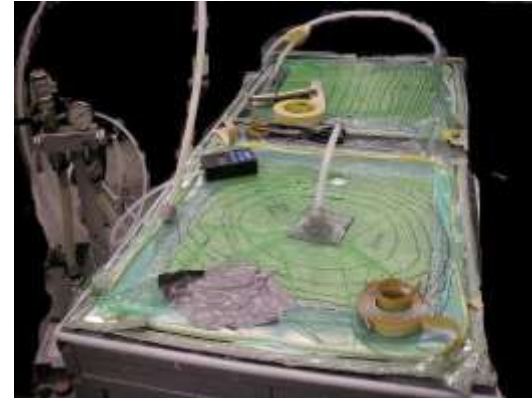
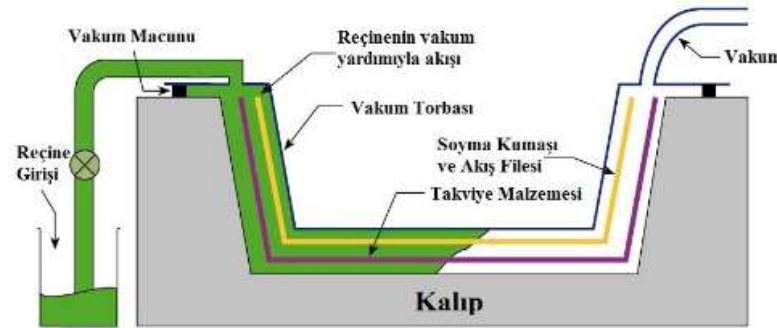
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### ii. Kapalı Kalıp Üretim Yöntemleri

#### b. Vakum İnfüzyon

Bu yöntem RTM yöntemine ek olarak içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin elyaf içine iyi işlemesi için vakum kullanılmasıdır.



Şekil 41 . Vakum infüzyon yöntemi [48,49]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### b. Vakum İnfüzyon



Şekil 42. Vakum infüzyon yöntemi ile üretilen kompozit malzemeler



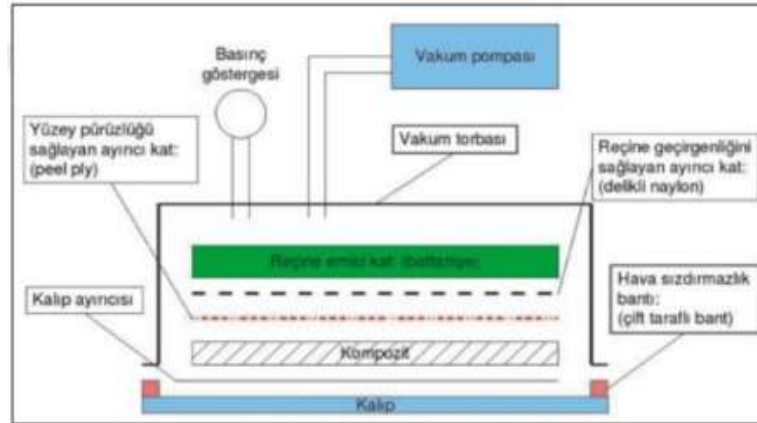
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### ii. Kapalı Kalıp Üretim Yöntemleri

#### c. Vakum Torbalama

Vakum torbası kullanılarak, ıslatılmış elyafların (el yatırması sonrası) yada prepreglerin vakum altında sertleşmesi esasına dayalı bir üretim yöntemidir. Bu uygulamada amaç; fazla reçinenin ve hava boşluklarının kompozit yapı içerisinde alınmasını sağlamak ve yüksek elyaf oranına sahip ürün elde etmektir.



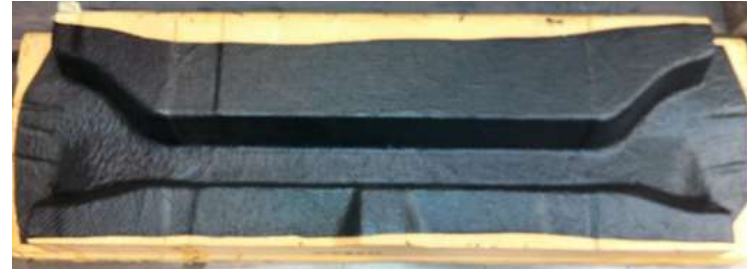
Şekil 43. Vakum torbalama yöntemi [49,50]



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### c. Vakum Torbalama



Şekil 44. Vakum torbalama yöntemi ile üretilen kompozit malzemeler





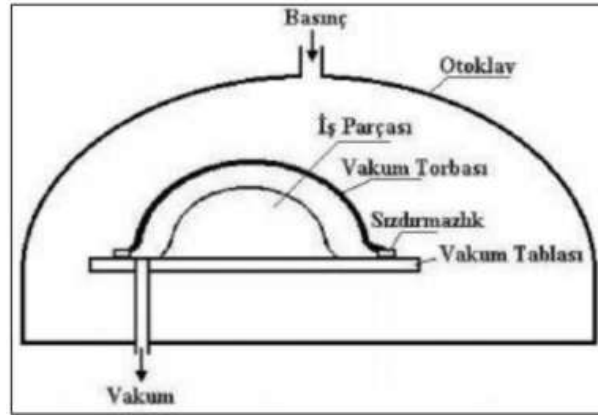
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### ii. Kapalı Kalıp Üretim Yöntemleri

#### d. Otoklav+Vakum Torbalama

Vakum torbası kullanılarak, ıslatılmış elyafların (el yatırması sonrası) yada prepreglerin vakum altında sertleşmesi esasına dayalı bir üretim yöntemidir. Bu uygulamada amaç; fazla reçinenin ve hava boşluklarının kompozit yapı içerisinde alınmasını sağlamak ve yüksek elyaf oranına sahip ürün elde etmektir.



Şekil 45 . Otoklav+Vakum torbalama yöntemi [51,52]



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### d. Otoklav+Vakum Torbalama



Şekil 46. AV-8B kanat bölümünün karbon fiber-epoksi laminatı kesilerek kürlenmesi için otoklava yerleştiriliyor







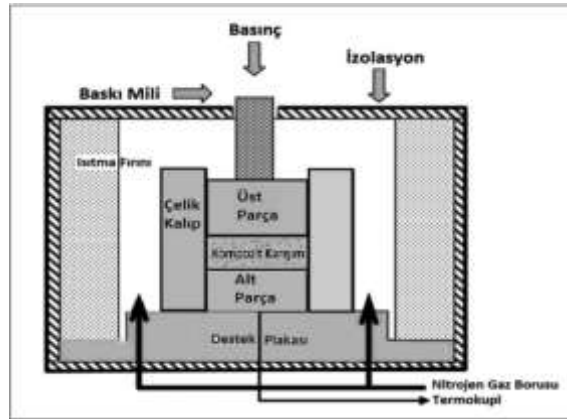
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### ii. Kapalı Kalıp Üretim Yöntemleri

#### e. Sıcak Presleme (SMC-BMC-Prepreg)

Hazır kalıplama bileşenlerinin; metal kalıplarda preslenerek ısı ve basınç etkisiyle sertleştirilmesi esasına dayalı bir üretim yöntemidir. Kompozitlerin seri üretimine uygun bir yöntemdir.



Şekil 47. Sıcak presleme yöntemi [47,53]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### e. Sıcak Presleme (SMC- BMC-Prepreg)



Şekil 48. Sıcak Presleme yöntemi ile üretilen kompozit malzemeler



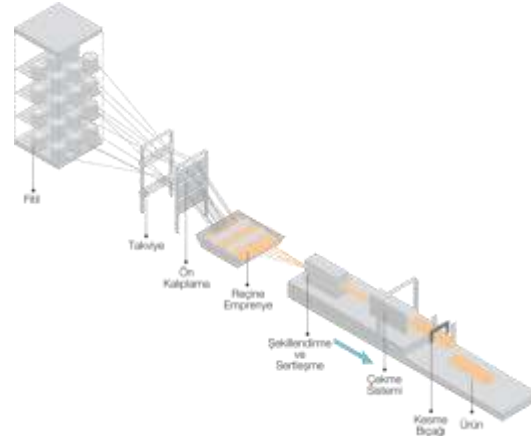
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### ii. Kapalı Kalıp Üretim Yöntemleri

#### f. Pultrüzyon

Pull ve Extrusion kelimelerinden türetilmiş sürekli profil, boru vb. kompozit ürünlerin üretimini sağlayan bir yöntemdir. Reçine banyosunda emdirilmiş elyaf fitillerinin yada kumaşların sıcak kalıplardan geçirilerek şekillendirilmesi ve sertleşmesini takiben makine hattı boyunca çekilmesi ve belirli boyutlarda kesilmesi esasına dayanır.



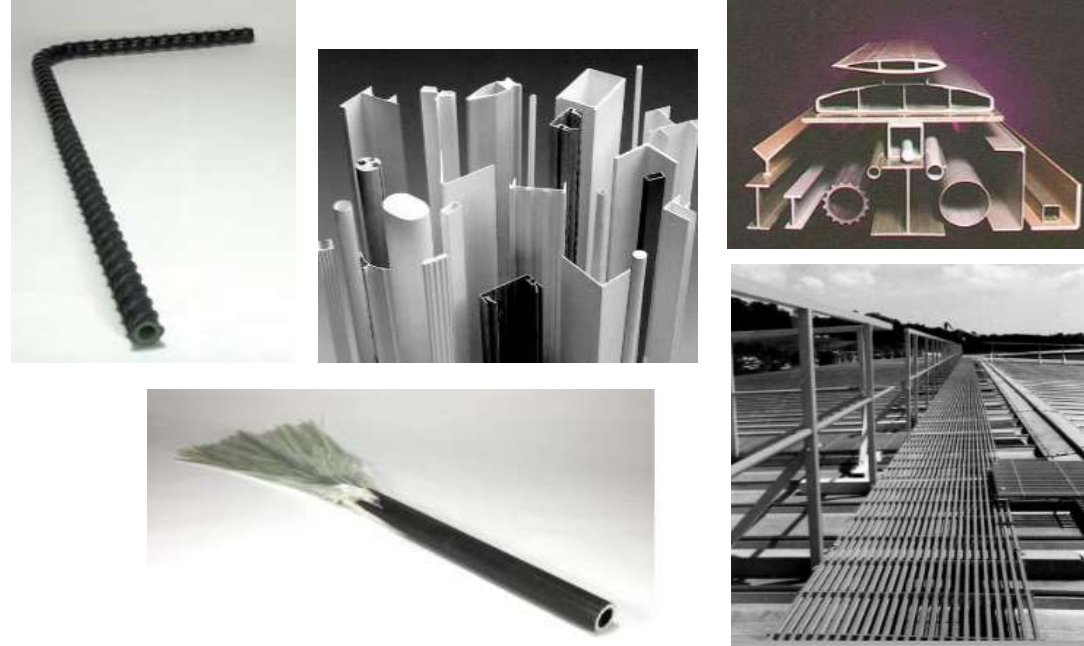
Şekil 49. Pultrüzyon yöntemi [47,54]



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### f. Pultrüzyon



Şekil 50. Pultrüzyon yöntemi ile üretilen kompozit malzemeler





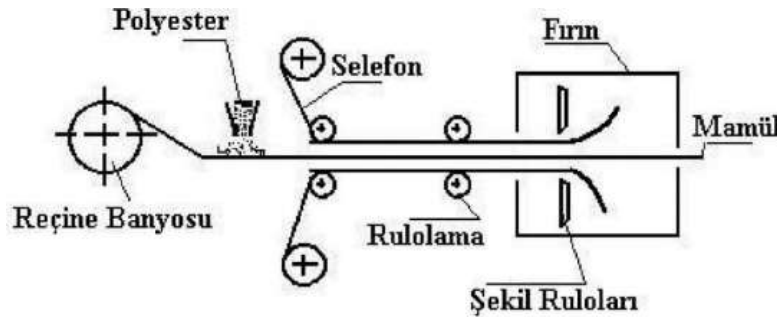
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### ii. Kapalı Kalıp Üretim Yöntemleri

#### g. Sürekli Laminasyon

Levha formunda kompozit ürünlerin üretiminin sağlandığı prosestir. Özel laminasyon makinelerinde elyaflarla takviyelendirilen reçinenin ısı ve basınç altında hızlı bir şekilde sertleştirilip soğutulmasını takiben bobinlere sarılması yada belirli boyutlarda kesilmesi ile elyaf takviyeli kompozit paneller elde edilmektedir.



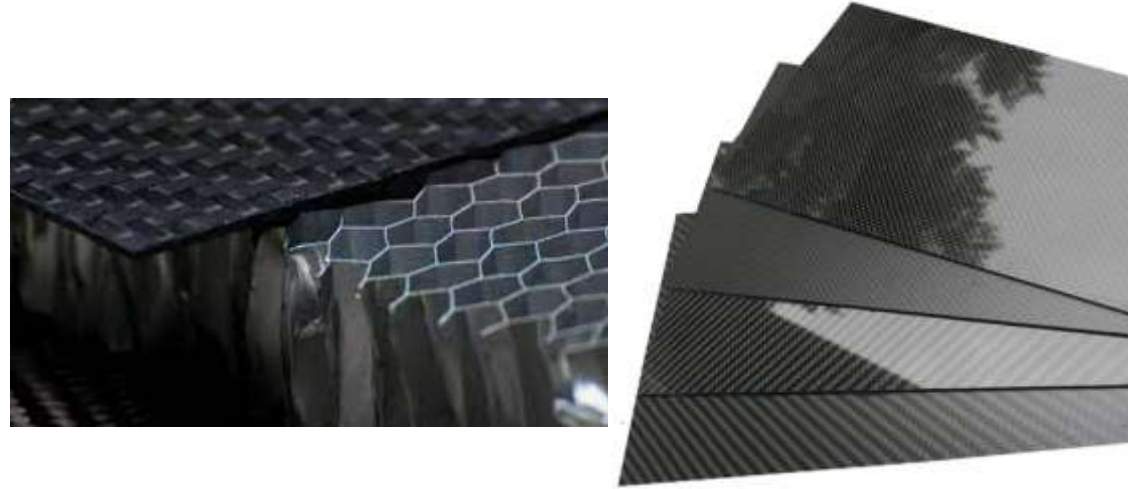
Şekil 51. Sürekli laminasyon yöntemi [47,55]



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### g. Sürekli Laminasyon



Şekil 52. Sürekli laminasyon yöntemi ile üretilen kompozit malzemeler







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### ii. Kapalı Kalıp Üretim Yöntemleri

#### h. Reaksiyonlu Üretim (RRIM-SRIM)

İki reaktif bileşenin karıştırılarak kalıp boşluğuna enjekte edilmesi ve burada reaksiyon sonucu sertleşmesi esasına dayalı bir üretim yöntemidir. Bu uygulamada ki reçineler genellikle poliüretan (PUR) olup kimi zaman disiklopentadien (DCPD)'de kullanılmaktadır.



Şekil 53. Reaksiyonlu üretim yöntemi [47]

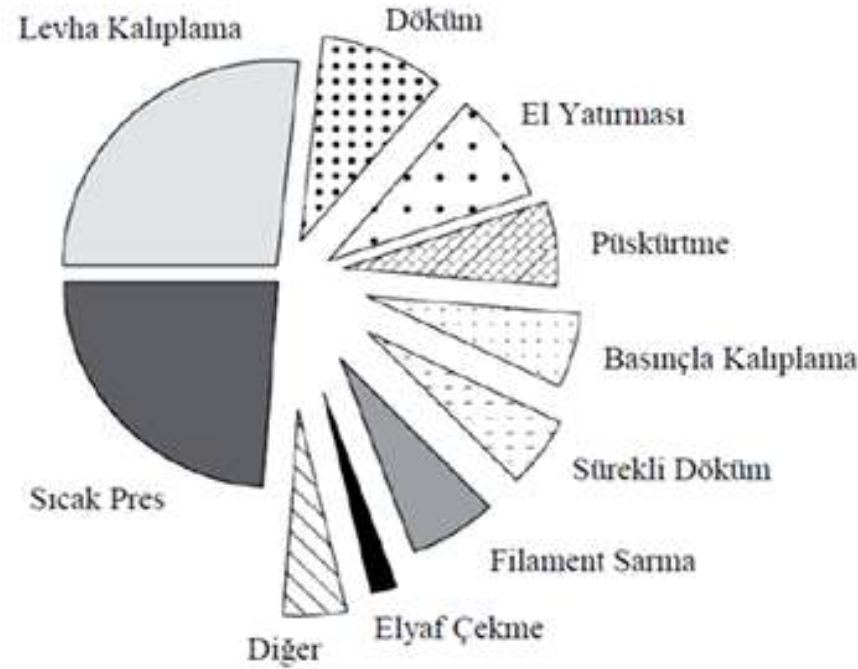






Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

### 3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri



Şekil 54. Kompozit üretim yöntemleri kullanım oranları





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 4. Kompozit Yapı/ Parça Mekanik Tasarımı

### i. Fiziksel Prensipler

- Bütün tasarımlar, geliştirilebilir ya da uyarlanabilir olmalı.
- Tasarım varyasyonları üretim yönteminde ya da fonksiyon değişimi olmadan boyut değişimini desteklemeli. Bazen; malzemeyi değiştirmek gerekebilir.
- Ör; küçük tekneler fiberglass' dan yapılırken büyük tekneler çelikten üretilmektedir [56].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 4. Kompozit Yapı/ Parça Mekanik Tasarımı

### a. Malzeme Tasarımı

- Bir fonksiyonun (elektrik süpürgesi, nükleer reaktör, batarya kutusu...) tanımlanması ile başlanır, bilgi tabanı oluşturulur ve deneme amaçlı tasarım tecrübe edilir.
- Malzeme seçiminin, tasarımda çok önemli bir yeri vardır.
- Tasarımı sınırlayacak özellikler, her malzeme için mevcut olduğu bilinmelidir.
- İyi bir tasarımda analizlerle birlikte eş zamanlı olarak yaratıcı düşüncenin olması gerekmektedir [56].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

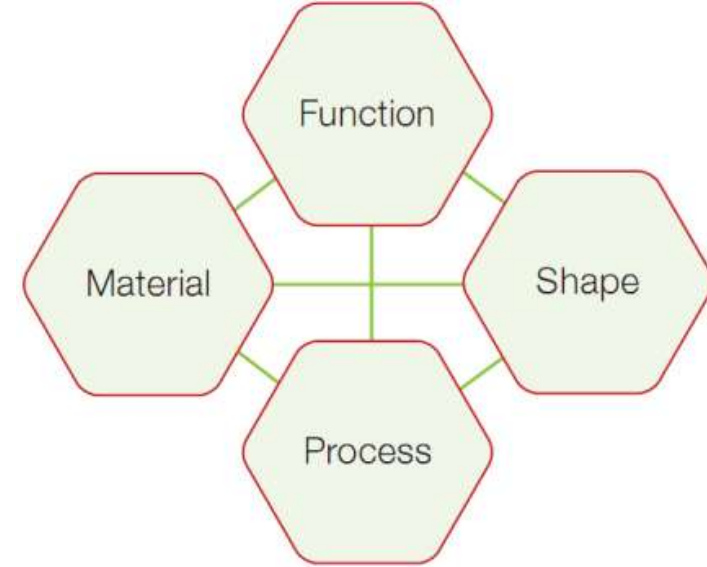
## 4. Kompozit Yapı/ Parça Mekanik Tasarımı

### a. Malzeme Tasarımı

Şekillendirme, proses ile ilişkilidir.

**Şekillendirme prosesleri:**

- **Birincil işlemler:** döküm, dövme....
- **Malzeme uzaklaştırma:** talaş kaldırma, delme...
- **Birleştirme:** kaynak, perçinleme....
- **Son işlem:** boyama, elektro-kaplama.....





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 4. Kompozit Yapı/ Parça Mekanik Tasarımı

### ii. Uygun Fonksiyonlar

Fonksiyon, malzeme seçimini etkilemektedir. Dolayısıyla, malzeme seçimi, malzemenin dökülebilir, kaynaklanabilir, ısıl işlem gibi yeteneklerine bağlı olarak prosesi etkilemektedir [56].

Proses; şekil, boyut, hassasiyet ve maliyetin nasıl olacağını açıklamaktadır.

Bu etkileşimler 2 yolla gerçekleşir:

- Şeklin özellikleri, prosesi ve malzeme seçimini sınırlar.
- Aynı derecede prosesin özellikleri son şekli ve malzeme seçimini sınırlar.





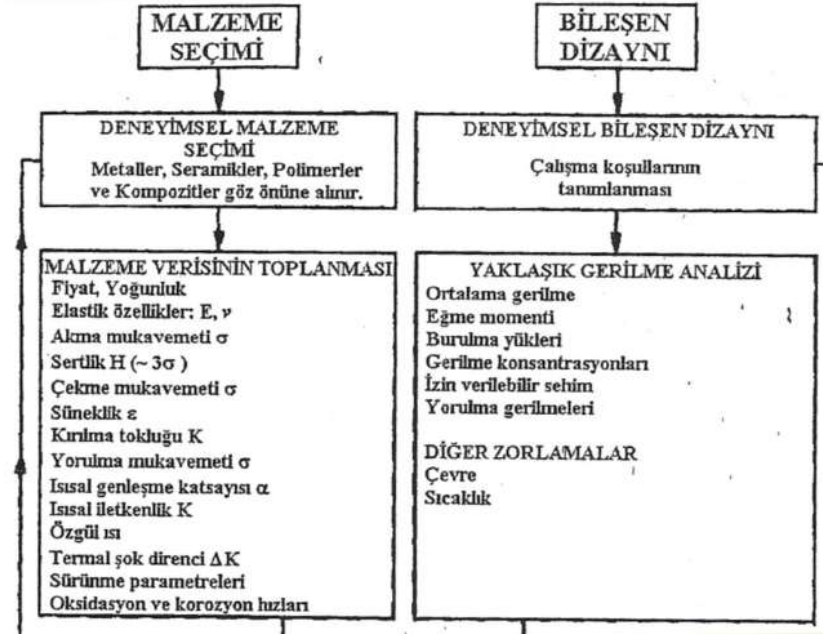


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 4. Kompozit Yapı/ Parça Mekanik Tasarımı

### iii. Tasarım Metodolojisi

Malzeme seçimi ve bileşen dizaynı deneme amaçlı dizaynda malzeme performansının öngörümünde birleştirilir.

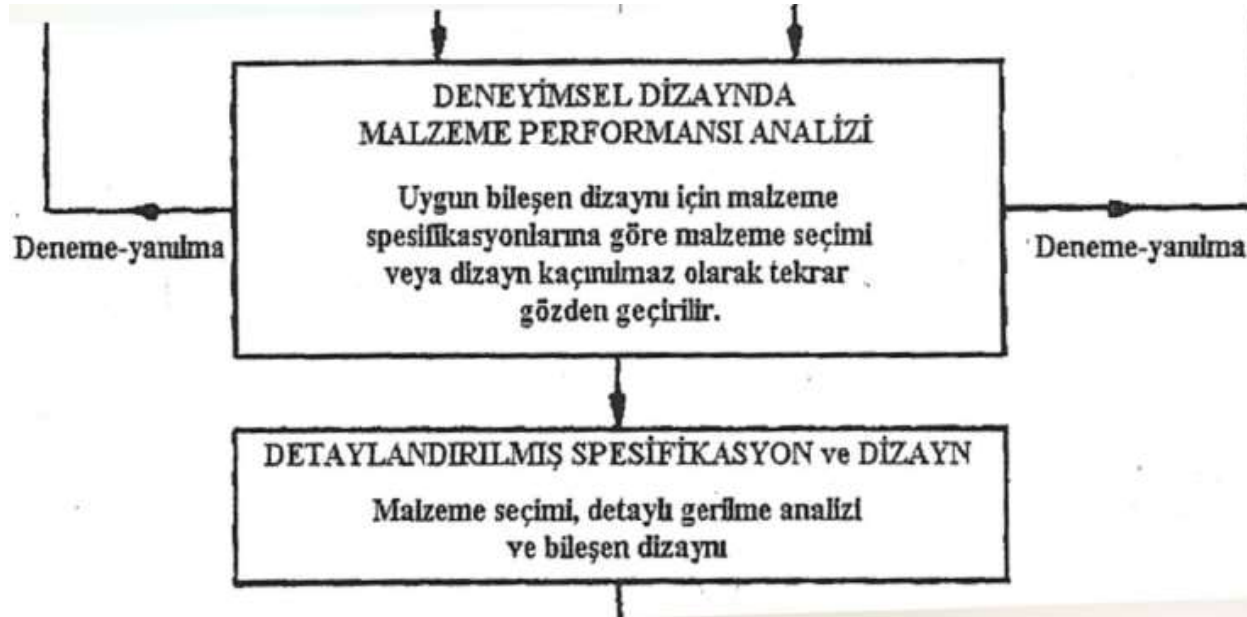




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 4. Kompozit Yapı/ Parça Mekanik Tasarımı

### iii. Tasarım Metodolojisi



Eğer malzeme yüklemelere, momentlere, konsantre gerilmelere, vb. fazla darbe almadan veya diğer yollardan çökmeden ya da hasara uğramadan dayanabilirse dizayn ilerleyebilir. Eğer malzeme performansı yetersiz kalırsa, ilk yaklaşım yer alır: ya yeni bir malzeme seçilir veya bileşen dizaynı değiştirilir ya da her ikisi gerçekleştirilerek hasarın üstesinden gelinir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 4. Kompozit Yapı/ Parça Mekanik Tasarımı

### iii. Tasarım Metodolojisi

- Bir sonraki kademedede malzeme dizaynının spesifikasyonu detaylandırılır.
- Bu kademedede detaylı bir gerilme analizi, sistem dinamiği analizi, sıcaklık ve ortama olan tepki ve detaylı bir görünüm tasarımı (ürün estetiği) gerektirir.
- Ayrıca daha iyi malzeme verisini de gerektirir: bu noktada olası distribütörlerden detaylı malzeme özellikleri alınması veya kendi seçeceğimiz testler yeterli olabilir [56].

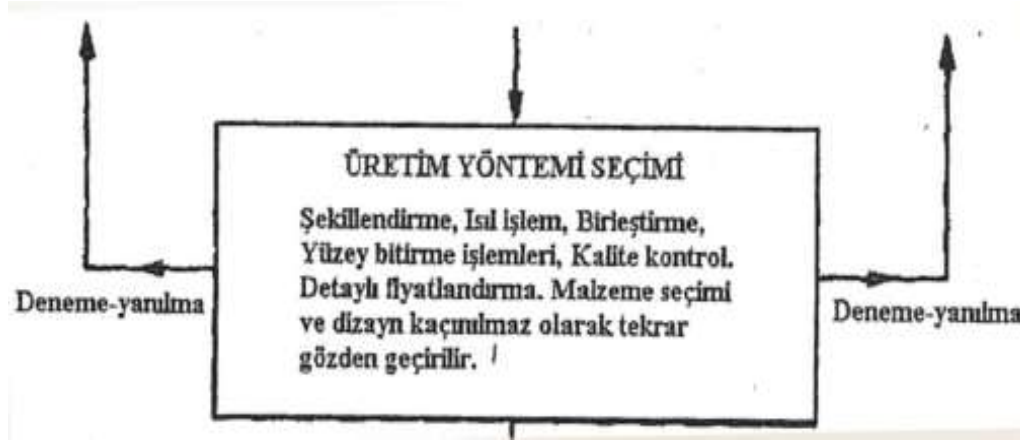




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 4. Kompozit Yapı/ Parça Mekanik Tasarımı

### iii. Tasarım Metodolojisi



- Dizayn yalnızca ekonomik olarak üretim yapılabilirse uygulanabilir.
- Üretim ve fabrikasyon seçimi çoğunlukla malzeme seçimi ile belirlenir.
- Ayrıca üretim rotası, üretim akışı hacminden ve bileşenin nasıl bitirme işlemlerinin yapıldığından ve diğer bileşenlerle nasıl birleştiğinden etkilenir.
- Malzeme ve üretim rotası seçimi ile ürün fiyatı belirlenir.
- Eğer maliyet, fiyatın çok yüksek olacağını gösterirse sonuçta ikinci bir yaklaşım gerekli olabilir.
- Bu durumda alternatif bir üretim yolunu içeren yeni bir malzeme veya component dizaynı seçimi düşünülmesi gerekebilir[56].



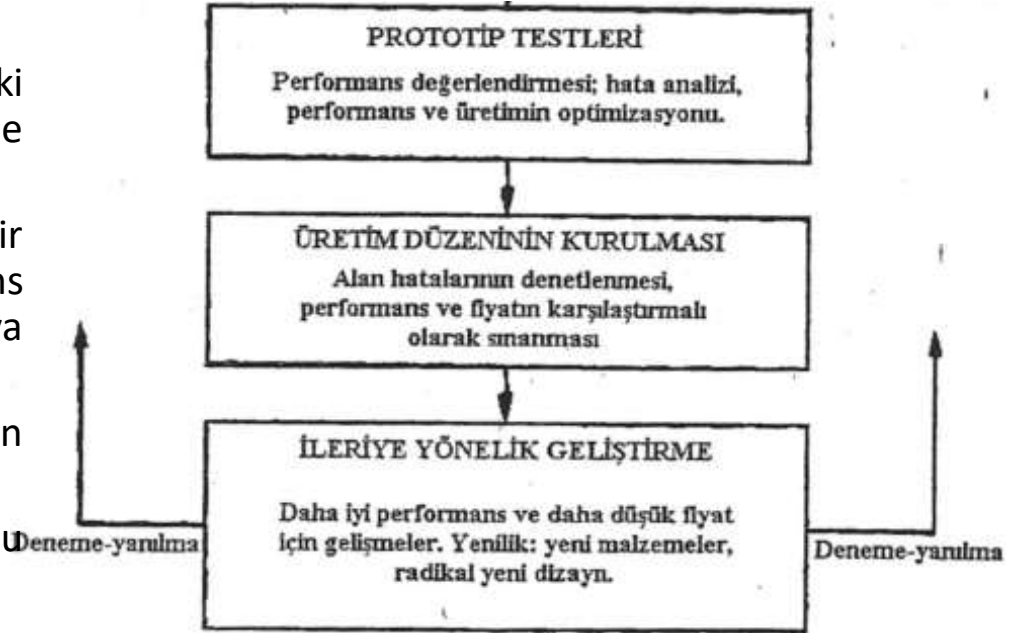


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 4. Kompozit Yapı/ Parça Mekanik Tasarımı

### iii. Tasarım Metodolojisi

- Bu kademedede bir prototip ürün üretilir ve ürünün pazardaki performansı değerlendirilir. Eğer tatmin edici bir düzeyde ise endüstriyel boyutta üretim düzeni kurulur.
- Fakat bu noktada dizayn edenin rolü sona ermez. Bir komponentin sürekli analizi, güçsüz yanları veya performans arttırma yolları ya da çok daha ucuza yapılabilmesini ortaya çıkarır.
- Her zaman yeni buluşlar için fırsat vardır: radikal bir yeni dizayn veya bileşenin imal edildiği malzemede radikal bir değişim.
- Başarılı dizaynlar sürekli olarak değişim gösterir ve yalnızca bu şekilde ürün, pazardaki rekabetçi konumunu muhafaza eder[56].







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 5. Kompozit Yapıların Modellenmesi

### i. Geometrinin Modellenmesi

- Bir CAD programında oluşturulan bir yüzey modeli, kompozit modelleme ile çalışırken genellikle başlangıç olarak kullanılır.
- Bu yüzey modelinde tasarımcı, farklı malzeme biçimlerini modelleme ve simüle etme yeteneğine sahiptir.
- Kompozit malzemelerle çalışırken izotropik malzemelere göre en büyük fark, kompozitlerin iç yapısının tanımlanmış olmasıdır[57].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 5. Kompozit Yapıların Modellenmesi

### ii. Kompozit Malzeme Yapısının Modellenmesi

- Analistler, farklı yapılandırmaların hızlı değerlendirmeleri için genellikle idealleştirilmiş bir bileşik model kullanır [57].
- Tasarımcı ise daha detaylı bir modelle çalışabilmelidir.
- Tasarımcı, tipik olarak analiz edilen idealize edilmiş parçayı değil, doğru bir analiz elde etmek için nihai şekil üzerinde gerçek elyaf yönelimleriyle çalışmalıdır. Ortaya çıkan laminatlardaki lifler, belirtilen kat yönlerinden önemli ölçüde saparak, özelliklerde bilinmeyen varyasyonlara neden olur.
- Nihai tasarım, orijinal analizde dikkate alınmayan ek katlar da dahil olmak üzere birçok ayrıntı ve modifikasyon içerecektir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 5. Kompozit Yapıların Modellenmesi

### ii. Kompozit Malzeme Yapısının Modellenmesi

Genel proses şeması aşağıdaki gibidir [57].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 5. Kompozit Yapıların Modellenmesi

### iii. Yüzeylerin Geometrisi

- Malzemeleri etkili bir şekilde kullanmak için temel bir yüzey geometrisi anlayışı gereklidir.
- Mühendislik analizlerinin bu amaçları için, yüzeyler genellikle düz plakalara veya kavisli kabuklara bölünür.
- Levha yapılarıyla karşılaştırıldığında, kabuklar genellikle eğriliklerinin bir sonucu olarak üstün güç ve sertlik sergilerler.
- Yüzey geometrisi optimize edilerek, mekanik performanstaki artışla birlikte ağırlık tasarrufu sağlanabilir.
- İyi dökülebilirliğe sahip takviye malzemeleri, malzemenin yüzeylere katlanmadan veya yırtılmadan tutunmasına izin vererek, doğrudan kayma kabiliyetlerinden kaynaklanır [57].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 5. Kompozit Yapıların Modellenmesi

### IV. Gauss Eğriliğinin Etkisi

- Bir malzeme tabakasındaki kayma distorsiyonu miktarı, yüzeyin eğrilik derecesine ve levhanın boyutuna bağlıdır.
- Yüzeyin eğriliği, yüzeyin iki ortogonal ana yönde çarpımı olan 'Gauss eğriliği' adı verilen skaler bir nicelik ile uygun bir şekilde ölçülür [57].
- Gauss eğriliği, yüzeyler üzerine jeodezik çizgiler çizilerek kolayca görselleştirilebilir.
- Bir noktada paralel olan bir çift çizgi, sırasıyla pozitif, sıfır ve negatif eğrilikli yüzeylerde yakınsama, paralel kalma veya uzaklaşma eğiliminde olacaktır.







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 5. Kompozit Yapıların Modellenmesi

### IV. Gauss Eğriliğinin Etkisi



Şekil 55. Farklı gauss eğrilikleri, pozitif, sıfır ve negatif eğrilik [57]

Uzunluk eksenini boyunca eğrilik olmadığı için silindir, **sıfır** Gauss eğriliğine sahiptir [57].

Tüm 'geliştirilebilir' yüzeyler (yani, düzleminde malzeme kayması olmadan düz bir levhadan yuvarlanabilenler), tüm alanları boyunca zorunlu olarak sıfır Gauss Eğriliğine sahiptir.

Son olarak, iki farklı yönde eğriliği olan bir parçanın **negatif** bir Gauss eğriliği vardır.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 5. Kompozit Yapıların Modellenmesi

### v. Kompozit Modelleme Yazılımı

- Kompozit modeller, geleneksel olanlardan çok daha karmaşıktır. Örneğin, bir yarış arabası monokoku tipik olarak birkaç bin kattan oluşur.
- Özel kompozit araçları olmadan bu katların kullanımını incelemek ve takip etmek neredeyse imkansızdır.
- Yazılım araçları, karmaşık yüzeylerin dökümünün simüle edilmesini mümkün kılar.
- Simülasyon drape ile, kırışıklıklar ve dokumanın bozulması gibi olası üretim sorunları erken bir aşamada keşfedilebilir.
- Tipik bir kompozit parça, her biri benzersiz bir şekle, yönelime ve konuma sahip olan, çeşitli malzemelerin onlarca veya yüzlerce ayrı katından yapılır.
- Her bir katmanın, bir sac levha parçasının tamamından daha fazla bilgiye sahip olması muhtemeldir. Bu karmaşıklık, çoğu durumda bir parçanın nihai tasarımının hiçbir zaman üretim durumunda analiz edilmemesi gerçeğiyle birleşir [57].

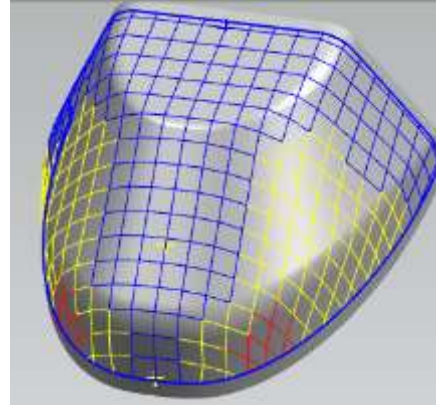




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 6. Ürün Oluşturma ve Ürün Tanımı

Kompozitlerin teknik çiziminde, metal yapıların çiziminden farklı olarak, yalnızca geometriyi açıklayan teknik çizimler değil, aynı zamanda kompozit malzemenin yönünü açıklayan çizimlerin de olması gereklidir.



Şekil 56. Fibersim ile oluşturulmuş parça örneği [58]





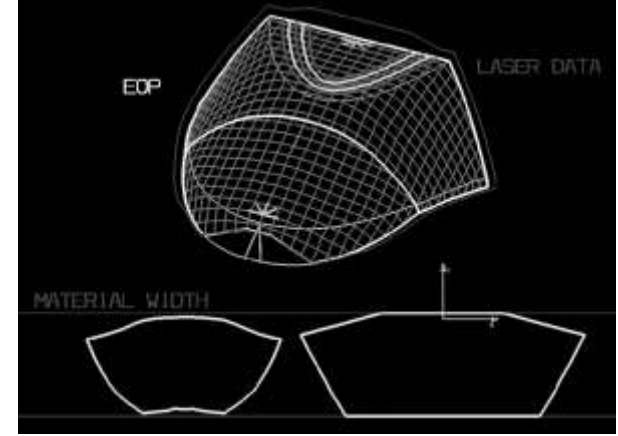
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 6. Ürün Oluşturma ve Ürün Tanımı

### i. 3B Katı Model Oluşturma

Elektronik model için katı modeller, CAM araçları ve eşleşen kalıplar vb. için başlangıç noktası oluşturmak üzere otomatik olarak laminat yüzeyler oluşturan FiberSim gibi kompozit tasarım araçları ile oluşturulurlar.

Program, kat sayısını kalınlık yönünde takip eder ve üst ve alt katları kullanarak yüzeyler oluşturur.



Şekil 57. Rulo genişliği içinde düz modellerin oluşturulması için kat birleştirme [59].





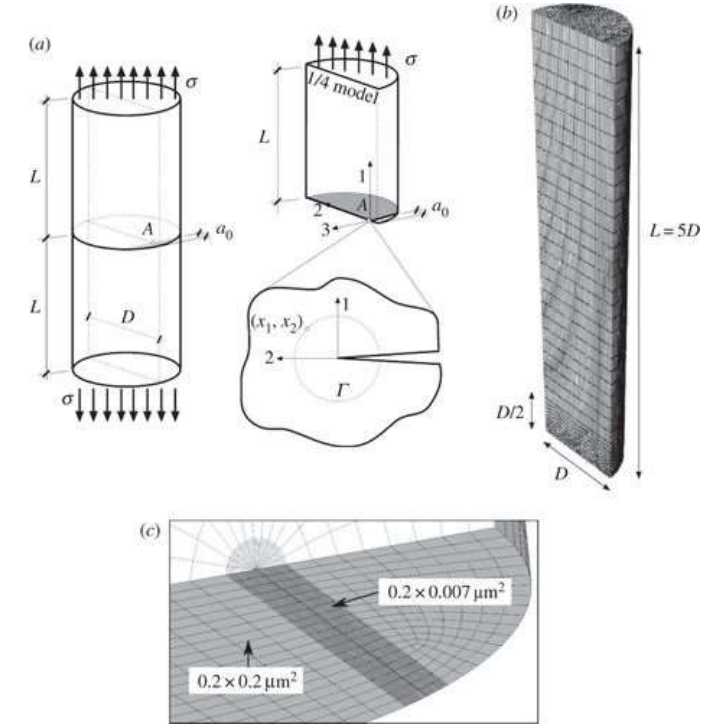
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 6. Ürün Oluşturma ve Ürün Tanımı

### ii. Geometrik Teknik Çizimi

Geometri çizimi, metal için kompozit yapılarla aynıdır [57].

Geometrinin genel temsil kuralları, kompozit malzeme ile ilgili herhangi bir kaygı olmaksızın kullanılabilir.



Şekil 58. a) Çentikli fiberin geometrik modeli ve J integral değeri için  $\Gamma$  konturunun detayı, (b) çatlak ucu bölgesinin sonlu eleman meshlenmesi, (c) 1/4 modelinin global sonlu eleman meshlenmesi [60].







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 6. Ürün Oluşturma ve Ürün Tanımı

### iii. Malzeme Oryantasyonunun Teknik Çizimi

- Bir kompozit modelin homojen bir bileşenle karşılaştırıldığında karmaşık yapısını/doğasını yansıtan bir kompozit bileşen oluşturmak için büyük miktarda üretim verisi gerekir.
- Çizim veya tasarım paketleri, katman yönünü, yığın içindeki konumunu ve sınırlarını tanımlamalıdır [57].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 6. Ürün Oluşturma ve Ürün Tanımı

### iii. Malzeme Oryantasyonunun Teknik Çizimi

#### a. Çizim Standartları

- Standartlar, çeşitli endüstrilerde kompozit tasarımda genel kabul görmüş '**en iyi uygulamayı**' somutlaştırmak için kullanılır.
- Avrupa havacılık ve uzay endüstrileri birliği AECMA, kompozitler için bir dizi standart geliştirmiştir.
- Bu standartlar, kompozit malzemelerden yapılmış parçaların teknik resimlerde gösterilmesine ilişkin genel kuralları kapsar [57].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 6. Ürün Oluşturma ve Ürün Tanımı

### iv. Kompozit Çizim Örnekleri

Kompozit bir bileşenin iç yapısını tanımlamanın farklı yolları vardır. Karmaşıklığa bağlı olarak, farklı yaklaşımlar kullanılabilir.

#### a. Tabaka Yön Kodları

Örneğin, sabit kalınlığa sahip bir kompozit levha gibi basit geometriler için çizim çok basittir. Burada standart bir tabaka yönlendirme kodu kullanmak mümkündür [57].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 6. Ürün Oluşturma ve Ürün Tanımı

### iv. Kompozit Çizim Örnekleri

#### a. Tabaka Yön Kodları

Yeterli bir kod :

- 1) bir referans eksene göre her bir tabakanın oryantasyonu
- 2) her bir oryantasyondaki tabaka sayısı ve
- 3) tabakaların kesin geometrik dizisi belirtilmez [57]



90
0
0
45
45
0
0
90

$[(90/0_2/45)2]_S$

90
-45
45
0

$[(90/-45/45/0)]_T$

Şekil 59. Standart tabaka kodları örnekleri [57]





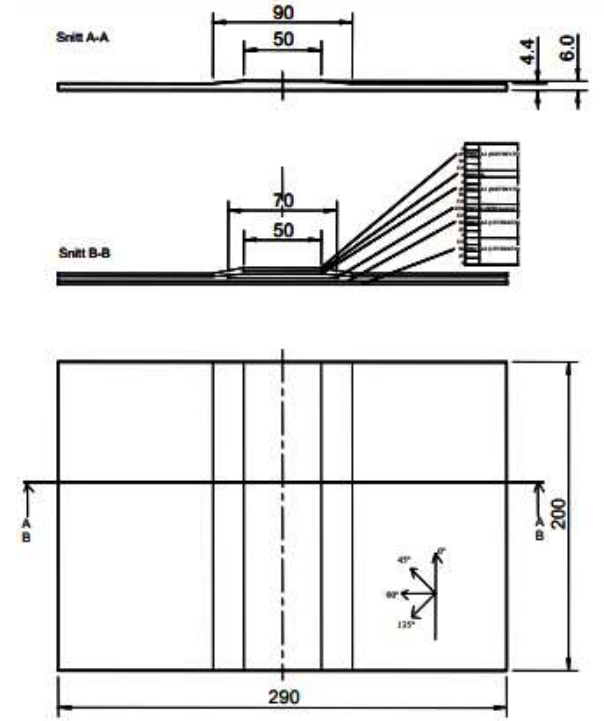
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 6. Ürün Oluşturma ve Ürün Tanımı

### iv. Kompozit Çizim Örnekleri

#### b. Kompozit Tasarım Çizimi

Kalınlıklarında farklılıklar olan parçalarla uğraşırken çizim, katların nereden başlayıp nerede bırakıldığını açıklayabilmelidir.



Şekil 60 . Kompozit tasarım çizim örneği [57]





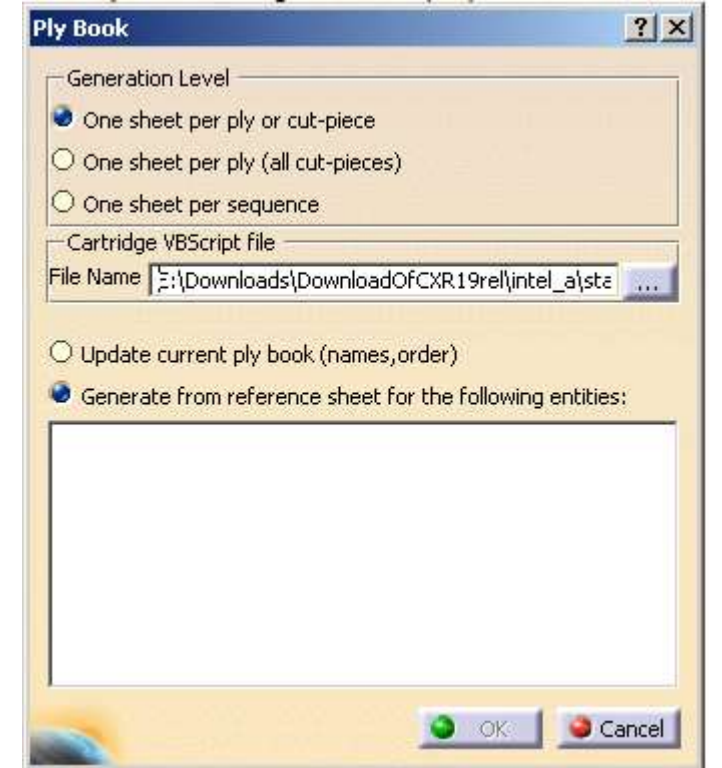
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 6. Ürün Oluşturma ve Ürün Tanımı

### iv. Kompozit Çizim Örnekleri

#### c. Üretim Referans Yazılımı (Ply Book)

- Katmanlı kompozitlerin tasarımını, analizini ve üretimini entegre etmek önemlidir
- Özellikle incelenen modelin imal edilen parçaya eşdeğer olması önemlidir.
- Bu nedenle, tasarım ve üretim verilerini içeren bir üretim referans yazılımı çok faydalı olacaktır.
- Üretim referans yazılımı, kompozit parçalar için bir tür pedagojik çizimdir.
- Bazen çok sayıda katman nedeniyle, üretim referans yazılımı genellikle HTML biçiminde sunulur.
- Her katman, numaraya göre listelenir ve karşılık gelen bir yerleştirme görüntüsüne bağlanır [57].



Şekil 61. Ürün referans yazılımı oluşturma [61]







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 6. Ürün Oluşturma ve Ürün Tanımı

### iv. Kompozit Çizim Örnekleri

#### d. CAM

- Kompozit bir parça, her birinin kendine özgü şekli olan yüzlerce farklı kattan oluşabileceğinden, bu farklı şekilli katları kesmek için çok çalışma yapılır, bkz. şekil ...
- Bu işlemi elle kesmeye kıyasla daha etkili ve daha az zaman alıcı hale getirmek için genellikle NC kontrollü kesme makineleri kullanılır.
- Birçok özel kompozit CAD aracının, sözde 2 boyutlu düz kalıpları otomatik olarak oluşturan bir işlevi vardır.
- 2 boyutlu düz model şekli farklı formatlarda üretilebilir. Üretilen formatlar IGES veya DXF'dir. DXF formatı tipik olarak yerleştirme ve kesme makinelerini çalıştırmak için kullanılır.



Şekil 62. 3B den 2B modele geçiş örneği [62]

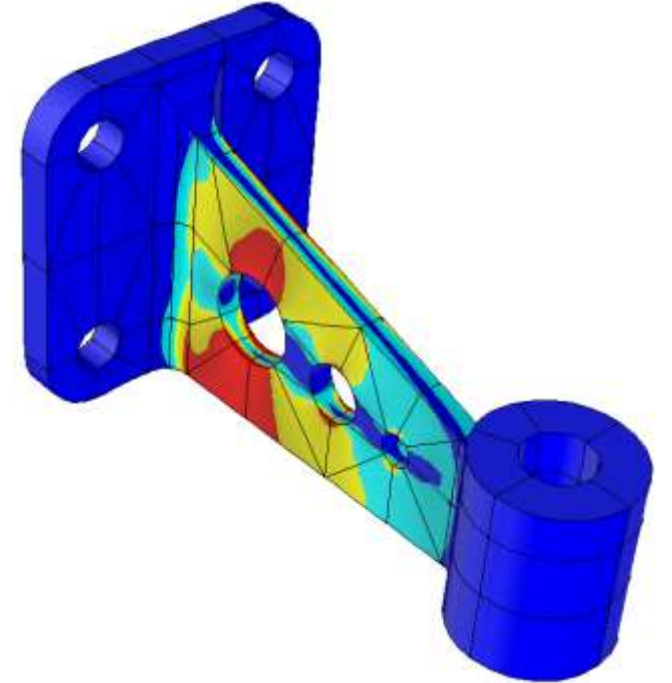




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 7. Sonlu Elemanlar Analizi (FEA)

- Sonlu elemanlar metodu; uçak, otomotiv, inşaat, akışkanların hareketi, manyetik akı vb. uygulamalarda karşılaşılan problemlerin çözümlerini kolaylaştırmak amacıyla kullanılan ve gerçeğe çok yakın çözümler veren nümerik analiz yöntemidir.
- Bu yöntemle, incelenmek istenilen cismin sonlu sayıda küçük elemana bölünerek inceleme yapıldığı için **Sonlu Elemanlar Yöntemi (The Finite Element Method)** olarak adlandırılır.
- Kapalı biçim çözüm yönteminin kullanımının mümkün olmadığı veya çok güç olduğu yerlerde problemin çözümü sonlu elemanlar metoduyla rahatlıkla yapılabilir [22].



şekil 63. FEA analizi ile çizilmiş bir parça örneği [63]



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 7. Sonlu Elemanlar Analizi (FEA)

### i. Sonlu Eleman Metodunun Çözümü

Bu metot ile çözüm yapılırken izlenmesi gereken yol;

1. Yapıyı ya da sürekli elemanı birim elemanlara bölmek. Bu yapılırken birim elemanın boyutunu ve şeklini, malzemenin fiziki özelliklerine göre seçmek gerekir
1. Sonlu elemanlar birbirine düğüm noktalarından bağlanmış kabul edilirler. Bu düğüm noktalarının yer değiştirmeleri, basit yapıların analizlerinde olduğu gibi, problemin bilinmeyen ana parametreleridir.
1. Her bir sonlu elemanın yer değişimini tanımlamak için düğüm noktalarının yer değişimleri cinsinden fonksiyon seçilir (genelde bir polinomdur, polinomun derecesi değişimleri birim elemanın düğüm sayısına bağlıdır).
1. Elemanla yer değiştirme fonksiyonları seçildikten sonra her bir elemanın özelliklerini ifade eden matris denklemleri oluşturulur. Bunun için dört yaklaşımdan biri kullanılır. Bu yaklaşımlar; I. Direkt Yaklaşım, II. Varyasyonel Yaklaşım, III. Ölçülmüş Kalıcı Yaklaşım ve IV. Enerji Dengesi Yaklaşımı'dır[22].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 7. Sonlu Elemanlar Analizi (FEA)

### i. Sonlu Eleman Metodunun Çözümü

5. Elemanlara bölünen sistemin özelliklerini toplamak gerekir. Bunu da elemanların matris denklemlerini birleştirerek sistemin davranışını ifade eden matris denklemleri oluşturmakla yapabiliriz. Sistemin matris denklemleri bir elemanın matris denklemleriyle aynı formdadır. Fakat sistemde denklemlerin terim sayısı fazladır.
  6. Düğüm noktalarına toplanmış kabul edilen ve sınır gerilmeleri dengeleyen kuvvetler ile düğüm noktalarının yer değiştirmeleri arasında;  
$$|P| = |K| \times \{U\}$$

|P| : Sütun matris olup dış kuvvetlerin tamamını göstermektedir.  
|K| : Sistemin toplam katılık (direngelik) matrisidir.  
{U} : r, θ, z yönündeki düğüm yer değiştirmelerini gösteren sütun matrisidir.
- Matris denklemi ile sonlu elemanlar metoduna giriş yapılır. Sonuç olarak bu denklem gösteriyor ki |K| oluşturulan cismin birim yer değiştirmesi için gerekli kuvveti temsil etmektedir. Yani cismin sonlu elemanlar modelini bir denge yayı olarak düşünürsek, |K| bu yayın yay sabiti (direngelik sabiti) olur. Böylece sonlu elemanlar metodunun esası cismin direngeliği bakımından yapılan analizi olmuştur.
  - Verilen sınır şartları ve dış kuvvetler etkisi altındaki cismin düğümlerinin yer değiştirmesi bulunur. U, cismin gerilme ve yer değiştirmesinden hesaplanır. Verilen sınır şartları ve dış kuvvetler ile cismin düğümlerinin yer değiştirmesi bulunur [22].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 7. Sonlu Elemanlar Analizi (FEA)

### ii. Eleman Şeklinin Seçilmesi

- Eleman şeklinin seçimini verilebilen bir cismin alt bölmelerinin özellikle iç ve dış sınır şartlarının şeklini belirlerken şekil geometrisine göre seçilecektir.
- İki boyutlu şekillerde dörtgen ve üçgen elemanlar oluşturmak yerine, eğrisel ve dik açılı elemanlar oluşturmak daha kullanışlıdır.
- Üç boyutlu cisimlerde ise tetrahedron(üçgen prizma) daha kullanışlıdır.
- Cismin şekline bağlı olarak bazen bu elemanların karışımından oluşan bir bölme oluşturmakla mümkündür [22].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 7. Sonlu Elemanlar Analizi (FEA)

### iii. Sonlu Elemanlar Yönteminin Diğer Yöntemlere Göre Avantajları

- Sonlu elemanlar yöntemi ile verilen şekil ne kadar karışık olursa olsun, şekle ve boyutlarına esneklik kazandırmaktadır.
- İlgili olduğu alanlar arttırılabilir.
- Değişik malzeme özellikleri ve geometrisinde farklı güçlükler ortaya çıkmaz.
- Genel katılık maddesiyle ilişkili kuvvet ve yer değiştirmesi bakımından formüle edilmiş neden sonuç ilişkisi problemidir. Bu durum sonlu elemanlar metoduyla problemin çözümünü kolaylaştırır.
- Sınır şartları kolayca tespit edilir.
- Sonlu elemanlar metodunun esnekliği sayesinde çok yönlü karmaşık yapılarda diğer problemlerdeki sonuç ilişkisinden daha etkin olarak kullanılır. Sonuçları diğer analitik veya deneysel metotlarla daha iyi karşılaştırılabilir.







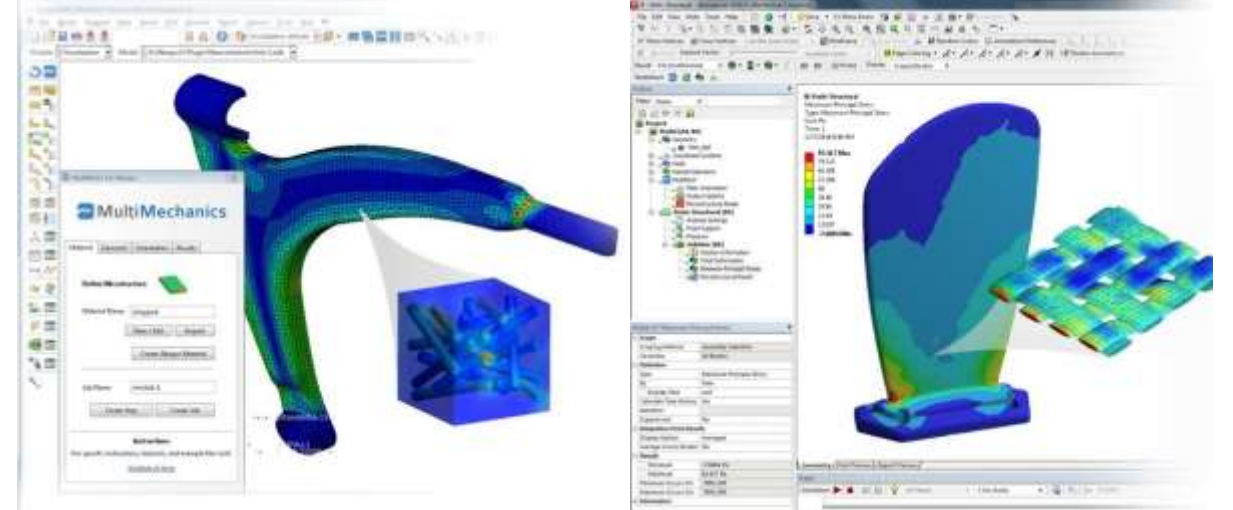
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### i. ANSYS Programının Genel Tanıtımı

Mühendislik alanında sonlu elemanlar yöntemiyle çeşitli konularda analiz yapan programdır [22]. Bu konular;

- Yapısal Analiz
- Termal Analiz
- Elektromanyetik Analiz
- Akışkan Analizleridir.



Şekil 64. ANSYS ile kompozit malzeme tasarım örnekleri [64]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### ii. ANSYS Programının Genel Kullanımı

Programı çalıştırmak için **START** menüsünden programlar altında **ANSYS** adlı menü altından **INTERACTIVE** seçeneği kullanılır. Aynı menü altında **RUN INTERACTIVE NOW** seçeneği ise bir önceki yapılan çalışmanın default loading işlemidir. Açılan pencereden ANSYS'in ilk seçimleri yapılır. Bunlar;

- **Enable ANSYS Paralel Performance:** Bu modülü etkin kıldığımız zaman, program çift işlemci çalışır ve komplike problemleri veya hassas mesh'lenmiş parçaların çözüm zamanı azalır.
- **Drop Test Module:** Bu modül etkinleştirilmesi için ANSYS/LS-DYNA tipinde çalışılması gerekmektedir.
- **Working Directory:** Yaptığımız çalışma esnasında save dosyalarının korunması ve çeşitli hata mesajlarının saklanması için Hard Diskteki çalışma klasörüdür. Bu klasöre ayrıca yapılan animasyonlarda default olarak save edilir[22].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### ii. ANSYS Programının Genel Kullanımı

- **Graphics Device Name:** Grafikler için görüntü bağdaştırıcı seçimi buradan yapılır. Nodal renklendirmenin üç boyutlu olmasını istiyorsak bu modülü kullanmalıyız.
- **Memory Requested:** Programın çalışma esnasında bellekten kullanacağı alanı gösterir. Bu default değerler değiştirilebilir. Değerlerin arttırılması programın performansında bir değişiklik yapmaz, ancak programda uzun süre çalışılacaksa arttırılması nispeten daha randımanlı sonuçlar vermektedir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### ii. ANSYS Programının Genel Kullanımı

#### Ansyz Workbench Programının Açılması

Başlat (Start )> Programlar > ANSYS 10.0> ANSYS Workbench [65]





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### Ansyes Workbench Programının Açılması

Modüllerin bulunduğu aşağıdaki pencere açılır. WorkBench'de çalışmamızın her bir ana aşaması farklı modüllerde yapılır [53].



Şekil 65.. WorkBench Modülleri





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### Program Modüllerinin Tanıtımı

**Empty Project:** Boş bir çalışma sahası (Proje) açar. Çalışma ile ilgili tüm dosyalar bu sahanın içinde kaydedilir. Proje kaydedilirse ona bağlı tüm çalışmalar kaydedilir

**Geometry:** Geometrik modelinin oluşturulduğu modül.

**Simulation:** Analizin yapıldığı ve Sonuçların Görüldüğü modül.

**CFX-Mesh:** Yüksek kalitede elemanlara ayırma (meshing) işleminin yapıldığı modül.

**Open:** Daha önce kaydettiğiniz dosyaları açabilirsiniz [65].







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### Program Modüllerinin Tanıtımı

Workbench'te yeni bir proje (çalışma sahası) oluşturulduğunda, veritabanı (database) dosyaları da otomatik olarak oluşur. Örneğin, Design Modeler modülünü çalıştırdığımızda bu modüle ait veritabanı dosyası da otomatik olarak oluşur. Bu dosyalar proje isminde, her modüle ait farklı uzantılarda oluşur. Örneğin "deneme" isminde proje oluşturursak,

Workbench proje veritabanı dosyası: deneme.wbdb

DesignModeler veritabanı dosyası: deneme.agdb

CFX-Mesh veritabanı dosyası: deneme.cmdb

Simulation veritabanı dosyası: deneme.dsdb

Engineering Data veritabanı dosyası: deneme.eddb





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### Workbench de Dosya Oluşum Mantığı ve Çalışma Düzeni [65]

Workbench'de öncelikle çalıştığımız konuya (projeye) bir isim belirleriz. (Örneğin, jant optimizasyonu, flans dizayni, bitirme tezim,gibi).

Bu durumda bu proje (Project) bir çalışma sahası gibi düşünülür ve bu saha içinde birden fazla model (Geometry) ve analiz (Simulation) yapılabilir.

Sonuçta sadece projeyi kaydederseniz ona bağlı olan herbir model ve analiz dosyaları da kaydedilmiş olur.

 komutuyla veya File>Save as.. komutuyla kaydedebilirsiniz.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### Workbench de Dosya Oluşum Mantığı ve Çalışma Düzeni

- Workbench'e tekrar girdiğinizde önce projenizi açarsanız onun altındaki model ve analizlerin kaydedildiğini görürsünüz.
- Proje windows'daki klasörlere; proje altında yapılan model ve analizler bu klasörün içindeki dosyalara karşılık gelir. Ancak oluşturduğunuz proje için windows da ayrı bir klasör oluşmaz; .wbdb uzantılı bir dosya olarak bulunur.
- Workbench'de önce projenizi ve daha sonra ona bağlı diğer alt birimleri (modülleri) açmanız düzenli bir çalışma için önemlidir [65].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### Workbench de Bir Uygulama

Aşağıdaki adımları takip ediniz.

- Workbench' e girdikten sonra Empty Project butonuna  basınız. Ekran aşağıdaki gibi açılır [65].





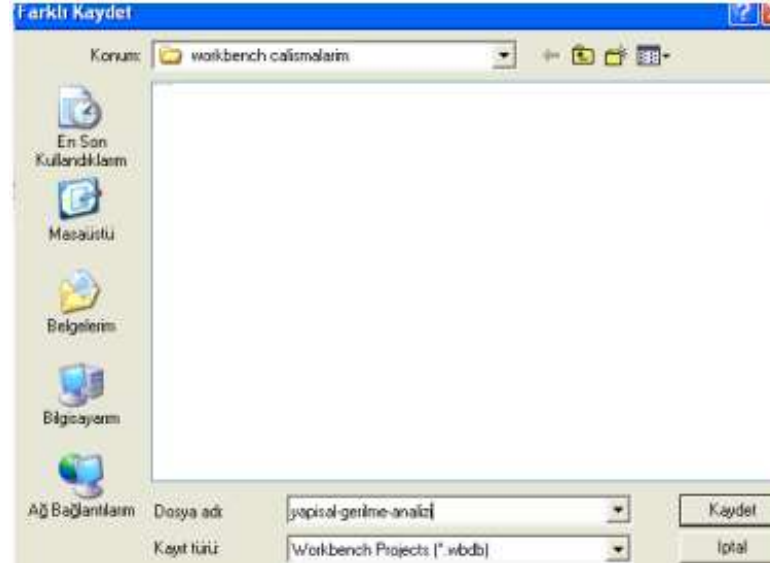
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### Workbench de Bir Uygulama

Aşağıdaki adımları takip ediniz.

- Save as butonuna basarak projenize “yapısal-gerilme-analizi” ismi verip uygun bir klasör içine kaydediniz. Türkçe karakter kullanmayınız.






Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### Workbench de Bir Uygulama

Aşağıdaki adımları takip ediniz.

- Proje ekranında iken soldaki  **New geometry** butonuna basınız.
- Eğer sorulursa boyut olarak mm seçiniz.





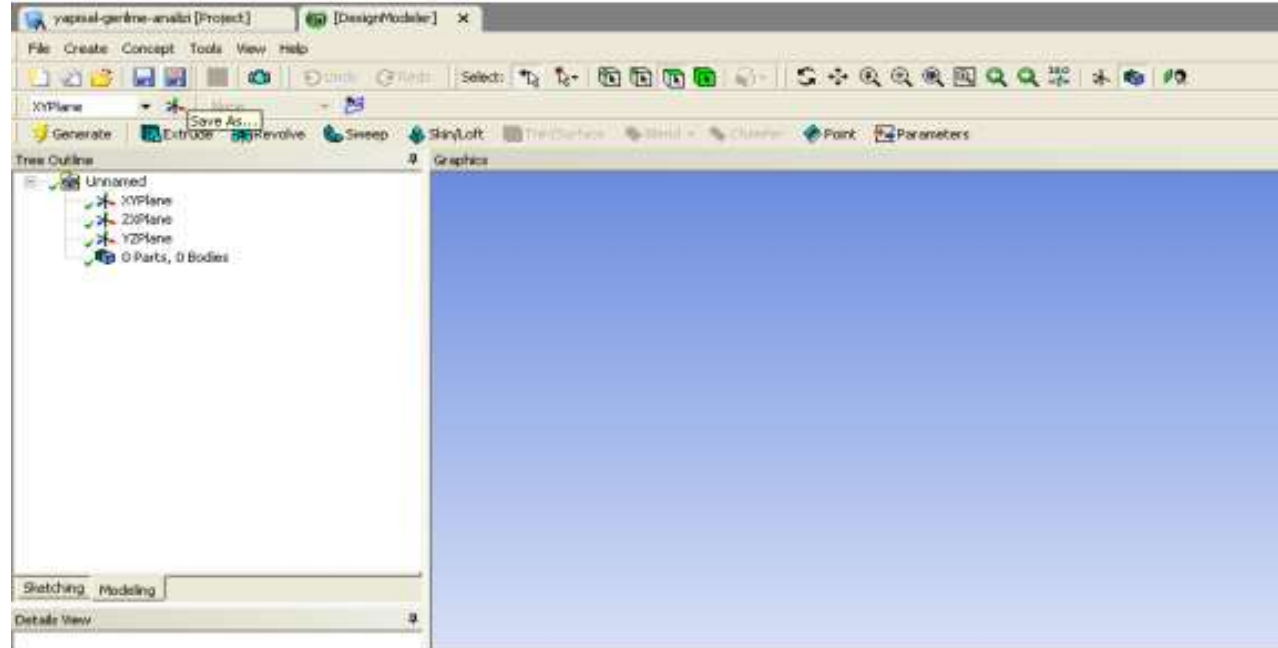


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### Workbench de Bir Uygulama

- Aşağıdaki Design Modeler ekranı açılır [65].






Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### Workbench de Bir Uygulama

- Bu ekranda iken Save as  butonuna basarak geometrik modelinizi model-1 isminde kaydediniz (Hiçbir geometri olmamasına rağmen boş olarak kaydediyoruz) [65].








Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### Workbench de Bir Uygulama

- Üstteki  yapısal-gerilme-analizi [Project] butonuna basarak Project ekranına geri dönünüz.
- Bu ekranda iken  New geometry butonuna tekrar basınız. Bu durumda aynı proje içinde farklı bir model oluşturabilirsiniz. Burada da bu geometriyi boş olarak bırakalım ve kaydetmeyelim.
- Şimdi Workbench'den tamamen çıkmak için ekranın .sağ üstündeki  tuşuna basınız.

Project modülü ekranı karşımıza çıkar ve bu ekranda, Projemiz, ona bağlı geometriler görülür. Yaptığımız son geometriyi kaydetmediğimiz için “Unnamed” olarak görülecektir.

 yapısal-gerilme-analizi	 yapısal-gerilme-analizi.wbdb	2 KB	08.02.2007 09:29:42	Workbench
 model-1	 model-1 .agdb	8 KB	08.02.2007 09:29:42	DesignMode
 Unnamed				DesignMode



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### Workbench de Bir Uygulama

- Bu ekranda iken **No: do not save any items** butonuna basarsak son yaptığımız geometri (Unnamed) kaydedilmeden WorkBench'den çıkarız. model-1 i önceden kaydettiğimiz için korunur

**Yes: save all highlighted items** ına basarsak ikinci oluşturduğumuz geometri de unnamed isminde kaydedilerek çıkılır. Bu geometri içinde bazı çizimler yapmış olsaydık, Save as ekranı açılacak ve bu ikinci modelimize isim vermemiz istenecekti. Ayrıca projemize isim vermemiş olsaydık onu da kaydetmemiz istenecekti.



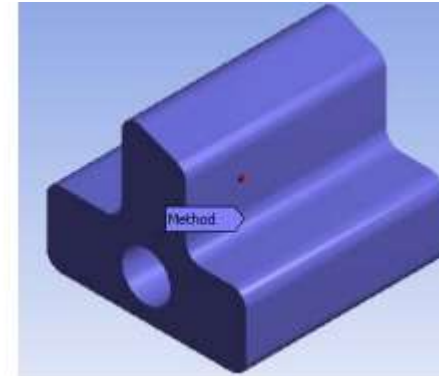
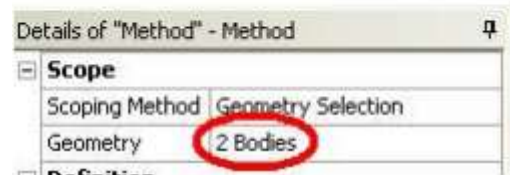
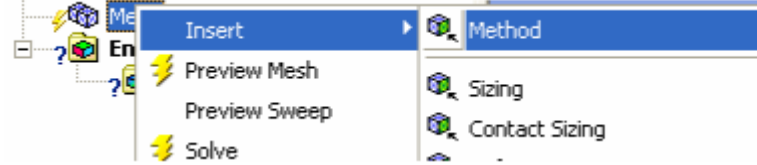


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### iii. ANSYS Mesh Analizi

[Simulation] x modülüne girerek. Tree Outline' da bulunan Mesh' in üzerinde iken sağ tıklayıp, Insert > Method seçilir.



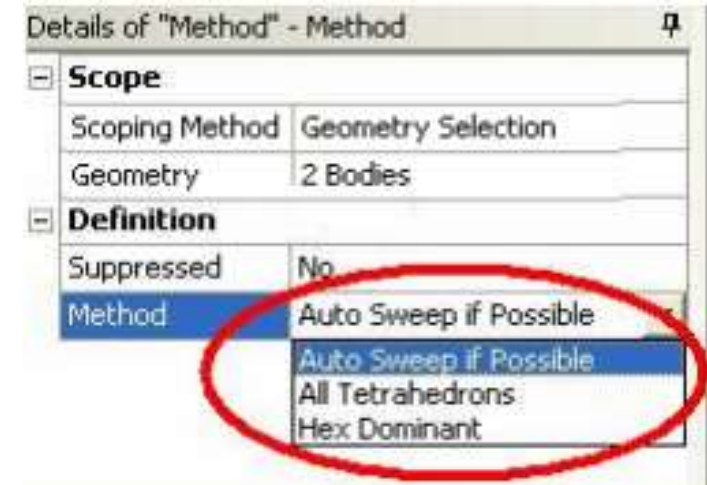


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### iii. ANSYS Mesh Analizi

Details of Method kısmında Method butonunu tıklayalım. Yanındaki kutucukta eleman tipleri görülecektir. “All Tetrahedrons” seçersek üçgen, “Hex Dominant” seçersek dörtgen şekilli elemanlara böler. Biz bu örnekte “Hex Dominant” seçelim.







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

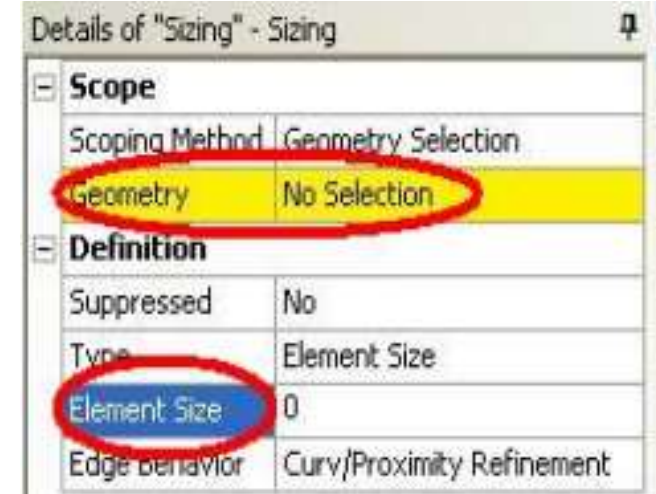
## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### iii. ANSYS Mesh Analizi

#### Eleman Boyutunun Ayarlanması

Tree Outline daki Mesh' in üzerine tekrar sağ tıklayarak Insert > Sizing seçelim. Details de Geometry>No Selection kutucuğunu tıklayıp Apply tuşunun görünmesini sağladıktan sonra, fare ile "üst parça" yı ekrandan tıklayıp seçelim. Element size' a ise eleman boyutunu gireceğiz. Buraya da 10 (mm) girelim.

Bu elemanın bir kenarının alması gereken maksimum uzunluğu gösterir. Böylece üst parça elemanlara ayrılmaya hazır hale geldi. Aynı işlemi Mesh>Insert >Sizing den itibaren alt parça için tekrarlayarak bir tane daha "Sizing" ekleyelim. "Alt parça" yı seçip boyut olarak 5 (mm) girelim.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

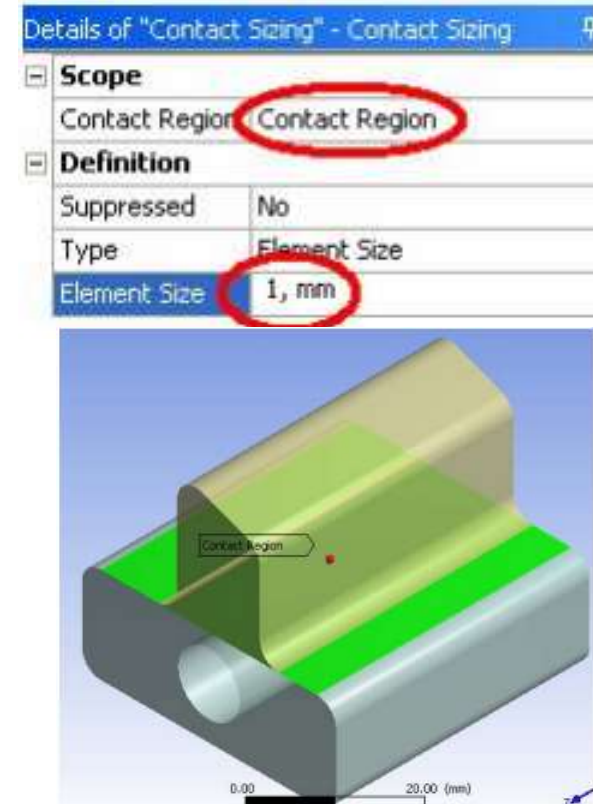
### iii. ANSYS Mesh Analizi

#### Kontak Bölgesinin ve Elemanlarının Tanımlanması

İki parçanın temas yüzeylerindeki elemanların sayısının, çözüm hassasiyeti açısından daha fazla olmasında fayda vardır.

Bunun için Mesh üzerine sağ tıklayıp, Insert > Contact Sizing seçelim. Details kısmında, "Contact Region" sarı zeminde ise None yazan kutucuğu işaretleyelim ve Contact Region konumuna getirelim.. Eleman boyutu olarak 1 (mm) girelim

Bu sırada modelde kontak yüzeyi farklı renkte görülmelidir. Eğer Contact Region çıkmıyorsa Tree outline'da Contact üzerinde sağ tuş> Create Automatic Contact tuşuna basınız. (Burada da çıkmazsa modelinizde bir problem olabilir)





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

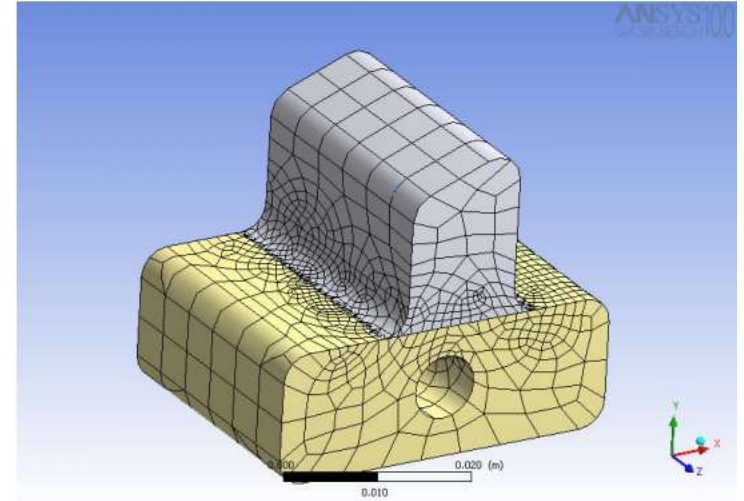
## 8. Kompozit Malzeme Analizi ve Modelleme

### iii. ANSYS Mesh Analizi

#### Elemanlara Ayırma

Mesh girdi işlemleri bitti. Tree Outline da Mesh üzerine sağ tıklayıp, “Preview Mesh” i seçersek modelimizi elemanlara ayırma işlemini yaptırırız. (Bu işlem bittiğinde elemanlar görünmüyorsa Tree Outline daki Mesh butonuna basınız.) Resimde görüldüğü gibi, “Contact Sizing” eklediğimiz temas yüzeyleri daha küçük boyutlu elemanlara bölündü [65].

Her analizde “Preview Mesh” işlemini yapmak zorunlu değildir. Eleman sayısı çok fazla, modelin şekli karmaşık ise, bilgisayarınızın kapasitesine göre mesh işlemi daha uzun sürebilir. Eleman sayısının artması çözüm hassasiyetini arttıracak ancak işlem süresini uzatacaktır.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 9. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

### Avantajları

- **Yüksek Mukavemet:** Kompozit malzemelerin çekme ve eğilme mukavemetleri, birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kaplama özelliklerinden dolayı, kompozitlere istenen yönde ve istenen bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylelikle malzemeden tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilebilir.
- **Kolay Şekillendirme:** Kompozit malzeme kullanılarak yapılan büyük ve kompleks parçalar, tek işleme bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da 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 kat sayısı düşük malzemelerden oluşan kompozitlerin ısıya dayanıklılık özellikleri, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak tanımaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozit malzemenin ısıya dayanımı artırılabilir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 9. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

### Avantajları

- **Titreşim Sönümleme:** Kompozit malzemelerin sünekliği nedeniyle, doğal bir titreşim sönümleme ve şok yutabilme özelliği vardır. Bu sayede çatlak yürümesi olayı da 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 aspiratörleri, tekne ve deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır.
- **Kalıcı Renklendirme:** Kompozit malzemelere, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez [66].





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 9. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

### Dezavantajları

- **Hammaddenin pahalı olması:** Uçaklarda kullanılabilcek kalitede karbon m<sup>2</sup>'lik kumaşının maliyeti yaklaşık 50 \$' dir.
- **Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir,** kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesme dayanım özelliği bulunmaktadır.
- **Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır,** standartlaşmış bir kalite yoktur.







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 9. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

### Dezavantajları

- **Kompozitler gevrek malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarılmaları yeni problemler yaratabilir.**
- **Malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır.** Bazı tür kompozitlerin soğutulularak saklanmaları gerekmektedir. Sıcak kurutma gerekmektedir. Kompozitler onarılmadan önce çok iyi olarak temizlenmeli ve kurutulmalıdır. Bazı durumlarda bu zor olabilir. Bazı kurutma teknikleri uzun zaman alabilmektedir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 10. Referanslar

- [1] Semizoğlu, H. İ., 2019, Kompozit Malzemelerin Uçaklarda Avantaj ve Dezavantajları, Erişim adresi <https://malzemebilimi.net/kompozit-malzemelerin-ucaklarda-avantaj-ve-dezavantajlari.html>.
- [2] Kaya, O. M., 2012, KOMPOZİT MALZEMELER VE OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANIMLARI, Erişim adresi <http://onurmemduhkaya.blogspot.com/2012/03/kompozit-malzemeler-ve-otomotiv.html>
- [3] Rüzgar Türbini, Rüzgar Gülü Nedir, Özellikleri Nelerdir?, 2022, Erişim adresi <https://www.ekonomiksolar.com/ruzgar-turbini-ruzgar-gulu-nedir-ozellikleri-nelerdir/>
- [4] Denizcilik, Tekne yapımı, Yücel Kompozit, 2022, Erişim adresi <https://yucelkompozit.com.tr/kullan-ctp-kompozit-kullanma-alanlari.html>
- [5] Çağın malzemesi: Kompozit, 2020, Erişim adresi <https://www.tokihaber.com.tr/dosya-haber/cagin-malzemesi-kompozit/>
- [6] Strong, A. Brent. *Fundamentals of composites manufacturing: materials, methods and applications*. Society of manufacturing engineers, 2008.
- [7] Balasubramanian, M. *Composite materials and processing*. Boca Raton: CRC press, 2014
- [8] 63. Gay, D., Hoa, S. V. and Tsai, S.W., 2003, "Composite materials design and applications, 4th ed." CRC Press, New York, 15-20,151, 168,187-209.
- [9] YASTIMOĞLU, F. ve ÖZKAN, A., 2017, Tekrarlanan Yükler Altında Kompozit Malzemelerin Yapılarının İncelenmesini Amaçlayan Deney Aygıtı Tasarımı, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5, 56-66.
- [10] Kompozit Malzeme Nedir? Kullanımı ve Örnekleri, 2020, Erişim adresi <https://www.elektrikde.com/kompozit-malzeme-nedir-kullanimi-ve-ornekler>
- [11] Polimer Matris Malzemeli Tekne Gövdesi Tasarımı ve Hidrodinamik Difraksiyon Analizi, Erişim adresi <https://pi404.com/kategori/muhendislik/tasarim/>
- [12] Epoksi reçinelerinin çeşitleri, özellikleri ve kapsamı, Erişim adresi <https://icolorex-tr.technoluxpro.com/klej/smoly/epoksidnaya-smola.html>
- [13] Stradley, M., 2018, Epoxy Resin in Aircraft Construction, Erişim adresi <https://www.linkedin.com/pulse/epoxy-resin-aircraft-construction-marlo-stradley/>.
- [14] Polyester Reçinesi ve Kullanım Alanları, 2017, Erişim adresi <https://www.turkchem.net/polyester-recinesi-kullanim-alanlari.html>.
- [15] POLYESTER REÇİNESİ VE KULLANIM ALANLARI, 2018, Erişim adresi <https://www.mefaticaret.com/2018/08/08/polyester-recinesi-ve-kullanim-alanlari/>





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 10. Referanslar

- [15] POLYESTER REÇİNESİ VE KULLANIM ALANLARI, 2018, Erişim adresi <https://www.mefaticaret.com/2018/08/08/polyester-recinesi-ve-kullanim- Alanlari/>
- [16] Bisfenol-A Epoksi Bazlı Vinilester Reçineler, Erişim adresi <https://poliya.com/tr/bisfenol-a-epoksi-bazli-vinilester-recineler/>
- [17] Fenolik Reçine 600 800 Ohm MZ4 PTC Termistörler Aşırı Akım Koruması, Erişim adresi <https://turkish.fuse-china.com/sale-14023619-phenolic-resin-600-800-ohm-mz4-ptc-thermistors-overcurrent-protection.html>.
- [18] Tanksavar mayını, Erişim adresi [https://tr.wikipedia.org/wiki/Tanksavar\\_may%C4%B1n%C4%B1](https://tr.wikipedia.org/wiki/Tanksavar_may%C4%B1n%C4%B1)
- [19] Dünyanın en hızlı kara araçları, 2010, Erişim adresi <https://www.ntv.com.tr/galeri/teknoloji/dunyanin-en-hizli-kara-araclari,6i4NdDXbj0avJ6uxj3Vq-w/n6cVWC5DoUCJSNVFdOPrKA>.
- [20] Bavan, D. Saravana, and GC Mohan Kumar. "Potential use of natural fiber composite materials in India." *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 29.24 (2010): 3600-3613.
- [21] İşlek, H. İ., Takviye Nedir?, 2020, Erişim adresi <http://kompozithayalleri.com/takviye-nedir/>.
- [22] Yıldırım, H., 2009, DEĞİŞİK KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ, Y. Lisans Tezi, FIRAT ÜNİVERSİTESİ.
- [23] Surappa, M.K., (2003). "Aluminium Matrix Composites: Challenges and Opportunities", *Sadhana*, 28 (1-2): 319-334.
- [24] B. Beşergil, (2016, Mayıs 16). Kompozitler, [Online]. Erişim: [http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page\\_97.html](http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_97.html)
- [25] NASA, Hubble Uzay Teleskobu gözlemlerini durdurdu, 2021, Erişim adresi <https://www.ntv.com.tr/teknoloji/nasa-hubble-uzay-teleskobu-gozlemlerini-durdurdu,FjmLCDRc20mBKSwgm4RTMA>
- [26] UYDULARIN BİLEŞENLERİ, Erişim adresi <https://tua.gov.tr/tr/blog/havacilik-ve-teknoloji/uydularin-bilesenleri>
- [27] Arunachalam, R., Krishnan, P. K. and Muraliraja, R., 2019, A review on the production of metal matrix composites through stir casting – Furnace design, properties, challenges, and research opportunities, *Journal of Manufacturing Processes*, 42, 213–245.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 10. Referanslar

- [28] Weeton, J. W. (1987). *Engineers' guide to composite materials/John w. weton, dean m. peters, karyn l. Thomas.*
- [29] Nieh, T. G. "Creep rupture of a silicon carbide reinforced aluminum composite." *Metallurgical Transactions A* 15 (1984): 139-146.
- [30] SINTX Enters Ceramic Armor Market Through Purchase of Assets from B4C, LLC and Technology License from Precision Ceramics USA Inc., Erişim adresi <https://www.businesswire.com/news/home/20210722005275/en/SINTX-Enters-Ceramic-Armor-Market-Through-Purchase-of-Assets-from-B4C-LLC-and-Technology-License-from-Precision-Ceramics-USA-Inc>
- [31] *National Educators' Workshop: Update 2001: Standard Experiments in Engineering, Materials Science, and Technology.* National Aeronautics and Space Administration, Langley Research Center, 2002.
- [32] Sabancı, ř. "Fiber Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitlerin Enjeksiyon Yöntemi ile Üretim." *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2005): 11-22.
- [33] Kompozit Malzemeler, Erişim adresi [https://tr.wikipedia.org/wiki/Kompozit\\_Malzemeler](https://tr.wikipedia.org/wiki/Kompozit_Malzemeler).
- [34] Kompozit Malzemelerin Yapısı, Erişim adresi <https://accluster.com/blog-post.html?kategori=kurumsal&slug=kompozit-malzemelerin-yapisi>
- [35] Callister, William D., and David G. Rethwisch. *Materials science and engineering: an introduction.* Vol. 7. New York: John wiley & sons, 2007.
- [36] Alkan, M. S., 2016, Karbon – Karbon Kompozit Malzemeler, Erişim adresi <https://malzemebilimi.net/karbon-karbon-kompozit-malzemeler.html>.
- [37] Karbon Karbon Kompozit, Erişim adresi <https://www.mersen.com.tr/tr/urunler/ozel-grafit-uygulamalari/karbon-karbon-kompozit>.
- [38] NANO COMPOSITES, Erişim adresi <https://shayonano.com/nano-composites/>
- [39] Ozcan, G., 2013, Polimer Esaslı Nanokompozitler ve Tekstil Uygulamaları, *Tekstil ve Mühendis* 20:36-47.
- [40] Bağcivan, E. C., 2016, Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerde El Yatırma Yöntemi, Erişim adresi <https://malzemebilimi.net/elyaf-takviyeli-kompozit-malzemelerde-el-yatirma-yontemi.html>.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 10. Referanslar

- [41] Durgun, İ., 2014, El Yatırma Yöntemi İle Kompozit Parça Üretimi, 7. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, Çankaya Üniversitesi, Ankara
- [42] Püskürtme (spray-up), Erişim adresi <http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index3.html>.
- [43] El Yatırması – Püskürtme, Erişim adresi <https://www.akpakimya.com/uygulama-alani/el-yatirmasi-puskurtme>
- [44] TOPTAŞ, E., ÇAĞLARER, E. ve AKKUŞ, N., 2013, SÜREKLİ KARBON ELYAF DEMETİNDEKİ HASARIN ELEKTRİKSEL YÖNTEMLE ÖLÇÜMÜ, VIII. ULUSAL ÖLÇÜMBİLİM KONGRESİ, Gebze-KOCAELİ.
- [45] Filament Sarma Makinesi, Erişim adresi <https://www.youtube.com/watch?v=IWFccna1GeE>.
- [46] KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ, Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi, 2022, Erişim adresi <https://tekstilbilgi.net/kompozitlerin-uretim-yontemleri.html>.
- [47] Kompozit Üretim Yöntemleri, 2020, Erişim adresi <https://www.ceyrekmuhendis.com/kompozit-uretim-yontemleri/>.
- [48] ÇAĞAR, P. K., DOĞRU, A., YALKIN, E., 2016, POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN VAKUM İNFÜZYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE ÜRÜNLERİN TAHRİBATSIZ MUAYENESİ, VI. ULUSAL HAVACILIK VE UZAY KONFERANSI, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- [49] Vakum İnfüzyon Yöntemi, Erişim adresi <https://www.makrokompozit.com/vakum-infuzyon-yontemi/>.
- [50] Tahir, T., Kayran, A., Alemdaroğlu, N., Ceylan, M., 2007, Vakum Torbalama Yöntemi ile Kompozit Malzemedeki Yapı Üretimi Örnek Bir Havacılık Uygulaması, Mühendis ve Makina Cilt : 48, Sayı: 566.
- [51] Otoklavlar, Kompozit, Erişim adresi <https://www.akarmak.com/urun/kompozit>.
- [52] KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ, Otoklav Yöntemi, 2022, Erişim adresi <https://tekstilbilgi.net/kompozitlerin-uretim-yontemleri.html>.
- [53] Bedir, F., 2007, Characteristic Properties of Al - Cu - B<sub>4</sub> C<sub>p</sub> and Al - Cu – SiC<sub>p</sub> Composites Produced By Hot Pressing Method Under Nitrogen Atmosphere. Materials and Design 28, 1238 – 1244.
- [54] Pultrüzyon, Erişim adresi <https://www.fiberr.com.tr/pultruzyon>





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

## 10. Referanslar

- [55] İşlek, H. İ., 2020, Üretim Yöntemlerine Genel Bakış, Sürekli Laminasyon, Erişim adresi <http://kompozithayalleri.com/uretim-yontemlerine-genel-bakis/>
- [56] Malzeme Tasarımı ve Seçimi Ders Notları, Bartın Üniversitesi, Bartın.
- [57] Aronsson, A., 2005, Design, Modeling and Drafting of Composite Structures, Master Thesis, Luleå University of Technology.
- [58] Fibersim Engineering innovative, durable and lightweight composite structures, Erişim adresi, <https://oneplm.com/fibersim/>.
- [59] Guillermin, O., 2002, FIBERSIM: ADVANCED CAD SOFTWARE FOR COMPOSITE ENGINEERING, FROM RACING TO PRODUCTION, Materials Science, Corpus ID: 219186884.
- [60] Herráez, M., Fernández, A., Lopes, C. S. ve González, C., 2016, Strength and toughness of structural fibres for composite material reinforcement, Phil.Trans.R.Soc. A ,374: 20150274.
- [61] Creating a Ply Book, Erişim adresi [http://catiadoc.free.fr/online/cfyugcpd\\_C2/cfyugcpdplybook.htm](http://catiadoc.free.fr/online/cfyugcpd_C2/cfyugcpdplybook.htm)
- [62] ExactFlat Is Software For 3D To 2D Digital Pattern Making, Erişim adresi <https://www.print3dd.com/product/software-exactflat/>.
- [63] Suri, M., What are Finite Elements?, Erişim adresi <https://manilsuri.umbc.edu/what-are-finite-elements/>.
- [64] Lockwood, A. J., 2016, Microstructural Composites Simulator Integrates with ANSYS, Erişim adresi <https://www.digitalengineering247.com/article/microstructural-composites-simulator-integrates-with-ansys/>.
- [65] Zor, M. ve Güzenge, O., 2007, ÖRNEKLERLE ANSYS WORKBENCH'E GİRİŞ, <http://www.yusufozturk.info/wp-content/uploads/2009/05/workbenche-giris.pdf>.
- [66] Onat, A., 2015, KOMPOZİT MALZEMELERİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI, Kompozit Malzemeler Ders Notları.







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

# İlginiz için Teşekkür Ederiz!

E-Mail: [info@butexcomp.com](mailto:info@butexcomp.com)



BUTEXCOMP hakkında daha fazla bilgi için:

[www.butexcomp.org](http://www.butexcomp.org)



@butexcomp

