

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
MEKANİK BİLİM DALI**

**DOĞAL PARÇACIKLAR İLE TAKVİYE EDİLMİŞ POLİMER MATRİSLİ  
KOMPOZİTLERİN DENEYSEL VE HESAPLAMALI MEKANİK ANALİZİ**

**Ahmet ŞANLITÜRK**

**Danışman  
Doç. Dr. Bozkurt Burak ÖZHAN**



**MANİSA-2022**

**Ahmet ŞANLITÜRK**

**DOĞAL PARÇACIKLAR İLE TAKVİYE EDİLMİŞ POLİMER MATRİSLİ  
KOMPOZİTLERİN DENEYSEL VE HESAPLAMALI MEKANİK ANALİZİ**

**2022**

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Ahmet ŞANLITÜRK**



## İÇİNDEKİLER

|                                                                   | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------|-------|
| İÇİNDEKİLER .....                                                 | I     |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                              | III   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                              | IV    |
| TABLO DİZİNİ .....                                                | VII   |
| TEŞEKKÜR.....                                                     | VIII  |
| 1.GİRİŞ .....                                                     | 1     |
| 2.GENEL BİLGİLER .....                                            | 6     |
| 2.1. Kompozit Malzemeler .....                                    | 6     |
| 2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....                | 7     |
| 2.2.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler .....                   | 7     |
| 2.2.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler .....                 | 8     |
| 2.2.3. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler .....                 | 8     |
| 2.3. Takviye Elemanlarının Sınıflandırılması .....                | 10    |
| 2.3.1. Fiber Takviyeli Kompozitler .....                          | 11    |
| 2.3.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler .....                       | 12    |
| 2.3.3. Tabakalı Fiber Kompozitler.....                            | 12    |
| 3.DOĞAL TAKVİYELİ KOMPOZİTLER.....                                | 13    |
| 3.1. Takviye Olarak Doğal Liflerin Kullanmanın Üstünlükleri ..... | 13    |
| 3.2. Takviye Olarak Doğal Lif Kullanmanın Sınırlamaları.....      | 14    |
| 3.3. Doğal Liflerin Sınıflandırılması .....                       | 15    |
| 3.4. Doğal Liflerin Uygulama Alanları .....                       | 17    |
| 4. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ .....                  | 19    |
| 4.1. Elle Yatırma .....                                           | 19    |
| 4.2. Sprey Kalıplama .....                                        | 20    |
| 4.3. Prepreg.....                                                 | 20    |
| 4.4. Filament Sarma.....                                          | 21    |
| 4.5. Vakum Torbalama .....                                        | 22    |
| 4.6. Enjeksiyon Kalıplama .....                                   | 22    |
| 4.7. Basınçlı Kalıplama .....                                     | 23    |
| 4.8.Reçine Transfer Kalıplama.....                                | 24    |
| 4.9. Pultrüzyon Kalıplama.....                                    | 25    |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 4.10. Savurma (Santrifüj) Kalıplama .....                       | 26 |
| 5. MATERYAL VE YÖNTEM .....                                     | 27 |
| 5.1. Kalıp Tasarımı, Kullanılacak Modellerin Hazırlanması ..... | 27 |
| 5.2. Silikon Kalıpların Üretilmesi .....                        | 28 |
| 5.3. Takviye Elemanlarının Hazırlanması .....                   | 29 |
| 5.4. Numunelerin Üretilmesi .....                               | 32 |
| 5.5. Mekanik Deneyler .....                                     | 34 |
| 5.5.1. Çekme Deneyi.....                                        | 34 |
| 5.5.2. Eğilme Deneyi .....                                      | 36 |
| 5.5.3. Sertlik Deneyi .....                                     | 38 |
| 5.6. Sonlu Eleman Yöntemi ile Analiz .....                      | 39 |
| 6. DENEY SONUÇLARI .....                                        | 45 |
| 6.1. Çekme Deneyi Sonuçları .....                               | 45 |
| 6.2. Eğilme Sonuçları .....                                     | 52 |
| 6.3. Makro Sertlik Sonuçları .....                              | 58 |
| 7.HESAPLAMALI ANALİZ SONUÇLARI.....                             | 62 |
| 7.1. Çekme Deneyi Hesaplamalı Analiz Sonuçları .....            | 62 |
| 7.2. Eğilme Deneyi Hesaplamalı Analiz Sonuçları .....           | 70 |
| 8. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                      | 80 |
| KAYNAKLAR .....                                                 | 83 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|             |                                                      |
|-------------|------------------------------------------------------|
| <b>YK</b>   | Yumurta kabuğu                                       |
| <b>YFK</b>  | Yer fıstığı kabuğu                                   |
| <b>ÜÇ</b>   | Üzüm çekirdeği                                       |
| <b>°C</b>   | Santigrat derece                                     |
| <b>ASTM</b> | Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu |
| <b>mm</b>   | Milimetre                                            |
| <b>N</b>    | Newton                                               |
| <b>µm</b>   | Mikrometre                                           |
| <b>nm</b>   | Nanometre                                            |
| <b>PP</b>   | Polipropilen                                         |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                            | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1. Kompozit Bileşenleri .....                                                                                                      | 6     |
| Şekil 2.2. Takviye Elemanlarına Göre Metal Matrisli Kompozitler .....                                                                      | 7     |
| Şekil 2.3. Termoplastik Çeşitleri .....                                                                                                    | 9     |
| Şekil 2.4. Termoset Çeşitleri .....                                                                                                        | 10    |
| Şekil 2.5. (a) Elyaf Tavkiyeli Kompozit, (b) Parçacık Takviyeli Kompozit, (c) Tabakalı Kompozit .....                                      | 11    |
| Şekil 3.1. Doğal Lif Türleri .....                                                                                                         | 15    |
| Şekil 3.2. Bitki bazlı doğal örnek lifler .....                                                                                            | 16    |
| Şekil 3.3. Mercedes Benz'e ait otomobil parçaları (a), Mercedes Benz kapı paneli (b) .....                                                 | 17    |
| Şekil 3.4. Kapı döşemesi keten-PP (a), bambu takviyeli kompozit kapı paneli (b) ...                                                        | 17    |
| Şekil 3.5. Dokuma Kenevir Elyaf Kompozitinden Yapılmış Otomobil Kapısı (a), Dış cephede döşeme için kullanılan doğal lif görseli (b) ..... | 18    |
| Şekil 3.6. Kenaf/PP-Dizüstü Bilgisayar Kasası (a), NFC'den Yapılmış Cep Telefonu Kılıfı (b) .....                                          | 18    |
| Şekil 4.1. Elle Yatırma Yöntemi .....                                                                                                      | 19    |
| Şekil 4.2. Sprey Kalıplama Yöntemi .....                                                                                                   | 20    |
| Şekil 4.3. Prepreg Üretim Yöntemi .....                                                                                                    | 21    |
| Şekil 4.4. Filament Sarma Yöntemi .....                                                                                                    | 21    |
| Şekil 4.5. Vakumda Torbalı Kalıplama Yöntemi .....                                                                                         | 22    |
| Şekil 4.6. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi .....                                                                                              | 23    |
| Şekil 4.8. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi .....                                                                                              | 24    |
| Şekil 4.9. Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi .....                                                                                         | 25    |
| Şekil 4.10. Pultrüzyon Kalıplama Yöntemi .....                                                                                             | 25    |
| Şekil 4.10. Savurma Kalıplama Yöntemi .....                                                                                                | 26    |
| Şekil 5.1. Tahta modeller ve kalıpların monte edilmemiş görüntüsü .....                                                                    | 27    |
| Şekil 5.2. Çekme ve üç nokta eğilme numunelerine ait silikon kalıpların görüntüsü                                                          | 28    |
| Şekil 5.3. Yumurta kabuğu (a), yerfıstığı kabuğu (b) ve üzüm çekirdeği (c) .....                                                           | 29    |
| Şekil 5.4. Kompozit numunelerin üretim süreci .....                                                                                        | 30    |
| Şekil 5.5. Sırasıyla yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği tozları ..                                                       | 31    |
| Şekil 5.6. Elek makinesi .....                                                                                                             | 31    |
| Şekil 5.7. Çekme, eğilme ve sertlik deney numuneleri .....                                                                                 | 33    |
| Şekil 5.8. Çekme Testi Numunesinin Teknik Çizimi .....                                                                                     | 34    |
| Şekil 5.9. Örnek çekme numunesi .....                                                                                                      | 35    |
| Şekil 5.10. Çekme test cihazı .....                                                                                                        | 35    |
| Şekil 5.11. Örnek 3 nokta eğilme numunesi .....                                                                                            | 36    |
| Şekil 5.12. Eğilme test cihazında numuneye yükün uygulanması .....                                                                         | 36    |
| Şekil 5.13. Üç Nokta Eğilme Test Düzenegi .....                                                                                            | 37    |
| Şekil 5.14. Eğilme Testi Numunesinin Teknik Çizimi .....                                                                                   | 37    |
| Şekil 5.15. Makro sertlik test cihazı .....                                                                                                | 38    |
| Şekil 5.16. Yumurta kabuğu takviye elemanının tanımlaması .....                                                                            | 40    |

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.17. Yer fıstığı kabuğu takviye elemanının tanımlaması .....                                           | 40 |
| Şekil 5.18. Üzüm çekirdeği takviye elemanının tanımlaması.....                                                | 40 |
| Şekil 5.19. Matris elemanı epoksinin tanımlaması .....                                                        | 41 |
| Şekil 5.20. Kompozit malzemenin oluşturulması .....                                                           | 41 |
| Şekil 5.21. Çekme numunesinin üç boyutlu gösterimi .....                                                      | 42 |
| Şekil 5.22. Eğilme numunesinin üç boyutlu gösterimi .....                                                     | 42 |
| Şekil 5.23. Proje şemasının gösterimi .....                                                                   | 43 |
| Şekil 5.24. Çekme analizi statik yapı gösterimi .....                                                         | 43 |
| Şekil 5.25. Eğilme analizi statik yapı gösterimi.....                                                         | 44 |
| Şekil 6.1. Yer fıstığı kabuğu takviyeli numunelerin çekme kuvveti (N) – yer<br>değiştirme (mm) grafiği .....  | 46 |
| Şekil 6.2. Yer fıstığı kabuğu çekme gerilmesi – yüzde ağırlık grafiği .....                                   | 47 |
| Şekil 6.3. Yumurta kabuğu takviyeli numunelerin çekme kuvveti (N) – yer<br>değiştirme (mm) grafiği .....      | 48 |
| Şekil 6.4. Yumurta kabuğu çekme gerilmesi – yüzde ağırlık grafiği.....                                        | 49 |
| Şekil 6.5. Üzüm çekirdeği takviyeli numunelerin çekme kuvveti (N) – yer değiştirme<br>(mm) grafiği .....      | 50 |
| Şekil 6.6. Üzüm çekirdeği çekme gerilmesi – yüzde ağırlık grafiği.....                                        | 51 |
| Şekil 6.7. Yer fıstığı kabuğu takviyeli numunelerin eğilme kuvveti (N) – yer<br>değiştirme (mm) grafiği ..... | 52 |
| Şekil 6.8. Yer fıstığı kabuğu eğilme gerilmesi – yüzde ağırlık grafiği.....                                   | 53 |
| Şekil 6.9. Yumurta kabuğu takviyeli numunelerin eğilme kuvveti (N) – yer<br>değiştirme (mm) grafikleri .....  | 54 |
| Şekil 6.10. Yumurta kabuğu eğilme gerilmesi – yüzde ağırlık grafiği .....                                     | 55 |
| Şekil 6.11. Üzüm çekirdeği takviyeli numunelerin eğilme kuvveti (N) – yer<br>değiştirme (mm) grafikleri ..... | 56 |
| Şekil 6.12. Üzüm çekirdeği eğilme gerilmesi – yüzde ağırlık grafiği .....                                     | 57 |
| Şekil 6.13. Sertlik testi sırasında doğal takviyeli kompozitlerin temsili görselleri....                      | 59 |
| (a)yumurta kabuğu, (b) yer fıstığı kabuğu, (c) üzüm çekirdeği .....                                           | 59 |
| Şekil 6.14. Yumurta kabuğu Brinell sertlik – yüzde ağırlık grafiği.....                                       | 60 |
| Şekil 6.15. Yer fıstığı kabuğu Brinell sertlik – yüzde ağırlık grafiği.....                                   | 60 |
| Şekil 6.16. Üzüm çekirdeği Brinell sertlik – yüzde ağırlık grafiği .....                                      | 61 |
| Şekil 7.1. %5 YK takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması .....                              | 62 |
| Şekil 7.2. %15 YK takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması .....                             | 62 |
| Şekil 7.3. %25 YK takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması .....                             | 63 |
| Şekil 7.4. %5 YFK takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması .....                             | 63 |
| Şekil 7.5. %15 YFK takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması ...                              | 63 |
| Şekil 7.6. %25 YFK takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması ...                              | 64 |
| Şekil 7.7. %5 ÜÇ takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması.....                               | 64 |
| Şekil 7.8. %15 ÜÇ takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması.....                              | 64 |
| Şekil 7.9. %25 ÜÇ takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması.....                              | 65 |
| Şekil 7.10. %5 YFK takviyeli kompozit çekme testi sonucu.....                                                 | 65 |
| Şekil 7.11. %15 YFK takviyeli kompozit çekme testi sonucu.....                                                | 66 |
| Şekil 7.12. %25 YFK takviyeli kompozit çekme testi sonucu.....                                                | 66 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 7.13. %5 YK takviyeli kompozit çekme testi sonucu .....                            | 66 |
| Şekil 7.14. %15 YK takviyeli kompozit çekme testi sonucu .....                           | 67 |
| Şekil 7.15. %25 YK takviyeli kompozit çekme testi sonucu .....                           | 67 |
| Şekil 7.16. %5 ÜÇ takviyeli kompozit çekme testi sonucu .....                            | 67 |
| Şekil 7.17. %15 ÜÇ takviyeli kompozit çekme testi sonucu .....                           | 68 |
| Şekil 7.18. %25 ÜÇ takviyeli kompozit çekme testi sonucu .....                           | 68 |
| Şekil 7.19. %5 YK takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması .....   | 70 |
| Şekil 7.21. %25 YK takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması .....  | 71 |
| Şekil 7.22. %5 YFK takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması .....  | 71 |
| Şekil 7.23. %15 YFK takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması ..... | 72 |
| Şekil 7.24. %25 YFK takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması ..... | 72 |
| Şekil 7.25. %5 ÜÇ takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması .....   | 73 |
| Şekil 7.26. %15 ÜÇ takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması .....  | 73 |
| Şekil 7.27. %25 ÜÇ takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması .....  | 74 |
| Şekil 7.28. %5 YK takviyeli numune eğilme testi sonucu .....                             | 74 |
| Şekil 7.29. %15 YK takviyeli numune eğilme testi sonucu .....                            | 75 |
| Şekil 7.30. %25 YK takviyeli numune eğilme testi sonucu .....                            | 75 |
| Şekil 7.31. %5 YFK takviyeli numune eğilme testi sonucu .....                            | 76 |
| Şekil 7.32. %15 YFK takviyeli numune eğilme testi sonucu .....                           | 76 |
| Şekil 7.33. %25 YFK takviyeli numune eğilme testi sonucu .....                           | 77 |
| Şekil 7.34. %5 ÜÇ takviyeli numune eğilme testi sonucu .....                             | 77 |
| Şekil 7.35. %15 ÜÇ takviyeli numune eğilme testi sonucu .....                            | 78 |
| Şekil 7.36. %25 ÜÇ takviyeli numune eğilme testi sonucu .....                            | 78 |

## TABLO DİZİNİ

|                                                                                                             | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Tablo 5.1. Numunelere katılan doğal lif toz miktarları.....                                                 | 32           |
| Tablo 6.1. Yer fıstığı kabuğu takviyeli numunelerin çekme kuvveti ve gerilme değerleri.....                 | 45           |
| Tablo 6.2. Yumurta kabuğu takviyeli numunelerin çekme kuvveti ve gerilme değerleri.....                     | 47           |
| Tablo 6.3. Üzüm çekirdeği takviyeli numunelerin çekme kuvveti ve gerilme değerleri .....                    | 50           |
| Tablo 6.4. Yer fıstığı kabuğu takviyeli numunelerin eğilme kuvveti ve gerilme değerleri.....                | 53           |
| Tablo 6.5. Yumurta kabuğu takviyeli numunelerin eğilme kuvveti ve gerilme değerleri.....                    | 55           |
| Tablo 6.6. Üzüm çekirdeği takviyeli numunelerin eğilme kuvveti ve gerilme değerleri.....                    | 57           |
| Tablo 6.7. Numunelere ait sertlik değerleri .....                                                           | 58           |
| Tablo 7.1. Yumurta kabuğu takviyeli kompozitlerin çekme deneysel ile hesaplamalı analiz sonuçları.....      | 69           |
| Tablo 7.2. Yer fıstığı kabuğu takviyeli kompozitlerin çekme deneysel ile hesaplamalı analiz sonuçları.....  | 69           |
| Tablo 7.3. Üzüm çekirdeği takviyeli kompozitlerin çekme deneysel ile hesaplamalı analiz sonuçları.....      | 69           |
| Tablo 7.4. Yumurta kabuğu takviyeli kompozitlerin eğilme deneysel ile hesaplamalı analiz sonuçları.....     | 79           |
| Tablo 7.5. Yer fıstığı kabuğu takviyeli kompozitlerin eğilme deneysel ile hesaplamalı analiz sonuçları..... | 79           |
| Tablo 7.6. Üzüm çekirdeği takviyeli kompozitlerin eğilme deneysel ile hesaplamalı analiz sonuçları.....     | 79           |

## TEŞEKKÜR

Eğitim ve öğretim hayatımda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimimde başından beri desteğini ve sabrını esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. B. Burak Özhan'a teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet ŞANLITÜRK  
Manisa, 2022



## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

**Ahmet ŞANLITÜRK**  
**Manisa Celal Bayar Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. B. Burak ÖZHAN**

Bu çalışmada yumurta kabuğu, fıstık kabuğu ve üzüm çekirdeği tozları ile güçlendirilmiş epoksi reçineden oluşan doğal kompozitler incelenmiştir. Standartlara uygun olarak numuneler üretilmiş ve numuneler üzerinde mekanik analizler gerçekleştirilmiştir. Kompozitlerin sertlik, çekme ve eğilme özellikleri dolgu tipi ve içeriklerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Doğal takviye elemanları ağırlıkça %5, %15 ve %25 olmak üzere üç farklı oranda polimer içerisine eklenmiş ve geleneksel döküm yöntemi ile üretilmiştir. Matris malzemelerine eklenen yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği tozları katkısı, yüksek çekme dayanımına sahip saf epoksiyi bazı oranlar için olumsuz etkilemiştir. Bununla birlikte, %5 yumurta kabuğu takviyeli kompozitler, saf epoksiye kıyasla numunenin çekme mukavemetini %25 arttırmıştır. Saf epoksiye eklenen yumurta kabuğu, fıstık kabuğu ve üzüm çekirdeği tozlarının eğilme ve sertlik mukavemeti üzerinde olumlu etkisi olmuştur. Deneysel çalışmalarla karşılaştırmak ve sonuçların doğruluğunu ortaya koyabilmek adına kompozit malzemelerin Ansys paket programıyla sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Deneysel sonuçlar girdi olarak kullanılarak hesaplamalı analizler yapılmış, elde edilen sonuçlar deneylerle kıyaslanmıştır. Hesaplamalı analiz ve deney sonuçlarının birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal kompozitler, doğal kompozitler, deneysel mekanik, çekme testi, üç nokta eğilme, sertlik, yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu, üzüm çekirdeği, hesaplamalı mekanik.

**2022, 87 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

**Ahmet ŞANLITÜRK**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. B. Burak ÖZHAN**

In this study, the composites consisted of epoxy resin reinforced with egg shell, peanut shell and grapeseed powders are investigated. Hardness, tensile and bending properties of composites are evaluated dependent on fiber types and contents. The natural fibers are added into the polymer with three different ratios as 5%, 15% and 25% weight percent and manufactured with traditional moulding process. Neat epoxy is affected negatively some rates which added peanut, egg shell and grapeseed powders into matrix materials. However, 5% eggshell reinforced composites increased the tensile strength by 25% compared to neat epoxy. Powder of egg shell, peanut shell and grape seed are added to neat epoxy. It is occurred affirmative result on three bending and hardness strength. The composite material is modeled in a computer aided program. Experimental results are used as input. Computational analysis based on finite element method are performed. Experimental results are compared and close results are obtained.

**Keywords:** Natural composites, natural composites, experimental mechanic, tensile testing, three-point bending, hardness, eggshell, peanut shell, grape seed, computational mechanic.

**2022, 87 pages**

## 1.GİRİŞ

Hızla gelişen teknoloji havacılık, otomotiv ve savunma gibi sanayilerde artan rekabet, yüksek performanslı ürünlerin tasarımını zorunlu kılmıştır. 1950 yılından itibaren hafif ve yüksek mukavemetli kompozit malzemeler üretilmiş ve kullanım alanları günden güne daha da yaygınlaşmıştır. Sentetik elyaf takviyeli kompozitler, yüksek maliyetler, doğada geri dönüştürülemez olmaları veya üretim süreçlerinin zaman alması sebebiyle bazı alanlarda yerlerini doğal takviyeli kompozitlere bırakmışlardır. Bahsi geçen sebeplerle doğal liflere olan ilgi sentetik liflere göre daha fazla olmuştur. Doğal liflerin kalitesi, kompozitlerde bir takviye malzemesi olarak tercih edilmelerine sebep olmuştur. (Kalia ve arkadaşları, 2009) [1]. Doğal liflerin polimer matrisli kompozitlerde takviyeli malzeme olarak kullanılması, çevre açısından da oldukça fayda sağlamaktadır. Kullanımı alanı olarak ele alınacak olursa, Avrupa'da, bitki lifleriyle üretilen kompozit malzemelerin çoğunluğu inşaat (%30) ve otomotiv (%25) endüstrisinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, doğal lifler endüstriyel donanım (%10), elektronik (%9), spor (%8), metalurji ve ulaşım (%6), elektronik teknolojisi (%6), havacılık endüstrisi (%3), tıp (%1) ve demiryolu (%1) gibi alanlarda kullanılmaktadır (Zimniewska ve arkadaşları, 2011) [2].

Otomotiv, uçak, uzay ve savunma sanayi gibi hızla gelişen sektörlerde fayda sağlayacak kompozit ürünler ortaya konulmaktadır. Üretilen malzemeler için yapılan mekanik testler ve benzetimler (simülasyonlar) sonucunda malzeme hakkında edinilen bilgiler üretim, tasarım ve kullanım açısından önem teşkil etmektedir.

Doğal liflerle yapılan bir çok çalışma mevcuttur: Yükseloğlu [3], bambu lifi kullanılarak farklı oranlarda takviye edilmiş vinilester matrisli kompozit malzemelerin mekanik dayanımını araştırmıştır. Çalışmanın sonuçları 3 mm ve üzeri boylarda bambu lifi eklenmesinin kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir.

Balcıoğlu ve ark. [4], 1 mm çapındaki ceviz kabukları ile farklı oranlarda takviye edilmiş polimer kompozit malzemelerin aşınma dirençlerini incelemişlerdir. Deney sonuçları, takviye miktarının %5'ten %15'e gittikçe kompozit malzemenin aşınma direncini arttırdığını göstermiştir.

Özgan [5], yaptığı çalışmada yumurta kabuğu tozunu ilave ederek ürettiği kompozitlerin ateşe dayanıklı, yanmaya dirençli olduğunu ortaya koymuştur. Kompozit malzemede, yumurta kabuğu tozu oranının artması çekme dayanımını ve sertliği arttırmıştır. Takviye elemanının belirli bir oranın üzerinde olması ise çekme dayanımını düşürmüştür. Ek olarak kopma uzaması ve eğilme direncinde de düşüşler meydana gelmiştir.

Muhammed ve Hadi [6], çalışmalarında doğal kauçukların bazı mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine yumurta kabuğunun etkisini incelemişlerdir. Yumurta kabuğu takviyeli kauçuğun pahalı ve toksik özelliği yüksek olan diğer malzemelerin yerine kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Croccolo ve ark. [7], takviye malzemesi olarak keten, matris malzemesi olarakta iki farklı reçine kullanarak kompozit malzeme üretmişlerdir. Bunların mekanik özelliklerini irdelemişlerdir. Eğilme, çekme ve kayma deneyleri yapmışlardır. Çalışmada sadece çekme ve eğilme deneyleri standarta uygun olduğundan yalnızca çekme ve eğilme deneylerini değerlendirmişlerdir. Dayanım ve sertlik bakımından vinilester reçinenin izoftalik reçineden daha düşük olduğu ortaya konulmuştur. Bunun dışında izoftalik reçinenin daha kullanışlı olduğu saptanmıştır.

Sağbaş ve ark. [8], yaptıkları çalışmada matris malzemesi olarak polyester takviye malzemesi olarakta farklı oranlarda keten lifleri kullanarak kompozit malzemeler üretmişlerdir. Üretimde elle yatırma tekniğini kullanmışlardır. Mekanik özellikler incelenmesi açısından çekme ve darbe testleri yapılmıştır. Sonuçlara göre takviye miktarı yükseldikçe çekme ve darbe dayanımının da yükseldiği görülmüştür.

H.İsmail ve ark. [9], yapıştırıcı madde varlığında ve yokluğunda bambu elyaf dolgu yüklemesinin etkilerini incelemiştir; Bambu lifi ile doğal kauçuk arasındaki yapışmanın, bağlayıcı ajan kullanımıyla arttırıldığını ve bunun da kompozitlerin hem çekme dayanımı hem de sertliğinde bir artışa yol açtığını ortaya koymuşlardır.

K. Okuba ve ark. [10], bambu tabanlı (bazlı) polimer kompozitler geliştirmişler ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir; Bambu elyaf demetlerinin, polimer matrisin takviyesi olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğu ve jüt elyaflarından daha yüksek gerilme mukavemeti gösterdiği ortaya konulmuştur.

Açıkel ve ark. [11], miskantus bitkisi ile takviye edilmiş betonun mekanik özelliklerini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneylerde kullanılacak numuneleri üretmek için, betonu miskantus bitkisinin öğütülmüş toz ya da lifleri ile takviye ederek, basınç, çekme ve eğilme testleri yapmışlardır.

Sapuan ve ark.[12], muz lifleriyle takviye edilmiş kompozitlerin mekanik özelliklerini belirlemek için üç nokta eğilme testi yapmışlardır. Elde edilen sonuçları istatistiksel olarak yorumlamak için varyans analizi (anova) yönteminden yararlanmışlardır.

He ve ark.[13], kalsiyum karbonat takviyesi ve epoksi reçine matrisiyle üretilen polimer matrisli kompozitlerin daha yüksek mekanik özelliklere sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Faruk ve ark. [14], biyopolimerler ve doğal lifler üzerine çalışmışlar, biyokompozitlerdeki takviye elemanlarının kaynak, yapı ve mekanik özelliklerine etkisini ve biyokompozitlerin üretimini etkileyen faktörleri araştırmışlardır.

Le ve Pickering [15], farklı lif içeriklerine sahip hizalanmış uzun harakke elyaf takviyeli epoksinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Fiber ilavesinin epoksinin çekme özelliklerini arttırdığını ortaya koymuşlardır.

Ramesh ve ark. [16], araştırmalarında poliamit/yumurta kabuğu içeren numuneler üreterek çekme, darbe ve burkulma deneyleri yapmışlardır. Yumurta kabuğu tozu miktarının artmasıyla çekme, darbe ve burkulma dayanım değerinde artışlar olduğunu ortaya koymuşlardır.

Aminabhavi ve ark. [17], yer fıstığı kabuğu gibi lifleri polimer matrise eklemişlerdir. Bu dolgu maddeleri ile üretilmiş olan betonların sıradan çimentolu betonlara göre daha iyi mekanik özellikleri olduğunu gözlemlemişlerdir. Epoksi emdirilerek güçlendirilen kabuklar ve kum ile üretilen kompozitlerin kullanımının, hafif beton üretiminde imento kullanım miktarı açısından ekonomi sağlayacağı sonucuna varmışlardır.

Adeosun ve ark. [18], farklı oranlarında kalsiyum karbonat takviyesinin polietilen matrisli kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Ağırlıkça kalsiyum karbonat yüzdesinin artması eğilme dayanımını arttırdığı sonucuna varmışlardır.

Arrakhiz ve ark. [19], çalışmalarında am kozalağı dolgu maddesinin polimer kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermişlerdir.

aloğlu [20], pamuk sapı takviyeli, polietilen matrisli kompozit malzemeler üretmiştir. Saf polietilene göre kompozitlerin çekme ve kopma mukavemet değerlerinde artış olduğunu ortaya koymuştur.

Baştürk ve ark. [21], meşe ve am palamudu takviyeli kompozitler üretmişlerdir. Bu malzemelerin sertlik ve çekme özelliklerini takviye elemanı türüne ve içeriğine göre incelemişlerdir. Takviye elemanları ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında katılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde am palamudu takviyeli kompozitler meşe palamudu takviyeli kompozitlere nazaran iyi sonuçlar vermiştir. Takviye elemanı oranının artması sertliği artırmıştır.

Bu çalışmada, doğal takviyeli kompozitlerin üretiminde yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği kullanılmıştır. Takviye elemanları mikron boyutuna getirilmek için öğütülerek elekten geçirilmiştir. Saf epoksi içersinde ağırlıkça %5, %15 ve %25 oranlarında takviye elemanları katılarak kompozit numuneler üretilmiştir. Mekanik özelliklerini kıyaslamak için numunelere çekme, üç nokta eğilme ve makro sertlik deneyleri yapılmıştır. Elde edilen kompozit malzemelerin deneysel ve hesaplamalı analiz sonuçlarının kıyaslanması amaçlanmıştır.

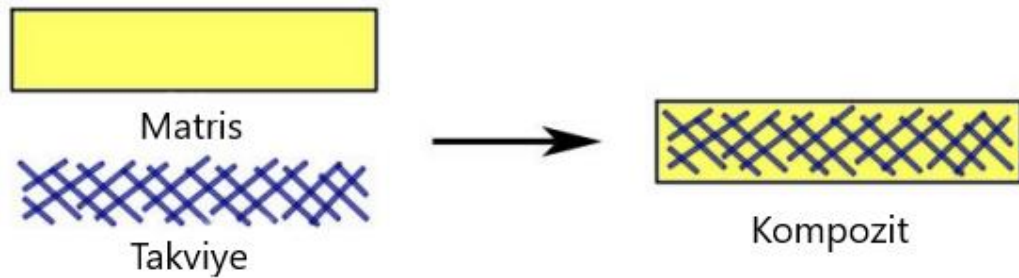
Tez kapsamında öncelikle kompozit malzemeler üzerine genel bilgiler verilmiştir. Kompozit malzemeler matris ve takviye elemanlarına göre sınıflandırılmış, her bir sınıf ayrı olarak tanıtılmıştır. Tezin temel yaklaşımına katkı olması açısından doğal takviyeli kompozit malzemelere ayrı bir bölüm ayrılmış burada özellikle doğal lifler detaylandırılmıştır. Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri ayrı bir bölümde detaylı olarak ele alınmıştır. Doğal malzeme takviyeli kompozit yapılar (deney numuneleri) için kalıpların tasarlanması ve kompozit yapıların hazırlanması detaylı olarak anlatılmıştır. Tez kapsamında yapılan mekanik deneylerin içerikleri ve hesaplamalı analiz adımları açıklanmış ardından yapılan deneylerin ve hesaplamalı analizlerin sonuçları ortaya konulmuştur. Sonuçlar detaylı olarak değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

## 2.GENEL BİLGİLER

Bu bölümde kompozit malzemelerin genel anlamda tanıtılması, çeşitlerinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

### 2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, kimyasal olarak birbirlerinden farklı, gaz halde bulunmayan bir veya daha fazla malzemenin sıfır kalınlıklı arayüz ile biraraya getirilmesi ile elde edilen malzemeler olarak tanımlanır. Doğada hazır halde bulunmaz. Kompozit malzeme, farklı fazlara sahip malzemelerden oluşan ve homojen olmayan bir yapı ile karakterize edilir. Elde edilen malzeme birleşimi, kendisini oluşturan münferit malzemelerde mevcut olmayan fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahiptir. Kompozit malzeme kendisini oluşturan malzemeler ile karşılaştırıldığında bunlardan daha üstün özellikler sunar. Kompozit malzemeleri oluşturan malzemeler bileşen olarak adlandırılır ve işlevlerine bağlı olarak nihai birleştirme ajanlarının yanı sıra matris ve takviye adını alır. Şekil 2.1’de kompozit malzeme bileşimleri ile ilgili görsel yer almaktadır.



Şekil 2.1. Kompozit Bileşenleri [22]

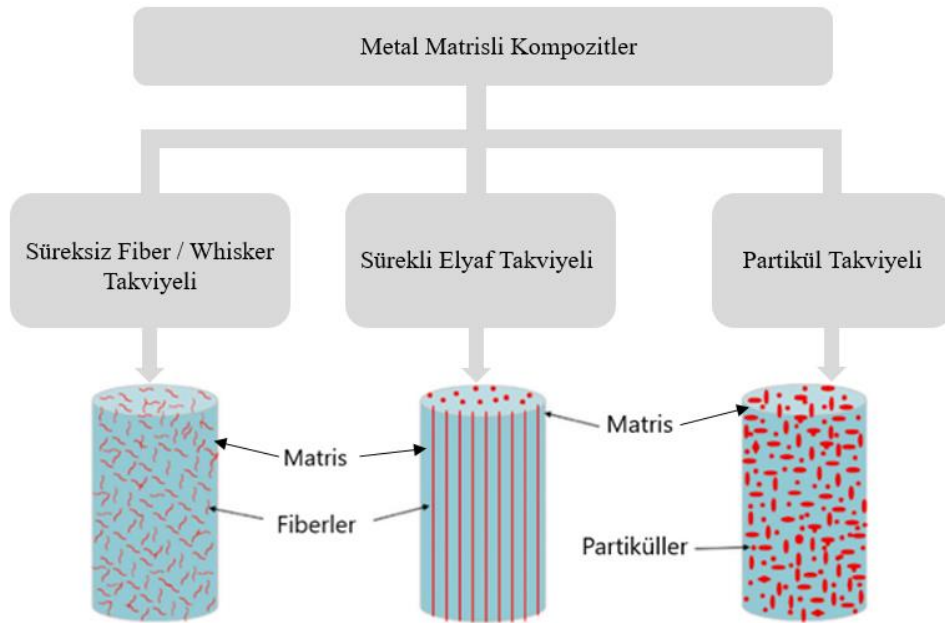
Kompozit malzemelerin çok fazla uygulama alanı mevcuttur. Genel olarak geleneksel malzemelerin yeterli olmadığı alanlarda yaygın olarak kullanılır ve kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır.

Havacılık (uçak ve bileřenleri), inřaat (beton duvarlar ve betonarme), biyomekanik-tıp (implantlar), otomotiv ve spor gibi dűřűk ağırlıklı ve yűksek mekanik űzelliklere sahip malzemelere ihtiyaç duyulan űretim alanlarında kullanımı yaygındır. Son zamanlarda, bilgisayar kontrollű optik fiberlerin matris içine yerleřtirilmesinden elde edilen akıllı malzemelerin hazırlanmasında bir sensűr olarak çalıřmaktadır [23].

## 2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

### 2.2.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal matrisli kompozitler ikinci bir malzeme fazının içerisine takviye elemanı olarak eklenmiř sűrekli matris fazından oluřmaktadır. İkinci faz olarak ise whiskerler ya da sűreksiz fiberler, sűrekli fiberler ya da parçacıklar (partikűller) olabilir. Uak motorları, otomotiv ve uzay sektűrűnde yűksek sıcaklık, yűksek mukavemet ve sertlięe sahip olan malzemeler űnem arz etmektedir. Matris malzemeleri olarak alűmiyum, titanyum ve titanyum alűminid alařımları tercih edilir. Takviye elemanı olarak ise tungsten, SiC, karbon ve alűmina lifleri kullanılmaktadır. řekil 2.2’de takviye yapılarına (formlarına) gűre metal matrisli kompozitlerin sınıflandırıldıęı gűrsel yer almaktadır.



řekil 2.2. Takviye Elemanlarına Gűre Metal Matrisli Kompozitler [24]

Kompozitler kullanım alanlarına göre farklı matris ve takviye elemanı seçilerek üretilir. Metal matrisli kompozitler yüksek sıcaklığa dayanıklı ve yüksek mukavemet düşük ağırlık oranlarına sahip oldukları için havacılık ve otomotiv (motor parçaları, kalıplar) gibi alanlarda kullanılır. Metaller ile kıyaslandığında daha iyi yorulma ömürleri vardır. Metal matrisli kompozitler epoksi katkılı kompozitler ile kıyaslandığında daha iyi termal ve elektrik iletkenlikler vardır ayrıca daha yüksek çalışma sıcaklığına sahiptirler [25].

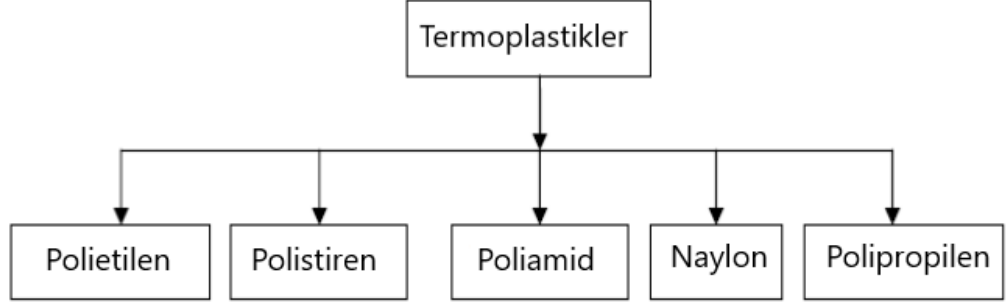
### **2.2.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler**

Seramikler 2000° C üzerindeki sıcaklıklara kadar mukavemetini koruyabilirler. 1960'lı yıllardan itibaren havacılık uygulamalarında seramik matrisli kompozitler kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemeler hipersonik araçlarda ve yeni nesil jet motoru bileşenlerinde kullanılır. Seramikler sıcak bileşenlerde kullanılan süper alaşımlardan daha az yoğundur ve havacılık için kullanıma elverişlidir.

Seramikler metallere kıyasla daha düşük yoğunluklara ve daha uygun çalışma sıcaklıklarına sahipken, düşük kırılma toklukları vardır. Hasarı azaltmak için bir takviye elemanına ihtiyaç duyarlar. Takviye elemanları seramiklerin tokluğunu artırır. Araştırmalar sonucunda takviye elemanlarının malzeme mukavemeti üzerinde büyük etkiye sahip olduğu ortaya konulmuştur [26].

### **2.2.3. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler**

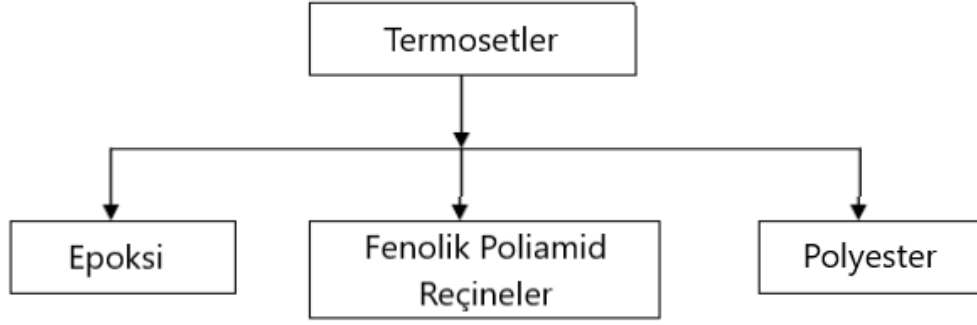
Polimer matrisli kompozitlerde matris fazı polimer; takviye fazı ise fiber veya parçacık (partikül) kullanılabilir. Polimer türleri termoset ve termoplastik olarak ikiye ayrılır. Termosetler kürlendiğinde moleküler olarak güçlü bir yapı oluşturma özelliğine sahiptir. Kürlenme durumunda uzun süre bekletilebilirler ve esnekliklerini koruyabilirler. Bundan dolayı fiber takviyeli kompozitler arasında tercih edilir. Termoplastikler ise, yüksek sıcaklıklarda yeniden kalıplanabilme özelliğine sahiptirler. Eski boyutlarına kolaylıkla geri dönüştürülebilirler ve aynı mekanik özelliklerini sergilerler. Şekil 2.3'te termoplastik çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Termoplastik Çeşitleri [27]

Termoplastiklerin termosetlere göre avantajları genelde gaz veya ısı salınımı gibi kimyasal reaksiyonların meydana gelmemesidir. İmalat; yapıların ısıtılması, şekillendirilmesi ve soğutulması için gereken süre ile sınırlıdır.

Termoplastiklerde ısı direncini artırmak için birkaç yöntem vardır. Dolgu maddelerinin eklenmesi ısı direncini artırır. Ancak tüm termoplastik kompozitler, yüksek sıcaklıklarda güçlerini kaybetme eğilimindedir. Bununla birlikte, sertlik, tokluk gibi özellikleri termoplastikleri kompozit malzemeler içinde önemli bir konuma getirmiştir. Otomotiv kontrol panellerinde, elektronik ürünlerin muhafaza edilmesinde kullanılırlar. Gelişmelere paralel olarak termoplastiklerin uygulama alanları gün geçtikçe artmaktadır. Termosetlerde kullanılan elyaf oldukça önemlidir. Bu malzemelerin azalması yapı mühendisliğindeki araştırma ve geliştirmelerin aksamasına sebep olabilir. Havacılık ve uzay, otomotiv ve savunma sanayi gibi alanlar bu tip fiber kompozitleri kullanmaktadır. Elektronik devre kartları ve benzeri alanlarda ise epoksi matrisli malzemeler kullanılmaktadır. Şekil 2.4'te termoset çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Termoset Çeşitleri [27]

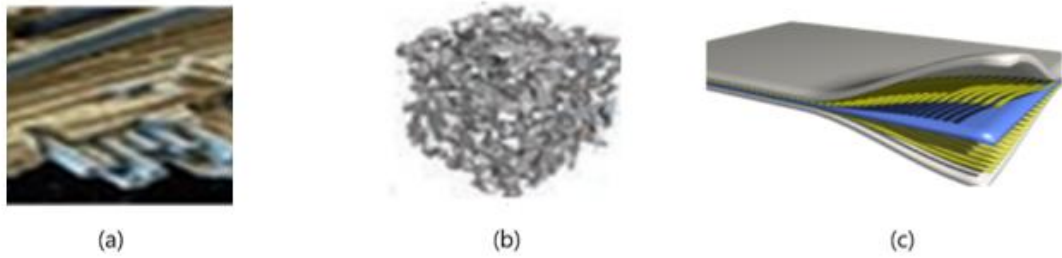
Polyesterler, fenolik ve epoksiler termoset reçinelerin üç önemli sınıfıdır. Epoksi reçineler, filamentle sarılmış kompozitlerde yaygın olarak kullanılmaktadır ve baskı öncesi kalıplama için uygundur. Kimyasal etkilere karşı oldukça kararlıdır ve kürlenme sırasında yavaş büzülme yeteneğine sahip yapışkanlardır. Ayrıca uçucu gaz emisyonu yoktur. Ancak bu avantajların yanında ekonomik açıdan bakılırsa epoksiler oldukça pahalıdır. Bu malzemelerin 140°C 'nin üzerinde kullanımları uygun değildir. Polyester reçineler ise oldukça kolay erişilebilir, ucuz ve bir çok kullanım alanına sahiptirler. Sıvı polyesterler aylarca, bazen yıllarca oda sıcaklığında saklanabilir. Polyester içerisine katalizörün eklenmesi, matris malzemesini kısa sürede kullanılır hale getirebilir. Otomotiv ve yapı alanlarında kullanılırlar. Polyesterler, ortamdaki sıcaklık, nem gibi çevresel faktörlere ve kimyasal malzemelere karşı dayanıklıdır. Reçineler formülasyonuna bağlı olarak, yaklaşık 75°C sıcaklığa kadar kullanılabilirler. Aromatik poliamidler ise yaklaşık 200-250°C 'deki uygulamalar için fiber kompozit matris olarak kullanılabilir [27].

### 2.3. Takviye Elemanlarının Sınıflandırılması

Takviye elemanları, kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için mukavemet, rijitlik, konumlandırma, tasarım geometrisi ve çevresel etkilere karşı kararlılık vb. bazı parametreler dikkate alınarak kullanılmaktadır. 1-100 nm aramid, cam, karbon nanotüp ve metal nano parçacıklar da takviye olarak kullanılır. Kompozitler, takviye elemanlarına göre üç sınıfta incelenir [28]. Bunlar; fiber takviyeli kompozitler, parçacık takviyeli kompozitler ve tabaklı fiber kompozitler olarak adlandırılırlar.

### 2.3.1. Fiber Takviyeli Kompozitler

Fiber takviyeli kompozitler, bir matrise takviye elemanı olarak fiber eklenmesiyle meydana gelmektedir. Fiberler matrise eklenerek kompozitin mekanik özelliklerini artırır. Fiber takviyeli kompozitlerde yaygın olarak kullanılan lifler cam, aramid, karbon ve bordur. Epoksi, polyester ve poliüretan gibi termoset reçineler, benzer şekilde naylon, polipropilen ve polietilen gibi termoplastik reçineler, fiber takviyeli kompozitlerde matris fazı olarak kullanılır. Genel dolgu türleri kalsiyum karbonat, kil, grafit, titanyum dioksit ve silikadır. Katalizörler, inhibitörler, pigmentler ve ayırıcı ajan gibi katkı maddeleri de iyi çökme ve pürüzsüz üretim süreci için matrise eklenmiştir. Fiber takviyeli kompozitler otomobil, denizcilik, havacılık, inşaat ve elektronik endüstrilerindeki birçok uygulamada geleneksel mühendislik malzemelerinin yerini almıştır. Talebin artmasıyla maliyetleri düşürmek ve kalite standartlarını yakalamak için fiber takviyeli kompozitler çeşitlendirilmektedir. Şekil 2.5'te takviye elemanlarının sınıflandırılması gösterilmektedir [28].



Şekil 2.5. (a) Elyaf Tavkiyeli Kompozit, (b) Parçacık Takviyeli Kompozit, (c) Tabakalı Kompozit [28]

Fiber takviyeli kompozitler kendi içerisinde doğal fiber kompozitler ve sentetik fiber kompozitler olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Doğal fiber kompozitler özellikleri bakımından hafif, ekonomik ve çevre dostudur. Ahşap, aloe vera, jüt, palmiye meyvesi, bambu, pamuk, küspe, badem kabuğu gibi doğal lifler kompozitlerin üretilmesinde takviye olarak kullanılmaktadır. Doğal kompozitler endüstriyel ihtiyaçları karşıladıkları ve geri dönüştürülebildikleri için tercih edilmektedir. Sentetik fiber kompozitlerde cam, aramid, karbon ve bor yaygın olarak kullanılan fiber türleridir. Matris fazı fiberleri bir arada tutar ve kompozit malzemeye yüklenen yükü

fiberlere iletir. Ayrıca çevresel etkilerin meydana getirdiği fiziksel ve kimyasal etkilere karşı kompozit malzemeyi korur [28].

### **2.3.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler**

Parçacık takviyeli kompozitler, matris fazı içerisine parçacık veya toz halde eklenerek elde edilmektedir. Dağılmış parçacık mikron boyutundadır. Partikül takviyeli kompozitlerin dayanımı, partikülün çapına ve partiküller arası mesafeye bağlıdır. Otomobil lastikleri, ahşap yonga levhalar ve beton, parçacıklı kompozitlere örnek olarak verilebilir [28].

### **2.3.3. Tabakalı Fiber Kompozitler**

Tabakalı fiber kompozitler, farklı özelliklerdeki iki veya daha fazla tabakanın üst üste konulmasıyla meydana gelir. Tabakaları bir araya getirerek malzemeye yeni mekanik özellikler kazandırmak amaçlanır. Epoksi katılmış tabakalı kompozitler, metallere uygulanan kaplamalar, cam ve plastik tabakalı kompozitler bu sınıfa örnek olarak verilebilir [28].

### 3.DOĞAL TAKVİYELİ KOMPOZİTLER

Doğal lifler genellikle ağaç, saksı bitkileri, tohum, yaprak ve gövdeden elde edilir. Doğal elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelere olan ilgi hem endüstriyel uygulamalar hem de temel araştırmalar alanında hızla artmaktadır. Yenilenebilirler, tamamen veya kısmen geri dönüştürülebilirler ve biyolojik olarak parçalanabilirler ve ucuzdurlar. Çok eski zamanlardan günümüze lif kaynağı olarak kullanılan keten, pamuk, kenevir, jüt, sisal, kenaf, ananas, rami, bambu ve muz gibi bitkiler kompozitlerin takviyesi olarak kullanılmışlardır. Doğal elyaf içeren kompozitler çevre dostudur ve ulaşım alanında (otomobiller, demiryolu vagonları, havacılık), askeri uygulamalarda, yapı endüstrilerinde (tavan kaplamaları, bölme panoları), ambalaj ve tüketici ürünlerinde kullanılmaktadır. Uygulamalarda kullanılan kısa rastgele yönlendirilmiş takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri büyük ölçüde takviye elemanının içeriğinden, geometrisinden ve oryantasyondan, matris ile arasındaki etkileşiminden ve takviyenin matris içerisindeki dağılımından etkilenmektedir [29].

#### 3.1. Takviye Olarak Doğal Liflerin Kullanmanın Üstünlükleri

Doğal liflerin üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda bu liflerin termoplastiklerde takviye elemanı olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğu ortaya konulmuştur. Doğal lifler, termoplastikler için bir takviye elemanı olarak çeşitli avantajlar sunar. Düşük maliyetlidir ve bu malzemeler tüm coğrafi bölgelerden kolaylıkla bulunur. Bitki lifleri düşük kütle yoğunluğuna sahiptir. Aynı kütleye sahip doğal lif takviyeleri cam lif takviyelerine göre daha kalındır. Rijitliğin sınırlı olduğu yerlerde kalın olan doğal lif takviyeleri cam liflere göre daha sert ve güçlü olabilmektedir. Doğal liflerin belirli mekanik özellikleri, yapay liflerden üstündür. Doğal lifler, cam liflere göre basit olarak geliştirilmiş yüzey etkileşimlerinin aksine, lif ve matris arasında güçlü kimyasal bağ kurma özelliklerine sahip oldukları için tercih edilmektedir. Genelde elastik bölgede yani kalıcı deformasyona izin vermeyecek şekilde mekanik tepki verirler [30]. Bu malzemeler yüksek mukavemet ve elastisite modülü, düşük maliyet, doğada bulunabilirlik açısından tercih edilmektedir. Doğal lif takviyeli kompozitler, geleneksel ekipmanlar kullanılarak üretilir. Çok sayıda uygulama için kabul edilebilir mekanik özellikler sergilerler, iyi derecede akustik (ses) ve ısı (termal) yalıtım özelliklerine sahiptirler. Doğal liflerin geniş renk yelpazesine

sahip olmaları üretilecek malzemedeki takviye eleman renginin seçiminde kolaylık sağlar. Joshi ve ark. [31], doğal elyaf ve cam elyaf kompozit malzemeleri ele almışlar, doğal lif takviyeli kompozitlerin çevre dostu olmasıyla ilgili ortaya konulan gerekçeler aşağıda sıralanmıştır:

- Doğal lif üretim süreçlerinin çevreye etki açısından daha uygun olması
- Doğal lif takviyeli kompozitlerin kirletici yağ temelli (bazlı) polimer içeriğini azaltması
- Doğal lif takviyeli kompozitlerin otomotiv sektöründe hafif malzemelerde kullanılması, yakıt verimliliğini artırması ve emisyonu azaltması
- Doğal liflerin kullanıldıktan sonra geri dönüştürülmesi, ve düşük değerde karbon ayak izinin olması [31].

### **3.2. Takviye Olarak Doğal Lif Kullanmanın Sınırlamaları**

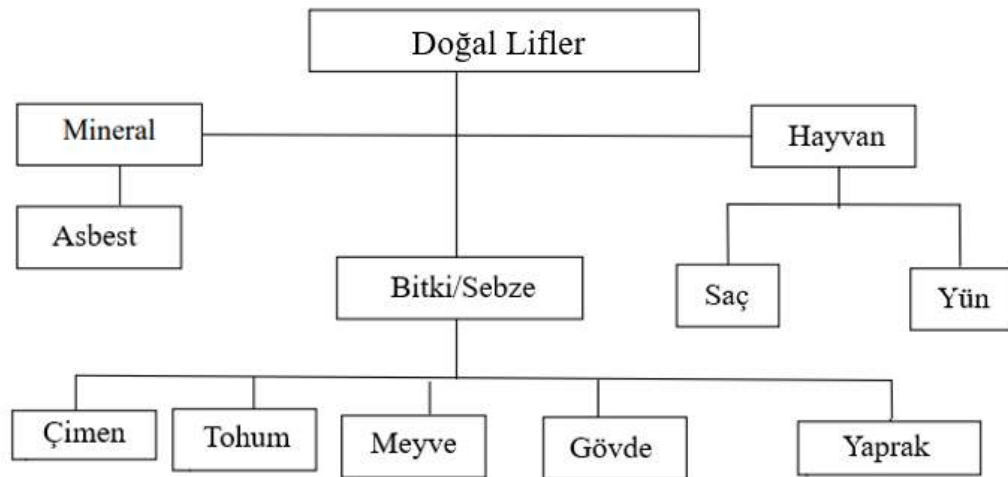
Tüm avantajlarına rağmen, doğal lifler termoplastikler için takviye olarak sıklıkla kullanılmaz. Sadece son zamanlarda, güverte, giydirme, kapı çerçeveleri vb. profil ekstrüzyon yapı ürünlerinin bazı ürünlerinde popülerlik kazanmaktadır. Son yıllarda, otomobil üreticileri tarafından kapı panelleri, koltuk arkalıkları vb. ürünler için doğal lifler araştırılmaktadır. Otomobil üreticileri her parçayı geri dönüştürülebilir veya biyolojik olarak parçalanabilir hale getirmeyi hedeflemektedir [32]. Termoplastik matris ve selülozik lifler arasındaki arayüzdeki yüzey özellikleri, plastik/selülozik lif kompozitlerinin mekanik özelliklerini güçlü bir şekilde etkiler. Doğal liflerin hidrofilik yüzeyi nedeniyle takviye elemanı olarak kullanılması büyük bir problem olmuştur. Ancak kimyasal bağların etkileşimi kullanılabilirliği artırılabilir.

Doğal lif takviyeli kompozitlerin maksimum nemi ağırlıkça %6 kadar yüksek olabilir. Bu, performansta daha fazla kayba ve yüzeyde renk bozulmasına yol açar. Liflerin düşük termal kararlılığı, kompozitler için kullanılabilecek matris reçinesinin türünü de sınırlar. Son olarak düşük darbe direnci ve homojen olmayan yapıya sahiptirler [33].

### 3.3. Doğal Liflerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerde kullanılan doğal lifler ağaçtan, tarımsal kökenli saksı bitkilerinden, tohumdan, yapraktan ve gövdeden çıkarılır. Cam elyafın çevre dostu olmaması nedeniyle, doğal liflerin kompozitlerde kullanımı son yıllarda önem kazanmıştır [34].

Doğal lifler mineral, bitkisel ve hayvansal kaynaklı olarak sınıflandırılabilir. Bitki lifleri, liflerin çıkarıldığı bitki/ağaç kısmına göre sınıflandırılır [35]. Bitki lifleri, saksı bitkileri, tohum, yaprak, ağaç ve ot sapından çıkarılır. Doğal liflerin sınıflandırılması Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Doğal Lif Türleri [35]

Kompozitlere takviye elemanı olarak kullanılması için doğal lif kaynaklarının bol ve çeşitli olması gerekmektedir. Şekil 3.2’de doğada kolaylıkla ulaşılabilen doğal lifler gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Bitki bazlı doğal örnek lifler [36]

### 3.4. Doğal Liflerin Uygulama Alanları

Endüstride sürdürülebilir olmayan hammaddelerin yerine sürdürülebilir hammaddelerin kullanılması için çalışmalar yürütülmektedir. Cam elyaf, aramid, boron vb. takviyeler karbon ayak izini olumsuz yönde etkilemektedir. Otomotiv endüstrisi, doğal lif takviyeli kompozitlerin kullanım alanlarını artırmak için araştırma ve geliştirmelere devam etmektedir [37]. Şekil 3.3 – 3.6, doğal liflerin otomotiv, yapı ve teknoloji gibi bazı sektörlerdeki uygulamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Mercedes Benz'e ait otomobil parçaları (a), Mercedes Benz kapı paneli (b)

Şekil 3.3 (b), koyu renkte gösterilen yerler yapıştırıcı kullanılmadan panelin üzerine yapıştırılmıştır. Bu işlem işçilik ve malzeme tasarrufunda önemli bir avantaj sağlamaktadır. Kullanılan doğal lifler eşit oranlarda henap ve kenevirdir.



Şekil 3.4. Kapı döşemesi keten-PP (a), bambu takviyeli kompozit kapı paneli (b)



Şekil 3.5. Dokuma Kenevir Elyaf Kompozitinden Yapılmış Otomobil Kapısı (a), Dış cephede döşeme için kullanılan doğal lif görseli (b)



Şekil 3.6. Kenaf/PP-Dizüstü Bilgisayar Kasası (a), NFC'den Yapılmış Cep Telefonu Kılıfı (b)

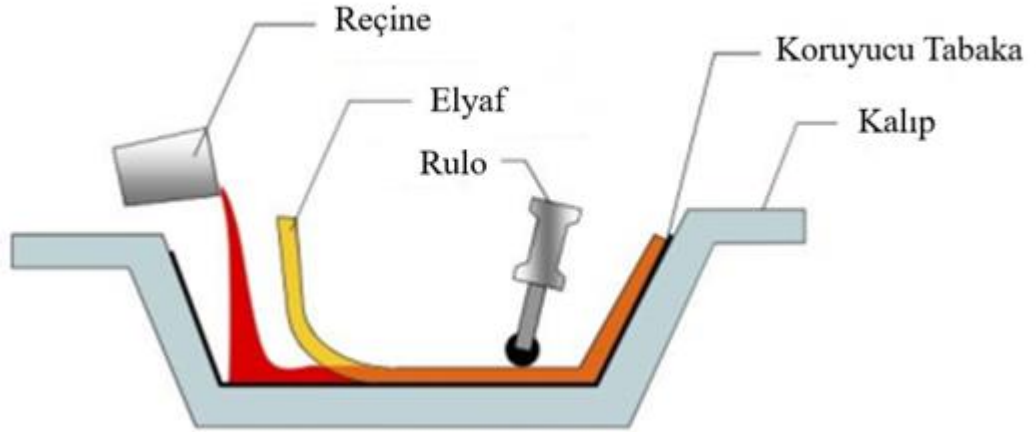
Şekil 3.4, 3.5 ve 3.6, doğal elyafın çeşitli uygulama alanlarını göstermektedir. Şekil 3.6 (a), polipropilen matrisi ile güçlendirilmiş kenaf elyafından yapılmış bir dizüstü bilgisayar kasası gösterilmiştir. Bu uygulama doğal elyaf kompozitlerin kalıplanabilir olduğunun göstergesidir. Şekil 3.6 (b), kenaf ve polilaktik asit (PLA) malzemeleri kullanılarak oluşturulmuş cep telefonu kılıfını gösterilmiştir. Kılıfta kullanılan malzemenin avantajları ısıya dayanıklı ve çevre dostu olmasıdır. Şekil 3.5'te dış cephede döşeme için kullanılan doğal lifleri gösterilmiştir [38].

#### 4. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Kompozitler farklı üretim teknikleriyle üretilir. Sıcaklık ve basınç, üretim sistemlerini kontrol eden iki önemli faktördür. Kür döngüsü, kürün tamamlanması için gereken süre olarak adlandırılır. Üretim yöntemi seçilirken takviye elemanı, matris elemanı, üretim süresi ve maliyet parametreleri dikkate alınmalıdır. Yaygın olarak kullanılan üretim yöntemlerinden bazıları aşağıda ifade edilmiştir.

##### 4.1. Elle Yatırma

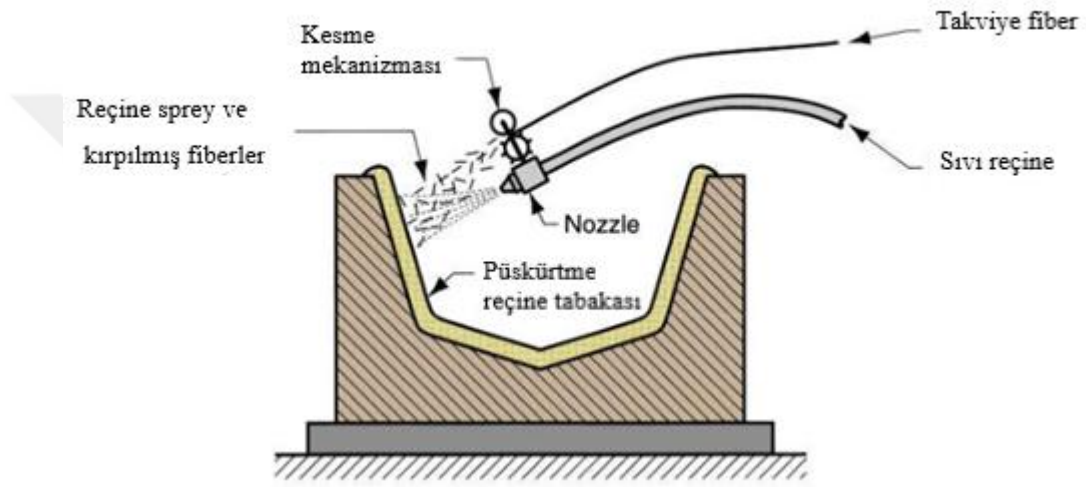
Elle yatırma tekniği, kompozit malzeme üretiminde kullanılan basit bir yöntemdir. Yatırım maliyeti düşüktür. Sıvı akışkan reçine kalıp içerisine eklenir ve ardından takviye elemanı koyulur. Rulo ile takviye elemanı üzerine reçine sürülür ve emdirilir. Daha iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için kalıba koruyucu tabaka eklenir ve kompozit dış etmenlerden korunur. Bu yöntemin avantajı karmaşık şekilli ürünlerin üretilmesidir. Bu yöntem Şekil 4.1'de gösterilmiştir [39].



Şekil 4.1. Elle Yatırma Yöntemi [40]

## 4.2. Sprey Kalıplama

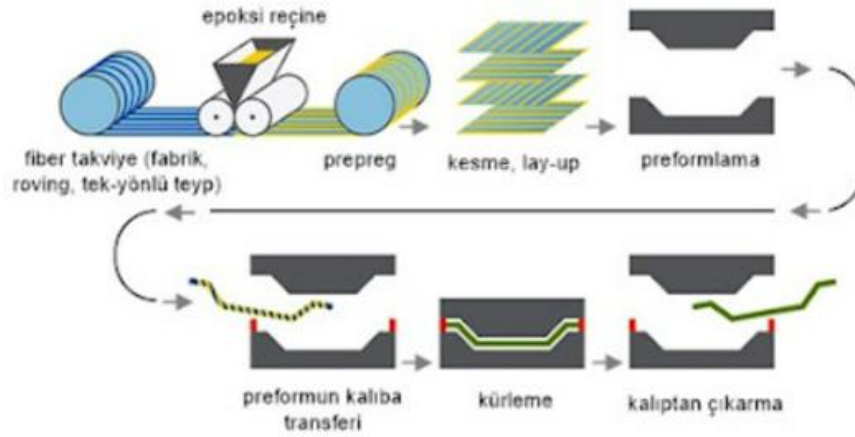
Elle yatırma yönteminde elyaf ve reçinenin kalıbı eklenme süresini azaltmak için püskürtmeli yatırma yöntemi tercih edilir. Bu işlemde sadece kısa elyaf takviyeli kompozitler üretilir. Fiberler belirlenen boylarda kesilir. Kesilen fiberler ve reçine, aynı anda kalıba püskürtülür. Küçük tekneler ve küvetlerin üretimde tercih edilir. Bu üretim yöntemi, elle yatırma yöntemine kıyasla ucuz ve hızlıdır [39]. Sprey kalıplama yöntemi Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Sprey Kalıplama Yöntemi [41]

## 4.3. Prepreg

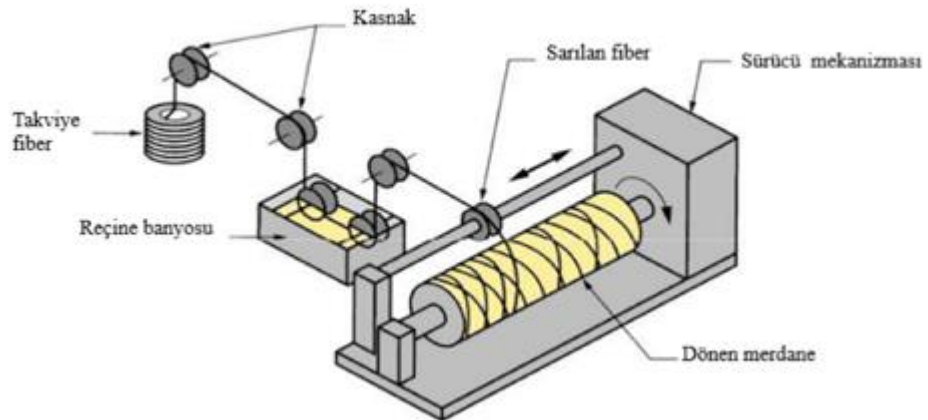
Yüksek mukavemetli kompozitler elde etmek için prepreg yöntemi tercih edilir. Şekillerin işlenmesini kolaylaştırmak için kurlenmiş termoset reçineler fiberlere emdirilir. Elde edilen kompozitin mekanik özellikleri preprege göre değişkenlik gösterebilir. Prepreg, reçine olmadan da kalıpta yer alabilir. Prepreg hazırlama yöntemi Şekil 4.3'de gösterilmiştir [39].



Şekil 4.3. Prepreg Üretim Yöntemi [41]

#### 4.4. Filament Sarma

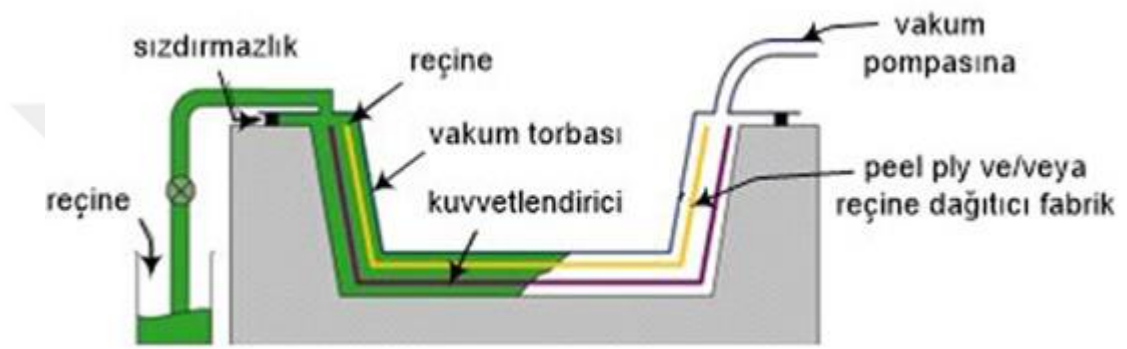
Bu yöntemde karbon, kevlar ve cam gibi fiberler, reçine banyosunda ise polyester, epoksi ve polivinil ester gibi reçineler kullanılır. Elyaf, reçine emdirilmiş fiberler dönen merdane üzerine sarılması yöntemidir. Filament sarma sistemi otomasyon ile kontrol edilir. Boru dirsekleri, oltalar ve depolama tankları bu yöntem ile imal edilir [39]. Filament sarma yöntemi Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Filament Sarma Yöntemi [41]

#### 4.5. Vakum Torbalama

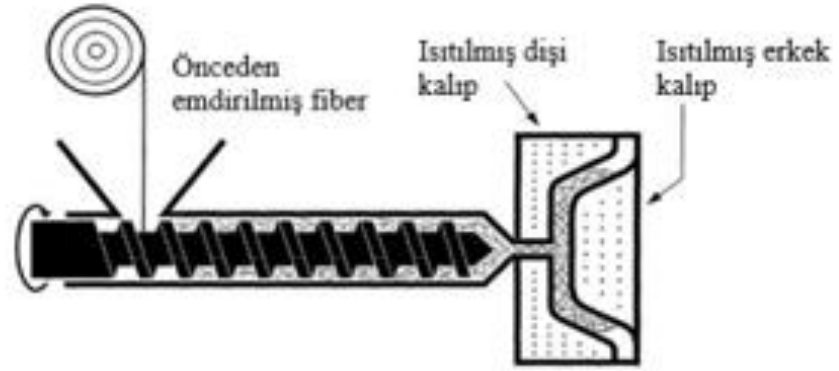
Vakumlu kalıplama veya vakumlu torba kalıplama yöntemi, atmosferik basınç altında yapılır. Kalıp ayırıcı madde ile doldurulur ve elle yatırma yöntemi kullanılarak kumaş reçine ile ıslatılır. Vakum pompası, kılıftan havayı emmek için kullanılır. Ürünü kürlemek için ısı verilir. Ardından ürün son haliyle kalıptan çıkarılır. Karmaşık malzemelerde ve sınırlı sayıdaki üretimlerde kullanımı uygundur [39]. Vakum poşeti kalıplaması prosesi Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Vakumda Torbalı Kalıplama Yöntemi [41]

#### 4.6. Enjeksiyon Kalıplama

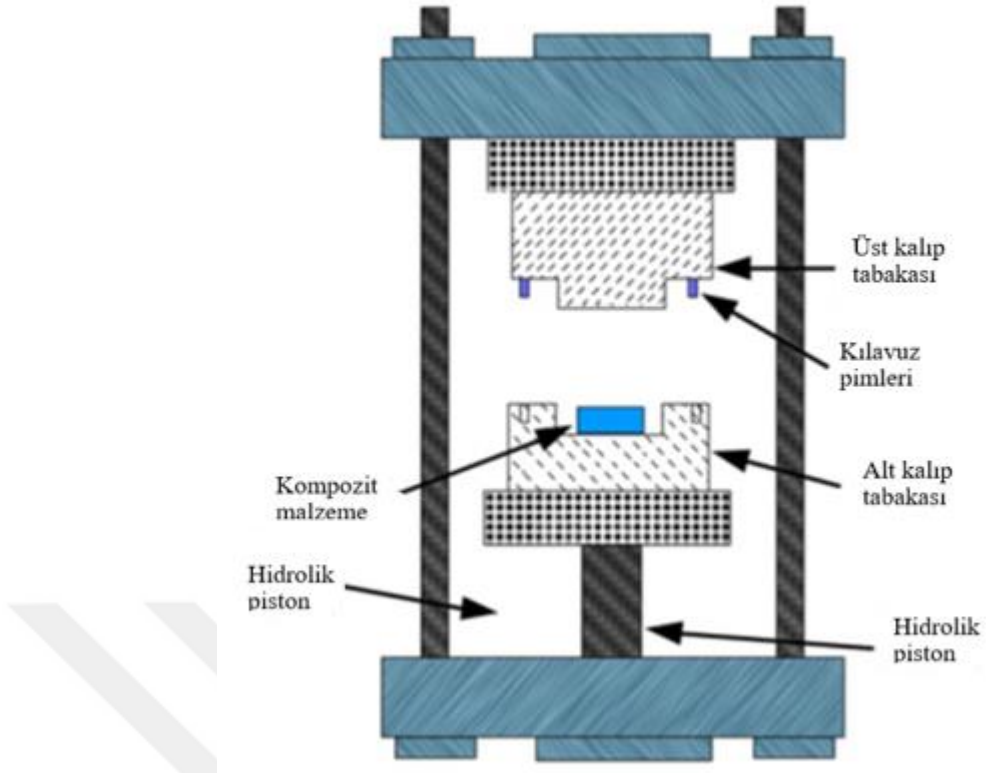
Termoplastik ve termoset malzemelerin üretiminde enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılır. Matris ve takviye elemanları karıştırılır ve öncesinde ısıtılmış kalıba transfer edilir. Kompozitin kürlemesinden sonra kalıp açılarak kalıptan uzaklaştırılır. Diğer üretim yöntemleriyle kıyaslandığında en hızlı üretim yöntemidir [39]. Şekil 4.6'da enjeksiyon kalıplama işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi [42]

#### 4.7. Basınçlı Kalıplama

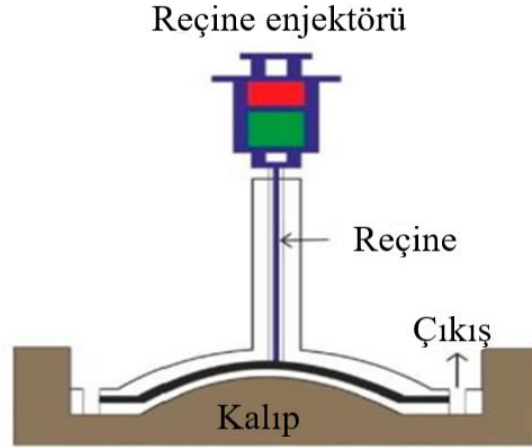
Basınçlı kalıplama yöntemi, seri üretim ve uygun maliyetli üretimlerde kullanılır. Bu yöntem aynı zamanda yüksek hacimli ve yüksek basınçlı yöntem olarak da bilinir. Bu işlem hem termoplastik hem de termoset malzemeler için uygundur. Sıkıştırma işlemi, kalıplama makinesi, uçlar, kalıp, pim ve piston gibi parçalardan meydana gelir. Kalıbın üzerine malzeme yerleştirilir ve yumuşayınca kadar ısıtılır. Ardından, bir hidrolik sistem malzemeyi kalıba bastırır. Daha sonra malzeme sertleştirilir ve kalıptan son şekli alarak çıkarılır. Otomotiv parçaları, ev eşyaları, elektrikli cihazlar ve makine gövdelerinin parçaları bu yöntemle üretilmektedir [39]. Şekil 4.7’de enjeksiyon kalıplama işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi [41]

#### 4.8.Reçine Transfer Kalıplama

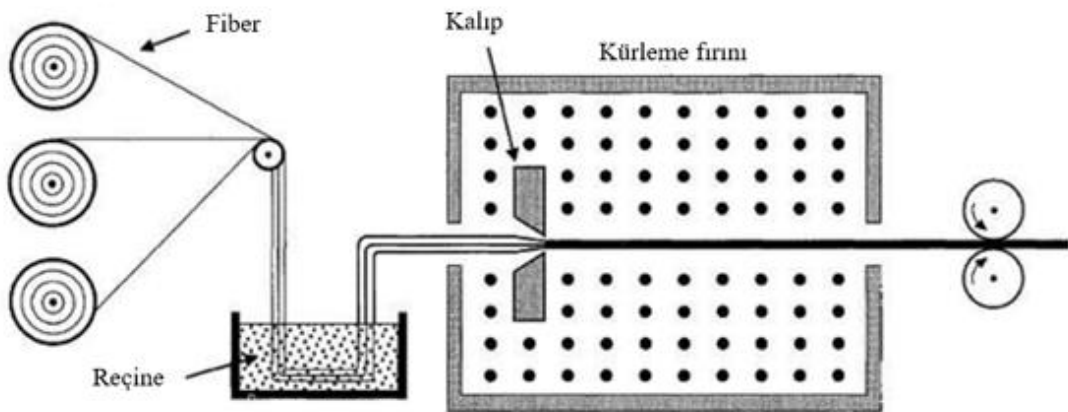
Reçine transfer kalıplama bir sıkıştırma yöntemidir. Kalıp yüzeyine geleneksel olarak jel kaplama uygulanır. Kalıp boşluğuna fiberler serilir ve kelepçeler kalıbı sert bir şekilde kilitlemek için kullanılır. Otomatik (karıştırma/metre) reçine enjeksiyon sistemi kalıba enjekte etmiştir. Oda sıcaklığında kürlendikten sonra istenilen şekil elde edilip kalıptan çıkartılır. Bu yöntemde daha iyi mekanik özellikler elde edilir [39]. Şekil 4.8’de reçine transfer kalıplama uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi [41]

#### 4.9. Pultrüzyon Kalıplama

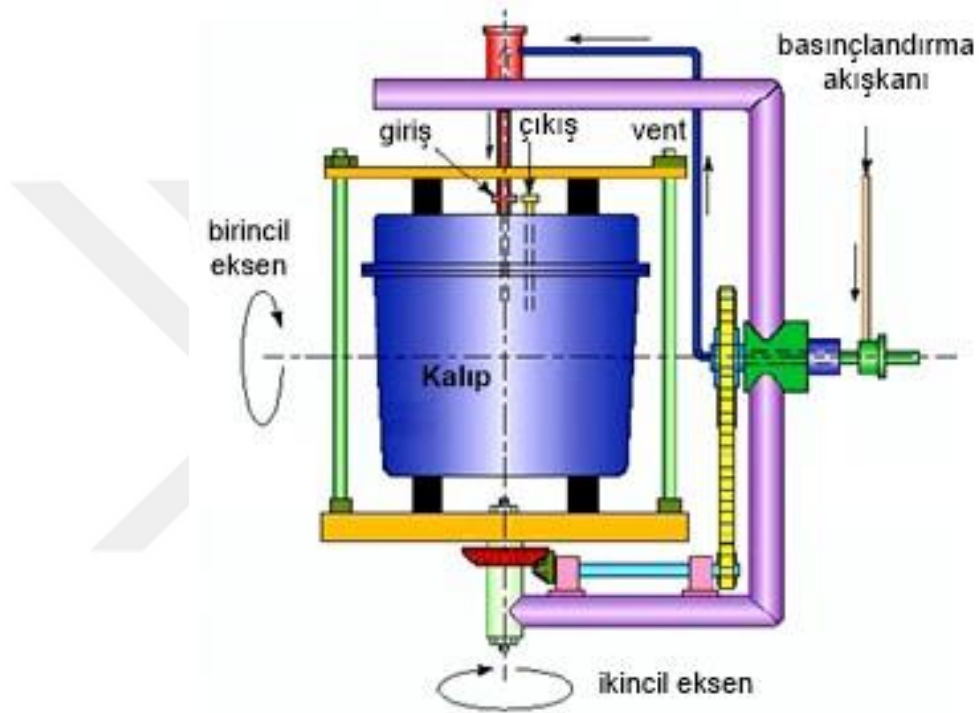
Pultrüzyon kalıplama; kirişler, oltalar, kanallar, borular, golf sopası ve miller gibi tek tip enine kesit profilleri üretimde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, takviyeler reçine banyosunda emdirilir. Daha sonra bu takviyeler, fazla reçineyi ortadan kaldıran ısıtılmış bir kalıptan çekilir. Kalıp reçineyi sertleştirmek için ısıtılır. Bu teknik hem termoset hem de termoplastik reçineler için uygundur [39]. Pultrüzyon kalıplama yöntemi Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Pultrüzyon Kalıplama Yöntemi [41]

#### 4.10. Savurma (Santrifüj) Kalıplama

Savurma kalıplama, silindirik kompozitlerin üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Kırpılmış fiberler reçine içine eklenir. Isıtılacak ve döndürülecek şekilde tasarlanmış içi boş bir mandrel içine yerleştirilir ve kürlenir. Kalıbın dönmesiyle merkezkaç kuvveti oluşur. İçerideki malzeme kalıp yüzeyine yapışarak kalıbın şeklini alır [43]. Savurma kalıplama yöntemi Şekil 4.10’de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Savurma Kalıplama Yöntemi [44]

## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

### 5.1. Kalıp Tasarımı, Kullanılacak Modellerin Hazırlanması

Polimer matrisli kompozit numuneler için silikon kalıplar üretilmiştir. Esnek ve yumuşak olması sebebiyle içerisindeki numunenin kolay çıkarılmasına ve kalıbın farklı numunelerin üretilmesi için tekrar kullanılmasına imkân sağlanmıştır. Numune yüzeylerinin kalıba yapışmaması, pürüzsüz yüzeylerin elde edilmesi için silikon kalıplama tercih edilmiştir.

Bilgisayar destekli tasarım programında çekme, üç nokta eğilme ve sertlik deneyleri için standartlara uygun şekilde tahta modeller çizilmiştir. Ahşap atölyesinde çizimleri yapılan parçalar belirlenen ölçülerde kesilmiştir. Şekil 5.1’ de kalıpta kullanılacak tahta modeller, kalıp tabanı ve yan duvarların monte edilmemiş hali gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Tahta modeller ve kalıpların monte edilmemiş görüntüsü

## 5.2. Silikon Kalıpların Üretilmesi

Kalıpların üretilmesi için kalıp silikonu kullanılmıştır. Tekrar kullanıma imkân sağlanmıştır. Düşük viskozite sayesinde karışım kalıp içinde modelin şeklini kolayca alabilmektedir. Silikon kalıp, yırtılma ve kopma direnci yüksek, kimyasal ve ısı dayanımı gibi karakteristik özelliklere sahiptir. Kalıp modelleri tahta malzemeden üretildiğinden silikon kalıp kolaylıkla numunelere yapışmadan ayrılmıştır. Tahta kalıp parçaları birleştirildikten sonra iki bileşenli karışımdan oluşan kalıp silikonu kalıp içerisine dökülür. Bu karışım baz ve küratiften oluşmaktadır. Baz olarak silikon, küratif olarak da kalay bileşenli katalizör kullanılır. Kalıplar katılaşma için oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Kuruma tamamlandığında dikkatli bir şekilde silikon kalıplar tahta modelden ayrılmıştır. ASTM standartlarında kompozit numunelerin üretimi için yapılan silikon kalıplar Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Çekme ve üç nokta eğilme numunelerine ait silikon kalıpların görüntüsü

### 5.3. Takviye Elemanlarının Hazırlanması

Üretilecek polimer matrisli kompozit numunelerde yer fıstığı kabuğu, üzüm çekirdeği ve yumurta kabuğu takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Yumurta kabuğu temizlenerek ve iç zarından suda bekletilerek arındırılmıştır. Ardından 48 saat güneş ışığında kurumaya bırakılmıştır. Yerfıstığı kabukları içerisinden fıstıklar alınıp temizlenmiştir. Üzüm çekirdeği de toz haline getirilerek gün ışığında 72 saat kurumaya bırakılmıştır. Şekil 5.3’de takviye elemanlarının ham halleri gösterilmiştir.



(a)



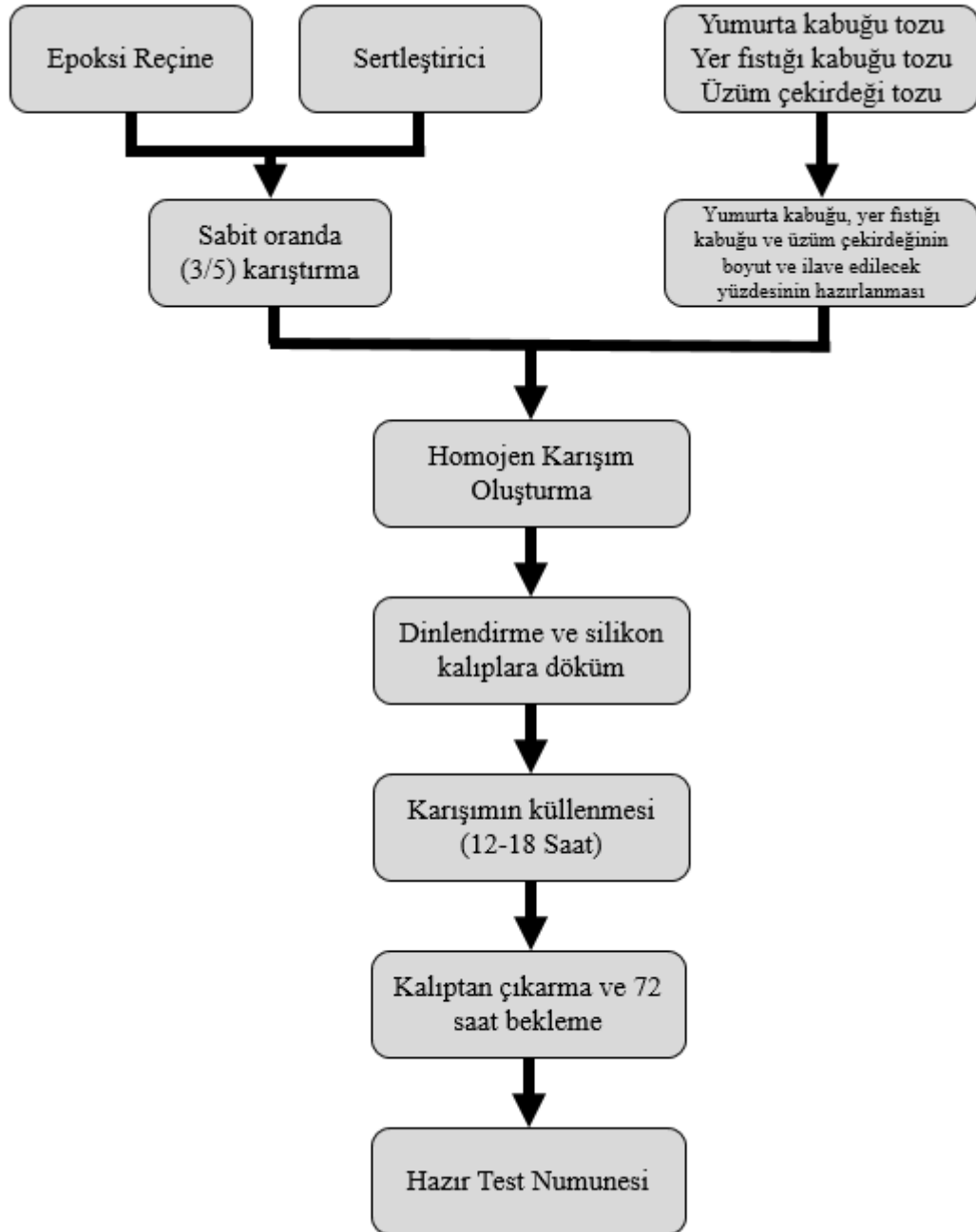
(b)



(c)

Şekil 5.3. Yumurta kabuğu (a), yerfıstığı kabuğu (b) ve üzüm çekirdeği (c)

Kompozit malzemelerin üretim süreci Şekil 5.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Kompozit numunelerin üretim süreci

Takviye elemanlarının istenilen mikro boyutlara getirilmesi için öğütücüde sabit 10.000 devir/dakika'da 15 dakika öğütülmüştür. Öğütülmüş takviye elemanları Şekil 5.5'te gösterilmiştir



Şekil 5.5. Sırasıyla yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği tozları

Öğütme tamamlandıktan sonra elde edilen yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği tozlarını mikro parçacıklara ayırmak amacıyla 150, 75 ve 63 mikron delik boyutuna sahip elekler kullanılmıştır. 63 mikron boyutunun elde edilmesi için 3 saat boyunca numuneler makinede %100 genlik ile (3 mm) ayarlanarak elekten geçirilmiştir. Kullanılan elek makinesi Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Elek makinesi

#### 5.4. Numunelerin Üretilmesi

Numuneler 63 mikron boyutunda, ağırlıkça %5, %15 ve %25 oranlarında takviye malzemelerin eklenmesi ile üretilmiştir. Her bir numune kalıp içerisinde 24 saat bekletilmiştir. Matris elemanı olarak iki bileşenli, solventsiz epoksi reçine kullanılmıştır. Kalıptan çıkarılan numuneler istenmeyen deformasyonların meydana gelmemesi amacıyla 3 gün oda sıcaklığında bekletilmiştir. Çekme ve üç nokta eğilme testi numuneleri ASTM standartlarına göre üretilmiştir. Saf epoksiden üretilen üç nokta eğilme numunesinin ağırlığı 13.65 gram gelmektedir. Numune ağırlıklarının %5, %15 ve %25 oranlarında takviye malzemeleri ilave edilmek üzere 6.14 gram yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği tozuna ihtiyaç duyulmuştur. Yaklaşık olarak 68 gram yumurta kabuğu tozu kullanılmıştır. Saf epoksiden üretilen çekme numunesinin ağırlığı ise 6.69 gram ölçülmüştür. Numune ağırlıklarının %5, %15 ve %25 oranlarında ilave edilmek üzere 3.01 gram yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği tozuna ihtiyaç duyulmuştur. 63 mikron boyutundaki tozlar ve numunelere katılan yüzde miktarları Tablo 5.1’ de verilmiştir.

**Tablo 5.1.** Numunelere katılan doğal lif toz miktarları

| Numuneler          | Çekme Deney Numunelerinde Kullanılan Tozlar (gram) | Üç Nokta Eğilme Deney Numunelerinde Kullanılan Tozlar (gram) |
|--------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Yumurta kabuğu %5  | 0,33                                               | 0,68                                                         |
| Yumurta kabuğu %15 | 1,00                                               | 2,05                                                         |
| Yumurta kabuğu %25 | 1,67                                               | 3,41                                                         |
| Fıstık kabuğu %5   | 0,33                                               | 0,68                                                         |
| Fıstık kabuğu %15  | 1,00                                               | 2,05                                                         |
| Fıstık kabuğu %25  | 1,67                                               | 3,41                                                         |
| Üzüm çekirdeği %5  | 0,33                                               | 0,68                                                         |
| Üzüm çekirdeği %15 | 1,00                                               | 2,05                                                         |
| Üzüm çekirdeği %25 | 1,67                                               | 3,41                                                         |

Öncelikle saf epoksiden çekme ve eğilme numuneleri üretilmiştir. 63 mikron parçacık boyutlu, ağırlıkça %5, %15 ve %25 oranında yumurta kabuğu tozu, yer fıstığı kabuğu tozu ve üzüm çekirdeği tozu ilave edilmiş karışımlar yapılmıştır. Homojen bir karışım elde edebilmek için matris ve takviye elemanları 8 dakika tahta kaşık yardımıyla karıştırılmıştır. Oluşması muhtemel hava kabarcıklarını minimum seviyeye indirmek için 5 dakika bekletilmiştir. Dinlenmeye bırakılan karışım kalıplara dökülmüştür. Numuneler kalıpta 24 saat bekletilmiştir. Üretilen numuneler şekil 5.7’de gösterilmiştir.



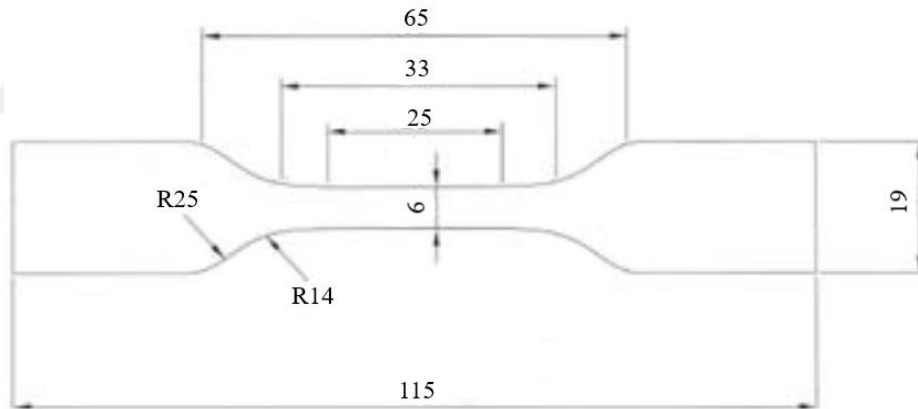
Şekil 5.7. Çekme, eğilme ve sertlik deney numuneleri

## 5.5. Mekanik Deneyler

Matris malzemesi epoksi reçine içerisine takviye elemanı olarak 63 mikron tane boyutlu yumurta kabuğu tozu, yer fıstığı kabuğu tozu ve üzüm çekirdeği tozu ağırlıkça %5, %15 ve %25 oranlarında eklenmiş ve kompozit test numuneleri üretilmiştir. Üretilen numunelere üç nokta eğilme, çekme ve sertlik testleri uygulanarak mekanik özellikleri incelenmiştir. Numunelerin en büyük (maksimum) çekme kuvvetleri, çekme gerilmeleri, eğilme kuvvetleri, eğilme dayanımları ve sertlikleri incelenmiştir. Doğru sonuçlar elde edilebilmesi için her numuneden üçer adet üretilip, her üç numunenin de ortalama değerleri hesaplanmıştır.

### 5.5.1. Çekme Deneyi

Çekme testleri ASTM D638M-91a standartına göre gerçekleştirilmiştir. Numune geometrisi Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Çekme Testi Numunesinin Teknik Çizimi

Örnek numune görseli Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Çekme testleri Shimadzu Üniversal Çekme Testi cihazında 1 mm/dakika çene hızında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan cihaz Şekil 5.10’da gösterilmiştir..



Şekil 5.9. Örnek çekme numunesi



Şekil 5.10. Çekme test cihazı

Çekme testleri tamamlandıktan sonra gerilme değerleri denklem 5.1 kullanılarak bilgisayar programı tarafından hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\text{Çekme}} = F/A \text{ ( F: maksimum kuvvet; A: kesit alanı)} \quad 5.1.$$

### 5.5.2. Eğilme Deneyi

Üç nokta eğilme testleri, ASTM D2344-84 standartlarına uygun olarak Shimadzu Üniversal Cihazı'nda yapılmıştır. Üç nokta eğilme testi için 150x20x5 mm ölçülerinde, saf epoksi, yumurta kabuğu tozu, yer fıstığı kabuğu tozu ve üzüm çekirdeği tozu ile epoksi eklenerek üretilen kompozit numunelere ait bir örnek Şekil 5. 10' da gösterilmiştir. Kompozitin numune geometrisi ise 5.11'de gösterilmiştir.



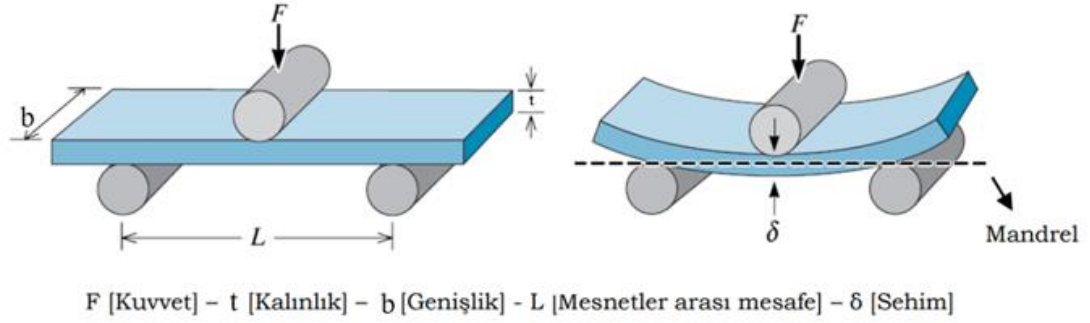
Şekil 5.11. Örnek 3 nokta eğilme numunesi

Eğilme deneyleri, alt çeneler arasındaki mesafe 100 mm ve 0.5 mm/dakika cihaz çene hızında ASTM standartlarına uygun şekilde yapılmıştır. Şekil 5.12'de eğilme test cihazına ve yükün numuneye uygulanması gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Eğilme test cihazında numuneye yükün uygulanması

Her bir farklı takviye elemanlı malzemeler için 3 adet numune üretilmiştir. Üretilen numunelerin sonuçlarının ortalaması dikkate alınmıştır. Numune üzerine binen yükün gösterimi Şekil 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.13. Üç Nokta Eğilme Test Düzeneği [44]



Şekil 5.14. Eğilme Testi Numunesinin Teknik Çizimi

Üç nokta eğilme gerilmesi sonuçlarının hesaplanması için denklem 5.2 kullanılmıştır.

$$\sigma_{eğme} = \frac{3FL}{2bt^2}$$

Denklem 5.2.

Verilen denklemde F maksimum kuvvet, L alt destekler arasındaki mesafe, b genişlik, t ise kalınlığı ifade etmektedir.

### 5.5.3. Sertlik Deneyi

Numunelerin Brinell sertlik değerlerine makro sertlik test cihazı kullanarak değerlendirilmiştir. Yapılan testte kullanılan bilyenin çapı 2,5 mm, uygulanan yük 15,625 kg olarak belirlenmiştir (HBW 2.5/15.625). Her bir numune yüzeyinden dört farklı noktadan değerler kaydedildikten sonra bu değerlerin ortalamaları alınmıştır. Testler EMCOTEST marka sertlik ölçüm cihazıyla yapılmıştır. Sertlik test cihazı şekil 5.15'te gösterilmiştir.



şekil 5.15. Makro sertlik test cihazı

## 5.6. Sonlu Eleman Yöntemi ile Analiz

Bu çalışmada elde edilen deney sonuçlarının hesaplamalı sonuçlar ile karşılaştırmaları da verilecektir. Hesaplamalı analizler için sonlu eleman yöntemi tabanlı Ansys yazılımı kullanılmıştır. Ansys araştırma ve geliştirme ekipleri mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi ile elektromanyetik alanlarında fiziğin tüm disiplinlerinin arasındaki etkileşimlerinin benzetimlerini yapmakta sonlu elemanlar yazılımıdır. Gerçekleştirilen testlerin ya da çalışma şartlarının benzetiminin (simülasyon) yapılmasına imkan tanıyan yazılım, ürünlerin üretimi yapılmadan bilgisayarda testlerinin yapılmasına imkan verir. Sanal ortamdaki 3 boyutlu benzetimler ile yapıların zayıf noktalarının tespiti ve iyileştirilmesi ile ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi mümkün olabilmektedir. Ansys yazılımı dışarıdan CAD verilerini alır, program içinde de geometri oluşturulmasına izin verir. Hesaplama kullanılan sonlu eleman modeli ağ yapısı (mesh) oluşturulmaktadır. Yüklerin girişleri yapılır. Elde edilen veriler sayısal olarak elde edilebilir ve grafiklerle görsel şekilde ortaya konulabilir. Ansys programı ile doğru sonuçlar alınabilmektedir [45]. Ağırlıkça %5, %15 ve %25 takviyeli çekme ve eğilme kompozit numuneleri için sonlu eleman yöntemi ile -test sonuçlarından yararlanılarak- gerçek deney şartlarına uygun bir şekilde analizler yapılmıştır.

Çekme ve eğilme testleri analizi için mühendislik veri girişi (Engineering Data) sekmesinden kompozit malzeme içerisindeki bileşenler tanımlanmıştır. Takviye elamanı yumurta kabuğu tozu için, literatürde yapılan çalışmalar referans alınarak elastisite modülü 40 GPa; poisson oranı ise 0.29 olarak girilmiştir [46]. Takviye elamanı yer fıstığı kabuğu tozu için, literatürde yapılan çalışmalar referans alınarak elastisite modülü 1.07 GPa; poisson oranı ise 0.41 olarak girilmiştir [47]. Takviye elamanı üzüm çekirdeği tozu için, literatürde yapılan çalışmalar referans alınarak elastisite modülü 22 MPa; poisson oranı ise 0.37 olarak girilmiştir [48]. Matris elemanı olarak epoksi reçine tanımlaması yapılırken parametrik optimizasyon yapılmıştır ve epoksinin elastisite modülü 0.85 GPa olarak belirlenmiştir. Matris malzemesinin analiz programına tanımlanması Şekil 5.19'da gösterilmiştir. Takviye elemanlarının analiz programına tanımlanmaları Şekil 5.16, 5.17 ve 5.18'de gösterilmiştir

| Outline of Abaqus AZ Engineering Data |                                  |   |   |             |
|---------------------------------------|----------------------------------|---|---|-------------|
| A                                     |                                  | B | C | D           |
| Contents of Engineering Data          |                                  |   |   |             |
| 1                                     |                                  |   |   |             |
| 2                                     | Material                         |   |   | Description |
| 3                                     | Resin Epoxy                      |   |   |             |
| 4                                     | Yumurta Kabuğu                   |   |   |             |
| 5                                     | Click here to add a new material |   |   |             |

| Properties of Outline Row 4: Yumurta Kabuğu |                          |                                     |      |   |
|---------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------|---|
| A                                           |                          | B                                   | C    | D |
| Property                                    |                          | Value                               | Unit |   |
| 1                                           |                          |                                     |      |   |
| 2                                           | Material Field Variables | Table                               |      |   |
| 3                                           | Isotropic Elasticity     |                                     |      |   |
| 4                                           | Derive from              | Young's Modulus and Poisson's Ratio |      |   |
| 5                                           | Young's Modulus          | 43                                  | GPa  |   |
| 6                                           | Poisson's Ratio          | 0.29                                |      |   |
| 7                                           | Bulk Modulus             | $3.174E+10$                         | Pa   |   |
| 8                                           | Shear Modulus            | $1.535E+10$                         | Pa   |   |

Şekil 5.16. Yumurta kabuğu takviye elemanının tanımlaması

| Outline of Abaqus AZ Engineering Data |                                  |   |   |             |
|---------------------------------------|----------------------------------|---|---|-------------|
| A                                     |                                  | B | C | D           |
| Contents of Engineering Data          |                                  |   |   |             |
| 1                                     |                                  |   |   |             |
| 2                                     | Material                         |   |   | Description |
| 3                                     | Resin Epoxy                      |   |   |             |
| 4                                     | Yer Fıstığı Kabuğu               |   |   |             |
| 5                                     | Click here to add a new material |   |   |             |

| Properties of Outline Row 4: Yer Fıstığı Kabuğu |                          |                                     |      |   |
|-------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------|---|
| A                                               |                          | B                                   | C    | D |
| Property                                        |                          | Value                               | Unit |   |
| 1                                               |                          |                                     |      |   |
| 2                                               | Material Field Variables | Table                               |      |   |
| 3                                               | Isotropic Elasticity     |                                     |      |   |
| 4                                               | Derive from              | Young's Modulus and Poisson's Ratio |      |   |
| 5                                               | Young's Modulus          | 1.07                                | GPa  |   |
| 6                                               | Poisson's Ratio          | 0.45                                |      |   |
| 7                                               | Bulk Modulus             | $1.9812E+09$                        | Pa   |   |
| 8                                               | Shear Modulus            | $3.7942E+08$                        | Pa   |   |

Şekil 5.17. Yer fıstığı kabuğu takviye elemanının tanımlaması

| Outline of Abaqus AZ Engineering Data |                                  |   |   |             |
|---------------------------------------|----------------------------------|---|---|-------------|
| A                                     |                                  | B | C | D           |
| Contents of Engineering Data          |                                  |   |   |             |
| 1                                     |                                  |   |   |             |
| 2                                     | Material                         |   |   | Description |
| 3                                     | Resin Epoxy                      |   |   |             |
| 4                                     | Üzüm Çekirdeği                   |   |   |             |
| 5                                     | Click here to add a new material |   |   |             |

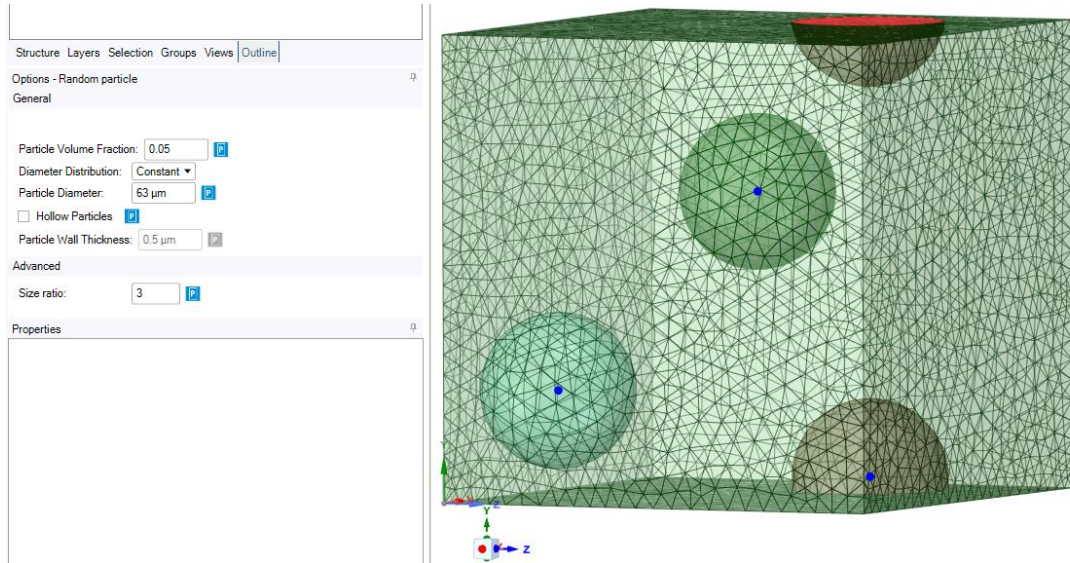
| Properties of Outline Row 4: Üzüm Çekirdeği |                          |                                     |      |   |
|---------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------|---|
| A                                           |                          | B                                   | C    | D |
| Property                                    |                          | Value                               | Unit |   |
| 1                                           |                          |                                     |      |   |
| 2                                           | Material Field Variables | Table                               |      |   |
| 3                                           | Isotropic Elasticity     |                                     |      |   |
| 4                                           | Derive from              | Young's Modulus and Poisson's Ratio |      |   |
| 5                                           | Young's Modulus          | 22                                  | MPa  |   |
| 6                                           | Poisson's Ratio          | 0.27                                |      |   |
| 7                                           | Bulk Modulus             | $2.8203E+07$                        | Pa   |   |
| 8                                           | Shear Modulus            | $8.6202E+06$                        | Pa   |   |

Şekil 5.18. Üzüm çekirdeği takviye elemanının tanımlaması

|   | A              | B            | C                    | D                                    | E                                   | F             | G    |
|---|----------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------|------|
| 1 | Name           | Update Order | P2 - Young's Modulus | P1 - Directional Deformation Maximum | Retain                              | Retained Data | Note |
| 2 | Units          |              | GPa                  | mm                                   |                                     |               |      |
| 3 | DP 0 (Current) | 1            | 1.2                  | 0.95365                              | <input checked="" type="checkbox"/> | ✓             |      |
| 4 | DP 1           | 2            | 1                    | 1.1429                               | <input type="checkbox"/>            |               |      |
| 5 | DP 2           | 3            | 0.9                  | 1.2691                               | <input type="checkbox"/>            |               |      |
| 6 | DP 3           | 4            | 0.7                  | 1.6296                               | <input type="checkbox"/>            |               |      |
| 7 | DP 4           | 5            | 0.8                  | 1.4268                               | <input type="checkbox"/>            |               |      |
| 8 | DP 5           | 6            | 0.85                 | 1.3433                               | <input checked="" type="checkbox"/> | ⚡             |      |
| 9 | DP 6           | 7            | 0.75                 | 1.5215                               | <input type="checkbox"/>            |               |      |
| * |                |              |                      |                                      | <input type="checkbox"/>            |               |      |

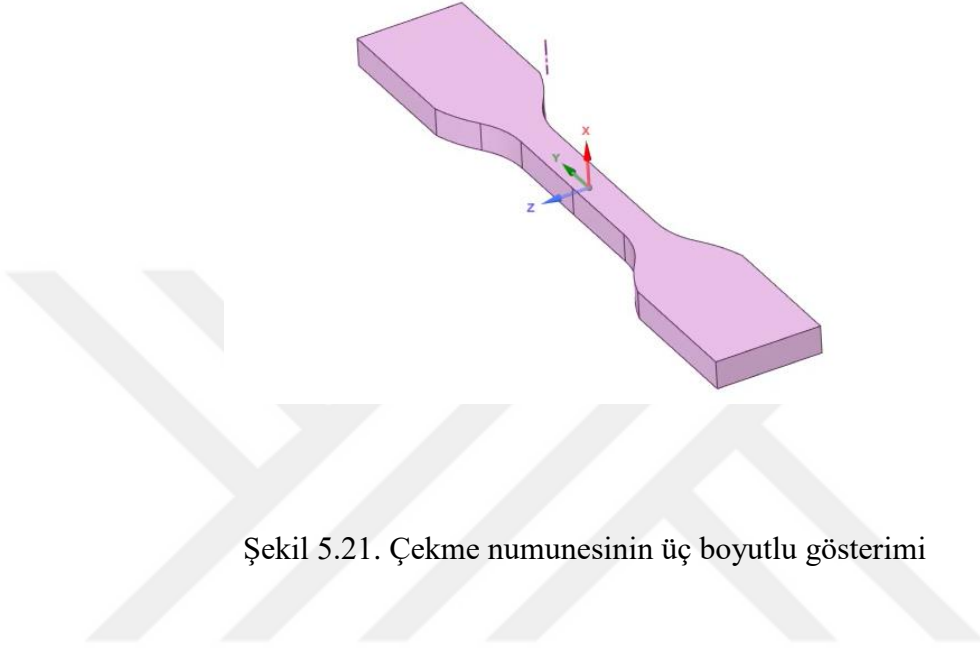
Şekil 5.19. Matris elemanı epoksinin tanımlaması

Malzeme tasarımı (material designer) kısmında farklı malzeme oryantasyonuyla tek bir malzeme oluşturulmuştur. Malzeme oluşturulurken rastgele partikül kompozit seçimi yapılmıştır. Ağ yapısı tetrahedral seçilmiştir. Matris malzemesi epoksi reçine, partikül malzemesi ise yumurta kabuğu, yer fıstığı ve üzüm çekirdeği seçilmiştir. Malzeme tanımlaması yapıldıktan sonra geometri için gerekli girişler yapılmış ve malzeme analize hazır hale getirilmiştir. Analiz sonucunda programın hesaplamasıyla oluşturulan yeni kompozit malzemelere ait elastisite modülleri ve poisson oranları bulunmuştur. Kompozit malzemenin oluşturulması Şekil 5.20’de gösterilmiştir.

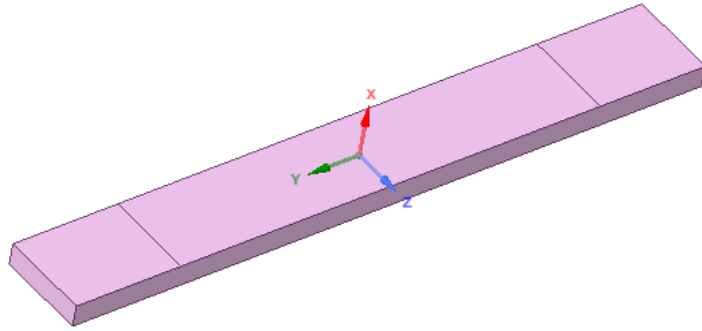


Şekil 5.20. Kompozit malzemenin oluşturulması

ANSYS içerisinde bulunan SpaceClaim modülünde çekme ve eğilme numunesi çizilerek geometri hazırlanmıştır. Çekme testine ait numunenin görseli Şekil 5.21’de gösterilmiştir. Eğilme testine ait numunenin görseli ise Şekil 5.22’de gösterilmiştir.

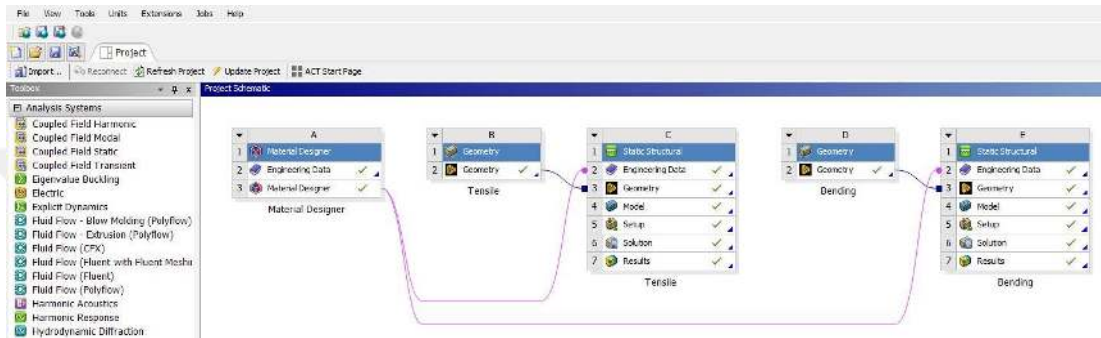


Şekil 5.21. Çekme numunesinin üç boyutlu gösterimi

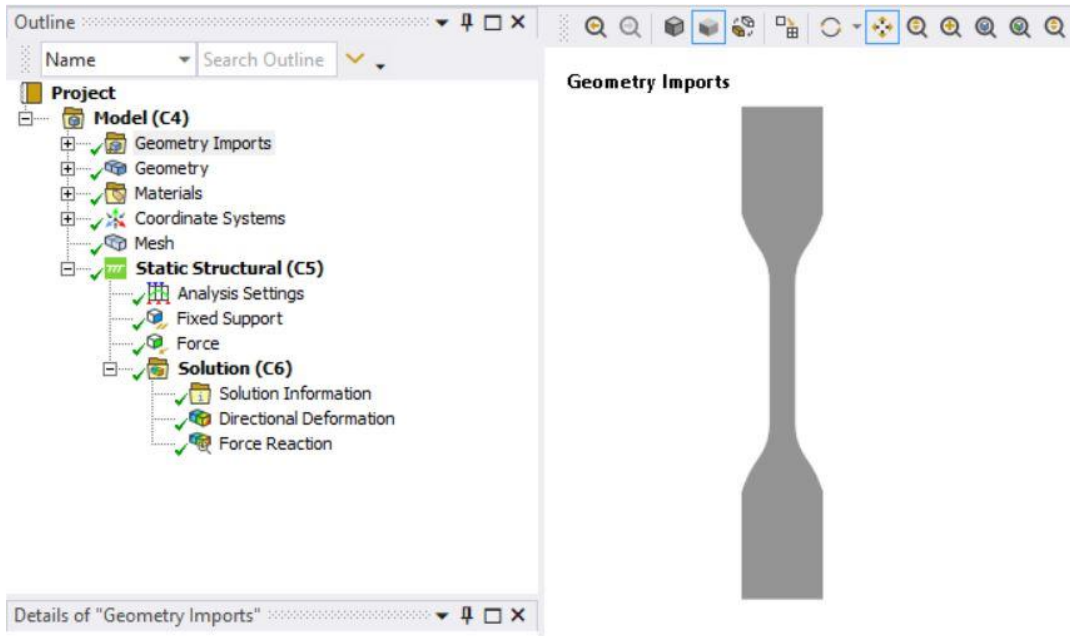


Şekil 5.22. Eğilme numunesinin üç boyutlu gösterimi

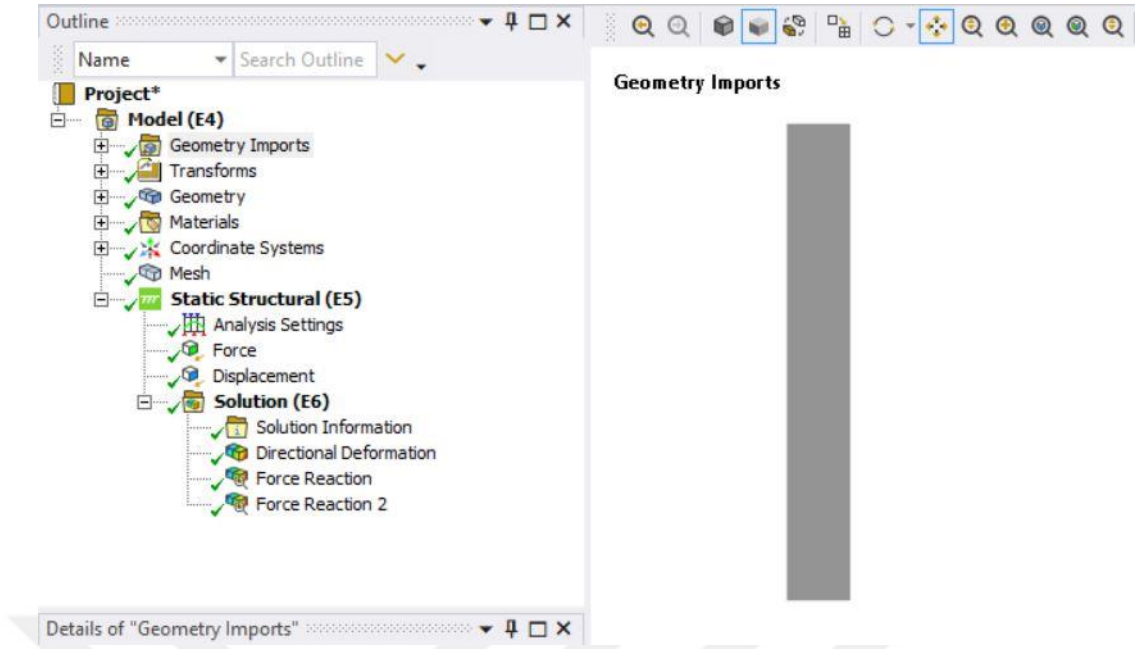
Proje içerisinde malzeme tasarımı çözümlendikten sonra çekme ve eğilme analizlerine ait statik yapı analizi modülleri (static structural) içerisine mühendislik kütüphaneleri tanımlanmıştır. Çekme ve eğilme numunesinin çizimleri de bu modüllere eklenmiştir. Statik yapı analiz modülleri; mühendislik kütüphanesi, geometri, model, kurulum, çözümleme ve sonuç bölümlerinden oluşmaktadır. Proje şeması, Şekil 5.23'te gösterilmiştir. Çekme ve eğilme analizlerine ait statik yapılar Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



Şekil 5.23. Proje şemasının gösterimi



Şekil 5.24. Çekme analizi statik yapı gösterimi



Şekil 5.25. Eğilme analizi statik yapı gösterimi

## 6. DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada saf epoksi içerisine ağırlıkça %5, %15 ve %25 oranlarında, 63 µm tane boyunda yer fıstığı kabuğu, yumurta kabuğu ve üzüm çekirdeği takviye elemanları eklenerek kompozit numuneler üretilip çekme, üç nokta eğilme ve makro sertlik mekanik testleri yapılmıştır.

Saf epoksi ve ağırlıkça farklı takviye elemanı ve farklı yüzde oranlara sahip kompozitlerle birlikte toplam 60 adet numune üretilmiştir. Tane boyutu, takviye elemanın ağırlıkça yüzde oranı ve farklı doğal takviye elemanlarının kullanılmasının mekanik özelliklere olan etkilerini incelemesi, bu malzemelerin kendi içerisinde ve birbirleriyle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

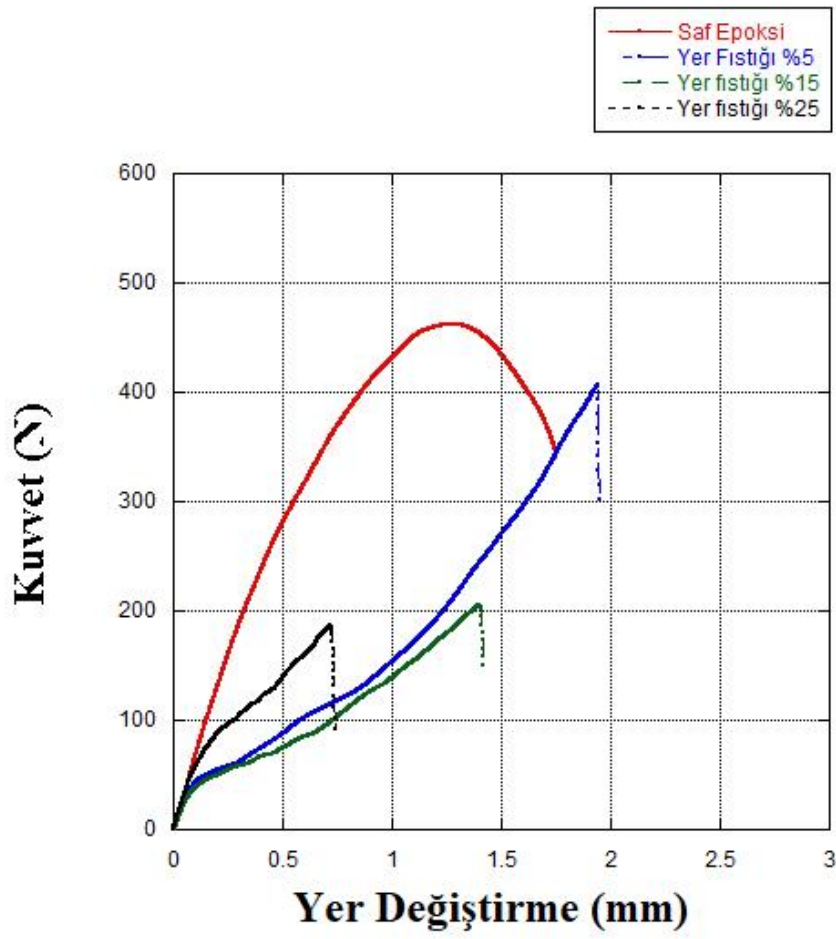
### 6.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Saf epoksi matrisine yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği tozlarıyla üretilen kompozit numunelere çekme deneyi yapılmıştır. Numuneler kopma işlemi tamamlayana kadar yük altında çekilmiştir. Her numuneye ait en büyük (maksimum) çekme kuvveti ve gerilmeleri hesaplanarak grafikler ve tablolarda gösterilmiştir.

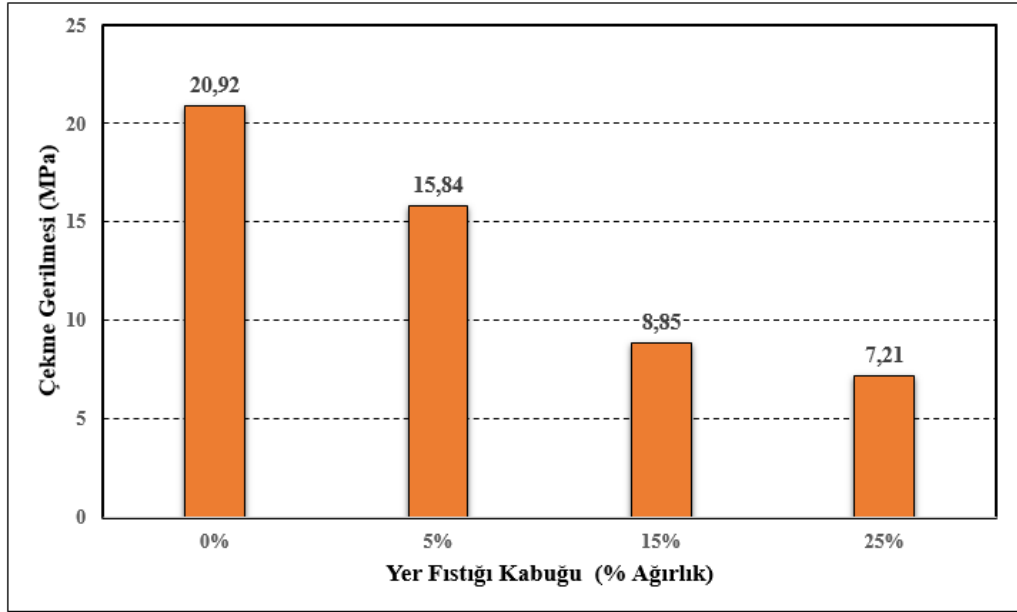
**Tablo 6.1.** Yer fıstığı kabuğu takviyeli numunelerin çekme kuvveti ve gerilme değerleri

| Yer Fıstığı Kabuğu Tozu<br>Ağırlık Yüzdesi | Maksimum Çekme<br>Kuvveti (N) | Çekme Gerilmesi<br>(MPa) |
|--------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 0 (saf epoksi)                             | 502,08                        | 20,92                    |
| 5                                          | 380,21                        | 15,84                    |
| 15                                         | 212,50                        | 8,85                     |
| 25                                         | 173,00                        | 7,21                     |

Tablo 6.1’de 63  $\mu\text{m}$  tane boyutuna sahip fıstık kabuğu tozu takviyeli kompozitlerin gerilme dayanımları incelendiğinde en yüksek gerilme miktarı 20,92 MPa saf epoksiden elde edilirken, en düşük gerilme miktarı 7,21 MPa %25 takviye oranına sahip kompozitten elde edilmiştir. %15 takviyeli kompozitin çekme dayanımı 8,85 MPa, %5 takviye oranına sahip kompozitin çekme dayanımı ise 15,84 MPa’dır. Yer fıstığı takviyeli numunelerden birine ait çekme kuvveti – yer değiştirme grafiği Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Yer fıstığı kabuğu takviyeli numunelerin çekme kuvveti (N) – yer değiştirme (mm) grafiği



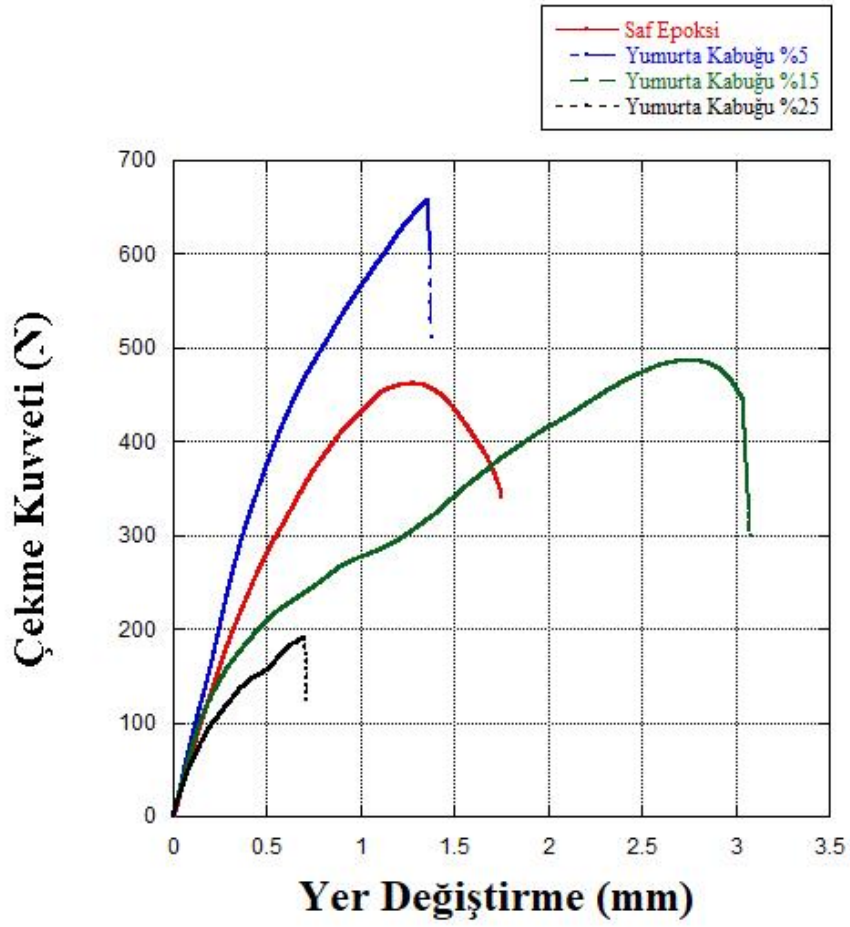
Şekil 6.2. Yer fıstığı kabuğu çekme gerilmesi – yüzde ağırlık grafiği

Şekil 6.2. incelendiğinde saf epoksiye yer fıstığı kabuğu takviye elemanı eklendikçe çekme gerilmeleri azalmıştır. %5 takviyeli numunede saf epoksiye kıyasla yaklaşık %25 azalma; %15 takviyeli numunede yaklaşık %58 azalma; %25 takviyede numunede ise yaklaşık %65 azalma meydana gelmiştir.

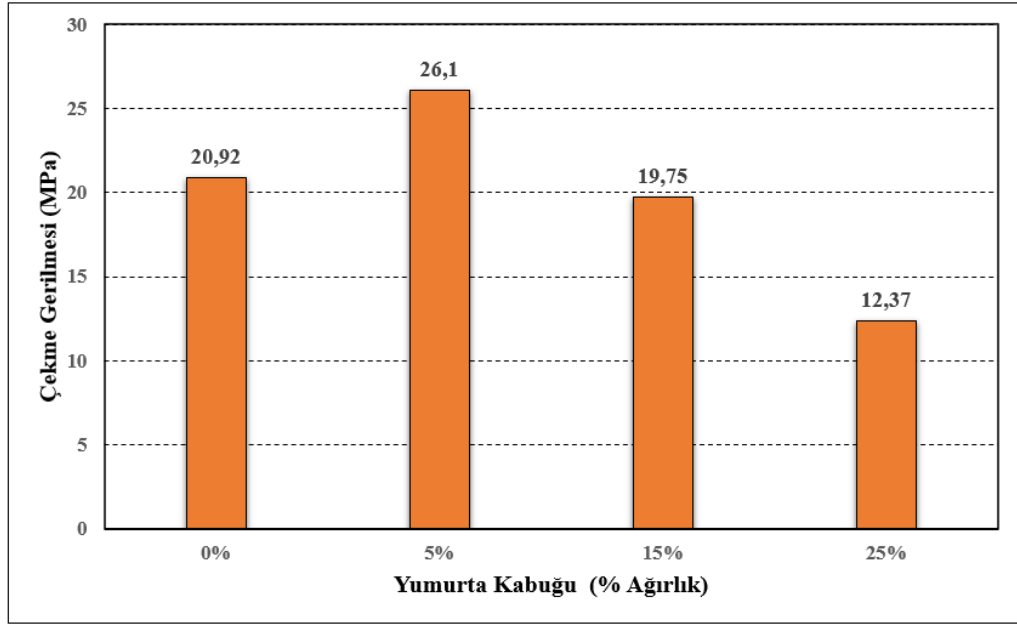
**Tablo 6.2.** Yumurta kabuğu takviyeli numunelerin çekme kuvveti ve gerilme değerleri

| Yumurta Kabuğu Tozu<br>Ağırlık Yüzdesi | Maksimum Çekme<br>Kuvveti (N) | Çekme Gerilmesi<br>(MPa) |
|----------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 0 (saf epoksi)                         | 502,08                        | 20,92                    |
| 5                                      | 660,41                        | 26,10                    |
| 15                                     | 475,00                        | 19,79                    |
| 25                                     | 296,79                        | 12,37                    |

Tablo 6.2.'de yumurta kabuğu takviyeli kompozitler ile diğer kompozitler karşılaştırıldığında, ağırlıkça %5 yumurta kabuğu takviyeli kompozitlerde en yüksek gerilme 26,10 MPa'dır. %15 yumurta kabuğu takviyeli kompozitlerde çekme gerilmesi 19,79 MPa; %25 yumurta kabuğu takviyeli kompozitlerde ise bu değer 12,37 MPa çıkmıştır. Yumurta kabuğu takviyeli numunelerden birine ait çekme kuvveti – yer değiştirme grafiği Şekil 6.3'te gösterilmiştir.

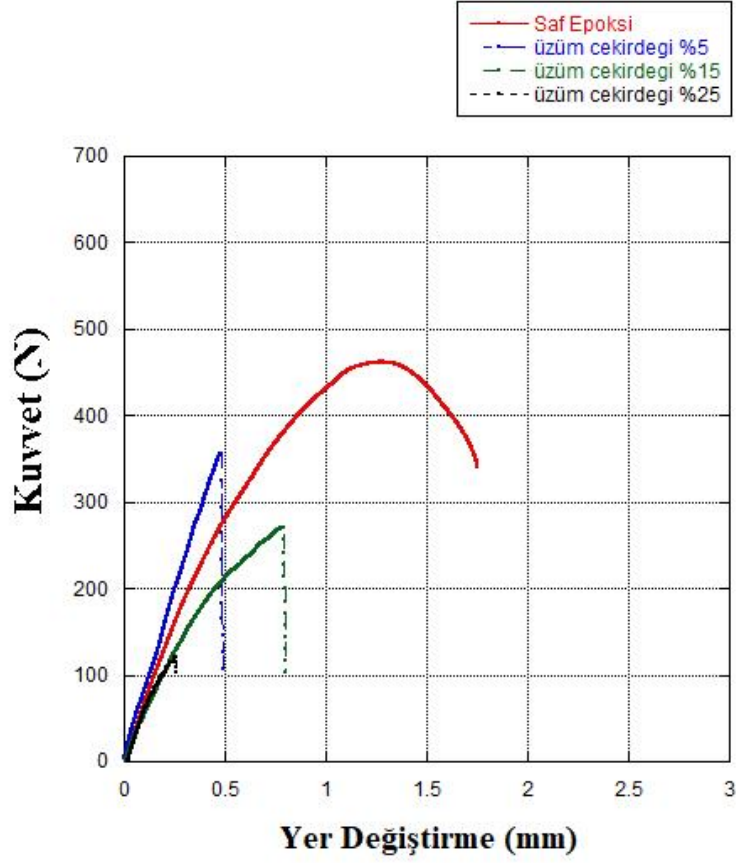


Şekil 6.3. Yumurta kabuğu takviyeli numunelerin çekme kuvveti (N) – yer değiştirme (mm) grafiği



Şekil 6.4. Yumurta kabuğu çekme gerilmesi – yüzde ağırlık grafiği

Şekil 6.4. incelendiğinde, en yüksek çekme gerilmesi %5 takviyeli yumurta kabuğu numunelerinde gözlenmiştir. Saf epoksi ile karşılaştırıldığında %5 takviyeli numunelerde %25 artış meydana gelmiştir. %15 takviyeli numunelerde yaklaşık %6 azalma, %25 takviyeli numunelerde ise yaklaşık %41 oranında azalma gözlenmiştir.



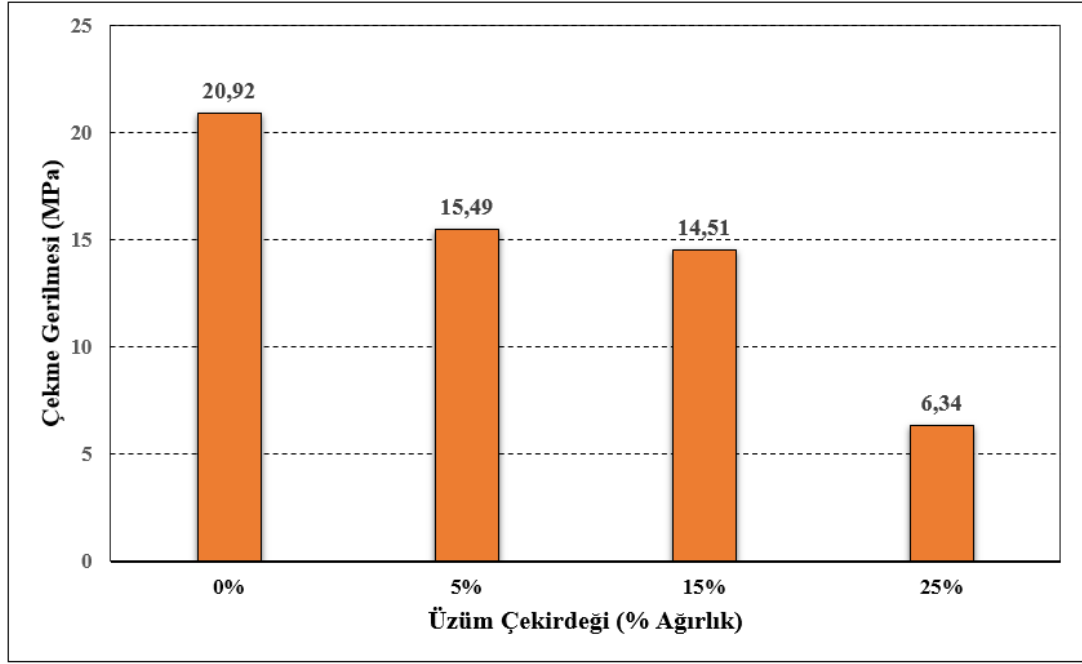
Şekil 6.5. Üzüm çekirdeği takviyeli numunelerin çekme kuvveti (N) – yer değiştirme (mm) grafiği

**Tablo 6.3.** Üzüm çekirdeği takviyeli numunelerin çekme kuvveti ve gerilme değerleri

| Üzüm Çekirdeği Tozu Ağırlık Yüzdesi | Maksimum Çekme Kuvveti (N) | Çekme Gerilmesi (MPa) |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 0 (saf epoksi)                      | 502,08                     | 20,92                 |
| 5                                   | 371,88                     | 15,49                 |
| 15                                  | 347,92                     | 14,51                 |
| 25                                  | 152,08                     | 6,34                  |

Tablo 6.3.'te 63 µm tane boyutuna sahip üzüm çekirdeği tozu takviyeli kompozitlerin gerilme dayanımları incelendiğinde en yüksek gerilme miktarı yer fıstığı kabuğu takviyeli numunelerde olduğu gibi saf epoksiden elde edilmiştir.

En düşük gerilme miktarı 6,34 MPa %25 takviye oranına sahip kompozitten elde edilmiştir. %5 (15,49 MPa) ve %15 (14,51 MPa) takviyeli kompozitlerin sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Üzüm çekirdeği takviyeli numunelerden birine ait çekme kuvveti – yer değiştirme grafiği Şekil 6.5'te gösterilmiştir.

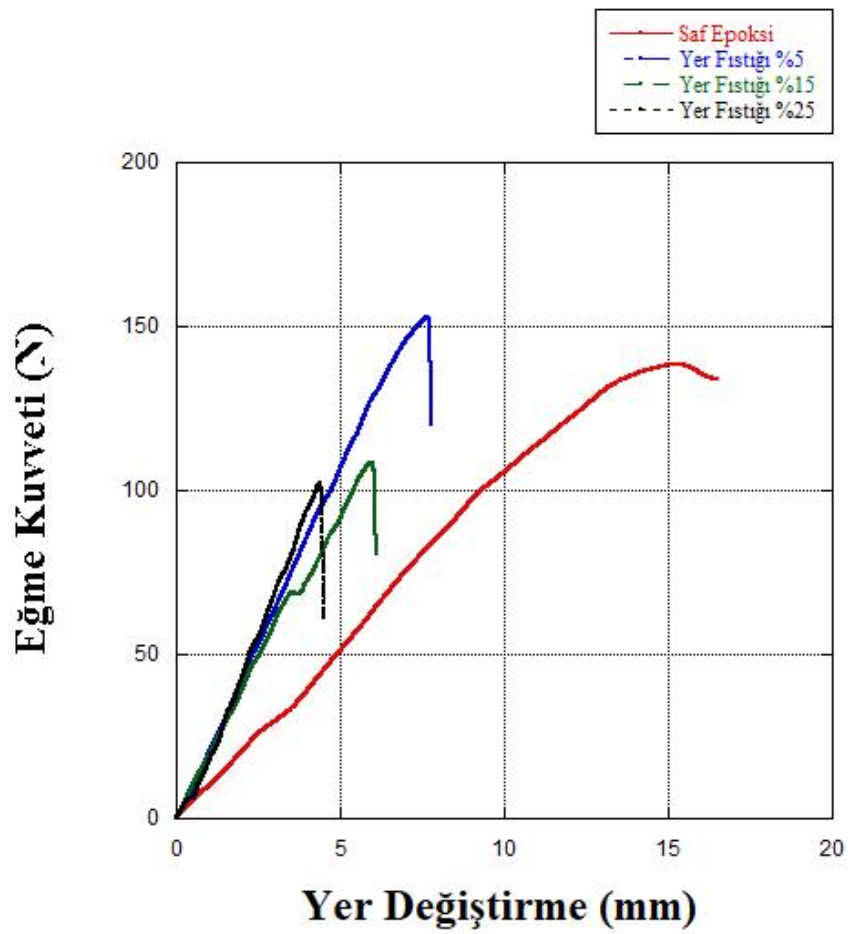


Şekil 6.6. Üzüm çekirdeği çekme gerilmesi – yüzde ağırlık grafiği

Şekil 6.6. incelendiğinde, saf epoksiye üzüm çekirdeği takviye elemanı eklendikçe çekme gerilmeleri azalmıştır. %5 takviyeli numunede saf epoksiye kıyasla yaklaşık %26 azalma; %15 takviyeli numunede yaklaşık %31 azalma; %25 takviyede numunede ise yaklaşık %70 oranında azalma meydana gelmiştir.

## 6.2. Eğilme Sonuçları

Saf epoksi malzeme ile yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği tozu ilavesiyle üretilen kompozitlerin eğilme dayanımları uygulanan kuvvete bağlı olarak ölçülmüştür. Saf epoksinin ve kompozitlerin eğilme kuvvetleri, 3 nokta eğilme deney verileri ile grafikler çizilmiştir. Yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği tozları ile üretilen kompozitlerin eğilme kuvveti – yer değiştirme grafikleri, eğilme gerilmeleri grafikler ve tablolarda gösterilmiştir.

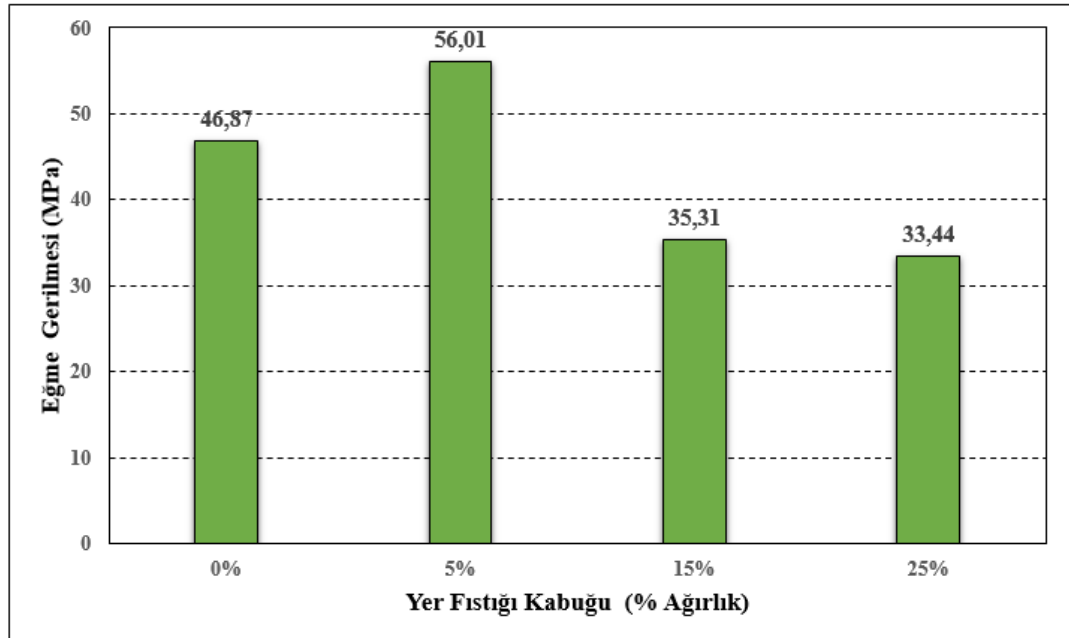


Şekil 6.7. Yer fıstığı kabuğu takviyeli numunelerin eğilme kuvveti (N) – yer değiştirme (mm) grafiği

**Tablo 6.4.** Yer fıstığı kabuğu takviyeli numunelerin eğilme kuvveti ve gerilme değerleri

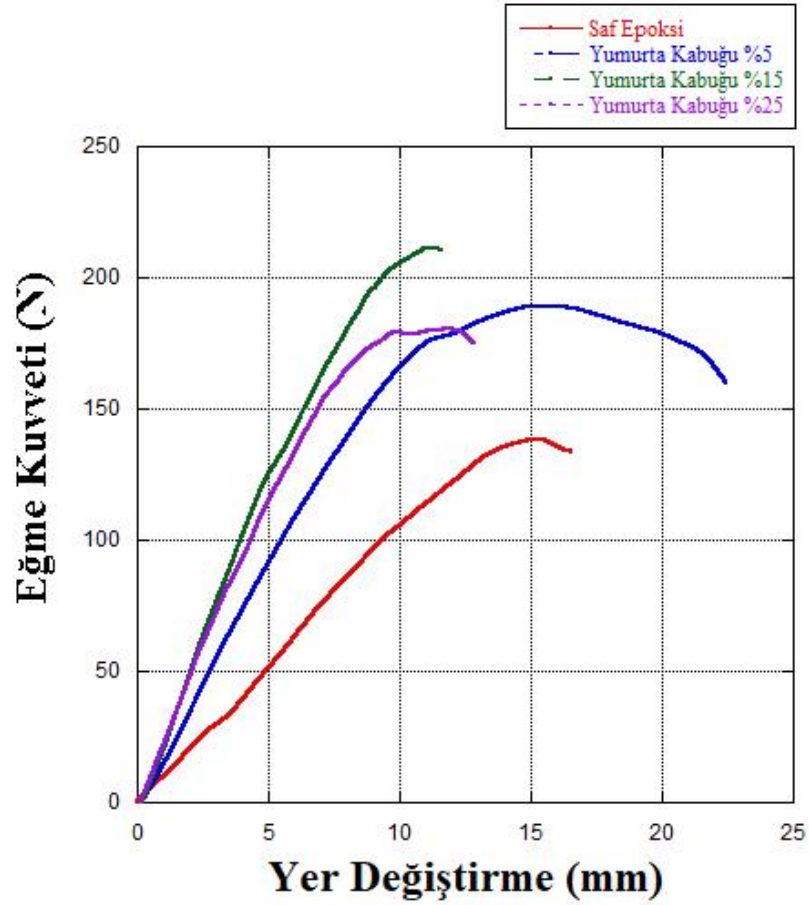
| Yer Fıstığı Kabuğu Tozu<br>Ağırlık Yüzdesi | Maksimum Eğilme<br>Kuvveti (N) | Eğilme Dayanımı<br>(MPa) |
|--------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| 0 (saf epoksi)                             | 151,00                         | 46,87                    |
| 5                                          | 156,25                         | 56,01                    |
| 15                                         | 117,71                         | 35,31                    |
| 25                                         | 111,43                         | 33,44                    |

Tablo 6.4.'de yer fıstığı kabuğu takviyeli kompozitler ile diğer kompozitler karşılaştırıldığında, ağırlıkça %5 yer fıstığı kabuğu takviyeli kompozitlerde en yüksek eğilme dayanımı 56,01 MPa'dır. Saf epoksinin eğilme dayanımı 46,87 MPa'dır. %15 yer fıstığı kabuğu takviyeli kompozitlerde eğilme dayanımı 35,31 MPa; %25 yer fıstığı kabuğu takviyeli kompozitlerde ise bu değer 33,44 MPa çıkmıştır. Yer fıstığı kabuğu takviyeli numunelere ait eğilme kuvveti – yer değiştirme grafiği Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



**Şekil 6.8.** Yer fıstığı kabuğu eğilme gerilmesi – yüzde ağırlık grafiği

Şekil 6.8. incelendiğinde, en yüksek eğilme gerilmesi %5 takviyeli yer fıstığı kabuğu numunelerinde gözlenmiştir. Saf epoksi ile karşılaştırıldığında %5 takviyeli numunelerde %20 artış meydana gelmiştir. %15 takviyeli numunelerde yaklaşık %25 azalma, %25 takviyeli numunelerde ise yaklaşık %29 oranında azalma gözlenmiştir.

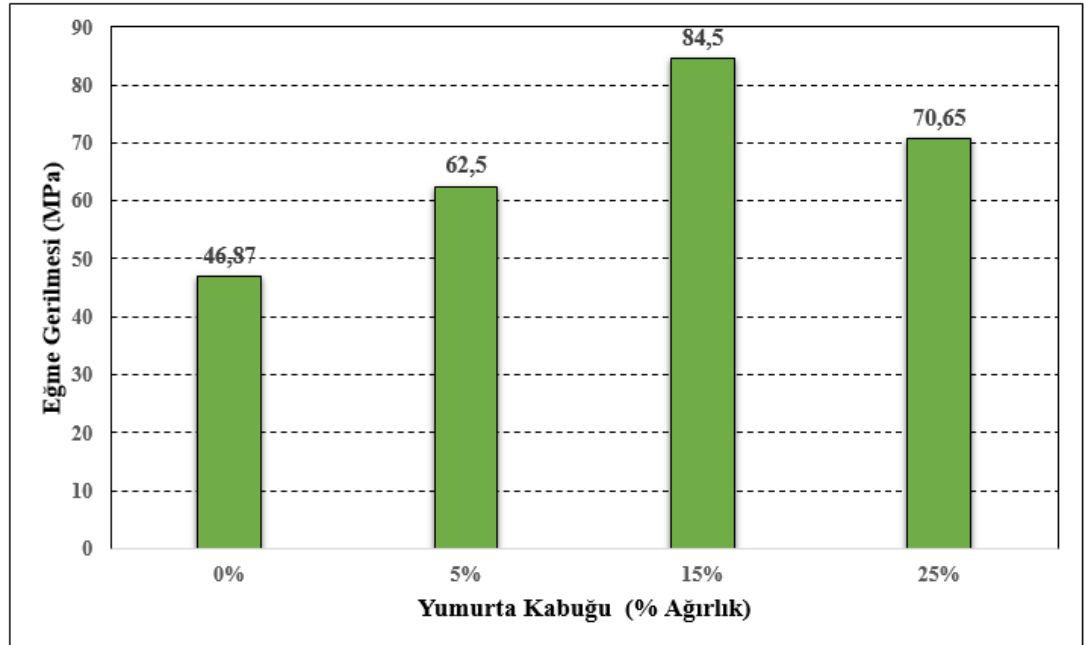


Şekil 6.9. Yumurta kabuğu takviyeli numunelerin eğilme kuvveti (N) – yer değiştirme (mm) grafikleri

**Tablo 6.5.** Yumurta kabuğu takviyeli numunelerin eğilme kuvveti ve gerilme değerleri

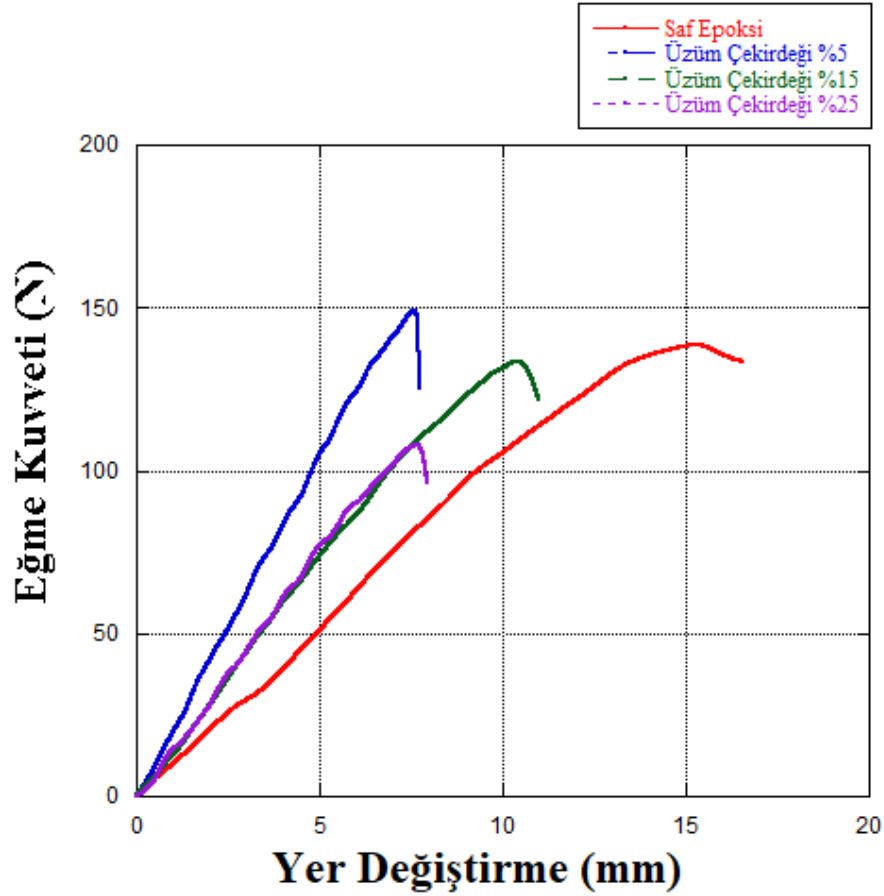
| Yumurta Kabuğu Tozu<br>Ağırlık Yüzdesi | Maksimum Eğilme<br>Kuvveti (N) | Eğilme Dayanımı<br>(MPa) |
|----------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| 0 (saf epoksi)                         | 151,00                         | 46,87                    |
| 5                                      | 168,33                         | 62,50                    |
| 15                                     | 228,00                         | 84,50                    |
| 25                                     | 205,00                         | 70,65                    |

Tablo 6.5.'te yumurta kabuğu takviyeli kompozitler ile diğer kompozitler karşılaştırıldığında, ağırlıkça %5 yumurta kabuğu takviyeli kompozitlerde en yüksek eğilme dayanımı 62,50 MPa'dır. Saf epoksinin eğilme dayanımı 46,87 MPa'dır. %15 yumurta kabuğu takviyeli kompozitlerde eğilme dayanımı 84,50 MPa; %25 yer fıstığı kabuğu takviyeli kompozitlerde ise bu değer 70,65 MPa çıkmıştır. Yumurta kabuğu takviyeli numunelerden birine ait eğilme kuvveti – yer değiştirme grafiği Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Yumurta kabuğu eğilme gerilmesi – yüzde ağırlık grafiği

Şekil 6.10. incelendiğinde, en yüksek eğilme gerilmesi %15 takviyeli yumurta kabuğu numunelerinde gözlenmiştir. Saf epoksi ile karşılaştırıldığında %5 takviyeli numunelerde %33 artış meydana gelmiştir. %15 takviyeli numunelerde yaklaşık %80 artış, %25 takviyeli numunelerde ise yaklaşık %51 oranında artış gözlenmiştir.

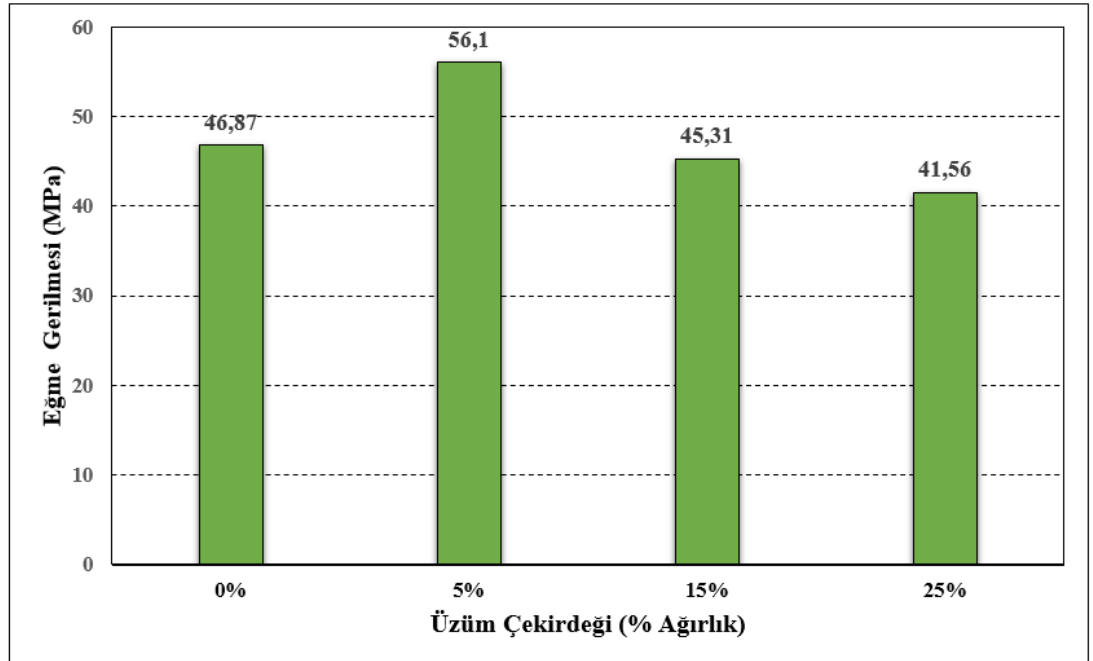


Şekil 6.11. Üzüm çekirdeği takviyeli numunelerin eğilme kuvveti (N) – yer değişirme (mm) grafikleri

**Tablo 6.6.** Üzüm çekirdeği takviyeli numunelerin eğilme kuvveti ve gerilme değerleri

| Üzüm Çekirdeği Tozu<br>Ağırlık Yüzdesi | Maksimum Eğilme<br>Kuvveti (N) | Eğilme Dayanımı<br>(MPa) |
|----------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| 0 (saf epoksi)                         | 151,00                         | 46,87                    |
| 5                                      | 157,29                         | 56,10                    |
| 15                                     | 151,04                         | 45,31                    |
| 25                                     | 138,54                         | 41,56                    |

Tablo 6.6.'da üzüm çekirdeği takviyeli kompozitler ile diğer kompozitler karşılaştırıldığında, ağırlıkça %5 üzüm çekirdeği takviyeli kompozitlerde en yüksek eğilme dayanımı 56,10 MPa'dır. Saf epoksinin eğilme dayanımı 46,87 MPa'dır. %15 üzüm çekirdeği takviyeli kompozitlerde eğilme dayanımı 45,31 MPa; %25 üzüm çekirdeği takviyeli kompozitlerde ise bu değer 41,56 MPa çıkmıştır. Üzüm çekirdeği takviyeli numunelerden birine ait eğilme kuvveti – yer değiştirme grafiği Şekil 6.11'de gösterilmiştir.



Şekil 6.12. Üzüm çekirdeği eğilme gerilmesi – yüzde ağırlık grafiği

Şekil 6.12. incelendiğinde, en yüksek eğilme gerilmesi %5 takviyeli üzüm çekirdeği numunelerinde gözlenmiştir. Saf epoksi ile karşılaştırıldığında %5 takviyeli numunelerde yaklaşık %20 artış meydana gelmiştir. %15 takviyeli numunelerde %1 oranından az bir azalma, %25 takviyeli numunelerde ise yaklaşık %11 oranında azalma gözlenmiştir.

### 6.3. Makro Sertlik Sonuçları

Numunelerin Brinell sertlik değerlerine makro sertlik test cihazı kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan testte kullanılan bilyenin çapı 2,5 mm, uygulanan yük 15,625 kg olarak belirlenmiştir (HBW 2.5/6.25). Her bir numune yüzeyinden dört farklı noktadan değerler kaydedildikten sonra bu değerlerin ortalamaları alınmıştır. Tablo 6.7.'de numune sertlik sonuçları gösterilmiştir.

**Tablo 6.7.** Numunelere ait sertlik değerleri

| Malzeme Cinsi                             | Takviye Oranı<br>%Ağırlık | Brinell Sertlik Değeri<br>(HB) |
|-------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Saf Epoksi                                | 0                         | 2,60                           |
| Yumurta Kabuğu Takviyeli<br>Numuneler     | 5                         | 7,97                           |
|                                           | 15                        | 11,87                          |
|                                           | 25                        | 15,23                          |
|                                           | 5                         | 11,57                          |
| Yer Fıstığı Kabuğu<br>Takviyeli Numuneler | 15                        | 13,20                          |
|                                           | 25                        | 15,13                          |
|                                           | 5                         | 12,27                          |
| Üzüm Çekirdeği<br>Takviyeli Numuneler     | 15                        | 14,30                          |
|                                           | 25                        | 16,77                          |
|                                           | 5                         | 12,27                          |

Sertlik ölçümleri sırasında cihazın monitöründen değerlerin görüntüleri alınmıştır. Şekil 6.13'te yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği takviyeli numunelerin sertlik değerleri görselleri gösterilmiştir. Şekil 6.14., 6.15. ve 6.16'da numunelerin kendi içerisinde ve saf epoksiye göre sertlik değerleri kıyaslanmıştır.



(a) Yumurta Kabuğu Takviye Sertlik Değerleri Görselleri



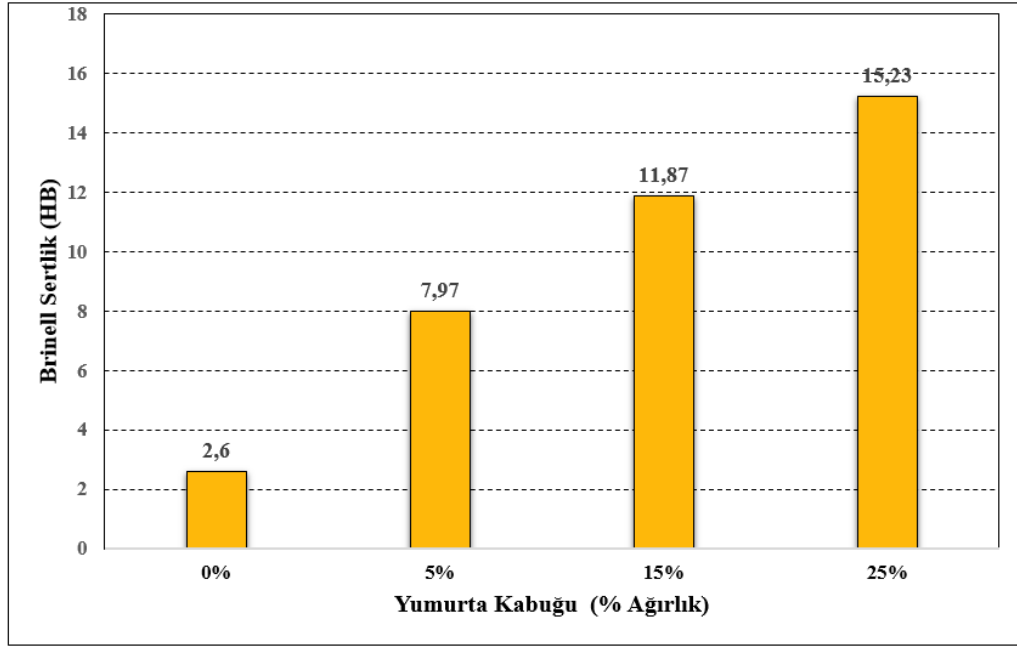
(b) Yer Fıstığı Kabuğu Takviye Sertlik Değerleri Görseli



(c) Üzüm Çekirdeği Takviye Sertlik Değerleri Görselleri

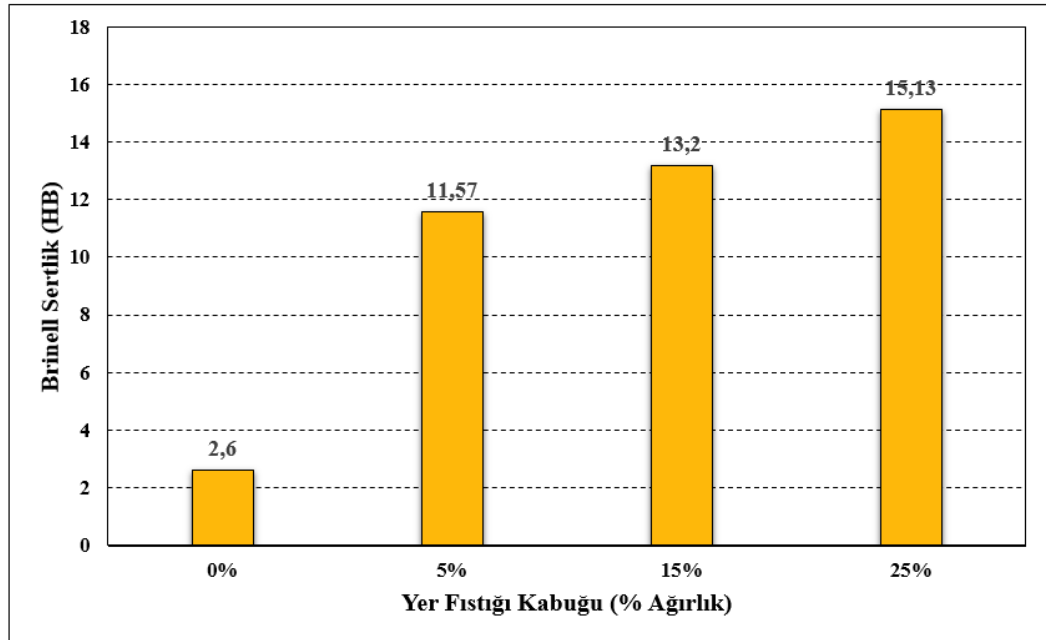
Şekil 6.13. Sertlik testi sırasında doğal takviyeli kompozitlerin temsili görselleri

(a)yumurta kabuğu, (b) yer fıstığı kabuğu, (c) üzüm çekirdeği



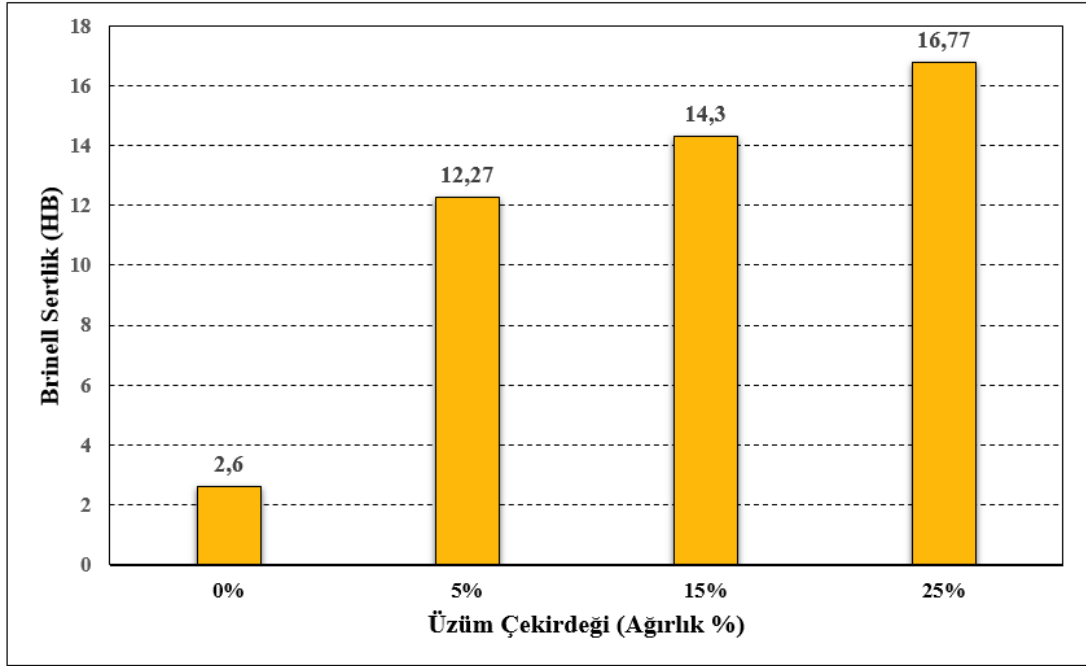
Şekil 6.14. Yumurta kabuğu Brinell sertlik – yüzde ağırlık grafiği

Şekil 6.14. incelendiğinde, en yüksek brinell sertlik değeri %25 takviyeli yumurta kabuğu numunelerinde gözlenmiştir. Saf epoksi ile karşılaştırıldığında %5 takviyeli numunelerde yaklaşık 3 kat artış meydana gelmiştir. %15 takviyeli numunelerde yaklaşık 4,5 kat artış, %25 takviyeli numunelerde ise yaklaşık 6 kat artış gözlenmiştir.



Şekil 6.15. Yer fıstığı kabuğu Brinell sertlik – yüzde ağırlık grafiği

Şekil 6.15. incelendiğinde, en yüksek brinell sertlik değeri %25 takviyeli yer fıstığı kabuğu numunelerinde gözlenmiştir. Saf epoksi ile karşılaştırıldığında %5 takviyeli numunelerde yaklaşık 4,5 kat artış meydana gelmiştir. %15 takviyeli numunelerde yaklaşık 5 kat artış, %25 takviyeli numunelerde ise yaklaşık 6 kat artış gözlenmiştir.



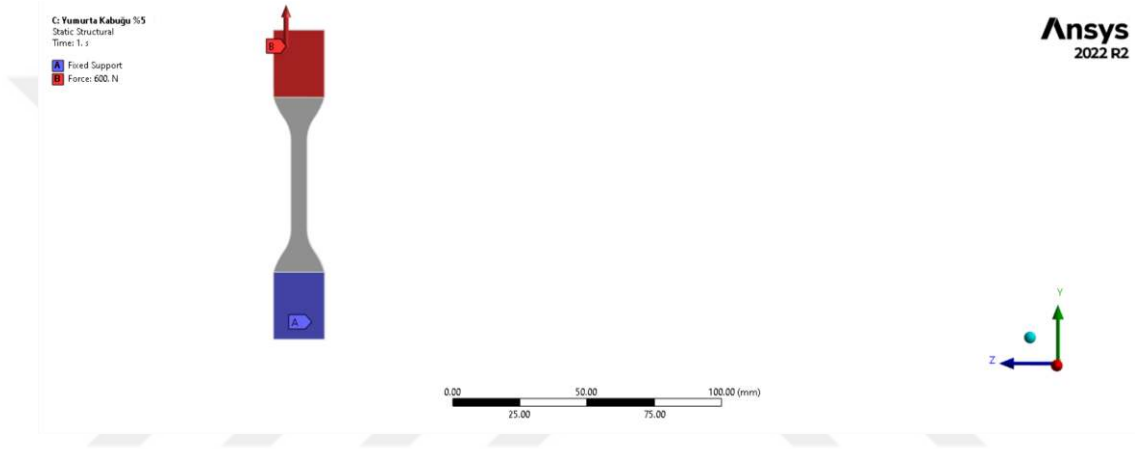
Şekil 6.16. Üzüm çekirdeği Brinell sertlik – yüzde ağırlık grafiği

Şekil 6.16. incelendiğinde, en yüksek brinell sertlik değeri %25 takviyeli üzüm çekirdeği numunelerinde gözlenmiştir. Saf epoksi ile karşılaştırıldığında %5 takviyeli numunelerde yaklaşık 5 kat artış meydana gelmiştir. %15 takviyeli numunelerde yaklaşık 5,5 kat artış, %25 takviyeli numunelerde ise yaklaşık 6,5 kat artış gözlenmiştir.

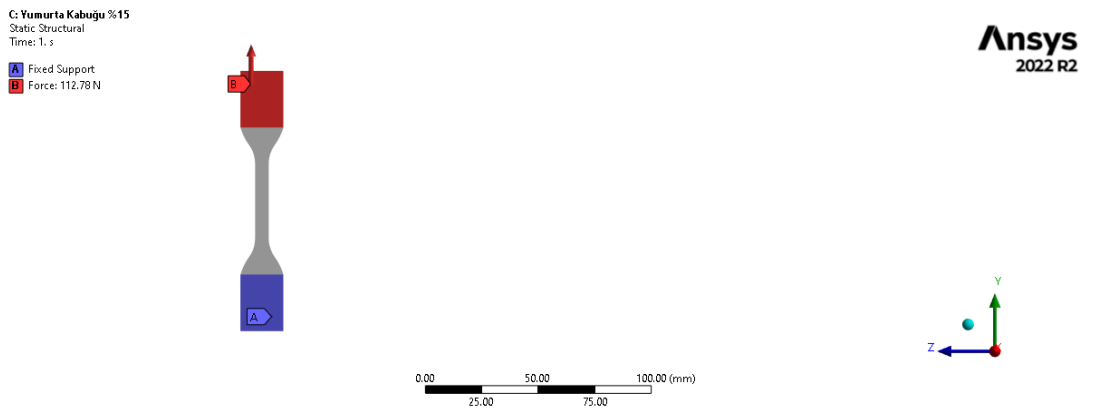
## 7.HESAPLAMALI ANALİZ SONUÇLARI

### 7.1. Çekme Deneyi Hesaplamalı Analiz Sonuçları

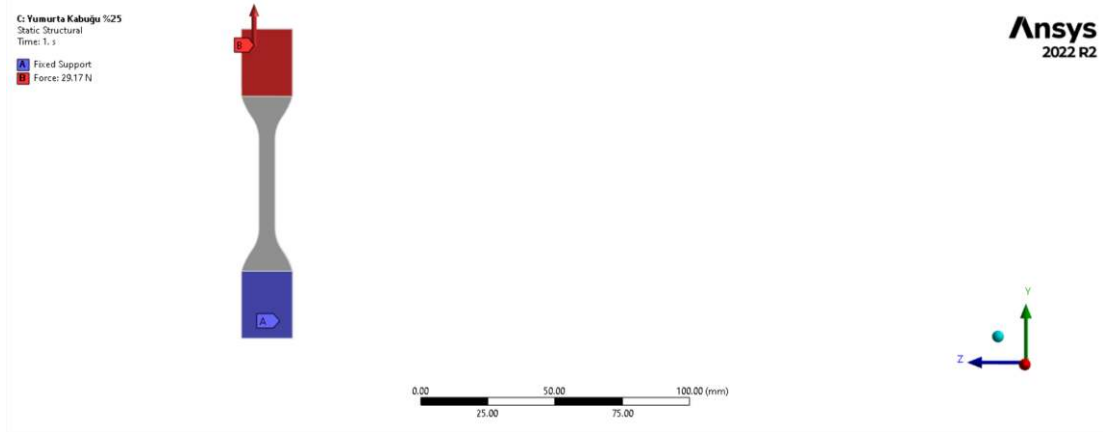
Yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği takviyeli kompozit numuneler A noktasından sabitlenmiştir ve B noktasından dikey eksenli çekme testi analizleri gerçekleştirilmiştir. Sabitlenme işlemi Şekil 7.1 – 7.9’da gösterilmiştir.



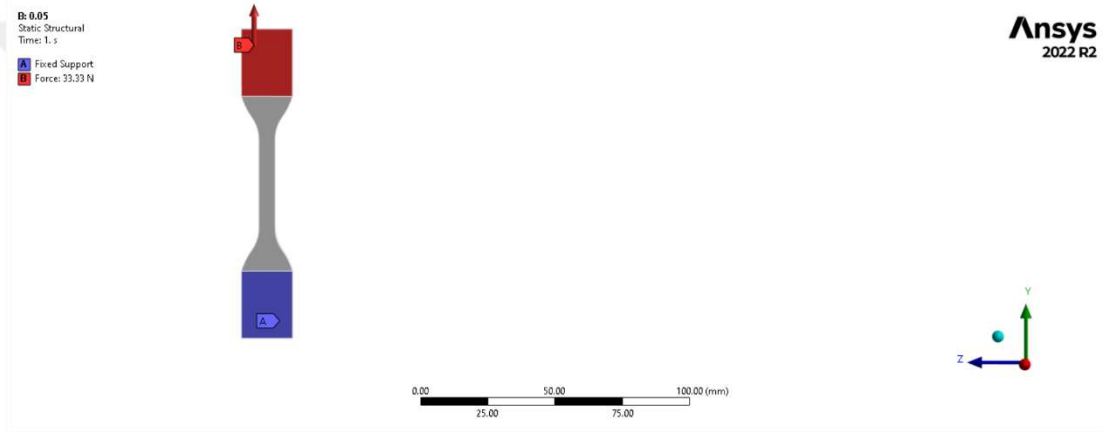
Şekil 7.1. %5 YK takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması



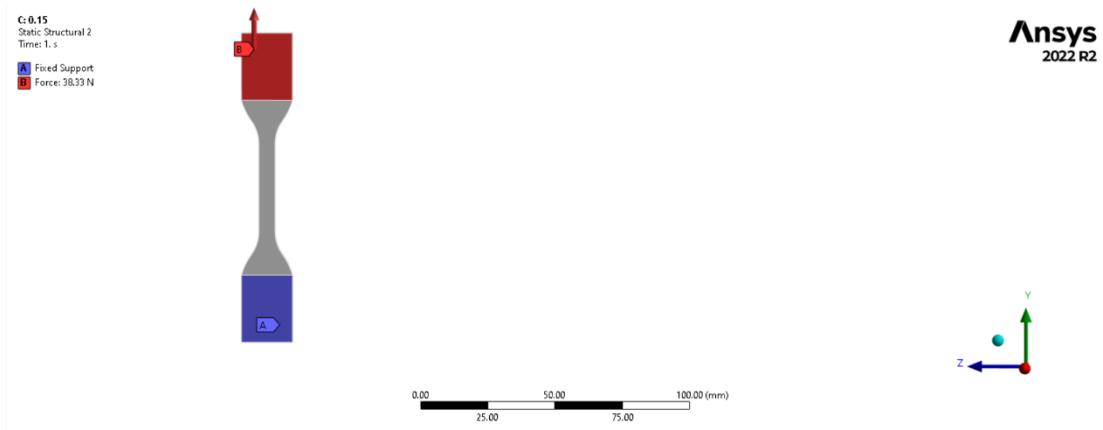
Şekil 7.2. %15 YK takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması



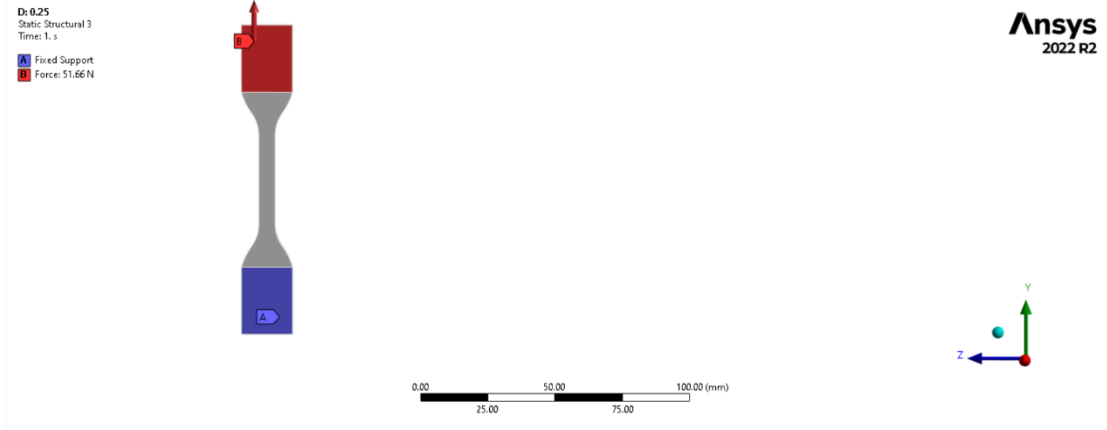
Şekil 7.3. %25 YK takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması



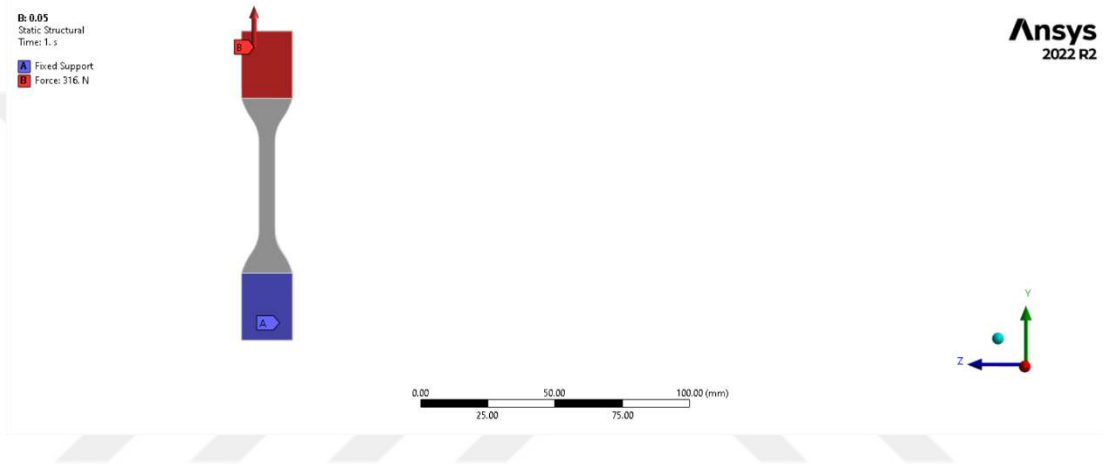
Şekil 7.4. %5 YFK takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması



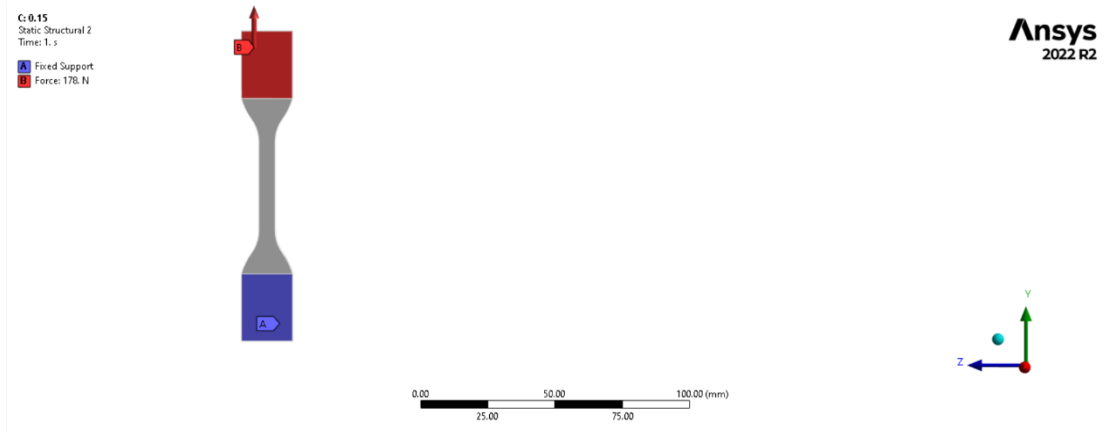
Şekil 7.5. %15 YFK takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması



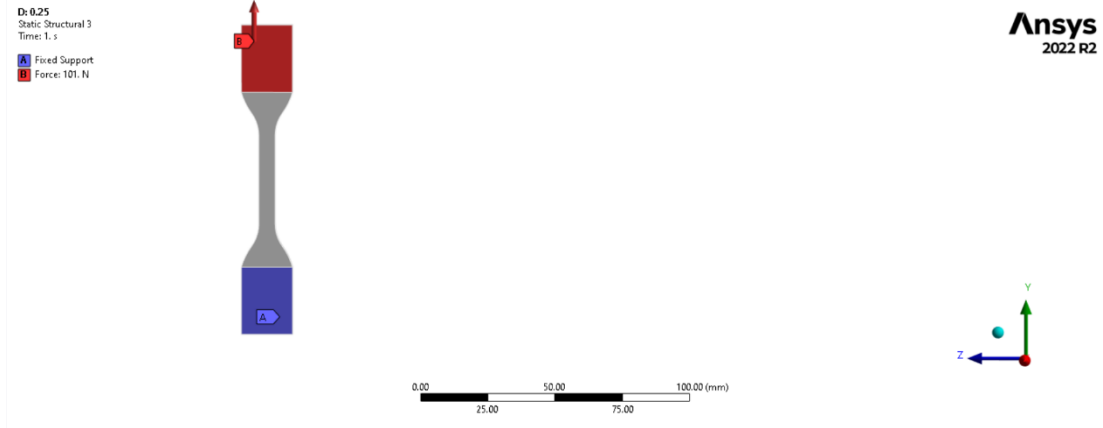
Şekil 7.6. %25 YFK takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması



Şekil 7.7. %5 ÜÇ takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması

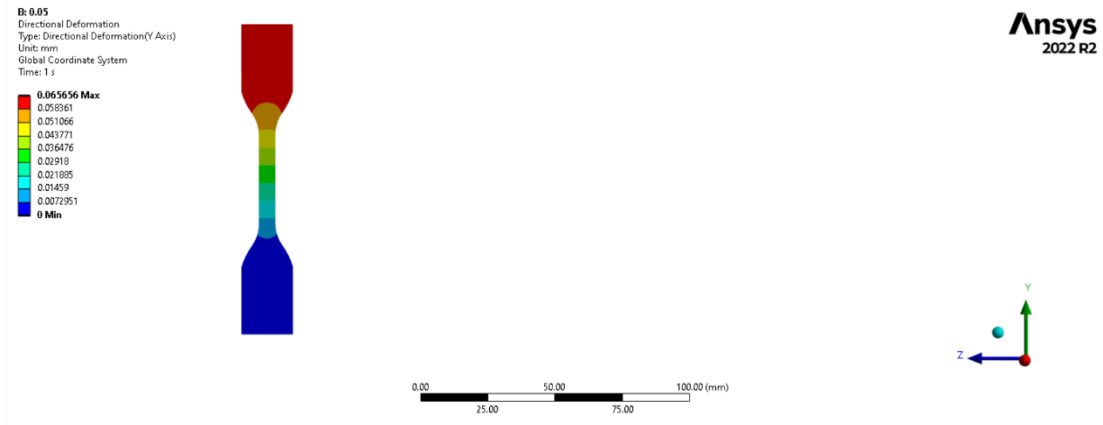


Şekil 7.8. %15 ÜÇ takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması

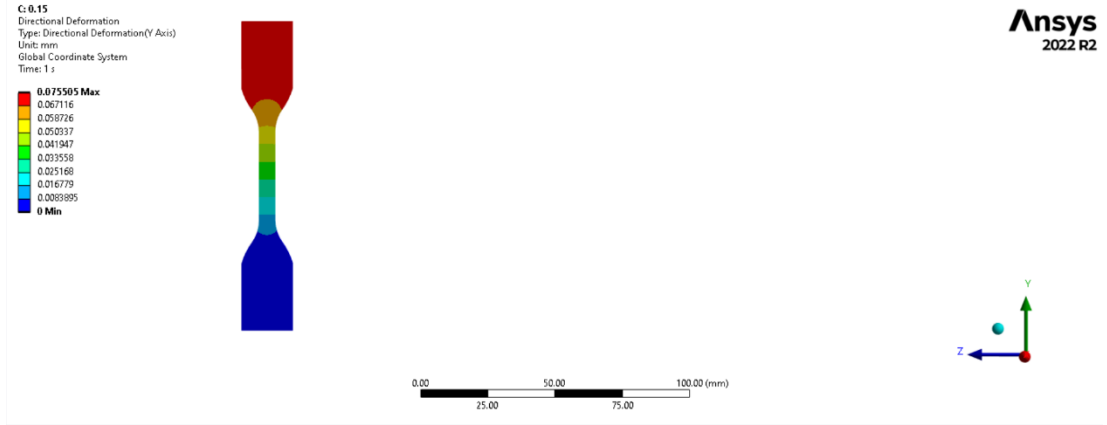


Şekil 7.9. %25 ÜÇ takviyeli kompozit sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması

Sınır koşulları ve kuvvetler tanımlandıktan sonra çekme deneyleri hesaplamalı analizde çözdürülmüştür. Elde edilen sonuçlar Şekil 7.10 – 7.18’de gösterilmiştir.



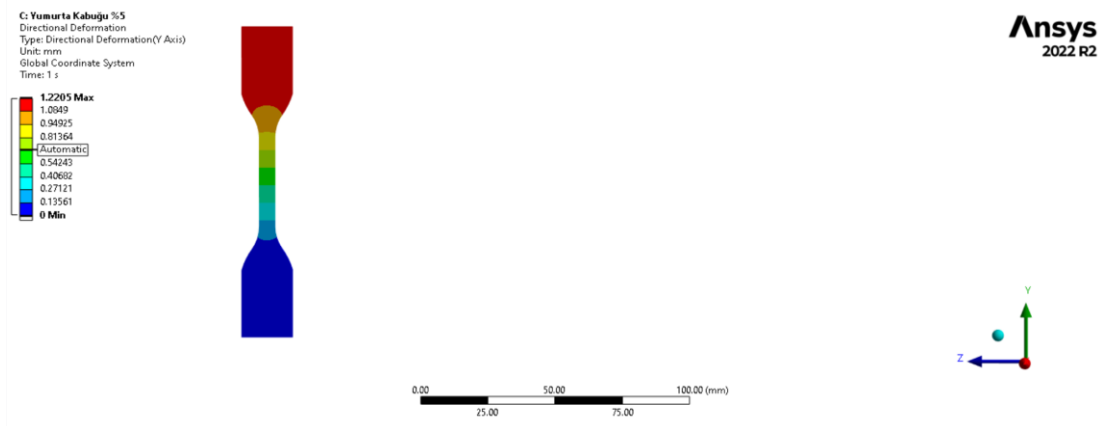
Şekil 7.10. %5 YFK takviyeli kompozit çekme testi sonucu



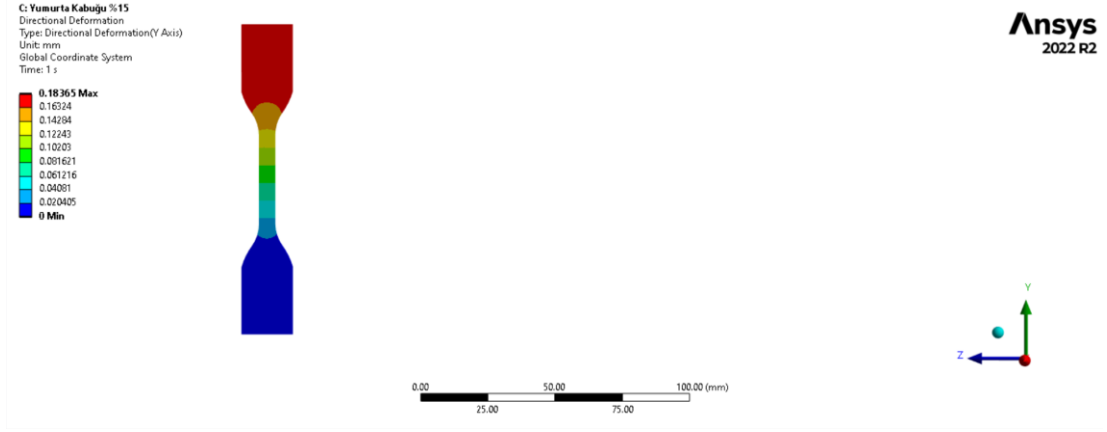
Şekil 7.11. %15 YFK takviyeli kompozit çekme testi sonucu



Şekil 7.12. %25 YFK takviyeli kompozit çekme testi sonucu



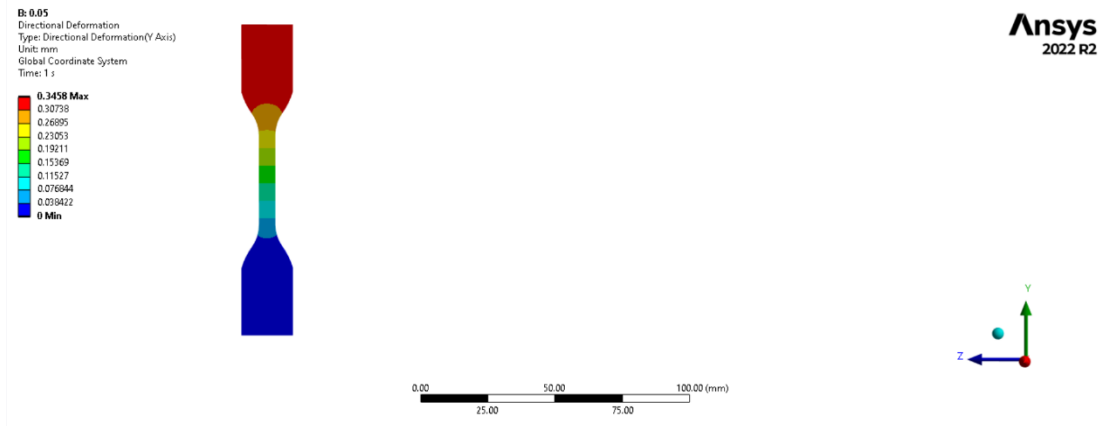
Şekil 7.13. %5 YK takviyeli kompozit çekme testi sonucu



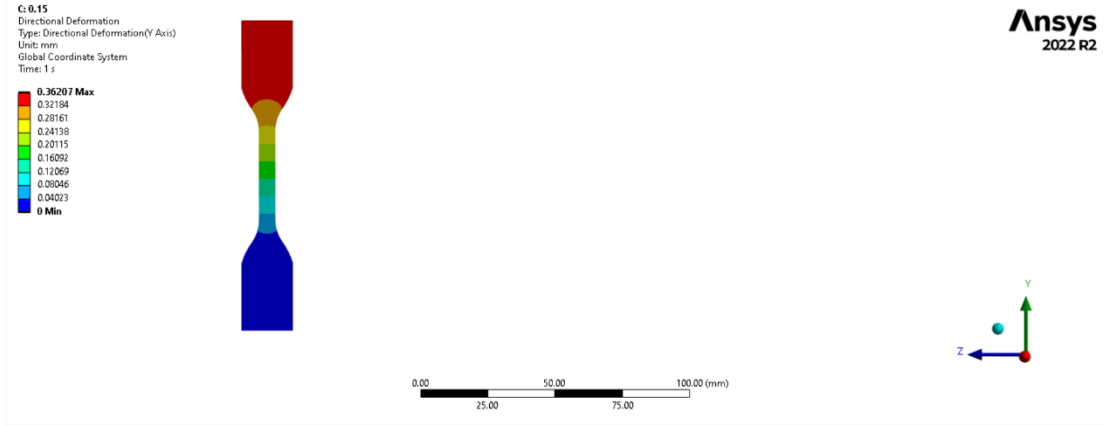
Şekil 7.14. %15 YK takviyeli kompozit çekme testi sonucu



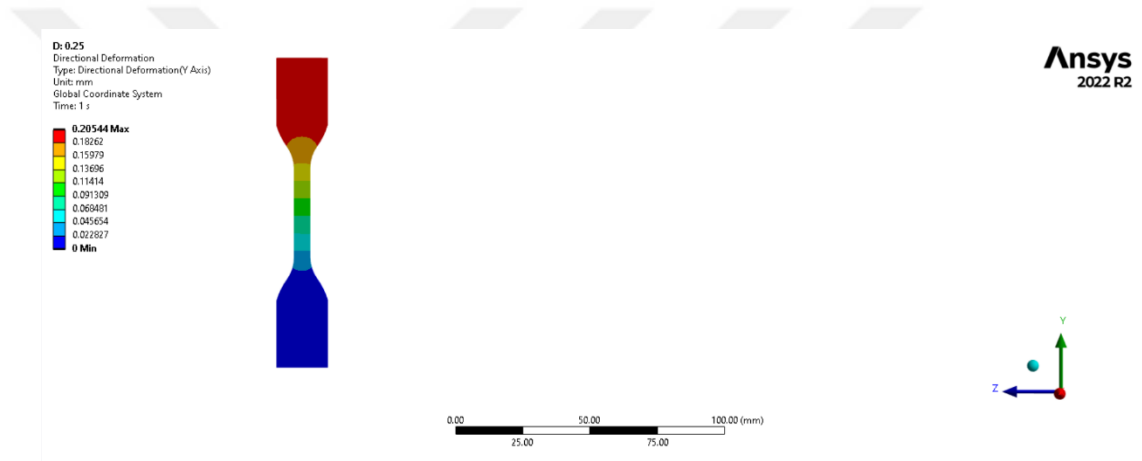
Şekil 7.15. %25 YK takviyeli kompozit çekme testi sonucu



Şekil 7.16. %5 ÜÇ takviyeli kompozit çekme testi sonucu



Şekil 7.17. %15 ÜÇ takviyeli kompozit çekme testi sonucu



Şekil 7.18. %25 ÜÇ takviyeli kompozit çekme testi sonucu

Deneyisel sonuçlar ile hesaplamalı sonuçlar Tablo 7.1, 7.2 ve 7.3'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 7.1. Yumurta kabuğu takviyeli kompozitlerin çekme deneyisel ile hesaplamalı analiz sonuçları

| Takviye Oranları | Yumurta Kabuğu Deney Sonuçları |                     | Yumurta Kabuğu Hesaplamalı Analiz Sonuçları |                     | Yer Değiştirme Yüzdesel Fark |
|------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|---------------------|------------------------------|
|                  | Kuvvet (N)                     | Yer Değiştirme (mm) | Kuvvet (N)                                  | Yer Değiştirme (mm) |                              |
| %5               | 600 N                          | 1.112 mm            | 600 N                                       | 1.220 mm            | 8.9                          |
| %15              | 112.8 N                        | 0.165 mm            | 112.8 N                                     | 0.184 mm            | 10.3                         |
| %25              | 29.17 N                        | 0.048 mm            | 29.17 N                                     | 0.038 mm            | 20.8                         |

Tablo 7.2. Yer fıstığı kabuğu takviyeli kompozitlerin çekme deneyisel ile hesaplamalı analiz sonuçları

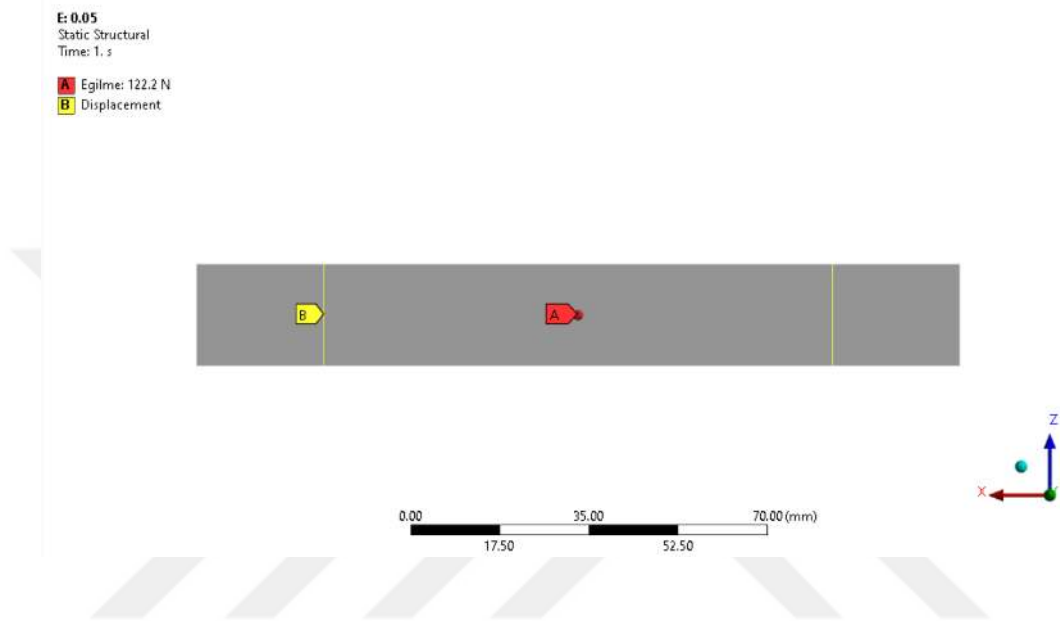
| Takviye Oranları | Yer Fıstığı Kabuğu Deney Sonuçları |                     | Yer Fıstığı Kabuğu Hesaplamalı Analiz Sonuçları |                     | Yer Değiştirme Yüzdesel Fark |
|------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|
|                  | Kuvvet (N)                         | Yer Değiştirme (mm) | Kuvvet (N)                                      | Yer Değiştirme (mm) |                              |
| %5               | 33.33 N                            | 0.075 mm            | 33.33 N                                         | 0.066 mm            | 12                           |
| %15              | 38.33 N                            | 0.083 mm            | 38.33 N                                         | 0.076 mm            | 8.4                          |
| %25              | 51.66 N                            | 0.075 mm            | 51.66 N                                         | 0.101 mm            | 25.7                         |

Tablo 7.3. Üzüm çekirdeği takviyeli kompozitlerin çekme deneyisel ile hesaplamalı analiz sonuçları

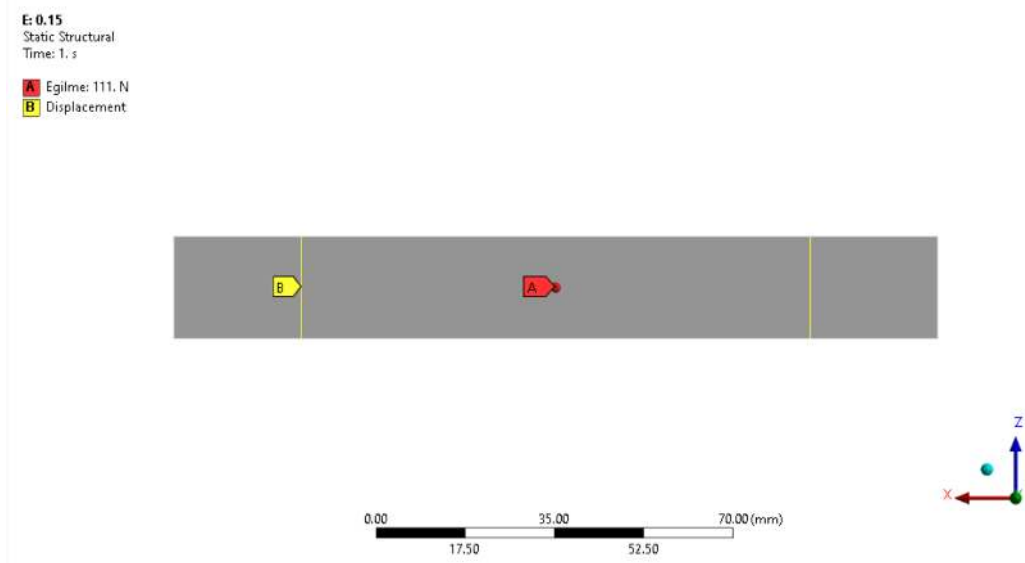
| Takviye Oranları | Üzüm Çekirdeği Deney Sonuçları |                     | Üzüm Çekirdeği Hesaplamalı Analiz Sonuçları |                     | Yer Değiştirme Yüzdesel Fark |
|------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|---------------------|------------------------------|
|                  | Kuvvet (N)                     | Yer Değiştirme (mm) | Kuvvet (N)                                  | Yer Değiştirme (mm) |                              |
| %5               | 316 N                          | 0.392 mm            | 316 N                                       | 0.346 mm            | 11.7                         |
| %15              | 178 N                          | 0.383 mm            | 178 N                                       | 0.362 mm            | 5.4                          |
| %25              | 101 N                          | 0.196 mm            | 101 N                                       | 0.205 mm            | 4.4                          |

## 7.2. Eğilme Deneyi Hesaplamalı Analiz Sonuçları

Yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği takviyeli kompozit numuneler B noktalarından sabitlenmiştir ve A noktasından dikey eksenli kuvvet uygulanarak eğilme testi analizleri gerçekleştirilmiştir. Sabitlenme işlemi Şekil 7.19 – 7.27’de gösterilmiştir.

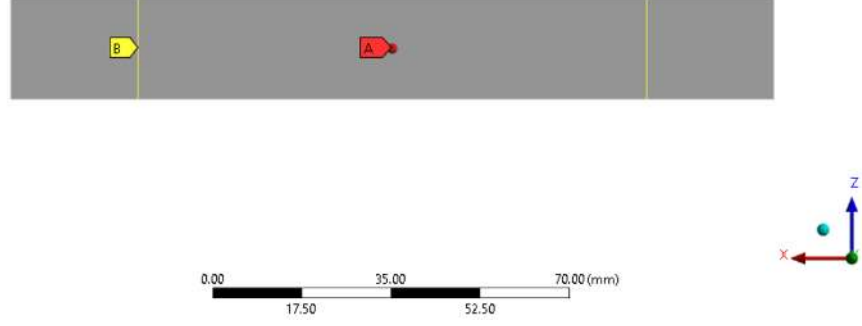


Şekil 7.19. %5 YK takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması



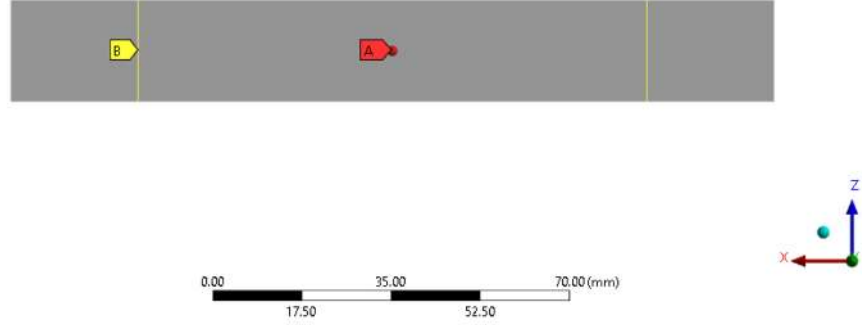
Şekil 7.20. %15 YK takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması

E: 0.25  
Static Structural  
Time: 1. s  
A Eğilme: 81.25 N  
B Displacement



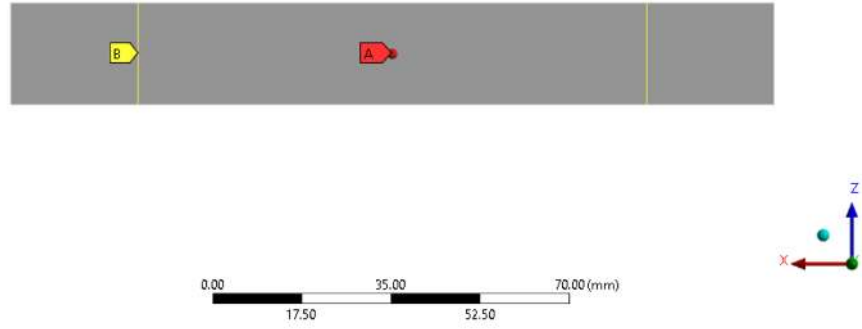
Şekil 7.21. %25 YK takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması

E: 0.05  
Static Structural  
Time: 1. s  
A Eğilme: 50. N  
B Displacement



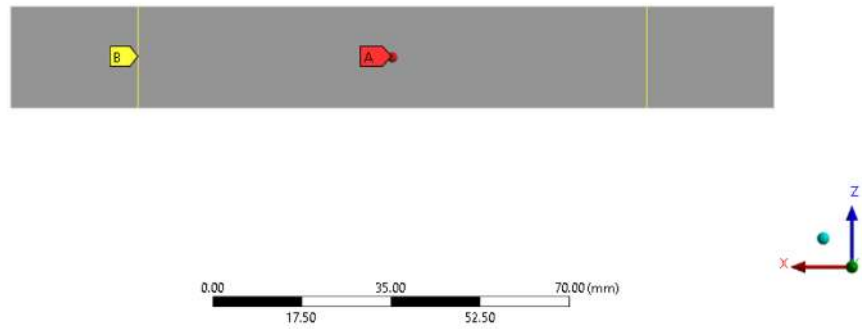
Şekil 7.22. %5 YFK takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması

E: 0.15  
Static Structural  
Time: 1. s  
A Eğilme: 68.89 N  
B Displacement



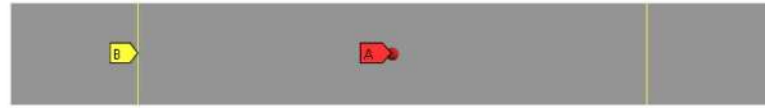
Şekil 7.23. %15 YFK takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması

E: 0.25  
Static Structural  
Time: 1. s  
A Eğilme: 5. N  
B Displacement

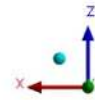


Şekil 7.24. %25 YFK takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması

E: 0.05  
Static Structural  
Time: 1. s  
A Eğilme: 50.435 N  
B Displacement

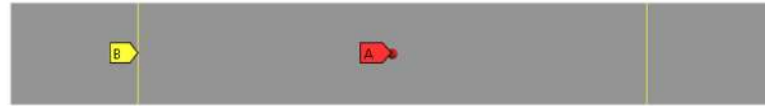


0.00 17.50 35.00 52.50 70.00 (mm)

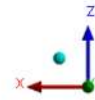


Şekil 7.25. %5 ÜÇ takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması

E: 0.15  
Static Structural  
Time: 1. s  
A Eğilme: 50.435 N  
B Displacement



0.00 17.50 35.00 52.50 70.00 (mm)



Şekil 7.26. %15 ÜÇ takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması

E: 0.25  
Static Structural  
Time: 1. s  
A Eğilme: 30.145 N  
B Displacement



0.00 17.50 35.00 52.50 70.00 (mm)



Şekil 7.27. %25 ÜÇ takviyeli numune eğilme sınır koşul ve yüklemenin tanımlanması

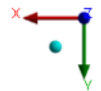
Sınır koşulları ve kuvvetler tanımlandıktan sonra eğilme deneyleri hesaplamalı analizde çözdürülmüştür. Elde edilen sonuçlar Şekil 7.28 – 7.36’da gösterilmiştir.

E: 0.05  
Directional Deformation 2  
Type: Directional Deformation(Y Axis)  
Unit: mm  
Global Coordinate System  
Time: 1 s

6.9816 Max  
5.644  
4.3064  
2.9688  
1.6313  
0.29366  
-1.0439  
-2.3815  
-3.7191  
-5.0567 Min



0.00 17.50 35.00 52.50 70.00 (mm)



Şekil 7.28. %5 YK takviyeli numune eğilme testi sonucu

E: 0.15  
 Directional Deformation 2  
 Type: Directional Deformation(Y Axis)  
 Unit: mm  
 Global Coordinate System  
 Time: 1 s

4.3051 Max  
 3.479  
 2.653  
 1.8269  
 1.0009  
 0.17481  
 -0.65124  
 -1.4773  
 -2.3033  
 -3.1294 Min



0.00 35.00 70.00 (mm)  
 17.50 52.50



Şekil 7.29. %15 YK takviyeli numune eğilme testi sonucu

E: 0.25  
 Directional Deformation  
 Type: Directional Deformation(Y Axis)  
 Unit: mm  
 Global Coordinate System  
 Time: 1 s

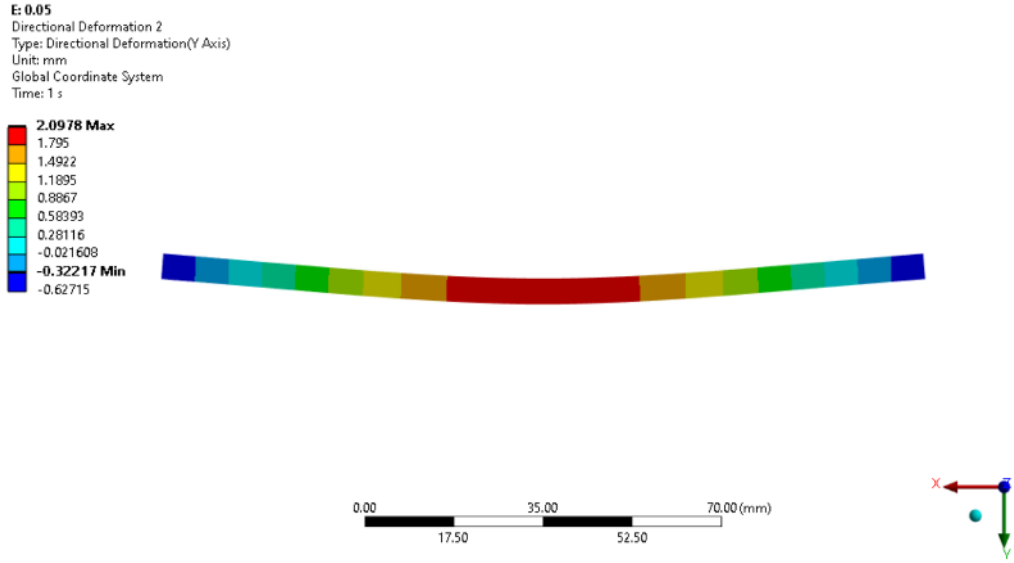
3.7317 Max  
 3.0155  
 2.2993  
 1.5031  
 0.06604  
 0.15062  
 -0.56561  
 -1.2818  
 -1.9981  
 -2.7143 Min



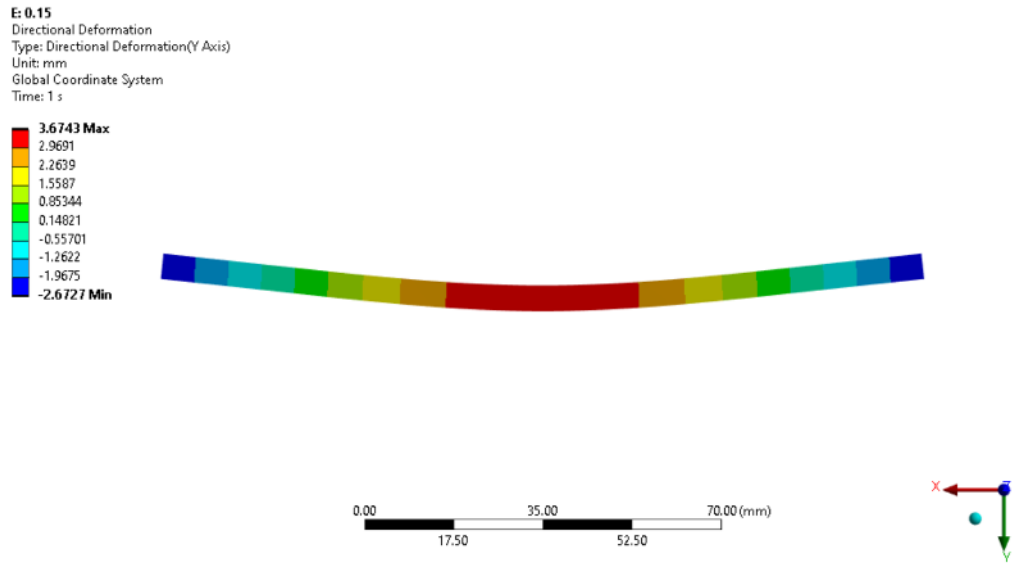
0.00 35.00 70.00 (mm)  
 17.50 52.50



Şekil 7.30. %25 YK takviyeli numune eğilme testi sonucu



Şekil 7.31. %5 YFK takviyeli numune eğilme testi sonucu



Şekil 7.32. %15 YFK takviyeli numune eğilme testi sonucu

E: 0.25  
Directional Deformation  
Type: Directional Deformation(Y Axis)  
Unit: mm  
Global Coordinate System  
Time: 1 s

0.28557 Max  
0.23071  
0.17584  
0.12098  
0.066118  
0.011255  
-0.043608  
-0.098471  
-0.15333  
-0.2082 Min



0.00 17.50 35.00 52.50 70.00 (mm)



Şekil 7.33. %25 YFK takviyeli numune eğilme testi sonucu

E: 0.05  
Directional Deformation  
Type: Directional Deformation(Y Axis)  
Unit: mm  
Global Coordinate System  
Time: 1 s

2.5831 Max  
2.0871  
1.5911  
1.095  
0.59903  
0.10301  
-0.393  
-0.89902  
-1.305  
-1.881 Min



0.00 17.50 35.00 52.50 70.00 (mm)



Şekil 7.34. %5 ÜÇ takviyeli numune eğilme testi sonucu

E: 0.15  
 Directional Deformation  
 Type: Directional Deformation(Y Axis)  
 Unit: mm  
 Global Coordinate System  
 Time: 1 s

3.3297 Max  
 2.6905  
 2.0513  
 1.4122  
 0.77303  
 0.13387  
 -0.50529  
 -1.1445  
 -1.7836  
 -2.4228 Min



0.00 35.00 70.00 (mm)  
 17.50 52.50



Şekil 7.35. %15 ÜÇ takviyeli numune eğilme testi sonucu

E: 0.25  
 Directional Deformation  
 Type: Directional Deformation(Y Axis)  
 Unit: mm  
 Global Coordinate System  
 Time: 1 s

2.0532 Max  
 1.6589  
 1.2646  
 0.87025  
 0.47594  
 0.081642  
 -0.31266  
 -0.70696  
 -1.1013  
 -1.4956 Min



0.00 35.00 70.00 (mm)  
 17.50 52.50



Şekil 7.36. %25 ÜÇ takviyeli numune eğilme testi sonucu

Deneyisel sonuçlar ile hesaplamalı sonuçlar Tablo 7.4, 7.5 ve 7.6’da karşılaştırılmıştır.

Tablo 7.4. Yumurta kabuğu takviyeli kompozitlerin eğilme deneyisel ile hesaplamalı analiz sonuçları

| Takviye Oranları | Yumurta Kabuğu Deney Sonuçları |                     | Yumurta Kabuğu Hesaplamalı Analiz Sonuçları |                     | Yer Değiştirme Yüzdesel Fark |
|------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|---------------------|------------------------------|
|                  | Kuvvet (N)                     | Yer Değiştirme (mm) | Kuvvet (N)                                  | Yer Değiştirme (mm) |                              |
| %5               | 122.2 N                        | 6.806 mm            | 122.2 N                                     | 6.981 mm            | 3                            |
| %15              | 111 N                          | 4.236 mm            | 111 N                                       | 4.305 mm            | 1.6                          |
| %25              | 81.25 N                        | 3.472 mm            | 81.25 N                                     | 3.731 mm            | 6.9                          |

Tablo 7.5. Yer fıstığı kabuğu takviyeli kompozitlerin eğilme deneyisel ile hesaplamalı analiz sonuçları

| Takviye Oranları | Yer Fıstığı Kabuğu Deney Sonuçları |                     | Yer Fıstığı Kabuğu Hesaplamalı Analiz Sonuçları |                     | Yer Değiştirme Yüzdesel Fark |
|------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|
|                  | Kuvvet (N)                         | Yer Değiştirme (mm) | Kuvvet (N)                                      | Yer Değiştirme (mm) |                              |
| %5               | 50 N                               | 2.333 mm            | 50 N                                            | 2.0978 mm           | 10                           |
| %15              | 68.89 N                            | 3.502 mm            | 68.89 N                                         | 3.674 mm            | 4.6                          |
| %25              | 5 N                                | 0.335 mm            | 5 N                                             | 0.286 mm            | 14.6                         |

Tablo 7.6. Üzüm çekirdeği takviyeli kompozitlerin eğilme deneyisel ile hesaplamalı analiz sonuçları

| Takviye Oranları | Üzüm Çekirdeği Deney Sonuçları |                     | Üzüm Çekirdeği Hesaplamalı Analiz Sonuçları |                     | Yer Değiştirme Yüzdesel Fark |
|------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|---------------------|------------------------------|
|                  | Kuvvet (N)                     | Yer Değiştirme (mm) | Kuvvet (N)                                  | Yer Değiştirme (mm) |                              |
| %5               | 50.44 N                        | 2.475 mm            | 50.44 N                                     | 2.583 mm            | 4.2                          |
| %15              | 50.44 N                        | 3.402 mm            | 50.44 N                                     | 3.329 mm            | 2.2                          |
| %25              | 30.15 N                        | 2.113 mm            | 30.15 N                                     | 2.053 mm            | 2.8                          |

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, doğal takviyeli kompozitlerin üretiminde yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği kullanılmıştır. Takviye elemanları mikron boyutuna getirilmek için öğütülerek elekten geçirilmiştir. Saf epoksi içersinde ağırlıkça %5, %15 ve %25 oranlarında takviye elemanları katılarak kompozit numuneler üretilmiştir. Mekanik özelliklerini kıyaslamak için numunelere çekme, üç nokta eğilme ve makro sertlik testleri yapılmıştır. Hesaplamalı analizde numuneler modellenmiş ve sonlu eleman analizleri yapılmıştır.

- Ağırlıkça %5, %15 ve %25 yumurta kabuğu takviyeli epoksi kompozit malzemeler, çekme dayanımında yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği takviyeli kompozit malzemelere göre daha yüksek dayanım sergilemiştir.
- Doğal takviyelerin saf epoksiye eklenmesiyle çekme dayanımlarında artış sadece ağırlıkça %5 yumurta kabuğu takviyeli numunelerde gözlenmiştir. Ağırlıkça %5 takviyeli kompozitleri kendi aralarında karşılaştırdığımızda, yumurta kabuğu takviyeli kompozitler yer fıstığı takviyeli kompozitlere ve üzüm çekirdeği takviyeli kompozitlere göre daha yüksek dayanıma sahiptir. Ağırlıkça %5 yumurta kabuğu takviyesi matris içersinde hidrofobik bir yüzey oluşturarak tok bir yapı meydana getirmekte ve bu durum mekanik özelliklerini olumlu yönde gelişmesini sağlamaktadır.
- Yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği takviyeli kompozitlerde takviye elemanı oranının artmasının çekme dayanımı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir.
- Takviye elemanı olarak yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği kullanılan kompozit malzemelerde çekme dayanımları incelendiğinde sonuçların birbiriyle nispeten yakın sonuçlarda olduğu gözlemlenmiştir.
- Ağırlıkça %5, %15 ve %25 yumurta kabuğu takviyeli kompozit malzemeler, eğilme dayanımında yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği takviyeli kompozit malzemelere göre daha yüksek dayanım sergilemiştir.

- Doğal takviyelerin saf epoksiye eklenmesiyle eğilme dayanımlarında en yüksek artış yumurta kabuğu takviyeli numunelerde gözlemlenmiştir.
- Kendi aralarında eğilme dayanımlarını kıyasladığımızda ağırlıkça %5, %15 ve %25 yumurta kabuğu takviyeli kompozitlerin sonuçları yer fıstığı takviyeli ve üzüm çekirdeği takviyeli kompozitlerin sonuçlarına göre daha yüksektir.
- Ağırlıkça %5 yer fıstığı kabuğu ve %5 üzüm çekirdeği takviyeli kompozitlerin eğilme dayanımı saf epoksiye göre daha yüksek çıkmıştır.
- Ağırlıkça %15 ve %25 yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği takviyeli kompozitlerin eğilme dayanımlarında artan takviye elemanına bağlı olarak azalma meydana gelmiştir.
- Doğal takviyeli kompozitlerin hepsinde ağırlıkça takviye elemanı oranı arttıkça sertlik değerleri artmıştır.
- Makro sertlik sonuçlarına bakıldığında sertlik değerleri en yüksek çıkan üzüm çekirdeği takviyeli kompozitler olmuştur.
- Ağırlıkça %5 takviyeli kompozitlerin sertlik karakteristikleri karşılaştırmalı olarak incelendiğinde sertlik değerlerindeki artış en az yumurta kabuğu takviyeli kompozitlerde elde edilmiştir.
- En yüksek sertlik değerleri ağırlıkça %25 yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği takviyeli kompozitlerde elde edilmiştir. Saf epoksi ile %25 takviyeli kompozitler kıyaslandıklarında sertlik değerlerinde 6 kat artış meydana gelmiştir.
- %5, %15 ve %25 yumurta kabuğu takviyeli kompozit numunelerin deneysel ile hesaplamalı analizlerindeki çekme kuvvetine bağlı olarak yer değiştirme sonuçları arasındaki farklar ağırlıkça takviye oranının artmasıyla artmıştır.
- %5, %15 ve %25 yer fıstığı kabuğu takviyeli kompozit numunelerin deneysel ile hesaplamalı analizlerindeki çekme kuvvetine bağlı olarak yer değiştirme sonuçları arasındaki farklar ağırlıkça takviye oranının artmasıyla artmıştır.

- %5, %15 ve %25 üzüm çekirdeği takviyeli kompozit numunelerin deneysel ile hesaplamalı analizlerdeki çekme kuvvetine bağlı olarak yer değiştirme sonuçları arasındaki farklar ağırlıkça takviye oranının artmasıyla azalmıştır.
- Sonlu eleman metodu ile yapılan hesaplamalı çekme analiz sonuçları ile laboratuvar ortamında gerçekleştirilen çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda en yüksek yer değiştirme farkları %25 takviyeli yumurta kabuğu ve yer fıstığı kabuğu takviyeli kompozitlerde meydana gelmiştir. %5 ve %15 takviyeli kompozitlerin deneysel ve hesaplamalı sonuçları arasındaki farklar düşük çıkmıştır. Yapılan kabullerden ve malzemenin rastgele partiküllü bir yapısı olmasından dolayı farkların meydana geldiği düşünülmektedir.
- Sonlu eleman metodu ile yapılan hesaplamalı eğilme analiz sonuçları ile eğilme deneysel çalışmalarında elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Deneysel ve hesaplamalı analiz sonuçları arasındaki farklar düşük çıkmıştır. %25 yer fıstığı kabuğu takviyeli kompozitlerde eğilme kuvvetine bağlı yer değiştirme farkı en yüksek çıkmıştır. Yer fıstığı kabuğu takviyeli numunelerde yapının homojen dağılmamasından dolayı farkların oluştuğu düşünülmektedir.
- Bu çalışmada, yumurta kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve üzüm çekirdeği olmak üzere 3 farklı takviye elemanı kullanılmıştır.
- Bu çalışmanın devamı olarak doğal fiber takviyeler ile farklı termoset matrisler kullanılabilir.
- Darbe, aşınma ve titreşim gibi testler yapılabilir ve bu testler sonlu elemanlar metoduyla çözümlenebilir. Böylelikle sürdürülebilir, doğal takviyeli malzemelerden kompozitler üretilip mekanik özelliklerinin incelenmesi sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Kalia, S., Kaith, B. and Kaur, I. Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites. *Polymer Engineering and Science*. 2009, 49(7), 1253–1272.
- [2] Zimniewska, M., Wladyka-Przybylak, M. and Mankowski, J. Cellulosic bast fibers, their structure and properties suitable for composite applications. *Cellulose Fibers: Bio- and Nano- Polymer Composites*. 2011, DOI:10.1007/978-3-642-17370-7\_4.
- [3] Yükseloğlu, S.M. Bamboo fiber reinforced composite structures and their mechanical properties. *Tekstil ve Konfeksiyon*. 19(4), 2009, 261-264.
- [4] Balcıoğlu, H.E., Yeşil, Ö., Aktaş, M. Ceviz kabuğu takviyeli polyester reçinenin aşınma dirençlerinin belirlenmesi. *International Journal of Fatigue*. 28(1), 2008, 1307-1314.
- [5] Özgan, A. O. Plastik Kompozit Üretiminde Odun ve Yumurta Kabuğu Kullanımının Araştırılması. T.C. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilime ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, 2019, 103 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [6] Mohammed, M., Hadi, A. Effect Of Eggshells Powder On Some Mechanical And Physical Properties Of Natural Rubber. *The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering*. 2012, 12(3), 446-458.
- [7] Croccolo, D., De Agostinis, M., Fini, S., Liverani, A., Marinelli, N., Nisini, E., Olmi, G. Mechanical characteristics of two environmentally friendly resins reinforced with flax fibers. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*. 2015, 61(4), 217-226.
- [8] Sağbaş, A., Kahraman, F. ve Koyuncu, M. Keten lifleri ile takviye edilmiş polyester esaslı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 2009, 24(1-2), 185-192.

- [9] Ismail H., Edyham M.R. and Wirjosentono B. Bamboo fibre filled natural rubber composites: the effects of filler loading and bonding agent. *Polymer Testing*. 2002, 21(2), 139-144.
- [10] Okuba K., Fujii, T. and Yamamoto Y. Development of bamboo-based polymer composites and their mechanical properties. *Composite Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2004, 35(3), 377-383.
- [11] Açikel, H., Altun, F., Elcuman, H. Miskantus bitkisinin öğütülmüş halde ve lif katkısı olarak betonun mekanik özelliklerine etkisinin deneysel incelenmesi. *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, 04 Eylül, 2005 Antalya (Bildiri Özetleri Kitabı, 244-252).
- [12] Sapuan, S. M., Leenie, A., Harimi, M., Benk, Y.K. Mechanical properties of woven banana fiber reinforced epoxy composites. *Material and Design*. 2007, 27(8), 689-693.
- [13] He, H., Li, K., Wang, J., Sun, G., Li, Y. and Wang, J. Study on thermal and mechanical properties of nano-calcium carbonate/epoxy composites. *Materials Design*. 2011, 32(8-9), 4521-4527.
- [14] Faruk, O., Bledzki, A.K., Fink, H.P. and Sain, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. *Progress in Polymer Science*. 2012, 37, 1552-1596.
- [15] Le, M.T., Pickering, K.L. The potential of harakeke fibre as reinforcement in polymer matrix composites including modelling of long harakeke fibre composite strength. *Composites Part A Applied Science and Manufacturing*. 2015, 76, 44–53.
- [16] Ramesh, C., Krishna, M.V., Bezawada, S. Evaluation of Mechanical Properties of Polyamide-Eggshell Powder Composite Materials. *The International Journal of Science & Technoledge*. 2014, 2321(919), 90-95.
- [17] Aminabhavi, T.M., Patel, R. C., Biradar, N. S. *Institute of Colloid and Surface Science*, Clarkson College of Technology, Potsdam, 1981, 484 p.
- [18] Adeosun, S., Usman, M., Akpan, E. and Dibie, W. Characterization of LDPE Reinforced with Calcium Carbonate Fly Ash Hybrid Filler. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. 2014, 2(4), 334-345.

- [19] Arrakhiz, F.Z., Achaby, M.E., Benmoussa, K., Bouhfid, R., Essassi, E.M. and Qaiss, A. Evaluation of mechanical and thermal properties of pine cone fibers reinforced compatibilized polypropylene. *Materials and Design*. 2012, 40(1), 528-535.
- [20] Çaloğlu, Ü. Pamuk Saplarının Çeşitli Kimyasallarla Modifikasyonu ve Bu Modifikasyon Ürünlerinin Polietilen Esaslı Kompozitlerde Kullanımı. T.C. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, 2007, 63s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [21] Baştürk, S. B., Kanbur, K., Polatoğlu, İ. and Yürekli, Y. Mechanical properties of acorn and pine cone filled polymer composites. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*. 2015, 14(2), 144-153.
- [22] Ruzuqi, R. Impact Strength Analysis of Polymer Composite Materials (PCM) Fiber Reinforced In The Fiberboat Application. *Material Science Research India*. 2020, 17(2), 170-178.
- [23] D’Acierno, F. Impact Characterization of Polymer Composites Based on PEEK and Carbon Fibers. Università degli Studi di Torino, Faculty of Mechanical Engineering, Torino, 2013, 63 p. (Bachelor’s Thesis).
- [24] Oladijo, O. P., Awe, S.A., Akinlabi, E.T. High-Temperature Properties of Metal Matrix Composites. *Encyclopedia of Materials: Composites*. 2021, 1, 360-374.
- [25] Syed, S. Simulation of Heat Transfer During Consolidation of Metal Matrix Composites. Ohio University, Institute of Science, Department of Engineering and Technology, Ohio, 2000, 106 p. ( Master of Science Thesis).
- [26] Bricker, S. Anomaly Detection And Microstructure Characterization In Fiber Reinforced Ceramic Matrix Composites. Dayton University, Institute of Science, Department of Electrical Engineering, Ohio, 2015, 68 p. (Master of Science Thesis).
- [27] Padal, T., B. Synthesis and Characterization of Jute Nanofibre Reinforced Polymer Composites. Andhra University, Department of Mechanical Engineering, Visakhapatnam, 2012, 154 p. (Doctor of Philosophy Thesis).

- [28] Mohaideen, M. Fabrication and characterization of multilayer kevlar reinforced composites. Anna University, Institute of Science, Department of Mechanical Engineering , Chennai, 2020, 137 p. (Doctor of Philosophy Thesis).
- [29] Nayak, S. Development and Study Of Mechanical and Tribological Properties of Areca Sheath Fiber Reinforced Thermoplastic Composites. Veer Surendra Sai University of Technology, Institute of Science, Department of Mechanical Engineering, Odisha, 2019, 253 p. (Doctor of Philosophy Thesis).
- [30] Hearmon, R., Theory of the vibration testing of wood. Forest Products Journal. 1996, 16, 29-40.
- [31] Chauhan, S., Entwistle K., Walker, J. Differences in acoustic velocity by resonance and transit-time methods in an anisotropic laminated wood medium. *Holzforschung*. 2005, 59, 428-434.
- [32] Chauhan, S., Karmarkar, A., Aggarwal, P. Evaluation of Dynamic Elastic Properties of Wood-Filled Polypropylene Composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 2006, 102, 170-171.
- [33] Kale, A., Chauhan, S. Non-destructive estimation of modulus of elasticity of wood polymer composites. *Journal of Indian Academy of Wood Science*. 2017, 14, 18-23.
- [34] Pickering, K.L. Properties and Performance of Natural-Fibre Composites. Ed.: Kim Pickering, Wood Head Publishing, New York, 2008, 557 p.
- [35] Monteiro, S.N., Satyanarayana, K.G., Ferreira, A.S. Selection of High Strength Natural Fibres. *Revista Matéria*. 2011, 15, 488–505.
- [36] Udhayasankar, R. and Karthikeyan, B. A review on coconut shell reinforced composites. *International Journal of ChemTech Research*. 2015, 8(11), 624-637.
- [37] Sarıyakaya, E. Doğal Fiber Takviyeli Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Tespiti. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, 2019, 75 p. (Doktora Tezi).

- [38] Venkateshwaran, N. Studies on Processing and Characterisation of Natural Fibre Epoxy Composite. Anna University, Institute of Science, Department of Mechanical Engineering, Chennai, 2014, 205 p. (Doctor of Philosophy Thesis).
- [39] Balakrishnan, S. Mechanical Studies on Jute Fabric and Fruit Peel Nanoparticle Reinforced Hybrid Epoxy Composites. Anna University, Faculty of Mechanical Engineering ,Chennai, 2021, 151 p. (Doctor of Philosophy Thesis).
- [40] Potter, K. An Introduction to Composite Products: Design, Development and Manufacture. Chapman & Hall, London, 1996, 298 p.
- [41] [https://www.slideshare.net/e\\_gulfam/production-of-composites](https://www.slideshare.net/e_gulfam/production-of-composites).
- [42] Berthelot, J.M. Composite Materials: Mechanical Behavior and Structural Analysis (Mechanical Engineering Series). Springer, Berlin, 1999, 646 p.
- [43] Pujari, S. Design And Development Of Natural Fiber Reinforced Composites For Thermal Insulation Applications. Andhra University, Institute of Science,Department of Mechanical Engineering, Visakhapatnam, 2016, 150 p. (Doctor of Philosophy Thesis).
- [44] [http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/39932\\_1703231357926.pdf](http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/39932_1703231357926.pdf).
- [45] Türkmen, İ. Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerde Elyaf Tabaka Sayısına Bağlı Mekanik Özelliklerin Ve Darbe Dayanımının İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 2012, 121 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [46] Rao, V., Kumaraswamy, A., Kalra, S., and Saxena, A. Computational and Experimental Methods in Mechanical Engineering. Springer, Singapore, 2021, 563 p.
- [47] Wongchai, B. Auxetic Two-Dimension Material With Modified Peanut Pattern. International Journal of Geomate. 2021, 20(79), 34-41.
- [48] Vasilachi, C., Biriş, S., Gheorghe, G. Study of the compression behaviour of grape seeds using the Finite Element Method. E3S Web of Conferences. 2020, 180, 1-8.