



**T.C.**  
**BATMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YUMURTA KABUĞU TAKVİYELİ POLİMER  
ESASLI KOMPOZİTLERİN MEKANİK  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Abdurrahim GÜNEŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ağustos-2019**  
**BATMAN**

**Her Hakkı Saklıdır**

**TEZ KABUL VE ONAYI**

Abdurrahim GÜNEŞ tarafından hazırlanan “YUMURTA KABUĞU TAKVİYELİ POLİMER ESASLI KOMPOZİTLERİN MEKANİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 21/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri****Başkan**

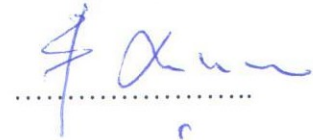
Doç. Dr. Erol KILIÇKAP

**Danışman**

Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ

**Üye**

Doç. Dr. Hamit ADİN

**İmza**

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şahnaz TİGREK

EBE Müdürü



## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Abdurrahim GÜNEŞ

Tarih: 21.08.2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## YUMURTA KABUĞU TAKVİYELİ POLİMER ESASLI KOMPOZİTLERİN MEKANİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

**Abdurrahim GÜNEŞ**

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ**

**2019, 78**

**Jüri**

**Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ**

**Doç. Dr. Erol KILIÇKAP**

**Doç. Dr. Hamit ADİN**

Son yıllarda, yeryüzünde yaygın bir şekilde tüketilen yumurta kabuğu atığının oluşturduğu çevre kirliliğini azaltmak ve doğal kaynakların korunması için geleneksel malzemelere nazaran daha ekonomik ve daha iyi mekanik özelliklere sahip alternatif bir malzeme üretimi üzerine ilgi artmaktadır. Bu çalışmada, RTV 2 silikon kalıplara döküm yoluyla elde edilen yumurta kabuğu takviyeli epoksi esaslı kompozit numunelerin mekanik davranışları incelenmiştir. Test numuneleri, saf epoksi ve epoksi reçineye ağırlık oranının %5, %10, %20, %30 ve %40 yumurta kabuğu tozu takviye edilerek ASTM standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Daha sonra bu kompozit numuneler, çekme ve üç nokta eğilme deneylerine maruz bırakılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en iyi çekme dayanımı yumurta kabuğu tozunun ağırlık oranının %5 takviyesinde elde edilmiştir. Takviye elemanın ağırlık oranı %0'dan %5'e artırılırken çekme dayanımında da artış görülmüştür. Takviye elemanın ağırlık oranı %5'ten %40'a artırılırken çekme dayanımında çok ciddi düşüşler gözlemlenmiştir. Eğilme davranışı için yapılan üç nokta eğilme deneylerinde ise yumurta kabuğu tozunun ağırlıkça %20 takviyesinde en yüksek dayanım elde edilmiştir. Takviye elemanın ağırlık oranı %20'den fazla eklendiğinde kompozit numunenin eğilme dayanımında düşüşler meydana gelmiştir. Sonuç olarak yumurta kabuğu takviyeli polimer esaslı kompozit numunelerin çekme ve eğilme davranışlarının ağırlıkça takviye oranına göre önemli şekilde değiştiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Çekme deneyi, Epoksi reçine, Üç nokta eğilme deneyi, Yumurta kabuğu



## **ABSTRACT**

## **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF MECHANICAL BEHAVIOR OF EGG SHELL REINFORCED POLYMER COMPOSITES**

**Abdurrahim GÜNEŞ**

**The Graduate School of Natural and Applied Science of Batman University  
The Degree of Master in Mechanical Engineering**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin DENİZ**

**2019, 78**

**Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin DENİZ**

**Assoc. Prof. Dr. Erol KILIÇKAP**

**Assoc. Prof. Dr. Hamit ADİN**

In recent years, there has been a growing interest on the production of an alternative material having more economic and better mechanical properties than conventional materials to reduce environmental pollution caused by the widespread consumption of eggshell waste and to conserve natural resources. In this study, mechanical behavior of eggshell reinforced composite specimens which is obtained by casting into RTV 2 silicone molds based on epoxy was investigated. Test specimens were prepared by reinforcing 5%, 10%, 20%, 30% and 40% eggshell powder by weight to epoxy and pure epoxy resin according to ASTM standards. After that these composite specimens were subjected to tensile and three-point bending tests. In the results of the tests, the best tensile strength was obtained by reinforcing 5% of the weight ratio of eggshell powder. Increasing the weight ratio of the reinforcing element from 0% to 5%, tensile strength was also increased. But, increasing the weight ratio from 5% to 40% very significant reductions in tensile strength were observed. In the three point bending tests for the bending behavior, the highest strength was obtained in 20% by weight reinforcement of eggshell powder. Adding more than 20% of the weight ratio of the reinforcing element, the bending strength of the composite specimens has been decreased. As a result, it has been observed that the tensile and bending behavior of eggshell reinforced composite specimens based on polymer have been significantly changed according to the reinforcement ratio by weight.

**Keywords:** Tensile test, Epoxy resin, Three-point bending, Eggshell

## ÖNSÖZ

Sanayileşmenin çok hızlı gelişmesi, doğal kaynakların tüketilmesine ve üstün özelliklere sahip yeni malzemelere ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. Farklı kaynak araştırma çalışmaları neticesinde endüstriyel ve evsel atıkların geri dönüşümü önem kazanmış ve bu konuda araştırmalar sürdürülmüştür.

Ülke genelinde yaygın bir şekilde tüketilen yumurta kabuğu atığının oluşturduğu çevre kirliliğini azaltmak ve doğal kaynakların korunması için geleneksel malzemelere nazaran daha ekonomik ve daha iyi mekanik özelliklerde alternatif bir malzeme üretmek amaçlanmıştır.

Tez çalışmamda, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın danışman hocam Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK' e ve tüm saygı değer hocalarıma teşekkürü borç bilirim.

Abdurrahim GÜNEŞ  
BATMAN-2019

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                    |            |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ÖZET .....</b>                                                                  | <b>iv</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                                               | <b>v</b>   |
| <b>ÖNSÖZ .....</b>                                                                 | <b>vi</b>  |
| <b>İÇİNDEKİLER.....</b>                                                            | <b>vii</b> |
| <b>TABLoların LİSTESİ.....</b>                                                     | <b>ix</b>  |
| <b>ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....</b>                                                     | <b>x</b>   |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>                                                | <b>xi</b>  |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                                               | <b>1</b>   |
| 1.1. Kompozit Malzemeler .....                                                     | 2          |
| 1.1.1. Matris Malzemelerine Göre Sınıflandırılması .....                           | 3          |
| 1.1.1.1. Metal Matris Kompozitler .....                                            | 3          |
| 1.1.1.2. Seramik Matris Kompozitler .....                                          | 4          |
| 1.1.1.3. Polimer Matris Kompozitler .....                                          | 4          |
| 1.1.2. Takviye Elemanlarının Şekil ve Yerleştirmesine Göre Sınıflandırılması ..... | 5          |
| 1.1.2.1. Elyaf ( Fiber ) Takviyeli Kompozitler .....                               | 5          |
| 1.1.2.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler .....                                      | 5          |
| 1.1.2.3. Tabakalı Kompozitler .....                                                | 6          |
| 1.1.2.4. Karma Kompozitler .....                                                   | 6          |
| 1.1.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları .....                                     | 6          |
| 1.1.4. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları .....                                  | 7          |
| 1.2. Geri Dönüşüm.....                                                             | 8          |
| 1.2.1. Geri Dönüşüm Amacı .....                                                    | 9          |
| 1.2.2. Geri Dönüşüm Faydaları.....                                                 | 9          |
| <b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>                                                 | <b>11</b>  |
| 2.1. Literatür Araştırması.....                                                    | 11         |
| 2.1.1. Kompozit Dolgular .....                                                     | 11         |
| 2.1.2. Yumurta Kabuğu Atığı .....                                                  | 13         |
| 2.1.3. Yumurta Kabuğu Uygulamaları.....                                            | 13         |
| 2.1.4. Yumurta Kabuğu Dolgulu Kompozitler .....                                    | 14         |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                                                  | <b>16</b>  |
| 3.1. Çalışmanın Amacı.....                                                         | 16         |
| 3.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler .....                                        | 16         |
| 3.2.1. Yumurta Kabukları .....                                                     | 16         |
| 3.2.1.1. Beyaz Yumurta Kabuğu.....                                                 | 18         |
| 3.2.1.2. Kahverengi Yumurta Kabuğu .....                                           | 18         |
| 3.2.2. Epoksi Reçine ve Sertleştirici .....                                        | 18         |

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3. Yumurta Kabuğu Tozunun Hazırlanması .....                            | 19        |
| 3.4. Numuneler İçin Silikon Kalıp Hazırlama .....                         | 24        |
| 3.5. Kompozit Numuneler Hazırlama .....                                   | 25        |
| 3.6. Deneysel Prosedür .....                                              | 28        |
| 3.6.1. Çekme Deneyi.....                                                  | 28        |
| 3.6.2. Üç Nokta Eğilme Deneyi.....                                        | 30        |
| <b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>                            | <b>32</b> |
| 4.1. Çekme Deneyleri .....                                                | 32        |
| 4.1.1. Yumurta Kabuğu Tozunun (YKT) Ağırlık Oranlarının İncelenmesi ..... | 32        |
| 4.1.2. Yumurta Kabuğu Tozunun Parçacık Boyutunun İncelenmesi .....        | 37        |
| 4.1.3. Yumurta Kabuğu Tozunun Renginin İncelenmesi .....                  | 42        |
| 4.2. Üç Nokta Eğilme Deneyi .....                                         | 48        |
| 4.2.1. Yumurta Kabuğu Tozunun Ağırlık Oranının İncelenmesi .....          | 48        |
| 4.2.2. Yumurta Kabuğu Tozunun Parçacık Boyutunun İncelenmesi .....        | 52        |
| 4.2.3. Yumurta Kabuğu Tozunun Renginin İncelenmesi .....                  | 57        |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>                                       | <b>63</b> |
| 5.1 Sonuçlar .....                                                        | 63        |
| 5.2 Öneriler .....                                                        | 63        |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                    | <b>64</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                     | <b>67</b> |

## TABLolarIN LİSTESİ

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2. 1. İnorganik dolgu maddeleri .....                                          | 11 |
| Tablo 2. 2. Organik dolgu maddeleri.....                                             | 12 |
| Tablo 3. 1. Yumurta kabuğunun ortalama kimyasal bileşenleri                          | 17 |
| Tablo 3. 2. Elde edilen parçacık boyutları ve miktarları                             | 23 |
| Tablo 3. 3. Üç nokta eğilme ve çekme testleri için gerekli yumurta kabuk toz miktarı | 24 |
| Tablo 3. 4. İhtiyaç duyulan yumurta kabuğunun toz rengi ve miktarı                   | 24 |
| Tablo 3. 5. Herhangi bir numune için gerekli olan yumurta kabuğu tozu miktarları     | 27 |
| Tablo 4. 1. 106 µm YKT ağırlık oranına bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri      | 33 |
| Tablo 4. 2. 75 µm YKT ağırlık oranına bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri       | 34 |
| Tablo 4. 3. 63 µm YKT ağırlık oranına bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri       | 36 |
| Tablo 4. 4. %5 YKT boyutuna bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri                 | 37 |
| Tablo 4. 5. %10 YKT boyutuna bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri                | 38 |
| Tablo 4. 6. %20 YKT boyutuna bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri                | 39 |
| Tablo 4. 7. %30 YKT boyutuna bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri                | 40 |
| Tablo 4. 8. %40 YKT boyutuna bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri                | 41 |
| Tablo 4. 9. %5 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı çekme gerilme değerleri            | 43 |
| Tablo 4. 10. %10 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı çekme gerilme değerleri          | 44 |
| Tablo 4. 11. %20 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı çekme gerilme değerleri          | 45 |
| Tablo 4. 12. %30 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı çekme gerilme değerleri          | 46 |
| Tablo 4. 13. %40 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı çekme gerilme değerleri          | 47 |
| Tablo 4. 14. 106 µm YKT yüzdesine bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri          | 49 |
| Tablo 4. 15. 75 µm YKT yüzdesine bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri           | 50 |
| Tablo 4. 16. 63 µm YKT yüzdesine bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri           | 51 |
| Tablo 4. 17. %20 YKT boyutuna bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri              | 52 |
| Tablo 4. 18. %5 YKT boyutuna bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri               | 53 |
| Tablo 4. 19. %10 YKT boyutuna bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri              | 54 |
| Tablo 4. 20. %30 YKT boyutuna bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri              | 55 |
| Tablo 4. 21. %40 YKT boyutuna bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri              | 56 |
| Tablo 4. 22. %20 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı eğilme gerilme değerleri         | 57 |
| Tablo 4. 23. %5 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı eğilme gerilme değerleri          | 59 |
| Tablo 4. 24. %10 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı eğilme gerilme değerleri         | 60 |
| Tablo 4. 25. %30 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı eğilme gerilme değerleri         | 61 |
| Tablo 4. 26. %40 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı eğilme gerilme değerleri         | 62 |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1. 1. Kompozit malzemenin genel yapısı .....                                      | 2  |
| Şekil 1. 2. Takviye elemanlarının şekil ve yerleştirmesine göre sınıflandırılması ..... | 5  |
| Şekil 1. 3. Geri dönüşüm işleminin aşamaları .....                                      | 8  |
| Şekil 3. 1. Beyaz ve kahverengi yumurta kabukları .....                                 | 17 |
| Şekil 3. 2. Epoksi reçine ve sertleştirici .....                                        | 19 |
| Şekil 3. 3. Yumurta kabuğu tozu hazırlanma akış şeması .....                            | 20 |
| Şekil 3. 4. Retsch RM200 marka öğütme cihazı .....                                      | 20 |
| Şekil 3. 5. Yumurta kabuğu tozları .....                                                | 21 |
| Şekil 3. 6. Üç farklı delik boyutundaki elekler .....                                   | 21 |
| Şekil 3. 7. Beyaz ve kahverengi yumurta kabuğu tozlarının elde edilme aşamaları .....   | 22 |
| Şekil 3. 8. RTV 2 silikon kalıpları .....                                               | 25 |
| Şekil 3. 9. Kompozit numune üretim akış şeması .....                                    | 26 |
| Şekil 3. 10. Çekme ve üç nokta eğilme deneyleri için üretilen bazı numuneler .....      | 28 |
| Şekil 3. 11. Çekme deney numunesinin geometrisi .....                                   | 29 |
| Şekil 3. 12. Çekme testi için üretilen kompozit numune .....                            | 29 |
| Şekil 3. 13. Üniversal çekme cihazı ve bağlanmış numune .....                           | 29 |
| Şekil 3. 14. Üç nokta eğilme testi için üretilen örnek bir kompozit numune .....        | 30 |
| Şekil 3. 15. Üniversal üç nokta eğilme cihazı ve bağlanmış numune .....                 | 31 |
| Şekil 3. 16. Üç nokta bükme deney düzeneği .....                                        | 31 |
| Şekil 4. 1. 106 µm YKT ağırlık yüzdesine bağlı kuvvet-uzama eğrileri .....              | 33 |
| Şekil 4. 2. 106 µm YKT ağırlık yüzdesine bağlı çekme gerilme değerleri .....            | 34 |
| Şekil 4. 3. 75 µm YKT ağırlık yüzdesine bağlı çekme gerilme değerleri .....             | 35 |
| Şekil 4. 4. 63 µm YKT ağırlık yüzdesine bağlı çekme gerilme değerleri .....             | 36 |
| Şekil 4. 5. %5 takviyeli YKT boyutuna bağlı çekme gerilme değerleri .....               | 38 |
| Şekil 4. 6. %10 takviyeli YKT boyutuna bağlı çekme gerilme değerleri .....              | 39 |
| Şekil 4. 7. %20 takviyeli YKT boyutuna bağlı çekme gerilme değerleri .....              | 40 |
| Şekil 4. 8. %30 takviyeli YKT boyutuna bağlı çekme gerilme değerleri .....              | 41 |
| Şekil 4. 9. %40 takviyeli YKT boyutuna bağlı çekme gerilme değerleri .....              | 42 |
| Şekil 4. 10. %5 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı çekme gerilme değerleri .....        | 43 |
| Şekil 4. 11. %10 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı çekme gerilme değerleri .....       | 44 |
| Şekil 4. 12. %20 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı çekme gerilme değerleri .....       | 45 |
| Şekil 4. 13. %30 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı çekme gerilme değerleri .....       | 46 |
| Şekil 4. 14. %40 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı çekme gerilme değerleri .....       | 47 |
| Şekil 4. 15. 106 µm YKT ağırlık yüzdesine bağlı kuvvet-uzama eğrileri .....             | 48 |
| Şekil 4. 16. 106 µm YKT ağırlık yüzdesine bağlı eğilme gerilme değerleri .....          | 49 |
| Şekil 4. 17. 75 µm YKT ağırlık yüzdesine bağlı eğilme gerilme değerleri .....           | 50 |
| Şekil 4. 18. 63 µm YKT ağırlık yüzdesine bağlı eğilme gerilme değerleri .....           | 51 |
| Şekil 4. 19. %20 YKT boyutuna bağlı eğilme gerilme değerleri .....                      | 52 |
| Şekil 4. 20. %5 YKT boyutuna bağlı eğilme gerilme değerleri .....                       | 53 |
| Şekil 4. 21. %10 YKT boyutuna bağlı eğilme gerilme değerleri .....                      | 54 |
| Şekil 4. 22. %30 YKT boyutuna bağlı eğilme gerilme değerleri .....                      | 55 |
| Şekil 4. 23. %40 YKT boyutuna bağlı eğilme gerilme değerleri .....                      | 56 |
| Şekil 4. 24. %20 YKT takviyeli numunelerin rengine bağlı eğilme gerilme değerleri ..    | 58 |
| Şekil 4. 25. %5 YKT takviyeli numunelerin rengine bağlı eğilme gerilme değerleri ....   | 59 |
| Şekil 4. 26. %10 YKT takviyeli numunelerin rengine bağlı eğilme gerilme değerleri ..    | 60 |
| Şekil 4. 27. %30 YKT takviyeli numunelerin rengine bağlı eğilme gerilme değerleri ..    | 61 |
| Şekil 4. 28. %40 YKT takviyeli numunelerin rengine bağlı eğilme gerilme değerleri ..    | 62 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Kısaltmalar

|       |                                                      |
|-------|------------------------------------------------------|
| YKT   | Yumurta Kabuk Tozu                                   |
| ASTM  | Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu |
| RTV 2 | Oda Sıcaklığında Donan Kalıplama Silikonu            |

## 1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ve endüstriden kaynaklanan rekabet ve yeryüzü kaynakların hızlı tüketilmesi sonucu olarak alternatif malzemelere yönelme ihtiyacı artmaktadır. Atık malzemelerin geri dönüşümü veya bir amaç doğrultusunda istenilen özellikleri kazandırmak için farklı malzemelerin bir araya getirmesiyle yeni malzemeler oluşturulmak gibi yollara başvurulmuştur. Bu çalışmalar neticesinde atık malzemelerin geri dönüşümü ve kompozit malzemeler imalat sektöründe oldukça önemli bir yer tutmaktadır. İki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilerek istenilen özelliklere ve mekanik dayanıma sahip malzemeler üretmek amaçlanmıştır. Geleneksel malzemelere oranla daha ekonomik olması tercih edilmesine neden olmuştur.

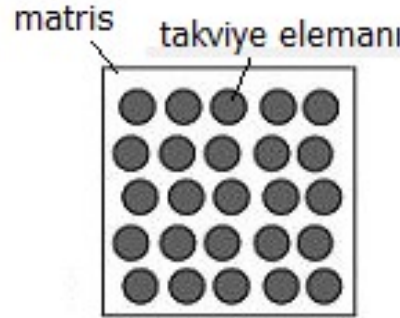
İlk uygarlıklardan beri insanlar daha yüksek dayanımlı malzemeler elde etmeye çalışmışlardır. Kırılgan malzemelerin içine hayvansal veya bitkisel lifler koyarak kırılganlık özelliği giderilmeye çalışılmış kompozit malzemeler bulunmaktadır. Geçmişten günümüze süre gelen çamurun dayanımını artırmak ve kırılganlığını azaltmak için saman karıştırılıp kerpiç adı verilen kompozit bir malzeme oluşturulmaktadır. Kompozit malzemeler, 1940'lı yıllarda mühendislik konusu olarak ele alınmaya başlanmış olup günümüzde gemi yapımı, ev aletleri, otomotiv sanayi, uzay teknolojisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Ülke genelinde 16 milyar tane yumurta üretilmektedir. Ortalama yumurta kabuğunun ağırlığı 6 gr ve buna bağlı olarak tonlarca çevreyi kirletici yumurta kabuğu atığı oluşmaktadır. Oluşan bu yumurta kabuğu atıkları zamanla çevreyi kirletici ve tehlikeli bir madde haline gelmektedir. Aynı zamanda rahatsız edici kokular da yaymakla beraber doğada yok olma süreleri oldukça zaman almakta ve yaşam alanlarımız için tehdit haline gelebilmektedir. Yumurta zarının içerisinde bulunan yüksek miktarda ki protein çürüyerek zehirli hale gelmekte ve etrafa kötü kokular yaymaktadır. İnsan sağlığını tehdit eden bu atıkları bertaraf etmek oldukça zor ve maliyetli olduğundan değerlendirilmesi gereken bir kaynak malzemesi haline gelmiştir. Günümüzde birçok ülkede yumurta kabuğu atığı ve yumurta kabuğunun içerisindeki protein içerikli ince zar ile kozmetik ve gıda alanında kullanılan ürünler üretilmektedir. Ve böylelikle doğal kaynaklar korunup atık miktarı azalttırılabilir. Ayrıca enerji tasarrufu ve ekonomik fayda sağlanmış olur.



## 1.1. Kompozit Malzemeler

Belirlenen amaç doğrultusunda mekanik dayanım, eğilme, kırılma tokluğu, korozyon dayanımı ve ısı direnç gibi özelliklerin biri veya birden fazla özelliğinin geliştirilmesi amacıyla en az iki farklı malzemenin makro düzeyde bir araya getirilmesiyle yeni bir malzeme grubu olan kompozitler elde edilir. Kompozit malzemeler, temel maddesi olan matris ve takviye amaçlı kullanılan fiber maddesinden oluşur (Şekil 1.1). Kompozit malzemenin çoğunluğunu oluşturan matris malzemesi yük altındaki fiber malzemesini bir arada tutarak dağılmasını engeller. Yüklerin homojen bir şekilde dağıtılmasını, plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlakların ilerlemesini engelleyerek malzemenin kopmasını geciktirici rol oynar. Ayrıca matris malzemesi kompozit malzemeye tokluk ve süneklik sağlar. Takviye malzemesi ise yük taşıma ve mukavemet özelliğini artırmaktadır. Kompozit malzemenin dayanımını, sertliğini ve gevreklik özelliğini ise takviye elemanı sağlar. Kompozit malzemeler, geleneksel malzemelere oranla oldukça hafif, kolay şekillenme ve daha az maliyetle imal edildiğinden yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanılmıştır.



Şekil 1. 1. Kompozit malzemenin genel yapısı

Üretilen kompozit malzemenin yapısı matris malzemesi, takviye elemanı ve bu malzemelerin birbirine tutunma kabiliyetine bağlıdır. Bu unsurlarla beraber kompozit üretiminde, amaca uygun madde ve uygun yöntemle birleştirilirse dayanımı ve kalitesi daha yüksek kompozit malzeme elde edilir (Ulcay ve ark., 2002). Matris ile takviye elemanlarının birbiriyle oluşturdukları karışım herhangi bir kimyasal reaksiyon meydana getirmez ve birbiri içerisinde çözünmezler. Kompozit malzemeyi oluşturan matris ve takviye elemanları arasında atom alışverişi gerçekleşmez. Oluşturulan karışımların temel amacı, bileşenlerin tek başına zayıf olan yönlerini ihtiyaç duyulan alanda iyileştirerek daha elverişli bir şekilde kullanmaya uygun hale getirmektir. İmalat

edilecek kompozit malzemenin, kullanım alanına bağı yüklerin etki yönleri, yoğunluğu, çevre koşulların etkisi, tasarımı gibi parametreler göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir.

Kompozit malzeme özelliklerini belirleyici unsurlar;

- Matris malzemesinin özellikleri,
- Takviye elemanının özellikleri,
- Matris-takviye elemanı arası yapışma ve tutunma yatkınlığı,
- Matris-takviye elemanının karışım içerisindeki oranları,
- Takviye elemanının geometrisi ve oryantasyonu.

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması oldukça çeşitlilik göstermektedir. Çok geniş bir yelpazeye sahip kompozit malzemeler, yük taşıyan takviye elemanı ile takviye elemanını bir arada tutan matris malzemelerinden oluşur. Burada kompozit malzemelerin matris malzemesine ve takviye elemanına göre yaygın olarak kullanılan bazı sınıflandırmalar aşağıdaki gibidir.

#### **1.1.1. Matris Malzemelerine Göre Sınıflandırılması**

Kompozit malzemelerde matrisin temel olarak, takviye elemanını (elyaf) dış etkilere karşı korumak, elyafları bir arada tutup yükün elyaflara homojen dağılmasını sağlamak gibi fonksiyonları vardır. Matris malzemesi düşük viskoziteye sahip olmalı böylelikle takviye elemanını sağlam ve iyi çevreleyerek homojen bir yük dağılımını sağlamış olur. Matris malzemesinin, elyaf malzemesine yapışma ve oluşturduğu bağ kuvveti kompozit malzemesinin mekanik özelliklerini direk olarak etkileyici rol oynar. Kompozit malzemeyi oluşturan matris malzemesi, kullanım alanına bağı olarak metal, seramik ve polimer malzemelerden oluşmaktadır.

##### **1.1.1.1. Metal Matris Kompozitler**

Kompozit malzemenin ana yapısını oluşturan ve yüksek dayanım sağlayan matris malzemesi olarak metaller kullanılır. Matris malzemesini oluşturan metal ve metal alaşımı içerisinde çeşitli geometrilerde takviye elemanı eklenerek kompozitler elde edilir. Metal matrisi içerisine takviye elemanı, sürekli lifler ve küçük parçalar halinde ilave edilerek kompozit malzeme oluşturulur. Yüksek sıcaklığa karşı kullanışlı

olmakla beraber, aşınmaya dayanıklı ve yüksek kırılma tokluğuna sahip malzemeler üretilmektedir. İnce tabaka, levha, molekül veya erimiş halde üretim metoduna bağlı olarak dökme karıştırma, sıkıştırma gibi yollarla kompozit malzeme elde edilmektedir. Bakır, alüminyum, gümüş gibi metaller matris malzemesi olarak kullanılarak üretilen kompozitler, savunma sanayinde, otomotiv ve havacılıkta yaygın olarak tercih edilmektedir. Geleneksel malzemelere iyi bir alternatif olarak gösterilebilir. Bu kompozit malzemeler maliyetli olup üretim aşaması oldukça zahmetlidir.

#### **1.1.1.2. Seramik Matris Kompozitler**

Düşük kırılma tokluğuna sahip olan seramiklere karbon veya silisyum karbür fiberleri takviye edilerek düşük yoğunlukta, yüksek mukavemette ve sertlik oranı yüksek olan kompozitler üretilmektedir. Yüksek sıcaklığa dayanıklı ve elektriksel direnci yüksek malzemeler elde edilmektedir. Genel olarak sıcak presleme metoduyla üretilirler. Zırh gibi çeşitli askeri ve uzay araçlarında ve uçak motorlarında tercih edilirler.

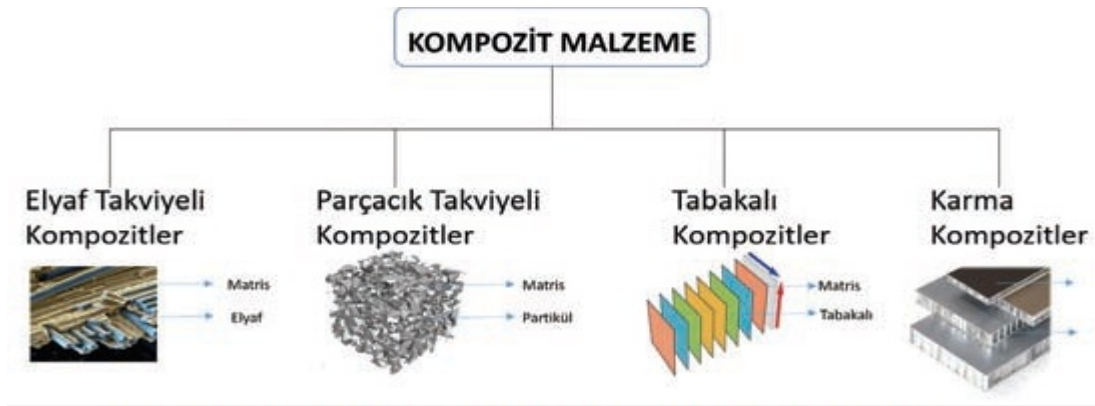
#### **1.1.1.3. Polimer Matris Kompozitler**

Yaygın olarak tercih edilen bu kompozit malzemeler, polimer matrise çeşitli geometrilerde fiber takviye edilerek elde edilir. Petrokimya esaslı maddeler tercih edilmektedir. Kompozit malzemelerin büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır. Yaygın olarak epoksi, polyester, üretan vb. gibi matrisler kullanılarak basit üretim ile düşük maliyette ve yüksek mukavemetli kompozit malzemeler elde edilmektedir. Düşük elastisite modüle sahip olması, iyi mekanik özellik ve termal dayanımının yüksek olması tercih edilme nedenlerindendir. Hafif olmakla beraber korozyon direnci yüksek olan bu kompozitler, denizcilik, otomotiv, spor malzemeleri, dekorasyon gibi birçok alan da tercih edilmektedir.

Polimer esaslı kompozit malzemeler  $1,5 - 2 \text{ gr/cm}^3$  yoğunlukta olup sert, dayanıklı ve genleşme katsayıları düşük malzemelerdir. Genel olarak bağlayıcı malzeme için epoksi ve polyester kullanılır. Kimyasal malzemelere ve açık hava şartlarına karşı yüksek dirence sahiptirler. Çekme, basma, darbe, yorulma dayanımı gibi mekanik özellikleri yüksek malzemeler olduğundan uçak ve uzay endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

### 1.1.2. Takviye Elemanlarının Şekil ve Yerleştirmesine Göre Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler, takviye elemanı olarak çeşitli yapılarında ve farklı çeşitlerde kullanılarak elde edilmektedir. Bu metotlar, Şekil 1.2’ de gösterildiği gibi dört ana grupta incelenebilir.



Şekil 1. 2. Takviye elemanlarının şekil ve yerleştirmesine göre sınıflandırılması

#### 1.1.2.1. Elyaf ( Fiber ) Takviyeli Kompozitler

Matris içerisinde uzun ve paralel olarak yerleştirilen elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet elde edilirken, elyaflara dik doğrultularda ise oldukça düşük mukavemet özelliği elde edilir. İki yönde yüksek mukavemet elde etmek için çapraz elyaf yerleştirilmektedir. İzotrop bir yapı elde etmek için ise matris malzemesinin içine dağıtılmış kısa elyaflar homojen olarak yerleştirilir.

#### 1.1.2.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler

Matris malzemesinin içerisine, parçacık haline getirilen bir malzeme eklenerek izotrop yapıda kompozitler elde edilir. Tüm doğrultularda aynı mekanik davranışları sergiler. Bu kompozit malzemelerin mukavemet özelliği eklenen parçacıkların yapısına bağlıdır. Parçacık eklenerek elde edilen bu kompozitlerin rijitliği yüksek olup düşük maliyetlerde elde edilirler. Döküm yoluyla elde edilen parçacık takviyeli kompozitlerin üretiminde, homojen bir karışım oluşturmak zordur.

### 1.1.2.3. Tabakalı Kompozitler

Eski dönemlerden beri yaygın kullanılan bu kompozitler farklı elyaf açılmasına sahip tabakaların birleşimiyle elde edilirler. Böylelikle daha yüksek mukavemete sahip, ısıya ve neme dayanıklı malzemeler üretilmeye imkân sağlanmıştır. Üretimde kullanılan matris ve fiber malzemelerine bağlı olarak yüksek dayanım, hafiflik, aşınmaya karşı direnç, ısıl genleşme gibi istenilen özellikler kazandırılabilir. Uçağın kanat ve kuyruk kısımlarında, yüzey kaplama malzemesi gibi çeşitli yerlerde kullanılmaktadır. Günümüzde en çok tercih edilen kompozit üretim metotları arasında yer almaktadır.

### 1.1.2.4. Karma Kompozitler

Kompozit malzemenin içerisine iki ya da daha fazla fiber çeşidinin eklenerek elde edilen hibrid kompozitler üretilmektedir. Böylelikle farklı özelliklere sahip birden fazla fiber malzemelerin özelliklerini tek bir kompozit malzemede toplamak mümkün olmuştur.

### 1.1.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları

Birden fazla malzemenin bir araya getirilerek istenilen özelliklerde yeni bir malzeme üretildiğinden, çok daha üstün özelliklere sahip bir amaç doğrultusunda malzemeler üretilmektedir. Malzemenin zayıf olan yönlerinin amaca uygun olarak iyileştirilip elverişli hale getirilmesidir. Kompozit malzemelerin, geniş hammadde yelpazesine sahip ve çeşitli yollarla birleştirilme imkânı mevcuttur. Geleneksel malzemelere oranla daha uzun ömürlü, hafif, düşük maliyette ve daha iyi mekanik dayanımlı malzemeler üretilmeye imkân sağlanmaktadır. Kompozit malzemelerin,

- Mekanik dayanım, basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, yorulma dayanımı,
- Aşınma direnci, korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Rijitlik,
- Yüksek sıcaklığa dayanım,
- Isıl direnç veya ısıl iletkenlik,
- Elektriksel direnç veya elektrik iletkenliği,

- Hafiflik, yoğunluk,
- Kolay şekillenme ve estetik görünüm,
- Düz ve pürüzsüz görünüm,
- Ses tutucu veya akustik iletkenlik,
- Kalıcı renklendirme,
- Titreşim sönümleyici,

gibi özelliklerin geliştirilip iyileştirilmesi amaçlanarak çeşitli üretim yöntemleriyle yapılar elde edilmektedir. Ayrıca birden fazla elemandan oluşan karmaşık makine elemanlarını kompozit malzeme olarak bir bütün halinde imal edilebilir.

#### **1.1.4. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları**

İmalat esnasında kompozit yapılarda tespit edilemeyen çatlak ve kusurlar meydana gelebilir. Malzemenin içerisinde oluşacak boşluklar, yorulma dayanımını olumsuz etkiler ve metal malzemelere oranla, kompozit malzemelerin onarımı zorlaşır. Kompozitlerin uygulanan çeşitli doğrultulardaki kuvvetlere karşı dayanımı farklılık göstermektedir. İmalattan sonra kesme ve düzeltme işlemlerinden dolayı kopan lifler, malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bazı kompozit malzemelerin maliyeti oldukça yüksek ve üretimi güçtür. Kompozit malzemeler üretim yöntemi ve üreten kişinin kabiliyetine bağlı olarak mekanik özelliklerinde farklılıklar görülebilir. Önemli bazı dezavantajları şunlardır:

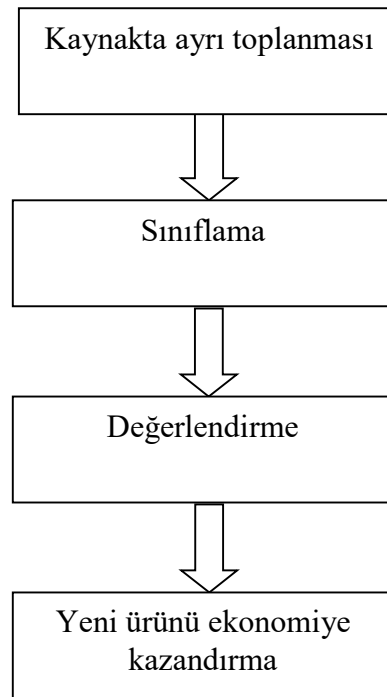
- Metallere yapışmazlar,
- Üretimi kısmen pahalıdır,
- Nem ve hava tanecikleri kompozitlerin mekanik dayanımı ve yorulma özelliklerini olumsuz etkiler,
- Kesme ve delme gibi işlemler liflerin kopmasına neden olur,
- Genellikle gevrek malzemelerden oluşturulduğu için kırılgandır,
- Üretim yöntemlerine bağlı olarak kalitesi değişkenlik gösterebilir,
- Hammaddenin pahalı olması,
- Farklı doğrultularda farklı mekanik özellikler göstermektedirler.

Ayrıca gerekli olan yüzey kalitesinin elde edilememesi ve geri dönüşümü mümkün olmama gibi dezavantajları da mevcuttur.

## 1.2. Geri Dönüşüm

Yaşam alanlarımızda, hayvansal ve bitkisel atıklar, çeşitli yiyecek ve içeceklerin ambalajları, atık metal gibi kullanım dışı kalan maddelerin, çeşitli aşamalardan geçirildikten sonra farklı alanlarda hammadde olarak imalata kazandırılma işlemine geri dönüşüm adı verilir.

Kullanım dışı kalan değerlendirilebilir atıkların ayrı kaynakta toplanarak, cam, metal, plastik gibi sınıflandırılır. Daha sonra sınıflandırılan bu atıklar çeşitli kimyasal ve fiziksel aşamalardan geçirilerek hammadde oluşturulur. Oluşturulan bu hammadde ihtiyaç doğrultusunda da yeni ürün olarak ekonomiye kazandırılmış olur (Şekil 1.3).



Şekil 1. 3. Geri dönüşüm işleminin aşamaları

Son yıllarda sanayileşmenin çok hızlı gelişmesi ve buna bağlı olarak oluşan rekabet, doğal kaynakların hızlı bir şekilde tüketilmesine neden olmuştur. Dünya nüfusunun artmasıyla tüketim artmış ve buna bağlı olarak atık miktarlarında da artış olmuştur. Oluşan bu atık maddeleri yerleşim alanlarından uzaklaştırılması ve taşınması önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Düzensiz yapılan atıkların depolanması, kimyasal tepkimeler sonucu zehirli ve patlayıcı gazlar oluşmasına neden olmaktadır. Atık maddelerin oluşturduğu bu gazlar insan sağlığını ve doğal yaşam alanlarımızı

tehdit etmektedir. Doğal kaynakların azalması ve atık maddelerin oluşmasıyla alternatif arayışlara ihtiyaç duyulmuştur. Endüstriyel, hayvansal ve bitkisel atıkların yeniden değerlendirilip çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilerek kullanılabilir hale getirilmeye çalışılmıştır. Üretim veya tüketim sürecinde oluşan atıklar, yiyecek ve içeceklerin ambalajları, cam, metal, plastik, kâğıt gibi kullanım dışı kalan maddeler üretime geri kazanım için tercih edilir.

### **1.2.1. Geri Dönüşüm Amacı**

Geri dönüşümün en önemli amaçları; yeryüzünde hızlı tüketilen doğal kaynakların tüketimini azaltmak, çevreyi kirletici ve kötü koku yayan atık miktarını minimuma indirmektedir. Yaşam alanlarımızda oluşan atık maddelerin depolanması ve taşınması problemleri azaltır. Kullanım dışı kalan metal, plastik, kauçuk, kâğıt, cam gibi atıkların tekrar değerlendirilmesi ve daha az endüstriyel işlem gerektirdiği için enerji de tasarruf edilir. Ülke ekonomisine de fayda sağlamakla beraber gelecek nesillere doğal kaynakların kullanım imkânı sağlar. Düzensiz depolanan atık maddelerin oluşturduğu çevre ve hava kirliliği azaltmakla beraber insan sağlığını kötü etkileyen kimyasal gazların oluşumu engellenmektedir.

### **1.2.2. Geri Dönüşüm Faydaları**

Geri dönüşümün başlıca faydaları arasında, yaşam alanlarımızda insan sağlığını etkileyen atıkların oluşturduğu çevre kirliliğini azaltmak ve doğal kaynakların hızlı tüketilmesini engelleyerek korunmasıdır. Doğal kaynakların daha tasarruflu kullanılması ülke ekonomisine katkı sağlar. Ayrıca geri dönüşüm sektöründe kişilere iş imkânı ve ekonomik fayda sağlanabilir. Atıkların yeniden değerlendirilmesi işlemlerinde ülke ekonomisi ile çevreye fayda sağlanmaktadır. Geri dönüşümün başlıca faydalarından bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Çevreyi korumada katkı sağlar,
- Yaşam alanlarımızı yaşanılır kılıp çöp işlemlerinde kolaylık sağlar,
- İnsan sağlığını etkileyen çöp atıklarının azalmasına yardımcı olur,
- Doğal kaynakların daha tasarruflu kullanılmasına olanak sağlar,
- Atık maddeler ile farklı ekonomik değerler elde edilir,
- Enerji tasarrufu sağlar,



- Oluşturduğu sektörde kişilere iş imkânı sağlar,
- Ülke ekonomisine katkı sağlar,
- Atık miktarını azaltmaya yardımcı olur,
- Toplumsal bir yapı kurar,
- Sera gazı emisyonunun düşmesine katkı sağlar.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Literatür Araştırması

Mevcut çalışmanın önemine odaklanmak amacıyla konuyla ilgili daha önce yapılmış bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

#### 2.1.1. Kompozit Dolgular

Kompozit malzemelerin dolguları genellikle katı halde bulunur ve polimer matrisi ile karışmaz. Dolgu maddeleri, polimerlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için farklı oranlarda kullanılmaktadır. Dolgu maddeleri, lifli ve levha benzeri şekillerde düzensiz malzemeler olarak tanımlanabilir (Xanthos, 2010). Günümüzde dolgu maddeleri esas olarak, termal stabilite, alev geciktirici ve gerilme mukavemeti gibi çeşitli polimerlerin özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadır (Leong, 2016). İnorganik dolgular, polimerlerin termal genleşme ve kalıp büzülmesini azaltırken lifli dolgular ise polimerin erime viskozitesini azaltmaktadır.

**Tablo 2. 1.** İnorganik dolgu maddeleri

| Bazı inorganik dolgu maddeleri |                                                            |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Oksitler                       | Cam lifle, alüminyum oksit, kalsiyum oksit                 |
| Hidroksitler                   | Magnezyum hidroksit, alüminyum hidroksit, sodyum hidroksit |
| Tuzlar                         | Kalsiyum karbonat, fosfatlar                               |
| Silikatlar                     | Alüminyum silikat, killeri, mika                           |
| Madenler                       | Bor, çelik                                                 |

**Tablo 2. 2.** Organik dolgu maddeleri

| Bazı organik dolgu maddeleri |                                                                |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Grafit ve karbon             | Karbon fiberleri, grafit lifleri ve pullar, karbon nano tüpler |
| Doğal polimerler             | Selüloz lifleri, odun lifleri, keten, pamuk, sisal, nişasta    |
| Sentetik polimerler          | Polyamid, polyester, aramid, polivinil alkol lifleri           |

Tablo 2.1’de inorganik dolgular ve Tablo 2.2’de organik dolgu maddeleri verilmiştir.

Organik dolgu maddeleri, bitki ve hayvanlardan elde edilen atık maddelerin geri dönüşümü ile üretilebilir. Organik dolgu maddeleri genel olarak düşük yoğunluk ve düşük maliyetli olduklarından polimer esaslı kompozit malzemeler için kullanılmaya uygundurlar. Nawang ve ark. (2001) tarafından nişasta dolgulu polietilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Artan nişasta oranına bağlı olarak kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerlerinin azaldığı ifade edilmiştir.

İnorganik dolgu maddesi olarak kullanılan mineral dolgular, genel olarak belirli parçacık boyutlarına göre öğütülerek kullanılmaktadır. Yaygın bir şekilde kullanılan kalsiyum karbonat, çeşitli polimer reçinelerle uyumlu ve ekonomiktir. Adeosun ve ark. (2014) farklı oranlarda kalsiyum karbonat dolgu parçacıklarının ilavesinde polietilen esaslı kompozit malzemelerin mekanik ve fiziksel etkisini araştırmıştır. Kalsiyum karbonat yüzdesinin artırılmasıyla eğilme gerilmesinin de arttığı görülmüştür. Polimer esaslı kompozit malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi için en yaygın kullanılan inorganik dolgu maddeleri cam, alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), magnezyum hidroksit ( $Mg(OH)_2$ ), kalsiyum karbonat ( $CaCO_3$ ) parçacıkları ve tabakalı silikatlardır (Leong, 2016). Kalsiyum karbonat parçacıklarıyla doldurulmuş epoksi reçinenin daha yüksek stabilite ve mekanik dayanıma sahip olduğu He ve ark. (2011) tarafından tespit edilmiştir.

### 2.1.2. Yumurta Kabuğu Atığı

Ülke genelinde tonlarca çevreyi kirletici gıda atığı bulunmaktadır. Bu gıda atıkları, kötü koku, zehirli sızıntı ve sera gazı emisyonu gibi konuların temel nedenidir. Hava kirliliği, toprak ve kaynak suyu kirliliği gibi ciddi çevre sağlığı sorunları yaşanabilir. Bunlardan bir tanesi de yumurta kabuğu atığıdır. Yumurta zarının içerisinde bulunan yüksek miktardaki protein, çürüyerek zehirli hale gelmekte ve etrafa kötü kokular yaymaktadır. Bu atıkları bertaraf etmek oldukça zor ve maliyetli olduğundan araştırılması ve değerlendirilmesi gereken bir konu olmalıdır.

### 2.1.3. Yumurta Kabuğu Uygulamaları

Yumurta kabuğunun çevre kirliliği üzerinde oluşturduğu etkiyi azaltmak için çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. Genellikle toz haline getirilerek kullanılan yumurta kabuğu iyi bir doğal kalsiyum kaynağı olabilir. Günümüzde yumurta kabuğu, çeşitli uygulamalarda katkı maddesi veya hammadde olarak kullanılmaktadır. Yumurta kabuğunun kullanım alanları özellikle tıbbi ve kozmetik sektörleridir. Sınırlı kemik kusurlarının doldurulması ve kemik büyütme işlemleri için yumurta kabuğu tozu, iyi bir katkı maddesi olarak tercih edilmektedir. Hayvan yemi için katkı maddesi olarak kullanıldığını ifade eden Yoo ve ark. (2009), ayrıca yüksek kalsiyum, magnezyum ve fosfor içeriğine sahip yumurta kabuğu, gübre olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir. Mohammadi ve ark. (2014), yumurta kabuğu kemik onarımı ve organ nüfuzunda kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Endüstriyel atık olan yumurta kabuğu, kalsiyum bakımından oldukça zengin bir mineral kaynağı olarak ekmek yapımında besin katkı maddesi olarak değerlendirilebilir. Kalsiyum bakımında zengin olan yumurta kabuğu tozu, insanda kalsiyum ihtiyacını karşılamak için belirli oranlarda un ilave edilerek ekmek üretiminde kullanılabilir. Yumurta kabuğu tozu ilave edilen ekmeklerin sertlik değerini düşürdüğü ve ekmeğin hacminde artışa neden olmuştur (Adal S., 2018).

Atık ofis kâğıtları ve yumurta kabuklarından elde edilen kalsiyum karbonat ile yazı tabı kâğıdı üretimi Kılılı ve ark. (2017) tarafından çalışılmıştır. Piyasada üretilen yazı kâğıdı tabı ile aynı optik özelliklerde ve yırtılma indeksinin daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Ve maden kaynaklarından elde edilen kalsiyum karbonata göre çok daha az maliyetle imal edildiği sunulmuştur.

Wei ve ark. (2009), biyo-dizel üretimi için katı katalizör üzerine yaptıkları çalışmada, düşük maliyetli katalizör olarak yumurta kabuğu atığı kullanmıştır. Yumurta kabuğu kalsinasyonu ile yüksek aktiflik elde etmişlerdir. Biyo-dizel üretimi için kullanılan katı katalizör olarak yumurta kabuğunun kullanılması, geri dönüşüm için maliyet ve çevresel etkileri önemli ölçüde azaltacağına yer vermiştir.

Yumurta kabuğu ile düşük maliyetli sorbent olarak emilmesi üzerine Chojnacka (2005) yaptığı araştırmada, ezilmiş yumurta kabuklarının diğer emici maddelerle karşılaştırıldığında iyi emilim kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir.

#### **2.1.4. Yumurta Kabuğu Dolgulu Kompozitler**

Kompozit malzeme üretiminde yumurta kabuğu tozu çeşitli amaçlar doğrultusunda, çeşitli matris maddesine ilave edilerek araştırmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda, yumurta kabuğu tozu kompozit malzeme üzerinde mekanik dayanım, ısı ve elektriksel yalıtım, yanma ve tutuşma hızı, su alma oranı, yüzey pürüzlülüğü gibi parametreler araştırılmıştır.

Yumurta kabuğu tozu ilavesinde, kompozit malzemenin ateşe karşı direncini artırdığı, yanma ve tutuşma hızını düşürmektedir. Kompozit malzemenin su alma özelliğini de azaltmaktadır. Kompozit malzemede, yumurta kabuğu tozu oranının artmasıyla çekme dayanımı arttırdığı ve belirli bir orandan sonra çekme dayanımının da azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca kopma uzama değerini ve eğilme direnci değerinde azalmaya neden olmaktadır. Kompozit malzemede yumurta kabuğu tozu oranı arttıkça sertlik değerinde artışa neden olmaktadır (Özgan, 2019).

Farklı oranlarda eklenen yumurta kabuğu takviyeli epoksi matris ile üretilmiş, kompozit malzemelerin mekanik özellikleri Shashir ve ark. (2017) tarafından araştırılmıştır. Bu araştırmada yumurta kabuğunun %20 oranında eklenmesi ile yapılan deneylerde maksimum eğilme dayanımı ve sertliği elde edildiği paylaşılmıştır.

Yumurta kabuğu tozu, silisyum karbür ve alüminyum oksit takviyeli, alüminyum matrise sahip kompozit malzemelerin gerilme dayanımı incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada yazarlar takviye elemanlarının ağırlıkça yüzde oranında eklenmesiyle çekme ve akma gerilmesinin belirli bir orana kadar arttığını ve daha sonra azaldığını belirtmektedirler. Yumurta kabuğu tozunun, alüminyum oksit ve silisyum karbüre nazaran çekme ve akma gerilmelerin daha az düzeyde arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca alüminyum oksit ve silisyum karbüre nazaran daha az bir maliyetle yumurta

kabuğu tozu kullanılarak çekme ve akma gerilmesi değerlerinin arttırılabileceği sonucuna varmışlardır (Ateş ve Tok, 2016).

Poliüretan köpük malzemesine farklı oranlarda yumurta kabuğu tozu eklenerek ısı iletim katsayısı ve basma dayanımını Gürlek ve ark. (2015) tarafından incelenmiştir. Poliüretan köpük malzemesine farklı oranlarda eklenen yumurta kabuğu tozu, basma dayanımını belirli aralıklarda artırdığını ve ısı iletim katsayısını çok az artırdığını tespit etmişlerdir.

(Binici ve ark., 2013) atık pil kömürü ve yumurta kabuğunun radyasyon tutucu materyal olarak kullanılmasını incelemişlerdir. Yumurta kabuğu takviyeli kompozit malzemenin kalınlığına bağlı olarak lineer soğurma katsayısını pozitif bir şekilde etkilediğini belirtmişlerdir. Radyasyon tehlikesi yüksek olan hastane, askeri üsler gibi yerlerde bölme duvar veya kalkan olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlar. Aynı zaman da çalışmalarında çevre kirliliğini önlemek amacıyla alternatif bir yöntem olduğunu ifade etmektedirler.

Doğal kauçukların bazı mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine yumurta kabuğu etkisi, Muhammed ve Hadi' nin (2012) çalışmasında belirtilmiştir. Yazarlar yumurta kabuğu takviyeli kauçuğun diğer pahalı ve toksik özelliği yüksek malzemelerin yerine kullanılabileceğini açıklamıştır. Aynı zaman da çalışma, çevre kirliliğini azaltacak şekilde katkı sunmaktadır.

Düşük yoğunluklu polietilen/yumurta kabuğu tozu kompozit malzemelerinin mekanik özelliklerine kimyasal modifikasyonun izoftalik asit ve yumurta kabuğu tozunun %5 - %25 oranlarında katılması araştırılmıştır (Shuhadah ve Supri, 2009). Kompozit malzemenin, yumurta kabuğu tozu içeriğinin artmasıyla kopma uzaması ve gerilme mukavemetinin azaldığını savunmaktadır. Düşük yoğunluklu polietilen matrisi ile yumurta kabuğu tozu parçacıkların zayıf yapışma durumunu oluşturduğunu savunmuşlardır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amaçları şunlardır:

- Tavuk yumurtası kabuğu tozu takviyeli polimer esaslı kompozit malzemeler üretmek,
- Epoksi reçineye, farklı ağırlık oranlarında ve farklı mikro parçacık boyutlarındaki yumurta kabuğu tozu ilave edilerek mekanik özelliklerin incelenmesi,
- Yumurta kabuğu renginin mekanik özellikler üzerindeki etkisinin araştırılması,
- Geleneksel malzemelere kıyasla daha ekonomik alternatifler üretmek ve enerji tasarrufu sağlamak,
- Artan hammadde ihtiyacını, yumurta kabuğu atığını geri dönüşüm ile temin etmek,
- Her yıl tonlarca çevreyi kirletici yumurta kabuğu atığını bertaraf etmek amacıyla alternatif bir çözüm sunmak,
- Doğal kaynakların korunmasını ve atık miktarının azaltılması amaçlanmıştır.

#### 3.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu deneysel çalışmada kullanılan malzemeler aşağıda listelenmiştir.

- Doğal lifler (yumurta kabuğu tozları)
- Epoksi reçine
- Sertleştirici

##### 3.2.1. Yumurta Kabukları

Ülkemizde oldukça yaygın bir şekilde tüketilen yumurta içerisinde protein, yağ ve vitamin bulunduran iyi bir besleyici besin kaynağıdır. Tavuk yumurtası genel olarak yumurta kabuğu, yumurta akı ve yumurta sarısından oluşmaktadır. Yumurta kabuğu, yumurtaya şekil vererek dış etkilere korur.

Bir yumurtanın rengi ait olduğu hayvanın ırkına ve çevre şartlarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Yumurtanın kabuk rengi ile bileşimleri arasında bir ilgi bulunmamaktadır. Yumurta kabuğunun beyaz ya da kahverenginde olması, kabuğun bileşimlerinde herhangi bir değişikliğe etkisi yoktur (Özgan, 2019). Bir yumurtanın ortalama % 7' sini oluşturan yumurta kabuğu 0.2 mm – 0.4 mm kalınlığında olup oldukça sert bir yapıya sahiptir. Yumurta kabuğu ve yumurta kabuk zarı, temizlenip öğütülerek yem katkı maddesi, plastik madde üretiminde, evsel temizleyici maddelerinde, diş bakımı ürünlerinde, kozmetikte ve kompozit malzeme üretimi gibi çeşitli alanlarda katkı veya takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır.



**Şekil 3. 1.** Beyaz ve kahverengi yumurta kabukları

Yumurta kabuğu hem inorganik hem organik bileşenlerden oluşmaktadır. Yüksek oranda kalsiyum karbonattan oluşan yumurta kabuğunun kimyasal bileşimleri Tablo 3.1' de verilmiştir.

**Tablo 3. 1.** Yumurta kabuğunun ortalama kimyasal bileşenleri

| Bileşenler         | Miktar (%) |
|--------------------|------------|
| Kalsiyum karbonat  | 93.7       |
| Magnezyum karbonat | 1.0        |
| Kalsiyum fosfat    | 1.0        |
| Organik maddeler   | 3.3        |
| Su                 | 0.1        |



### 3.2.1.1. Beyaz Yumurta Kabuğu

Marketlerde satılan fabrikasyonla elde edilmiş beyaz kabuklu yumurtalar temin edilerek kabukları toplanmıştır. Toplanan yumurta kabukları suda yüzdürme metodu ile yumurta zarı ve diğer maddelerden arındırılarak 72 saat güneşte kurutulmaya bırakılmıştır.

### 3.2.1.2. Kahverengi Yumurta Kabuğu

Kahverengi kabuklu yumurtalar da marketlerde satılan yumurtalardan oluşmaktadır. Beyaz kabuklu yumurta kabuklarında olduğu gibi suda yüzdürülerek temizlenmiş ve 72 saat güneşte kurumaya bırakılmıştır. Kuruma işlemi gerçekleşikten sonra gerekli mikro parçacık boyutlarını temin etmek için, öğütülüp mikro boyutlardaki eleklerden geçirilmiştir. Bu işlemler beyaz ve kahverengi yumurta kabuklarının ikisine de uygulanmıştır.

### 3.2.2. Epoksi Reçine ve Sertleştirici

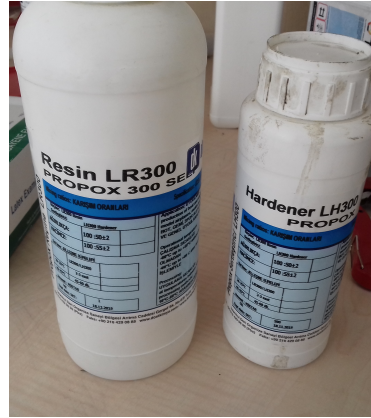
Bu tez çalışmasında, kompozit numune üretiminde, LR300 PROPOX epoksi reçine kullanılmıştır. Termosetler grubundan kimyasal bir yapıştırıcı olan epoksi reçinenin bazı özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- Kompozit malzemenin özellikleri, kullanılan reçinenin türüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir.
- Su, asit, yağ ve kimyasallara karşı direnci yüksek olup kararlı bir yapı oluştururlar.
- Sertleşme sırasında çekme oranı düşüktür.
- Üstün mekanik özelliklere sahiptir.
- Sürtünme ve aşınmaya karşı dayanıklıdır.
- Pürüzsüz yüzeyler oluştururlar.
- Epoksi reçine, çoğu elyaf malzemesiyle iyi bir bağ oluşturur ve üstün mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilebilir.

Epoksi reçine ile beraber LH300 PROPOX sertleştirici kullanılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen bütün numuneler için sertleştirici ve epoksi oranı 1/3 olarak seçilmiştir.

Kompozit numuneleri üretmek için hazırlanan yumurta kabuğu tozu ile epoksi karışımına sabit oranlarda eklenip homojen bir yapı oluşması için tahta bir karıştırıcı

yardımıyla karıştırıldı ve kalıba döküldükten sonra oda sıcaklığında 5 saat süre ile bekletilerek katılaşması (kürleşme) sağlandı.



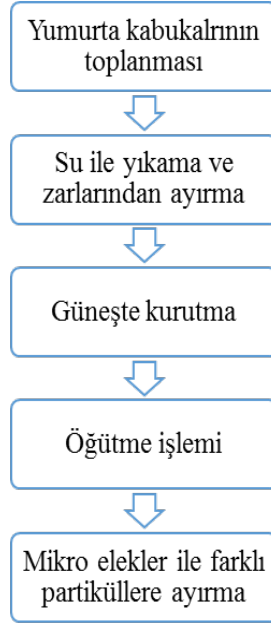
Şekil 3. 2. Epoksi reçine ve sertleştirici

Deneylerde kullanılmak üzere üretimi gerçekleştirilen kompozit numuneler için kullanılan epoksi seti Şekil 3.2’ de gösterilmiştir.

### 3.3. Yumurta Kabuğu Tozunun Hazırlanması

Tavuk yumurtasının ortalama ağırlığı 60 – 80 gr gelmekte ve bu ağırlığın yaklaşık olarak % 6 – 8’ ini yumurta kabuğu oluşturmaktadır. Bir tavuğun yumurta kabuğunun ağırlığı 3 – 6 gr arasında gelmektedir. ASTM standartlarına uygun olarak üretilen numuneler için 339.21 gr beyaz ve 339.21 gr kahverengi yumurta kabuğu kullanılmıştır. Dolayısıyla ortalama 60 – 70 tane yumurtanın kabuğuna ihtiyaç duyuldu.

Beyaz ve kahverengi yumurtaların kabukları ayrı ayrı toplandı. Toplanan yumurta kabuklarının partiküllere ayırma işleminin akış şeması Şekil 3.3’ te sunulmuştur.



**Şekil 3. 3.** Yumurta kabuğu tozu hazırlanma akış şeması

Deneylerde kullanılacak olan yumurta kabuğu tozunun elde edilmesi için toplanan beyaz ve kahverengi yumurta kabukları ayrı ayrı suda yüzdürülerek el ile yıkandı. Yıkama işlemi ile yumurta kabukları temizlenip zarlarından arındırıldı. Temizlenen yumurta kabuklarının kuruması için 72 saat güneşte bekletildi. Güneşte kuruyan yumurta kabuklarının mikro parçacık seviyede parçalanma işlemi için Şekil 3.4’ te verilen Retsch RM200 marka küçük taş öğütücü cihazı kullanıldı.



**Şekil 3. 4.** Retsch RM200 marka öğütme cihazı

Elle küçük parçalara ayrılmış yumurta kabuğu, öğütücüye eklenerek sabit devirde 10 dakika boyunca öğütüldü. Mikro boyutta öğütülen yumurta kabukları Şekil 3.5’ te verilmiştir.



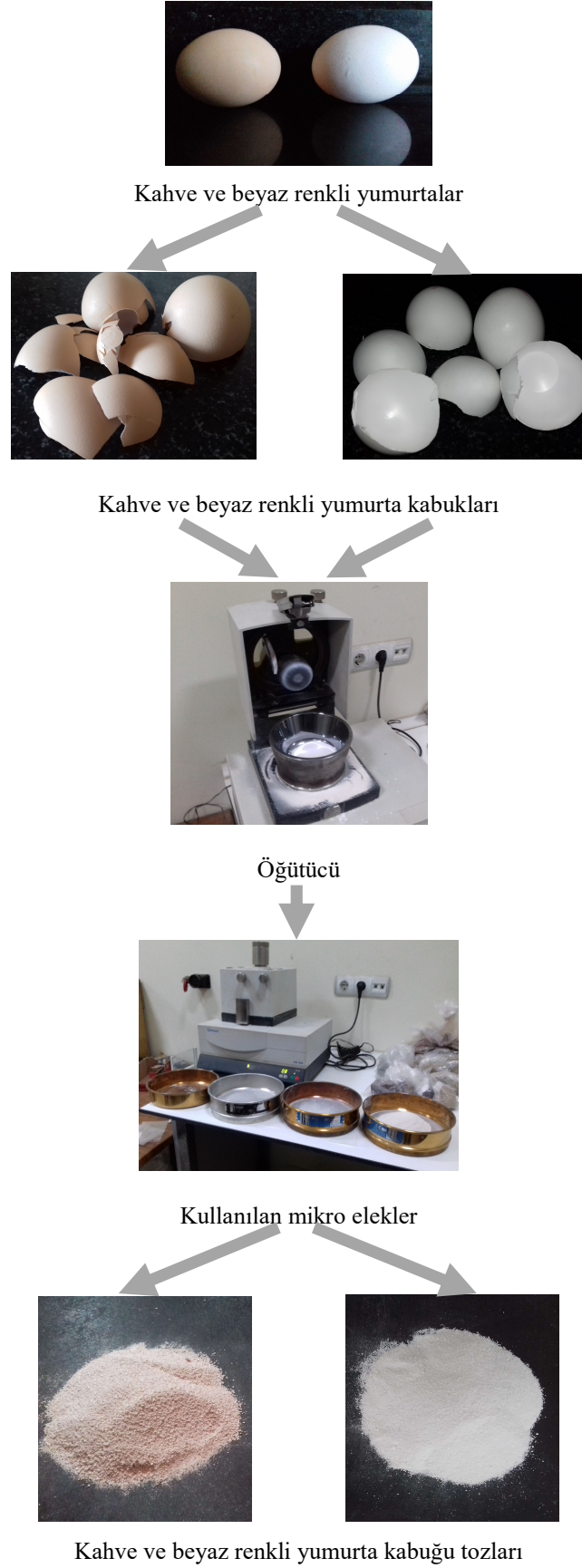
Şekil 3. 5. Yumurta kabuğu tozları

Elde edilen yumurta kabuğu tozlarını mikro parçacıklara ayırmak için 106 mikron, 75 mikron ve 63 mikron delik boyutlu elekler kullanıldı (Şekil 3.6). İstenilen boyut için gerekli toz miktarı temin edilinceye kadar işlemler tekrarlandı. Beyaz ve kahverengi yumurtalardan elde edilen kabuk tozlarının miktarları Tablo 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3. 6. Üç farklı delik boyutundaki elekler

Test numuneleri için gerekli beyaz ve kahve renkli yumurta kabuğu tozlarının elde edilmesi aşamaları açık bir biçimde Şekil 3.7’ de verilmiştir.



Şekil 3. 7. Beyaz ve kahverengi yumurta kabuğu tozlarının elde edilme aşamaları

**Tablo 3. 2.** Elde edilen parçacık boyutları ve miktarları

| Renk<br>Boyut   | Kahverengi yumurta<br>kabuk tozu | Beyaz yumurta kabuk<br>tozu |
|-----------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Atık kabuk tozu | 184 gr                           | 187 gr                      |
| 106 mikron      | 157 gr                           | 163 gr                      |
| 75 mikron       | 143 gr                           | 151 gr                      |
| 63 mikron       | 118 gr                           | 129 gr                      |

106 mikro parçacık boyutuna sahip beyaz yumurta kabuk tozu ihtiyacı hesaplanacak olursak;

Üç nokta eğilme testleri için saf epoksi ile üretilen dikdörtgen kesitli numunenin ağırlığı 21.5 gram olarak hesaplandı. Hesaplanan numune ağırlığının %5, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında ilave edilmek üzere 22.57 gram yumurta kabuk tozuna ihtiyaç duyulmaktadır. Her bir parametreye bağlı olarak üçer numune üretimi için 67.71 gram yumurta kabuk tozuna ihtiyaç olacaktır. Çekme testleri için üretilen saf epoksi numune ağırlığı ise 14.4 gram gelmektedir. Çekme testi numunesine %5, %10, %20, %30 ve %40 ağırlık oranlarında ilave edilmek üzere 15.12 gram yumurta kabuğu tozu gereklidir. Üçer numune üretimi için 45.36 gram gereklidir. Çekme ve üç nokta eğilme testleri için 106 mikro parçacık boyutlu beyaz yumurta kabuk tozu için toplam 113.07 gram ihtiyaç duyulmaktadır.

Yumurta kabuk tozu, beyaz ve kahverengi ile 106, 75 ve 63 mikro parçacık boyut parametreleri hesaplanıp ihtiyaç olan toz miktarları hesaplanmıştır. Her bir parametreye bağlı gerekli olan yumurta kabuğu tozu Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’ te verilmiştir.

**Tablo 3. 3.** Üç nokta eğilme ve çekme testleri için gerekli yumurta kabuk toz miktarı

| Test<br>Boyut | Üç nokta eğilme test numuneleri (gram) |                               | Çekme test numuneleri (gram) |                               |
|---------------|----------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|               | Beyaz yumurta kabuk tozu               | Kahverengi yumurta kabuk tozu | Beyaz yumurta kabuk tozu     | Kahverengi yumurta kabuk tozu |
| 106 mikron    | 67.71                                  | 67.71                         | 45.36                        | 45.36                         |
| 75 mikron     | 67.71                                  | 67.71                         | 45.36                        | 45.36                         |
| 63 mikron     | 67.71                                  | 67.71                         | 45.36                        | 45.36                         |
| Toplam        | 406.26                                 |                               | 272.16                       |                               |

**Tablo 3. 4.** İhtiyaç duyulan yumurta kabuğunun toz rengi ve miktarı

| Renk<br>Boyut | Beyaz yumurta kabuk tozu (gram) | Kahverengi yumurta kabuk tozu (gram) |
|---------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| 106 mikron    | 113.07                          | 113.07                               |
| 75 mikron     | 113.07                          | 113.07                               |
| 63 mikron     | 113.07                          | 113.07                               |
| Toplam        | 339.21                          | 339.21                               |

### 3.4. Numuneler İçin Silikon Kalıp Hazırlama

ASTM standartlarına uygun olarak üretilecek numuneler için RTV 2 kalıp oluşturma silikonu kullanıldı. Yumuşak ve esnek olması, içerisinde bulunan numuneyi çıkarmaya kolaylık ve tekrar kullanma olanağı sağlar. Oda sıcaklığında kürleşme ve düşük viskozite sayesinde detaylı bir tasarım elde etme imkânı verir. RTV 2 silikonu, yüksek kopma ve yırtılma direnci, ısı ve kimyasal dayanım, ahşap, metal gibi oluşturulan modellere yapışmama gibi özelliklere sahiptir. Ayrıca pürüzsüz yüzeyler ve yumuşak olmasından kaynaklı kullanım kolaylığı sağladığından dolayı bu kalıplama yöntemi tercih edildi.

Çekme ve üç nokta eğilme deneyleri için ASTM standartlarına uygun olarak oluşturulan tahta modeller, 170x20x30 mm boyutlarında bir kaba sabitlendi. Silikonun tahta modellere yapışmasını engellemek için yüzeylerine silikon ayırıcı sprey

sürülmüştür. Daha sonra sıvı halde bulunan RTV 2 kalıp silikonuna katalizör eklenerek iyice karıştırılıp, kapta bulunan modellerin üzerine döküldü. Daha sonra kalıp içine dökülecek epoksi/yumurta kabuğu karışımının daha sağlıklı üretilmesi ve numunede oluşabilecek hava boşluklarını önlemek için iki taraftan yolluk açıklığı kalıplarda oluşturuldu. Kalıpların katılaşması için oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı.

Kalıplar açılarak numunelerin üzerine dökülen sıvı silikon kuruduktan sonra içine konulan ahşap modeller hassas bir şekilde çıkartıldı. Kompozit malzemenin, deneylerde kullanılacak ASTM standartlarına uygun numuneler üretmek için hazırlanan silikon kalıplar Şekil 3.8' de gösterilmiştir.

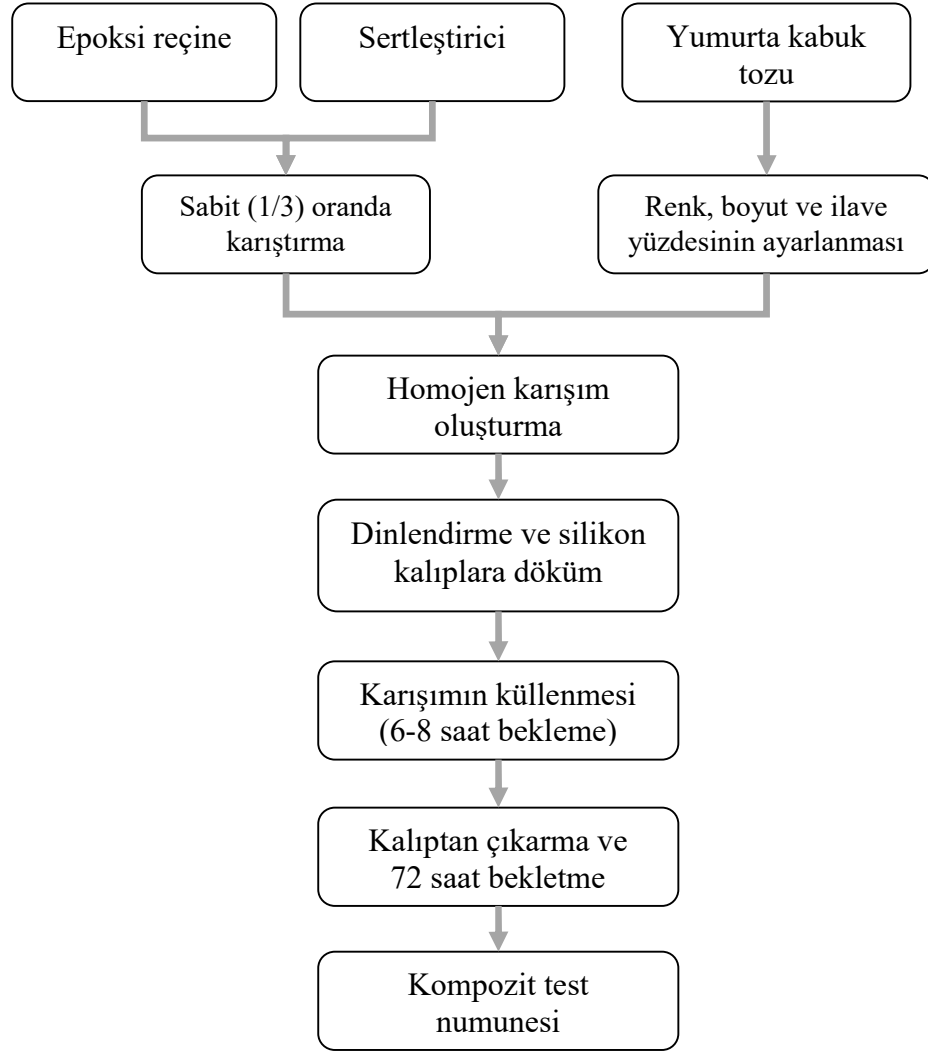


Şekil 3. 8. RTV 2 silikon kalıpları

### 3.5. Kompozit Numuneler Hazırlama

Epoksi ile sertleştirici oranı bütün numuneler için sabit tutularak ağırlıkça belirlenen %5, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında ve 106, 75, 63 mikron parçacık boyutlarında yumurta kabuğu tozu eklenmiş karışımlar oluşturulmuştur.





Şekil 3. 9. Kompozit numune üretim akış şeması

Yüzde oranlarında katılacak olan yumurta kabuğu tozunun gramajlarını hesaplamak için, ASTM standartlarına uygun hazırlanacak numunelerin hacimleri hesaplandı. Daha sonra oda şartlarındaki epoksi yoğunluğuyla çarpılarak toplam ağırlık hesaplandı. Saf epoksi ile üretilen, çekme deneylerinde kullanılacak olan, köpek kemiği şeklindeki numunenin ağırlığı 14.4 gram olarak hesaplandı. Üç nokta eğilme deneylerinde kullanılacak olan dikdörtgen kesitli numunenin ağırlığı ise 21.5 gram olarak ölçüldü. Bu ağırlık değerleri kullanılarak hem çekme hem de eğilme testleri için üçer tane numune üretildi. Bu numunelerin ağırlıklarının %5, %10, %20, %30 ve %40 yumurta kabuk tozu, ilave etmek için hesaplandı. Çekme ve üç nokta eğilme deneylerinde kullanılan birer adet numunelerin, ağırlıkça yüzdesine bağlı yumurta kabuğu tozu ilavesinin gramajları Tablo 3.5’ te verilmiştir.

**Tablo 3. 5.** Herhangi bir numune için gerekli olan yumurta kabuğu tozu miktarları

| Yapılan deneyler<br>Oranlar | Çekme deney numunesi<br>için kullanılan yumurta<br>kabuğu tozu (gram) | Üç nokta eğilme deney<br>numunesi için kullanılan<br>yumurta kabuğu tozu (gram) |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| %0                          | -                                                                     | -                                                                               |
| %5                          | 0.72                                                                  | 1.07                                                                            |
| %10                         | 1.44                                                                  | 2.15                                                                            |
| %20                         | 2.88                                                                  | 4.30                                                                            |
| %30                         | 4.32                                                                  | 6.45                                                                            |
| %40                         | 5.76                                                                  | 8.60                                                                            |
|                             | Toplam = 15.12 gr                                                     | Toplam = 22.57 gr                                                               |

İlk olarak 106 mikron parçacık boyutlu beyaz yumurta kabuğu tozu kullanılarak ağırlıkça %5, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında yumurta kabuğu tozu ilave edilmiş karışımlar yapılmıştır. Oluşturulan bu karışımın, homojen bir karışım olması için ortalama 6 dakika boyunca tahta kaşık yardımıyla karıştırılmıştır. Karışımda oluşan hava kabarcıklarını, en aza indirmek için 5 dakika bekletilmiştir. RTV2 silikon kalıpların içine, elde edilen karışımın yapışmasını engellemek ve rahat bir şekilde numunenin çıkarttırılması için kalıp ayırıcı sprey sürülmüştür. Daha sonra hava kabarcıklarını azaltmak için dinlenmeye bırakılan karışım, RTV 2 silikon kalıplara dökülmüştür. Karışımın küllenmesi için 6-8 saat bekletilmiştir ve daha sonra kalıplardan çıkartılan numunelerin sertleşmesi için en az 72 saat bekletilmiştir.

Şekil 3.10' de 106 mikron parçacık boyutundaki, beyaz yumurta kabuğu tozu ilave edilmiş ve saf epoksi ile hazırlanmış kompozit numuneler verilmiştir. Diğer parçacık boyutları için aynı işlemler tekrarlanmıştır. Daha sağlıklı değerler elde etmek için çekme ve üç nokta eğilme deneylerinde kullanmak üzere üçer adet numune üretilmiştir.



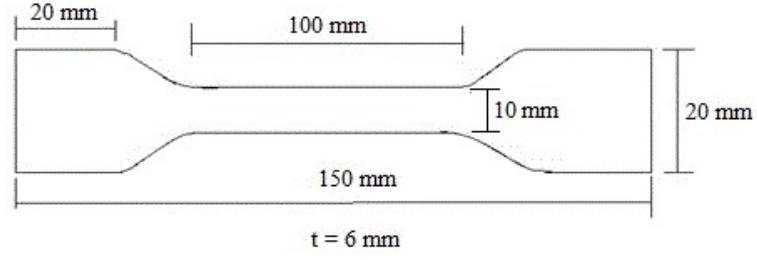
Şekil 3. 10. Çekme ve üç nokta eğilme deneyleri için üretilen bazı numuneler

### 3.6. Deneysel Prosedür

Epoksi reçineye 106, 75, 63 mikron parçacık boyutunda, beyaz ve kahverengi yumurta kabuğu tozu ağırlıkça %0, %5, %10, %20, %30, %40 oranlarında eklenerek kompozit test numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler üç nokta eğilme ve çekme testlerine maruz bırakılarak mekanik özellikleri incelendi. Maksimum çekme kuvveti, çekme gerilme değerleri, eğilme kuvveti ve eğilme dayanımları incelendi. Daha sağlıklı sonuçlar elde etmek adına her bir parametreye ait üçer adet numune üretilip test edildi. Test edilen her üç numunenin ortalama değerleri hesaplandı.

#### 3.6.1. Çekme Deneyi

Çekme deneyleri, ASTM D3039-76' ya standardına göre gerçekleştirilmiştir. En yaygın kullanılan köpek kemiğine benzer şekilde çekme deneyi numunelerinin boyutu ve geometrisi Şekil 3.11' de verilmiştir. RTV 2 silikon kalıplara dökümle elde edilen numunenin uzunluğu 150 mm, kalınlığı (t) ise 6 mm olarak imal edildi.

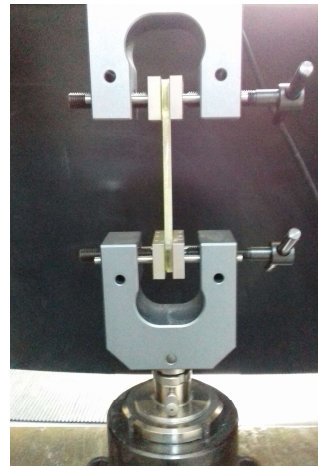


Şekil 3. 11. Çekme deney numunesinin geometrisi

Çekme testi için üretilen numunelerin bir örneği Şekil 3.12’ de görülmektedir. Üretimi gerçekleştirilen numunelerin çekme testleri Şekil 3.13’da gösterilen 250 kN yük hücreli Shimadzu Marka Üniversal Çekme Test Cihazı kullanılarak 0.5 mm/dakika cihaz çene hızında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 12. Çekme testi için üretilen kompozit numune



Şekil 3. 13. Üniversal çekme cihazı ve bağlanmış numune

Çekme testleri sonrasında numunelerin gerilme ( $\sigma_{\text{çekme}}$ ) değerleri denklem 3.1 kullanılarak bulunmuştur.

$$\sigma_{\text{çekme}} = \frac{F}{A} \quad 3.1$$

$F$  maksimum kuvvet ve  $A$  kesit alanıdır.

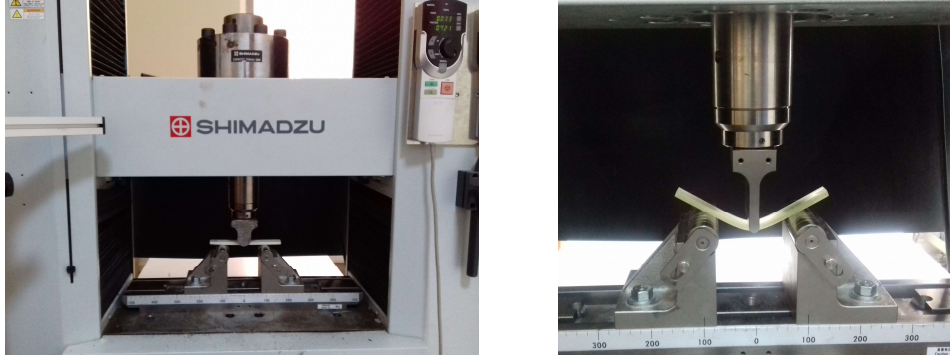
### 3.6.2. Üç Nokta Eğilme Deneyi

Üç nokta eğilme deneyleri, ASTM D2344-84 standartlarına uygun olarak Shimadzu Markalı 'Üniversal Cihazı' nda gerçekleştirildi. Üç nokta eğilme testi için 150x20x6 mm boyutlarında, saf epoksi ve farklı oranlarda yumurta kabuğu tozu ile epoksi karışımdan elde edilen kompozit numunelerin bir örneği Şekil 3. 14' te verilmiştir.



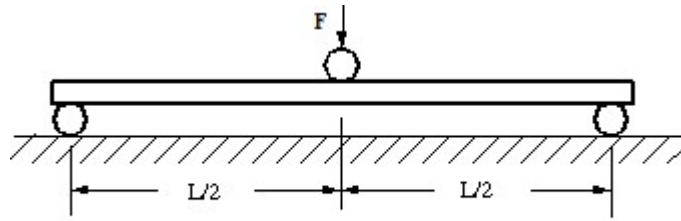
Şekil 3. 14. Üç nokta eğilme testi için üretilen örnek bir kompozit numune

Üç nokta eğilme testlerini gerçekleştirmek için test aparatının iki destek arası açıklık 100 mm olarak ayarlandı. Daha sonra RTV 2 silikon kalıba döküm yoluyla elde edilen 150x20x6 mm' lik dikdörtgen kesitli numune iki destek üzerine ortalanarak yerleştirildi. Şekil 3.15' de üç nokta eğilme testi için numunenin yükleme biçimi ve test aparatı gösterilmiştir.



Şekil 3. 15. Üniversal üç nokta eğilme cihazı ve bağlanmış numune

Alt çeneye yerleştirilen dikdörtgen kesitli kompozit numuneye ortasından eğilme kuvveti uygulandı. Uygulanan kuvvetin etkisi altında kompozit numunede eğilme meydana gelmiştir (Şekil 3.15). Eğilmeye başlayan kompozit numune, maksimum eğilme değerine ulaştığında kopma gerçekleşmiştir. Eğilme testleri, alt çeneler arasındaki açıklık 100 mm ve 0.5 mm/dakika cihaz çene hızında ASTM standartlarına göre gerçekleştirildi. Her bir test seti için üç numune üretilip test edildi. Test edilen üç numunenin maksimum eğilme kuvvetlerin ortalaması hesaplandı. Numunelerin yükleme biçimi Şekil 3.16’ da verilmiştir.



Şekil 3. 16. Üç nokta bükme deney düzeneği

Üç nokta bükme testlerinde eğilme gerilme ( $\sigma_{\text{eğilme}}$ ) değerleri denklem 3.2 kullanılarak bulunmuştur.

$$\sigma_{\text{eğilme}} = \frac{3FL}{2bt^2} \quad 3.2$$

Bu denklemde  $F$  maksimum kuvvet,  $L$  alt destekler arasındaki mesafe,  $b$  numune genişliği,  $t$  ise kalınlığıdır.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, epoksi reçineye ağırlıkça %0, %5, %10, %20, %30, %40 oranlarında 106, 75, 63 µm parçacık boyutunda yumurta kabuğu takviyeli kompozitlerin parçacık boyutları, kabuk rengi ve ağırlıkça yüzde oranı değişkenlerine bağlı numuneler üretilip, test edilmiştir.

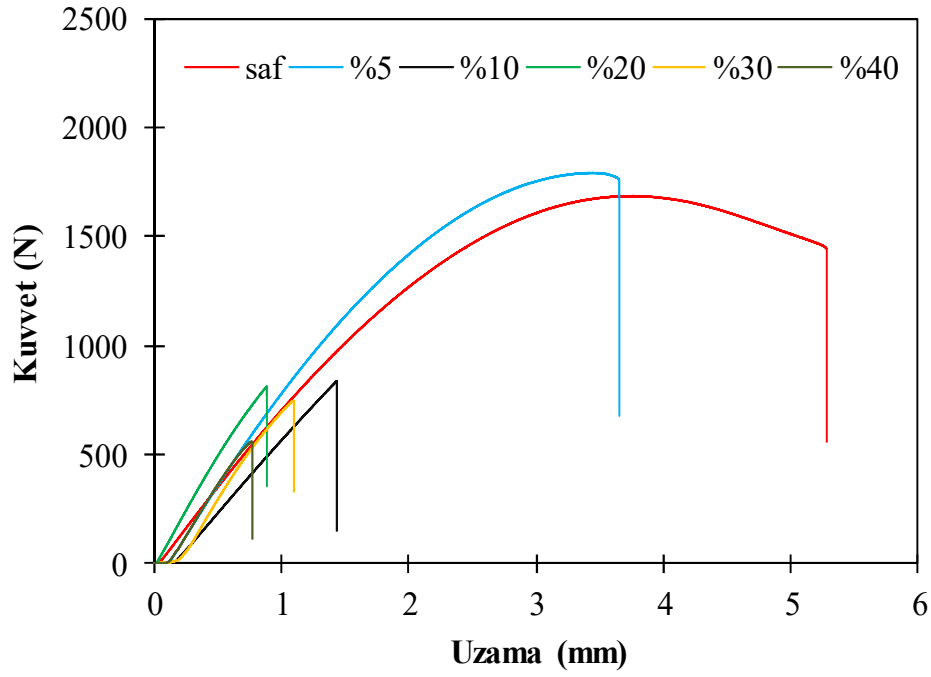
İlk olarak, sade (%0 katkı oranı) reçine numunelerin testleri yapıldı. Daha sonra 106, 75 ve 63 mikron parçacık boyutundaki beyaz ve kahverengi yumurta kabuğu tozu takviyeli kompozit numunelerin ağırlıkça yüzdesinin (%5, %10, %20, %30, %40) mekanik dayanıma etkisini incelemek için testler yapıldı. Böylece yumurta kabuğu tozunun rengi ve parçacık boyutunun etkisi çekme ve üç nokta eğilme deneyleri ile incelendi. Tüm durumlar için elde edilen sonuçlar hem kendi aralarında hem de birbirleri ile karşılaştırıldı.

##### 4.1. Çekme Deneyleri

Sağlıklı sonuçlar elde etmek için her bir parametreye bağlı deney setinde kullanılmak üzere üç numune üretildi. Sonrasında bu numuneler universal çekme cihazıyla test edildi. Testlere tabi tutulan yumurta kabuğu takviyeli kompozit numuneler, kopma işlemi gerçekleşene kadar yüklemeye maruz bırakıldı. Her bir parametreye bağlı üretilen numunelerin test sonucu elde edilen maksimum çekme kuvvet ve gerilmeleri hesaplandı.

##### 4.1.1. Yumurta Kabuğu Tozunun (YKT) Ağırlık Oranlarının İncelenmesi

Reçineye 106, 75 ve 63 mikron parçacık boyutlarında ki beyaz yumurta kabuğu tozunun %0, %5, %10, %20, %30 ve %40 ağırlık oranlarında eklenmesi ile numuneler üretilmiştir. Numuneler çekme testlerine maruz bırakılarak parçacık boyutu ve kabuk rengi sabit tutularak ilave edilen kabuk tozunun yüzde ağırlık etkisi incelenmiştir. Beyaz YKT takviyeli numunelerin çekme test sonuçları Tablo 4.1' de sunulmuştur. Testler sonucunda, ağırlıkça %5 oranı ile yumurta kabuğu tozu ilave edilerek hazırlanan kompozit numunelerde maksimum kuvvet ve gerilme değerleri tespit edilmiştir. En düşük değerler ise %40 ağırlık oranı ile üretilen numuneler için elde edilmiştir.



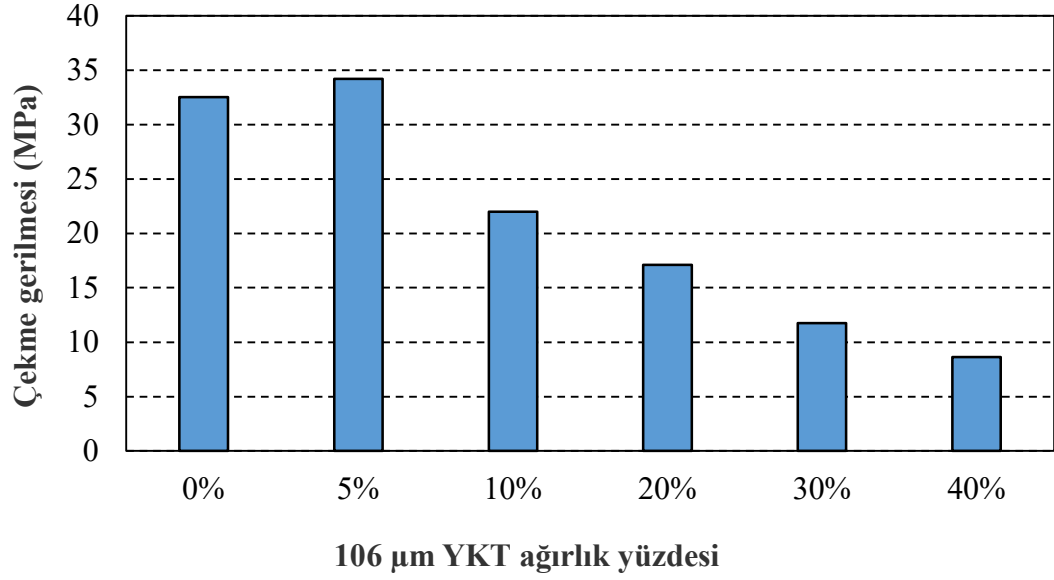
Şekil 4. 1. 106 µm YKT ağırlık yüzdesine bağlı kuvvet-uzama eğrileri

Tablo 4. 1. 106 µm YKT ağırlık oranına bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri

| Yumurta kabuğu tozunun ağırlık yüzdesi | Maksimum çekme kuvveti (N) | Çekme gerilmesi (MPa) |
|----------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| %0 (Saf epoksi)                        | 1660.26                    | 32.55                 |
| %5                                     | 1744.58                    | 34.21                 |
| %10                                    | 1121.73                    | 21.99                 |
| %20                                    | 872.37                     | 17.10                 |
| %30                                    | 600.10                     | 11.78                 |
| %40                                    | 441.66                     | 8.65                  |

Elde edilen test sonuçlarının daha iyi yorumlanabilmesi için Şekil 4. 1 ve Şekil 4.2' de verilen grafikler oluşturulmuştur. Ağırlık yüzdesine bağlı ilave edilen kabuk tozu oranı %0' dan %5' e artırılırken, çekme gerilmesi değerlerinde artış görülmektedir. Ancak yumurta kabuğu tozu oranı %5' ten %40' a doğru artırıldığında çekme gerilmesi değerlerinde kademeli olarak düşüşler olmuştur. Yumurta kabuğu tozunun ağırlık yüzdesine bağlı çekme gerilme değerlerindeki değişimi Şekil 4.2' de sunulmuştur.





**Şekil 4. 2.** 106 µm YKT ağırlık yüzdesine bağlı çekme gerilme değerleri

İlave edilen YKT oranı %5' ten fazla eklendiğinde kompozit numunelerde gevrek bir yapı oluşmasına neden olmuştur. Ve bundan dolayı saf epoksi ile üretilip test edilen numunelerin çekme gerilme değerlerinden daha düşük çekme gerilme değerleri gözlemlenmiştir. Maksimum çekme kuvvetlerindeki bu değişim, epoksi ile yumurta kabuk tozunu bir arada tutan bağlayıcı kuvvetin, artan yumurta kabuk tozu ile zayıf kalmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).

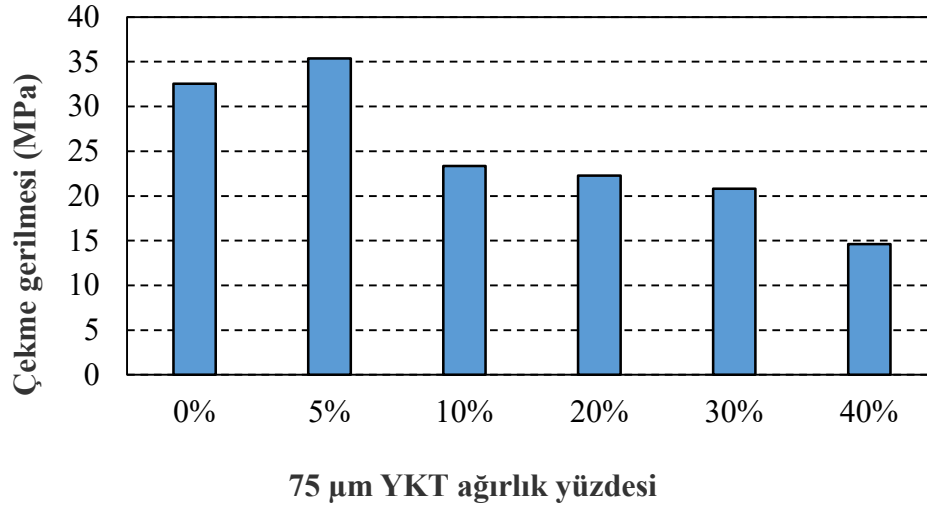
**Tablo 4. 2.** 75 µm YKT ağırlık oranına bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri

| Yumurta kabuğu tozunun ağırlık yüzdesi | Maksimum çekme kuvveti (N) | Çekme gerilmesi (MPa) |
|----------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| %0 (Saf epoksi)                        | 1660.26                    | 32.55                 |
| %5                                     | 1905.00                    | 37.35                 |
| %10                                    | 1192.03                    | 23.37                 |
| %20                                    | 1136.72                    | 22.28                 |
| %30                                    | 1061.60                    | 20.81                 |
| %40                                    | 744.53                     | 14.60                 |

Hazırlanan 75 µm parçacık boyutunda ki YKT takviyeli kompozit numunelerin çekme test sonuçları Tablo 4.2' de sunulmuştur. Elde edilen test sonuçlarında

maksimum çekme kuvveti ve gerilme değeri, YKT %5 ağırlık takviyesi oranında ve maksimum çekme kuvveti 1905.00 N, maksimum çekme gerilme değeri 37.35 MPa elde edildi.

75  $\mu$ m yumurta kabuğu tozunun ağırlık yüzdesine bağlı çekme gerilme değerlerindeki değişimin daha iyi yorumlanması için Şekil 4.3' te gösterilen grafik oluşturulmuştur.



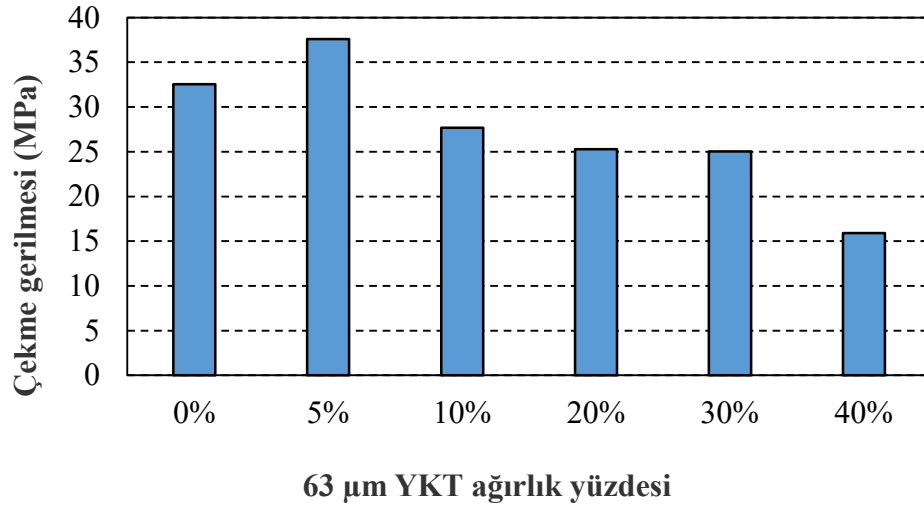
Şekil 4. 3. 75  $\mu$ m YKT ağırlık yüzdesine bağlı çekme gerilme değerleri

75  $\mu$ m parçacık boyutunda YKT takviyeli kompozit numunelerin çekme test sonuçları Tablo 4.3' te verilmiştir.

**Tablo 4. 3.** 63 µm YKT ağırlık oranına bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri

| Yumurta kabuğu tozunun ağırlık yüzdesi | Maksimum çekme kuvveti (N) | Çekme gerilmesi (MPa) |
|----------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| %0 (Saf epoksi)                        | 1660.26                    | 32.55                 |
| %5                                     | 1918.36                    | 37.61                 |
| %10                                    | 1411.72                    | 27.68                 |
| %20                                    | 1302.55                    | 25.30                 |
| %30                                    | 1277.34                    | 25.04                 |
| %40                                    | 811.09                     | 15.90                 |

Maksimum çekme kuvveti 1918.36 N, maksimum çekme gerilme değeri 37.61 MPa olarak, yumurta kabuk tozunun 63 µm boyutunda ve %5 ağırlık takviyesinde elde edildi.

**Şekil 4. 4.** 63 µm YKT ağırlık yüzdesine bağlı çekme gerilme değerleri

Epoksi reçineye 106, 75 ve 63 mikron parçacık boyutlarındaki YKT takviyesinin ağırlık oranlarının etkisi incelendi. Yapılan çekme test sonuçlarına göre, üç farklı parçacık boyutundaki numunelerin maksimum çekme kuvveti ve gerilme değerleri, YKT %5 ağırlık oranında ilavesinde elde edilmiştir.

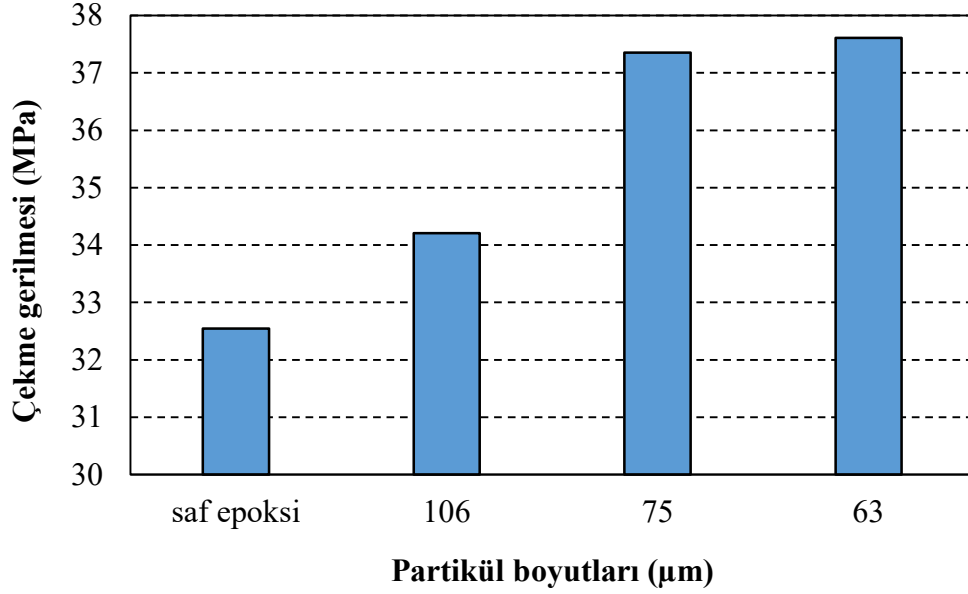
#### 4.1.2. Yumurta Kabuğu Tozunun Parçacık Boyutunun İncelenmesi

Kompozit numunenin maksimum çekme gerilme değerlerini, daha önce yumurta kabuk tozunun %5 ağırlık oranında ilavesinde elde edilmişti. Burada yumurta kabuk tozunun rengi ve ağırlık yüzdesi sabit tutularak, mikron metre seviyesinde ki boyutları incelenmiştir. Epoksi reçineye, ağırlıkça %5 oranında 106  $\mu\text{m}$ , 75  $\mu\text{m}$  ve 63  $\mu\text{m}$  parçacık boyutlarındaki yumurta kabuğu tozu eklenen numuneler karşılaştırıldı. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.4' te sunulmuştur.

**Tablo 4. 4.** %5 YKT boyutuna bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri

| Parçacık boyutu<br>( $\mu\text{m}$ ) | Maksimum çekme kuvveti<br>(N) | Çekme gerilme değerleri<br>(MPa) |
|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Saf epoksi                           | 1660.26                       | 32.55                            |
| 106                                  | 1744.58                       | 34.21                            |
| 75                                   | 1905.00                       | 37.35                            |
| 63                                   | 1918.36                       | 37.61                            |

Yapılan çekme testlerinde maksimum gerilme değerleri, yumurta kabuğu tozunun, %5 ağırlık ilavesi ve 63  $\mu\text{m}$  boyuta sahip olan numunelerde elde edildiği Şekil 4.5' te gösterilmiştir. Ayrıca kabuk tozunun boyutu küçüldükçe gerilme değerlerinin kademeli olarak arttığı görülmüştür (Şekil 4.5). Tüm kabuk tozu boyutları kullanılarak üretilen numunelerin testi sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin saf epoksi reçine kullanılarak üretilen numunelerin test sonuçlarından daha yüksek elde edildiği görülmüştür.



**Şekil 4. 5.** %5 takviyeli YKT boyutuna bağlı çekme gerilme değerleri

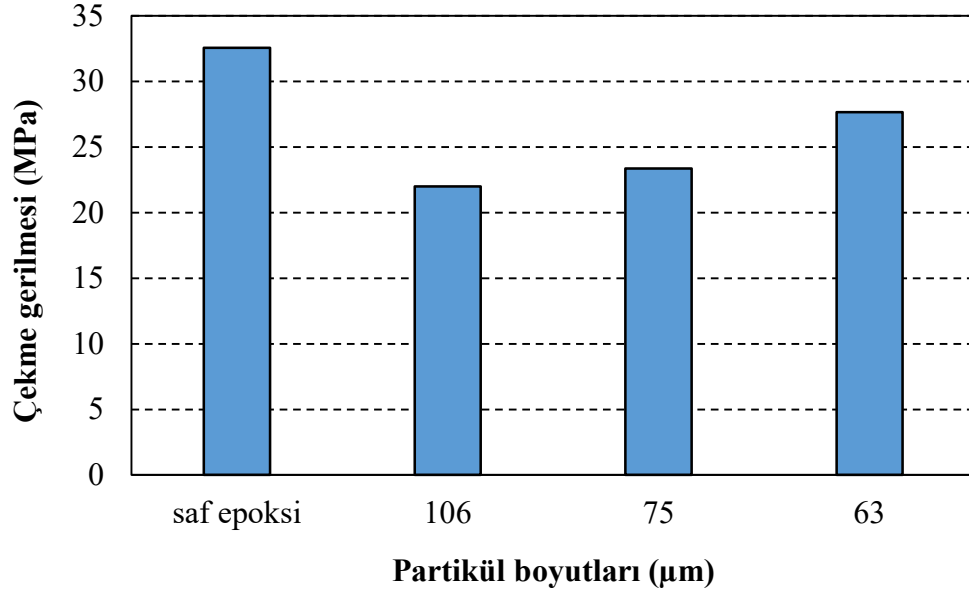
Yumurta kabuğu tozu takviyeli kompozit numunelerde, parçacık boyutunun küçülmesi, epoksi reçine ile yumurta kabuk tozu arasında daha iyi bir ara yüz oluşturmaya ve kavramasına olanak sağlamıştır. Tüm yumurta kabuk tozu boyutları kullanılarak üretilen numunelerin testi sonrasında elde edilen çekme gerilme değerlerinin, saf epoksi reçine kullanılarak üretilen numunelerin test sonuçlarından daha yüksek elde edildiği görülmüştür.

Farklı yüzde ağırlık oranlarında YKT takviyeli kompozit numunelerin çekme test sonuçları aşağıda detaylı olarak sunulmuştur.

Kompozit numunelere ağırlıkça %10 YKT takviyesinde, farklı boyutlardaki yumurta kabuk tozunun çekme gerilme değerleri Tablo 4.5 ve çekme gerilme değerleri grafiği Şekil 4.6' da verilmiştir.

**Tablo 4. 5.** %10 YKT boyutuna bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri

| Parçacık boyutu<br>(µm) | Maksimum çekme kuvveti<br>(N) | Çekme gerilme değerleri<br>(MPa) |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Saf epoksi              | 1660.26                       | 32.55                            |
| 106                     | 1121.73                       | 21.99                            |
| 75                      | 1192.03                       | 23.37                            |
| 63                      | 1411.72                       | 27.68                            |

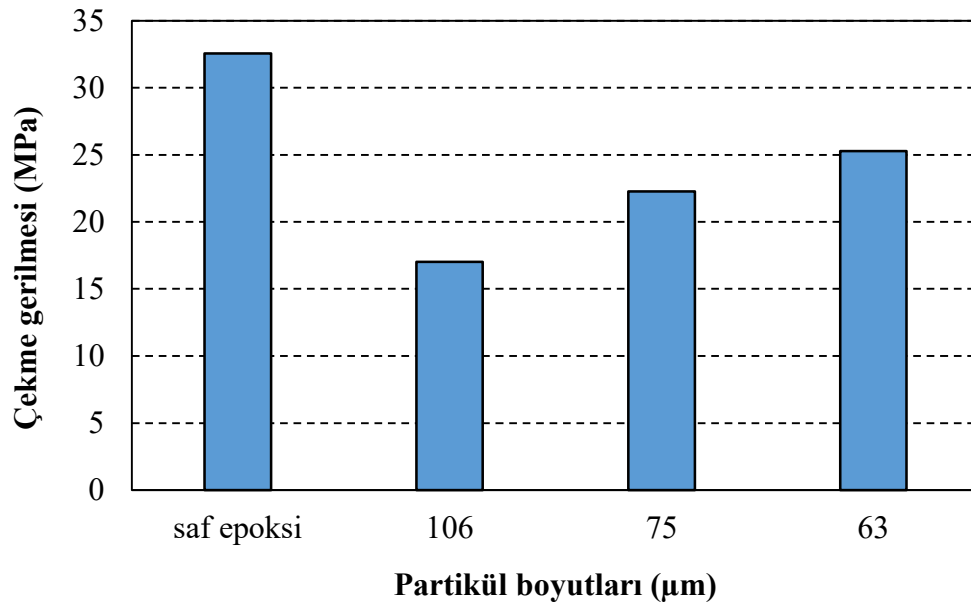


**Şekil 4. 6.** %10 takviyeli YKT boyutuna bağlı çekme gerilme değerleri

Kompozit numunelere ağırlıkça %20 YKT takviyesinde, farklı boyutlardaki yumurta kabuk tozunun çekme gerilme değerleri Tablo 4.6 ve çekme gerilme değerleri grafiği Şekil 4.7’ de verilmiştir.

**Tablo 4. 6.** %20 YKT boyutuna bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri

| Parçacık boyutu<br>(µm) | Maksimum çekme kuvveti<br>(N) | Çekme gerilme değerleri<br>(MPa) |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Saf epoksi              | 1660.26                       | 32.55                            |
| 106                     | 872.37                        | 17.10                            |
| 75                      | 1136.72                       | 22.28                            |
| 63                      | 1302.55                       | 25.30                            |

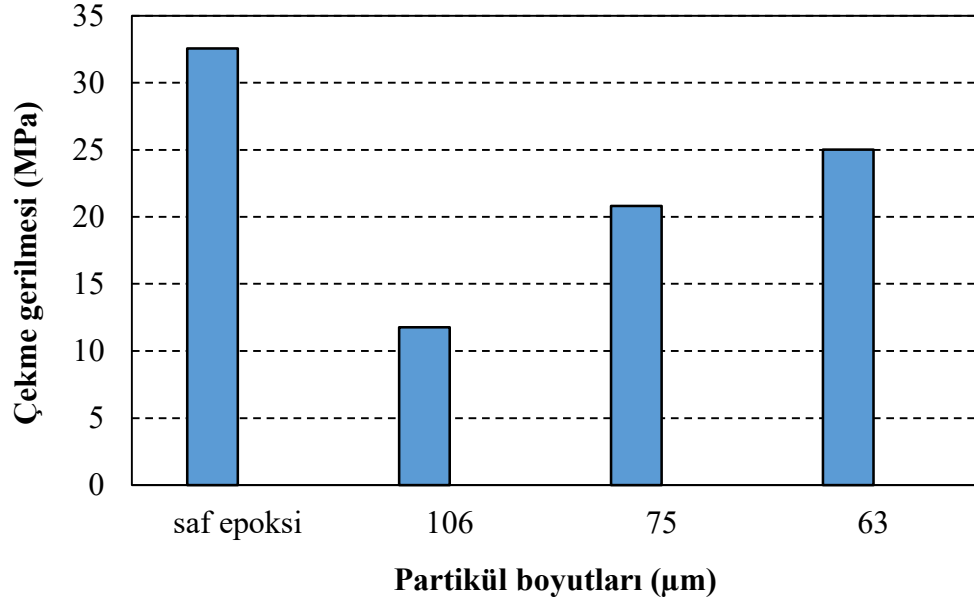


Şekil 4. 7. %20 takviyeli YKT boyutuna bağlı çekme gerilme değerleri

Kompozit numunelere ağırlıkça %30 YKT takviyesinde, farklı boyutlardaki yumurta kabuk tozunun çekme gerilme değerleri Tablo 4.7 ve çekme gerilme değerleri grafiği Şekil 4.8’ de verilmiştir.

Tablo 4. 7. %30 YKT boyutuna bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri

| Parçacık boyutu<br>(µm) | Maksimum çekme kuvveti<br>(N) | Çekme gerilme değerleri<br>(MPa) |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Saf epoksi              | 1660.26                       | 32.55                            |
| 106                     | 600.10                        | 11.78                            |
| 75                      | 1061.60                       | 20.81                            |
| 63                      | 1277.34                       | 25.04                            |



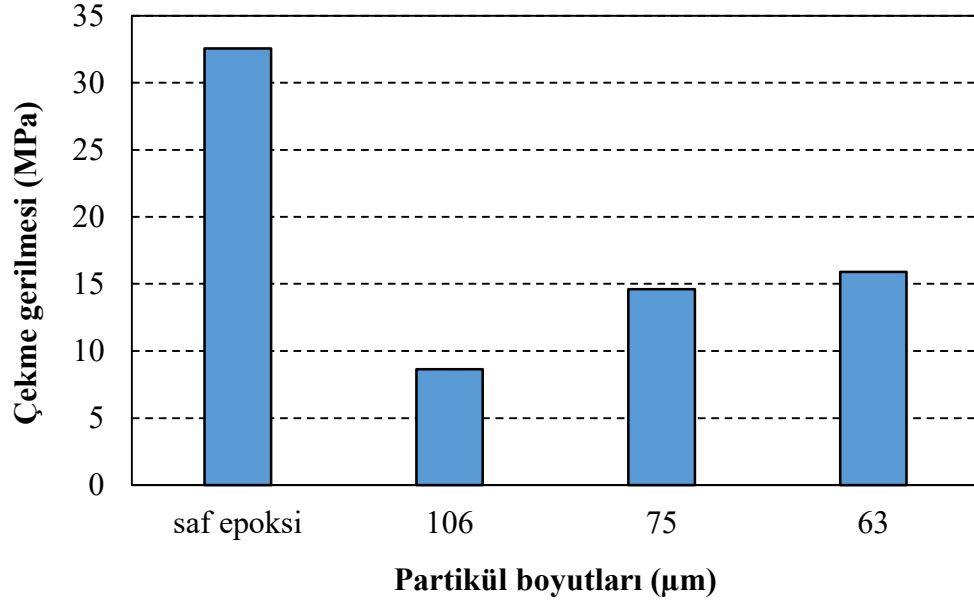
**Şekil 4. 8.** %30 takviyeli YKT boyutuna bağlı çekme gerilme değerleri

Kompozit numunelere ağırlıkça %40 YKT takviyesinde, farklı boyutlardaki yumurta kabuk tozunun çekme gerilme değerleri Tablo 4.8 ve çekme gerilme değerleri grafiği Şekil 4.9’ da verilmiştir.

**Tablo 4. 8.** %40 YKT boyutuna bağlı çekme kuvveti ve gerilme değerleri

| Parçacık boyutu<br>(µm) | Maksimum çekme kuvveti<br>(N) | Çekme gerilme değerleri<br>(MPa) |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Saf epoksi              | 1660.26                       | 32.55                            |
| 106                     | 441.66                        | 8.65                             |
| 75                      | 744.53                        | 14.60                            |
| 63                      | 811.09                        | 15.9                             |





Şekil 4. 9. %40 takviyeli YKT boyutuna bağlı çekme gerilme değerleri

Farklı ağırlık yüzdelerinde YKT ile güçlendirilmiş kompozit numunelerin tümünde, yumurta kabuk tozunun parçacık boyutu küçüldükçe çekme gerilme değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

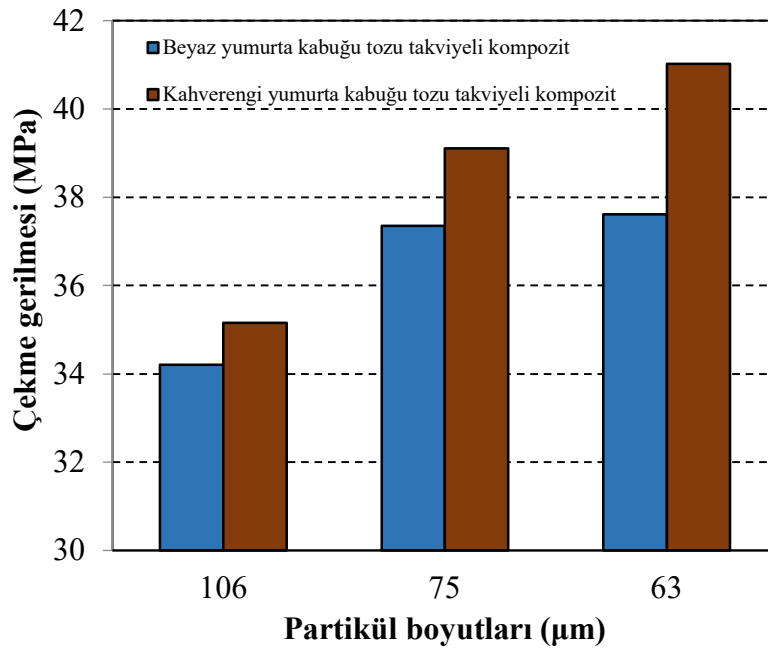
#### 4.1.3. Yumurta Kabuğu Tozunun Renginin İncelenmesi

Epoksi reçineye %5 ağırlık oranında yumurta kabuk tozu eklenen numunelerde maksimum çekme değerleri elde edilmişti. Buna bağlı olarak kompozit numuneye eklenen yumurta kabuk tozunun ağırlık yüzdesi sabit tutuldu. Ve aynı parçacık boyuta sahip yumurta kabuk tozu takviyeli numuneler, takviye edilen yumurta kabuk toz rengine göre karşılaştırıldı. Kompozit numuneye takviye edilen beyaz ve kahverengi yumurta kabuk tozları karşılaştırıldığında, kahve renkli olan YKT takviyeli numunelerde çekme kuvveti ve gerilme değerleri daha yüksek elde edilmiştir. Beyaz ve kahverengi YKT takviyeli numunelere ait maksimum çekme kuvveti ve gerilme değerleri Tablo 4.3' te gösterilmiştir.

**Tablo 4. 9.** %5 takviyeli YKT boyut ve renge bağı çekme gerilme değerleri

| Parçacık boyutu<br>( $\mu\text{m}$ ) | Beyaz YKT takviyeli<br>numunelerin gerilme<br>değerleri<br>(MPa) | Kahverengi YKT<br>takviyeli numunelerin<br>gerilme değerleri (MPa) |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 106                                  | 34.21                                                            | 35.15                                                              |
| 75                                   | 37.35                                                            | 39.11                                                              |
| 63                                   | 37.61                                                            | 41.02                                                              |

Yapılan çekme testlerinde elde edilen, beyaz ve kahverengi YKT takviyeli kompozit numuneler kıyaslandığında, en yüksek çekme gerilme değeri 63  $\mu\text{m}$  boyutunda kahverengi YKT takviyeli kompozit numunelerde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.3). En düşük çekme gerilme değeri ise 106  $\mu\text{m}$  boyutunda beyaz YKT takviyeli kompozit numunelerde olduğu görülmektedir.

**Şekil 4. 10.** %5 takviyeli YKT boyut ve renge bağı çekme gerilme değerleri

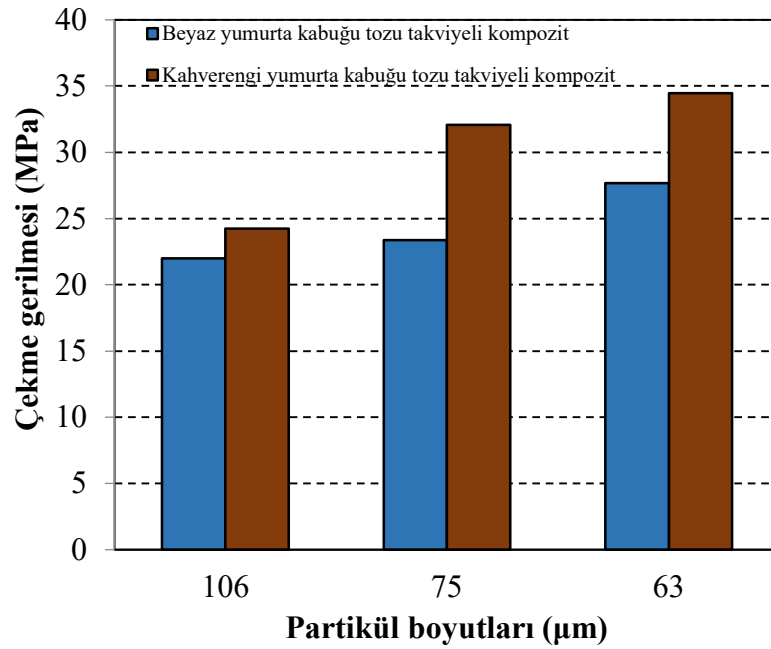
Sabit ağırlık oranında beyaz ve kahverengi YKT takviyeli kompozit numuneler incelendiğinde, kahverengi YKT içeren kompozit numuneler, beyaz YKT takviyeli

kompozit numunelere göre daha yüksek çekme gerilme değerleri elde edilmiştir. Kompozit numuneye eklenen YKT takviyesinin %10, %20, %30 ve %40 ağırlık yüzdelerinde çekme gerilme değerlerinde elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde aşağıda sunulmuştur.

Kompozit numunelere ağırlıkça %10 YKT takviyesinde, YKT boyutu ve toz rengine bağlı çekme gerilme değerleri Tablo 4.10 ve çekme gerilme değerleri grafiği Şekil 4.11’ de verilmiştir.

**Tablo 4. 10.** %10 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı çekme gerilme değerleri

| Parçacık boyutu<br>( $\mu\text{m}$ ) | Beyaz YKT takviyeli<br>numunelerin gerilme<br>değerleri<br>(MPa) | Kahverengi YKT<br>takviyeli numunelerin<br>gerilme değerleri<br>(MPa) |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 106                                  | 21.99                                                            | 24.23                                                                 |
| 75                                   | 23.37                                                            | 32.07                                                                 |
| 63                                   | 27.68                                                            | 34.45                                                                 |

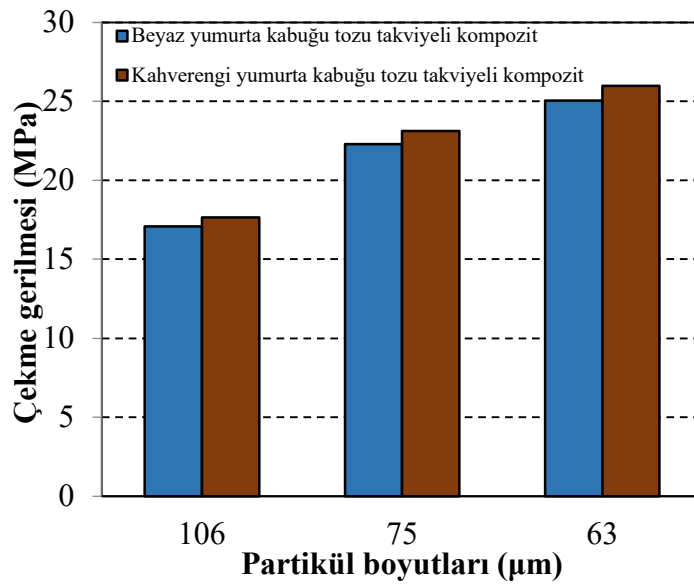


**Şekil 4. 11.** %10 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı çekme gerilme değerleri

Kompozit numunelere ağırlıkça %20 YKT takviyesinde, YKT boyutu ve toz rengine bağlı çekme gerilme değerleri Tablo 4.11 ve çekme gerilme değerleri grafiği Şekil 4.12’ de verilmiştir.

**Tablo 4. 11.** %20 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı çekme gerilme değerleri

| Parçacık boyutu<br>( $\mu\text{m}$ ) | Beyaz YKT takviyeli<br>numunelerin gerilme<br>değerleri<br>(MPa) | Kahverengi YKT<br>takviyeli numunelerin<br>gerilme değerleri<br>(MPa) |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 106                                  | 17.10                                                            | 17.66                                                                 |
| 75                                   | 22.28                                                            | 23.12                                                                 |
| 63                                   | 25.04                                                            | 25.97                                                                 |

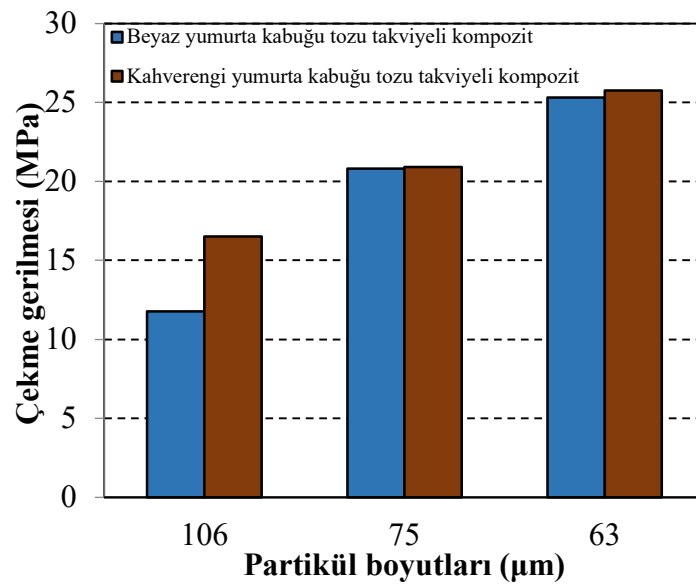


**Şekil 4. 12.** %20 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı çekme gerilme değerleri

Kompozit numunelere ağırlıkça %30 YKT takviyesinde, YKT boyutu ve toz rengine bağlı çekme gerilme değerleri Tablo 4.12 ve çekme gerilme değerleri grafiği Şekil 4.13’ te verilmiştir.

**Tablo 4. 12.** %30 takviyeli YKT boyut ve renge bağı çekme gerilme değerleri

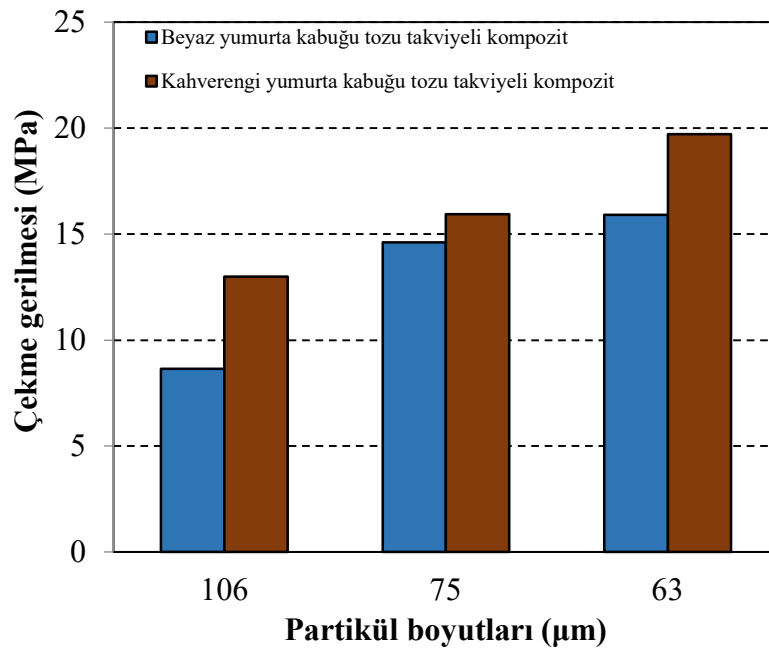
| Parçacık boyutu<br>( $\mu\text{m}$ ) | Beyaz YKT takviyeli<br>numunelerin gerilme<br>değerleri<br>(MPa) | Kahverengi YKT<br>takviyeli numunelerin<br>gerilme değerleri<br>(MPa) |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 106                                  | 11.78                                                            | 16.50                                                                 |
| 75                                   | 20.81                                                            | 20.91                                                                 |
| 63                                   | 25.30                                                            | 25.75                                                                 |

**Şekil 4. 13.** %30 takviyeli YKT boyut ve renge bağı çekme gerilme değerleri

Kompozit numunelere ağırlıkça %40 YKT takviyesinde, YKT boyutu ve toz rengine bağı çekme gerilme değerleri Tablo 4.13 ve çekme gerilme değerleri grafiği Şekil 4.14' te verilmiştir.

**Tablo 4. 13.** %40 takviyeli YKT boyut ve renge bağı çekme gerilme değerleri

| Parçacık boyutu<br>( $\mu\text{m}$ ) | Beyaz YKT takviyeli<br>numunelerin gerilme<br>değerleri<br>(MPa) | Kahverengi YKT<br>takviyeli numunelerin<br>gerilme değerleri<br>(MPa) |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 106                                  | 8.65                                                             | 12.99                                                                 |
| 75                                   | 14.60                                                            | 15.94                                                                 |
| 63                                   | 15.90                                                            | 19.71                                                                 |

**Şekil 4. 14.** %40 takviyeli YKT boyut ve renge bağı çekme gerilme değerleri

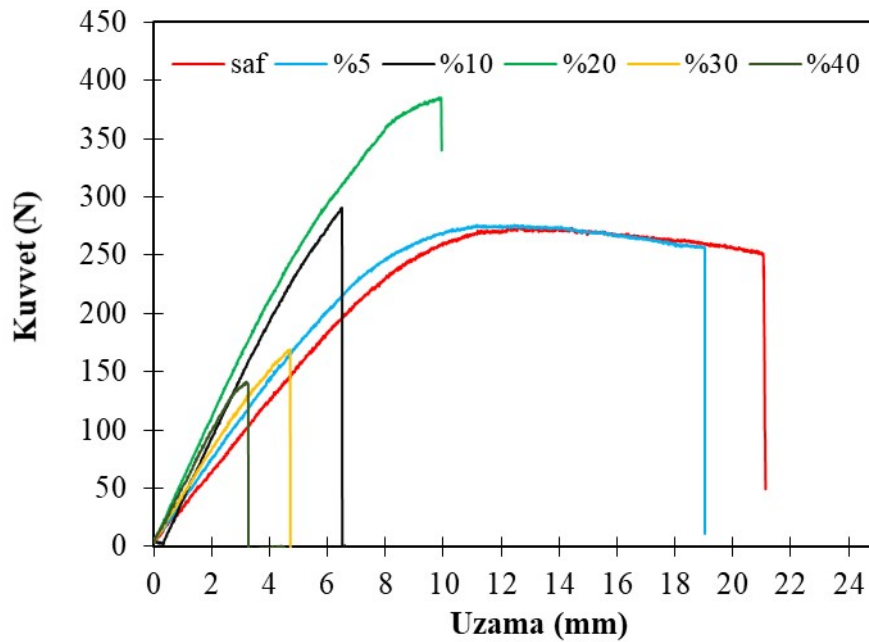
Farklı boyut ve yüzde ağırlık oranlarında takviye edilen kahverengi YKT, beyaz YKT takviyeli kompozit numunelere göre daha yüksek çekme gerilme değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Kahverengi YKT ile epoksi reçine arasında daha iyi bir ara yüz olduğu ve buna bağı olarak daha iyi çekme dayanımına sahip olduğunu göstermektedir.

## 4.2. Üç Nokta Eğilme Deneyi

Eğilme gerilmelerini hesaplamak için ASTM standartlarına uygun üretilen numuneler üç nokta eğilme testlerine tabi tutulup, maksimum kuvvet değerleri incelendi. Öncelikle yumurta kabuk tozunun rengi ve parçacık boyutu sabit tutularak, kompozit numuneye yumurta kabuk tozunun ağırlıkça yüzde ilavesi incelendi. Daha sonra maksimum eğilme gerilmesinin elde edildiği YKT takviye yüzdesi ve rengi sabit tutularak, eklenen YKT boyutu incelendi. En son olarak maksimum eğilme gerilmesinin elde edildiği YKT takviye yüzdesi sabit tutulup, YKT renginin etkisi araştırıldı.

### 4.2.1. Yumurta Kabuğu Tozunun Ağırlık Oranının İncelenmesi

Testlere tabi tutulan kompozit numunelerin, takviye edilen yumurta kabuk tozunun rengi ve boyutu sabit tutuldu. Kompozit numuneye ilave edilen yumurta kabuk tozunun ağırlık yüzdesi araştırıldı. Ve saf epoksi ile üretilen numunelerin test sonuçlarıyla karşılaştırıldı. Epoksi reçineye, 106  $\mu\text{m}$  boyutundaki beyaz yumurta kabuğu tozu ağırlıkça %0, %5, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında ilave edilerek üç nokta eğilme testleri gerçekleştirilmiştir. Test edilen numunelerin maksimum kuvvet ve eğilme dayanımları Tablo 4.14’ te gösterilmiştir.

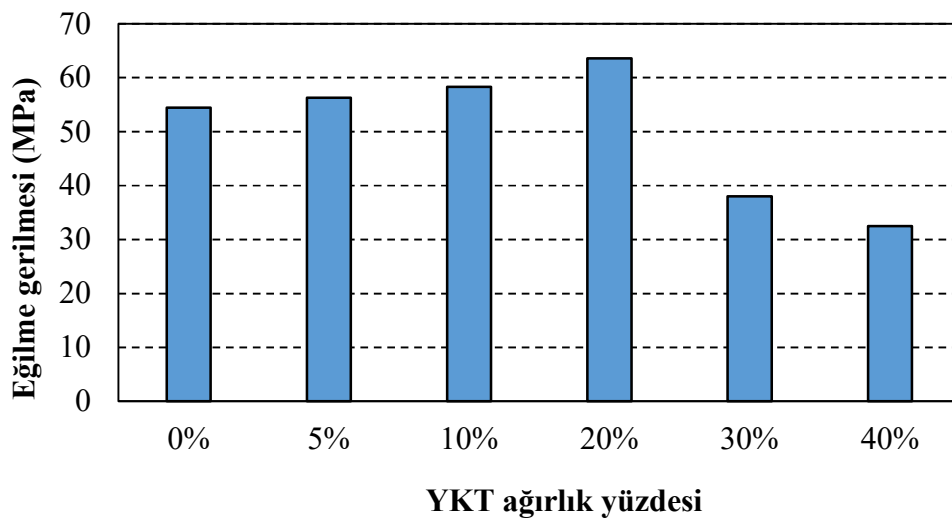


Şekil 4. 15. 106  $\mu\text{m}$  YKT ağırlık yüzdesine bağlı kuvvet-uzama eğrileri

**Tablo 4. 14.** 106 µm YKT yüzdesine bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri

| Yumurta kabuğu<br>tozunun ağırlık yüzdesi | Maksimum eğilme<br>kuvveti<br>(N) | Eğilme dayanımı<br>(MPa) |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| %0 (Saf epoksi)                           | 261.43                            | 54.46                    |
| %5                                        | 270.02                            | 56.25                    |
| %10                                       | 279.64                            | 58.26                    |
| %20                                       | 305.00                            | 63.54                    |
| %30                                       | 191.87                            | 39.97                    |
| %40                                       | 155.80                            | 32.44                    |

Deneyler sonucunda, maksimum eğilme kuvveti ve eğilme dayanımı, ağırlıkça %20 oranında yumurta kabuğu tozu takviyeli kompozit numunelerin üç nokta eğilme testlerinde elde edilmiştir. Yumurta kabuğu tozunun numune üretiminde ağırlıkça kullanımı eğilme dayanımını artırdığı görülmüştür. Fakat kabuk tozunun %30 ve %40 ağırlık oranlarında kullanımı durumunda numunelerin eğilme dayanımını düşürdüğü tespit edilmiştir. Şekil 4.16' da görüldüğü gibi kabuk tozunun kullanımı belli bir orana (%20) kadar kompozit numunelerin eğilme dayanımını artırdığını söyleyebiliriz. En düşük gerilme değeri %40 oranı için elde edilmiştir.

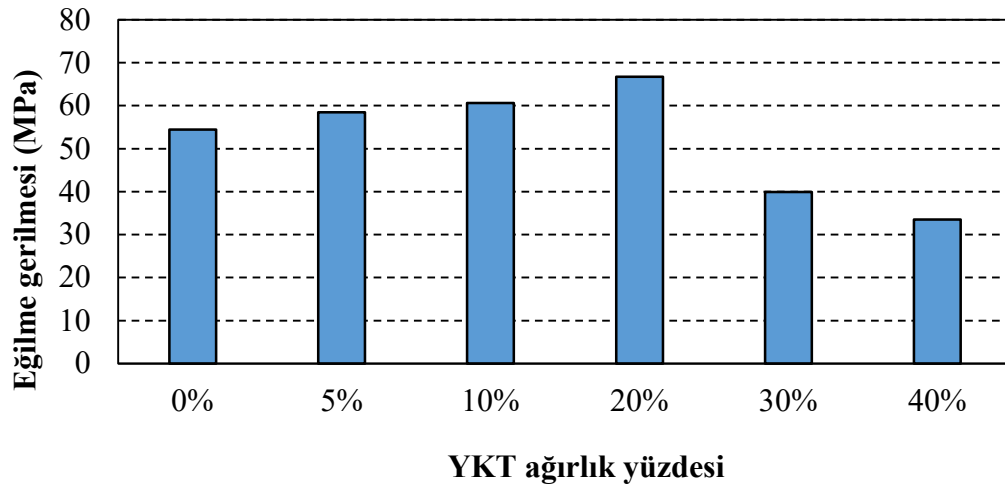
**Şekil 4. 16.** 106 µm YKT ağırlık yüzdesine bağlı eğilme gerilme değerleri



75  $\mu\text{m}$  parçacık boyutunda YKT takviyeli kompozit numunelerin üç nokta eğilme test sonuçları Tablo 4.15 ve daha iyi yorumlanabilmesi için eğilme gerilme dayanım grafiği Şekil 4.17’ de verilmiştir.

**Tablo 4. 15.** 75  $\mu\text{m}$  YKT yüzdesine bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri

| Yumurta kabuğu tozunun ağırlık yüzdesi | Maksimum eğilme kuvveti (N) | Eğilme dayanımı (MPa) |
|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| %0 (Saf epoksi)                        | 261.43                      | 54.46                 |
| %5                                     | 280.46                      | 58.42                 |
| %10                                    | 290.78                      | 60.57                 |
| %20                                    | 320.13                      | 66.70                 |
| %30                                    | 212.31                      | 44.23                 |
| %40                                    | 161.13                      | 33.57                 |



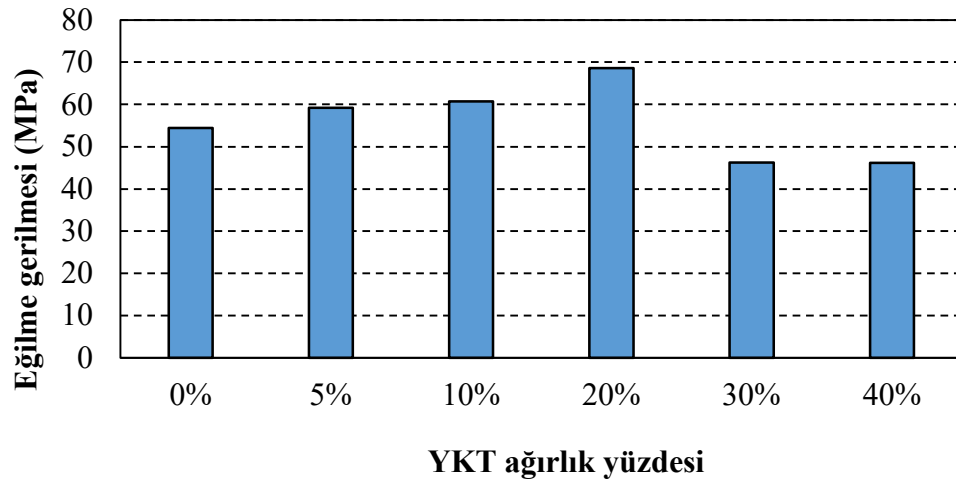
**Şekil 4. 17.** 75  $\mu\text{m}$  YKT ağırlık yüzdesine bağlı eğilme gerilme değerleri

Kompozit numuneye 75  $\mu\text{m}$  boyutunda ve %20 ağırlık oranında YKT takviyesinde, maksimum eğilme gerilme dayanımı 66.70 MPa ve en düşük eğilme gerilme dayanımı ise %40 takviyesinde 33.57 MPa olarak elde edildi.

63  $\mu\text{m}$  parçacık boyutunda YKT takviyeli kompozit numunelerin üç nokta eğilme test sonuçları Tablo 4.16 ve daha iyi yorumlanabilmesi için eğilme gerilme dayanım grafiği Şekil 4.18’ de verilmiştir.

**Tablo 4. 16.** 63  $\mu\text{m}$  YKT yüzdesine bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri

| Yumurta kabuğu tozunun ağırlık yüzdesi | Maksimum eğilme kuvveti (N) | Eğilme dayanımı (MPa) |
|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| %0 (Saf epoksi)                        | 261.43                      | 54.46                 |
| %5                                     | 284.13                      | 59.19                 |
| %10                                    | 291.30                      | 60.68                 |
| %20                                    | 329.30                      | 68.60                 |
| %30                                    | 222.03                      | 46.25                 |
| %40                                    | 221.56                      | 46.15                 |



**Şekil 4. 18.** 63  $\mu\text{m}$  YKT ağırlık yüzdesine bağlı eğilme gerilme değerleri

Kompozit numuneye 63  $\mu\text{m}$  boyutunda ve %20 ağırlık oranında YKT takviyesinde, maksimum eğilme gerilme dayanımı 68.60 MPa ve en düşük eğilme gerilme dayanımı ise %40 takviyesinde 46.15 MPa olarak elde edildi.

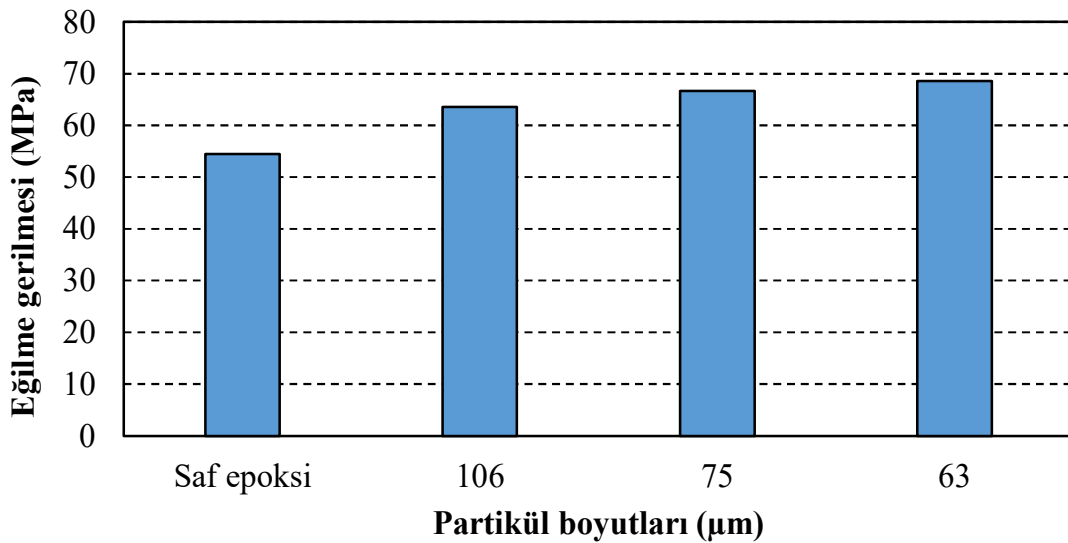
#### 4.2.2. Yumurta Kabuğu Tozunun Parçacık Boyutunun İncelenmesi

Kompozit numunenin maksimum eğilme değerlerini, yumurta kabuk tozunun %20 ağırlık oranında ilavesinde elde edilmişti. Burada yumurta kabuk tozunun rengi ve takviye yüzdesi oranı sabit tutularak, mikron metre seviyesindeki boyutları incelenmiştir. Kompozit numuneye ilave edilen YKT parçacık boyutunun küçülmesiyle, maksimum eğilme kuvveti ve eğilme gerilmesi değerlerindeki değişim Tablo 4.17’ de verilmiştir.

**Tablo 4. 17.** %20 YKT boyutuna bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri

| Parçacık boyutu<br>( $\mu\text{m}$ ) | Maksimum eğilme<br>kuvveti<br>(N) | Eğilme gerilme değerleri<br>(MPa) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Saf epoksi                           | 261.43                            | 54.46                             |
| 106                                  | 305.00                            | 63.54                             |
| 75                                   | 320.13                            | 66.70                             |
| 63                                   | 329.30                            | 68.60                             |

Kompozit numunelerin maksimum eğilme kuvveti ve eğilme gerilme değeri, 63  $\mu\text{m}$  boyutundaki yumurta kabuk tozu takviyeli numunelerde elde edildi. Maksimum eğilme kuvveti 329.30 N ve eğilme gerilme değeri 68.60 MPa olarak ölçüldü.



**Şekil 4. 19.** %20 YKT boyutuna bağlı eğilme gerilme değerleri

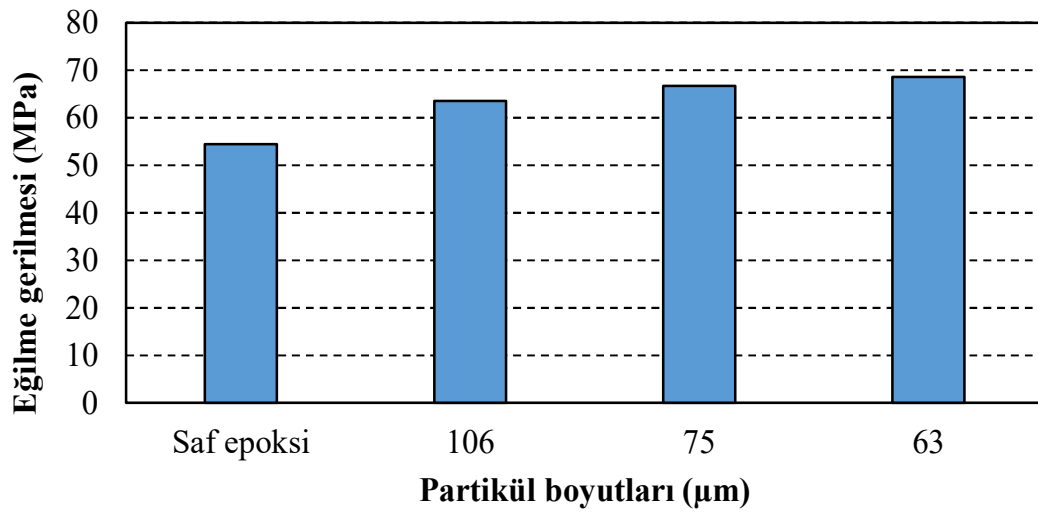
Kompozit numuneye ilave edilen YKT parçacık boyutunun küçülmesiyle, epoksi ile yumurta kabuk tozu arasında daha iyi kavrama ve yapışmaya olanak sağlamıştır. Böylelikle daha iyi bir ara yüzey oluşturmuş ve kavramasına olanak sağlamıştır. Buna bağlı olarak kompozit malzemede eğilme kuvveti ve eğilme gerilmesinde artışlar görülmüştür.

Farklı yüzde ağırlık oranlarında YKT takviyeli kompozit numunelerin üç nokta eğilme test sonuçları aşağıda detaylı olarak sunulmuştur.

Kompozit numunelere ağırlıkça %5 YKT takviyesinde, farklı boyutlardaki yumurta kabuk tozunun üç nokta eğilme gerilme değerleri Tablo 4.18 ve gerilme değerleri grafiği Şekil 4.20’ de verilmiştir.

**Tablo 4. 18.** %5 YKT boyutuna bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri

| Parçacık boyutu<br>( $\mu\text{m}$ ) | Maksimum eğilme<br>kuvveti<br>(N) | Eğilme gerilme değerleri<br>(MPa) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Saf epoksi                           | 261.43                            | 54.46                             |
| 106                                  | 270.02                            | 56.25                             |
| 75                                   | 280.46                            | 58.42                             |
| 63                                   | 284.13                            | 59.19                             |



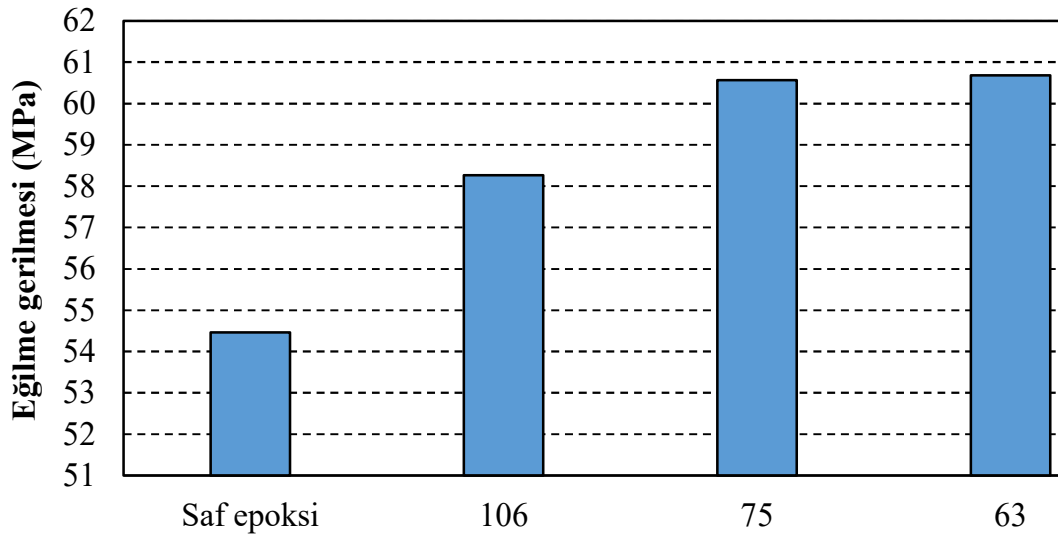
**Şekil 4. 20.** %5 YKT boyutuna bağlı eğilme gerilme değerleri

Kompozit numuneye %5 ağırlık oranında ve 63  $\mu\text{m}$  YKT takviyesinde maksimum eğilme gerilme dayanımı 59.19 MPa olarak elde edildi.

Kompozit numunelere ağırlıkça %10 YKT takviyesinde, farklı boyutlardaki yumurta kabuk tozunun üç nokta eğilme gerilme değerleri Tablo 4.19 ve gerilme değerleri grafiği Şekil 4.21’ de verilmiştir.

**Tablo 4. 19.** %10 YKT boyutuna bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri

| Parçacık boyutu<br>( $\mu\text{m}$ ) | Maksimum eğilme<br>kuvveti<br>(N) | Eğilme gerilme değerleri<br>(MPa) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Saf epoksi                           | 261.43                            | 54.46                             |
| 106                                  | 279.64                            | 58.26                             |
| 75                                   | 290,78                            | 60,57                             |
| 63                                   | 291,30                            | 60,68                             |



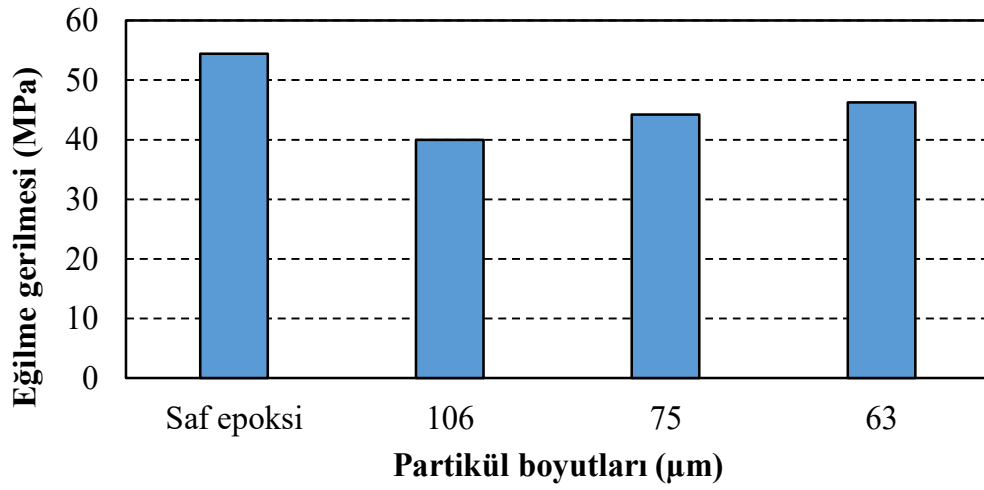
**Şekil 4. 21.** %10 YKT boyutuna bağlı eğilme gerilme değerleri

Kompozit numuneye %10 ağırlık oranında ve 63  $\mu\text{m}$  YKT takviyesinde maksimum eğilme gerilme dayanımı 60,68 MPa olarak elde edildi.

Kompozit numunelere ağırlıkça %30 YKT takviyesinde, farklı boyutlardaki yumurta kabuk tozunun üç nokta eğilme gerilme değerleri Tablo 4.20 ve gerilme değerleri grafiği Şekil 4.22’ de verilmiştir.

**Tablo 4. 20.** %30 YKT boyutuna bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri

| Parçacık boyutu<br>( $\mu\text{m}$ ) | Maksimum eğilme<br>kuvveti<br>(N) | Eğilme gerilme değerleri<br>(MPa) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Saf epoksi                           | 261.43                            | 54.46                             |
| 106                                  | 191.87                            | 39.97                             |
| 75                                   | 212.31                            | 44.23                             |
| 63                                   | 222.03                            | 46.25                             |



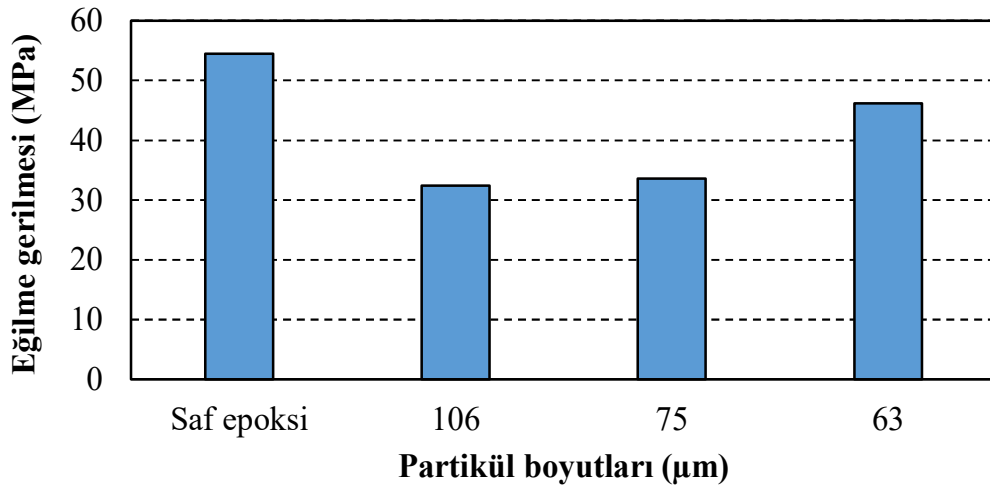
**Şekil 4. 22.** %30 YKT boyutuna bağlı eğilme gerilme değerleri

Bütün YKT parçacık boyutları için, %30 ağırlık oranında takviye edildiğinde, numunelerin dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir. Ve saf epoksi ile üretilen numunelerin eğilme gerilme dayanımından daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.22).

Kompozit numunelere ağırlıkça %40 YKT takviyesinde, farklı boyutlardaki yumurta kabuk tozunun üç nokta eğilme gerilme değerleri Tablo 4.21 ve gerilme değerleri grafiği Şekil 4.23’ te verilmiştir.

**Tablo 4. 21.** %40 YKT boyutuna bağlı eğilme kuvveti ve gerilme değerleri

| Parçacık boyutu<br>( $\mu\text{m}$ ) | Maksimum eğilme<br>kuvveti<br>(N) | Eğilme gerilme değerleri<br>(MPa) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Saf epoksi                           | 261.43                            | 54.46                             |
| 106                                  | 155.80                            | 32.44                             |
| 75                                   | 161.13                            | 33.57                             |
| 63                                   | 221.56                            | 46.15                             |



**Şekil 4. 23.** %40 YKT boyutuna bağlı eğilme gerilme değerleri

Bütün YKT parçacık boyutları için, %40 ağırlık oranında takviye edildiğinde, numunelerin dayanımında ciddi azalmalar olduğu gözlemlenmiştir. Ve saf epoksi ile üretilen numunelerin eğilme gerilme dayanımından çok daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.23).

#### 4.2.3. Yumurta Kabuğu Tozunun Renginin İncelenmesi

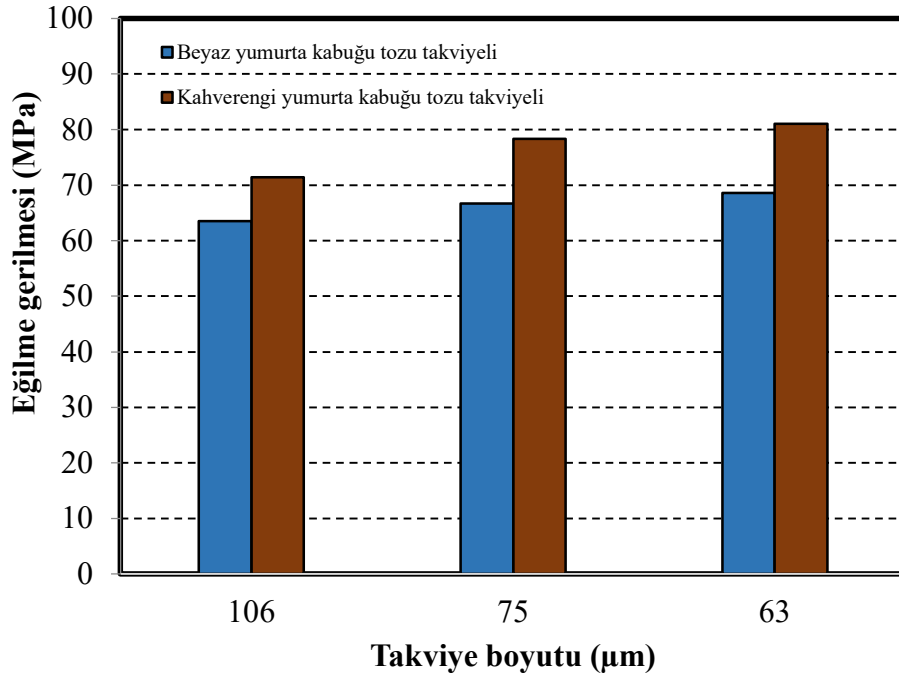
Test edilen kompozit numunelerde en yüksek mekanik özellikler, %20 YKT ilavesinde elde edilmişti. Buna bağlı olarak kompozit numuneye eklenen yumurta kabuk tozunun ağırlık yüzdesi %20 olarak sabit tutuldu. Aynı parçacık boyuta sahip YKT takviyeli numuneler, YKT renginin mekanik dayanıma etkisi incelendi. Beyaz ve kahverengi YKT takviyeli numunelerin yapılan üç nokta eğilme test sonuçları Tablo 4.22’ de sunulmuştur.

**Tablo 4. 22.** %20 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı eğilme gerilme değerleri

| Yumurta kabuğu<br>tozunun parçacık boyutu<br>( $\mu\text{m}$ ) | Beyaz YKT takviyeli<br>numunelerin eğilme<br>gerilme değerleri<br>(MPa) | Kahverengi YKT<br>takviyeli numunelerin<br>eğilme gerilme değerleri<br>(MPa) |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 106                                                            | 63.54                                                                   | 71.40                                                                        |
| 75                                                             | 66.70                                                                   | 78.34                                                                        |
| 63                                                             | 68.60                                                                   | 81.08                                                                        |

Yapılan üç nokta eğilme testleri sonucunda, kahverengi YKT takviyeli kompozit numuneler, beyaz YKT takviyeli numunelere göre daha yüksek gerilme değerlerine sahip olduğu görülmüştür. 63  $\mu\text{m}$  parçacık boyutunda ve sabit %20 ağırlık oranında, kahverengi YKT takviyeli numunelerin eğilme gerilme değeri 81.08 MPa iken beyaz YKT takviyeli numunelerde 68.60 MPa olarak ölçüldü.





**Şekil 4. 24.** %20 YKT takviyeli numunelerin rengine bağlı eğilme gerilme değerleri

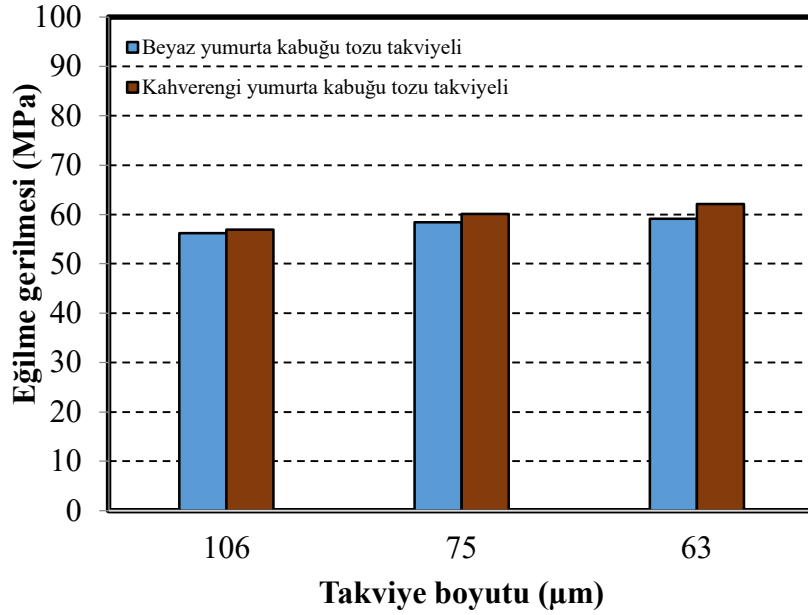
Sabit ağırlık oranında ve aynı parçacık boyuta sahip YKT takviyeli kompozit numuneler incelendiğinde, kahverengi YKT takviyeli kompozit numuneler, beyaz YKT takviyeli kompozit numunelere göre daha yüksek eğilme gerilme değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.24).

Kompozit numuneye eklenen YKT takviyesinin %5, %10, %30 ve %40 ağırlık yüzdelerinde üç nokta eğilme gerilme değerlerinde elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde aşağıda sunulmuştur.

Kompozit numunelere ağırlıkça %5 YKT takviyesinde, YKT boyutu ve toz rengine bağlı üç nokta eğilme gerilme değerleri Tablo 4.23 ve eğilme gerilme değerleri grafiği Şekil 4.25’ te verilmiştir.

**Tablo 4. 23.** %5 takviyeli YKT boyut ve renge bağılı eğilme gerilme değerleri

| Yumurta kabuğu tozunun parçacık boyutu ( $\mu\text{m}$ ) | Beyaz YKT takviyeli numunelerin eğilme gerilme değerleri (MPa) | Kahverengi YKT takviyeli numunelerin eğilme gerilme değerleri (MPa) |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 106                                                      | 56.25                                                          | 56.95                                                               |
| 75                                                       | 58.42                                                          | 60.13                                                               |
| 63                                                       | 59.19                                                          | 62.11                                                               |

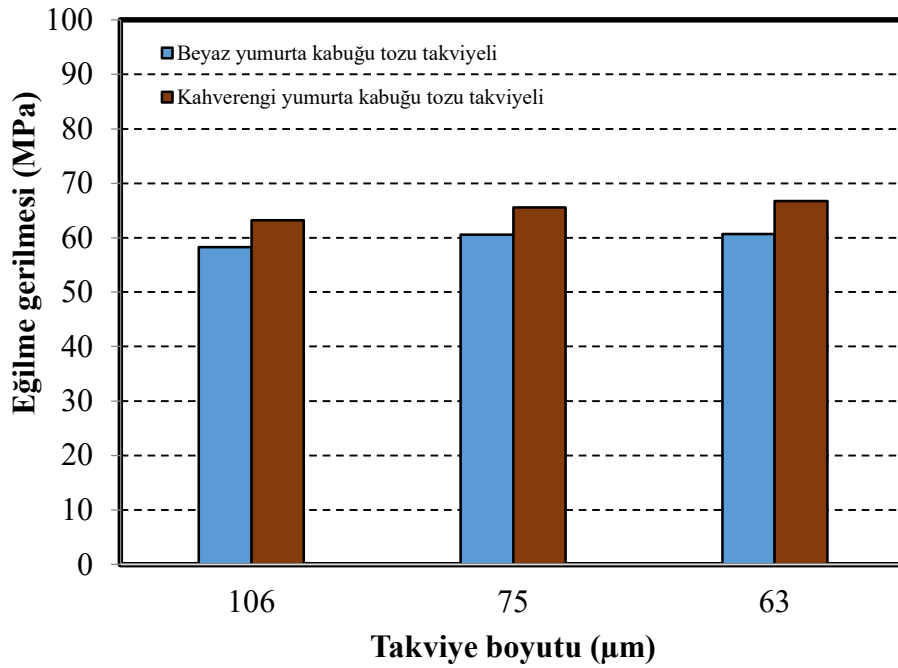
**Şekil 4. 25.** %5 YKT takviyeli numunelerin rengine bağılı eğilme gerilme değerleri

Kompozit numunelerin maksimum eğilme kuvveti ve eğilme gerilme değeri, 63  $\mu\text{m}$  boyutundaki kahverengi YKT takviyeli numunelerde elde edildi. Maksimum eğilme kuvveti 298.14 N ve eğilme gerilme değeri 62.11 MPa olarak ölçüldü.

Kompozit numunelere ağırlıkça %10 YKT takviyesinde, YKT boyutu ve toz rengine bağlı üç nokta eğilme gerilme değerleri Tablo 4.24 ve eğilme gerilme değerleri grafiği Şekil 4.26’ da verilmiştir.

**Tablo 4. 24.** %10 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı eğilme gerilme değerleri

| Yumurta kabuğu tozunun parçacık boyutu ( $\mu\text{m}$ ) | Beyaz YKT takviyeli numunelerin eğilme gerilme değerleri (MPa) | Kahverengi YKT takviyeli numunelerin eğilme gerilme değerleri (MPa) |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 106                                                      | 58.26                                                          | 63.21                                                               |
| 75                                                       | 60.57                                                          | 65.54                                                               |
| 63                                                       | 60.68                                                          | 66.76                                                               |



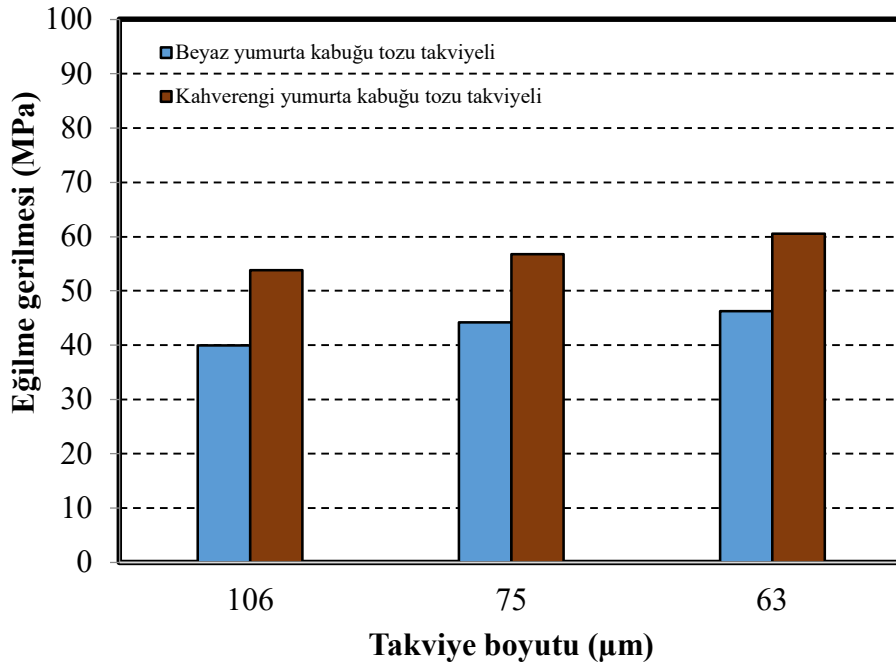
**Şekil 4. 26.** %10 YKT takviyeli numunelerin rengine bağlı eğilme gerilme değerleri

Kompozit numunelerin maksimum eğilme kuvveti ve eğilme gerilme değeri, 63  $\mu\text{m}$  boyutundaki kahverengi YKT takviyeli numunelerde elde edildi. Maksimum eğilme kuvveti 320.46 N ve eğilme gerilme değeri 66.76 MPa olarak ölçüldü.

Kompozit numunelere ağırlıkça %30 YKT takviyesinde, YKT boyutu ve toz rengine bağlı üç nokta eğilme gerilme değerleri Tablo 4.25 ve eğilme gerilme değerleri grafiği Şekil 4.27’ de verilmiştir.

**Tablo 4. 25.** %30 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı eğilme gerilme değerleri

| Yumurta kabuğu tozunun parçacık boyutu ( $\mu\text{m}$ ) | Beyaz YKT takviyeli numunelerin eğilme gerilme değerleri (MPa) | Kahverengi YKT takviyeli numunelerin eğilme gerilme değerleri (MPa) |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 106                                                      | 39.97                                                          | 53.81                                                               |
| 75                                                       | 44.23                                                          | 56.73                                                               |
| 63                                                       | 45.25                                                          | 60.54                                                               |



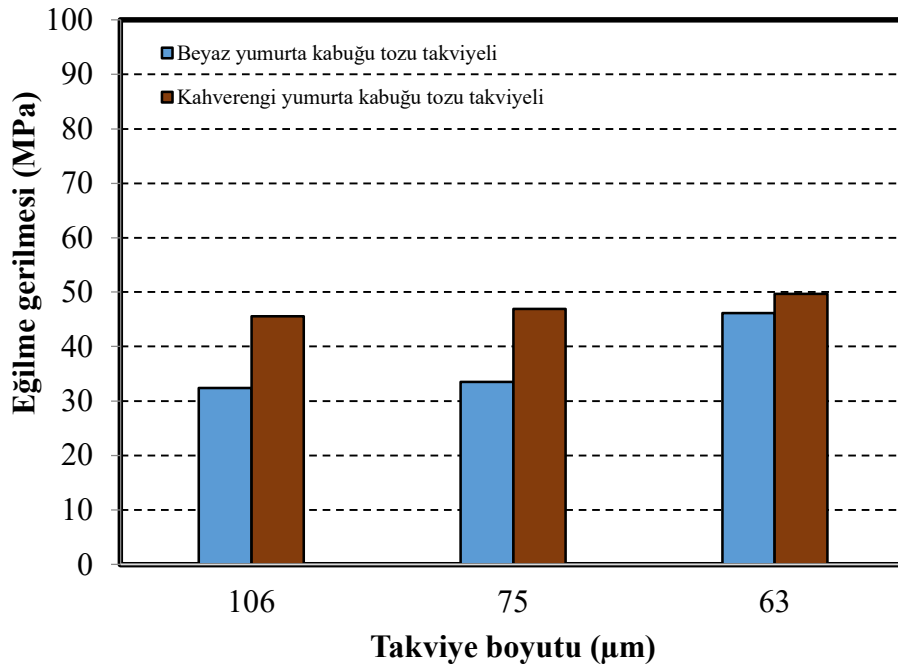
**Şekil 4. 27.** %30 YKT takviyeli numunelerin rengine bağlı eğilme gerilme değerleri

Kompozit numunelerin maksimum eğilme kuvveti ve eğilme gerilme değeri, 63  $\mu\text{m}$  boyutundaki kahverengi YKT takviyeli numunelerde elde edildi. Maksimum eğilme kuvveti 290.62 N ve eğilme gerilme değeri 60.54 MPa olarak ölçüldü.

Kompozit numunelere ağırlıkça %40 YKT takviyesinde, YKT boyutu ve toz rengine bağlı üç nokta eğilme gerilme değerleri Tablo 4.26 ve eğilme gerilme değerleri grafiği Şekil 4.28’ de verilmiştir.

**Tablo 4. 26.** %40 takviyeli YKT boyut ve renge bağlı eğilme gerilme değerleri

| Yumurta kabuğu tozunun parçacık boyutu ( $\mu\text{m}$ ) | Beyaz YKT takviyeli numunelerin eğilme gerilme değerleri (MPa) | Kahverengi YKT takviyeli numunelerin eğilme gerilme değerleri (MPa) |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 106                                                      | 32.44                                                          | 45.54                                                               |
| 75                                                       | 33.57                                                          | 46.90                                                               |
| 63                                                       | 46.15                                                          | 49.70                                                               |



**Şekil 4. 28.** %40 YKT takviyeli numunelerin rengine bağlı eğilme gerilme değerleri

Kompozit numunelerin maksimum eğilme kuvveti ve eğilme gerilme değeri, 63  $\mu\text{m}$  boyutundaki kahverengi YKT takviyeli numunelerde elde edildi. Maksimum eğilme kuvveti 238.59 N ve eğilme gerilme değeri 49.70 MPa olarak ölçüldü.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Mevcut çalışma yumurta kabuğu tozu takviyeli epoksi esaslı kompozit malzemenin, geleneksel malzemelere oranla daha ekonomik ve imalat kolaylığı sağladığını ortaya koymuştur. Böylece yumurta kabuk atığının değerlendirilmesi için farklı bir alternatif sunmaktadır. Epoksi reçineye, yumurta kabuğu tozu ilave edilerek elde edilen kompozit numunelerin mekanik davranışı incelenmiş olup ve aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir:

- YKT ile güçlendirilmiş yeni bir epoksi esaslı kompozit malzeme başarılı bir şekilde üretilmiştir.
- YKT takviye oranının artırılmasıyla kompozit malzemenin eğilme mukavemeti ve çekme dayanımını belirli bir orana kadar arttırdığı belirlenmiştir.
- Kompozit malzeme üretiminde kullanılan YKT oranın daha fazla artırılması, epoksi ile YKT bir arada tutan bağlayıcı kuvvetin zayıf kalmasına neden olmuştur. Buna bağlı olarak çekme ve üç noktadan eğilme dayanımını olumsuz etkilediği görülmüştür.
- Kompozit numunelerde maksimum eğilme dayanımı, takviye edilmiş yumurta kabuk tozunun %20 ağırlık oranında olduğu gözlemlenmiştir.
- Maksimum çekme dayanımı ise yumurta kabuk tozunun %5 ağırlık oranında meydana gelmiştir.
- Kompozit içeriğinde kullanılan yumurta kabuk tozu renginin kompozitin mekanik davranışını etkilediği görülmüştür. Kahve renkli kabuk tozu ile üretilen numuneler, beyaz renkli üretilen numunelerden daha iyi mekanik davranış göstermiştir.
- Yumurta kabuğu boyutunun kompozitin mekanik davranışını etkilediği görülmüştür. En yüksek gerilme değerleri 63 µm boyutlarda elde edilmiştir.

### 5.2 Öneriler

- Yapılan bu çalışma, kompozit malzemenin mekanik davranışlarının incelenmesiyle sınırlıdır. Tribolojik testlerle uzatılabilir.
- Aynı çalışma farklı matris malzemeleriyle yapılabilir.
- Çalışma, sertlik, darbe ve yorulma deneyleri eklenerek sürdürülebilir.

## KAYNAKLAR

- Adal S., 2018. Yumurta Kabuğu Tozu Kullanılarak Mineral Madde Bakımından Zenginleştirilen Ekmeklerin Bazı Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi, *T.C. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Manisa.
- Adeosun, S., Usman, M., Akpan, E. and Dibia, W. 2014. Characterization of LDPE Reinforced with Calcium Carbonate Fly Ash Hybrid Filler. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 02(04), 334-345.
- Ateş S., Tok A., 2016. Yumurta Kabuğu Tozu, SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Takviyeli Al6061 Matrisli Hibrit Kompozitlerin Gerilme Dayanımlarının İncelenmesi, *Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Bartın.
- Binici, H., Temiz H., Sevinç A. H., Eken M., Küçükönder A., 2013. Atık Pil Kömürü Ve Yumurta Kabuğunun Radyasyon Tutucu Materyal Olarak Üretimde Kullanılması, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 8-14.
- Chojnacka, K., 2005. Biosorption of Cr(III) ions by eggshells. *Journal of Hazardous Materials*, 121(1-3), pp.167-173.
- Gürlek G., Oğuroğlu H., Erden S., 2015. Kapalı Kalıpta Üretilen Poliüretan Köpük Malzemesine Yumurta Kabuğu Tozu İlavesinin Isı İletim Katsayısına Ve Basma Dayanımına Etkisi, *Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 3.Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu 05-07 Kasım 2015*, İzmir.
- He, H., Li, K., Wang, J., Sun, G., Li, Y. and Wang, J. 2011. Study on thermal and mechanical properties of nano-calcium carbonate/epoxy composites. *Materials Design*, 32(8-9), 4521-4527.
- Kıllı U, Tutuş, A, Çiçekler M ve Özdemir F, 2017, Atık ofis kâğıtları ve yumurta kabuklarından yazı-tabı kâğıdı üretimi, *Harran 1. Uluslararası Ar-Ge Proje Pazarı*, Şanlıurfa.
- Kumar P., 2012, Mechanical Behavior of Orange Peel Reinforced Epoxy Composite, *Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology, Rourkela*.

- Leong, C, C. 2016, Development Polypropylene (PP)-Modified Chicken Eggshell Composites, *Faculty of Engineering and Green Technology Universiti Tunku Abdul Rahman*, 10-15.
- Mohammadi, M., Lahijani, P. and Mohamed, A. 2014. Refractory dopant-incorporated CaO from waste eggshell as sustainable sorbent for CO<sub>2</sub> capture: Experimental and kinetic studies. *Chemical Engineering Journal*, 243, 455-464.
- Mohammed, M, R., Hadi, A, N,. 2012, Effect Of Eggshells Powder On Some Mechanical And Physical Properties Of Natural Rubber, *The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering* Vol 12, 446-458.
- Nawang, R., Danjaji, I., Ishiaku, U., Ismail, H. and Mohd Ishak, Z. 2001. Mechanical properties of sago starch-filled linear low density polyethylene (LLDPE) composites. *Polymer Testing*, 20(2), 167-172.
- Oğuroğlu, H., Gürlek, G., Erden, S. 2015. Kapalı Kalıpta Üretilen Poliüretan Köpük Malzemesine Yumurta Kabuğu Tozu İlavesinin Isı İletim katsayısına ve Basma Dayanımına Etkileri, *Uluslar Arası Katılımlı 3. Ege Kompozit Malzemeler sempozyumu*, Kuşadası.
- Özgan A. O., 2019. Plastik Kompozit Üretiminde Odun Ve Yumurta Kabuğu Kullanımının Araştırılması, *T.C. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş.
- Shashir SK., Apsarraj AD., Shashidhar AL., Basavaroodh AB., (2017). Experimental Investigation Of Mechanical Properties Of Egg Shell Powder Reinforced With Epoxy, *JETIR (ISSN-2349-5162)*, July 2017, Volume 4, Issue 07, *1Department of Mechanical Engineering*, 1S.I.E.T.Vijayapur, India.
- Ulcay Y., Akyol M., Gemci R., (2002). Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, Cilt 7, Sayı 1.
- Shuhadah, S. and Supri, (2009). LDPE-Isophthalic Acid-Modified Egg Shell Powder Composites (LDPE/ESPI). *Journal of Physical Science*, 20(1), pp.87-98.
- Yam, R. and Mak, D. (2014). A cleaner production of rice husk-blended polypropylene eco-composite by gas-assisted injection moulding. *Journal Cleaner Production*, 67, 77-284.



- Yoo, S., Hsieh, J., Zou, P. and Kokoszka, J. (2009). Utilization of calcium carbonate particles from eggshell waste as coating pigments for ink-jet printing paper. *Bioresource Technology*, 100(24), pp.6416-6421
- Xanthos, (2010). *Polymers and Polymer Composites*. Weinheim: Wiley-VCH, 4-16.
- Wei, H., Shen, Q., Zhao, Y., Zhou, Y., Wang, D. and Xu, D. (2005). On the crystallization of calcium carbonate modulated by anionic surfactants. *Journal of Crystal Growth*, 279(3-4), pp.439-446.

## ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Abdurrahim GÜNEŞ  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Batman, 1988  
**Telefon** : 05348409544  
**Faks** :  
**e-mail** : Abdurrahim.gunes@hotmail.com  
 abdrhm.gnss@gmail.com

## EĞİTİM

| Derece        | Adı, İlçe, İl                                                                      | Bitirme Yılı |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Lise          | : Batman Lisesi, Merkez, Batman                                                    | 2007         |
| Üniversite    | : Fırat Üniversitesi, Merkez, Elazığ                                               | 2015         |
| Yüksek Lisans | : Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü<br>Makine Mühendisliği Anabilim Dalı |              |
| Doktora       | :                                                                                  |              |

## İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl       | Kurum                      | Görevi           |
|-----------|----------------------------|------------------|
| 2015-2016 | Tekiner Makine ve Doğalgaz | Makine Mühendisi |

## UZMANLIK ALANI

## YABANCI DİLLER

İngilizce

## BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

## YAYINLAR

1. Mehmet Emin DENİZ, Abdürrahim GÜNEŞ "Yumurta Kabuğu Takviyeli Polimer Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışının İncelenmesi" *Zeugma I. Uluslararası Multi Disipliner Çalışmalar Kongresi*, 13-16 Eylül 2018/Gaziantep, Türkiye.