



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**CEVİZ KABUĞU DOLGULU EPOKSİ HİBRİT KOMPOZİT
MALZEMELERİN MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÜZEYİR ADIBELLİ

DANIŞMAN: DOÇ. DR. İDRİS KARAGÖZ

**YALOVA
EYLÜL 2022**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

CEVİZ KABUĞU DOLGULU EPOKSİ HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN
MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÜZEYİR ADIBELLİ
195101007

DANIŞMAN: DOÇ. DR. İDRİS KARAGÖZ

YALOVA
EYLÜL 2022

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez/Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım “Ceviz Kabuğu Dolgulu Epoksi Hibrit Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Üzeyir ADIBELLİ



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan ve tez yazımı yaklaşımı konusunda her anlamda katkısı ve emeği olan Doç. Dr. İdris KARAGÖZ hocama teşekkür ederim.

Çalışmalar sırasında yardımları ve desteği verdiği destekler ile çalışmamızda emeği olan sayın Dr. Neşe YİĞİT ÇAKIR hocama teşekkür ederim.

Tez konusu ve her konuda bana danışmanlığını esirgemeyen değerli hocamız Prof. Dr. Sinan ŞEN hocamıza çok teşekkür ederim.

Kalıplama yöntemi ile yapılan numunelerin testleri için tecrübeleri ve bilgisi ile yardımcı olan Dr. Öğ. Gör. Özgür CEYLAN'a teşekkür ederim.

Numunelerin üretimi sırasında yardımlarını esirgemeyen doktora öğrencisi Derya MUTLU'ya teşekkür ederim.

Tez yazımında desteğini esirgemeyen değerli arkadaşım Kutlay BALCI'ya teşekkür ederim.

Bu çalışma, Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 2021/YL/0014 nolu “Ceviz Kabuğu Dolgulu Epoksi Hibrit Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi” isimli proje ile desteklenmiştir. Verdikleri destek nedeniyle Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna teşekkür ederim.

Eylül- 2022

Üzeyir ADIBELLİ



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN.....	i
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv
ÖZET.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Literatür araştırması.....	3
1.3. Hipotez.....	9
2. MALZEME VE METOT	11
2.1. Malzemeler	11
2.1.1. ERA-4000 Epoksi reçine.....	11
2.1.2. Ceviz kabuğu.....	12
2.1.3. Talk.....	12
2.2. Ceviz Kabuğunun Öğütülmesi ve Sınıflandırılması	14
2.3. Döküm İçin Silikon Kalıpların Yapılması	16
2.4. Hazırlanan Karışımların Kalıplanması ve Numunelerin Üretilmesi	17
2.4.1. Numunelerin üretilmesi	19
2.5. Çekme Testi	20
2.6. Üç Nokta Eğme Testi.....	20
2.7. Darbe Testi.....	21
2.7.1. Izod darbe testi	23
2.8. Spektrometre (FT-IR) Analiz	24
2.9. Sertlik Ölçümü.....	25
2.10. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleme.....	26
3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	29
3.1. Çekme Test Sonuçları.....	29
3.1.1. Saf epoksiye ait çekme test sonucu	29
3.1.2. E90CK10 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu	30
3.1.3. E80CK20 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu	31



3.1.4. E70CK30 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu	33
3.1.5. E60CK40 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu	34
3.1.6. E90TK10 kodlu numuneye ait çekme test sonucu	35
3.1.7. E80TK20 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu	37
3.1.8. E70TK30 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu	39
3.1.9. E60TK40 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu	41
3.1.10. E69CK30CU1 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu	43
3.2. Üç Nokta Eğme Test Sonuçları	45
3.2.1. Saf Epoksiye ait üç nokta eğme test sonucu.....	45
3.2.2. E90CK10 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu	46
3.2.3. E80CK20 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu	47
3.2.4. E70CK30 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu	49
3.2.5. E90TK10 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu	50
3.2.6. E80TK20 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu	52
3.2.7. E70TK30 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu	54
3.2.8. E60TK40 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu	56
3.2.9. E60CK40 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu	58
3.2.10. E69CK30CU1 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu.....	59
3.3. Izod Darbe Testi Sonuçları	61
3.3.1. Saf Epoksiye ait izod darbe test sonucu	63
3.3.2. E90CK10 Kodlu numuneye ait izod darbe test sonucu.....	64
3.3.3. E80CK20 Kodlu numuneye ait izod darbe test sonucu.....	66
3.3.4. E70CK30 Kodlu numuneye ait izod darbe test sonucu.....	68
3.3.5. E60CK40 Kodlu numuneye ait izod darbe test sonucu.....	69
3.3.6. E90TK10 Kodlu numuneye ait izod darbe test sonucu	72
3.3.7. E80TK20 Kodlu numuneye ait izod darbe test sonucu	74
3.3.8. E70TK30 Kodlu numuneye ait izod darbe test sonucu	76
3.3.9. E60TK40 Kodlu numuneye ait izod darbe test sonucu	78
3.3.10. E69CK30CU1 Kodlu Numuneye ait izod darbe test sonucu	80
3.4. Sertlik Ölçüm Sonuçları	82
3.5. FT-IR Karakterizasyonu	83
3.6. SEM-Taramalı elektron mikroskobu görüntülemeleri.....	86
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	101



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

E	: Elastik Modül
μ	: Mikron
α	: Çentik açısı
ε	: Yüzde uzama katsayısı

KISALTMALAR

CK	: Ceviz Kabuğu
WS	: Modifiye Edilmiş Ceviz Kabuğu
PP	: Polipropilen
CSP	: Ceviz Kabuğu Tozu
TGA	: Termo Grafik Analiz
MFI	: Eriyik Akış İndeksi
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
CE	: Avrupa Birliği teknik Mevzuat Kısaltması
DIN	: Alman Standartları
EN	: Avrupa Birliği Standart organizasyonu Kısaltması
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu (Scanning electron microscope)

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. ERA-4000 Eposki reçinenin teknik özellikleri.....	11
Tablo 2.2. Talkın içeriği ve özellikleri.....	13
Tablo 2.3. ERA-4000 Eposki reçinenin teknik özellikleri.....	17
Tablo 3.1. Çekme deneyleri ve karşılaştırmalı sonuçları.....	29
Tablo 3.2. Saf epoksi test numunelerine ait çekme test sonuçları	30
Tablo 3.3. E90CK10 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları	31
Tablo 3.4. E80CK20 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları	32
Tablo 3.5. E70CK30 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları	33
Tablo 3.6. E60CK40 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları	35
Tablo 3.7. E90TK10 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları	36
Tablo 3.8. E80TK20 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları	38
Tablo 3.9. E70TK30 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları	40
Tablo 3.10. E60TK40 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları	42
Tablo 3.11. E69CK30CU1 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları.....	44
Tablo 3.12. Üç nokta eğme deneyleri ve karşılaştırmalı sonuçları	45
Tablo 3.13. epoksi test numunelerine ait eğme test sonuçları.....	46
Tablo 3.14. E90CK10 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları.....	47
Tablo 3.15. E80CK20 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları.....	48
Tablo 3.16. E70CK30 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları.....	49
Tablo 3.17. E90TK10 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları	51
Tablo 3.18. E80TK20 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları	53
Tablo 3.19. E70TK30 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları	55
Tablo 3.20. E60TK40 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları	57
Tablo 3.21. E60CK40 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları.....	58
Tablo 3.22. E69CK30CU1 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları	60
Tablo 3.23. Izod darbe testi sonuçları	61
Tablo 3.24. Saf epoksi test numunelerine ait darbe test sonuçları	63
Tablo 3.25. E90CK10 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları.....	65
Tablo 3.26. E80CK20 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları.....	67
Tablo 3.27. E70CK30 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları.....	68
Tablo 3.28. E60CK40 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları.....	71
Tablo 3.29. E90TK10 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları.....	73
Tablo 3.30. E80TK20 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları.....	75



Tablo 3.31. E70TK30 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları.....	77
Tablo 3.32. E60TK40 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları.....	79
Tablo 3.33. E69CK30CU1 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları.....	81
Tablo 3.34. Sertlik ölçüm sonuçları	82
Tablo 3.35. SEM analizi için hazırlanmış altı adet numune içerikleri.....	87





ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. ERA-4000 Epoksi sistem a) epoksi, b) kürleştirici reçine.....	11
Şekil 2.2. Ceviz kabuğu ve ceviz içinin görünüşü	12
Şekil 2.3. Laboratuvar ortamında kullanılan talk görüntüsü.....	13
Şekil 2.4. Ceviz kabuğunun öğütülmesi a) öğütme işleminde kullanılan kırıcı/öğütücü değirmen b) öğütme işlemi sonrası toz haline getirilmiş ceviz kabukları	14
Şekil 2.5. Çalışmada kullanılan farklı meshlerdeki elekler.....	15
Şekil 2.6. Çalışmada kullanılan elenmiş 35-65 mesh kalınlığındaki elenmiş ceviz kabuğunun tartılması.....	15
Şekil 2.7. Kalıp yapımında kullanılan numuneler ve silikon kalıp üretim aşaması	16
Şekil 2.8. Kullanılan ceviz kabuğu ve etüv makinası	17
Şekil 2.9. E60TK40 kodlu numunelerinin kalıplanma aşamaları, (a) Talk'ın epoksiye eklenmesi, (b) Sertleştiricinin reçineye eklenmesi ve (c) Hazırlanan karışımın kalıplara dökülmesi.....	18
Şekil 2.10. CK ve talk katkılı üretilmiş kompozit numune örnekleri	19
Şekil 2.11. Talk katkılı üretilmiş kompozit numune örnekleri	19
Şekil 2.12. Zwick/Roell Z020 marka test cihazı ve çekme testi sırasındaki görüntüsü.....	20
Şekil 2.13. Zwick/Roell Z020 marka test cihazı ve üç nokta eğme testi için kullanılan makina	21
Şekil 2.14. Ceast 9050 marka izod test cihazı ve darbe testi sırasındaki görüntüsü.....	22
Şekil 2.15. İzod darbe testi işlemi temsili uygulama resmi.....	23
Şekil 2.16. İzod darbe testi işlemi temsili uygulama resmi.....	24
Şekil 2.17. Perkin Elmer Spectrum marka FT-IR cihazı	25
Şekil 2.18. Ceast sertlik ölçüm cihazı ve test sırasındaki görüntüsü	26
Şekil 2.19. Zeis marka Gamini-Sigma 300 VP model taramalı elektron mikroskobu SEM görüntüleme cihazı.....	27
Şekil 3.1. Saf epoksi numunelerine ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri	30
Şekil 3.2. E90CK10 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri	31
Şekil 3.3. E80CK20 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri	32
Şekil 3.4. E70CK30 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri	34



Şekil 3.5. E60CK40 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri	35
Şekil 3.6. E90TK10 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri	36
Şekil 3.7. Epoksi, E90CK10 ve E90TK10 kodlu numunelerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması	37
Şekil 3.8. E80TK20 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri	38
Şekil 3.9. Epoksi, E80CK20 ve E80TK20 kodlu numunelerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması	39
Şekil 3.10. E70TK30 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri	40
Şekil 3.11. Epoksi, E70CK30 ve E70TK30 kodlu numunelerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması	41
Şekil 3.12. E60TK40 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri	42
Şekil 3.13. Epoksi, E70CK30 ve E70TK30 kodlu numunelerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması	43
Şekil 3.14. E69CK30CU1 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri	44
Şekil 3.15. Epoksi, E70CK30, E70TK30 ve E69CK30CU1 kodlu numunelerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması.....	44
Şekil 3.16. Saf epoksi numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri	46
Şekil 3.17. E90CK10 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri	47
Şekil 3.18.E80CK20 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri	48
Şekil 3.19.E70CK30 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri	50
Şekil 3.20. E90TK10 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri	51
Şekil 3.22. Epoksi, E90CK10 ve E90TK10 kodlu numunelerin eğilme mukavemetlerinin karşılaştırılması	51
Şekil 3.23.E80TK20 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri	53
Şekil 3.24. Epoksi, E80CK20 ve E80TK20 kodlu numunelerin eğilme mukavemetlerinin karşılaştırılması	53
Şekil 3.25. E70TK30 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri	55



Şekil 3.26. Epoksi, E70CK30 ve E70TK30 kodlu numunelerin eğilme mukavemetlerinin karşılaştırılması	55
Şekil 3.27. E60TK40 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri	57
Şekil 3.28.Epoksi, E60CK40 ve E60TK40 kodlu numunelerin eğilme mukavemetlerinin karşılaştırılması	57
Şekil 3.29.E60CK40 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri	59
Şekil 3.30.Epoksi, E69CK30CU1, E60CK40 ve E60TK40 kodlu numunelerin eğilme mukavemetlerinin karşılaştırılması	61
Şekil 3.31. Izod darbe mukavemeti sonuçlarının grafiksel karşılaştırılması	62
Şekil 3.32.Saf epoksi numunelerine ait darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması	63
Şekil 3.33. Saf epoksi numunelerine ait kırılma şekilleri	64
Şekil 3.34.Epoksi ve E90CK10 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması	65
Şekil 3.35. E90CK10 numunelerine ait kırılma şekilleri	65
Şekil 3.36. Epoksi ve E80CK20 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması	67
Şekil 3.37. E80CK20 numunelerine ait kırılma şekilleri	67
Şekil 3.38. Epoksi, E70CK30 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması	69
Şekil 3.39. E70CK30 numunelerine ait kırılma şekilleri	69
Şekil 3.40. Epoksi ve E60CK40 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması	71
Şekil 3.41. E60CK40 numunelerine ait kırılma şekilleri	71
Şekil 3.42. Epoksi, E90CK10 ve E90TK10 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması	73
Şekil 3.43. E90TK10 numunelerine ait kırılma şekilleri	73
Şekil 3.44. Epoksi, E80CK20 ve E80TK20 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması	75
Şekil 3.45. E80TK20 numunelerine ait kırılma şekilleri	75
Şekil 3.46.Epoksi, E70CK30 ve E70TK30 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması	77
Şekil 3.47. E70TK30 numunelerine ait kırılma şekilleri	77
Şekil 3.48.Epoksi, E60CK40 ve E60TK40 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması	79
Şekil 3.49. E60TK40 numunelerine ait kırılma şekilleri	79



Şekil 3.50. Epoksi, E70CK30, E70TK30 ve E69CK30CU1 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması	81
Şekil 3.51. E69CK30CU1 numunelerine ait kırılma şekilleri	81
Şekil 3.52 Saf ceviz kabuklarının FTIR spektrumu	83
Şekil 3.53 Saf epoksi ve %40 CK katkılı numunelerin FTIR spektrumu	84
Şekil 3.54 Talkın FTIR spektrumu.....	85
Şekil 3.55 Saf epoksi ve %40 talk katkılı numunelerin FTIR spektrumu.....	86
Şekil 3.54. Numune yüzeylerinin altın kaplanmış görüntüsü	87
Şekil 3.55. Saf epoksi numuneye ait (a) 500X, (b) 1.000X, (c) 5.000X, (d) 10.000X büyütmeli mikro yapı görüntüleri	88
Şekil 3.56. E90TK10 kodlu numuneye ait (a) 500X, (b) 1.000X, (c) 5.000X, (d) 10.000X büyütmeli mikro yapı görüntüleri.....	89
Şekil 3.57. E70TK30 kodlu numuneye ait (a) 500X, (b) 1.000X, (c) 5.000X, (d) 10.000X büyütmeli mikro yapı görüntüleri	90
Şekil 3.58. E70TK30 kodlu numuneye ait (a) 500X, (b) 1.000X, (c) 5.000X, (d) 10.000X büyütmeli mikro yapı görüntüleri	90
Şekil 3.59. E69CK30CU1 kodlu numuneye ait (a) 500X, (b) 1.000X, (c) 5.000X, (d) 10.000X büyütmeli mikro yapı görüntüleri	91



CEVİZ KABUĞU DOLGULU EPOKSİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Ceviz üretimi açısından önemli bir yere sahip olan Ülkemiz dünyanın önde gelen ceviz üretici ülkeleri arasında yer almaktadır. Cevizlerin üretimi ve tesislerde işlenmesi yan ürün olarak çıkarılan binlerce kg ceviz kabuğunun yakacak olarak tüketilmekte ve üretime katılamadan yok olmaktadır. Bunun tam aksine ceviz kabuğunun selülozik yapıda olması değerlendirilmesi üretime katılması ve ekonomik değer elde edilmesi bol miktarda ceviz üreten ülkemizde önemli bir yere sahip olmaktadır. Termoset ve termoplastik matrisli polimer kompozitler de dolgu maddesi olarak kullanılıp değerlendirilebilir. Bu alanda son yıllarda yapılan geri dönüştürülebilir bir malzeme ve çevreye daha düşük etkili olması, proses kolaylığı gibi olumlu etkileri yanı sıra tarımsal gıda endüstrisi atıklarından veya yan ürünlerinden elde edilen doğal ürünlerin kullanılıp değerlendirilmesi gibi çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Üretilen bu tarımsal artıklar üzerine yapılan çalışmalar sürdürülebilir kaynaklar açısından artan bir öneme sahiptir. Bu amaçla tarımsal atık olan ceviz kabuğunun yakılmak dışında ülke ekonomisine katkıda bulunması ve katma değer üretmek adına denizcilik, otomotiv, uzay-havacılık ve savunma sanayii gibi birçok alanda yeni ve ekonomik malzeme üreterek kullanılabilecek bir yapıda ürüne dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Çalışmanın içeriğinde Epoksi, talk ve ceviz kabuğu kullanılarak polimer döküm yöntemiyle test numuneleri hazırlayıp test etmektir. İdeal dolgu oranına sahip malzemelerin karışımının uygun olup olmadığının belirlenmesi amacıyla üretilen test numunelerine FT-IR yöntemiyle karakterize edilip gelecek dönemlerde yapılacak çalışmalar kapsamında üretilen numunelerin mekanik testleri darbe testi, çekme testi ve eğme testi gibi mekanik teste tabii tutularak üretilen malzemelerin değerlerinin belirlenmesi işlemi gerçekleştirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Ceviz kabuğu, Ceviz kabuğu katkılı kompozit, Organik katkı maddesi



INVESTIGATION OF MECHANICAL BEHAVIOURS OF EPOXY HYBRID COMPOSITE MATERIALS FILLED WITH WALNUT SHELL

ABSTRACT

Our country, which has an important place in walnut production, is among the leading walnut producer countries of the world. Thousands kg of walnut shells, which are extracted as a by-product in the production and processing facilities of walnuts, are consumed as fuel and are destroyed before they can participate in production. On the contrary, the fact that the walnut shell has a cellulosic structure, its participation in production and obtaining economic value have an important place in our country, which produces plenty of walnuts. Thermoset and thermoplastic matrix polymer composites can also be used and evaluated as fillers. In recent years, many studies have been carried out in this field with the use and evaluation of natural products obtained from agro-food industry wastes or by-products, as well as positive effects such as a recyclable material and low environmental impact for ease of process. Studies on these agricultural residues produced have an increasing importance in terms of sustainable resources. In this area, it is aimed to transform the walnut shell, which is an agricultural waste, into a product that can be used in many areas such as maritime, automotive, space-aviation and defense industry by producing new and economical materials for many fields in order to contribute to the country's economy and generate added value, apart from being burned. The content of the study is to prepare and test test samples by polymer casting method using epoxy, talc and walnut shell. In order to determine whether the mixture of materials with ideal filling ratio is suitable, the test samples produced will be characterized by the FT-IR method and the mechanical values of the samples such as mechanical tests, impact test, tensile test and bending test will be carried out within the scope of future studies.

Keywords: Walnut shell, Walnut shell added composite, Organic additive



1. GİRİŞ

Polimer malzemelerden ürün/parça üretiminde daha ekonomik olması, kolay işlenmesi ve imalatının kolay olması nedenleriyle inorganik malzemelere oranla organik malzemeler daha fazla tercih edilmektedir. Polimer malzemeler saf halde kullanıldığında istenilen mekanik, ısı vb özelliklerin elde edilememesi gibi olumsuz özellikleri azaltmak amacıyla matris olarak kullanılan polimer malzemelerden birden fazla malzemenin birleştirilmesiyle daha üstün özelliklere sahip yeni malzemeler ya da bilinen diğer adıyla kompozit malzemeler üretilmektedir [1]. Kompozit malzemeler, birden fazla malzemenin karıştırılmasıyla elde edilen bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip en az iki farklı bileşenlerinden oluşan (matris ve takviye malzemesi) termoset veya termoplastik esaslı bir malzemedir [2].

Kompozit malzemeleri basit şekilde tanımlarsak: ana matris ve fiber malzemelerden oluşan makro boyutta en az iki malzemenin birleştirilmesiyle elde edilen malzemelerdir. Kompozit malzemelerin bileşenlerinin üstün özellikleri, mümkün olan en iyi şekilde değerlendirilerek malzeme seçimi yapılmalıdır. Birbirlerini tamamlaması için kullanılan malzemelerde zayıf özelliklerinin ortadan kaldırılarak malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi ve birbirleriyle uyumlu bir bileşim oluşturmaktır. Kompozit malzemelerin özelliklerini iyileştirmek ve mekanik özelliklerini geliştirmek için kullanılan takviye malzemelerin seçimi de oldukça önemlidir [2].

Günümüzde kompozit malzemelerin öneminin birçok alanda arttığı alternatif kompozit malzemelere duyulan ihtiyaç bilim insanlarının bu konuya yönelmesini ve bu alanda farklı birçok çalışma yapmasını sağlamıştır [3]. İnorganik ve organik malzemelerin birlikte kullanıldığı hibrid kompozitlerde, mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla termoplastik elastomerler de karışım içerisine ilave edilmektedir. Bu termoplastik elastomerler karışıma ilave edildiğinde ürünlerde esneklik sağlamakta, bu da ürünün darbe mukavim değerlerini ölçmek için yapılan testlerde (izod ve charpy) iyileşme sağlamaktır [4].

Plastik malzemeler tek başına kullanıldıklarında istenilen mekanik değerleri beklenen düzeyde sağlayamamaktadır. Ancak kullanıcıların talepleri üzerine plastik ürüne uygun olan katkı ve dolgu ilavesi yapılarak farklı ısı ve mekanik özelliklere sahip yeni polimer karışım ve malzemeler yapılabilmektedir [5].

Bu çalışmada; matris malzemesi olarak epoksi, katkı ve dolgu malzemesi olarak tarımsal bir atık olan ceviz kabuğu, talk, bakır tozu kullanılarak, termoset matrisli polimer kompozit üretilmesi hedeflenmektedir. Bu sayede ülkemizdeki birçok tarımsal atıktan biri olan ceviz kabuğu ülke ekonomisine bir katma değer sağlaması ve farklı sektörlerde kullanımı incelenecektir. Bunun yanı sıra ülkemiz çiftçileri için yeni bir gelir kapısının oluşturulması, daha az plastik hammadde kullanımı ve sürdürülebilir malzemelerden kompozitlerin üretilmesi de sağlanmış olacaktır.

1.1. Tezin Amacı

Türkiye ceviz üretimi açısından dünyanın önde gelen sayılı üreticileri arasında yer almaktadır. Ülkemizde ceviz işleme tesislerinden her yıl çıkan binlerce ton ceviz kabuğu yakacak olarak tüketilmekte ve ekonomik bir değere sahip olmamaktadır. 2021 yılında dünya genelinde toplam 4,6 milyon ton ceviz üretimi gerçekleşmiştir. Aynı yıl içerisinde ülkemizde ceviz üretimi bir önceki yıla göre %13,4 oranında artış göstererek 325 bin tona ulaşmıştır. Ceviz üretiminin 2022 yılında artarak 375-405 bin ton aralığında bir üretimin olacağı tahmin edilmektedir [6]. Ceviz kabuğunun selüloz ağırlıklı ve kısmen sert bir yapıya sahip olması ve ülkemizde üretiminin çok olması nedeniyle polimer matrisli kompozitlerde dolgu maddesi olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir. Özellikle bu kapsamda çevreye zararı olmaması, sürdürülebilirlik, geri dönüşüm ve proses kolaylığı gibi nedenlerle termoplastik kompozitlerin üretiminde tarımsal gıda endüstrisi atıklarından veya yan ürünlerinden elde edilen doğal maddelerin kullanılmasıyla ilgili son yıllarda artan sayıda çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizdeki tarımsal atıklar bu çalışmalarda sürdürülebilir hammadde kaynakları açısından oldukça dikkat çekmektedir. Bu çalışmada; tarımsal bir atık olarak ülkemiz ekonomisinde bir katma değer üretmeyen ceviz kabuklarının epoksi matrisli termoset polimer kompozitlerin üretiminde kullanılması, uygun dolgu oranının belirlenmesi, kompozitin mekanik özelliklerin talk ve bakır tozu gibi katkıları ile geliştirilmesi, katma değeri yüksek, doğa ile uyumlu ve ülkemiz ekonomisi açısından katkı sağlayacak bir ürüne dönüştürülmesi amaçlanmıştır.

1.2. Literatür araştırması

Epoksi reçineler gerek literatürde gerekse de endüstride kompozit yapımında yaygın olarak kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. Son yıllarda, kompozitlerde dolgu maddesi olarak sentetik elyaflar yerine doğal elyafların kullanımı artmış olup, bu konuda pek çok çalışma yapılmaktadır. Ceviz, dünyanın genellikle ılıman bölgelerinde yetiştirilen ve bu çalışmalarda kullanılan önemli bir üründür. Dünya genelinde ceviz üretimi yılda 4,6 milyon ton civarında olduğu bilinmektedir ve dünyada en büyük ceviz yetiştirici Çin'dir. Çin toplam dünya ceviz üretimin yaklaşık %51'ini elinde tutmaktadır. Çin'den sonra Amerika Birleşik Devletleri (ABD), İran ve Türkiye de diğer kitlesel ceviz yetiştiricileri olarak ön plana çıkmaktadır [7]. Ceviz Şekil 1.1'de görüldüğü gibi (i) çekirdek, (ii) zar, (iii) kabuk ve (iv) yeşil kabuk olmak üzere dört ana bölümden oluşmaktadır. Ceviz kabuğunun ağırlıkça yaklaşık %50 lignin, %25 selüloz, %23 hemiselüloz ve %2 diğer bileşenlerden oluşur [8-10].



Şekil 1.1. Ceviz kabuğu ve yan ürünleri [7]

Esas olarak çekirdek elde etmek amacıyla yetiştirilen cevizden, ceviz kabukları işleme sırasında atık ürünler olarak elde edilir. Ceviz çekirdeğinin toplam ağırlığının yaklaşık %67'sini ceviz kabuğu oluşturmaktadır. Dünyada her yıl yaklaşık 1,5 milyon ton ceviz kabuğunun endüstriyel kullanımı ve yan ürün olarak kullanımı oldukça sınırlıdır. Ceviz kabukları atık olarak doğaya atılmakta veya yakılarak tüketilmektedir. Ancak bu tüketim şekli çevre kirliliğine neden olmakta ve ekonomik bir katma değer oluşturmamaktadır. Bu nedenle ceviz kabuklarının hem endüstriyel olarak kullanılması hem de bir katma değer oluşturması için farklı alanlarda kullanılabilirliğinin incelenmesi gerekmektedir. Reaktif fonksiyonel grup içermeleri,

yüksek karbon içerikleri, birçok endüstriyel kimyasal ile uyumlu olmaları, aromatik halka içermeleri, iyi reolojik ve viskoelastik özelliklere sahip olması ve buna bağlı mekanik özelliklerinin yeterince sahip olması gibi nedenler ceviz kabuklarının polimer kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılması her geçen gün yaygınlaşmaktadır [11].

Endüstride, lif ve tekstil yüzey takviyeli kompozit malzemeler geniş kullanım alanlarına sahiptir. Son yıllarda bitkisel kaynaklı lifler, cam gibi sentetik lifler yerine daha fazla ilgi görmektedir. Hatta mobilya, ambalaj, bina ve otomobil endüstrilerinde halihazırda bitkisel lif bazlı termoplastik kompozitler uygulama alanı bulmaktadır [12,13]. Buğday sapı, pirinç sapı, kenevir lifi, ceviz kabuğu, fındık kabuğu ve farklı diğer kuru meyve kabukları, polimer matrisli kompozit üretiminde kullanılan, doğal lifler arasında yer almaktadır.

Onat ve ark. polyester reçinede, katkı olarak kullanılan ceviz kabuğu boyutlarının arttırılıp kullanılmasıyla ısı yalıtımının iyileştiğini, küçük boyutlarında ceviz kabuğu katkısının kullanımı ise mekanik özellikleri geliştirdiğini tespit etmişlerdir [13]. Borazan [2], polyester reçine içerisinde ceviz kabuğu kullanıldığında genel olarak mekanik özellikleri düşürdüğünü, kopma uzama miktarının ise arttığını tespit etmiştir. Ceviz kabuğunun termoset esaslı kompozit malzeme üretiminde kullanılabileceğini belirtmiştir. Ün [14], epoksi kompozit içerisinde kalsit oranının artmasıyla eğme modülünün, çekme ve eğme mukavemetinin de düştüğünü, sertliğin arttığını, kalsit miktarındaki artışa bağlı olarak yapıda topaklaşmanın arttığını ve kalsit kullanımında maliyetin ortalama %15 oranında azaldığını ifade etmiştir. Topalömer [15], vinilester reçineye oranla epoksinin mekanik özelliklerinin daha yüksek olduğu, kalsitin dolgu malzemesi olarak kullanıldığında, kalsit miktarındaki her %5'lik artışa oranla mekanik özelliklerde %10 civarında bir azalmanın meydana geldiği tespit etmiştir.

Şahin [16], ceviz kabuğu ile takviye edilmiş PP numunelerin aşınma direncinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Paliwal ve ark. [17], cam fiber ve kalsit (CaCO_3) dolgulu epoksi kompozit numunelerin çekme mukavemetini araştırmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda cam fiber takviyeli epoksi kompozit malzemede artan cam fiber oranıyla çekme mukavemetinin de arttığı gözlenmiştir. Cam fiber takviyeli ve CaCO_3 dolgulu epoksi kompozit, fiber oranı sabit kalmak koşulu ile malzeme

içerisinde artan dolgu malzemesinin çekme mukavemetini düşürdüğü tespit edilmiştir. Dhawan ve ark. [18] cam fiber takviyeli polyester ve epoksi kompozit malzemelere pirinç kabuğu, buğday kabuğu ve hindistan cevizi lifi gibi doğal dolgu maddeleri ilave ederek malzemenin mekanik özelliklerini ve aşınma direncini inceleyerek iki farklı kompoziti karşılaştırmış ve aralarındaki farkları gözlemlemiştir.

Kompozit yapı içerisine dolgu maddesi ekleyerek mekanik özelliklerin iyileştirilmesi ile ilgili önemli çalışmalardan biri de Heinold tarafından gerçekleştirilmiştir [19]. Heinold araştırmasında polipropilen (PP) matris içerisine talk ekleyerek kompozitin ısı direnci ve sertlikteki değişimleri gözlemlemiştir. Çalışmanın sonraki aşamasında; kompozit yapıya kalsiyum karbonat ve mika eklenmiş, bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Mikanın, ısı direnci ve sertlik değerleri üzerinde talk'tan daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Heinold bu durumun yüzey modifikasyonundan kaynaklandığını açıklanmıştır. Subramanion ve ark. [20] dolgu malzemesi olarak kullanılan grafitin, epoksi reçine içerisinde sürünme ve aşınma dayanım gibi etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda grafit etkisiyle kompozit yapının sürtünme katsayısında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca yapı içerisindeki grafit oranının %3 ve üzeri olduğu durumlarda ise aşınma dayanımında da önemli derecede azalmalar gözlemlenmiştir. Akter [21], yüksek mukavemet, düşük termal genleşme ve düşük ağırlık gibi avantajlara sahip olması nedeniyle kompozitlerin, yüksek özellikleri nedeniyle tercih edilen geleneksel metal malzemelerin yerini aldığını ifade etmiştir. Plastik matrisli kompozit malzemelerde, organik doğal dolgu ve takviye malzemelerin kullanımı her geçen gün artmakta ve endüstriyel olarak geniş ölçüde kullanılmaktadır. Keten, bambu vb. lifler ile mısır koçanı, pirinç kabuğu ve değişik ağaçlardan elde edilen ahşap tozları en çok kullanılan organik dolgu ve takviye malzemeleridir [22, 23].

Nitin ve Singh [24], epoksi kompozit malzemelerde CK oranının artmasıyla malzemelerin yoğunluğun azaldığı, ancak CK katkısının mekanik özellikleri değiştirdiğini gözlemlemişlerdir. Singh [25], kompozit malzemenin içerisinde daha fazla dağılım sağlayan ceviz kabuğu, kompozitin elastisite modülünü ve sertliğini arttırdığı, çekme mukavemeti ve eğilme dayanımını ise azalttığını tespit etmiştir. Bunun yanı sıra alkali ile karışım yapılmış ceviz kabuklarının kullanıldığı

çalışmalarda, termal stabilitenin arttığı ve CK katkısı malzemelerin Tg değerlerini değiştirdiği ve yükseldiği bulunmuştur [25].

Yöney ve ark. [26] vinil ester reçine içerisine farklı oranlarda keten ve bambu lifleri katarak hazırladıkları kompozit malzemelerin darbe dayanımını incelemişlerdir. Araştırmacılar; keten lif takviyeli kompozit numunelerinin, bambu lif takviyeli numunelerinin darbe dayanımına oranla iki kat daha fazla olduğunu tespit etmiştir. SEM incelemelerinde liflerin kopması ve de dağılması yoluyla kırılmaya daha fazla enerji harcadığına ulaşılmış bu da keten lifinin darbe dayanımını arttırıcı bir etkiye sahip olduğunu kanıtlamıştır [26]. Sağbaş ve ark. polyester reçinenin keten elyafları ile takviye edilmesi neticesinde çekme ve darbe mukavemetini arttırdığını gözlelemişlerdir [27]. Boriaa ve ark. bazalt, keten ve vinil ester malzemelerden hibrid kompozitler üretmiş, malzemelerin ağırlık kaybı ve hacim gibi fiziksel özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. Keten elyaf tabaka olarak kullanımının, gerilim stres özellikleri açısından farklı özellikteki iki maddenin birleşiminin nasıl plastik bir davranış sergilediği, bazaltın sertliğini ve gevrekliğini düşürerek, malzemeye nasıl bir esnek yapı kazandırdığı tespit etmişlerdir [28].

Huo ve ark. [29] keten liflerine uygulanan yüzey değişimlerinin etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonunda; yüzey modifikasyonu işlemiyle, mekanik özellikler açısından keten lifli kompozitin, cam lifli kompozit ile kıyaslanabilir hale geldiği sonucuna ulaşılmıştır. Ramnath ve ark. jüt, keten ve cam lif ile takviye edilmiş kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini inceleyip çıkan sonuçları jüt ve cam lif ile katkılı malzemeler ile mukayese etmişlerdir. Keten lifli kompozitin çok daha iyi çekme ve eğilme özelliklerine sahip olduğu tespit edilmiştir [30]. Zhang ve ark. [31] tek yönlü keten ve cam lif ile takviye edilmiş kompozitin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Doğal ve sentetik liflerin beraber kullanımı, kompozitlerin gerilme değerlerinin cam lif katkısının artırılmasıyla arttığı, keten ve cam lifinin katkı esnasında öncelikli kullanımı, gerilme dayanımı ve deformasyona etki ettiği tespit edilmiştir [31]. Croccolo ve ark. organik iki ayrı reğineyi aynı keten lif ile takviye etmiş ve ürettikleri kompozitlerin mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır [32]. Elde edilen bulgular izoftalik reçinenin dayanım ve sertlik açısından vinil ester reğineden daha üstün olduğu, izoftalik reçineli kompozitlerde ise lif ve matris arasında yapışmanın iyi olduğu ancak az miktarda olsa yan etki olarak

hava kabarcıkları oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar tarafından, izohtalik reçinenin mekanik özelliklerinin keten lifi ilavesiyle iyileştirilebildiği ve geleneksel reçinelerin yerine kullanılabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Muralidhar ve ark. çalışmalarında düz dokuma, ribana örme ve ribana örme/düz dokuma olacak şekilde malzemelerin her şekilde sıralamasını yaparak istiflenen keten kumaş takviyeli epoksi reçineli kompozit numunelerin eğilme ve darbe testlerini incelemişlerdir [33]. Her biri farklı olarak yapılan ribana örme ve düz dokuma şeklinde, kumaşlar ile yapılan kompozitler arasında ribana örme olanlar eğilme ve darbe testlerinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bulgular farklı açılarda istiflenme de katman sayısı arttıkça mukavemet değeri orantılı olarak artmıştır. Sapuan ve ark. [34] kompozit içerisinde dokunmuş muz lifi ile takviye edilmiş epoksi kullanmış ve kompozitlerinin mekanik davranışlarını incelemişlerdir.

Usta ve ark. pamuk ile PP polimerini karıştırarak, yeni bir kompozit yapı üzerinde çalışmalar yapmış, bu yapının mekanik özellikleri ve akışkan özelliklerini incelemiş, lif oranının kompozit malzemeye kazandırdığı özelliklerini ve etkisini incelemişlerdir [35]. Kompozit içerisine ilk olarak %97 oranında PP, %3 oranında pamuk ikinci olarak %94 oranında PP ve %6 oranlarında pamuk ilavesi ile üretilen kompozitin elastiklik modülü, akma, kopma dayanımı ve sertlik değerlerinde azalış meydana gelmiştir. Uzama ve izod darbe dayanımı değerlerinde, elyaf katkısının dağılımına bağlı olarak, artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Manikandan ve ark., sisal lifi ile takviye edilmiş kompozit malzemelerin lif dağılımı, liflerinin uzunluğu, lif oranı gibi fiziksel özelliklerinin çekme özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir [36]. Kaya, “fındık ve çeltik kabukları ve odun talaşı ile takviye edilmiş termoset kompozitlerde reçine türünün fiziksel özelliklere etkisi” adlı çalışmasında yapılan deney sonuçlarından elde edilen bilgilere göre, selülozik yapılı odunsu organik hammadde çeşidi ve miktarıyla, reçine çeşidi ile orantılı olarak fiziksel yapısında ve mekanik özelliklerinde farklılık olduğu tespit edilmiştir. Ancak üretilen numunelerde istenilen birçok standardın yakalandığı sonucuna varmıştır [37]. Venkatesh [38] hindistan cevizi kabuğu tozu (CSP) ile takviye edilmiş epoksi kompozitlerin üretimini ve mekanik davranışlarını incelemiştir. Kompozitin yoğunluğu, ceviz kabuğu miktarının kompozit içinde dağılımına ve elyaf içeriğinin

artmasıyla azalmıştır. Ayrıca kompozitin rijitlik oranı içeriğindeki lif oranına bağlı olarak artmıştır

Gairola ve ark. çam yaprağı iğnesi lifleri ve fıstık kabuğu dolgu maddelerini kompozit geliştirmek için katkı maddesi olarak kullanmışlardır. Üretimi yapılan kompozitler su, petrol ve kerosen gibi farklı kimyasal solüsyonlar içinde test edilmişlerdir. Üretilen kompozitlerin darbe mukavemeti ve mekanik özelliklerinden elde edilen bulgulara göre, kompozitlere fıstık kabuğu ve çam iğnesi liflerinin eklenmesi ile üretilen numunelerin, saf epoksi numunelerine göre değerleri incelendiğinde, çıkan sonuçlar kıyaslanmış darbe mukavemetinde artış olduğunu tespit edilmiştir [39]. Salasinska ve ark. öğütülmüş ceviz kabuğu katkısı ile elde edilmiş epoksi reçineli kompozitleri geliştirip karakterize etmişlerdir. Çalışma sonunda; Yüksek miktarlarda ince öğütülmüş ceviz kabuğunun termoset polimere ilave edilmesiyle reçinenin mekanik özelliklerini yükselttiğini tespit etmişlerdir [40]. Aynı grupta başka bir çalışmada ceviz kabuğu, fındık kabuğu ve ayçiçeği kabuğu gibi tarımsal atık ürünleri de epoksi kompozitlerin üretimi için kullanmıştır. Elde edilen bulgular doğal atık olarak kullanılan dolgu maddesinin kimyasal yapısına, parçacık boyutuna, şekline ve serbest yüzeyine bağlı epoksi kompozitlerin mekanik özelliklerine etki eden, karmaşık bir fonksiyona sahip olduğunun sonucuna varmışlardır [41]. Albaker ve ark. biyolojik içerikli epoksi kompozitlerin sentezlenmesinde dolgu malzemesi olarak matris içerisine %10 ila %50 arasında modifiye edilmiş ceviz kabukları takviye malzemesi olarak kullanmışlardır [42].

Modifiye edilmiş WS katkılı kompozitlerde çekme mukavemeti değerlerinin arttığı ve en yüksek değeri ağırlıkça %20 WS katkısı bulunduran kompozitlerde olduğu tespit edilmiştir. Ağırlıkça %20'nin üzerinde WS barındıran numunelerde, kompozit içerisinde WS'nin yüzdelik değenin artmasıyla testlerde çıkan mekanik değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre WS takviyeli epoksi malzemelerin su emme özelliğinin arttığı tespit edilmiştir. Kompozit numunelerin özelliğindeki bu değişim, kompozit malzemelerin içerisine katılan dolgu malzemelerinin miktarı ile değişim göstermektedir. Yapılan tüm bu çalışmalar doğal lif ve dolgu olarak kullanılan takviye malzemeleri organik, yenilenebilir malzemelerin ve hibrid kompozitlerin üretiminde gittikçe önemli bir hale geldiğini göstermektedir. Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde, doğal lifler kullanılarak

üretilmiş kompozit malzemelerin, selülozik içerikli ve bitkisel kaynaklı liflerin, ceviz ve kabuklu yemişlerin kabukları takviye malzemesi olarak kullanıldığı çalışmalar yapılmıştır. Literatür araştırmalarında ceviz kabuğunun kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmüştür. Bu nedenlerden dolayı konuya ilgi duyanlar ve bu alanda çalışmalar yapacak olan kişiler açısından referans bir kaynak oluşturacağı düşünülmektedir.

1.3. Hipotez

Çalışmamızın amacı kompozit malzemeler fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirinden farklı, birbiri içerisinde çözünmeyen iki veya daha fazla bileşenin bir araya gelmesiyle oluşan malzemelerdir. Kompozit malzemelerin en büyük avantajı yapısında bulunan bileşenlerden daha üstün özelliklere sahip olmasıdır. Katkı ve dolgu maddeleri kompozit malzemelerin mekanik iyileştirme ve geliştirme aşamasında önemli bir yere sahiptir. Bu alanda kullanılan malzemelerin, daha hafif daha mukavvim, daha ekonomik, organik ve geri dönüştürülebilir karaktere sahip olması sebebiyle katkılı kompozitlere duyulan ilgiyi her geçen gün arttırmaktadır. Bu doğrultuda çalışmamızda kullanacağımız ceviz kabuğu talk ve bakır dışında kullanılan bileşenler; kalsit, cam fiber, karbon elyaf, bazalt, silika, kalsit, odun talaşı, fındık kabuğu, hindistan cevizi kabuğu gibi selülozik katkı maddeleri gibi dolgu maddeleri de kullanılmaktadır. Bu çalışmaların başka bir amacı da malzemelerin geri dönüşüm ve çevreci geri dönüştürülebilir malzemeler üretebilmek ve plastik içerisinde organik madde oranını arttırmak için önemli bir etkidir. Çalışmamızda organik ceviz kabuğu, inorganik olarak talk epoksi ve sertleştirici birlikte kullanılmasıyla üretimini yapacağımız kompozit malzemelerin mekanik testler ile kontrolü yapıp mukavemeti, ısı ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Bu özelliklerin saptanmasıyla karakterizasyon işlemi yapıp sonuçta hibrit yapıların özellikleri konusunda detaylı bilgiler edinmemize imkân sağlayacaktır. Çalışmamda ceviz kabuğu ve talk katkılı termoset matrisli kompozit malzeme üretme ve karakterizasyonu yapılması bu çalışmamın temel amacıdır.



2. MALZEME VE METOT

2.1. Malzemeler

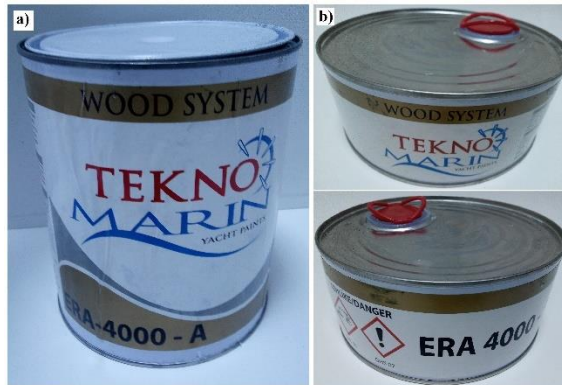
Çalışmamızda kullanacağımız kalıp malzemesi yapımında RTV2 kalıp silikonu, matris malzemesi olarak Teknomarin firmasına ait ERA-4000 ticari kodlu epoksi reçine ve dolgu malzemesi olarak ise ceviz kabuğu ve talk kullanılmıştır.

2.1.1. ERA-4000 Epoksi reçine

ERA-4000 iki bileşenden oluşan ve herhangi bir solvent içermeyen bir epoksi reçinedir. Genel olarak tamir, ağacın, cam elyaf takviyeli polyester gibi malzemelerin bakım ve koruma uygulamalarında kullanılmaktadır. İyi nüfuziyet özelliğinin yanında, esneklik ve yapışma gibi özellikleri de mevcuttur. ERA-4000 epoksi reçinesine ait teknik özellikler Tablo 2.1’de verilmiştir. Epoksi reçineye ait kutu görselleri Şekil 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. ERA-4000 Epoksi reçinenin teknik özellikleri

Özellik	Açıklama
Hacimce katı madde (%)	100
Yoğunluk (gr/cm ³)	1,1
Renk	Şeffaf
Parlaklık	Parlak
Kuru film kalınlığı (µ)	200
Uygulama aralığı (°C)	+15 ~ +35
20 °C’de kuruma zamanı	İlk kuruma 1 saat, kuruma 6 saat
Karışım oranı	2A / 1B



Şekil 2.1. ERA-4000 Epoksi sistem a) epoksi, b) kürleştirici reçine

2.1.2. Ceviz kabuğu

Çalışmada Kahramanmaraş Çağlayancerit ilçesinde yetişen ve yöreye özgü bir tür olan Maraş-18 cinsi ceviz kabukları kullanılmıştır. Ceviz kabuklarının yoğunluğu 1,0-1,2 g/cm³ arasında değişmektedir. Ceviz kabukları yapı itibarıyla iki kısımdan meydana gelmektedir. Dışta sert odunsu yapıda bir kabuk ve içte ise bariyer özelliği gören bir zardan meydana gelmektedir. Ceviz kabukları neme ve suya duyarlıdır. Mohs sertlik skalasına göre sertlik değeri 2,5-3,5 arasında değişmekte ve kabukları iğne ve çakı ile çizilenler sınıfına girmektedir. Ceviz kabuklarının odunsu yapısını oluşturan ve kabuklara dayanım sağlayan lignin kimyasal bileşimde %50,3 oranında bulunmaktadır. Selüloz %23,9 oranıyla ligninden sonra yapıda bulunan en çok ikinci malzeme grubunu oluşturmaktadır. Bunun yanında yapıda selüloz ve lignine ek olarak %22,4 oranında hemiselüloz ve %3,4 oranında ise diğer bileşenler bulunmaktadır. Yapıda bulunan zar, karışım esnasında topaklaşmayı arttırdığı için, Şekil 2.2’de görüldüğü gibi; çalışmada sert kabuksu yapı ve zar kısmı birbirinden ayrılmış ve yalnızca sert odunsu kabuklar öğütülme işlemine tabi tutulmuştur.

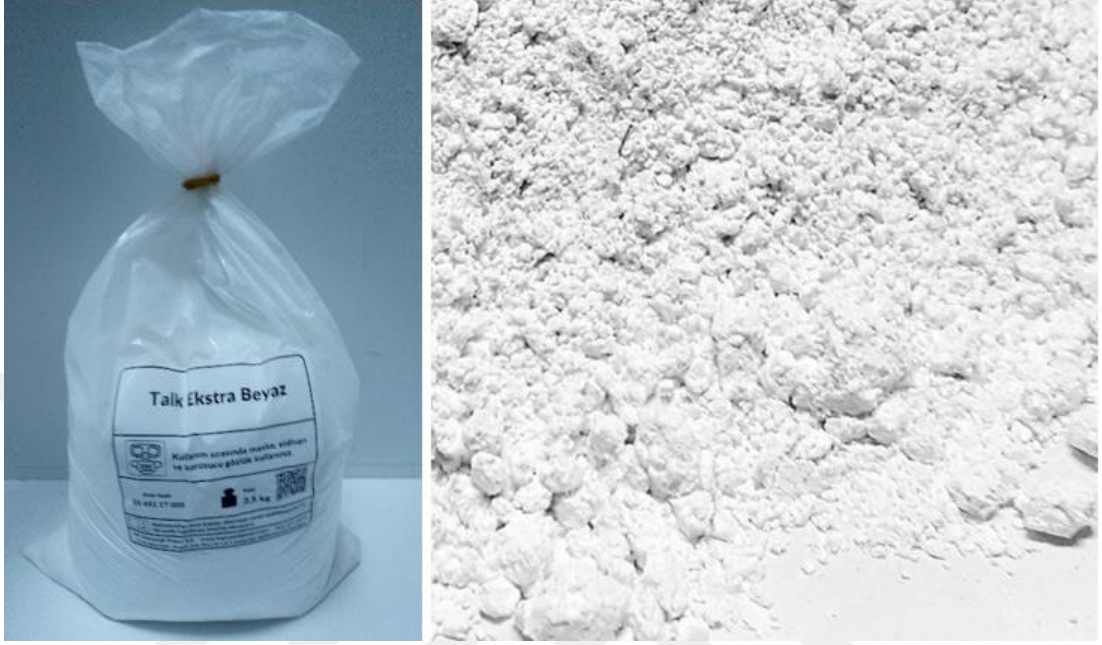


Şekil 2.2. Ceviz kabuğu ve ceviz içinin görünüşü

2.1.3. Talk

Genel olarak hidratlanmış magnezyum silikadan oluşan bir mineraldir. Bir mohs sertlik değeri ile bilinen en yumuşak mineraldir. Talk genellikle yekpare, nadir olarak da yekpare kristaller olarak da bulunabilirler. $H_2Mg_3(SiO_3)$ ya da $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ kimyasal formülüne sahiptir. Talk teknikte makine elemanlarının aşınmasını önlemek amacıyla da kullanılabilirler. Ayrıca kablo sanayinde kablo iç damarlarının kablo dış kılıfından kolay ayrılabilmesi içinde kullanılır. Çalışmada talk 5 kodlu, 44 mikron elek bakiyesi, üretim yeri Eskişehir ve ISO 787/10’a göre yoğunluğu 2,73 gr/ml olan

talk kullanılmıştır. Tablo 2.2’ de talkın içeriği ve Şekil 2.3’ de ise talkın paketlenmiş olarak ve toz şeklindeki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2.3. Laboratuvar ortamında kullanılan talk görüntüsü

Yukarda ifade edilen kullanımlarına ek olarak talk, seramikte, boya yapımında, çatı kaplamasında, ilaç yapımında, kauçuk ve kâğıt sektöründe, kozmetik ve farmakolojide, asfalt dolgu maddesi yapımında, hayvan yemi ve gübre üretiminde kullanılmaktadır. Talkın ısı ile genişleme özelliğinin çok az olması nedeniyle banyo ve mutfak seramiklerinde ve elektrik sobalarında kullanımı yaygındır.

Tablo 2.2. Talkın içeriği ve özellikleri

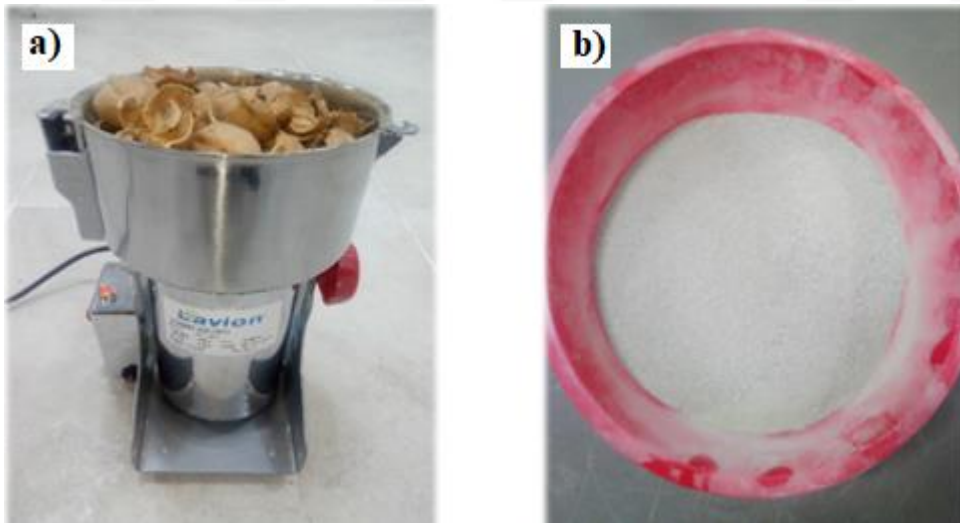
Kimyasal ve fiziksel	% lik durumu
İçerik	
SiO ₂	63,5
MgO	31,7
H ₂ O	4,8

Talkın ince lamelli saf talklar polimerlere sürünme direncini önemli ölçüde geliştirmektedir. Talkın sertliğinin düşük olması aşınma değerlerinin düşük olması proses üretim sırasında takım ömrünü önemli oranda arttırmaktadır. Kompozit

malzemelerde dolgu maddesi olarak talk kullanıldığında plastiklerin tokluk, eğme ve burma elastisite modülleri, eğme mukavemeti gibi mekanik özelliklerinde yükselme meydana getirmektedir. Isıl iletkenliği arttırmasının yanında, malzemelerin yüksek sıcaklıklarda sürünme özelliklerinin iyileştirir. Talk kullanılan kompozitlerde birçok özellikte iyileşme olmasına rağmen, kırılma anında çekme mukavemeti, kopma yüzdesinin ve çentikli darbe mukavemetinin azalması, yapıdaki katmanlar arasında ara yüzey özelliklerinin zayıf olması, renk değişimleri oluşması gibi olumsuz etkileri de görülmektedir.

2.2. Ceviz Kabuğunun Öğütülmesi ve Sınıflandırılması

Kırma işlemi için öncesinde sert kabuksu dış kısım ve yumuşak zar şeklinde olan iç kısımları ayrılarak kabuk kısmı Şekil 2.4'te verilen Lavion HC-500 Y markalı kırıcı/öğütücü değirmen kullanılarak öğütüldü. Şekil 2.4'te ceviz kabuklarının öğütülmek üzere kırıcı /öğütücü değirmene konulması işlemi ve öğütme sonrası öğütülmüş ceviz kabuklarının görüntüsü verilmiştir. Kırma işleminden sonra, kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde değişimlere neden olmaması amacıyla ceviz kabukları elek makinesinde farklı boyutlarda sınıflandırılmıştır.

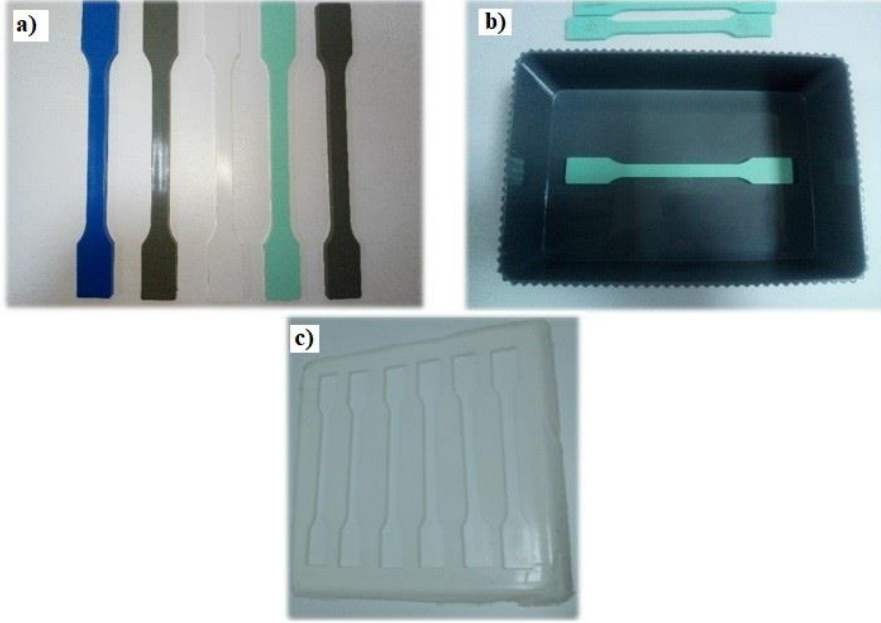


Şekil 2.4. Ceviz kabuğunun öğütülmesi a) öğütme işleminde kullanılan kırıcı/öğütücü değirmen b) öğütme işlemi sonrası toz haline getirilmiş ceviz kabukları

Kırılmış ceviz kabukları toz haline geldikten sonra elek makinesi kullanılarak eleme işlemine tabi tutulmuştur. Eleme işlemi için kullanılan elek makinası ve eleklerin görüntüsü Şekil 2.5'te verilmiştir.

2.3. Döküm İçin Silikon Kalıpların Yapılması

Silikon kalıp oluşturmak için Ottosil BS 15 Markalı kalıp silikonu kullanıldı. Kalıplama işleminde Şekil 2.7a'da verilen test numuneleri kullanılarak model oluşturuldu. Karışım şeklinde hazırlanan silikonun dökümü Şekil 2.7b' de gösterilen dikdörtgen kutu içerisinde yapıldı. Kalıplama sonrası elde edilen döküm kalıbı Şekil 2.7c'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Kalıp yapımında kullanılan numuneler ve silikon kalıp üretim aşaması

Kalıp alma çalışmalarının en önemli kısmı modelin ve kalıbın hazırlanması aşamasıdır. Çalışmada kullanılan Ottosil BS 15 kalıp silikonu esnek bir yapıdadır ve RTV2 silikon kauçuğun bir katalizör ile karıştırılması ile hazırlanmaktadır. Kalıplama çalışmalarının gösterildiği Şekil 2.7b' de silikonun modele yapışmasını önlemek amacı ile model yüzeylerine kalıp ayırıcı sürüldü. Silikon kauçuk ile katalizör oranları ağırlıkça ölçülerek homojen bir karışım oluncaya dek karıştırıldı ve sonrasında döküm işlemine geçildi. Döküm esnasında hava kabarcıkları oluşumu engellemek için hazırlanan karışım modelin en üst kısmında tek bir noktadan sabit hızla döküldü. Kalıp malzemesi oda sıcaklığında belli bir sürede vulkanize olmakta ve kullanılan katalizör miktarına göre de 2-24 saat arasında donmaktadır. Donma işlemi sonrası model ve döküm kalıbı ayrıldı. Modelden ayrılan silikon kalıp daha fazla döküm alınması ve kalıbın daha uzun ömürlü olması amacıyla oda sıcaklığında 3 saat bekletildi.

2.4. Hazırlanan Karışımların Kalıplanması ve Numunelerin Üretilmesi

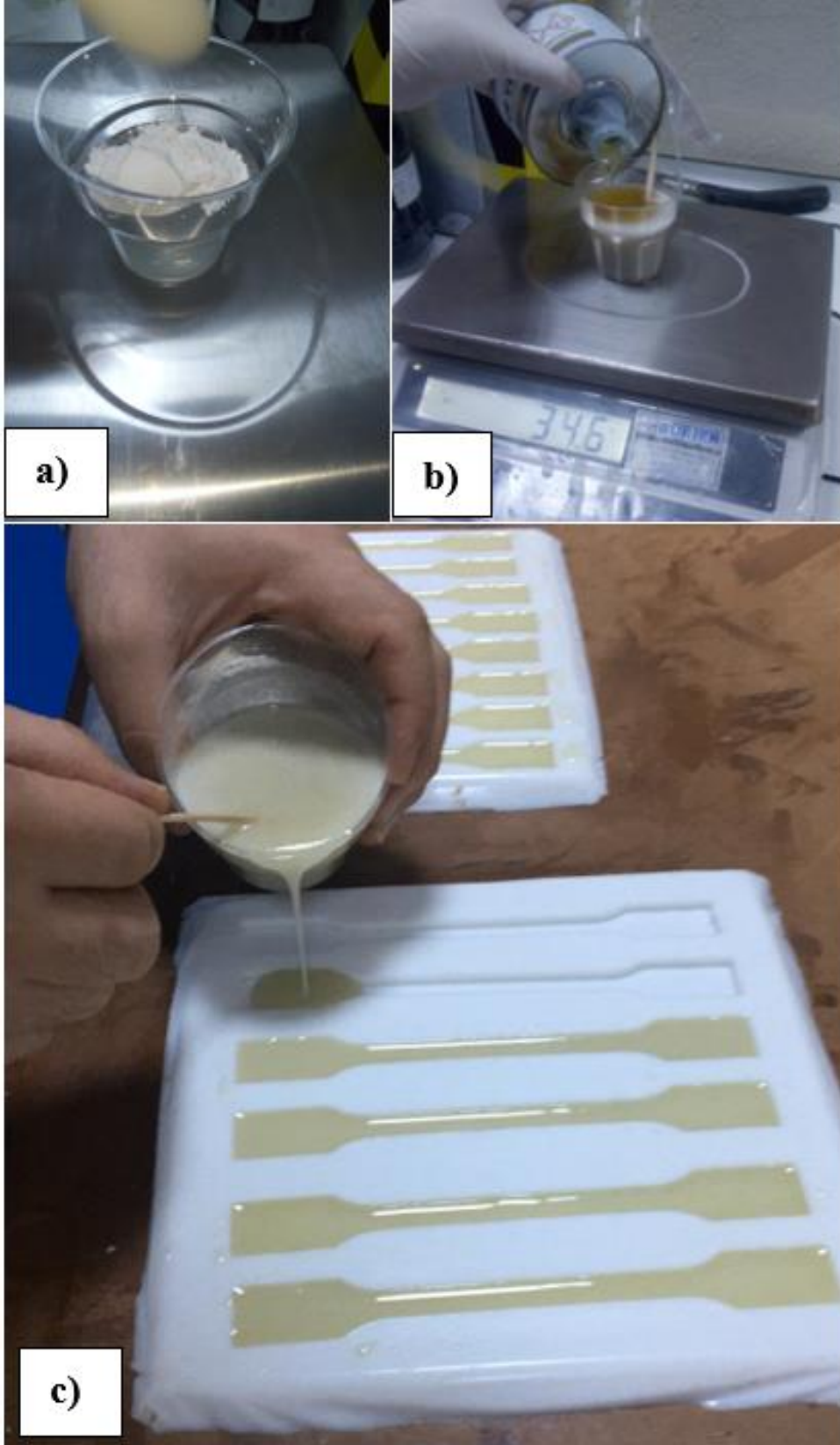
Kompozit malzeme üretiminden önce ortalama 1000 g ağırlığında olacak şekilde hazırlanan ceviz kabuklarına nem alma işlemi için şekil 2.8’de görüntüsü verilen etüvde 100 °C’de bir saat kadar kurutma işlemi yapıldı. Çalışmada ilk olarak saf epoksiden numuneler hazırlanmıştır. Sonrasında Tablo 2.3’te verilen parametrelere göre farklı katkı oranlarına sahip numuneler üretilmiştir. Çalışmada %40 talk katkılı numunelerin kalıplanmasına ait görüntüler Şekil 2.9’da gösterilmektedir.

Tablo 2.3. ERA-4000 Eposki reçinenin teknik özellikleri

Numune Kodu	Epoksi (%)	Ceviz Kabuğu (%)	Talk (%)	Bakır (%)
Saf epoksi	100	-	-	-
E90CK10	90	10	-	-
E80CK20	80	20	-	-
E70CK30	70	30	-	-
E60CK40	60	40	-	-
E90TK10	90	-	-	-
E80TK20	80	-	10	-
E70TK30	70	-	20	-
E60TK40	60	-	30	-
E69CK30CU1	89	-	40	1



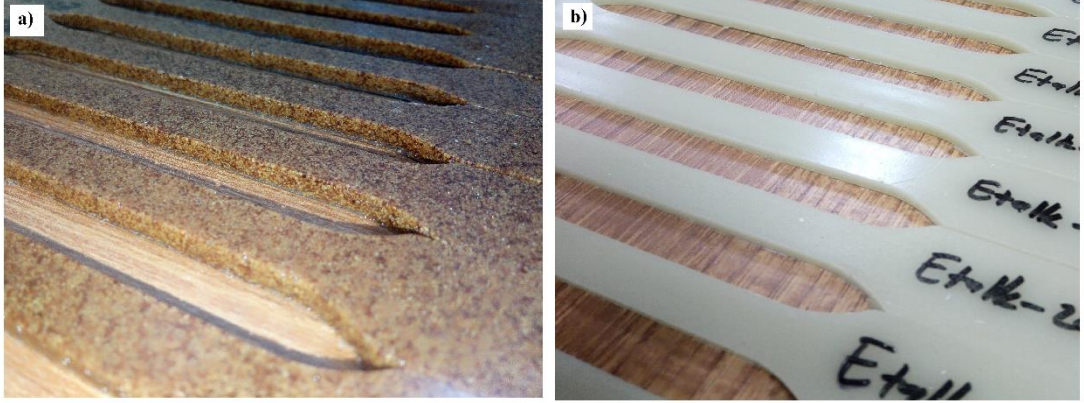
Şekil 2.8. Kullanılan ceviz kabuğu ve etüv makinası



Şekil 2.9. E60TK40 kodlu numunelerinin kalıplanma aşamaları, (a) Talk'ın epoksiye eklenmesi, (b) Sertleştiricinin reçineye eklenmesi ve (c) Hazırlanan karışımın kalıplara dökülmesi

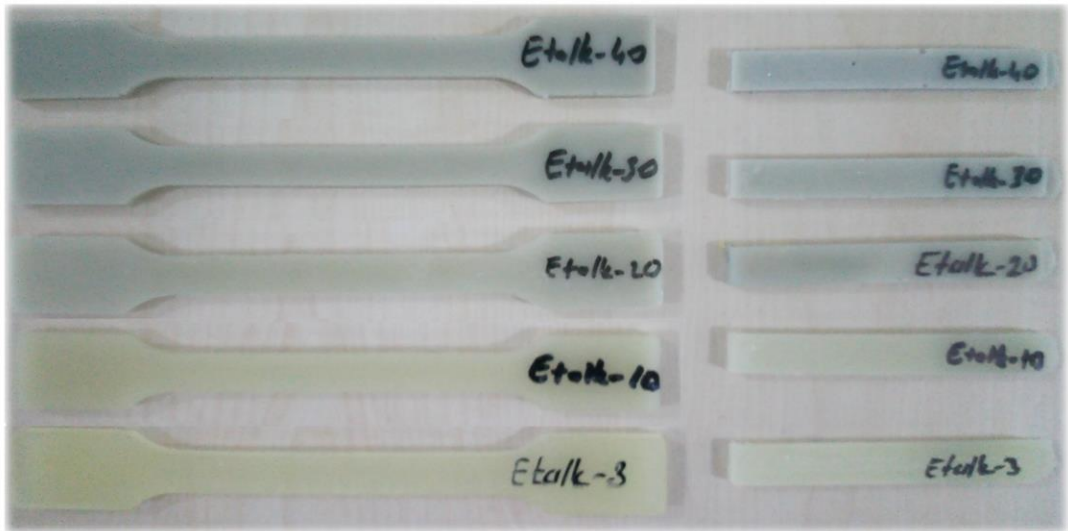
2.4.1. Numunelerin üretilmesi

Çalışmada farklı katkı oranlarında hazırlanan numunelere ait görüntüler Şekil 2.10'da verilmiştir. Şekil 2.10a epoksi+%30 ceviz kabuğu (CK) ve %1 oranında bakır (Cu) içeren kompozit numunelere ve Şekil 2.10b ise içerisinde epoksi+%20 talk bulunan numunelere ait görüntülerdir.



Şekil 2.10. CK ve talk katkılı üretilmiş kompozit numune örnekleri

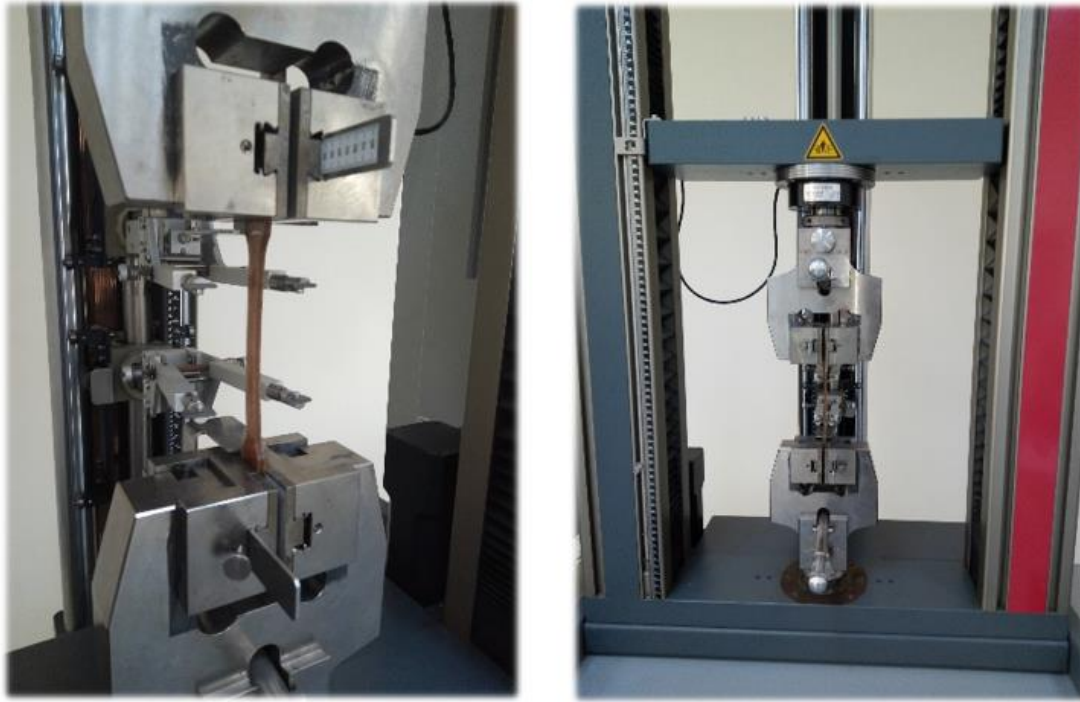
Çekme, darbe ve üç nokta eğme testinde kullanılan numunelerin genel görüntüsü ise Şekil 2.11'de verilmiştir. Darbe testi için üretilen numunelere daha sonra çentik açma makinesinde standarda uygun şekilde çentik açma işlemi uygulanmıştır.



Şekil 2.11. Talk katkılı üretilmiş kompozit numune örnekleri

2.5. Çekme Testi

Tahribatlı testler arasında en önemli yere sahip olan bu test yönteminde numunelerinin çekme testi şekil 2.12’de görülen Zwick/Roel Z020 test cihazında DIN EN ISO 527-1 test standardına göre yapıldı. Çekme test cihazı EN14119 ve CE standartlarına uygundur. Makinanın ve numunelere çekme testi uygulama esnasındaki görüntüsü Şekil 2.12’de görülmektedir. Numuneler 5 mm/dk çekme hızı ile yapılmış ve Testin sonucunda Elastik modül (E), çekme mukavemeti (Mpa), Yüzde uzama(ϵ) ve stress (Mpa) değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Numuneler test cihazının alt ve üst kısmına bağlanmış ve sonrasında numune içeriliğine göre çekme hızı ayarlanmıştır. Makina numuneye çekme testi uygularken, cihaz numunelere (gerilim-uzama) boyut değişim grafiğini çizmiş ve grafikler okunarak numunelerin mekanik özellikleri yorumlanmıştır.



Şekil 2.12. Zwick/Roell Z020 marka test cihazı ve çekme testi sırasındaki görüntüsü

2.6. Üç Nokta Eğme Testi

Test numunelerinin üç nokta eğme testide şekil 2.13’de görülen zwick/Roel Z020 test cihazında Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’de verilen numuneler kullanılarak yapıldı.

Testlerde kullanılan cihaz EN14119 ve CE standartlarına uygundur. Üç nokta eğme testi EN14119 standartlara uygun olarak 2 mm/d basma hızında yapılmıştır. Numuneler uygun aralık ve ölçüde iki mesnet arasına yerleştirilmiş ve baskı oluşturarak yük uygulama yöntemiyle eğilme özellikleri tespit edilmiştir.



Şekil 2.13. Zwick/Roell Z020 marka test cihazı ve üç nokta eğme testi için kullanılan makina

Yapılan testte test numunesinin alt noktasından sabit iki mesnet ile desteklenmektedir. Bu mesnetlere sabitlenmiş numuneye makine çenesi üstten baskı uygulamaktadır. Bu baskı malzemeyi bükmekte ve elastik davranışına göre malzeme ye baskı kuvveti ile katlamaktadır. Bu test ile malzemenin verdiği sehım değerlerini ölçülmesi hedeflenmiştir.

2.7. Darbe Testi

Tahribatlı test yöntemleri arasında yer alan bu yöntem Şekil 2.14’de görülen darbe test makinası ile yapılmakta ve numunelerin darbe testi sırasındaki görüntüsü verilmiştir. Darbe testi ISO 180 standardına uygun olarak Instron marka Ceast 9050

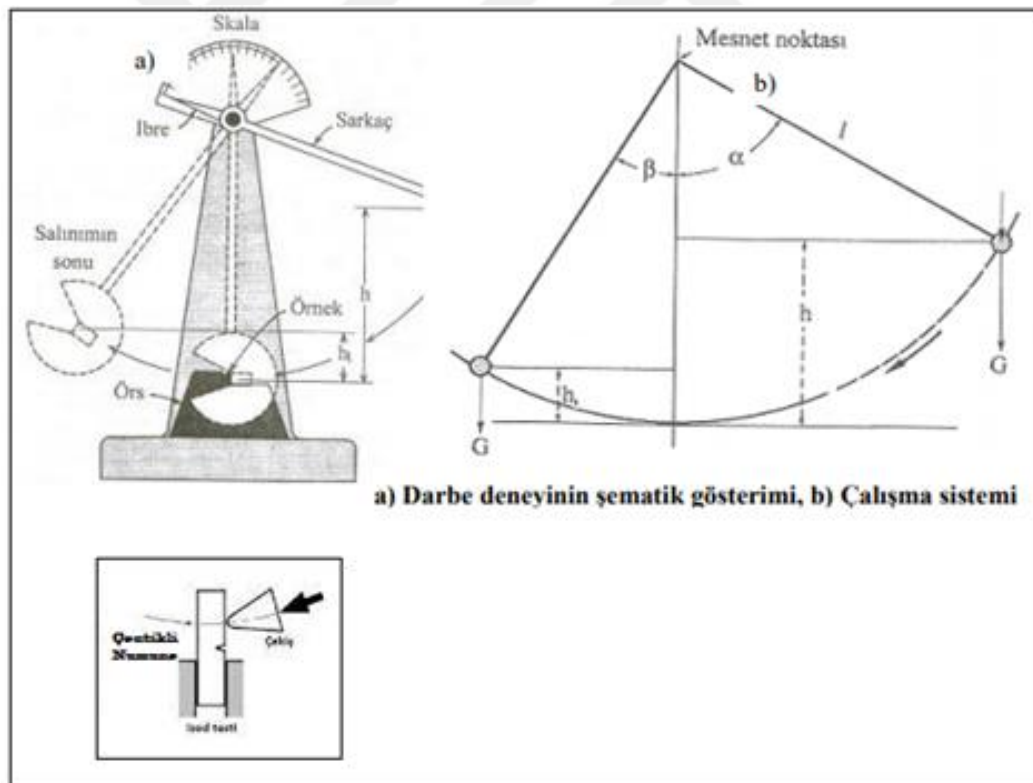
model darbe test makinasında ile yapıldı. Darbe testinin genel amacı malzemelerin darbe ile oluşan kuvvetin elastik kırılmaya karşı gösterdiği direncini belirlemektir. Kullanılan numune çekiç darbesine karşı koyarak dayanım göstermektedir. Darbe testinde numune cihaza dikey olarak çeneler vasıtasıyla bağlanmış ve çentik kısmı çekiç yönüne gelecek şekilde çene yüzeylerinin tam ortasına yerleştirilmiştir. Çekicin bulunduğu yükseklikten bırakılarak numuneye çarpması ve çentik kısmında oluşan çok yönlü gerilim ile numunenin istenilen noktadan kırılmasını sağlamıştır. Kırılma; sarkacın bulunduğu yükseklikten sarkacın potansiyel enerjisi ile oluşan darbe kuvveti ile sahip olduğu enerjinin bir kısmı numune tarafından absorbe edilerek bir kısmı numunenin kırılmasında harcanmıştır. Kalan enerji ise çekicin tekrar belli bir yüksekliğe çıkmasını sağlamaktadır. Çekicin ilk bırakıldığı yükseklik ile numuneyi kırıp çıktığı yükseklikler arasındaki potansiyel enerji farkı çentik açılmış numunemizin darbe direncini vermektedir.



Şekil 2.14. Ceast 9050 marka izod test cihazı ve darbe testi sırasındaki görüntüsü

2.7.1. Izod darbe testi

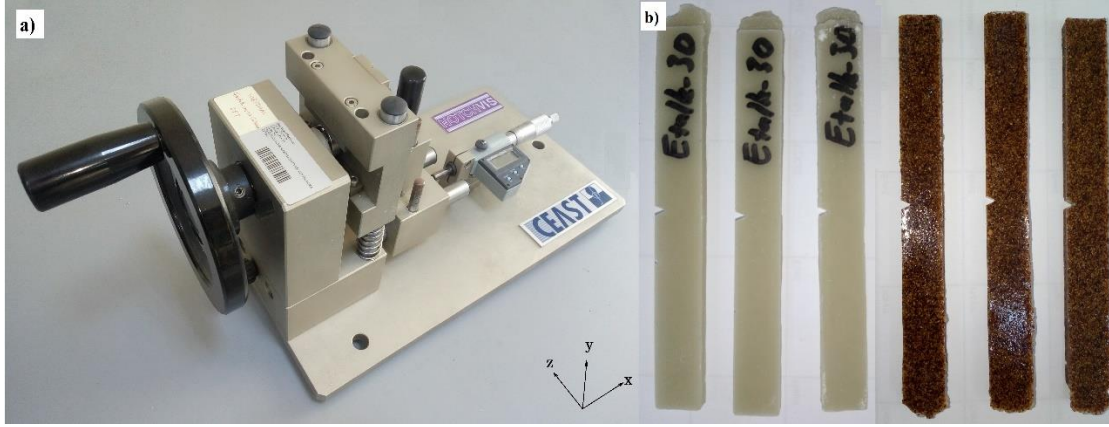
Çalışmada darbe özelliklerinin belirlenmesi amacıyla numunelere izod darbe testini uygulandı. Bu darbe testinde, numune cihaza y ekseninde dikey olarak konumlandırılmıştır. Cihazda bulunan çekiç belli bir yükseklikten bırakıldıktan sonra dairesel hareket yaparak sahip olduğu potansiyel enerji ile parçaya çarpıp kırarak aksi yönde aynı yüksekliğe çıkmak istemektedir. Bu yükseklik ilk yüksekliğine oranla daha düşüktür. Nedeni sahip olduğu enerjinin bir kısmını yer çekim enerjisine bir kısmında numuneyi kırmaya harcamıştır. Makina bu iki potansiyel enerjiyi hesaplayıp sonuçtan yer çekim enerjisini düşürüp çıkan sonucu kırma enerjisi gibi değerleri bize tablo halinde vermektedir. Burada en önemli husus çentiğin darbe gelecek yöne yani şekil 2.15’de gösterilen gibi çekiç yönüne gelecek şekilde konumlandırılmasıdır.



Şekil 2.15. İzod darbe testi işlemi temsili uygulama resmi

Darbe testini yapmadan önce darbe testinde kullanılacak olan numunelere çentik açma işlemi uygulanmıştır. Bu işlem Şekil 2.16a’da görülen Ceast marka çentik

açma makinası ile yapılmıştır. Çentik açma işlemi sonrası çentik açılmış numunelerin görüntüsü Şekil 2.16b’de verilmiştir.



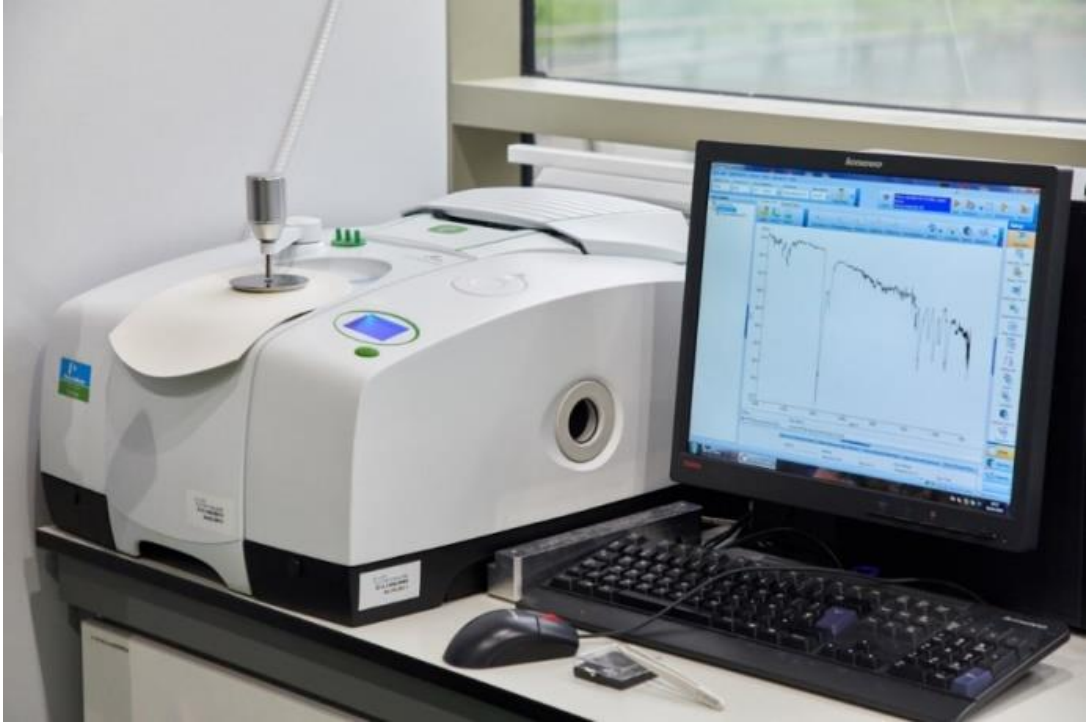
Şekil 2.16. İzod darbe testi işlemi temsili uygulama resmi

2.8. Spektrometre (FT-IR) Analiz

FT-IR malzeme karakterizasyonu için en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektroskopisi (FT-IR), bir tür titreşim spektroskopisidir. Fourier dönüşümü yöntemi ile ışığın infrared yoğunluğuna karşı dalga sayısını hesaplayıp ölçülendiren kimyasal analitik bir uygulamadır. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi kısaltılmış ismi (FT-IR), titreşim hareketiyle yapılan bir spektroskopisidir. FT-IR isminde bulunan IR ışın demektir ve molekülün titreşim hareketleri tarafından soğurulmaktadır. Fourier dönüşümünde bu durum ışımaya şiddeti, zamanın bir fonksiyonu olarak değerlendirilir. Her boyunu ayrı ayrı tarama gerekmeksizin hızlı ve yüksek çözünürlüklü spektumlar elde etmek mümkündür. Yöntemin amacı moleküller arası bağ karakterizasyonu yaparak molekülün katı, sıvı, gaz veya çözelti halindeki organik bileşiklerin yapısında bulunan fonksiyonel grupların testi yapılarak iki bileşiğin aynı karakterde olup olmadığını, yapısındaki bağların durumu, bağlanma şekli, bağlanma yerleri ve yapısının hangi grupta olduğunu alifatik veya aromatik özelliklerde olup olmadığının belirlenmesi için yapılmaktadır. Bu yöntem her türlü organik veya inorganik maddeler, kauçuklar, boyalar, kaplamalar, reçineler, dolgu maddeleri, yapışkanlar gibi bileşikler için hızlı ve kesin tespiti için uygulanan bir yöntemdir.

FT-IR testleri Perkin elmer spektrum 100 FT-IR model cihazda ASTM D6348 standardına göre yapılmıştır. Farklı oranlarda ceviz kabuğu içeren kompozit malzemelerin kimyasal yapıları FTIR spektroskopisi ile 4000 cm^{-1} ile 400 cm^{-1} dalga

sayısı aralığında yapılan fonksiyonel guruplarına ait yapıların tanımlanması ile aydınlatılmıştır. Bu yöntem ile, moleküller bağ karakterizasyonu yapılarak malzemenin katı, sıvı, gaz halindeki organik içerikli bileşiklerin yapısını yapısındaki bağ durumunu bağlanma şeklini ve yapılarının bağ durumlarını belirlememize imkân sağlar. FT-IR malzeme karakterizasyon işleminde en çok kullanılan yöntemdir. FT-IR her türlü organik ve inorganik maddeler, plastikler kaplama ve reçineler de kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan FT-IR cihazının görüntüsü Şekil 2.17’te verilmiştir.



Şekil 2.17. Perkin Elmer Spectrum marka FT-IR cihazı

2.9. Sertlik Ölçümü

Kompozit malzemenin sertlik ölçümü için kullanılan makina durometre’dir. Shore ölçü biriminde değerler elde edilmektedir. Sertlik ölçümü yaygın olarak Shore A ve Shore D olmak üzere iki türde yapılmaktadır. Shore A yumuşak kauçuk malzemelerin sertlik ölçümünde Shore D ise daha sert ve rijit nesnelerin değerlerine sertlik ölçümüne bakılmak için kullanılmaktadır. Sertlik ölçümü durometrenin göstergesine bağlanmış iğne yardımı ile malzemeye batma miktarı ile ölçülmektedir. Sertlik ölçümü değerleri numunenin durometrede bulunan ve nesneye batıcı bir iğne

ile yapılan tahribatlı bir yöntemdir ve bu değer numunenin batma iğnesine karşı gösterdiği direnç olarak belirlenmektedir. Ölçüm sırasında iğne numuneye tamamen batıyorsa gösterge 0 değerini göstermektedir. İğne bulunduğu numuneye hiç batma gerçekleştiriyor ise gösterge 100 değerini vermektedir. ISO 868 standardına uygun olarak ölçüm için kullanılan Şekil 2.18’te görülen ceast marka durometre cihazı ile numunelerin Shore D sertlik ölçümü yapılmıştır.



Şekil 2.18. Ceast sertlik ölçüm cihazı ve test sırasındaki görüntüsü

2.10. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleme

SEM olarak da bilinen Taramalı elektron mikroskobu, odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobu türüdür. Sahip olduğu elektronlar numunedeki atomlar ile etkileşerek numune yüzeyindeki şekilleri ve malzeme hakkında bilgiler içeren sinyaller üretir. Genel olarak SEM cihazları yüksek vakumda, kuru ve iletken yüzeyleri incelemek için uygun bir yöntemdir. Buna istinaden düşük vakumda nemli koşullarda ve çok düşük

sıcaklıklardan yüksek sıcaklıklara değişen koşullarda değişen koşullarda çalışabilen cihazlarda vardır. Cihazda görüntü oluşturabilmek için en çok, elektron demeti tarafından uyarılan numune atomlarından yayılan elektronlardan yararlanır. Numunelerden kopan bu elektronların sayısındaki değişim önce yüzeyle buluşma açısına, yani yüzey şekillerine bağlıdır. Bu görüntüleme şekil 2.19’da gösterildiği gibi Zeis marka Gemini-Sigma 300 VP model taramalı elektron mikroskobu SEM görüntüleme cihazında yapılmıştır.



şekil 2.19. Zeis marka Gemini-Sigma 300 VP model taramalı elektron mikroskobu SEM görüntüleme cihazı



3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Çekme Test Sonuçları

Çekme testine ait sonuçlar Tablo 3.1’de topluca verilmiştir. Tablo 3.1’den görüleceği gibi en yüksek çekme mukavemet değeri 28,5 MPa ile saf epoksida elde edilmiştir. Karışım yapılan numuneler içerisinde ise en yüksek çekme mukavemeti talk katkısının %10 olduğu E90TK10 kodlu numunede 26,5 MPa olarak elde edilmiştir. En düşük çekme mukavemet değeri ise ceviz kabuğu katkısının %30 olduğu E70CK30 kodlu numunede 20,7 MPa olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.1. Çekme deneyleri ve karşılaştırmalı sonuçları

Numune Adı	Çekme Mukavemeti (MPa)	Çekme Muk. Standard Sapma	Çekme Elastisite Modülü (MPa)	Yüzde Uzama (%)
Saf Epoksi	28,5	2,55	1530 ± 277	4,2
E90CK10	23,5	2,78	2070 ± 308	2,6
E80CK20	23,2	1,65	2230 ± 174	2,2
E70CK30	20,7	2,08	2500 ± 207	1,8
E60CK40	23,3	0,98	2710 ± 112	1,7
E90TK10	26,5	2,19	2150 ± 204	3,1
E80TK20	23,2	0,62	2390 ± 119	2,2
E70TK30	21,6	1,79	3490 ± 352	1,3
E60TK40	23,8	3,25	4775 ± 335	1,0
E69CK30CU1	19,3	0,90	2365 ± 66	1,9

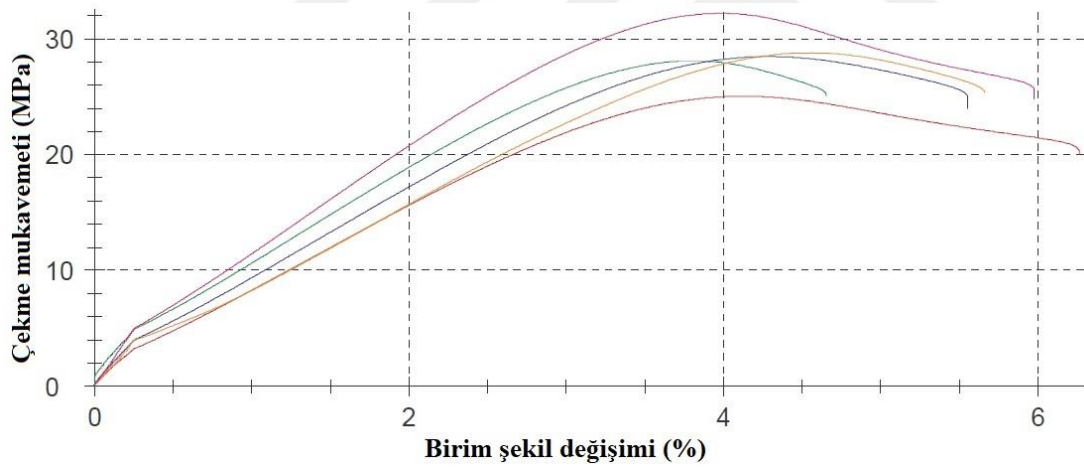
3.1.1. Saf epoksiye ait çekme test sonucu

Çalışmada en yüksek çekme mukavemet değeri saf epoksiden dökülen numunede elde edilmiştir. Saf epoksinin çekme elastisite modülü 1530 MPa ve yüzde uzama değeri ise %4,2 olarak tespit edilmiştir. Saf epoksinin çekme mukavemeti standart sapması 2,55 olarak hesaplanmıştır. Çekme mukavemet değerleri arasındaki standart

sapma değerinin yüksek çıkması, epoksideki çapraz bağların yoğunluğu, numune katılaşma şekli ve termoset malzemelerin gevrek yapılarından ve buna bağlı oluşan kırılma davranışlarından kaynaklanmaktadır. Tablo 3.2’de Saf epoksi için çekme testinin uygulandığı beş numuneye ait çekme test sonuçları ve Şekil 3.1’de ise çekme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir.

Tablo 3.2. Saf epoksi test numunelerine ait çekme test sonuçları

Numune	Et (MPa)	σ_Y (MPa)	ϵ_Y (%)	σ_M (MPa)	σ_B (MPa)	ϵ_B (%)
1	1200	25,1	4,1	25,1	20,0	-
2	1520	28,1	3,8	28,1	25,1	-
3	1480	28,5	4,3	28,5	24,0	-
4	1490	28,8	4,6	28,8	25,4	-
5	1970	32,2	4,0	32,2	24,8	-



Şekil 3.1. Saf epoksi numunelerine ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri

3.1.2. E90CK10 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu

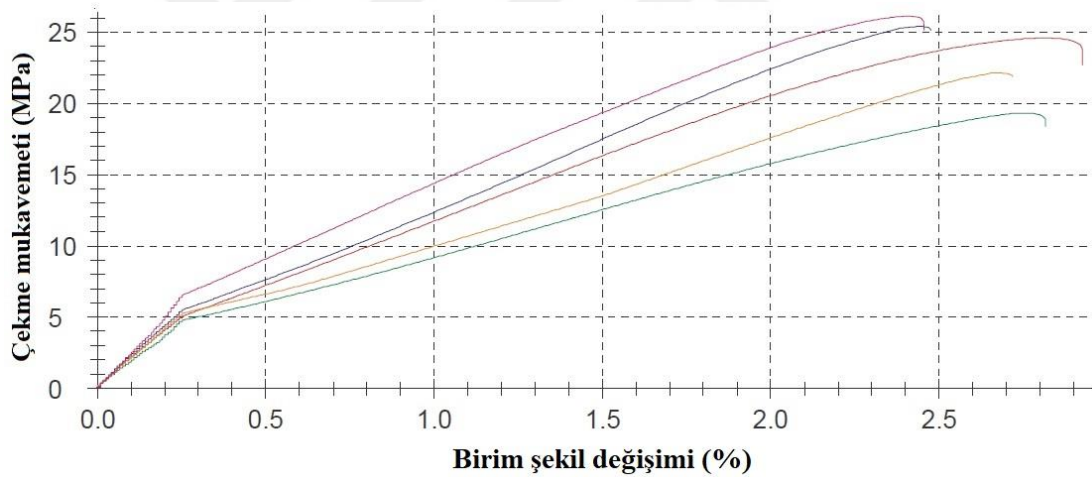
Ceviz kabuğu katkısının %10 olduğu E90CK10 kodlu numunede çekme mukavemeti 23,5 MPa, çekme elastisite modülü 2070 MPa ve yüzde uzama değeri ise %2,6 olarak tespit edilmiştir. E90CK10 kodlu numuneler için çekme mukavemeti standart sapma değeri 2,78 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %10 CK eklendiğinde, saf epoksiye oranla çekme mukavemeti %17,54 oranında daha düşük olarak elde edilirken, çekme elastisite modülü %35,29 oranında

daha yüksek olarak elde edilmiştir. Yüzde birim şekil değişimi ise %38,09 oranında azalmıştır. Tablo 3.3’de %10 CK katkılı numuneler için çekme testinin uygulandığı beş adet numuneye ait çekme test sonuçları ve Şekil 3.2’de ise çekme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafikler verilmiştir.

Tablo 3.3. E90CK10 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları

Numune	Et (MPa)	σ_Y (MPa)	ϵ_Y (%)	σ_M (MPa)	σ_B (MPa)	ϵ_B (%)
1	1890	-	-	24,6	24,6	2,8
2	1780	-	-	19,3	19,3	2,8
3	2060	-	-	25,4	25,4	2,4
4	2040	-	-	22,1	22,1	2,7
5	2580	-	-	26,1	26,1	2,4



Şekil 3.2. E90CK10 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri

3.1.3. E80CK20 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu

Ceviz kabuğu katkısının %20 olduğu E80CK20 kodlu numunede çekme mukavemeti 23,2 MPa, çekme elastisite modülü 2230 MPa ve yüzde uzama değeri ise %2,2 olarak tespit edilmiştir. E80CK20 kodlu numuneler için çekme mukavemeti standart sapma değeri 1,65 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %20 CK eklendiğinde, saf epoksiye oranla çekme mukavemeti %18,60 oranında daha düşük olarak elde edilirken, çekme elastisite modülü %45,75 oranında

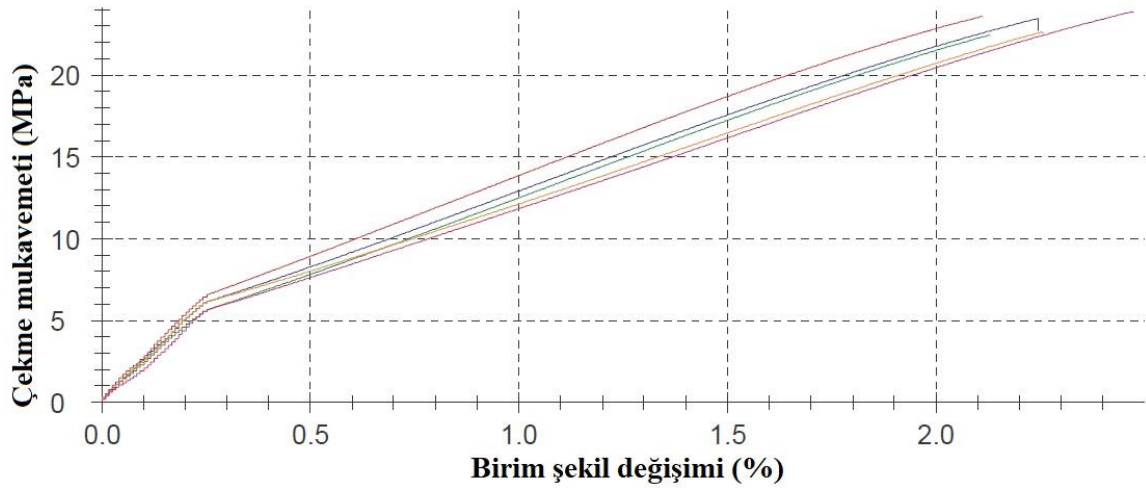
daha yüksek olarak elde edilmiştir. Yüzde birim şekil değişimi ise %47,61 oranında azalmıştır.

Ceviz kabuğu katkı miktarı %10'dan %20'ye çıktığında, çekme mukavemeti %1,27, oranında daha düşük olarak elde edilirken, çekme elastisite modülü %7,72 oranında artmış ve yüzde birim şekil değişimi %15,38 oranında düşmüştür.

Tablo 3.4'de %20 CK katkılı numuneler için çekme testinin uygulandığı beş numuneye ait çekme test sonuçları ve Şekil 3.3'de ise çekme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir.

Tablo 3.4. E80CK20 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları

Numune	Et (MPa)	σ_Y (MPa)	ϵ_Y (%)	σ_M (MPa)	σ_B (MPa)	ϵ_B (%)
1	2280	-	-	23,2	23,2	2,1
2	2080	-	-	25,5	25,5	2,8
3	2330	-	-	24,1	24,1	2,2
4	2440	-	-	21,9	21,9	1,9
5	2020	-	-	21,5	21,5	2,2



Şekil 3.3. E80CK20 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri

3.1.4. E70CK30 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu

Ceviz kabuğu katkısının %30 olduğu E70CK30 kodlu numunede çekme mukavemeti 20,7 MPa, çekme elastisite modülü 2500 MPa ve yüzde uzama değeri ise %1,8 olarak tespit edilmiştir. E70CK30 kodlu numuneler için çekme mukavemeti standart sapma değeri 2,08 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %30 CK eklendiğinde, saf epoksiye oranla çekme mukavemeti %27,36 oranında daha düşük olarak elde edilirken, çekme elastisite modülü %63,39 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir. Yüzde birim şekil değişimi ise %57,14 oranında azalmıştır.

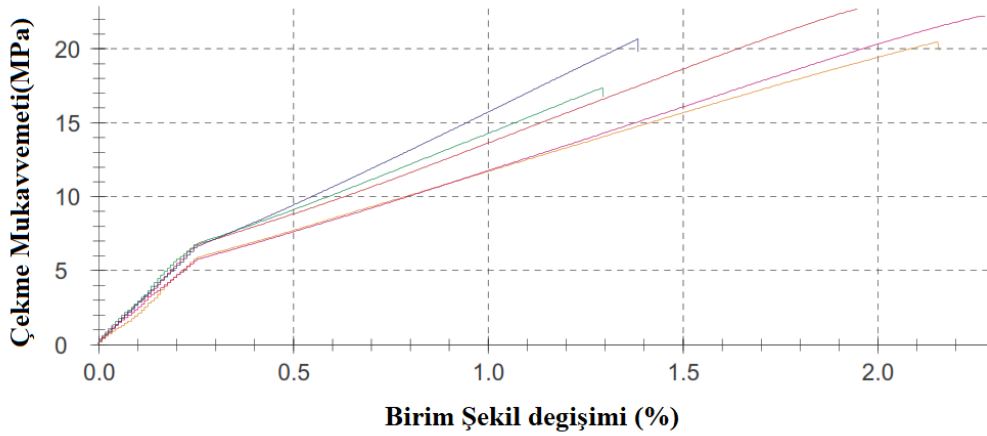
Ceviz kabuğu katkı miktarı %10'dan %30'a çıktığında, çekme mukavemeti %11,91, oranında azalmış, çekme elastisite modülü %20,72 oranında artmıştır. Yüzde birim şekil değişimi %30,76 oranında düşmüştür.

Ceviz kabuğu katkı miktarı %20'den %30'a çıktığında, çekme mukavemeti %10,77 oranında azalmış, çekme elastisite modülü %12,10 oranında artmış ve yüzde birim şekil değişimi %18,18 oranında düşmüştür.

Tablo 3.5'de %30 CK katkılı numuneler için çekme testinin uygulandığı beş numuneye ait çekme test sonuçları ve Şekil 3.4'de ise çekme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir.

Tablo 3.5. E70CK30 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları

Numune	Et (MPa)	σ_Y (MPa)	ϵ_Y (%)	σ_M (MPa)	σ_B (MPa)	ϵ_B (%)
1	2640	-	-	22,7	22,7	1,9
2	2680	-	-	17,4	17,4	1,3
3	2540	-	-	20,7	20,7	1,4
4	2480	-	-	20,5	20,5	2,2
5	2150	-	-	22,2	22,2	2,3



Şekil 3.4. E70CK30 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri

3.1.5. E60CK40 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu

Ceviz kabuğu katkısının %40 olduğu E60CK40 kodlu numunede çekme mukavemeti 23,3 MPa, çekme elastisite modülü 2710 MPa ve yüzde uzama değeri ise %1,7 olarak tespit edilmiştir. E60CK40 kodlu numuneler için çekme mukavemeti standart sapma değeri 0,98 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %40 CK eklendiğinde, saf epoksiye oranla çekme mukavemeti %18,24 oranında daha düşük olarak elde edilirken, çekme elastisite modülü %77,12 oranında daha yüksek olarak elde edilmiş ve yüzde birim şekil değişimi ise %59,52 oranında azalmıştır.

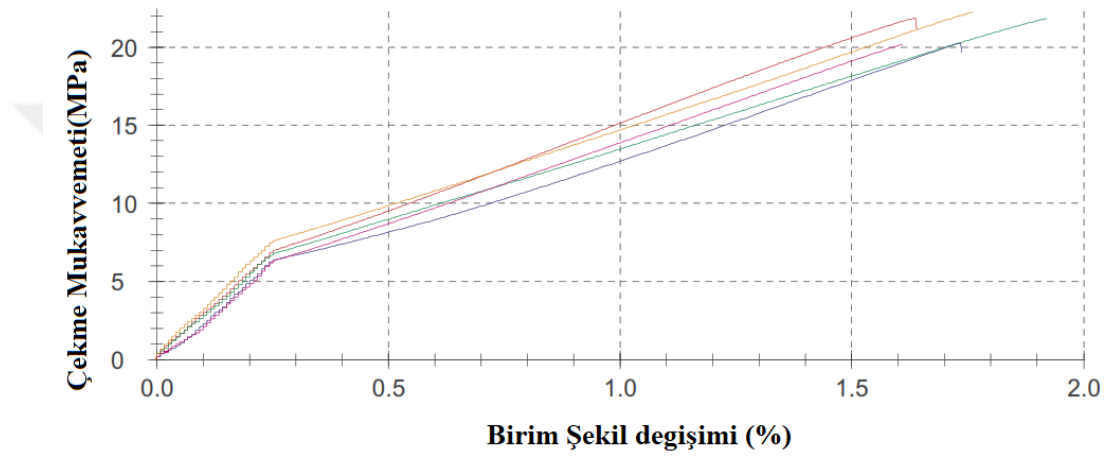
Ceviz kabuğu katkı miktarı %10'dan %40'a çıktığında, çekme mukavemeti %0,85 oranında azalmış, çekme elastisite modülü %30,9 oranında artmış ve yüzde birim şekil değişimi %34,6 oranında düşmüştür.

Ceviz kabuğu katkı miktarı %20'den %40'ye çıktığında çekme mukavemeti % 0,43 oranında artmış, çekme elastisite modülü %21,52 oranında düşmüş ve yüzde birim şekil değişimi %22,72 oranında azalmıştır.

Ceviz kabuğu katkı miktarı %30'dan %40'a çıktığında çekme mukavemeti %12,5 oranında artmış, çekme elastisite modülü %8,4 oranında artmış ve yüzde birim şekil değişimi %5,5 oranında düşmüştür. Tablo 3.6'de %40 CK katkılı numuneler için çekme testinin uygulandığı beş numuneye ait çekme test sonuçları ve Şekil 3.5'de ise çekme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir.

Tablo 3.6. E60CK40 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları

Numune	Et (MPa)	σ_Y (MPa)	ϵ_Y (%)	σ_M (MPa)	σ_B (MPa)	ϵ_B (%)
1	2640	-	-	21,9	21,9	1,6
2	2620	-	-	21,8	21,8	1,9
3	2710	-	-	20,3	20,3	1,7
4	2900	-	-	22,3	22,3	1,8
5	2660	-	-	20,2	20,2	1,6



Şekil 3.5. E60CK40 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri

3.1.6. E90TK10 kodlu numuneye ait çekme test sonucu

Talk katkısının %10 olduğu E90TK10 kodlu numunede çekme mukavemeti 26,5 MPa, çekme elastisite modülü 2150 MPa ve yüzde uzama değeri ise %3,1 olarak tespit edilmiştir. E90TK10 kodlu numuneler için çekme mukavemeti standart sapma değeri 2,19 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %10 Talk eklendiğinde, saf epoksiye oranla çekme mukavemeti %7,014 oranında daha düşük olarak elde edilirken, çekme elastisite modülü %40,5 oranında daha yüksek olarak elde edilmiş ve yüzde birim şekil değişimi %26,19 oranında azalmıştır.

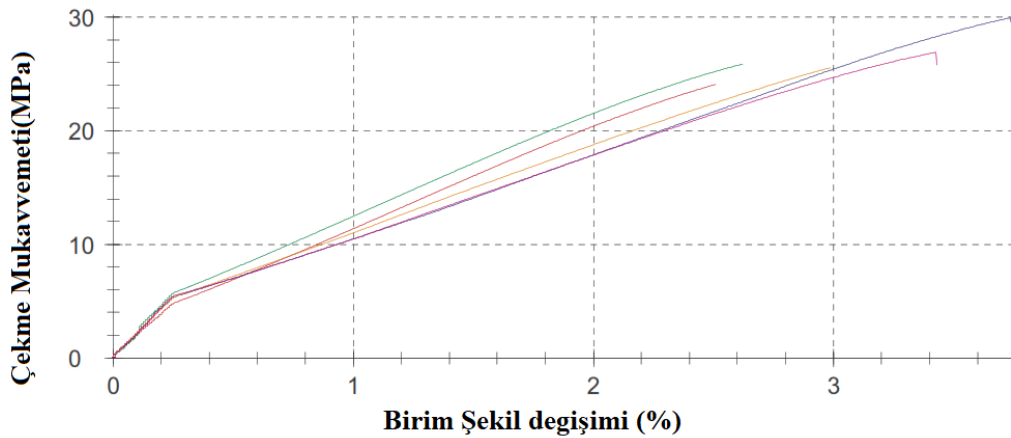
Talk ve ceviz kabuğu katkı oranı açısından sonuçlar karşılaştırıldığında %10 talk katkılı karışımın %10 CK katkılı karışıma oranla çekme mukavemeti %12,76 ve çekme elastisite modülü %3,86 oranında daha yüksek olarak elde edilmiş ve yüzde birim şekil değişimi %19,23 oranında artmıştır.

Tablo 3.7’de %10 talk katkılı numuneler için çekme testinin uygulandığı beş numuneye ait çekme test sonuçları ve Şekil 3.6’de ise çekme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir. Şekil 3.7’de epoksi, %10 CK katkılı E90CK10 kodlu numune ve %10 talk katkılı E90TK10 kodlu numunelere ait çekme mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

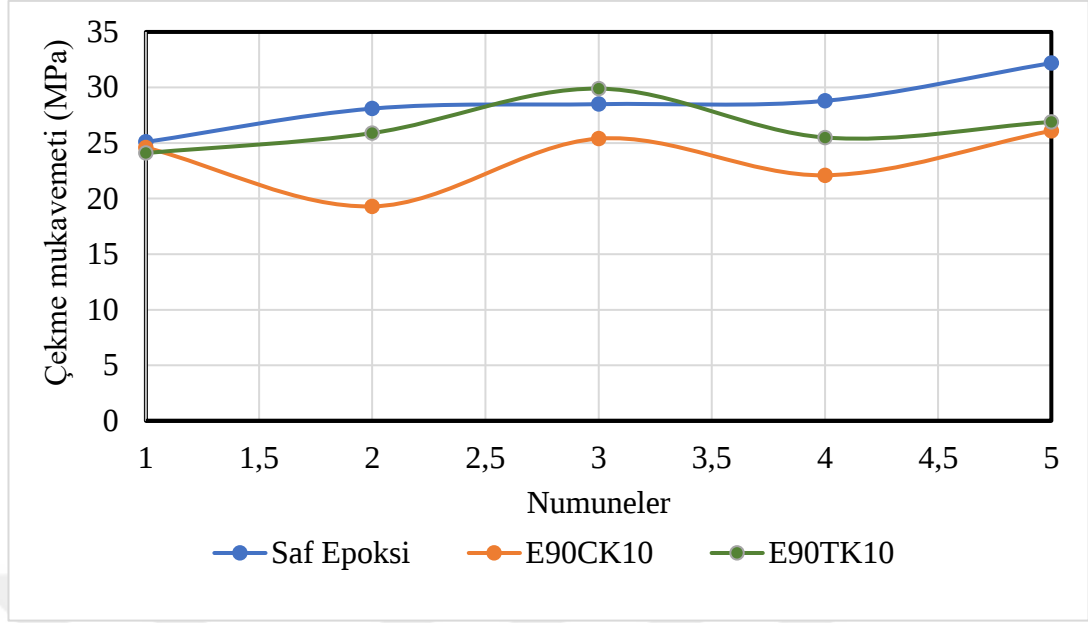
Eğrilerde açık şekilde gözüktüğü gibi talk katkılı numunelerin çekme mukavemet değerleri ceviz kabuğu katkılı numunelere oranla daha yüksek olarak elde edilmiştir. Bu durum literatür verileri ile uyumludur ve literatür verilerinden de bilindiği gibi talk katkısının mukavemeti arttırıcı bir etkisi vardır. Elde edilen sonuçlarda bunu doğrulamaktadır.

Tablo 3.7. E90TK10 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları

Numune	Et (MPa)	σ_Y (MPa)	ϵ_Y (%)	σ_M (MPa)	σ_B (MPa)	ϵ_B (%)
1	1860	-	-	24,1	24,1	2,5
2	2420	-	-	25,9	25,9	2,6
3	2200	-	-	29,9	29,9	3,7
4	2080	-	-	25,5	25,5	3,0
5	2190	-	-	26,9	26,9	3,4



Şekil 3.6. E90TK10 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri



Şekil 3.7. Epoksi, E90CK10 ve E90TK10 kodlu numunelerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması

3.1.7. E80TK20 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu

Talk katkısının %20 olduğu E80TK20 kodlu numunede çekme mukavemeti 23,2 MPa, çekme elastisite modülü 2390 MPa ve yüzde uzama değeri ise %2,2 olarak tespit edilmiştir. E80TK20 kodlu numuneler için çekme mukavemeti standart sapma değeri 0,62 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %20 talk eklendiğinde, epoksiye oranla çekme mukavemeti %18,59 oranında daha düşük olarak elde edilirken, çekme elastisite modülü %56,2 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir ve yüzde birim şekil değişimi %47,6 oranında azalmıştır.

Talk katkı miktarı %10'dan %20'ye çıktığında, çekme mukavemeti %12,45 azalmış, çekme elastisite modülü %11,16 oranında artmış ve yüzde birim şekil değişimi %29,03 oranında azalmıştır.

Talk ve ceviz kabuğu katkı oranı açısından sonuçlar karşılaştırıldığında %20 talk katkılı karışımın %20 CK katkılı karışımlarının çekme mukavemet değerleri 23.2 MPa olarak elde edilmiş ve çekme mukavemet değerlerinde bir farklılık olmamıştır. Ancak talk katkılı numunelerde çekme elastisite modülü ceviz kabuğu katkılı

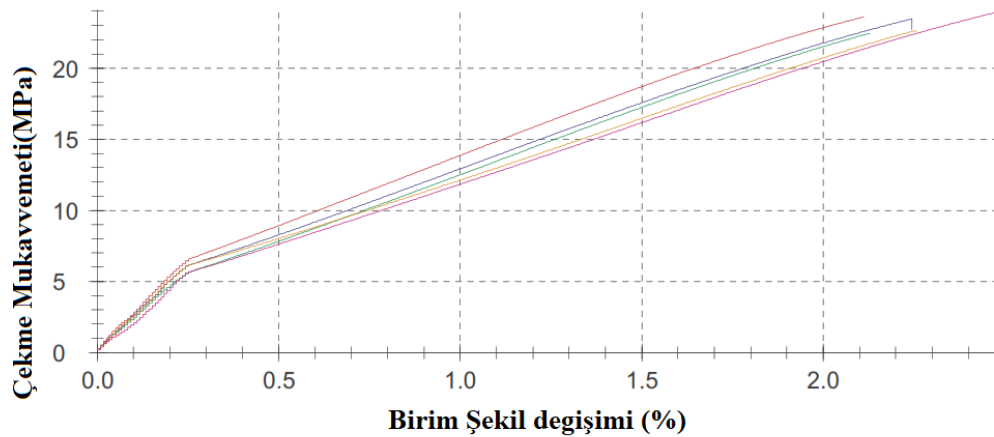
numunelere oranla %7,17 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir. Her iki katkı içinde kopma uzama yüzdesi %2,2 olarak elde edilmiş ve yüzde birim şekil değişiminde bir farklılık olmamıştır.

Tablo 3.8’de %20 talk katkılı numuneler için çekme testinin uygulandığı beş numuneye ait çekme test sonuçları ve Şekil 3.8’de ise çekme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir.

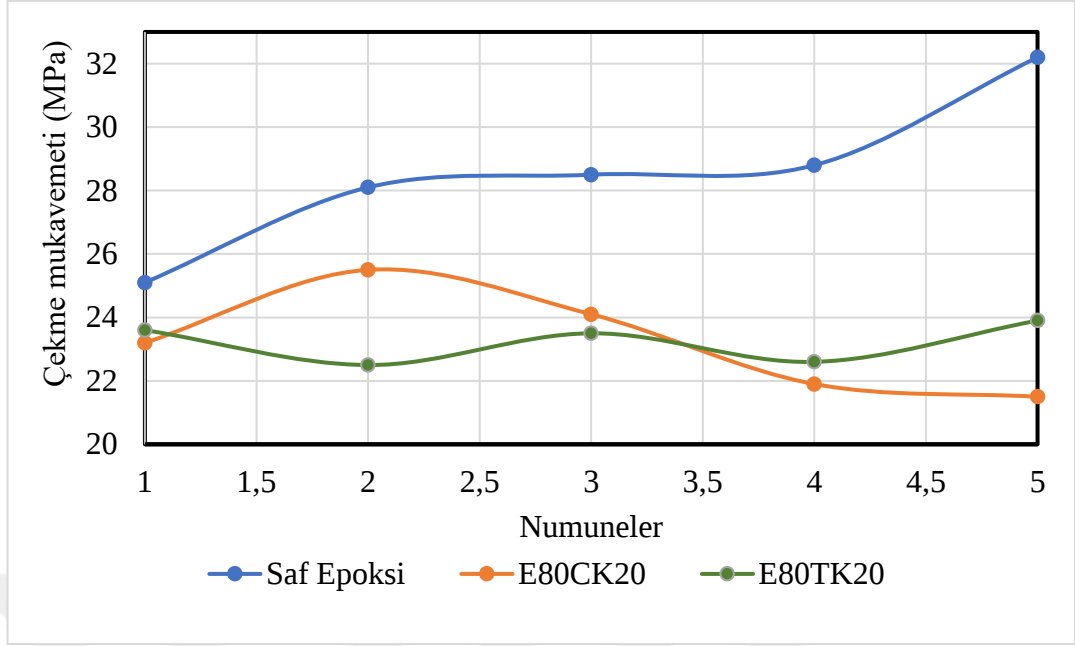
Şekil 3.9’da epoksi epoksi, %20 CK katkılı E80CK20 kodlu numune ve %20 talk katkılı E80TK20 kodlu numunelere ait çekme mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğriler karşılaştırıldığında Tablo 3.1’den de görüldüğü üzere ve çekme mukavemeti ortalamalarının her iki numune için aynı olduğu görülmektedir.

Tablo 3.8. E80TK20 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları

Numune	Et (MPa)	σ_Y (MPa)	ϵ_Y (%)	σ_M (MPa)	σ_B (MPa)	ϵ_B (%)
1	2540	-	-	23,6	23,6	2,1
2	2210	-	-	22,5	22,5	2,1
3	2420	-	-	23,5	23,5	2,2
4	2420	-	-	22,6	22,6	2,3
5	2360	-	-	23,9	23,9	2,5



Şekil 3.8. E80TK20 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri



Şekil 3.9. Epoksi, E80CK20 ve E80TK20 kodlu numunelerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması

3.1.8. E70TK30 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu

Talk katkısının %30 olduğu E70TK30 kodlu numunede çekme mukavemeti 21,6 MPa, çekme elastisite modülü 3490 MPa ve yüzde birim şekil değişimi %1,3 olarak tespit edilmiştir. E70TK30 kodlu numuneler için çekme mukavemeti standart sapma değeri 1,79 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %30 Talk eklendiğinde, saf epoksiye oranla çekme mukavemeti %24,2 oranında daha düşük olarak elde edilirken, çekme elastisite modülü %128,1 oranında daha yüksek elde edilmiş ve yüzde birim şekil değişimi ise %69,04 oranında azalmıştır.

Talk katkı miktarı %10'dan %30'a çıktığında, çekme mukavemeti %18,49 oranında azalmış, çekme elastisite modülü % 62,32 oranında artmış ve yüzde birim şekil değişimi %58,06 oranında azalmıştır.

Talk katkı miktarı %20'den %30'a çıktığında, çekme mukavemeti %6,89 oranında düşmüş, çekme elastisite modülü % 46,02 oranında artmış ve yüzde birim şekil değişimi %40,9 oranında azalmıştır.

Talk ve ceviz kabuğu katkı oranı açısından sonuçlar karşılaştırıldığında, %30 talk katkılı numunelerin çekme mukavemeti, %30 ceviz kabuğu katkılı numunelerin

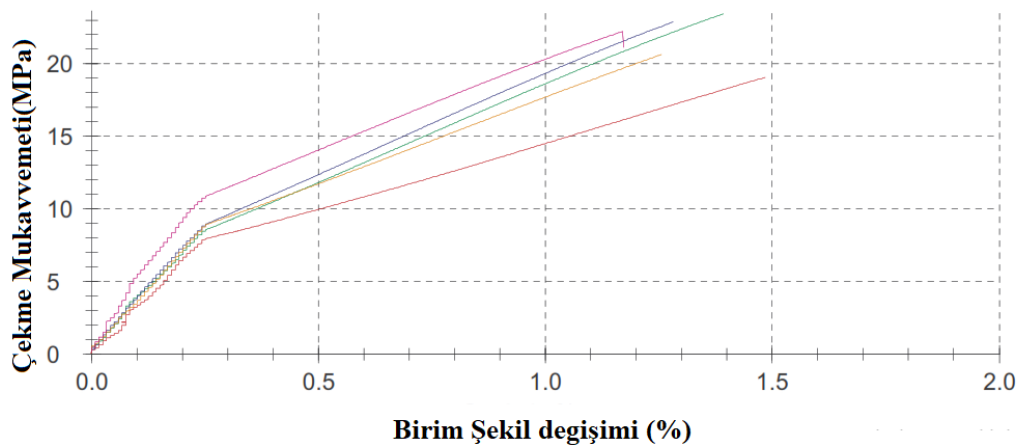
çekme mukavemetine oranla %4,34 daha yüksek olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde çekme elastisite modülü %39,6 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir ve yüzde birim şekil değişimi ise %27,7 oranında azalmıştır.

Tablo 3.9’de %30 talk katkılı numuneler için çekme testinin uygulandığı beş numuneye ait çekme test sonuçları ve Şekil 3.10’da ise çekme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir.

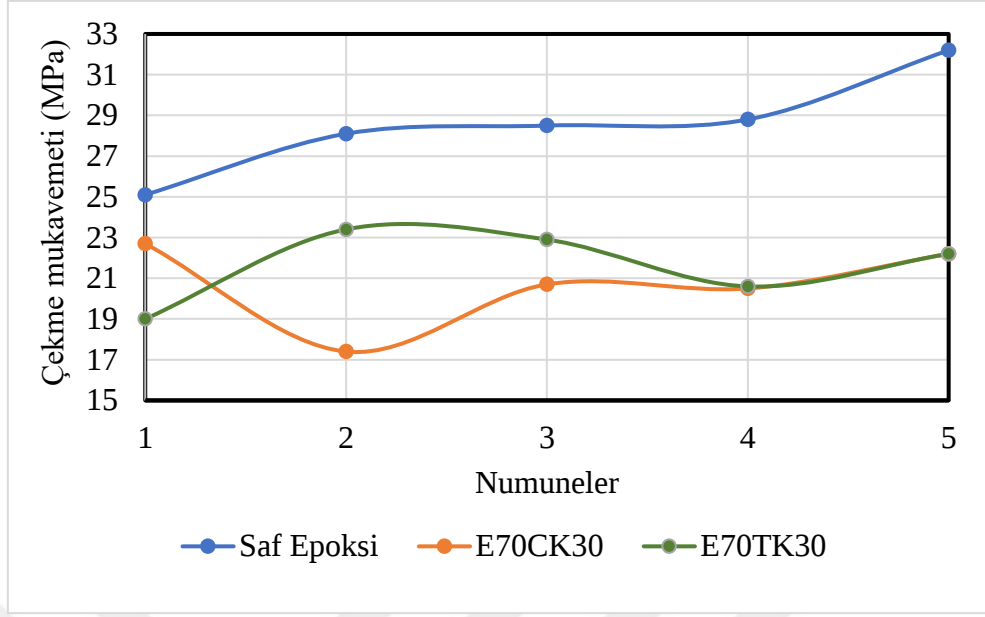
Şekil 3.11’de epoksi, %30 CK katkılı E70CK30 kodlu numune ve %30 talk katkılı E70TK30 kodlu numunelere ait çekme mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğrilerdende açık şekilde gözüktüğü gibi talk katkılı numunelerin çekme mukavemet değerleri ceviz kabuğu katkılı numunelere oranla daha yüksek olarak elde edilmiştir. Literatür verilerinden de bilindiği gibi talk katkısının mukavemeti arttırıcı bir etkisi vardır. Elde edilen sonuçlarda bunu doğrulamaktadır.

Tablo 3.9. E70TK30 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları

Numune	Et (MPa)	σ_Y (MPa)	ϵ_Y (%)	σ_M (MPa)	σ_B (MPa)	ϵ_B (%)
1	3290	-	-	19,0	19,0	1,5
2	3200	-	-	23,4	23,4	1,4
3	3430	-	-	22,9	22,9	1,3
4	3450	-	-	20,6	20,6	1,3
5	4100	-	-	22,2	22,2	1,2



Şekil 3.10. E70TK30 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri



Şekil 3.11. Epoksi, E70CK30 ve E70TK30 kodlu numunelerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması

3.1.9. E60TK40 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu

Talk katkısının %40 olduğu E60TK40 kodlu numunede çekme mukavemeti 23,8 MPa, çekme elastisite modülü 4775 MPa ve yüzde uzama değeri ise %1,0 olarak tespit edilmiştir. E60TK40 kodlu numuneler için çekme mukavemeti standart sapma değeri 3,25 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %40 Talk eklendiğinde, saf epoksiye oranla çekme mukavemeti %16,49 oranında daha düşük olarak elde edilirken, çekme elastisite modülü %212,09 oranında daha yüksek olarak elde edilmiş ve yüzde birim şekil değişimi ise %76,1 oranında azalmıştır.

Talk katkı miktarı %10'dan %40'a çıktığında, çekme mukavemeti %10,18 oranında azalmış, çekme elastisite modülü % 122,09 oranında artmış ve yüzde birim şekil değişimi %67,74 oranında azalmıştır

Talk katkı miktarı %20'den %40'a çıktığında, çekme mukavemeti %2,58 oranında artmış , çekme elastisite modülü % 99,79 oranında artmış ve yüzde birim şekil değişimi %54,54 oranında azalmıştır

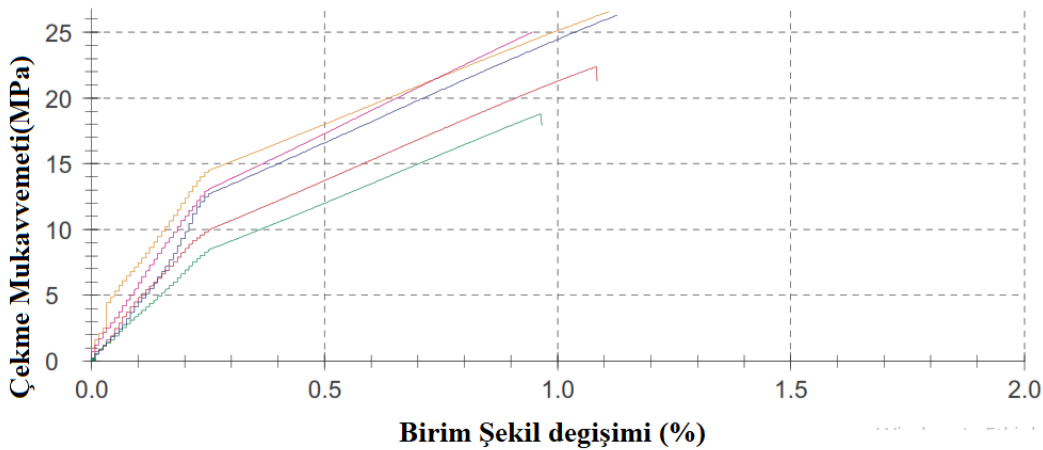
Talk katkı miktarı %30'dan %40'a çıktığında, çekme mukavemeti %10,18 oranında artmış, çekme elastisite modülü % 36,81 oranında artmış ve yüzde birim şekil değişimi %23,07 oranında azalmıştır.

Talk ve ceviz kabuğu katkı oranı açısından sonuçlar karşılaştırıldığında, %40 talk katkılı numunelerin çekme mukavemeti, %40 ceviz kabuğu katkılı numunelerin çekme mukavemetine oranla %2,145 daha yüksek olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde çekme elastisite modülü %76,19 oranında daha yüksek ve yüzde birim şekil değişimi ise %41,17 oranında azalmıştır.

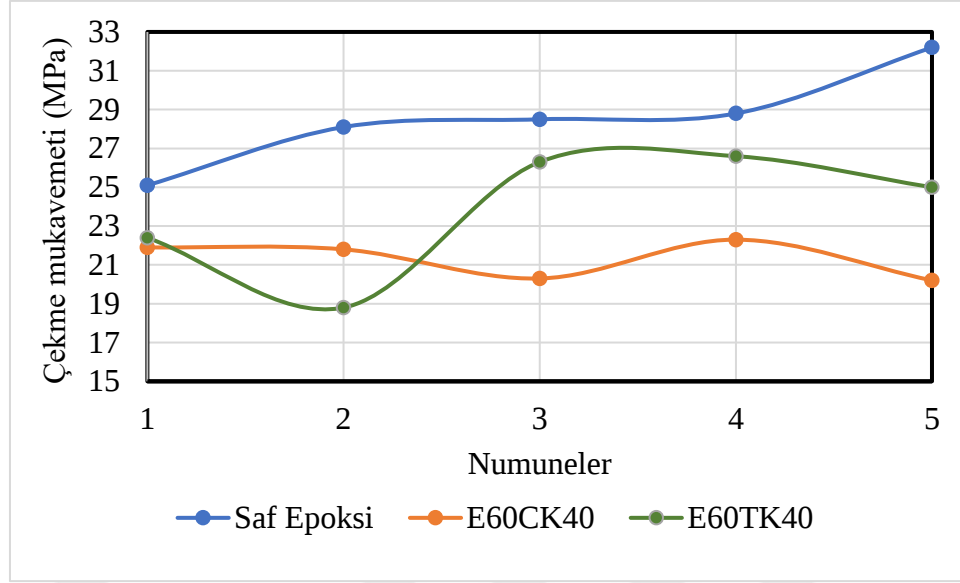
Tablo 3.10’da %40 talk katkılı numuneler için çekme testinin uygulandığı beş numuneye ait çekme test sonuçları ve Şekil 3.12’de ise çekme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir. Şekil 3.13’de saf epoksi, %40 CK katkılı E60CK40 kodlu numune ve %40 talk katkılı E60TK40 kodlu numunelere ait çekme mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğriler karşılaştırıldığında sonuçların benzer seyrettiği ve çekme mukavemeti ortalamalarının her iki numune için aynı olduğu söylenebilir.

Tablo 3.10. E60TK40 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları

Numune	Et (MPa)	σ_Y (MPa)	ϵ_Y (%)	σ_M (MPa)	σ_B (MPa)	ϵ_B (%)
1	3880	-	-	22,4	22,4	1,1
2	3290	-	-	18,8	18,8	0,96
3	5420	-	-	26,3	26,3	1,1
4	4750	-	-	26,6	26,6	1,1
5	5050	-	-	25,0	25,0	0,95



Şekil 3.12. E60TK40 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri



Şekil 3.13. Epoksi, E70CK30 ve E70TK30 kodlu numunelerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması

3.1.10. E69CK30CU1 Kodlu numuneye ait çekme test sonucu

Ceviz kabuğu katkısının %69 olduğu E69CK30CU1 kodlu numunede çekme mukavemeti 19,3 MPa, çekme elastisite modülü 2365 MPa ve yüzde uzama değeri ise %1,9 olarak tespit edilmiştir. E60TK40 kodlu numuneler için çekme mukavemeti standart sapma değeri 0,90 olarak hesaplanmıştır.

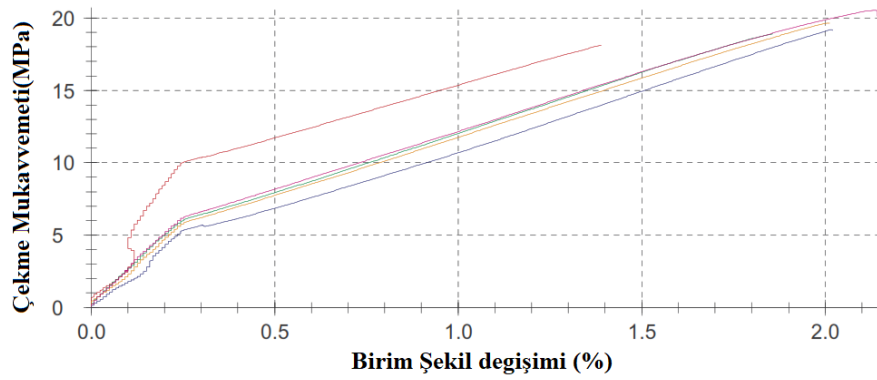
Karışıma %30 CK, %1 bakır tozu eklendiğinde, epoksiye oranla çekme mukavemeti %32,28 oranında daha düşük olarak elde edilirken, çekme elastisite modülü %54,57 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir. Kopma uzama yüzdesi ise %54,76 oranında azalmıştır.

Bakır tozu eklenmiş olan %30 CK katkılı E69CK30CU1 kodlu numunelerle, %30 CK'olan, %30 talk katkılı ve sadece epoksi ile yapılan çekme mukavemet sonuçları karşılaştırıldığında bakır tozunun çekme mukavemetini ve çekme elastisite modülünü düşürdüğü görülmektedir. Bu beklenen bir durumdur. Partikül şeklindeki metalik katkı ve dolgu maddelerinin, elektriksek ve ısı özellikleri iyileştirirken çekme mukavemetini olumsuz etkilediği literatürden bilinmektedir. Elde edilen sonuçların literatürde belirtilenler ile uyumlu bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Tablo 3.11 de bakır tozu katkılı beş adet numunenin çekme test sonucu tablosu görülmektedir. Şekil 3.14'de saf epoksi, %30 CK katkılı E70CK30 kodlu numune, %30 talk katkılı E70TK30 kodlu numune ve içeriisinde %1 bakır bulunan E69CK30CU1 kodlu

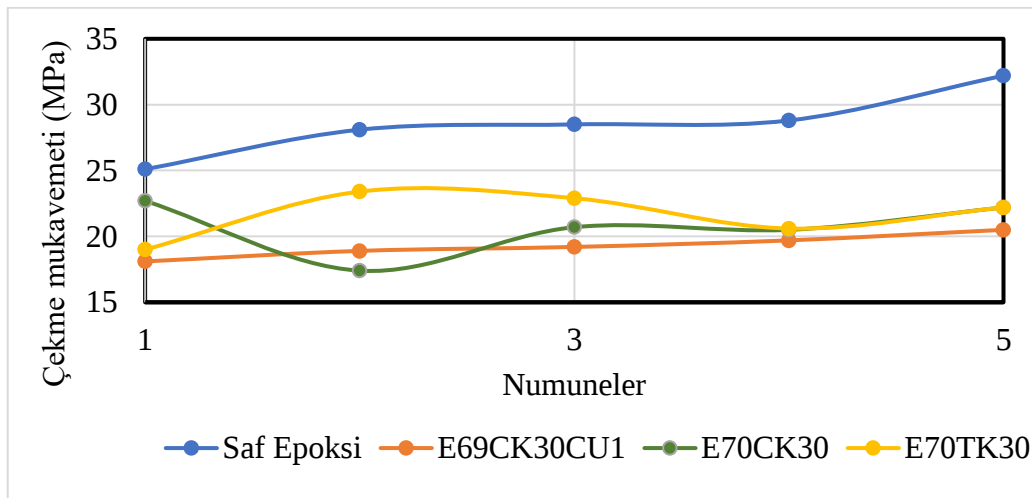
numunelerin çekme mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Grafik incelendiğinde saf epoksinin en yüksek çekme mukavemet değerine sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 3.11. E69CK30CU1 kodlu test numunelerine ait çekme test sonuçları

Numune	Et (MPa)	σ_Y (MPa)	ϵ_Y (%)	σ_M (MPa)	σ_B (MPa)	ϵ_B (%)
1	4830	-	-	18,1	18,1	1,4
2	2350	-	-	18,9	18,9	1,9
3	2290	-	-	19,2	19,2	2,0
4	2370	-	-	19,7	19,7	2,0
5	2450	-	-	20,5	20,5	2,1



Şekil 3.14. E69CK30CU1 kodlu numunelere ait mukavemet-birim şekil değiştirme eğrileri



Şekil 3.15. Epoksi, E70CK30, E70TK30 ve E69CK30CU1 kodlu numunelerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması

3.2. Üç Nokta Eğme Test Sonuçları

Tablo 3.12’de numunelere uygulanan üç nokta eğme testine ait sonuçlar ve üç nokta eğme testinin uygulandığı numunelerin mukayesesi için toplu bir şekilde verilmiştir.

Tablo 3.12. Üç nokta eğme deneyleri ve karşılaştırmalı sonuçları

Numune Adı	Eğilme Mukavemeti (MPa)	Eğilme Muk. Standard Sapma	Eğilme Elastisite Modülü (MPa)	Eğilme Yüzdesi (%)
Saf Epoksi	54,6	0,60	1370 ± 319	4,6
E90CK10	16,6	1,00	631 ± 42	3,8
E80CK20	17,9	0,54	751 ± 50	3,1
E70CK30	24,3	1,72	1430 ± 200	1,8
E60CK40	27,4	1,91	1680 ± 53	1,8
E90TK10	35,8	3,90	1250 ± 181	3,7
E80TK20	37,0	3,88	1860 ± 254	2,5
E70TK30	36,8	1,60	2600 ± 63	1,6
E60TK40	36,5	4,31	3070 ± 292	1,4
E69CK30CU1	51,9	5,89	3870 ± 706	1,6

Karışım yapılan numuneler içerisinde ise en yüksek eğilme mukavemeti CK katkısının %30 ve bakır CU katkısının %1 olduğu E69CK30CU1 kodlu numunede 51,9 MPa olarak elde edilmiştir. En düşük eğilme mukavemeti ise ceviz kabuğu katkısının %10 olduğu E90CK10 kodlu numunede 16,6 MPa olarak elde edilmiştir.

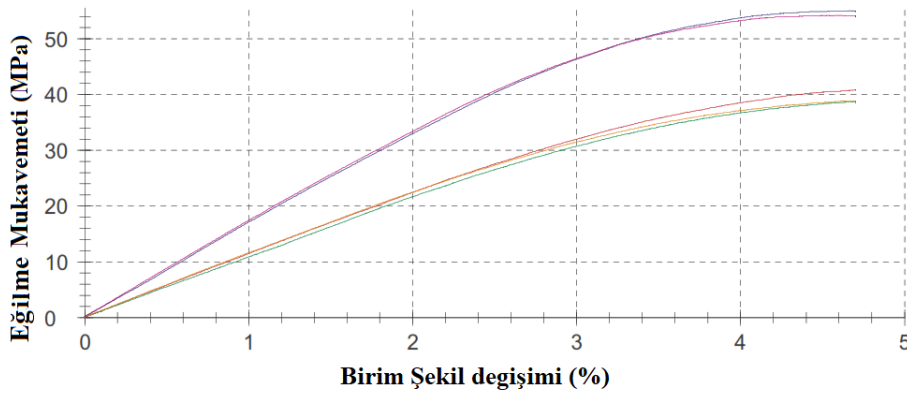
3.2.1. Saf Epoksiye ait üç nokta eğme test sonucu

Çalışmada en yüksek eğilme mukavemet değeri saf epoksiden dökülen numunede elde edilmiştir. Epoksinin eğilme mukavemeti 54,6 MPa, eğme elastisite modülü 1370 MPa ve yüzde eğilme değeri ise %4,6 olarak tespit edilmiştir. Saf epoksinin eğilme mukavemeti standart sapması 0,60 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.13’de epoksi için üç nokta eğme testinin uygulandığı beş numuneye ait üç nokta eğme test sonuçlarına ait tablo ve Şekil 3.16’de ise üç nokta eğme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir.

Tablo 3.13. epoksi test numunelerine ait eğme test sonuçları

Numune	Ef (MPa)	$\sigma_f C$ (MPa)	$\epsilon_f B$ (%)	$\sigma_f M$ (MPa)	$\sigma_f B$ (MPa)	$\epsilon_f M$ (%)
1	1180	38,4	-	-	-	-
2	1080	32,5	-	-	-	-
3	1660	53,9	-	55,1	-	4,7
4	1150	33,9	-	-	-	-
5	1760	53,2	-	54,2	-	4,6



Şekil 3.16. Saf epoksi numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri

3.2.2. E90CK10 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu

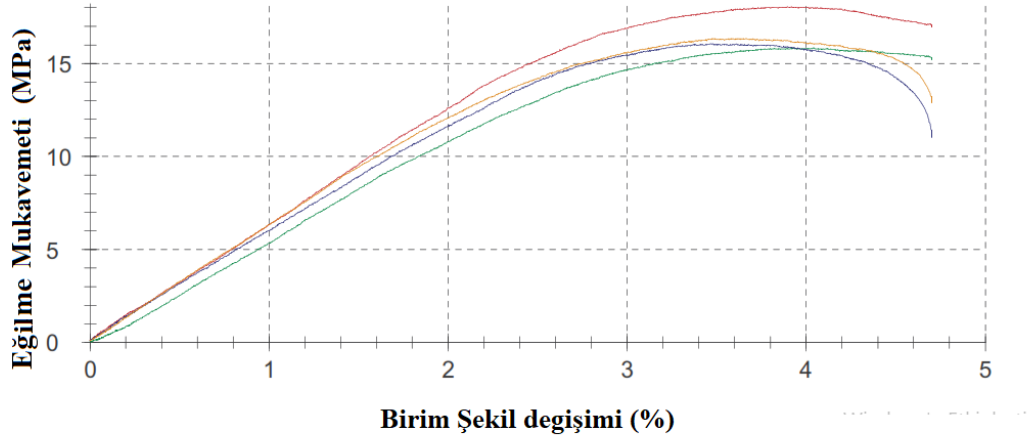
Ceviz kabuğu katkısının %10 olduğu E90CK10 kodlu numunede eğilme mukavemeti 16,6 MPa, eğilme elastisite modülü 631 MPa ve yüzde eğilme değeri ise %3,8 olarak tespit edilmiştir. E90CK10 kodlu numuneler için eğilme mukavemeti standart sapma değeri 1,00 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %10 CK eklendiğinde, saf epoksiye oranla eğilme mukavemeti %69,59 ve eğilme elastisite modülü %53,94 oranında daha düşük olarak elde edilmiştir. Eğilme yüzdesinin azalma oranı ise %17,39 olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 3.14’de %10 CK katkılı numuneler için üç nokta eğme testinin uygulandığı dört numuneye ait üç nokta eğme test sonuçları ve Şekil 3.17’de ise üç nokta eğme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir.

Tablo 3.14. E90CK10 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları

Numune	Ef (MPa)	σ_fC (MPa)	ϵ_fB (%)	σ_fM (MPa)	σ_fB (MPa)	ϵ_fM (%)
1	657	17,8	-	18,1	-	3,9
2	569	15,2	-	15,9	-	4,0
3	642	15,8	-	16,1	-	3,5
4	654	16,2	-	16,4	-	3,7
5	-	-	-	-	-	-



Şekil 3.17. E90CK10 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri

3.2.3. E80CK20 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu

Ceviz kabuğu katkısının %20 olduğu E80CK20 kodlu numunede eğilme mukavemeti 17,9 MPa, eğme elastisite modülü 751 MPa ve eğilme yüzdesi ise %3,1 olarak tespit edilmiştir. E80CK20 kodlu numuneler için eğilme mukavemeti standart sapma değeri 0,54 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %20 CK eklendiğinde, saf epoksiye oranla eğilme mukavemeti %67,21 oranında, eğme elastisite modülü %45,18 oranında daha düşük olarak elde edilmiştir. Eğilme yüzdesi ise %32,60 oranında azalmıştır.

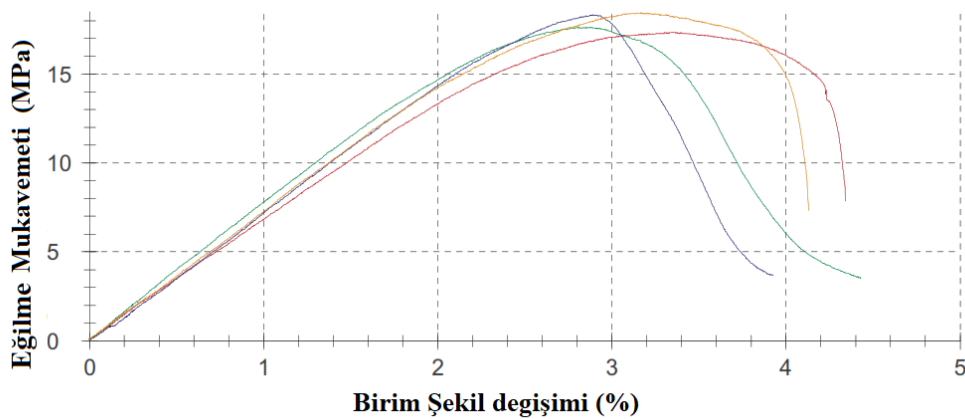
Ceviz kabuğu katkı miktarı %10'dan %20'ye çıktığında, eğilme mukavemeti %7,83, oranında ve eğilme yüzdesi %18,42 oranında düşmüş ve eğme elastisite modülü %19 oranında artmıştır.

Tablo 3.15'de %20 CK katkılı numuneler için eğme testinin uygulandığı dört adet numuneye ait üç nokta eğme test sonuçları verilmiştir.

Şekil 3.18'de ise üç nokta eğme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir.

Tablo 3.15. E80CK20 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları

Numune	Ef (MPa)	σ_fC (MPa)	ξfB (%)	σfM (MPa)	σfB (MPa)	ξfM (%)
1	717	17,2	4,3	17,3	7,87	3,4
2	824	9,19	4,4	17,6	3,52	2,9
3	722	14,2	3,9	18,3	3,67	2,9
4	742	18,0	4,1	18,4	7,32	3,2
5	-	-	-	-	-	-



Şekil 3.18.E80CK20 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri

3.2.4. E70CK30 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu

Ceviz kabuğu katkısının %30 olduğu E70CK30 kodlu numunede eğilme mukavemeti 24,3 MPa, eğme elastisite modülü 1430 MPa ve eğilme yüzdesi ise %1,8 olarak tespit edilmiştir. E70CK30 kodlu numuneler için eğilme mukavemeti standart sapma değeri 1,72 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %30 CK eklendiğinde, saf epoksiye oranla eğilme mukavemeti %55,49 oranında daha düşük olarak elde edilirken, eğme elastisite modülü %4,37 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir. Eğilme yüzdesi ise %60,86 oranında azalmıştır.

Ceviz kabuğu katkı miktarı %10'dan %30'a çıktığında, eğilme mukavemeti %46,38, oranında artmış, eğilme yüzdesi %52,63 oranında düşmüş ve eğme elastisite modülü %126,62 oranında artmıştır.

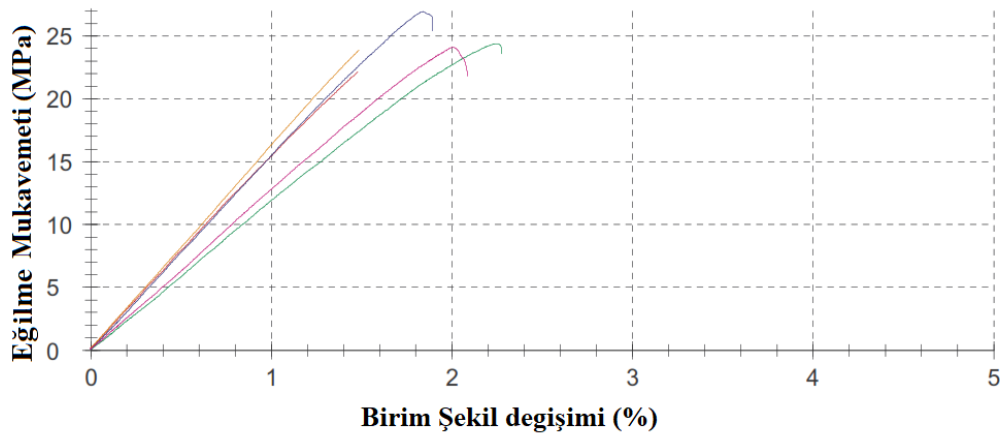
Ceviz kabuğu katkı miktarı %20'den %30'a çıktığında, eğilme mukavemeti %35,75 oranında artmış, eğilme yüzdesi değişimi %41,93 oranında düşmüş ve eğme elastisite modülü %90,41 oranında artmıştır.

Tablo 3.16'de %30 CK katkılı numuneler için üç nokta eğme testinin uygulandığı beş numuneye ait eğme test sonuçları verilmiştir.

Şekil 3.19'da ise üç nokta eğme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir.

Tablo 3.16. E70CK30 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları

Numune	Ef (MPa)	σ_fC (MPa)	ϵ_fB (%)	σ_{FM} (MPa)	σ_{fB} (MPa)	ϵ_{fM} (%)
1	1580	-	1,5	22,1	22,1	1,5
2	1170	-	2,2	24,4	24,4	2,2
3	1520	-	1,8	26,9	26,9	1,8
4	1610	-	1,5	23,9	23,9	1,5
5	1260	-	2,0	24,1	24,1	2,0



Şekil 3.19.E70CK30 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri

3.2.5. E90TK10 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu

Talk katkısının %10 olduğu E90TK10 kodlu numunede eğilme mukavemeti 35,8 MPa, eğme elastisite modülü 1250 MPa ve eğilme yüzdesi ise %3,7 olarak tespit edilmiştir. E90TK10 kodlu numuneler için eğilme mukavemeti standart sapma değeri 3,90 olarak hesaplanmıştır.

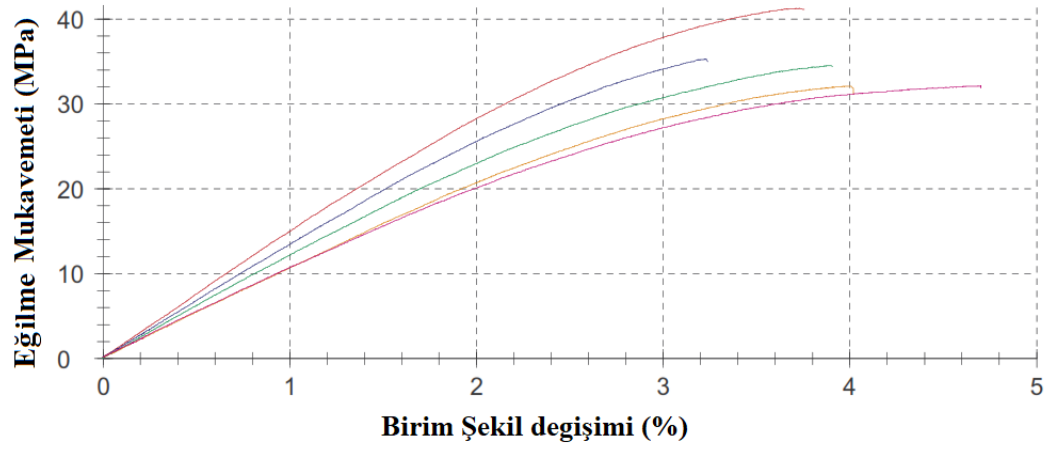
Karışıma %10 talk eklendiğinde, epoksiye oranla eğilme mukavemeti %34,43 azalmış, eğme elastisite modülü %8,75 ve eğilme yüzdesi ise %19,56 oranında azalmıştır. Talk ve ceviz kabuğu katkı oranı açısından sonuçlar karşılaştırıldığında %10 talk katkılı karışımın %10 CK katkılı karışıma oranla eğilme mukavemeti %115,66 ve eğme elastisite modülü %8,75 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir. Eğilme yüzdesi ise %2,6 oranında azalmıştır.

Tablo 3.17’de %10 talk katkılı numuneler için üç nokta eğme testinin uygulandığı beş numuneye ait üç nokta eğme test sonuçları ve Şekil 3.20’de ise üç nokta eğme testine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değişiminin grafiği verilmiştir.

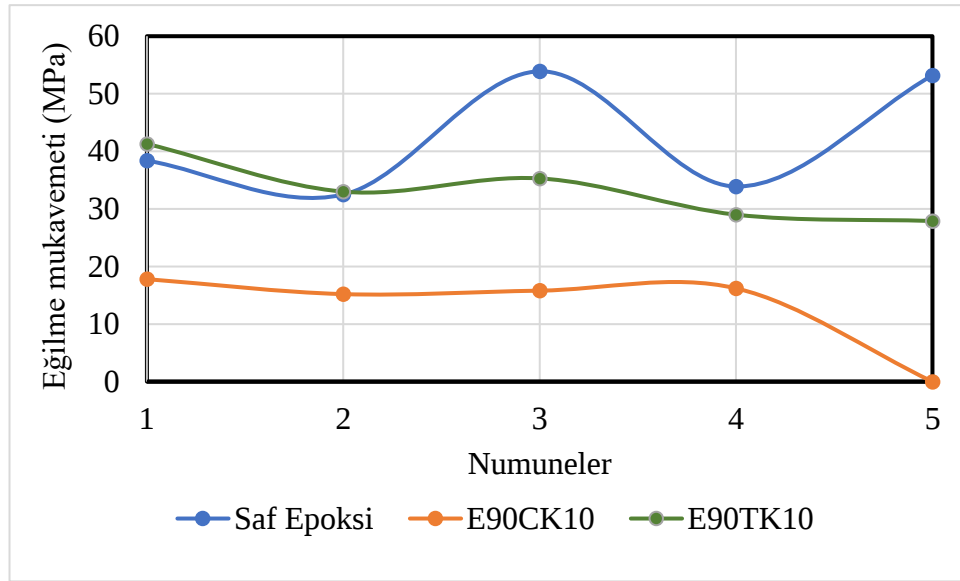
Şekil 3.22’de epoksi, %10 CK katkılı E90CK10 kodlu numune ve %10 talk katkılı E90TK10 kodlu numunelere ait eğilme mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğrilerde açıkça gözüktüğü gibi talk katkılı numunelerin eğilme mukavemet değerleri ceviz kabuğu katkılı numunelere oranla daha yüksek olarak elde edilmiştir. Bu durum literatür verileri ile uyumlu ve elde edilen sonuçlarda bunu doğrulamaktadır. Literatür verilerinden de bilindiği gibi talk katkısının eğilme mukavemeti arttırıcı bir etkisi vardır.

Tablo 3.17. E90TK10 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları

Numune	E_f (MPa)	σ_{fC} (MPa)	ϵ_{fB} (%)	σ_{FM} (MPa)	σ_{fB} (MPa)	ϵ_{fM} (%)
1	1500	41,3	3,7	41,3	41,3	3,7
2	1260	33,0	3,9	34,5	34,5	3,9
3	1330	-	3,2	35,3	35,3	3,2
4	1090	29,0	4,0	32,1	32,1	4,0
5	1060	27,9	-	-	-	-



Şekil 3.20. E90TK10 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri



Şekil 3.22. Epoksi, E90CK10 ve E90TK10 kodlu numunelerin eğilme mukavemetlerinin karşılaştırılması

3.2.6. E80TK20 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu

Talk katkısının %20 olduğu E80TK20 kodlu numunede eğilme mukavemeti 37,0 MPa, eğme elastisite modülü 1860 MPa ve eğilme yüzdesi değeri ise %2,5 olarak tespit edilmiştir. E80TK20 kodlu numuneler için eğilme mukavemeti standart sapma değeri 3,88 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %20 talk eklendiğinde, saf epoksiye oranla eğilme mukavemeti %32,23 oranında daha düşük olarak elde edilirken, eğme elastisite modülü %35,76 oranında daha yüksek olarak elde edilmiş ve eğilme yüzdesi ise %45,65 oranında azalmıştır.

Talk katkı miktarı %10'dan %20'ye çıktığında, eğilme mukavemeti %3,35, eğme elastisite modülü %48,8 oranında artmış ve eğilme yüzdelik değişimi %32,43 oranında azalmıştır.

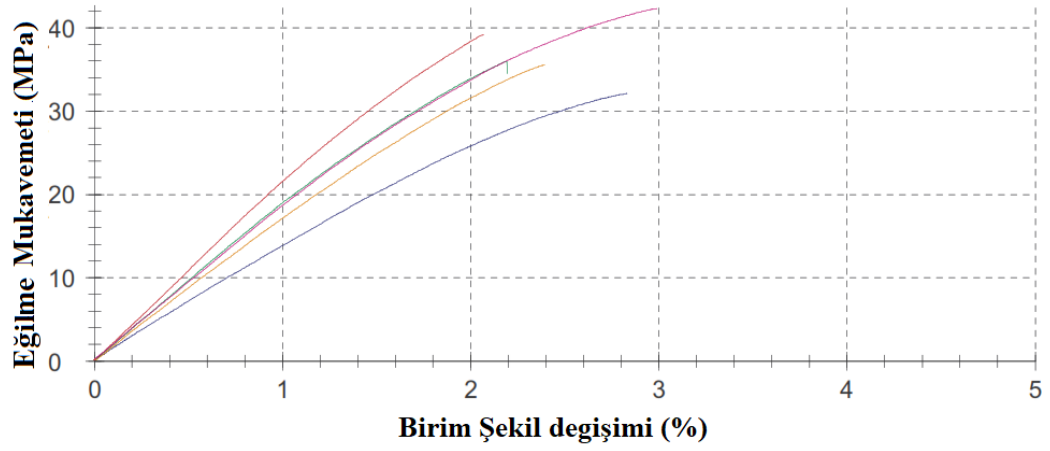
Talk ve ceviz kabuğu katkı oranı açısından sonuçlar karşılaştırıldığında %20 talk katkılı karışımın %20 CK katkılı karışıma oranla eğilme mukavemeti %106 oranında ve eğme elastisite modülü %147,6 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir. Eğilme yüzdesi ise %19,35 oranında azalmıştır. Bunun başlıca nedenlerinden biri ceviz kabuğunun yapısında bulundurduğu selülozik yapıdan gelmektedir. Bu yapı malzemeye sert ve rijit özellikler kattığı literatürlerden bilinmekte yapılan mekanik testlerde bunu doğrulamaktadır.

Tablo 3.18'de %20 talk katkılı numuneler için eğme testinin uygulandığı beş numuneye ait üç nokta eğme test sonuçları verilmiştir. Şekil 3.23'de ise üç nokta eğme testine bağlı olarak çizilen eğilme mukavemeti-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir. Şekil 3.23' de görülen egrinin yükselmesi veya düşmesi numunede bulunan ceviz kabuklarının dağılımından kaynaklanmaktadır. Bu değerler incelenirken beş adet numuneden elde edilen ortalama değerler baz alınmaktadır.

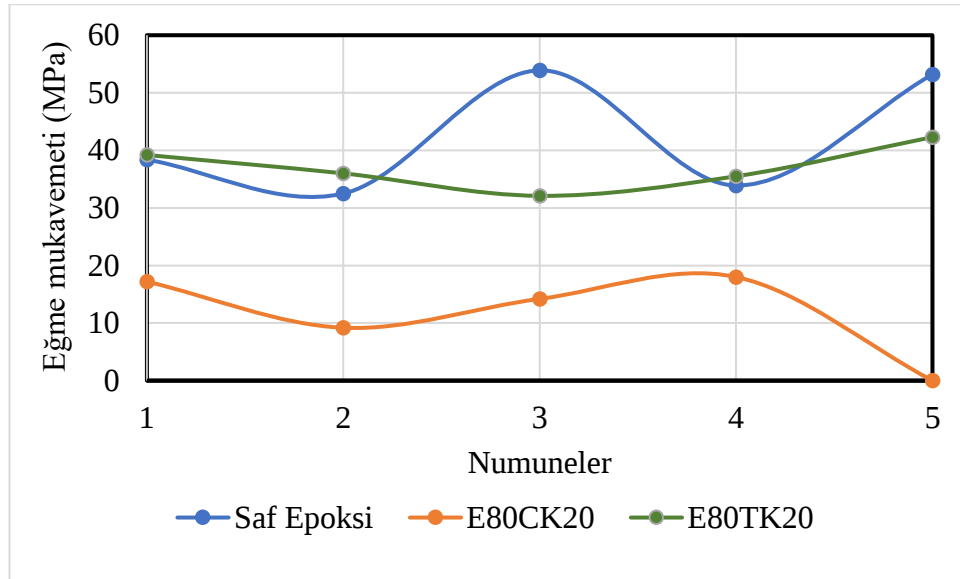
Şekil 3.24'da %20 CK katkılı E80CK20 kodlu numune ve %20 talk katkılı E80TK20 kodlu numunelere ait eğilme mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğrilerde açıkça gözüktüğü gibi saf epoksi katkısız numunelerin en yüksek, talk katkılı numunelerin eğilme mukavemet değerleri ceviz kabuğu katkılı numunelere oranla daha yüksek olarak elde edilmiştir. Şekilde egrilerin bazı noktalarında sıçramalar görülmektedir bu durumun nedeni bazı numunelerde farklı yoğunlukta olan CK katkısından oluşmaktadır.

Tablo 3.18. E80TK20 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları

Numune	Ef (MPa)	σ_fC (MPa)	ϵ_{fB} (%)	σ_{FM} (MPa)	σ_{fB} (MPa)	ϵ_{fM} (%)
1	2150	-	2,1	39,2	39,2	2,1
2	1960	-	2,2	36,0	36,0	2,2
3	1460	-	2,8	32,1	32,1	2,8
4	1820	-	2,4	35,5	35,5	2,4
5	1910	-	3,0	42,3	42,3	3,0



Şekil 3.23.E80TK20 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri



Şekil 3.24. Epoksi, E80CK20 ve E80TK20 kodlu numunelerin eğilme mukavemetlerinin karşılaştırılması

3.2.7. E70TK30 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu

Talk katkısının %30 olduğu E70TK30 kodlu numunede eğilme mukavemeti 36,8MPa, eğme elastisite modülü 2600 MPa ve eğilme yüzdesi değeri ise %1,6 olarak tespit edilmiştir. E70TK30 kodlu numuneler için eğilme mukavemeti standart sapma değeri 1,60 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %30 talk eklendiğinde, epoksiye oranla eğilme mukavemeti %32,6 oranında daha düşük olarak elde edilirken, eğme elastisite modülü %89,78 oranında daha yüksek olarak elde edilmiş ve eğilme yüzdesi değeri ise %65,21 oranında azalmıştır.

Talk katkı miktarı %10'dan %30'a çıktığında, eğilme mukavemeti %2,79 oranında, eğme elastisite modülü % 108 oranında artmış ve eğilme yüzdesi değeri ise %56,7 oranında azalmıştır.

Talk katkı miktarı %20'den %30'a çıktığında, eğilme mukavemeti %0,54 oranında azalmış, eğme elastisite modülü % 39,78 oranında artmış ve eğilme yüzdesi değeri ise %36 oranında azalmıştır.

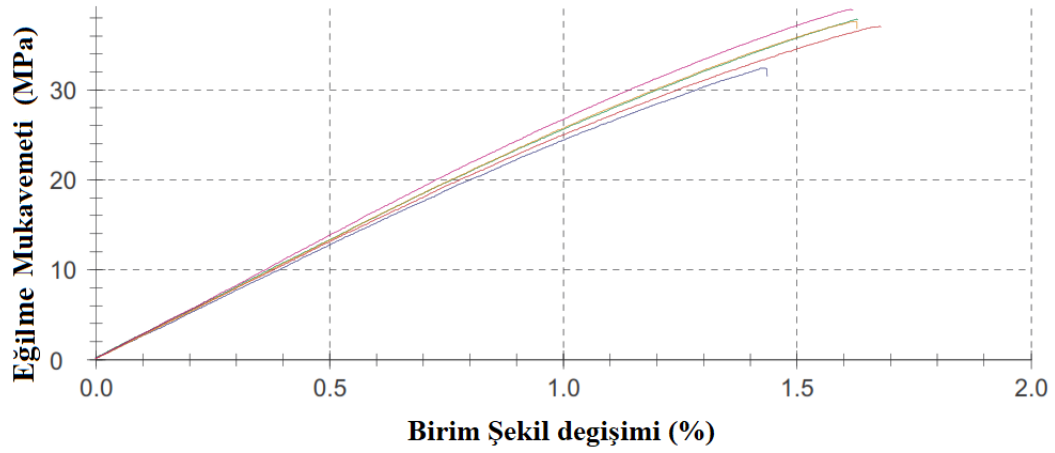
Talk ve ceviz kabuğu katkılı numuneler karşılaştırıldığında, %30 talk katkılı numunelerin eğilme mukavemeti, %30 ceviz kabuğu katkılı numunelerin eğilme mukavemetine oranla %51,44 daha yüksek olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde eğme elastisite modülü %81,8 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir. Eğilme yüzdesi değeri ise %11,11 oranında azalmıştır.

Tablo 3.19'de %30 talk katkılı numuneler için üç nokta eğme testinin uygulandığı beş numuneye ait üç nokta eğme test sonuçları ve Şekil 3.25'da ise üç nokta eğme testine bağlı olarak çizilen eğilme mukavemeti-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir.

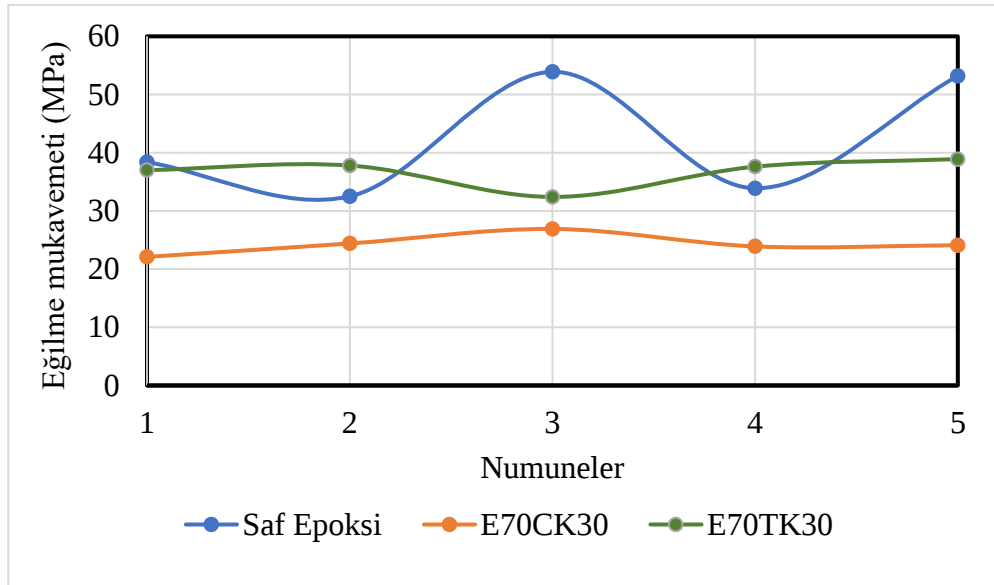
Şekil 3.26'de epoksi, %30 CK katkılı E70CK30 kodlu numune ve %30 talk katkılı E70TK30 kodlu numunelere ait eğilme mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğrilerdende açıkça gözüktüğü gibi saf epoksi katkısız numunelerin en yüksek, talk katkılı numunelerin eğilme mukavemet değerleri ceviz kabuğu katkılı numunelere oranla daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.19. E70TK30 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları

Numune	Ef (MPa)	σ_fC (MPa)	ξ_fB (%)	σ_{FM} (MPa)	σ_fB (MPa)	ξ_{fM} (%)
1	2580	-	1,7	37,0	37,0	1,7
2	2610	-	1,6	37,8	37,8	1,6
3	2500	-	1,4	32,4	32,4	1,4
4	2620	-	1,6	37,6	37,6	1,6
5	2670	-	1,6	38,9	38,9	1,6



Şekil 3.25. E70TK30 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri



Şekil 3.26. Epoksi, E70CK30 ve E70TK30 kodlu numunelerin eğilme mukavemetlerinin karşılaştırılması

3.2.8. E60TK40 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu

Talk katkısının %40 olduğu E60TK40 kodlu numunede eğilme mukavemeti 36,5MPa, eğme elastisite modülü 3070 MPa ve eğilme yüzdesi değeri ise %1,4 olarak tespit edilmiştir. E70TK30 kodlu numuneler için eğilme mukavemeti standart sapma değeri 4,31 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %40 talk eklendiğinde, epoksiye oranla eğilme mukavemeti %33,15 oranında daha düşük olarak elde edilirken, eğme elastisite modülü %124 oranında daha yüksek olarak elde edilmiş ve eğilme yüzdesi değeri ise %69,56 oranında azalmıştır.

Talk katkı miktarı %10'dan %40'a çıktığında, eğilme mukavemeti %1,95 oranında artmış, eğme elastisite modülü % 122,09 oranında artmış ve eğilme yüzdesi değeri ise %62,162 oranında azalmıştır.

Talk katkı miktarı %20'den %40'a çıktığında, eğilme mukavemeti %1,35 oranında azalmış , eğme elastisite modülü % 65,05 oranında artmış ve eğilme yüzdesi değeri ise % 44 oranında azalmıştır.

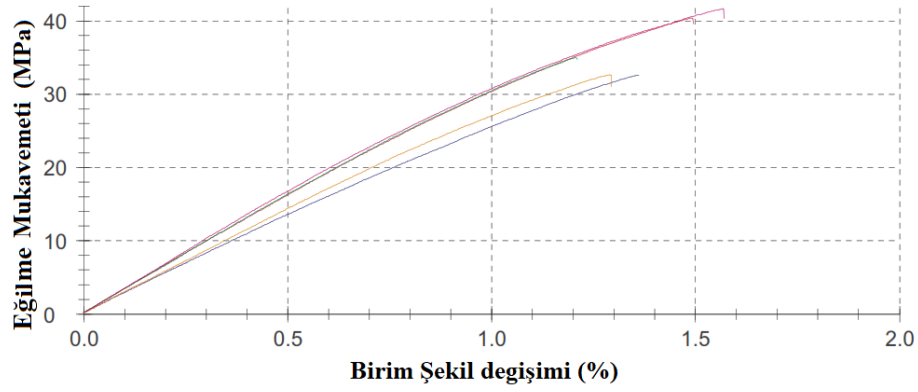
Talk katkı miktarı %30'dan %40'a çıktığında, eğilme mukavemeti %0,81 oranında azalmış, eğilme elastisite modülü % 18,07 oranında artmış ve eğilme yüzdesi değeri ise %12,5 oranında azalmıştır.

Talk ve ceviz kabuğu katkı oranı açısından sonuçlar karşılaştırıldığında, %40 talk katkılı numunelerin eğilme mukavemeti, %40 ceviz kabuğu katkılı numunelerin eğilme mukavemetine oranla %33,21 daha yüksek olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde eğilme elastisite modülü %82,73 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir. Eğilme yüzdesi değeri ise %22,22 oranında azalmıştır.

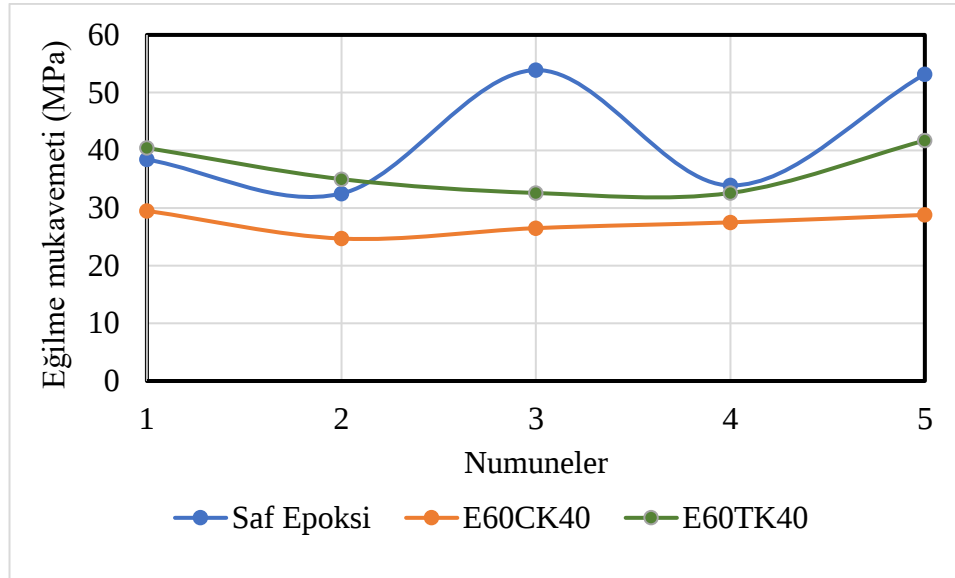
Tablo 3.20'da %40 talk katkılı numuneler için üç nokta eğme testinin uygulandığı beş numuneye ait üç nokta eğme test sonuçları ve Şekil 3.27'de ise üç nokta eğme testine bağlı olarak çizilen eğilme mukavemeti-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir. Şekil 3.28'de epoksi, %40 CK katkılı E60CK40 kodlu numune ve %40 talk katkılı E60TK40 kodlu numunelere ait eğilme mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğrilerdende açıkça gözüktüğü gibi saf epoksi katkısız numunelerin en yüksek, talk katkılı numunelerin eğilme mukavemet değerleri ceviz kabuğu katkılı numunelere oranla daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.20. E60TK40 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları

Numune	Ef (MPa)	$\sigma_f C$ (MPa)	$\xi f B$ (%)	σ_{FM} (MPa)	σ_{fB} (MPa)	$\xi f M$ (%)
1	3260	-	1,5	40,4	40,4	1,5
2	3210	-	1,2	35,0	35,0	1,2
3	2700	-	1,4	32,6	32,6	1,4
4	2820	-	1,3	32,6	32,6	1,3
5	3360	-	1,6	41,7	41,7	1,6



Şekil 3.27. E60TK40 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri



Şekil 3.28. Epoksi, E60CK40 ve E60TK40 kodlu numunelerin eğilme mukavemetlerinin karşılaştırılması

3.2.9. E60CK40 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu

Ceviz kabuğu katkısının %40 olduğu E60CK40 kodlu numunede eğilme mukavemeti 27,4 MPa, eğme elastisite modülü 1680 MPa ve eğilme yüzdesi değeri ise %1,8 olarak tespit edilmiştir. E60CK40 kodlu numuneler için eğilme mukavemeti standart sapma değeri 1,91 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %40 CK eklendiğinde, epoksiye oranla eğilme mukavemeti %49,81 oranında daha düşük olarak elde edilirken, eğme elastisite modülü %22,62 oranında daha yüksek olarak elde edilmiş ve eğilme yüzdesi ise %60,86 oranında azalmıştır.

Ceviz kabuğu katkı miktarı %10'dan %40'a çıktığında, eğilme mukavemeti %65,06 oranında artmış, eğme elastisite modülü %166,24 oranında artmış ve eğilme yüzdelik değişimi %52,63 oranında düşmüştür.

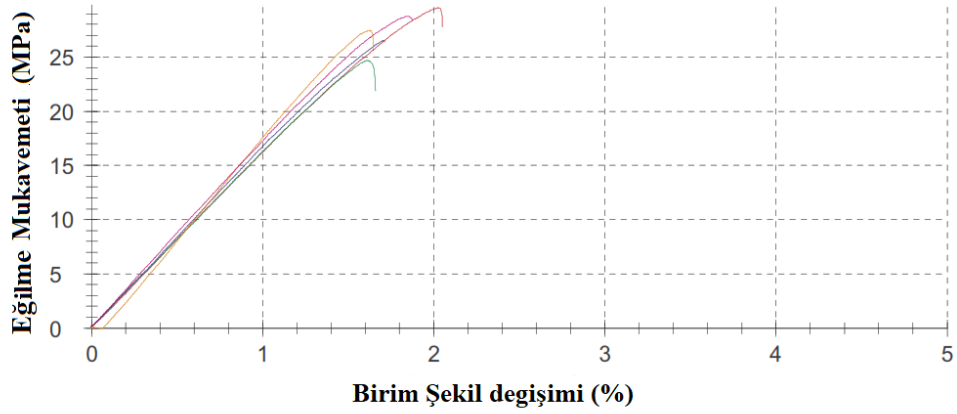
Ceviz kabuğu katkı miktarı %20'den %40'a çıktığında eğilme mukavemeti %53,07 oranında artmış, eğme elastisite modülü %123,7 oranında artmış ve eğilme yüzdesi %41,93 oranında düşmüştür.

Ceviz kabuğu katkı miktarı %30'dan %40'a çıktığında eğilme mukavemeti %12,75 oranında artmış, eğme elastisite modülü %17,48 oranında artmış eğilme yüzdesi değişmemiştir.

Tablo 3.21'de %40 CK katkılı numuneler için üç nokta eğme testinin uygulandığı beş numuneye ait eğme test sonuçları ve Şekil 3.29'da ise üç nokta eğme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir.

Tablo 3.21. E60CK40 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları

Numune	Ef (MPa)	σ_C (MPa)	ϵ_B (%)	σ_{FM} (MPa)	σ_B (MPa)	ϵ_{FM} (%)
1	1610	-	2,0	29,5	29,5	2,0
2	1650	-	1,6	24,7	24,7	1,6
3	1660	-	1,7	26,5	26,5	1,7
4	1720	-	1,6	27,5	27,5	1,6
5	1740	-	1,8	28,8	28,8	1,8



Şekil 3.29.E60CK40 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri

3.2.10. E69CK30CU1 Kodlu numuneye ait üç nokta eğme test sonucu

Ceviz kabugu katkısının %69 olduğu E69CK30CU1 kodlu numunede eğilme mukavemeti 51,9 MPa, eğme elastisite modülü 3870 MPa ve eğilme yüzdesi değeri ise %1,6 olarak tespit edilmiştir. E69CK30CU1 kodlu numuneler için eğilme mukavemeti standart sapma değeri 5,89 olarak hesaplanmıştır.

Karışıma %30 CK, %1 bakır tozu eklendiğinde, saf epoksiye oranla eğilme mukavemeti %4,94 oranında daha düşük olarak elde edilirken, eğme elastisite modülü %182 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir. Eğilme yüzdesi değeri ise %65,21 oranında azalmıştır.

Bakır tozu eklenmemiş olan %30 CK katkılı E70CK30 kodlu numunelerle, %30 CK'una ilave olarak %1 bakır tozu eklenmiş E69CK30CU1 kodlu numunelerin eğme mukavemet sonuçları karşılaştırıldığında bakır tozunun eğme mukavemetini arttırdığını ve eğme elastisite modülünü arttırdığı görülmektedir. Bu beklenen bir durumdur. Partikül şeklindeki metalik katkı ve dolgu maddelerinin, elektriksek ve ısı özellikleri iyileştirirken eğme mukavemetini ve dayanımını arttırdığını literatürden bilinmektedir. Elde edilen sonuçların literatürde belirtilenler ile uyumlu bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir.

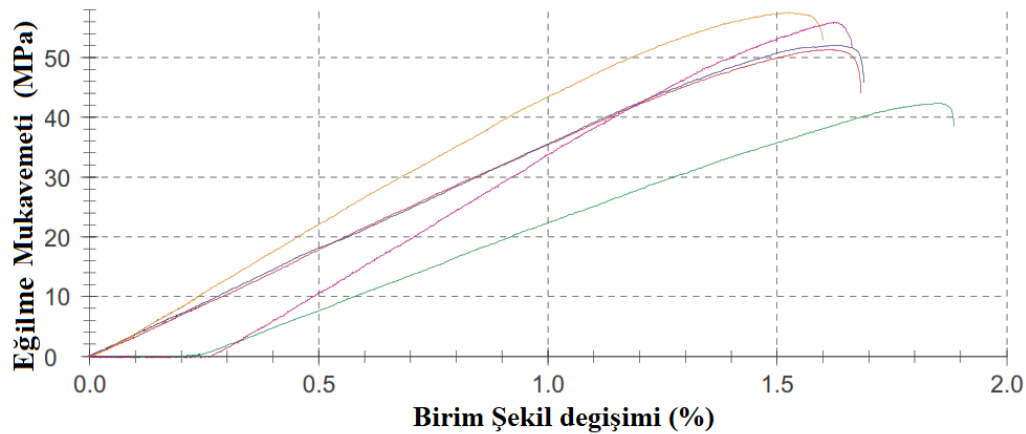
Tablo 3.22'da bakır tozu eklenmemiş olan %30 CK katkılı E69CK30CU1 kodlu beş numuneye ait üç nokta eğme test sonuçları ve Şekil 3.28'de ise üç nokta eğme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir.

Şekil 3.29’de Saf epoksi, %30 CK katkılı E70CK30 kodlu numune, %30 talk katkılı E70TK30 kodlu numune ve %30 CK’una ilave olarak %1 bakır tozu eklenmiş E69CK30CU1 kodlu numunelere ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme grafiği verilmiştir.

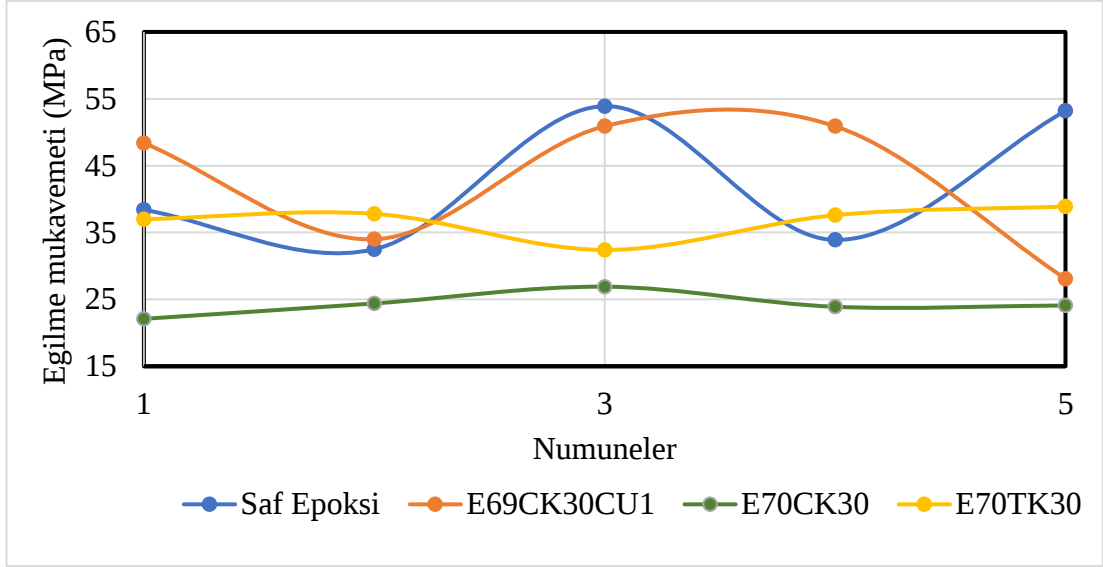
Şekil 3.30’daki grafikte görüldüğü gibi epoksi katkısız numunelerin en yüksek, %1 bakır ve %30 CK katkılı E69CK30CU1 kodlu numuneler, %30 talk katkılı ve %30 ceviz kabuğu katkılı numunelere oranla eğilme mukavemeti daha yüksek olarak elde edilmiştir. Ayrıca bakır katkısının malzemeye esneklik kazandırdığıda literatür verilende de yaptığımız çalışmadan edinilen bilgilerde de görülmektedir.

Tablo 3.22. E69CK30CU1 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları

Numune	Ef (MPa)	$\sigma_f C$ (MPa)	$\epsilon_f B$ (%)	σ_{FM} (MPa)	σ_{fB} (MPa)	ϵ_{fM} (%)
1	3770	-	1,6	51,3	51,3	1,6
2	2940	-	1,8	42,4	42,4	1,8
3	3480	-	1,6	52,1	52,1	1,6
4	4560	-	1,5	57,5	57,5	1,5
5	4570	-	1,6	55,9	55,9	1,6



Şekil 3.29. E69CK30CU1 kodlu numunelerine ait eğilme mukavemeti-birim şekil değiştirme eğrileri



Şekil 3.30.Epoksi, E69CK30CU1, E60CK40 ve E60TK40 kodlu numunelerin eğilme mukavemetlerinin karşılaştırılması

3.3. Izod Darbe Testi Sonuçları

Izod darbe test sonuçları Tablo 3.23'te tüm numuneler için toplu şekilde verilmiştir.

Tablo 3.23. Izod darbe testi sonuçları

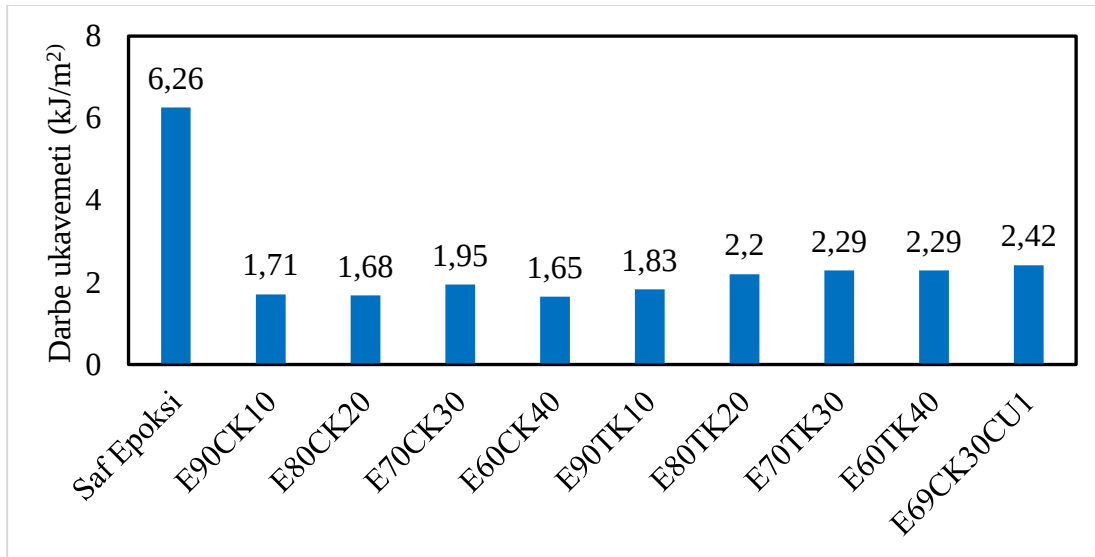
Numune Adı	Darbe Mukavemeti (kJ/m ²)	Darbe Muk. Standard Sapma	Energy (J)
Saf Epoksi	6,03	0,49	0,198
E90CK10	1,71	0,41	0,050
E80CK20	1,68	0,11	0,052
E70CK30	1,95	0,35	0,063
E60CK40	1,65	0,11	0,050
E90TK10	1,83	0,38	0,053
E80TK20	2,20	0,09	0,070
E70TK30	2,29	0,14	0,075
E60TK40	2,29	0,08	0,075
E69CK30CU1	2,42	0,12	0,045

Tablo 3.23'ten görüleceği gibi en yüksek darbe mukavemet değeri 6,03 kJ/m² ile saf epoksida elde edilmiştir. Karışım yapılan numuneler içerisinde ise en yüksek darbe mukavemeti CK katkısının %30 ve bakır katkısının %1 olduğu E69CK30CU1 kodlu numunede 2,42 kJ/m² olarak elde edilmiştir. En düşük darbe mukavemeti ise ceviz kabuğu katkısının %40 olduğu E60CK40 kodlu numunede 1,65 kJ/m² olarak elde edilmiştir.

Tablodan çıkan sonuçlara göre içerisinde sadece ceviz kabuğu veya sadece talk olan numunelerin değerlerine bakıldığında saf epoksiye oranla izod değerlerindeki düşüş gözlemlenmektedir. Ceviz kabuğu ve talk açısından sonuçlar karşılaştırıldığında talk katkılı numunelerin darbe mukavemet değerinin ceviz kabuğu katkılı numunelere oranla daha yüksek olarak elde edildiği görülmektedir.

Katkı malzemesi olarak kullanılan talk, malzemenin kolay işlenmesini ve yüzey parlaklığını arttırmaktadır. Bunun yanı sıra talk polimerde CK'na oranla karışım içerisinde darbe mukavemetini de arttırmaktadır.

Şekil 3.31'deki grafik, tablo 3.23'deki izod darbe test sonuçlarının görsel olarak hazırlanmış grafiği görülmektedir. Grafikte tüm numunelerin darbe mukavemeti sonuçları toplu halde grafiksel olarak karşılaştırılması verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere en yüksek darbe mukavemeti en yüksek değeri epoksi numunesinden elde edilmiştir.



Şekil 3.31. Izod darbe mukavemeti sonuçlarının grafiksel karşılaştırılması

3.3.1. Saf Epoksiye ait izod darbe test sonucu

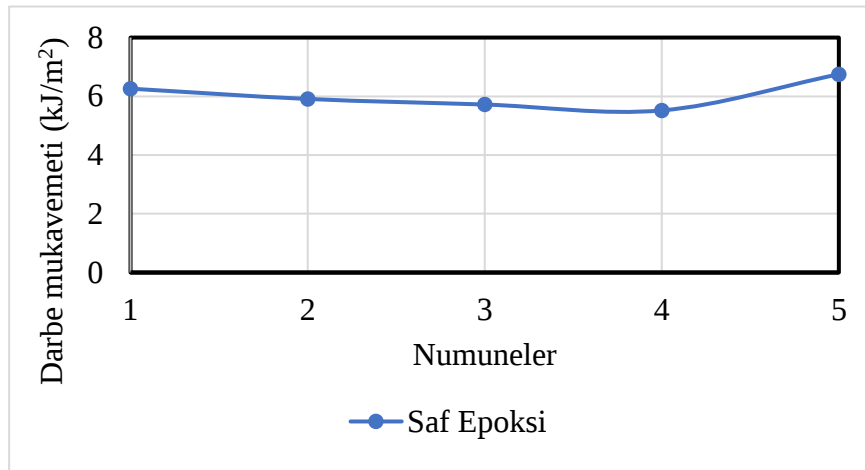
Çalışmada en yüksek darbe mukavemet değeri saf epoksiden dökülen numunede elde edilmiştir. Saf epoksinin darbe mukavemeti $6,03 \text{ kJ/m}^2$, darbe mukavemeti standard sapması 0,49, enerji absorblama yüzdesi $\%3,6 \pm 0,26$ ve kırılma enerjisi $0,198 \pm 0,015 \text{ J}$ olarak gerçekleşmiştir. Darbe mukavemeti açısından numuneler karşılaştırıldığında saf epoksi için sonuçların benzer şekilde seyrettiği görülmektedir ve numuneler arasında çok ciddi farklılıklar söz konusu değildir.

Tablo 3.24’de saf epoksi için izod darbe testinin uygulandığı beş numuneye ait test sonuçları ve Şekil 3.32’de ise izod darbe testine bağlı olarak saf epoksiye ait çizilen darbe mukavemetinin değişimine ait grafikler verilmiştir.

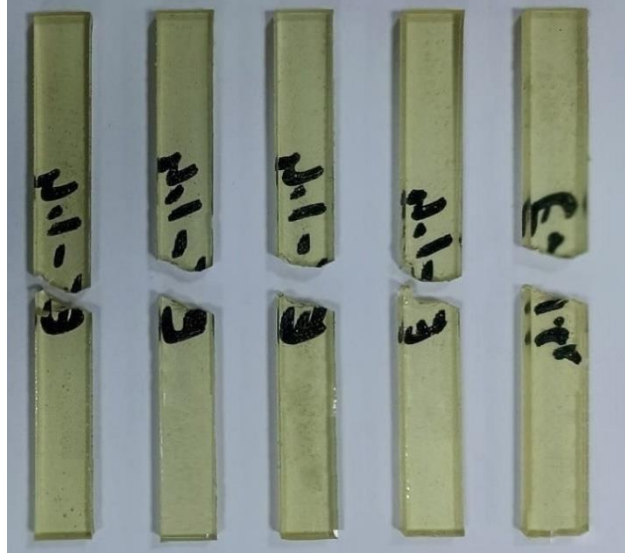
Şekil 3.33’de saf epoksi numunelerinin kırılma şekillerine ait görseller verilmiştir. Kırılma geometrileri incelendiğinde numunelerin kırılma şekillerinin benzer olduğu ve gevrek bir kırılmanın gerçekleştiği görülmektedir. Bazı numunelerde görülen çıkıntı şekillerinin numune kenarlarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Tablo 3.24. Saf epoksi test numunelerine ait darbe test sonuçları

Numune	Darbe Mukavemeti (kJ/m ²)	Enerji Absorblama (%)	Enerji (J)
1	6,26	3,72	0,204
2	5,91	3,60	0,198
3	5,72	3,35	0,184
4	5,52	3,32	0,182
5	6,75	4,04	0,222



Şekil 3.32.Saf epoksi numunelerine ait darbe muakavemetlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.33. Saf epoksi numunelerine ait kırılma şekilleri

3.3.2. E90CK10 Kodlu numuneye ait ızod darbe test sonucu

Ceviz kabuğu katkısının %10 olduğu E90CK10 kodlu numunede darbe mukavemeti $1,71 \text{ kJ/m}^2$, darbe mukavemeti standard sapması 0,41, enerji absorblama yüzdesi $\%0,91 \pm 0,20$ ve kırılma enerjisi $0,050 \pm 0,011 \text{ J}$ olarak gerçekleşmiştir.

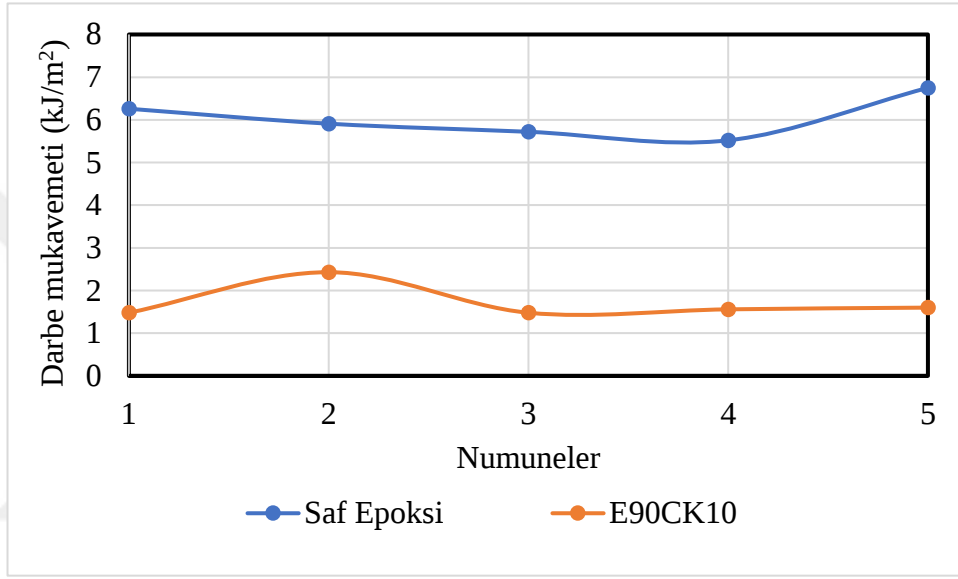
Karışıma %10 CK eklendiğinde, epoksiye oranla darbe mukavemeti %71,64 azalmış, kırılma enerjisindeki değişim %74,74 oranında daha düşük olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.25’de %10 CK katkılı numuneler için darbe testinin uygulandığı beş adet numunenin ait üç nokta eğme test sonuç tablosu ve Şekil 3.34’de epoksi, %10 CK katkılı E90CK10 kodlu numunelere ait darbe mukavemet değerlerinin grafiği verilmiştir. Grafige bakıldığında epoksi numunelerin darbe mukavemet değeri %10 CK katkılı numunelere oranla daha yüksek olarak elde edilmiştir.

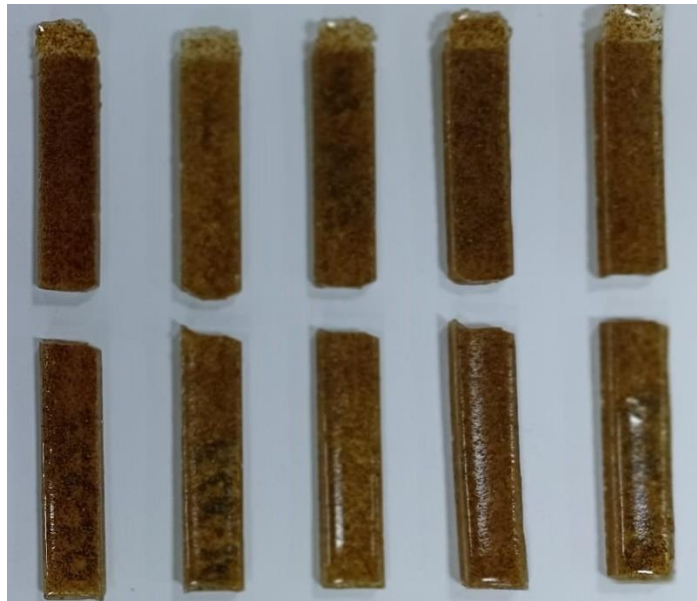
Şekil 3.35’de %10 CK katkılı E90CK10 kodlu numunelerinin kırılma şekillerine ait görseller verilmiştir. Şekil 3.35’de darbe testi yapılan resimler incelendiğinde kırılma şekilleri ve kırılma açısı benzerlikler göstermektedir. Kırılma şekillerinin epoksiye göre daha düz bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Ancak saf epoksi darbe testi sonucunda alınan görüntüde şekil 3.33’deki epoksi katkısız numunelere göre incelendiğinde gibi daha açılı bir kırılma şekli mevcuttur. Buradan ceviz kabuğu dağılımının ve numunelerin kalıp çerisinde dağılımının eşit olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Kompozit CK katkılı diğer resimler de incelendiğinde benzer sonuçlar görülmektedir.

Tablo 3.25. E90CK10 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları

Numune	Darbe Mukavemeti (kJ/m ²)	Enerji Absorblama (%)	Enerji (J)
1	1,48	0,78	0,043
2	2,43	1,31	0,072
3	1,48	0,80	0,044
4	1,56	0,80	0,044
5	1,60	0,85	0,047



Şekil 3.34.Epoksi ve E90CK10 kodlu numulerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.35. E90CK10 numunelerine ait kırılma şekilleri

3.3.3. E80CK20 Kodlu numuneye ait izod darbe test sonucu

Ceviz kabuğu katkısının %20 olduğu E80CK20 kodlu numunede darbe mukavemeti 1,68 kJ/m², darbe mukavemeti standard sapması 0,11, enerji absorblama yüzdesi $0,95 \pm 0,06$ ve kırılma enerjisi $0,052 \pm 0,003$ J olarak gerçekleşmiştir.

Karışıma %20 CK eklendiğinde, saf epoksiye oranla darbe mukavemeti %72,14 azalmış, kırılma enerjisindeki değişim %73,73 oranında daha düşük olarak elde edilmiştir.

Numunelerdeki CK miktarı %10'dan %20'ye çıktığında eğilme mukavemeti %1,75 oranında azalmış, kırılma enerjisindeki değişim %4 oranında daha artış olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.26'de epoksi ve %20 CK katkılı numuneler için darbe testinin uygulandığı beş adet numunenin darbe test sonuçları verilmiştir.

Şekil 3.36'de epoksi, %20 CK katkılı E80CK20 kodlu numunelere ait darbe mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğrilerden de açıkça gözüktüğü gibi epoksi katkısız numunelerin darbe mukavemet değeri %20 CK katkılı E80CK20 kodlu numunelere oranla daha yüksek olarak elde edilmiştir.

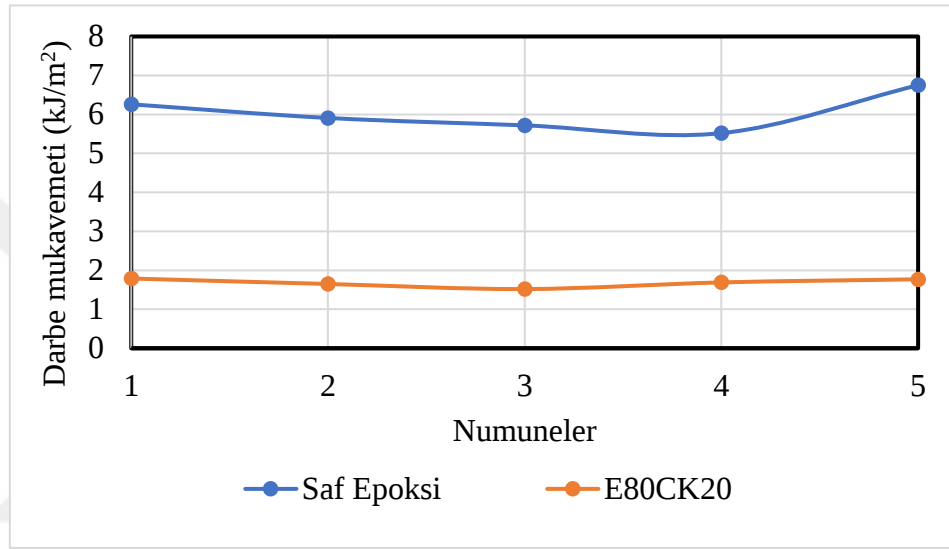
Şekil 3.37 %20 CK katkılı E80CK20 kodlu numunelerinin kırılma şekillerine ait görseller verilmiştir. Resimlerden görüldüğü üzere kırılma şekilleri epoksiye ve içerisinde %10 CK katkılı numunelere göre oranla daha düz bir kırılma gerçekleşmiştir.

Kırılma şekillerine ve egme test numuneleri incelendiğinde İçerisinde % 10 CK içeren numuneler % 20 CK içeren numunelere göre daha yumuşak bir özellikte olduğu görülmektedir.

Şekil 3.37 ve şekil 3.35'de verilen resimler incelendiğinde CK katkısından dolayı numunelerin renklerinde bir miktar renk değişimin olduğu görülmektedir. Bunun nedeni içinde kullanılan CK oranının artmasıdır. Resimler incelendiğinde epoksinin takviye maddesi olarak kullanılan ceviz kabugunu ıslatma oranı yeterli geldiği görülmektedir. Bu renk değişimleri %20 üzerinde CK kullanılan diğer numunelerde belirgin farklar oluşturmakta ve % 20 CK katkısı olan bu durum için sınır değeri oluşturmaktadır.

Tablo 3.26. E80CK20 numaralı test numunelerine ait eğme test sonuçları

Numune	Darbe Mukavemeti (kJ/m ²)	Enerji Absorblama (%)	Enerji (J)
1	1,79	1,00	0,055
2	1,65	0,95	0,052
3	1,52	0,85	0,047
4	1,69	0,95	0,052
5	1,77	1,00	0,055



Şekil 3.36. Epoksi ve E80CK20 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.37. E80CK20 numunelerine ait kırılma şekilleri

3.3.4. E70CK30 Kodlu numuneye ait izod darbe test sonucu

Ceviz kabuğu katkısının %30 olduğu E70CK30 kodlu numunede darbe mukavemeti 1,95 kJ/m², darbe mukavemeti standard sapması 0,35, enerji absorblama yüzdesi %1,15 ± 0,18 ve kırılma enerjisi 0,063 ± 0,010 J olarak gerçekleşmiştir.

Karışıma %30 CK eklendiğinde, epoksiye oranla darbe mukavemeti %67,66 azalmış, kırılma enerjisindeki değişim %68,18 oranında daha düşük olarak elde edilmiştir.

Numunelerdeki CK miktarı %10'dan %30'a çıktığında eğilme mukavemeti %14 oranında artmış, kırılma enerjisindeki değişim %26 oranında artış olarak elde edilmiştir.

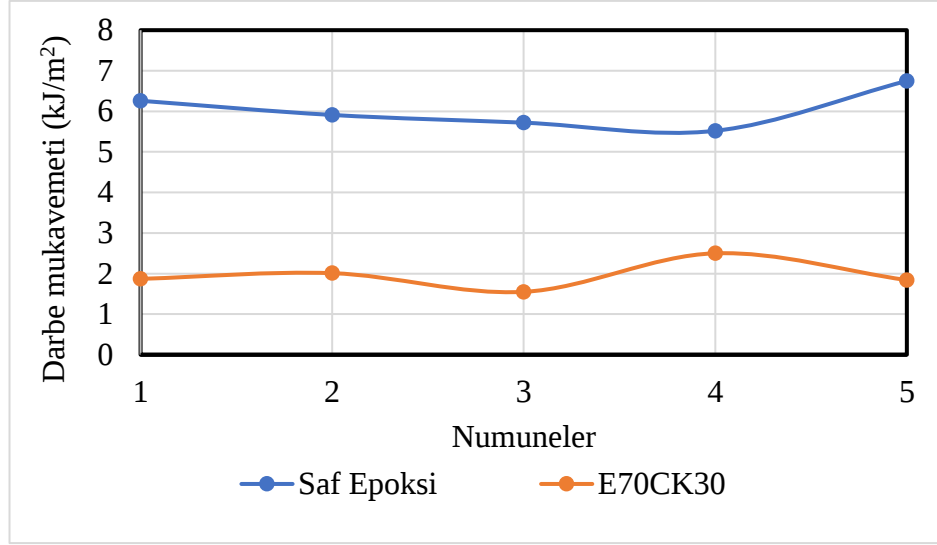
Numunelerdeki CK miktarı %20'den %30'a çıktığında eğilme mukavemeti %16 oranında artmış, kırılma enerjisindeki değişim %21,15 oranında artış olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.27'de %30 CK katkılı numuneler için darbe testinin uygulandığı beş adet numunenin darbe test sonuçları verilmiştir. Şekil 3.38'da epoksi, %30 CK katkılı E70CK30 kodlu numunelere ait darbe mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğrilerden de açıkça gözüktüğü gibi saf epoksi katkısız numunelerin darbe mukavemet değeri %30 CK katkılı E70CK30 kodlu numunelere oranla daha yüksek olarak elde edilmiştir.

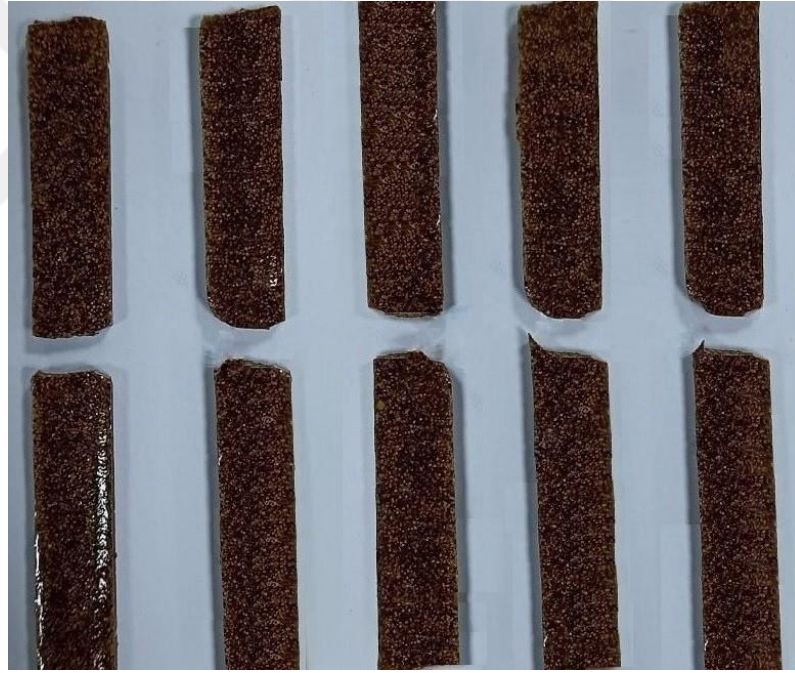
Şekil 3.39'da %30 CK katkılı E70CK30 kodlu numunelerinin kırılma şekillerine ait görsel verilmiştir. Resimler incelendiğinde epoksi, içerisinde %10 CK katkılı ve %20 CK katkılı numunelere göre daha rijit bir kırılma gerçekleşmiş ve CK katkılı kompozit malzemeler kendi arasında incelendiğinde CK oranı arttıkça kırılma daha rijit bir hal aldığı ve yorumumuzun bu yönde doğruluğunu da kanıtlamaktadır.

Tablo 3.27. E70CK30 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları

Numune	Darbe Mukavemeti (kJ/m ²)	Enerji Absorblama (%)	Enerji (J)
1	1,13	1,13	0,062
2	1,16	1,16	0,064
3	0,93	0,93	0,051
4	1,47	1,47	0,081
5	1,06	1,06	0,058



Şekil 3.38. Epoksi, E70CK30 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.39. E70CK30 numunelerine ait kırılma şekilleri

3.3.5. E60CK40 Kodlu numuneye ait izod darbe test sonucu

Ceviz kabuğu katkısının %40 olduğu E60CK40 kodlu numunede darbe mukavemeti $1,65 \text{ kJ/m}^2$, darbe mukavemeti standard sapması $0,11$, enerji absorblama yüzdesi $\%0,91 \pm 0,08$ ve kırılma enerjisi $0,050 \pm 0,004 \text{ J}$ olarak gerçekleşmiştir.

Karışıma %40 CK eklendiğinde, saf epoksiye oranla darbe mukavemeti %72,63 azalmış, kırılma enerjisindeki değişim %74,74 oranında daha düşük olarak elde edilmiştir.

Numunelerdeki CK miktarı %10'dan %40'a çıktığında darbe mukavemeti %14 oranında artmış, kırılma enerjisindeki değişim olmamıştır.

Numunelerdeki CK miktarı %20'den %40'a çıktığında darbe mukavemeti %1,78 oranında azalmış, kırılma enerjisindeki değişim %3,84 oranında azalma olarak elde edilmiştir.

Numunelerdeki CK miktarı %30'dan %40'a çıktığında darbe mukavemeti %15,4 oranında azalmış, kırılma enerjisindeki değişim %20,6 oranında azalma olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.28'de %40 CK katkılı numuneler için darbe testinin uygulandığı beş adet numunenin darbe test sonuçları ve şekil 3.40'da epoksi, %40 CK katkılı E60CK40 kodlu numunelere ait darbe mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

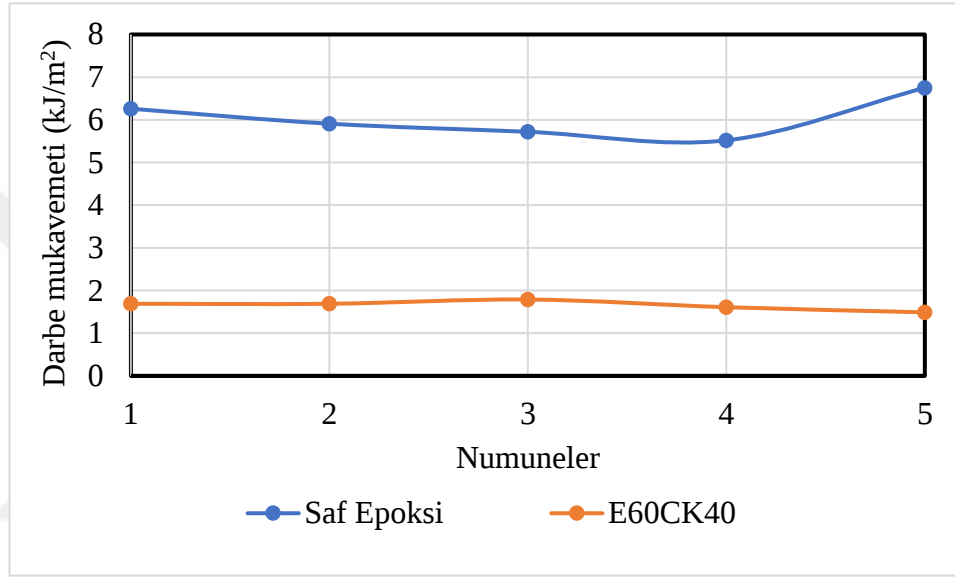
Şekil 3.40'da epoksi, %40 CK katkılı E60CK40 kodlu numunelerin darbe mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğrilerden de açıkça gözüktüğü gibi saf epoksi katkısız numunelerin darbe mukavemet değeri %40 CK katkılı E60CK40 kodlu numunelere oranla daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Şekil 3.41'de %40 CK katkılı E60CK40 kodlu numunelerinin kırılma şekillerine ait görsel verilmiştir. Resim incelendiğinde saf epoksi, %10 CK katkılı, %20 CK katkılı ve %30 CK katkılı numuneler içerisinde CK oranı en fazla bulunan numune % 40 CK katkılı numunedir. Bu özelliğinden dolayı katkılı numuneler içinde en fazla sertliğe sahip dolayısıyla en az sunek kırılma gösteren numunedir.

Şekil 3.41 detaylı bir şekilde incelendiğinde test uygulanan beş adet numunenin kırılma şeklini ve kırılmanın hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Buda kompozit malzemelerin üretim aşamasında CK katkısının epoksi içerisinde dağılımının eşit olduğunu göstermektedir. Özellikle şekil 3.35 ve şekil 3.37'de ki darbe test numunelerinin kırılma resimlerine bakıldığında epoksinin ceviz kabuklarını ıslatma oranı azalmış bu nedenle %30 CK ve %40 CK katkılı kompozit numunelere göre renkleri daha açık bir görüntüye sahiptir.

Tablo 3.28. E60CK40 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları

Numune	Darbe Mukavemeti (kJ/m ²)	Enerji Absorblama (%)	Enerji (J)
1	1,69	0,93	0,051
2	1,69	0,96	0,053
3	1,79	1,03	0,057
4	1,61	0,85	0,047
5	1,49	0,80	0,044



Şekil 3.40. Epoksi ve E60CK40 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.41. E60CK40 numunelerine ait kırılma şekilleri

3.3.6. E90TK10 Kodlu numuneye ait izod darbe test sonucu

Talk katkısının %10 olduğu E90TK10 kodlu numunede darbe mukavemeti 1,83 kJ/m², darbe mukavemeti standard sapması 0,38, enerji absorblama yüzdesi %0,97 ± 0,17 ve kırılma enerjisi 0,053 ± 0,009 J olarak gerçekleşmiştir.

Karışıma %10 CK eklendiğinde, saf epoksiye oranla darbe mukavemeti %69,65 azalmış, kırılma enerjisindeki değişim %73,23 oranında daha düşük olarak elde edilmiştir.

Talk ve ceviz kabuğu katkı oranı açısından sonuçlar karşılaştırıldığında, %10 talk katkılı numunelerin darbe mukavemeti, %10 ceviz kabuğu katkılı numunelerin darbe mukavemetine oranla %7 daha yüksek olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde kırılma enerjisindeki değişim %6 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.29’de %10 talk katkılı numuneler için darbe testinin uygulandığı beş adet numunenin darbe test sonuçları verilmiştir.

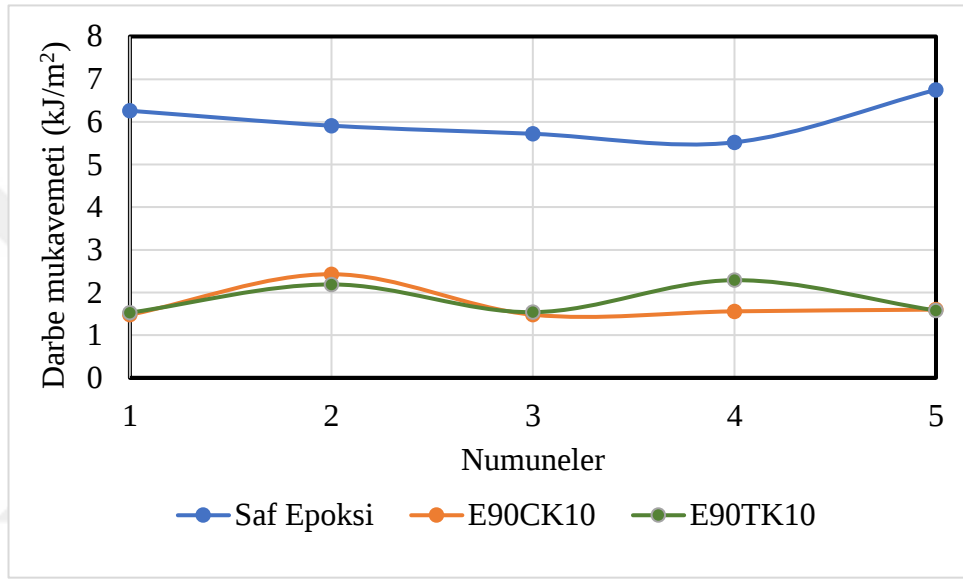
Şekil 3.42’de epoksi, %10 CK katkılı E90CK10 kodlu numune ve %10 talk katkılı E90TK10 kodlu numunelere ait darbe mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğrilerden de açıkça gözüktüğü gibi epoksi katkısız numuneler dışında en yüksek darbe mukavemetine sahip , talk katkılı numunelerin darbe mukavemet değerleri ceviz kabuğu katkılı numunelere oranla daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Şekil 3.43’de %10 talk katkılı E90TK10 kodlu numunelerinin kırılma şekillerine ait görsel verilmiştir. Resimler incelendiğinde saf epoksi ve %10 CK katkılı numunelere göre daha rijit bir kırılma gerçekleşmiştir.

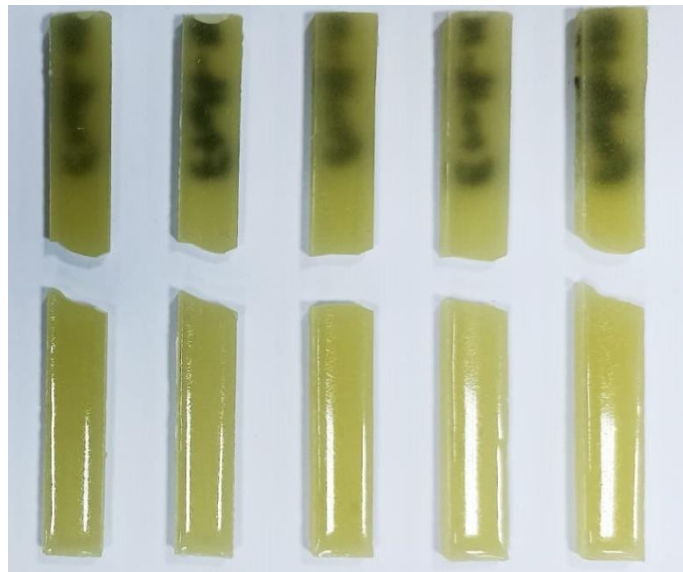
Şekil 3.43 ve Şekil 3.25 ayrı ayrı incelendiğinde talk katkılı numunelerin kırılma davranışları CK katkılı numunelere göre daha sünek olduğu görülmektedir. Resimlerden çıkardığımız bu yorumlarımızın kontrolü sayısal olarak da Tablo 3.29’da verilen izod darbe testi sonuçları tablosunda %10 CK katkılı ve %10 talk katkılı numunelerin darbe testi sonuçlarına bakıldığında yorumlarımızın doğruluğunu kanıtlamaktadır.

Tablo 3.29. E90TK10 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları

Numune	Darbe Mukavemeti (kJ/m ²)	Enerji Absorblama (%)	Enerji (J)
1	1,53	0,80	0,044
2	2,19	1,13	0,062
3	1,54	0,85	0,047
4	2,29	1,21	0,067
5	1,58	0,83	0,046



Şekil 3.42. Epoksi, E90CK10 ve E90TK10 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.43. E90TK10 numunelerine ait kırılma şekilleri

3.3.7. E80TK20 Kodlu numuneye ait izod darbe test sonucu

Talk katkısının %20 olduğu E80TK20 kodlu numunede darbe mukavemeti 2,20 kJ/m², darbe mukavemeti standard sapması 0,09, enerji absorblama yüzdesi %1,28 ± 0,06 ve kırılma enerjisi 0,07 ± 0,003 J olarak gerçekleşmiştir.

Karışıma %20 CK eklendiğinde, saf epoksiye oranla darbe mukavemeti %63,5 azalmış, kırılma enerjisindeki değişim %64,64 oranında daha düşük olarak elde edilmiştir.

Numunelerdeki CK miktarı %10'dan %20'ye çıktığında darbe mukavemeti %20,21 oranında artmış, kırılma enerjisindeki değişim %32 oranında artış elde edilmiştir.

Talk ve ceviz kabuğu katkı oranı açısından sonuçlar karşılaştırıldığında, %20 talk katkılı numunelerin darbe mukavemeti, %20 ceviz kabuğu katkılı numunelerin darbe mukavemetine oranla %30,9 daha yüksek olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde kırılma enerjisindeki değişim %34,61 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.30'de %20 talk katkılı numuneler için darbe testinin uygulandığı beş adet numunenin darbe test sonuçları verilmiştir.

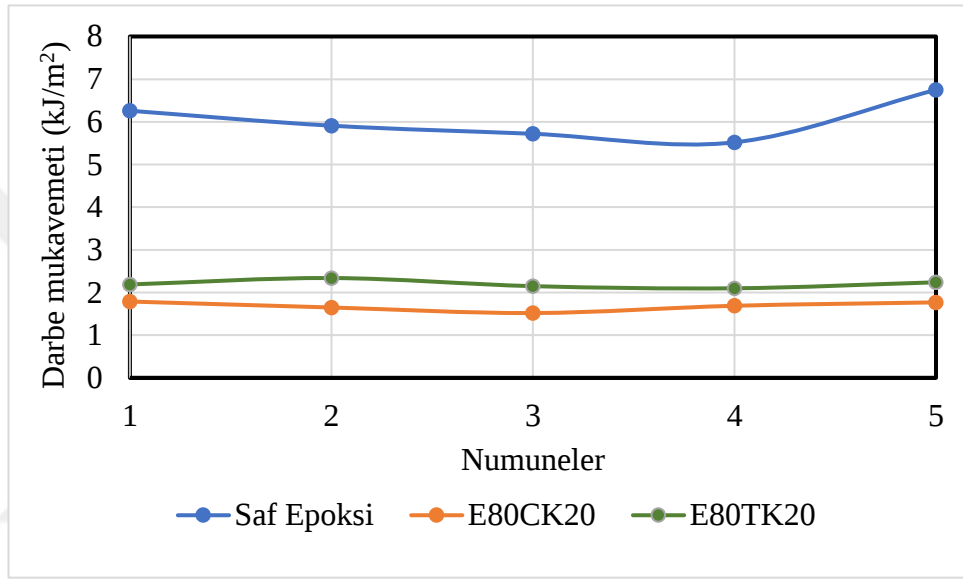
Şekil 3.44'de epoksi, %20 CK katkılı E80CK20 kodlu numune ve %20 talk katkılı E80TK20 kodlu numunelere ait darbe mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğrilerden de açıkça gözüktüğü gibi saf epoksi katkısız numunelerin en yüksek, talk katkılı numunelerin darbe mukavemet değerleri ceviz kabuğu katkılı numunelere oranla daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Şekil 3.45'de %20 talk katkılı E80TK20 kodlu numunelerinin kırılma şekillerine ait görsel verilmiştir. Resimlere bakıldığında %20 talk katkılı numuneler %10 talk katkılı numunelere göre daha rijit bir kırılma gerçekleştirmiştir. Resim incelendiğinde ise %20 talk katkılı numunelerin daha rijit bir kırılma gerçekleştirdiğini söyleyebiliriz.

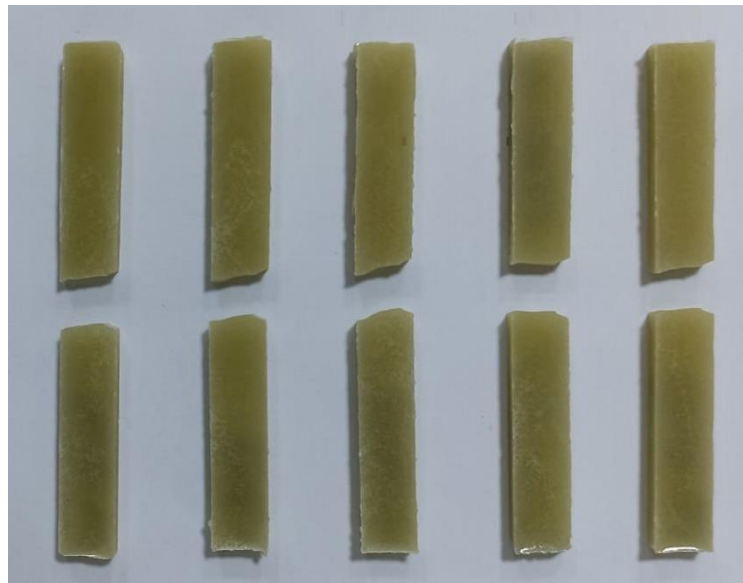
Tablo 3.30' da izod darbe testi sonuçları görülmektedir. %20 CK katkılı ve %20 talk katkılı numunelerin darbe testi sonuçlarına bakıldığında yorumlarımızın doğrulugunu kanıtlamaktadır.

Tablo 3.30. E80TK20 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları

Numune	Darbe Mukavemeti (kJ/m ²)	Enerji Absorblama (%)	Enerji (J)
1	2,19	1,26	0,069
2	2,34	1,37	0,075
3	2,15	1,21	0,067
4	2,10	1,24	0,068
5	2,24	1,32	0,072



Şekil 3.44. Epoksi, E80CK20 ve E80TK20 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.45. E80TK20 numunelerine ait kırılma şekilleri

3.3.8. E70TK30 Kodlu numuneye ait ızod darbe test sonucu

Talk katkısının %30 olduğu E70TK30 kodlu numunede darbe mukavemeti 2,29 kJ/m², darbe mukavemeti standard sapması 0,14, enerji absorblama yüzdesi %1,37 ± 0,12 ve kırılma enerjisi 0,075 ± 0,007 J olarak gerçekleşmiştir.

Karışıma %30 CK eklendiğinde, saf epoksiye oranla darbe mukavemeti %63,5 azalmış, kırılma enerjisindeki değişim %62,12 oranında daha düşük olarak elde edilmiştir.

Numunelerdeki CK miktarı %10'dan %30'a çıktığında darbe mukavemeti %20,21 oranında artmış, kırılma enerjisindeki değişim %41,5 oranında artış elde edilmiştir.

Numunelerdeki CK miktarı %20'den %30'a çıktığında darbe mukavemeti % 4,09 oranında artmış, kırılma enerjisindeki değişim %7,14 oranında artış elde edilmiştir.

Talk ve ceviz kabuğu katkı oranı açısından sonuçlar karşılaştırıldığında, %30 talk katkılı numunelerin darbe mukavemeti, %30 ceviz kabuğu katkılı numunelerin darbe mukavemetine oranla %17,43 daha yüksek olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde kırılma enerjisindeki değişim %19,04 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir.

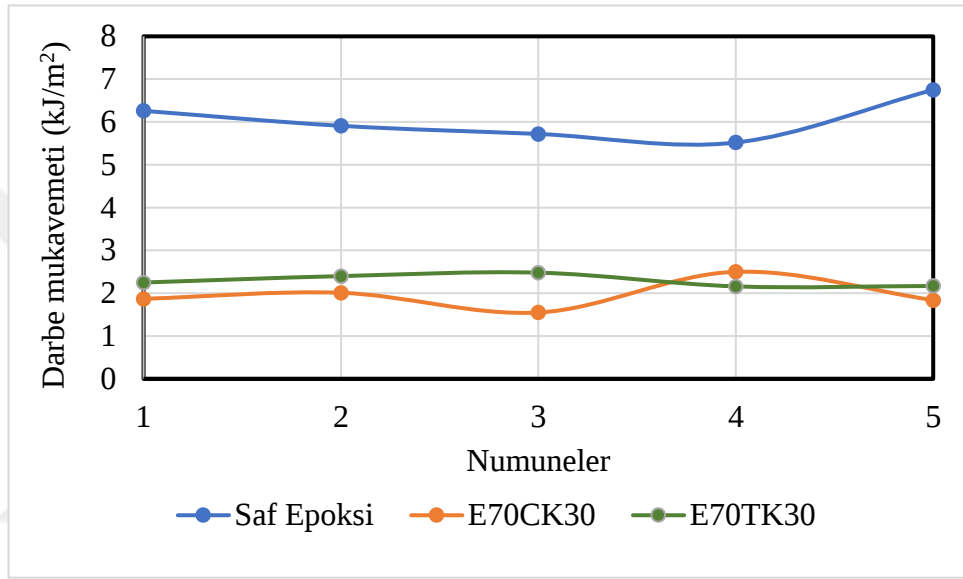
Tablo 3.31'de %30 talk katkılı numuneler için darbe testinin uygulandığı beş adet numunenin darbe test sonuçları ve Şekil 3.37'da Saf epoksi, %30 talk katkılı E70TK30 kodlu numunelere ait darbe mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Şekil 3.46'da Saf epoksi, %30 CK katkılı E70CK30 kodlu numune ve %30 talk katkılı E70TK30 kodlu numunelere ait darbe mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğrilerden de açıkça gözüktüğü gibi saf epoksi katkısız numunelerin en yüksek, talk katkılı numunelerin darbe mukavemet değerleri ceviz kabuğu katkılı numunelere oranla daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Şekil 3.47'de %30 talk katkılı E70TK30 kodlu numunelerinin kırılma şekillerine ait görsel bulunmaktadır. Resime incelendiğinde %30 talk katkılı numuneler %10 talk katkılı numunelere ve % 20 talk katkılı numunere göre daha rijit bir kırılma gerçekleşmiştir. Aynı şekilde % 30 CK katkılı numuneler ile kıyaslandığında ise %30 talk katkılı numunelerin daha rijit bir kırılma gerçekleştirdiğini söyleyebiliriz.

Tablo 3.31. E70TK30 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları

Numune	Darbe Mukavemeti (kJ/m ²)	Enerji Absorblama (%)	Enerji (J)
1	2,25	1,44	0,079
2	2,40	1,47	0,081
3	2,48	1,49	0,082
4	2,16	1,39	0,075
5	2,17	1,13	0,062



Şekil 3.46.Epoksi, E70CK30 ve E70TK30 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.47. E70TK30 numunelerine ait kırılma şekilleri

3.3.9. E60TK40 Kodlu numuneye ait ızod darbe test sonucu

Talk katkısının %40 olduğu E60TK40 kodlu numunede darbe mukavemeti 2,29 kJ/m², darbe mukavemeti standard sapması 0,08, enerji absorblama yüzdesi %1,37 ± 0,06 ve kırılma enerjisi 0,075 ± 0,003 J olarak gerçekleşmiştir.

Karışıma %40 CK eklendiğinde, saf epoksiye oranla darbe mukavemeti %62,02 azalmış, kırılma enerjisindeki değişim %62,12 oranında daha düşük olarak elde edilmiştir.

Numunelerdeki CK miktarı %10'dan %40'a çıktığında darbe mukavemeti %25,13 oranında artmış, kırılma enerjisindeki değişim %41,5 oranında artış elde edilmiştir.

Numunelerdeki CK miktarı %20'den %40'a çıktığında darbe mukavemeti % 4,09 oranında artmış, kırılma enerjisindeki değişim %7,14 oranında artış elde edilmiştir.

Numunelerdeki CK miktarı %30'dan %40'a çıktığında tablo 3,23'deki verilere göre darbe mukavemetinde ve Kırılma enerjisindeki değişim olmamıştır.

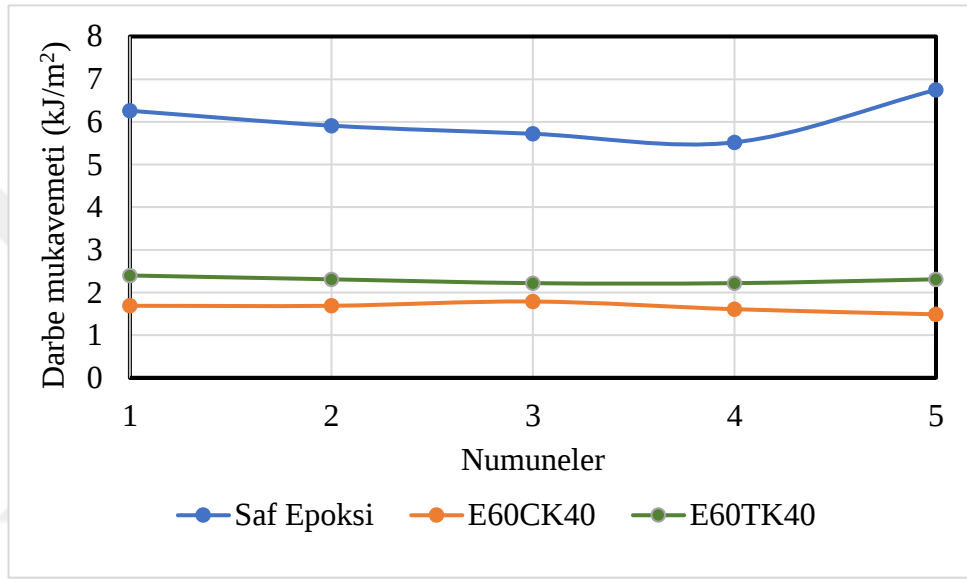
Talk ve ceviz kabuğu katkı oranı açısından sonuçlar karşılaştırıldığında, %40 talk katkılı numunelerin darbe mukavemeti, %40 ceviz kabuğu katkılı numunelerin darbe mukavemetine oranla %38,8 daha yüksek olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde kırılma enerjisindeki değişim %50 oranında daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.32'de %40 talk katkılı numuneler için darbe testinin uygulandığı beş adet numunenin darbe test sonuçları ve Şekil 3.48'de epoksi, %40 talk katkılı E60TK40 kodlu numunelere ait darbe mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğrilerden de açıkça gözüktüğü gibi saf epoksi katkısız numunelerin en yüksek, talk katkılı numunelerin darbe mukavemet değerleri ceviz kabuğu katkılı numunelere oranla daha yüksek olarak elde edilmiştir.

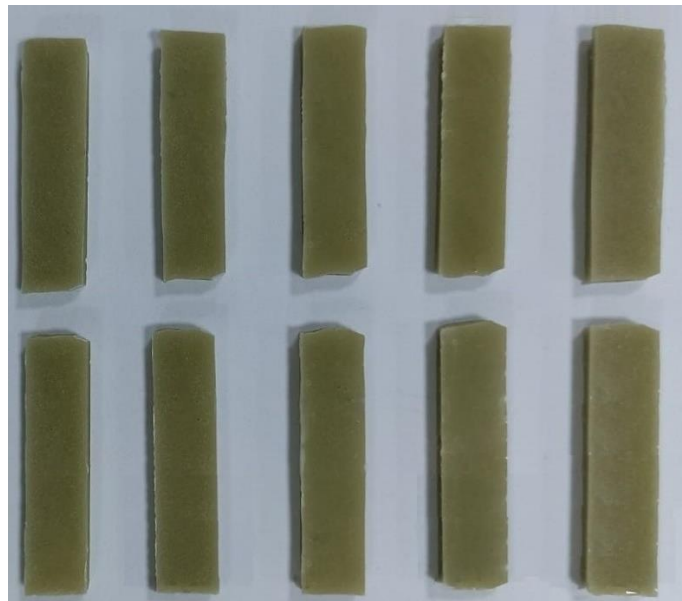
Şekil 3.49'da %40 talk katkılı E60TK40 kodlu numunelerinin kırılma şekillerine ait görsel bulunmaktadır. Resim incelendiğinde %30 talk katkılı, %20 talk katkılı, % 10 talk katkılı numunelere göre daha rijit bir kırılma gerçekleşmiştir. Aynı şekilde resimi yorumlarsak % 40 CK katkılı numuneler ile kıyaslandığında ise %40 talk katkılı numunelerin daha rijit bir kırılma gerçekleştirdiğini söyleyebiliriz.

Tablo 3.32. E60TK40 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları

Numune	Darbe Mukavemeti (kJ/m ²)	Enerji Absorblama (%)	Enerji (J)
1	2,40	1,42	0,078
2	2,31	1,36	0,075
3	2,22	1,29	0,071
4	2,22	1,34	0,074
5	2,31	1,47	0,081



Şekil 3.48.Epoksi, E60CK40 ve E60TK40 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.49. E60TK40 numunelerine ait kırılma şekilleri

3.3.10. E69CK30CU1 Kodlu Numuneye ait izod darbe test sonucu

Ceviz kabuğu katkısının %69 olduğu E69CK30CU1 kodlu numunede darbe mukavemeti $2,42 \text{ kJ/m}^2$, darbe mukavemeti standard sapması 0,12, enerji absorblama yüzdesi $0,82 \pm 0,05$ ve kırılma enerjisi $0,045 \pm 0,003 \text{ J}$ olarak gerçekleşmiştir.

Karışıma %30 CK, %1 bakır tozu eklendiğinde, saf epoksiye oranla eğilme mukavemeti %59,8 oranında daha düşük olarak elde edilirken, kırılma enerjisindeki değişim % 62,12 oranında daha düşük olarak elde edilmiştir.

Bakır tozu eklenmemiş olan %30 CK katkılı E70CK30 kodlu numunelerle, %30 CK'una ilave olarak %1 bakır tozu eklenmiş E69CK30CU1 kodlu numunelerin eğme mukavemet sonuçları karşılaştırıldığında bakır tozunun darbe mukavemetini arttırdığını ve kırılma enerjisindeki değişimi azalttığı görülmüştür. Elde edilen sonuçların literatürde belirtilenler ile uyumlu bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir.

Tablo 3.33'de %30 CK ve %1 bakır tozu katkılı E69CK30CU1 kodlu beş numuneye ait üç nokta darbe test sonuçları ve Şekil 3.39'de ise üç nokta eğme testine bağlı olarak çizilen gerilme-birim şekil değişimine ait grafik verilmiştir.

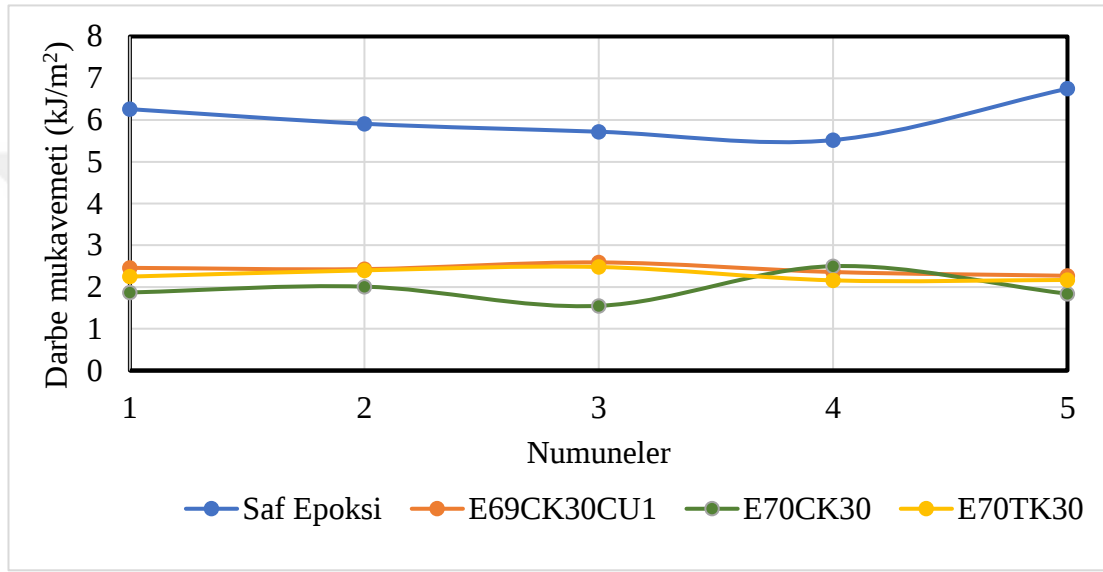
Şekil 3.50'de epoksi, %30 CK katkılı E70CK30 kodlu numune, %30 talk katkılı E70TK30 kodlu numune ve %30 CK'una ilave olarak %1 bakır tozu eklenmiş E69CK30CU1 kodlu numunelere ait darbe mukavemet değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Eğrilerden de açıkça gözüktüğü gibi epoksi katkısız numunelerin en yüksek, %1 bakır ve %30 CK katkılı E69CK30CU1 kodlu numuneler, %30 talk katkılı ve %30 ceviz kabuğu katkılı numunelere oranla eğilme mukavemeti daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Şekil 3.51'de %30 epoksi ve %1 bakır katkılı E69CK30CU1 kodlu numunelerinin kırılma şekillerine ait görsel bulunmaktadır. Resme bakıldığında %1 bakır katkılı numuneler saf epoksi numunelere göre daha sert bir yapı göstermektedir. Bunun nedeni içerisindeki CK katkısı malzemenin sert bir yapı kazandırmasıdır. Bundan dolayı kırılma davranışı saf epoksiye göre daha rijittir.

Ancak benzer oranlarda olan %30 epoksi katkılı ve %30 CK katkılı numuneler incelendiğinde içerisinde bakır bulunan kompozit numunelerin kırılma davranışı daha sunek bir davranış göstermiştir.

Tablo 3.33. E69CK30CU1 numaralı test numunelerine ait darbe test sonuçları

Numune	Darbe Mukavemeti (kJ/m ²)	Enerji Absorblama (%)	Enerji (J)
1	2,46	0,82	0,045
2	2,43	0,77	0,043
3	2,59	0,90	0,050
4	2,36	0,85	0,047
5	2,27	0,75	0,041



Şekil 3.50. Epoksi, E70CK30, E70TK30 ve E69CK30CU1 kodlu numunelerin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.51. E69CK30CU1 numunelerine ait kırılma şekilleri

3.4. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Sertlik, genel kullanım olarak malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilir. Sertlik net olarak bir büyüklük olmayan sertlik daha yüksek dayanımı olan bir malzemenin kendisinden daha düşük dayanım özelliklerine sahip bir malzeme üzerinde bırakmış olduğu deformasyon üzerinden hesaplanan bir değerdir. Yapılan test sonucu deformasyon ne kadar küçük ise o malzemenin sertliği o derece yüksektir şeklinde değerlendirilir. Sertlik ölçüm esasında her katkı malzemesinden beş adet numune bulunan numuneye ayrı ayrı uygulandı. Bu değerlerin sonuçları Tablo 3,4'te görüldüğü gibidir. Sertlik değerlerinin yüzdelik olarak karşılaştırılması epoksi numuneleri baz alınarak yapılmış bu nedenle epoksi değişim yüzdesi epoksi değişim değeri tabloda görülmemektedir.

Tablo 3.34. Sertlik ölçüm sonuçları

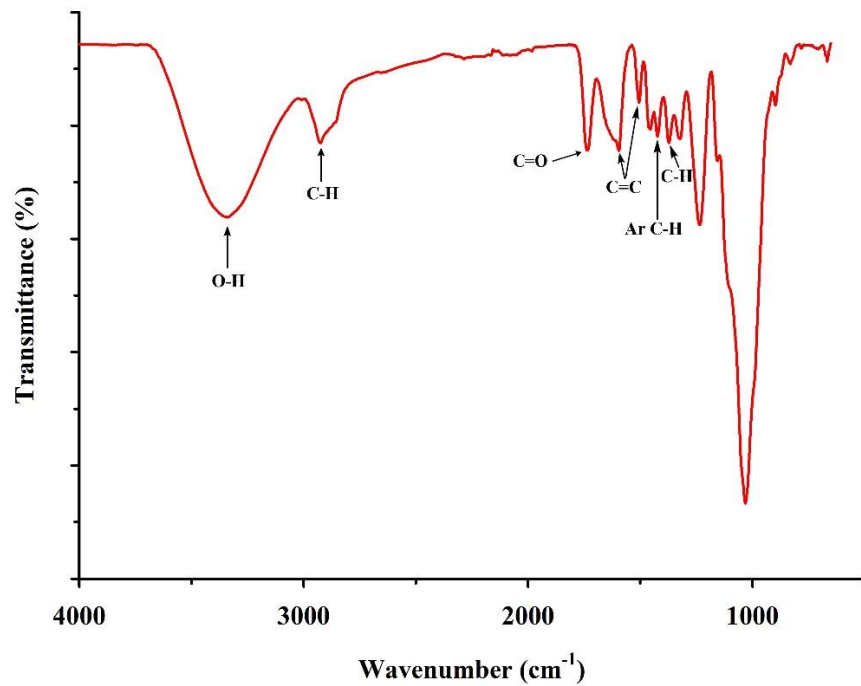
Numune Kodları	Sertlik (Shore D)	Standart Sapma	Değişim Yüzdesi (%)
Saf epoksi	74,50	0,35	-
E90CK10	79,40	0,20	+6,60
E80CK20	80,80	0,30	+8,45
E70CK30	81,30	0,40	+9,12
E60CK40	82,13	0,45	+10,2
E90TK10	75,20	0,30	+0,93
E80TK20	76,60	0,50	+2,81
E70TK30	78,30	0,20	+5,10
E60TK40	79,10	0,30	+6,17
E69CK30CU1	79,30	0,25	+6,44

Tablo 3.4 incelendiğinde; en düşük sertlik değeri sahip kompozit malzeme 74,50 Shore D ile saf epoksidede görülmektedir. Kompozit numune olarak en düşük sertlik değeri içerisinde %10 talk bulunduran E90TK10 kodlu numunede elde edilmiştir. Sertlik değeri en yüksek olan talk katkılı kompozit numune 79,10 Shore D değerine sahip içerisinde %40 talk bulunan E60TK40 kodlu numunedir. CK katkılı en düşük sertliğe sahip kompozit numune 79,40 Shore D değerine sahip E90CK10 kodlu %10

CK katkılı numunedir. CK katkılı olarak en yüksek sertlik değerine sahip kompozit numune 82,13 Shore D değerine sahip %40 CK katkılı E60CK40 kodlu numunelerde ölçülmüştür. Tablo 3.4'e bakıldığında CK katkısının talk katkılı numunelere ve bakır katkılı numunelere göre sertliği arttırdığı, bu katkılar içinde en çok bakır tozu katkısının kompozit malzeme üzerinde sertliği düşürdüğü gözlemlenmiştir. Numuneler üzerinde sertlik değeri en az dört noktadan olmak üzere her gruptaki beş numuneye ayrı ayrı uygulanmıştır ve bu değerlerin ortalaması alınarak tablodaki değerler oluşturulmuştur. Sonuç olarak; Numunelere uygulanan testlerden de görüldüğü üzere CK katkısının sertliği arttırdığı yapılan mekanik testlerde %40 CK katkılı E60CK40 kodlu numunelerde en yüksek değerleri olduğunu kanıtlamaktadır.

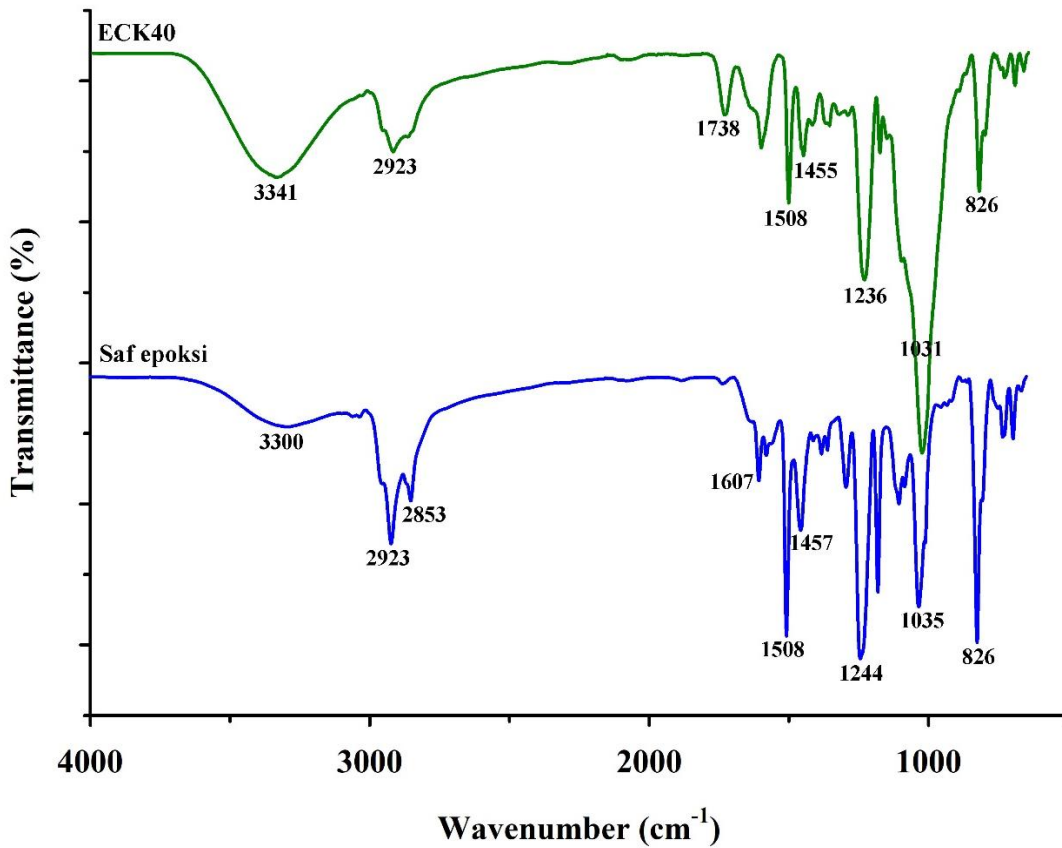
3.5. FT-IR Karakterizasyonu

Şekil 3.52'de verilen saf ceviz kabuğunun FTIR spektrumunda 3350, 2930, 1740, 1596, 1507, 1423, 1373 ve 1240 cm^{-1} dalga sayılarında sırasıyla karakteristik O-H gerilmesi, alifatik C-H gerilmesi, hemiselüloz ve pektin'e ait karboksilik grupların karbonil C=O gerilmesi, aromatik C=C gerilmesi, alifatik grupların C-H gerilmesi, C-H aromatik halka titreşimi ve lignin içindeki asetil gruplarının C-O gerilmesi görülmektedir.



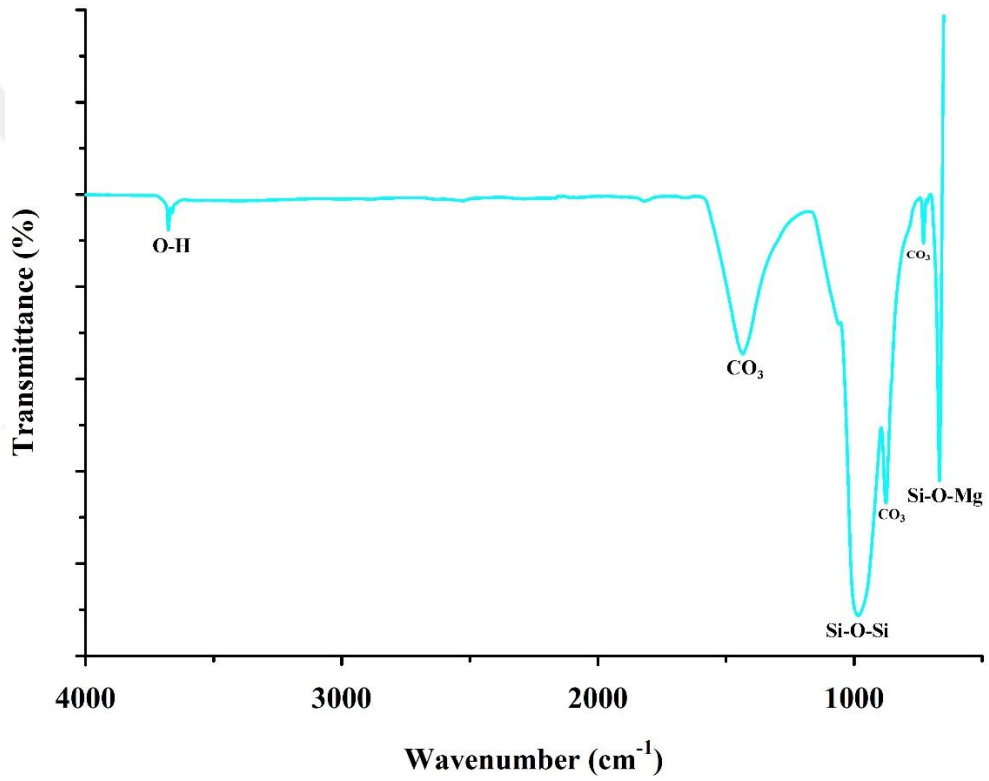
Şekil 3.52 Saf ceviz kabuklarının FTIR spektrumu

Epoksi reçinesi ve ceviz kabuğu ile modifiye edilmiş epoksi kompozitlerinin FT-IR spektrumları Şekil 3.53'te gösterilmektedir. 3341 ve 3300 cm^{-1} arasında gözlenen geniş bantlar O-H gerilmesine aittir. 2923 ve 2853 cm^{-1} 'deki pikler -CH₂ ve -CH₃ gruplarının simetrik ve asimetrik C-H gerilmesine karşılık gelir. 1607, 1508, 1455 ve 1457 cm^{-1} 'deki pikler aromatik C=C gerilmesine aittir. Epoksidede gözlenmeyen, ECK40'ta 1738 cm^{-1} 'de gözlemlenen tepe noktası, ceviz kabuğunun içindeki hemiselüloz ve pektinlere ait ester karbonil grubunun C=O gerilme titreşimine aittir. 1236 ve 1244 cm^{-1} 'deki pikler asimetrik aromatik C-O esnemesine karşılık gelir. 1031 ve 1035 cm^{-1} 'deki pikler simetrik aromatik C-O esnemesine karşılık gelir. 826 cm^{-1} 'deki pikler düzlem dışı aromatik -CH deformasyonuna karşılık gelir. Özetle, saf epoksi ve %40 ceviz kabuğu dolgulu epoksinin FTIR spektrumları aynı tepe noktaları göstererek benzer davranış göstermiştir.



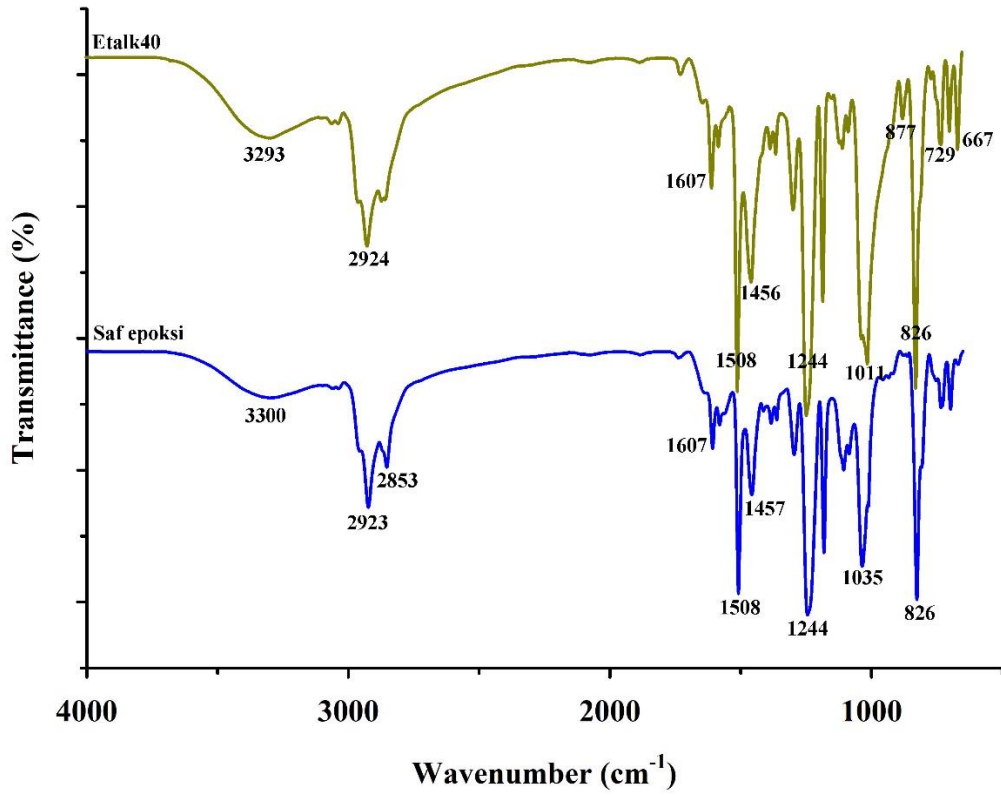
Şekil 3.53 Saf epoksi ve %40 CK katkılı numunelerin FTIR spektrumu

Talkta bulunan mineralleri ve fonksiyonel grupları analiz etmek için de FTIR spektrumu kullanıldı. Şekil 3.54'te verilen talkın FTIR spektrumunda 3676 cm^{-1} 'deki pikler Si (Si-OH), Fe (Fe-OH) ve Mg (Mg-OH) ile bağlantılı hidroksil gruplarının titreşimlerine atfedilir. 983 cm^{-1} civarında gözlenen güçlü bant, talkın Si-O-Si gruplarının düzlem dışı simetrik gerilmesidir. 667 cm^{-1} 'de bir başka keskin absorpsiyon, talk yapısındaki Si-O-Mg' nin germe titreşiminden kaynaklanmaktadır. 1435 cm^{-1} (güçlü), 875 cm^{-1} (omuz) ve 728 cm^{-1} (zayıf) olarak görünen üç bant, talkın karakteristik CO₃ titreşimine denk gelmektedir.



Şekil 3.54 Talkın FTIR spektrumu

Epoksi reçinesi ve talk dolgusu içeren epoksi kompozitlerinin FT-IR spektrumları Şekil 3.55'te verilmiştir. Şekil 3.53'de epoksi reçinesinin karakteristik pikleri detaylı olarak anlatılmıştı. Talk içeren epoksi kompozitlerin FTIR spektrumu incelendiğinde epoksi reçinesine ait piklerin yanında talka ait karakteristik piklerin de görülmesi yapıdaki talk içeriğini doğrulamaktadır.



Şekil 3.55 Saf epoksi ve %40 talk katkılı numunelerin FTIR spektrumu

3.6. SEM-Taramalı elektron mikroskobu görüntülemeleri

Taramalı elektron mikroskobu kısaltılmış ismi ile SEM mikro yapı görüntüleme cihazı ile numunelerimizin 500X, 1.000X, 5.000X, 10.000X büyütme SEM görüntüleri çekilmiştir. İlk olarak İncelenecek numunelerin SEM cihazı makinasına bağlanabilmesi için ebatları en fazla bir santimetreküp olacak şekilde parçalar hazırlanıp iletken olmayan yüzeyleri iletken hale getirmek için Şekil 3.54’te görüldüğü gibi üzeri altın kaplama işlemi yapıldı. Burada yapılan SEM analizi yapmanın amacı ana malzeme olan epoksi içerisinde, takviye malzemesi olarak kullanılan CK, talk ve bakır tozu gibi malzemelerin dağılımını incelemektir.



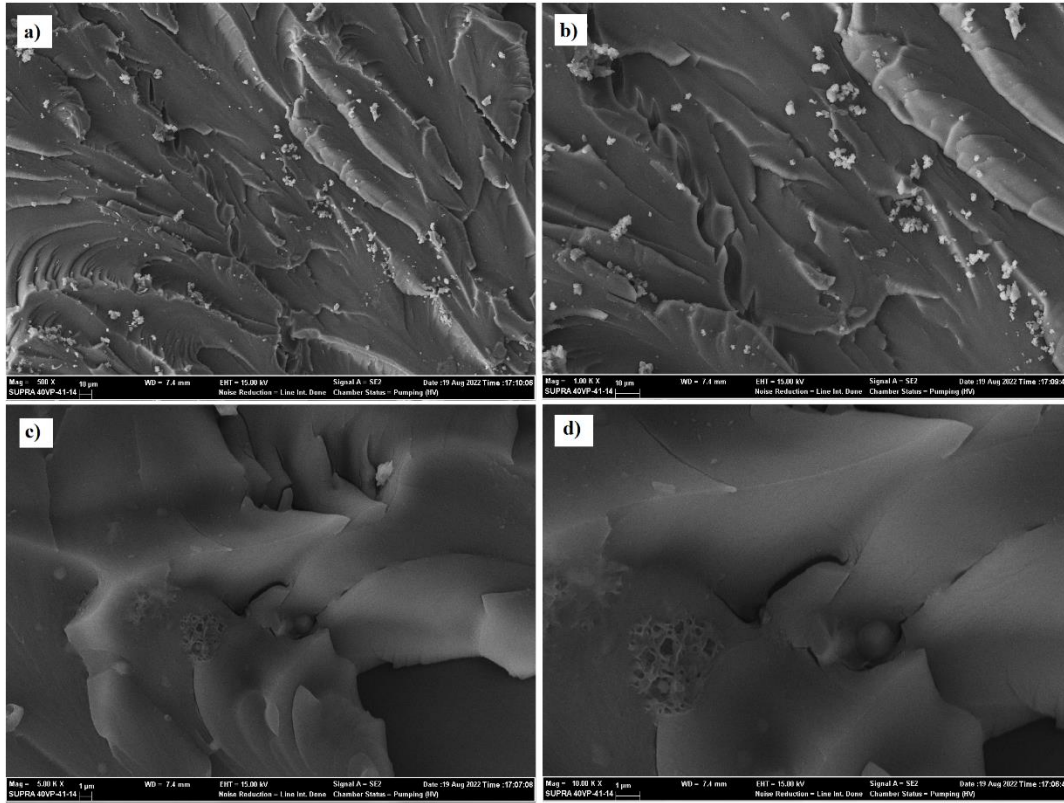
Şekil 3.54. Numune yüzeylerinin altın kaplanmış görüntüsü

Şekil 3.5'te görseli bulunan ve yüzeyleri altın ile kaplanmış olan altı adet numune ve bu numunelerin sırasıyla Tablo 3.35'te içerisinde kullanılan takviye malzemelerin % içerikleri ve numune kodları yer almaktadır.

Tablo 3.35. SEM analizi için hazırlanmış altı adet numune içerikleri

Numune Kodu	% oran	Katkı/Dolgu
E90TK10	10	Talk
E69CK30CU1	30 + 1	CK + Bakır
Saf Epoksi	-	Saf epoksi
E90CK10	10	CK
E70CK30	30	CK
E70TK30	30	Talk

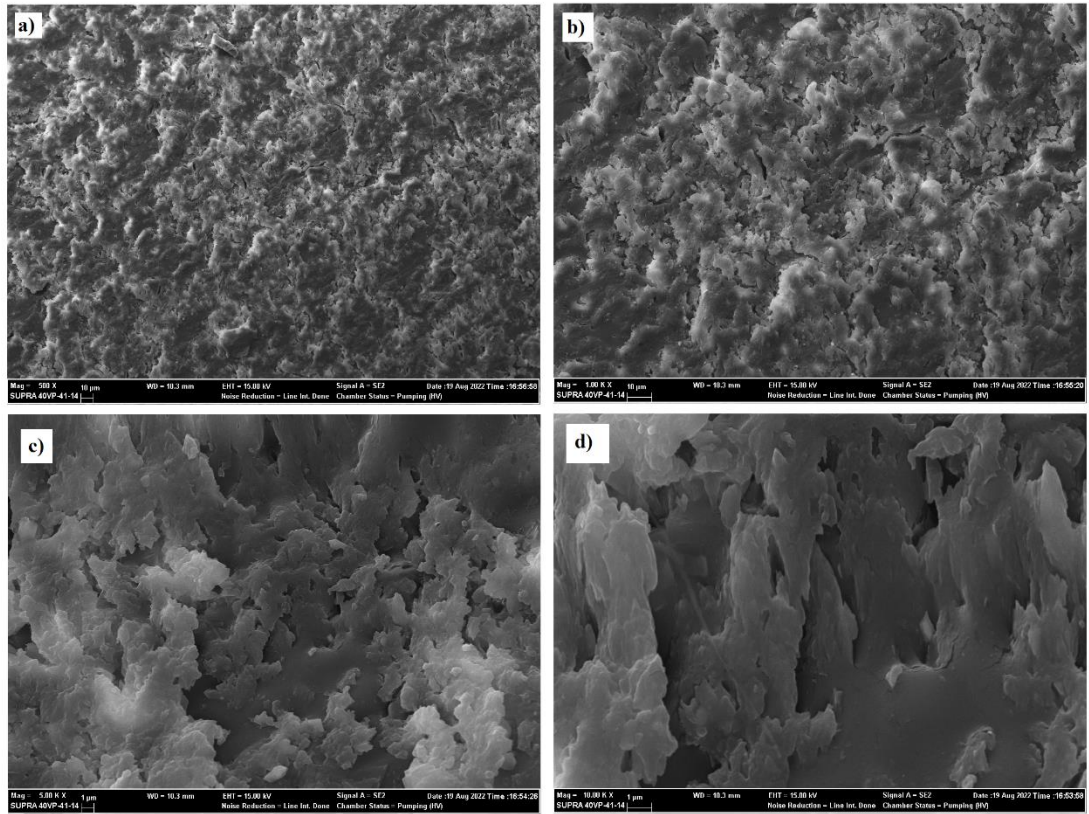
SEM incelemelerinde saf epoksi numunesinde gevrek bir kırılma gözlemlenmektedir. Kırılma tek bir seferde düz bir yüzey şeklinde değil, küçük parçalar ve küçük yüzeyler şeklinde çoklu olarak gerçekleşmiştir. Saf Epoksiye ait SEM görüntülemeleri Şekil 3.55'te verilmiştir. Kırılma genel olarak aynı yönde gerçekleşmiştir. Tüm kompozit numunelerinde ve saf epoksi içerisinde çok fazla olmamakla birlikte yapı içerisinde kürleşme reaksiyonundan kaynaklanan gaz boşlukları göze çarpmaktadır. Kırılma esnasında bu boşlukların çatlak başlangıcı oluşturduğu ve bu çatlakların kopma hattı boyunca ilerlediği görülmektedir.



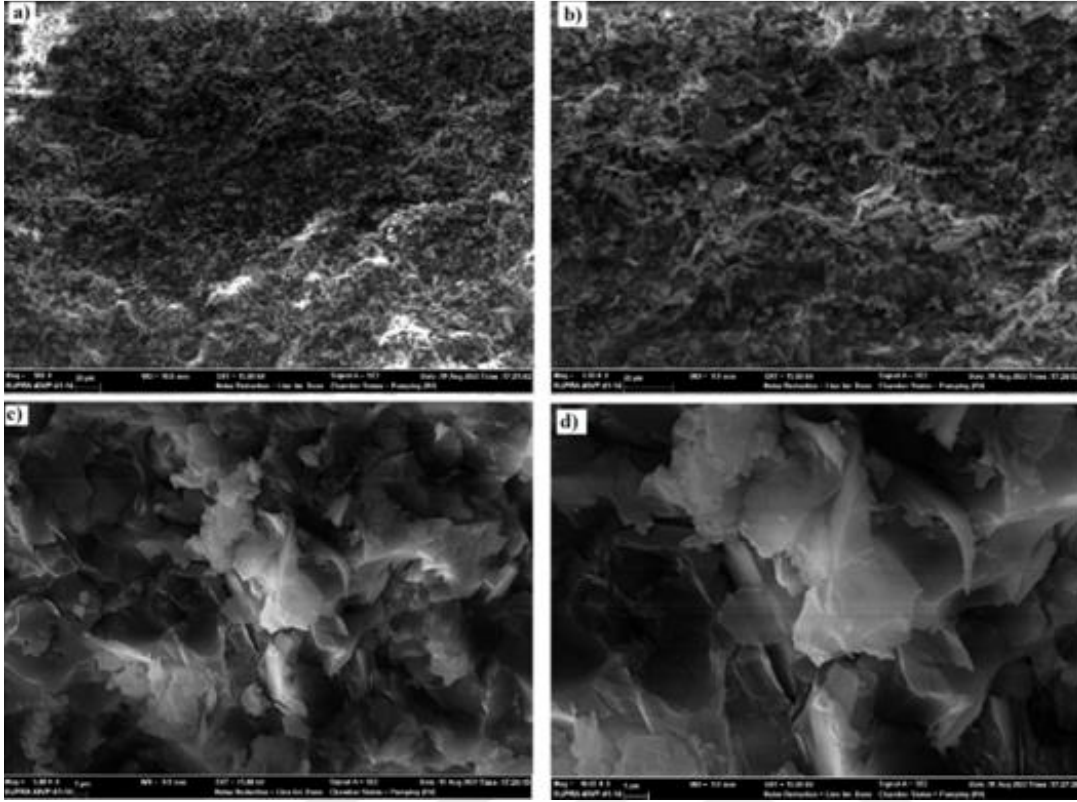
Şekil 3.55. Saf epoksi numuneye ait (a) 500X, (b) 1.000X, (c) 5.000X, (d) 10.000X büyütme mikroyapı görüntüleri

Şekil 3.56’da %10 talk katkılı E90TK10 kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ve Şekil 3.57’de ise %30 talk katkılı E70TK30 kodlu numunelere ait SEM görüntüleri verilmiştir. SEM fotoğraflarından da görüleceği üzere; epoksi içerisinde talk dolgusu ıslanmayı zorlaştırmış ve delaminasyona neden olmuştur. Bu durum, talk katkı miktarı arttıkça yapıda boşluk sayısını da arttırmıştır. Talk partiküllerinin hem birbiri ile hem de epoksi ile oluşturdukları arayüzey özellikleri talk miktarı arttıkça daha da kötüleşmiştir. Arayüzeyi iyileştirici ek üçüncü bir katkı kullanımının burada meydana gelen kötü arayüzey özelliklerini iyileştireceği düşünülmektedir. Arayüzeylerdeki bu durum çekme mukavemetinde meydana gelen düşmeleri açıklamaktadır. Şekil 3.58’de %10 CK katkılı E90CK10 kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ve Şekil 3.59’da ise %30 CK katkılı E70CK30 kodlu numunelere ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.60’ta ise %30CK ve %1 Cu katkılı E69CK30CU1 kodlu numuneye ait SEM görüntülemeleri verilmiştir. Talka oranla CK katkısı epoksi içerisinde daha iyi ıslanma özelliği göstermiştir ancak CK’ya oranla kötü ıslatma özelliği göstermesine rağmen talkın mekanik özelliklere katkısı

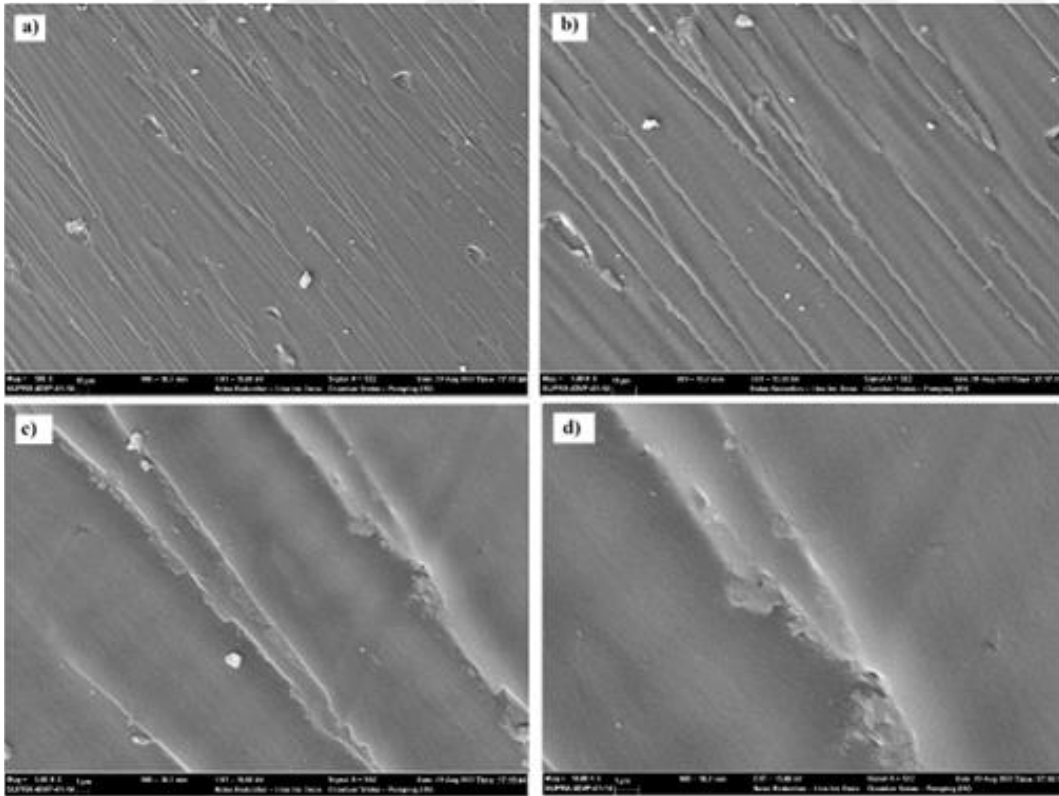
daha fazladır. Talkın mekanik özellikleri iyileştirici etkisi literatürden bilinmektedir. Hem çekme mukavemeti hem de eğme mukavemeti sonuçları ile SEM görüntülerinin uyumlu olduğu görülmektedir. CK oranı %10 olan numunede CK'larının %30 CK katkısına oranla epoksi tarafından çok iyi bir şekilde ıslatıldığı görülmektedir. CK katkı miktarı arttıkça ara yüzeylerde kötü ıslatmaya bağlı olarak yer yer boşlukların oluştuğu görülmektedir. Bakır katkısı kullanılan E69CK30Cu1 kodlu numunede bakır tozlarının varlığı açıkça görülmektedir. Epoksinin bakır yüzeylerine iyi bir şekilde tutunduğu ve bakır taneciklerini iyi bir şekilde ıslatarak bir bütünlük oluşturduğu görülmektedir. Bu durumun darbe mukavemetini etkilediği diğer numunelere oranla bir miktar arttırdığı düşünülmektedir. Elde edilen darbe sonuçları da bu durumu doğrulamaktadır. Bakır tozlarının darbe testinde kırılma sonrası yüzeyden darbenin etkisiyle koparak uzaklaştığı SEM görüntülemelerinde meydana gelen boşluklardan görülmektedir.



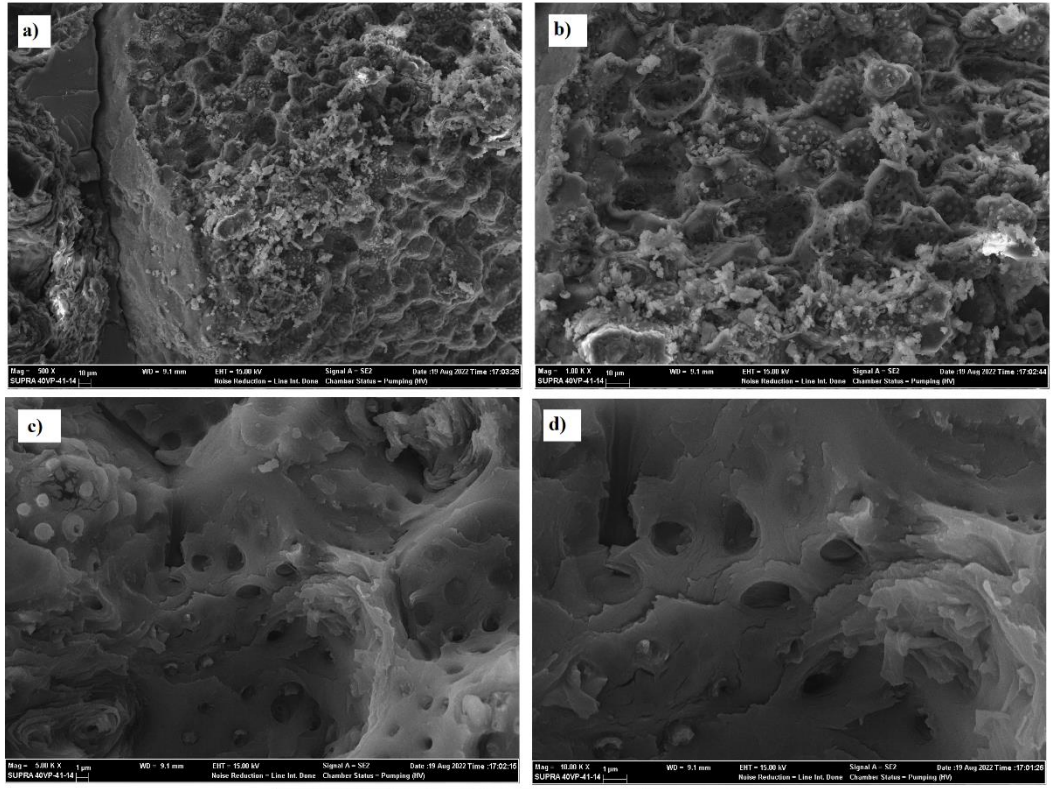
Şekil 3.56. E90TK10 kodlu numuneye ait (a) 500X, (b) 1.000X, (c) 5.000X, (d) 10.000X büyütme mikroskop görüntüleri



Şekil 3.57. E70TK30 kodlu numuneyle ait (a) 500X, (b) 1.000X, (c) 5.000X, (d) 10.000X büyütme mikroyapı görüntüleri



Şekil 3.58. E70TK30 kodlu numuneyle ait (a) 500X, (b) 1.000X, (c) 5.000X, (d) 10.000X büyütme mikroyapı görüntüleri



Şekil 3.59. E69CK30CU1 kodlu numuneye ait (a) 500X, (b) 1.000X, (c) 5.000X, (d) 10.000X büyütme mikroyapı görüntüleri



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmamızın amacı ülkemizde her gün artan karbon ayak izi konusunda ve ekonomisine katma değer olarak kazandırmak amacıyla sadece yakıt olarak kullanılan yemişlerin kabukları çekirdekleri vs. gibi yan ürünlerin değerlendirilerek daha kullanışlı bir hale çevirmek ve organik ürünler üretmek amacıyla yapılmış bir çalışmadır. Kalıplama yöntemi ile üretilmiş olan kompozit numunelerimizin üretim sırasında içeriğinde epoksi, sertleştirici, talk ve bakır tozunu farklı oranlarda katılarak bu kompozit malzemeler elde edilmiştir. Doğal atık olarak ceviz kabuğunun epoksi reçinede dolgu maddesi olarak kullanılabilirliği, diğer benzer doğal atıkların fındık kabuğu, hindistan cevizi kabuğu vb. atıkların da organik kompozitlerin hazırlanmasında kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Ceviz ve talk katkılı kompozit numunelerin termal ve mekanik özellikleri, oluşan mikro yapılar deneysel olarak incelenip araştırılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

1. Organik katkı malzemesi olarak kullanılan CK ayıklanıp temizlendikten sonra kırım işlemi yapılmış granül kalınlıklarına göre elem işlemine tabii tutulmuştur. Neticede aranan granül çapına ve diğer kalınlıklara sahip CK granülü elde edilmiştir.
2. Oranları farklı ceviz kabuğu, talk ve bakır katkıları matris malzemesi olarak kullanıldığı karışımlar CK kırılıp granül haline getirildikten sonra belirli oranlarda epoksi ile karıştırılıp döküm yöntemiyle test numuneleri üretilmiştir.
3. Döküm için kullanılacak olan silikon kalıpların nasıl ve hangi tür malzemelerden hazırlandığının tespiti ve yapım aşamaları irdelenmiştir.
4. Referans alınan numune örneklerine ait test sonuçlarına göre malzemenin özellikleri mukayese edildiğinde ortaya çıkan değerlerle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.
5. Kompozitlerin çekme uzama değerleri incelenmiş bu değerler neticesinde dolgu maddesi yani CK oranı arttıkça azalmış ve saf epoksiye göre çekme, üç çekme uzama eğrisi daha kısa olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda tüm kompozitlerin elastik modül değerleri saf epoksiye nazaran daha yüksek olmuştur.

6. Kompozitlerin üç nokta eğme testleri yapılmış malzemenin sehim verme değerleri incelenmiş bu değerler neticesinde dolgu maddesi yani CK oranı arttıkça azalmış ve saf epoksiye göre çekme, üç nokta eğme testlerinde sehim verme oranı düşük bulunmuştur ve de çabuk kırıldığı görülmüştür.
7. Kompozitlere son olarak mekanik darbe testleri yapılmış malzemenin darbeye karşı direnç değerleri incelenmiş bu değerler neticesinde dolgu maddesi yani CK oranı arttıkça darbe direncinin daha düşük olduğu saptanmıştır.
8. Katkı maddelerinden olan talk, ceviz kabuğu ve bakır katkılı kompozit ile mukayese edildiğinde sadece ceviz kabuğu katkısına oranla Eğme Mukavemeti üzerinde daha olumlu etki ettiği gözlemlenmiştir.
9. Ancak bakır katkılı kompozitte bu durum ceviz katkılı numuneye oranla çekme dayanımının daha fazla olduğu söylenebilir. Ceviz kabuğu ve talk katkılı numuneler arasında ayrı ayrı değerlendirildiğinde CK katkılı numunelerde genel olarak Eğme Mukavemetinde düşüş gözlemlenmiştir.
10. Talk ve ceviz kabuğu katkılarının da mekanik özellikler üzerinde sertlik, rijitlik, yüzey pürüzlülüğü, işlenebilirlik vs. gibi etkenler üzerinde etkili olduğu dolayısıyla mikro yapıda da etkili olduğu tespit edilmiştir. Burada talk katkılı kompozitlerde daha sert yüzeyininin daha düzgün ve işlenebilirliğinin daha kolay olduğu söylenebilir.
11. Çekme elastisite modülünde E0CK40 numaralı numune en yüksek değere ulaşan, E90CK10 numunenin en düşük değer olduğu tespit edilmiştir.
12. Numunelerin içeriğinde Ceviz kabuğu katkısı katıldığında Shore D değerlerinde referans numunelerine göre arttığı ancak E90CK90 kodlu numunede en yüksek değere ulaştığı E60CK40 kodlu numunede en düşük değerinin aldığını Tablo 3.4.' de ki tabloda gözlemlenmiştir.
13. Talk ilave edilen kompozitlerde ise E90TK10 en yüksek Shore D değerini E60TK40 en yüksek Shore D değerini aldığı Tablo 3.4'te ki tabloda gözlemlenmiştir.
14. CK, BT ve Talk katkılı epoksi kompozit malzemelerin un FTIR spektrumunda 3350, 2930, 1740, 1596, 1507, 1423, 1373 ve 1240 cm^{-1} dalga

boylarında O-H gerilmesi, alifatik C-H gerilmesi, hemiselüloz ve pektine ait karboksilik grupların karbonil C=O gerilmesi, aromatik C=C gerilmesi, alifatik grupların C-H gerilmesi, C-H aromatik halka titreşimi ve lignin içindeki asetil gruplarının C-O gerilmesi görülmüştür.

15. CK kompozitlerinin SEM görüntülerinde görülen girinti çıkıntı ve topaklanmalar CK ve matris arasındaki yapısal uyumluluğun zayıf olduğunu ancak talk kullanımında bu uyumsuzluğun olmadığı kanıtlamıştır. Ceviz kabuklarının epoksinin yapısında bulunan asidik yapıya uyumluluğunun ve dağılımının CK oranının %30 ve %40 de daha az olduğu gözlemlenmiştir

16. 8.FTIR sonuçlarında CK tüm oranları ile sonuçları değerlendirilmiştir. Dolgu oranına bağlı olarak kompozit yoğunluklarının değiştiği bunda literatür sonuçları ile mukayese edildiğinde uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu çalışmamızda organik ve biyolojik kökenli kompozitlerin üretimi sırasında ceviz kabuğu, fındık kabuğu, hindistan cevizi kabuğu, fıstık kabuğu, çekirdekler ya da başka doğal maddelerin, reçinelerin yardımı ile kullanılması ile PP yeni malzemelerin ve CK takviyeli kompozit ürün üretiminin yapılabileceği göstermiştir. Bu tür biyobozunur malzemelerin kullanımı hem maliyetlerin düşürülmesi açısından hem de çevre kirliliğinin azaltılması açısından katkı sağlamaktadır. Ceviz kabuğu, talk ve bakır katkılı kompozitlerin ısı ve mekanik özellikleri sade katkısız epoksi numunelere göre göre önemli ölçüde etkilediği mekanik ve mukavvim özelliklerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın devamı olarak, geri dönüştürülmüş termoplastik malzemeler ve CK ile polimer kompozitler üretilebilir. Üretilen polimer kompozitlerin mikroyapısal ve mekanik özellikleri incelenerek geri dönüştürülmüş polimer malzemeler üzerinde CK kullanımının malzeme özelliklerine etkisi belirlenebilir. Epoksi malzemenin matris olarak kullanıldığı termoset kompozitlerde, farklı oranlarda ceviz kabuğu ve inorganik katkıları birlikte kullanılarak malzemenin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenebilir ve elde edilen sonuçlar bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılabilir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar; ceviz kabuğu kullanılarak farklı özelliklere sahip yeni CK katkılı kompozit polimer kompozitlerin üretilebileceğini ve farklı uygulama alanlarında bunların kullanılabileceğini göstermektedir.



KAYNAKLAR

- [1] İ. Karagöz, “Termoplastiklerin Sürtünme Karıştırma Kaynak Özellikleri” Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
- [2] D. Borazan, “Fındık Kabuğu veya Ceviz Kabuğu Takviyeli Polyester Esaslı Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerin Belirlenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2015.
- [3] O. Aydoğmuş, “Nano grafen/Silika Katkılı Cam/Epoksi Hibrit Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2019.
- [4] A. Eren Şahin. “Eko Kompozitlerin Üretim ve Karakterizasyonu” Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019.
- [5] H. Bükim “Fındık Kabuğu Dolgulu Polipropilen Kompozitlerin Sebs ve Sebs–G–Ma ile Modifikasyonu” Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [6] Ü. Adıbelli, İ. Karagöz, N. Çakır Yiğit, “Ceviz Kabuğu Dolgulu Epoksi Hibrit Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi” 10. Uluslararası Lif ve Polimer Araştırma Sempozyumu İTÜ, İstanbul, 2022.
- [7] Shejkar, S. K., Agrawal, A., Agrawal, B. “Walnut shell particulates as filler material in polymeric matrix: A review”, *International Journal of Engineering Research in Current Trends*, 41-43, 2020.
- [8] Orue, A., Eceiza, A. and Arbelaiz, A. “The use of alkali treated walnut shells as filler in plasticized poly(lactic acid) matrix composites”, *Industrial Crops and Products*, 145, 111993, 2020
- [9] Alizada, A. “Alkali ve çeşitli asitlerle modifiye ceviz kabuğu atığının fenolik epoksi reçinede dolgu olarak kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2020.
- [10] Çakır Yiğit, N., Karagöz, İ. “Ceviz Kabuğu Esaslı Polilaktik Asit (PLA) Kompozit Filamentlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu”, 9. Uluslararası Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu, 19-20 Kasım, Uşak, 2021.
- [11] Członka, S., Strąkowska, A. and Kairytė, A. “Effect of walnut shells and silanized walnut shells on the mechanical and thermal properties of rigid polyurethane foams”, *Polymer Testing*, 87, 106534, 2020.
- [12] Cengiz, Ö., Karagöz, İ., Demirel, H. “Fındık Kabuğu ve Talk Dolgulu Polipropilen Kompozitlerin Mekanik ve Isıl Özelliklerinin İncelenmesi.” 8. Uluslararası Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu. ss. 152-159. 18-19 Haziran, Eskişehir, 2021.

- [13] Onat, A.,Pazarlioglu, S.S., Sancak, E., Ersoy, S., Beyit, A.,Erdem, R.“Thermal and mechanical properties of walnut shell and glass fiber reinforced thermoset polyester composites”,*Asian Journal of Chemistry*,1947-1952. 2013.
- [14] M. Balasubramanian, *Composite Materials And Processing International Standard Book Number-13: 978-1-4398-8054-8 (Ebook- Pdf)* 2014.
- [15] R.Islam Albaker” Karboksilik Asitlerle Modifiye Edilmiş Ceviz Kabuğu Atığı Esaslı Epoksi Kompozitlerin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2019.
- [16] A.Eren Şahin” Eko Kompozitlerin Üretimi Ve Karakterizasyonu” Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli 2019.
- [17] Paliwal, M.K., Chaturvedi, S.K.‘‘An Experimental Investigation of Tensile Strength of Glass Composite Materials with Calcium Carbonate(CaCO_3) Filler’’, *International Journal of Emerging trends in Engineering and Development*, 2:6, 2012.
- [18] Dhawan V., Singh S.,Singh I., ‘‘Effect of Natural Fillers on Mechanical Properties of GFRP Composites’’, *Hindawi Publishing Corporation Journal of Composites*,8, 2013.
- [19] Heinold, R. “Broadening Polypropylene Capabilities with Functional Filler” Intertech Corp., Houston, Tx, Dec. 1995.
- [20] Subramanion, C. ve Asaithambi P. “Friction and Wear of Epoxy Resin Containing Graphite”. *J Reinf Plast Composite*, 200-8, 1986.
- [21] Akter, R., Sultana, R., Alam, Z., Quadir, R., Begum, M.H. and Gafur, A. “Fabrication and characterization of woven natural fibre reinforced unsaturated polyester resin composites” *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*, 13 (2), 2013.
- [22] Dombrowski, T, “Carbonate minerals in wood polymer composites (WPC)”, In: WPCs 2006, The Changing Technology in WPCs, The First World Congress on Woodfiber /Plastics and Related Composites. San Francisco, CA, 2006.
- [23] Noel, O.; Clark.: “The use of talc in wood-plastics composites” In: Progress in Woodfibre Plastics Composites, Canadian Natural Composites Council, University of Toronto, Canada, Toronto, 2004.
- [24] Nitin, S., Singh V.K. “Mechanical behavior of walnut reinforced composite”, *Journal of Materials and Environmental Science*, 4 (2), 233-238, 2013.

- [25] Singh, V.K. “Mechanical behavior of walnut (*Juglans L*) shell particles reinforced bio-composite”, *Science and Engineering of Composite Materials*, 22 (4), 383-390, 2015.
- [26] Yöney H., Yükseloğlu S. M. ve Demirer H. “Keten lif takviyesinin vinilester matrisli kompozitlerin darbe mukavemeti üzerindeki etkisinin incelenmesi”, 2. Ulusal Polimer Bilim ve Teknoloji Kongresi ve Sergisi, 30 Nisan- 02 Mayıs, Şanlıurfa, 2008.
- [27] Sağbaş, A., Kahraman, F. ve Koyuncu, M. “Keten lifleri ile takviye edilmiş polyester esaslı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırılması”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24, (2009). 185-192.
- [28] Boriaa, S., Pavlovicb, A., Fragassab, C., Santullic C. “Modeling of falling weight impact behavior of hybrid basalt/flax vinylester composites”, *Prodecia Engineering*, 167, 223-230, 2016.
- [29] Huo, S., Thapa, A., Ulven, C. “Effect of surface treatments on interfacial properties of flax fiber reinforced composites”, *Adv Compos. Mater.*, 22, 109-121, 2013.
- [30] Ramnath, V., Manickavasagam, B., Elanchezhian, V. M. C., Krishna, V., Karthik, C., Saravanan, K. “Determination of mechanical properties of intra-layer abaca-jute-glass fiber reinforced composite”, *Materials and Design*, 60, 643-652, 2014.
- [31] Zhang, Y., Li, Y., Ma, H. ve Yu, T. “Tensile and interfacial properties of unidirectional flax/glass fiber reinforced hybrid composites”, *Composites Science and Technology*, 88, 172-177, 2013.
- [32] Croccolo, D., De Agostinis, M., Fini, S., Liverani, A., Marinelli, N., Nisini, E. “Mechanical characteristics of two environmentally friendly resins reinforced with flax fibers”. *Strojniški Vestnik- Journal of Mechanical Engineering*, 61, (2015). 217-226.
- [33] Muralidhar, B., Giridev, V., Raghunathan, K. “Flexural and impact properties of flax woven, knitted and sequentially stacked knitted/woven preform reinforced epoxy composites”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31, 379-388, 2012.
- [34] Sapuan, S.M., Leenie, A., Harimi, M., Beng, Y.K. “Mechanical properties of woven banana fibre reinforced epoxy composites”, *Materials & Design*, 27, 689-693, 2006.
- [35] Usta, I., Akalın, M., Koçak, D., Merdan, N. “Farklı oranlardaki pamuk atıkları ile desteklenmiş PP polimerinin oluşturduğu kompozit yapının mekanik ve akış özelliklerinin incelenmesi”, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 16, 405-410, 2003.

- [36] Manikandan, K.C., Diwan, S.M., Thomas, S. "Tensile properties of short sisal fiber reinforced polystyrene composites", *Journal of Applied Polymer Science*, 60, 1483-1497, 1996.
- [37] Kaya, N. "Fındık ve çeltik kabukları ve odun talaşı ile takviye edilmiş termoset kompozitlerde reçine türünün fiziksel özelliklere etkisi", *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 17, 1076-1087, 2017.
- [38] Venkatesh, B. "Fabrication and testing of coconut shell powder reinforced epoxy composites", *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 2 (2), 89-95, 2015.
- [39] Gairola, S., Gairola, S., Sharma, H., & Rakesh, P. K. "Impact behavior of pine needle fiber/pistachio shell filler based epoxy composite", *In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1240, No. 1, p. 012096). IOP Publishing. 2019.
- [40] Salasinska, K., Barczewski, M., Górny, R., Kloziński, A. "Evaluation of highly filled epoxy composites modified with walnut shell waste filler", *Polymer Bulletin*, 75, 2511-2528, 2018.
- [41] Barczewski, M., Sałasińska, K. and Szulc, J. "Application of sunflower husk, hazelnut shell and walnut shell as waste agricultural fillers for epoxy-based composites: A study into mechanical behavior related to structural and rheological properties", *Polymer Testing*, 75, 1-11, 2019.
- [42] Isam Bakr Albaker, R., Kocaman, S., Marti, M. E., Ahmetli G. "Application of various carboxylic acids modified walnut shell waste as natural filler for epoxy-based composites", *J Appl Polym Sci.*, 138 (31), 50770, 2021.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyadı: Üzeyir ADIBELLİ

Lisans: Bartın Üniversitesi, Makine Mühendisliği

İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli/İzmit'te tamamladı. 2006 İzmit endüstri meslek lisesi metal ve kaynak bölümünü bitirdikten sonra 2008 yılında Gazi üniversitesi metal ve kaynak teknolojisi bölümünü kazandım. İki yıllık bir süreç sonunda 2010 yılında Bartın Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandım ve 2015 yılında mezun oldum. Yalova Üniversitesi Polimer mühendisliği Yüksek Lisans eğitimime devam etmekteyim.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Ü.Adıbelli, İ.Karagöz, N.Çakır Yiğit,"Ceviz Kabuğu Dolgulu Epoksi Hibrit Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi" 10. Uluslar Polimer Araştırma Sempozyumu, 13-14 Mayıs İTÜ İstanbul 2022

DİĞER YAYIN VE ESERLER