



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**BEYAZ MİDYE KABUĞU VE ENDÜSTRİYEL KENEVİR
YAĞI KULLANARAK PVA KOMPOZİT ÜRETİMİ**

Yüksek Lisans Tezi

Büşra BİRATES

Danışman
Dr. Öğretim Üyesi Sinem ÇEVİK

SAMSUN
2023

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**BEYAZ MİDYE KABUĞU VE ENDÜSTRİYEL KENEVİR
YAĞI KULLANARAK PVA KOMPOZİT ÜRETİMİ**

Yüksek Lisans Tezi

Büşra BİRATES

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Sinem ÇEVİK

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Büşra BİRATES tarafından, **Dr. Öğretim Üyesi Sinem ÇEVİK** danışmanlığında hazırlanan “**BEYAZ MİDYE KABUĞU VE ENDÜSTRİYEL KENEVİR YAĞI KULLANARAK PVA KOMPOZİT ÜRETİMİ**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 12.9.2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Dr. Öğr. Üyesi Tuğba MUTUK Ondokuz Mayıs Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Sinem ÇEVİK Ondokuz Mayıs Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Suna AVCIOĞLU Ondokuz Mayıs Üniversitesi Malzeme Mühendisliği ve Bilimi Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

14 / 09 / 2023
Büşra BİRATEŞ

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : BEYAZ MİDYE KABUĞU VE ENDÜSTRİYEL KENEVİR YAĞI KULLANARAK PVA KOMPOZİT ÜRETİMİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 21.06.2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 11

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

14 / 09 / 2023
Dr. Öğretim Üyesi Sinem ÇEVİK

ÖZET

BEYAZ MİDYE KABUĞU VE ENDÜSTRİYEL KENEVİR YAĞI KULLANARAK PVA KOMPOZİT ÜRETİMİ

Büşra BİRATEŞ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Temmuz/2023

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sinem ÇEVİK

İklim değişikliği, çağımızın en önemli çevresel ve ekonomik sorunlarının başında gelmektedir. İnsan yaşamının her alanını olumsuz etkilemektedir. Son derece ciddi ve karmaşık bir sorundur. Doğal kaynaklar hızla tüketilmektedir ve doğal kaynakların hızla tüketilmesinin önüne geçilmesi çok önemlidir. Dünya genelinde her yıl yaklaşık 300 milyon ton polimerik malzeme üretilmektedir. Ve bu yaygın olarak üretilen plastiklerin hiçbirisi doğada kendi kendine kısa sürede bozulma göstermez. Bu nedenlerle, plastikler bir çok çevre sorununa neden olur. Bu çevre sorunlarının üstesinden gelebilmek için biyolojik olarak parçalanabilen plastiklerin geliştirilmesine yönelik araştırmalar önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, endüstriyel kenevir yağı, yumurta kabuğu tozları ve beyaz midye kabuğu tozlarının PVA (Poli (vinil) alkol) matrisine eklenmesiyle esnek yapıda seramik katkılı kompozitler üretilmiştir. Beyaz midye kabukları ve yumurta kabukları halkalı değirmen yardımıyla öğütülmüştür ve toz haline getirilmiştir. Saf su içerisine eklenen PVA polimeri manyetik karıştırıcı yardımıyla çözelti haline getirilmiştir. Beyaz mide kabuğu tozları ve yumurta kabuğu tozları saf su, etil alkol ve endüstriyel kenevir yağı yardımıyla ultrasonik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra hazırlanan karışımlar manyetik karıştırıcı içerisinde birleştirilmiştir. Döküm yöntemi ile petri kaplarına dökülmüştür. Bir etüv yardımıyla kurutulmaya bırakılmıştır. PVA polimeri film oluşturma özelliği iyi olan ve biyobozunur özelliği sayesinde çevre dostu olan bir polimerdir. Bu özelliklerinden dolayı matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Beyaz midye kabukları ve yumurta kabukları atık malzeme gurubunda olan ürünlerdir. İçerdikleri kalsiyum karbonat bileşeni onları mukavemet arttırıcı bir takviye malzemesi haine getirmektedir. Bu sebeple ürünler takviye malzemesi olarak seçilmiştir. Endüstriyel kenevir yağının tamamen doğal içeriğe sahiptir. Aynı zamanda çok iyi bir bağlayıcı görevi görmektedir. Bu özelliklerinden dolayı bu çalışmada da bağlayıcı mazeme olarak kullanılmıştır. Üretilen ürünlerde endüstriyel kenevir yağı katkısı kompozit yapının birleşmesini sağlamaktadır, beyaz midye kabuğu tozları iç yapıda daha esnek bir davranış göstermektedir, yumurta kabuğu tozları yapıda daha sert bir davranış göstermektedir. Homojen yapıda en iyi esneklik özelliklerine sahip ürün, katkı malzemesi oranı matris malzemesi oranının %100'üne yakın olan karışım oranında bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler: Polimer, Kompozit, Seramik, Esnek seramik, Midye kabuğu, Yumurta kabuğu, Endüstriyel kenevir yağı, Manyetik Karıştırma, Ultrasonik Karıştırma, Kalsiyum

ABSTRACT

PVA COMPOSITE PRODUCTION USING WHITE MUSSEL SHELL AND INDUSTRIAL HEMP OIL

Büşra BİRATEŞ

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Metallurgy and Materials Engineering Programme

Master, July/2023

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Sinem ÇEVİK

Climate change is one of the most important environmental and economic problems of our age. It negatively affects every aspect of human life. It is an extremely serious and complex problem. Natural resources are being rapidly depleted and it is very important to prevent the rapid depletion of natural resources. Approximately 300 million tons of polymeric materials are produced worldwide every year. And none of these widely produced plastics degrade in nature on their own in a short time. For these reasons, plastics cause many environmental problems. In order to overcome these environmental problems, research on the development of biodegradable plastics is gaining importance. In this study, flexible ceramic doped composites were produced by adding industrial hemp oil, eggshell powders and white mussel shell powders to PVA (Poly (vinyl) alcohol) matrix. White mussel shells and egg shells were ground and pulverized with the help of a ring mill. PVA polymer added in pure water was made into a solution with the help of a magnetic stirrer. White stomach shell powders and eggshell powders were mixed in an ultrasonic mixer with the help of pure water, ethyl alcohol and industrial hemp oil. The mixtures were then combined in a magnetic stirrer. They were poured into petri dishes by casting method. It was left to dry with the help of an oven. PVA polymer is an environmentally friendly polymer with good film forming properties and biodegradable properties. Due to these properties, it was used as matrix material. White mussel shells and egg shells are products in the waste material group. The calcium carbonate component they contain makes them a strength increasing reinforcement material. For this reason, the products were selected as reinforcement materials. Industrial hemp oil has a completely natural content. It also acts as a very good binder. Due to these properties, it was used as a binding material in this study. In the products produced, industrial hemp oil additive provides the bonding of the composite structure, white mussel shell powders show a more flexible behavior in the internal structure, eggshell powders show a more rigid behavior in the structure. The product with the best flexibility properties in homogeneous structure was found in the mixture ratio with the additive material ratio close to 100% of the matrix material ratio.

Keywords: Polymer, Composite, Ceramic, Flexible ceramic, Seashell, Eggshell, Industrial hemp oil, Magnetic Stirring, Ultrasonic Stirring, Calcium

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışma sürecim boyunca her zaman beni destekleyen, bilgi birikimlerini benimle paylaşan, birçok bilgiyi öğrenmemde yanımda olan ve birçok çalışma imkanını bana sunan danışman hocam Dr. Öğretim üyesi Sinem ÇEVİK'e teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam ve deneysel çalışmalarım boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen, çalışmalarına yön verici desteklerde bulunan ve her zaman yanımda olan Dr. Öğretim üyesi Kübra YONTAR'a teşekkürlerimi sunarım. Projeme başlarken yanımda olan, fikirleri ile çalışmalarına yön veren, desteklerini esirgemeyen Dr. Öğretim üyesi Suna AVCIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan ve beni bugünlere getiren aileme teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımda bana değerli bilgilerini sunan bütün Öğretim Görevlileri'ne teşekkürlerimi sunarım.

Destek ve moralleri ile her zaman yanımda olan Ömür Ekrem GÜNTÜRK, Rabia DALKÜREK, Simge KARA, Yıldıray ORTAHİSAR, Ayşe Reyhan KARAHAN ve Elif TÜMER'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma hayatına başladığımda eğitim sürecimin devam etmesini kolaylaştırmak için birçok desteği sağlayan müdürüm Can YEŞİLOVA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Büşra BİRATEŞ

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR.....	3
2.1. Yeşil Mutabakat.....	3
2.2. Polimerik Malzemeler.....	3
2.2.1. Polimerik Malzeme Nedir?	3
2.2.2. Polivinil Alkol.....	4
2.3. Seramik Malzemeler	5
2.3.1. Seramik Toz Öğütme	5
2.3.2. Beyaz Midye Kabuğu	5
2.3.3. Yumurta Kabuğu.....	6
2.4. Endüstriyel Kenevir	7
2.4.1. Endüstriyel Kenevir Yağı.....	7
2.5. Kompozit Malzemeler	7
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	8
3.1. Giriş	8
3.2. Malzemeler	8
3.3. Beyaz Midye Kabukları ve Yumurta Kabuklarının Temizlenmesi.....	8
3.4. Bileşenlerin Belirlenmesi	11
3.5. Polivinil Alkolün Saf Olarak Çözdürülmesi	11
3.6. Karıştırma Yöntemleri	12
3.6.1. Ultrasonik Karıştırma Yöntemi.....	12
3.6.2. Manyetik Karıştırma Yöntemi	13
3.7. Döküm Yöntemi.....	14
3.8. Çözelti Hazırlama	14
3.8.1. Kenevir Yağı İçermeyen Karışımlar	15
3.8.2. Kenevir Yağı İçeren Karışımlar	17

3.8.2.1. Takviye Malzemesi Oranı Polimer Oranının %50'sinin Altındaki Karışımlar	17
3.8.2.2. Takviye Malzemesi Oranı Polimer Oranının %100'üne Yakın Karışımlar	22
3.8.2.3. Takviye Malzemesi Oranı Polimer Oranının %150'sinin Üstündeki Karışım	24
3.8.3. Nano Bor Tozu İçeren Karışımlar.....	25
3.8.4. Kalsiyum Karbonat İçeren Karışımlar	26
3.8.5. Nano Gümüş Tozu İçeren Karışımlar	30
3.9. Karakterizasyon Testleri	31
3.9.1. XRD	31
3.9.1.1. Beyaz Midye Kabuğu XRD Test Sonucu	32
3.9.1.2. Yumurta kabuğu XRD Test Sonucu	32
3.9.1.3. XRD Grafiklerinin Yorumlanması.....	33
3.9.2. SEM ve EDS	34
3.9.2.1. Beyaz Kabuğu SEM ve EDS Testi Sonucu	34
3.9.2.2. Yumurta Kabuğu SEM ve EDS Testi Sonucu	36
3.9.2.3. Poli (vinil) Alkol SEM Testi Sonuçları.....	38
3.9.2.4. Numunelere Yapılan SEM Testi Sonuçları.....	39
3.9.3. DSC.....	48
3.9.4. Tane Boyutu Analizi	49
3.9.5. Shore A Sertlik Testi.....	50
3.9.6. Su Emme Testi	52
4. SONUÇLAR	54
KAYNAKLAR	56

SİMGELER VE KISALTMALAR

°C	: Derece
dk	: Dakika
RPM	: Dakika Devir Sayısı
D	: Beyaz Midye Kabuğu
Y	: Yumurta Kabuğu
K	: Endüstriyel Kenevir Yağı
µm	: Mikrometre
PVA	: Polivinil Alkol
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
SS	: Saf Su
EA	: Etil Alkol
ml	: Mililitre
gr	: Gram
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X-Işını Difraksiyonu
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
%	: Yüzde
EDS	: Enerji Dağılımlı Spektroskopi
O	: Oksijen
C	: Karbon
Na	: Sodyum
Mg	: Magnezyum
Ca	: Kalsiyum
T _g	: Camı Geçiş Sıcaklığı
T _{m1}	: İlk Erime Sıcaklığı
T _{m2}	: Son Erime Sıcaklığı
mm	: Milimetre
nm	: Nanometre
G	: Nano Gümüş Tozu
B	: Nano Bor Tozu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. PVA kimyasal gösterimi.....	5
Şekil 3.1. Yumurta kabukları	9
Şekil 3.2. Beyaz midye kabukları	9
Şekil 3.3. Takviye malzemelerinin etüvde kurutulması.....	10
Şekil 3.4. Takviye malzemelerinin halkalı değirmende öğütülmesi	10
Şekil 3.5. Öğütülmüş takviye malzemesi.....	10
Şekil 3.6. Eleme işlemi yapılmış takviye malzemesi.....	11
Şekil 3.7. Saf PVA film	12
Şekil 3.8. Ultrasonik karıştırma yöntemi	13
Şekil 3.9. Manyetik karıştırma yöntemi.....	14
Şekil 3.10. Döküm yöntemi	14
Şekil 3.11. DY numunesi	15
Şekil 3.12. D numunesi.....	15
Şekil 3.13. Y numunesi.....	16
Şekil 3.14. DY-2 numunesi.....	16
Şekil 3.15. D-2 numunesi.....	17
Şekil 3.16. Y-2 numunesi.....	17
Şekil 3.17. DYK numunesi	18
Şekil 3.18. DK numunesi	18
Şekil 3.19. YK numunesi	18
Şekil 3.20. DYK-2 numunesi.....	19
Şekil 3.21. DK-2 numunesi.....	19
Şekil 3.22. YK-2 numunesi.....	20
Şekil 3.23. A numunesi.....	20
Şekil 3.24. DYK-3 numunesi.....	21
Şekil 3.25. DK-3 numunesi.....	21
Şekil 3.26. YK-3 numunesi.....	22
Şekil 3.27. BUS numunesi	22
Şekil 3.28. BUS-2 numunesi	23
Şekil 3.29. BUS-3 numunesi.....	24
Şekil 3.30. DD numunesi	25
Şekil 3.31. DBK numunesi	26
Şekil 3.32. YBK numunesi	26
Şekil 3.33. CK numunesi	27
Şekil 3.34. CK-2 numunesi	27
Şekil 3.35. CK-3 numunesi.....	28

Şekil 3.36. CBK numunesi.....	28
Şekil 3.37. CK-4 numunesi	29
Şekil 3.38. CK-5 numunesi	29
Şekil 3.39. CK-6 numunesi	30
Şekil 3.40. G1 numunesi	30
Şekil 3.41. G2 numunesi	31
Şekil 3.42. G3 numunesi	31
Şekil 3.43. Beyaz midye kabuğu tozu XRD grafiği.....	32
Şekil 3.44. Yumurta kabuğu tozu XRD grafiği.....	32
Şekil 3.45. CaCO ₃ 'e ait XRD grafiği.....	33
Şekil 3.46. Beyaz midye kabuğu ve yumurta kabuğu tozu XRD grafiği karşılaştırılması.....	33
Şekil 3.47. SEM cihazı	34
Şekil 3.48. Beyaz midye kabuğu tozu SEM analizi	34
Şekil 3.49. Beyaz midye kabuğu tozu EDS analizi.....	35
Şekil 3.50. Yumurta kabuğu tozu SEM analizi.....	36
Şekil 3.51. Yumurta kabuğu tozu EDS analizi	37
Şekil 3.52. Poli (vinil) alkol SEM analizi	38
Şekil 3.53. Poli (vinil) alkol EDS analizi.....	38
Şekil 3.54. BUS numunesi SEM analizi	39
Şekil 3.55. BUS numunesi EDS analizi	40
Şekil 3.56. BUS-2 numunesi SEM analizi.....	41
Şekil 3.57. BUS-2 numunesi EDS analizi.....	42
Şekil 3.58. BUS-3 numunesi SEM analizi.....	42
Şekil 3.59. BUS-3 numunesi EDS analizi.....	43
Şekil 3.60. DYK-3 numunesi SEM analizi	44
Şekil 3.61. D-2 numunesi SEM analizi.....	44
Şekil 3.62. Y-2 numunesi SEM analizi.....	45
Şekil 3.63. DY-2 numunesi SEM analizi	46
Şekil 3.64. DYBK numunesi SEM analizi.....	46
Şekil 3.65. DYBK numunesi EDS analizi	47
Şekil 3.66. Ürünlerin DSC grafikleri	49
Şekil 3.67. Beyaz midye kabuğu tozuna ait tane boyutu dağılımı grafiği	50
Şekil 3.68. Yumurta kabuğu tozuna ait tane boyutu dağılımı grafiği	50
Şekil 3.69. Shore A sertlik testi grafiği	52
Şekil 3.68. Numunelere ait su emme kapasitesi grafiği	52

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Ürünlerin sıcaklık karşılaştırmaları	49
---	----



1. GİRİŞ

İklim değışikliğı günümüzün en büyük problemlerinden biri haline gelmiştir. İklim değışikliğinin sonuçları dünyamızı olumsuz yönde etkilemekte ve doğal dengeyi bozan birçok gelişmeyi beraberinde getirmektedir. İklim değışikliğinin oluşmasında birçok etken bulunmaktadır. Bu etkenlerin bir kısmı ise endüstriyel atıkların çevreye ve doğaya zarardır. Bu zararın en aza indirilmesi için yeşil üretim prosesleri tercih edilmeye başlanmıştır. Yeşil üretim proseslerine göre yapılan üretimlerin oluşturduğu atıklar çevreye zarar vermeyen, geri dönüştürülebilir atıklardır. Aynı zamanda yeşil üretim prosesleri ile üretilen malzemeler de doğa ile uyumlu ve doğaya zarar vermeyen malzemelerdir. Geri dönüşümü mümkün olan atıkların geri dönüştürülmesi hem ekonomik açıdan hem de çevre kirliliğı açısından çok önemlidir. Geri dönüşüm prosesine ekonomik açıdan bakıldığı zaman hammadde giderlerinin azalması endüstriyel kalkınmaya destek sağlayacaktır. Çevresel açıdan bakıldığı zaman ise atıkların azaltılması, doğaya olan zararın azalması ve iklim krizinin önüne geçmek için önemli bir adımdır.

Polivinil Alkol (PVA) polimerinin su ile çözünbilme özelliğı, bu polimeri yeşil üretim prosesleri için eşsiz bir polimer haline getirmektedir. PVA'nın suda çözünbilme özelliğinden yararlanarak matris malzemesi olarak kullanılması, hedeflenen karışımı hazırlamada kolaylık sunmuştur.

Beyaz midye kabukları, yumurta kabukları gibi kalsiyum oranı açısından zengin ürünlerin birçok farklı geri dönüşüm yöntemi bulunmaktadır ve bu yöntemler gün geçtikçe daha da geliştirilmektedir. Bu tez çalışması boyunca yapılan deneysel çalışmalarda beyaz midye kabuğunun ve yumurta kabuğunun öğütülmesi sonucu ortaya çıkan zengin kalsiyum içeriğinden yararlanılarak polimerik bir malzeme olan polivin alkol katkı malzemesi olarak kullanılması denenmiştir. Ayrıca beyaz midye kabuğı ve yumurta kabuğundan elde edilen seramik tozların birlikte kullanılmasının avantajları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Benzer içeriklere sahip olmalarına rağmen farklı özellikler gösteren beyaz midye kabuğı tozu ve yumurta kabuğı tozu ile farklı oranlarda karışımlar hazırlanmıştır.

Endüstriyel kenevir tohumuna ait yağın bir bağlayıcı olarak seçilmesinin en önemli nedeni doğaya zarar vermemesi ve biyoyumlu olmasıdır. Endüstriyel kenevir yağı bu tez çalışmasında üretilen malzemelerde bağlayıcılık görevi

görmüştür. Böylelikle bağlayıcı kullanılarak üretilen ürünlerin ve bağlayıcı kullanılmadan üretilen ürünlerin morfolojik yapıları gözlemlenmiştir.

Tamamı çevre dostu ve yeşil üretim proseslerine uygun bu malzemelerin birleşmesi ile döküm yöntemi kullanılarak ince film şeklinde ürünler üretilmiştir. Üretilen ürünlerde esnek yapıya ulaşmak hedeflenmiştir. Üretilen ürünlerin morfolojisinin seramik malzeme morfolojisi ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Böylelikle esneyebilen seramik yapıli malzeme çevre dostu ve yeşil prosese uygun bir yöntemle üretilmiştir.



2. LİTERATÜR

2.1. Yeşil Mutabakat

2019 yılında sera gazı konsantrasyonu zirve bir değere ulaşmıştır. Atmosferdeki sera gazı seviyesi sanayi devriminden öncesine göre çok daha fazladır. Karbondioksit oranı %48, metan gazı oranı %260, azot gazı oranı %123 oranında yükselmiştir. Hızlıca gelişen nüfus artışı ile birlikte talep artışı başlamış, bu durum da kaynakların kullanımını arttırmıştır. Talep artışlarının sonucunda karbon gazı salınımı yüksek ekonomik ilerlemeler iklim krizinin temel sebebi olmuştur. İklim krizi dünyada yaşayan her canlı varlığın yaşamını tehdit eden bir durumdur. Birleşmiş Milletler (BM) Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ve Paris Anlaşması ile birlikte bu iklim krizinin önüne geçmek için adımlar atılmıştır. Zamanla iklim değişikliği gündemde daha da öne gelmiştir. İklim değişikliği durumu ile mücadelede edebilmek için küresel düzeyde alınacak ortak kararlar çok önemlidir. Alınan bu kararları hayata geçirmek ve uyumlu bir şekilde hareket etmek mümkündür. Ülkeler, şirketler, uluslararası kurum ve kuruluşlar iklim krizinin acil durumuna uygun bir şekilde çalışmak zorundadırlar. Avrupa Birliği tarafından ortaya konulan Avrupa Yeşil Mutabakatı iklim değişikliğini durdurmak, kaynakların kullanımını düzenlemek ve döngüsel ekonomiye geçmeyi hedeflemektedir (Ecer vd., 2021).

2.2. Polimerik Malzemeler

2.2.1. Polimerik Malzeme Nedir?

Monomerler küçük mol kütleli kimyasal maddelerdir. Polimerler, kovalent bağ ile bağlanıp büyük moleküller oluşturabilen monomerlerden oluşmaktadır. Monomerler polimerizasyon yöntemi ile birleşmektedir. Daha sonra biz zincir yapısı oluşturmaktadır. Polimerler doğrusal veya dallanmış zincirlerden oluşabilir. Polimerler zincirleri arası çapraz bağ içeren veya içermeyen olarak ayrılabilir. Ana zincir üzerindeki atomlara sadece yan gurupların bağlı olduğu polimerler doğrusal zincirli polimerlerdir. Ana zincire kovalent bağ ile bağlı yan zincirlerin bulunduğu polimerler dallanmış zincirli polimerlerdir. Polimerlerde çapraz bağların varlığı polimere farklı özellikler katmaktadır. Çapraz bağlar ana zincirleri birbirlerine kovalent bağ ile bağlayan yapılardır. Çapraz bağlı polimer sistemi tek bir molekül gibi kabul edilebilir. Polimerler kendi aralarında 3 temel guruba ayrılır. Elastomerler, termosetler ve termoplastikler.

Elastomerler yüksek uzama kabiliyeti olan malzemelerdir. Çekme kuvvetinin

etkisiyle plastik deformasyona uğramadan eski hallerine geri dönebilirler. Yüksek elastikiyet gösterirler. Elastomerlerin en önemli kısmını oluşturan doğal kauçuktur(NR). Doğal kauçuğun sahip olduğu zayıf mekanik özellikleri vulkanizasyon işlemi yardımıyla giderilir ve mekanik özellikler açısından daha iyi bir malzeme üretilir.

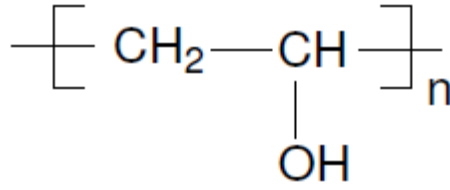
Termoset polimerlerin zincirleri arasında çapraz bağlar bulunmaktadır. Çapraz bağ içeren bu polimerler ısı ile eritilip geri dönüştürülemeyen bir yapıya sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı yüksek ısıya maruz kalmaları durumunda yapıları bozunmaya başlar. Termoset polimerlerin oluşması için bir prepolimerin bir çapraz bağlayıcı ile birleşmesi gerekmektedir. Aynı zamanda katkı malzemeleri ilavesi de termoset polimerin özelliklerini oluşturmak için önemlidir. Oluşan bu çapraz bağlar sayesinde yapı sertleşerek geri dönüşümü olmayan bir ürün haline gelir.

Termoplastik polimerler zincirleri arasında çapraz bağlar içermeyen polimerlerdir. Böylelikle termoplastik polimerlerin geri dönüşümü mümkün olmaktadır. Isı etkisiyle eriyebilir ve yeniden şekillendirilebilirler. Geri dönüşümlerinin mümkün olması termoplastik polimerlerin çevreye olan zararlı etkileri konusunda önemli bir özelliktir. Yeniden hammadde olarak kullanılabilen bu polimerler maliyet ve geri dönüşüm açısından endüstri alanlarına önemli katkı sağlamaktadır (Saçak, 2020).

2.2.2. Polivinil Alkol

Polivinil alkol polimeri suda çözünebilen bir polimerdir. Biyobozunurluk ve biyoyoumluluk özelliklerine sahiptir. Zehirsiz ve kokusuzdur. 1,19 - 1,31 gr/dm³ arasında özgül ağırlığa sahiptir. Erime noktası 200°C'dir (Ceylan, 2014).

PVA düşük oksijen geçirgenliğine sahiptir. İnce film oluşturmak için ideal bir polimerdir. bünyesinde hidroksil grupları bulundurur. Böylelikle çapraz bağlanma özelliğine sahip olmuş olur. Çapraz bağlayıcı katkıları ile uygulama alanları genişletilebilir. Bu özelliklere sahip olması kullanım alanlarını genişletmektedir. PVA'nın kuru halde mekanik özelliklerinin çok iyi olmasına rağmen hidrofilik yapıya sahip olması nedeniyle ıslak halde kullanımı kısıtlıdır ve istenen mekanik özellikleri sağlayamamaktadır (Albayrak, 2011).



Şekil 2.1. PVA kimyasal gösterimi (Ceylan, 2014)

2.3. Seramik Malzemeler

Seramikler en az iki elementten oluşan malzemelerdir. Metal ve ametal elementlerden oluşurlar. Seramik malzemelerin çoğunluğu oksitler, nitrürler ve karbürlerden oluşur. Bu malzemeler çoğunlukla kristal yapıya sahiptir. İyonik veya kovalent bağ içerirler. Seramiklerin yüksek dayanımı ve rijitliği vardır. Kristal yapılarından dolayı gevrek bir malzeme gurubudur. Bu sebeple kırılma dirençleri yüksektir. Gevrek kırılma tipinde kırılma davranışı gösterirler. Gelişen teknolojiler ile kırılma dirençleri iyileştirilmiş seramik malzemeler üretilmektedir ve bu ürünler birçok sektörde kullanılmaktadır. Seramik malzemeler temel olarak iki guruba ayrılırlar. Bunlar geleneksel seramikler ve iletici teknoloji seramiklerdir. Geleneksel seramiklerde üretim aşamaları; seramik tozların sentezi, öğütme, karıştırma, kurutma, şekil verme ve sinterlemedir. Temel bileşen olan seramik tozlar kullanım alanına göre birçok farklı yöntemle üretilebilir (Callister vd., 2013)

2.3.1. Seramik Toz Öğütme

Seramik tozlar genel olarak metal veya ametal malzemelerin ıslak veya kuru olarak öğütülmesi ile üretilmektedir. Temel olarak öğütme yöntemleri ele alındığında bilyalı değirmenlerde yapılan öğütme işlemleri ıslak öğütme, halkalı değirmenlerde yapılan öğütme işlemleri kuru öğütmedir. (Callister vd., 2013)

2.3.2. Beyaz Midye Kabuğu

Yapılan birçok çalışmanın sonucunda deniz kabuklarının temel içeriği doğal olarak oluşan kalsiyum karbonattır (CaCO₃). Beyaz midye kabukları, istiridye kabukları ve deniz tarağı kabukları gibi deniz kabuğu çeşitleri atık deniz kabuklarını oluşturmaktadır. Deniz kabukları bol miktarda bulunan bir potansiyel atık malzeme gurubudur. Dünyada en büyük kabuklu deniz hayvanı üreticisi olan Çin'de, yıllık 10 milyon ton civarında atık deniz kabuğu depolama alanlarında biriktirilmektedir. Atık deniz kabukları, uzun süre işlenmeden bekletildiğinde, kabuklarda kalan etin çürümesi veya tuzların H₂S, NH₃ ve aminler gibi gazlara mikrobiyal ayrışması

nedeniyle kötü kokulara ve dolayısıyla çevre kirliliğine sebep olabilmektedir. Deniz kabuğu atıklarının öğütülmesinden sonra elde edilen toz halindeki deniz kabuğu atıkları geçmişten bugüne birçok çalışmada kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar boyunca yıkama, kalsine etme ve kırma aşamalarının deniz kabukları ile ilgili çalışmalarda en önemli adımlar olduğu görülmüştür. Yıkama işlemi ile deniz kabuğu atıklarının tuz içeriğini uzaklaştırılır. Bünyedeki suyun ve organik maddelerin uzaklaştırılması için ısıtma veya kalsinasyon yapılır. Kullanım alanına ve istenen tane boyutuna göre kırma işlemi yapılır (Mo vd., 2018).

2.3.3. Yumurta Kabuğu

Yumurta kabuğu sırasıyla dış taraftan iç tarafa doğru Kütikül, Testa ve Memilli katmanlarından oluşmaktadır. Kütikül tabakası embriyoyu bakteriyel enfeksiyonlardan koruyan kurutulmuş bir mukustur. Testa tabakası gelişmekte olan yumurtaya kalsiyum sağlayan tabakadır. Memilli tabakası Testa tabakasına destek olmaktadır ve yumurta kabuğu zarı ile temas halindedir. Yumurta kabuğunun sertliğinin emilimi yapılan kalsiyum oranı ile alakalı olduğu düşünülmektedir (Mittal vd., 2016).

Yumurta kabuğunun içeriği; %94 kalsiyum karbonat, %1 kalsiyum fosfat, %1 magnezyum karbonat ve %4 organik maddelerdir. Yumurta kabuğu zengin bir kalsiyum karbonat ve tuz kaynağıdır. Yumurta kabuğu dolgu malzemesi olarak kullanımın yanı sıra bir hidroksiapatit kaynağı olarak da kullanılmaktadır. Yumurta kabuğunun toksik elementleri içermemesi kullanım alanına göre pek çok avantaj sağlamaktadır (Murakami vd., 2007).

Atık yumurta kabukları yumurta endüstrisinin gelişmiş olduğu ülkelerde büyük çevre sorunlarına sebep olmaktadır. Polimerlerde kullanılan dolgu malzemelerinin daha düşük maliyetli ve daha çevre dostu olması sürdürülebilir teknolojiler açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca yıllık olarak üretilen 250.000 ton yumurta yaklaşık 100.000 Euro maliyete sahiptir. Yumurta kabuklarının dolgu maddesi olarak kullanımının yaygınlaşması günümüz çevre sorunları ve karbon ayak izi konularında önemli bir adım olmuştur (Gürdal, 2021).

Aynı zamanda üretim maliyetlerinin azaltılması konusunda atıkların ve geri dönüştürülebilir ürünlerin kullanılması yaygınlaşmıştır. Yumurta kabuğu gibi kalsiyum oranından zengin atık malzemelerin dolgu malzemesi olarak kullanıldığı polimerlerde sertlik artışı gözlemlenmiştir. Bu durum yumurta kabuğunun içerdiği kalsiyum ile alakalıdır. Böylelikle kullanım alanına yönelik olarak polimerlerin

dayanımları arttırılabilir ve mekanik özellikleri iyileştirilebilir (Jasim vd., 2020).

2.4. Endüstriyel Kenevir

Kenevir (Cannabis) Cannabaceae ailesinden otsu tek yıllık bir bitkidir. Üç ana türe sahiptir. Bunlar; Cannabis ruderalis, Cannabis indica ve Cannabis sativa'dır. Endüstriyel, gıdasal ve tıbbi olarak bir çok ürünün üretiminde kenevir lifi ve kenevir tohumu yağı kullanılmaktadır. Biyobozunur bir yapıya sahiptir ve böylelikle biyokompozit malzemelerde kullanılabilir. Aynı zamanda antialerjik, antimikrobiyal ve antibakteriyel özellikleri mevcuttur. Kenevir türlerinden Cannabis sativa endüstriyel amaçlı kullanılan kenevirdir (Yapıcı vd., 2022).

Endüstriyel kenevir sanayi amaçlı kullanılmaktadır. Uyuşturucu etkiye sahip kimyasal THC (Tetrahidrocannabinol) içeriği düşüktür (Yılmaz vd., 2022).

2.4.1. Endüstriyel Kenevir Yağı

Kenevir yağı kenevir tohumlarının ezilmesi ile üretilmektedir. Kenevir tohumlarının içeriği yüksek yağ ve proteinden oluşmaktadır. Tohumlar yaklaşık olarak %26,2 protein içerir ve %36 lipitten oluşmaktadır. Kabuğu soyulan tohumlarda ise %35,7 protein ve %41,7 lipid içeriği vardır (Onay vd., 2021).

2.5. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler kısaca tanımlandığında aynı veya farklı guruplardan olan iki ya da daha fazla malzemenin istenen en iyi özelliklerini yeni tek bir malzemede toplamak için birleştirilmesi ile oluşturulan malzemelerdir. Kompozit malzemelerde birleştirme işlemi makro düzeyde yapılmaktadır.

Kompozit malzemelerin tercih edilme nedenlerinden biri yüksek dayanım ve rijitliğe sahip olmasına rağmen düşük ağırlığa sahip olmalarıdır.

Birçok kompozit malzeme iki fazdan oluşmaktadır. Bu fazlardan ilki matris fazıdır. Matris faz ana fazdır. Üretilecek olan malzemede takviye malzemeleri matris fazının içine yerleştirilir. İkinci faz ise dağılmış fazdır. Dağılmış faz takviye malzemesi olarak da adlandırılabilir.

Kompozit malzemeler takviye çeşitlerine göre sınıflandırıldığında üç sınıfa ayrılırlar. Bunlar Parçacık takviyeli kompozitler, Elyaf takviyeli kompozitler ve Yapısal kompozitlerdir. Kompozit malzemeler aynı zamanda matris fazlarına göre de üç guruba ayrılırlar. Bunlar Polimer matrisli kompozitler, Seramik matrisli kompozitler ve Metal matrisli kompozitlerdir (Callister vd., 2013)

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Giriş

Deneysel çalışmaların öncelikli hedefi çevreye zarar veren atıklar oluşturmeyen, yeşil üretim proseslerine uygun malzemelerin birleştirilmesi ile esneyebilen bir seramik yapısı oluşturmaktır. Deneysel çalışmalar boyunca kullanılan malzemeler doğaya ile uyumlu, biyobozunur ve atıkların geri dönüşümünü sağlayan malzemelerdir. Çalışma sürecinde oluşturulacak malzemede bağlayıcı içeriğinin varlığının matris malzemesinin yanı sıra olan etkisi araştırılmıştır. Aynı zamanda katkı malzemelerinin ürüne olan fiziksel ve kimyasal etkisi araştırılmıştır. Böylelikle hedeflenen esnek seramik yapısına en uygun kimyasal içerik belirlenmiştir.

3.2. Malzemeler

Beyaz midye kabukları Samsun ilinin İncesu lokasyonundaki Karadeniz sahilinden toplanmıştır. Yumurta kabukları Samsun ilinin Ladik ilçesinde küçükbaş hayvan yetiştiriciliği yapan bir çiftlikten satın alınan yumurtalara ait kabuklardır. Endüstriyel Kenevir yağı Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kenevir Araştırma Enstitüsünden temin edilmiştir. Polivinil alkol polimeri Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. Etüv Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarında kullanılmıştır. Manyetik Karıştırma Makinesi Ondokuz Mayıs Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarında kullanılmıştır. Ultrasonik karıştırma makinesi Ondokuz Mayıs Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarında kullanılmıştır. SEM cihazı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezinde bulunmaktadır. XRD cihazı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezinde bulunmaktadır. DSC cihazı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezinde bulunmaktadır.

3.3. Beyaz Midye Kabukları ve Yumurta Kabuklarının Temizlenmesi

Atık hale gelmiş yumurta kabukları ilk işlem olarak içlerindeki zar tabakasından ayrılmıştır. Daha sonra bu yumurta kabukları etil alkol ve su yardımı ile temizlenmiştir. 100 C° de etüv yardımı ile kurutulmuştur. Son aşama olarak halkalı değirmen yardımıyla öğütülmüştür ve ince toz haline getirilmiştir. Etüvden çıkan kurutulmuş yumurta kabuklarının kırılgenlik durumu etüve girmeden önceki kırılgenlik durumu ile aynıdır.



Şekil 3.1. Yumurta kabukları

Atık beyaz midye kabukları etil alkol ve su yardımı ile yıkanmıştır. Daha sonra 100 °C’de etüv yardımı ile kurutulmuştur. Atık beyaz midye kabukları da halkalı değirmen yardımıyla öğütülmüştür. Öğütülen beyaz midye kabuklarında neme duyarlılık olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum sonucunda öğütülen beyaz midye kabuklarına eleme işlemi uygulanmıştır. 100 µm altında tane boyutuna sahip tanecikler deneyler için ayrılmıştır. 100 µm üzerinde tane boyutuna sahip tanecikler yeniden eleme öğütme için ayrılmıştır. Etüve girmeden önceki beyaz midye kabuklarının kırılgenlık durumu etüvden çıkan beyaz midye kabuklarının kırılgenlık durumundan daha azdır. Etüvden çıkan beyaz midye kabukları kolay parçalanabilen hale bir yapıya ulaşmıştır.



Şekil 3.2. Beyaz midye kabukları



Şekil 3.3. Takviye malzemelerinin etüvde kurutulması



Şekil 3.4. Takviye malzemelerinin halkalı değirmende öğütülmesi



Şekil 3.5. Öğütülmüş takviye malzemesi



Şekil 3.6. Eleme işlemi yapılmış takviye malzemesi

3.4. Bileşenlerin Belirlenmesi

Hedeflenen esnek seramik yapısının elde edilmesi için CaCO_3 içeriğine sahip beyaz midye kabuğu ve yumurta kabuğu tozları takviye malzemesi olarak belirlenmiştir. Sentetik yapıda olan ve doğada çözünebilen Polivinil alkol (PVA) polimeri esnek seramik üretimi için matris malzemesi olarak seçilmiştir. Esnek seramik yapısı için kullanılacak olan tozlarda bağlayıcı malzeme olarak Endüstriyel kenevir yağı belirlenmiştir. PVA polimerinin çözülmesi için saf su kullanılmıştır. Üretilen numunelere sertlik özelliklerinin kıyaslanması için mekanik dayanımı düşürmemesi planlanan bir takviye malzemesi olarak nano tane boyutuna sahip Bor malzemesi seçilmiştir. Üretilen ürünlerde CaCO_3 bileşiğinin etkisinin gözlemlenebilmesi için beyaz midye kabuğu tozu ve yumurta kabuğu tozu yerine CaCO_3 tozu referans diğer bir numune çeşidi olarak belirlenmiştir. Üründe kırılabilirlik ve dayanım özelliklerine etkisinin incelenmesinin yanı sıra antimikrobiyal özelliklerin de incelenmesi için nano gümüş tozu belirlenmiştir.

3.5. Polivinil Alkolün Saf Olarak Çözdürülmesi

PVA sentetik bir polimer olmasına rağmen suda çözünebilen bir polimerdir. Bu özelliğinden dolayı granül halde bulunan PVA'nın matris malzemesi olarak kullanılabilecek bileşime gelmesi için saf su içerisinde ısı yardımıyla çözdürülmesi gerekmektedir. Saf su içerisine eklenen PVA polimeri manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırılmaya başlanmıştır. Isı 200°C 'ye yükseltilmiştir. Bu sıcaklıkta çok kısa bir süre beklenmiştir. Renk değişimi ve kaynama belirtileri gösteren çözeltide manyetik karıştırıcı sıcaklığı 50°C 'ye düşürülmüştür. Bu sıcaklıkta jelleşme

başlayana kadar karıştırma işlemi devam ettirilmiştir. Jel hale gelmiş çözelti Polivinil alkolün saf suda çözünmüş halini oluşturmaktadır. Jel haldeki çözelti bir petri kabına dökülmüştür. Kontrollü bir şekilde bünyesindeki saf suyun uzaklaştırılması için 40°C'deki etüve yerleştirilmiştir. 24 saatlik bekleme süresinin ardından referans bir saf PVA numunesi hazırlanmıştır.



Şekil 3.7. Saf PVA film

3.6. Karıştırma Yöntemleri

3.6.1. Ultrasonik Karıştırma Yöntemi

Atık beyaz midye kabuğu tozunda gözlemlenen neme karşı duyarlılık atık beyaz midye kabuğu tozunun saf su içerisinde homojen olarak dağılamamasına ve topaklanmış parçaların çözelti içinde kalmasına sebep olmaktadır. Bu durum hazırlanması gereken çözelti oranını değiştirmektedir. Saf su içerisine eklenen atık beyaz midye kabuğu tozu, yumurta kabuğu tozu ve endüstriyel kenevir yağına ultrasonik karıştırıcı ile ön bir karıştırma işlemi uygulandığında homojen bir karışım oluşturduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.8. Ultrasonik karıştırma yöntemi

3.6.2. Manyetik Karıştırma Yöntemi

Manyetik karıştırma yöntemi yardımıyla granül haldeki PVA polimeri saf su ya da çözelti içerisinde çözdürülebilmektedir. Çözdürme işlemi ile aynı zamanda matris malzemesi olarak belirlenen PVA, katkı malzemeleri olarak belirlenen atık beyaz midye kabuğu tozu ve yumurta kabuğu tozu ve bağlayıcı olarak belirlenen kenevir yağı bir homojen bir karışım oluşturmuş olmaktadır.



Şekil 3.9. Manyetik karıştırma yöntemi

3.7. Döküm Yöntemi

Hazırlanan karışımlardan bir numune oluşturmak için döküm yöntemi uygulanmıştır. Eriyik karışımlar petri kaplarına dökülmüştür. Daha sonra kontrollü soğutma yapmak için 40°C'lik etüv içerisinde 24 saat bekletilmiştir. 24 saatin sonunda karışım içerisindeki bütün saf su buharlaşmıştır. Bu durumun sonucunda esneyebilen seramik yapısına sahip malzemeler elde edilmiştir.



Şekil 3.10. Döküm yöntemi

3.8. Çözelti Hazırlama

Hazırlanacak çözeltilerde daha önce bahsedildiği şekilde ilk aşama atık tozların bağlayıcı ile saf su içerisinde homojen karıştırılmasıdır. Daha sonra bu karışım içerisinde polimer çözündürülür ve bütün malzemeler homojen bir karışım oluşturur. Yapılan çalışmalarda hazırlanan numuneler her bir katkı malzemesinin özelliğini karşılaştırmak ve dayanımı en yüksek karışım oranını bulmak için yapılmıştır.

Hazırlanan çözelti içeriklerinde kullanılan kısaltmalar;

Saf su (SS), Poli (vinil) Alkol (PVA), Etil alkol (EA), Beyaz midye kabuğu tozu (D), Yumurta kabuğu tozu (Y), Nano bor tozu (B), Nano gümüş tozu (G), Kalsiyum karbonat (C). Oranlar ‘‘Ağırlıkça’’ hesaplanmıştır.

3.8.1. Kenevir Yağı İçermeyen Karışımlar

DY numunesi: %78 SS + %7,8 PVA + %9,2 EA + %2,5 D + %2,5 Y

DY numunesinde homojen dağılım ve film yapısı elde edilememiştir. Ürün gevrek bir yapıya sahiptir. Ürünün döküm aşaması için kullanılan kalıp ürünün film oluşturmada için yeterli genişlikte bir alan sağlamamıştır. İnce döküm yapılmasına rağmen yapıda istenilen özelliklere ulaşamamıştır.



Şekil 3.11. DY numunesi

D numunesi: %78 SS + %7,8 PVA + %9,2 EA + %5 D

D numunesinde homojen dağılım ve film yapısı elde edilememiştir. Ürün düşük seviyelerde esneklik özellikleri göstermektedir. Ürünün döküm aşaması için kullanılan kalıbın ürünün film oluşturmada için yeterli bir alan sağlamamıştır. İnce döküm yapılmasına rağmen yapıda istenilen özelliklere ulaşamamıştır. Beyaz midye kabuğu ve yumurta kabuğu tozlarının birlikte kullanıldığı DY numunesine kıyasla esneklik özellikleri minimum düzeyde artmıştır.



Şekil 3.12. D numunesi

Y numunesi: %78 SS + %7,8 PVA + %9,2 EA + %5 Y

Y numunesinde herhangi bir film ya da polimer yapısı gözlemlenmemiştir. Kenevir yağı içermemesi ve takviye oranının fazla oluşu istenen yapıların elde edilememesine sebep olmuştur. Yapı tamamen gevrekler. Bağlanma minimum seviyededir.



Şekil 3.13. Y numunesi

DY-2 numunesi: %83 SS + %5,5 PVA + %9,5 EA + %1 D + %1 Y

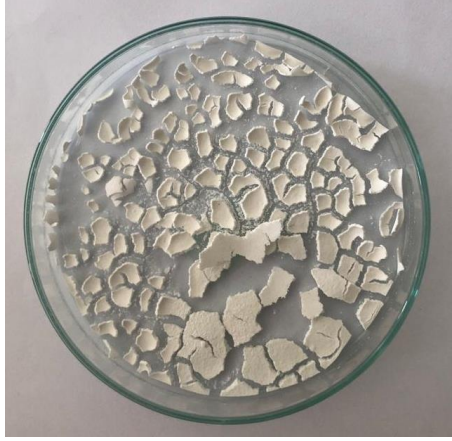
DY-2 numunesinde kısmen filmleşme görülmüştür. Yapının bir kısmı gevrek bir yapıya sahipken diğer kısmı esnek bir yapıya sahiptir. Bu durumun sebebinin homojen karışmama olduğu düşünülmektedir. Endüstriyel kenevir yağının kullanılmamış olması bağlanma durumunu minimum seviyeye indirmiştir. Takviye malzemesinin daha yoğun olduğu bölgelerde bağlanma olmamıştır ve bu sebeple yapının gevrek halde olduğu gözlemlenmiştir. Takviye malzemesinin daha az yoğun olduğu bölgelerde polimer oranının nispeten daha yüksek oranda olması durumundan kaynaklı film benzeri bağlanmış yapılar gözlemlenmiştir.



Şekil 3.14. DY-2 numunesi

D-2 numunesi: %83 SS + %5,5 PVA + %9,5 EA + %2 D

D-2 numunesinde DY-2 numunesindeki benzer, kısmen filmleşme görülmüştür. Yapının bir kısmı gevrek bir yapıya sahipken diğer kısmı esnek bir yapıya sahiptir. DY-2 numunesinde de olduğu düşünülen homojen karışmama durumu söz konusudur. Kenevir yağının kullanılmamış olması bağlanma durumunu minimum seviyeye indirmiştir. Yapının çevre kısımlarında takviye malzemesinin daha az olması sebebi ile çevre kısımlar daha film benzeri yapıdadır.



Şekil 3.15. D-2 numunesi

Y-2 numunesi: %83 SS + %5,5 PVA + %9,5 EA + %2 Y

Y-2 numunesinde gözlemlenen yapı DY-2 ve D-2 numuneleri ile hemen hemen aynıdır. Bu üç yapının da ortak noktaları; endüstriyel kenevir yağı kullanılmaması, düşük takviye malzemesi içeriği ve homojen karışmanın sağlanamamasıdır.



Şekil 3.16. Y-2 numunesi

3.8.2. Kenevir Yağı İçeren Karışımlar

3.8.2.1. Takviye Malzemesi Oranı Polimer Oranının %50'sinin Altındaki Karışımlar

DYK numunesi: %77 SS + %10 PVA + %9,1 EA + %0,1 K + %1,9 D + %1,9 Y

DYK numunesinde kenevir yağı kullanılmıştır. Bu numunede gözlemlenen filmleşme endüstriyel kenevir yağının katkısıyla oluşmuştur. Döküm yöntemi için kullanılan kalıp numuneye ince film oluşturması için yeterli alan sağlayamamıştır. Fakat bu duruma rağmen üretilen ürünlerde minimum miktarda esneklik özellikleri gözlemlenmiştir.



Şekil 3.17. DYK numunesi

DK numunesi: %77 SS + %10 PVA + %9,1 EA + %0,1 K + %3,8 D

DK numunesinde oluşan yapılar DYK numunesi ile benzer özellik göstermiştir. İçerdiği deniz kabuğu tozu oranından kaynaklı olduğu düşünülen esneklik özellikleri gözlemlenmiştir.



Şekil 3.18. DK numunesi

YK numunesi: %77 SS + %10 PVA + %9,1 EA + %0,1 K + %3,8 Y

YK numunesinde gözlemlenen özellikler yapının DK ve DYK ile yüksek oranda benzer olduğunu göstermiştir.



Şekil 3.19. YK numunesi

DYK-2 numunesi: %83,5 SS + %5,5 PVA + %9,6 EA + %0,02 K + %0,69 D + %0,69 Y

DYK-2 numunesinde takviye malzemesi oranı çok düşük olmasına rağmen yapıda bağlanma gözlenememiştir. Bu durumun temel sebebi bağlacı olarak kullanılan endüstriyel kenevir yağının oranının çok düşük olmasıdır.



Şekil 3.20. DYK-2 numunesi

DK-2 numunesi: %83,5 SS + %5,5 PVA + %9,6 EA + %0,02 K + %1,38 D

DK-2 numunesinde DYK-2 numunesine benzer şekilde endüstriyel kenevir yağının çok az kullanılmasından dolayı yapıda bağlanma meydana gelmemiştir. Beyaz midye kabuğu kullanılan numunede esneklik özellikleri gözlemlenmiştir.



Şekil 3.21. DK-2 numunesi

YK-2 numunesi: %83,5 SS + %5,5 PVA + %9,6 EA + %0,02 K + %1,38 Y

YK-2 numunesinde DYK-2 ve DK-2 numunesinin gösterdiği bağlanma özellikleri benzer şekilde seyretmiştir.



Şekil 3.22. YK-2 numunesi

A numunesi: %80 SS + %10 PVA + %7 EA + %2 K + %0,5 D + %0,5 Y

A numunesinde takviye malzemesi oranı tamamen düşürülüp endüstriyel kenevir yağı oranı artırılmıştır. Döküm yapılan üründe bölgesel olarak büzülme gözlenmiştir. Yapı istenilen film yapısına ulaşamamıştır. Takviye malzemesi çok düşük ürünlerde bağlayıcı malzemesi oranının yüksek olması yapıyı bozmaktadır.



Şekil 3.23. A numunesi

DYK-3 numunesi: %81,6 SS + %10,1 PVA + %7,1 EA + %0,2 K + %0,5 D + %0,5 Y

DYK-3 numunesinde takviye malzemesi oranı matris malzemesine göre düşüktür. Endüstriyel kenevir yağı katkısı oranının takviye ve matris malzemesi ile film oluşturulabilecek yapıda olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.24. DYK-3 numunesi

DK-3 numunesi: %81,6 SS + %10,1 PVA + %7,1 EA + %0,2 K + %1 D

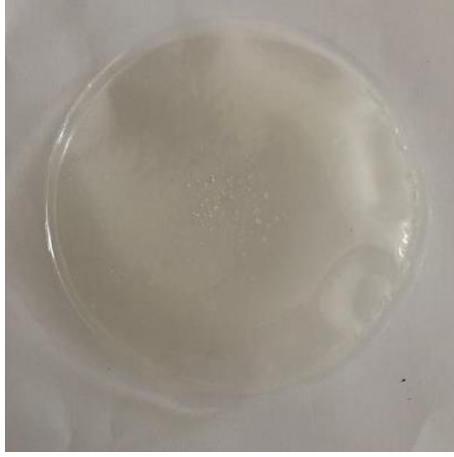
DK-3 numunesinde DYK-3 numunesine benzer yapıda filmleşme gözlemlenmiştir. Bu numunede DYK-3 numunesine kıyasla esneklik özelliklerinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Yalnızca beyaz midye kabuğu tozu takviyesi olan ürünlerin çoğunda esneklik özelliklerinin yalnızca yumurta kabuğu tozu takviyesi olan ürünlere göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.25. DK-3 numunesi

YK-3 numunesi: %81,6 SS + %10,1 PVA + %7,1 EA + %0,2 K + %1 Y

YK-3 numunesinde DYK-3 numunesine benzer yapıda filmleşme gözlemlenmiştir. Bu numunede esneklik özellikleri DYK-3 ve DK-3 ürünlerine kıyasla daha azdır. Yalnızca yumurta kabuğu tozu katkısının yapıda esneklik özelliklerini bir nebze düşürdüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 3.26. YK-3 numunesi

3.8.2.2. Takviye Malzemesi Oranı Polimer Oranının %100'üne Yakın Karışımlar

BUS numunesi: %82,7 SS + %5,1 PVA + %7,2 EA + %1 K + %2 D + %2 Y

BUS numunesinde takviye malzemesi oranı matris malzemesi oranına çok yakındır. Elde edilen filmde homojenlik ve esneklik özellikleri son derece iyidir. Üretilen bütün numuneler arasında en iyi esneklik ve en iyi homojenlik yapısı bu numunede gözlemlenmiştir.



Şekil 3.27. BUS numunesi

B-1 numunesi: %81,9 SS + %5 PVA + %7 EA + %0,1 K + %3 D + %3 Y

B-1 numunesinde takviye malzemesi oranının matris malzemesi oranından yüksek olması ve endüstriyel kenevir yağı oranının düşük olması ürünün

filmleşmemiş bir yapı oluşturmaya sebep olmuştur.

B-2 numunesi: %81,9 SS + %5 PVA + %7 EA + %0,06 K + %3 Isıl işlem görmüş D + %3 Isıl işlem görmüş Y

B-2 numunesinde takviye malzemesi olarak 600°C'de ısıtılmış beyaz midye kabuğu tozu ve 600°C'de ısıtılmış yumurta kabuğu tozu kullanılmıştır. Tozların ısıtılmış olmasının yapıdaki esneklik ve homojenlik özellikleri üzerinde yeni bir etkisi yoktur. 600°C'de ısıtılmış olmamış olan tozlar aynı oranda kullanıldıklarında aynı özellikleri göstermiştir.

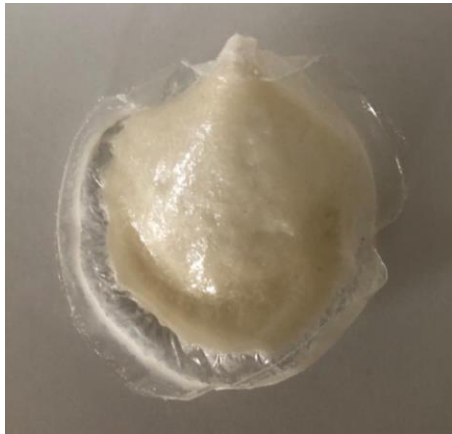
B-3 numunesi: %80,45 SS + %4,8 PVA + %6,9 EA + %0,05 K + %3,9 D + %3,9 Y

B-3 numunesinde katkı malzemesi oranı matris malzemesi oranının üzerindedir. Bu yapıda da B-1 yapısına benzer şekilde düzgün filmleşme gözlemlenmemiştir. Endüstriyel kenar yağ katkıının yeterli gelmediği düşünülmektedir.

B numunesi: %70,7 SS + %11,9 PVA + %8 EA + %0,2 K + %4,6 D + %4,6 Y
B numunesi içeriği film yapısının oluşmasını sağlamıştır. BUS numunesiyle kıyaslandığı zaman BUS numunesi kadar iyi esneklik ve homojenlik özellikleri göstermemiştir.

BUS-2 numunesi: %82,7 SS + %5,1 PVA + %7,2 EA + %1 K + %4 D

BUS-2 numunesinde esneklik özelliği iyi bir film yapısı elde edilmiştir. Bununla birlikte homojen dağılım BUS numunesi kadar iyi değildir. Bu durumun sebebinin beyaz midye kabuğu tozlarının ve yumurta kabuğu tozlarının tane boyutlarının farklı olması ve birleştikleri zaman daha iyi bir homojen yapı oluşturmaları ile alakalı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.28. BUS-2 numunesi

BUS-3 numunesi: %82,7 SS + %5,1 PVA + %7,2 EA + %1 K + %4 Y

BUS-3 numunesinde homojen bir yapı gözlemlenmiştir. Bu yapı esneklik özellikleri yalnızca beyaz midye kabuğu tozu kullanılan ve beyaz midye kabuğu ile yumurta kabuğu tozunun birlikte kullanıldığı numunelerle kıyaslandığında bu yapının esneklik yapısına göre daha az esneklik özelliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.29. BUS-3 numunesi

3.8.2.3. Takviye Malzemesi Oranı Polimer Oranının %150'sinin Üstündeki Karışım

DD numunesi: %54,4 SS + %6,6 PVA + %4,7 EA + %0,6 K + %33,7 D

DD numunesi yapısında yüksek oranda beyaz midye kabuğu tozu kullanılmıştır. Yapıda hiçbir esneklik özelliği gözlemlenememiştir. Bu durumun sebebinin hem matris malzemesinin hem de bağlayıcı malzemesinin takviye malzemesi oranına göre düşük kalmasıdır. Ürün ince film yapısı değil kalın döküm numunesi oluşturmuştur.



Şekil 3.30. DD numunesi

3.8.3. Nano Bor Tozu İçeren Karışımlar

YB numunesi: %70,5 SS + %7,05 PVA + %8,23 EA + %14,11 Y + %0,11 nano bor tozu

YB numunesinde yumurta kabuğu tozunu nano bor tozu ile birleştirmede sertlik özelliğinin artışının ne derece olacağına dair çalışma yapılmıştır. Bu numunede endüstriyel kenevir yağı kullanılmamıştır. Matris oranı numuneye hiçbir bağlayıcılık özelliği katmamıştır. Numune hiçbir film yapısı oluşturamamıştır.

YB-2 numunesi: %68,7 SS + %0,22 PVA + %8,01 EA + %22,9 Y + %0,17 nano bor tozu

YB-2 numunesinde YB numunesinin filmleşmemesinin nano bor tozu katkısı ile ilişkisinin olup olmadığını belirlemek için bir çalışma düzenlenmiştir fakat bor oranının filmleşmeyle alakalı bir özelliğinin olmadığı gözlemlenmiştir.

DYBK numunesi: %70,52 SS + %7,04 PVA + %8,22 EA + %0,11 K + %7,04 D + %7,04 Y + %0,03 nano bor tozu

DYBK numunesinde endüstriyel kenevir yağı katkısı kullanılmıştır fakat elde edilen filmin kırılabilirliğinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

DBK numunesi: %80 + %4,77 PVA + %5,58 EA + %0,07 K + %9,56 D + %0,02 nano bor tozu

DBK numunesinde bir film yapısı oluşmuştur fakat oluşan film yapısı kırılmaya müsait olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.31. DBK numunesi

YBK numunesi: %80 SS + %4,77 PVA + %5,58 EA + %0,07 K + %9,56 Y + %0,02 nano bor tozu

YBK numunesinde film oluşmuştur fakat DYBK numunesine benzer şekilde yüksek kırılma özelliği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.32. YBK numunesi

3.8.4. Kalsiyum Karbonat İçeren Karışımlar

CK numunesi: %86,2 SS + %4,3 PVA + %6 EA + %0,1 K + %3,4 CaCO₃

CK numunesinde takviye malzemesi olarak CaCO₃ tozu kullanılmıştır. Yapıda filmleşme gözlemlenmemiştir. Bu durum karışmanın iyi olmamasından

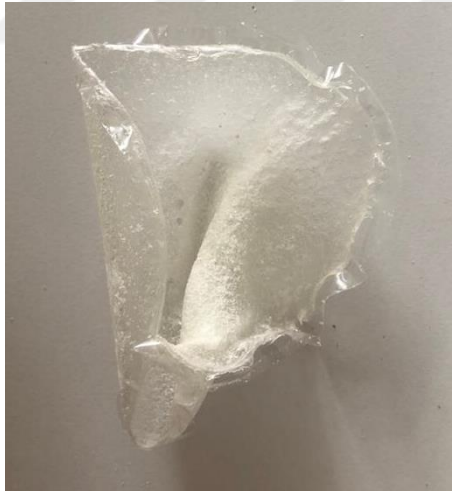
kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.33. CK numunesi

CK-2 numunesi: %88,3 SS + %4,4 PVA + %6,1 EA + %0,1 K + %1 CaCO₃

CK-2 numunesinde CaCO₃ oranı düşürülmüştür. Film benzeri bir yapı oluşmasına rağmen esneklik özellikleri çok düşüktür.



Şekil 3.34. CK-2 numunesi

CK-3 numunesi: %60 SS + %6 PVA + %3,9 EA + %0,1 K + %30 CaCO₃

CK-3 numunesinde CaCO₃ oranı oldukça yüksek tutulmuştur. Ürün kurutulmaya bırakıldıktan sonra CaCO₃ tozlarının yapıya karışmadığı gözlemlenmiştir. CaCO₃ tozunun yapıya karışabilmesi için oranının çok düşük tutulması gerekmektedir.



Şekil 3.35. CK-3 numunesi

CBK numunesi: %83,23 SS + %5,2 PVA + %7,28 EA + %0,1 K + %4,16 CaCO_3 + %0,03 nano bor tozu

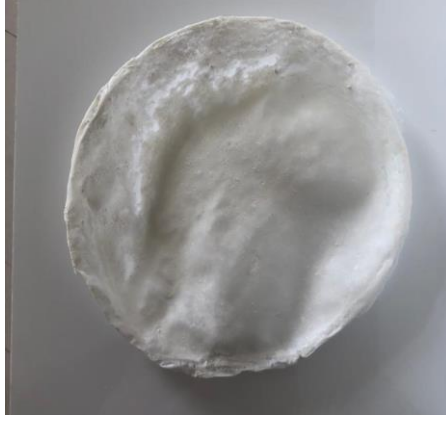
CBK numunesinde takviye malzemesi olarak CaCO_3 tozuna ek olarak nano bor tozu kullanılmıştır. Elde edilen yapıda homojen karışım gözlemlenememiştir.



Şekil 3.36. CBK numunesi

CK-4 numunesi: %57,2 SS + %3,5 PVA + %35,7 EA + %0,1 K + %3,5 CaCO_3

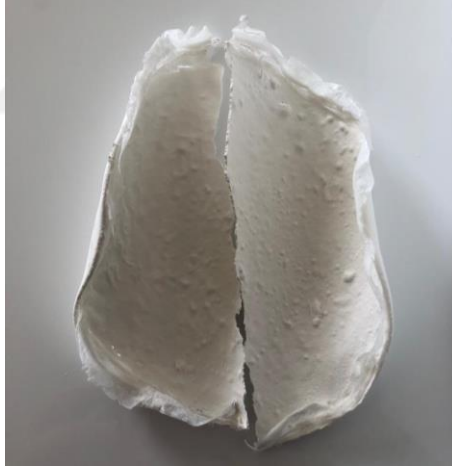
CK-4 numunesinde CaCO_3 tozunun sisteme homojen olarak karışması için yüksek oranda etil alkol takviyesi yapılmıştır. Etil alkol takviyesi CaCO_3 'ın yapıya homojen bir şekilde karışmasına yardımcı olmuştur fakat elde edilen ürünlerin esnekleri özellikleri çok düşüktür.



Şekil 3.37. CK-4 numunesi

CK-5 numunesi: %50 SS + %3,1 PVA + %34,7 EA + %0,1 K + %12,1 CaCO₃

CK-5 numunesinde CaCO₃ tozu oranı yüksektir. Bununla birlikte etil alkol oranı da artırılmıştır. Üretilen ürünlerde esneklik yapısı çok düşüktür. Ürüne el ile temas edildiğinde CaCO₃ tozlarının az miktarda ele bulaştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.38. CK-5 numunesi

CK-6 numunesi: %74 SS + %4,6 PVA + %19,4 EA + %0,1 K + %1,9 CaCO₃

CK-6 numunesinde CaCO₃ tozu oranı düşük tutulmuştur, etil alkol oranı yüksek tutulmuştur. Bu durumun sonucunda homojenliği az ince film yapısı elde edilmiştir.



Şekil 3.39. CK-6 numunesi

3.8.5. Nano Gümüş Tozu İçeren Karışımlar

G1 numunesi: %75 SS + %4,6 PVA + %3,7 G + %13 EA + %1,8 D + %1,8 Y + %0,1 K

G1 numunesinde esneklik özellikleri düşük film benzeri yapı elde edilmiştir. Numune biraz esnetildikten sonra kırılmıştır. Nano gümüş tozunun sertliği artırdığı düşünülmektedir.



Şekil 3.40. G1 numunesi

G2 numunesi: %75 SS + %4,6 PVA + %3,7 G + %13 EA + %3,6 D + %0,1 K

G2 numunesinde ince film yapısı elde edilmiştir. Bu durumun yapıya esneklik katan beyaz midye kabuğu tozundan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.41. G2 numunesi

G3 numunesi: %75 SS + %4,6 PVA + %3,7 G + %13 EA + %3,6 Y + %0,1 K

G3 numunesinde G1 numunesine benzer şekilde kırılma yapı elde edilmiştir. Bu durumun sebebinin yapıda esneklik özelliklerini düşüren yumurta kabuğu tozundan kaynaklı düşünülmektedir.



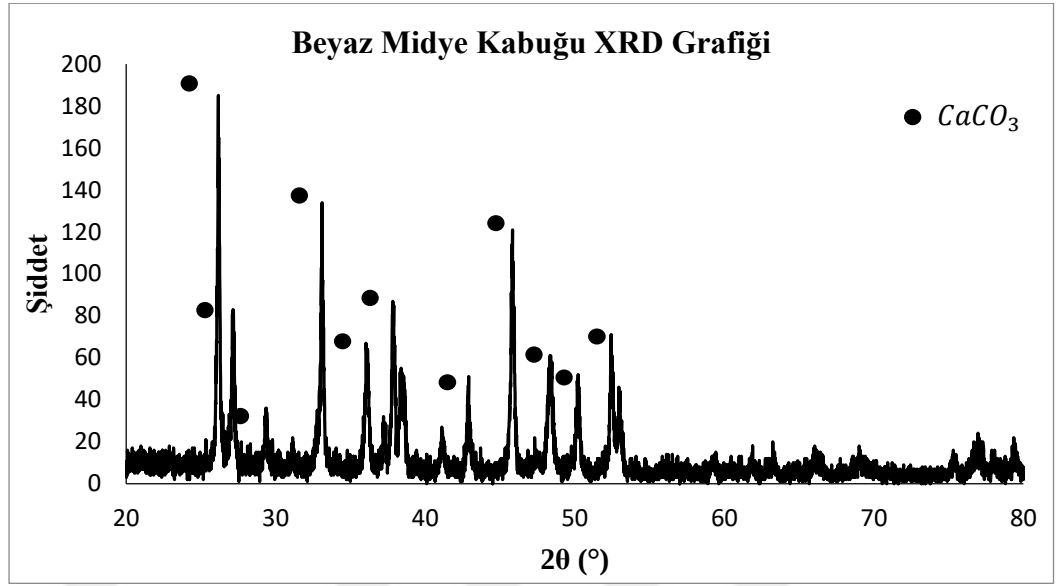
Şekil 3.42. G3 numunesi

3.9. Karakterizasyon Testleri

3.9.1. XRD

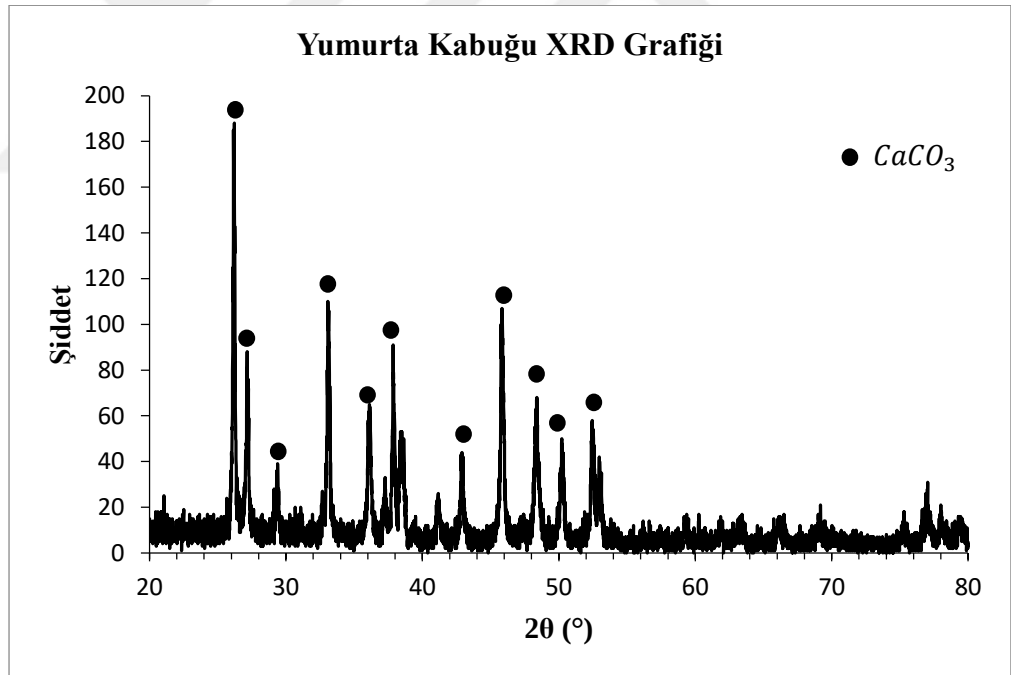
Ürünlere yapılarında bulunan fazların tespit edilmesi için Rigaku SmartLab XRD cihazı ile Ondokuz Mayıs Üniversitesi Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezi'nde X-ışını kırınımı (XRD) testi yapılmıştır.

3.9.1.1. Beyaz Midye Kabuğu XRD Test Sonucu



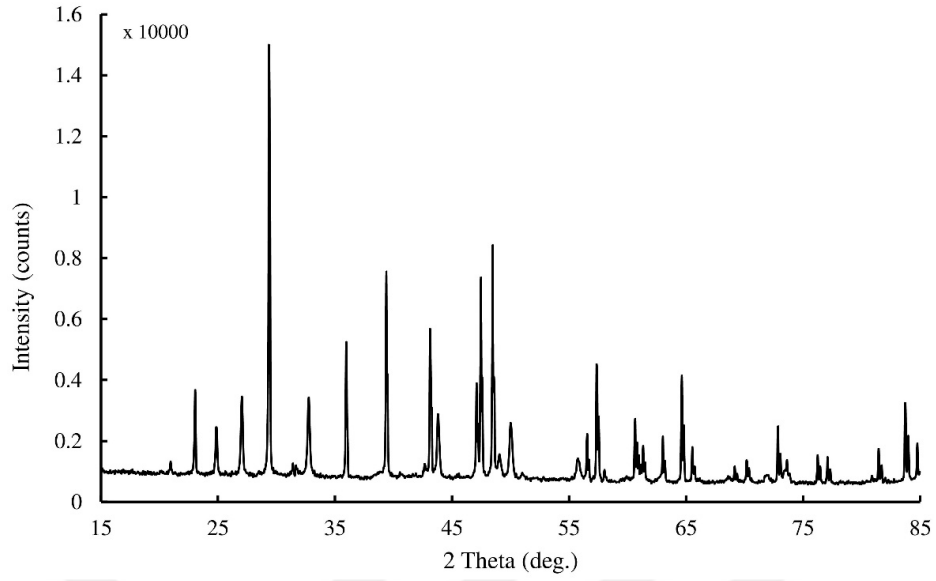
Şekil 3.43. Beyaz midye kabuğu tozu XRD grafiği

3.9.1.2. Yumurta kabuğu XRD Test Sonucu

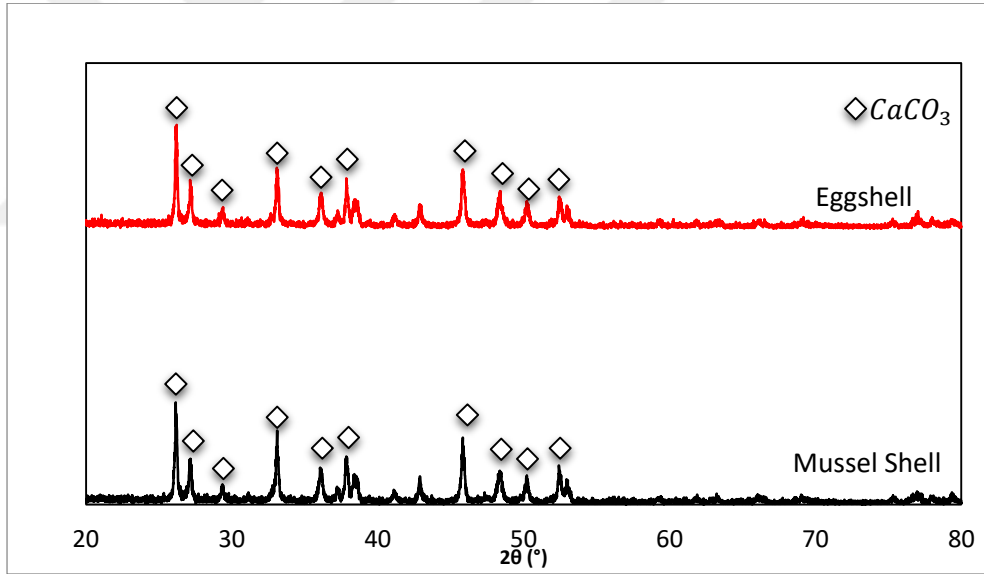


Şekil 3.44. Yumurta kabuğu tozu XRD grafiği

3.9.1.3. XRD Grafiklerinin Yorumlanması



Şekil 3.45. CaCO_3 'e ait XRD grafiği (Seifan vd., 2017)



Şekil 3.46. Beyaz midye kabuğu ve yumurta kabuğu tozu XRD grafikleri karşılaştırılması

Yumurta kabuğu tozu ve beyaz midye kabuğu tozuna yapılan XRD deneyi sonucunda elde edilen grafiklerin kıyaslaması Şekil 3.46 'da görülmektedir. Her iki malzemenin de XRD grafikleri oldukça benzerdir. Ayrıca CaCO_3 'a ait bir XRD grafiği ile kıyaslandığı zaman yumurta kabuğu tozu ve beyaz midye kabuğu tozunun grafiklerinin çok benzer oldukları görülmektedir.

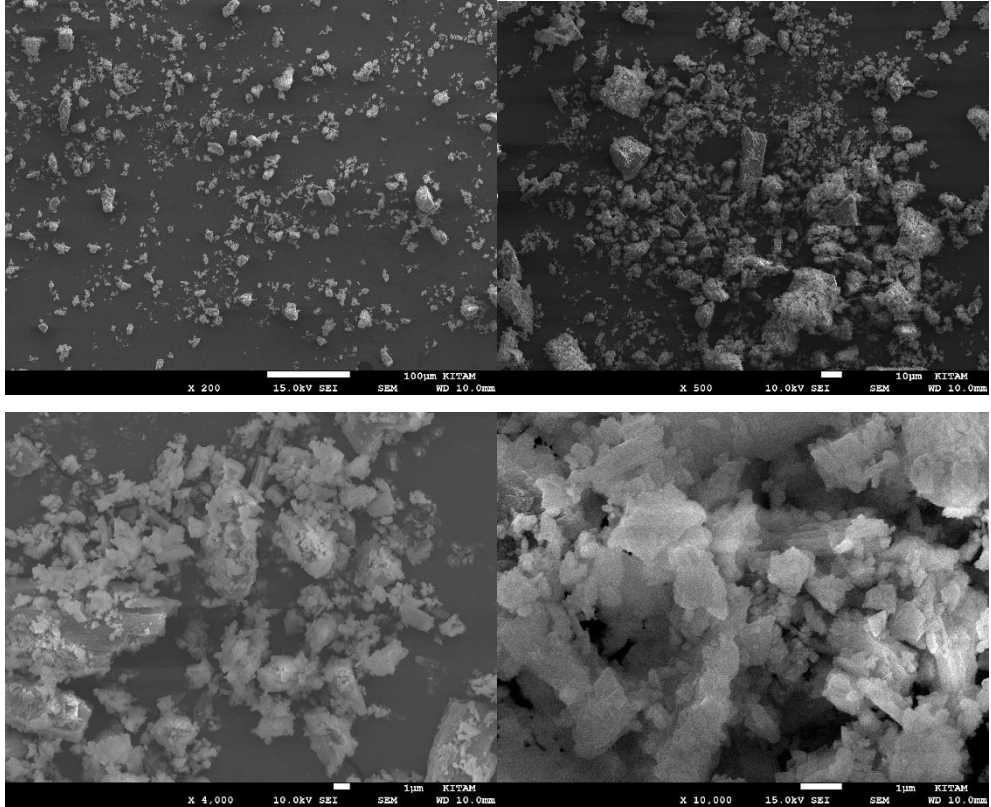
3.9.2. SEM ve EDS

Ürünlerin mikro yapılarını incelemek için Ondokuz Mayıs Üniversitesi Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezi'nde JEOL JSM-7001 F model taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.



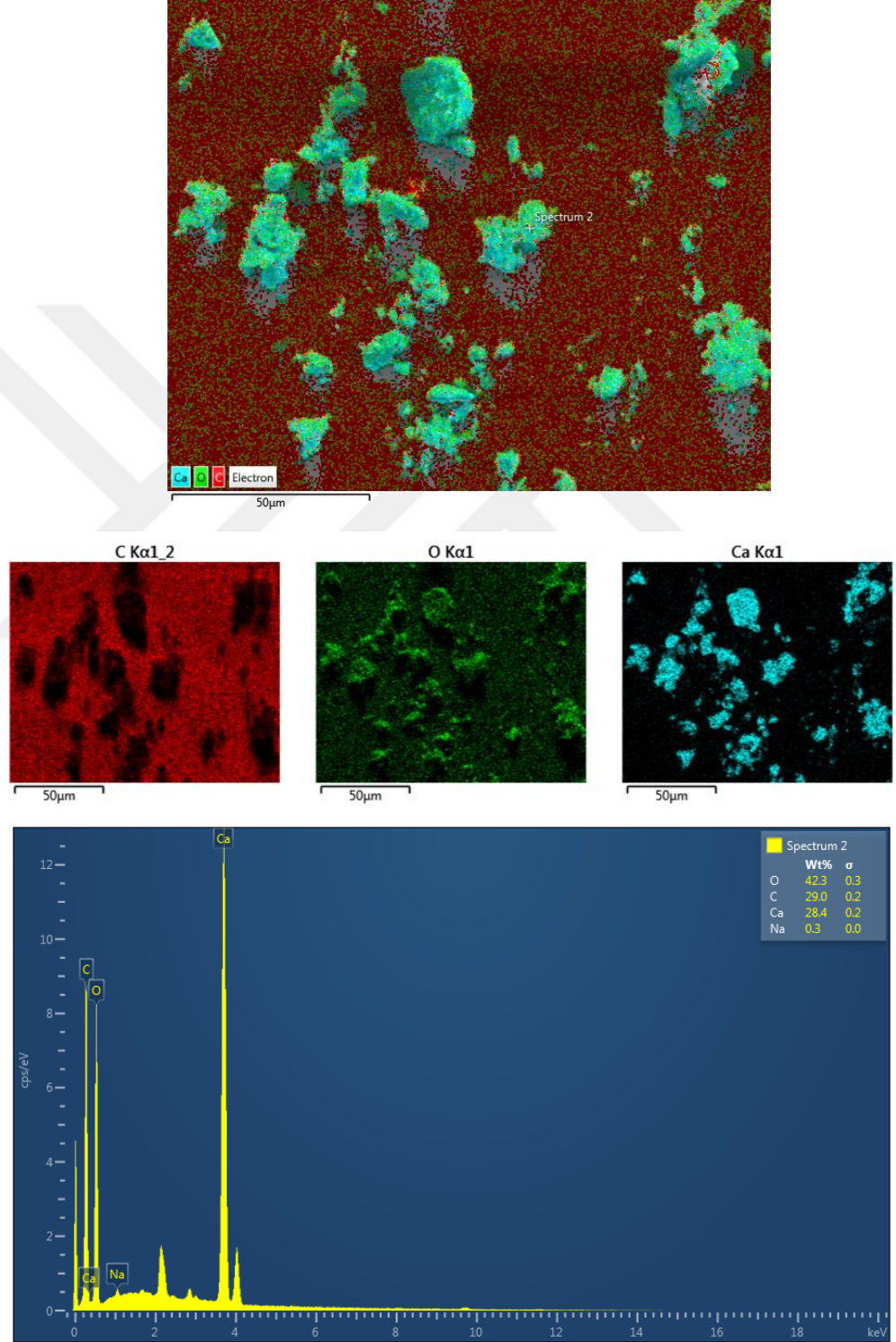
Şekil 3.47. SEM cihazı

3.9.2.1. Beyaz Kabuğu SEM ve EDS Testi Sonucu



Şekil 3.48. Beyaz midye kabuğu tozu SEM analizi

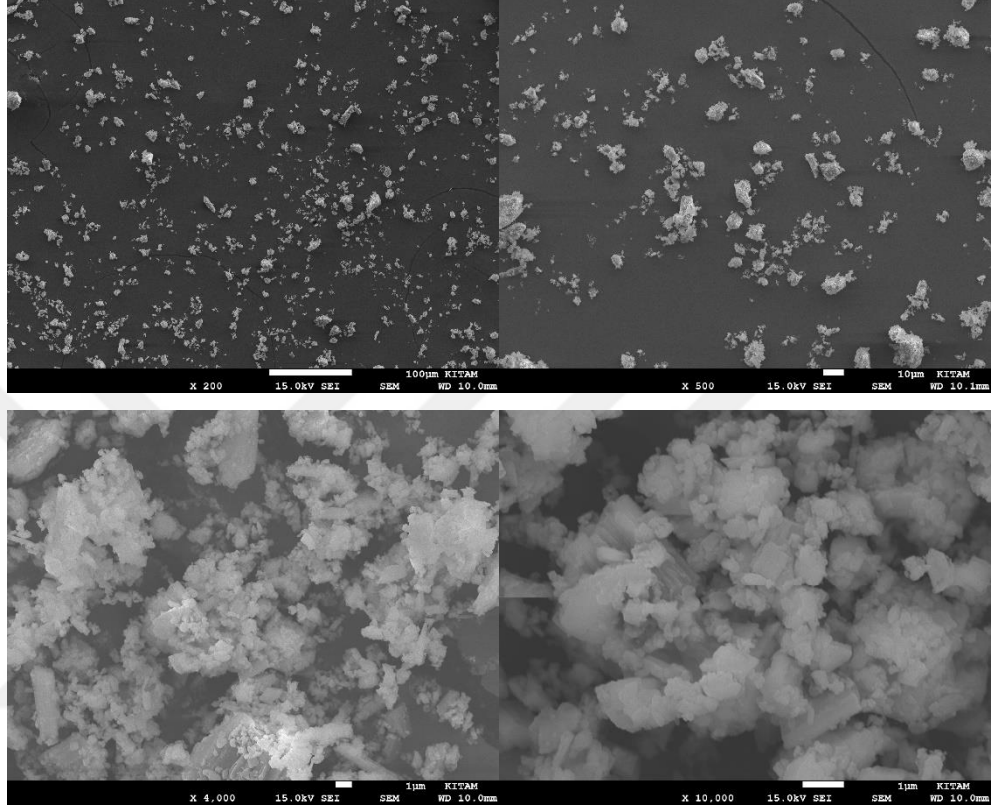
Beyaz midye kabuğuna ait SEM görüntüleri Şekil 3.48.'de yer almaktadır. Görüntüler incelendiğinde açık renkli kristal ve farklı tane boyutuna sahip yapılar görülmektedir. Bu yapılar EDS analizi sonuçları ile karşılaştırıldığında C elementinin varlığını göstermektedir.



Şekil 3.49. Beyaz midye kabuğu tozu EDS analizi

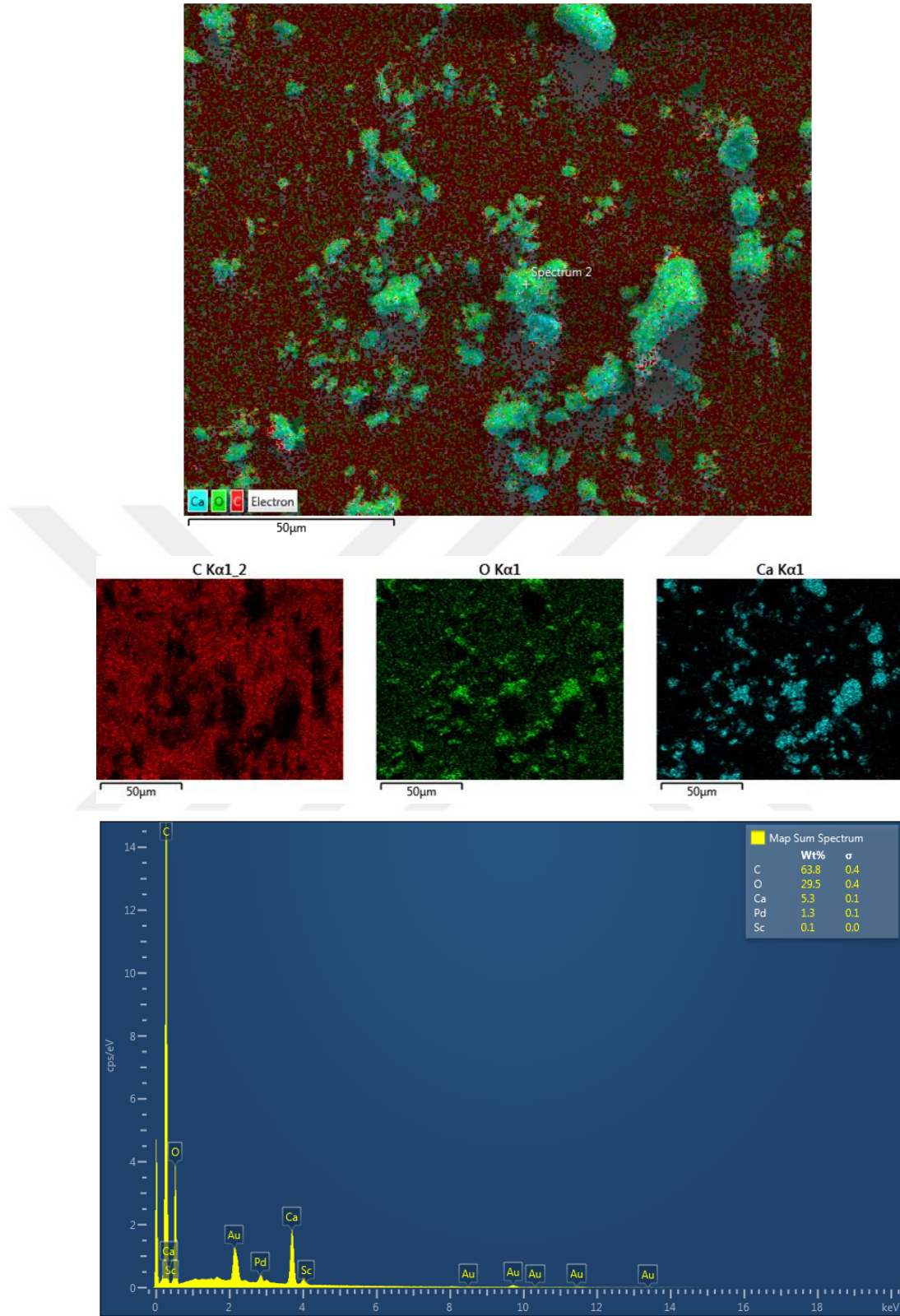
Beyaz midye kabuğuna ait EDS analizinde Ca elementinin oranı çok yüksektir. Bu durum öğütülmeden önce beyaz midye kabuğunun sertliğini açıklamaktadır. Ca elementinin varlığı yapıdaki CaCO_3 bileşiği içeriğini gösterebilir.

3.9.2.2. Yumurta Kabuğu SEM ve EDS Testi Sonucu



Şekil 3.50. Yumurta kabuğu tozu SEM analizi

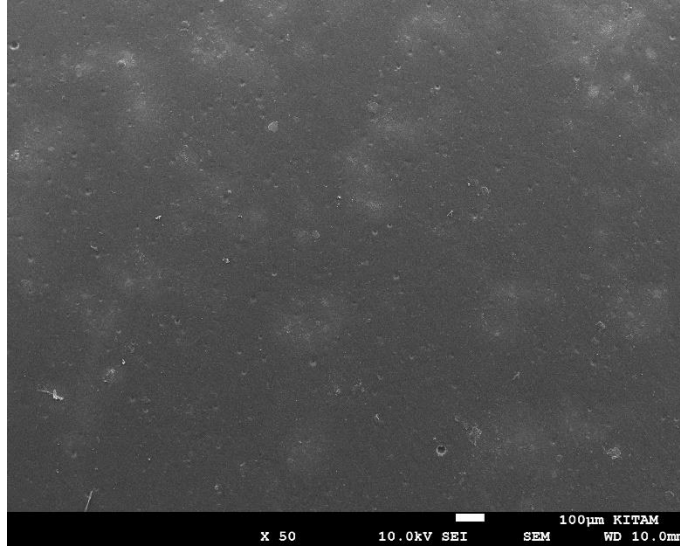
Yumurta kabuğunda beyaz midye kabuğuna benzer kristal yapılar bulunmaktadır. EDS analizi sonuçlarından yararlanıldığı zaman bu yapılar Ca elementinin varlığını göstermektedir.



Şekil 3.51. Yumurta kabuğu tozu EDS analizi

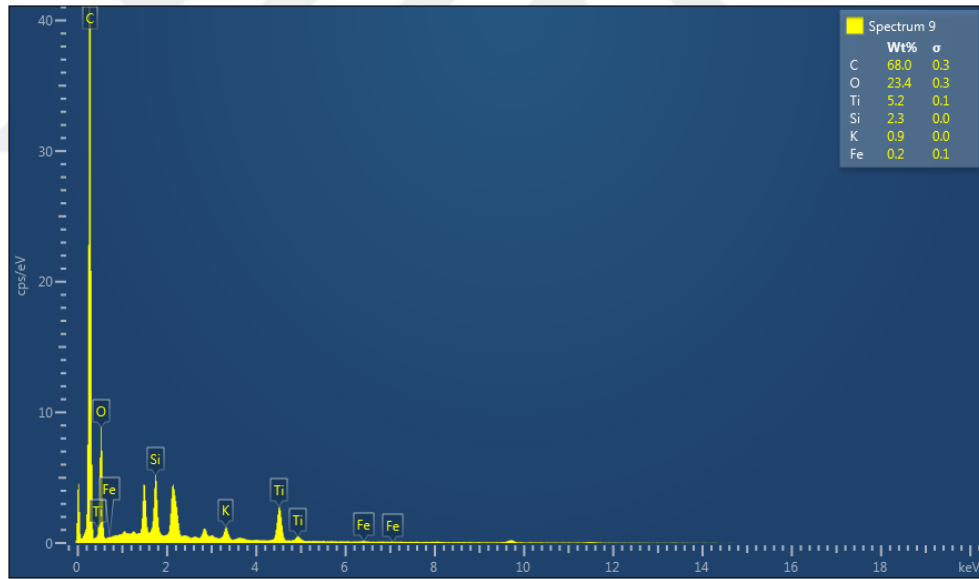
Yumurta kabuğuna ait olan EDS analizinden alınan sonuçlarda Ca elementi oranı beyaz midye kabuğuna göre nispeten daha azdır. Yine Ca elementinin varlığı yapıdaki CaCO_3 bileşiği içeriğini gösterebilir.

3.9.2.3. Poli (vinil) Alkol SEM Testi Sonuçları



Şekil 3.52. Poli (vinil) alkol SEM analizi

Şekil 3.52.'de saf halde ince film olarak dökülmüş PVA'nın SEM görüntüsü yer almaktadır.

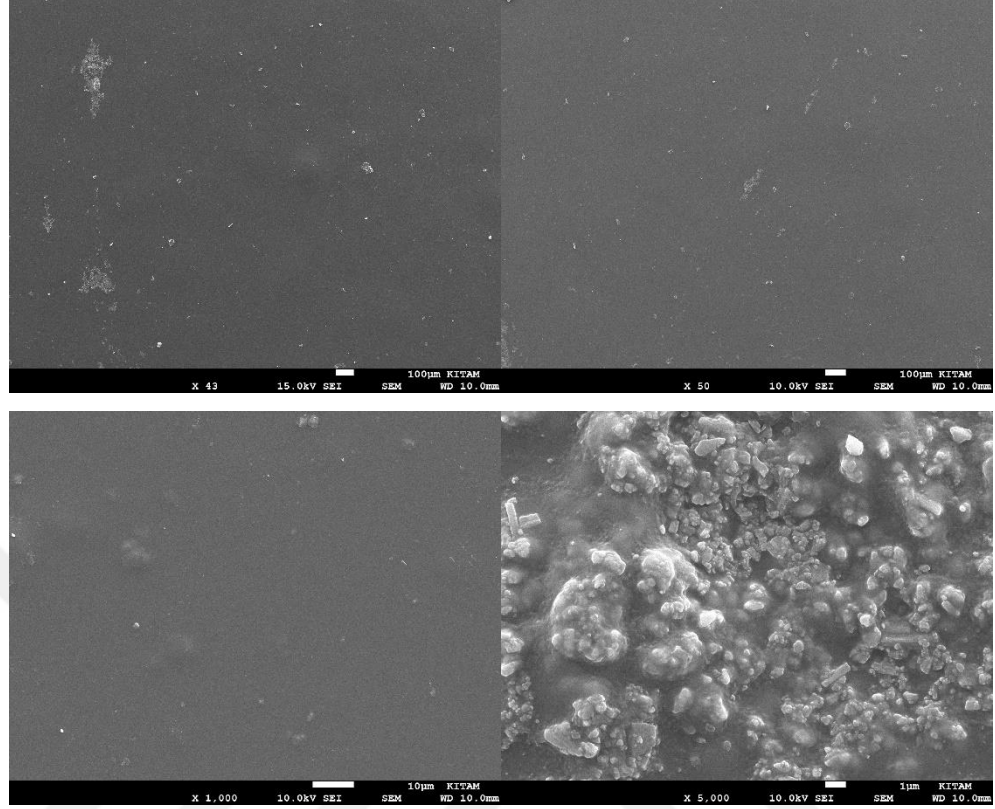


Şekil 3.53. Poli (vinil) alkol EDS analizi

Saf halde ince film olarak dökülmüş PVA'ya ait EDS analizinde C elementinin ve O elementinin varlığı polimer yapısını göstermektedir. PVA polimerinin ince film olarak hazırlanması aşamasında yapı saf su ile çözündürülmüştür. Döküm sonra filmleşme için saf su etüv içerisinde buharlaştırılmıştır. Yapı yalnızca PVA'dan oluşmaktadır.

3.9.2.4. Numunelere Yapılan SEM Testi Sonuçları

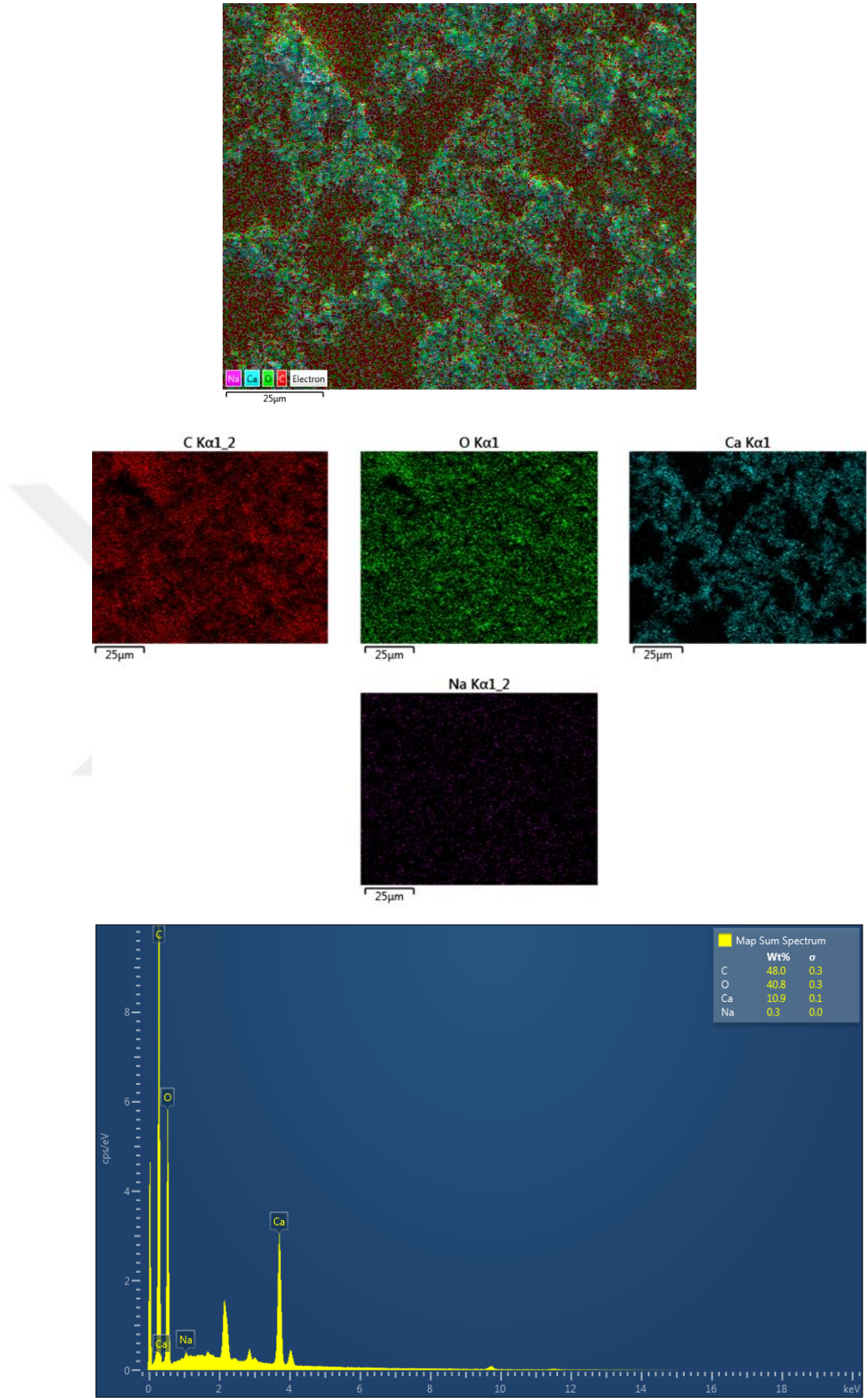
BUS numunesi;



Şekil 3.54. BUS numunesi SEM analizi

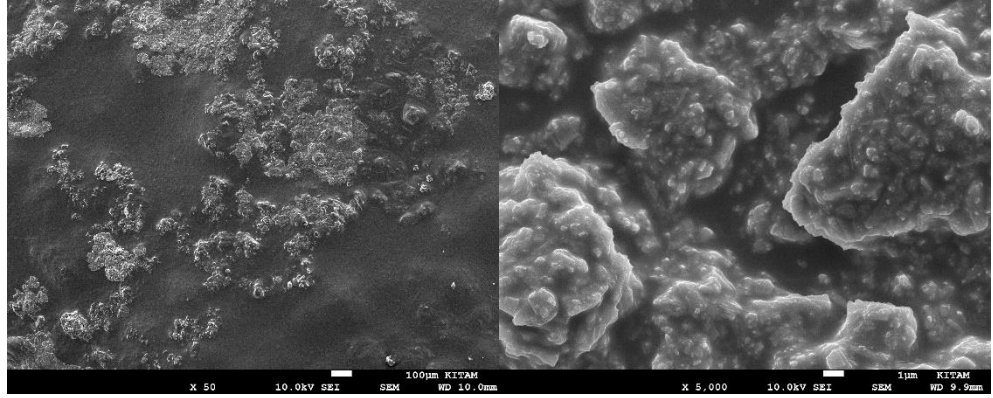
Görselde katkı malzemesi matris malzemesinin %100'üne yakın olan ve endüstriyel kenevir yağı içeren BUS numunesine ait SEM analizi sonuçları yer almaktadır. Katkı malzemeleri beyaz midye kabuğu ve yumurta kabuğu karışımından oluşmaktadır. Kristal yapılu beyaz midye kabuğu tozları ve yumurta kabuğu tozları arasında birleşme gözlemlenmiştir. PVA polimeri ile beyaz midye kabuğu tozu ve yumurta kabuğu tozu karışımı arasında da bir birleşme gözlemlenmiştir. Bu görsellere istinaden endüstriyel kenevir yağı bağlayıcı olarak işlevini yerine getirmiştir.

BUS numunesine ait EDS analizi sonucunda C, O ve Ca elementlerinin yanı sıra Na elementinin varlığı da tespit edilmiştir. Na elementinin Endüstriyel kenevir yağının sahip olduğu protein içeriği ile ilgili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.55. BUS numunesi EDS analizi

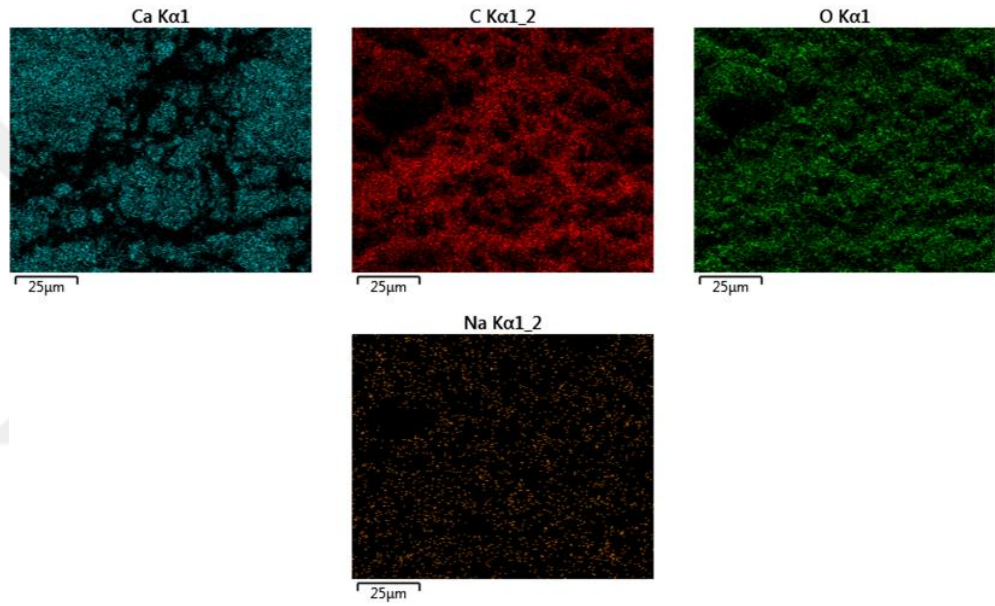
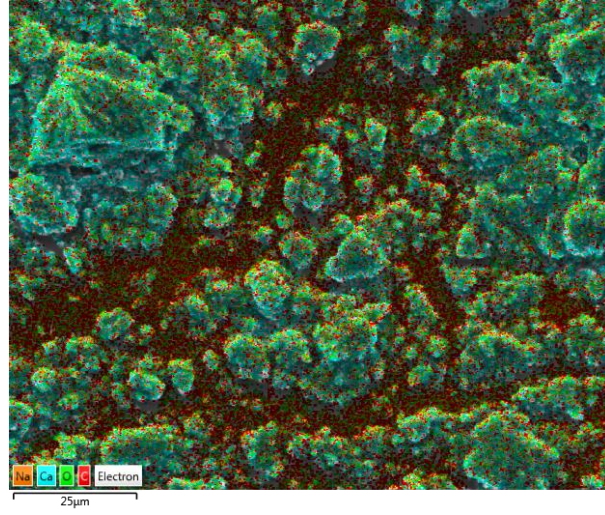
BUS-2 numunesi;



Şekil 3.56. BUS-2 numunesi SEM analizi

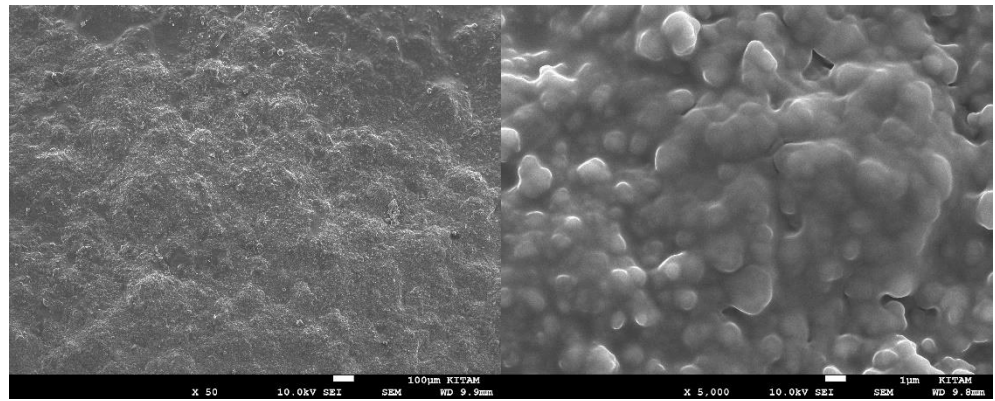
Görselde katkı malzemesi matris malzemesinin %100'üne yakın olan ve endüstriyel kenevir yağı içeren BUS-2 numunesine ait SEM analizi sonuçları yer almaktadır. Katkı malzemesi beyaz midye kabuğundan oluşmaktadır. BUS numunesine benzer şekilde kristal yapıya beyaz midye kabuğu tozları arasında birleşme gözlemlenmiştir. PVA polimeri ile beyaz midye kabuğu tozları arasında da bir birleşme gözlemlenmiştir. Endüstriyel kenevir yağının bağlayıcılık özellikleri gözlemlenmiştir.

BUS-2 numunesi için de BUS numunesi ile benzer olarak C, O, Ca ve Na elementlerinin varlığı gözlemlenmiştir. Na elementinin varlığının Endüstriyel kenevir yağının sahip olduğu protein içeriği ile ilgili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.57. BUS-2 numunesi EDS analizi

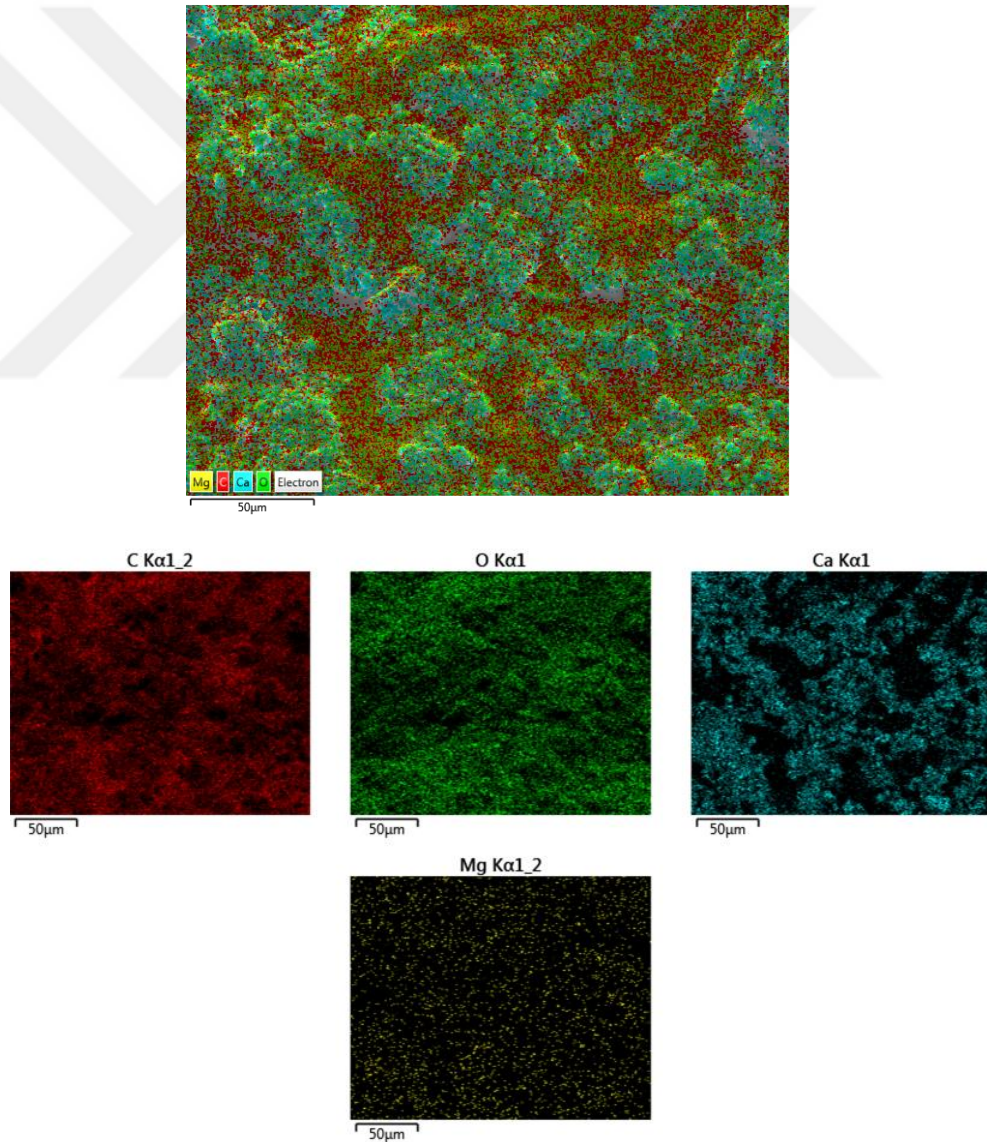
BUS-3 numunesi;



Şekil 3.58. BUS-3 numunesi SEM analizi

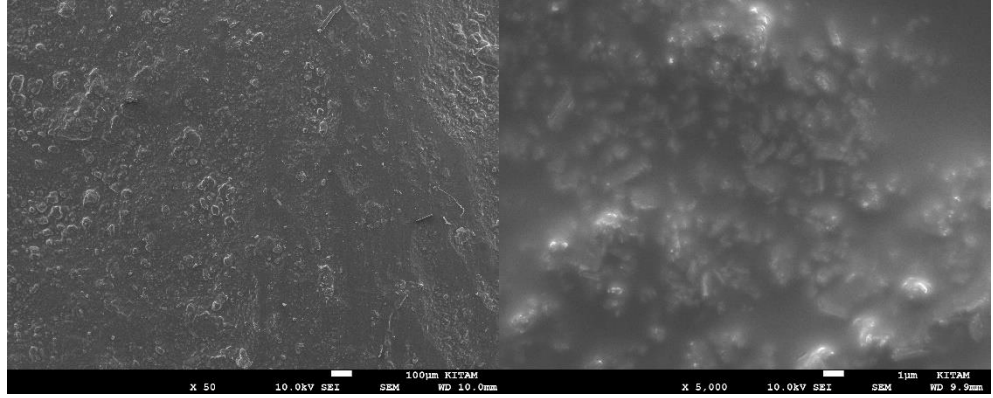
Görselde katkı malzemesi matris malzemesinin %100'üne yakın olan ve endüstriyel kenevir yağı içeren BUS-3 numunesine ait SEM analizi sonuçları yer almaktadır. Katkı malzemesi yumurta kabuğundan oluşmaktadır. BUS ve BUS-2 numunesine kıyasla PVA ve endüstriyel kenevir yağı içerisinde hapsolma oranı daha fazladır. Yine benzer şekilde kristal yapılu yumurta kabuğu tozları arasında birleşme gözlemlenmiştir. Endüstriyel kenevir yağının bağlayıcılık özellikleri gözlemlenmiştir.

BUS-3 numunesinin EDS analizi sonuçlarında BUS ve BUS-2 numunesinden farklı olarak Na elementi yerine Mg elementi görülmüştür. Mg elementinin varlığının yine endüstriyel kenevir yağının içindeki proteinle ilgili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.59. BUS-3 numunesi EDS analizi

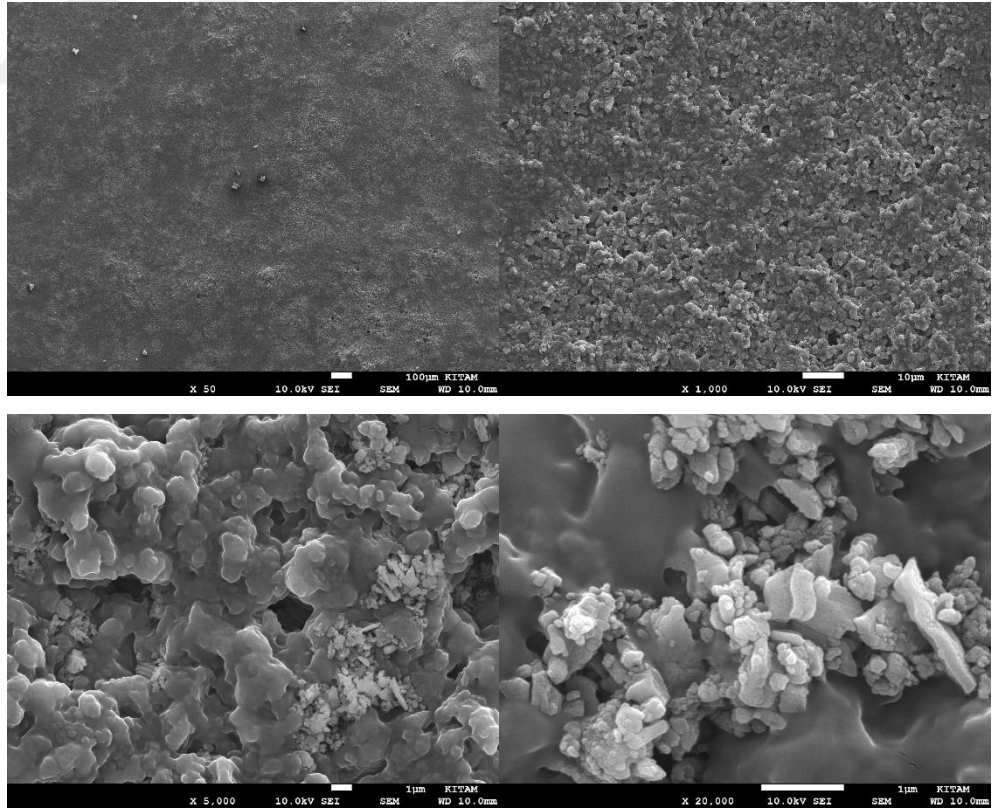
DYK-3 numunesi;



Şekil 3.60. DYK-3 numunesi SEM analizi

DYK-3 numunesi takviye malzemesi oranı polimer oranın %50'sinin altında olan bir üründür ve endüstriyel kenevir yağı içermektedir. Ürünün katkı malzemeleri beyaz midye kabuğu tozu ve yumurta kabuğu tozu karışımıdır. Ürüne ait SEM analizi sonuçları incelendiğinde yoğun polimer oranının katkı malzemelerinin hapsedme oranının fazla olduğu gözlemlenmiştir.

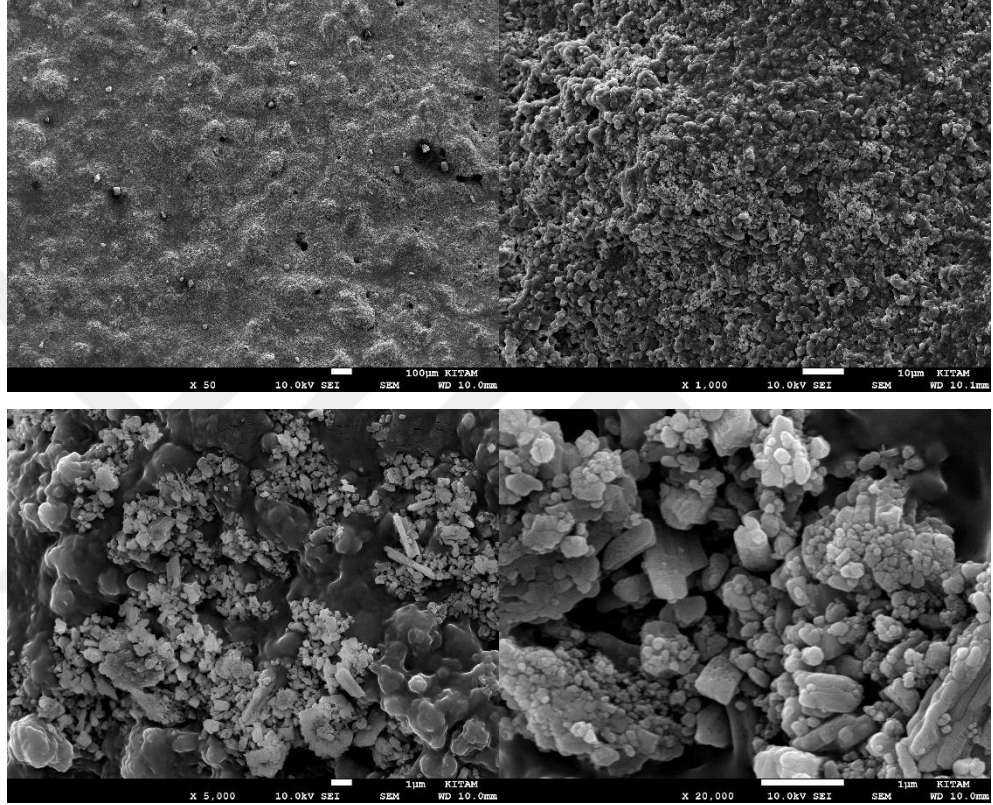
D-2 numunesi;



Şekil 3.61. D-2 numunesi SEM analizi

Görselde D-2 numunesine ait SEM analizi sonuçları yer almaktadır. Ürün kenevir yağı içermemektedir. Takviye malzemesi oranı polimer oranının %50'sinin altındadır. Takviye malzemesi olarak beyaz midye kabuğu tozu kullanılmıştır. Takviye malzemesi ile polimer arasında bağlanma meydana gelmemiştir. Bu durumun bağlayıcı olarak kullanılan endüstriyel kenevir yağının kullanılmamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

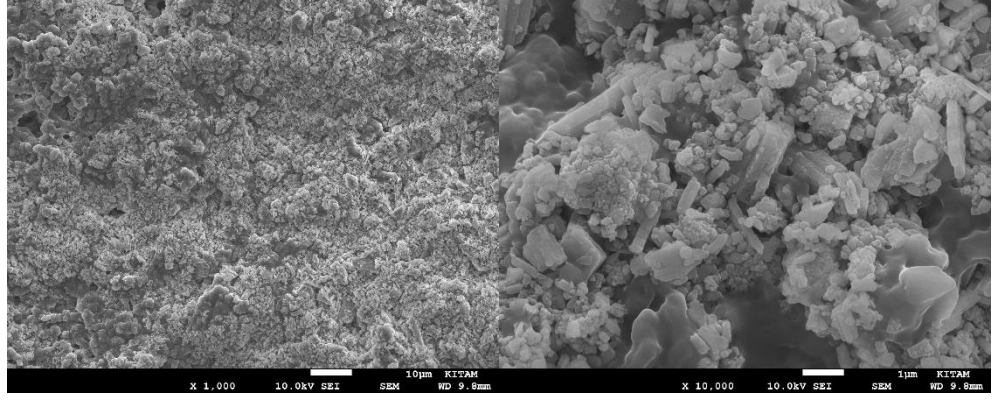
Y-2 numunesi;



Şekil 3.62. Y-2 numunesi SEM analizi

Görselde Y-2 numunesine ait SEM analizi sonuçları yer almaktadır. Ürün kenevir yağı içermemektedir. Takviye malzemesi oranı polimer oranının %50'sinin altındadır. Takviye malzemesi olarak yumurta kabuğu tozu kullanılmıştır. D-2 numunesine benzer olarak takviye malzemesi ile polimer arasında bağlanma meydana gelmemiştir. Bu durumun bağlayıcı olarak kullanılan endüstriyel kenevir yağının kullanılmamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

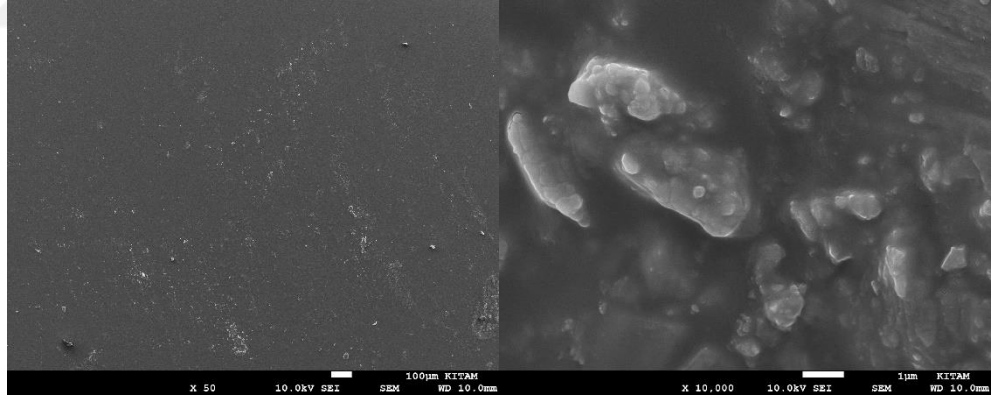
DY-2 numunesi;



Şekil 3.63. DY-2 numunesi SEM analizi

Görselde DY-2 numunesine ait SEM analizi sonuçları yer almaktadır. Ürün kenevir yağı içermemektedir. Takviye malzemesi oranı polimer oranının %50'sinin altındadır. Takviye malzemesi olarak beyaz midye kabuğu tozu ve yumurta kabuğu tozu birlikte kullanılmıştır. D-2 ve Y-2 numunelerinde de görüldüğü gibi takviye malzemesi ile polimer arasında bağlanma meydana gelmemiştir. Bu durumun bağlayıcı olarak kullanılan endüstriyel kenevir yağının kullanılmamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

DYBK numunesi;

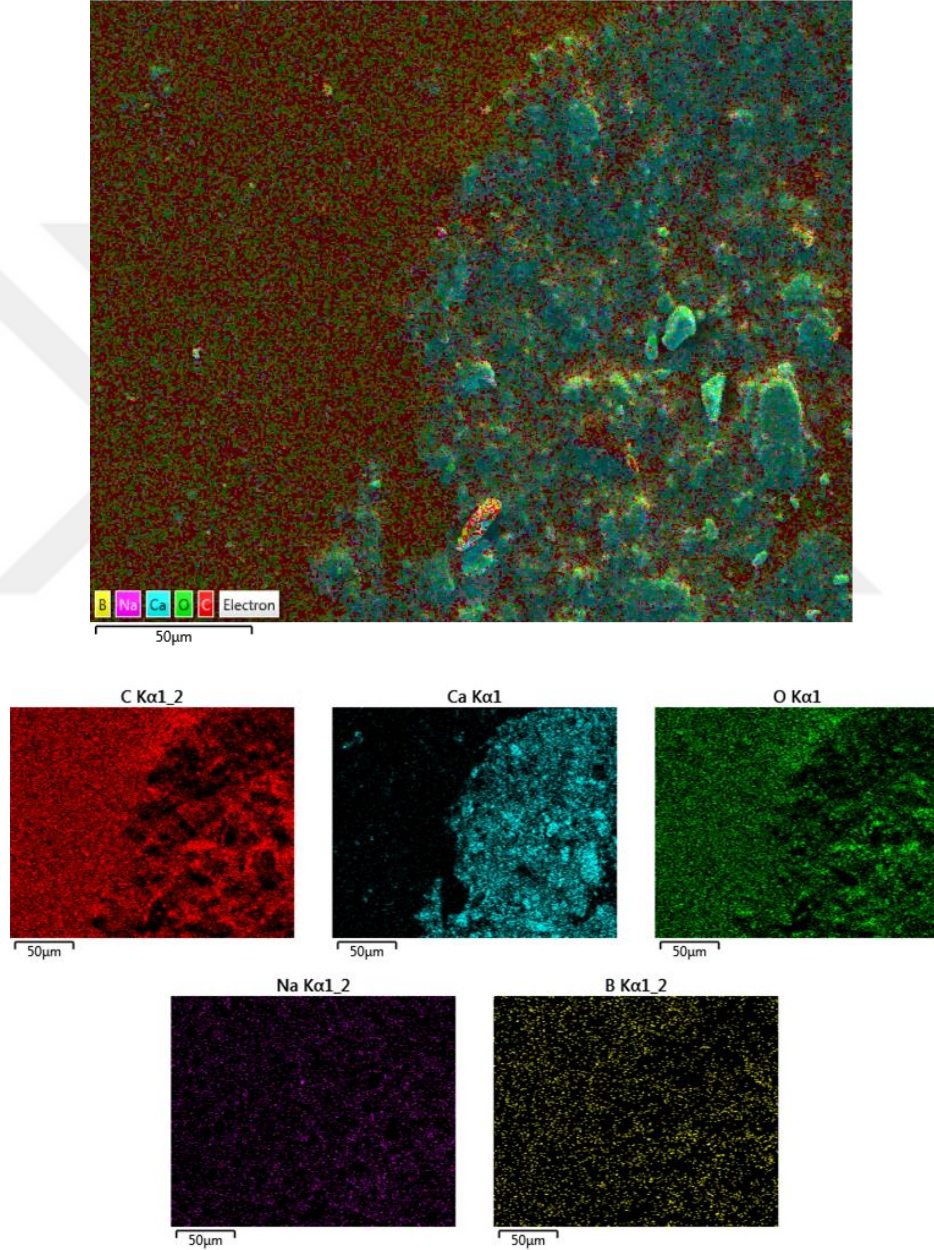


Şekil 3.64. DYBK numunesi SEM analizi

Görselde DYBK numunesine ait SEM analizi sonuçları yer almaktadır. Ürün kenevir yağı içermektedir. Takviye malzemesi oranı polimer oranının %100'ünün üstündedir. Takviye malzemesi olarak beyaz midye kabuğu tozu ve yumurta kabuğu tozu kullanılmıştır. Bağlayıcı ve takviye malzemesine ek olarak çok düşük seviyede nano bor tozu ilave edilmiştir. Takviye malzemesi ile polimer arasında bağlanma meydana gelmemiştir. Bu durumun bağlayıcı olarak kullanılan endüstriyel kenevir yağının kullanılmamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Takviye malzemesi

oranı %100'ün üzerinde olan diğer denemelere istinaden nano bor tozu içeren DYBK numunesinde film yapısı elde edilmiştir. Diğer numunelerde ise istenilen yapı elde edilememiştir. Bu durum nano bor tozunun bir etkisi olabilir.

Şekil 3.65'de DYBK numunesine ait EDS analizinin sonucu yer almaktadır. Bor elementinin görseline istinaden nano bor tozu karışım içerisinde homojen olarak dağılmıştır.



Şekil 3.65. DYBK numunesi EDS analizi

3.9.3. DSC

DSC testi Ondokuz Mayıs Üniversitesi Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezi'nde TA Instruments DSC Q2000 cihazı ile yapılmıştır. DSC verileri 25°C ile 200°C arasında 20°C/dk ısıtma hızında ölçülmüştür.

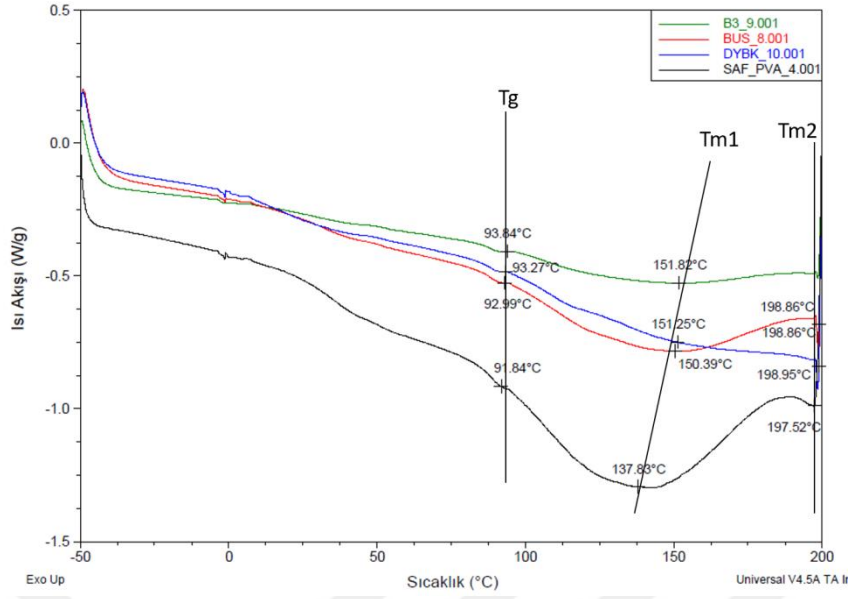
PVA, hem camısı geçiş sıcaklığı T_g (amorfların karakteristiğı) hem de erime izotermi T_m (kristal fazın karakteristiğı) sergileyen kısmen kristal polimerlerden biridir.

Polimerler kristal ve amorf fazların bir arada bulunabildiğı yapılarıdır. PVA polimeri yarı kristal bir polimerdir. Bu sebeple hem camısı geçiş sıcaklığına(T_g) hem de erime sıcaklığına (T_m) sahiptir. (Agrawal vd., 2004)

Hazırlanan numuneler arasından B-3, BUS ve DYBK numunelerine DSC testi yapılmıştır. Referans numune olarak Saf PVA kullanılmıştır. Şekil 3.66 Da DSC testi sonuçları gösterilmektedir. Camısı geçiş sıcaklığının saf PVA ve diğler çözeltilerde benzer olduğı gözlemlenmiştir. Numunelerin ilk erime sıcaklıkları Saf PVA'ya göre yüksek çıkmıştır. Numunelerin son erime sıcaklıkları ise Saf PVA ile benzer sıcaklıktadır. Ürünlerin DSC diyagramlarında tek bir camısı geçiş sıcaklığı gözlemlenmiştir. Tek bir camısı geçiş sıcaklığının var olması karışımlardaki karışabilirliğin var olduğunu göstermektedir. (Tuna, 2021)

Numunelerin ilk erime sıcaklıklarının Saf PVA'ya göre kaymış olması durumu polimer ve diğler bileşenlerin etkileşiminden kaynaklıdır. Karışım numunelerin tamamında ilk erime sıcaklığı ve son erime sıcaklığı arasındaki fark hemen hemen aynıdır. Saf PVA'da ise bu fark daha fazladır. (Sudhamani vd., 2003). Değerler Tablo 3.1 'de gösterilmiştir.

Numunelerin içerdikleri katkıları sayesinde numunelerin kristaliteleri artmıştır. Bu durum erime noktasını yükselten bir sonuç oluşturmaktadır. Numunelerde artan kristallik oranının fazla olması kırılğanlığı da arttırır. B-3 numunesi ve DYBK numunesi kırılğanlıkları yüksek numunelerdir. BUS numunesinin esneklik özelliğı diğler karışım numunelerine göre daha iyidir. DSC diyagramlarında görünen erime sıcaklığı pikelerinin kırılğanlık ile ilgili olduğı düşünülmektedir. Bu durum yeni bir araştırma konusu olarak çalışmalara yön verebilir. (Lewandowska, 2009)



Şekil 3.66. Ürünlerin DSC grafikleri

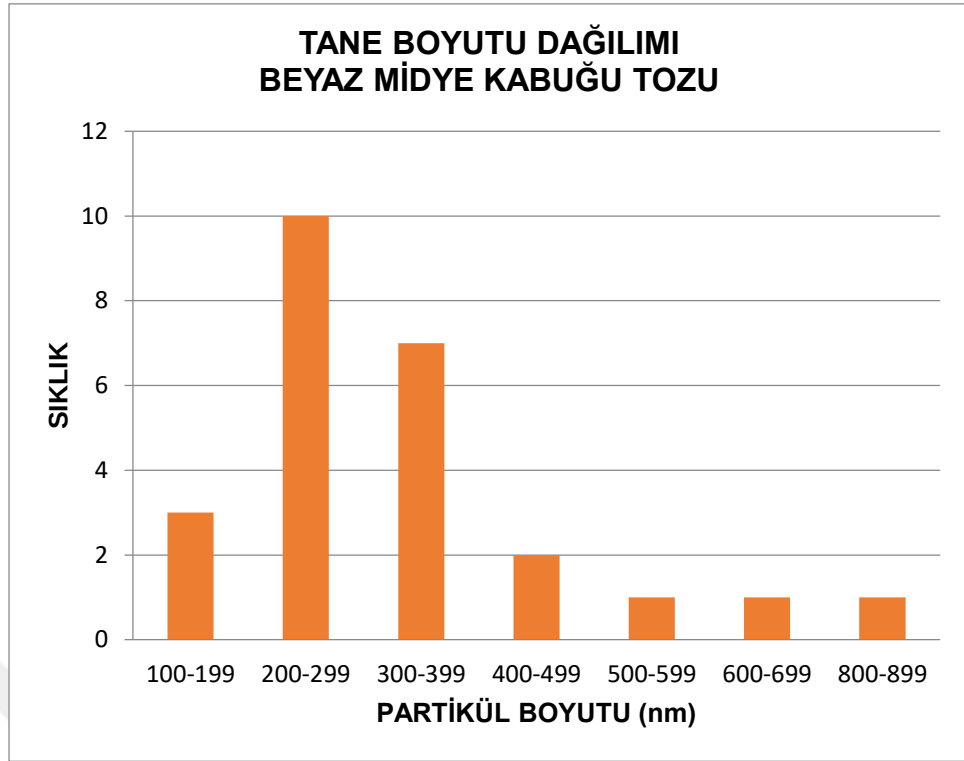
Numune	Tg(°C)	Tm1(°C)	Tm2(°C)	Tm2-Tm1(°C)
SAF_PVA_4.001	91,84	137,83	197,52	59,69
BUS_8.001	92,99	150,39	198,86	48,47
B3_9.001	93,84	151,82	198,86	47,04
DYBK_10.001	93,27	151,25	198,95	47,7

Tablo 3.1. Ürünlerin sıcaklık karşılaştırmaları

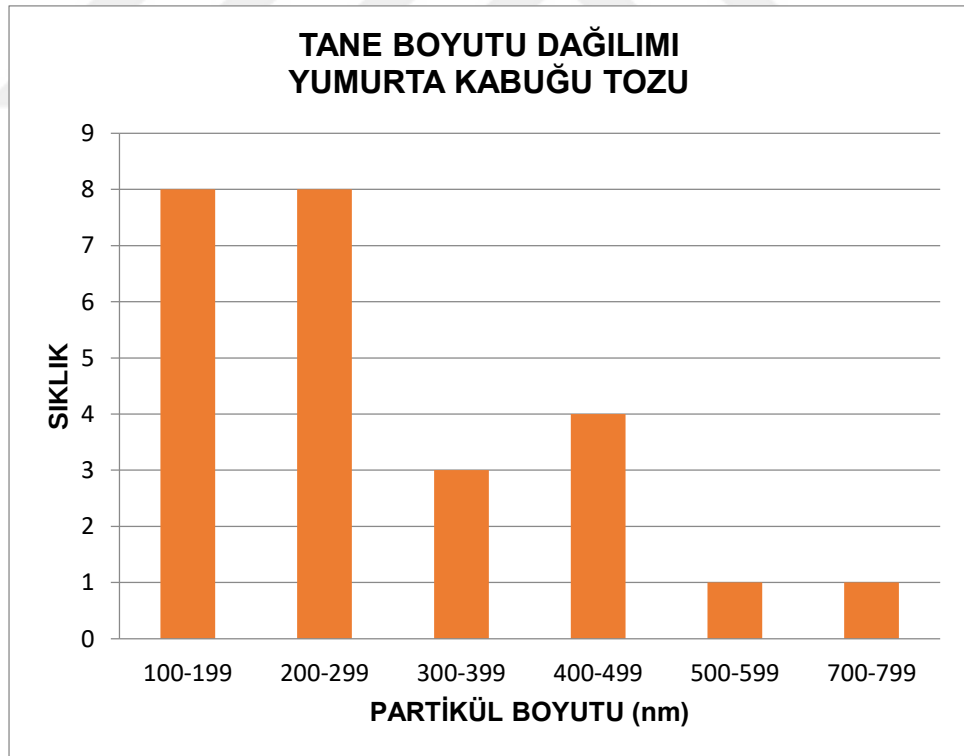
3.9.4. Tane Boyutu Analizi

Beyaz midye kabuğu tozu ve yumurta kabuğu tozu için tane boyutu analizi yapılmıştır. Tanelere yapılan analiz sonucunda tanelerin tane boyutlarının sıklık değerleri ve ortalama tane boyutu bulunmuştur.

Beyaz midye kabuğu tozunun ortalama tane boyutu 341 nm olarak bulunmuştur. Yumurta kabuğu tozunun ortalama tane boyutu 294 nm olarak bulunmuştur. Elde edilen veriler doğrultusunda tane boyutlarının dağılımlarına ait grafikler çizilmiştir. Bu grafiklerden edinilen bilgilere göre yumurta kabuğu tozunda tane boyutu dağılımı aralığı 100-500 nm arasında dağılan bir yayılım gösterirken beyaz midye kabuğu tozunda bu aralık 200-400 nm arasındadır.



Şekil 3.67. Beyaz mide kabuğu tozuna ait tane boyutu dağılımı grafiği



Şekil 3.68. Yumurta kabuğu tozuna ait tane boyutu dağılımı grafiği

3.9.5. Shore A Sertlik Testi

Ürünlere yapılan Shore-A sertlik testinde numune kalınlıkları yaklaşık 1 mm

kalınlığındadır. Ürünlerden alınan 1 cm X 1 cm boyutundaki numunelerin 5 farklı noktasından değerler alınmıştır. Alınan değerlerin ortalaması alınarak bir ortalama değer grafiği hazırlanmıştır.

B numunesinde görülen yüksek sertlik değerinin numunenin homojen olmamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Tozların homojen dağılmamasının bir sonucu olarak yer yer topaklanmalar olmuştur ve bu bölgelerde sertlik oranı daha fazla çıkmıştır.

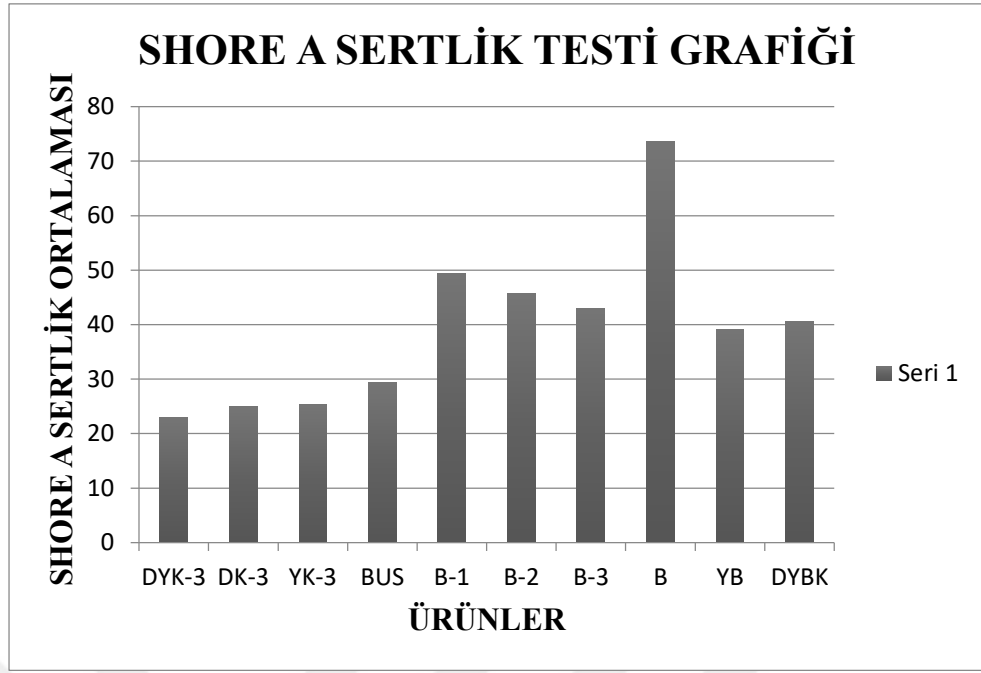
DYBK numunesi nano bor tozu içermektedir. Fakat bu içerik sertlik artışına neden olmamıştır. YB numunesi içeriğinde beyaz midye kabuğu tozu bulunmamaktadır. Yumurta kabuğu tozu bulunmaktadır. Endüstriyel kenevir yağı takviyesi de yoktur. Yapıda filmleşme gözlemlenmemiştir. DYBK numunesine göre daha yakın bir sertlik ortalaması göstermektedir. Nano bor tozu yapıda sertlik artışı sağlamamıştır.

B-1, B-2 ve B-3 numuneleri filmleşme göstermeyen yapılardır. İçerdikleri endüstriyel kenevir yağı oranları düşüktür. Sertlik ortalamaları da birbirlerine yakındır. Sertlik değerlerinin içerdikleri katkının fazla olmasında kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

DYK-3, DK-3, ve YK-3 numunelerinde takviye malzemesi oranı düşüktür ve endüstriyel kenevir yağı içeren numunelerdir. Toz katkısının az olması sebebiyle sertlik ortalamaları birbirlerine yakındır.

BUS numunesi homojen dağılım göstermiş ve en iyi film yapısının olduğu numunedir. Bununla birlikte en iyi esneklik özelliklerini gösteren numunedir. Yapısında matris malzemesinin %100'üne yakın takviye malzemesi bulunmasına rağmen yapısında takviye malzemesi matris malzemesinin %50'sinden az takviye içeren numuneler ile benzer sertlik ortalamasına sahiptir.

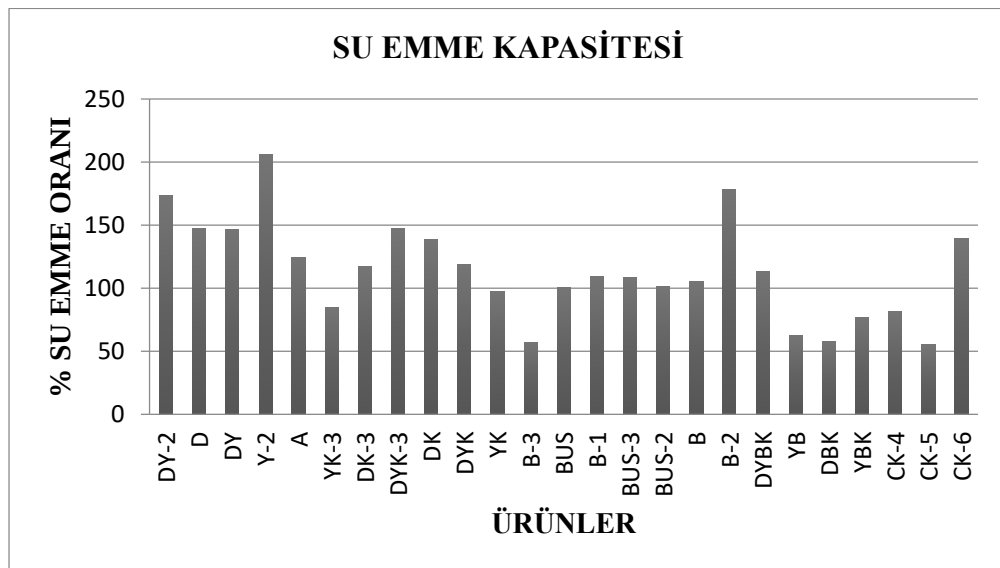
Shore-A testinden alınan sonuçlara göre yapıdaki sertlik değişimi yapının içerdiği toz miktarı ile bağlantılı değildir. Yapının içerdiği tozların homojen dağılması sertlik değerinin değişiminde önemli rol oynamaktadır.



Şekil 3.69. Shore A sertlik testi grafiği

3.9.6. Su Emme Testi

Bütün ürünlerden yaklaşık olarak 1 cm X 1 cm boyutlarında numuneler kesilerek hassas terazi yardımıyla ağırlıkları ölçülmüştür. Ağırlıkları ölçülen numuneler saf su içerisine bırakılmıştır. Yedi gün bekletilen numuneler daha sonra saf suyun içinden alınmış ve tekrar tartılmıştır. Toplanan veriler yardımıyla ürünlerin su emme kapasiteleri ve su içerisindeki davranışları gözlemlenmiştir. Sağlam numunelerin su emme kapasiteleri raporlanmıştır.



Şekil 3.70. Numunelere ait su emme kapasitesi grafiği

Görselde numuneler ait su emme kapasitesini gösteren grafik bulunmaktadır. Ürünlerin su emme kapasitelerini net olarak etkileyen bir etken varlığı söz konusu değildir. Teste tabi tutulan bazı numunelerde parçalanmalar gözlemlenmiştir. Bu numunelerde bağlanma olayının tam olarak gerçekleşmediği düşünülmektedir. Bu durumun sebebi bağlayıcı olarak kullanılan endüstriyel kenevir yağının üründe kullanılmaması veya kullanımının yetersiz kalmasıdır.



4. SONUÇLAR

Yapılan bütün deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen filmlere mekanik ve karakterizasyon testleri uygulanmıştır. Yapılan testler ve yürütülen çalışmaların sonucunda polivinil alkol matrise sahip beyaz midye kabuğu tozu ve yumurta kabuğu tozunu birlikte içeren, endüstriyel kenevir yağı katkısı olan BUS numunesi, bütün film örnekleri arasında en iyi bağlanma gösteren ve en iyi homojen dağılıma sahip numunedir.

Farklı denemelerin sonucunda beyaz midye kabuğu tozu film yapısına dayanım katmasının yanı sıra esneklik özelliklerinin artmasını da sağlamıştır. Bu durumun karşıt bir durumu olarak yumurta kabuğu tozunun etkisi film dayanımını artırırken aynı zamanda kırılgenlik özelliğini de artırmaktadır.

Bu bağlamda esneklik ve sertlik özelliklerinin dengelenmesi amacıyla beyaz midye kabuğu tozları ve yumurta kabuğu tozları karıştırılarak numune denemeleri yapılmış ve yalnızca bir tür takviye malzemesi içeren karışımlara göre daha iyi mekanik özellikler sergilemiştir.

Yapılan tane boyutu analizi sonucunda tane beyaz midye kabuğu tozu ve yumurta kabuğu tozunun tane boyutu dağılımları incelenmiştir. Beyaz mide kabuğu tozu ve yumurta kabuğu tozunun birlikte kullanılması sonucunda en iyi homojen karışımın elde edilmesinin sebeplerinden biri de tane boyutu dağılımının birbirini tamamlar nitelikte olduğu düşünülmektedir. Toz karıştırma sonucu tane boyutu dağılımı daha homojen hale gelmiştir. Böylelikle toz dağılımı hazırlanan çözeltinin tamamında homojen bir yapı oluşmasını sağlamıştır.

Bir diğer önemli sonuç ise endüstriyel kenevir yağının kullanıldığı ve kullanılmadığı ürünlerin mekanik, kimyasal ve morfolojik yapıları incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda endüstriyel kenevir yağının bağlayıcı özelliği sayesinde film yapısının oluşması sağlanmıştır. Endüstriyel kenevir yağı içermeyen veya çok az içeren ürünlerin morfolojik yapılarında polimer matris ile takviye malzemeleri arasında bir bağlanma gözlemlenmemiştir.

Ürünlerin sertlik değerleri içerilerinde bulunan CaCO_3 elementinin varlığı ile artış göstermektedir. Tozların homojen dağılmaması da sertlik değerini artırmaktadır. Yapılan analizler sonucunda homojen dağılım göstermeyen numuneler homojen dağılım gösteren numunelere göre daha yüksek sertlik değerine sahip çıkmıştır.

Yapılan çalışmada kullanılan takviye malzemeleri atıkların geri dönüştürülmesi

ile üretilmiştir. Çalışmada kullanılan matris malzemesi suda çözünebilen, doğa ve çevre için zararlı olmayan bir polimerdir. Çalışmada kullanılan bağlayıcı malzeme bitkisel bir yağdan oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan çözücü malzemeler ürünün üretilmesi sırasında ısı ile buharlaştırılarak numune içerisinden uzaklaştırılmıştır. Elde edilen ürünün kullanım süresi dolduktan sonra geriye kalan ürün doğa için zararı olmayan, biyolojik olarak çözünebilen ve çevreyi kirletmeyen bir atık oluşturacaktır. Sahip olduğu özellikler ürüne birçok kullanım alanı sunmaktadır. Bu esneyebilen seramik yapıya sahip film kompozitler sahip oldukları esneklik ve dayanım özellikleri ile ürün muhafaza etmek amacıyla paketlenme malzemesi olarak kullanılabilir. Aynı zamanda doğal içerikli ve dayanıklı bir yapıya sahip olması ile canlı vücudunda medikal amaçlı uygulamalarda kullanılabilir.

Sahip oldukları morfolojik yapı ve fiziksel özellikleri sayesinde tamamen çevre dostu katkıları ve ana malzemeler yardımıyla esneyebilen seramik yapısına sahip ince film tabakalar üretilmiştir.

KAYNAKLAR

- Albayrak, İ. (2011). Poli(Vinil Alkol) Esaslı Nanokompozitler Ve Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Kimyasal Teknolojiler Programı, İstanbul
- Agrawal, L. L., & Awadhia, A. (2004). DSC and conductivity studies on PVA based proton conducting gel electrolytes. *Bulletin of Materials Science*, 27, 523-527.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. D. (2013). Malzeme bilimi ve Mühendisliği, C. Bindal, M. Demirkol, R. Artır, M. Bakkal, S. A. Parasız (çev.). K. Genel(eds). Nobel Akademik Yayıncılık
- Ceylan, S. 2014. Polivinil Alkol Temelli Kriyojel (PVA) Doku İskelelerinin Üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin
- Ecer, K. Güner, O. & Çetin, M. (2021). Avrupa yeşil mutabakatı ve Türkiye ekonomisinin uyum politikaları. *İşletme ve iktisat çalışmaları dergisi*, 9(2), 125-144.
- Gürdal, S. (2021). Investigation Of Physical Properties Of Poly (Lactic Acid)/Eggshell Powder Composite Films. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 398-402.
- Jasim, S. H., Alhassan, W., & Almalki, Z. T. (2020). Egg Shell powder reinforced Polypropylene (PP) composite: Effect of mechanical and heat capacity. *Al-Qadisiyah Journal of Pure Science*, 25(3), 16-27.
- Lewandowska, K. (2009). Miscibility and thermal stability of poly (vinyl alcohol)/chitosan mixtures. *Thermochimica Acta*, 493(1-2), 42-48.
- Mittal, A., Teotia, M., Soni, R. K., & Mittal, J. (2016). Applications of egg shell and egg shell membrane as adsorbents: a review. *Journal of Molecular Liquids*, 223, 376-387.
- Mo, K. H., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., Lee, S. C., Goh, W. I., & Yuen, C. W. (2018). Recycling of seashell waste in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 162, 751-764.
- Murakami, F. S., Rodrigues, P. O., Campos, C. M. T. D., & Silva, M. A. S. (2007). Physicochemical study of CaCO₃ from egg shells. *Food Science and Technology*, 27, 658-662.
- Onay, A., Haspolat, Y. K., & Türken, A.(2021, Aralık), Endüstriyel Kenevir Tohumlarının Proteinleri, Yağları Ve Bir Besin Kaynağı Olarak Potansiyel Kullanımları. <https://www.researchgate.net/publication/357381377>
- Saçak, Mehmet, Polimer Teknolojisi, Gazi Kitabevi, 2020Açıl, A. F., and Demirci R. (1984). *Agricultural Economics Courses*, Publication No: 880, A.Ü. Faculty of Agriculture, Ankara.
- Seifan, M., Khajeh Samani, A., Hewitt, S., & Berenjian, A. (2017). The effect of cell immobilization by calcium alginate on bacterially induced calcium carbonate precipitation. *Fermentation*, 3(4), 57.
- Sudhamani, S. R., Prasad, M. S., & Sankar, K. U. (2003). DSC and FTIR studies on gellan and polyvinyl alcohol (PVA) blend films. *Food Hydrocolloids*, 17(3), 245-250.
- Tuna, Z. (2021). Elektro-eğirme yöntemi kullanılarak propolis ve kitosan içeren poli (vinil alkol) yara örtüsü üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Samsun
- Yapıcı, İ., İzol, E., & Yılmaz, M. A. (2022, Aralık), Kenevirin Çeşitli Sektörlerdeki Kullanımı <https://www.researchgate.net/publication/366065800>

Yılmaz, G., & Yazici, L. _Dünya’da Yükselen Değer; Endüstriyel Kenevir (Cannabis sativa L.)_. Bozok Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 1(1), 54-61.



ÖZ GEÇMİŞ

Büşra BİRATEŞ Ladik Çok Programlı Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünden 22.06.2020 tarihinde mezun oldu. 2020 yılında OMÜ LEE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi. Mezuniyetinden bu yana üretim planlama mühendisi olarak görev yapan Büşra BİRATEŞ orta derecede İngilizce bilmektedir. Temel ilgi alanları dağcılık, spor tırmanış, kaya tırmanışı ve doğa sporlarıdır.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0009-0005-1783-7127

Yayınlar:

1. Birateş, B., Çevik, S., Yontar, A. K.(2023) “White Sea Shells Powder And Industrial Hempoil For The Production Of Pva Composites” Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi (MMT)