

VAKUM İNFÜZYON METODUYLA ÜRETİLEN KAYISI ÇEKİRDEĞİ KABUĞU TOZU KATKILI TABAKALI KOMPOZİTLERİN MUKAYESE EDİLMESİ

Hüseyin Taner BAHÇE^{*1}, Şemsettin TEMİZ²

^{1,2} İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Vakum infüzyon yöntemi, yat ve tekne endüstrisindeki kullanımının yanında, uçak parçalarının onarımında, tabakalı ve hibrit tabakalı kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan kompozit malzeme üretim yöntemidir. Bu çalışmada, vakum infüzyon metoduyla farklı kürleşme sıcaklıklarında üretilen, kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkısız ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı tabakalı kompozitlerin üretimi yapılmıştır. Ayrıca çalışmada, tarımsal atıkların kompozit malzemelerle olan ilişkileri incelenmiştir. Farklı kürleşme sıcaklıklarında ve elyaf ağırlığının farklı yüzde değerlerinde üretilen kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı ve kabuk tozu katkısız numuneler çekme deneyine tabi tutulmuştur. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkısız numunelerin, kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelere göre dayanımları mukayese edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kayısı çekirdeği kabuğu tozu, kompozit malzeme, tarımsal atıklar, vakum infüzyon metodu

COMPARISON OF COMPOSITES WITH VACUUM INFUSION METHOD APRICOT SEED SHELL POWDER ADDITIV

ABSTRACT

In addition to its use in yacht and boat industry, vacuum infusion method is a composite material production method used in repair of aircraft parts, laminated and hybrid laminated composite materials. In this study, layered composites produced by vacuum infusion method at different curing temperatures, without apricot kernel powder additive and apricot kernel powder additive were produced. In addition, the relationship between agricultural wastes and composite materials was investigated. Samples with apricot kernel shell powder doped and without shell powder doped at different curing temperatures and different percentages of fiber weight were subjected to tensile test. The strength of the samples without apricot kernel powder compared to the samples with apricot kernel powder was compared.

Keywords: Composite materials, agricultural wastes, apricot kernel shell powder, vacuum infusion method

*huzeyint.bahce@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8880-8025>

1. GİRİŞ

Teknoloji alanında hızla gelişmekte olan Dünyamızda, doğal kaynakların tüketiminin artmasına bağlı olarak atık malzemelerin kullanımı zorunlu bir hale gelmiştir. Atık malzemelerin endüstriye geri kazanımı prosesi kapsamında, yeraltından çıkarılan malzemelere olan talep azalacak ve hammadde çıkarılması sırasında doğaya zararlı etmenler giderilmiş olacaktır [1,2]. Bu kapsamda, ekolojik dengenin korunması da sağlanacaktır. Tarımsal atık olarak nitelendirilen kayısı çekirdeği kabuğunun endüstriye kazandırılmasıyla ilgili ülkemizde önemli bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Kayısı çekirdeği kabuğu, yakacak ürün olarak, tarihi eserlerin restorasyonunda, kumlama prosesinde, ilaç sanayisinde ve boyama gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Teknoloji çağı olarak adlandırılan yaşadığımız yüzyıl içerisinde, yeni nesil tarımsal atık katkılı kompozit malzemelerin kullanımlarının artırılması için yapılan bilimsel çalışmalarla ilgili süreç devam etmektedir. Tarımsal atıklar kullanılarak üretilen yeni nesil kompozit malzemeler üretim prosesi denetimi, geri kazanımı ve düşük maliyet işlevselliği bakımından endüstrideki birçok alana yeni katma değerler kazandırmaktadır. Endüstrideki üretim alanlarında tarımsal atık katkılı kompozitler üretim sırasındaki işlenebilirlikleri ve üretim sonrasındaki fonksiyonları bakımından kapsamı oldukça geniştir [3]. Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun yalıtkan, dayanıklı ve korozyona karşı dirençli bir yapıya sahip olmasından dolayı kimya ve makina endüstri dallarında kullanılmaktadır. Malzeme bilimi teknolojisindeki meydana gelen gelişmeler sayesinde, tarımsal atıklardan nitelikli kompozit malzemelerin elde edilmesi amacıyla yapılan bilimsel araştırmalar yeni bir çağrışım oluşturmuştur. Tarımsal atık kullanılarak kompozit malzeme üretimi pek nadirdir. Tarımsal atık olan kayısı çekirdeği kabuğunun yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak için yeni bir kompozit malzeme üretilmiştir. Çalışmada yapılan ölçümler ve hesaplamalar neticesinde, üretilen kompozitin iyi bir ısı yalıtım malzemesi olduğu kanıtlanmıştır [4].

Atalar tarafından yapılan çalışmada, kayısı çekirdeği kabuğunun beton içerisinde agrega gibi nasıl davranış gösterdiği araştırılmıştır. Çalışmada toplam agrega hacmi esa alınarak, kayısı çekirdeği kabukları %5, 10, 15, 20, 30, 35 ve 40 oranlarında normal agregayla yer değiştirilmiştir. Elde edilen numuneler üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, SEM ve EDX deneyleri yapılmıştır. Kayısı çekirdeği kabuğu miktarının uygulama yüzdesi arttıkça birim ağırlıkta %17, basınç dayanımında %57 ve eğilme mukavemetinde ise %17.7 civarında bir

dayanım kaybı meydana geldiği gözlemlenmiştir [5].

İdicula ve bilimsel çalışma ekibi, sisal ve muz lifleri ile takviye edilmiş kompozit plakaların ısı iletkenliğini belirlemek için deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Deney sonuçlarına göre, kompozit malzemedeki doğal lif takviye oranı artmasıyla birlikte ısıl iletkenliğin de arttığını ispatlamışlardır [6]. Jacob ve arkadaşları, sisal ve palmiye lifleri ile takviye edilmiş hibrit kauçuk kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerine araştırmak için bir bilimsel bilimsel çalışma yapmışlardır. Yapılan bilimsel araştırma neticesinde, takviye elemanı oranının artmasıyla birlikte kompozit numunelerdeki maksimum çekme ve kopma dayanımının arttığını gözlemlemişlerdir [7]. Ghavami ve çalışma ekibi tarafından yapılan bilimsel araştırmada, değişik oranlardaki sisal ve hindistan cevizi lifleri ile takviye edilmiş kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretimi yapılan tabakalı kompozit malzemelerin çekme dayanımları ve su alma özellikleri incelemişlerdir. Ghavami ve ekibi, sisal ve hindistan cevizi liflerini bir arada tutmak için kompozit malzeme üretiminde çamur kullanmışlardır. Çalışmada elde edilen deney sonuçlarına göre, lif uzunluğunun hibrit kompozitlerin üzerindeki mekanik özelliklere olan etkisi belirlenmiş ve lif uzunluğunun artırılmasıyla çekme mukavemetini azaltan etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir [8].

Lim ve arkadaşları palmiye yaprağı lifleri ile takviye edilmiş kompozit kirişleri üç nokta eğilme testine tabi tutarak kirişlerdeki şekil değişimlerini mukayese etmişlerdir. Lim ve ekibi çalışmadaki deneysel sonuçları desteklemek için sonlu elemanlar yöntemi yapılan analizlerden faydalanmıştır. Çalışmada, sonlu elemanlar metoduyla elde edilen analiz verileri ile deneysel sonuçların birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir [9]. Olumuyiwa ve ekibi, hindistan cevizi kabuğu takviyeli polimer kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelenmişlerdir. Yapılan bilimsel araştırmadaki kompozit numunelere uygulanan deneyler neticesinde, kompozit numunedeki hindistan cevizi kabuğu oranının artmasıyla birlikte kompozit numunenin çekme dayanımının, elastisite modülünün, darbe enerjisinin ve sünekliliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak, kompozit numunedeki hindistan cevizi kabuğu oranının artmasıyla birlikte kompozit numunenin sertliğinin arttığı da kanıtlanmıştır [10]. Kayısı çekirdeği kabuğu ve kestane kabuğunun alternatif enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi amacıyla Çemrek tarafından bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, kayısı çekirdeği kabuğu ve kestane kabuğunun enerji kullanımı bakımından araştırılması için yapılan piroliz deneylerinde elde edilen biyokütlelerin piroliziyle birlikte çevreyle uyumlu sıvı ve katı ürünlerin elde edilebileceği belirlenmiştir [11].

Kumaş tarafından yapılan çalışmada, fındık kabuğundan aktif karbon elde edilmesi amacıyla fosforik asit ve bor kullanmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre, fındık kabuğundan aşınmaya karşı dayanımı fazla olan aktif karbon üretilmiştir. Ayrıca, fındık kabuğundan elde edilen aktif karbonun kalitesinin artırılması da çalışmada sağlanmıştır [12]. Gedik tarafından yapılan çalışmada, kayısı çekirdeği kabuğundan karbon nano tüp elde edilmesi amaçlanmıştır. Gedik araştırmasında kayısı çekirdeği kabuğundan üretilen karbon nano tüpü kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile sentezi üretmiştir [13].

Kompozit malzemelerin üretim yöntemlerinden biri de vakum infüzyon metodudur [14]. Vakum infüzyon metodu, kompozit malzeme üretiminde maliyetli bir yöntemdir. Hibrit tabakalı kompozit malzemelerin üretiminde vakum infüzyon metodu kullanılmaktadır [15]. Majeed ve arkadaşları, nano karbon parçacıkları ile güçlendirilmiş epoksi katkılı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelenmiştir. Çalışmada dispersiyon yöntemi ile yapılan ultrasonik dalga banyo deneyi neticesinde çekme dayanımının, eğilme mukavemetinin ve darbe dayanımının arttığı gözlemlenmiştir [16]. Srinivasi ve çalışma ekibi, doğal lif ve takviyelerle bağlanmış tabakalı kompozit malzemelerin mekanik ve kimyasal özelliklerini karşılaştırmışlardır. Doğal liflerin kompozit numunelerdeki lif ağırlık oranlarının azaldıkça mukavemetinin arttığını ispatlamışlardır [17]. Balcıoğlu ve ekibi, ceviz kabuğu takviyeli polyester reçine katkılı kompozit malzemelerin aşınma dirençlerini belirlemiştir. Balcıoğlu ve arkadaşları yaptıkları deneyler sonucunda, ceviz kabuğu/polyester oranı arttıkça üretilen kompozit numunelerin aşınma direncinin arttığını ve aynı takviye oranına sahip olan numunelerde uygulanan yük miktarının arttıkça aşınma direncinin azaldığını gözlemlemişlerdir [18].

Fehri ve araştırma ekibi, keten elyaf takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi amacıyla çalışma yapmışlardır. Çalışmadaki kompozit malzemelerin üretiminde vakum infüzyon yönteminden faydalanılmıştır. Kompozit numunelerdeki epoksi matriksi ve keten lifleri arasındaki uyumsuzluk nedeniyle oluşan yüksek gözeneklilik derecesinden dolayı çeşitli istifleme dizileri test edilmiştir. Çalışmada karbon yüzey katmanlarının eklenmesiyle, daha dirençli yapılara sahip tabakalı kompozit malzemeler elde edilmiştir [19].

Oti ve çalışma ekibi, hurma çekirdeği kabuğunun kaba agrega olarak fiziksel özelliklerini ve hurma çekirdeği kabuğunun beton dayanımını üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Araştırmada elde edilen deney verilerine göre, basınç dayanımında kayıplar meydana geldiği gözlemlenmiştir [20]. Alias ve araştırma ekibi, yaptıkları araştırmada hurma çekirdeği kabuğu tozu katkılı biyo-kompozitlerin özelliklerini mukayese etmişlerdir. Çalışmada ayrıca, hurma çekirdeği kabuğu tozu katkılı kompozitlerin taramalı elektron mikroskopunda görüntüleri alınarak takviye ve matris elemanlarının birbiriyle olan etkileşimleri incelenmiştir [21]. Öndürücü ve bilimsel çalışma ekibi tarafından yapılan araştırmada, deniz suyunda bekletilen farklı istifleme dizilimine sahip olan doğal lif takviyeli cam elyaf kompozit numunelerin burkulma yükleri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, doğal lif takviyeli kompozitlerin burkulma dayanımını deniz suyunun olumsuz yönde etkilediği görülmüştür [22].

Bu çalışmada, tarımsal atık olarak sınıflandırılan kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı ve toz katkısız tabakalı kompozit numuneler vakum infüzyon yöntemi tekniğiyle üretilmiş ve bu tabakalı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneler İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Mekaniği Laboratuvarında vakum infüzyon cihazında üretilmiştir. Vakum infüzyon metodu, tabakalı ve hibrit tabakalı kompozit üretmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Vakumlanmış bir ortam içerisinde reçine-sertleştiricinin karışımının ilerlemesi prensibiyle çalışan bu yöntemde, imalat hazırlıkları tamamlanmış kompozit malzemeye el değmeden üretim yapılması amaçlanmıştır. Vakum infüzyon metoduyla homojen özelliğe sahip olan kompozit malzemeler elde edilebilmektedir.

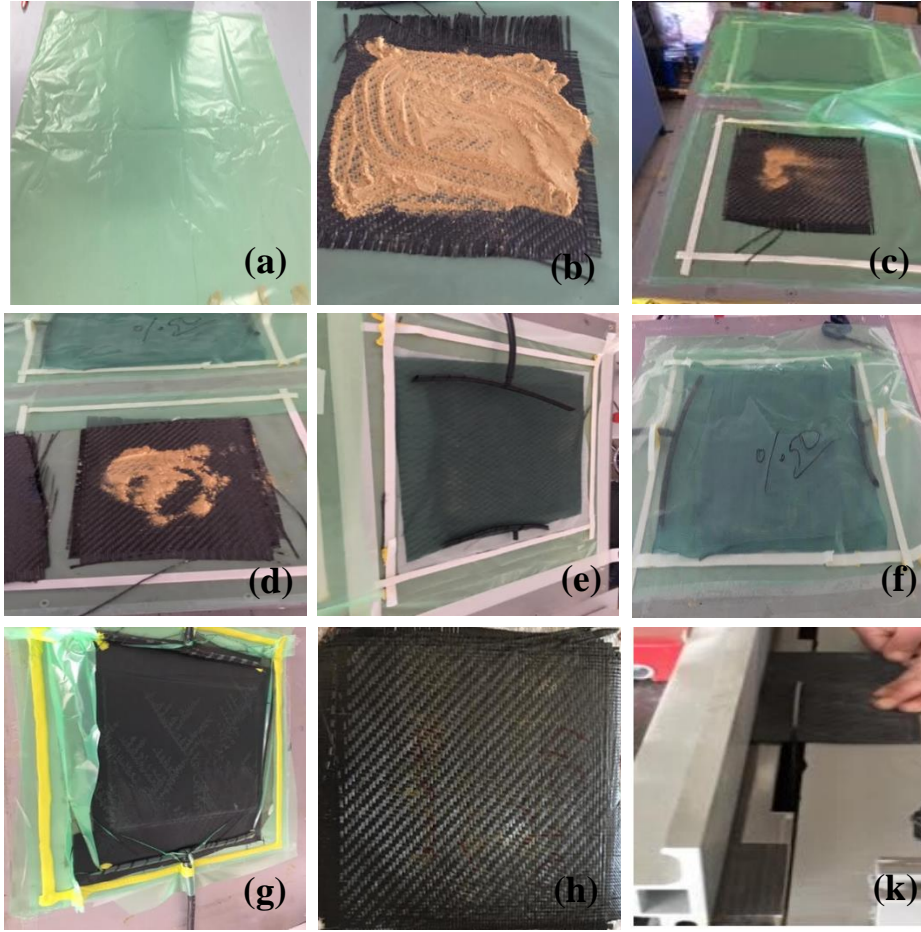
Vakum infüzyon tekniğiyle üretilen numunelerin üretim aşamaları sırasıyla Şekil 1'de, a-k'ya kadar numaralandırma yapılarak gösterilmiştir. Birinci adımda, Şekil 1.a'da görülen tezgâh yüzeyine vakum naylonu sızdırmalılık bantları yapıştırılarak tezgah yüzeyine sabitlenmiştir. İkinci adımda vakum naylonunun üzerine kayısı çekirdeği kabuğu tozu ve toz katkısız numuneler üretmek için 330x330 mm boyutlarında hazırlanmış olan karbon elyaf tabakalı kompozitler serilmiştir (Şekil 1.b).

Üçüncü adımda, kayısı çekirdeği kabuğu tozları tartılan karbon elyaf tabakaların aralarına, karbon elyaf tabaka kompozit malzemenin kütesinin %5 ve 10'u kadar kayısı çekirdeği kabuğu tozu 5 tabaka karbon arasına eşit şekilde serpilmiştir (Şekil 1.c ve 1.d). 20°C'de kürlenmiş olan toz katkılı numune için kabuk tozu elyaf ağırlığının %10'u kadar, 40 °C'de kürlenmiş toz katkılı numunelerde elyaf ağırlığının %10, 20, 30, 40, 50'si kadar, 60 ve 80 °C'de kürlenmiş olan toz katkılı numunelerde ise elyaf ağırlığının %5 ve 10'u kadar kayısı çekirdeği kabuğu tozu uygulanmıştır.

Dördüncü adımda, vakum battaniyesi ve ayırıcı file karbon elyaflar üzerine serilmiştir. Beşinci adımda , kesilen spiral hortumlar T bağlantılarına geçirilerek sabitlenmiştir (Şekil 1.e). Altıncı adımda, üst vakum naylonu sızdırmalık bantlarına yapıştırılarak sabitlenmiştir (Şekil 1.f). Yedinci adımda, hazırlanan vakum kalıbında sızdırmazlık sağlandığında, vakum pompası çalıştırılarak, cihaz sıcaklığı 40 °C'ye ayarlanmıştır.

786.6 mbar basınçta, hazırlanan epoksi reçine-sertleştirici karışımı emdirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Tabakalı kompozit malzemelere uygulanana kürlenme prosesi uygulanmıştır Kürlenme prosesi 2 saatlik bir zaman diliminde meydana gelmiştir (Şekil 1.g). Tabakalı kompozitlerin üzerine alüminyum veya seramik levhalar bırakılarak düzgün yüzeyli numunelerin elde edilmesi sağlanmıştır. Vakum infüzyon yöntemi ile üretilen tabakalı kompozit levha numune Şekil 1.h'de görülmektedir. Kompozit levhalar daha sonra dairesel testere yardımıyla devri ayarlanabilen mobilyacı tezgahında kesilmiştir. Kesim işlemi 2000 dev/dk'da meydana gelmiştir (Şekil 1.k).

Kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının elyaf tabakalar üzerine homojen dağılması için ise 250 µ'luk elek kullanılmıştır. Kayısı çekirdeği kabuğu tozları her tabaka üzerine eşit şekilde karbon fiber tabakalar üzerine beher yardımıyla serilmiştir. Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun elyaf tabakalı kompozitler üzerinde homojen olarak dağılımının sağlanabilmesi için elyaf tabaka üzerine kabuk tozları serildikten sonra elyaf tabakaların üzerine seramik levhalar bırakılmıştır. Kabuk tozları ve elyaf tabakalar üzerine konulan seramik levhaların kütesinden dolayı, kabuk tozlarının üretilen kompozit numunelerde düzgün ve homojen dağılım meydana getirmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, kayısı çekirdeği kabuğu tozları serpilme işlemi tamamlandıktan sonra, karbon fiber tabaka üzerine alüminyum levha konularak kabuk tozları sıkıştırılmıştır.



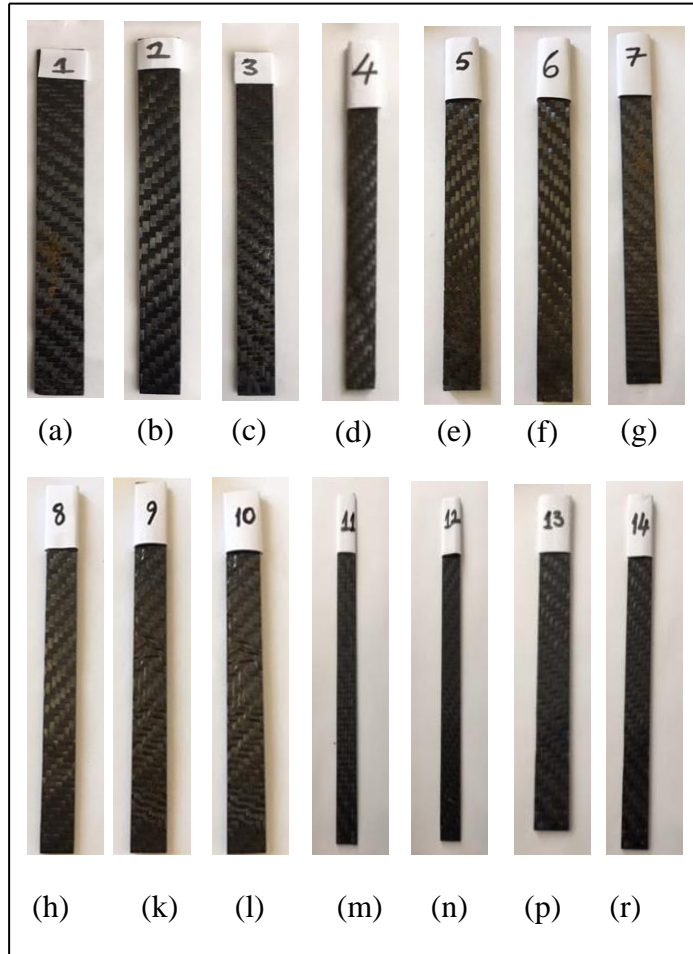
Şekil 1. (a) Vakum naylonunun serilmesi
(b) kabuk tozları ve elyaf kumaşaların serilmesi
(c) kabuk tozlarının serilmesi
(d) kabuk tozlarının düzeltilmesi
(e) vakum infüzyon elemanlarının sabitlenmesi
(f) vakum infüzyon kalıbı üst naylonunun sabitlenmesi
(g) kürleşme prosesinin uygulanması
(h) vakum infüzyon yöntemiyle üretilen kompozit levha
(k) çekme numunelerinin dairesel testere ile kesilmesi

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Kayısı kabuğu tozu katkılı ve katkısız üretilen numunelerin çekme deneyleri, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarında bulunan Shimadzu marka çekme test cihazında (ASTM) D7264/D7264M standartlarına uygun olarak

yapılmıştır. Numuneler çekme deneyi 3 mm/dk çekme hızı uygulanmıştır. Kompozit levha numuneler 14 adet tabakalı kompozit numune üretilmiştir. Her kompozit levhadan kesim işlemi neticesinde 12 adet çekme numunesi elde edilmiştir. Çekme testi numunelerinin her biri levha sayısına göre seri gruplar şeklinde gruplandırılmıştır. Her bir serideki çekme numunesi, levha sayısına göre serideki ilk numunelerin görüntüleri Şekil 2’de a’dan başlanarak a-r’ye kadar harflendirilmiştir. 14 adet kompozit levha bulunduğundan 14 çekme numunesi serisi oluşturulmuştur. Çekme testi numunelerinin görüntüleri, 1 numaralı seriden 14 numaralı seriye kadar sırasıyla gruplandırılarak numaralandırılmış ve bu serilerin ilk numunelerine ait görüntüler Şekil 2.a, b, c, d, e, f, g, h, k, l, m, n ve p’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çekme testi için numaralandırılmış serilerdeki ilk numunelere ait görüntüler

Tablo 1 ve 2’deki akma gerilmesi ve uzama miktarları değerleri her bir seride bulunan 12 adet çekme numunesinin toplam akma gerilmelerinin ve toplam uzama miktarlarının aritmetik

ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Seri olarak gruplandırılan kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı çekme numunelerine ait (olan kütleme sıcaklığı, kabuk tozu yüzdesi, % uzama miktarı akma gerilmeleri ve numune boyutları) veriler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kayısı kabuğu tozu katkılı çekme numunelerine ait veriler

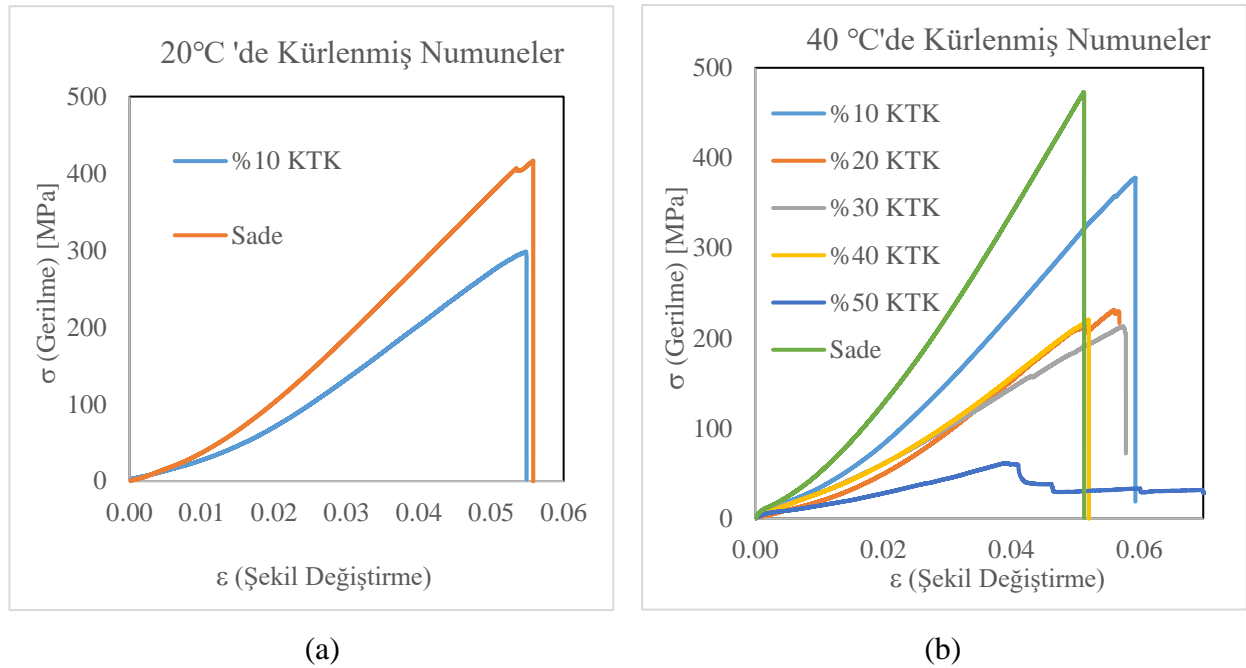
Seri Numarası	Kabuk Tozu Yüzdesi (%)	Kürleşme Sıcaklığı (°C)	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm)	Akma Gerilmesi (MPa)	% uzama miktarı
1	10	20	25.1	160	5.50	255.68	5.57
2	10	40	25.1	160	5.80	258.98	6.22
3	20	40	25.1	160	5.62	249.75	4.85
4	30	40	25.1	160	5.69	239.95	4.85
5	40	40	25.1	160	5.70	228.78	4.85
6	50	40	25.1	160	5.89	117.28	4.85
7	5	60	25.1	160	5.53	212.45	4.85
8	10	60	25.1	160	5.75	214.85	4.85
9	5	80	25.1	160	5.45	208.66	4.85
10	10	80	25.1	160	5.58	205.55	4.86

Kayısı çekirdeği kabuğu tozu içermeyen toz katkısız numunelere ait veriler (kütleme sıcaklığı, kabuk tozu yüzdesi, % uzama miktarı akma gerilmeleri ve numune boyutları) Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu içermeyen toz katkısız numunelere ait veriler

Seri Numarası	Kürleşme Sıcaklığı (°C)	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm)	Akma Gerilmesi (MPa)	% uzama miktarı
11	20	25.1	160	4.25	264.78	5.78
12	40	25.1	160	4.26	276.89	8.89
13	60	25.1	160	4.24	246.77	7.89
14	80	25.1	160	4.28	228.58	5.58

14 adet serinin çekme deneyi grafikleri, her seride bulunan 12 adet çekme numunelerinin her birinin gerilme değerleri toplanmıştır. Her bir serideki toplanan çekme numunelerinin değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak, gerilme-şekil değiştirme grafikleri oluşturulmuştur. Gerilme-şekil değiştirme grafikleri elde edilirken Excel programından faydalanılmıştır. 20 ve 40°C'de kürlenmiş olan çekme numunelerine ait elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafikleri Şekil 3.a ve 3.b'de, gösterilmiştir.



Şekil 3. (a) 20 °C'de kürlenmiş numunelere ait gerilme –şekil değiştirme grafiği,
(b) 40 °C'de kürlenmiş numunelere ait gerilme –şekil değiştirme grafiği

Gerilme-şekil değiştirme grafiklerinden elde edilen ortalama maksimum gerilme değerleri kıyaslamaları Tablo 3 esas alınarak yapılmıştır. Şekil 3.a'daki grafik incelendiğinde, 20°C'de kürlenmiş olan ve elyaf ağırlığının % 10'u kadar kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerde toz katkısız numunelere göre, mukavemet kaybı ($290.83/410.17 = 0.70$) %30 civarındadır.

Şekil 3.b'deki grafik incelendiğinde 40 °C'de kürlenmiş ve farklı oranlarda kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafikleri incelendiğinde, 40 °C'de kürlenmiş olan ve elyaf ağırlığının % 10, 20, 30, 40 ve 50 değerlerinde kayısı çekirdeği kabuğu

tozu katkılı numunelerin dayanım kaybının söz konusu olduğu açıkça görülmektedir. Kompozit numunelere kayısı çekirdeği kabuğu tozunun uygulanma yüzdesi arttıkça dayanım kaybı giderek artmaktadır.

Gerilme-şekil değiştirme grafiklerinden her birinin serinin ortalama maksimum gerilme noktaları alınarak Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Çekme numunelerine ortalama ait maksimum gerilme değerleri

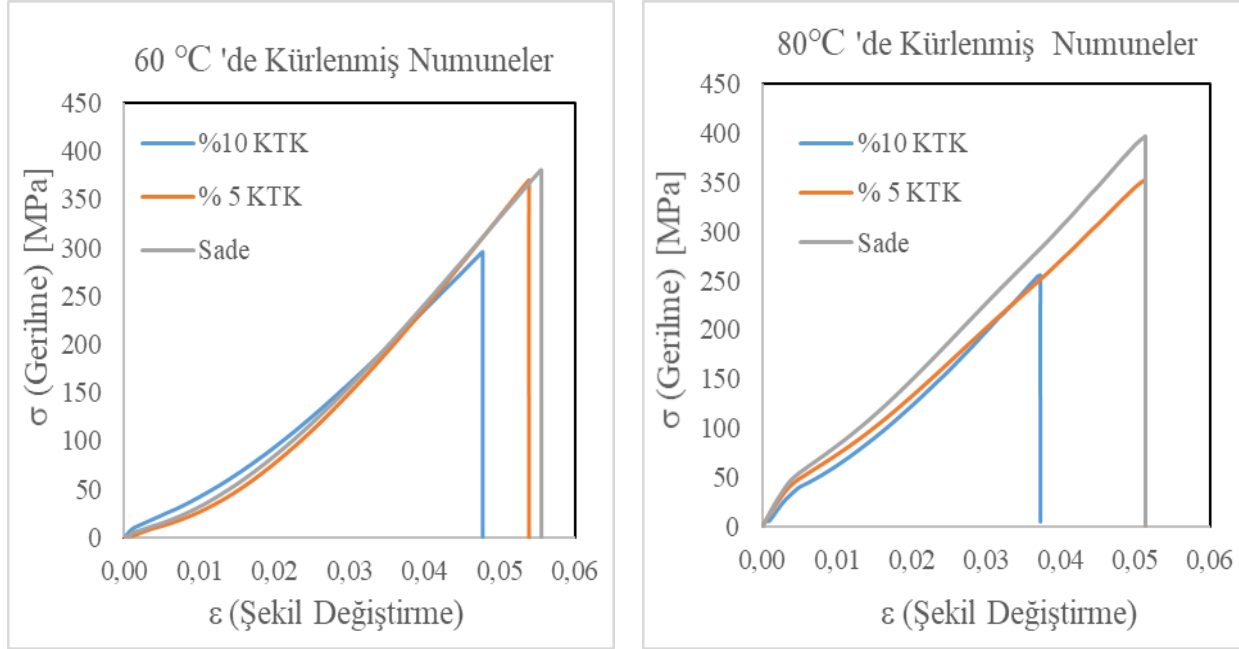
Seri Numarası	Ortalama Maksimum Gerilme Değerleri (MPa)	Seri Numarası	Ortalama Maksimum Gerilme Değerleri (MPa)
1	410.17	8	59.73
2	290.83	9	372.98
3	468.50	10	366.93
4	375.40	11	306.64
5	228.85	12	395.66
6	206.03	13	332.13
7	206.08	14	265.38

Kıyaslamalar 40°C’de kürlenmiş olan toz katkısız numunelere göre yapılırsa, % 50 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerde ($59.73/468.50= 12.7$) % 87.30 civarında bir dayanım kaybı olduğu görülmektedir. Toz katkısız numuneye göre, %10 kabuk tozu katkılı numunelerde ($375.4/ 468.50= 0.80$) %20 oranında, %20 kabuk tozu katkılı numunelerde ($225.85/ 468.50= 0.49$) % 51, % 30 ve % 40 kabuk tozu katkılı numunelerde ise yaklaşık ($206.03/468.50=0.44$, ($206.8/468.50=0.44$) % 44 civarında çekme dayanımı kaybı meydana gelmiştir.

40°C’de kürlenmiş olan ve %10 kabuk tozu katkılı numunelerin mukavemeti, 20°C’de kürlenmiş olan ve %10 kabuk tozu katkılı numunelerin mukavemeti ile mukayese edilirse, ($290.83/375.40=0.77$), %23 mukavemet kaybı söz konusudur. Toz katkısız numunelerle kıyaslama yapıldığında ise kayısı çekirdeği kabuğu tozunun uygulama yüzdesi arttıkça, dayanım kaybı söz konusudur.

20, 40, 60 ve 80 °C’de kürlenmiş olan kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin çekme mukavemetleri birbirleri ile mukayese edildiğinde ise en yüksek çekme mukavemetlerin 40°C’de kürlenmiş numunelerde meydana geldiği görülmüştür

60 ve 80 °C’de kürlenmiş olan çekme numunelerine ait elde edilen gerilme–şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.a ve 4.b’de gösterilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 4. (a) 60 °C’de kürlenmiş numunelere ait gerilme–şekil değiştirme grafiği, (b) 80 °C’de kürlenmiş numunelere ait gerilme–şekil değiştirme grafiği

Şekil 4.a’daki grafiğe göre, 60 °C’de kürlenmiş olan ve elyaf ağırlığının % 5 kadar kaybı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerle toz katkısız numuneler mukayese edilirse, yaklaşık olarak ($366.93/372.98=0.98$) % 2 bir dayanım kaybı olduğu görülmüştür. 60 °C’de kürlenmiş olan ve elyaf ağırlığının % 10 kadar kaybı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneler toz katkısız numuneler ile kıyaslandığında, ($306.64/372.98=0.82$) % 18’lik bir mukavemet kaybı söz konusudur (Değerler Tablo 3’den alınmıştır.)

Şekil 4.b’deki grafiğe bakıldığında, 80 °C’de kürlenmiş olan elyaf ağırlığının %5 kadar kaybı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneler ile toz katkısız numune karşılaştırıldığında, % 5 kabuk tozu katkılı numunelerde ($332.13/395.66=0.83$) %17’lik bir çekme dayanımı meydana geldiği gözlemlenmiştir. 80°C’de kürlenmiş olan elyaf ağırlığının % 10 kadar kaybı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneler ile toz katkısız numune karşılaştırıldığında ($265.38/395.66=0.68$) %33’lük bir dayanım kaybı söz konusudur.

60 °C’de kürlenmiş olan ve elyaf ağırlığının % 5’i kadar kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneler referans alınarak, 80 °C’de kürleşen ve aynı orandaki kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerle kıyaslandığında ($332.13/366.93=0.90$) % 10 civarında bir mukavemet kaybı olduğu görülmektedir.

20, 60 ve 80°C’de kürleşen toz katkısız numunelerin 40 °C’de kürleşen toz katkısız numunelere göre meydana gelen mukavemet kayıpları sırasıyla ($410.17/498.50=0.88$) % 12, ($372.98/468.50=0.79$) % 21 ve $395.66/468.50= 0.84$) % 16’dır.

60 ve 80 °C’de kürlenmiş ve elyaf ağırlığının %10’u kadar kabuk tozu numuneler arasında kıyaslama yapılırsa, 60 °C’de kürlenmiş olan %10 kabuk tozu katkılı numunelere referans alınır, 80 °C’de kürlenmiş olan %10 kabuk tozu katkılı numunelerde yaklaşık olarak ($265.38/306.64= 0.86$) %14 civarında mukavemet bir kaybı söz konusudur.

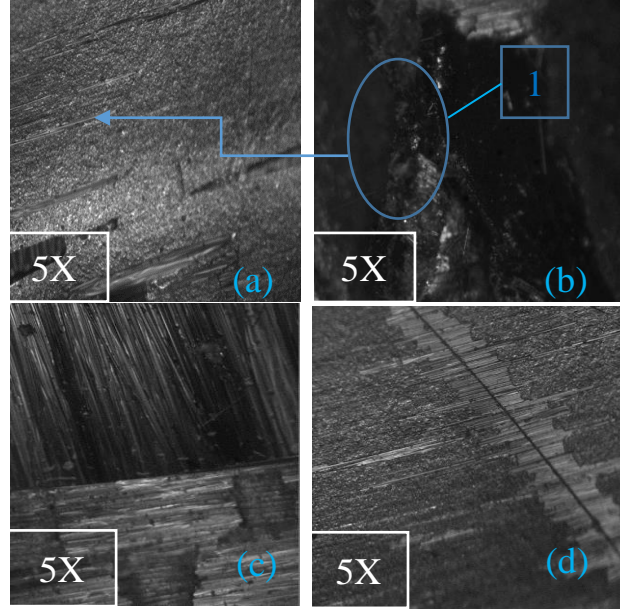
Çekme deneyi sonuçları incelendiğinde hem toz katkısız numunenin hem de kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunenin çekme hasar sonuçlarının 40 °C’de kürleşme sıcaklığında daha yüksek çıkması kürleşme sıcaklığı için 40 °C’nin daha uygun olduğunu göstermektedir. Bu sonuç aynı zamanda literatürle de uyumludur.

3.2. Mikroskobik Yapı

Üretimi yapılan kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı ve toz katkısız numunelerin, (5X) mikro yapı görüntüleri İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Biyomekanik Laboratuvarında bulunan biyomekanik ışın mikroskobunda ve (20X) mikro yapı görüntüleri ise Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümündeki malzeme mikroskobunda alınmıştır. Serilerde belirlenen ilk çekme numunelerinin mikroskop görüntüleri mukayese edilmiştir.

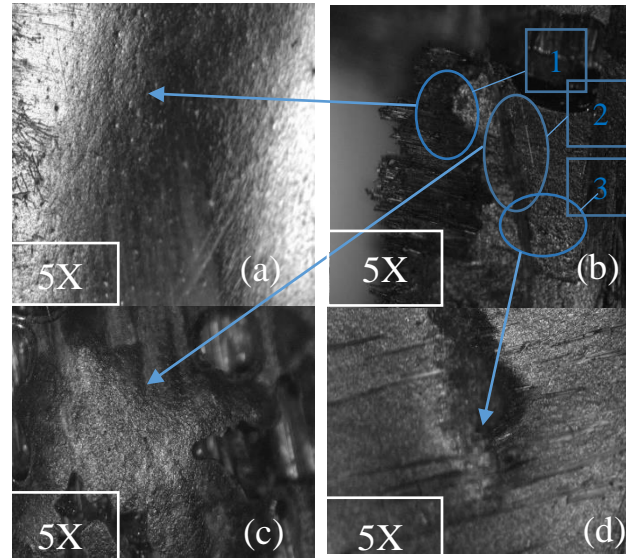
Şekil 5.a. ve 5.b’deki mikro yapı görüntüleri 1 numaralı numuneye, Şekil 5.a ve 5.b’deki mikroskop görüntüleri ise 11 numaralı numuneye aittir. 1 ve 11 numaralı numunelere ait fotoğraflar beş kat (5X) büyütme oranıyla görüntülenmiş ve gösterilmiştir.

Şekil 5.a, b, c ve d’de görüldüğü gibi eksenel yük etkisine maruz kalan numunelerin kırılması fiberin kopmasıyla meydana gelmiştir. Bu deneyde kırılma yüzeyinde tabakaların birbirinden ayrılması görülmemektedir. Bunun sebebi çekme deneyinde bütün tabakalara eşit çekme yükü uygulanmasındandır. Tabakalar arasında gerilme meydana gelmemektedir. Bunun sonucu olarak, malzemenin hasara uğramasında fiberlerin kopmasının daha etkin olduğu tespit edilmiştir.



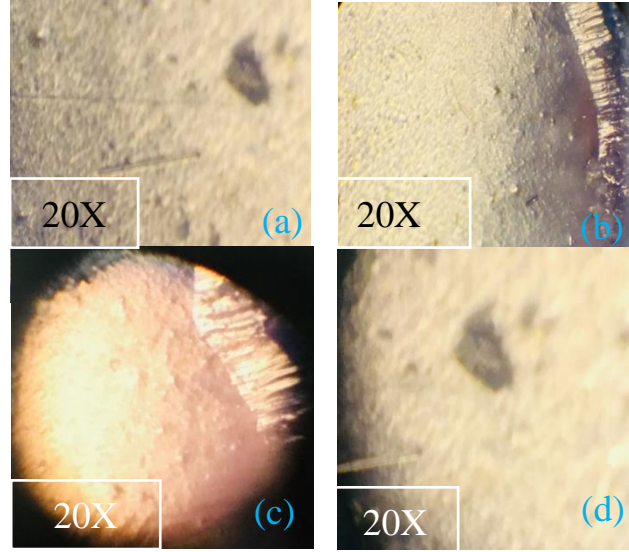
Şekil 5. (a), (b) 1 numaralı numuneye ait (5X) mikro yapı görüntüleri, (c), (d) 11 numaralı numuneye ait (5X) mikro yapı görüntüleri

2 numaralı numuneye ait (5X) mikro yapı fotoğrafları Şekil 6.a, b, c ve d 'de sırasıyla verilmiştir. Şekil 6.b'deki mikro yapı görüntüsünde sırasıyla 1, 2 ve 3 olarak belirlenen referans bölgelerin mikro yapı görüntüleri, Şekil 6.a, c ve d 'de görülmektedir. 2 numaralı numuneye ait (5X) mikro yapı görüntülerinde, kayısı çekirdeği kabuğu tozunun karbon elyaf tabakalar üzerinde nüfuz ettiği bölgeler ve kompozit tabakaların yüzeyinde meydana gelen kırılmalar görülebilmektedir.



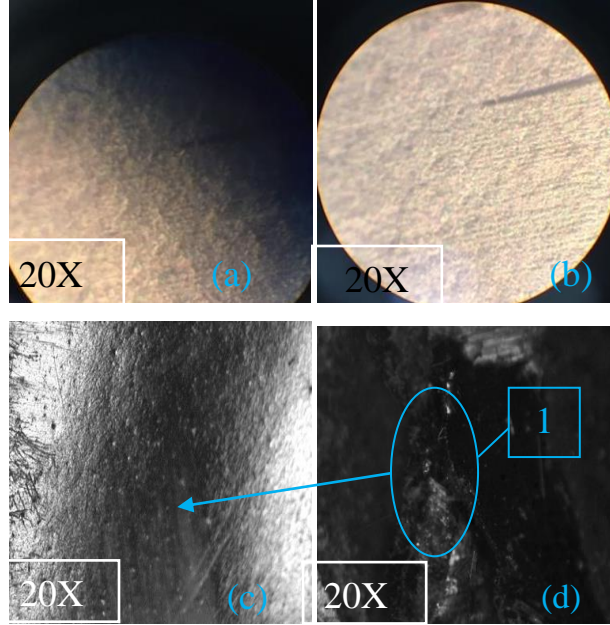
Şekil 6 . (a) 1 numaralı bölgenin (5X) mikro yapı görüntüsü , (b) 2 numaralı numunenin (5X) mikro yapı görüntüsü (c) 2 numaralı bölgenin (5X) mikro yapı görüntüsü, (d) 3 numaralı bölgenin (5X) mikro yapı görüntüsü

3, 4, 5 ve 6 numaralı numunelere ait mikro yapı görüntüleri (20X) büyütme oranıyla görüntülenmiş ve Şekil 7.a, b,c. ve d'de verilmiştir. Şekil 7.a'daki (20X) mikro yapı görüntüsü 3 numaralı numuneye , Şekil 7.b, c ve d'deki diğer mikro yapı görüntülkeri ise sırasıyla 4, 5 ve 6 numaralı numunelere aittir. Mikroskop görüntüleri alınan çekme numunelerinde, kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının karbon fiberler arasına homojen olarak dağılmadığı ve kırılma bölgelerinde meydana gelen yığılmaların olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7. (a), (b), (c), (d) 3, 4, 5 ve 6 numaralı numuneye ait (20X) mikro yapı görüntüleri

7 ve 8 numaralıya ait numunelerin mikroyapı fotoğrafları sırasıyla (20X) ve (5X) büyütme oranıyla görüntülenmiştir. Şekil 8. a ve b'deki mikroyapı görüntüleri 7 numaralı numuneye, Şekil 8. c ve d'deki görüntüler ise 8 numaralı numuneye ait mikro yapı görüntüleridir. Şekil 8.d'de verilen mikro yapı görüntüsünde belirlenen 1 numaralı referans bölgenin ayrıntılı görüntüsü, Şekil 8.c'de verilmiştir. Çekme deneyleri sonrasında, 7 ve 8 numaralı numunelerin yüzeylerindeki meydana gelen kırılmalar ve karbon elyaf içerisinde kayısı çekirdeği kabuğu tozunun bulunduğu bölgeler görülemedi. Ayrıca çekme deneyleri neticesinde elde edilen (5X) ve (20X) mikroyapı görüntülerine göre, kopan partiküllerin karbon elyaf içerisinde yüzeye yapışık durumda kaldığı gözlemlenmemiştir.

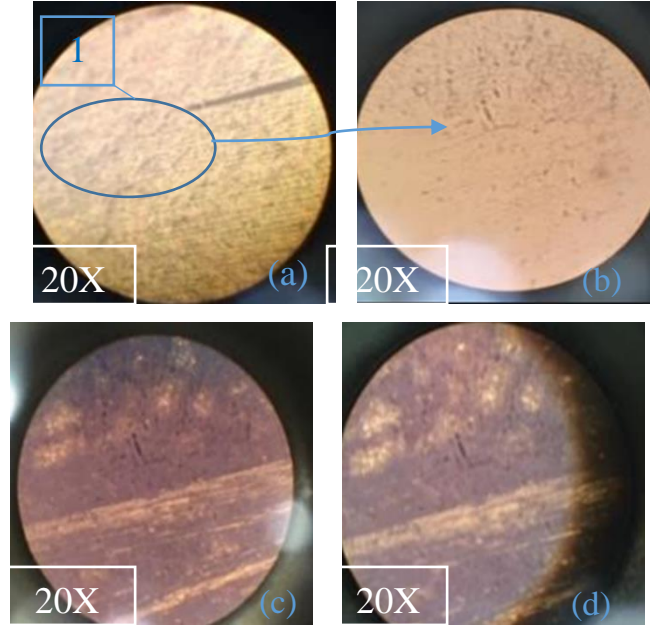


Şekil 8. (a), (b) 7 numaralı numuneye ait (5X) mikro yapı görüntüleri, (c) 8 numaralı numuneye ait (5X) mikro yapı görüntüsü, (d) 8 numaralı numunenin 1 numaralı bölgesine ait (5X) mikro yapı görüntüsü

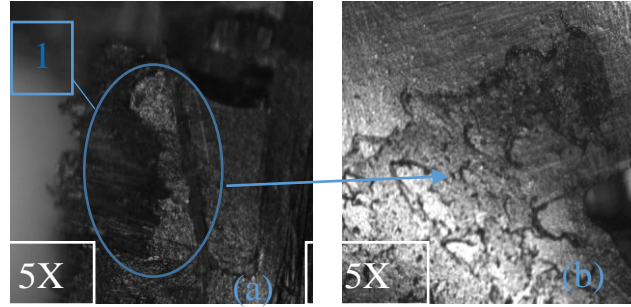
9 ve 10 numaralı numunelere ait mikro yapı fotoğrafları (5X) ve (20X) büyütme oranıyla görüntülenmiştir. Şekil 9.a, b, c ve d'de verilen mikroskop görüntüleri 9 numaralı numunenin (20X) mikro yapı fotoğraflarıdır. Şekil 9.a'da belirlenen 1 numaralı bölgenin ayrıntılı görüntüsü, Şekil 9.b'de gösterilmiştir.

Şekil 10.a ve b'deki mikroyapı görüntüleri ise 10 numaralı numuneye ait (5X) mikro yapı görüntüleridir. Şekil 10.a'da belirlenen 1 numaralı bölgenin detaylı mikro yapı görüntüsü Şekil 10.b'de verilmiştir. Şekil 10.a ve b'deki mikro yapı fotoğraflarında kayısı çekirdeği kabuğu tozunun numunelerde homojen dağılmadığı gözlemlenmiştir. Çekme deneyi sonucunda 10 numaralı numunede meydana gelen karbon elyaf tabakalar içerisindeki tabakalar arası ayrılmalar görülememektedir.

Şekil 9.a, b, c ve d'deki mikro yapı görüntülerinde ise, kayısı çekirdeği kabuğu tozunun karbon elyaf içerisinde bulunduğu bölgeler belirgin olarak görülmektedir. 9 numaralı numuneye ait mikro yapı görüntülerinde, kabuk tozlarının karbon elyaf içerisine homojen olarak dağılmadığı gözlemlenmiştir.

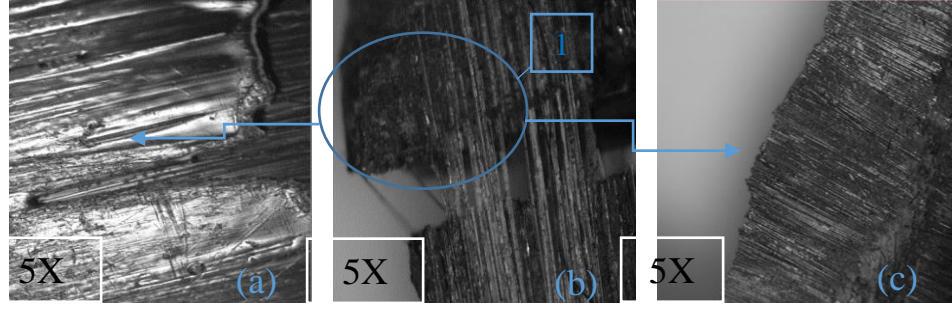


Şekil 9. (a) 1 numaralı bölgeye ait (20X) mikro yapı görüntüsü , (b) 1 numaralı bölgeye ait ayrıntılı (20X) mikro yapı görüntüsü, (c), (d) 9 numaralı numuneye ait (20X) mikro yapı görüntüleri



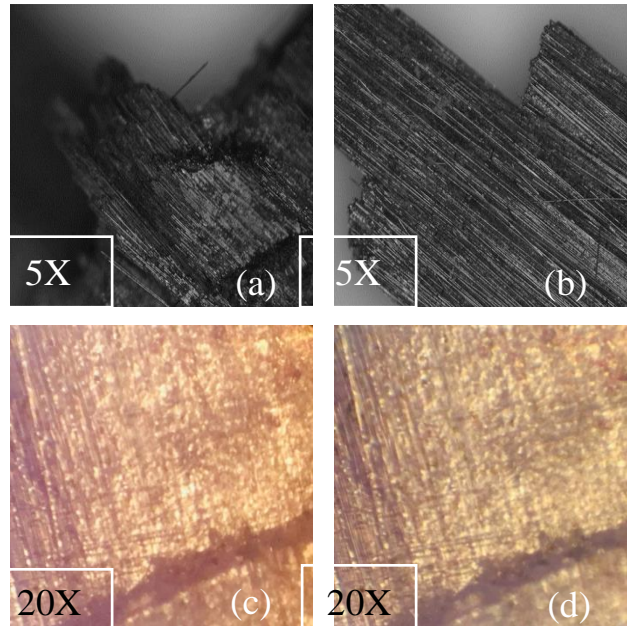
Şekil 10. (a) 10 numaralı numuneye ait (5X) mikro yapı görüntüsü, (b) 10 numaralı numunenin 1 numaralı bölgesine ait (5X) mikro yapı görüntüsü

Şekil 11.a, b ve c' de verilen (5X) mikroyapı görüntüleri 12 numaralı numuneye aittir. Şekil 11.b'de referans olarak alınan 1 numaralı bölgenin ayrıntılı mikro yapı görüntüleri Şekil 11.a ve c'deki mikroskop görüntülerinde verilmiştir. 12 numaralı numuneye ait olan (5X) mikroyapı görüntülerinde, çekme deneyi sonucunda kopan fiberlerin sadece tabaka yüzeylerindeki kırılmalar olduğu görülmüştür.



Şekil 11. 12 numaralı numuneye ait (a) 1 numaralı bölgenin 1. ayrıntılı (5X) mikro yapı görüntüsü, (b) 1 numaralı bölgenin (5X) mikro yapı fotoğrafı, (c) 1 numaralı bölgenin 2. ayrıntılı(5X) mikro yapı fotoğrafı

13 ve 14 numaralı numunelere ait Şekil 12.a, b, c ve d'de görüldüğü gibi alınan (5X) ve (20X) mikro yapı görüntüleri görülmektedir. Şekil 12. a ve b'deki mikro görüntüleri 13 numaralı numuneye, Şekil 12.c ve d'deki görüntüler ise 14 numaralı numuneye aittir. Elde edilen (5X) ve (20X) mikroyapı görüntülerine göre, çekme deneyinde fiberlere uygulanan tek yönlü aksenal yük etkisi uygulanması neticesinde kopan fiberlerin sadece tabaka yüzeylerindeki kırılmalar gözlemlenmiştir. Bu kapsamda fiberlerin, tabakalar arası kopmaları açıkça görülememektedir.



Şekil 14. (a), (b) 13 numaralı numuneye ait (5X) mikro yapı fotoğrafları, (c), (d) 14 numaralı numuneye ait (20X) mikro yapı fotoğrafları

4. SONUÇLAR

Malzeme ve nanoteknoloji biliminin gelişmesine bağlı olarak, yeni nesil kompozit malzemelerin üretilmesine yönelik yapılan bilimsel çalışmalar günümüzde devam etmektedir. Bu alandaki yapılan bilimsel çalışmalar, çeşitli araştırma projeleri ile kurumlar tarafından desteklenmektedir. Gezegeneimizdeki artan insan nüfusuna bağlı olarak, doğal kaynakların azalması nedeniyle alternatif yöntemlerin araştırılması zorunlu bir durum haline gelmiştir. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin çekme deneyi verileri incelendiğinde, elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

Kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin çekme deneyi sonuçları incelendiğinde dayanım kaybı olduğu gözlemlenmiştir. Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun organik bir madde olması nedeniyle, karbon fiber tabakalı kompozitlere kütleli olarak uygulama yüzdesi arttıkça, dayanım kaybı artmaktadır. Bunun temel nedeni; kayısı çekirdeği kabuğu tozunun reçine ve kompozit malzemelerle olan uyumundadır. Toz katkılı numunelerden elde edilen mikroskop görüntülerine göre, kabuk tozlarının homojen dağılım göstermediği gözlemlenmiştir. Toz katkılı numunelerde kabuk tozlarının homojen dağılım göstermemesinin sebebi, kabuk tozlarının epoksi reçine birlikte bazı bölgelerde yığılmalar meydana getirmesindedir.

Kürleme sıcaklığının çekme dayanımı meydana gelen dayanımı üzerine olan etkisi incelendiğinde, kürleme süresinin ve kürleme sıcaklığının çekme yükleri altındaki mekanik özelliklere etki ettiği anlaşılmaktadır. Aynı sürede kürleme işlemi uygulanmasına rağmen farklı gerilme-şekil değiştirme grafikleri elde edilmiştir.

Farklı kürleme sıcaklık değerlerinde üretilen toz katkısız ve toz katkılı numunelerde farklı dayanım sonuçlarının elde edilmesinin sebebi, yeterli sıcaklıktaki kürleme prosesi süresinin yetersiz olmasındadır. Farklı kürleme sıcaklıkları için daha ideal şartlarda farklı kürleme süreleri belirlenebilir.

80 °C'lik kürleme sıcaklığında üretilmiş olan toz katkısız ve toz katkılı numunelerin matriks yapısının bozulduğu ve bunun sonucunda da çekme dayanımlarında kayıplar meydana getirdiği gözlemlenmiştir. 20 ve 60 °C'deki kürleme işlemiyle üretilen toz katkısız ve toz katkılı numuneler için kürleme 2 saatlik kürleme süresinin yetersiz olduğu görülmüştür. Dayanım kayıpları, kürleme prosesi sıcaklığına ve uygulanan kürleme süresine göre değişmektedir. Belirlenen bu kürleme sıcaklık değerleri yeniden gözden geçirilmelidir.

Vakum infüzyon yöntemiyle farklı sıcaklıklarda kürlenerek üretilmiş olan toz katkısız ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı kompozit numuneler kıyaslandığında, en az dayanım kaybının meydana geldiği kürlenme sıcaklığı değeri 40 °C'dir.

Kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerde kabuk tozlarının karbon elyaf içerisinde bulunduğu bölgeler belirgin olarak görülmektedir. Diğer kürlenme sıcaklıklarında üretilmiş olan kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerde ise, kabuk tozunun homojen dağılmadığı ve elyaf içerisindeki nüfuz ettiği bölgeler görülememiştir.

Kayısı çekirdeği kabuğu tozuyla ilgili diğer bilim dallarındaki işlevlerinin araştırılması için bilimsel çalışmalar yapılabilecektir. Tarımsal atıkların kompozit malzemelerle olan uyumu da araştırılabilecektir.

5. TEŞEKKÜR

FBA-2017-782 nolu proje ile desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

6. KAYNAKLAR

[1] Anonim, West Africa Regional Agriculture and Food Security, World Bank, www.usaid.gov/west-africa-regional/agriculture-and-food-security 2016, Erişim Tarihi: 12.03.2019.

[2] Anonim, World Bank West Africa Agricultural Productivity Program, World Bank, www.worldbank.org/en/topic/agriculture/brief/the-west-africa-agricultural-productivity-program 2016, (Erişim Tarihi: 12.03.2019).

[3] Callister, W. D., Rethwisch D. G., Materials Science and Engineering Book, USA, 2007.

[4] Koç, V., Sancar, İ., Baran, M. F., Taştan, M. A., Kayısı Çekirdeği Kabukları Kullanılarak Yalıtım Amaçlı Kompozit Malzeme Üretilmesi, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi Journal of Agricultural Machinery Science, C11,4, S 309-314, 2015.

[5] Atalar, O., Kayısı Çekirdeği Kabuğunun İlave Edilmesi ile Elde Edilen Hafif Betonun Karakteristik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 18- 55, 2006.

[6] Idicula, M., Boudenne, A., Umdevi, L., Ibos L., Candau, Y., Thomas S., Thermophysical

Properties of Natural Fiber Reinforced Polyester Composites, *Composite Science and Technology*, C 66, S 2719- 2725, 2006.

[7] Jacob, M., Thomas, S., Varughese, K.T., Mechanical Properties of Sisal/Oil Palm Hybrid Fiber Reinforced Natural Rubber Composites, *Composites Science and Technology*, C 64, S 955–965, 2004.

[8] Khosrow, G., Filho, R. D. T., Barbosa, N. P., Behaviour of Composite Soil Reinforced with Natural Fiber, *Cement and Concrete Composites*, C 21, S39-48, 1999.

[9] Lim, J.H., Ratnam, M.M., Abdul Khalil, H.P.S, An Experimental and Finite Element Analysis of The Static Deformation of Natural Fiber-Reinforced Composite beam, *Polymer Testing*, C 22, S 169–177, 2003.

[10] Agunsoye, O. J., Isaac, T.S., Samue, O. S., Study of Mechanical Behaviour of Coconut Shell Reinforced Polymer Matrix Composite, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, C11, S 774-779, 2012.

[11] Çemrek, Ş., Kayısı Çekirdeği ve Kestane Kabuklarının Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 35-89, 2005.

[12] Kumaş, C., Fındık Kabuğundan Aktif Karbon Elde Edilmesinde Fosforik Asit ve Bor Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 40 - 78, 2015.

[13] Gedik, K. B., Kayısı Çekirdeği Kabuğundan Karbon Nanotüp Eldesi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 40 – 88, 2016.

[14] Govignon, Q., Bickerton, S., Morris, J., Kelly, P.A., Full Field Monitoring of The Resin Flow and Laminate Properties during the resin infusion process, *Compos Part A Applience Science Manufacturing*, C 39, S 1412-26, 2008.

[15] Chen, G., Wu, D., Weng, W., Wu, C., Gradient and Variations in Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding Process Control Exfoliation of Graphite Flake and Its Nanocomposites, *Carbon*, C 41,11, S 619 – 621, 2003.

[16] Wetzela, B., Haupterta, F., Zhang, M. Q., Epoxy Nanocomposites with High Mechanical and Tribological Performance, *Composites Science and Technology*, C 63, 20, 2055-2067, 2003.

[17] Srinivasi, K. N., L.A., Bahubalendruni, R. M. V.A., A Review on Chemical and Mechanical



Properties of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites, International Journal of Performability Engineering, C13, S 189-200, 2017.

[18] Balcıoğlu, E. H., Yeşil, Ö., Aktaş, M., Ceviz Kabuğu Takviyeli Polyester Reçinenin Aşınma Dirençlerinin Belirlenmesi, 1.Ulusal Geri Kazanım Kongre ve Sergisi, Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, S 40-46, 2012.

[19] Fehri, M., Rauegh, R. R., Vivet A., Dammak, F., Haddar, M., Improvement of Natural Fiber Composite Materials by Carbon Fibers, Journal of Renewable Materials, C5, S 38-47, 2017.

[20] Oti, O. P., Nwaigwe, K. N., Okereke, N. A. A., Assessment of Palm Kernel Shell As Aa Composite Aggregate in Concrete, CIGR Journal, C19, S 34-40, 2017.

[21] Alias, N. F., Ismail,H., Wahab, M. K. A., Properties of Polyvinyl Alcohol/Palm Kernel Shell Powder Biocomposites and Their Hybrid Composites with Halloysite nanotubes, Bio Resources, C 12, S 9103-9117, 2017.

[22] Öndürücü, A., Muzoğlu, M., Doğal Lif Takviyeli Kompozitlerin Burkulma Davranışına Deniz Suyunun Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, C 23, S 30-39, 2019.