KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(2),2023
Araştırma Makalesi

KSU J Eng Sci, 26(2),2023
Research Article

Kahramanmaras Sutcu Imam University
Journal of Engineering Sciences

Geliş Tarihi : 30.11.2022
Kabul Tarihi : 20.04.2023

Received Date : 30.11.2022
Accepted Date : 20.04.2023

KARMA TAKVİYELER İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ALÜMİNYUM MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

FABRICATION AND PROPERTIES OF ALUMINIUM MATRIX HYBRID COMPOSITES REINFORCED WITH MIXED REINFORCEMENTS

Ramazan SANDAL [1] (ORCID: 0000-0003-1157-2306)
Metin KÖK [2] (ORCID:0000-0003-0411-5115)
Alaaddin GÜNDEŞ [3] (ORCID:0000-0003-1888-4142)

[1]Kahramanmaraş Sütçü İmam Universitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, 46100, Kahramanmaraş, Türkiye
[2]Kahramanmaraş Sütçü İmam Universitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 46100, Kahramanmaraş, Türkiye
[3]Kahramanmaraş Sütçü İmam Universitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, El Sanatları Bölümü, 46100, Kahramanmaraş, Türkiye

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ramazan SANDAL, ra06ay@gmail.com

ÖZET

Alüminyum uygulama alanı olarak kullanılabilirlik kazandığı on dokuzuncu yüzyılın sonlarından itibaren birçok mühendislik uygulamasında hızla diğer malzemelerin yerini almaktadır. Talepler doğrultusunda uygulama alanları çeşitlilik göstermektedir. Gelişmiş özelliklere sahip malzemelere talep arttıkça araştırmalar yeni hibrit malzemelere yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada alüminyum matris malzemesi, vortex yöntemi ile SiC, Al_2O_3 ve Gr gibi karma takviyeler ile güçlendirilmiş ve hibrit kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen alüminyum matrisli hibrit kompozit numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda hibrit kompozitlerde takviye elemanlarının matris malzemesi tarafından yeteri kadar ıslatılabildiğini, arayüzey bağlanmalarının başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Takviye tozlarının matris içerisinde homojen olarak dağılım gösterdiğini mikroyapı fotoğrafları ortaya çıkarmıştır. Artan takviye oranları ile birlikte hibrit kompozit malzemelerin sertlik, eğme ve basma mukavemetlerinde artış meydana gelmiştir. Ayrıca takviye ağırlık fraksiyonun artışı numunelerin deneysel ve teorik yoğunlukları ile yapı içerisindeki gözeneklilik oranlarını arttırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, alüminyum matrisli hibrit kompozit, silisyum karbür, alüminyum oksit, grafit.

ABSTRACT

Aluminum has been rapidly replacing other materials in many engineering applications since the end of the nineteenth century, when it became available as a field of application. The areas of application vary according to the demands. As the demand for materials with improved properties increases, research is focusing on new hybrid materials. In this study, hybrid composite materials were produced with aluminum matrix material reinforced with mixed reinforcements such as SiC, Al_2O_3 and Gr by vortex method. The mechanical and physical properties of the aluminum matrix hybrid composite samples were investigated. As a result of the examinations, it was concluded that the reinforcing elements in hybrid composites can be sufficiently wetted by the matrix material, and the interfacial bonding is successful. Microstructure photographs revealed that the reinforcement powders were homogeneously dispersed in the matrix. With increasing reinforcement ratios, the hardness, bending and compression strengths of hybrid composite materials increased. In addition, the increase in the reinforcing weight fraction increased the experimental and theoretical densities of the samples and the porosity rates within the structure.

Keywords: Aluminium, Aluminium matrix hybrid composite, Silicon carbide, Aluminium oxide.

ToCite: SANDAL, R., KÖK, M., & GÜNDEŞ, A., (2023). KARMA TAKVİYELER İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ALÜMİNYUM MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(2), 550-561.

GİRİŞ

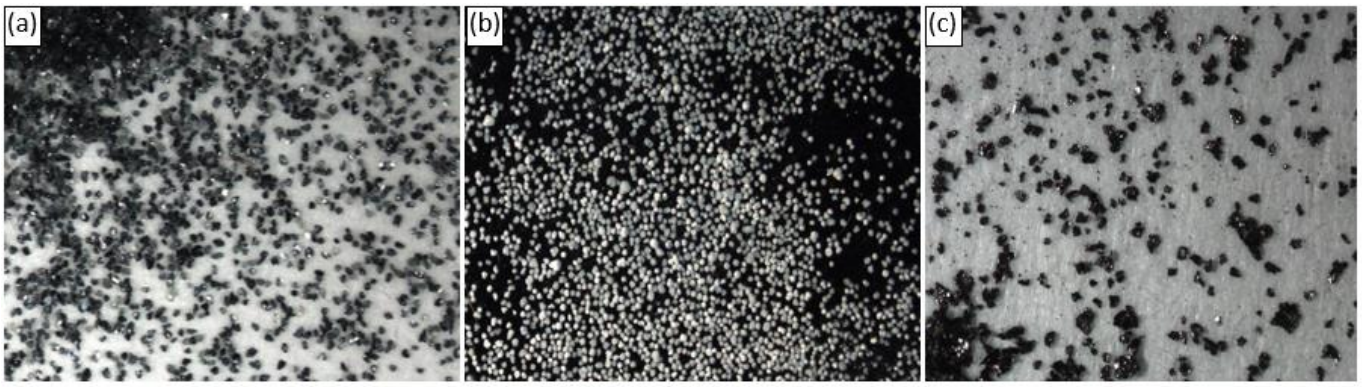
Kompozit malzemeler insan uygarlığı kadar eskidir. Genel olarak, herhangi bir kompozitte (a) matris ve (b) takviyede iki faz bulunur. Kompozitler, uygun şekilde düzenlenmiş, birbiri içinde çözünmeyen ve bileşen malzemelerin herhangi birinden daha üstün özelliklere sahip, en iyi özelliklerini yeni bir malzemede toplamak amacıyla iki veya daha fazla malzemenin (takviye elemanı ve matris malzemesi) birleştirilmesiyle oluşan malzemelerdir (Lubin, 2013; Safri vd. ,2018; Garg vd., 2019; Ramanathan vd., 2019; Şimşek, 2021). Kompozitlerin amacı, birleştirilen malzemelerin zayıf yönlerini kapsayacak şekilde güçlü yönlere sahip yeni bir karma yapının oluşturulmasını sağlamaktır (Park & Seo, 2011). Kompozitler esas olarak; Sıvı hal üretim yöntemleri, Katı hal üretim yöntemleri, Yarı-katı hal üretim yöntemleri olmak üzere farklı metalürjik yollar ile üretilmektedirler (Akinwande vd., 2022). Kompozit bir malzeme, tek veya daha çok süreksiz fazın, sürekli bir formdaki faz içerisinde dağıtımının gerçekleşmesiyle üretilmektedir. Takviye elemanı olarak süreksiz faz, genellikle matris olarak sürekli fazdan gelişmiş tür özellikler gösterdiği için takviye veya kuvvetlendirici malzeme olarak bilinmektedir (Kalemtaş, 2014; Agarwal & Broutman,1980). Metal matrisli kompozitler, metalik olmayan veya organik bileşiklerle güçlendirilmiş sünek metal ya da alaşım matrisinin bir kombinasyonudur (Ekka vd., 2014; Bulei vd., 2021). Metal matrisli kompozit malzemelerin özellikleri arasında Minimum termal genleşme katsayısı ve yüksek termal iletkenlik yer aldığı için, yüksek sıcaklık ortamlarında gelişmiş performans sergilerlerler (Hynes vd., 2022). Mevcut birkaç matris malzemesi arasında, alüminyum ve alaşımları kompozit üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyumun daha az ağırlık, ekonomik olarak uygulanabilirlik, farklı tekniklerle işlenmesinin kolay olması, yüksek mukavemet/ağırlık oranına ve korozyona karşı mükemmel dirence sahiplik gibi çekici özellikleri metal matrisli kompozitlerin matris malzemesi olarak kullanılmasında tercih nedenidir (Ramanathan vd., 2019; Rajan vd., 2021). Metal matrisli kompozitlerin fiziksel özellikleri, genellikle, takviye elemanlarının ilavesi ile iyileştirilmektedir. (Hull,1981; Simith, 1996; Abdizadeh vd., 2008). Hibrit metal matrisli kompozitler, özellikleri iyileştirmek için birden fazla tipte takviyenin kullanıldığı ikinci nesil kompozitlerdir. Düşük sürtünme, düşük aşınma oranı ve mükemmel yapışma önleyici özellikler sergileyen metal matrisli kompozitleri sağlamaya çalışırken, alüminyum alaşımlarının grafit, diğer katı yağlayıcılar ve sert seramik parçacıklarla harmanlanması üzerinde durulur (Stojanaovic vd., 2016). Alüminyum hibrit kompozitler, ileri mühendislik uygulamalarının son taleplerini karşılama potansiyeline sahip, iki ya da daha fazla sayıda takviyelerin matris malzemesine ilave edilerek üretilen metal matrisli kompozitlerdir. Bu talepler, geliştirilmiş mekanik özellikler, geleneksel işleme tekniğine uygunluk ve alüminyum hibrit kompozitlerin üretim maliyetini düşürme olasılığı nedeniyle karşılanmaktadır (Bodunrin vd., 2015). Yüksek mekanik özellikler aynı zamanda, kompozitlerin maliyetini büyük ölçüde azalır. 1970'lerden beri, hibrit kompozitlerin araştırılması giderek daha fazla araştırmacıyı kendisine çekmiştir (Feng vd., 2008). Hibrit kompozit malzemeler, farklı takviye elemanlarının etkileşimiyle gelişmiş aşınma direnci, düşük termal genleşme, mekanik özelliklerin iyi olması gibi karakteristiklere sahip olduğu için tek tür takviyeye sahip kompozit malzemelere göre önemli derecede üstün özelliklere sahiptir (Avcı, 2019; Feng vd., 2008). Bu malzemelerin performansı, çoğunlukla, bazı proses parametreleri, takviye edici parçacıklarla ilişkili olduğundan, takviye malzemelerinin doğru kombinasyonunun seçilmesine bağlıdır. Alüminyum hibrit kompozitlerin tasarımında birkaç takviye edici partikül kombinasyonu kavramsallaştırılmıştır (Bodunrin vd., 2015). Hibrit kompozitlerin özelliklerinin geliştirilmesi ile ilgili yapılan araştırmaların bazıları şunlardır. (Biswal vd., 2022) matris malzemesi olarak alüminyumu, Al_2O_3 ve WS_2 partikülleri ile takviye ederek alüminyum matrisli hibrit kompozitleri üretmişler ve kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri incelemişlerdir. Takviye eleman dağılımını uniform olarak gözlemişler ve artan takviye oranları ile sertliğin ve yoğunluğun arttığı sonucuna varmışlardır. (Gajalakshmi vd., 2022) çalışmalarında kompocasting metodunu kullanarak AA6026 matris malzemesini %4 bakır kaplı karbon fiber (CF) ve %3 nanokil takviye elemanları ile güçlendirerek hibrit takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretmişlerdir. Bu üretilen kompozitlerin işlenebilirlik özelliklerini incelemişlerdir. (Srinivasan, 2022) Al 7075 matrisli TiC, SiC ve grafit takviyeli hibrit kompozit üretimi ve mekanik özelikleri incelemişlerdir. Artan takviye fraksiyonu ile birlikte sertlik, darbe dayanımı ve çekme dayanımı artmış ancak %12 TiC fraksiyonu ile birlikte gözenek miktarı artması nedeniyle çekme dayanımının düşmüş olduğunu saptamışlardır. (Muzeer vd., 2022) karıştırmalı döküm yöntemiyle Al6061 matris malzemesini, farkı hacim oranlarında ZrO_2 ve SiC partükülleri ile güçlendirerek hibrit kompozit malzeme üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerin gerçek ve teorik yoğunluk sonuçlarını karşılaştırmışlar ayrıca aşınma deneyine tabi tutmuşlardır. Hibrit kompozitlerin aşınma oranının, takviyesiz alüminyum alaşımlarından daha düşük olduğu, takviyelerin aşınma oranını azalttığı sonucuna varmışlardır. (Gopinath vd., 2020) hibrit kompozit malzeme üretimi araştırmalarında, 6061 alaşımını matris malzemesi olarak, takviye elamanı olarak ta BN (bor nitrür), Al_2O_3 ve grafit partiküllerini kullanmışlar ve yöntem olarak ise ergimiş karıştırma metodunu uygulamışlardır. Ürettikleri kompozitlerin mekanik, aşınma ve korozyon özelliklerini geliştirmeyi amaçlamışlardır. BN ile Al_2O_3 takviye oranlarının arttırılması ile kompozitlerin çekme mukavemetlerine artışın gözlemlendiği, ayrıca SEM ve EDS

incelemeleri ile mikro yapı incelemeleri yapılmıştır. (Bommana vd., 2022), SiC ve B_4C partiküllerinin takviye edilmesiyle AA6061 esaslı hibrit kompozit üretiminde sert parçacıkların mukavemet ve uzama davranışına etkilerini araştırmışlardır. Hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerini analiz etmek için sertlik ölçümü ve tek eksenli yükleme metodunu tatbik etmişler ve takviye elemanlarının (AA6061) matris fazı içerisindeki dağılım oranını gözlemleyebilmek amacıyla OM, XRD ve SEM analizi yapmışlardır. Hibrit kompozitlerde sertlik, akma dayanımı (UTS) ve uzama gibi özelliklerde iyileşme meydana gelmiş olduğu sonucuna varmışlardır. (Christy vd., 2020) geri dönüşüm jant alüminyumun karıştırmalı döküm yöntemi kullanılarak, alümina ile takviye edilmesiyle sonucu kompozit malzeme üretimini araştırmışlardır. Üretimi gerçekleştirilen kompozit numunelerin mikroyapıları, sertlik değerleri, çekme mukavemetleri, basma mukavemetleri ve aşınma özellikleri analiz edilmiştir. XRD analizleri geri dönüşüm alüminyumda yeni bir faz oluşmadığını göstermiştir. Matris malzemesi olarak kullanılan bu geri dönüşüm alüminyumdan kompozit üretimi ile elde edilen numunelerin mekanik özelliklerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmamızda, karıştırmalı döküm yöntemi (vortex) ile alüminyum matrisli partikül takviyeli hibrit kompozit malzemeler üretilmiştir. Matris malzemesi farklı takviye partikülleri ile güçlendirilmiştir. Matris malzemesi olarak saflaştırılmış geri dönüşüm alüminyum, takviye elemanları olarak; SiC, Al_2O_3, ve Gr partikülleri kullanılmıştır.

MATERYAL VE METOD

Malzeme seçimi

Bu çalışmada, matris malzemesi olarak geri dönüşümden elde edilmiş 98,21 saflıkta hurda alüminyum kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak %99 saflıkta, sırasıyla 60 ,44, 44 μm ortalama boyutlarında ve 3.20, 3,95, 2.26 gr/cm^3 yoğunluklarında SiC, Al_2O_3 ve Gr tozları kullanılmıştır. Bu takviye partiküllerinin mikroskop görüntüleri Şekil 1'de, matris malzemesi alüminyumun kimyasal bileşimi ise Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Takviye Elemanları; (a) SiC Tozlarının, (b) Al_2O_3 Tozlarının, (c) Gr Tozlarının Mikroskop Görüntüleri

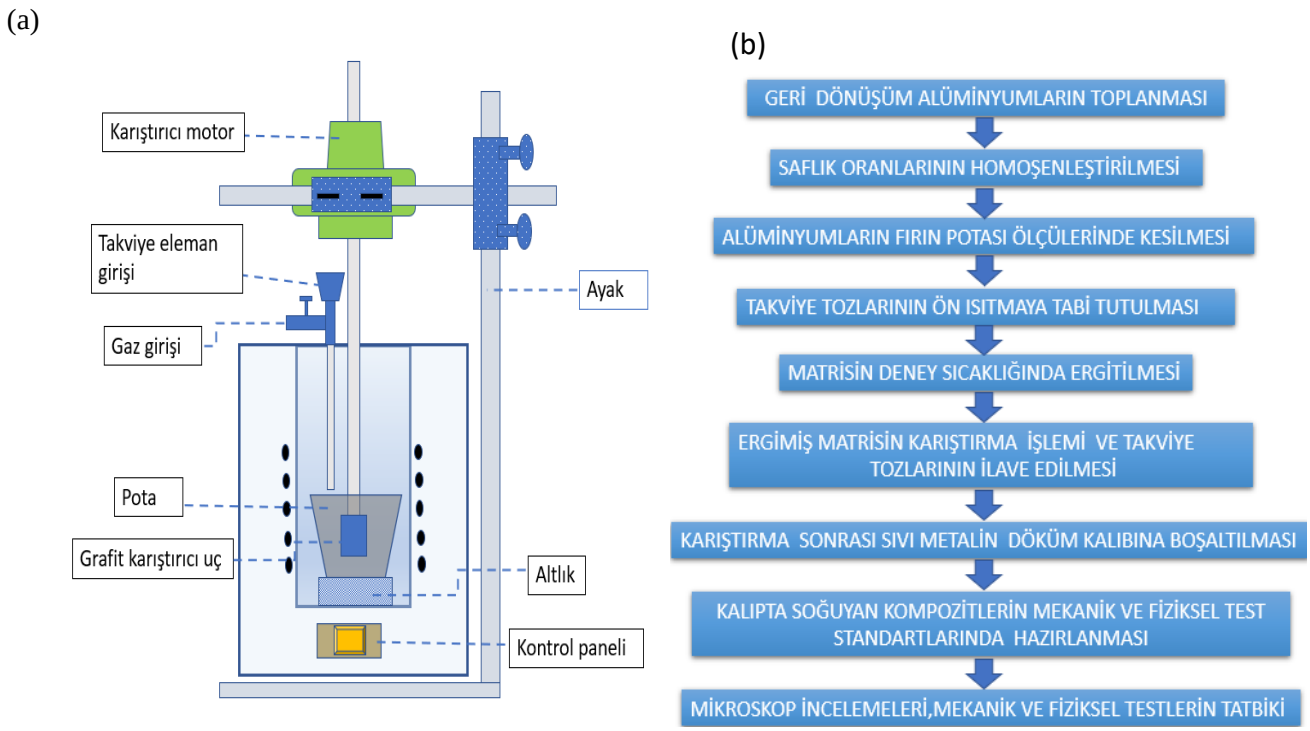
Tablo 1. Matris Malzemesi Alüminyumun Kimyasal Bileşimi

Al	Fe	Si	Mg	Cu	Mn	Zn	Ti	Sn	Cr	Pb
98,21	0,65	0,42	0,19	0,15	0,13	0,12	0,02	0,02	0,01	0,01

Metod

Hibrit kompozit numunelerin üretimi öncesi takviye tozlarına 400 °C'de 30 dakika süreyle ön ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu ön ısıtmanın amacı takviye elemanlarının rutubetten giderilmesi ve ıslatılabilme özelliklerinin arttırılmasıdır. Üretim süresinde ergimiş metalin sıcaklığı 730 °C sabitlenmiştir. Alüminyum matris malzemesinin ergimesi sonrasında takviye tozlarının ilave edilmesinin hemen öncesinde takviye elemanları ile matris malzemesi arasında bağlanabilme özelliklerini geliştirmek amacıyla %2 oranında magnezyum parçalar sıvı metale eklenmiştir. Alüminyum matris malzemesinin grafit potada ergimesi ve deney sıcaklığına ulaşması sonrasında, ön ısıtmaya tabi tutulmuş takviye tozları; karıştırıcı ucun 700 dev/dak hız ile ergimiş metale daldırılmasıyla içerisinden azot gazı geçen bir boru vasıtası ile 5 gr/dak hızla, karıştırıcının ergimiş metalde oluşturduğu vortexin içine ilave edilmeye başlanmıştır. Takviye tozlarının eklenmesi sonrasında karışımın homojen olarak gerçekleşmesi için karıştırma işlemine 5 dakika süreyle devam edilmiştir. Böylece potanın dibine çökelmiş ya da sıvı metalin yüzeyinde bulunan takviye tozların matris malzemesine karışması sağlanmış olmaktadır. Karıştırma işlemi sona erdikten sonra karıştırıcı

ergimiş metalden çıkartılmış ve sıvı karışım kalıba boşaltılarak oda koşullarında soğumaya bırakılmıştır. Hibrit kompozit numunelerin üretiminde kullanılan sistemin şematik gösterimi ve üretim akış şeması Şekil 2'de ve üretilen numune görüntüsü Şekil 3'de gösterilmiştir. Devam eden üretimlerle bütün kompozit numuneler bu şekilde elde edilmiştir. Hibrit kompozitlerin özelliklerindeki iyileştirmelerin kıyaslanabilmesi için matris malzemesi de aynı üretim şartlarında hazırlanmıştır. Takviye elemanlarından SiC tozları ağırlıkça %3-%6 olarak ve Al_2O_3 tozları %1-%2, Gr tozları ise %0,5 oranında ilave edilmiştir. Hibrit kompozit numune grupları Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.(a) Hibrit Kompozit Numunelerin Üretiminde Kullanılan Sistem, (b) Üretim Akış Diyagramı



Şekil 3. Üretilen Numune Görüntüsü

Tablo 2. Hibrit Kompozit Numune Grupları

NUMARA	KOMPOZİT İÇERİĞİ
M1	Al matris
N1	%95,5 Al+ %3 SiC+%1 Al_2O_3+%0,5Gr
N2	%94,5 Al+ %3 SiC+%2 Al_2O_3+%0,5Gr
N3	%92,5 Al+ %6 SiC+%1 Al_2O_3+%0,5Gr
N4	%91,5 Al+ %6 SiC+%2 Al_2O_3+%0,5Gr

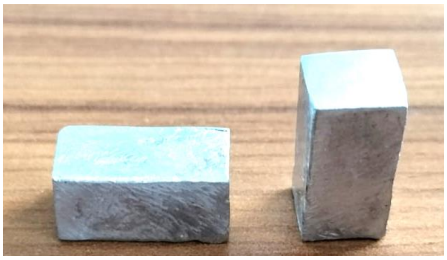
Üretimi gerçekleştirilen hibrit kompozit numuneler içerisinde takviye elemanlarının dağılımı, gözeneklilik, kümelenme, bağlanma gibi özelliklerini belirlemek için numunelerin mikroyapıları incelenmiş, XRD ve OM analizleri yapılmıştır. Optik mikroskop incelemesi için bakalite alınan numuneler, sırasıyla 150 -1000 aralığında grid zımparalar yardımıyla zımparalanmış, sonrasında elmas pasta içeriğine sahip keçeler ile parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Mikro yapı fotoğrafları Zeiss marka optik mikroskopta çekilmiştir. Numunelerin yoğunluk ölçümleri Arşimet prensibine göre ağırlıklarının ve su içinde hacimlerinin belirlenmesi ile, teorik yoğunlukları karışım kuralına göre, kompozitlerin hesaplanan teorik ve deneysel yoğunluk farklarından içerdikleri gözeneklilik oranları ile hesap edilmiştir. Deneysel, teorik yoğunluk ve gözeneklilik hesaplamada kullanılan formüller, Denklem 1-3'de gösterilmiştir. Burada ρ; yoğunluk, m; kütle, W; yüzde ağırlık olarak belirtilmiştir.

$$\rho_{Deneysel} = \left[\frac{m_{hava}}{m_{hava} - m_{su}} \right] \times \rho_{su} \quad [1]$$

$$\rho_{Teorik} = (\rho_{Al} \times W_{Al}) + (\rho_{SiC} \times W_{SiC}) + (\rho_{Al_2O_3} \times W_{Al_2O_3}) + (\rho_{Gr} \times W_{Gr}) \quad [2]$$

$$\%_{Gözeneklilik} = \left[1 - \frac{\rho_{Deneysel}}{\rho_{Teorik}} \right] \times 100 \quad [3]$$

Alüminyum hibrit kompozitlerin sertlik değerlerinin ölçülmesi Zwick marka mikro sertlik cihazında yapılmış ve sertlik değerleri HV olarak kaydedilmiştir. Hibrit kompozit numunelerin Üç Nokta Eğme testleri 100 kN kapasiteli, Zwick Roell Marka test cihazına monte edilen üç nokta eğme aparatları yardımıyla oda sıcaklığında 3 mm/dak hızında yapılmıştır. ASTM D790-10 standart boyutlarına göre numuneler 4x10x80 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Basma Testleri 100 kN'luk kapasitesi olan Zwick Roell Marka test cihazı ile oda sıcaklığı koşullarında 0,5 mm/dak hızında ASTM E9-09 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Bu standart ile hazırlanın basma numune görüntü Şekil 4'de gösterilmiştir. Her bir deney grubu için ortalaması alınmak üzere Sertlik, Eğme ve Basma Testleri için ayrı ayrı olmak üzere üçer adet deney numunesi test edilmiş ve bu deney numunelerinin aritmetik ortalaması alınarak sonuçlar ortaya konmuştur.



Şekil 4. Basma Testi Numune Görüntüsü

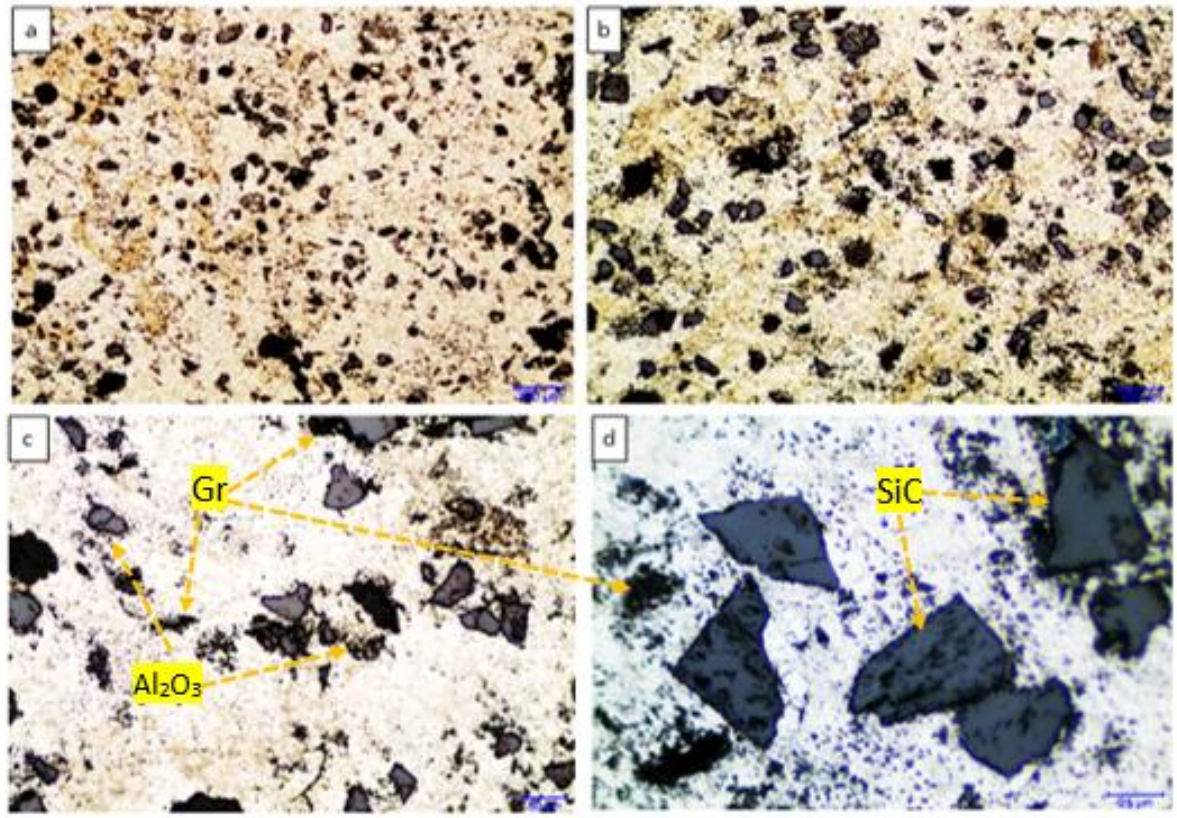
SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, karıştırma döküm (Vortex) yöntemi ile karma takviyeler ile güçlendirilmiş Alüminyum Matrisli Hibrit Kompozit numuneleri başarı ile üretilmiştir. Matris malzemesi (ana faz) olarak 98,21 saflıkta geri dönüşüm alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Takviye elemanlarının alüminyum matris malzemesine ilave edilmesi, mekanik özellikleri gelişirmiştir. Takviye elemanları matris fazı içerisindeki birtakım mikro mekanizmaları tetiklemekte ve kompozit malzemenin özelliklerinde iyileşme olmaktadır. Ayrıca ilave edilen takviye elemanları matrise göre daha sert yapıda olmaları nedeniyle uygulanan yüklere karşı direnç ortaya koymaktadırlar. Bu ortaya konan direnç mekanik özellikleri geliştirmektedir. Üretimi gerçekleştirilen herhangi bir kompozit malzemenin performansı çeşitli mekanik özelliklerin bilinmesi ile değerlendirilebilir. Her bir takviye elemanının matris malzemesine avantajları da dezavantajı da olabilmektedir. Hibrit kompozit malzeme üretimi sürecinde, özellikleri iyileştirilmek istenen alüminyum matrisine, takviye elemanları ilave edilmesiyle, mekanik özelliklerin, ilave edilen takviye fraksiyonuna ve üretim parametrelerinin değişimine bağımlı olduğu belirlenmiştir. Numunelerin yoğunluk ve gözeneklilik oranlarını gösterimi Tablo 3'te gösterilmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere SiC ve Al_2O_3 takviyesinin ağırlıkça yüzde oranının artmasıyla birlikte teorik ve deneysel yoğunluk değerleri artmaktadır. Ayrıca gözeneklilik oranları bakımından da bu paralelliğin olduğu, artan takviye elemanı ile birlikte gözeneklilik oranlarının artmakta olduğu görülmüştür.

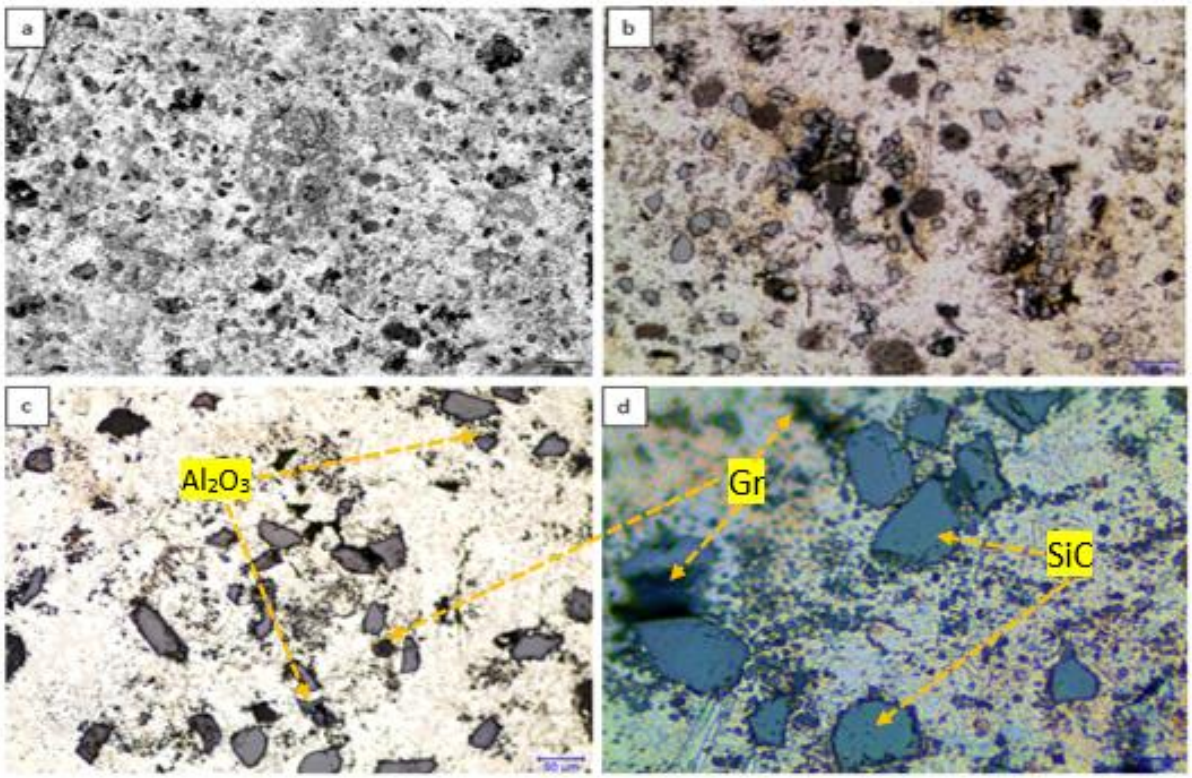
Tablo 3. Numunelerin Yoğunluk ve Gözeneklilik Oranları

NUMARA	GÖZENEKLİLİK %	DENEYSEL YOĞUNLUK (g/cm^3)	TEORİK YOĞUNLUK (g/cm^3)
M1	-	2,7	2,7
N1	3,81	2,62	2,724
N2	3,87	2,63	2,736
N3	3,98	2,63	2,739
N4	4,03	2,64	2,751

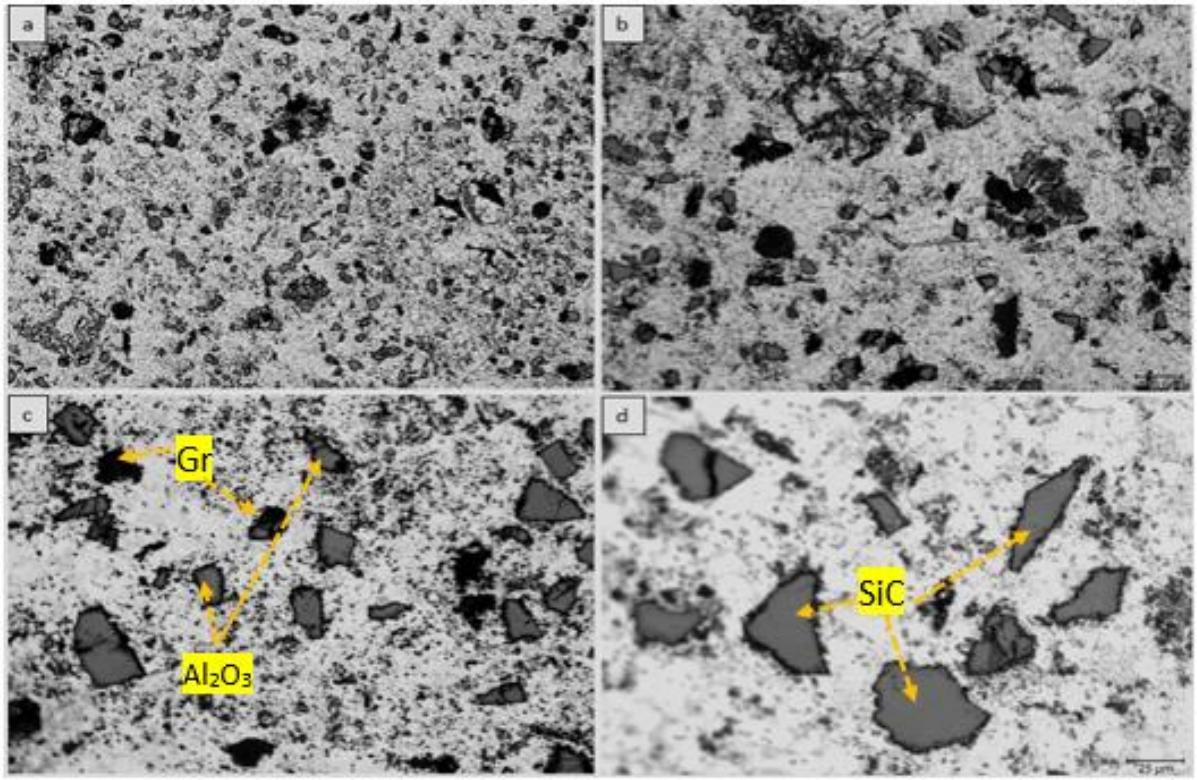
Takviye partiküllerin alüminyum matris içerisinde dağılımının homojen bir oranda olduğu mikroyapı incelemelerinde gözlenmiştir. Yapı içerisinde ayrıca hesap edilen gözeneklilik oranlarını destekler nitelikte mikroyapı görüntülerinde gözenek ve boşluk olarak gözenekliliklerin varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca matris malzemenin geri dönüşüm alüminyum olması nedeniyle mikroyapı görüntülerinde geri dönüşüm alüminyumun doğasına uygun olarak birtakım kirlikler ve inklüzyonlar kendini göstermektedir. Geri dönüşüm alüminyumlardan kazanılan elementler, impüriteler, inklüzyonlar her zaman hurda alüminyumun içerisinde safsızlıklar olarak yer alırlar. Bu safsızlıkların varlığı mikroyapı görüntülerinde açık olarak görülmektedir. Hibrit kompozitlerin mikroyapı görüntüleri Şekil 5-8'de gösterilmiştir.



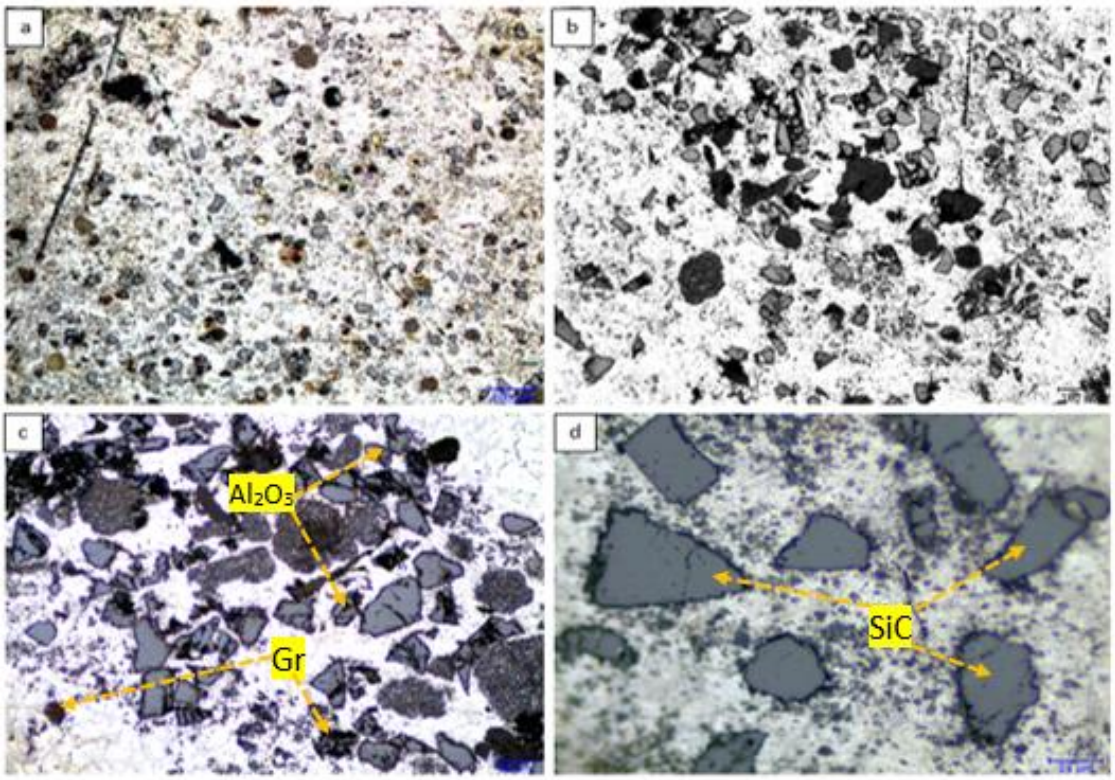
Şekil 5. N1 Kodlu Numunenin Optik Mikroskop ile Çekilmiş Mikroyapı Görüntüleri. a)5x Büyütme, b)10X Büyütme, c)20x Büyütme, d)50x Büyütme



Şekil 6. N2 Kodlu Numunenin Optik Mikroskop ile Çekilmiş Mikroyapı Görüntüleri. a)5x Büyütme, b)10X Büyütme, c)20x Büyütme, d)50x Büyütme

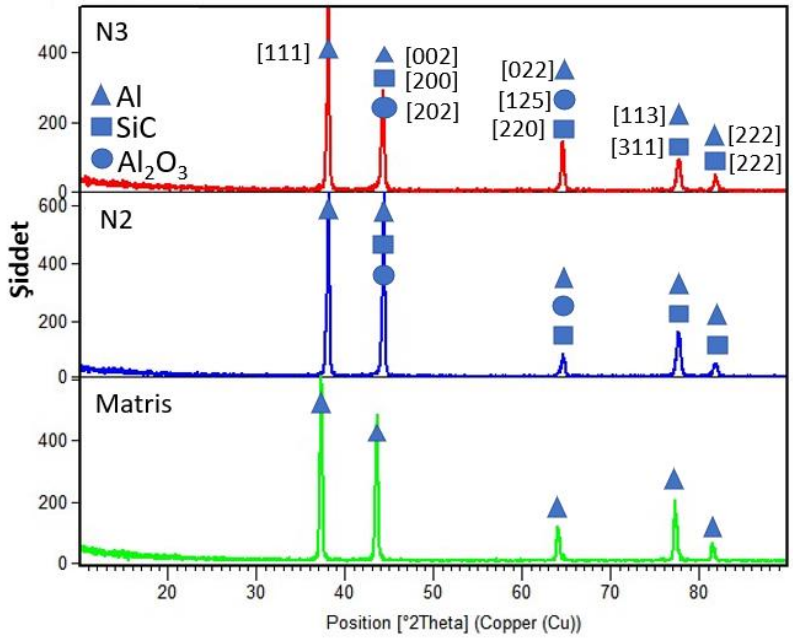


Şekil 7. N3 Kodlu Numunenin Optik Mikroskop İle Çekilmiş Mikroyapı Görüntüleri. a)5x Büyütme, b)10X Büyütme, c)20x Büyütme, d)50x Büyütme



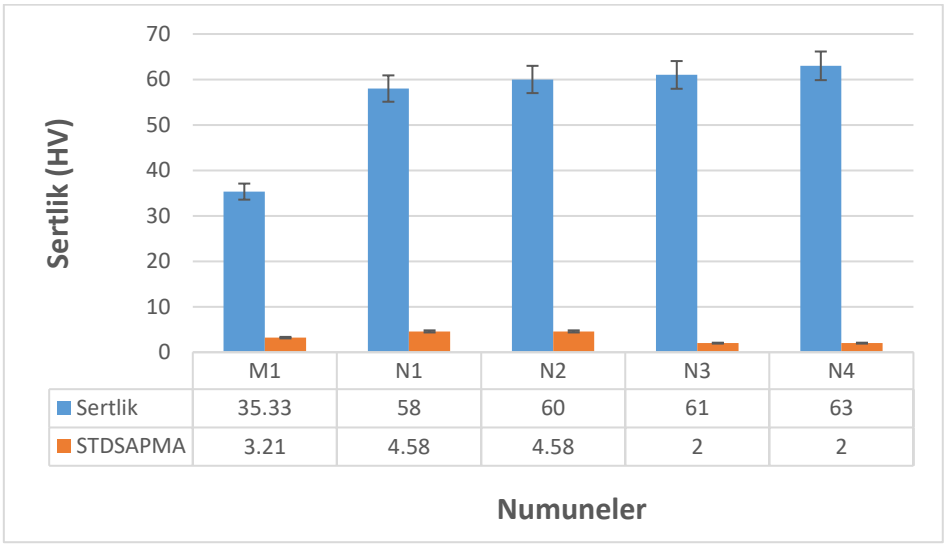
Şekil 8. N4 Kodlu Numunenin Optik Mikroskop ile Çekilmiş Mikroyapı Görüntüleri. a)5x Büyütme, b)10X Büyütme, c)20x Büyütme, d)50x Büyütme

Hibrit kompozit numunelerde takviye elemanlarının matris içerisindeki durumlarını ayrıca XRD analizi yardımı ile incelenmiştir. Numunelerin XRD analiz sonuçları, takviye elemanlarının indisleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Alüminyumun matris metali olması nedeniyle XRD grafik sonuçlarındaki belirgin ve büyük piklerin alüminyum pikleri olduğu tespit edilmiştir. Grafik sonuçlarında; takviyelerin oluşturduğu pikler, matris pikleri ile çakışık pikler olarak okunmuştur. Bu çakışık olarak okunan matris ve takviye elemanlarının pikleri takviye elemanlarının matris içerisinde uniform halde dağılım gösterdiğini kanıtlamaktadır. High Score Plus yazılım programı aracılığıyla grafik sonuçları incelenmiş tek bir pik olarak gözüken piklerin gerçekte girişim yaparak ikili ve üçlü pik grafiği olarak kaydedildiği belirlenmiştir. Takviye elemanlarından olan grafitin yapısındaki karbon, yapı içerisinde tekli olarak, bileşik oluşturmadan sabit ve noktasal olarak küçük pikler olarak okunmuştur.



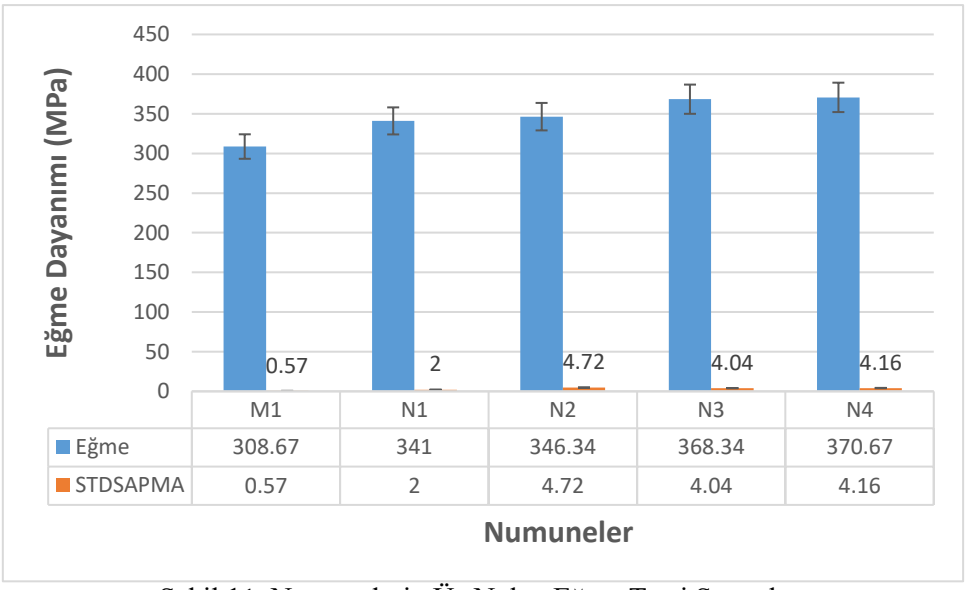
Şekil 9. Hibrit Kompozit Numunelerinin, XRD Analiz Sonuçları

Numunelerin sertlik testi sonuçları Şekil 10'da gösterilmektedir. Matris mazemesine göre takviyelendirilmiş hibrit kompozitlerin yüksek sertilk değerlere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 10'dan anlaşılacağı üzere artan takviye oranlarına paralel olarak hibrit kompozitlerde sertlik değerlerinin artmakta olduğu sonucuna varılmıştır. Kompozit numunelerin sertlik değerlerindeki iyileşmenin nedeni olarak, partikül oranının ağırlıkça yüzde oranının artmasıyla alüminyum matris boyunca takviye elemanlarının homojen dağılımı gösterilebilir (Dinesh & Ravindran, 2016). Buna ilaveten, matris içerisinde partikül oranının artmasıyla matris ile takviye elemanları arasında meydana gelen ısıl genleşme katsayısı farklılıklarından kaynaklanan kalıcı gerilmeler sertlik artışına yol açmaktadır. Ayrıca, takviye elemanlarının matrise göre yüksek sertlikte olması sertliği iyileştirmiştir. Artan takiye ağırlık fraksiyonları ile birlikte numunelerin sertlik değerlerindeki artış oranlarının birbirine yakın olmasının nedeni olarak ise takviye artış oranlarının SiC; %3-6 ve Al_2O_3; %1-2 olmasının, sertlik değerlerinin birbirlerine yakın çıkmasına neden olduğu değerlendirilmektedir.



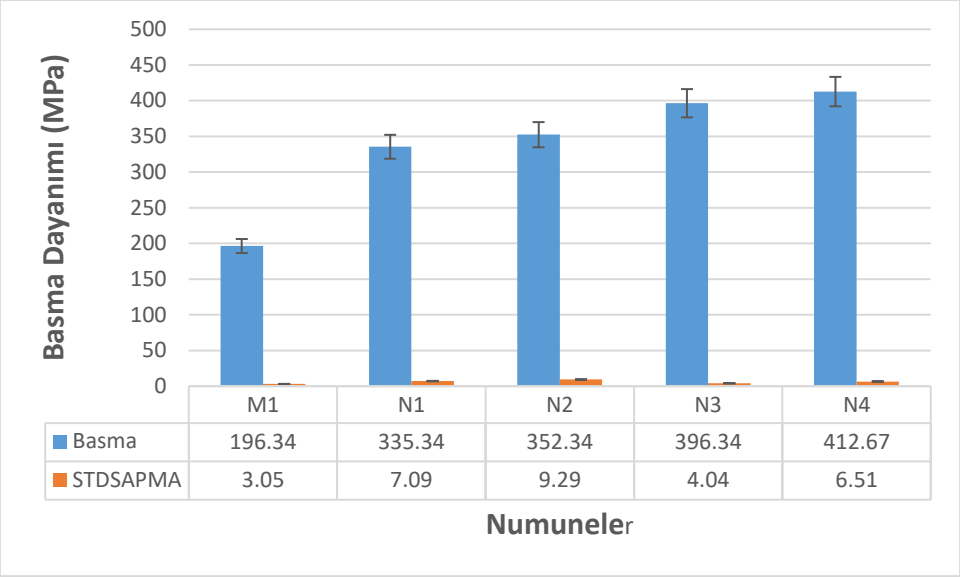
Şekil 10.Numunelerin Sertlik Testi Sonuçları

Partikül takviyeli kompozitlerin sertleşme mekanizmaları olarak, tane inceltme, aglomerasyonun önlenmesi, dislokasyon yığılması gibi faktör belirgin rol oynamaktadır (Boostani vd., 2016). Matris malzemesi dahil her bir numune için Üç Nokta Eğme Testi sonuçları Şekil 11'de gösterilmiştir. Artan takviye fraksiyonu ile birlikte aglomerasyonun azaldığı, dislokasyon yığılmasına yol açacak oranda takviyenin matris fazında bağlandığı ve takviye elemanlarının matris içerisinde miktarının artması sertlik, eğme mukavemeti gibi mekanik özellikleri arttırdığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 11. Numunelerin Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları

Alüminyum matris fazına farklı takviye elemanlarının ilave edilmesiyle üretilen hibrit kompozit numunelerinde takviye elemanları, matriste daha ince tanelerin oluşumuna yol açmış ve parçacıkların rastgele dağılması gerilmeler oluşturmuştur. Takviye elemanları, katılaşma sırasında alüminyum matrisinde heterojen katalizör görevi görmektedir. Yumuşak grafit parçacıklar yağlayıcı görevi görmekte ve arayüzey bağını güçlendirmektedir. Hibrit kompozit numuneleri güçlenen arayüzey bağları, eğilme mukavemetini arttırmaktadır (Bhasha & Balamurugan, 2021). Numunelerin basma testi sonuçları Şekil 12'de gösterilmiştir. Matris mazemesine göre takviyelendirilerek güçlendirilmiş hibrit kompozitlerin basma mukavemet değerlerinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Karma takviyelerin ilave edilmesi üretilen kompozitlerin basma dayanımını arttırmıştır. Takviye elemanlarının matris fazına göre sert yapıda olması ve yük uygulandığında deforme olmaya karşı direnç göstermeleri eğilme ve basma dayanımını geliştirmiştir.



Şekil 12. Numunelerin Basma Testi Sonuçları

Hibrit kompozit üretimi kavramında iki ya da daha fazla takviye elemanının dahil edilmesi belirtilmektedir. Dahil edilen her takviye elde edilen kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirmede yardımcı olmaktadır. Hibrit kompozit üretim kavramında iki ya da daha fazla takviye dahil edildiği için dahil edilen her takviye elde edilen kompozitin basma mukavemeti gibi mekanik özelliklerini iyileştirmede yardımcı olur

SONUÇLAR

Geri dönüşüm alüminyum ve karma takviyeli hibrit kompozit numuneler vortex yöntemi ile üretilmiş ve üretilen numunelerin mekanik özellikleri, yoğunlukları, gözeneklilik oranları incelenmiştir. Tüm bu çalışmalar sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Artan takviye fraksiyonu ile birlikte numunelerin deneysel ve teorik yoğunlukları artmıştır. Bununla birlikte ilave edilen takviye tozlarının ağırlıkça artması yapı içerisindeki gözeneklilik oranlarını arttırmıştır.
- Optik mikroskop görüntüleri, takviye partiküllerinin homojen olarak dağıldığını, matris içerisindeki artan takviye oranlarıyla partiküllerin birbirlerine yaklaştığını ortaya koymuştur.
- Hibrit kompozit numunelerde takviye elemanlarının matris malzemesi tarafından yeteri kadar ıslatılabildiğini, arayüzey bağlanmalarının başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.
- Takviye elemanlarının matris fazı içerisinde yer almasının dislokasyonların hareket etmesine engel teşkil ettiği bununda gerilmelere yol açtığı, artan takiye elemanlarının oranının artmasıyla daha homojen bir dağılımın elde edildiği, aglomerasyonun azaldığı, dislokasyon yığılmasına yol açacak oranda takviyenin matris fazında bağlandığı ve sertlik değerlerinin iyileştiği, sonucuna varılmıştır.
- Takviye partiküllerinin ağırlık fraksiyonu arttıkça, çekirdeklenme bölgelerinin fazlalaşmasına, tane yapısının incelerek çoğalmasına bununda basma mukavemetini arttırdığı bulgusuna ulaşılmıştır.
- Takviye elemanlarının alüminyum matris malzemesine ilave edilmesi, mekanik özellikleri gelişirmiştir. Takviye elamanları matris fazı içerisindeki birtakım mikro mekanizmaları tetiklemiş ve karma takviye elemanlarının ağırlıkça oranlarının artmasıyla birlikte numunelerin eğme ve basma mukavemetleri artmıştır.

- Karma takviye elemanlarının matris fazı içerisinde yer almasının dislokasyonların hareket etmesine engel teşkil ettiği bunun ise gerilmelere yol açtığı tüm bunların sonucu olarak ta kompozit malzemelerin özelliklerinin iyileştiği sonucuna varılmıştır.
- XRD analiz sonuçlarında alüminyum matris malzemesi belirgin ve büyük pikler olarak okunmuştur. SiC ve Al_2O_3 takviye elemanları matris içerisine uniform dağılım gösterdiği için alüminyum piklerine çakışık, yapıcı girişim pikleri olarak tespit edilmiştir. Grafitin yapısındaki karbon, yapı içerisinde tekli ve noktasal olarak küçük pikler olarak okunmuştur.

KAYNAKLAR

Abdizadeh, H., Baharvandi, H. R., & Moghaddam, K. S. (2008). Comparing the effect of processing temperature on microstructure and mechanical behavior of (ZrSiO4 or TiB2)/aluminum composites. Materials Science and Engineering: A, 498(1-2), 53-58.

Agarwal, B.D. ve Broutman, L.J. (1980). Analysis and perfor-mance of fiber composites, John Wiley & Sons, A.B.D.

Akinwande, A. A., Adediran, A. A., Balogun, O. A., Yibowei, M. E., Barnabas, A. A., Talabi, H. K., & Olorunfemi, B. J. (2022). Optimization of selected casting parameters on the mechanical behaviour of Al 6061/glass powder composites. Heliyon, 8(5), e09350.

Avci U. (2019). Yeni Bir Yaklaşımla Partikül Takviyeli Fonksiyonel Derecelendirilmiş Hibrit Özellikli Tabakalı Kompozit Üretimi ve Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmesinin İncelenmesi. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi. Malatya.

Bhasha, A. C., & Balamurugan, K. (2021). Studies on mechanical properties of Al6061/RHC/TiC hybrid composite. International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, 4(4), 405-415.

Biswal, S. R., & Sahoo, S. (2022). Structural and mechanical properties of a novel Al-Al2O3-WS2 hybrid composites. Materials Letters, 307, 131017.

Bodunrin, M. O., Alaneme, K. K., & Chown, L. H. (2015). Aluminium matrix hybrid composites: a review of reinforcement philosophies; mechanical, corrosion and tribological characteristics. Journal of materials research and technology, 4(4), 434-445.

Bommana, D., Dora, T., Senapati, N. P., & Kumar, A. S. (2022). Effect of 6 Wt.% Particle (B4C+ SiC) Reinforcement on Mechanical Properties of AA6061 Aluminum Hybrid MMC. Silicon, 14(8), 4197-4206.

Boostani, A. F., Tahamtan, S., Yazdani, S., Khosroshahi, R. A., Wei, D., Sahamirad, H., & Jiang, Z. Y. (2016). Graphene tweaking Hamaker constant of SiC nanoparticles: A new horizon to solve the conflict between strengthening and toughening. Scripta Materialia, 118, 65-69.

Bulei, C., Kiss, I., & Alexa, V. (2021). Development of metal matrix composites using recycled secondary raw materials from aluminium wastes. Materials Today: Proceedings, 45, 4143-4149.

Christy, J. V., Arunachalam, R., Mourad, A. H. I., Krishnan, P. K., Piya, S., Al-Maharbi, M. (2020). Processing, Properties, And Microstructure Of Recycled Aluminum Alloy Composites Produced Through An Optimized Stir And Squeeze Casting Processes. Journal Of Manufacturing Processes, 59, 287-301.

Dinesh, M., & Ravindran, R. (2016). Tensile and hardness behavior of aluminum 7075 and Zinc and Chromium metal matrix composite by Stir-Casting Route. International Archive of applied Sciences and Technology, 7, 39-46.

Ekka, K.K., Chauhan S., Varun. R. (2014). Dry sliding wear characteristics of SiC and Al2O3 Eng; 40:571–81.

Feng, Y. C., Geng L., Zheng P. Q., Zheng, Z. Z. and Wang, G. S. (2008), Fabrication and characteristic of Al-based hybrid composite reinforced with tungsten oxide particle and aluminum borate whisker by squeeze casting, Material & Design, 29, 2023–2026.

Gajalakshmi, K., Senthilkumar, N., & Palanikumar, K. (2022). Experimental analysis and optimization on machining of coated carbon fiber and nanoclay reinforced aluminum hybrid composites. Carbon Letters, 32(3), 815-833.

Garg, P., Jamwal, A., Kumar, D., Sadasivuni, K. K., Hussain, C. M., & Gupta, P. (2019). Advance research progresses in aluminium matrix composites: manufacturing & applications. Journal of Materials Research and Technology, 8(5), 4924-4939.

Gopinath, S., Prince, M., & Raghav, G. R. (2020). Enhancing The Mechanical, Wear And Corrosion Behaviour Of Stir Casted Aluminium 6061 Hybrid Composites Through The İncorporation Of Boron Nitride And Aluminium Oxide Particles. Materials Research Express, 7(1), 016582.

Hull, D. (1981). An Introduction to Composite Material, 2nd ed., McGraw-Hill Book Co., pp. 196–252.

Hynes, N. R. J., Sankaranarayanan, R., Sujana, J. A. J., Krolczyk, G. M., & Ene, A. (2022). Decision tree approach based green flow-drilling of hybrid aluminium matrix composites using eco-friendly coolants. Journal of Manufacturing Processes, 80, 178-186.

Kalemtaş, A. (2014). An overview of metal matrix composites. Putech&Composites, 22, 18-30.

Lubin, G., 2013. "Handbook of composites." Springer Science & Business Media, New York.nanoparticulate aluminium matrix composite using Taguchi technique. Arab J Sci

Muzeer, S., & Sivaganesan, S. (2022). Tribological behaviour of aluminium based hybrid metal matrix composites (Al6061/B4C/ZrO2/SiC). Materials Today: Proceedings, 56, 507-513.

Park, S. J., & Seo, M. K. (2011). Types of composites. In Interface science and technology (Vol. 18, pp. 501-629). Elsevier.

Rajan, T.P.D., Pillai R.M., Pai B.C. (1998). Reinforcement coatings and interfaces in aluminium metal matrix composites. J Mater Sci;33:3491–503.

Rajesh, G.L., Auradi V., Kori S.A. (2016) Mechanical behaviour and dry sliding wear properties of ceramic boron carbide particulate reinforced Al6061 matrix composites. Trans Indian Ceram Soc 75(2):112–119.

Ramanathan, A., Krishnan, P. K., & Muraliraja, R. (2019). A review on the production of metal matrix composites through stir casting–Furnace design, properties, challenges, and research opportunities. Journal of Manufacturing processes, 42, 213-245.

Reddy, M. P., Shakoor, R. A., Parande, G., Manakari, V., Ubaid, F., Mohamed, A. M. A., & Gupta, M. (2017). Enhanced performance of nano-sized SiC reinforced Al metal matrix nanocomposites synthesized through microwave sintering and hot extrusion techniques. Progress in Natural Science: Materials International, 27(5), 606-614.

Safri, S.N.A., Sultan M.T.H., Jawaid M., Jayakrishna K. (2018). Impact behaviour of hybrid composites for structural applications: a review. Composites Part B Eng 133:112–21.

Smith, W.F. (1996). Principles of Materials & Engineering, McGraw-Hill, New York,

Srinivasan, R., Hariharan, K., Jeyanthan, S. A., Kamalesh, M., & Ali, I. (2022). Effect of addition of titanium carbide and graphite reinforcement on Al7075 hybrid metal matrix composites by gravity stir casting method. Materials Today: Proceedings, 62, 86-93.

Stojanović, B., Babić, M., Veličković, S., & Blagojević, J. (2016). Tribological behavior of aluminum hybrid composites studied by application of factorial techniques. Tribology Transactions, 59(3), 522-529.

Şimşek, D. (2021). Mekanokimyasal Yöntemle Üretilen Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Yüksek Sıcaklıklardaki Tribolojik Davranışlarının Araştırılması. Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı. Doktora Tezi.