

# Sıcak Preslenmiş Bronz-Nikel-Kobalt'lı Matrislere Sıvı Fazın Etkisinin İncelenmesi

Büşra TUNÇ<sup>1\*</sup> Ertuğrul ÇELİK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Aclarlar Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Artvin, Türkiye

<sup>2</sup>Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye

## Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 16/08/2024  
Düzeltilme: 13/01/2025  
Kabul: 15/01/2025

## Anahtar Kelimeler

Metal matris kompozitleri  
Toz metalürjisi  
Sıvı faz sinterleme  
Sıcak presleme

## Article Info

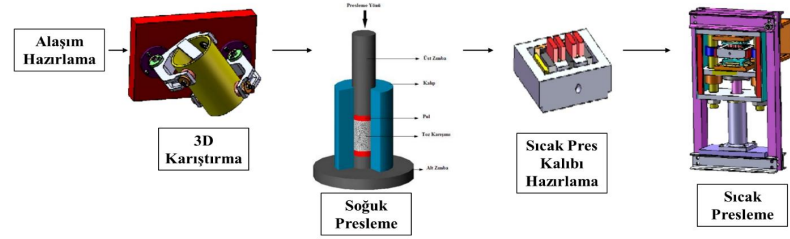
Research article  
Received: 16/08/2024  
Revision: 13/01/2025  
Accepted: 15/01/2025

## Keywords

Metal matrix composites  
Powder metallurgy  
Liquid phase sintering  
Hot pressing

## Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada, %80 bronz, %15 nikel ve %5 kobalt içeren bir metal matris kompozit malzeme, Ag-Cd katkıları (%2, %4, %6) eklenerek sıvı faz sinterleme ve sıcak presleme yöntemleriyle üretilmiştir. / In this study, a metal matrix composite material consisting of 80% bronze, 15% nickel (Ni), and 5% cobalt (Co) was fabricated by incorporating Ag-Cd alloys at proportions of 2%, 4%, and 6%.



Şekil A: Deney iş akışı / Figure A: Experimental Workflow

## Önemli noktalar (Highlights)

- Sinterleme sıcaklığı (650, 700, 750°C) ve Ag-Cd katkı oranlarının malzemenin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiş, 750°C'de ve %4 AgCd katkısı ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir. / The material was produced using liquid phase sintering and hot pressing techniques. The effects of varying sintering temperatures (650, 700, 750°C) and Ag-Cd addition ratios on the microstructural and mechanical properties of the composite were examined, revealing optimal results with 4% AgCd addition at 750°C.
- Mikroyapı analizleri (SEM, EDS) ve mekanik testler (sertlik, üç noktalı eğme) bu kompozitlerin dayanıklılık ve performansını optimize etmek için önemli veriler elde edilmiştir. / SEM, EDS analyses, hardness testing, and three-point bending tests provided critical insights into optimizing the material's mechanical strength and overall performance.

**Amaç (Aim):** Bu çalışmanın amacı, AgCd alaşımları eklenmiş metal matrisli kompozit bir malzeme üretilip mikroyapısal ve mekanik özelliklerini değerlendirmektir. / The aim of this study is to produce a metal matrix composite material with AgCd alloy additions and evaluate its microstructural and mechanical properties.

**Özgünlük (Originality):** metal matrisli bir kompozite AgCd alaşımlarının farklı oranlarda eklenerek malzemenin mikroyapısal ve mekanik özelliklerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlayan özgün bir yaklaşım sunmaktadır. / It presents an innovative approach by incorporating varying amounts of AgCd alloys into a metal matrix composite enabling a comprehensive evaluation of the material's microstructural and mechanical properties.

**Bulgular (Results):** sıcaklık değişimleri ve Ag-Cd katkı oranlarının kompozit malzemenin mikroyapısı ve mekanik özelliklerini iyileştirdiğini ortaya koymuştur. / The results have demonstrated that variations in temperature and Ag-Cd addition ratios improved the microstructure and mechanical properties of the composite material.

**Sonuç (Conclusion):** Sinterleme sıcaklığının artışı, tüm numunelerde eğilme dayanımını artırırken, AgCd miktarının artması da bu dayanım değerlerini iyileştirmiş ve matris içindeki gözenekleri doldurarak malzemenin yoğunluğunu artırmıştır. / The increase in sintering temperature enhanced the bending strength of all samples, while the higher AgCd content improved these strength values and increased the material's density by filling the pores within the matrix.



## Sıcak Preslenmiş Bronz-Nikel-Kobalt'lı Matrislere Sıvı Fazın Etkisinin İncelenmesi

Büşra TUNÇ<sup>1\*</sup> Ertuğrul ÇELİK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Artvin, Türkiye

<sup>2</sup>Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye

### Makale Bilgisi

Research article  
Received: 16/08/2024  
Revision: 13/01/2025  
Accepted: 15/01/2025

### Anahtar Kelimeler

Metal matris kompozitleri  
Toz metalürjisi  
Sıvı faz sinterleme  
Sıcak presleme

### Öz

Bu çalışmada, %80 bronz, %15 nikel (Ni) ve %5 kobalt (Co) içeren bir metal matris kompozit malzeme üretilmiştir. Bronz, genellikle bakır ve kalay alaşımı olarak bilinir ve yüksek korozyon direnci ile mekanik dayanıklılık sunar. Nikel, metal matris kompozitlerde korozyon ve oksidasyon direncini artırırken, kobalt ise sertliği ve aşınma direncini iyileştirir. Bu kompozit malzeme, %2, %4 ve %6 oranlarında AgCd alaşımı ile zenginleştirilmiştir. Malzeme üretim sürecinde sıcak presleme yöntemiyle sıvı faz sinterleme tekniği uygulanmıştır. Bu yöntem, yüksek yoğunluk ve iyi mekanik özellikler elde edilmesine olanak tanır. Çalışmada farklı sıcaklıklar (650, 700, 750°C) kullanılarak sinterleme işlemi gerçekleştirilmiş ve malzemenin mikroyapısal özellikleri üzerinde sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Analiz aşamasında SEM kullanılarak malzemenin mikro yapısı incelenmiş ve EDS ile elementel analizler yapılmıştır. Sertlik testi, malzemenin mekanik dayanıklılığını değerlendirmek için kullanılmıştır. Yoğunluk, malzemenin kütesinin hacmine oranı olarak belirlenmiş ve malzemenin iç yapısı hakkında bilgi vermiştir. Üç noktalı eğme testi, malzemenin eğilme mukavemetini ölçerken, kırık yüzey analizi malzemenin kırılma davranışlarını ortaya koymuştur. Sonuçlar, sıcaklık değişimlerinin ve Ag-Cd katkı oranlarının, kompozit malzemenin mikro yapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini göstermiştir. Sıvı faz sinterleme ve sıcak presleme süreçlerinin, malzemenin dayanıklılığı, sertliği ve diğer fiziksel özellikleri üzerinde önemli iyileşmeler sağladığı gözlemlenmiştir. Matrisle ağırlıkça %4 AgCd katkısı eklenerek ve 750°C'de sinterleme işlemi uygulanarak üretilen numunelerin, mekanik ve fiziksel özellikler açısından en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir.

## Investigation of the Effect of Liquid Phase on Hot Pressed Bronze-Nickel-Cobalt Matrices

### Article Info

Araştırma makalesi  
Başvuru: 16/08/2024  
Düzeltilme: 13/01/2025  
Kabul: 15/01/2025

### Keywords

Metal matrix composites  
Powder metallurgy  
Liquid phase sintering  
Hot pressing

### Abstract

In this study, a metal matrix composite material consisting of 80% bronze, 15% nickel (Ni), and 5% cobalt (Co) was produced. Bronze is commonly known as a copper-tin alloy and offers high corrosion resistance and mechanical durability. Nickel enhances corrosion and oxidation resistance in metal matrix composites, while cobalt improves hardness and wear resistance. The composite material was further enriched with AgCd alloy in proportions of 2%, 4%, and 6%. The material production process involved the application of the liquid phase sintering technique using hot pressing. This method enables the achievement of high density and good mechanical properties. Sintering was conducted at different temperatures (650, 700, 750°C), and the effect of temperature on the microstructural characteristics of the material was investigated. During the analysis phase, the microstructure of the material was examined using SEM and elemental analysis was performed using EDS. Hardness testing was employed to evaluate the mechanical durability of the material. Density, defined as the mass-to-volume ratio, provided information about the material's internal structure. Three-point bending tests measured the bending strength of the material, while fracture surface analysis revealed the material's fracture behavior. The results demonstrated the effects of temperature variations and Ag-Cd addition ratios on the microstructure and mechanical properties of the composite material. Significant improvements in the material's durability, hardness, and other physical properties were observed due to the liquid phase sintering and hot pressing processes. It has been determined that samples produced by adding 4 wt.% AgCd to the matrix and applying a sintering process at 750°C exhibit the best results in terms of mechanical and physical properties.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompozit malzemeler, birbirleri içinde çözünmeyen en az iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilerek oluşturulduğu malzemelerdir [1]. Bu malzemeler, yüksek dayanım, aşınma ve korozyon direnci, rijitlik, sıcaklık performansı, ısı iletkenlik, ses sönümlenme, düşük ağırlık ve estetik görünüm gibi çeşitli özelliklerin sağlanmasına olanak tanır [2,3]. Kompozitler, genellikle bir ana matris ve bir veya daha fazla takviye elemanından oluşur [3]. Matris malzemeleri, kompozitlerin kullanım amacına ve üretim yöntemine bağlı olarak metal, seramik veya polimer olabilir. Metal matrisli kompozitler (MMK'ler), sünek bir metal matris içine sert veya sünek takviye malzemeleri eklenerek üretilir [4].

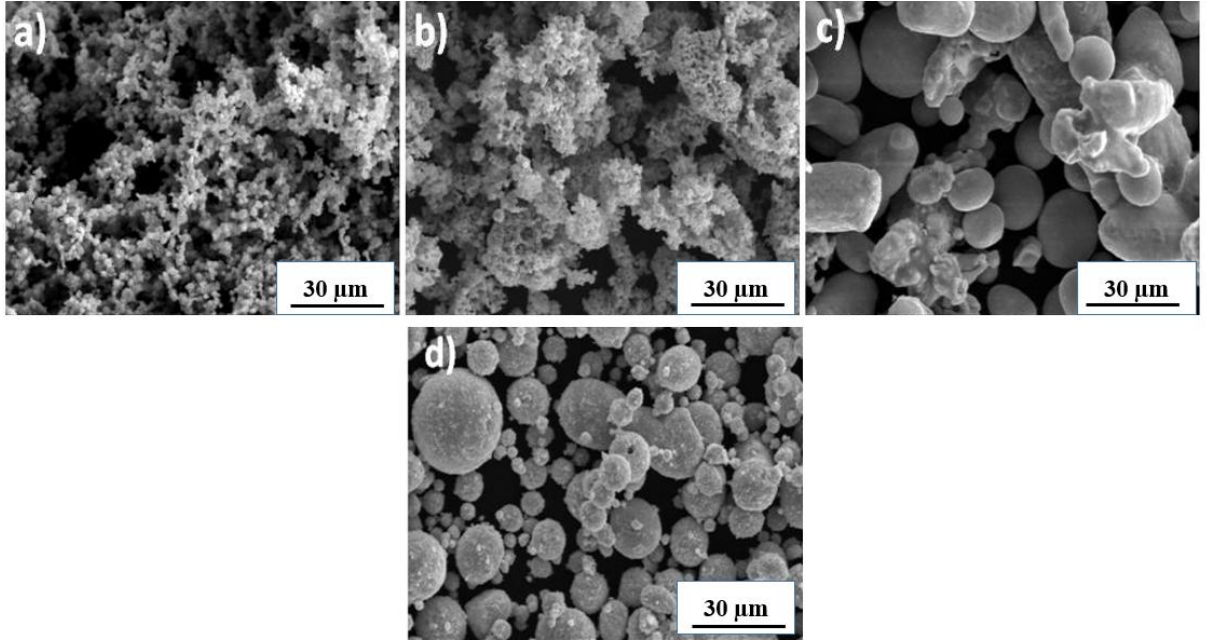
Geleneksel üretim yöntemleri, özellikle kaynak, döküm ve talaşlı imalat gibi teknikler, bazı durumlarda oldukça karmaşık geometriye sahip parçaların ve alaşımların üretimini zorlaştırabilir veya imkânsız hale getirebilir. Yüksek ergime sıcaklıklarına sahip metaller, örneğin molibden (W), tungsten (W) ve platin (Pt), bu geleneksel yöntemlerle işlenmesi genellikle tercih edilmez. Bu tür malzemelerin işlenmesinde toz metalurjisi tekniği, bu zorlukların üstesinden gelmesini sağlar. Toz metalurjisi, bu metallerin ve parçaların rahatlıkla şekillendirilmesine olanak tanırken, döküm ve talaşlı imalat sırasında ortaya çıkan malzeme kayıplarını ve işleme kayıplarını minimize eder. Bu nedenle, toz metalurjisi, malzeme kaybını azaltma ve işçilik maliyetlerini düşürme açısından ekonomik bir üretim yöntemi olarak öne çıkar [5]. Sıcak presleme, toz metalurjisi üretim yöntemlerinden biri olarak, yüksek yoğunluklu malzemelerin üretilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, malzemelere izostatik basınç uygulanır ve işlem, koruyucu bir gaz ortamında gerçekleştirilir [6]. Yüksek sıcaklık ve basınç altında uygulanan süre, malzemenin plastik deformasyonuna, sürtünmeye ve difüzyona neden olur. Gözeneklerin ortadan kaldırılması ve malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla, toz metalurjisi uygulamalarında parçalar sıcak izostatik presleme işlemine tabi tutulur. Bu işlem, katı veya toz formundaki iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesine veya kaplanmasına olanak sağlar [7]. AgCd (gümüş-kadmiyum) takviyesi, metal matrisli kompozitlerin performansını artırmada önemli bir rol oynar. Kadmiyum, metal matrisin akışkanlığını artırarak

sıvı faz sinterleme sırasında daha homojen bir yapı sağlar, böylece yüksek sıcaklıklarda daha stabil bir performans gösterir. Gümüş ise yüksek elektriksel ve termal iletkenlik özellikleri sunarak kompozitin bu alanlarda performansını artırır ve korozyon direncini geliştirir. Bu iyileştirmeler, kompozitlerin elektriksel ve termal uygulamalarda daha etkili olmasını ve genel performansını artırmasını sağlar [8].

Çalışmada, bronzun ağırlıkça %80, nikelin %15 ve kobaltın %5 oranında kullanıldığı bir metal matris oluşturulmuş ve bu matrise, ağırlıkça farklı oranlarda AgCd alaşımları eklenerek metal matrisli kompozit (MMK) malzeme üretilmiştir. Bu kompozit malzeme, sıcak pres sinterleme tekniği kullanılarak imal edilmiştir. Elde edilen malzemenin mikroyapısı, faz bileşenleri ve kırık yüzey özellikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) aracılığıyla detaylı bir şekilde incelenmiştir. SEM analizi, malzemenin mikro yapısal detaylarını ve faz dağılımını ortaya koyarken, malzemenin sertlik ve yoğunluk gibi mekanik özellikleri de ölçülerek performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

Çalışma kapsamında kullanılan %99 saflıktaki CuSn15, Ni, Co tozları ve %95 saflıktaki AgCd alaşımı piyasadan ticari olarak temin edildi. Karışımı oluşturan malzemeler, 0.01 gram hassasiyetinde bir tartı kullanılarak (RADWAG, Kore) belirlenen oranlarda tartıldı. Hazırlanan toz karışımının kirlenmesini önlemek amacıyla, yüksek yoğunluklu polietilen bir kaptaki, turbula mikser (Çelmak TB7, Türkiye) ile 30 dakika süreyle 40 devir/dakika hızında kuru karıştırma işlemi gerçekleştirildi. Kuru karıştırma işleminin amacı, malzeme karışımının homojen bir ön karışımını sağlamaktır. Matristen beklenen performansı elde edebilmek için seçilen tozların düzgün bir şekilde karıştırılması ve matris içinde eşit olarak dağılması gerekmektedir. Toz partiküllerinin boyutlarını küçülterek karışımın homojenliğini artırmak ve matris içerisinde eşit dağılımını sağlamak amacıyla mikser kullanılmıştır. Deneyde kullanılan tozların Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Deneyde kullanılan numune kodları ve numune içerikleri ise Tablo 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Deneyde kullanılan malzemelerin SEM görüntüleri a)Nikel, b) Kobalt, c) CuSn15, d) AgCd (The SEM images of the materials used in the experiment are a) Nickel, b) Cobalt, c) CuSn15, d) AgCd)

**Tablo 1.** Numune kodları ve içerikleri (Sample codes and compositions)

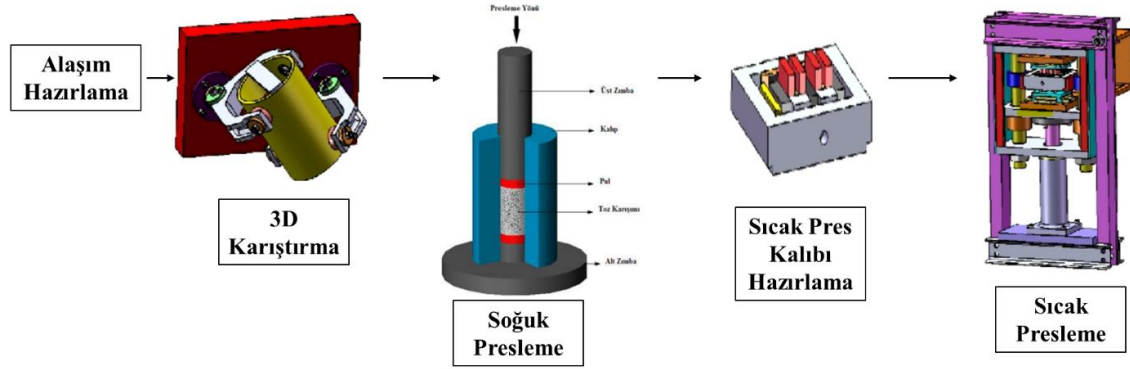
NUMUNE KODU	NUMUNE İÇERİĞİ (ağırlıkça)
S1	% 80 CuSn15+% 15 Ni+% 5 Co
S2	S1+% 2 AgCd
S3	S1+% 4 AgCd
S4	S1+% 6 AgCd

Ön karışımı yapılan malzemelere, homojen bir karışım elde etmek amacıyla %2 oranında polietilen glikol (PEG) eklendi. PEG'in topaklanma etkisini önlemek ve ıslatıcıyı karışım içinde eşit şekilde dağıtmak için, karışıma hacimce 3/1 oranında, aynı boyutta 55 HRC sertliğinde, taşlanmış ve etil alkol ile temizlenip kurutulmuş çelik bilyeler ilave edilerek karıştırıldı. Karışımın yapıldığı mikser kapalı tip bir hazneye sahiptir. Karışım hazneye konduktan sonra, dış ortam ile tozların teması kesilmek üzere haznenin kapağı sıkıca kapatılır. Mikser çalıştırıldığında, toz haznesi 360 derece dönebilme özelliğine sahip olup, bu hareket sayesinde tozlar homojen bir şekilde karışmaktadır. Karıştırılan malzemeler 20 gramlık gruplar halinde tartıldı ve çift etkili soğuk pres kullanılarak 300 MPa basınç altında 4 saniye süreyle preslendi. Bu yanmasını sağlamak için 480 °C'de 2 dakika süreyle bekleme yapıldı. Sinterleme tamamlandıktan sonra, numuneler 35 MPa basınç altında 200 °C'de

işlem sonucunda, 23×23×9 mm boyutlarında numuneler elde edildi. Soğuk preslenen malzemeler grafit kalıplara yerleştirildi. Malzemelerin kalıplara yapışmasını önlemek ve sıcak presleme sonrası kolayca çıkarılmasını sağlamak için, grafit kalıp yüzeylerine sıvı bor nitrür sürüldü. Grafit kalıptaki numuneler, PLC kontrollü ve doğrudan dirençli ısıtma tekniği kullanılarak sıcak presleme işlemi uygulandı. Numuneler, 120 °C/dak ısıtma oranında ve 35 MPa basınç altında, sırasıyla 650, 700 ve 750 °C sıcaklıklarda 4 dakika süreyle %99.9 saf azot (N<sub>2</sub>) atmosferinde sıcak presleme işlemine tabi tutuldu. Sıcaklık ölçümü, grafit kalıbın merkezine yerleştirilen 1200 °C kapasiteli K tipi bir termokupl ile gerçekleştirildi. Sinterleme işleminin başlangıcında, matris karışımına eklenen PEG'in

soğutuldu ve oda sıcaklığına gelene kadar bekletildi. Her seriden 23×23×9 mm boyutlarında beş adet numune üretildi. Şekil 2'de deneyde

kullanılan sıcak presleme yöntemi aşamaları verilmiştir.



Şekil 2. Denede kullanılan sıcak presleme yöntemi [10, 24] (The hot pressing method used in the experiment [10, 24])

Malzemeleri metalografik işlemlere hazırlamak için yüzeyleri 300, 600, 800, 1000, 1200 ve 2000 Mesh'lik su zımparaları ile zımparalandı. Zımparalama işleminden sonra malzeme yüzeyleri sırasıyla 3 mikron ve 1 mikronluk elmas pastalar ile çuha üzerinde parlatılarak dağlama işlemine hazır hale getirildi. Parlatılan yüzeylerdeki kalıntıları temizlemek için, numuneler etil alkol ile temizlenip kurutuldu. Temizlenen yüzeyler,  $5\text{HNO}_3 + 5$  asetik asit +  $1\text{H}_3\text{PO}_4$  karışımının %50 oranını saf su ile seyrelterek hazırlanan çözeltide, daldırma yöntemi ile dağlama işlemine tabi tutuldu.

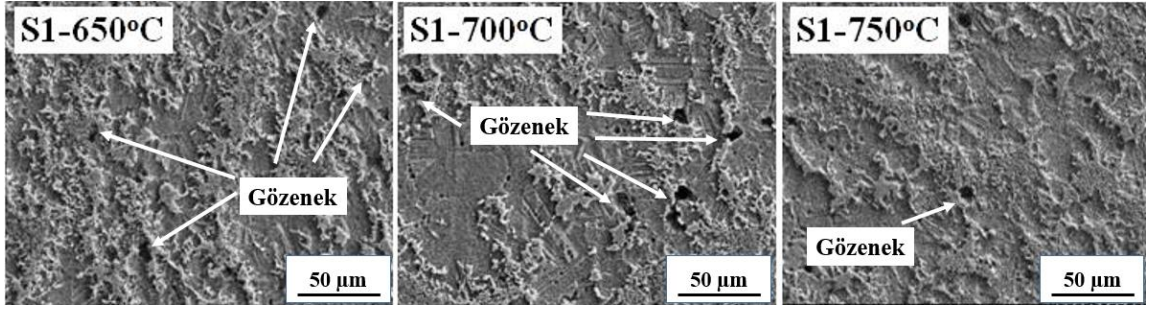
Numunelerin yoğunluğunu belirlemek için Arşimet prensibine dayalı yoğunluk ölçümü yapılmıştır. Bu işlem için ASTM B-311 standardı kullanılmıştır. Üretilen numunelerin makro sertliklerini belirlemek için, üçüncü nesil universal sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Sertlik ölçümü, 187,5 kg yük ve 2,5 mm çapındaki ölçüm gücü ile Brinell (HB30) ölçeğinde gerçekleştirilmiştir. Her numune için 6 ayrı ölçüm yapılmış ve elde edilen sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak sertlik değerleri hesaplanmıştır. Eğilme mukavemetini belirlemek için üç noktalı eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneyler, ASTM B 528-83a standardına uygun olarak, 1 mm/dk hızda ve 30 mm alt destek boşluğunda yapılmıştır. Testler, 100 kN kapasiteli marka universal test cihazı ile ve TRAPEZIUMX yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SEM ve EDS analizi, Hitachi SU3500 marka cihaz kullanılarak yüksek vakum altında gerçekleştirilmiştir.

### 3. BULGULAR (RESULTS)

Sıcak presleme yöntemiyle üretilen numunelerin sonuçları değerlendirilmiştir. Numunelerin mikroyapı, sertlik, yoğunluk, üç noktalı eğilme mukavemeti analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, grafikler ve fotoğraflar ile sunulmuştur.

#### 3.1. Mikroyapı Analizi (Microstructure Analysis)

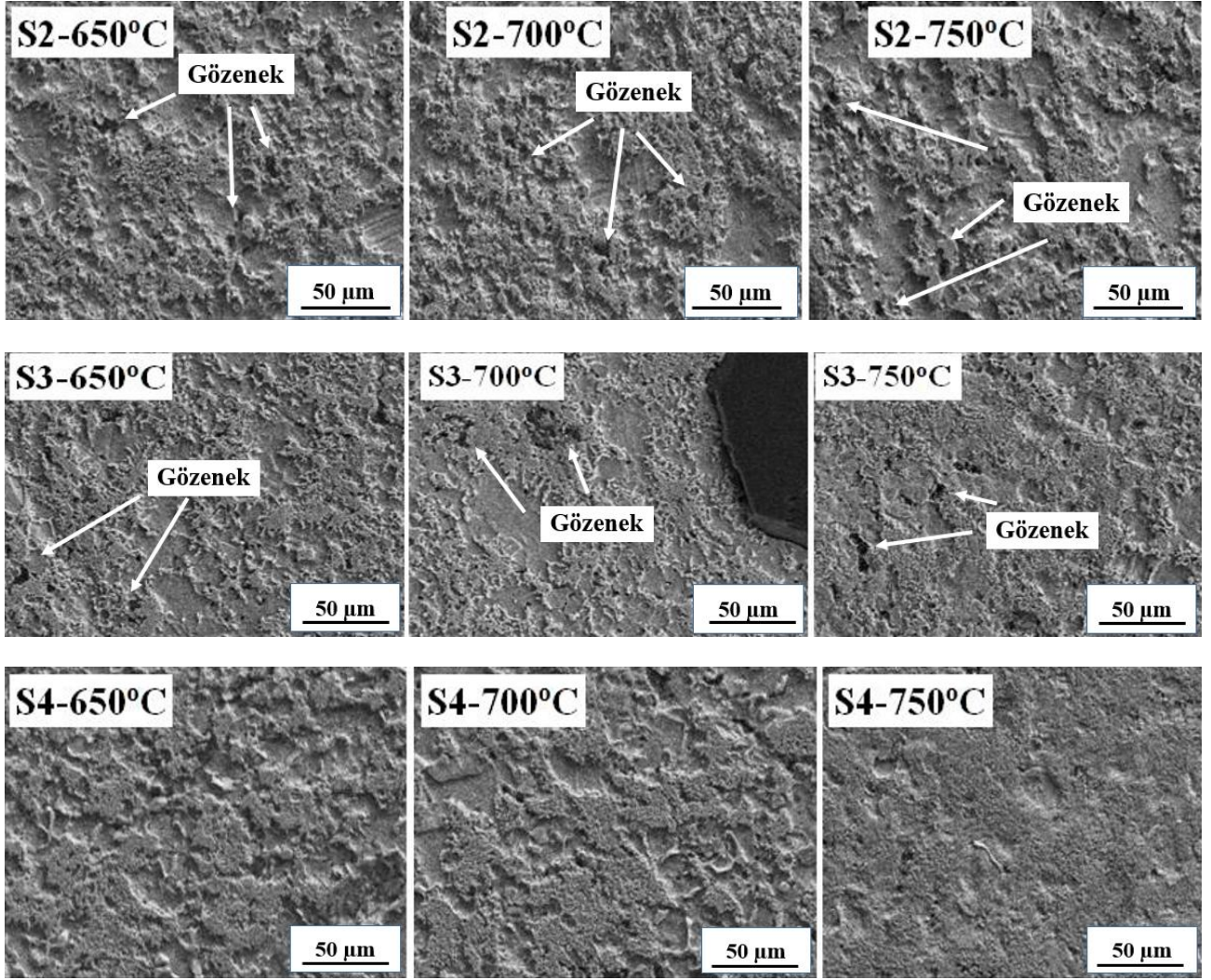
Şekil 3'te, S1 numunesinin 650, 700 ve 750 °C sıcaklıklarındaki sinterleme işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen mikroyapının SEM fotoğrafları gösterilmiştir. Bu fotoğraflardan, matrisin %80'ini oluşturan bronzun yapıda homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, matris içerisine eklenen Ni ve Co elementleri, tane sınırlarında bir araya gelerek makro gözenekleri doldurmuştur. S1 numunesinde 650 °C sinterleme sıcaklığında, genellikle mikro boyutta kısmi gözenekler gözlemlenmiştir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça, mikro gözenekler birleşerek makro gözeneklere dönüşmüştür. 700 °C'de sinterlenen S1 numunesinde, gözenekler kısmen kaybolmuş ve yapı daha düzenli (homojen) hale gelmiştir. 750 °C'de sinterlenen S1 numunesinde ise, sinterleme sıcaklığının artmasıyla birlikte hem makro hem de mikro gözenekler azalmıştır. Artan sıcaklık ve basınç etkisiyle, bronz partikülleri yassılaştırmış ve bronz zengin bölgelerin varlığı azalmıştır [9]. 750 °C'de sinterleme ile yapı içerisindeki gözenekler daha da azalırken, malzemenin yapısında belirgin bir düzenlenme gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, sinterleme sıcaklığının artmasının malzemenin gözenekli yapısında gözle görülür bir azalmaya yol açtığını göstermektedir.



**Şekil 3.** Matris olarak kullanılan S1 numunesinin farklı sıcaklıklardaki SEM görüntüleri (SEM images of the S1 sample used as the matrix at different temperatures)

Şekil 4'te, AgCd içeren S2, S3 ve S4 numunelerinin SEM mikroyapı fotoğrafları sunulmuştur. Bu fotoğraflarda, AgCd eklenmesinin mikroyapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. S2 numunesinde, kısmen mikro gözeneklerin azalmasına yol açmıştır. Artan sıcaklıkla birlikte, sıvı fazın yapı içinde daha iyi dağıldığı ve gözenekleri doldurduğu gözlemlenmiştir. Katkısız S1 numunesinin mikroyapısı ile karşılaştırıldığında, makro gözeneklerin belirgin şekilde azaldığı görülmüştür. Ayrıca, bronz zengin bölgelerinin azaldığı ve segregasyonun daha düşük olduğu bir mikroyapı elde edilmiştir. Bu bulgular, sıvı fazın sinterleme sırasında partikül hareketlerini kolaylaştırdığını ve böylece bölgesel tane irileşmesini engellediğini göstermektedir. 750°C'de yapılan sinterlemede, SEM görüntüleri AgCd sıvı fazının Ni-Co zengin bölgelerdeki mikro gözenekleri doldurduğunu ve yapıyı daha homojen hale getirdiğini ortaya koymuştur. S3 numunesinde, S2 numunesine göre daha homojen bir dağılım sağladığı gözlemlenmiştir. 650°C'de sinterlenen S3 numunesinde, artan sıvı fazın etkileri mikroyapı fotoğraflarında belirginleşmiştir. Mikro gözenek miktarındaki azalma ve bronz tanelerinin Ni-Co arasındaki birleşme gözle görülür şekilde artmıştır. 750 °C'de yapılan sinterleme işlemi, makro gözeneklerin boyutlarını küçültmüş ve sıvı faz etkisi ile partiküllerin hareketliliği artmış, böylece

segregasyonun azaldığı görülmüştür. S4 numunesinde ise, sıvı fazın tanecikler arasındaki difüzyonunu artırmış ve partiküller arasındaki bağlanmayı kolaylaştırmıştır [23]. Bu, matris içinde daha iyi çözünme sağlamıştır. Artan sıvı faz miktarı, 650°C'den itibaren mikroyapıda görülen makro gözenek miktarını önemli ölçüde azaltmıştır. Ayrıca, Ni-Co zengin bölgelerin yapı içinde daha homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. 700°C'de sinterlenen numune ise Ni-Co adacıkları belirginleşmiştir. 750°C'de artan AgCd oranı ve sıcaklık etkisi ile oluşan sıvı faz miktarı, neredeyse tamamen gözeneklerden arınmış bir içyapı sağlamıştır. Bu sıcaklık ve ilave edilen AgCd miktarı, yapı içerisindeki fazların daha homojen bir şekilde dağılmasına yol açmıştır. Özellikle, %6 AgCd oranı, mikroyapıda AgCd zengin bölgelerin oluşumunu tetiklemiştir (Şekil 5). AgCd, matris içerisinde homojen bir şekilde dağılmış ve mikro ile makro gözenekleri doldurarak mikroyapının daha düzenli hale gelmesini sağlamıştır. 750°C'de sinterlenen S4 numunesinde, artan sinterleme sıcaklığı ve %6 AgCd ilavesinin, partiküller arası bağ oluşumunu sıvı faz etkisiyle iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Genel olarak, mikroyapı incelemeleri, AgCd miktarının ve sinterleme sıcaklığının artmasının mikroyapılarda iyileştirici değişimlere yol açtığını göstermektedir [11].



**Şekil 4.** S2 (%2 AgCd), S3 (%4 AgCd) ve S4 (%6 AgCd) numunelerinin farklı sıcaklıklardaki SEM görüntüleri (SEM images of the S2 (2% AgCd), S3 (4% AgCd), and S4 (6% AgCd) samples at different temperatures)

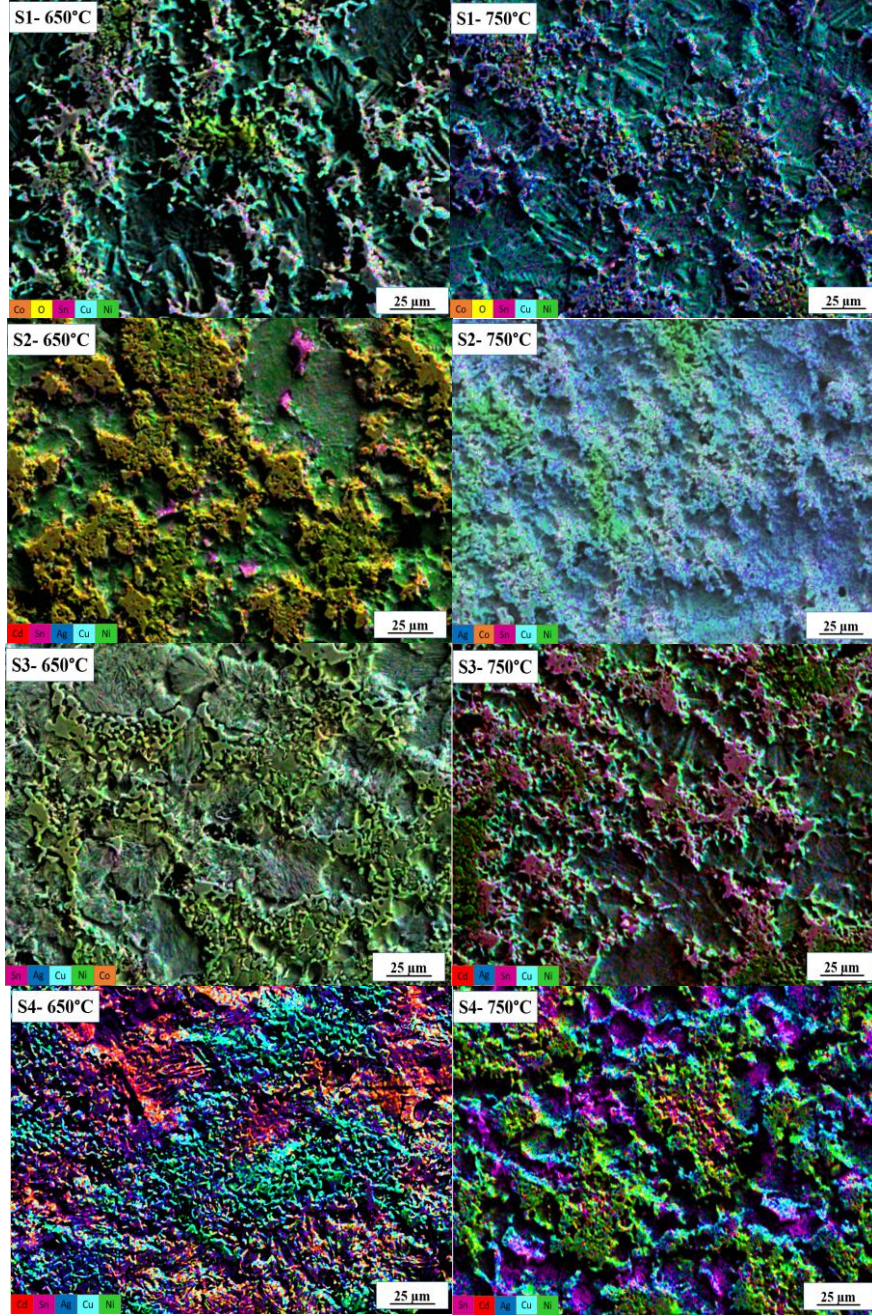
### 3.2. EDX-MAP Analizi (EDX- MAP Analysis)

Üretilen numunelerde toz karışımına katılan CuSn15, Ni, Co ve AgCd'in mikroyapı içerisindeki dağılımını daha iyi anlamak amacıyla 650°C ve 750°C'de sinterlenen numunelerin EDX-MAP analizleri yapılmıştır. 700°C sinterleme sıcaklığında analiz yapılmamıştır çünkü bu sıcaklıkta elde edilen mikroyapının yapısal değişiklikleri, 650°C ve 750°C sıcaklıklarındaki değişimlerle kıyaslandığında daha az belirgin ve anlamlı farklılıklar göstermiştir. 650°C ve 750°C sıcaklıkları, mikroyapısal özelliklerin daha belirgin değişikliklerini ortaya koyarak, bu sıcaklık noktalarında malzeme özelliklerinin detaylı bir şekilde incelenmesini sağlamıştır. Şekil 5'te, 650 C ve 750°C sinterleme sıcaklıklarında üretilen numunelere ait EDX-MAP analiz görüntüleri sunulmuştur. Bu analizler, katkı elemanlarının yapı içinde homojen bir şekilde dağıldığını ortaya

koymaktadır. Ni ve Co zengin bölgeler, Bronz tanelerinin sınırlarında belirgin olarak gözlemlenmiştir. 750°C sinterleme sıcaklığında, sıcaklığın etkisiyle Bronz tanelerinde belirgin bir büyüme meydana gelmiştir. Özellikle Ni'in CuSn15 tanelerinin sınırlarında yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. S2 numunesinin EDX-MAP analizleri, S1 numunesi ile karşılaştırıldığında AgCd sıvı fazının yapıdaki gözenekleri kısmen azalttığını göstermektedir. Bu analizlerde, Bronz tanelerinde belirli bir irileşme gözlemlenmiştir. Ayrıca, Ni-Co zengin bölgelerinin daha homojen bir dağılım sergilediği belirlenmiştir. 750°C'de sinterlenen S2 numunesinde, S1 numunesine göre Bronz tanelerinin büyümesinin daha belirgin olduğu görülmüştür. Ayrıca, AgCd sıvı fazının kapiler etki nedeniyle Ni-Co bölgelerindeki gözeneklere nüfuz ettiği gözlemlenmiştir. S3 numunesinin sinterleme analizlerinde, AgCd

oranının artmasıyla Bronz tanelerindeki irileşme oranının da arttığı görülmüştür. S2 numunesine kıyasla, Ni-Co adacıklarının daha yoğun bir yapı oluşturduğu tespit edilmiştir. 750°C’de sinterlenen S3 numunesinde ise Bronz tanelerinde gözle görülür değişiklikler meydana gelmiştir; bu

durumun AgCd sıvı fazının Bronz tanelerini kısmen çözdürmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sıvı fazın etkisiyle partiküller arasındaki hareketlerin, mikroyapısal değişimlere neden olduğu değerlendirilmiştir.



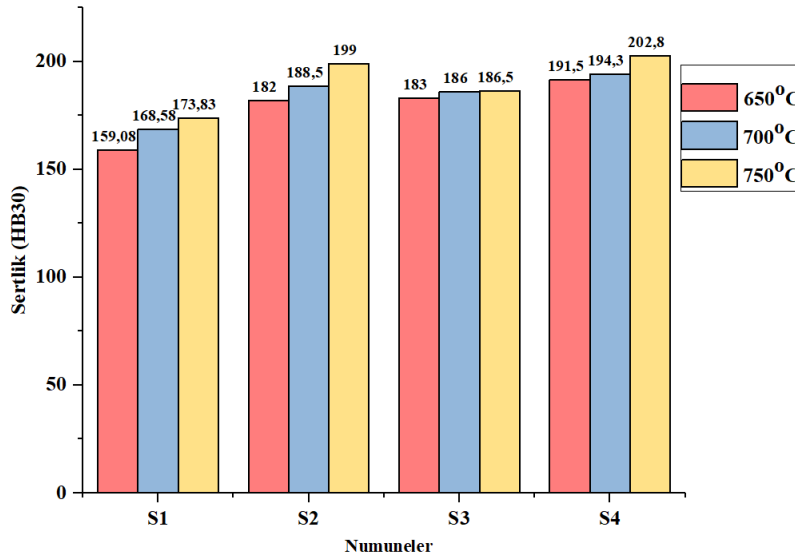
**Şekil 5.** S1 (CuSn15), S2 (%2 AgCd), S3 (%4 AgCd) ve S4 (%6 AgCd) numunelerinin 650°- 750° sıcaklıklardaki EDX-MAP görüntüleri (EDX-MAP images of the S1 (CuSn15), S2 (2% AgCd), S3 (4% AgCd), and S4 (6% AgCd) samples at temperatures of 650°C-750°C)



### 3.3. Sertlik Analizi (Hardness Analysis)

Üretilen numunelere ait sertlik ölçüm sonuçları Şekil 6'da sunulmuştur. Grafikten, AgCd katkısının artışıyla numunelerin sertlik değerlerinde belirgin bir artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, sinterleme sıcaklığındaki artışın, S1, S2, S3 ve S4 numunelerinin sertlik değerlerini artırdığı tespit edilmiştir. Sıcaklık yükseldikçe, gözenek miktarının azaldığı ve partiküller arasında daha sıkı bağların oluştuğu görülmüştür. Bu durum, sertlik değerlerinde artışa neden olmuştur. AgCd katkısının sıvı faza dönüşmesi, gözenekleri doldurmuş ve sinterleme sürecindeki partikül hareketlerini kolaylaştırmıştır [12]. Bu etki, sertlik değerlerinin artmasını sağlamıştır. Sertlikteki artışın bir diğer nedeni, sıcaklık artışı ile toz partikülleri arasında sıvı hal difüzyonu ve partikül hareketi yoluyla daha iyi bir bağlanmanın oluşmasıdır [13]. Grafik incelendiğinde, S3 numunelerindeki sertlik artışının S2 numunesine kıyasla beklenenin altında olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun, oluşan sıvı

fazın kapiler etki sonucu mikro gözenekleri doldurması ve artan sinterleme sıcaklığı ile makro gözeneklerin yol açtığı yapısal kusurlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, %4 oranındaki AgCd'nin sıvı faz miktarının mukavemet değerlerinde bir eşik değeri oluşturabileceği sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlara ve Şekil 6'da gösterilen verilere göre, sinterleme sıcaklığı ile numunelerin sertlik değerleri arasında genel bir doğru orantı görülmektedir. Ancak, bu doğrusal ilişki belirli bir sıcaklık aralığına kadar geçerlidir ve belirli bir sıcaklık noktasından sonra bu ilişki bozulabilir [14, 15]. Sonuç olarak, AgCd takviye elemanının matris içinde çözünerek numunelerin mukavemetine önemli katkılar sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca, numune sertliklerinde sıcaklık artışının etkisiyle bir yükselme gözlemlenmiştir, bu da sıcaklık artışının sertlik üzerinde artırıcı bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.



Şekil 6. Sinterleme sıcaklığı ve katkılama oranının numunelerin sertliğine etkisi (The effect of sintering temperature and addition ratio on the hardness of the samples)

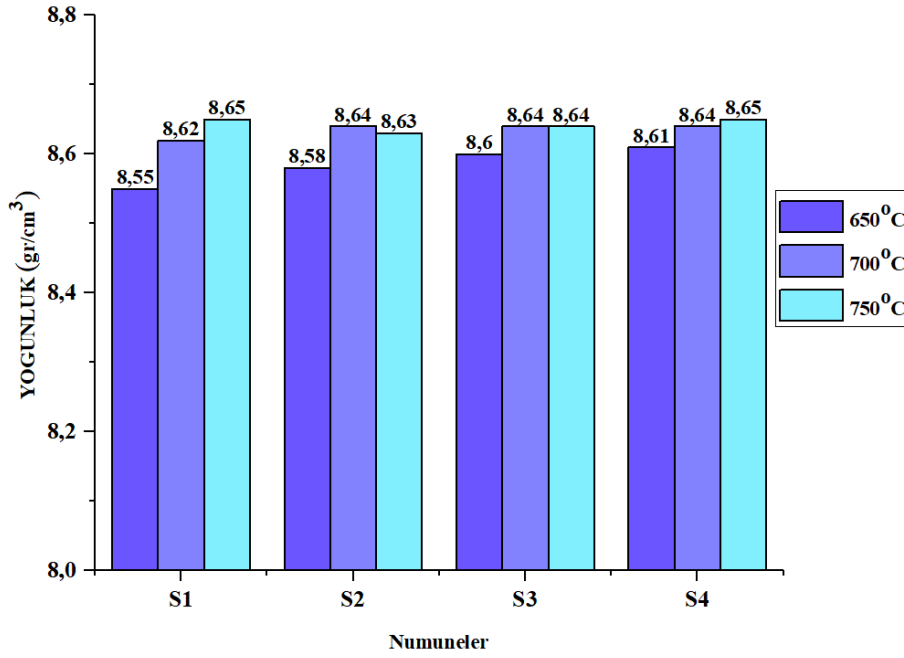
### 3.4. Yoğunluk Analizi (Density Analysis)

Şekil 7' de, 650, 700 ve 750 °C sinterleme sıcaklıklarında tüm numunelerin yoğunluk değişimleri sunulmuştur. Bu veriler, matris içerisine eklenen AgCd'nin artan sinterleme sıcaklıkları ile birlikte yoğunluk üzerinde belirgin bir artırıcı etki sağladığını göstermektedir. Artan AgCd oranı, matrisin tanecikler arasında daha etkili bir şekilde yayılmasını ve boşlukları doldurmasını sağlayarak yoğunluğu artırmaktadır [16, 17]. Ayrıca, sabit

sinterleme sıcaklıklarında AgCd ilavesinin bağlı yoğunlukları artırdığı ve bu durumun, artan AgCd oranının sıkıştırılabilirlik üzerindeki olumlu etkisi ile açıklanabileceği görülmektedir [18]. 750 °C'de sinterlenen S2 ve S3 numunelerinde yoğunluk değerlerinde bir miktar azalma gözlemlenmiştir. Bu azalma, sinterleme sırasında AgCd sıvı fazının kalıplardan sızması sonucu materyalin iç yapısında meydana gelen yoğunluk kaybına bağlanmaktadır.

Numunelerin teorik yoğunluk değerleri sırasıyla 8.67, 8.68, 8.69 ve 8.70 gr/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Artan sıcaklığın etkisiyle, malzeme içinde daha homojen bir dağılım ve sıkışmış bir yapı gözlemlenmiştir. Yoğunluk verilerinde bu değişim doğrudan gözlemlenmemiş olsa da sertlik ve SEM görüntüleri bu yapısal iyileşmeyi desteklemektedir. Sinterleme sıcaklığındaki artışla birlikte, teorik ve deneysel yoğunluklar arasındaki farkın azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, toz metal partiküllerinin birbirine olan difüzyonunun sinterleme sıcaklığına bağlı olarak iyileşmesinden

kaynaklanmaktadır ve sonuç olarak yoğunluğun artmasına neden olmaktadır [4]. Artan sinterleme sıcaklığı, partiküller arasında sıvı faz oluşumunu artırmakta ve bu da partiküller arasındaki difüzyon sürecini teşvik etmektedir [19]. Genel olarak, artan sinterleme sıcaklıklarında bağlı yoğunlukların arttığı, bu durumun ise sinterleme işleminin etkinliğini ve malzemenin yapısal bütünlüğünü güçlendirdiğini göstermektedir [20].



Şekil 7. Sinterleme sıcaklığı ve katkılama oranının numunelerin yoğunluğa etkisi (The effect of sintering temperature and addition ratio on the density of the samples)

### 3.5. 3 Noktalı Eğilme (TRS) Deneyi Sonuçları (3

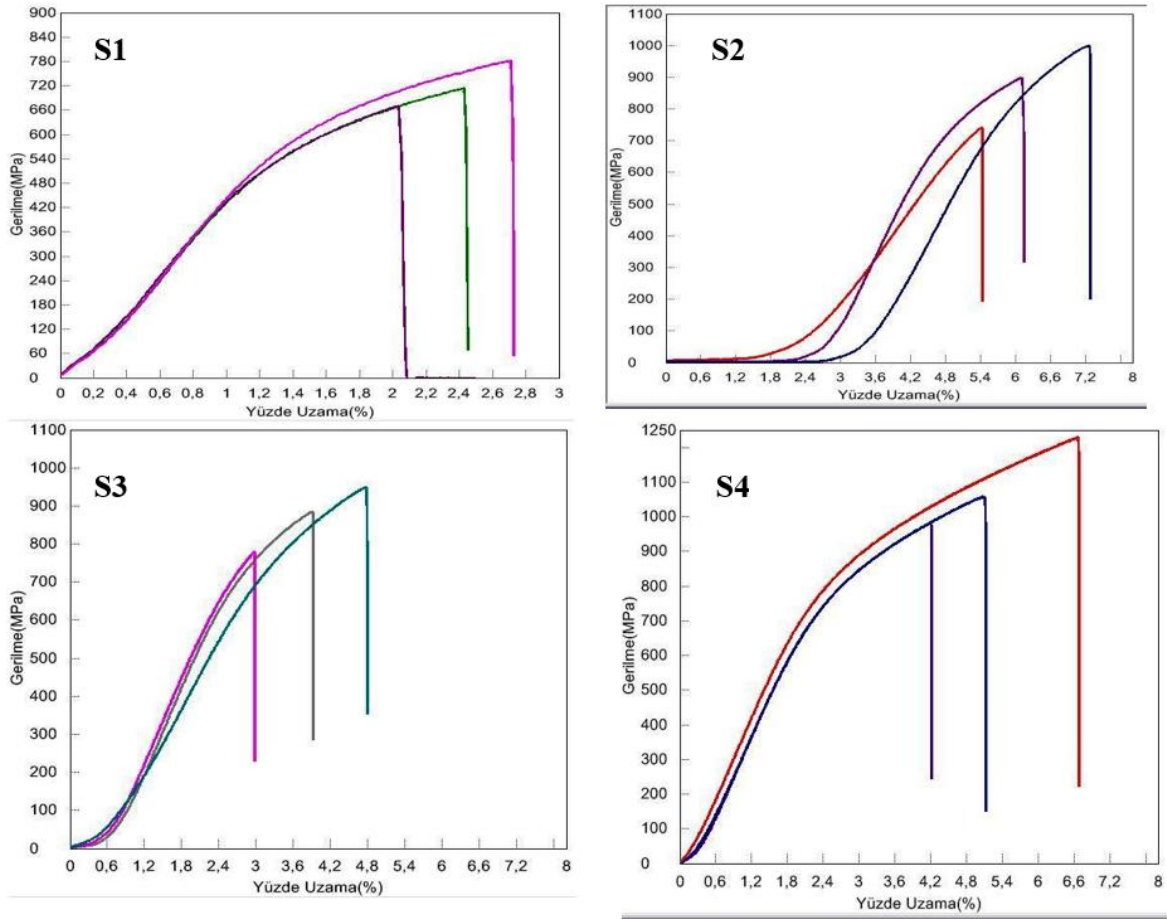
Point Bending (TRS) Test Results)

S1, S2, S3 ve S4 numunelerinde yapılan analizler, sinterleme sıcaklığındaki artışla birlikte eğme dayanımlarında gözle görülür bir artış sağlandığını göstermiştir. Bu bulgular, aşağıda sunulan grafiklerde detaylı olarak gözlemlenmiştir (Şekil 8). S1 numunelerinin eğme testi 650°C, 700°C ve 750°C sinterleme sıcaklıklarında üretilen numuneler sırasıyla 670 MPa, 713 MPa ve 780 MPa gerilme altında %2,1, %2,45 ve %2,72 oranında uzama göstererek kırılmıştır. Eğme dayanımı, sinterleme sıcaklığındaki artışla birlikte belirgin bir şekilde yükselmiştir; en yüksek eğme dayanımına 750°C'de, 780 MPa gerilme ile ulaşılmıştır. Ayrıca, sinterleme sıcaklığındaki artışın, eğilme mukavemeti ile birlikte numunelerin uzama miktarını da etkilediği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, sinterleme sıcaklığının malzemenin

mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini açıkça ortaya koymaktadır. S2 numuneleri üzerinde gerçekleştirilen üç noktalı eğme testleri, sırasıyla 742 MPa, 892 MPa ve 988 MPa gerilmelerde %5,41, %6,09 ve %7,25 uzama ile kırılma göstermiştir. %2 AgCd katkısının S2 numunelerinin üç noktalı dayanımına olumlu bir etkisi olduğu ortaya konmuştur. %2 AgCd ilavesi sayesinde S2 numunelerinin üç noktalı dayanımları, S1 numunelerindekilerden daha yüksek değerler göstermiştir. Ayrıca, S2 numunelerinde sinterleme sıcaklığının artışı ile birlikte eğme dayanımlarında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Sinterleme sıcaklığı ile birlikte boyca uzamanın da etkilenmiş olduğu; düşük sinterleme sıcaklıklarında %5,41 olan uzamanın, yüksek sinterleme sıcaklıklarında %7,25'e yükseldiği ve bu artışın yaklaşık %1,84

olarak hesaplandığı belirlenmiştir [4]. Bu sonuçlar, sinterleme sıcaklığı ve AgCd katkısının numunelerin mekanik performansı üzerindeki etkilerini vurgulamaktadır. S3 numuneleri, sırasıyla 778 MPa, 884 MPa ve 948 MPa gerilmelerde %2,96, %3,9 ve %4,7 uzama ile kırılmıştır. %4 AgCd içeren S3 numunelerinin üç noktalı eğilme dayanımları, %2 AgCd eklenen S2 numunelerine kıyasla daha yüksek değerler göstermiştir. Bu artışın nedeni, matris içerisine eklenen AgCd miktarının artmasıyla sinterleme sürecinde sağlanan sıvı fazın, partiküller arasında daha iyi bir bağlanma ve homojenlik sağlayarak mekanik özellikleri iyileştirmesidir. AgCd'nin artan miktarı, matris içindeki gözenekleri daha etkin bir şekilde doldurarak ve partiküller arası bağları güçlendirerek eğilme dayanımını artırmıştır. S4 numuneleri, sırasıyla 980, 1057 ve 1228 MPa gerilmeleri altında, %4,19, %5,07 ve %6,66 uzama göstererek kırılmıştır. Ağırлықça %6 AgCd içeren S4

numuneleri, en yüksek 3 noktalı eğilme dayanımına sahip olan numunelerdir. Bu durum, S4 numunelerindeki AgCd oranının en yüksek olmasıyla açıklanmaktadır. Şekil 8'de gösterildiği üzere, S4 numunesi 750 °C'de 1228 MPa gerilme altında en yüksek eğilme dayanımına ulaşmıştır ve aynı zamanda bu sıcaklıkta boyca uzama miktarı %6,66'ya kadar çıkabilmiştir. AgCd eklenmesiyle, matris yüzeylerinde farklı genişleme katsayılarından kaynaklanan gerilim yoğunlaşmaları meydana gelmektedir. Bu durum, matrisin dayanımını artıran dislokasyonların yüzeyde birikmesine yol açar. Sıcaklık arttıkça, dislokasyon yoğunluğu da artmakta ve bu da matrisin dayanımını olumlu yönde etkilemektedir [21]. Artan AgCd oranı, matris içerisinde daha fazla yer alarak yapı içindeki gözenekleri doldurur ve böylece malzemenin yoğunluğunu artırır [22]. Elde edilen mikro yapı ve sertlik sonuçları da bu eğilimleri desteklemektedir.



**Şekil 8.** S1 (CuSn15), S2 (%2 AgCd), S3 (%4 AgCd) ve S4 (%6 AgCd) numunelerinin 650°- 750° sıcaklıklardaki 3 noktalı eğilme grafikleri (3 point bending graphs of the S1 (CuSn15), S2 (2% AgCd), S3 (4% AgCd), and S4 (6% AgCd) samples at temperatures of 650°C-750°C)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- Matrise eklenen ağırlıkça %2, %4 ve %6 AgCd'nin, matris içerisinde homojen bir dağılım göstermediği durumlarda, malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerinin olumsuz yönde etkilendiği belirlenmiştir. Mikroyapı incelemeleri, AgCd miktarının artışı ve sinterleme sıcaklığının yükselmesinin, mikroyapı üzerinde iyileştirici değişikliklere neden olduğunu göstermektedir.
- EDX-MAP analiz sonuçları, katkı elemanlarının yapı içinde homojen olarak dağıldığını ve Ni ile Co zengin bölgelerin Bronz tane sınırlarında yoğunlaştığını ortaya koymuştur. 750 °C'de sinterlenen numunelerde, sinterleme sıcaklığının etkisiyle Bronz tanelerinde belirgin bir irileşme gözlemlenmiştir. EDX analizleri, Nikel'in Bronz tane sınırlarında yoğunlaştığını da göstermektedir.
- Sinterleme sıcaklığının artması, Ni-Co adacıklarının boyutlarını büyütmüş, bu durumun yapının daha gevrek bir hale gelmesine yol açtığı sonucuna varılmıştır.
- Matrise eklenen AgCd miktarının artması, AgCd'nin sıvı faza dönüşerek gözenekleri doldurmasına ve sinterleme esnasında partikül hareketlerini kolaylaştırmasına neden olmuş, bu da numunelerin sertliğini artırmıştır. Sinterleme sıcaklığının artırılması, partiküller arası sıkı bağ oluşumunu sağlamış ve gözenek miktarını azaltmıştır. Bu durum, numunelerin sertlik değerlerinde artışa yol açmıştır.
- AgCd takviye elemanının matris içinde çözünmesi, numunelerin mukavemetini artıran bir katkı sağlamıştır. Sinterleme sıcaklığının yükselmesiyle, partiküller arasında sıvı faz oluşumunda artış gözlemlenmiştir.
- Matrise eklenen AgCd, tanecikler arasında kolaylıkla yayılmakta ve boşlukları doldurarak yoğunluk üzerinde olumlu bir etki yapmaktadır. 750 °C'de sinterlenen %2 ve %4 AgCd katkılı numunelerin, yoğunluk değerlerinde bir miktar azalma görülmüştür. Bu durumun, sıcak presleme işlemi sırasında AgCd sıvı fazının kalıplardan sızarak yoğunluğu azaltması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.
- Tüm numunelerin sinterleme sıcaklığının artışı, eğilme dayanımlarında belirgin bir artış

sağlamıştır. Ayrıca, AgCd miktarının artması, eğilme dayanım değerlerinde bir artışa neden olmuştur. AgCd'nin matris içinde daha fazla yer alması, yapı içindeki gözenekleri doldurmuş ve malzemeyi daha yoğun bir hale getirmiştir.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Büşra TUNÇ:** Deneyle yapılmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

She conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process.

**Ertuğrul ÇELİK:** Deneyle yapılmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

He conducted the experiments and analyzed the results.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ersoy, H.Y.,2001. Kompozit Malzeme, iç. Kompozit Malzemeler, Savaş Ciltevi, 11-13, Edi. Özal, S., Literatür Kitabevi, İstanbul, Türkiye
- [2] Donald, R.A., 1988. Composite materials, The Science and Engineering of materials, SI edition, Van Nostrand Reinhold.Co.Ltd., 507-546
- [3] Kınayyigit, F., 2007. Cam Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler Ders Notları
- [4] Çelik E., Tunç B., 2024, Bronz-Nikel-Kobalt matrisli kompozitlerde SiC oranlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi, Munzur 6. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, Tunceli, 217-225.
- [5] Yavuz, N., Güner, R., 2002. Demir Esaslı Toz Metal Parçaların Elektrik Direnç Kaynağından Optimum Kaynak Şartlarının Belirlenmesi, Uludağ

- Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7(1), 221-228
- [6] Kurgan, N., 2005. T/M Paslanmaz Çelik İmplantlarının Üretimi ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, Celal Bayer Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, Doktora Tezi, 9, 25-46.
- [7] Nas, E., Gökkaya, H., ve Sur, G., 2013. Sıcak presleme yöntemi kullanılarak kompozit malzemelerin üretilebilirliği üzerine bir değerlendirme, Karaelmas Science and Engineering Journal 3 (2), 56-65.
- [8] Hussain, M., Mahmoud, M.H.H, Rasheed, A., H. El Azab, I., Anwar, M., M. El-Bahy, Z., 2024, Silver-doped cadmium aluminate and its MXene based composite for visible-light driven photocatalytic degradation of organic pollutants, Optical Materials, 155 115824,
- [9] Çelik E., Tunç B., 2024, Alan destekli sinterleme yöntemi (FAST) ile üretilen bronz esanslı matrisin mekanik ve mikroyapı özelliklerine SiC'in etkisi, Al Farabi 12th International Scientific Research and Innovation Congress, Kazakistan, 654-663.
- [10] Çelik, E., 2011. Elmaslı Kesici Takımlarda Alternatif Bağlayıcılar. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [11] Lee, D. W., Ha, G.H., Kim, B.K., 2001. Synthesis of Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano composite powder, Scripta Materialia, 44(8-9), 2137-2140.
- [12] Min, K.H., Lee, B.H., Chang, S.Y., Kim, Y.D., 2007. Mechanical properties of sintered 7xxx series Al/SiCp composites, Materials Letters, 61, 2544-2546.
- [13] Dewidar, D., Abdel-Jaber, G.T., Bakrey, M., Badry, H., 2010. Effect of Processing Parameters and amount of additives on the Mechanical Properties and Wear Resistance of Copper-based Composite, International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering, 10-3, 25-40.
- [14] Kim, H.S., 2000. On the rule of mixtures for the hardness of particle reinforced composites, Materials Science and Engineering A, 289, 30-33.
- [15] Kumar, G.B.V., Rao, C.S.P., Selvaraj, N., 2011. Mechanical and tribological behavior of particulate reinforced aluminum metal matrix composites—a review, Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, 10, 59-91.
- [16] Efe, Ç.G., Altınsoy, İ., İpek, M., Zeytin, S., Bindal, C., 2011. Some properties of Cu- SiC composites produced by powder metallurgy method, Kovove Metallic Materials, 49(2), 131-136.
- [17] German, R.M., 2005. Powder metallurgy and particulate materials processing, Metal Powder Industries Federation, USA.
- [18] Rahaman, M. N., 2003. Ceramic Processing and Sintering, 2nd Ed. CRC, 880, New York.
- [19] Lima, W.M., Velasco, F.J., Abenojar, J., Torralba, J.M., 2003. Numerical approach for estimating the elastic modulus in MMCs as a function of sintering temperature, Journal of Materials Processing Technology, 143-144, 698-702.
- [20] Kang, S.J.L., 2005. Sintering, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- [21] Ageev S. V. and Girshov V. L., (2015). Hot Isostatic Pressing of Metal Powders, Metallurgist, 59 (7-8), 647–652.
- [22] Dwan, J.D., 2007. Fracture toughness determination of diamond impregnated PM cobalt, Industrial Diamond Review, 1, 33-36.
- [23] Arık, H., Semerci, P., Kırmızı, G., 2017, Sıcak presleme ile alüminyum matrisli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli toz metal kompozit malzeme üretimi ve aşınma davranışının araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5 (4): 87-97,
- [24] Çolak, N. Y., Turhan, H., 2016, Toz Metalurjisi yöntemi ile Al-Si/B<sub>4</sub>C kompozit malzemenin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28 (2): 259-266.