

# Investigation of Metal-Metal Composite Producibility Using Liquid Spherical and Lamellar Graphite Cast Iron by Casting Method

Mustafa ARAT<sup>1\*</sup>  Hasan HASIRCI<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Gazi University, Institute of Sciences, Department of Metallurgy and Materials Engineering, Ankara, Turkey

<sup>2</sup>Gazi University, Technology Faculty, Department of Metallurgy and Materials Engineering, Ankara, Turkey

## Article Info

Research article  
Received: 11/01/2024  
Revision: 11/02/2024  
Accepted: 01/03/2024

## Keywords

Spheroidal Graphite  
Cast Iron  
Lamellar Graphite Cast  
Iron  
Single Guide  
Double Guides  
Liquid-liquid Mixture  
Composite Material

## Makale Bilgisi

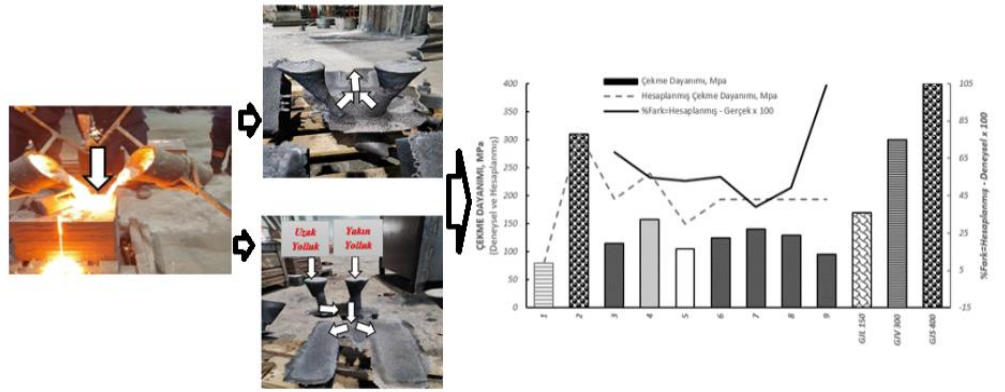
Araştırma makalesi  
Başvuru: 11/01/2024  
Düzeltilme: 11/02/2024  
Kabul: 01/03/2024

## Anahtar Kelimeler

Küresel Grafitli Dökme  
Demir  
Lamel Grafitli Dökme  
Demir  
Tek Yolluk  
Çift Yolluk  
Sıvı-Sıvı Karışım  
Kompozit Malzeme

## Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada; Her ikisi de sıvı halde olan Küresel Grafitli Dökme Demir (KGDD) ve Lamel Grafitli Dökme Demir (LGDD) kullanılarak her ikisinin de kendi yapılarını koruyarak metal-metal kompozit üretiminin yapılabilirliği araştırılmıştır. / In this study, the feasibility of metal-metal composite production by using Spherical Graphite Cast Iron and Lamellar Graphite Cast Iron, both of which are in liquid form, while preserving their structures, has been investigated.



**Şekil A:** Farklı yolluk tasarımları kullanılarak metal-metal kompozit üretilebilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi / **Figure A:** Investigation of metal-metal composite producibility and mechanical properties by using different guide designs.

## Highlights (Önemli noktalar)

- Farklı Yolluk Tasarımları ile Döküm Denemeleri / Casting Trials with Different Guide Designs
- Metal-Metal Kompozit Üretilebilirliği / Metal-Metal Composite Producibility
- Yapısal ve Mekanik Özellikler / Structural and Mechanical Properties

**Aim (Amaç):** Bu çalışmada sıvı haldeki iki farklı malzemeden (KGDD ve LGDD) her ikisinin de kendi yapılarını koruyarak metal-metal kompozit üretiminin yapılabilirliği araştırılmıştır. / In this study, the feasibility of metal-metal composite production from two different liquid materials (Spherical and Lamellar) by preserving their own structures has been investigated.

**Originality (Özgünlük):** Nano ve/veya mikro boyutta her bir tanenin farklı malzemeden oluşacak şekilde metal-metal kompoziti oluşturan malzemelerin her ikisinin de sıvı halde olduğu kompozit üretimi ilk kez yapılmış olup, bu çalışmanın özgün tarafıdır. / The production of composites in which both materials forming a metal-metal composite are in liquid form, so that each grain is composed of different materials in nano and/or micro dimensions, has been carried out for the first time, and this is the original side of this study.

**Results (Bulgular):** Sıvı haldeki iki farklı metal malzemeyle bir üretim yapılarak yeni bir metod ile metal-metal kompozit üretiminin mümkün olabileceği gözlenmiştir. / It has been observed that metal-metal composite production may be possible with a new method by making a production with two different metal materials in liquid form.

**Conclusion (Sonuç):** Uygun kalıp ve yolluk tasarımları ile sıvı haldeki iki farklı metalik malzemeden metal-metal kompozit üretiminin mümkün olduğu, malzeme alan veya taneleri arasında arayüzünde herhangi bir süreksizlik veya birleşmeme sorunu oluşmadığı tespit edilmiştir. / It has been determined that metal-metal composite production is possible from two different metallic materials in liquid state with suitable mold and guide designs, and there are no discontinuities or decombustion problems at the interface between the material area or grains.



## Döküm Yöntemi ile Sıvı Haldeki Küresel ve Lamel Grafitli Dökme Ddemir Kullanarak Metal-Metal Kompozit Üretilebilirliğinin İncelenmesi

Mustafa ARAT<sup>1\*</sup> Hasan HASIRCI<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Gazi University, Institute of Sciences, Department of Metallurgy and Materials Engineering, Ankara, Turkey

<sup>2</sup>Gazi University, Technology Faculty, Department of Metallurgy and Materials Engineering, Ankara, Turkey

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 11/01/2024  
Düzeltilme: 11/02/2024  
Kabul: 01/03/2024

### Anahtar Kelimeler

Küresel Grafitli Dökme  
Demir  
Lamel Grafitli Dökme  
Demir  
Tek Yolluk  
Çift Yolluk  
Sıvı-Sıvı Karışım  
Kompozit Malzeme

### Öz

Bu çalışmada; sıvı haldeki iki farklı malzemeden her ikisinin de kendi yapılarını koruyarak metal-metal kompozit üretiminin yapılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada her ikisi de sıvı halde olan Küresel Grafitli Dökme Demir (KGDD) ve Lamel Grafitli Dökme Demir (LGDD) kullanılarak kum kalıba döküm yöntemiyle üretimler yapılmıştır. Çalışma kapsamında sıvı metallerin dolumu farklı döküm parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve numuneler üretilmiştir. Bu farklı döküm parametreleri sıvı metallerin kalıba tek, çift ve uzak-yakın yolluk uygulamalarıdır. Metal mikroskobu ile mikro yapısal özellikler ve çekme deneyleri ile mekanik özellikler açısından değerlendirilerek kendi aralarında karşılaştırılmıştır. İyi bir sıvı-sıvı karışımında malzeme kalitesinin ve döküm parametrelerinin büyük bir rol oynadığı, bu durumun doğrudan ortaya çıkan kompozitin yapısal ve mekanik özelliklerini etkilediği gözlenmiştir. Bu nedenle sıvı metal soğumasının etkisi düşünülerek uzak bağlantılı yolluk tasarımları yapılarak üretilen kompozitin mikro yapısal ve mekanik özelliklere etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılan KGDD ve LGDD'in ara türü olan VGDD (Vermiküler Grafitli Dökme Demir) malzeme ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, kullanılan malzemelerden özellikle LGDD'in KGDD üzerinde kimyasal etkisi nedeniyle küre yapısının önemli oranda bozulmasına, bu nedenle baskın yapının lamel grafitli olmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Bu durumu sıcaklığın teşvik etmesi nedeniyle LGDD'in uzak yolluk bağlantısı ile biraz soğutulmasının bu kimyasal etkisinin bir miktar azalması sonucunda küresel şekilli grafitlerin arttığı tespit edilmiştir. Soğutma nedeniyle özellikle çekme dayanımında %24 iyileşme sağlanmıştır. Ayrıca, KGDD hacim oranının yüksek olması da küresel grafit oranını %9 yükselttiğinden dolayı çekme dayanımını %15 artırmıştır.

## Investigation of Metal-Metal Composite Producibility Using Liquid Spherical and Lamellar Graphite Cast Iron by Casting Method

### Article Info

Research article  
Received: 11/01/2024  
Revision: 11/02/2024  
Accepted: 01/03/2024

### Keywords

Spheroidal Graphite Cast  
Iron  
Lamellar Graphite Cast  
Iron  
Single Guide  
Double Guides  
Liquid-liquid Mixture  
Composite Material

### Abstract

In this study, the feasibility of metal-metal composite production from two different materials in liquid state by preserving their structures has been investigated. The productions were carried out by sand mold casting method using Spheroidal Graphite Cast Iron and Lamellar Graphite Cast Iron, both of which are in liquid form. Filling of liquid metals was carried out using different casting parameters and samples were produced. These different casting parameters are single, double and far-near guides applications of liquid metals into the mold. They were evaluated and compared among themselves in terms of microstructural properties with metal microscopy and mechanical properties with tensile tests. It has been observed that material quality and casting parameters play a major role in a good liquid-liquid mixture, which directly affects the structural and mechanical properties of the resulting composite. For this reason, considering the effect of liquid metal cooling, the effects of the micro-structural and mechanical properties of the composite produced by making far-linked guide designs were studied. The obtained results were compared with the material used, vermicular graphite cast iron, which is an intermediate type of Spheroidal and Lamellar Graphite Cast Iron. When the results were examined, it was determined that the materials used caused significant deterioration of the spheroidal structure, especially due to the chemical effect of lamellar graphite cast iron on spheroidal graphite cast iron, and therefore the dominant structure was lamellar graphite. It has been found that spheroidal-shaped graphites increase as a result of a slight decrease in this chemical effect of slightly cooling the lamellar graphite cast iron with a far guide connection due to the promotion of this condition by temperature. Due to cooling, a 24% improvement was achieved, especially in tensile strength. In addition, the high volume ratio of spheroidal graphite cast iron increased the tensile strength by 15%, as it increased the spheroidal graphite ratio by 9%.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yaşamış olduğumuz modern çağa ait olan ürünler (otomobil, tren vb.) metal döküm sektörü olmadan var olamayacağından ötürü; metal döküm sektörü inşaattan madencilığe, havacılıktan otomobile binlerce sektör için, 1 gramdan hafif veya 300 tondan ağır olabilecek geniş çerçevede parça üretmektedir. Ev ve iş aletlerinden armatürlere; uzay araçlarından oyuncaklara, türbinlerden tanklara; mobilyalardan aydınlatma araç-gereçlerine; her türlü kara, hava ve deniz ulaşım araçlarından ağır sanayi iş makinelerine kadar, hayatımızın içinde yer alan milyonlarca üründe döküm parçası görmek mümkündür [1]. Özellikle Lamel Grafitli Dökme Demir (LGDD) ve Küresel Grafitli Dökme Demir (KGDD) malzemeler işlenebilirlik, sertlik, titreşim sönümleme, korozyon ve aşınma direnci gibi iyi mekanik özellikler göstermelerinin yanı sıra, ekonomik ve kolay üretilebilir olmalarından dolayı çok yaygın olarak kullanılan mühendislik malzeme grupları arasında yer almaktadırlar [2]. Dökme demirin üretimindeki ilk gelişme; aşılama işleminde başarıya ulaşarak LGDD'lerin üretilmesi olmuştur. Daha sonra seryum ve magnezyum ilavesi işlemlerinin uygulanması ile lamel grafitli dökme demire göre mukavemeti daha iyi olan KGDD'lerin üretimi gerçekleştirilmiştir [2]. Küresel grafitli ve lamel grafitli dökme demirlerin grafit yapısı bakımından ara türü olan Vermiküler Grafitli Dökme Demirler (VGDD) ise mekanik ve termal özellikler bakımından her iki dökme demirin ara bir formudur [3]. Bu nedenle lamel grafitli dökme demirden daha üstün mukavemet özelliklerine sahip ve onun kadar da titreşim sönümleme özelliği iyi olan vermiküler grafitli dökme demir malzemeler ön plana çıkmaktadır [4]. Vermiküler grafitli dökme demir üretim teknolojisi günümüzde tüm dünyada hızlı bir şekilde yaygınlaşmaktadır. Lamel ve küresel grafitli dökme demirler arasında özelliklere sahip olan bu vermiküler grafitli dökme demir çeşidi, sahip olduğu yüksek mukavemet ile motor bloğu, motor kafası veya yüksek hızlı tren disk üretiminde istenen özellikleri tamamen sağlayabilmesi nedeniyle tercih edilen malzemelerin başında gelmektedir [5]. Vermiküler grafitli dökme demir üretimi zor ve maliyetli bir süreç olmasından dolayı, alternatif üretim yöntemleri üzerine çalışmalar son zamanlarda artmaktadır. Bu çalışmada, LGDD ve KGDD malzemeler sıvı karıştırma tekniği ile metal-metal kompozit üretimi amaçlanmıştır. En az iki metalin bir araya getirildiği ve kompozit üretiminde de kullanılan birçok metot bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; toz metalürjisi, katmanlı üretim, yapıştırma, döküm ve karma yöntemlerdir. Döküm yöntemi ile metal şekillendirmenin birçok avantajı

vardır. Bu avantajlardan yararlanılarak kompozit üretmek, yani malzemenin istenilen özelliklere sahip olması bakımından faydalar sağlamaktadır. Özellikle sıvı halde metalik malzeme üretimindeki avantajlardan bazıları; kolay şekillendirme, ara yüzey uyumluluğu, yapı ve özellik kontrolünün yapılabilmesi olarak sıralanabilir. Buna ilave olarak iki farklı sıvı metalin bir araya gelerek oluşturacağı kompozit üretiminde farklı sıvı metal malzemelerin çok daha iyi ara yüzey bağı oluşturması söz konusudur.

Sıvı-sıvı metodunda uygun şekilde bir karıştırma sağlandığında daha homojen karışıma sahip kompozit üretmek çok daha rahat olacaktır. Malzemelerin fiziksel ve kimyasal uyumları ilave avantajlar sağlayacaktır. Bunlara ilave olarak sıvıların birbirleri içinde çok daha kolay karışabildikleri göz önüne alındığında bu işlemin çok daha avantajlı olacağı açıktır. Bu kompozit malzemelerin üretiminde birçok üretim yolu olmasına rağmen, bu çalışmada yukarıdaki avantajları nedeniyle döküm yönteminin kullanılmasının en doğru üretim yolu olacağı düşünülmüştür. Birbirlerine hem fiziksel hem de kimyasal bakımdan çok uyumlu olan Küresel Grafitli Dökme Demir (KGDD) ve Lamel Grafitli Dökme Demir (LGDD) malzemelerin kullanımı ile bir metal-metal kompozit üretimi planlanmıştır. Üretilen bu kompozit malzemelerin mikro boyutlu bir karışıma sahip olması hedeflenmiş ve bu amaçlarla sıvı metallerin kalıp içerisine farklı yolluk tasarımları ile gönderilmesi sağlanmıştır.

Metal-metal kompozit terimi, ilk olarak, 1900 yılında, Nb ve Al alaşımlarından oluşan çift fazlı bir yapıda sıcak ekstrüzyon ve soğuk haddeleme tekstürünün incelendiği bir çalışmada kullanılmıştır [6]. İki metalin birlikteliğini içeren belirgin bir ara yüzeye sahip her malzeme için metal-metal kompozit veya bi-metal kompozit terimi kullanılmaktadır. 2000'li yıllara kadar, bir asra yayılan birkaç istisna haricinde [7-9,10], bi-metal kompozitler üzerine neredeyse hiç çalışılmamıştır. 2001 yılına gelindiğinde, Al/Cu bi-metal kompozitinde intermetalik alaşımların büyüme hızlarının incelendiği bir çalışma [11], alanında büyük yankı uyandırmış ve bi-metal kompozitler üzerine yapılan araştırmalar ivme kazanmıştır [12,13]. E. Çalıkoğlu ve arkadaşları (2011), kademeli döküm yöntemiyle bi-metal malzeme üretimi, mikroyapı değişimleri ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Bir potada düşük alaşımlı sıvı çelik malzemeyi, başka bir potada beyaz dökme demir malzemeyi aynı kalıba farklı yolluklardan döküm işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kademeli döküm işlemi sırasında ara yüzeyde

değişik flakslar kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, kademeli döküm tekniğiyle bi-metal parça malzeme üretiminin gerçekleştirilebileceğini, yüksek kromlu dökme demirin döküm durumu mikro yapısı primer östenit ve ötektik karbürler içerdiğini, mikro yapı incelemelerinde, iki farklı malzemenin birleşme ara yüzeyde kullanılan flaks tozlarının uygun olduğu tespit etmişlerdir. Ayrıca, üretimi yapılan bi-metal çekiç malzemenin sertlik değerlerinin, ısıtma işlemi görmüş ve sektörde serviste kullanılmış bi-metal çekiç malzemenin düşük olduğu tespit etmişlerdir [14]. Baron ve arkadaşları (1997), sinterlenmiş metal preformlar kullanarak sıkıştırılmış döküm yöntemiyle, 409 ve 1080 kalite olmak üzere iki farklı takviye tipi ile 380 Al matrisli kompozit üretmiş ve döküm koşullarının kompozit özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Her iki takviye tipinde de döküm düşük sıcaklıkta (675°C) gerçekleştiğinde, kompozit daha üstün özellikler göstermiştir. Alaşımız çelik takviyesi kompozitin çekme dayanımını 182 MPa'ya düşürürken, paslanmaz çelik takviyesi 409 MPa'ya yükseltmiştir (380 alaşımının tam yoğun ve tavlanmış haldeki çekme dayanımı 248 MPa'dır [15]. Ozaki ve Kutsuna (2009), karbon çeliği ve Al' nin bir araya getirildiği çalışmalarında, mekanik özelliklerde azalma meydana gelmemesi için, ara yüzeyde oluşan intermetalik faz kalınlığının en az 10 µm olması gerektiğini iddia etmişlerdir [16]. Shoufan ve arkadaşları (2014), mineral işleme endüstrisinde kullanılan kırıcı çekiçler için hem çekiç kafasında yüksek aşınma direnci hem de çekiç sapında yüksek darbe tokluğu taleplerini karşılayan malzeme geliştirme çalışması yapmışlardır. Çünkü halen Hadfield (Manganez-Mangalloy) çeliğinden yapılan kırıcı çekiçler tipik olarak 40 saatten daha kısa olan düşük hizmet ömrüne sahiptir. Sorunu çözmek için, sıvı halde katmanlı kompozit döküm yöntemini kullanılarak, yüksek kromlu dökme demir (YKBDD) ve düşük alaşımlı çelikten (DAÇ) yapılmış bir tür bi-metal kırıcı çekiç başarıyla geliştirmişlerdir. Mikro yapı ve kompozit ara yüzey bağlantısı, optik mikroskop, SEM, EDX ve XRD kullanılarak analiz edildiğinde, ısıtma işleminden sonra kompozit çekiçlerin mükemmel özellikler gösterdiği belirlenmiştir.

YKBDD'nin sertliği en az 63 HRC ve  $\alpha_k$  değeri 3.5 J.cm<sup>-2</sup>'den büyük, DAÇ'ın sertliği 35 HRC'den fazla ve  $\alpha_k$  değeri 80 J.cm<sup>-2</sup>'den yüksektir. Her iki malzemedeki farklı elementlerin difüzyonu ara yüzeyde gerçekleşerek bir geçiş bölgesi oluşturmaktadır. Sonuçlar, sıvı-sıvı bi-metal kompozit çekiçlerin hizmet ömürlerinin Hadfield çelik çekiçlerinden 3,75 kat daha uzun olduğunu göstermektedir [17].

Bu bilgilerden hareketle; çalışmada nano ve/veya mikro boyutta her bir tanenin farklı malzemenin oluşacak şekilde metal-metal kompoziti oluşturan malzemelerin her ikisinin de sıvı halde olduğu kompozit üretimi ilk kez yapılmıştır. Bu kompozitin yapısal ve özellikler bakımından sıvı ile katının karışımıyla yapılan kompozitlere göre daha homojen ön görülmektedir. Bu konuda hiçbir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenlerden dolayı bu çalışma yapılmıştır.

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

Bu çalışmada; kimyasal analizleri Tablo 1 ve 2'de verilen, aynı anda farklı indüksiyon ocaklarında ergitilmiş, her ikisi de sıvı halde olan Lamel Grafitli Dökme Demir (LGDD) ve Küresel Grafitli Dökme Demir (KGDD) malzemeler aynı anda kalıba doldurularak kompozit malzemeler üretilmiştir. LGDD ve KGDD malzemeleri için döküm sıcaklıkları sırasıyla 1330 °C ve 1425 °C olarak uygulanmıştır. Döküm öncesi KGDD malzeme üretim işlemleri (FeSiMg ile küreselleştirme) ayrıca yapılmıştır. Her iki malzemeye de %3 oranında FeSi ile aşılama işlemi uygulanmıştır. Döküm işlemleri yaş kum kalıplar kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Sıvı-sıvı kompozit malzeme üretimi farklı yolluk sistemi kullanılan kalıplar kullanılmıştır (Şekil 2). Döküm ile Y-bloklar üretilmiş ve bloklardan numuneler alınarak gerekli incelemeler yapılmıştır. Çalışma kapsamında 9 farklı kalıp tasarımı denemesi yapılmış olup, Tablo 3'te işlem özetleri verilmiştir. Dökümden sonra oluşan Y-blok ve yolluk sistemlerinden örnekler Şekil 2 ve 3'te verilmiştir.

**Tablo 1.** Lamel grafitli dökme demir (LGDD) (GG15) kimyasal analizi (Chemical analysis of lamellar graphite cast iron)

Element ağırlıkça (%)	C	Si	Mg	Mn	P	S	Cr	Ti	Ni	Cu	Fe
	3.2	2.1	0.0046	0.889	0.08	0.18	0.042	0.028	0.012	0.025	Kalan

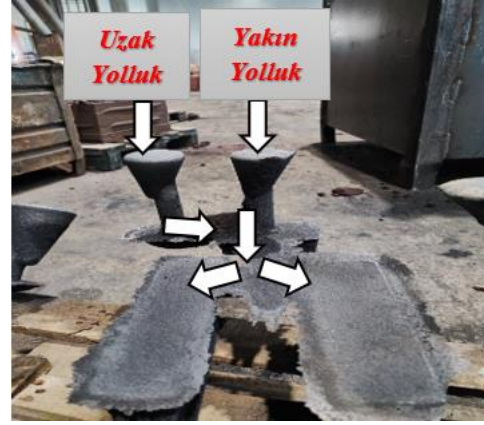
**Tablo 2.** Küresel grafitli dökme demir (KGDD) (GGG40) kimyasal analizi (Chemical analysis of spheroidal graphite cast iron)

Element ağırlıkça (%)	C	Si	Mg	Mn	P	S	Cr	Ti	Ni	Cu	Fe
	3.2	2.5	0.035	0.218	0.04	0.11	0.021	0.018	0.02	0.02	Kalan

**Şekil 1.** LGDD ve KGDD'in tek yolluktan döküm işlemi (Single guide casting process of lamellar and spherical graphite cast iron)

Döküm yolu ile üretilen metal-metal kompozit malzemelerin mikro yapıları metal optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Bu incelemelerde, iki metalin karışım oranı, dağılımları, homojenlikleri, karışımdaki her bir metalin tane boyutları, ara yüzeyler vb. görüntü analiz programları desteği de kullanılarak analiz edilmiştir. Öncelikle üretilen Y-Bloklardan (Şekil 4) yapısal analizler için uygun boyutlarda numuneler kesilmiştir. Döküm parçalarının her birinden abrasif kesme ile numuneler alınarak sıcak kalıplama işleminin

ardından zımpara-parlatma işlemleri yapılarak Leica DMI 5000M marka ters (inverted) optik mikroskopla incelenmiştir. Üretilen Y-bloklardan TS E8'e göre numuneler hazırlanarak Instron 3369 marka test cihazında en az 4 tekrar yapılarak çekme testleri yapılmış olup çekme, akma ve uzama değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen veriler LGDD ve KGDD malzemelerin orijinal değerleri ile karışım oranları (Eş.1) baz alınarak teorik olarak hesaplanmış ve elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.

**Şekil 2.** Çift yolluk kullanılarak farklı oranlarda döküm işleminden sonraki oluşan yolluk sistemi (The guide system formed after casting at different rates using double guides)**Şekil 3.** Biri uzak diğeri ise parçaya daha yakın olan çift yolluk kullanılarak farklı oranlarda döküm işleminden sonraki oluşan yolluk sistemi (The guide system formed after the casting process at different rates using double guides, one far away and the other closer to the part)



**Tablo 3.** Döküm deneme işlem parametreleri (Casting trials process parameters)

Deney No	Kalıp Özelliği	Dökülen Malzeme Oranı
1	Tek kalıpta sadece LGDD	% 100
2	Tek kalıpta sadece KGDD	% 100
3	Tek yolluk kullanılarak aynı anda döküm	%50 LGDD+%50KGDD
4	Çift yolluk kullanılarak aynı anda döküm	%30 LGDD+%70 KGDD
5	Çift yolluk kullanılarak aynı anda döküm	%70 LGDD+%30 KGDD
6	Çift yolluk kullanılarak aynı anda döküm	%50 LGDD+%50 KGDD
7	Çift yolluk (uzak bağlantılı LGDD olacak şekilde) aynı anda döküm	%50 LGDD+%50 KGDD
8	Çift yolluk (uzak bağlantılı KGDD olacak şekilde aynı anda döküm	%50 LGDD+%50 KGDD
9	Çift yolluk (her iki malzemede uzak bağlantılı olacak şekilde aynı anda döküm	%50 LGDD+%50 KGDD

**Şekil 4.** Döküm yoluyla üretilen Y-Blokler (Y-Blocks produced by casting)

$$\text{Teorik özellik} = (\text{LGDD/KGDD malzeme test değeri}) * (\% \text{ karışım oranı}) \quad (\text{Eş.1})$$

### 3. BULGULAR (RESULTS)

Bi-metal ile sıvı-sıvı kompozit üretimi, üretilen malzemelerin mikroyapısal ve mekanik özelliklerdeki değişim bakımından ayrı başlıklar halinde hem kendi aralarında, hem de KGDD, LGDD ve bu malzemelerin standartlarda ki özellikleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

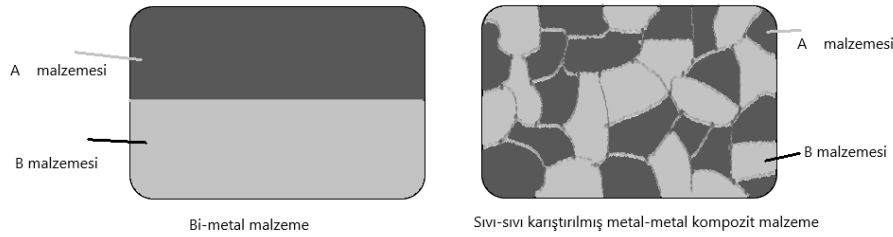
#### 3.1. Bi-Metal Malzeme ile Sıvı-Sıvı Kompozitin Farklılığı (Difference between bi-metal material and liquid-liquid composite)

Literatür incelemelerine bakıldığında, iki sıvı metalin karıştırıldığı metal-metal kompozit malzeme üretiminin bulunmadığı görülmüştür. Ancak, birisi katı diğeri ise sıvı olan metal-metal kompozitler üretilmektedir. Bu kompozitler genellikle sıvı içerisine katı haldeki parçacık takviyesi, tabakalı ve parça/kütle takviyenin sıvı bir metal ile ön karışım ya da kalıp içerisindeki ön şeklin üzerinin sıvı ile kaplaması şeklinde üretilmektedir. Sıvı haldeki 2 farklı malzeme ile üretilen yeni malzeme türü bi-metal olarak bilinmektedir (Şekil 5). Bir bütün parçanın yarısı

ve/veya kısmen metal malzemeden, diğeri kısmi ise farklı metal malzemeden üretildiğinde yeni ürüne bi-metal denilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar 2 farklı özelliklerdeki malzemeyi bir parçanın farklı noktalarında kullanarak üretilen ürünün fonksiyonelliğini makro düzeyde değiştirmektedir. Çalikoğlu ve arkadaşları (2011) kademeli döküm yöntemiyle bi-metal malzeme üretilebilirliği üzerine çalışmalar yaparak bi-metal üretilebilirliğini ortaya koymuşlardır. Sıvı çelik ile sıvı beyaz dökme demiri aynı kalıba kademeli olarak döküm gerçekleştirerek katı-sıvı bi-metal üretmişlerdir. Ayrıca, döküm yolu ile bi-metal üretiminin yapıldığı bazı çalışmalarda bir zikzak ara yüzeyi oluşturularak, kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir [14]. Zailiang ve arkadaşları (2018) çalışmalarında Zn ara katmanına sahip köpük döküm sıvı-sıvı karışım yöntemi ile Mg/Al bi-metal üretmek için yeni bir yöntem önermişler ve Mg/Al bi-metalinin ara yüz mikro yapıları ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Zn ara katmanının eklenmesi yalnızca farklı sıvı metallerin doğrudan karışmasını engellemekle kalmamış, aynı zamanda Mg-Al intermetaliklerinin oluşumunu da

sınırlamıştır [19]. Ying ve arkadaşları (2017) çalışmalarında sıvı alüminyum alaşımı ve katı bakır ile bakır kaplamalı alüminyumun sürekli döküm yöntemiyle üretimi için katı-sıvı yöntemini kullanmışlardır. Sonuçlar, ergimiş alüminyumun döküm sıcaklığının, Cu'nun katı Cu'dan Al alaşımı eriyiğine element difüzyonu ve Al ile Cu arasındaki reaksiyonların yanı sıra Al-Cu ara yüzeyinin morfolojisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir [20]. Yuan ve arkadaşları (2016) elektrotsuz bir kaplama ile Cu malzeme üzerine Ni-P kaplaması uygulamışlar ve katı-sıvı katmanlı döküm ile Al-Cu bi-metal üretmişlerdir. Çalışmada Ni-P ara katmanı, intermetaliklerin oluşumunu etkili bir şekilde azaltan bir difüzyon bariyeri ve koruyucu film işlevi gördüğünü gözlemişlerdir [21]. Bu çalışmalarda görüleceği üzere ayrı iki malzeme ile bunların ara yüzey kalitesi ve bağlanma kuvveti, ara yüzey işlemi, döküm sıcaklığı gibi konular ele alınmaktadır.

Oysa sıvı-sıvı karıştırma tekniğinde 2 farklı sıvı metal döküm sırasında neredeyse tamamen karışmadan/alaşım olmadan taneler halinde varlıklarını sürdürerek yeni malzemeyi oluşturmaktadır (Şekil 5). Diğer bir ifadeyle üretilen yeni malzemenin her tarafında homojen bir yapıda taneler halinde her iki malzeme de varlığını sürdürmektedir. Bu malzemelerin varlıklarını sürdürüyor olmaları özelliklere de homojen bir davranış katmaktadır. Bi-metal de ise ürünün 2 farklı kısmı olup, her iki kısmında da farklı davranış ve özellikler bulunmaktadır (Şekil 5). Ayrıca bu yeni malzemedeki ara yüzey problemi ya da ara yüzey oluşumu söz konusu değildir. Bu yeni malzeme ise taneler halinde homojen karışım olması sebebiyle kompozit olarak nitelendirilmiştir. Çünkü kompozitlerde ürünün hemen her noktasında homojen özellik ve davranış beklenir.



**Şekil 5.** Bi-metal ile sıvı-sıvı karıştırılmış metal-metal kompozit malzemelerin yapısal farklılıklarının şematik gösterimi (Schematic representation of the structural differences of bi-metal and liquid-liquid mixed metal-metal composite materials)

### 3.2. Mikroyapısal Değerlendirme (Microstructural Evaluation)

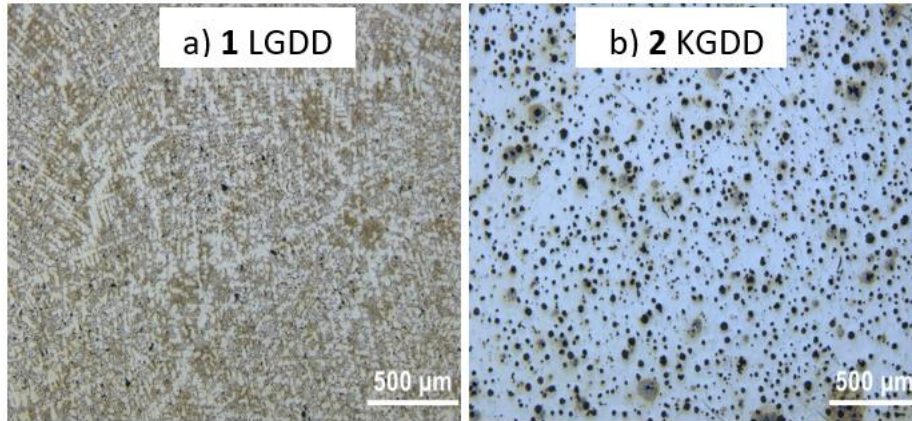
Sıvı halde 2 metalik malzemenin kullanılması sonucunda metal-metal kompozit üretiminin araştırıldığı bu çalışmada LGDD ve KGDD malzemeleri kullanılmıştır. Üretilen numunelere ait görüntüler Şekil 6-13'de verilmiştir. Şekil 6.a ve b'de verilen LGDD (numune 1) ve KGDD'e (numune 2) ait yapılar tipik döküm sonucu oluşan yapılarıdır. LGDD'de lamel ve KGDD'de ise küre şeklindeki grafit şekilleri mevcuttur. Her iki malzemenin de matris yapıları % 95-98 oranında ferritiktir.

Diğer şekillerde (Şekil 7-13) ise farklı oranlarda LGDD ve KGDD kullanılarak metal-metal kompozit üretilmiş numunelere ait mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Tek yolluktan eşit oranda akış ile yapılan döküm sonucunda (numune 3, Şekil 7) hem KGDD hem de LGDD malzemelere ait tanelerin oluştuğu, katılaşma sırasında LGDD ile temas eden kısımlarda küresel grafitlerin bozularak lamel grafit şekline döndüğü tespit edilmiştir.

LGDD malzemenin içerisinde varolan küreselleşmeyi olumsuz yönde etkileyen alaşım elementleri (özellikle P, S, Ti ve Cr) sıvı haldeki KGDD malzeme ile karışma nedeniyle yüksek oranda sıvı taneler arasındaki karışım bölgeler ve hatta KGDD malzemeye ait sıvı damlasının (akan sıvı içerisindeki bir sıvı hücre) içlerine kadar difüzyon ve/veya karışma nedeniyle küresel şekilli grafit oluşumunu olumsuz yönde etkilemiştir. Diğer yandan LGDD'de aynı zamanda Mg yok denecek kadar azdır. Bu nedenle karışan % 50/50 karışımdaki iki sıvı içerisindeki Mg oranı % 0.055'e kadar düşmektedir. Bu durumda yetersiz Mg nedeniyle küresel grafit oluşumu çok az olmaktadır. Buna ilave olarak KGDD malzeme içerisindeki Mg miktarı da en alt limitlerde kalmıştır. Bundan dolayı küresel grafitlerin oluşması zorlaşmış, kararsız denge nedeniyle oluşan grafitler tekrar bozularak LGDD'de oluşan grafit yapılarından (A-E tip) daha farklı lameller şeklinde bir oluşum söz konusu olmuştur. KGDD malzemedeki küresel grafit oluşumunun kinetiğini artırmak amaçlı olarak daha fazla Si içeriği olmaktadır. Bu durum bozulan grafit

yapılarının olduğu bölgelerde grafit hacim oranının da % 18-20'ye kadar artmasına neden olmuştur. Oysa Gri Dökme Demir'lerde matris yapı içerisinde ortalama % 9-11 oranında grafit hacmi sınır değeri olarak kabul edilir. Bu durum grafit hacminde % 90-100 kadar artış anlamına gelmektedir. Grafit hacminin (özellikle lamel grafit) artması özellikle çekme ve akma dayanımı ile uzama ve darbe özelliklerinde çok büyük düşüşe neden olmaktadır. Bu nedenle üretimde kullanılan dökme demir kaliteleri büyük önem taşımaktadır. Döküm işlemleri ticari firmalarda yapıldığında kalite kontrolünün sağlanması biraz mümkün olamamaktadır. Bu nedenle deneme yapılan döküm kalitelerinde de bir miktar sorun bulunmakta, bu nedenle kompozit üretiminde elde edilecek mikro yapısal başarı da etkilenmiştir. Kompozit olarak üretilen numunelerin tamamında aynı LGDD ve KGDD malzemeleri kullanıldığından sonuçların biraz standart dışında olması kaçınılmaz olmuştur. Ancak bu durum tüm numunelerde olduğundan dolayı benzer eğilimli sonuçlar elde edildiğinden, kendi içlerinde tutarlı bir değerlendirme yapmak mümkün olmaktadır. Çalışmadaki en kritik denemelerden birisi aynı yolluktan dökümde (Şekil 7) elde edilecek yapısal unsurların kalitesidir.

Çünkü aynı yolluktan iki farklı sıvı malzeme dolmaya başladığında, ilk andan kalıbın dolduğu son ana kadar karışmaya devam etmektedir. Deneylede kullanılan kalıpların doluş süresi yaklaşık 10-15 sn arasında değişmektedir. Bu süre boyunca birbirlerine fiziksel etkileri ve kimyasal ilgileri olan sıvı haldeki iki metal malzeme, yolluk sistemi boyunca (havşa, dikey yolluk, cürüflük ve memeler) ve döküm parçasının kendi kalıp boşluğunda ilerlerken dinamik akış nedeniyle sürekli fiziksel olarak karışmaktadır. Bundan dolayı karışım (ve hatta yer yer/kısmen alaşım denilebilir) olma ihtimali yüksektir. Ayrıca bu iki metalin birbirlerini kimyasal olarak etkileme (özellikle S, P ve Mg içerikleri yönünden) ihtimalleri de nedeniyle KGDD malzemenin bozulma/sönme ihtimali artmaktadır. Elde edilen yapıya bakıldığında bu durum açıkça görülmektedir. Lamel ve küresel GDD malzeme hacim oranına bağlı olarak, malzemelerin 50/50 % oranında ve dolunun tek yolluktan yapılarak yapının değişiminin incelendiği dökümde (Şekil 7) hem KGDD hem de LGDD alanlarının varlığı açıkça görülmektedir (Şekil 7.a). Bu durum sıvı halde iki farklı malzemeden metal-metal kompozit üretilebileceğinin en büyük kanıtlarındandır.

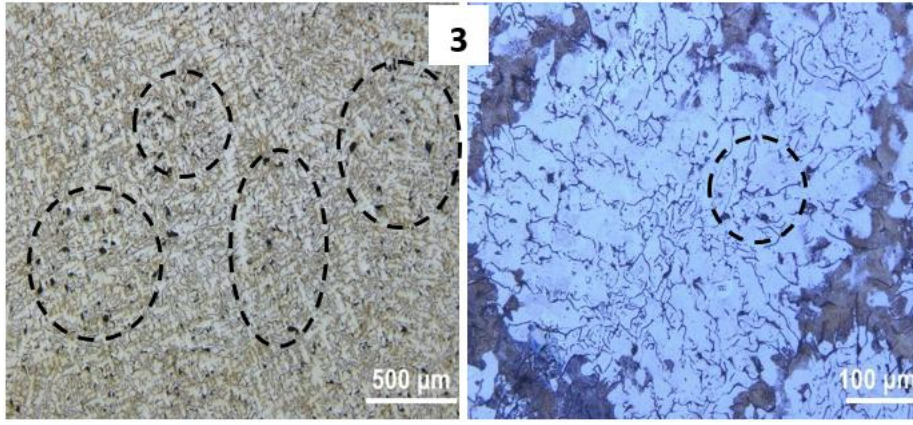


**Şekil 6. a) LGDD ve b) KGDD malzeme mikro yapıları (a) Lamellar and b) Spherical material microstructures)**

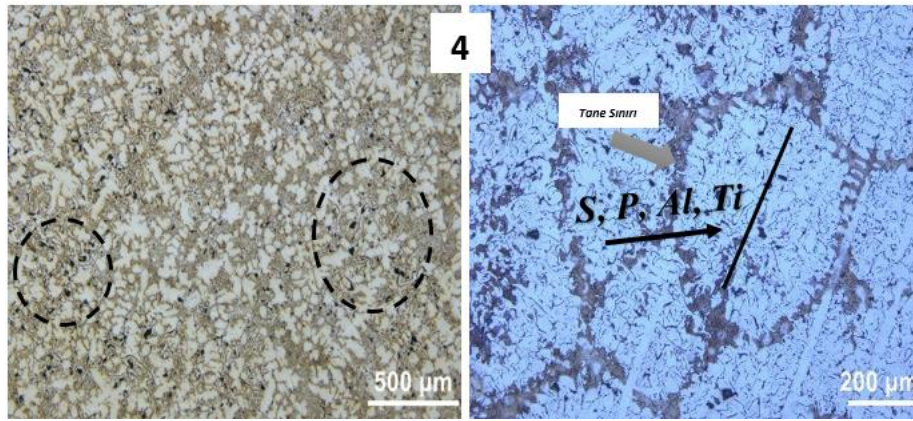
Ancak özellikle KGDD sayılabilecek alanlar detaylı olarak incelendiğinde (Şekil 7.b); lamel grafit oluşumlarının KGDD tanesi içerisinde hatta merkezinde dahi var olduğu görülmüştür. Bu çalışmada özellikle birbirlerini etkileme potansiyeli yüksek iki malzeme seçilmiştir. Bu çalışmadan elde edilecek sonuçlar sıvı haldeki farklı malzemeler kullanılarak metal-metal kompozit üretilirliğinin başarısını açıkça gösterecektir. Bu durum daha önce de bahsedildiği gibi, LGDD'in KGDD üzerindeki kimyasal etkisi neticesinde meydana gelmektedir. Bu nedenle KGDD malzemesi çekirdeğine kadar küresel grafit oluşumu etkilenmekte ve lamele dönüşüm meydana gelmektedir. Tek yolluktan döküm yapılırken sıvı

metaller kalıba havşa kısmından girişten kalıbın son noktasına kadar etkileşmeye devam etmektedir. Bu nedenle karışım/alaşım oluşma ve/veya birbirlerini fiziksel ve kimyasal olarak etkileme olasılıkları artmaktadır. Bu durum, ya KGDD malzemesinin daha fazla katılma oranı (%70-80), farklı yolluktan doldurma ve LGDD malzemenin döküm sıcaklığının düşürülmesi ile engellenebilir düşüncesi oluşmuştur. Bu amaçlarla; KGDD ve LGDD malzemelerin farklı (30/70 ve 70/30) ve eşit (50/50) katılma oranları ile farklı yolluktan döküm yapılarak denemeler gerçekleştirilmiştir (Şekil 8-10).

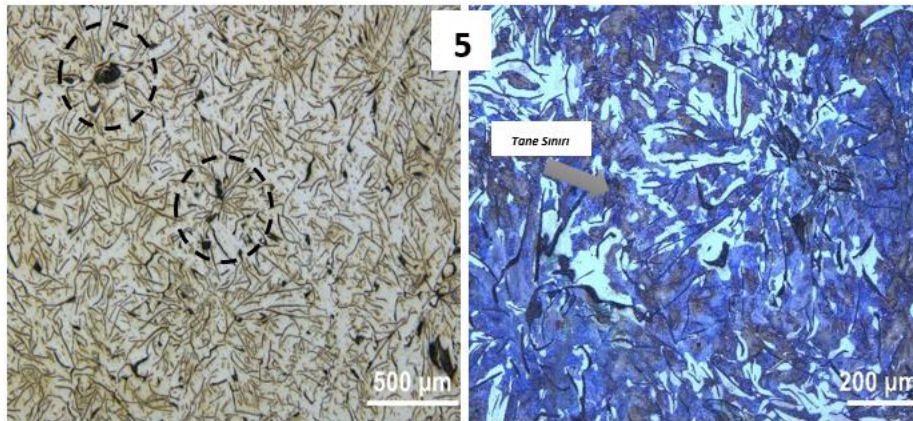




**Şekil 7.** 50/50 oranlarında LGDD ve KGDD malzeme kullanılan kompozitin mikro yapısı (Tek yolluk kullanılarak aynı anda döküm) (Microstructure of the composite using lamellar and spherical material in 50/50 ratios (Casting at the same time using a single guide))



**Şekil 8.** 30/70 oranlarında LGDD ve KGDD malzeme kullanılan kompozitin mikro yapısı (Çift yolluk kullanılarak aynı anda döküm) (Microstructure of the composite using 30/70 proportions of lamellar and spherical materials (Casting at the same time using a double guide))



**Şekil 9.** 70/30 oranlarında LGDD ve KGDD malzeme kullanılan kompozitin mikro yapısı (Çift yolluk kullanılarak aynı anda döküm) (Microstructure of the composite using 70/30 ratios of lamellar and spherical materials (Casting at the same time using a double guide))

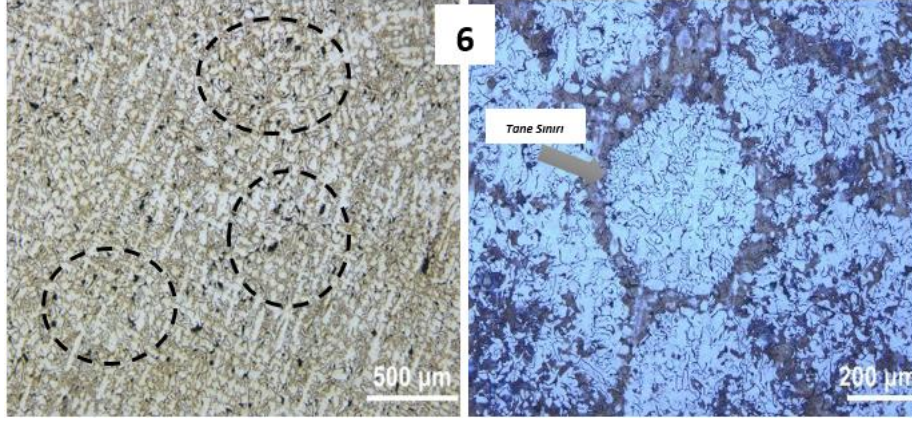
Bu denemeler neticesinde bir miktar KGDD alanları/taneleri ile daha çok baskın LGDD yapı bir malzeme üretimi gerçekleştirilebildiği tespit edilmiştir. KGDD malzemenin daha fazla olduğu kompozitte (numune 4, Şekil 8) KGDD tanesi/alanlarının daha belirgin olduğu, bu kısımlarda lamel grafitlerin çok daha az oldukları

tespit edilmiştir. Oluşan lamel grafitleri B ve C tipi ağırlıklı olduğu görülmüştür. Özellikle LGDD'in miktarı arttıkça (numune 5, Şekil 9) lamel grafitli alanların çok baskın olduğu, aynı zamanda A tipi lamel grafit oluşumunun söz konusu olduğu görülmüştür. Eşit oranda malzeme kullanılarak ancak farklı iki yolluktan malzeme dökümü

neticesinde elde edilen yapılar (numune 6, Şekil 10) incelendiğinde; tek yolluktan döküme (Şekil 6) göre daha bariz KGDD alanların/tanelerinin oluştuğu, ancak halen LGDD'in baskın etkisi tespit edilmiştir. Bu 4-6 numuneler arasında en iyi denilebilecek

olanı KGDD malzemesinin yapısal unsurlarını en fazla içeren 4 nolu malzeme olmaktadır.

Bu durum mekanik ve fiziksel özelliklere de yansiyacaktır.



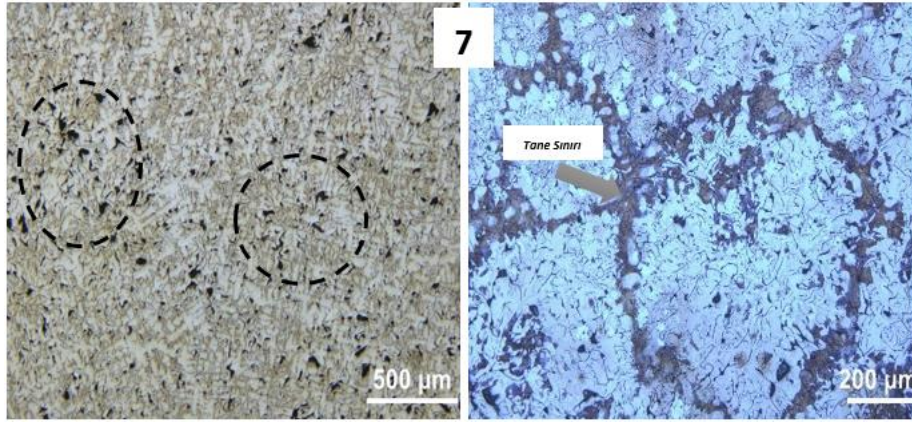
**Şekil 10.** 50/50 oranlarında LGDD ve KGDD malzeme kullanılan kompozitin mikro yapısı (Çift yolluk kullanılarak aynı anda döküm) (Microstructure of the composite using lamellar and spherical materials in 50/50 ratios (Casting at the same time using a double guide))

Çift yolluk kullanılarak yapılan dökümdeki sonuçlardan hareketle sıvı metallerin ya birisi yada her ikisinin de soğutulmasının fayda sağlayabileceği düşünülerek; bir malzemenin (LGDD veya KGDD) yolluğu uzak (sırasıyla numune 7 ve 8, Şekil 11 ve 12) yada her iki malzemenin döküldükleri yollukları döküm parçadan uzaklaştırılarak (numune 9, Şekil 13) denemeler yapılmıştır. Bu denemelerdeki eşit oranda malzeme kullanılması, ancak asıl amaç malzemelerden uzak olanın veya her ikisinin de soğumasının birlikte etkisinin belirlenmesidir. Elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde; uzak yolluk uygulaması neticesinde bir miktar sıvı metali soğutmanın iki malzemenin birbirlerine etkilerini sınırlandırma bakımından etkisi görülmüştür. Özellikle LGDD malzemenin uzak yolluktan dökülmesi neticesinde (Şekil 11) çok bariz olarak KGDD malzemenin tane/alanlarının belirginleştiği tespit edilmiştir. Soğuma neticesinde LGDD malzemenin KGDD üzerindeki kimyasal etkisi biraz daha azalmıştır. Çünkü iki malzemenin birbirlerine karışması baskın olanın/kimyasal ilgisi/etkisi olanın diğerini etkileme gücü artmaktadır. Bu çalışmadaki tam başarı hedefi; her iki malzemenin de ayrı ayrı taneler/alanlar halinde

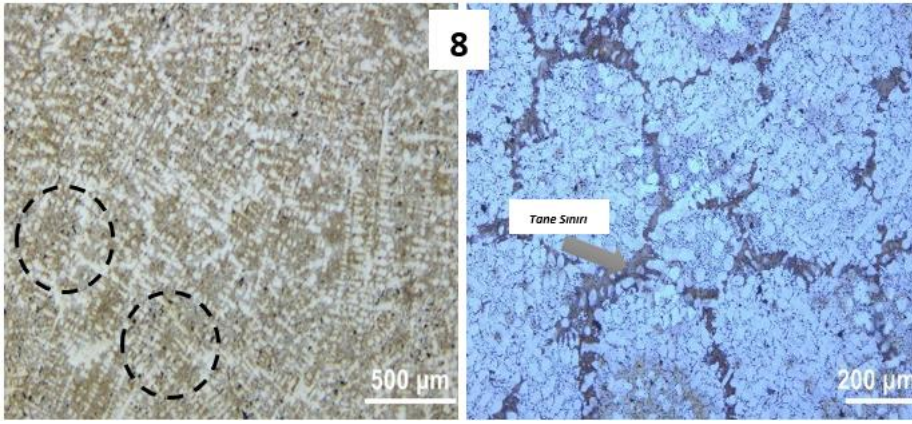
üretimini ve üretilen yeni malzemede özelliklerinin yer almasıdır. 7 nolu numune (Şekil 11) yapısal özellikler bakımından bu amaca en uygun malzeme olarak görülmektedir. Çünkü KGDD malzeme kendi yapısal karakteristiklerini daha fazla sürdürmektedir. Bu durum mekanik özelliklere de olumlu yönde yansiyacaktır.

Tüm numuneler birlikte değerlendirildiğinde; her iki malzemenin de taneleri/alanları arasında bir geçiş/bağlanma/birleşme sorunu bulunmamakta olup, tamamen sürekli halde ve kusursuz ara yüzeyler meydana gelmektedir. Bu bakımdan kullanılan yöntem herhangi bir ek önlem ve/veya etken kullanılmadan yapılabilmekte olup, sıvı+katı metal kompozit üretimine göre büyük bir avantaja sahiptir. Her iki malzemenin de yapılarının kompozit malzemenin yapısında olmasına rağmen, LGDD'in daha baskın olarak var olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle yapılacak çalışmalarda LGDD'i pasifize edecek, KGDD malzemeyi daha baskın hale getirecek yolluk sistemi tasarımları, döküm sıcaklığı ve döküm hacim oranları konusunda çalışmalar yapmak gerekmektedir.

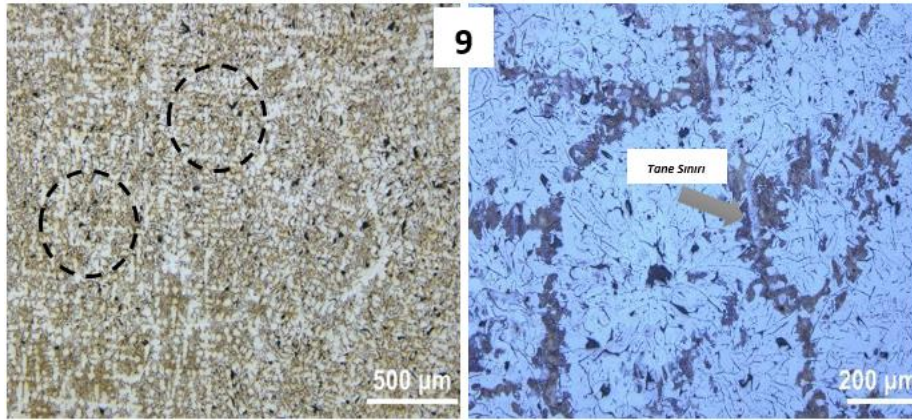




**Şekil 11.** 50/50 oranlarında LGDD ve KGDD malzeme kullanılan kompozitin mikro yapısı (Çift yolluk kullanılarak aynı anda döküm /LGDD uzak yolluktan) (The microstructure of the composite using lamellar and spherical material in 50/50 ratios (Casting at the same time using double guide / from lamellar remote guide))



**Şekil 12.** 50/50 oranlarında LGDD ve KGDD malzeme kullanılan kompozitin mikro yapısı (Çift yolluk kullanılarak aynı anda döküm /KGDD uzak yolluktan) (The Microstructure of the composite using lamellar and spherical material in 50/50 ratios (Casting at the same time using a double guide / from spherical from remote guide))



**Şekil 13.** 50/50 oranlarında LGDD ve KGDD malzeme kullanılan kompozitin mikro yapısı (Çift yolluk kullanılarak aynı anda döküm /Her iki malzeme de uzak yolluktan) (The microstructure of the composite using lamellar and spherical materials in 50/50 ratios (Casting at the same time using double guide / Both materials are far from the guides))

### 3.3. Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi (Evaluation of Mechanical Properties)

Her ikisi de sıvı halde olan iki metal bileşenden meydana gelen metal-metal kompozit malzemeler

çekme testine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4 ve Şekil 14-15'te verilmiştir. Üretilen numunelerde mekanik özelliklerin yapısal özelliklerden etkilenmemesi ve kıyaslamaların doğru yapılabilmesi amacıyla ferritik matrisli

malzemeler seçilerek üretilmiştir. Özellikle kompozit numunelerden elde edilen sonuçlar değerlendirilirken; bu çalışmada döküm için kullanılan KGDD ve LGDD malzemelerden elde edilen özelliklerinin yanında, aynı zamanda ferritik yapıli standart KGDD ve LGDD ile ara form olan VGDD malzemeler de verilmiştir. LGDD ve KGDD malzemenen oluşan bu kompozit malzemelerin özellikle VGDD malzeme kıyaslanabileceği düşüncesiyle bu yol tercih

edilmiştir. Çünkü VGDD malzeme diğer iki tür dökme demir özelliklerine sahip bir malzemedir.

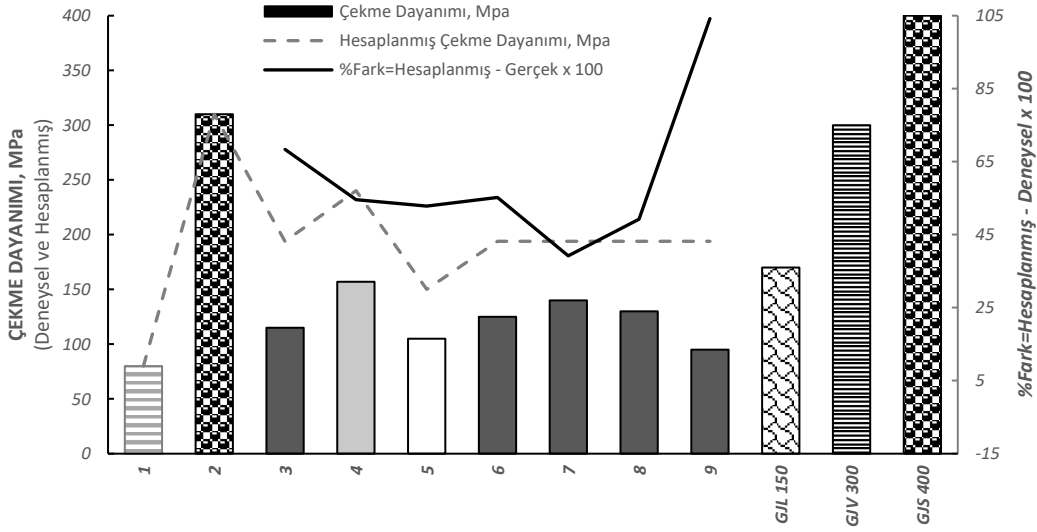
Ayrıca Eş.1’de verildiği gibi kompoziti oluşturan malzemelerin karışım oranlarına göre hesaplanmış çekme dayanımı özellik değerleri de verilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

**Tablo 4.** Üretilen numunelere ait çekme test sonuçları (Tensile test results of the samples produced)

Numune No	Çekme Dayanımı, (MPa)	Uzama, (%)
1 (LGDD)	70-85	0.5
2 (KGDD)	300-320	5
3 (Tek yolluk 50-50 LGDD/KGDD)	110-120 (hesaplanmış 194)	2.8
4 (Çift yolluk 30-70 LGDD/KGDD)	150-164 (hesaplanmış 240)	3.2
5 (Çift yolluk 70-30 LGDD/KGDD)	100-110 (hesaplanmış 150)	1
6 (Çift yolluk 50-50 LGDD/KGDD)	120-130 (hesaplanmış 194)	1.8
7 (Çift yolluk uzak LGDD- 50-50 LGDD/KGDD)	135-150 (hesaplanmış 194)	2.1
8 (Çift yolluk uzak KGDD- 50-50 LGDD/KGDD)	120-140 (hesaplanmış 194)	1.7
9 (Çift yolluk ikisi de uzak 50-50 LGDD-KGDD)	90-100 (hesaplanmış 194)	1

Sonuçlar incelendiğinde; bu çalışma için döküm yapılan hem KGDD hem de LGDD malzemelerin standart (GGG 40 ve GG 15) malzemelerden daha kötü çekme özelliklerine sahip oldukları görülmüştür. Karşılaştırma amaçlı verilen tüm standart malzemeler (GJL 150, GJV 300 ve GJS 400) karşılaştırmada doğruluk ve kolaylık olması için ferritik matrisli olarak seçilmiştir. Çünkü dökülen malzemelerin her ikisi de ferritiktir. Standartlardaki malzemelerle karşılaştırıldığında (numune 1 ve 2); LGDD %112,5 ve KGDD ise %35,5 daha düşük çekme dayanımına ve her ikisinde de yaklaşık %50 daha düşük uzama değerine sahip oldukları görülmektedir. Özellikle dökülen KGDD malzemenin dayanımının %3,3'lük sapma ile standart VGDD ile çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Bu durum ana bileşen malzeme kalitesinin de büyük oranda standart malzemenen düşük olduğunu göstermekte, değerlendirme yaparken buna göre yapılması doğru olacaktır. Buna ilave olarak çekme numuneleri KGDD malzeme standardına (ASTM E8) göre hazırlanmış olup, buna karşın malzeme yapısı ise ağırlıklı olarak LGDD olduğundan ASTM A48'ya uygun test numunesi ile çekme özelliklerinin analiz edilmesi uygun olacaktır. Bu yeni tür bir malzeme olduğundan dolayı analizlerde kullanılacak prosedürlerin de tespiti önemli bir değerlendirme çalışması olacaktır. Buradan hareketle bu tür kompozit malzeme üretildiğinde ana malzeme unsurunun dikkate alınarak test ve analizlerin seçilmesi sonuçların daha doğru olması bakımından uygun olacaktır.



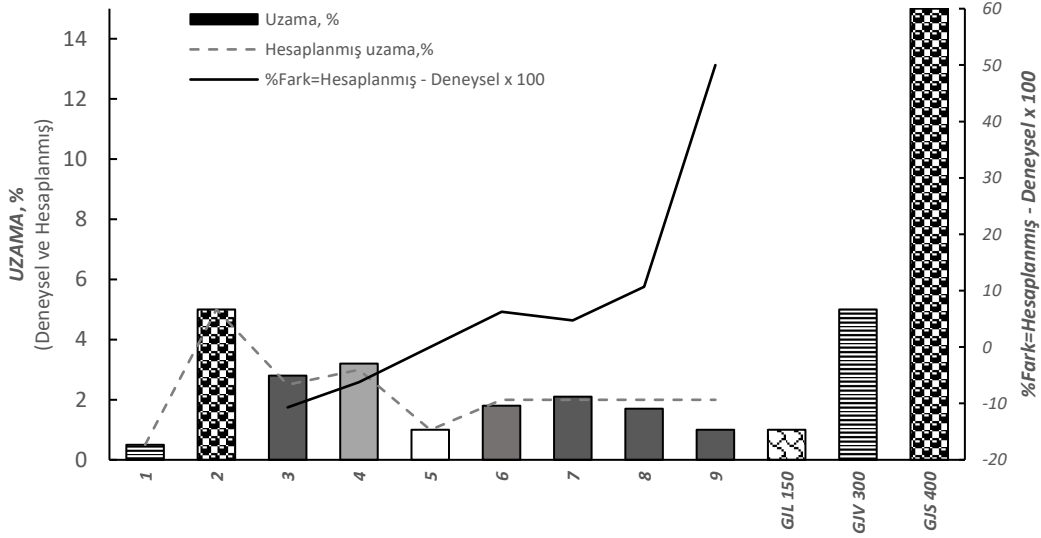
**Şekil 14.** Üretilen numunelerden elde edilen çekme dayanımı verileri ile standartlardaki malzemelerin karşılaştırılması (Comparison of tensile strength data obtained from produced samples and materials in standards)

Ayrıca basit sayısal analiz (Eş.1) kullanılarak karışım oranlarına göre teorik dayanım ve süneklikler hesaplanarak karşılaştırma amaçlı olarak verilmiştir. Tek yolluk ile üretilen (numune 3) kompozit malzeme döküm sırasında büyük oranda iki sıvının karıştığı, dahası büyük oranda alaşım haline geldiği malzemedir. Bu nedenle oluşan kompozit malzemede KGDD malzemeye ait alan/tane miktarı az olması dayanımda %63 oranında düşüşe neden olmuş, diğer yandan da LGDD'den %35 daha yüksek çekme dayanımı elde edilmiştir. 4 ve 5 nolu numuneler çift yolluk ile döküm yapılmış farklı oranlarda LGDD ve KGDD malzeme oranlarına sahiptir. Bu nedenle de 3 nolu numune (50/50 oranlı) ile aralarında farklı sonuçlar elde edilmiştir. LGDD'in fazla olduğu 5 nolu numune %9,5 daha düşük dayanım gösterirken, KGDD'in fazla olduğu 4 nolu numune ise %33 daha fazla dayanıma sahiptir. Bu durum malzeme özelliklerinin sonuçlara açıkça yansıdığını, kompozit malzemeden beklenildiği gibi ilgili malzemelere ait alan/tanelerin oluştuğu ve malzeme oranına göre değişerek özellikleri belirlediğini göstermektedir.

6-9 nolu numunelerin tamamı çift yolluk kullanılarak dökülmüş, ancak uzak-yakın yolluk etkisiyle soğumanın kontrol edilmeye çalışıldığı deneme malzemeleridir. 9 nolu numune hariç diğer numunelerde çift yolluk kullanılarak geç karışma yapılan bütün (4 ve 5 nolu numuneler de dahil) numunelerde dayanım artış göstermiştir. Çünkü geç karışma özellikle LGDD ile KGDD malzemelerinin alaşım ve/veya karışım oluşturma ihtimali veya düzeyini azaltarak olabildiğince ayrı

alan/bölge/taneler şeklinde kompozit malzeme üretimine imkân sağlamaktadır. Bu nedenle de sonuçlar ortalama %10-25 oranında daha olumludur. En düşük değerli 9 nolu numune dışında tüm numunelerde kompozit çekme dayanımları daha yüksek olmuştur. Bu numune 1 nolu LGDD ile karşılaştırıldığına %18 oranında daha iyi olmasına rağmen, diğerlerinden daha düşük değere sahip olmuştur. Uzak yolluk uygulamasının LGDD'de bir sorun oluşturmazken (7 nolu numune), KGDD malzemede (8 ve 9 nolu numune) küresel grafit oluşumuna olumsuz etkisi nedeniyle dayanım özelliğini de düşürmüştür. Üretilen numunelerden elde edilen uzama verilerine bakıldığında (Şekil 15) dayanımda olduğu gibi KGDD miktarının artması ve çift yolluk kullanılarak geç karışma yapılması sonucunda uzama %14 artarken ve KGDD malzemede uzak yolluk uygulaması yapıldığında ise %20 düşüş gözlenmiştir. Elde edilen uzama verileri dökülen metal kalitesi ile ilişkili olarak değişim göstermekte olup, standart KGDD ve LGDD malzemelerden %25-40 oranında daha düşük uzamaya sahip malzemelerin döküm işlemlerinde kullanılmış olması nedeniyle %20-30 daha düşük değerler elde edilmiştir. Dökülen KGDD'in uzama değeri standart VGDD ile eşittir. Bu sonuçlar, genel olarak dökme demirlerin uzama özelliklerinin düşük olması ve buna ilave olarak deneysel üretim koşullarına bağlı olarak daha da azaldığını göstermiştir.





**Şekil 15.** Üretilen numunelerden elde edilen uzama verileri ile standartlardaki malzemelerin karşılaştırılması (Comparison of strain data obtained from the produced samples with the materials in the standards)

Bu çalışmanın asıl amacı üretilen kompozitin her iki bileşenden de daha yüksek değerlerde özelliklere sahip olması olmayıp, öncelikli olarak kompoziti oluşturan her iki bileşenin de kendi tane/alanlarında varlıklarını/yapılarını koruyup koruyamadıklarının tespit edilmesidir. Bundan dolayı; hem yapısal (makro ve mikro yapı) hem de mekanik özellikler bakımından sıvı haldeki iki metal malzeme yolluk sisteminde karıştırıldığında her iki bileşenin kendi tane ya da alanlarında varlıklarını sürdürerek, üretilen kompozite ancak kendi değerleri oranında katkı sağlayarak yeni bir kompozit malzeme üretimi yapılabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca bu şekilde sıvı haldeki iki farklı metal malzemeyle bir üretim yapılarak yeni bir metot ile metal-metal kompozit üretiminin de mümkün olabileceği belirlenmiştir. Kullanılan malzeme kalitesinin sonuçları ve elde edilen başarıyı doğrudan etkilediği gerçeği tespit edilmiş olup, bu nedenle kullanılan KGDD ve LGDD malzeme kalitelerinin artırılması gerekmektedir. İlave olarak, kullanılan malzemelerin birbirlerine kimyasal ilgileri veya etkilerinin yüksek olması neticesinde sonuçların beklendiğinden daha düşük olabileceğini de görülmüştür.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada sıvı haldeki iki farklı malzemeden (KGDD ve LGDD) her ikisinin de kendi yapılarını koruyarak metal-metal kompozit üretiminin yapılabilişliği araştırılmış ve önemli bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Sıvı haldeki iki farklı metalik malzeme ile metal-metal kompozit üretiminin mümkün olduğu,
- Sıvı+katı üretim yöntemlerinde olduğu gibi malzeme alan/taneleri arasında/ara yüzeyinde herhangi bir süreksizlik/birleşmeme/kaynaşmama sorunu oluşmadığı,
- Bu şekilde üretim yapılırken kompoziti oluşturan metallerin tek yollukta erken karışmanın yerine, ayrı ayrı girişlerden girerek birbirleriyle olabildiğince geç karışmaları gerektiği,
- Kullanılan metal malzemelerin kalitesinin, üretilen kompozitin kalitesini doğrudan etkilediği, girdi malzeme kalitesi kötüleştiğçe kompozit özelliklerinin de azaldığı,
- Özellikle LGDD sıcaklığının olabildiğince düşük olması gerektiği,
- Homojen bir karışım oluşturmak için çift girişe sahip karışma haznesi olan bir yolluk sisteminin kullanılması gerektiği,
- Kompozitin başarısı için tercih edilen malzemelerin kimyasal olarak ilgilerine göre malzeme seçiminin uygun yapılması gerektiği,
- Yüksek dayanım ve süneklik istenildiğinde %80/20 gibi daha yüksek KGDD/LGDD oranlarının tercih edilmesi gerektiği,

- Kompozitin çekme dayanımında KGDD miktarının artmasına bağlı olarak %24 ve LGDD soğutularak kontrol edilmesiyle de %15 artış sağlanabildiği,
- Küresel grafit oranının KGDD miktarının artmasına bağlı olarak %9 ve LGDD soğutularak kontrol edilmesiyle de %5 artış sağlanabildiği,
- Hedef özellikler özelinde (termal, mekanik, korozyon, aşınma vb.) malzeme çiftlerinin seçilmesi gerektiği,
- Uygulanacak test, yöntem ve işlemlerinin her iki malzeme için ayrı ayrı olması durumunda farklı testleri yaparak sonuca ulaşmak gerektiği,
- Sonuçlardaki başarı artırımı için akışkanlar dinamiği ve mekaniği konularında teorik ve pratik çalışmalar yapılması gerektiği sonuçlarına varılmıştır.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI

(DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS ETİK STANDARTLARIN BEYANI)

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)

**Mustafa ARAT:** Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. Bu çalışma Mustafa ARAT' ın doktora tezi ile ilişkilidir.

He conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process. This study is related to Mustafa ARAT's Ph.D. Thesis.

**Hasan HASIRCI:** Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. Hasan HASIRCI, yukarıda bahsi geçen doktora tez çalışmasının danışmanıdır.

He conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process. Hasan HASIRCI is the advisor of the Ph.D. thesis mentioned above.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] <https://www.tudoksad.org.tr/genel-bakis-ve-onemi.html>, Döküm Sektörü Genel Bakış ve Önemi, Tarih: 20:31, 17 Ocak 2022.
- [2] Çelik, Ö., Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.
- [3] Hasırcı, H., & Karatay, B. (2018) Üretim Koşullarının Vermiküler Grafitli Dökme Demirin Mikro ve Makro Yapısal Özelliklerine Etkileri, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 6 (4), 887-897.
- [4] Değirmenci, S., Şirin, B., Metan, İ. (2006). Ülkemizde ve Dünyada Döküm Sektöründe Genel Bir Bakış, Yeni Teknolojiler – CGI Teknolojisinin Dökümhanelerde Yönetimi ve Geleceği, 3. Ankiros Uluslararası Döküm Kongresi. İstanbul.
- [5] Guesser, W., Duran, P., & Krause, W. (2004). Compacted Graphite Iron for Diesel Engine Blocks.
- [6] Kanetake, N., (1900). "Hot-Extruded and Cold-Rolled Textures of the Matrix Aluminum in Deformation Processed Two-Phase Nb/Al Metal-Metal Composites", Texture, Stress, and Microstructure, 35: 273–282.
- [7] Tikhonov, G. F. ve Sivov, A. V., (1969). "Densification of Bi-metal Composites During Pressing", Soviet Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 8: 875–877.
- [8] Greenfield, I. G. ve Purohit, A., (1980). "The Effect of Discrete and Diffused Surface Layers on the Mechanical Properties of Crystals", Materials Science and Engineering, 46: 89–101.
- [9] Zhang, C. ve Lai, Z., (1990). "Interfacial Energy and Strength of Ag-Cu Bi-metal Composite", Rare Metals (China), 9: 292–295.
- [10] Ephstein, L. E., (1992). "Strength of Bi-metal Composite Under Conditions of Variable Temperatures", Strength of Materials, 23: 1230–1235.
- [11] Abbasi, M., Karimi Taheri, A. ve Salehi, M. T., (2001). "Growth Rate of Intermetallic Compounds in Al/Cu Bi-metal Produced by Cold Roll Welding Process", Journal of Alloys and Compounds, 319: 233–241.
- [12] Güler, K. A., Kısasöz, A. ve Karaaslan, A., (2014). "Investigation of Al/Steel Bi-metal Composite Fabrication by Vacuum-Assisted

- Solid Mould Investment Casting", *Acta Physica Polonica A*, 126: 1327–1330.
- [13] Karaaslan, A., Kısasöz, A., Atapek, S. H. ve Güler, K. A., (2016). "Dry Sliding Wear Behavior of Cast A7075 and A7075/SAF 2205 Composite Material", *High Temperature Materials and Processes*, 35: 487–492.
- [14] Calıkoglu, E., Cetin, (2011). "Examination of the Production and Service Properties of Bi-metal Material", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey, 235–238.
- [15] Baron, R., Wert, J., Gerard, D. ve Wawner, F., (1997). "The Processing and Characterization of Sintered Metal-Reinforced Aluminium Matrix Composites", *Journal of materials science*, 32: 6435–6445.
- [16] Ozaki, H. ve Kutsuna, M., (2009). "Laser-Roll Welding of a Dissimilar Metal Joint of Low Carbon Steel to Aluminium Alloy Using 2 kW Fibre Laser", *Welding International*, 23: 345–352.
- [17] Shoufan R., Haitao Z., Yongchang Z., Junfa W., Jia Y., Chunhong Li "Study on liquid-liquid bi-metal composite casting hammers" *China Foundry Research&Development Vol:11 No:5, 2014, China, 412-417.*
- [18] <https://nasiluretilir.wordpress.com/2010/01/13/dokumde-kalip-turleri/> Erişim Tarihi: 12.10.2023.
- [19] Jiang, Z., Fan, Z., Jiang, W., Li, G., Wu, Y., Guan, F., & Jiang, H. (2018). Interfacial microstructures and mechanical properties of Mg/Al bi-metal produced by a novel liquid-liquid compound casting process. *Journal of Materials Processing Technology*, 261, 149–158.
- [20] Fu, Y., Zhang, Yb., Jie, Jc. (2017). Interfacial phase formation of Al-Cu bi-metal by solid-liquid casting method. *China Foundry* 14, 194–198.
- [21] HU, Y., CHEN, Y. qing, LI, L., HU, H. dong, & ZHU, Z. ang. (2016). Microstructure and properties of Al/Cu bi-metal in liquid–solid compound casting process. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(6), 1555–1563.