



### Ferronyobyum ve Ferrobor İçeren Tozaltı Kaynak Tozları ile Elde Edilen Kaplamaların Mikroyapı ve Aşınma Özellikleri

#### Microstructure and Wear Properties of Hardfacings Obtained Using Submerged Arc Welding Powders Containing Ferroniobium and Ferroboron

Mustafa KAPTANOĞLU<sup>1\*</sup>, Mehmet EROĞLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Elazığ, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mustafa Kaptanoğlu, mkaptanoğlu@firat.edu.tr

#### ÖZET

Bu çalışmada, SAE 1020 çelik yüzeylerde sert dolgu kaplama elde etmek amacıyla, dört farklı oranda ferronyobyum ve ferrobor içeren tozaltı kaynak tozları, S1 kaynak telleri ile kombine edilerek tozaltı kaynak testlerine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen kaynak testleri neticesinde; elde edilen kaplamaların mikroyapı, sertlik ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Artan miktarlardaki ferronyobyum ve ferroborun toz bünyesinde kullanılmasıyla hem elde edilen kaplama mikroyapılarında yer alan borür yüzdesi artmış, hem de sertlik değerleri artmıştır. Bu nedenle, kaplamaların aşınma kayıp değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. En yüksek sertlik değeri, %12 ferronyobyum ve %10 ferrobor içeren kaynak tozu ile elde edilen kaplamada 48 HRC olarak tespit edilirken, en düşük sertlik değeri ise %3 ferronyobyum ve %2,5 ferrobor içeren kaynak tozu ile elde edilen kaplamada 41 HRC olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tozaltı kaynağı, Sert Dolgu Kaynağı, Tozaltı Kaynak Tozu.

#### ABSTRACT

In this study, submerged arc welding powders containing ferroniobium and ferroboron at four different rates combined with S1 welding wires subjected to the welding test with the aim of hardfacing on SAE 1020 steel surface. As a results of welding tests, microstructure, hardness and wear properties of hardfacings were investigated. With an increase in amounts of ferroniobium and ferroboron in welding powders, both percentage of boride structure located in hardfacing microstructure were increased, and the hardness increased. Therefore, the wear losses decreased. The highest hardness result was determined with the hardfacing obtained from the welding powder containing %12 ferroniobium and %10 ferroboron as 48 HRC, the lowest hardness result was determined with the hardfacing obtained from the welding powder containing %3 ferroniobium and %2,5 ferroboron as 41 HRC.

**Keywords:** Submerged Arc Welding, Hardfacing, Submerged Arc Welding Powder.

## 1. GİRİŞ

Tozaltı kaynağı, kaynak için gerekli ısının, tükenen elektrot (veya elektrotlar) ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir. Kaynak teli (elektrodu) ve ana metal arasında meydana gelen ark bölgesi, bu bölge de kısmi olarak da ergiyen kaynak tozları tarafından korunur. Tozaltı kaynağında elektrik, arktan ve ergimiş metal ile ergimiş cüruftan oluşan kaynak banyosundan geçer. Ark ısıyı elektrotu, kaynak tozunu ve ana metali ergiterek kaynak banyosunu oluşturur. Koruyucu görevi yapan kaynak tozu ayrıca kaynak banyosu ile reaksiyona girerek kaynak metalini deokside eder (Külahlı, 1988).

Tozaltı kaynak yöntemi; yüksek ergime oranına sahip olması, mekanize edilmiş bir sistem olması, temiz ve yüksek penetrasyona sahip kaynak metali vermesi, oldukça düşük duman oluşturması, yüksek kaynak hızına sahip olması, yüksek çarpılma direncine sahip olması ve kullanılan tozun büyük oranda tekrar kullanılabilir olması nedenleriyle sıklıkla tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi; ısı girdisinin çok yüksek olması nedeniyle sadece belirli kalınlıktaki malzemelere uygulanabilmektedir. Ayrıca; bu tekniğin sadece düz ve dairesel parçalara uygun olması bu kaynak yöntemini sınırlayan faktörlerdendir.

Tozaltı kaynak yönteminde kullanılan tozlar üretim yöntemine bağlı olarak; ergimiş ve topaklanmış (aglomere) olmak üzere iki çeşittir. Ergimiş tip tozaltı kaynak tozu üretimi tozu oluşturan bileşenlerin homojen karıştırılıp ergitilmesi ve katılma sonrasında kırılarak boyutlandırılması esasına dayanmaktadır. Ergimiş tozlar hidroskobik değildir, kimyasal açıdan homojendirler ve metalik bileşenler içermezler. Bunlar yüksek kaynak akımlarında kararlı bir ark verirler. Aglomere tozlar; tozu oluşturan bileşenlerin homojen olarak karıştırılıp, bir bağlayıcı (sodyum silikat) yardımıyla bağlanarak pelet oluşumu, oluşan peletlerin sinterlenmesi ve kırılarak öğütülmesi prensibine dayanmaktadır. Bu toz tipinde alaşım elementleri de toza ilave edilebilmekte ve kaynak sırasında kaynak metaline geçirilerek sert yüzey kaplamalar elde edilebilmektedir. Ergimiş tozların aksine aglomere tozlar depolanma esnasında, havanın nemini kolayca absorbe edebilirler. Bu ise kaynaktaki porozite oluşumuna yol açmaktadır. Bunun için kaynak öncesinde tozların 300 °C bir sıcaklıkta nemlerinin alınması gerekmektedir (Davis, 1993).

Kaynak yöntemiyle yapılan kaplama işlemi; aşınma ve korozyon davranışı gibi yüzey özelliklerini geliştirmek için bir ana metal veya alt tabaka yüzeyine bir malzeme tabakasının geçirilmesi işlemidir. Şayet aşınmaya direnci iyi olan sert bir malzeme yumuşak veya sünek bir malzeme üzerine aşınma özelliğini geliştirmek amacıyla kaynak yöntemiyle kaplanırsa bu işleme sert yüzey kaplama denir. Bazen bozunmuş malzeme yüzeyi kaplama işlemiyle tekrardan istenen boyutlara getirilebilir. Bir veya daha fazla tabakanın kaynak işlemiyle oluşturulması uygun kimyasal veya metalurjik uyumluluğu zorunlu kılar. Bu hususların her ikisinde de tasarım yapılırken kaynak metalinin mukavemeti düşünülür (Oates ve Saitta, 2000). Sert dolgu (sert yüzey kaplama) alaşımları herhangi bir kaynak yöntemiyle uygulanabilmektedir. Seçilen yöntem uygulanabilirlik ve ihtiyaçlara cevap verme açısından en akılcı yöntem olmalıdır. Oksi-Asetilen ve TIG kaynağı, sert dolguda kullanılmakla beraber düşük metal yığıma oranları nedeniyle uygulama alanları kısıtlıdır. Örtülü elektrot ekonomiklik, bulunabilirlik ve çok yönlülük olarak avantajlıken düşük yığıma özelliği nedeniyle dezavantajlıdır. Özlü tel ile sert yüzey kaplamada tel üretimi ve kullanımı, yığıma hızı ve çalışma kolaylığı gibi esneklikler varken her pozisyonda kullanımı sınırlıdır.

Tozaltı kaynak metodu ile yapılan sert kaplamaların; otomatikleşmiş bir sistem olması, büyük ve aşınmış parçaların doldurulmasının ekonomik ve kolay olması, operatör eğitimi için geçen sürenin kısa ve kolay olması, kaynak dikişinin temiz, sağlam ve düzgün olması ve arkı toz çevrelediği için herhangi bir rahatsız edici ışın olmaması gibi artılar mevcuttur. Öte yandan, sert kaplamalarda kullanılan tozların sınırlı olması, kaynağın sadece düz ve silindirik parçalara uygulanması, her pozisyonda kaynak yapılamaması ve yüksek ısı girdisi nedeniyle sadece belli kalınlıktaki parçalara uygulanabilmesi gibi özellikleri tozaltı kaynağının kullanımını sınırlamaktadır. Dolayısıyla; bütün yöntemlerin kendilerine özgü avantajları ve sınırlamaları bulunmaktadır. Bu nedenle, sert dolgu yapılacak parçaya ve uygulamaya en uygun yöntem seçilerek başarıyla uygulanabilir (Külahlı, 1988).

Singh ve Pandey, (2009) toz altı kaynak işlemi sonrasında meydana gelen cürüfların yeniden kullanımını araştırmışlardır. Yapılan çalışmada tozaltı kaynak cürüfları ilgili fabrikalardan toplatılmış ve gerekli alaşım elementleri ve deoksidanlar katılarak aglomerasyon ve sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme işleminden sonra kırılarak boyutlandırma işlemi yapılmıştır. Hazırlanan bu tozlar kullanılarak yapılan tozaltı kaynak işlemleri sonucunda kaynak metalinin mekanik ve kimyasal özelliklerinin AWS (Amerikan Kaynak Cemiyeti) şartlarını sağladığı belirtilmiştir (Singh ve Pandey, 2009). Sui ve arkadaşları, (2006) tozaltı kaynak toz içeriğine bağlı olarak ark sırasında tozun yumuşama sıcaklığını incelemişlerdir. Çalışma hem deneysel hem de en uygun tasarım yöntemiyle sayısal modelleme üzerine yoğunlaşmıştır. Çalışmada, tozaltı kaynak tozu içinde yer alan bileşenlerin farklı kombinasyonları incelenmiş olup, MgO-TiO<sub>2</sub>-CaCO<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karışımının yumuşama sıcaklığını artırdığı ve bu durumun da cürufun kolay kalkmasını sağladığını belirtmişlerdir. Kanjilal ve arkadaşları, (2006) kaynak tozu ve kaynak parametrelerinin kaynak metali kimyasal bileşimi ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda polaritenin en önemli faktör olduğu belirtilmiştir. Mercado ve arkadaşları, (2009) tozaltı kaynak tozuna katmış oldukları TiO<sub>2</sub>'nin kaynak metalinde mikro yapı ve mekanik özelliklere olan etkisini incelemişlerdir. Sonuçta kaynak tozundaki TiO<sub>2</sub> miktarındaki artışla beraber kaynak metalinin tokluk ve sünekliğinin arttığı belirtilmiştir. Tusek ve Suban, (2003) tozaltı kaynak yönteminde kullanılmak üzere; metal tozlarını ark bölgesine dökerek yüzeyin alaşımlanması hedeflemişlerdir. Çalışma sonucunda; metalik toz ilavesiyle yüzeyin alaşımlanması mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Gülenç ve Kahraman, (2003) tozaltı kaynak yöntemiyle aşınmış yüzeylerin doldurularak aşınmaya karşı dayanımın artırılması üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonucunda kaynak metalinin sertliğinin artmasıyla aşınma dayanımının arttığı, sertliğin de elektrot ve toz bileşimine bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Tozaltı kaynak tozları kullanılarak sert dolgu kaplama amaçlı yapılan çalışmalar genel ağırlık ticari çalışmalardır ve işletmelerin ticari sırrı olarak saklanmaktadır. Fakat toz üreten firmaların kaynak metalinden aldıkları kompozisyon analizlerinden elde edilen verilere göre; ferro alaşım içeren tozaltı kaynak tozları genel ağırlık ferrokrom ve ferromolibden üzerine yoğunlaşmaktadır (Askaynak, 2016; Gedikkaynak, 2016; Oerlikon, 2016). Ayrıca; literatürdeki ferro niyobyum-ferrobor ikilisini içeren kaynak kaplama çalışmaları genel ağırlık koruyucu soy gaz içeren kaynak metotları ile gerçekleşirken (Berns ve Fischer, 1987) bazı çalışmalar ise bu kaplamalarda kullanılan kaynak tellerini alaşımlandırma yoluna giderek (Ke ve ark., 2011) gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla; literatürde ferroniyobyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile kaplama yapmayı amaçlayan çalışma sayısı sınırlıdır.

Bu çalışma da ise aşınma direnci yüksek niyobyum ve bor içeren kaplamaların üretilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda düşük karbonlu çelik yüzeylere toz altı kaynak tekniğiyle kaynak testleri yapılmıştır. Hazırlanan toz altı kaynak tozlarında ferroniyobyum ve ferrobor kullanılmıştır. Demir, bor ve niyobyum elementlerinden oluşabilecek sert borürler, elde edilecek kaplamaların sertlik ve aşınma özelliklerinin geliştirilmesinde önemli rol oynayacaktır.

## 2. MATERYAL ve METOT

### 2.1. Aglomere Tozaltı Kaynak Tozu Üretimi

Çalışmada, öncelikle kaynak tozlarının ortalama olarak % 50 sini oluşturan Elazığ Ferro krom işletmesinden kompozisyonu **Tablo 1'** de verilen atık cüruf, cüruf oluşturucu diğer bileşenler ve sertlik artırıcı ferro alaşımların temini sağlanmıştır. Hazırlanan tozlar hem üretim kolaylığı hem de ferro alaşımlar kullanma esnekliği nedeniyle aglomere tozaltı kaynak tozu üretim metoduyla üretilmiştir.

**Tablo1.** Elazığ ferro krom cürufunun kimyasal kompozisyonu (Eti, A.Ş., Elazığ beyanıdır).

Malzeme	Kimyasal kompozisyon (% Ağırlıkça)					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO
Elazığ ferro krom cürufu	31,2	29,9	33,7	2,6	1,45	0,9

Tüm toz bileşenler öncelikle kırma, öğütme ve eleme işlemleriyle 100 µm tane boyutunda sınıflandırılmıştır. Bu işlemlerde çeneli kırıcı, bilyalı değirmen ve 1500µm-100µm aralığındaki delik çaplarına sahip elekler kullanılarak hammaddelerin uygun tane boyutuna gelmesi sağlanmıştır. Uygun tane boyutuna (-100 µm) indirgenen hammaddeler, **Tablo 2'** de verilen kompozisyonlarda 5 dakika süreyle karıştırılmıştır. Karıştırma işleminde kullanılan özel el yapımı mikser tozların homojen dağılımını sağlamıştır. Homojen karışan tozlar %20 oranında NaSi bağlayıcısı (camsuyu) kullanılarak aglomere forma getirilmiştir. Aglomere olan tozlar bağ yapısının güçlenmesi için bir gün süreyle oda koşullarında dinlendirilmiştir. Dinlendirilen tozlar 750 °C de bir saat süreyle sinterlenmiştir. Bu işlem sonrası, sinterlenen tozlar 200 µm - 1,5 mm aralığında olacak şekilde yeniden kırma, öğütme ve eleme işlemlerine tabi tutularak tozaltı kaynağında kullanmak üzere en uygun toz boyutuna getirilmiştir. Uygun toz boyutundaki tozlar, nem hassasiyeti nedeniyle kaynak testleri öncesi 1 saat süreyle 350 °C de ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Toz bileşenlerinin cüruf özelliklerini sağlaması ve cürufun akışkanlığını artırması amacıyla cüruf oluşturuçu olarak **Tablo 2'** de belirtilen oranlarda CaF<sub>2</sub>, CaO, TiO<sub>2</sub>, MnO, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O toz bileşenine katılmıştır. Ayrıca; gerek deoksidan olarak gerekse de katı çözültü ve sertlik özelliklerine katkı sağladıkları için ferromolibden ve ferromangan tozları da toz bileşimine **Tablo 2'** de belirtilen oranlarda katılmıştır. Hazırlanan tozlar içerisinde %3-12 oranlarında ferronyobiyum ve %2,5-10 oranlarında ferrobör toz kompozisyonuna katılmıştır. Kullanılan ferronyobiyum % 66 Nb, ferrobör %18 B, ferromangan % 74 Mn ve ferromolibden % 63 Mo içermektedir.

**Tablo 2.** Kaplama amaçlı kullanılan kaynak toz karışımlarının kimyasal kompozisyonları.

Toz No	CaF <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	(Na <sub>2</sub> O +K <sub>2</sub> O)	Ferro bor	Ferro niyob yum	Ferro-mangan	Ferro-Molibden	Ferro krom cürufu
1	10	5	6	5	1,5	2,5	3	2	1	64
2	10	5	6	5	1,5	5	6	2	1	58,5
3	10	5	6	5	1,5	7,5	9	2	1	53
4	10	5	6	5	1,5	10	12	2	1	47,5

## 2.2. Kaynak Testlerinde Kullanılan Cihazlar ve Kaynak Testlerinin Yapılışı

Kaplama amaçlı kaynak testleri Magmaweld ZD5-1000B-MZ-000BF (Manisa, Türkiye) toz altı kaynak makinesi ve güç kaynağı ünitesiyle gerçekleştirilmiştir. Tüm kaynak testlerinde 3,2 mm çapa sahip Magmaweld S1 kaynak teli (elektrot) kullanılmış ve bu telin kimyasal kompozisyonu **Tablo 3'** de verilmiştir.

**Tablo 3.** Tozaltı kaynağında kullanılan S1 kaynak telinin kimyasal kompozisyonu (Magmaweld, Türkiye beyanıdır).

Malzeme	Kimyasal Kompozisyon (% Ağırlıkça)			
	C	Si	Mn	Fe
Magmaweld S1 kaynak teli	0,07	0,05	0,50	Kalan

Tüm kaynak testleri **Tablo 4'** de kimyasal kompozisyonu verilen 10x30x600 mm ebatlarındaki düşük karbonlu çelik yüzeylere (SAE 1020) gerçekleştirilmiştir ( ARL Thermofisher Scientific 3460 Metal Analyzer, A.B.D cihazı ile analizi yapılmıştır). Düşük karbonlu çelik yüzeyler kaynak testleri öncesinde her türlü kir, pas vb. tüm pisliklerden arındırılarak kaynak testleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bütün sert dolgu kaplama amaçlı kaynak testleri 500 A akımda, 28 V gerilimde, 50 cm / dk kaynak hızında ve 3,2 mm lik kaynak tel çapına sahip tellerle gerçekleştirilmiştir. Tüm testlerde elektrot pozitif olarak ayarlanmıştır. Kaynak testlerinde dikiş özelliklerine doğrudan etki eden meme boyu ya da stick-out mesafesi standartlara uygun şekilde kullanılan tel çapının (3,2 mm) 10 katı olarak belirlenerek tüm numunelerde standart olarak 32 mm mesafede tercih edilmiştir.

**Tablo 4.** SAE 1020 çeliğinin kimyasal kompozisyonu.

Malz.	Kimyasal kompozisyon (% Ağırlıkça)					
	C	Si	Mn	P	S	Fe
SAE 1020	0,158	0,281	0,648	0,033	0,034	Kal.

### 2.3. Kaynak Dikişleri, Kimyasal Analizler ve Mikroyapı Tayinleri

Sert dolgu kaplama amaçlı kaynak testleri ile elde edilen kaynak dikişi görüntüleri öncelikle görsel olarak incelenmiştir. Görsel olarak incelenmiş kaynak dikişleri 12x10x10 mm ebatlarında olacak şekilde laboratuvar tipi sulu kesme makinesinde herhangi bir ısı değişimine izin verilmeksizin kimyasal kompozisyon ve mikroyapı tayini amaçlı kesilmiştir. Kesilen numuneler klasik metalografik yöntemlerle zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuş ve % 2 nital çözeltisinde dağlanmıştır. Dağlama süresi, kaynak metalinin içerdiği alaşım elementi miktarına bağlı olarak artan ya da azalan süreler kullanılarak belirlenmiştir. Dağlamanın yetersiz olduğu durumlarda işlem tekrarlanmıştır. Dağlanan numunelerin mikroskopik incelemelerinde, Nikon Eclipse-MA200i optik mikroskobu (Japonya) ve Jeol JSM-7001F Inca X-Act (Japonya) taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Öte yandan; çalışmada gerçekleştirilen tüm optik emisyon kompozisyon analizlerinde (ThermoFisher Scientific 3460 Metal Analyzer, A.B.D) optik emisyon cihazından, SEM EDX ve Jeol JXA-8230 (Japonya) EPMA EDS cihazlarından yararlanılmıştır. Mikroyapılardaki fazların tayini için ise Rigaku RadB-Dmax2 (A.B.D.) cihazından yararlanılarak X-ışını analizleri de yapılmıştır.

### 2.4. Sertlik ve Aşınma Testlerinin Yapılışı

Kaynak bölgesinin enine kesitinden hazırlanan 12 mm x10mm x10 mm boyutlarındaki numunelerin sertlik ölçümleri makro ve mikro olarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümü amacıyla kesilen numuneler yüzeylerindeki kir, pas ve benzer pisliklerden arındırıldıktan sonra zımparalama ve parlatma işlemleri ile sertlik ölçümüne uygun hale getirilmiştir. Makro sertlik ölçümleri 150 kgf (1471,5 N) yük altında Rockwell sertlik ölçüm metodunun C skalasıyla, mikro sertlik ölçümleri ise 0.2 kgf (1.8 N) yük altında Vickers ölçüm metoduyla gerçekleştirilmiştir. Makro sertlik ölçümleri kaplamanın yüzey bölgesinde yer alan 10 farklı noktadan alınan sertliklerin ortalama sertlikleri hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Mikro sertlik ölçümleri ise enine ve boyuna 10 farklı bölgeden alınan ölçümlere bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Abrasif aşınma testlerinde kullanmak için 11 mm x 10 mm x 10 mm ebatlarındaki numuneler kaynak dikişinin (kaplama bölgesinin) merkez noktasından elde edilmiş ve bu numuneler aşındırıcı bant zımpara kullanılan bir aşınma test cihazında abrasif aşınma testine tabii tutulmuştur. Aşınma testleri 80 mesh su zımparası, 20 newton yük, 50 metre kayma mesafesi ve 300 devir/dakika da gerçekleştirilmiştir. Deneysel testler öncesi ve sonrası ağırlıklar ölçülerek aşınma kayıpları hesaplanmış ve ağırlık kaybı baz alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Her bir testte yeni bir zımpara kullanılmış ve aşınma kayıpları % değerler şeklinde hesaplanmıştır.

## 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

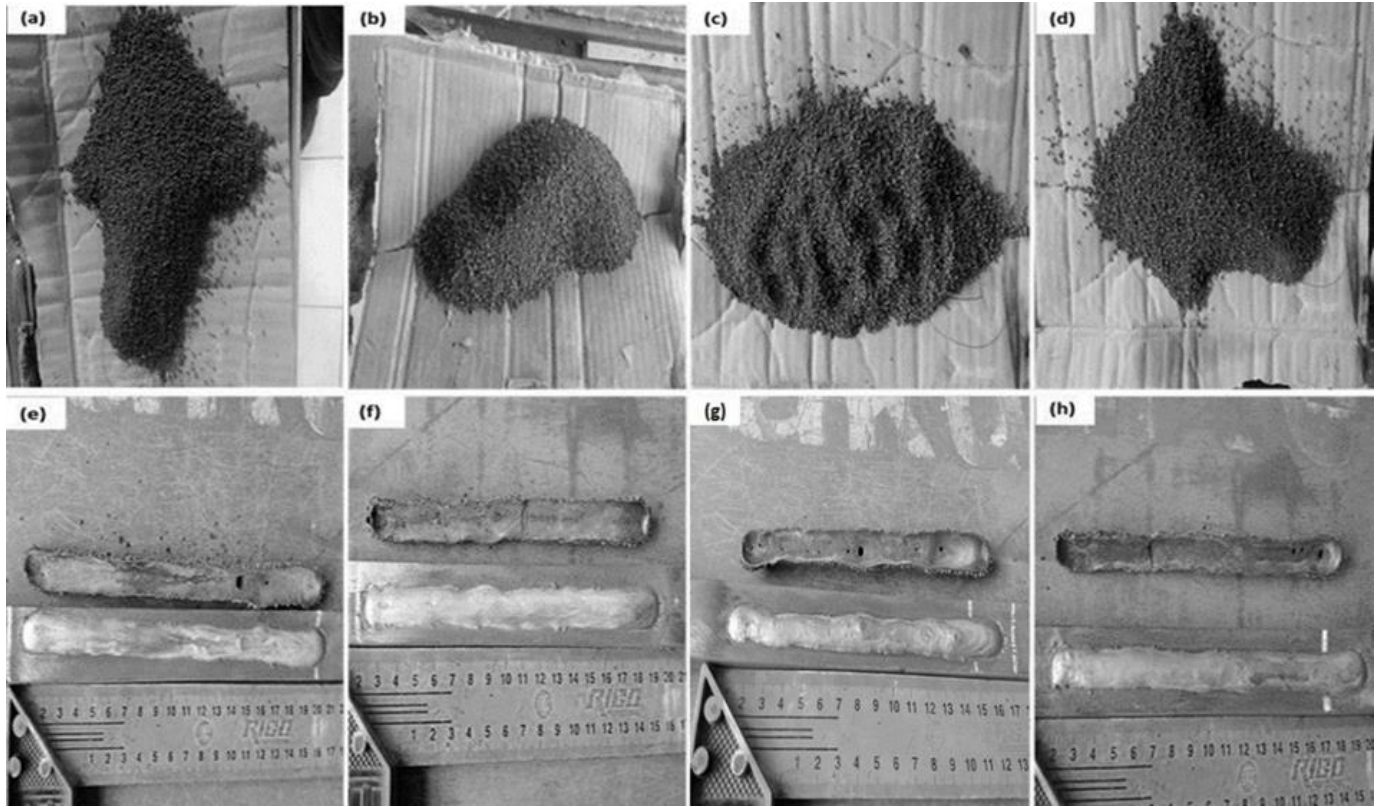
### 3.1. Görsel analizler

Sert dolgu kaplama amaçlı olarak üretilen tozlar ve bu tozlarla elde edilen kaplama kaynak dikişi görüntüsü **Şekil 1** de verilmektedir. Görüldüğü üzere; üretilen tozlar benzer tane boyutuna sahiptir. **Şekil 1** deki tüm kaynak dikişleri yüzeye açık çatlak ve porozite vb. kusurlar açısından değerlendirildiğinde; yapılan tüm kaynak testlerinde kaynak özelliklerini etkileyebilecek ciddi bir hata bulunmadığı tespit edilmiştir. Kaynak testleri curufun kendiliğinden kalkması bakımından değerlendirildiğinde; artan ferro alaşım yüzdesi az da olsa curufun kendiliğinden kalkmasına engel olmaktadır. Özellikle en yüksek ferroniyobyum-ferrobor oranlarında cüruf kısmı olarak kendiliğinden kalkmamıştır. Bu durum artan ferro alaşım miktarı, ara yüzey gerilimi ve soğuma esnasındaki faz dönüşümleri ilişkilendirilmektedir (Singh ve ark., 2013).

### 3.2. Kimyasal Kompozisyon ve Mikroyapı Tayin Sonuçları

Üretilen sert dolgu kaplama amaçlı tozlar ile elde edilen kaplamaların kaynak metalinden alınan optik emisyon, SEM EDX ve EPMA EDS kimyasal kompozisyon analiz sonuçları **Tablo 5'** de verilmektedir. Artan miktarlarda ferroniyobyum (% 3-12) ve ferrobor (% 2,5-10) içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamalarda (% 1,95-5,78) oranlarında niyobyum ve (%0,45-0,96) oranlarında bor kaplamaya geçmiştir. En yüksek niyobyum ve bor yüzdeleri en yüksek ferroniyobyum ve ferrobor içeren tozlarla elde edilirken, en düşük niyobyum ve bor yüzdeleri ise en düşük ferroniyobyum ve ferrobor içeren tozlarla elde edilen kaplamalarda elde edilmiştir. Kaplamadaki niyobyum ve bora ilaveten, ortalama olarak % 1 mangan, % 0,25 silisyum ve molibdenin de dört kaplamada da bulunduğu tespit edilmiştir. Mangan, silisyum ve molibdenin yüzde kompozisyonları, S1 tozaltı kaynak telinin kaynak metalinde verdiği tipik kompozisyonlardır (Oerlikon, 2016). Öte yandan, , toz içerisinde bulunan ferromolibden ve ferromangandan kaplamaya herhangi bir geçiş olmadığı, bu durumun da oksijene olan ilgilerinden (afinitelerinden) kaynaklandığı düşünülmektedir.





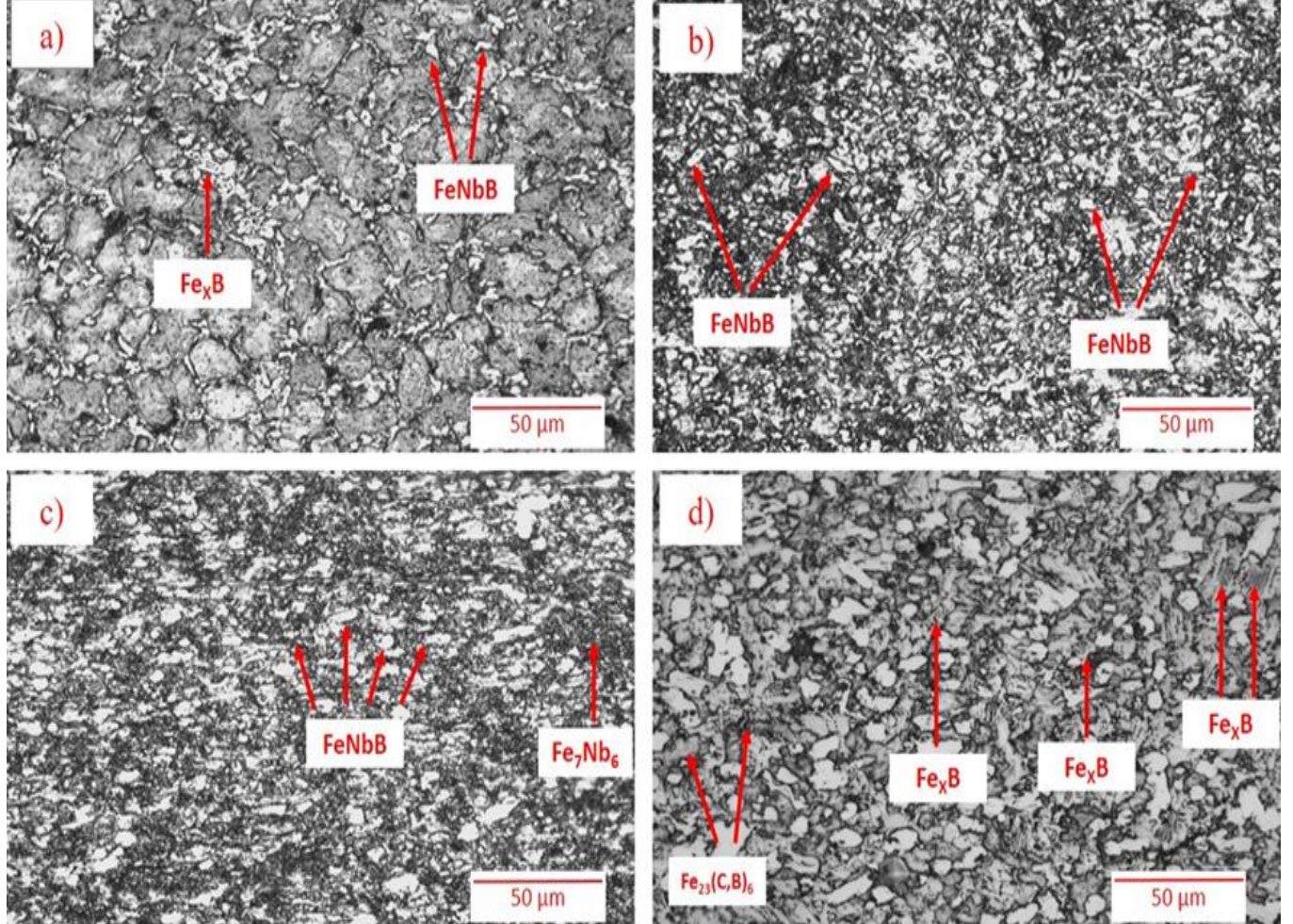
**Şekil 1.** Artan ferroniobyum ve ferrobor miktarına bağlı olarak hazırlanan tozlar ve bu tozlardan elde edilen sert dolgu kaplamaların kaynak dikişi ve cüruf görüntüleri. **a,e)** % 3 FeNb - %2,5 FeB; **b,f)** % 6 FeNb - % 5 FeB; **c,g)** % 9 FeNb - %7,5 FeB; **d,h)** % 12 FeNb - % 10 FeB.

**Tablo 5.** Sert dolgu kaplama amaçlı tozlar ile yapılan kaynaklı numunelerden alınan optik emisyon, SEM EDX ve EPMA EDS kompozisyon analizleri.

Kaynak test numaraları ve aglomere tozların içerdiği ferro alaşım miktarları	Kompozisyon (% Ağırlıkça)							Fe <sup>■</sup>
	C <sup>●</sup>	Mn <sup>■</sup>	Mo <sup>■</sup>	Si <sup>■</sup>	Nb <sup>■</sup>	Bor <sup>*</sup>		
1      %3 FeNb, %2,5 FeB	0,24	0,85	0,15	0,20	<b>1,95</b>	<b>0,45</b>	Kalan	
2      %6 FeNb, %5 FeB	0,24	0,95	0,25	0,21	<b>2,91</b>	<b>0,65</b>	Kalan	
3      %9 FeNb, %7,5 FeB	0,30	0,93	0,19	0,20	<b>4,36</b>	<b>0,78</b>	Kalan	
4      %12 FeNb, %10 FeB	0,32	0,91	0,18	0,19	<b>5,78</b>	<b>0,96</b>	Kalan	

(●) simgesi SEM EDX, (■) simgesi optik emisyon ve (\*) simgesi EPMA EDS test sonuçlarından alınan test sonuçlarını temsil etmektedir.

Sert dolgu kaplamaların enine kesitinden alınarak klasik metalografik yöntemlerle hazırlanan ve artan miktarlarda ferronyobyum ve ferrobor içeren sert dolgu kaplamaların mikroyapı fotoğrafları **Şekil 2** de verilmektedir. Kaplamalarda artan niyobyum ve bor miktarına bağlı olarak mikroyapılar değişmekte ve buna bağlı olarak da meydana gelen fazlar farklılık göstermektedir. Tüm mikroyapılarda ferrit matris,  $\text{FeNbB}$ ,  $\text{Fe}_7\text{Nb}_6$ ,  $\text{Fe}_{23}(\text{C},\text{B})_6$ ,  $\text{Fe}_7\text{Nb}_6$ ,  $\text{FeB}$  ve  $\text{Fe}_2\text{B}$  fazları bulunmaktadır. Buna ek olarak özellikle % 9 ve 12 ferronyobyum ve %7,5 ve 10 oranlarında ferrobor ile hazırlanan tozlarla elde edilen kaplamalarda bu fazlara ilaveten  $\text{Fe}_3\text{B}$  ve  $\text{Fe}_7\text{B}$  borür fazları da yer almaktadır. Kaplamalarda yer alan karbür ve borürlerin miktarının artması ve buna bağlı olarak mikroyapıların değişmesi yapılan testler öncesi toz içerisine artan miktarlarda ferro alaşım katılarak önceden hedeflenen bir durumdur. Bu duruma paralel olarak, artan ferro alaşım yüzdesi kaplamalarda karbür ve borürlerin miktarının artmasına da neden olmuştur.

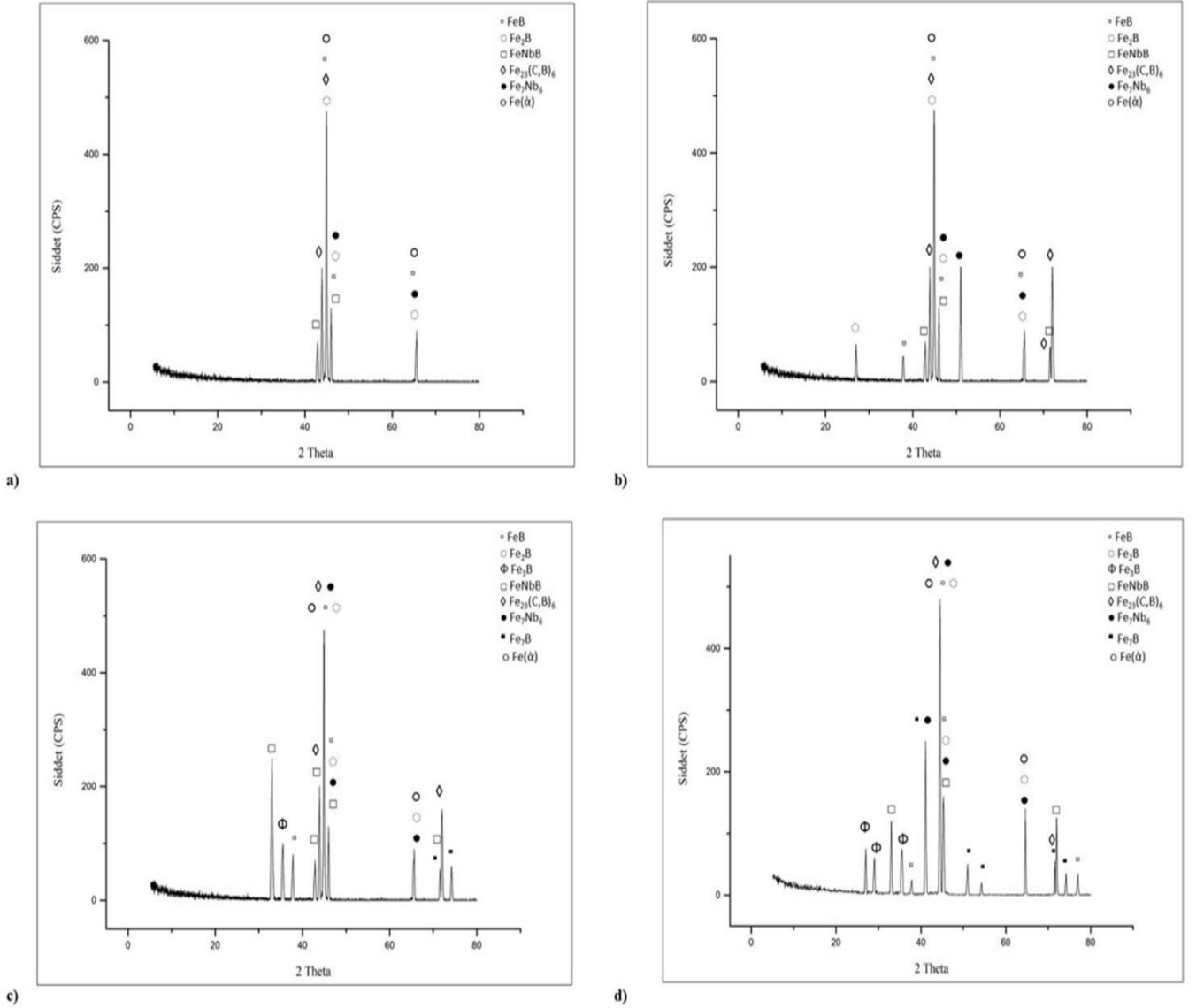


**Şekil 2.** Ferronyobyum ve ferrobor içeren tozlarla elde edilen kaplamaların optik mikroyapı görüntüleri. **a)** %3 FeNb, %2,5 FeB; **b)** %6 FeNb, %5FeB; **c)** %9 FeNb, %7,5 FeB; **d)** %12 FeNb, %10 FeB.

Sert dolgu kaplamalarda soğuma esnasında ilk olarak  $\text{FeNbB}$ ,  $\text{Fe}_{23}(\text{C},\text{B})_6$  borürleri oluşmuş geriye kalan ergiyikten ise ötektik östenit ve ötektik demir borür yapıları oluşmuştur. Sıcaklık oda sıcaklığına doğru ilerlediğinde  $\text{FeNbB}$ ,  $\text{Fe}_{23}(\text{C},\text{B})_6$  borürleri ve demir borürler mikroyapıda aynen kalırken, östenit ise düşük karbon çözünürlüğü nedeniyle ferrite dönüşmüştür. Mikroyapılarda yer alan  $\text{FeNbB}$  borürler düşük niyobyum ve bor yüzdelerinde tane sınırlarında beyaz renkte görünmekte ve karmaşık geometride bulunmaktadır. Niyobyum ve bor yüzdesinin artmasıyla borürler dairesel ve dörtgenimsi geometride borürlere dönüşmüşlerdir. Özellikle en yüksek niyobyum ve bor yüzdelerinde ise borürler daha da büyüyerek çubuğumsu bir geometriye dönüşerek mikroyapıyı oluşturmaktadır. Mikroyapıdaki bu borürlere ilaveten mikroyapıda çok sayıda demir borür bileşikleri de artan bor yüzdelerine bağlı olarak yer almaktadır. Ayrıca; **Şekil 2 (d)** de mikroyapıda mat beyaz renkte görülen  $\text{Fe}_{23}(\text{C},\text{B})_6$  karbaborürler de mikroyapıda bulunmaktadır. Bu yapılar en yüksek niyobyum ve bor yüzdelerine sahip kaplamalarda daha yoğun bir şekilde görünürken, düşük niyobyum ve bor yüzdelerine sahip kaplamalarda daha seyrek bir şekilde görünmektedir.

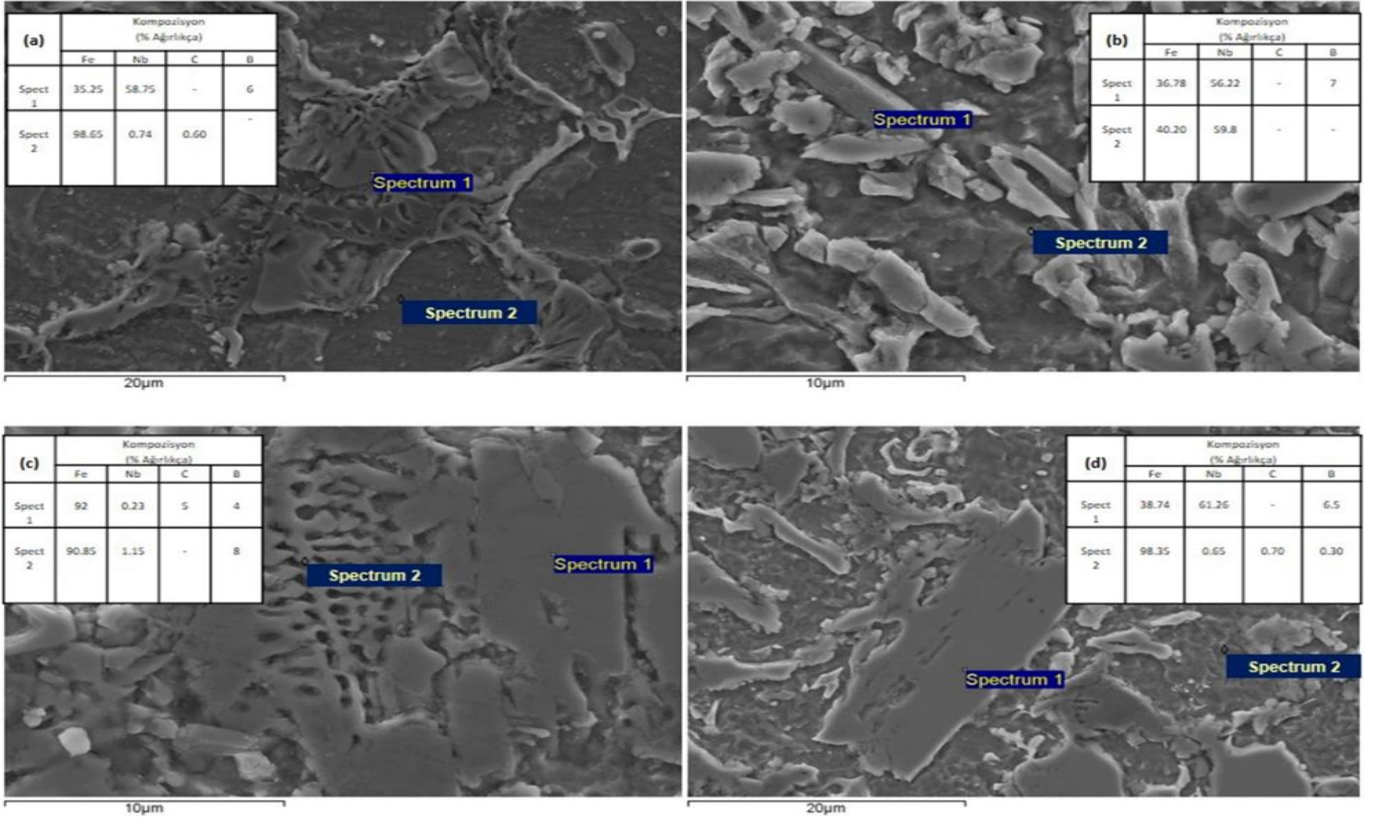
Mikroyapılarda oluşan fazlar ferrit,  $\text{FeNbB}$ ,  $\text{Fe}_{23}(\text{C},\text{B})_6$ ,  $\text{Fe}_7\text{Nb}_6$ ,  $\text{FeB}$ ,  $\text{Fe}_2\text{B}$ ,  $\text{Fe}_3\text{B}$  ve  $\text{Fe}_7\text{B}$  dir. Oluşan bu fazlar XRD (**Şekil 3 a-d**), optik emisyon, EDX, EDS analizleri **Tablo 5** ve literatür ile desteklenerek niyobyum ve bor miktarına bağlı olarak bu fazların oluşabileceği ortaya koyulmuştur. (Berns ve Fisher, 1987; Kim ve ark., 2015; Koga ve ark., 2014; Kim ve ark., 2015).





**Şekil 3.** Kaplamalardan alınan XRD analiz sonuçları **a)** %3 FeNb, %2,5 FeB; **b)** %6 FeNb, %5FeB; **c)** %9 FeNb, 7,5 FeB; **d)** %12 FeNb, %10 FeB.

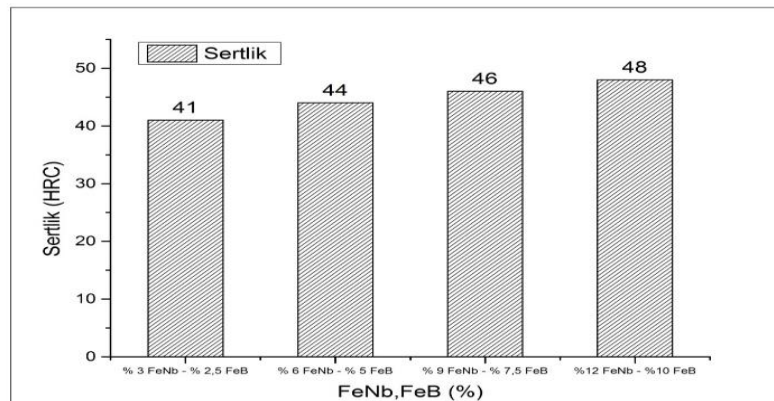
**Şekil 4 a-d** de artan miktarlarda ferroniyobyum ve ferrobör içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamaların SEM fotoğrafları ve EPMA EDS analiz sonuçları verilmektedir. Bu analiz sonuçları yarı kantitatif yöntemlerle elde edilmiş olup kesin rakamsal sonuçları temsil etmemektedir. Bu nedenle; sadece kıyaslama amacıyla kullanılacak verilerden oluşmaktadır. **Şekil 4 (a)** spektrum 1 de karmaşık geometriye sahip bir FeNbB bileşiği üzerinden alınan EDS analiz sonuçları verilmiştir. Verilen bu bileşikte % 58,75 niyobyum, %35,25 demir ve % 6 oranında bor yer almaktadır. Spektrum 2 de ise ferrit matris üzerinden alınan EDX analiz sonuçları verilmiştir. Analiz sonucunda ferrit içerisinde % 0,74 oranında niyobyum çözüldüğü tespit edilmiştir. **Şekil 4 (b)** spektrum 1 de çubuğumsu yapıya sahip bir FeNbB bileşiğinin EDS analizi verilmektedir. 58,22 niyobyum, % 36,78 demir ve %7 bor bu bileşiğin bünyesinde yer almaktadır. Spektrum 2 de ise demir ve niyobyumca zengin bir bölgeden EDS analizi alınmıştır. Bu bölgede karbon ve bora rastlanmamıştır. Bu nedenle bu yapının  $Fe_7Nb_6$  bileşiği olduğu düşünülmektedir. **Şekil 4 (c)** spektrum 1 de demirce çok zengin ve niyobyumca fakir ve % 4-5 oranlarında karbon ve bor içeren bir bölgeden EDS analizi alınmıştır. Bu yapının  $Fe_{23}(C,B)_6$  bileşiği olduğu tespit edilmiştir. Spektrum 2 de ise yine demirce çok zengin bir bölgeden EDS analizi alınmıştır. Bu bölgede eser miktarda niyobyum ve % 8 oranında bor elementi bulunmaktadır. Bu bölge hem kompozisyon hem de mikroyapı geometrisinden dolayı ötektik  $Fe_2B$  bileşiğini temsil etmektedir [16, 18]. Son olarak **Şekil 4 (d)** spektrum 1 de çubuğumsu geometriye sahip bir FeNbB bileşiği üzerinden EPMA EDS noktasal analizi alınmış bu çalışmada elde edilen daha önceki sonuçlarla uyumlu sonuçlar tespit edilmiştir. Spektrum 2 de ise matris üzerinden alınan EDS analiz sonuçları verilmektedir. Buna göre, %0,65 oranında niyobyum ve %0,30 oranında da bor elementinin bu yapı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.



**Şekil 4.** Toz bileşiminde artan ferronyobiyum ve ferrobör miktarlarıyla elde edilen kaplamaların taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri ve EPMA EDS analiz sonuçları **a)** % 3 FeNb - %2,5 FeB **b)** % 6 FeNb - % 5 FeB **c)** %9 FeNb - % 7,5 FeB **d)** % 12FeNb - % 10 FeB.

### 3.3. Sertlik Test Sonuçları

Kaynak tozu içerisindeki artan FeNb (%3-12) ve FeB (% 2,5-10) miktarına bağlı olarak elde edilen sert dolgu kaplamaların yüzeyindeki 10 farklı bölgesinden alınan ve ortalama değerler olarak hesaplanan makro sertlik ölçüm sonuçları **Şekil 5** de ve enine ve boyuna 10 farklı bölgeden alınarak ölçülen mikro sertlik sonuçları ise **Şekil 6 a-d** de verilmektedir.



**Şekil 5.** Artan miktarlarda ferronyobiyum ve ferrobör içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların ortalama makro sertlik sonuçları.

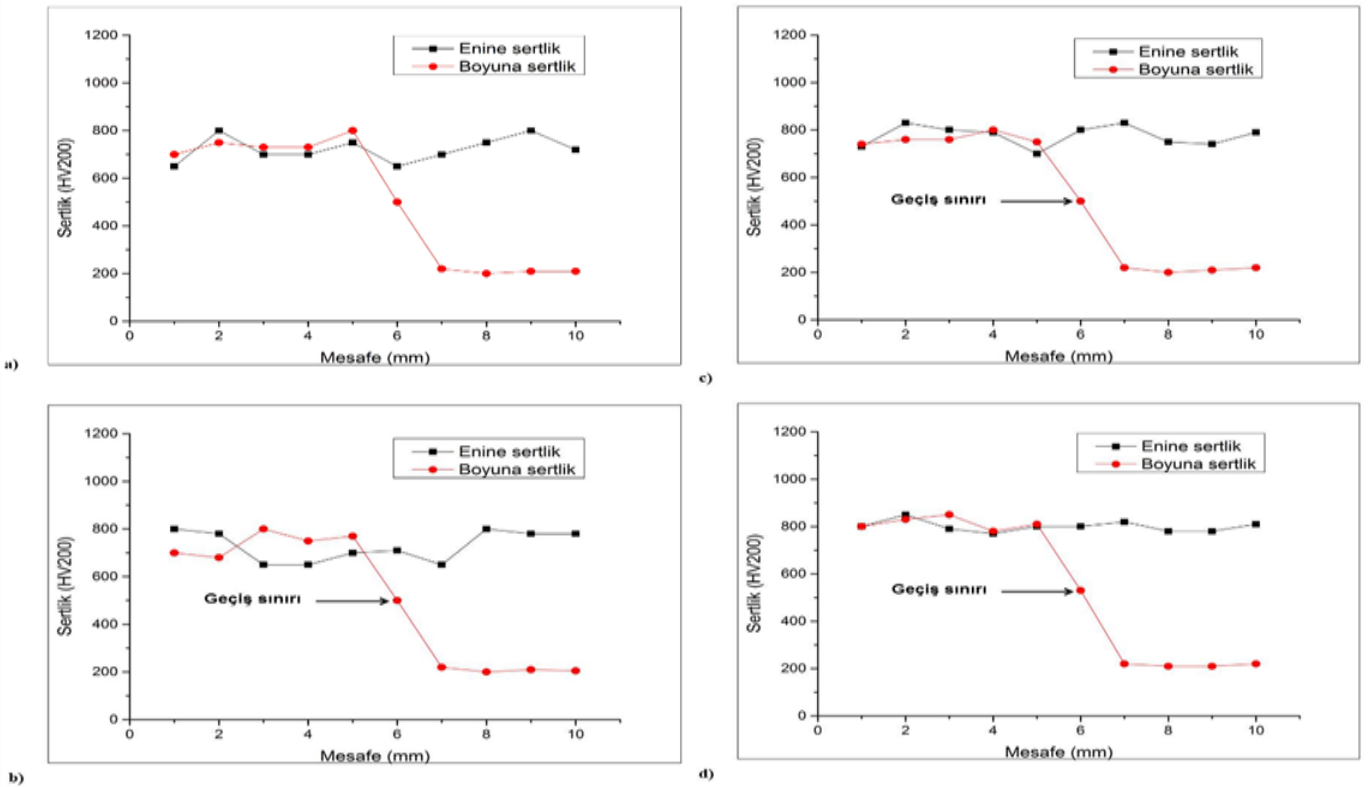
Yapılan makro ve mikro sertlik inceleme sonuçlarından görüleceği üzere; toz içerisindeki ferronyobiyum ve ferrobör miktarının artması ile sertlik de artmıştır. Makro sertlik ölçümlerinde 41 HRC ile en düşük sertliğe sahip kaplama %3 ferronyobiyum ve %2,5 ferrobör içeren toz ile elde edilirken, 48 HRC ile en yüksek sertliğe sahip kaplama %12 ferronyobiyum ve %10 ferrobör içeren toz ile elde edilmiştir. Bu durum diğer kaplamalarla benzer şekilde toz hazırlanma esnasında toz içerisine artan miktarlarda ferro alaşım koyularak ayarlanmıştır. Literatürdeki araştırmacılar farklı kaynak metodlarıyla demir esaslı malzemeler üzerine niyobiyum ve bor içeren kaplamalar yapmışlar ve elde ettikleri kaplama sertliklerini akma ve çekme dayanımı bazında hesaplamışlardır (Kim ve ark., 2015; Kim ve ark., 2015). Araştırmacıların elde ettikleri sertlik değerlerine denk gelen



akma ve çekme dayanımları mevcut çalışmadaki sertlik sonuçlarına paralellik göstermektedir. Ancak; bu çalışmada akma ve çekme dayanımı ile ilgili herhangi bir test yapılmamıştır. Öte yandan; mevcut literatürde sert dolgu kaplama amaçlı olarak kullanılmak üzere toz bünyesinde niyobyum ve bor kullanılarak yapılan ticari ve akademik çalışma bulunamamıştır. Bu nedenle hem atık bir cüruf alt yapısı kullanılan hem de tozaltı kaynak metoduyla yapılan kaplamada niyobyum ve boru birlikte verebilen toz üretimi ve kaplama eldesi ilk defa bu çalışma ile elde edilmiştir.

Kaplamlarda bulunan  $FeNb$ ,  $Fe_7Nb_6$ ,  $Fe_{23}(C,B)_6$ ,  $Fe_7Nb_6$ ,  $FeB$  ve  $Fe_2B$ ,  $Fe_3B$  ve  $Fe_7B$  bileşikleri kaplamanın sertliğini arttırırken ferrit fazı ise sertliği düşürmektedir. İyi bilindiği üzere ferrit demir kafesi içerisinde bulunan en yumuşak ve en düşük sertliğe sahip katı çözümlü fazdır (Savaşkan, 2009). Dolayısıyla, kaplama bünyesindeki sert faz miktarı kaplamanın sertliğine doğrudan etki etmektedir. Bu doğrultuda kaplamalarda artan miktarlarda borür ve karborürlerin bulunması sertliğin de doğrusal olarak artmasına neden olmuştur. Özellikle % 9 ve %12  $FeNb$  ve %7,5 ve 10  $FeB$  kullanılarak elde edilen kaplamalarda bu borür ve karborürlere ilaveten  $Fe_3B$  ve  $Fe_7B$  borür bileşiklerinin de yer alması kaplamanın sertliğinin daha da artmasına neden olmuştur.

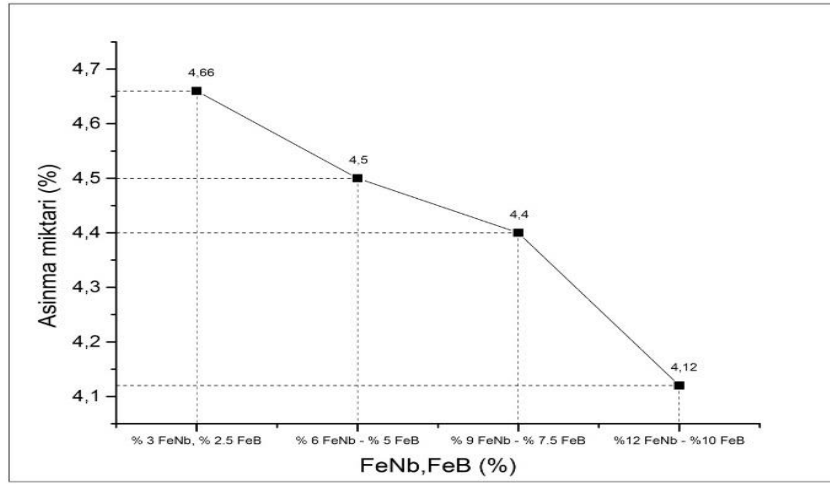
Mikro sertlik sonuçları detaylı incelendiğinde; %3-6 ferroniobyum ve %2,5-5 ferrobor içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplama ortalama sertlik sonuçlarındaki + ve - yöndeki sapmaların (dalgalanmanın) fazla olduğu görülmektedir. Sertlik sonuçlarındaki + ve - yöndeki bu sapmalar kaplamalardaki fazlar arasındaki sertlik farkı ve homojen olmayan dağılım ile ilişkilendirilmiştir. Öte yandan, % 9-12 ferroniobyum ve %7,5-10 ferrobor içeren tozlarla elde edilen kaplamalarda + ve - yöndeki sertlik sapmalarının daha az olduğu, özellikle en yüksek ferroniobyum ve ferrobor içeren kaplamada ise + ve - yöndeki sertlik sapmasının ise çok az olduğu görülmektedir. + ve - yöndeki sertlik sapmalarında meydana gelen bu değişiklik ilk iki kaplamada eser miktarlarda ya da hiç bulunmayan  $Fe_3B$ ,  $Fe_7B$  ve  $Fe_{23}(C,B)_6$  gibi sert bileşiklerin mikroyapıdaki yüzdelerinin artmasıyla ve bu yapıların homojen dağılımı ile ilişkilendirilmiştir. Bu yapılar kaplamalarda hem tane sınırlarında hem de tane içlerinde oluşarak + ve - yöndeki sertlik sapmalarının azalmasına neden olmuşlardır.



**Şekil 6.** Artan miktarlarda ferroniobyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların enine ve boyuna mikro sertlik sonuçları a) %3  $FeNb$  - %2,5  $FeB$  b) %6  $FeNb$  - %5  $FeB$  c) %9  $FeNb$  - %7,5  $FeB$  d) %12  $FeNb$  - %10  $FeB$ .

### 3.4. Abrasif Aşınma Test Sonuçları

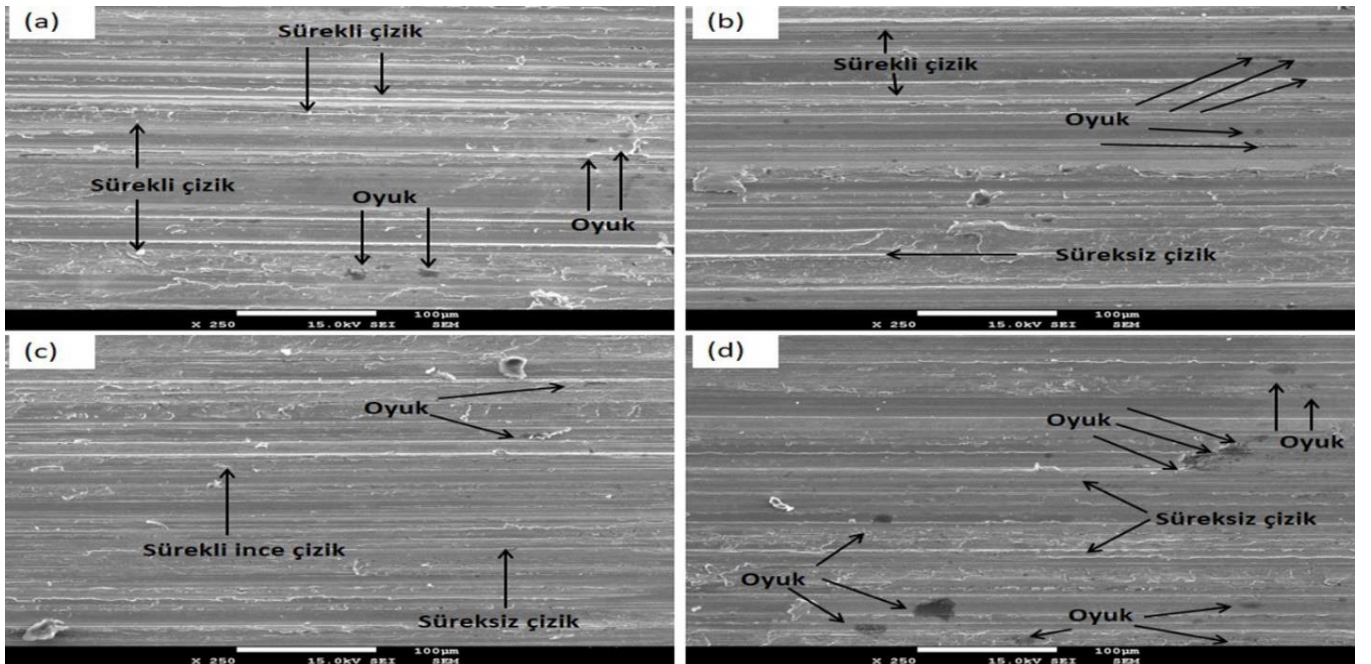
Toz içerisindeki artan ferroniobyum ve ferrobor miktarına bağlı olarak elde edilen sert dolgu kaplamaların 80 mesh su zımparası, 20 N yük, 50 m kayma mesafesi ve 3000devir/dk aşınma hızında yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları Şekil 7 de ve aşınmış yüzeylerden alınan SEM fotoğrafları Şekil 8 (a-d) de verilmektedir.



**Şekil 7.** Artan miktarlarda ferronyobyum ve ferbor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları.

Yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları incelendiğinde; en fazla aşınma miktarı %4,66 ile % 3 ferronyobyum ve %2,5 ferbor içeren toz ile elde edilen kaplama da iken en az aşınma miktarı %4,12 ile %12 ferronyobyum ve %10 ferbor içeren toz ile elde edilen kaplamada elde edilmiştir. Toz bünyesindeki artan ferro alaşım miktarları kompozisyona bağlı olarak demir esaslı bileşikler, demir borürler ve demir karbo borürlerin oluşmasında etkili olmuştur. Oluşan bu sert yapıların kaplamadaki yüzdesel olarak miktarı arttıkça kaplamaların sertlikleri artmıştır. Dolayısıyla; artan ferronyobyum ve ferbor miktarına bağlı olarak artan sertlikler, aşınma direncinin artmasına yani aşınma kayıplarının azalmasına neden olmuştur (Azimi, 2012; Wang ve Xiaoyan, 2010; Kılınç ve ark., 2015).

**Şekil 8 (a-d)** deki numuneler yüzeysel aşınma tipi olarak değerlendirildiğinde; aşınmanın yine mikro kesme (micro-cutting) ve mikro kazıma (micro-ploughing) şeklinde gerçekleştiği görülmektedir. Aşınmış yüzeylerin SEM fotoğrafları yüzey karakteristiği açısından incelendiğinde ise **Şekil 8 (a)** aşınmış yüzeyinde sürekli çizikler ve kısmi olarak da oyuklar (kraterler) yer alırken, **Şekil 8 (b,c)** de ise bu oluşumlara ilaveten süreksiz çizikler de aşınmış yüzeylerde yer almıştır. **Şekil 8 (d)** ise çok ince çizik bölgeleri, süreksiz çizikler ve en fazla sayıda oyuk oluşumu gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu oluşumlarda meydana gelen değişimler, kaplama mikroyapısında yer alan borürler ve demir karbo borürler gibi bileşik yapılarının kaplamadaki miktarına bağlı olarak sürekli çizik, süreksiz çizik, oyuk gibi oluşumların aşınmış yüzeylerde gözlemlenmesine neden olmuştur. Yüksek borür ve karborborürlere sahip kaplamalar da ince çizik ve oyuk gibi oluşumlar daha yoğunken, daha düşük oranlarda karbür ve karborborürlere sahip kaplamalarda ise sürekli çizik ve süreksiz çizik gibi oluşumlar daha yoğun olarak yer almaktadır.



**Şekil 8.** Artan miktarlarda ferronyobyum ve ferbor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların aşınmış yüzey SEM fotoğrafları **a)** %3 FeNb - % 2,5 FeB **b)** % 6 FeNb - % 5 FeB **c)** % 9 FeNb - % 7,5 FeB **d)** % 12 FeNb - % 10 FeB.

#### 4. GENEL SONUÇLAR

Çalışma sonunda; atık bir cürufun artan miktarlarda ferroniyobyum ve ferrobord ile birlikte kullanılmasıyla sert dolgu kaplama amaçlı tozaltı kaynak tozları üretilmiştir. Bu doğrultuda;

1- Kaynak tozu bünyesindeki ferroniyobyum ve ferrobordan kaplamalara %1,95-5,78 oranında niyobyum ve %0,45-0,96 oranında borun geçtiği, kaplamalarda borür ve karboborür fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir.

2-Hazırlanan kaynak tozları içerisindeki ferroniyobyum ve ferrobordan artmasıyla elde edilen kaplamaların sertlikleri 41 HRC' den 48 HRC' ye kadar yükselmiştir.

3-Üretilen kaynak tozları ile elde edilen kaplamaların sertliğinin artması ile aşınma kayıplarını azalmış, aşınma yüzey çizgileri daha ince, süresiz ve oyuklarından oluşan bir karakter sergilemiştir.

4- Sert dolgu kaplama amaçlı kaynak tozlarının atık bir cüruf altyapısı kullanılarak üretilmiş olması, hem mevcut atığın çevreye verdiği zararları azaltmış hem de ekonomik olarak sert dolgu kaplama amaçlı kaynak tozlarının üretilmesine olanak sağlamıştır.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma; Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TUBİTAK) tarafından desteklenmeye değer bulunmuştur. 114M016 nolu Tubitak projesi kapsamında sağladığı finansal desteklerinden dolayı TUBİTAK'a teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR

Azimi G.H., (2012). Microstructure and Wear Properties of Fe-Cr-C and Fe-Cr-Nb-C Clads on Carbon Steel by TIG Surfacing Process, *International Journal of Surface Science and Engineering*, 6, Nos. ½.

Berns H., Fischer A., (1987). Microstructure of Fe-Cr-C-B Alloys Addition of Nb, Ti and B, *Metallography*, 20, 401-429.

Davis J.R., (1993). ASM Handbook: *Welding, Brazing and Soldering*, Vol.6, ASM International, USA.

Gülenç B., Kahraman N., (2003). Wear Behaviour of Bulldozer Rollers Welded Using a Submerged Arc Welding Process, *Materials & Design*, 24, 537-542.

Kanjilal P., Pal T.K., Majumdar S.K., (2006). Combined Effect of Flux And Welding Parameters On Chemical Composition And Mechanical Properties of Submerged Arc Weld Metal, *Journal of Materials Processing Technology*, 171, 223-231.

Ke Y., Zhi-xi Z., Wang- Qin H., Ye-feng B., Yang-Feng J., (2011). A New Type of Submerged Arc Flux Cored Wired Used for Hardfacing Continuous Casting Rolls, *Journal of Iron and Steel Research International*, 18, 74-79.

Kılınc B., Durmaz A. M., Sen U., Sen S., (2015). Wear Behavior of the Surface Alloyed AISI 1020 Steel with Fe-Nb-B by TIG Welding Technique, *AIP Conference Proceedings* 1653, 020058 ; doi: 10.1063/1.4914249.

Kim J.T., Hong S. H., Park H. J., Kim Y.S., Park G.Y., Park J.Y., Lee N., Seo Y., Park J. M., Kim K. B., (2015). Improving the Plasticity and Strength of Fe-Nb-B Ultrafine Eutectic Composite, *Materials and Design*, 76, 190-195.

Kim J.T., Hong S.H., Park H.J., Park G.H., Suh J.Y., Park J.M., Kim K.B., (2015). Influence of Microstructural Evolution on Mechanical Behavior of Fe-Nb-B Ultrafine Composites with a Correlation to Elastic Modulus And Hardness, *Journal of Alloys and Compounds*, (10.1016/j.jallcom.2015.05.246).

Koga G.Y., Nogueira R.P., Roche V., Yavari A.R., Melle A.K., Gallegod J., Bolfarini C., Kiminami C.S., Botta W.J., (2014). Corrosion Properties of Fe-Cr-Nb-B Amorphous Alloys and Coatings, *Surface & Coatings Technology*, 254, 238-243.

Külahlı E., (1988). Kaynak Bilimi, Oerlikon Yayını, Sayı-2.

Mercado A.M.P., Lopez V.M., Rosales J.D., Diaz P.E., Valdez E.D., (2009). Effect of TiO<sub>2</sub>-containing Fluxes on the Mechanical Properties and Microstructure in Submerged Arc Weld Steels, *Materials Characterization*, 60, 36-39.



Oates R., Saitta M.A, (2000). *A.M., Welding Handbook*, Volume 4 -Materials and Applications, Miami, FL, 33126, American Welding Society.

Savaşkan T., (2009). *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, Genişletilmiş 5.Baskı Trabzon.

Singh B., Khan Z.A., Siddiquee A.N., (2013). Review on Effect of Flux Composition on Its Behavior and Bead Geometry in Submerged Arc Welding (SAW), *Journal of Mechanical Engineering Research*, 5, 12-12.

Singh K., Pandey S., (2009). Recycling of slag to act as a flux in submerged arc welding, *Resources, Conservation and Recycling*, 53, 552-558.

Sui S.H., Cai W.W., Liu Z.G., Song T.G., Zhang A., (2006). Effect of Submerged Arc Welding Flux Component on Softening Temperature, *Journal of Iron and Steel Research, International*, 13, 65-68.

Tusek J., Suban M., (2003). High-Productivity Multiple-Wire Submerged-Arc Welding and Cladding with Metal-Powder Addition, *Journal of Materials Processing Technology*, 133, 207-213.

Wang Q., Xiaoyan L., (2010). Effects of Nb, V, and W on Microstructure and Abrasion Resistance of Fe-Cr-C Hardfacing Alloys, Supplement to the Welding Journal, *Welding Journal*, 133-139.

[www.askaynak.com.tr](http://www.askaynak.com.tr), (26 Kasım, 2016).

[www.gedikkaynak.com.tr](http://www.gedikkaynak.com.tr), (26 Kasım, 2016).

[www.oerlikon.com.tr](http://www.oerlikon.com.tr), (26 Kasım, 2016).