

BESLEYİCİ KAYNAKLI DÖKÜM HATALARI

Haydar KAHRAMAN^{*,**}, İbrahim Hayri KESER^{*,**}, Mithat Kemal TOZAN^{***}, Ümit CÖCEN^{*}

^{*}Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İzmir, Türkiye

^{**}Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İzmir, Türkiye

^{***}Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş., Manisa, Türkiye

ÖZET

Döküm işlemi metal alaşımı, kalıplama ve ergitme yönteminin bileşenlerine bağlı olarak ilerleyen karmaşık bir sistemdir. Mevcut bileşenlerin her biri dökülen metalin katılaşmasına ve dökümün tamamlanmasına farklı etkileri olmaktadır. Bu çok bileşenli sistemde metalin katılaşma durumuna göre ön görülemeyen hataların oluşması mümkündür. Döküm hataları hem döküm verimini düşürmekte hem de çevre ve enerji verimliliği başta olmak üzere sürdürülebilir kaynakları dolaylı olarak etkilemektedir. Döküm sırasında sebebi belirlenebilen hataların yanı sıra kaynağı tam olarak tespit edilemeyen hatalar da mevcuttur. Hatanın oluşma nedenlerinin incelenmesinde yüzey görünümü ve kimyasal kompozisyon yol gösterici olmaktadır. Bu çalışmada, farklı dökümhanelerden alınan küresel grafitli dökme demir numuneler üzerinde taramalı elektron mikroskobu ve elektron dağılım spektroskopisi analizleri gibi ileri karakterizasyon yöntemleri kullanılarak özellikle besleyici kaynaklı döküm hatalarının nedenleri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Döküm hatası, besleyici gömlek, balıkgözü

FEEDER BASE CASTING DEFECTS

Haydar KAHRAMAN^{*,**}, İbrahim Hayri KESER^{*,**}, Mithat Kemal TOZAN^{***}, Ümit CÖCEN^{*}

^{**}Dokuz Eylul University Department of Metallurgical and Materials Engineering, Izmir, Turkey

^{**}Dokuz Eylul University Graduate School of Natural and Applied Sciences Izmir, Turkey

^{**}Cukurova Chemical Industry Company, Manisa, Turkey

ABSTRACT

Casting process is a complicated system depending on compound of metal alloys, molding and melting technique. Each of these compounds has different effect to solidification of cast metal and completion of casting. Because of solidification of metal the unpredictable defects can be occurred Casting defects both decrease casting yield and indirectly effect sustainable source. There is defects that's source can be determined, but some of them cannot be certainly identified. Surface morphology and chemical composition are instructive to analyze cause and source of defects. In this study, the cause of especially feeder base casting defects are investigated by using advanced cauterization method like scanning electron microscope and energy dispersive X-ray spectroscopy on ductile iron samples which are taken from different foundries.

Keyword: Casting defects, feeder sleeves, fisheye.

1. GİRİŞ

Döküm, çok sayıda parametrenin kontrol edilmesi gereken bir üretim yöntemidir. Dökümün sağlam olarak tamamlanabilmesi için metal katılaşmasının kontrol edilmesi gerekir. Bu amaçla birçok kalıp malzemesi, kalıplama yöntemi, alaşımlandırma yöntemi ve döküm yöntemi geliştirilmiştir. Tüm gelişmeler dökülen metalin etkin katılaşmasını sağlayarak daha hızlı ve verimli son ürünlerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Tüm bunlar göz önüne alındığında döküm ile üretim yöntemi insanoğlu tarafından ilk bulunan üretim yöntemlerinden olmasına karşın yıllar geçtikçe teknolojiye paralel gelişerek varlığını sürdürmektedir. Kalıp malzemelerinin değiştirilmesi ve geliştirilmesi ile yeni yardımcı kalıp elemanlarının kullanılmasıyla özellikle kum kalıba demir esaslı alaşımların dökümünde ciddi ilerlemeler kaydedilmiştir. En yaygın kullanılan yardımcı elemanlardan biri de besleyici gömleklerdir [1,2].

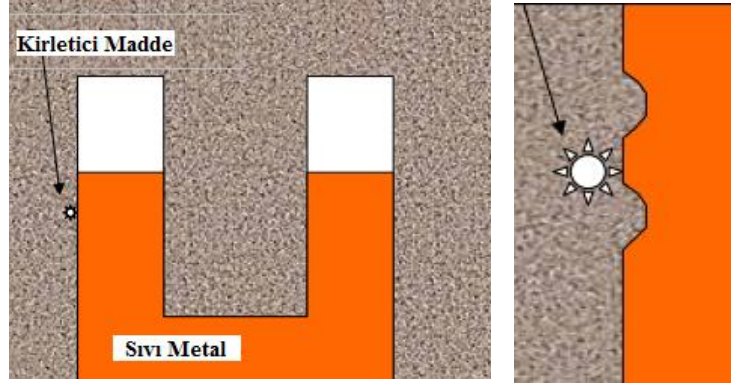
Besleyici gömlekler temel olarak yalıtım elemanı, ekzotermik eleman ve ekzotermik reaksiyon başlatıcılarından oluşan bir bileşime sahiptir. Her bileşenin döküm metalinin katılaşmasının kontrolünde farklı etkileri bulunmaktadır. Yalıtım elemanları, dökümden sonra sıvı metalin yaydığı ısıyı tutarak katılaşmayı kontrol ederken ekzotermik bileşenler aracılığıyla belirli bir miktar sıvı metalin ısıtılması sağlanmaktadır. Her iki özelliğin bir arada kullanılması besleme etkinliği arttırmakta ve döküm verimini iyileştirmektedir. Ayrıca besleyici gömlekler ön şekillendirilmiş olduğu için ısı ve geometri modülleri daha önceden bilinmektedir. Böylece kalıp tasarımı daha etkin olarak yapılabilmekte ve kalıp hazırlanması daha kolay olmaktadır. Besleyici gömleklerin bahsedilen faydalarının yanı sıra bazı durumlarda diğer kalıp yardımcı elemanlarında olduğu gibi yan etkileri bulunmaktadır. Özellikle bileşimlerinde bulunan ekzotermik elemanlardan kaynaklanan döküm hataları ile karşılaşılabilir [2].

Döküm hataları, döküm süreci sırasında kalıp bileşenleri veya diğer dış etkenlere ve tasarım hatalarına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Döküm hatalarının birçoğu, özellikle yüzeysel hataların nedenleri, buldukları yer ve gözle yapılan ilk inceleme ile

tespit edilebilir. Fakat bazı hatalar birden çok etkenden ortaya çıkabilir. Bu durumda hatanın kaynağının tespit edilmesi ve gereken önlemlerin belirlenebilmesi zaman almaktadır. Geleneksel yöntemler kullanarak veya basit inceleme yöntemleriyle bu tip hataların nedenleri tespit edilemez ve ileri karakterizasyon yöntemlerine başvurmak gerekir [3].

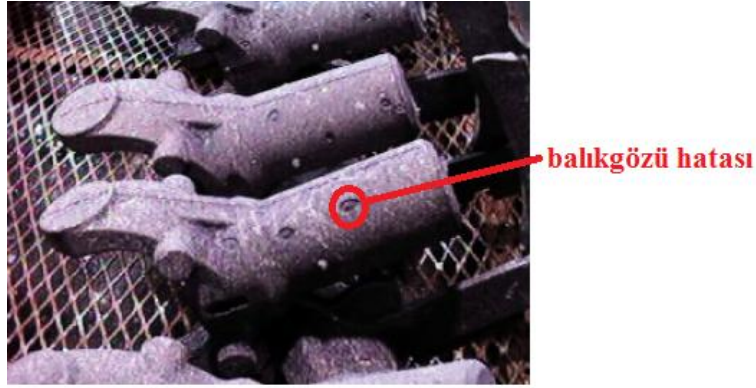
En sık görülen döküm hataları kalıp kumuna ve kalıp tasarımına bağlı olan hatalardır. Kalıp kumundan kaynaklanan hatalarda başta silisyum oksit olmak üzere kum içerisindeki elemanların metal yüzeyine yapışması veya sıvı metal ile sürüklenmesinden kaynaklanmaktadır. Fakat bazı sinterlenmiş kum hatalarında yüzey görüntüsü dağılmış gaz hatası olarak da görülebilmektedir. Kalıp tasarımından kaynaklanan hatalar ise besleme hataları ve gaz hataları olarak temel iki gruba ayrılabilir. Her iki hatanın yüzey görüntüsü farklı olsa da bazı durumlarda iki hata birlikte görülür. Yüzey veya yüzeye yakın bölgelerde görülen bu hatalar besleme hataları ile birlikte gaz hatalarının da olduğu tespit edilmiştir [3,4].

Besleyici gömleklerden kaynaklandığı tespit edilen hataların başında balıkgözü (donut) hatası olarak bilinen yüzey hatası gelmektedir [5,6,7]. Kalıp kumu içerisinde daha önceki dökümler sırasında reaksiyona girmemiş ekzotermik besleyici gömlek kalıntılarının sıvı metal ile teması sonucu ortaya çıktığı bilinmektedir. Söz konusu temas sırasında ekzotermik elemanların ani olarak bölgesel patlaması yüzeyde balıkgözüne benzer çöküntülerin oluşmasına neden olmaktadır. Fakat besleyici gömlekler kullanılmadan önce de balıkgözü hataları küresel grafitli dökme demirlerin yüzeyinde görülmekteydi. Bu durumda yüzey hatasının nedeni ise kalıp kumu içerisinde ani reaksiyona girebilecek olan bileşenlerin veya kirliliklerin metal ile temas eden belirli bölgelerde birikmeleridir [5,6,7].



Şekil 1.1. Balıkgözü hatası oluşma mekanizması [8].

R.C. Aufderheide ve arkadaşlarının 2002 yılında yaptıkları çalışmada küresel grafitli dökme demir parçalarının yüzeylerinde meydana gelen balıkgözü hatalarının nedenlerini belirlemek üzere deneme dökümler gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları döküm çalışmalarında kalıpların hazırlanması sırasında kalıp kumuna kriyolit ve ekzotermik besleyici gömlek kırıntıları ilave etmişlerdir. Yapılan çalışmada kumun içine karıştırılmış olan gömlek kırıntılarından dolayı yüzeyde birden fazla balıkgözü hatası gözlemlenmiştir (Şekil 1.2) [6].



Şekil 1.2. Kumlama işleminden önce döküm parça yüzeyinde görülen balıkgözü hataları [2].

2013 yılında Adriona Murilo ve Marcio Ferreira tarafından yapılan çalışmalarda kalıp kumu içerisine farklı flor miktarlarına sahip yanmamış ekzotermik ve yalıtım özellikli gömlek kırıntıları ilave edilerek karıştırılmıştır ve bu karıştırma işlemi sonucunda hazırlanan kum döküm işleminde kalıp malzemesi olarak kullanılmıştır (Şekil 1.3). Her döküm parçası gözle yapılan incelemenin ardından optik mikroskop

kullanılarak incelenmiştir. Balıkgözü hatasının görünümü ve kimyasal karakterizasyonu taramalı elektron mikroskop görüntüleri ve EDS analiz sonuçları değerlendirilerek incelenmiştir [7].

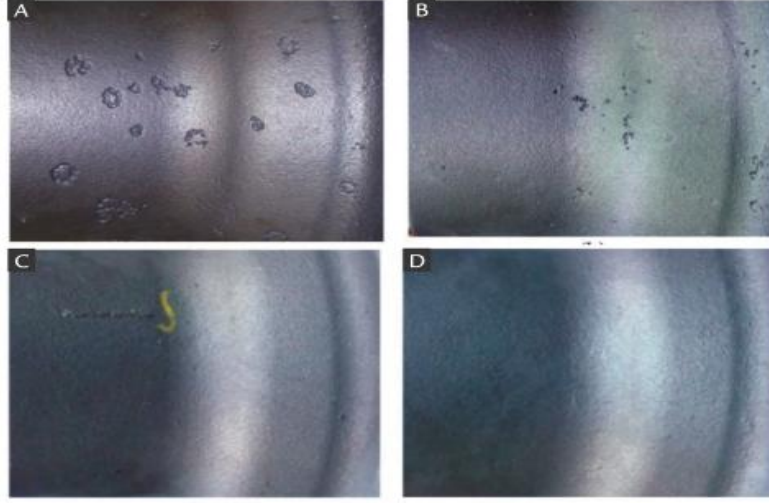


Şekil 1.3. Kalıp kumu ile yanmamış besleyici gömlek kırıntılarının karışımı [7].

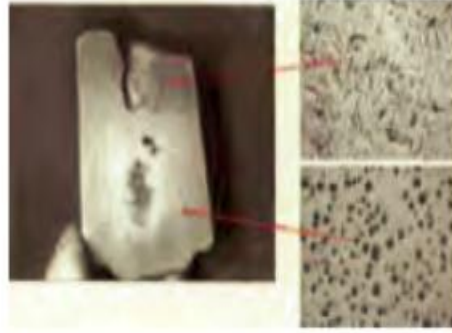
Şekil 1.4’de gösterilen yüzey görüntülerine dayanarak kalıp kumu içerisine ilave edilen besleyici gömlek kompozisyonundaki flor miktarının artması ile balıkgözü hatalarını oluşacağı, kalıp kumu içerisine flor içermeyen gömleklerin ilave edilmesi sonucunda balıkgözü hatalarının oluşmayacağı sonucuna varılmıştır [7].

Besleyici gömlek kaynaklı olduğu düşünülen bir diğer döküm hatası ise gömlek içerisindeki metale kimyasal kirliliklerin bulaşması sonucunda küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısında görülen yapraksı grafit oluşumudur. Özellikle ekzotermik elemanların döküm sırasında sıvı metal içerisinde çözünmesiyle küresel grafitli dökme demirlerdeki küresel grafit yapısı bozularak yapraksı veya vermiküler (kompakt) grafit yapısına dönüşmektedir [5]. 2001 yılında Aufderheide ve Showman tarafından gerçekleştirilen çalışmada kalıp kumuna karıştırılmış ekzotermik besleyici gömlek malzemelerinin küresel grafitli dökme demir parçalarının mikro yapısında yapraksı grafit oluşumuna ve parça yüzeyinde balıkgözü hatası oluşumuna etkisini incelemiştir. Gerçekleştirilen çalışmada kalıp kumuyla karıştırılan 5 farklı kirlitici malzemenin etkisini incelenmiştir. Besleyici içerisinde katılaştıran metalin farklı bölgelerindeki element dağılımları incelendiğinde üst kısımlarda ölçülen alüminyum miktarının orta ve alt kısımda ölçülen alüminyum miktarına oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Besleyicinin üst ve alt kısmından alınan mikroyapı görüntülerini

inceleyerek alüminyum miktarının artması ile küresel grafitli dökme demir mikroyapısında yapraksı grafit oluşumu tespit edilmiştir (Şekil 1.5) [8].



Şekil 1.4. İçerisine A-Yüksek florlu ekzotermik besleyici gömlek kırıntıları, B-Düşük florlu ekzotermik gömlek kırıntıları, C-Düşük florlu yalıtım özellikli gömlek kırıntıları, D-Flor içermeyen ekzotermik gömlek kırıntıları karıştırılan kalıp kumu kullanılarak dökülen parçaların yüzey görüntüleri [7].



Şekil 1.5. Besleyicinin üst ve alt kısmından alınan mikroyapı görüntüleri [5].

C.A. Lute ve arkadaşlarının 2001 gerçekleştirdikleri çalışmada küresel grafitli dökme demir uygulamalarında besleyici gömlek kompozisyonunda bulunan alüminyumun mikroyapıya etkisi incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda kullanılan besleyici gömlek çeşidine göre yapraksı grafit oluşumu gözlemlenmiştir. Ekzotermik kum besleyici ve fiber esaslı ekzotermik besleyici gömlek kullanılan döküm uygulamalarında besleyici içinde katılaştan metalin üst bölgesinden itibaren besleyicinin 1/3, düşük yoğunluklu alumina silikat seramik esaslı düşük ekzotermik özellikli

besleyici gömleklerin kullanıldığı döküm uygulamalarında besleyici içinde katılaşan metalin üst bölgesinden itibaren besleyicinin 1/10'u kadar yapraksı grafit oluşumu gözlenmiştir [8].

Bu çalışmada küresel grafitli dökme demir uygulamalarında özellikle besleyici gömleklerin neden olabileceği n görülen hatalar üzerinde durulmuştur. Besleyici gömleğin yanması sonucu oluşabilecek gaz hatası, yanlış besleyici hesabından kaynaklanan çekinti hatası, besleyici gömleklerin metal üzerindeki kimyasal etkilerinden kaynaklanan balıkgözü ve yapraksı grafit hataları ve olası nedenleri araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

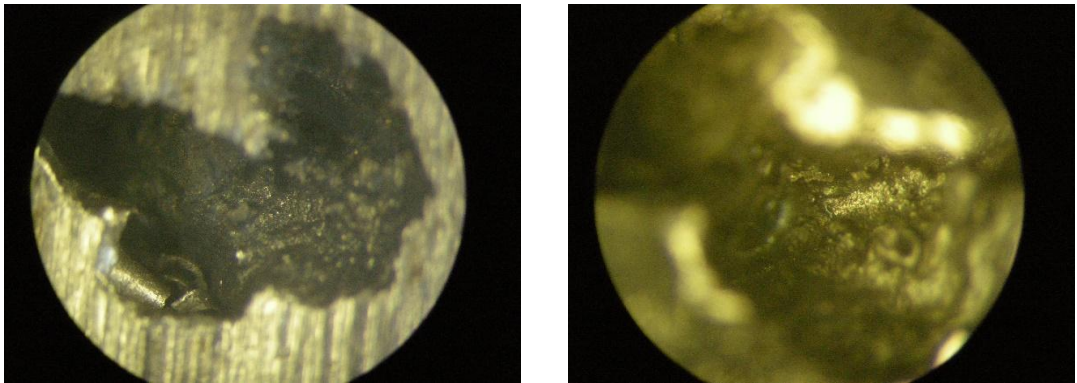
Farklı dökümhanelerden temin edilen hatalı küresel grafitli dökme demir numuneler üzerinde incelemeler yapılmıştır. Numunelerin hazırlaması sırasıyla kesme, zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri ile gerçekleştirilmiştir. Optik mikroskopla yapılan incelemelerden sonra mikro yapı değişimleri ortaya konmuştur. Belirlenen bölgelerden SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.

Optik mikroskop incelemeleri Carl Zeiss Drossel 2x4W Stereo Mikroskop, Olymos optik Mikroskop ile yapılmıştır. SEM ve EDS incelemeleri JEOL JSM 92349 cihazıyla gerçekleştirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

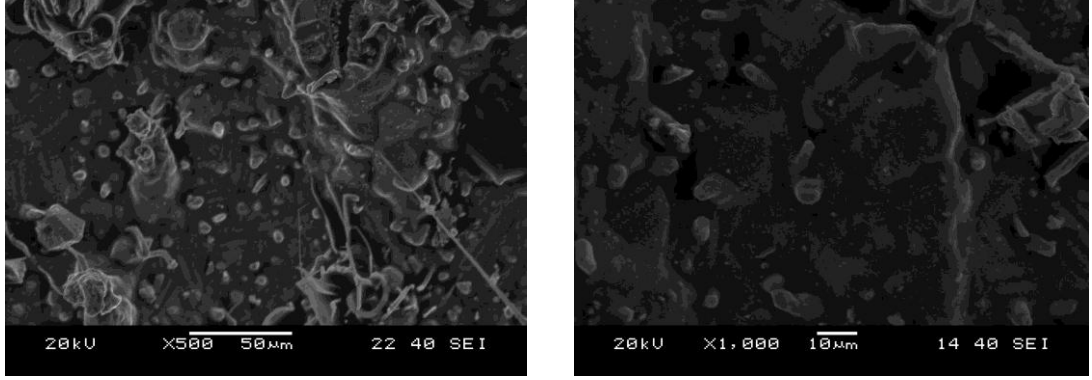
3.1 Gaz Hatası

Sıvı metal içerisine değişik etkiler sonucu karışan farklı gazların yüzey ve yüzeye yakın kısımlarda metlin katılması sonrasında hapsolması sonucu görülmektedir. Katılma sırasında gazın temas ettiği metal yüzeyine uyguladığı basınçtan dolayı pürüzlülüğü az olan bir görüntü elde edilir. Şekil 3.1’de verilen stereo mikroskop görüntülerinde hata yüzeylerinin temiz olduğu görülmektedir.



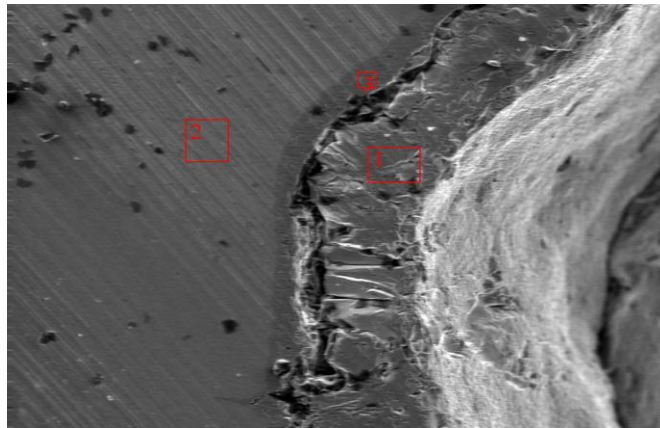
Şekil 3.1. Gaz hatası stereo mikroskop görüntüleri (soldaki görüntü 2X büyütme, sağdaki görüntü 4X büyütme)

Metal ve gaz temasının olduğu kısımda stereo mikroskop görüntülerinde olduğu gibi yüzey pürüzlülüğünün az olduğu görülmektedir [4]. Metal yüzeyinde gaz etkileşiminden dolayı oksitlenme olduğu görülmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Gaz hatası SEM görüntüleri

Hatanın hangi gazdan oluşabileceğinin belirlenebilmesi oldukça zordur. Hatalı bölgenin kesit görüntüsü üzerinde hatalı bölgede, geçiş bölgesinde ve hatadan uzak bölgeden EDS analizleri yapılmıştır (Şekil 3.3). Sonuç olarak ağırlıklı olarak oksitlenmeden dolayı farklılıklar görülmektedir (Tablo 3.1). Fakat oksitlenme katılan metal yüzeylerin tamamında görülmektedir [3,4]. Kükürtlü ve fosforlu bileşiklerin de yüzeydeki hata bölgesinde olduğu görülmüştür. Bu nedenle, bu tür bir hatanın kükürt ve fosfor içeren gazların sıvı metal ile etkileşimi sonucu olabileceği düşünülebilir.



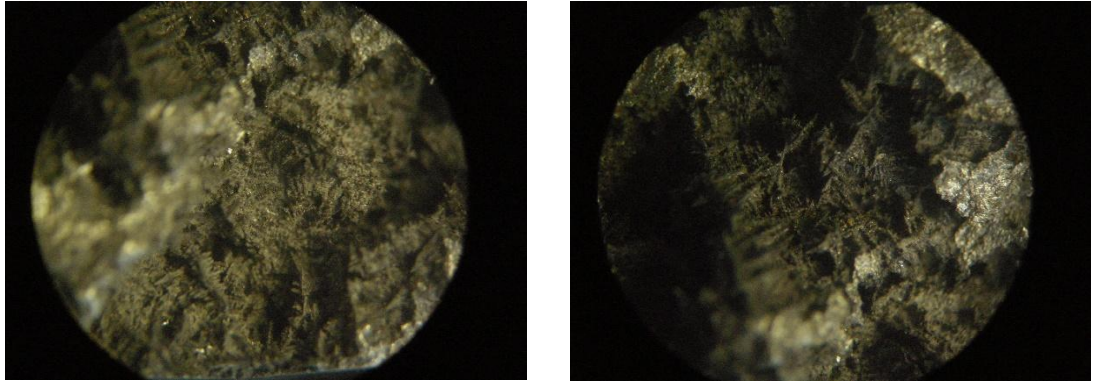
Şekil 3.3. Gaz hatası kesit görüntüsü ve EDS alınan bölgeler

Tablo 3.1. Şekil 3.3’de gösterilen bölgelerin EDS sonuçları.

1. Bölge				2. Bölge				3. Bölge			
Component	Mole Conc.	Conc.		Component	Mole Conc.	Conc.		Component	Mole Conc.	Conc.	
S	0.211	0.213	wt.%	S	0.397	0.272	wt.%	S	1.283	1.338	wt.%
C	36.465	13.739	wt.%	C	13.558	3.471	wt.%	C	35.789	13.980	wt.%
Fe	43.125	75.550	wt.%	Fe	76.467	91.032	wt.%	Fe	39.185	71.168	wt.%
F	2.337	1.393	wt.%	F	3.408	1.380	wt.%	F	1.901	1.175	wt.%
Si	0.292	0.258	wt.%	Si	0.792	0.474	wt.%	Si	2.255	2.059	wt.%
P	0.062	0.061	wt.%	P	0.068	0.045	wt.%	P	0.180	0.182	wt.%
O	17.507	8.787	wt.%	O	1.337	0.456	wt.%	O	19.407	10.098	wt.%
	100.000	100.000	wt.%	Al	2.991	1.721	wt.%		100.000	100.000	wt.%
				Mn	0.981	1.148	wt.%				
					100.000	100.000	wt.%				

3.2 Çekinti Hatası

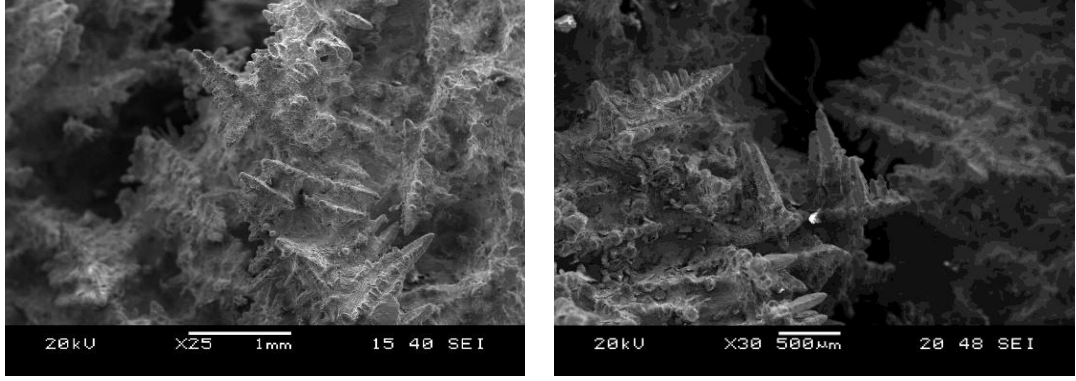
Çekinti hatalarının genellikle besleyici kullanılmamasından veya yetersiz besleyici kullanılmasından kaynaklandığı bilinmektedir. Besleyici içerisindeki metalin beslenecek bölgeye ulaşamaması ve bu kısımlardaki metalin düzensiz katılaşması sonucu ortaya çıkmaktadır. Hata yüzeyi gözle incelendiğinde pürüzlü bir yüzey olduğu görülmektedir. Pürüzlü görüntünün nedeni düzensiz katılaşan dendritik yapı olduğu bilinmektedir. Stereo mikroskop incelemelerinde hata yüzeyindeki dendritleri görmek mümkündür (Şekil 3.4). Birincil koldan uzanan dendritin etrafından ikincil ve üçüncül kollar uzanmıştır. Fakat dendrit kolları arası, etkin besleme mekanizmaları geliştirilemediği için sıvı metal tarafından doldurulamamıştır. Sonuçta yüzey pürüzlülüğü fazla olan ve atmosfere açık hata olarak görülmüştür [3].



Şekil 3.4. Çekinti hatası stereo görüntüleri (4X büyütme)

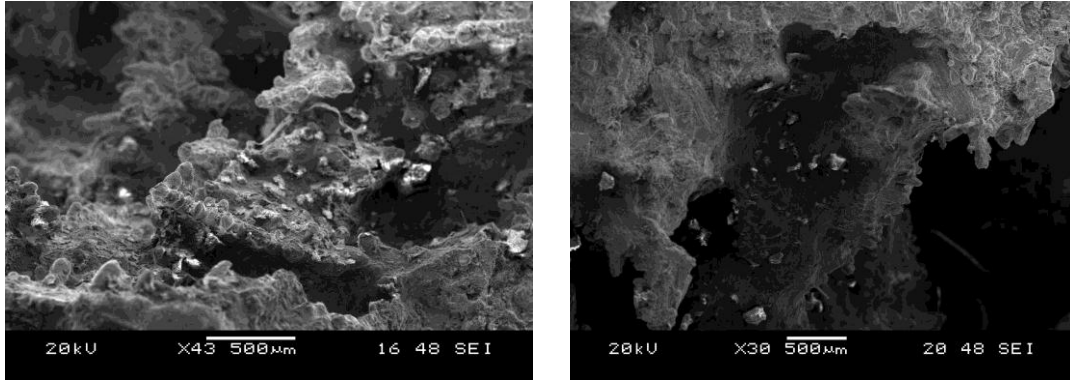
SEM analizi sonuçlarında düzensiz katılaşmış dendrit kolları daha belirgin görülmektedir (Şekil 3.5). Farklı yönlerde doğru uzanan kolların arasında boşluklar bulunmaktadır. Ayrıca hata yüzeyi atmosfere açık olduğundan oksitlenme de söz

konusudur. Çekinti hatasında dendirit kollarının görülmesi, hatanın sıcak ve soğuk yırtılma ile gaz hatalarından ayırt edilebilmesini sağlamaktadır [3,4].



Şekil 3.5. Çekinti hatası SEM görüntüsü

Bazı durumlarda sıvı metal tarafından beslenemeyen bölgelerde çekinti ve gaz hataları birlikte bulunabilir. Sıvı metalin ulaşamadığı metal kısımlarında gaz sıkışması olabilmektedir. Böylece katılma yüzeyinde pürüzlülük görülmez. Yüzey incelemesi yapıldığında da hem gaz hatası yüzey görüntüsü hem de çekinti hatası yüzey görüntüsü bir arada görülmektedir (Şekil 3.6).



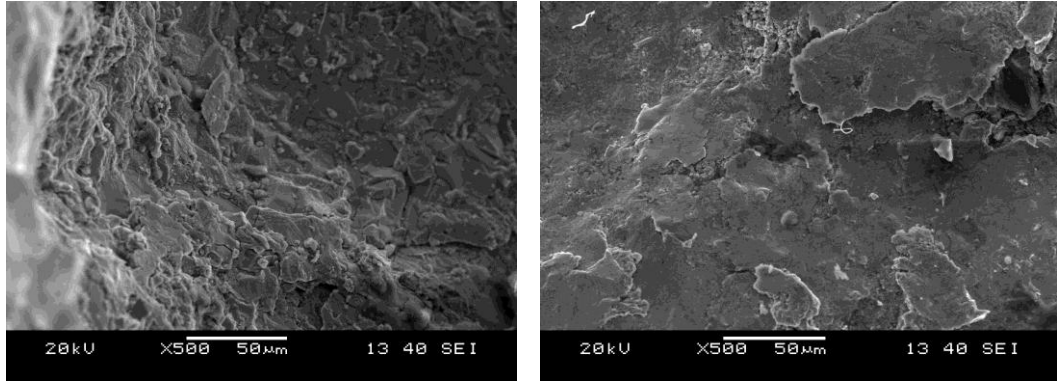
Şekil 3.6. Gaz ve çekinti hatasının bir arada bulunduğu SEM görüntüsü

3.3 Balıkgözü Hatası

Literatür çalışmaları incelendiğinde küresel grafitli dökme demirlerin yüzeylerinde görülen balıkgözü hatalarının oluşum mekanizması tam olarak açıklanamamaktadır. Balıkgözü hatası oluşumuna dair iki teori bulunmaktadır. İlk teoriye göre hata sıcak sıvı metalin kalıp kumu içerisindeki flor esaslı besleyici gömlek kalıntılarıyla teması sonucu oluşur. İkinci teoriye göre sıvı metal ile temas eden kalıp

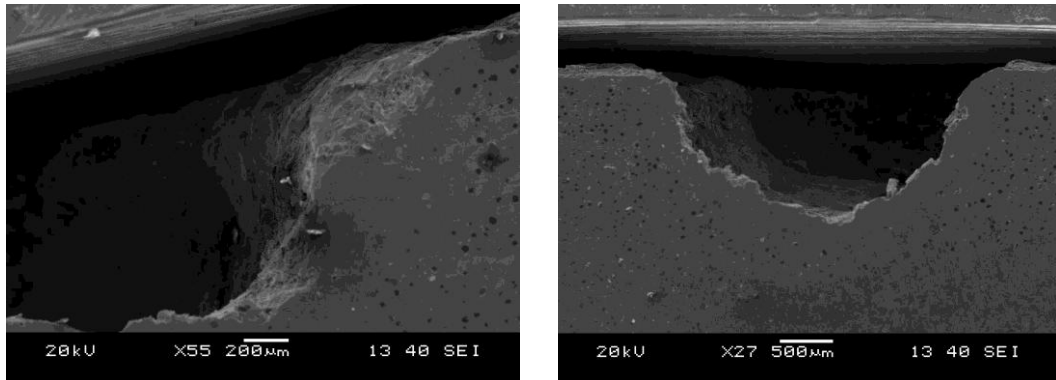
kumunun yüzeyinde bulunan yanmamış ekzotermik kırıntıların reaksiyona girmesi sonucunda yüksek bir enerji ortaya çıkar [6,8]. Ortaya çıkan enerji sıvı metal katılaştırken yüzeyde bölgesel çöküntülerin oluşmasına neden olur. Oluşan hatanın görünümü balıkgözüne benzediği için balıkgözü hatası olarak isimlendirilir.

Balıkgözü hatalarının SEM ile yüzey incelemesi sonucunda normal katılmış metalden farklı olarak fasetli yüzey görüntüsüne sahip olduğu görülmüştür. Ani reaksiyon sonucu ortaya çıktığı için metal yüzeyindeki oksit tabakası kırılmıştır [7]. Normal katılmış metal yüzeyine göre oksit kalınlığının daha düşük olduğu düşünülmektedir. Ayrıca hata oluşumu metal katılma anında olduğundan metal yüzeyinde plastik deformasyon meydana gelmiştir (Şekil 3.7).



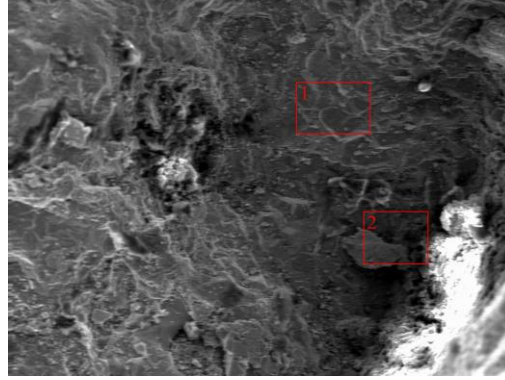
Şekil 3.7. A-Balıkgözü hatası SEM görüntüsü, B- Düzgün katılmış metal yüzey SEM görüntüsü. (500x büyütme)

Balıkgözüne benzer halka şeklinde görülen hatanın kesitten alınmış SEM görüntüleri Şekil 3.8’de verilmiştir. Küresel grafitli dökme demir alaşımlarında görülen bu hatanın yüzey ve yüzeye yakın bölgelerde grafit yapısını bozduğu SEM görüntülerinden de anlaşılmaktadır. Ayrıca gaz hatalarında da olduğu gibi yüzey pürüzlülüğü çekinti hatalarına göre daha azdır.



Şekil 3.8. Balıkgözü hatası farklı büyütmelerde SEM görüntüleri.

Şekil 3.9’da gösterilen bölgelerden yapılan EDS analizlerinin sonuçları Tablo 3.1.’de gösterilmektedir. Şekil 3.9.’da gösterilen daha açık renk görünümüne sahip olan 1 bölgesindeki flor miktarı %4,115, daha koyu renkli olan 2 bölgesindeki flor miktarı %4,455 olarak ölçülmüştür. Yüzeiden alınan analizlerde flor miktarlarının literatürdeki değerlere benzer olduğu görülmüştür [7].



Şekil 3.9. Balık gözü hatası EDS analizi alınan bölgeler.

Tablo 3.2. Balık gözü hatası EDS analiz sonuçları.

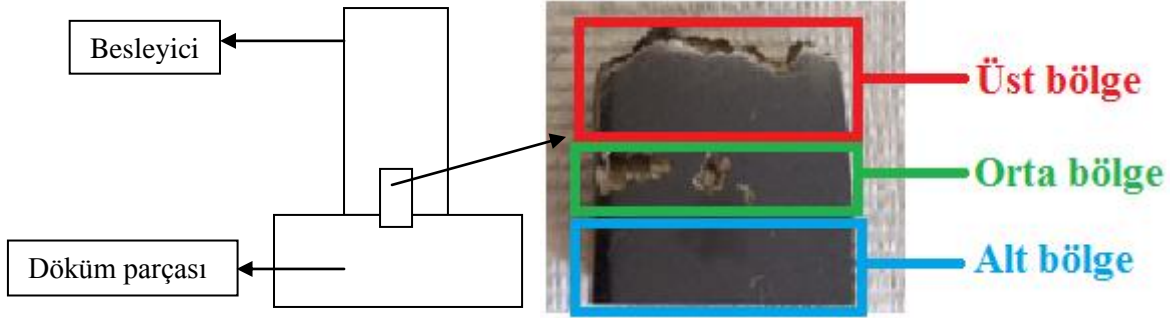
1. Bölge				2. Bölge			
Component	Mole Conc.	Conc.		Component	Mole Conc.	Conc.	
S	0.358	0.572	wt. %	S	0.655	1.051	wt. %
C	63.840	38.243	wt. %	C	65.654	39.458	wt. %
Fe	14.791	41.197	wt. %	Fe	15.170	42.391	wt. %
F	4.343	4.115	wt. %	F	4.687	4.455	wt. %
Si	3.974	5.567	wt. %	Si	1.798	2.527	wt. %
P	0.235	0.362	wt. %	P	0.641	0.994	wt. %
O	12.460	9.943	wt. %	O	11.395	9.123	wt. %
	100.000	100.000	wt. %		100.000	100.000	wt. %

3.4 Küresel Grafitin Bozulması

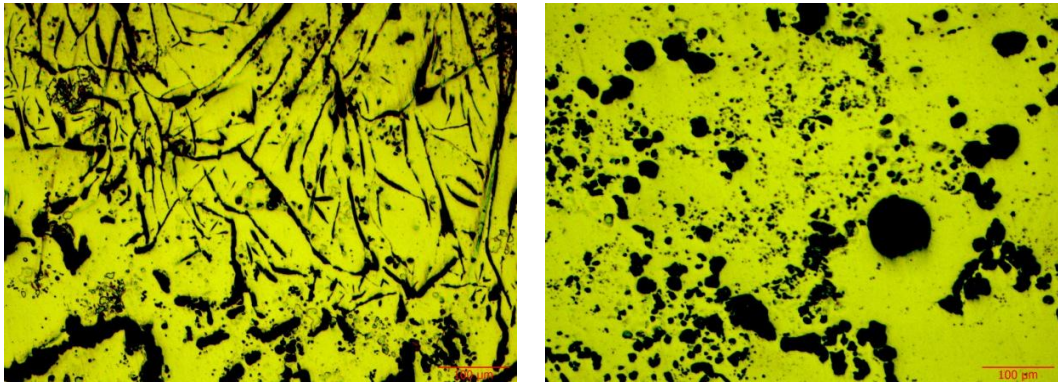
Bu hata yapraksı grafit oluşum hatası olarak bilinmektedir. Küresel grafitli dökme demirlerde kimyasal kirlilikler sonucu ortaya çıkan hatadır. Kullanılması gereken modülden daha yüksek modülde besleyici gömlek seçilmesi veya fazla alüminyum içeren yüksek ekzotermik özellikli besleyici gömleklerin kullanılması ile gömlek yapısındaki alüminyum başta olmak üzere bazı kimyasal kirliliklerin sıvı metale karışması ile ortaya çıkar. Kapalı besleyici gömlek kullanımı ile ortaya çıkar. Kapalı besleyici sistemlerinde söz konusu bileşenler gömleğin reaksiyonu sırasında veya sonrasında yapıdan uzaklaşmayacağı için sıvı metal yapısına karışması daha kolay

olmaktadır. Sıvı metalde meydana gelen kimyasal etkileşim ile katılaşma sırasında grafitlerin küreselleşmesi engellenmekte ve yapraksı grafit oluşumu görülmektedir.

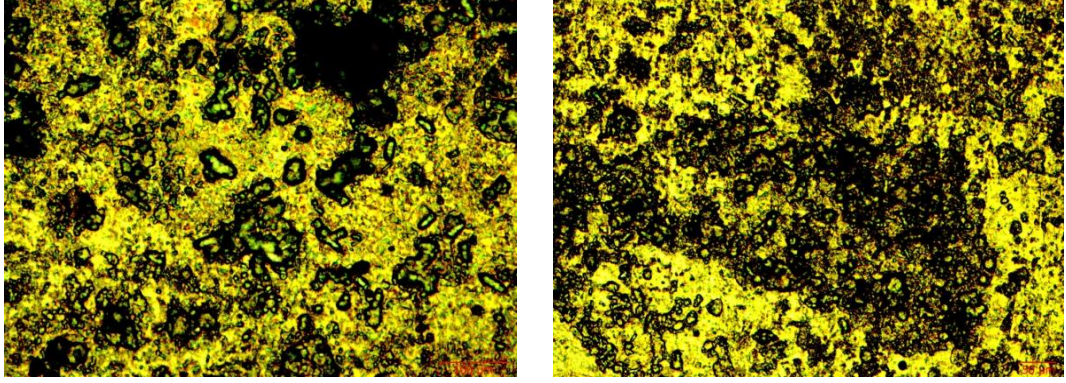
Besleyici gömlek içerisinde katılaşılan metalden alınan yapraksı grafit oluşumunun incelendiği numune ve görüntü alınan bölgeler Şekil 3.10’da verilmiştir. Belirtilen farklı bölgelerden optik mikroskop ile yapılan mikro yapı incelemeleri sonucunda bozulmuş yapılara rastlanmıştır. Özellikle literatürde de bahsedildiği gibi kapalı besleyici gömlek içerisindeki metalin üst kısımlarına doğru olan kısımlarda bozulmanın daha etkili olduğu görülmüştür (Şekil 3.11). Orta kısımda çekinti olan bölge ve etrafı görülmektedir. Çekinti bölgesinde de yapının tamamen bozulduğu görülmektedir (Şekil 3.12). Alt kısma inildiğinde bozulmadan etkilenmeyen bölgeler görülmektedir [8]. Fakat bu kısımlardaki grafit dağılımlarının homojen olmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.13).



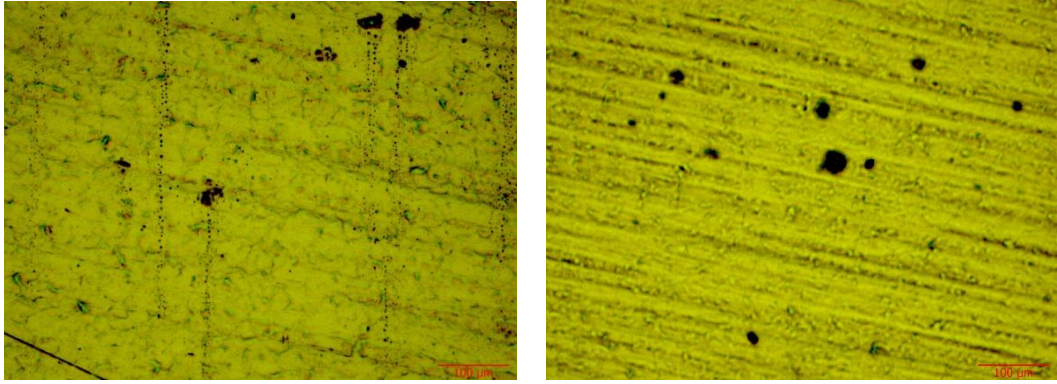
Şekil 3.10. Optik görüntü alınan bölgelerin gösterimi



Şekil 3.11. Şekil 3.9’deki numunenin üst bölgesinin dağlanmamış görüntüsü (100X büyütme)

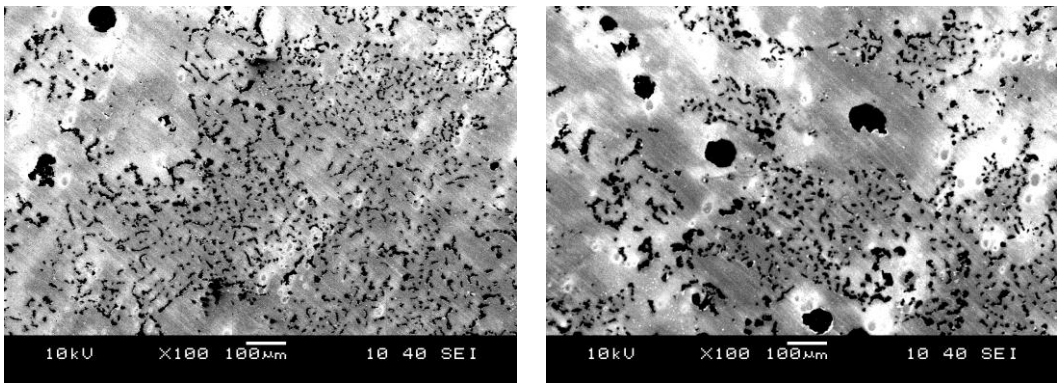


Şekil 3.12. Şekil 3.9'daki numunenin orta bölgesinin dağlanmamış görüntüsü (100X büyütme)



Şekil 3.13. Şekil 3.10'daki numunenin alt bölgesinin dağlanmamış görüntüsü (100x büyütme)

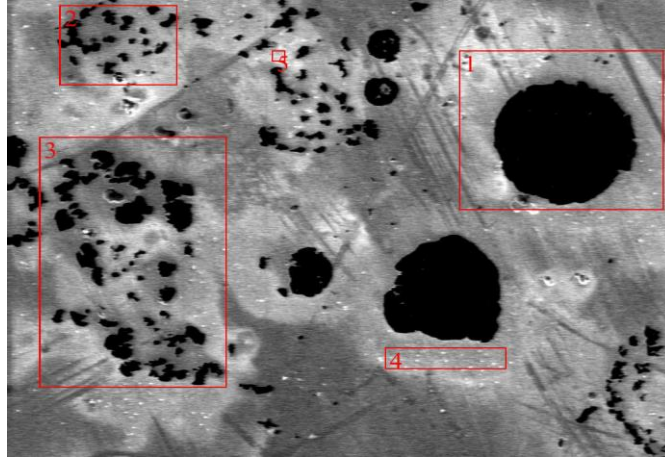
Optik incelemeler ile yapının bozulduğu tespit edilen bölgelerden SEM görüntüleri alınmıştır. Alınan görüntülerde optik incelemeleri doğrular biçimde yapraksı ve vermiküler grafit yapıları görülmektedir (Şekil 3.14). Böylece grafit yapılarının bu bölgelerde tamamen veya kısmen bozulduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.14. Küresel grafit bozulması SEM görüntüsü.

Yapının bozulduğu bölgelerde EDS analizleri yapılarak kimyasal değişiklikler tespit edilmiştir. Grafitlerin bozulduğu ve küresel kaldığı bölgelerden analizler yapılarak karşılaştırılmıştır (Şekil 3.15). Analiz sonuçlarına göre grafit yapısının bozulduğu

bölgelerde bozulmayan bölgelere göre alüminyum miktarının 10 kat kadar arttığı görülmektedir (Tablo 3.3). Bu kısımlarda biriken alüminyum elementinin seryum (Ce) ve magnezyum (Mg) gibi grafitlerinin küreselleşmesini sağlayan elementleri etkisiz hale getirdiği düşünülmektedir. Bu durumda da kükürt (S) ve fosfor (P) grafit yapısını bozan elementlerinde etkinliği artmıştır [8].



Şekil 3.15. Küresel grafit bozulması EDS analizi alınan bölgeler. (1000x büyütme)

Tablo 3.3. Şekil 3.15’deki gösterilen bölgelerin EDS analiz sonuçları.

1. Bölge				2. Bölge				3. Bölge			
Component	Mole Conc.	Conc.	wt.%	Component	Mole Conc.	Conc.	wt.%	Component	Mole Conc.	Conc.	wt.%
C	67.511	32.580	wt.%	C	29.594	8.845	wt.%	C	39.763	13.249	wt.%
Fe	28.185	63.243	wt.%	Fe	61.519	85.495	wt.%	Fe	52.632	81.536	wt.%
Si	1.925	2.172	wt.%	Si	4.684	3.274	wt.%	Si	3.820	2.976	wt.%
Ce	0.029	0.165	wt.%	Ce	0.089	0.311	wt.%	Ce	0.050	0.193	wt.%
Al	0.016	0.018	wt.%	Al	0.181	0.122	wt.%	Al	0.070	0.053	wt.%
Mg	0.104	0.102	wt.%	Mg	0.255	0.155	wt.%	Mg	0.127	0.086	wt.%
F	2.195	1.676	wt.%	F	3.490	1.650	wt.%	F	3.418	1.801	wt.%
S	0.035	0.045	wt.%	S	0.187	0.150	wt.%	S	0.120	0.107	wt.%
	100.000	100.000	wt.%		100.000	100.000	wt.%		100.000	100.000	wt.%
4. Bölge				5. Bölge							
Component	Mole Conc.	Conc.	wt.%	Component	Mole Conc.	Conc.	wt.%				
C	4.678	1.115	wt.%	C	2.464	0.578	wt.%				
Fe	84.139	93.264	wt.%	Fe	86.050	93.831	wt.%				
Si	6.588	3.672	wt.%	Si	6.111	3.351	wt.%				
Ce	0.056	0.156	wt.%	Ce	0.060	0.165	wt.%				
Al	0.079	0.042	wt.%	Al	0.228	0.120	wt.%				
Mg	0.200	0.097	wt.%	Mg	0.171	0.081	wt.%				
F	4.076	1.537	wt.%	F	4.719	1.750	wt.%				
S	0.183	0.117	wt.%	S	0.198	0.124	wt.%				
	100.000	100.000	wt.%		100.000	100.000	wt.%				

4. GENEL SONUÇLAR

Çalışma sonucunda özellikle küresel grafitli dökme demir alaşımlarında genellikle karşılaşılan ve sık karşılaşılmayan döküm hatalarının karakterizasyonu yapılmıştır. Sık karşılaşılan hatalardan çekinti ve gaz hataları mikro yapı ve yüzey incelemeleri yoluyla tespit edilmiştir. Gaz hatalarında EDS analizleri ile olası kirlilikler belirlenmiştir. Ayrıca bu iki hatanın yüzey görüntüleri karşılaştırılarak hata kaynağı tespit edilmiştir.

Döküm hatalarından sık karşılaşılmayan hataların başında balıkgözü hatası gelmektedir. Balıkgözü hatası gözle muayene ile tespit edilebilse de metal yapısında meydana getirdiği değişikliklerin belirlenebilmesi için ileri karakterizasyon yöntemleri kullanılmıştır. Sıvı metal ile temas halindeki kalıp kumunda ani reaksiyona girebilecek kalıntıların yüzeyde meydana getirdiği bir döküm hatası olduğu belirlenmiştir. Hata bölgesinde ve yüzeye yakın bölgelerde yapının bozulduğu tespit edilmiştir. Hatanın alt bölgelerinde, mikro yapıda herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir.

Sık karşılaşılmayan hatalardan biri, olan küresel grafitli dökme demir alaşımlarında kimyasal kirliliklerden meydana gelen yapraksı grafit oluşumu incelenmiştir. Sonuç olarak, yapının bozulduğu bölgelerde besleyici gömlek ekzotermik elemanlarından olan alüminyumun fazla olduğu görülmüştür. Özellikle yüksek ekzotermik besleyici gömleklere metale verilen enerjiyi arttırmak için alüminyum miktarının fazla tutulduğu bilinmektedir. Yapraksı grafit oluşumu hatasıyla karşılaşmamak için doğru modüldeki besleyici gömlek kullanımının önemi ve besleyici tasarımına dikkat edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Aksi halde besleyici gömlek içerisindeki metalin yapısının bozulması ve söz konusu bozulmanın ilerleyen aşamalarda parçayı etkileyebileceği görülmüştür.

Mevcut döküm hatalarının tespit edilmesi ve kaynağının belirlenmesi çalışmalarında geleneksel yöntemlerin dışında ileri karakterizasyon yöntemlerinin kullanılması gerektiği görülmüştür. Böylece hata kaynağı ve alınacak önlemler daha etkin belirlenebilir.

4. KAYNAKLAR

1. Beely, P. (2001). *Foundry technology*, Oxford:Butterworth-Heinemann
2. Campbell, J. (2003). *Casting*. Birmingham:Butterworth-Heinemann
3. American Foundry Society, “Analysis of Casting Defects”, 1974, 3d Edition, 1st Revision, p. 42-52, 111-117
4. S&B Industrial Minerals GmbH, “Manual of Casting Defects” IKO Foundry, p. 58-63
5. R.C. Aufderheide, R. E. Showman, “Solving Casting Problems with New Sleeve Technology”, *The Ductile Iron News*, 2001, Issue 3, p. 38-43.
6. R.C. Aufderheide, R. E. Showman, J. Close, E.J. Zins, “Eliminating Fish-Eye Defects in Ductile Castings”, *Transactions of American Foundrymen Society*, 2002, Vol 110, Paper No 02-047, p. 917-928.
7. A.M. Rosário, M.F.Hupalo, “Characterization of Surface Fish-eye Casting Defect”, *Revista Escola de Minas*, Vol. 66, 2013, Issue 1, p. 99-103.
8. A. Alagarsamy, R. Aufderheide, “Casting Defecet: Doughnut Defect”, *The Ductile Iron News*, 2005, Issue 12