

# Al-Si-Mg DÖKÜM ALAŞIMLARINDA FİLTREASYONUN MEKANİK ÖZELLİKLERE VE MİKROYAPIYA ETKİSİ

**Tansel TUNÇAY, Dursun ÖZYÜREK**

Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh.78100-KARABÜK  
[tanseltuncay@karabuk.edu.tr](mailto:tanseltuncay@karabuk.edu.tr), [dozyurek@karabuk.edu.tr](mailto:dozyurek@karabuk.edu.tr)

(Geliş/Received: 30.10.2013; Kabul/Accepted: 27.03.2014)

## ÖZET

Bu çalışmada, farklı hücre yoğunluğuna sahip seramik köpük filtrelerin Al-Si-Mg alaşımının mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Seramik köpük filtreler, bifilm, inklüzyon, kum sürüklenmesi, gaz veya çekme boşluğu gibi döküm hatalarını minimize edilmesinde kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalarda yatay yolluk üzerinde farklı hücre yoğunluğuna sahip seramik köpük filtreler (20 ve 30 ppi) kullanılmıştır. Al-Si-Mg alaşımının seramik köpük filtreler kullanılarak dökülebilirliği ile alaşımın mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, çekme testi sonuçları iki dağılımlı Weibull istatistiksel analizi ve kalite endeksi ile değerlendirilmiştir. Çekme test sonuçlarına göre, seramik köpük filtrenin hücre yoğunluğunun artmasına bağlı olarak sıvı metal hareketinin yolluk sisteminde kontrol edilebilmiştir. Al-Si-Mg alaşımının mekanik özelliklerinin iyileştiği Weibull modülü ve kalite endeksindeki artışıyla ortaya konmuştur. Ayrıca, seramik köpük filtrenin hücre boşluk miktarının artması ile kalite endeksi de artmaktadır. Çekme numuneleri kırık yüzeyleri tarama elektron mikroskopunda (SEM) incelendi, kırılmanın intermetalik ikincil fazların, inklüzyon ve bifilm hatalarının yoğunlaştığı bölgelerde gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:**Seramik köpük filtre, yolluk sistemleri, oksit film, Weibull istatistiksel dağılımı.

## THE EFFECTSON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF FILTRATION IN Al-Si-Mg ALLOYS

### ABSTRACT

In this study, on microstructure and mechanical properties of Al-Si-Mg alloy was investigated effects of ceramic foam filters having different density of cell. Ceramic foam filters is used to minimizing bifilm, inclusion, sand wash away from of the mould wall, gas or shrinkage porosity such as casting defects. As a result of the tensile test results were evaluated with Weibull distribution and the quality index. Mechanical properties and castability were examined by ceramic foam filters using in Al-Si-Mg alloy. Experimental studies were used on horizontal runner a ceramic foam filter having different density of cell (20 and 30 ppi). According to Tensile test results, due to the increased density of ceramic foam filter cell gap could be controlled flow behaviour of the liquid metal in the running system. Improving mechanical properties of Al-Si-Mg alloy has been demonstrated by increasing Weibull modulus and quality index. In addition to increasing the amount of cell gap in ceramic foam filter, quality index is also increasing. Tensile fracture surfaces of samples was investigated Scanning Electron Microscope (SEM), to fracture occurs secondary intermetallic phases, inclusion and bifilm defect concentration regions.

**Keywords:**Ceramic foam filter, runners systems, aluminum sand casting, oxide film, Weibull statistical analysis.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Al-Si-Mg döküm alaşımları yüksek mekanik özellikleri, dayanım/ağırlık oranları korozyon dirençleri ve döküm kabiliyetlerinin iyi olmasından

dolayı tercih edilmektedirler. Özellikle otomotiv ve havacılık endüstrisinde Al-Si-Mg alaşımı olan A356 alaşımı, transmisyon kutusu, silindir başlığı, manifold, jant ve koruyucu bar vb. parçaların üretiminde kullanılmaktadır [1,2]. Al-Si-Mg döküm alaşımları

grubunda en yaygın olarak kullanılan alaşım olarak A356 alaşımı dikkat çekmektedir. Üretilen parçaların kalitesi, sıvı metalin hazırlanması ve yolluk sisteminin tasarlanması, katılaşma şartları gibi önemli parametrelerle çok yakından ilgilidir [3-5]. Sıvı metalin kalıp boşluğuna aktarılması sağlayan yolluk sistemi elemanlarının döküm malzemenin mekanik özelliklerinde oldukça etkili olduğu daha önce yapılan bazı çalışmalarda istatistiksel metotlar kullanılarak belirlenmiştir [6-10]. Döküm yöntemi ile yapılan üretimlerde en büyük sorun, alaşımın yapısında oluşan metal olmayan oksit kalıntı oluşumlarıdır. Döküm işlemleri sırasında yapıda oluşan bu metal olmayan oksit kalıntılar, başta mekanik özellikler olmak üzere işlenebilirliği ve basınç altında çalışan parçalarda sızdırmazlık özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Döküm işlemleri sırasında oluşan kalıntılar genel olarak iç ve dış metal olmayan oksit kalıntılar olmak üzere iki türdedir. İç kalıntılar, metalin içerisindeki alaşım elementlerin oksijen, azot gibi reaktif metalik elemanlarla reaksiyonu ile oluşur. Bunlardan en çok bilineni oksidasyondur. Dış kalıntılar ise pota ve kalıp içerisindeki kum sürüklenmeleri, fırından gelen refrakter parçalardan ve cüruftan kaynaklanmaktadır. Bütün bu metal olmayan oksit kalıntılar döküm işleminin her aşamasında oluşabilmektedir. Bu yüzden kalıntıların giderilmesi son derece önemlidir. Bunların tamamen giderilmesi imkansızdır. Ancak uygun yolluk sistemi tasarımları ve filtrasyon işlemleri yapılarak minimize edilmeleri mümkündür [11]. Yolluk sistemi elemanları katlanmış oksit film (bifilm) oluşumunda etkilidir. Kalıntıları önlenmesinde son zamanlarda filtrasyon işlemi önem kazanmaktadır. Bu amaçla, yolluk sistemlerinin doğru tasarımlarına ek olarak, engellenemeyen bifilm oksit oluşumunu engellemek, inklüzyon ve metal dışı kalıntıların sıvı metalin akışı ile kalıp boşluğuna girmeden durdurmak için yolluk sistemleri üzerine ekstrüzyon veya seramik köpük filtre, elyaf bez (çalışma sıcaklığına uygun) ve çelik tel kafes kullanılmaktadır. Seramik köpük filtreler sıvı metal hızının azalmasına ve akışın düzenlenmesinde etkilidir [4]. Döküm havuzu ve dikey yolluk arasındaki hava emişi ve girdap etkisi, sıvı metalin dikey yolluktan yatay yolluğa geçişi sırasındaki yön ve hız değişimi ve meme kesitindeki sıvı metal hızı iç kalıntıların oluşumunda önemlidir. Sıvı metalin yolluk sistemindeki akış sırasında üzerindeki birkaç atom boyutunda (nano kalınlıktaki) sahip koruyucu film tabaka, türbülans ve yüzey türbülansı sonucunda akış sırasında kırılma, katlanma ve yeni oksit filmlerin oluşmasına yol açmaktadır [3,4,6-9,12,13]. Dai ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada yatay yolluk şekillerinin ve akış tipinin mekanik özelliklere üzerinde etkili olduğunu belirtilmektedir [6]. Hsu ise, sıvı metalin dikey ve yatay yolluğun birleştiği yerdeki oksidasyonun dirsek, iç-dış kavis ölçüsüne ve sıvı metal hızına bağlı olduğunu belirtmektedir [7]. Sıvı metal hızının azaltılması yolluk sistemi kesit alanlarının artırılmasıyla (difüzör

yardımı ile) yapılmaktadır. Yapılan bir çalışmada, engelleyici tip difüzör kullanılarak sıvı metal hızı, sistemin debisi ve boşalma katsayıları su ile yapılan modellemelerle incelenmiş, engelleyici tip difüzör kullanılarak suyun hızının azaldığı belirlenmiştir [8]. Alüminyum ve alaşımları için maksimum meme hızı 0,5 m/s'dir [3,4]. Sıvı metalin dökümü sırasında oluşan ve yolluk sistemindeki türbülansın kaynaklanan hatalar döküm fire oranının yaklaşık %50'sini kapsamaktadır [5]. Ayrıca A356 alaşımlarında yatay yolluk sisteminin kesit alanının ve şekil değişiminin bifilm oluşumuna ve döküm malzemenin mekanik özelliklerine etkisi oldukça yüksektir [13]. Habibollah Zadeh ve Campbell, Al-Si alaşımlarında ve dökme demirlerin dökümünde kullandıkları 20 ppi gözeneğe sahip seramik köpük filtrelerin sıvı metal hızını %75-80 civarında azalttığını ifade etmektedir [14]. Buna karşın Hashemi ve Ramizadeh, Al-Si alaşımlarında seramik köpük filtrelerin sıvı metal hızını yaklaşık %50 azalttığını belirtmektedir [15]. Seramik köpük filtre kullanımı A356 alaşımında %10 oranında katı inklüzyonların kalıp boşluğuna girmesini engellerken, %90 oranında akış karakteristiğinin iyileşmesine neden olmaktadır. Döküm malzemedeki bütün hataların engellenmesinde ise bu oran yaklaşık olarak %80 civarındadır [16]. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının yüzeyinde sıvı metali oksidasyona karşı koruyan oksit film tabakası oluşmaktadır. Sıvı metalin hazırlanması ve kalıp boşluğuna transferi sırasında sıvı metal yüzeyindeki bu oksit filmler katlanmaktadır. Katlanan oksit filmler sıvı metalin akışıyla yolluk sistemini geçerek kalıp boşluğuna girerler. Katılaşma süresince oksit bifilm sıvı metalin hareketine bağlı olarak kalıp boşluğunda hareket ederler. Katılaşmanın başlaması ile oksit bifilm dendritler arasında veya başka bir inklüzyona temas ederek sıkışmaktadır. Bütün bu olaylara ek olarak, alüminyum ve alaşımlarında sıvıda çözünen hidrojen miktarının katıda çözünen hidrojen miktarından daha fazla olması, (zamana ve sıcaklığa bağlı olarak) dendritler arasında sıkışan oksit film (bifilm) katmalarına difüze olmasına ve yapıda farklı büyüklüklerde gözenek oluşumuna sebep olmaktadır. Mikro yapıda gaz boşlukları ve çekme boşlukları morfolojilerine bağlı olarak ayırt edilmektedir. Çekme boşlukları daha karmaşık ve pürüzlü yüzeye sahipken buna karşın gaz boşlukları daha küresel ve düzgün bir morfolojiye sahiptir. Ayrıca her iki boşluk türü beraberce döküm hatası olarak görülebilmektedir [3,4,7-9,16,26]. Bu çalışmada, difüzörlü kare kesite sahip yatay yolluk ve difüzörlü kare kesite sahip yatay yolluk üzerine farklı hücre yoğunluğuna sahip (20 ve 30 ppi) olivin-spinell (SiC) seramik filtreler ile döküm malzeme kalitesinin mekanik özelliklere etkisi hem deneysel olarak hem de Weibull istatistiksel analizi ile değerlendirilmiştir. Farklı hücre yoğunluğuna sahip seramik köpük filtrelerin, alaşımın mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca çekme testi sonrasında kırık yüzeylerden SEM (EDS) incelemeleri yapılarak mikro

ve makro çekme boşlukları, inklüzyonlar, ısıl işlem ve katılaşma sonrası oluşan intermetaliklerin kırılma davranışı üzerine etkileri tartışılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

### 2.1. Kalıplama ve Döküm İşlemi (Moulding and Casting)

Deneysel çalışmalarda farklı hücre yoğunluğuna sahip olivin-spinell (SiC) seramik filtrelerin, sıvı metal hareketi ve mekanik özelliklere etkisinin belirlenmesi için 200x125x15mm ölçülerinde döküm plakalar kullanılmıştır. Sıvı metalin hızı, difüzörlü yatay yolluk sistemi ile azaltılmıştır. Döküm kalıplarında yatay yolluk sisteminde difüzör çıkışına FOSECO SIVEX FC 20 ve 30 ppi hücre yoğunluğuna sahip seramik filtreler yerleştirilmiştir. Ayrıca aynı yolluk sistemi kullanılarak filtresiz kalıplar hazırlanmıştır. Seramik filtrelerin kullanım amacı, döküm işlemleri sırasında meydana gelmesi muhtemel kum sürüklenmelerini ve inklüzyonları engellemektir. Sıvı metalin yolluk sistemindeki tahmini hızları hesaplanırken minör ve major kayıpları ihmal edilmiştir. Dikey yolluktaki sıvı metal hızı düşme yüksekliğine bağlı olarak 2 m/s yatay yolluktaki difüzör çıkışında hızı kesit artışından dolayı yaklaşık 1 m/s'dir.

Ayrıca seramik filtre hücre yoğunluğuna bağlı olarak sıvı metalin daha düşük hızla kalıp boşluğuna aktarıldığı tahmin edilmektedir. Çalışmada kullanılan

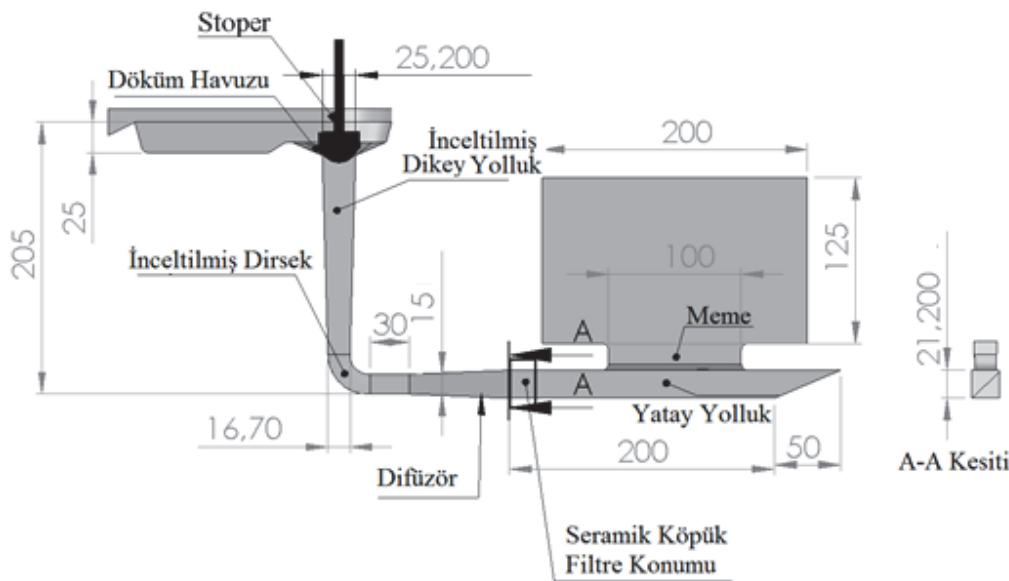
Al-Si-Mg alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Yapılan çalışmada kalıp malzemesi olarak 60-70 AFS tane iriliğine sahip silis kumu (silika), kalıp kumunu bağlamak için ester bazlı alkali fenolik reçine (kum ağırlığının %1,8'i kadar) ve serter (reçine ağırlığının % 20-25'si kadar) kullanılmıştır. Hazırlanan kalıplar dökümden önce kapalı halde 24 saat bekletilmiştir. Çalışmada kullanılan yolluk sistemi ve seramik filtrelerin yatay yolluk üzerindeki konumları Şekil 1'de verilmiştir. Sıvı metal alaşımının döküm sıcaklığı olarak 730-745°C olarak ölçülmüştür. Çekme test numuneleri sıvı metalin kalıp boşluğuna giriş yönüne paralel olarak hazırlanmıştır. Dökülen Al-Si-Mg plakalardan ASTM E 8M-04 standardına göre çekme numuneleri hazırlanmıştır. Standartta uygun olarak hazırlanan numunelere yaşlandırma ısıl işlemi (T6) uygulanmıştır. T6 ısıl işleminde numuneler 540°C de 8 saat solüsyona alındıktan sonra suda hızlı soğutulmuştur. Hızlı soğutulan numuneler 170°C de 10 saat yaşlandırılmıştır.

### 2.2. Weibull İstatistiksel Analizi ve Kalite Endeksi (Weibull Statistical Analysis and Quality Index)

Çekme numuneleri 2 m/min. çekme hızında Shimadzu AG-IS 50 kN kapasiteli çekme test cihazında test edilmiştir. Elde edilen çekme mukavemeti ve yüzde uzaman değerleri, iki boyutlu Weibull dağılımında ve kalite endeksinin belirlenmesinde kullanılmıştır. İki boyutlu Weibull dağılımı, malzemelerin

**Tablo 1.** Al-Si-Mg alaşımının kimyasal bileşimi (% Ağırlıkça) (Chemical Composition of Al-Si-Mg cast Alloy) (% Weight).

	Si	Mg	Fe	Ti	Mn	Cu	Zn
A356 Alaşımı	7,34	0,319	0,14	0,11	0,031	0,010	0,009



**Şekil 1.** Çalışmada kullanılan yolluk sistemi ve seramik köpük filtrelerin yatay yolluk üzerindeki konumları (Used gating systems and position of ceramic foam filters in this study).

güvenirliğinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan basit ve faydalı bir istatistiksel metottur [17,18]. Bu yöntemde, çekme testi sonrasında elde edilen veriler küçükten büyüğe doğru sıralanarak ln karşılığı grafiğin X eksenine (ln (çekme) veya ln (%uzama)) yerleştirilmektedir. Dizindeki sıralamaya bağlı olarak oluşma sıklığını tahmin edicisi ile  $F_w$  hesaplanarak, ln (ln(1/(1- $F_w$ ))) değeri Y eksenine yerleştirilir. Bu çalışmada tahmin edici olarak Hazen metodu kullanılmıştır. Toplanan verilerin eşleştirilmesi sonucunda noktaları kesen en yakın eğri ( $y=ax+b$  şeklindeki) eşitliği elde edilmektedir. İki boyutlu Weibull analizi genel eşitliği Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$F_w = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{x}{\sigma} \right)^\lambda \right] \quad (1)$$

Bu eşitlikte;  $F_w$ , kümülatif başarısızlık oranı,  $x$ , ölçülen değer,  $\sigma$ , karakteristik gerilim (veya ölçek parametresi) (% 63,21) ve  $\lambda$ , Weibull modülünü (dağılımın kalite parametresi) simgelemektedir [3,6,8,15,17,18]. Çekme değerinin (ln) karşılığı ve oluşma sıklığı verilerinden elde edilen noktalara en yakın geçen doğru denklemdeki "x" katsayı Weibull modülü olarak açıklanmaktadır. Weibull modülünün yüksek olması parça güvenilirliğinin yüksek olmasını ifade etmektedir. Ayrıca, çekme test sonuçlarındaki çekme mukavemet değeri numunelerin ortalama çekme mukavemetlerinin ve kalite endeksi ( $Q_i$ ) hesaplanmasında kullanılmıştır [18,19].

Malzemenin kalite endeksi, çekme testinden elde edilen çekme mukavemeti ve yüzde uzamasına bağlı olarak Eşitlik 2'de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$Q_i = UTS(\text{MPa}) + 150 \log(\%Uzama) \quad (2)$$

Yapılan çalışmada, seramik filtrelerin Al-Si-Mg alaşımı döküm malzemenin kalitesi üzerine etkisi net olarak anlaşılması için Weibull istatistiksel metodu ve kalite endeksi uygulanmıştır.

### 2.3. Mikroyapı İncelemeleri (Examination of Microstructure)

Mikroyapı incelemeleri için numunelere standart

metalografik işlemler uygulanmıştır. Numuneler daha sonra Keller dağılayıcısı (2ml HF + 3ml HCl + 5ml HNO<sub>3</sub> + 190ml H<sub>2</sub>O) ile 30-45 sn. dağlanmıştır. Karakterizasyon çalışmalarında, Meiji ML 7100 marka optik mikroskop (OM), mikro yapı ve kırık yüzeylerin incelenmelerinde Jeol JSM-6060 Tarama Elektron Mikroskobu (SEM+EDS) kullanılmıştır.

## 3.SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSION)

### 3.1 Weibull Analizi Dağılımı ve Kalite Endeksi Değerlendirmesi (Evaluated Weibull Statistical Analysis and Quality Index)

Farklı hücre yoğunluğuna (20 ve 30 ppi) seramik filtreler ve filtre kullanılmadan dökülen Al-Si-Mg alaşımından elde edilen çekme testi sonuçlarına göre; ortalama çekme mukavemeti ve yüzde uzama aralıkları, standart sapma, Weibull modülleri (Eşitlik 1) ve kalite endeksi aralıkları (Eşitlik 2) hesaplanarak Tablo 2'de verilmiştir.

Al-Si-Mg alaşımının filtresiz olarak dökülen çekme numunelerinin ortalama çekme mukavemeti 123 MPa, uzama miktarı ise %5 olarak belirlenmiştir. Seramik filtre (20 ppi) kullanıldığında ortalama çekme mukavemeti 160 MPa yüzde uzama miktarı ise yaklaşık %5dir. Filtresiz ve seramik filtre (20 ppi) ile dökülen Al-Si-Mg alaşımının ortalama çekme mukavemeti değerleri karşılaştırıldığında %30 artış olduğu görülmektedir. %30 hücre yoğunluğuna sahip seramik filtreler kullanıldığında ise Al-Si-Mg alaşımının ortalama çekme mukavemetinin 180 MPa, uzama miktarının ise yine %5 olduğu görülmektedir. Bu çekme değeri 20 ppi seramik filtreler için yaklaşık %12,5 bir artışı göstermektedir. Seramik filtre (30 ppi) ve filtresiz dökülen Al-Si-Mg alaşımının ortalama çekme mukavemeti değerleri karşılaştırıldığında ise aradaki farkın yaklaşık %46 olduğu anlaşılmaktadır. Seramik filtre hücre yoğunluğunun artmasıyla sıvı metalin daha temiz ve turbülanssız bir şekilde kalıp boşluğunu doldurduğu anlaşılmaktadır. Buradan, sıvı metalin hazırlanması ve sarj malzemesinden kaynaklanan kalıntıların

**Tablo 2.** Çekme testi sonuçları ortalama değerleri ve kalite endeksi aralıkları (Average values of the tensile test and the quality index ranges.).

	Filtresiz	20ppi Köpük Filtre	Seramik 30ppi Köpük Filtre	Seramik
<b>Çekme Muk. Aralığı (MPa)</b>	88-170	104-199	144-218	
<b>Ort. Çekme Muk. (MPa)</b>	123,3	160,1	179,7	
<b>Çekme Mukavemeti Standart Sapma</b>	19,6	22	20,6	
<b>%Uzama Aralığı</b>	2,6-10,1	3,4-6,5	3,2-13,6	
<b>Ort. % Uzama</b>	5	4,9	4,9	
<b>% Uzama Standart Sapma</b>	1,8	0,8	2,3	
<b>Weibull Modülü</b>	7,5	8,1	10,3	
<b>Kalite Endeks Aralığı (<math>Q_i</math>)</b>	150-321	184-310	220-384	

uzaklaştırılmasında seramik filtre kullanımının etkin olduğu ifade edilebilir.

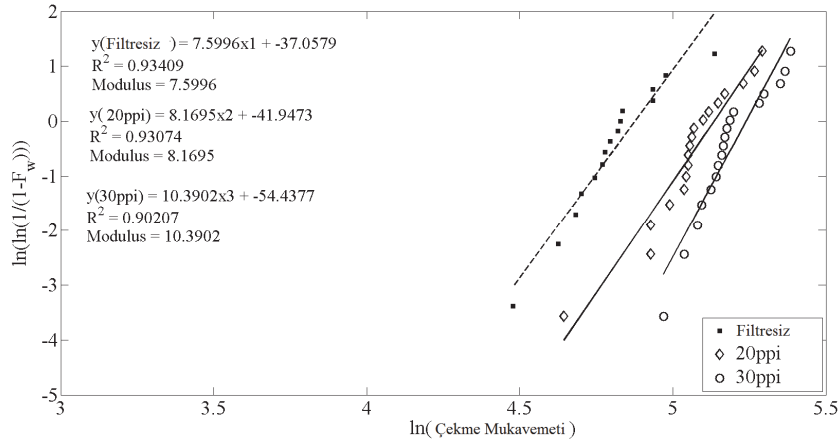
Bununla birlikte, sıvı metalin filtre gözeneklerini geçmesi sırasında yeni oksit filmlerin katlanmasına sebep olduğu ve bu genç bifilmelerin mekanik özellikleri olumsuz etkilediği daha önce yapılan bazı çalışmalarda belirtilmektedir [13-15]. Sıvı metalin yolluk sistemindeki hareketi ile oluşan kalıntıların mekanik özellikleri üzerine etkisi Weibull modülü ile değerlendirilmiştir. Birçok çalışmada Weibull modülü döküm malzemenin kalitesinin ifade edilmesi olarak tanımlanmaktadır [6,8,10,13,15,18]. Al-Si-Mg alaşımlarda seramik filtrenin mekanik özelliklere etkisi, çekme test sonuçları üzerinden Weibull modülleri ve oluşma ihtimalleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Farklı hücre yoğunluğuna sahip seramik köpük filtre ile üretilen Al-Si-Mg alaşımlarının Weibull modülleri Şekil 2’te verilmiştir. Filtresiz, 20 ppi, 30 ppi hücre yoğunluğuna sahip seramik filtreler kullanılarak dökülen çekme numunelerinin Weibull modülleri sırasıyla 7,5, 8,1 (20 ppi) ve 10,3 (30 ppi) olarak belirlenmiştir. Yolluk sisteminde kullanılan seramik filtrelerin hücre yoğunluklarının artmasıyla, sıvı

metalın akış şeklini iyileştirdiği ve bunun sonucunda alaşımların çekme mukavemetinin arttığı görülmektedir.

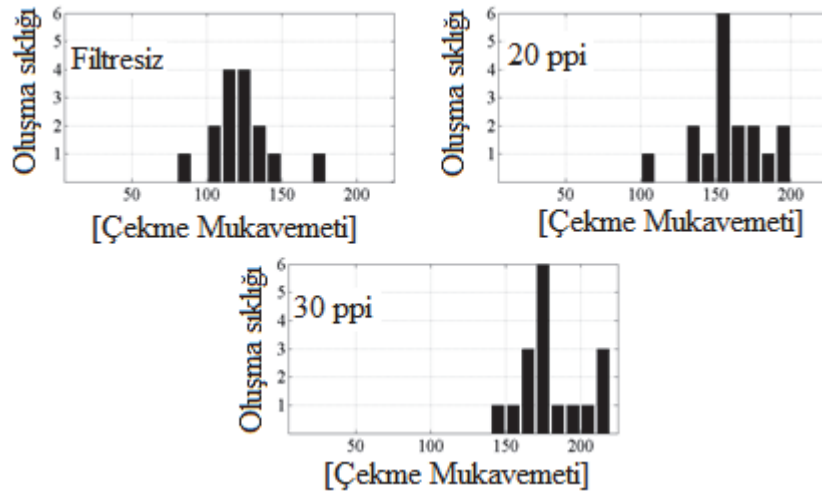
### 3.2. Mikro Yapısal İnceleme (Microstructural Examination)

Çalışmada kullanılan döküm Al-Si-Mg alaşımlarının yaşlandırma işlemi sonrasındaki optik mikroskop görüntüsü Şekil 4’te verilmiştir. Katılaşmanın başlangıç aşamasında dendritler (özellikle soğuma yüzeyine yakın bölgelerde) soğuma yüzeyine zıt yönde gelişirken, katılaşmanın ilerlemesi ile dendritler rastgele yönelmektedir (Şekil 4a). Alüminyum dendritler arasında oluşan Al-Si ötektik Şekil 4. b’deki OM görüntüsünde görülmektedir.

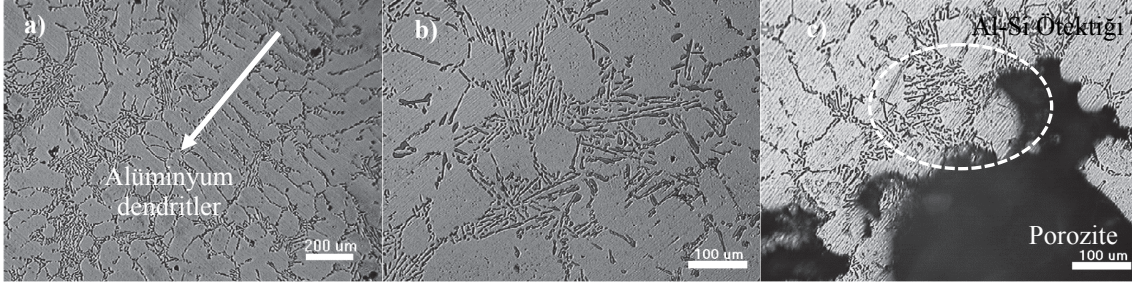
Al-Si-Mg alaşımlarının katılaşması sırasında,  $\alpha$ -Al dendritler, Al-Si ötektik, demirce zengin intermetalik fazların ve yaşlandırma işlemi ile  $Mg_2Si$  intermetalik fazın oluştuğu bilinmektedir [13,20,21]. Metalografik numunelerden alınan SEM görüntüleri Şekil 5’te verilmiştir. Sıvı metalin hazırlanması veya kalıp boşluğuna aktarılması sırasında katlanmış ve katılaşma sırasında açılmış oksit film tabakası (Şekil 5a) görülmektedir. Katlanmış oksit filmlerin



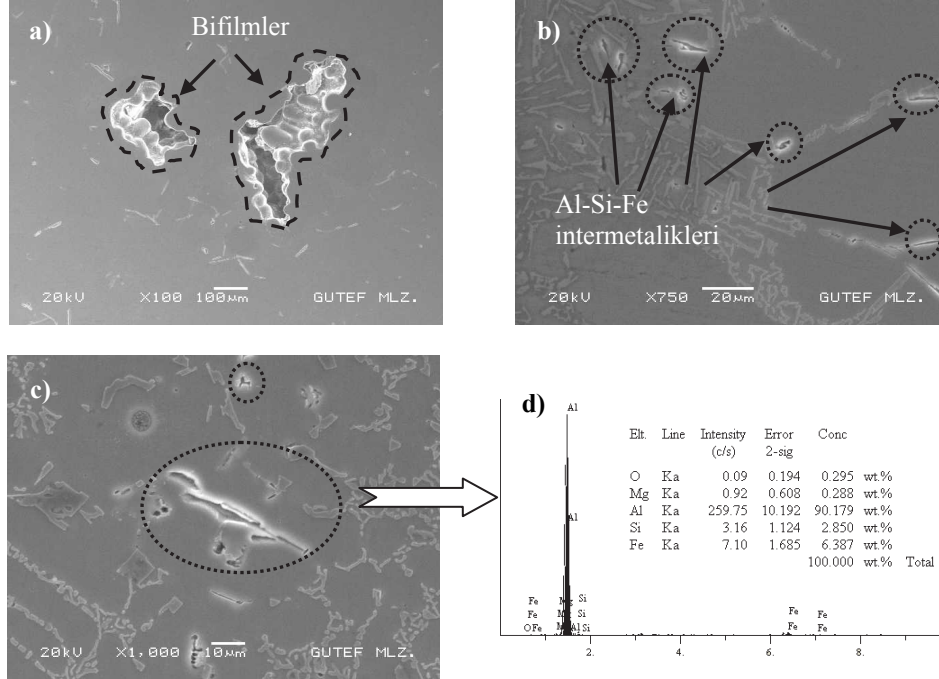
Şekil 2. Seramik filtrelerin Weibullmodülüne etkisi (Effect on Weibullmodul of ceramicfoamfilter).



Şekil 3. Çekme mukavemeti ve oluşma sıklığı (Tensile strength values and frequency of occurrence).



Şekil 4. Al-Si-Mg döküm alaşımının 10X büyütme (a), 50X büyütme (b) ve boşluk çevresinin optik mikroskop görüntüsü (c) (Different optical microscopy image of Al-Si-Mg cast alloy).



Şekil 5. Al-Si-Mg alaşımında bifilmelerin SEM görüntüsü (a), demirce zengin intermetalik fazların SEM görüntüsü (b, c) ve EDS analizi (d) (SEM images of bifilms in Al-Si-Mg cast alloy (a), SEM images of iron-rich intermetallic phase (b,c), and EDS analysis of iron-rich intermetallic phase (d)).

açılmasının sebebi ise alaşımın sıvıda çözünen hidrojen miktarının, katıya göre fazla olması olarak açıklanmaktadır [6,8,9,13,16]. Ayrıca sıvı fazdan katı faza geçiş sırasında hacimce daralmadan kaynaklanan çekme boşluğu döküm hatası ise Şekil 4c verilen OM görüntüsünde görülmektedir.

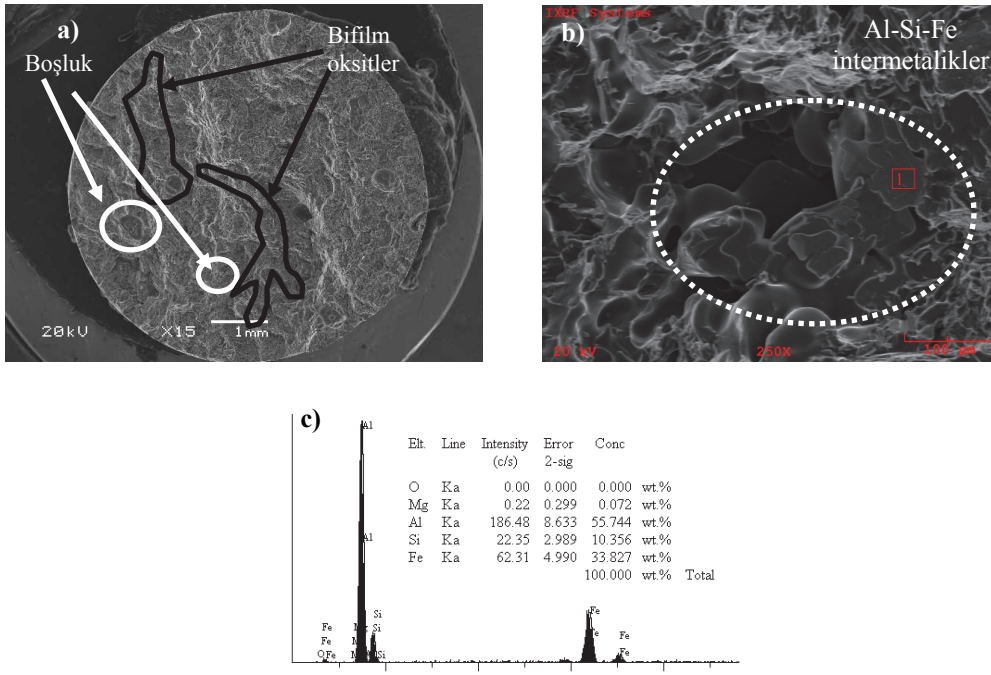
Şekil 5b ve c'de Al-Si-Mg alaşımlarında katılaşma sonrasında oluşan Al-Si ötektiği, demirce zengin bazı intermetalik fazlar ( $Al_3Fe$ ,  $\beta-Al_5FeSi$ ,  $\delta-Al_4FeSi_2$ ,  $\gamma-Al_3FeSi$ ,  $\alpha-AlFeSi$ ) görülmektedir [22,23].

Ayrıca alaşımındaki Mg miktarına bağlı olarak yaşlandırma sonrasında  $Mg_2Si$  intermetalik fazı oluşmaktadır. Al-Si-Mg alaşımında oluşan demirce zengin intermetalik fazın SEM görüntüsü Şekil 5.c'de EDS analizi Şekil 5d'de verilmiştir. Al-Si-Mg alaşımlarında alüminyum dendritler arasında Al-Si ötektiği ve Al-Si-Fe intermetalik fazları yer almaktadır. Al-Si-Fe fazlarının optik mikroskop altında daha çok iğnemsî şekilde yer alırken Al-Si

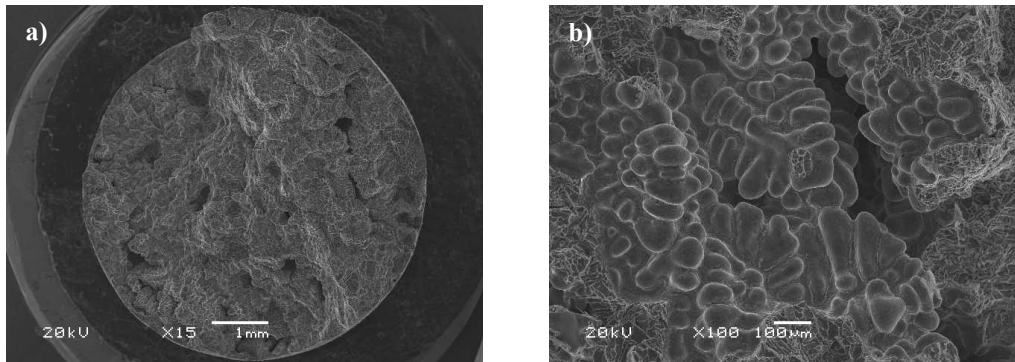
ötektiği ise küçük küresel kümeler şeklinde görülmektedir. Ayrıca optik mikroskop altında numunede gaz ve/veya çekme boşlukları morfolojileri ve çevreleri incelenmiştir. Boşluk çevrelerinde özellikle Al-Si-Fe bazlı iğnemsî şeklindeki intermetaliklerin yoğunlaştığı görülmektedir.

Şekil 7'de 20 ppi hücre yoğunluğuna sahip seramik filtre kullanılan Al-Si-Mg alaşımının çekme testi sonrası kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Kırık yüzey genel SEM görüntüsünde kırık yüzeyin pürüzlü ve yapıda katılaşma sırasında oluşan gaz ve bifilm boşlukları görülmektedir (Şekil 7a). Bu nedenle kırılmanın olduğu yüzeyde gaz boşlukları ve boşluk kenarlarında oluşan Al-Si-Fe fazının numunenin kırılmasında etkili olan döküm hataları olarak görülmektedir [23,24]. Bu durum, yük altında meydana gelen deformasyon etkisi ile yapıda bulunan farklı bileşime sahip iğnemsî Al-Si-Fe fazın, boşlukların çevresinde gerilim artmasına ve çatlak başlaması nedeniyle kırılma gerçekleşmektedir.





**Şekil 6.** Filtresiz dökülen Al-Si-Mg alaşımın kırık yüzey SEM görüntüleri (a,b), demirce zengin intermetalik fazın EDS analizi (c) (SEM images of fracture surfaces of Al-Si-Mg alloy sample casting unfiltered (a, b), EDS analysis of iron-rich intermetallic phase(c).

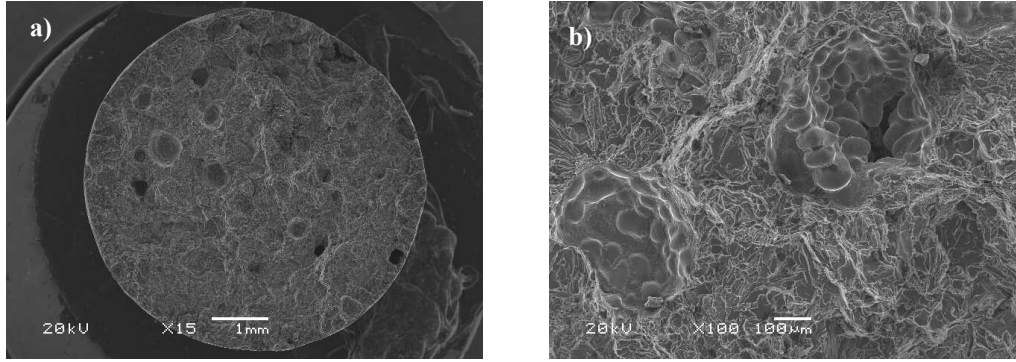


**Şekil 7.** 20 ppi seramik köpük filtre ile dökülen Al-Si-Mg alaşımının çekme numunesi kırık yüzey SEM görüntüleri (a,b) (SEM images (a,b) of tensile fracture surfaces of Al-Si-Mg alloy sample casted with 20 ppi ceramic foam filter).

Filtresiz yolluk sistemi ile üretilen Al-Si-Mg alaşımının çekme numunesi kırık yüzeyi genel ve ayrıntılı SEM görüntüleri Şekil 6a ve b’de verilmiştir. Seramik filtre kullanılmadan dökülen alaşımın (en düşük çekme değerine sahip olan) kırık yüzey SEM görüntülerinden, kırılmanın bifilmli ve gözeneklerin etkisinde olduğu düşünülmektedir. Ayrıca kırık yüzeyden alınan EDS analizinde (Şekil 6c), demirce zengin Al-Si-Fe intermetaliklerin boşluk çevresinde yer aldığı belirlenmiştir. Bunun sebebi Al-Si-Fe intermetaliklerinin çekirdeklenmesi ve büyümesi için ideal alanların boşluk ve bifilm çevreleri olmasıdır [6,8,15].

Şekil 8’de 30 ppi hücre yoğunluğuna sahip seramik filtre kullanılan Al-Si-Mg alaşımının kırık yüzeyi SEM görüntüleri verilmiştir. Genel SEM görüntüsünde kırık yüzeyde boşlukların dairesel şekilli ve yapıda homojen dağıldığı görülmektedir.

Filtresiz, 20 ve 30 ppi filtreli dökülen Al-Si-Mg alaşımlarının kırık yüzey genel SEM görüntüleri (Şekil 6a, 7a ve 8a) karşılaştırıldığında, filtresiz Al-Si-Mg alaşımı kırık yüzeyinde yaşlı oksit filmlerin dendritler arasında sıkıştığı ve dinamik yük altında kopmanın gerçekleştiği görülmektedir. Yolluk sistemine 20 ve 30 ppi seramik köpük filtrelerin kullanıldığı Al-Si-Mg alaşımının kırık yüzeylerinde farklı boyutta boşluk hataları görülmektedir. 20 ppi seramik köpük filtre ile dökülen Al-Si-Mg alaşımında daha büyük boşlukların yapıda dağıldığı görülmektedir. 30 ppi seramik köpük filtre de ise kırık yüzeyde daha küçük ve küresel boşlukların olduğu görülmektedir. Oksit film katmanları (bifilmli), gaz ve çekme (mikro ve makro) boşlukları mekanik özelliklerini olumsuz etkiler. Ayrıca alaşım bileşimine bağlı oluşan ikincil fazlar (intermetalik bileşikler) önceden oluşmuş hatalı bölgeleri tercih



**Şekil 8.** 30 ppi seramik köpük filtre ile dökülen Al-Si-Mg alaşımlarının çekme numunesi kırık yüzey SEM görüntüleri (a,b) (SEM images (a,b) of tensile fracture surfaces of Al-Si-Mg alloy sample casted with 30 ppi ceramic foam filter).

etmektedirler [15,18,23,24]. İkincil fazların keskin köşeleri ve boşluk hataları artan yük ile birlikte kırılma mekanizmasını başlatmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada farklı hücre yoğunluklarına sahip seramik filtrelerin Al-Si-Mg döküm alaşımı kalitesi üzerine etkisi Weibull istatistiksel analizi, kalite endeksiyle ve deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma sonrasında uygulanan çekme testleri, Weibull istatistiksel analizi, kalite endeksi ve mikro-makro yapısal incelemelerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Seramik filtre kullanılması ile Al-Si-Mg alaşımlarının mekanik özellikleri filtresiz Al-Si-Mg alaşımına göre iyileştirilmiştir. Ayrıca 30 ppi hücre yoğunluğuna sahip seramik filtre kullanılarak üretilen numunelerin çekme değerleri, 20 ppi hücre yoğunluğuna sahip seramik filtre kullanılarak üretilen numunelerin çekme değerlerine göre % 12,5 artış göstermektedir.
- Al-Si-Mg alaşımlarında seramik köpük filtrelerin ile sıvı metalin akış karakteristiğinin olumlu yönde etkilediği ve bifilm oksit oluşumuna engel olduğu çekme test sonuçlarından anlaşılmaktadır.
- Seramik köpük filtre hücre yoğunluğunun artmasıyla sıvı metal içinde sarj ve kalıp boşluğuna aktarılması sırasında meydana gelen döküm hataları minimize edilmiştir.
- Çekme numuneleri kırık yüzey incelemelerinde farklı kimyasal bileşime sahip Al-Si-Mg intermetaliklerin, boşluk hatalarının çevresinde yoğunlaştığı görülmüştür.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Miller W.S., Zhuang L., Bottema J., Wittebrood A.J., De Smet P., Haszler A., Vieregge A., “Recent Development in Aluminium Alloys for The Automotive Industry”, **Materials Science and Engineering A**, 280, 37–49, 2000.
2. Edwards K.L., “Strategic Substitution of New Materials for Old: Applications in Automotive Product Development”, **Materials and Design**, 25, 529-533, 2004.
3. Campbell J., **Casting**, Butterworth-Heinemann, Oxford, United Kingdom, 2003.
4. Campbell J., **Castings Practice The 10 Rules of Castings**, Butterworth-Heinemann, Oxford, United Kingdom, 2004.
5. Ruddle R.W., M.A., F.I.M., **The Running and Gating of Sand Castings**, The Institute of Metals, 1956.
6. Dai X., Yang X., Campbell J., Wood J., “Effect of Runner System Design on The Mechanical Strength of Al-7Si-Mg Alloy Casting”, **Materials Science Engineering A**, 315-325, 2003.
7. Hsu F.Y., Jolly M.R., Campbell J., “A Multiple-gate Runner System for Gravity Casting”, **Journal of Materials Processing Technology**, Volume 209, 17, 5736-5750, 2009.
8. Hsu F.H., Lin H-J., “A Diffusing Runner for Gravity Casting”, **Metallurgical and Materials Transactions B**, Volume 40B, 833-842, 2009.
9. Reilly C., Green N.R., Jolly M.R., “Surface Oxide Film Entrainment Mechanisms in Shape Casting Running System”, **Metallurgical and Materials Transactions B**, Volume 40B, 850-858, 2009.
10. Mbuya T.O., Oduori M.F., Rading G.O., Wekesa M.S., “Effect of Runner Design on Mechanical Properties of Permanent Mould Aluminium”, **International Journal of Cast Metals Research**, Volume 19, 2006.
11. Mi J., Harding, R.A., Campbell, J., “Effects of The Entrained Surface Film on The Reliability of Castings”, **Metallurgical and Materials Transactions A-Physical Metallurgy and Materials Science** 35A, 9, 2893-2902., 2004.
12. Özyürek D., Özdemir Ş., “Inclusion removal from casting with ceramics filters”, **Journal of Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Vol 10, No 2, 11-28, 1995.
13. Tunçay T., Tekeli S., Özyürek D., “The Effect of Diffuser and Non-Diffuser Runner Systems on The Mechanical Properties of A356 Alloy”, **Journal of Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Vol 10, No 2, 11-28, 1995.



- Architecture of Gazi University**, Vol 28, No 2,241-249, 2013.
14. Habibollah Zadeh A., Campbell, J., “Filter systems for high velocity liquid metal flow”., **International Journal of Cast Metals Research**, Volume 17., 99-106, 2004.
  15. Hashemi H., Raiszadeh R., “Naturally-Pressurized Running System : The rol of Ceramics Filters”, **Journal of Applied Science.**, Volume 9, 2115-2122, 2009.
  16. Bozchaloei G.E., Varahram N., Davami P., Kim S.K., “Effect of oxide bifilms on the mechanical properties of cast Al-7Si-0.3Mg alloy and the roll of runner height after filter on their formation”., **Materials Science and Engineering A 548.**, 99-105, 2012.
  17. Dişpınar D., Campbell J., “Critical Assesment of Reduced Pressure Test. Part1: Porosity Phenomena”, **International Journal of Cast Metals Research**, Volume 17., No.5.2004.
  18. Weibull, W., “A Statistical Distribution Function of Wide Applicability”, **Journal of Applied Mechanics**, 18, 293-297, 1951.
  19. G. Eisaabadi B., Davami P., Kim S.K., Tiryakioğlu M., “The effect of melt quality and filtering on the Weibull distributions of tensile properties in Al-7%Si-Mg alloy castings”., **Materials Science and Engineering A579.**, 64-70, 2013
  20. H-Rodríguez S., G-Reyes R. E., Dwivedi D.K., B-Hernández V.H., F-Zúñiga H., P-López M.J., “On influence of Ti and Sr on microstructure, mechanical properties and quality index of cast eutectic Al-Si-Mg alloy”., **Materials and Design 32.**, 1865-1871, 2011.
  21. Warmuzek M., **Metallographic Techniques for Aluminum and Its Alloys**, ASM Handbook, Volume 9, 711-751, 2004.
  22. Wang Q. G., Davidson C. J. , “Solidification and precipitati on behaviour of Al-Si-Mg casting alloys”., **Journal of Materials Science 36**, 739-750, 2001.
  23. Campbell J., “Entrainment Defects”, **Materials Science and Technology**, Volume 22, No 2, 127-145, 2006.
  24. Ma Z., Samuel A.M., Samuel F.H., Doty H.W., Valtierra S., “A Study of Tensile Properties in Al-Si-Cu and Al-Si-Mg alloys: Effect of  $\beta$ -iron Intermetallics and Porosity”, **Materials Science and Engineering A** ,490, 36-51, 2008.
  25. Wang Q.G., Cáceres C.H., “The fracture mode in Al-Si-Mg casting alloys”., **Materials Science and Engineering A**, Volume 241, 72-82, 1998.
  26. Çalın R., Pul M., Pehlivanlı Z.O., “The Effect of Reinforcement Volume Ratio on Porosity and Thermal Conductivity in Al-MgO Composites”., **Materials Research**, Vol 15, Iss 6, p 1-7 (2012).

