



**GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT TAKVİYELİ FARKLI
MATRİSLERLE METAL KÖPÜK ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

Sezgin AYDIN

Yüksek Lisans Tezi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Mehtap MURATOğLU

TEMMUZ – 2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT TAKVİYELİ FARKLI MATRİSLERLE METAL
KÖPÜK ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sezgin AYDIN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20.Haziran .2017

Tezin Savunulduğu Tarih: 11 Temmuz 2017

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehtap MURATOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Erkan BAHÇE

Yrd. Doç. Dr. Melek YILGIN

Temmuz-2017

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, akademik bilgilerinin yanında, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen danışman hocam Prof. Dr. Mehtap MURATOĞLU' na, sabrı ve desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Sezgin AYDIN
ELAZIĞ – 2017



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. METAL KÖPÜKLER.....	3
2.1. Tanım ve Tarihçesi	3
2.2. Metal Köpüklerin Sınıflandırılması	4
2.2.1. Hücreli Metaller.....	4
2.2.2. Gözenekli Metaller	4
2.2.3. Metalik Köpükler.....	4
2.3. Metal Köpükler ve Kullanım Alanları	5
2.3.1. Metal Köpüklerin Çeşitli Sektörlerdeki Uygulamalar	6
3. METAL KÖPÜK ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	8
3.1. Ergiyik Metal İçerisine Gaz Nüfus Edilmesi İle Metalik Köpük Üretimi	9
3.2. Ergiyik Metal İçerisine Köpürtücü Madde İlavesi İle Metalik Köpük Üretimi	10
3.3. Katı-Gaz Ötektik Katılaşma	11
3.4. Toz Metalurjisi ile Köpürtme	11
4. PERLİT	14
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	19
5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	19
5.2. Tozların Karıştırılması.....	20
5.3. Karıştırılan Tozların Preslenmesi İşlemi	21
5.4. Presleme Sonrası Elde Edilen Numuneler	23
5.5. Numunelerin Köpürtülmesi ve Uygulanan Isıl İşlemler.....	23
5.6. Özgül Ağırlıkların Tespit Edilmesi	27

5.7.	Mikro Yapı Analizleri.....	29
5.8.	Basma Testi ve Değerler.....	30
5.9.	Isıl İletim Katsayısı Ölçümü ve Değerler	31
6.	DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	32
6.1.	Özgül Ağırlıklar ve Gözenek Oranları	33
6.2.	TiH ₂ Miktarının Yoğunluk Değişimine ve Köpük Oluşumuna Etkisi.....	36
6.3.	Sıcaklığının Köpük Oluşumuna Etkisi	37
6.4.	Basma Testi Sonuçları	38
6.5.	Isıl İletim Katsayısı Sonuçları	43
6.6.	Mikro Yapı İncelemeleri SEM ve EDX Analiz Sonuçları	45
7.	SONUÇLAR.....	87
	KAYNAKLAR	88

ÖZET

Bu çalışmada Al ve Al6061 matrisleri farklı ağırlık oranlarında ve farklı boyutlarda geliştirilmiş perlit takviyesi ile ve toz metalurjisi yöntemi kullanılarak numuneler üretilmiştir. Bu numunelerde köpürtme ajanı olarak TiH_2 kullanılmıştır. Üretilen numuneler belirli sıcaklıkta bekletilerek köpürtülmüştür. Hazırlanan numunelere farklı oranlarda geliştirilmiş perlit takviye edilerek, takviyenin köpük stabilizasyonuna etkisi incelenmiştir. Üretilen numunelerin yoğunlukları belirlenmiş, SEM, Isıl İletim Katsayısı, Mekanik Testler ve Mikro Yapı analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda geliştirilmiş perlit takviyenin köpük malzemede hücre stabilizasyonu sağladığı görülmüştür. Köpük oluşumunda, köpürtme süresi, takviye boyutu ve oranı, sıcaklık ve köpürtücü madde özelliklerinin köpük oluşumunu etkileyen başlıca parametreler olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Metal Köpük, Alüminyum, Al6061, Genleştirilmiş perlit, TiH_2

SUMMARY

Metal Foam Production and Characterization of Different Matrices Reinforced With Expanded Perlite

In this study, Al and Al6061 matrices were produced in different weight ratios and in different sizes by using expanded perlite reinforcement and powder metallurgy method. TiH_2 was used as the foaming agent in these samples. The produced samples are frosted at a certain temperature. The prepared specimens were reinforced at different ratios with the expanded perlite, and the effect of the stabilization of the reinforcement was investigated. The densities of the produced samples were determined, SEM, Thermal Conductivity Coefficient, Mechanical Tests and Microstructure analyzes were made. As a result of the studies carried out, it has been found that the expanded perlite supplements provide cell stabilization in the foam material. In foaming, it has been determined that the foaming time, reinforcement size and ratio, temperature and foaming properties are the main parameters affecting foam formation.

Keywords : Metal Foam, Aluminum, Al6061, Expanded Perlite, TiH_2

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Metalik Köpüklerin Tarihsel Gelişimleri	4
Şekil 2.2.	Metalik Köpüklerin Çok Fonksiyonluluğu	6
Şekil 2.3.	Genişlemeden Sonra Preslenmiş Panel (3 Boyutlu Yapı).....	7
Şekil 2.4.	Yerleşim Alanlarına Yakın Otoyollar İçin Ses İzolasyonu	7
Şekil 3.1.	Gaz Enjekte Edilerek Alüminyum Köpük Levha Üretimi	10
Şekil 3.2.	Ergiyik Metal İçerisine Köpürtücü Madde İlavesi İle Köpürtme	11
Şekil 3.3.	Toz Metalurjisi Tekniği İle Parça Üretim Aşamaları.....	12
Şekil 4.1.	Perlite Ait SEM Görüntüleri	18
Şekil 5.1.	Numunelerin Hazırlanmasında Kullanılan Hidrolik Pres	22
Şekil 5.2.	Numunelerin Hazırlanmasında Kullanılan Kalıplar.....	22
Şekil 5.3.	Presleme Sonrası Elde Edilen Numuneler	23
Şekil 5.4.	Numunelerin Köpürtülmesi ve Sinterlenmesinde Kullanılan Yüksek Sıcaklık Fırını.....	24
Şekil 5.5.	Al Matris Numuneler	25
Şekil 5.6.	Al6061 Matris Numuneler	27
Şekil 5.7.	SEM ve EDX Analizlerinin Yapıldığı Taramalı Elektron Mikroskobu.....	29
Şekil 5.8.	Numune Kesme Cihazı.....	30
Şekil 5.9.	Basma Cihazı.....	30
Şekil 5.10.	Isıl İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı	31
Şekil 6.1.	Genleştirilmiş Perlit Takviyeli Al Matris Numuneler İçin Yoğunluk Değerleri.....	33
Şekil 6.2.	Genleştirilmiş Perlit ve TiH ₂ Takviyeli Al Matris Numuneler İçin Yoğunluk Değerleri.....	33
Şekil 6.3.	Genleştirilmiş perlit Takviyeli Al6061 Matris Numuneler İçin Yoğunluk Değerleri.....	34
Şekil 6.4.	Genleştirilmiş perlit ve TiH ₂ Takviyeli Al6061 Matris Numuneler İçin Yoğunluk Değerleri.....	35
Şekil 6.5.	TiH ₂ 'nin köpürme üzerindeki etkisi.....	36
Şekil 6.6.	Al ve Al6061Matris Numunelerine Ait Basma Grafikleri	42
Şekil 6.6.	Köpürme İşlemi Tamamlanmış Al Numuneleri.....	46

Şekil 6.7.	Köpürme İşlemi Tamamlanmış Al6061 Numuneleri.....	48
Şekil 6.8.	A Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	49
Şekil 6.9.	A1 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	50
Şekil 6.10.	B1 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	51
Şekil 6.11.	C1 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	52
Şekil 6.12.	A2 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri.....	53
Şekil 6.13.	B2 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	54
Şekil 6.14.	C2 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	55
Şekil 6.15.	A3 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri.....	56
Şekil 6.16.	B3 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	57
Şekil 6.17.	C3 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	58
Şekil 6.18.	A4 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri.....	59
Şekil 6.19.	B4 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	60
Şekil 6.20.	C4 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	61
Şekil 6.21.	A5 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri.....	62
Şekil 6.22.	B5 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	63
Şekil 6.23.	C5 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	64
Şekil 6.24.	A6 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri.....	65
Şekil 6.25.	B6 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	66
Şekil 6.26.	C6 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	67
Şekil 6.27.	B Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	68
Şekil 6.28.	A7 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri.....	69
Şekil 6.29.	B7 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	70
Şekil 6.30.	C7 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	71
Şekil 6.31.	A8 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri.....	72
Şekil 6.32.	B8 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	73
Şekil 6.33.	C8 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	74
Şekil 6.34.	A9 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri.....	75
Şekil 6.35.	B9 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	76
Şekil 6.36.	C9 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	77
Şekil 6.37.	A10 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri.....	78
Şekil 6.38.	B10 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	79
Şekil 6.39.	C10 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	80

Şekil 6.40.	A11 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	81
Şekil 6.41.	B11 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	82
Şekil 6.42.	C11 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	83
Şekil 6.43.	A12 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	84
Şekil 6.44.	B12 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	85
Şekil 6.45.	C12 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri	86



TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 5.1.	Genleştirilmiş perlitin Kimyasal Bileşenleri.....	19
Tablo 5.2.	Kullanılan Tozların Özellikleri.....	20
Tablo 5.3.	Kullanılan Matris ve Takviyelere Göre Hazırlanmış Numuneler ve Kodları.....	21
Tablo 5.4.	Numunelerin Yoğunluk Değerleri.....	28
Tablo 6.1.	Al Numuneleri Isıl İletim Katsayısı Değerleri.....	43
Tablo 6.2.	Al6061 Numuneleri Isıl İletim Katsayısı Değerleri.....	44



1. GİRİŞ

Metal köpük boşluklu yapıya sahip metaller için kullanılan genel terimdir. Metal köpük isimlendirmesinin yanı sıra hücreli metaller, gözenekli metaller, metal süngerler terimleri metal köpüklerin sınıflandırılmalarında sürekli kullanılmaktadır. Bu terimlerin kendi aralarındaki ana fark gözenek yapıların morfolojisinden meydana gelmektedir. Kendi aralarında homojen gözeneklere sahip yapılar köpük veya hücreli metal olarak sınıflandırılırken diğer kategorideki yapılar gözenekli veya sünger olarak nitelendirilebilir. Köpürtücü sınıfındaki malzeme metalik özelliğe sahip ise ve katılaştıktan sonra boşluklu yapıya sahip ise bu yapılara metal köpük adı verilir [1].

Metal köpükler kullanım ve tercih edilme özellikleri sebebiyle önemi sürekli artan malzemeler arasındadır. Kullanım ve tercih edilmelerinin ana sebepleri hafif olmaları ve çok iyi ses ve izolasyon sağlamaları, enerji absorblleme yeteneklerinden dolayı araçlarda tercih edilmeleri kullanım alanlarının artmasına sebep olmaktadır [2].

Mukavemet ve hafiflik özellikleri göz önüne alındıklarında, titreşimi minimize etme kapasitesi ve yanmazlık özellikleri nedeni ile deniz taşımacılığında, kara ve hava taşımacılığında, kapak ve özel imalat parçaların yapımında kullanılması önemli özellikleri arasında sayılmaktadır. Özellikle alüminyum esaslı metal köpükler, farklı mimari ve dekorasyon uygulamalarında tercih edilen malzeme kategorisinde son zamanlarda oldukça dikkat çekmektedirler. Alüminyum köpükler, birçok metalden daha fazla enerji sönümleyebilen malzemelerdir [3].

Metal köpükler, gaz gözeneklerin ince tabakalarla ayrıldığı ve hacim oranının genellikle çok düşük olduğu malzemelerdir. Metallerle karşılaştırıldıklarında, polimer köpüklerin ve ahşabın kullanılmadığı nadir ortamlarda ve ısı farklılıklar da mimari ve mühendislik alanlar için avantaj sağlamaktadırlar [4].

Metal köpükler, polimer köpüklerle kıyaslandıklarında teknik özellikleri bakımından öndedirler: daha serttirler, yüksek ısı değerlerinde daha kararlıdır, alev durdurma özelliğine sahiptirler ve yangında zehirli gazlar üretmezler ve en önemli özelliklerinden biri de bu malzemeler doğaya hiçbir şekilde zararı olmayan tamamıyla çevreci ürünlerdir. Metal köpükler çarpışma yönün ve durumuna bağlı olmaksızın yüksek enerji sönümlerler ve ses yalıtımında, elektromanyetik perdelemede, titreşim gidermede oldukça fazla kullanım alanlarına sahiptirler [5].

Metal köpük malzemelerin başlıca kullanım alanları arasında oto sanayi, demiryolu ve inşaat malzemeleri, astronomik parçalar, kara hava ve deniz taşımacılığında kullanılan parçaların üretimini ve spor malzemelerinin yapımı, biyomedikal uygulamalar, işlevsel kullanım alanları arasında ise filtreleme, klima sistemleri, elektrokimyasal uygulamalar, su arıtma infiltrasyon, sıvı saklama sektörel bazdaki alanlar en önemli uygulama alanlarıdır [6].

Metalik köpük malzemelerle diğer köpük malzemeler arasında fiziksel ve mekanik özellikler açısından değişiklikler vardır. Polimer malzemeler sağlam ve dayanıklı değildir ve seramik malzemeler de fazla kırılğan bir yapıya sahiptirler. Bu sebeplerden dolayı metalik köpük yapıları kullanmak birçok avantajı beraberinde getirmektedir [7].

Yeni malzeme sınıflarından olan metal köpükler yoğunluğunun düşük olması, ayrıca mekanik ve fiziksel özellikleri ile önem teşkil etmektedir. Bunun yanı sıra metal köpükler termal, elektriksel ve akustik özellikleri ile de ileri bir malzeme türüdür. Metal köpükler, üretildikleri malzemeyle karşılaştırıldıklarında farklı belirleyici özellikler gösteren buluş niteliğinde malzemelerdir [8].

Metalik köpüklerin dayanım ve hafiflik özellikleri mekanik, ısıl ve daha birçok alanda kullanılabilirler [9].

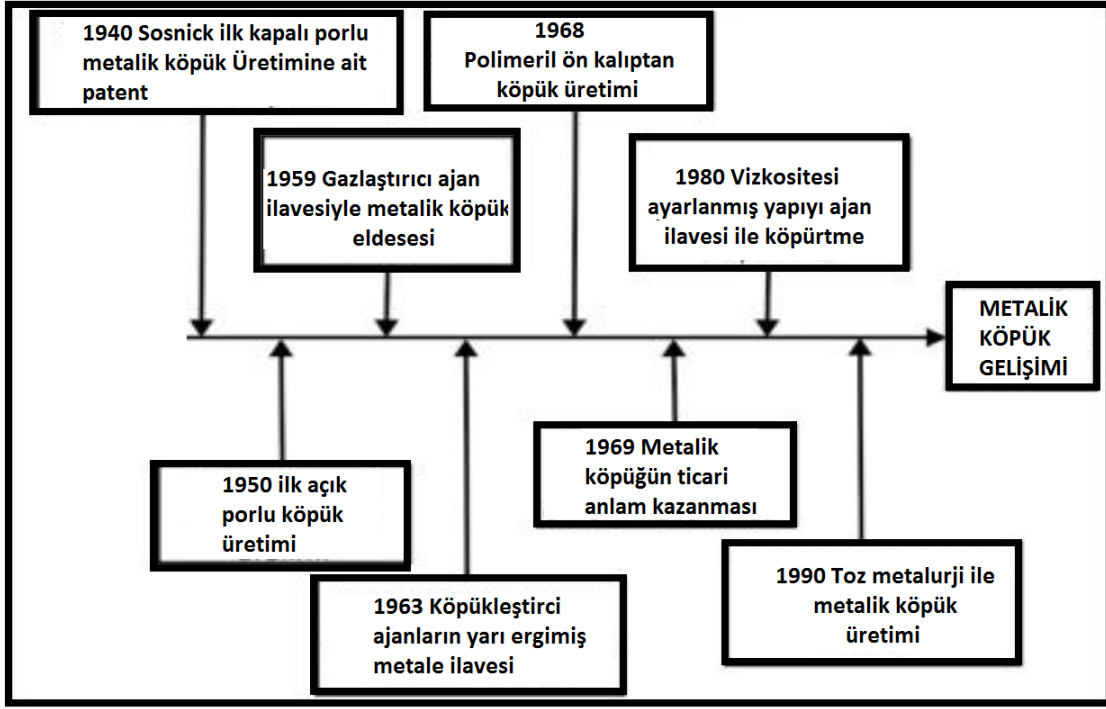
2. METAL KÖPÜKLER

2.1. Tanım ve Tarihçesi

Yapılan son yıllardaki çalışmalarda metalik köpüklerin üretimi ve karakterizasyonunu geliştirme faaliyetleri oldukça gelişmiş ve artarak gelişmeye de devam etmektedir [10].

Ülkemizde endüstriyel uygulamaların çok fazla olmamasına rağmen, köpük oluşum evrelerinin ve üretilen köpüklerin özelliklerinin karakterize edilmesi ve geliştirilmesi amaçlı araştırma geliştirme faaliyetleri sürekli ve kararlı olarak sürdürülmektedir [11].

Metalik köpükler hakkındaki ilk resmi belge 1940'lı yıllarda Sosnik firması tarafından yayınlanmıştır. Hemen ardından 1960'lı yıllarda tamamen değişik bir yaklaşım ile United Aircraft Corporation tarafından uygulanan, köpükleşme alanları kullanılarak metalik köpük üretim patentini almışlardır. 1963 yılında ise Hardy ve Peisker köpürtücü ajanlarının yarı erimiş metale direkt ilave edilmesi yöntemini içeren prosesleri için patent başvurusunda bulunmaları, hemen ardında 1968 yılında Kaliforniya'da Enerji Üretim ve Araştırma şirketi tarafından polimerik kalıp içerisinden süzme yoluyla açık hücreli metal köpük üretiminin gerçekleşmesiyle konu hakkında çalışmalar çeşitlendirilmeye ve geliştirilmeye devam edilmiştir. Bu çalışmaların ışığında 20. Yüzyılın son çeyreğinde dünya da birçok firma alüminyum köpük üretimine başlamıştır. Bunların en önde gelenlerinden biri Japonya'daki Shinko Wire Company şirkettir. 1986 yılından beri kalsiyum ilavesiyle vizkositesi arttırılmış sıvıya TiH_2 'nin direkt enjekte edilmesiyle üretilen metal köpük üretimini patentli olarak gerçekleştirmektedir. Aynı zamanda Norveç'teki Hydro ve Toronto'daki Cymat firmaları da erimiş metale gazın direkt aktarılması ile sıvı gazdan köpük elde etme prosesini geliştirmişlerdir [1].



Şekil 2.1. Metalik Köpüklerin Tarihsel Gelişimleri

2.2. Metal Köpüklerin Sınıflandırılması

2.2.1. Hücresel Metaller

Plakaların ara bağ ağı ile meydana gelen yüksek hacimsel boşluklara sahip malzemelerdir.

2.2.2. Gözenekli Metaller

Yalıtılmış hacimsel boşluklara sahip ve gözenek seviyesi genellikle %70 'den düşük malzemelerdir.

2.2.3. Metalik Köpükler

Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak malzeme teknolojisi de gittikçe gelişmektedir. Bu gelişme sonucunda dikkat çeken malzemeler arasında metal köpük malzemeler yer almaktadır. Metal köpükler, %75 - 90'ı gözenek olan saf metal ya da alaşım halindeki malzemelerdir. Metalik köpükler çok farklı mekanik özelliklere sahiptirler. Metalik köpükler gözenekli yapılarından dolayı düşük yoğunlukları, yüksek

mukavemet, kütle oranları ve çok iyi enerji sönümlenme gibi avantajlı özellikleri nedeniyle son yıllarda tercih edilen malzemeler arasındadırlar [12].

2.3. Metal Köpükler ve Kullanım Alanları

Metalik köpükler, termal izolasyon, mekanik özellikler, biyomedikal uygulama alanları, elektriksel ve absorblenme gibi uygulamalarda, sanayi ve akademik anlamda önemli kullanım alanına sahiptir.

Düşük yoğunluğa sahip metalik köpükler gaz emilimi, ısı izolasyonu, enerji ve ses emme özellikleri sayesinde tercih edilen malzeme statüsündedirler. Bu kullanım alanları sırasıyla otomobil endüstrisi ve inşaat olmak üzere denizcilik, hava sanayi gibi ve daha birçok sektör üzerinde kullanım alanı bulmaktadır.

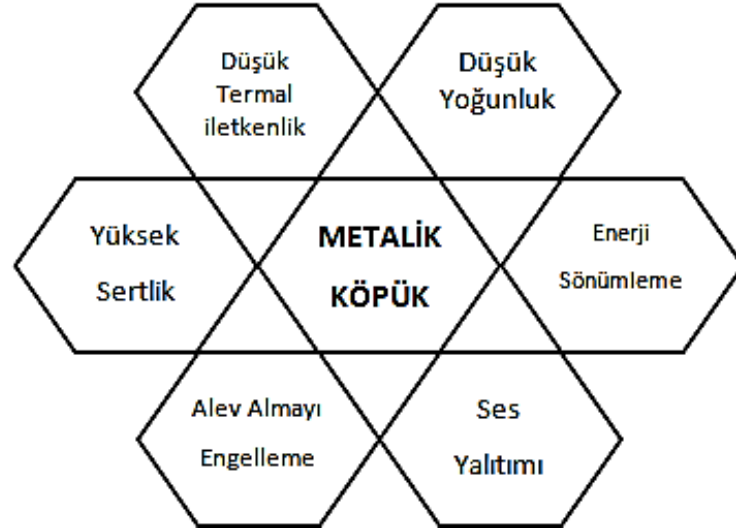
Metal köpüklerin özellikleri ve kullanım alanlarına ait aşağıda birkaç örnek gösterilmektedir:

Motor bloklarında, metalik köpük malzemeler ısı ve ses izolasyonu sebebiyle kullanılmaktadır. Yine güvenliği arttırmak amacıyla tamponlarda ve kaporta aksamlarında, darbe emicilerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Diğer bir kullanım alanı da dayanım ve özgül ağırlık oranının önemli olduğu havacılık ve savunma sanayi sektörüdür. Alüminyum köpükten üretilen paneller özellikle petek yapılı kompozit malzemelere ikincil örnek olarak kullanılabilir.

Deniz sanayi sektöründe de kullanılan alüminyum köpüğün sektöre sunduğu katkı, özgül ağırlığa bağlı olan hafiflik ve aşınmazlık direncidir. Özel üretimlerin kullanıldığı gemi sanayinde alüminyum köpük istenilen tüm şartlara adaptasyon gösteren kullanılabilir malzeme niteliğindedir. [1, 13].

Alüminyum köpüğün yoğun tercih edildiği farklı sektörlerden biri olan inşaat sektöründe ise bina cephelerinde kaplama amaçlı, çatı izolasyonların da ise yalıtım amaçlı kullanılmaktadır. Ses yalıtımı sayesinde köprü yol, otoban ve yerleşim yerlerine yakın otoyollarda ses emici bariyer olarak kullanımına başlanmıştır [1].



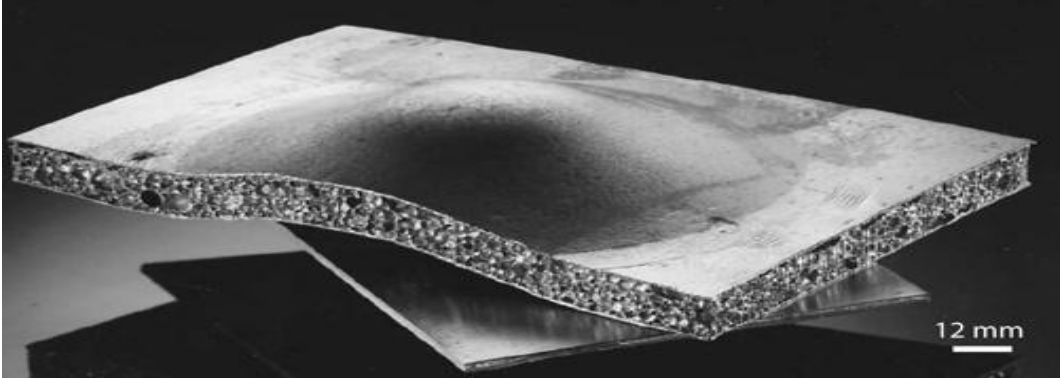
Şekil 2.2. Metalik Köpüklerin Çok Fonksiyonluluğu

2.3.1. Metal Köpüklerin Çeşitli Sektörlerdeki Uygulamalar

Otomobillerin sağlamlık ve güvenliği konusunda artan talepler, birçok durumda araçların donanımlarının değiştirilmesiyle sonuçlanmıştır. Donanımla birlikte artan araç ağırlıkları olumsuz etkiler sunmaya başlamıştır. Buda daha fazla yakıt tüketimine sebep olmuş ve tonajın düşürülmesi için ek hesaplar yapılmaya başlanmıştır. Bu sorunun ortadan kalkması için hacim olarak daha verimsiz motorlar denenmiş ama dezavantaj olarak ısınma problemi ve güvenlik sorunları ortaya çıkmıştır. Metal köpükler bu problemlerin ortadan kaldırılması için tercih sebebi olmuştur [6].

Hafif yapı metalik köpüklerin iki özelliğine bağlılık gösterir. Neredeyse tersinir özellik gösterirler ve ağırlık oranları yüksektir [14].

Sandviç panel metalik köpükler arabaların yük - kütle oranlarını minimuma indirmek için tercih edilirler. Örneğin şase ve kaporta aksamı gibi dayanımın tercih edildiği alanlarda için kullanılabilirler [15].



Şekil 2.3. Genişlemeden Sonra Preslenmiş Panel (3 Boyutlu Yapı)

Metalik köpükler, mukavemetlerinden dolayı, diğer matris köpüklerden daha üstün performans gösterirler [16].

Kafa kafaya çarpışma, yan bölgelerden alınan darbeler, azaltılabilir [13].

Enerji absorblleme özellikleri oldukça verimlidir. Birim hacimde, uzunluk ve kütlede yüksek enerji emme özellikleri vardır [13].

Ses kontrolünde genellikle polimer köpükler kullanılır [17]. Metalik köpükler ses dalgalarının neredeyse tamamını yansıtılabilir ya da emebilme özelliğine sahiptir. Seslerin yalıtılması otomobil sanayinde başlıca sorunlardan birisidir. Metal köpüklerin rijitlikleri otomobil sanayi gibi, havacılık sanayi içinde önemlidir. [18].



Şekil 2.4. Yerleşim Alanlarına Yakın Otoyollar İçin Ses İzolasyonu

Metalik köpükler inşaat endüstrisinde de çok fazla miktarda kullanım ve tercih alanı bulmaktadır. Korkulukları metalik köpükten yapılabilir. Kullanılan malzemelerin maliyetleri ve işlevsellikleri tartışma konusu olmaktadır. Metalik köpükler bu sorunun üstesinden gelebilirler [19,20].

3. METAL KÖPÜK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Metalik köpük elde etmek için, iki yöntemle başvurulmuştur. Bunlardan birincisi ergitme yöntemi, ikincisi ise toz metalurjisi yöntemidir [21,22].

Ergitme yöntemi ile üç farklı modda köpük üretimi gerçekleştirilebilir. Ergiyik içerisine gaz nüfus etmekle, ergiyik içinde kabarcık oluşturacak köpürtücü ajan ve ergiyik içerisine önceden takviye edilmiş köpürtücü ajanların belirli ortamlarda köpük oluşturmasıyla yapılabilir [23].

Ergitme ve döküm yöntemi ile metalik köpük üretimi başlıca üç aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada köpürtülecek metal veya alaşım ergiyik hale getirilir. İkinci aşamada gözenekli yapı oluşturmak için gaz veya köpürtücü madde ilave edilir. Üçüncü aşamada soğutma işlemi yapılarak ergiyik metal katı hale getirilir [24].

Ergiyik metal içerisinde gaz kabarcıkları oluşturularak yapılan köpük üretiminde, sıvının yüksek kaldırma kuvvetinden dolayı yüzeye hızlı kabarma eğiliminde olan gaz kabarcıklarıyla metalik köpük şekli oluşmaktadır. Aşırı derecede yüksek viskozite, kabarcıkların düzeninin bastırılmasına neden olurken, aşırı derecede düşük viskozite kabarcıkların hızlı yüzdürülmesine sebep olur [25].

Bu yüzden köpürtme süresince ergiyik metalin viskozitesinin kontrolü çok önemlidir. Metalik köpük üretiminde köpürtücü madde olarak genellikle ZrH_2 veya TiH_2 kullanılır. Kalsiyum karbonat, kalsiyum hidrür, kalsiyum-magnezyum karbonat, kalsiyum sülfat, demir sülfat, kurşun karbonat, kurşun oksit ve sodyum nitrit gibi diğer alaşımlar ise bazı sıcaklık ve basınç şartları altında kullanılabilir. Köpürtücü maddenin, köpürüp köpürmeyeceği, arzu edilen yoğunlukta olup olmayacağı, köpürtücü maddenin ayrıştığı zaman serbest kalan gazın ayrışma oranına bağlıdır [6].

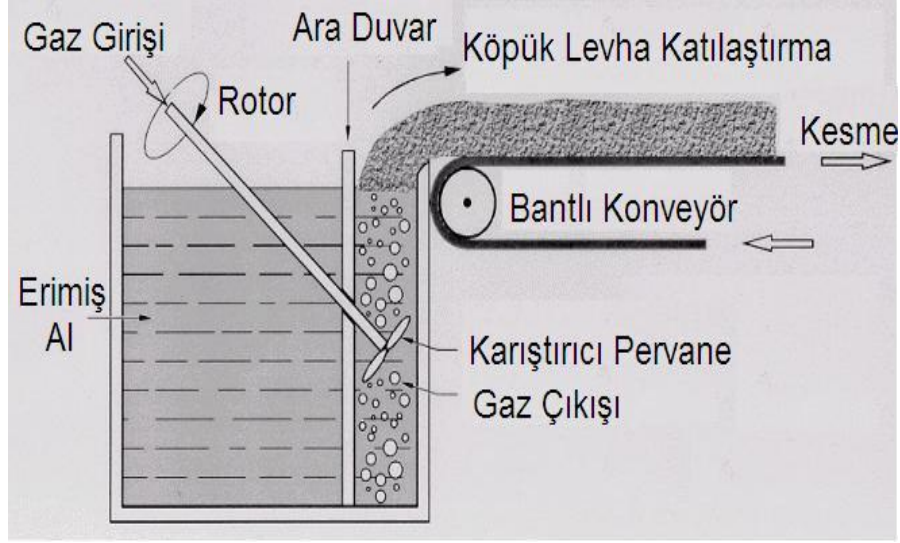
Köpürtücü madde, köpürtülecek esas metal içinde kolayca dağılabilecek şekilde partikül, granül veya toz şeklinde olabilir. Toz Metalurjisi (TM) ile metalik köpük üretim yöntemi, aktif kullanılan yöntemlerden biridir ve bu konuda gelişmiş üretim yöntemleri uygulanmaktadır. Bilinen bu metotla, basit köpük üretiminin yanı sıra panel köpük, küresel köpük, içi boş kalıp veya profil içerisinde köpürtme yapılabilir [26].

Bu çalışmalara ek olarak köpük malzemenin teknik özelliklerini artırmak amacıyla parçacık takviyeli köpük üretimi de yapılmaktadır. TM yönteminde metal tozları, köpürtücü madde (genelde TiH_2) ile karıştırılır ve preslenir. Köpürtme işlemi esnasında sıcaklığın artmasıyla yapı içerisindeki köpürtücü madde ayrışır ve gaz çıkışına neden olur.

Ayrışma TiH_2 'de yaklaşık $400^\circ C$ civarında görülür. Bu sıcaklık alüminyumun ergime derecesinin çok altındadır [27]. Ayrışma işlemi esnasında yüksek sıcaklıktaki metalde genişleme diğer bir değişle köpürme meydana gelir [28]. Bilindiği gibi ergiyik içerisinde seramik parçacıkların ilave edilmesi, köpüğün yüzey gerilmesini ve sıvı metalin viskozitesini değiştirmektedir. Dolayısıyla ergiyik haldeki köpüğün kararlılığının bu özelliklere bağlı olarak geliştirilebildiği bilinmektedir [29]. Bu nedenle Al esaslı malzemelerle ağırlıklı olarak SiC, Al_2O_3 ve çeşitli bor ihtiva eden parçacıklar ilave edilmektedir [30,31]. Bu yöntemlerin kombinasyonu mükemmel enerji sönümlenmesi sağlamaktadır [15,8].

3.1. Ergiyik Metal İçerisine Gaz Nüfus Edilmesi İle Metalik Köpük Üretimi

Bu işlemde ergiyiğin vizkositesini arttırmak için silisyum-karbür, alüminyum oksit veya magnezyum oksit partikülleri kullanılabilir. İlk adım bir metal matris kompozit yaparak (MMC) bu maddelerden birini içeren bir alüminyum ergiyiğin hazırlanmasından oluşmaktadır. Bu adım partiküllerin düzgün bir şekilde dağılımını sağlamak için, gelişmiş karıştırma tekniklerini gerektirir. Bu yöntemde alüminyum alaşımlarının çeşitleri kullanılabilir. İkinci adımda özel olarak tasarlanmış dönen çarklar veya titreşimli nozulların içerisine enjekte edilen gazlar (hava, azot, argon) tarafından ergiyik köpürtülür. Bunlar ergiyikte çok ince gaz kabarcıkları oluşturur ve onları düzenli bir şekilde dağıtır. Sonuçta, kabarcıkların viskoz karışımı ve metal ergiyik dışarı akan sıvı bir metal gibi oldukça kuru bir metal köpüğe dönüşen sıvının yüzeyinde yüzer. Seramik partiküller ergiyik içinde olduğundan, köpük nispeten kararludur ve sıvı yüzeyine çıkarılabilir (bantlı konveyör ile) ve daha sonra soğumasına ve katılaşmasına izin verilir [32].

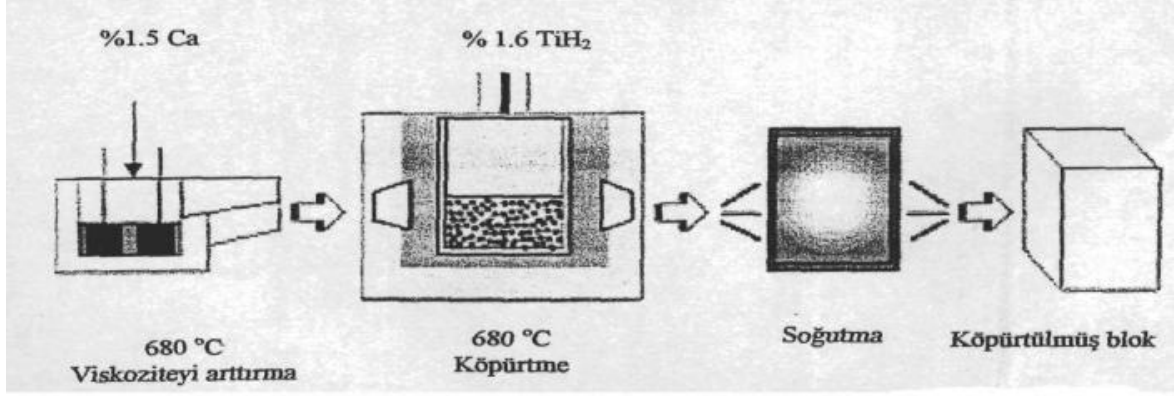


Şekil 3.1. Gaz Enjekte Edilerek Alüminyum Köpük Levha Üretimi

3.2. Ergiyik Metal İçerisine Köpürtücü Madde İlavesi İle Metalik Köpük Üretimi

Ergiyiği köpürtmenin ikinci bir yolu, ergiyiğe gaz enjekte etme yerine doğrudan bir köpürtücü madde ilave etmektir. Isı, bu köpürtücü maddelerin ayrışmasına ve gaz açığa çıkmasına sebep olur ve köpürme işlemi ilerler [32,33].

İlk adımda 680°C de alüminyum ergiyiğe yaklaşık % 1,5 oranında kalsiyum metali ilave edilir. Ergiyik birkaç dakika karıştırılır. Kalsiyumun oluşturduğu CaO_2 , CaAl_2O_4 , Al_2Ca intermetalikler viskozitenin sürekli olarak kararlı olmasına neden olur ve viskoziteyi artırır. Viskozite istenilen değere ulaştıktan sonra sıcak viskozlu sıvıda hidrojen gazı açığa çıkaran köpürtücü madde olan titanyum hidrür (TiH_2) ilave edilir. Ergiyik yavaş yavaş genişlemeye başlar ve azar azar köpürme kabını doldurur. Köpürme sabit basınç altında gerçekleşir. Kap alaşımın erime noktasının altına soğuduktan sonra, sıvı köpük katı alüminyum köpüğe dönüşür ve ayrıca işlenmek için kalıp dışına alınır [32].



Şekil 3.2. Ergiyik Metal İçerisine Köpürtücü Madde İlavesi İle Köpürtme

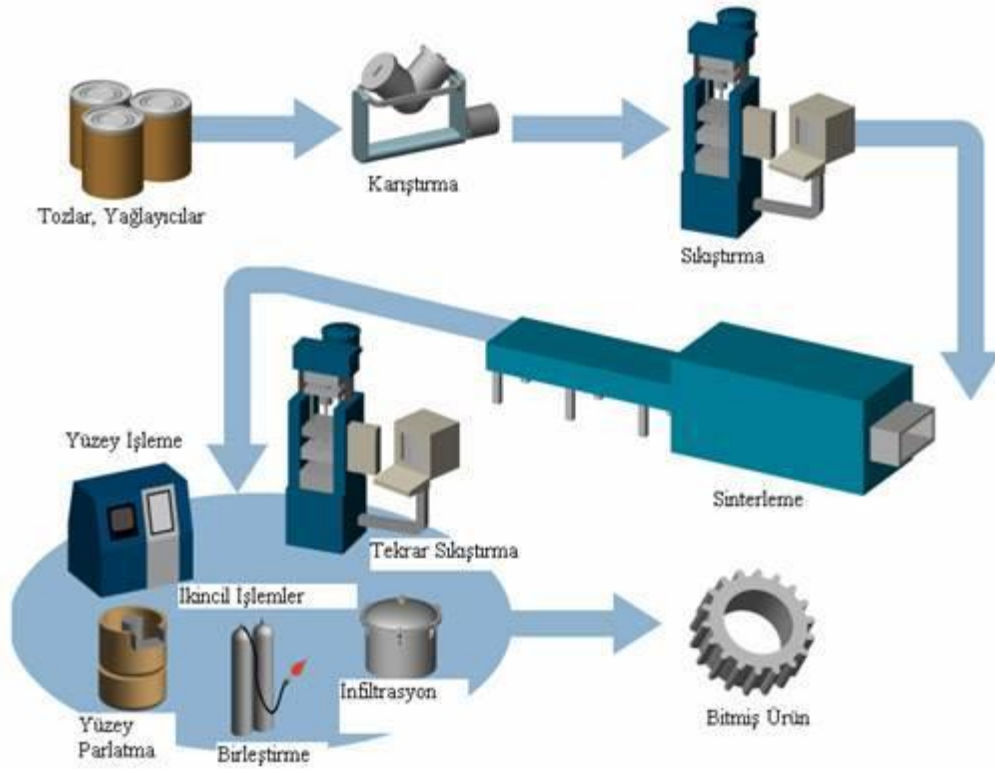
3.3. Katı-Gaz Ötektik Katılaşma

Bu yöntem son 10 yılda gelişmiş olup, halen üzerinde çalışılmaktadır. Bazı sıvı metaller H_2 gazı ile ötektik bir sistem oluşturur eğer bu metallere biri yüksek basınç altında (50 atm' ye kadar) bir hidrojen atmosferinde eritilmişse, sonuç hidrojen ile yüklü homojen bir ergiyiktir. Eğer sıcaklık düşürülürse sonunda ergiyik heterojen çift fazlı (katı-gaz) bir sisteme ötektik bir geçiş sağlar. Sistemin yapısı ötektik bileşime yakın ise belli bir sıcaklıkta segregasyon reaksiyonu meydana gelecektir. Ergiyik katılaştıkça gaz gözenekleri çökeler ve metalde yakalanır. Sonuç olarak, gözenek morfolojileri büyük ölçüde hidrojen içeriği ile ergiyiğin üzerindeki basınç, yön ve hareket eden ısının oranı ile ve ergiyiğin kimyasal bileşimi ile belirlenir [32].

3.4. Toz Metalurjisi ile Köpürtme

Toz metalurjisi metal veya seramik tozlarının üretimi ve bu tozların mekanik ve termik etkilerle birleştirilerek parça haline getirilme işlemidir. Toz metalurjisi yöntemiyle parça üretimi günümüzde çok yaygın olarak kullanılmakta olup, giderek bilinen klasik üretim yöntemlerine alternatif olmaktadır. Tasarım mühendislerinin en çok önem verdikleri konuların başında, hafif ve yüksek dayanımlı malzemelerden konstrüksiyon elemanlarının üretilmesi ve imalat sanayine uygulanabilirliği gelmektedir. Son yıllarda bu amaçla, metalik köpükler üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Metalik Köpüklerin iç

yapısının köpük (gözenek) şeklinde olması, bu tür malzemelere; mukavemetle birlikte hafiflik ve darbelere dayanım özelliği kazandırmaktadır. Gözenekler ayrıca, ısıl yalıtım ve titreşim azaltma gibi özellikleri iyileştirmektedir. Bu gün için birçok metalden, metalik köpük üretimi yapılmaktadır. Metalik köpükler sünger gibi gözenekli yapıya sahiptir. Gözenekli yapı özel yöntemler ile elde edilmektedir. Metalik köpüklerden beklenen diğer özellikler; kolay işlenebilir olması, kaynak edilebilmesi, ucuz maliyet ve korozyona dayanımlı olmasıdır. Gözeneklerin boyutları da mekanik özelliklere etki etmektedir. Metalik köpük malzemelerin üretimleri; ergitilmiş kütleyle sürekli olarak gaz enjekte etme, ergitilmiş kütle içine kabarcık oluşturacak maddelerin ilave edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Toz metalurjisi ile de metalik köpükler üretilmektedir. Metalik köpük malzemelerin kullanım alanları sırasıyla, otomotiv, inşaat, gemcilik, havacılık, demiryolu taşımacılığı, asansörler, zırh yapımı ve biyomalzemelerdir.



Şekil 3.3. Toz Metalurjisi Tekniği İle Parça Üretim Aşamaları

Köpük metaller metal tozlarından da hazırlanabilir [34 - 36]. Üretim süreci bir köpürtücü madde ile metal tozlarını (temel metal tozları, alaşım tozları veya metal toz karışımları) karıştırma ile başlar. Böylece işlem yarı tamamlanmış işlem olur. Kompaktlama herhangi bir teknik kullanılarak elde edilebilir. Kompaktlama esnasında köpük yapıcı etken maddenin önemli ölçüde matrise gömülmesine dikkat edilmelidir. Böyle kompaktlama metodu örnekleri tek eksenli veya izostatik sıkıştırma, çubuk ekstrüzyon veya toz haddeleme olabilir [34].

Üretimin ilk aşamasında çok dikkat edilmelidir çünkü artık gözeneklilik ve diğer kusurlar ileriki işlemlerde kötü sonuçlara yol açacaktır. Bir sonraki adım, matris malzemenin ergime noktasına yakın sıcaklıklarda ısıl işlemidir. Yoğun metal matris içinde homojen bir şekilde dağıtılan köpürtücü madde ayrışır ve oldukça gözenekli bir yapı oluşturmak için mevcut malzemede eriyerek gaz kuvvetlerini serbest bırakır. Tam genişleme için gerekli zaman; sıcaklık ve mevcut malzemenin büyüklüğüne bağlıdır ve birkaç saniyeden birkaç dakikaya kadar değişebilir. Yöntem, alüminyum ve alaşımları ile sınırlı değildir; kalay, çinko, pirinç, kurşun, altın ve diğer bazı metaller ve alaşımlar da uygun köpürtücü maddeler ve işlem parametreleri ile köpürtülebilir [34].

4.PERLİT

Perlit; petrografide soğumaya bağlı olarak meydana gelen uzamanın, gözle veya mikroskopla görülebilecek konsantrik yapı ya da kırılmasının meydana getirdiği özel bir volkanik camsı kayaç türünü ifade eder. Perlit aynı zamanda, doğal olarak oluşan silis esaslı volkanik kayaçlara verilen addır. Perlit, “Perlstein” kelimesinden türemiş olup (Perl=inci Perlstein=İnci taşı) çok sayıda konsantrik yarıkları olan hiyaloliparit ve fetiyaloritler (Camsı kayaçlar) gibi tanımlanır. Perlit tanımı, mağmanın asit fazında oluşan lavların soğuyup gözle ve mikroskopla görülebilecek bir yapıda kırılmasının meydana getirdiği kütle bünyesinde su damlacıkları bulunan volkanik bir cam türünü ifade eder. Bazı perlit türleri kırıldığı zaman inci parlaklığında küçük küreler elde edildiğinden perlit ismi inci anlamına gelen “perle” kelimesinden türetilmiştir.

Ticari kullanımda ise perlit elverişli bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında genişleyen ve gözenekli bir hale gelen volkanik doğuşumlu ve doğal olarak oluşan asitik bir camdır. Perlit belirli tane iriliğinde özel formlarda 900 - 1100°C arasında ısıtıldığında hacmini yaklaşık 20 kat genişletmekte ve mısır gibi patlayarak yoğunluğu çok hafif bir hale gelmektedir. Gözeneklilik, perlit taneciklerindeki boşluk hacmini toplam tanecik hacmine oranının ortalaması olarak tanımlanır. Gözeneklilik perlite emicilik ve yüzeyde soğuma özellikleri kazandırmakta ve bu nedenle bu özelliğin gerekli olduğu uygulama alanlarında önem taşımaktadır. Su kirliliğini giderme çalışmaları ve ısı yalıtıcılığı aranan durumlarda su emicilik istenmemektedir. Bunun nedeni gözeneklere dolan suyun ısı iletkenliğini arttırması olmaktadır. Bu durumda silikon veya bir maddeyle gözenekler pasifleştirilerek perlit hidrofobize edilmektedir.

Perlit'in kırılmış olan parçaları inci parlaklığındadır. Bunun için inci gibi cilası olan, soğan kabuğu şeklinde konsantrik yapılı, bir camsı kayaç olarak tarif edilir. Ticari anlamda ise perlit, elverişli bir sıcaklığa birden bire getirildiği zaman genişleyen volkanik menşeyli ve doğal olarak zuhur ederi asidik bir camdır. Yani perlitin halen ticarete kullanılış şekli, erime derecesine kadar ısıtıldığı veya alev temasına kısa biran bırakıldığı zaman 20 kat hacmi büyüyen tabii herhangi bir volkanik camsı kayacın ürününe denilir. Perlit ismi kayaca verildiği gibi gerileştirilmiş ürüne de ticari olarak verilmektedir. Diğer volkanik camlardan farklı olmasının sebebi bünyesinde yüksek miktarda su ihtiva etmesidir. Obsidiyen vitrofir ve pekstayn gibi diğer volkanik camsı kayaçlar perlitten

oluşum itibarı ile farklıdır. Obsidiyen doğrudan doğruya ana magmadan teşekkül eder. Perlit ise magmatik suyun emilmesinden sonra meydana gelir.

Perlit iyi bir izolasyon maddesidir. Perlit radyoaktif içermeyen bir madendir. Perlit anorganik bir maddedir. Bu özelliği ile yüksek ısıda özelliğini kaybetmez, yangının yayılmasını önler. Perlit bünyesinde bol miktarda hava boşluğu bulundurmaktadır. Bu özelliği ile etkin bir ısı yalıtım, izolasyon malzemesidir. Darbeli ve yüksek frekanslı sesleri yalıtır. Perlitin kimyasal yapısı kararlıdır. Nötr bir malzemedir. Suda erimez, çürümez, kimyasal reaksiyona girmez. Bu özelliği ile tarımda aktif rol oynamaktadır.

Özellikle inşaat sektörü alanında önemli bir işleve sahip olan perlit, yapı malzemesi olarak kullanılan bir maddedir. İçeriğinde %74 civarında SiO₂, %15 civarı bir oranda da Al₂O₃ bulunur. Volkanik karakterli bir maddedir. Özellikle çok hafif olması en önemli özelliğidir. Yapı malzemesi olarak kendine alternatif olan madde ve karışımlara oranla %50 oranında daha hafiftir. Üstelik dayanıklılık bakımından da alternatif ürünlere göre 7 kat daha dayanıklıdır. Bu dayanıklılığın ölçütü, özellikle donma ve çözünmeye karşı dayanıklılık noktasındadır. Özellikle karasal iklim koşullarına sahip bölgelerde, bu yüzden önemi artmaktadır. Taşıdığı özellikler bakımından çok iyi bir yalıtım malzemesidir. İzolasyon malzemesi olarak kriter edinilen özellikleri içermektedir. Atmosferin getirdiği olumsuz koşullardan etkilenmez, çatlamaz, ısı ve ses yalıtımında ihtiyacı karşılar. Bina ağırlığına ekstra yük bindirmez ve zamanla daha çok sertleşir. Fiziksel mukavemetin yanı sıra kimyasal dayanıklılıkta da üst düzey özelliklere sahiptir. Asit, baz gibi kimyasal etkenlere direnci yanında küf, yosun gibi maddelerin gelişmesine engel olur. Bu bakımdan nemli bölgelerde de önemli bir yapı malzemesi özelliği kazanır. Perlitten tuğla, kiremit, beton, duvar ve yer kaplama malzemeleri üretilir. Isı yalıtımında %40 enerji tasarrufu sağlar ve 1000°C' ye kadar sıcaklığa dayanıklılığı vardır. Yangın riski yüksek olan bölgelerde bu yüzden kurtarıcı ve hayati bir özelliğe sahiptir. Perlit taneli bir özelliğe sahiptir. Normal, kaba ve ince perlit adıyla satışa sunulur. Doğal bir yapı malzemesidir ve ülkemizde Nevşehir, Kayseri, Ankara, Doğu Anadolu ve Ege Bölgesinde çıkarılır. Doğal bir ürün olduğu için bölgeden bölgeye kalitesinde çok büyük farklılıklar göstermez.

Perlitin özgül ağırlığı 2,2 - 2,4 gr/cm³'tür. Isıtıldığında, cinslerine göre, 840°C ile 1100°C arasında yumuşar; 1315°C ile 1332°C arasında erir. Ticari alandaki kullanımında ise perlit, elverişli bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında genişleyen ve gözenekli bir hale gelen volkanik kaynaklı ve doğal olarak oluşan asidik bir camdır. Perlit belirli tane iriliğinde

özel şartlarda 900°C ile 1150°C arasında ısıtıldığında hacminin yaklaşık 4 - 24 katı genişmekte ve mısır gibi patlayarak, çok hafif yoğunluğu olan bir yapıya dönüşmektedir.

Tüvanan perlitin bir metreküpü, ısıtılmadan önce, 2.200 – 2.400 kg' dır. Kırılarak tasnif edilmiş perlitin yoğunluğu ise 1100 – 1200 kg olmaktadır. Ani ısıtılınca hacmi en az 4 en çok 24 kat arttığına göre, bu halde iken 50 – 300 kg/m³ tür. Böylece elde edilen büyük hacimli ve hafif kütle, asitlere ve diğer güçlere karşıda dayanıklı olunca, inşaat sektörü için vazgeçilemeyecek bir hammadde kaynağı haline gelmiştir. Bünyesinde kararlılığını sağlayan ve onun endüstriyel alanda kullanımında en önemli özelliği olan % 2 - 6 oranında bağlı su bulduran ve camsı bir kayaç olan perlitin belirli sıcaklıklar arasında ısıtılarak, hacminin büyümesi sonucunda elde edilen düşük yoğunluktaki malzemeye genişmiş perlit denilmektedir. Perlit çoğunlukla açık gri renklidir. Bazen siyaha kadar koyulaştığı gibi, açık yeşil ve kahverengi de olur. Ama renk ne olursa olsun, genişleyen perlit beyaz renge dönüşür.

Perlit, doğada çok ince boşlukları haiz süngerimsi yapıda ve iç içe soğan zarlı bir bünyede bulunur, bazen de granül haldedir ve suyu her zaman yüksek nispette içermez. Fazla su içerenler büyük hacim artışı vererek kolay geniştikleri için iyi perlit diye nitelendirilir. Bunlara aktif perlit denir. Suyu az içerenler ise iyi cins sayılmayıp, pasif perlit veya yüksek ısı perlit diye adlandırılırlar. Bir perlit formasyonunun cinsini anlamak için, ondan alınan ufak bir numunenin sıcaklık altında teste tabi tutulması gerekir. Şayet numune bir aktif perlit türü ise, düşük sıcaklıkta bile kolayca ve fazla oranda genişme gösterir. Pasif perlit ise bu sıcaklıktan hiç etkilenmez. Etkin suyun, perlitin içerdiği en önemli su olduğu bilinmektedir. Perlitteki oranının bulunması için, numune önce 370°C dolayında ısıtılarak içindeki serbest suyun gitmesi sağlanır. Soğuyan ve sabit konumunu kazanan numunenin bu defa 1100°C kadar ısıtılarak kızdırma kaybı ölçülür. Bu kayıp, kaybolan molekül suyun, yani etkin suyun miktarıdır.

Genleşmiş perlit; başlıca inşaat, filtre, yalıtım, tekstil yıkama, dolgu malzemesi, döküm, petrol endüstrileri ile tarım sektörü, deniz kirliliğinin önlenmesi çalışmaları ve temizleyici olarak kullanılmaktadır.

Genleştirilmiş perlit, çeşitli alanlarında kullanımına imkân sağlayan şu özelliklere sahiptir:

1. Gözeneklilik

Gözeneklilik, perlit taneciklerinde boşluk hacminin toplam tanecik hacmine oranının ortalaması olarak tanımlanır. Gözeneklilik perlite emicilik ve yüzeyde soğurma özellikleri kazandırmakta ve bu nedenle bu özelliklerin gerekli olduğu uygulama alanlarında önemli olmaktadır. Su kirliliğini giderme çalışmaları ve ısı yalıtıcılığı aranan durumlarda su emiciliği istenmemektedir. Bunun nedeni, gözeneklere dolan suyun ısı iletkenliğini artırması olmaktadır. Bu durumda silikon veya bir maddeyle gözenekler pasifleştirilip perlit hidrofobik hale getirilmektedir. Perlitin gözenekli yapısı, süzme yardımcı maddesi olmak üzere, tarım kimyasal maddeleri için (Tarım savaş ilaçları, temizleyiciler) taşıyıcı olarak kullanılmasını sağlamaktadır.

2. Hafiflik

Bu özellik perlitin gözenekli bir yapıya sahip olmasının sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Tane büyüklüğü dağılımına ve genişleme oranına bağlı olarak genişleştirilmiş perlitin birim hacim ağırlıkları oldukça farklı değerlerde olabilmektedir. Hafiflik, özellikle prefabrik yapı malzemesi üretiminde ve çeşitli dolgu maddeleri kullanımında perlit uygulamasını özendirici önemli bir nitelik olarak bilinmektedir.

3. Isı ve Ses Yalıtıcılık

Isı ve ses yalıtıcılık özelliği, hafiflik özelliği gibi gözenekli bir yapının sonucu olarak beliren bir özelliktir. Cam yününün $0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, ısı yalıtıcılığına sahip olduğunu söylemek perlitin yalıtıcılıktaki mükemmelliğini belirlemeye yardımcı olacaktır. Bu özelliğinden dolayı perlit, çimento ve alçı gibi bağlayıcılarla sıva, yalıtım betonu yapımında kullanılmakta ve ucuzluk, yanmazlık, bakteriyel etkilere sonsuz direnci özelliklerinden dolayı, diğer yalıtıcı malzemeler karşısında vazgeçilmez avantajlara sahip bulunmaktadır. Ses konusunda da perlit ve perlit ürünlerinin önemli avantajları vardır. 5 cm kalınlığındaki bir perlit gevşek dolgusu 13 dB düzeyinde ses yalıtımı sağlar. Bu değer aynı kalınlıktaki cam yünü için 12 dB, strafor için 13 dB'dir. Görüldüğü gibi perlit, ses geçirgenliğini önlemede, dolgusu alışılmış diğer malzemelere göre eşit performans vermenin dışında ucuzluk, dayanıklılık gibi özellikleriyle de üstünlük sağlayacak düzeydedir. Ayrıca büyük salonların perlitli sıvayla sıvanması duvarların ses

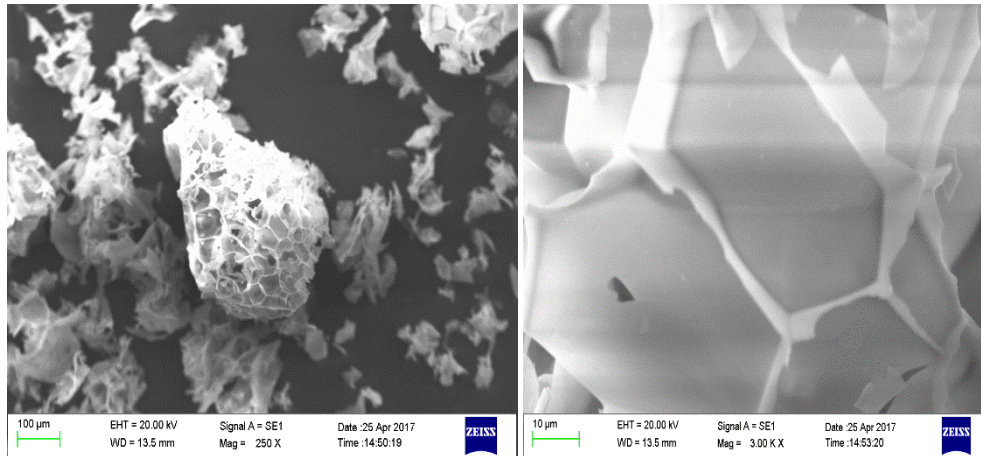
özelliğini artırmakta, çınlamayı ve yankılanmayı ortadan kaldırarak akustik özelliklere önemli katkıda bulunmaktadır.

4. Kimyasal Pasiflik

Perlit kararlı kimyasal yapısı nedeniyle, kimyasal reaksiyonlara girmeyen ve suda çözünmeyen bir maddedir. Bu özelliğinden dolayı perlit çeşitli kimyasal maddelerle birlikte onları etkilemeden kullanılabilen, ayrıca fiziksel özellikleriyle de katkıda bulunmaktadır. Perlit yalnız derişik hidroklorik asitte çözünmektedir. Bu çerçevede perlit dolgu maddesi, kimyasal madde taşıyıcısı, süzme yardımcı malzemesi, yalıtım maddesi olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

5. Yanmazlık

Anorganik bir yapıya sahip olan perlit, özellikle hafiflik ve yalıtıcılıkta kendisine rekabet edebilecek organik kökenli yapay malzemelere oranla yanmazlık üstünlüğüne sahiptir. Yanmazlık özelliği yanında, yüksek ısılarda uzun süre bozulmadan dayanabilme ve ısı yalıtıcılık özellikleri bulunduğundan, yangından zarar görmesi istenmeyen önemli yapı elemanlarının korunmasında kullanılır. Uygun detayda düzenlenen koruyucu Perlit katmanları 700°C ile 900°C arasındaki yangın sıcaklığında 4 saate kadar, taşıyıcı çelik elemanları koruyabilmektedir. Yanmazlık ve ısı yalıtım özelliğinden dolayı, metalürji alanında da kullanılmaktadır.



Şekil 4.1. Perlite Ait SEM Görüntüleri

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada geliştirilmiş perlit takviyeli farklı matrislerle metal köpük üretimi amaçlanmış ve üretilen numunelerin karakterizasyonları incelenerek köpük oluşumuna etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, numunelerin hazırlanması, mekanik testler, yoğunluk ölçümleri, SEM ile mikro yapı analizleri, ısı iletim katsayısı analizleri ve diğer çalışmalar detaylı olarak bu bölümde açıklanmıştır.

5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Deneyde kullanılan farklı boyutlarda geliştirilmiş perlit, Al, Al6061, TiH₂, Çinko Stearat Yağlayıcı Nanografi Nano Teknoloji Bilişim İmalat ve Danışmanlık LTD. ŞTİ. firmasından temin edilmiştir. Al ve Al6061 malzemeleri %99 saflıkta ve 150 mikron boyutundadır. Köpürtücü ajan olan TiH₂ Tozu yine %99 saflıkta olup 50 mikron boyutundadır. Çalışmalarda kullanılan geliştirilmiş perlit üç farklı boyuttadır. Perlite ait kimyasal bileşimler Tablo 5.1. 'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Geliştirilmiş Perlitin Kimyasal Bileşenleri

	Genleştirilmiş Perlit (1 mm)	Genleştirilmiş Perlit (3 mm)	Genleştirilmiş Perlit (5 mm)
SiO₂	% 74	% 74,5	% 74,5
Al₂O₃	% 14,33	% 14,33	% 14,33
K₂O	% 4,95	% 4,45	% 4,45
MgO	% 0,28	% 0,28	% 0,28
CaO	% 0,5	% 0,5	% 0,5
Fe₂O₃	% 0,97	% 0,97	% 0,97
Na₂O₃	% 2,9	% 2,7	% 2,8
TiO₂	% 0,12	% 0,9	% 0,11
MnO₂	% 0,07	% 0,06	% 0,06
SO₃	% 0,03	% 0,03	% 0,03
FeO	eser miktar	eser miktar	eser miktar
Cr	eser miktar	eser miktar	eser miktar

Tablo 5.2. Kullanılan Tozların Özellikleri

Malzeme	Boyut (mikron- μm)	Saflık (%)
Genleştirilmiş perlit	1 mm	99
Genleştirilmiş perlit	3 mm	99
Genleştirilmiş perlit	5 mm	99
Al Tozu	150 μm (mikron)	99
Al6061Tozu	150 μm (mikron)	99
TiH ₂	50 μm (mikron)	99
Çinko Stearat Yağlayıcı	-	-

Matris olarak Al ve Al6061, takviye olarak genleştirilmiş Perlit %1, %3, %5 oranında, 1 - 3 - 5 mm boyutlarında, köpürtücü ajan olarak ise TiH₂ kullanılarak metalik kompozit köpük üretilmiştir. Üretilen numunelerin içerikleri ile kodlamaları Tablo 5.3.'de verilmiştir. Elde edilen numunelerin karakterizasyonunu belirlemek için Yoğunluk, Basma Testi, Isı İletim Katsayısı ve SEM analizleri yapılmıştır.

5.2.Tozların Karıştırılması

Deneysel çalışmada Al tozuna %1,5 oranında TiH₂ tozu, farklı oranlarda ve farklı miktarlarda genleştirilmiş perlit ilave edilerek 30 dakika süreyle mekanik olarak karıştırılmıştır. Aynı işlem Al6061 tozuna %1,5 oranında TiH₂ tozu, farklı oranlarda ve farklı miktarlarda genleştirilmiş Perlit ilave edilerek 30 dakika süreyle mekanik olarak karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi homojen karışım elde edilinceye kadar sürdürülmüştür.

Tablo 5.3. Kullanılan Matris ve Takviyelere Göre Hazırlanmış Numuneler ve Kodları.

Al MATRİS	Genleştirilmiş Perlit (A) 1 mm	Genleştirilmiş Perlit (B) 3 mm	Genleştirilmiş Perlit (C) 5 mm		
A	Al + TiH ₂ (% 1,5)				
A1	Al + % 1 perlit	B1	Al + % 1 perlit	C1	Al + % 1 perlit
A2	Al + % 3 perlit	B2	Al + % 3 perlit	C2	Al + % 3 perlit
A3	Al + % 5 perlit	B3	Al + % 5 perlit	C3	Al + % 5 perlit
A4	Al + TiH ₂ +% 1 perlit	B4	Al + TiH ₂ +% 1 perlit	C4	Al + TiH ₂ +% 1 perlit
A5	Al + TiH ₂ +% 3 perlit	B5	Al + TiH ₂ +% 3 perlit	C5	Al + TiH ₂ +% 3 perlit
A6	Al + TiH ₂ +% 5 perlit	B6	Al + TiH ₂ +% 5 perlit	C6	Al + TiH ₂ +% 5 perlit
Al6061 MATRİS(B)	Al6061 + TiH ₂ (% 1,5)				
A7	Al6061 + % 1 perlit	B7	Al6061 + % 1 perlit	C7	Al6061 + % 1 perlit
A8	Al6061 + % 3 perlit	B8	Al6061 + % 3 perlit	C8	Al6061 + % 3 perlit
A9	Al6061 + % 5 perlit	B9	Al6061 + % 5 perlit	C9	Al6061 + % 5 perlit
A10	Al6061 + TiH ₂ +% 1 perlit	B10	Al6061 + TiH ₂ +% 1 perlit	C10	Al6061 + TiH ₂ +% 1 perlit
A11	Al6061 + TiH ₂ +% 3 perlit	B11	Al6061 + TiH ₂ +% 3 perlit	C11	Al6061 + TiH ₂ +% 3 perlit
A12	Al6061 + TiH ₂ +% 5 perlit	B12	Al6061 + TiH ₂ +% 5 perlit	C12	Al6061 + TiH ₂ +% 5 perlit

5.3. Karıştırılan Tozların Preslenmesi İşlemi

Hazırlanan toz karışımları presleme işlemi Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında 300 bar presleme kapasitesine sahip hidrolik preste gerçekleştirilmiştir. Karışım tozları, karıştırıcıdan kalıba aktarılmadan önce kullanılan kalıplar çinko stearat ile yağlanmıştır.



Şekil 5.1. Numunelerin Hazırlanmasında Kullanılan Hidrolik Pres



Şekil 5.2. Numunelerin Hazırlanmasında Kullanılan Kalıplar

5.4. Presleme Sonrası Elde Edilen Numuneler

Homojen karışım sağlandıktan sonra tozlar presleme işleminden, ısıl işlem aşamaları için hazır hale getirilir.



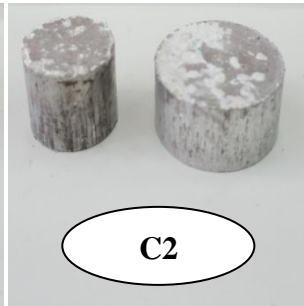
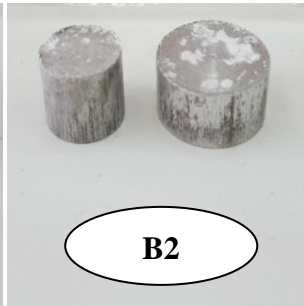
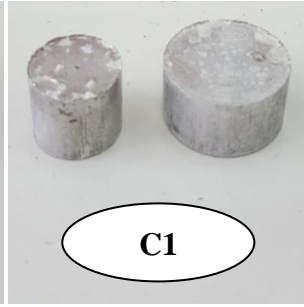
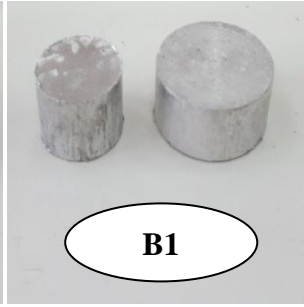
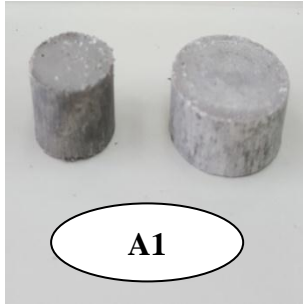
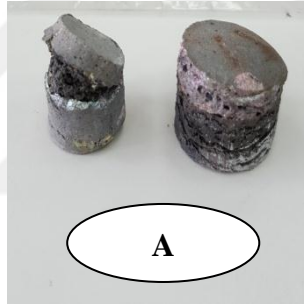
Şekil 5.3. Presleme Sonrası Elde Edilen Numuneler

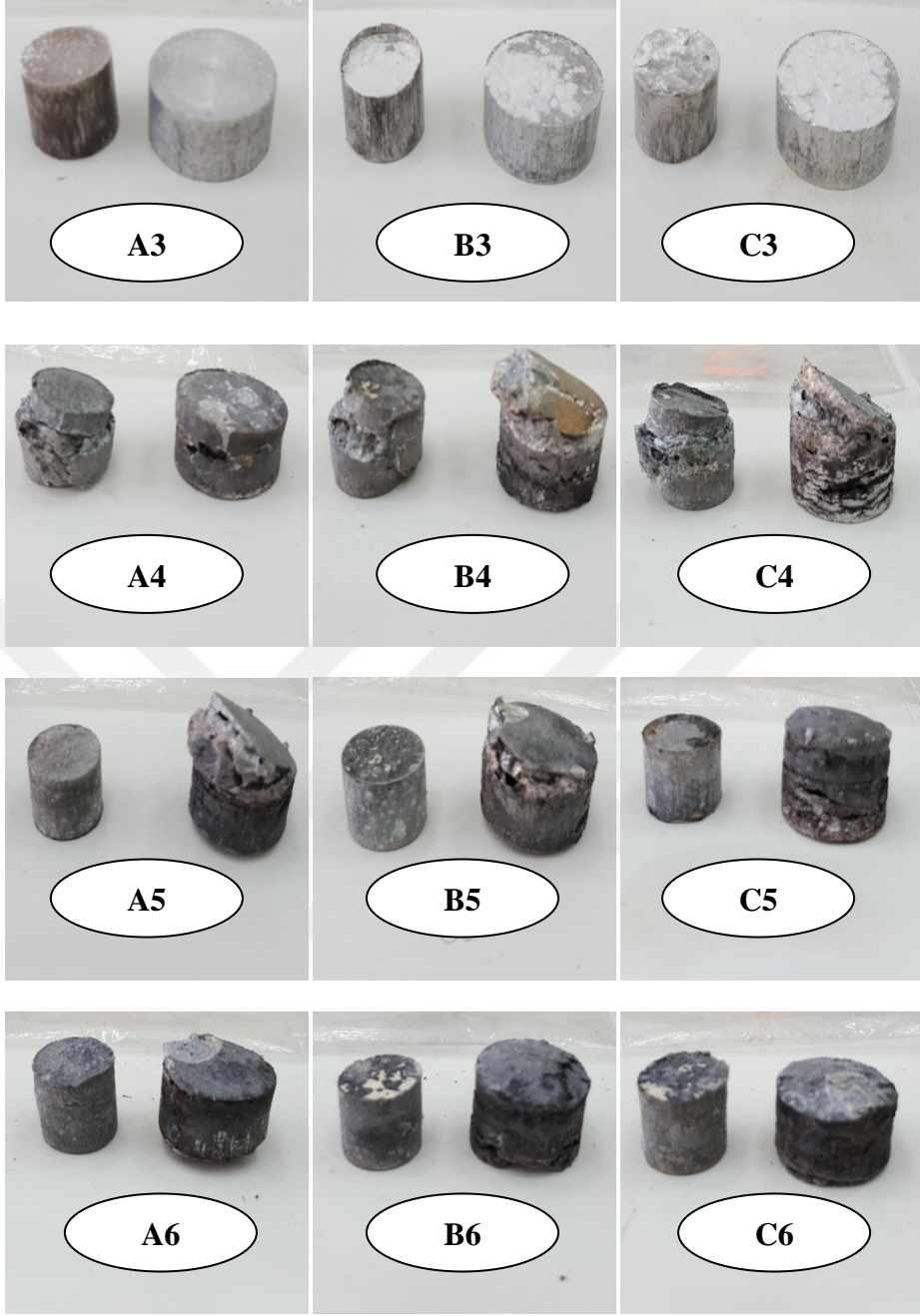
5.5. Numunelerin Köpürtülmesi ve Uygulanan Isıl İşlemler

Hazırlanan numuneler 850 - 900°C sıcaklıkta 15 - 30 dakika köpürtme ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra numuneler fırın ortamında soğumaya bırakılmışlardır. Soğutulan numunelere daha sonra 550°C sıcaklıkta 3 saat boyunca sinterleme işlemi uygulanmıştır. En iyi köpürtme kriterlerini belirlemek için birçok şart denenmiştir. Numunelere köpürtme işlemi için fırın içerisinde açık olarak ve fırın içerisinde kapalı kalıp ortamında köpürtme işlemi uygulanmış ve kapalı ortamda yapılan deneylerde daha iyi köpürme elde edilmiştir. Numuneler genelde alt yüzeyden üst bölgeye doğru köpürmüştür. Kalıp içerisinde köpürtmenin diğer bir avantajı ise homojen dağılım sağlamasıdır.

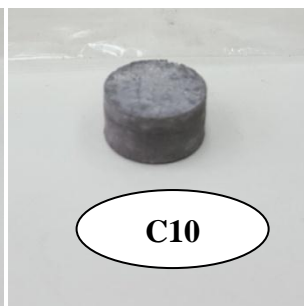
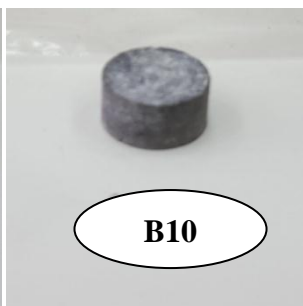
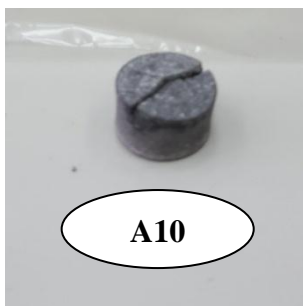
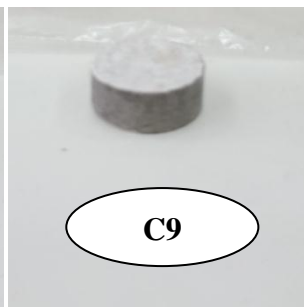
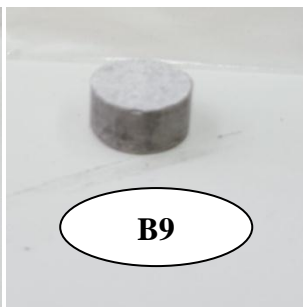
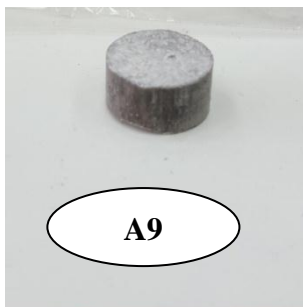
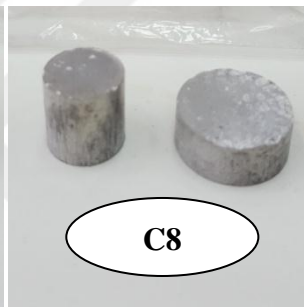
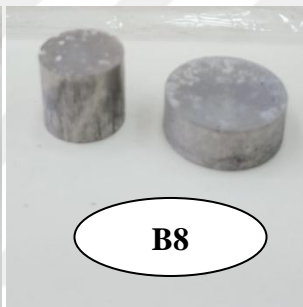
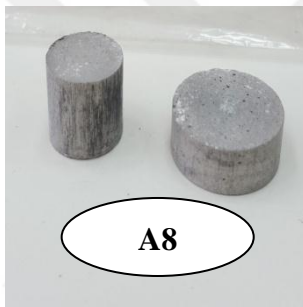
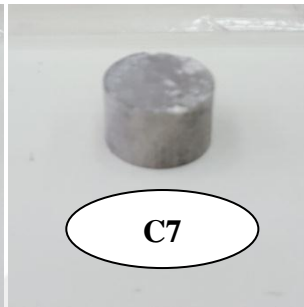
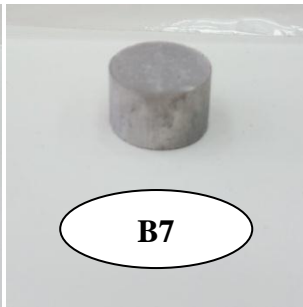
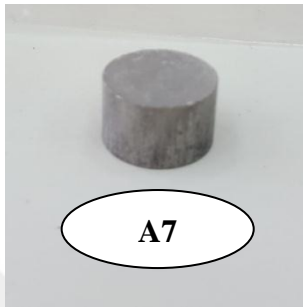
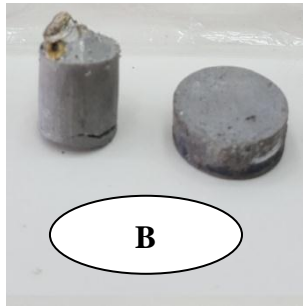


Şekil 5.4. Numunelerin Köpürtülmesi ve Sinterlenmesinde Kullanılan Yüksek Sıcaklık Fırını





Şekil 5.5. Al Matris Numuneler





Şekil 5.6. Al6061 Matris Numuneler

5.6. Özgül Ağırlıkların Tespit Edilmesi

Yoğunluk hesabı sinterleme sonrası ölçülen değerlere göre hesaplanmıştır. Hassas terazide numunelerin ağırlıkları tartılmıştır. Numunelerin sudan etkilenmemesi için her biri ayrı ayrı streçlenmiştir. Yoğunluk hesabı Arşimet prensibine göre hesaplanmıştır.

Yoğunluk değerleri Tablo 5.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Numunelerin Yoğunluk Değerleri

Al Matris	m (gr)	m (gr) Strçli	V (cm³)	d (gr/cm³)	Al 6061 Matris	m (gr)	m (gr) Strçli	V (cm³)	d (gr/cm³)
A	5,250	5,346	1,591	3,360	Al6061 (B)	5,336	5,531	1,591	3,476
A1	4,999	5,071	1,549	3,279	A7	3,879	4,030	1,326	3,039
B1	5,081	5,182	1,591	3,257	B7	3,817	3,998	1,591	2,512
C1	4,941	5,050	1,591	3,174	C7	3,743	3,918	1,644	2,383
A2	5,275	5,397	1,591	3,392	A8	5,060	5,217	1,061	4,917
B2	4,950	5,066	2,122	2,387	B8	4,859	5,018	1,591	3,513
C2	5,118	5,292	2,122	2,493	C8	4,964	5,152	1,697	3,035
A3	4,947	5,070	1,591	3,168	A9	2,361	2,516	1,061	2,371
B3	4,936	5,074	1,857	2,732	B9	2,603	2,696	1,114	2,420
C3	5,079	5,242	1,857	2,822	C9	2,286	2,473	1,326	1,865
A4	4,819	4,950	2,175	2,275	A10	3,126	3,313	1,114	2,973
B4	5,116	5,294	2,387	2,217	B10	3,013	3,176	1,167	2,721
C4	5,079	5,304	2,440	2,206	C10	2,972	3,129	1,326	2,359
A5	5,072	5,247	1,697	3,091	A11	5,219	5,364	1,591	2,371
B5	5,051	5,209	1,750	2,976	B11	5,387	5,535	1,857	2,980
C5	5,164	5,316	1,644	3,233	C11	5,047	5,187	1,591	3,260
A6	5,182	5,357	1,591	3,367	A12	3,489	3,648	1,326	2,751
B6	5,081	5,296	1,857	2,851	B12	3,498	3,651	1,379	2,647
C6	5,287	5,425	2,122	2,556	C12	3,833	3,990	1,591	2,507

5.7. Mikro Yapı Analizleri

Matris olarak kullanılan Al numunelerden 19 adet ve diğer matris olan Al6061 numunelerden de 19 adet olmak üzere seçilen numunelerin SEM analizi yapılmıştır. Mikro yapı analizleri Şekil 5.7. 'de gösterilmiş olan, ZEISS marka EVA/ MA10 model taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca mikro yapı analizi yapılan her numunenin EDX analizleri de yapılmıştır.



Şekil 5.7. SEM ve EDX Analizlerinin Yapıldığı Taramalı Elektron Mikroskobu

Metal Köpük retim sürecinde yapılan denemelerde köpük içyapısını görmek, köpük yapıyı ve hücre duvarlarını bozmadan test numunesi hazırlamak için alınan hassas kesme cihazı köpük duvar yapısına zarar vermeden çok iyi bir yüzey kalitesi ile işlem yapmaktadır. Ayrıca kompozit malzeme ve kompozit köpük kesme işlemleri de yapılabilen cihazın görüntüleri Şekil 5.8.'de verilmiştir.



Şekil 5.8. Numune Kesme Cihazı

5.8. Basma Testi ve Değerler

Basma testi Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarındaki SHIMADZU marka basma test cihazıyla yapılmıştır. Cihaz özellikleri 50 kN kapasiteli olup dakikada basma hızı 2mm'dir. Numunelere uygulanan basma kriteri %70 deformasyon sağlanıncaya kadar devam etmektedir.



Şekil 5.9. Basma Cihazı

5.9. Isıl İletim Katsayısı Ölçümü ve Değerler

Isıl iletim katsayısı ölçümü değerleri Kırıkkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Merkezi Laboratuvarındaki FlashLine marka cihaz yardımıyla yapılmıştır. Sıcaklık değerleri değişken tutulmuştur.



Şekil 5.10. Isıl İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı

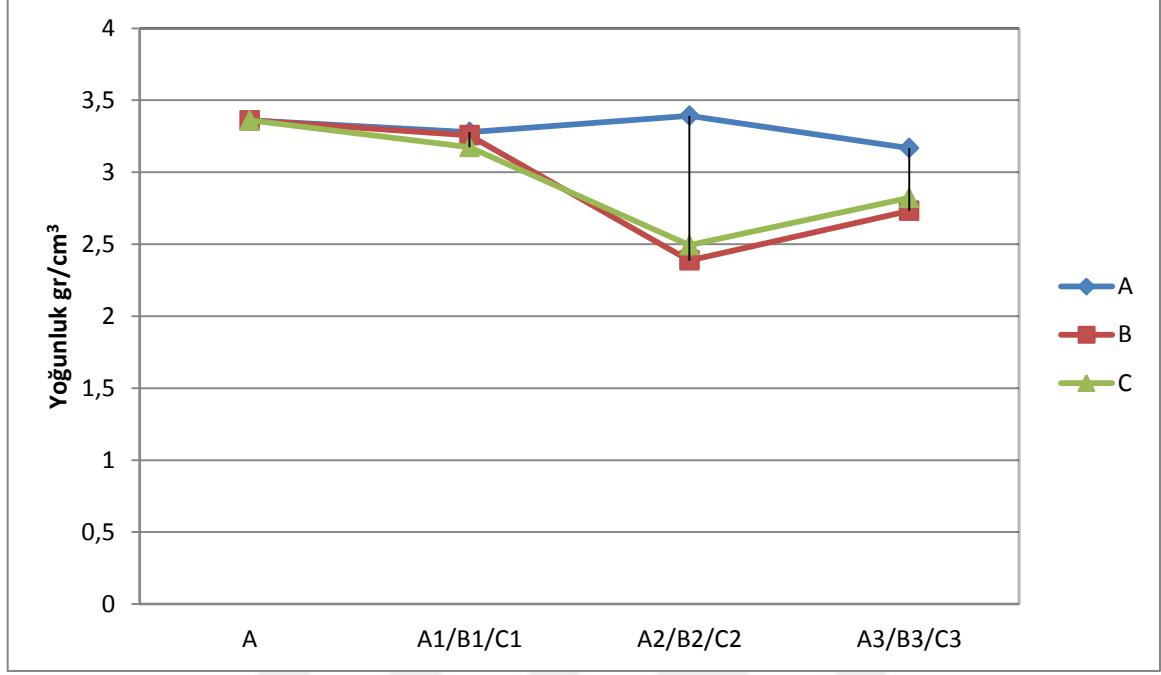
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, yapılan çalışmada elde edilen numuneler ile yapılan ölçümler, gözlemlenen sonuçlar ve bu sonuçlar hakkındaki yorumlara yer verilmiştir. İlk etapta perlit kullanılmasının gerekçesi kısaca açıklanmıştır. Sonra karşılaştırma yapılabilmesi için, farklı matrislerin, mekanik ve mikro yapısal sonuçları verilmiştir. Son aşamada ise numunelerin ve yapılan çalışmaların sonuçları irdelenmiştir.

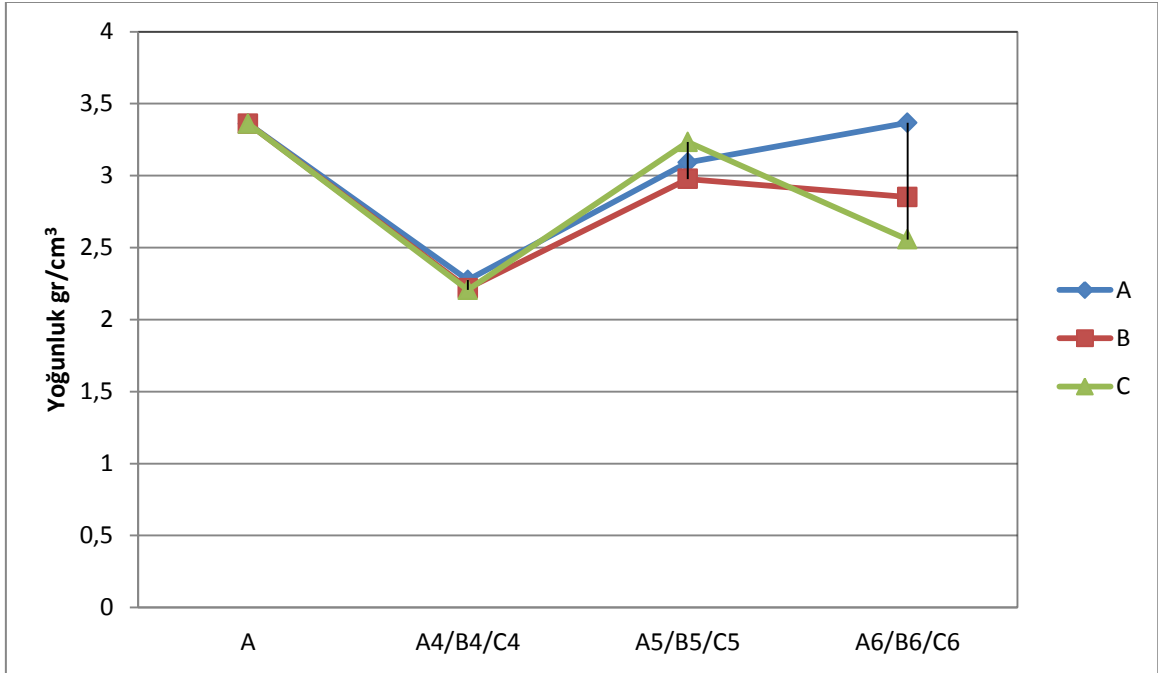
Yapılan literatür çalışmalarında Al esaslı metal köpük üretiminde ki ana esas gözenekli yapının elde edilmesinin amaçlanmasıdır. Bu çalışmada geliştirilmiş perlitin takviye elemanı olarak kullanılmasının sebebi perlitin gözenek yapısının istenilen seviyede olması, hafifliği, homojen dağılım sağlaması ve maliyetinin minimum seviyelerde olması kullanımının artmasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmada her iki matriste de ana takviye elemanı olarak geliştirilmiş perlit kullanılmıştır. Kullanılan geliştirilmiş perlit farklı boyuttaki etkilerinin kıyaslanabilmesi için 1, 3, 5 mm boyutlarında seçilmiştir. Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, geliştirildiğinde çok hafif ve gözenekli bir hale geçen bir kayadır. Ayrıca asit ve bazlara karşı dayanıklı olması nedeniyle çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Perlit, kimyasal bileşimi bakımından silisli ve alüminyumlu bileşikler içermesi nedeniyle kalsiyum esaslı bağlayıcılar ile kimyasal reaksiyona girerek hidrolik aktivite gösterirler. Ayrıca Dünya rezervleri ile kıyaslandığında ülkemizde çok yüksek rezerve sahip olduğundan elde etmek kolaydır. Bu çalışmada, yukarıda ifade edilen gerekçeler nedeni ile geliştirilmiş perlit kullanılmıştır.

6.1. Özgül Ağırlıklar ve Gözenek Oranları



Şekil 6.1. Genleştirilmiş Perlit Takviyeli Al Matris Numuneler İçin Yoğunluk Değerleri

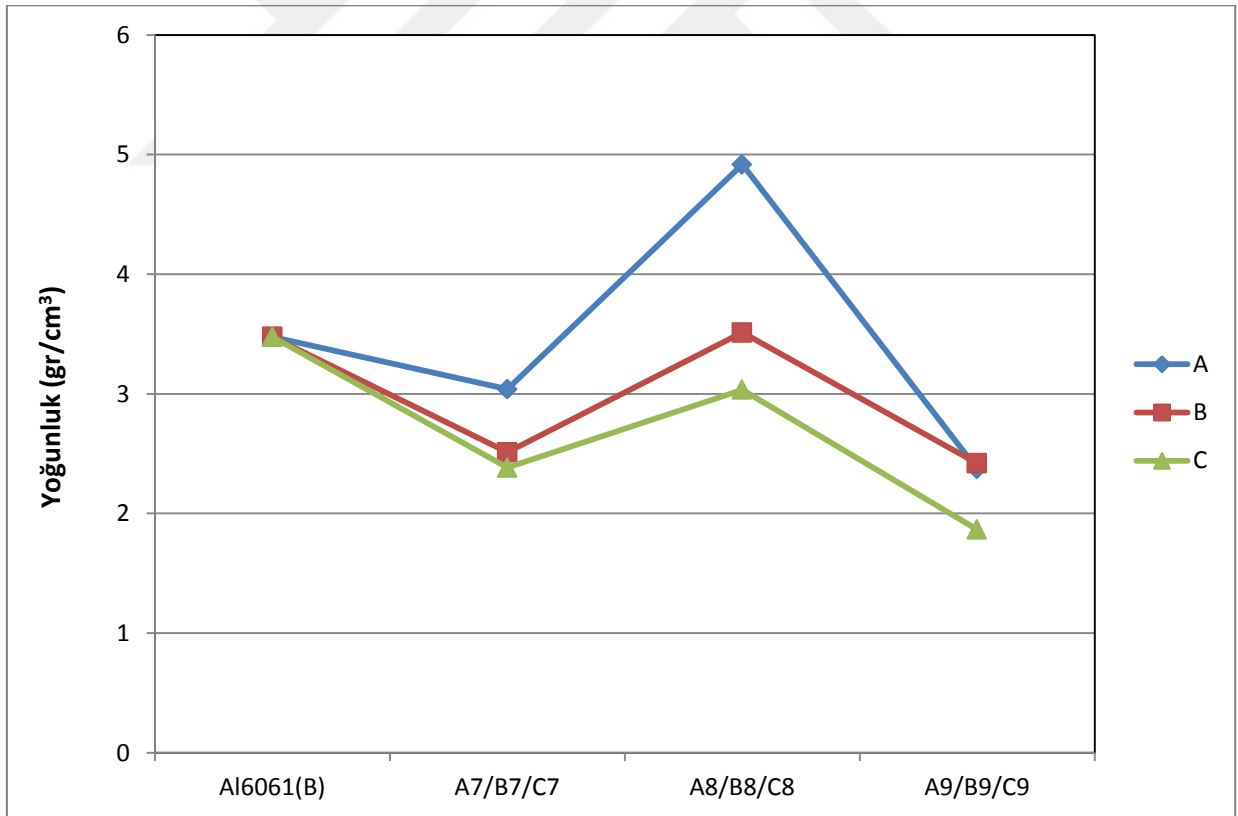


Şekil 6.2. Genleştirilmiş Perlit ve TiH₂ Takviyeli Al Matris Numuneler İçin Yoğunluk Değerleri

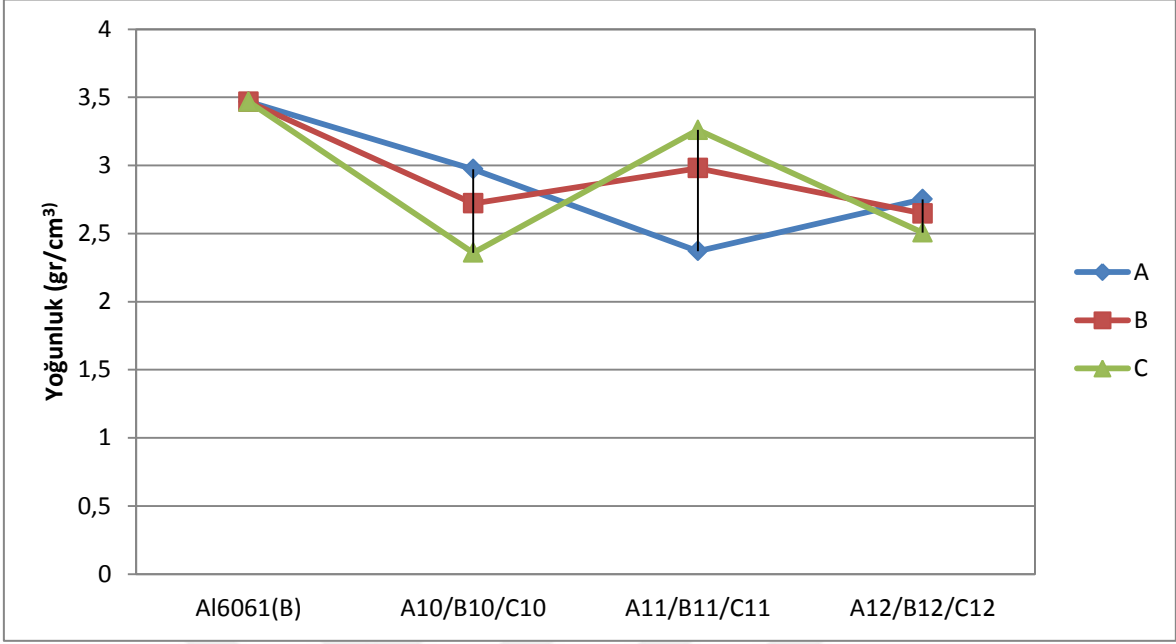
Al matris numunelere 1, 3, 5 mm boyutlarda ve ağırlıkça % 1, 3, 5 oranlarında Genleştirilmiş perlit ilavesine ait yoğunluk değişimi Şekil 6.1.'de gösterilmiştir. Genleştirilmiş perlit boyutunun artması ile yoğunluk değerlerinde bazen küçük oranda artma genel anlamda ise küçük oranlarda azalma gözlenmiştir. perlit % artışında ise yoğunluğun azaldığı grafikte gözlenmektedir. Bu azalışı boyut farkı sebebiyle numuneler hazırlanırken, karıştırma işlemi esnasında veya kalıba alınma esnasında olabilecek etkenler nedeniyle, iyi bir homojen karışımın sağlanamamasının etken olduğu düşünülmektedir. perlitin % 98'lere yakın gözenekli yapısı eklenen takviye oranlar ile birlikte yoğunluk düşüşüne sebep olmuştur.

Şekil 6.2.'de ise perlit % olarak arttıkça yoğunluğunda arttığı TiH_2 'ün yoğunluğu azaltıcı yönde etki yaptığı gözlenmektedir.

A4/B4/C4 ve A5/B5/C5 serilerinin köpürme oranları yoğunluk artışını olumlu yönde etkilemiştir.



Şekil 6.3. Genleştirilmiş perlit Takviyeli Al6061 Matris Numuneler İçin Yoğunluk Değerleri



Şekil 6.4. Genleştirilmiş perlit ve TiH₂ Takviyeli Al6061 Matris Numuneler İçin Yoğunluk Değerleri

Al6061 matris numunelere 1, 3, 5 mm boyutlarda ve ağırlıkça % 1, 3, 5 oranlarında Genleştirilmiş perlit ilavesine ait yoğunluk değişimi Şekil 6.4.'de gösterilmiştir. Genleştirilmiş perlit takviyesinin artması ile yoğunluk değerlerinde genel anlamda küçük oranlarda azalma gözlenirken istenilen seviyelerde artışlarda gözlenmiştir. Bu azalışı boyut farkı sebebiyle numuneler hazırlanırken, karıştırma işlemi esnasında veya kalıba alınma esnasında olabilecek etkenler nedeniyle, iyi bir homojen karışımın sağlanamamasının etken olduğu düşünülmektedir. A8/B8/C8, A10/B10/C10 ve A11/B11/C11 serilerinin köpürme oranları yoğunluk artışını olumlu yönde etkilemiştir.

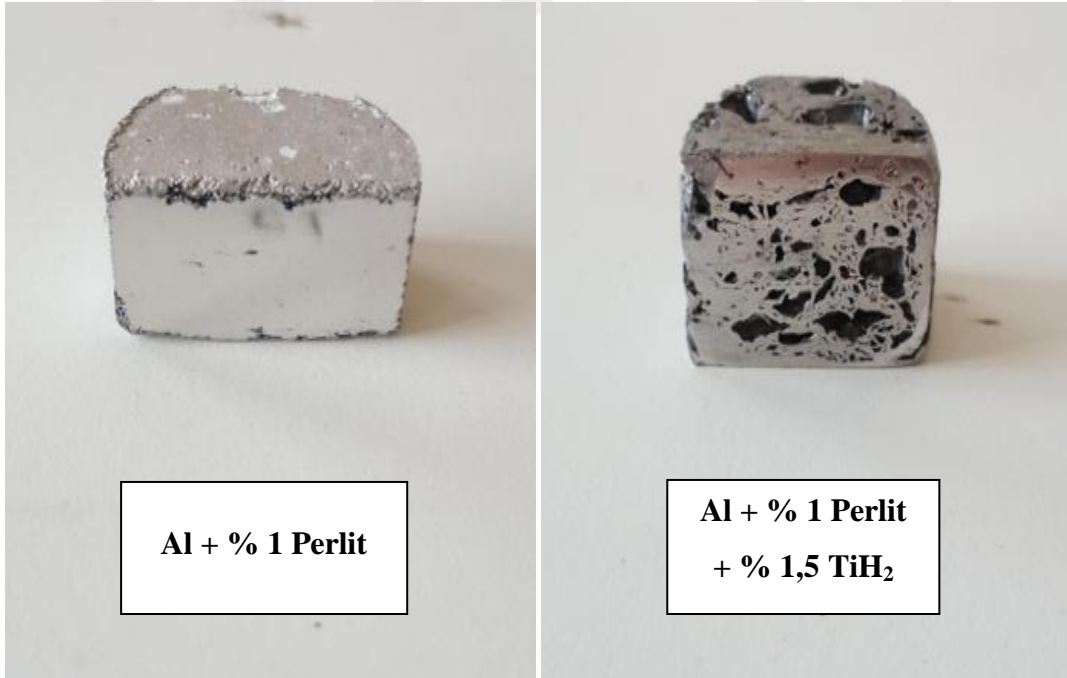
Ana takviye olarak kullanılan genleştirilmiş perlit, tane boyutundaki değişimin incelenmesi için 3 farklı boyutta kullanılmıştır. Yoğunluk değerleri incelendiğinde, genleştirilmiş perlitin ağırlıkça yüzde oranı arttırıldıkça ve genleştirilmiş perlitin tane boyutu arttırıldıkça yoğunluk değerinin azalma eğiliminde olduğu gözlenmiştir. TiH₂ yoğunluk değişimini daha düşük değerlerde stabile yakın hale getirdiği gözlenmiştir.

Bu sonuçlardan köpürtücü madde miktarındaki artışın yoğunlukta azalmaya sebep olduğu söylenebilir. TiH₂ oranındaki artış, köpürtme sıcaklığında numunelerde daha fazla gaz çıkışına sebep olacağından yapı daha gözenekli ve buna bağlı olarak numuneler daha düşük yoğunlukta olacaktır. Köpürtücü madde miktarına bağlı olarak numunelerin

yoğunluklarında görülen azalmanın sebebi gözenek duvarlarının incelmesi, gözeneklerde birleşmenin olması ve daha büyük gaz boşluklarının oluşmasından kaynaklanmaktadır. Metalik köpük üretiminde her ne kadar köpürebilirlik önemli ise de gözenek yapısı, dağılımı, hücre duvar kalınlıkları da önemli parametrelerdendir.

6.2. TiH₂ Miktarının Yoğunluk Değişimine ve Köpük Oluşumuna Etkisi

Araştırılan literatür çalışmalarında TiH₂ miktarı genel olarak %1,5 oranda eklenmiştir. Yapılan literatür irdelemesi sonucu TiH₂ oranındaki artışın gözenek dağılımını homojen oranda etkilediği, bu anlamda TiH₂ oranındaki farklılığın bizim deneysel çalışma kriterlerimizi belirlemek amacıyla da yapılan ilk örneklemelerde şekil 6.5.'de gözlemlendiği gibi TiH₂ oranı arttıkça homojen dağılımı olumlu etkilediği tespit edilmiştir [37,38]. Bu amaçla deneysel çalışma şartlarımızda optimum şartlar açısından %1,5 TiH₂ oranı sabit tutulmuştur. Maksimum köpürmenin ve homojen dağılımın en iyi gözlemlendiği değer %1,5 civarında olan oranlardır. Bu çalışmada da oranımız %1,5 seçilmiştir.



Şekil 6.5. TiH₂'nin köpürme üzerindeki etkisi

6.3. Sıcaklığının Köpük Oluşumuna Etkisi

Yapılan deneysel çalışmalarda toz metalurjisi yöntemi ile üretilen numunelerin köpük oluşumunun maksimum seviyelerde olması için birçok sıcaklık değeri denenmiştir. Numuneler fırın içerisine oda sıcaklığından başlanarak 600°C'ye kadar çıkartılmış fakat işlem sonucunda köpürmenin, kesilen numunelerin incelenmesi sonucu istenilen seviyelerde olmadığı gözlenmiştir. Sıcaklık değerleri kademeli olarak arttırılarak optimum şartlar sağlanıncaya kadar devam edilmiştir. 750°C değerlerinde köpürmenin gözlemlendiği fakat istenilen seviyelerde olmadığı incelenmiştir.

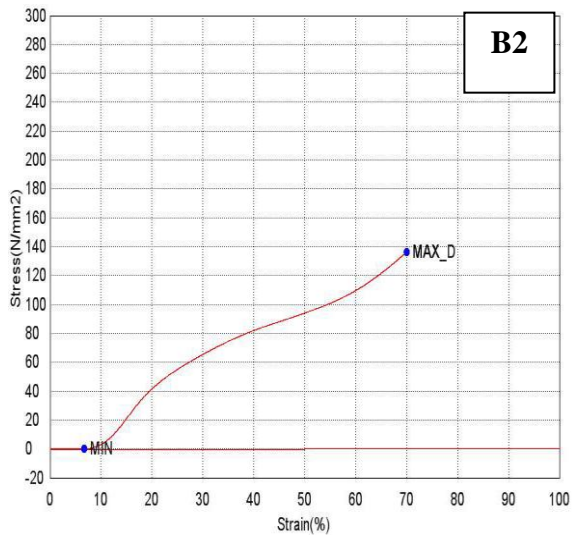
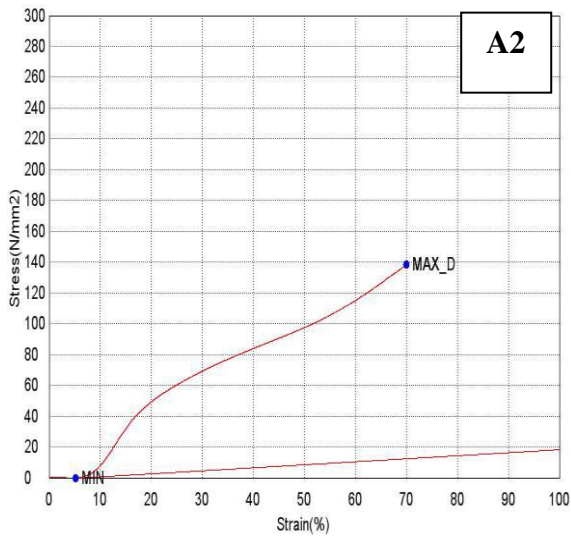
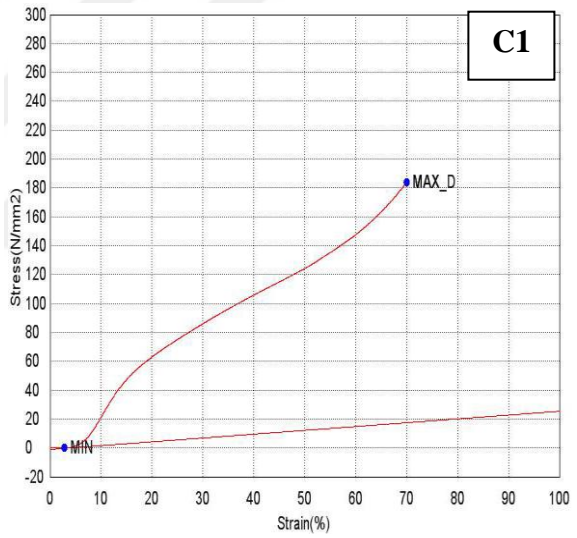
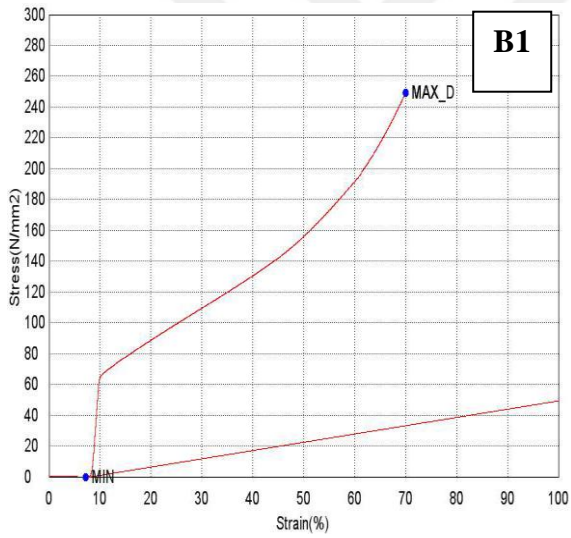
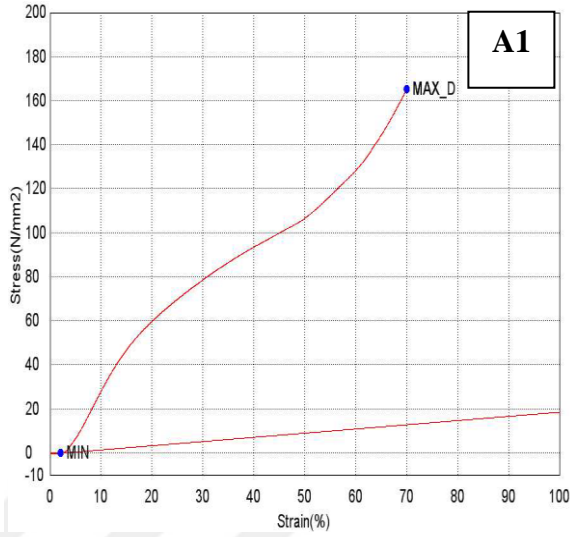
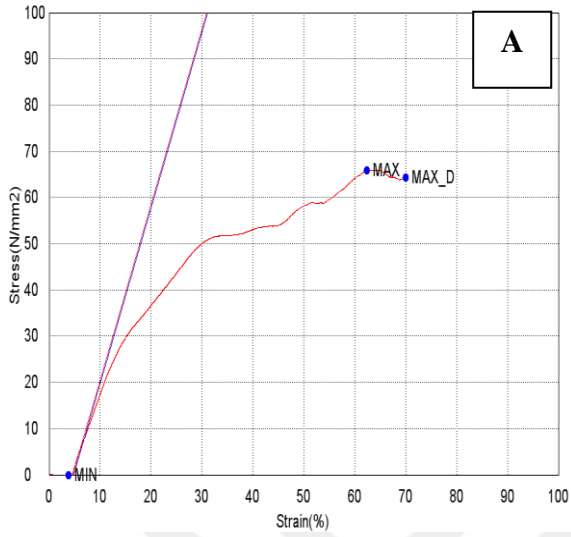
Araştırılan literatür çalışmalarında numunelerin önce sinterleme işlemine tabi tutulup sonra köpürme işlemine tabi tutulması şeklinde bir işlem basamağı izlenmiştir. Yaptığımız deneysel çalışmalarda uygulanan bu işlemin köpük oluşumunu olumsuz yönde etkilediği gözlenmiştir. Diğer bir etkende fırın ortamı olarak düşünülmektedir. Isıl işlem çalışmalarının vakumlanmış bir ortamda yapılması köpük oluşumunu olumlu yönde etkilemektedir. Bu sorunun çözümü numunelerin fırın ortamına belirli bir sıcaklık değerinde atılması yöntemi ile çözülmüştür. Bu sebepten yola çıkarak numuneler önce köpürme sonra sinterleme işlemine tabi tutulmuştur.

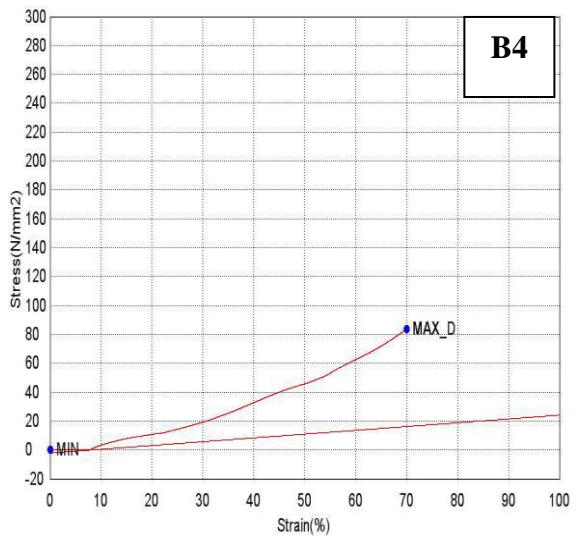
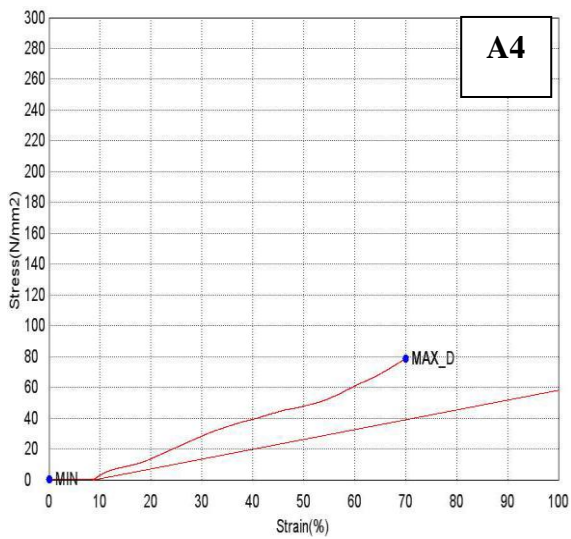
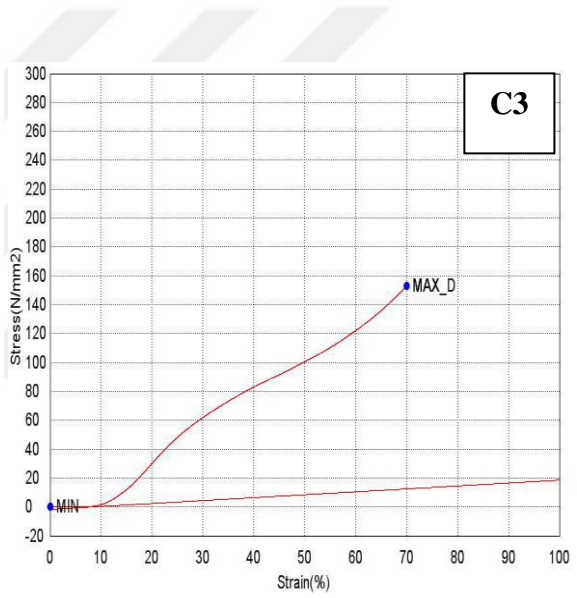
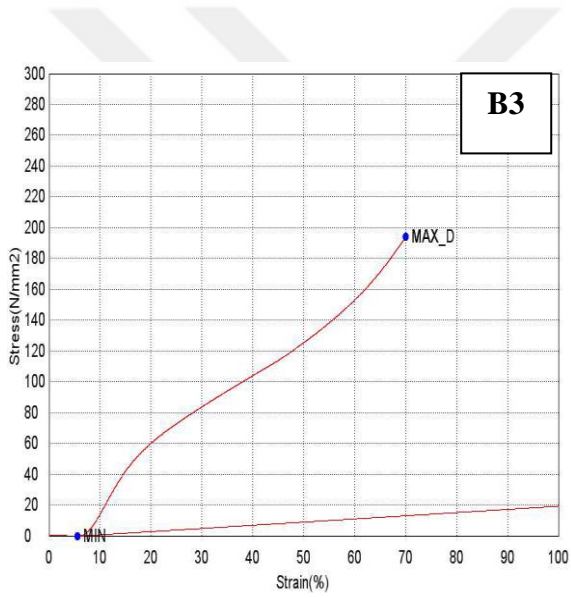
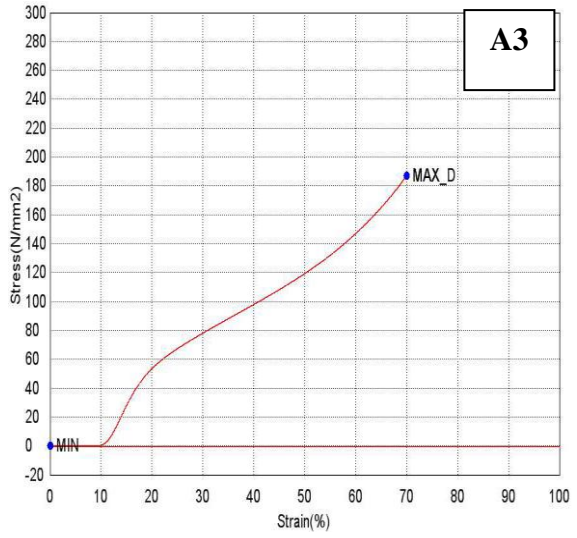
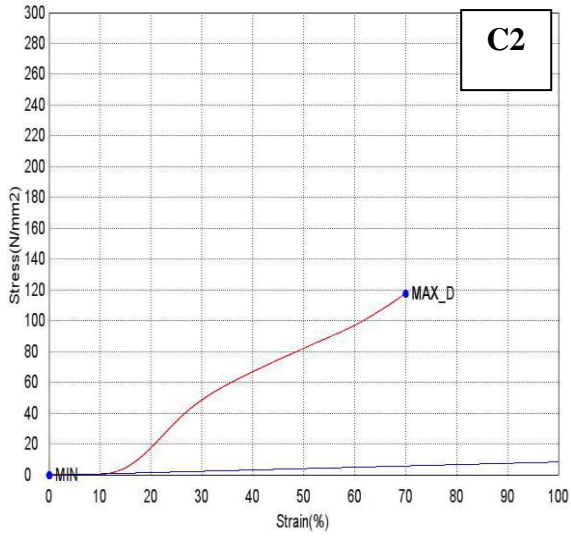
Köpürme sıcaklıkları yapılan denemeler sonucunda maksimum verimin 800 - 900 °C değerleri arasında gerçekleştiği gözlenmiştir. Önceden sıcaklığı ayarlanan fırın ortamına aniden atılan numuneler 30 dk sonunda fırın ortamında soğumaya bırakılmıştır. Soğutulan numuneler daha sonra oda sıcaklığından 550°C'ye yükseltilerek 3 saat boyunca sinterleme işlemine tabi tutulmuştur.

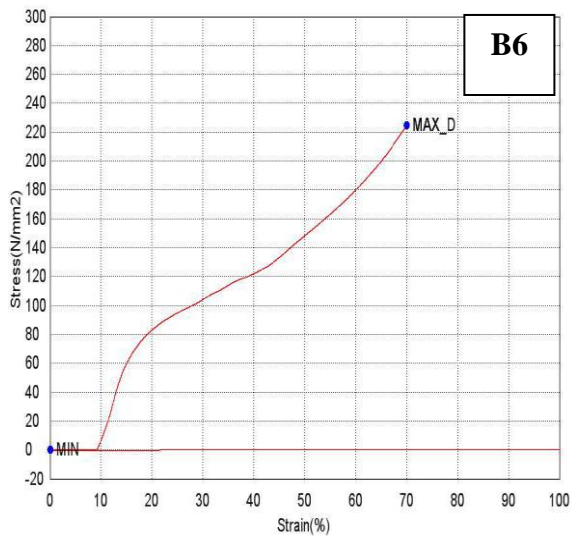
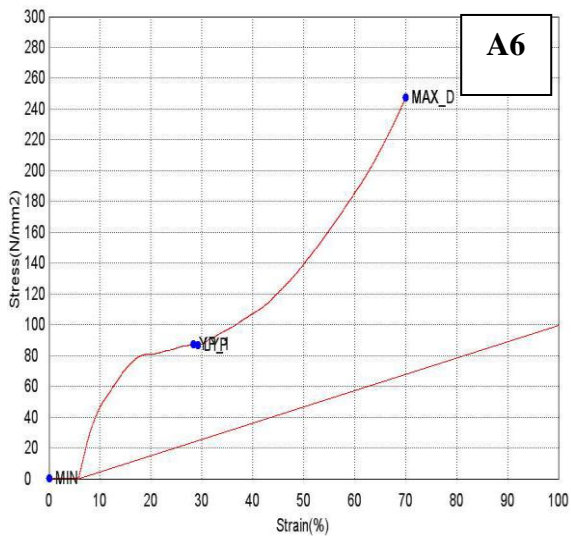
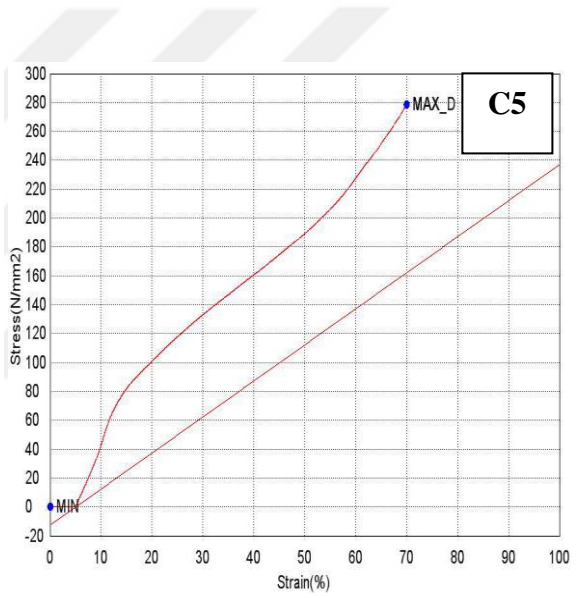
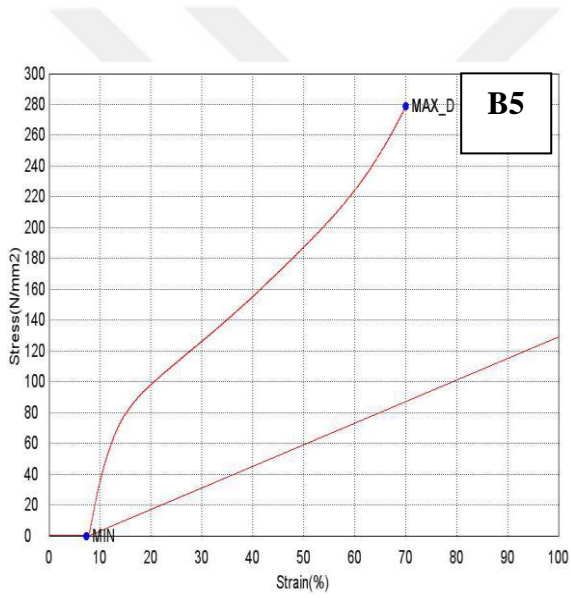
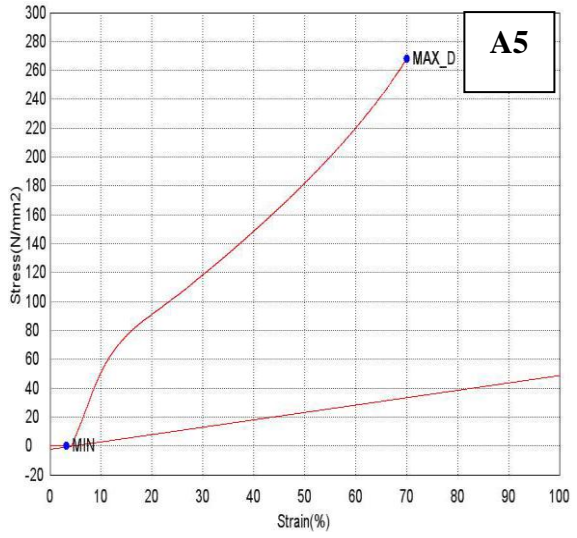
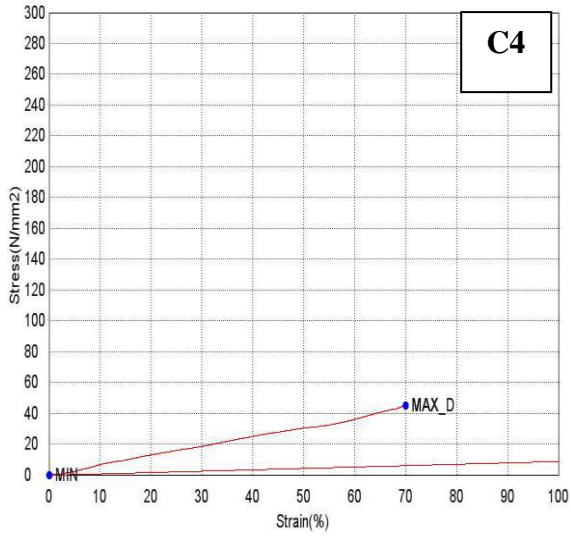
Literatürde TiH₂'ün 400°C'nin üzerinde gaz salınımı yaptığı bilgisi mevcuttur. Oda sıcaklığından belirli sıcaklığa artışlarda TiH₂ gaz salınımını çok düşük değerlerde yaparak köpük oluşumunu olumsuz yönde etkilediği gözlenmiştir. Bu dezavantajın önüne direkt olarak yüksek sıcaklıklarda fırınlama ile geçilmiştir.

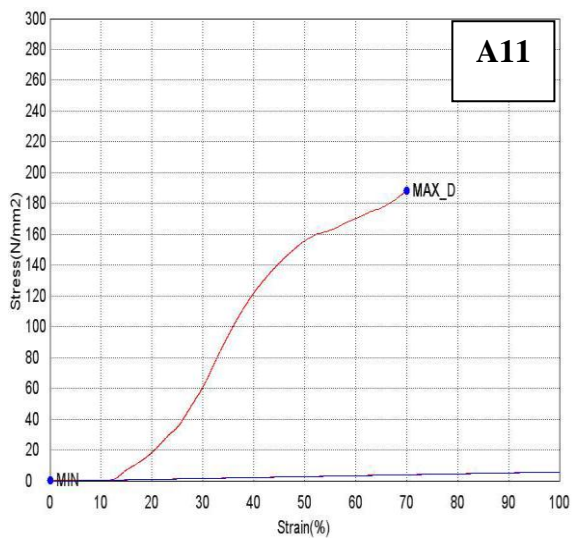
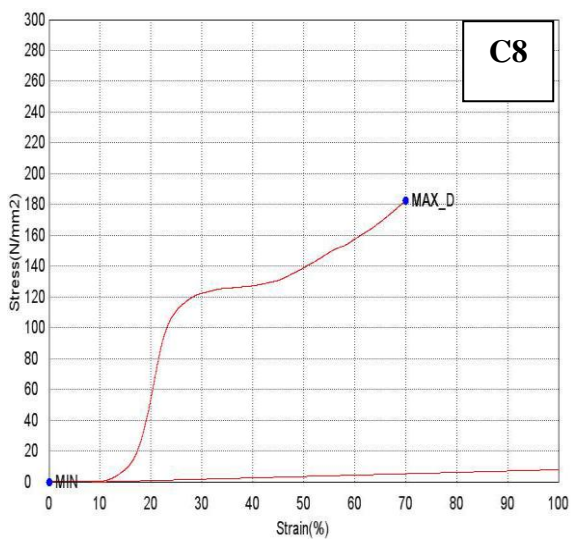
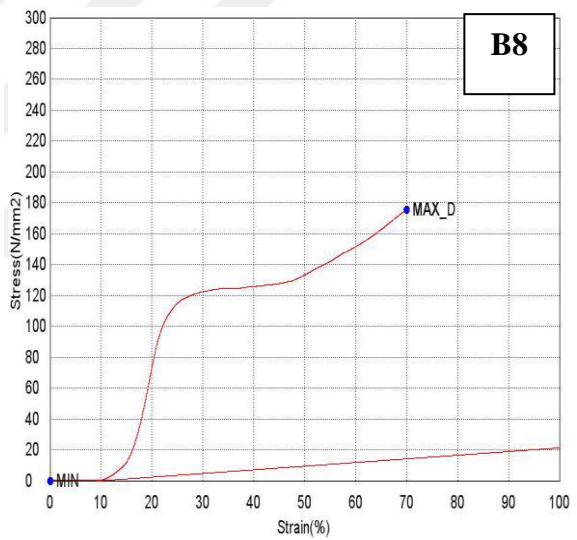
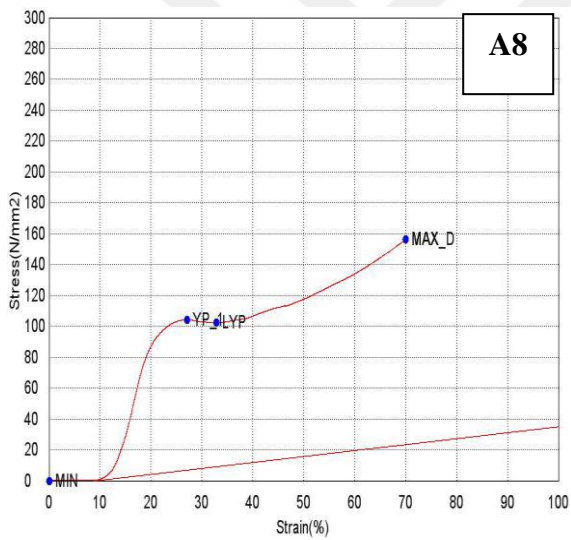
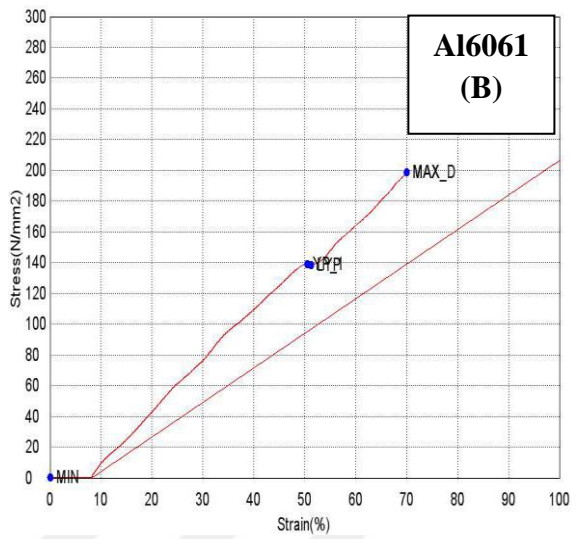
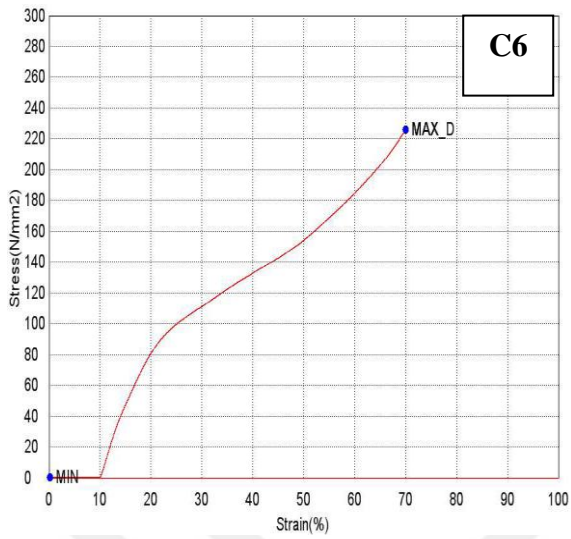
Sonuç olarak sıcaklığın köpük oluşumuna etkisi, yüksek sıcaklık değerlerinde olumlu etki yaptığı gözlenmiştir.

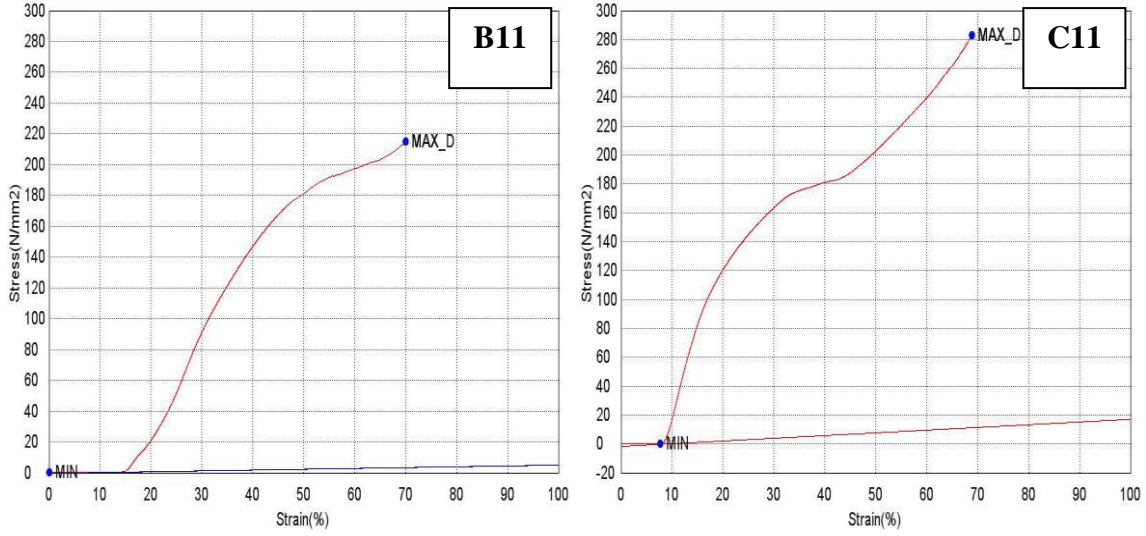
6.4. Basma Testi Sonuçları











Şekil 6.6. Al ve Al6061Matris Numunelerine Ait Basma Grafikleri

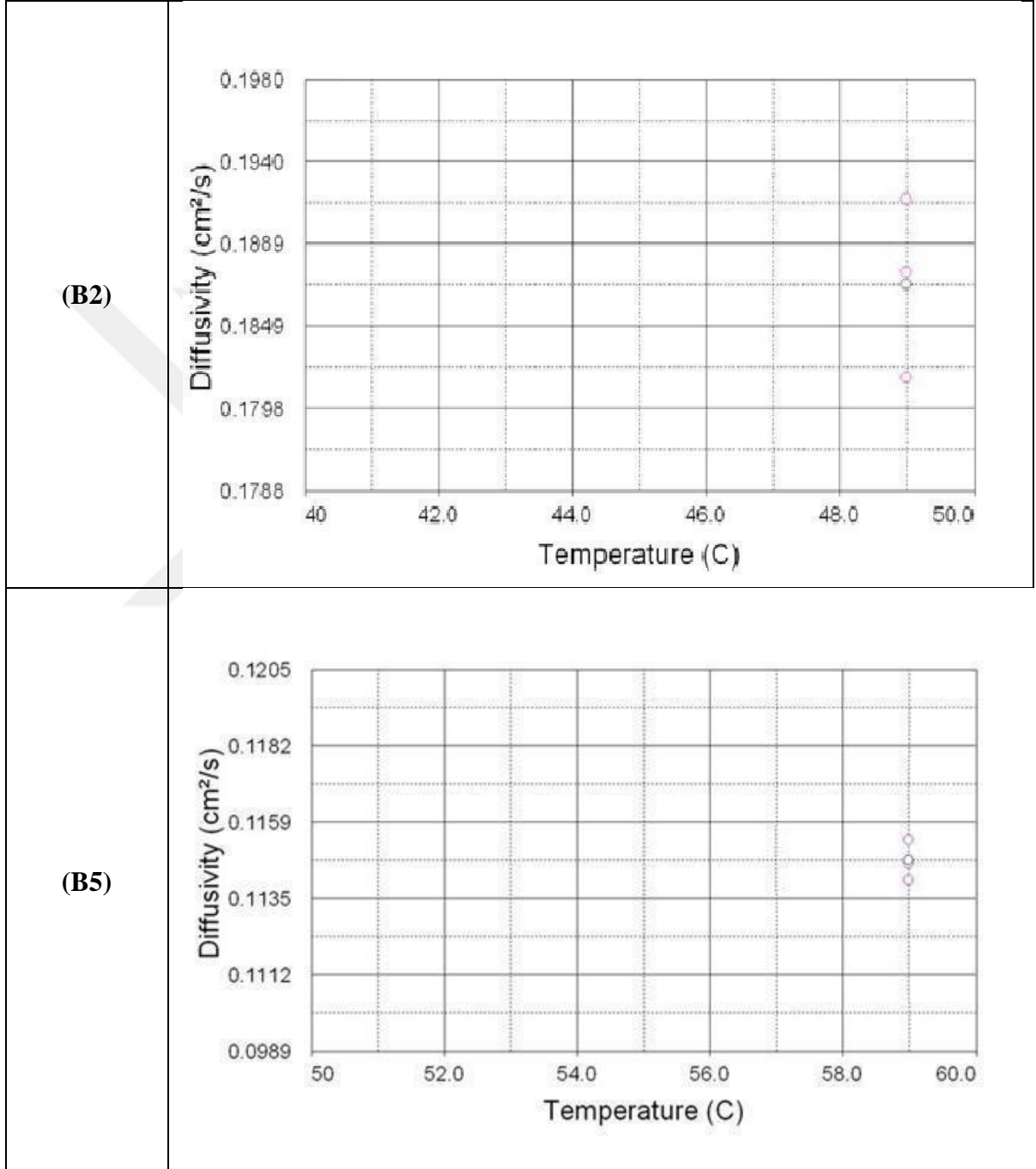
Genel anlamda grafikler incelendiğinde perlit yüzdesinin artması mukavemeti artırmaktadır. Yine aynı oranda perlit boyutunun artması mukavemetin artmasına sebep olmuştur. TiH_2 'lü numunelerde belirtilen etkiler aynı şekilde gözlemlenirken TiH_2 ilavesinin sade perlit katkılı olan numunelerle kıyaslanmasında perlitte birlikte TiH_2 'lü numunelerde gözenek oluşumunun artmasıyla bu numunelerde plastik deformasyon bölgesi olarak yığılma bölgesinin arttığı gözlenmiştir. Yığılma bölgesinin artması gözenek oluşmasıyla birlikte artan hücre duvarı oluşumuna ve dolayısıyla yığılma bölgesinde kırılan hücre duvarlarının gösterdiği direnç sonucuna bağlanmıştır.

Değişen matrisle birlikte (Al6061) artan matris sertliğiyle basma mukavemeti artmış elastik – plastik bölge geçişinde elastik bölgede artma gözlenirken yığılma bölgesinde azalma gözlenmiştir. Bu da genel olarak deformasyon açısından daha gevrek bir karakter oluşumunda deformasyon ilerlemesini göstermiştir. Yığılma bölgesinin geniş olması malzemenin basma kuvvetiyle hücre duvarlarının plastik bükülmeye uğraması nedeniyle metalik köpük kompozitlerin enerji emebilme özelliğini yükseltmesinden geniş plastik gerinim potansiyeli yüksek olan numunelerimizin enerji emilimi daha fazladır [39].

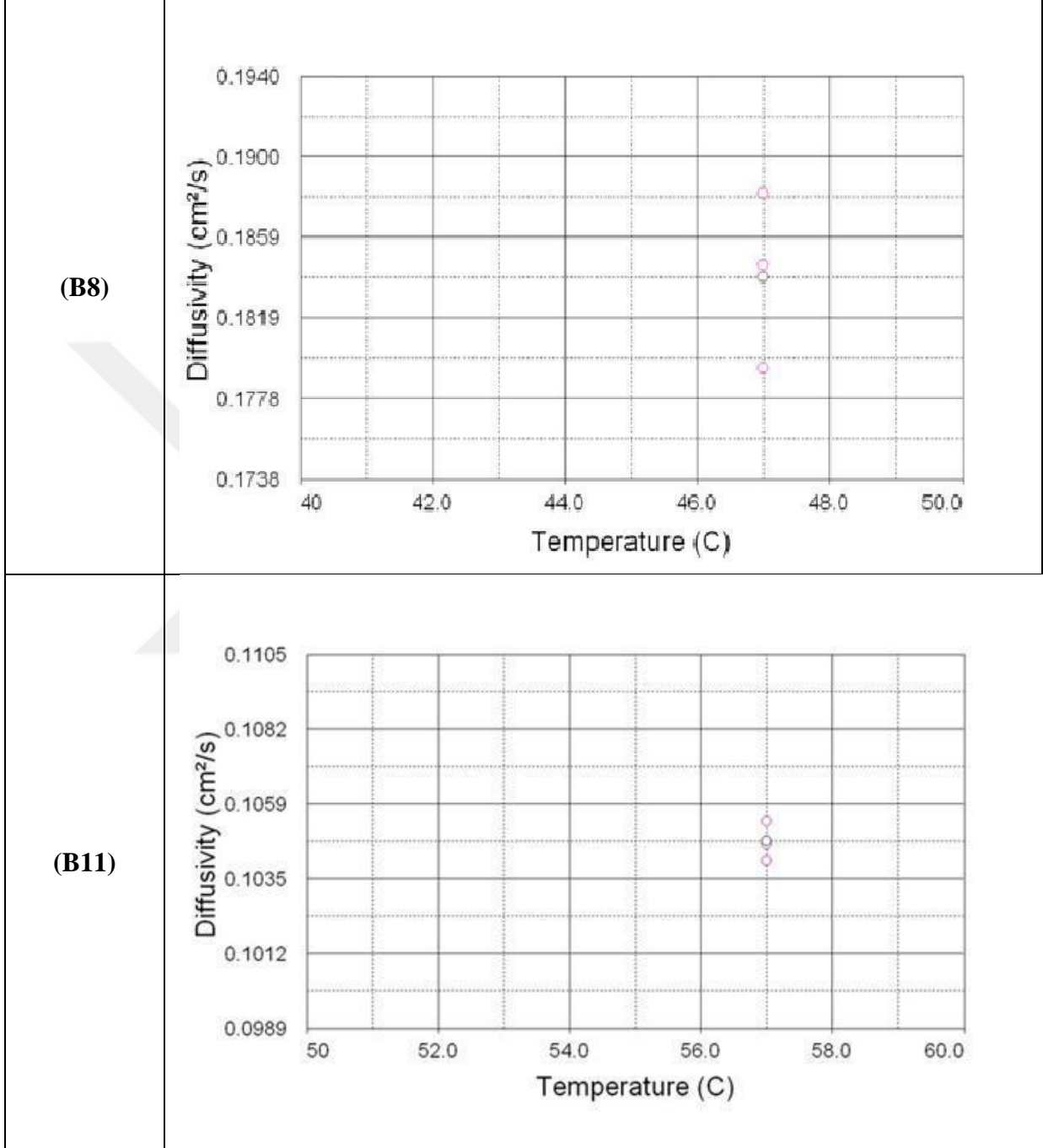
Bu açıdan Al matrisli numuneler Al6061 matrisli numunelerden daha iyi bir enerji absorbe özelliği gösterecektir.

6.5. Isıl İletim Katsayısı Sonuçları

Tablo 6.1. Al Numuneleri Isıl İletim Katsayısı Değerleri



Tablo 6.2. Al6061 Numuneleri Isıl İletim Katsayısı Değerleri



Aynı kriterdeki numuneler kıyaslandıklarında perlit takviyeli ve perlit takviyesiz numunelerde ısı iletim katsayısı değerlerinin istenilen oranlarda olduğu gözlenmektedir. B2 numunesinde yayılım değerleri 0,1798-0,1940 değerleri arasında, B5 numunesinde ise

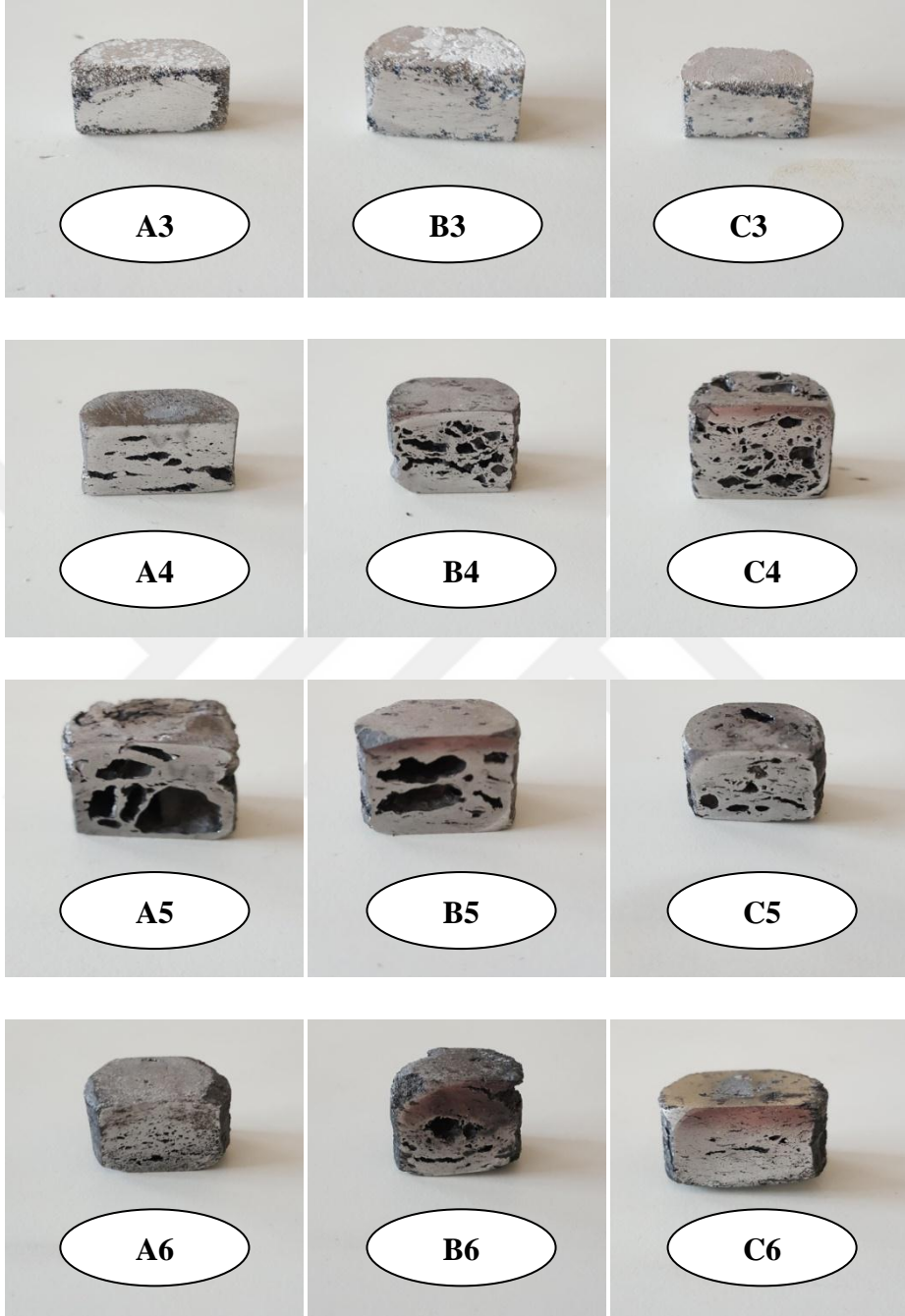
0,1135-0,1159 değerleri arasındadır. perlitin ısı izolasyonu sayesinde perlitli numunelerde ısıl iletim katsayılarının düşük olduğu görölmektedir.

Aynı kriter B8 ve B11 numuneleri içinde geçerlidir. B8 numunesinde yayınım değerleri 0,1778-0,1900 değerleri arasında, B11 numunesinde ise 0,1035-0,1059 değerleri arasında değişiklik göstermiştir. Genleştirilmiş perlit takviyeli numunelerde ısıl iletim değerleri istenilen seviyelerde düşük olduğu gözlenmekte ve bu sonucu perlitin çok iyi bir izolasyon malzemesi olduğu sebebine dayandığını görmekteyiz.

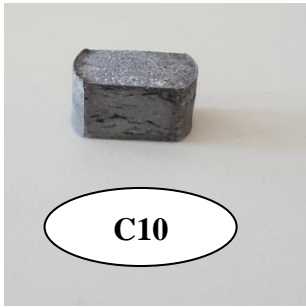
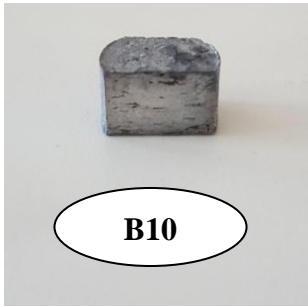
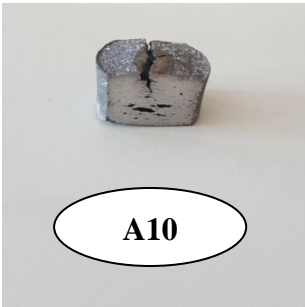
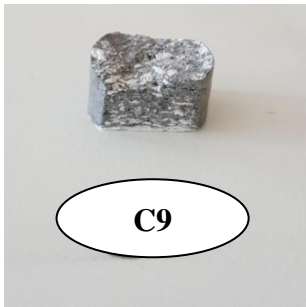
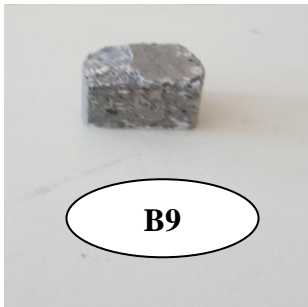
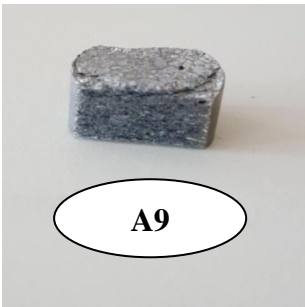
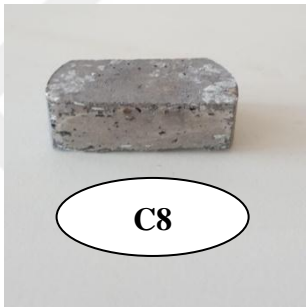
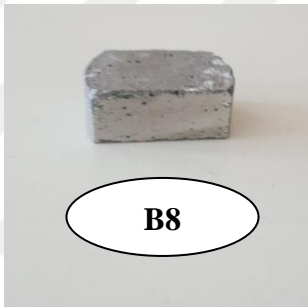
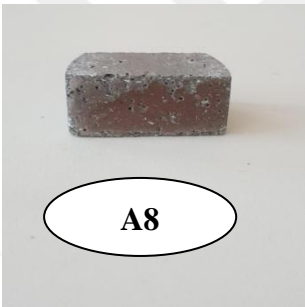
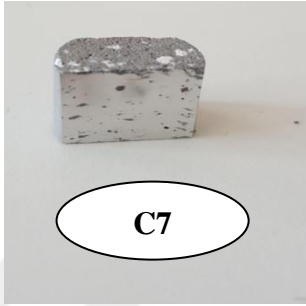
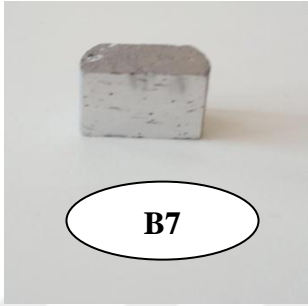
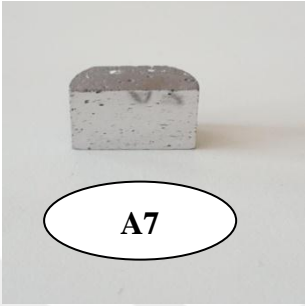
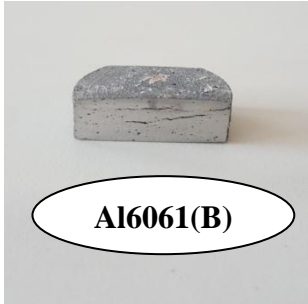
6.6. Mikro Yapı İncelemeleri SEM ve EDX Analiz Sonuçları

Farklı matrislere ait ve köpürme işlemleri tamamlanmış numunelerin genel görüntüleri Şekil 6.6. ve Şekil 6.7. 'de gösterilmektedir.





Şekil 6.6. Köpürme İşlemi Tamamlanmış Al Numuneleri



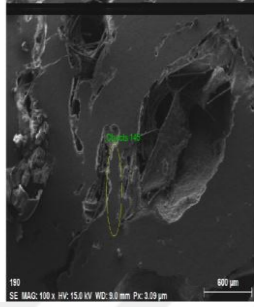
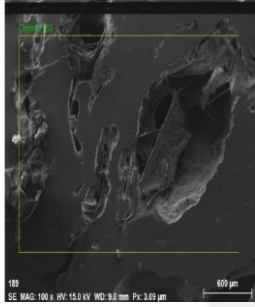
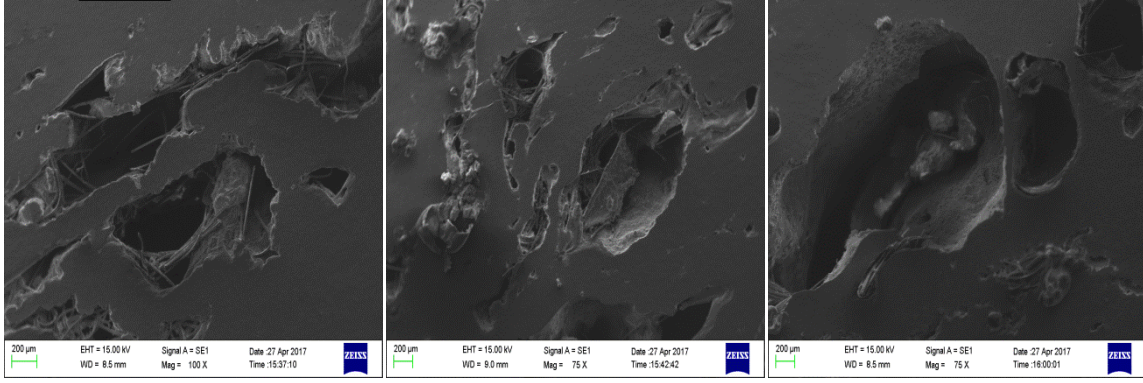


Şekil 6.7. Köpürme İşlemi Tamamlanmış Al6061 Numuneleri

Numunelerin genel basamak işlemleri tamamlandıktan sonra mikro yapı incelemeleri neticesinde perlit takviyeli numunelerde yoğunluk değerlerindeki değişiklik gözlenmiş, TiH₂ takviyeli numunelerdeki köpürmelerin gözle görülür bir şekilde oluştuğu incelenmiş perlit takviyeli numunelerde ise köpürmelerin oluşmadığı gözlenmiştir. Fakat perlitin yüksek gözeneklilik özelliğinden dolayı yoğunluk değerleri neredeyse eşit seviyelere ulaşmıştır.

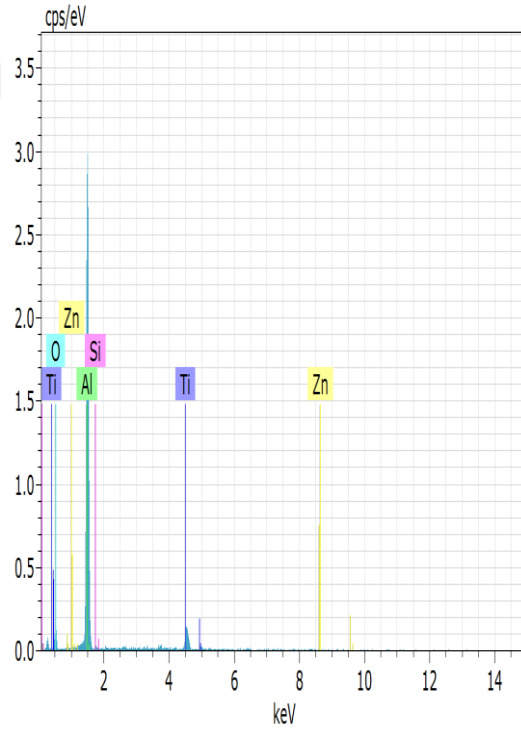
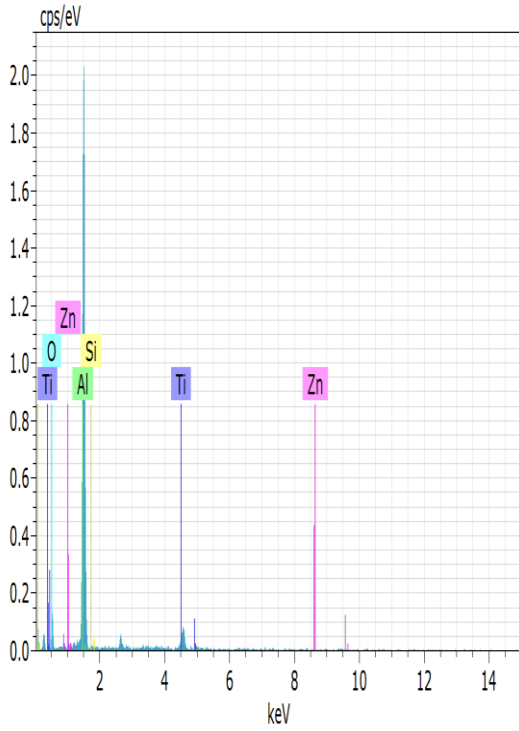
A12/B12/C12 serisinde muazzam bir sertlik değeri ölçülmüştür (600 Vickers). Bu değerleri ısıtma işlemi sırasında tozların aralarındaki bağ yapının maksimum yapıda oluşması ile açıklayabiliriz.

Yapmış olduğumuz çalışmada ki SEM VE EDX analiz sonuçları detaylı şekilde verilmiştir.

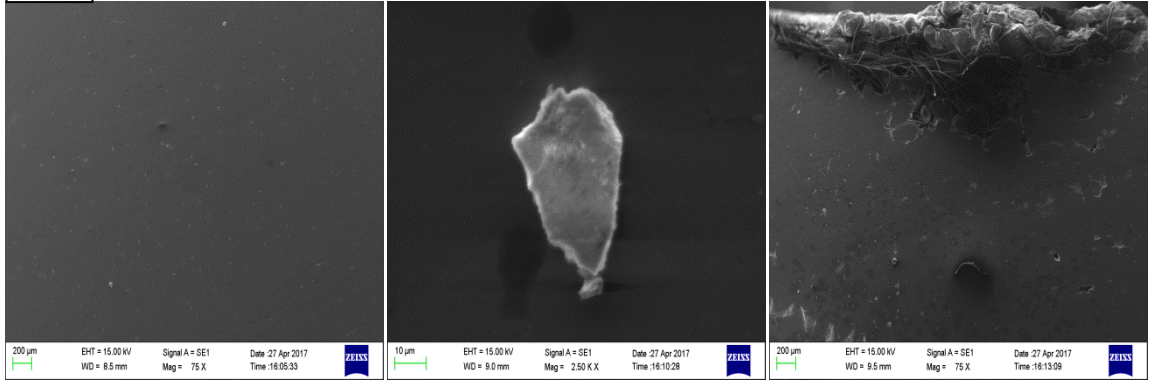
A

Spectrum: Objects 133

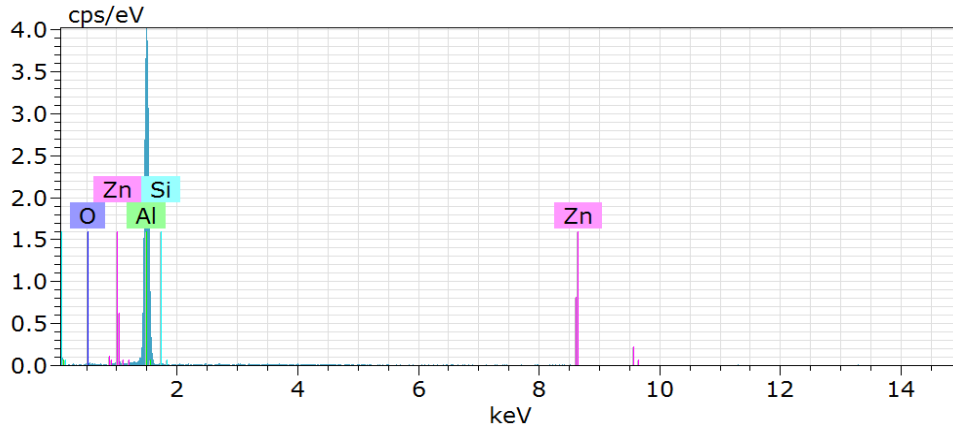
EI	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt. %]	[wt. %]	[wt. %]	[wt. %]
H	1	K-series	0	98.09	78.14	98.96
Al	13	K-series	3996	22.72	18.10	0.66
Ti	22	K-series	215	2.59	2.06	0.06
O	8	K-series	189	1.88	1.50	0.12
Zn	30	K-series	2	0.13	0.10	0.00
Si	14	K-series	16	0.12	0.10	0.00
Total:			125.54	100.00	100.00	

**Şekil 6.8.** A Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

A1



191
Date:4/27/2017 4:05:34 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:15.0kV

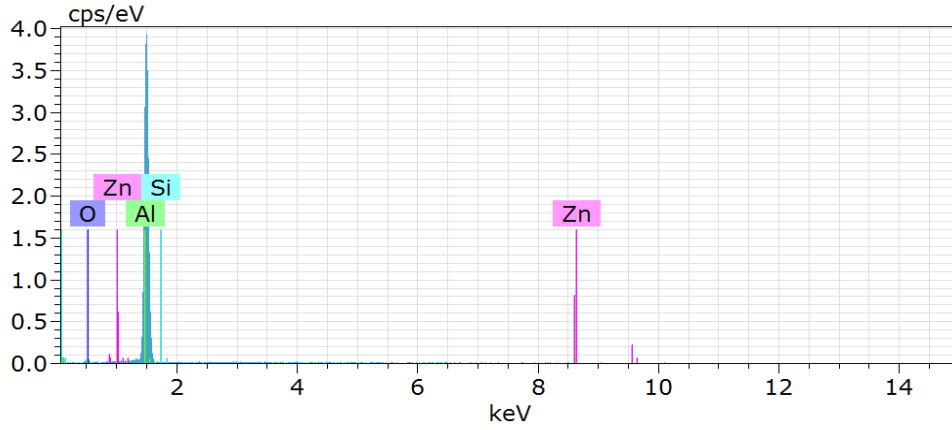
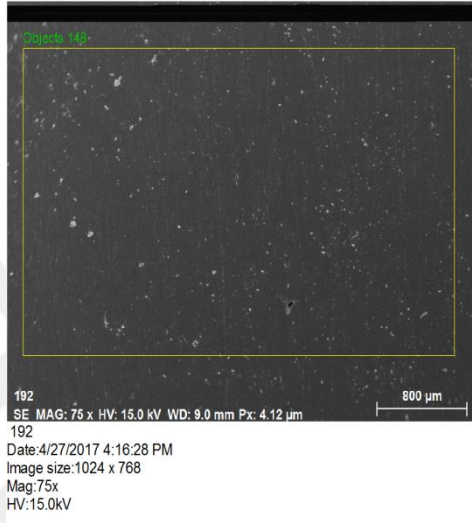
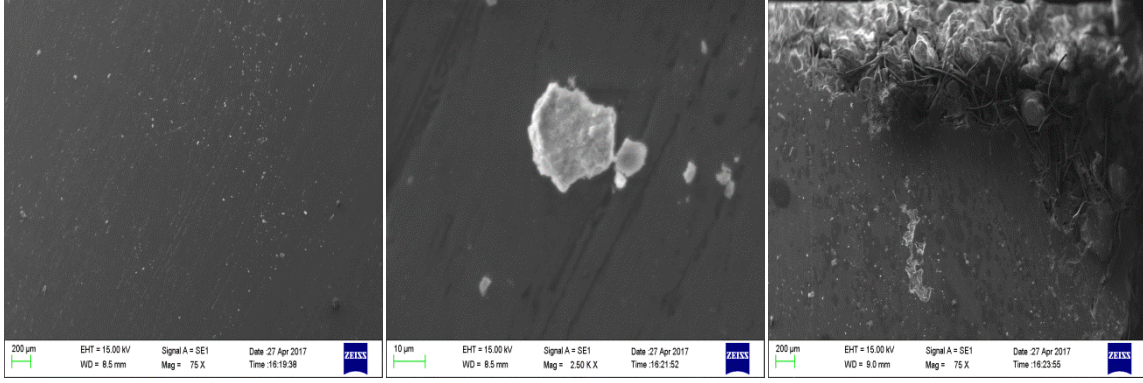


Objects 147 Date:4/27/2017 4:06:19 PM HV:15.0kV Puls th.:0.59kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	57.52	68.31	98.29	5.78
Al	13	K-series	26.49	31.46	1.69	1.33
O	8	K-series	0.12	0.15	0.01	0.15
Si	14	K-series	0.07	0.08	0.00	0.05
Zn	30	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			84.20	100.00	100.00	

Şekil 6.9. A1 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

B1

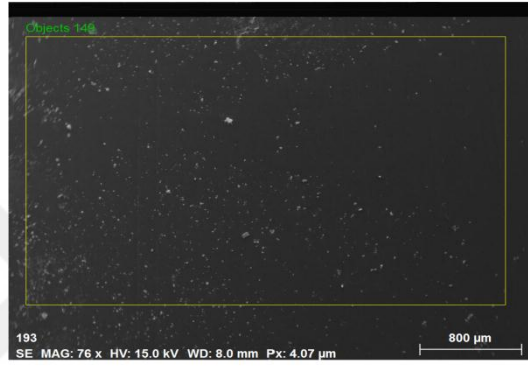
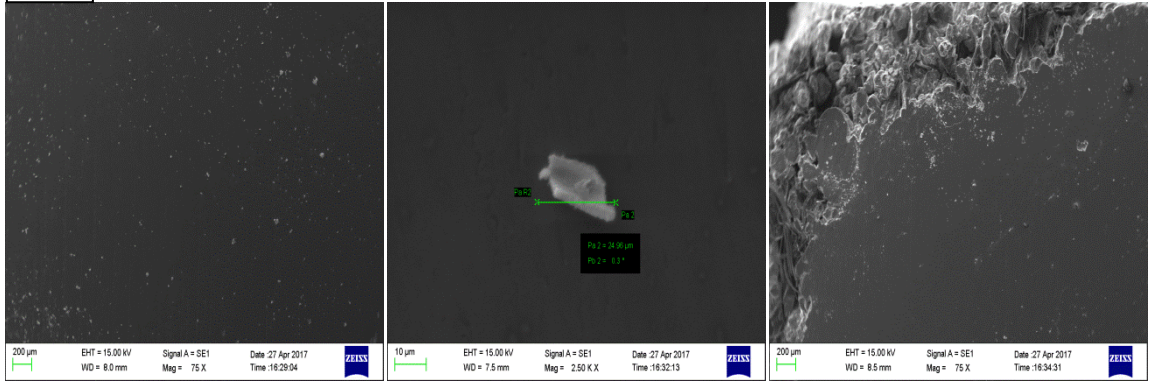


Objects 148 Date:4/27/2017 4:16:56 PM HV:15.0kV Puls th.:0.58kcps

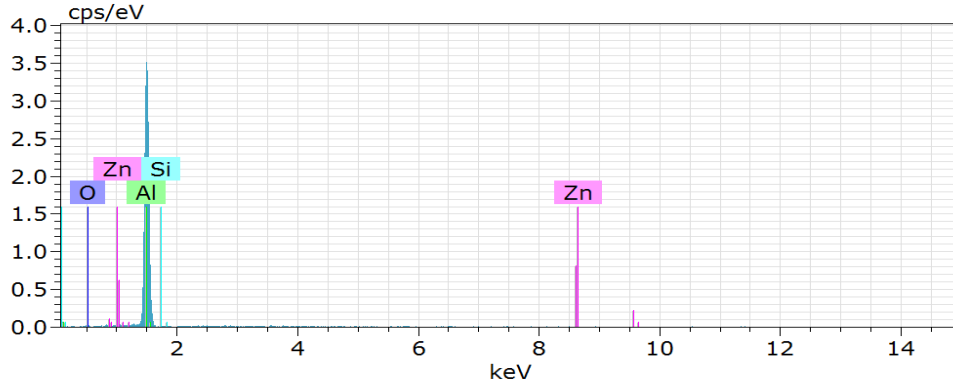
El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	77.37	68.54	98.29	7.76
Al	13	K-series	34.76	30.79	1.65	1.73
O	8	K-series	0.64	0.57	0.05	0.38
Si	14	K-series	0.11	0.10	0.01	0.06
Zn	30	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			112.89	100.00	100.00	

Şekil 6.10. B1 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

C1



193
Date: 4/27/2017 4:26:58 PM
Image size: 1024 x 768
Mag: 76x
HV: 15.0kV

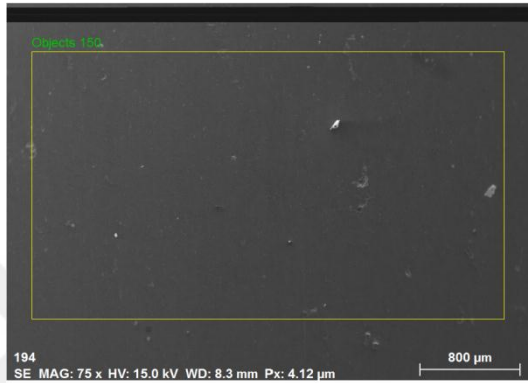
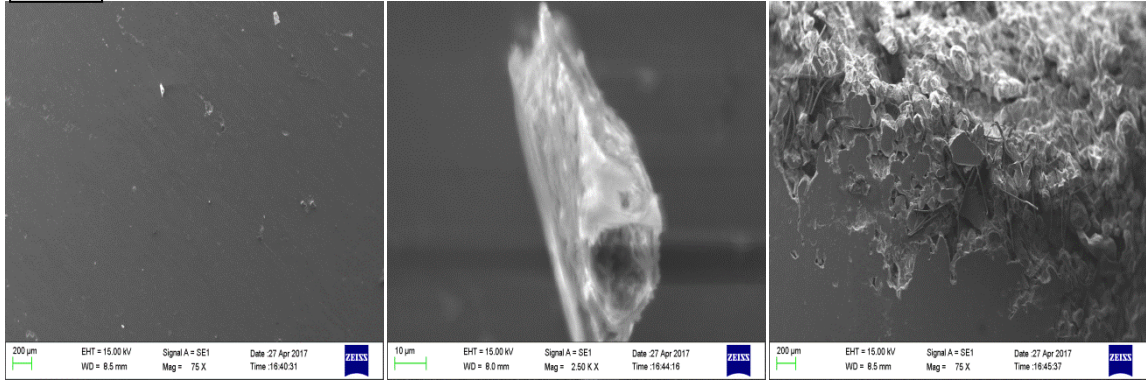


Objects 149 Date: 4/27/2017 4:27:33 PM HV: 15.0kV Puls th.: 0.54kcps

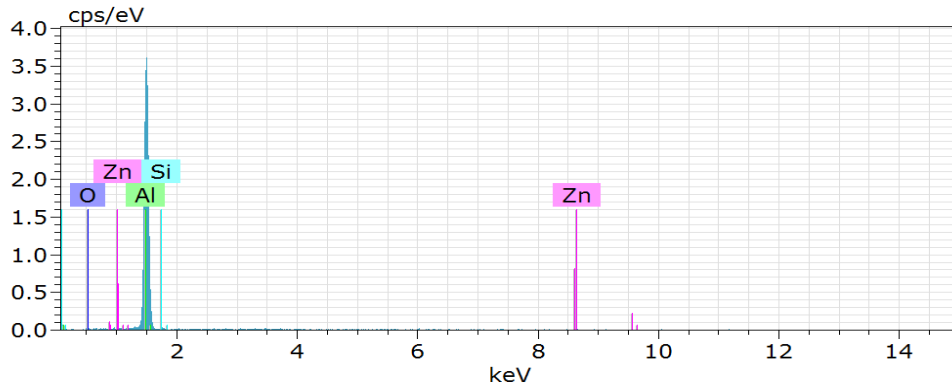
El	AN	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error (1 Sigma) [wt. %]
H	1	K-series	75.77	71.49	98.52	7.60
Al	13	K-series	29.91	28.22	1.45	1.51
O	8	K-series	0.25	0.24	0.02	0.23
Si	14	K-series	0.04	0.04	0.00	0.04
Zn	30	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			105.98	100.00	100.00	

Şekil 6.11. C1 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

A2



194
Date:4/27/2017 4:37:33 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:15.0kV

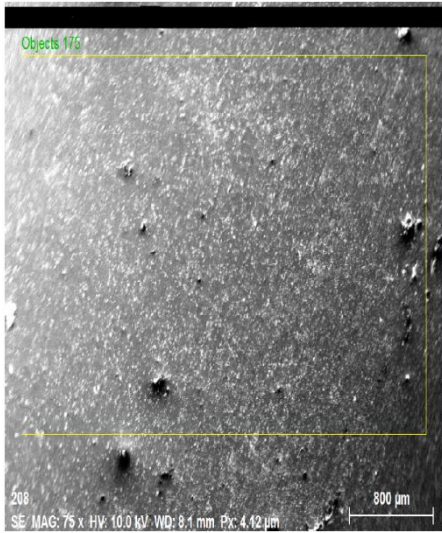
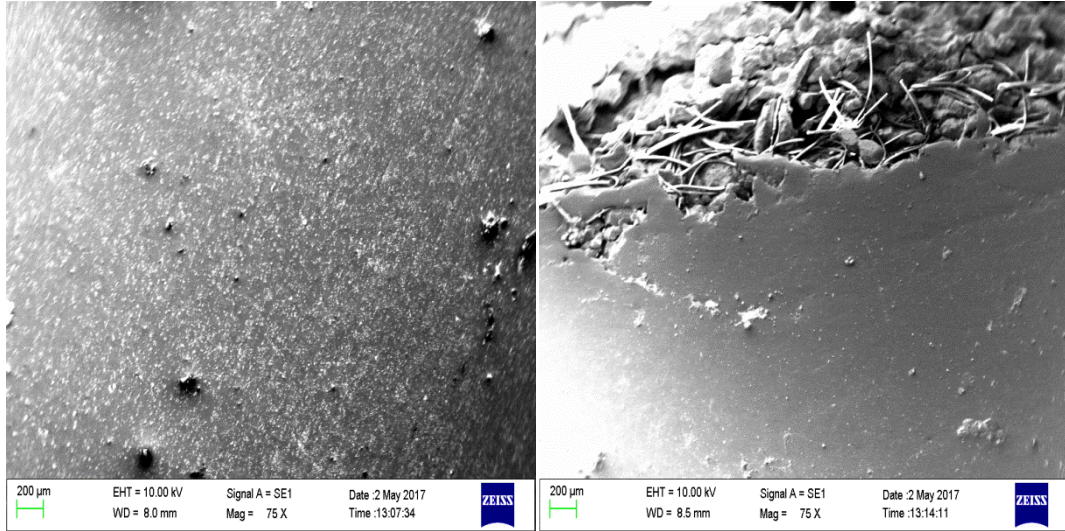


Objects 150 Date:4/27/2017 4:37:59 PM HV:15.0kV Puls th.:0.54kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	55.01	71.00	98.49	5.53
Al	13	K-series	22.05	28.45	1.47	1.12
O	8	K-series	0.26	0.34	0.03	0.21
Si	14	K-series	0.11	0.14	0.01	0.05
Zn	30	K-series	0.06	0.07	0.00	0.09
Total:			77.49	100.00	100.00	

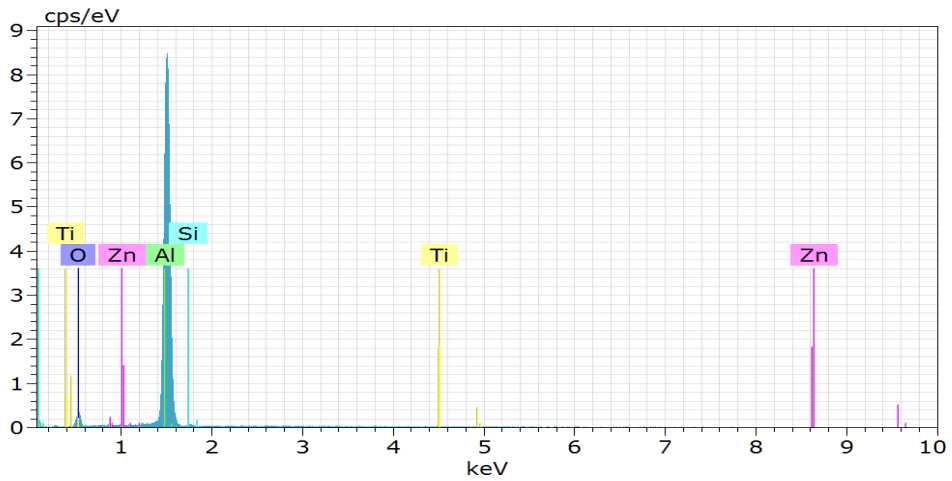
Şekil 6.12. A2 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

B2



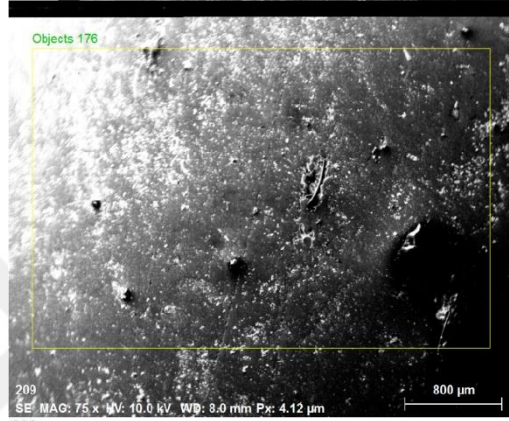
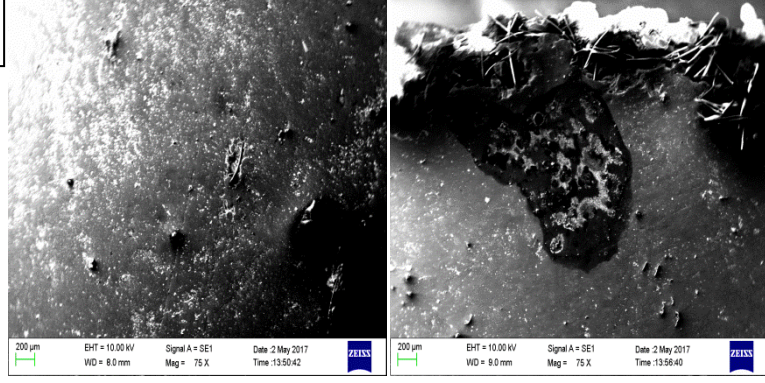
Spectrum: Objects 175

El	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)	
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]	
H	1	K-series	0	55.54	61.58	97.66	5.58
Al	13	K-series	33723	32.92	36.50	2.16	1.52
O	8	K-series	1010	1.46	1.62	0.16	0.36
Si	14	K-series	82	0.15	0.17	0.01	0.05
Ti	22	K-series	22	0.09	0.10	0.00	0.05
Zn	30	L-series	15	0.03	0.03	0.00	0.03
Total:			90.19	100.00	100.00		

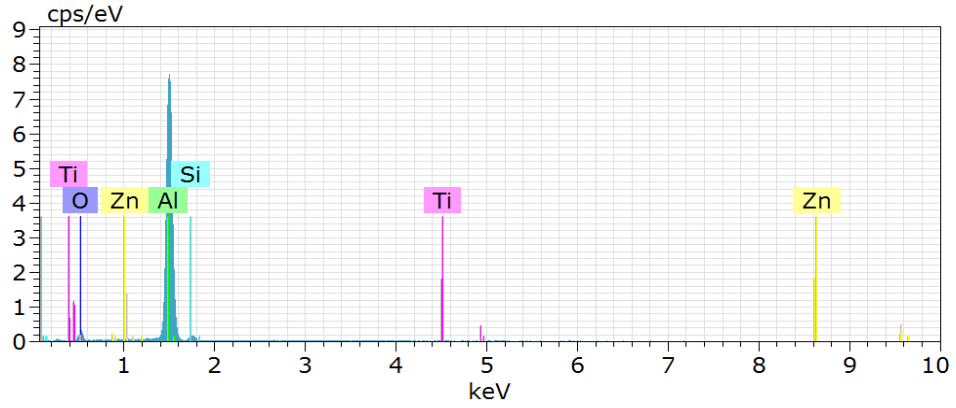


Şekil 6.13. B2 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

C2



209
SE MAG: 75 x HV: 10.0 kV WD: 8.0 mm Px: 4.12 µm
209
Date: 5/2/2017 1:42:43 PM
Image size: 1024 x 768
Mag: 75x
HV: 10.0 kV

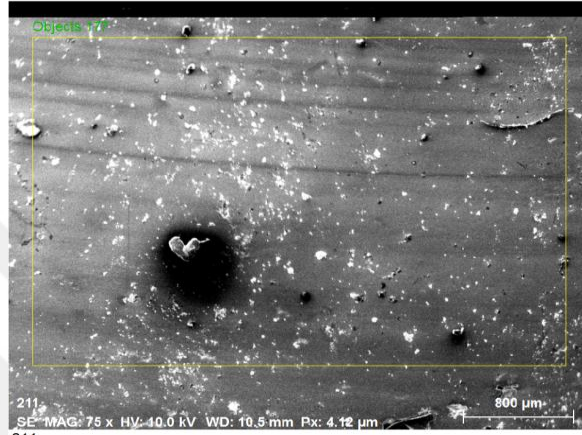
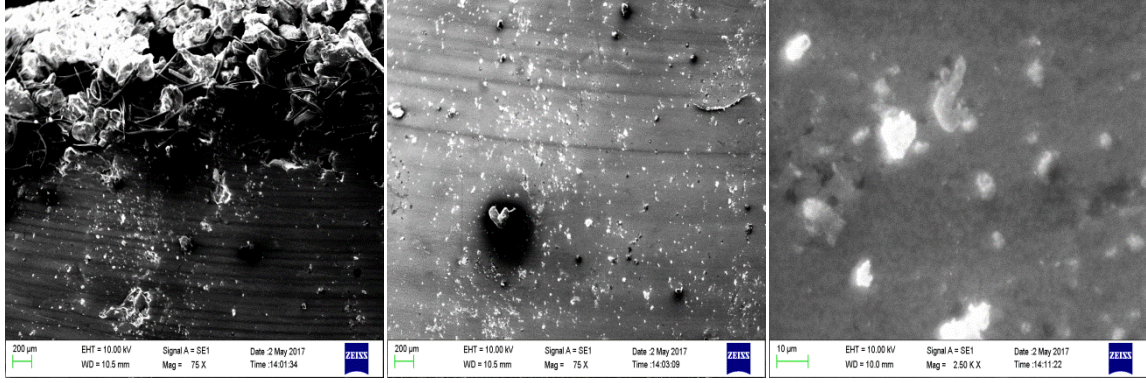


Objects 176 Date: 5/2/2017 1:43:12 PM HV: 10.0 kV Puls th.: 0.99 kcps

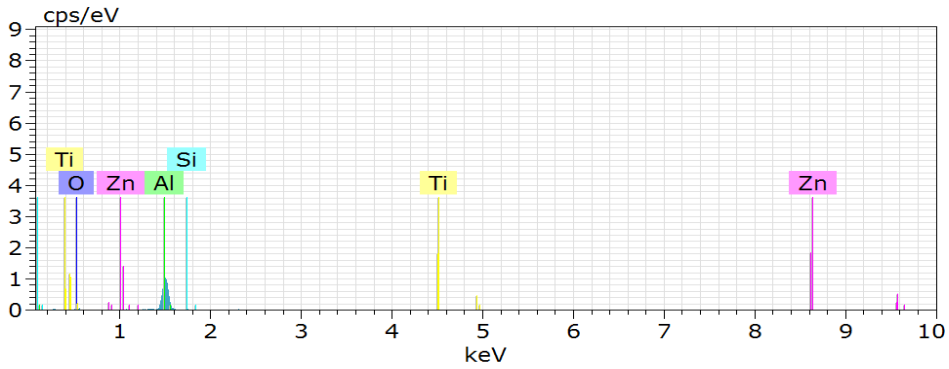
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	56.74	63.83	97.88	5.70
Al	13	K-series	30.03	33.79	1.94	1.39
O	8	K-series	1.20	1.35	0.13	0.31
Si	14	K-series	0.91	1.02	0.06	0.09
Ti	22	K-series	0.01	0.01	0.00	0.03
Zn	30	L-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			88.89	100.00	100.00	

Şekil 6.14. C2 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

A3



211
SE MAG: 75 x HV: 10.0 kV WD: 10.5 mm Px: 4.12 µm
Date: 5/2/2017 1:54:42 PM
Image size: 1024 x 768
Mag: 75x
HV: 10.0kV

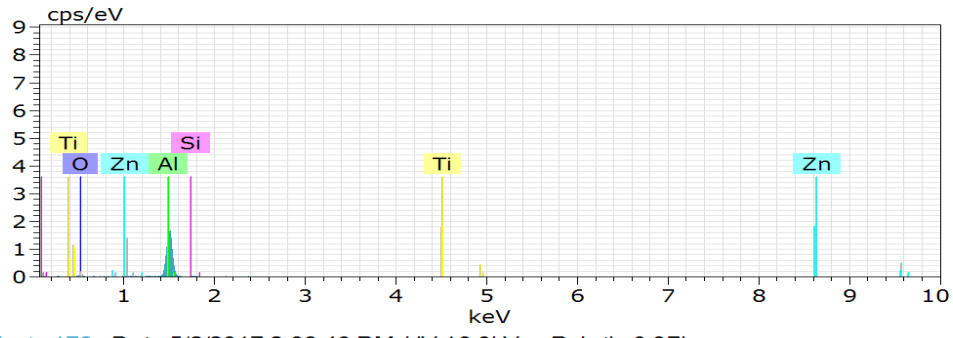
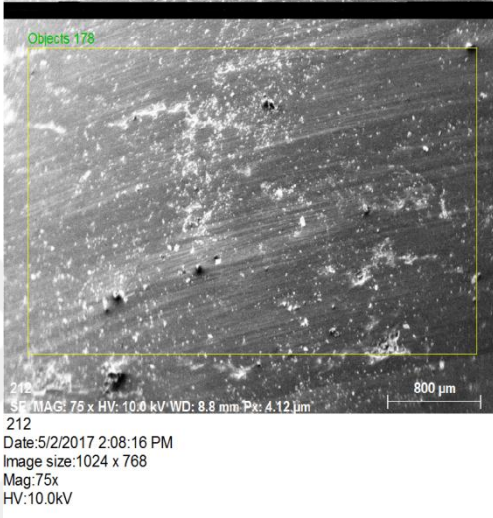
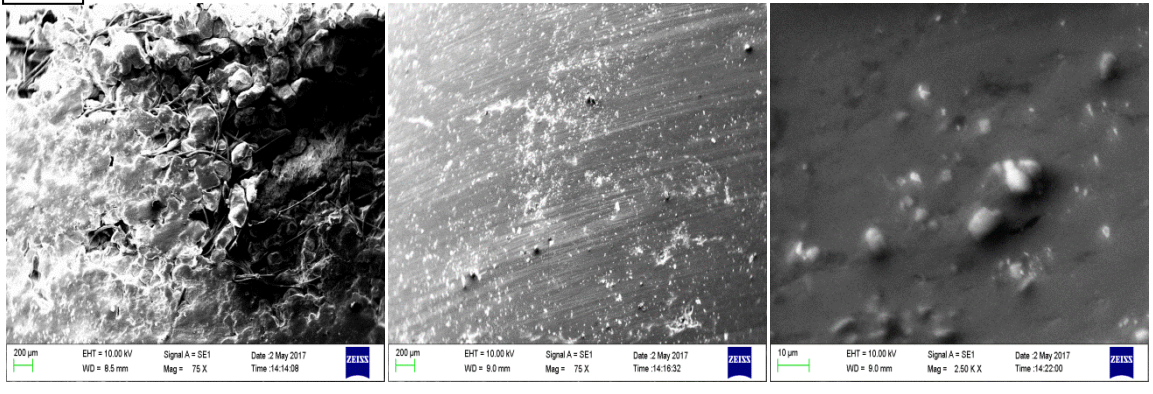


Objects 177 Date: 5/2/2017 1:55:10 PM HV: 10.0kV Puls th.: 0.31kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	93.59	93.59	99.74	9.38
Al	13	K-series	5.99	5.99	0.24	0.33
O	8	K-series	0.30	0.30	0.02	0.15
Zn	30	L-series	0.07	0.07	0.00	0.04
Si	14	K-series	0.05	0.05	0.00	0.04
Ti	22	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.15. A3 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

B3

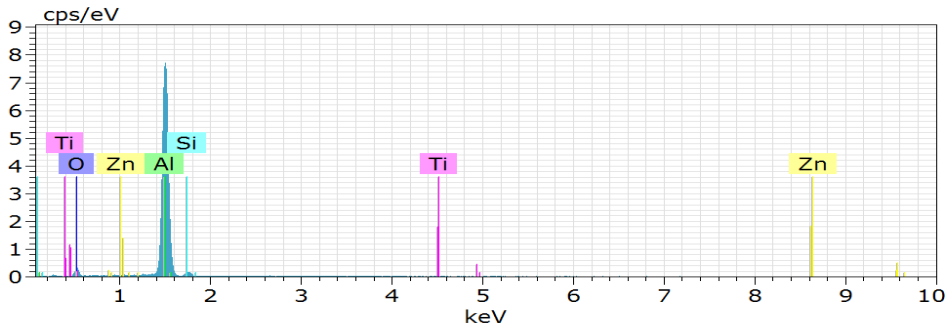
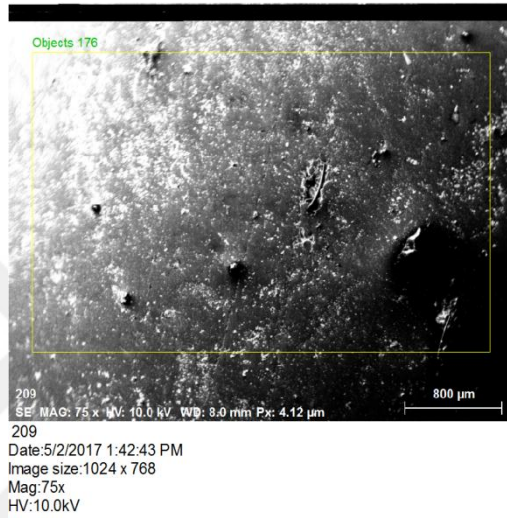
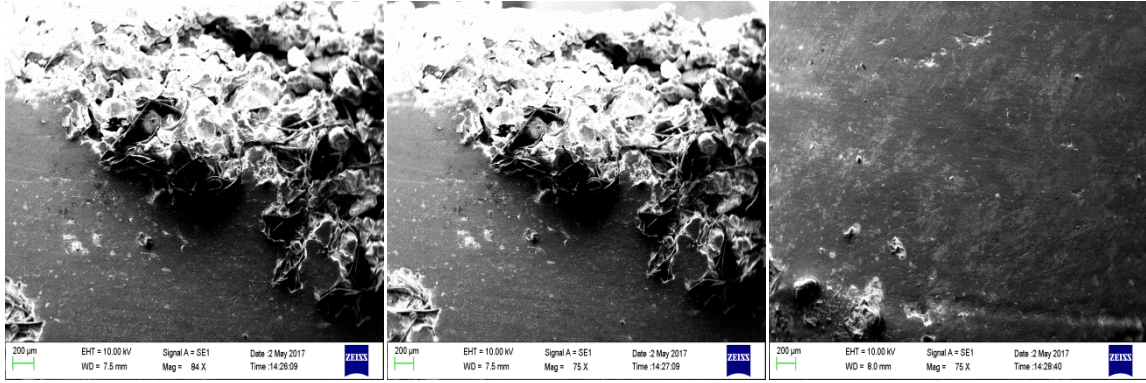


Objects 178 Date:5/2/2017 2:08:46 PM HV:10.0kV Puls th.:0.37kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	90.17	90.17	99.58	9.04
Al	13	K-series	8.99	8.99	0.37	0.46
O	8	K-series	0.52	0.52	0.04	0.20
Si	14	K-series	0.16	0.16	0.01	0.05
Zn	30	L-series	0.15	0.15	0.00	0.06
Ti	22	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.16. B3 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

C3

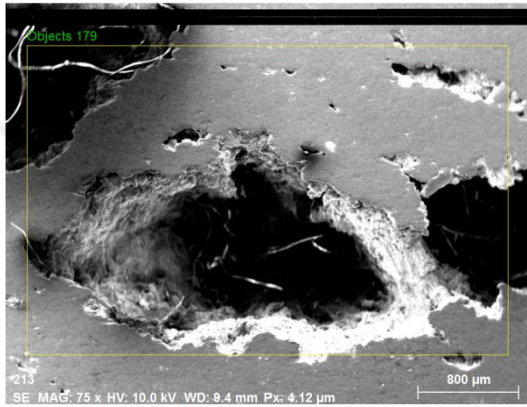
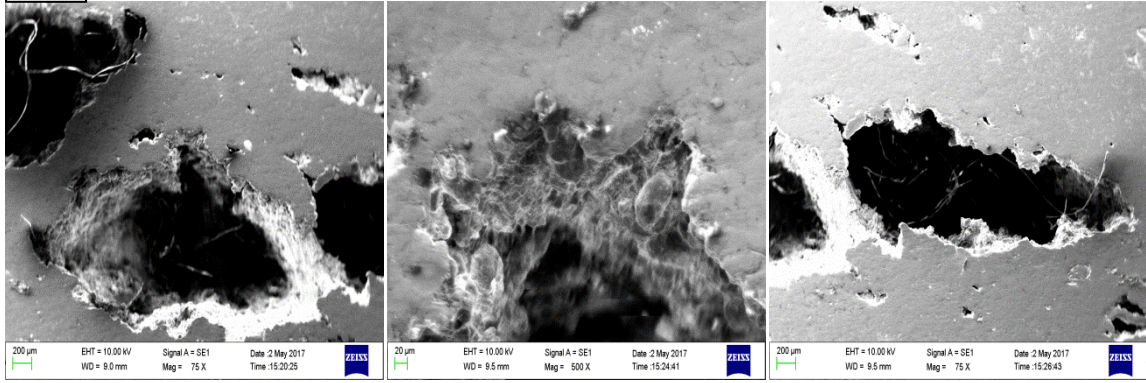


Objects 176 Date:5/2/2017 1:43:12 PM HV:10.0kV Puls th.:0.99kcps

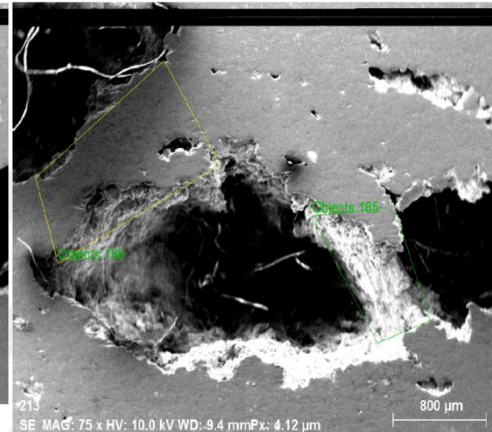
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	56.74	63.83	97.88	5.70
Al	13	K-series	30.03	33.79	1.94	1.39
O	8	K-series	1.20	1.35	0.13	0.31
Si	14	K-series	0.91	1.02	0.06	0.09
Ti	22	K-series	0.01	0.01	0.00	0.03
Zn	30	L-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			88.89	100.00	100.00	

Şekil 6.17. C3 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

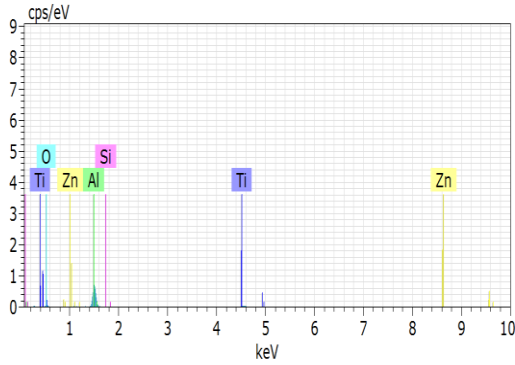
A4



213
Date:5/2/2017 3:19:52 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV

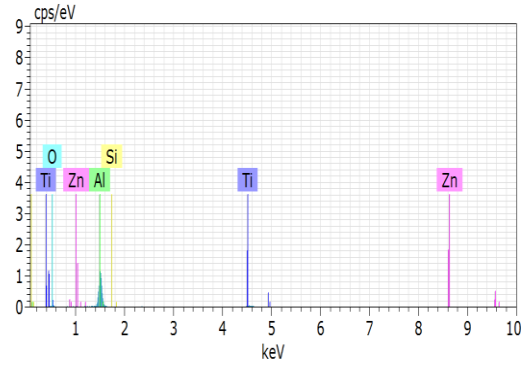


213
Date:5/2/2017 3:19:52 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV



Objects 179 Date:5/2/2017 3:20:31 PM HV:10.0KV Puls th.:0.28kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	94.84	94.84	99.80	9.51
Al	13	K-series	4.07	4.07	0.16	0.24
Ti	22	K-series	0.72	0.72	0.02	0.11
O	8	K-series	0.36	0.36	0.02	0.17
Si	14	K-series	0.01	0.01	0.00	0.03
Zn	30	L-series	0.00	0.00	0.00	0.03
Total:			100.00	100.00	100.00	

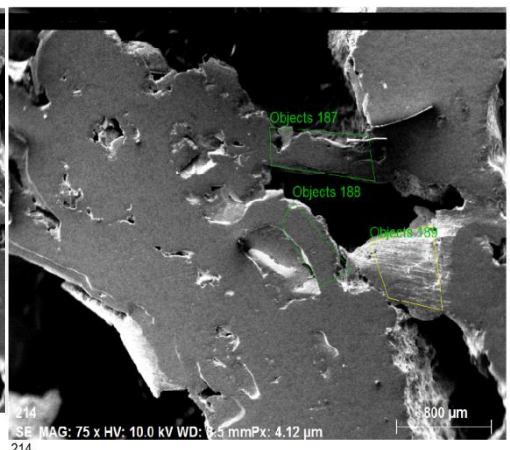
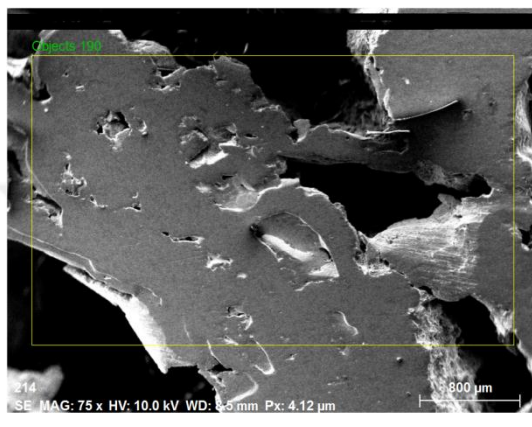
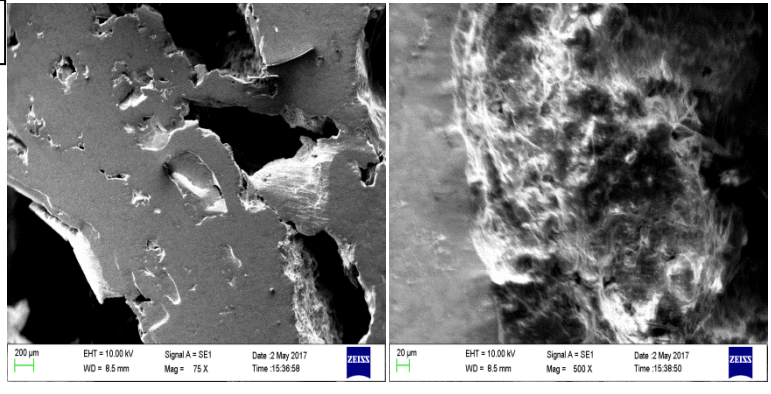


Objects 186 Date:5/2/2017 3:23:47 PM HV:10.0KV Puls th.:0.32kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	91.93	91.93	99.69	9.22
Al	13	K-series	6.41	6.41	0.26	0.34
Ti	22	K-series	1.42	1.42	0.03	0.14
O	8	K-series	0.20	0.20	0.01	0.12
Zn	30	L-series	0.05	0.05	0.00	0.04
Si	14	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			100.00	100.00	100.00	

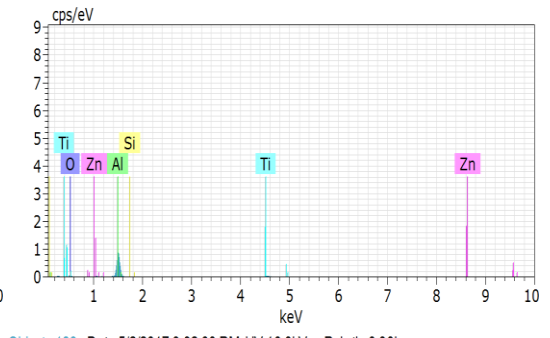
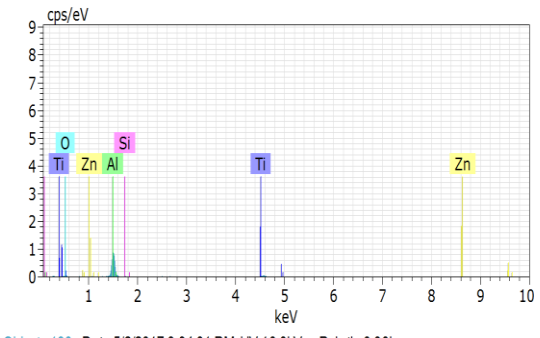
Şekil 6.18. A4 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

B4



214
Date:5/2/2017 3:30:51 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV

214
Date:5/2/2017 3:30:51 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV



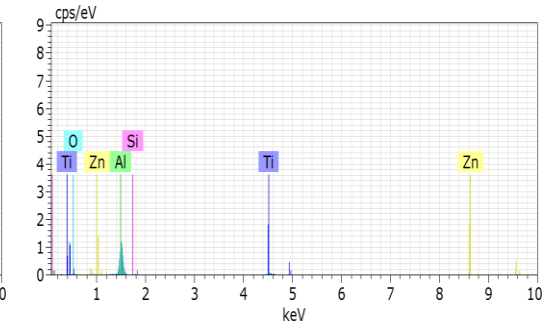
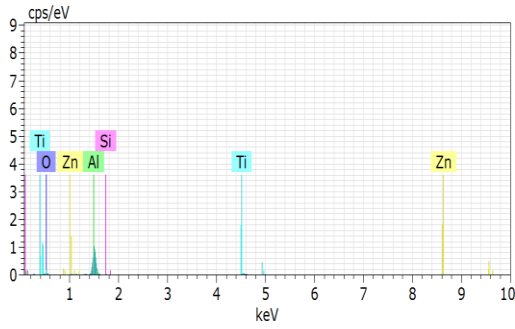
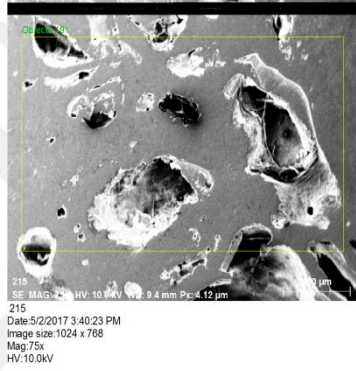
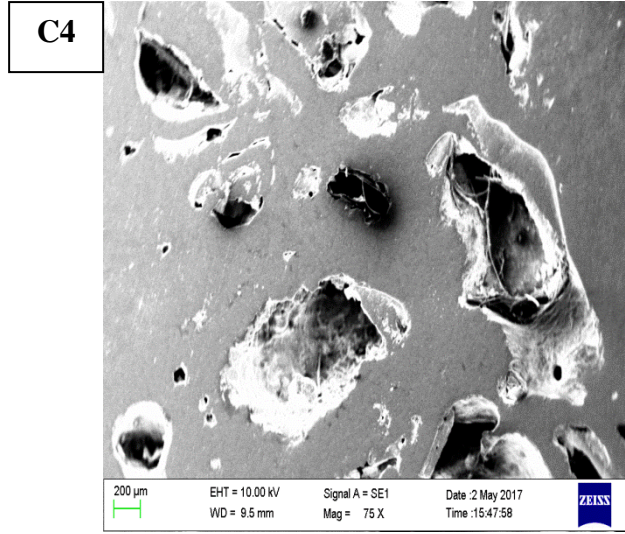
Objects 190 Date:5/2/2017 3:34:31 PM HV:10.0kV Puls th:0.30kcps

Objects 189 Date:5/2/2017 3:32:00 PM HV:10.0kV Puls th:0.30kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	93.00	93.00	99.73	9.32
Al	13	K-series	5.34	5.34	0.21	0.30
Ti	22	K-series	1.30	1.30	0.03	0.14
O	8	K-series	0.32	0.32	0.02	0.16
Zn	30	L-series	0.03	0.03	0.00	0.04
Si	14	K-series	0.02	0.02	0.00	0.03
Total:			100.00	100.00	100.00	

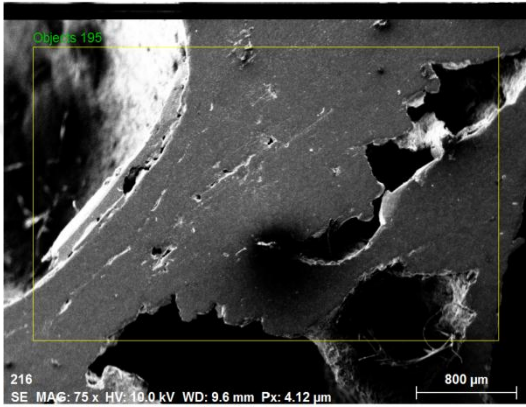
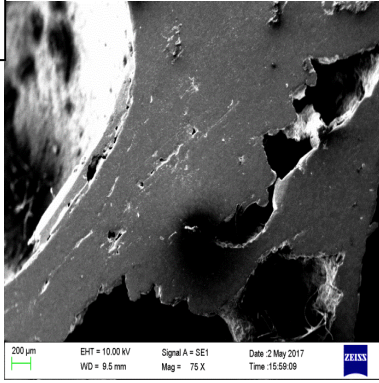
El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	93.81	93.81	99.76	9.41
Al	13	K-series	4.92	4.92	0.20	0.28
Ti	22	K-series	0.91	0.91	0.02	0.13
O	8	K-series	0.35	0.35	0.02	0.16
Si	14	K-series	0.02	0.02	0.00	0.03
Zn	30	L-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.19. B4 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

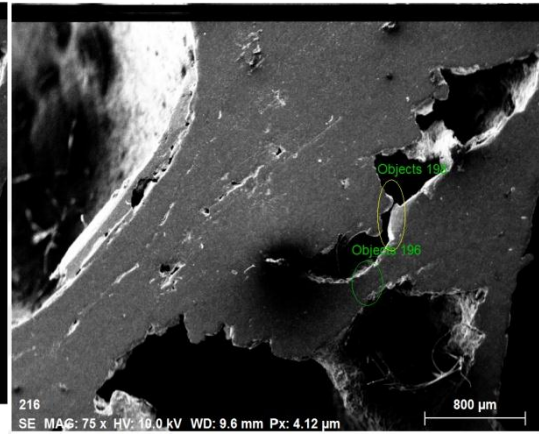


Şekil 6.20. C4 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

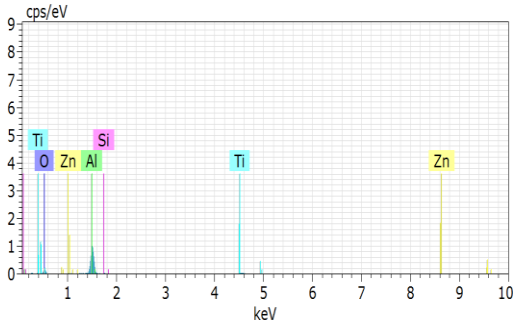
A5



216
Date:5/2/2017 3:50:51 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV

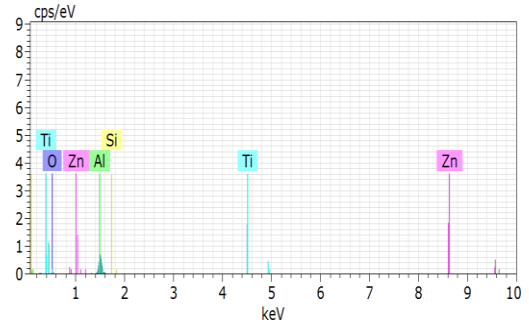


216
Date:5/2/2017 3:50:51 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV



Objects 195 Date:5/2/2017 3:51:20 PM HV:10.0kV Puls th.:0.32kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	92.58	92.58	99.69	9.28
Al	13	K-series	5.57	5.57	0.22	0.31
O	8	K-series	0.88	0.88	0.06	0.28
Ti	22	K-series	0.85	0.85	0.02	0.12
Zn	30	L-series	0.08	0.08	0.00	0.04
Si	14	K-series	0.04	0.04	0.00	0.03
Total:			100.00	100.00	100.00	

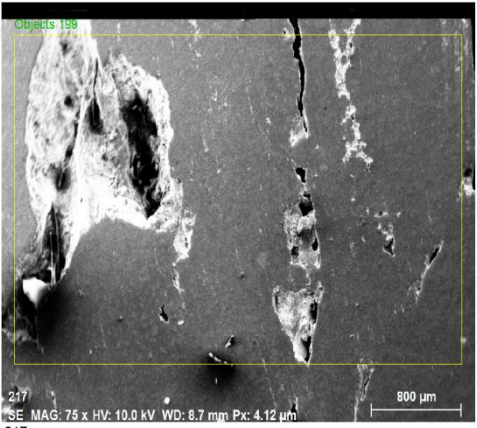
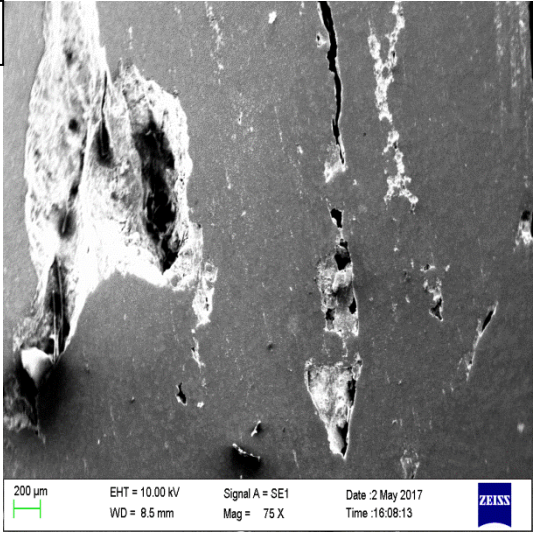


Objects 198 Date:5/2/2017 3:54:40 PM HV:10.0kV Puls th.:0.28kcps

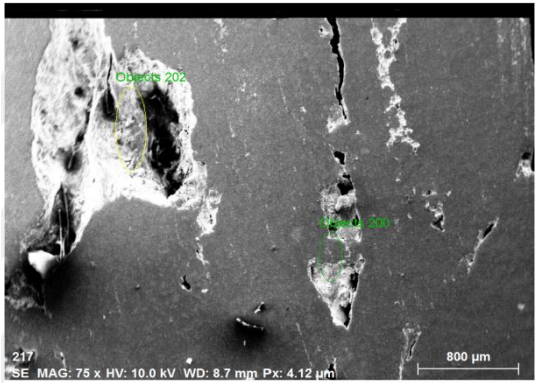
El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	95.47	95.47	99.81	9.57
Al	13	K-series	3.94	3.94	0.15	0.23
O	8	K-series	0.47	0.47	0.03	0.19
Ti	22	K-series	0.08	0.08	0.00	0.05
Si	14	K-series	0.04	0.04	0.00	0.04
Zn	30	L-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.21. A5 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

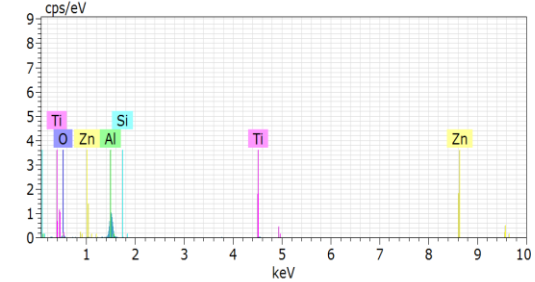
B5



217
Date:5/2/2017 3:59:54 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV

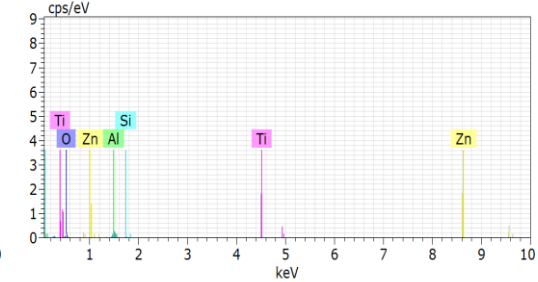


217
Date:5/2/2017 3:59:54 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV



Objects 199 Date:5/2/2017 4:00:27 PM HV:10.0kV Puls th.:0.32kcps

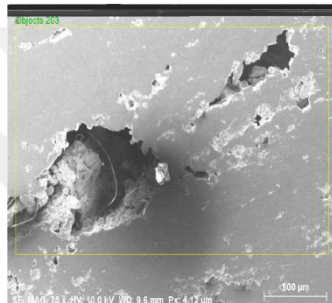
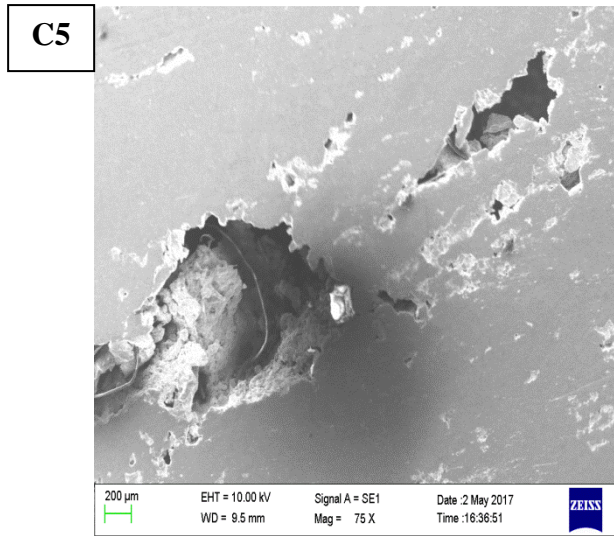
El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	92.81	92.81	99.71	9.31
Al	13	K-series	5.59	5.59	0.22	0.31
O	8	K-series	0.72	0.72	0.05	0.24
Ti	22	K-series	0.64	0.64	0.01	0.11
Zn	30	L-series	0.14	0.14	0.00	0.06
Si	14	K-series	0.10	0.10	0.00	0.04
Total:			100.00	100.00	100.00	



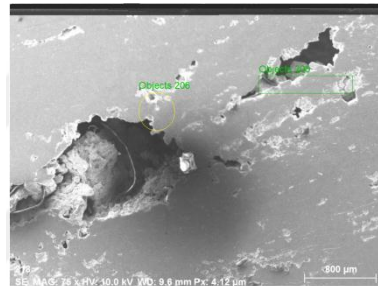
Objects 202 Date:5/2/2017 4:02:45 PM HV:10.0kV Puls th.:0.25kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	97.45	97.45	99.88	9.77
Al	13	K-series	1.44	1.44	0.06	0.12
O	8	K-series	0.95	0.95	0.06	0.29
Si	14	K-series	0.08	0.08	0.00	0.04
Ti	22	K-series	0.06	0.06	0.00	0.04
Zn	30	L-series	0.02	0.02	0.00	0.04
Total:			100.00	100.00	100.00	

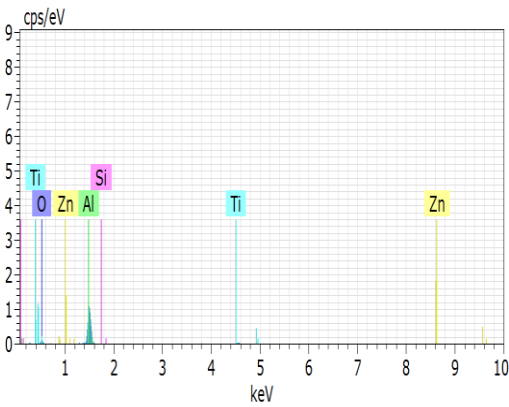
Şekil 6.22. B5 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri



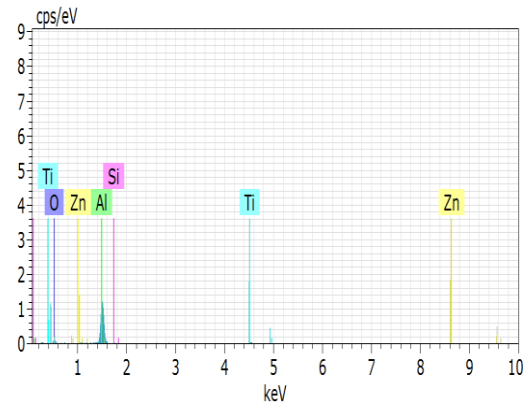
218
Date: 5/2/2017 4:28:34 PM
Image size: 1024 x 768
Mag: 75x
HV: 10.0kV



218
Date: 5/2/2017 4:28:34 PM
Image size: 1024 x 768
Mag: 75x
HV: 10.0kV



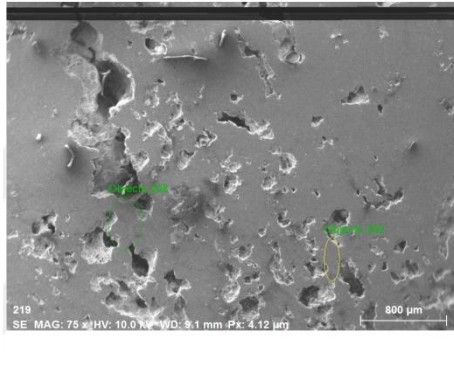
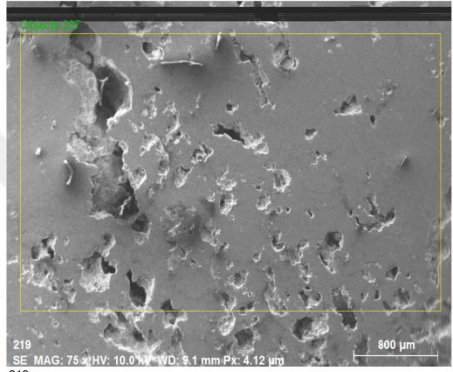
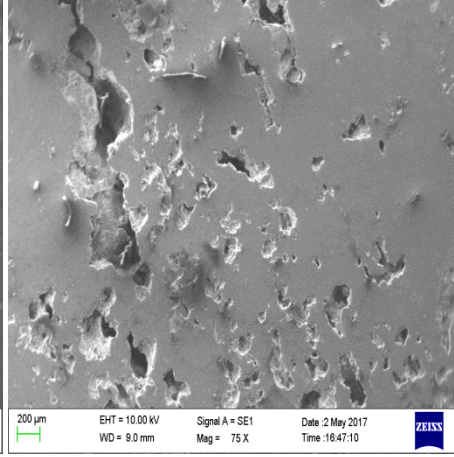
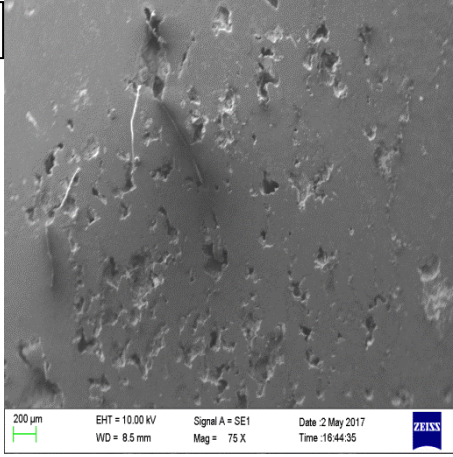
El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	92.89	92.89	99.71	9.31
Al	13	K-series	6.04	6.04	0.24	0.33
O	8	K-series	0.60	0.60	0.04	0.22
Ti	22	K-series	0.35	0.35	0.01	0.08
Zn	30	L-series	0.07	0.07	0.00	0.05
Si	14	K-series	0.05	0.05	0.00	0.04
Total:			100.00	100.00	100.00	



El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	91.59	91.59	99.65	9.18
Al	13	K-series	7.25	7.25	0.29	0.38
O	8	K-series	0.64	0.64	0.04	0.23
Ti	22	K-series	0.45	0.45	0.01	0.08
Si	14	K-series	0.07	0.07	0.00	0.04
Zn	30	L-series	0.01	0.01	0.00	0.03
Total:			100.00	100.00	100.00	

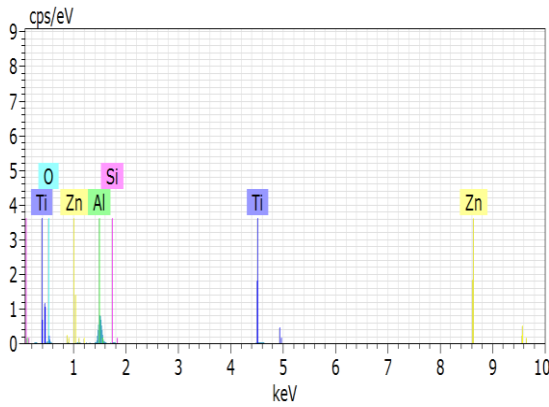
Şekil 6.23. C5 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

A6



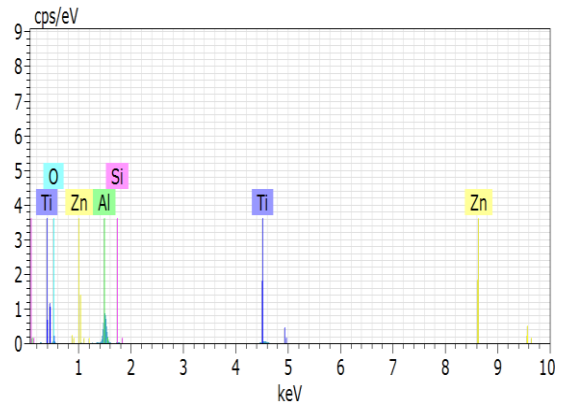
219
Date:5/2/2017 4:38:40 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV

219
Date:5/2/2017 4:38:40 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV



Objects 207 Date:5/2/2017 4:39:07 PM HV:10.0kV Puls th.:0.30kcps

El	AN	Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt. %]	[wt. %]	[at. %]	[wt. %]
H	1	K-series	93.25	93.25	99.73	9.35
Al	13	K-series	4.95	4.95	0.20	0.28
Ti	22	K-series	1.00	1.00	0.02	0.12
O	8	K-series	0.62	0.62	0.04	0.22
Si	14	K-series	0.18	0.18	0.01	0.05
Zn	30	L-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			100.00	100.00	100.00	

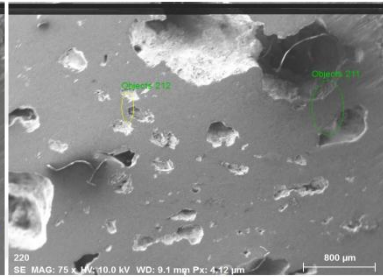
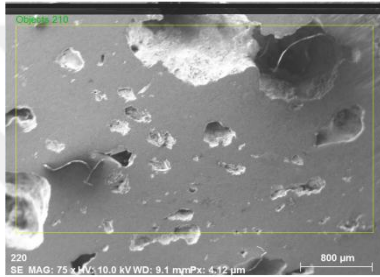
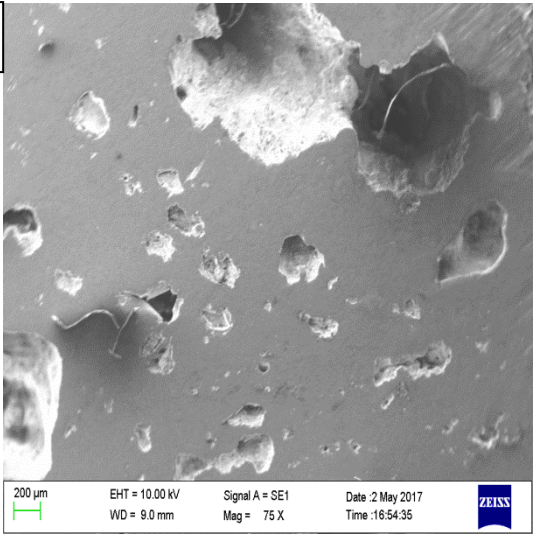


Objects 209 Date:5/2/2017 4:41:18 PM HV:10.0kV Puls th.:0.30kcps

El	AN	Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt. %]	[wt. %]	[at. %]	[wt. %]
H	1	K-series	92.42	92.42	99.70	9.27
Al	13	K-series	5.72	5.72	0.23	0.32
Ti	22	K-series	1.28	1.28	0.03	0.12
O	8	K-series	0.46	0.46	0.03	0.19
Si	14	K-series	0.13	0.13	0.01	0.05
Zn	30	L-series	0.00	0.00	0.00	0.03
Total:			100.00	100.00	100.00	

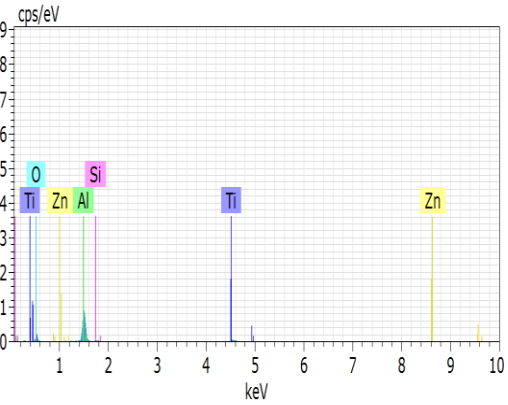
Şekil 6.24. A6 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

B6



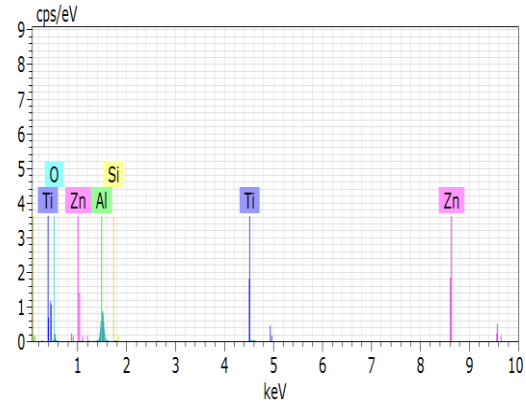
220
Date:5/2/2017 4:46:10 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV

220
Date:5/2/2017 4:46:10 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV



Objects 210 Date:5/2/2017 4:46:54 PM HV:10.0kV Puls.th.:0.31kcps

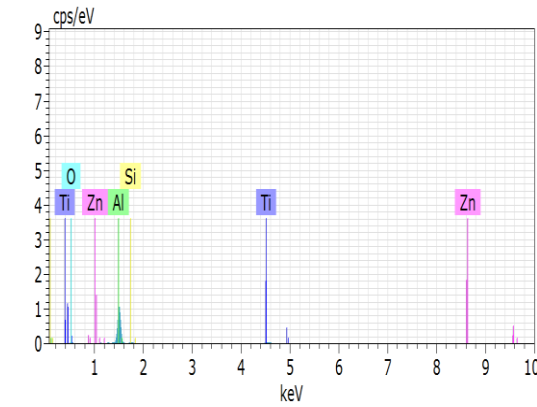
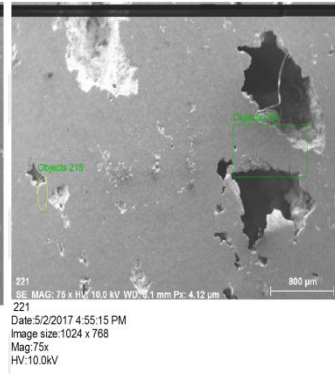
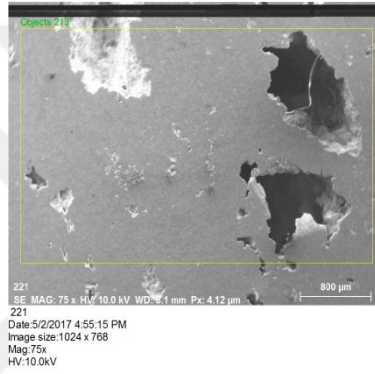
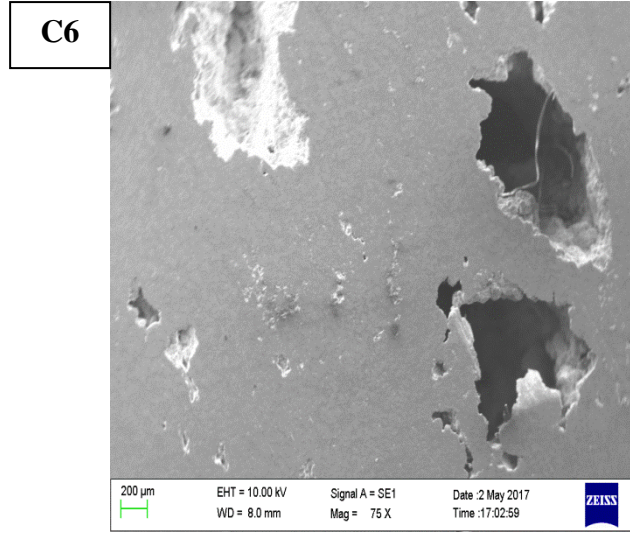
El	AN	Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt. %]	[wt. %]	[at. %]	[wt. %]
H	1	K-series	92.38	92.38	99.71	9.26
Al	13	K-series	4.67	4.67	0.19	0.26
Ti	22	K-series	1.99	1.99	0.05	0.19
O	8	K-series	0.75	0.75	0.05	0.25
Si	14	K-series	0.14	0.14	0.01	0.04
Zn	30	L-series	0.07	0.07	0.00	0.05
Total:			100.00	100.00	100.00	



Objects 212 Date:5/2/2017 4:49:02 PM HV:10.0kV Puls.th.:0.31kcps

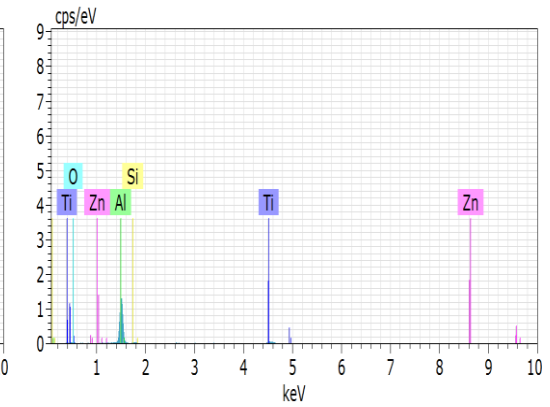
El	AN	Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt. %]	[wt. %]	[at. %]	[wt. %]
H	1	K-series	93.08	93.08	99.74	9.33
Al	13	K-series	5.01	5.01	0.20	0.28
Ti	22	K-series	1.36	1.36	0.03	0.14
O	8	K-series	0.40	0.40	0.03	0.18
Si	14	K-series	0.09	0.09	0.00	0.04
Zn	30	L-series	0.06	0.06	0.00	0.05
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.25. B6 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri



Objects 213 Date: 5/2/2017 4:55:55 PM HV: 10.0kV Puls th.: 0.32kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	92.54	92.54	99.71	9.28
Al	13	K-series	6.04	6.04	0.24	0.33
Ti	22	K-series	1.05	1.05	0.02	0.12
O	8	K-series	0.26	0.26	0.02	0.14
Si	14	K-series	0.10	0.10	0.00	0.04
Zn	30	L-series	0.01	0.01	0.00	0.03
Total:			100.00	100.00	100.00	

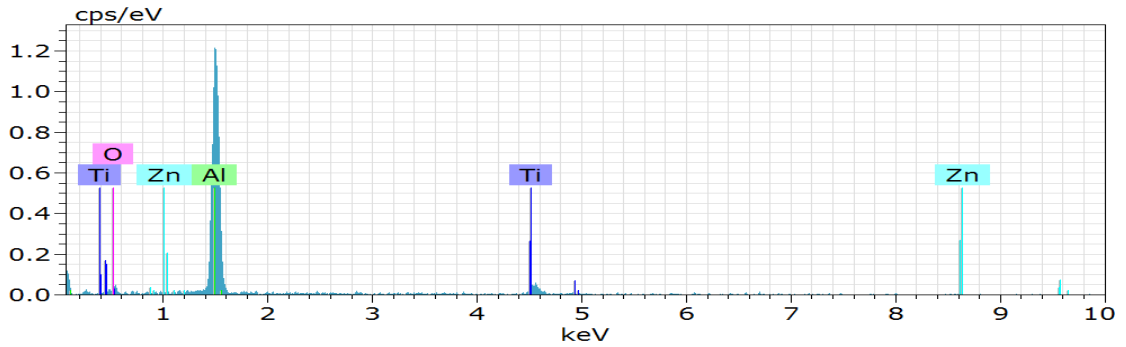
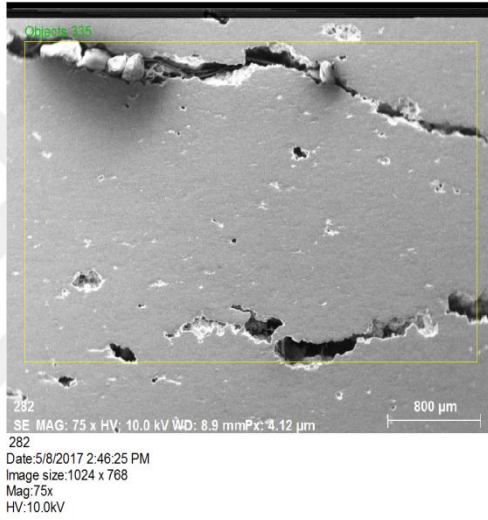
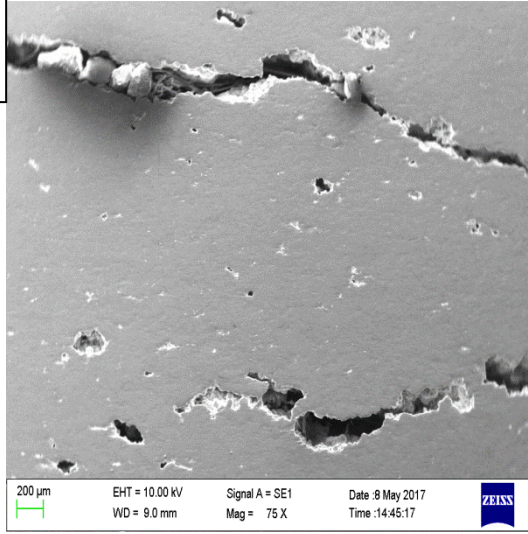


Objects 215 Date: 5/2/2017 4:58:09 PM HV: 10.0kV Puls th.: 0.35kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	90.14	90.14	99.62	9.04
Al	13	K-series	7.39	7.39	0.31	0.39
Ti	22	K-series	2.06	2.06	0.05	0.18
O	8	K-series	0.25	0.25	0.02	0.14
Si	14	K-series	0.17	0.17	0.01	0.05
Zn	30	L-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.26. C6 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

Al6061
(B)

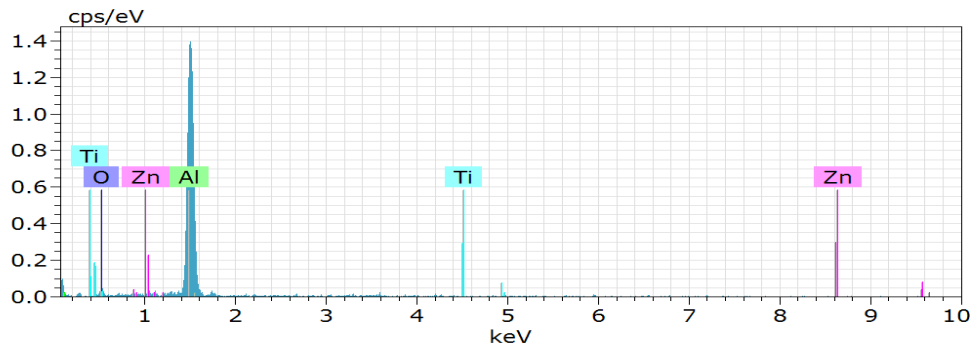
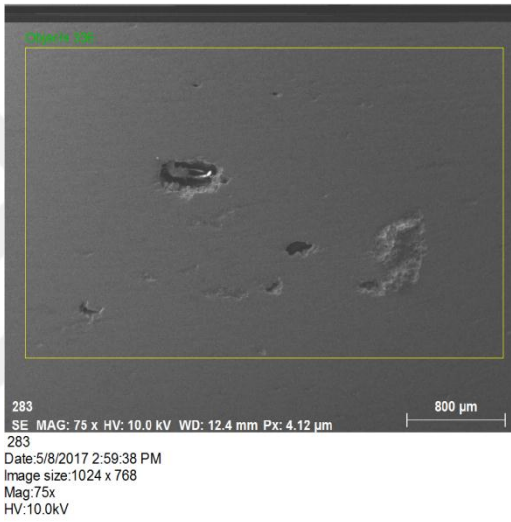
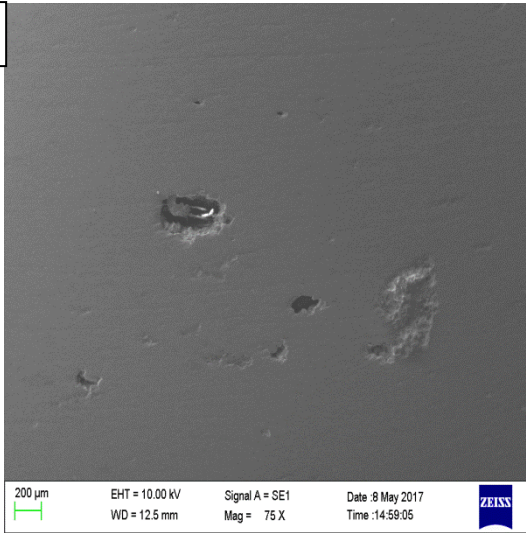


Objects 335 Date:5/8/2017 2:47:59 PM HV:10.0kV Puls th.:0.33kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	91.73	91.73	99.69	9.20
Al	13	K-series	6.87	6.87	0.28	0.39
Ti	22	K-series	1.20	1.20	0.03	0.17
Zn	30	L-series	0.10	0.10	0.00	0.05
O	8	K-series	0.10	0.10	0.01	0.11
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.27. B Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

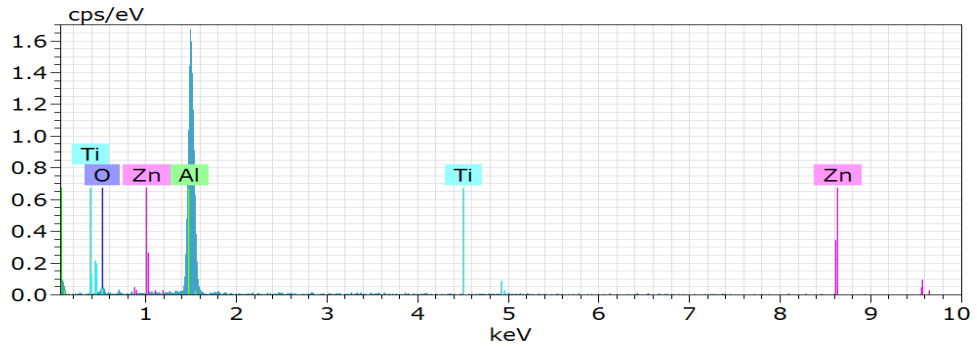
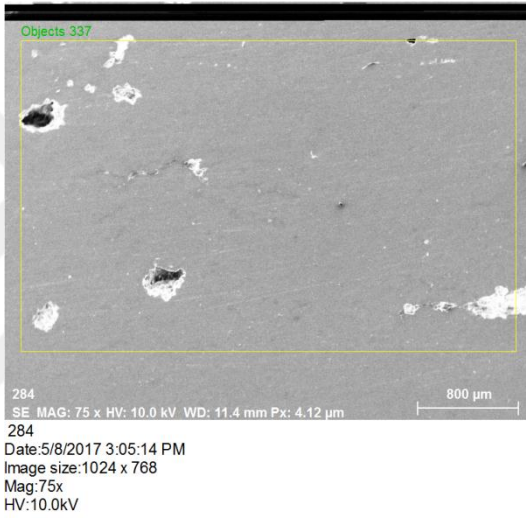
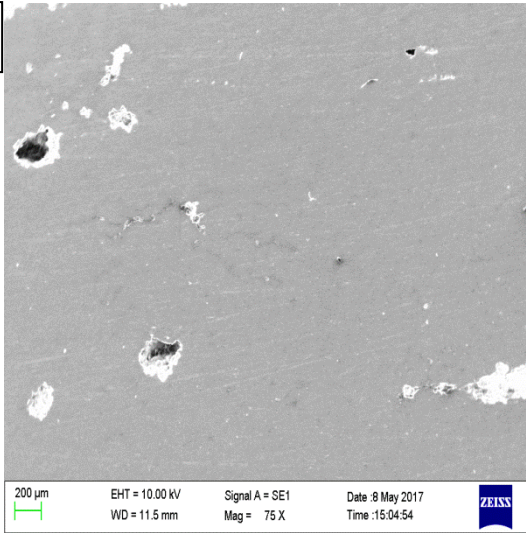
A7



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	91.83	91.83	99.66	9.21
Al	13	K-series	7.91	7.91	0.32	0.44
O	8	K-series	0.23	0.23	0.02	0.17
Zn	30	L-series	0.03	0.03	0.00	0.04
Ti	22	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.28. A7 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

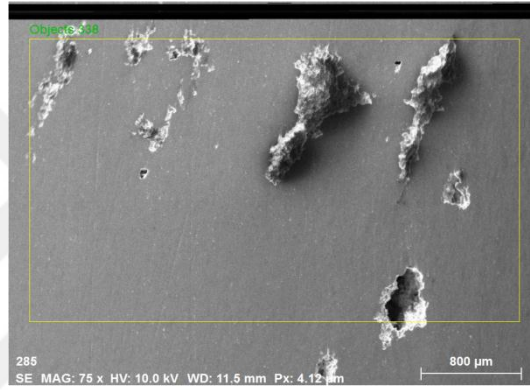
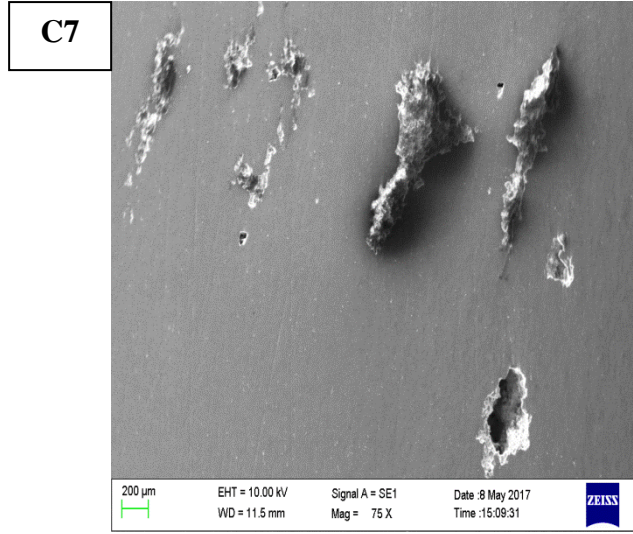
B7



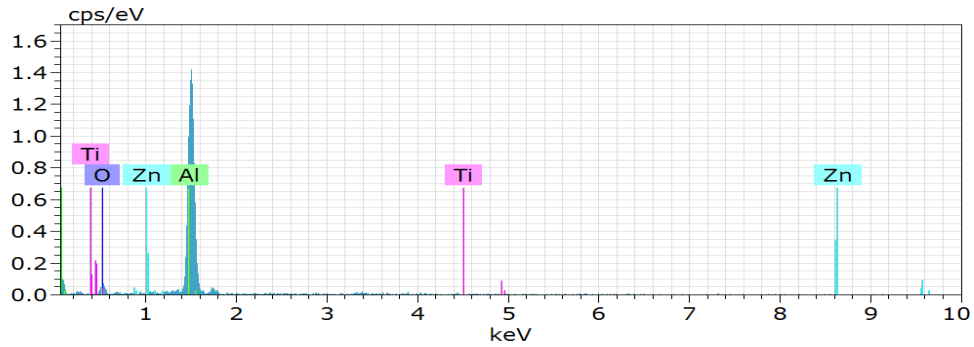
Objects 337 Date:5/8/2017 3:05:42 PM HV:10.0kV Puls th.:0.35kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	91.05	91.05	99.63	9.13
Al	13	K-series	8.76	8.76	0.36	0.48
O	8	K-series	0.19	0.19	0.01	0.15
Ti	22	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	30	L-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.29. B7 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri



285
 Date: 5/8/2017 3:09:46 PM
 Image size: 1024 x 768
 Mag: 75x
 HV: 10.0kV

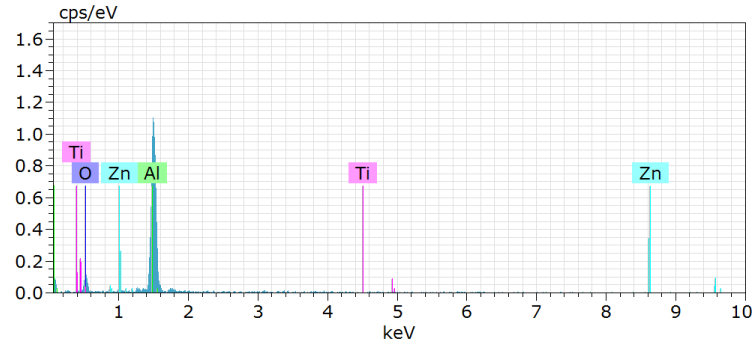
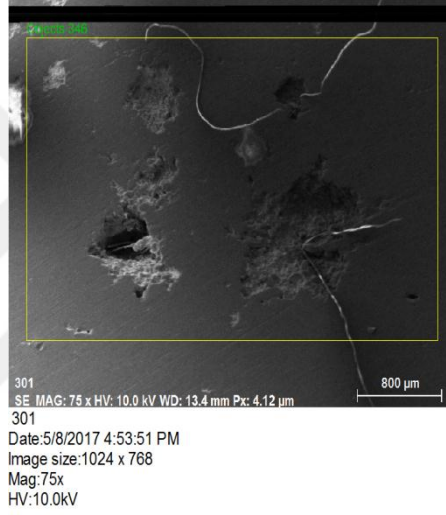
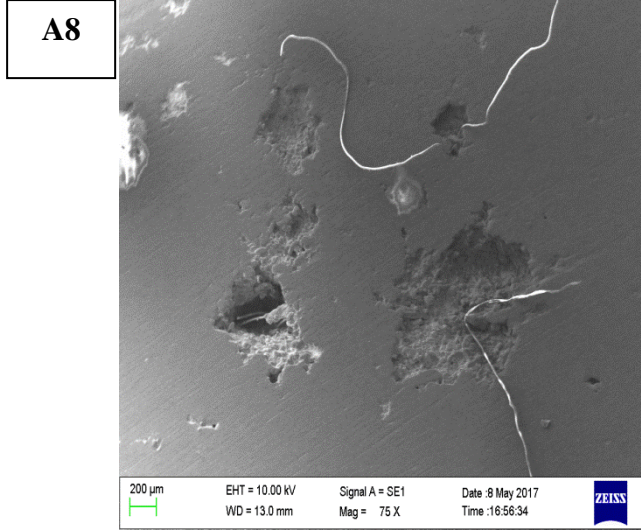


Objects 338 Date: 5/8/2017 3:10:16 PM HV: 10.0kV Puls th.: 0.35kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	91.77	91.77	99.66	9.20
Al	13	K-series	7.85	7.85	0.32	0.44
O	8	K-series	0.33	0.33	0.02	0.20
Zn	30	L-series	0.05	0.05	0.00	0.04
Ti	22	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00

Total: 100.00 100.00 100.00

Şekil 6.30. C7 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri



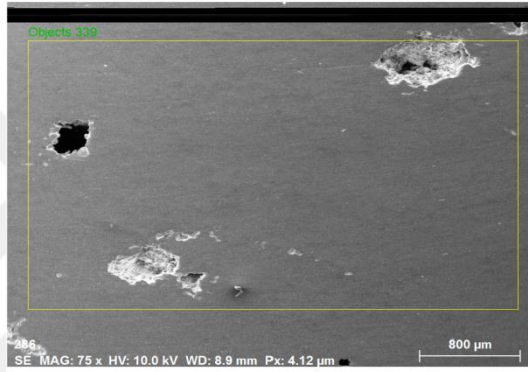
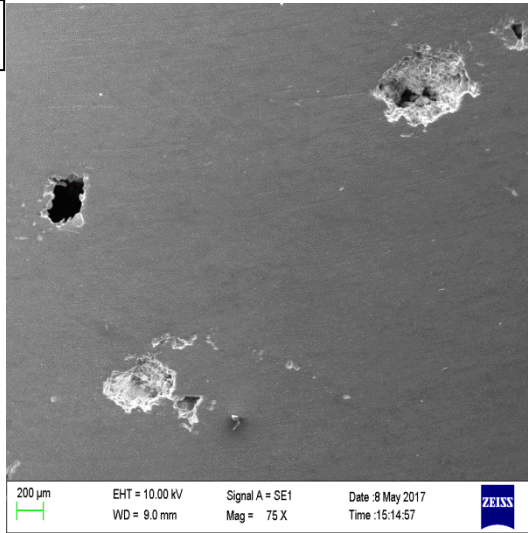
Objects 346 Date: 5/8/2017 4:54:20 PM HV: 10.0kV Puls th.: 0.32kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	93.01	93.01	99.71	9.33
Al	13	K-series	6.21	6.21	0.25	0.36
O	8	K-series	0.58	0.58	0.04	0.27
Zn	30	L-series	0.20	0.20	0.00	0.07
Ti	22	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00

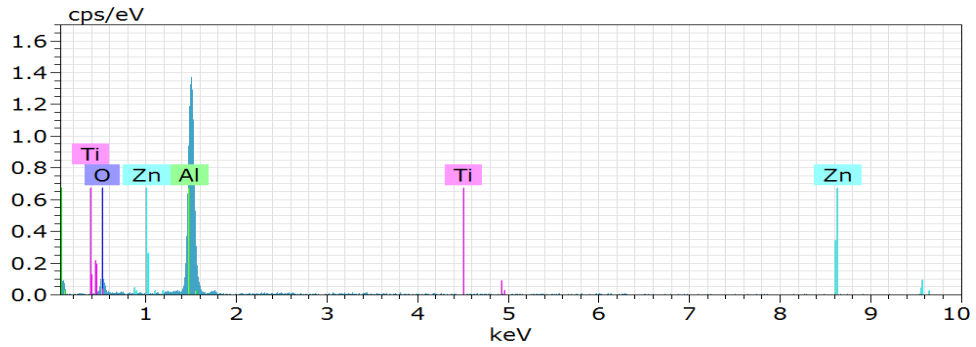
Total: 100.00 100.00 100.00

Şekil 6.31. A8 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

B8



286
Date:5/8/2017 3:15:21 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV

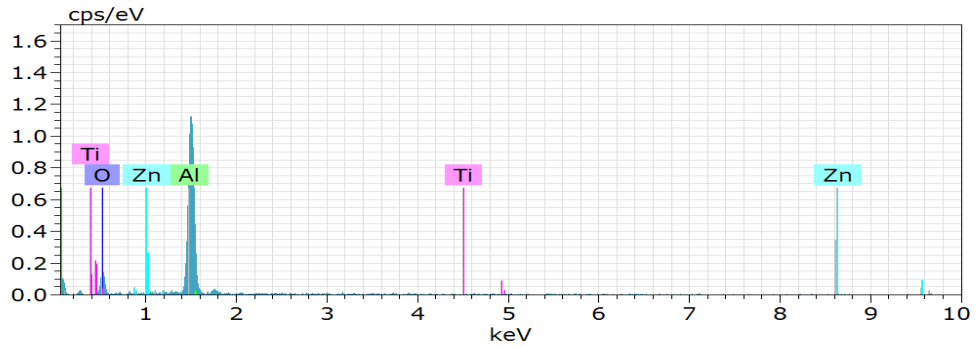
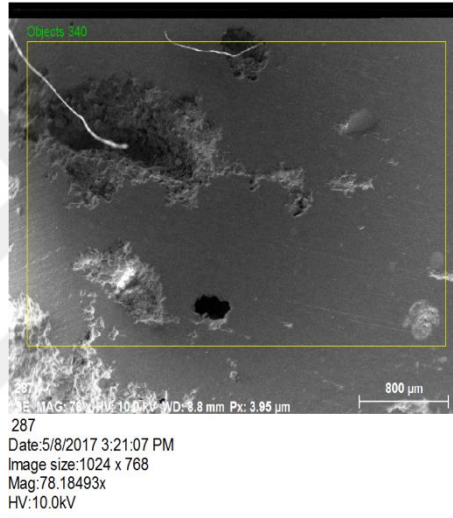
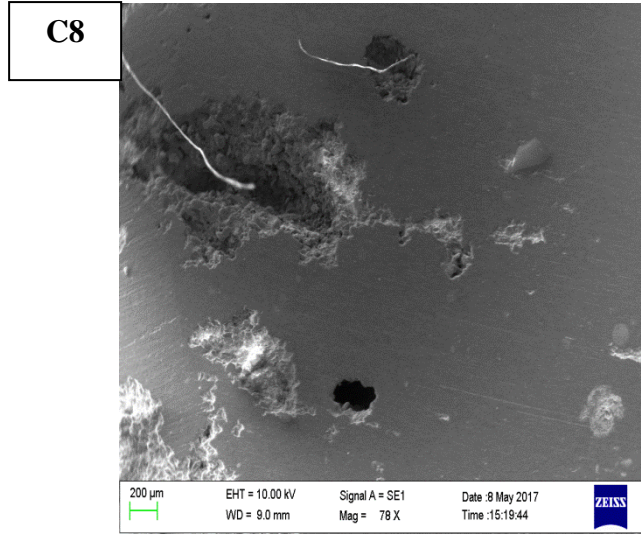


Objects 339 Date:5/8/2017 3:15:49 PM HV:10.0kV Puls th.:0.34kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	91.82	91.82	99.66	9.21
Al	13	K-series	7.53	7.53	0.31	0.42
O	8	K-series	0.55	0.55	0.04	0.26
Zn	30	L-series	0.10	0.10	0.00	0.05
Ti	22	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00

Total: 100.00 100.00 100.00

Şekil 6.32. B8 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

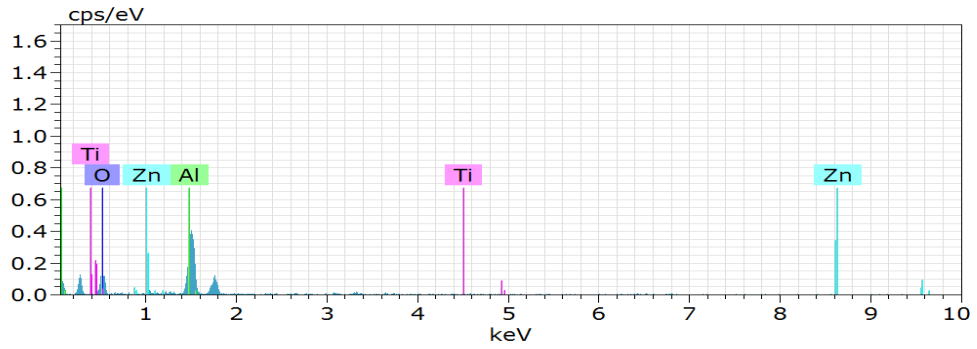
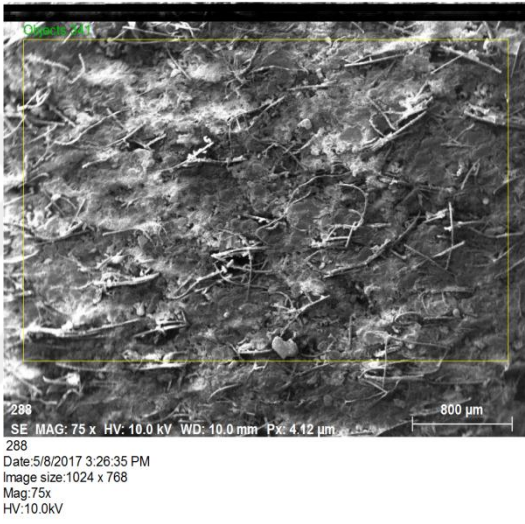
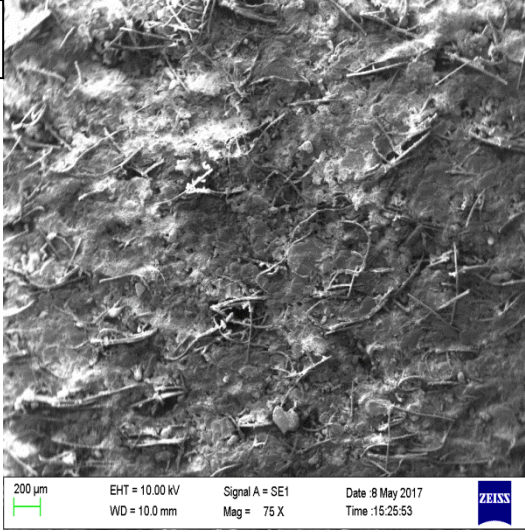


Objects 340 Date: 5/8/2017 3:21:35 PM HV: 10.0 kV Puls th.: 0.33 kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	92.83	92.83	99.70	9.31
Al	13	K-series	6.47	6.47	0.26	0.37
O	8	K-series	0.66	0.66	0.04	0.29
Zn	30	L-series	0.05	0.05	0.00	0.04
Ti	22	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.33. C8 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

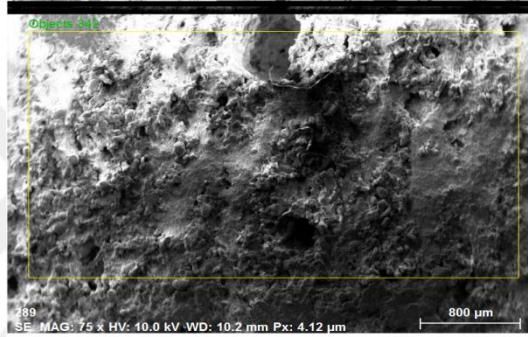
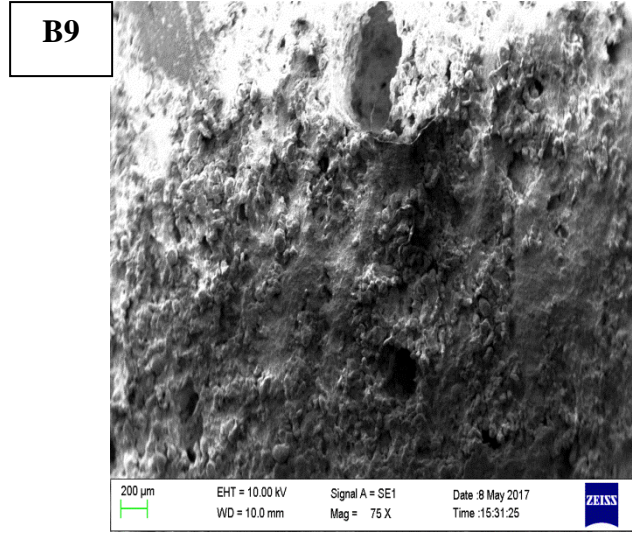
A9



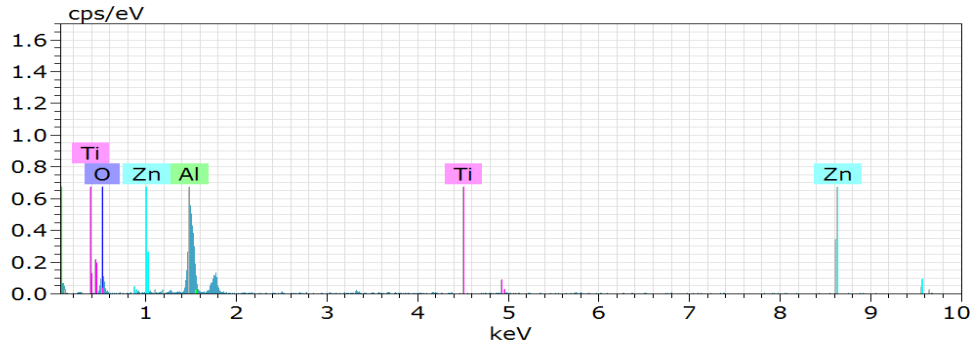
Objects 341 Date:5/8/2017 3:27:08 PM HV:10.0kV Puls th.:0.27kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	96.80	96.80	99.86	9.70
Al	13	K-series	2.26	2.26	0.09	0.17
O	8	K-series	0.84	0.84	0.05	0.34
Zn	30	L-series	0.10	0.10	0.00	0.05
Ti	22	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.34. A9 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri



289
Date:5/8/2017 3:31:43 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV

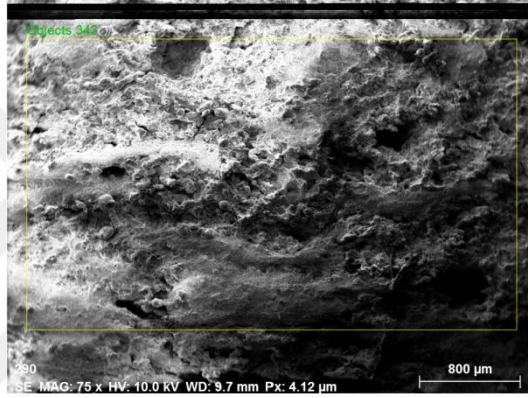
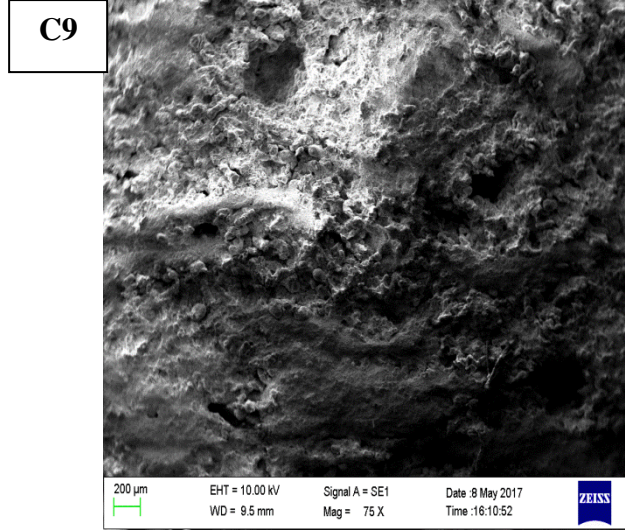


Objects 342 Date:5/8/2017 3:32:12 PM HV:10.0kV Puls th.:0.27kcps

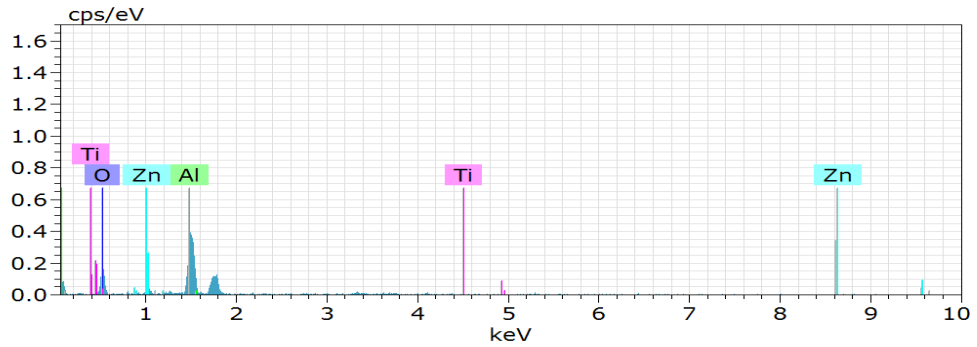
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	96.20	96.20	99.84	9.65
Al	13	K-series	3.00	3.00	0.12	0.21
O	8	K-series	0.69	0.69	0.05	0.30
Zn	30	L-series	0.10	0.10	0.00	0.06
Ti	22	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00

Total: 100.00 100.00 100.00

Şekil 6.35. B9 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri



290
Date:5/8/2017 4:11:07 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV



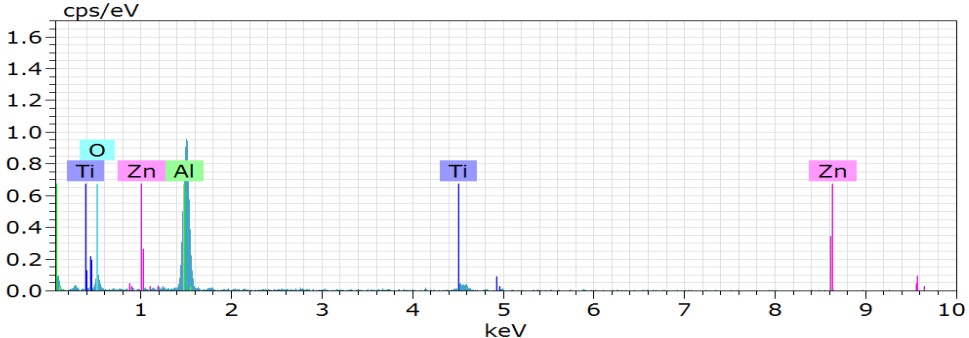
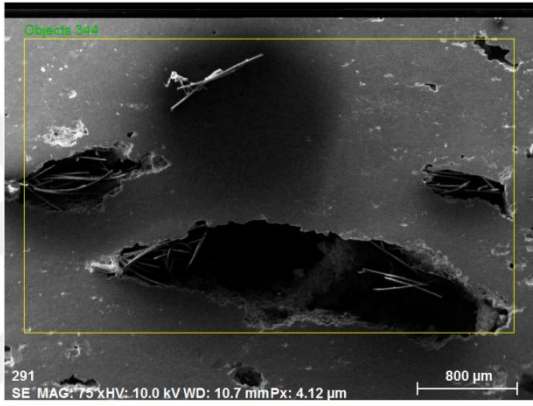
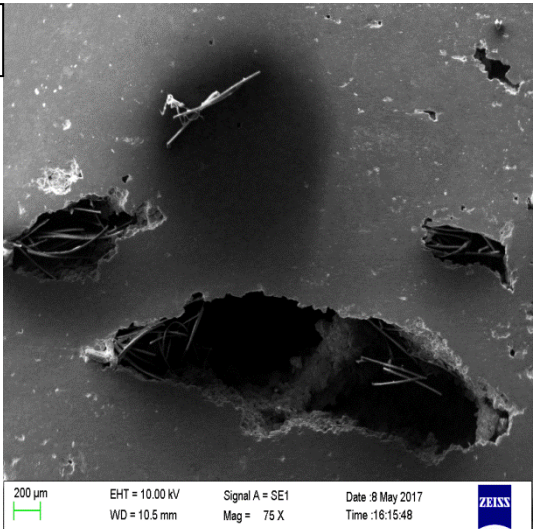
Objects 343 Date:5/8/2017 4:11:36 PM HV:10.0kV Puls th.:0.27kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	96.73	96.73	99.85	9.70
Al	13	K-series	2.18	2.18	0.08	0.17
O	8	K-series	0.90	0.90	0.06	0.35
Zn	30	L-series	0.19	0.19	0.00	0.07
Ti	22	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00

Total: 100.00 100.00 100.00

Şekil 6.36. C9 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

A10

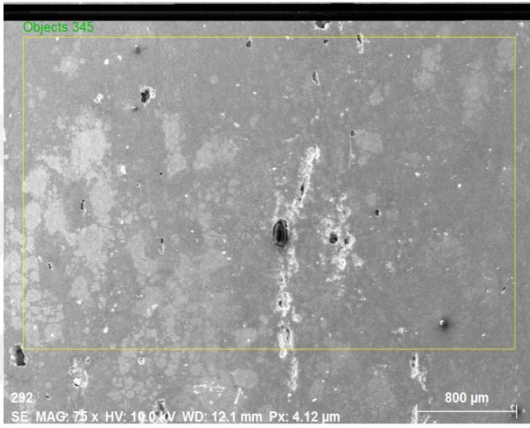
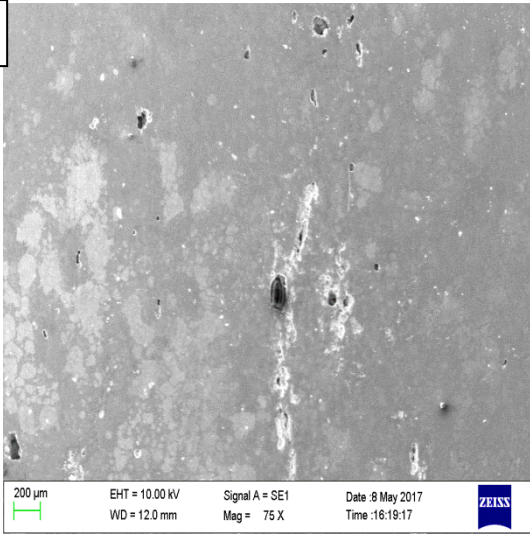


Objects 344 Date:5/8/2017 4:16:41 PM HV:10.0kV Puls th.:0.32kcps

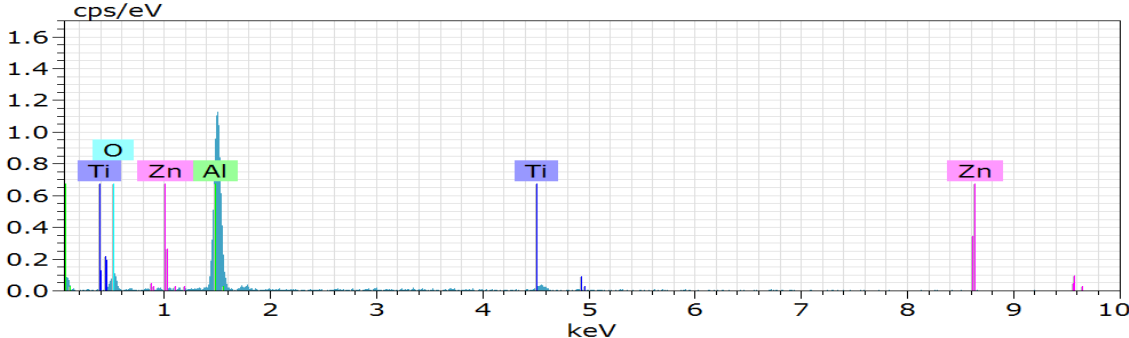
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	92.54	92.54	99.71	9.28
Al	13	K-series	5.71	5.71	0.23	0.34
Ti	22	K-series	1.13	1.13	0.03	0.16
O	8	K-series	0.57	0.57	0.04	0.27
Zn	30	L-series	0.05	0.05	0.00	0.05
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.37. A10 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

B10



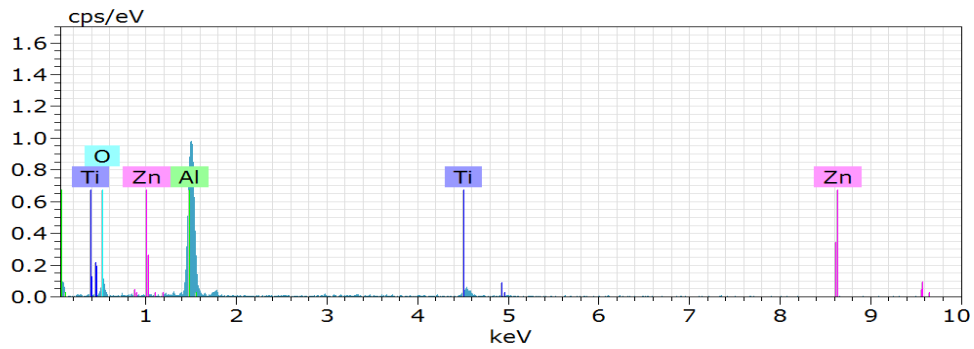
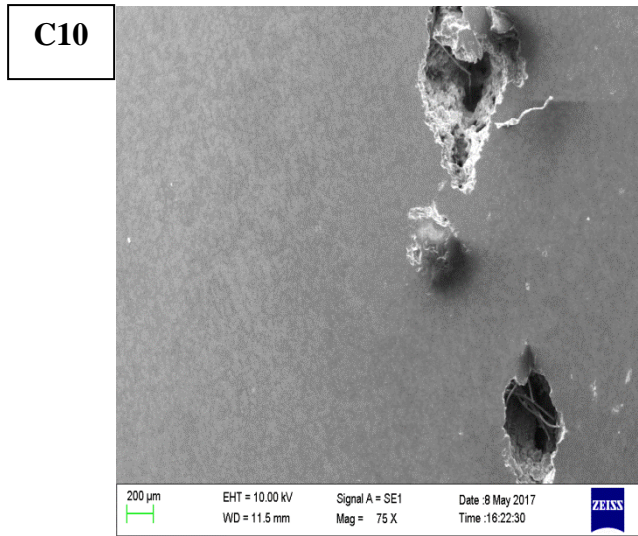
292
Date: 5/8/2017 4:19:36 PM
Image size: 1024 x 768
Mag: 75x
HV: 10.0kV



Objects 345 Date: 5/8/2017 4:20:03 PM HV: 10.0kV Puls th.: 0.32kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	92.17	92.17	99.68	9.24
Al	13	K-series	6.54	6.54	0.26	0.38
Ti	22	K-series	0.82	0.82	0.02	0.13
O	8	K-series	0.47	0.47	0.03	0.24
Zn	30	L-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.38. B10 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri



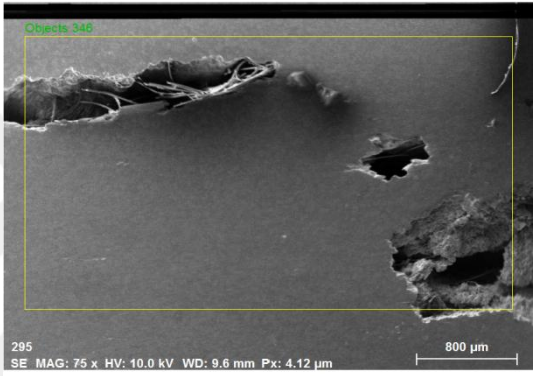
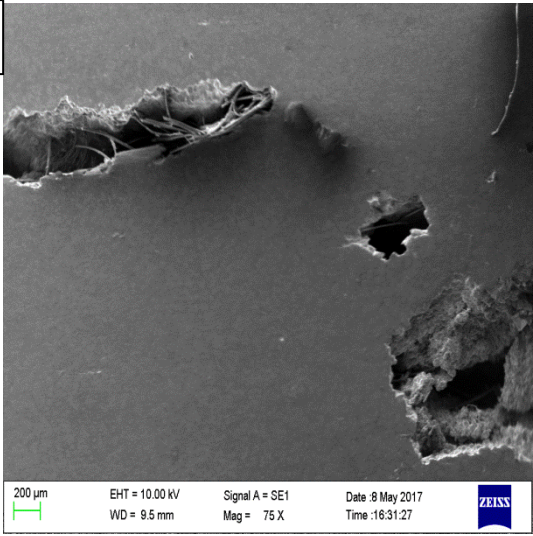
Objects 345 Date: 5/8/2017 4:28:31 PM HV: 10.0kV Puls th.: 0.32kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	91.87	91.87	99.69	9.21
Al	13	K-series	6.13	6.13	0.25	0.36
Ti	22	K-series	1.53	1.53	0.04	0.18
O	8	K-series	0.45	0.45	0.03	0.24
Zn	30	L-series	0.01	0.01	0.00	0.03

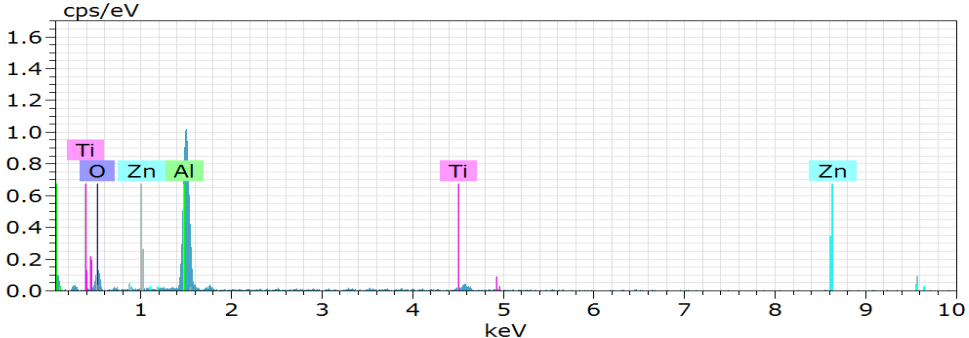
Total: 100.00 100.00 100.00

Şekil 6.39. C10 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

A11



295
Date:5/8/2017 4:31:47 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV

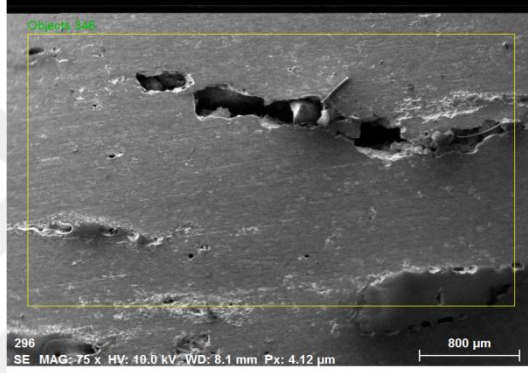
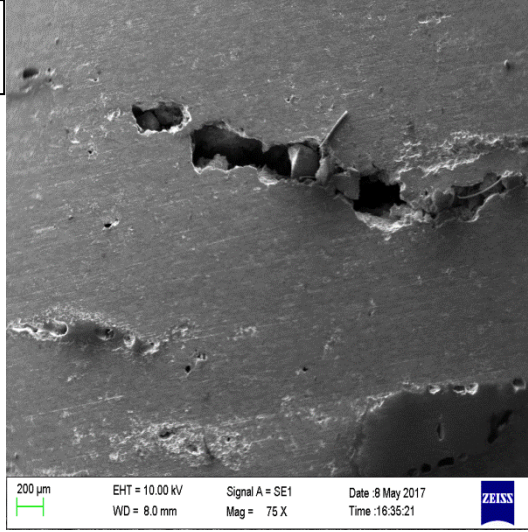


Objects 346 Date:5/8/2017 4:32:16 PM HV:10.0kV Puls th.:0.32kcps

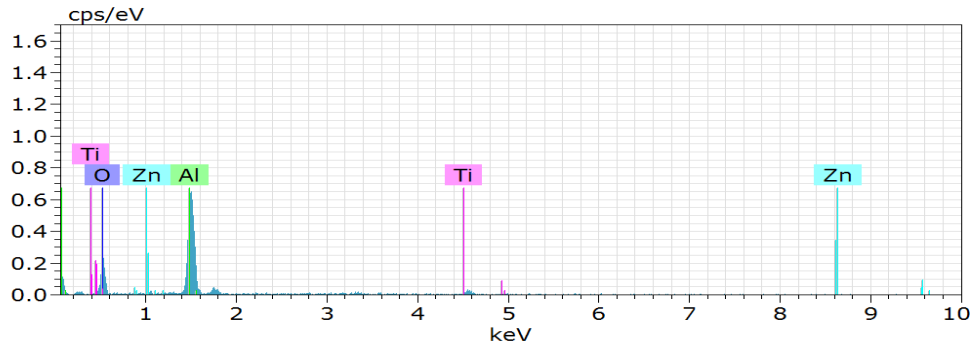
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	92.77	92.77	99.70	9.30
Al	13	K-series	6.13	6.13	0.25	0.36
O	8	K-series	0.71	0.71	0.05	0.30
Ti	22	K-series	0.37	0.37	0.01	0.08
Zn	30	L-series	0.03	0.03	0.00	0.04
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.40. A11 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

B11



296
Date:5/8/2017 4:35:36 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV

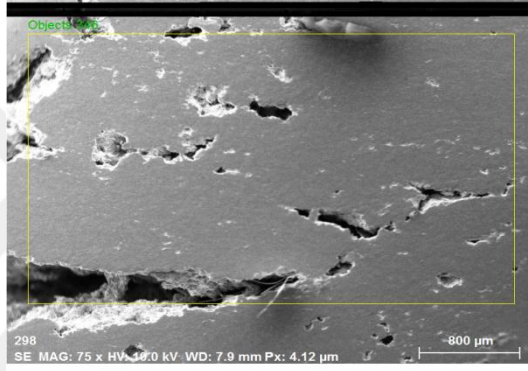
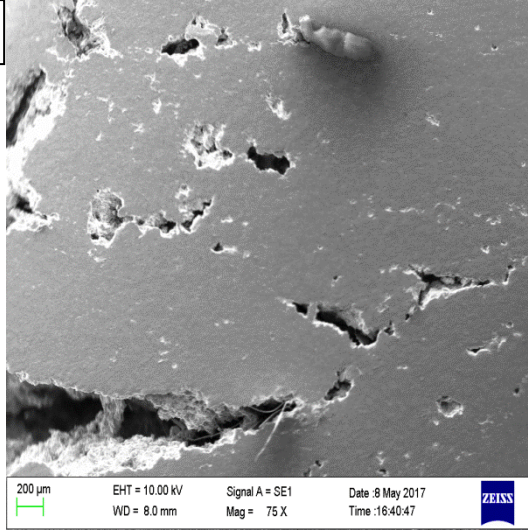


Objects 346 Date:5/8/2017 4:36:03 PM HV:10.0kV Puls th.:0.30kcps

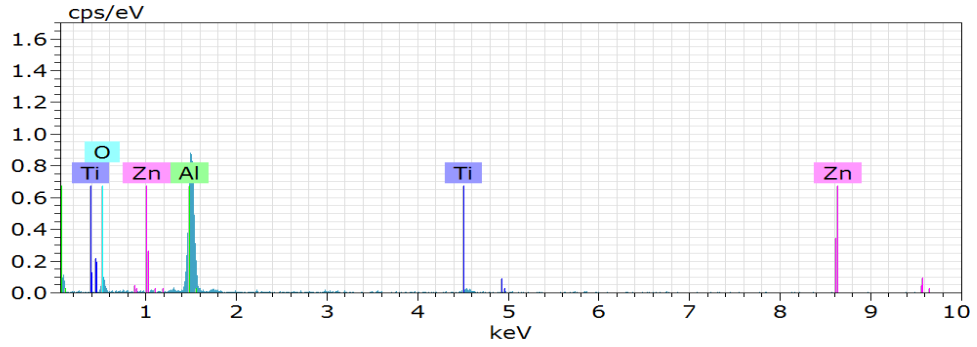
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	94.25	94.25	99.75	9.45
Al	13	K-series	4.03	4.03	0.16	0.26
O	8	K-series	1.23	1.23	0.08	0.42
Ti	22	K-series	0.44	0.44	0.01	0.10
Zn	30	L-series	0.05	0.05	0.00	0.04
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.41. B11 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

C11



298
Date:5/8/2017 4:41:01 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV

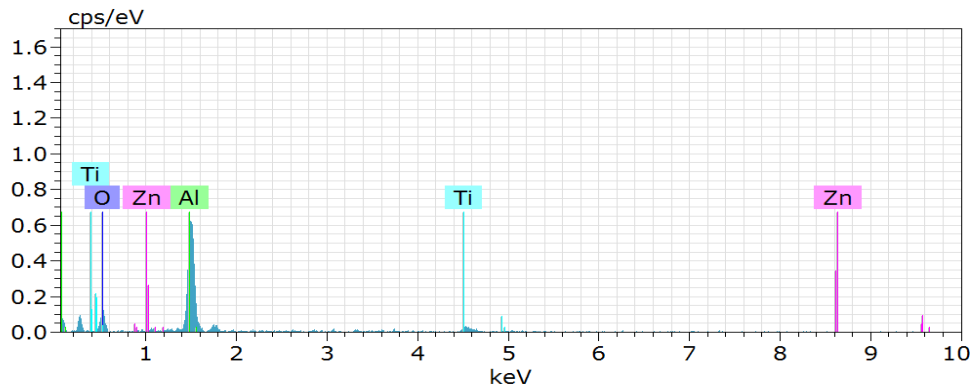
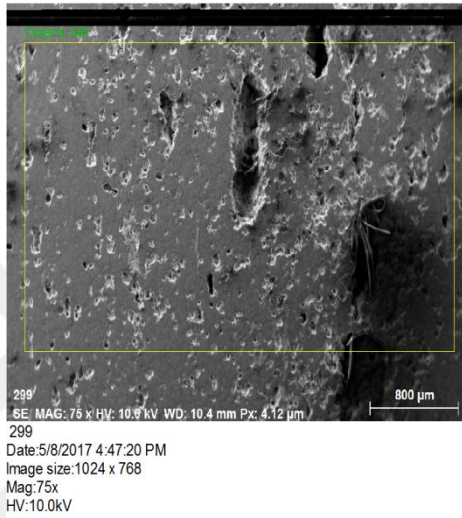
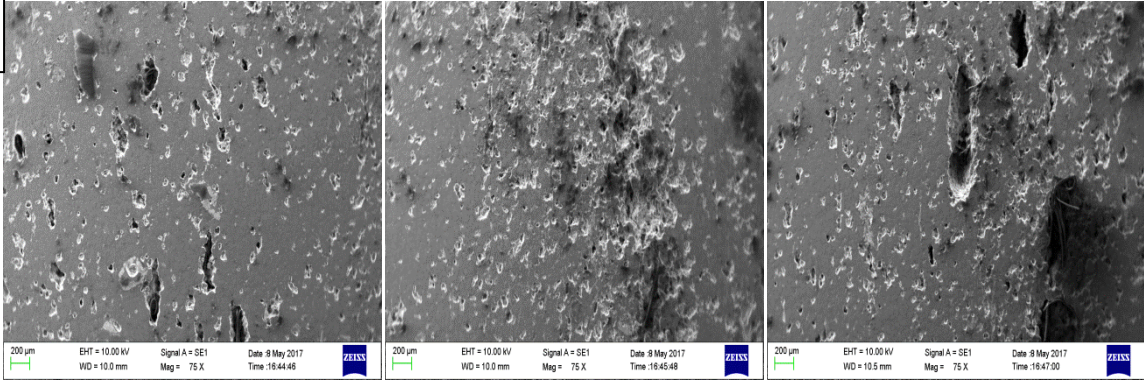


Objects 346 Date:5/8/2017 4:42:07 PM HV:10.0kV Puls th.:0.30kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	93.78	93.78	99.75	9.40
Al	13	K-series	5.07	5.07	0.20	0.31
Ti	22	K-series	0.73	0.73	0.02	0.13
O	8	K-series	0.41	0.41	0.03	0.22
Zn	30	L-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.42. C11 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

A12

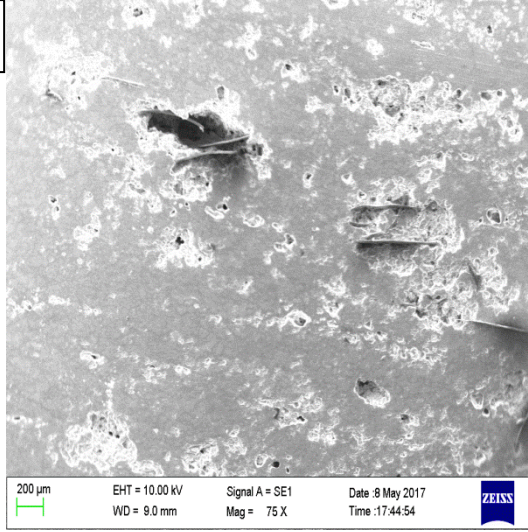


Objects 346 Date: 5/8/2017 4:47:46 PM HV: 10.0kV Puls th.: 0.29kcps

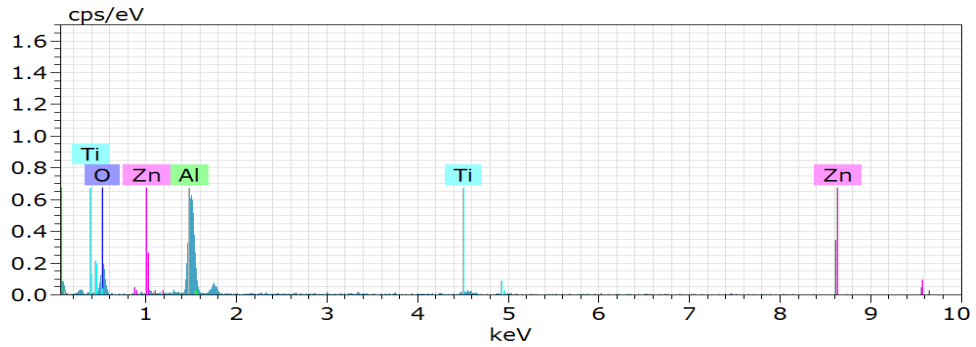
El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	Atom. [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	94.31	94.31	99.77	9.46
Al	13	K-series	4.12	4.12	0.16	0.27
Ti	22	K-series	0.84	0.84	0.02	0.13
O	8	K-series	0.69	0.69	0.05	0.30
Zn	30	L-series	0.05	0.05	0.00	0.04
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.43. A12 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

B12



302
Date:5/8/2017 5:45:07 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV



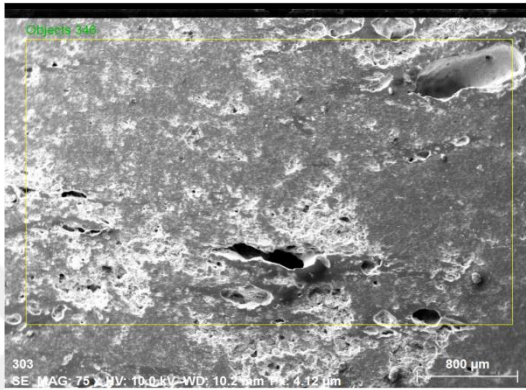
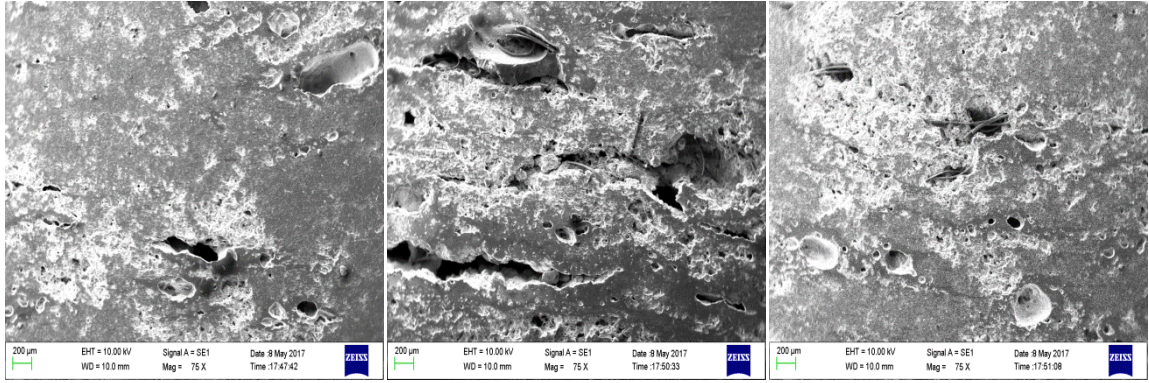
Objects 346 Date:5/8/2017 5:45:37 PM HV:10.0kV Puls th.:0.30kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	94.24	94.24	99.76	9.45
Al	13	K-series	3.76	3.76	0.15	0.25
O	8	K-series	1.06	1.06	0.07	0.39
Ti	22	K-series	0.84	0.84	0.02	0.14
Zn	30	L-series	0.10	0.10	0.00	0.06

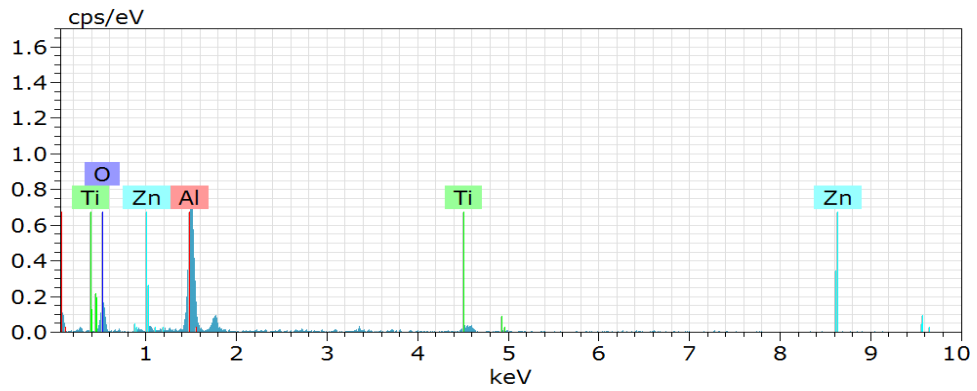
Total: 100.00 100.00 100.00

Şekil 6.44. B12 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

C12



303
Date:5/8/2017 5:47:58 PM
Image size:1024 x 768
Mag:75x
HV:10.0kV



Objects 346 Date:5/8/2017 5:48:39 PM HV:10.0kV Puls th.:0.31kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	Atom. [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
H	1	K-series	93.61	93.61	99.74	9.39
Al	13	K-series	4.31	4.31	0.17	0.27
Ti	22	K-series	0.99	0.99	0.02	0.15
O	8	K-series	0.95	0.95	0.06	0.36
Zn	30	L-series	0.13	0.13	0.00	0.06
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 6.45. C12 Numunesine ait SEM ve EDX Görüntüleri

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada geliştirilmiş perlit takviyeli Al, Al6061 tozları ve köpürtücü ajan olarak TiH_2 kullanılarak kompozit metal köpük üretimi gerçekleştirilmiştir. Proses parametrelerinin değişiminin, metal köpüğün hücre yapısı ve dağılımına etkileri araştırılmış elde edilen sonuçlar özetlenmiştir:

- Al / Al6061 matrislerine farklı boyut ve farklı yüzde oranlarında geliştirilmiş perlit ve TiH_2 eklenerek kompozit metal köpük üretimi gerçekleştirilmiştir.
- Takviye ve köpürtücü TiH_2 tozlarının alüminyum içine karıştırılma problemi karıştırma süresi sayesinde aşılmıştır. Gözenek yapısı ve boyutları incelendiğinde, takviyenin ve köpürtücü TiH_2 'nin köpük yapı içinde düzgün dağılımının sağlandığı görülmüştür.
- Geliştirilmiş perlitin takviye oranlarındaki artışla yoğunluğun azaldığı, metal köpüğün lineer genleşme miktarının arttığı, gözenek boyutlarının küçüldüğü ve düzgün dağılım sergilendiği görülmüştür.
- Yoğunluk değerlerinde geliştirilmiş perlit takviyeli matrisler ile köpürtücü ajan ilaveli matrislerin kıyaslaması yapıldığında yoğunluk değerlerinin birbirlerine çok yakın olduklarının ve bu avantajın geliştirilmiş perlit tarafından sağlandığı gözlenmiştir.
- Geliştirilmiş perlit yüzdesinin artması mukavemeti artırmaktadır. Yine aynı oranda perlit boyutunun artması mukavemetin artmasına sebep olmuştur. TiH_2 'lü numunelerde belirtilen etkiler aynı şekilde gözlemlenirken TiH_2 ilavesinin sade perlit katkılı olan numunelerle kıyaslanmasında perlitte birlikte TiH_2 'lü numunelerde gözenek oluşumunun artmasıyla bu numunelerde plastik deformasyon bölgesi olarak yığılma bölgesinin arttığı gözlenmiştir. Geliştirilmiş perlitin yüzde ve boyut takviye olarak kullanılması TiH_2 'lü numunelere kıyasla mukavemeti artırıcı yönde etki yapması perlitin kullanılabilirliğine kanıt olmaktadır.
- Geliştirilmiş perlit takviyeli numuneler ile aynı orandaki takviyesiz numuneler kıyaslandığında geliştirilmiş perlit takviyenin ısı iletim katsayısı değerlerini düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **B. Deniz POLAT, Özgül KELEŞ, Yılmaz TAPTIK** 2010 “Metalik Köpükler, Alüminyum Metalik Köpük ve Üretim Yöntemleri” Metal Dünyası İSTANBUL
- [2] **Kadar, CS., Kenesei, P., Lendvai, J. ve Rajkovits, ZS.**, 2005, “Energy absorption properties of metal foams”, VI. Evfolyam 1. Szam, 6, January
- [3] **Hanssen, A.G., Langseth, M., Happerstad, O.S.**, 2000, “Static and dynamic crushing of circular aluminium extrusions with aluminium foam filler”, J. Of Impact Eng., 24 (5): 475-507.
- [4] **Zhenlun Song, Steven R. Nutt**, 2007, “Rheology of Foaming Aluminum Melts”, Materials Science and Engineering, A 458 108–115.
- [5] **H.-P. Degischer, B. Krisz**, 2002, “Handbook of Cellular Materials”.
- [6] **John Banhart, J.**, 2001, “Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams”, Progress in Materials Science, 46, 559-632.
- [7] **Yi, F., Haiwu, Z., Zhengang, Z., Fangqiou, Z.**, 2002, "The Microstructure and Electrical Conductivity of Aluminum Alloy Foams", Material Chemistry and Physics, 78, 196–201.
- [8] **M.F. Ashby, A.G. Evans, N.A. Fleck, L.J. Gibson, J.W. Hutchinson, H.N.G. Wadley**, 2000, “Matal Foams A Design Guide”.
- [9] **F. Behrendt, J. Banhart, H. Schubert**, 2006, “Characterisation and Optimisation of Blowing Agent For Making Improved Metal Foams”.
- [10] **B.Deniz, POLAT, Özgül KELEŞ, Yılmaz TAPTIK** 2010 “Metalik Köpükler, Alüminyum Metalik Köpük ve Üretim Yöntemleri” Metal Dünyası İSTANBUL,
- [11] **B.Deniz POLAT, Özgül KELEŞ, Yılmaz TAPTIK** 2010 “Metalik Köpükler, Alüminyum Metalik Köpük ve Üretim Yöntemleri” Metal Dünyası İSTANBUL , Kavi H., Toksoy K.,Guden M.,“Predicting energy absorption in a foam-filled thin-walled aluminum tube based on experimentally determined strengthening coefficient ,, Materials & Design, 01/01/2006., Vol.27.,Iss.4;p.263, Karakuş, S., Al-Cu Metalik köpük üretimi , Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enst., 5-7, 1998.
- [12] **Ozan S., Çay V.V.**, SÇP ile Alüminyum Köpük Üretimi, Proceedings of 11th International Materials Symposium, Denizli/Türkiye., 714-717, 2006 20

- [13] **Banhart J., Ashby M. F., Fleck N.**, Metal foams and porous metal structures “, Metall Innovation Technologie MIT, p:83,255 , 1999
- [14] **Evans AE, Hutchinson JW, AshbyMF.**, 1999, Prog Mater Sci;43:171.
- [15] **Kretz R, Hombergsmeier E, Eipper K.**, 1999, “Metal foams and porous metal structures”. In: Banhart J, AshbyMF, Fleck NA, editors. Int. Conf., Bremen, Germany, 14–16 June. Bremen: MIT Press–Verlag,. p. 23.
- [16] **Niebylski LM, Fanning RJ.**, 1972., “Society of Automotive Engineers”, SAE Transactions. New York, USA, Paper 720490.
- [17] **Endler F, Lahner S, Hoffmann**, 1997., “M. Metallscha“ume.” In: Banhart J, editor. Proc. Symp. Metallscha “ume, Bremen, Germany, 6–7 March. Bremen: MIT Press–Verlag, p. 117 [in German].
- [18] **Shinko Wire Co.**, 1998., Japan. Product information “Alporas”.
- [19] **Giamei AF.**, 1997., “Metal foams.” In: Banhart J., Eifert H., editors. Proc. Fraunhofer USA Symposium on Metal Foams, Stanton, USA, 7–8 October. Bremen: MIT Press– Verlag, p. 63.
- [20] **Schwartz DS, Shih DS, Lederich RJ, Martin RL, Deuser DA.**, 1998., “Porous and cellular materials for structural applications.” In: Schwartz DS, Shih DS, Evans AG, WadleyHNG, editors. MRS Symp. Proc., vol. 521, p. 225.
- [21] **Simone A. E., Gibson L. J.**, 1998, —The Effects Of Cell Face Curvature And Coruscations On The Stiffness And Strength Of Metallic Foaml, Acta Materialia, 46: 3926-3935
- [22] **Banhart J.**, 2000, Properties and Applications for Cast Aluminum Sponges, Adv. Eng. Mat., 2, 168
- [23] **Yang C.C., Nakae H.**, 2000, Foaming characteristics control during production of aluminum alloy foaml Journal of Alloys and Compounds, 313:188–191
- [24] **Baumgartaer F., Duarte I., Banhart J.**, 2000, Industrialization of Powder Compact Foaming Processl, Advanced Eng. Mat., 2 (4): 168-174
- [25] **Simancik F.** Reproducibility of aluminium foam propertiesl, Int. Conference on Metal Foams and Porous Metal Structures, 14-16 June 99 Bremen Eds. J.Banhart, .F.Ashby, N.A.Fleck, MIT Publishing, Bremen, p. 235-240.
- [26] **Stöbener K., Baumaster J., Lehnhus D., Stanzick H., Zöllner V.**, Compsite based on Metallic foams: Phenomenology; Production; Properties and Principles, Int. Conf. On Advanced Metallic materials, 5-7 Nov. 2003, Smolenice, Slovakia
- [27] **Matijasevic-Lux B., Banhard J., Fiechter S., Görke O., Wanderka N.**, Modification of TiH2 for improved Al foam manufacture, Acta Meterialia, 54 (2006) 1887- 1900.

- [28] **Esmaelzadeh E., Simci A.**, Formability and compressive properties of AlSi7-3 vol.% SiC-0.5 wt.% TiH₂ powder compact, *Materials Letters*, 2007
- [29] **Banhart J.**, Manufacturing routes for metallic foams, *J. Met.* 52 (2000) 22–27.
- [30] **F. Yi, Z. Zhu, F. Zu, S. Hu, P. Yi**, *Materials Characterization* 47 (2001) 417–422.
- [31] **Güden M., Yüksel S.**, Si particulate Al composite foams produced from powder compact: foaming and compression behavior, *J.Mater Sci*, 41, 2006, 4075-4084
- [32] <http://mf.dpu.edu.tr/runal/toz/powdermet.html>
- [33] [http://www.ask.com/Aluminium foam](http://www.ask.com/Aluminium%20foam), University Center for Professional Studies, University of Split, Split, Croatia - Constructio
- [34] **Banhart J.**, “Manufacturing Routes for Metallic Foams” 2000 December JOM Syf; 23,24,25
- [35] **F. Baumgärtner, I. Duarte, and J. Banhart**, *Adv. Eng. Mater.*, 2 (2000), p. 168
- [36] **I. Duarte and J. Banhart**, *Acta Mater.*, 48 (2000), p. 2349.
- [37] **T. Miyoshi, M.Itoh, S. Akiyama, A.Kitahara**, *Adv. Eng. Mat.*, 2(4) (2000),p. 179-183
- [38] **L. Ma, Z. Song**, “Cellular structure control of aluminium foams during foaming process of aluminium melt”, *Scripta Mater.*, 39,1523-1528, (1998)
- [39] **Başpınar, S. M., Yurteu Ş.**, “ Metalik Köpük Malzemelerin Mekanik Özelliklerini Belirlemede Kullanılan Matematiksel Modeller ” *Teknolojik Araştırmalar, Makine Teknolojileri Dergisi* (2011), 69-78