

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SUSUZ BORAKS MADDESİNİN BASINÇSIZ DÖKÜM İLE  
ÜRETİLEN ALÜMİNYUM MALZEMESİNİN REOLOJİK VE  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL  
TASARIM YÖNTEMİ İLE ENİYİLENMESİ**

**AYŞEGÜL YILMAZ**

**KOCAELİ 2020**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SUSUZ BORAKS MADDESİNİN BASINÇSIZ DÖKÜM İLE**  
**ÜRETİLEN ALÜMİNYUM MALZEMESİNİN REOLOJİK VE**  
**MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL**  
**TASARIM YÖNTEMİ İLE ENİYİLENMESİ**

**AYŞEGÜL YILMAZ**

**Dr. Öğr. Üyesi Şenol ŞAHİN**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi**

.....

**Dr. Öğr. Üyesi Yıldız ŞAHİN**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**

.....

**Doç. Dr. Ümit ÜNVER**  
**Jüri Üyesi, Yalova Üniversitesi**

.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 25.08.2020**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Gelişen teknolojiyle birlikte kullanılan malzemelerden beklenen özellikler hafif, dayanıklı, kolay işlenebilen ve düşük maliyetli olması yönünde şekillenmiştir. Bu tez çalışmasında ülkemizde rezervleri oldukça fazla oranda bulunan bor madeninin sanayiye kazandırılması amaçlanmış, bu kapsamda sektörde önemli bir yere sahip olan alüminyum ve alüminyum alaşım malzemeleriyle birlikte susuz boraks malzemesi kullanılarak kompozit malzeme üretimleri gerçekleştirilmiştir. Alüminyum malzemesine susuz boraks katkı oranının ve aynı zamanda üretim parametrelerinin etkileri birlikte incelenerek deneysel tasarım yöntemiyle en iyilenmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada kullanılan alüminyum malzemenin temini için katkılarından dolayı Aksu Elektrikli Ev Aletleri San.ve Tic. A.Ş.'ye ve Akım Metal San.ve Tic. A.Ş.'ye, kalıp yapımı için katkılarından dolayı Marbeyaz Makine A.Ş.'ye ve sermik potaların temini için yardımlarından dolayı Tekom Elektrik Elektronik Mek.İnş.San.Tic.Ltd.Şti'ye teşekkürlerimi sunarım.

Deney ve testlerin gerçekleştirilmesi için yardımcı olan Kocaeli Üniversitesi İ.D.E.A.L. İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarı'na, Kocaeli Üniversitesi Metalurji Malzeme Bölümü Mekanik Laboratuvarı'na, Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği bölüm laboratuvarlarına teşekkür ederim.

Sevgi, destek ve yardımlarıyla hayatım boyunca yanımda olan sevgili annem ve babam Taliye BODUR ve Murat BODUR'a, sevgili kardeşlerim Emre BODUR ve Yoncagül BODUR'a ve sevgili eşim Ö. Göktuğ YILMAZ'a ve desteğiyle hep yanımda olan sevgili arkadaşım Müzeyyen ÖZDOĞAN'a çok teşekkür ederim. Kendi araştırma konusu fikrinin bir bölümünü yüksek lisans tez konusu olarak çalışmama izin veren, lisans ve daha sonrasında da yüksek lisans eğitimim boyunca bilgisi ve tecrübesi ile yardımını esirgemeyen ve her daim destek olan değerli danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Şenol ŞAHİN'e sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım. Destek ve yardımları için Sayın Doç. Dr. Tülin ŞAHİN'e, Dr. Öğr. Üyesi. Yıldız ŞAHİN'e ve Doç. Dr. Bülent AYDEMİR'e çok teşekkür ederim.

Ağustos-2020

Ayşegül YILMAZ

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLOLAR DİZİNİ .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT .....	xi
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER .....	3
1.1. Alüminyum Genel Bilgiler .....	3
1.2. Alüminyumun Kullanım Alanları.....	5
1.2.1. Otomotivde alüminyumun kullanımı.....	5
1.2.2. Havacılıkta alüminyumun kullanımı .....	7
1.2.3. Alüminyum köpükler.....	10
1.3. Bor Genel Bilgiler .....	11
1.3.1. Açık ocak yöntemi .....	11
1.3.2. Kapalı ocak yöntemi .....	11
1.3.3. Çözelti madenciliği yöntemi.....	12
1.3.4. Boraks üretimi.....	13
1.3.5. Borun sektörel kullanım alanları.....	14
1.4. Kompozit Malzemeler .....	14
1.4.1. Metal matrisli kompozitler (MMK).....	16
1.4.1.1. Dışarıdan takviyeli üretim yöntemleri .....	18
1.4.1.2. Yerinde reaksiyonla üretim yöntemleri .....	19
1.5. Alüminyum ve Bor (Al-B) Sistemi .....	21
1.6. Deney Tasarımı ve Taguchi Methodu .....	24
1.6.1. Deney tasarımı kavramı .....	24
1.6.2. Taguchi deney tasarım yöntemi.....	26
1.6.3. Deney tasarımı aşamaları.....	28
1.6.4. Deney tasarım türleri .....	30
1.6.5. Taguchi'nin Sinyal/Gürültü (S/N) Oranları.....	32
1.6.6. Ortogonal dizin .....	32
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	34
2.1. Çalışmanın Literatürdeki Yeri .....	38
3. MALZEME VE YÖNTEM .....	40
3.1. Alüminyum Alaşımı .....	40
3.2. Susuz Boraks (Etibor-68) .....	41
3.3. P 355 GH Kazan Sacı .....	41
3.4. Deney Tasarımı.....	41
3.4.1. Deneyin amacı ve kapsamı .....	41
3.4.2. Faktörlerin ve faktör seviyelerinin belirlenmesi.....	41
3.4.3. Ortogonal dizin ve faktörlerin ortogonal dizine atanması .....	42
3.5. Deneysel Çalışma .....	43

3.5.1.	Kompozit malzeme üretimi .....	43
3.5.2.	Deney numunesi hazırlama.....	48
3.5.2.1.	Üç nokta eğme deney numunesi hazırlama .....	48
3.5.2.2.	Aşınma deney numunesi hazırlama .....	49
3.5.2.3.	Sertlik deney numunesi hazırlama .....	49
3.5.2.4.	Pürüzlülük ölçüm numunesi hazırlama.....	49
3.5.2.5.	Yoğunluk ölçüm numunesi hazırlama .....	50
3.5.2.6.	Taramalı Elektron Mikroskobu numunesi hazırlama .....	50
3.5.2.7.	X-Işını Kırınım analiz numunesi hazırlama.....	50
3.5.3.	Pürüzlülük ölçümü.....	50
3.5.4.	Aşınma Testi .....	50
3.5.5.	Sertlik Ölçümü.....	51
3.5.6.	Eğme Deneyi.....	52
3.5.7.	Yoğunluk Ölçümü.....	52
3.5.8.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi .....	52
3.5.9.	X-Işını Kırınım (XRD) analizi.....	53
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA .....	54
4.1.	Pürüzlülük Ölçümü Değerleri.....	54
4.1.1.	Aşınma deney numuneleri pürüzlülük ölçümü.....	54
4.1.2.	Üç nokta eğme deney numuneleri pürüzlülük ölçümü .....	54
4.2.	Aşınma Testi.....	55
4.2.1.	Sürtünme katsayısı.....	55
4.3.	Sertlik Ölçümü.....	60
4.3.1.	Martens Sertliği.....	60
4.3.2.	Vickers Sertliği .....	65
4.3.3.	Girinti (İz) Modülü .....	70
4.3.4.	Brinell Sertliği.....	76
4.4.	Üç Nokta Eğme .....	81
4.4.1.	Eğme akma gerilmesi.....	81
4.4.2.	Akma Uzaması.....	86
4.5.	Yoğunluk Ölçümü .....	91
4.6.	Taguchi Yöntemiyle Test Verilerinin Analizi .....	92
4.6.1.	Aşınma deneyi sonuçlarının analizi .....	93
4.6.2.	Sertlik deneyleri sonuçlarının analizi .....	102
4.6.3.	Üç nokta eğme deneyi sonuçları analizi .....	110
4.7.	Üretim optimizasyonu .....	115
4.7.1.	İkinci üretim için aşınma testi.....	116
4.7.2.	İkinci üretim için sertlik testi .....	117
4.7.3.	İkinci üretim için üç nokta eğme testi.....	118
4.7.4.	İkinci üretim için yoğunluk ölçümü.....	119
4.8.	SEM Analizi .....	120
4.9.	XRD Analizi .....	122
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	125
	KAYNAKLAR .....	134
	EKLER.....	139
	KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	143
	ÖZGEÇMİŞ .....	144

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Bir taşıma/nakliye uçağında istenilen malzeme ve mukavemet özellikleri.....	9
Şekil 1.2.	Üç grup kompozit malzemenin sınıflandırılması (a) Parçacık takviyeli, (b) Fibertakviyeli, (c) Katmanlı kompozit .....	16
Şekil 1.3.	a) Sürekli fiber, b) süreksiz fiber ve c) partikül takviyeli MMK .....	17
Şekil 1.4.	Al-B faz diyagramı .....	21
Şekil 1.5.	Al-B faz diyagramı (peritektik sıcaklık bölgesi) .....	23
Şekil 1.6.	Taramalı elektron mikroskopik ikincil elektron görüntüsünde AlB <sub>2</sub> 'nin kristal şekli. İşaretler: 1 altıgen pynacoid, 2 altıgen dipyramid. ....	24
Şekil 1.7.	AlB <sub>2</sub> görünümünün kristal yapısı (perspektif). ....	24
Şekil 1.8	Bir süreç veya sistemin genel gösterimi.....	25
Şekil 1.9	1950-1990 Yılları Arasında Üç Temel Yöntemin Kalite Yönetimine Katkısı .....	26
Şekil 1.10	Üretim Kalite Çemberi .....	27
Şekil 3.1.	Kompozit malzeme üretim basamakları.....	44
Şekil 3.2.	Seramik pota (a) ön görünüş, (b) üst görünüş, (c) izometrik görünüş ....	45
Şekil 3.3.	(a) Kapalı kalıp ve konik huni, (b) kalıbın açık hali, (c) konik huni, (d) kalıp ölçüleri .....	46
Şekil 3.4.	Döküm sonrası elde edilen kompozit malzeme örnekleri .....	47
Şekil 3.5.	(a) Deney numunesi çıkarma bölgeleri, (b) hazırlanan deney numuneleri.....	48
Şekil 3.6.	Üç nokta eğme deney numunesi.....	48
Şekil 3.7.	Aşınma deney numunesi .....	49
Şekil 4.1.	%1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının imalat parametrelerine göre değişimi .....	56
Şekil 4.2.	%2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının imalat parametrelerine göre değişimi.....	57
Şekil 4.3.	%5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının imalat parametrelerine göre değişimi .....	57
Şekil 4.4.	Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi .....	58
Şekil 4.5	Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi .....	59
Şekil 4.6.	Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi .....	60
Şekil 4.7.	%1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Martens sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi .....	61

Şekil 4.8.	%2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Martens sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi.....	62
Şekil 4.9.	%5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Martens sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi.....	63
Şekil 4.10.	Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin Martens sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi.....	63
Şekil 4.11.	Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin Martens sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi.....	64
Şekil 4.12.	Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin Martens sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi.....	65
Şekil 4.13.	%1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Vickers sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi.....	66
Şekil 4.14.	%2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Vickers sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi.....	67
Şekil 4.15.	%5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Vickers sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi.....	68
Şekil 4.16.	Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin Vickers sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi.....	68
Şekil 4.17.	Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin Vickers sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi.....	69
Şekil 4.18.	Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin Vickers sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi.....	70
Şekil 4.19.	%1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Girinti modülünün imalat parametrelerine göre değişimi.....	71
Şekil 4.20.	%2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Girinti modülünün imalat parametrelerine göre değişimi.....	72
Şekil 4.21.	%5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Girinti modülünün imalat parametrelerine göre değişimi.....	73
Şekil 4.22.	Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin Girinti modülünün SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi.....	74
Şekil 4.23.	Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin Girinti modülünün SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi.....	74
Şekil 4.24.	Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin Girinti modülünün SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi.....	75
Şekil 4.25.	%1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Brinell sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi.....	77
Şekil 4.26.	%2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Brinell sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi.....	77
Şekil 4.27.	%5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Brinell sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi.....	78

Şekil 4.28. Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin Brinell sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi .....	79
Şekil 4.29. Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin Brinell sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi .....	80
Şekil 4.30. Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin Brinell sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi .....	80
Şekil 4.31. %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin eğme akma gerilmesinin imalat parametrelerine göre değişimi .....	82
Şekil 4.32. %2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin eğme akma gerilmesinin imalat parametrelerine göre değişimi .....	83
Şekil 4.33. %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin eğme akma gerilmesinin imalat parametrelerine göre değişimi .....	83
Şekil 4.34. Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin eğme akma gerilmesinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi .....	84
Şekil 4.35. Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin eğme akma gerilmesinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi .....	85
Şekil 4.36. Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin eğme akma gerilmesinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi .....	86
Şekil 4.37. %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin eğme akma uzamasının imalat parametrelerine göre değişimi .....	87
Şekil 4.38. %2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin eğme akma uzamasının imalat parametrelerine göre değişimi .....	88
Şekil 4.39. %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin eğme akma uzamasının imalat parametrelerine göre değişimi .....	89
Şekil 4.40. Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin eğme akma uzamasının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi .....	89
Şekil 4.41. Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin eğme akma uzamasının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi .....	90
Şekil 4.42. Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin eğme akma uzamasının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi .....	91
Şekil 4.43. (a) 800°C %1 SB katkı oranlı numune iç yapısı, (b)1000°C %1 SB katkı oranlı numune iç yapısı .....	92
Şekil 4.44. Sürtünme katsayısı S/G oranı etki grafiği .....	94
Şekil 4.45. EA150/SB kompozit malzemesi sürtünme katsayısı etkileşim tablosu .....	96
Şekil 4.46. 5N altında %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının imalat parametrelerine göre değişimi .....	97
Şekil 4.47. 5N altında %2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının imalat parametrelerine göre değişimi .....	98



Şekil 4.48. 5N altında %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının imalat parametrelerine göre değişimi.....	99
Şekil 4.49. Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin 5N altında sürtünme katsayısının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi.....	99
Şekil 4.50. Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin 5N altında sürtünme katsayısının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi.....	100
Şekil 4.51. Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin 5N altında sürtünme katsayısının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi.....	101
Şekil 4.52. EA150/SB kompozitin (a) Brinell sertliği, (b) Martens sertliği, (c) Vickers sertliği, (d) Girinti modülü S/G oranı etki grafikleri .....	104
Şekil 4.53. Şekil 4.46. EA150/SB kompozit malzemesi Brinell sertliği etkileşim tablosu .....	108
Şekil 4.54. EA150/SB kompozit malzemesi Martens sertliği etkileşim tablosu.....	109
Şekil 4.55. EA150/SB kompozit malzemesi Vickers sertliği etkileşim tablosu.....	109
Şekil 4.56. EA150/SB kompozit malzemesi Girinti modülü etkileşim tablosu .....	110
Şekil 4.57. EA150/SB kompozit malzemesi (a) Eğme akma gerilmesi, (b) Eğme akma uzaması S/G oranı etki grafikleri.....	111
Şekil 4.58. EA150/SB kompozit malzemesi eğme akma gerilmesi etkileşim tablosu .....	113
Şekil 4.59. EA150/SB kompozit malzemesi eğme akma uzaması etkileşim tablosu .....	114
Şekil 4.60. Seramik potanın çeperinde kalan belirsiz yapı (a) %1, (b) %2,5 ve (c)%5 SB katkısı için kullanılan potalar .....	116
Şekil 4.61. İlk ve ikinci EA150/SB kompozit malzeme üretimlerinin sürtünme katsayısı kıyaslama grafiği.....	116
Şekil 4.62. İlk ve ikinci EA150/SB kompozit malzeme üretimlerinin Brinell sertliği kıyaslama grafiği.....	117
Şekil 4.63. İlk ve ikinci EA150/SB kompozit malzeme üretimlerinin eğme akma gerilmesi karşılaştırma grafiği.....	118
Şekil 4.64. İlk ve ikinci EA150/SB kompozit malzeme üretimlerinin eğme akma uzaması karşılaştırma grafiği .....	119
Şekil 4.65. (a) EA150, (b)AB801, (c) AB901, (d) AB1001 x50 SEM görüntü... 121	121
Şekil 4.66. (a) EA150, (b)AB801, (c) AB901, (d) AB1001 x500 SEM görüntüleri .....	121
Şekil 4.67. İkinci üretim 1005D kompoziti SEM analizi .....	122
Şekil 4.68. İkinci üretim (ko-döküm) 1005E kompoziti SEM analizi .....	122
Şekil 4.69. 800°C %1 SB katkılı kompozit XRD analizi .....	123
Şekil 4.70. 900°C %1 SB katkılı kompozit XRD analizi .....	123
Şekil 4.71. 1000°C %1 SB katkılı kompozit XRD analizi .....	124
Şekil 4.72. EA150 alaşımı XRD analizi.....	124
Şekil A.1. Üretim adımları görselleri.....	140
Şekil B.1. (a)AB802, (b) AB902, (c) AB1002 x1000 SEM görüntüleri.....	141
Şekil B.2. (a)AB802, (b) AB902, (c) AB1002 x2400 SEM görüntüleri.....	141
Şekil B.3. (a)AB805, (b) AB905, (c) AB1005 x1000 SEM görüntüleri.....	142
Şekil B.4. (a)AB805, (b) AB905, (c) AB1005 x2400 SEM görüntüleri.....	142

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Temper seri numaraları tanımlamaları .....	4
Tablo 1.2. Temper seri numaraları tanımlamaları .....	4
Tablo 1.3. Temper seri numaralarının tanımlamaları .....	5
Tablo 1.4. Havacılık endüstrisinde kullanılan alüminyum alaşımları ve kullanıldıkları bölgeler .....	8
Tablo 1.5. Ticari Öneme Sahip Başlıca Bor Mineralleri.....	13
Tablo 1.6. Deney tasarımında kullanılan temel kavramlar.....	26
Tablo 1.7. Taguchi ortogonal dizin tablosu .....	33
Tablo 3.1. EA150 Alaşımli külçelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	40
Tablo 3.2. Deney faktörleri ve seviyeleri .....	42
Tablo 3.3. L9 deney deseni ve faktör seviyelerinin atandığı deney deseni .....	42
Tablo 3.4. Taguchi deney tasarım desenine göre eriyik kompozit hammadde elde etme adımları .....	44
Tablo 3.5. Kapalı kalıp soğutma sonrası kompozit malzeme yüzey sıcaklıkları .....	47
Tablo 4.1. Aşınma numuneleri pürüzlülük ölçümleri.....	54
Tablo 4.2. Aşınma numuneleri pürüzlülük ölçümleri.....	55
Tablo 4.3. Ölçülen yoğunluk ve hesaplanan teorik yoğunluk değerleri.....	92
Tablo 4.4. EA150/SB sürtünme katsayısı sonuçlarına göre S/G oranı yanıt tablosu .....	94
Tablo 4.5. EA150/SB 1N yük altında sürtünme katsayısı ANOVA tablosu.....	95
Tablo 4.6. EA150/SB 5N yük altında sürtünme katsayısı ANOVA tablosu.....	102
Tablo 4.7. EA150/SB Sertlik testleri sonuçlarına göre S/G oranları yanıt tablo....	103
Tablo 4.8. EA150/SB Brinell sertliği ANOVA tablosu .....	105
Tablo 4.9. EA150/SB Martens sertliği ANOVA tablosu .....	106
Tablo 4.10. EA150/SB Vickers sertliği ANOVA tablosu.....	106
Tablo 4.11. EA150/SB Girinti Modülü ANOVA tablosu.....	107
Tablo 4.12. EA150/SB kompozitin üç nokta eğme deneyi sonuçlarına göre S/G oranları yanıt tablosu .....	111
Tablo 4.13. EA150/SB Eğme akma gerilmesi ANOVA tablosu .....	112
Tablo 4.14. EA150/SB Eğme akma uzaması ANOVA tablosu.....	113
Tablo 4.15. İkinci üretim sonrası ölçülen yoğunluk ve hesaplanan teorik yoğunluk değerleri.....	120

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Q	: Isı yükü (Kal)
C	: Öz ısı (Kal/g°C)
T	: Sıcaklık (°C)

### Kısaltmalar

ANOVA	: Analysis Of Variance (Varyans Analizi)
Al-B	: Alüminyum bor
DTA	: Diferansiyel termal analiz
EA150	: Etial 150
EA150/SB	: Alüminyum susuz boraks kompozit
E <sub>IT</sub>	: Girinti Modülü
HB	: Brinell sertliği
HCl	: Hidroklorik Asit
HM	: Martens sertliği
HV	: Vickers sertliği
MMK	: Metal matrisli kompozit
SB	: Susuz Boraks
S/G	: Sinyal/Gürültü
SEM	: Scanning Elektron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
XRD	: X-Ray Diffraction (X-Işını Kırınımı)

# SUSUZ BORAKS MADDESİNİN BASINÇSIZ DÖKÜM İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM MALZEMESİNİN REOLOJİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL TASARIM YÖNTEMİ İLE ENİYİLENMESİ

## ÖZET

Bu çalışmada, susuz boraks (SB) maddesinin (rafine bor ürününün) Etial 150 (EA150) alüminyum alaşımının (saf olmayan alüminyum malzemesinin) reolojik ve mekanik özelliklerine etkisinin deneysel tasarım yöntemi ile eniyilenmesi çalışılmıştır.

Bu kapsamda nihai ürüne (EA150/SB kompozit malzemesine) farklı reolojik ve mekanik özellikler kazandırmak üzere, farklı % hacim (1, 2,5 ve 5) SB oranında katkılı kompozit malzemeler, Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak, uygun deney tasarım planına göre, farklı üretim (800°C, 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklığı, 20dak, 40dak ve 60dak ergitme sıcaklığında tutma süresi ve 20°C, 0°C, -75°C kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerinde basınçsız döküm yöntemi ile imal edildi. SB katkılı alüminyum alaşımlı kompozit malzemelerin reolojik ve mekanik özelliklerine tasarım ve imalat parametrelerinin etkisi araştırıldı.

İlgili standartlarda belirtilen ve makine ile işlenerek imal edilen ilgili deney numunelerine yoğunluk, pürüzlülük, farklı sertlik, aşınma ve üç nokta eğme deneyleri ve testleri yapıldı. Kompozit malzemelerin eğme akma gerilmesi, eğme akma uzaması, sürtünme katsayısı, aşınma hızı, Brinell sertliği, Martens sertliği, Vickers sertliği ve  $E_{IT}$  modülü (girinti modülü) verileri belirlendi. Elde edilen tüm deneysel verilerin istatistiksel analizleri yapıldı. Taguchi deney tasarım yöntemiyle reolojik ve mekanik özelliklere ait modeller oluşturuldu. Ayrıca fragtografik inceleme için ise SEM (scanning electron microscope) ve XRD (X-Ray Diffraction) ile analizleri yapılmıştır. 800°C ergitme sıcaklığında üretilen numunelerin sertliklerinde artış görülürken 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarıyla birlikte orantılı olarak sertlik değerlerinde azalma olduğu tespit edildi. Üretilen kompozit malzemenin sürtünme katsayısının saf malzemeye kıyasla istenen şekilde azaldığı ve eğme akma gerilmesi ve eğme akma uzaması üzerinde tüm parametrelerin etkili olduğu tespit edildi.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum, Deney Tasarımı, Metal Matrisli Kompozit, Susuz Boraks, Taguchi.

# **OPTIMISATION OF THE EFFECT OF ANHYDROUS BORAX SUBSTANCE ON THE RHEOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM PRODUCING WITH NON PRESSURIZED CASTING METHOD BY EXPERIMENTAL DESIGN METHOD**

## **ABSTRACT**

In this study, optimization of the effect of anhydrous borax (SB) substance (refined boron product) on the rheological and mechanical properties of Etial 150 (EA150) aluminum alloy (impure aluminum material) was studied by experimental design method.

In this context, in order to give different rheological and mechanical properties to the final product (EA150 / SB composite material), different volume% (1, 2,5 and 5) SB ratio additives and different production parameters (800°C, 900°C and 1000°C melting temperature, 20min, 40min and 60min holding time at melting temperature and 20°C, 0°C, -75°C mold cooling temperature) was used. Taguchi experiment design method was used to create appropriate experiment design plan to produce of composite materials with non pressurized casting method. The effects of design and manufacturing parameters on the rheological and mechanical properties of aluminum composite materials with SB additives were investigated.

Density, roughness, different hardness, wear and three point bending tests were performed on the relevant test specimens specified in the relevant standards and manufactured by machining. The bending yield stress, bending yield strain, friction coefficient, Brinell hardness, Martens hardness, Vickers hardness and  $E_{IT}$  modulus (indentation modulus) data of composite materials were determined. Statistical analysis of all experimental data obtained was made. Rheological and mechanical properties were created by using Taguchi experimental design method. In addition, for fractographic examination, SEM (scanning electron microscope) and XRD (X-Ray Diffraction) analysis were performed.

While the hardness of the composites produced at 800 °C melting temperature increased, it was determined that there was a proportional decrease in the hardness values with the 900 °C and 1000 °C melting temperatures. It was determined that the friction coefficient of the composite material decreased compared to the pure material and all parameters were effective on the bending yield stress and bending yield strain.

**Keywords:** Aluminum, Experiment Design, Metal Matrix Composite, Anhydrous Borax, Taguchi.

## GİRİŞ

Yıllardır yapılan çalışmalar malzemeyi hep bir adım daha ileriye götürmek, hafif, dayanıklı, kolay işlenebilen ve düşük maliyetli ürünler çıkarmak üzerinedir. Bu çalışmada da sektörde önemli bir yere sahip olan alüminyum ve alüminyum alaşımlı ürünlerin, metal enjeksiyon yöntemiyle üretilmesinde, susuz boraks maddesinin mekanik özelliklerine etkisinin deneysel tasarım yöntemiyle en iyilenmesi amaçlanmıştır.

Alüminyumun hafiflik, dayanıklılık ve fonksiyonel olması özellikleri onu günümüzde kullanılan önemli bir mühendislik malzemesi haline getirmektedir. Yaşadığımız evlerde, tüm ulaşım araçlarında, kullandığımız cihazlarda, kablolarda, mutfak gereçlerinde ve ilaç, kimya hatta gıda gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. [1]

Alüminyum sanayide kullanımının fazla olmasının sebebi (özellikle inşaat, otomotiv, ambalaj, savunma sanayi, boya ve taşımacılıkta), diğer metallerin sağlayamadığı hafiflik, mukavemet, üstün korozyon direnci, yüksek derecede ısı ve elektrik iletkenliği, kolay şekillendirilme, işleme ve ısıl işlem yapılabilirliği gibi özellikleridir. Bu sebeple en çok üretilen ikinci metal olarak demir-çelikten sonra gelmektedir. [1]

Ulaşım sektöründe kullanılan en önemli malzemelerden bir tanesi de şüphesiz ki alüminyumdur. Taşıt araçlarının üretiminde kullanılan miktar alüminyumun kullanımının %25 ine eşittir. Alüminyum kullanılan otomobillerde yakıt kullanımının azaldığı anlaşılmış bu sebeple de daha hafif araçların hareketi ve enerji kullanımı daha az olacağından alüminyum kullanımı önem kazanmıştır. Alüminyum kullanımı yakıt tasarrufu dikkate alındığında tren, otobüs, kamyon gibi büyük araçlarda tasarruf sağlamaktadır. Alüminyum alaşımlarının sağlamlığı da uçak, gemi ve tekne yapımında kullanımını artırmıştır. [1]

Çalışmanın bir diğer önemli malzemesi olan susuz boraks, fiziksel işlemlerle zenginleştirilerek konsantre bor haline getirilip kimyasal süreçlerden sonra rafine bor

ürünlerine dönüştürülür. Sektörde borun nihai kullanımı rafine bor ürünleri olarak ve aynı zamanda konsantre bor şeklinde de doğrudan tüketilebilmektedir. [2] Tüketim alanlarında bor ürünleri ana bileşen değil, karışım içinde diğer endüstriyel minerallerle birlikte prosese beslenerek malzemeye farklı özellikler katarak nihai ürünün içerisinde bulunur. %0,01 ile %20 arasında değişen oranlarda kullanımıyla alüminyum nihai ürünlerinin bünyesine girmektedir. [2]

Bu çalışma kapsamında hacimce %1, %2,5 ve %5 oranlarında susuz boraks (SB) malzemesi alüminyum malzeme ile herhangi bir işleme tabi tutulmadan, direkt olarak toz halinde, karıştırılarak basınçsız döküm yöntemiyle üretilip ve SB malzemesi ile üretim parametrelerinin alüminyumun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi birlikte incelenmiştir.

Önceden yapılan çalışmalar incelendiğinde alüminyuma eklenen bor ürünlerinin mekanik özelliklerde önemli artışlar gerçekleştirdiği görülmektedir.

Özellikle uzay, havacılık ve otomotiv endüstrilerinde gelişen teknolojiyle birlikte üstün özelliklere sahip malzeme gereksinimi giderek artmaktadır. Bu sebeple kompozit malzemeler ve onların geliştirilmeleri önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle otomotiv endüstrisinde hafifliğinden dolayı önemli bir yere sahip olan ve her geçen gün kullanım alanı artmaya devam eden alüminyum malzemesinin dayanımında yapılacak olan artış endüstri için önem arz etmektedir.

Çalışmanın başlangıcında mamul ve/veya yarı mamullerin basınçlı döküm (metal enjeksiyon) yöntemi ile üretimleri planlanmış fakat 2019 yılı Aralık ayında dünya çapında ve 2020 yılı Mart ayında ise ülke genelinde meydana gelen salgın (pandemi Covid-19) sebebinden dolayı işletmelerdeki üretim ve çalışma koşullarının kısıtlanması sürelerinin ön görülememesi nedeniyle çalışma basınçsız döküm yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Alüminyum Genel Bilgiler

Hafif bir metal olan alüminyumun (Al) atom numarası 13, yoğunluğu 2,70 gr/cm<sup>3</sup>' tür. Doğada saf olarak bulunmayan alüminyum silikat ve oksit bileşikler halindedir. Birincil ve ikincil üretim olarak alüminyum metali üretimi ikiye ayrılır. Boksit cevherinden elde edilmesine birincil alüminyum üretimi, geri dönüşüm olarak hurdadan elde edilmesine ise ikincil alüminyum üretimi denir. [1]

Doğada bileşikler halinde bulunan alüminyum, oksijen ve silisyumdan sonra %8'lik içeriğiyle yerkabuğundaki en çok bulunan 3. elementtir. Varlığı miktarının fazla olmasına rağmen 1808 yılında İngiliz Sir Humphry Davy tarafından tespit edilmiş fakat bu metalin ticari olarak üretim teknolojisi ancak 1886 yılında birbirlerinden habersiz ve ayrı ayrı çalışarak Paul Louis Toussaint Héroult (Fransa) ve Charles Martin Hall(ABD) tarafından geliştirilmiştir. Hall- Héroult yöntemi günümüzde hala kullanılmaktadır. İki bilim insanı çalışmaları sırasında ergimiş kriyolit içinde alüminyum oksiti çözdürüp, üzerinden elektrik akımı geçirdiğinde elektrolitin altında alüminyumun sıvı şekilde biriktiğini fark etmişlerdir. 1888'de ilk alüminyum elektrolizhaneleri Hall patentiyile kurulmuştur. [3]

Alaşım elementlerine ve mikro yapısına bağlı olarak alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri değişir. Alaşım elementi olarak en çok kullanılan bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur. [4]

Dövme ve döküm alaşımları olmak üzere alüminyum alaşımları iki gruba ayrılır. Plastik deformasyon kabiliyeti iyi olan dövme alaşımları kolayca şekillendirilebilirler. Alüminyum dövme ve döküm alaşımlarının büyük bir kısmına ısıtma işlemi uygulanabilmektedir. Dövme alaşımları ve döküm alaşımları oldukça farklı bir kimyasal yapı ve mikro yapıya sahiptir. Dövme ve döküm alaşımları iki alt gruba ayrılır. Bunlar ısıtma işlemi uygulanabilen ve uygulanamayan alaşımlardır. 2XXX,



6XXX ve 7XXX serileri ısıt işlemler uygulanabilir olan üç ana grup, 1XXX, 3XXX ve 5XXX serileri ise ısıt işlemler uygulanamayan üç ana gruptur. [4,5,6].

“T” ve “H” harfleri ile mukavemetlendirme derecesi, alaşımların pekleştirilebilir veya ısıt işlemler görebilir olmasına göre temper tanımlaması gösterilmektedir. Diğer tanımlamalarda ise “O” alaşımların tavlandığını, “F” üretildiği şekilde kullanıldığını veya “W” çözündürme uygulandığını göstermektedir. Gerçek ısıt işlemler tipini, pekleşme miktarını veya alaşımların diğer özel üretim işlemler durumunu “T” ve “H” yi takip eden numaralar göstermektedir. [4]

Tablo 1.1. Temper seri numaraları tanımlamaları [4]

TEMPER NO	AÇIKLAMA
F	İmal edildiği şekilde
O	Tavllanmış
H	Soğuk şekillendirilmiş
W	Çözelti ısıt işlemler görmüş
T	Yaşlandırılmış

Sertleştirilebilir fakat ısıt işlemler uygulanamayan 1xxx, 3xxx ve 5xxx alüminyum serileri için temper gösterimleri Tablo 1.2’de verilmiştir. [5]

Tablo 1.2. Temper seri numaraları tanımlamaları [4,5].

TEMPER NO	AÇIKLAMA
H1X	Sadece soğuk şekillendirilmiş (x mukavemetlendirmeye ve soğuk şekillendirme miktarına işaret eder)
H12	Soğuk şekillendirme, 0 ve H14 temperleri arasında, ortalarda bir çekme dayanımı sağlar
H14	Soğuk şekillendirme, 0 ve H18 temperleri arasında bir çekme dayanımı sağlar
H16	Soğuk şekillendirme, H14 ve H18 temperleri arasında ortalarda bir çekme dayanımı sağlar
H18	Soğuk şekillendirme, yaklaşık %75 azalma sağlar
H19	Soğuk şekillendirme, H18 temperleme ile elde edilen çekme dayanımından 2000 psi fazla dayanım sağlar
H2X	Soğuk şekillendirilmiş ve kısmen tavllanmış
H3X	Düşük sıcaklıkta yapının yaşlanmasını önlemek için soğuk şekillendirilmiş ve dengelenmiş

Isıl işlem uygulanarak şekillendirilebilen alüminyum alaşımları 2xxx, 6xxx ve 7xxx serileri için ise temper gösterimleri Tablo 1.3’de verilmiştir. [4,7]

Tablo 1.3. Temper seri numaralarının tanımlamaları [4,7]

TEMPER NO	AÇIKLAMA
T1	İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış
T2	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
T3	Çözelti ısıl işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
T4	Çözelti ısıl işlemi uygulanmış ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
T5	Yüksek sıcaklıktaki şekillendirme işleminden ve soğuduktan sonra yapay yaşlandırılmış
T6	Çözelti ısıl işlemi görmüş ve yapay yaşlandırılmış
T7	Çözelti ısıl işlemi görmüş ve kararlılaştırılmış
T8	Çözelti ısıl işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış
T9	Çözelti ısıl işlemi uygulanmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş
T10	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış

## Önemli Alüminyum Alaşımları

Diğer kimyasal elementlerle çok kolay bir şekilde bileşik oluşturabilmesi sebebiyle alüminyum çok çeşitli alaşımları (alüminyum-bor, alüminyum-magnezyum, alüminyum-bakır, alüminyum-magnezyum-çinko, alüminyum-silis-magnezyum, alüminyum-silis, alüminyum-kalay gibi) geliştirilmiştir. [1]

## 1.2. Alüminyumun Kullanım Alanları

### 1.2.1. Otomotivde alüminyumun kullanımı

Hafif malzeme seçimi yakıt tasarrufu için önemli bir nokta olduğundan dolayı özellikle otomotiv sektöründe hafif yapı metallerinin, alüminyum, magnezyum, titanyum gibi, kullanım alanı oldukça geniştir. Hızlı bir gelişime sahip olan otomotiv endüstrisinde, alüminyumun işlenebilirlik, maliyet, geri dönüşüm, korozyon direnci yönünden avantajlara sahip olması nedeniyle kullanımının her geçen yıl daha da artmasına neden olmaktadır. Yolcu güvenliği araç tasarımıdaki en önemli husustur ve alüminyum da çarpma sırasında ortaya çıkan enerjiyi çok iyi absorbe edebildiği için kullanım açısından en uygun element haline gelmektedir. Tercih nedenlerine baktığımızda hem güvenlik önlemlerini iyileştirmek için hem de taşıt ağırlığını azaltmak için çok uygun bir element olduğu görülmektedir. [9]

Otomobil gövdelerinde alüminyum kullanımını kısıtlayan iki önemli etken bulunmaktadır. Bunlardan birincisi çelikten iki kat daha fazla olan alüminyumun maliyeti, diğeri ise yüksek ölçekli üretimlerde oluşacak üretim zorluğudur. [9] Geri dönüşümün noktasında incelendiğinde alüminyum, ham maddeden üretimi için gerekli enerjinin sadece %5'i ile tekrar ergitilebilir ve yepyeni ürünler için kullanılabilir olduğu bilinmektedir. [4]

#### Hafifletme Emisyon ve Dayanım Stratejisi

Hedeflenen emisyon azaltma/yakıt tasarrufu için alüminyum gibi hafif metallerin araçlarda kullanılması bu amaçlar için doğrudan etki etmektedir. International Aluminum Institute (Uluslararası Alüminyum Enstitüsü) raporlarında açıklandığı şekliyle [8], bir araçta kullanılan her 1 kg çelik 500 gr alüminyumla yer değiştirirse araç tüm kullanım ömrü süresince toplam 10 kg daha az emisyonla sebep olacaktır. [10]

Ayrıca alüminyumu çelikle kıyasladığımızda sahip olduğu yoğunluk ve mukavemet nedeniyle önemli avantajları mevcuttur. Çelikle alüminyum spesifik mukavemet (mukavemet/yoğunluk) açısından karşılaştırıldığında alüminyum çok önemli bir avantaja sahiptir. Bu da aynı miktardaki yükü, aynı ağırlığa sahip çelik ve alüminyum üretilmiş bileşenin taşıyabileceği anlamına gelmektedir. [10]

Ayrıca çelik saclar için kullanılan pres operasyonu ekipmanları incelendiğinde alüminyum alaşımları için de benzer operasyonların kullanıldığı görülmektedir. Mevcut kullanılan pres operasyonları, kalıp bıçak aralarının alüminyum için uygun hale getirilmesiyle, keskin ve çapaksız kenarlar elde edebilmek için uygulanabilmektedir. Tüm bunlara ek olarak, geri kazanım uygulamaları, montaj ve imalat şekilleri çelik saclar için uygulananla farklı olmadığından, çelik yerine alüminyum kullanımı otomobil üreticisine herhangi bir ek yük getirmemektedir. [4]

#### Otomotivde Kullanılan Alüminyum Parçalar

Günümüzde üretilen bir otomobil çeşitli alüminyum parçaları içermektedir. Bu parçalar incelendiğinde alüminyumun; tamponlar, koltuk rayları, döküm yöntemiyle üretilen silindir kafaları, yan çarpma çubukları, dişli kutuları, jantları; levha ve

ekstrüzyon yöntemiyle imal edilen radyatörler vs. üretiminde kullanıldığı görülmektedir. Alüminyum ve alaşımları, genellikle döküm alaşımı olarak motor ve vites, hareket sistemi gibi parçaların üretiminde kullanılırken, döküm alaşımları dışında profil, levha gibi değişik üretim teknikleriyle üretilmiş parçalar, soğutma sistemi ve kasa gibi aksamalarda kullanılmaktadır. [4,11]

Bir otomobilde alüminyum motorda, viteslerde ve hareket sisteminde de kullanılır. Bunun dışında kasa ve soğutma sistemleri de yassı ürün olarak alüminyum alaşımıdır. Geri kazanma payı %90'ın üzerinde olan alüminyum için, bir otomobilde kullanılan parçaların tamamı geri kazanılabilmektedir. [12]

Yolcu bölümünü çevreleyen güvenlik kafesi yolcuları korumak için araçların birçoğunda yer alan bir kısımdır ve darbe aldığı anda içeri doğru çökmemeli, kırılmamalı ve olabildiğince yapısını korumalıdır. Bunu sağlamak için enerjiyi absorbe edebilen ve aracın ön ve arkasında deforme olabilen parçaların oluşturulması kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Çarpma sırasında ortaya çıkan enerji bu sistemler tarafında absorbe edilerek yolcu güvenliği sağlanmalıdır. Alüminyumu incelediğimizde çelikten 3 kat daha fazla uygulanan enerjiyi barındırma yeteneğine sahiptir. Alüminyum çarpma kutuları içine köpük yerleştirilerek ya da içi boş profiller olarak kullanılırlar. [13]

### **1.2.2. Havacılıkta alüminyumun kullanımı**

Ahşap havacılık endüstrisinde ilk kullanılan malzeme olup [18], sonrasında da onun yerini 1900'lerde alüminyum alaşımları hafiflik ve şekillendirilme, düşük maliyeti, uygulanan ısı işlemlerle yüksek mukavemet kazanabilmesi kabiliyetlerinden dolayı almışlardır. [19] Alüminyum kullanıma başlanmasıyla yarı yarıya hafiflik sağlanırken mukavemetten de ödün verilmemiştir. Fakat bu avantajlara rağmen korozyon ve düşük elastisite başlıca dezavantajlardır. Tablo 1.4'de havacılık endüstrisinde kullanılan alüminyum alaşımları ve kullandıkları bölgeler gösterilmektedir. Tablodaki "hasar toleranslı" ifadesi, yapının hem "mukavemet" hem de "kırılma tokluğu" değerlerinin aynı anda yüksek olduğunu ifade etmek için kullanılmıştır. Birçok malzemede, özellikle metalik alaşımlarda, yüksek tokluk değeri, beraberinde mukavemet azalmasını getirmektedir. Bir yapısal malzemenin uygulama alanında her zaman en önemli özelliği, hasar toleranslı olmasıdır. [20]

Hasar toleranslı bir alaşım, kusurların kaçınılmaz olması halinde hasara karşı da yüksek direnç gösterebilecektir. Tablodaki “orta” ve “yüksek” mukavemet ifadeleri ise alaşımların birbirlerine göre durumunu göstermektedir. Değerler sıcaklığa göre değişmektedir ancak genel olarak Al alaşımlarında mukavemet değerlerinin, 100 °C’nin daha üzerinde ve -200 °C’nin daha altında çok büyük oranda değiştiği bilinmektedir. Tabloda “T” ile gösterilen kısaltmalar, uygulanmış olan ısıl işlem türünü sembolize etmektedir. [20]

Tablo 1.4. Havacılık endüstrisinde kullanılan alüminyum alaşımları ve kullanıldıkları bölgeler [20]

Ürün	Mukavemet Seviyesi	Alaşım-Temper	Uygulama
Sac	Hasar Toleranslı	2024-T3	Gövde/Basınç kabin yüzeyi
		2524-T3/351	
	Hasar Toleranslı	2024-T351	Kanat Alt Kaplaması
		2324-T39 2624-T351 2624-T39	
Levha	Orta Mukavemet	2024-T62	Taktik uçakların gövde panelleri
	Orta Mukavemet	2124-T851	Taktik uçakların bölmeleri
	Orta Mukavemet	7050-T7451	İç gövde yapısı
		7X75-T7XXX	
	Yüksek Mukavemet	7150-T7751	Kanat Üst kaplaması
		7055-T7751	
7055-T7951 7275-T7951			
Orta Mukavemet	7050-T7451	Direk, giriş ve iç gövde yapısı	
Dövme	Yüksek Mukavemet	7175-T7351	Kanat / Gövde parçaları
		7050-T7452	
	Hasar Toleranslı	2024-T3511	Kanat, gövde girişleri
2026-T3511			
2024-T4312 6110-T6511			
Ekstrüzyon	Orta-Yüksek Mukavemet	7075-T73511	Gövde, kanat girişleri, zemin girişleri, koltuk rayları
		7075-T79511	
		7150-T6511	
		7175-T79511	
		7055-T77511 7055-T79511	

Bir uçağın çeşitli parçaları farklı tip yüklemelere, yorulmalara ve korozyon şartlarına maruz kalabilmektedir. Bu nedenle parçaların bulunduğu ortam ve çalışacağı koşulları göz önüne alınarak malzeme seçimi yapılmaktadır. Şekil 1.1’de bir uçağın farklı bölümlerinde, istenilen malzeme ve mukavemet özellikleri gösterilmiştir. Mesela

kanat üstü yapıların basma mukavemetinin yüksek, burulmaya karşı dirençli ve kırılma tokluğunun yüksek olması gerekirken, kanat altı malzemelerin yüksek çekme mukavemetine ve hasar toleransına sahip malzemeler olması gerekmektedir. [16]



Şekil 1.1. Bir taşıma/nakliye uçağında istenilen malzeme ve mukavemet özellikleri [16]

2014 Alaşımı (%4,5 Cu - %0,8 Si - %0,8 Mn - %0,4 Mg) İyi işlenebilirliğin, yüksek mukavemetin ve yüksek sertliğin istendiği durumlarda kullanılır. Geniş olarak uçak teçhizatının yapımında kullanılır. [17]

2024 Alaşımı (%4,5 Cu - %1,5 Mg - %0,6 Mn) Uçak yapısında, perçinlerde, karışık şekilli elemanlarda kullanılır. [17]

5052 Alaşımı (%2,5 Mg - %0,25 Cr) İyi çalışabilirliğin, korozyona çok iyi bir direncin, ortalama statik mukavemetin, yüksek yorulma mukavemetinin istendiği uygulamalarda kullanılır. Uçağın yakıt tanklarında, yakıt ve yağ borularında kullanılır. [17]

6061 Alaşımı (% 1,0 Mg - % 0,6 Si - % 0,25 Cu - % 0,025 Cr) Kaynak kabiliyetinin, yüksek mukavemetin, korozyona iyi bir direncin ve işlenebilirliğin istendiği durumlarda kullanılır. Uçak iniş merdivenleri gibi elemanlarda kullanılır. [17]

7075 Alaşımı (%5,5 Zn- %2,5 Mn - %1,5 Cu- %0,3 Cr) korozyona iyi direncin ve yüksek mukavemetin gerektiği durumlarda kullanılır. 7075 alaşımından uçak yapı elemanlarının büyük bir kısmı yapılır. [17]

### Hafifletme Stratejileri

Ağırlık azalımı konusunda, yoğunluk en önemli parametredir. Bunun yanı sıra malzemenin mukavemeti, elastisite modülü ve hasar toleransı ise şekillendirilebilmeyi etkileyen parametrelerdendir. Günümüz şartlarında bir uçağın üretilme/geliştirme amacına bakıldığında ekonomiklik ve rekabet ön plandadır. Bir sefer ile en fazla sayıda yolcu taşıma ve buna bağlı olarak giderleri (yakıt, maaş, vergi) en aza düşürme eğilimleri doğrultusunda üretim/geliştirme yapılmaktadır. Geçmişten günümüze bu çalışmalar devam ederken, günümüzdeki uçakların kalkış ağırlığı 600 ton civarına yaklaşmıştır. Örneğin, dünyanın en büyük iki katlı geniş gövdeli, 853 yolcu kapasiteli ve 15200 km menzile sahip yolcu uçağı Airbus A380 modelinde, yeni geliştirilen/kullanılan malzemeler ile yaklaşık %25 daha hafiflik sağlanmıştır. [16,22].

### 1.2.3. Alüminyum köpükler

Pek çok yapısal uygulamada köpük metal yapısı (özellikle araç sanayindeki uygulamalar gibi) kapalı hücreli olarak adlandırılır. Yüksek enerji sönmeme kabiliyetleri ve uygun maliyetleri ile özellikle alüminyum köpüklerin otomotiv sektöründe kullanılabilirliğinin yüksek bir malzeme olduğunu göstermektedir. [14].

Isı ve ses yalıtkanlığı kabiliyetleri nedeniyle alüminyum köpük malzemeler araçların motor kısmında tercih edilmektedir. Güvenliği artırmak amacıyla yine otomobillerde ve trenlerde tampon ve kapılarda dolgu malzemesi olarak ve şase-tampon arasına yerleştirilen çarpışma kutusunda da kullanılmaktadır. Havacılık sektörü de rijitlik/yoğunluk oranının önemi nedeniyle alüminyum köpük kullanımı için diğer önemli bir sahasıdır. Pahalı bir yapı olan bal peteği kompozit malzemelere alternatif olarak alüminyum köpükten üretilmiş plaka ve sandviç paneller kullanılabilir. [15]

### 1.3. Bor Genel Bilgiler

Bor, B<sub>10</sub> ve B<sub>11</sub> olarak adlandırılan element olarak doğada iki ayrı kararlı izotoptan oluşmaktadır. Bu izotopların doğada bulunma oranları sırasıyla %19,1-20,3 ve %79,7-80,9'dir. B<sub>10</sub> izotopu, çok yüksek termal nötron tutma özelliği gösterir. Böylelikle nükleer malzemeler ve nükleer enerji santrallerinde kullanılabilir. [2]

İngiliz kimyacı Sir Humphry Davy ve bağımsız olarak Fransız kimyacı Baron Louis Thenard ile Gay-Lussac tarafından elementel bor ilk kez 1808 yılında bulunmuştur. [25]

Bor, metalle ametal arası yarı iletken özelliklere sahip atom numarası 5, atom kütlesi 10,8 ve periyodik tabloda B simgesiyle gösterilen, yoğunluğu 2,84 g/cm<sup>3</sup> ve erime noktası 2200°C olan bir elementtir. Bor mineralleri, sulara çözelti olarak veya doğada diğer kayaç ve minerallerle birlikte bulunmaktadır. [25] Minerallerin buldukları derinliğe, yere ve fiziksel özelliklerine göre üç çeşit çıkarma yöntemi kullanılmaktadır.

#### 1.3.1. Açık ocak yöntemi

Açık ocak yöntemi Dünyada kullanımı en çok tercih edilen yöntemdir. Tabakanın fiziksel özelliklerine göre cevherin üzerindeki örtü tabakası delme-patlatma ile gevşetilir. Daha sonra örtü tabakası cevherin üzerinden alınarak cevher çıkarılır. Yerküreye yakın tabakalarda oluşan bor mineralleri bu yöntemle çıkarılır. Bu işlemler sırasında ekskavator ve loderler kullanılır. Amerika, Türkiye, Arjantin, Şili, Çin ve Rusya'da açık ocak yöntemi ile üretim yapılmakta olan ocaklar mevcuttur. [25]

#### 1.3.2. Kapalı ocak yöntemi

Açık ocak yöntemi ile çıkarılması zor ve maliyetli olan cevherlerin çıkarılması için yeraltı madenciliği olarak da bilinen bu yöntem kullanılır. Cevherin üzerindeki örtü tabakası kalın ve sert bir yapıya sahip olduğunda üstten kırılarak alınması zor ve zahmetli olmaktadır. Bu sebeple örtü tabakası delinerek (tüneller açılarak) alınır. Ülkemizde bulunan Bigadic yatakları bu türdendir. Amerika (Billie Madeni, Death Valley) ve Çin (Lioning)'de bu yöntem kullanılmaktadır. [25]



### 1.3.3. Çözelti madenciliği yöntemi

Sularda bulunan bor minerallerinin çıkarılmasında diğer bir yöntem ise çözelti madenciliği yöntemidir. Su yatağına %5'lik HCl ilave edilip 8-9 saat beklenir ve sonrasında çözelti yüzeye pompalanır. Sonrasında kireç eklenir ve %43 bor oksit içeren kolemanit üretilir. [25]

Cevher zenginleştirme ise bu yöntemlerle çıkarılan cevherlerin değerli kesimlerini, niceliklerini, taş, toprak ve işe yaramayan başka özelliklerden ayırıp artırmaya denir.

Borun sanayinin vazgeçilmez hammaddelerinden bir tanesi olmasının sebebi, element olarak çok çeşitli bileşik yapma kapasitesine ve nötronları absorbe etme özelliğine sahip olmasıdır.

Bor 3A grubunda bulunan tek ametal elementtir ve ametal olması nedeniyle metallerin ve ametallerin arasında özelliklere sahiptir. Bor küçük bir atomdur ve bu onu özel bir element haline getirmektedir. Kovalent bağ oluşturur ve bunun nedeni ise elektronlarını çok sıkı tutmasıdır. Bu yüzden gruptaki diğer atomların yaptığı gibi bileşiklerinde +3 iyon halinde bulunmaz. Bileşiklerinde ise +3 değerlikli oldukları kabul edilir. [2,25]

Bor mineralleri doğal bileşiklerdir ve yapılarında bor oksiti ( $B_2O_3$ ) farklı oranlarda barındırmaktadırlar. Yaklaşık olarak doğada 230'dan fazla bor minerali bulunur ve başlıca ticari öneme sahip olanlar; kolemanit, tinkal, üleksit, kernit, pandemit, szaybelit, borasit, ve hidroborasit'tir. Tablo 1.5'te bu minerallerin  $B_2O_3$  içerikleri ve kimyasal formülleri verilmektedir. [2]

Türkiye'de kalsiyum bazlı kolemanit, sodyum bazlı tinkal ve sodyum+kalsiyum bazlı üleksit yaygın olarak bulunan bor mineralleridir. Bu mineraller zenginleştirilmek için önce fiziksel işleme uygulanır ve (konsantre bor) sonrasında çeşitli bor kimyasallarında dönüştürülmek için rafine edilir. Fakat ifade kolaylığı için "Bor" bu ürünlerin tamamı olarak adlandırılmaktadır. [2]

Tablo 1.5. Ticari Öneme Sahip Başlıca Bor Mineralleri [27]

Mineral	Formülü
Kernit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Tinkalkonit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$
Tinkal	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$
Probertit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$
Üleksit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$
Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$
Meyerhofferit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
İnyoit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13 \text{H}_2\text{O}$
Pandermit	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
İnderit	$\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 15 \text{H}_2\text{O}$
Hidroborasit	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$
Aşarit	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Datolit	$\text{Ca}_2\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Sassolit(doğal borik asit)	$\text{H}_3\text{BO}_3$

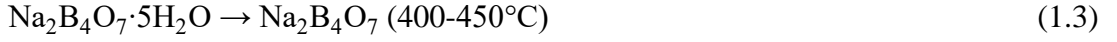
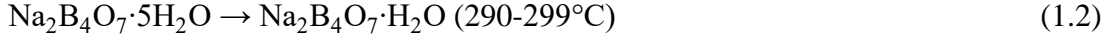
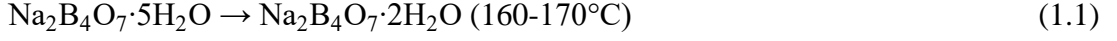
Boraks (Tinkal) ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ )

Genellikle renksiz ve saydam şekilde tabiatta bulunur. Bazı maddelerin etkisiyle gri, sarımsı, pembe renklerde de bulunabilmektedir. Suyunu kaybederek tinkalkonite dönüşebilir. Ülkemizde Eskişehir-Kırka yataklarından üretilmektedir. [26]

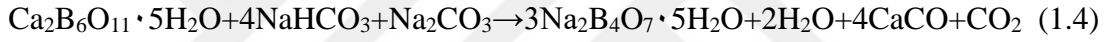
#### 1.3.4. Boraks üretimi

Boraks, bor cevherlerinden kristallendirme yöntemi ile elde edilmektedir. Genel olarak doğada boraks Tinkalkonit ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) ve Tinkal ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) şeklinde bulunmaktadır. Tinkal cevheri Eskişehir İline bağlı Kırka ilçesindeki sahalarda üretilmektedir. Boraks üretimi Türkiye’de tinkalden yapılmaktadır. Su ile birlikte yaklaşık 10 mm boyutundaki konsantre tinkal reaktöre beslenir ve çözme işlemi yaklaşık  $100^\circ\text{C}$ ’de sağlanır. Tinkalde bulunan kil uygun çöktürücü kullanılarak (kolloidal halde olduğundan) çöktürülerek çözeltiden ayrılır. Bu çökeleğe slam denilmektedir. Boraks çözeltisi de katalizöre verilmek için bir filtrepiresten geçirilir. Boraks  $40^\circ\text{C}$ ’de kristallendirilir ve bir santrifuje verilerek %5 nem bulunduracak şekilde alınır. Sonrasında  $60^\circ\text{C}$ ’ da kurutulmuş olarak depolanır. En önemli boraksler ise; susuz boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ), boraks pentahidrat ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) ve sodyum tetraborat dekahidrat ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )’tır. Boraks tinkal minerali olarak adlandırılmaktadır.  $50^\circ\text{C}$ ’de boraks dekahidrat ısıtıldığında boraks pentahidrat elde edilmektedir. 160–

170°C’de boraks pentahidrat ısıldığında boraks dihidrat, 290-299°C’de boraks mono hidrata ve 400–450°C’de de susuz boraksa dönüşür. [24]



Kolemanitten de ayrıca boraks elde edilebilmektedir. %50 daha fazla sodyum karbonat ve sodyum bikarbonat ile öğütülmüş cevher (20g) reaksiyona sokulur. Manyetik karıştırıcı ile yaklaşık 30 saat 368°K civarında karıştırılarak reaksiyon gerçekleştirilir. Meydana gelen kalsiyum karbonat çamuru karışım sıcak olarak süzülüp ayrılır. Buharlaştırılarak süzüntü 100 mL hacme indirilir. Kendi halinde bir gece bırakılır ve daha sonra süzülerek oluşan boraks kristalleri çözültiden ayrılır. [24]



### 1.3.5. Borun sektörel kullanım alanları

Bor konsantre olarak ya da bor kimyasalları olarak kullanım alanı olan sektörlerde tüketilmektedir. Bor ürünleri; nanoteknolojiler, tarım, metalurji, cam sanayi, askeri araçlar, kimya ve deterjan sektörü, seramik, elektronik ve iletişim sektörü, nükleer uygulamalar, uzay ve hava araçları, yakıtlar ve polimerik malzemeler, otomotiv ve enerji sektörü ve inşaat gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Bor son zamanlarda kaya gazı sektöründe de kullanım alanına sahip olmaya başlamıştır. Kapanma riskini azaltan etkisiyle çatlakların basınç düşmelerinde hidrolik çatlatma sıvısında kullanılmaktadır. Birim tüketim henüz az olmasına rağmen büyüme gösteren bir sektör olarak potansiyele sahiptir. [25]

### 1.4. Kompozit Malzemeler

Malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla, belirgin bir arayüzey oluşturarak iki veya daha fazla malzemenin, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelere kompozit malzeme denir. Kompozit malzemeler temel olarak birbirleri içerisinde çözünmeyen, birbirlerinden farklı şekil ve/veya malzeme kompozisyonuna sahip, iki veya daha fazla bileşenin karışımından veya birleşmesinden oluşan malzeme

sistemidir. Bir malzemenin, kompozit malzeme olarak adlandırılabilmesi için matris yapısına ve takviye elemanına sahip olmalıdır. Matris yapısı sürekli bir yapıya sahiptir ve takviye elemanını bir arada tutar. Takviye elemanı ise matris yapısında çözünmez ve matrisin rijitliğini/dayanımını artırır. Ayrıca kompozit malzemeler matris yapısıyla takviye elemanı arasında oluşan belirgin bir arayüze sahip olmalıdır. Bu nedenle, atomal veya moleküler düzeyde birleştirilen malzemeler, homojen bir mikroyapıya sahip olmaları nedeniyle kompozit malzeme olarak adlandırılmazlar. Farklı malzemelerin birleştirilmesinden meydana gelen kompozit malzemeler, kendisini meydana getiren bileşenlerin özelliklerini bir arada bulundurur ve hem matris yapısına hem de takviye elemanına göre daha üstün özelliklere sahip olur [40,41,42,43]

Kompozit malzemeler ana yapının fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre üçe ayrılır;

- Plastik kompozitler,
- Seramik kompozitler,
- Metal matrisli kompozitler

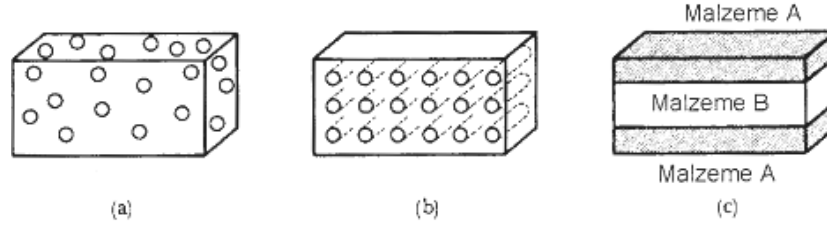
Plastik esaslı kompozitlerin düşük yoğunluk, kolay işlenebilirlik, yüksek korozyon direnci gibi olumlu özelliklerinin yanında mekanik özellikleri düşüktür. [44]

Seramik esaslı kompozitler yüksek sıcaklıkta dayanım, yüksek sertlik ve yüksek aşınma direncine sahiptirler, fakat darbe dayanımları ve işlenebilirlikleri çok düşüktür. [36,44]

Bunlarının aksine metal matrisli kompozitler, yüksek mekanik özellik, yüksek aşınma direnci, yüksek darbe dayanımı ve iyi işlenebilirlik özelliğini bir arada bulundurmaktadırlar. [36,45]

Kompozit malzemeler genellikle matris fazının fiziksel ve kimyasal özellikleri ele alınarak sınıflandırılmaktadır, örneğin; polimer-matris, metal-matris, seramik-matris gibi. Buna ilaveten intermetalik-matris ve karbon-matrisli kompozitler de sayılabilir. Diğer bir sınıflandırma ise matrisi takviye eden fazın geometrisine göre yapılabilir; sürekli fiber, kısa fiber, partikül veya whisker takviyeli kompozitler. Kompozitler, Şekil 1.3'te gösterildiği gibi takviye malzemelerinin şekline göre parçacık, fiber ve katmanlı olarak üç sınıfa ayrılabilirler. parçacık takviyeli kompozite beton (çimento

ve çakılın bir karışımı olarak), fiber takviyeli kompozite polimer matris içerisine gömülmüş olan cam fiberler içeren cam elyafı, katmanlı kompozite ise kontrplak, (ağaç kaplama katmanlarının dönüşümlü olarak yapıştırıldığı) örnek olarak verilebilir. [36]



Şekil 1.2. Üç grup kompozit malzemenin sınıflandırılması (a) Parçacık takviyeli, (b) Fibertakviyeli, (c) Katmanlı kompozit [49]

Parçacık takviyeli kompozitlerde takviye parçacıklar matris içerisinde uniform olarak dağılırsa özellikler izotropiktir. Fiber takviyeli kompozitler, fiberin matris içerisindeki dizilimine göre izotropik veya anizotropik özelliklere sahip olabilir, katmanlı kompozitler anizotropik davranış gösterirler. [36]

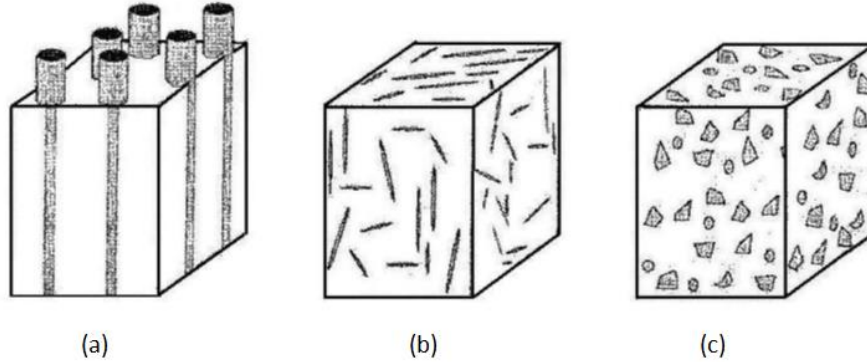
#### 1.4.1. Metal matrisli kompozitler (MMK)

Metal matrisli kompozitler (MMK), metal veya metal alaşımlarının içerisinde seramik veya intermetalik bileşiklerin ilavesi ile oluşturulmuş yeni bir tür malzeme olarak tanımlanır. Matris ve takviye elemanından oluşan iki farklı yapı taşına sahip olan metal matrisli kompozitler metallerin sünek ve tok özellikleri ile seramiklerin yüksek dayanım ve rijit özelliklerini bir arada bulundurmaktadır. MMK'ler takviye elemanının şekline bağlı olarak sürekli, süreksiz fiber ve partikül takviyeli metal matrisli kompozitler şeklinde üç ana başlık altında ele alınmaktadır. [36,46,48]

Sürekli fiber takviyeli kompozitlerde takviye elemanları matris içerisinde sürekli ve tek yönlü bir şekilde yer alır (Şekil 1.3a). Sürekli fiber takviyeli metal matrisli kompozitlerde takviye, alümina ( $Al_2O_3$ ), karbon (C), Bor (B), veya silisyum karbür (SiC) sürekli fiberinden, matris ise alüminyum (Al), titanyum (Ti), bakır (Cu) veya bunların alaşımlarından oluşabilmektedir. Üretimleri oldukça zor ve pahalı olan sürekli fiber takviyeli kompozitler anizotropik özelliğe sahiptir ve kompozitin mekanik ve fiziksel özellikleri fiber yönüne bağlı olarak değişim gösterir. Sürekli fiber takviyeli kompozitlerde mekanik özellikler takviye elemanı ile matris arasında gelişen

kimyasal reaksiyonlara karşı oldukça hassastır. Bu nedenle takviye elemanı ile matris arasında gelişen küçük bir reaksiyon bile kompozitin dayanımında önemli oranda düşüşe sebep olmaktadır. Sürekli fiber takviyeli kompozitlerin üretiminde genellikle sıvı infiltrasyon, buhar biriktirme (fiberlerin üzerine buhar formundaki matris alaşımının çökeltilmesi) ve toz metalurjisi teknikleri kullanılmaktadır. Bu tip kompozitlerde mekanik özellikler takviye elemanının sürekliliğine bağlı olduğu için üretim sırasında takviye elemanının kırılma ve ezilmemesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Takviye elemanının bu kadar kolay zarar görüyor olması bu tip kompozitlerin plastik şekil verme, dövme, tel çekme, ekstürüzyon gibi ikincil üretimlerini kısıtlamaktadır [36,45]

Süreksiz fiber (Whisker) takviyeli metal matrisli kompozitlerde çapı 0,1–250 $\mu$  arasında değişen çeşitli uzunluklardaki süreksiz seramik güçlendiricilerin matris içerisinde rastgele dağılımı söz konusudur (Şekil 1.3b). Bu tip kompozitlerde takviye elemanının oranı %2–80 arasında değişim göstermektedir. Partikül takviyeli kompozitlerde ise (Şekil 1.3c) makro ve mikro boyutlarda eş eksenli (çapı 1 $\mu$ 'dan büyük) seramik güçlendiricilerin matris içerisinde rastgele dağılımı söz konusudur ve bu tip kompozitlerde takviye oranı %5 – %40 arasında değişim göstermektedir [36,45]



Şekil 1.3. a) Sürekli fiber, b) süreksiz fiber ve c) partikül takviyeli MMK [36]

Partikül ve süreksiz fiber takviyeli kompozitlerde yaygın olarak matris alaşımı, alüminyum, titanyum, bakır veya bunların alaşımlarından, takviye elemanı ise silisyum karbür (SiC), alümina ( $Al_2O_3$ ), bor karbür ( $B_4C$ ) veya titanyum karbür (TiC) partikül veya kısa fiberlerden oluşur. Sürekli fiberlere nazaran partikül veya süreksiz fiberlerin elde edilmesi ve üretilmesi kolaydır. Bu nedenle partikül ve süreksiz fiber takviyeli kompozitlerin üretimleri nispeten daha kolaydır ve ucuzdur. Sürekli fiber

takviyeli kompozitlerin aksine, partikül ve süreksiz fiber takviyeli kompozitlerde matris ile takviye elamanı arasında gelişen kimyasal reaksiyonlara karşı çok hassas değillerdir ve döküm, plastik şekil verme, dövme, tel çekme, ekstürüzyon gibi ikincil üretimler için daha avantajlıdır. Bunlara ek olarak süreksiz fiber ve partikül takviyeli kompozitlerde sertlik ve aşınma direnci daha iyidir ve özellikleri yöne bağlı olarak değişim göstermemektedir. [48] Partikül ve süreksiz fiber takviyeli kompozitlerin üretimleri Ex-situ (toz metalurjisi, karıştırma döküm ve sıvı infiltrasyon) ve İn-situ (yerinde reaksiyon) üretim teknikleri kullanılarak yapılmaktadır. [36]

Al bazlı metal matris kompozitlerinin geliştirilmesi otomotiv endüstrisinin daha güçlü ve daha sert hafif metal matris kompozitlerin talep edilmesine yol açmıştır. Alüminyum esaslı kompozitlerin imalatı için daha düşük maliyetle sağlam bir malzeme üretmeyi amaçlayan çeşitli teknikler vardır. [34]

#### **1.4.1.1. Dışarıdan takviyeli üretim yöntemleri**

Dışarıdan takviyeli üretim yönteminde takviye fazı kompozit üretilmeden önce ayrı olarak hazırlanır. Dışarıdan ilave edilen üretim yönteminde matriks ve takviye fazının uygun seçilmesi çok önemlidir. İyi bir seçim yapılmadığı takdirde, sıvı metal ile takviye fazı arasındaki zayıf ıslatılabilirlik ve metal matriks ile takviye fazı arasında istenilmeyen ara yüzey reaksiyonları oluşmaktadır. Bu tür kompozitlerin üretiminde kullanılan başlıca teknikler karıştırmalı döküm tekniği, toz metalurjisi tekniği ve sıvı metal infiltrasyon tekniğidir. [35]

##### **Karıştırmalı döküm yöntemi**

Bu metotta, matriks malzeme ergitildikten sonra ergiyik içerisinde kuvvetli bir hareketle girdap (vortex) oluşturulur ve takviye malzemesi girdabın içerisine ilave edilir. Sıvı metal çamurumsu bir hale dönüşmeden önce karıştırma işlemi birkaç dakika daha devam ettirilir. Yarı katı haldeki ergiyik kalıp içerisine dökülür ve kompozitin katılaşması beklenir. [35]

##### **Toz metalurjisi yöntemi**

Toz metalurjisi yönteminde (TM) ilk olarak matriks alaşımı tozu ile takviye fazı tozu karıştırılarak üretilmek istenen parça kalıbı içerisine yerleştirilir. Daha sonra kalıp

içerisindeki karışım sıcak veya soğuk olarak sıkıştırılır. Sıkıştırılma işleminden sonra karışım ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta sinterleme işlemi yapılır. Üretilen parçanın daha yoğun olması istenirse direkt sıcak presleme yapılabilir. [35]

#### Sıvı metal infiltrasyon yöntemi

Sıvı metal infiltrasyon tekniği kısa fiber hem de sürekli fiber ve partikül takviyeli metal matriksli kompozitlerin üretilmesinde yaygın olarak kullanılan bir metottur. Bu metotta prensip; önce istenilen şekilde uygun bağlayıcı kullanılarak preform hazırlanır. Kompozitte tasarlanan fiber hacim içeriği ve doğrultuları bu aşamada yapılır. Hazırlanan bu model (preform) kalıp içerisine yerleştirilir ve ergimiş metal enjekte edilerek bu preforma emdirilir. Bu sırada organik preformda bulunan organik bağlayıcılar yanar ve katılaşmaya bırakılır. Metal infiltrasyon işlemi, basınçlı bir şekilde de yapılabilir. Ancak preformun basınca karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Bu yöntem ile %45 takviye fazı hacimsel oranında MMK'ler üretilmektedir. [35]

#### 1.4.1.2. Yerinde reaksiyonla üretim yöntemleri

Yerinde reaksiyonla üretim yöntemini dışarıdan takviyeli üretim yönteminden ayıran en temel fark, seramik güçlendiricilerin sonradan ilavesi yerine güçlendiricilerin matris alaşımı içerisinde kendiliğinden oluşmasıdır. [37,38,39] Güçlendirici fazlar MMK kompozitlerinin üretimi aşamasında element ve bileşiklerin ekzotermik reaksiyonları sonucunda kendiliğinden oluşmaktadır. Ekzotermik reaksiyonlar sonucunda kendiliğinden oluşan intermetalik ve seramik esaslı güçlendiriciler matris içerisinde termodinamik olarak kararlı, homojen dağılımlı ve kuvvetli ara yüzey bağı gibi özellikler sergilemektedir. Yerinde reaksiyonla üretim yönteminde matris alaşımları alüminyum, titanyum, bakır, nikel, demir ve bunların alaşımlarından oluşur iken takviye elemanları ise matris alaşımı içerisinde kendiliğinden oluşan borür, karbür, oksit, nitrür ve bunların karışımlarından oluşmaktadır. Tek adımlı üretime de imkân sağlayan yerinde reaksiyonla üretim yöntemi dışarıdan takviyeli üretim yöntemine göre avantajlara sahiptir. [36,37,38,39]

MMK'lerin özellikleri matriks ile takviye fazı arasında meydana gelen arayüzeyin doğası kadar takviye fazının boyutu ve hacimsel oranıyla da kontrol edilebilir. İnce ve termodinamik olarak kararlı seramik takviye fazları matriks içerisine düzgün bir



şekilde dağılması sağlandığı zaman kompozitlerin mekanik özellikleri iyileştirilebilir. [35] Başlıca yerinde üretim yöntemleri;

#### Katı–sıvı reaksiyon prosesi

Katı–sıvı reaksiyon prosesi, element ve bileşiklerin (reaktantların) sıvı matris içerisinde reaksiyona girerek yerinde reaksiyon güçlendiricilerin oluşturulması esasına dayanmaktadır. Bu proses, metal matris kompozitlerin üretimine kolaylıkla adapte edilebilme özeliğine sahiptir. [36]

#### Buhar–sıvı–katı reaksiyon prosesi

Bu üretim prosesinde sıvı matris alaşımı içerisinde  $N_2$ ,  $CH_4$  gazları geçilerek yerinde reaksiyonla metal matris kompozitlerin üretimi söz konusudur. Örneğin sıvı Al–Ti alaşımı içerisinde  $N_2$  gazı geçirilerek aşağıdaki reaksiyonlar gelişmekte ve matris içerisinde takviye fazı olan TiN ve AlN intermetalik bileşikleri kendiliğinden oluşturulmaktadır. [36,37]

#### Katı–katı reaksiyon prosesi

Katı–katı reaksiyon prosesinde, toz formuna getirilmiş matris ve reaktantların mekanik alaşımlama, sıcak presleme veya izotermal sıcak presleme teknikleri kullanılarak eriyik oluşmaksızın yerinde reaksiyonla metal matris kompozitlerin üretimi söz konusudur. [36,39]

#### Sıvı–sıvı reaksiyon prosesi

Sıvı–sıvı reaksiyon prosesi, reaktant elementleri içeren iki farklı eriyiğin karıştırılması esasına dayanan bir yöntemdir. Eriyiklerin karıştırılması genellikle türbülanslı bir akım içerisinde yapılmaktadır. Türbülans, reaktatların reaksiyona girmesini hızlandırmakta ve oluşan güçlendiricilerin sıvı matris içerisine karışmasını sağlamaktadır. [36]

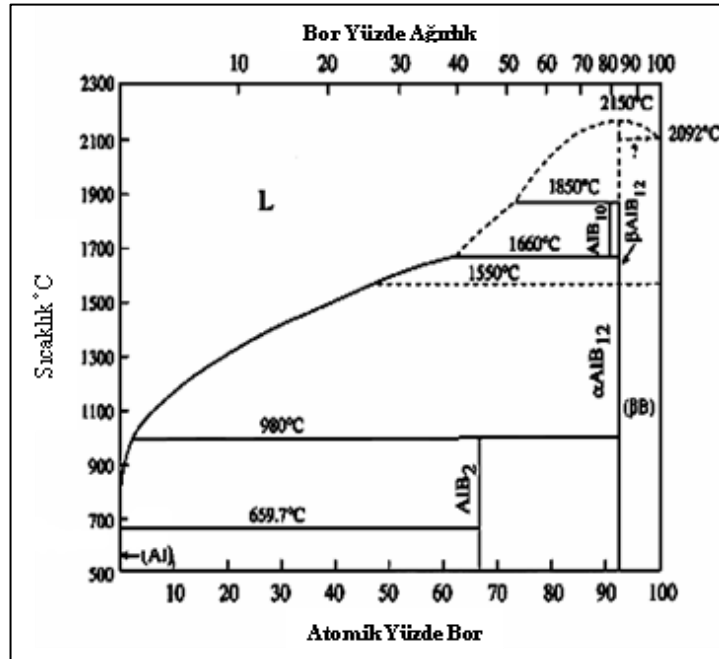
Yerinde reaksiyon üretim yöntemine göre takviye fazı, kompozit üretimi esnasında elementler veya element bileşik arasında oluşan ekzotermik reaksiyonlar sonucunda kendiliğinden oluşmaktadır, nispeten basit, ucuz olduğu ve hizmet ömürlerinde yüksek sıcaklıklarda daha az bozulmaya yol açtığı için çekici bir işleme yöntemidir. Dışarıdan

takviyeli üretim yöntemine kıyasla, yerinde reaksiyonla üretim yönteminin bazı avantajları bulunmaktadır. [34,35]

- Üretilen takviye fazları matriks içerisinde termodinamik olarak kararlıdır,
- Takviye fazı ile matriks arasında temiz ara yüzey oluşur,
- Yerinde reaksiyon yöntemiyle üretilen partiküllü takviye fazının küçük boyutlu olması ve matriks malzeme içerisinde daha düzgün dağılması,
- Düşük üretim maliyeti. [34,35]

### 1.5. Alüminyum ve Bor (Al-B) Sistemi

Alüminyum bor bileşiklerinin ilk çalışmaları 1850'lerde bildirilmiştir. O zamandan beri, birçok farklı araştırmacı Al-B sistemi için çeşitli faz diyagramları önermiştir. İlk faz diyagramları 1920'lerde sunulan ve basit ötektik diyagramlardır. Duschanek ve Rogl Al-B faz diyagramının en son versiyonunu yayınlamışlardır. Yüksek boridlerin ve alüminyum karbonboridlerin bileşimi ve yapısı hakkında çalışmalar da dahil olmak üzere Al-B sistemi ile ilgili geniş bir referans listesi sağlamışlardır. Diferansiyel termal analiz (DTA) kullanarak Duschanek ve Rogl,  $\text{Al(s)} + \text{AlB}_{12} \rightarrow \text{AlB}_2$  peritektik dönüşüm sıcaklığının  $1030 \pm 5^\circ\text{C}$  olduğunu bulmuştur



Şekil 1.4. Al-B faz diyagramı [33]

Peritektik sıcaklıkta sıvı alüminyum içinde borun %55 oranında çözüldüğünü bildirmişlerdir. Ayrıca alüminyum açısından zengin sıvılar (<% 0.3 B) ve ötektik nokta da rapor edilmiştir. Peritektik sıcaklığın önceki çalışmalarda 950°C kadar düşük ve 1500°C kadar yüksek olduğu belirtilmiş, birçok çalışmada ise 950°C ile 1500°C'ün arasında değerler belirtilmiştir. [31]

Geçmişte, Al-B peritektik dönüşüm sıcaklığının değeri ile ilgili çok fazla karışıklık varken, mevcut DSC çalışması, Al-B denge peritektik sıcaklığının  $956 \pm 5^\circ\text{C}$  olduğunu göstermektedir. Alüminyum çözücünün varlığında peritektik dönüşümün iki aşamada ilerlediği görülmektedir. İlk olarak,  $\text{AlB}_2$  (düşük veya yüksek en boy oranı) erimiş alüminyum tarafından çözülür. Daha sonra, uzun bir inkübasyon süresinden sonra,  $\text{AlB}_{12}$  büyümeye başlar ve  $\text{Al(s)} + \text{AlB}_{12} \rightarrow \text{AlB}_2$  peritektik dönüşümünü tamamlar. [31]

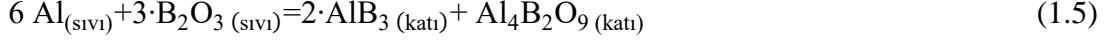
Yüksek en boy oranlı  $\text{AlB}_2$ 'nin peritektik sıcaklığa yakın hızla oluşması, takviye olarak yüksek en boy oranlı  $\text{AlB}_2$ 'ye sahip MMK'ler için düşük maliyetli bir yol olarak önerilir. [31]

Al-B alaşımları, titanyum, vanadyum, krom ve zirkonyum elementler gibi geçiş metal safsızlıklarını temizlemek için elektriksel iletken sınıf alüminyum üretiminde ticari olarak yaygın olarak kullanılmaktadır ve alüminyum dökümler için tane inceltici ajan olarak kullanımında da büyük önem taşımaktadır. [29]

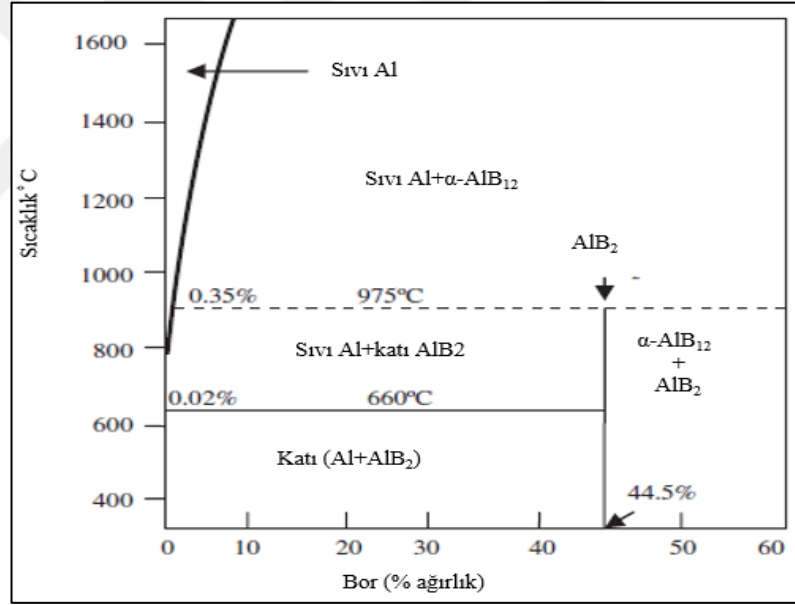
$\text{AlB}_2$  parçacıklarının, alüminyum diborid takviyeli alüminyum matris kompozitlerinin aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir. Fonksiyonel olarak derecelendirilmiş Al/ $\text{AlB}_2$  kompozitleri için yaygın hammaddeler elementel alüminyum ve bordur. Ancak elementel borun fiyatı son derece yüksektir. [29] Bu nedenle bu çalışmada düşük maliyetli Al/ $\text{AlB}_2$  kompozitlerinin üretimi amaçlanmıştır.

Borun oksitinden alüminotermik indirgenmesinin öncüleri Wöhler ve Saint-Claire Deville'dir. [32] Hall ve Economy [31] bor oksitten borun alüminotermik indirgenmesi yoluyla Al/ $\text{AlB}_2$  kompozitinin üretilmesini ve kontrollü soğutma ile metalik çözültide  $\text{AlB}_2$  parçacıklarının çökelttilmesini önermiştir. [28]

Alüminyum ve bor oksit 660 °C'nin üzerinde reaksiyona girer. B ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşenleri sırasıyla Al ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> çözücülerindedir. AlB<sub>2</sub>'nin kristalizasyonu, bor yüksek sıcaklık çözeltisinde doymuş hale geldiğinde başlar. Denklem 1.5 sıcaklığın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki çıkarılmıştır. [28]

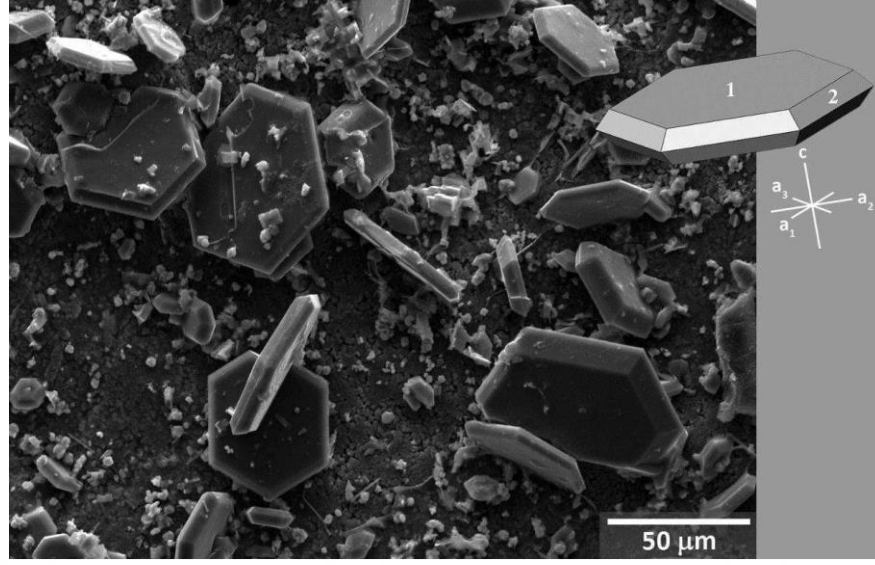


Şekil 1.5 'te gösterilen Al-B sistemi, 975 °C'de peritektik bir reaksiyonu temsil eder. 975 °C'nin üzerinde sıvı Al-B'den oluşan ilk faz olan AlB<sub>12</sub> borür, bu sıcaklık altında AlB<sub>2</sub> borid fazına dönüşür AlB<sub>2</sub> fazı, oda sıcaklığında stabil faz olmasına rağmen, şekli soğutma hızına oldukça bağlıdır. Bir Al-B alaşımı sıvı durumundan soğutulursa, AlB<sub>12</sub> kristalleri, likidus hattının hemen altındaki faz bölgesinde çekirdeklenir. AlB<sub>12</sub> kristallerinin kübik şeklinde büyüdüğü bildirilmektedir. [30]

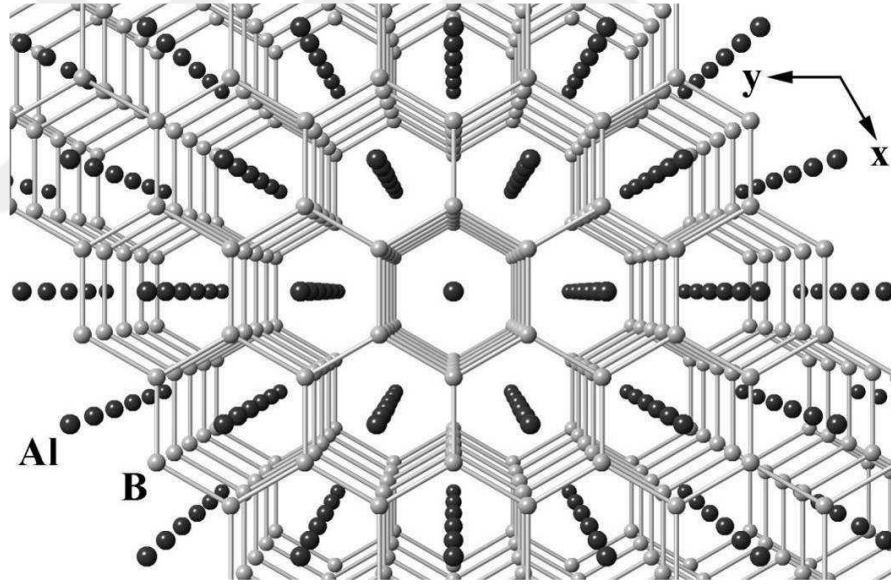


Şekil 1.5. Al-B faz diyagramı (peritektik sıcaklık bölgesi) [30]

Peritektik sıcaklığın altında AlB<sub>12</sub> kristalleri kübik şekilli AlB<sub>2</sub> fazına dönüşecektir. Aynı alaşım daha yüksek soğutma hızı, çekirdeklenme ve AlB<sub>12</sub> büyümesi ile soğutulursa peritektik reaksiyondan kaçınılabılır. Bu, doğrudan sıvıdan oluşan AlB<sub>2</sub> kristallerine yol açar. AlB<sub>2</sub> parçacıkları bazal düzlemlerinden altıgen pul şeklinde olurlar. Bu nedenle, Al-B sıvısının soğutma hızına bağlı olarak nihai alüminyum matrisinde iki tip borid kristali üretilebilir. [30] Şekil 1.6 ve 1.7'de AlB<sub>2</sub> yapısının kristal şekli ve yapısı verilmiştir.



Şekil 1.6. Taramalı elektron mikroskopik ikincil elektron görüntüsünde AlB<sub>2</sub>'nin kristal şekli. İşaretler: 1 altıgen pınacoid, 2 altıgen dipyramid. [28]



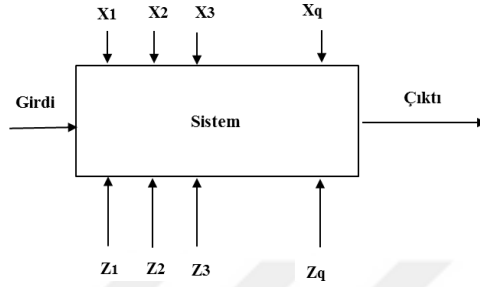
Şekil 1.7. AlB<sub>2</sub> görünümününün kristal yapısı (perspektif). [28]

## 1.6. Deney Tasarımı ve Taguchi Methodu

### 1.6.1. Deney tasarımı kavramı

Deney, bir sistem üzerindeki bir gerçeği veya varsayımı, incelemek amacıyla belirli yöntem ve kurallara uygun olarak yapılan işlemidir. Deney Tasarımı kavramı ise, bir sisteme giren değişkenler üzerinde amaçlanan değişikliklerin uygulanması, dönüt olarak farklılıklara ulaşılması ve bu farklılıkların yorumlanması olarak ifade edilebilir. [59]

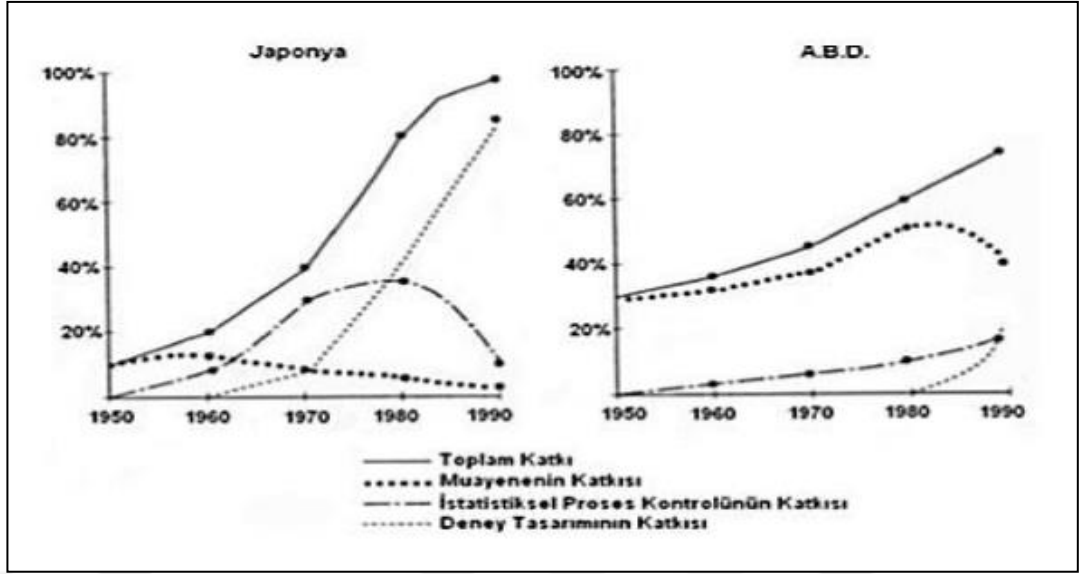
Deney tasarımı, sistemdeki değişkenlerin tanımlanmasında, sistem optimizasyonunda ve sistemdeki değişkenliğin kontrol altında tutulmasında kullanılan bir yöntemdir. Bir sürecin veya sistemin genel modeli Şekil 1.8’de gösterilmektedir. Proses değişkenleri olarak belirlenen  $X_1, X_2, \dots, X_q$  kontrol edilebilir değişkenler ve  $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$  kontrol edilemeyen değişkenler olarak tanımlanır [59].



Şekil 1.8 Bir süreç veya sistemin genel gösterimi [59]

Deney tasarımı 1920’lerde İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Deney tasarımı aynı zamanda Taguchi metodunun temelini oluşturmaktadır. Deney verilerinin analizi için kullanılan varyans analizi yöntemini de Fisher geliştirmiştir. [60]

Amerika’nın tarım alanında bu yöntemi kullanmıştır ve lider haline gelmesinde yöntemin büyük katkısı vardır. 1970’lere kadar imalat sektöründe deney tasarımı yönteminin kullanımı oldukça azdır. 1980’lerin başında Amerika’da Japon kalitesinin nedenleri araştırılırken yöntem tekrar keşfedilmiştir. O tarihlerde Japonya’da Profesör Genichi Taguchi’nin önderliğinde deney tasarımı yoğun ve etkili olarak uygulanmaktadır. Taguchi, yöntemin imalat sektöründe kullanımını sağlamak için deney tasarımına kuramsal yenilikler getirmemesine rağmen, üretimdeki uygulamalarda yenilikler yapmıştır ve kabul görmesini sağlamıştır. Şekil 1.10’da görüldüğü gibi, 1970’den sonra Japonya’nın kalite gelişimine en fazla katkıyı deney tasarımı yapmıştır. Amerika’da ise 1980’den sonra deney tasarımının önemi anlaşılmaya başlanmıştır. [60]



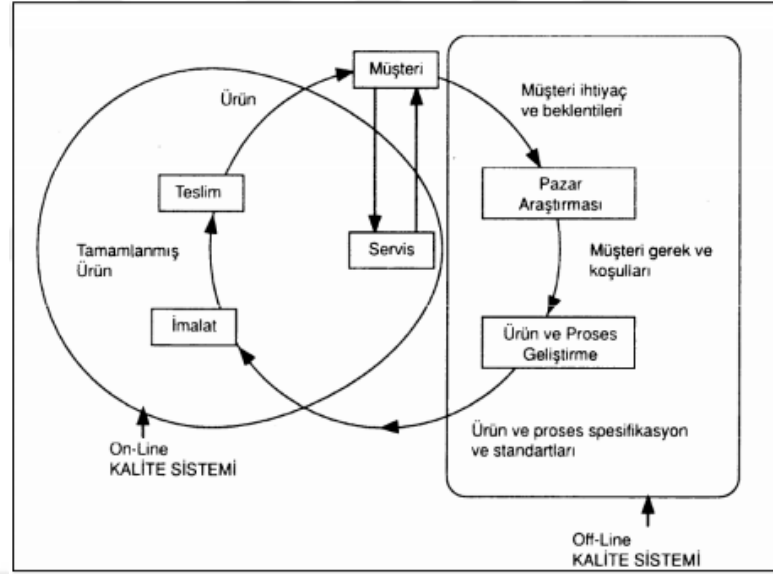
Şekil 1.9 1950-1990 Yılları Arasında Üç Temel Yöntemin Kalite Yönetimine Katkısı [60]

Tablo 1.6 Deney tasarımında kullanılan temel kavramlar [60]

<b>Kalite</b>	Kullanım için uygunluk olarak tanımlanmaktadır.
<b>Kalite İyileştirmesi</b>	Ürün ve üretim sürecindeki değişkenliğin azaltılmasıdır.
<b>Kalite (Respons) Değişkeni</b>	Deney tasarımı yapılarak incelenmek istenen, süreçte iyileştirmeye tabi tutulan değişkendir.
<b>Faktör</b>	Deneyde kalite değişkeni üzerinde etkisi bulunan kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen değişkenlerdir.
<b>Seviye (Düzye)</b>	Kalite değişkeni üzerinde etkili olan faktörlerin eşit aralıklı olarak denenecekleri değerler bütünüdür

### 1.6.2. Taguchi deney tasarım yöntemi

Taguchi yöntemi, üretim-kalite çemberi çerçevesinde yer alan ve kaliteyi sağlamak için uygulanan faaliyetleri Şekil 1.10' da görüldüğü gibi Çevrim Dışı (Off-Line) ve Çevrim İçi (On-Line) kontrol olmak üzere ikiye ayırmaktadır. [61]



Şekil 1.10 Üretim Kalite Çemberi [61]

Çevrim Dışı Kontrol: Ürüne direk müdahaleler yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarını içerir ve müşteri beklentilerinin doğru olarak tanımlanması, bu beklentilerle uyum sağlayacak, tutarlı ve ekonomik olarak üretilebilecek bir ürünün tasarımı ile üretim için yeterli spesifikasyonların, standartların, yöntem ve ekipmanların geliştirilmesinden meydana gelen süreç tasarımı olmak üzere ikiye ayrılır. [61]

Çevrim İçi Kalite Kontrol: İstatistiksel süreç denetimi ve çeşitli kontroller çevrim-içi kalite denetimi faaliyetlerindedir. Tasarım ve üretim aşamasında tasarlanan yöntemlerin uygulanmasını denetleyen kontrollerdir. Taguchi yöntemi, ürün ve proses dizaynı ve gelişiminin, çevre koşullarına ve bileşenlerin farklılıklarına karşı kararlı olması, hedef değerler etrafında ki değişkenlerin minimize edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Taguchi'nin kalite yaklaşımına göre, üretim kalite çemberinde deney tasarımı çevrim dışı kalite kontrol içinde yer almaktadır. Ürün ya da prosesin, kontrol edilmesi zor faktörlerden kısmen etkilenmediği ve sürekli hedefe yönelik olarak uygulandığı robust tasarım, Taguchi yaklaşımının ana ögesidir. Robust, sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olmak üzere üç aşamadan meydana gelmektedir. 1. Sistem Tasarımında, mühendisler ana konfigürasyonu bilim ve mühendislik prensipleri kullanılarak belirlemektedir. 2. Parametre Tasarımında, belirlenen sistem parametrelerine özgü değerler tespit edilir. 3. Tolerans Tasarımında, parametreler için en iyi tolerans değerleri belirlenir. Sistem ve parametre tasarımı



aşamalarında amaç, ürün ve prosesteki hedef değerden farklılıklara neden olan, kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin optimum değerlerinin tespit edilmesini sağlayarak kaliteyi artırmaktır. Birçoğu birbiriyle etkileşim halinde olan çok sayıda kontrol edilebilen veya edilemeyen faktörlerin optimum değerlerini belirlemek için en etkin yöntem deney tasarımıdır. [61]

### **1.6.3. Deney tasarımı aşamaları**

Deney tasarım ve analiz aşamalarında istatistik yaklaşımını kullanabilmek için, üzerinde çalışılacak konunun açıkça ifade edilmesi ve anlaşılması, verilerin toplanma şekli ve bu verilerin nasıl analiz edileceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Deney tasarım önerileri ve her bir maddenin temel noktaları aşağıda özetlenmiştir. [62]

1. Problemin Tanımlanması,
2. Amacın Belirlenmesi,
3. Performans Karakteristiğinin Seçilmesi,
4. Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Seçilmesi,
5. Faktörlerin Düzeylerinin Seçilmesi,
6. Deney Tasarımının Seçilmesi,
7. Deneylerin Yapılması,
8. Verilerin Analizi,
9. Sonuçların Yorumlanması,
10. Doğrulama Deneylerinin Yapılması. [60]

**Problemin Tanımlanması:** Problemin tanımlanması tasarımın en önemli adımlarından birisidir. Deney tasarımında en iyi sonucu elde edebilmek için yapılacak deneylerde problemin tam olarak bilinmesi gerekmektedir. Bunun için pareto analizi, beyin fırtınası, balık kılıcı vb. gibi kalite araçlarından faydalanılabilir. Deney tasarımında, elde edilen verilerin analizinde neyin araştırılacağı, verilerin çözümlenmesinde hangi deney tasarımının uygulanacağını belirlemek gerekmektedir. [60]

**Amacın Belirlenmesi:** Problemin belirlendiği aşamada deneyin amacı ile ilgili tüm fikirler ortaya konulmalıdır. İlgili birimlerden (pazarlama, üretim planlama, kalite güvence) ihtiyaç duyulan verilerin toplanması gerekir. [60]

Performans Karakteristiğinin Seçilmesi: Performans karakteristiği, bir ürünün temel fonksiyonlarının yerine getirilmesi için gerekli olan ve performansı için belirleyici olan özelliktir. Değişkeni etkilediği düşünölen bir veya daha fazla performans karakteristiği belirlenir. Performans karakteristiği özellik belirten bir değişken veya ölçüm değişkeni olabilmektedir. [60]

Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Seçilmesi: Deney tasarımı için en kritik aşamalardan biridir. Faktör, sapmayı oluşturan her bir kaynağa denmektedir. Ürün belli bir seviyede sürekli olarak fonksiyonunu yerine getirmiyorsa ya ürünün ya da sürecin iyileştirilmesi gerekmektedir. Faktörlerin seçilmesinde, sebep-sonuç diyagramı, beyin fırtınası, süreç akış şeması gibi yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. [60]

Faktörlerin Düzeylerinin Seçilmesi: Faktör düzeyleri faktörler belirlendikten sonra seçilir. Bazı faktörler için sadece iki alternatif durum (düşük/yüksek, var/yok gibi) olmakla birlikte, bazıları için ikiden fazla alternatif (5, 15 ve 20m gibi) durum olabilmektedir. Deney tasarımı her bir deney için gözlem sayısı ve seçilen düzey sayısı etkilemektedir. Ayrıca tasarımda sabit, rassal ve/veya karışık etkilerin meydana gelmesine sebep olmaktadır. [60]

Deney Tasarımının Seçilmesi: İlk beş aşamanın doğru olarak yapılmasının ardından, bu aşamada deneylerin yapılış sırası, örnek büyüklüğü ve tekrarlama sayısı deneylerin maliyetlerini de göz önünde bulundurarak, en uygun deney tasarımının seçilmesidir. [60]

Deneylerin Yapılması: Bu aşamada asıl veriler toplanmaktadır. Tekrarlama rassallık, ve bloklama gibi deney tasarımı ilkelerine dikkat edilmelidir. Yapılacak deneysel hatalar bu aşamada yapılacak deneylerin geçerliliğinin bozulmasına neden olur. [60]

Verilerin Analizi: Bu aşamada, yapılan deneylerden elde edilen veriler birçok istatistiksel metotla (grafiksel yöntem ve varyans analizi yöntemi gibi) analiz edilir. [60]

Sonuçların Yorumlanması: Bu aşamada veri analizinden çıkan sonuçlar değerlendirilir. Elde edilen sonuçların güvenilirliği için, belirlenen kritik faktör

ve/veya etkileşimlerin ürün performansını etkileyip etkilemediği göz önünde bulundurularak doğrulama deneylerinin yapılması gerekir. Elde edilen istatistiksel veriler fiziksel olarak yorumlanabilmelidir. Faktörlerin uygun düzeyleri belirlenerek, gerekli deney yapılır ve tüm bu aşamalardan sonra tasarlanan deneyin sonuçları proses hakkında önemli bilgiler edinmemizi sağlar. [60]

**Doğrulama Deneylerinin Yapılması:** Deney tasarımı sonucunda belirlenen kritik faktör ve/veya etkileşimlerin ürün performansını etkileyip etkilemediğine bakılır. İhtiyaç duyulması halinde, faktörlerin uygun düzeyleri belirlenir ve gerekli doğrulama deneyleri yapılır. [59]

#### **1.6.4. Deney tasarım türleri**

Beş ayrı grup olarak deney tasarım türleri aşağıda açıklanmıştır.

##### **Tesadüf parselleri deney tasarımı**

En basit tür olan bu tasarımda faktörler tamamen tesadüfi olarak dağıtılır. Deney materyalinin tamamen homojen olması bu tip deney tasarımlarının uygulanabilirliği için gereklidir. Açıklamak gerekirse materyallerin özellikleri gruplar üzerinde üstün veya daha düşük bir etki meydana getirmemelidir. Bu şekilde bir homojen materyalin bulunması zor olduğu için bu tür deney tasarımları daha çok laboratuvar veya sera çalışmaları için kullanılır. [62]

Bu deney tasarımında, rassallık (tesadüflük) faktörlerin deneylere atanması aşamasında önemlidir. Yapılacak deneylerin sırası bu yüzden yapılacak deneylerin sırası, hangi tasarımın hangi denek üzerinde uygulanacağı gibi durumlar rassal sayılar yardımıyla belirlenebilir ve bu sayede yapılması gereken deney sayısının düşük olması sağlanır. [62]

##### **Tesadüf blokları deney tasarımı yöntemi**

Eğer deney materyallerinin hepsi homojen değilse bu durumlarda kullanılan yöntemdir. Deney tasarımı uygulanacak sistem aynı şekil ve büyüklükte bloklara ayrılır veya homojen özelliklerine en uygun şekilde göre gruplandırılır. Yapılacak tekrarın sayısı bu grupların veya blokların sayısı kadardır. Etkisinin araştırılması

planlanan faktör sayısı kadar grup ve bloklar parsellere ayrılır. Eğer faktör sayısına  $t$ , tekrarlama sayısına  $r$  dersek, toplamda olması gereken parsel sayısı “ $r.t$ ” kadardır. [62]

#### Latin karesi deney tasarımı

Sıra ve sütun sayısının faktör sayısına ve birbirlerine eşit olduğu durumlarda kullanılır. Buna göre bu tasarımda deney sayısı faktör sayısının karesine eşit olacaktır. Tasarımın isminde bulunan kare ifadesi bu sebeptir. Genellikle bu tasarım faktör sayısı 5 ila 12 arasında olduğunda tercih edilir. Hata serbestlik derecesi küçük olduğundan 4x4 veya daha küçük olan deney tasarımları ve deney sayısının çok olması nedeniyle de 12x12 ve daha büyük deney tasarımları latin karesi için tavsiye edilmez. [62]

#### Tam Faktöriyel deney tasarımları

Bu deney tasarımı, seviye sayısı birden çok ve birden fazla sayıdaki faktörlerin deney materyali üzerindeki etkilerinin ele alındığı deney tasarımı yöntemidir. Faktöriyel tasarım, deneydeki her bir faktörün tüm seviyelerinin diğer faktörlerin her bir seviyesini içeren, mümkün olan bütün kombinasyonlarının yapılması ile oluşur. En önemli avantajı, faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri ve tüm faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki etkisinin en kolay ölçülebildiği yöntemdir. Fakat bu tasarımda olabilecek bütün kombinasyonlar denediği için diğer yöntemlere kıyasla zaman ve maliyet kaybına neden olmaktadır. [62]

#### Kısmi faktöriyel tasarım

Bu yöntem tam faktöriyel tasarımda deney sayısı fazlalığından kaynaklanan zaman ve maliyet kaybını azaltmaya yönelik olan ortogonal dizinler kullanılan bir yöntemidir. Bütün faktör seviyelerinin denenmesini her bir deneyde birden fazla sayıda faktörün seviyesi değiştirerek, az deney sayısı ile sağlamaktadır. Bu yöntemdeki amaç deney sayısını azaltmaktır. Ancak deney sayısını azaltırken incelediğimiz faktörlerde değil de faktörler arasındaki etkileşimlerin sayısında bir azaltma yapmak daha uygundur. [62]

Bu tasarımda faktör seviyeleri mümkün olduğunca ‘yüksek değer’ ve ‘düşük değer’ şeklinde 2 seviye seçilerek deney sayılarının azaltılması sağlanabilir. Bu şekilde

seviyelerin performans karakteristiği üzerine olan etkisi ve sonucu etkileyeceği düşünülen faktörler incelenerek tüm deney kombinasyonlarının yapılmasına gerek kalmaz. Bu tasarımın en büyük dezavantajı tüm deneyler yapılmadığı için gerçekleştirilecek bazı etkileşimlerin tam olarak belirlenememesidir. [62] Bu çalışmada kullanılan Taguchi yöntemi de aslında bir çeşit kısmi faktöriyel yöntemidir.

### 1.6.5. Taguchi'nin Sinyal/Gürültü (S/N) Oranları

Taguchi'nin deney tasarımında analiz değişkeni ya da performans kriteri olarak tasarladığı kriterin adına “sinyal/gürültü (signal/noise – S/N) oranı” denir ve bu kriterle varyasyonu azaltmayı amaçlamıştır. [59]

Taguchi, hedef türüne göre uygulamadaki problemleri üçe ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal/gürültü oranı tanımlamıştır. [59]

y'nin hedef değerinin sıfır olduğu “En küçük en iyi” durumunda sinyal/gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

$$S/N = -10 \cdot \log \left( \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1.7)$$

y'nin hedef değerinin sonsuz olduğu “En büyük en iyi” durumda sinyal/gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

$$S/N = -10 \cdot \log \left( \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1.8)$$

y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verildiğinde “Hedef değer en iyi” durumunda sinyal/gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

$$S/N = 10 \cdot \log \left( \frac{y^2}{s^2} \right) \quad (1.9)$$

Yukarıda S/N oranları için belirtilen eşitliklerde “y” performans karakteristiği değerini, “s<sup>2</sup>” ise varyansı ifade etmektedir. [59]

### 1.6.6. Ortogonal dizin

Ortogonal dizin, ilk kez 1897’de Fransız matematikçi Jacques Hadamard tarafından bulunmuştur. Birçok faktörün en az sayıda deneme ile değerlendirilmesini sağlayan

ortogonal dizin, faktörlerin seviyelerini eş zamanlı olarak değiştirerek deney sayısını azaltma olanağı sunmaktadır. [61]

Deneysel çalışmalarda, çok sayıda faktör ve seviye bulunması zaman ve maliyet kaybına neden olmaktadır. Taguchi yöntemi, deneylerin tam faktöriyel yapıda tüm kombinasyonlarının denenmesi yerine, ortogonal dizinleri kullanarak kesirli faktöriyel yapıda kombinasyonlar ile hem zaman ve maliyetten kazanç sağlamakta, hem de en iyi performans karakteristiği değerini veren faktör seviyelerini tespit etmektedir. [61]

La(bc) şeklinde gösterilen ortogonal dizinler, latin kare tasarımından türetildiği için L, latin kare tasarımını temsil etmektedir. “a” deneylerin sayısını, “b” faktörlerin seviye sayısını, “c” ise faktör sayısını ifade etmektedir. Örneğin; faktör sayısı c=7, faktörlerin seviye sayısı b=2 olan bir deneyde tam faktöriyel tasarım ile  $2^7 = 128$  adet deneme gerçekleştirilir. [61]

Taguchi yönteminde ise kesirli faktöriyel tasarım ile eşzamanlı olarak, bir aç faktörün kademeleri değiştirilerek deneme sayısı azaltılır ve 8 deneme ile deney gerçekleştirilir. Tablo 1.7’de Taguchi’nin belirlediği ortogonal dizinler yer almaktadır. [61]

Tablo 1.7. Taguchi ortogonal dizin tablosu [61]

		Seviye Sayısı						
		2	3	4	5			
Parametre Sayısı	P=2, S=2	L4	P=2, S=3	L9	P=2, S=4	L'16	P=2, S=5	L25
	P=3, S=2		P=3, S=3		P=3, S=4		P=3, S=5	
	P=4, S=2	P=4, S=3	P=4, S=4	P=4, S=5				
	P=5, S=2	L8	P=5, S=3	L18	P=5, S=4	L'32	P=5, S=5	L50
	P=6, S=2		P=6, S=3		P=6, S=4		P=6, S=5	
	P=7, S=2	P=7, S=3	P=7, S=4	P=7, S=5				
	P=8, S=2	L11	P=8, S=3	L27	P=8, S=4	L'32	P=8, S=5	L50
	P=9, S=2		P=9, S=3		P=9, S=4		P=9, S=5	
	P=10, S=2	P=10, S=3	P=10, S=4	P=10, S=5				
	P=11, S=2	L16	P=11, S=3	L36	P=11, S=4	L'32	P=11, S=5	L50
	P=12, S=2		P=12, S=3		P=12, S=4		P=12, S=5	
	P=13, S=2	P=13, S=3	P=13, S=4	P=13, S=5				
	P=14, S=2	L16	P=14, S=3	L36	P=14, S=4	L'32	P=14, S=5	L50
	P=15, S=2		P=15, S=3		P=15, S=4		P=15, S=5	
	P=16, S=2	P=16, S=3	P=16, S=4	P=16, S=5				
	P=17, S=2	L16	P=17, S=3	L36	P=17, S=4	L'32	P=17, S=5	L50
	P=18, S=2		P=18, S=3		P=18, S=4		P=18, S=5	
	P=19, S=2	P=19, S=3	P=19, S=4	P=19, S=5				
	P=20, S=2	L16	P=20, S=3	L36	P=20, S=4	L'32	P=20, S=5	L50
	P=21, S=2		P=21, S=3		P=21, S=4		P=21, S=5	
	P=22, S=2	P=22, S=3	P=22, S=4	P=22, S=5				
	P=23, S=2	L16	P=23, S=3	L36	P=23, S=4	L'32	P=23, S=5	L50
	P=24, S=2		P=24, S=3		P=24, S=4		P=24, S=5	
	P=25, S=2	P=25, S=3	P=25, S=4	P=25, S=5				
	P=26, S=2	L16	P=26, S=3	L36	P=26, S=4	L'32	P=26, S=5	L50
	P=27, S=2		P=27, S=3		P=27, S=4		P=27, S=5	
	P=28, S=2	P=28, S=3	P=28, S=4	P=28, S=5				
	P=29, S=2	L16	P=29, S=3	L36	P=29, S=4	L'32	P=29, S=5	L50
	P=30, S=2		P=30, S=3		P=30, S=4		P=30, S=5	
	P=31, S=2	P=31, S=3	P=31, S=4	P=31, S=5				

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Alüminyum elementine eklenen farklı takviye elemanlarıyla ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Özellikle katkı malzemesi olarak silisyum, magnezyum ve demir kullanıldığı görülmektedir.

Yapılan tüm çalışmalarda kullanım alanına göre daha uzun ömürlü, işlenebilirliği kolay ve geri dönüşüme uygun olan malzemelerin oluşturulması amaçlanmıştır. Şüphesiz ki kullanım alanı oldukça geniş olan alüminyumun mekanik özelliklerinin maliyeti artırılmadan iyileştirilmesi sanayi için oldukça önemli bir konudur. Bu kapsamda mekanik özelliklerinin artırılması için yapılan çalışmaların bir kısmı özetlenmiştir.

Budak S.'nin yapmış olduğu bu çalışmada ilk olarak AlSi6ZnCuFe alaşımı ile bir referans malzemesi üretilmiştir. Bir sonraki aşamada referans malzemesine 0-1-3-5-10-15-20 ppm düzeyinde kolemanit ilave edilerek 6 değişik içerikte deney malzemesi döküm yöntemiyle üretilmiştir. Sonrasında deneyler gerçekleştirilerek kolemanit katkılarının deney numunelerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, ppm düzeyindeki kolemanit ilavesinin bu yatak malzemenin mikroyapı ve mekanik özelliklerini dikkate değer oranda artırdığı tespit edilmiştir. Diğer yandan malzemenin faz dönüşüm sıcaklığı dahil diğer termal özelliklerinde önemli bir değişiklik gözlenmediği ancak belirli kolemanit katkı oranlarında bazı numunelerde ani oksitlenmeye neden olduğu tespit edilmiştir. Genel sonuç olarak 5 ppm'den daha fazla kolemanit ilavesi matris malzemesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerini iyileştirdiği ve özellikle 10-15 ppm katkılı AlSi6ZnCuFe yatak alaşımının servis şartları için en uygun malzemeler olduğu düşünülmektedir. [50]

Öztürk M.'nin yapmış olduğu bu çalışmada % 99,70 saf ticari alüminyuma farklı miktarlarda boraks eklenerek hazırlanan Al-B alaşımlarının mekanik özellikleri araştırılmıştır. Numune hazırlama işleminde boraks miktarı, bekletme sıcaklığı ve bekletme süresi parametre olarak belirlenmiştir. İlave edilen boraks miktarı yüzde 5,

10, 15 ve 20, bekletme sıcaklıkları 800 °C, 1000 °C ve 1200 °C ve bekleme süreleri ise kalıplara dökülmeden önce 30, 45 ve 60 dakika olarak belirlenmiştir. Bu numuneler daha sonra çekme, darbe ve sertlik testleri gibi mekanik testlere tabi tutulmuştur. Mekanik testler sonucunda, boraksın katılmasıyla alaşımın çekme dayanımı boraksız saf alüminyuma kıyasla yaklaşık %33 artarken, darbe enerjisinde %21 ve sertlik değerinde de %54 artış olduğu bulunmuştur. Numunelerin mikroyapısal incelemesinde önemli miktarda alüminyum-borid pulları gözlenmiştir. Alaşımli numunelerin mikroskopik gözlemleri, alüminyum borid partiküllerinin homojen dağılımını ve daha az gözeneklilik seviyesini ortaya çıkarmıştır. AA 1070 alüminyumun mekanik özelliklerinin boraks ile birleştirilerek iyileştirilebileceği gözlenmiştir.[51]

Çavuş Z.'nin yapmış olduğu bu tez çalışmasında, ETİAL 220 ve ETİAL 221 standart külçeleri kullanarak %0 ve %2 oranları arasında beş farklı miktarda Susuzlaştırılmış Tinkal ve Boraks kullanarak silisyum karbür esaslı potada ergitmiş ve sonrasında homojenizasyon + yaşlandırma ısıl işlemini uyguladığı numuneler optik mikroskop incelemeleri, XRD analizleri, sertlik ölçümleri, aşınma, çekme ve darbe deneylerine tabi tutulmuşlardır. Susuzlaştırılmış Tinkal ve Boraksın bu yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre tane inceltici olarak kullanılan etkisi araştırılmıştır. İki malzemenin de tane inceltici etkisi olduğu tespit edilmiş, iki ürünün kıyaslamasına göre de Boraksın etkisinin Tinkale göre daha fazla olduğu görülmüştür. Tane boyutu incelirken aynı zamanda mukavemet, % uzama ve tokluk değerlerinde artış görülmüştür. Bunun yanında sertlik ve darbe enerjisi değerlerinde kayda değer bir değişim olmamıştır. Aşınma kayıplarının değişimi, tane boyutu ve uygulanan yüke göre farklılık göstermiştir. [52]

Savaş Ö., Kayıç R.'nin yapmış olduğu bu çalışmada, yerinde(in-situ) kübik borid parçacıkları takviye edilmiş metal matrisli kompozitlerin üretimi ve özellikleri araştırılmıştır. %3'lük bor (ağırlıkça), alaşımında kübik borid parçacıklarının %6.14 hacimce takviye fazı ile sonuçlanan doğrudan bor oksit (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ilavesiyle 1400 °C'de bir alüminyum bakır alaşımında çözündürülmüştür. Al-Cu matrisindeki yerinde borid partiküllerinin yüzde daha yüksek takviye hacmi, bir filtrasyon cihazı kullanılarak üretilmiştir. Takviye aşamasının yapısını ve hacim fraksiyonunu ortaya çıkarmak için metalografik incelemeler, optik mikroskopi ve bor içeriğinin belirlenmesi için bir ıslak kimya analiz tekniği kullanılmıştır. Kompozit ve matrisin aşınma davranışı, farklı



koşullar altında bir disk üzerinde pim test cihazı kullanılarak araştırılmıştır. Sonuçlar, yeni kompozitin ortalama kümülatif ağırlık kaybının, Al-Cu matrisine hacimce %33 küboidal borid parçacıklarının eklenmesiyle %68 azaltılabileceğini göstermiştir. [53]

Yöntem O.'nun yapmış olduğu bu tez çalışmasında Taguchi istatistiksel deney tasarım metodu deney tasarımı oluşturulmuş ve deney sonuçları ile Minitab 17 programında analiz edilerek en küçük en iyi yaklaşımı ile anlamlılık eğrileri ile sinyal/gürültü oranları çıkarılmıştır. Saf Al, 1050, 5754 ve 7072 alüminyum türleri kullanılarak, %1, %2,5 ve %5 oranlarında susuz bor içeren kompozit malzemeler toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen bu numunelere eğme, aşınma ve sertlik testleri uygulanarak sonuçları analiz edilmiştir. Elde edilen verilere göre, en iyi aşınma dayanımı 5754 alüminyum alaşımlı metal matrisli kompozit numuneler içinde %2,5 susuz bor içeren numune olduğu aşınma testi sonuçlarından görülmüştür. Isıtma hızı 10°C/dak ısıtma hızı ve 580°C'de numuneleri fırında bekletme süresi 10 dak olacak şekilde en iyi deney parametrelerine ulaşılmıştır. En yüksek gerilme değerleri 5754 alüminyum alaşımlı numuneye %1 susuz bor ilavesi ile elde edilmiş olup 603,00 N/mm<sup>2</sup> olarak görülmüştür. Susuz bor yüksek sertlik gösteren bir malzeme olduğu için alüminyum malzemenin de sertliğini artırması teorik olarak beklenen bir sonuç olduğundan nitekim Vickers sertlik testi sonuçlarına bakıldığı zaman en yüksek sertlik değerine sahip numunenin yine en yüksek gerilmeye sahip olan numune olduğu görülmüştür ve sertlik değeri 60,23 HV olarak ölçülmüştür. Sonuçlara bakıldığında farklı alüminyum malzemelerde farklı sonuçlar elde edildiği tespit edilmiş ve hem aşınma hem mekanik değerler göz önüne alındığında 5754 alüminyum alaşımının en iyi değerlere sahip olduğu gözlenmiştir. Susuz bor miktarı hem %1 hem de %2,5 oranlarında yüksek mekanik özellikler göstermiştir. [55]

Fıçıcı F. Yapmış olduğu bu tez çalışmasında yerinde reaksiyonla üretilen Al/AlB<sub>2</sub> kompozit malzeme, ikincil olarak sıkıştırma döküm işlemine tabi tutularak %5, 10, 20 ve 30 takviye fazı oranlarında kompozit numuneler üretilmiştir. Matriks malzeme olarak ETİAL 8 alüminyum kullanılmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu (TEM) ile yapılan mikro yapı incelemesinde, AlB<sub>2</sub> takviye fazının alüminyum matriks içerisinde homojen bir dağılım sergilediği tespit edilmiştir. Üretilen kompozit malzemelere sertlik ve yoğunluk testlerinin yanı sıra aşınma testleri uygulanmıştır. Aşınma testleri pim-disk aşınma cihazında kuru kaymalı şartlarda gerçekleştirilmiştir. Deneyler

esnasında sıcaklık ve nem miktarı sürekli olarak kontrol edilmiştir. Matris malzeme ve kompozit malzemelerin aşınma davranışı incelenmiştir. Deneylede kayma mesafesi ve yükün artışıyla birlikte tüm numunelerin aşınma oranlarında artış meydana geldiği kaydedilmiş ve kayma hızının artışıyla, aşınma yüzeylerinde farklı oksit tabakalarının oluştuğu ve buna bağlı olarak sürtünme katsayısı ve aşınma oranında azalma olduğu gözlenirken  $AlB_2$  takviye fazı oranındaki artışın, numunelerin aşınma direncini önemli oranda artırdığı tespit edilmiştir.[56]

Paksoy M.'nin yapmış olduğu bu çalışmada, farklı aspekt oranlarına (boy/en) sahip  $AlB_2$  parçacıklı Al-B alaşımları üretilmiştir. Bu araştırmanın temel amacı,  $AlB_2$  parçacıklarının aspekt oranlarının Al-B alaşımlarının mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini incelemektir.  $AlB_2$  bileşiği elde etmek için ağılıkça %10 miktarda toz şeklindeki boraks kristalleri ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ), Al-B faz diyagramında peritektik sıcaklık olan 1000 °C'de eritilmiş alüminyum içerisine ilave edilerek fırın içerisinde 45 dakika boyunca bekletilerek elde edilen Al-B alaşımları suda, havada ve fırın içerisinde soğutulmuştur. Farklı aspekt oranlarına sahip parçacıklar elde etmek için 550 °C'de Al-B alaşımları fırın içerisinde sırasıyla 5, 15, 30, 50 ve 70 saat farklı sürelerde bekletilerek ısıl işlem uygulanıp, mikroskop kullanılarak Al-B alaşımlarının mikro yapıları gözlemlenmiş ve  $AlB_2$  parçacıklarının aspekt oranları ölçülmüştür. Elde edilen alaşımlara çekme, sertlik, darbe gibi mekanik ve elektrik iletkenliği ölçümü gibi fiziksel testler uygulanıp, 15 saat boyunca ısıl işlem uygulanan alaşımlarda, ısıl işlem uygulanmayanlara göre sertliklerinde %14.5, gerilme mukavemetlerinde %16, darbe enerjilerinde %19 ve elektrik iletkenliklerde artış elde edildiği görülmüştür. Ayrıca alüminyum matris içerisine takviye edilen  $AlB_2$  parçacıkları taramalı elektron mikroskopuyla incelenerek alüminyum içine boraks eklenmesi saf alüminyum ile karşılaştırıldığında mekanik özellikleri geliştirildiği tespit edilmiştir.  $AlB_2$  pulları dikdörtgen, silindirik, altıgen ve küresel şekilli yapılara sahiptir ve soğutma koşulları,  $AlB_2$  pullarının karakterizasyonu, oluşumu ve şekli üzerinde etkili parametreler olup hava ve su gibi hızlı soğutma oranlarının, uzun uzunluk ve düşük genişliğe sahip yüksek en boy oranlı pulların oluşumunu sağladığı düşünülmektedir. [57]

Yuan L., Han J., Liu J., Jian Z.'nin birlikte yapmış olduğu bu çalışmada ise yerinde  $AlB_2$  parçacıkları ile güçlendirilmiş alüminyum matris kompozitler (AMK'ler), toz metalurjisi, sıcak haddeleme ve çözelti işlemi kombinasyonu kullanılarak üretilmiştir.

Bor içeriği ağırlıkça %7 ve %12, sıcak haddeleme ve ısıl işlem parametrelerinin mikro üzerindeki etkileri kompozitlerin yapıları ve mekanik özellikleri taramalı elektron mikroskopisi (SEM), çekme testi ve mikro sertlik ölçümleri ile araştırılmıştır. Saf alüminyumun içine aşırı miktarda bor tozu eklenmesiyle mikroyapı ve mekanik özelliklerde bozulmalar meydana geldiği ağırlıkça %12 bor içeren alüminyum kompozitlerin ağırlıkça %7 bor içerenlere oranla daha az homojen mikroyapı oluşturmalarına bağlanabilir. Mevcut çizilme testi koşulları altında ise, saf Al'nin aşınma direnci, yerinde  $AlB_2$  parçacıklarının oluşumu nedeniyle önemli ölçüde iyileştirilmiş ve örneklerin aşınma alanı ve sürtünme katsayısı da uygulanan yükteki artışla neredeyse doğrusal olarak arttığı tespit edilmiştir. [58]

## 2.1. Çalışmanın Literatürdeki Yeri

İncelenen literatür çalışmalarında alüminyum malzemesine bor eklenerek oluşturulan metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinde artış olduğu görülmektedir. Basınçlı döküm (metal enjeksiyon) seri üretim koşulları göz önünde bulundurulduğunda, yaklaşık 300~500 kg alüminyum alaşımının tamamı (potalarda) ergitilip yaklaşık 0,8~1,5 kg'lık dökümler halinde yarı mamul ve/veya mamuller elde edildiği düşünülürse, son yarı mamul ve/veya mamulün dökülmesi ve alınması yaklaşık 1~2 saat sonra (bekleme süresinin ardından) gerçekleşmektedir. Ayrıca ekstrüzyon yöntemiyle de yarı mamul ve mamul üretimlerinin benzer seri üretim koşullarında (ki yaklaşık 1000~2000 kg'lık alüminyum alaşımının tamamının ergitilmesiyle) gerçekleştirildiği bilinmektedir. Bu sebeple hem seri üretime benzer koşullar oluşturulması hem de üretimin doğası kaynaklı bu bekleme süresinin kompozit malzemeye etkileri henüz bilinmemektedir. Bu çalışmada yerinde reaksiyonla üretim yöntemiyle Al-B sisteminin bekleme süresiyle nasıl değiştiğinin bulunması, soğutma hızının oluşacak olan yapıyı nasıl etkilediğinin görülmesi, maliyetleri de azaltmak amacıyla susuz boraksın direkt toz halinde alüminyum ile ergitilerek bu şekilde bir üretim uygulanabilirliğinin kontrolü yapılacaktır.

Çalışmanın başlangıcında mamul ve/veya yarı mamullerin basınçlı döküm (metal enjeksiyon) yöntemi ile üretimleri planlanmış fakat 2019 yılı Aralık ayında dünya çapında ve 2020 yılı Mart ayında ise ülke genelinde meydana gelen salgın (pandemi Covid-19) sebebinden dolayı işletmelerdeki üretim ve çalışma koşullarının

kısıtlanması sürelerinin ön görülebilmesi nedeniyle çalışma basınçsız döküm yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.



### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada baz matris malzemesi olarak alüminyum alaşımı ve katkı maddesi olarak da bor minerali kullanılmıştır.

Çalışmanın başlangıcında mamul ve/veya yarı mamullerin basınçlı döküm (metal enjeksiyon) yöntemi ile üretimleri planlanmış fakat 2019 yılı Aralık ayında dünya çapında ve 2020 yılı Mart ayında ise ülke genelinde meydana gelen salgın (pandemi Covid-19) sebebinden dolayı işletmelerdeki üretim ve çalışma koşullarının kısıtlanması sürelerinin ön görülebilmesi nedeniyle çalışma basınçsız döküm yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1. Alüminyum Alaşımı

Basınçlı döküm (metal enjeksiyon) yöntemiyle mamul ve/veya yarı mamul üretiminde tercih edilen ve ticari ismi ETİAL 150 (EA 150) olan alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Kullanılma gerekçesi ise Aksu Elektrikli Ev Aletleri San.ve Tic. A.Ş'nin ve Akım Metal San.ve Tic. A.Ş'nin mamul ve/veya yarı mamul seri üretimlerinde kullandığı alüminyum alaşımı olmasıdır. Üretici firma tarafından yüksek mukavemetli basınçlı dökümlerde kullanılması önerilen ETİAL 150'nin üretici tarafından belirtilen fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.1'de bir araya getirilmiştir.

Tablo 3.1. EA150 Alaşım küllçelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri [1]

Fiziksel Özellikleri									
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Ergime Aralığı (°C)	Korozyon Dayanımı	Dökülebilirlik	İşlenebilme	Anodik Oksidasyon				
2,67	525-580	Orta	Mükemmel	İyi	Sadece yüzey korumada				
Kimyasal Bileşim Limitleri (%Ağırlık)									
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Pb	Sn
1	11,00-13,00	1,75-2,50	0,5	0,4	0,7	0,3	0,15	0,1	0,1

### **3.2. Susuz Boraks (Etibor-68)**

Kompozit malzemelerin üretimi için katkı ve/veya dolgu malzemesi olarak, Eti Maden A.Ş.'den 1 mm tane boyutunda temin edilen, yoğunluğu  $2,37 \text{ g/cm}^3$  ve ergime sıcaklığı  $742,5^\circ\text{C}$  olan ticari ismi Etibor-68 ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) minerali öğütülerek, elek altı  $71 \mu\text{m}$  ve elek üstü  $56 \mu\text{m}$  boyutlarında kullanılmıştır. Bazı kimyasal bileşimlerinin içeriği  $\text{B}_2\text{O}_3$  için %68,30 ila 69,4 arasında,  $\text{Na}_2\text{O}$  için %30,41 ila 30,90 arasında  $\text{SO}_4$  için maksimum 200 ppm, Cl için maksimum 150 ppm ve Fe için maksimum 150 ppm'dir. [21]

### **3.3. P 355 GH Kazan Sacı**

Kapalı kalıp malzemesi olarak ticari adı P 355 GH olarak bilinen 16mm ve 10 mm kalınlığında iki parça (dişi kalıp ve erkek kalıp), maksimum C için %0,10 ila 0,22, Si için %0,6, Mn için %1,10 ile 1,70, P için %0,025 kimyasal bileşime sahip çelik kazan sacı kullanılmıştır. [23]

### **3.4. Deney Tasarımı**

#### **3.4.1. Deneyin amacı ve kapsamı**

Deneyin amacı, alüminyum alaşımlı malzemelerin reolojik ve mekanik özelliklerine susuz boraks katkı miktarının etkisiyle birlikte, tasarım ve imalat parametrelerinin de etkisinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda Tablo 3.2'de verilen Taguchi deney tasarımına göre numuneler üretilmiş ve bu numunelere sırasıyla eğme, aşınma ve sertlik testleri yapılarak elde edilen tüm deneysel verilerin istatistiksel analizleri yapıp, en uygun üretim kombinasyonu belirlenmiştir.

#### **3.4.2. Faktörlerin ve faktör seviyelerinin belirlenmesi**

Bu çalışma için belirlenen deney faktörleri, hacimce % SB katkı oranı, ergitme sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ ), ergitme sıcaklığında tutma süresi (dak) ve kalıp soğutma sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ ) olup her bir deney faktörü için de 3 adet faktör seviyesi seçilmiştir. Tablo 3.2' de deney faktörleri ve seviyeleri yer almaktadır.

Ergitme sıcaklığında tutma süresi çalışmada, kısa hali ile, ‘‘tutma süresi’’ ismiyle grafik ve tablolarda kullanılmıştır.

Tablo 3.2. Deney faktörleri ve seviyeleri

Faktör	Seviye1	Seviye2	Seviye3
A: Susuz Boraks Oranı (%)	1	2,5	5
B: Ergitme Sıcaklığı (°C)	800	900	1000
C: Tutma Süresi (dak)	20	40	60
D: Kalıp Soğutma Sıcaklığı (°C)	20	0	-75

### 3.4.3. Ortogonal dizin ve faktörlerin ortogonal dizine atanması

Taguchi deney tasarımı kapsamında belirlenen faktör ve seviyelerine göre oluşturulan deney deseni Minitab 17 programı yardımıyla belirlendi ve Tablo 3,3’te verildi.

Deney faktör sayısı 4, faktörlerin seviye sayısı 3 olarak alındığında, tam faktöriyel (alışıla gelmiş deney tasarımı) deney tasarımı için  $3^4= 81$  adet kombinasyonlu deney çalışması yapılması (5 adet tekrar sayısı için  $81 \times 5=405$  adet deney) yerine ortogonal dizin oluşturularak L9 kesirli deney tasarımı için 9 adet deney (5 adet tekrar sayısı için  $9 \times 5=45$  adet deney) ve her bir kombinasyon için en az 3 en fazla 5 gözlem tekrar edilmiştir.

Tablo 3.3. L9 deney deseni ve faktör seviyelerinin atandığı deney deseni

		FAKTÖRLER							
		A		B		C		D	
No	Deney Adı	Susuz Boraks Oranı (%)		Ergitme Sıcaklığı (°C)		Tutma Süresi (dak)		Kalıp Soğutma Sıcaklığı (°C)	
1	AB801	1	1	1	800	1	20	1	20
2	AB901	1	1	2	900	2	40	2	0
3	AB1001	1	1	3	1000	3	60	3	-75
4	AB802	2	2,5	1	800	2	40	3	-75
5	AB902	2	2,5	2	900	3	60	1	20
6	AB1002	2	2,5	3	1000	1	20	2	0
7	AB805	3	5	1	800	3	60	2	0
8	AB905	3	5	2	900	1	20	3	-75
9	AB1005	3	5	3	1000	2	40	1	20

### 3.5. Deneysel Çalışma

#### 3.5.1. Kompozit malzeme üretimi

Kompozit malzeme üretiminde Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Takım Tezgahları Laboratuvarında bulunan Bentrup TC 60/8 model ve 1280°C maksimum ısıtma kapasitesine sahip sıcaklık kontrollü, önden yüklemeli fırın kullanıldı. Kompozit üretiminde ürünün sanayide kullanımı hedeflendiğinden, düşük maliyetli üretimin sağlanabilirliğini görmek ve susuz boraksın ergime sıcaklığını aşarak alüminyum ile reaksiyona girebilmesi için 800°C, ara bir değer olarak seçilen 900°C ve literatür araştırması sonucu [51] iyi mekanik özelliklere sahip kompozitin elde edilebildiği 1000°C sıcaklık değerleri seçildi.

Basınçlı döküm (metal enjeksiyon) seri üretim koşulları göz önünde bulundurulduğunda, yaklaşık 300~500 kg alüminyum alaşımının tamamı (potalarda) ergitilip yaklaşık 0,8~1,5 kg'lık dökümler halinde yarı mamul ve/veya mamuller elde edildiği düşünülürse, son yarı mamul ve/veya mamulün dökülmesi ve alınması yaklaşık 1~2 saat sonra (bekleme süresinin ardından) gerçekleşmektedir. Ayrıca ekstrüzyon yöntemiyle de yarı mamul ve mamul üretimlerinin benzer seri üretim koşullarında (ki yaklaşık 1000~2000 kg'lık alüminyum alaşımının tamamının ergitilmesiyle) gerçekleştirildiği bilinmektedir. Bu sebeple hem seri üretime benzer koşullar oluşturulması hem de potalarda farklı bekleme (ergitme sıcaklığında tutma) sürelerinin kompozit malzeme üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla 20 dakika, 40 dakika ve 60 dakika tutma süreleri verilerek kompozit malzeme üretimleri gerçekleştirildi.

Kompozit malzemelerin tamamına, belirlenen ergitme sıcaklığına 10°C/dak ısıtma hızı ile 30 dakikada ulaşacak şekilde önceden ısıtılmış fırına koyularak ön ısıtma yapıldı. Diğer bir ifade ile bu adımlar Şekil 3.1' görsel olarak ve Tablo 3.4'da tablo halinde belirtilen adım ve değerlere göre üretilen kompozit malzemelerin belirlenen ergitme sıcaklıklarına, Denklem 3.1'de verilen eşitlik ile hesaplanan, eşit ısı yükü (Q) olarak ulaşması sağlandı.

$$Q=m \cdot c \cdot \Delta T \quad (3.1)$$



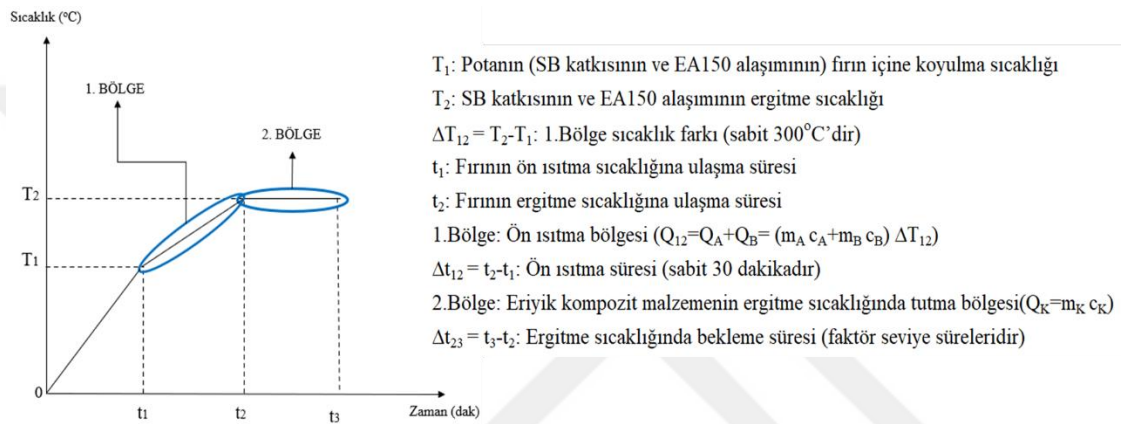
Denklem 3.1  $Q_{12}=Q_A+Q_B= (m_A \cdot c_A+m_B \cdot c_B) \cdot \Delta T_{12}$  şeklinde kullanılarak ön ısıtma bölgesinde aldığı ısı yükü hesaplanabilir.

$m_a$ : Alüminyumun kütlesi

$c_a$ : Alüminyumun öz ısısı (kal/g °C)

$m_b$ : Susuz boraksın kütlesi

$c_b$ : Susuz boraksın öz ısısı (kal/g °C)



Şekil 3.1. Kompozit malzeme üretim basamakları

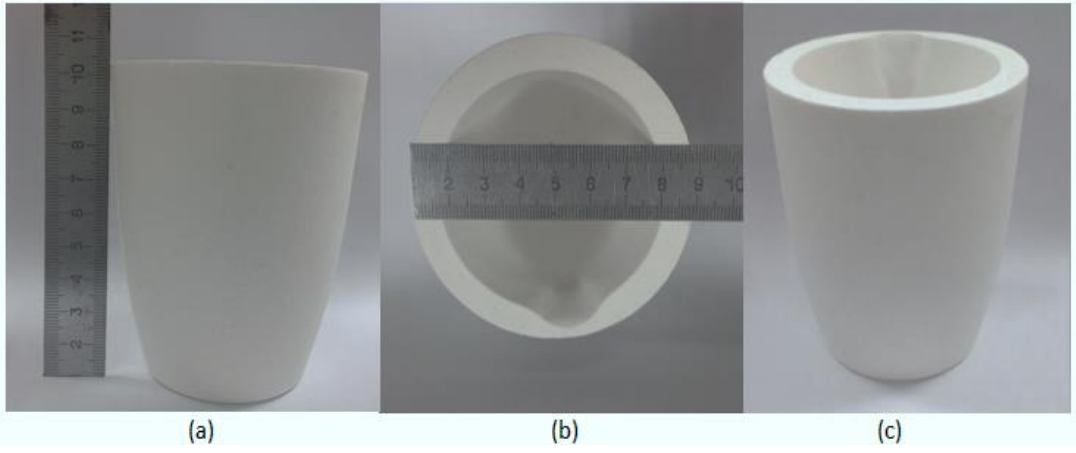
Tablo 3.4. Taguchi deney tasarım desenine göre eriyik kompozit hammadde elde etme adımları

$T_1$ (°C)	$t_1$ (dak)	$T_2$ (°C)	$\Delta t_{12}$ (dak)	Isı Yükü ( $Q_A + Q_B$ ) (kal)	$\Delta t_{23}$ (dak)	Isı Yükü ( $Q_K$ ) (kal)
500	50	800	30	$Q_{12}$	20	$Q_{K1}$
					40	$Q_{K2}$
					60	$Q_{K3}$
600	60	900	30	$Q_{12}$	20	$Q_{K4}$
					40	$Q_{K5}$
					60	$Q_{K6}$
700	70	1000	30	$Q_{12}$	20	$Q_{K7}$
					40	$Q_{K8}$
					60	$Q_{K9}$

Ergitme sıcaklığında tutma süresi olarak belirtilen  $\Delta t_{23}$  (dak) süresi deney tasarımı yapılırken 20, 40 ve 60 dak olarak belirlenmiş sürelerdir.

30dak ön ısıtma sonrası ergitme sıcaklığına ulaşan kompozit malzemeler, deney tasarımında belirlenen tutma sürelerine göre ergitme sıcaklıklarında tutularak üretimin ilk adımı tamamlandı.

Kompozit malzemeler hacimce %1, 2,5 ve 5 oranlarında susuz boraksın, elek altı 71  $\mu\text{m}$  ve elek üstü 56  $\mu\text{m}$  boyutlarında ve direkt olarak toz halinde, ETİAL 150 alüminyum alaşımı külçesinden kesilen, yaklaşık 200~250 g'lık numune parçaları ile birlikte üstü açık seramik potalarda (Şekil 3.2'de verilen ve Alex Makina firmasından temin edilen, Seramik Pota No:5) ergitilmesiyle elde edildi. Farklı oranların birbirini etkilememesi için her bir SB katkı oranına özel ayrı bir pota kullanıldı.



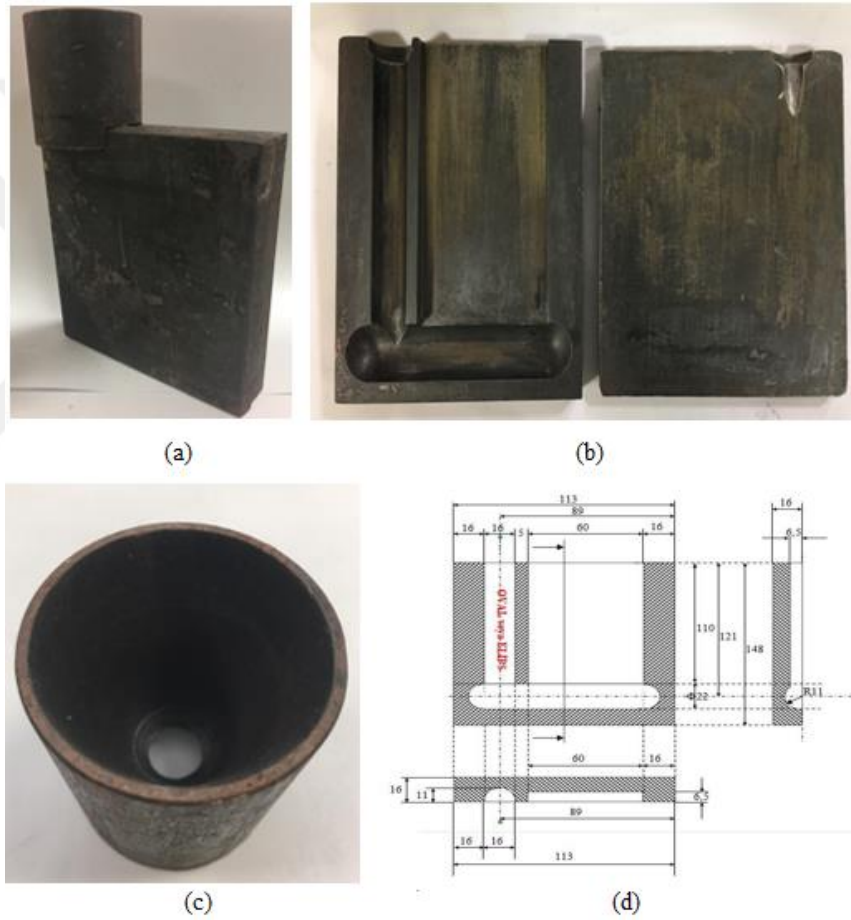
Şekil 3.2. Seramik pota (a) ön görünüş, (b) üst görünüş, (c) izometrik görünüş

Kompozit malzemelerin, alüminyum alaşımı ve susuz boraksın farklı yoğunlukları sebebiyle, iyi bir karışım homojenliği sağlanması için ergitme sıcaklığında tutma sürelerinin ilk 5. dakikasında, son 5. dakikasında ve kapalı kalıba dökmeden hemen önce 10 saniye boyunca, bor nitrür sprey (WEICON Bornitrid Extrüzyon Sprey) ile kaplanmış 2 mm çaplı çelik tel çubuklarla karıştırıldı. Her bir kompozit malzeme için ayrı çubuk kullanıldı.

Kompozit malzeme üretimi basınçsız döküm yöntemi ile gerçekleştirildiğinden, ergimiş (eriyik haldeki) kompozit malzemenin kapalı kalıpta daha iyi ilerleyebilmesi için kalıplar belirlenen ergitme sıcaklıklarının her biri için 400°C daha düşük sıcaklığa ayarlanmış özel yapım (FEBRIS marka kontrol panelli) bir fırında 30 dak boyunca

ısıtıldı. Dökümden hemen önce kalıplar fırından alınarak kalıp yüzeylerine bor nitrür sprey uygulanıp 20 s içinde basınçsız döküme hazır hale getirildi.

Pota, tutma süresinin ardından fırından alınıp, kompozit eriyiğin yüzeyinde kısmen birikmiş olabilen cürufu, yüzeyi bor nitrür kaplı çelik tel çubuk ile alınmasının ardından son kez (ve dolayısıyla 3. defa) 10 s boyunca karıştırılıp hazır halde tutulan ve üzerinde konik huni bulunan kapalı kalıba (Şekil 3.3) tek seferde (yaklaşık 3 s içinde) dökümü yapıldı. Üretim adımlarının görselleri EK-A' da verildi.



Şekil 3.3. (a) Kapalı kalıp ve konik huni, (b) kalıbın açık hali, (c) konik huni, (d) kalıp ölçüleri

Kapalı kalıp ve dolayısıyla kapalı kalıp içinde kısmen ergime sıcaklığında bulunan eriyik haldeki kompozit(ler)in her birini, kompozit(ler)in yapısında kısmen de katı  $AlB_2$  bileşik (alaşım) yapısının elde edilmesi amacıyla [30]  $660^\circ C$  sıcaklığa aşırı hızlı (ani), hızlı ve yavaş soğutulması (düşürülmesi) işlem(ler)i,  $20^\circ C$  sıcaklığındaki su

banyosunda, 0°C sıcaklığındaki su-buz karışımı banyosunda ve -75°C sıcaklığındaki kuru buz havuzunda yaklaşık 5 dakika boyunca tutularak gerçekleştirildi.

Soğutulan kapalı kalıp (ve dolayısıyla kapalı kalıp içinde kısmen ergime sıcaklığında bulunan eriyik haldeki kompozit(ler)in her biri) 30s sonra açıldı ve kapalı kalıp içinden çıkarılan kompozit malzemenin işlenen kalıp yüzeyindeki sıcaklığı Kalibrasyon tarihi: 2015/05, Sertifika No: 2015E3268 ve Simkal kodu: KOÖ1829004 (Simkal Kalibrasyon Merkezi) olan OMINTHERM Pt100 marka dijital termometre ile ölçüldü ve 5 dak soğutma işlemi sonunda ulaşılan kompozit malzeme yüzey sıcaklık değerleri Tablo 3.5’da verildi.

Tablo 3.5. Kapalı kalıp soğutma sonrası kompozit malzeme yüzey sıcaklıkları

Deney No	Susuz Boraks Oranı %	Ergitme Sıcaklığı (°C)	Kalıp Soğutma Sıcaklığı (°C)	Yüzey Sıcaklığı (°C)
1	1	800	20	120
2	1	900	0	95
3	1	1000	-75	130
4	2,5	800	-75	75
5	2,5	900	20	135
6	2,5	1000	0	175
7	5	800	0	90
8	5	900	-75	80
9	5	1000	20	190

Soğutma işlemi sonrası kapalı kalıptan alınan (çıkarılan) ve dolayısıyla elde edilen kompozit malzemeler Şekil 3.4’te görülmektedir.



(a) 800 °C, 20 dak, %1 SB katkılı kompozit malzeme ön yüzeyi



(b) 800 °C, 20 dak, %1 SB katkılı kompozit malzeme arka yüzeyi

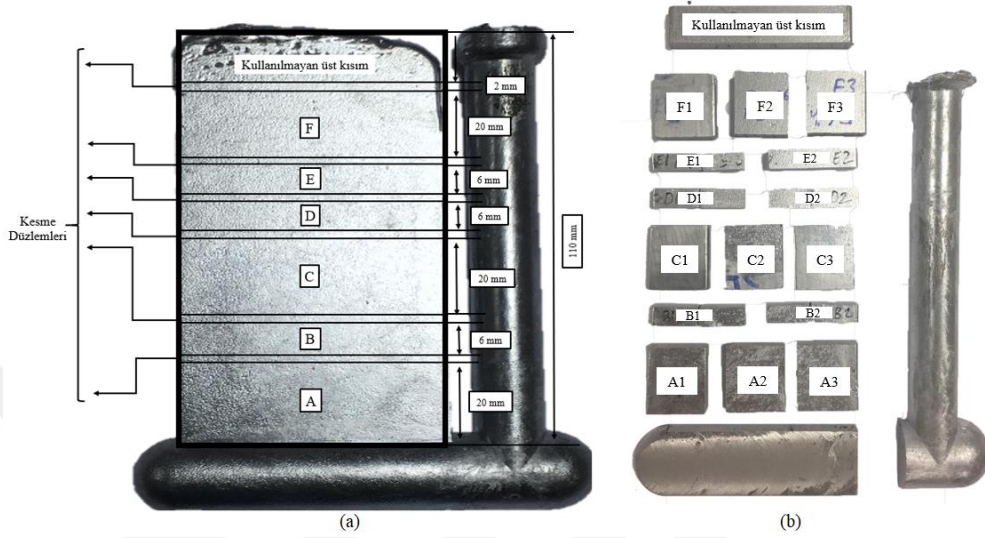


(c) 900°C, 40 dak, %2,5 SB katkılı kompozit malzeme izometrik görünüş

Şekil 3.4. Döküm sonrası elde edilen kompozit malzeme örnekleri

### 3.5.2. Deney numunesi hazırlama

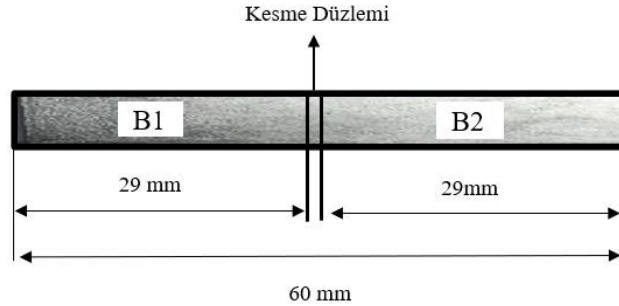
Deneyisel çalışmalar için numuneler Şekil 3.5 'te belirtilen bölgelerden yatay şerit testere ile kesilerek aşınma, üç nokta eğme ve sertlik numuneleri çıkarıldı.



Şekil 3.5. (a) Deney numunesi çıkarma bölgeleri, (b) hazırlanan deney numuneleri

#### 3.5.2.1. Üç nokta eğme deney numunesi hazırlama

Üç nokta eğme deneyi için Şekil 3.6'da verilen kompozit parçasının B, D ve E eriyik akış yönü yüksekliği kademelerinin genişliğinin orta bölgesinden yatay şerit testere ile kesilerek 29 mm x 6 mm x 6,5 mm boyutlarında Şekil 3.5'te görülebilen yolluk tarafına uzak kısımdan (örneğin B1) ve yolluk tarafına yakın kısımdan (örneğin B2) üç nokta eğme deney numuneleri hazırlandı.



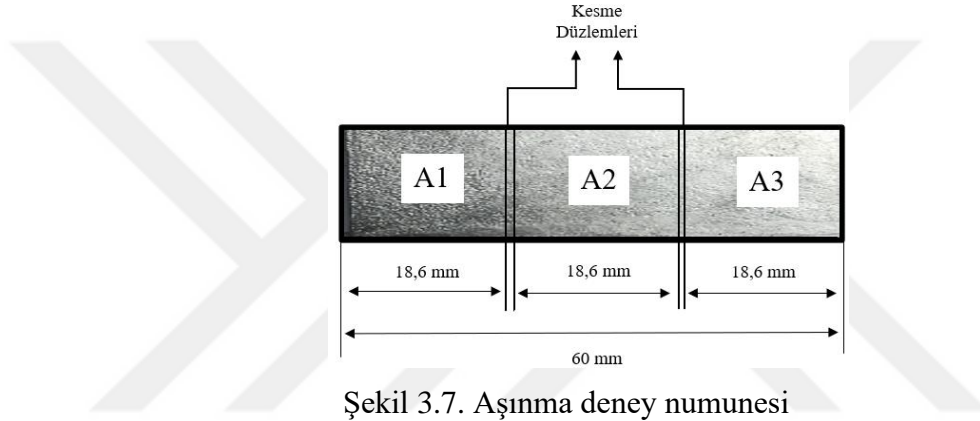
Şekil 3.6. Üç nokta eğme deney numunesi

Üç nokta eğme numunelerinin testere ile kesilen tüm yüzeyleri Kocaeli Üniversitesi Malzeme Laboratuvarında bulunan METKON Forcipal 2V markalı modüler zımpara

ve parlatma cihazında sırasıyla 180, 320, 600, 1200 ve 2500 gridli SiC zımparalar ile çentik etkisini yok etmek için 2 dak boyunca zımparalama işlemine tabi tutuldu.

### 3.5.2.2. Aşınma deney numunesi hazırlama

Aşınma deneyi için Şekil 3.7’te verilen kompozit parçasının A, C ve F eriyik akış yönü yüksekliği kademelerinin genişliğinin eşit üç bölgesinden yatay şerit testere ile kesilerek 18,6 mm x 18,6 mm x 6,5 mm boyutlarında Şekil 3.5’te görülebilen yolluk tarafına uzak kısmından (örneğin A1), orta kısmından (örneğin A2) ve yolluk tarafına yakın kısmından (örneğin A3) aşınma deney numuneleri hazırlandı.



Aşınma numunelerinin hem testere ile kesilen tüm yüzeyleri hem de kapalı kalıp ön yüzeyine temas eden (Şekil 3.5 (a)’da görülen) yüzeyleri 3.5.2.1 alt başlığının son paragrafında belirtilen zımpara ve parlatma cihazı kullanılarak sırasıyla 100 grid ve 400 grid SiC zımparalar ile, her bir aşınma numunesi için aynı ve/veya benzer pürüzlülük değerine sahip yüzeyler elde etmek amacıyla, 2 dak boyunca zımparalama işlemine tabi tutuldu.

### 3.5.2.3. Sertlik deney numunesi hazırlama

Sertlik deneylerinde 3.5.2.2 alt başlığında açıklanan aşınma deney numuneleri kullanıldı.

### 3.5.2.4. Pürüzlülük ölçüm numunesi hazırlama

Pürüzlülük ölçümlerinde hem 3.5.2.1 alt başlığında hazırlanan üç nokta eğme numunelerinin hem de 3.5.2.2 alt başlığında hazırlanan aşınma numunelerinin zımparalama işlemine tabi tutulan yüzeyleri kullanıldı.

### **3.5.2.5. Yoğunluk ölçüm numunesi hazırlama**

Yoğunluk ölçümleri için 3.5.2.2 alt başlığında hazırlanan aşınma deney numuneleri kullanıldı.

### **3.5.2.6. Taramalı Elektron Mikroskobu analiz numunesi hazırlama**

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi için 3.5.2.1 alt başlığında hazırlanan üç nokta eğme deney numunelerinin üç nokta eğme deneyi sonrası kırılma yüzeyleri kullanıldı.

### **3.5.2.7. X-Işını Kırınım analiz numunesi hazırlama**

X-Işını Kırınım (XRD) analizi için 3.5.2.2 alt başlığında hazırlanan aşınma deney numuneleri ve bu numunelere 3.5.2.1 alt başlığının son paragrafında belirtilen zımpara ve parlatma cihazı kullanılarak ek olarak sırasıyla 600, 1200 ve 2500 gridli SiC zımparalar ile 2 dak boyunca zımparalama işlemine tabi tutulan yüzeyleri kullanıldı.

### **3.5.3. Pürüzlülük ölçümü**

Pürüzlülük deneylerinde Kocaeli Üniversitesi Malzeme Laboratuvarında bulunan MITUTOYO SJ301 marka pürüzlülük ölçme cihazı kullanıldı.

Pürüzlülük ölçümleri hem 3.5.2.1 alt başlığında hazırlanan üç nokta eğme numunelerinin hem de 3.5.2.2 alt başlığında hazırlanan aşınma numunelerinin zımparalama işlemine tabi tutulan yüzeylerinde gerçekleştirildi.

### **3.5.4. Aşınma Testi**

Aşınma testlerinde Kocaeli Üniversitesi Makina Mühendisliği Konstrüksiyon Laboratuvarında bulunan maksimum yük kapasitesi 40N olan bilgisayar destekli Nanovea Tribometer yazılımı kurulu NANOVEA marka aşınma cihazı kullanıldı.

Aşınma test numunesi olarak 3.5.2.2 alt başlığında hazırlanma yöntemi açıklanan deney numuneleri kullanıldı.

Aşınma testleri TS ISO 7148-2 standardının 5.2 alt başlığında belirtilen pin-on disc metoduna uygun olarak 1 N yük altında, 50 dev/dak dönme hızında, 5mm dönme yarı

apında ve 40m aşınma yolu test parametrelerinde 6 mm çaplı seramik aşındırma bilyesi ile gerçekleştirildi.

Test sonunda her bir aşınma numunesi için örneğin aşınma yolu-sürtünme katsayısı ve aşınma yolu-sürtünme kuvveti eğrileri elde edildi.

Ayrıca Makine Mühendisliği Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı, Plastik Boru Testi Laboratuvarı bünyesinde bulunan, Kalibrasyon tarihi: 2015/06, Sertifika No: 15M04754 ve Simkal kodu: KOÖ0405001 (Simkal Kalibrasyon Merkezi) olan Sartorius Marka CP225 S Model, maksimum ölçme kapasitesi 220 gram, ölçme belirsizliği 0,1 miligram hassas terazi kullanılarak aşınma numunelerinin test öncesinde ve sonrasında kütleleri ölçülerek her bir numune için kütle kaybı kontrol edildi.

Testlerin tamamı sıcaklığı  $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ , nemi  $\%50\pm 10$  ortam koşullarında gerçekleştirdi. Her bir ortalama deneysel değer için en az 5'er adet deney numunesi kullanıldı. İlgili deneysel verilerin en yüksek ve en düşük sonuçları çıkarılarak istatistiksel olarak değerlendirildi.

### **3.5.5. Sertlik Ölçümü**

Sertlik ölçümlerinde hem Tübitak Ulusal Metroloji Enstitüsünde bulunan Zwick BZ2.5/TS1S marka enstrümente sertlik ölçme cihazı hem de Kocaeli Üniversitesi Malzeme Laboratuvarında bulunan WOLPERT marka sertlik ölçüm cihazı kullanıldı.

Sertlik numunesi olarak 3.4.2.3 alt başlığında hazırlanma yöntemi açıklanan deney numuneleri kullanıldı.

Vickers (ve Martens) sertlik ölçümleri BS EN ISO 14577-1-2015 standardına uygun olarak  $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$  ortam sıcaklığında ve 10 kg yük etkisinde gerçekleştirilirken, Brinell sertlik ölçümleri ise TS EN ISO 6506-1 standardına uygun olarak  $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$  ortam sıcaklığında, 15 saniye süreli 31,25 kg yük etkisindeki test parametrelerinde gerçekleştirildi.



### **3.5.6. Eğme Deneyi**

Üç nokta eğme testlerinde, Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde bulunan 30kN kapasiteli ve bir bilgisayar destekli Bluehill yazılımı bulunan INSTRON Universal çekme basma test cihazı kullanıldı.

Üç nokta eğme numunesi olarak 3.5.2.1 alt başlığında hazırlanma yöntemi açıklanan deney numuneleri kullanıldı.

Üç nokta eğme testleri eğme hızı 0,5 mm/dak ve destekler arası açıklık 15mm olan sabit parametrelerde gerçekleştirildi.

Testlerin tamamı sıcaklığı  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ , nemi  $\%50\pm 10$  ortam koşullarında gerçekleştirdi. Her bir ortalama deneysel değer için en az 5'er adet deney numunesi kullanıldı. İlgili deneysel verilerin en yüksek ve en düşük sonuçları çıkarılarak istatistiksel olarak değerlendirildi.

### **3.5.7. Yoğunluk Ölçümü**

Üretilen numunelerin her birinin yoğunluklarını bulmak için Makine Mühendisliği Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı, Plastik Boru Testi Laboratuvarı bünyesinde bulunan, Kalibrasyon tarihi: 2015/06, Sertifika No: 15M04754 ve Simkal kodu: KOÖ0405001 (Simkal Kalibrasyon Merkezi) olan Sartorius Marka CP225 S Model, maksimum ölçme kapasitesi 220 gram, ölçme belirsizliği 0,1 miligram ve yoğunluk ölçme setine sahip hassa terazi kullanıldı.

Yoğunluk numunesi olarak 3.5.2.5 alt başlığında hazırlanma yöntemi açıklanan deney numuneleri kullanıldı.

Yoğunluk testleri ISO 1183-1 standardında belirtilen A yöntemi kullanılarak taze damıtılmış suyun sıcaklığına bağlı olarak 15 s daldırma süresi ile taze damıtılmış suda (daldırma suyu) gerçekleştirildi.

### **3.5.8. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi**

Taramalı elektron mikroskobu analizinde Kocaeli Üniversitesi Makina Mühendisliği Konstrüksiyon Laboratuvarında bulunan JEOL 6000 marka cihaz kullanıldı.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi 3.5.2.1 alt başlığında hazırlanan üç nokta eğme deney numunelerinin üç nokta eğme deneyi sonrası kırılma yüzeylerinde gerçekleştirildi.

### **3.5.9. X-Işını Kırınım (XRD) analizi**

Taramalı elektron mikroskobu analizinde Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Bölümü XRD Laboratuvarı'nda bulunan analiz cihazı kullanıldı.

X-Işını Kırınım yöntemi (XRD) analizi 3.5.2.7 alt başlığında hazırlanma yöntemi açıklanan deney numuneleri yüzeylerinde gerçekleştirildi.



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Pürüzlülük Ölçümü Değerleri

#### 4.1.1. Aşınma deney numuneleri pürüzlülük ölçümü

Tablo 4.1 incelendiğinde aşınma deneyi öncesi yapılan pürüzlülük ölçümünde saf numuneye kıyasla 900°C %5 SB katkı oranı ile olan üretime kadar yüzey pürüzlülüklerinde azalma olduğu tespit edildi. Fakat bu seviyeden sonra numunelerin yüzey pürüzlülüklerinde artış görüldü.

Tablo 4.1. Aşınma numuneleri pürüzlülük ölçümleri

Numune	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Ry ( $\mu\text{m}$ )
A1 NAT	0,318	2,010
AB801	0,188	1,270
AB802	0,128	0,938
AB805	0,168	1,003
AB901	0,168	1,043
AB902	0,166	1,198
AB905	0,210	1,272
AB1001	0,184	1,444
AB1002	0,450	3,130
AB1005	0,740	5,883

Bunun sebebi ise numune yüzeylerinde çıplak gözle dahi görülebilen (hava) boşluklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Basıncsız döküm yöntemi ile oluşan bu hava boşluklarının basınçlı döküm yöntemiyle giderilebileceği kanaati bulunmaktadır.

#### 4.1.2. Üç nokta eğme deney numuneleri pürüzlülük ölçümü

Üç nokta eğme testi öncesi yapılan pürüzlülük ölçümü sonuçları Tablo 4.2’de verildi. Numunelerin yüzey pürüzlülükleri kısmen birbirine yakın (veya benzer) olduğu görülmektedir. Ancak bazı numunelerin yüzey pürüzlülüklerinin aşırı farklılık gösterdiği de tespit edildi. Bunun sebebi ise numune yüzeylerinde ki, diğer bir ifadeyle

kompozit malzeme iç bölgelerinde oluşan hava boşluklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Basınçsız döküm yöntemi ile oluşan bu hava boşluklarının da basınçlı döküm yöntemiyle giderilebileceği kanaati bulunmaktadır.

Tablo 4.2. Aşınma numuneleri pürüzlülük ölçümleri

Numune	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Ry ( $\mu\text{m}$ )
A1 NAT	0,122	1,082
AB801	0,124	0,875
AB802	0,126	0,825
AB805	0,116	0,870
AB901	0,114	1,300
AB902	0,198	1,976
AB905	0,093	0,765
AB1001	0,188	1,755
AB1002	0,098	0,965
AB1005	0,420	2,895

## 4.2. Aşınma Testi

### 4.2.1. Sürtünme katsayısı

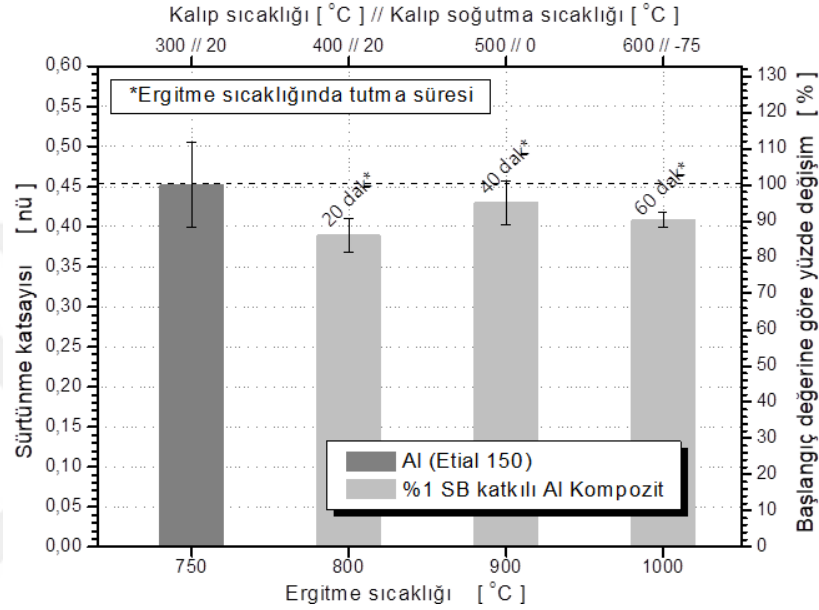
Saf (EA150) alüminyum alaşım malzemesinin sürtünme katsayısının sabit, basınçsız döküm parametrelerinin tesirine bağlı değişimi Şekiller 4.1, 4.2 ve 4.3'te; farklı imalat parametrelerinde ve sabit hacimce %1 SB katkı oranına bağlı değişimi Şekil 4.1'de, sabit hacimce %2,5 SB katkı oranına bağlı değişimi Şekil 4.2'de ve sabit hacimce %5 SB katkı oranına bağlı değişimi ise Şekil 4.3'te verilmiştir.

Bundan başka kompozit malzemenin % hacimce SB katkı oranına ve farklı üretim (ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerine bağlı sabit 800°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.4'te, sabit 900°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.5'te ve sabit 1000°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.6'da verilmiştir.

Şekil 4.1 incelendiğinde; saf malzemeye oranla düşük sürtünme katsayısı istendiği için saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısının hacimce %1 SB katkı oranında tüm ergitme sıcaklıklarında azaldığı görüldü. %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat (ergitme sıcaklığı, ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı)

parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.1'den hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını, en çok ergitme sıcaklığı 800°C'de %14 oranında ve en az 900°C 'de %5 oranında azalttığı tespit edildi.

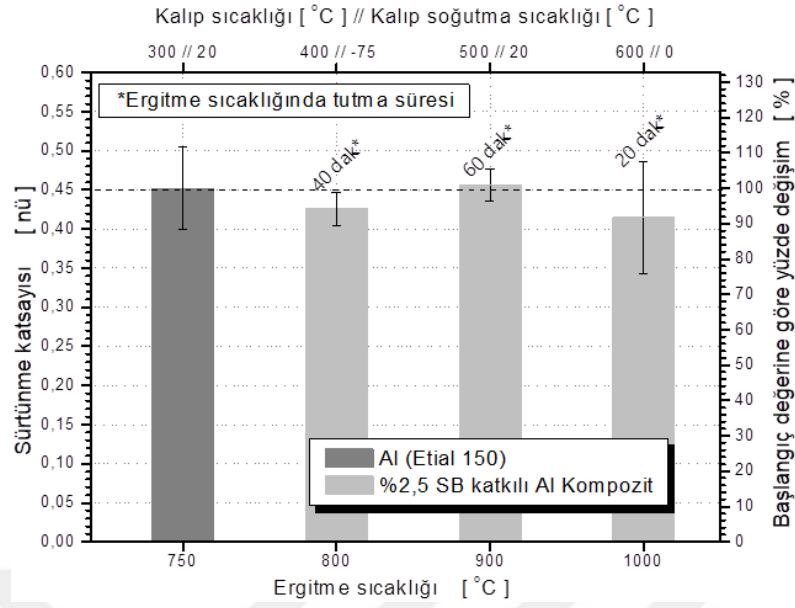


Şekil 4.1. %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.2 incelendiğinde; saf malzemeye oranla düşük sürtünme katsayısı istendiği için, saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısının hacimce %2,5 SB katkı oranında 800°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarına azaldığı görülürken 900°C ergitme sıcaklığında artış olduğu görüldü.

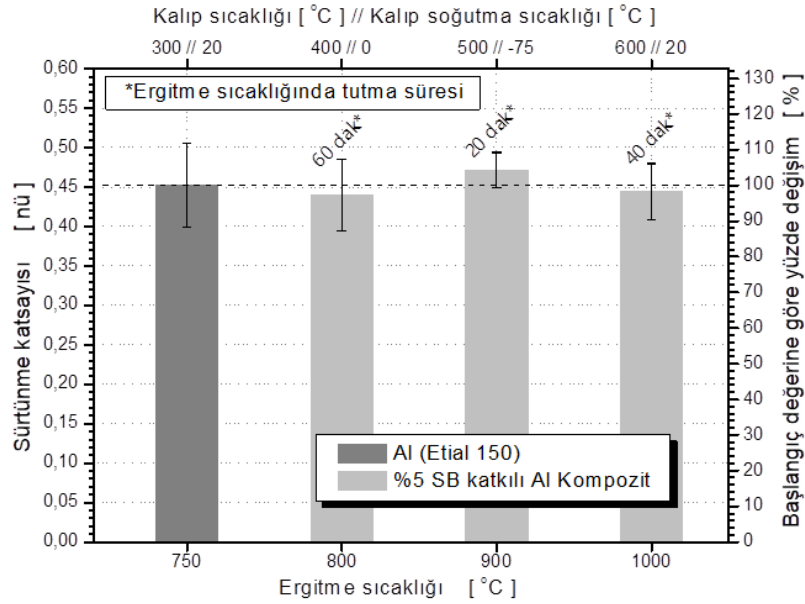
%2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.2'den hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını, sırasıyla ergitme sıcaklığı 800°C ve 1000°C'de %6 ve %8 oranlarında azalttığı ve ergitme sıcaklığı 900°C 'de ise %1 oranında artırdığı tespit edildi.



Şekil 4.2. %2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının imalat parametrelerine göre değişimi

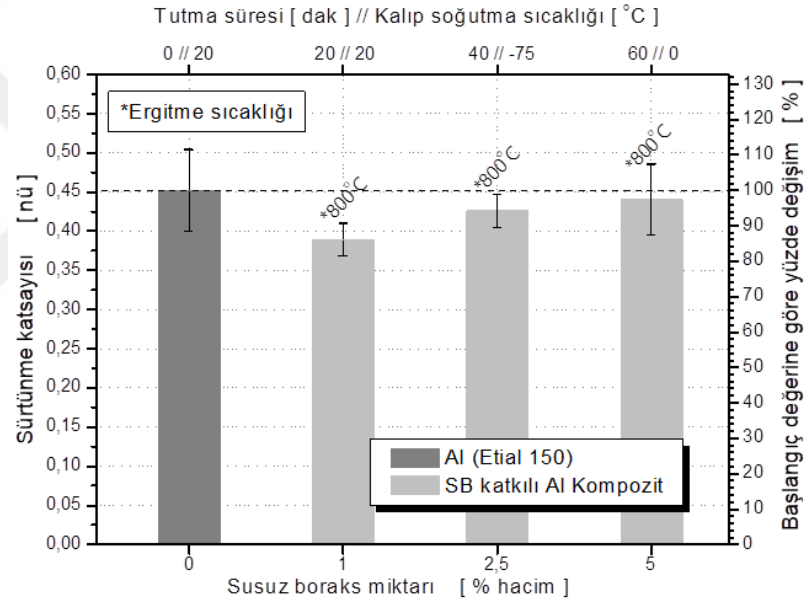
Şekil 4.3 incelendiğinde; saf malzemeye oranla düşük sürtünme katsayısı istendiği için, saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısının hacimce %5 SB katkı oranında 800°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarına azaldığı görülürken 900°C ergitme sıcaklığında artış olduğu görüldü. %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.



Şekil 4.3. %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.3'ten hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını, sırasıyla ergitme sıcaklığı 800°C ve 1000°C'de %3 ve %2 oranlarında azalttığı ve ergitme sıcaklığı 900°C 'de ise %4 oranında artırdığı tespit edildi.

Şekil 4.4 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 800°C ergitme sıcaklığında sürtünme katsayısının hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumlu etkilendiği tespit edilirken, artan SB katkı oranıyla birlikte olumlu etkinin giderek azaldığı görüldü. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemez) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.



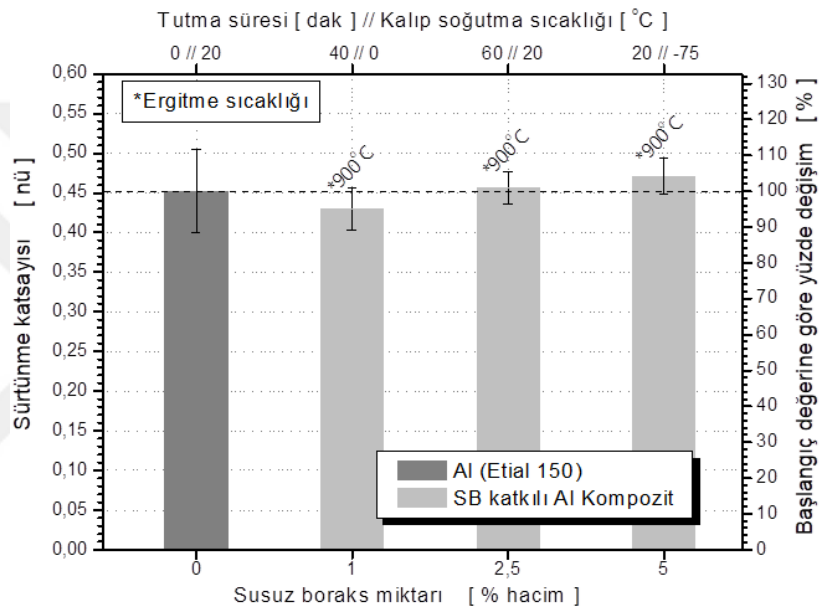
Şekil 4.4. Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.4'ten sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını yaklaşık %14, %6 ve %3 oranlarında artırdığı görülmektedir.

Şekil 4.5 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 900°C ergitme sıcaklığında sürtünme katsayısının hacimce %1 SB katkı oranında olumlu etkilendiği tespit edilirken, artan SB katkı oranıyla birlikte olumlu etkinin olumsuzla döndüğü görüldü.

EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeden) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.5'ten sırasıyla %1SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını yaklaşık %5 oranında azalttığı, sırasıyla %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ise sürtünme katsayısını yaklaşık %1 ve %4 oranlarında artırdığı görülmektedir.

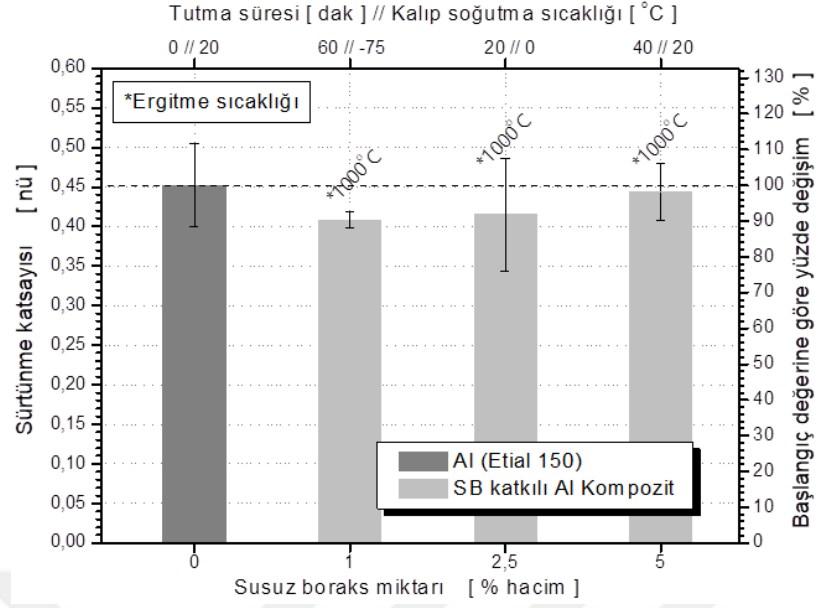


Şekil 4.5 Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.6 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 1000°C ergitme sıcaklığında sürtünme katsayısının hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumlu etkilendiği tespit edilirken, artan SB katkı oranıyla birlikte olumlu etkinin giderek azaldığı görüldü. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeden) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.6'den sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını yaklaşık %10, %8 ve %2 oranlarında azalttığı görülmektedir.





Şekil 4.6. Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Sonuç itibariyle SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı için SB katkı oranı parametresinin diğer imalat parametrelerine göre çok daha etkili olduğu tespit edilirken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, hacimce %1 SB katkısı ve 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin, EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını %14 oranında azaltarak yapılan gözlemler içinde en iyi üretim parametreleri olduğu tespit edildi.

### 4.3. Sertlik Ölçümü

#### 4.3.1. Martens Sertliği

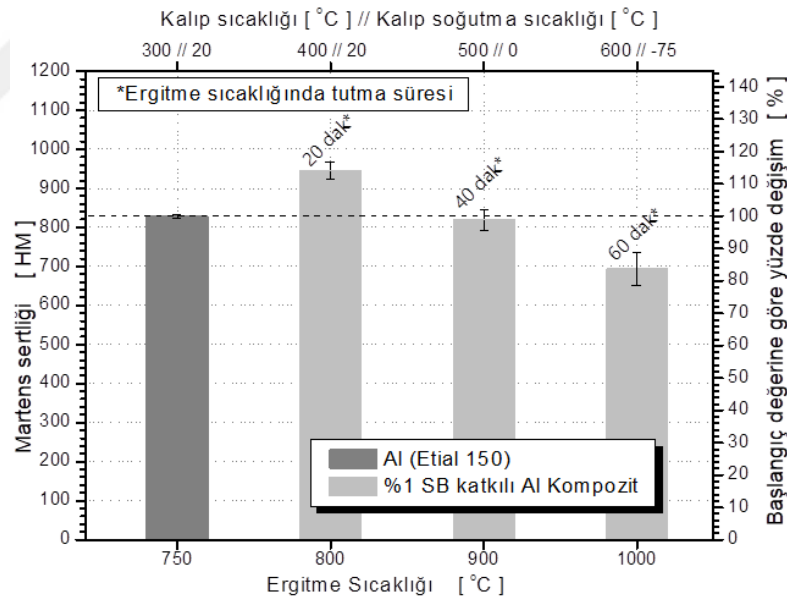
Saf (EA150) alüminyum alaşım malzemesinin Martens sertliğinin sabit basınçsız döküm parametrelerinin tesirine bağlı değişimi Şekiller 4.7, 4.8 ve 4.9’da farklı imalat parametrelerinde ve sabit hacimce %1 SB katkı oranına bağlı değişimi Şekil 4.7’de, sabit hacimce %2,5 SB katkı oranına bağlı değişimi Şekil 4.8’de ve sabit hacimce %5 SB katkı oranına bağlı değişimi ise Şekil 4.9’da verilmiştir.

Bundan başka kompozit malzemenin % hacimce SB katkı oranına ve farklı üretim (ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerine bağlı

sabit 800°C ertitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.10’da, sabit 900°C ertitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.11’de ve sabit 1000°C ertitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.12’de verilmiştir.

Şekil 4.7 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin Martens sertliği hacimce %1 SB katkı oranından, ertitme sıcaklığı 800°C’de olumlu, ertitme sıcaklığı 900 °C ve 1000°C’de ise olumsuz bir etki gstermiştir. %1 SB katkı EA150 kompozit malzemenin imalat (ertitme sıcaklığı, ertitme sıcaklığında tutma suresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (oğgörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.7’den hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Martens sertliğini, ertitme sıcaklığı 800 °C için %14 oranında artırırken, sırasıyla 900 °C ve 1000 °C ertitme sıcaklıklarında %1 ve %16 oranlarında azalttığı tespit edildi.

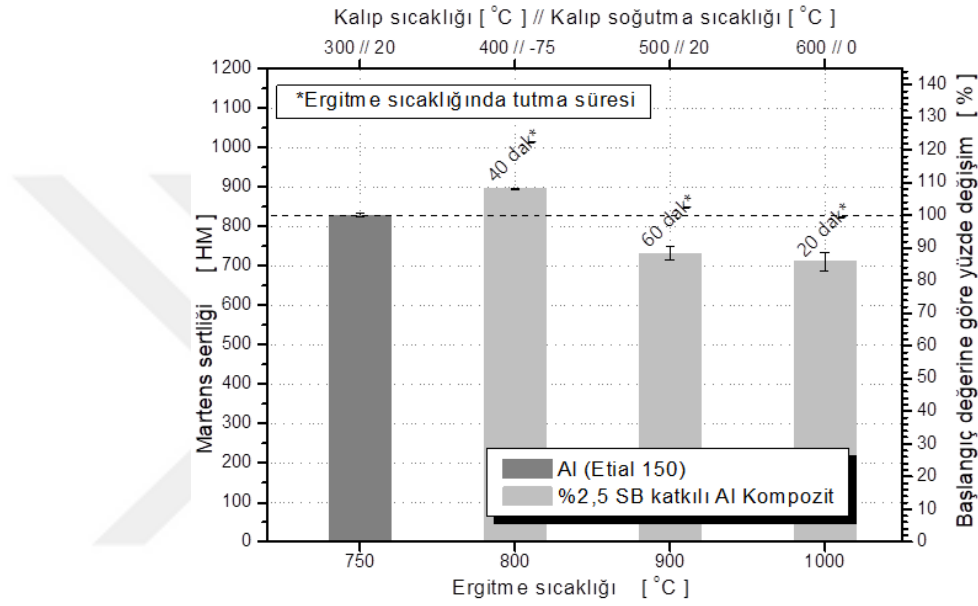


Şekil 4.7. %1 SB katkı EA150 kompozit malzemenin Martens sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.8 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin Martens sertliği hacimce %2,5 SB katkı oranından, ertitme sıcaklığı 800°C’de olumlu etkilendiği tespit edilirken, ertitme sıcaklığı 900°C ve 1000°C’de olumsuz bir etki gstermiştir. %2,5 SB katkı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla

olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeden) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

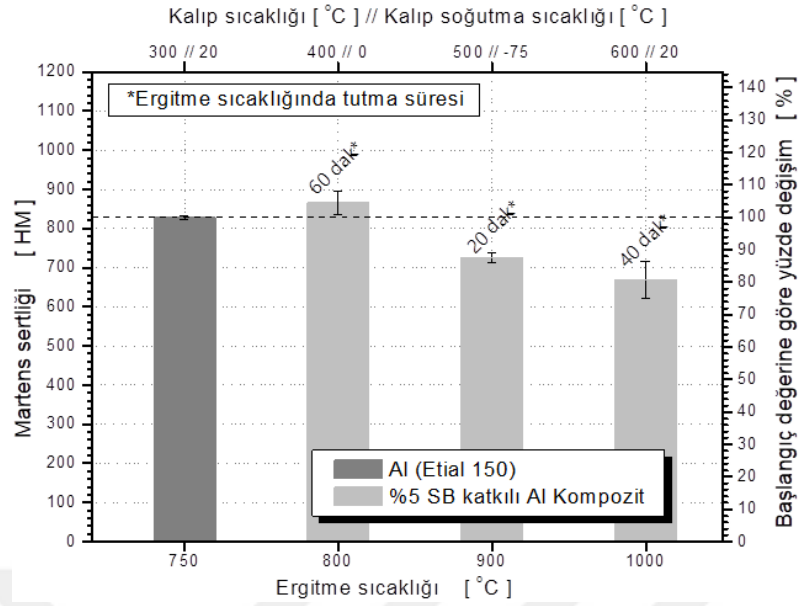
Ayrıca Şekil 4.8’den hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Martens sertliğini, ergitme sıcaklığı 800°C için %8 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %12 ve %14 oranlarında azalttığı tespit edildi.



Şekil 4.8. %2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Martens sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi

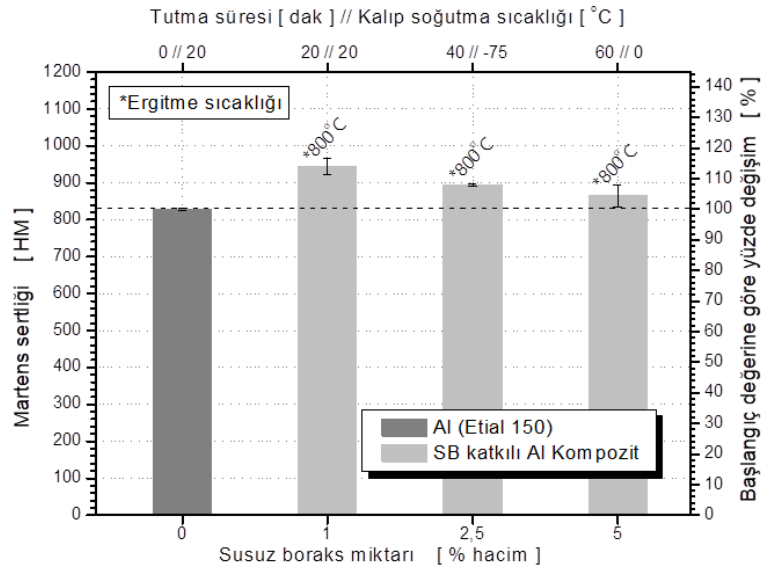
Şekil 4.9 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin Martens sertliği hacimce %5 SB katkı oranından, ergitme sıcaklığı 800°C’de olumlu etkilendiği tespit edilirken, ergitme sıcaklığı 900°C ve 1000°C’de olumsuz bir etki göstermiştir. %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeden) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.9’den hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Martens sertliğini, ergitme sıcaklığı 800°C için %5 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %12 ve %19 oranlarında azalttığı tespit edildi.



Şekil 4.9. %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Martens sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.10 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 800°C ergitme sıcaklığında Martens sertliğinin hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumlu etkilendiği tespit edilirken, artan SB katkı oranıyla birlikte olumlu etkinin giderek azaldı görüldü. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemez) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

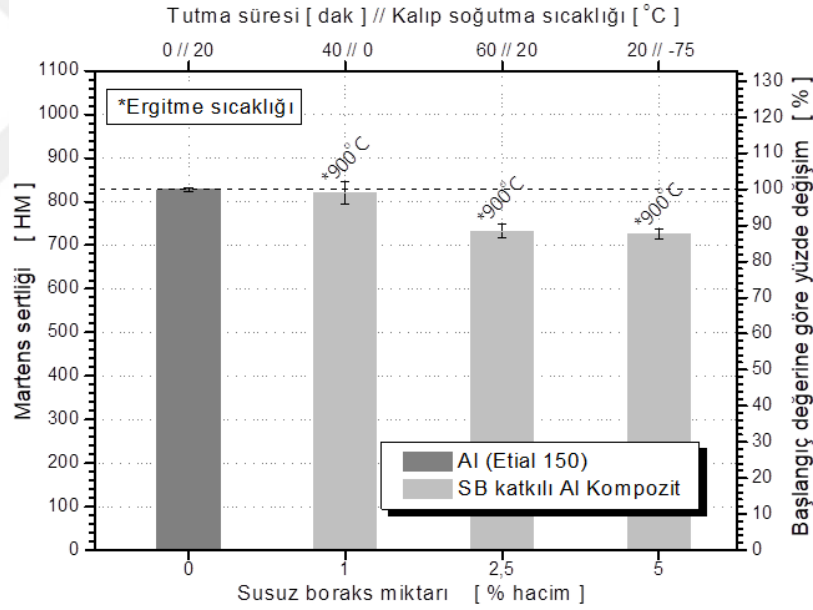


Şekil 4.10. Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin Martens sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.10'dan sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Martens sertliğini yaklaşık %14, %8 ve %5 oranlarında artırdığı görülmektedir.

Şekil 4.11 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 900°C ergitme sıcaklığında Martens sertliğinin hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumsuz etkilendiği tespit edilirken, artan SB katkı oranıyla birlikte olumsuz etkinin giderek arttığı görüldü. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeden) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

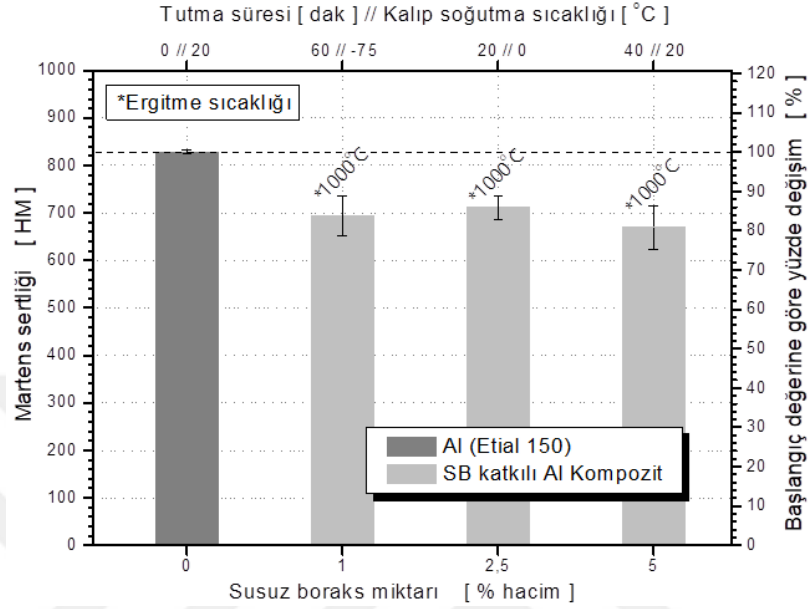
Ayrıca Şekil 4.11'den sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Martens sertliğini yaklaşık %1, %11 ve %12 oranlarında azalttığı görülmektedir.



Şekil 4.11. Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin Martens sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.12 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 1000°C ergitme sıcaklığında Martens sertliğinin hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumsuz etkilendiği tespit edildi. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeden) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.12'den sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Martens sertliğini yaklaşık %16, %15 ve %19 oranlarında azalttığı görülmektedir.



Şekil 4.12. Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin Martens sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Sonuç itibariyle SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin Martens sertliği için SB katkı oranı parametresinin diğer imalat parametrelerine göre çok daha etkili olduğu tespit edilirken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, hacimce %1 SB katkısı ve 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin, EA150 malzemesinin Martens sertliğini %14 oranında artırarak yapılan gözlemler içinde en iyi üretim parametreleri olduğu tespit edildi.

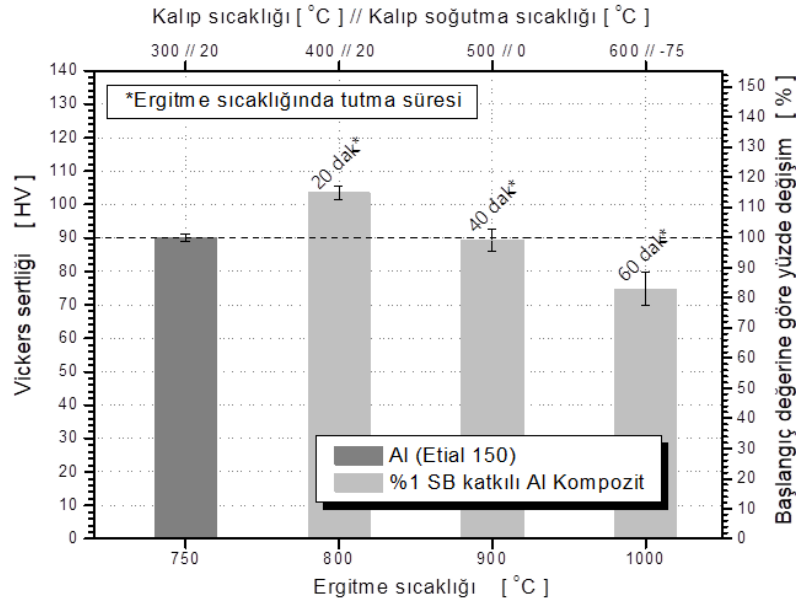
#### 4.3.2. Vickers Sertliği

Saf (EA150) alüminyum alaşım malzemesinin Vickers sertliğinin sabit basınçsız döküm parametrelerinin tesirine bağlı değişimi Şekiller 4.13, 4.14 ve 4.15'de; farklı imalat parametrelerinde ve sabit hacimce %1 SB katkı oranına bağlı değişimi şekil 4.13'te, sabit hacimce %2,5 SB katkı oranına bağlı değişimi şekil 4.14'te ve sabit hacimce %5 SB katkı oranına bağlı değişimi ise Şekil 4.15'te verilmiştir.

Bundan başka kompozit malzemenin % hacimce SB katkı oranına ve farklı üretim (ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerine bağlı sabit 800°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.16’da, sabit 900°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.17’de ve sabit 1000°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.18’de verilmiştir.

Şekil 4.13 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin Vickers sertliği hacimce %1 SB katkı oranından, ergitme sıcaklığı 800°C’de olumlu etkilendiği tespit edilirken, ergitme sıcaklığı 900°C ve 1000°C’de olumsuz bir etki göstermiştir. %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.13’ten hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Vickers sertliğini, ergitme sıcaklığı 800°C için %15 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %1 ve %17 oranlarında azalttığı tespit edildi.

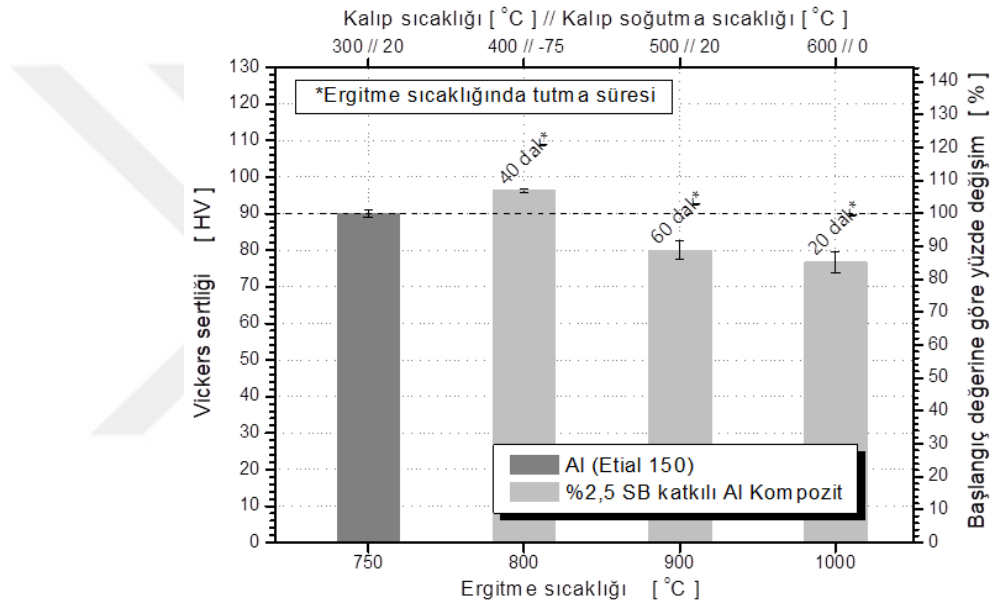


Şekil 4.13. %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Vickers sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.14 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin Vickers sertliği hacimce %2,5 SB katkı oranından, ergitme sıcaklığı 800°C’de olumlu etkilendiği tespit edilirken,

ergitme sıcaklığı 900°C ve 1000°C’de olumsuz bir etki göstermiştir. %2,5 SB katkı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeden) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.14’ten hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Vickers sertliğini, ergitme sıcaklığı 800°C için %7 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %11 ve %15 oranlarında azalttığı tespit edildi.



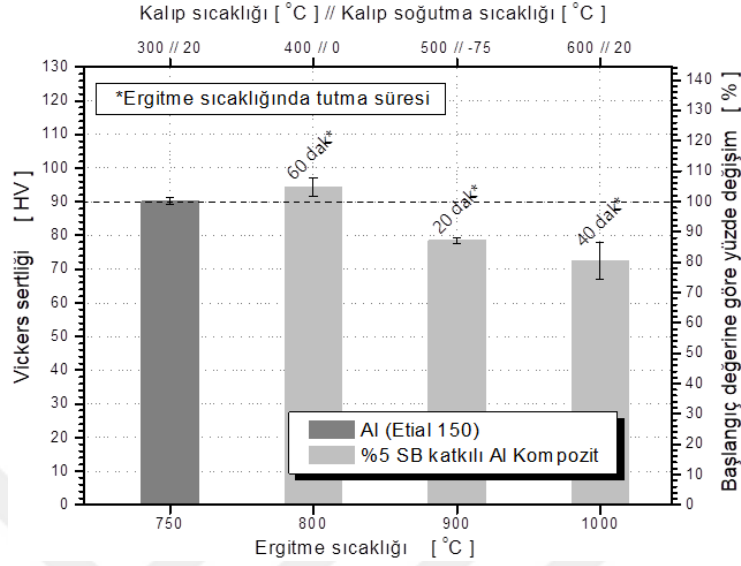
Şekil 4.14 %2,5 SB katkı EA150 kompozit malzemenin Vickers sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.15 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin Vickers sertliği hacimce %5 SB katkı oranından, ergitme sıcaklığı 800°C’de olumlu etkilendiği tespit edilirken, ergitme sıcaklığı 900°C ve 1000°C’de olumsuz bir etki göstermiştir. %5 SB katkı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeden) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.15’ten hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Vickers sertliğini, ergitme sıcaklığı 800°C için %5 oranında

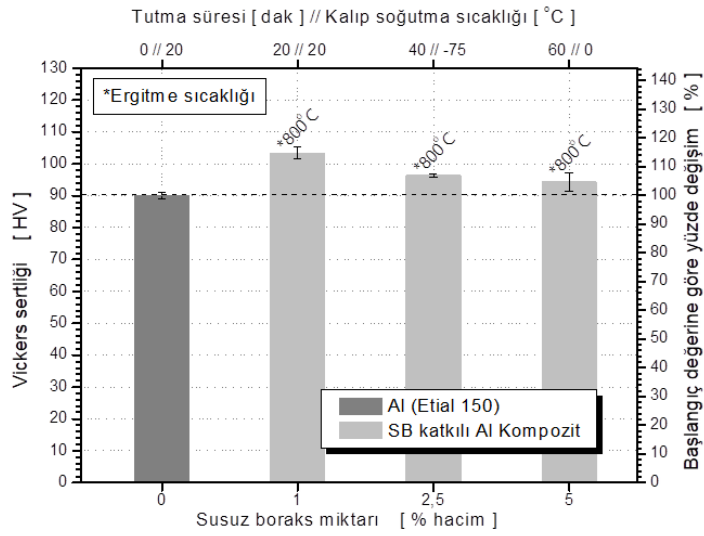


artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %13 ve %19 oranlarında azalttığı tespit edildi.



Şekil 4.15. %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Vickers sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.16 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 800°C ergitme sıcaklığında Vickers sertliğinin hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumlu etkilendiği tespit edilirken, artan SB katkı oranıyla birlikte olumlu etkinin giderek azaldığı görüldü. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemez) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

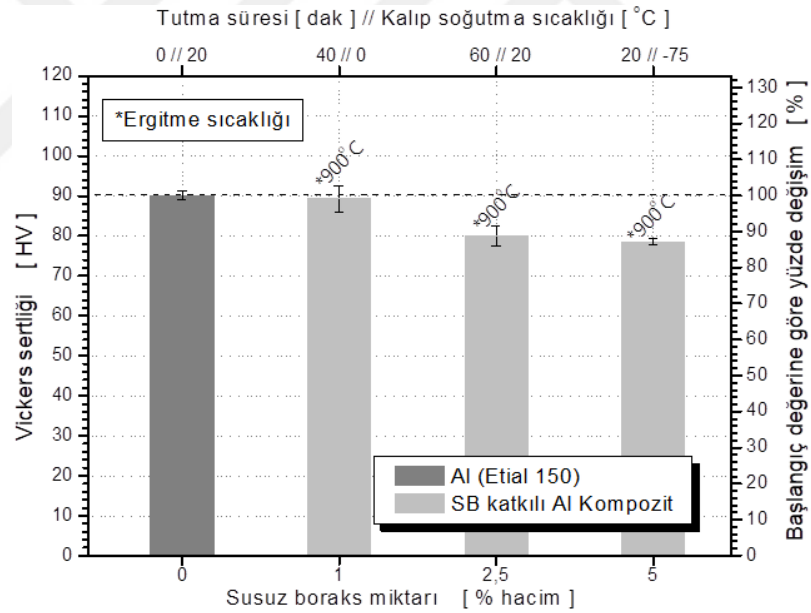


Şekil 4.16. Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin Vickers sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.16'dan sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Vickers sertliğini sırasıyla yaklaşık %15, %7 ve %5 oranlarında artırdığı görülmektedir.

Şekil 4.17 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 900°C ergitme sıcaklığında Vickers sertliğinin hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumsuz etkilendiği tespit edilirken, artan SB katkı oranıyla birlikte olumsuz etkinin giderek arttığı görüldü. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemez) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

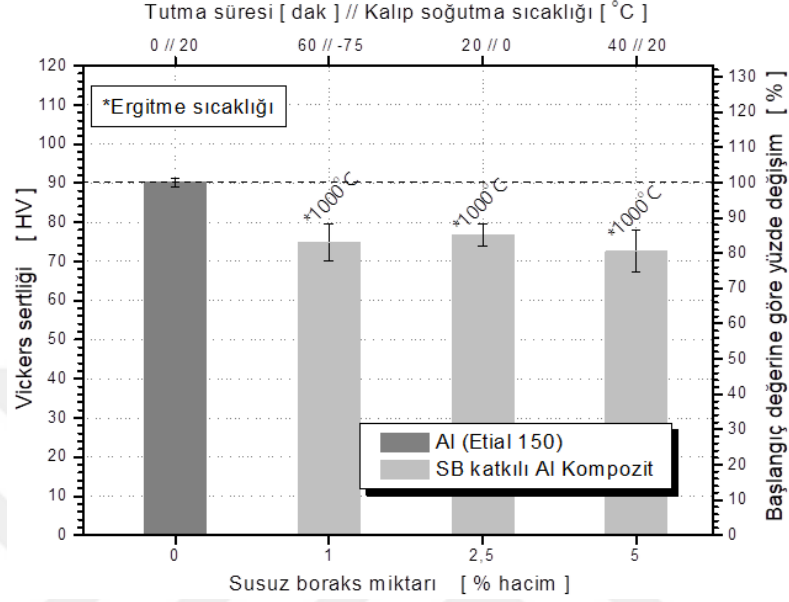
Ayrıca Şekil 4.17'den sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Vickers sertliğini sırasıyla yaklaşık %1, %11 ve %13 oranlarında azalttığı görülmektedir.



Şekil 4.17 Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin Vickers sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.18 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 1000°C ergitme sıcaklığında Vickers sertliğinin hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumsuz etkilendiği tespit edildi. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemez) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.18'den sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Vickers sertliğini yaklaşık %17, %15 ve %19 oranlarında azalttığı görülmektedir.



Şekil 4.18. Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin Vickers sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Sonuç itibariyle SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin Vickers sertliği için SB katkı oranı parametresinin diğer imalat parametrelerine göre çok daha etkili olduğu tespit edilirken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, hacimce %1 SB katkısı ve 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin, EA150 malzemesinin Vickers sertliğini %15 oranında artırarak yapılan gözlemler içinde en iyi üretim parametreleri olduğu tespit edildi.

Elde edilen bu sonuçla beraber SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin Martens sertliği ile Vickers sertliği sonuçlarının birbiriyle paralellik ve benzerlik gösterdiği de tespit edildi.

#### 4.3.3. Girinti (İz) Modülü

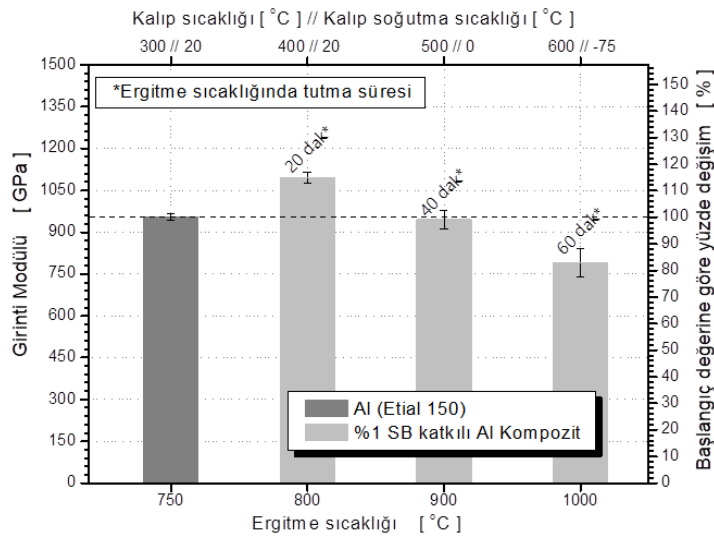
Saf (EA150) alüminyum alaşım malzemesinin Girinti modülünün sabit basınçsız döküm parametrelerinin tesirine bağlı değişimi Şekiller 4.19, 4.20 ve 4.21'de; farklı

imalat parametrelerinde ve sabit hacimce %1 SB katkı oranına bağlı değişimi şekil 4.19'da, sabit hacimce %2,5 SB katkı oranına bağlı değişimi şekil 4.20'de ve sabit hacimce %5 SB katkı oranına bağlı değişimi ise Şekil 4.21'de verilmiştir.

Bundan başka kompozit malzemenin % hacimce SB katkı oranına ve farklı üretim (ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerine bağlı sabit 800°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.19'da, sabit 900°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.20'de ve sabit 1000°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.21'de verilmiştir.

Şekil 4.19 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin Girinti modülünü hacimce %1 SB katkı oranından, ergitme sıcaklığı 800°C'de olumlu etkilendiği tespit edilirken, ergitme sıcaklığı 900°C ve 1000°C'de olumsuz bir etki göstermiştir. %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

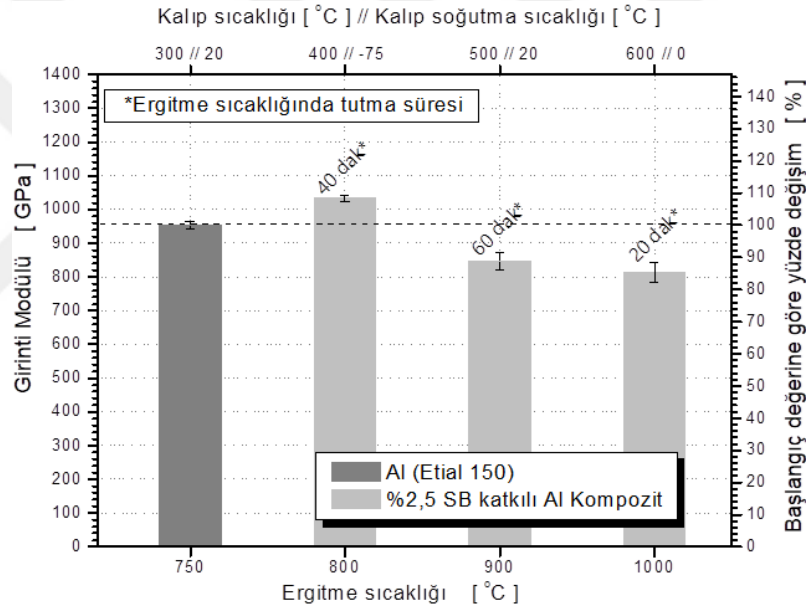
Ayrıca Şekil 4.19'dan hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Girinti modülünü, ergitme sıcaklığı 800°C için %15 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %1 ve %17 oranlarında azalttığı tespit edildi.



Şekil 4.19. %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Girinti modülünün imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.20 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin Girinti modülünü hacimce %2,5 SB katkı oranından, ergitme sıcaklığı 800°C’de olumlu etkilendiği tespit edilirken, ergitme sıcaklığı 900°C ve 1000°C’de olumsuz bir etki göstermiştir. %2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeden) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

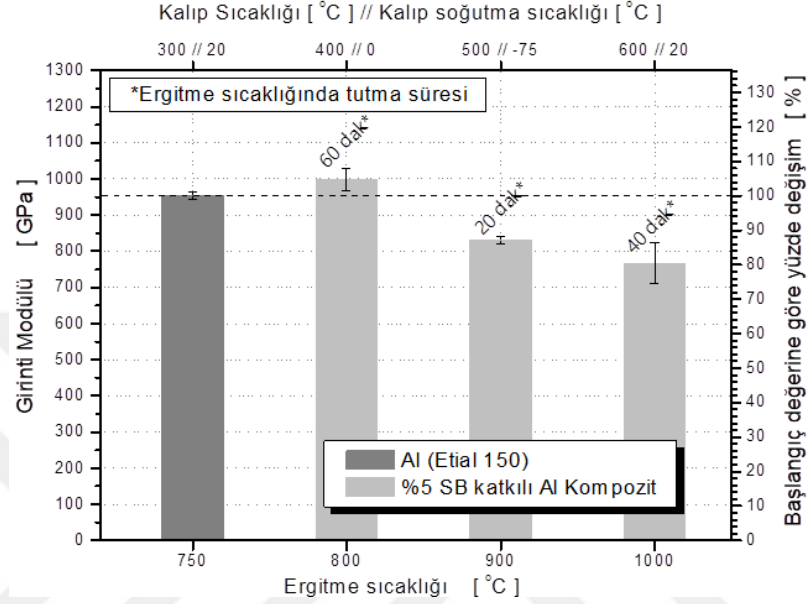
Ayrıca Şekil 4.20’den hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Girinti modülünü, ergitme sıcaklığı 800 °C için %8 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %11 ve %15 oranlarında azalttığı tespit edildi.



Şekil 4.20. %2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Girinti modülünün imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.21 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin Girinti modülü hacimce %5 SB katkı oranından, ergitme sıcaklığı 800°C’de olumlu etkilendiği tespit edilirken, ergitme sıcaklığı 900°C ve 1000°C’de olumsuz bir etki göstermiştir. %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeden) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.21'den hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Girinti modülünü, ergitme sıcaklığı 800°C için %5 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %13 ve %19 oranlarında azalttığı tespit edildi.

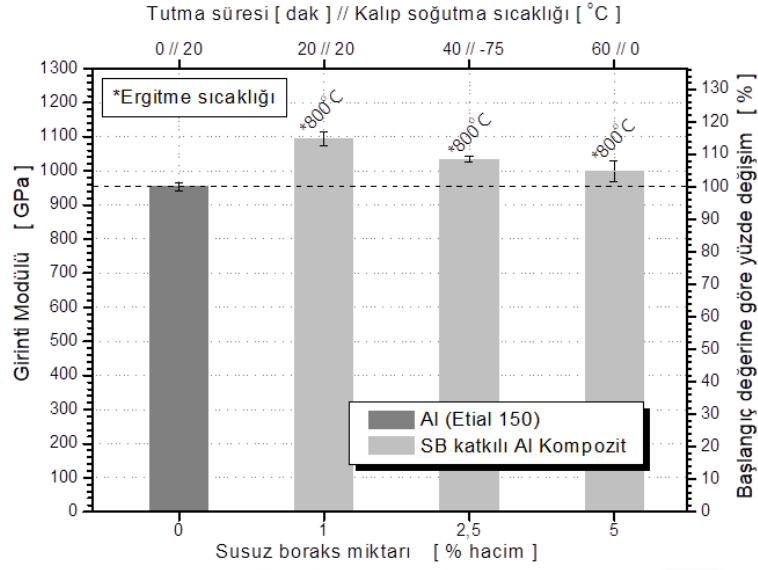


Şekil 4.21. %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Girinti modülünün imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.22 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 800°C ergitme sıcaklığında Girinti modülünün hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumlu etkilendiği tespit edilirken, artan SB katkı oranıyla birlikte olumlu etkinin giderek azaldığı görüldü.

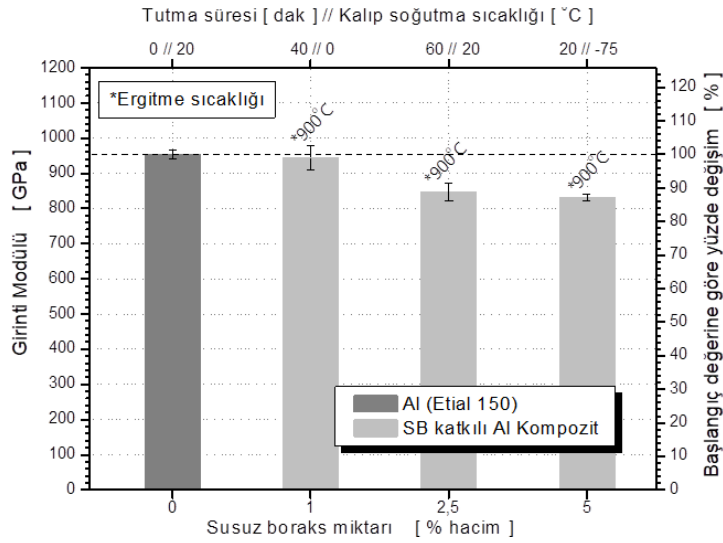
EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.22'den sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Girinti modülünü yaklaşık %15, %8 ve %5 oranlarında artırdığı görünmektedir



Şekil 4.22. Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin Girinti modülünün SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

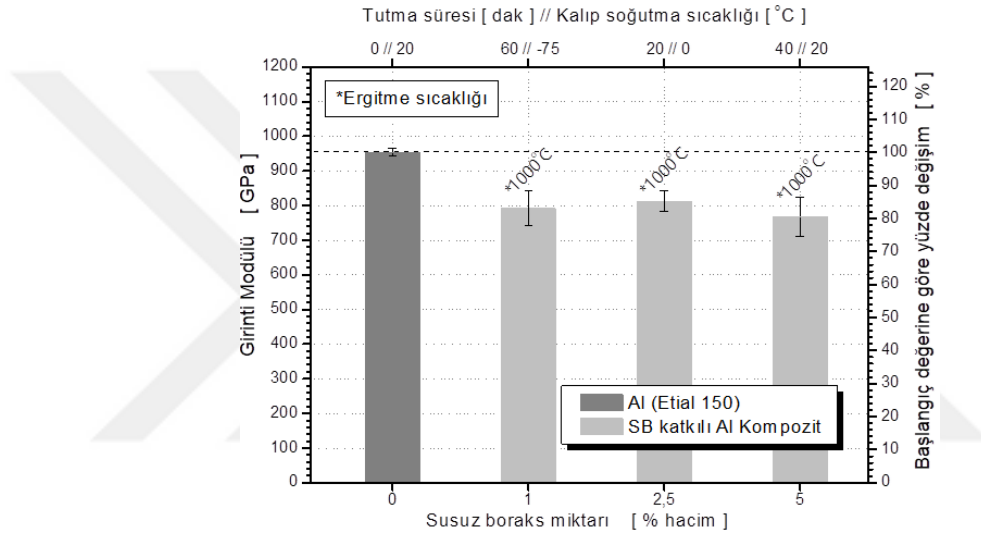
Şekil 4.23 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 900°C ergitme sıcaklığında Girinti modülünün hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumsuz etkilendiği tespit edilirken, artan SB katkı oranıyla birlikte olumsuz etkinin giderek arttığı görüldü. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.



Şekil 4.23. Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin Girinti modülünün SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.23'ten sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Girinti modülünü sırasıyla yaklaşık %1, %11 ve %13 oranlarında azalttığı görülmektedir.

Şekil 4.24 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 1000°C ergitme sıcaklığında Girinti modülünün hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumsuz etkilendiği tespit edildi. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemez) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.



Şekil 4.24. Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin Girinti modülünün SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.24'ten sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Girinti modülünü yaklaşık %17, %15 ve %19 oranlarında azalttığı görülmektedir.

Sonuç itibarıyla SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin Girinti modülü için SB katkı oranı parametresinin diğer imalat parametrelerine göre çok daha etkili olduğu tespit edilirken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, hacimce %1 SB katkısı ve 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin, EA150 malzemesinin Girinti modülünü yaklaşık %15 oranında artırarak yapılan gözlemler içinde en iyi üretim parametreleri olduğu tespit edildi.



Yapılan bu tespitle birlikte SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin Girinti modülü sonuçlarının Vickers sertlik sonuçlarıyla uyumlu olduğu da görüldü.

#### **4.3.4. Brinell Sertliği**

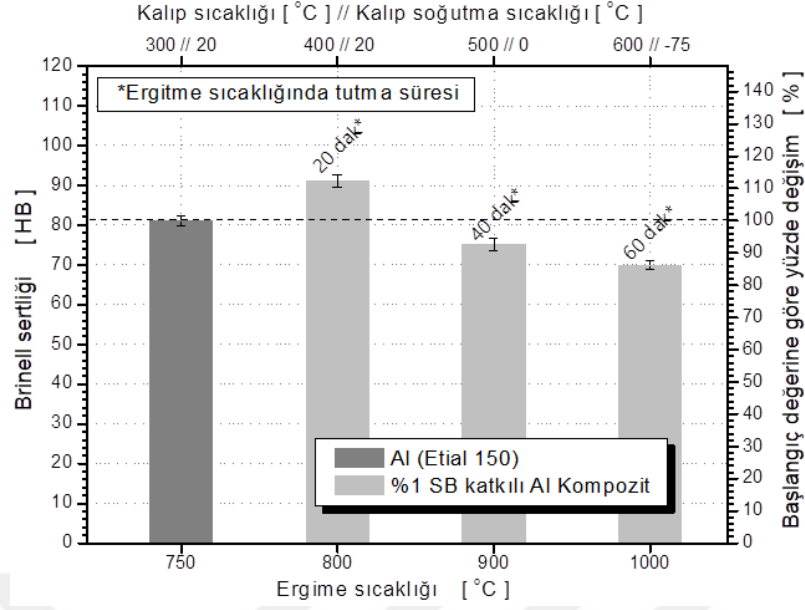
Saf (EA150) alüminyum alaşım malzemesinin Brinell sertliğinin sabit basınçsız döküm parametrelerinin tesirine bağlı değişimi Şekiller 4.25, 4.26 ve 4.27’de; farklı imalat parametrelerinde ve sabit hacimce %1 SB katkı oranına bağlı değişimi Şekil 4.25’te, sabit hacimce %2,5 SB katkı oranına bağlı değişimi Şekil 4.26’da ve sabit hacimce %5 SB katkı oranına bağlı değişimi ise Şekil 4.27’de verilmiştir.

Bundan başka kompozit malzemenin % hacimce SB katkı oranına ve farklı üretim (ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerine bağlı sabit 800°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.28’de, sabit 900°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.29’da ve sabit 1000°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.30’da verilmiştir.

Şekil 4.25 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin Brinell sertliği hacimce %1 SB katkı oranında, ergitme sıcaklığı 800°C’de olumlu, 900°C ve 1000°C’de ise olumsuz bir etki göstermiştir.

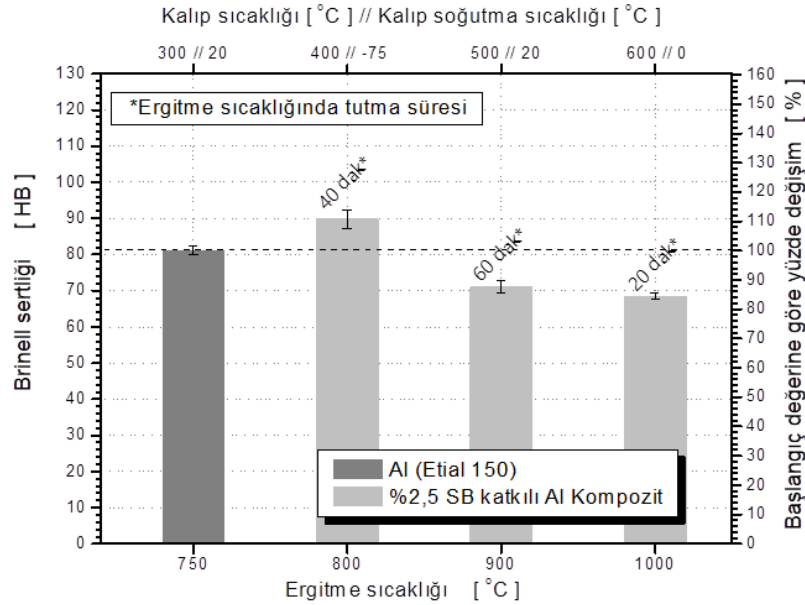
%1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat (ergitme sıcaklığı, ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemez) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.25’ten hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Brinell sertliğini, ergitme sıcaklığı 800°C için %13 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %7 ve %14 oranlarında azalttığı tespit edildi.



Şekil 4.25. %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Brinell sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi

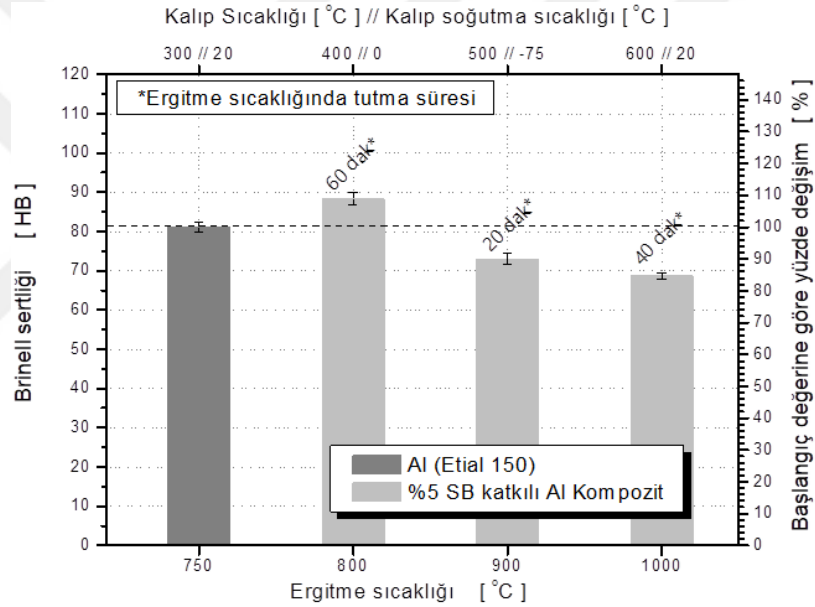
Şekil 4.26 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin Brinell sertliği hacimce %2,5 SB katkı oranında, eritme sıcaklığı 800°C’de olumlu, 900°C ve 1000°C’de ise olumsuz bir etki göstermiştir. %2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.



Şekil 4.26. %2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Brinell sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.26'dan hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Brinell sertliğini, ergitme sıcaklığı 800°C için %10 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %12 ve %16 oranlarında azalttığı tespit edildi.

Şekil 4.27 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin Brinell sertliği hacimce %5 SB katkı oranında, ergitme sıcaklığı 800°C'de olumlu, 900°C ve 1000°C'de ise olumsuz bir etki göstermiştir. %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.



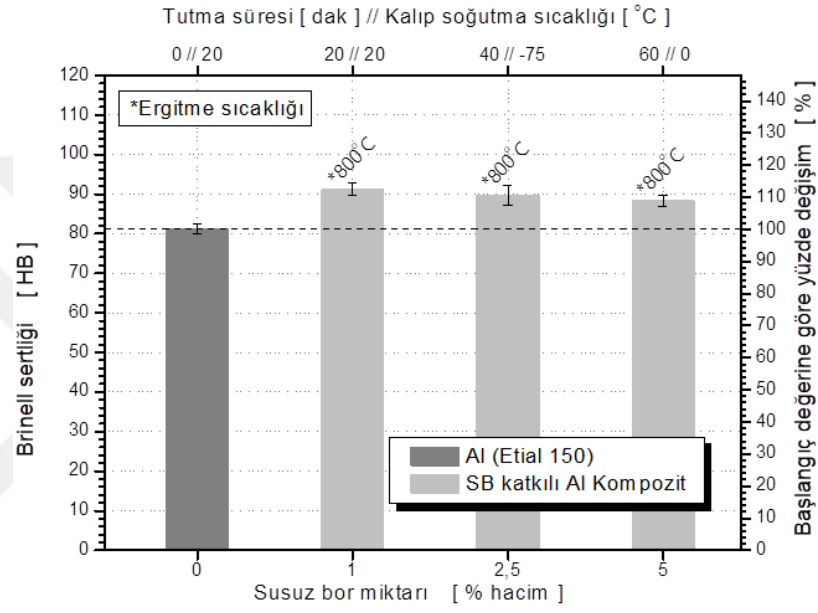
Şekil 4.27. %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin Brinell sertliğinin imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.27'den hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Brinell sertliğini, ergitme sıcaklığı 800°C için %9 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %10 ve %15 oranlarında azalttığı tespit edildi.

Şekil 4.28 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 800°C ergitme sıcaklığında Brinell sertliğinin hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumlu etkilendiği tespit edilirken, artan SB katkı oranıyla birlikte olumlu etkinin giderek

azaldığı görüldü. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

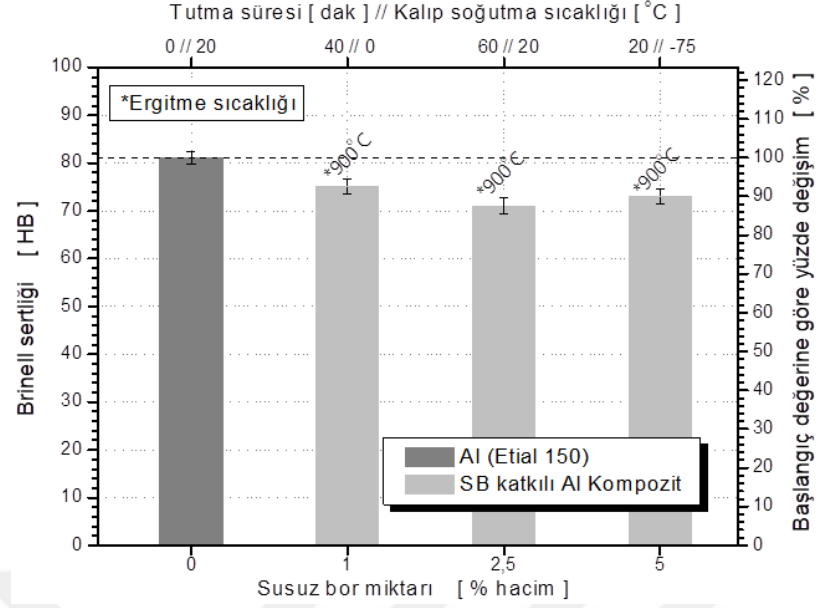
Ayrıca Şekil 4.28'den sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Brinell sertliğini yaklaşık %12, %11 ve %9 oranlarında artırdığı görünmektedir.



Şekil 4.28. Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin Brinell sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

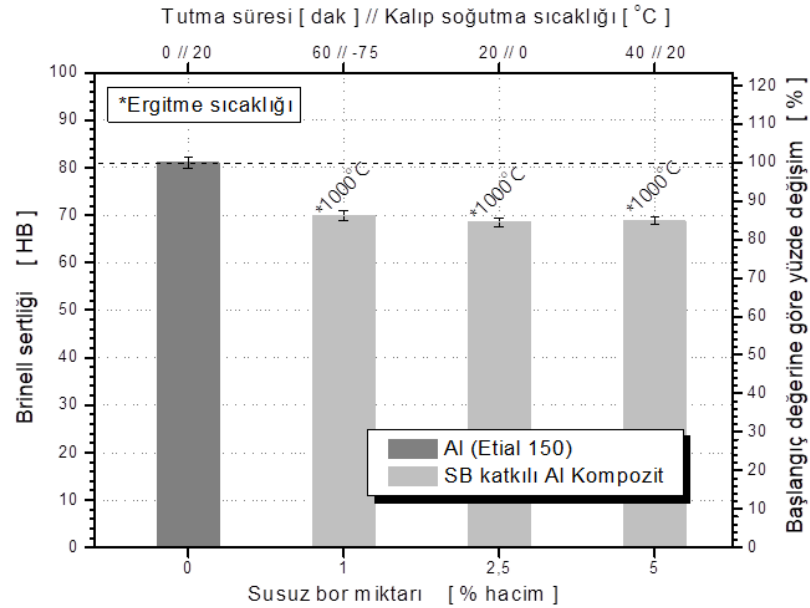
Şekil 4.29 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 900°C ergitme sıcaklığında Brinell sertliğinin hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumsuz etkilendiği tespit edildi. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.29'dan sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Brinell sertliğini yaklaşık %8, %12 ve %10 oranlarında azalttığı görünmektedir.



Şekil 4.29. Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin Brinell sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.30 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 1000°C ergitme sıcaklığında Girinti modülünün hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumsuz etkilendiği tespit edildi. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.



Şekil 4.30. Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin Brinell sertliğinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.30'dan sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Brinell sertliğini yaklaşık %14, %16 ve %16 oranlarında azalttığı görülmektedir.

Sonuç itibariyle SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin Brinell sertliği için SB katkı oranı parametresinin diğer imalat parametrelerine göre çok daha etkili olduğu tespit edilirken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, hacimce %1 SB katkısı ve 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin, EA150 malzemesinin Brinell sertliğini %12 oranında artırarak yapılan gözlemler içinde en iyi üretim parametreleri olduğu tespit edildi.

Elde edilen bu sonuçlarla beraber SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin Brinell sertliği ile Vickers sertliği sonuçlarının kontrolü için de BS EN ISO 18265-2013 standardı dönüşüm tablosu kullanılarak birbiriyle  $\pm 5$  birim farkla paralellik gösterdiği tespit edildi.

#### **4.4. Üç Nokta Eğme**

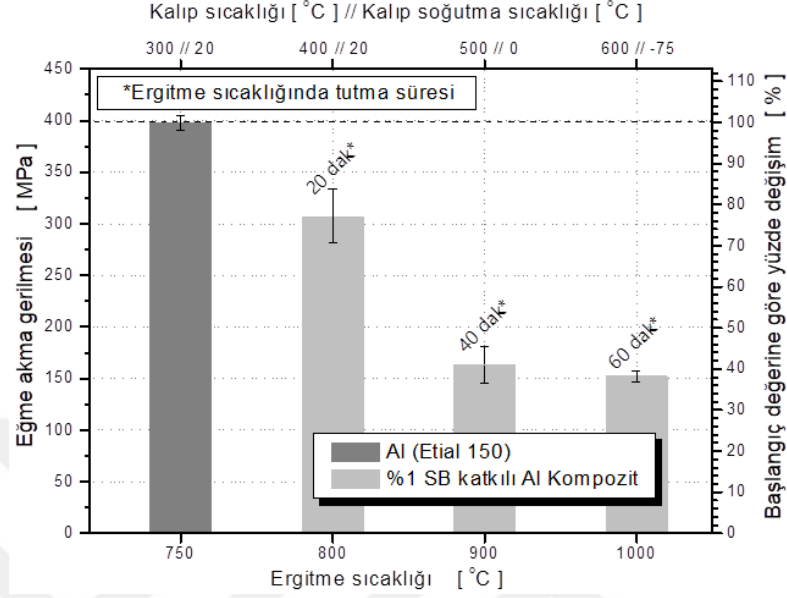
##### **4.4.1. Eğme akma gerilmesi**

Saf (EA150) alüminyum alaşım malzemesinin eğme akma gerilmesinin sabit basınçsız döküm parametrelerinin tesirine bağlı değişimi Şekiller 4.31, 4.32 ve 4.33'te; farklı imalat parametrelerinde ve sabit hacimce %1 SB katkı oranına bağlı değişimi Şekil 4.31'de, sabit hacimce %2,5 SB katkı oranına bağlı değişimi Şekil 4.32'de ve sabit hacimce %5 SB katkı oranına bağlı değişimi ise Şekil 4.33'te verilmiştir.

Bundan başka kompozit malzemenin % hacimce SB katkı oranına ve farklı üretim (ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerine bağlı sabit 800°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.34'de, sabit 900°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.35'de ve sabit 1000°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.36'da verilmiştir.

Şekil 4.31 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesinin hacimce %1 SB katkı oranından olumsuz etkilendiği tespit edilirken %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat (ergitme sıcaklığı, ergitme sıcaklığında tutma süresi ve

kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

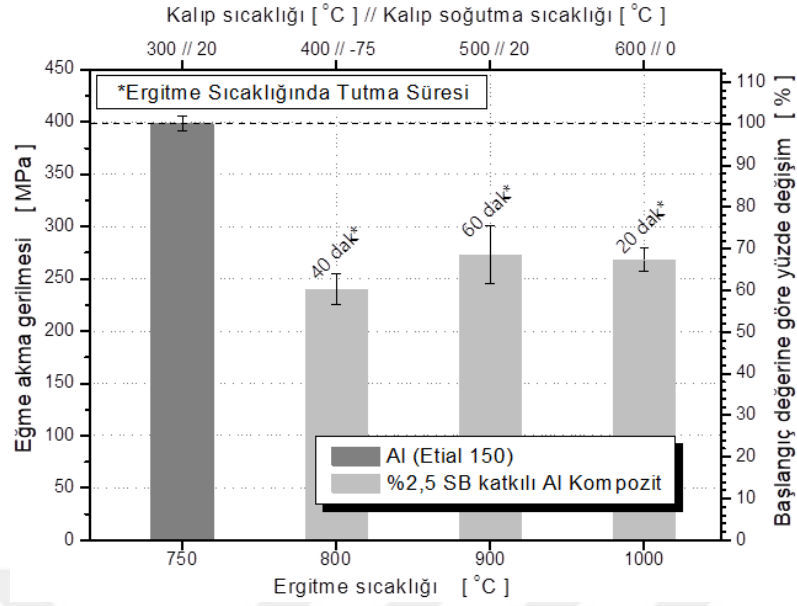


Şekil 4.31. %1 SB katkı EA150 kompozit malzemenin eğme akma gerilmesinin imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.31'den hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesini yaklaşık en az %23 ve en fazla %62 oranlarında azalttığı anlaşıldı.

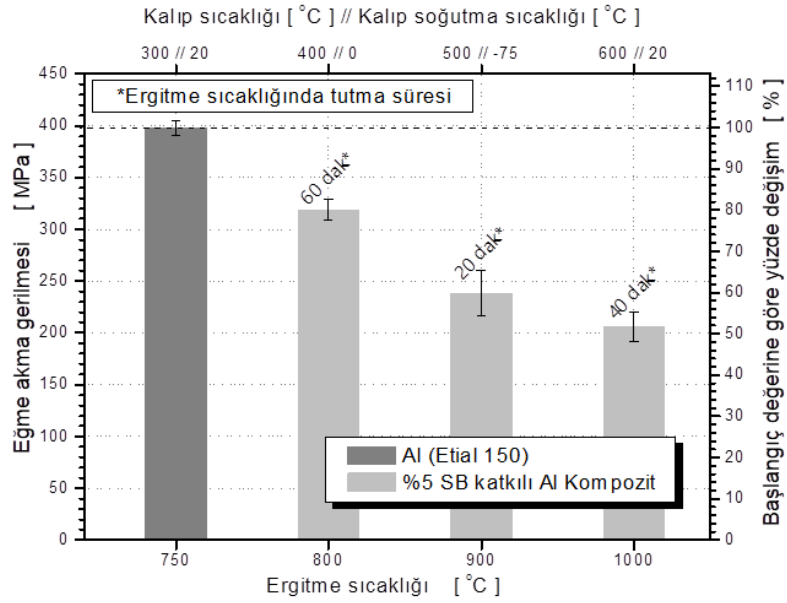
Şekil 4.32 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesinin hacimce %2,5 SB katkı oranından olumsuz etkilendiği tespit edilirken %2,5 SB katkı EA150 kompozit malzemenin imalat (ergitme sıcaklığı, ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.32'den hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesini yaklaşık en az %31 ve en fazla %40 oranlarında azalttığı anlaşıldı.



Şekil 4.32. %2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin eğme akma gerilmesinin imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.33 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesinin hacimce %5 SB katkı oranından olumsuz etkilendiği tespit edilirken %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat (ergitme sıcaklığı, ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

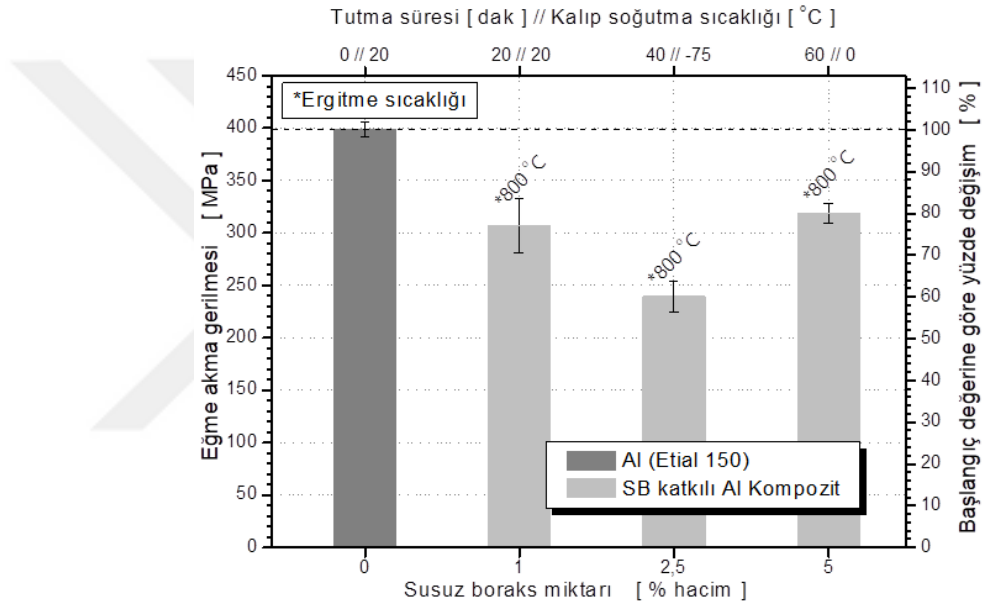


Şekil 4.33. %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin eğme akma gerilmesinin imalat parametrelerine göre değişimi



Ayrıca Şekil 4.33'den hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesini yaklaşık en az %20 ve en fazla %48 oranlarında azalttığı anlaşıldı.

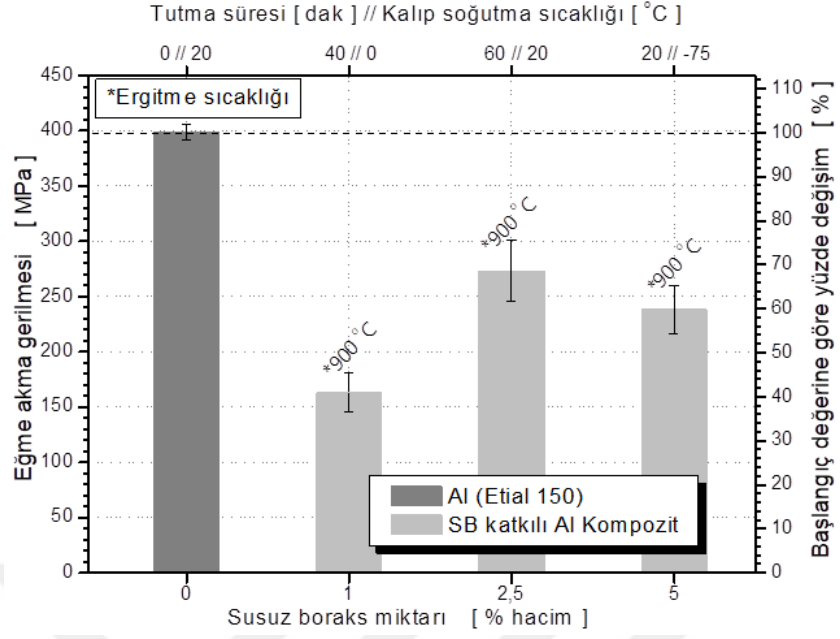
Şekil 4.34 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 800°C ergitme sıcaklığında eğme akma gerilmesinin hacimce SB katkı oranından olumsuz etkilendiği tespit edilirken artan SB katkı miktarı ve EA150 kompozit malzemenin imalat (ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemez) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.



Şekil 4.34. Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin eğme akma gerilmesinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.34'den hacimce farklı SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesini yaklaşık en az %20 ve en fazla %40 oranlarında azalttığı anlaşıldı.

Şekil 4.35 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 900°C ergitme sıcaklığında eğme akma gerilmesinin hacimce SB katkı oranından olumsuz etkilendiği tespit edilirken artan SB katkı miktarı ve EA150 kompozit malzemenin imalat (ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemez) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.



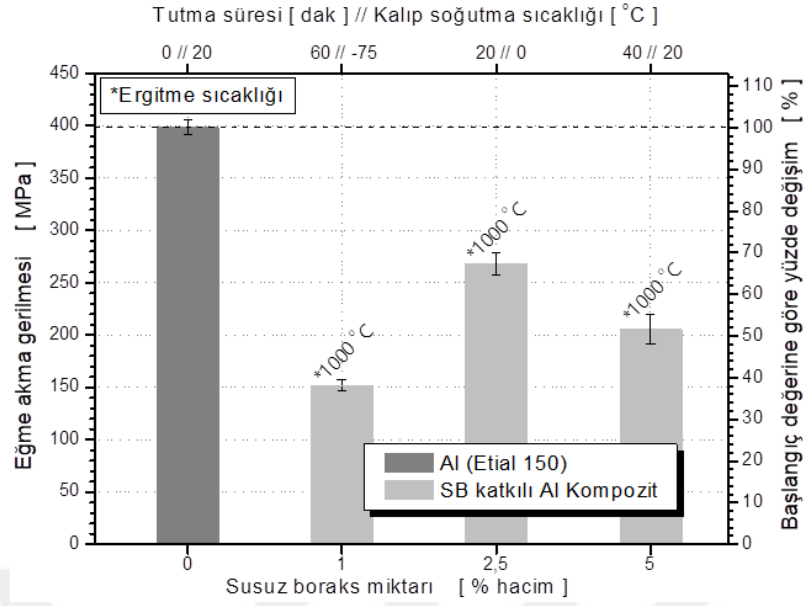
Şekil 4.35. Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin eğme akma gerilmesinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.35’den hacimce farklı SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesini yaklaşık en az %32 ve en fazla %60 oranlarında azalttığı anlaşıldı.

Şekil 4.36 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 1000°C ergitme sıcaklığında eğme akma gerilmesinin hacimce SB katkı oranından olumsuz etkilendiği tespit edildi.

Saf malzemenin eğme akma gerilmesi değerinin SB katkı miktarı ve EA150 kompozit malzemenin imalat (ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.36’dan hacimce farklı SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesini yaklaşık en az %33 ve en fazla %62 oranlarında azalttığı anlaşıldı.



Şekil 4.36. Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin eğme akma gerilmesinin SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Sonuç itibariyle SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin eğme akma gerilmesine tüm parametrelerin olumsuz etkili olduğu görülürken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, üretim parametreleri içinde %5 SB katkısı ve 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin olumsuz etkisinin %20 oranla en düşük olduğu, %1 SB katkısı ve 1000°C ergitme sıcaklığındaki üretimin ise %62 oranında eğme akma gerilmesini en fazla azaltan parametreler olduğu tespit edildi.

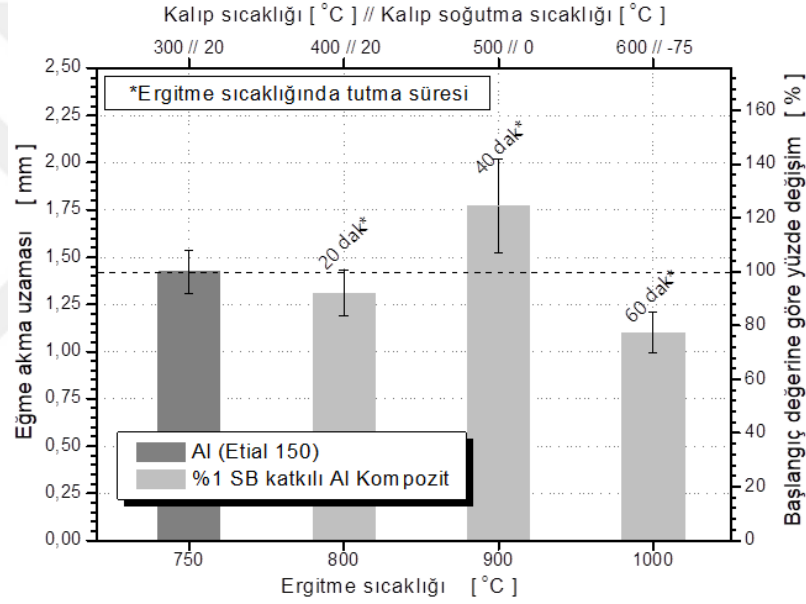
#### 4.4.2. Akma Uzaması

Saf (EA150) alüminyum alaşım malzemesinin eğme akma uzamasının sabit basınçsız döküm parametrelerinin tesirine bağlı değişimi Şekiller 4.37, 4.38 ve 4.39'da farklı imalat parametrelerinde ve sabit hacimce %1 SB katkı oranına bağlı değişimi Şekil 4.37'de, sabit hacimce %2,5 SB katkı oranına bağlı değişimi Şekil 4.8'de ve sabit hacimce %5 SB katkı oranına bağlı değişimi ise Şekil 4.39'da verilmiştir.

Bundan başka kompozit malzemenin % hacimce SB katkı oranına ve farklı üretim (ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerine bağlı sabit 800°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.37'de, sabit 900°C ergitme

sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.38’de ve sabit 1000°C ergitme sıcaklığındaki değişimi Şekil 4.39’da verilmiştir.

Şekil 4.37 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesinin hacimce %1 SB katkı oranından ergitme sıcaklığı 800°C ve 1000°C’de olumsuz etkilendiği tespit edilirken, ergitme sıcaklığı 900°C’de olumlu bir etki göstermiştir. %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat (ergitme sıcaklığı, ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.



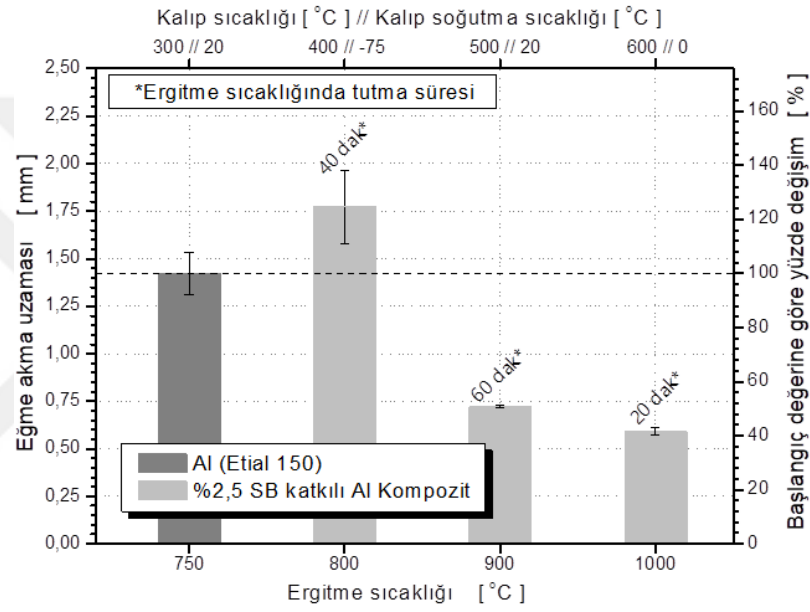
Şekil 4.37. %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin eğme akma uzamasının imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.37’den hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma uzamasını ergitme sıcaklığı 800 °C için %8 ve 1000 °C için %23 oranlarında azalttığı, 900°C ergitme sıcaklığında ise %25 oranında artırdığı tespit edildi.

Şekil 4.38 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesinin hacimce %2,5 SB katkı oranından ergitme sıcaklığı 900°C ve 1000°C’de olumsuz etkilendiği tespit edilirken, ergitme sıcaklığı 800°C’de olumlu bir etki göstermiştir. %2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat (ergitme sıcaklığı, ergitme sıcaklığında

tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeden) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

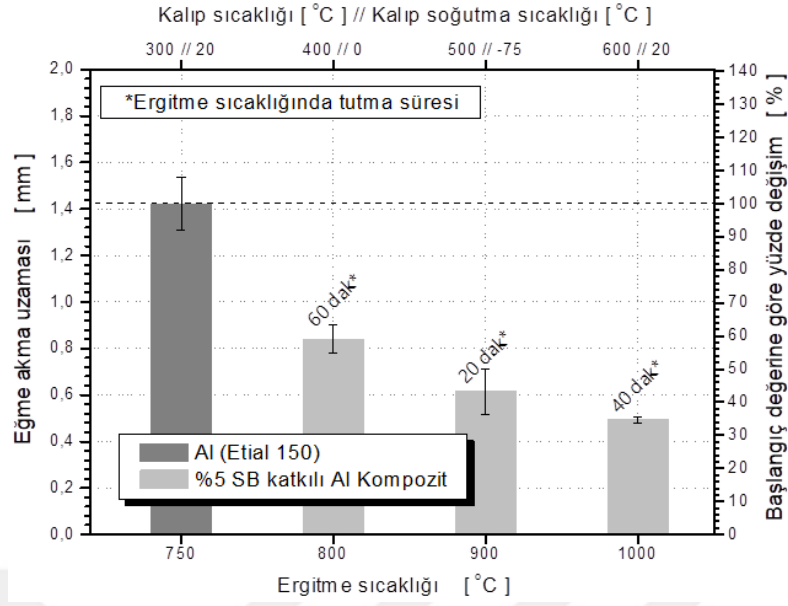
Ayrıca Şekil 4.38'den hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma uzamasını ergitme sıcaklığı 900 °C için %49 ve 1000 °C için %58 oranlarında azalttığı, 800°C ergitme sıcaklığında ise %25 oranında artırdığı tespit edildi.



Şekil 4.38. %2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin eğme akma uzamasının imalat parametrelerine göre değişimi

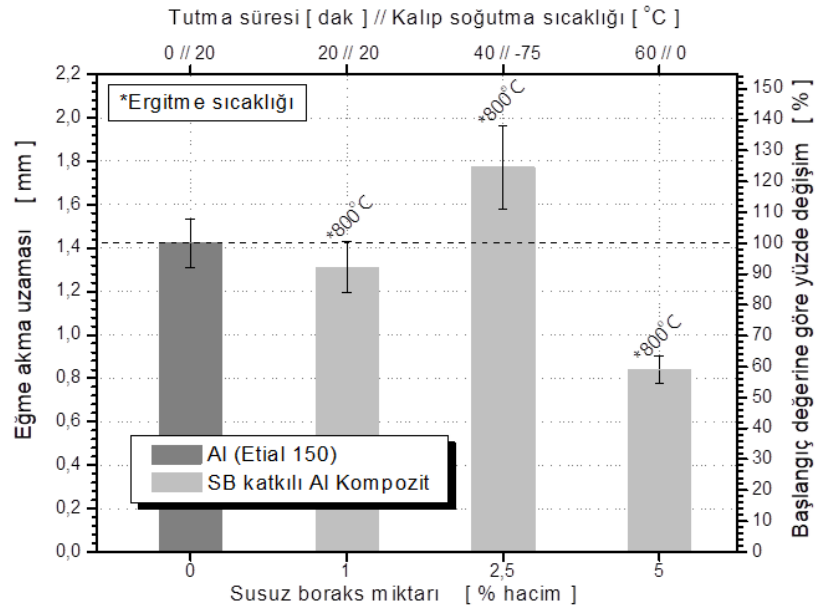
Şekil 4.39 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin eğme akma uzamasının hacimce %5 SB katkı oranından olumsuz etkilendiği tespit edilirken, artan ergitme sıcaklığıyla birlikte olumsuz etkinin giderek arttığı ve %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeden) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.39'dan hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma uzamasını yaklaşık en az %49 ve en fazla %65 oranlarında azalttığı anlaşıldı.



Şekil 4.39. %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin eğme akma uzamasının imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.40 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 800°C ergitme sıcaklığında eğme akma uzamasının hacimce %1 ve %5 SB katkı oranından olumsuz etkilendiği tespit edilirken %2,5 SB katkı oranından olumlu etkilendiği görüldü. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

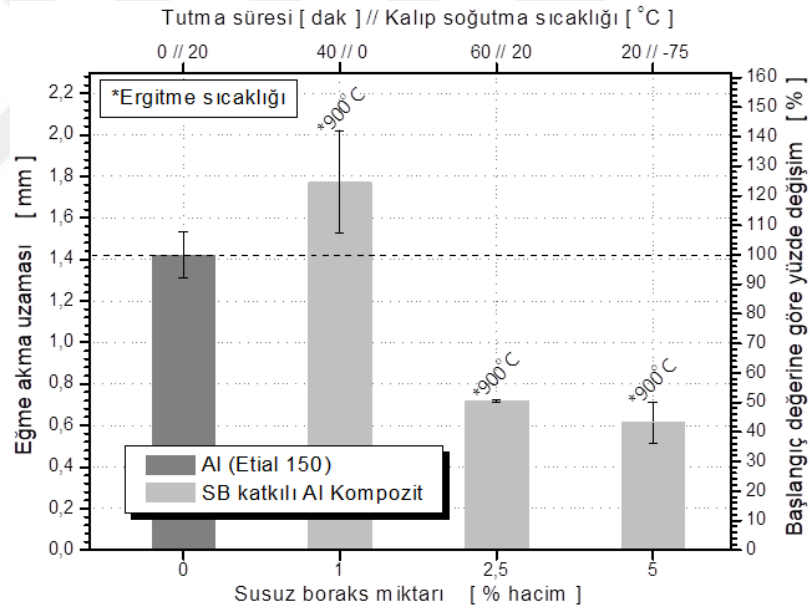


Şekil 4.40. Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin eğme akma uzamasının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.40'dan sırasıyla %1 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma uzamasını yaklaşık %8 ve %41 oranlarında azaltırken, %2,5 SB katkı oranı %25'lik bir artış sağladı.

Şekil 4.41 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 900°C ergitme sıcaklığında eğme akma uzamasının hacimce %2,5 ve %5 SB katkı oranından olumsuz etkilendiği tespit edilirken %1 SB katkı oranından olumlu etkilendiği görüldü. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

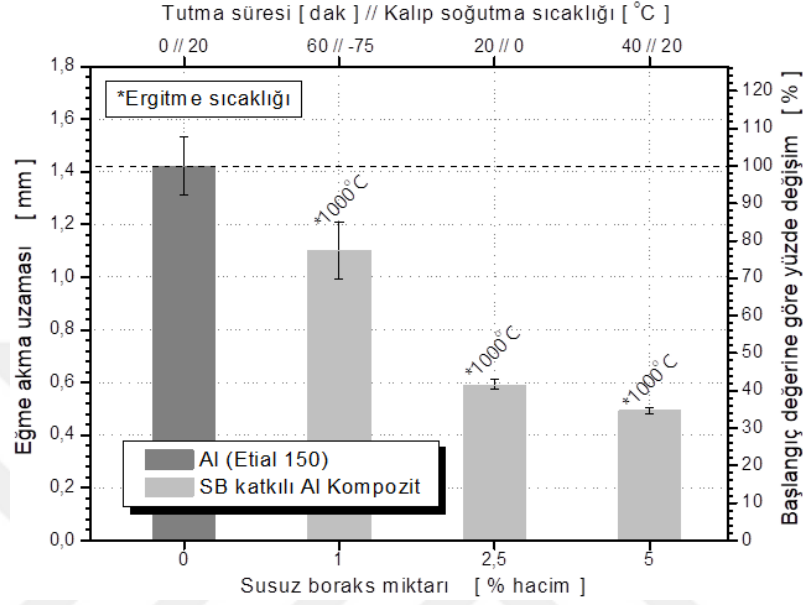
Ayrıca Şekil 4.41'den sırasıyla %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma uzamasını yaklaşık %49 ve %57 oranlarında azaltırken, %2,5 SB katkı oranı %25'lik bir artış sağladı.



Şekil 4.41. Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin eğme akma uzamasının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Şekil 4.42 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 1000°C ergitme sıcaklığında eğme akma uzamasının hacimce SB katkı oranından olumsuz etkilendiği tespit edilirken artan SB katkı miktarı ve EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.42'den hacimce farklı SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma uzamasını yaklaşık en az %23 ve en fazla %65 oranlarında azalttığı görüldü.



Şekil 4.42 Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin eğme akma uzamasının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Sonuç itibariyle SB katkıli EA150 kompozit malzemelerin eğme akma uzamasında tüm parametrelerin etkili olduğu görülürken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, üretim parametreleri içinde %2,5 SB katkısı ile 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin ve %1 SB katkısı ile 900°C üretimin etkileri aynı olup, %25 oranında eğme akma uzamasında artış sağladığı tespit edilmiştir.

#### 4.5. Yoğunluk Ölçümü

Üretilen kompozit malzemeler için yoğunluk ölçüm sonuçları ve eklenen katkı oranına göre hesaplanan teorik yoğunluklar Tablo 4.3'te verildi.

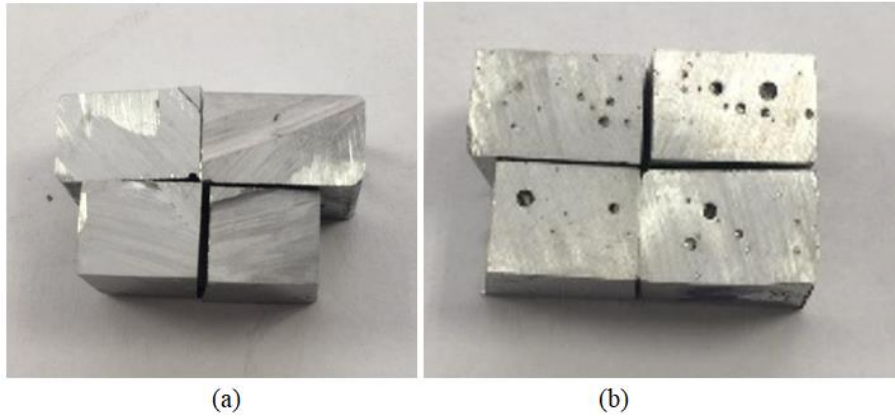
Tablo 4.3 incelendiğinde hesaplanan teorik yoğunluk ve ölçülen yoğunluk arasında sapmalar olduğu görüldü.



Tablo 4.3. Ölçülen yoğunluk ve hesaplanan teorik yoğunluk değerleri

Numune Adı	Ölçülen Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Teorik Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
A1 NAT	2,7134	2,7100
AB801	2,6773	2,7066
AB802	2,7020	2,7015
AB805	2,6773	2,6930
AB901	2,5881	2,7066
AB902	2,5628	2,7015
AB905	2,6695	2,6930
AB1001	2,5145	2,7066
AB1002	2,6868	2,7015
AB1005	2,5647	2,6930

Teorik yoğunluktan sapma görülen numunelerin, basınçsız üretim sebebiyle (oluşan boşluklu yapıdan dolayı) farklılık oluşturduğu Şekil 4.43'te verilen, yoğunluk ölçümü yapılan numunelerin kesildikten sonraki iç yapı görüntülerinden tespit edildi.



Şekil 4.43. (a) 800°C %1 SB katkı oranlı numune iç yapısı, (b) 1000°C %1 SB katkı oranlı numune iç yapısı

#### 4.6. Taguchi Yöntemiyle Test Verilerinin Analizi

Bu çalışma kapsamında, sadece ana etkiler göz önünde bulundurularak L9 deney düzeneğine göre önerilen tasarım ve üretim parametreleri doğrultusunda basınçsız döküm yöntemiyle üretimi gerçekleştirilen ve hazırlanan test numunelerine uygulanan aşınma, sertlik ve üç nokta eğme testi verileri kullanılarak her bir test için yanıt değişkenleri ayrı ayrı değerlendirilmek suretiyle en iyi üretim parametre seviyelerinin tespit edilmesine çalışılmıştır.

Taguchi istatistiksel analiz yöntemi ile elde edilen S/G oranı verileri incelenerek her bir yanıt değişkeni için üretim faktörlerine ait optimum seviyeler ve faktörlerin yanıt değişkenleri üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Daha sonra ANOVA ile üretim faktörlerinin yanıt değişkeni üzerindeki ana etki düzeyleri belirlenmiştir. Ayrıca faktörler arasındaki etkileşimlerin yanıt değişkenleri üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

Aşınma testinde belirlenen sürtünme katsayısı yanıt değişkenlerinin en küçük en iyi analizi, sertlik değerleri yanıt değişkenlerinin en büyük en iyi analizi ve üç nokta eğme testinden elde edilen eğme akma gerilmesi ve akma uzaması değerleri yanıt değişkenlerinin en büyük en iyi analizi yapılmış ve elde edilen S/G oranları değerlendirilmiştir.

Test faktörleri ve faktör seviyelerinin etkinliklerinin analiz edilebildiği S/G tabloları her faktörün, her seviyesine ait ortalama S/G oranlarından oluşmaktadır. Faktör seviyelerinin S/G oranları incelendiğinde en büyük değer ile en küçük değer arasındaki fark Delta (fark) değerini vermektedir ve faktörlerin etki sırası bu değerın büyüklüğüne göre belirlenmektedir.

Kompozit numunelerin test verilerinin varyans analizinde;

$H_0$ : Faktörlerin yanıt değişkenine etkisi yoktur.

$H_1$ : Faktörlerin yanıt değişkenine etkisi vardır.

hipotezleri tanımlandı ve testin tahmini güven aralığı, önemlilik düzeyi  $\alpha=0,05$  yüzdesi olarak alındı. Deney faktörlerinin yanıt değişkenleri üzerindeki etkisinin tespit edilebilmesi için faktörlerin her birine ait varyans analizi (ANOVA) tabloları oluşturulup, p-değerinin 0,05'den küçük olması referans alındı.

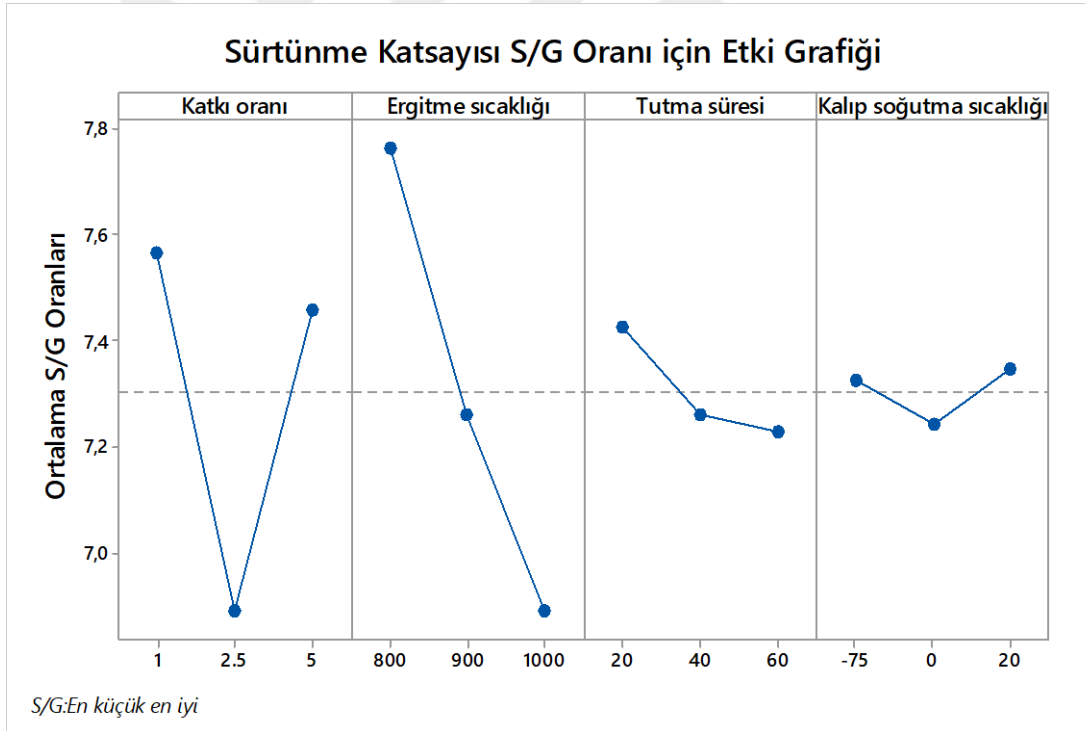
#### **4.6.1. Aşınma deneyi sonuçlarının analizi**

Tablo 4.4'te aşınma deneyine göre faktörlerin S/G oranları için yanıt tablosu verilmiştir. Sürtünme katsayısını etkileyen faktörleri S/G oranı tablosuna göre incelediğimizde en etkili faktörün en yüksek delta (fark) değerine sahip ergitme sıcaklığı olduğu görülürken onu sırasıyla SB katkı oranı, tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı takip etmektedir.

Tablo 4.4. EA150/SB sürtünme katsayısı sonuçlarına göre S/G oranı yanıt tablosu

Yanıt değişkeni	Seviye	Faktörler			
Sürtünme katsayısı		SB Katkı Oranı	Ergitme sıcaklığı	Tutma süresi	Kalıp soğutma sıcaklığı
	1	<b>7,564</b>	<b>7,763</b>	<b>7,424</b>	7,325
	2	6,889	7,258	7,259	7,241
	3	7,457	6,889	7,227	<b>7,345</b>
	Fark	0,674	0,874	0,197	0,104
	Sıra	2	1	3	4

Şekil 4.44' te yanıt değişkenlerine faktörlerin ve faktör seviyelerinin etkilerinin grafiksel görünümü yer almaktadır. Tablo 4.4'de seviyeler arası en büyük farklılığa, yani delta değerine sahip olan seviyeler arasındaki farklılığın grafiksel gösterimi görülebilmektedir.



Şekil 4.44. Sürtünme katsayısı S/G oranı etki grafiği

EA150/SB kompozit sürtünme katsayısı verileri için ANOVA ile tespit edilen p-değerleri Tablo 4.5'te yer almaktadır.

Tablo 4.5. EA150/SB 1N yük altında sürtünme katsayısı ANOVA tablosu

Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
SB katkı oranı (%)	2	0,006	0,003	2,520	<b>0,108</b>
Ergitme sıcaklığı (°C)	2	0,008	0,004	3,330	<b>0,059</b>
Tutma süresi (dak)	2	0,000	0,000	0,200	<b>0,820</b>
Kalıp soğutma sıcaklığı (°C)	2	0,000	0,000	0,090	<b>0,914</b>
Hata	18	0,022	0,001		
Toplam	26	0,037			

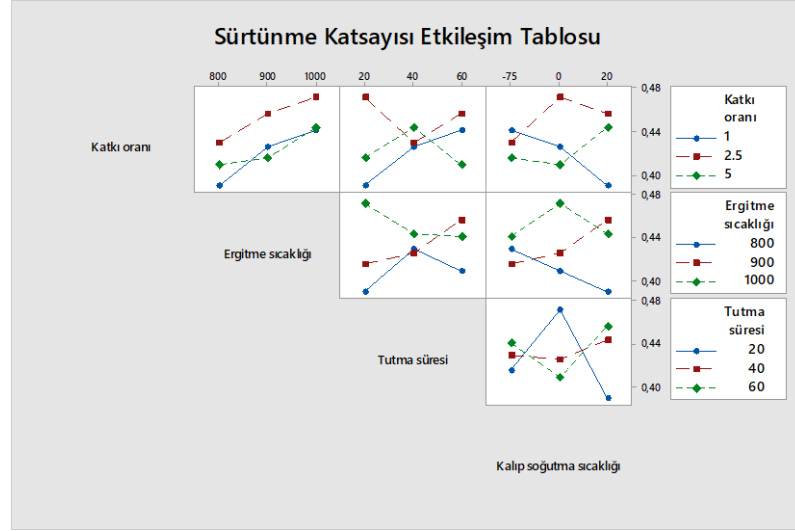
Tablo 4.5 incelendiğinde,  $H_0$  hipotezine göre  $\alpha=0,05$  önemlilik düzeyinde eğer  $p < \alpha$  ise reddedilir. Bu durumda SB katkı oranı, ergitme sıcaklığı, tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı faktörlerinin tümü için  $p > 0,05$  olduğundan, hiçbir faktörün sürtünme katsayısı üzerinde bir etkisinin olmadığını ifade etmektedir.

Seçilen deney faktörleri ve faktör seviyelerine göre kullanılan aşınma parametrelerine bağlı elde edilen sürtünme katsayısı regresyon denklemi aşağıdaki biçimde elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Sürtünme Katsayısı} = & 0,3879 + 0,0 \text{ Katkı oranı}_1 + 0,0339 \text{ Katkı oranı}_2 + 0,0039 \\ & \text{Katkı oranı}_3 + 0,0 \text{ Ergitme sıcaklığı}_4 + 0,0232 \text{ Ergitme sıcaklığı}_5 + 0,0426 \\ & \text{Ergitme sıcaklığı}_6 + 0,0 \text{ Tutma süresi}_7 + 0,0079 \text{ Tutma süresi}_8 + 0,0099 \\ & \text{Tutma süresi}_9 + 0,0 \text{ Kalıp soğutma sıcaklığı}_{10} + 0,0067 \text{ Kalıp soğutma} \\ & \text{sıcaklığı}_{11} + 0,0014 \text{ Kalıp soğutma sıcaklığı}_{12} \end{aligned}$$

Bununla birlikte, deney faktörleri ve seviyelerinin etkileşim grafiklerinde paralellikler, bir faktörün seviyesinin değişmesinin diğer faktörün etki derecesini değiştirmediğini yani faktörler arasında etkileşim olmadığı anlamına gelmektedir. Grafiklerde kesişen doğrular ise bir faktör seviyesindeki değişimin diğer faktörün etki derecesini değiştirdiği yani faktörler arasında etkileşim olduğunu göstermektedir. [61]

Bu kapsamda Şekil 4.45'te sürtünme katsayısı için faktörler arası etkileşim tablosu verilmiştir.



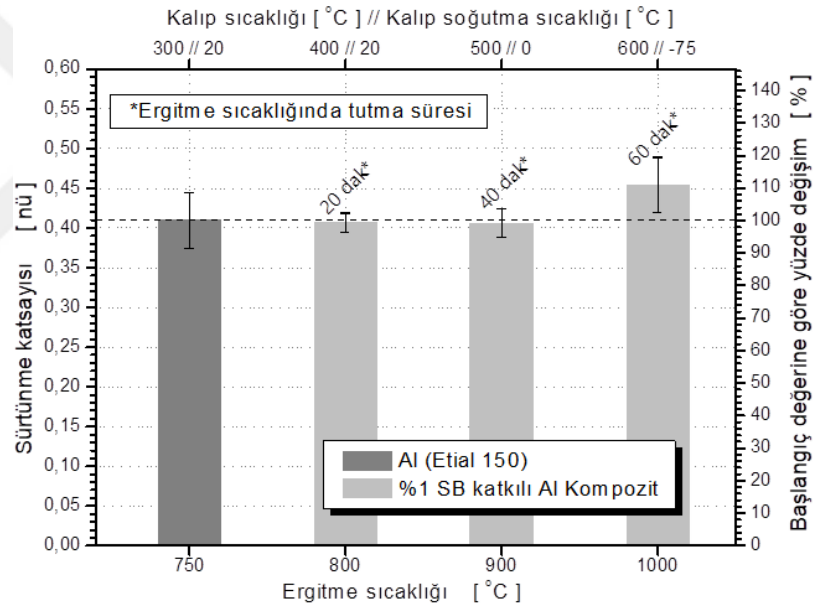
Şekil 4.45. EA150/SB kompozit malzemesi sürtünme katsayısı etkileşim tablosu

SB katkı oranı ve ergitme sıcaklığı faktörleri arasında zayıf bir etkileşim olduğu görülürken, diğer tüm faktörler ve faktörlerin tüm seviyeleri arasında güçlü bir etkileşim olduğu görülmektedir. Sürtünme katsayısı değerinin düşük istendiği göz önünde bulundurularak, katkı oranı ve tutma süresi faktörleri etkileşimi incelendiğinde en iyi kombinasyonun %1 SB katkı oranı ve 20 dak tutma süresi olduğu, katkı oranı ve kalıp soğutma faktörleri incelendiğinde en iyi kombinasyonun %1 SB katkı oranı ile 20°C kalıp soğutma sıcaklığının olduğu, ergitme sıcaklığı ve tutma süresi faktörleri için en iyi kombinasyonun 800°C ergitme sıcaklığı ve 20 dak tutma süresi olduğu, ergitme sıcaklığı ve kalıp soğutma sıcaklığı faktörleri için en iyi kombinasyonun 800°C ergitme sıcaklığı ve 20°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu ve tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı faktörlerinin etkileşimini incelediğimizde ise en iyi kombinasyonun 20 dak tutma süresi ve 20°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu tespit edildi.

Ancak ve ancak, Yöntem O.'nun yapmış olduğu tez çalışması [55] verileri ile kıyaslama yapabilmek amacıyla bu çalışmada da seçilen 1N'luk aşınma yükünün sürtünme katsayısı verilerini değerlendirmede yeterli olmadığı, anova analizi sonrası hiçbir faktörün ve seviyesinin sürtünme katsayısı için etkili olmadığı sonucundan ve dolayısıyla sayıların (verilerin) anlamsızlığından dolayı olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple aşınma testleri ayrıca 5N'luk aşınma yükü altında tekrar gerçekleştirildi.

Saf (EA150) alüminyum alaşım malzemesinin sürtünme katsayısının sabit, basınçsız döküm parametrelerinin tesirine bağlı değişimi Şekiller 4.46, 4.47 ve 4.48’te; farklı imalat parametrelerinde ve sabit hacimce %1 SB katkı oranına bağlı değişimi Şekil 4.49’da, sabit hacimce %2,5 SB katkı oranına bağlı değişimi Şekil 4.50’de ve sabit hacimce %5 SB katkı oranına bağlı değişimi ise Şekil 4.51’de verilmiştir.

Şekil 4.46 incelendiğinde; saf malzemeye oranla düşük sürtünme katsayısı istendiği için saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısının hacimce %1 SB katkı oranında 800°C ve 900°C de kısmen azalırken 1000°C de arttığı görüldü. %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat (ergitme sıcaklığı, ergitme sıcaklığında tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.



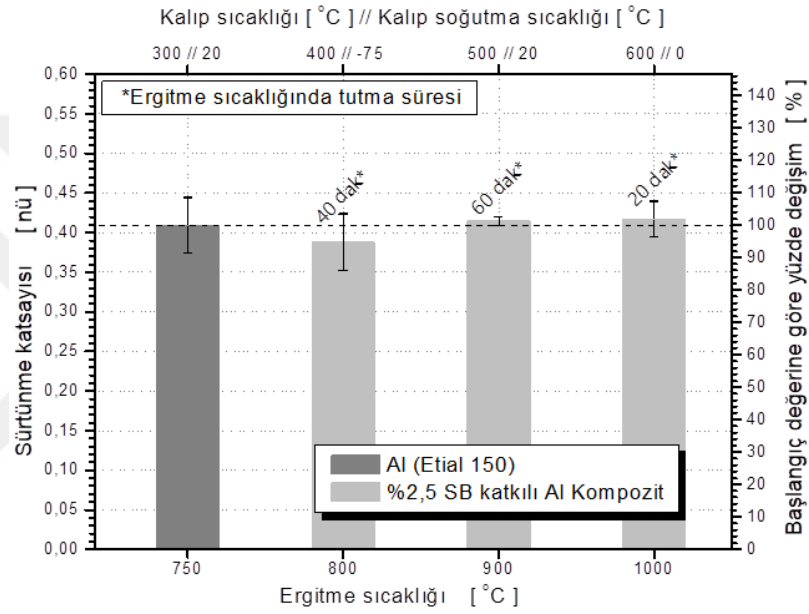
Şekil 4.46. 5N altında %1 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.46’den hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını, ergitme sıcaklığı 900°C’de %1 oranında azalttığı ve 1000°C ‘de ise %11 oranında artırdığı tespit edildi.

Şekil 4.47 incelendiğinde; saf malzemeye oranla düşük sürtünme katsayısı istendiği için, saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısının hacimce %2,5 SB katkı oranında 800°C ergitme sıcaklığında azaldığı görülürken 900°C ve 1000°C ergitme

sıcaklıklarında artış olduğu görüldü. %2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

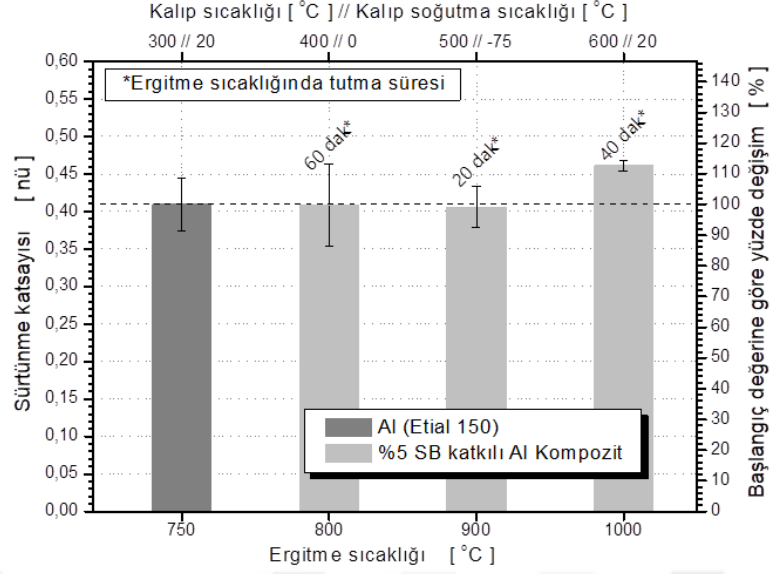
Ayrıca Şekil 4.47'den hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını, ergitme sıcaklığı 800°C %6 oranında azalttığı ve ergitme sıcaklığı 900°C ve 1000°C'de ise sırasıyla %1 ve %2 oranlarında artırdığı tespit edildi.



Şekil 4.47. 5N altında %2,5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının imalat parametrelerine göre değişimi

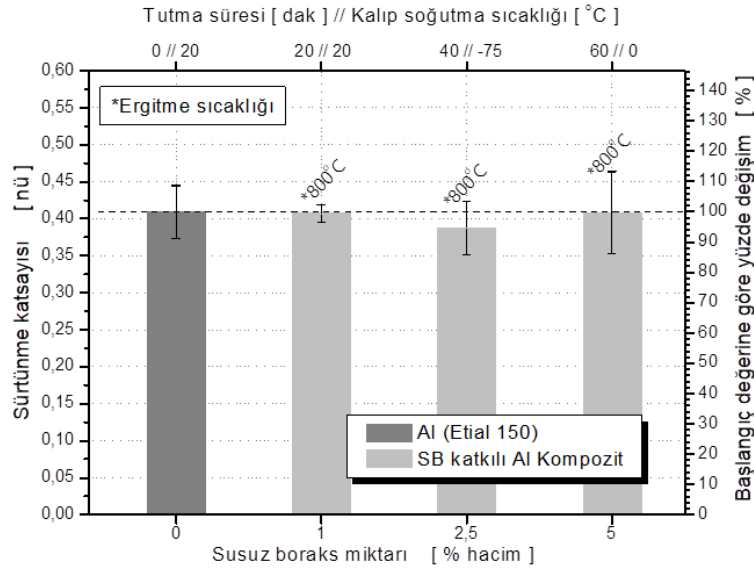
Şekil 4.48 incelendiğinde; saf malzemeye oranla düşük sürtünme katsayısı istendiği için, saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısının hacimce %5 SB katkı oranında 800°C ve 900°C ergitme sıcaklıklarında kısmen azaldığı görülürken 1000°C ergitme sıcaklığında artış olduğu görüldü. %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.48'den hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını, sırasıyla ergitme sıcaklığı 800°C ve 900°C'de %0,5 ve %1 oranlarında azalttığı ve ergitme sıcaklığı 1000°C 'de ise %13 oranında artırdığı tespit edildi.



Şekil 4.48. 5N altında %5 SB katkılı EA150 kompozit malzemenin sürtünme katsayısının imalat parametrelerine göre değişimi

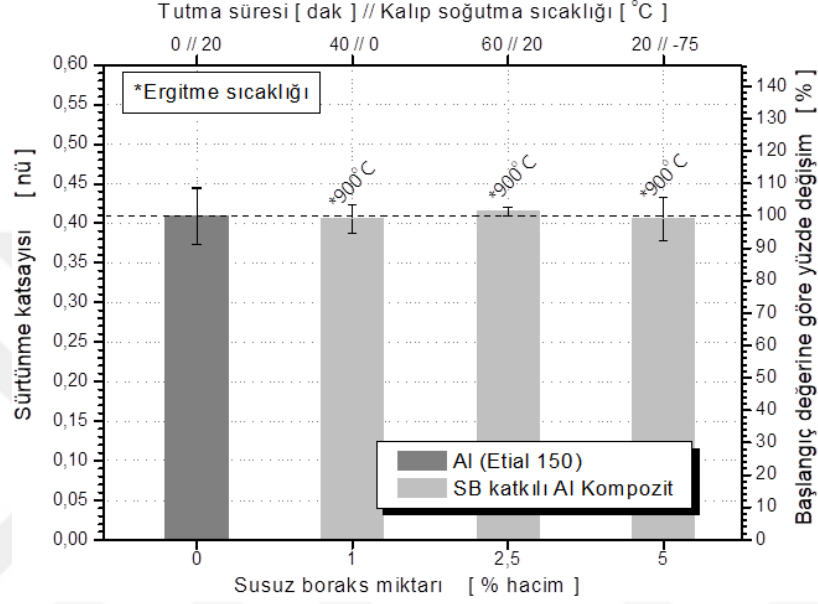
Şekil 4.49 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 800°C ergitme sıcaklığında sürtünme katsayısının hacimce SB katkı oranları %1 ve %5'den kısmen olumlu etkilendiği tespit edilirken, %2,5 oranının en iyi etkiyi göstererek sürtünme katsayısını %6 oranında azalttığı görüldü. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.



Şekil 4.49. Ergitme sıcaklığı 800°C olan EA150 kompozit malzemenin 5N altında sürtünme katsayısının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi



Şekil 4.50 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 900°C ergitme sıcaklığında sürtünme katsayısının hacimce %1 ve %5 SB katkı oranlarından kısmen olumlu etkilendiği tespit edilirken, %2,5 SB katkı oranından olumsuz etkilendiği görüldü. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

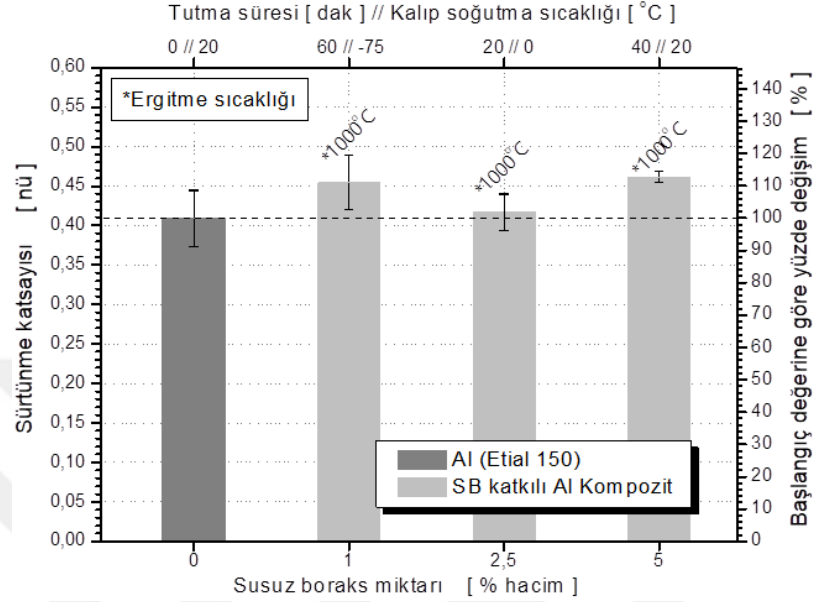


Şekil 4.50. Ergitme sıcaklığı 900°C olan EA150 kompozit malzemenin 5N altında sürtünme katsayısının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Ayrıca Şekil 4.50'den sırasıyla %1 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını yaklaşık %1 oranında azalttığı, %2,5 SB katkı oranının ise sürtünme katsayısını yaklaşık %1 oranında artırdığı görülmektedir.

Şekil 4.51 incelendiğinde; saf EA150 malzemesinin sabit 1000°C ergitme sıcaklığında sürtünme katsayısının hacimce SB katkı oranlarının tamamından (%1, 2,5 ve 5) olumsuz etkilendiği görüldü. EA150 kompozit malzemenin imalat parametrelerinin her birinden daha fazla olumlu/olumsuz fakat belirlenemeyen (öngörülemeyen) farklı miktarlarda etkilendiği de tespit edildi.

Ayrıca Şekil 4.51’den sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını yaklaşık %11, %2 ve %13 oranlarında artırdığı görünmektedir.



Şekil 4.51. Ergitme sıcaklığı 1000°C olan EA150 kompozit malzemenin 5N altında sürtünme katsayısının SB katkı miktarına ve imalat parametrelerine göre değişimi

Sonuç itibariyle SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı için SB katkı oranı parametresinin diğer imalat parametrelerine göre çok daha etkili olduğu tespit edilirken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, hacimce %2,5 SB katkısı ve 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin, EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını %6 oranında azaltarak yapılan gözlemler içinde en iyi üretim parametreleri olduğu tespit edildi.

Tablo 4.6 incelendiğinde,  $H_0$  hipotezine göre  $\alpha=0,05$  önemlilik düzeyinde eğer  $p<\alpha$  ise reddedilir. Bu durumda, sürtünme katsayısı analizinde SB katkı oranı faktörü için  $p<0,05$  olduğundan  $H_0$  hipotezi reddedilir. Diğer bir ifade ile belirtilen bu faktörün sürtünme katsayısı değeri üzerinde etkisi vardır. Diğer yandan ergitme sıcaklığı, tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı faktörü için ise  $p>0,05$  olduğundan sürtünme katsayısı üzerinde bir etkisinin olmadığını ifade etmektedir.

Tablo 4.6. EA150/SB 5N yük altında sürtünme katsayısı ANOVA tablosu

Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
SB katkı oranı (%)	2	0,010011	0,005005	6,190	0,009
Ergitme sıcaklığı (°C)	2	0,001718	0,000859	1,060	<b>0,366</b>
Tutma süresi (dak)	2	0,001433	0,000716	0,890	<b>0,430</b>
Kalıp soğutma sıcaklığı (°C)	2	0,001102	0,000551	0,680	<b>0,519</b>
Hata	18	0,014559	0,000809		
Toplam	26	0,028822			

Seçilen deney faktörleri ve faktör seviyelerine göre kullanılan aşınma parametrelerine bağlı elde edilen sürtünme katsayısı regresyon denklemi aşağıdaki biçimde elde edilmiştir.

$$\text{Sürtünme katsayısı} = 0,3862 + 0,0 \text{ Katkı oranı}_1 + 0,0096 \text{ Katkı oranı}_2.5 + 0,0448 \text{ Katkı oranı}_5 + 0,0 \text{ Ergitme sıcaklığı}_800 - 0,0143 \text{ Ergitme sıcaklığı}_900 + 0,0043 \text{ Ergitme sıcaklığı}_1000 + 0,0 \text{ Tutma süresi}_20 + 0,0102 \text{ Tutma süresi}_40 + 0,0178 \text{ Tutma süresi}_60 + 0,0 \text{ Kalıp soğutma sıcaklığı}_{-75} + 0,0056 \text{ Kalıp soğutma sıcaklığı}_0 + 0,0154 \text{ Kalıp soğutma sıcaklığı}_20$$

Tablo 4.5 ile 4.6 karşılaştırıldığında aşınma test parametrelerinden sadece aşınma yükü değiştirildiğinde SB katkısının sürtünme katsayısı üzerinde etkisinin ve/veya anlamlılığının olduğu tespit edilebildiğine göre, sürtünme katsayısı için diğer aşınma test parametrelerinin (aşınma hızının, aşınma yolunun ve aşındırıcının) değiştirilerek deney faktörlerinin farklı anlamlılıklar verebileceği kanaati taşınmaktadır.

#### 4.6.2. Sertlik deneyleri sonuçlarının analizi

Tablo 4.7’de sertlik deneylerine göre yanıt değişkenlerinin S/G oranları için yanıt tablosu verilmiştir. Brinell sertliğini etkileyen faktörleri S/G oran tablosuna göre incelediğimizde en etkili faktörün en yüksek delta değerine sahip SB katkı oranının

olduğu görülürken onu sırasıyla ergitme sıcaklığı, tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı takip etmektedir.

Tablo 4.7. EA150/SB Sertlik testleri sonuçlarına göre S/G oranları yanıt tablosu

Yanıt değişkeni	Seviye	Faktörler			
Brinell Sertliği (HB)		SB Katkı Oranı	Ergitme sıcaklığı	Tutma süresi	Kalıp soğutma sıcaklığı
	1	<b>39,06</b>	<b>37,91</b>	37,7	<b>37,74</b>
	2	37,26	37,60	<b>37,81</b>	37,73
	3	36,81	37,63	37,63	37,67
	Fark	2,24	0,31	0,18	0,07
	Sıra	1	2	3	4
Martens Sertliği (HM)		SB Katkı Oranı	Ergitme sıcaklığı	Tutma süresi	Kalıp soğutma sıcaklığı
	1	59,09	58,18	57,91	<b>58,01</b>
	2	57,59	<b>57,78</b>	<b>57,92</b>	57,67
	3	<b>56,76</b>	57,47	57,60	57,75
	Fark	2,33	0,72	0,32	0,33
	Sıra	1	2	4	3
Vickers Sertliği (HV)		SB Katkı Oranı	Ergitme sıcaklığı	Tutma süresi	Kalıp soğutma sıcaklığı
	1	<b>39,82</b>	<b>38,91</b>	<b>38,63</b>	<b>38,73</b>
	2	38,32	38,48	38,62	38,34
	3	37,43	38,18	38,33	38,50
	Fark	2,39	0,73	0,30	0,39
	Sıra	1	2	4	3
Girinti Modülü (GPa)		SB Katkı Oranı	Ergitme sıcaklığı	Tutma süresi	Kalıp soğutma sıcaklığı
	1	<b>60,35</b>	<b>59,4</b>	59,12	<b>59,22</b>
	2	58,81	59,01	<b>59,15</b>	58,87
	3	57,93	58,67	58,82	59,00
	Fark	2,42	0,73	0,33	0,35
	Sıra	1	2	4	3

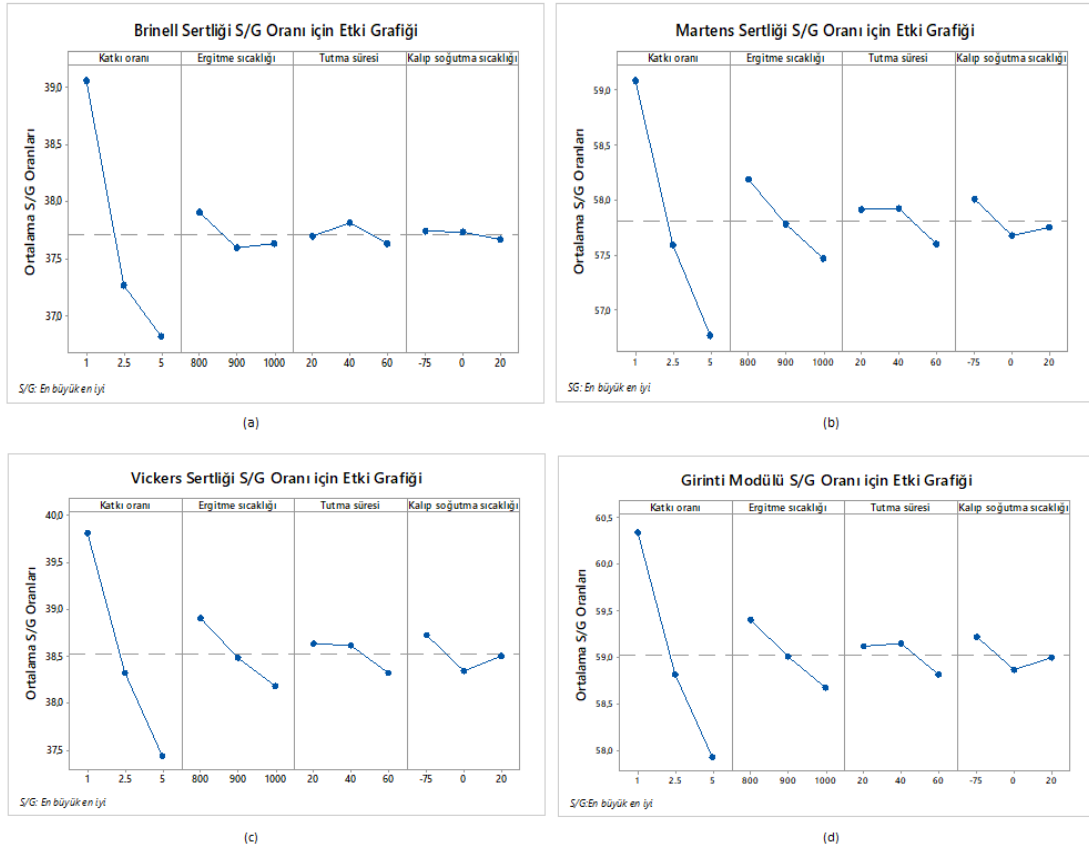
Martens sertliğini etkileyen faktörleri S/G oran tablosuna göre incelediğimizde en etkili faktörün en yüksek delta değerine sahip olan SB katkı oranı olduğu görülürken onu sırasıyla ergitme sıcaklığı, kalıp soğutma sıcaklığı ve tutma süresi takip etmektedir.

Vickers sertliğini etkileyen faktörleri S/G oran tablosuna göre incelediğimizde en etkili faktörün en yüksek delta değerine sahip olan SB katkı oranı olduğu görülürken

onu sırasıyla ergitme sıcaklığı, kalıp soğutma sıcaklığı ve tutma süresi takip etmektedir.

Girinti modülünü etkileyen faktörleri S/G oran tablosuna göre incelediğimizde etkili faktörün en yüksek delta değerine sahip olan SB katkı oranı olduğu görülürken onu sırasıyla ergitme sıcaklığı, kalıp soğutma sıcaklığı ve tutma süresi takip etmektedir.

Şekil 4.52’de yanıt değişkenlerine faktörlerin ve faktör seviyelerinin etkilerinin grafiksel görünümünü yer almaktadır. Tablo 4.7’de seviyeler arası en büyük farklılığa, yani delta değerine sahip olan seviyeler arasındaki farklılığın grafiksel gösterimi görülebilmektedir.



Şekil 4.52. EA150/SB kompozitin (a) Brinell sertliği, (b) Martens sertliği, (c) Vickers sertliği, (d) Girinti modülü S/G oranı etki grafikleri

Tablo 4.8’de EA150/SB kompozit numunelerin Brinell sertliği ANOVA tablosu yer almaktadır.  $H_0$  hipotezine göre  $\alpha=0,05$  önemlilik düzeyinde eğer  $p<\alpha$  ise reddedilir. Bu durumda, Brinell sertliğinde SB katkı oranı, ergitme sıcaklığı ve tutma süresi

faktörleri için  $p < 0,05$  olduğundan  $H_0$  hipotezi reddedilir. Diğer bir ifade ile belirtilen bu üç faktörün Brinell sertliği değeri üzerinde etkisi vardır. Diğer yandan kalıp soğutma sıcaklığı faktörü için ise  $p > 0,05$  olduğundan kalıp soğutma sıcaklığı faktörünün Brinell sertliği üzerinde bir etkisinin olmadığını ifade etmektedir.

Tablo 4.8. EA150/SB Brinell sertliği ANOVA tablosu

Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
SB katkı oranı (%)	2	4254,56	2127,28	682,30	0,000
Ergitme sıcaklığı (°C)	2	81,75	40,88	13,11	0,000
Tutma süresi (dak)	2	24,74	12,37	3,97	0,026
Kalıp soğutma sıcaklığı (°C)	2	2,32	1,16	0,37	<b>0,692</b>
Hata	45	140,30	3,12		
Toplam	53	4503,67			

Seçilen deney faktörleri ve faktör seviyelerine göre kullanılan sertlik ölçümlerine bağlı elde edilen Brinell sertliği regresyon denklemi aşağıdaki biçimde elde edilmiştir.

Brinell Sertliği = 91,617 + 0,0 Katkı oranı\_1 - 16,672 Katkı oranı\_2.5 - 20,422 Katkı oranı\_5 + 0,0 Ergitme sıcaklığı\_800 - 2,694 Ergitme sıcaklığı\_900 - 2,517 Ergitme sıcaklığı\_1000 + 0,0 Tutma süresi\_20 + 0,906 Tutma süresi\_40 - 0,750 Tutma süresi\_60 + 0,0 Kalıp soğutma sıcaklığı\_-75 - 0,061 Kalıp soğutma sıcaklığı\_0 - 0,467 Kalıp soğutma sıcaklığı\_20

Tablo 4.9’da EA150/SB kompozit numunelerin Martens sertliği ANOVA tablosu yer almaktadır.  $H_0$  hipotezine göre  $\alpha = 0,05$  önemlilik düzeyinde eğer  $p < \alpha$  ise reddedilir. Bu durumda, Martens sertliğinde SB katkı oranı, ergitme sıcaklığı ve tutma süresi faktörleri için  $p < 0,05$  olduğundan  $H_0$  hipotezi reddedilir. Diğer bir ifade ile belirtilen bu üç faktörün Martens sertliği değeri üzerinde etkisi vardı. Diğer yandan kalıp soğutma sıcaklığı faktörü için ise  $p > 0,05$  olduğundan kalıp soğutma sıcaklığı faktörünün Martens sertliği üzerinde bir etkisinin olmadığını ifade etmektedir.

Tablo 4.9. EA150/SB Martens sertliği ANOVA tablosu

Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
SB katkı oranı (%)	2	207344	103672	134,66	0,000
Ergitme sıcaklığı (°C)	2	20049	10024	13,02	0,000
Tutma süresi (dak)	2	5641	2820	3,66	0,046
Kalıp soğutma sıcaklığı (°C)	2	3490	1745	2,27	<b>0,132</b>
Hata	18	13858	770		
Toplam	26	250383			

Seçilen deney faktörleri ve faktör seviyelerine göre kullanılan sertlik ölçümlerine bağlı elde edilen Martens sertliği regresyon denklemi aşağıdaki biçimde elde edilmiştir.

Martens sertliği = 961,4 + 0,0 Katkı oranı\_1 - 142,6 Katkı oranı\_2.5 - 210,3 Katkı oranı\_5 + 0,0 Ergitme sıcaklığı\_800 - 40,1 Ergitme sıcaklığı\_900 - 66,3 Ergitme sıcaklığı\_1000 + 0,0 Tutma süresi\_20 + 1,1 Tutma süresi\_40 - 30,1 Tutma süresi\_60 + 0,0 Kalıp soğutma sıcaklığı\_-75 - 27,7 Kalıp soğutma sıcaklığı\_0 - 16,6 Kalıp soğutma sıcaklığı\_20

Tablo 4.10'da EA150/SB kompozit numunelerin Vickers sertliği ANOVA tablosu yer almaktadır. Vickers sertliği analiz sonuçlarında göre SB katkı oranı ve ergitme sıcaklığı faktörleri için  $p < 0,05$  olması nedeniyle  $H_0$  hipotezi reddedilir.

Tablo 4.10. EA150/SB Vickers sertliği ANOVA tablosu

Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
SB katkı oranı (%)	2	2541,1	1270,55	126,82	0,000
Ergitme sıcaklığı (°C)	2	251,37	125,69	12,55	0,000
Tutma süresi (dak)	2	59,1	29,55	2,95	<b>0,078</b>
Kalıp soğutma sıcaklığı (°C)	2	58,49	29,25	2,92	<b>0,080</b>
Hata	18	180,33	10,02		
Toplam	26	3090,39			

Bu sonuç SB katkı oranı ve ergitme sıcaklığı faktör değerlerinin Vickers sertliği üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir. Fakat tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı

faktörleri incelendiğinde  $p > 0,05$  olduğundan bu iki faktörün Vickers sertliği üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Seçilen deney faktörleri ve faktör seviyelerine göre kullanılan sertlik ölçümlerine bağlı elde edilen Vickers sertliği regresyon denklemi aşağıdaki biçimde elde edilmiştir.

Vickers sertliği =  $104,95 + 0,0 \text{ Katkı oranı}_1 - 15,47 \text{ Katkı oranı}_{2.5} - 23,36 \text{ Katkı oranı}_5 + 0,0 \text{ Ergitme sıcaklığı}_{800} - 4,76 \text{ Ergitme sıcaklığı}_{900} - 7,37 \text{ Ergitme sıcaklığı}_{1000} + 0,0 \text{ Tutma süresi}_{20} - 0,19 \text{ Tutma süresi}_{40} - 3,23 \text{ Tutma süresi}_{60} + 0,0 \text{ Kalıp soğutma sıcaklığı}_{-75} - 3,59 \text{ Kalıp soğutma sıcaklığı}_0 - 1,48 \text{ Kalıp soğutma sıcaklığı}_{20}$

Tablo 4.11’de EA150/SB kompozit numunelerin Girinti Modülü ANOVA tablosu yer almaktadır. Girinti modülü analiz sonuçlarında göre ise SB katkı oranı ve ergitme sıcaklığı faktörleri için  $p < 0,05$  olması nedeniyle  $H_0$  hipotezi reddedilir.

Bu sonuç SB katkı oranı ve ergitme sıcaklığı faktör değerlerinin Girinti modülü üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir. Fakat tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı faktörleri incelendiğinde  $p > 0,05$  olduğundan bu iki faktörün Girinti modülü üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Tablo 4.11. EA150/SB Girinti Modülü ANOVA tablosu

Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
SB katkı oranı (%)	2	295812	147906	131,28	0,000
Ergitme sıcaklığı (°C)	2	27657	13828	12,27	0,000
Tutma süresi (dak)	2	7559	3780	3,35	<b>0,058</b>
Kalıp soğutma sıcaklığı (°C)	2	5040	2520	2,24	<b>0,136</b>
Hata	18	20280	1127		
Toplam	26	356348			

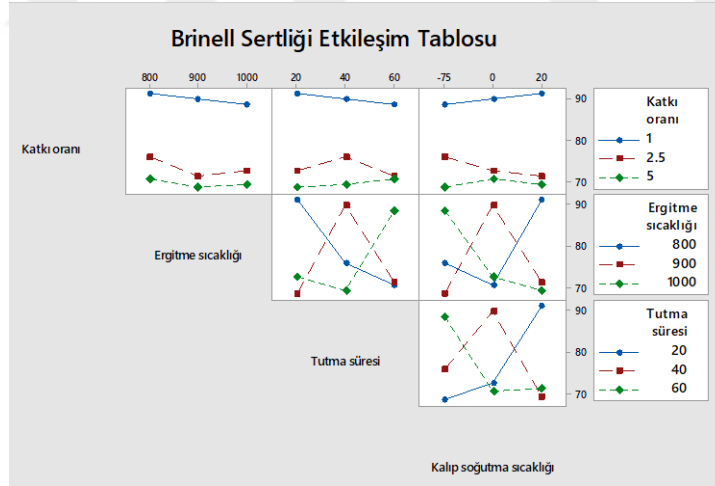
Seçilen deney faktörleri ve faktör seviyelerine göre kullanılan sertlik ölçümlerine bağlı elde edilen Vickers sertliği regresyon denklemi aşağıdaki biçimde elde edilmiştir.



Girinti modülü = 1110,6 + 0,0 Katkı oranı\_1 - 168,3 Katkı oranı\_2.5 - 251,7 Katkı oranı\_5 + 0,0 Ergitme sıcaklığı\_800 - 45,8 Ergitme sıcaklığı\_900 - 78,0 Ergitme sıcaklığı\_1000 + 0,0 Tutma süresi\_20 + 2,6 Tutma süresi\_40 - 34,1 Tutma süresi\_60 + 0,0 Kalıp soğutma sıcaklığı\_-75 - 33,4 Kalıp soğutma sıcaklığı\_0 - 15,7 Kalıp soğutma sıcaklığı\_20

Şekil 4.53'te Brinell sertliği için faktörler arası etkileşim tablosu verilmiştir. SB katkı oranı ile diğer faktörlerin etkileşiminin olmadığı görülürken, diğer faktörlerin ve faktör seviyelerinin güçlü bir etkileşim içinde olduğu görülmektedir.

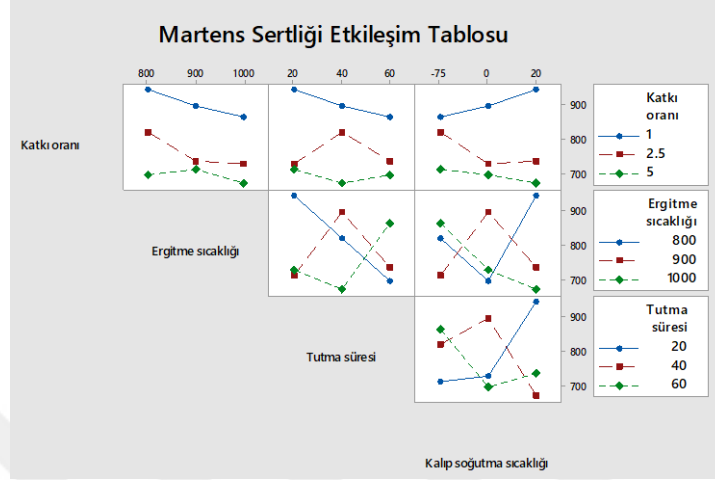
Ergitme sıcaklığı ve tutma süresi etkileşimi incelendiğinde en iyi kombinasyonun 800°C ergitme sıcaklığı, 20dak tutma süresi olduğu, ergitme sıcaklığı ve kalıp soğutma sıcaklığı için en iyi kombinasyonun 800°C ergitme sıcaklığı ve 20°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu ve tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı için ise en iyi kombinasyonun 20dak tutma süresi ve 20°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu tespit edildi.



Şekil 4.53. Şekil 4.46. EA150/SB kompozit malzemesi Brinell sertliği etkileşim tablosu

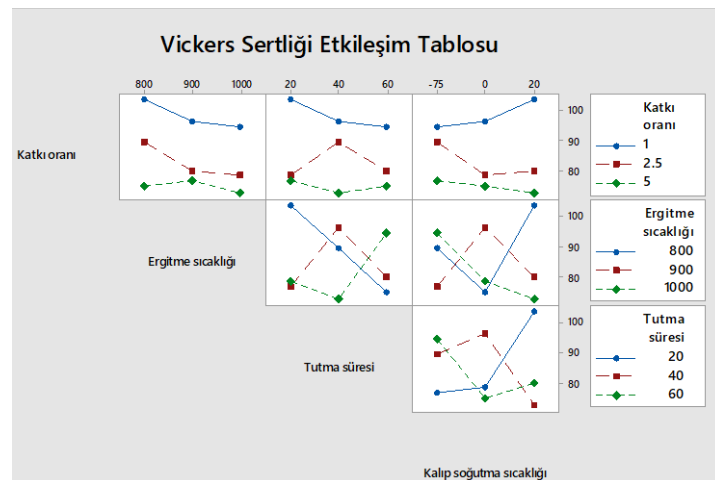
Şekil 4.54'te Martens sertliği için faktörler arası etkileşim tablosu verilmiştir. SB katkı oranı ile diğer faktörlerin etkileşiminin olmadığı görülürken, diğer faktörlerin ve faktör seviyelerinin güçlü bir etkileşim içinde olduğu görülmektedir. Ergitme sıcaklığı ve tutma süresi etkileşimi incelendiğinde en iyi kombinasyonun 800°C ergitme sıcaklığı, 20dak tutma süresi olduğu, ergitme sıcaklığı ve kalıp soğutma sıcaklığı için en iyi

kombinasyonun 800°C ergitme sıcaklığı ve 20°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu ve tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı için ise en iyi kombinasyonun 20dak tutma süresi ve 20°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu tespit edildi.



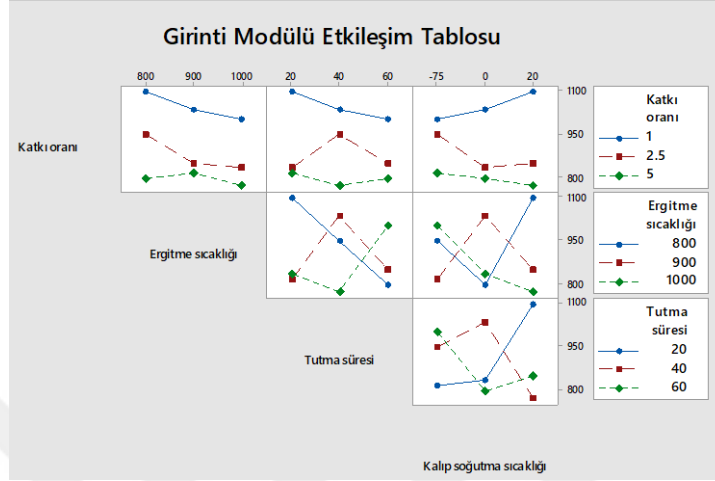
Şekil 4.54 EA150/SB kompozit malzemesi Martens sertliği etkileşim tablosu

Şekil 4.55'te Vickers sertliği için faktörler arası etkileşim tablosu verilmiştir. SB katkı oranı ile diğer faktörlerin etkileşiminin olmadığı görülürken, diğer faktörlerin ve faktör seviyelerinin güçlü bir etkileşim içinde olduğu görülmektedir. Ergitme sıcaklığı ve tutma süresi etkileşimi incelendiğinde en iyi kombinasyonun 800°C ergitme sıcaklığı, 20dak tutma süresi olduğu, ergitme sıcaklığı ve kalıp soğutma sıcaklığı için en iyi kombinasyonun 800°C ergitme sıcaklığı ve 20°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu ve tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı için ise en iyi kombinasyonun 20dak tutma süresi ve 20°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu tespit edildi.



Şekil 4.55. EA150/SB kompozit malzemesi Vickers sertliği etkileşim tablosu

Şekil 4.56’da Girinti modülü için faktörler arası etkileşim tablosu verilmiştir. SB katkı oranı ile diğer faktörlerin etkileşiminin olmadığı görülürken, diğer faktörlerin ve faktör seviyelerinin güçlü bir etkileşim içinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.56. EA150/SB kompozit malzemesi Girinti modülü etkileşim tablosu

Ergitme sıcaklığı ve tutma süresi etkileşimi incelendiğinde en iyi kombinasyonun 800°C ertitme sıcaklığı, 20dak tutma süresi olduğu, ertitme sıcaklığı ve kalıp soğutma sıcaklığı için en iyi kombinasyonun 800°C ertitme sıcaklığı ve 20°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu ve tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı için ise en iyi kombinasyonun 20dak tutma süresi ve 20°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu tespit edildi.

#### 4.6.3. Üç nokta eğme deneyi sonuçları analizi

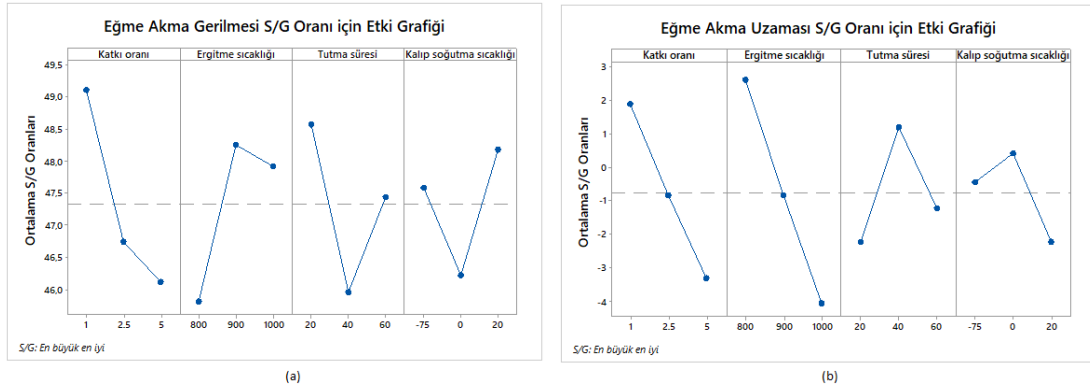
Tablo 4.12’de üç nokta eğme testlerine göre yanıt değişkenlerinin S/G oranları için yanıt tablosu verilmiştir. Eğme akma gerilmesini etkileyen faktörleri S/G oran tablosuna göre incelediğimizde en etkili faktörün en yüksek delta değerine sahip SB katkı oranının olduğu görülürken onu sırasıyla tutma süresi, ertitme sıcaklığı ve kalıp soğutma sıcaklığı takip etmektedir.

Eğme akma uzamasını etkileyen faktörleri S/G oran tablosuna göre incelediğimizde ise en etkili faktörün en yüksek delta değerine sahip olan ertitme sıcaklığı olduğu görülürken onu sırasıyla SB katkı oranı, tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı takip etmektedir.

Tablo 4.12. EA150/SB kompozitin üç nokta eğme deneyi sonuçlarına göre S/G oranları yanıt tablosu

Yanıt değişkeni	Seviye	Faktörler			
Eğme akma gerilmesi (MPa)		SB Katkı Oranı	Ergitme sıcaklığı	Tutma süresi	Kalıp soğutma sıcaklığı
	1	<b>49,1</b>	45,81	<b>48,57</b>	47,58
	2	46,75	<b>48,25</b>	45,97	46,22
	3	46,13	47,92	47,44	<b>48,18</b>
	Fark	2,97	2,44	2,6	1,96
	Sıra	1	3	2	4
Yanıt değişkeni	Seviye	Faktörler			
Eğme akma uzaması (mm)		SB Katkı Oranı	Ergitme sıcaklığı	Tutma süresi	Kalıp soğutma sıcaklığı
	1	<b>1,8608</b>	<b>2,6045</b>	-2,243	-0,449
	2	-0,8306	-0,8498	<b>1,1716</b>	<b>0,3969</b>
	3	-3,3236	-4,0479	-1,2219	-2,2411
	Fark	5,1844	6,6524	3,4146	2,638
	Sıra	2	1	3	4

Şekil 4.57’de yanıt değişkenlerine faktörlerin ve faktör seviyelerinin etkilerinin grafiksel görünümü yer almaktadır. Tablo 4.13’te seviyeler arası en büyük farklılığa, yani delta değerine sahip olan seviyeler arasındaki farklılığın grafiksel gösterimi görülebilmektedir.



Şekil 4.57. EA150/SB kompozit malzemesi (a) Eğme akma gerilmesi, (b) Eğme akma uzaması S/G oranı etki grafikleri

Tablo 4.13’te EA150/SB kompozit numunelerin eğme akma gerilmesi ANOVA tablosu yer almaktadır.

Eğme akma gerilmesi anova analiz sonuçlarına göre tüm faktörler (SB katkı oranı, ergitme sıcaklığı, tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) için  $p < 0,05$  olması nedeniyle  $H_0$  hipotezi reddedilir. Bu sonuç da tüm faktörlerin eğme akma gerilmesi üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.13. EA150/SB Eğme akma gerilmesi ANOVA tablosu

Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
SB katkı oranı (%)	2	32218	16109,2	49,85	0,000
Ergitme sıcaklığı (°C)	2	15085	7542,3	23,34	0,000
Tutma süresi (dak)	2	21804	10902,1	33,73	0,000
Kalıp soğutma sıcaklığı (°C)	2	13268	6633,9	20,53	0,000
Hata	18	5817	323,2		
Toplam	26	88192			

Seçilen deney faktörleri ve faktör seviyelerine göre kullanılan üç nokta eğme parametrelerine bağlı elde edilen eğme akma gerilmesi regresyon denklemi aşağıdaki biçimde elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Eğme akma gerilmesi} = & 295,2 + 0,0 \text{ Katkı oranı}_1 - 63,74 \text{ Katkı oranı}_{2.5} - 80,06 \\ & \text{Katkı oranı}_5 + 0,0 \text{ Ergitme sıcaklığı}_{800} + 52,90 \text{ Ergitme sıcaklığı}_{900} + 46,83 \\ & \text{Ergitme sıcaklığı}_{1000} + 0,0 \text{ Tutma süresi}_{20} - 68,45 \text{ Tutma süresi}_{40} - 23,27 \text{ Tutma} \\ & \text{süresi}_{60} + 0,0 \text{ Kalıp soğutma sıcaklığı}_{-75} - 39,93 \text{ Kalıp soğutma sıcaklığı}_0 + 11,90 \\ & \text{Kalıp soğutma sıcaklığı}_{20} \end{aligned}$$

Tablo 4.14'te EA150/SB kompozit numunelerin eğme akma uzaması ANOVA tablosu yer almaktadır. Eğme akma uzaması analiz sonuçlarına göre tüm faktörler (SB katkı oranı, ergitme sıcaklığı, tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı) için  $p < 0,05$  olması nedeniyle  $H_0$  hipotezi reddedilir. Bu sonuç da tüm faktörlerin eğme akma uzaması üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir.

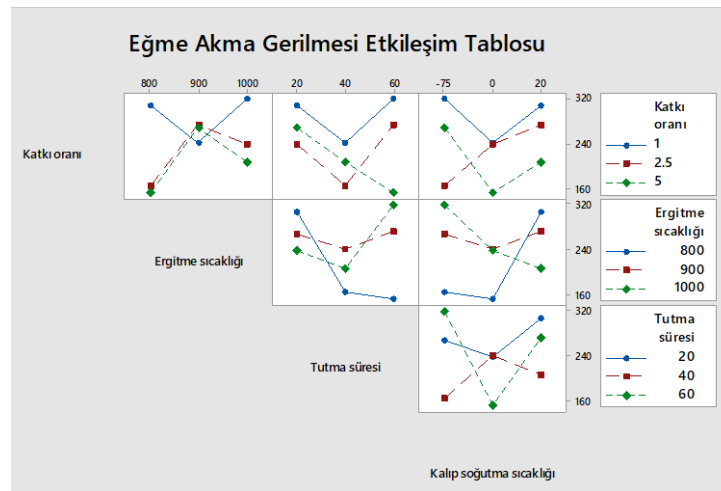
Tablo 4.14. EA150/SB Eğme akma uzaması ANOVA tablosu

Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
SB katkı oranı (%)	2	1,513	0,756	49,460	0,000
Ergitme sıcaklığı (°C)	2	2,499	1,250	81,720	0,000
Tutma süresi (dak)	2	1,410	0,705	46,100	0,000
Kalıp soğutma sıcaklığı (°C)	2	0,491	0,245	16,050	0,000
Hata	18	0,275	0,015		
Toplam	26	6,189			

Seçilen deney faktörleri ve faktör seviyelerine göre kullanılan üç nokta eğme parametrelerine bağlı elde edilen eğme akma uzaması regresyon denklemi aşağıdaki biçimde elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Eğme akma uzaması} = & 1,5372 + 0,0 \text{ Katkı oranı}_1 - 0,2719 \text{ Katkı oranı}_{2.5} - 0,5794 \\ & \text{Katkı oranı}_5 + 0,0 \text{ Ergitme sıcaklığı}_{800} - 0,3664 \text{ Ergitme sıcaklığı}_{900} - 0,7452 \\ & \text{Ergitme sıcaklığı}_{1000} + 0,0 \text{ Tutma süresi}_{20} + 0,5070 \text{ Tutma süresi}_{40} + 0,0480 \\ & \text{Tutma süresi}_{60} + 0,0 \text{ Kalıp soğutma sıcaklığı}_{-75} + 0,0949 \text{ Kalıp soğutma} \\ & \text{sıcaklığı}_{0} - 0,2266 \text{ Kalıp soğutma sıcaklığı}_{20} \end{aligned}$$

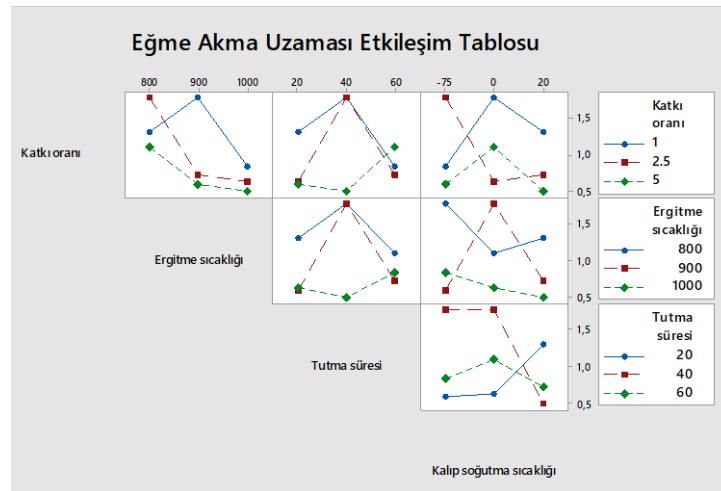
Şekil 4.58'de eğme akma gerilmesi için faktörler arası etkileşim tablosu verilmiştir. SB katkı oranı ile tutma süresi ve SB katkı oranı ile ergitme sıcaklığı arasındaki etkileşimin diğerlerine oranla kısmen daha az olduğu görülürken, diğer faktörler ve faktörlerin tüm seviyeleri arasında güçlü bir etkileşim olduğu görülmektedir.



Şekil 4.58. EA150/SB kompozit malzemesi eğme akma gerilmesi etkileşim tablosu

Ergitme sıcaklığı ve tutma süresi etkileşimi incelendiğinde en iyi kombinasyonun 1000°C ergitme sıcaklığı, 60dak tutma süresi olduğu, ergitme sıcaklığı ve kalıp soğutma sıcaklığı en iyi kombinasyonun 1000°C ergitme sıcaklığı ve -75°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu, tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı faktörlerinin etkileşimini incelediğimizde ise en iyi kombinasyonun 60dak tutma süresi ve -75°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu tespit edildi.

Şekil 4.59'da eğme akma uzaması için faktörler arası etkileşim tablosu verilmiştir. Tüm faktörlerin ve faktörlerin tüm seviyeleri arasında güçlü bir etkileşim olduğu görülmektedir. SB katkı oranı ve ergitme sıcaklığı faktörleri etkileşimi incelendiğinde en iyi kombinasyonun %1 katkı oranı ve 900C ergitme sıcaklığı olduğu, SB katkı oranı ve tutma süresi incelendiğinde en iyi kombinasyonun, aynı etkiye sahip olduğu için, %1 katkı oranı ve 40dak tutma süresi olduğu, SB katkı oranı ve kalıp soğutma sıcaklığı incelendiğinde en iyi kombinasyonun %1 katkı oranı ve 0°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu, ergitme sıcaklığı ve tutma süresi faktörlerinin etkileşimi incelendiğinde en iyi kombinasyonun, aynı etkiye sahip olduğu için, 800°C veya 900°C ergitme sıcaklığı ve 40dak tutma süresi olduğu, ergitme sıcaklığı ve kalıp soğutma sıcaklığı için en iyi kombinasyonun 800°C veya 900°C ergitme sıcaklığı ve 0°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu ve tutma süresi ve kalıp soğutma sıcaklığı faktörlerinin etkileşimini incelediğimizde ise en iyi kombinasyonun 40dak tutma süresi ve 0°C kalıp soğutma sıcaklığı olduğu tespit edildi.



Şekil 4.59. EA150/SB kompozit malzemesi eğme akma uzaması etkileşim tablosu

Ancak ve ancak anova analizi sonrası seçilen her bir deney faktörünün eğme akma gerilmesi ve eğme akma uzaması verilerini değerlendirmede etkili olduğu sonucu ve dolayısıyla sayıların (verilerin) anlamlı olduğu tespit edilse de, üç nokta eğme numunesi yapısında, 4.5 alt başlığında verilen Şekil 4.43'te görülen, basınçsız üretim sonucu oluşan hava boşluklukları nedeniyle eğme akma gerilmesi ve eğme akma uzaması değerlerinin gerçeği yansıtmadığı kanaati taşınmaktadır.

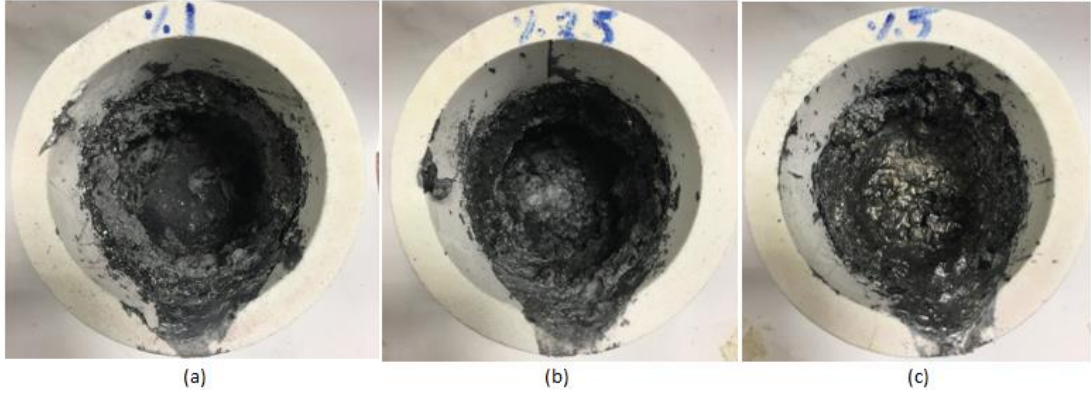
Bu kapsamda kalıp sıcaklığı ve kompozit malzeme üretim yöntemi değiştirilerek hava boşluksuz ve/veya asgari hava boşluğuna sahip kompozit malzemelerin üretilmesi gerçekleştirildi.

#### **4.7. Üretim optimizasyonu**

Basınçsız üretim sebebiyle kompozit malzeme yüzey ve iç yapısında oluşan boşlukları gidermek amacıyla, kalıp sıcaklığının etkisinin olabileceği düşüncesiyle kalıp sıcaklığını 400°C de sabit tutarak, 40 dak bekletme süresi, 1000°C ergitme sıcaklığı, %5 SB katkı oranı parametreleri kullanılarak standart üretim yöntemine uygun şekilde (alüminyum ve susuz boraks aynı potada birlikte ergitilerek) kompozit malzeme (AB1005D isimli) elde edildi ve kalıba döküldükten sonra su (20°C) ile soğutulularak yeni bir üretim gerçekleştirildi.

Şekil 4.60'ta görülebilen, ayrıca potanın çeperlerinde oluşan yapının belirsizliği sebebiyle ko-döküm yöntemi de (alüminyum ve susuz boraks ayrı ayrı ergitilip sonradan karıştırılıp) kullanılarak belirsiz yapıyı ortadan kaldırmak, susuz boraksın içinde bulunan Na ve O atomlarını mümkün olduğunca alüminyum ile etkileşime girmeden uzaklaştırmak, kompozit eriyik yüzeyinde oluşan cürufu azaltmak (ve bu cürufun ne olduğunu tespit etmek) ve kompozit malzeme içinde oluşan boşlukları gidermek amacıyla, kalıp sıcaklığını 400°C de sabit tutarak, 40 dak bekletme süresi (ayrı ayrı ergitilen malzemeler karıştırıldıktan hemen sonra bekletildi), 1000°C ergitme sıcaklığı ve %5 SB katkı oranı parametreleri kullanılarak kompozit malzeme (AB1005E isimli) elde edildi ve kalıba döküldükten sonra su (20°C) ile soğutulularak ikinci bir üretim gerçekleştirildi. İkinci üretim kompozit malzemelere aşınma testi, Brinell sertlik ölçümü ve üç nokta eğme deneyleri yapıldı.

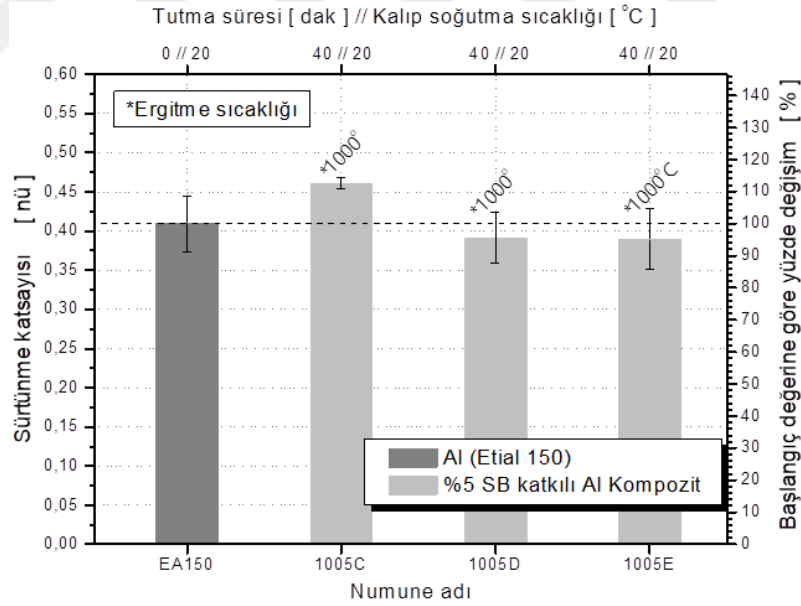




Şekil 4.60. Seramik potanın çeperinde kalan belirsiz yapı (a) %1, (b) %2,5 ve (c)%5 SB katkısı için kullanılan potalar

#### 4.7.1. İkinci üretim için aşınma testi

Şekil 4.61 incelendiğinde; saf malzemeye oranla düşük sürtünme katsayısı istendiği için saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısı, hacimce %5 SB katkı oranında 1000°C ergitme sıcaklığında gerçekleştirilen ilk üretimle kıyaslandığında kompozit malzemenin (1005C) sürtünme katsayısının %13 oranında arttığı görülmektedir.



Şekil 4.61. İlk ve ikinci EA150/SB kompozit malzeme üretimlerinin sürtünme katsayısı kıyaslama grafiği

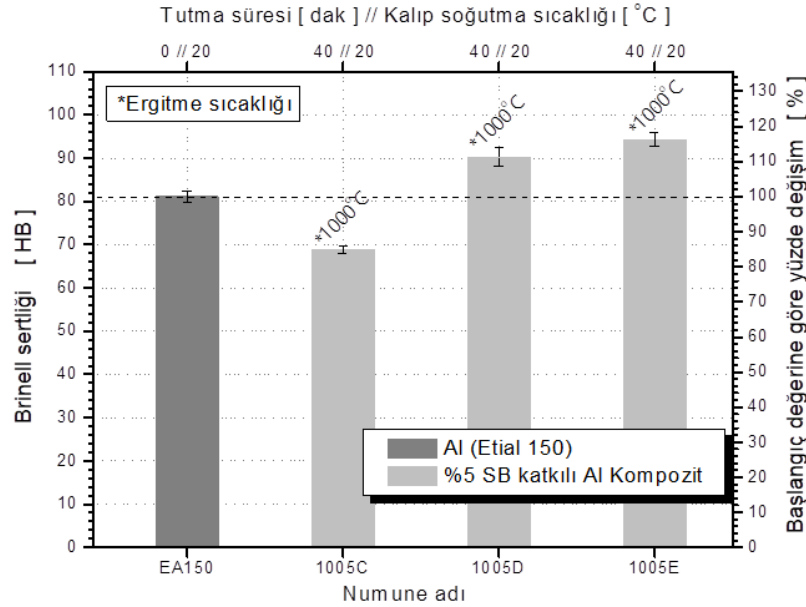
Üretimin optimizasyonu kapsamında gerçekleştirilen ikinci üretimler incelendiğinde ise standart üretime benzer şekilde gerçekleştirilen (sadece kalıp sıcaklığı 400°C olarak değiştirildi) üretimde kompozit malzeme (1005D) sürtünme katsayısı değerinin %4 oranında azaldığı, ko-ekstrüzyon yöntemi ile gerçekleştirilen üretim de ise

kompozit malzeme (1005E) sürtünme katsayısı değerinin saf malzemeye kıyasla %5 oranında azaldığı görüldü.

Sonuç olarak kalıp sıcaklığının etkili bir parametre olduğu görülürken, ko-döküm yöntemi ile gerçekleştirilen üretimin de numune özelliklerine kısmen de olsa etki ettiği tespit edildi.

#### 4.7.2. İkinci üretim için sertlik testi

Şekil 4.62 incelendiğinde; saf malzemeye oranla yüksek sertlik değeri istendiği için saf EA150 malzemesinin Brinell sertlik değeri, hacimce %5 SB katkı oranında 1000°C ergitme sıcaklığında gerçekleştirilen ilk üretim ile kıyaslandığında kompozit malzemenin (1005C) Brinell sertlik değerinin %15 oranında azaldığı görülmektedir. Üretimin optimizasyonu kapsamında gerçekleştirilen ikinci üretimler incelendiğinde ise standart üretime benzer şekilde gerçekleştirilen (sadece kalıp sıcaklığı 400°C olarak değiştirildi) üretimde kompozit malzeme (1005D) sertlik değerinin %11 oranında arttığı, ko-ekstrüzyon yöntemi ile gerçekleştirilen üretim de ise kompozit malzeme (1005E) sertlik değerinin saf malzemeye kıyasla %16 oranında arttığı görüldü.

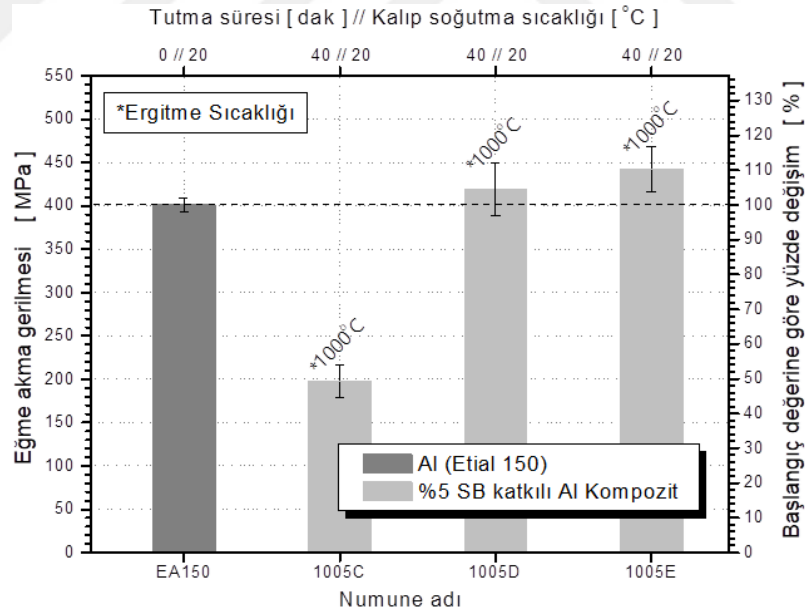


Şekil 4.62. İlk ve ikinci EA150/SB kompozit malzeme üretimlerinin Brinell sertliği kıyaslama grafiği

Sonuç olarak kalıp sıcaklığının etkili bir parametre olduğu görülürken, ko-ekstrüzyon yöntemi ile gerçekleştirilen üretimin de numune özelliklerine kısmen de olsa etki ettiği tespit edildi.

#### 4.7.3. İkinci üretim için üç nokta eğme testi

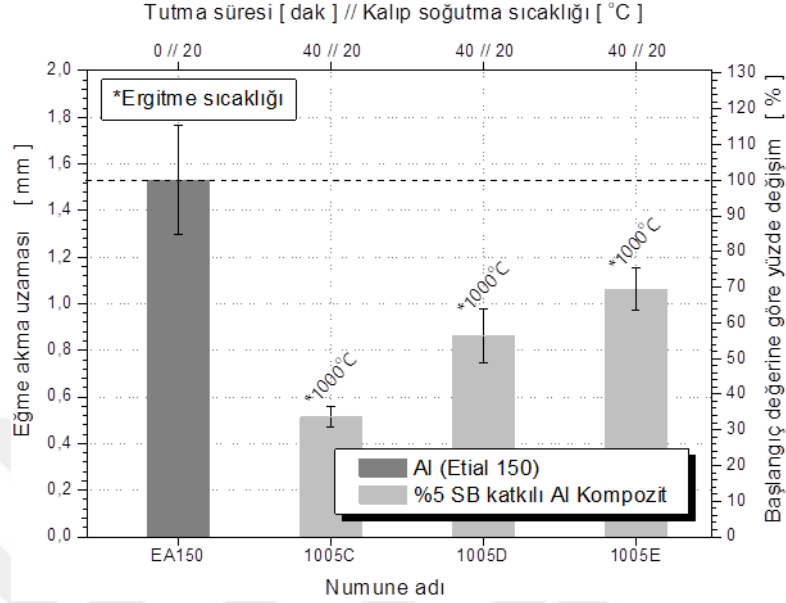
Şekil 4.63 incelendiğinde, saf malzemeye oranla yüksek eğme akma gerilmesi istendiği için saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesi değeri hacimce %5 SB katkı oranında 1000°C ergitme sıcaklığında gerçekleştirilen ilk üretim ile kıyaslandığında kompozit malzemenin (1005C) eğme akma gerilmesi değerinin %50 oranında azaldığı görülmektedir. Üretimin optimizasyonu kapsamında gerçekleştirilen ikinci üretimler incelendiğinde ise standart üretime benzer şekilde gerçekleştirilen (sadece kalıp sıcaklığı 400°C olarak değiştirilen) üretimde kompozit malzeme (1005D) eğme akma gerilmesi değerinin saf malzemeye kıyasla %5 oranında arttığı, ko-döküm yöntemi ile gerçekleştirilen üretim de ise kompozit malzeme (1005E) eğme akma gerilmesi değerinin saf malzemeye kıyasla %10 oranında arttığı görüldü.



Şekil 4.63. İlk ve ikinci EA150/SB kompozit malzeme üretimlerinin eğme akma gerilmesi karşılaştırma grafiği

Şekil 4.64 incelendiğinde, saf malzemeye oranla yüksek eğme akma uzaması istendiği için saf EA150 malzemesinin eğme akma uzaması değeri hacimce %5 SB katkı oranında 1000°C ergitme sıcaklığında gerçekleştirilen ilk üretim ile kıyaslandığında

kompozit malzemenin (1005C) eğme akma uzaması değerinin %66 oranında azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.64. İlk ve ikinci EA150/SB kompozit malzeme üretimlerinin eğme akma uzaması karşılaştırma grafiği

Üretimin optimizasyonu kapsamında gerçekleştirilen ikinci üretimler incelendiğinde ise standart üretime benzer şekilde gerçekleştirilen (sadece kalıp sıcaklığı 400°C olarak değiştirilen) üretimde kompozit malzeme (1005D) eğme akma uzaması değerinin %44 oranında azaldığı, ko-döküm yöntemi ile gerçekleştirilen üretim de ise kompozit malzeme (1005E) eğme akma uzaması değerinin saf malzemeye kıyasla %30 oranında azaldığı görüldü. İlk üretim ve ikinci üretimlerin sonuçları birlikte incelendiğinde ise olumsuz etkinin ikinci üretimde azaldığı görüldü.

Sonuç olarak kalıp sıcaklığının etkili bir parametre olduğu görülürken, ko-döküm yöntemi ile gerçekleştirilen üretimin de numune özelliklerine kısmen de olsa etki ettiği tespit edildi.

#### 4.7.4. İkinci üretim için yoğunluk ölçümü

Bölüm 4.5'te verilen ilk üretim yoğunluk ölçümleri değerlerinde sapmalar olduğu tespit edilmişti. Teorik yoğunluktan sapma görülen numunelerin, basınçsız üretim sebebiyle (oluşan boşluklu yapıdan dolayı) farklılık oluşturduğu düşünülmekteydi. Bu sebeple

teorik yoğunluğa yakın değerler elde etmek amacıyla yapılan ikinci üretimlerin ölçülen yoğunluk değerleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

Yoğunluk değerlerinde teorik yoğunluğa daha yakın bir değer elde edildiği, numune içinde oluşan boşlukların kısmen giderilebildiği Tablo 4.15'te görülmektedir.

Tablo 4.15. İkinci üretim sonrası ölçülen yoğunluk ve hesaplanan teorik yoğunluk değerleri

Numune Adı	Ölçülen Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Teorik Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
A1 NAT	2,7134	2,7100
AB1005 (ilk üretim)	2,5647	2,6930
AB1005D	2,6662	2,6930
AB1005E	2,6336	2,6930

Sonuç olarak kalıp sıcaklığının etkili bir parametre olduğu görülürken, ko-döküm yöntemi ile gerçekleştirilen üretimin de numune özelliklerine kısmen de olsa etki ettiği tespit edildi.

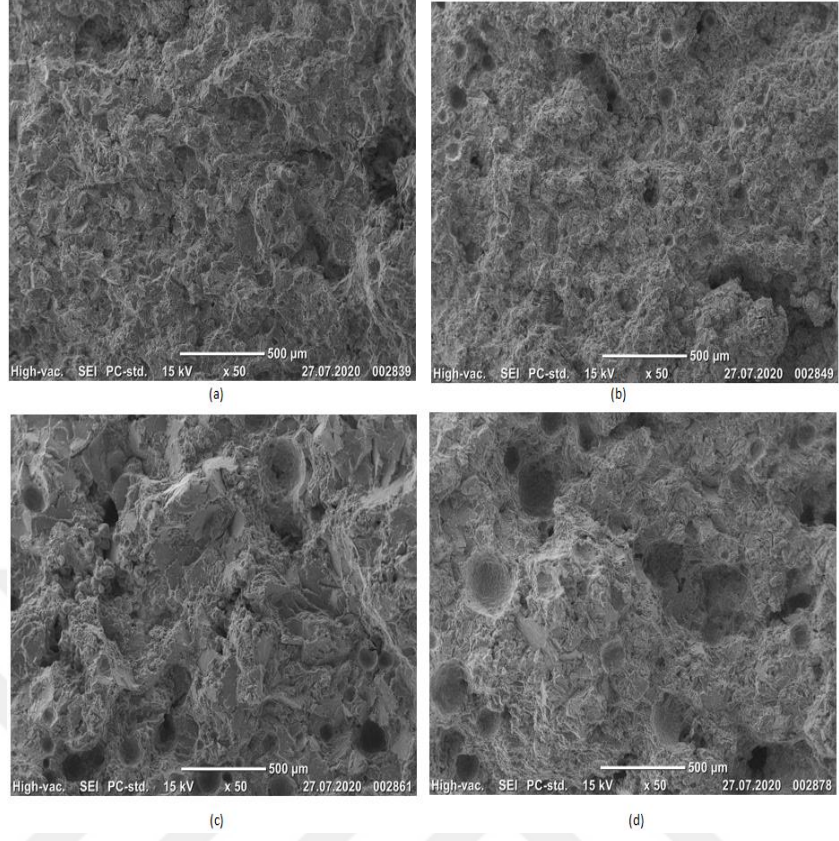
#### 4.8. SEM Analizi

Şekil 4.65 ve 4.66 incelendiğinde 800 °C, 900°C ve 1000 °C %1 SB katkılı kompozit malzemelerine ait numunenin kırılma yüzeyinin SEM analizi görülmektedir.

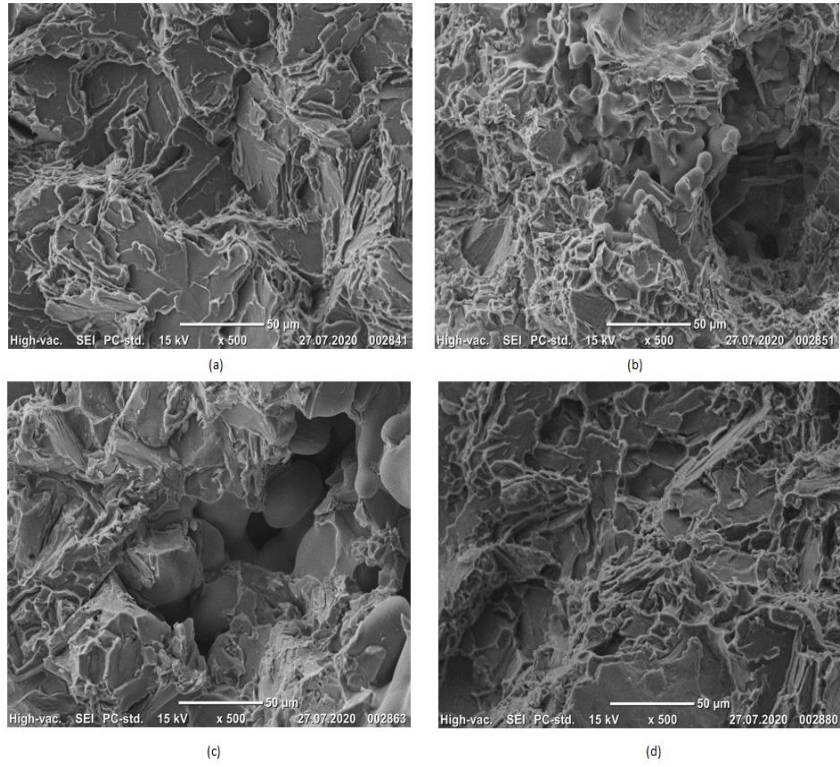
Numunelerin boşluklar barındırdığı, katkısız numuneye kıyasla oluşan yüzey yapısının farklılaştığı görülmektedir. Bu da susuz boraksın karıştığını göstermektedir fakat hangi oranda karışım elde edildiği belirlenmemektedir.

Kompozit numunelerin üretim sıcaklıklarına bağlı olarak sıcaklığın artmasıyla birlikte susuz boraks içinde bulunan elementlerin ve/veya EA150 alaşımı içinde bulunan elementlerin kompozit numune içinde kaynarak boşluklara sebep olduğu düşünülürken aynı zamanda kırılma esnasında oluşan yapıların koparak (tane dışı ayrılarak) yüzeyden ayrıldığı düşünülmektedir.

Dökümü gerçekleştirilen diğer %2,5 ve %5 SB katkılı kompozit numunelerin SEM analizleri EK-B de verilmiştir.

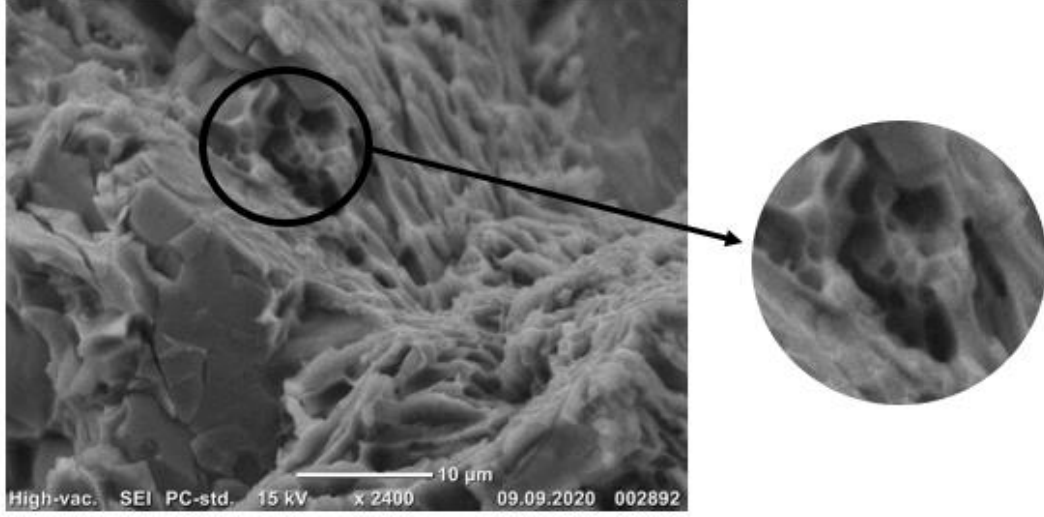


Şekil 4.65. (a) EA150, (b)AB801, (c) AB901, (d) AB1001 x50 SEM görüntüleri

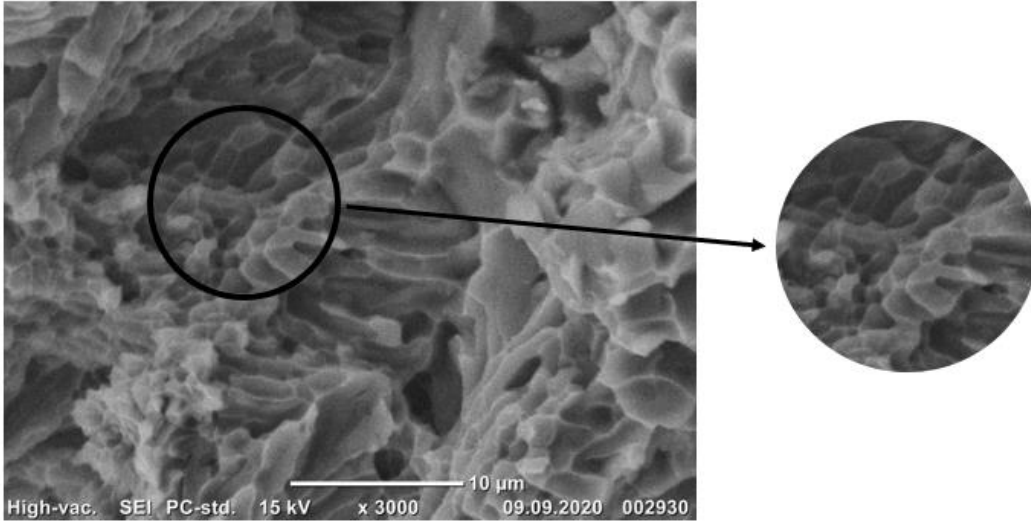


Şekil 4.66. (a) EA150, (b)AB801, (c) AB901, (d) AB1001 x500 SEM görüntüleri

Üretimin optimizasyonu kapsamında ikinci kez üretilen numunelerin eğme akma gerilmesi, eğme akma uzaması ve sertlik değerlerinde artış olduğu görülmüştü. Numunelerin SEM analizi yapıldığında ise mekanik özelliklerde artışa neden olan olumlu etkinin, üretilen kompozit malzemelerin iç yapısında oluşan mekanik özelliği artırıcı etkiye sahip  $AlB_2$  yapısının olduğu tespit edildi.



Şekil 4.67.İkinci üretim 1005D kompoziti SEM analizi

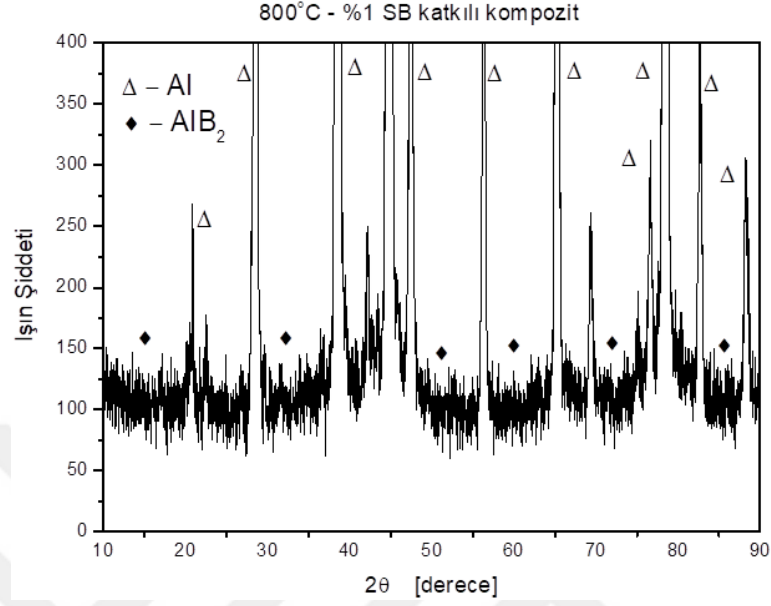


Şekil 4.68.İkinci üretim (ko-döküm) 1005E kompoziti SEM analizi

#### 4.9. XRD Analizi

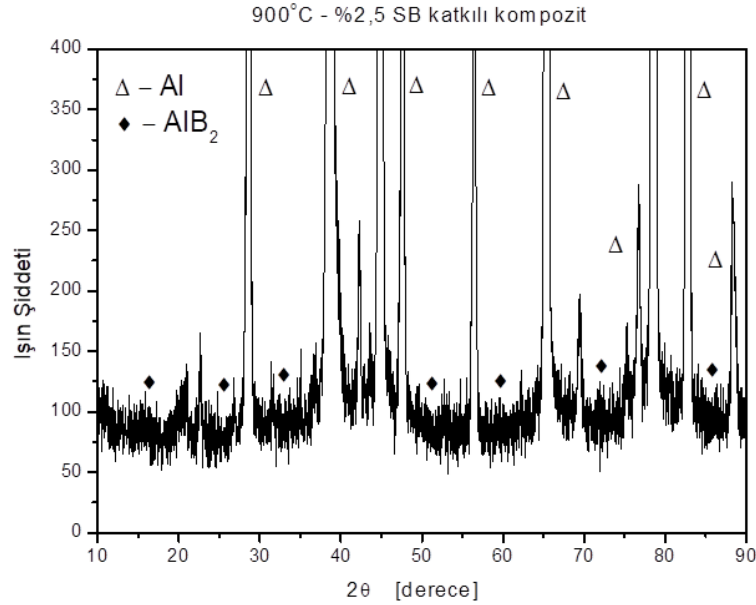
Üretilen kompozit numunelerde oluşan fazların belirlenebilmesi için yapılan XRD analizi verileri Şekil 4.69, 4.70 ve 4.71’de verilmiştir. Analizler birlikte

incelendiğinde, Şekil 4.72’de verilen natürel malzemenin analizine kıyasla faz yapısında farklılıklar olduğu görülmektedir.



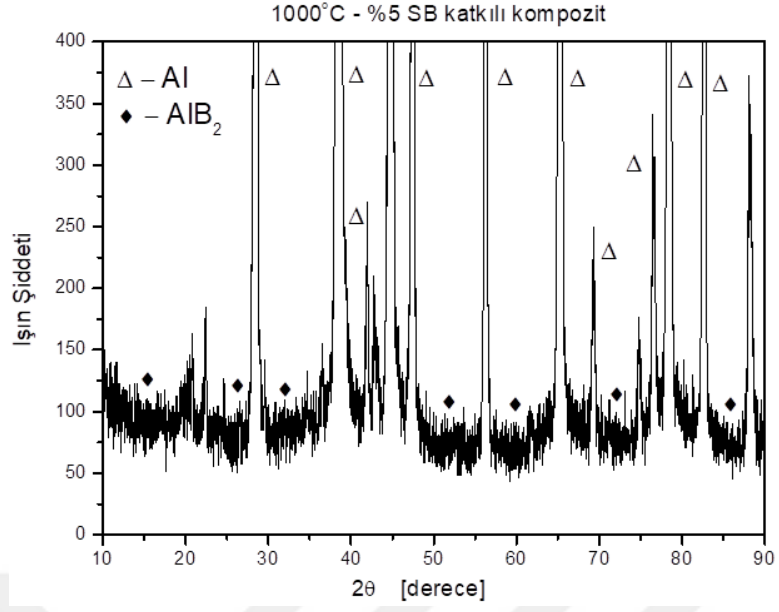
Şekil 4.69. 800°C %1 SB katkıli kompozit XRD analizi

Oluşan yapının AlB<sub>2</sub> olduğu düşünülmemekte fakat eski çalışmalar ile kıyaslandığında AlB<sub>2</sub> yapısının ışın şiddeti farklılık gösterdiği için daha detaylı incelenmesi gerekmektedir. Pandemi dolayısıyla detaylı inceleme gerçekleştirilememiş olup farklılığın susuz boraksın kimyasal yapısından kaynaklandığı düşünülmemektedir.

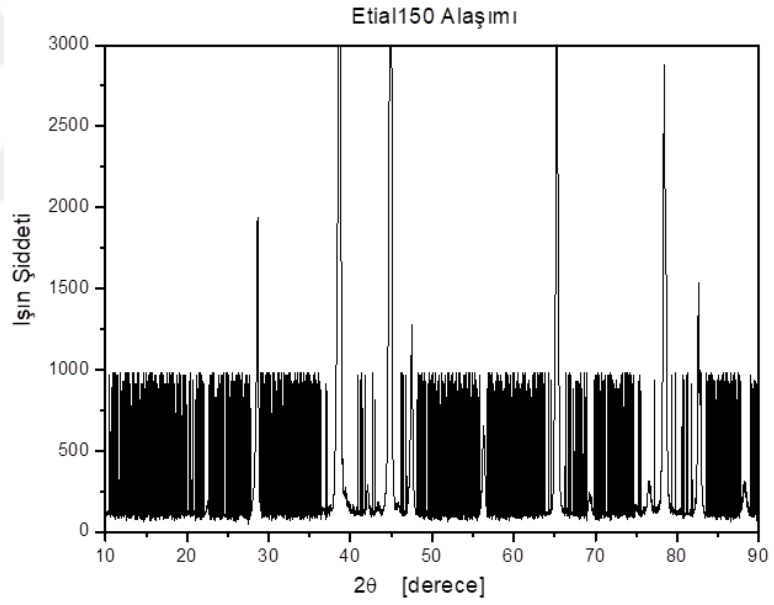


Şekil 4.70. 900°C %1 SB katkıli kompozit XRD analizi





Şekil 4.71. 1000°C %1 SB katkılı kompozit XRD analizi



Şekil 4.72. EA150 alaşımı XRD analizi

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını, en çok ergitme sıcaklığı 800°C'de %14 oranında ve en az 900°C 'de %5 oranında azalttığı tespit edildi.
- Hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını, sırasıyla ergitme sıcaklığı 800°C ve 1000°C'de %6 ve %8 oranlarında azalttığı ve ergitme sıcaklığı 900°C 'de ise %1 oranında artırdığı tespit edildi
- Hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını, sırasıyla ergitme sıcaklığı 800°C ve 1000°C'de %3 ve %2 oranlarında azalttığı ve ergitme sıcaklığı 900°C 'de ise %4 oranında artırdığı tespit edildi.
- 800°C'de sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını yaklaşık %14, %6 ve %3 oranlarında azalttığı görülmektedir.
- 900°C'de sırasıyla %1SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını yaklaşık %5 oranında azalttığı, sırasıyla %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ise sürtünme katsayısını yaklaşık %1 ve %4 oranlarında artırdığı görülmektedir.
- 1000°C'de sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını yaklaşık %10, %8 ve %2 oranlarında artırdığı görülmektedir.
- Sonuç itibariyle SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı için SB katkı oranı parametresinin diğer imalat parametrelerine göre çok daha etkili olduğu tespit edilirken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, hacimce %1 SB katkısı ve 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin, EA150 malzemesinin sürtünme katsayısını %14 oranında azaltarak yapılan gözlemler içinde en iyi üretim parametreleri olduğu tespit edildi.

- Hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Martens sertliğini, ergitme sıcaklığı 800 °C için %14 oranında artırırken, sırasıyla 900 °C ve 1000 °C ergitme sıcaklıklarında %1 ve %16 oranlarında azalttığı tespit edildi.
- Hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Martens sertliğini, ergitme sıcaklığı 800 °C için %8 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %12 ve %14 oranlarında azalttığı tespit edildi.
- Hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Martens sertliğini, ergitme sıcaklığı 800 °C için %5 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %12 ve %19 oranlarında azalttığı tespit edildi.
- 800 °C’de sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Martens sertliğini yaklaşık %14, %8 ve %5 oranlarında artırdığı görülmektedir.
- 900 °C’de sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Martens sertliğini yaklaşık %1, %11 ve %12 oranlarında azalttığı görülmektedir.
- 1000°C’de sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Martens sertliğini yaklaşık %16, %15 ve %19 oranlarında azalttığı görülmektedir.
- Sonuç itibariyle SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin Martens sertliği için SB katkı oranı parametresinin diğer imalat parametrelerine göre çok daha etkili olduğu tespit edilirken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, hacimce %1 SB katkısı ve 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin, EA150 malzemesinin Martens sertliğini %14 oranında artırarak yapılan gözlemler içinde en iyi üretim parametreleri olduğu tespit edildi.
- Hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Vickers sertliğini, ergitme sıcaklığı 800 °C için %15 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %1 ve %17 oranlarında azalttığı tespit edildi.

- Hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Vickers sertliğini, ergitme sıcaklığı 800 °C için %7 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %11 ve %15 oranlarında azalttığı tespit edildi.
- Hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Vickers sertliğini, ergitme sıcaklığı 800°C için %5 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %13 ve %19 oranlarında azalttığı tespit edildi.
- 800°C’de sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Vickers sertliğini sırasıyla yaklaşık %15, %7 ve %5 oranlarında artırdığı görülmektedir.
- 900°C’de sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Vickers sertliğini sırasıyla yaklaşık %1, %11 ve %13 oranlarında azalttığı görülmektedir.
- 1000°C’de sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Vickers sertliğini yaklaşık %17, %15 ve %19 oranlarında azalttığı görülmektedir.
- Sonuç itibariyle SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin Vickers sertliği için SB katkı oranı parametresinin diğer imalat parametrelerine göre çok daha etkili olduğu tespit edilirken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, hacimce %1 SB katkısı ve 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin, EA150 malzemesinin Vickers sertliğini %15 oranında artırarak yapılan gözlemler içinde en iyi üretim parametreleri olduğu tespit edildi.
- Elde edilen bu sonuçla beraber SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin Martens sertliği ile Vickers sertliği sonuçlarının birbiriyle paralellik ve benzerlik gösterdiği de tespit edildi.
- Hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Girinti modülünü, ergitme sıcaklığı 800°C için %15 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %1 ve %17 oranlarında azalttığı tespit edildi.
- Hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Girinti modülünü, ergitme sıcaklığı 800 °C için %8 oranında artırdığı ve

sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %11 ve %15 oranlarında azalttığı tespit edildi.

- Hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Girinti modülünü, ergitme sıcaklığı 800°C için %5 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %13 ve %19 oranlarında azalttığı tespit edildi.

- 800°C’de sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Girinti modülünü yaklaşık %15, %8 ve %5 oranlarında artırdığı görülmektedir.

- 900°C’de sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Girinti modülünü sırasıyla yaklaşık %1, %11 ve %13 oranlarında azalttığı görülmektedir.

- 1000°C’de sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Girinti modülünü yaklaşık %17, %15 ve %19 oranlarında azalttığı görülmektedir.

- Sonuç itibariyle SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin Girinti modülü için SB katkı oranı parametresinin diğer imalat parametrelerine göre çok daha etkili olduğu tespit edilirken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, hacimce %1 SB katkısı ve 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin, EA150 malzemesinin Girinti modülünü yaklaşık %15 oranında artırarak yapılan gözlemler içinde en iyi üretim parametreleri olduğu tespit edildi.

- Yapılan bu tespitle SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin Girinti modülü sonuçlarının Vickers sertlik sonuçlarıyla uyumlu olduğu da görüldü.

- Hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Brinell sertliğini, ergitme sıcaklığı 800°C için %13 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %7 ve %14 oranlarında azalttığı tespit edildi.

- Hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Brinell sertliğini, ergitme sıcaklığı 800°C için %10 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %12 ve %16 oranlarında azalttığı tespit edildi.

- Hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Brinell sertliğini, ergitme sıcaklığı 800°C için %9 oranında artırdığı ve sırasıyla 900°C ve 1000°C ergitme sıcaklıklarında ise %10 ve %15 oranlarında azalttığı tespit edildi.
- 800°C'de sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Brinell sertliğini yaklaşık %12, %11 ve %9 oranlarında artırdığı görülmektedir.
- 900°C'de sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Brinell sertliğini yaklaşık %8, %12 ve %10 oranlarında azalttığı görülmektedir.
- 1000°C'de sırasıyla %1, %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin Brinell sertliğini yaklaşık %14, %16 ve %16 oranlarında azalttığı görülmektedir.
- Sonuç itibariyle SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin Brinell sertliği için SB katkı oranı parametresinin diğer imalat parametrelerine göre çok daha etkili olduğu tespit edilirken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, hacimce %1 SB katkısı ve 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin, EA150 malzemesinin Brinell sertliğini %12 oranında artırarak yapılan gözlemler içinde en iyi üretim parametreleri olduğu tespit edildi.
- Hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesini yaklaşık en az %23 ve en fazla %62 oranlarında azalttığı anlaşıldı.
- Hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesini yaklaşık en az %31 ve en fazla %40 oranlarında azalttığı anlaşıldı.
- Hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesini yaklaşık en az %20 ve en fazla %48 oranlarında azalttığı anlaşıldı.
- 800°C'de hacimce farklı SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesini yaklaşık en az %20 ve en fazla %40 oranlarında azalttığı anlaşıldı.

- 900°C’de hacimce farklı SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesini yaklaşık en az %32 ve en fazla %60 oranlarında azalttığı anlaşıldı.
- 1000°C’de hacimce farklı SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesini yaklaşık en az %33 ve en fazla %62 oranlarında azalttığı anlaşıldı.
- Sonuç itibariyle SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin eğme akma gerilmesine tüm parametrelerin olumsuz etkili olduğu görülürken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, üretim parametreleri içinde %5 SB katkısı ve 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin olumsuz etkisinin %20 oranla en düşük olduğu, %1 SB katkısı ve 1000°C ergitme sıcaklığındaki üretimin ise %62 oranında eğme akma gerilmesini en fazla azaltan parametreler olduğu tespit edildi.
- Hacimce %1 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma uzamasını ergitme sıcaklığı 800 °C için %8 ve 1000 °C için %23 oranlarında azalttığı, 900°C ergitme sıcaklığında ise %25 oranında artırdığı tespit edildi.
- Hacimce %2,5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma uzamasını ergitme sıcaklığı 900 °C için %49 ve 1000 °C için %58 oranlarında azalttığı, 800°C ergitme sıcaklığında ise %25 oranında artırdığı tespit edildi.
- Hacimce %5 SB katkı oranının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma uzamasını yaklaşık en az %49 ve en fazla %65 oranlarında azalttığı anlaşıldı.
- 800°C’de sırasıyla %1 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma uzamasını yaklaşık %8 ve %41 oranlarında azaltırken, %2,5 SB katkı oranı %25’lik bir artış sağladı.
- 900°C’de sırasıyla %2,5 ve %5 SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma uzamasını yaklaşık %49 ve %57 oranlarında azaltırken, %2,5 SB katkı oranı %25’lik bir artış sağladı.
- 1000°C’de hacimce farklı SB katkı oranlarının ve farklı imalat parametrelerinin saf EA150 malzemesinin eğme akma uzamasını yaklaşık en az %23 ve en fazla %65 oranlarında azalttığı görüldü.

- Sonuç itibariyle SB katkılı EA150 kompozit malzemelerin eğme akma uzamasında tüm parametrelerin etkili olduğu görülürken, ergitme sıcaklığında tutma süresi ile kalıp soğutma sıcaklığı imalat parametreleri konusunda herhangi bir tespit elde edilememekle birlikte, üretim parametreleri içinde %2,5 SB katkısı ile 800°C ergitme sıcaklığındaki üretimin ve %1 SB katkısı ile 900°C üretimin etkileri aynı olup, %25 oranında eğme akma uzamasında artış sağladığı tespit edilmiştir.
- Saf EA150 malzemesinin sürtünme katsayısı, hacimce %5 SB katkı oranında 1000°C ergitme sıcaklığında gerçekleştirilen ilk üretimle kıyaslandığında kompozit malzemenin (1005C) sürtünme katsayısının %13 oranında arttığı görülürken, üretimin optimizasyonu kapsamında gerçekleştirilen ikinci üretimler incelendiğinde standart üretime benzer şekilde gerçekleştirilen (sadece kalıp sıcaklığı 400°C olarak değiştirildi) üretimde kompozit malzeme (1005D) sürtünme katsayısı değerinin %4 oranında azaldığı, ko-döküm yöntemi ile gerçekleştirilen üretim de ise kompozit malzeme (1005E) sürtünme katsayısı değerinin saf malzemeye kıyasla %5 oranında azaldığı görüldü.
- Saf EA150 malzemesinin Brinell sertlik değeri, hacimce %5 SB katkı oranında 1000°C ergitme sıcaklığında gerçekleştirilen ilk üretim ile kıyaslandığında kompozit malzemenin (1005C) Brinell sertlik değerinin %15 oranında azaldığı görülürken, üretimin optimizasyonu kapsamında gerçekleştirilen ikinci üretimler incelendiğinde ise standart üretime benzer şekilde gerçekleştirilen (sadece kalıp sıcaklığı 400°C olarak değiştirildi) üretimde kompozit malzeme (1005D) sertlik değerinin %11 oranında arttığı, ko-döküm yöntemi ile gerçekleştirilen üretim de ise kompozit malzeme (1005E) sertlik değerinin saf malzemeye kıyasla %16 oranında arttığı görüldü.
- Saf EA150 malzemesinin eğme akma gerilmesi değeri hacimce %5 SB katkı oranında 1000°C ergitme sıcaklığında gerçekleştirilen ilk üretim ile kıyaslandığında kompozit malzemenin (1005C) eğme akma gerilmesi değerinin %50 oranında azaldığı görülürken, üretimin optimizasyonu kapsamında gerçekleştirilen ikinci üretimler incelendiğinde ise standart üretime benzer şekilde gerçekleştirilen (sadece kalıp sıcaklığı 400°C olarak değiştirilen) üretimde kompozit malzeme (1005D) eğme akma gerilmesi değerinin saf malzemeye kıyasla %5 oranında arttığı, ko-döküm yöntemi ile gerçekleştirilen üretim de ise kompozit malzeme (1005E) eğme akma gerilmesi değerinin saf malzemeye kıyasla %10 oranında arttığı görüldü.



- Saf EA150 malzemesinin eğme akma uzaması değeri hacimce %5 SB katkı oranında 1000°C ergitme sıcaklığında gerçekleştirilen ilk üretim ile kıyaslandığında kompozit malzemenin (1005C) eğme akma uzaması değerinin %66 oranında azaldığı görülürken, üretimin optimizasyonu kapsamında gerçekleştirilen ikinci üretimler incelendiğinde ise standart üretime benzer şekilde gerçekleştirilen (sadece kalıp sıcaklığı 400°C olarak değiştirilen) üretimde kompozit malzeme (1005D) eğme akma uzaması değerinin %44 oranında azaldığı, ko-döküm yöntemi ile gerçekleştirilen üretim de ise kompozit malzeme (1005E) eğme akma uzaması değerinin saf malzemeye kıyasla %30 oranında azaldığı görüldü. İlk üretim ve ikinci üretimlerin sonuçları birlikte incelendiğinde ise olumsuz etkinin ikinci üretimde azaldığı görüldü.
- Üretimin optimizasyonu kapsamında yapılan ikinci üretimlerin sonuçları değerlendirildiğinde genel sonuç olarak kalıp sıcaklığının etkili bir parametre olduğu görülürken, ko-döküm yöntemi ile gerçekleştirilen üretimin de numune özelliklerine kısmen de olsa etki ettiği tespit edildi.
- İkinci üretimlerin yoğunluk değerleri incelendiğinde ise teorik yoğunluğa daha yakın bir değer elde edildiği, numune içinde oluşan boşukların kısmen giderilebildiği görüldü.
- Üretimin optimizasyonu kapsamında ikinci kez üretilen numunelerin eğme akma gerilmesi, eğme akma uzaması ve sertlik değerlerinde artış olduğu görülmüştü. Numunelerin SEM analizi yapıldığında ise mekanik özelliklerde artışa neden olan olumlu etkinin, üretilen kompozit malzemelerin iç yapısında oluşan mekanik özelliği artırıcı etkiye sahip AlB<sub>2</sub> yapısından dolayı olduğu tespit edildi.

#### Öneriler;

- Susuz boraks partikül boyunun azaltılması/artırılması ve SB katkı oranlarının azaltılması/artırılması,
- Farklı üretim parametrelerinin (ergitme sıcaklığı, ergitme sıcaklığında tutma süresi, kalıp soğutma sıcaklığı) kullanılması
- Yoğunluk farkında dolayı zor olan homojen karışımın daha iyi sağlanabilmesi için gerekli karıştırma sistemi oluşturularak susuz boraks ve alüminyum alaşımının daha iyi karışmasının sağlanması,
- Dökme hızının uygun, standart bir hale getirilmesi,

- Üzeri açık seramik potalarda gerçekleştirilen kompozit üretiminin oksijenle temasının minimum düzeyde olacağı bir sistemle gerçekleştirilmesi,
- Kalıp malzemesi olarak kullanılan sac malzemesi yerine farklı kalıp malzemesi seçilmesi
- Değişken olarak alınmayan kalıp sıcaklığı ve kompozit malzeme ön ısıtma bölgesinin değişken olarak alınıp etkilerinin incelenmesi ve
- Bu çalışmanın başlangıç noktası olan basınçlı döküm yöntemiyle üretim gerçekleştirilerek sanayide kullanımının uygunluğunun incelenmesi önerilmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] Eroğlu G., Şahiner M., Dünya ve Türkiye’de Alüminyum, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/aluminyum.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 16 Nisan 2020)
- [2] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Bor Sektör Raporu 2013, <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FBOR%20SEKT%C3%96R%20RAPORU%202013%20docx.pdf> (Ziyaret Tarihi: 16 Nisan 2020)
- [3] Alüminyum Komisyonu , Alüminyum Raporu, *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası*
- [4] Başer T. A., Alüminyum Alaşımaları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı, *Mühendis ve Makina*, 2012, **53**(635), 51-58
- [5] Benedyk J. C., International Temper Designation Systems for Wrought Aluminum Alloys: Part I-Strain Hardenable Aluminum Alloys, *Light Met. Age*, 2009, 26–30.
- [6] Macar M, Investigation Of Dynamic Behavior Of Aluminum Alloy Armor Materials, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014, 383210
- [7] Benedyk J. C, International Temper Designation Systems for Wrought Aluminum Alloys: Part II-Thermally Treated Aluminum Alloys, *Light Met. Age*, 2010, 16–22.
- [8] Doruk E, Başer T. A , Durgun İ., Investigation Of Energy Absorption Capacity Of Aluminium Alloys Used In Vehicle Parts, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.,[https://www.researchgate.net/publication/287124064\\_INVESTIGATION\\_OF\\_ENERGY\\_ABSORPTION\\_CAPACITY\\_OF\\_ALUMINIUM\\_ALLOYS\\_USED\\_IN\\_VEHICLE\\_PARTS](https://www.researchgate.net/publication/287124064_INVESTIGATION_OF_ENERGY_ABSORPTION_CAPACITY_OF_ALUMINIUM_ALLOYS_USED_IN_VEHICLE_PARTS) (Ziyaret Tarihi: 14 Nisan 2020)
- [9] Fridlyander I. N., Sister V. G., Grushko O. E., Berstenev V. V., Sheveleva L. M., Ivanova L. A., Aluminum Alloys: Promising Materials In The Automotive Industry, *Metal Science and Heat Treatment*, 2002, **44**, 3-9
- [10] Dündar M., Güngör G., Otomotiv Sektöründe Alüminyum Uygulamaları Ve Sürekli Döküm Tekniğı İle Üretilmiş Alüminyum Levha Alaşımaları, *Assan Alüminyum*, <https://www.assanaluminyum.com/~media/files/arge/yayinlar/p3.ashx?la=tr-tr>, (Ziyaret Tarihi: 14 Nisan 2020)

- [11] Miller, W.S., Zhuang, L., Bottema, J., Recent Trends in Sheet Metals and Their Formability in Manufacturing Automotive Panels, *Journal of Materials Processing Technology*, 1994, **46**, 455.
- [12] Schultz, R., Hauptrich, A., Trends in Aluminum Use for Passenger Cars and Light Trucks in North America, *Light Metal Age*, 1998, 108.
- [13] Langseth M., Hassen A. G., Crashworthiness of Aluminium Structures, *Aluminium Structural Design*, 2000, **443**, 313-394
- [14] Friedrich B., Jessen K., Rombach G., Aluminium Foam Production, Properties and Recycling Possibilities, *Erzmetall*, 2003, **56**, 656-660
- [15] Güven Ş.Y., Toz Metalurjisi ve Metalik Köpükler, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 2011, **1** (2), 22-28
- [16] Kılıç S., Kacar İ., Öztürk F., New trend in aerospace industry: Al-Li based alloys, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2019, **34(1)**, 275-296
- [17] Milli Eğitim Bakanlığı, Uçak Malzemeleri (525MT0001 ) [http://www.megep.meb.gov.tr / mte\\_program\\_modul/ moduller\\_pdf/ U% C3% A7ak% 20Malzemeleri .pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/U%C3%A7ak%20Malzemeleri.pdf), (Ziyaret Tarihi: 15 Nisan 2020)
- [18] Kanematsu H. ve Barry D.M., Amazing airplanes, *STEM and ICT Education in Intelligent Environments*, 2016, 65-73,.
- [19] Tang Z.T., Yu T., Xu L.Q.Liu Z.Q., Machining deformation prediction for frame components considering multifactor coupling effects, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, **68 (1-4)**, 187-196.
- [20] Wanhill R.J.H., Fatigue Requirements for Aircraft Structures, *Aerospace Materials and Material Technologies*, 2017, **2**, 331-352.
- [21] Etibor-68, Etimaden ürün teknik bilgi formu, *EYS FRM-ETİ-00 17 /23/9/2014-02 Rev. 2020/01* <http://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/July2020/etibor68-teknik-2020TR.pdf> (Ziyaret Tarihi: 19 Ağustos 2020)
- [22] Prasad N.E., Gokhale A.Wanhill R.J.H., Aluminum- Lithium Alloys - Processing, Properties, and Applications, 1st ed., Butterworth-Heinemann, 2013.
- [23] Steel MMK Metalurji Ürün Kataloğu, Revizyon:2018 [https://mmkturkey.com.tr/Files/urun\\_katalog.pdf](https://mmkturkey.com.tr/Files/urun_katalog.pdf) (Ziyaret Tarihi: 19 Ağustos 2020)
- [24] Yiğit H., Alkılıç S., Bor ve Bor Ürünlerinin Üretim ve Reaksiyonları Ondokuz Mayıs Üniversitesi, <https://docplayer.biz.tr/9597001-Bor-ve-bor-urunlerinin-uretim-ve-reaksiyonlari.html> (Ziyaret Tarihi: 16 Nisan 2020)

- [25] Demir C., Bor Minerallerinin Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2006, 185760
- [26] Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Kimya Sanayii Hammaddeleri, Cilt I (Bor Tuzları-Trona-Kaya Tuzu-Sodyum Sülfat-Stronsiyum) Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 2001 (ISBN 975-19-2822-2)
- [27] Eti Maden İşletmesi, Ticari Öneme Sahip Bor Mineralleri, Eti Maden İnternet Sitesi <http://www.etimaden.gov.tr/bor-mineralleri> (Ziyaret Tarihi: 16.04.2020)
- [28] Orbán R., Cora I., Dódony I., Preparation And Characterization Of Aluminum/Aluminum Diboride Composite, *Eccm15-15th European Conference On Composite Materials*, Venedik İtalya, 24-28 Haziran 2012
- [29] Yılmaz N. F., Öztürk M., Improvement of mechanical properties of AA1070 aluminium by the addition of borax under different holding conditions, *Metaterials Science and Engineering Technology*, 2012, **43(12)**, 989-1086
- [30] Savaş Ö., Kayıkçı R., Production and wear properties of metal matrix composites reinforced with boride particles , *Materials and Design*, 2013, **51**, 641–647
- [31] Hall A., Economy J., The  $Al_{(L)}+AlB_{12} \rightarrow AlB_2$  Peritectic Transformation and Its Role in the Formation of High Aspect Ratio  $AlB_2$  Flakes, *Journal of Phase Equilibria*, 2000, **21 (1)**, 63-69
- [32] Wöhler F., St.-Claire Deville H. Analysen und physikalische Eigenschaften des Bors. *Journal für Praktische Chemie*, 1857, **71**, 38-45
- [33] Kayıkçı R., Kurtuluş O., Gürbüz R., The Formation and Growth Behavior of Aluminium Boride Crystals in an Al–B Alloy, *Solid State Phenomena*, 2009, **144**, 140-144
- [34] Savaş Ö., Kayıkci R. Production and wear properties of metal matrix composites reinforced with boride particles, *Materials and Design*, 2013, **51**, 641-647
- [35] Fıçıcı F., Al/ $AlB_2$  Kompozit Malzemelerin Sürtünme Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2012, 318375
- [36] Savaş Ö., Alüminyum Esaslı İn-Situ Borür Takviyeli Kompozitlerin Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2010, 274738
- [37] Tjong S.C., Ma1 Z.Y., Microstructural And Mechanical Characteristics Of İn-Situ Metal Matrix Composites, *Materials Science And Engineering*, 2000, **29**, 49-113,

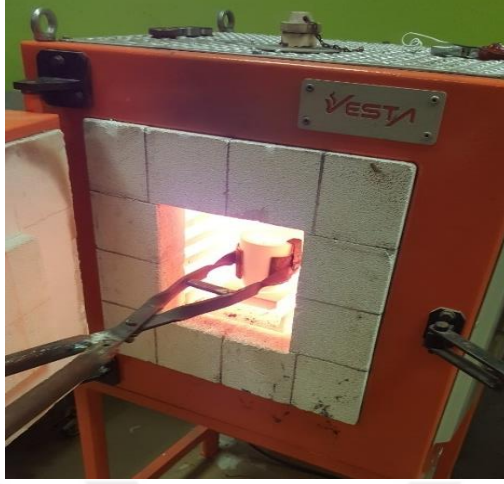
- [38] Daniel B. S. S., Murthy V. S. R., Murty G.S., Metal-Ceramic Composites Via In-Situ Methods, *Journal Of Materials Processing Technology*, 1997, **68**, 132-155
- [39] Arık H., Turker M., Production And Characterization Of In-Situ Fe-Fe<sub>3</sub>C Composite Produced By Mechanical Alloying, *Materials & Design*, 2007, **28**, 140-146,
- [40] Kırsasöz A. A., Alüminyum Matrisli Titanyumdiborür İn Situ Takviyeli Kompozitlerin Üretimi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018, 538222
- [41] Sasikumar, S., Ramkumar, K.R., Iniyan, S., Gowthaman, M. ve Sivasankaran, S., (2014). “Study of Mechanical and Machining Behavior of AA 7075-3% TiB<sub>2</sub> In-Situ Composite”, *JIRSET*, 3: 2347 – 6710.
- [42] Gecü, R. ve Karaaslan, A., (2016). “Bimetal ve Geleneksel Olarak Üretilen Alüminyum Esaslı Metal-Metal Kompozitlerin Mekanik Özellikleri”, *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası*, 180: 26 – 30.
- [43] Schwartz, M.M., (1983). *Composites Materials Handbook, Second Edition*, Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- [44] Rosso M., Ceramic and metal matrix composites: Routes and properties, *Journal of Materials Processing Technology*, 2006, **175**, 364–375
- [45] Taya M., Arsenault R.J., *Metal Matrix Composites Termomechanical Behavior*, Pergamon Press, 1989.
- [46] Miracle D. B., Metal matrix composites – From science to technological significance, *Composites Science and Technology*, 2005, **65**, 2526–2540
- [47] Ünlü B. S., Durmuş H., Meriç C., Metal matrisli kompozitler ve uygulamaları, *Metalurji Malzeme*, ISSN 1305-8665, Sayı: 9, Ocak-Şubat 2007.
- [48] Rohatçı P., Cast Metal Matrix Composites: Past, Present ve Future, *American Foundry Society, Silver Anniversary Paper, Div. 2. AFS Transactions*, 2001, 01-133, 1-25,
- [49] Özçelik Ö., In-Situ Alümina Partikül Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Üretim Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 213510
- [50] Budak S., Alüminyum Silisyum Alaşımı Bir Yatak Malzemesinin Aşınma Performansına Kolemanit İlavesinin Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2016, 424201
- [51] Öztürk M., An Experimental Study on Mechanical Properties of Aluminum-Boron Compounds, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 2011, 290472

- [52] Çavuş Z., Susuzlaştırılmış Boraksın Alüminyum Bakır Alaşımının Mikro Yapı Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 295261
- [53] Savaş Ö., Kayıkcı R., Production and wear properties of metal matrix composites reinforced with boride particles, *Metarials and Design*, 2013, **51**, 641–647
- [54] Hekimoğlu A. P., Turan Y. E., İsmailoğlu İ. İ., Akyol M. E., Şen E., Effect of grain refinement with boron on the microstructure and mechanical properties of Al-30Zn alloy, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2019, **34(1)**, 523-534
- [55] Yöntem O., Toz Metalurjisi İle Üretilen Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Bor Minerali İlavesinin Mekanik Özelliklere Etkisinin Deneysel Tasarım Yöntemleri İle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019, 611576
- [56] Fıçıcı F., Al/AlB<sub>2</sub> Kompozit Malzemelerin Sürtünme Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2012, 318375
- [57] Paksoy M., Effect Of Aspect Ratio AlB<sub>2</sub> Flakes On Mechanical And Physical Properties Of Aluminium Boron Alloys, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 2016, 423893
- [58] Yuan L., Han J., Liu J., Jian Z., Mechanical Properties And Tribological Behavior Of Aluminum Matrix Composites Reinforced With İn-Situ AlB<sub>2</sub> Particles, *Tribology International*, 2016, **98**, 41–47
- [59] Yücel E., Yüksek Alaşımlı Beyaz Dökme Demirlerin (Ni-Hard) İşlenebilirlik Parametrelerinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2011, 287399
- [60] Karagöz N., Taguchi Metodunun Hava Aracı Kanat Tasarımı Sürecine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2014, 374310.
- [61] Şahin E., Polipropilen Talk/Kolemanit Hibrit Kompozit Malzemelerin Çekme Özelliklerinin Deneysel Tasarım Yöntemi İle Eniyilenmesi/Yapay Sinir Ağı İle Kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018, 537356
- [62] Şimşek B., Hazır Betonun Optimal Karışım Oranlarının Belirlenmesi İçin Bir Çok Yanıtlı Modelleme ve Eniyileme Uygulaması: Topsıs Tabanlı Taguchi Yaklaşımı ile Cevap Yüzey Yöntemi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014, 386353.





## EK-A



**Adım - 1:** Fırında alüminyum ve susuz boraksın ergitilerek kompozit hazırlanması



**Adım -2:** Homojen karışım sağlanması ve yüzeyde oluşan cürufun alınması için karıştırıcı çubukların hazırlanması



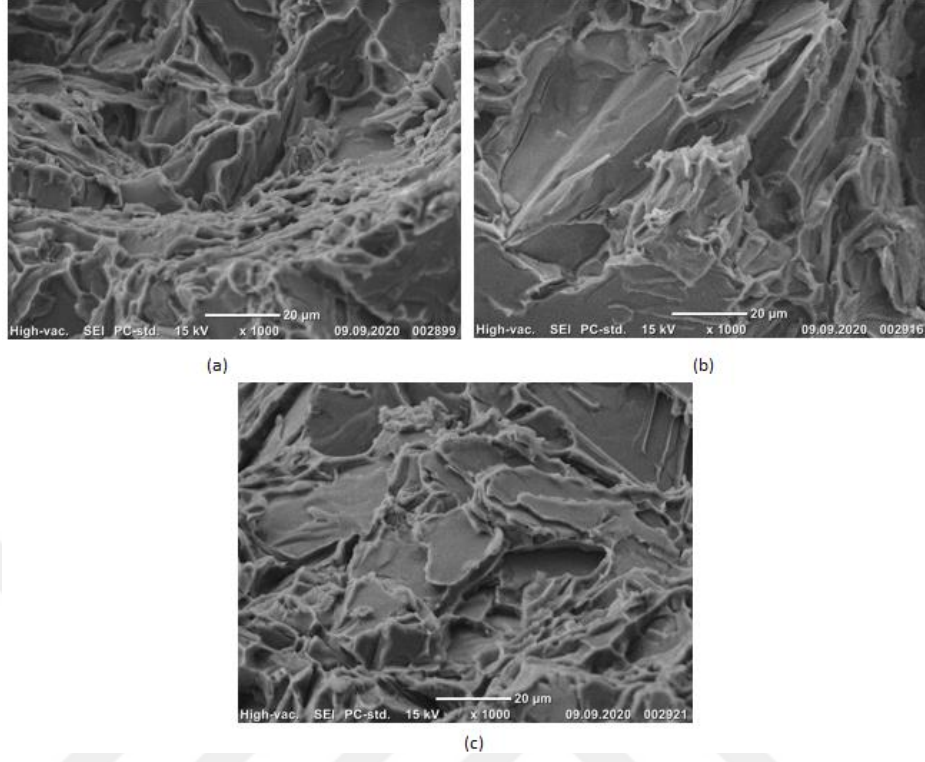
**Adım-3:** Homojen karışımın sağlanması için eriyik kompozitin karıştırılması



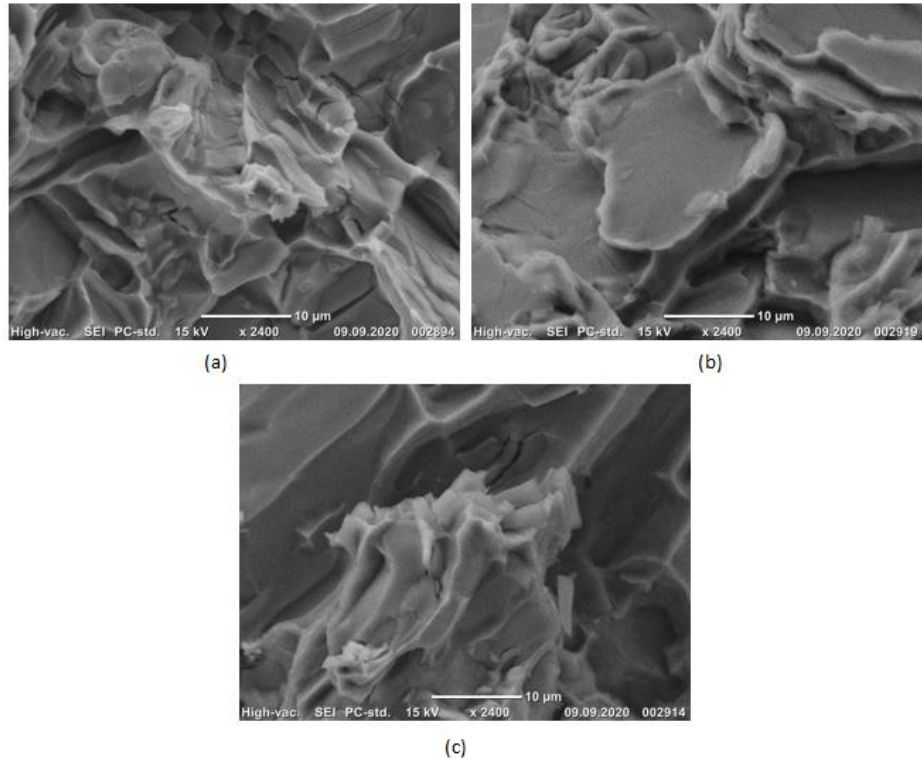
**Adım-4:** Eriyik kompozitin kalıba dökülmesi

Şekil A. 2. Üretim adımları görselleri

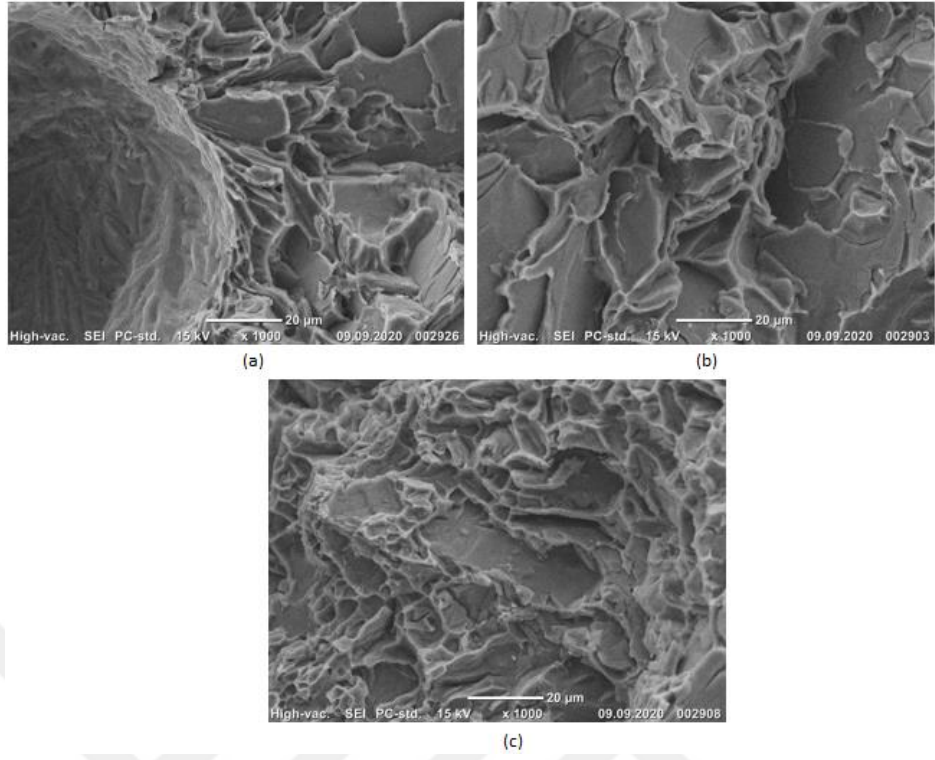
## EK-B



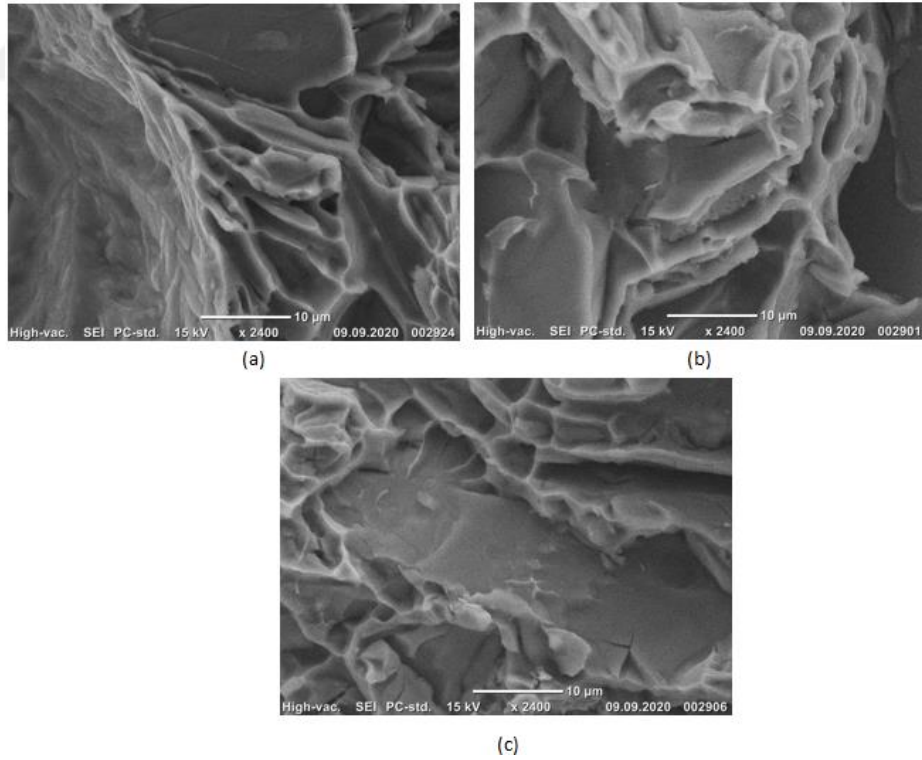
Şekil B.1. (a)AB802, (b) AB902, (c) AB1002 x1000 SEM görüntüleri



Şekil B.2. (a)AB802, (b) AB902, (c) AB1002 x2400 SEM görüntüleri



Şekil B.3. (a)AB805, (b) AB905, (c) AB1005 x1000 SEM görüntüleri



Şekil B.4. (a)AB805, (b) AB905, (c) AB1005 x2400 SEM görüntüleri

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Bodur A.**, Şahin Ş., Şahin Y., İnal M., Taguchi ve Anfis Yöntemleri ile Düşük Akışlı Polipropilen Talk / Kolomanit Kompozit Malzemelerin Eğilme Dayanımının Modellenmesi, *18. IFAC Uluslararası Konferansı TECIS 2018*, Bakü-Azerbeycan, 13-15 Eylül 2018
- [2] **Bodur A.**, Şahin Ş., Şahin Y., Polipropilen Talk/Kolemanit Hibrit Kompozit Malzemelerin Eğilme Mukavemetinin Deneysel Tasarım Yöntemi ile Eniyilenmesi, *Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, Kocaeli, 4-5 Mayıs 2018
- [3] **Bodur A.**, Oğuz E., Şahin Ş., Gün Işığında Yoksun Uzun Süreli Depolanan Polipropilen Random Kopolimer/Kolemanit Kompozitlerin Eğme Özellikleri, *VI. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi*, Ankara, 4-7 Eylül 2016
- [4] Şahin Ş., **Bodur A.**, Cura Ö., Gün Işığında Yoksun Uzun Süreli Depolanan Polipropilen Random Kopolimer/Kolemanit Kompozitlerin Çekme Özelliklerine Kolemanit Dolgu Miktarının Etkisi, *27. Ulusal Kimya Kongresi*, Çanakkale, 23-28 Ağustos 2018

## ÖZGEÇMİŞ

31 Ekim 1993 tarihinde Giresun’da doğdu. İlk, Orta ve Lise öğretimini Giresun’da tamamladıktan sonra 2012 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2017 yılında makine mühendisi olarak mezun oldu. 20.11.2017-27.01.2019 tarihleri arasında AKPLAS Plastik Kalıp San. Ve Tic. A.Ş.’de Proje ve Proses Geliştirme mühendisi olarak, daha sonra 04.02.2019 – 07.12.2019 tarihleri arası HYUNDAI ASSAN Otomotiv şirketinde Montaj Üretim Proses ve Proje Mühendisi olarak çalıştıktan sonra 09.12.2019 tarihinde Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde Mekanik Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve hala devam etmektedir.