

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİNKO VE BAKIRIN SABİT TAVLAMA SICAKLIĞINDA
1050 ALÜMİNYUM ALAŞIM SERİSİNE DİFÜZYONUNUN SÜREYE
BAĞLI DEĞİŞİMİ**

Makine Mühendisi Ebru KOÇ

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Sabiha YILDIZ

Y. Doç. Dr. Deniz UZUNSOY

İSTANBUL,2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. DİFÜZYON	2
2.1 Yayılan Atom Türü Bakımından Difüzyonun İncelenmesi	2
2.1.1 Self Difüzyon (Öz Difüzyon)	2
2.1.2 İnterdifüzyon	2
2.2 Difüzyon Mekanizması	3
2.2.1 Boşluk Difüzyon Mekanizması	3
2.2.2 Ara yer difüzyon Mekanizması	4
2.2.3 Halka Difüzyon Mekanizması.....	4
2.3 Fick Kanunları.....	5
2.3.1 1. Fick Kanunu	5
2.3.2 2. Fick Kanunu	5
2.4 Difüzyon Katsayısı Hesaplamaları	6
2.4.1 Matano-Boltzmann Analizi.....	6
2.4.2 Darken Analizi	7
2.4.3 Arrhenius Denklemi.....	7
3. AL-CU VE AL-ZN ALAŞIMLARI	8
3.1 Faz Diyagramlarının İncelenmesi.....	9
3.1.1 Al-Zn Faz Diyagramının İncelenmesi	10
3.1.2 Al-Cu Faz Diyagramının İncelenmesi	12
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	13
4.1 Numune Hazırlama.....	13
4.1.1 Alaşım ve Tavlama Sürelerinin Seçilmesi.....	13
4.1.2 Numunelerin Dökümü	13
4.2 Numunelere Uygulanan İşlemler ve Deneyler	14
4.2.1 Isıl İşlem.....	14
4.2.2 Metalografik Hazırlık	14
4.2.2.1 Parlatma	14

	Sayfa
4.2.2.2	Dağlama 15
4.2.3	Görüntü Analizi 15
4.2.4	Kimyasal Analiz 15
4.2.5	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Çalışmaları 15
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI 16
5.1	Görüntü Analizi 16
5.2	Kimyasal Analiz 22
5.2.1	Al-Cu Difüzyon Çiftinin Kimyasal Analizi 22
5.2.2	Al-Zn Difüzyon Çiftinin Kimyasal Analizi 28
5.3	Difüzyon Katsayısı Hesabı..... 34
5.3.1	İnterdifüzyon Katsayısının Hesaplanması 34
5.3.1.1	Al-Cu Difüzyon Çiftinde İnterdifüzyon Katsayısının Hesaplanması..... 34
5.3.1.1.1	Matana Boltzman Analizi 34
5.3.1.1.2	Arrhenius Denklemi..... 36
5.3.1.1.3	Darken Analizi 36
5.3.1.2	Al-Zn Difüzyon Çiftinde İnterdifüzyon Katsayısının Hesaplanması 39
5.3.1.2.1	Matana Boltzman Analizi 39
5.3.1.2.2	Arrhenius Denklemi..... 41
5.3.1.2.3	Darken Analizi 41
6.	SONUÇLAR 44
	KAYNAKLAR 46
	EKLER 47
Ek 1	580°C’de Bekleyen Al-Cu Numunelerinin Karanlık-Parlak Resimleri..... 47
Ek1a	580°C’de 2 saat bekleyen Al-Cu numunesinin karanlık-parlak resimleri..... 47
Ek1b	580°C’de 4 saat bekleyen Al-Cu numunesinin karanlık-parlak resimleri..... 47
Ek1c	580°C’de 8 saat bekleyen Al-Cu numunesinin karanlık-parlak resimleri..... 48
Ek1d	580°C’de 16 saat bekleyen Al-Cu numunesinin karanlık-parlak resimleri..... 49
Ek 2	380°C’de Bekleyen Al-Zn Numunelerinin Karanlık-Parlak Resimleri 50
Ek2a	380°C’de 2 saat bekleyen Al-Zn numunesinin karanlık-parlak resimleri..... 51
Ek2b	380°C’de 4 saat bekleyen Al-Zn numunesinin karanlık-parlak resimleri..... 52
Ek2c	380°C’de 8 saat bekleyen Al-Zn numunesinin karanlık-parlak resimleri..... 53
Ek2d	380°C’de 16 saat bekleyen Al-Zn numunesinin karanlık-parlak resimleri..... 54
Ek 3	580°C’de 2 Saat Bekleyen Al-Cu Numunesinin Taramalı Elektron Mikroskop Görüntüleri 55
	ÖZGEÇMİŞ..... 59

SİMGE LİSTESİ

X_i	i bileşeninin konsantrasyon [%]
D	Difüzyon katsayısı [m^2 / s]
D_i	i bileşeninin öz difüzyon katsayısı [m^2 / s]
\tilde{D}	İnterdifüzyon katsayısı [m^2 / s]
J	Difüzyon değişimi [$kg / m^2 s$]
Q	Aktivasyon enerjisi [j/mol]
R	Gaz sabiti [kj/kmolK]
t	Tavlama süresi [s]
T	Sıcaklık [K]
T_m	Ergime sıcaklığı [K]
x	Difüzyon mesafesi [m]

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1a	Self difüzyondan önce atomların dizilişi 2
Şekil 2.1b	Self difüzyondan sonra atomların dizilişi 2
Şekil 2.2	Metal çiftinde atomların birbiri içerisine difüzyonu..... 3
Şekil 2.3	Ev sahibi atomun hareketi..... 4
Şekil 2.4a	Ara yer atomunun difüzyondan önceki konumu 4
Şekil 2.4b	Ara yer atomunun difüzyondan sonraki konumu 4
Şekil 2.5	Halka difüzyon mekanizması 5
Şekil 2.6	Matano arayüzü 6
Şekil 3.1	Al-Zn faz diyagramı..... 11
Şekil 3.2	Al- Cu faz diyagramı 12
Şekil 4.1a	Deney kabı..... 13
Şekil 4.1b	Deney kabı içinde Al 13
Şekil 4.1c	Deney kabı içinde Al ve Cu 13
Şekil 4.1a	Deney kabı..... 14
Şekil 4.1b	Deney kabı içinde Al 14
Şekil 4.1c	Deney kabı içinde Al ve Zn..... 14
Şekil 5.1	Görüntü analizi yapılan Al-Cu numunesi 16
Şekil 5.2	2-4-8-16 saat tavlanan Al-Cu numunelerinin Şekil 5.1’de gösterilen a, b, c, d noktalarından çekilen karanlık-parlak görüntüleri..... 17
Şekil 5.3	2-4-8-16 saat tavlanan Al-Cu numunelerinin Şekil 5.1’de gösterilen a, b, c, d noktalarından çekilen polarize görüntüleri..... 18
Şekil 5.4	Görüntü analizi yapılan Al-Zn numunesi 19
Şekil 5.5	2-4-8-16 saat tavlanan Al-Zn numunelerinin Şekil 5.4’de gösterilen a, b, c, d noktalarından çekilen karanlık-parlak görüntüleri..... 20
Şekil 5.6	2-4-8-16 saat tavlanan Al-Zn numunelerinin Şekil 5.4’de gösterilen a, b, c, d noktalarından çekilen polarize görüntüleri 21
Şekil 5.7	Kimyasal analizi yapılan Al-Cu numunesi..... 22
Şekil 5.8	580°C’ de 2 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Cu konsantrasyonu 27
Şekil 5.9	580°C’ de 4 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Cu konsantrasyonu 27
Şekil 5.10	580°C’ de 8 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Cu konsantrasyonu 27
Şekil 5.11	580°C’ de 16 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Cu konsantrasyonu 27
Şekil 5.12	580°C’ de 2-4-8-16 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Cu konsantrasyonu 27
Şekil 5.13	Kimyasal analizi yapılan Al-Zn numunesi..... 28
Şekil 5.14	380°C’ de 2 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Zn konsantrasyonu 33
Şekil 5.15	380°C’ de 4 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Zn konsantrasyonu 33
Şekil 5.16	380°C’ de 8 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Zn konsantrasyonu 33
Şekil 5.17	380°C’ de 16 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Zn konsantrasyonu 33
Şekil 5.18	380°C’ de 2-4-8-16saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Zn konsantrasyonu 33

	Sayfa
Şekil 5.19	580°C’de 2 saat bekleyen Al-Cu numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi 34
Şekil 5.20	580°C’de 4 saat bekleyen Al-Cu numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi 34
Şekil 5.21	580°C’de 8 saat bekleyen Al-Cu numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi 34
Şekil 5.22	580°C’de 16 saat bekleyen Al-Cu numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi 34
Şekil 5.23	580°C’de 2 saat bekleyen numunenin Matano Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı 35
Şekil 5.24	580°C’de 4 saat bekleyen numunenin Matano Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı 35
Şekil 5.25	580°C’de 8 saat bekleyen numunenin Matano Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı 35
Şekil 5.26	580°C’de 16 saat bekleyen numunenin Matano Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı 35
Şekil 5.27	580°C’de 2-4-8-16 saat bekleyen numunenin Matano Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı 36
Şekil 5.28	580°C’de 2 saat bekleyen numunelerin Darken analiziyle hesaplanmış konsantrasyona bağlı difüzyon katsayısı 37
Şekil 5.29	580°C’de 4 saat bekleyen numunelerin Darken analiziyle hesaplanmış konsantrasyona bağlı difüzyon katsayısı 37
Şekil 5.30	580°C’de 8 saat bekleyen numunelerin Darken analiziyle hesaplanmış konsantrasyona bağlı difüzyon katsayısı 37
Şekil 5.31	580°C de 16 saat bekleyen numunelerin Darken analiziyle hesaplanmış konsantrasyona bağlı difüzyon katsayısı 37
Şekil 5.32	580°C de 2-4-8-16 saat bekleyen numunenin Darken analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı 37
Şekil 5.33	580°C de 2 saat bekleyen numunenin konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısının hesaplanması 38
Şekil 5.34	580°C de 4 saat bekleyen numunenin konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısının hesaplanması 38
Şekil 5.35	580°C de 8 saat bekleyen numunenin konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısının hesaplanması 38
Şekil 5.36	580°C de 16 saat bekleyen numunenin konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısının hesaplanması 38
Şekil 5.37	380°C’ de 2 saat bekleyen Al-Zn numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi 39
Şekil 5.38	380°C’ de 4 saat bekleyen Al-Zn numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi 39
Şekil 5.39	380°C’ de 8 saat bekleyen Al-Zn numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi 39
Şekil 5.40	380°C’de 16 saat bekleyen Al-Zn numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi 39
Şekil 5.41	380°C °C’de 2 saat bekleyen numunenin Matano Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı 40
Şekil 5.42	380°C °C’de 4 saat bekleyen numunenin Matano Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı 40
Şekil 5.43	380°C C’de 8 saat bekleyen numunenin Matano Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı 40

	Sayfa
Şekil 5.44 380°C 'de 16 saat bekleyen numunenin Matano Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı	40
Şekil 5.45 380°C 'de 2 saat bekleyen numunelerin Darken analiziyle hesaplanmış konsantrasyona bağlı difüzyon katsayısı.....	42
Şekil 5.46 380°C'de 4 saat bekleyen numunelerin Darken analiziyle hesaplanmış konsantrasyona bağlı difüzyon katsayısı.....	42
Şekil 5.47 380°C 'de 8 saat bekleyen numunelerin Darken analiziyle hesaplanmış konsantrasyona bağlı difüzyon katsayısı.....	42
Şekil 5.48 380°C 580°C de 16 saat bekleyen numunelerin Darken analiziyle hesaplanmış konsantrasyona bağlı difüzyon katsayısı.....	42
Şekil 5.49 380°C de 2-4-8-16 saat bekleyen numunenin Darken analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı	42
Şekil 5.50 380°C de 2 saat bekleyen numunenin konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısının hesaplanması	43
Şekil 5.51 380°C de 4 saat bekleyen numunenin konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısının hesaplanması	43
Şekil 5.52 380°C de 8 saat bekleyen numunenin konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısının hesaplanması	43
Şekil 5.53 380°C de 16 saat bekleyen numunenin konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısının hesaplanması	43

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 5.1 580°C' de 2 saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	22
Çizelge 5.2 580°C' de 2 saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	22
Çizelge 5.3 580°C' de 2 saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	22
Çizelge 5.4 580°C' de 2 saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	23
Çizelge 5.5 580°C' de 2 saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	23
Çizelge 5.6 580°C' de 2 saat bekleyen numunenin 6 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	23
Çizelge 5.7 580°C' de 4 saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	23
Çizelge 5.8 580°C' de 4 saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	23
Çizelge 5.9 580°C' de 4 saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	23
Çizelge 5.10 580°C' de 4 saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	24
Çizelge 5.11 580°C' de 4 saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	24
Çizelge 5.12 580°C' de 4 saat bekleyen numunenin 6 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	24
Çizelge 5.13 580°C' de 8 saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	24
Çizelge 5.14 580°C' de 8 saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	24
Çizelge 5.15 580°C' de 8 saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	24
Çizelge 5.16 580°C' de 8 saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	25
Çizelge 5.17 580°C' de 8 saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	25
Çizelge 5.18 580°C' de 8 saat bekleyen numunenin 6 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	25
Çizelge 5.19 580°C' de 16 saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	25
Çizelge 5.20 580°C' de 16 saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	25
Çizelge 5.21 580°C' de 16 saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	25
Çizelge 5.22 580°C' de 16 saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	26
Çizelge 5.23 580°C' de 16 saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	26
Çizelge 5.24 580°C' de 16 saat bekleyen numunenin 6 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması	26

	Sayfa
Çizelge 5.25	580°C' her tavlama süresi için mesafeye bağlı Cu konsantrasyonu..... 26
Çizelge 5.26	380°C' de 2 saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 28
Çizelge 5.27	380°C' de 2 saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 28
Çizelge 5.28	380°C' de 2 saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 28
Çizelge 5.29	380°C' de 2 saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 28
Çizelge 5.30	380°C' de 2 saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 29
Çizelge 5.31	380°C' de 4 saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 29
Çizelge 5.32	380°C' de 4 saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 29
Çizelge 5.33	380°C' de 4 saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 29
Çizelge 5.34	580°C' de 4 saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 29
Çizelge 5.35	380°C' de 4 saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 29
Çizelge 5.36	380°C' de 8 saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 30
Çizelge 5.37	380°C' de 8 saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 30
Çizelge 5.38	380°C' de 8 saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 30
Çizelge 5.39	380°C' de 8 saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 30
Çizelge 5.40	380°C' de 8 saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 30
Çizelge 5.41	380°C' de 16 saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 30
Çizelge 5.42	380°C' de 16 saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 31
Çizelge 5.43	380°C' de 16 saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 31
Çizelge 5.44	380°C' de 16 saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 31
Çizelge 5.45	380°C' de 16 saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analizinin yapılması 31
Çizelge 5.46	380°C' her tavlama süresi için mesafeye bağlı Zn konsantrasyonu analizinin yapılması 32
Çizelge 5.47	Al-Cu numunesinin Matano-Boltzman analiziyle interdifüzyon katsayısı..... 35
Çizelge 5.48	Al-Cu numunesinin Darken analiziyle interdifüzyon katsayısı 36
Çizelge 5.49	580°C'de Al-Cu interdifüzyon katsayısının karşılaştırılması 38
Çizelge 5.50	Al -Zn numunesinin Matano-Boltzman analiziyle interdifüzyon katsayısı..... 40
Çizelge 5.51	Al -Zn numunesinin Darken analiziyle interdifüzyon katsayısı..... 41
Çizelge 5.52	380°C'de Al-Zn interdifüzyon katsayısının karşılaştırılması..... 43

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocalarım Yrd. Doç. Dr. Sabiha YILDIZ ve Yrd. Doç. Dr. Deniz UZUNSOY'a, deney çalışmalarımındaki katkılarından dolayı başta ARGE müdürü Dr. Murat DÜNDAR ve ARGE teknisyeni Hüsnü ÖZTÜRK olmak üzere tüm ASSAN ALÜMİNYUM ARGE bölümüne teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Difüzyon çifti yöntemi için Al-Cu ve Al-Zn metalleri seçildi. 2, 4, 8 ve 16 saat olmak üzere dört tavlama süresi seçildi. Numunelerin konsantrasyon profilleri ölçüldü ve Al içerisine Cu ve Zn difüzyonunun süreye bağlı olarak arttığı kimyasal analiz ve optik görüntülerden görüldü. İnterdifüzyon katsayısı, her tavlama süresi için; Matano-Boltzmann analizi, Darken analizi ve Arrhenius denklemi kullanılarak hesaplandı ve bu üç yöntem birbiriyle karşılaştırıldı. Matano-Boltzmann analiziyle difüzyon katsayısının konsantrasyona bağlı olarak artarken, Darken analizinde; konsantrasyon değişiminin konsantrasyona bağlı olarak çok değişmediği görüldü. Al-Cu ve Al-Zn numunelerinin bu üç yöntemle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı değişimlerinin farklı olduğu ve bunun Al ve Cu'nun aynı kafes yapısına sahipken (yüzey merkezli kübik kafes); Zn'nun hegzagonal sık düzen kafesine sahip olmasından, Cu'nun ergime sıcaklığının çok yüksek olmasından kaynaklanabileceği düşünüldü.

ABSTRACT

Al-Cu and Al-Zn metals were selected for diffusion couple experiment. Four heating times were selected as 2, 4, 8 and 16 hours. Concentration profiles in samples were measured and it was seen that Cu and Zn diffusion in Al increased with time with chemical analysis and optical micrographs. Interdiffusion coefficient were determined using Matano-Boltzmann Analysis, Darken Analysis and Arrhenius equation for each heating time and this three methods were compared to each other. It was seen that diffusion coefficient did not change very much with concentration in Darken analysis while it increased with concentration in Matano-Boltzmann analysis. Diffusion coefficient changing of Al-Cu and Al-Zn samples were different. It was thought it was about Al and Cu had the same structure, face centered cubic structure and Zn had a different one, hexagonal close-packed structure and melting point of Cu is too high.

1. GİRİŞ

Difüzyon; katılaşma, çökelme, yeniden kristalleşme, tane büyümesi gibi olaylarla; kaynak, lehim, sementasyon gibi işlemlerin anlaşılmasında temel ve önemli bir faktördür.

Difüzyon katsayısının hesaplanmasında şu ana kadar bir çok yöntem kullanılmıştır.

Dorfman (1997), Fe-Al intermetalikleri üzerine çalışmış, Matano-Boltzman analizi ile difüzyon katsayısı hesabı deneysel sonuçlara dayandığı için; geliştirilmiş Darken Analizini kullanmıştır. Bu analizde yer alan termodinamik faktör için CALPHAD yöntemini kullanmıştır.

Liu vd. (2006), Arrhenius denkleminde atom çaplarını da hesaba katan tahmini bir difüzyon katsayısı yöntemi geliştirmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırdığında olumlu sonuç almıştır.

Zhang vd. (2006), difüzyon çifti yöntemiyle, Al-Cu-Si atomlarının difüzyonlarını incelemiş ve farklı sıcaklık ve süreler için Cu ve Si konsantrasyon grafiklerini çıkarmış ve karakök difüzyon analizini kullanmıştır.

Yunker ve Orman (2007), katı Fe-Ni alaşımları için interdifüzyonlarını farklı basınç ve sıcaklıklarda ölçmüş ve Matano-Boltzman analiziyle interdifüzyon katsayılarını hesaplamıştır.

Bu çalışmada; Al-Cu ve Al-Zn numuneleriyle çalışıldı, 580°C'de 2,4,8 ve 16 saat bekleyen Al-Cu ve 380°C'de 2,4,8 ve 16 saat bekleyen Al-Zn numunelerinin kimyasal analizleri yapılarak, konsantrasyonun süreye bağlı olarak değişimi gözlemlendi.

Al-Cu ve Al-Zn numunelerinin Matano-Boltzman analizi, Darken Analizi ve Arrhenius denkleminde interdifüzyon katsayıları hesaplandı. Difüzyon katsayılarının süreye bağlı olarak değişimi gözlemlendi ve bu üç metod birbiriyle karşılaştırıldı.

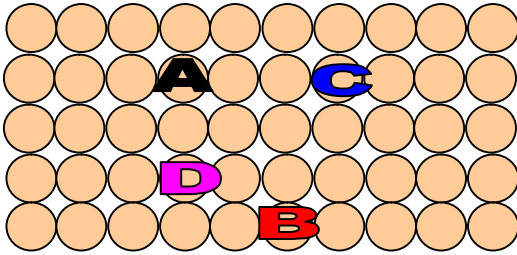
2. DİFÜZYON

Malzeme içindeki atomların, iyonların ve diğer parçacıkların yer değiştirmelerine difüzyon denir (Can, 2006). Malzemelerde üretim ve uygulama sırasında görülen katılaşma, çökelme, yeniden kristalleşme, tane büyümesi gibi olaylarla kaynak, lehim, sementasyon gibi işlemler büyük ölçüde atomların kütle içinde hareketlerine bağlıdır. Isıl enerji etkisinde oluşan hareketler iki farklı aşamada oluşur. Birincisi ısıl etki ile atomların kendi denge konumları çevresindeki küçük titreşim hareketleri, ikincisi ise yine aynı etki ile bir denge konumundan diğerine atlayarak yaptıkları uzak mesafe hareketleridir. İkincisine atomsal yayılım veya difüzyon denir. Atomlar konsantrasyon farkını ortadan kaldırmak ve homojen bir kompozisyon oluşturmak için hareket ederler. Atomsal yayılım sonucu cismin yapısı ve bu nedenle de özellikleri değişir (Onaran, 2006). Difüzyon en hızlı gazlarda en yavaş katılarda meydana gelir. En yavaş katılarda meydana gelmesine rağmen, katı durum difüzyonu mühendislik malzemeleri için oldukça önemli bir yere sahiptir (Schaffer vd., 1999).

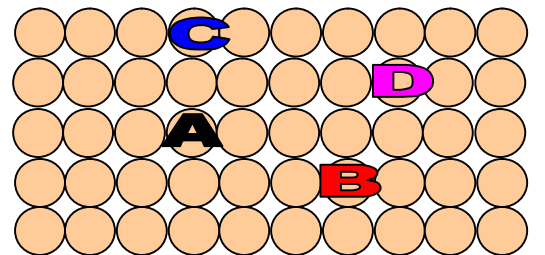
2.1 Yayılan Atom Türü Bakımından Difüzyonun İncelenmesi

2.1.1 Self Difüzyon(Öz Difüzyon) :

Tek tür atom içeren arı metallerde oluşan difüzyon self difüzyon olarak adlandırılır (Onaran, 2006). Şekil 2.1a'daki atomların bir kısmını işaretleyelim. Bir süre sonra atomların Şekil 2.1b'deki gibi yer değiştirdiği görülür.



Şekil 2.1a Self difüzyondan önce atomların dizilişi

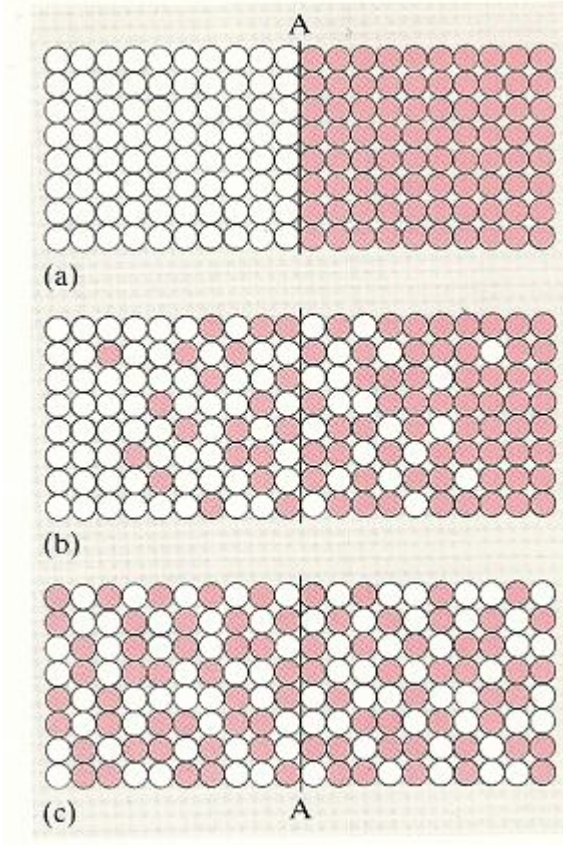


Şekil 2.1b Self difüzyondan sonra atomların dizilişi

2.1.2 İnterdifüzyon

Farklı iki metal birleştirilerek; bu metaller ergime sıcaklıklarının altındaki bir sıcaklıkta tavlınır ve oda sıcaklığında soğutulursa, kimyasal analiz yapıldığında metallerin

konsantrasyonlarının mesafeye bağlı olarak değiştiği; bu iki metalin atomlarının birbirine difüz ettiğini görülür. Metallerin atomlarının birbiri içerisine difüz ettiği bu prosese interdifüzyon denir (Callister, 2003). Şekil 2.2’de grldğu gibi beyaz atomlar sağa doğru, kırmızı atomlar sola doğru konsantrasyon dengesi oluşana kadar hareket ederler.



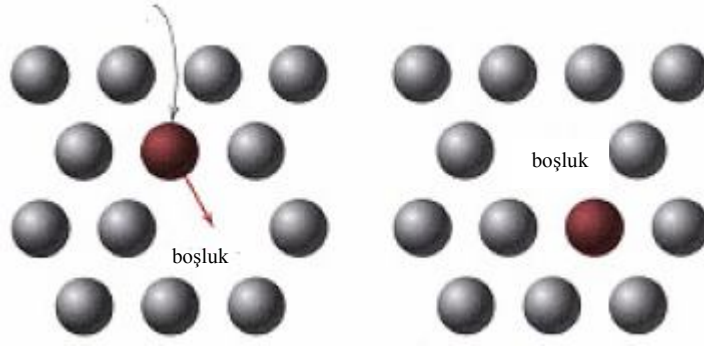
Şekil 2.2 Metal çiftinde atomların birbiri içerisine difüzyonu (Newey ve Weaver, 1990)

2.2 Difüzyon Mekanizması

Katı içerisindeki atomların yayılması ister öz difüzyon isterse kütle taşımasını sağlayan difüzyon olsun difüzyon mekanizmalarından bir veya bir kaıyla gerçekleşir (Callister, 2003).

2.2.1 Boşluk Difüzyonu Mekanizması:

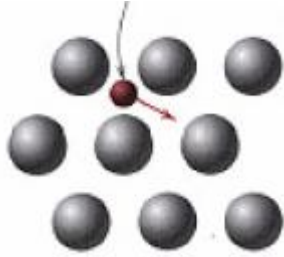
Bu mekanizma bir atomun Şekilde gösterildiği gibi normal kafes konumundan yakın boş kafes boşluğuna geçmesidir (Callister, 2003). Şekil 2.3’de görülmektedir.



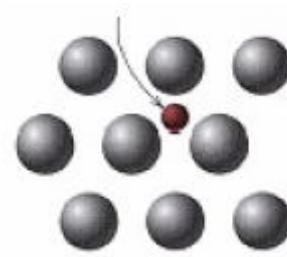
Şekil 2.3 Ev sahibi atomun hareketi (Callister, 2003)

2.2.2 Ara yer Difüzyon Mekanizması:

Çapları ana kafesin atomlarından oldukça küçük olan atomlar için önem kazanan mekanizmadır. Atomların ara yer pozisyonundan boş olan başka bir pozisyona geçmesinden oluşur. Bu mekanizma ara yere sığacak kadar küçük Hidrojen, Karbon, Nitrojen ve Oksijen yayılması örnek olarak verilebilir (Callister, 2003). Şekil 2.4a ve Şekil 2.4b’de görülmektedir.



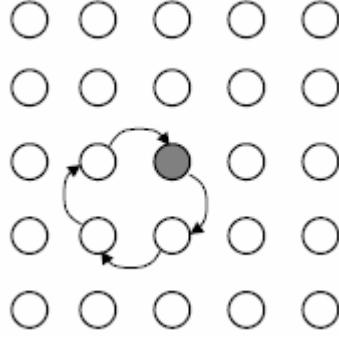
Şekil 2.4a Ara yer atomunun difüzyondan önceki konumu (Callister, 2003)



Şekil 2.4b Ara yer atomunun difüzyondan sonraki konumu (Callister, 2003)

2.2.3 Halka Difüzyon Mekanizması:

Birbirine değerek bir halka halinde bulunan atomlar aynı anda ve aynı yönde hareket ederek birbirlerinin yerini alabilirler. Bu tür yayılım çok büyük enerji gerektirdiğinden ancak ergime sıcaklığına yakın bölgelerde oluşabilir (Onaran, 2006). Şekil 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.5 Halka difüzyon mekanizması (Paul, 2004)

2.3 Fick Kanunları

2.3.1 1.Fick Kanunu

Eğer bir boyutlu sistemde konsantrasyon değişiminden dolayı taneciklerin (atom, molekül, iyon v.b) değişimi göz önünde tutulursa, şöyle açıklanabilir,

$$J = -D \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (2.1)$$

Denklemden; J , $(\partial C / \partial x)$ konsantrasyon gradyanına bağlı olarak difüz eden tanelerin x yönündeki akış oranı, D difüzyon katsayısıdır ve m^2 / s cinsindedir (Shackelford, 2005)

2.3.2 2. Fick Kanunu

Konsantrasyonun zamana bağlı olarak değişmesi durumunda 1. Fick denkleminin türevi alınarak x yönündeki akış şöyle ifade edilir (Çev., R. Safoğlu, 1972).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (2.2)$$

2.4 Difüzyon Katsayısı Hesaplamaları

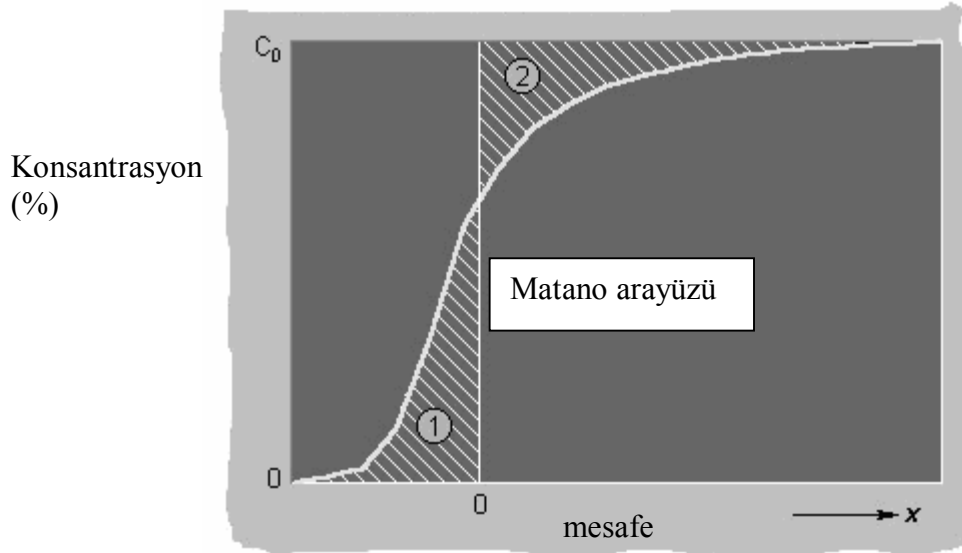
2.4.1 Matano-Boltzmann Analizi

Difüzyon profili boyunca konsantrasyonun fonksiyonu olarak tanımlı difüzyon katsayısı Boltzmann-Matano metodu kullanılarak hesaplanabilir. Difüzyon katsayısının kompozisyonla değiştiği durumlarda difüzyon denkleminin çözümü için nümerik bir çözüm olmadığı için bu yöntemi kullanmak gerekir. Boltzmann-Matano denklemi 2. Fick kanunundan türetilir (Yunker ve Orman, 2007).

$$\tilde{D}(C_B^*) = -\frac{1}{2t} \left(\frac{dx}{dC_B} \right)_{C_B^*} \int_{C_B^-}^{C_B^*} x dC_B \quad (2.3)$$

C_B^* difüzyon profilinde B atomunun belirli bir noktadaki konsantrasyonunu, t tavlama süresini, dx/dC_B belirli bir kompozisyondaki eğimi göstermektedir.

$x=0$ noktası (metallerin birleşme noktası) Matano arayüzü olarak kabul edilir.



Şekil 2.6 Matano arayüzü (www.matter.com)

2.4.2 Darken Analizi

İnterdifüzyon katsayısı şöyle yazılabilir;

$$\tilde{D} = X_A D_B + X_B D_A \quad (2.4)$$

X_A, X_B ; sırasıyla A ve B metallerinin atomik yüzdelerini göstermektedir.

D_A, D_B ; sırasıyla A ve B metallerinin öz difüzyon katsayılarını göstermektedir.

Bu bağıntı ilk kez Darken tarafından önerilmiştir (Paul, 2004)

2.4.3 Arrhenius Denklemi

Difüzyon sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir (Mangonon, 1999). Difüzyon katsayısını sıcaklığa bağlı olarak ifade eden Arrhenius denklemini şu şekilde verebiliriz;

$$D = D_0 \exp(-Q / RT) \quad (2.5)$$

Bu denklemde D_0 , D ile aynı birime (m^2 / s) sahip sabittir. Q aktivasyon enerjisidir ve kal / mol veya $Joul / mol$ olarak ifade edilebilir, R gaz sabitini; $1,987 kal / mol$ veya $8,314 Joul / mol$ olarak ifade edilebilir, T (K) cinsinden sıcaklığı ifade etmektedir.

2. AL-CU ve AL-ZN ALAŞIMLARI

Endüstriyel metaller çoğunlukla birden fazla tür eleman içerirler, çok azı arı halde kullanılır. Arı metallerin yüksek iletkenlik, korozyona dayanıklılık gibi bazı üstün özellikleri olmasına rağmen genellikle yumuşak, mukavemetleri düşük ve pahalıdır. (Ünal, 2005).

Alüminyumun en önemli özelliği hafif olmasıdır. Yoğunluğu $2,7 \text{ gr/cm}^3$ olup demirinkinin üçte biri kadardır. Alaşımsız halde çekme mukavemeti 90 N/mm^2 civarında olmasına karşın alaşımlandırma ile kolayca 220 N/mm^2 ve ısıtılma işlemi (çökelme sertleşmesi) 440 N/mm^2 yükseltilebilir. Bu değer yapı çeliğinin mukavemetine yakındır. Özgül mukavemet (çekme mukavemeti/özellik ağırlık) olarak tanımlandığına göre alüminyum alaşımlarının özgül mukavemetinin yapı çeliklerinkinin üç katına yakın olduğu kolayca görülür. Bu nedenle alüminyum alaşımları hafifliğin önemli olduğu taşıt araçları ve uçak üretimine elverişlidir.

Alüminyumun diğer bir üstün özelliği korozyona dayanıklılıktır. Yüzeyinde oluşan oksit tabakası alüminyum korozyona karşı korur. Ayrıca anodizasyon veya eloksal işlemi ile bu koruyucu tabakaların kalınlığı artırılabilir. Ancak alkali eriyikler bu oksit tabakasını bozduğundan koruyuculuk etkisi kaybolur. Bu nedenle yapılarda harç, sıva gibi kireç içeren malzemelerin alüminyum elemanlara sürülmemesi gerekir. İnşaat süresinde bu elemanların üzeri bir bantla örtülmelidir.

Arı alüminyumun elektriksel iletkenliği yüksek olup bakırinkinin %60'ı kadardır. Diğer taraftan bakırın yoğunluğunun alüminyumunkinin üç katından fazla olduğu göz önüne alınırsa birim ağırlık başına düşen iletkenlik yönünden bakırdan daha üstün olduğu görülür. Bu nedenle geniş açıklıklı yüksek gerilim hatlarında çelik taşıyıcılarla birlikte en uygun iletken alüminyumdur.

Yüzey merkezli kübik kafese sahip alüminyum büyük ölçüde plastik şekil değiştirebilir. Haddeme sonucu %99 oranında plastik şekil değiştirerek folyo (çok ince tabaka) haline getirilebilir. Ayrıca toksik olmadığına gıda endüstrisinde ve paketleme işlemlerinde çok yaygın olarak kullanılır.

Saf Alüminyum yumuşaktır ve 90 N/mm^2 'den daha yüksek olmayan dayanıma sahiptir, bu nedenle mühendislik amaçlı alaşım şeklinde kullanılır.

Alüminyuma katılan en önemli alaşım elemanları Cu, Mg, Si ve Be'dur. Bu elemanlar katı eriyik oluştururlar. Endüstride alüminyum alaşımları dövme alaşımlar (hadde ürünü) ve dökme alaşımları olarak iki gruba ayrılır. Alüminyum alaşımlarında katı eriyik sertleşmesinde başka soğuk şekil verme ve çökelme sertleşmesi işlemleri ile de mukavemet artışı sağlanır. Özellikle bakır içeren dövme alaşımlara uygulanan çökelme sertleşmesi veya yaşlanma sertleşmesi uygulamada önemli bir yer tutar. Bakırın Alüminyumda erime oranı sıcaklığa bağlıdır. Yüksek sıcaklıkta tek fazlı katı eriyik halinde olan bir alaşım dengeli soğuma sırasında doyma sıcaklığına gelince ikinci faz tane sınırı boyunca çöker. Eğer soğuma çok hızlı olursa ikinci faz ayrışamaz, sonuçta bakırca aşırı doymuş tek faz elde edilir. Bu durumdaki alaşım kontrollü ısıtılıp mikroskop altı düzeyde çökelme sağlanırsa sert ve mukavemeti yüksek bir metal elde edilir. Bu işleme çökelme veya yaşlanma sertleşmesi denir (Onaran, 2006).

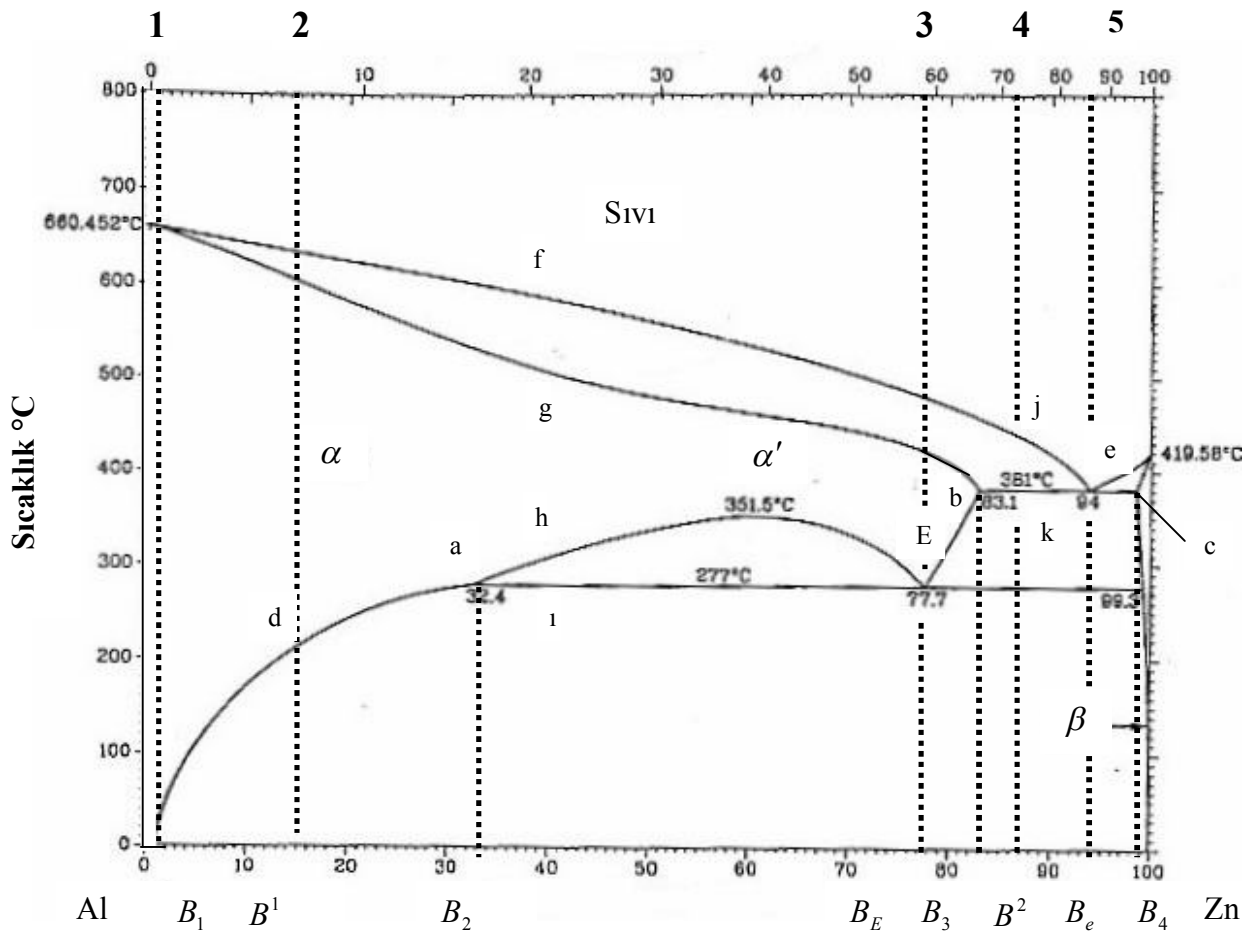
3.1 Faz Diyagramlarının İncelenmesi

Bir cisim bağ kuvvetleri etkisi altında en düşük enerjili denge konumunda bulunan atomlar grubundan oluşur. Homojen olarak dizilmiş atomlar kararlı denge halinde belirli bir faz meydana getirirler. Ancak koşullar değişirse enerji içeriği değişir, denge bozulur, atomlar daha düşük enerji gerektiren başka bir denge konumuna geçerek değişik biçimde dizilir ve sonuçta yeni bir faz oluşur. Fazların oluşumunda ve dönüşümünde ana etken enerji içeriğidir, bu içeriği değiştiren üç ana etken vardır: sıcaklık, basınç ve bileşimdir. Arı cisimler tek bileşenli en basit yapıli sistemlerdir, sıcaklık ve basınca bağlı olarak katı, sıvı ve gaz halinde bulunurlar. Birden fazla tür atom içeren çok bileşenli sistemlerin dengesi oldukça karışıktır. Sıcaklık ve basıncın yanında bileşim de iç yapı oluşumunu etkiler ve bunlar değişti zaman değişik tür fazlar meydana gelebilir. Bu değişkenler etkisinde doğacak fazların türlerini ve bunların özelliklerini bilmek uygulama yönünden çok önemlidir. Böylece amaca uygun özelliklere sahip malzeme üretimi olanakları sağlanabilir. Bunun için gerekli bilgiler ancak denge diyagramları yardımı ile elde edilebilir. Bu diyagramlardan belirli bir malzeme sisteminde sıcaklık ve bileşime bağlı olarak oluşacak fazların türleri, bileşimleri ve miktarları saplanabilir, hatta iç yapılar da tahmin edilebilir. Endüstride malzeme üretiminde ve mekanik

özellikleri değiştirmek için uygulanacak ısı işlemlerde denge diyagramlarından büyük ölçüde yararlanır (Onaran, 2006).

3.1.1 Al-Zn Faz Diyagramının İncelenmesi

Temel çöktiller $MgZn_2$ intermetalik bileşiminden oluşur. Çinkonun ve Magnezyumun Alüminyum içerisinde yüksek çözünürlüğü yüksek yoğunluklu çözeltilerin oluşmasını, bu da dayanımın oldukça yükselmesini sağlar. Bu serini en önemli alaşımı 7075'tir ve bu alaşım %5,6 Zn, %2,5 Mg, %1,6 Cu ve %0,25 Krom ihtiva eder. 7,75-T6 alaşımının çekme dayanımı 504 MPa'dır. Bu seri yüksek dayanımın gerekli olduğu yerlerde kendine uygulama alanı bulur (www.yenimuhendis.com).



Şekil 3.1 Al-Zn faz diyagramı (Schaffer vd., 1999)

Şekil 5.1 Al-Zn faz diyagramını incelediğimizde, dört tane tek fazlı bölge görülmektedir; α , α' , β ve sıvıdır. α fazı Alüminyumca zengin katı çözüldür, çözünen bileşen olarak Çinko içermektedir ve fcc kristal yapısına sahiptir. β katı çözüldür hcp kristal yapısına sahiptir ve Çinko çözenendir. α ve β fazlarının sırasıyla saf Alüminyum ve saf Çinko içerdiği göz önüne alınır. Bu katı fazların her birinin çözünlüğü sınırlıdır. Çinkonun Alüminyum içindeki çözünlüğü oda sıcaklığında 0'dan, 381°C 'de 83,1'lik maksimum çözünlüğe ulaşır ve Alüminyumun ergime sıcaklığında ($660,452^{\circ}\text{C}$) yeniden 0'a düşer.

Alüminyumun Çinko içindeki çözünlüğü 381°C 'de 1,2'lik maksimum değerine ulaşır.

1 Alaşımı : 0- B_1 aralığındaki B^1 alaşımı sıvı halden katılaşıarak tek fazlı α katı eriyiğine dönüşür ve oda sıcaklığında kadar varlığını korur.

2 Alaşımı : %15 Zn bileşimindeki alaşım katılaşıarak tek fazlı α katı eriyiğine dönüşür ve oda sıcaklığına kadar varlığını korur.

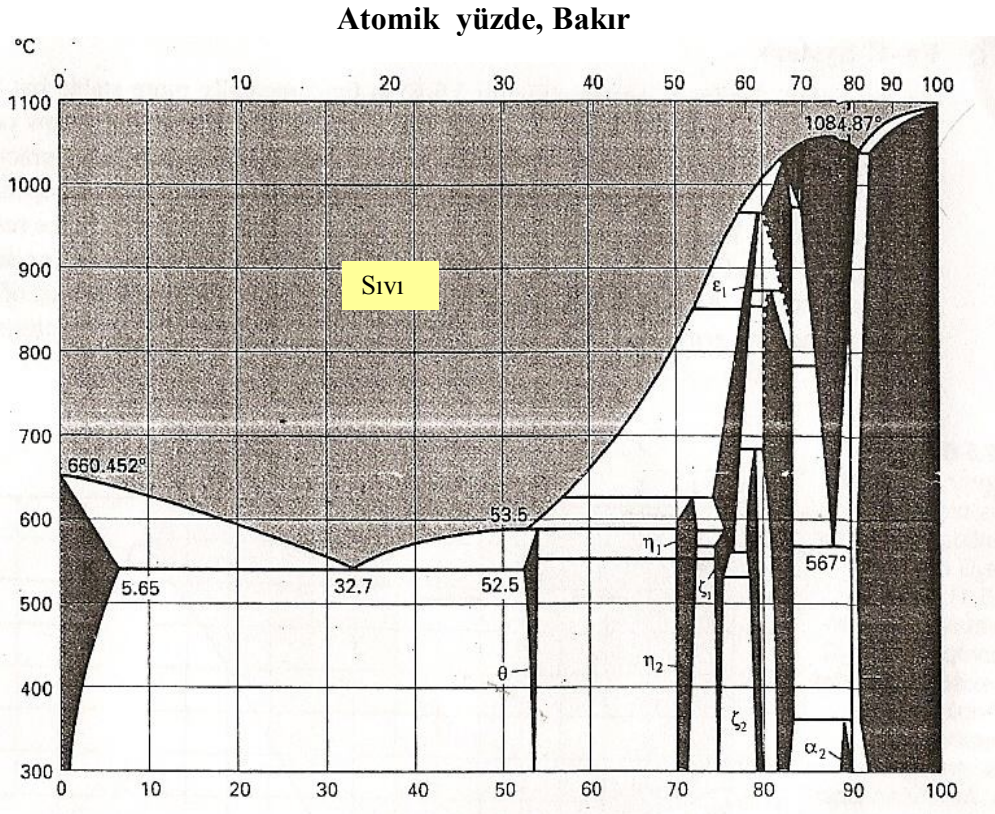
3 Alaşımı : Karakteristik %77,7 ötektoid bileşime sahip olan bu alaşım ötektoid sıcaklığa (273°C) geldiğinde E noktasında ötektoid dönüşüme uğrar ve aynı anda α' katı fazı, α ve β katı fazlarına dönüşür.

4 Alaşımı : $B_3 - B_e$ aralığında % B^2 alaşımındaki bir alaşım j noktasında katılaşmaya başlar ve sıvıdan α' fazı ayrışır. Ötektik ergime sıcaklığına (351°C) gelince geriye kalan sıvı bileşimi B_e olup ötektik reaksiyonu ile ötektik yapıya dönüşür, sıvının yanında kalan α' fazı dönüşüm sırasında aynı kalır. Bu alaşım, α' kristallerinin bir kısmı sıvı fazdan ayrışan ötektik üstü α' , bir kısımda ötektik modüller içinde bulunan ötektik α' 'dür.

5 Alaşımı : %94 ötektik bileşime sahip bu alaşım sıvı halden soğuyarak, 381°C 'ye geldiği zaman e noktasında ötektik dönüşüme uğrar ve aynı anda β ve α' kristalleri aralarındaki yakın ilişki nedeniyle yan yana çok ince tabakalar halinde büyürler. Ötektik ergime sıcaklığında 381°C 'de bc bağ çizgisine göre α' fazı %83,1 Zn, β fazı %98,8 Çinko içerir., sıvı fazın bileşimi ise %77,7'dir. $B_3 > B_e > B_4$ eşitsizliğinden görüleceği gibi β fazı Çinkoca en zengin, α ise en fakirdir. Difüzyon kurallarına göre en hızlı difüzyon en zengin bölgeden en fakir bölgeye doğrudur. Bu durumda Çinko atomları β 'dan α 'ya , benzer

nedenle, Alüminyum atomları α 'dan β 'ya doğru daha yüksek hızla yayılır. Bu tür atom alışverişi sonucu α ve β fazları büyüme eğilimi gösterir.

3.1.2 Al-Cu Faz Diyagramının İncelenmesi



Şekil 3.2 Al-Cu faz diyagramı (Shockelford, 2005)

1 Alaşımı : %1,7 Al alaşımındaki alaşım katılarak tek fazlı α faz yapısı oluşur. Sıcaklık düşüncü a noktasında Bakırca doymuş hale gelen α 'dan θ ayrılır.

2 Alaşımı : %32,7 ötektik bileşime sahip bu alaşım soğuyarak sıvı halden; 548°C 'ye geldiğinde e noktasında ötektik dönüşüme uğrar ve aynı anda α ve θ katı fazları oluşur. Ötektik ergime sıcaklığında (548°C)'de bc bağ çizgisine göre α fazı %5,65 Cu, θ fazı %52,5 Cu içerir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar bölümünde ASSAN ALÜMİNYUM tarafından 1050 Al alaşımlarda Zn ve Cu difüzyonunun yapısal özelliklere etkisinin araştırılmasıyla ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

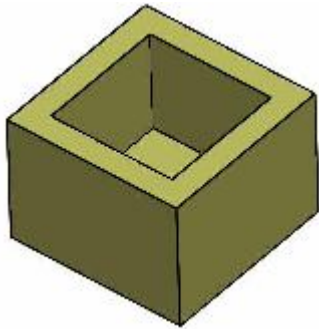
4.1 Numune Hazırlama

4.1.1 Alaşım ve Tavlama Sürelerinin Seçilmesi

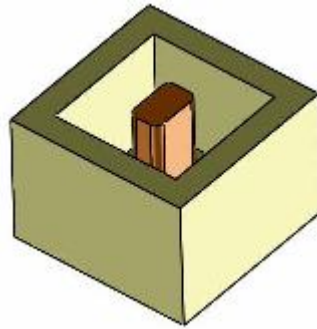
Difüzyon çifti deneyi için Al –Cu ve Al –Zn seçildi. %99,5 saflıkta Al ve %99,90 saflıkta Cu ve %99,5 saflıkta Al ve %99,90 saflıkta Zn için 2,4,8,16 saat olmak üzere dört adet tavlama süresi belirlendi.

4.1.2 Numunelerin Dökümü

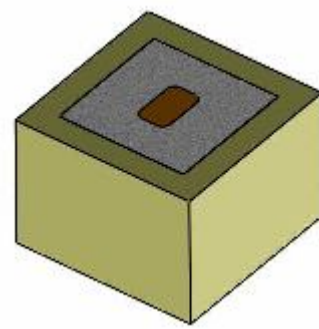
Deney kabında katı halde bulunan Şekil 4.1 b'deki Cu üzerine 1050 Al alaşım 700-710°C arasındaki potadan alınarak deney kabına Şekil 4.1c'de gösterildiği gibi döküldü.



Şekil 4.1a Deney kabı



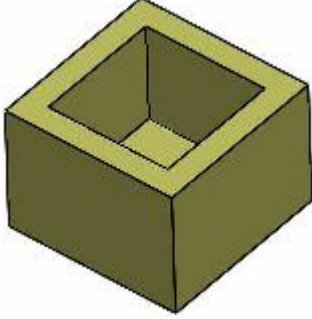
Şekil 4.1b Deney kabı içinde Cu



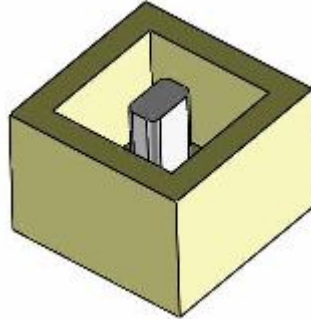
Şekil 4.1c Deney kabı içinde Al ve Cu

Al-Cu difüzyon çiftinde Cu'nun ergime sıcaklığı ($T_m=1084,87^{\circ}C$) ,Al ergime sıcaklığından ($T_m=660,452^{\circ}C$) büyük olduğu için katı Cu üzerine ergimiş Al dökülmüştü. Al-Zn numunesinde ise Al'un ergime sıcaklığı Zn'nun ergime sıcaklığından ($T_m = 419,58^{\circ}C$) büyük

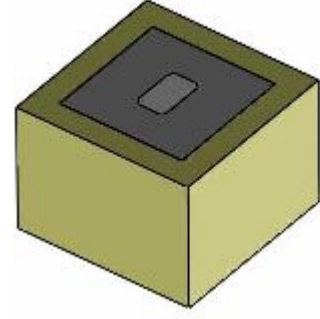
olduğu için deney kabında katı halde bulunan Al üzerine Şekil 4.2c' de gösterildiği gibi Zn potadan alınarak döküldü.



Şekil 4.2a Deney kabı



Şekil 4.2b Deney kabı içinde Al



Şekil 4.2c Deney kabı Al ve Zn

4.2 Numunelere Uygulanan İşlemler ve Deneyler

4.2.1 Isıl İşlem

Numunelerin tavlama sırasında Nebertherm marka laboratuvar tip tav fırını kullanıldı. Tav fırınının Termokupul türü NiCr-Ni, maksimum sıcaklık 650°C, iç boyutları 300x400x250 mm. Numuneler ortam sıcaklığında soğutulduktan sonra 580°C'ye ayarlanan tav fırınına konuldu. 4 adet numuneden 1. si 2 saat, 2. si 4 saat, 3. s. 8 saat ve 4. s. 16 saatin sonunda fırından çıkartıldı.

4.2.2 Metalografik Hazırlık

4.2.2.1 Parlatma

Su testeresi ile kesilen numuneler, sırasıyla 1000-1200-2400-4000 meç zımpara kağıtları ile zımparalandı. Önce 3 µm parlatma keçesi, 3 µm keçe solisyonu, 1-3 µm kaydırıcı yağ ile, ardından silika parlatma keçesi ve silika süspansiyonu ile parlatıldı.

4.2.2.2 Dağlama

2xxx serisi metalografik numunenin dağlanması için; 15 ml HCL , 10 ml HF , 90 ml H_2O bileşimi kullanıldı. Bileşim yüzeye sürüldükten sonra, su ile durulanıp, temizlendi.

7xxx serisi metalografik numunenin dağlanması için; %5 HF asit çözeltisi kullanıldı. Bileşim yüzeye sürüldükten sonra, su ile durulanıp, temizlendi

4.2.3 Görüntü Analizi

Dağlanan numunelerin Zwick marka metalografik ışık mikroskobu ile x500 büyütme olarak Al-Cu difüzyon numunesinin Al tarafından başlayarak, Al-Cu birleşme yüzeyine kadar resmedilerek Al içerisine Cu'ın difüzyonu görüldü.

4.2.4 Kimyasal Analiz

Numunelerin 1 mm ara ile spektrometrik analizleri yapıldı. Spektrometre, alaşımın içindeki metal yüzdesini elektrotlar arasından verilen elektronun oksijeni yakalamasını önlemek için argon gazı atmosferinde ölçer. Elektronun enerji seviyesindeki değişim sonucunda ortaya çıkardığı radyoaktif dalgaın konkav yüzeyden geçerken kırılma açısından yararlanarak, daha önceden girilmiş referanslara göre element yüzdelerini saptar.

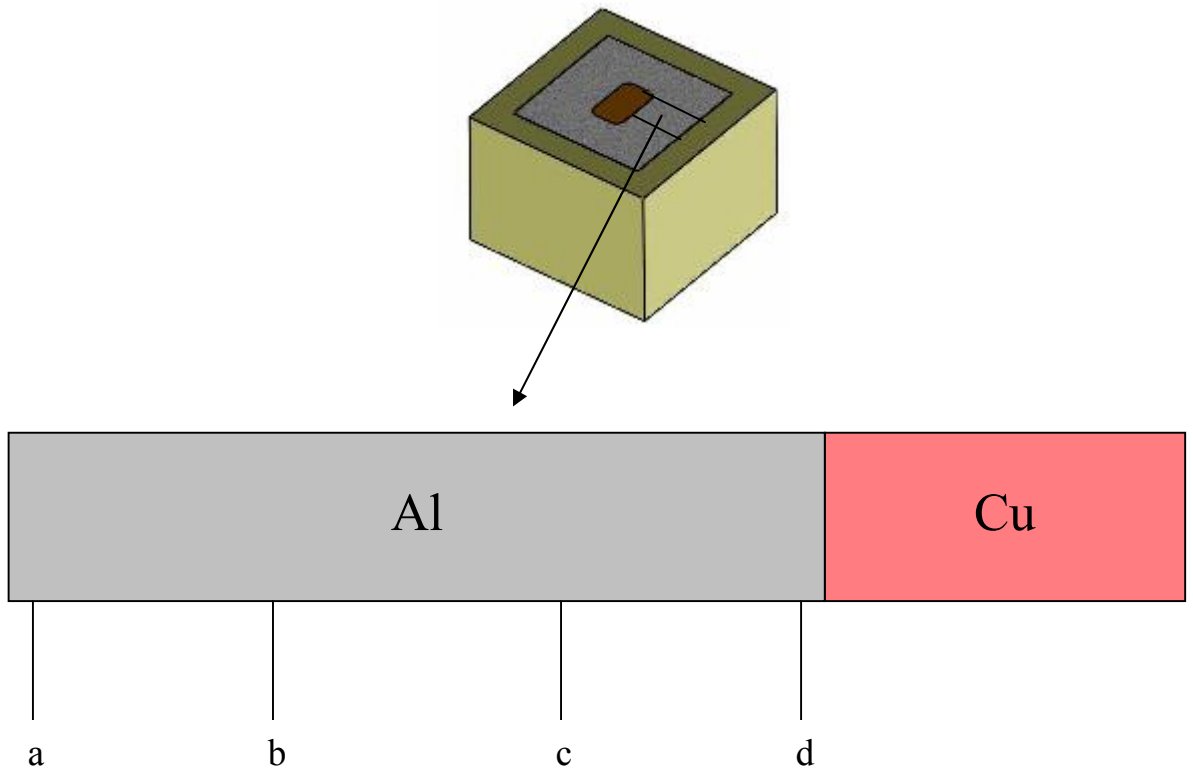
4.2.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Çalışmaları

Metalografik olarak hazırlanan numuneler JEOL marka 5600 SE ve BSC dedektörlü cihaz ile incelenmiştir. Numunelerin dış yüzeyden başlarak birleşme yüzeyine kadar görüntüleri alınmıştır. Görüntüsü alınan her parçaya EDS analizi uygulanarak kimyasal kompozisyonlarına bakılmıştır.

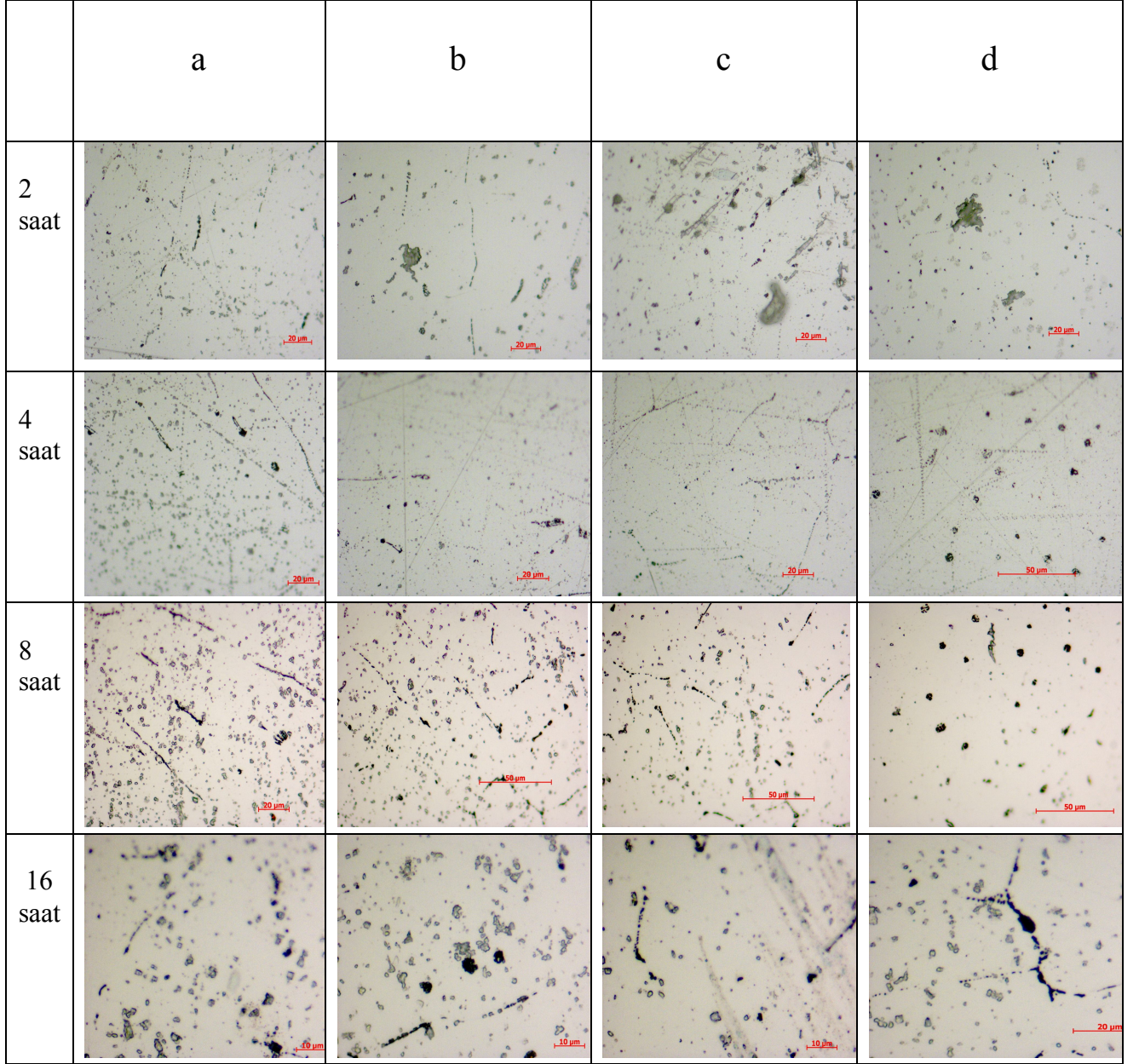
5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI

5.1 Görüntü Analizi

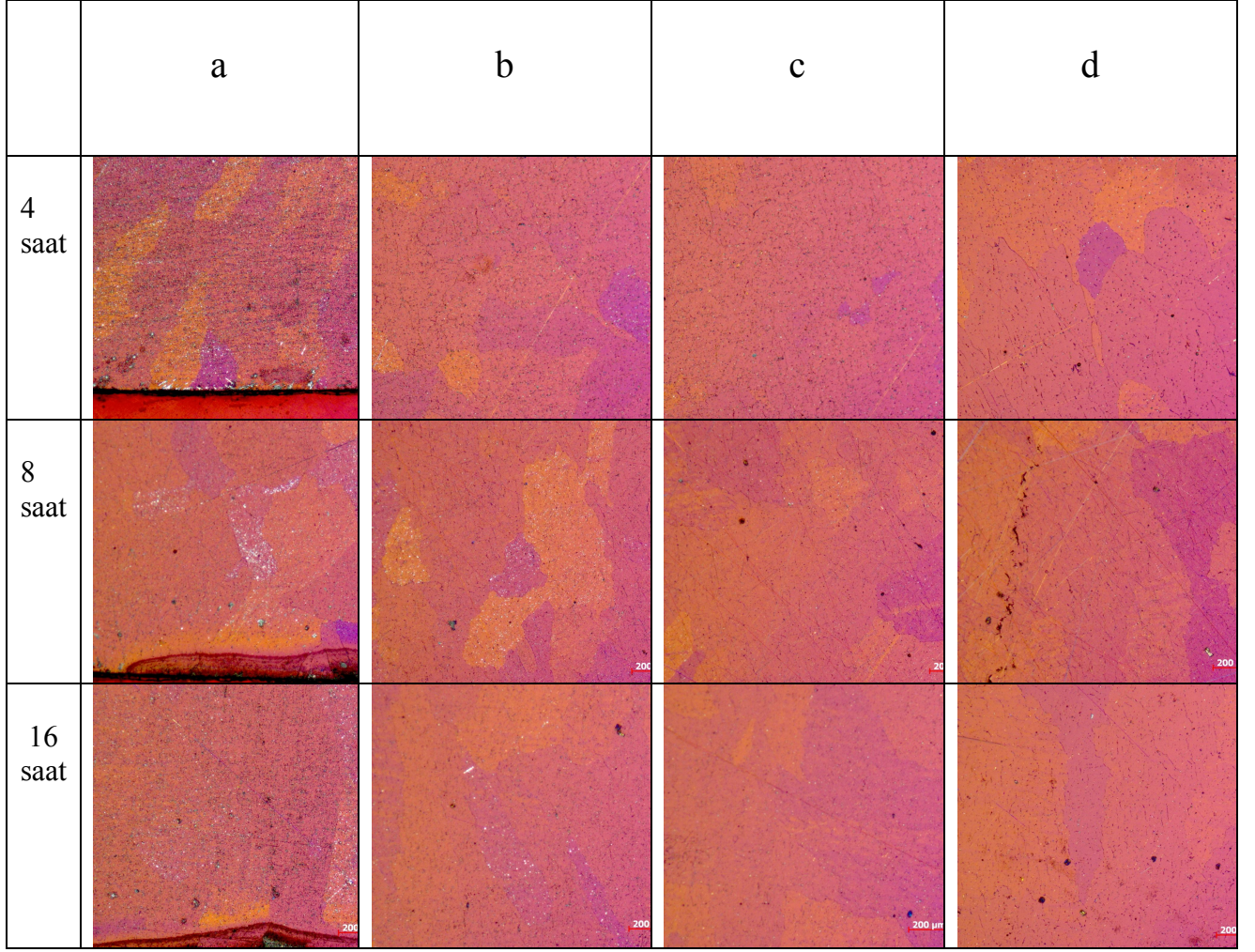
Dağlanmış olan 2, 4, 8, 16 saat tavllanmış Al-Cu ve Al-Zn difüzyon numunelerinin birleşme Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 'de görüldüğü gibi dış yüzeyden başlayarak temas yüzeyine kadar metalografik ışık mikroskobu ile karanlık-parlak alan ve polarize ışık resimleri çekilmiştir



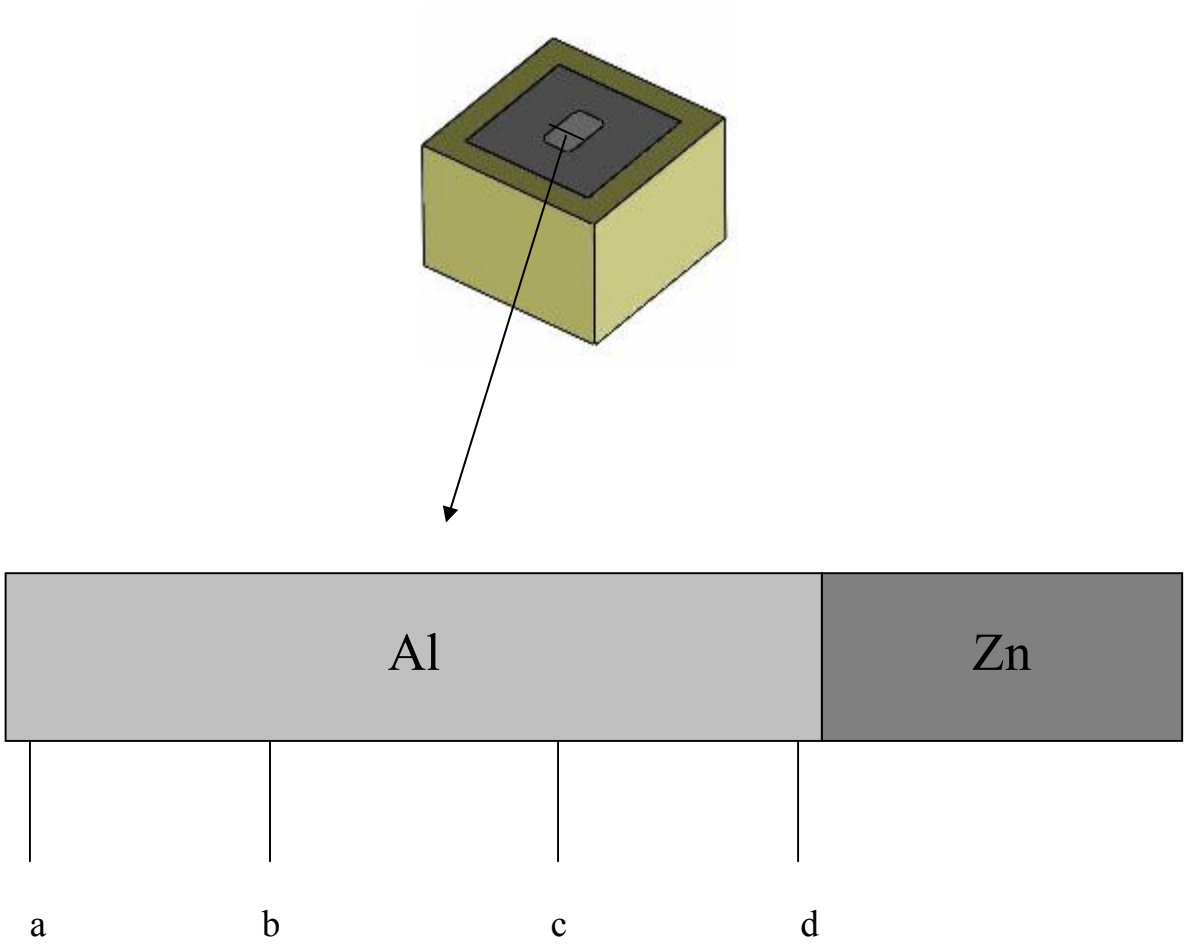
Şekil 5.1 Görüntü analizi yapılan Al-Cu numunesi



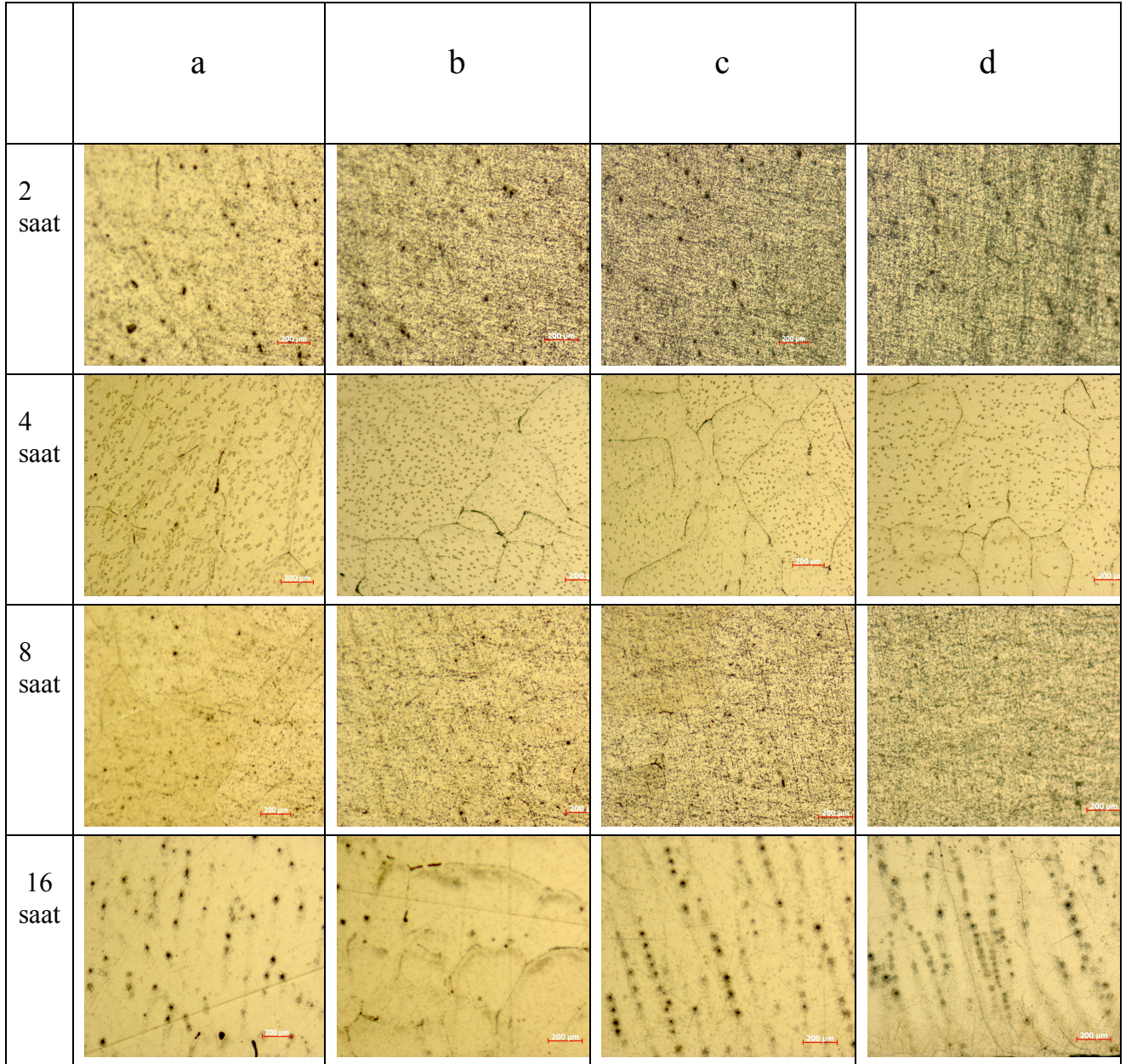
Şekil 5.2 2, 4, 8, 16 saat tavlanan Al-Cu numunelerinin Şekil 5.1’de gösterilen a,b,c,d noktalarından çekilen karanlık-parlak görüntüleri



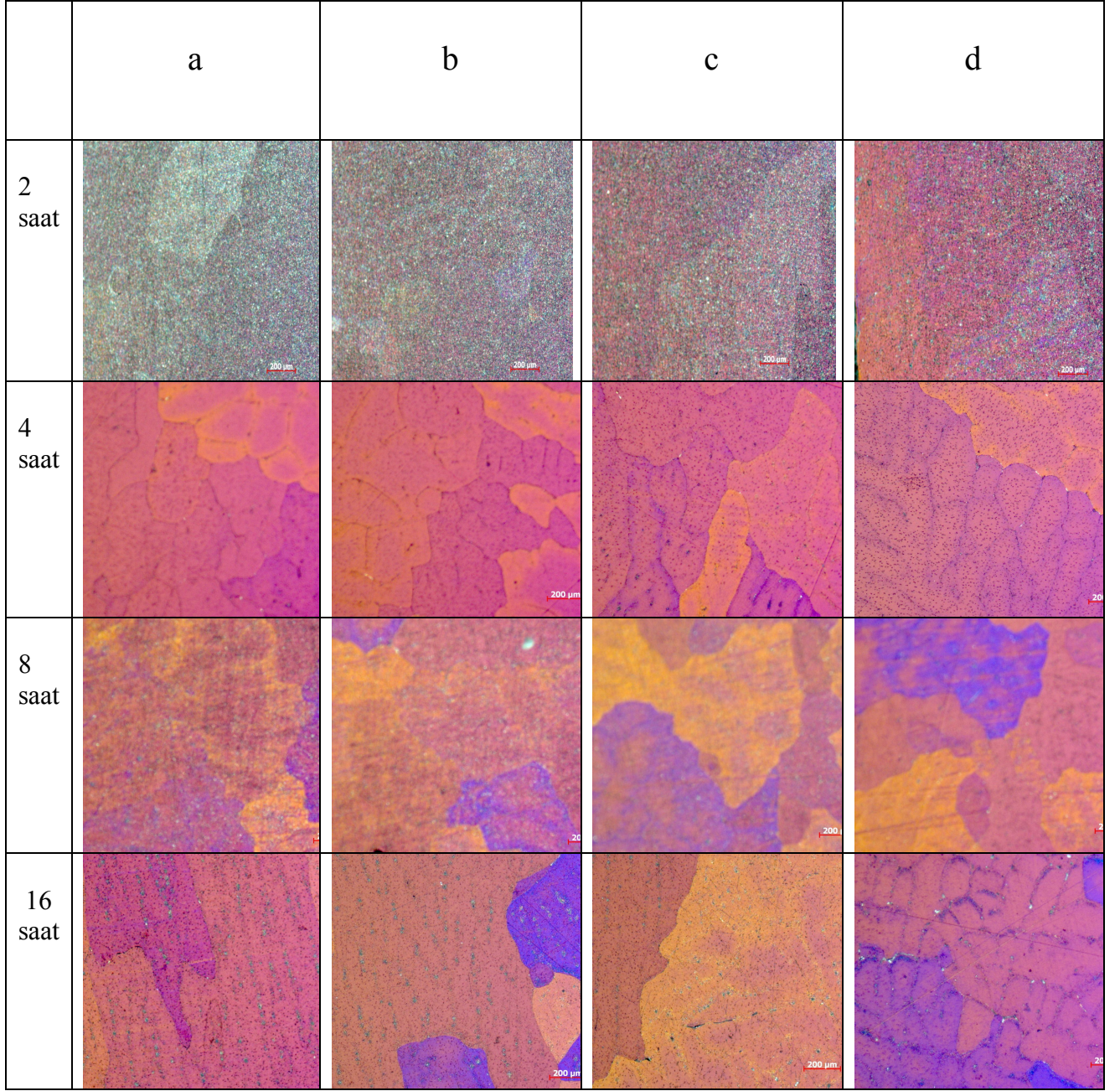
Şekil 5.3 2, 4, 8, 16 saat tavlanan Al-Cu numunelerinin Şekil 5.1’de gösterilen a,b,c,d noktalarından çekilen polarize görüntüleri



Şekil 5.4 Görüntü analizi yapılan Al-Zn numunesi



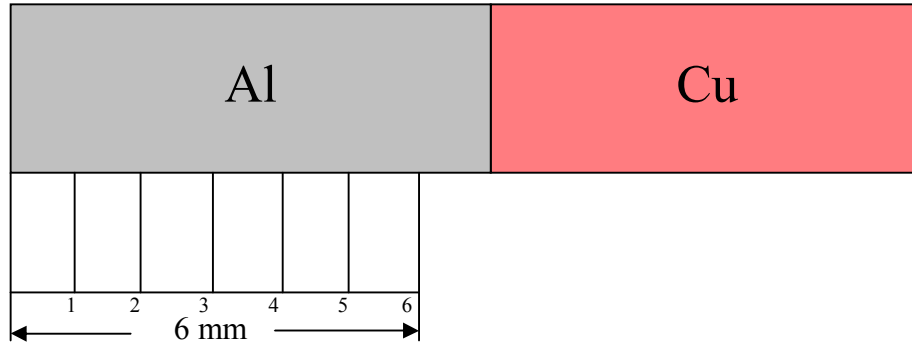
Şekil 5.5 2, 4, 8, 16 saat tavlanan Al-Zn numunelerinin Şekil 5.4’de gösterilen a,b,c,d noktalarından çekilen karanlık-parlak görüntüleri



Şekil 5.6 2, 4, 8, 16 saat tavlanan Al-Zn numunelerinin Şekil 5.4’de gösterilen a,b,c,d noktalarından çekilen polarize görüntüleri

5.2 Kimyasal Analiz

5.2.1 Al-Cu Difüzyon Çiftinin Kimyasal Analizi



Şekil 5.7 Kimyasal analizi yapılan Al-Cu numunesi

Numunelerin 1 mm ara ile spektrometrik analizleri yapıldı.

Çizelge 5.1 580°C'de 2 Saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,144	0,303	0,004	0,004	0,004	0,001	0,015	0,002	0,002
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,001	0,000	0,003	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	99,62

Çizelge 5.2 580°C'de 2 Saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,136	0,292	0,004	0,003	0,004	0,001	0,013	0,002	0,002
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,001	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	99,60

Çizelge 5.3 580°C'de 2 Saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,123	0,237	0,004	0,003	0,004	0,001	0,016	0,002	0,002
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	99,57

Çizelge 5.4 580°C'de 2 Saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,117	0,225	0,004	0,003	0,004	0,001	0,014	0,002	0,002
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,00004	0,000	99,55

Çizelge 5.5 580°C'de 2 Saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,133	0,276	0,005	0,005	0,003	0,004	0,012	0,002	0,002
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,000	0,000	0,003	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	99,53

Çizelge 5.6 580°C'de 2 Saat bekleyen numunenin 6 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,131	0,254	0,005	0,003	0,004	0,001	0,016	0,002	0,002
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	99,51

Çizelge 5.7 580°C'de 4 Saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,129	0,259	0,002	0,005	0,004	0,001	0,011	0,0008	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,0007	0,00004	0,000	99,61

Çizelge 5.8 580°C'de 4 Saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,120	0,236	0,002	0,004	0,004	0,001	0,011	0,0007	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,0007	0,00004	0,000	99,59

Çizelge 5.9 580°C'de 4 Saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,125	0,248	0,002	0,004	0,004	0,001	0,011	0,0007	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,0007	0,00004	0,000	99,58

Çizelge 5.10 580°C'de 4 Saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,128	0,251	0,002	0,005	0,004	0,001	0,011	0,0008	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,0007	0,00004	0,000	99,58

Çizelge 5.11 580°C'de 4 Saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,139	0,293	0,002	0,005	0,004	0,001	0,011	0,0009	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,0007	0,00004	0,000	99,57

Çizelge 5.12 580°C'de 4 Saat bekleyen numunenin 6 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,127	0,258	0,01	0,004	0,004	0,001	0,011	0,0008	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,0007	0,00004	0,000	99,53

Çizelge 5.13 580°C'de 8 Saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,129	0,257	0,004	0,005	0,004	0,001	0,012	0,0008	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,0007	0,00005	0,000	99,52

Çizelge 5.14 580°C'de 8 Saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,129	0,257	0,004	0,005	0,004	0,001	0,012	0,0008	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,0007	0,00005	0,000	99,52

Çizelge 5.15 580°C'de 8 Saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,129	0,257	0,004	0,005	0,004	0,001	0,012	0,0008	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,0007	0,00005	0,000	99,52

Çizelge 5.16 580°C'de 8 Saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,129	0,257	0,005	0,005	0,004	0,001	0,012	0,0008	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,0007	0,00005	0,000	99,51

Çizelge 5.17 580°C'de 8 Saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analiz

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,129	0,257	0,014	0,005	0,004	0,001	0,012	0,0008	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,0007	0,00005	0,000	99,50

Çizelge 5.18 580°C'de 8 Saat bekleyen numunenin 6 mm mesafeden spektrometrik analiz

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,129	0,257	0,032	0,005	0,004	0,001	0,012	0,0008	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,0007	0,00005	0,000	99,49

Çizelge 5.19 580°C'de 16 Saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analiz

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,127	0,253	0,004	0,004	0,004	0,001	0,011	0,0008	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,002	0,00006	0,000	0,0007	0,00004	0,000	99,59

Çizelge 5.120 580°C'de 16 Saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analiz

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,126	0,250	0,004	0,005	0,004	0,001	0,011	0,0008	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,0007	0,00004	0,000	99,58

Çizelge 5.21 580°C'de 16 Saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analiz

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,130	0,261	0,005	0,005	0,004	0,001	0,011	0,0009	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0005	0,000	0,003	0,00001	0,000	0,0007	0,00005	0,000	99,58

Çizelge 5.22 580°C'de 16 Saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analiz

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,129	0,259	0,005	0,005	0,004	0,001	0,011	0,0008	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0004	0,000	0,003	0,00001	0,000	0,00004	0,00005	0,000	99,57

Çizelge 5.23 580°C'de 16 Saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analiz

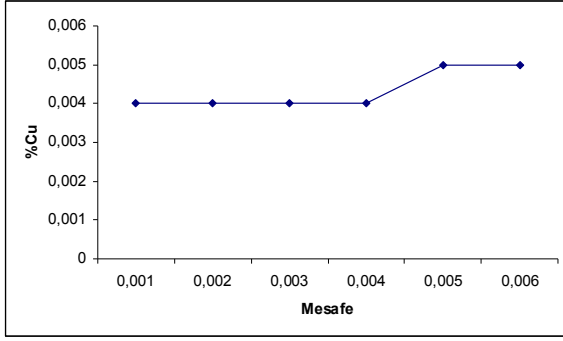
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,124	0,246	0,008	0,004	0,004	0,001	0,011	0,0007	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,0007	0,00004	0,000	99,57

Çizelge 5.24 580°C'de 16 Saat bekleyen numunenin 6 mm mesafeden spektrometrik analiz

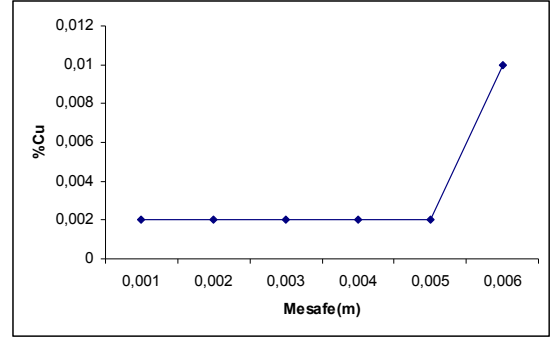
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,129	0,257	0,06	0,005	0,004	0,001	0,012	0,0008	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,0007	0,00005	0,000	99,52

Çizelge 5.25 580°C' de her tavlama süresi için mesafeye göre Cu konsantrasyonu

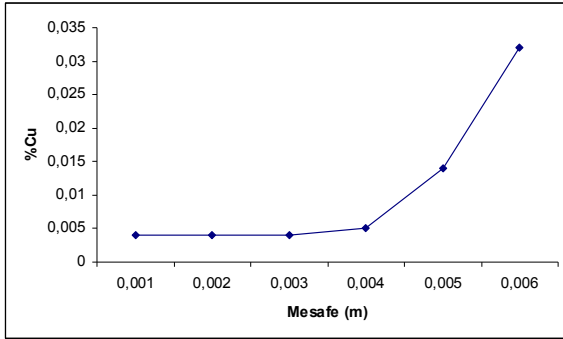
580°C -2h		580°C -4h		580°C -8h		580°C -16h	
Mesafe (m)	%Cu	Mesafe (m)	%Cu	Mesafe (m)	%Cu	Mesafe (m)	%Cu
0,001	0,004	0,001	0,002	0,001	0,004	0,001	0,004
0,002	0,004	0,002	0,002	0,002	0,004	0,002	0,004
0,003	0,004	0,003	0,002	0,003	0,004	0,003	0,005
0,004	0,004	0,004	0,002	0,004	0,005	0,004	0,005
0,005	0,005	0,005	0,002	0,005	0,014	0,005	0,008
0,006	0,005	0,006	0,01	0,006	0,032	0,006	0,06



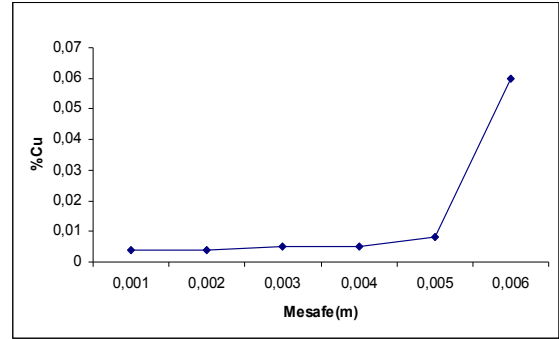
Şekil 5.8 580°C'de 2 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Cu konsantrasyon değişimi



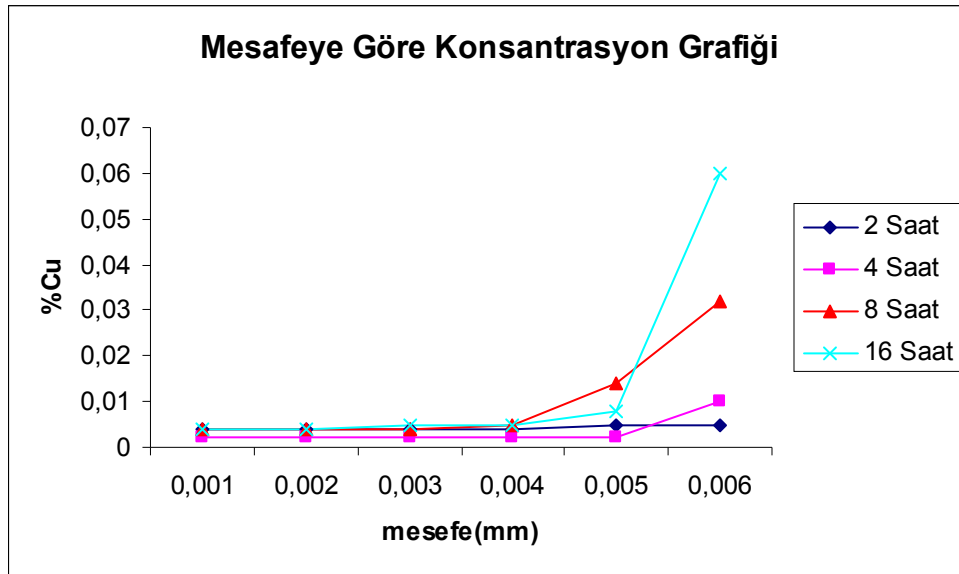
Şekil 5.9 580°C'de 4 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Cu konsantrasyon değişimi



Şekil 5.10 580°C'de 8 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Cu konsantrasyon değişimi

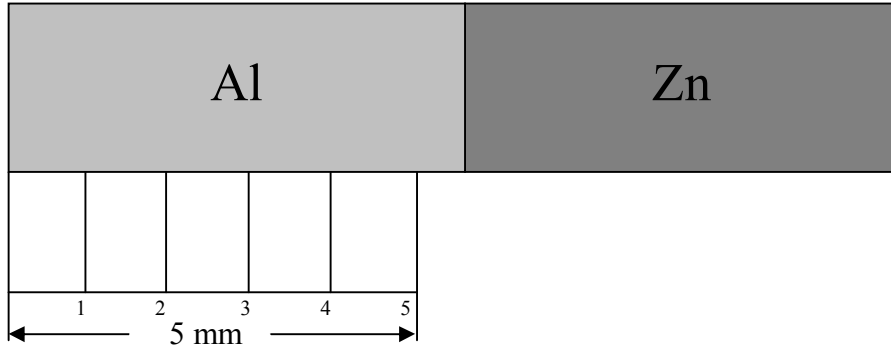


Şekil 5.11 580°C'de 16 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Cu konsantrasyon



Şekil 5.12 580°C'de 2, 4, 8, 16 saat bekleyen numunelerin mesafeye bağlı olarak Cu konsantrasyon değişimi

5.2.2 Al-Zn Difüzyon Çiftinin Kimyasal Analizi



Şekil 5.13 Kimyasal analizi yapılan Al-Cu numunesi

Numunelerin 1 mm ara ile spektrometrik analizleri yapıldı.

Çizelge 5.26 380°C'de 2 Saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,075	0,093	0,001	0,001	0,006	0,000	0,007	0,0006	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00119	0,00000	0,001	0,00002	0,000	99,82

Çizelge 5.27 380°C'de 2 Saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,072	0,084	0,001	0,001	0,006	0,000	0,008	0,0005	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00091	0,00000	0,001	0,00002	0,000	99,82

Çizelge 5.28 380°C'de 2 Saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,074	0,086	0,001	0,001	0,006	0,000	0,009	0,0005	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00088	0,00006	0,001	0,00002	0,000	99,81

Çizelge 5.29 380°C'de 2 Saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,072	0,086	0,001	0,001	0,006	0,000	0,009	0,0005	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00100	0,00006	0,001	0,00002	0,000	99,81

Çizelge 5.30 380°C'de 2 Saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,076	0,090	0,001	0,002	0,006	0,000	0,010	0,0006	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00105	0,00006	0,001	0,00003	0,000	99,80

4 SAAT

Çizelge 5.31 380°C'de 4 Saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,072	0,083	0,003	0,002	0,006	0,000	0,010	0,0004	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00109	0,00006	0,0011	0,00002	0,000	99,81

Çizelge 5.32 380°C'de 4 Saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,080	0,105	0,002	0,002	0,007	0,000	0,011	0,0005	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0003	0,000	0,002	0,00162	0,00008	0,0011	0,00002	0,000	99,78

Çizelge 5.33 380°C'de 4 Saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,075	0,091	0,002	0,002	0,007	0,000	0,012	0,0005	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00126	0,00004	0,0011	0,00002	0,000	99,80

Çizelge 5.34 380°C'de 4 Saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,068	0,081	0,002	0,001	0,006	0,000	0,013	0,0004	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00122	0,00003	0,0012	0,00002	0,000	99,82

Çizelge 5.35 380°C'de 4 Saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,073	0,085	0,002	0,002	0,007	0,000	0,014	0,0004	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00123	0,00004	0,0011	0,00002	0,000	99,81

8 SAAT

Çizelge 5.36 380°C'de 8 Saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,066	0,075	0,001	0,001	0,006	0,000	0,009	0,0005	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00077	0,00004	0,001	0,00002	0,000	99,83

Çizelge 5.37 380°C'de 8 Saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,071	0,079	0,001	0,001	0,006	0,000	0,009	0,0006	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00082	0,00004	0,001	0,00002	0,000	99,82

Çizelge 5.38 380°C'de 8 Saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,077	0,092	0,001	0,001	0,006	0,000	0,010	0,0006	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00110	0,00004	0,001	0,00002	0,000	99,80

Çizelge 5.39 380°C'de 8 Saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,072	0,086	0,002	0,002	0,007	0,000	0,017	0,0008	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00086	0,00004	0,001	0,00004	0,000	99,80

Çizelge 5.40 380°C'de 8 Saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,072	0,085	0,001	0,001	0,006	0,000	0,020	0,0007	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00099	0,00004	0,001	0,00002	0,000	99,80

16 SAAT

Çizelge 5.41 380°C'de 16 Saat bekleyen numunenin 1 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,072	0,084	0,002	0,002	0,007	0,000	0,011	0,0004	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00127	0,00004	0,0011	0,00002	0,000	99,81

Çizelge 5.42 380°C’de 16 Saat bekleyen numunenin 2 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,073	0,086	0,002	0,002	0,006	0,000	0,019	0,0005	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00124	0,00006	0,0011	0,00002	0,000	99,80

Çizelge 5.43 380°C’de 16 Saat bekleyen numunenin 3 mm mesafeden spektrometrik analizi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,074	0,089	0,002	0,002	0,006	0,000	0,027	0,0004	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00130	0,00004	0,0012	0,00002	0,000	99,79

Çizelge 5.44 380°C’de 16 Saat bekleyen numunenin 4 mm mesafeden spektrometrik analizi

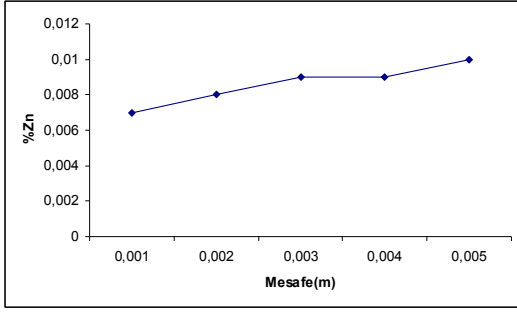
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,071	0,087	0,002	0,002	0,007	0,000	0,031	0,0005	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00148	0,00002	0,0012	0,00003	0,000	99,79

Çizelge 5.45 380°C’de 16 Saat bekleyen numunenin 5 mm mesafeden spektrometrik analizi

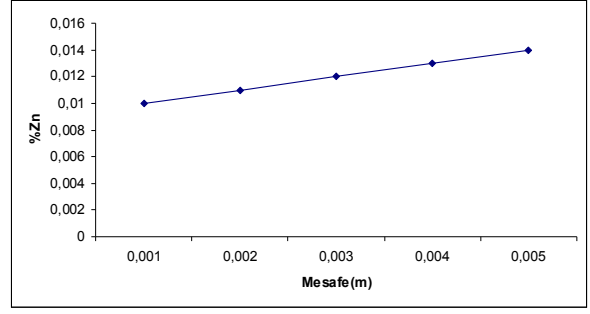
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Sn
0,070	0,083	0,002	0,002	0,007	0,000	0,034	0,0004	0,000
B2	Cd3	Ti4	Na	Ca2	Zr1	Li3	Hg	Al
0,0002	0,000	0,002	0,00122	0,00006	0,0011	0,00002	0,000	99,79

Çizelge 5.46 380°C’ de her tavlama süresi için mesafeye göre Zn konsantrasyonu

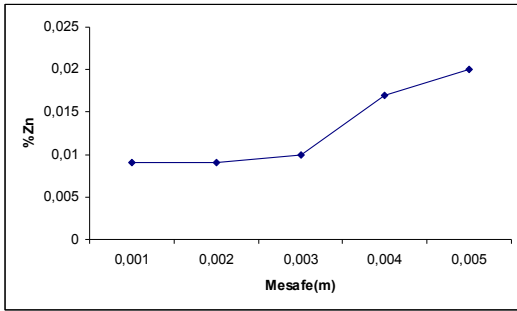
380°C -2h		380°C -4h		380°C -8h		380°C -16h	
Mesafe (m)	%Cu	Mesafe (m)	%Cu	Mesafe (m)	%Cu	Mesafe (m)	%Cu
0,001	0,007	0,001	0,01	0,001	0,009	0,001	0,011
0,002	0,008	0,002	0,011	0,002	0,009	0,002	0,019
0,003	0,009	0,003	0,012	0,003	0,01	0,003	0,027
0,004	0,009	0,004	0,013	0,004	0,017	0,004	0,031
0,005	0,01	0,005	0,014	0,005	0,02	0,005	0,034



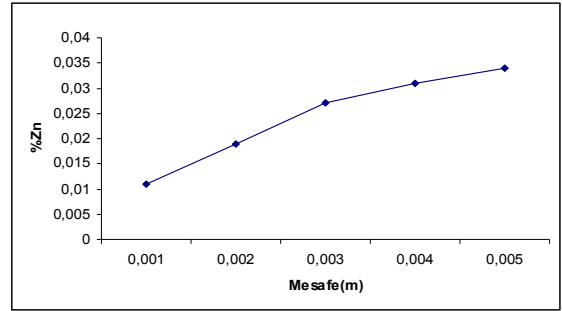
Şekil 5.14 380°C'de 2 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Zn konsantrasyon değişimi



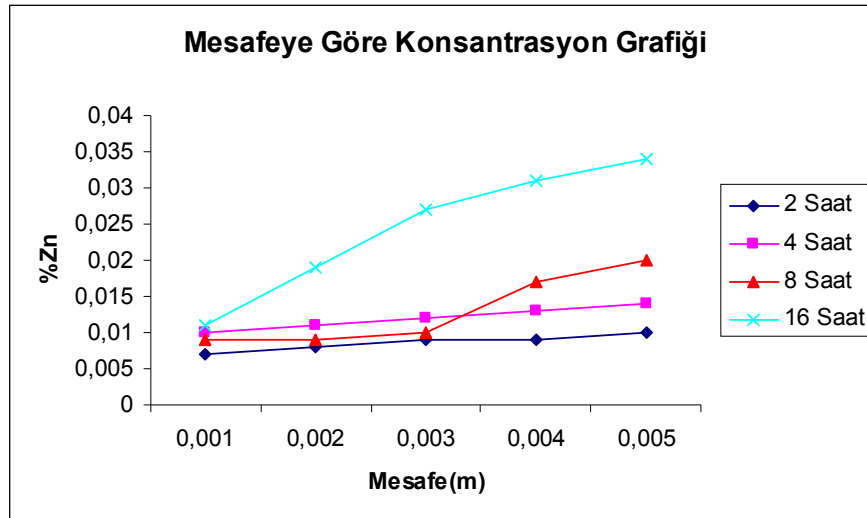
Şekil 5.15 380°C'de 4 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Zn konsantrasyon değişimi



Şekil 5.16 380°C'de 8 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Zn konsantrasyon değişimi



Şekil 5.17 380°C'de 16 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak Zn konsantrasyon değişimi



Şekil 5.18 380°C'de 2-4-8-16 Saat bekleyen numunelerin mesafeye bağlı olarak Zn konsantrasyon değişimi

5.3 Difüzyon Katsayısı Hesabı

5.3.1 İnterdifüzyon Katsayısının Hesaplanması

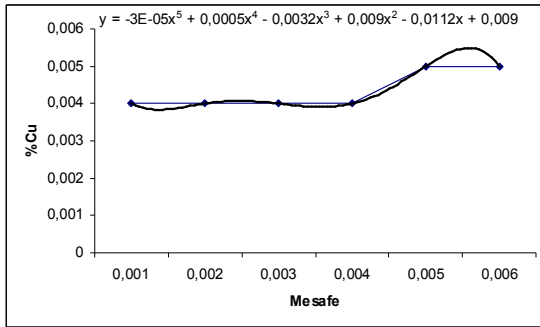
5.3.1.1 Al-Cu Difüzyon Çiftinde İnterdifüzyon Katsayısının Hesaplanması

5.3.1.1.1 Matana-Boltzman Analizi

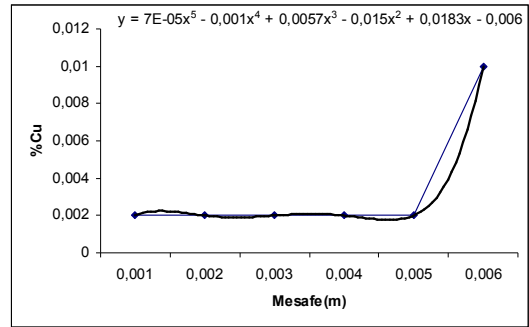
$$\tilde{D}(C_B^*) = -\frac{1}{2t} \left(\frac{dx}{dC_B} \right)_{C_B^*} \int_{C_B^-}^{C_B^*} x dC_B$$

C_B^* konsantrasyonundaki difüzyon katsayısını bulmak için kullandığımız bu denklemi çözmenin en kolay yolu;

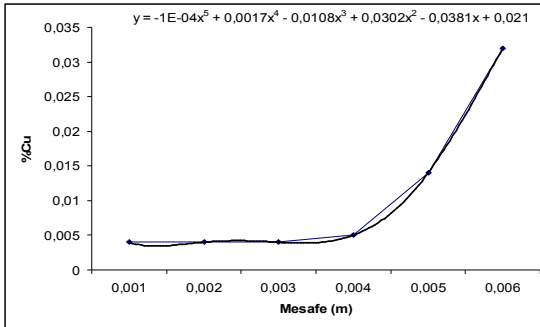
$\frac{dx}{dC_B}$ değeri konsantrasyon-mesafe grafiğine eğri uydurmak, $\int_{C_B^-}^{C_B^*} x dC_B$ değeri grafiğin altındaki alanın toplamını almaktır (www.matter.com).



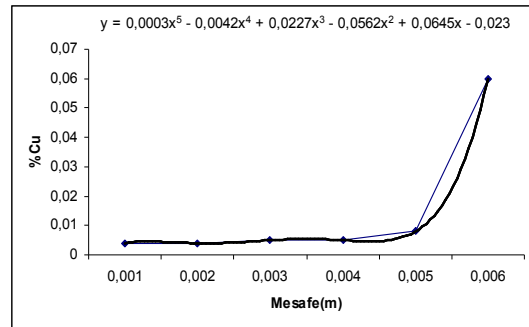
Şekil 5.19 580°C 'de 2 saat bekleyen Al-Cu numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi



Şekil 5.20 580°C 'de 4 saat bekleyen Al-Cu numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi



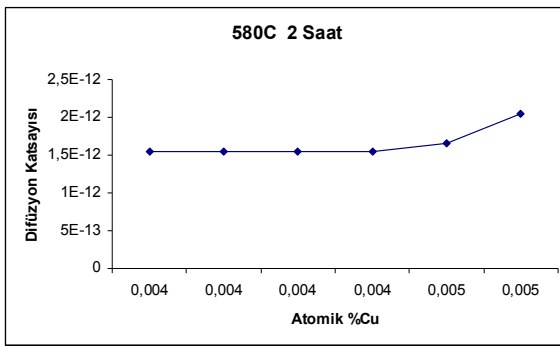
Şekil 5.21 580°C 'de 8 saat bekleyen Al-Cu numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi



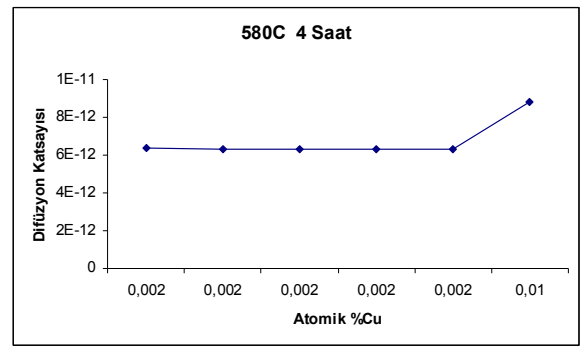
Şekil 5.22 580°C 'de 16 saat bekleyen Al-Cu numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi

Çizelge 5.47 Al-Cu numunesinin Matana-Boltzman Analiziyle İnterdifüzyon Katsayısı

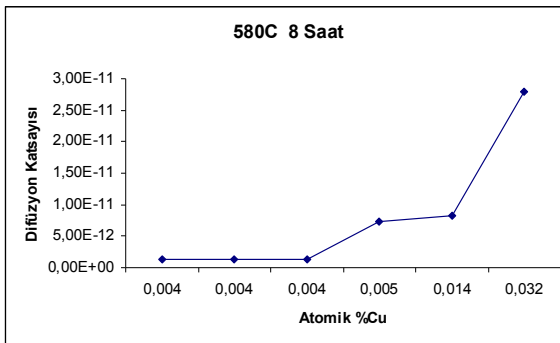
580°C -2h		580°C -4h		580°C -8h		580°C -16h	
%Cu	Difüzyon Katsayısı	%Cu	Difüzyon Katsayısı	%Cu	Difüzyon Katsayısı	%Cu	Difüzyon Katsayısı
0,004	1,55306E-12	0,002	6,34E-12	0,004	1,32082E-12	0,004	1,11785E-12
0,004	1,55056E-12	0,002	6,33E-12	0,004	1,31873E-12	0,004	1,11591E-12
0,004	1,54807E-12	0,002	6,32E-12	0,004	1,31664E-12	0,005	1,28106E-12
0,004	1,54558E-12	0,002	6,31E-12	0,005	7,36146E-12	0,005	1,27884E-12
0,005	1,65882E-12	0,002	6,3E-12	0,014	8,23568E-12	0,008	1,44313E-12
0,005	2,0413E-12	0,01	8,81E-12	0,032	2,78454E-11	0,06	3,10287E-11



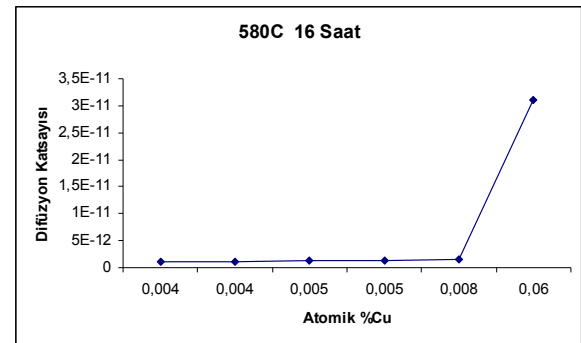
Şekil 5.23 580°C 'de 2 saat bekleyen numunenin Matano-Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı



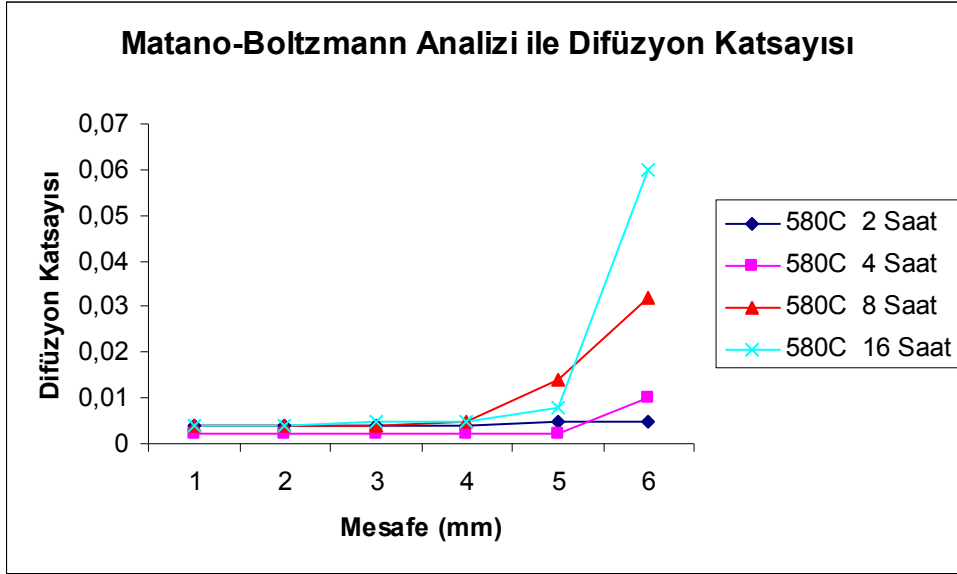
Şekil 5.24 580°C 'de 4 saat bekleyen numunenin Matano-Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı



Şekil 5.25 580°C 'de 8 saat bekleyen numunenin Matano-Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı



Şekil 5.26 580°C 'de 16 saat bekleyen numunenin Matano-Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı



Şekil 5.27 580°C 'de 2, 4, 8, 16 saat bekleyen numunelerin konsantrasyona bağlı Matano Boltzman analiziyle difüzyon katsayısı

5.3.1.1.2 Arrhenius Denklemi

Arrhenius denklemine göre difüzyon katsayısını hesaplarsak;

$$D = D_0 \exp(-Q / RT) = 2,85965 \times 10^{-13}$$

D_0, Q değerleri Schaffer (1999)'dan alınmıştır.

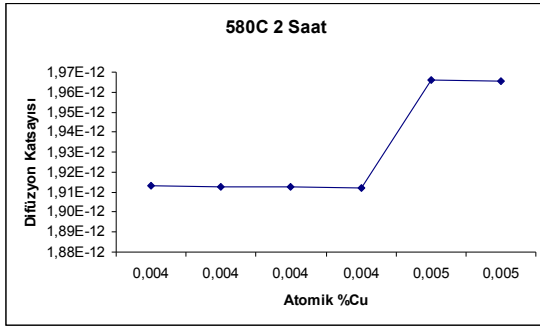
5.3.1.1.3 Darken Analizi

$\tilde{D} = X_A D_B + X_B D_A$ Darken analizine göre hesaplanmış değerler Tablo 5.48'de görülmektedir.

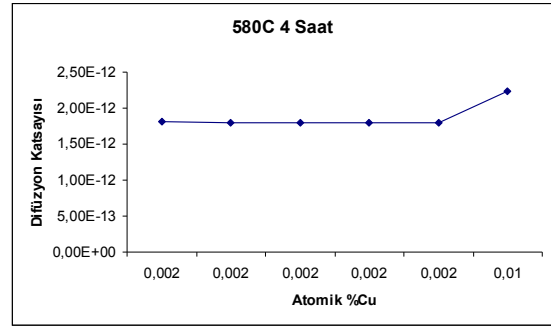
Öz difüzyon katsayıları Arrhenius denklemiyle hesaplanmış ve D_0, Q değerleri Schaffer (1999)'dan alınmıştır.

Çizelge 5.48 Al-Cu numunesinin Darken Analiziyle İnterdifüzyon Katsayısı

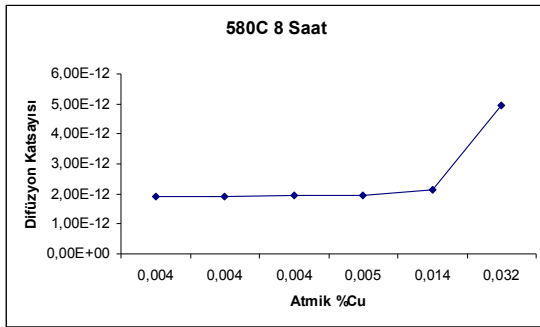
580°C -2h		580°C -4h		580°C -8h		580°C -16h	
%Cu	Difüzyon Katsayısı	%Cu	Difüzyon Katsayısı	%Cu	Difüzyon Katsayısı	%Cu	Difüzyon Katsayısı
0,004	1,91E-12	0,002	1,8E-12	0,004	1,91E-12	0,004	1,91E-12
0,004	1,91E-12	0,002	1,8E-12	0,004	1,91E-12	0,005	1,97E-12
0,004	1,91E-12	0,002	1,8E-12	0,005	1,97E-12	0,005	1,97E-12
0,005	1,97E-12	0,002	1,8E-12	0,014	2,45E-12	0,008	2,13E-12
0,005	1,97E-12	0,01	2,24E-12	0,032	3,43E-12	0,06	4,94E-12



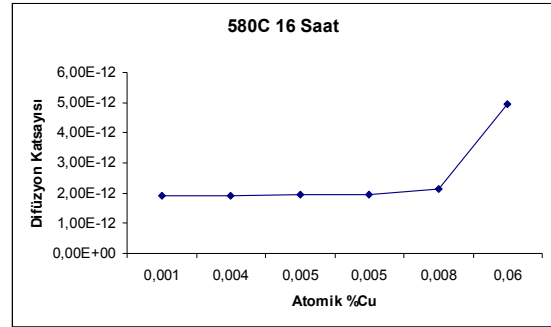
Şekil 5.28 580°C 'de 2 saat bekleyen numunenin Darken analiziyle hesaplanmış konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı



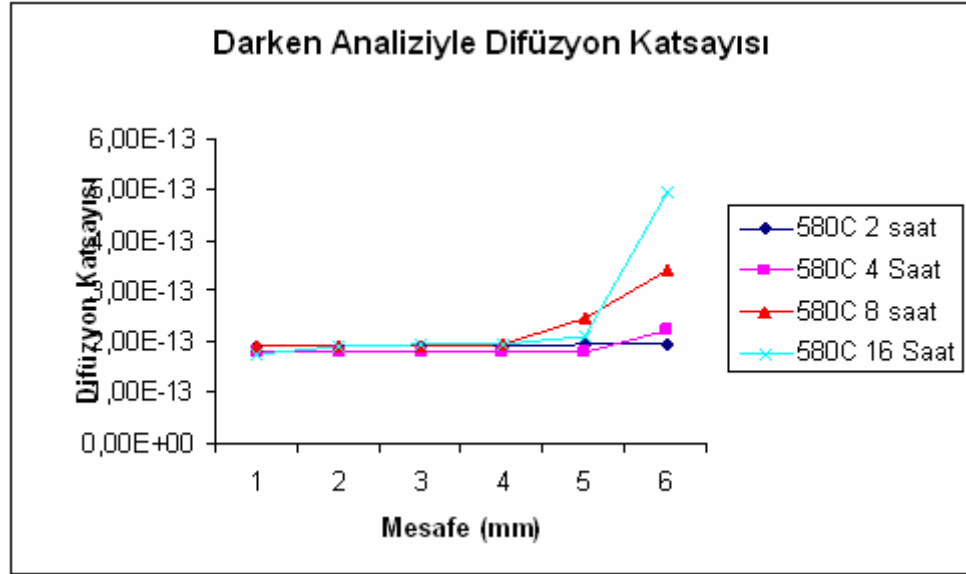
Şekil 5.29 580°C 'de 4 saat bekleyen numunenin Darken analiziyle hesaplanmış konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı



Şekil 5.30 580°C 'de 8 saat bekleyen numunenin Darken analiziyle hesaplanmış konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı



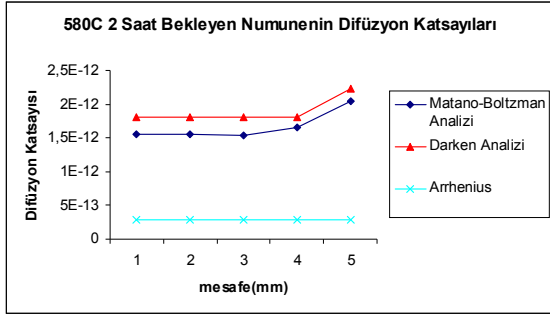
Şekil 5.31 580°C 'de 16 saat bekleyen numunenin Darken analiziyle hesaplanmış konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı



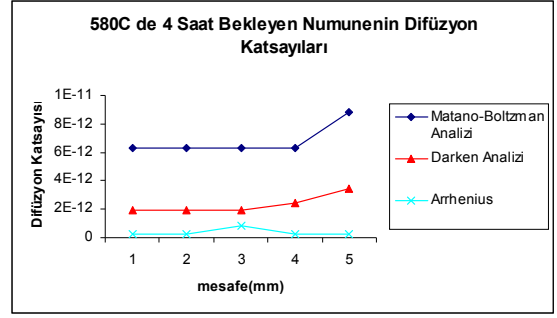
Şekil 5.32 580°C’de 2,4,8,16 saat bekleyen numunelerin konsantrasyona bağlı olarak Darken Analizi ile difüzyon katsayısı

Çizelge 5.49 580°C’de Al-Cu İnterdifüzyon Katsayılarının karşılaştırılması

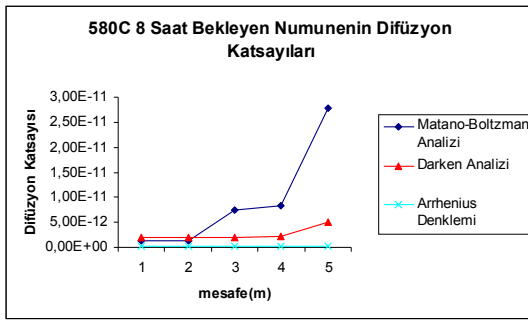
Kullanılan Yöntem	Tavlama Süresi	Birleşme yüzeyinden (x mm) uzaklıkta difüzyon katsayısı				
		1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm
Matana-Boltzman	2	2,0412E-12	1,6588E-12	1,5455E-12	1,5480E-12	1,5505E-12
	4	8,8086E-12	6,3022E-12	6,3125E-12	6,3229E-12	6,33335E-12
	8	2,78454E-11	8,2356E-12	7,3614E-12	1,3166E-12	1,31872E-12
	16	3,1028E-11	1,4431E-12	1,2788E-12	1,2810E-12	1,1159E-12
Arrhenius	2	$2,85965 \times 10^{-13}$				
	4					
	8					
	16					
Darken	2	1,97E-12	1,97E-12	1,91E-12	1,91E-12	1,91E-12
	4	2,24E-12	1,8E-12	1,8E-12	1,8E-12	1,8E-12
	8	3,43E-12	2,45E-12	1,97E-12	1,91E-12	1,91E-12
	16	4,94E-12	2,13E-12	1,97E-12	1,97E-12	1,91E-12



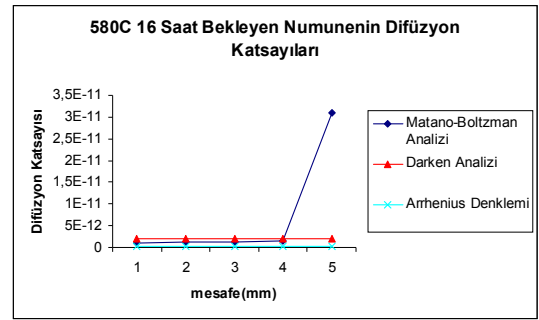
Şekil 5.33 580°C 'de 2 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak difüzyon katsayılarının karşılaştırılması



Şekil 5.34 580°C 'de 4 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak difüzyon katsayılarının karşılaştırılması



Şekil 5.35 580°C 'de 8 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak difüzyon katsayılarının karşılaştırılması



Şekil 5.36 580°C 'de 16 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak difüzyon katsayılarının karşılaştırılması

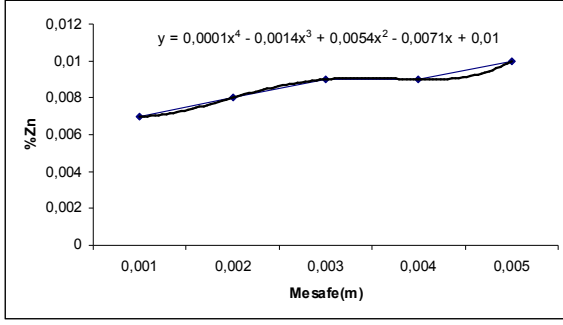
5.3.1.2 Al-Zn Difüzyon Çiftinde İnterdifüzyon Katsayısının Hesaplanması

5.3.1.2.1 Matana-Boltzman Analizi

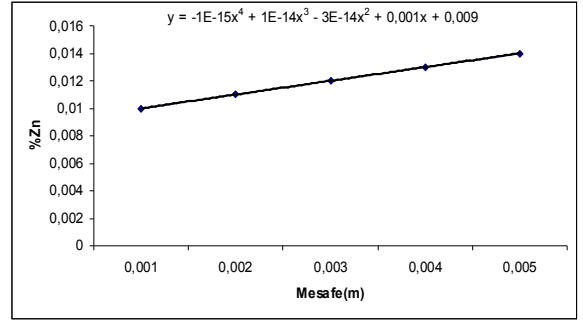
$$\tilde{D}(C_B^*) = -\frac{1}{2t} \left(\frac{dx}{dC_B} \right)_{C_B^*} \int_{C_B^-}^{C_B^+} x dC_B$$

C_B^* konsantrasyonundaki difüzyon katsayısını bulmak için kullandığımız bu denklemi çözmek için en kolay yolu;

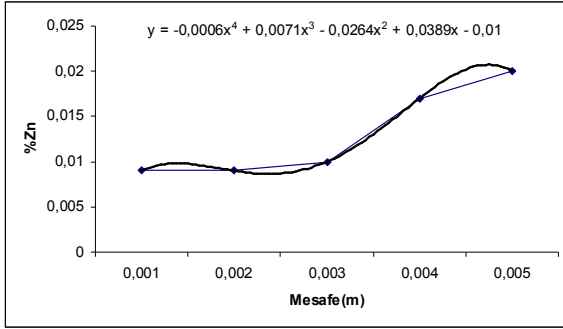
$\frac{dx}{dC_B}$ değeri konsantrasyon-mesafe grafiğine eğri uydurmak, $\int_{C_B^-}^{C_B^+} x dC_B$ değeri grafiğin altındaki alanın toplamını almaktır (www.matter.com).



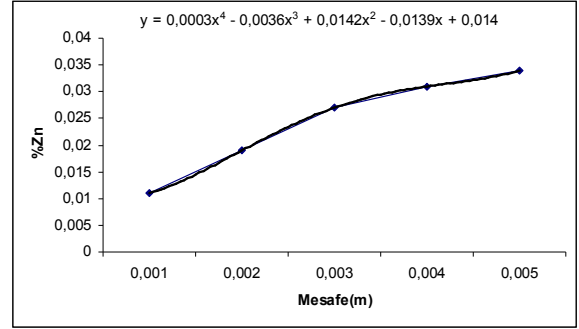
Şekil 5.37 380°C 2 saat bekleyen Al-Zn numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi



Şekil 5.38 380°C 4 saat bekleyen Al-Zn numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi



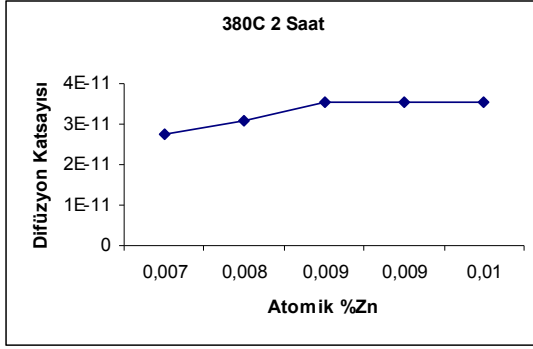
Şekil 5.39 380°C 8 saat bekleyen Al-Zn numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi



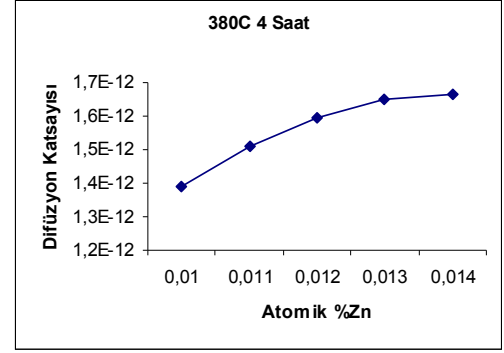
Şekil 5.40 380°C 16 saat bekleyen Al-Zn numunesinin konsantrasyon-mesafe eğilim çizgisi

Çizelge 5.50 Al-Zn numunesinin Matana-Boltzman Analiziyle İnterdifüzyon Katsayısı

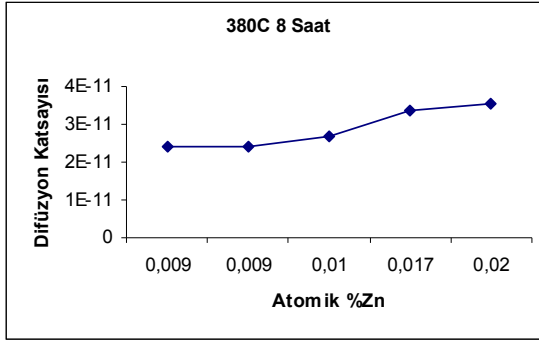
380°C -2h		380°C -4h		380°C -8h		380°C -16h	
%Zn	Difüzyon Katsayısı	%Zn	Difüzyon Katsayısı	%Zn	Difüzyon Katsayısı	%Zn	Difüzyon Katsayısı
0,007	2,75692E-11	0,01	1,3888E-12	0,009	2,42795E-11	0,011	5,3024E-12
0,008	3,09682E-11	0,011	1,5104E-12	0,009	2,42466E-11	0,019	8,666E-12
0,009	3,53386E-11	0,012	1,5972E-12	0,01	2,6635E-11	0,027	1,1059E-11
0,009	3,5285E-11	0,013	1,6493E-12	0,017	3,36515E-11	0,031	1,1766E-11
0,01	3,55578E-11	0,014	1,6666E-12	0,02	3,56181E-11	0,034	1,1931E-11



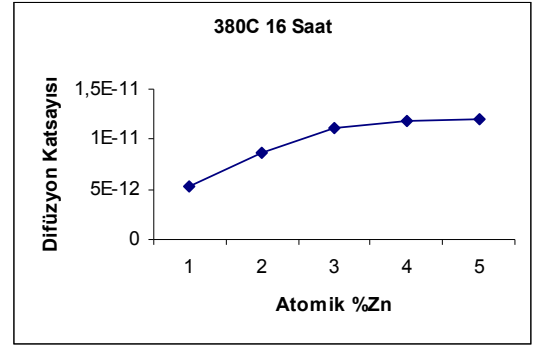
Şekil 5.41 380°C 'de 2 saat bekleyen numunenin Matano Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı difüzyon katsayısı



Şekil 5.42 380°C 'de 4 saat bekleyen numunenin Matano Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı difüzyon katsayısı



Şekil 5.43 380°C 'de 8 saat bekleyen numunenin Matano Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı difüzyon katsayısı



Şekil 5.44 380°C 'de 16 saat bekleyen numunenin Matano Boltzman analiziyle konsantrasyona bağlı difüzyon katsayısı

5.3.1.2.2 Arrhenius Denklemi

Arrhenius denklemine göre difüzyon katsayısını hesaplarsak;

$$D = D_0 \exp(-Q/RT) = 9,7151119 \cdot 10^{-11}$$

D_0, Q değerleri Schaffer (1999)'dan alınmıştır.

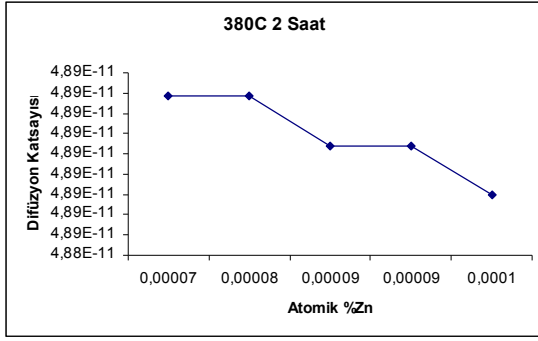
5.3.1.2.3 Darken Analizi

$\tilde{D} = X_A D_B + X_B D_A$ Darken analizine göre hesaplanmış değerler Tablo 5.52'de görülmektedir.

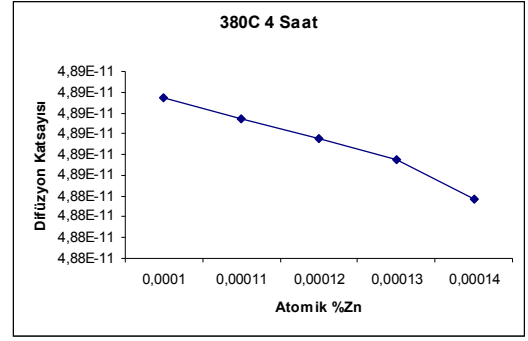
Öz difüzyon katsayıları Arrhenius denklemiyle hesaplanmış ve D_0, Q değerleri Schaffer (1999)'dan alınmıştır.

Çizelge 5.51 Al-Zn numunesinin Darken Analiziyle İnterdifüzyon Katsayısı

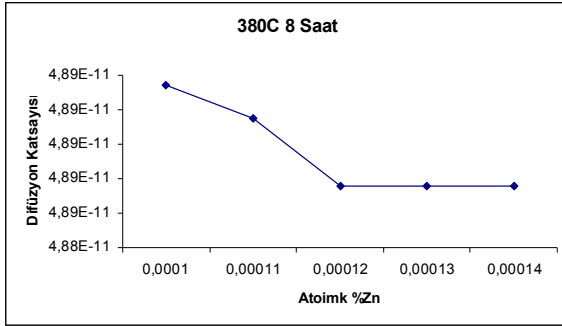
380°C -2h		380°C -4h		380°C -8h		380°C -16h	
%Zn	Difüzyon Katsayısı	%Zn	Difüzyon Katsayısı	%Zn	Difüzyon Katsayısı	%Zn	Difüzyon Katsayısı
0,007	4,89E-11	0,01	4,89E-11	0,009	4,89E-11	0,011	4,89E-11
0,008	4,89E-11	0,011	4,89E-11	0,009	4,89E-11	0,019	4,89E-11
0,009	4,89E-11	0,012	4,89E-11	0,01	4,89E-11	0,027	4,89E-11
0,009	4,89E-11	0,013	4,89E-11	0,017	4,89E-11	0,031	4,89E-11
0,01	4,89E-11	0,014	4,88E-11	0,02	4,89E-11	0,034	4,88E-11



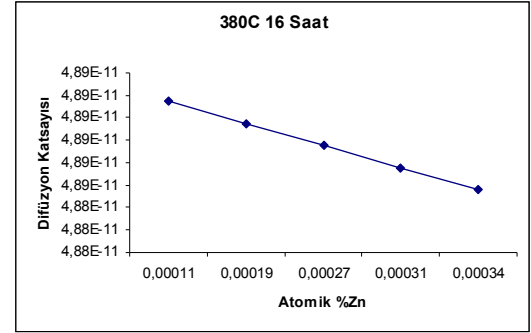
Şekil 5.45 380°C 'de 2 saat bekleyen numunenin Darken analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı



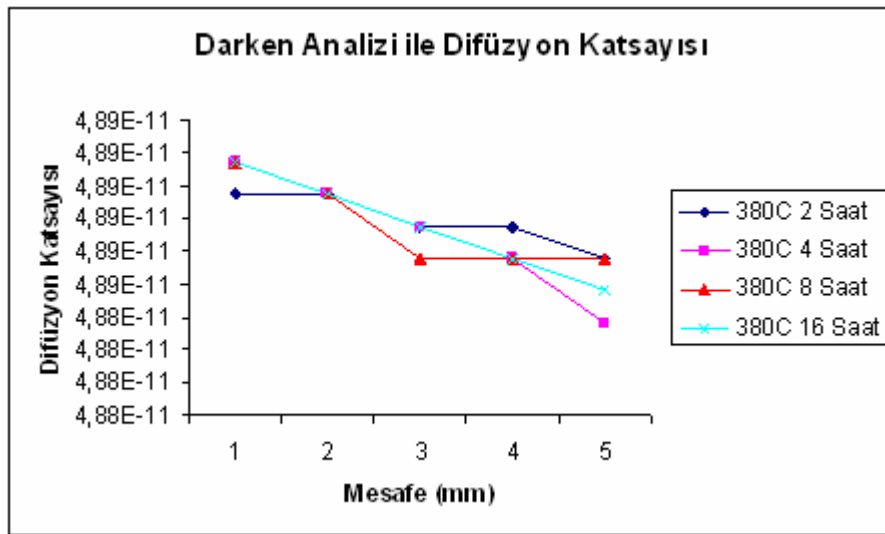
Şekil 5.46 380°C 'de 4 saat bekleyen numunenin Darken analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı



Şekil 5.47 380°C 'de 8 saat bekleyen numunenin Darken analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı



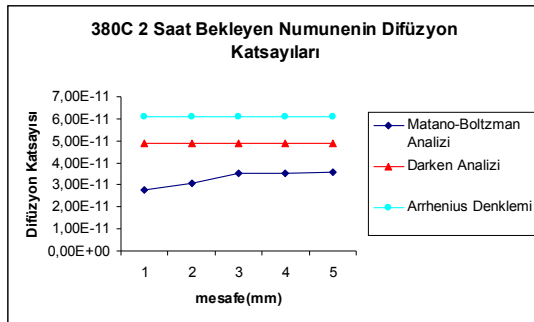
Şekil 5.48 380°C 'de 16 saat bekleyen numunenin Darken analiziyle konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısı



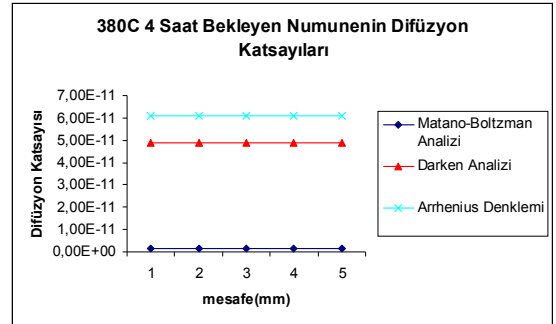
Şekil 5.49 380°C 'de 2-4-8-16 saat bekleyen numunelerin mesafeye bağlı olarak Darken Analizi ile difüzyon katsayısı

Çizelge 5.52 380°C’de Al-Zn İnterdifüzyon Katsayısının Karşılaştırılması

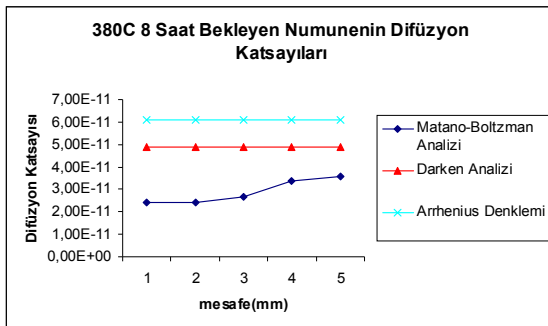
Kullanılan Yöntem	Tavlama Süresi	Birleşme yüzeyinden (x mm) uzaklıkta difüzyon katsayısı				
		1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm
Matana-Boltzman	2	3,55578E-11	3,52850E-11	3,53385E-11	3,09682E-11	2,75691E-11
	4	1,66666E-12	1,64930E-12	1,59722E-12	1,51041E-12	1,38888E-12
	8	3,56180E-11	3,36514E-11	2,66349E-11	2,42465E-11	2,42795E-11
	16	1,19313E-11	1,17661E-11	1,10594E-11	8,66599E-12	5,30245E-12
Arrhenius	2	$6,077067479 \times 10^{-11}$				
	4					
	8					
	16					
Darken	2	4,89E-11	4,89E-11	4,89E-11	4,89E-11	4,89E-11
	4	4,88E-11	4,89E-11	4,89E-11	4,89E-11	4,89E-11
	8	4,89E-11	4,89E-11	4,89E-11	4,89E-11	4,89E-11
	16	4,88E-11	4,89E-11	4,89E-11	4,89E-11	4,89E-11



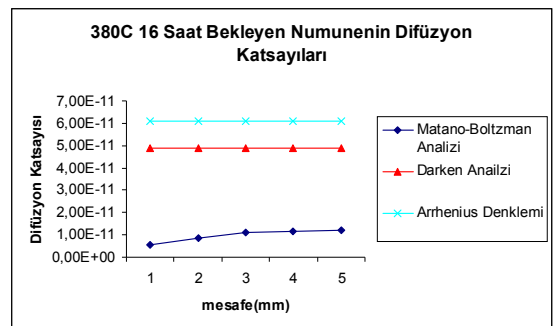
Şekil 5.50 380°C ‘de 2 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak difüzyon katsayılarının karşılaştırılması



Şekil 5.51 380°C ‘de 4 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak difüzyon katsayılarının karşılaştırılması



Şekil 5.52 380°C ‘de 8 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak difüzyon katsayılarının karşılaştırılması



Şekil 5.53 380°C ‘de 16 saat bekleyen numunenin mesafeye bağlı olarak difüzyon katsayılarının karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

% 99,5 saflıkta Al ve %99,90 saflıkta Cu ile 4 adet Al-Cu numunesi ve %99,5 saflıkta Al ve %99,5 saflıkta Zn ile 4 adet Al-Zn numunesi hazırlandı. Al-Cu numuneleri 580°C'deki tav fırınına konuldu. Numunelerden 1.si 2 saat, ikincisi 4 saat, üçüncüsü 8 saat ve 4. s. 16 saat sonra tav fırınından alındı. Al-Zn numuneleri de 380°C'deki tav fırınında aynı sürelerde bekletildi.

Al-Cu ve Al-Zn numunelerinin kimyasal analizleri yapıldığında tüm deney sürelerinde Al içindeki Cu ve Zn konsantrasyonlarının Cu ve Zn tarafına yaklaştıkça arttığı görüldü. Numunelerin karanlık-parlak ve polarize görüntülerinde de aynı sonuç elde edildi. Zhang (2006), Al-Cu-Si alaşımlarında difüzyon çifti yöntemi ile Cu ve Si atomlarının difüzyonu üzerine çalışmış ve Al-Cu-Si alaşımlarında Cu ve Si atomlarının birleşme yüzeyine gittikçe arttığını göstermiştir.

Al-Cu ve Al-Zn'nun kimyasal analizinden tavlama süresi arttıkça konsantrasyonun arttığı görüldü.

İnterdifüzyon katsayısı üç farklı yöntem kullanılarak hesaplandı; Matano Boltzmann Analizi (Yunker ve Orman, 2007), Darken Analizi (Paul, 2004) ve Arrhenius Analizi (Mangonon, 1999).

Al-Cu numunesinde Matano Boltzmann ve Darken Analizleriyle hesaplanan difüzyon katsayısının konsantrasyona ve süreye bağlı olarak arttığı görüldü. Literatürde Cu-Ni için 1054°C'de 312 saat bekletilerek yapılan Matano-Boltzman analizinde konsantrasyona bağlı olarak difüzyon katsayısının arttığı gözlenmiştir (www.matter.com). Matano Boltzman analizle konsantrasyona bağlı olarak hesaplanan difüzyon katsayıları $1,55005 \times 10^{-12} m^2 / s$ ile $3,10287 \times 10^{-11} m^2 / s$ arasında değişirken, Darken analiziyle elde edilen değerlerin $1,8 \times 10^{-12} m^2 / s$ ile $4,94 \times 10^{-12} m^2 / s$ arasında değiştiği görüldü. Arrhenius denklemiyle $2,85965 \times 10^{-13} m^2 / s$ olarak hesaplandı. Literatürde; Al-Cu interdifüzyon katsayısını; Safoğlu (1972), 500 °C'de $10^{-13,3} m^2 / s$ ve Callister (2003), 500 °C'de $4.1 \times 10^{-14} m^2 / s$ olarak vermiştir.

Aynı yöntemler kullanılarak, Al-Zn numunesi incelendiğinde; Matano Boltzmann analiziyle difüzyon katsayısı konsantrasyona bağlı olarak arttığı görüldü. Difüzyon katsayısı konsantrasyon değişimine bağlı olarak $1,3888 \times 10^{-12} m^2 / s$ ile $3,56181 \times 10^{-11} m^2 / s$ arasında değişirken, Darken analizinde; konsantrasyon arttıkça difüzyon katsayısının düştüğü ve elde edilen değerler $4,88 \times 10^{-11} m^2 / s$ ile $4,89 \times 10^{-11} m^2 / s$ arasında değiştiği görülmüştür. Bu durum Darken analizinde bileşenlerin her ikisinin de öz difüzyon katsayıları ve konsantrasyon değişikliklerine bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Arrhenius denklemiyle $6,077067479 \times 10^{-11} m^2 / s$ olarak hesaplandı. Hem Darken analizi, hemde Matano-Boltzmann analizinde en yüksek difüzyon katsayısına 2 ve 8. saatlerde ulaşıldığı görüldü.

Yayınma katsayısı eriyen atomun cinsine, eriten katının yapısına ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir (Safoğlu, 1972). Bu üç yöntemle yapılan hesaplamalarda Al-Zn ve Al-Cu arasındaki farklılıkların; Al ve Cu'nun aynı kafes yapısına sahipken (yüzey merkezli kübik kafes); Zn'nun hegzagonal sık düzen kafesine sahip olmasından, Cu'nun ergime sıcaklığının çok yüksek olmasından kaynaklanabilmesi mümkündür. Bu çalışmada deneyler birer kez yapılmıştır. Aynı şartlarda deneylerin tekrarlanması ile sonuçlar desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

Callister, D. W., (2003), Materials Science and Engineering, Von Hoffman ,Newyork

Can, A. Ç., (2006), Makine Tasarımcıları İçin Malzeme Bilgisi), Birsen Yayınevi, İstanbul

Dorfman, S., (1997), “Methodological Aspects of Calculations of the Thermodynamic Factor in Interdiffusion”, The European Phys. Journal B. 3:175-178

Liu, Y., Long Z., Wang H.,Du Y. ve Huang B., (2006), A Predictive Equation for Solute Diffusivity in Liquid Metals, 55: 367-370

Liu Y., Long Z., Wang H., Du Y., Huang B., Newey C.ve Weaver G., (1999), Materials Principles and Practice, Butterworth Heinemann, Oxford

Mangonon P. L., (1999), The Principles of materials Selection for Engineers Design, Prentice-Hall, Florida

Onaran K. , (2006), Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul

Paul A., (2004), The Kirkendal Effect in Solid State Diffusion, Eindhoven Technical University PhD Thesis , Eindhoven

Çev., Safoğlu A. R., (1972), Malzeme Bilimine Giriş, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul

Schaffer J. P. , Saxena A. , Antolovich S. D. , Sanders. T. H. , ve Warner S. B., (1999), The Science and Design of Engineering Materials, McGraw-Hill

Shackelford J. F., (2005), Introduction to Materials Science for Engineers, Pearson Pretice Hall

Ünal R., (2005), Malzeme Bilgisi, Dumlupınar Üniversitesi Ders Notları

Yunker M. L. ve Orman J. A.V., (2007), “Interdiffusion of Solid Iron and Nickel at High Pressure”, EPSL, 254 203-213

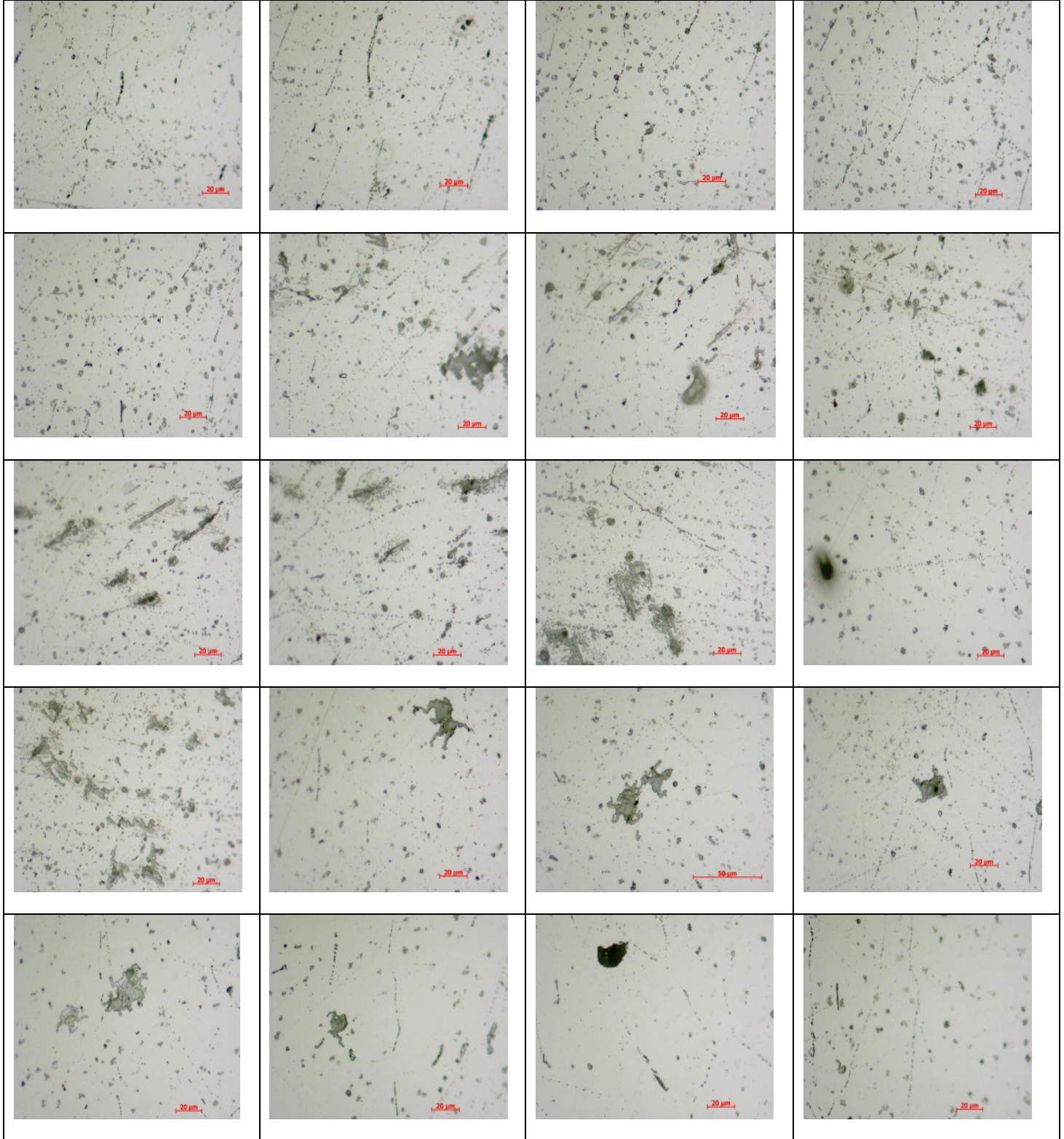
ZhangD., Moral J. E. Ve Brody H. D. (2006), “Measurement for Cu and Si Diffusivities in Al-Cu-Si Alloys by Diffusion Couples””, Materials Science and Engineering A 447:217-221

<http://www.matter.org.uk/matscicdrom/manual/df.html>

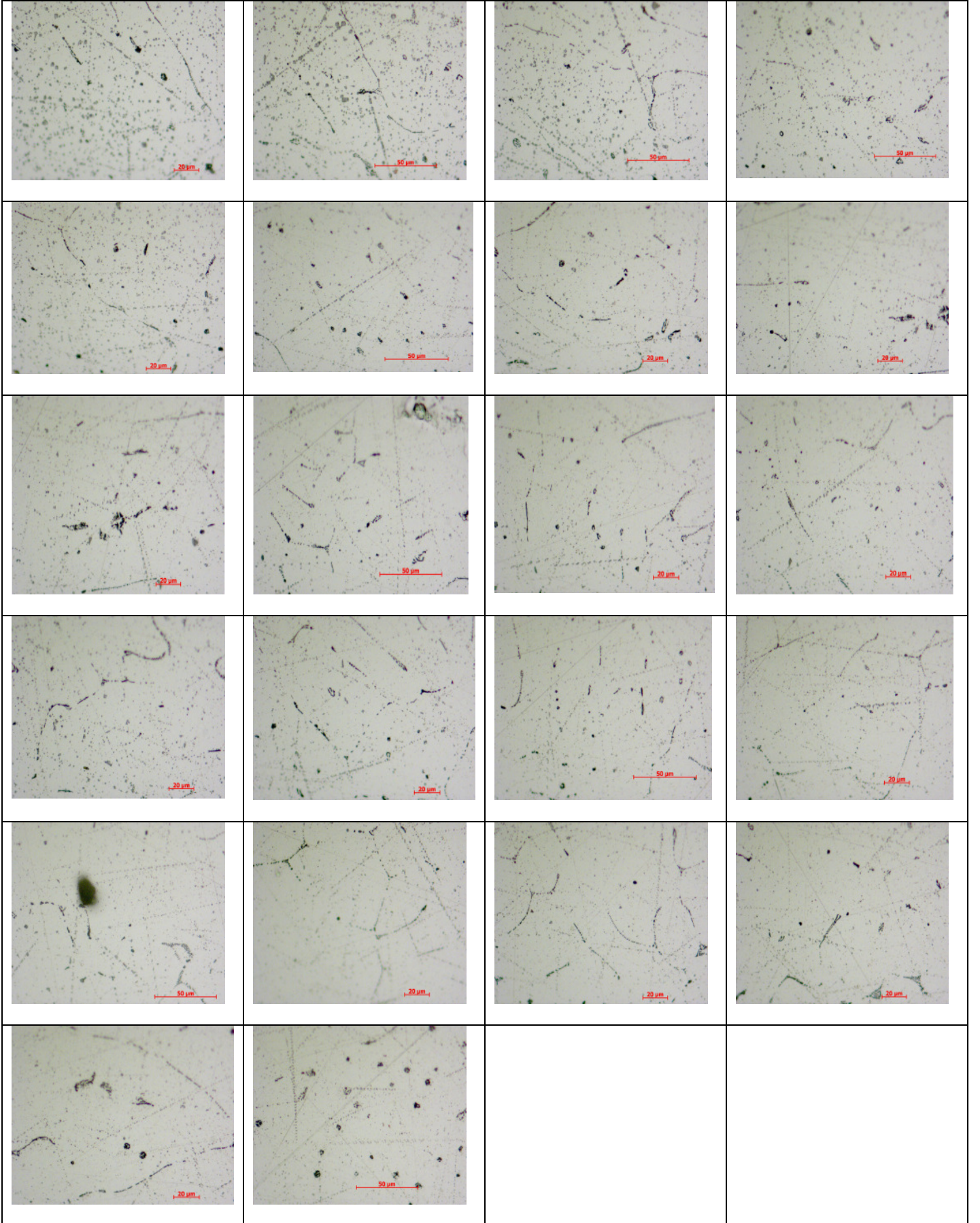
www.yenimuhendis.com

EK1 580°C'de Bekleyen Al-Cu Numunesinin Karanlık-Parlak Resimleri

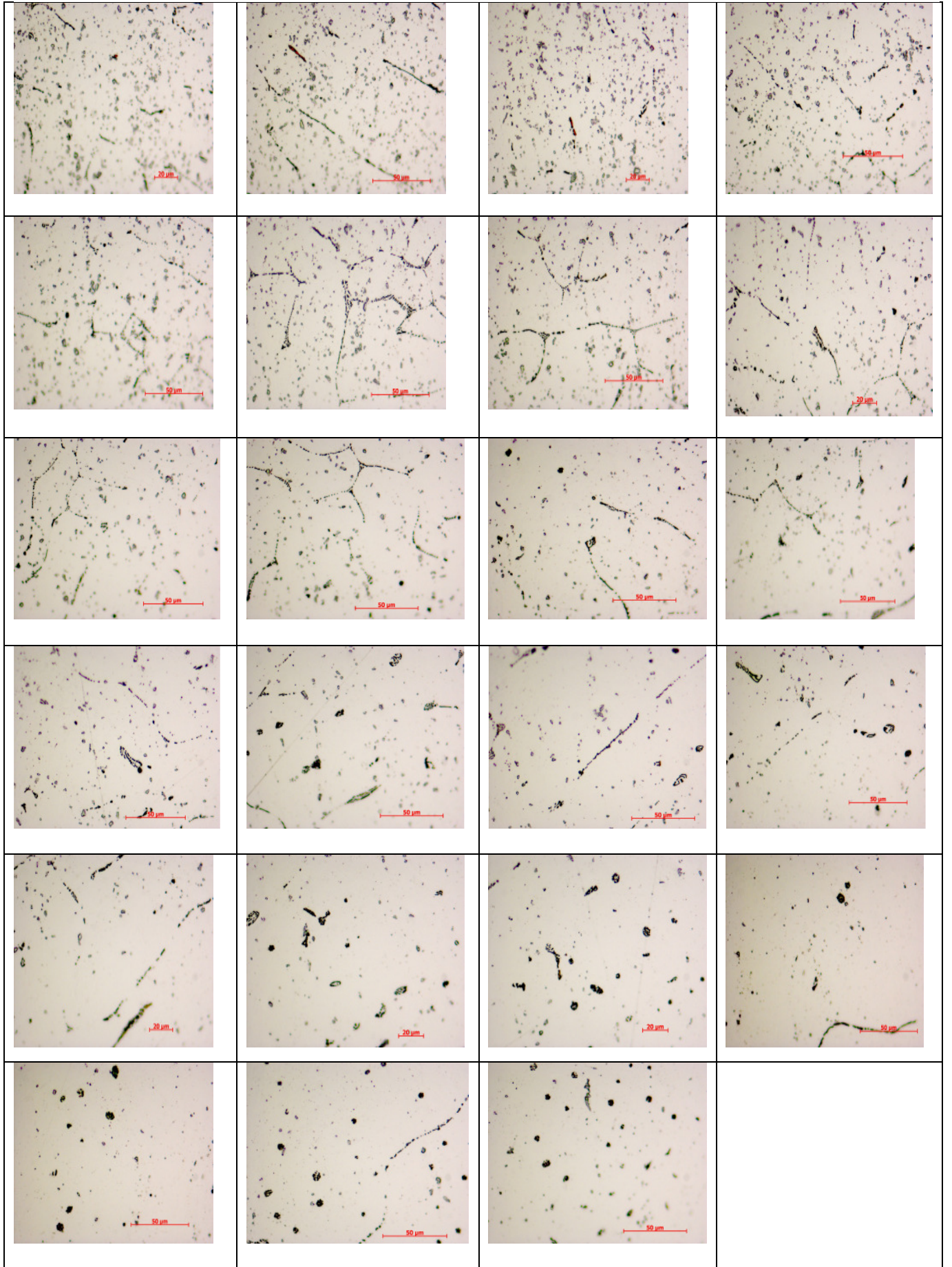
Ek 1a 580°C'de 2 Saat bekleyen Al-Cu numunesinin karanlık-parlak resimleri



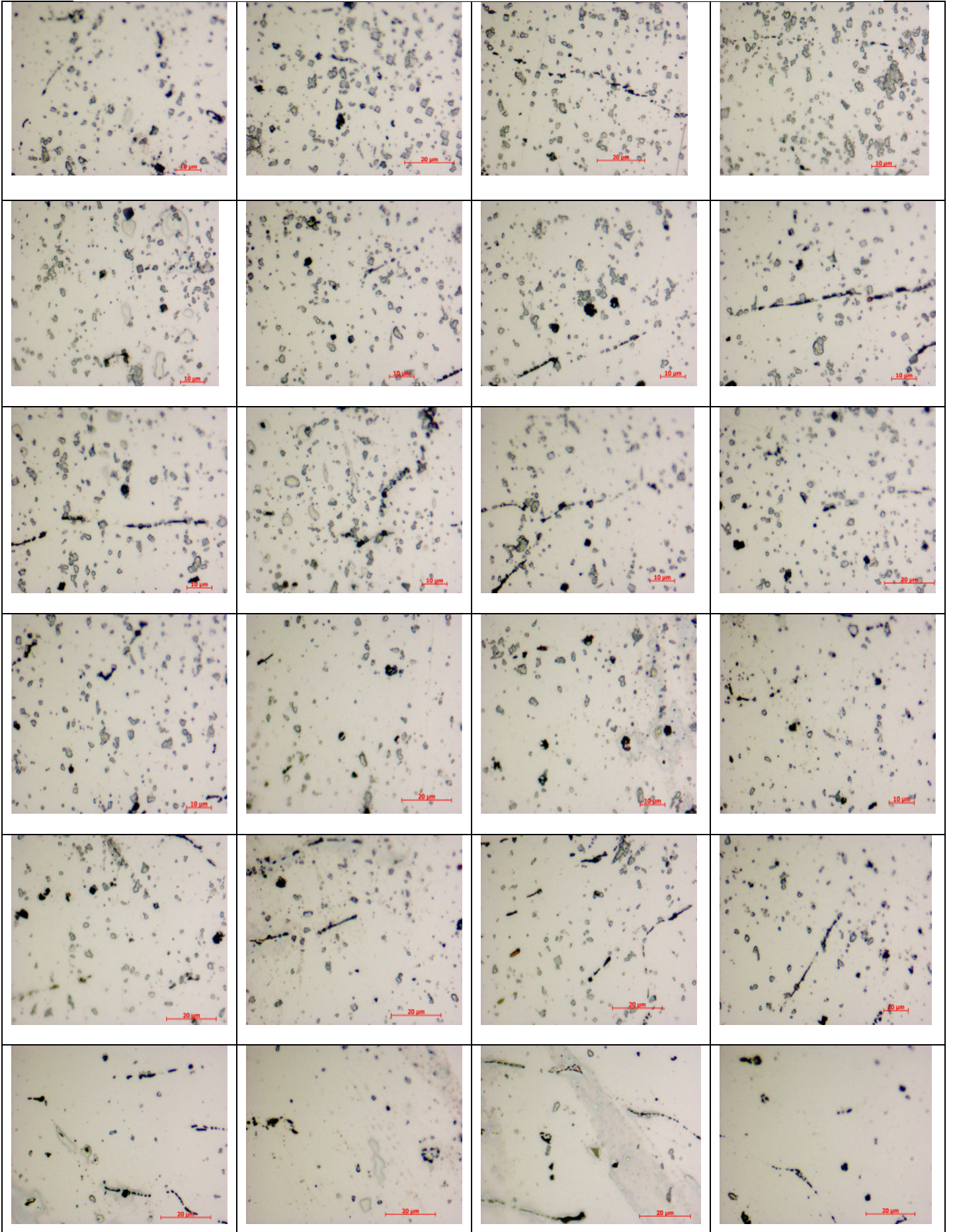
Ek 1b 580°C'de 4 Saat bekleyen Al-Cu numunesinin karanlık-parlak resimleri



Ek 1c 580°C'de 8 Saat bekleyen Al-Cu numunesinin karanlık-parlak resimleri

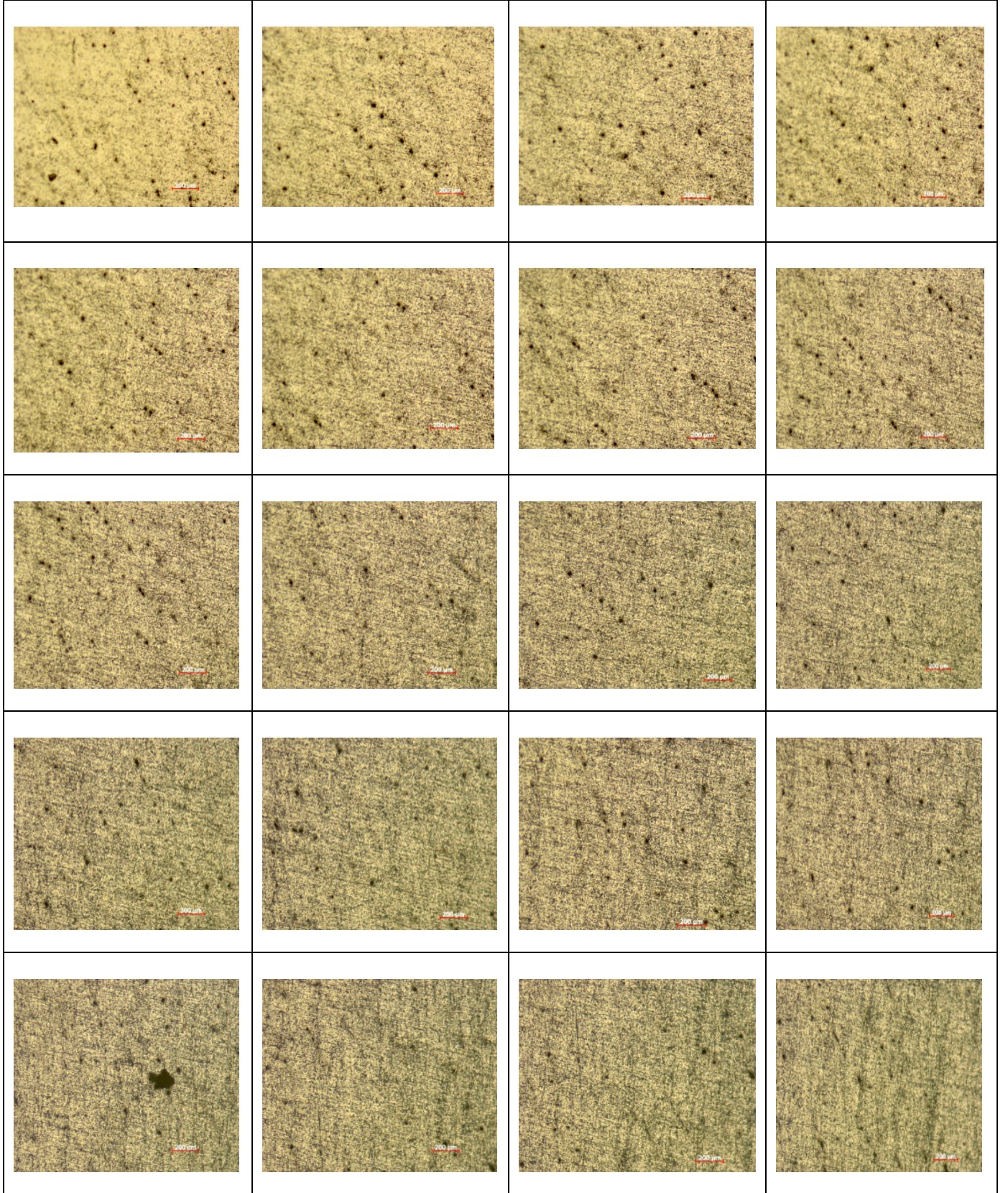


Ek 1d 580°C'de 16 Saat bekleyen Al-Cu numunesinin karanlık-parlak resimleri

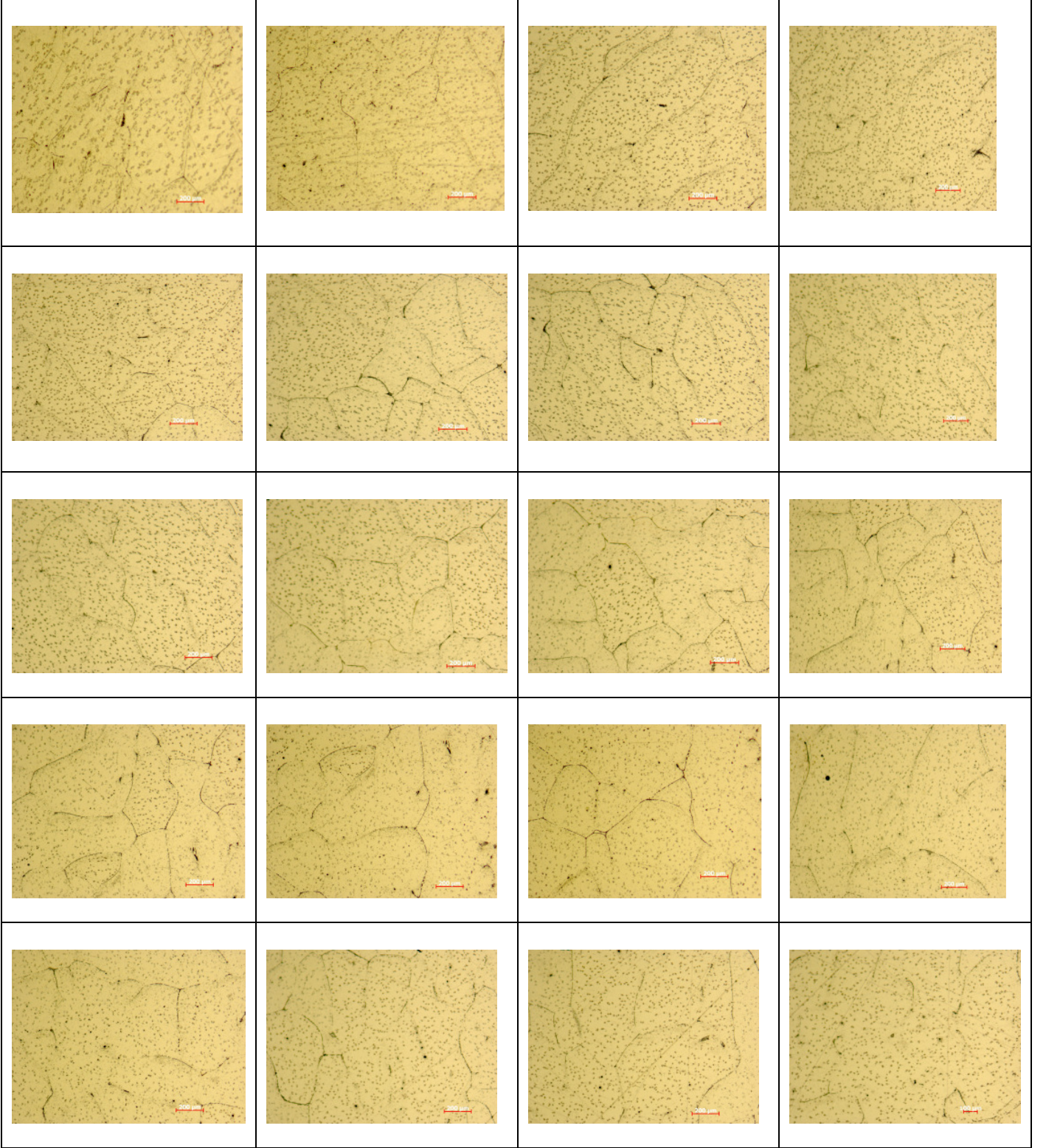


EK2 380°C Bekleyen Numunelerin Karanlık-Parlak Resimleri

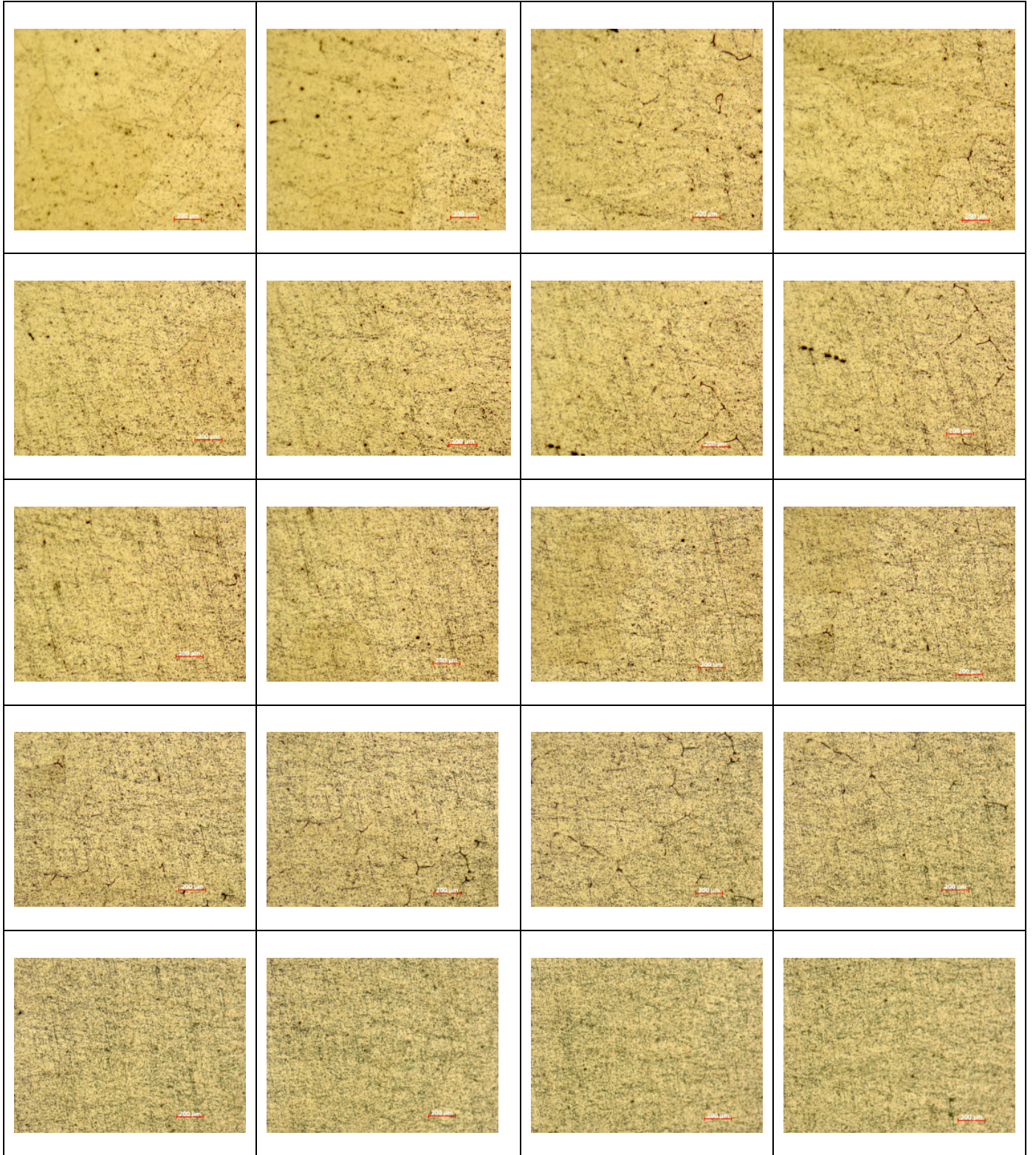
Ek 2a 380°C'de 2 Saat bekleyen Al-Zn numunesinin karanlık-parlak resimleri



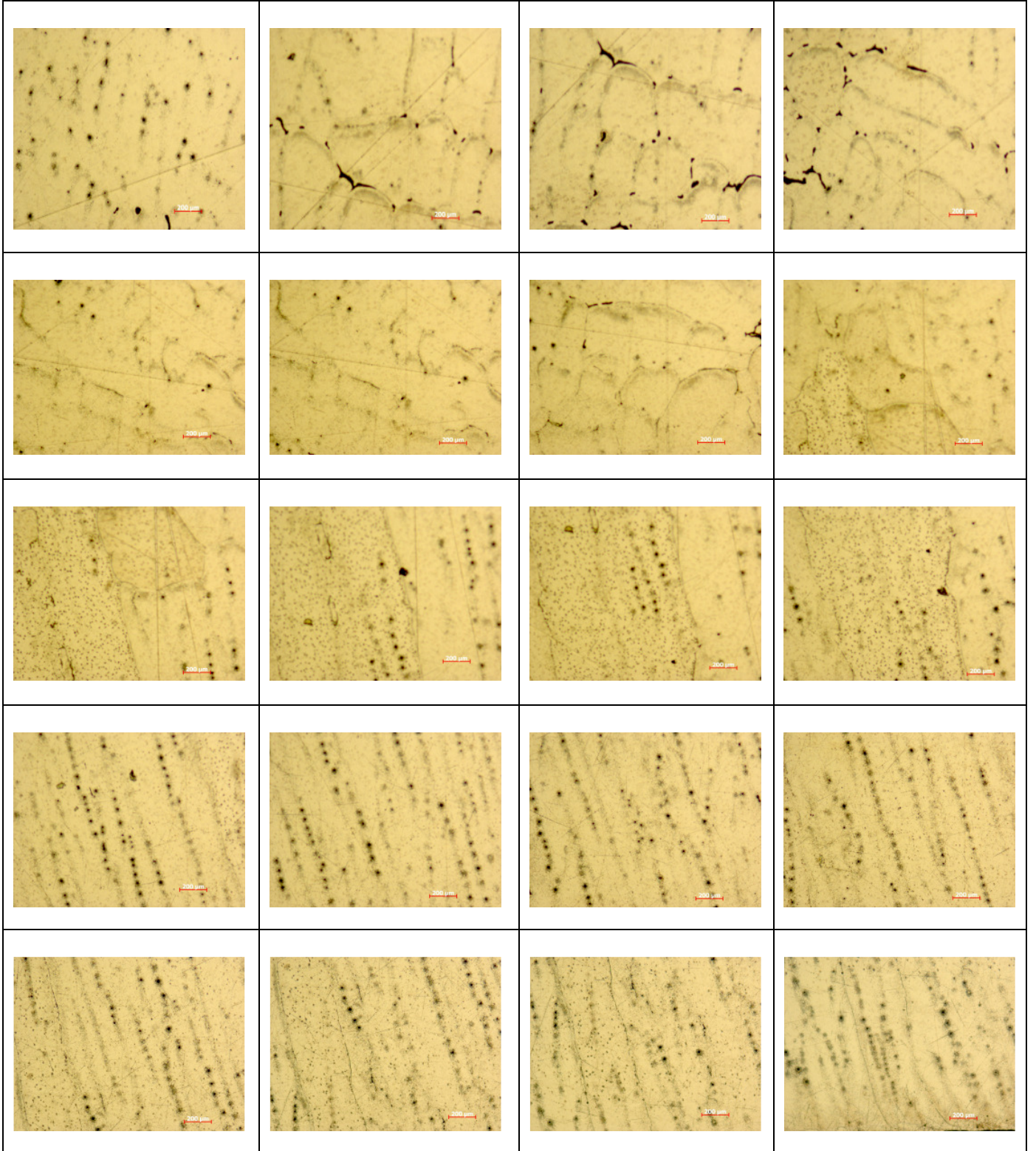
Ek2b 380°C'de 4 Saat bekleyen Al-Zn numunenin karanlık-parlak resimleri



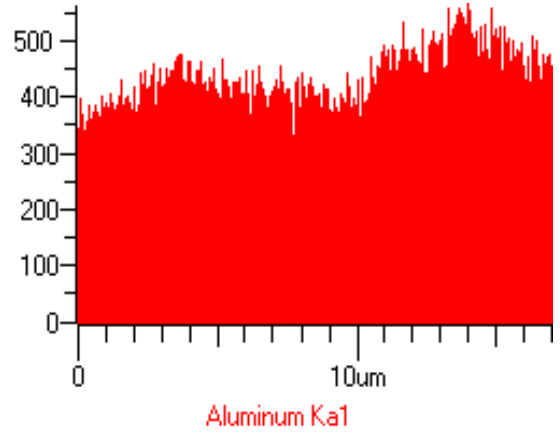
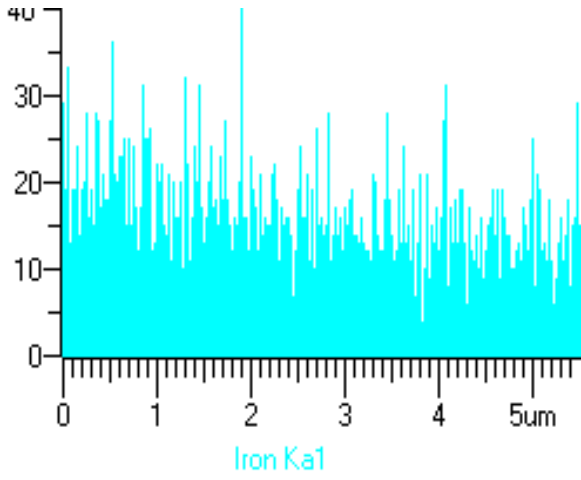
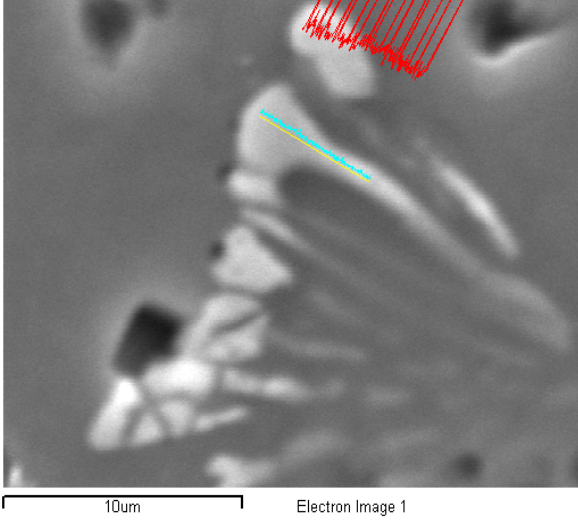
Ek2c 380°C'de 8 Saat bekleyen Al-Zn numunesinin karanlık-parlak resimleri



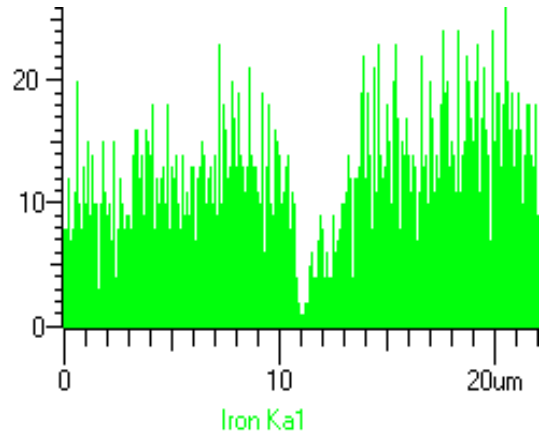
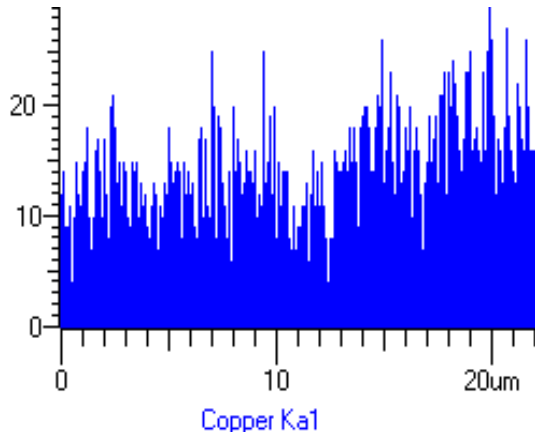
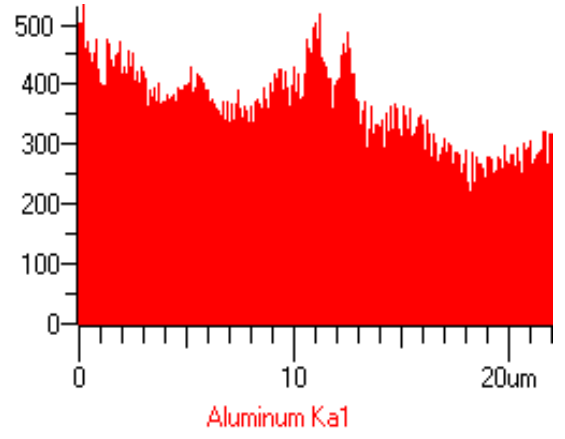
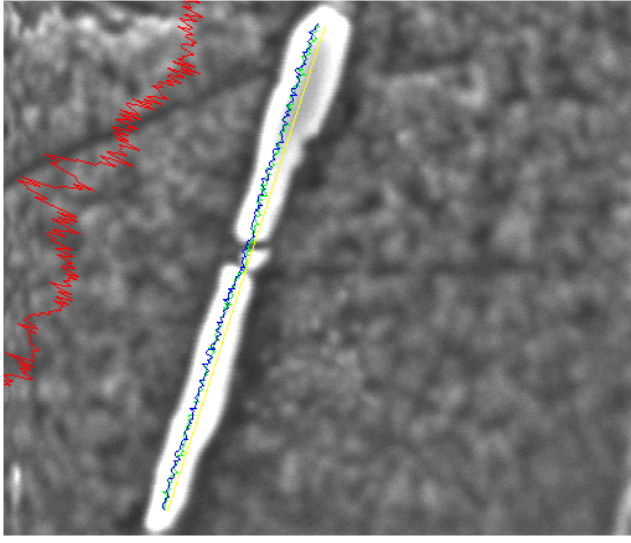
Ek2d 380°C'de 16 Saat bekleyen Al-Zn numunesinin karanlık-parlak resimleri



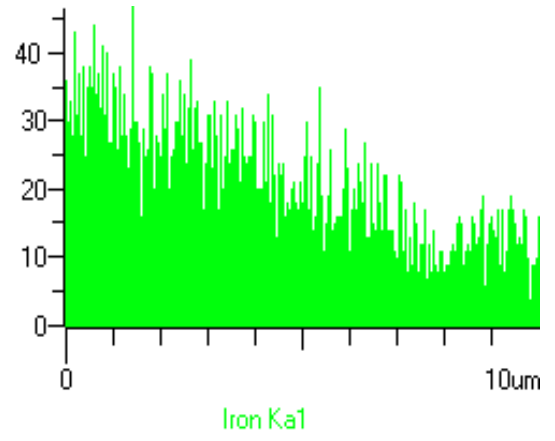
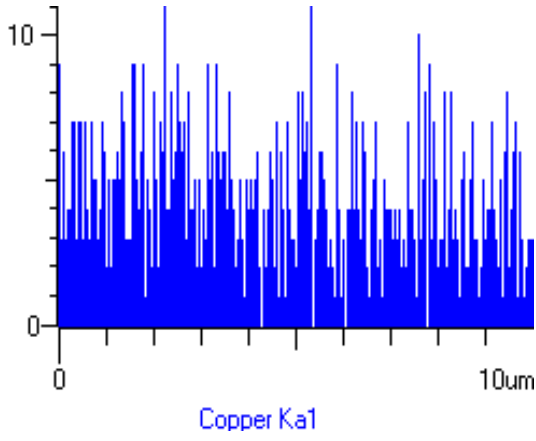
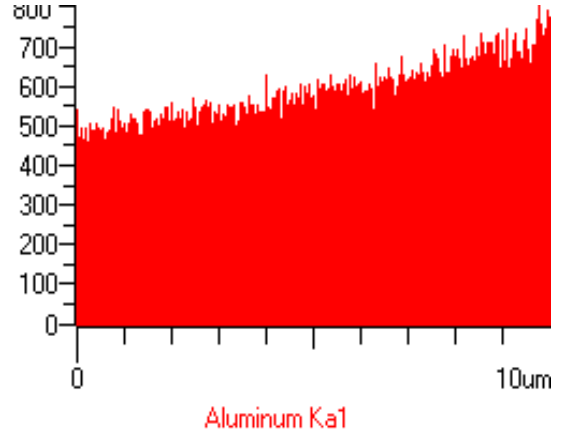
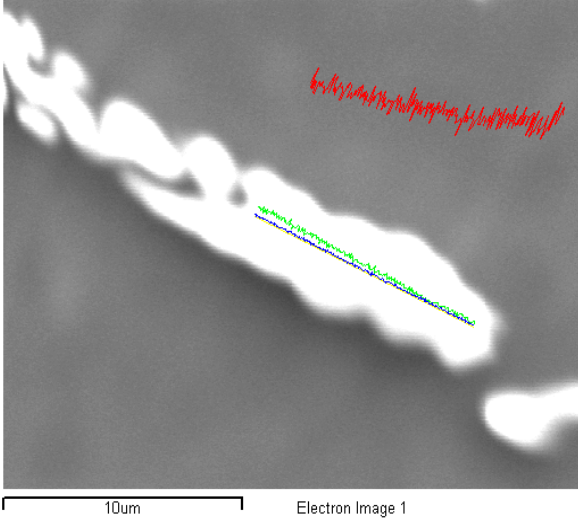
EK3 580°C'de 2 Saat Bekleyen Al-Cu Numunesinin Taramalı Elektron Mikroskop Görüntüleri



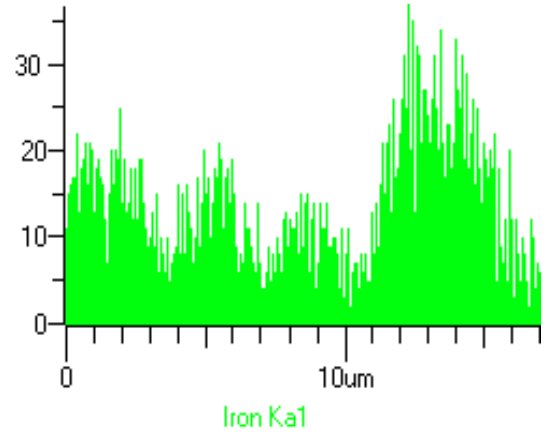
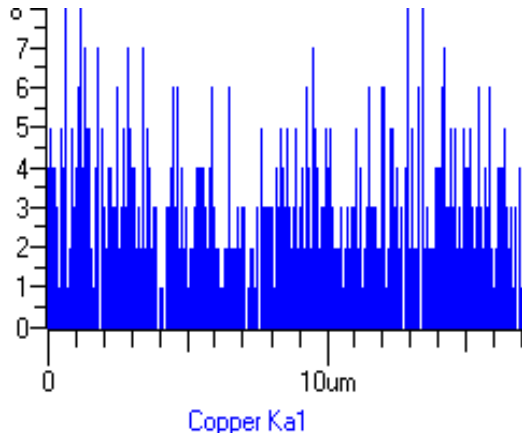
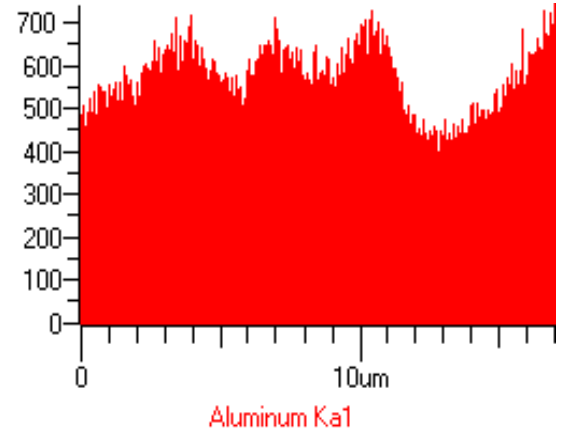
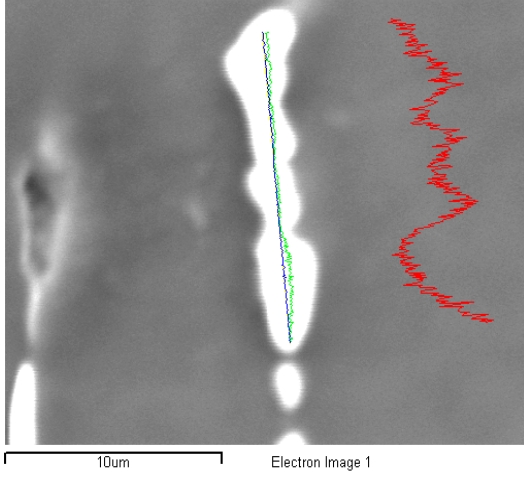
Element	Yaklaşık Sonuç	Şiddet	Ağırlık%	Ağırlık% Sigma	Atomik %
Al K	115.24	1.1810	97.58	0.35	93.08
Fe K	13.14	0.8750	15.02	0.45	6.92
Toplam			112.60		



Element	Yaklaşık Sonuç	Şiddet	Ağırlık%	Ağırlık% Sigma	Atomik %
Al K	72.51	0.8792	82.48	0.34	80.32
Fe K	8.14	0.9122	8.92	0.33	4.20
Cu L	28.70	0.7667	37.43	0.49	15.48
Toplam			128.83		



Element	Yaklaşık Sonuç	Şiddet	Ağırlık%	Ağırlık% Sigma	Atomik %
Al K	99.10	1.0792	91.82	0.30	89.63
Fe K	12.92	0.8855	14.59	0.36	6.88
Cu L	5.43	0.6454	8.41	0.41	3.49
Toplam			114.82		



Element	Yaklaşık	Şiddet	Ağırlık%	Ağırlık%	Atomik %
	Sonuç			Sigma	
Al K	114.00	1.1337	100.55	0.32	92.36
Fe K	9.50	0.8788	10.81	0.35	4.80
Cu L	5.12	0.7040	7.27	0.42	2.84
Toplam			118.64		

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi : 06.01.1983

Doğum yeri : Kadıköy

Lise : 1997-2001 Pendik Lisesi (Yab. Dil Ağ.)

Lisans : 2001-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

2005-2006 Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş

2007-2008 Kalkancı Pres Döküm

2008-Devam ediyor İnka Yapı Bağlantı Elemanları