T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM ESASLI FİTTİNGS MALZEMELERİN TASARIMI, ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Burak ÖZTÜRK

Danışman	**Prof. Dr. Özkan KÜÇÜK**
Jüri Üyesi	**Doç. Dr. Ercan KARAKÖSE**
Jüri Üyesi	**Yrd. Doç. Dr. Arif UZUN**
Jüri Üyesi	**Yrd. Doç. Dr. Gülabi DEMİRDAL**
Jüri Üyesi	**Yrd. Doç. Dr. Hakan ÇOLAK**

DOKTORA TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KASTAMONU – 2018

TEZ ONAYI

Burak ÖZTÜRK tarafından hazırlanan "**Alümimyum Esaslı Fittings Malzemelerin Tasarımı, Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü Ana Bilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Prof. Dr. Özkan KÜÇÜK Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Ercan KARAKÖSE Çankırı Karatekin Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Yrd. Doç. Dr. Arif UZUN Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Yrd. Doç. Dr. Gülabi DEMİRDAL Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Yrd. Doç. Dr. Hakan ÇOLAK Çankırı Karatekin Üniversitesi	.....

18/01/2018

Enstitü Müdür V. Doç. Dr. Mehmet Altan KURNAZ .....

TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

İmza
Burak ÖZTÜRK



ÖZET

Doktora Tezi

ALÜMİMYUM ESASLI FİTTİNGS MALZEMELERİN TASARIMI, ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Burak ÖZTÜRK

Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Özkan KÜÇÜK

Ülkemizde alüminyum alaşımlı fittings bağlantı elemanı üretimi bulunmamaktadır. Aynı zamanda dökme demir bağlantı elemanları kırılgan ve işlenebilirliği son derece az olan malzemelerdir. Ayrıca TSE EN 10242 standart ölçüleri fittings malzemelerin tasarımı ve mühendislik özelliklerinin artırılması için yetersizdir. Bu problemlerin ortadan kaldırılması için alüminyum boru bağlantı elemanları bu tezde dört aşamada geliştirilmiştir.

İlk olarak farklı tasarım geometrileri, standartlar ölçüler ve literatürde yer alan bilimsel araştırmalar incelenmiştir. Maksimum gerilme bölgelerinde bilezik şekilli bir tasarım geliştirilmiş ayrıca iç yüzeylere açı verilmiştir. Sonuç olarak ağırlık diğer tasarım geometrilerine göre %0,5 oranda artarken %11 oranda basınç dayanım özelliği iyileştirilmiştir. Geliştirilen bu tasarım geometrisi toplamda sekiz tasarım parametresinden meydana gelmektedir. Taguchi Metodu, Varyans Analizi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak tasarım parametrelerinin mühendislik özelliklere etki oranları araştırılmış bunun sonucunda optimum tasarım minimum ağırlık ve maksimum emniyet katsayısı için belirlenmiştir.

Alüminyum fittings malzemesi olarak 6061-T6 alaşımı güçlendirmek istenmiştir. Cu, Fe-Cu ve Fe-Si elementleri ile takviye edilen 6061 malzemenin kokil kalıba döküm yapılmıştır. Ayrıca bu alaşımlara ek olarak B_4C tozu takviyesi ile sıvı metal matrisli kompozit ürünler elde edildikten sonra endüstriyel ortamda T6 ısıl işlemi uygulanmıştır. Malzemelerin mekanik ve mikroyapı özellikleri; mikrosertlik ölçümü, çekme testi, optik mikroskop ve SEM ile incelenerek değerlendirilmiştir. Bu alüminyum malzemelerin talaşlı imalat işleminde enerji tüketimleri akım trafosu ve ampermetre kullanılarak ölçülmüştür. Enerji-güç dönüşüm denklemleri uygulanarak her bir malzemenin PI(A), P kesme(W), SEC(J/mm^3) ve SCEC(J/mm^3) değerleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: fittings, işlenebilirlik, enerji tüketimi, parametrik tasarım

2018, 180 sayfa
Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

INVESTIGATION OF THE DESIGN, PRODUCTION AND PROPERTIES OF ALUMINUM BASED FITTING MATERIALS

Burak ÖZTÜRK

Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Özkan KÜÇÜK

Aluminum alloy fittings have't producted in Turkey. However, cast iron fittings are fragile and low machinability. In addition TSE EN 10242 is insufficient to increase the design and engineering properties of standards. To overcome problems, aluminum fittings have been developed in four stages in this thesis.

First, different design geometries, standards, measurements and scientific researches in the literature have been examined. A ring-shaped design has been developed in the maximum stress zones. and the inside surfaces are angled. As a result of the weight increased by 0.5% compared to other design geometries, while the pressure resistance property improved by 11%. This new design geometry has a total of eight design parameters. Using Taguchi Method, Variance Analysis and Finite Elements Method, the effect ratios of design parameters to engineering properties were investigated. As a result, Design has been determined for minimum weight and maximum safety coefficient.

6061-T6 alloy was tried to be strengthened as aluminum fitting. 6061 materials reinforced with Cu, Fe-Cu and Fe-Si elements were cast with die casting. Furthermore, in addition to these alloys, liquid metal matrix composite products were obtained with B_4C powder additive and then T6 heat treatment was applied in industrial environment. Mechanical and microstructure properties of materials; microhardness measurement, tensile test, optical microscope and SEM. In these machining operations of aluminum materials, energy consumption is measured by using current transformer and ammeter. PI(A), P shear(W), SEC (J/mm^3) and SCEC (J/mm^3) values of each material were calculated by applying energy-power transformation equations.

Key Words: fittings, machinability, energy consumption, parametric design

2018, 180 pages
Science Code: 91

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca işletme imkânlarının kullanılmasında bana destek sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen başta Konak Rakor Döküm Sanayi fabrika müdürü Hasan KONAKTAŞ olmak üzere bütün çalışanlarına ve döküm yöntemleri, modelcilik ve talaşlı imalat konularında tecrübe edinmemi sağlayan merhum ustam Fehmi KONAKTAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Akademik çalışmalarıma tecrübeleriyle katkıda bulunan Doç. Dr. Hasan ÖKTEM, Yrd. Doç. Dr. Engin NAS ve Yrd. Doç. Dr. Fuat KARA hocalarımıza, numunelerin analizleri, yorumlanması ve her türlü yardımlarından dolayı Doç. Dr. Fatih KILIÇARSLAN, Doç. Dr. Ercan KARAKÖSE, Yrd. Doç. Dr. Arif UZUN ve Arş. Gör. Cihan ÖZORAK ve Kastamonu Üniversitesi Merkezi Laboratuarları çalışanlarına teşekkür ederim. Lisansüstü çalışmalarımı malzeme alanında yapmamı teşvik eden yüksek lisans danışman hocam Prof. Dr. Galip Said'e, minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Çalışmalarım boyunca her türlü desteğini benden esirgemeyen, beni yönlendiren, karşılaştığım problemleri ve engelleri çözümleyen, değerli hocam Prof. Dr.ÖZKAN KÜÇÜK'e şükranlarımı sunarım. Doktora tezimde yer alan deneysel çalışmaların bir kısmı için KÜ-BAP01-2017/44 nolu projeile destekleyen Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederim.

Ölmeden önce son isteği doktorayı kazanıp tamamlamam olan merhum babam Fehmi ÖZTÜRK'e, tüm lisansüstü kariyerim boyunca manevi desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen eşime, anneme ve neşe kaynağım evlatlarıma da ayrıca teşekkür ederim.

Burak ÖZTÜRK
Kastamonu, Ocak, 2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TAAHHÜTNAME ii
ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vi
İÇİNDEKİLER vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ xi
ŞEKİLLER DİZİNİ xii
GRAFİKLER DİZİNİ xvi
TABLOLAR DİZİNİ xviii
1. GİRİŞ 1
1.2. Dökme Demir Boru Bağlantı Elemanları 2
1.2. Plastik Boru Bağlantı Elemanları 6
1.3. Alüminyum Esaslı Boru Bağlantı Elemanları 7
2. ENDÜSTRİYEL ALÜMİNYUM MALZEMELER 9
2.1. Alüminyum Alaşımları 9
2.1.1. 1xxx Serisi Alüminyum Alaşımları 11
2.1.2. 2xxx Serisi Alüminyum Alaşımları 12
2.1.3. 3xxx Serisi Alüminyum Alaşımları 12
2.1.4. 4xxx Serisi Alüminyum Alaşımları 12
2.1.5. 5xxx Serisi Alüminyum Alaşımları 12
2.1.6. 6xxx Serisi Alüminyum Alaşımları 13
2.1.7. 7xxx Serisi Alüminyum Alaşımları 13
2.2. Metal Matrisli Kompozitler 16
2.2.1. Sıvı Faz Üretim Yöntemleri 16
2.2.1.1. Eriyik İçine Takviye Elemanı Karıştırma 16
2.2.1.2. Plazma Püskürtme 17
2.2.1.3. Sıkıştırmalı Döküm 17
2.2.1.4. Sıvı İnfiltrasyon 17
2.2.2. Katı Faz Üretimi 18

2.2.2.1. Difizyonlu Birleştirme ve Vakumda Presleme Yöntemi 18
2.2.2.2. Sıcak Presleme Yöntemi 18
2.2.2.3. Toz Metalurjisi 19
2.3. T6 - Yaşlandırma Isıl İşlemi 19
2.3.1. Solüsyona Alma 19
2.3.2. Su Verme 20
2.3.3. Yaşlandırma 21
2.4. Diğer Isıl İşlem Tipleri 21
3. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİRLİRLİK 23
3.1. Talaşlı İmalat 23
3.2. İşlenebilirlik 24
3.2.1. İşlenme Kabiliyeti 24
3.2.2. İş Parçasının Özelliklerinin İşlenebilirliğe Etkisi 25
3.2.2.1. Malzeme Yapısı ve Alaşım Elementleri 25
3.2.2.2. Sertlik ve Süneklik 26
3.2.2.3. Isıl İletkenlik 26
3.2.2.4. Alüminyumun İşlenebilirliği 26
3.2.2.5. Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin İşlenebilirliği 27
4. ENERJİ TÜKETİMİ VE İŞLENEBİLİRLİK 28
4.1. Enerji Üretimi ve Kullanım Alanları 28
4.2. Talaşlı İmalat Enerji Tüketimi 31
4.3. Takım Tezgâhlarında Enerji Tüketimi Ölçümü 33
4.4. Enerji Tüketimini Etkileyen Parametreler ve İşlenebilirliğe Etkisi 34
5. TAGUCHİ METODU 35
5.1. Taguchi Statiksel Metodu ve Varyans (Anova) Analizi 35
5.1.1. On-line kalite kontrol sistemi 36
5.1.2. Off - line kalite kontrol sistemi 36
5.2. Tasarım Basamakları 37
5.2.1. Sistem Tasarımı 37
5.2.2. Parametre Tasarımı 37
5.2.3. Tolerans Tasarımı 37
5.3. Sinyal/Gürültü (S/N) Oranı 38

5.4. ANOVA (Varyans Analizi) 39
5.5. Varyans 39
5.6. F Testi 41
6. ALÜMİNYUM ALAŞIMLI BORU BAĞLANTI ELEMANLARININ GELİŞTİRİLMESİ 42
7. LİTERATÜR ÖZETİ 46
7.1. Boru Bağlantı Elemanları 46
7.2. Endüstriyel Alüminyum Malzemeler 48
7.2.1. Alüminyum Alaşımları 48
7.2.2. Alüminyum Metal Matrisli Kompozit Malzemeler 49
7.3. Talaşlı İmalat İşleminde Enerji Tüketimi 51
8. MATERYAL VE METOT 53
8.1. Tasarım Geometrisinde Optimiziasyon 56
8.1.1 Ürünlerin Tasarım Parametreleri ve Modelleme 56
8.2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Basınç Dayanım Analizi 59
8.2. Tasarım Parametrelerinin Mukavemet Özelliklerine Etki Oranlarının İncelenmesi 59
8.3. Endüstiriyel Üretim Şartlarında Alüminyum Malzemelerinin Üretimi, Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi 62
8.4. Alüminyum Malzemelerin CNC Frezeleme İşleminde Enerji-Güç Dönüşüm Denklemlerinin Kullanılması ile İşlenebiliriliğin İncelenmesi 64
8.4.1. İşlenebilirliğin Araştırılması İçin Deney Parametreleri 64
8.4.2. Kesici Takım Özellikleri 65
8.4.3. CNC Dik işleme Tezgahı Özellikleri 66
8.4.4. Ampermetre Kullanımı ve Güç Dönüşüm Denklemleri 66
9. SONUÇLAR 69
9.1. Birinci Aşama Sonuçları 69
9.2. İkinci Aşama Sonuçları 73
9.3. Üçüncü Aşama Sonuçları 77
9.4. Dördüncü Aşama Sonuçları 124
10. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 153
10.1. Birinci Aşama 153

10.2. İkinci Aşama 155
10.3. Üçüncü Aşama 156
10.3.1. Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi 156
10.3.2. Alüminyum Boru Bağlantı Elemanı Malzemesi Seçimi 157
10.3.3. Malzeme Özelliklerinin Değerlendirilmesi 158
10.4. Dördüncü Aşama 168
11.TARTIŞMA 171
KAYNAKLAR 172
ÖZGEÇMİŞ 180

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

BTE	Bakü – Tiflis –Erzurum boru hattı
Cos σ	Güç Faktörü
d	Freze Çapı
F	İlerleme hızı (mm/dak)
Fz	1 devirde diş başına ilerleme (mm/devir)
I	Ampermetre ile ölçülen enerji yükü (A)
ITG	Türkiye –Yunanistan Boru Hattı
Ka	A faktörünün kademe sayısı
MRR	Bir turda kaldırılan talaş miktarı (mm3)
n	Devir (devir/dakika)
N	Elde edilen toplam veri sayısı
PI	Güç indeksi (A)
SCEC	Kesme enerjisi tüketimi (J/mm3)
SEC	Özel enerji tüketimi (J/mm3)
SSA	A faktörü için kareler toplamı
SSo	Hata kareleri toplamı
SST	Tüm değerlerin kareleri toplamı
T	Mevcut verilerin aritmetik ortalaması
TANAP	Anadolu Doğalgaz Boru Hattı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
Q	Toplam talaş hacmi (mm3)
V	Spindle motoru voltaj değeri (V)
VA	A'nın serbestlik derecesi
Vc	Kesme hızı (m/dakika)
VO	Hata varyansı
VT	Toplam serbestlik derecesi
z	Kesici uç sayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Farklı boru bağlantı elemanları tasarım örnekleri 2
Şekil 1.2. Fittings malzemelerinde meydana gelen deformasyon 3
Şekil 1.3. Talaşlı imalat işlemi sırasında aşınmış kılavuz örneği 3
Şekil 1.4. KGDD'in mikro yapı fotoğrafları a) Perlit + ferrit, b)Tamamen ferrit (Kuş, 2007) 4
Şekil 1.5. Soğuma hızının sertlik ve mikroyapıya etkisi 5
Şekil 2.1. Yaşlandırma ısıl işlemi sıcaklık-zaman faz diyagramı 20
Şekil 4.1. Talaşlı imalatın tamamında güç tüketiminin analizi. 32
Şekil 4.2. CNC torna tezgâhı güç ölçüm için deney düzeneği (üste), Güç ölçer bağlantı düzeneği (altta) 33
Şekil 5.1. Taguchi kalite kontrol sistemi 36
Şekil 8.1. A) TS 11 1/2" Te ölçüleri; B) Alüminyum Te tasarımlarında 2° açılı iç maça tasarımı 56
Şekil 8.2. a) Kare fitil ve kuşaklı tasarım örneği, b) Standart Te resmi 57
Şekil 8.3. Te malzemesinde gerilme miktarı ve stres haritası (MPa) (Dudko ve Neiman, 1976) 58
Şekil 8.4. Analiz için modellenen farklı tip tasarımlar 58
Şekil 8.5. A) Gerilme yığılma bölgelerinin çizgiler yardımıyla gösterilmesi, B) tasarım parametreleri 60
Şekil 8.6. Kokil döküm numune resmi 63
Şekil 8.7. Çekme numunesi resmi 63
Şekil 8.8. SCC APKT 11 T308 - PM 65
Şekil 8.9. Kesici takım geometrisi 65
Şekil 8.10. Microcut 1000 CNC dik işleme 66
Şekil 9.1. Gerilme yığılma bölgelerinin çizgilerle gösterilmesi 71
Şekil 9.2. B1 - B1 çizgisi üzerindeki gerilme analizleri; (Gerilme (MPa) / Alan Numarası) 71
Şekil 9.3. B2-B2 ve B3-B3 üzerindeki kuvvet dağılım haritası 72
Şekil 9.4. İki numaralı numune döküm sonrası optik mikroskop mikroyapısının görüntüleri; aşağıdan yukarı; 10x, 20x, 50x 78
Şekil 9.5. İki numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 79
Şekil 9.6. Üç numaralı numune döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 80
Şekil 9.7. Üç numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 81
Şekil 9.8. Dört numaralı numunelerinin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, numunenin 82
Şekil 9.9. Dört numaralı numune T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 83
Şekil 9.10. Beş numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 84

Şekil 9.11. Beş numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 85
Şekil 9.12. Altı numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 86
Şekil 9.13. Altı numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 87
Şekil 9.14. Yedi numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 88
Şekil 9.15. Yedi numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 89
Şekil 9.16. Sekiz numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 90
Şekil 9.17. Sekiz numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 91
Şekil 9.18. Dokuz numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 92
Şekil 9.19. Dokuz numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 93
Şekil 9.20. On numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 94
Şekil 9.21. On numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x 95
Şekil 9.22. İki numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 96
Şekil 9.23. İki numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 97
Şekil 9.24. Üç numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 98
Şekil 9.25. Üç numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 99
Şekil 9.26. Dört numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 100
Şekil 9.27. Dört numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 101
Şekil 9.28. Beş numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 5000 x 102
Şekil 9.29. Beş numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 103
Şekil 9.30. Altı numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 104
Şekil 9.31. Altı numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 105
Şekil 9.32. Yedi numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 106
Şekil 9.33. Yedi numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 107
Şekil 9.34. Sekiz numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 108

Şekil 9.35. Sekiz numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 109
Şekil 9.36. Dokuz numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 110
Şekil 9.37. Dokuz numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 111
Şekil 9.38. On numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 112
Şekil 9.39. On numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x 113
Şekil 9.40. İki numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementlerinin mapping sonuçları..... 114
Şekil 9.41. Üç numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementlerinin mapping sonuçları..... 115
Şekil 9.42. Dört numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementlerinin mapping sonuçları..... 116
Şekil 9.43. Beş numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementlerinin mapping sonuçları..... 117
Şekil 9.44. Altı numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementlerinin mapping sonuçları..... 118
Şekil 9.45. Yedi numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementleri mapping sonuçları..... 119
Şekil 9.46. Sekiz numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementleri mapping sonuçları..... 120
Şekil 9.47. Dokuz numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementleri mapping sonuçları..... 121
Şekil 9.48. On numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementlerinin mapping sonuçları..... 122
Şekil 9.49. Bir numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri..... 143
Şekil 9.50. İki numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri 144
Şekil 9.51. Üç numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri 145
Şekil 9.52. Dört numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri..... 146
Şekil 9.53. Beş numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri..... 147
Şekil 9.54. Altı numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri..... 148

Şekil 9.55. Yedi numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri 149
Şekil 9.56. Sekiz numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri 150
Şekil 9.57. Dokuz numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri 151
Şekil 9.58. On numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri 152
Şekil 10.1. Isıl işlem öncesi (solda) ve sonrası (sağda) mikroyapı değişimleri .. 159
Şekil 10.2. Saf 6061 alüminyum alaşım malzemesine (solda) %1 B4C takviyesi sonucunda (sağda) mikroyapı değişimleri. 159
Şekil 10.3. 6061 alaşımına % 1,8 bakır takviyeli üçüncü numune (solda) ile 1,8 bakır ve %1 B4C takviyeli dördüncü numunedeki (sağda) mikroyapı değişimleri. 160
Şekil 10.4. Üç numaralı numune Cu (solda) ve Al (sağda) elementi mapping sonuçları 160
Şekil 10.5. Dört numaralı numune için Cu elementi mapping sonuçları 161
Şekil 10.6. Dokuz numaralı (solda) ve on numarlı (sağda) numunelerin mikroyapı görüntüleri 161
Şekil 10.7. Dokuz numaralı numunede mapping sonuçları ve oluşan fazların gösterilmesi 162
Şekil 10.8. Dokuz numaralı numunede mapping sonuçları ve oluşan fazların gösterilmesi 163
Şekil 10.9. Beş numaralı numune SEM görüntüsü ve EDS alanları seçimi 164
Şekil 10.10. Altı numaralı numune SEM görüntüsü ve EDS alanı seçimi 164
Şekil 10.11. Yedi numaralı numunenin SEM görüntüsü ve EDS alanı seçimi 166
Şekil 10.12. Sekiz numaralı numunede mapping sonuçları ve oluşan fazların gösterilmesi 167

GRAFİKLER DİZİNİ

Sayfa

Grafik 4.1. Dünya genelinde enerji üretimi 1970-2000 28
Grafik 4.2. Enerji üretimi yapan 20 ülke ve üretim tipi 29
Grafik 4.3. Dünyada enerji tüketimi 29
Grafik 4.4. Enerji tüketim alanları (solda) ve sektörlere göre kullanımı (sağda) 30
Grafik 4.5. GWh cinsinden sanayi sektörü için İtalya'daki (2010 yılı) güç tüketimi. 30
Grafik 4.6. Talaşlı imalat ve diğer sektörlere göre enerji kullanım oranları..... 31
Grafik 4.7. Örnek bir deney grubunda talaş kaldırma ve boş çalışmada enerji tüketimlerinin karşılaştırılması 32
Grafik 6.1. Ana maliyet kalemlerinin % etki miktarının grafiği..... 42
Grafik 9.1. Emniyet katsayısı analiz sonuçları..... 69
Grafik 9.2. Elastik deformasyon miktarı değişimleri..... 70
Grafik 9.3. Tasarım geometrilerinin ağırlık değişimleri 70
Grafik 9.4. B3-B3 çizgisi üzerindeki gerilme analizi (Gerilme-Mpa / Alan Numarası)..... 72
Grafik 9.5. B2 - B2 çizgisi üzerindeki gerilme analizi (Gerilme (MPa)/Alan Numarası)..... 73
Grafik 9.6. Parametrelerin ve seviyelerinin ağırlık değişimlerine etkileri..... 75
Grafik 9.7. Parametrelerin ve seviyelerinin deformasyon miktarı değişimine etkileri 75
Grafik 9.8. Parametrelerin ve seviyelerinin dikey eksen maksimum gerilme miktarı değişimine etkileri 75
Grafik 9.9. Parametrelerin ve seviyelerinin yatay eksen maksimum gerilme miktarı değişimine etkileri 75
Grafik 9.10. İki numaralı numunenin döküm işlemi sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti 114
Grafik 9.11. Üç numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti 115
Grafik 9.12. Dört numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti 116
Grafik 9.13. Beş numaralı numune döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti 117
Grafik 9.14. Altı numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti 118
Grafik 9.15. Yedi numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti 119
Grafik 9.16. Sekiz numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti 120
Grafik 9.17. Dokuz numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti 121
Grafik 9.18. On numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti 122

Grafik 9.19. Bir numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları..... 130
Grafik 9.20. İki numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları..... 131
Grafik 9.21. Üç numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları..... 132
Grafik 9.22. Dört numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları..... 133
Grafik 9.23. Beş numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları..... 134
Grafik 9.24. Altı numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları..... 135
Grafik 9.25. Yedi numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları..... 136
Grafik 9.26. Sekiz numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları..... 137
Grafik 9.27. Dokuz numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları..... 138
Grafik 9.28. On numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları..... 139
Grafik 10.1. Deney parametrelerin karşılaştırmalı etki oranlarının incelemesi. 156
Grafik 10.2. Beş numaralı numunenin bölgesel EDS sonuçları..... 165
Grafik 10.3. Altı numaralı numunenin bölgesel EDS sonucu..... 166

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1. Boru bağlantı elemanlarının et kalınlıklarına göre gruplandırması 4
Tablo 2.1. Alüminyum alaşımlarının gruplandırılması 11
Tablo 2.2. Üretim yöntemine göre alüminyum alaşımları ve ısıl işlem özellikleri 15
Tablo 2.3. Isıl işlem tipleri ve özellikleri 22
Tablo 4.1. Talaşlı imalat parametrelerinin enerji tüketimi ve yüzey pürüzlülük (Ra) değerine etki oranları (%) 34
Tablo 5.1. Varyans analizi nicelikleri 39
Tablo 6.1. Üretim türlerinin maliyet'e etki miktarı 42
Tablo 8.1. Birici aşamada kullanılan alüminyum alaşım kimyasal analizleri 53
Tablo 8.2. Üçüncü aşama için üretilecek malzemelerin analiz sonuçları 55
Tablo 8.3. Seçimi yapılan malzemelerin mekanik özellikler 59
Tablo 8.4. Tasarım parametreleri 61
Tablo 8.5. Taguchi Metodu L32; 1x2, 7x4 deney düzeneği 61
Tablo 8.6. 6061-T6 mekanik özellikleri 62
Tablo 8.7. Taguchi L9 (33) Deney Tasarımı 65
Tablo 8.8. CNC Freze tezgahı özellikleri 66
Tablo 9.1. Taguchi deney grubu ve ANSYS sonuçları 74
Tablo 9.2. Ağırlık varyans analiz ve % etki oranı sonuçları 76
Tablo 9.3. Deformasyon miktarı varyans analiz ve % etki oranı sonuçları 76
Tablo 9.4. Dikey eksen maksimum gerilme miktarı varyans ve % etki oranı sonuçları 76
Tablo 9.5. Yatay eksen maksimum gerilme miktarı varyans ve % etki oranı sonuçları 77
Tablo 9.6. Deney numunelerinin çekme testi ve mikro sertlik sonuçları 123
Tablo 9.7. Birinci numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları 125
Tablo 9.8. İkinci numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları 125
Tablo 9.9. Üçüncü numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları 126
Tablo 9.10. Dördüncü numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları 126
Tablo 9.11. Beşinci numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları 127
Tablo 9.12. Altıncı numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları 127
Tablo 9.13. Yedinci numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları 128
Tablo 9.14. Sekizinci numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları 128
Tablo 9.15. Dokuzuncu numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları 129
Tablo 9.16. Onuncu numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları 129
Tablo 9.17. Birinci numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları 140
Tablo 9.18. İkinci numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları 140
Tablo 9.19. Üçüncü numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları 140
Tablo 9.20. Dördüncü numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları 140

Tablo 9.21. Beşinci numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları 141
Tablo 9.22. Altıncı numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları 141
Tablo 9.23. Yedinci numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları 141
Tablo 9.24. Sekizinci numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları 141
Tablo 9.25. Dokuzuncu numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları 142
Tablo 9.26. Onuncu numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları 142
Tablo 10.1. Çekme testi numuneleri için basınç dayanım analizi emniyet katsayısı sonuçları 157
Tablo 10.2. Ortalama talaş kaldırma enerji tüketimi ve işlenebilirlik özellikleri 169
Tablo 10.3. Taguchi Metodu deney tasarımı varyans analizi (Anova) sonuçları 170

1. GİRİŞ

Fittings boru bağlantı elemanları; petrol, kimya, doğalgaz, su, elektrik, makine imalat sanayi, mimari, gemi inşa sanayi, basınçlı kaplar, uzay, savunma ve havacılık, tüp ve boru teknolojileri gibi alanlarda bir birleştirici montaj elemanı olarak dünya genelinde endüstride kullanımı ve uygulamaları yaygındır. Fittings boru bağlantı elemanları farklı yönlerde birden fazla borunun birbirleriyle bağlantılarını sağlamakta kullanılmaktadır.

Şekillendirilmiş boru ve bağlantı elemanları gaz ve sıvı gibi akışkanların transferi için kullanılmakla birlikte metal yapılarda da kullanılmaktadırlar. Boru ve bağlantı elemanlarının uzay ve havacılık, enerji sistemleri, otomotiv gibi mühendislik alanlarında çok fazla kullanıldıkları düşünüldüğünde endüstrideki önemi ortaya çıkmaktadır (Zeng ve Li, 2002).

Borulardaki sıvı ve gaz malzemelerin akış hareketine birçok alanda karşılaşmak mümkündür. Şehir şebeke sularının veya ısıtma ve soğutma için önemli olan soğuk ve sıcak suyun boru sistemleri ile şehirlere dağıtılması, petrol ve doğalgazın yine boru sistemleri ile transferi en yaygın örneklerdir. Günümüzde, ısıtma ve soğutma sistemleriyle birlikte şebeke sistemlerinde geniş kapsamda kullanılmakta olan boru hatlatındakiakışkanlar mekaniği ile ilgili çalışmalar yıllardan beri bilimsel araştırmaların konusunu oluşturmuştur (Cürebal, 2016)

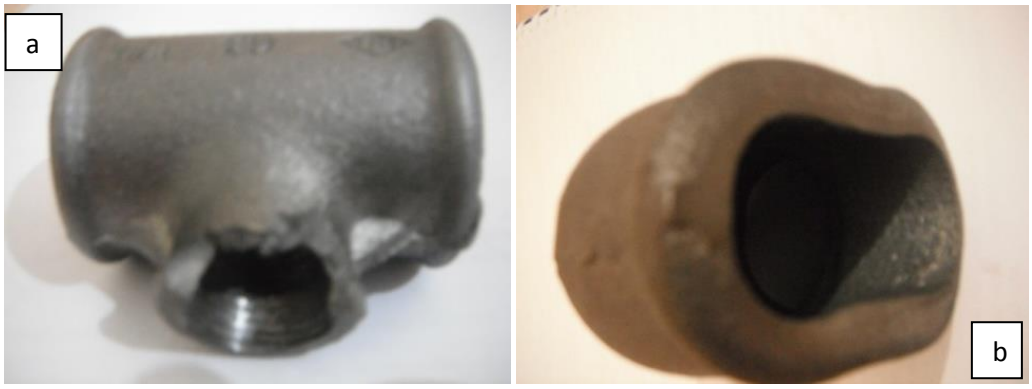
Ülkemiz Irak-Türkiye ve Bakü-Tiflis-Ceyhan ham petrol hatları için ev sahibi konumundadır. Ayrıca ITG, TANAP, Mavi Akım ve BTE gibi bazı uluslararası projeler için bir köprü durumundadır. Doğalgaz ve Akaryakıt ürünlerinin bir yerden diğer yere aktarımı için farklı tasarımlara sahip emniyet katsayısı yüksek boru ve bağlantı elemanları malzemelerine ihtiyaç vardır (Şekil 1.1.), (URL-1,2017).



Şekil 1.1. Farklı boru bağlantı elemanları tasarım örnekleri

1.2. Dökme Demir Boru Bağlantı Elemanları

Pik, sfero, bakır, prinç ve temper döküm malzemelerden fittings üretimi yapılabilmektedir. İthal ürünler genelde pik malzemeden yapılmakta olup; kışın soğuk etkisiyle, makinede diş açma sırasında ve tesisat döşenirken sıkma momenti etkisi ile kırılmaktadır. Bununla birlikte boru bağlantı elemanlarının montajı sırasında kırılma ve çatlaklar oluşmaktadır (Şekil 1.2.a.). Bunun sonucunda su kaçakları meydana gelmektedir. Bu yüzden östenitleme ısıl işlemi ile temperlenmiş sünek malzemeler oluşan kuvvetlere karşı tesisat sistemlerinde daha emniyetlidir (Şekil 1.2.b.), (Öztürk, 2013).



Şekil 1.2. Fittings malzemelerinde meydana gelen deformasyonlar a) Diş dibinden kırılmış Te b) Darbelere karşı kırılmayan sünek dirsek

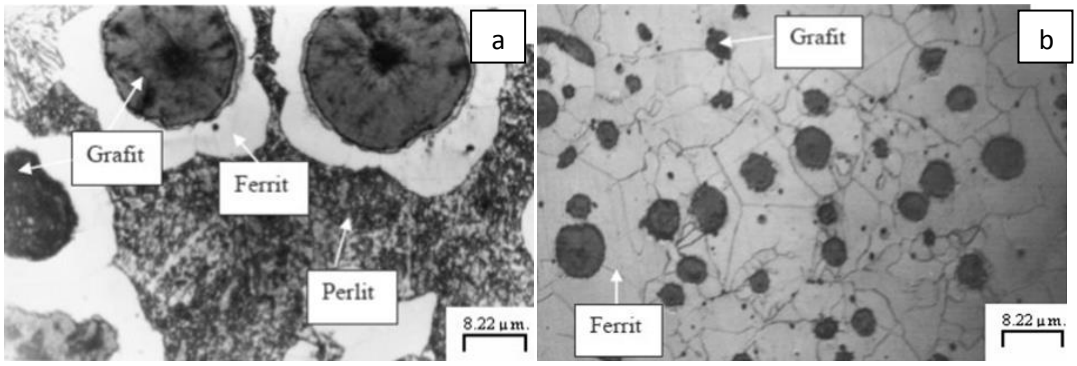
Seri üretim fittings malzemelerin imalatı özel tezgâhlarda yüksek tork ve düşük devirde gerçekleştirilmektedir. Malzeme sertliğinin kılavuz çekme işlemini zorlaştırması ortaya çıkan büyük bir problemdir. Kılavuzlar kullanım süresine ve iş parçası işlenebilirliğine bağlı olarak aşınıp kırılmaktadır (Şekil 1.3.), (Öztürk, 2013). İşlenebilirliği yüksek malzemeden üretilebilecek boru bağlantı elemanları ile zamandan, enerjiden ve ham maddeden tasarruf sağlanabilecektir.



Şekil 1.3. Talaşlı imalat işlemi sırasında aşınmış kılavuz örneği

Talaşlı imalat işlemlerinde işlenebilirlik özellikleri genelde malzemenin sertliği, mikroyapısı, akma ve kopma dayanımı değişimleri ile orantılı olarak değişkenlik göstermektedir. Dökme demir bağlantı elemanlarında mikroyapı değişimleri işlenebilirlik için belirleyici bir faktör olmakla birlikte malzeme sertliğide malzeme mikroyapısı ile ilişkilidir. Bu yüzden boru bağlantı elemanlarında döküm koşullarına ve soğuma hızına bağlı mikroyapı ve sertlik değişimlerinin incelenmesi; fittings malzemelerin işlenebilirlik özelliklerinnin artırılması için önemlidir.

Ocakta eritilmiş sfero piki ve hurda karışımının Mg elementiyle potada küreselleşmesi ile küresel grafitli dökme demir (sfero) üretilmektedir. Bu malzemelerin iç yapısı grafit kürelerinin etrafına bilezik şeklinde dizilmiş ferrit ve perlit birleşiminden oluşmaktadır (Şekil 1.4.), (Kuş, 2007). Ferritik oranı yüksek yani başka bir değişle; perlit oranı düşük olan malzemenin işlenebilirliği daha kolaydır. Fakat ince duvar kalınlıklarına sahip olan bir fittings malzemesinde izotermal dönüşümden dolayı beynitik (sementit) yapılar ortaya çıkmaktadır.



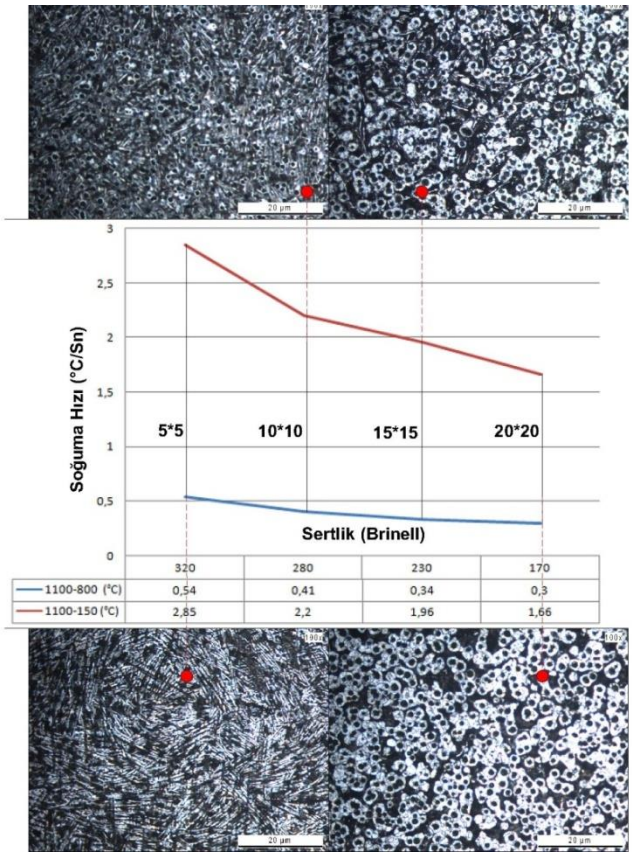
Şekil 1.4. KGDD'in mikro yapı fotoğrafları a) Perlit + ferrit, b)Tamamen ferrit (Kuş, 2007)

Endüstride TS11 EN 10242 standartlarında fittings üretimi yapılmaktadır. Bu standartlar kapsamında iki yüzden fazla farklı çeşit ürün yer almaktadır. Genel olarak 3-20 mm cidar kalınlığı ölçülerinde fittings boru bağlantı elemanı üretimi yapılmaktadır. Döküm soğuma hızı, mikro yapı ve malzeme sertliği gibi parametreler döküm soğuma hızına bağlı olarak değişim göstermektedir. Dört farklı cidar kalınlığı için boru bağlantı elemanları Tablo 1.1.'de gruplandırılmıştır, (Öztürk, 2013).

Tablo 1.1. *Boru bağlantı elemanlarının et kalınlıklarına göre gruplandırması*

Et Kalınlığı Aralığı (mm)	Malzeme Türü
3-5	½, - 1 inç maçalı ürünler ½", ¾ inç maçasız ürünler
5-10	1-4 inç maçalı ürünler 1 inç ölçüsünde; maçasız ürünler
10-15	5, 6 inç maçalı ürünler 1 ¼, 1/½ inç maçasız ürünler
15-20	2-4 inç maçasız ürünler

Bu dört farklı grubun mikroyapı ve sertlik değişimleri Şekil 1.5.'de verilmiştir (Öztürk, 2013). İnce cidarlı malzemelerde beynitik bir yapının oluştuğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sertliğin 320 HB değerlerine ulaştığı, dolayısıyla işlenebilirliği düşük malzemelerin üretildiği gözlenmiştir. Bu mikroyapıyı östenitleme ve havada soğutma ile ancak ferritik bir hale dönüştürülmektedir. Dökme demir malzemelerin işlenebilirliği bu yapılardan dolayı çok düşüktür.



Şekil 1.5. Soğuma hızının sertlik ve mikroyapıya etkisi

Farklı geometrideki fittings malzemelerinde akışkan analizi yapılarak, geometri değişimlerine bağlı akış hızı ve dinamik basınç hesabı sonlu elemanlar yöntemi ile araştırılmıştır. Tapa bağlantı elemanları "kapak" olarak kullanılmaktadır. Tapa malzemesinin 0,5 MPa basınçda emniyet katsayısı değerinin 200 olduğu belirlenmiştir. Bu sonuca göre en yüksek emniyet katsayısı tapa malzemesine aittir. Ayrıca maksimum gerilme Te malzemesinda 5,7 MPa ve Inegal Te için 5,3 MPa'dır. Boru bağlantı elemanlarında en düşük emniyet katsayısı değeri 20 olarak dirsek malzemesi için hesaplanmıştır. Ayrıca dirseklerde akış hızı geometriden dolayı 1,3 m/s'den 2,3 m/s'ye arttığı gözlemlenmiştir (Küçük vd.,2017).

Bu araştırma sonucunda farklı bağlantı malzemelerinin emniyet katsayıları miktarlarındaki değişim 10 kata kadar ulaştığı gözlemlenmiştir ve tasarımların mühendislik hesaplamalar ile şekillendirilmediği sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bu sonuçlara göre boru bağlantı elemanlarının tasarım geometrisi seçimlerinde mühendislik çalışmaların yetersiz olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak bu problem alüminyum esaslı boru bağlantı elemanlarının tasarım geometrisi ile ilgili olan tez çalışmasının temellerini oluşturmuştur.

1.2. Plastik Boru Bağlantı Elemanları

Plastik bağlantı elemanları bina içi su şebekelerinde ve özellikle tarım alanları sulama sistemlerinde kullanılmaktadır. Emniyet katsayısı değeri dökme demir boru bağlantı elemanlarına göre çok daha azdır. Plastik boru bağlantı elemanlarında maliyeti azaltmak içinçoğunlukla hurda malzeme karışımı yapılarak kalite düşürülmektedir. Endüstride seri üretimi yapılan bir tasarım geometrisi diğerlerine göre daha hafif olmasına rağmen hurda malzeme karışımı yapılmadığı için basınç dayanımı daha fazladır (URL-2,2017).Hurda ham madde katkısı artıkça malzemenin basınç dayanımı düşmektedir ve kırılganlığı artmaktadır.

Yüksek sıcaklığın etkisinde olan tarım ve ziraat bölgelerinde kullanılan plastik sıhhi tesisat malzemelerinin mekanik özelliklerinde yorulma gözlenmektedir. Bağlantı elemanlarında oluşan yorulmadan dolayı su kaçakları oluşmaktadır.

Bir malzemenin basınç kuvvetleri etkisi altındaki emniyet katsayısı değeri yorulma dayanımı miktarı ile doğru orantılıdır. Ayrıca hurda malzeme katkısı ile sağlığı olumsuz yönde etkileyen tesisat hatlarının oluşturulduğu düşünülmektedir. Plastik bağlantı elemanları su güvenliği ve sağlığı için en önemli araştırma konularından bir tanesidir (Küçük, Öztürk ve Altınbilek, 2017)

1.3. Alüminyum Esaslı Boru Bağlantı Elemanları

Alüminyum doğada oksijen ve silisyumla birlikte en fazla bulunan elementlerden bir tanesidir. Metaller içerisinde bileşikler halinde bulunur. Bu bileşikler yer kabuğunun %8'ini oluşturmasına rağmen ilk 19. Yüzyılda saf metal olarak elde edilebilmiştir. Alüminyumun alüminyum oksit olarak doğada çok kararlı kimyasal bileşik halinde bulunur ve alüminyum oksitten alüminyumun indirgenmesi için yüksek enerjiye ihtiyaç vardır. Bu kimyasal işlem için gerekli teknolojik yöntemler 19. Yüzyılda geliştirilmiştir (Özakın,2014).

Alüminyum Boru Bağlantı Elemanları, boru bağlantı uygulamaları için çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır. Otomotiv sanayinde, endüstriyel pompalarda, uçak motorları yakıt sistemlerinde, gemicilikte, kimya ve gıda sanayinde uygulamaları mevcuttur. Alüminyum özellikle düşük ağırlık yüksek korozyon direnci, işlenebilirlik, ucuz maliyet, enjeksiyon ve ekstrüzyon kolaylığı, yüzey kalitesi .... vb mekanik özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Ayrıca dökme demirler gibi kırılgan bir malzeme değildir aksine sünek bir malzemedir.

Alüminyum alaşımlı boru bağlantı elemanlarının ülkemiz'de üretimi yoktur. Özellikle Hindistan, Amerika, Çin ve Tayvan'da seri üretimi ve satışı yaygın olarak yapılmaktadır. T6 ısıl işlemi ile mekanik özellikleri artırmak için 6061 ve A 356-F alüminyum alaşımlı malzemelerinden üretimi yapılan bağlantı elemanları kimya ve gemicilik sanayinde kullanılmaktadır. Dökme demir malzemelerin demir oksit ile korozyona uğramasından dolayı çinko kaplama ile galvaniz işlemi yapılmaktadır. Bu işlem insan sağlığı için olumlu sonuçlar ortaya çıkartmaz. Alüminyum alaşımlarının korozyon direnci dökme demir malzemelere göre daha yüksektir. Özellikle kimya ve gıda sanayinde bu özellikleri ile kullanılmaktadır.

Alüminyum alaşımlı fittings malzemelerin kopma mukavemeti dökme demire göre düşüktür. Özellikle 6061 malzemesi boru bağlantı elemanlarına diş açma işleminde talaş sıvanması gibi olumsuz özellikler sergilemektedir. Ayrıca alüminyum boru bağlantı elemanlarınıntasarım geometrisinde farklı tip geometriler görülmektedir. Alüminyum esaslı boru bağlantı elemanlarının tasarım geometrisinin şekillendirilmesi ve işlenebilirliği ile ilgili literatürde bir araştırma bu tez çalışmasından önce yapılmamıştır. Bu çalışmanın yapılabilmesi için ilk olarak endüstriyel alüminyum malzemelerin incelenmesi gerekmektedir.

2. ENDÜSTRİYEL ALÜMİNYUM MALZEMELER

2.1. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum günümüzde mekanik özellikleri ile son derece faydalı bir mühendislik malzemesi haline gelmiştir. Düşük yoğunluk miktarına (2,7 gr/cm^3) sahip olması nedeni ile konstrüksiyon ve imalat işlemlerinde kullanılmaktadır. Saf alüminyumun düşük mekanik özelliklere rağmen, farklı elementlerin takviyesi ile kopma değeri artırılmaktadır (Car, 2011) . Alüminyumun, endüstride yaygın olarak kullanılmasının nedeni aşağıda özetlenmiştir.

Esneklik: Alüminyum %30'dan fazla uzama değerine sahip, elastikiyeti yüksek bir malzeme olduğu için darbe direnci yüksektir. Düşük sıcaklıklarda çelikler gibi dayanımı azalmaz ve kırılganlığı artmaz (Asa, 2010).

Estetik Özellikler: Alüminyum malzemelerde ışık yansıtma özelliği yüksektir. Gümüş ve beyaz renk ışık yansıtma yeteneği ile birleşerek iç ve dış mimarîde etkileyici bir görünüme sahip olmaktadır. Alüminyumun etkileyici dış yüzey görünümü, eloksal, lâke maddeleri vb. kaplama işlemleri ile korunabilir (Asa, 2010).

İletkenlik: Bakıra benzer nitelikte elektrik ve ısı iletkenlik değerleri ile iyi bir iletken malzeme olarak tesisat uygulamalarında tercih edilirler (Birol, 2004).

İslenebilirlik: Alüminyum, islenebilirliği yüksek bir metal olmakla birlikte yığıntı talaş sebebi ile takımlarda yığıntı talaş oluşumu (build-up edge) oluşmaktadır. Bu problem soğutma sıvısı kullanımı ile ortadan kalkmaktadır. Ayrıca döküm, dövme, haddeleme, presleme, ekstrüzyon, çekme gibi soğuk ve sıcak şekil verme metotları uygulanarak kalınlığı 0,01 mm folyo ve tel haline bile getirilebilir (Asa, 2010).

Kimyasal Kararlılık: Alüminyum farklı hava şartlarında, yiyecek çeşitlerinde ve günlük yasamda uygulanan sıvı ve gazlara karsı dayanımı yüksektir. Ayrıca

korozyon direnci fazladır. Gıda ve kişisel bakım ürünlerini ambalajlama ve paketlemede alüminyum ürünler sıklıkla kullanılmaktadır (URL-3,2017).

Mukavemet: Saf alüminyum, diğer metallere göre daha az dayanıma sahiptir. Bununla birlikte alüminyum alaşımları farklı elementler ile takviye edilerek 570 MPa varan kopma değeri ile, yüksek mühendislik özellikleri sergilemektedir (Car, 2011).

Günümüzde tüm endüstriyel alanlardasıklıkla kullanılan alüminyum alaşımlarının kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Asa, 2010).

— Elektrik-elektronik, karayolları, petrol ürünleri, inşa ve diğer mühendislik alanlarında,

— İçecek, gıda, tıp ve kimya endüstrisinde,

— Düşük sıcaklıkta çalışacak yapılarda ve mekanizmalarda,

— Otomotiv sanayi motorlarında, diğer araç gereç ve ekipmanlarda,

— Demiryolu ve denizcilik ile ilgili ekipmanlarda, havacılık ve uzay sanayinde,

— Savunma sanayindeki araç ve ekipmanlarda,

— Makine ve mekanizmalardaki yatak ve burçlarda

— Elektrik ve elektronik sanayinde,

— Ev araç gereçleri, mimari ve mobilyalar gibi tüketim ürünlerinde,

— Ambalaj ve boya malzemelerinde,

Alüminyumun mekanik özelliklerini artırmak için çeşitli elementler ile güçlendirilerek alüminyum alaşımlı malzemeler elde edilmektedir. Takviye edilen elementlere göre oluşturulan sınıflandırmada bir alaşım dört rakamdan oluşan bir gösterim sekli yardımıyla sınıflandırılmaktadır. İlk rakam, alüminyum eklenen ana metali gösterir. A.B.D normlarında alüminyum alaşımları Tablo 2.1.'de gösterildiği gibi sınıflandırılmaktadır (URL-4, 2017).

Tablo 2.1. *Alüminyum alaşımlarının gruplandırılması*

1XXX	Alaşımsız alüminyum
2XXX	Bakırlı alüminyum alaşımı
3XXX	Manganezli alüminyum alaşımı
4XXX	Silisyumlu alüminyum alaşımı
5XXX	Magnezyumlu alüminyum alaşımı
6XXX	Silisyum ve magnezyumlu alüminyum alaşımı
7XXX	Çinkolu alüminyum alaşımı
8XXX	Diğer elementler ile alaşımları
9XXX	Kullanılmayan seriler

Bakır, çinko, demir, magnezyum, manganez, lityum ve silisyum gibi pek çok elementle alaşımlandırılan alüminyumun mekanik özellikleri artırılabilir. Böylelikle endüstride kullanım alanı demirden sonra gelen alüminyumun mühendislik özellikleri artırılabilir. Farklı element takviyesi için alüminyum alaşımlarının gruplandırılması ve elementlerin mühendislik özelliklere etkileri aşağıda açıklanmıştır (Doğan, 2012).

2.1.1. 1xxx Serisi Alüminyum Alaşımları

En az % 99 alüminyum olmakla birlikte, empürite (kirlilik) olarak yapısında demir ve silisyum gibi elementler içerirler. Mekanik özellikleri artırmak için % 0,12 Cu takviye edilmektedir. Çok sayıda haddeleme ısıl işlemi sonrası alaşım levha veya folya haline getirilebilir. Bu alaşımın çekme dayanımı 90 MPa olarak ölçülmüştür (Wessel, 2004).

2.1.2. 2xxx Serisi Alüminyum Alaşımları

2000 serisi malzemelerde ana element bakır olmakla birlikte magnezyum ve düşük miktarda diğer elementlerden takviye edilebilir. Bu alaşımlar uçak endüstrisi gibi ağırlık mukavemet oranı yüksek olması istenilen uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu alaşımların çökeltme sertleşmesiyle mekanik özellikleri artırılmaktadır. Özellikle 2004-T6 alaşımı %4,5 Cu, %1,5 Mg,ve %0,6 Mn elementleri ile alaşımlandırılarak çekme mukavemeti 442 MPa kadar artırılmaktadır (Tufan, 2011).

2.1.3. 3xxx Serisi Alüminyum Alaşımları

Saf alüminyuma yakın 1000 serisi malzemelere %1,25 Mn ilavesi ile 3003 alaşımı elde edilmektedir. Bu alaşımının maksimum çekme değeri 110 MPa'dır. İşlenebilirliği yüksek olan malzemelerdir (Wessel, 2004; Doğan, 2012).

2.1.4. 4xxx Serisi Alüminyum Alaşımları

Silisyum elementinin eklentisi ile alaşımın akıcılık özelliği artmaktadır. Bu yüzden döküm sanayinde karmaşık geometriye sahip malzemelerin üretilmesinde kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca kaynak ve lehim işleminde erime noktası düşmesiyle alaşımın kaynak ve lehimleme kabiliyeti artmaktadır (Doğan, 2012).

2.1.5. 5xxx Serisi Alüminyum Alaşımları

Temel alaşım elementi magnezyumdur. Kimyasal analiz sonuçlarına göre alaşımda ki oranı %5'e kadar çıkmaktadır ve katı eriyik mukavemet artışı sağlamaktadır. Sanayide kullanılan en önemli alaşım 5052'dir. Bu alaşımın çekme kuvveti 193 MPa'dır (Wessel, 2004;Tufan, 2011; Doğan, 2012).

2.1.6. 6xxx Serisi Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımına ilave edilen Mg-Si intermetalik bileşiklerin çökelti sertleştirilmesi ısıl işlem ile dayanımı artmaktadır. En yaygın kullanılan alaşım 6061 alaşımıdır. 6061 alaşımının T6 ısıl işlemi sonrası çekme mukavemeti 290 MPa'dır. Bu alaşım otomotiv ve havacılıkta genel yapı elemanı olarak kullanılmaktadır (Tufan, 2011; Doğan, 2012).

2.1.7. 7xxx Serisi Alüminyum Alaşımları

Bu serinin ana alaşım elementi çinkodur. Bununla birlikte çinko ve bakır elementleriyle alaşım yapılmaktadır. Çekme dayanımı 580 MPa olan 7178 alaşımı, havacılık ve savunma sanayinde kullanılmaktadır. Bakır eklentisi bu seride korozyon direncini düşürmektedir (Wessel, 2004; Tufan, 2011). Bu serinin ana alaşım elementi çinkodur. Bununla birlikte çinko ve bakır elementleriyle alaşım yapılmaktadır. Çekme dayanımı 580 MPa olan 7178 alaşımı, havacılık ve savunma sanayinde kullanılmaktadır. Bakır eklentisi bu seride korozyon direncini düşürmektedir (Wessel, 2004; Tufan, 2011; Doğan, 2012).

Alüminyum alaşımları endüstride ve bilimsel araştırmalarda standart seri üretimleri dışında farklı element eklentisi ile güçlendirilebilirler. Bu çalışmalar literatür özeti kısmında detaylı olarak verilmiştir. Özellikle 6000 serisi alüminyum alaşımlarına element katkısı; mekanik özellikleri artırmak için yapılmaktadır. Aşağıda farklı element takviyelerinin genel mekanik özellikleri etkileri açıklanmıştır.

Bakırın (Cu) Takviyesi; Bakır elementi, alaşımın mekanik özelliklerini, talaş sıvanmasına karşılıkişlenebilirliğini ve mikro sertliğini, ısıl işlem kabiliyeti arttırılmıştır. Bununla birlikte korozyon direnci ve akışkanlığını (dökümde, enjeksiyonda ve basınçlı dökümde) direncini azaltmaktadır (Brown, 1999).

Silisyumun (Si) Takviyesi; Silisyum elementi, alaşımların akışkanlığını, korozyon direncini, kaynak yapılabilme yeteneğini iyileştirmektedir. Tane boyutları küçülürken iyi bir işlenebilirlik özelliği sağlamaktadır. Küçük yuvarlak şekilli Al tanecikleri ile Al-Si ötektiği mukavemet sağlarken iğnecik seklindeki Al-Si ötektiği ise çekme mukavemetini arttırmakla beraber, sünekliği, darbe ve yorulma dayanımını düşürmektedir (Turhan, 2002).

Magnezyumun (Mg) Takviyesi; 6000 serisi alüminyum alaşımlarında olduğu gibi Al-Si alaşımlarında, % 0.25-0.5 magnezyum takviyesi, ısıl işlem yapılabilirliğini artırmaktadır. Magnezyum, alaşıma, mukavemet, kaynak kabiliyetive korozyon direnci kazandırırken yüksek oranda demirin bulunması, sünekliği ve islenebilirliği azaltır. Magnezyum, ötektik altı Al-Si alaşımlarında, demirin mühendislik özellikleri olumsuz etkisini azaltarak; mukavemeti, korozyon direnci ve aşınma direncini arttırmaktadır (Tufan, 2011).

Manganezin (Mn) Takviyesi; Alaşıma manganez katılması, alaşımın mühendislik özelliklerini iyileştirmektedir. Ayrıca demir eklentesi mekanik ve fiziksel özelliklere yaptığı olumsuz etkiyi giderirken mukavemet ve korozyon direnci artırmaktadır (Tufan, 2011).

Çinkonun (Zn) Takviyesi; Çinko takviyesi tek başına T6 ısıl işlemine olumsuz yönden etki ederken, bakır ve magnezyumla alaşımlandırılması ısıl işlem özelliklerini iyileştirmektedir. Ayrıca çekme dayanımın, sıcak şekillendirilmesini, işlenebilirliğini ve darbe mukavemetini arttırmaktadır. Al-Si alaşımlarında çökelme sertleşmesi oluşturduğundan, alaşımın aşınma direncini artırmaktadır (Brown, 1999; Turhan, 2002) .

Titanyumun (Ti) Takviyesi; Titanyum ve bor ile alaşım oluşturulduğunda tane yapıları küçülmektedir. Alaşımın çekme mukavemeti ve sünekliliği artarken ısı iletkenliğini düşmektedir (Turhan, 2002; Tufan, 2011).

Demirin (Fe) Takviyesi; Demir, tane küçültücü etki yaparken sertliği ve kırılganlığı artırmaktadır. Yüksek silisyum içeren alaşımlarda, kaba ve gevrek yapının ortaya

çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bu tip alaşımlarda demir oranının minimum değerde olması istenir (Öz, 2007).

Nikelin (Ni) Takviyesi; Alaşımlarda bakır ile beraber kullanıldığında, yüksek sıcaklıklarda dayanımı ve sertliği arttırıcı yönde etki yapmaktadır (Tufan, 2011).

Alüminyum alaşımları üretim yöntemleri dikkate alınarak sınıflandırıldığında işlem alaşımları ve döküm alaşımları olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bu alaşımlar ve ısıl işlem durumları Tablo 2.2.'de gösterilmiştir (Erdoğan, 2001).

Tablo 2.2. *Üretim yöntemine göre alüminyum alaşımları ve ısıl işlem özellikleri*

İşlem (Dövme) Alüminyum Alaşımları		
Ana Alaşım Elementleri	**Alaşım Türü**	**Isıl İşlem Durumu**
Arı Al (%99)	1XXX	Yaşlanmaz
Al – Bakır	2XXX	Yaşlanır
Al – Silisyum (Cu-Mg ilave edilmiş)	3XXX	Yaşlanmaz
Al – Silisyum	4XXX	Mg Eklenirse Yaşlanır
Al – Magnezyum	5XXX	Yaşlanmaz
Al – Magnezyum ve Silisyum	6XXX	% 2 Mg İçerirse Yaşlanır
Al – Çinko	7XXX	Yaşlanmaz
Al – Kalay	8XXX	Yaşlanmaz
Al – Diğer elementler	9XXX	% 2 Cu, Mg İçerirse Yaşlanır
Döküm Alüminyum Alaşımları		
Ana Alaşım Elementleri	**Alaşım Türü**	**Isıl İşlem Durumu**
Arı Al (%99)	1XX.X	Yaşlanmaz
Al – Bakır	2XX.X	Yaşlanır
Al – Mangan	3XX.X	Yaşlanmaz
Al – Silisyum	4XX.X	Yaşlanmaz
Al – Magnezyum	5XX.X	Yaşlanmaz
Al – Magnezyum ve Silisyum	6XX.X	Yaşlanır
Al – Çinko	7XX.X	Yaşlanmaz
Al – Diğer elementler (Sn - Li)	8XX.X	Yaşlanır
Kullanılmamış seriler	9XX.X	% 2 Cu, Mg İçerirse Yaşlanır

Alüminyum alaşımlı malzemeler döküm, enjeksiyon ve ekstrüzyon gibi bir çok farklı geleneksel yöntemle imalatı yapılabilmektedir. Bununla birlikte alüminyum ürünlerin kompozit malzeme olarakta üretimi yaygındır. Özellikle yüksek mühendislik özellikler sergilemeleri için; toz metalurijisi ürünü ve sıvı metal matrisli kompozit malzeme olarak uygulamaları mevcuttur. Endüstri için günümüzde pahalı bir yöntem olarak kabul edilsede, karmaşık geometrili parçaların elde edilmesinde gün geçtikçe önemini artıracak bir üretim yöntemidir. Aşağıda farklı alüminyum kompzit malzeme imalat yöntemleri detaylı olarak açıklanmıştır.

2.2. Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

Metaller ve seramikler gibi farklı iki malzeme gurubunun en iyi özellikleri bir araya getirilerek metal matrisli kompozit malzemelere üstün özellikler kazandırılabilmektir. Bu metaller genelde yüksek sıcaklık dayanımı ve tokluk özellikleri iyi olmasına rağmen eğme bükme mukavemeti zayıftır. Seramik malzemelerde ise eğilip bükülmeye karşı yüksek direnç gösterebilirken son derece kırılgan malzemelerdir. Metal matris; mukavemeti ve elastik modüllü yüksek seramik parçacıklar takviye edilerek yeni üretilen malzemenin mekanik özellikleri bu iki malzemenin özelliklerinin ortalama bileşkesidir (Hassim vd., 1999; Günay, 2009). MMK (Metal Matrisli Kompozit) malzemelerinin üretiminde; ürün kalitesi ve maliyeti üretim yönteminin belirlenmesinde temel etkendir. MMK malzemelerin üretim metotları iki ana grupta aşağıda sınıflandırılmıştır (Mutlu, 1996; Doğan, 2012).

2.2.1. Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

Bu üretim yönteminde genel olarak ertilmiş alüminyum malzeme metal matris malzemesidir ve takviye malzemesi eklentisi ile mekanik özellikler artırılmaktadır. Bu yöntem döküm yöntemine benzer prosesler içermektedir. Genelde alüminyum matris malzemesi etritilir ve takviye elemanı ile homejen bir karışım yapılacak kalıba döküm yöntemiyle üretim gerçekleştirilir. Sıvı fazüretim yöntemleri detaylı olarak aşağıda açıklanmıştır

2.2.1.1. Eriyik İçine Takviye Elemanı Karıştırma

Bu yöntem sıvı hal üretim yöntemlerinden en kolay ve ucuz olan bir üretim şeklidir. Partiküllermatrisi güçlendirmek için ergimiş metal matris içine atılıp homojen bir şekilde dağılım sağlanana kadar karıştırılır. Karıştırma sonrası kalıba dökülerek katılaşması beklenir (Bahçeci, 2006).

2.2.1.2. Plazma Püskürtme

Atomik yapıdaki eritilmiş metal parçacıkların takviye elemanları üzerine farklı kalınlıkta püskürtülmesidir. Bu işlem sonrası metal parçacıkları takviye elemanlarına yapışır ve hızlı bir şekilde katılaşır. Al gibi ergime sıcaklığı düşük olan metallerde uygulanan bir yöntemdir (Doğan, 2012).

Bu yöntem uygulanarak karmaşık geometriye sahip parçalar üretilebilir. Aynı zamanda fiberler arası mesafenin kontrolü ve fiberlerin kolay bir şekilde yönlendirilebilmesi gibi avantajlara sahiptir (Akoral, 2003).

2.2.1.3. Sıkıştırmalı Döküm

İlk olarak metal ön ısıtma yapılması gereklidir. Sonrasında ısıtılan kalıba seramik fiber veya başka bir takviye malzemesinden oluşmuş ön şekil verilmiş blok malzeme yerleştirilir.70-100 MPa basınç altında eriyik metal fibere emdirilmektedir. Katılaştırılması işlemi sıkıştırılan eriyik metale yüksek basınç uygulanarak yapılmaktadır. Yüksek basınç ve katılaşmadan dolayı, ürünlerde gözenek, gaz boşlukları ve çekme gibi döküm hataları çok az görülür (Askeland, 1998).

2.2.1.4. Sıvı İnfiltrasyon

MMK malzemelerin üretilmesinde kullanılan farklı döküm yöntemlerinden biriside sıvı infiltrrasyon yöntemidir. Üretiminde sürekli fiber ve kısa fiber takviyeli kompozitler kullanılmaktayken bu üretim tipinde temel proses, sıvı halde bulunan metal matrisin bir tüp ve kap içerisine yerleştirilmiş elyaflar arasına sıvı halde metal matris enjekte edilmesidir. İlk olarak istenilen profil şeklinde ön şekillendirme işlemi yapılır. Bu şekiller kalıpta bir bağlayıcı ile tutturulduktan sonra kalıp içerisine eritilmiş metal dökülür. Ergimiş metalin emdirilme işlemi fiber ve hacim arasındaki oranının yüksek olduğu durumlarda daha zordur. Bu tip durumlarda eritilmiş metal; basınç altında veya vakumla emdirilebilir (Sur, 2002; Akoral, 2003). Bu işlemde kompozitin kalitesini artırmak için vakum altında üretim yapılmaktadır.

Bu yöntemde ortaya çıkan sorunlar şu şekilde özetlenebilir;

— Fiberlerin birbirlerine çok yakın olmasından dolayıküçük boşluklara erimiş metalin nüfuz edememesi,

— Metaller arası bileşiklerin fiber-matriks ara yüzeyinde oluşması (Klipfel vd., 1990; Bahçeci, 2006).

2.2.2. Katı Faz Üretimi

Katı faz üretim yönteminde sıvı faz üretim yöntemine göre alüminyum malzemeler eritilmez. Genelde ilk olarak preslenen malzemelerde daha sonra aralındaki bağlayıcılık farklı şekilerde sağlanarak üretim tamamlanır. Farklı katı faz üretim yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

2.2.2.1. Difizyonlu Birleştirme ve Vakumda Presleme Yöntemi

Bu üretim yöntemi ile levha, yaprak şeklindeki matris malzemeler ve uzun fiber şeklindeki takviye elemanları üst üste konulur. Daha sonrada ergime sıcaklıklarının altındapreslenerek difüzyon ile birleşmeleri sağlanmaktadır. Difüzyonla birleştirme işleminin kalitesinin artışında matris ve takviye elemanlarının birleştiği yüzeylerinin düzgün, temiz ve oksitsiz olması çok önemlidir. Al ve Ti alaşımları matris olarak kullanılabilirken, takviye elemanı olarak da Al_2O_3 ve SiC gibi fiber ürünler kullanılmaktadır. Üretimproseslerin fazla olması, yüksek sıcaklık ve basınçlar gereksiniminden dolayı üretim maliyetinin yüksek olması bu üretim tipinin olumsuz yanlarındandır (Pul, 2010).

2.2.2.2. Sıcak Presleme Yöntemi

Metal matriksten oluşan ince folyo tabakalar arasına fiberler yerleştirilir. Kompoziti yerinde tutmak için bir bağlayıcı ile spreylenir ve sonra bağlayıcı yakılarak ayrılır. Ön şekil verilmiş kompozit tamburdan çıkarılır, belirlenen ölçülerde kesilir ve sıcak pres kalıp içine dizilir.

Dizilmiş kütle üzerine basınç uygulanır ve bağlama sıcaklığına ulaştığında gerekli zaman için tam bağ basıncı uygulanır. Sonrasında basınç kaldırılır ve parça yavaş bir şekilde soğumaya bırakılır (Şahin, 2000; Bahçeci, 2006).

2.2.2.3. Toz Metalurjisi

Toz Metalürjisi (TM) yöntemi, klasik üretim yöntemlerinden döküm, presleme ve talaş kaldırma üretim yöntemlerine ek olarak geliştirilmiştir. TM yöntemi ile yüksek mühendislik özelliklere sahip karmaşık geometrideki ürünlerin ekonomik koşullarda üretilebilmesi, toz metalürjisi yönteminin önemli özelliklerindendir. Bu yöntem uygulanılarak, farklı tip tozlar yardımıyla, kalıp geometrisi formuna göre üretim sağlanır. Daha sonra şekil verilen parçacıkların atmosfer ve yüksek sıcaklı ile sinterlemesi yapılarak taneler arası bağlantı sağlanır. TM ile diğer yöntemlerden farklı olarak düşük karmaşık geometrili, düşük ağırlıkta ve üretimi zor ürünlerin daha düşük maliyet ve sürelerde üretimi için kullanılmaktadır (Sur, 2008). TM üretim yöntemi gelişmekte olup geleneksel metal şekillendirme yöntemlerinin yerini özellikle biyomedikal, havacılık ve otomotiv sanayinde almaktadır (Moustafa vd., 2002; Jacobs ve Kilduff, 2005; Doğan, 2012).

2.3. T6 - Yaşlandırma Isıl İşlemi

Yaşlandırma ısıl işlemi, yumuşak ve sünek mikroyapıda; ince ve sert bir mikroyapıya sahip çökeltilerin oluşumunu sağlamak için uygulanmaktadır (Askeland, 1998). Matris içinde yer alan farklı şekil ve konuma sahip çökeltiler, dislokasyon hareketlerini kısıtlamalarından dolayı akma ve kopma dayanımlarını artırmaktadır. Yaşlandırma ısıl işlemi, üç aşamadan meydana gelmektedir (Öz, 2007; Tufan, 2011).

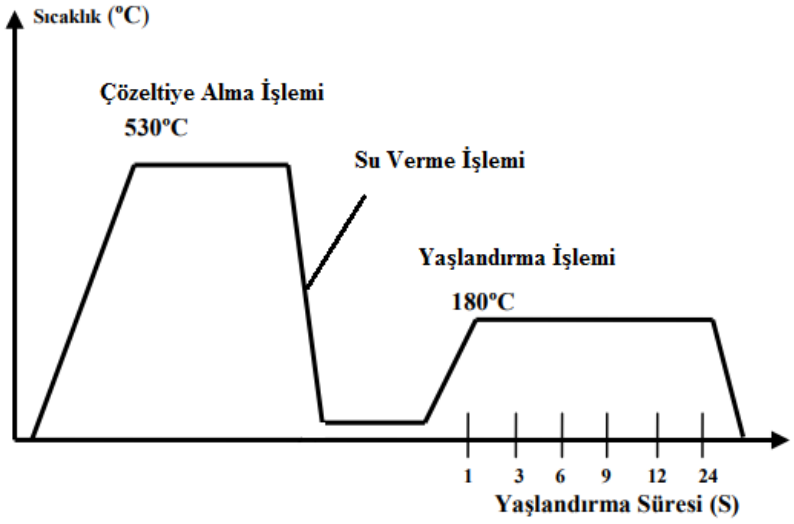
2.3.1. Solüsyona Alma

Alaşımda tek fazlı bir yapı (α) oluşturmak için, alaşımın faz diyagramında belirlenmiş, solvüs sıcaklığından daha fazla olan, önceden belirlenmiş T_0 sıcaklığına kadar ısıtılır. Bu sıcaklık değeri malzeme tipine göre değişkenlik göstermektedir.

Isıtılan bu T_0 sıcaklığında alaşımdaki tüm fazların (α ve β) tek faz içerisinde çözünmesi sağlanana kadar bekletilir. Bu bekleme süresi, alaşımların kimyasal ve iç yapısına göre değişiklik gösterir. Uygulanan bu sürece çözündürme uygulaması veya solüsyona alma denilmektedir (Savaşkan, 1999).

2.3.2. Su Verme

Solüsyona alma ısıl işleminden sonra yapılan su verme ısıl işlemi ile solüsyona alma ısıl işlemi sonucunda oluşan tek fazlı (α) katı çözeltisini, çökeltilerin oluşmasına izin vermeyecek şekilde, 10 - 60° C sıcaklık aralığına süratle soğutmaktır. Ürünlerin, hızlı bir şekildeakışkan içerisinde soğutulmasıyla aşırı doymuş bir yapı elde edilmektedir. Aşırı doymuş bu yapı, mikroyapı içinde bulunan çözünmüş alaşım elementlerinin denge koşullarında, alaşım elementinin çözebileceği orandan daha fazla element çözmesi durumudur ve kararsız bir yapıdır. Kararlı bir yapı için, orta dereceli kopma dayanıma ve önemli oranda elastikiyete sahip bu yapının yaşlandırma ısıl işlem uygulanması ile mümkündür. Su verme işleminden sonra uygulanan ısıtılarak yapılan yaşlandırmaya yapay yaşlandırma, oda sıcaklığında yapılan yaşlandırmaya ise doğal yaşlandırma denilmektedir (Savaşkan, 1999). Şekil 2.1.'de T6 ısıl işlemi grafiği yer almaktadır (Akyüz ve Şenaysoy, 2014).



Şekil 2.1. Yaşlandırma ısıl işlemi sıcaklık-zaman faz diyagramı

2.3.3. Yaşlandırma

Çökelme sertleşmesi ısıl işlemi ile bazı alaşımların sertliğini ve dayanımını arttırmak hedefiyle geliştirilmiş sertleşme mekanizmasıdır ve çözünmenin temel karakteristiğine dayanmaktadır. Çökelme sertleşmesi, matris içerisinde çözünen atomların oluşturduğu uyumlu çökeltilerin oluşmasına bağlıdır. Uyumlu yapıda çökelti oluştuğunda, çökelti kafesi atom düzlemleriyle matris kafesi düzlemleri arasında süreklilik oluşmaktadır. Bu süreklilik oluşumu sonucunda, çökelti çevresinde gerilme alanı oluşmaktadır ve bu geniş alanda oluşan dislokasyonların hareketleri zorlaşmaktadır (Askeland, 1998).

Alaşımlarda iç yapısıyla uyumlu çökeltiler, dislokasyon hareketlerini kısıtlamaktadırlar bunun sonucunda alaşımın sertliğini ve mühendislik özelliklerini büyük oranlarda artırmaktadır. Çökelme sertleşmesi ısıl işleminde alaşımın sertliğini ve dayanımı arttıran diğer bir etken parametrede çökelti boyutlarıdır. Yaşlandırma zamanı uzatıldığında ise çökeltilerin büyümesi sonucunda aralarındaki mesafe azalmaktadır. Böylece dislokasyon hareketlerini engelleyerek sertlikte artışa neden olmaktadır. Çökelti boyutlarının aşırı derecede büyümesi sunucunda, dislokasyonlar çökeltiyi kesebilirler ve bu durum mekanik özelliklerde düşüşe neden olmaktadır (Öz, 2007).

2.4. Diğer Isıl İşlem Tipleri

Solüsyona alma kararsız bir temperleme ısıl işlemidir. Sadece solüsyona alma uygulamasından sonra oda sıcaklığında kendi kendilerine yaşlanabilen alaşımlar için uygulanır. T harfi kararlı bir temper oluşturmak için alaşıma F, O veya H'dan başka uygulanan temper işlemini gösterir. T harfinden sonra 1’den10’a kadar rakamlar farklı tip ısıl işlem seçeneklerini nitelemektedir (Aydın, 2002; Tufan, 2011) (Tablo 2.3.).

Tablo 2.3. *Isıl işlem tipleri ve özellikleri*

SİMGESİ	ÖZELLİKLERİ
T1	Sıcak işlemden sonra soğutulur ve doğal yaşlanma ile kararlı durumagetirilir.
T2	Sıcak işlemden sonra soğutulur, soğuk işlemden geçirilir ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.
T3	Solüsyona alma ısıl işlemi uygulanır, soğuk işlemden geçirilir ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.
T4	Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir, doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.
T5	Sıcak işlemden sonra soğutulur ve yapay yaşlanma ile sertleştirilir(Termik Isıl İşlemi).
T6	Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir ve yapay yaşlandırma ilesertleştirilir (Termik Isıl İşlemi).
T7	Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir ve yapay aşırı yaşlanma yapılır(Termik Isıl İşlemi).
T8	Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir, soğuk işlemden geçirilir veyapay yaşlandırma yapılır (Termik Isıl İşlemi).
T9	Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir, yapay yaşlandırma yapılır(Termik Isıl İşlemi) ve soğuk işlemden geçirilir.
T10	Sıcak işlemden soğutulur, soğuk işlemden geçirilir ve yapay olarakyaşlandırılır.

3. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİRLİRLİK

3.1. Talaşlı İmalat

Endüstrideki üretim hatlarında ilk operasyon olarak döküm, dövme, haddeleme ve diğer şekil verme yöntemleriyle yarı mamul olarak üretilen ürünler genellikle talaşlı imalat işlemi bir veya daha fazla operasyondan geçirilerek tam mamul malzeme üretimi yapılmaktadır. Talaşlı imalat yönteminde ürünlerin teknik resimlerde belirtilen ölçü standartlarında üretilmesi için yarı mamul malzemede yer alan talaş miktarı ve talaş kaldırma tipine uygun takım tezgâhı ve kesici takım kullanılarak belirtilmiş boyut, yüzey, şekil ve konum işaretlerine uygun üretim yapılmaktadır (Shaw, 1989).

Yaklaşık 200 yılı askın bir süredir talaşlı imalat hakkında yapılan akademik araştırmalar devam etmektedir. 1900'lü yıllarda ise, talaşlı imalat ve metal kesme teorisinin fiziksel mekanigi sayısal olarak incelenmeye başlanmıştır. Özellikle 1940 ve 1950'li yılar; talaşlı imalat araştırma çalışmalarında olumlu sonuçlar alındığı dönemdir (Morehead, 2007; Pedersen, 2006).

Talaşlı imalat, tam mamul ürünü şekillendirme yöntemleri ile ilgili yapılan araştırmalardaki gelişmelere rağmen büyük bir endüstriyel ve akademik araştırma konusu olarak güncelliğini korumaktadır. Talaş kaldırma teorisi; büyük ölçüde kesici takım tipiyle ilişkili olarak belirlenen kesme hızı miktarı, kesici takım, işleme parçası ve işleme tezgâhının birleşiminden meydana gelmektedir. Talaslı imalat ile seri üretim yapılan endüstriyel kuruluşlarda, hızlı üretim için yüksek kesme ve ilerleme hızları ile birlikte yüksek miktarda kesme derinlikleriyle kaba operasyonlar için optimum zaman, minimum takım kullanımını sağlayacak finish işleme ile ilişkili olarak gerekli ölçü doğruluğu ve yüzey kalitesini sağlayabilecek kesici takım, takım tezgahı ve is parçası üçgenini bulmaya çalışmaktadır.

Bunun için de talaş kaldırma yüzeylerinde oluşan kesme kuvvetlerinin etkisine uzun süreli dayanabilen kesici takım malzemelerinin geliştirilmesi gereklidir (Ezugwu, 2005; Günay, 2009).

3.2. İşlenebilirlik

Bir malzemenin işlenebilirliği birden fazla değişkene bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. İşlenebilirlik çok fazla değişkene göre ölçüldüğü gibi standart bir ölçüm yöntemi yoktur. (Aydın, 2002).

> ‘’İşlenebilirliğin net bir tanımı bulunmamakla birlikte; İşlenebilirlik, bir malzemenin istenen şekilde, boyutta ve yüzey kalitesinde işlenmesinin kolay veya zorluğunu ortaya çıkaran bir kavramdır’’(Özçatalbaş, 1996; Doğan, 2010).

> ‘’Talaşlı imalatta, iş parçasından talaş kaldırma işlemini etkileyen özelliklerin tümü ve talaş kaldırma işlemleri ile üretim kolaylığı veyazorluğudur’’ (Özçatalbaş, 1996; Doğan, 2010).

> ‘’Ayrıca parça yüzeyinin kalitesi, standart bir talaş miktarı için gerekli enerji, kesici takım aşınma miktarı veya kesici takım ömrü gibi talaşlı imalat işlemlerinin özelliklerini bir noktada toplamaktır’’(Mills ve Redford, 1993; Doğan, 2010).

Bir iş parçasının içyapısı, spektral kimyasal analizi, ısıl işlemi, saflığı vb. değişken parametrelerin işlenebilirliğine etkisi bulunmaktadır. Talaş kaldırma, takım aşınması, yüzey pürüzlülük değeri ve kesme kuvvetleri gibi işlenebilirlik çıktıları ile iş parçasının işlenebilirliği incelenmektedir (Özçatalbaş, 2003).

3.2.1. İşlenme Kabiliyeti

İşlenme kabiliyeti bir iş parçası malzemesinin talaş kaldırmaya uygunluğudur. Bir malzemenin İşlenme kabiliyeti farklı işleme parametrelerine göre değişir, aynı

zamanda farklı malzemelerin eşit işleme koşullarında birbirleri ile karşılaştırması mümkündür. İşlenme özelliklerini ölçmesinde dikkat edilmesi gereken konular aşağıda verilmiştir (Doğan, 2010).

1. Kesici takım kesme hızı veya kesici takım ömrü ne kadar artış gösterirse, iş parçasının işlenme kabiliyetinin o kadar iyi olduğu kabul edilir.

2. İş parçası ne kadar az kesme kuvveti veya enerji tüketimi ile işlenebiliyorsa, o iş parçasının işlenebilirliğinin fazla olduğu kabul edilir.

3. İşleme yüzeyinde yüzey pürüzlülük değeri ne kadar düşükse, bu malzemenin işlenme kabiliyeti de o kadar iyi olduğu kabul edilir (Tufan, 2011).

3.2.2. İş Parçasının Özelliklerinin İşlenebilirliğe Etkisi

İşlenebilirliğin araştırılması ve imalat koşullarının en iyi hale getirilmesi için genelde kullanılan işleme parçası incelendiğinde ilk olarak temel malzeme özellikleri ve bu özelliklerin işlenebilirliği ile ilgili nasıl sonuçlar oluşturduğu incelenmelidir (Balcı, 2008).

3.2.2.1. Malzeme Yapısı ve Alaşım Elementleri

İş parçasının mikro yapısı şekilleri aşındırıcı özelliği sergiler ve iş parçasının mekanik özellikleri yapı tipi ve şekliyle de değişmektedir. Çeliklerde aşındırıcı bileşeni olan karbür buna örnek olarak verilebilir. Bu tip aşındırma özelliğine sahip elementlerin veya faz yapılarının miktarı ve biçimi, malzeme mekanik özelliklerini etkiler. Karbon, çeliklerdeki en önemli alaşım elementi olmakla birlikte kimyasal yapısına ve soğuma hızlarına bağlı olarak çok farklı yapılar elde edilebilmektedir. Çeliklerde östenit yapıya ek olarak olarak üç farklı faz yer almaktadır. Bu faz yapıların isimleri; sementit, perlit ve ferrittir (Balcı, 2008). Sementit en kırılgan ve sert yapı olmakla beraber ferritik yapı işlenebilirliği yüksek olan bir yapıdır (Öztürk, 2013)

Alaşım elementleri, iş parçası mekanik özellikleri üzerindeönemli bir etkiye sahiptir. İşlenebilirliği etkileyen alaşım elementleri; Alüminyum (Al), Bakır (Cu), Alüminyum oksit (Al_2O_3), Silisyum Karbon (SiC), Mangan (Mn), Tungsten (W), Niyobyum (Nb), Vanadyum (V) olarak örnek verilebilir. Alaşım elementleri işlenebilirlik üzerinde çok önemli etkilere sahiptir. İşleme malzemesinde yapılan spektral analizler, malzemenin işlenebilirliği ile ilgili önemli sonuçlar ortaya çıkartmaktadır (Sandvik, 1997)

3.2.2.2. Sertlik ve Süneklik

Talaşlı imalatta işleme malzemesinin düşük sertlik ve mekanik özelliklere sahip olması işlenebilirliği genelde artırmaktadır. Alüminyum alaşımlarında bu özellikler farklılık gösterebilmektedir. Bazı alüminyum alaşımları düşük yüzey işleme kalitesi, çapak oluşmasına ve kısa takım ömrüne neden olan yığıntı talaş oluşmasından dolayı sorunlara yol açan çok sünek malzemeler gurubuna girmektedir. Bu tür malzemelerde ısıl işlem ile sertliğin artırılmasının işlenebilirliğe olumlu etkileri vardır (Sandvik, 1997).

3.2.2.3. Isıl İletkenlik

Isıl iletkenlik katsayısının yüksek olması talaşlı imalat operasyonlarında ortaya çıkan ısının hızlı bir şekilde talaş kaldırılan bölgeden uzaklaşmasına olanak sağlar demektir. Talaşlı imalat işlemi açısından incelediğimizde ısıl iletkenlik olumlu sonuçlar ortaya çıkmıştır (Çakır,2000).

3.2.2.4. Alüminyumun İşlenebilirliği

Alaşımsız saf alüminyum malzemelerin mekanik özellikleri ve sertlik değerleri çok düşüktür. Bu düşük mekanik özelliklerden dolayı endüstride alüminyum kullanımı çok az olup dayanım gerektirmeyen alanlardadır. Alüminyumun farklı elementler ile alaşımlandırılarak mekanik özellikleri artırılmaktadır. Farklı elementler ile alaşım yapan alaşımlı alüminyum malzemenin ısıl işlem ve korozyon özellikleri alaşım elementlerine göre farklılık göstermektedir (Tufan, 2011).

Alüminyum alaşımlarının talaşlı imalatında yığıntı talaş oluşumu ortaya çıkmaktadır. Bu yığıntı talaş kesici takıma yapışıp kesme özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle alüminyum alaşımlı malzemeleri işlemek için özel tasarım geometrisine sahip kesici takımlar kullanılmaktadır. Kaymanın sorunsuz tamamlanması ve yığıntı talaş oluşumunun önlenebilmesi için geniş talaş açılarına ihtiyaç duyulmaktadır.

3.2.2.5. Alüminyum Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin İşlenebilirliği

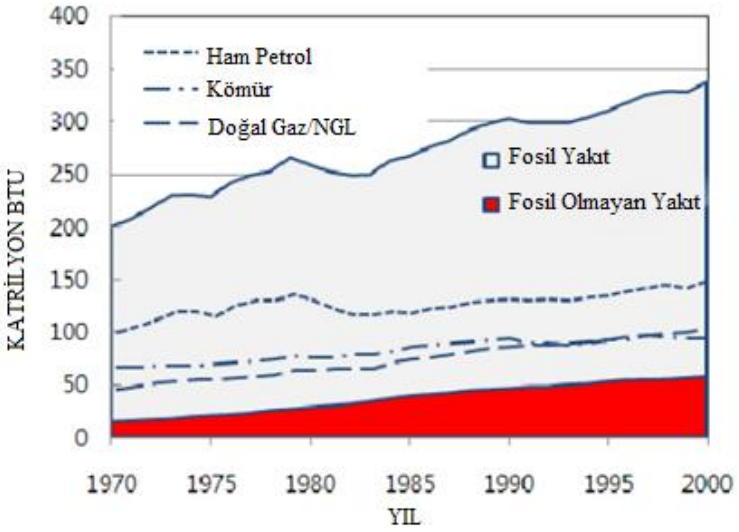
Kompozit malzemelerinin içyapısında yer alan büyük ve sert partiküller yüksek aşınma özellikleri ortaya çıkartır. Bu türdeki kompozit malzemelerin işlenebilirliğini artırmak için özel takımlar geliştirilmektedir. Özellikler yeni nesil hızlı boşaltma takımlarıyla büyük paso miktarlarındaki talaşlar yüksek ilerleme hızlarında kaldırılabilmektedir. Ayrıca kesme hızı miktarı tezgâh özellikleri ile sınırlıdır. Bu tip alaşımların işlenmesinde sinterlenmiş karbür takımlar etkin bir biçimde kullanılmaktadır (Çakır, 2006).

4. ENERJİ TÜKETİMİ VE İŞLENEBİLİRLİK

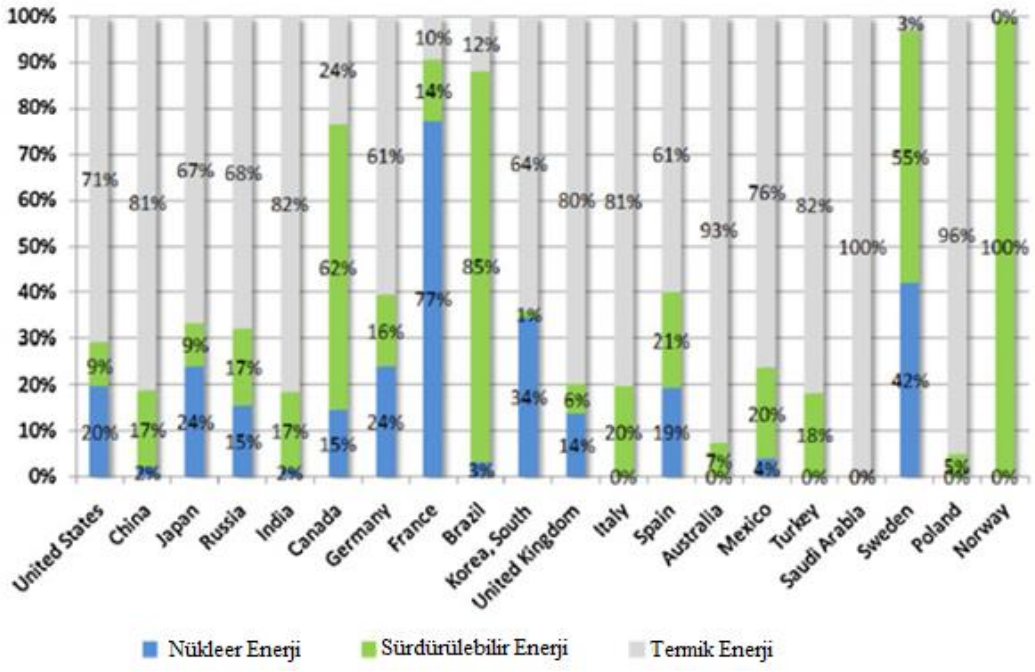
4.1. Enerji Üretimi ve Kullanım Alanları

Dünya genelinde genellikle gaz, kömür ve benzeri geleneksel üretim yöntemleri ile elektrik üretimi 1990'lı yıllara kadar yaygın olarak yapılmaktaydı (Grafik 4.1.), (Evans, 2003). Özellikle sürdürülebilir enerji ve nükleer enerjinin gelişmesiyle birlikte geleneksel üretim yöntemlerinde büyük oranlarda azalma olmuştur (Grafik 4.2.), (URL-5, 2010). Fransa %77 oranda nükleer enerji ile üretim yapmaktayken Norveç %100 yenilebilir enerji kaynağı kullanmaktadır. Türkiye'de ise %82 oranda klasik yöntemler ve %18 yenilenebilir enerji ile elektrik üretimi yapılmaktadır. Geleneksel üretim yöntemleri ile çevre kirliliği ortaya çıkmaktadır. Nükleer enerjide ise kontrol çok önemlidir. Çernobil gibi bir facia ile birçok radyasyon kirliliği oluşmuştur.

Ülkemiz enerji temininde yurt dışına bağlı bir durumdadır. Yerli nükleer santral ve yenilebilir enerji konusunda yatırımlar günümüzde hızlandırılmıştır. Ayrıca enerji verimliliği birçok sektörde önemli bir araştırma konusu olmuştur.

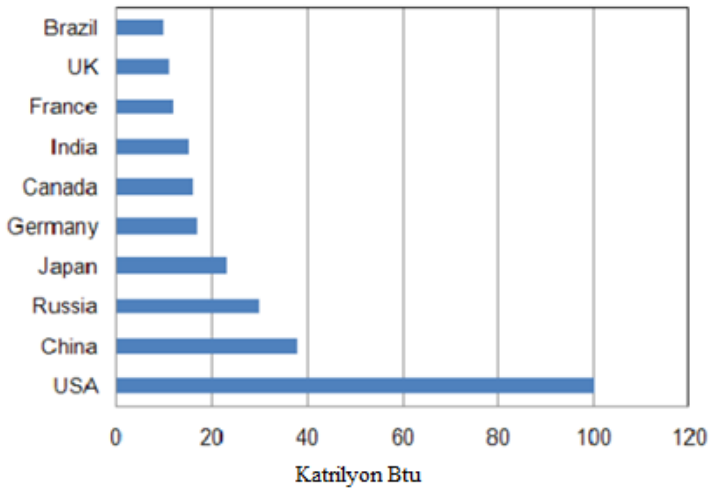


Grafik 4.1. Dünya genelinde enerji üretimi 1970-2000



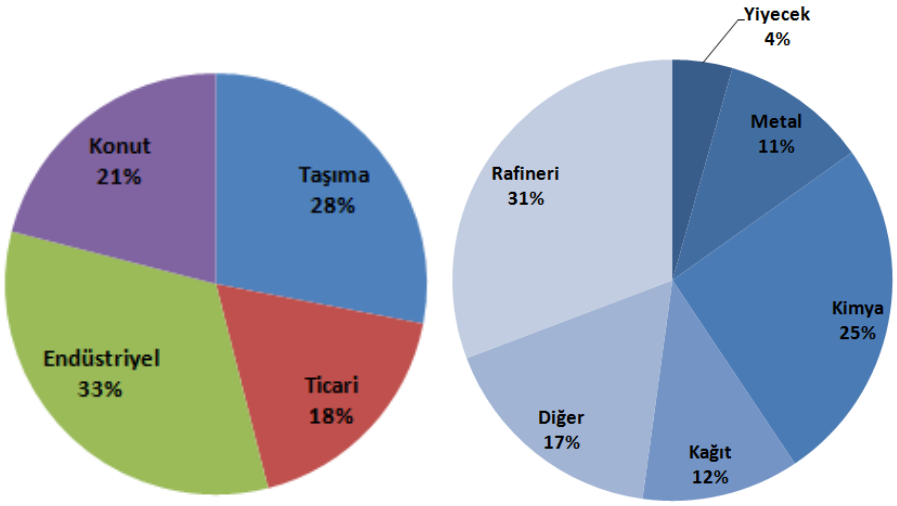
Grafik 4.2. Enerji üretimi yapan 20 ülke ve üretim tipi

Günümüzde dünyada enerji tüketimleri incelendiğinde sırası ile Amerika, Çin, Rusya, Japonya ve Almanya ilk beş ülkeyi oluşturmaktadır (Grafik 4.3.), (Evans, 2003). Amerika yaklaşık olarak tek başına kendisinden sonra gelen üç ülke kadar enerji tüketimi yapmaktadır.

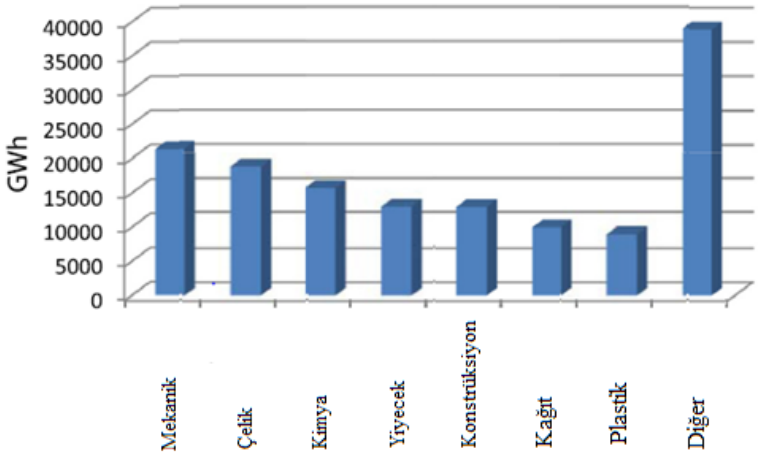


Grafik 4.3. Dünyada enerji tüketimi

Üretimde enerji tüketimi araştırmalarına göre tüm enerji tüketimi dikkate alındığında endüstride %33 oranda enerji harcaması gerçekleşmektedir. Sektörel bazda yapılan araştırmalara göre %10,7 oranlarda metal sanayinde enerji sarfiyatı vardır (Grafik 4.4.). Dünyada en çok petrol alanında %30,7 oranında enerji türketimi yapılmaktadır. En az ise %4,3 oranla yiyecek içecek sektöründe enerji harcaması yapılmaktadır. Ayrıca İtalyan endüstriyel kuruluşları ile ilgili 2010 yılında yapılan elektrik sarfiyatı araştırmasına göre sırası ile mekanik, çelik, konstrüksiyon ve plastik sanayinde elektirik tüketimi yaygındır (Grafik 4.5.),(URL-6, 2010).



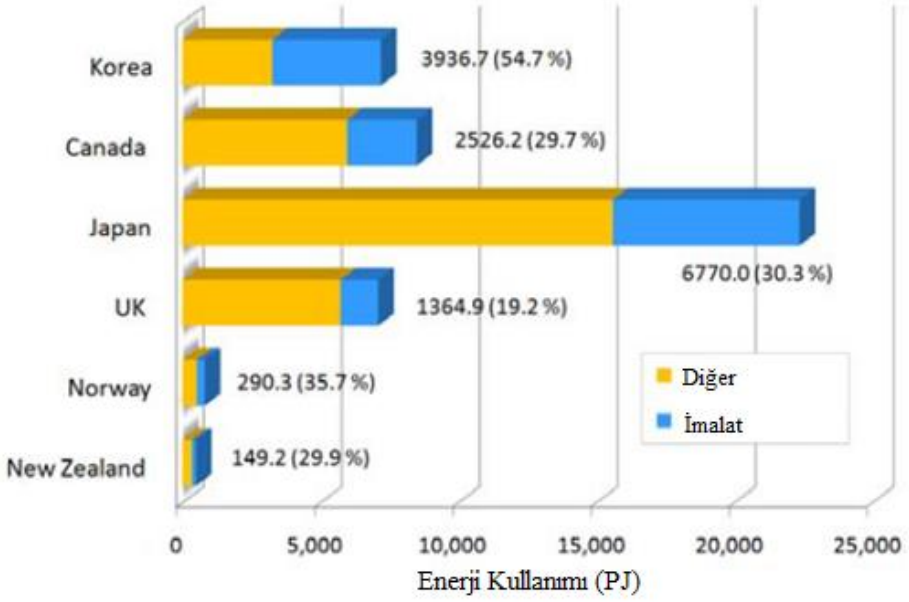
Grafik 4.4. Enerji tüketim alanları (solda) ve sektörlere göre kullanımı (sağda)



Grafik 4.5. GWh cinsinden sanayi sektörü için İtalya'daki (2010 yılı) güç tüketimi.

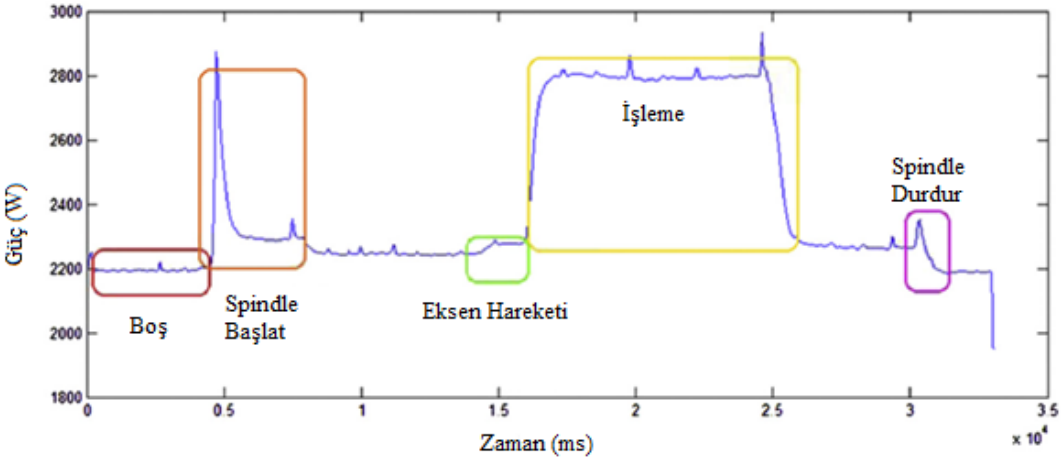
4.2. Talaşlı İmalat Enerji Tüketimi

Talaşlı imalat ile ilgili gelişmiş ülkelerde yapılan araştırmalara göre endüstride harcanan toplam elektriğin %54,7'si Kore'de, %35,7'si Norveç'de, %30,3'ü Japonya'da talaşlı imalat sektöründe kullanılmaktadır. Birleşik krallıkta ise bu oran %19,2'dir (Grafik 4.6.), (KEEI, 2009). Bu araştırmaya göre dünya genelinde %33,2 oranında talaşlı imalat sektöründe enerji sarfiyatı gerçekleşmektedir. Dünya genelinde 2010 yılı sonrası talaşlı imalat enerji tüketimleri konularında araştırmalar başlamakla birlikte günümüzde bu konu ile ülkemizde yapılan bir araştırma yoktur.



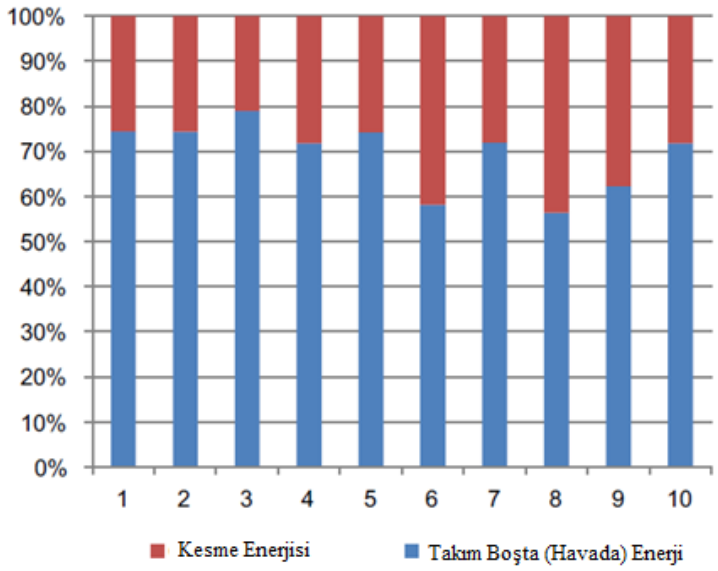
Grafik 4.6. Talaşlı imalat ve diğer sektörlere göre enerji kullanım oranları

Talaşlı imalat işleminde CNC tezgahları ilk açılışta, spindle havada (talaş kaldırmaya başlamadan önce ortaya çıkan spindle çalışır durumda malzemeye yaklaşma süreci) çalışırken, eksene boşta giderken, talaş kaldırma sırasında ve spindle durup sonrasında eksenlere giderken farklı tüketim oranları ortaya koymuştur (Şekil 4.1.), (Compatelli, 2013). Tezgâh spindle çalıştırılıp kapatılırken anlık enerji artışı göstermekle birlikte, kesme süresinde maksimum enerji tüketimi sergilemektedir. Üç eksen bir CNC dik işleme tezgâhı için düşünecek olursak sırası ile X, Y, Z eksen ve spindle motorları birbirinden farklı oranda enerji tüketimi yapar.



Şekil 4.1. Talaşlı imalatın tamamında güç tüketiminin analizi.

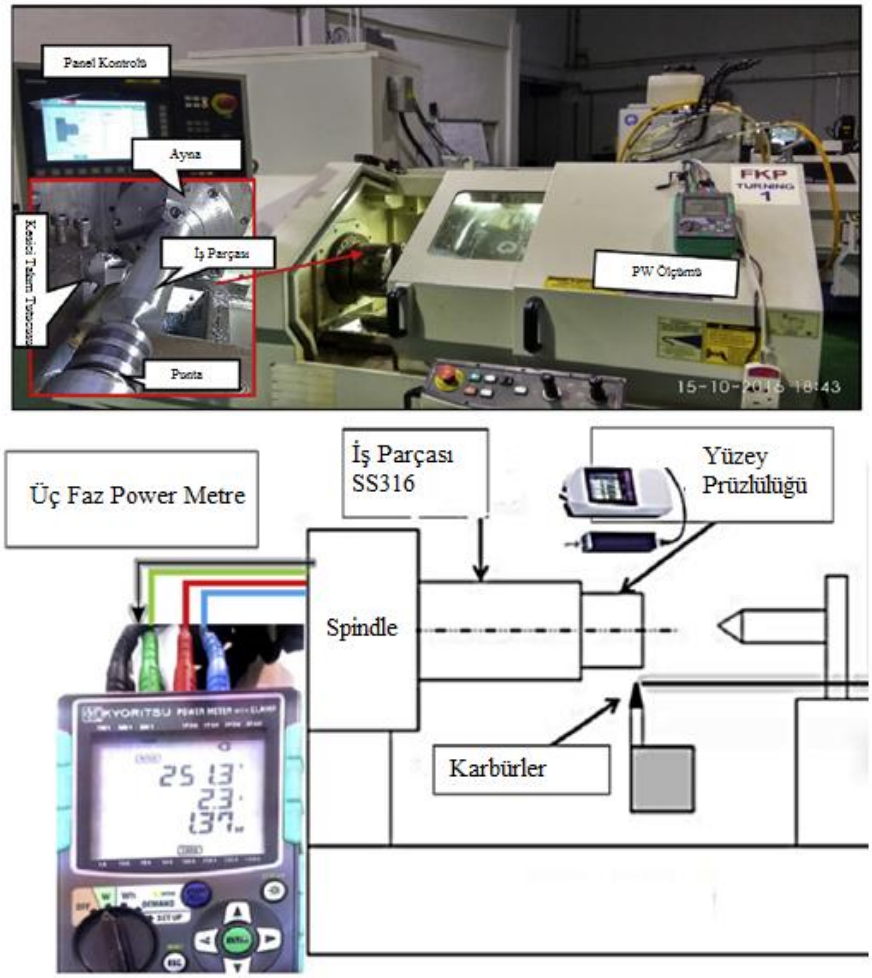
Yapılan araştırmalara göre talaşlı imalatta harcanan enerjinin %22 ile %45 aralığında enerji sarfiyatı talaş kaldırma ($P_{cutting}$) enerji tüketimini oluşturmaktadır. Harcanan enerjinin diğer kısmı spindle motorun istenilen devir sayısına ulaşması için harcadığı tüketimdir. Tezgâhın havada spindle dönerken harcadığı enerji tüketimini toplam enerji tüketiminden çıkartılarak kesme enerjisi miktarı hesaplanabilmektedir (Şekil 4.7.), (Negrete, 2013).



Grafik 4.7. Örnek bir deney grubunda talaş kaldırma ve boş çalışmada enerji tüketimlerinin karşılaştırılması

4.3. Takım Tezgâhlarında Enerji Tüketimi Ölçümü

Bir bilgisayar kontrollü takım tezgâhı kontrol ünitesi, iş bağlama tablası (ayna), takım bağlama tablası (kalemlik), ve hareket eksenlerinden oluşmaktadır. Her bir eksen vidalı mil, somun, kaplin ve servo motorlar yardımıyla hareket etmektedir. Servo motorlar sürücüler sayesinde kontrol panelinden aldığı sinyal sayısına göre hareket etmektedirler. Bir işleme tezgâhında üç fazlı motor sürücüsüne bağlanan amper ölçme aparatları ile PI(A) veya P(W) ölçümü yapılabilmektedir. Şekil 4.2.'de bir CNC torna tezgâhında talaşlı imalat enerji tüketimi ölçüm deney düzeneği yer almaktadır (Bagaber ve Yusoff, 2017).



Şekil 4.2. CNC torna tezgâhında deney düzeneği (üste), Güç ölçer bağlantı düzeneği (altta)

4.4. Enerji Tüketimini Etkileyen Parametreler ve İşlenebilirliğe Etkisi

Talaşlı imalat işleminde; paso miktarı, ilerleme hızı, kesme hızı gibi değişken parametrelere ve seviyelerine göre enerji tüketim miktarı değişmektedir. Ayrıca bu parametreler talaş kaldırma enerji tüketimi, toplam kesme enerjisi ve yüzey pürüzlülüğü gibi farklı sonuçları etkilemektedir. Yapılan araştırmalara göre paso derinliği %65 oranda kesme enerji tüketimini etkilerken, kesme hızı ise %33,6 oranında kesme enerji tüketimini etkilemektedir (Tablo 4.1.), (Negrete, 2013).

Tablo 4.1. *Talaşlı imalat parametrelerinin enerji tüketimi ve yüzey pürüzlülük (Ra) değerine etki oranları (%)*

Faktörler	Bir devir sayısı için ortalama enerji tüketimi	Talaş kaldırma enerji tüketimi	Toplam kesme enerjisi	Yüzey pürüzlülüğü (Ra)
Paso miktarı (mm)	6,47	65,23	60,65	0,72
Kesme hızı (mm/rev)	18,65	33,65	25,43	98,06
İlerleme hızı (m/min)	74,76	0,04	10,90	0,41

5. TAGUCHİ METODU

5.1. Taguchi Statiksel Metodu ve Varyans (Anova) Analizi

Deney tasarımı Taguchi metodunun temellerini oluşturmaktadır. Sir Ronald Fisher modern istatistiğin, varyans analizi (ANOVA) ve deney tasarımı temellerinin kurucusu olarak kabul edilmekte olup 1920'lerde tarımla ilgili araştırma çalışmalarında deney tasarımını uygulamıştır. Özellikle Amerika'da deney tasarımı yöntemi ile tarım alanında yapılan araştırmalar sonucunda başarılı sonuçlar ortaya çıkmıştır (Şirvancı, 2002). Genichi Taguchi istatistiksel modelleme ve test alanında endüstrinin üretim mekanizmalarını geliştirmek için pratik ve güvenilir analiz metotları ortaya koymuş bir mühendistir. 1950'li yıllarda Japonya'da telefon projesinin tamamlanması için 20 yıl öngörülürken, faktöriyel tasarım önerisi ile dört yıl gibi kısa bir zamanda projeyi başarıyla tamamlamıştır (Canıyılmaz, 2001). Taguchi Metodu ile deney tasarımı ile ilgili bazı yeni fikirler ortaya çıkmıştır;

— Üretimi yapılacak olan ürünün kalite miktarı aynı zamanda toplumda ortaya çıkan bir kayıptır

— Endüstride işletmelerin kalıcılığını sağlamak için kalite sürekli iyileştirilirken maliyetler azaltılmalıdır,

— Üretimi tamamlanmış bir üründe performans değerinin sapmasından dolayı ortaya çıkan kayıp sapma değerinin yaklaşık olarak karelesi ile doğru orantılıdır.

— Ürün maliyeti ve kalitesi tasarımı ve üretimi yapan ekip tarafından belirlenmektedir.

— Ürün performans sapma değerini en aza indirmek için, Performans değerlerini etkileyen parametrelerin doğrusal olmayan sonuçlarını kontrol altında tutmak gerekir.

— Deney tasarımları sonuçları ürün veya proseslere ile ilgili performans sapmaları en aza indirmek için kullanılmaktadır

Taguchi felsefesine göre kalite kontrol sisteminin on-line (çevirim içi) ve off-line (çevrim dışı) olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

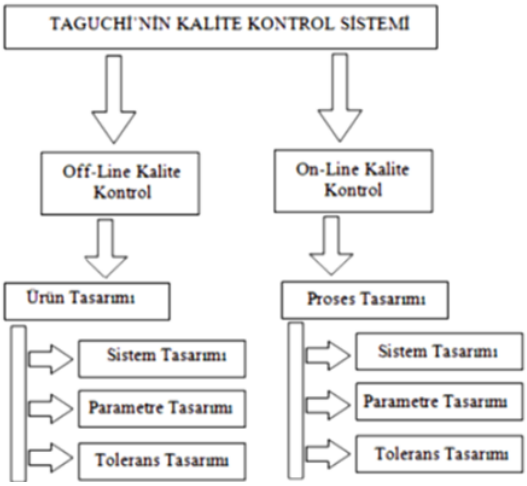
5.1.1. On-line kalite kontrol sistemi

Bir ürünün üretimi ve üretim sonrası kalite kontrol sistemi olarak tanımlanabilir. Bir ürünün kalite artırma ve maliyet azaltma süreçlerindeki statiksel kontrolü ve çeşitli deneysel çalışmalar bu gruba girmektedir.

5.1.2. Off - line kalite kontrol sistemi

Pazar araştırması ile üretim süreçlerinin geliştirilmesidir. Bu yöntem ile üretim başlanmadan tasarım için araştırma çalışmalarını içermektedir (Şirvancı, 2002).

Bu her iki yöntemde sistem, parametre ve tolerans tasarımları olarak üç gruba ayrılmaktadır. Taguchi metodunu oluşturan yöntemler ve tasarım tipleri Şekil 5.1'de özetlenmiştir.



Şekil 5.1. Taguchi kalite kontrol sistemi

5.2. Tasarım Basamakları

5.2.1. Sistem Tasarımı

Taguchi metodunun ilk aşamasını oluşturur. Bir ürüne belirlenen özelliklerin kazandırılabilmesi için farklı teknolojiler tasarlanarak ürün için ideal olan tasarımın seçilmesidir. Ürün pazarının tanımı, bulguların değerlendirilmesi, bilimsel araştırmaların derlenmesi ile gerekli faydalı bilginin edinilmesi, malzeme ve araç-gerecin araştırılıp seçimi bu aşamada yapılmaktadır (Kayı, 2006). Genel olarak üretimde limit ve toleransların belirlenmesi ile en düşük maliyetle üretimin tamamlanmasıdır. Bu amaç için pazar araştırmaları, teknolojik ve bilimsel araştırma çalışmalarından faydalanılabilir (Canıyılmaz, 2001).

5.2.2. Parametre Tasarımı

Taguchi metodu ile kalite iyeleştirmede en önemli kısım parametre tasarımıdır. Üretim parametreleri, malzeme değişkenleri, ölçüsel değişkenler ..vb. optimal değerlerin seçilmesidir (Birinci, 1997). Bu kısımda temel amaç; varyasyon doğuran kontrol dışı ortaya çıkmış faktörlere karşı, kontrol altına alınabilen parametreleri optimum değerlerde belirleyerek, ürün ve prosesteki varyasyonu minimum değere indirmektir. Sıcaklık, nem, toz, farklı ürün ve uygulamalar vb. dış etkenlere duyarsız bu tip tasarıma sağlam tasarım adı verilmiştir (Şirvancı, 2002).

5.2.3. Tolerans Tasarımı

Parametre tasarımının etkisiz olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Bu tip tasarımda düşük maliyeti ve değişkenlik aralığı yüksek olan faktörlerden yararlanılabilir. Kısaca varyasyonu belirlenen ölçüye çekmek için bileşenlerin kalitesinin iyileştirilmesi gerekiyorsa, tolerans tasarımı uygulanmaktadır. Tolerans tasarımında Taguchi metodu deney parametrelerinin etkilerinin değerlendirilmesi, yapılan deney tasarımı sonuçlarının sinyal/gürültü (S/N) oranlarına dönüştürülmesi ile gerçekleştirilmektedir (Çalışkan, 2014).

Sinyal/gürültü oranlarının sonuçlarının değerlendirilmesinde üç farklı tip yöntem mevcuttur. Minitap programında en küçük değer en iyi, nominal değer en iyi ve büyük değer en iyi arasından sonuç çıktısının tasarıma veya proses sonucun uygun olanı belirlenip seçilmelidir. Örneğin bir sonlu elemanlar analiz çalışması için emniyet katsayısı değeri en büyük olması istenirken, elastik deformasyon miktarının en küçük olması beklenmektedir. Sinyal/gürültü oranı ve sonuç çıktısı belirlendikten sonra varyans analizinin (ANOVA) yapılmasıyla değişken parametreler arasından hangilerinin sonucu nasıl etkilediği ölçülebilmektedir (Çalışkan, 2014).

5.3. Sinyal/Gürültü (S/N) Oranı

Taguchi yönteminde; kalite karakteristiklerinin ölçülüp değerlendirilmesi için kullanılan ölçüt, ölçümü yapılacak sinyalin (S), gürültü faktörüne (N) oranıdır. Sinyal miktarı deney tasarımının verdiği ve ölçülen gerçek değeri, gürültü faktörüyse ölçümü yapılan değerde istenmeyen faktörlerin payını simgelemektedir. Sinyal miktarı kontrolü mümkün olan ve ölçülebilen gerçek değerken gürültü faktörü ise kontrolü olmayan ve ölçülebilen değerde yer alıp istenmeyen faktörleri temsil eder ve ulaşılması hedeflenen kalite değeri üç kategoriye ayrılmıştır (Çalışkan, 2014).

En küçük en iyi: Deney tasarımı sonuç değerlerinin küçük olmasının istendiği sonuçlar bu tip yaklaşımla ele alınır. Bu sonuç miktarı için bir alt sınır olmayıp miktar küçüldükçe tasarım iyileşmektedir.

En küçük en iyi: $$SN_L = -10Log\left[\frac{1}{n}\sum_{n=1}^{n}\frac{1}{y^2}\right] \quad (5.1)$$

En büyük en iyi: Deney tasarımı sonuç değerlerinin büyük olmasının istendiği sonuçlar bu tip yaklaşımla ele alınır. Bu sonuç miktarı için bir üst sınır olmayıp miktar artıkça tasarım iyileşmektedir.

En büyük en iyi: $$SN_S = -10Log\left[\frac{1}{n}\sum_{n=1}^{n}y^2\right] \quad (5.2)$$

Normal en iyi: Sapmaların negatif ve pozitif olarak değişebildiği kalite değişkeni içeren deney tasarımlarında kullanılır. Önceden belirlenmiş nominal değere deney tasarımı sonuçlarının yakın olması istenir.

Hedef değer en iyi: $SN_N = -10Log\left(\overline{y^2}/S\right)$(5.3)

5.4. ANOVA (Varyans Analizi)

Deney tasarımında sonuç çıktıları birlendikten sonra bu çıktı değerlerini etkileyen parametrelerin etki oranlarını belirlemek için varyans analizi yapılmaktadır. Varyans analizi ile toplam varyasyonu bileşenlerine ayrılmaktadır. Varyans analizi ile serbestlik derecesi, karelerin toplamı, ortalama kareler (varyans) vb. gibi nicelikler hesaplanmaktadır (Çalışkan, 2014). Bu nicelikler Tablo 5.1.' de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Varyans analizi nicelikleri

Simge	Anlamı
SST	Tüm değerlerin kareleri toplamı
SSA	A faktörü için kareler toplamı
SSo	Hata kareleri toplamı
VT	Toplam serbestlik derecesi
VA	A'nın serbestlik derecesi
VAxB	A ve B interaksiyonunu serbestlik derecesi
VO	Hata varyansı
N	Elde edilen toplam veri sayısı
NA	A faktörü için veri sayısı
T	Mevcut tüm verilerin aritmetik ortalaması yi : Gözlenmiş değer
kA	A faktörünün kademe sayısı

5.5. Varyans

''ANOVA Tablosundan hesaplanabilen bir değer tanımlayıcısı istatistikte varyans olarak adlandırılır. Hata varyansı, genellikle varyans olarak bilinir ve hata kareleri toplamının hata serbestlik derecesi ile bölümünden elde edilen değere eşittir''(Çalışkan, 2014).

$Ve = HataVaryansı$(5.4)

$$VT = \frac{SSo}{Vo} \quad (5.5)$$

Deney tasarımında tahmin edilemeyen, kontrol dışı sebeplerden sonuca etki eden hataya hata varyansı denilmektedir. Parametrelerin birbirleri içerisinde etkileşimleri de aynı şekilde hesaplanmaktadır. A, B parametreleri ve AxB etkileşimi için varyans hesabı aşağıda yer alan formüllerde verilmiştir (Çalışkan, 2014).

$$VTa = \frac{SSa}{Va} \quad (5.6)$$

$$VTb = \frac{SSa}{Va} \quad (5.7)$$

$$VTaxb = \frac{SSaxb}{Vaxb} \quad (5.8)$$

> ‘’Ortogonal düzende atama yapılmamış olan sütunların toplam kareler toplamı, hata kareler toplamını vermektedir’’(Çalışkan, 2014; Ross, 1988).

Deney tasarımından önce belirlenen parametrelerin sonuca etkisi düşünüldüğü gibi büyük oranlarda olmayabilir. Bu parametrelerin belirlendiği sütunların varyansı daha küçük olması nedeniyle bu sonuçlar hata varyansının belirlenmesinde kullanılır. Herhangi bir parametrenin deney sonucuna etki yüzdesi küçük bir değerse, analiz hesaplamalarında göz ardı edilmesi tasarımda etki oranı yüksek parametrelerin belirlenmesi için önemlidir. Sonuca yüzdesel etkisiyle birlikte kareler toplamı da hata varyansının hesaplanmasında birleştirilecek sütunların belirlenmesi için kullanılabilir. Hata varyansında sütün seçiminde ayrıca F-testi de uygulanabilir. Etkisi en yüksek olan parametrenin takip eden diğer daha küçük etkili parametrelerin önemli olup olmadığını görmek için F-testi uygulanmaktadır (Durmaz, 2008)

5.6. F Testi

Deney tasarımı soncunda elde edilen veriler ile hangi faktörün etki oranı F testiyle hesaplanır.

> "F testi uygulanırken analiz sırasında hesaplanan F değerleri ile belirlenen güven seviyesindeki F Tablo oranları karşılaştırılarak, Tablo oranından büyük F değerine sahip faktörlerin performans karakteristiği üzerinde etkili olduğu düşünülür ".

Sonuç verilerinden hesaplanmış F değeri; faktör ya da etkileşimi varyansının hata varyansına oranıdır.

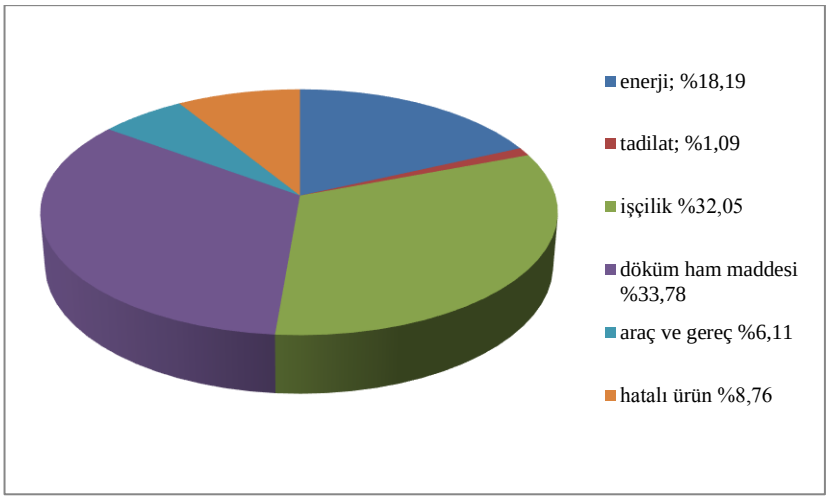
$$Fa = \frac{Va}{Ve} \tag{5.9}$$

6. ALÜMİNYUM ALAŞIMLI BORU BAĞLANTI ELEMANLARININ GELİŞTİRİLMESİ

Küresel grafitli dökme demir malzemelerin üretim süreci bir soy ağacı şeklinde incelendiğinde üretim türlerine bağlı olarak maliyet etki miktarı Tablo 6.1.'de yer almaktadır. Ayrıca üretim maliyetlerini etkileyen işçilik, enerji gideri, ham madde vb. ana giderler ve oranı Grafik 6.1.'de verilmiştir (Öztürk vd., 2017).

Tablo 6.1. *Üretim türlerinin maliyet'e etki miktarı*

ADI	MALİYET (TL)	% ORAN
Maça Sandığı İmalatı	1957,5	0,48
Model İmalatı	2222,5	0,55
Maça İmalatı	56831	14,06
Talaşlı İmalat	57966	14,34
Döküm Sonrası İmalat İşlemleri	66849	16,54
Döküm ve Döküme Hazırlık	218146	54,00
TOPLAM	403972	



Grafik 6.1. Ana maliyet kalemlerinin % etki miktarının grafiği

Bu sonuçlara göre boru bağlantı elemanlarının üretimini yapan bir kuruluşun kurumsal kaynak planlama ve maliyet analizi yapılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda birim maliyet 0.80 TL çıkmıştır. Bu ürünün satış fiyatı 0,60 kuruştur. Kuruluşun bu ürünün satışından %25 zarar ettiği gözlenmiştir. Toplam zarar 100 000 TL olarak hesaplanmıştır. Öte yandan Çin ve tayvan malı ürünlerin satış fiyatı ise 0,50 TL'dir. Sektörde son 20 yılda 18 adet fittings üretimi yapan kuruluşun üretim durdurmasının en büyük sebebi olarak ½-1" boru bağlantı elemanlarında ki zarar olduğu iddia edilmektedir. Yıllık maliyetin %8,76'sını hatalı mamül üretimi oluşturmaktadır. 35 398 TL hatalı ürün maliyeti hesaplanmıştır. 403 972 TL toplam bedelin sadece %54'ü döküm bedelidir (Öztürk vd., 2017).

Bu zararın artmasını alüminyum alaşımlı boru bağlantı elemanları üretimi ile giderilebileceği tahmin edilmektedir. 130 gramlık dökme demir bir ürünün alüminyum yapılması sonucu ağırlığının 63-65 gram olması beklenmektedir. 500 000 adet ürün için ürün maliyeti 0,65 TL olarak hesaplanmıştır. Böylelikle korozyon dayanımı, mukavemet artışı ve güvenli bir tesisat hattı hedeflenmektedir.

Özellikle Orta Asya ve Balkan ülkelerinde kullanılan dökme demir fittings malzemeler TS 11 EN 10242 standartlarına göre ince cidarlı (2-5 mm), mukavemetsiz, kırılgan ve korozyon direnci son derece düşüktür. Yerli üretim boru bağlantı elemanlarındaki en büyük problem ise TS 11 standardında yer alan duvar et kalınlıklarınınince cidarlı olmasından dolayı (5,10,15 ve 20 mm) döküm soğuma hızları çok düşük olamaktadır (1,66-2,85°C/sn). Bu soğuma hızı neticesinde izotermal dönüşüm ile %100 sementit (320 HB) , %70 Perlit - %30 Ferrit (280 HB) , %30 perlit-%70 ferrit (230 HB) ve %100 ferrit (160 HB) mikroyapılar oluşmaktadır (Öztürk, 2013). Bu mikroyapılar nedeniyle işlenebilirlik azalmaktadır. Kırılgan malzemeler özellikle kış aylarında gaz kaçakları ve su basması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Yapılan östemperleme ısıl işlemi ile kırılganlık azalırken sertlik artmaktadır. Östemperleme ısıl işlemi ile işlenebilirlik olumsuz yönde etkilendiğinden endüstride sadece östenitleme yapılarak malzemeler yumuşatılır ve sertlik 100 HB'ye kadar düşürülür. Bu işlem ise malzemenin akma dayanımını azaltmaktadır böylelikle işlenebilirlik artarken emniyet katsayısı azalmaktadır.

Küresel grafitli dökme demirlerin korozyon direncini artırmak için galvanizleme işlemi yapılmaktadır. Bunun yanında döküm malzemeler kırılgan ve sert bir yapıya sahiptir bu yüzden temperleme yapılmadan diş açma işlemi gerçekleştirilemez (Küçük vd., 2017). Bu işlemler ekstra enerji gideri ve maliyet oluşturur. Malzeme çekme dayanımı ise orantılı olarak düşmektedir. Kuma demir dökümde zararlı kum atıkları oluşur. Maça yapılması içinde çeşitli kimyasal malzemelere gerek duyulmaktadır.

Plastik boru bağlantı elemanları; içme ve sulama tesisat sistemlerinde üretim kolaylığı, düşük maliyet ve hafifliği sebepleriyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ürünler hurda malzeme eklentisinin sanayide çoğunlukla tercih edilmesi ve dökme demir fittings malzemelere göre düşük emniyet katsayısına sahip olması (Plastik $E_{k\ min}$ 5,3 / $E_{k\ max}$ 8,1) (Döküm $E_{k\ min}$ 20, $E_{k\ max}$ 200) sebebiyle su sağlığı ve güvenliği için tehdit oluşturmaktadır (Küçük vd., 2017).

Korozyon dayanımı dökme demir bağlantı elemanlarına ve insan sağlığına uygunluğu plastik bağlantı elemanlarına kıyasla daha yüksek ürünlerin geliştirilmesi insan sağlığı için önemlidir. Yüksek basınçlarda kış şartlarında ve sismik olaylarda yorulma dayanımı yüksek bir ürün elde etmek su basması ve doğalgaz tesisatı güvenlik risklerini azaltacaktır. Çin malları ile rekabet edemeyecek fittings sanayi; insan sağlığı, kaliteli ürün ve ucuz maliyet sorunlarının önüne geçecektir.

Deprem bölgelerinde özellikle doğalgaz ve sıhhi tesisat hatlarında kullanılan boru bağlantı elemanlarının sarsıntıda zarar görmektedir. Bu yüzden ortaya çıkan sızıntı, taşma ve patlamalar göz önünde bulundurulduğunda, kullanılan parçaların kırılmaya dayanıklı malzemelerden üretilmesi gerektiği görülmektedir. Aynı zamanda diş açma maliyetleri döküm malzemeler için yüksektir ve bu işlem birden fazla operasyon gerektirir.

Ağırlık-dayanım oranının çok önemli olduğu havacılık ve uzay sanayisinde yakıt transfer sistemlerinde hafif, dayanımı ve korozyon direnci yüksek malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Alüminyum alaşımlarından üretilecek olan boru bağlantı elemanlarının bu alandaki tüm ihtiyaçları karşılayabileceği düşünülmektedir. Türkiye'de alüminyum fittings üretimi yapılmazken gelişmiş ülkelerde üretimi yaygın olarak yapılmaktadır.

Literatür araştırması sonucunda yüksek alüminyum esaslı, element ve toz metal takviyesi ile güçlendirilmiş fittings malzelerin geliştirilmediği gözlenmemiştir. Özellikle demir, bakır, silisyum ve B_4C takviyesi ile işlenebilirliği ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş bir ürün geliştirilmek istenmiştir. Literatürde ilk defa bu tez çalışmasında element takviyeli ve kompozit ½ Te malzemelerinin sertlik, mikroyapı, mukavemet, tasarım geometrisi ve işlenebilirliğinin araştırılmasına karar verilmiştir.

Yine bu çalışmada yüzey frezeleme işleminde; işlenebilirliği değerlendirmek için son yılarda yaygın olarak kullanılan talaş kaldırmada enerji tüketimi ölçümlerinin yapılması hedeflenmiştir. Böylelikle enerji tedarik maliyetleri yüksek olan ülkemizde üretimi yapılacak olan fittings malzemelerin imalatında optimizasyon sağlanırken enerji-güç dönüşüm denklemlerinden faydalanılarak kesme gücü hesabı yapılabilecektir. Böylelikle talaşlı imalat işleminde özel kesme enerji tüketimi değerlerinin (SCEC) hesaplanmasıyla farklı mekanik özelliklere sahip malzemelerin işlenebilirliğinin incelenmesi ülkemiz'de ilk defa bu tez çalışması ile yapılacaktır.

7. LİTERATÜR ÖZETİ

7.1. Boru Bağlantı Elemanları

Geleneksel bağlantı tiplerinin yerini alan manşon parçaları, modern betonarme yapının takviye edilmesinde giderek daha fazla kullanılmaya başlamıştır. İnşaat sektöründe gittikçe artan oranda kullanılan manşon takviye bağlantılarının deforme olabilme ve mukavemet ölçüm teknikleri üç farklı tip ürün için araştırılmıştır. Gerilme-Şekil diyagramlarının deneysel çalışmalarına dayanarak takviye çubuğunun eklemlerinde daha fazla deformasyon olduğu bulunmuştur (Karpenko vd., 2015)

Yeni nesil nükleer reaktör boru sistemleri tasarlamak için, yorulma sonrası sızıntı kavramı (LBB) geleneksel tasarım temelinin yerini almıştır. Boru dirsekleri, deprem yüklemesi altındaki herhangi bir boru sisteminde en kritik bileşenlerdir. Yorulma çatlağı büyümesi ve kopma davranışından önce sızıntıyı araştırmak için iki farklı dirsek dirseğinde test edilen üç boru dirseğinde kopmadan önce bir sızıntı gözlemlenmiştir (Nagapadmaja vd., 2008)

14 mm et kalınlığına sahip 316L östenitik çelikten ve P91 ferritik martensitik çelikten boru bileşenlerinin termal yorulma testleri incelenmiştir. Testler; boruları indüksiyon ısıtması ve sonra da termal gerilimlerle sonuçlanan döngüsel soğutma ve 0 ile 100 MPa arasında sabit bir birincil stres ile eksenel bir sabit oluşturarak boruları 550^{o} C'ye ısıtarak gerçekleştirilmiştir. Hasar oluşumu ve çatlak derinliği X-ray tomografisi ve uçuş-dönüşümü ile ölçülmüştür. Eksenel birincil yükü olmayan durumlarda çok karmaşık bir kırılma gözlenmiştir ve artan birincil yük ile baskın çevresel çatlaklar gözlenmiştir. Test, termal analiz, çevrimsel plastisite analizi ve çatlak yayılımı içeren bir mühendislik yaklaşımı ile analiz edilmektedir. Yorulma eğrileri ile 1 mm'lik bir çatlak oluşumu tahmin edilmektedir. Belirtilen 1 mm aksiyal veya çembersel çatlaktan gelen yayılım, Paris Yasası ile bağlantılı olarak plastisite düzeltilmiş stres yoğunluk faktörleri ile yapılmıştır.

Yorulma ömrü tahminleri deneysel gözlemler ile karşılaştırılmaktadır ve genel olarak, büyük bir birincil yük olan durumlarda özellikle çok iyi bir sonuç alınmıştır. Önerilen yaklaşım bir bileşenin termal yorulma ömrünü tahmin etmek için bir mühendislik analizinde kullanılabilmektedir (Nilsson vd., 2016)

Çelik dirsek bileşenleri, boru hattı sisteminde çökme veya arıza olasılığı nedeniyle kritik parçalar olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, dirseklerin yapısal davranışı, deneyler ve bunlara karşılık gelen sayısal modeller yoluyla başarısızlık kriterlerine göre değerlendirilir. Üç santimetrelik boru dirsek numuneleri üzerinde otuz sekiz deney uygulanmıştır. Malzemenin elasto-plastik davranışını belirlemek için numunelerde kullanılan malzemenin gerilme stres testi yapılmıştır. Malzemenin elastik modülü 204 929 MPa olarak bulunmuştur (Firoozabadvd., 2016)

Farklı et kalınlıkları ve ölçüler için boru bağlantı elemanlarının tasarım ve analizi yapılmış ve temel problemler formüle edilmiştir. Deneysel çalışmada kaynaklı boru bağlantı elemanları kullanılmıştır (Makhutovvd., 1990)

Bir rafineri dirseğinin erozyon korozyon direnci Aspen yazılımı, CFD teknolojisi ve deneysel yöntem kullanılarak araştırılmıştır. Ayrıca, asetik su sayacının tepe sisteminde H_2S ve NH_3 gaz-sıvı dengesi dağılımı ve çok fazlı akış simülasyonu elde edilmiştir. Sonuç olarak, H_2S ve NH_3'ün bileşen mol fraksiyonunun azalan sıcaklık ile belirgin bir şekilde yükseldiğini gözlenrmektedir. Sıvı faz fraksiyonu esas olarak dirsek dış kısmı üzerine dağılmıştır, orada daha fazla su birikmiştir, böylece lokal korozyon meydana gelmiştir (Zhuvd., 2016)

Yeni bir kuyruklu dirsek tasarımı ve eski tip tasarım karşılaştırılmıştır. Bükme açısının 90°'ye ne kadar yakın olacağı araştırılmıştır. Borunun dış ve iç çapı, bükülmeden uzakta sırasıyla yaklaşık 50 ve 44.5 mm'dir. Borunun her iki ucu kaynak yapılmış flanşlara sahiptir.

Tüpün kalınlığı, dijital bir kalibre kalemi kullanılarak ölçülmüştür. Yeni tip malzemenin mikroyapı görüntüleri incelenirken aynı zamanda tasarımda emniyet katsayısı artırılmıştır. (Mirshamsa ve Sabbaghianb, 2003)

Tipik hastane boru sistemlerinde bulunan dişli Te bağlantılarının sismik kırılganlığını değerlendiren bir metodoloji önerilmektedir. Sismik yüklemeye tabi tutulmuş çeşitli boyutlarda dişli Te bağlantıları üzerindeki mevcut deneysel veriler incelendiğinde; ilk sızıntı hasar durumu ağırlıklı olarak Te bağlantı bölümünde aşırı bükülme deformasyonlarına bağlı olarak gözlenmiştir. Yükleme testlerinin sonuçları, belirli bir boru boyutu ve malzemesinin özelliklerini değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Te bağlantı sistemi için doğrusal olmayan sonlu elemanlar modeli formülüze edilmiş ve deney sonuçları ile doğrulanmıştır. Sistemde uygulanan kuvvetlere göre yer değiştirme miktarı ve ilk sızıntı noktası araştırılmıştır (Ju ve Gupta, 2015).

7.2. Endüstriyel Alüminyum Malzemeler

7.2.1. Alüminyum Alaşımları

Al-Mg-Si alaşımlarının doğal yaşlanma ve çökelme sertleşme davranışına Ag ve veya Cu elementlerinin ilavesinin etkisi; sertlik testi, diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) ve transmisyon elektron mikroskopisi (TEM) kullanılarak araştırılmıştır. Ag ve Cu ilave elementleri, doğal yaşlanma (NA) ve yapay yaşlandırma (AA) sırasında Al-Mg-Si alaşımlarının sertleşme kinetiklerini arttırmıştır (Wengvd., 2017).

Sürtünme testi, optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve transmisyon elektron mikroskopisi (TEM) ile bakır içeriğinin % 90 deformasyonda 7XXX serisi alüminyum alaşımlarının gerilme özellikleri ve mikroyapı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuçlara göre daha yüksek Cu elementi ihtiva eden alaşımın, 420^{o}C'de haddeleme işleminde daha fazla miktarda ikinci faz parçacıkları çöktürdüğünü ve çözelti işlemi sırasında yeniden kristalleştirme işlemini kolaylaştırdığını göstermiştir.

%0'dan %1,6'ya kadar bakır içeriğinin artmasıyla faz yoğunluğu ve yeniden kristalleşme derecesi artarken, T6 ısıl işleminde Al-Zn-Mg-Cu alaşımının mukavemeti ve esnekliği artmıştır (Liaovd., 2015).

Çeşitli yapay yaşlandırma işlemleri sırasında Al-Si-Mg-Cu-Ti alaşımlarının % ağırlıkça oranı değişimlerinin mekanik ve termal özelliklerine intermetaliklerin çökelmesinin etkisi incelenmiştir. Alüminyum numunelerinin çözeltiye alma işlemi; 535°C'de 6 saat süreyle gerçekleştirilmiştir ve bunu takiben ılık suda ani soğutulmuştur. Çözelti ile muamele edilen numuneler yapay olarak 170°C ila 220°C arasında değişen sıcaklıklarda 5 saat yaşlandırılmıştır. UTS sonucuna göre 180°C'de yaşlandırılmış alaşımın kopma dayanımı 348 MPa'dır (Choiavd., 2016).

A356 alaşımı sırasıyla başlangıç sıcaklığı 20, 110 ve 225°C olan bir çelik soğutucuya (seramik kaplamasız) dökülmüştür. Al-Cu alaşımı, ticari 2024 alaşımına dayanılarak, saf alüminyum ve saf bakır eklenmiştir. Döküm sıcaklığı için hesaplanan değerler ve fonksiyonları olarak yerel katılaşma zamanı, ısı akısı verisi ve katılaşma sırasında sıcaklık alanının hesabı bir program yardımıyla elde edilmiştir. Mikroyapı değişimleri incelenmiştir (Mengvd., 2016).

7.2.2. Alüminyum Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Uygulanan yük ve sıcaklığın, SiC kırıpıntı veya SiC partikülleri ile güçlendirilmiş 6061 alüminyum alaşım matris kompozitlerinin kuru kayma aşınma davranışına etkisi, sertleştirilmiş bir çelik bilye ve kompozit malzeme bloğu kullanılarak araştırılmıştır. Uygulanan yük arttıkça aşınma oranı azalmıştır. Bununla birlikte uygulanan yük arttıkça aşınmanın hızla arttığı kritik bir yük gözlemlenmiştir. Aşınma mekanizmalarında geçişler, bu yükün altında ve üstünde meydana gelir. Hem aşınma hızı hem de kritik uygulanan yükten 6061 alüminyum alaşımının aşınma direncinin oda sıcaklığında ve yükseltilmiş sıcaklıklarda SiC kırpıntı veya SiC parçacıkları ile takviye edilmesi ile arttırıldığı doğrulanmıştır (Yu vd., 1997).

SiC gibi sert faz takviyeleri ile dövme alüminyum matris kompozitlerinin haddelenmesi, hafifliği, mukavemet ve aşınma direnci mühendislik yapılarında yeni bir yaklaşımdır. Bu çalışmada, sıcak haddeleme davranışı, Al-6061 ve Al-6082 alaşımlarını matris olarak kullanılırken, 15 μm ve 8 μmölçüsünde ile %30'a kadar hacim fraksiyonlu ince SiC parçacıklarıyla karıştırma dökümü kompozit malzemelerde incelenmiştir (Sabbaghavd., 2012).

Metalik ve metalik olmayan titreşimler içeren kum kalıplara dökülen erimiş silika parçacıkları ile güçlendirilmiş alüminyum alaşımlı MMC'lerin imalatı ve testini anlatmaktadır. Boyut 50-100 μm olan erimiş silika parçacıkları, matrise dağılmıştır (ağırlıkça %3-12). Ortaya çıkan bileşiklerin mikroyapıları, mukavemetleri, sertlikleri ve aşınma davranışları açısından test edilmiştir. Mikroyapısal çalışmalar, iyi birleşmeyi ve dispersoidin düzgün dağılımını göstermektedir. Dayanım, sertlik ve aşınma direnci ağırlıkça %9'a kadar yükselirken, yüksek hacimsel ısı kapasitesi nedeniyle dispersoid ve bakır soğutmanın eklenmesinin en iyi sonuç olduğu bulunmuştur (Hemanth, 2011).

İşleme ve mekanik özelliklerini incelemek için hibrid alüminyum metal matris kompozit hazırlanmıştır. Hibrid alüminyum metal matris kompozitinin hazırlanması, Silikon karbür ve Titanyum diborür takviyesi ile yapılmışır. Bileşik ve takviyeli parçacık dağılımının morfolojisi optik mikroskopi ile detaylı olarak incelenmiştir. Sertlik testi, Vickers sertlik test aleti kullanılarak dökme kompozitin sertliğini belirlemek için yapılmıştır. Sertlik testi takviye SiC ve TiB_2 ilavesinin sertlik değerini arttırdığını göstermektedir (Jamesvd., 2014).

Ortalama parçacık boyutu 32 μm olan B_4C parçacıkları takviye olarak ve matris malzemesi olarak Al-Si-Cu-Mg alüminyum alaşımı kullanılmak için deneysel çalışma yapılmıştır. Bor karbid tozlarının erime kabiliyetini arttırmak ve alüminyum eriyikler içine katılma davranışlarını geliştirmek için Al-Si-Cu-Mg matrisi B_4C takviyeli kompozitler K_2TiF_6 ilave edilerek üretilmiştir (Toptanvd., 2013).

SiC ile farklı hibrid oranları ile güçlendirilmiş 6061 alüminyum alaşımına dayanan nanokompozitörler, ultrasonik kavitasyona dayalı katılaştırma işlemi kullanılarak başarıyla üretilmiştir. Üretilen dökme numuneler EDS analizi, sertlik testi, gerilme testi ve darbe testi, SEM çalışması ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar, geçici kavitasyon ve akustik akış gibi ultrasonik kavitasyon etkileri ile nano takviyelerin başarıyla alüminyum matris içine dâhil edildiğini göstermektedir (Poovazhagan vd.,2013).

7.3. Talaşlı İmalat İşleminde Enerji Tüketimi

Yeni geliştirilmiş bir kesme sıvısının, tornalama işlemi sırasında, farklı soğutma teknikleri ile birlikte talaşlı imalatı ve ekolojik etkileri araştırılmıştır. Tornalama operasyonlarında ampermetre kullanılarak enerji yükleri ölçülmüştür. Bu çalışmada; 50 mm çapında ve 320 mm boyunda olan AISI 1045 çeliği malzemesinden üniversal torna tezgâhında, 1 mm paso derinliğindetalaş kaldırılarak, 125,6 m/dk. kesme hızı ve 0,2 mm/devir ilerleme hızında talaş kaldırılmıştır (Shokoohi vd., 2015).

Al 7075 malzemesinin 100 mm çapında, 30° helis açısına sahip parmak freze ile işlenmiştir. 1000 ve 1500 devir/dk. olmak üzere iki farklı devir için 1,2,3 mm talaş pasosu ile 50, 75, 100 mm/dk. kesme hızımda CNC freze tezgahımda talaşlı imalatı araştırılmıştır (Liuvd., 2016).

Japonya'da araştırmacılar kalıp çeliği malzemelerini 20 mm çapında küre takım ile son işleme operasyonunu; beş eksen CNC tezgâhında 0, 15, 45 ve 60° işleme açılarında işlenirken, enerji tüketimlerini çengelli ampermetre ile ölçülmüştür (Mori vd., 2011).

Endüstriyel granit malzemesi 3,6, 9 mm kesme derinlikleri için 10, 13, 15, 17 m/dk. ilerleme hızında, 544 devir sayısı ile 220 kW güce sahip, 1200 mm çap, 8 mm genişliğinde testerede kesme işlemi sırasında enerji tüketimi ölçülmüştür (Yurdakul, 2015).

373x90x50 ölçülerindeki 200 HB sertliğe sahip ASSAB 760 çelik malzemesi 18,5 kW kesme gücüne sahip 3 eksen CNC freze tezgâhında 2, 3 ve 4 mm pasolarda, 1000, 1500 ve 2000 devir/dk. devir sayısı ile, 50,75 ve 100 mm ilerleme hızlarında işlenerek enerji tüketimi power metre ile ölçülmüştür (Liu vd., 2015).

303 paslanmaz çeliği 120x55x32 mm ölçülerinde dikdörtgen malzemeler 14 mm çapında, üç ağızlı kesici takımla, 3 mm talaş pasosu ve 11 mm yana kayma miktarında işlenmişdir. 105 ve 157 m/dk. kesme hızı, 0,067, 0,050 ve 0,035 ilerleme hızlarında talaş kaldırılmıştır (Escalona vd., 2015).

100 mm uzunluğundaki Al 6061-T6 malzemesi CNC torna tezgâhında 1, 2 ve 3 mm talaş derinliği, 150, 200 ve 250 keme hızı ve 0,1, 0,2 ve 0,3 ilerleme hızlılarında talaş kaldırılmış enerji tüketimleri ölçülmüştür (Negrete, 2013).

8. MATERYAL VE METOT

Boru bağlantı elemanlarında optimum tasarım geometrisini elde edilmesi ve maksimum mühendislik özellikler sergileyen, yüksek işlenebilirlikte, endüstriyel ortamlarda üretilmiş alüminyum malzemelerin geliştirilmesi bu tez çalışmasının temellerini oluşturmaktadır. Böylelikle bu tez çalışması sonucunda, daha önce giriş kısmında olumsuzlukları bahsedilen dökme demir boru bağlantı elemanlarının yerine işlenebilirliği yüksek alüminyum alaşımlı veya metal matrisli kompozit malzemeler geliştirilecektir. Bu tez çalışması aşağıda özetlenmiş toplamda dört farklı deneysel çalışma aşamasından oluşmaktadır.

Birinci Aşama: Tasarım Geometrisinde Optimiziasyon

Bu aşamada endüstiride üretimi ve türketimi en çok olan 1/2" Te boru bağlantı elemanının endüstiride üretimi yapılan tasarım geometrisi yerine yeni bir tasarım şekli önerilecektir. Sonlu elemanlar yöntemi ile basınç dayanım analizleri yapılarak tasarımda optimizasyon sağlanacaktır. Birinci aşamada, bu tasarım için Tablo 8.1.' de verilmiş endüstiriyel seri üretimde yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımları seçilmiştir. Bu alaşımların mekanik özellikleri belirlenirken, SolidWorks programı malzeme kütüphanesi sabit değerleri seçilmiştir. Böylelikle labratuvar ortamında elde edilen bu malzemelerin üçüncü aşamada elde edilmiş endüstriyel üretimler ile karşılaştırması yapılacaktır.

Tablo 8.1. *Birici aşamada kullanılan alüminyum alaşımlarının kimyasal analizleri*

Malzeme Cinsi	Al (%)	Cr (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mg (%)	Mn (%)	Si (%)	Ti (%)	Zn (%)
7075	87.1-91.4	0.18 - 0.28	1.2 - 2.0	0.50	2.1 - 2.9	0.30	0.40	0.20	5.1 - 6.1
6063	97.5	0.10	0.10	0.35	0.45 -0.90	0.10	0.20 -0.60	0.10	0.10
6061	95.8 -98.6	0.04 - 0.35	0.15 -0.40	0.70	0.80 - 1.2	0.15	0.40 -0.80	0.15	0.25
A356.0-F	90.1-93.3	-	0.25	0.60	0.20 -0.45	0.35	6.5 - 7.5	0.25	0.35

İkinci Aşama: Tasarım Parametrelerinin Mukavemet Özelliklerine Etki Oranlarının İncelenmesi

Bir tasarım geometrisi kendisini meydana getiren birden fazla değişken parametresinin birleşimi ile oluşmaktadır. Her bir tasarım değişkeni sonucunda Ağırlık, maksimum gerilme, deformasyon miktarı ve emniyet katsayısı sonuçları değişkenlik göstermektedir. Üretilen malzeme, optimum bir tasarım için minimum ağırlık değerinde, maksimum mukavemet özellikleri sergilemesi gerekmektedir.

Bu aşamada, 1/2" Teboru bağlantı elemanının birinci aşamada elde edilen optimum tasarım geometrisini meydana getiren tasarım parametreleri belirlenecektir. Aynı zamanda bu tasarım değişkenlerinin mukavemet özelliklerine etki oranı Taguchi Metodu, Varyans Analizi ve Sonlu elemanlar yöntemleri kullanılarak incelenecektir. Optimum tasarım değişkenleri elde edilerek minimum ağırlıkta maksimum mukavemet özellikleri sergileyen bir tasarım seçimi yapılmıştır.

Üçüncü Aşama: Endüstiriyel Üretim Şartlarında Alüminyum Malzemelerinin Üretimi, Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi

T6 ısıl işlemine en uygun endüstiride yaygın olarak kullanılan 6061-T6 alaşımı; B_4C, Cu, Cu-B_4C, Fe, Fe-B_4C, Fe-Cu, Fe-Cu-B_4C, Fe-Si ve Fe-Si-B_4C gibi farklı elementler ve %95 saflıkta B_4C tozu ile takviye edilmiştir (Tablo 8.2.). Güçlendirilmiş bu alüminyum malzemeler endüstriyel ortamlar dikkate alınarak döküm ve T6 yaşlandırma ısıl işlemi sırası ile yapılacaktır. Elde edilen alüminyum alaşımlar ve sıvı metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik ve mikroyapı özellikleri çekme testi, mikro sertlik, optik mikroskop, SEM ve EDS incelemeleri yapılmıştır.

Tablo 8.2. *Üçüncü aşama için üretilecek malzemelerin analiz sonuçları*

ALAŞIM TİPİ	NUMUNE NUMARASI	Al (%)	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)	Cr (%)	B_4C (%)
6061 - (B_4C)	1	96.3	0.85	0.59	0.59	0.17	0.73	0.21	0.29	0
	2	96.3	0.85	0.59	0.59	0.17	0.73	0.21	0.29	1
6061 - (Cu-B_4C)	3	94,90	0,73	0,31	2,36	0,06	1,17	0,07	0,12	0
	4	94,9	0,76	0,34	2,4	0,06	1,08	0,07	0,12	1
6061 - (Fe-Cu-B_4C)	5	90,80	0,66	4,92	2,17	0,06	1,00	0,08	0,11	0
	6	92,90	0,71	2,23	2,64	0,06	1,05	0,09	0,12	0
	7	94,7	0,71	0,91	2,08	0,06	1,13	0,06	0,12	1
	8	92,1	0,7	3,57	2,09	0,06	1,12	0,05	0,11	1
6061 - (Fe-Si-B_4C)	9	93,3	2,95	1,36	0,66	0,06	1,14	0,08	0,13	0
	10	89,7	5,33	3,08	0,5	0,07	1,12	0,1	0,1	1

Dördüncü Aşama: Alüminyum Malzemelerin CNC Frezeleme İşleminde Enerji-Güç Dönüşüm Denklemlerinin Kullanılması ile İşlenebilirliğin İncelenmesi

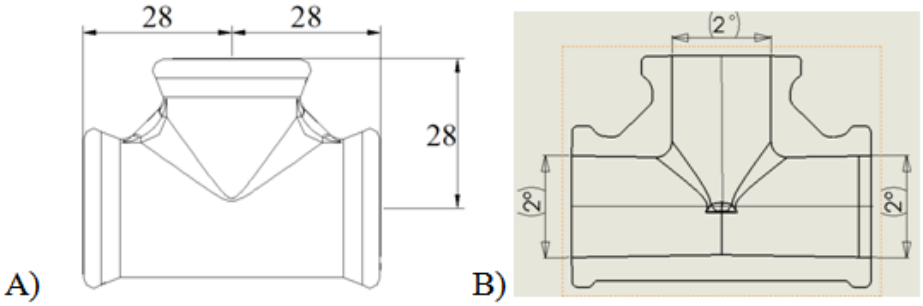
CNC freze tezgâhında talaş kaldırılması sırasında değişen güç indeksi değerlerinin ampermetre ile ölçülmesi sonucunda hesaplanan kesme gücü değerleri, alüminyum malzemelerin her birisinin işlenebilirliği karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Ayrıca her bir kesme parametresinin Taguchi Metodu ve Anova Varyans analizi kullanılarak optimum metal kesme parametresi ve bu parametrelerin işlenebilirliğe etkileri incelenmiştir.

8.1. Tasarım Geometrisinde Optimiziasyon (Birinci Aşama)

Tasarım geometrisinde optimizasyon çalışması Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) SolidWorks programı ve Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE) ANSYS programı ile yapılacaktır. İki basamakta yapılacak bu çalışma ayrıntılı olarak bölüm 8.1.1. ve 8.1.2.' de ele alınmıştır.

8.1.1 Ürünlerin Tasarım Parametreleri ve Modelleme

Birici basamakta, standart dökme demir fittings boru bağlantı elemanlarının tasarım geometrileri araştırılmıştır. TS 11 Standartlarında tasarımı yapılan bir 1/2" Te'nin bağlantı elemanınınher iki dış eksenden merkeze olanuzaklığı 28'er mm'dir (Şekil 8.1.a.). Modellenecek olan tasarımlarda kokil kalıp ve basınçlı döküm yöntemleri dikkate alınmıştır. Kuma döküm yönteminde, iç maçalar erir ve kaybolur. Kalıba dökümde metal maçalar kullanılır. Metal maçaların üretim esnasında kalıptan kolay çıkabilmesi ve basınç dayanımının arttırılması için, geliştirilen tasarımlarda 2°iç açı verilmesi uygun görülmüştür (Şekil 8.1.b.). Böylelikle ilk tasarım tipi olan M-1 ortaya çıkmıştır (Şekil 8.4. ve Şekil 8.2.b.). Bu modelin tasarım hacmi 1,89x 10-5 m^{3}' tür. Standart üretim hattında yer alan 1/2" Te'nin açılı şekli olan M-1' e göre diğer tasarımlarda %3 hacim fazlalığı vardır. Bu farkın bir kısmı maçalarda yer alan 2° açıdan kaynaklanmaktadır.



Şekil 8.1. A) TS 11 1/2" Te ölçüleri, B) Alüminyum Te tasarımlarında 2° açılı iç maça tasarımı

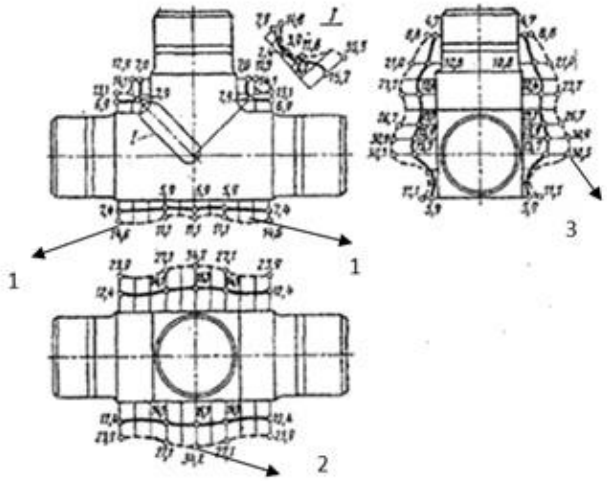
İkinci tasarım şekli olarak Şekil 8.2.a.'da yer alan Hindistan'da üretimi yapılan alüminyum fittings malzemesinin kare fitili ve kuşak şekli referans alınarak modellenmiştir (URL-7, 2010). Şekil 8.4.'de M-2 isimli üç boyutlu modeli yer alan geometrinin tasarım hacmi ise 2,03 x 10-5 $m^{3'}$ tür.



Şekil 8.2. a) Kare fitil ve kuşaklı tasarım örneği, b) Standart Te resmi

Ayrıca bu tasarımlara alternatif olarak bir endüstriyel tasarım patenti alabilecek tasarım geometrisi geliştirilmek istenmiştir. Bunun için endüstri ve literatürde yer alan diğer fitings tasarımları ve ilgili çalışmalar araştırılmıştır.

Bir deneysel çalışmada 14KhGS çelik fittings malzemelerde, 320 kgf/cm^2 basınçta ve 200°C sıcaklı altında, çapı 200 mm olan borular için gerilmeler iki boyutlu düzlemde incelenmiştir ve bu gerilmelerin haritası çıkarılmıştır (Şekil 8.3.), (Dudko ve Neiman, 1976). Yapılan araştırmalarda bir numaralı ok ile gösterilmiş bölgede Te tasarımının üsten görünüş kuvvet dağılımı orta eksenle fitil arasında artış göstermiştir. İki numaralı bölgede önden görünüşte orta bölgede kuvvet yığılmasıvarken üç numaralı bölgede yandan görünüşte paralel duvarda kuvvet yığılması ortaya çıkmıştır.



Şekil 8.3. Te malzemesinde gerilme miktarı ve stres haritası (MPa) (Dudko ve Neiman, 1976)

Bu maksimum gerilme bölgelerinde kuvvet yığılması daha fazla olacağı için geliştirilecek yeni tasarımda güçlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu tasarım tipi çift fitilli tasarım olarak da adlandırılabilir. Şekil 8.4. M-3' de gösterildiği üzere bu tasarım fitil dışında maksimum gerilme bölgelerinde bilezik şeklinde bir tasarım eklentisini içermektedir. Bu tasarımın hacmi 2,08 x10-5 $m^{3'}$ tür.



Şekil 8.4.Analiz için modellenen farklı tip tasarımlar

8.2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Basınç Dayanım Analizi

Tablo8.'de sonlu elemanlar yönteminde basınç dayanım analizlerinde kullanılacak olan alaşımların kimyasal içerikleri yer alırken Tablo 8.3.'de SolidWorks 2012 programı malzeme kütüphanesinde yer alan bu alaşımların laboratuar ortamında elde edilmiş mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 8.3. *Seçimi yapılan malzemelerin mekanik özellikler*

Malzeme Cinsi	Özkütle (Kg/m^3)	Elastikiyet Modülü (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Poisson's Oranı
GGG-40	72000	169000	250	400	0,35
Al 7075	2810	72000	95	220	0,33
Al 7075-T6	2810	72000	505	570	0,33
Al 6063	2700	69000	50	90	0,33
Al 6063-T6	2700	69000	215	240	0,33
Al 6061-T6	2700	69000	275	310	0,33
AA-356.0-F	2680	72400	145	167	0,33

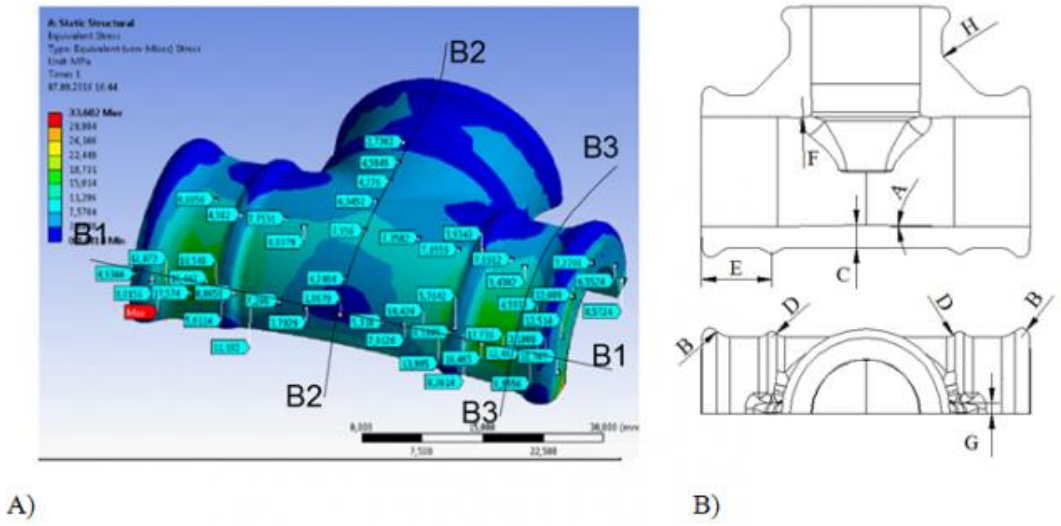
İkinci basamakta, bu mekanik özellikler ANSYS programının kütüphanesine kaydedilmiştir. ANSYS programında sonlu elemanlar yöntemi ile basınç analiziyapılırken bütün tasarımlar aynı bağlantı noktalarından sabitlenmiştir. Basınç tüm iç yüzeye verilmiştir. Şehir şebekelerinde basınç miktarı 5 bar civarında olmasına rağmen TSE 10242 standartlarına göre 10 bar basınçta sızdırmazlık testi uygulandığı için tüm tasarımlar 10 bar basınç altında analiz edilmiştir.

8.2.Tasarım Parametrelerinin Mukavemet Özelliklerine Etki Oranlarının İncelenmesi (İkinci Aşama)

1. Aşamada yer alan tasarımda optimizasyon çalışmasında yeni bir tip endüstriyel tasarım önerilmiştir. Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE) çalışmaları sonucunda geometride optimizasyon sağlanmıştır (Şekil 8.5.a.). Bununla birlikte bu birinci aşamada, tasarım geometrisini oluşturan tasarım parametreleri ile ilgili bir araştırma yapılmamıştır.

TS 11 EN 10242 standart ölçüleri sadece diş başlangıcının merkeze olan uzaklığını belirlemektedir. Geriye kalan ölçüler boru diş ölçüleri referans alınarak yapılır.

Şekil 8.5.b. incelendiğinde bir boru bağlantı elamanı tasarımında en az sekiz adet tasarım parametresi olduğu gözlemlenmiştir. Her bir parametrede yer alan değişim; ağırlık, deformasyon miktarı ve maksimum gerilme miktarında değişime neden olur. Literatür incelendiğinde tasarım parametrelerdeki değişimlerin dayanım özelliklerine ve ağırlığa etkileri hakkında bir araştırma yer almamaktadır.



Şekil 8.5.A) Gerilme yığılma bölgelerinin çizgilerle gösterilmesi, B) Tasarım Parametreleri

Minimum ağırlıkta maksimum basınç dayanım özellikleri elde etmek gereksiz malzeme kullanımının önüne geçecektir. Tasarım parametrelerinin optimum seviyelerinin belirlenmesin ve analizindeTaguchi yöntemi kullanılmıştır.

Mevcut endüstriyel ürünler ve daha önce yapılmış tasarımlar dikkate alınarak değişken değerleri belirlenmiştir (Tablo 8.4.). Bu tasarım değişkenlerinin ağırlık, dayanım ve maksimum gerilmeye olan etkilerini hesaplamak için klasik deney tasarımında yapılması gerekli olan deney sayısı, Taguchi yönteminde ile karşılaştırıldığında oldukça fazladır. Bu çalışmada Taguchi L32 (12x74) ortogonal faktöriyel fraksiyonel deney tasarımı planı seçilmiştir. Analiz çalışmaları için geometrilerin modellenmesinde tasarım parametrelerinin seçimi için Tablo 8.5.'de yer alan deney planı kullanılmıştır.

Tablo 8.4. *Tasarım parametreleri*

s	(A) İç Maça Açısı	(B) Fitil Radüs Ölçüleri	(C) Et Kalınlıkları	(D) Bilezik Radüsü	(E) Bilezik Eksen Uzunluğu	(F) Ara Radüs	(G) Bayrak Kalınlığı	(H) Bayrak Radüs Miktarı
1. Seviye	1	3	4	2	12	3,5	2	2
2. Seviye	2	3,5	4,5	2,5	13	4	2,25	2,25
3. Seviye	-	4	5	3	14	4,5	2,5	2,5
4. Seviye	-	4,5	5,5	3,5	15	5	2,75	2,75

Tablo 8.5. *Taguchi Metodu L32; 1x2, 7x4 deney düzeneği*

No	**Tasarım Parametreleri ve Seviyeleri**							
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	1	4	4	4	4	4	4
5	1	2	1	1	2	2	3	3
6	1	2	2	2	1	1	4	4
7	1	2	3	3	4	4	1	1
8	1	2	4	4	3	3	2	2
9	1	3	1	2	3	4	1	2
10	1	3	2	1	4	3	2	1
11	1	3	3	4	1	2	3	4
12	1	3	4	3	2	1	4	3
13	1	4	1	2	4	3	3	4
14	1	4	2	1	3	4	4	3
15	1	4	3	4	2	1	1	2
16	1	4	4	3	1	2	2	1
17	2	1	1	4	1	4	2	3
18	2	1	2	3	2	3	1	4
19	2	1	3	2	3	2	4	1
20	2	1	4	1	4	1	3	2
21	2	2	1	4	2	3	4	1
22	2	2	2	3	1	4	3	2
23	2	2	3	2	4	1	2	3
24	2	2	4	1	3	2	1	4
25	2	3	1	3	3	1	2	4
26	2	3	2	4	4	2	1	3
27	2	3	3	1	1	3	4	2
28	2	3	4	2	2	4	3	1
29	2	4	1	3	4	2	4	2
30	2	4	2	4	3	1	3	1
31	2	4	3	1	2	4	2	4
32	2	4	4	2	1	3	1	3

Ansys programında; sonlu elemanlar yöntemi ile basınç dayanım analiz çalışmalarını yapmak için 6061-T6 malzemesi seçilmiştir. 6061-T6 malzemelerinin mekanik özellikleri SolidWorks programı malzeme kütüphanesi değerleri referans alınarak tanımlanmıştır (Tablo 8.6.). Basınç dayanım analizi 10 bar basınç kuvvet uygulanarak yapılmıştır.

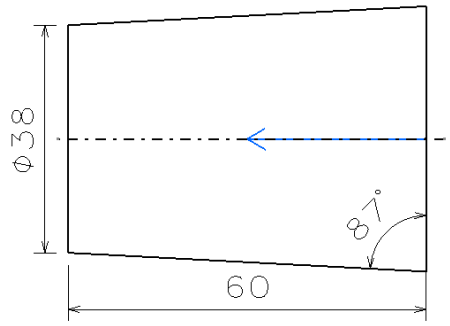
Tablo 8.6. *6061-T6 mekanik özellikleri*

Malzeme Cinsi	**Özkütle (Kg/m^3)**	**Elastikiyet Modülü (MPa)**	**Akma Dayanımı (MPa)**	**Çekme Dayanımı (MPa)**	**Poisson's Oranı**
Al 6061-T6	2700	69000	275	310	0,33

F sonuçları toplamının parametre kuvvetlerine etki oranı hesaplanmıştır. Mukavemet hesaplarında bir doğru orantı yoktur o yüzden hesaplamalarda % 20-30 oranda hata beklenmektedir. Bu hesaplama sonuçları bir öngörü sağlayacaktır. Hata oranı değerlere aritmetik olarak paylaştırılacaktır.

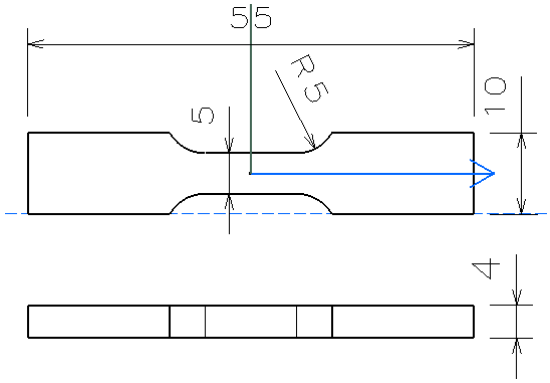
8.3. Endüstiriyel Üretim Şartlarında Alüminyum Malzemelerinin Üretimi, Mekanikve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi (Üçüncü Aşama)

Belirlenen alaşım elementleri ve 6061 alaşımı ana metal matris malzemesi Seykoç Alüminyum kuruluşundan temin edilmiştir. Tablo 8.2.'de yer alan farklı kimyasal içeriği elde etmek için hassas bir Şekilde alaşım elementleri hesaplanmıştır. Temiz grafit pota kullanılarak 750°C sıcaklıkta deney numuneleri eritilmiştir. Her bir numunenin elementlerinin homojen dağılımı için sıvı fazda 30 dk. sürede 300 devir/dk. hızla karıştırıldıktan sonra silindirik metal kokil kalıba her bir numune için üçer adet dökümü yapılmıştır. Şekil 8.6.'da kokil kalıpta üretimi yapılan malzemenin ölçüleri yer almaktadır. Döküm sonrası dış çap ölçüsü 30 mm'ye tornalanmıştır.



Şekil 8.6. Kokil döküm numune resmi

Dökümü yapılan numuneler endüstriyel seri üretim koşulları dikkate alınarak 525°C sıcaklıkta 8 saat çözeltiye alınmıştır daha sonra ise 180°C sıcaklıkta 8 saat yaşlandırılmıştır. Isıl işlem sırasında vakum ve atmosfer kontrolü yapılmamıştır. Isıl işlem öncesi ve sonrası çekme testi sonuçlarının araştırılması için her bir numune talaşlı imalat ile Şekil 8.7'deki çekme numuneleri ölçülerine getirilmiştir. Shimadzu Autograph AGS-X çekme test cihazı ile mekanik özelliklerdeki değişimler araştırılmıştır



Şekil 8.7. Çekme numunesi resmi

Döküm sonrası ve Isıl işlem sonrası malzemeler parlatılıp Keller dağlayıcısı ile dağlandıktan sonra mikroyapı değişimleri detaylı olarak Olympus GX 41 marka ters metal mikroskobu ve FEI Quanta FEG 250 taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımı ile incelenmiştir. Ayrıca döküm sonrası EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) yardımı ile Mapping yapılarak metalik ve intelmetalik faz değişimleri araştırılmıştır. Mikrosertlik değişimleri 2000 N yük altında, Shimadzu HMV-Gmarka mikro Vickers sertlik ölçer cihazıyla ölçülmüştür.

8.4. Alüminyum Malzemelerin CNC Frezeleme İşleminde Enerji-Güç Dönüşüm Denklemlerinin Kullanılması ile İşlenebiliriliğin İncelenmesi (Dördüncü Aşama)

Üçüncü aşamada malzemeler kokil döküm yöntemi ile 38 mm dış çap ölçüsünde silindirik bir malzeme olarak üretilmiştir. Üretimi yapılan bu malzemeler ilk olarak tornada dış çapı tornalama ile 30 mm'ye düşürülmüştür.

Dördüncü aşaada, her bir numune endüstride yaygın olarak kullanılan 12 mm'lik tarama ile CNC dik işleme tezgâhında interpolasyon hareketiyle işlenmek istenmiştir. Bu çalışmada yana kayma değeri %100 ve %50 olacak şekilde iki farklı seviyede belirlenmiştir. Belirlenen 10 deney numunesiyle iki farklı yana kayma değeri için toplam 20 deneysel çalışma yapılmıştır. Simens Nx programında belirlenen değerlere göre kesici takım talaş kaldırma koordinatları hesaplanmıştır.

Bu deneysel çalışmada kullanılacak talaş kaldırma parametreleri, kesici takım özellikleri, CNC dik işleme tezgâhı teknik özellikleri ve kullanılacak enerji-güç dönüşüm denklemleri sırası ile aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

8.4.1. İşlenebilirliğin Araştırılması İçin Deney Parametreleri ve Seviyeleri

Talaşlı imalat işleminde işlenebilirliğin araştırılması için üç farklı kesme hızı, talaş pasosu ve ilerleme hızı seçilmiştir. Bu talaş kaldırma parametrelerinin güç indeksi (PI (A)), toplam kesme gücü (P_{Toplam}(kW)), talaş kaldırma gücü (P_{Kesme} (W)), Özel enerji tüketimi (SEC ($\frac{J}{mm^3}$)), özel kesme enerjisi tüketimi (SCEC ($\frac{J}{mm^3}$)) sonuçlarına etkileri, Taguchi L_9 (3^3) faktöriyel fraksiyonel deney tasarım planı seçilerek araştırılmıştır. Parametreler ve seviyeler için seçilen Taguchi deney planı Tablo 8.7.' de verilmiştir.

Tablo 8.7. *Taguchi L_9 (3^3) Deney Tasarımı*

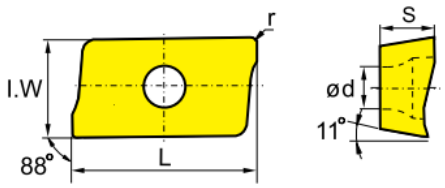
Deney No	A- Paso Miktarı (mm)	B- Kesme Hızı (m/dak)	C- İlerleme Hızı (mm/dak)
1	1	50	0,1
2	1	100	0,15
3	1	150	0,2
4	2	50	0,15
5	2	100	0,2
6	2	150	0,1
7	3	50	0,2
8	3	100	0,1
9	3	150	0,15

8.4.2. Kesici Takım Özellikleri

Bu deneysel çalışmada SCC APKT 11 T 308-PM serisi takma uçlu karbür takım tek kesme ağızlı taramaya takılarak talaşlı imalat gerçekleştirilmiştir (Şekil 8.8.). Kesici takım geometrisi de Şekil 8.9.' da verilmiştir.



Şekil 8.8. SCC APKT 11 T308 - PM



Şekil 8.9. Kesici takım geometrisi

8.4.3. CNC Dik işleme Tezgahı Özellikleri

Şekil 8.10.'da yer alan Microcut CNC dik işleme tezgâhında talaşlı imalat işlemi gerçekleştirilmiştir. Tablo 8.8.'de CNC freze tezgâhının teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 8.10. Microcut 1000 CNC dik işleme

Tablo 8.8. *CNC Freze tezgahı özellikleri*

Tezgah Adı	Motor Gücü (kW)	Devir (Devir/Dakika)	Tezgah Tutucu Tipi	Spindle Cos α	Spindle Voltajı (V)	Maksimum Tork (Nm)
Micrucut 1000	15	10,000	Bt-40	0,6	380	103

8.4.4. Ampermetre Kullanımı ve Güç Dönüşüm Denklemleri

Fanuc Spindle motor sürücüsünün üç fazlı girişinin her birine Dijital Entes epm 4c ampermetre ve Entes ct-25 akım trafosu bağlanarak, 0.07-200 Amper aralığında ±%1 A hassasiyeti ile güç indeksi ölçümü yapılmıştır. Hesaplamalarda üç dijital ampermetre değerinin ortalaması alınmıştır.

Talaş kaldırma sırasında gerekli enerji gücünü bulmak için toplam harcanan güçten tezgâhın talaş kaldırmadığı boş çalışmada harcadığı güç çıkartılmaktadır (8.1). $P_{boş}$ tezgahtaki yataklardaki güç kayıplarıyla birlikte spindle motorunun istenilen devir değerinde çalışması için güç tüketimini içermektedir (Liu vd., 2015)

$$Pkesme = Ptoplam - Pboş \quad (8.1)$$

Talaş kaldırma işleminde ampermetre ile spindle servo motor sürücüsünün çektiği güç indeksi (A) ölçümü 8.2 numaralı üç fazlı motor enerji güç dönüşüm denklemleri ile kW türünden güç tüketimine dönüştürülmektedir. Güç faktörü değeri Microcut CNC dik işleme merkezi teknik özelliklerkitabı değeridir (Shokoohi vd., 2015).

$$Ptoplam = \sqrt{3}.V.I.Cos\sigma \quad (8.2)$$

V*= Spindle Motoru Voltaj Değeri (V) (0,38)*

I*= Ampermetre ile ölçülen enerji yükü (A)*

Cos σ *= Güç Faktörü (0,84)*

Talaş kaldırma işleminde birim zamanda kaldırılan talaş miktarı ve imalat süresi aşağıdaki 8.3 no'lu kesme hızı ve 8.4 no'lu ilerleme hızı denklemleri ile hesaplanması yapılmaktadır (Sur, 2008)

$$Vc = \frac{3{,}14*d*n}{1000} \quad (8.3)$$

Vc *= Kesme Hızı (m/dakika),*

d *= Freze Çapı (mm),*

n *= Devir (devir/dakika)*

$$F = (Fz).(z).(n) \quad (8.4)$$

F *= İlerleme hızı (mm/dak),*

Fz*= 1 devirde diş başına ilerleme (mm/devir),*

z*= kesici uç sayısı,*

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda enerji güç dönüşüm denklemleri ile MRR (Material Removal Rate), SEC (Specific Energy Consumption), SCEC (Specific Cutting Energy Consumption) ve Q (Material Removal Volume) gibi talaşlı imalat işlemlerimde önemli kesme parametrelerinin hesabı yapılabilmektedir. MRR; İş parçasından bir saniyede kaldırılan mm^3 cinsinden talaş miktarıdır. Q ise imalat süresince kalkan toplam talaş miktarıdır. MRR aşağıda verilen 8.5 numaralı formül ile hesaplanmaktadır. SEC ise bir malzemeden 1 mm^3 talaş kaldırmak için harcanan toplam enerji tükretimidir. SCEC bir malzemeden 1 mm^3 talaş kaldırmak için harcanan kesme enerjidir. 8.6 numaralı formül ile SECve 8.7 numaralı formül ile SCEC değerleri hesaplanmaktadır (Liu vd., 2016)

$$MRR\left(\frac{mm^3}{s}\right) = \frac{Q(mm^3)}{İmalatSüresi(s)} \tag{8.5}$$

$$SEC\ \left(\frac{J}{mm^3}\right) = \frac{Ptoplam\ (kW)}{MMR\left(\frac{mm^3}{s}\right)} \tag{8.6}$$

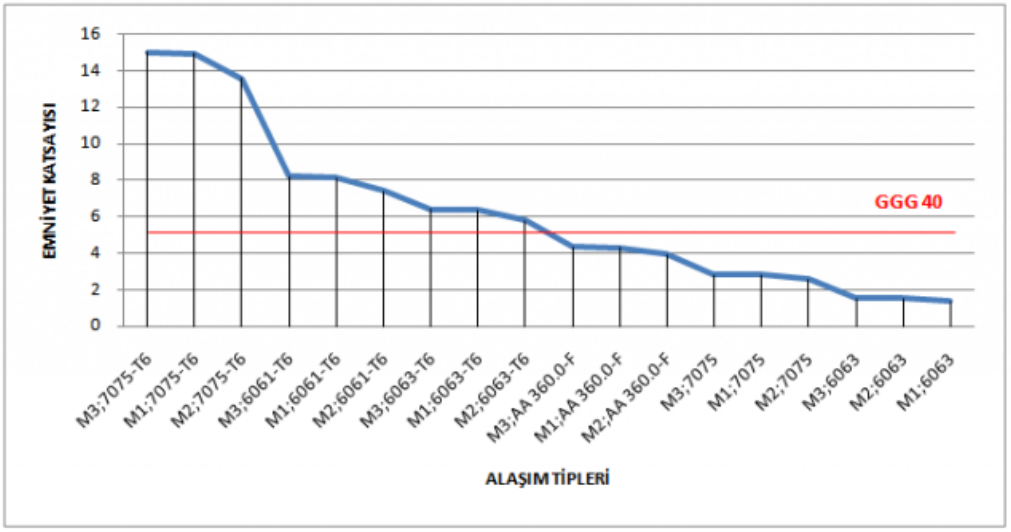
$$SCEC\ \left(\frac{J}{mm^3}\right) = \frac{Pkesme\ (W)}{MMR\left(\frac{mm^3}{s}\right)} \tag{8.7}$$

9. SONUÇLAR

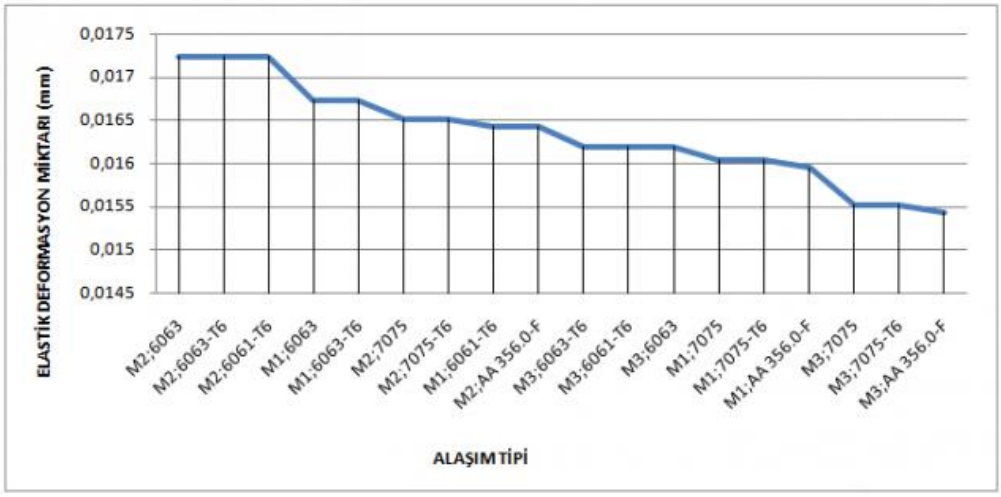
Meteryal metod kısmında planlanmış araştırma ve inceleme çalışmalarının sonuçları dört aşamada bu bölümde verilmiştir.

9.1. Birinci Aşama Sonuçları

Endüstride yaygın olarak kullanılmakta olan alüminyum alaşımları ile yapılan sonlu elemanlar analiz sonuçlarına göre emniyet katsayıları değişimlerini gösteren grafik hazırlanmıştır (Grafik 9.1.). A.356-F, 7075 ve 6063 alüminyum alaşımlarının emniyet katsayısı sfero malzemelerden daha azdır. En fazla emniyet katsayısı 7075-T6 malzemesine aittir ve bu değeri 15 olarak hesaplanmıştır. En az gerilme ise M3 tasarımında gözlenmiştir. Grafik 9.2.'de alüminyum alaşımlarının elastik deformasyon miktarları yer almaktadır. Bu Tabloya göre elastikiyet modülü en fazla olan malzeme 72000 MPa değeriyle A.356.0-F malzemesi olup, 0,015433 mm ile en az deformasyon miktarı sergilemiştir. Bununla birlikte en fazla deformasyon miktarı 6063 malzemesindedir ve 0,017238 mm olarak hesaplanmıştır.

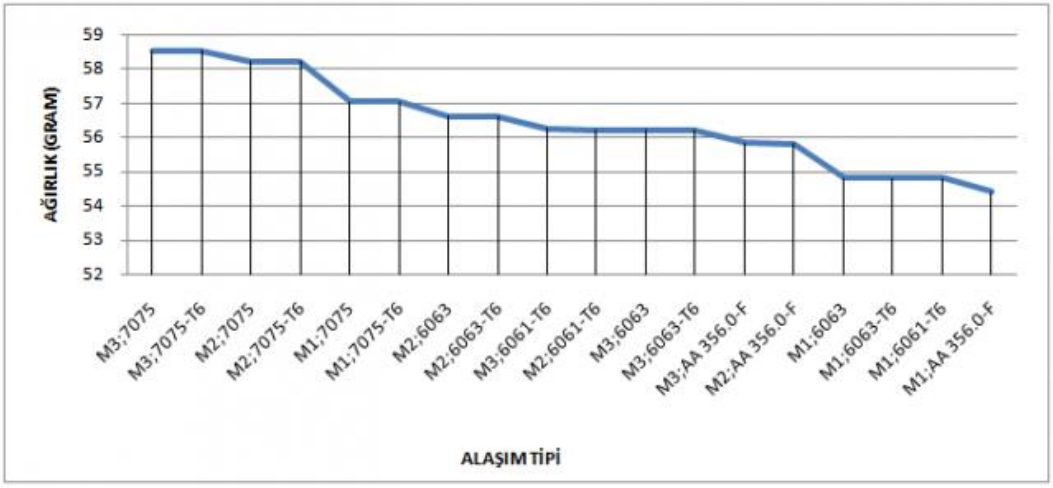


Grafik 9.1. Emniyet katsayısı analiz sonuçları



Grafik 9.2. Elastik deformasyon miktarı değişimleri

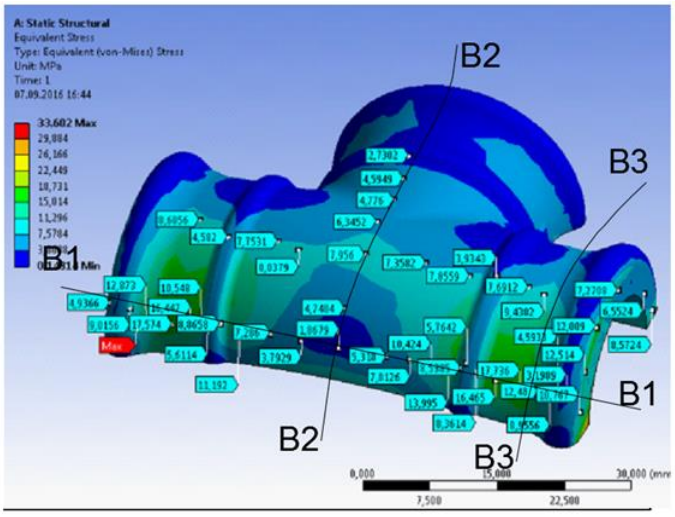
Tasarım geometrilerinin farklı alaşımlar için hacim ve öz kütle değişimleri dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda parçaların ağırlıkları belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda, A 356-F malzemesinden üretilecek olan M1 tasarımının en hafif ürün (54,41 gram), 7075 malzemesinin kullanıldığı M3 tasarımının ise en ağır ürün (58,55 gram) olduğu gözlemlenmiştir (Grafik 9.3).



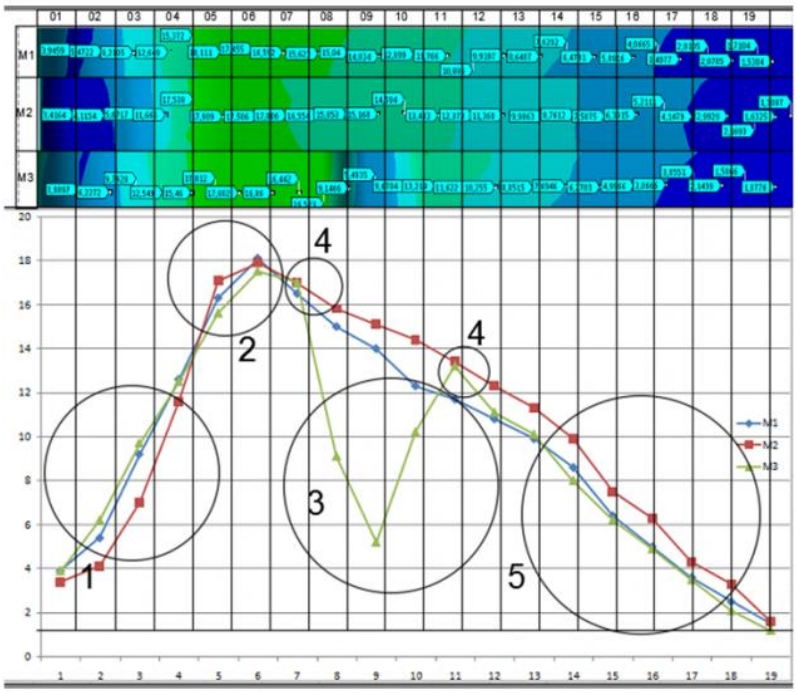
Grafik 9.3. Tasarım geometrilerinin ağırlık değişimleri

Emniyet katsayısı miktarı 15'den fazla hesaplanan 7075-T6 malzemesi için gerilme dağılım haritası CAD (Computer Aided Design) çizimleri kullanılarak Şekil 9.1.'de gösterilmiştir.

Üç model arasında gerilim dağılımlarının doğru şekilde değerlendirilebilmesi için Te malzemesinin yatay ekseni B1-B1 çizgisi ile işaretlenmiştir. Şekil 9.2.'de bu yatay kesite oluşan gerilmeler gösterilmiştir. Burada M1, M2 ve M3 üç farklı modeli simgelemektedir.

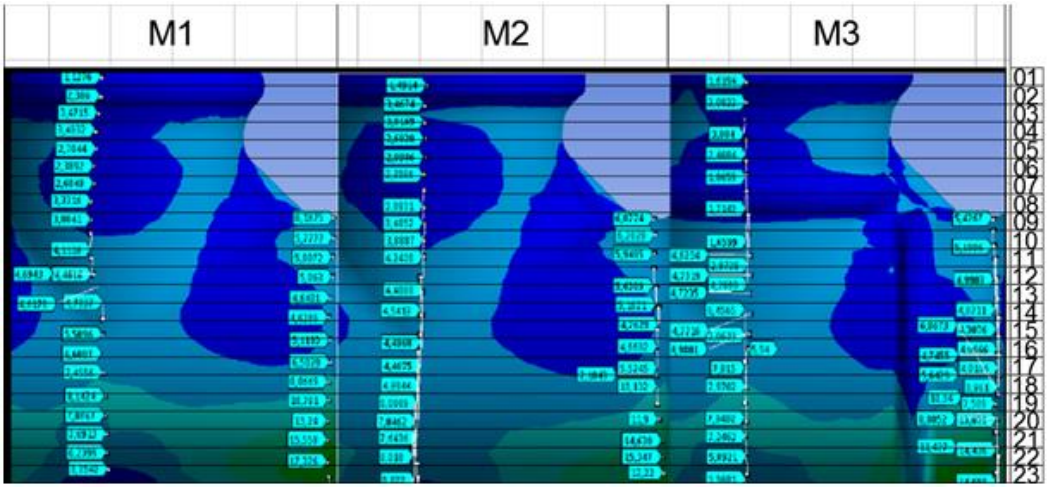


Şekil 9.1. Gerilme yığılma bölgelerinin çizgilerle gösterilmesi

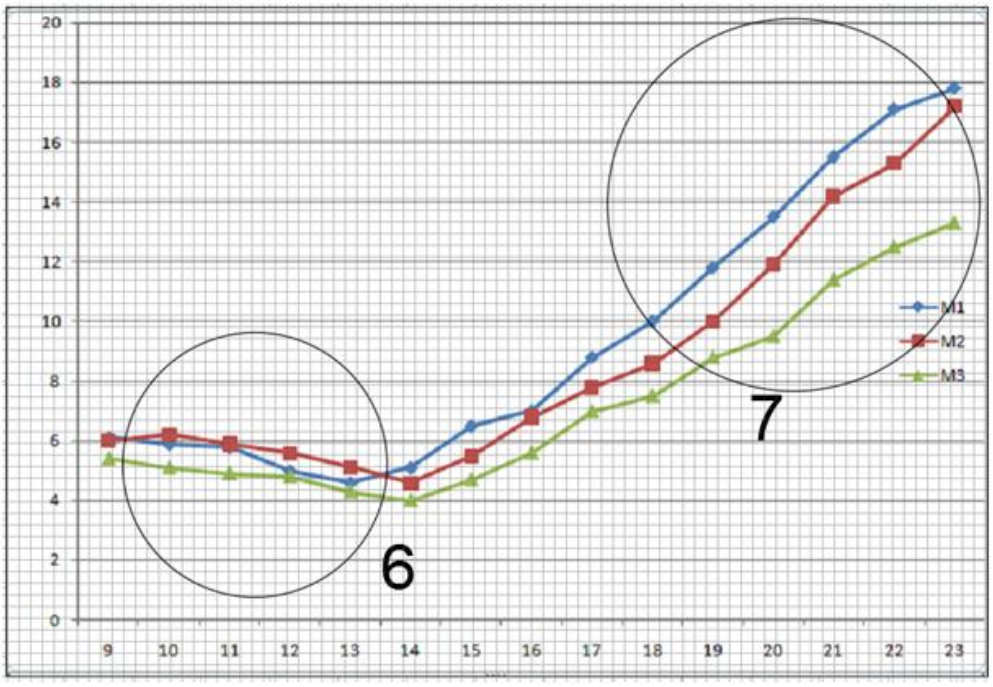


Şekil 9.2. B1-B1çizgisi üzerindeki gerilme analizi (Gerilme (MPa)/Alan Numarası)

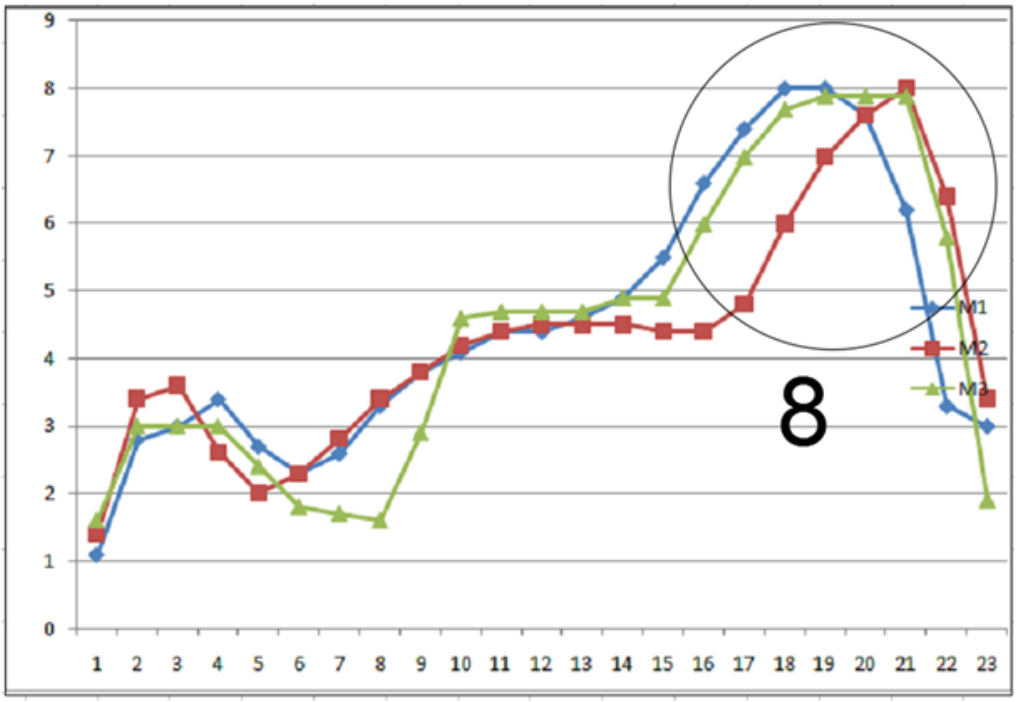
Şekil 9.3.'de üç farklı tasarım geometrisinin iki farklı dikey kesitte gerilme dağılım haritası yer almaktadır. Dikey B3-B3 kesitinden elde edilen gerilme dağılım grafiği Grafik 9.4.'de, B2-B2 kesiti ile ortaya çıkan grafik ise Şekil 9.5.'de verilmiştir. Sekiz ana bölgede oluşan gerilme değişimleri uygun bir değerlendirme yapabilmek için daire içine alınmıştır



Şekil 9.3. B2-B2 ve B3-B3 üzerindeki kuvvet dağılım haritası



Grafik 9.4. B3-B3 çizgisi üzerindeki gerilme analizi (Gerilme-Mpa/Alan Numarası)



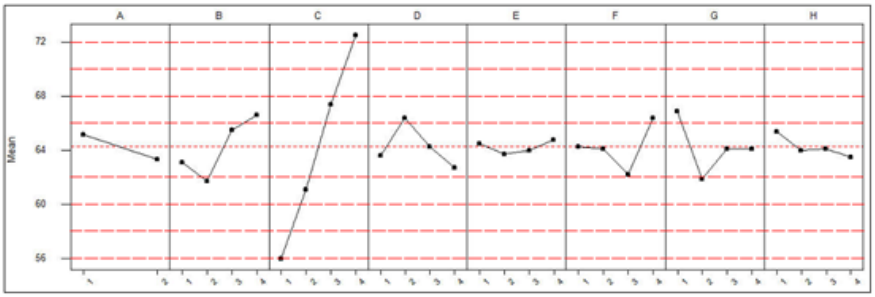
Grafik 9.5. B2 - B2 çizgisi üzerindeki gerilme analizi (Gerilme (MPa)/Alan Numarası)

9.2. İkinci Aşama Sonuçları

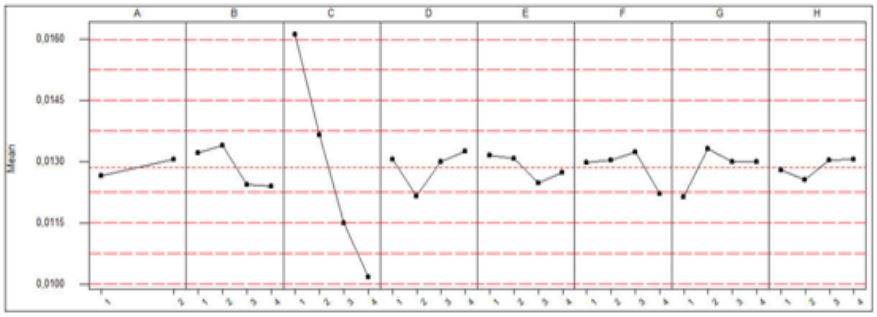
Tüm tasarım geometrilerinin ağırlıkları 6061-T6 malzemesi özkütle miktarı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Maksimum deformasyon miktarı 10 bar basınç için Sonlu Elemanlar Yöntemi ile belirlenmiştir. Çift bilezik şeklinin yer aldığı yatay eksende oluşan maksimum gerilme miktarı ve yatay eksene 90° açıdaki dikey eksen maksimum gerilme miktarı ölçülmüştür. Tablo 9.1.'de her bir deney modelinin sonuçları yer almaktadır. Taguchi Metodu parametreleri ve seviyelerindeki değişimlerin analiz sonuçlarına etkileri Minitap programında hesaplanarak gösterilmiştir (Grafik 9.6.-9.9.).

Tablo 9.1. *Taguchi deney grubu ve ANSYS sonuçları*

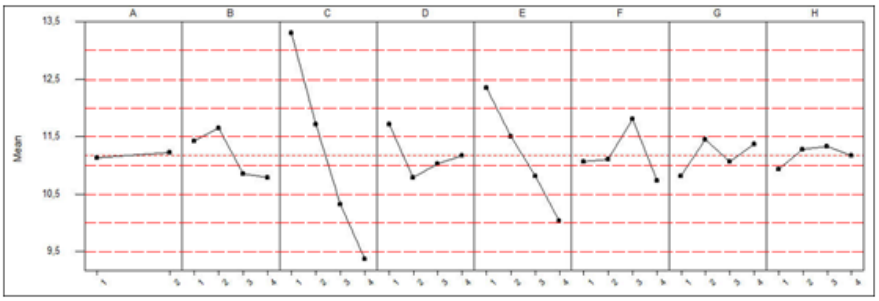
No	Tasarım Değişkenleri								Ağırlık (Gr)	Maksimum Yatay Eksen Gerilmesi (MPa)	Maksimum Dikey Eksen Gerilmesi (MPa)	Maksimum Deformasyon Miktarı (mm)
	A	B	C	D	E	F	G	H				
01	1	1	1	1	1	1	1	1	53	19,3	15,9	0,0173
02	1	1	2	2	2	2	2	2	60	15,7	12	0,0138
03	1	1	3	3	3	3	3	3	68	13,9	9,9	0,0111
04	1	1	4	4	4	4	4	4	76	12,7	7,6	0,0095
05	1	2	1	1	2	2	3	3	54	19	14,4	0,017
06	1	2	2	2	1	1	4	4	62	15,6	12,6	0,0135
07	1	2	3	3	4	4	1	1	70	13,9	8,6	0,011
08	1	2	4	4	3	3	2	2	56	18,8	12,2	0,0127
09	1	3	1	2	3	4	1	2	70	13,2	10,2	0,011
10	1	3	2	1	4	3	2	1	62	15,7	11,1	0,0135
11	1	3	3	4	1	2	3	4	65	15,9	11,6	0,0127
12	1	3	4	3	2	1	4	3	71	13,5	9,7	0,0108
13	1	4	1	2	4	3	3	4	57	18,1	12,1	0,016
14	1	4	2	1	3	4	4	3	64	15,7	12	0,0133
15	1	4	3	4	2	1	1	2	74	13,5	9,5	0,0104
16	1	4	4	3	1	2	2	1	81	12	8,6	0,009
17	2	1	1	4	1	4	2	3	53	20,6	14,4	0,0174
18	2	1	2	3	2	3	1	4	58	18,2	12,7	0,0145
19	2	1	3	2	3	2	4	1	65	14,9	10,4	0,0119
20	2	1	4	1	4	1	3	2	72	13,2	8,4	0,0102
21	2	2	1	4	2	3	4	1	54	20	13,8	0,0169
22	2	2	2	3	1	4	3	2	59	17	13,1	0,0143
23	2	2	3	2	4	1	2	3	66	14,8	9,5	0,0118
24	2	2	4	1	3	2	1	4	73	13,4	8,9	0,01
25	2	3	1	3	3	1	2	4	53	19,3	12,9	0,0168
26	2	3	2	4	4	2	1	3	61	17,2	10,2	0,0134
27	2	3	3	1	1	3	4	2	67	14,1	12,1	0,0116
28	2	3	4	2	2	4	3	1	75	12,3	9	0,0097
29	2	4	1	3	4	2	4	2	54	19,9	12,7	0,0165
30	2	4	2	4	3	1	3	1	63	16	10	0,013
31	2	4	3	1	2	4	2	4	64	13,9	10,9	0,0115
32	2	4	4	2	1	3	1	3	76	12,4	10,5	0,0095



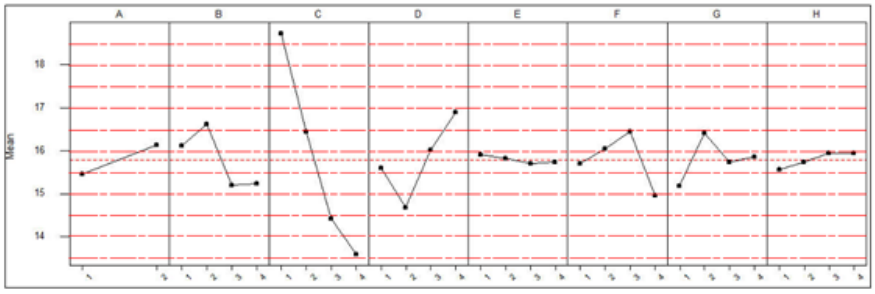
Grafik 9.6.Parametrelerin ve seviyelerinin ağırlık değişimlerine etkileri



Grafik 9.7. Parametrelerin ve seviyelerinin deformasyon miktarı değişimine etkileri



Grafik 9.8. Parametrelerin ve seviyelerinin dikey eksen maksimum gerilme miktarı değişimine etkileri



Grafik 9.9. Parametrelerin ve seviyelerinin yatay eksen maksimum gerilme miktarı değişimine etkileri

Parametrelerin ve seviylerinin varyans analizi (ANOVA) sonuçları Tabloları oluşturulmuştur. Ayrıca bu parametrelerin ve seviylerin analiz sonuçlarına % etki oranları hesaplamıştır (Tablo 9.2.– 9.5.).

Tablo 9.2. *Ağırlık varyans analiz ve % etki oranı sonuçları*

Parametre	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	% Etki Oranı
A	1	56,25	56,25	56,25	3,53	0,067	4,97
B	3	235,50	235,50	78,50	4,93	0,005	6,95
C	3	2490,50	2490,50	830,17	52,10	0,000	73,46
D	3	114,50	114,50	38,17	2,4	0,082	3,38
E	3	10	10	3,33	0,21	0,889	0,39
F	3	136,50	136,50	45,50	2,86	0,049	4,03
G	3	201,00	201,00	67	4,21	0,011	5,93
H	3	30,50	30,50	10,17	0,64	0,595	0,90
Error	41	653,25	653,25	15,93			
Total	63	3928,00					

Tablo 9.3. *Deformasyon miktarı varyans analiz ve % etki oranı sonuçları*

Parametre	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	% Etki Oranı
A	1	0,0000026	0,0000026	0,0000026	2,98	0,092	1,96
B	3	0,0000129	0,0000129	0,0000043	5,00	0,005	3,30
C	3	0,0003245	0,0003245	0,0001082	125,72	0,000	82,97
D	3	0,0000114	0,0000114	0,0000038	4,41	0,009	2,91
E	3	0,0000048	0,0000048	0,0000016	1,87	0,151	1,23
F	3	0,0000096	0,0000096	0,0000032	3,70	0,019	2,44
G	3	0,0000123	0,0000123	0,0000041	4,75	0,006	3,13
H	3	0,0000027	0,0000027	0,000009	1,03	0,389	0,67
Error	41	0,0000353	0,0000353	0,0000009			
Total	63	0,0004159					

Tablo 9.4. *Dikey eksen maksimum gerilme miktarı varyans ve % etki oranı sonuçları*

Parametre	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	% Etki Oranı
A	1	0,1406	0,1406	0,1406	0,19	0,667	0,19
B	3	8,4169	2,8056	2,8056	3,76	0,018	3,83
C	3	141,3369	47,1123	47,1123	63,70	0,000	64,97
D	3	7,3869	2,4623	2,4623	3,30	0,030	3,36
E	3	47,0419	15,6806	15,6806	20,99	0,000	21,40
F	3	9,7819	3,2606	3,2606	4,36	0,009	4,47
G	3	4,0769	1,3590	1,3590	1,82	0,159	1,85
H	3	1,5219	0,5073	0,5073	0,68	0,570	0,69
Error	41	30,6272	0,7470	0,7470			
Total	63						

Tablo 9.5.*Yatay eksen maksimum gerilme miktarı varyans ve % etki oranı sonuçları*

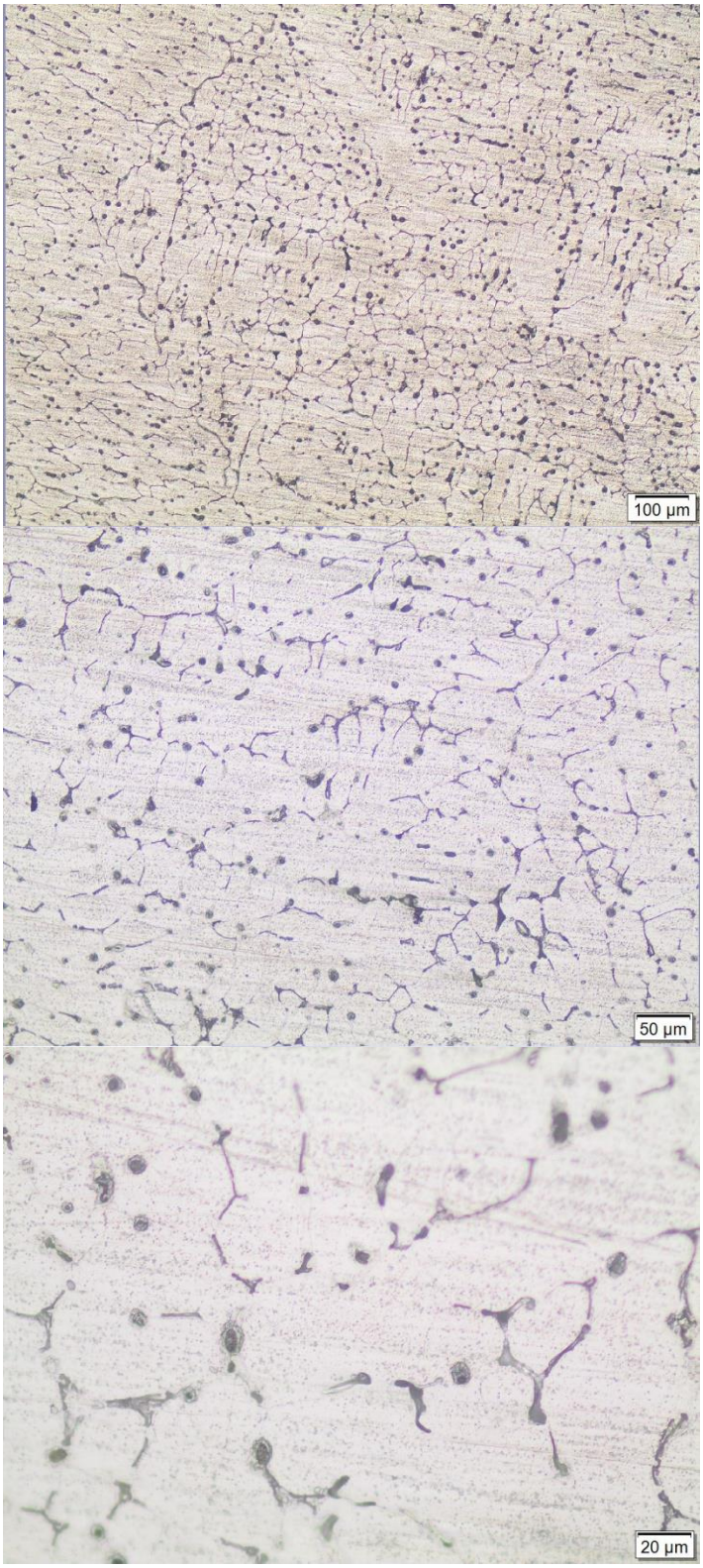
Parametre	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	% Etki Oranı
A	1	7,156	7,156	7,156	4,75	0,035	5,74
B	3	22,942	22,942	7,647	5,08	0,004	6,14
C	3	252,512	252,512	84,171	55,86	0,000	67,59
D	3	40,612	40,612	13,537	8,98	0,000	10,86
E	3	0,422	0,422	0,141	0,09	0,963	0,10
F	3	19,137	19,137	6,379	4,23	0,011	5.11
G	3	11,887	11,887	3,962	2,63	0,063	3.18
H	3	1,592	1,592	0,531	0,35	0,788	0,37
Error	41	61,776	61,776	1,507			
Total	63	418,034					

9.3. Üçüncü Aşama Sonuçları

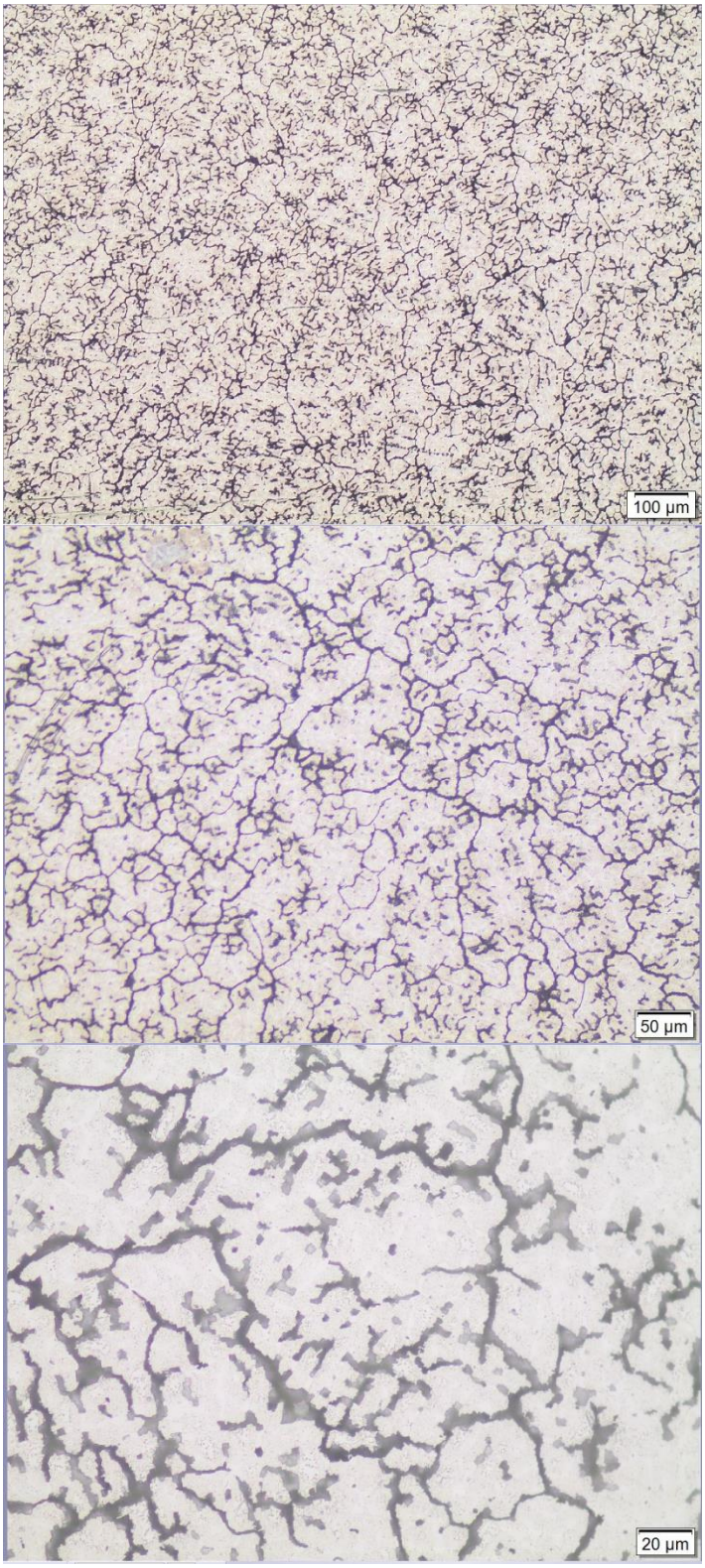
Saf 6061 alaşımı dışında kalan dokuz farklı alaşımın, döküm ve ısıl işlem sonrası mikroyapı değişimleri optik mikroskop ve SEM yardımı ile incelenmiştir. Şekil 9.4-9.21'de sırası ile tüm deney numunelerinin optik mikroskop görüntüleri yer alırken, Şekil 9.22 – 9.39'da ise numunelerin SEM görüntüleri yer almaktadır.

Deney numunelerinin döküm sonrası alaşım elementlerinin numara sırasına göre arda arda matris yapıda dağılımı gösteren mapping sonuçları Şekil 9.40–9.48'de yer almaktadır. Ayrıca elementlerin matriste dağılım şiddetlerini gösteren Grafikler Grafik 9.10– 9,19'da sıralanmıştır.

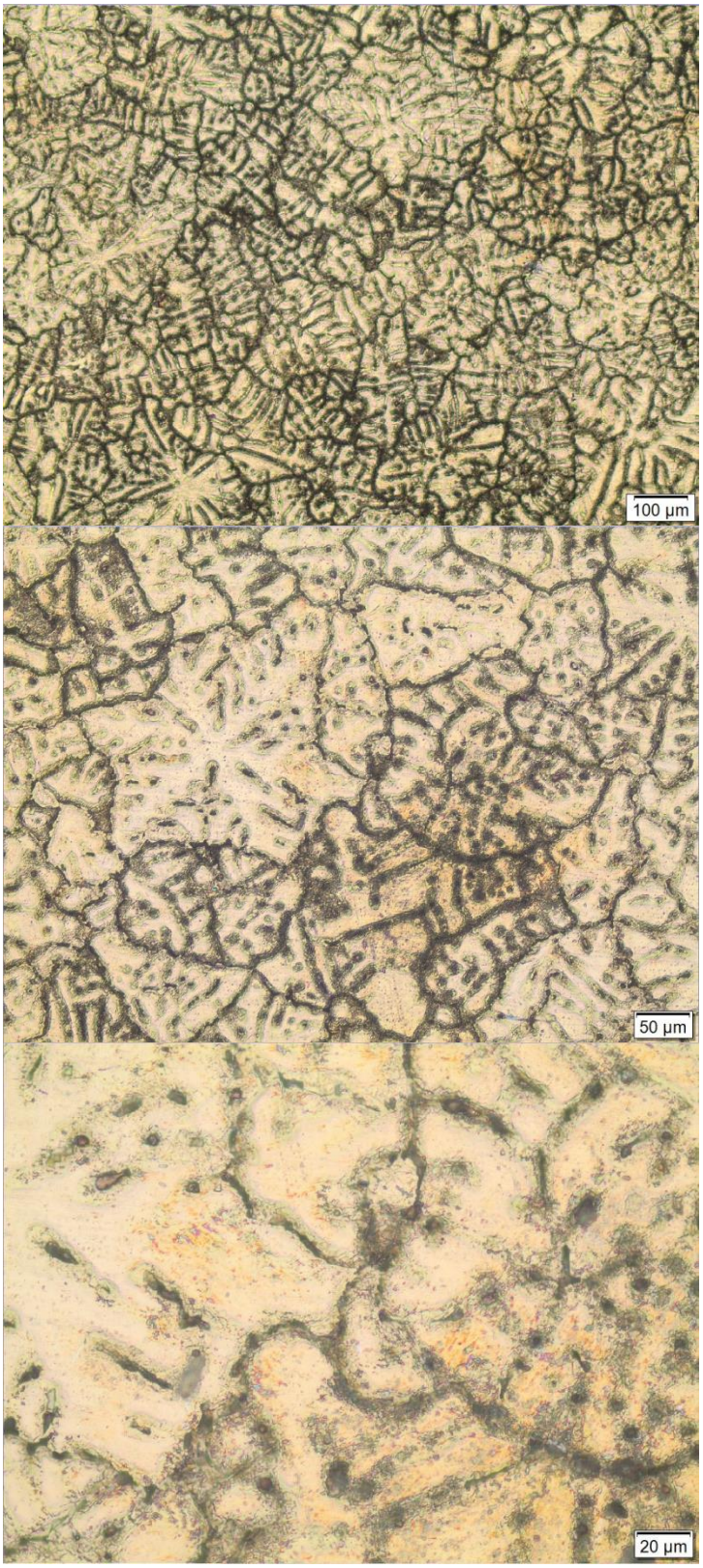
Tablo 9.6'da meteryal metod kısmında yer alan çekme numunelerinin; çekme ve mikrosertlik testi sonrası akma dayanımı, çekme dayanımı, kırılma tokluğu, % uzama ve mikro sertlik değerleri verilmiştir



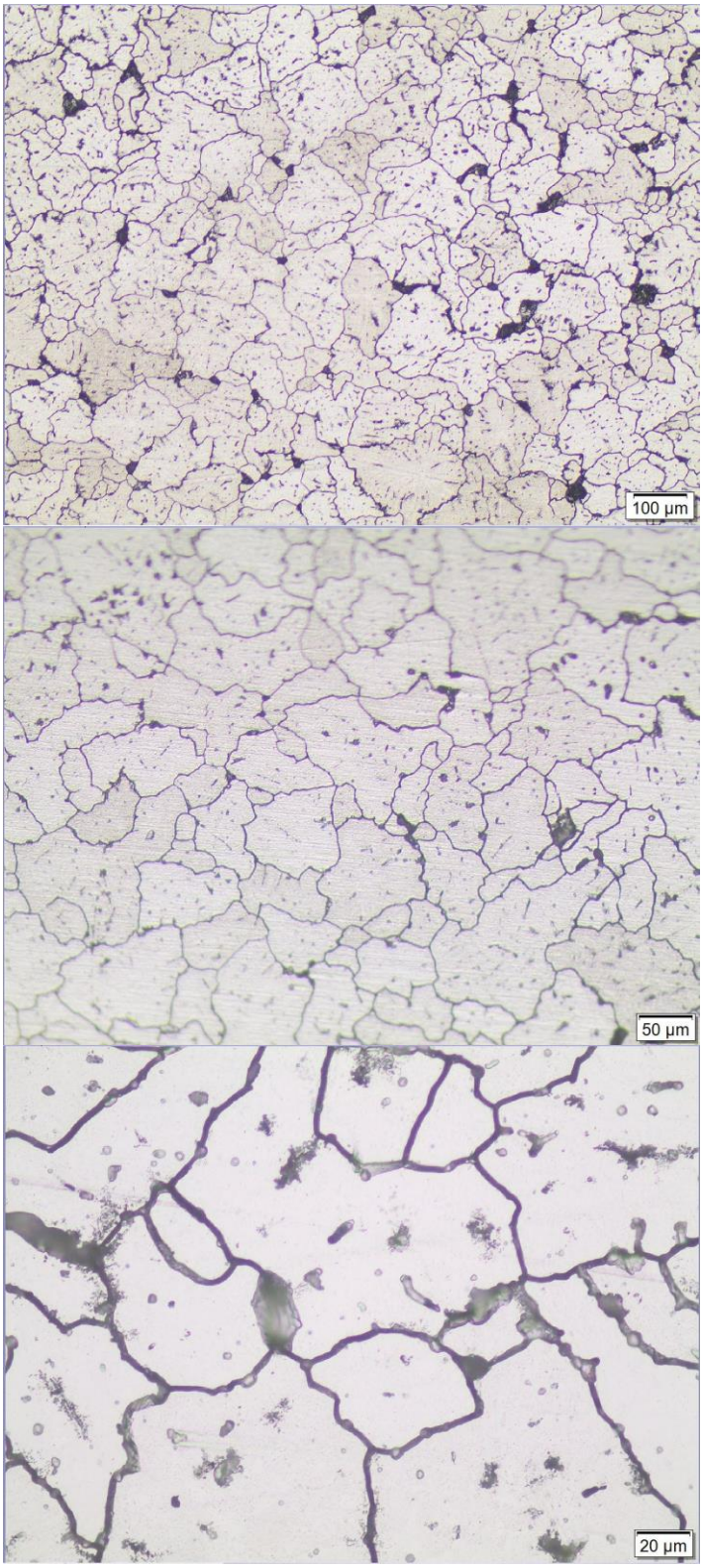
Şekil 9.4. İki numaralı numunelerinin döküm sonrası optik mikroskop mikroyapısının görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



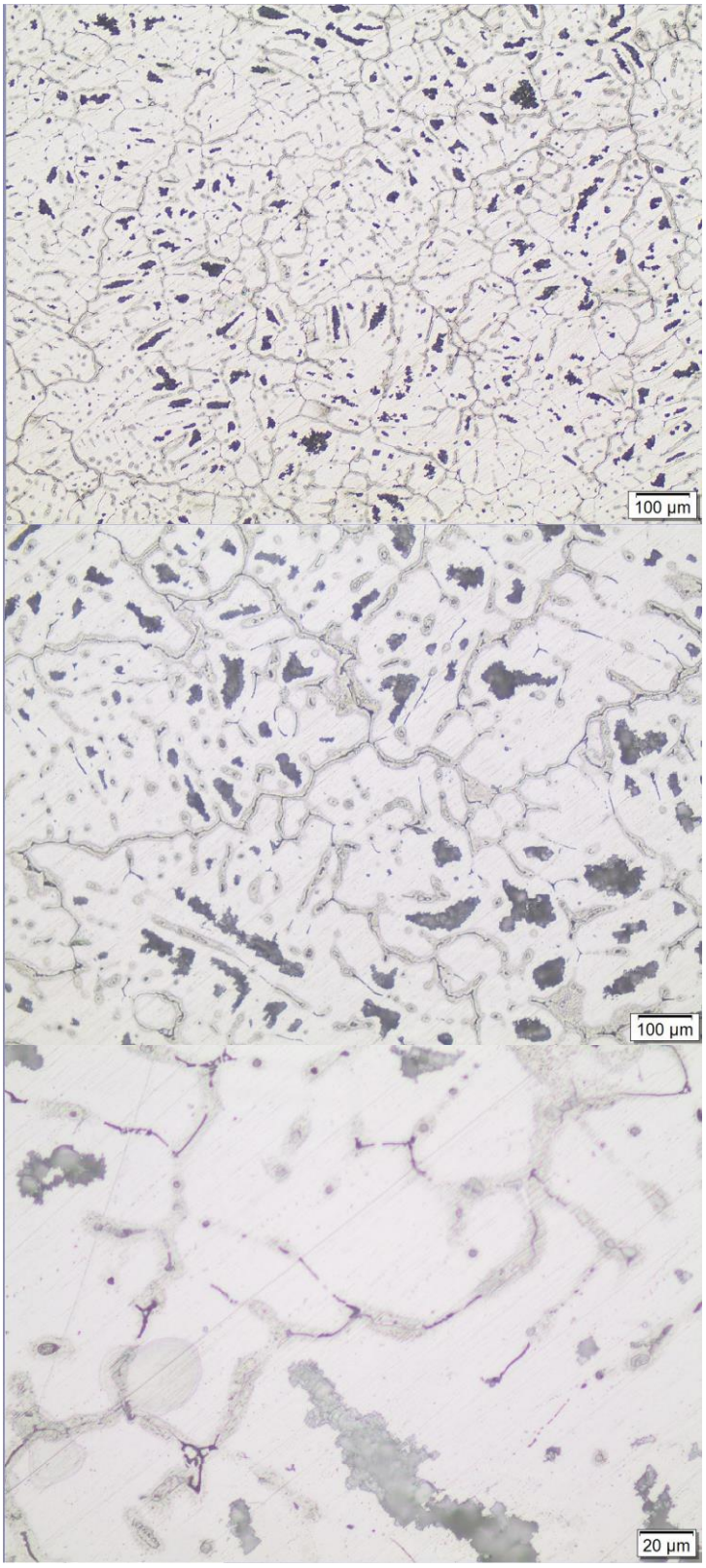
Şekil 9.5. İki numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



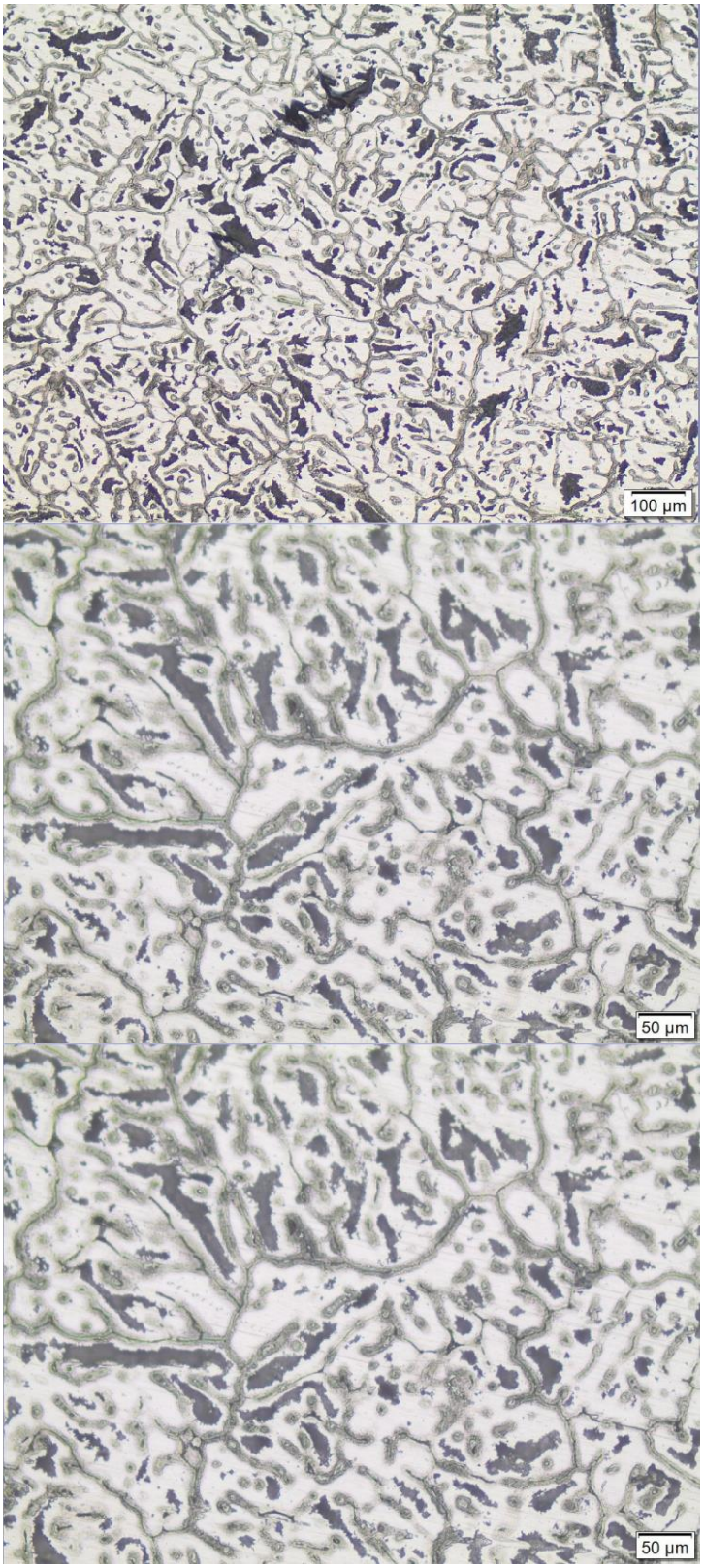
Şekil 9.6. Üç numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



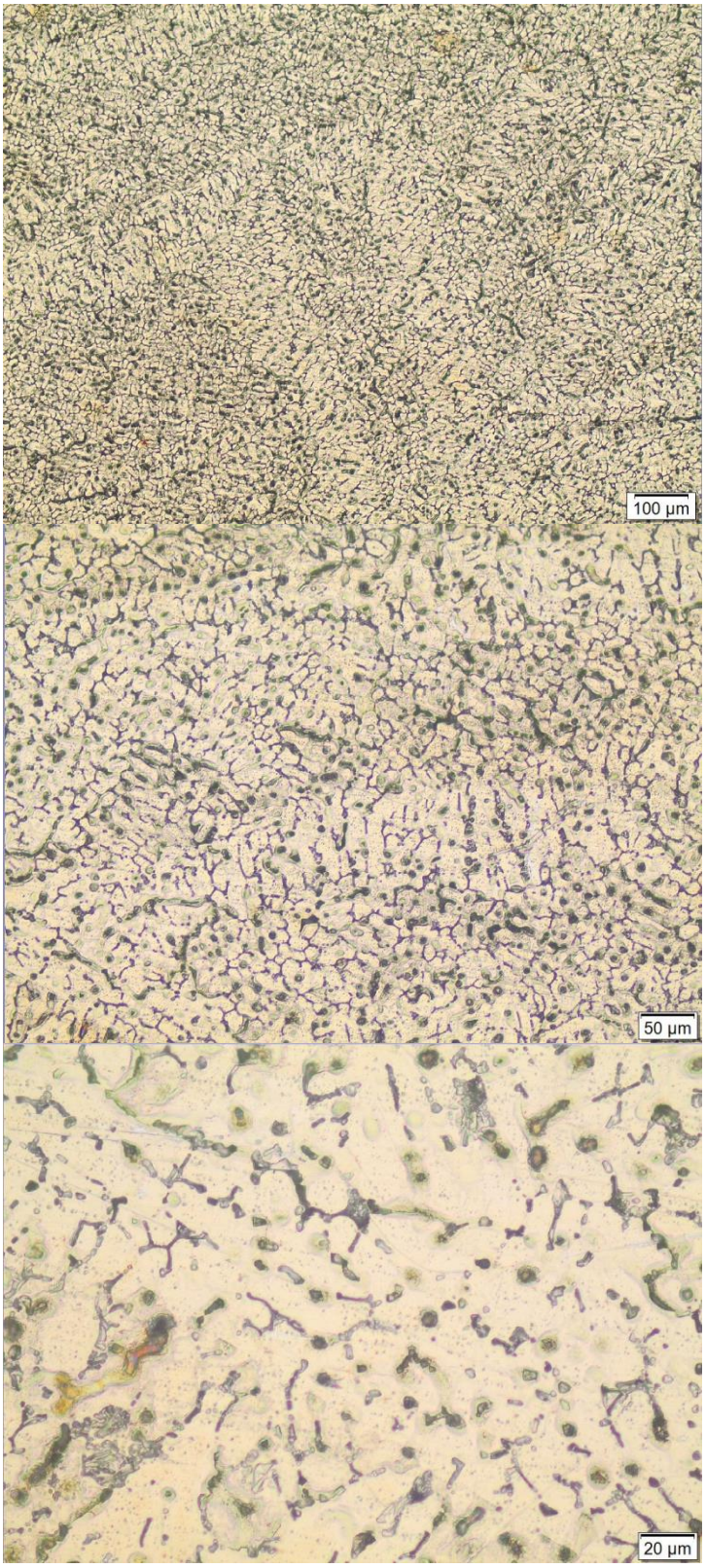
Şekil 9.7. Üç numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



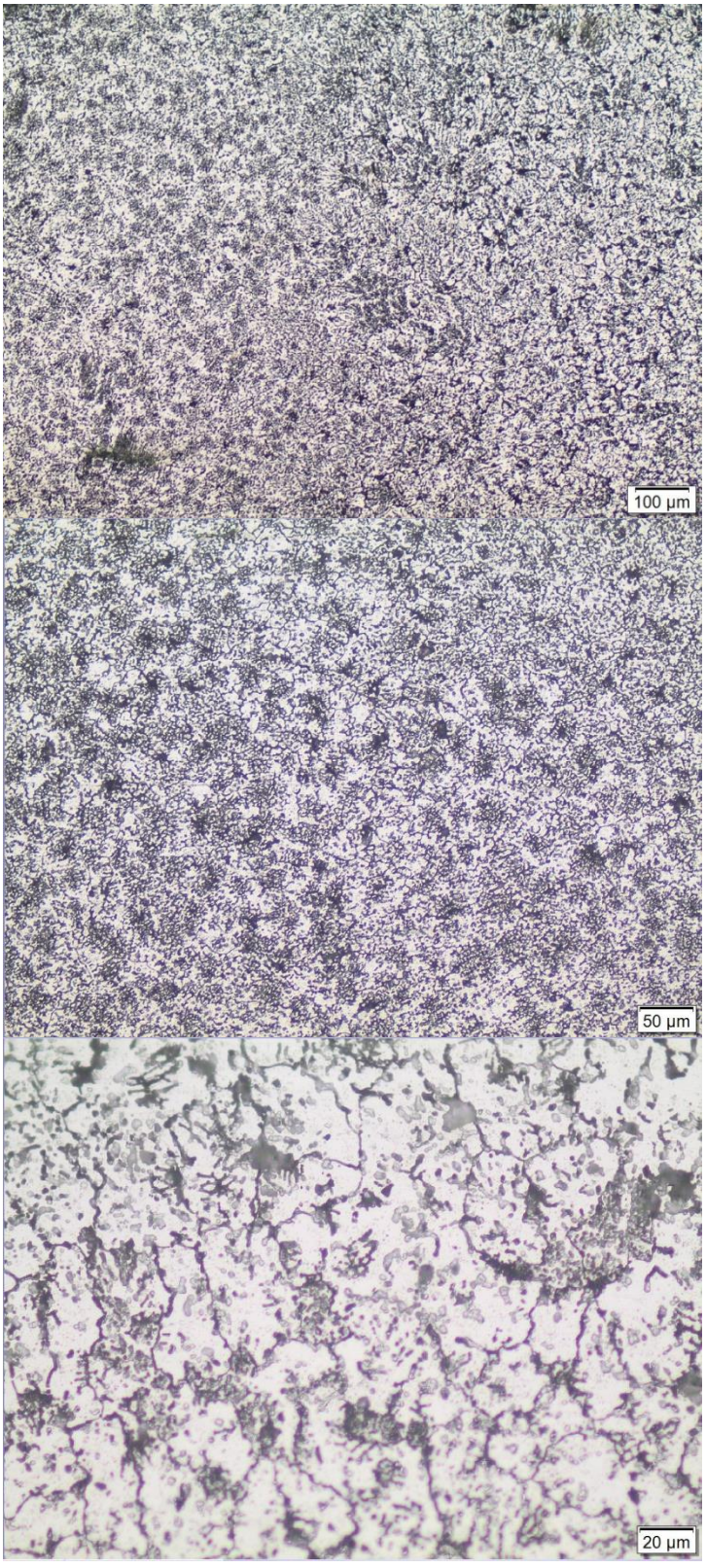
Şekil 9.8. Dört numaralı numunelerinin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, numunenin



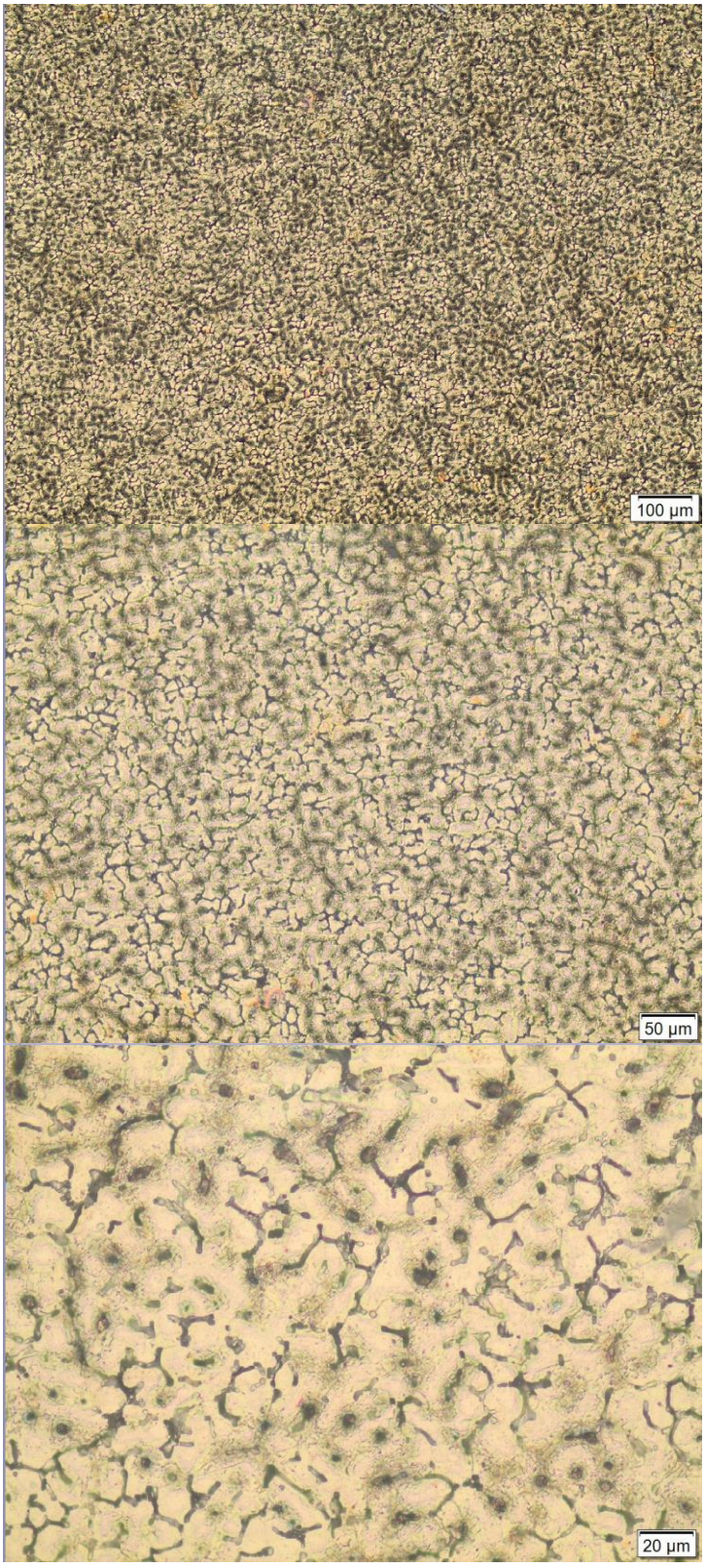
Şekil 9.9. Dört numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



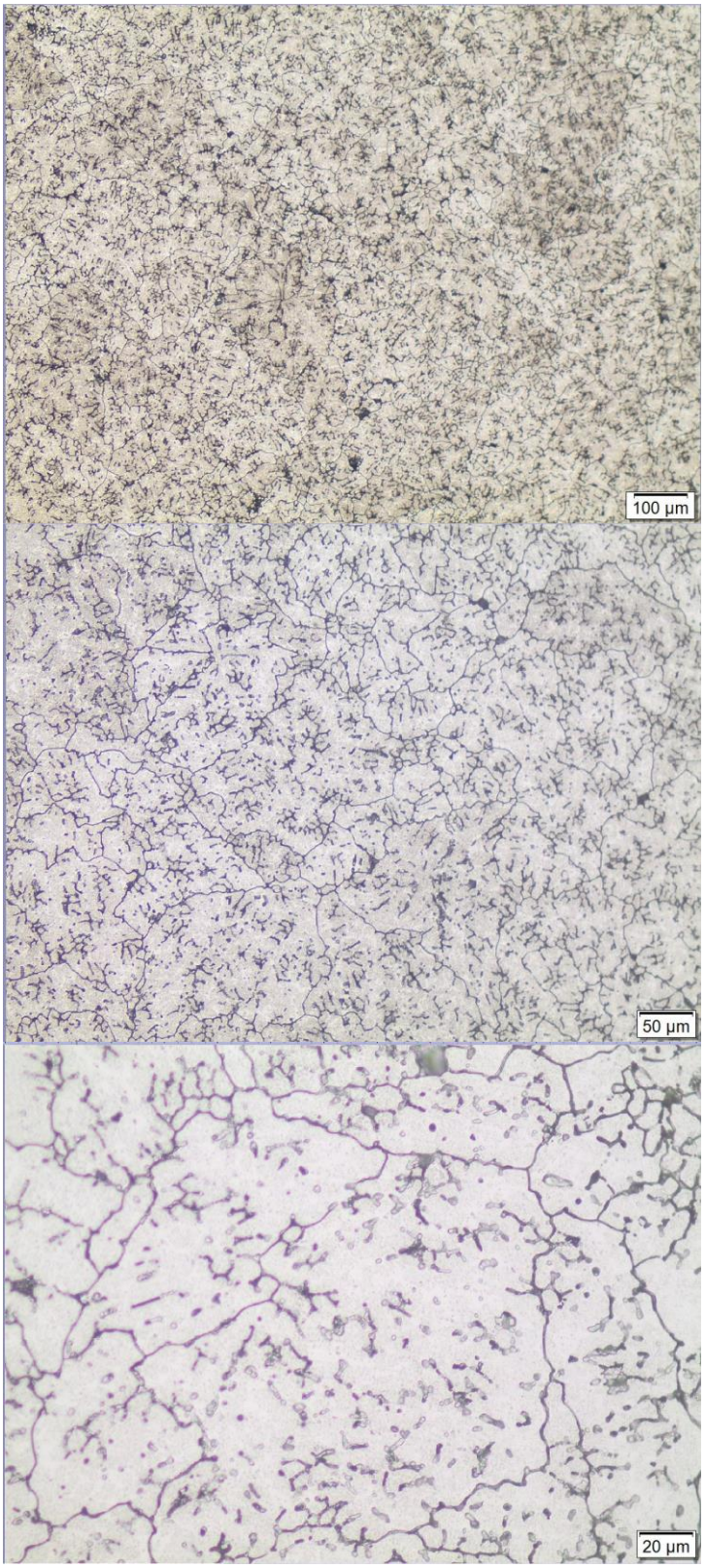
Şekil 9.10. Beş numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



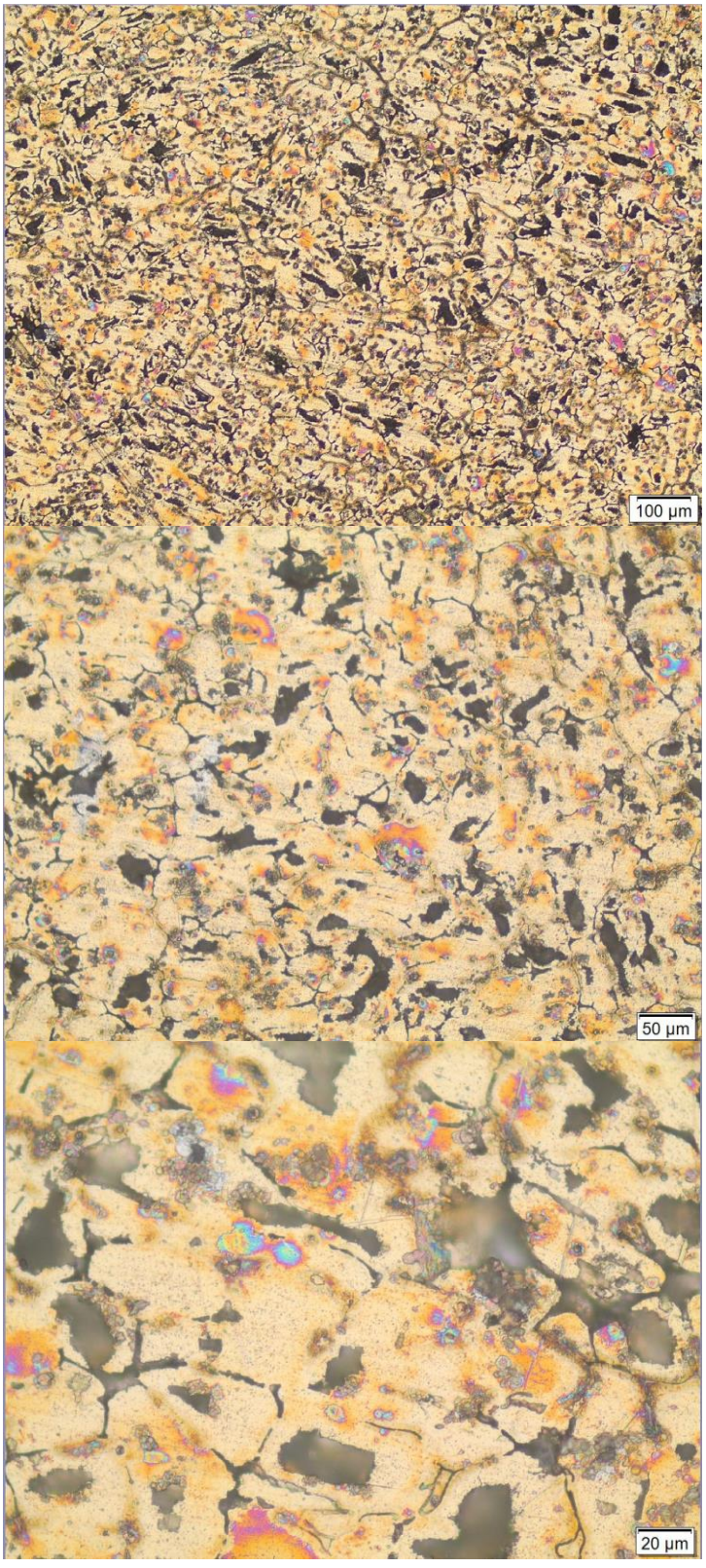
Şekil 9.11. Beş numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



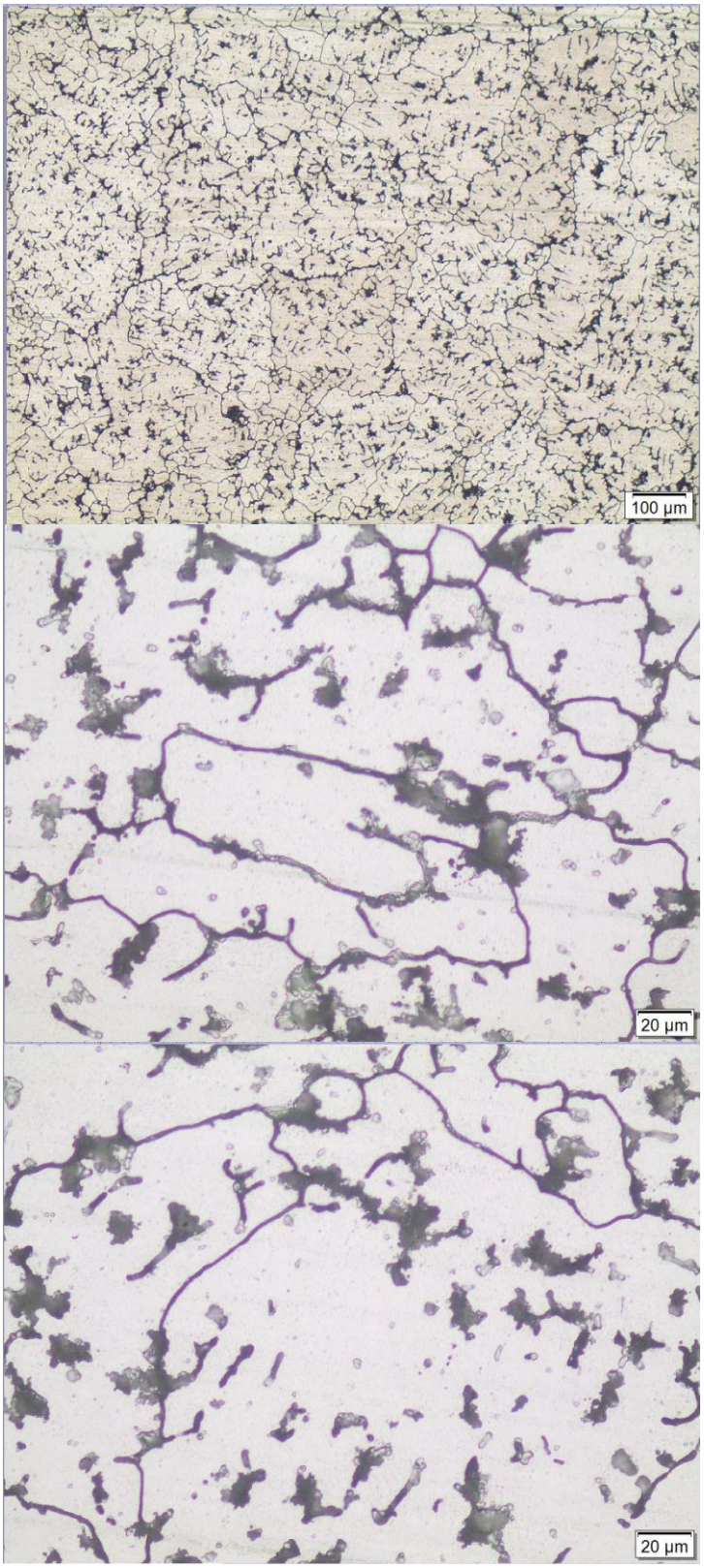
Şekil 9.12. Altı numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



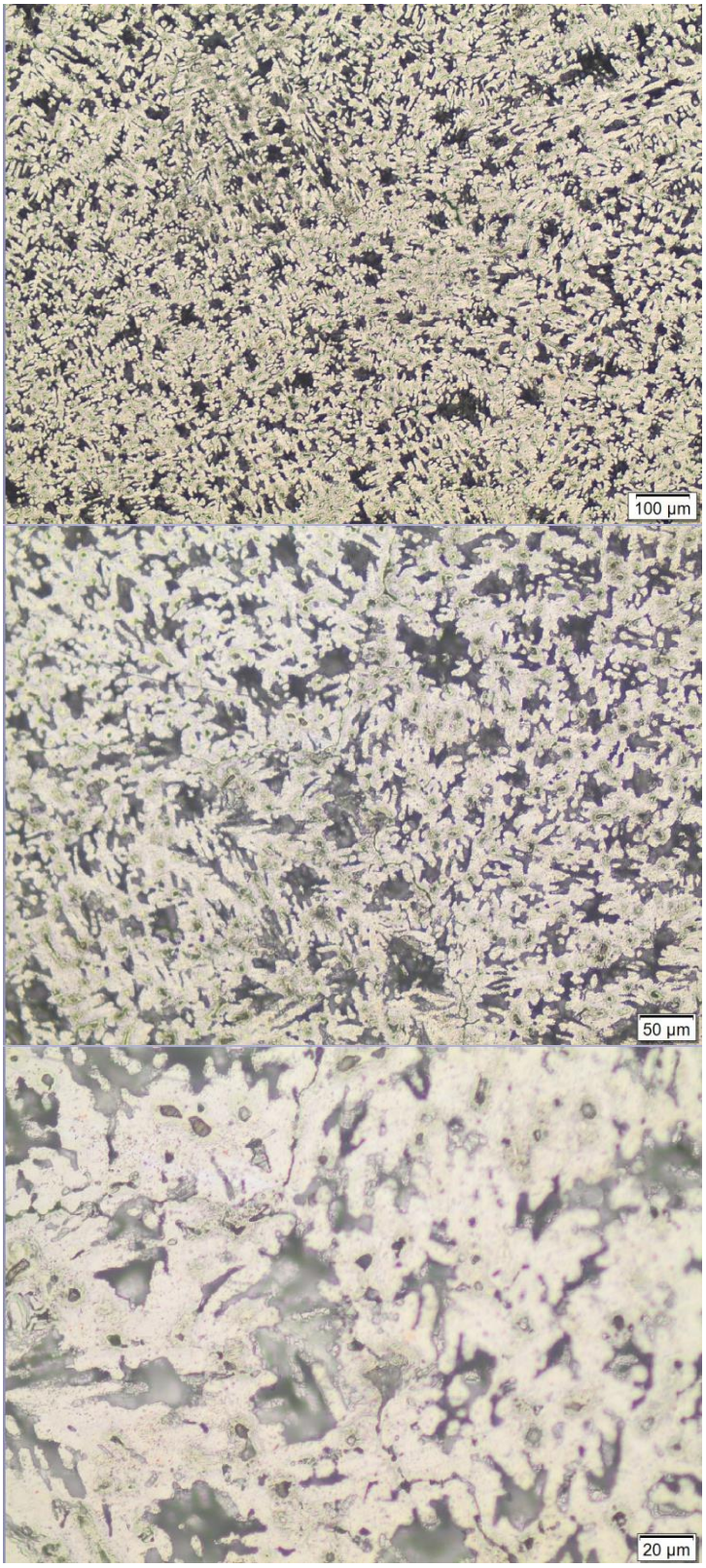
Şekil 9.13. Altı numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



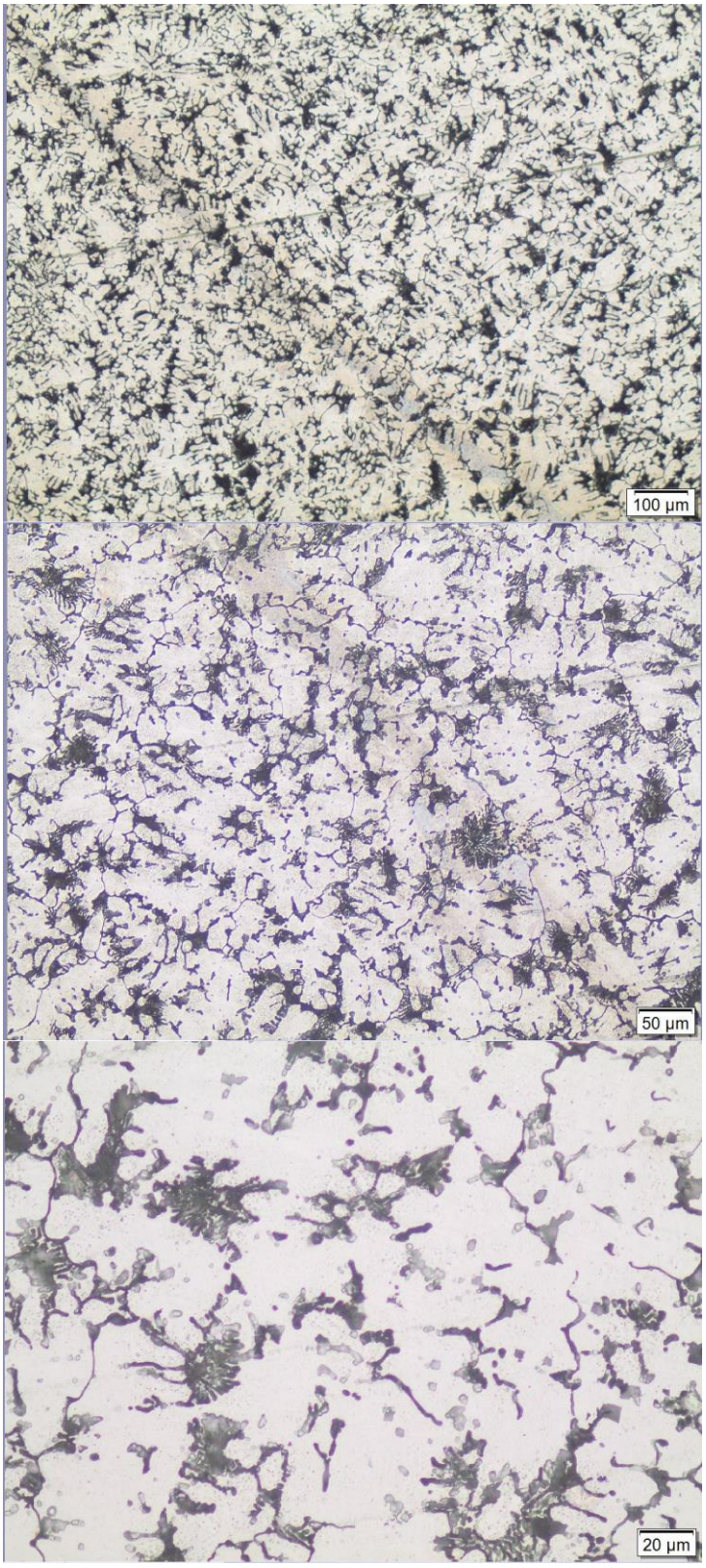
Şekil 9.14. Yedi numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



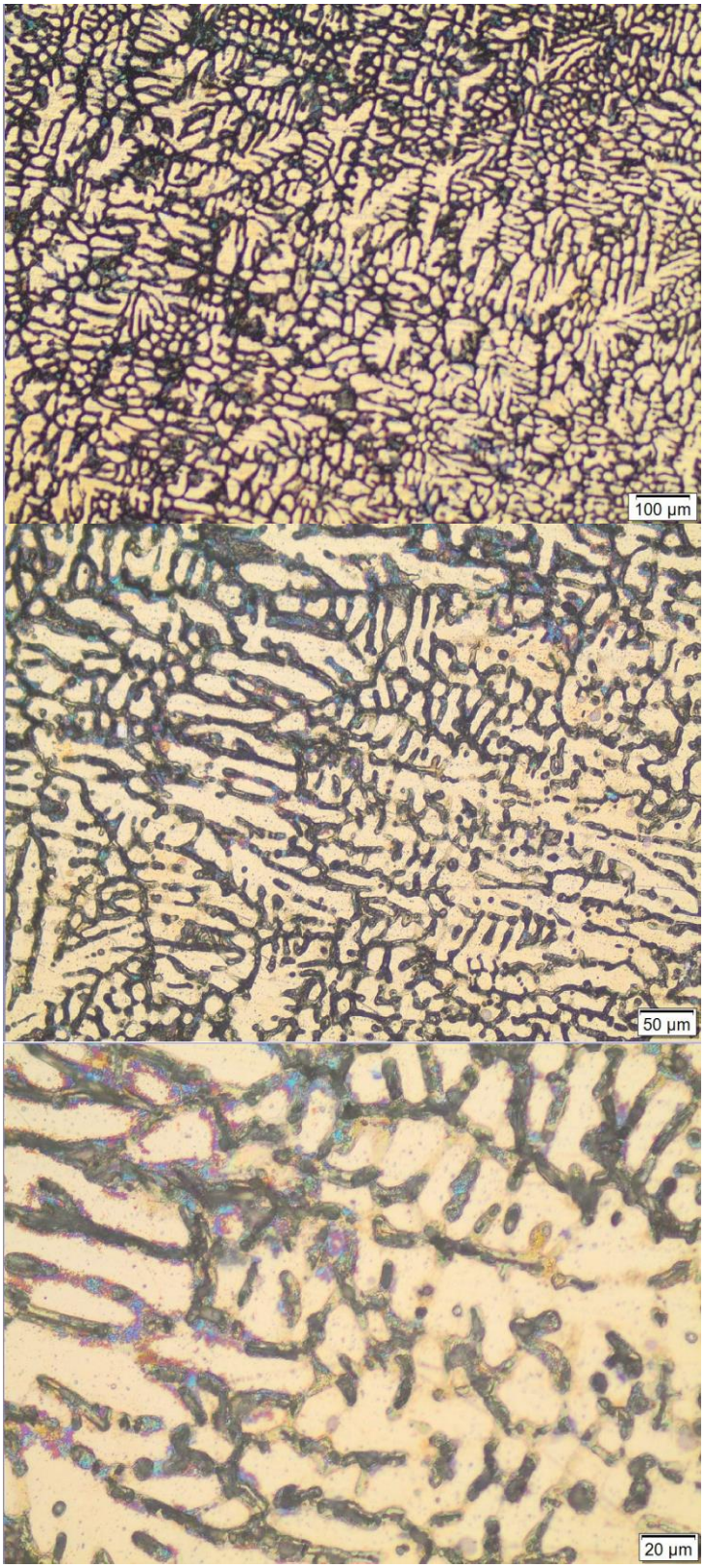
Şekil 9.15. Yedi numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



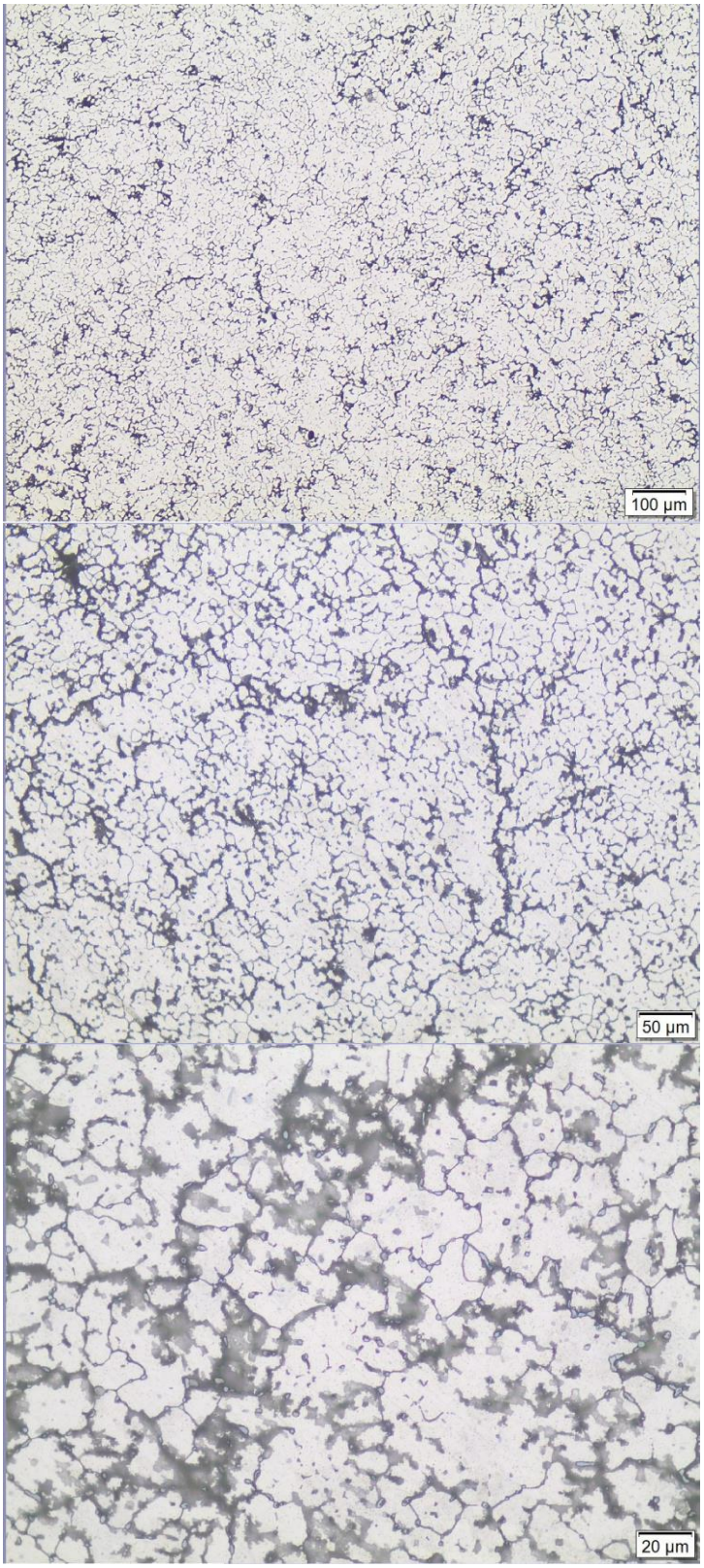
Şekil 9.16. Sekiz numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



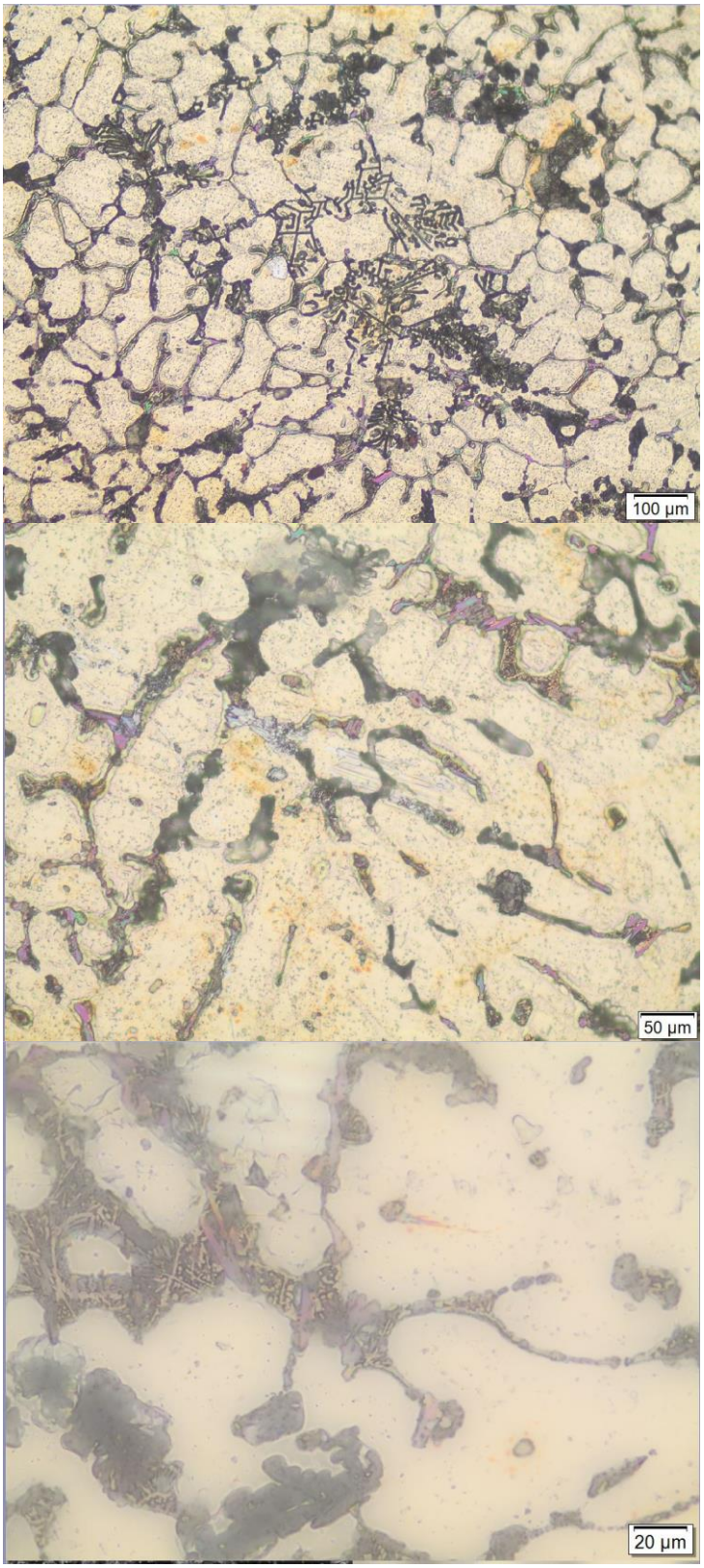
Şekil 9.17. Sekiz numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



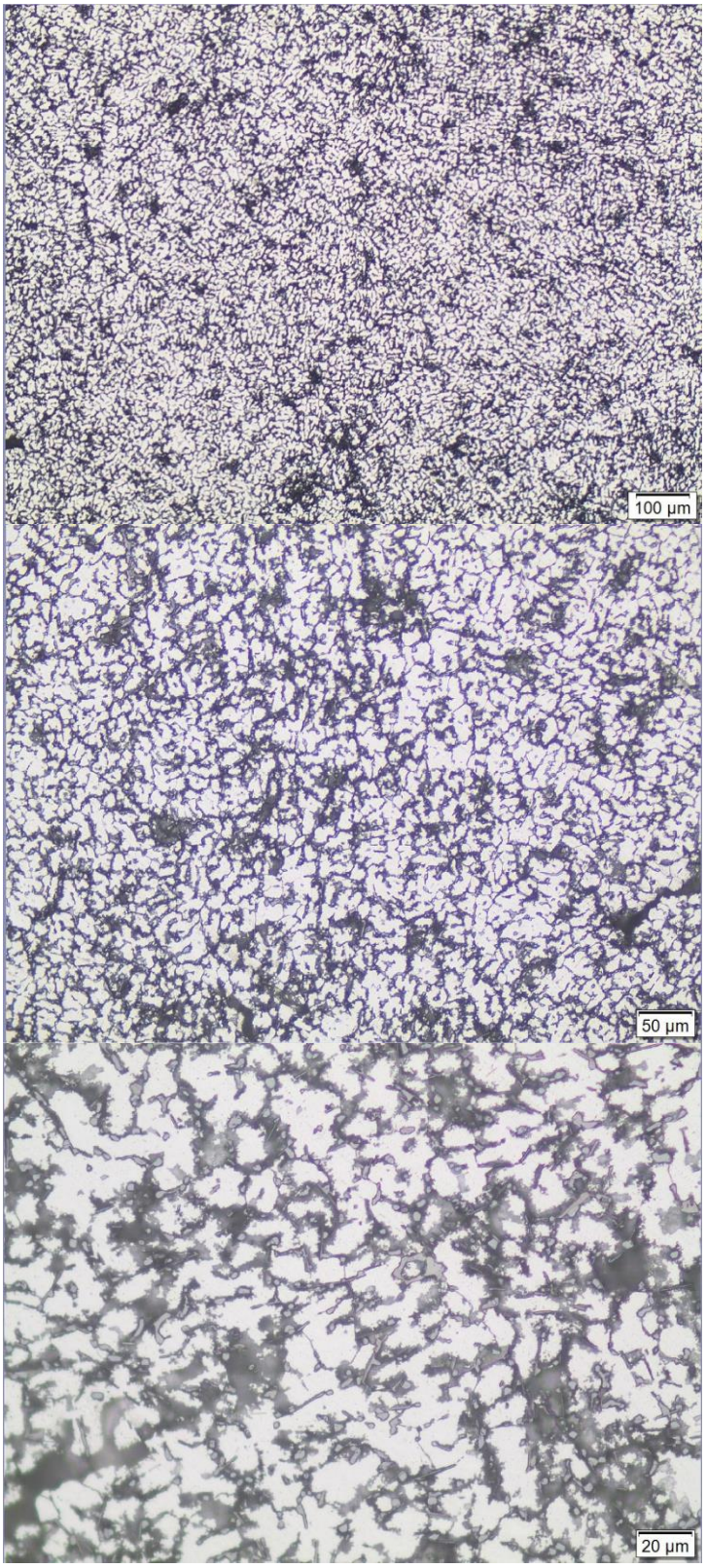
Şekil 9.18. Dokuz numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



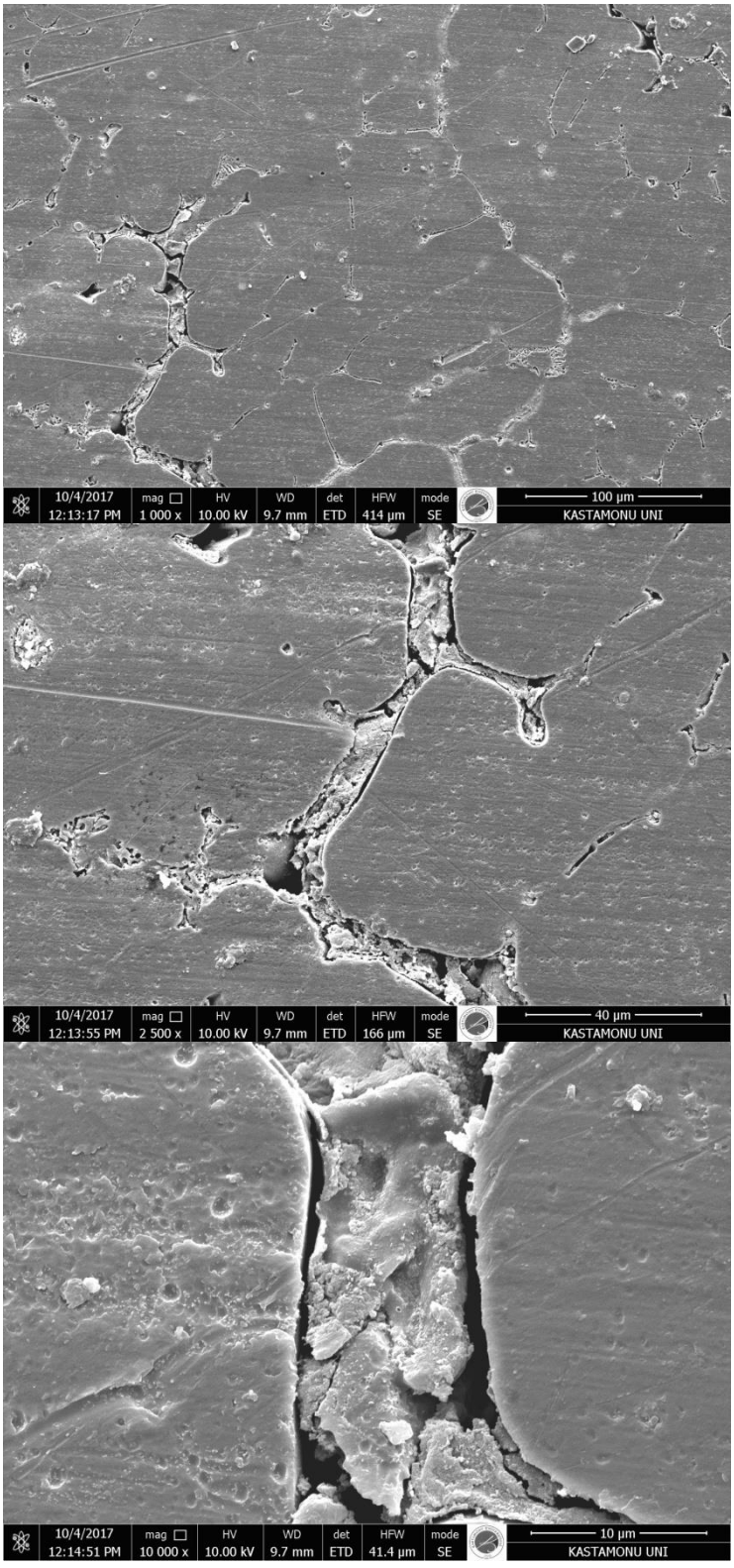
Şekil 9.19. Dokuz numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



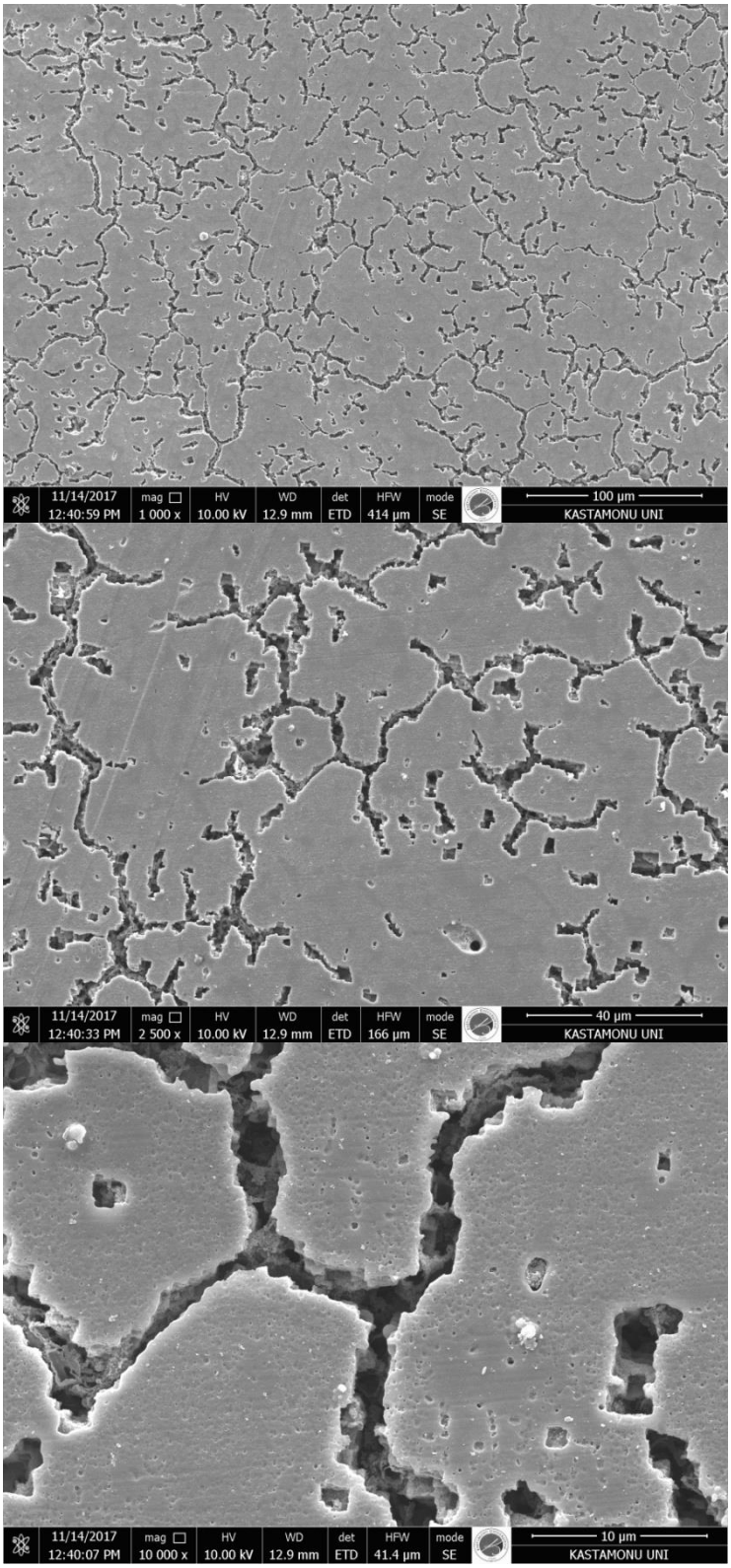
Şekil 9.20. On numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



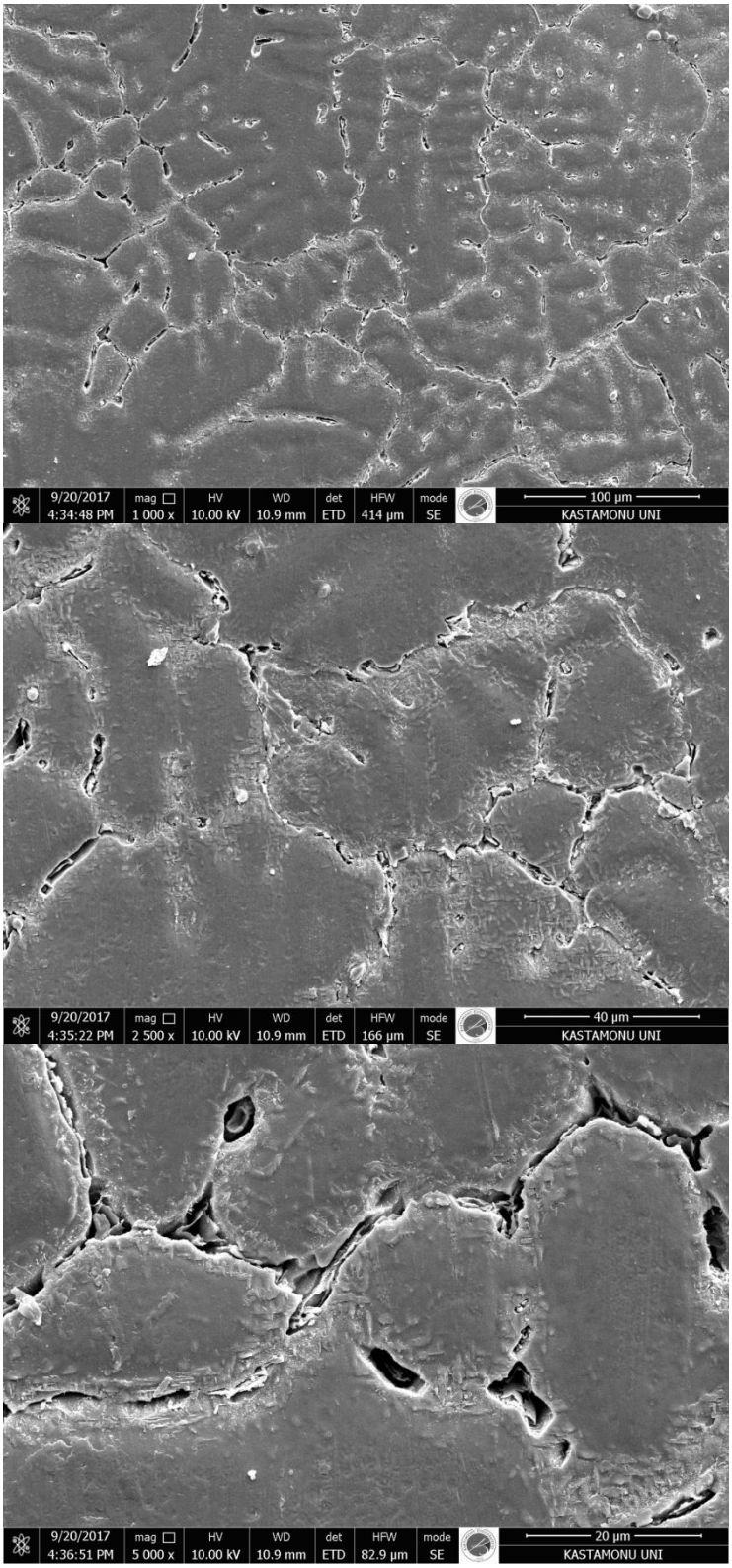
Şekil 9.21. On numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri; aşağıdan yukarı 10x, 20x, 50x



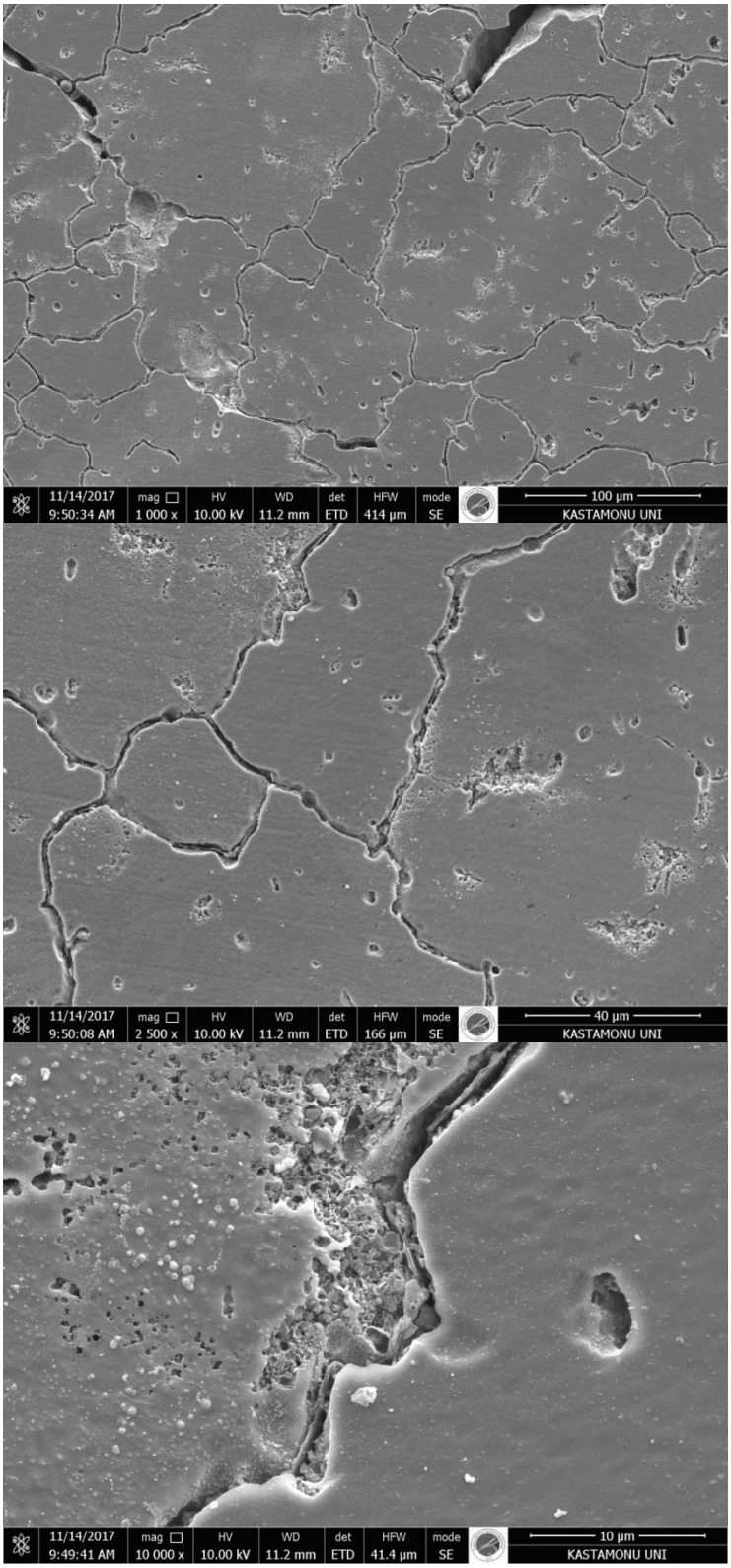
Şekil 9.22. İki numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



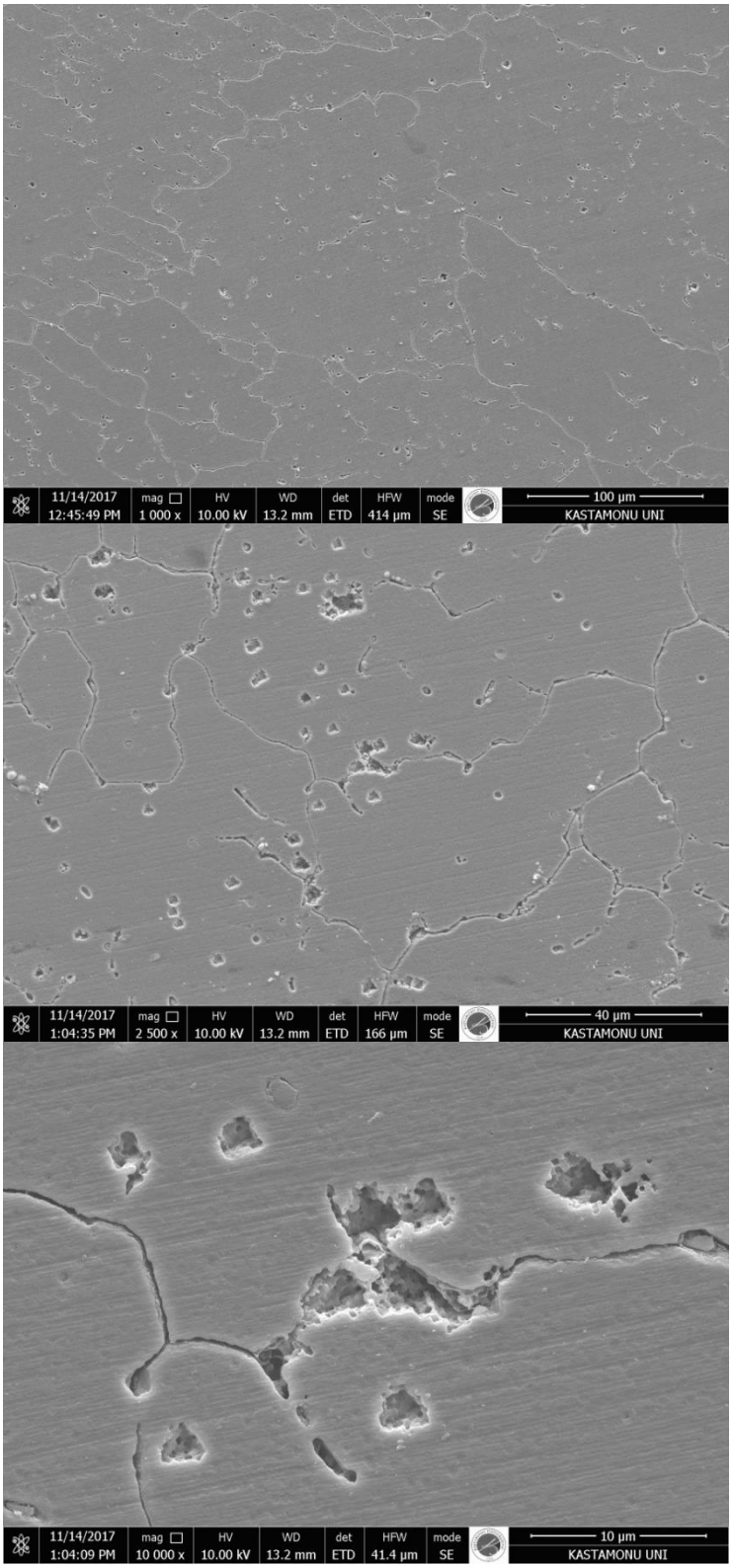
Şekil 9.23. İki numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



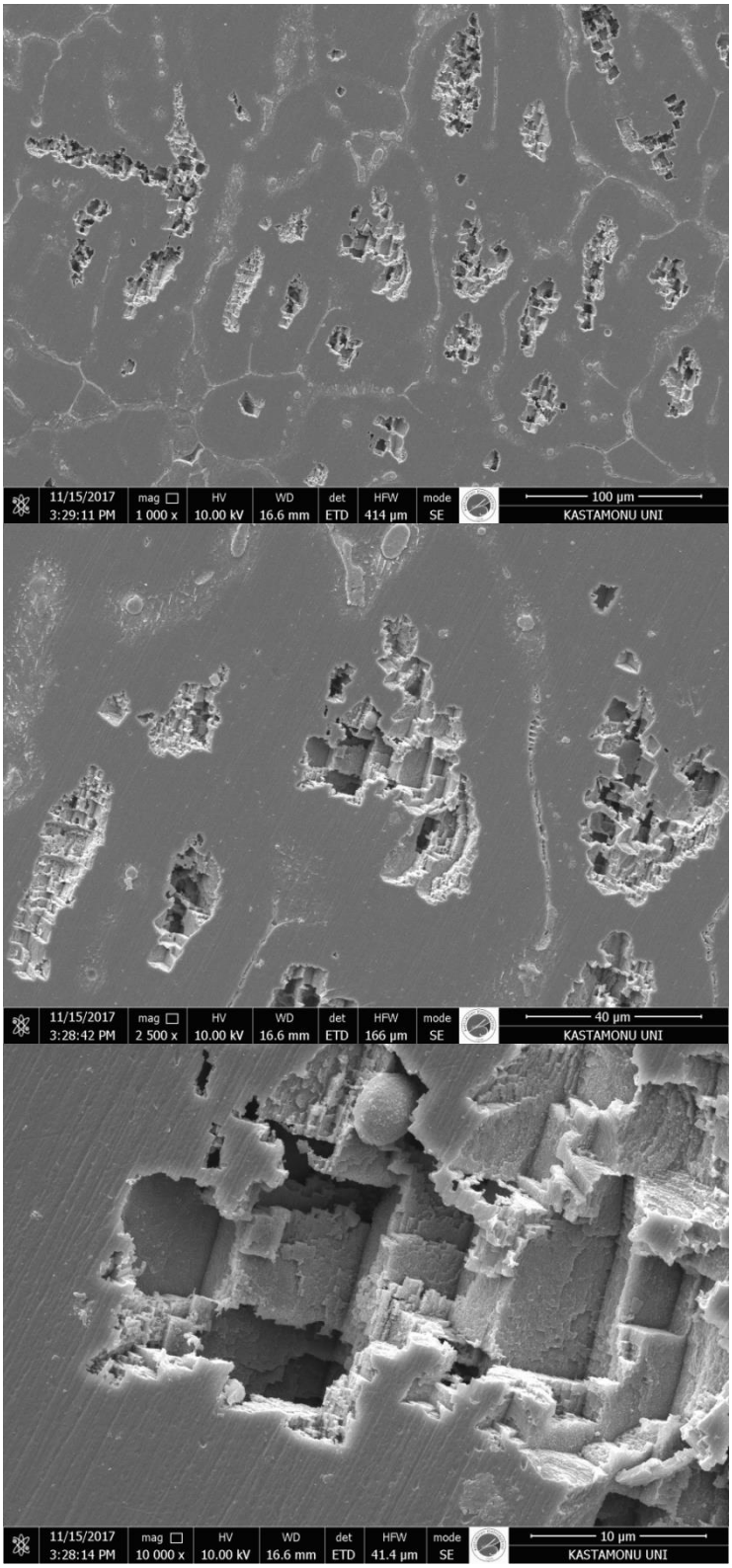
Şekil 9.24. Üç numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



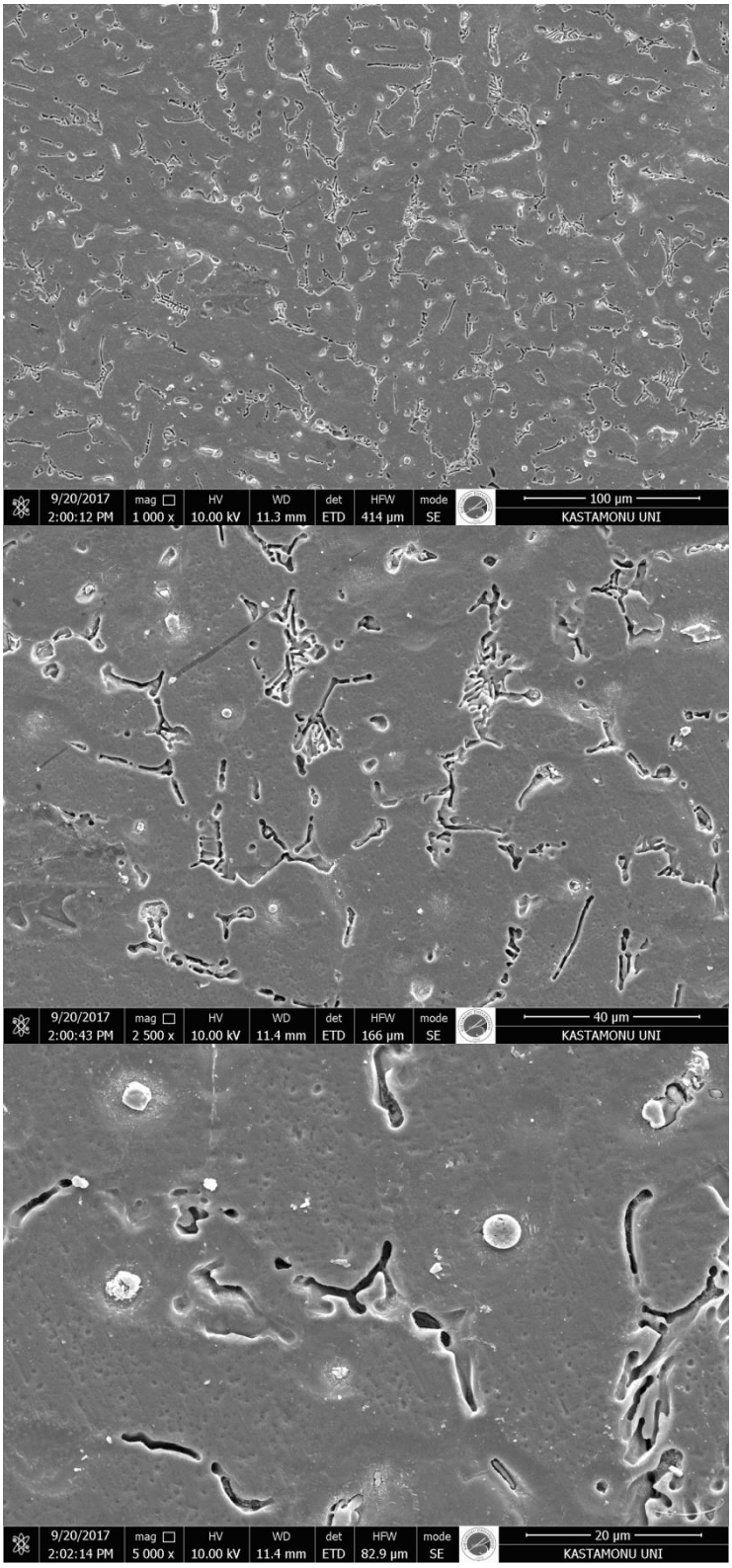
Şekil 9.25. Üç numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



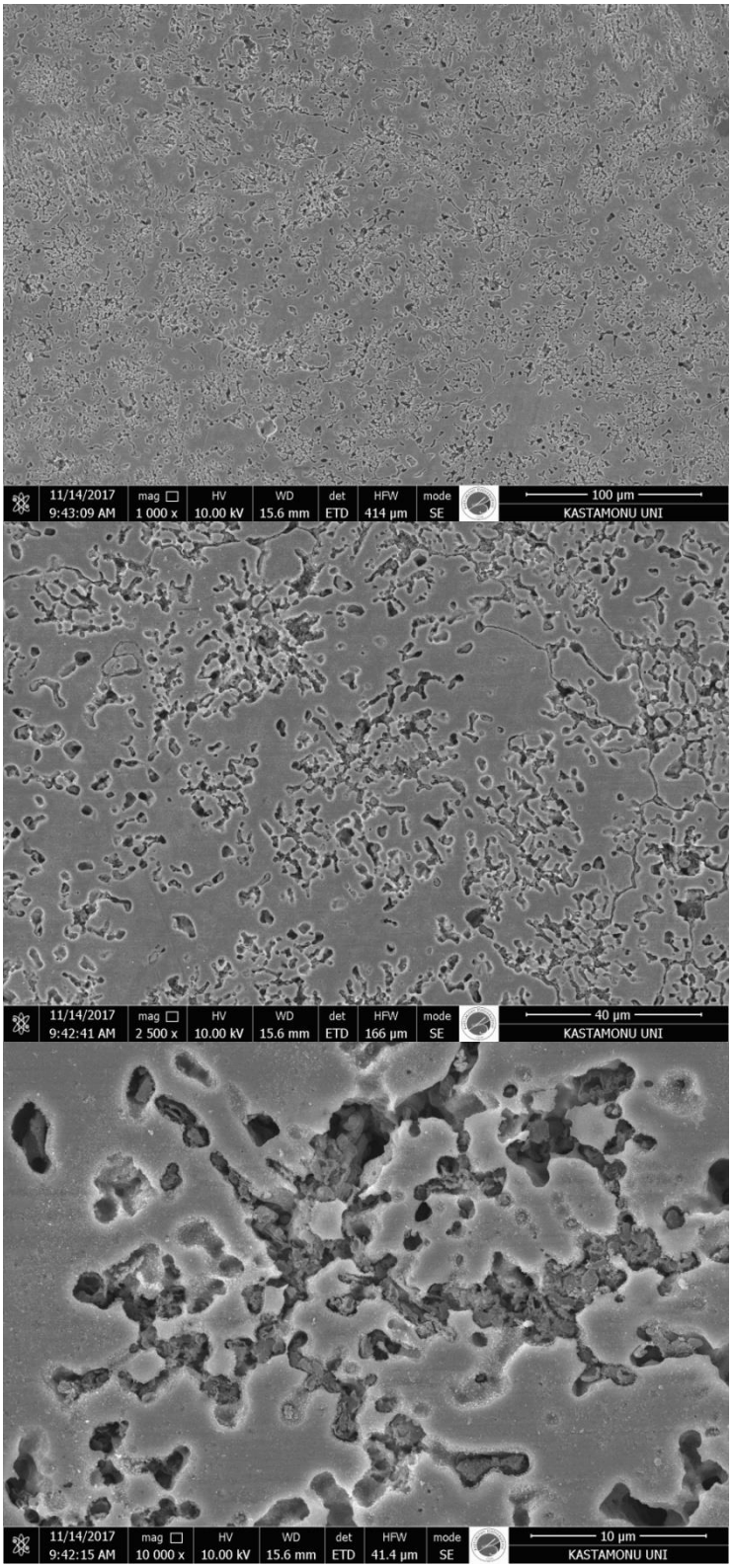
Şekil 9.26. Dört numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



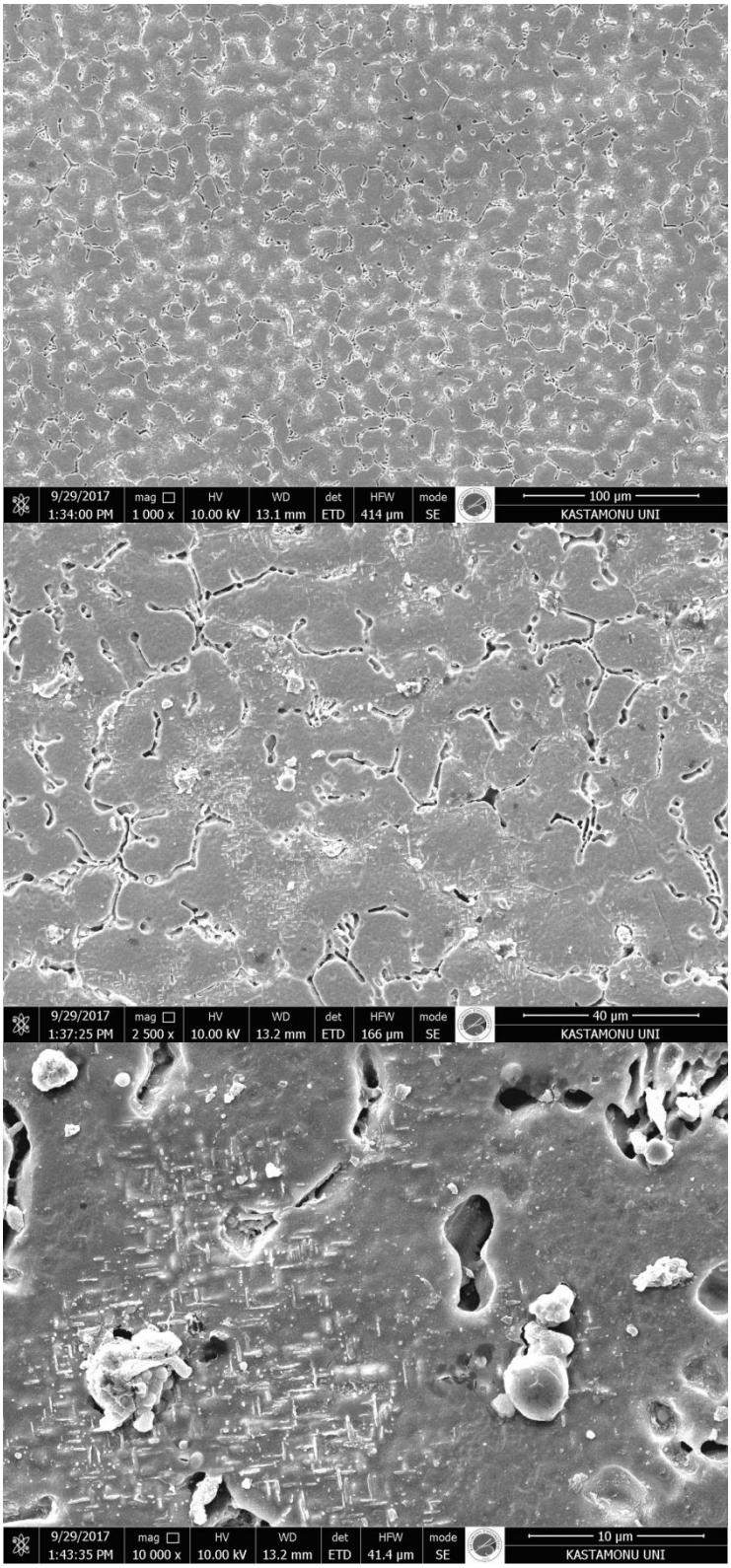
Şekil 9.27. Dört numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



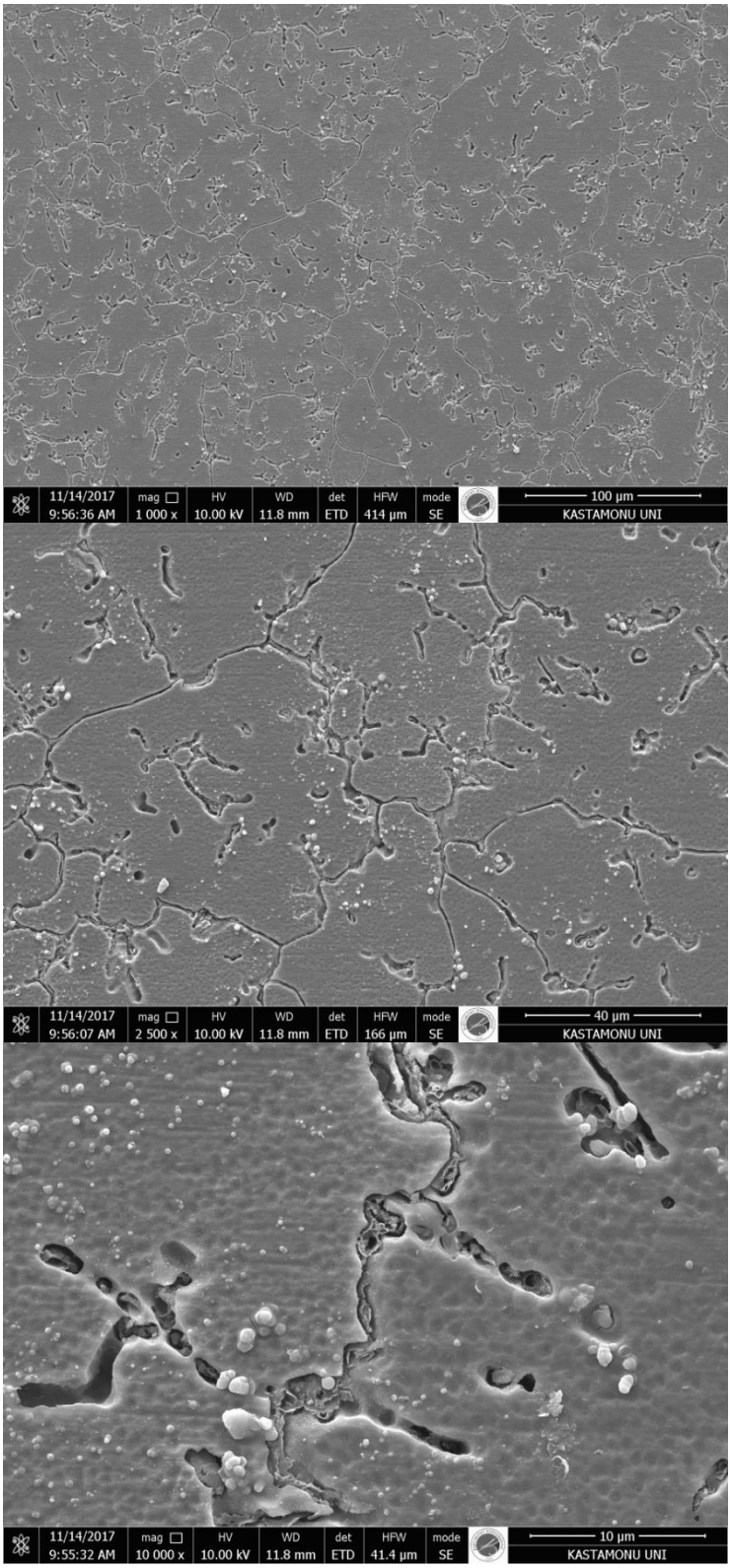
Şekil 9.28. Beş numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 5000 x



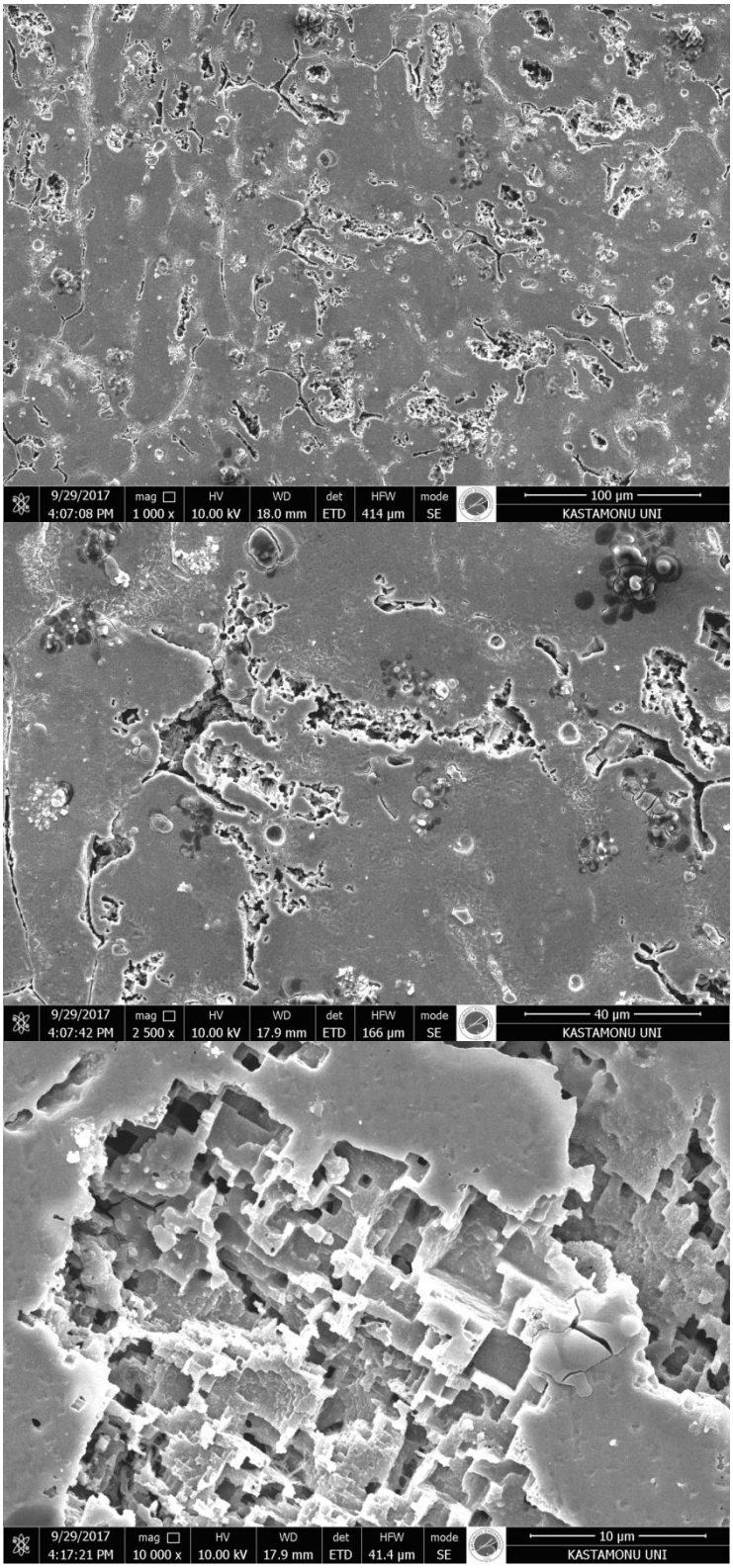
Şekil 9.29. Beş numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



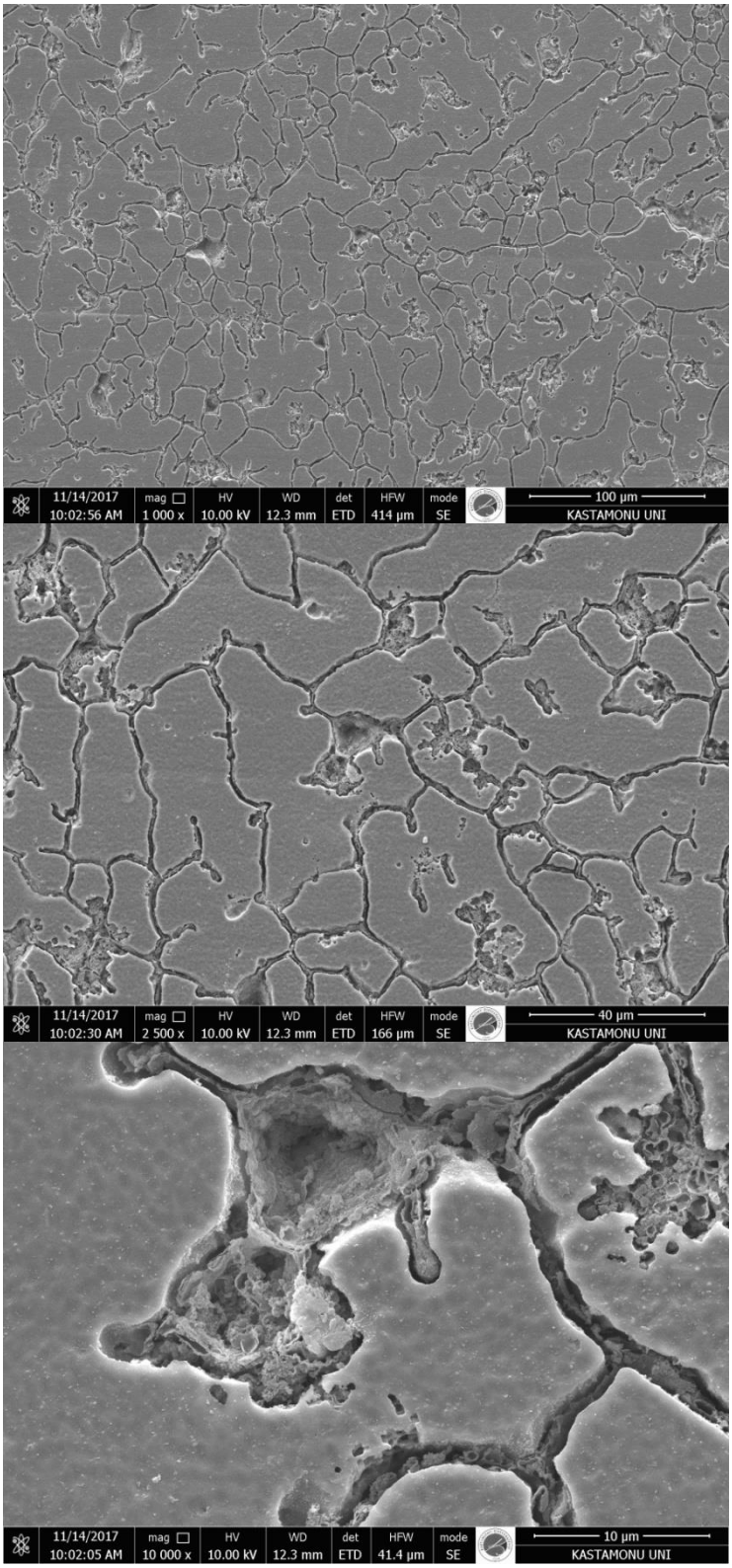
Şekil 9.30. Altı numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



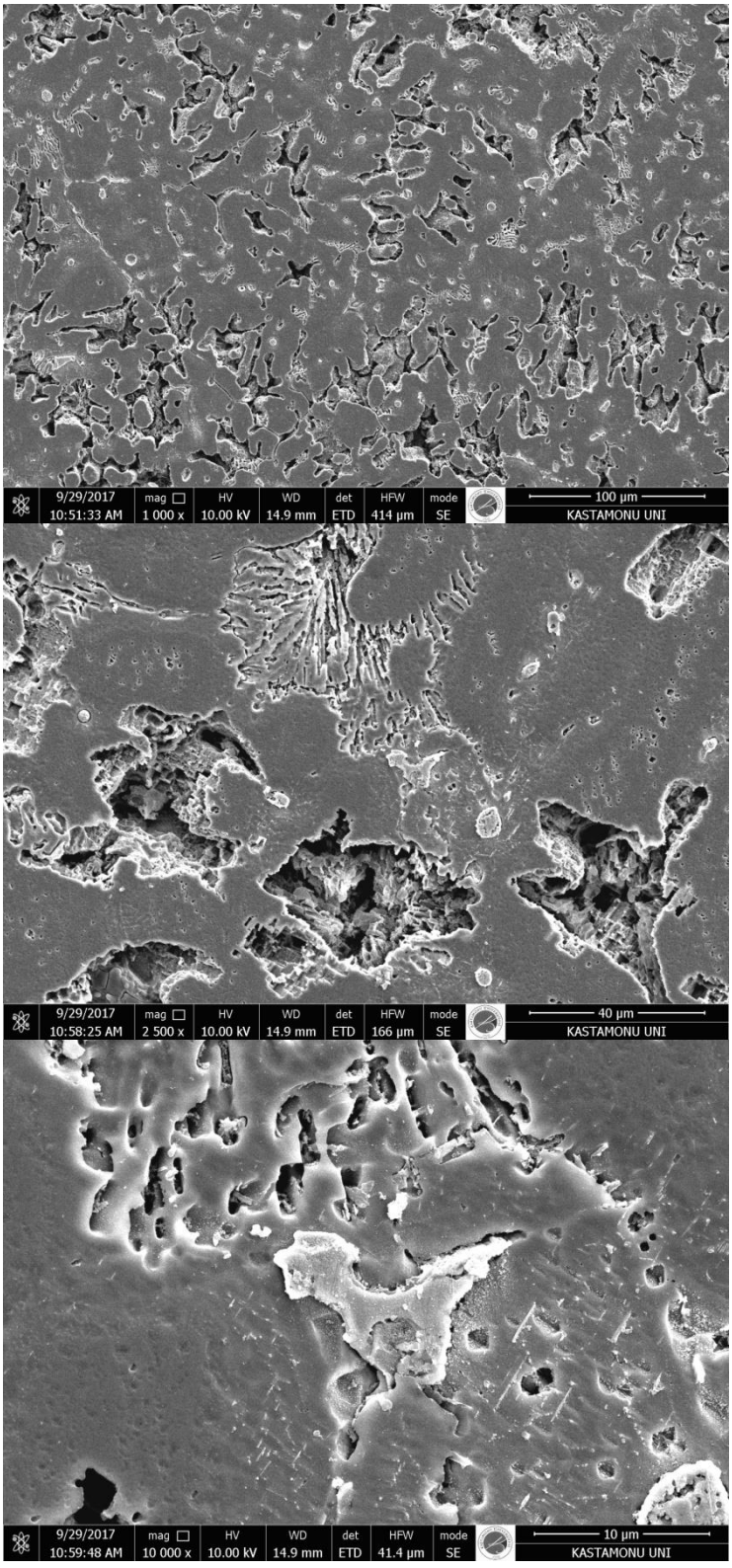
Şekil 9.31. Altı numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



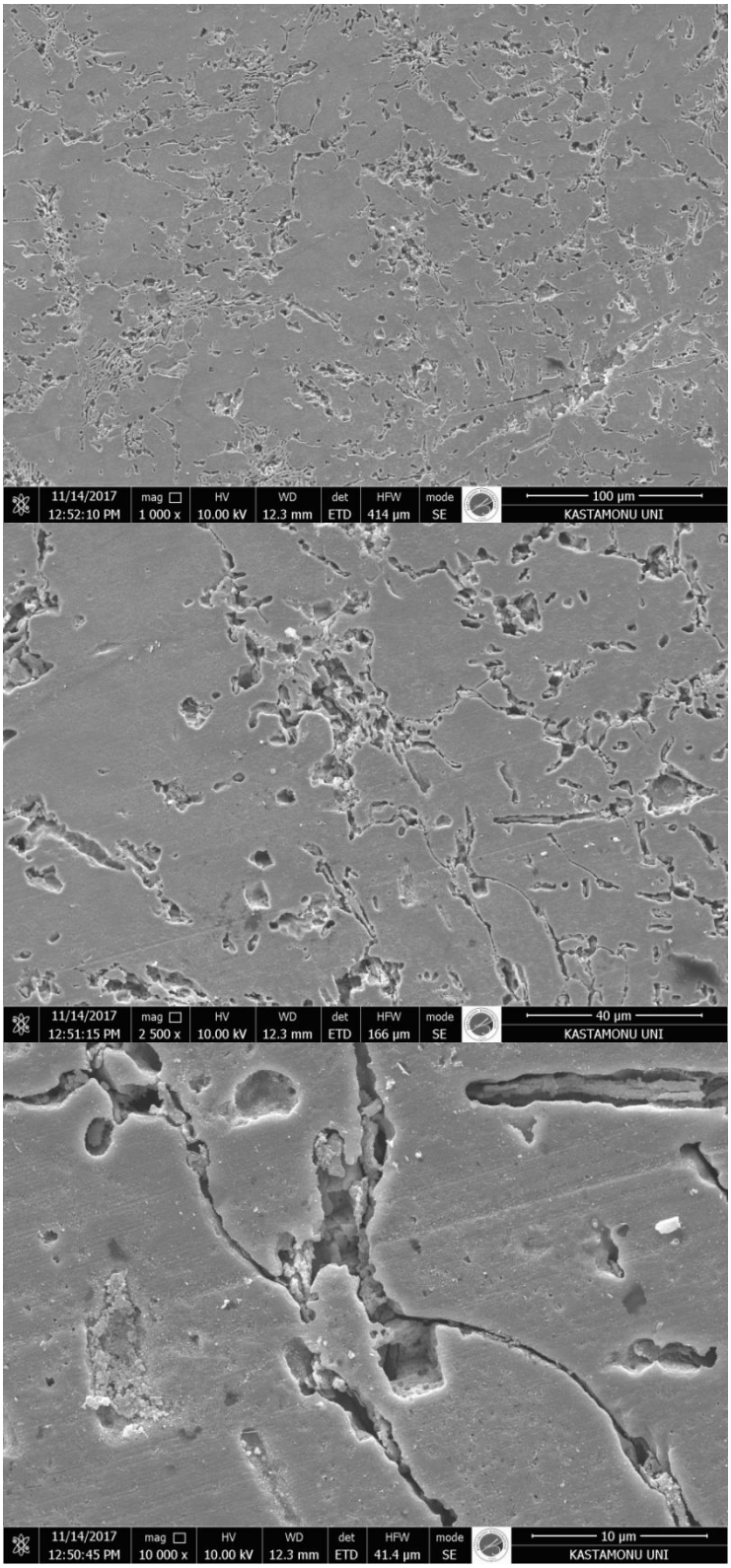
Şekil 9.32. Yedi numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



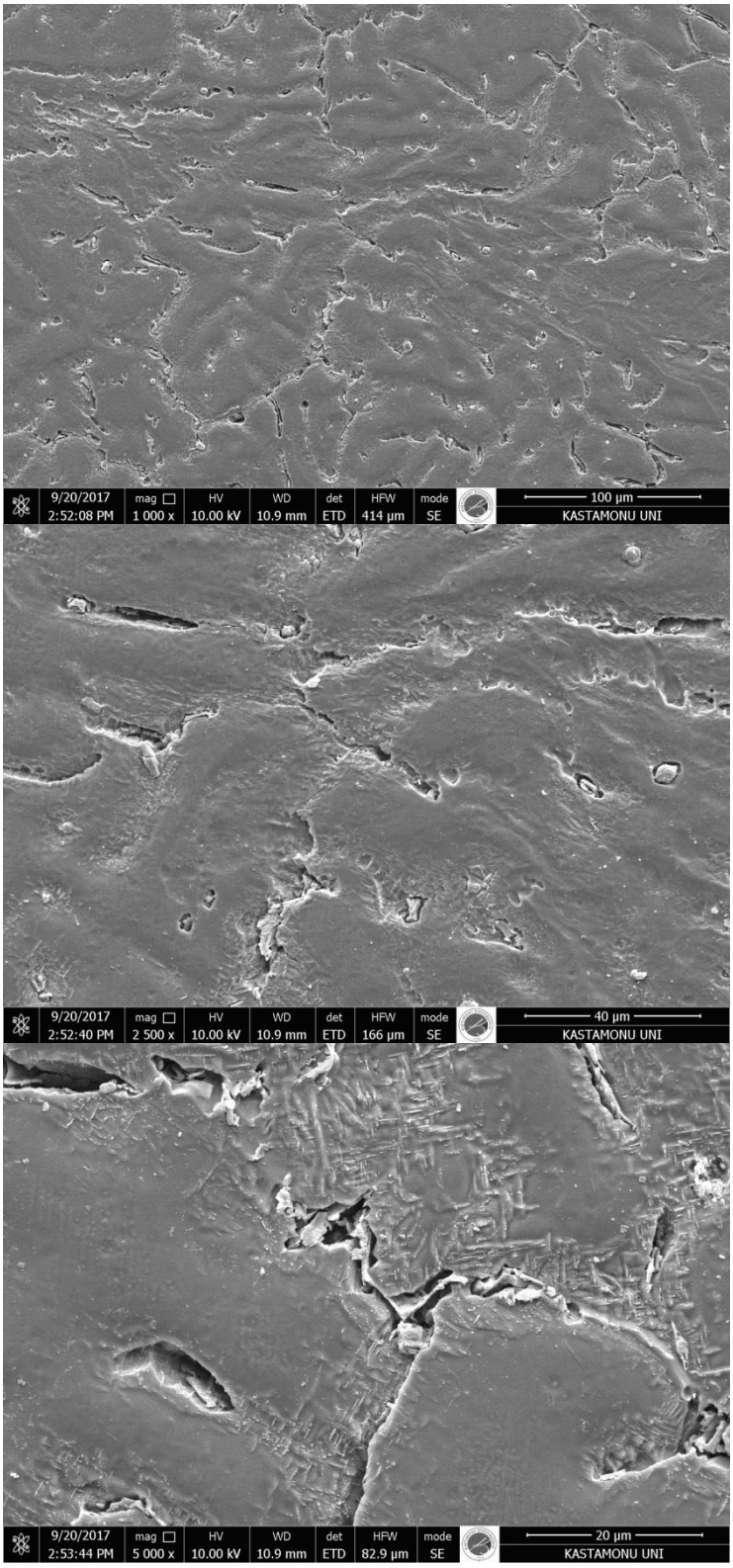
Şekil 9.33. Yedi numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



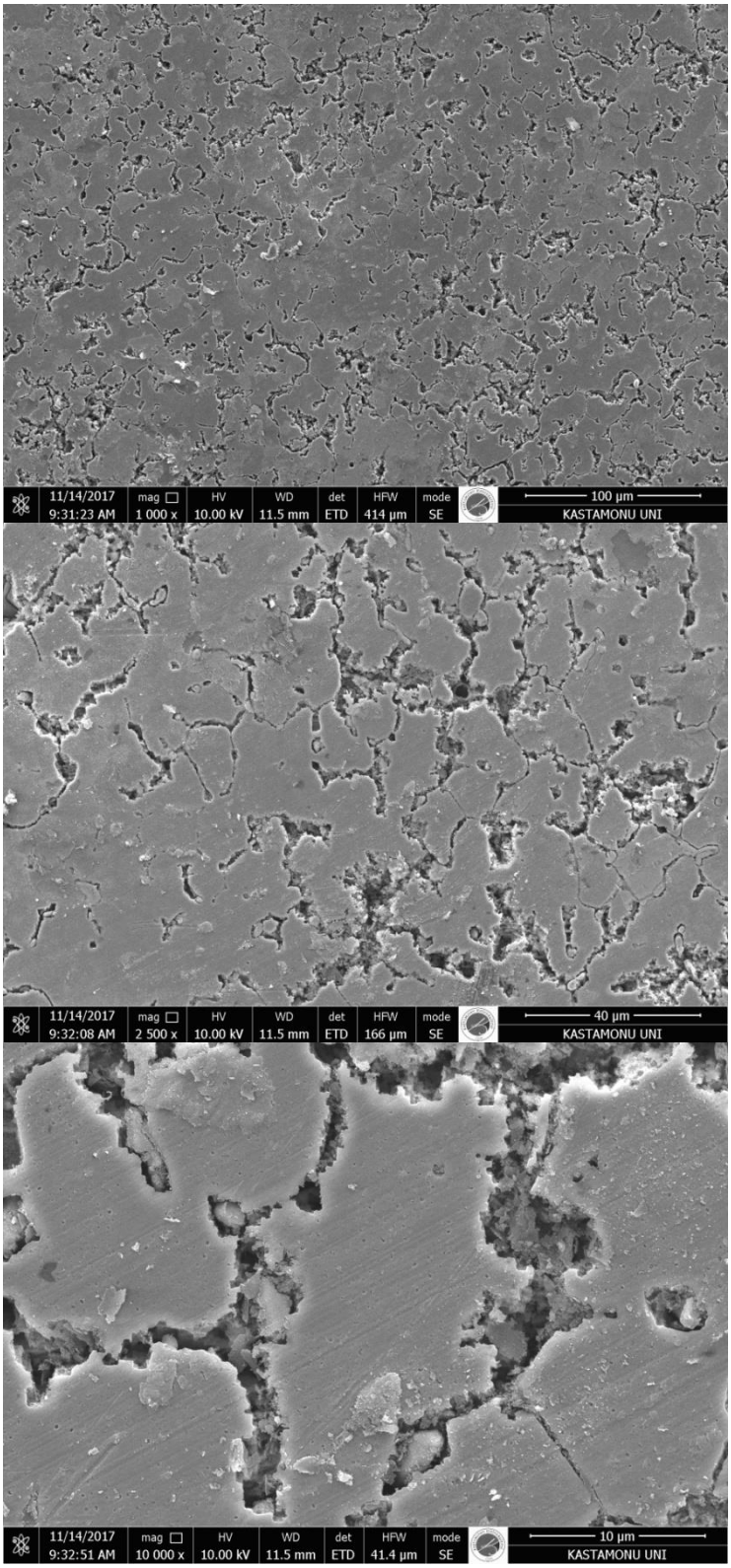
Şekil 9.34. Sekiz numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



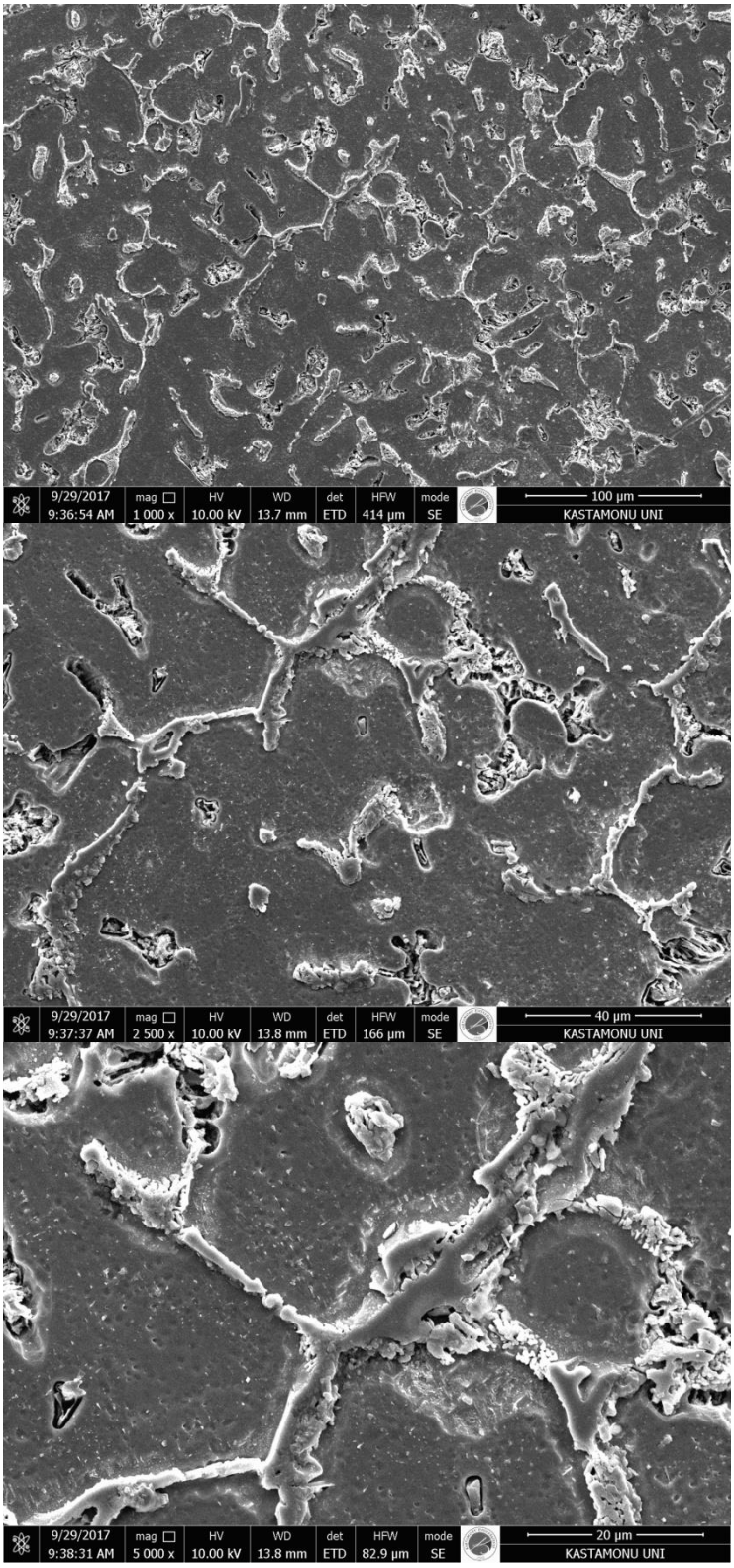
Şekil 9.35. Sekiz numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



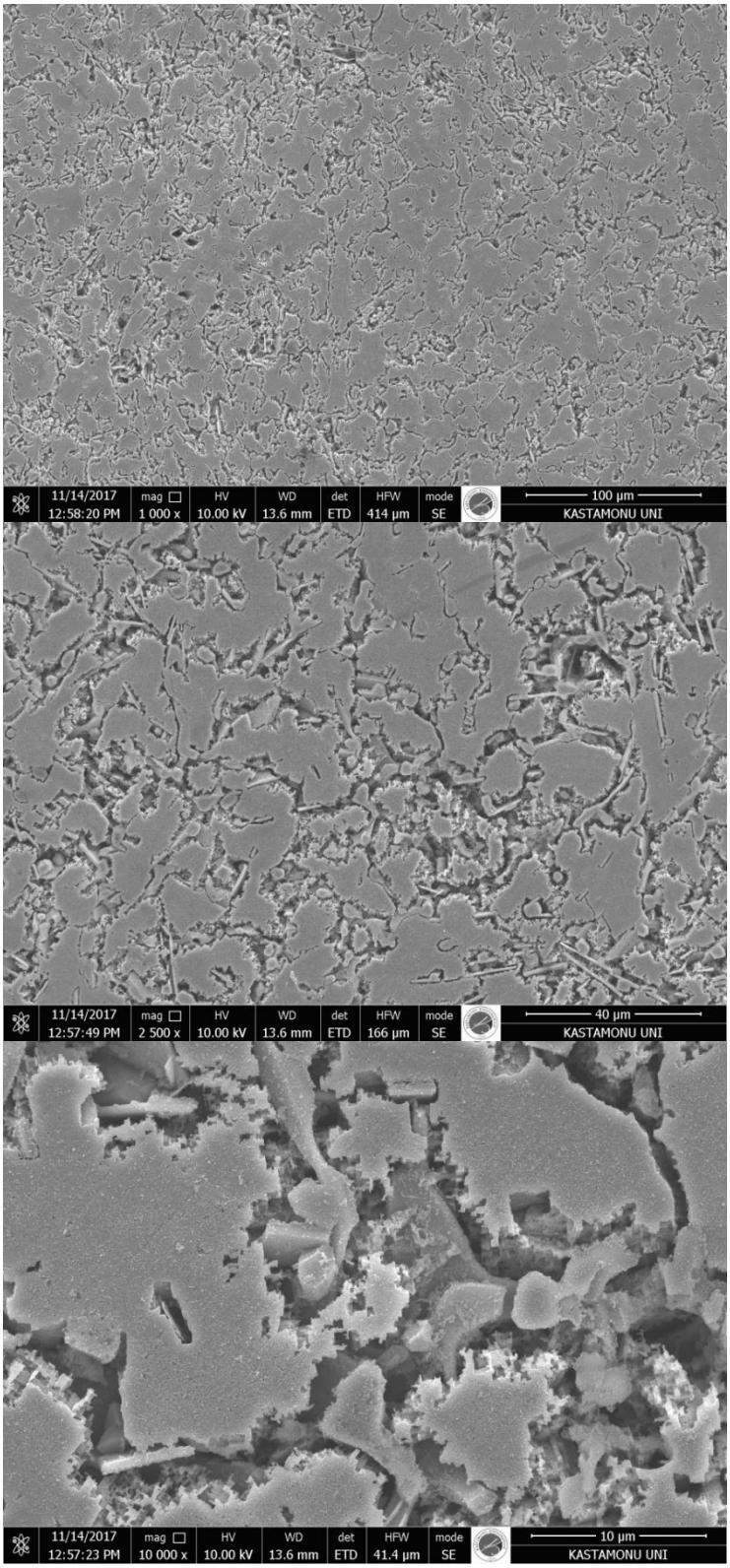
Şekil 9.36. Dokuz numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



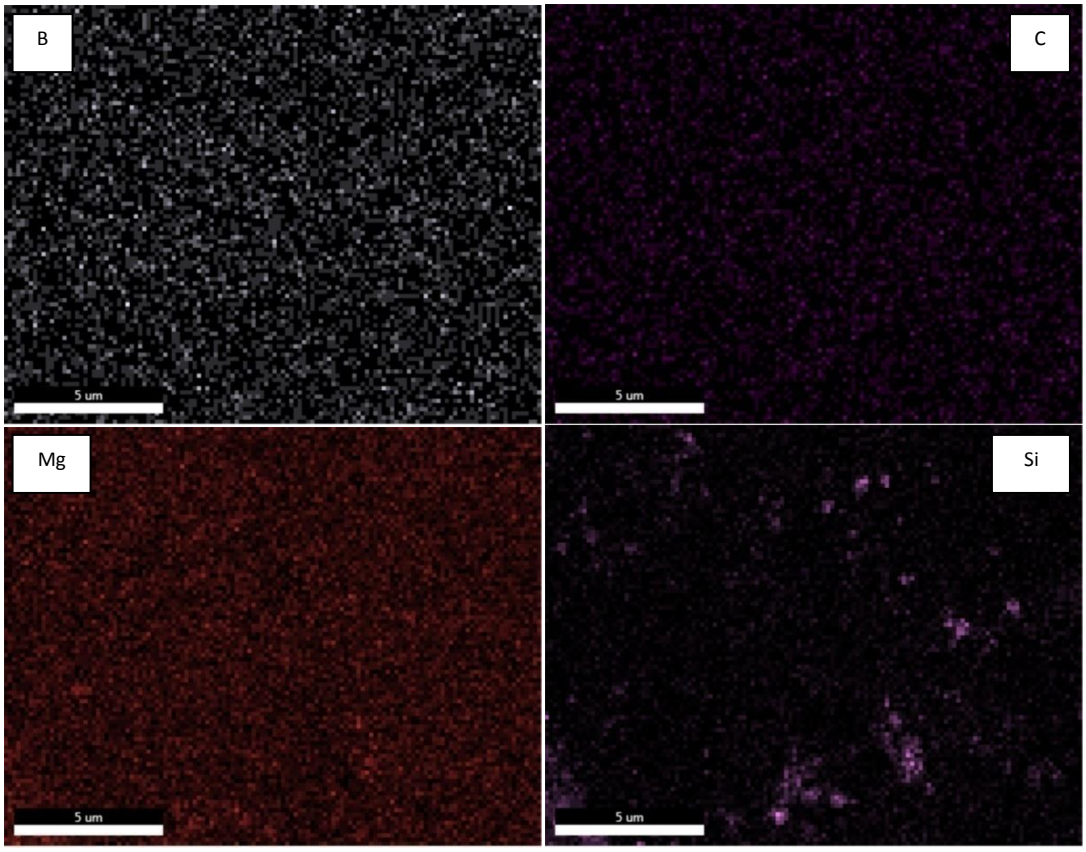
Şekil 9.37. Dokuz numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



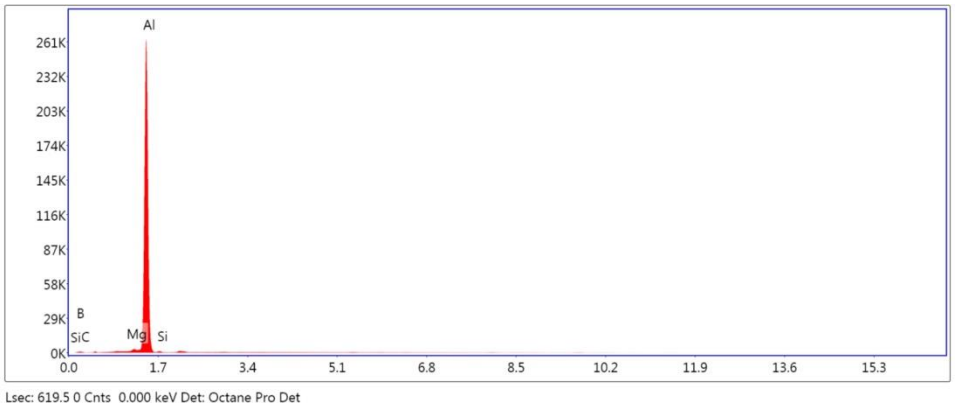
Şekil 9.38. On numaralı numunenin döküm sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



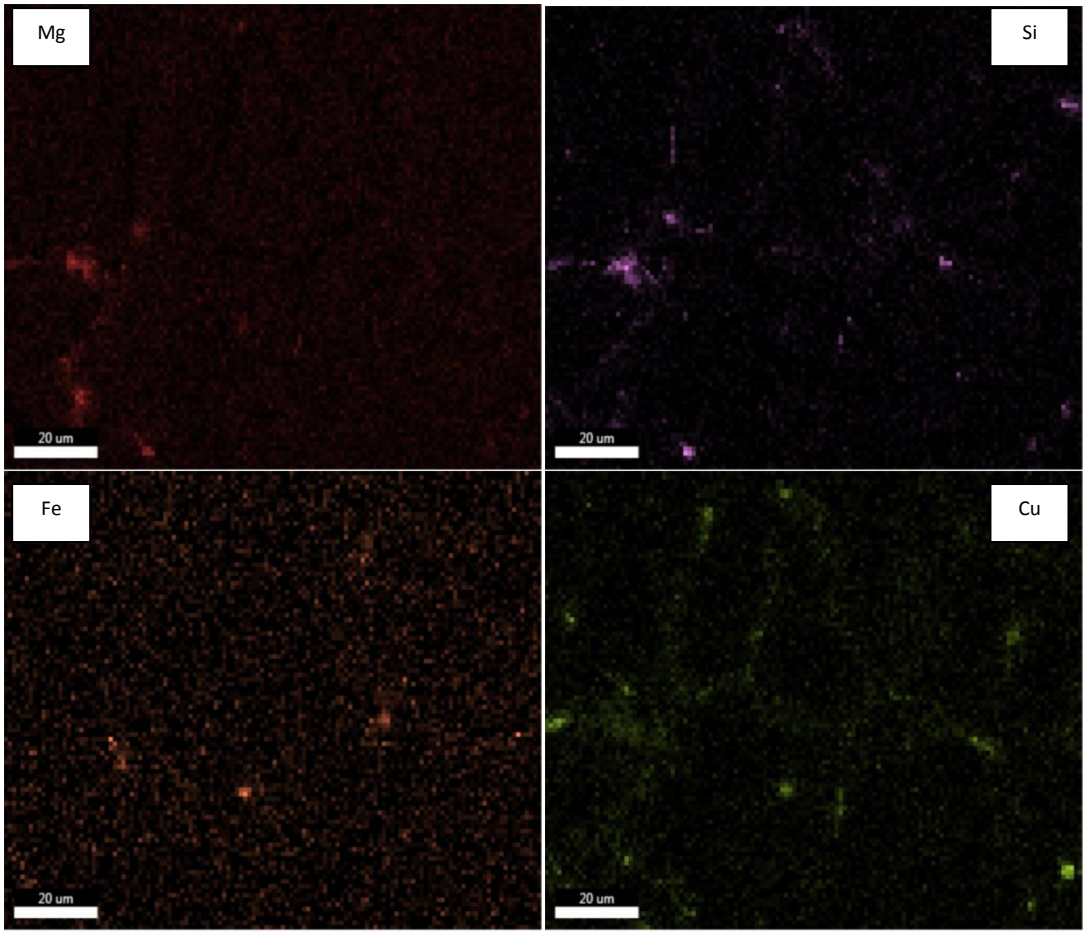
Şekil 9.39. On numaralı numunenin T6 sonrası mikroyapısının SEM görüntüleri; aşağıdan yukarı 1000 x, 2500 x, 10000 x



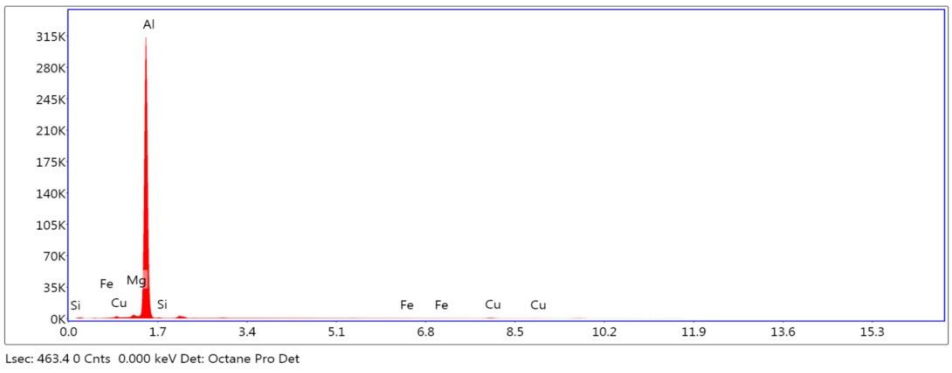
Şekil 9.40. İki numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementlerinin mapping sonuçları



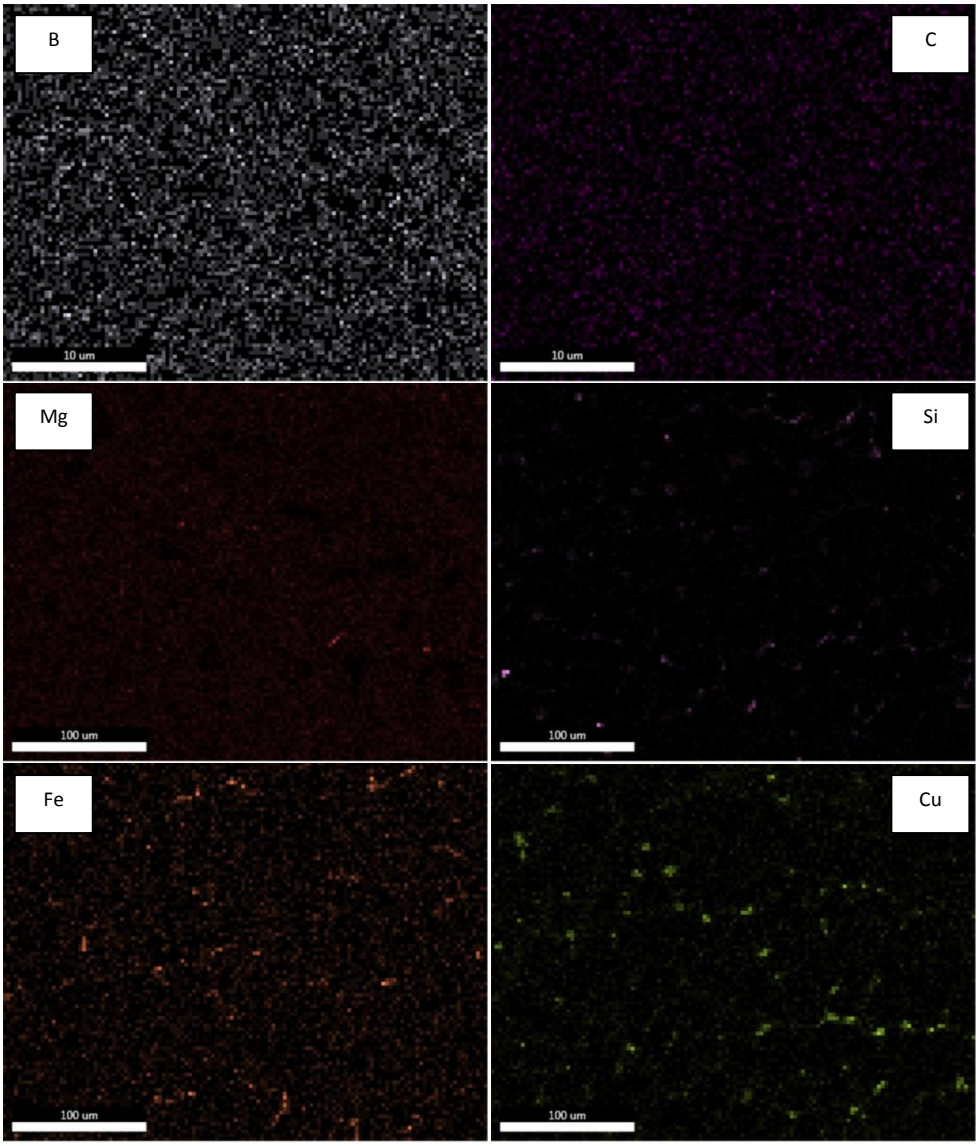
Grafik 9.10. İki numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti



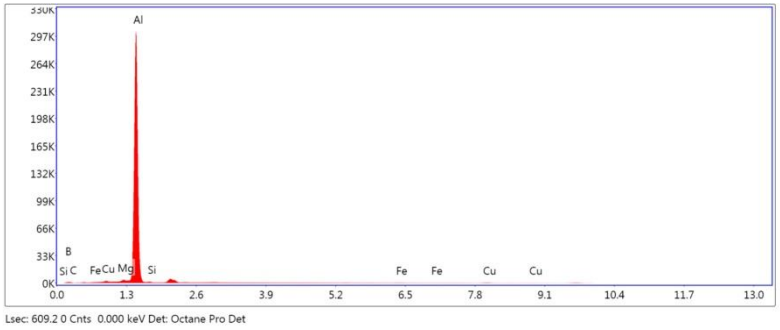
Şekil 9.41. Üç numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementlerinin mapping sonuçları



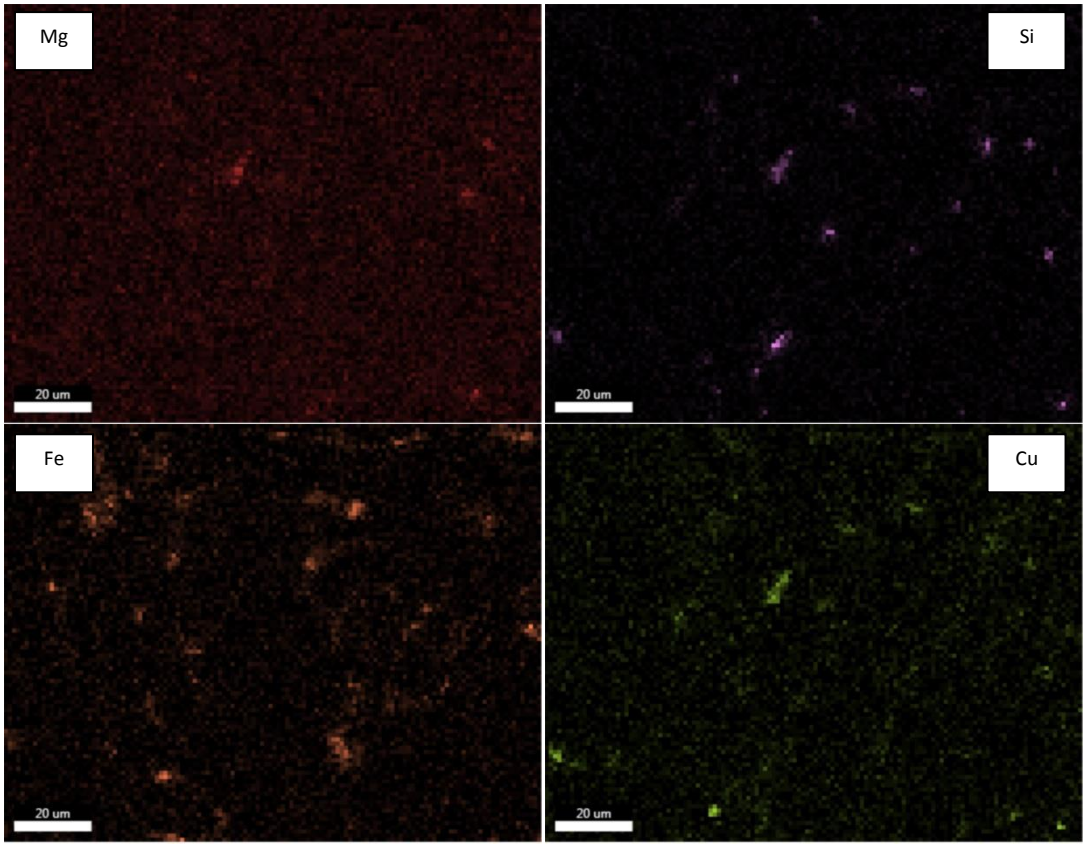
Grafik 9.11. Üç numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti



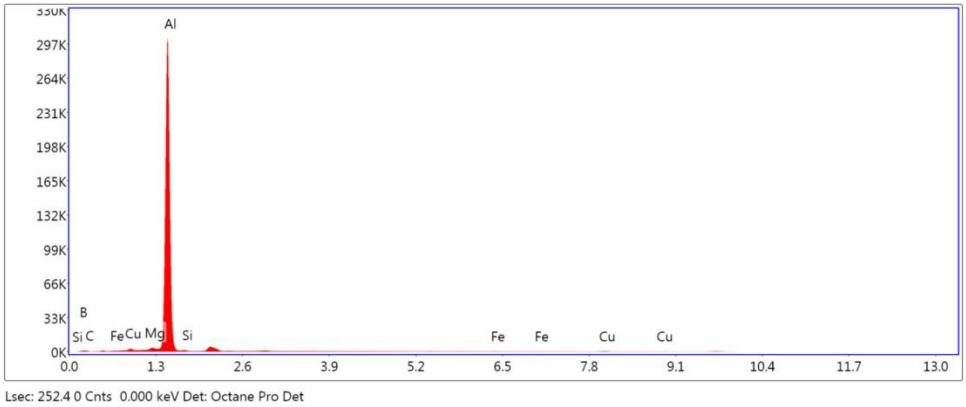
Şekil 9.42. Dört numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementlerinin mapping sonuçları



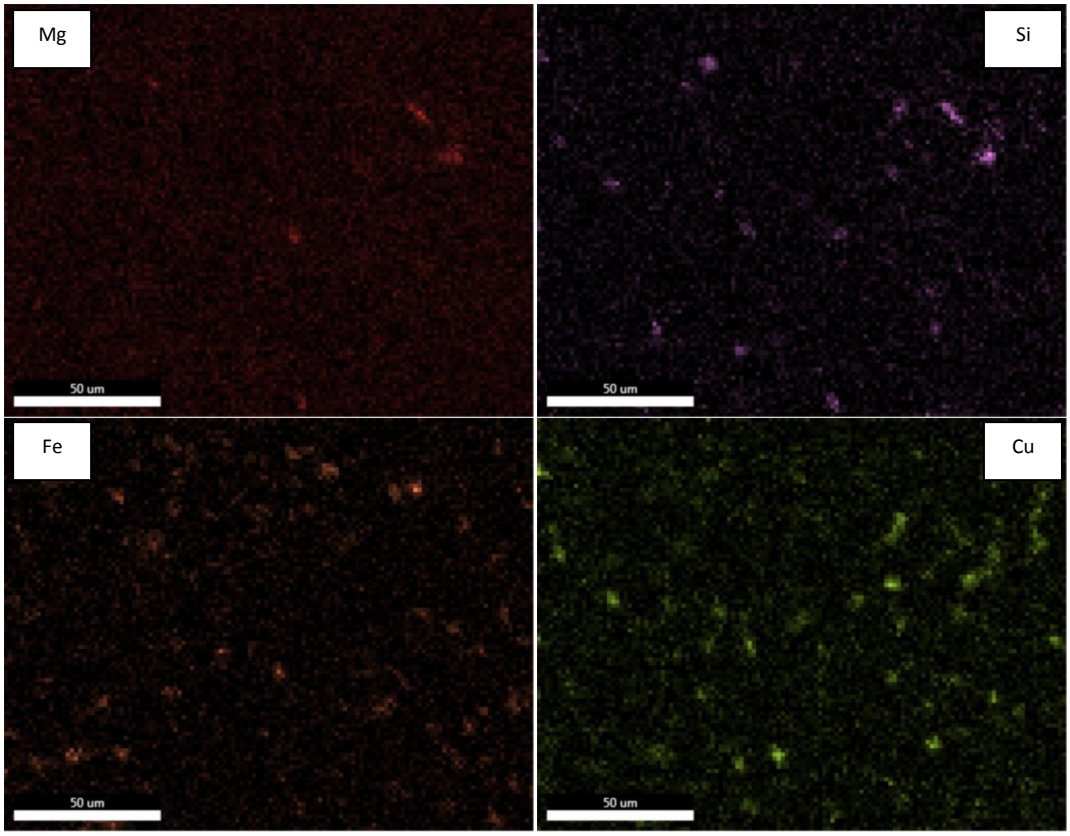
Grafik 9.12. Dört numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti



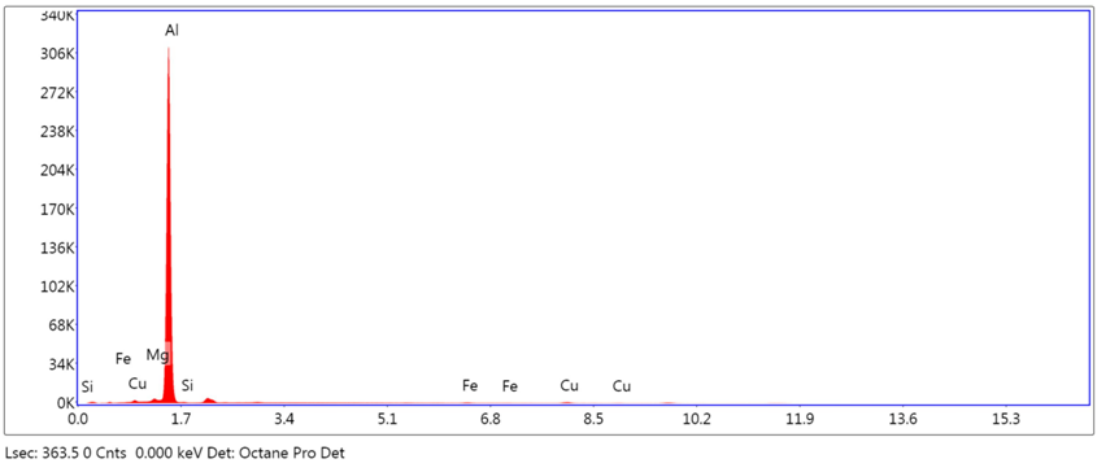
Şekil 9.43. Beş numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementlerinin mapping sonuçları



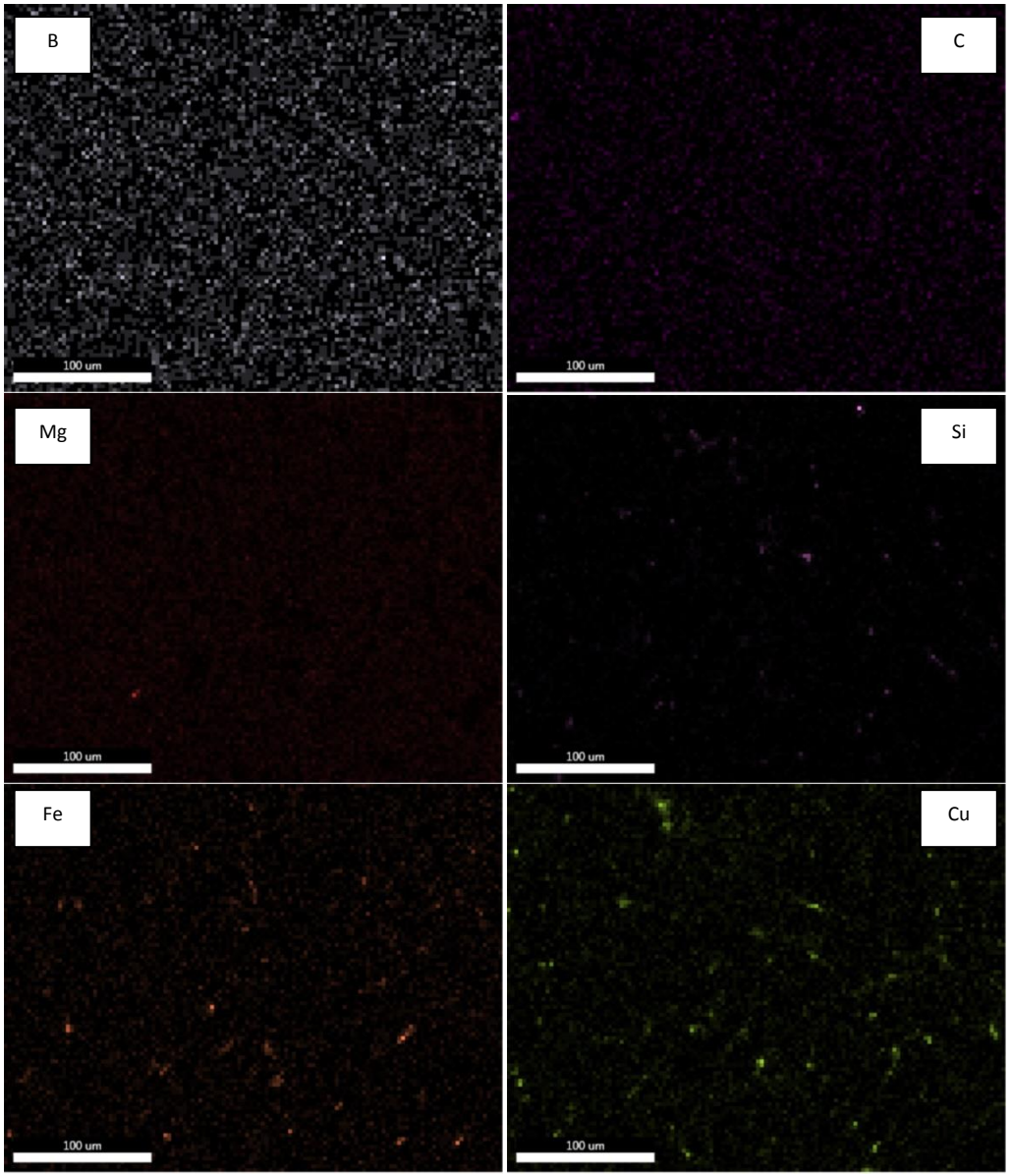
Grafik 9.13. Beş numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti



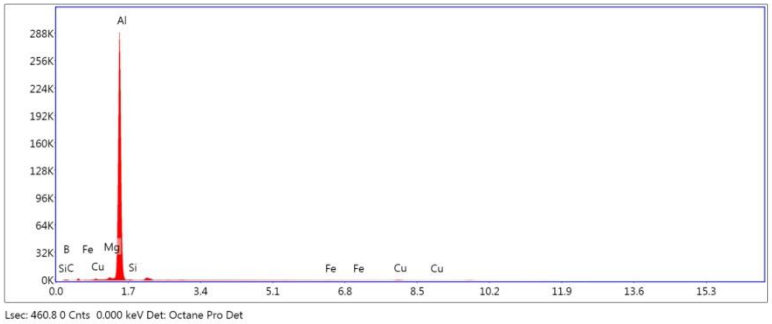
Şekil 9.44. Altı numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementlerinin mapping sonuçları



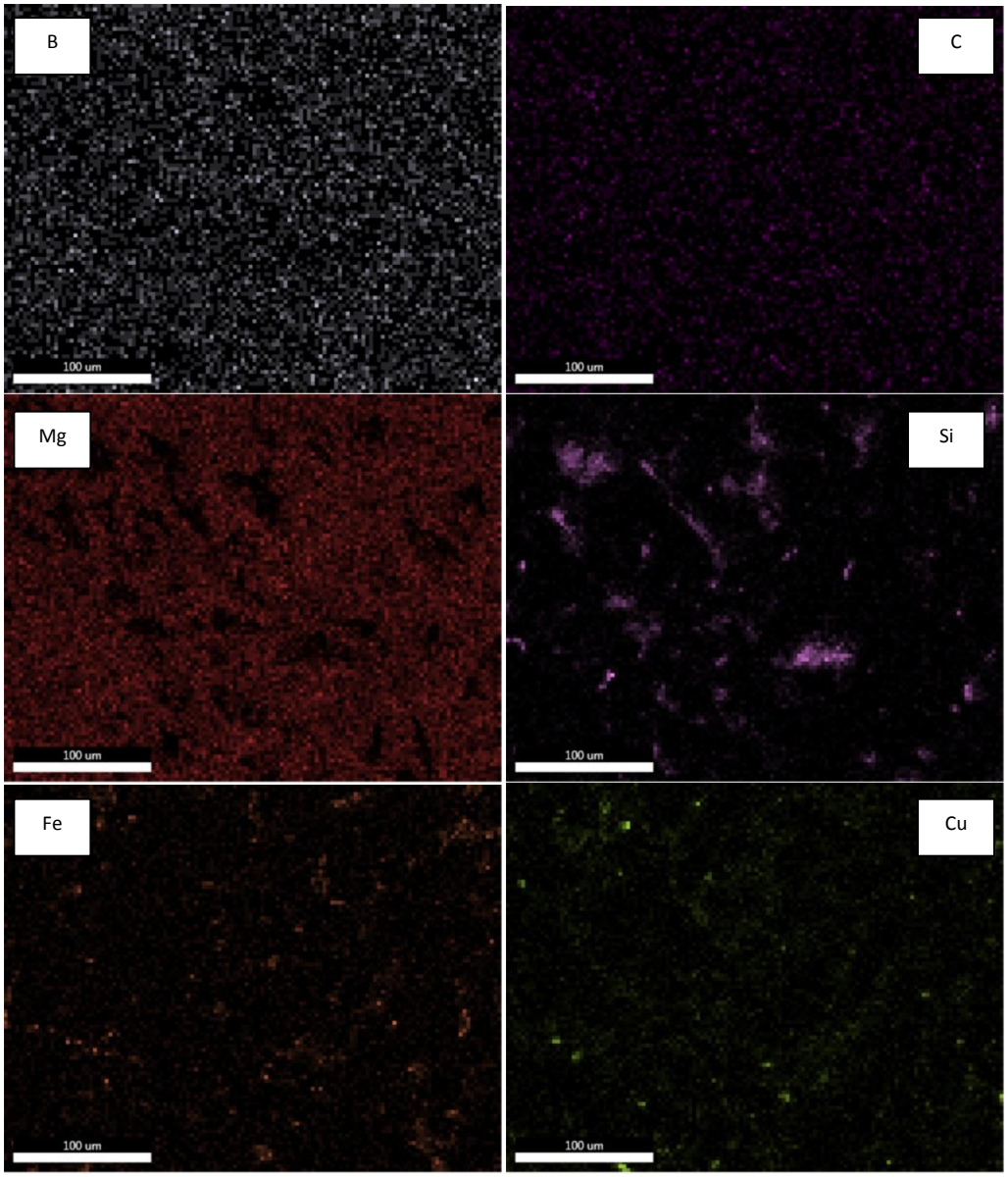
Grafik 9.14. Altı numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti



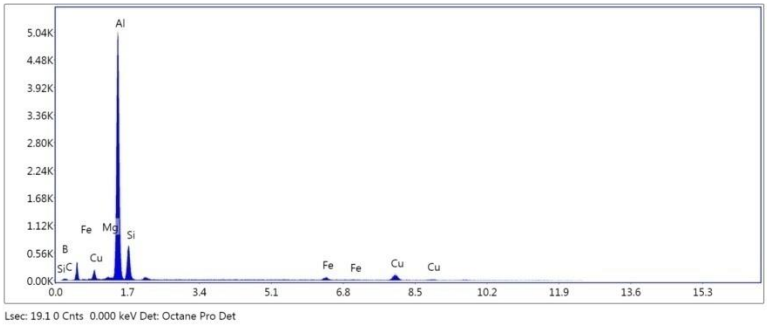
Şekil 9.45. Yedi numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementleri mapping sonuçları



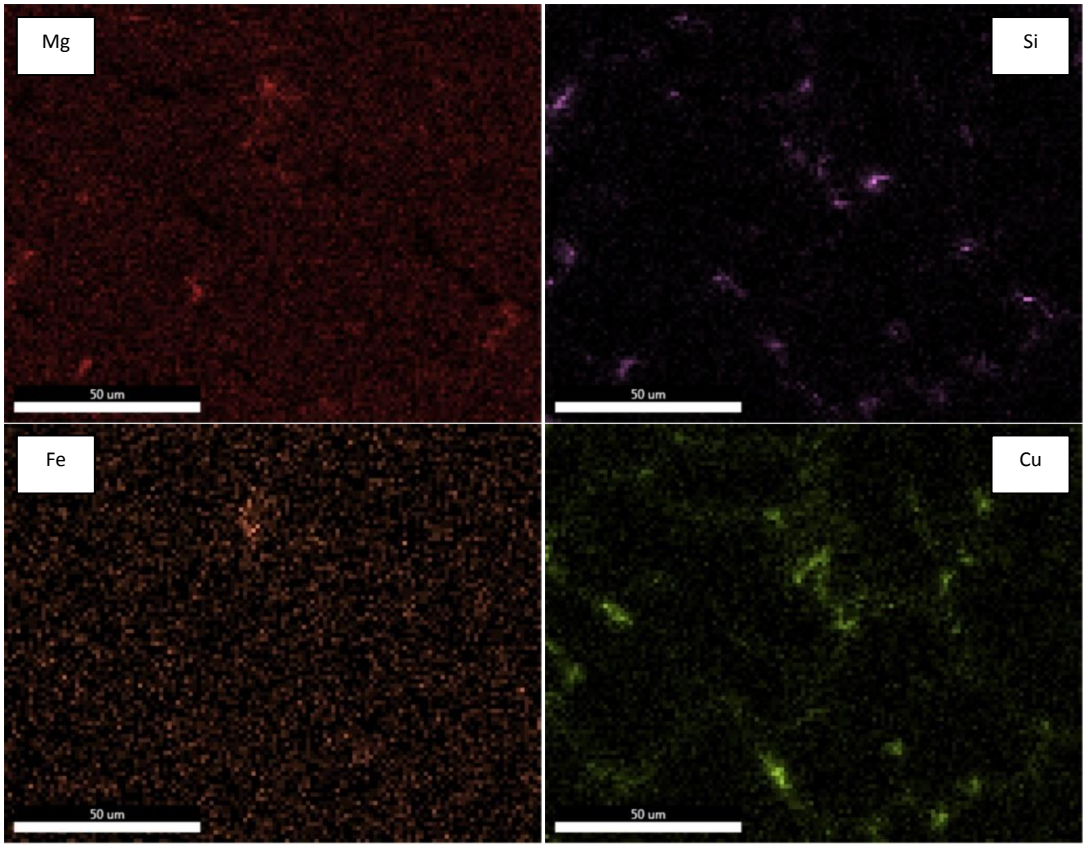
Grafik 9.15. Yedi numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti



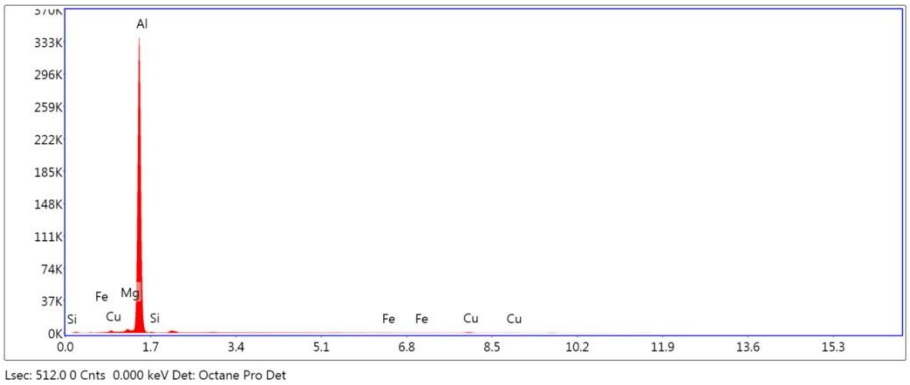
Şekil 9.46. Sekiz numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementleri mapping sonuçları



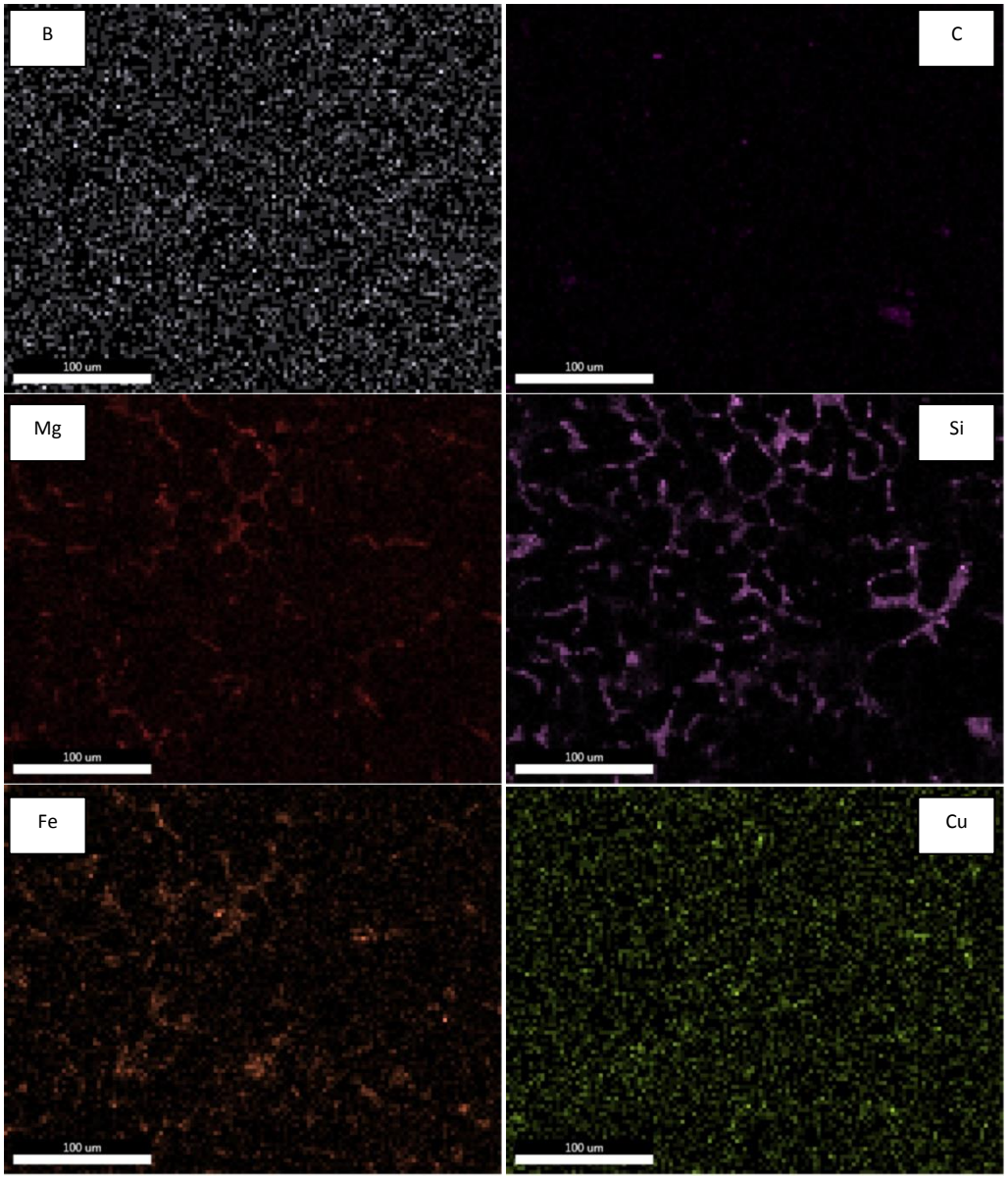
Grafik 9.16. Sekiz numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti



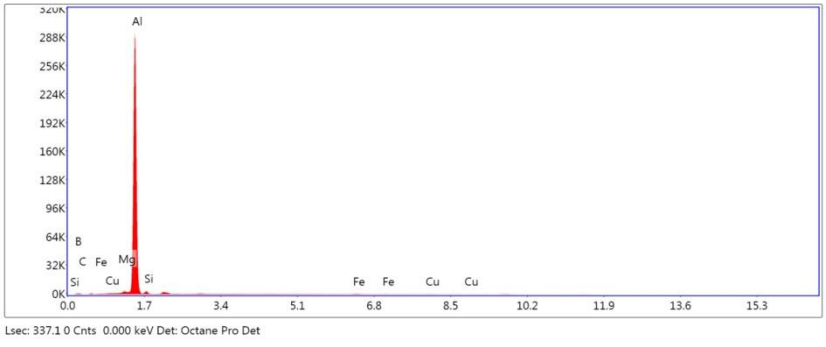
Şekil 9.47. Dokuz numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementleri mapping sonuçları



Grafik 9.17. Dokuz numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti



Şekil 9.48. On numaralı numunenin döküm sonrası alaşım elementlerinin mapping sonuçları



Grafik 9.18. On numaralı numunenin döküm sonrası mapping alaşım elementleri şiddeti

Tablo 9.6. *Deney numunelerinin çekme testi ve mikro sertlik sonuçları*

	Döküm Sonrası					**T6 Sonrası**				
Deney No	**Akma (MPa)**	**Kopma (MPa)**	**Sertlik (HV)**	**Kırılma Enerjisi (J)**	**% Uzama**	**Akma (MPa)**	**Kopma (MPa)**	**Sertlik (HV)**	**Kırılma Enerjisi (J)**	**% Uzama**
1	52	105	70	72	77,5	148	212	90	17,8	25,5
2	95,7	133	81	39	64	242	251	103	20	24,9
3	142	160	95	67	51,3	296	321	133	72	49,4
4	150	164	94	46	49,4	232	266	100	40	33,5
5	172	187	88	34	35,9	212	247	110	2	11,1
6	92	126	110	46	45,2	275	281	122	9	14,7
7	112	137	86	70	71,5	129	135	130	13	22,5
8	120	146	96	33	35,5	208	212	146	25	24,6
9	160	175	110	22	37,2	172	178	115	3	8,1
10	121	136	92	27	39,4	250	252	128	13	17,9

9.4. Dördüncü Aşama Sonuçları

Talaşlı imalat işleminde enerji tüketimi ölçümü için her bir deney numunesi iki kez deney tekrarı ile CNC freze tezgâhında belirlenen kesme parametrelerine göre talaşlı imalatı yapılmıştır. İki farklı yana kayma miktarı için güç indeksi ampermetre ile ölçülüp, enerji tüketimleri enerji-güç dönüşüm denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 9.7.– 9.16.).

Numuneler için imalat parametreleri ve seviyelerinin S/N oranları grafiği Taguchi Metodu ile hesaplanmıştır (Grafik 9.19 – 9.28). Bu grafikler sonucunda, anlık enerji tüketimi minimum olması gerektiği gözönünde bulundurulursa, optimum parametre seviyeleri olarak A1, B3 ve C3 seviyeleri seçilmiştir. Minitap programı ile bu parametre seviyeleri için elde edilebilecek tahmin değerleri hesaplanmış ve sonrasında yapılan teyit deneyleri ile karşılaştırmalı olarak sonuçlar her bir deney tasarımı için Tablo 9.17 – 9.26'de listelenmiştir. Ayrıca, Anova Varyans analizi kullanılarak enerji tüketimi sonuçlarına deney tasarım parametrelerinin etki şiddetleri Minitap programı ile hesaplanarak elde edilen analiz sonuçları Şekil 9.49–9.58'de verilmiştir.

Tablo 9.7. *Birinci numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları*

	Deney No	PI Kesme (A)	PI Kesme (A)_2	P toplam (kW)	P toplam (kW)_2	P kesme (W)	P kesme (W)_2	SEC (J/mm^3)	SEC (J/mm^3)_2	SCEC (J/mm^3)	SCEC (J/mm^3)_2
% 100 Yana Kayma	**1**	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	172,02	172,02	0,30	0,30
	2	5,92	5,8	2,34	2,29	87,18	39,63	29,44	28,85	0,50	1,10
	3	5,84	5,76	2,31	2,27	709,31	677,61	14,49	14,29	4,26	4,46
	4	11,56	11,56	4,56	4,56	31,70	31,70	28,75	28,75	0,20	0,20
	5	6,72	6,48	2,65	2,56	404,19	309,09	8,33	8,04	0,97	1,27
	6	6,12	6,04	2,42	2,39	820,27	788,57	45,77	45,17	14,93	15,54
	7	11,76	11,76	4,64	4,64	110,95	110,95	9,72	9,72	0,23	0,23
	8	6,48	6,2	2,56	2,45	309,09	198,13	32,31	30,91	2,50	3,90
	9	8,24	7,72	3,25	3,05	1660,35	1454,29	13,66	12,80	6,11	6,97
% 50 Yana Kayma	**1**	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	344,04	344,04	0,60	0,60
	2	5,84	5,8	2,31	2,29	55,48	39,63	58,09	57,69	1,40	1,00
	3	5	4,92	1,97	1,94	376,45	344,75	24,81	24,41	4,73	4,33
	4	11,52	11,52	4,55	4,55	15,85	15,85	57,29	57,29	0,20	0,20
	5	6,08	5,88	2,40	2,32	150,58	71,33	15,08	14,59	0,95	0,45
	6	5,28	5,08	2,09	2,01	487,40	408,15	78,98	75,99	18,46	15,46
	7	11,56	11,56	4,56	4,56	31,70	31,70	19,12	19,12	0,13	0,13
	8	6	5,96	2,37	2,35	118,88	103,03	59,83	59,43	3,00	2,60
	9	6,28	6,24	2,48	2,46	883,67	867,82	20,82	20,69	7,42	7,29

Tablo 9.8. *İkinci numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları*

	Deney No	PI Kesme (A)	PI Kesme (A)_2	P toplam (kW)	P toplam (kW)_2	P kesme (W)	P kesme (W)_2	SEC (J/mm^3)	SEC (J/mm^3)_2	SCEC (J/mm^3)	SCEC (J/mm^3)
% 100 Yana Kayma	1	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	172,02	172,02	0,30	0,30
	2	5,76	5,8	2,27	2,29	23,78	39,63	28,65	28,85	0,30	0,50
	3	5,72	5,56	2,26	2,20	661,76	598,36	14,19	13,79	4,16	3,76
	4	11,56	11,56	4,56	4,56	31,70	31,70	28,75	28,75	0,20	0,20
	5	6,2	6,36	2,45	2,51	198,13	261,53	7,69	7,89	0,62	0,82
	6	5,68	5,84	2,24	2,31	645,91	709,31	42,48	43,68	12,23	13,43
	7	11,76	11,88	4,64	4,69	110,95	158,51	9,72	9,82	0,23	0,33
	8	6,32	6,12	2,50	2,42	245,68	166,43	31,51	30,51	3,10	2,10
	9	7,32	7,36	2,89	2,91	1295,78	1311,63	12,14	12,20	5,44	5,51
% 50 Yana Kayma	1	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	344,04	344,04	0,60	0,60
	2	5,72	5,8	2,26	2,29	7,93	39,63	56,90	57,69	0,20	1,00
	3	5,08	5,12	2,01	2,02	408,15	424,00	25,20	25,40	5,13	5,33
	4	11,52	11,52	4,55	4,55	15,85	15,85	57,29	57,29	0,20	0,20
	5	5,8	5,88	2,29	2,32	39,63	71,33	14,39	14,59	0,25	0,45
	6	5,08	5,28	2,01	2,09	408,15	487,40	75,99	78,98	15,46	18,46
	7	11,56	11,62	4,56	4,59	31,70	55,48	19,12	19,22	0,13	0,23
	8	5,84	5,92	2,31	2,34	55,48	87,18	58,24	59,03	1,40	2,20
	9	6,12	6,24	2,42	2,46	820,27	867,82	20,29	20,69	6,89	7,29

Tablo 9.9. *Üçüncü numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları*

	Deney No	PI Kesme (A)	PI Kesme (A)_2	P toplam (kW)	P toplam (kW)_2	P kesme (W)	P kesme (W)_2	SEC (J/mm^3)	SEC (J/mm^3)_2	SCEC (J/mm^3)	SCEC (J/mm^3)_2
% 100 Yana Kayma	**1**	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	172,02	172,02	0,30	0,30
	2	5,84	5,76	2,31	2,27	55,48	23,78	29,05	28,65	0,30	0,70
	3	5,44	5,28	2,15	2,09	550,81	487,40	13,49	13,10	3,06	3,46
	4	11,56	11,56	4,56	4,56	31,70	31,70	28,75	28,75	0,20	0,20
	5	6,12	6,24	2,42	2,46	166,43	213,98	7,59	7,74	0,67	0,52
	6	5,64	5,52	2,23	2,18	630,06	582,51	42,18	41,28	11,03	11,93
	7	11,64	11,6	4,60	4,58	63,40	47,55	9,62	9,59	0,10	0,13
	8	6,04	6	2,39	2,37	134,73	118,88	30,12	29,92	1,50	1,70
	9	6,8	6,84	2,69	2,70	1089,73	1105,58	11,27	11,34	4,64	4,57
% 50 Yana Kayma	**1**	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	344,04	344,04	0,60	0,60
	2	5,76	5,8	2,27	2,29	39,63	23,78	57,29	57,69	1,00	0,60
	3	4,68	4,76	1,85	1,88	281,35	249,65	23,22	23,61	3,53	3,14
	4	4,68	11,52	1,85	4,55	15,85	7,93	57,20	57,29	0,20	0,10
	5	5,84	6	2,31	2,37	118,88	55,48	14,49	14,88	0,75	0,35
	6	4,96	4,88	1,96	1,93	328,90	360,60	74,19	73,00	12,46	13,66
	7	11,56	11,6	4,56	4,58	47,55	31,70	19,12	19,18	0,20	0,13
	8	5,84	5,8	2,31	2,29	39,63	55,48	58,24	57,84	1,00	1,40
	9	5,72	5,64	2,26	2,23	630,06	661,76	18,97	18,70	5,29	5,56

Tablo 9.10. *Dördüncü numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları*

	Deney No	PI Kesme (A)	PI Kesme (A)_2	P toplam (kW)	P toplam (kW)_2	P kesme (W)	P kesme (W)_2	SEC (J/mm^3)	SEC (J/mm^3)_2	SCEC (J/mm^3)	SCEC (J/mm^3)_2
% 100 Yana Kayma	**1**	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	172,02	172,02	0,30	0,30
	2	5,96	6,04	2,35	2,39	103,03	134,73	29,64	30,04	1,30	1,70
	3	5,56	5,72	2,20	2,26	598,36	661,76	13,79	14,19	3,76	4,16
	4	11,56	11,56	4,56	4,56	31,70	31,70	28,75	28,75	0,20	0,20
	5	6,6	6,76	2,61	2,67	356,64	420,04	8,19	8,38	1,12	1,32
	6	6,04	6,08	2,39	2,40	788,57	804,42	45,17	45,47	14,93	15,24
	7	11,76	11,68	4,64	4,61	110,95	79,25	9,72	9,66	0,23	0,17
	8	6,3	6,25	2,49	2,47	237,76	217,95	31,41	31,16	3,00	2,75
	9	7,18	7,2	2,84	2,84	1240,31	1248,23	11,90	11,94	5,21	5,24
% 50 Yana Kayma	**1**	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	344,04	344,04	0,60	0,60
	2	5,8	5,88	2,29	2,32	39,63	71,33	58,49	57,69	1,00	1,80
	3	4,8	4,7	1,90	1,86	297,20	257,57	23,32	23,81	3,73	3,24
	4	11,52	11,52	4,55	4,55	15,85	15,85	57,29	57,29	0,20	0,20
	5	5,94	6,04	2,35	2,39	95,10	134,73	14,98	14,73	0,60	0,85
	6	5,12	5,08	2,02	2,01	424,00	408,15	75,99	76,59	16,06	15,46
	7	11,56	11,6	4,56	4,58	31,70	47,55	19,18	19,12	0,13	0,20
	8	5,84	5,88	2,31	2,32	55,48	71,33	58,64	58,24	1,40	1,80
	9	6	6,04	2,37	2,39	772,71	788,57	20,03	19,89	6,49	6,62

Tablo 9.11. *Beşinci numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları*

	Deney No	PI Kesme (A)	PI Kesme (A)_2	P toplam (kW)	P toplam (kW)_2	P kesme (W)	P kesme (W)_2	SEC (J/mm^3)	SEC (J/mm^3)_2	SCEC (J/mm^3)	SCEC (J/mm^3)_2
% 100 Yana Kayma	1	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	172,02	172,02	0,30	0,30
	2	5,88	5,92	2,32	2,34	87,18	71,33	29,24	29,44	1,10	0,90
	3	5,36	5,26	2,12	2,08	479,48	519,11	13,30	13,05	3,01	3,26
	4	11,6	11,56	4,58	4,56	31,70	47,55	28,85	28,75	0,20	0,30
	5	6,28	6,4	2,48	2,53	277,38	229,83	7,79	7,94	0,87	0,72
	6	5,62	5,8	2,22	2,29	693,46	622,13	42,03	43,38	13,13	11,78
	7	11,76	11,6	4,64	4,58	47,55	110,95	9,72	9,59	0,10	0,23
	8	6,2	6,32	2,45	2,50	245,68	198,13	30,91	31,51	3,10	2,50
	9	7,32	7,12	2,89	2,81	1216,53	1295,78	12,14	11,80	5,11	5,44
% 50 Yana Kayma	1	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	344,04	344,04	0,60	0,60
	2	5,84	5,88	2,31	2,32	71,33	55,48	58,09	58,49	1,80	1,40
	3	4,8	4,6	1,90	1,82	217,95	297,20	23,81	22,82	2,74	3,73
	4	11,52	11,52	4,55	4,55	15,85	15,85	57,29	57,29	0,20	0,20
	5	5,88	6	2,32	2,37	118,88	71,33	14,59	14,88	0,75	0,45
	6	4,84	4,92	1,91	1,94	344,75	313,05	72,40	73,59	13,06	11,86
	7	11,52	11,6	4,55	4,58	47,55	15,85	19,05	19,18	0,20	0,07
	8	5,88	5,96	2,32	2,35	103,03	71,33	58,64	59,43	2,60	1,80
	9	6,76	6,88	2,67	2,72	1121,43	1073,88	22,41	22,81	9,42	9,02

Tablo 9.12. *Altıncı numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları*

	Deney No	PI Kesme (A)	PI Kesme (A)_2	P toplam (kW)	P toplam (kW)_2	P kesme (W)	P kesme (W)_2	SEC (J/mm^3)	SEC (J/mm^3)_2	SCEC (J/mm^3)	SCEC (J/mm^3)_2
% 100 Yana Kayma	1	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	172,02	172,02	0,30	0,30
	2	5,96	5,92	2,34	2,35	103,03	87,18	29,44	29,64	1,10	1,30
	3	5,44	5,52	2,18	2,15	550,81	582,51	13,69	13,49	3,66	3,46
	4	11,6	11,56	4,56	4,58	47,55	31,70	28,75	28,85	0,20	0,30
	5	6,36	6,48	2,56	2,51	261,53	309,09	8,04	7,89	0,97	0,82
	6	5,68	5,64	2,23	2,24	645,91	630,06	42,18	42,48	11,93	12,23
	7	11,72	11,68	4,61	4,63	95,10	79,25	9,66	9,69	0,17	0,20
	8	6	5,96	2,35	2,37	118,88	103,03	29,72	29,92	1,30	1,50
	9	7,24	7,28	2,87	2,86	1264,08	1279,93	12,07	12,00	5,37	5,31
% 50 Yana Kayma	1	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	344,04	344,04	0,60	0,60
	2	5,8	5,88	2,29	2,32	71,33	39,63	57,69	58,49	1,80	1,00
	3	4,85	4,75	1,92	1,88	277,38	317,01	24,06	23,56	3,48	3,98
	4	11,56	11,6	4,56	4,58	47,55	31,70	57,49	57,69	0,60	0,40
	5	5,96	6,04	2,35	2,39	134,73	103,03	14,78	14,98	0,85	0,65
	6	4,88	4,8	1,93	1,90	297,20	328,90	73,00	71,80	11,26	12,46
	7	11,68	11,72	4,61	4,63	95,10	79,25	19,31	19,38	0,40	0,33
	8	6	5,96	2,37	2,35	103,03	118,88	59,83	59,43	2,60	3,00
	9	6,8	6,68	2,69	2,64	1042,17	1089,73	22,55	22,15	8,75	9,15

Tablo 9.13. *Yedinci numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları*

	Deney No	PI Kesme (A)	PI Kesme (A)_2	P toplam (kW)	P toplam (kW)_2	P kesme (W)	P kesme (W)_2	SEC (J/mm^3)	SEC (J/mm^3)_2	SCEC (J/mm^3)	SCEC (J/mm^3)_2
% 100 Yana Kayma	1	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	172,02	172,02	0,30	0,30
	2	5,96	5,88	2,35	2,32	103,03	71,33	29,64	29,24	0,90	1,30
	3	5,8	5,72	2,29	2,26	693,46	661,76	14,39	14,19	4,16	4,36
	4	11,5	11,6	4,54	4,58	7,93	47,55	28,60	28,85	0,30	0,05
	5	6,52	6,4	2,57	2,53	324,94	277,38	8,09	7,94	0,87	1,02
	6	5,84	5,9	2,31	2,33	709,31	733,09	43,68	44,13	13,88	13,43
	7	11,72	11,88	4,63	4,69	95,10	158,51	9,69	9,82	0,33	0,20
	8	6,28	6,12	2,48	2,42	229,83	166,43	31,31	30,51	2,10	2,90
	9	7,32	7,48	2,89	2,95	1295,78	1359,19	12,14	12,40	5,71	5,44
% 50 Yana Kayma	1	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	344,04	344,04	0,60	0,60
	2	5,72	5,8	2,26	2,29	7,93	39,63	57,69	56,90	1,00	0,20
	3	5	4,8	1,97	1,90	376,45	297,20	23,81	24,81	3,73	4,73
	4	11,52	11,6	4,55	4,58	15,85	47,55	57,69	57,29	0,60	0,20
	5	6	6,04	2,37	2,39	118,88	79,25	14,98	14,88	0,50	0,75
	6	4,92	5,04	1,94	1,99	344,75	392,30	75,39	73,59	14,86	13,06
	7	11,56	11,52	4,56	4,55	31,70	15,85	19,05	19,12	0,07	0,13
	8	5,8	5,84	2,29	2,31	39,63	55,48	58,24	57,84	1,40	1,00
	9	5,94	5,88	2,35	2,32	748,94	725,16	19,50	19,70	6,09	6,29

Tablo 9.14. *Sekizinci numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları*

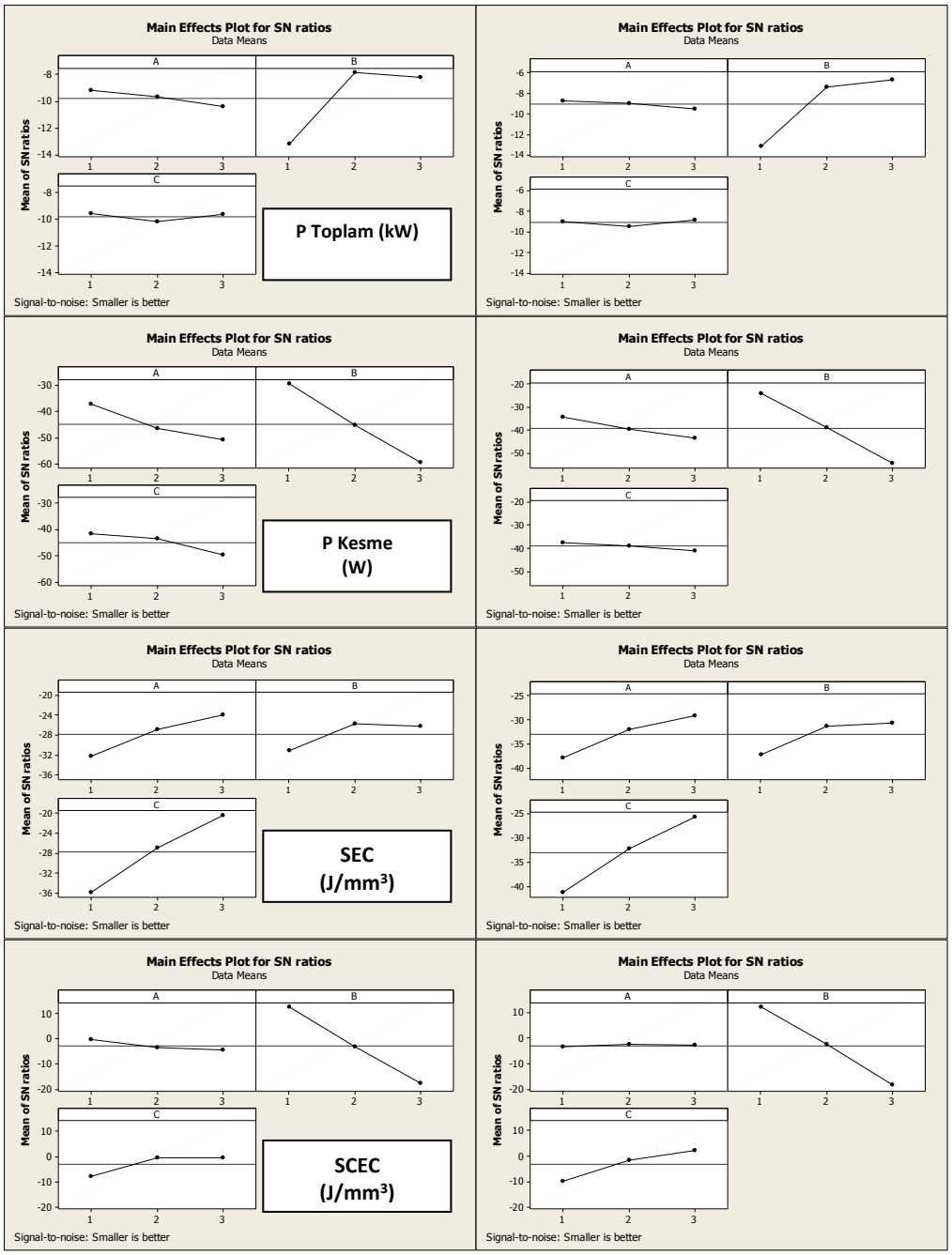
	Deney No	PI Kesme (A)	PI Kesme (A)_2	P toplam (kW)	P toplam (kW)_2	P kesme (W)	P kesme (W)_2	SEC (J/mm^3)	SEC (J/mm^3)_2	SCEC (J/mm^3)	SCEC (J/mm)_2
% 100 Yana Kayma	1	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	172,02	172,02	0,30	0,30
	2	5,76	5,88	2,27	2,32	71,33	23,78	28,65	29,24	0,30	0,90
	3	5,28	5,48	2,09	2,16	566,66	487,40	13,10	13,59	3,06	3,56
	4	11,6	11,56	4,58	4,56	31,70	47,55	28,85	28,75	0,30	0,20
	5	6,2	6,22	2,45	2,46	206,06	198,13	7,69	7,71	0,62	0,65
	6	5,62	5,76	2,22	2,27	677,61	622,13	42,03	43,08	11,78	12,83
	7	11,6	11,68	4,58	4,61	79,25	47,55	9,59	9,66	0,10	0,17
	8	6,08	6,12	2,40	2,42	166,43	150,58	30,32	30,51	1,90	2,10
	9	7,24	7,16	2,86	2,83	1232,3	1264,0	12,00	11,87	5,31	5,17
% 50 Yana Kayma	1	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	344,04	344,04	0,60	0,60
	2	5,76	5,8	2,29	2,27	23,78	39,63	57,69	57,29	1,00	0,60
	3	4,64	4,76	1,88	1,83	233,80	281,35	23,61	23,02	3,53	2,94
	4	11,52	11,6	4,58	4,55	15,85	47,55	57,69	57,29	0,60	0,20
	5	5,84	5,88	2,32	2,31	55,48	15,85	14,59	14,49	0,10	0,35
	6	4,8	4,88	1,93	1,90	297,20	328,90	73,00	71,80	12,46	11,26
	7	11,56	11,6	4,58	4,56	31,70	47,55	19,18	19,12	0,20	0,13
	8	5,76	5,8	2,29	2,27	23,78	39,63	57,84	57,44	1,00	0,60
	9	5,68	5,76	2,27	2,24	645,91	677,61	19,10	18,83	5,69	5,42

Tablo 9.15. *Dokuzuncu numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları*

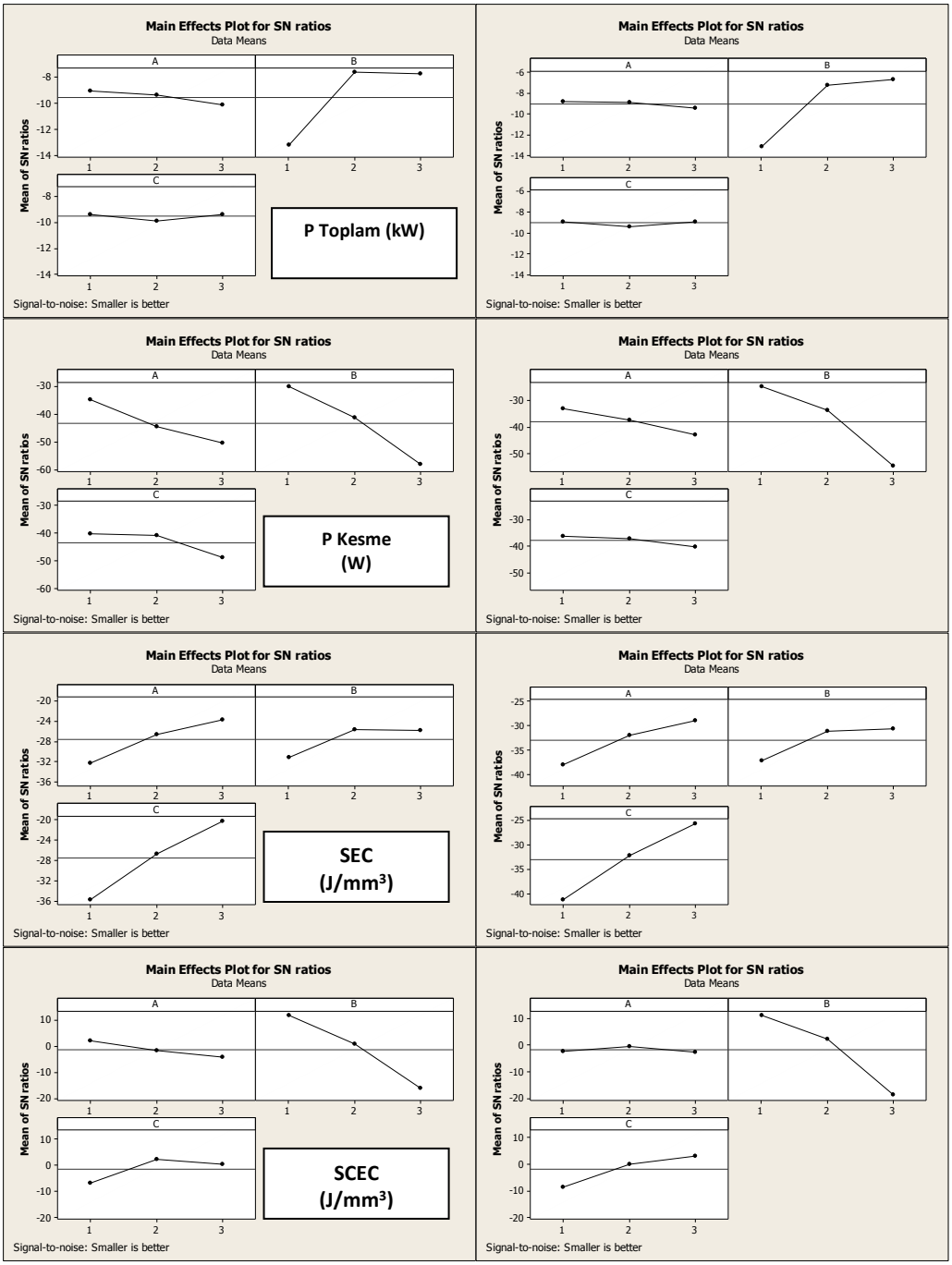
	Deney No	PI Kesme (A)	PI Kesme (A)_2	P toplam (kW)	P toplam (kW)_2	P kesme (W)	P kesme (W)_2	SEC (J/mm^3)	SEC (J/mm^3)_2	SCEC (J/mm^3)	SCEC (J/mm^3) _2
% 100 Yana Kayma	1	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	172,02	172,02	0,30	0,30
	2	5,88	5,84	2,32	2,31	55,48	71,33	29,24	29,05	0,70	0,90
	3	5,24	5,4	2,07	2,13	534,96	471,55	13,00	13,39	3,36	2,96
	4	11,6	11,64	4,58	4,60	63,40	47,55	28,85	28,95	0,40	0,30
	5	6,36	6,26	2,51	2,47	221,91	261,53	7,89	7,76	0,70	0,82
	6	5,44	5,76	2,15	2,27	677,61	550,81	40,69	43,08	12,83	10,43
	7	11,76	11,68	4,64	4,61	79,25	110,95	9,72	9,66	0,17	0,23
	8	6,08	6,2	2,40	2,45	198,13	150,58	30,32	30,91	2,50	1,90
	9	7,08	7	2,80	2,76	1168,98	1200,68	11,74	11,60	4,91	5,04
% 50 Yana Kayma	1	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	344,04	344,04	0,60	0,60
	2	5,76	5,88	2,27	2,32	71,33	23,78	57,29	58,49	1,80	0,60
	3	4,68	4,57	1,85	1,80	206,06	249,65	23,22	22,67	2,59	3,14
	4	11,56	11,52	4,56	4,55	15,85	31,70	57,49	57,29	0,20	0,40
	5	5,96	6,04	2,35	2,39	134,73	103,03	14,78	14,98	0,85	0,65
	6	4,92	4,96	1,94	1,96	360,60	344,75	73,59	74,19	13,66	13,06
	7	11,56	11,68	4,56	4,61	79,25	31,70	19,12	19,31	0,33	0,13
	8	6	5,96	2,37	2,35	103,03	118,88	59,83	59,43	2,60	3,00
	9	5,92	5,88	2,34	2,32	725,16	741,01	19,63	19,50	6,09	6,22

Tablo 9.16. *Onuncu numune talaşlı imalat enerji tüketimi sonuçları*

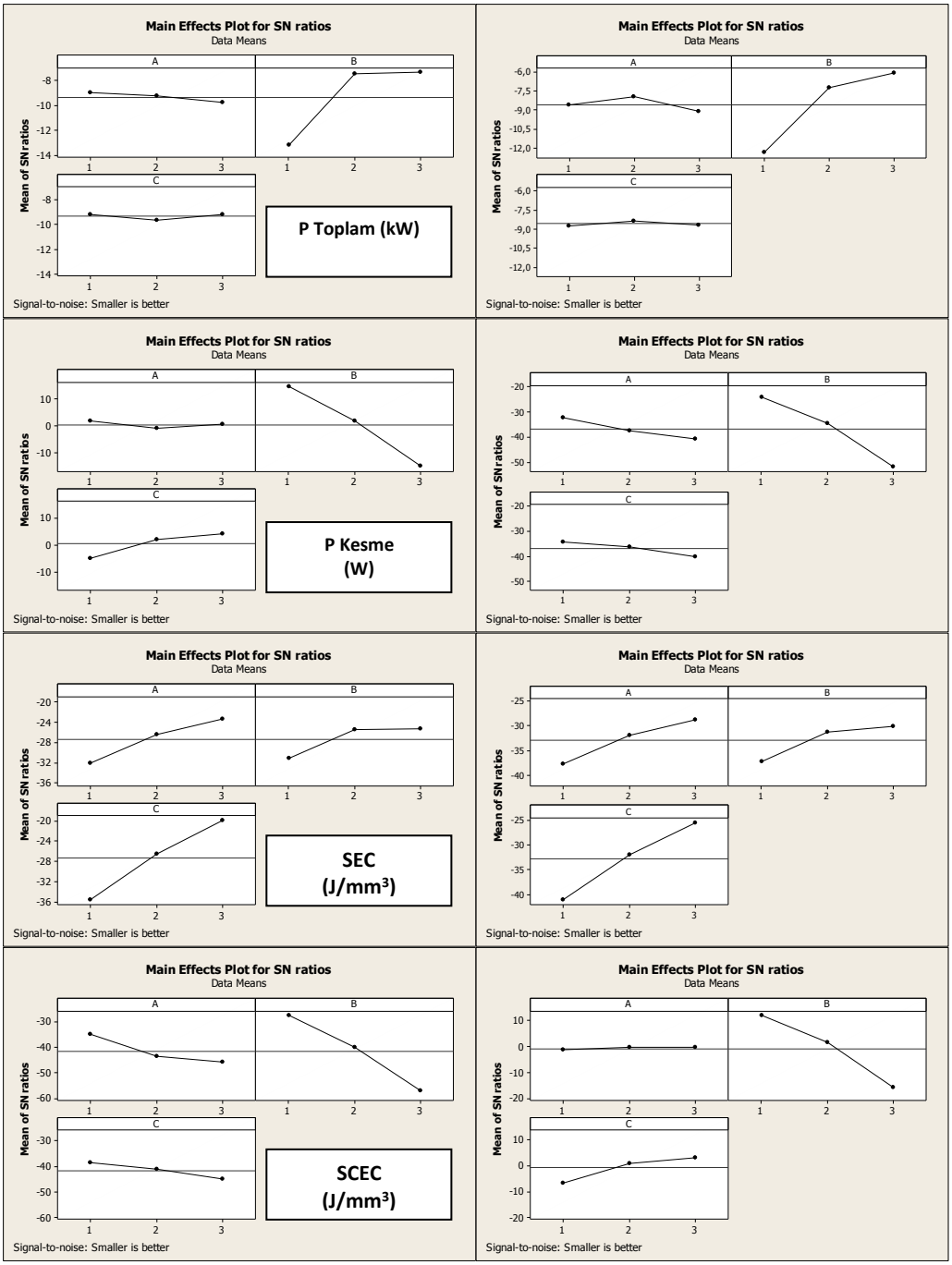
	Deney No	PI Kesme (A)	PI Kesme (A)_2	P toplam (kW)	P toplam (kW)_2	P kesme (W)	P kesme (W)_2	SEC (J/mm^3)	SEC (J/mm^3)_2	SCEC (J/mm^3)	SCEC (J/mm^3)_2
% 100 Yana Kayma	1	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	172,02	172,02	0,30	0,30
	2	5,85	5,88	2,32	2,31	59,44	71,33	29,24	29,09	0,75	0,90
	3	5,31	5,25	2,07	2,10	499,29	475,52	13,02	13,17	3,14	2,99
	4	11,56	11,58	4,57	4,56	31,70	39,63	28,80	28,75	0,20	0,25
	5	6,33	6,36	2,51	2,50	249,65	261,53	7,89	7,85	0,78	0,82
	6	5,62	5,67	2,24	2,22	622,13	641,95	42,41	42,03	11,78	12,16
	7	11,68	11,68	4,61	4,61	79,25	79,25	9,66	9,66	0,17	0,17
	8	6,21	6,19	2,44	2,45	202,09	194,17	30,86	30,96	2,55	2,45
	9	7,19	7,15	2,82	2,84	1244,27	1228,42	11,85	11,92	5,22	5,16
% 50 Yana Kayma	1	11,5	11,5	4,54	4,54	7,93	7,93	344,04	344,04	0,60	0,60
	2	5,8	5,82	2,29	2,30	39,63	47,55	57,89	57,69	1,00	1,20
	3	4,7	4,68	1,86	1,85	257,57	249,65	23,22	23,32	3,24	3,14
	4	11,52	11,52	4,55	4,55	15,85	15,85	57,29	57,29	0,20	0,20
	5	5,86	5,88	2,31	2,32	63,40	71,33	14,59	14,54	0,40	0,45
	6	4,9	4,95	1,93	1,95	336,82	356,64	74,04	73,30	12,76	13,51
	7	11,54	11,54	4,56	4,56	23,78	23,78	19,08	19,08	0,10	0,10
	8	5,76	5,82	2,27	2,30	23,78	47,55	58,04	57,44	0,60	1,20
	9	6,02	6,08	2,38	2,40	780,64	804,42	20,16	19,96	6,55	6,75



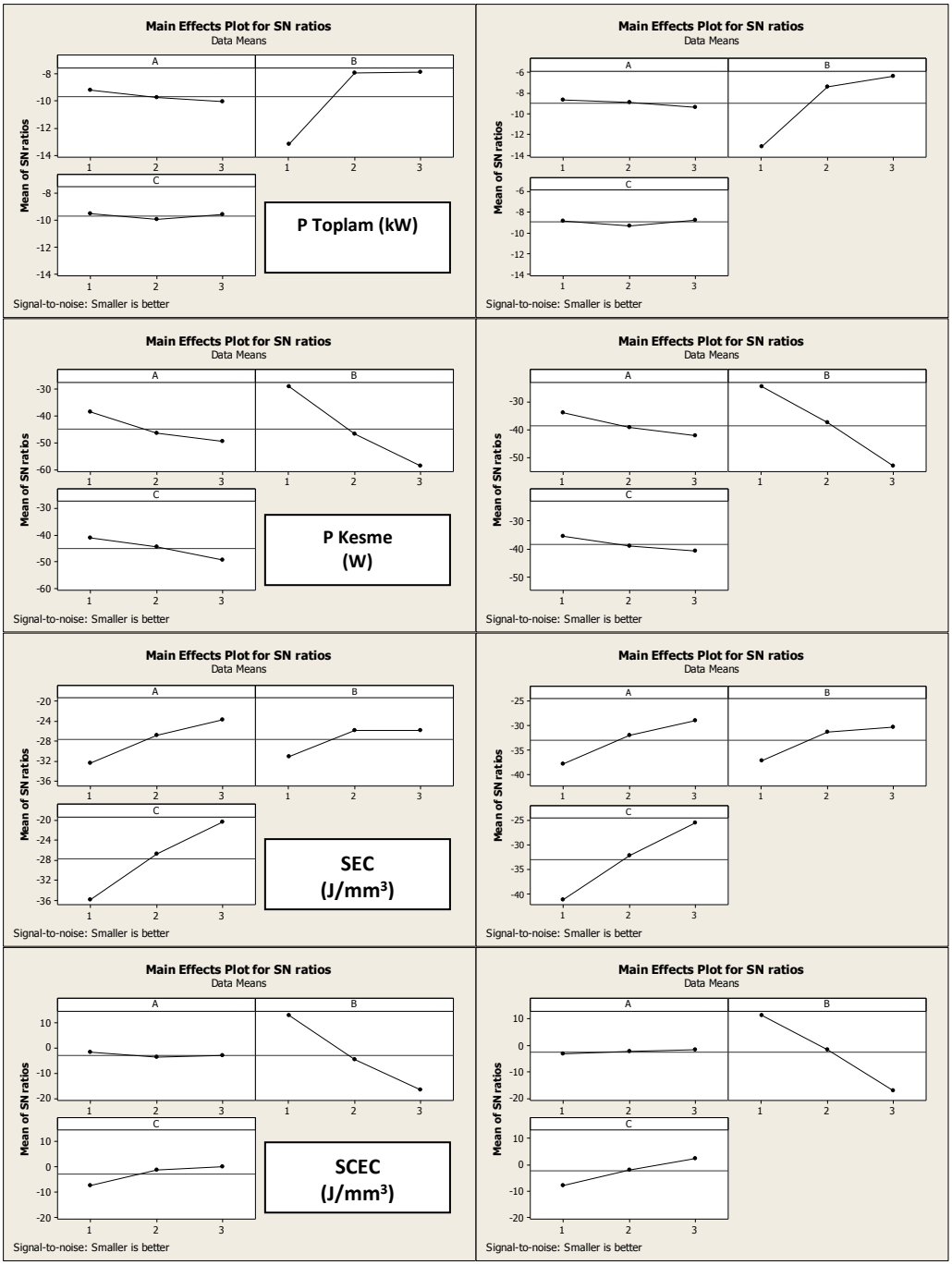
Grafik 9.19. Bir numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları



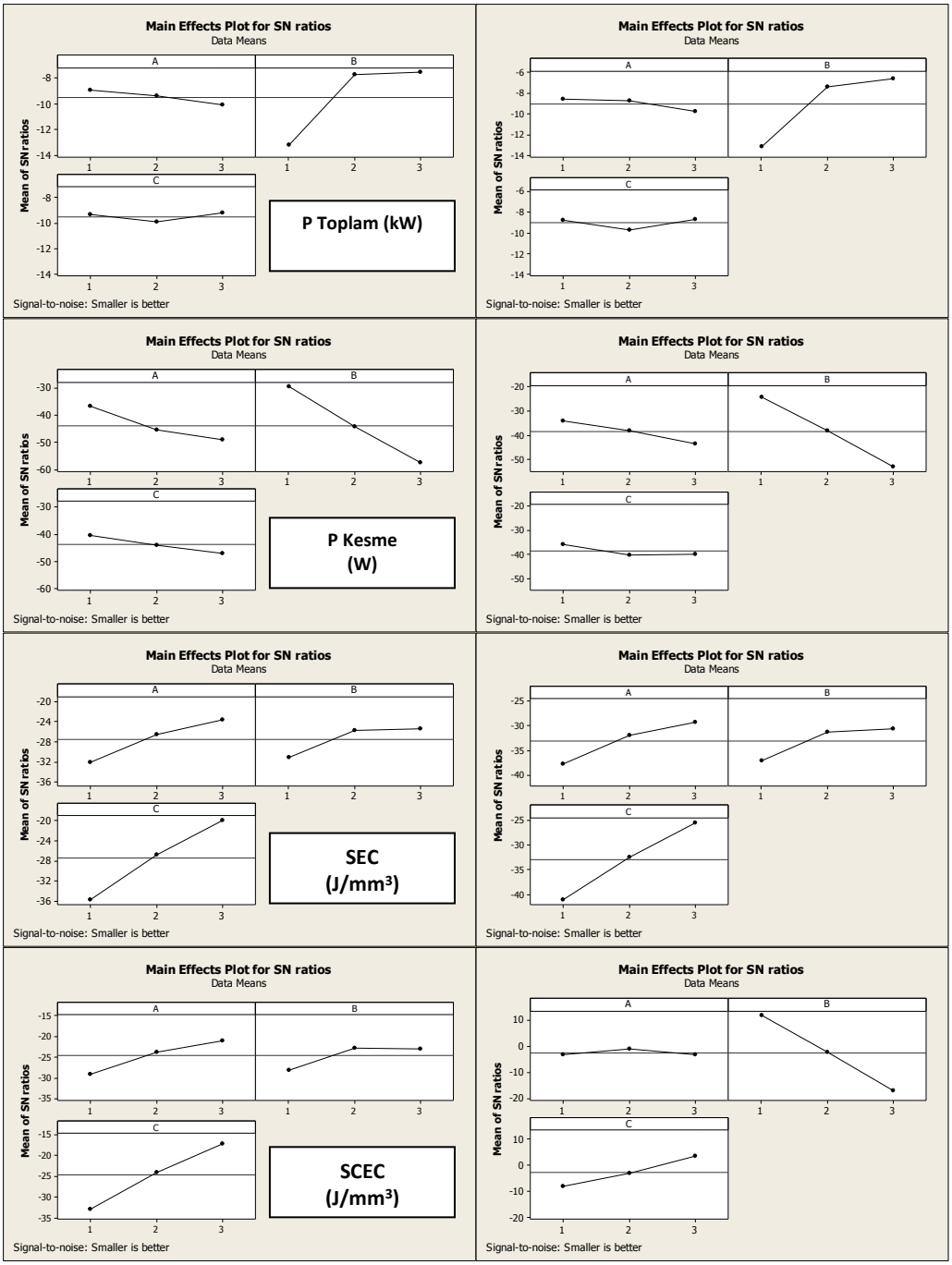
Grafik 9.20. İki numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları



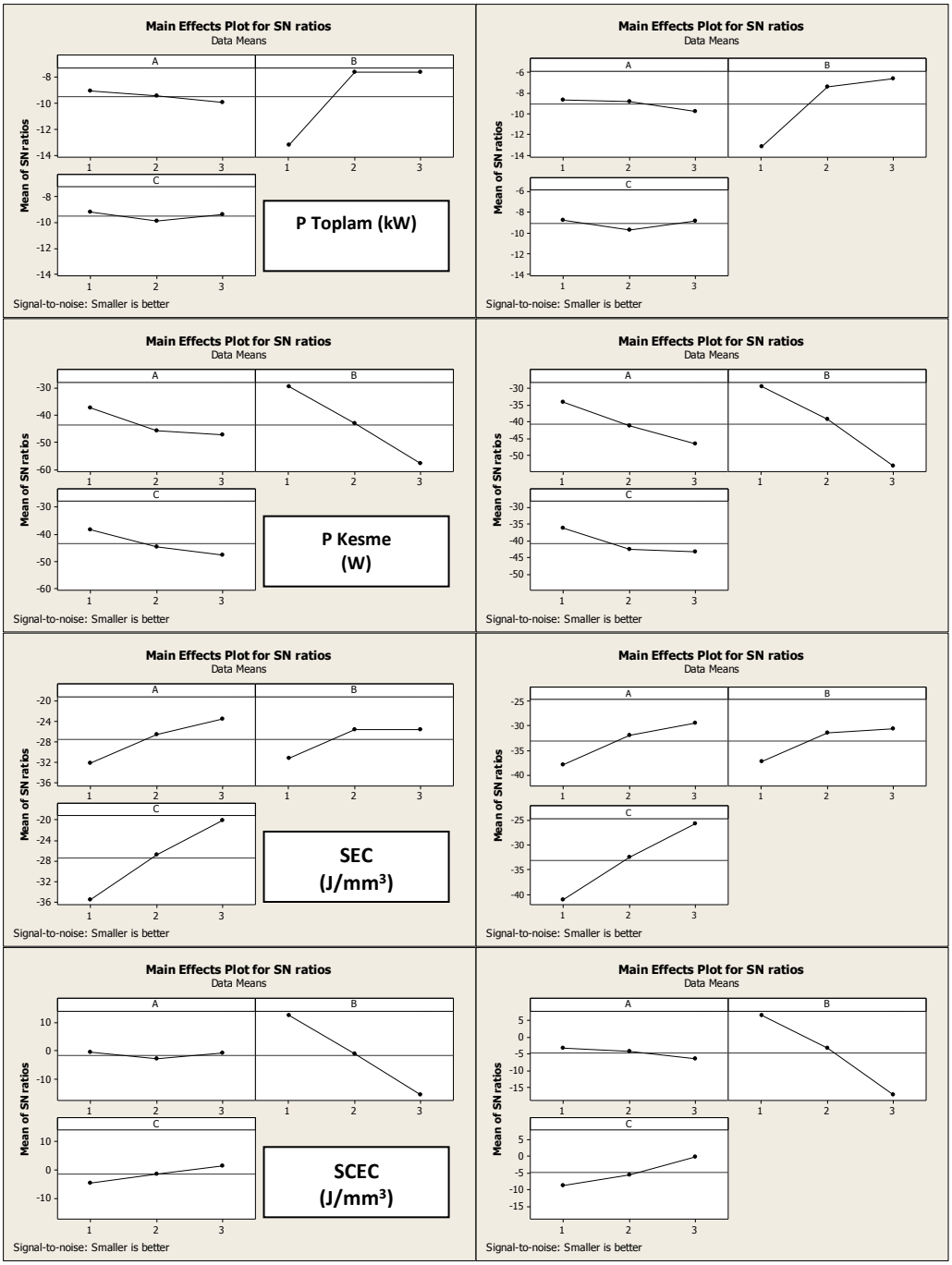
Grafik 9.21. Üç numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları



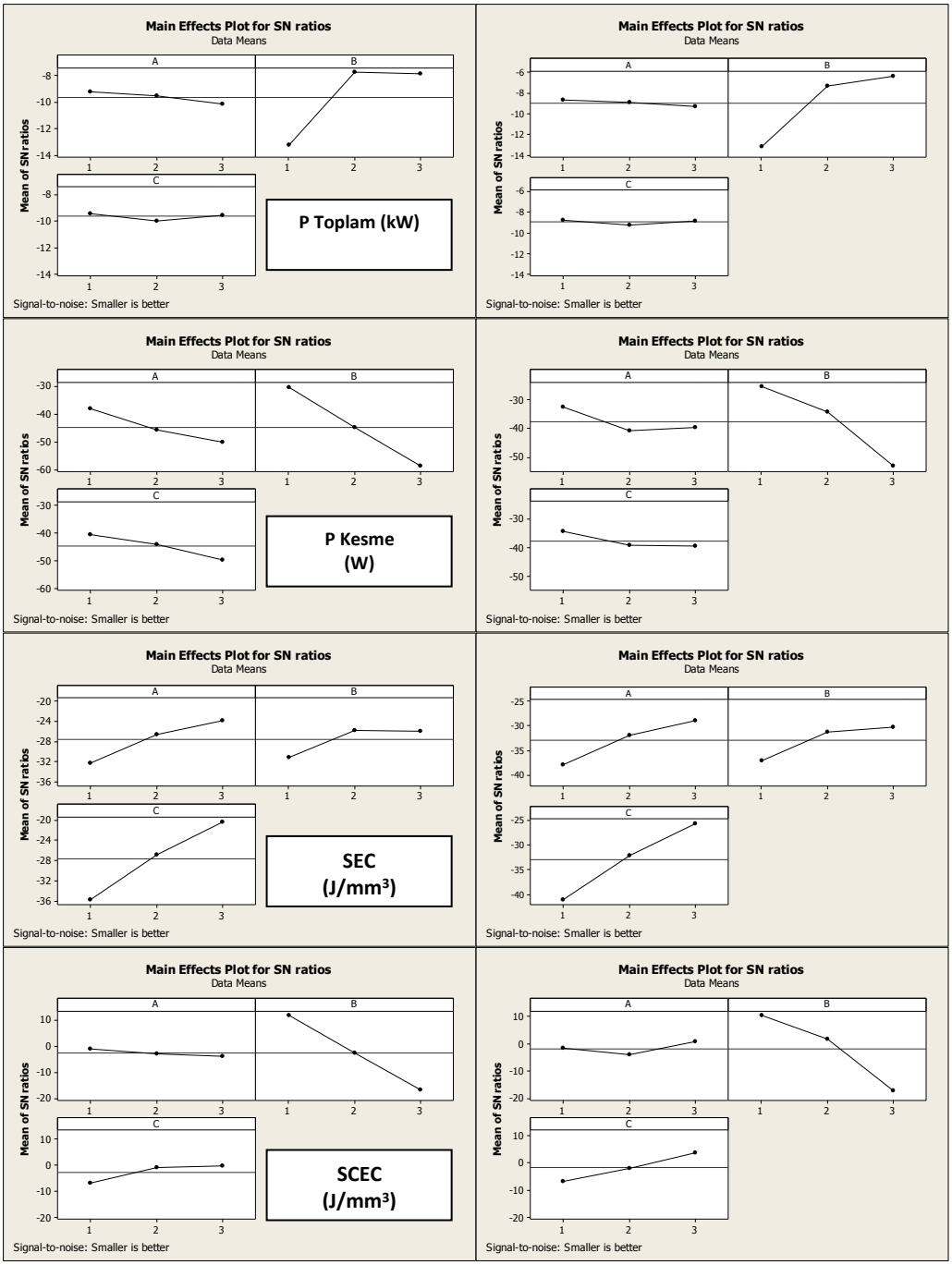
Grafik 9.22. Dört numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları



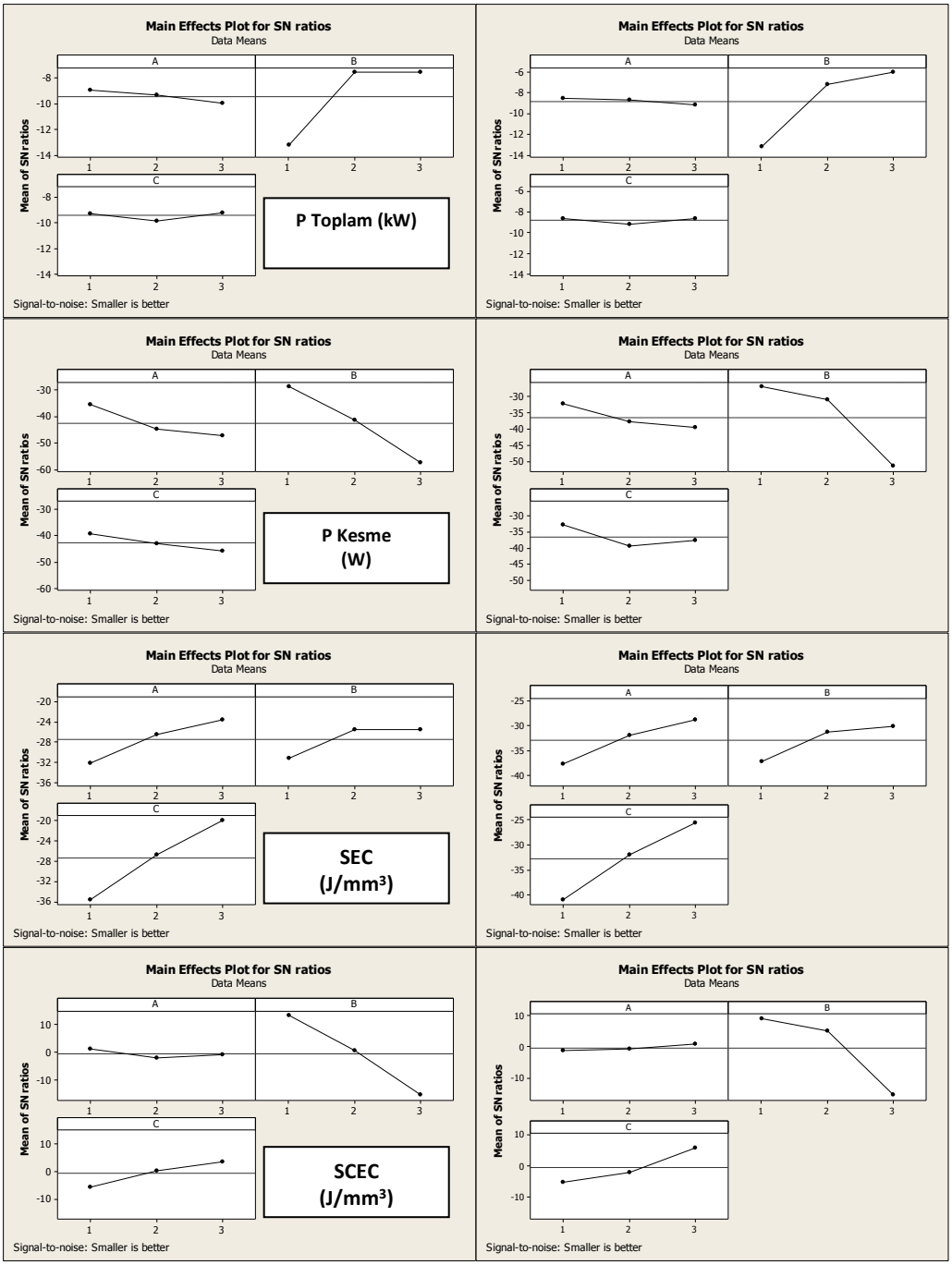
Grafik 9.23. Beş numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları



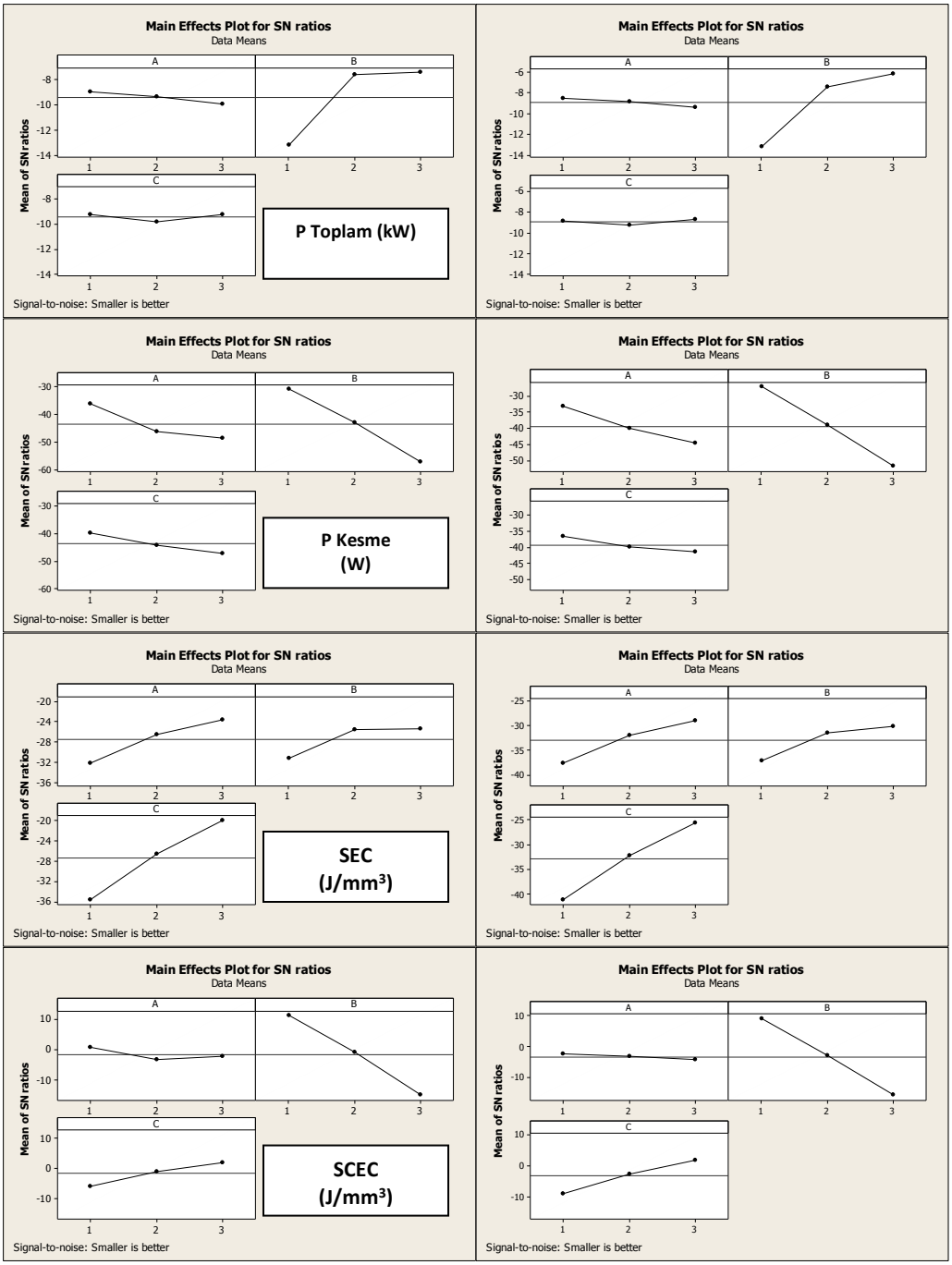
Grafik 9.24. Altı numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları



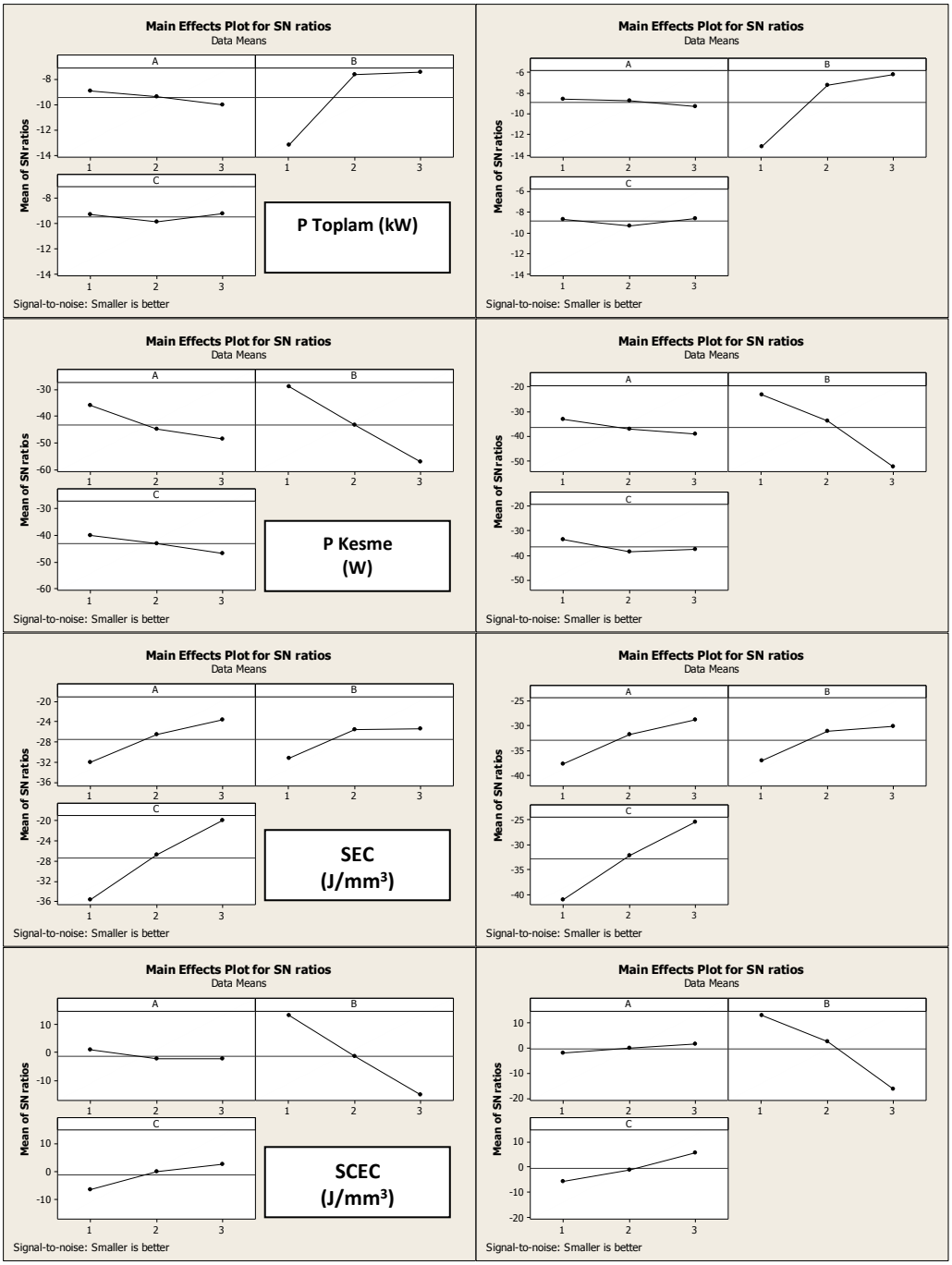
Grafik 9.25. Yedi numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları



Grafik 9.26. Sekiz numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları



Grafik 9.27. Dokuz numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları



Grafik 9.28. On numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) S/N oranları

Tablo 9.17. *Birinci numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları*

Yana Kayma	Sonuç	Değer	S/N Ratio	Mean
% 100 Yana Kayma	PI Kesme (A)	5,8	-15,2688	5,8
	P Toplam (kW)	2,29	-7,19842	2,29
	P Kesme (W)	693,46	-56,8227	693,462
	SEC (J/mm^3)	14,39	-23,1596	14,3869
	SCEC (J/mm^3)	4,36	-12,7839	4,35592
% 50 Yana Kayma	PI Kesme (A)	4,95	-13,9099	4,96
	P Toplam (kW)	1,95	-5,83957	1,95868
	P Kesme (W)	356,64	-51,1489	360,600
	SEC (J/mm^3)	24,56	-27,8213	24,6066
	SCEC (J/mm^3)	4,48	-13,1306	4,53015

Tablo 9.18. *İkinci numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları*

Yana Kayma	Sonuç	Değer	S/N Ratio	Mean
% 100 Yana Kayma	PI Kesme (A)	5,6	-15,0265	5,64
	P Toplam (kW)	2,21	-6,95611	2,22721
	P Kesme (W)	614,21	-55,9986	630,060
	SEC (J/mm^3)	13,89	-22,9172	13,9900
	SCEC (J/mm^3)	3,86	-11,9598	766
% 50 Yana Kayma	PI Kesme (A)	5,1	-14,1515	5,1
	P Toplam (kW)	2,01	-6,08113	2,01397
	P Kesme (W)	416,08	-52,3851	416,077
	SEC (J/mm^3)	6,89	-28,0629	25,3011
	SCEC (J/mm^3)	5,23	-14,3668	5,22710

Tablo 9.19. *Üçüncü numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları*

Yana Kayma	Sonuç	Değer	S/N Ratio	Mean
% 100 Yana Kayma	PI Kesme (A)	5,36	-14,5843	5,64
	P Toplam (kW)	2,21	-6,51392	2,11664
	P Kesme (W)	519,11	-54,3213	519,106
	SEC (J/mm^3)	13,30	-22,4751	13,2955
	SCEC (J/mm^3)	3,26	-10,2824	3,26072
% 50 Yana Kayma	PI Kesme (A)	4,72	-13,9279	5,32667
	P Toplam (kW)	1,86	-5,85757	2,10348
	P Kesme (W)	265,50	-50,0059	280,687
	SEC (J/mm^3)	23,42	-27,4494	25,3391
	SCEC (J/mm^3)	3,34	-11,9876	4,89160

Tablo 9.20. *Dördüncü numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları*

Yana Kayma	Sonuç	Değer	S/N Ratio	Mean
% 100 Yana Kayma	PI Kesme (A)	5,6	-15,0265	5,64
	P Toplam (kW)	2,21	-6,95611	2,22721
	P Kesme (W)	614,21	-55,9986	630,060
	SEC (J/mm^3)	13,89	-22,9172	13,9900
	SCEC (J/mm^3)	3,86	-11,9598	3,95766
% 50 Yana Kayma	PI Kesme (A)	4,72	-13,5344	4,75
	P Toplam (kW)	1,86	-5,46401	1,87576
	P Kesme (W)	265,50	-48,8838	277,385
	SEC (J/mm^3)	23,42	-27,4457	23,5648
	SCEC (J/mm^3)	3,34	-10,8655	3,48473

Tablo 9.21. *Beşinci numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları*

Yana Kayma	Sonuç	Değer	S/N Ratio	Mean
% 100 Yana Kayma	PI Kesme (A)	5,28	-14,5342	5,33333
	P Toplam (kW)	2,09	-6,46386	2,10611
	P Kesme (W)	487,40	-53,9649	508,539
	SEC (J/mm^3)	13,10	-19,9646	15,6437
	SCEC (J/mm^3)	3,06	-11,9598	3,95766
% 50 Yana Kayma	PI Kesme (A)	4,7	-13,4439	4,7
	P Toplam (kW)	1,86	-5,37358	1,85601
	P Kesme (W)	257,57	-48,3196	257,572
	SEC (J/mm^3)	23,32	-27,3553	23,3167
	SCEC (J/mm^3)	3,24	-10,3013	3,23582

Tablo 9.22. *Altıncı numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları*

Yana Kayma	Sonuç	Değer	S/N Ratio	Mean
% 100 Yana Kayma	PI Kesme (A)	5,68	-14,8278	5,52333
	P Toplam (kW)	2,24	-6,75746	2,18114
	P Kesme (W)	641,91	-56,1381	583,829
	SEC (J/mm^3)	13,79	-22,7186	15,1501
	SCEC (J/mm^3)	3,76	-12,0993	4,93499
% 50 Yana Kayma	PI Kesme (A)	4,88	-13,6179	4,80333
	P Toplam (kW)	1,93	-5,54759	1,89682
	P Kesme (W)	328,90	-49,7227	298,519
	SEC (J/mm^3)	24,21	-27,5293	25,2790
	SCEC (J/mm^3)	4,13	-11,7044	4,83127

Tablo 9.23. *Yedinci numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları*

Yana Kayma	Sonuç	Değer	S/N Ratio	Mean
% 100 Yana Kayma	PI Kesme (A)	5,76	-15,2001	5,77333
	P Toplam (kW)	2,27	-7,12972	2,27987
	P Kesme (W)	677,61	-57,4745	682,895
	SEC (J/mm^3)	14,29	-23,0909	15,8175
	SCEC (J/mm^3)	4,26	-13,4356	5,60466
% 50 Yana Kayma	PI Kesme (A)	4,92	-13,8115	4,9
	P Toplam (kW)	1,94	-5,74114	1,93499
	P Kesme (W)	344,75	-49,4722	336,824
	SEC (J/mm^3)	24,41	-27,7229	26,1472
	SCEC (J/mm^3)	4,33	-11,4540	5,70250

Tablo 9.24. *Sekizinci numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları*

Yana Kayma	Sonuç	Değer	S/N Ratio	Mean
% 100 Yana Kayma	PI Kesme (A)	5,4	-14,6376	5,395
	P Toplam (kW)	2,13	-6,56729	2,13046
	P Kesme (W)	534,96	-53,8744	532,975
	SEC (J/mm^3)	13,39	-22,5284	14,7734
	SCEC (J/mm^3)	3,36	-9,83556	4,55691
% 50 Yana Kayma	PI Kesme (A)	4,92	-13,4876	4,72667
	P Toplam (kW)	1,94	-5,41724	1,86654
	P Kesme (W)	344,75	-48,7228	268,139
	SEC (J/mm^3)	24,41	-27,3990	25,0820
	SCEC (J/mm^3)	4,33	-10,7045	4,63361

Tablo 9.25. *Dokuzuncu numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları*

Yana Kayma	Sonuç	Değer	S/N Ratio	Mean
% 100 Yana Kayma	**PI Kesme (A)**	5,48	-14,5387	5,33667
	P Toplam (kW)	2,16	-6,46833	2,10743
	P Kesme (W)	566,66	-53,6651	509,860
	SEC (J/mm^3)	13,59	-22,4295	14,5315
	SCEC (J/mm^3)	3,56	-9,62627	4,31422
% 50 Yana Kayma	**PI Kesme (A)**	4,65	-13,3690	4,66417
	P Toplam (kW)	1,84	-5,29862	1,84186
	P Kesme (W)	237,76	-48,0224	243,372
	SEC (J/mm^3)	23,07	-27,2804	24,7827
	SCEC (J/mm^3)	2,99	-10,0041	4,33333

Tablo 9.26. *Onuncu numune doğrulama deneyi ve Taguchi Metodu tahmin sonuçları*

Yana Kayma	Sonuç	Değer	S/N Ratio	Mean
% 100 Yana Kayma	**PI Kesme (A)**	5,34	-14,4528	5,28
	P Toplam (kW)	2,11	-6,38247	2,08505
	P Kesme (W)	511,18	-53,7604	487,405
	SEC (J/mm^3)	13,25	-22,3436	13,0971
	SCEC (J/mm^3)	3,21	-9,72152	3,06159
% 50 Yana Kayma	**PI Kesme (A)**	4,72	-13,4235	4,69
	P Toplam (kW)	1,86	-5,35313	1,85206
	P Kesme (W)	265,50	-48,0844	253,609
	SEC (J/mm^3)	23,42	-27,3349	23,2671
	SCEC (J/mm^3)	3,34	-10,0661	3,18604

PI(Kesme)- %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	2,906	2,906	1,453	5,85	0,019
B	2	107,015	107,015	53,507	215,26	0,000
C	2	0,841	0,841	0,421	1,69	0,229
Error	11	2,734	2,734	0,249		
Total	17	113,496				

S = 0,498572 R-Sq = 97,59% R-Sq(adj) = 96,28%

P toplam (kW) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,4532	0,4532	0,2266	5,85	0,019
B	2	16,6882	16,6882	8,3441	215,26	0,000
C	2	0,1312	0,1312	0,0656	1,69	0,229
Error	11	0,4264	0,4264	0,0388		
Total	17	17,6990				

S = 0,196884 R-Sq = 97,59% R-Sq(adj) = 96,28%

P kesme (W) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	456364	456364	228182	5,85	0,019
B	2	3196034	3196034	1598017	40,94	0,000
C	2	132097	132097	66048	1,69	0,229
Error	11	429356	429356	39032		
Total	17	4213850				

S = 197,566 R-Sq = 89,81% R-Sq(adj) = 84,25%

SEC (J/mm³) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	9871,0	9871,0	4935,5	9,36	0,004
B	2	8651,5	8651,5	4325,7	8,21	0,007
C	2	17820,1	17820,1	8910,1	16,91	0,000
Error	11	5797,4	5797,4	527,0		
Total	17	42140,0				

S = 22,9573 R-Sq = 86,24% R-Sq(adj) = 78,74%

SCEC (J/mm³) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	41,546	41,546	20,773	6,88	0,012
B	2	245,689	245,689	122,844	40,69	0,000
C	2	66,349	66,349	33,175	10,99	0,002
Error	11	33,213	33,213	3,019		
Total	17	386,797				

S = 1,73764 R-Sq = 91,41% R-Sq(adj) = 86,73%

PI(Kesme) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,828	0,828	0,414	6,31	0,015
B	2	136,590	136,590	68,295	1041,47	0,000
C	2	0,471	0,471	0,235	3,59	0,063
Error	11	0,721	0,721	0,066		
Total	17	138,610				

S = 0,256078 R-Sq = 99,48% R-Sq(adj) = 99,20%

P toplam (kW) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,1291	0,1291	0,0645	6,31	0,015
B	2	21,3003	21,3003	10,6501	1041,47	0,000
C	2	0,0734	0,0734	0,0367	3,59	0,063
Error	11	0,1125	0,1125	0,0102		
Total	17	21,6153				

S = 0,101124 R-Sq = 99,48% R-Sq(adj) = 99,20%

P kesme (W) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	129975	129975	64987	6,31	0,015
B	2	1044343	1044343	522171	50,71	0,000
C	2	73948	73948	36974	3,59	0,063
Error	11	113267	113267	10297		
Total	17	1361534				

S = 101,474 R-Sq = 91,68% R-Sq(adj) = 87,14%

SEC (J/mm³) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	41366	41366	20683	9,52	0,004
B	2	38145	38145	19073	8,78	0,005
C	2	67500	67500	33750	15,53	0,001
Error	11	23903	23903	2173		
Total	17	170915				

S = 46,6156 R-Sq = 86,01% R-Sq(adj) = 78,39%

SCEC (J/mm³) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	45,759	45,759	22,879	4,88	0,030
B	2	305,855	305,855	152,928	32,64	0,000
C	2	82,549	82,549	41,275	8,81	0,005
Error	11	51,543	51,543	4,686		
Total	17	485,706				

S = 2,16464 R-Sq = 89,39% R-Sq(adj) = 83,60%

Şekil 9.49. Bir numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri

PI(Kesme) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	2,152	2,152	1,076	8,46	0,006
B	2	119,171	119,171	59,586	468,65	0,000
C	2	0,531	0,531	0,266	2,09	0,170
Error	11	1,399	1,399	0,127		
Total	17	123,253				

S = 0,356572 R-Sq = 98,87% R-Sq(adj) = 98,25%

P toplam (kW) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,3355	0,3355	0,1678	8,46	0,006
B	2	18,5839	18,5839	9,2920	468,65	0,000
C	2	0,0829	0,0829	0,0414	2,09	0,170
Error	11	0,2181	0,2181	0,0198		
Total	17	19,2204				

S = 0,140809 R-Sq = 98,87% R-Sq(adj) = 98,25%

P kesme (W) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	337862	337862	168931	8,46	0,006
B	2	2360200	2360200	1180100	59,11	0,000
C	2	83440	83440	41720	2,09	0,170
Error	11	219612	219612	19965		
Total	17	3001114				

S = 141,297 R-Sq = 92,68% R-Sq(adj) = 88,69%

SEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	10034,1	10034,1	5017,0	9,47	0,004
B	2	8981,1	8981,1	4490,6	8,47	0,006
C	2	17471,8	17471,8	8735,9	16,49	0,000
Error	11	5828,5	5828,5	529,9		
Total	17	42315,4				

S = 23,0187 R-Sq = 86,23% R-Sq(adj) = 78,71%

SCEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	27,911	27,911	13,955	6,84	0,012
B	2	180,874	180,874	90,437	44,30	0,000
C	2	46,820	46,820	23,410	11,47	0,002
Error	11	22,456	22,456	2,041		
Total	17	278,062				

S = 1,42880 R-Sq = 91,92% R-Sq(adj) = 87,52%

PI(Kesme) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	6,149	6,149	3,074	1,09	0,369
B	2	98,439	98,439	49,219	17,50	0,000
C	2	3,169	3,169	1,584	0,56	0,585
Error	11	30,932	30,932	2,812		
Total	17	138,688				

S = 1,67689 R-Sq = 77,70% R-Sq(adj) = 65,53%

P toplam (kW) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,9589	0,9589	0,4794	1,09	0,369
B	2	15,3508	15,3508	7,6754	17,50	0,000
C	2	0,4941	0,4941	0,2471	0,56	0,585
Error	11	4,8236	4,8236	0,4385		
Total	17	21,6274				

S = 0,662199 R-Sq = 77,70% R-Sq(adj) = 65,53%

P kesme (W) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	63571	63571	31785	5,16	0,026
B	2	584685	584685	292342	47,50	0,000
C	2	38237	38237	19119	3,11	0,085
Error	11	67706	67706	6155		
Total	17	754199				

S = 78,4542 R-Sq = 91,02% R-Sq(adj) = 86,13%

SEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	41938	41938	20969	9,53	0,004
B	2	39379	39379	19690	8,95	0,005
C	2	66207	66207	33104	15,05	0,001
Error	11	24192	24192	2199		
Total	17	171717				

S = 46,8965 R-Sq = 85,91% R-Sq(adj) = 78,23%

SCEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	29,810	29,810	14,905	4,88	0,030
B	2	180,194	180,194	90,097	29,51	0,000
C	2	43,183	43,183	21,592	7,07	0,011
Error	11	33,586	33,586	3,053		
Total	17	286,773				

S = 1,74737 R-Sq = 88,29% R-Sq(adj) = 81,90%

Şekil 9.50. İki numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri

PI(Kesme) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	1,106	1,106	0,553	5,66	0,020
B	2	125,459	125,459	62,730	642,24	0,000
C	2	0,491	0,491	0,246	2,51	0,126
Error	11	1,074	1,074	0,098		
Total	17	128,130				

S = 0,312526 R-Sq = 99,16% R-Sq(adj) = 98,70%

P toplam (kW) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,1724	0,1724	0,0862	5,66	0,020
B	2	19,5645	19,5645	9,7822	642,24	0,000
C	2	0,0766	0,0766	0,0383	2,51	0,126
Error	11	0,1675	0,1675	0,0152		
Total	17	19,9810				

S = 0,123415 R-Sq = 99,16% R-Sq(adj) = 98,70%

P kesme (W) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	173607	173607	86804	5,66	0,020
B	2	1795551	1795551	897776	58,54	0,000
C	2	77131	77131	38565	2,51	0,126
Error	11	168708	168708	15337		
Total	17	2214997				

S = 123,843 R-Sq = 92,38% R-Sq(adj) = 88,23%

SEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	10196,7	10196,7	5098,4	9,53	0,004
B	2	9208,7	9208,7	4604,3	8,60	0,006
C	2	17222,9	17222,9	8611,4	16,09	0,001
Error	11	5886,8	5886,8	535,2		
Total	17	42515,1				

S = 23,1337 R-Sq = 86,15% R-Sq(adj) = 78,60%

SCEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	24,033	24,033	12,017	6,21	0,016
B	2	140,601	140,601	70,301	36,30	0,000
C	2	34,568	34,568	17,284	8,93	0,005
Error	11	21,302	21,302	1,937		
Total	17	220,505				

S = 1,39160 R-Sq = 90,34% R-Sq(adj) = 85,07%

PI(Kesme) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	6,149	6,149	3,074	1,09	0,369
B	2	98,439	98,439	49,219	17,50	0,000
C	2	3,169	3,169	1,584	0,56	0,585
Error	11	30,932	30,932	2,812		
Total	17	138,688				

S = 1,67689 R-Sq = 77,70% R-Sq(adj) = 65,53%

P toplam (kW) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,9589	0,9589	0,4794	1,09	0,369
B	2	15,3508	15,3508	7,6754	17,50	0,000
C	2	0,4941	0,4941	0,2471	0,56	0,585
Error	11	4,8236	4,8236	0,4385		
Total	17	21,6274				

S = 0,662199 R-Sq = 77,70% R-Sq(adj) = 65,53%

P kesme (W) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	63571	63571	31785	5,16	0,026
B	2	584685	584685	292342	47,50	0,000
C	2	38237	38237	19119	3,11	0,085
Error	11	67706	67706	6155		
Total	17	754199				

S = 78,4542 R-Sq = 91,02% R-Sq(adj) = 86,13%

SEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	41938	41938	20969	9,53	0,004
B	2	39379	39379	19690	8,95	0,005
C	2	66207	66207	33104	15,05	0,001
Error	11	24192	24192	2199		
Total	17	171717				

S = 46,8965 R-Sq = 85,91% R-Sq(adj) = 78,23%

SCEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	29,810	29,810	14,905	4,88	0,030
B	2	180,194	180,194	90,097	29,51	0,000
C	2	43,183	43,183	21,592	7,07	0,011
Error	11	33,586	33,586	3,053		
Total	17	286,773				

S = 1,74737 R-Sq = 88,29% R-Sq(adj) = 81,90%

Şekil 9.51. Üç numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri

PI(Kesme) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	1,402	1,402	0,701	5,45	0,023
B	2	111,762	111,762	55,881	434,49	0,000
C	2	0,307	0,307	0,154	1,20	0,339
Error	11	1,415	1,415	0,129		
Total	17	114,886				

S = 0,358625 R-Sq = 98,77% R-Sq(adj) = 98,10%

P toplam (kW) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,2187	0,2187	0,1093	5,45	0,023
B	2	17,4284	17,4284	8,7142	434,49	0,000
C	2	0,0479	0,0479	0,0240	1,20	0,339
Error	11	0,2206	0,2206	0,0201		
Total	17	17,9157				

S = 0,141619 R-Sq = 98,77% R-Sq(adj) = 98,10%

P kesme (W) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	220214	220214	110107	5,45	0,023
B	2	2342063	2342063	1171032	57,99	0,000
C	2	48271	48271	24136	1,20	0,339
Error	11	222148	222148	20195		
Total	17	2832696				

S = 142,110 R-Sq = 92,16% R-Sq(adj) = 87,88%

SEC (J/mm3)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	10053,8	10053,8	5026,9	9,71	0,004
B	2	8728,8	8728,8	4364,4	8,43	0,006
C	2	17812,6	17812,6	8906,3	17,21	0,000
Error	11	5692,8	5692,8	517,5		
Total	17	42288,0				

S = 22,7492 R-Sq = 86,54% R-Sq(adj) = 79,20%

SCEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	42,075	42,075	21,038	5,29	0,025
B	2	206,232	206,232	103,116	25,91	0,000
C	2	66,013	66,013	33,007	8,29	0,006
Error	11	43,781	43,781	3,980		
Total	17	358,101				

S = 1,99501 R-Sq = 87,77% R-Sq(adj) = 81,11%

PI(Kesme) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,638	0,638	0,319	5,07	0,027
B	2	142,239	142,239	71,119	1131,82	0,000
C	2	0,442	0,442	0,221	3,52	0,066
Error	11	0,691	0,691	0,063		
Total	17	144,010				

S = 0,250672 R-Sq = 99,52% R-Sq(adj) = 99,26%

P toplam (kW) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,0994	0,0994	0,0497	5,07	0,027
B	2	22,1811	22,1811	11,0905	1131,82	0,000
C	2	0,0689	0,0689	0,0345	3,52	0,066
Error	11	0,1078	0,1078	0,0098		
Total	17	22,4573				

S = 0,0989893 R-Sq = 99,52% R-Sq(adj) = 99,26%

P kesme (W) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	100140	100140	50070	5,07	0,027
B	2	790548	790548	395274	40,06	0,000
C	2	69426	69426	34713	3,52	0,066
Error	11	108536	108536	9867		
Total	17	1068650				

S = 99,3322 R-Sq = 89,84% R-Sq(adj) = 84,30%

SEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	41587	41587	20793	9,50	0,004
B	2	38692	38692	19346	8,84	0,005
C	2	66974	66974	33487	15,30	0,001
Error	11	24082	24082	2189		
Total	17	171335				

S = 46,7896 R-Sq = 85,94% R-Sq(adj) = 78,28%

SCEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	45,197	45,197	22,598	4,58	0,036
B	2	247,067	247,067	123,534	25,04	0,000
C	2	65,600	65,600	32,800	6,65	0,013
Error	11	54,275	54,275	4,934		
Total	17	412,139				

S = 2,22129 R-Sq = 86,83% R-Sq(adj) = 79,65%

Şekil 9.52. Dört numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri

PI(Kesme)- %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	2,042	2,042	1,021	7,10	0,010
B	2	119,415	119,415	59,707	415,36	0,000
C	2	0,758	0,758	0,379	2,64	0,116
Error	11	1,581	1,581	0,144		
Total	17	123,796				

S = 0,379143 R-Sq = 98,72% R-Sq(adj) = 98,03%

P toplam (kW) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,3185	0,3185	0,1592	7,10	0,010
B	2	18,6218	18,6218	9,3109	415,36	0,000
C	2	0,1181	0,1181	0,0591	2,64	0,116
Error	11	0,2466	0,2466	0,0224		
Total	17	19,3050				

S = 0,149722 R-Sq = 98,72% R-Sq(adj) = 98,03%

P kesme (W) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	320673	320673	160337	7,10	0,010
B	2	1969982	1969982	984991	43,64	0,000
C	2	118969	118969	59485	2,64	0,116
Error	11	248295	248295	22572		
Total	17	2657919				

S = 150,241 R-Sq = 90,66% R-Sq(adj) = 85,56%

SEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	10026,5	10026,5	5013,3	9,44	0,004
B	2	9004,9	9004,9	4502,4	8,48	0,006
C	2	17511,0	17511,0	8755,5	16,48	0,000
Error	11	5842,9	5842,9	531,2		
Total	17	42385,3				

S = 23,0471 R-Sq = 86,21% R-Sq(adj) = 78,70%

SCEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	27,656	27,656	13,828	6,04	0,017
B	2	152,432	152,432	76,216	33,27	0,000
C	2	48,654	48,654	24,327	10,62	0,003
Error	11	25,202	25,202	2,291		
Total	17	253,944				

S = 1,51364 R-Sq = 90,08% R-Sq(adj) = 84,66%

PI(Kesme) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	1,986	1,986	0,993	5,74	0,020
B	2	137,003	137,003	68,502	395,98	0,000
C	2	1,693	1,693	0,847	4,89	0,030
Error	11	1,903	1,903	0,173		
Total	17	142,586				

S = 0,415925 R-Sq = 98,67% R-Sq(adj) = 97,94%

P toplam (kW) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,3097	0,3097	0,1549	5,74	0,020
B	2	21,3647	21,3647	10,6823	395,98	0,000
C	2	0,2641	0,2641	0,1320	4,89	0,030
Error	11	0,2967	0,2967	0,0270		
Total	17	22,2352				

S = 0,164247 R-Sq = 98,67% R-Sq(adj) = 97,94%

P kesme (W) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	311873	311873	155936	5,74	0,020
B	2	1057282	1057282	528641	19,46	0,000
C	2	265896	265896	132948	4,89	0,030
Error	11	298808	298808	27164		
Total	17	1933859				

S = 164,816 R-Sq = 84,55% R-Sq(adj) = 76,12%

SEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	41390	41390	20695	9,15	0,005
B	2	38724	38724	19362	8,56	0,006
C	2	65823	65823	32911	14,56	0,001
Error	11	24870	24870	2261		
Total	17	170806				

S = 47,5489 R-Sq = 85,44% R-Sq(adj) = 77,50%

SCEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	22,558	22,558	11,279	4,73	0,033
B	2	223,947	223,947	111,973	46,95	0,000
C	2	43,391	43,391	21,695	9,10	0,005
Error	11	26,236	26,236	2,385		
Total	17	316,131				

S = 1,54437 R-Sq = 91,70% R-Sq(adj) = 87,17%

Şekil 9.53. Beş numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri

PI(Kesme) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	1,393	1,393	0,696	4,18	0,045
B	2	119,685	119,685	59,842	359,05	0,000
C	2	0,954	0,954	0,477	2,86	0,100
Error	11	1,833	1,833	0,167		
Total	17	123,865				

S = 0,408248 R-Sq = 98,52% R-Sq(adj) = 97,71%

P toplam (kW) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,2172	0,2172	0,1086	4,18	0,045
B	2	18,6640	18,6640	9,3320	359,05	0,000
C	2	0,1488	0,1488	0,0744	2,86	0,100
Error	11	0,2859	0,2859	0,0260		
Total	17	19,3158				

S = 0,161216 R-Sq = 98,52% R-Sq(adj) = 97,71%

P kesme (W) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	218663	218663	109331	4,18	0,045
B	2	2122917	2122917	1061459	40,56	0,000
C	2	149823	149823	74911	2,86	0,100
Error	11	287879	287879	26171		
Total	17	2779282				

S = 161,774 R-Sq = 89,64% R-Sq(adj) = 83,99%

SEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	10232,8	10232,8	5116,4	9,50	0,004
B	2	9069,3	9069,3	4534,7	8,42	0,006
C	2	17128,6	17128,6	8564,3	15,91	0,001
Error	11	5921,3	5921,3	538,3		
Total	17	42352,0				

S = 23,2013 R-Sq = 86,02% R-Sq(adj) = 78,39%

SCEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	24,446	24,446	12,223	5,11	0,027
B	2	160,784	160,784	80,392	33,60	0,000
C	2	30,495	30,495	15,247	6,37	0,015
Error	11	26,315	26,315	2,392		
Total	17	242,040				

S = 1,54671 R-Sq = 89,13% R-Sq(adj) = 83,20%

PI(Kesme) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	2,062	2,062	1,031	7,18	0,010
B	2	139,617	139,617	69,808	486,47	0,000
C	2	1,372	1,372	0,686	4,78	0,032
Error	11	1,579	1,579	0,144		
Total	17	144,629				

S = 0,378815 R-Sq = 98,91% R-Sq(adj) = 98,31%

P toplam (kW) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,3215	0,3215	0,1607	7,18	0,010
B	2	21,7722	21,7722	10,8861	486,47	0,000
C	2	0,2139	0,2139	0,1070	4,78	0,032
Error	11	0,2462	0,2462	0,0224		
Total	17	22,5538				

S = 0,149593 R-Sq = 98,91% R-Sq(adj) = 98,31%

P kesme (W) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	323709	323709	161855	7,18	0,010
B	2	962969	962969	481484	21,37	0,000
C	2	215425	215425	107712	4,78	0,032
Error	11	247866	247866	22533		
Total	17	1749969				

S = 150,111 R-Sq = 85,84% R-Sq(adj) = 78,11%

SEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	41393	41393	20697	9,20	0,004
B	2	38848	38848	19424	8,63	0,006
C	2	65647	65647	32824	14,59	0,001
Error	11	24746	24746	2250		
Total	17	170634				

S = 47,4299 R-Sq = 85,50% R-Sq(adj) = 77,59%

SCEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	21,355	21,355	10,678	7,42	0,009
B	2	206,368	206,368	103,184	71,73	0,000
C	2	36,436	36,436	18,218	12,66	0,001
Error	11	15,823	15,823	1,438		
Total	17	279,983				

S = 1,19937 R-Sq = 94,35% R-Sq(adj) = 91,27%

Şekil 9.54. Altı numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri

PI(Kesme) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	1,718	1,718	0,859	6,23	0,016
B	2	114,486	114,486	57,243	415,08	0,000
C	2	0,581	0,581	0,291	2,11	0,168
Error	11	1,517	1,517	0,138		
Total	17	118,302				

S = 0,371358 R-Sq = 98,72% R-Sq(adj) = 98,02%

P toplam (kW) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,2678	0,2678	0,1339	6,23	0,016
B	2	17,8533	17,8533	8,9267	415,08	0,000
C	2	0,0906	0,0906	0,0453	2,11	0,168
Error	11	0,2366	0,2366	0,0215		
Total	17	18,4483				

S = 0,146648 R-Sq = 98,72% R-Sq(adj) = 98,02%

P kesme (W) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	269692	269692	134846	6,23	0,016
B	2	2518188	2518188	1259094	58,14	0,000
C	2	91249	91249	45625	2,11	0,168
Error	11	238204	238204	21655		
Total	17	3117333				

S = 147,156 R-Sq = 92,36% R-Sq(adj) = 88,19%

SEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	10117,9	10117,9	5058,9	9,62	0,004
B	2	8848,0	8848,0	4424,0	8,41	0,006
C	2	17493,4	17493,4	8746,7	16,64	0,000
Error	11	5783,1	5783,1	525,7		
Total	17	42242,4				

S = 22,9289 R-Sq = 86,31% R-Sq(adj) = 78,84%

SCEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	29,322	29,322	14,661	5,36	0,024
B	2	197,953	197,953	98,976	36,16	0,000
C	2	47,823	47,823	23,912	8,74	0,005
Error	11	30,109	30,109	2,737		
Total	17	305,207				

S = 1,65445 R-Sq = 90,13% R-Sq(adj) = 84,75%

PI(Kesme) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,421	0,421	0,211	3,70	0,059
B	2	143,576	143,576	71,788	1262,30	0,000
C	2	0,330	0,330	0,165	2,90	0,097
Error	11	0,626	0,626	0,057		
Total	17	144,953				

S = 0,238476 R-Sq = 99,57% R-Sq(adj) = 99,33%

P toplam (kW) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,0657	0,0657	0,0329	3,70	0,059
B	2	22,3897	22,3897	11,1948	1262,30	0,000
C	2	0,0514	0,0514	0,0257	2,90	0,097
Error	11	0,0976	0,0976	0,0089		
Total	17	22,6043				

S = 0,0941731 R-Sq = 99,57% R-Sq(adj) = 99,33%

P kesme (W) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	68023	68023	34012	4,25	0,043
B	2	784686	784686	392343	49,04	0,000
C	2	55084	55084	27542	3,44	0,069
Error	11	87997	87997	8000		
Total	17	995791				

S = 89,4411 R-Sq = 91,16% R-Sq(adj) = 86,34%

SEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	41866	41866	20933	9,51	0,004
B	2	39062	39062	19531	8,87	0,005
C	2	66178	66178	33089	15,03	0,001
Error	11	24215	24215	2201		
Total	17	171322				

S = 46,9191 R-Sq = 85,87% R-Sq(adj) = 78,16%

SCEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	33,682	33,682	16,841	5,76	0,019
B	2	227,963	227,963	113,981	38,96	0,000
C	2	43,399	43,399	21,699	7,42	0,009
Error	11	32,185	32,185	2,926		
Total	17	337,229				

S = 1,71053 R-Sq = 90,46% R-Sq(adj) = 85,25%

Şekil 9.55. Yedi numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri

PI(Kesme) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	1,724	1,724	0,862	6,34	0,015
B	2	121,300	121,300	60,650	445,98	0,000
C	2	0,799	0,799	0,400	2,94	0,095
Error	11	1,496	1,496	0,136		
Total	17	125,319				

S = 0,368771 R-Sq = 98,81% R-Sq(adj) = 98,16%

PI(Kesme)- %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,436	0,436	0,218	5,47	0,022
B	2	150,395	150,395	75,198	1887,95	0,000
C	2	0,385	0,385	0,192	4,83	0,031
Error	11	0,438	0,438	0,040		
Total	17	151,654				

S = 0,199575 R-Sq = 99,71% R-Sq(adj) = 99,55%

P toplam (kW) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,2688	0,2688	0,1344	6,34	0,015
B	2	18,9159	18,9159	9,4579	445,98	0,000
C	2	0,1246	0,1246	0,0623	2,94	0,095
Error	11	0,2333	0,2333	0,0212		
Total	17	19,5426				

S = 0,145626 R-Sq = 98,81% R-Sq(adj) = 98,16%

P toplam (kW) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,0679	0,0679	0,0340	5,47	0,022
B	2	23,4531	23,4531	11,7265	1887,95	0,000
C	2	0,0600	0,0600	0,0300	4,83	0,031
Error	11	0,0683	0,0683	0,0062		
Total	17	23,6493				

S = 0,0788115 R-Sq = 99,71% R-Sq(adj) = 99,55%

P kesme (W) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	270697	270697	135349	6,34	0,015
B	2	2113775	2113775	1056887	49,49	0,000
C	2	125501	125501	62751	2,94	0,095
Error	11	234896	234896	21354		
Total	17	2744870				

S = 146,131 R-Sq = 91,44% R-Sq(adj) = 86,77%

P kesme (W) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	71401	71401	35701	6,50	0,014
B	2	581000	581000	290500	52,89	0,000
C	2	65120	65120	32560	5,93	0,018
Error	11	60420	60420	5493		
Total	17	777941				

S = 74,1128 R-Sq = 92,23% R-Sq(adj) = 88,00%

SEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	10084,4	10084,4	5042,2	9,43	0,004
B	2	9087,4	9087,4	4543,7	8,49	0,006
C	2	17375,1	17375,1	8687,6	16,24	0,001
Error	11	5884,4	5884,4	534,9		
Total	17	42431,2				

S = 23,1288 R-Sq = 86,13% R-Sq(adj) = 78,57%

SEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	42069	42069	21034	9,51	0,004
B	2	39678	39678	19839	8,97	0,005
C	2	65679	65679	32839	14,85	0,001
Error	11	24332	24332	2212		
Total	17	171757				

S = 47,0318 R-Sq = 85,83% R-Sq(adj) = 78,11%

SCEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	27,680	27,680	13,840	6,38	0,014
B	2	160,936	160,936	80,468	37,07	0,000
C	2	41,682	41,682	20,841	9,60	0,004
Error	11	23,876	23,876	2,171		
Total	17	254,173				

S = 1,47326 R-Sq = 90,61% R-Sq(adj) = 85,48%

SCEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	22,363	22,363	11,181	4,57	0,036
B	2	163,230	163,230	81,615	33,37	0,000
C	2	32,199	32,199	16,099	6,58	0,013
Error	11	26,900	26,900	2,445		
Total	17	244,691				

S = 1,56379 R-Sq = 89,01% R-Sq(adj) = 83,01%

Şekil 9.56. Sekiz numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri

PI(Kesme)- %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	1,673	1,673	0,836	6,56	0,013
B	2	124,066	124,066	62,033	486,58	0,000
C	2	0,671	0,671	0,335	2,63	0,116
Error	11	1,402	1,402	0,127		
Total	17	127,812				

S = 0,357056 R-Sq = 98,90% R-Sq(adj) = 98,30%

P toplam (kW) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,2609	0,2609	0,1304	6,56	0,013
B	2	19,3472	19,3472	9,6736	486,58	0,000
C	2	0,1046	0,1046	0,0523	2,63	0,116
Error	11	0,2187	0,2187	0,0199		
Total	17	19,9314				

S = 0,141000 R-Sq = 98,90% R-Sq(adj) = 98,30%

P kesme (W) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	262679	262679	131339	6,56	0,013
B	2	1782557	1782557	891278	44,52	0,000
C	2	105360	105360	52680	2,63	0,116
Error	11	220209	220209	20019		
Total	17	2370804				

S = 141,488 R-Sq = 90,71% R-Sq(adj) = 85,65%

SEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	10112,7	10112,7	5056,3	9,46	0,004
B	2	9144,4	9144,4	4572,2	8,55	0,006
C	2	17286,6	17286,6	8643,3	16,16	0,001
Error	11	5882,3	5882,3	534,8		
Total	17	42426,0				

S = 23,1248 R-Sq = 86,14% R-Sq(adj) = 78,57%

SCEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	24,541	24,541	12,271	5,74	0,020
B	2	138,377	138,377	69,188	32,36	0,000
C	2	37,446	37,446	18,723	8,76	0,005
Error	11	23,518	23,518	2,138		
Total	17	223,882				

S = 1,46218 R-Sq = 89,50% R-Sq(adj) = 83,77%

PI(Kesme) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,832	0,832	0,416	7,38	0,009
B	2	146,258	146,258	73,129	1296,76	0,000
C	2	0,393	0,393	0,196	3,48	0,067
Error	11	0,620	0,620	0,056		
Total	17	148,103				

S = 0,237473 R-Sq = 99,58% R-Sq(adj) = 99,35%

P toplam (kW) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,1298	0,1298	0,0649	7,38	0,009
B	2	22,8078	22,8078	11,4039	1296,76	0,000
C	2	0,0612	0,0612	0,0306	3,48	0,067
Error	11	0,0967	0,0967	0,0088		
Total	17	23,0956				

S = 0,0937771 R-Sq = 99,58% R-Sq(adj) = 99,35%

P kesme (W) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	130668	130668	65334	7,38	0,009
B	2	580911	580911	290456	32,80	0,000
C	2	61639	61639	30820	3,48	0,067
Error	11	97407	97407	8855		
Total	17	870625				

S = 94,1020 R-Sq = 88,81% R-Sq(adj) = 82,71%

SEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	41452	41452	20726	9,43	0,004
B	2	39090	39090	19545	8,90	0,005
C	2	66744	66744	33372	15,19	0,001
Error	11	24170	24170	2197		
Total	17	171456				

S = 46,8747 R-Sq = 85,90% R-Sq(adj) = 78,21%

SCEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	31,704	31,704	15,852	5,66	0,020
B	2	172,270	172,270	86,135	30,73	0,000
C	2	58,758	58,758	29,379	10,48	0,003
Error	11	30,829	30,829	2,803		
Total	17	293,560				

S = 1,67410 R-Sq = 89,50% R-Sq(adj) = 83,77%

Şekil 9.57. Dokuz numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri

PI(Kesme)- %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	1,965	1,965	0,982	6,72	0,012
B	2	120,996	120,996	60,498	413,93	0,000
C	2	0,729	0,729	0,364	2,49	0,128
Error	11	1,608	1,608	0,146		
Total	17	125,298				

S = 0,382301 R-Sq = 98,72% R-Sq(adj) = 98,02%

P toplam (kW) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,3064	0,3064	0,1532	6,72	0,012
B	2	18,8685	18,8685	9,4343	413,93	0,000
C	2	0,1136	0,1136	0,0568	2,49	0,128
Error	11	0,2507	0,2507	0,0228		
Total	17	19,5393				

S = 0,150969 R-Sq = 98,72% R-Sq(adj) = 98,02%

P kesme (W) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	308514	308514	154257	6,72	0,012
B	2	1892553	1892553	946276	41,23	0,000
C	2	114426	114426	57213	2,49	0,128
Error	11	252448	252448	22950		
Total	17	2567941				

S = 151,492 R-Sq = 90,17% R-Sq(adj) = 84,81%

SEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	10050,1	10050,1	5025,0	9,39	0,004
B	2	9072,2	9072,2	4536,1	8,48	0,006
C	2	17399,5	17399,5	8699,8	16,26	0,001
Error	11	5886,4	5886,4	535,1		
Total	17	42408,2				

S = 23,1329 R-Sq = 86,12% R-Sq(adj) = 78,55%

SCEC (J/mm3) - %100

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	26,126	26,126	13,063	6,69	0,013
B	2	144,964	144,964	72,482	37,14	0,000
C	2	42,910	42,910	21,455	10,99	0,002
Error	11	21,466	21,466	1,951		
Total	17	235,466				

S = 1,39694 R-Sq = 90,88% R-Sq(adj) = 85,91%

PI(Kesme) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,697	0,697	0,349	5,04	0,028
B	2	144,966	144,966	72,483	1046,78	0,000
C	2	0,669	0,669	0,334	4,83	0,031
Error	11	0,762	0,762	0,069		
Total	17	147,094				

S = 0,263142 R-Sq = 99,48% R-Sq(adj) = 99,20%

P toplam (kW) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	0,1087	0,1087	0,0544	5,04	0,028
B	2	22,6064	22,6064	11,3032	1046,78	0,000
C	2	0,1043	0,1043	0,0521	4,83	0,031
Error	11	0,1188	0,1188	0,0108		
Total	17	22,9382				

S = 0,103914 R-Sq = 99,48% R-Sq(adj) = 99,20%

P kesme (W) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	109494	109494	54747	5,04	0,028
B	2	749518	749518	374759	34,47	0,000
C	2	104992	104992	52496	4,83	0,031
Error	11	119603	119603	10873		
Total	17	1083607				

S = 104,274 R-Sq = 88,96% R-Sq(adj) = 82,94%

SEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	41834	41834	20917	9,42	0,004
B	2	39228	39228	19614	8,83	0,005
C	2	66021	66021	33011	14,86	0,001
Error	11	24436	24436	2221		
Total	17	171518				

S = 47,1319 R-Sq = 85,75% R-Sq(adj) = 77,98%

SCEC (J/mm3) - %50

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
A	2	27,472	27,472	13,736	4,28	0,042
B	2	202,667	202,667	101,334	31,56	0,000
C	2	40,454	40,454	20,227	6,30	0,015
Error	11	35,324	35,324	3,211		
Total	17	305,917				

S = 1,79201 R-Sq = 88,45% R-Sq(adj) = 82,15%

Şekil 9.58. On numaralı numune imalat parametrelerinin ve seviyelerinin %100 yana kayma (solda), %50 yana kayma (sağda) için Anova varyans analizi ve etki şiddetleri

10. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

10.1. Birinci Aşama

Sonlu Elemanlar Analizi sonuçları 10 bar basınç için elde edilmiştir ancak gerçek basınç değeri şehir içi tesisatlarda 6-10 bar aralığında değişkenlik göstermektedir. Tasarımların 10 bar basınç için emniyet katsayısı değeri 1'den fazladır bu sayede şehir tesisat sistemlerinde emniyetli bir şekilde kullanılabilir.

Emniyet katsayısı sonuçları incelendiğinde 7075-T6 malzemesinden üretilecek olan M3 tasarımının istenilen dayanım özelliklerini fazlasıyla karşıladığı görülmektedir. Bunun yanında 6061-T6 ve 6063-T6 malzemeleri kullanımıyla da sfero fittings malzemesinden daha güvenilir ürünler geliştirilebileceği gözlemlenmiştir. 7000 serisi alüminyum alaşımlarının 6000 serisi alüminyum alaşımlarından daha maliyetli olduğu dikkate alındığında, 6061-T6 ve 6063-T6 malzemelerinden elde edilecek ürünlerin endüstride daha etkin kullanılacağı tahmin edilmektedir.

M1, M2 ve M3 tasarımları Şekil 9.3.'de yer alan ağırlık değerlerine göre karşılaştırıldığında 7075-T6 malzemesi için ağırlıkların sırasıyla 57,05, 58,25 ve 58,55 gram olduğu görülmektedir. M3 tasarımı M2 tasarımına göre %0,5 ağırdır ancak %11 daha fazla dayanım göstermiştir. M1 ve M2 arasında ise %3,6 hacim farkı vardır.

Bu çalışmada geleneksel sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analiz çalışmalarına ek olarak gerilim dağılım Grafikleri elde edilmişti. Bu grafiklerde daire içine alınmış bölgeler için değerlendirmeler şu şekildedir;

1.Bölge: Diş başlangıç noktasından bakıldığında, fitilin kare şekli yüzünden M2 tasarımının bu bölgedeki gerilme değeri diğerlerine göre daha azdır. M3'de ise M1 tasarımına göre daha fazla gerilme gözlenmiştir.

2.Bölge: M2 ve M1 tasarımında kuvvet yığılması maksimuma bu bölgede ulaşmıştır. M3'de de aynı şekilde maksimum gerilme gözlenmiştir.

3.Bölge: Herhangi bir desteğe sahip olmayan ikinci tasarımda maksimum gerilme ortalam 15,1 Mpa'dır. Ancak M3 te bu bölgedeki maksimum gerilme eklenen bilezikler sayesinde 5,4 MPa kadar düşürmüştür.

4.Bölge: M3'teki bileziğin başlangıç ve bitiş alanlarına yakın noktalarda gerilmelerde artış gözlenmiştir. Bu noktalarda zamana bağlı yorulmaya ve dolayısıyla çatlak ilerlemesine rastlanabileceği düşünülmektedir.

5.Bölge: Eksenin orta noktasına ilerledikçe ortalama gerilme miktarı M3, M1 ve M2 için sırasıyla 3, 3,4 ve 4,1 MPa a yaklaşmaktadır. Gerilmenin önerilen tasarımla azalmıştır.

6.Bölge: M1ve M2 tasarımları için yarıçap bölgesinin başlangıç noktasında oluşan gerilme miktarları yaklaşık olarak aynıdır. Önerilen tasarım ise diğerlerine göre daha fazla dayanım sergilemiştir.

7.Bölge: M2 tasarımında kare fitilin mukavemete olan etkisi sayesinde M1'e göre daha az gerilme gözlenmiştir. M3 te ise ortalama gerilme miktarı en azdır.

8.Bölge: M2' nin yatay ekseninde yer alan düz flanşların etkisi ile bu bölgede minimum değerde 4,4 MPa gerilme oluşmuştur. Maksimum gerilme 6,3 MPa ile M1'de yer almaktadır. Bu bölgede M2 ve M3 arasındaki gerilme farkı % 25'dir.

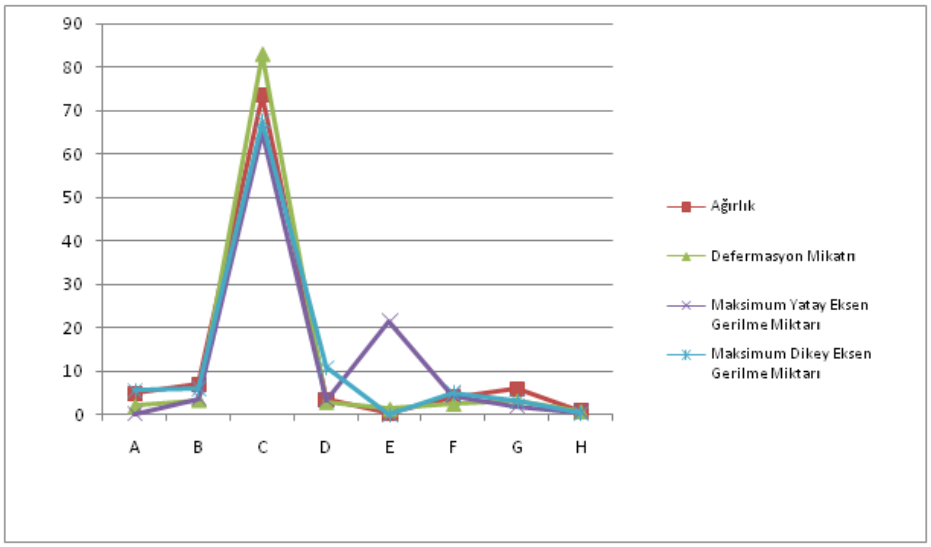
Bölgesel analiz sonuçları dikkate alındığında farklı tasarım şekillerine bağlı olarak gerilme miktarları değişkenlik göstermektedir. Önerilen yeni tasarım genellikle diğerlerine göre daha fazla dayanım göstermiştir. M2 ve M1 arasında farklı bölgelerde gerilme miktarları değişmektedir.

10.2.İkinci Aşama

Tasarımı oluşturan her bir değişken parametrenin sonuçlara % etki grafiği Grafik 10.1.' de verilmiştir. C; et kalınlığı değeri artıkça; ağırlık ve dayanım özelliklerini de aynı oranda artmaktadır. Et kalınlığı miktarı; %73,46 ağırlık, %82,97 deformasyon miktarı, %64,97 dikey eksen maksimum gerilme ve %67,59 yatay eksen maksimum gerilme miktarına etkisi vardır.

E; bilezik eksen uzaklığının ağırlık değişimine etkisi % 0,39 olmasına rağmen; dikey eksen maksimum gerilme miktarına etkisi %21,40' dır. Yazarların daha önce yaptığı birinci çalışmada elde edilen sonuçlar ve bu hesaplamalar benzer sonuçlar sergilemiştir.

A; iç açı değeri yatayda maksimum gerilme değerine etkisi gözlenmiştir. B, G, F ve H parametrelerinin etki oranı çok fazla gözlenmemiştir. D parametresinin yatay eksende maksimum gerilme sonuçlarına etkisi %10,86 olarak belirlenmiştir. Optimum tasarım parametreleri seçiminde tasarımın ağırlığı – basınç dayanımı oranı önem kazanmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre A1, B3, D2, E3, F2, G1, H1 parametre seviyeleri optimum değer için seçimine karar verilmiştir. Bu değişkenlerin kullanılması ile minimum ağırlıkta maksimum dayanım sergilenebilmektedir. Et kalınlığı doğru oranda malzemenin ağırlık ve dayanımına etki ettiği için ürünün maruz kaldığı basınç miktarına göre karar verilecektir.



Grafik 10.1. Deney parametrelerin karşılaştırmalı etki oranlarının incelemesi

10.3. Üçüncü Aşama

Üçüncü aşama çalışmalarında döküm ve ısıl işlem sonrası numunelerin mekanik ve malzeme mühendisliği özellikleri araştırılmışdı. Bu sonuçlar mekanik özelliklerin değerlendirilmesi, alüminyum boru bağlantı elemanı malzemesi seçimi ve malzeme özelliklerinin değerlendirilmesi olmak üzere üç kısımda incelenmiştir.

10.3.1. Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi

Üçüncü aşama deney numunelerinin mekanik özellikleri, çekme testi ve mikro sertlik ölçümleri sonucunda Tablo 9.6.'da belirlenmişti. Döküm sonrası saf 6061 malzemesinin mekanik özellikleri çok düşüktür. T6 ısıl işlemi ile kopma dayanımı %101 mikro sertliği ise %28 oranında artırılmıştır. Saf 6061 alaşımı %1 oranında B_4C tozu ile takviye edilmesi sonucu döküm sonrası %26 ve T6 ısıl işlemi sonrası %18 kopma dayanımında artış gözlenmiştir. Endüstriyel ortamda dökümü ve ısıl işlemi gerçekleştirilen bu sıvı metal kompozit malzemesi testler sonucunda 103 Hv sertliğe ve 251MPa dayanıma çıkartılabilmiştir. Fe-Cu elementleri takviyesi ile elde edilen alaşım 187 MPa kopma değeri ile döküm sonrası en yüksek dayanıma sahip malzemedir.

Isıl işlem sonrası alaşıma ilave edilen Cu sonucunda elde edilen üç numaralı numune 321 MPa kopma dayanımı ve 133 Hv sertlik değeri elde edilirken bu en yüksek dayanım özelliğidir. Bu alaşımdan sonra 281 MPa dayanuma sahip altı numaralı numune olan Fe-Cu elementi takviyeli alaşım ve 266 MPa dayanıma sahip dört numaralı numune olan Cu-B_4C takviyeli kompozit malzemeler en yüksek kopma dayanımına sahiptirler.

Isıl işlem sonrası mikrro sertlik değeri 146 Hv ile en yüksek ürün sekiz numaralı Fe-Cu-B_4C takviyeli kompozitdir. Döküm sonrası mikrro sertlik değeri 110 Hv ile en yüksek ürünler dokuz numaralı Fe-Si-B_4C ve altı numaralı Fe-Cu takviyeli alaşımdır. Yedi numaralı numune ısıl işlem sonrası akma dayanımı ve sertliği artarken kopma dayanımında artış göstermemiş olup kopma değeri en küçük olan deney numunesidir. Dokuz numarlı numunede ise ısıl işlem sonrası mekanik özelliklerde bir değişim gözlemlenmemiş olup değerler çok düşüktür.

Kırılma enerjisi beş ve dokuz numaralı deney numunelerinin çok düşüktür dolayısıla bu malzemlerin sıhhi tesisat için uygun olmadığı düşünülmektedir. Bir, iki, üç, dört, yedi, sekiz ve on numaralı deney numunelerinin kırılma enerjisi 13-72 J aralığında olup bu ürünlerin sıhhi tesisat malzemesi olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

10.3.2. Alüminyum Boru Bağlantı Elemanı Malzemesi Seçimi

TSE EN 10242 standartlarında üretilen 1/2" te bağlantı elemanının emniyet katsayısı birinci aşamada 5,7 olduğu belirlenmişti. İkinci aşamada ise parametre seviyelerinin optimum değerleri A1, B3, D2, E3, F2, G1 ve H1 olarak belirlenmiştir. Belirlenen ölçülere göre tasarım Catia program ile yapıldı. Üçüncü aşama çekme testi sonuçları ANSYS programı malzeme kütüphanesine tanımlanarak Sonlu Elemanlar Yöntemi ile basınç dayanım analizleri birinci aşama ve ikinci aşama koşullarıda uygulanmıştır. Döküm ve T6 sonrası emniyet katsayısı değişmleri Tablo 10.1.'de verilmiştir.

Tablo 10.1. *Çekme testi numuneleri için basınç dayanım analizi emniyet katsayısı sonuçları*

Deney Numarası		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Emniyet Katsayıları	**Döküm**	1,62	3	4,4	4,69	5,37	2,87	2,87	3,75	5	3,78
	T6	4,62	7,5	9,25	7,25	6,63	8,6	4,03	6,5	5,37	7,81

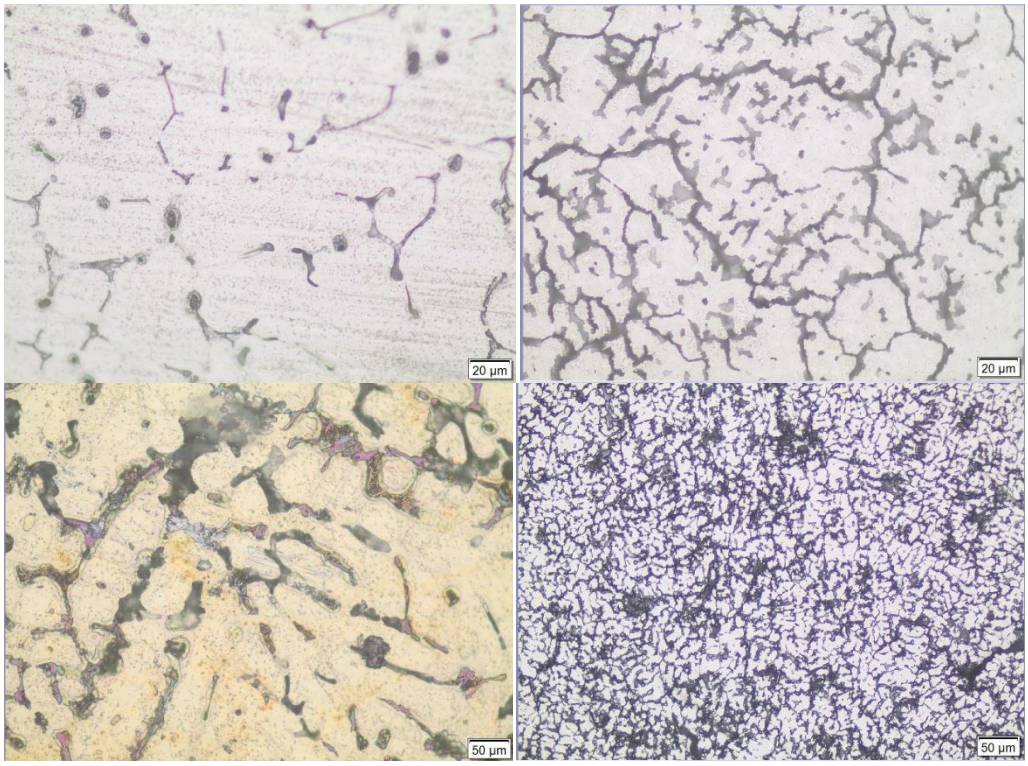
Isıl işlem sonrası iki, üç, dört, beş, altı, sekiz ve on numaralı numunelerin emniyet katsayısı değeri küresel dökme demirli malzemeden daha fazladır. Üçüncü aşamada ortaya çıkan mekanik özellikler sferodan daha az olmasına rağmen, ikinci aşamada geliştirilen optimum tasarım sayesinde alüminyum alaşımlı bağlantı elemanları emniyet katsayısı, dökme demir bağlantı elemanlarından daha fazla olabileceği gözlenmiştir.

Bütün deney nuunelerinin 10 bar basınç altında yapılan analiz sonuçlarına göre emniyet katsayısı birden fazla olduğu için emniyetli kabul edilebilir. Emniyet katsayısı değeri 4'den fazla olan alaşımların tesisat sistemlerinde kullanılabileceği düşünülmektedir böylelikle 5-6 bar basınca sahip olan sistem 40 bara kadar basınca dayanıklı olabilecektir. Bu yüzden ısıl işlem uygulanmadan üç, dört ve dokuz numaralı deney numuneleri bağlantı elemanı olarak standart tesisat hatlarında uygulanabilecektir.

Beş numaralı deney numunesi çok kırılgan ve % uzama değerleri düşük malzemedir. Bunun dışında kalan iki, üç, dört, altı, sekiz ve on numaralı malzemeler, seri üretimde küresel dökme demirlerden daha güvenlilir olarak yeni tip tasarım geometrisi ile üretilebilecektir.

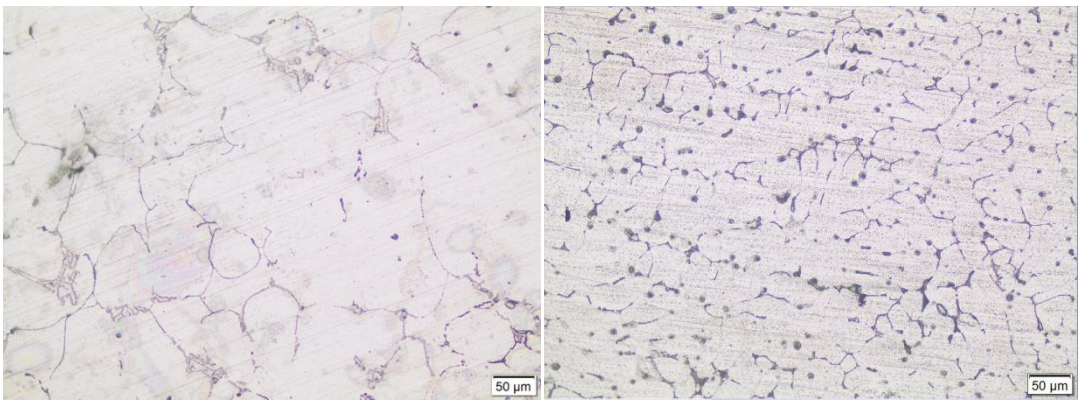
10.3.3. Malzeme Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Tane sınırları küçülen alüminyum alaşımları ve sıvı metal matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri artmaktadır Isıl işlem sonrası mekanik özellikleri ve sertlikleri artan numunelerin tane sınırları küçülmüştür (Şekil 10.1.). Bu mikroyapı sonuçlarına göre T6 ısıl işlemi doğru bir şekilde uygulanmıştır.



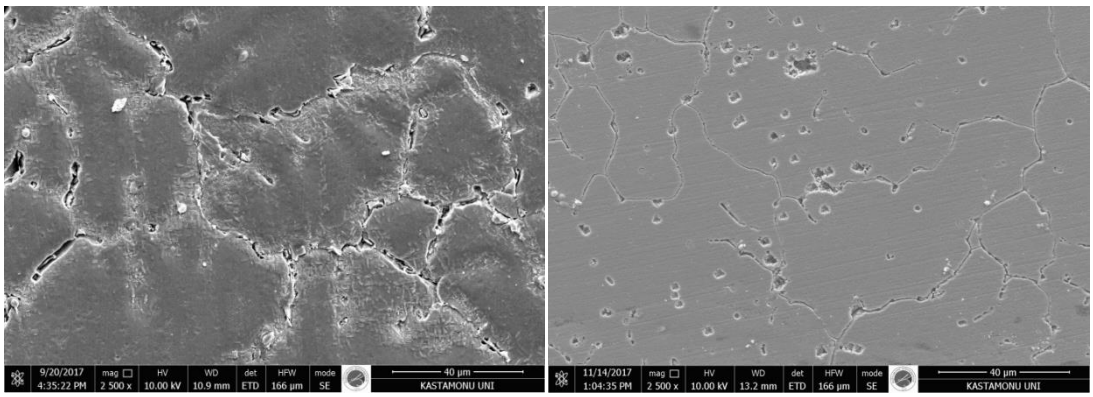
Şekil 10.1. Isıl işlem öncesi (solda) ve sonrası (sağda) mikroyapı değişimleri

Saf 6061 alüminyum alaşımı malzemesi ikinci deney numunesinde %1 oranda B_4C takviyesi ile güçlendirilerek mekanik özellikleri artırılmıştı. Bu komozit malzemenin Şekil 10.2.'deki mikroyapı resmi incelendiğinde, tane sınırlarının küçüldüğü ve tane sınırlarında ve içerisinde yer alan bor karbür tozlarıyla birlikte matriste homejen bir şekilde dağılım sergilediği gözlemlenmiştir.

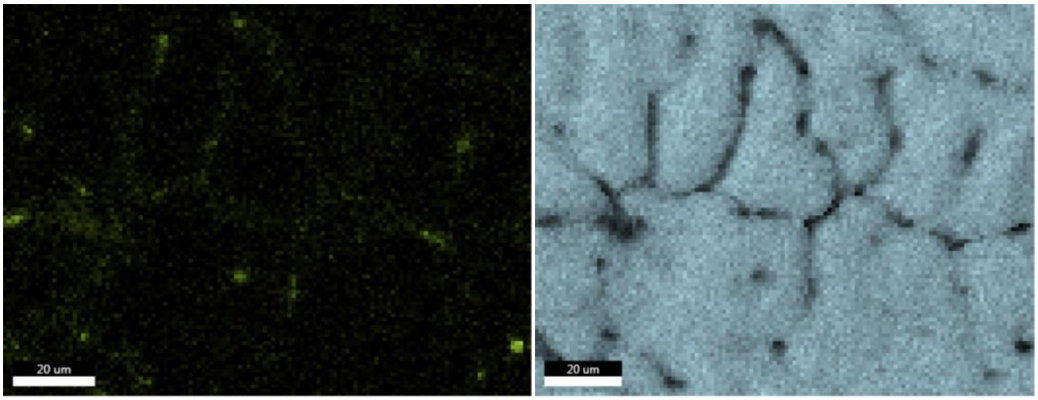


Şekil 10.2. Saf 6061 alüminyum alaşım malzemesine (solda) %1 B_4C takviyesi sonucunda (sağda) mikroyapı değişimleri.

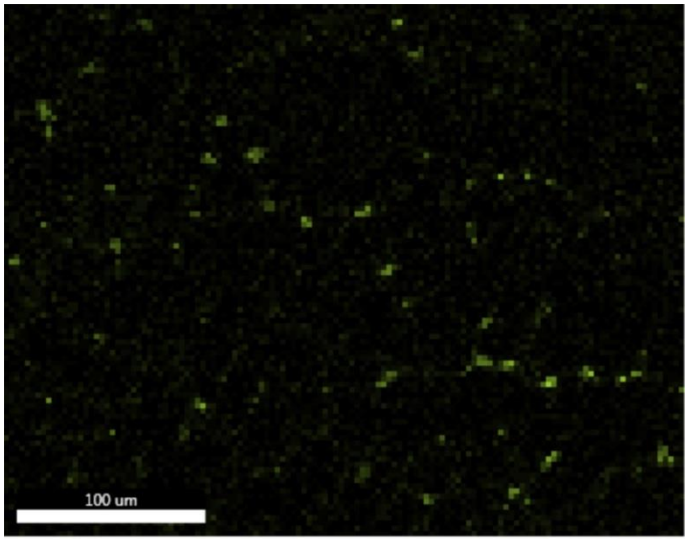
Saf 6061 alaşımına % 1,8 Cu elementi eklenerek üç numaralı numune elde edilirken bu yeni alaşıma %1 B_4C tozu eklenerek dört numaralı sıvı metal matrisli kompozit malzeme üretilmiştir (Şekil 10.5.). Üç numaralı numune alüminyum bakır alaşımlarının genel mikro yapısıiken Cu'ın tane sınırlarında yığılması Şekil 10.4.'deki mapping sonuçları ile belirlenmiştir. Sıvı metal matrisli kommpozit malzemede ise bakır elementinin kümelendiği ve tane sınırlarında birikmediği anlaşılmıştır. Bu tip yapının mekanik özellikleri düşürdüğü bununla birlikte aynı sürede dağlayıcıda bekletilen numunelerden kompozit malzemenin B_4C tozu etkisiyle korozyon direncinin artığı Şekil 10.3.'de gözlemlenmiştir.



Şekil 10.3. 6061 alaşımına % 1,8 bakır takviyeli üçüncü numune (solda) ile 1,8 bakır ve %1 B_4C takviyeli dördüncü numunedeki (sağda) mikroyapı değişimleri.

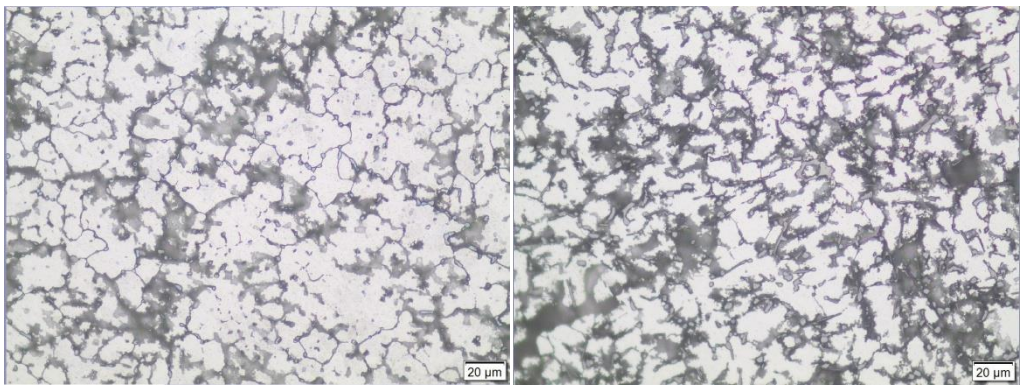


Şekil 10.4. Üç numaralı numune Cu (solda) ve Al (sağda) elementi mapping sonuçları

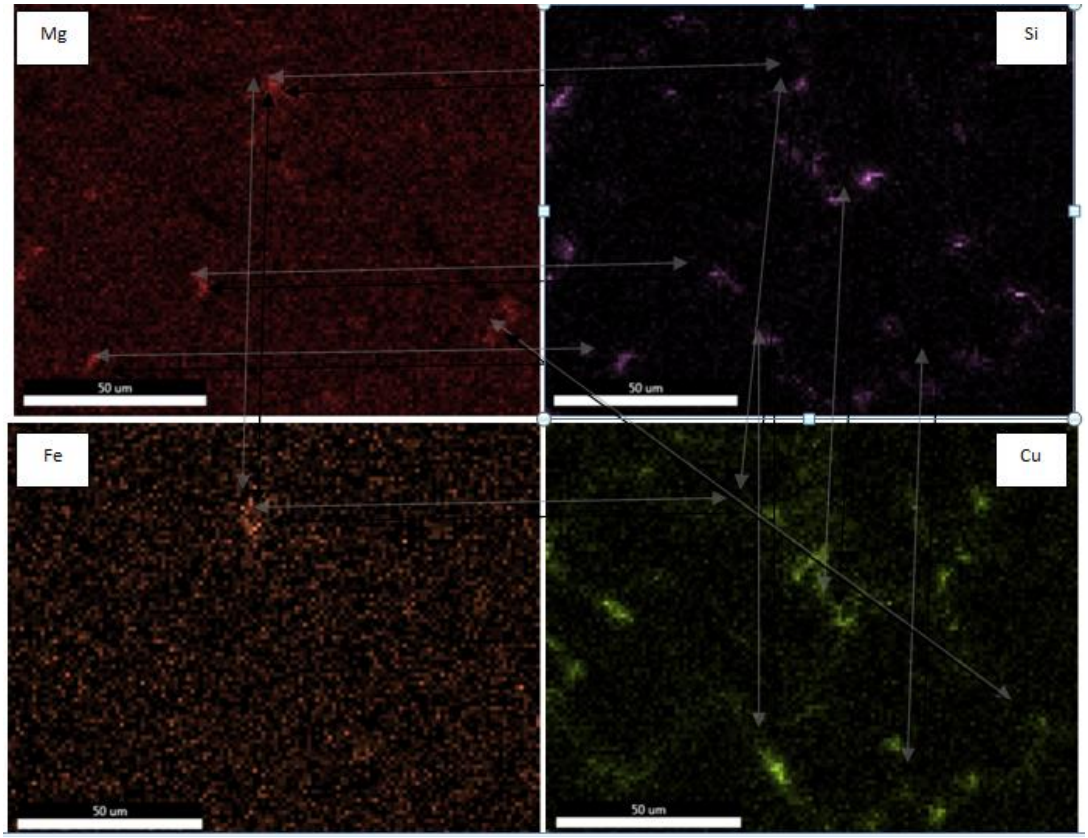


Şekil 10.5. Dört numaralı numune için Cu elementi mapping sonuçları

Dokuz numaralı numune spektra sonuçları incelendiğinde %2,95 Si, %1,36 Fe ve %0,66 Cu elementi içermektedir. Dokuz numaralı numunenin optik mikroskop görüntüleri Şekil 10.6. incelendiğinde tane sınırlarında bazı intelmetalik fazların oluştuğu gözlenmiştir. Çoğunlukla Al-Cu-Si arasında bu fazlar oluşmuştur. Ayrıca Al-Mg-Si, Al-Mg-Cu, Al-Fe-Cu ve Al-Fe-Mg-Si-Cu gibi farklı yapıların oluştuğu Şekil 10.7.'de oklar yardımı ile gösterilmiştir.



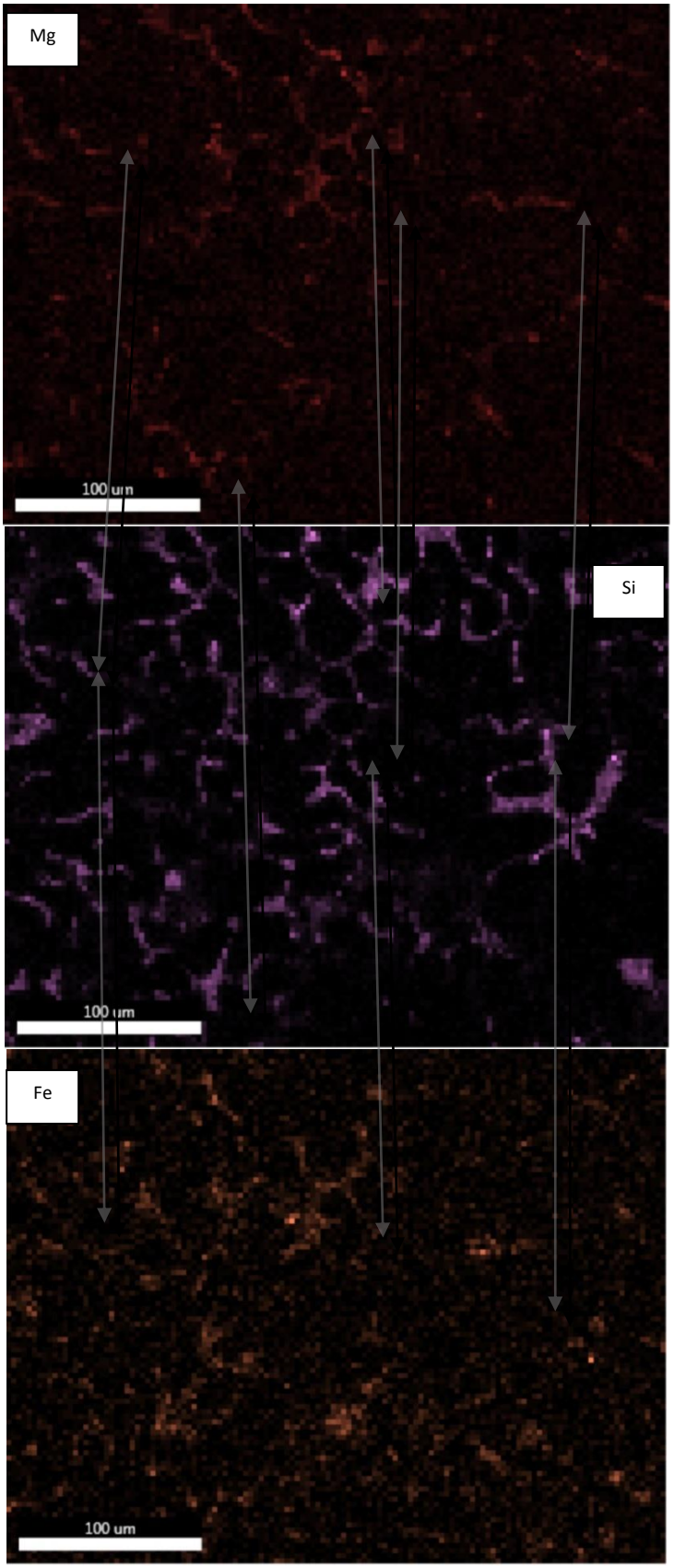
Şekil 10.6. Dokuz numaralı (solda) ve on numarlı (sağda) numunelerin mikroyapı görüntüleri



Şekil 10.7. Dokuz numaralı numunede mapping sonuçları ve oluşan fazların gösterilmesi

On numaralı numude ise Si %5,33 ve Fe %3,08'e çıkarılırken, %1 B_4C tozu ayrıca alaşıma ilave edilip sıvı metal matrisli kompozit malzeme elde edilmişti. Bu malzeme dokuz numaralı numuneye göre ısıl işlemi yapılabilmiş ve mekanik özellikleri artırılmıştır. Şekil 10.7. incelendiğinde tane sınırlarında intelmetalik faz yapılarının genişlediği ve B_4C tozunun bu fazların içerisinde yer aldığı gözlenmiştir. Bu tip yapıda bakır diğerine göre kümelenip homojen bir şekilde dağılım sergilemiştir.

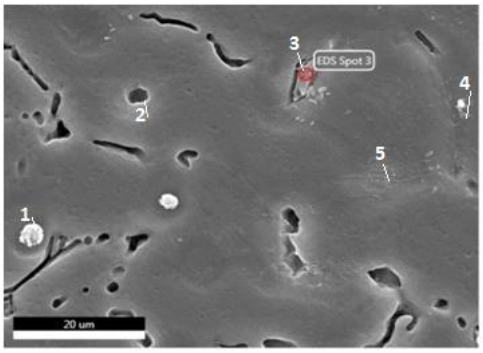
Al-Fe-Si-Mg arasında üçlü yapıların oluştuğu ve Al-Fe-Si arasındaki oluşan faz yapılarının daha fazla matriste yer kapladığı oklar yardımı ile Şekil 10.8.'de gösterilmiştir. Ayrıca yüksek miktarda Si elementinin tane sınırlarında yerleşip alüminyum ile faz yapısı oluşturduğu gözlemlenmiştir.



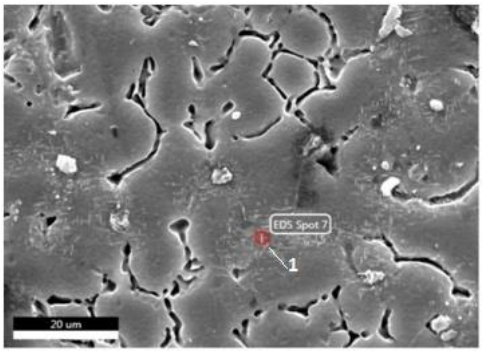
Şekil 10.8. Dokuz numaralı numunede mapping sonuçları ve oluşan fazların gösterilmesi

Beş ve altı numaralı numunelerde saf 6061 alaşımlı alüminyum malzemeler Fe ve Cu elementi ile güçlendirilmişti. Beş numaralı numune %4,92 Fe ve %2,36 Cu elementi içermektedir. %2,23 Fe ve %2,64 Cu elementleri ise altı numaralı numunenin kimyasal yapısnı oluşturmaktadır. Şekil 10.9.'da beş numaralı numunenin SEM görüntüleri ve farklı yapıların numaralandırılması yer almaktadır. Bu farklı bölgelerin EDS alaşım şiddeti sonuçları Şekil 10.10.'da farklı numaralar için listelenmiştir. Grafik 10.2.'de ise altı numaralı numunenin mikroyapısı ve beş numaralı alaşımdan farklı olarak ortaya çıkan yapının alanı gösterilmiştir. Bu bölgenin EDS alaşım elementleri şiddeti ise Grafik 10.3.'de verilmiştir.

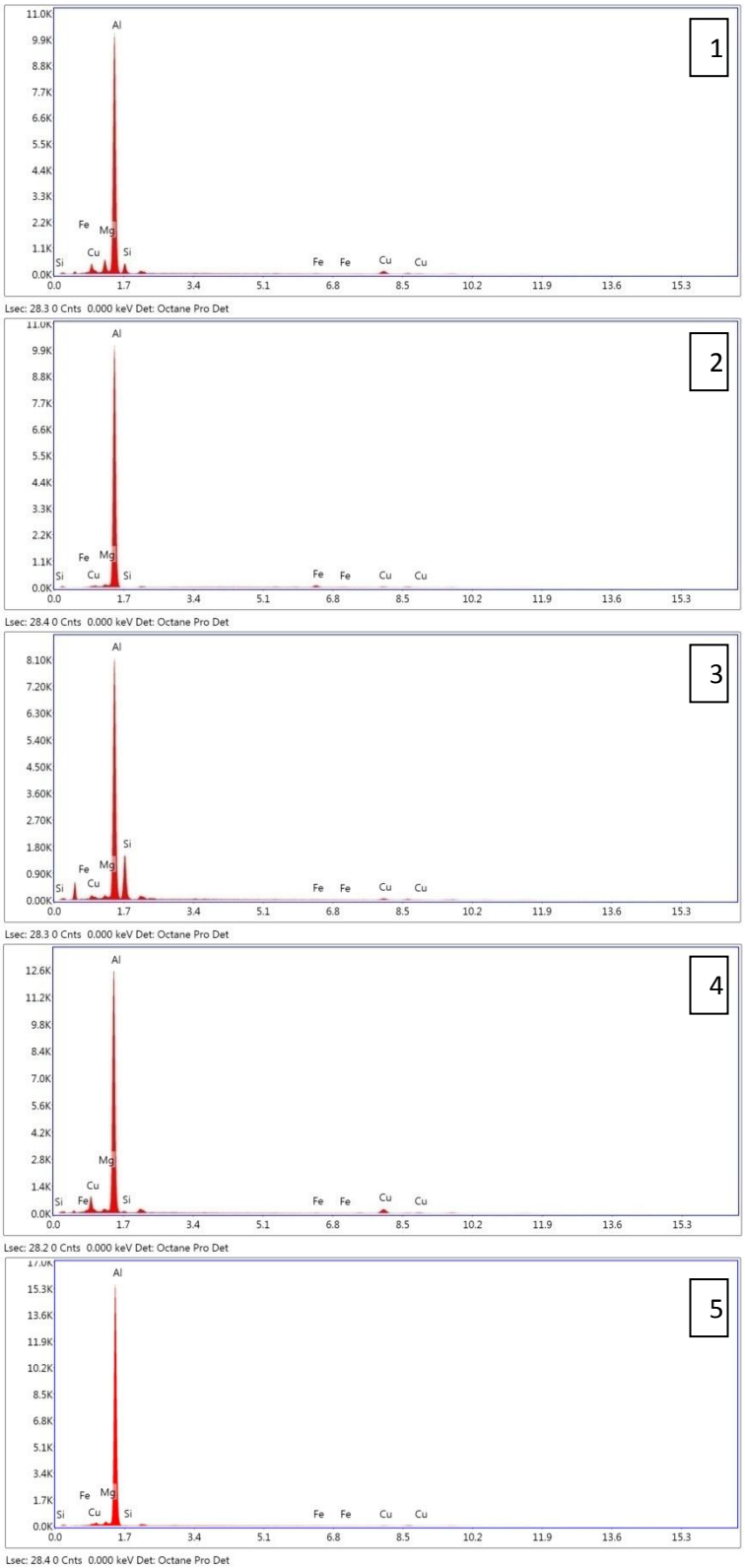
Grafik 10.3.' yüksek miktardaki Mg elementi Cu ve Fe elementi ile intelmetalik bir faz oluşturduğu gözlemlenmektedir. Grafik 10.2. incelendiğinde bir numaralı alanda yüksek Si elementi içeren Al-Si-Mg-Cu yapısı, iki numaralı alanda Al-Fe-Cu, üç numaralı alanda Al-Si, dört numaralı alanda yüksek miktarda Cu elementi içeren Al-Cu-Si-Mg, beş numaralı alanda ise Al-Mg yapıları oluşmuştur.



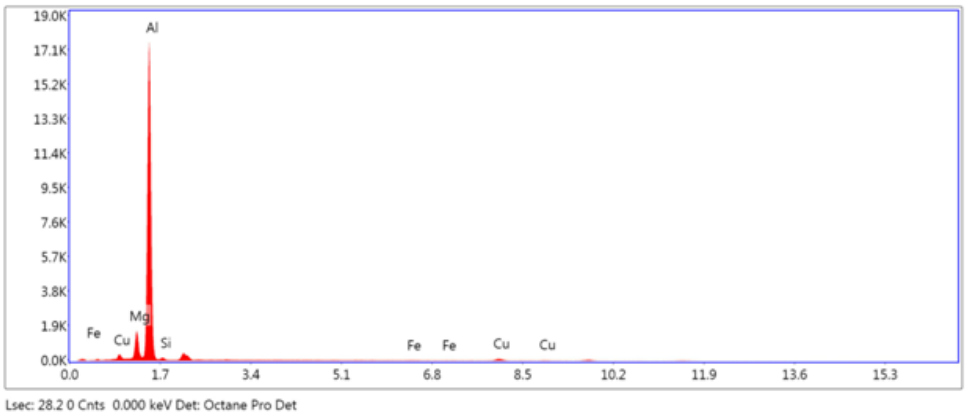
Şekil 10.9. Beş numaralı numune SEM görüntüsü ve EDS alanları seçimi



Şekil 10.10. Altı numaralı numune SEM görüntüsü ve EDS alanı seçimi

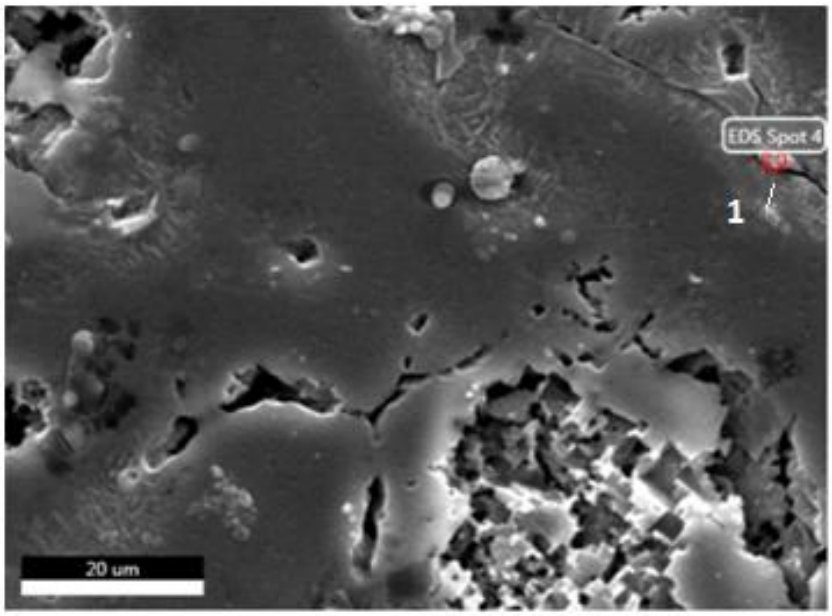


Grafik 10.2. Beş numaralı numunenin bölgesel EDS sonuçları

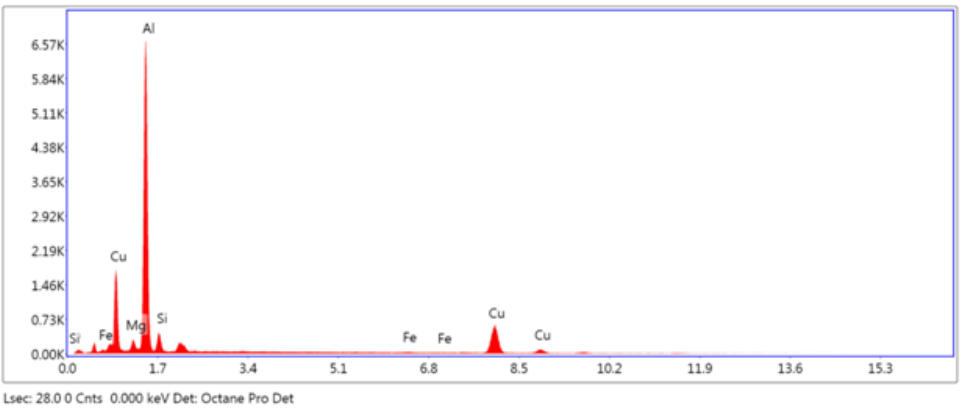


Grafik 10.3. Altı numaralı numunenin bölgesel EDS sonucu

Yedi numaralı numunedede beş ve altı numaralı numuneye benzer yapılar oluşmuştur. Ayrıca B_4C tozları numune zımparalama ve parlatma sırasında koptuğu yerler Şekil 10.11.' de açık bir şekilde gözükmektedir. Bu kompozit malzemenin tane sınırlarında yer alan bir numaralı alanda yapılaan EDS sonuçlarına göre yüksek oranda Cu elementi Fe, Si ve Mg ile bir faz yapısı oluşturmuştur (Grafik 10.4).

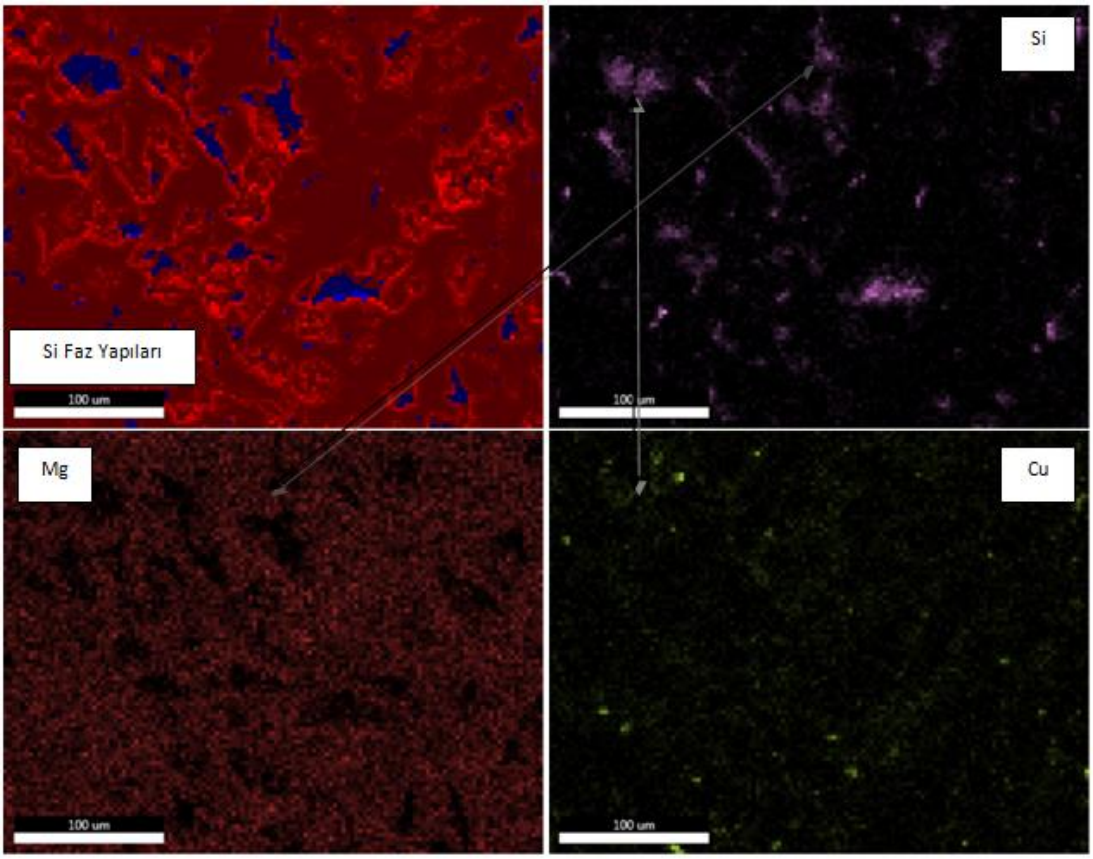


Şekil 10.11. Yedi numaralı numunenin SEM görüntüsü ve EDS alanı seçimi



Grafik 10.4. Yedi numaralı numunenin bölgesel EDS sonucu

Sekizinci numunede Si elementi Mg, Cu ve Fe elementi ile faz yapıları oluşturmuştur. Mg genel itibariyle matrisde homojen bir şekilde dağılım sergilemesine rağmen Si ile bazı intelmetalik fazlar meydana getirmiştir (Şekil 10.12).



Şekil 10.12. Sekiz numaralı numunede mapping sonuçları ve oluşan fazların gösterilmesi

10.4. Dördüncü Aşama

Malzemelerin işlenebilirliği akma dayanımı, kopma dayanımı, sürtünme katsayısı, aşınma özelliği, kırılma tokluğu ve ısı transferi gibi birçok parametreye göre farklılık gözetermektedir. Bu tez çalışmasında işlenebilirlik talaş kaldırma enerji tüketimi dikkate alınarak incelenmiştir. Enerji tüketimindeki artış metal kesmedeki zorlukları göstemekte olduğu için işleme kabileyeti azalmış anlamına gelmektedir. Tablo 10.2' de doğrulama deneyi ile birlikte üç farklı deney sonucu için ortalama talaş kaldırma enerji tüketimi hesaplanmıştır.

Genel itibariyle kırılma enerjisi artan malzemelerde işlenebilirlik azalmıştır. Ayrıca malzemelerin mikro sertliği artıkça işlenebilirlik artmıştır. Ayrıca bu sonuçlar SCEC (J/mm^3) sonuçları ile doğru orantı sergilemektedir.

Kırılma enerjisi sırası ile 72 ve 70 J olan birinci ve yedinci numunenin kesme enerjisi 693 ve 677 W olarak en yüksek değerlerdedir. Ayrıca kırıma enerjisi sırası ile 22, 27, ve 33 J olan dokuz, on ve sekiz numaralı numunelerin kesme enerji tüketimleri 524, 495 ve 529 W' dır. Bu değerler en düşük kesme tüketimi miktarlarıdır. Yedinci numune mikro sertlik değeri birinciye göre yüksek olup kesme enerjisi daha düşükdür. Bununla birlikte dokuz numaralı numunenin on numaralı numuneye göre mikro sertliği yüksek ve kırılma enerjisi düşük olmasına rağmen enerji tüketimi fazladır. Emniyet katsayısı en yüksek olan iki, üç, dört ve on numaralı numunelerden işlenebilirliği en iyi olan on numaralı numuneyken işlenebilirliği en düşük olan malzeme ise aynı işlenebilirliğe sahip olan iki ve dört numaralı numunelerdir. Bu numunelerin kırılma enerjisi ve sertlikleri arasında yaklaşık %20 oranında bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak alüminyum malzemelerde sertlik artıp kırılma enerjisi düşürülürse enerji tüketiminin azalacağı belirlenmiştir.

Tablo 10.2. *Ortalama talaş kaldırma enerji tüketimi ve işlenebilirlik özellikleri*

Numune Numarası	P Kesme (W)_1	P Kesme (W)_2	P Kesme (W)_3	P Kesme (W)_Ort	Kırılma Enerjisi (J)	Mikro Sertlik (HV)
1	693,46	677,61	709,31	693,46	72	70
2	614,21	661,76	598,36	624,77	39	81
3	519,11	550,81	487,40	519,10	67	95
4	614,21	598,36	661,76	624,77	46	94
5	487,4	479,48	519,11	495,33	34	88
6	641,91	550,81	582,51	591,74	46	110
7	677,61	693,46	661,76	677,61	70	86
8	534,96	566,66	487,40	529,67	33	96
9	566,66	471,55	534,96	524,39	22	110
10	511,18	499,29	475,52	495,33	27	92

Taguchi Metodu deney tasarımı parametre ve seviyelerinin varyans analizi (Anova) sonucunda ortaya çıkan F etki şiddetleri % oranları Tablo 10.3'de verilmmiştir. PI (A) anlık akım indeksi sonuçları maksimum %99 oranda B parametresi olan devir sayısı yani kesme hızına bağlıdır.

Kesme gücü malzemelere göre farklılık göstemektedir. İşlenebilirliği yüksek olan sekiz, dokuz ve on numaralı numunelerde P_{kesme} (W) enerji tüketimi, %4,9-5 oranda C parametresi olan ilerleme miktarına bağlıdır. İşlenebililiği düşük olan bir, iki ve dört numaralı numunelerde bu oran 1,8-3,5 arasında değişkenlik göstererek düşmüştür. Yana kayma miktarı %100' den %50 ye geçildiğinde P_{kesme} (W) değerlerine kesme hızı etki oranı genelde azalırken C ilerleme hızı artış göstermiştir. Literatür incelendiğinde yana kayma miktarı azalınca işlenebilirliğin azalacağı ortaya çıkmaktadır (Sur, 2008). Dolayısıyla işlenebilirlik artışı ile ilerleme hızı etki oranı arasında bir bağıntı kurulabileceği düşünülmektedir. İşlenebilirliği düşük malzemelerin ilerleme hızı etki oranlarındaki düşüş ayrıca bu teorinin kanıtıdır. Bu doğru orantının ayrıca SCEC (J/mm^3) sonuçlarında da etkili olduğu gözlenmektedir.

SEC (J/mm^3) değeri etki oranı ağırlıklı oranda takım ilerlemesi miktarı olan C parametresine bağlıdır. Bunu sırası ile paso miktarı ile kesme kuvveti izlemiştir. SEC (J/mm^3) değeri endüstrideki seri üretim uygulamalarında enerji sarfiyatını belirleyen parametredir. Enerji tüketimini azaltmak için ilerleme miktarı artırılmalıdır. Paso miktarı içinde bu doğru sonuç versede takım aşınması dikkate alınarak bu değer belirlenmelidir. Zaten endüstridede ilerleme miktarı artırılırken paso miktarları genelde seri üretimde düşük tutulmaktadır. Böylelikle takım aşınması azaltılıp işleme

süreleri artırılabilmektedir. İşlenebilirliğin artması ile SEC (J/mm^3) sonçularına C parametresi olan ilerleme miktarının etki oranı ters orantılı olarak azalmıştır. Aynı zamanda kesme hızının etki oranlarında işlenebilirlikle doğru orantılı olarak artış göstermiştir.

Tablo 10.3. *Taguchi Metodu deney tasarımı varyans analizi (Anova) sonuçları*

DENEY NUMARASI	SONUÇ	%A	%B	%C	SONUÇ	Toplam	%A	%B	%C
1	**PI (A)**	2,63	96,62	0,76	**PI (A)**	1051,37	0,60	99,06	0,34
	P Kesme (W)	12,07	84,45	3,49	**P Kesme (W)**	60,61	10,41	83,67	5,92
	SEC (J/mm^3)	27,15	23,81	49,04	**SEC (J/mm^3)**	33,83	28,14	25,95	45,91
	SCEC (J/mm^3)	11,75	69,48	18,77	**SCEC (J/mm^3)**	46,33	10,53	70,45	19,02
2	**PI (A)**	1,77	97,80	0,44	**PI (A)**	19,15	5,69	91,38	2,92
	P Kesme (W)	12,14	84,86	3,00	**P Kesme (W)**	55,77	9,25	85,17	5,58
	SEC (J/mm^3)	27,51	24,60	47,89	**SEC (J/mm^3)**	33,53	28,42	26,69	44,89
	SCEC (J/mm^3)	10,92	70,76	18,32	**SCEC (J/mm^3)**	41,46	11,77	71,18	17,05
3	**PI (A)**	0,87	98,74	0,39	**PI (A)**	19,15	5,69	91,38	2,92
	P Kesme (W)	8,48	87,75	3,76	**P Kesme (W)**	55,77	9,25	85,17	5,58
	SEC (J/mm^3)	27,85	25,13	47,02	**SEC (J/mm^3)**	33,53	28,42	26,69	44,89
	SCEC (J/mm^3)	12,07	70,57	17,36	**SCEC (J/mm^3)**	41,46	11,77	71,18	17,05
4	**PI (A)**	1,24	98,49	0,27	**PI (A)**	1140,41	0,44	99,25	0,31
	P Kesme (W)	8,43	89,71	1,86	**P Kesme (W)**	48,65	10,42	82,34	7,24
	SEC (J/mm^3)	27,47	23,85	48,68	**SEC (J/mm^3)**	33,64	28,24	26,28	45,48
	SCEC (J/mm^3)	13,40	65,61	20,99	**SCEC (J/mm^3)**	36,27	12,63	69,04	18,33
5	**PI (A)**	1,67	97,71	0,62	**PI (A)**	407,46	1,41	97,18	1,41
	P Kesme (W)	13,30	81,75	4,95	**P Kesme (W)**	30,09	19,08	64,67	16,25
	SEC (J/mm^3)	27,44	24,65	47,91	**SEC (J/mm^3)**	32,27	28,35	26,53	45,12
	SCEC (J/mm^3)	12,10	66,63	21,27	**SCEC (J/mm^3)**	60,78	7,78	77,25	14,97
6	**PI (A)**	1,14	98,08	0,78	**PI (A)**	498,43	1,44	97,60	0,96
	P Kesme (W)	8,78	85,21	6,01	**P Kesme (W)**	33,33	21,54	64,12	14,34
	SEC (J/mm3)	28,08	24,89	47,03	**SEC (J/mm3)**	32,42	28,38	26,62	45,00
	SCEC (J/mm3)	11,34	74,53	14,13	**SCEC (J/mm3)**	91,81	8,08	78,13	13,79
7	**PI (A)**	1,47	98,03	0,50	**PI (A)**	1268,90	0,29	99,48	0,23
	P Kesme (W)	9,37	87,45	3,17	**P Kesme (W)**	56,73	7,49	86,44	6,06
	SEC (J/mm^3)	27,75	24,26	48,00	**SEC (J/mm^3)**	33,41	28,46	26,55	44,99
	SCEC (J/mm^3)	10,66	71,95	17,39	**SCEC (J/mm^3)**	52,14	11,05	74,72	14,23
8	**PI (A)**	1,39	97,96	0,65	**PI (A)**	1898,25	0,29	99,46	0,25
	P Kesme (W)	10,79	84,21	5,00	**P Kesme (W)**	65,32	9,95	80,97	9,08
	SEC (J/mm^3)	27,61	24,85	47,54	**SEC (J/mm^3)**	33,33	28,53	26,91	44,55
	SCEC (J/mm^3)	12,03	69,88	18,10	**SCEC (J/mm^3)**	44,52	10,27	74,96	14,78
9	**PI (A)**	1,32	98,15	0,53	**PI (A)**	1307,62	0,56	99,17	0,27
	P Kesme (W)	12,21	82,89	4,90	**P Kesme (W)**	43,66	16,90	75,13	7,97
	SEC (J/mm^3)	27,69	25,02	47,29	**SEC (J/mm^3)**	33,52	28,13	26,55	45,32
	SCEC (J/mm^3)	12,25	69,06	18,69	**SCEC (J/mm^3)**	46,87	12,08	65,56	22,36
10	**PI (A)**	1,59	97,82	0,59	**PI (A)**	1056,65	0,48	99,07	0,46
	P Kesme (W)	13,32	81,74	4,94	**P Kesme (W)**	44,34	11,37	77,74	10,89
	SEC (J/mm^3)	27,51	24,85	47,64	**SEC (J/mm^3)**	33,11	28,45	26,67	44,88
	SCEC (J/mm^3)	12,20	67,75	20,05	**SCEC (J/mm^3)**	42,14	10,16	74,89	14,95

11.TARTIŞMA

— Bu tez çalışmasında, boru bağlantı elemanları için yeni bir endüstriyel tasarım geometrisi önerilmiştir. Bu tasarım geometrisi ile basınç dayanım özellikleri artırılmak istenmiştir. TSE standartlarının boru bağlantı elemanları tasarım geometrileri için yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Literatürde tasarım şekilleri ile ilgili araştırmalara referans olabilecek bir kaynak elde edilmiştir.

— Her bir endüstriyel tasarım kendisini meydana getiren farklı parametrelerden ve değişken seviyelerden meydana gelir. Taguchi Metodu, Varyans Analizi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi birlikte kullanılan bu çalışmada bir endüstriyel tasarımın optimum tasarım parametre seviyeleri belirlenmiştir. Bu çalışmada tasarım geometrisinde olduğu gibi yine farklı tasarım uygulamaları için bir referans olabilecektir.

— Deneysel çalışmalarda kullanılan Cu, Fe-Cu ve Fe-Si takviyeli alaşımlar ve kompozit malzemeler endüstriyel ortam koşullarında üretilmiştir. Döküm ve ısıl işlem atmosfer kontrolü veya vakumla yapılmamıştır. Tüm malzemelere aynı sıcaklık değerleri ve süreler için ısıl işlem uygulanmıştır. Bu alaşımların mekanik ve malzeme özellikleri farklı ortamlar, sıcaklık değerleri, ısıl işlem süreleri ve kimyasal içerikler ile değişkenlik gösterebilir. Üretimi yapılan malzemelerin mikroyapıları literatür için bir kaynak oluşturacaktır.

— Talaşlı imalatta enerji tüketimi ile ilgili çalışmalar hali hazırda güncel bir konudur. Türkiye'de yapılan metal kesme çalışmalarında enerji tüketimi ile ilgili bir çalışma bulunmamktadır. Literatürde alüminyum malzemelerin işlenebilirliği ile ilgili ilk defa enerji güç dönüşüm denklemleri kullanılarak kesme gücü (P_{kesme} (W)) yardımıyla bir yöntem ve bazı teoriler ortaya çıkartılmıştır. Farklı tip malzemelerin enerji tüketim değerlerinin belirlenmesi ve ilgili teorilerin geliştirilmesi ile yeni nesil işleme tezgâhlarının geliştirilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Aydın, B. (2002). AA 2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.

Akyüz B., ve Şenaysoy, S.(2014). Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma İşleminin Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerindeki Etkisi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1(1),* 1-9.

Akoral, E.(2003). Toz Metalurjisi Yöntemi ile Al-SiC Kompozit Malzeme Üretimi ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Manisa.

Asa, S. (2010). 6061 İşlem Alaşımının Homojenizasyon Prosesinin Ekstrüzyon Kabiliyetine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

Askeland, D.R.(1998).*The science and engineering of materials* (pp 260-275). Boston: PWS Publishing Company

Askeland, D.R.(1998).*Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri*. Ankara: Nobel Kitapevi.

Bagaber, S. A., & Yusoff, A R. (2017). Multi-objective Optimization of Cutting Parameters to Minimize Power Consuption in Dry Turning of Stainless Steel 316.*Journal of Cleaner Production, 156,* 30-46.

Bahçaci, E. (2006). Al Matrisli α-Si_3N_4 Takviyeli Kompozit Malzeme Üretimi ve İşlenebilirliğinin Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*Ankara.

Balcı, B.(2008). AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Malzemenin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Karabük.

Birinci, A. (1997). Plastik Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

Birol, Y. (2004). The Effect of Homogenization Practice on the Microstructure of AA6063 Billets.*Journal of Material Processing Technology, 148,* 250-258.

Brown, J.R.(1999). *Foseco Non - Ferrous foundryman's handbook*.Oxford: Butterwort Heinemann

Canıyılmaz, E. (2001). Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Örnek Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.

Çalışkan, O.(2014). Tornalamada Talaş Kaldırma ParametrelerininTakım Ömrüne Etkilerinin Taguchi Yaklaşımıyla İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi,*Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İstanbul.

Car, E.(2011).*Alüminyum üretim süreçleri* (pp. 2-15). İstanbul: TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası.

Çakır, M.C.(2000). *Modern talaşlı imalat yöntemleri* (pp. 536). Bursa: Vipaş Yayınevi.

Çakır, M. C.(2006). *Modern metal cutting*. Sweden: Sandvik Coromant Technical Editorial Department.

Campatelli, F, (2013). Reducing the envirenmental footprint of machining operation. *In: Proc. HSS Forum2013 Conference*, Florence.

Choia, S. W., Chob, H. S.,& Kumaic, S. (2016). Titanium as an intermetallic phase stabilizer and its effect on the mechanical and thermal properties of Al-Si-Mg-Cu-Ti alloy. *Materials Science & Engineering A, 678*,267–272.

Cürebal, T. (2016). Boru Ekleme Parçalarındaki Akışın Üç Boyutlu İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi,*Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.

Durmaz, S. (2008). Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Sakarya.

Doğan, M. A.(2012). Al_2O_3 Partikül Takviyeli 6061 Alüminyum Metal MatriksliKompozitlerin İşlenebilirliği. Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal ÜniversitesiFen Bilimleri Enstitüsü.* Hatay.

Dudko, B. N., & NeimanE. Y.(1976). Investigation of The Stressed State and Strength of Forced High-forced High-pressure Pipe Fittings. *Design and Construction of Machinary and Equipment*, 865

Erdoğan, M. (2001). *Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri demir dışı alaşımlar*(pp. 342-345).Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

Escalona,P. M., Shokrani, A., & Newman, S. T. (2015). Influence of cutting environments on surface integrity and power consumption of austenitic stainless steel.*Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 36*, 60–69

Evans, L. B. (2003). Saving Energy in Manufacturing with Smart Technology. *World Energy, 6(2),* 112-118.

Ezugwu, O. (2005). Key Improvements in the Machining of DifficulttoCut Aerospace Superalloys.*International Journal of Machine Tools & Manufacture*, *45*,1353-1367.

Firoozabad E. S., Jeonb, B. G., Choi H. S., & Kim, N. S. (2016). Failure criterion for steel pipe elbows under cyclic loading.*Engineering Failure Analysis, 66*, 515–525.

Günay, M.(2009). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş Al-Si/SiCp Kompozitlerin Mekanik ve İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi,*Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.

Hemanth, J.,(2011). Abrasive and Slurry Wear Behavior of Chilled Aluminum Alloy (A356) Reinforced with Fused Silica (SiO_2) Metal Matrix Composites.*Composites Part B, 42,* 1826–1833.

James, S., Venkatesan, K., Kuppan P.,& Ramanujam, R. (2014). Hybrid Aluminium Metal Matrix Composite Reinforced With SiC and TiB_2, *Procedia Engineering, 97*, 1018 – 1026.

Jacobs, A.J.,& Kilduff, T. F.(2005).Structure, Processing, Properties and Selection.*Engineering Materials Technology*, 645-749.

JuB. S.,& Gupta, A.(2015). Seismic Fragility of Threaded Tee-Joint Connections in Piping Systems.*International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 132-133.

Karpenko, S. N., Travush I.,& Cheryzubov, I.(2015). Deformability and Strength Determining of Coupling Fittingsof Steel Reinforcement in the Reinforced Concrete Structures. *Procedia Engineering, 111*, 398 – 403.

Kayı, Y. (2006). Plastik Enjeksiyon Prosesindeki Parametrelerin Çekme Problemine Etkilerinin Taguchi Metodu İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Sakarya.

KEEI,Korea Energy Economics Institute, (2009). 2008 Energy Consumption Survey, *Korea Ministry of Knowledge Economy*.

Kuş, H. (2007). Öztemperleşmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışı.Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Konya.

Küçük Ö., Öztürk B., Altınbilek Y. S.& Elfarah . T. K. (2017). Şehir Su Şebekesi Tesisat Boru Bağlantı Elemanlarının Akışkan Analizine Bağlı Basınç Dayanım Analizinin Yapılması. *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Dergis*i, *3(1)*, 32-43.

Küçük Ö., Öztürk B.,& Altınbilek Y. S.(2017). 63 Serisi Priz Kolye Tasarım Geometrisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Seçimi.*Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *3(1)*, 1-10.

Klipfel, Y.L., He, M. Y., Mcmeeking, R. M., Evans, A.G., & Mehrabian, R. (1990). The Processing and Mechanical Behavior of an Aluminium Matrix Composite Reinforced with Sort Fibers.*Acta Metal Mater,38(6)*, 1063- 1074.

Liao, Y., Han, Q., Zeng, M., Man, J., Liao, Y., Han, X., Zeng M., & Jin, M. (2015). Influence of Cu on microstructure and tensile properties of 7XXX series aluminum alloy. Materials and Design, 66, 581–586.

Liu N., Wang S.B., Zhang Y.F.,& Lu W.F. (2016). A novel approach to predicting surface roughness based on specific cutting energy consumption when slot milling Al-7075.*International Journal of Mechanical Sciences, 11*, 13–20.

Liu, N., ZhangY. F., &Lu,W.F. (2015). A hybrid approach to energy consumption modelling based on cutting power: a milling case.*Journal of Cleaner Production, 104*, 264-272.

Makhutov, N. A., Serikov S. V.,& Kotousov, A. G. (1990). Increasıng the Desıgn Strength of Piping Fittings. State *Scientific-Research Institute for Mechanical Engineering*, 468.

Meng, C., Zhang, D., Zhuang L.,& Zhang, J. (2016). Correlations Between Stress Corrosion Cracking, Grain Boundary Precipitates and Zn Content of Al-Mg-Zn Alloys.*Journal of Alloys and Compounds*, *655*, 178-187.

Mutlu, İ. (1996). Alüminyum Matrisli Metal Kompozit Malzemelerin Üretilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kütahya.

Moustafa, S.F., Abdel-Hamid, Z.,&Abd-Elhay, A.M., (2002). Copper Matrix SiC and Al_2O_3 Particulate Composites by Powder MetallergyTechnique.*Materials Letters*, *53*, 244-249.7

Mills, B.,& Redford, A. H.(1993). *Machinability of engineering metarials*. New York: Applied Science Publishers Ltd.

Mori,M., Fujishima, M., Inamasu, Y., & Oda, Y. (2011). A study on energy efficiency improvement for machine tools. *CIRP Annals Manufacturing Technology, 60*, 145–148.

Mirshamsa R. A.& Sabbaghianb, M.(2003).Failure analysis of an elbow tube fitting. *Engineering Failure Analysis, 10,* 215–221

Morehead, M. (2007). Machinability and Microstructure Stability during the Machining of Pure Copper and Titanium Processed By Equal Channel Angular Pressing. Yüksek Lisans Tezi,*Clemson University Fen Bilimleri Enstitüsü.* Clemson.

Nagapadmaja, P., Kalyanaraman, V., Kumar S., &Chellapandi, P. (2008). Experimental study on LBB behaviour of LMFBR pipe elbows.*International Journal of Fatigue, 30,* 574–584

Nilsson, K., F., Dolci, F., Seldis, T., Ripplinger, S., Grag A.,& Simonovski, I. (2016). Assessment of thermal fatigue life for 316L and P91 Pipe components at elevated temperatures.*Engineering Fracture Mechanics, 168,* 73-91

Negrete,C. C. (2013). Optimization of cutting parameters for minimizing energy consumption in turning of AISI 6061 T6 using Taguchi methodology and ANOVA. *Journal of Cleaner Production, 53,* 195-203

Özakın, B.(2014). Alüminyum Alaşımlarının Farklı Ortamlardaki Gerilmeli Korozyon Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Erzurum.

Öz, Ö. (2007). Yaşlandırma Isıl İşleminin AA 7075 Malzemeli Dikdörtgen Plağın Burkulma Yükü Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Z.K.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*. Zonguldak.

Özçatalbaş, Y.(1996). 1050, 4140 ve 8620 Çeliklerinin Isıl İşlemle Değişen Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Bağlı İşlenebilirlikleri.Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.Ankara.

Öztürk, B. (2013).Fittings Üretiminde Kullanılan Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Soğuma Hızının Etkisiyle Kesit Kalınlığına Bağlı Mikroyapı ve Sertlik Değişimlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Bartın.

Özçatalbaş, Y. (2003). Investigation of the Machinability Behaviour of Al_4C_3 Reinforced Al-Based Composite Produced by Mechanical Alloying Technique.*Composites Science and Technology, 63,* 53-61.

Öztürk, B., Kücük, Ö., Düzdar İ.,& Altınbilek, Y. S.(2017). Exploring The Economial Reasons of the Usage of Unhealthy & Low Resisting Far-East Products in the Water Pipe Systems.*The Turkish Journal of Occupational / Environmental Medicine and Safety, 2(1),*60-72

Pul, M.(2010). Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilmesi ve İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.

Pedersen, W., &Ramulu, M. (2006).Facing SiC/Mg Metal Matrix Composites with Carbide Tools.*Journal of Materials Processing Technology, 172*, 417-423.

Poovazhagan, L., Kalaichelvan, K., Rajadurai A.,& Senthilvelan, V.(2013). Characterization of Hybrid Silicon Carbide and Boron Carbide Nanoparticles-Reinforced Aluminum Alloy Composites.*Procedia Engineering, 64,* 681 – 689.

Ross, P. J. (1988). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, Newyork: McGraw-Hill.

Sabbagha, A., Solimanb, M., Tahaa, M., & Palkowski, H. (2012).Hot Rolling Behaviour of Stir-Cast Al 6061 and Al 6082 Alloys– SiC Fine Particulates Reinforced Composites.*Journal of Materials Processing Technology, 212*,497–508.

Sandvik Coromant, (1997). *Modern metal cutting – a pratical handbook*(pp. 434-457). Sweden: Sandvik Coromant.

Savşkan T.(1999).*Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*.İstanbul: Derya Yayınevi.

Shokoohi, Y., Khosrojerdi E., &Shiadhi R. (2015). Machining and Ecological Effects of a New Developed Cutting Fluid in Combination with Different Cooling Techniques on Turning Operation.*Journal of Cleaner Production, 94,* 330 – 339.

Shaw, M. C.(1989). Metal cutting principles, *Oxford University Press*, Oxford, 1-9.

Sur, G.(2008). Karma Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikler ve İşlenebilirliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.

Sur, G.(2008).Karma Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikler ve İşlenebilirliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.

Şahin, Y.(2000). *Kompozit malzemelere giriş*. Ankara: Gazi Kitapevi.

Şirvancı, M. (2002). *Kalite için Deney Tasarımı*, Taguchi Yaklaşımı. İstanbul: Literatür Yayıncılık.

Toptan, F., Alves, A. C., Kerti, I., Ariza, E., & Rocha L. A. (2013). Corrosion and Tribocorrosion Behaviour of Al–Si–Cu–Mg Alloy and Its Composites Reinforced with B_4C Particles in 0.05 M NaCl Solution.*Wear, 306*, 27–35.

Tufan, M.(2011). AA6082 Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirliğe ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Karabük.

Turhan, S. (2002).Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Dayanımlarına Magnezyumun ve Silisyumun Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

URL-1.Boru Bağlantı Elemeanları. 13/12/2017 tarihindehttps://www.alibaba.com/product-detail/low-price-ASTM-pipe-fitting-gi_60486945199.html adresinden alınmıştır.

URL-2. Plastik Boru Bağlantı Elemanları.11/12/2017 tarihindehttp://www.poelsan.com.html adresinden alınmıştır.

URL-3. Alüminyum Alaşımlarının Kimyasal Özellikleri. 11/12/2017 tarihinde http://www.aluminyumsanayi.com/aluminyumprofilgenel.htmladresindenalınmıştır.

URL-4.Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması. 11/12/2017 tarihinde https://dokumhane.net/2016/04/06/aluminyum-dokum-alasimlarinin-siniflandirilmasi/ adresinden alınmıştır.

URL-5.U.S Energy information Adminnistration (EIA), 28.06.2011tarihinde http://www.eia-doe.govadresinden alınmıştır.

URL-6. Elektrik Sarfiyatı Araştırması. 15/12/2010 tarihindewww.terna.it adresinden alınmıştır.

URL-7 Innovatec Systems Alüminyum Dirsek Tasarım Şekli. 11/12/2017 tarihindehttp://www.indiamart.com/innovatec-systems/aluminumfittings.html adresinden alınmıştır.

Wessel, J.K. (2004).*Handbook of advanced materials*. USA: Wiley-Interscience Publication.

Weng, Y., Jia Z.,, Ding L.,, Pan Y.,&Liu, Y.(2017). Effect of Ag and Cu Additions on Natural Aging and Precipitation Hardening Behavior in Al-Mg-Si Alloys. *Journal of Alloys and Compounds, 695*, 2444-2452.

Yu, S. Y., Ishii, H., Tohgo, K., Cho, Y. T., Dong T., & Diao, D.(1997). Temperature Dependence of Sliding Wear Behavior in SiC Whisker or SiC Particulate Reinforced 6061 Aluminum Alloy Composite.*Wear, 213*, 21-28.

Yurdakul, M (2015). Effect of cutting parameters on consumed power in industrial granite cutting processes performed with the multi-disc block cutter.*International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 76,*104–111.

Zeng, Y., & Li, Z. (2002). Experimental research on the tube push-bending process. *Journal of Materials Processing Technology,122*, 237–240.

Zhu, M., Sun, L., Ou, G., Wang, K., Wang K.,& Sun, Y. (2016). Erosion corrosion failure analysis of the elbow in sour water stripper overhead condensing reflux system. *Engineering Failure Analysis, 62*, 93–102.

.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Burak
Doğum Yeri ve Yılı : Keçiören, 1988
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : uzmantasarimmerkezi@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Sincan Lisesi - ANKARA
Lisans : Karabük Üniversitesi - KARABÜK
Yüksek Lisans : Bartın Üniversitsi - BARTIN

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Konak Rakor
İş Yeri : IPT Akaryakıt
İş Yeri : Durst - Safa Makine

Yayınları

Kucuk Ö. ve Öztürk B. (2017), Development of Desıgn Geometry of Aluminum Fittings for Healthy and Safety Sanitary Installatıons, *Journal of Environmental Protection and Ecology (JEPE)*

Kucuk Ö. vd., (2017), Optimization of Casting Process for Mass Produced Fittings, *Politeknik*

Kucuk Ö. vd., (2017), Şehir Su Şebekesi Tesisat Boru Bağlantı Elemanlarının Akışkan Analizine Bağlı Basınç Dayanım Analizinin yapılması, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*