



**MANYETİK AŞINDIRICILARLA İŞLEME YÖNTEMİNDE İÇ
YÜZEYLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**
Mahmut ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ulaş ÇAYDAŞ
TEMMUZ-2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MANYETİK AŞINDIRICILARLA İŞLEME YÖNTEMİNDE İÇ
YÜZEYLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahmut ÇELİK

(151143102)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03 Temmuz 2017

Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Temmuz 2017

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ulaş ÇAYDAŞ (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Çetin ÖZAY (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Zülküf DEMİR (B.Ü)

TEMMUZ-2017

ÖNSÖZ

Geleneksel imalat yöntemleri ile üretilmesi mümkün olmayan hassas parçaların imal edilmesi konusunda bir alternatif sunan manyetik aşındırıcılarla işleme yönteminin çalışma prensibi ve temel parametrelerinin irdelendiği bu çalışmanın, ülkemiz akademik ve endüstriyel camiasına bir yol gösterici olması dileğiyle...

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, emeğini ve bilgilerini paylaşmaktan çekinmeyen başta danışman hocam sayın Doç. Dr. Ulaş ÇAYDAŞ olmak üzere T.C. Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü hocalarıma, laboratuvar imkânlarını benimle paylaşan sayın Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ hocama, çalışma sonuçlarının ölçülmesinde yardımlarını esirgemeyen T.C. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi öğretim üyelerinden Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ hocama, bu zorlu süreçte desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Erman ÇELİK'e ve T.C. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yüksek lisans öğrencisi Mahmut AKYÜZ'e teşekkürlerimi bildiririm.

Çalışmayı destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi personeline teşekkür ederim.(Proje no: TEKF -16.10)

Çalışmamı hazırlamam sırasında, hayatımın her anında olduğu gibi desteğini benden esirgemeyen değerli eşim Sibel ÇELİK ve çalışmalarımın varlığıyla bana güç veren kızım Elif Ülkü'ye minnettarlığımı ifade etmek isterim.

Son olarak üzerimdeki emeğini kelimelerle anlatmamın mümkün olmadığı, her koşulda desteklerini esirgemeyen, varlığımdan güç aldığım değerli babam Erdal ÇELİK'e şükranlarımı bildiririm.

Mahmut ÇELİK
ELAZIĞ-2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. ABRASİV İŞLEME YÖNTEMLERİ	3
2.1. Talaş Kaldırma Mekanizması	4
2.2. Başlıca Abrasiv İşleme Yöntemleri	5
2.2.1. Hassas Yüzey Bitirme Yöntemi (Superfinishing).....	5
2.2.2. Honlama Yöntemi (Honing)	5
2.2.3. Zımparalama Yöntemi (Sandpapering).....	6
2.2.4. Püskürtme Yöntemi (Blasting).....	6
2.2.5. Abrasiv Jet ile İşleme Yöntemi (Abrasive Fluid Jet Machining).....	6
2.2.6. Lepleme ve Parlatma Yöntemleri (Lapping and Polishing).....	7
2.2.7. Aşındırıcı Akışlı İşleme Yöntemi (Abrasive Flow Machining).....	8
2.2.8. Manyetik Aşındırıcılarla İşleme Yöntemi (Magnetic Abrasive Finishing)	8
3. MANYETİK AŞINDIRICILARLA İŞLEME (MAİ) YÖNTEMİ.....	10
3.1. İç Yüzeylerin Mai Yöntemiyle İşlenmesi	12
3.2. Yöntemi Etkileyen Faktörler	12
3.2.1. Manyetik Akım Kaynağı	12
3.2.2. İşleme Boşluğu.....	13
3.2.3. Devir Sayısı	13
3.2.4. İşlem Süresi	13
3.2.5. Manyetik Tanecikler	14
3.2.6. Aşındırıcı Tanecikler.....	14
3.2.7. Karışım Oranı	14
3.2.8. Yağlayıcı	14
4. KONUNUN LİTERATÜRDEKİ YERİ	16
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	22
5.1. Numunelerin Hazırlanması	22
5.2. MAİ Deneyleri İçin Mıknatıs Tutucunun Hazırlanması	23
5.3. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi	25
5.4. Kullanılan Tozlar	26
5.5. Deneylerin Yapılması	26
5.6. Yüzey Pürüzlülüklerin Ölçülmesi.....	27
5.7. Talaş Kaldırma Oranlarının Belirlenmesi	27
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	28
6.1. Talaş Kaldırma Oranı Ölçüm Sonuçları	28
6.1.1. Fe Tozu Tane Boyutunun TKO üzerindeki Etkisi	29
6.1.2. SiC Tane Boyutunun TKO üzerindeki Etkisi.....	30
6.1.3. İşleme Süresinin TKO üzerindeki Etkisi.....	31

6.1.4. Devir Sayısının TKO üzerindeki Etkisi	32
6.1.5. Karışım Oranının TKO üzerindeki Etkisi	33
6.2. Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Ölçüm Sonuçları	34
6.2.1. Fe Tozu Tane Boyutunun Ra Üzerindeki Etkisi	63
6.2.2. SiC Tane Boyutunun Ra Üzerindeki Etkisi	63
6.2.3. İşleme Süresinin Ra Üzerindeki Etkisi.....	64
6.2.4. Devir Sayısının Ra Üzerindeki Etkisi	65
6.2.5. Karışım Oranının Ra Üzerindeki Etkisi.....	67
7.SONUÇLAR.....	68
8. ÖNERİLER	69
KAYNAKÇA	70
ÖZGEÇMİŞ.....	74



ÖZET

Gelişen teknoloji ile birlikte özellikle havacılık-uzay, otomotiv ve medikal gibi endüstrilerde yüksek hassasiyette üretilmiş parçalara ihtiyaç duyulmaktadır. Kaba işleme sonrası imal edilen parçaların istenilen geometrik tolerans, doğruluk ve yüzey topoğrafyasına ulaşabilmeleri için hassas yüzey bitirme işlemlerine tabi tutulmaları gerekmektedir. Geleneksel imalat yöntemleriyle imal edilmesi mümkün olmayan bu parçalar ancak geleneksel olmayan imalat yöntemleri ile imal edilebilmektedir. Manyetik aşındırıcılarla işleme yöntemi (MAİ) manyetik alan yardımıyla yüzeyden talaş kaldıran bir geleneksel olmayan imalat yöntemidir.

Bu çalışmada endüstride geniş kullanım alanına sahip AISI 304L ostenitik paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiş boruların iç yüzeylerinin MAİ yöntemiyle işlenebilirliği araştırılmıştır. Çalışmada, Fe tozu tanecik boyutu, SiC tozu tanecik boyutu, işleme süresi, iş parçası devir sayısı ve aşındırıcı karışım oranı parametrelerinin talaş kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde konuya giriş yapılmış, ikinci bölümünde abrasiv işleme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde MAİ yöntemi tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde çalışmanın güncel çalışmalar arasındaki yeri ve önemi vurgulanmış, beşinci bölümde deneysel çalışmalarla ilgili yöntem verilmiştir. Altıncı bölümde deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular ile işleme parametreleri arasındaki ilişkiler tartışılmıştır. Yedinci bölümde genel sonuçlar verilmiş ve son bölümde ise gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Manyetik aşındırıcılarla işleme, Yüzey pürüzlülüğü, Abrasiv işleme, Hassas işleme, AISI 304L

SUMMARY

Investigation of Machinability of Inner Surface in Magnetic Abrasive Finishing Process

Nowadays, parts used especially in aerospace, automotive and medical industries need to be manufactured with high precision. Parts need to fine finishing process to meet geometrical tolerances, accuracies and surface topography. Traditional manufacturing processes cannot satisfy the present demand for high precision surfaces. Therefore, non-traditional manufacturing processes are needed. Magnetic Abrasive Finishing (MAF) is one of the non-traditional methods in which fine surfaces can be obtained via magnetic field and magnetic abrasives.

This study investigates the machinability of interior surfaces of AISI 304 L austenitic stainless steel which is widely used in industries, by MAF. In this study, effects of process parameters such as ferrous particle size, abrasive particle size, finishing time, number of revolutions of workpiece and percentage of abrasives on process responses namely surface roughness (Ra) and material removal rate (MRR) was investigated.

The first chapter of the study, there is an introduction about subject and general information about abrasive finishing techniques is given in the second chapter. MAF is presented in the third chapter. In the fourth chapter of the study, the importance and the place of the study is emphasized. Experimental techniques is given in the fifth chapter, in the sixth chapter relation between responses of the experiments and process parameters discussed. General results are given in the 7th chapter. In the last chapter of the study, suggestions for the future works are presented.

Key Words: Magnetic abrasive finishing (MAF), Surface roughness, Abrasive finishing Fine finishing, AISI 304L

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Abrasiv yüzey bitirme işleminin kullanım alanları[1].	1
Şekil 2.1. Abrasiv işleme yöntemlerinin sınıflandırılması[1].	3
Şekil 2.2. a) Tanecik kinematığı, b) aşındırıcı taneciğe etki eden kuvvetler, c-e) iş parçası ve aşındırıcı arasında meydana gelen farklı işlemler [1].	4
Şekil 2.3. Honlama işleminin şematik gösterimi [7].	6
Şekil 2.4. Lepleme ve Parlatma işlemlerinin şematik gösterimi [10].	7
Şekil 2.5. Aşındırıcı akışlı işleme yönteminin çalışma prensibi [1].	8
Şekil 3.1. Düzlemsel yüzeylerde manyetik aşındırıcılarla işleme yönteminin şematik gösterimi[5].	10
Şekil 3.2 Dairesel kesitli parçaların MAİ yöntemi ile işlenmesinin şematik gösterimi [5].	11
Şekil 5.1. Deney numuneleri	22
Şekil 5.2. Numunelere ait teknik detaylar	23
Şekil 5.3. Mıknatıs tutucu ve taret bağlantı aparatı	23
Şekil 5.4. Deney düzeneği	24
Şekil 5.5. Kutup uçları ve üzerindeki teflon bant	24
Şekil 6.1 Fe tane boyutunun TKO üzerindeki etkisi	29
Şekil 6.2. Fe Tanecik boyutlarının SiC tanecikleri üzerindeki etkisi	30
Şekil 6.3. SiC tane boyutunun TKO üzerindeki etkisi	31
Şekil 6.4 İşleme süresinin TKO üzerindeki etkisi	32
Şekil 6.5. Devir sayısının TKO üzerindeki etkisi.	33
Şekil 6.6. Karışım oranının TKO üzerindeki etkisi	34
Şekil 6.7. 1 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	36
Şekil 6.8. 2 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	37
Şekil 6.9. 3 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	38
Şekil 6.10. 4 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	39
Şekil 6.11. 5 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	40
Şekil 6.12. 6 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	41
Şekil 6.13. 7 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	42
Şekil 6.14. 8 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	43
Şekil 6.15. 9 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	44
Şekil 6.16. 10 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	45
Şekil 6.17. 11 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	46
Şekil 6.18. 12 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	47
Şekil 6.19. 13 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	48
Şekil 6.20. 14 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	49
Şekil 6.21. 15 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	50
Şekil 6.22. 16 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	51
Şekil 6.23. 17 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	52

Şekil 6.24. 18 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	53
Şekil 6.25. 19 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	54
Şekil 6.26. 20 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	55
Şekil 6.27. 21 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	56
Şekil 6.28. 22 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	57
Şekil 6.29. 23 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	58
Şekil 6.30. 24 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	59
Şekil 6.31. 25 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	60
Şekil 6.32. 26 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	61
Şekil 6.33. 27 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri	62
Şekil 6.34. Fe tane boyutunun Ra iyileşme oranına etkisi.....	63
Şekil 6.35. SiC tane boyutunun Ra iyileşme oranına etkisi.....	64
Şekil 6.36. İşleme Süresinin Ra iyileşme oranına etkisi.....	65
Şekil 6.37. Devir Sayısının Ra iyileşme oranına etkisi	66
Şekil 6.38. Karışım Oranının Ra iyileşme oranına etkisi	67

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1. AISI 304L malzemesine ait kimyasal bileşim tablosu.....	22
Tablo 5.2. Deney Koşulları.....	25
Tablo 5.3. Deneylerde kullanılan faktör ve seviyeleri.....	26
Tablo 6.1. Yapılan deneylere ait kaldırılan talaş miktarları ve TKO değerleri	28
Tablo 6.2. Yüzey pürüzlülük değerleri.	35



SEMBOLLER LİSTESİ

KISALTMALAR

MAİ	: Manyetik Aşındırıcılarla İşleme
UDMAİ	: Ultrasonik Destekli Manyetik Aşındırıcılarla İşleme
TKO	: Talaş Kaldırma Oranı
MAF	: Magnetic Abrasive Finishing
MRR	: Material Removal Rate
CNC	: Computer Numerical Control

SEMBOLLER

A,B,C,D,E	: Deneysel parametreleri
Ra	: Ortalama yüzey pürüzlülük değeri
α	: Çarpma açısı
v	: Tanecik hızı
ω	: Açılmal hız
V	: Manyetik aşındırıcıların hacmi
H	: Manyetik alan şiddeti
X	: Manyetiklik katsayısı
GradH	: Manyetik alan değışimi
F	: Manyetik kuvvet

1. GİRİŞ

Günümüzde özellikle havacılık, uzay ve otomotiv sanayisinde kullanılan parçaların yüksek hassasiyette imal edilmeleri gerekmektedir. Bu parçaların ham maddeden nihai ürüne dönüştürülmesi, döküm işlemi ile başlayıp plastik şekil verme, talaşlı imalat ve gerek duyulursa ısıl işlem süreçleri ile devam etmektedir. Bu işlemler, malzemenin sertlik, artık gerilme ve işlenebilirlik gibi özelliklerini etkilediği için maliyet, kalite ve üretilebilirlik açısından büyük önem arz etmektedir.

Kaba işleme sonrası imal edilen parçaların istenilen geometrik tolerans, doğruluk ve yüzey topoğrafyasına ulaşabilmeleri için hassas yüzey bitirme işlemlerine tabi tutulmaları gerekmektedir. Özellikle hassas parçaların imalatında yüzeyleri daha kaliteli hale getirmek amacıyla abrasiv yüzey bitirme yöntemleri uygulanmaktadır.

Abrasiv yüzey bitirme yöntemleri, sanayide kullanım alanını önemli derecede artıracak; yüzey doku ve topoğrafyasında modifikasyon yapabilme, ısıdan etkilenen bölgelerin oluşmadığı hasarsız yüzeyler ve sıkıştırıcı artık gerilme oluşturma, yüzey bütünlüğü, parlaklık ve homojenlik gibi görsel faktörlerde iyileştirme gibi avantajlara sahiptir[1].



Rulmanlar (Hassas Yüzey Bitirme)



Motor blokları (Honlama)



Türbin kanatları (Kumlama)



Optik (Lepleme/Parlatma)



Mücevher (Cilalama/Parlatma)



Manifold (Aşındırıcı Akışlı İşleme)

Şekil 1.1. Abrasiv yüzey bitirme işleminin kullanım alanları[1].

Şekil 1.1’de çeşitli abrasiv yüzey bitirme işlemleri ile imal edilmiş parçalar görülmektedir. Rulmanlarda yorulma ömrü, hareket toleransı ve ses performansı gibi özellikler hassas yüzey bitirme işlemi ile birlikte önemli derecede artmaktadır.

Honlama işlemi motor bloklarının yüzeylerindeki sürtünmeyi azaltırken, aşınma direncini artırmaktadır. Kumlama işlemi yapılan türbin kanatlarının yorulma dayanımı önemli derecede artmaktadır. Lепleme ve parlatma gibi işlemler özellikle optik bileşenlerinde hasarsız ayna yüzeyler elde etmek için kullanılmaktadır. Mücevherler ise cilalama ve parlatma gibi yöntemlerle göz alıcı parlaklıklara sahip olmaktadır. Manifold gibi karmaşık geometriye sahip borular ise aşındırıcı akışlı işleme yöntemi sayesinde daha kaliteli yüzeylere sahip olmaktadır.

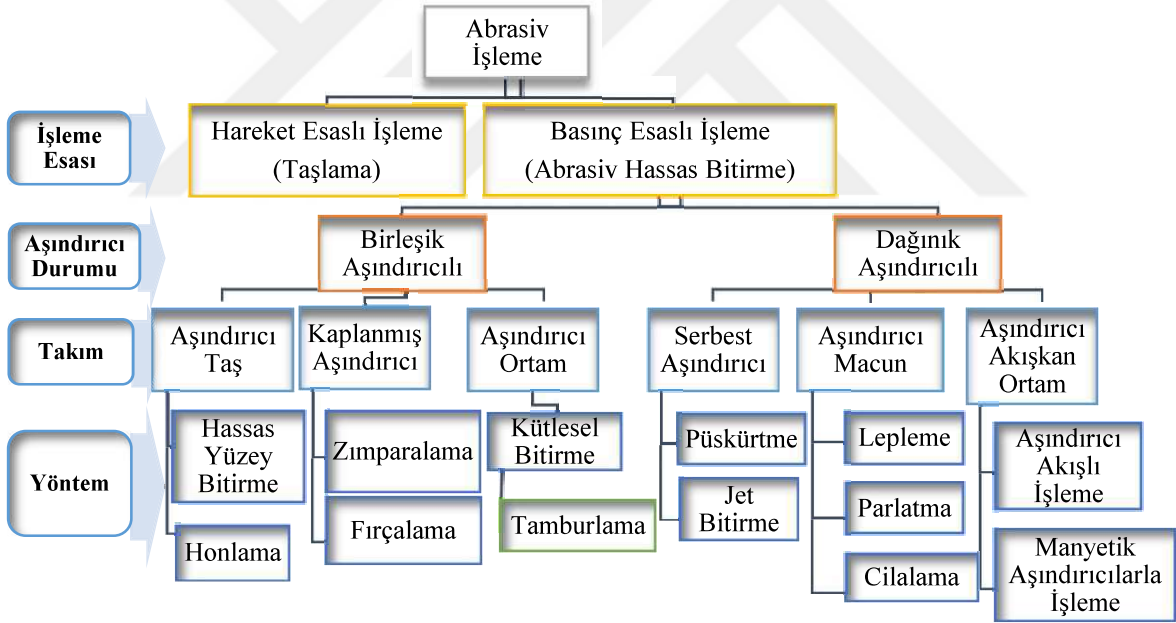
Karmaşık ve limitli geometriye sahip parçaların hassas bir şekilde işlenmesi ise manyetik aşındırıcılarla işleme (MAİ) yöntemi ile mümkün kılınmaktadır. 1930’lu yılların sonlarında bulunan bu yöntemde, manyetik alan etkisi altında olan manyetik aşındırıcı ve ferromanyetik toz karışımı yüzeye baskı uygulamakta ve yüzey ile arasındaki bağıl hareket neticesinde yüzeyden mikron mertebesinde talaş kaldırmaktadır. MAİ yöntemi yüksek hızlı takım tezgahlarının rulmanları ve yatakları [2], paslanmaz çelik tüplerin iç ve dış yüzeyleri ile havacılık sektöründe kullanılan, gaz veya sıvı akışkan tüplerinin iç ve dış yüzeyleri [3,4], medikal alanda ise kılcal boruların iç yüzeylerin [5] işlenmesi işlemleri için kullanılabilir.

MAİ yönteminde; manyetik alanın kaynağı, şiddeti; aşındırıcı taneciklerin cinsi, boyutu, karışım oranı; işleme süresi, devir sayısı, işleme boşluğu, manyetik tozların boyutu gibi birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler iş parçasının düzlemsel ya da silindirik olması, iş parçasının malzemesi ve istenilen yüzey kalitesi gibi etkenlere göre değişmektedir. Optimum sonuçların elde edilebilmesi için bu parametrelerin işlem üzerindeki etkileri münferit ve birlikte değerlendirilmeli ve her bir parametrenin en uygun seviyesi tespit edilmelidir.

Literatürde MAİ yöntemiyle ilgili çalışmalar son yıllarda sayısını artırmakla birlikte, ülkemizde bu yöntemle ilgili deneysel bir çalışma yapılmamıştır. MAİ yönteminin en uygun parametrelerini belirlemek için yapılacak olan çalışmalar daha sonraki akademik ve endüstriyel uygulamalara ışık tutacaktır.

2. ABRASİV İŞLEME YÖNTEMLERİ

Abrasiv işleme yöntemleri Şekil 2.1’de görüldüğü temelde işleme esasına dayandırılarak sınıflandırılmaktadır. Hareket esaslı işleme yönteminde malzemeden belirlenen derinlikte talaş kaldırılmakta ve böylece ölçüsel toleranslar kontrol edilebilmektedir. Basınç esaslı işleme yönteminde ise bir kesme derinliği söz konusu olmayıp aşındırıcıların iş parçasına uyguladığı basınç neticesinde yüzeyden talaş kaldırılmaktadır. Bu yöntemde ölçüsel toleransların kontrolü mümkün olmamakla birlikte yüzey bütünlüğü ve yüzey kalitesi önemli ölçüde iyileşmektedir. Hassas bitirme, honlama, lepleme, parlatma gibi işlemler basınç esaslı işleme yöntemleri olarak nitelendirilmekte birlikte genellikle taşlama gibi hareket esaslı işleme yöntemlerinden sonra uygulanmaktadır.



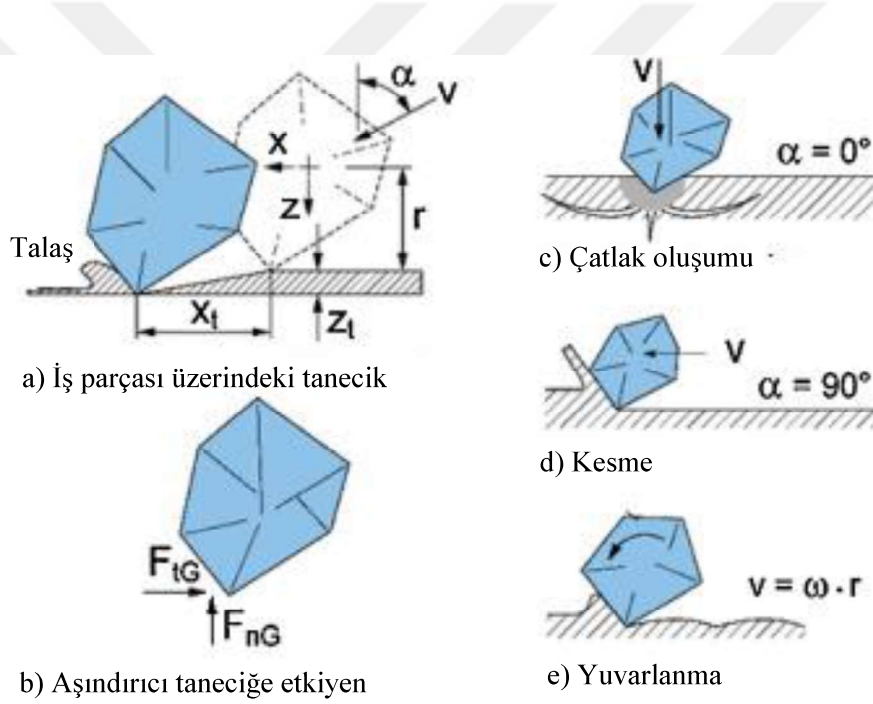
Şekil 2.1. Abrasiv işleme yöntemlerinin sınıflandırılması[1].

Abrasiv hassas bitirme yöntemleri ise kullanılan aşındırıcıların durumuna göre 2'ye ayrılmaktadır. Birleşik aşındırıcılar olarak nitelendirilen aşındırıcılarda aşındırıcı taneciklerin bir arada tutulduğu bir matris bulunmaktadır. Bu aşındırıcılar genellikle hassas bitirme, honlama, zımparalama, fırçalama ve tamburlama yöntemlerinde kullanılmaktadır. Dağınık aşındırıcılar olarak nitelendirilen aşındırıcılar ise işleme süresince yüzey üzerinde

serbest halde bulunmakta olup; püskürtme, jet bitirme, lepleme, parlatma, cilalama, aşındırıcı akışlı ve manyetik aşındırıcılı işleme yöntemlerinde kullanılmaktadır.

2.1. Talaş Kaldırma Mekanizması

Abrasiv işleme yöntemlerinin tamamında aşındırıcı taneciklerin sahip oldukları kinetik enerjiler sayesinde iş parçası yüzeyinden talaş kaldırılmaktadır. Abrasiv işleme yöntemlerinin talaş kaldırma mekanizması ile ilgili yorum yapabilmek için tek bir aşındırıcı taneciğin talaş kaldırma mekanizmasını tanımlamak gerekir. Şekil 2.2’de abrasiv işleme yöntemleri sırasında iş parçası ve aşındırıcı tanecikler arasındaki kuvvet ve etkileşimler şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.2. a) Tanecik kinematiği, b) aşındırıcı taneciğe etki eden kuvvetler, c-e) iş parçası ve aşındırıcı arasında meydana gelen farklı işlemler [1].

İşlemin hangi şekilde oluşacağına taneciğin çarpma açısı (α), tanecik hızı (v) ve taneciğin açısal hızı (ω) etkilidir.

Düşük çarpma açılarındaki (Şek. 2.2 (c)) aşındırıcı tanecik iş parçası yüzeyine dik olarak baskı uygulamaktadır. Sonuç olarak sünek malzemelerde baskının olduğu yerin çevresinde deformasyon sertleşmesi meydana gelmektedir. Gevrek malzemelerde ise baskı bölgesi çevresinde çatlaklar oluşmakta ve çok sayıda aşındırıcı taneciğin baskısı sonucunda bu çatlaklar büyüyerek iş parçası yüzeyinden kopmaktadır.

Çarpma açısının yüksek olduğu durumlarda ise (Şek 2.2 (d)), taneciğin teğetsel yöndeki momentumunun çoğu iş parçası yüzeyine aktarılarak yüzeyde bulunan pürüzleri kesme işlemi yapmaktadır ve işlem sonrasında yüzeyde çizikler meydana gelmektedir.

Çarpma açısının büyük ve aşındırıcı taneciğin kendi etrafında kolayca dönebildiği durumlarda (Şekil 2.2 (e)) ise, aşındırıcı tanecik iş parçası yüzeyine çarpıp yuvarlanmaya başlar. Bu yuvarlanma esnasında yüzeyde bulunan pürüzler giderilerek yüzey daha pürüzsüz hale gelir.

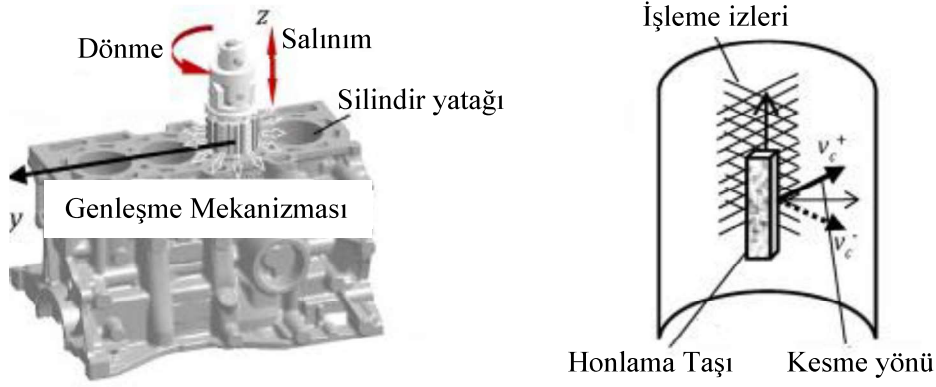
2.2. Başlıca Abrasiv İşleme Yöntemleri

2.2.1. Hassas Yüzey Bitirme Yöntemi (Superfinishing)

Yöntem 1930'lu yılların başında Amerikalı bir rulman üreticisi tarafından honlama yönteminin geliştirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Aşındırıcı rijit bir takımın kullanıldığı hassas bitirme yöntemi genellikle rulman imalatında kullanılmakla birlikte düz ve silindirik parçaların dış yüzeylerinin hassas şekilde işlenmeleri için kullanılmaktadır. Takım yüksek frekans ve düşük genlik değerlerinde doğrusal hareket yaparken iş parçası da dönme hareketi yapmaktadır. Yöntem süresince iş parçasını soğutmak ve talaşları ortamdaki uzaklaştırmak için kesme sıvısı kullanılmaktadır. Yöntemde; yüzey pürüzlülük değerleri, dairesellik ve profil doğruluğu gibi topografik özelliklerini iyileştirmenin yanı sıra sıkıştırıcı artık gerilme oluşturma suretiyle ısıdan etkilenmiş bölge gibi alt yüzey katmanlarını yok ederek yüzey devamlılığını da sağlamaktadır[1].

2.2.2. Honlama Yöntemi (Honing)

Genellikle içten yanmalı motor blokları, dişliler, silah namluları ve hidrolik silindirlerin yüzey pürüzlülük değerlerini iyileştirmek amacıyla kullanılan honlama yönteminde takım olarak honlama taşı kullanılmaktadır. Yöntem aynı zamanda iş parçasında daha önceden bulunan koniklik, dairesellikteki bozukluklar ve aksel kayma gibi problemleri de yok etmektedir[6]. Şekil 2.3'de bir motor bloğunun honlama işlemi şematik olarak görülmüştür. Motor bloğu içerisine yerleştirilen ve genişleme mekanizması ile gerekli basınç değerine ulaşan takımın dönme ve salınım hareketi sonucu yüzeyde birbirine çapraz şekilde izler oluşmaktadır. Yöntem sonucunda tolerans ve yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla $\pm 2\mu\text{m}$ ve 50 nm gibi düşük değerlere ulaşabilmektedir.



Şekil 2.3. Honlama işleminin şematik gösterimi [7].

2.2.3. Zımparalama Yöntemi (Sandpapering)

Bir kağıt ya da bant üzerine tutturulmuş aşındırıcı taneciklerin iş parçası yüzeyinden talaş kaldırması işlemi zımparalama olarak tanımlanmaktadır. İş parçası ya da zımpara kağıdının dönme ya da salınım hareketi sonucunda zımparalama işlemi gerçekleşmektedir. Aşındırıcılar esnek bir yapıya sahip olduğu için formlu yüzey ya da kenarların yüzey bitirme işlemi bu yöntemle kolaylıkla yapılabilmektedir.

2.2.4. Püskürtme Yöntemi (Blasting)

Aşındırıcı malzemelerin yüzey üzerine yüksek basınçla püskürtülmesi esasına dayanan bu yöntem endüstride genellikle yüzeyleri temizlemek, kazımak (kumun erozyon etkisi ile) ve çapak almak amacıyla kullanılmakta olup geniş bir kullanım alanına sahiptir. Yöntemde püskürtülen malzeme olarak genellikle kum ve metal parçacıklar gibi bileşenler kullanılmasına rağmen işlenecek malzemenin şartlarına bağlı olarak buz ve fındık kabuğu gibi organik bileşenlerde kullanılmaktadır.

2.2.5. Abrasiv Jet ile İşleme Yöntemi (Abrasive Fluid Jet Machining)

Aşındırıcı jet bitirme yöntemi 1970'li yıllarda su jeti ile işleme yönteminin verimini artırmak amacıyla ortaya çıkmıştır. Yöntemde sıvı içerisine karıştırılan aşındırıcı tanecikler yüksek basınç ve hızla iş parçası üzerine gönderilmektedir. Yöntem kesme, delme, çapak alma, parlatma ve temizleme amacıyla kullanılmaktadır. Aşındırıcıların içerisinde

bulunduğu akışkanın özellikleri, basıncı ve akışkanın akış oranı aşındırıcıların iş parçası ile temasının kontrolünü etkileyen temel parametreleri oluşturmaktadır. Nozul çapı, nozul ile iş parçası arasındaki mesafe ve nozul açısı ise sistemin verimini etkileyen diğer parametrelerdir.

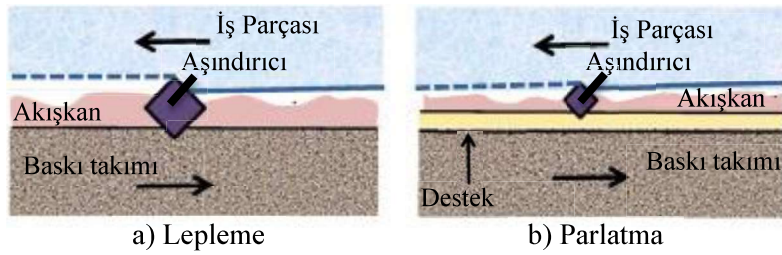
Yöntemde jet basıncının 50 MPa'ya kadar olduğu sistemler düşük basınçlı 50 MPa'dan yüksek olduğu sistemler ise yüksek basınçlı sistemler olarak adlandırılmaktadır.

Yöntem 35 MPa'nın altında kullanıldığında ise yüzeyleri parlatmak için elverişli hale gelmektedir [8].

Aşındırıcı jet ile yüzey parlatma işleminde talaş kaldırma mekanizması erozyon etkisiyle birlikte iş parçasının gevrek ya da sünek olmasına göre değişmektedir. Gevrek malzemelerde talaş kaldırma işlemi aşındırıcıların hızla vurup malzeme koparmasıyla sağlanırken sünek malzemelerde bu işlem aşındırıcıların yüzeyden malzeme kesmesiyle sağlanmaktadır [9].

2.2.6. Lepleme ve Parlatma Yöntemleri (Lapping and Polishing)

Özellikle optik ve silikon plakalar gibi yüksek derecede hassas yüzeylerin imalatı için kullanılan lepleme ve parlatma yöntemleri temelde; aşındırıcı, aşındırıcıların taşındığı akışkan, iş parçası ve baskı takımı olmak üzere 4 bileşenden oluşur (Şekil 2.4).

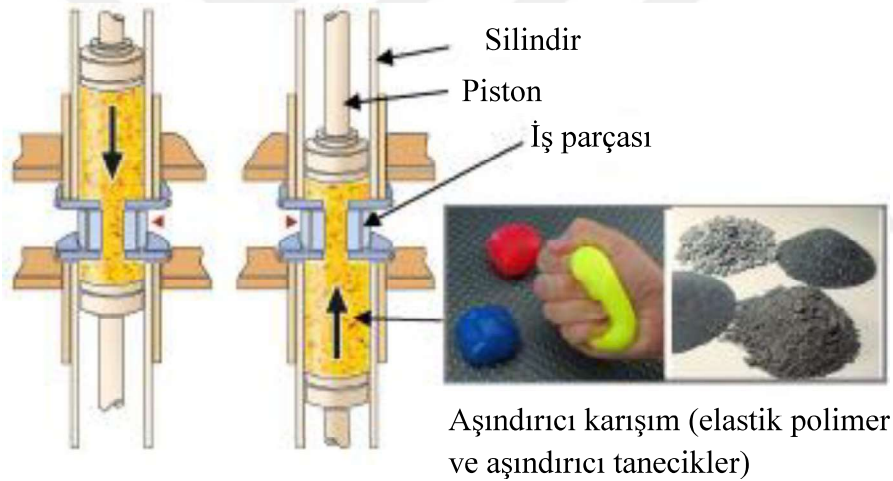


Şekil 2.4. Lepleme ve Parlatma işlemlerinin şematik gösterimi [10].

Her iki yöntemde de talaş kaldırma işlemi akışkan içerisinde serbest halde yuvarlanan aşındırıcılar ve sıkışmış aşındırıcılar tarafından gerçekleştirilmektedir. Yuvarlanan aşındırıcılar mikro boyutta çatlaklara ve yüzeyden parçaların kopmasına sebep olmaktadır. Sıkışmış aşındırıcılar ise sabit bir talaş kaldırma ve mikro boyutta çizikler oluşturmaktadır. Yöntemlerin her ikisinde de en etkili değişken basınç ve akışkan hızıdır.

2.2.7. Aşındırıcı Akışlı İşleme Yöntemi (Abrasive Flow Machining)

Esnek yapıdaki bir polimer içerisine homojen olarak karıştırılmış aşındırıcı taneciklerin kullanıldığı aşındırıcı akışlı işleme yönteminin çalışma prensibi Şekil 2.5’de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi aşındırıcı karışım özel bir aparat ile iş parçası içerisine basılmaktadır. İş parçası yüzeyi ile sürtünen aşındırıcı karışım iş parçası yüzeyinden talaş kaldırmaktadır. Yöntemde aşındırıcı olarak genellikle silisyum karbür, alüminyum oksit, bor karbür ve elmas aşındırıcılar kullanılmaktadır [1]. Aşındırıcı cinsi ve boyutu iş parçasının cinsi ve hedeflenen yüzey kalitesine göre değişmektedir. Aşındırıcı karışım genellikle 0.7 – 22 MPa arasında değişmektedir [11]. Yöntemde yüzey bitirme işlemi için yüksek viskozite değerine sahip polimerler kullanılırken, kenar yuvarlatma işlemi için ise düşük viskozite değerine sahip polimerler kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. Aşındırıcı akışlı işleme yönteminin çalışma prensibi [1].

2.2.8. Manyetik Aşındırıcılarla İşleme Yöntemi (Magnetic Abrasive Finishing)

MAİ yöntemi manyetik alan yardımıyla yüzeyden talaş kaldıran bir yöntemdir. Yöntem ilk olarak 1930’lu yıllarda keşfedilmesine rağmen 1960’lı yıllara kadar bir gelişim gösterememiştir. Yöntem özellikle otomotiv, havacılık ve medikal gibi alanlarda kullanılan hassas parçaların üretiminde kullanılmaktadır.

Yöntemde manyetik tozlar ve manyetik olmayan ve nispeten daha küçük boyutlu aşındırıcı tozlar bir manyetik alan içerisinde esnek bir fırça halini almaktadırlar. Bu

firçanın ya da iş parçasının hareketi sonucu çok noktalı bir kesici takım görevi üstlenen esnek fırça yüzeyden talaş kaldırmaktadır.

Yöntemde manyetik alanın kaynağı, şiddeti; aşındırıcı taneciklerin cinsi, boyutu, karışım oranı; işleme süresi, devir sayısı, işleme boşluğu, manyetik tozların boyutu gibi birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler iş parçasının düzlemsel ya da silindirik olması, iş parçasının malzemesi ve istenilen yüzey kalitesi gibi etkenlere göre değişmektedir.

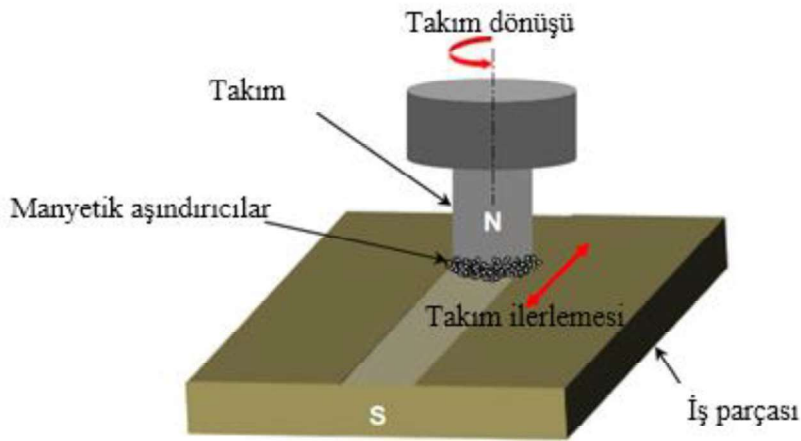


3. MANYETİK AŞINDIRICILARLA İŞLEME (MAİ) YÖNTEMİ

Manyetik alan yardımıyla yüzeyden talaş kaldıran bir son işleme yöntemi olan MAİ yöntemi ilk olarak 1930'lu yıllarda keşfedilmesine rağmen son 10 yıl içerisinde kullanışlı ve tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir[12]. Son yıllarda MAİ yöntemine duyulan önemin artmasıyla bu yöntem, özellikle medikal, optik, elektrik ve motor parçaları gibi hassas bileşenlerin üretiminde kullanılmaktadır[13-17].

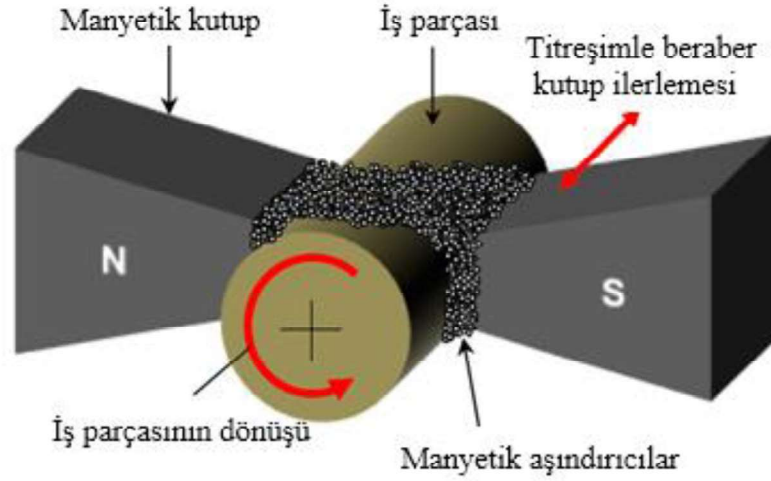
MAİ yönteminde demir esaslı manyetik tozlar ve elmas, silisyum karbür, alüminyum oksit ve kübik bor nitrür gibi aşındırıcılardan oluşan bir karışım kullanılmaktadır. Manyetik olmayan bu aşındırıcılar, düzensiz geometrilere ve sert kesme kenarlarına sahiptirler. Bu aşındırıcılar, mıknatıslar tarafından oluşturulan manyetik alan çizgileri boyunca demir tozlarıyla birlikte esnek bir manyetik fırça takımı oluştururlar. Bu takımın esnekliği ise mıknatıs tarafından oluşturulan manyetik alanın şiddeti ile orantılıdır. Takım böylece çok noktadan kesme yapan bir kesici gibi davranır[18,19]. Manyetik alanın şiddeti, esnek takım ile işlenecek yüzey arasındaki sürtünme kuvvetini yendiğinde yüzeyden talaş kaldırılmaktadır.

MAİ yönteminde kullanılan takım esnek olduğu için, sabit geometrili cisimlerin yanı sıra geleneksel imalat yöntemleriyle işlenmesi mümkün olmayan karışık ve değişken geometriye sahip cisimlerin de iç ve dış yüzeyleri bu yöntem ile işlenebilmektedir.



Şekil 3.1. Düzlemsel yüzeylerde manyetik aşındırıcılarla işleme yönteminin şematik gösterimi[5].

Şekil 3.1’de düzlemsel yüzeylerin MAİ yöntemi ile işlenmesi şematik olarak görülmektedir. Dönen manyetik takım ile iş parçası arasındaki boşlukta yönlendirilen manyetik akım sayesinde aşındırıcılar yüzey üzerinde işleme yapmaktadır. Esnek bir manyetik takım oluşturan aşındırıcılar fener milinin dönmesiyle birlikte yüzey üzerinden talaş kaldırmak suretiyle işleme yapmaktadır.



Şekil 3.2 Dairesel kesitli parçaların MAİ yöntemi ile işlenmesinin şematik gösterimi [5].

Şekil 3.2’de ise dairesel kesitli parçaların MAİ yöntemi ile işlenmesi şematik olarak görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, mıknatısların zıt kutupları arasında yerleştirilmiş iş parçası kendi ekseninde dönme hareketi yaparken, mıknatıslar ise mil ekseninde doğrusal ilerleme hareketi yapmaktadır. İş parçası ile kutuplar arasındaki boşluğa yerleştirilen aşındırıcı ve manyetik tozlar, manyetik alanın şiddetine bağlı olarak yüzeyden talaş kaldırmaktadır [12].

MAİ yönteminin, diğer abrasiv işleme yöntemlerine nazaran bazı üstün yönleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Geleneksel yöntemlerde rijit bir kesici takım kullanılırken, MAİ yönteminde talaş kaldırma işlemi esnek bir takım yardımıyla yapılmaktadır. Dolayısıyla karmaşık şekilli parçalar bu yöntemle kolaylıkla işlenebilmektedir.
- İşleme basıncı manyetik alana bağlı olarak kontrol edilebilmektedir.
- Elektromıknatıs kullanılan sistemlerde güç kaynağındaki akımı açıp kapatmak suretiyle kutuplarda biriken aşındırıcılar ortamdaki uzaklaştırılabilir.

- Manyetik alandan dolayı aşındırıcıların dağılmamaktadır.
- Düşük miktarda aşındırıcı kullanılmaktadır.

3.1. İç Yüzeylerin Mai Yöntemiyle İşlenmesi

İç yüzeylerin işlenmesinde MAİ yöntemi temel olarak iki farklı şekilde uygulanmaktadır. İlk yöntemde, kutup sistemi sabit kalırken iş parçası dönme hareketi yapmaktadır. İkinci yöntemde ise iş parçası sabit kalırken, kutup sistemi dönme hareketi yapmaktadır. İşlenecek parçanın geometrisine göre uygun yöntem seçilmektedir. Sabit kutuplu sistem, kısa parçaların daha yüksek hızlarda işlenmesine olanak sağlarken; daha uzun boylu ve eş eksende dönmesi mümkün olmayan karmaşık şekilli parçalarda ise genellikle ikinci yöntem tercih edilmektedir.

3.2. Yöntemi Etkileyen Faktörler

3.2.1. Manyetik Akım Kaynağı

Yöntemde manyetik akım kaynağı olarak geçici ya da sabit mıknatıslar kullanılmaktadır. Geçici mıknatısların kullanıldığı sistemlerde manyetik alan elektrik akımı tarafından sağlanır. Metal bir nüve etrafına sarılan bobin içerisinden elektrik akımı geçirilirse nüve bir mıknatıs gibi davranır. Bu şekilde oluşturulan mıknatıslara elektromıknatıs denmektedir. Elektromıknatıs kullanılan sistemlerde manyetik alanın şiddeti elektrik akımını değiştirmek suretiyle kontrol edilebilmektedir. Bu yönüyle sabit mıknatıslara tercih edilen elektromıknatıslar uzun süreli kullanımlarda ise ısınma gibi problemlere yol açmaktadır.

Sabit mıknatısların kullanıldığı sistemlerde ise manyetik alan doğrudan mıknatıs tarafından ve sabit olarak sağlanmaktadır. Kutup sisteminin döndüğü, iş parçasının sabit kaldığı sistemlerde herhangi bir elektrik bağlantısına ihtiyaç duyulmadığı için özellikle tercih edilmektedir.

Manyetik alanın oluşmasıyla birlikte, manyetik aşındırıcılar borunun içerisinde yüzeye karşı manyetik kuvvetin etkisiyle bir kuvvet oluşturacaktır. Oluşan bu manyetik, kuvvet aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir[20].

$$\vec{F} = VXH \cdot gradH \quad (2.1)$$

Burada;

V: Manyetik aşındırıcıların hacmini, H: Manyetik alan şiddetini, X: Manyetiklik katsayısını, gradH : Manyetik alan değişimini göstermektedir.

\vec{F} manyetik kuvvetinin teğetsel bileşeni, aşındırıcılar ile yüzey arasındaki sürtünme kuvvetini yendiğinde borunun yüksek devirlerde dönmesiyle manyetik aşındırıcılar yüzeyden talaş kaldırır. Kutupların boru eksenine boyunca hareket ettirilmesiyle boru iç yüzeyinin tamamı işlenebilmektedir.

3.2.2. İşleme Boşluğu

İşleme boşluğu iş parçası ile kutup uçları arasındaki boşluktur. İşleme boşluğu işleme yüzeyinde oluşacak manyetik akımın şiddetini değiştireceği için yöntemin işleme performansını doğrudan etkileyecektir. Bu sebeple işleme boşluğu mümkün olduğunca düşük ve sabit mesafede tutulmalıdır. İşleme boşluğunu sabit tutmak için genellikle kutup yüzeyleri teflon bant ile kaplanır ve iş parçası bu bant ile temas ettirilir. Teflon bant, bu temaslarda iş parçasının dış yüzeylerinde ve kutup uçlarında oluşabilecek hasarları da engelleyecektir.

3.2.3. Devir Sayısı

İş parçası devir sayısı boru içerisindeki taneciklere etkiyen merkezkaç kuvvetini etkilediği için işlemin performansını doğrudan etkilemektedir. Devir sayısının artması birim zamanda alınan yolu artırdığı için işlemin daha az zamanda gerçekleşmesini sağlarken, merkez kaç kuvvetinin artması da taneciklerin yüzey üzerinde tutunamayarak boru ile birlikte dönmelerine sebep olmaktadır. Bu sebeple iş parçası devir sayısı belirlenirken aşındırıcıların yüzey üzerinde tutunabilecekleri şekilde belirlenmelidir.

3.2.4. İşlem Süresi

İşlem süresi MAİ yönteminin etkin olarak gerçekleştirildiği süreyi tanımlamaktadır. İşlem süresince aşındırma yapan tanecikler yüzeyde çizikler oluşturmakta ve kırılan aşındırıcılar tarafından bu çizikler tekrar giderilmektedir. Dolayısıyla işlem süresi, çiziklerin oluşmasından hemen önce ya da oluşan çiziklerin kırılan tanecikler tarafından tekrar yok edilmesinden hemen sonra işlemi sonlandıracak şekilde belirlenmelidir.

3.2.5. Manyetik Tanecikler

Yöntemde manyetik alanın etkisiyle aşındırıcıları iş parçası yüzeyinde tutmak için kullanılan taneciklerdir. Bazı çalışmalarda çelik tozları da kullanılmasına rağmen genellikle demir tozları kullanılmaktadır. Taneciklerin büyüklükleri ve yoğunluk değerleri manyetik kuvveti doğrudan etkileyeceği için işlemden kullanılacak manyetik tanecikler işlem performansı açısından oldukça önemli bir parametredir.

3.2.6. Aşındırıcı Tanecikler

Yöntemde aşındırma işlemini gerçekleştiren ve sahip oldukları keskin ve düzensiz kenarları sayesinde yüzeyden talaş kaldıran taneciklerdir. İşlemden genellikle elmas, silisyum karbür, alüminyum oksit, kübik bor nitrür ve bor karbür tanecikleri kullanılmaktadır. Münferit olarak manyetik tozlarla karıştırılabildikleri gibi belirli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilirler. Aşındırıcı tanecikler manyetik tanecikler arasında sıkışacakları için nispeten daha küçük boyutlu seçilmelidirler. Ayrıca aşındırıcı tanecik boyutunun küçülmesi yüzey pürüzlülüğü açısından da daha fazla iyileşme sağlayacaktır.

3.2.7. Karışım Oranı

Manyetik tozlar ve aşındırıcı tozlar tarafından oluşturulan karışımdaki aşındırıcı oranı işlemin performansı açısından önem arz etmektedir. Yeterli miktarda aşındırıcı taneciğin bulunmaması bu taneciklerin Fe tozları arasında sıkışıp kalmasına ve yüzeye etki etmemesine sebep olabilmektedir. Yüksek oranlı karışımlarda ise manyetik kuvvet fazla miktardaki aşındırıcıyı işleme yüzeyi üzerinde tutacak büyüklüğe ulaşamadığı için etkin bir parlatma işleminin yapılamamasına sebep olabilmektedir.

3.2.8. Yağlayıcı

Yağlayıcı tanecik karışımlarını bir arada tutmak ve taneciklerle iş parçası yüzeyi arasında bir film oluşturmak için kullanılmaktadır. Yağlayıcının miktarı ve viskozite değeri işlem performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Yağlayıcı miktarı az olduğu durumlarda

aşındırıcı tanecikler borunun dönüşü ile birlikte uçuşabilmekte, fazla olduğu durumlarda ise aşındırıcı taneciklerin yüzeye etkisini engelleyebilmektedir.



4. KONUNUN LİTERATÜRDEKİ YERİ

Konu ile ilgili çalışmaların temelini oluşturacak ilk çalışmalar 1929 [21] ve 1940 [22] yılında Amerika Birleşik Devletlerinde yayın alınan bir patent olarak karşımıza çıkmaktadır. İlk patent tel çekme kalıplarının iç yüzeylerinin parlatılmasına yönelik yeni bir yöntemden bahsetmekte iken ikinci patent ise fiçli iç yüzeylerinin temizlenmesi amacıyla MAİ yönteminin kullanımından söz etmektedir. İki çalışmanın hedefi de geleneksel yöntemlerle ulaşılması zor olan yüzeylerin işlenmesini sağlamak ve MAİ yönteminin avantajlarına dikkat çekmektedir.

Konu ile alakalı kapsamlı araştırma çalışmalarının başlaması ise 1970'li yılları bulurken[23] 1980'li yıllarda araştırmacılar, yöntemi pratik bir hale getirmeyi başardılar. Bu tarihten günümüze kadar gelen süreçte ise konuyla ilgili çok miktarda deneysel ve teorik çalışmalar yapılmış olup bu çalışmaların başlıcaları aşağıda özetlenmiştir.

J. Kang vd. [24] yaptıkları çalışmada Ø1.27 mm ölçüsünde AISI 304 paslanmaz çelik kılcal boruların iç yüzeylerini MAİ yöntemiyle işlemişlerdir. Çalışmada 30000 dev/dak gibi yüksek devir sayılarına çıkılmış olup 10 ve 20 dakika süresinde işlemeye devam edilmiştir. İki kutuplu sistem ve manyetik tutucunun kullanıldığı çalışmada devir sayısının 30000 dev/dak olduğu deneylerde merkezkaç kuvvetinin etkisiyle yüzeyde derin çizikler oluştuğu görülmüştür.

Y. Wang ve D. Hu [25] yapmış oldukları çalışmada Ly12 alüminyum alaşımı, AISI 316L paslanmaz çelik ve H62 pirinç malzemedan imal edilen boruların iç yüzeylerini MAİ yöntemiyle işlemişlerdir. Aşındırıcı tanecik olarak Al_2O_3 ve TiC tanecikleri farklı oranlarda kullanılmıştır. Çalışmada TKO değerleri ve Ra değerleri ölçülmüştür. En yüksek TKO değeri her üç malzemedede de TiC/Fe oranının %35 olduğu karışımda meydana gelirken en fazla TKO değeri H62 pirinç boruda en az TKO değeri AISI 316L paslanmaz çelik boruda meydana gelmiştir. TKO ayrıca devir sayısının artması ile artmakta, işleme süresinin artmasıyla ise bir noktaya kadar artmakta sonrasında ise değişmemektedir. Aşındırıcı miktarının artışı da TKO değerlerini artırmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda en uygun aşındırıcı boyutu (30-50#) ve karışım oranları (%35) tespit edilmiştir.

P. Kala ve P.M. Pandey [26] çalışmalarında düzlem yüzeylerin MAİ yöntemiyle işlenmesi için disk şeklinde mıknatıs tutucular kullanmışlardır. Çalışmada yüksek manyetik akıya sahip

tek bir disk ve daha düşük manyetik akıya sahip iki adet disk bilgisayar ortamında FEA yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu 2 adet diskin daha fazla manyetik alan oluşturduğu tespit edilmiş ve bakır alaşımları ve paslanmaz çelik malzemelerin düzlemsel yüzeyleri deneysel olarak MAİ yöntemiyle parlatılmıştır. Deneylerde işleme boşluğu, aşındırıcı karışım oranı, aşındırıcı boyutu, ilerleme miktarı ve devir sayısı 5 farklı seviyede değiştirilmiştir. Aşındırıcı olarak ise Al_2O_3 tanecikleri kullanılmıştır. Daha önceki yapılan çalışmalar da göz önünde bulundurularak herhangi bir yağlayıcının kullanılmadığı deneylerde, Ra değerleri ölçülmüştür. İşleme parametrelerin Ra üzerindeki etkisi her iki malzeme için de farklı olmuştur. İşleme boşluğunun artması paslanmaz çelik malzeme için Ra değerindeki iyileşmeyi azaltırken bakır alaşımı için bir noktaya kadar artmakta sonrasında azalmaktadır. Aşındırıcı karışım oranı bakır alaşımı için %30 oranında en iyi Ra iyileşme oranını vermekte, paslanmaz çelik için ise %20 oranlarında en iyi Ra iyileşmesi gerçekleşmektedir. İlerleme miktarındaki artış her iki malzeme için de Ra değerindeki iyileşmenin azalmasına yol açarken devir sayısının artması Ra iyileşme değerini bir seviyeye kadar artırmakta sonrasında tekrar azaltmaktadır.

V.K. Jain vd. [27] yapmış oldukları çalışmada paslanmaz çelik silindirik parçaların dış yüzeyi elektromıknatıslar kullanılarak MAİ yöntemiyle işlenmiştir. Deneyler sonucunda işleme boşluğu ve çevresel hızın Ra ve TKO üzerindeki etkileri incelenmiştir. İşleme boşluğundaki artışla birlikte TKO değeri azalmakta ancak bu azalış doğrusal olmamaktadır. İş parçası ile elektromıknatıslar arasında sıkışan tanecikler küçük işleme boşluğu değerlerinde kendi aralarında yer değiştirememektedir. Dolayısıyla taneciklerin yer değiştirebileceği işleme boşluğu değerlerine kadar TKO artarken daha sonraları azalmaktadır. Ayrıca işleme boşluğunun azalması aşındırıcı tanecikleri daha rijit hale getirdiği için yüzeyde derin çiziklerin oluşmasına sebep olmaktadır. Sonuçlar ayrıca çevresel hızın artmasıyla da TKO değerinin arttığını göstermektedir.

R. S. Mulik ve P. M. Pandaley [28], çalışmalarına AISI 52100 çeliğini UDMAİ yöntemiyle SiC aşındırıcılar kullanılarak işlemişlerdir. Ultrasonik destekli olarak imal edilen deney düzeneğinde elektromıknatısların kullanıldığı deney düzeneğinde gerilim değerleri 50-90 V aralığında değiştirilmiştir. İşleme boşluğunun 1,5 mm olarak sabit tutulduğu çalışmada SiC tanecikleri 400-1200 # aralığında değişirken aşındırıcı miktarı toplam karışımın %15-35 aralığında değişmektedir. Fe tozları ise 300 # boyutunda tek seviyede kullanılmıştır. Deneyler

sonucunda ΔR_a değerleri ölçülmüş ve ölçüm sonuçları MAİ yöntemiyle kıyaslanmıştır. Sonuç olarak benzer koşullarda UDMAİ yöntemi 22nm gibi bir R_a değeriyle MAİ yöntemine göre daha başarılı sonuçlar vermiştir.

V. Nteziyaremye vd. [29], özellikle göğüs kanseri biyopsi operasyonlarında kullanılan 304 ostenitik paslanmaz çelik iğnelerin (dış çapı 1.27mm, iç çapı 1.14mm) iç ve dış yüzeylerinin aynı anda parlatılması için yeni bir MAİ yöntemi geliştirilmiştir. Çalışmada sabit kutuplu, yüksek hızlı (10.000 d/dak), dönel iş parçalı yöntem kullanılmıştır. Çalışmada manyetik aşındırıcı malzeme miktarının yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

J. Kang ve H. Yamaguchi [30], yaptıkları deneysel çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik boruların iç yüzeylerini Al_2O_3 aşındırıcılar kullanarak MAİ yöntemiyle işlemişlerdir. Çalışmada Tek kutuplu ve çok kutuplu sistemler denenmiş ayrıca boru içlerine 3 farklı çelik çubuklar konularak yöntemin verimini artırmak planlanmıştır. İşleme boşluğunun 0,3 mm tutulduğu deneylerde aşındırıcı karışım oranı ise %20 olarak ayarlanmıştır. Deney sonuçları, içerisinde çubuk kullanılan deneylerde, çubuk kullanılmayana deneylere nazaran %50 oranında daha az talaş kaldırarak daha pürüzsüz yüzeylerin elde edildiğini göstermiştir.

H. Yamaguchi vd. [31], çalışmalarında iş parçasının sabit kaldığı ancak kutupların iş parçası etrafında döndüğü bir deney düzeneği hazırlamışlardır. AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin kullanıldığı deneylerde aşındırıcı taneciklerin işleme yüzeyindeki hareketleri, etkileyen kuvvetler ve aşındırıcı davranışlarının yüzey üzerindeki etkileri incelenmiştir. Manyetik kuvvetin azalmasıyla boru içerisindeki taneciklerin ilk olarak kendi içlerinde hareket ettikleri daha sonra ise sürtünmenin etkisiyle iş parçası ile beraber hareket ettikleri tespit edilmiştir. Manyetik kuvvetin yetersiz olduğu bu durumlarda iş parçası yüzeyinden talaş kaldırılmadığı ve dolayısıyla yüzey üzerinde bir iyileştirme yapılmadığı görülmüştür.

H. Yamaguchi vd. [32], yapmış oldukları çalışmada alümina seramik tüplerin iç yüzeylerini MAİ yöntemiyle işlemişlerdir. Elmas aşındırıcıların kullanıldığı çalışmada, yağlayıcı miktarı, Fe tozu ve aşındırıcı boyutları çeşitli seviyelerde değiştirilerek yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada yüzey pürüzlülük değerleri ortalama olarak %80 lik bir iyileşme ile 0,02 μm değerine kadar düşürülmüştür. Çalışmada ayrıca işlem sonrası yüzeylerde oluşan artık gerilmeler de X-Ray yardımıyla ölçülmüştür. Yöntemin iş parçası üzerinde oldukça düşük oranlarda artık gerilme oluşturduğu tespit edilmiştir.

Araştırmacılar ayrıca boru yüzeyindeki ovallık değerlerini de incelemişler ve işlem sonrasında tüplerin formunun önemli ölçüde iyileştiiğini tespit etmişlerdir.

J. Vu vd.[33], çalışmalarında AISI 304 paslanmaz çelik plakaların yüzeylerini düşük frekanslı bir alternatif akım kaynağı tarafından oluşturulan manyetik alan yardımıyla işlemişlerdir. İşleme süresi boyunca akım değerleri değiştirilerek aşındırıcıların hareketleri kontrol altında tutulmuştur. İşlem süresince taneciklere etkiyen kuvvetler ölçülmüş ve manyetik alan şiddeti ile ilişkilendirilmiştir. İşlem sonrasında uygun yağlayıcı miktarıyla ortalanan yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,24 µm'den 0,004 µm seviyelerine düştüğü görülmüştür.

H. Yamaguchi vd. [34], yaptıkları çalışmada Ti-6Al-4V alaşımını yüksek hızlarda işlemek için kullanılan kesici uçları MAİ yöntemiyle işlemişlerdir. Aşındırıcı olarak elmas pasta kullanılan deneylerde kaplamalı takımların yüzeyinde %50-60 arasında bir iyileşme olmuştur. MAİ işlemi uygulanan takımlar Ti-6Al-4V alaşımının işlenmesinde kullanılmış ve işlem sonrasında takımlarda meydana gelen aşınmalar SEM mikroskopu yardımıyla ölçülmüştür. Sonuç olarak işlem uygulanan takımların ömrünün %150 oranında arttığı tespit edilmiştir.

A.C. Wang ve S.J. Lee [35] yaptıkları çalışmada MAİ yönteminde aşındırıcı taneciklerin verimini artırmak amacıyla tanecik karışımlarını bir arada tutan silikon jel yapıda bir bağlayıcı kullanmışlardır. Manyetik akım kaynağı olarak elektromıknatısların kullanıldığı çalışmada SKD11 çeliğinden yapılmış silindirik bir iş parçası kullanılmıştır. Aşındırıcı olarak ise SiC tanecikleri farklı boyutlarda kullanılmıştır. Deneyler sonucunda Ra değerleri 30 dakikalık bir işleme sonrasında 0,6 µm den 0,038 µm ye düşmüştür. Yöntem, jel kullanılmadan gerçekleşen MAİ işlemine göre Ra değerlerinde 3 kat daha fazla iyileştirme yapmıştır. Ayrıca kullanılan aşındırıcı jel karışımının 15 kez daha farklı iş parçalarında kullanılabileceği tespit edilmiştir.

B. H. Yan vd. [36] yaptıkları çalışmada MAİ yöntemini elektrolitik parlatma yöntemiyle birleştirerek SKD11 çeliğinden yapılmış 15 mm çapındaki silindirik iş parçasının dış yüzeylerinin parlatmışlardır. Elektrot olarak NaNO₃ aşındırıcı olarak ise WA kullanılan deneylerde devir sayısı, iş parçası boşluğu ve elektrolit akımı 3 farklı seviyede değiştirilmiştir. Çalışma sonucunda Ra değerleri ve TKO değerleri ölçülmüş ve elektrolit akımının ve devir sayısı birlikte artmasının işlemin verimliliğini arttırdığı görülmüştür.

N. Sihag vd. [37] çalışmalarında, tungsten malzemedan üretilmiş iş parçasını kimyasal destekli MAİ yöntemiyle işlemişlerdir. Yöntemde yüzey bir kimyasal yardımıyla (H₂O₂)

oksidasyona tabi tutulurken aynı zamanda da MAİ yöntemiyle yüzeyden talaş kaldırılmaktadır. Deneylerde devir sayısı, işleme boşluğu ve H₂O₂ konsantrasyonu 3 farklı seviyede değiştirilmiş ve Ra değerlerinde iyileşme oranları hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda Ra değerlerinde %79.2'lik bir artış olduğu görülmüştür. Taguchi L₉ diziliminde tasarlanan çalışma ayrıca ANOVA ile de analiz edilmiştir.

T. Mori vd. [38] yaptıkları çalışmada MAİ yöntemini daha detaylı anlatabilmek için yapmış oldukları deneysel çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik malzemeden üretilmiş düzlemsel levhayı elektromıknatıslar yardımıyla parlatmışlardır. Bir CCD kamera ile taneciklerin hareketlerini inceleyen araştırmacılar taneciklere uygulanan kuvvetleri de deney düzeneğine eklemiş oldukları yük hücreleri ile ölçerek teorik formüller ile kıyaslamışlardır.

S-H. Chou vd. [39] yaptıkları çalışmada SKD11 kalıp çeliğinden yapılmış silindirik parçanın dış yüzeyi MAİ yöntemiyle işlenmiştir. Geleneksel MAİ yöntemine ilaveten aşındırıcılar iş parçası yüzeyine bir silikon jel formunda bağlayıcı ile temas ettirilmiştir. Çalışmada silikon jel bağlayıcıların viskozite değerlerinin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. SiC aşındırıcıların kullanıldığı deneylerde ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük viskozite değerine sahip silikon jel kullanıldığında %90 oranında düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca aşındırıcı karışımın jel bağlayıcı sayesinde 8 kez 8 farklı iş parçasını parlatmada kullanılabileceği de deneylerin sonuçları arasında yer almaktadır.

V. Nteziyaremye vd. [40] yapmış oldukları çalışmada biyopsi operasyonlarında kullanılan AISI 316 paslanmaz çelik malzemeden üretilmiş iğnelerin iç ve dış yüzeylerini MAİ yöntemiyle işlemişlerdir. İşlem sonucunda yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Deneylerde kutup ucu ile iğne arasına konulan kauçuk bir mıknatıs, taneciklerin yüzey ile kutup ucu arasında sıkışarak daha verimli bir dış yüzey işleme yapılmasına sebep olmuştur. Sonuç olarak başlangıçta 05-06 µm S_a değerine sahip iğnelerin her iki yüzeyi de işlem sonrasında 0,01 µm S_a değerine sahip olmuştur.

G-W Chang vd. [41] yaptıkları çalışmada SKD11 kalıp çeliğinden üretilmiş silindirik parçaların dış yüzeylerini MAİ yöntemiyle işlemişlerdir. Elektromıknatısların kullanıldığı çalışmalarda aşındırıcı tanecik olarak SiC kullanılırken; manyetik tanecik olarak demir ve çelik tozları 3'er farklı seviyelerde kullanılmıştır. Deneyler donrasında ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ve talaş kaldırma oranlarının ölçüldüğü çalışmada, çelik tozlarının

kullanıldığı deneylerde Ra değerleri 0,25 µm değerinden 0,042 µm değerlerine kadar düşmüştür.

H. Yamaguchi vd. [42] yaptıkları çalışmada kaplamasız karbür takımların yüzeylerini takım ömürlerini artırmak amacıyla MAİ yöntemiyle işlemişlerdir. Takım burun ve yanak bölgesinde pürüzlülük değerlerini 25 nm'den daha düşük Ra değerlerine getiren araştırmacılar bu takımlarla Ti-6Al-4V alaşımlarını 100 m/dak kesme hızı ile işleyerek takım ömürlerini kıyaslamışlardır. Sonuç olarak MAİ işlemi uygulanan takımların normal takımlara nazaran 2 kat daha uzun takım ömürlerine sahip oldukları görülmüştür.

H. Yamaguchi ve T. Shinmura [43] çalışmalarında, MAİ yönteminde iç yüzeylerin işlenmesinde meydana gelen mikroskobik değişimleri incelemek amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. İç yüzeylerde mikroskobik incelemelerin yapmanın zor olması sebebiyle iç yüzeye etki eden manyetik kuvvetin aynısını disk şeklindeki bir AISI 304 malzemeye uygulayarak incelemelerde bulunmuşlardır. Deneyler sonrasında yüzeyler taramalı elektron mikroskobu ve atomsal kuvvet mikroskobu ile incelenmiştir. Sonuç olarak işlenmiş yüzeylerin aşındırıcı taneciklerin kesme kenarlarının oluşturduğu kesme izlerinden oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu aşındırıcıların hem tepe hem de vadi oluşumlarına sebep olduğu da tespit edilen sonuçlar arasında yer almaktadır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Numunelerin Hazırlanması

Deneylerde, ticari olarak temin edilmiş AISI 304L ostenitik paslanmaz çelik borular kullanılmıştır. Bu malzemeye ait kimyasal bileşim Tablo 5.1’de verilmiştir.

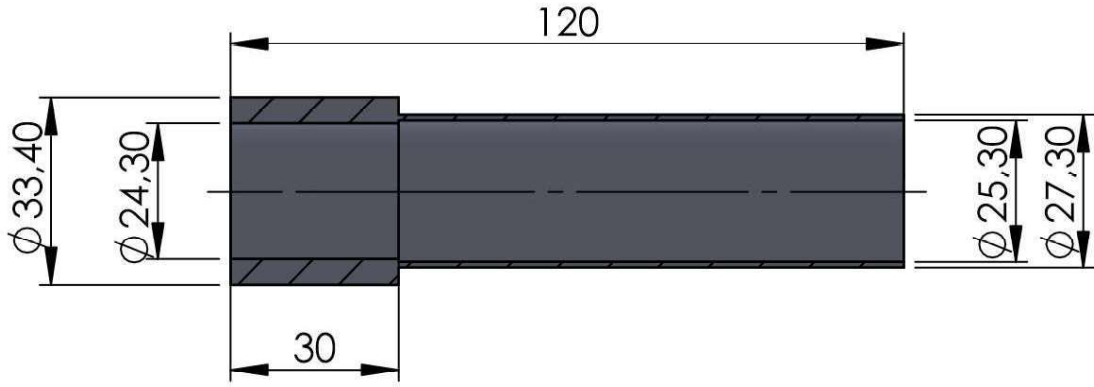
Tablo 5.1. AISI 304L malzemesine ait kimyasal bileşim tablosu

Kalite	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
304L (1.4307)	%0,03 max	%2.0 max	%0.045 max	%0,03 max	%0,75 max	%18-20	%8-10

Manyetik aşındırıcılarla işleme deneyleri öncesinde, numunelerin iç ve dış yüzeyleri CNC torna tezgahında işlenmiştir. Numunelerdeki işlem öncesi et kalınlıkları ve yüzey kalitesindeki standardizasyonu sağlamak amacıyla her numune için sıfır bir kesici takım kullanılmıştır. Şekil 5.1’de MAİ deneyleri öncesi hazırlanan numuneler görülmektedir. Bu numunelere ait teknik ölçüler ise Şekil 5.2’de verilmiştir.



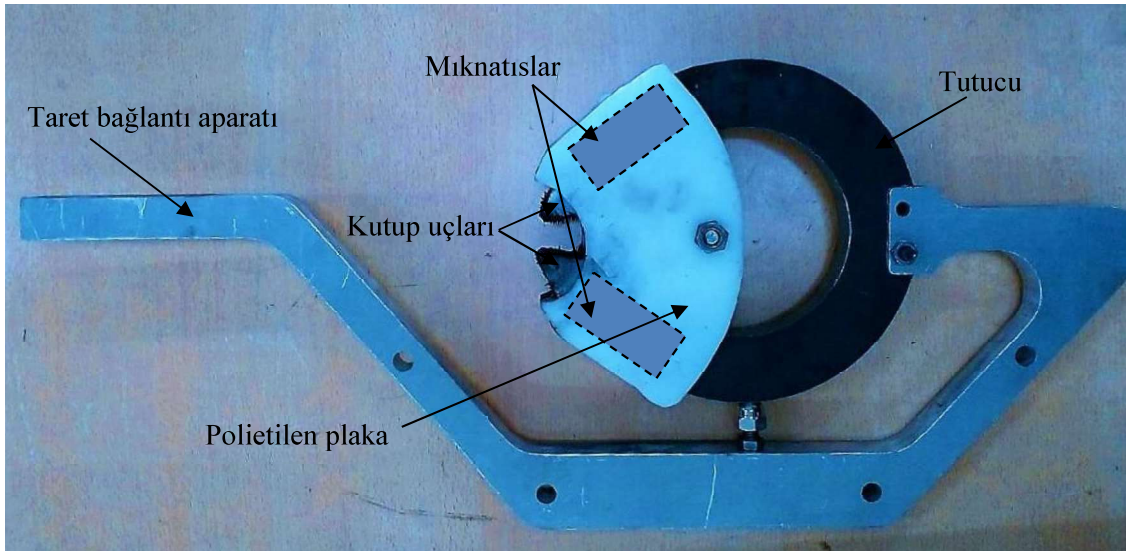
Şekil 5.1. Deney numuneleri



Şekil 5.2. Numunelere ait teknik detaylar

5.2. MAİ Deneyleri İçin Mıknatıs Tutucunun Hazırlanması

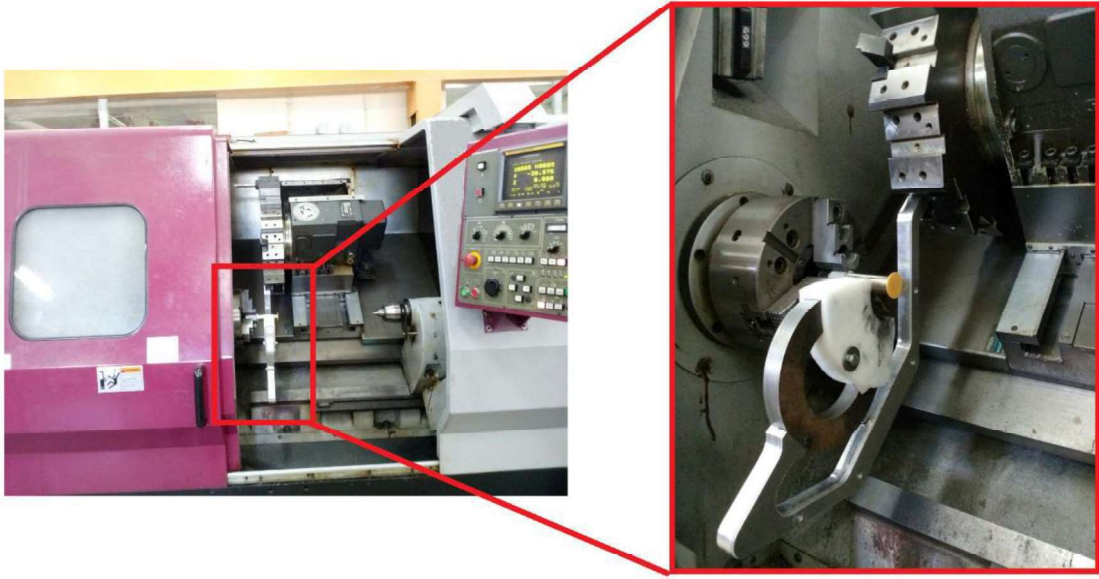
MAİ işleminde gerekli manyetik alan güç kaynağı veya sabit akım yoğunluğuna sahip neodyum mıknatıslar yardımıyla sağlanmaktadır. Güç kaynağı kullanılan uygulamalarda manyetik mıknatısın tasarımı ve imalatı oldukça güçtür. Diğer yandan neodyum mıknatısların temini ve uygulanabilirliği daha ekonomik ve kolaydır. Dolayısıyla bu çalışmada deney düzeneğini karmaşık bir yapıdan ziyade kolaylaştırmak adına Nd-Fe-B mıknatısların kullanımı tercih edilmiştir.



Şekil 5.3. Mıknatıs tutucu ve taret bağlantı aparatı

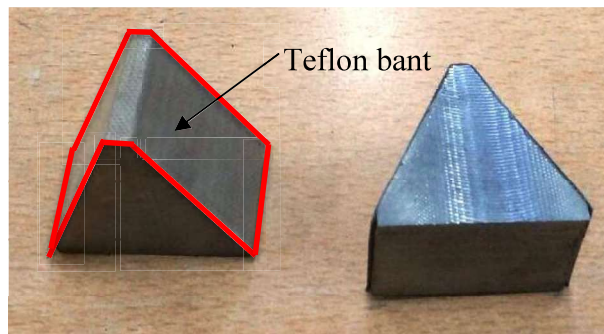
Mıknatıs tutucu, kullanılan tezgah da dikkate alınarak parlatılacak boruyu kavrayacak şekilde taret üzerinde monte edilebilen şekilde tasarlanmıştır. Tutucu için boru yüzeyine çeşitli konumlarda uygulamalar denenmiş ve bazı ön deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonuç

olarak yerçekimi kuvveti de dikkate alındığında tozların merkez kaç kuvvetinden dolayı dağılmadan boru alt yüzeyinde belirli bir bölgede yoğunlaşarak iyi bir fırçalama işleminin yapıldığı tasarım tespit edilmiştir. Şekil 5.3’de kullanılan mıknatıs tutucu görülmektedir. Deneyler sırasında oluşan titreşimleri minimize edebilmek ve tezgahın manyetikleşmesini engellemek için mıknatıs tutucu alüminyum malzemeden imal edilmiş bir aparat ile tezgah taretine bağlanmıştır.



Şekil 5.4. Deney düzeneği

Şekil 5.4’de tutucunun da bağlı olduğu deney düzeneği görülmektedir. İş parçası ile mıknatıslar arasındaki mesafeyi sabit tutabilmek amacıyla ara yüzeyde kalınlığı 0.5 mm olan teflon bir bant kullanılmıştır.(Şekil 5.5) Bu bant aynı zamanda mıknatıs ile boru arasındaki teması engellemektedir.



Şekil 5.5. Kutup uçları ve üzerindeki teflon bant

5.3. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

Bilindiği gibi MAİ yönteminde yüzey kalitesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin aynı anda birlikte izafi etkilerini belirlemek oldukça güçtür. Literatürde yapılan çalışmalar da değerlendirildiğinde yöntemdeki en önemli parametrelerin devir sayısı, parlatma süresi ve toz karışım oranı olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada da bu üç temel parametrelerin yanı sıra aşındırıcı ve ferro manyetik demir tozlarının tanecik boyutları da belirli sınırlar içerisinde çeşitli seviyelerde denenerek MAİ üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Tablo 5.2’de her bir deney için elde edilen deney koşulları görülmektedir.

Tablo 5.2. Deney koşulları

Deney No	Fe Tane Boyutu (µm)	SiC Tane Boyutu (µm)	İşleme Zamanı (dak)	Dönüş Hızı (dev/dak)	Karışım Oranı (%)
1	200	58	30	1200	20
2	200	58	30	1200	30
3	200	58	30	1200	40
4	200	75	45	1400	20
5	200	75	45	1400	30
6	200	75	45	1400	40
7	200	106	60	1000	20
8	200	106	60	1000	30
9	200	106	60	1000	40
10	420	58	45	1000	20
11	420	58	45	1000	30
12	420	58	45	1000	40
13	420	75	60	1200	20
14	420	75	60	1200	30
15	420	75	60	1200	40
16	420	106	30	1400	20
17	420	106	30	1400	30
18	420	106	30	1400	40
19	710	58	60	1400	20
20	710	58	60	1400	30
21	710	58	60	1400	40
22	710	75	30	1000	20
23	710	75	30	1000	30
24	710	75	30	1000	40
25	710	106	45	1200	20
26	710	106	45	1200	30
27	710	106	45	1200	40

Çalışmada zaman ve maliyetten tasarruf etmek adına tam faktöriyel yerine Taguchi ortogonal deneysel tasarım yöntemi tercih edilmiştir. Deneylede kullanılan bütün parametreler ve seviyeleri ise Tablo 5.3’de görölmektedir.

Tablo 5.3. Deneylede kullanılan faktör ve seviyeleri

Sembol	Parametreler	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
A	Fe Tozu Tane boyutu (μm)	200	420	710
B	SiC Tozu Tane Boyutu (μm)	58	75	106
C	İşlem Süresi (dak)	30	45	60
D	Devir Sayısı (dev/dak)	1000	1200	1400
E	Karışım Oranı (%)	20	30	40
-	B4C Tane Boyutu (μm)	85	-	-
-	İlerleme Miktarı (mm/dak)	25	-	-
-	İşleme Boşluğu (mm)	0,5	-	-
-	Fe Tozu Miktarı (gr)	10	-	-

5.4. Kullanılan Tozlar

MAİ yönteminde gerekli manyetik alan için demir tozları ve aşındırma işlemi için ise çeşitli karbür veya seramikler kullanılmaktadır. Demir tozlarının boyutu manyetik alan şiddetini (çekim kuvvetini), aşındırıcı tozların boyutu ise doğrudan yüzey kalitesini etkilemektedir. Dolayısıyla manyetik ve aşındırıcı tozların tane boyutlarının belirlenmesi işlemin verimliliği üzerinde doğrudan büyük bir etkiye sahiptir. İşlemin verimliliğini artırmak amacıyla tek bir aşındırıcı yerine farklı aşındırıcılar karıştırılarak kullanılmıştır. Tozlar, belirlenen oranlarda 10^{-4} hassasiyetindeki RADWAG AS220.R2 marka terazi yardımıyla tartılarak karışımlar elde edilmiştir Daha sonra bu karışımlar mekanik bir karıştırıcıda 15 dakika süre ile karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Toz oranları boru hacminin %15 i esas alınacak şekilde elde edilmiştir.

5.5. Deneylelerin Yapılması

Deneyleler, Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü CNC atölyelerinde bulunan FANUC O-T – TC35 torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Tozların savrulmalarını engellemek amacıyla (topaklanmasını sağlamak) boru içerisinde elmas pasta da kullanılmıştır. Boruların açık ağızları toz kaçmalarını engellemek amacıyla plastik bir tıkaç yardımıyla kapatılmıştır. Tıkaçlar 3D yazıcı yardımıyla boyutlarına uygun şekilde hassas olarak üretilmiştir.

5.6. Yüzey Pürüzlülüklerin Ölçülmesi

MAİ işlemi öncesi numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 3 boyutlu yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile 200 µm ölçüm aralığında numunelerin 2 farklı yerinden ölçülmüş ve bu 2 ölçümün aritmetik ortalaması kaydedilmiştir. MAİ işlemi uygulanan yüzeylerin pürüzlülük değerleri yine 2 noktadan ölçülüp aritmetik ortalamaları kaydedilmiştir. Numuneler işlem öncesinde tornalama ön işlemine tabi tutulduğu için her numunenin Ra değerleri birbirinden farklı olmaktadır. Dolayısıyla MAİ işleminin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini daha iyi görebilmek adına numunelerin işlem öncesi ve sonrası ortalama yüzey pürüzlülük değerleri her bir numune için ayrı ayrı 5.1 formülü ile hesaplanmış yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme miktarı oranı tespit edilmiştir.

$$\frac{R_{ai}-R_{as}}{R_{ai}} \times 100 = \% \text{ iyileşme} \quad (5.1)$$

Burada;

R_{ai}: MAİ işlem öncesi ortalama yüzey pürüzlülük değeri

R_{as}: MAİ işlemi sonrası ortalama yüzey pürüzlülük değerini ifade etmektedir.

Deneyler sonrasında yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için borular hassas kesme cihazında kesilerek numuneler alınmıştır. Kesme işlemleri Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde bulunan Struers marka Labotom-5 hassas kesme cihazında gerçekleştirilmiştir. 3D yüzey topoğrafyası ölçümleri Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan zygoZeGage cihazı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

5.7. Talaş Kaldırma Oranlarının Belirlenmesi

Talaş kaldırma oranları (TKO) numunelerin işlem öncesi ve sonrası ağırlık farklarının işleme süresine bölünmeleri ile aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$TKO = \frac{\Delta m}{t} \quad (5.2)$$

Burada; t işleme süresini, m ağırlığı göstermektedir.

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Talaş Kaldırma Oranı Ölçüm Sonuçları

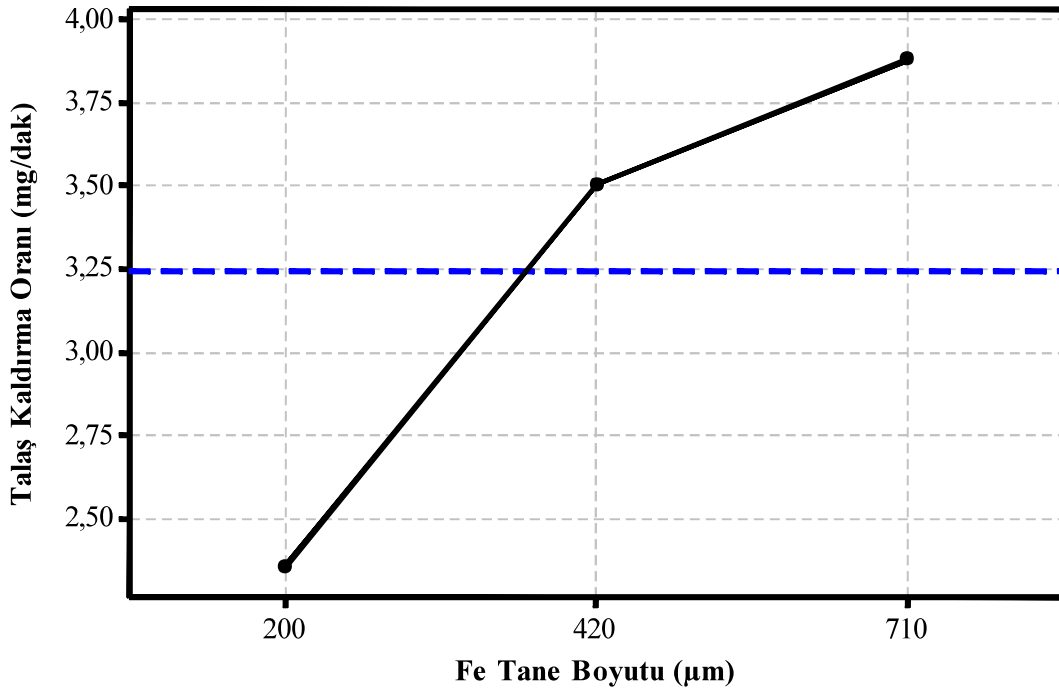
Yapılan ölçümler sonucunda MAİ işleminin bütün deneylerin ortalamasında 3,25 mg/dak'lık bir talaş kaldırma oranına (TKO) sahip olduğu görülmüştür. Deney parametrelerinin farklı seviyelerinde bu değer 6,85 mg/dak değerlerine kadar yükselmektedir. Tablo 6.1 deneyler süresince kaldırılan talaş miktarlarını ve TKO değerlerini, işlem süreleri ile birlikte göstermektedir. TKO değerleri her bir deney için kaldırılan talaş miktarının işlem süresine bölünmesi ile bulunmuştur.

Tablo 6.1. Yapılan deneylere ait kaldırılan talaş miktarları ve TKO değerleri

Deney no	İşlem süresi (dak)	Kaldırılan talaş miktarı (mg)	Talaş kaldırma oranı (mg/dak)
1	30	51,20	1,707
2	30	91,10	3,037
3	30	66,60	2,220
4	45	50,90	1,131
5	45	77,80	1,729
6	45	108,60	2,413
7	60	181,70	3,028
8	60	191,60	3,193
9	60	163,50	2,725
10	45	131,40	2,920
11	45	128,80	2,862
12	45	73,40	1,631
13	60	129,00	2,150
14	60	175,80	2,930
15	60	182,30	3,038
16	30	141,30	4,710
17	30	133,10	4,437
18	30	205,70	6,857
19	60	67,80	1,130
20	60	288,00	4,800
21	60	151,90	2,532
22	30	93,90	3,130
23	30	100,40	3,347
24	30	188,00	6,267
25	45	238,40	5,298
26	45	174,80	3,884
27	45	203,00	4,511

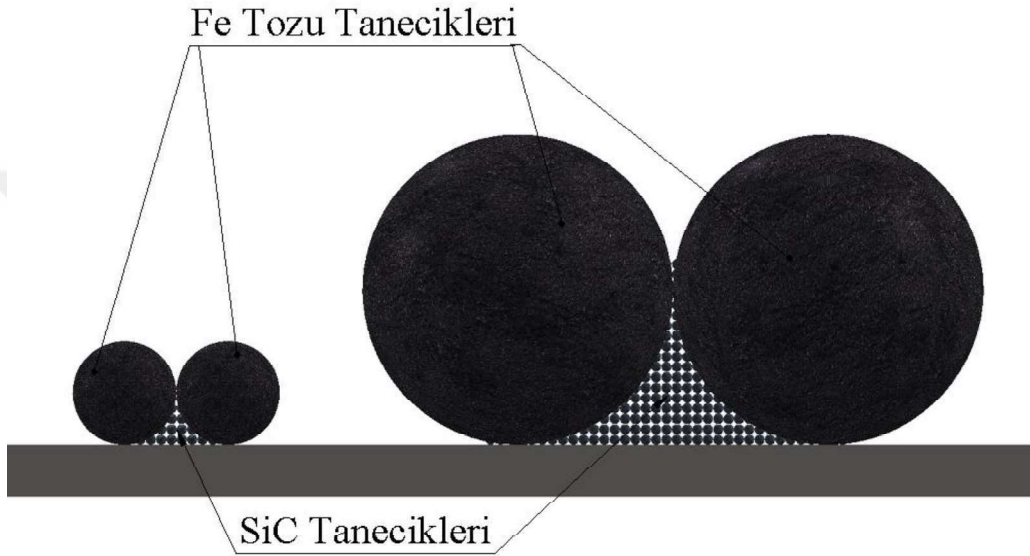
6.1.1. Fe Tozu Tane Boyutunun TKO üzerindeki Etkisi

Şekil 6.1’de Fe tozu tane boyutunun TKO üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekildeki mavi kesikli çizgi, 27 deney sonrasında ölçülen TKO değerlerinin aritmetik ortalamalarını ifade etmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, Fe tozunun tane boyutunun artmasıyla TKO değerleri de artmaktadır. Fe tozunun 200 μm boyutunda olması durumunda elde edilen TKO değerleri, toplam deneylerin aritmetik ortalamasının altındadır. Dolayısıyla, Fe tozu tane boyutunun bu seviyesinin TKO üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı düşünülebilir. Fe tozu tane boyutunun 420 μm değerine çıkmasıyla, TKO değerlerinde keskin bir artış olduğu; 710 μm değerine çıkmasıyla ise bu artış oranında bir azalmanın olduğu görülmektedir. Karışım içerisinde yer alan Fe tozlarının tane boyutlarının artmasıyla, daha gözenekli bir yapı oluşmaktadır. Dolayısıyla Fe tozlarının aralarına daha fazla aşındırıcı tozlar yerleşmekte ve yüzeyden kaldırılan malzeme miktarı da artmaktadır. Bu durum Şekil 6.2’ de şematik olarak gösterilmektedir. Diğer yandan, toz tane boyutlarındaki artış, ara bölgede oluşan manyetik kuvvetin şiddetini arttırmakta ve daha kuvvetli bir çekim kuvvetine yol açmaktadır. Böylece aşındırıcı tozların yüzeye uyguladıkları baskı kuvveti artmakta ve daha etkin bir talaş kaldırma işlemi gerçekleşmektedir.



Şekil 6.1 Fe tane boyutunun TKO üzerindeki etkisi

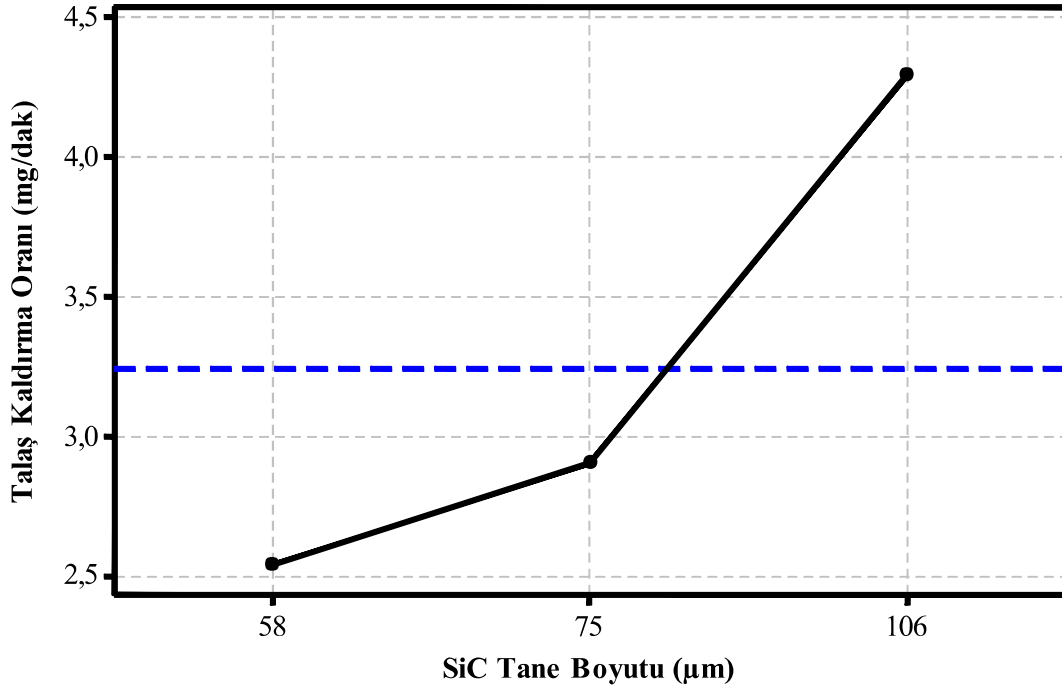
Şekilden ayrıca, Fe tozu tane boyutunun 1. seviyesi (200µm) kullanılarak yapılan deneyler sonucu (ölçülen TKO değerlerinin ortalama 2,35 mg/dak olduğu görülmektedir. Bu değer tüm deneylerin ortalamasından %27,48 daha düşüktür. Ortalama değerler, Fe tozunun 2. ve 3. seviyeleri için ise sırasıyla 3,503 ve 3,87 olmaktadır. Bu seviyelerdeki ortalamalar ise tüm ortalamaların sırasıyla %7,9 ve %19,26 üzerinde olmaktadır. Dolayısıyla, TKO üzende Fe tozu tane boyutunun 3. seviyesi en uygun değer olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.2. Fe Tanecik boyutlarının SiC tanecikleri üzerindeki etkisi

6.1.2. SiC Tane Boyutunun TKO üzerindeki Etkisi

Şekil 6.3’de SiC tane boyutlarının TKO üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekilde SiC tane boyutunun 1. seviyesi (58µm) ve 2. seviyesi (75µm) kullanılarak yapılan deneyler sonucu ölçülen TKO değerlerinin ortalamalarının sırasıyla 2,54 mg/dak ve 2,91 mg/dak olduğu görülmektedir. Bu iki seviye için de ölçülen değerlerin yapılan tüm deneylerin ortalama TKO değerlerinin sırasıyla %21,60 ve %11,34 oranında altında olduğu görülmektedir.



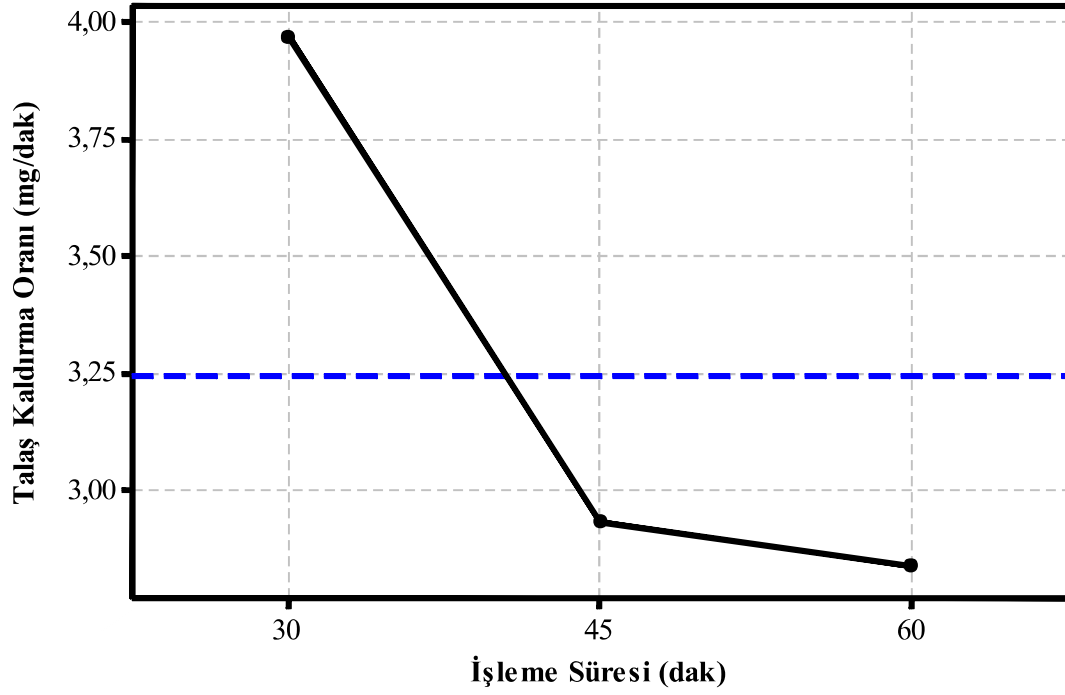
Şekil 6.3. SiC tane boyutunun TKO üzerindeki etkisi

SiC tane boyutunun 3. seviyesi olan 106 µm olduğu deneylerin ortalamasında ise TKO değeri 4,25 mg/dak olarak ölçülmüştür. Bu değer yapılan tüm deneylerin ortalamalarından %31,17 oranında daha yüksektir.

Sonuçlar irdelendiğinde SiC tane boyutunun artmasıyla TKO değerinin de arttığı ancak bu artışın 1. ve 2. seviyeler arasında 2. ve 3. seviyeler arasındaki artış oranına nispeten daha az olduğu görülmektedir. SiC tanecik boyutunun büyümesiyle, bu taneciklerin karışım içerisinde bulunan Fe tozları arasındaki boşluklardan kurtulma olasılığı da azalmaktadır. TKO değerinin, SiC tanecik boyutundaki artış ile birlikte artmasının sebebi buna bağlanabilir. Dolayısıyla TKO değeri üzerinde SiC tane boyutunun 3. seviyesi en uygun değer olarak tespit edilmiştir.

6.1.3. İşleme Süresinin TKO üzerindeki Etkisi

İşleme süresinin TKO değerleri üzerindeki etkisi Şekil 6.4'de görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi işlemem süresi arttıkça TKO değerleri azalmaktadır. İşleme süresinin 1. Seviyesinde (30 dak) TKO değeri 3,96 gr/dak ile bütün deneylerin aritmetik ortalamasının %22,22 üzerinde iken, işleme süresinin 2 seviyesinde (45 dak), TKO değeri 2,92 gr/dak ile deneylerin aritmetik ortalamasının % 9,87 altında kalmıştır.



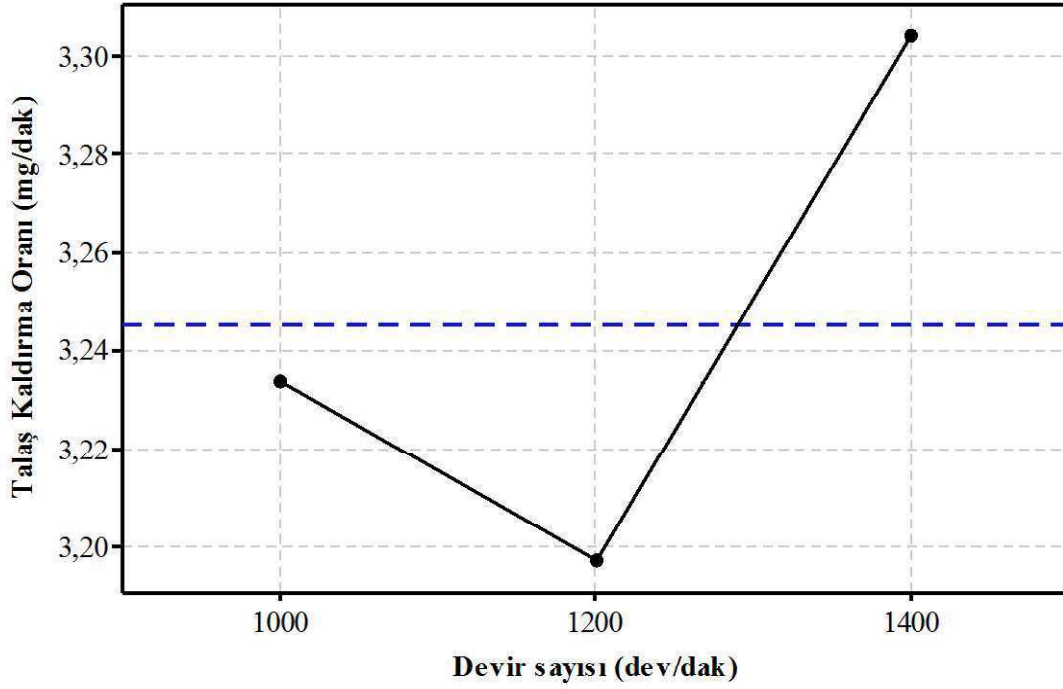
Şekil 6.4 İşleme süresinin TKO üzerindeki etkisi

İşleme süresinin 3. seviyesinde (60 dak) ise 2,82 gr/dak ile deneylerin ortalamasının %12,96 altında kalarak en düşük TKO değerleri elde edilmiştir. İşleme sürelerinin artmasıyla TKO değerlerinin azalması, işleme süresince aşındırıcı taneciklerin keskin kenarlarının sürtünme sebebiyle keskinliğini kaybetmesine ve aşındırıcı taneciklerin etkinliğinin azalmasına bağlanabilir. Sonuç olarak TKO değeri üzerinde işleme süresinin 1. seviyesinin en uygun değer olduğu görülmektedir.

6.1.4. Devir Sayısının TKO üzerindeki Etkisi

İş parçası devir sayısı aşındırıcıların birim zamanda yüzey üzerindeki aldıkları yolu değiştirdiği için TKO değerini doğrudan etkilemektedir. Şekil 6.5 devir sayısı seviyelerinin TKO üzerindeki etkilerini göstermektedir. Devir sayısı 1. seviyesinde (1000 dev/dak) TKO değeri 3,23 mg/dak değer ile deneylerin ortalamalarının % 0,30 altında kalmıştır. Devir sayısının 2. seviyesi (1200 dev/dak) TKO değerinde bir azalmaya sebep olmuştur. 2. seviyede 3,18 mg/dak 'lık bir TKO değeri ölçülmüştür. 1. seviye ile kıyaslandığında beklenenin aksine TKO değerinde bir düşüş görülmektedir. Literatürde bu sonuçla ilgili makul bir değerlendirme bulunmamaktadır. Dolayısıyla daha fazla araştırma yapmak gerektiğinden mevcut sonuçla faktörün 2. seviyesi arasında bir ilişki kurulamamıştır. Devir

sayısının 3. seviyesinde (1400 dev/dak) ise beklenildiği gibi TKO 3,30 mg/dak bir TKO değeri ile deney ortalamalarının %1,85 oranında üzerine çıkmaktadır. 1. seviye ile 3. seviye arasında birim zamanda alınan yolda %40 oranında bir artış söz konusu olup bu artış TKO değerleri arasında %3,7'lik bir artışa sebep olmaktadır. Dolayısıyla devir sayısının TKO üzerindeki en uygun seviyesinin 3. seviye olduğu tespit edilmiştir.

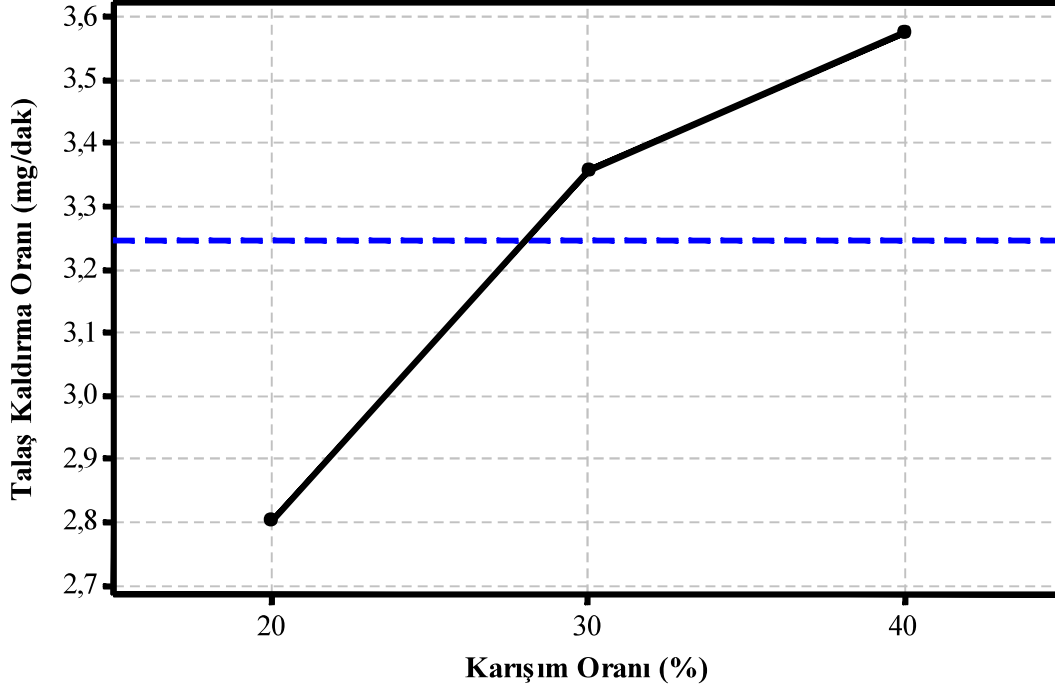


Şekil 6.5. Devir sayısının TKO üzerindeki etkisi.

6.1.5. Karışım Oranının TKO üzerindeki Etkisi

Aşındırıcı tanecikler ve Fe tozu karışımında tozların birbirine oranı ciddi önem taşımaktadır[5]. Karışım oranındaki değişim Fe tozlarının arasına sıkışacak olan aşındırıcı taneciklerin miktarını değiştirmektedir. Bu karışım oranı belirli bir seviyenin üzerine çıktığı takdirde aşındırıcı tanecikler Fe tozları arasındaki boşluklara sığmayarak etkin bir işleme yapamamaktadır. Şekil 6.6 karışım oranının TKO üzerindeki etkilerini göstermektedir. Karışım oranının 1. seviyesinde (%20) TKO değeri 2,81 gr/dak ile deney ortalamalarının %13,27 altında kalmıştır. Karışım oranı 2. seviyeye çıktığında TKO değerinin 3,35 gr/dak'a çıktığı ve bu değerle deney ortalamalarının üzerinde yer aldığı görülmüştür. Karışım oranının 3. seviyesi olan %40 seviyesinde bir önceki TKO oranına göre artış sağlanmış ancak TKO değerindeki bu artış bir önceki artış oranına göre daha

düşük olmuştur. Bu durum yukarıda bahsedilen karışım oranındaki artışın belirli bir seviyeden sonra TKO oranı üzerinde artışa sebep olmayacağı yargısını destekler niteliktedir. Sonuç itibariyle yapılan deneyler içerisinde karışım oranının TKO üzerindeki etkili seviyesinin 3. seviye olduğu tespit edilmiştir.



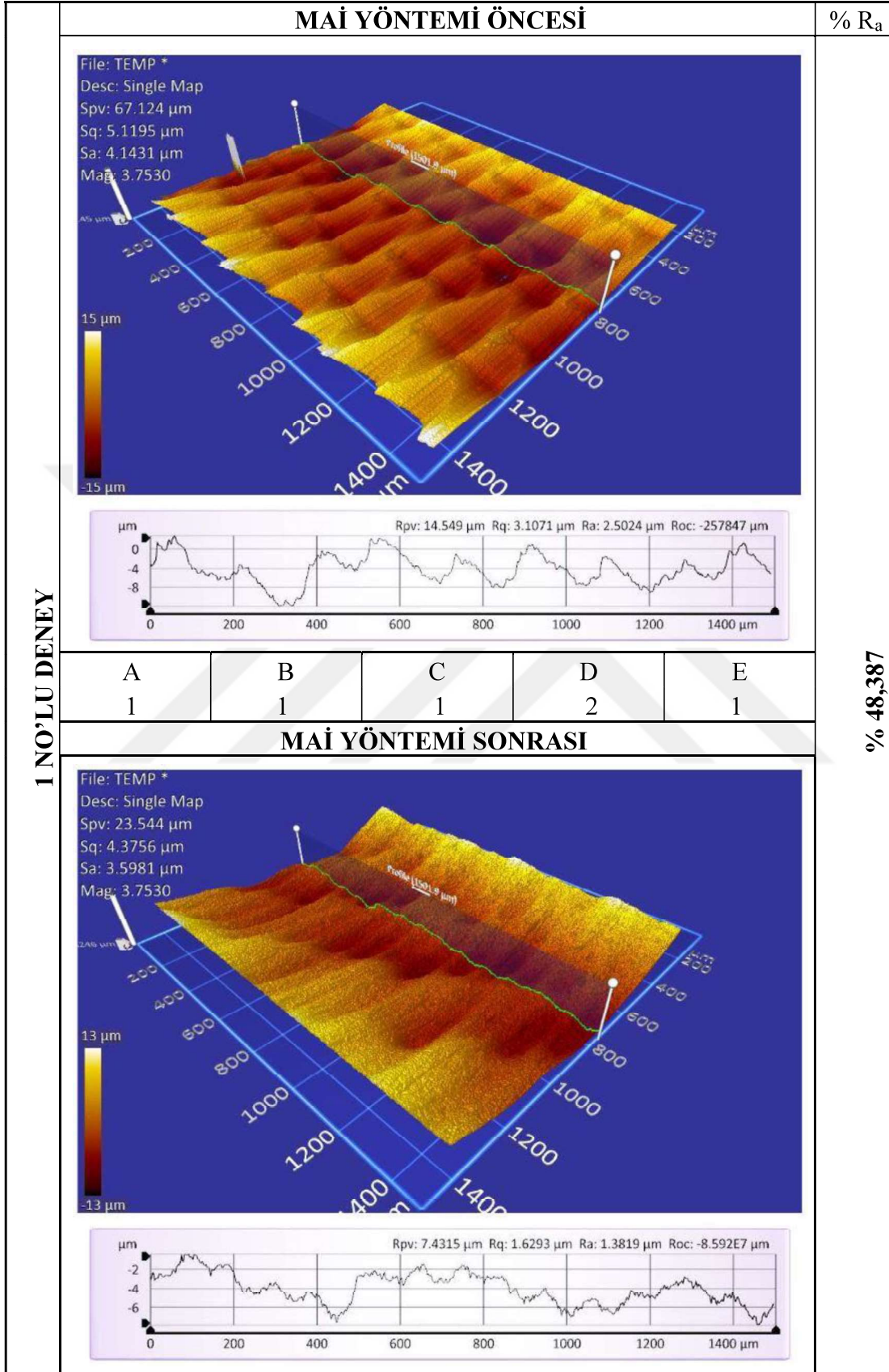
Şekil 6.6. Karışım oranının TKO üzerindeki etkisi

6.2. Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Ölçüm Sonuçları

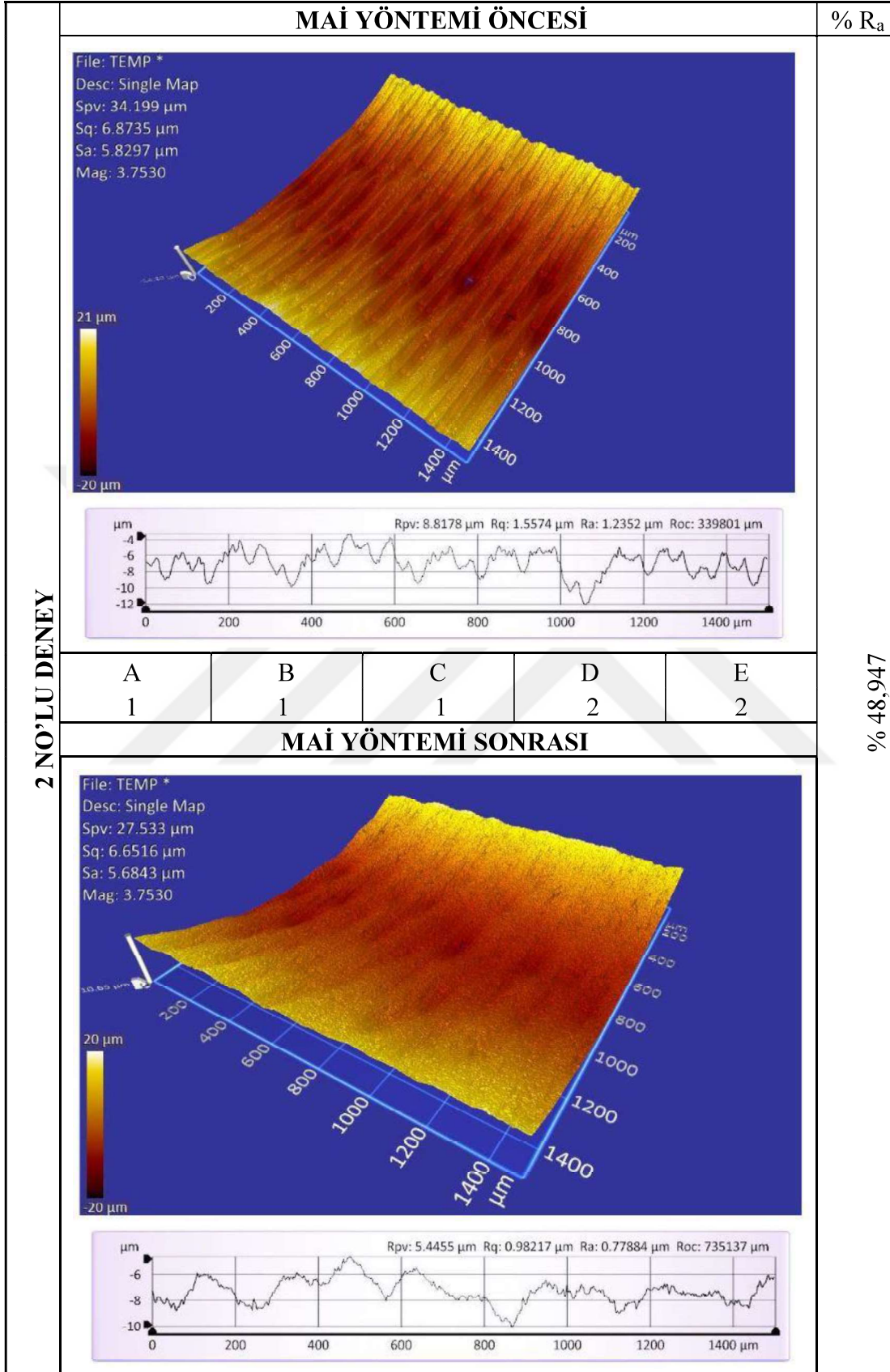
Yapılan ölçümler sonucunda MAİ işleminin yüzeylerde ortalama olarak %40,67'lik bir iyileşme meydana getirdiği, bazı deneylerde ise bu iyileşme oranının %74,172 seviyelerine kadar çıktığı görülmektedir. Yapılan ölçüm değerleri Tablo 6.2'de, ölçümler sonucu yüzeylerin MAİ işlemi öncesi ve sonrası 3 boyutlu yüzey topoğrafyaları ve 2 boyutlu yüzey profilleri de Şekil (6.7-6.33)'de görülmektedir. Şekillerde her iki yüzey topoğrafyasının arasında her bir faktörün seviyeleri görülmektedir. Son sütunda ise her bir deney için ortalama yüzey pürüzlülük değerindeki iyileşme oranı verilmiştir.

Tablo 6.2. Yüzey pürüzlülük değerleri

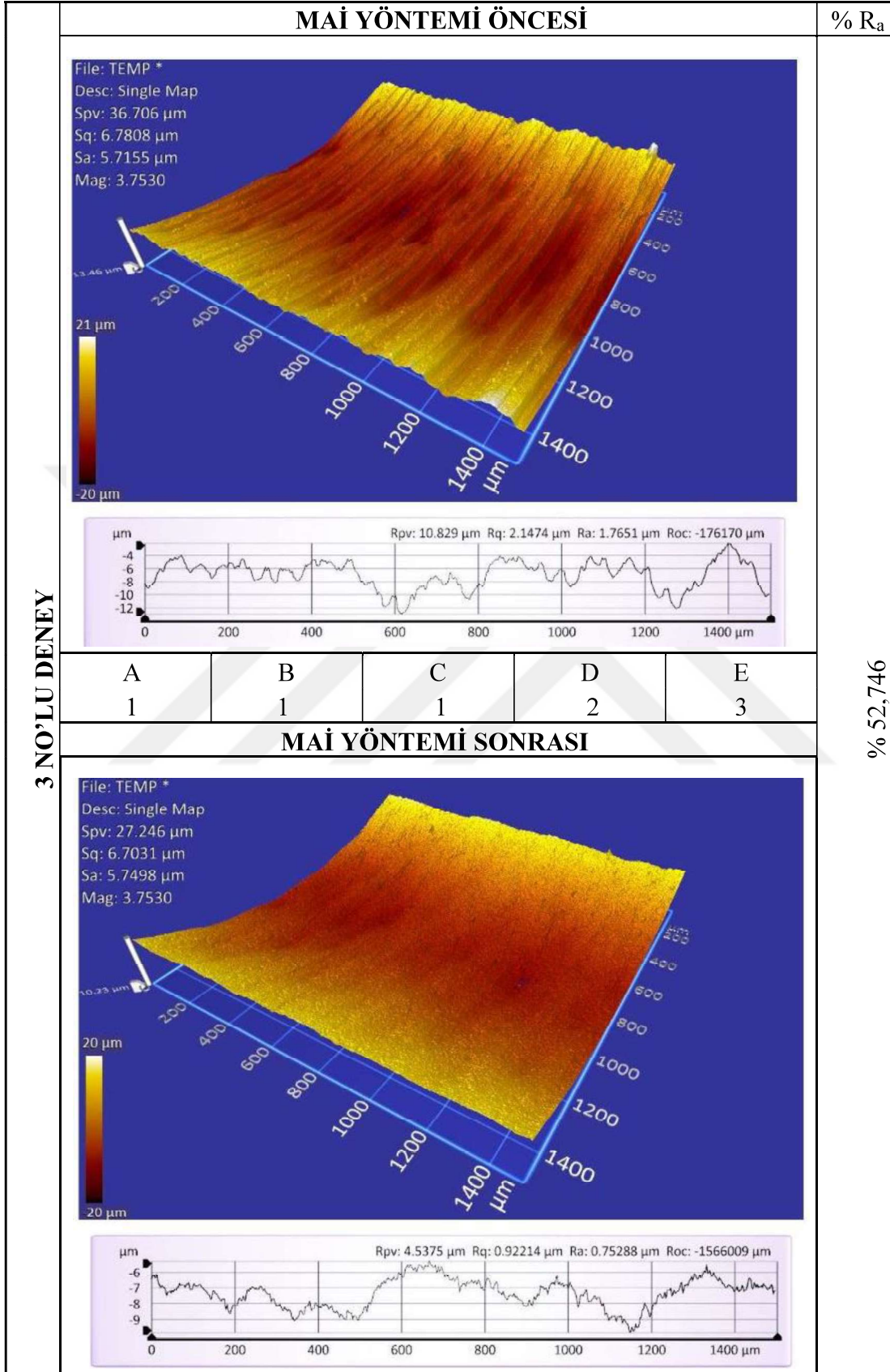
Deney No	R_{ai} (μM)	R_{as} (μM)	% İyileşme
1	2,281	1,177	48,388
2	1,500	0,766	48,948
3	1,524	0,720	52,747
4	3,227	2,894	10,323
5	2,018	1,289	36,118
6	3,620	2,060	43,109
7	1,460	0,421	71,180
8	1,987	0,573	71,140
9	2,302	1,364	40,751
10	1,169	0,824	29,483
11	1,725	1,116	35,298
12	2,435	1,042	57,220
13	2,286	1,242	45,686
14	1,979	1,521	23,120
15	1,680	1,200	28,595
16	2,526	1,605	36,444
17	2,859	1,605	43,876
18	1,626	0,808	50,300
19	2,802	2,065	26,296
20	3,163	0,817	74,172
21	2,343	2,139	8,709
22	2,511	1,989	20,791
23	1,841	0,881	52,147
24	3,966	3,124	21,223
25	3,840	1,441	62,466
26	2,648	1,656	37,473
27	2,222	1,734	21,955



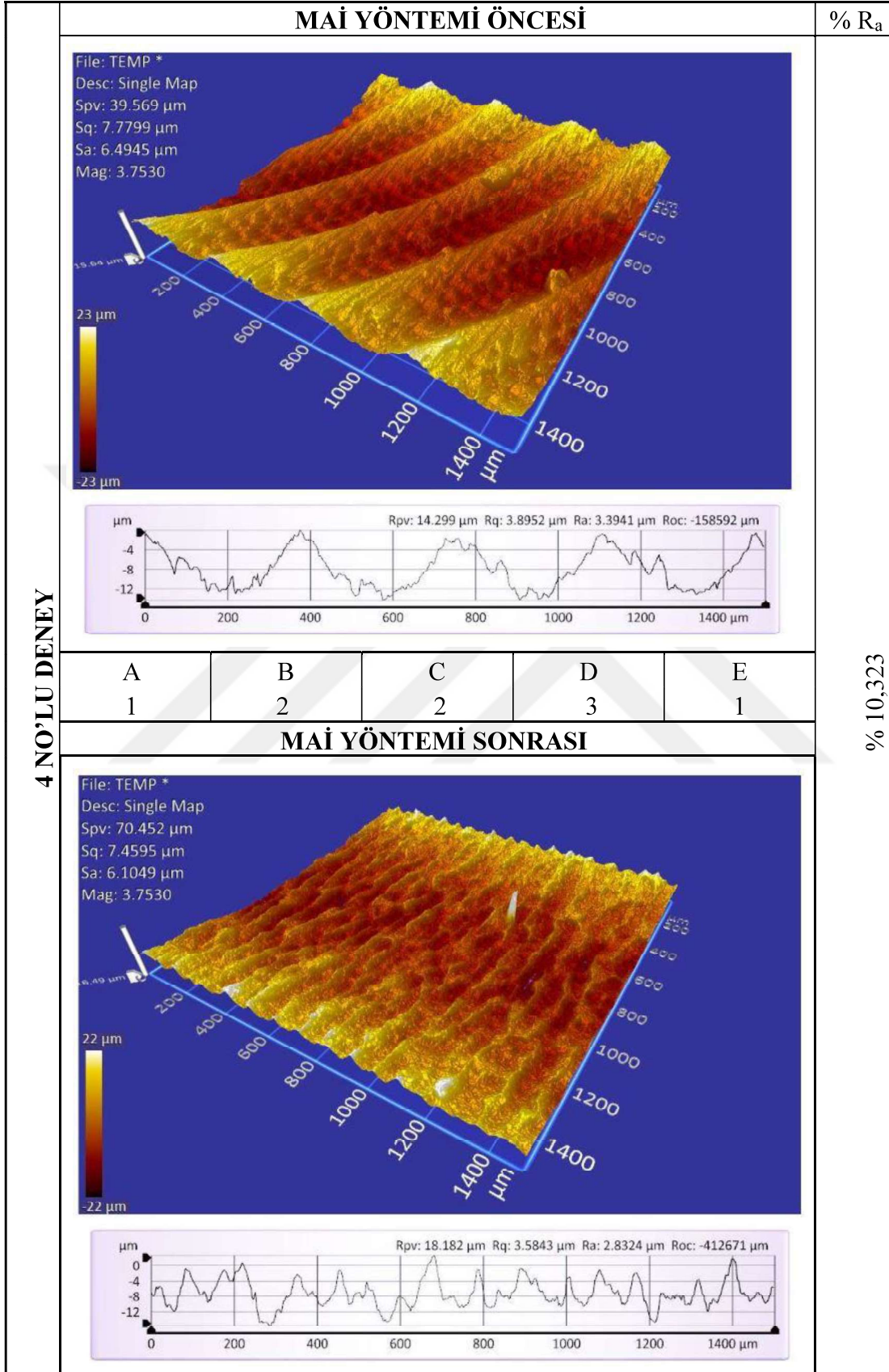
Şekil 6.7. 1 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



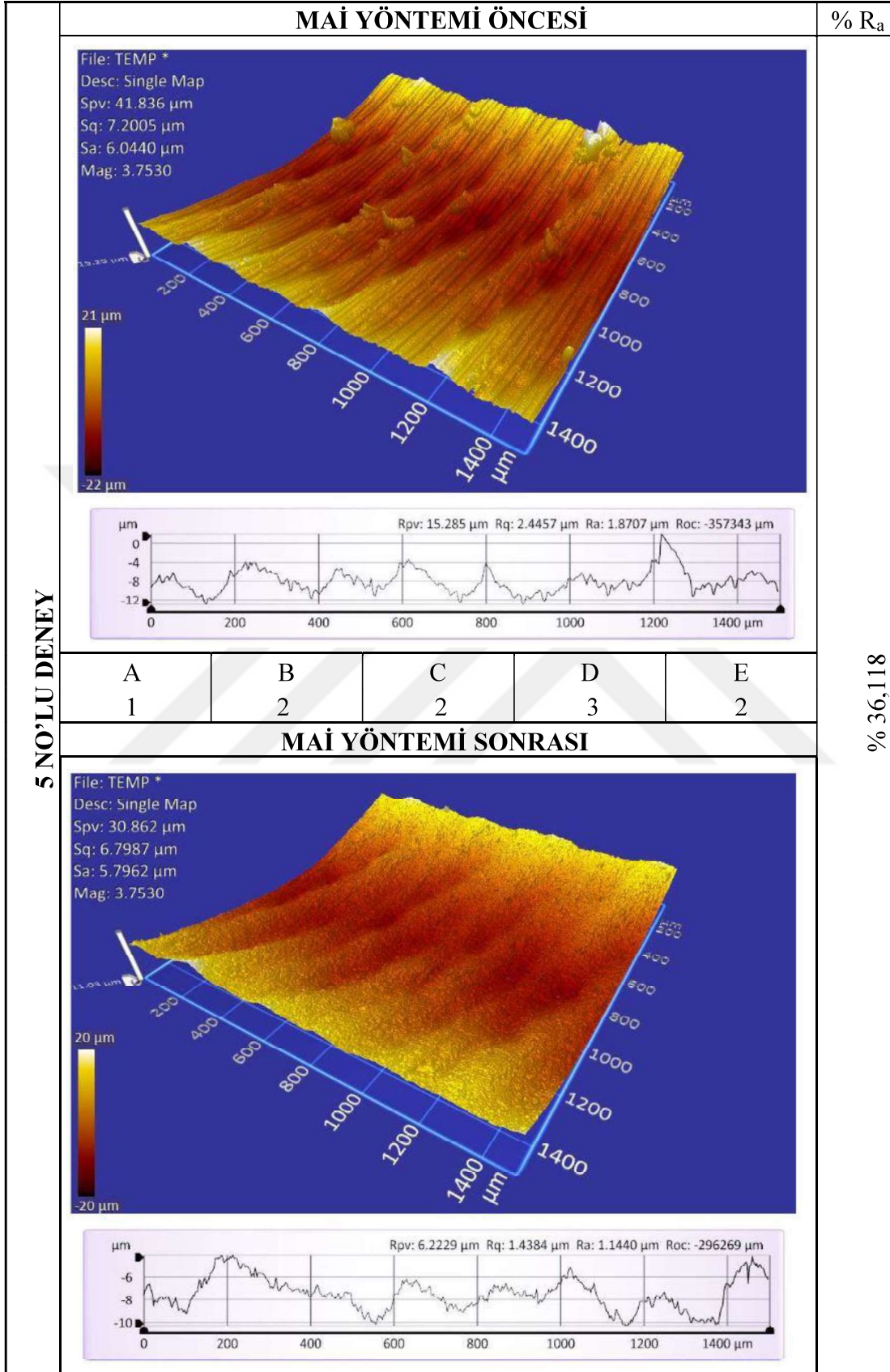
Şekil 6.8. 2 no'lü deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



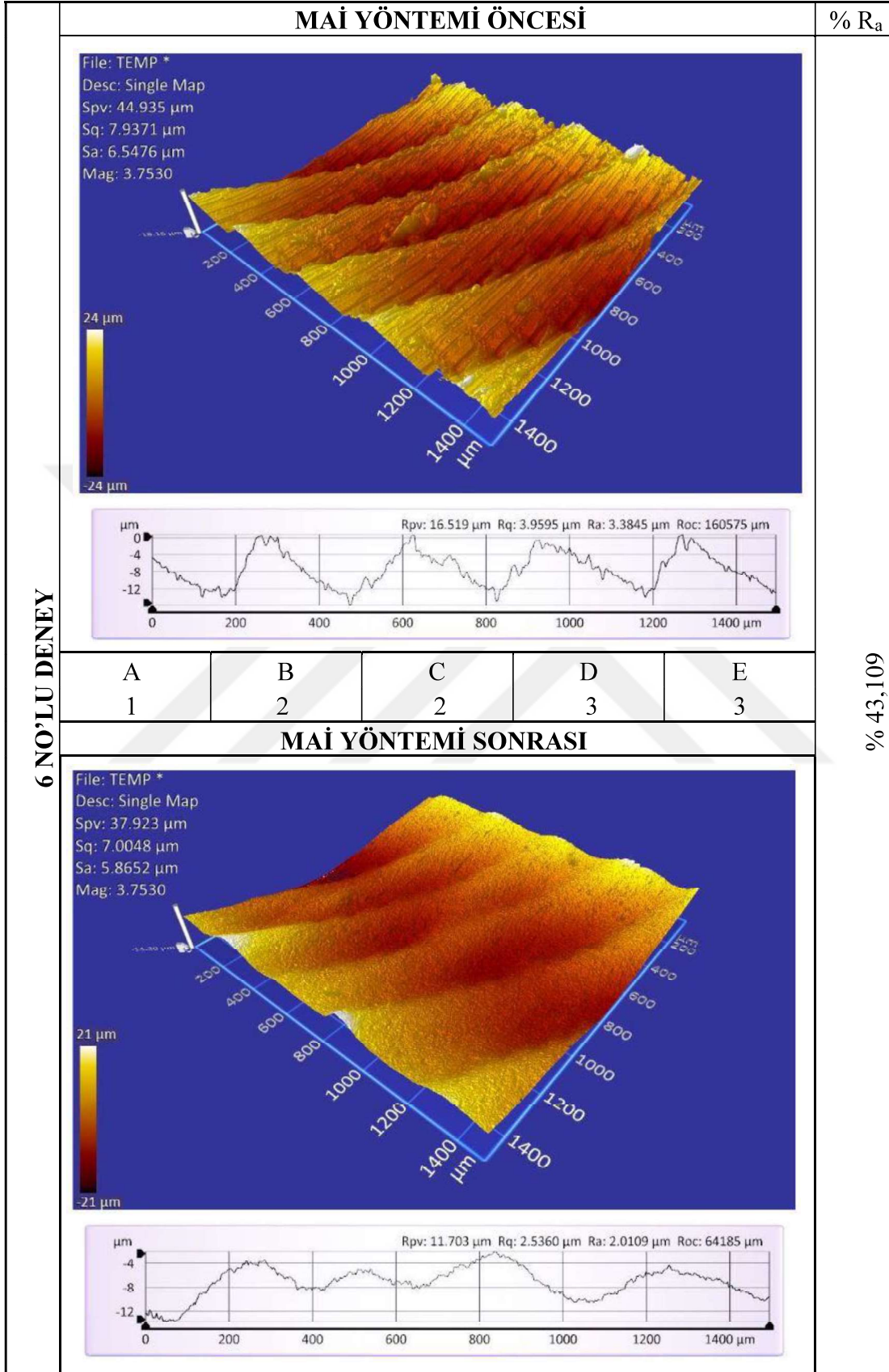
Şekil 6.9. 3 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



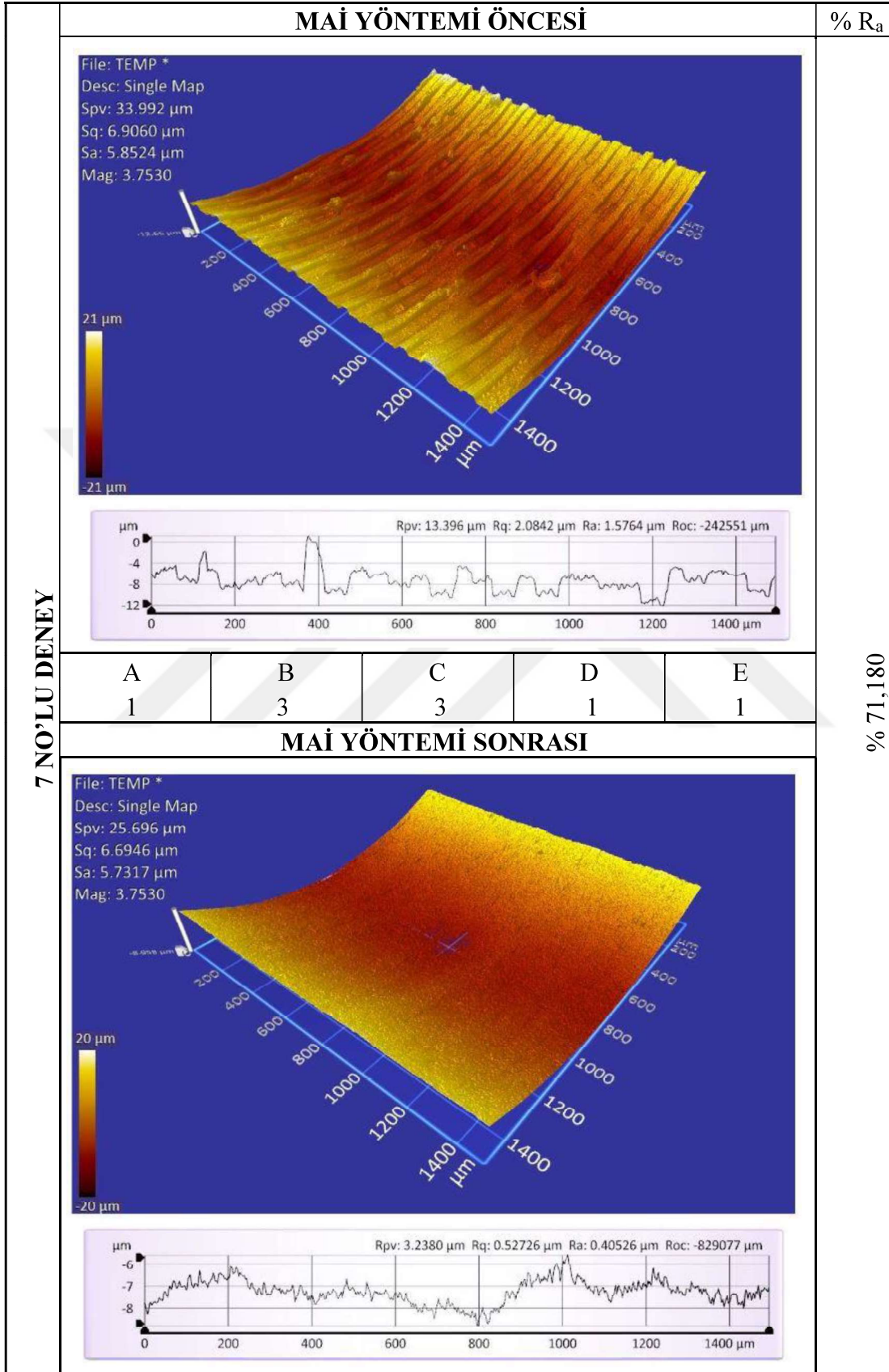
Şekil 6.10. 4 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



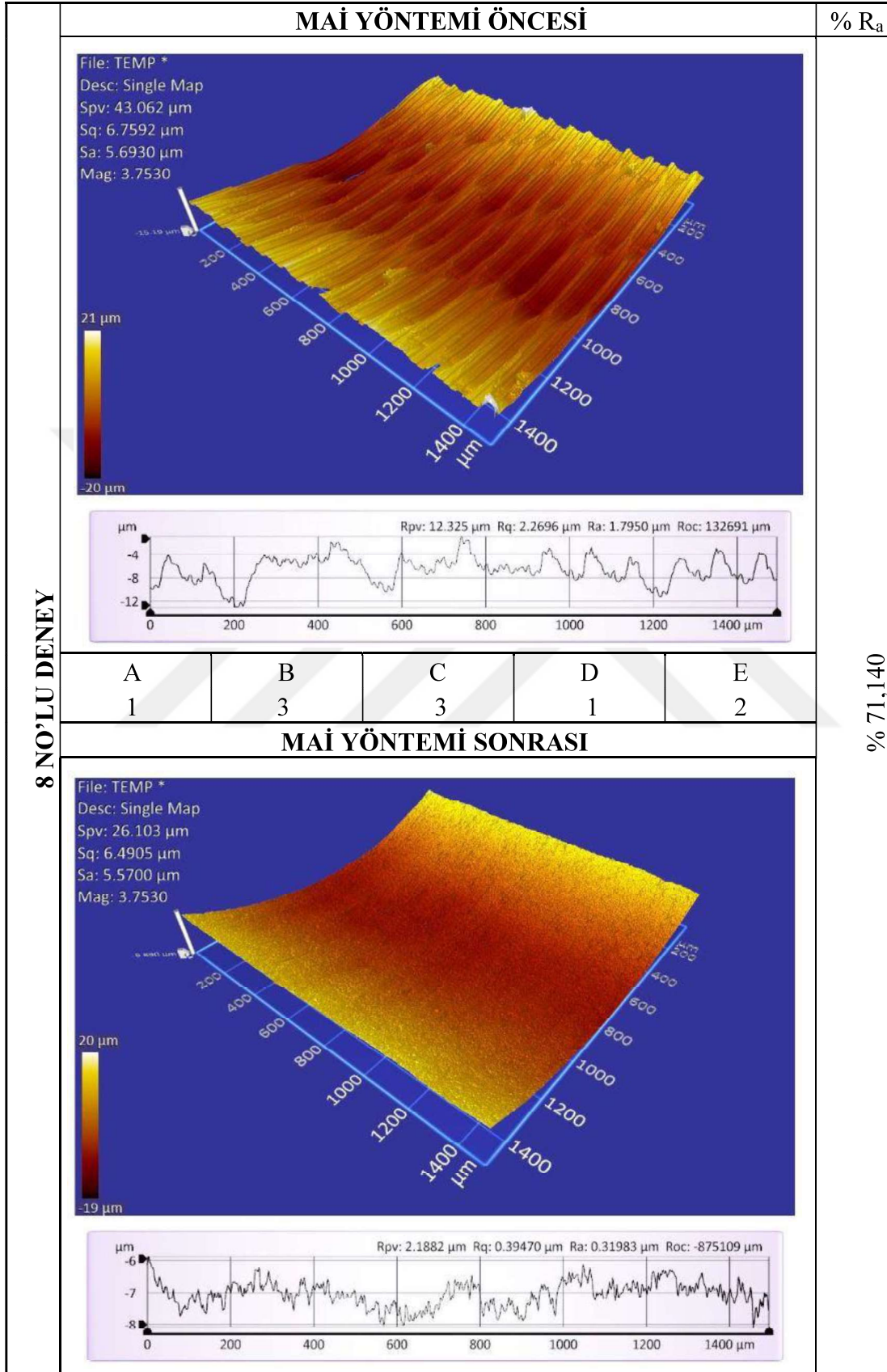
Şekil 6.11. 5 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



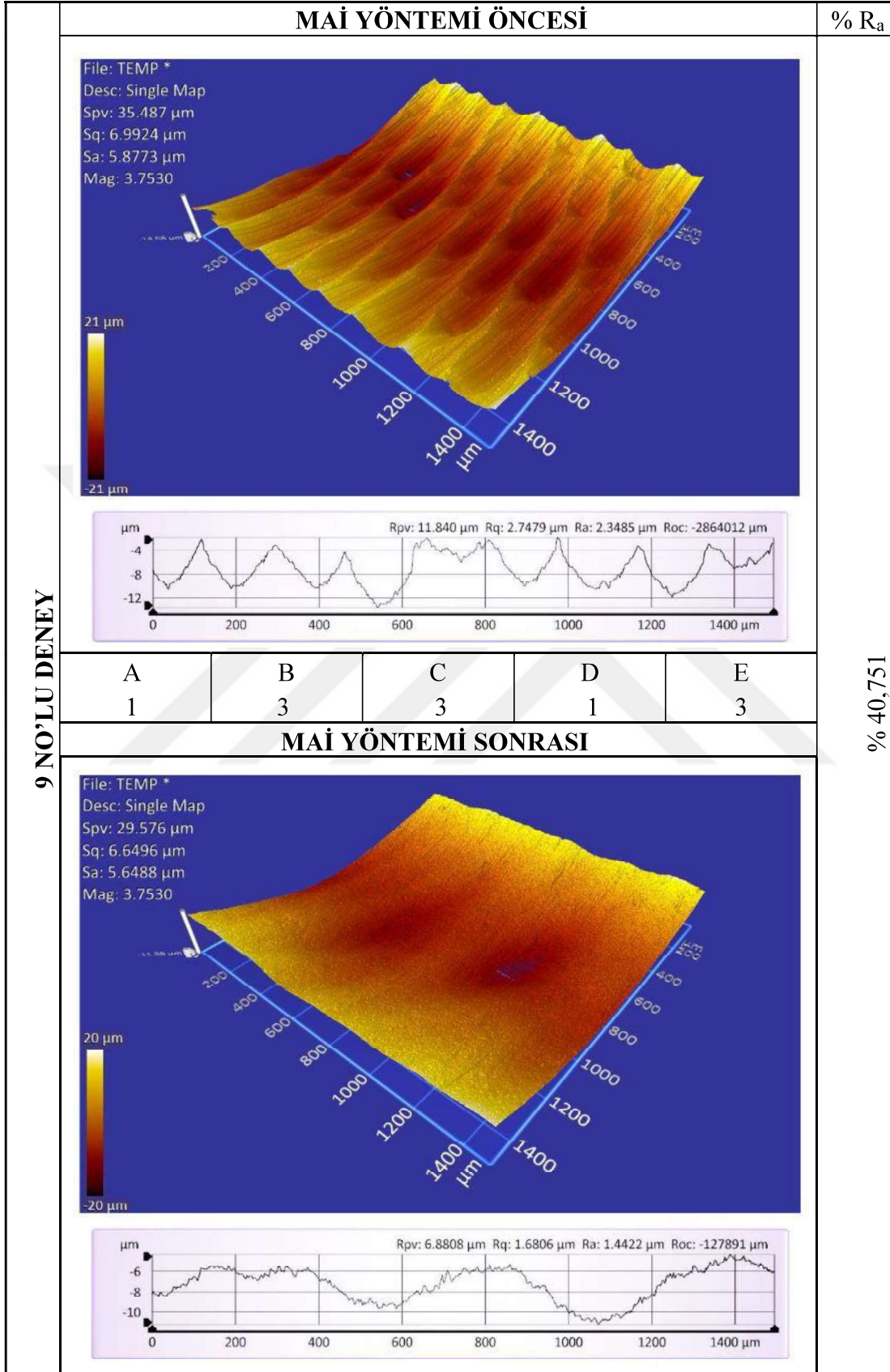
Şekil 6.12. 6 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



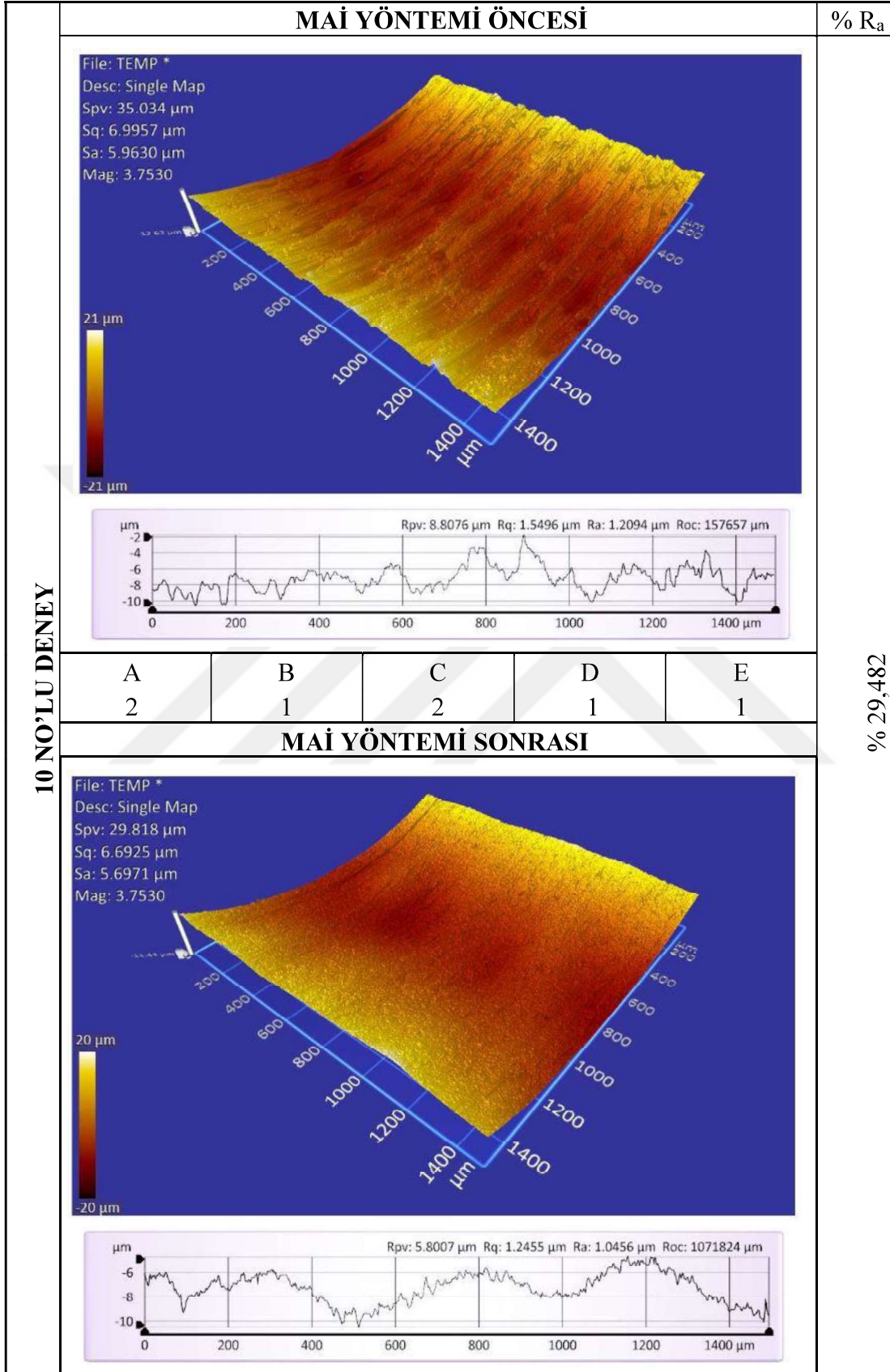
Şekil 6.13. 7 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



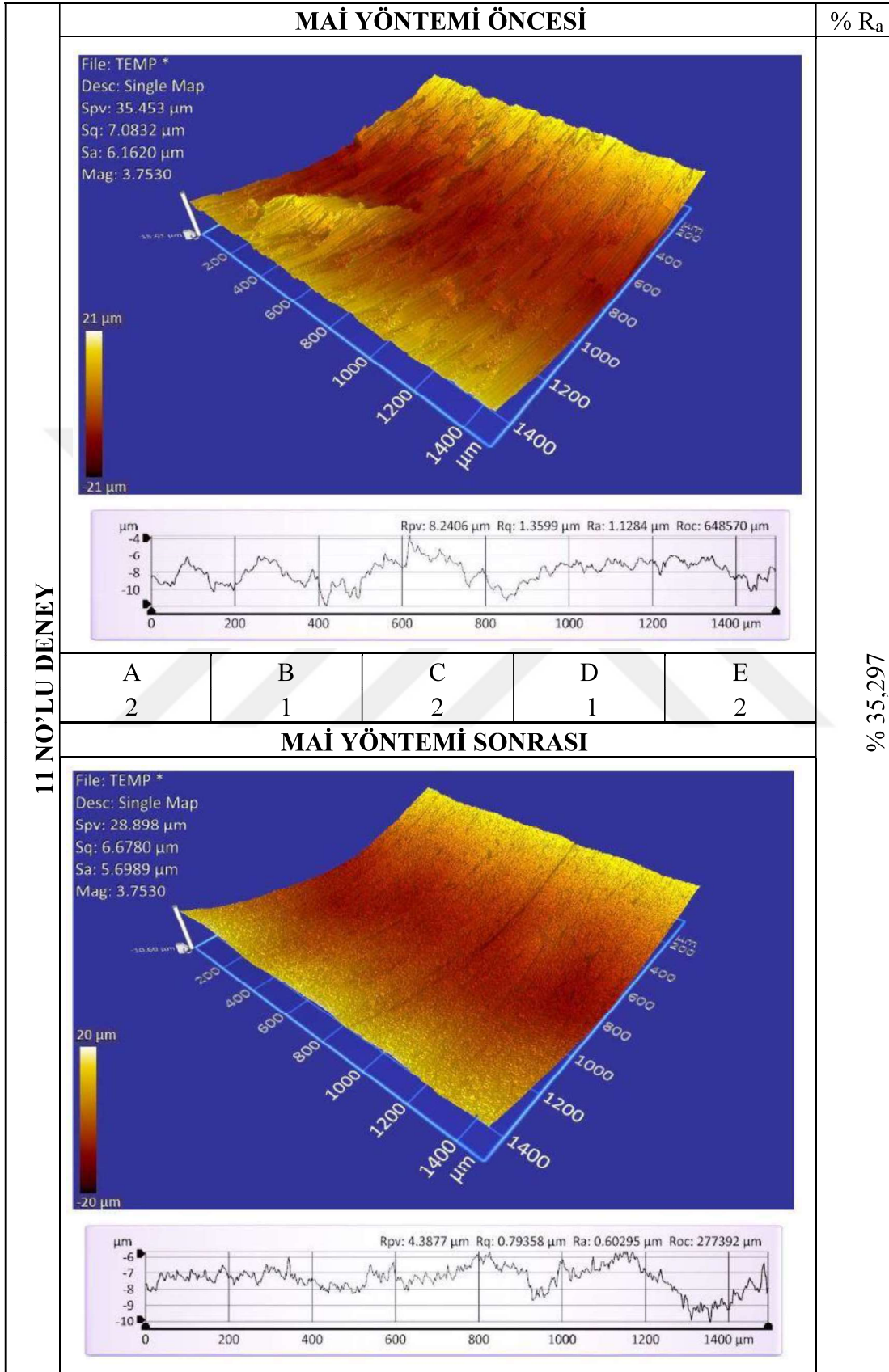
Şekil 6.14. 8 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



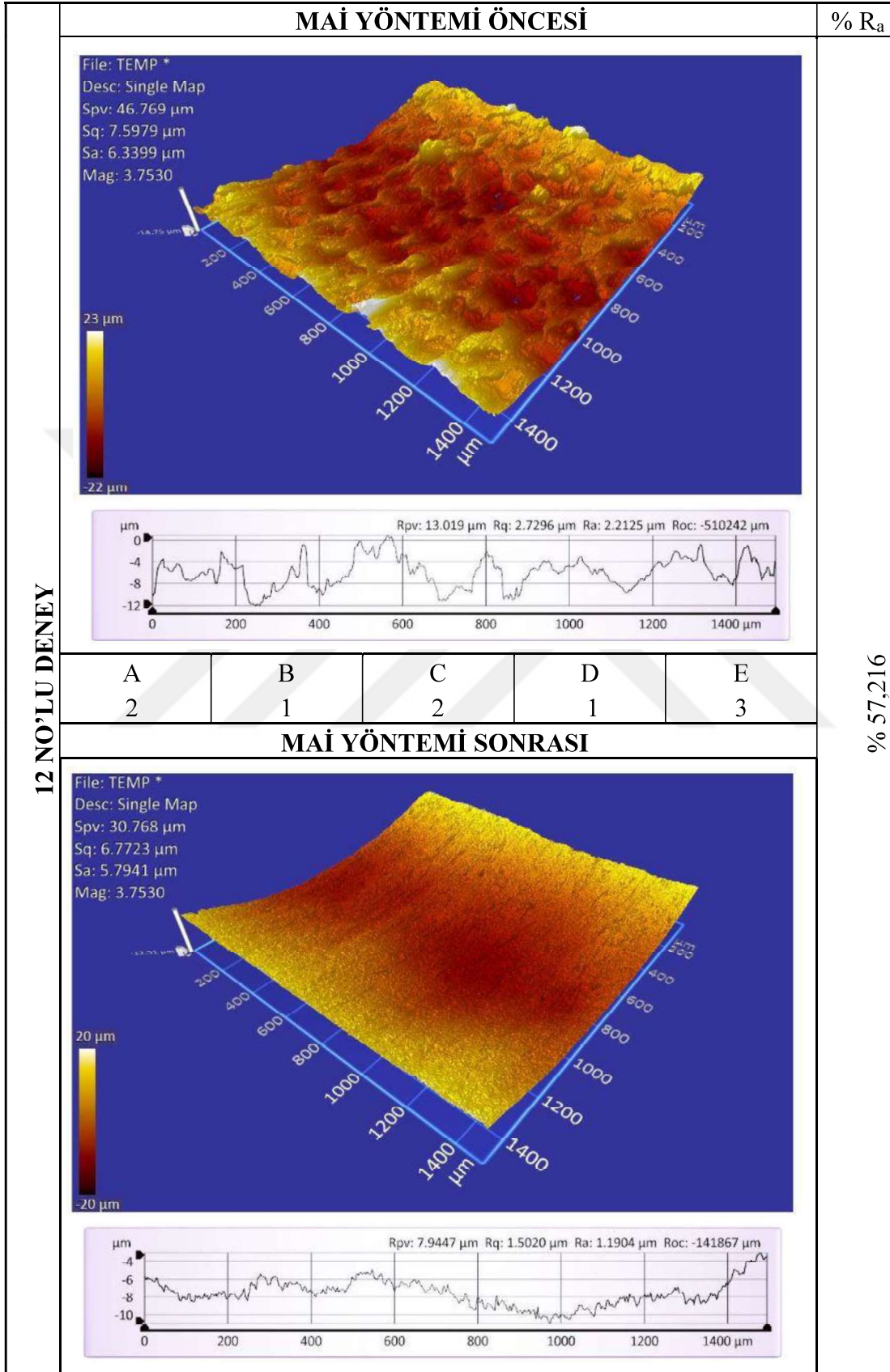
Şekil 6.15. 9 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



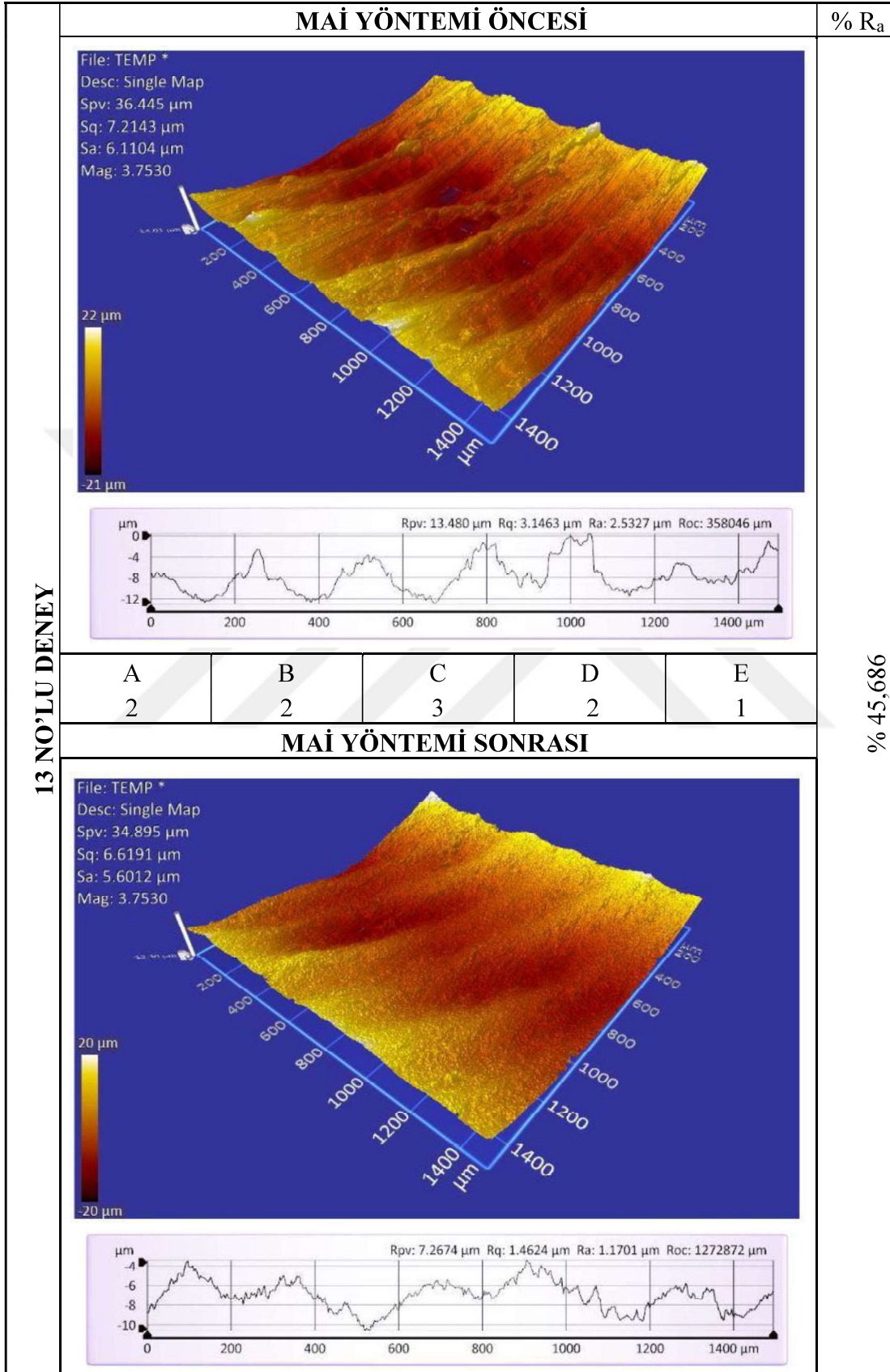
Şekil 6.16. 10 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



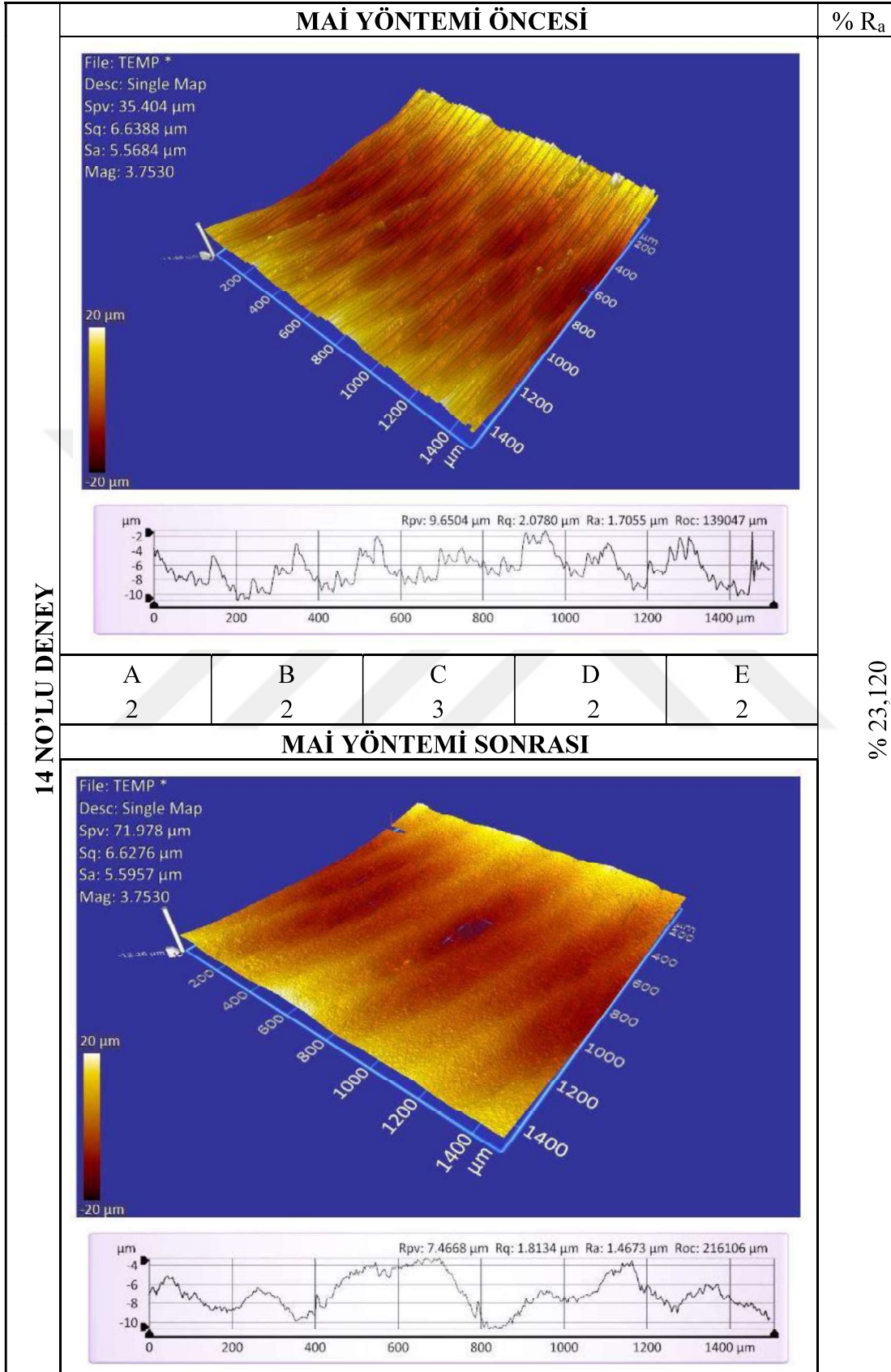
Şekil 6.17. 11 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



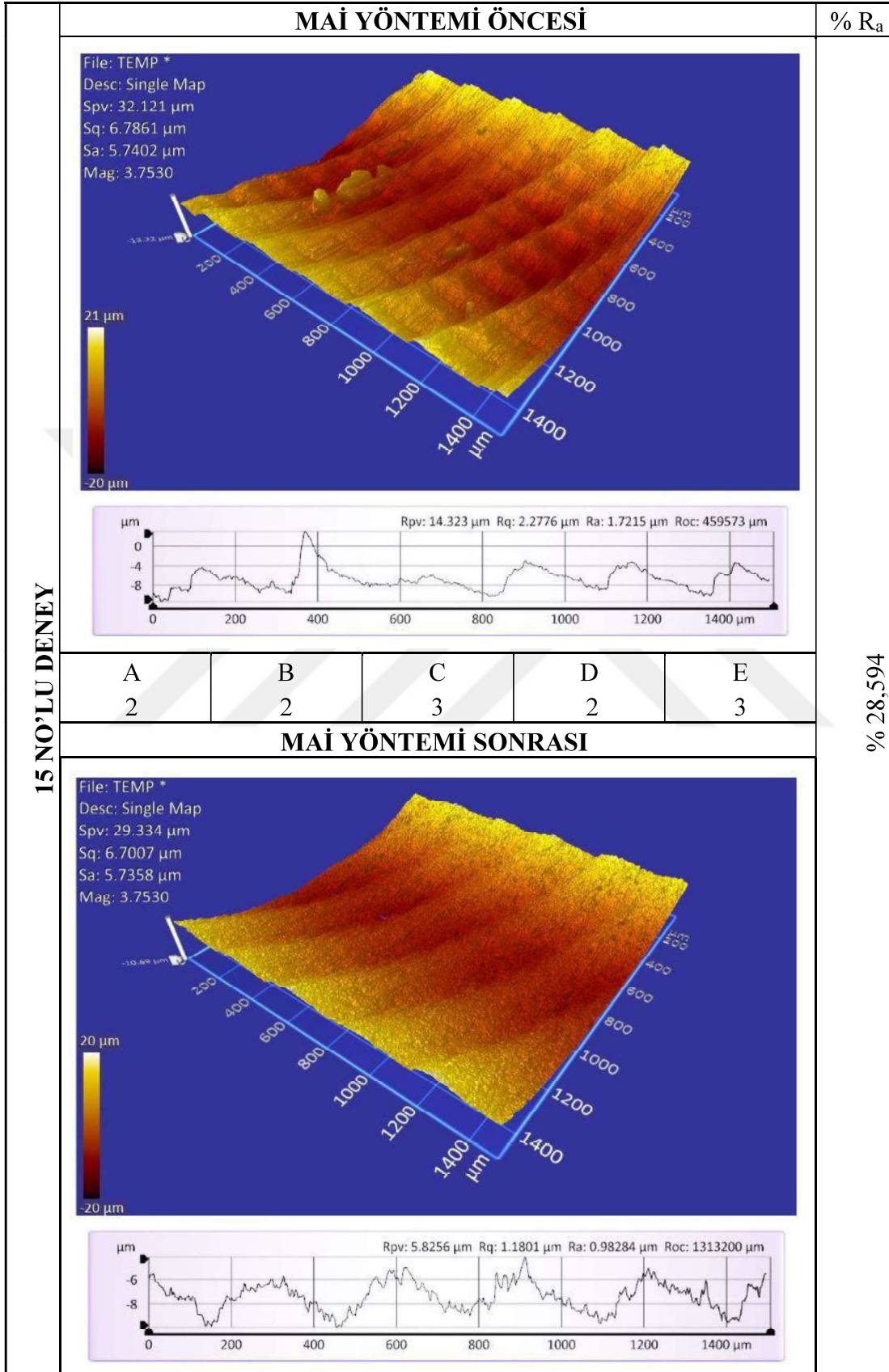
Şekil 6.18. 12 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



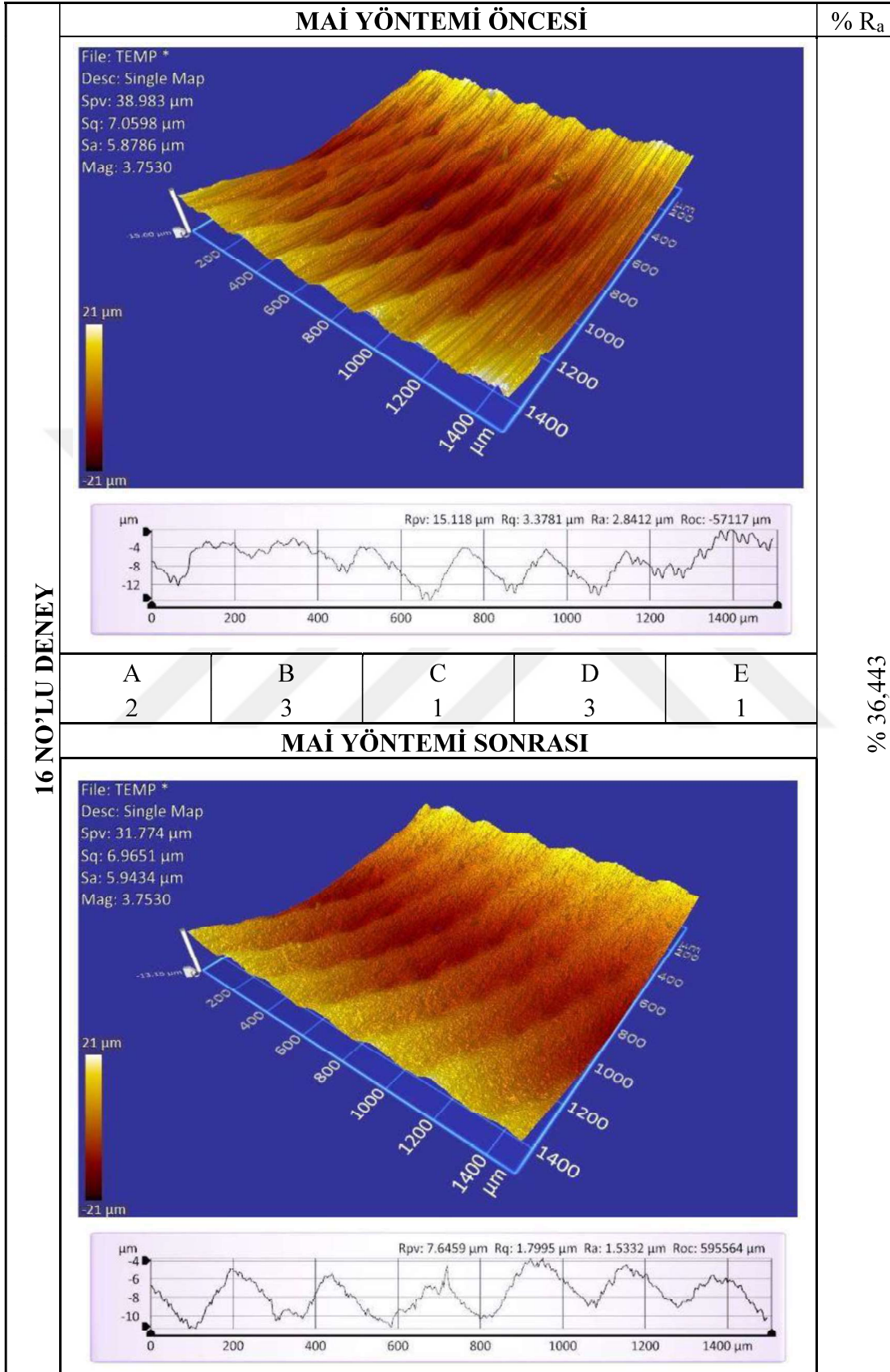
Şekil 6.19. 13 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



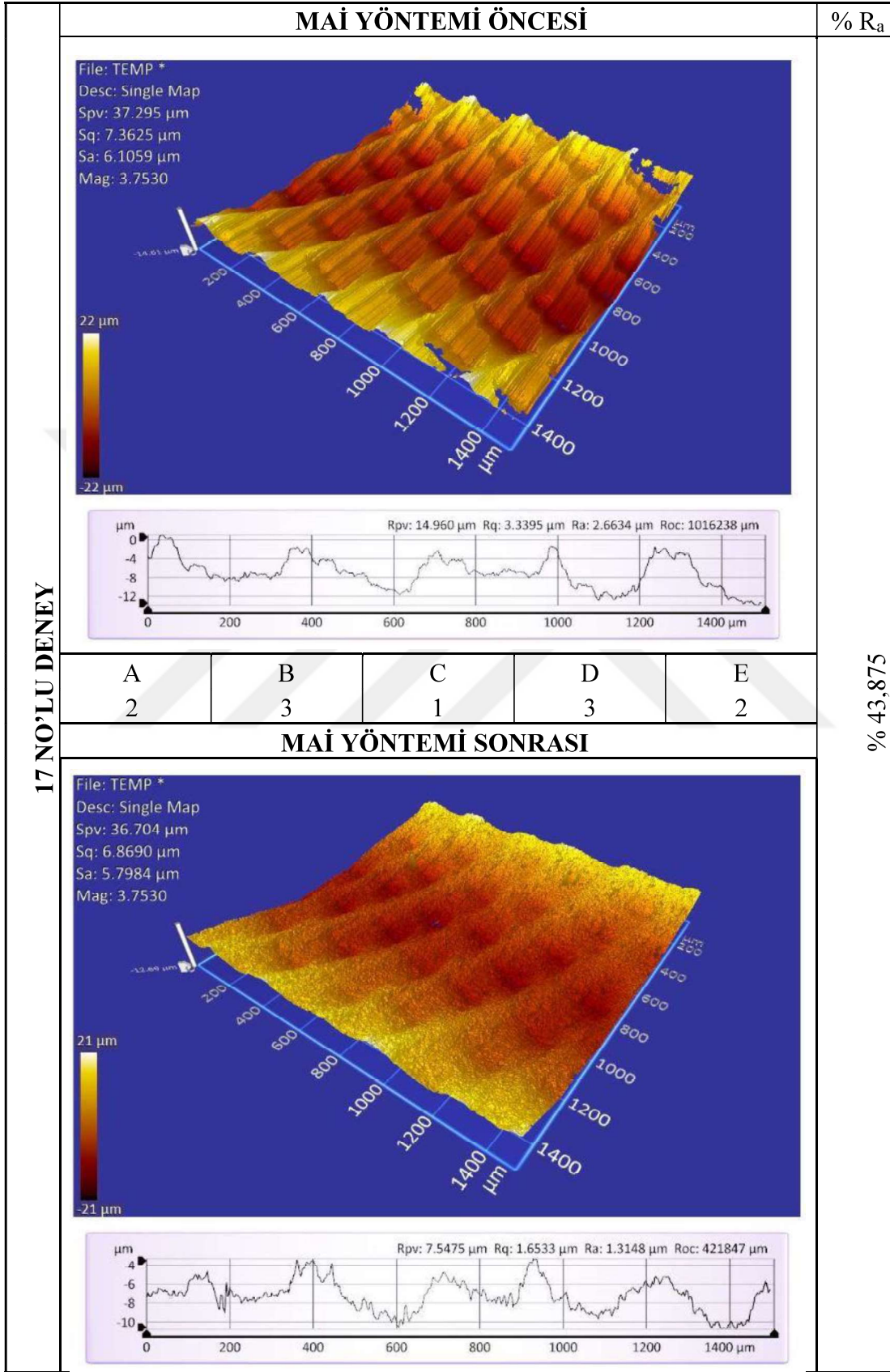
Şekil 6.20. 14 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



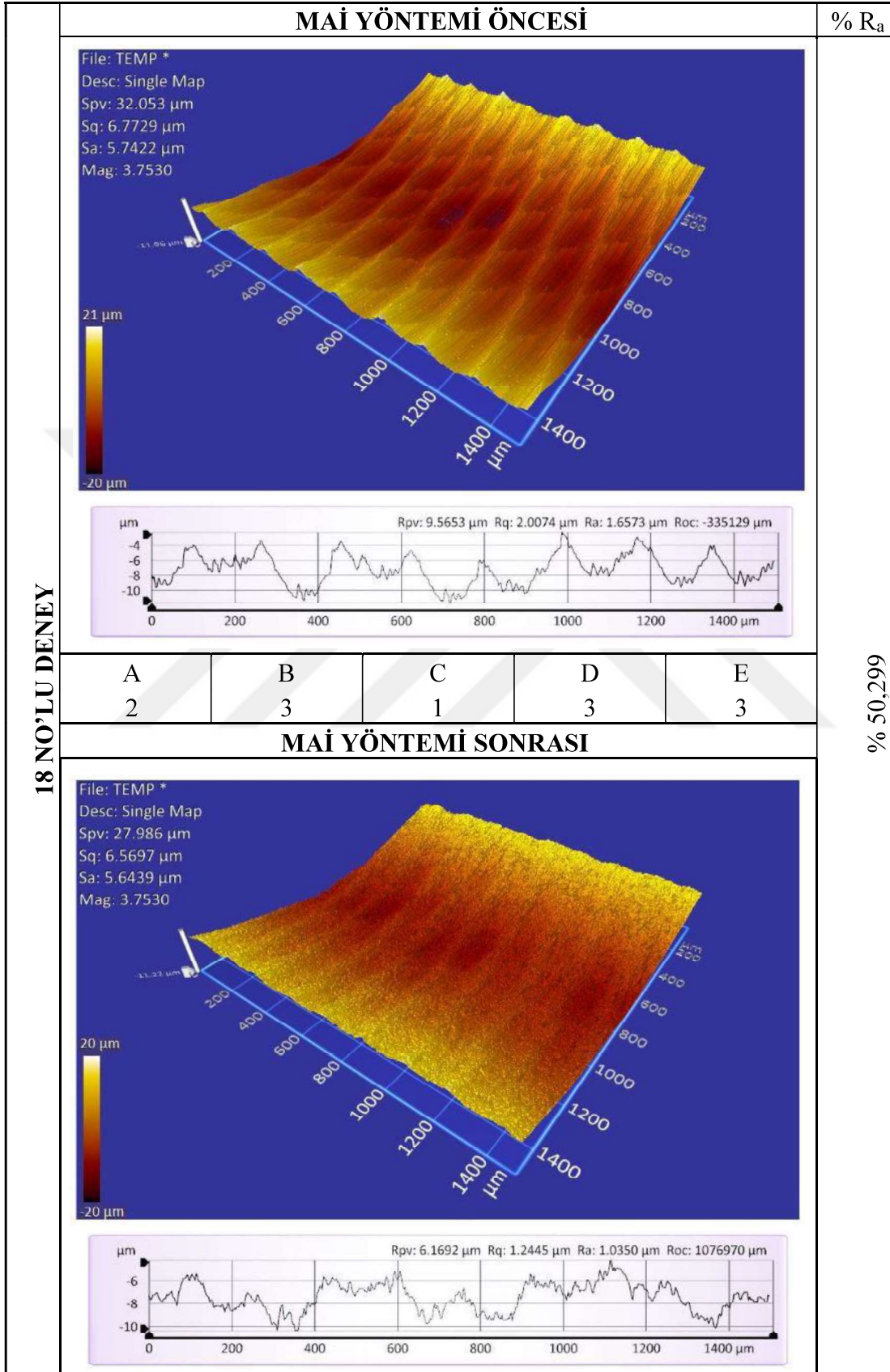
Şekil 6.21. 15 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



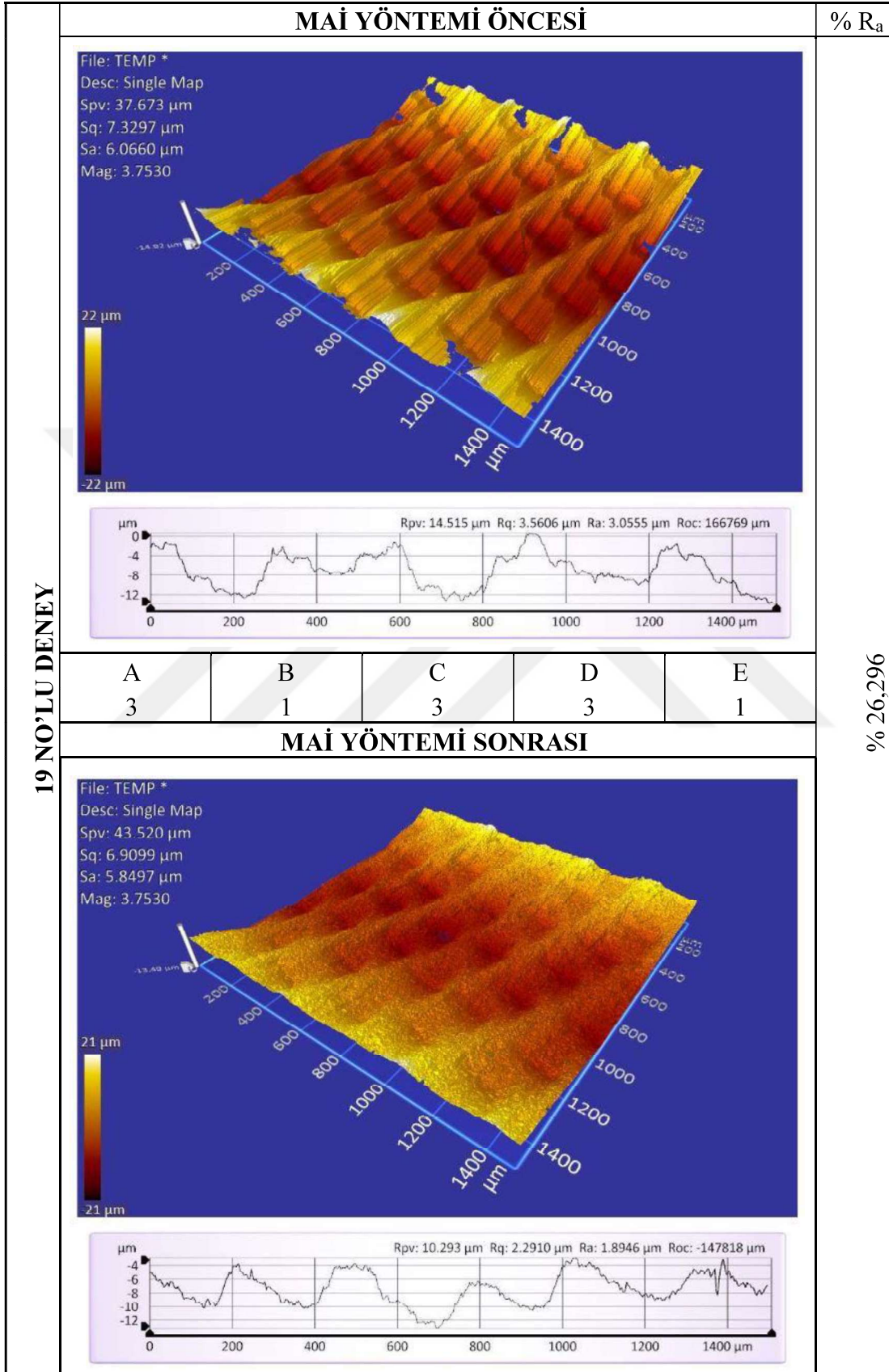
Şekil 6.22. 16 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



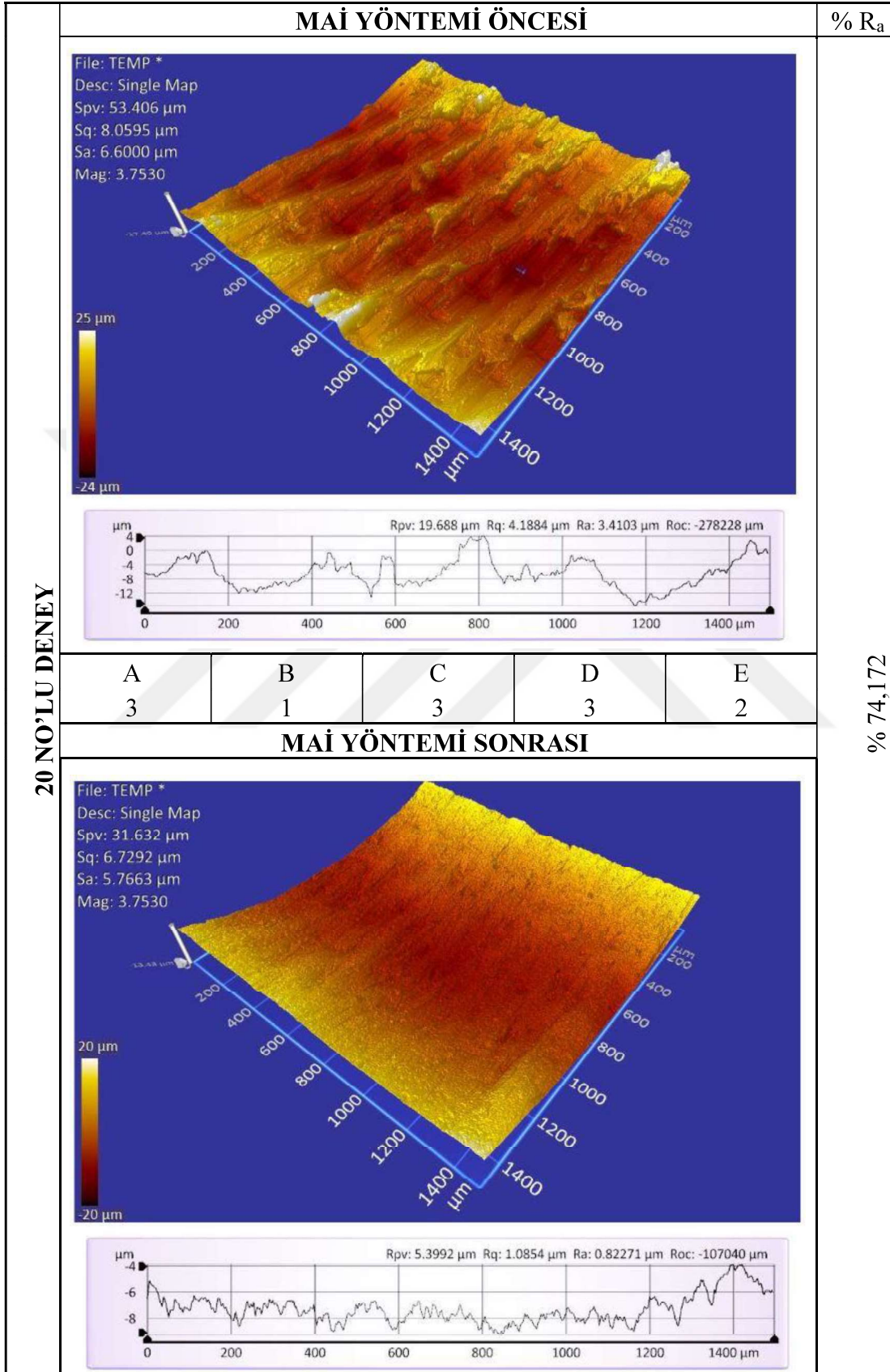
Şekil 6.23. 17 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



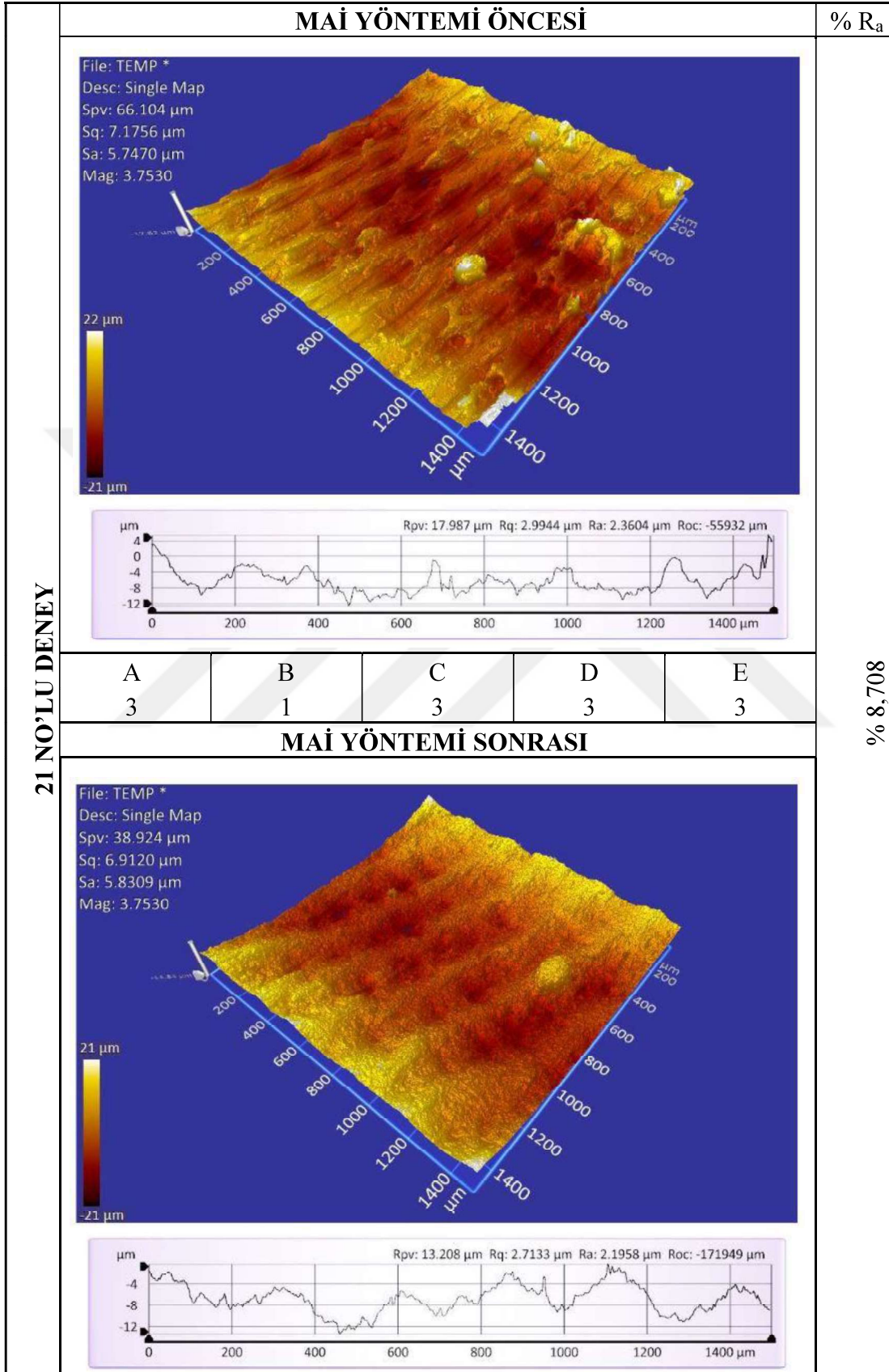
Şekil 6.24. 18 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



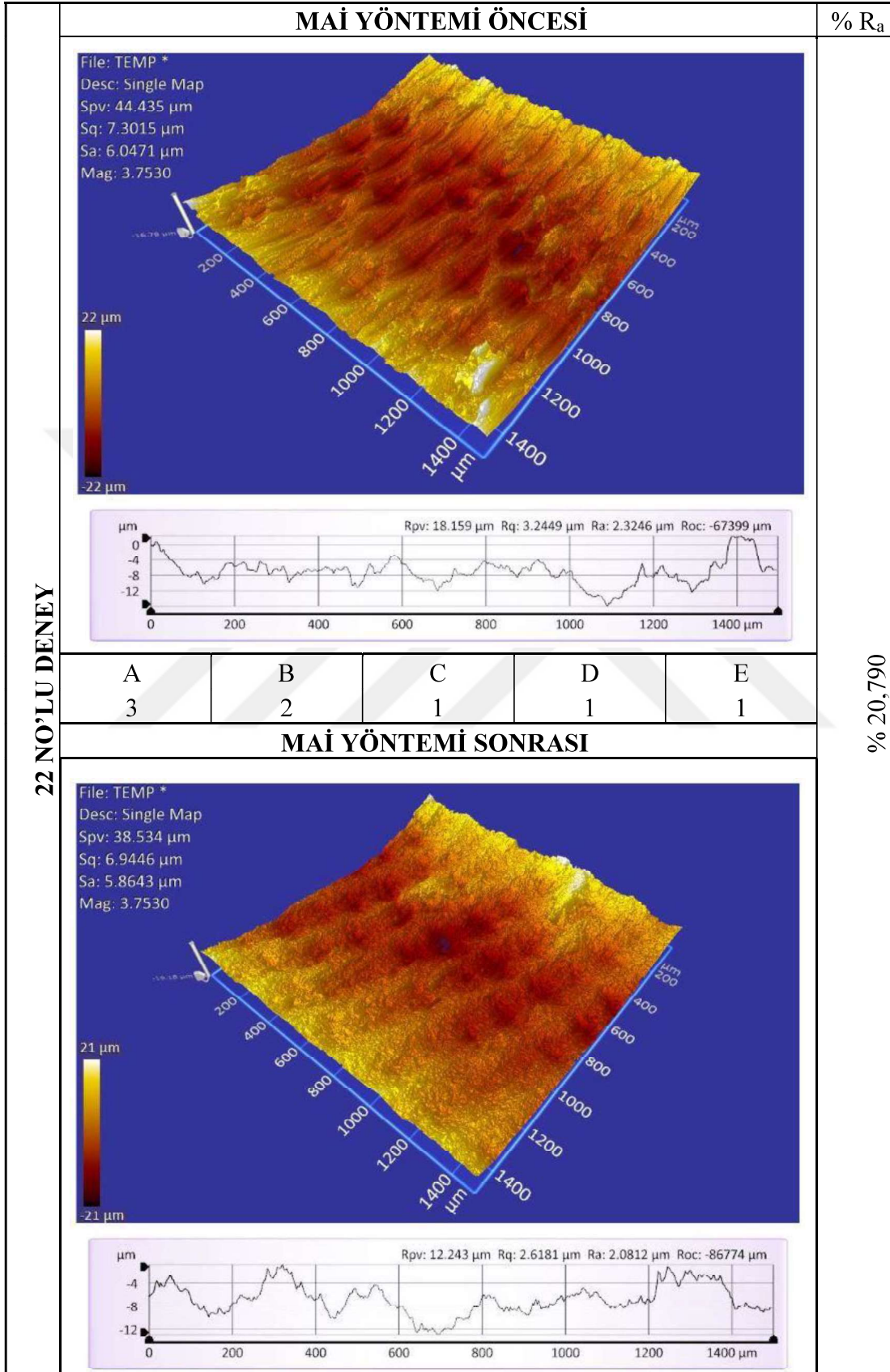
Şekil 6.25. 19 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



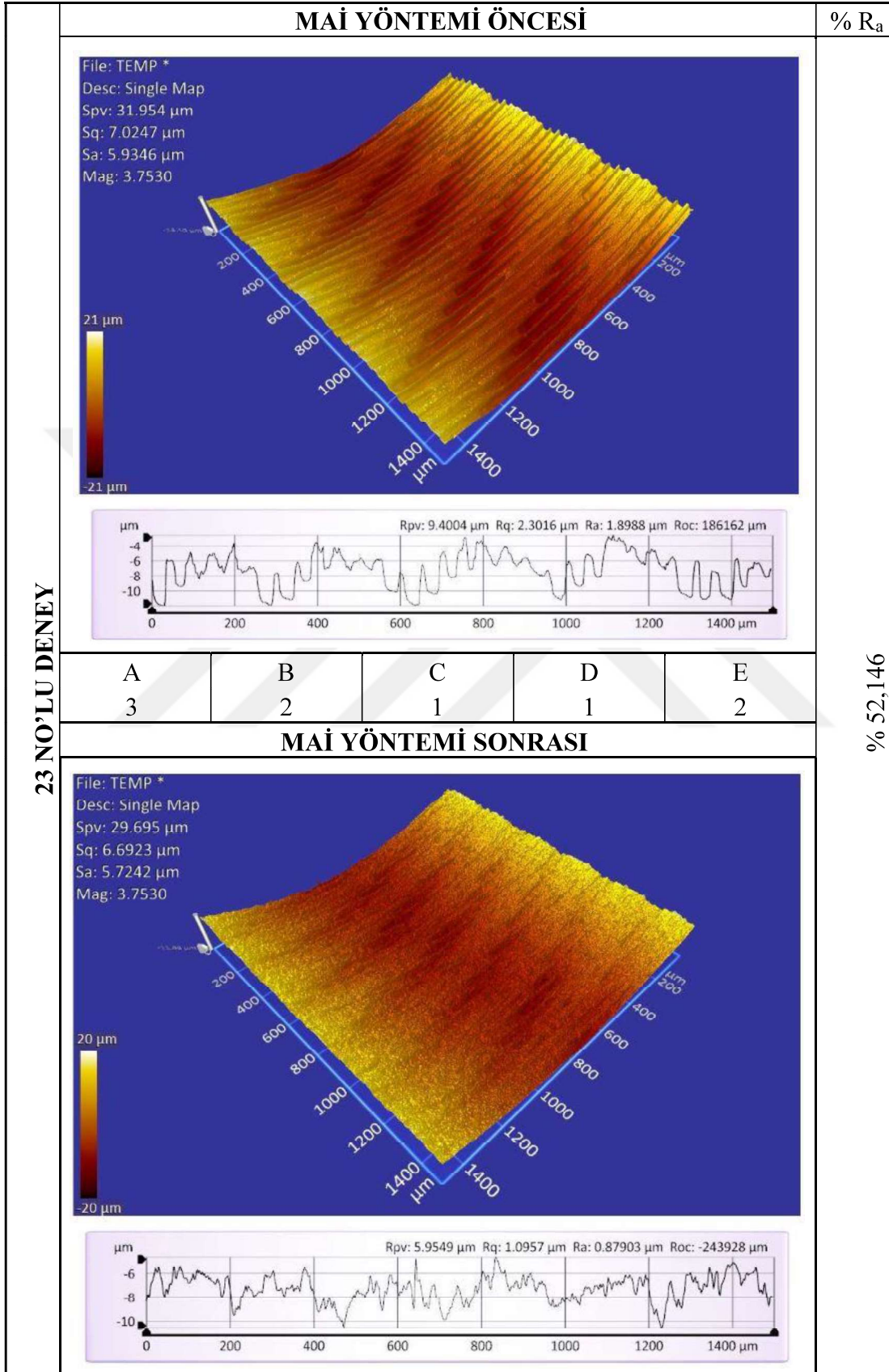
Şekil 6.26. 20 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



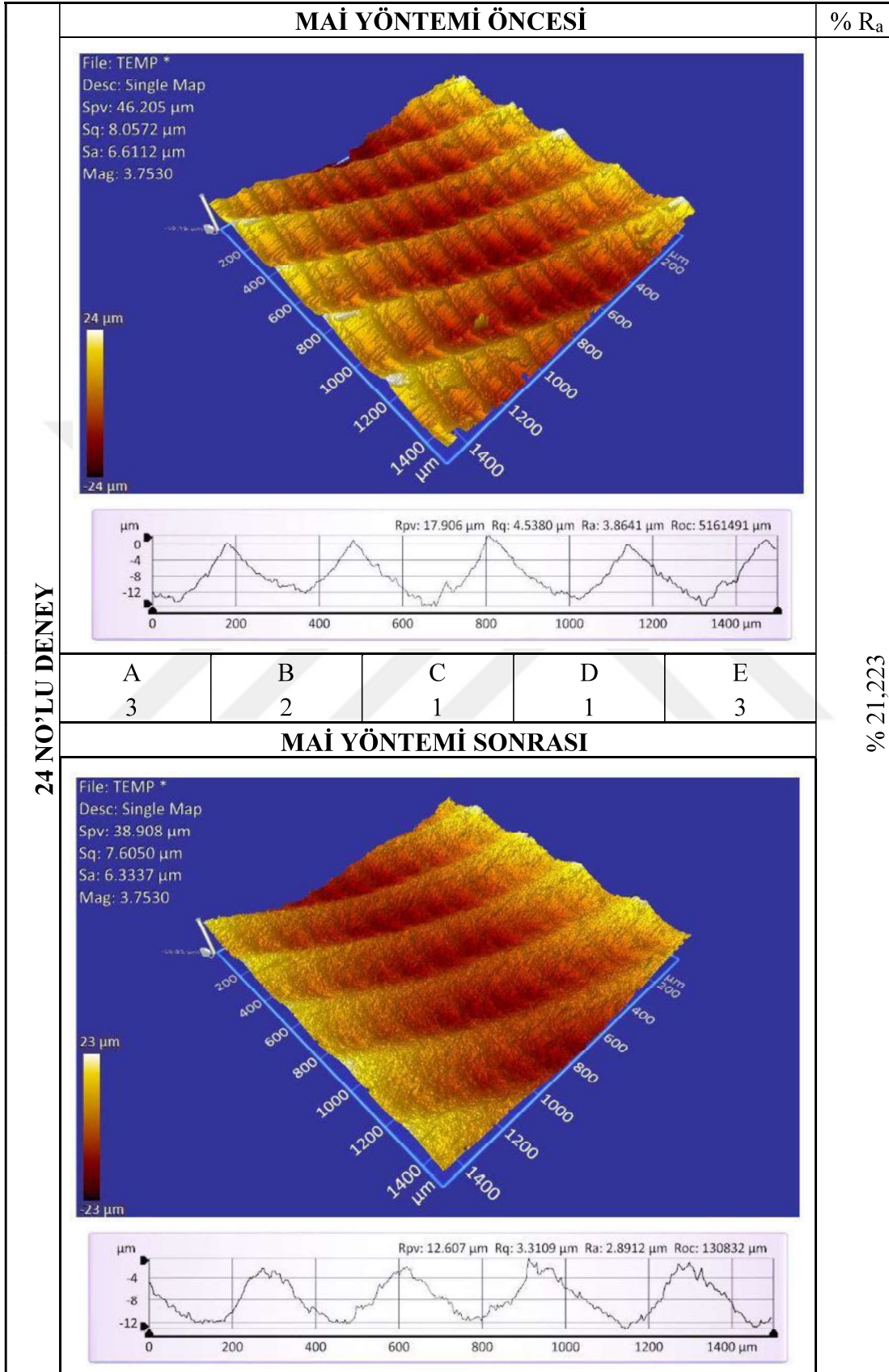
Şekil 6.27. 21 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



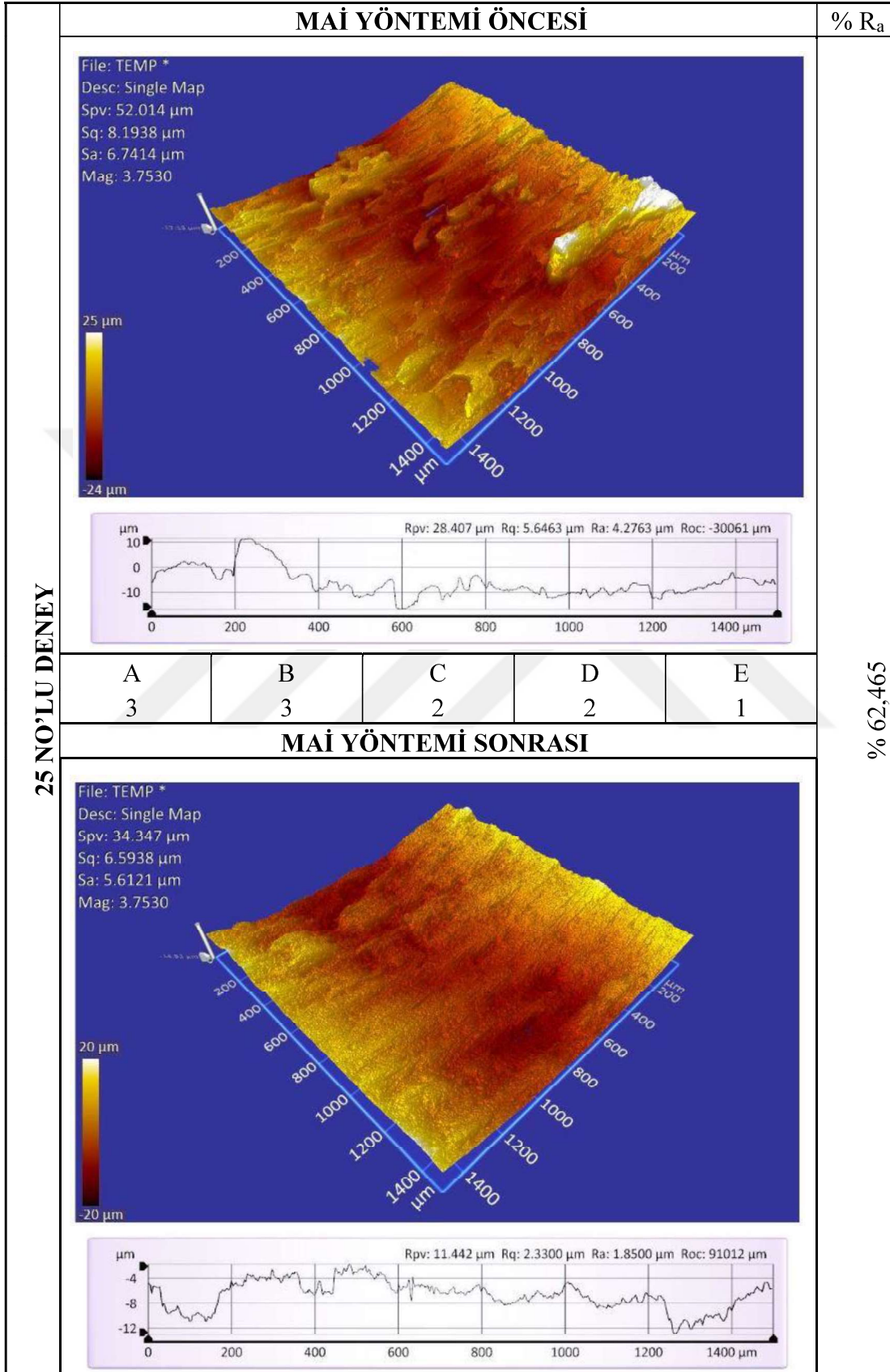
Şekil 6.28. 22 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



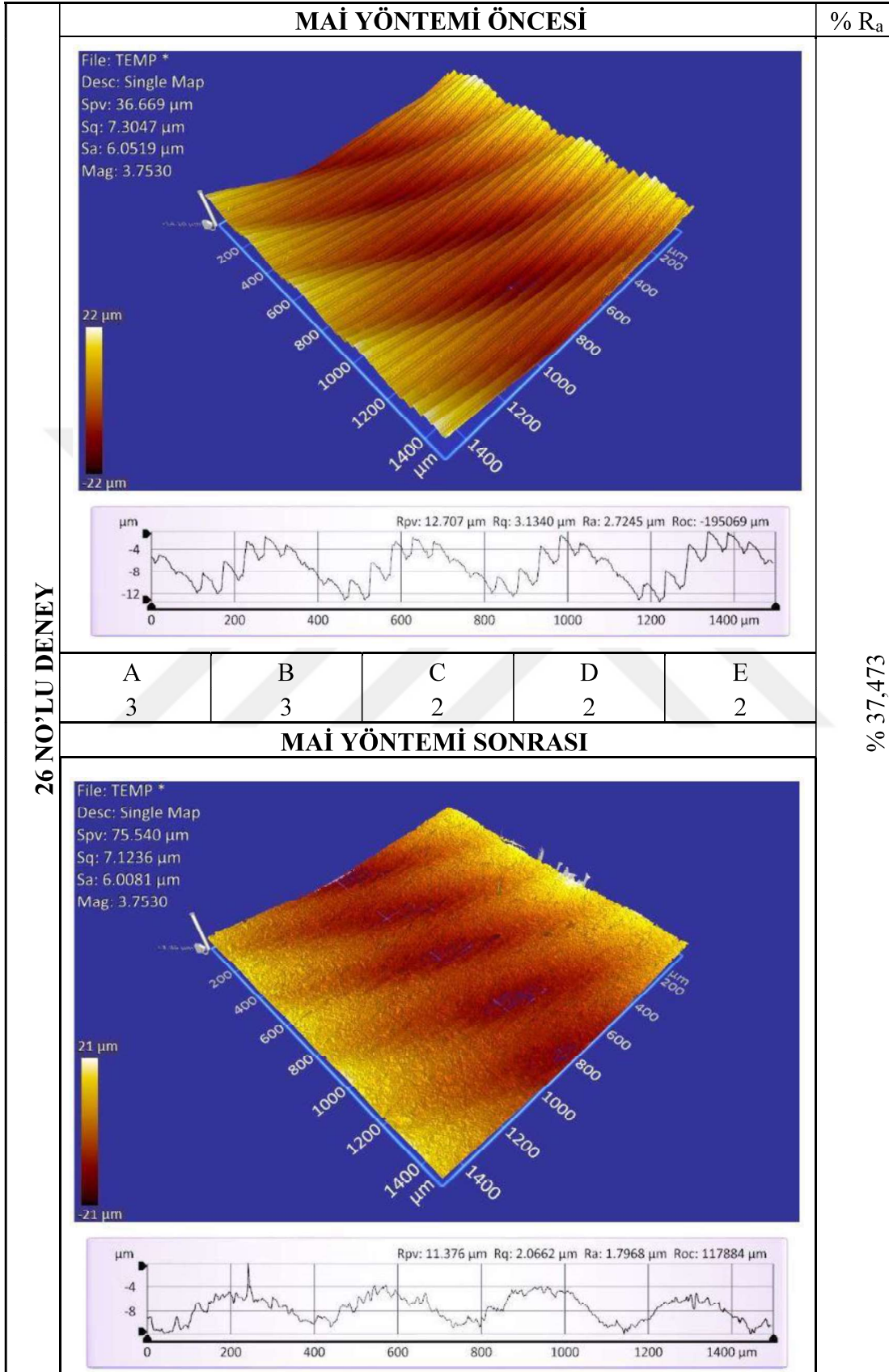
Şekil 6.29. 23 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



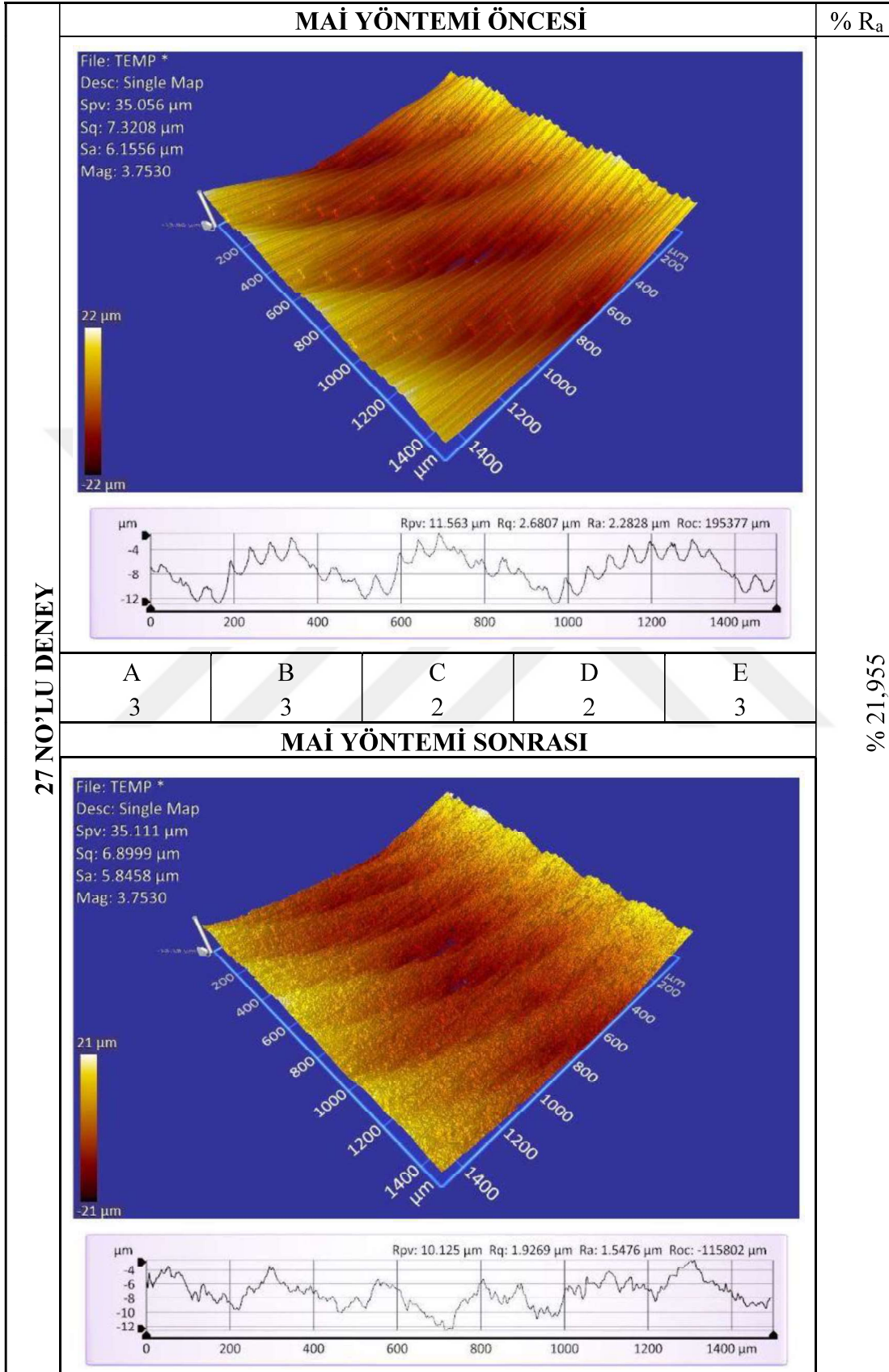
Şekil 6.30. 24 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



Şekil 6.31. 25 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



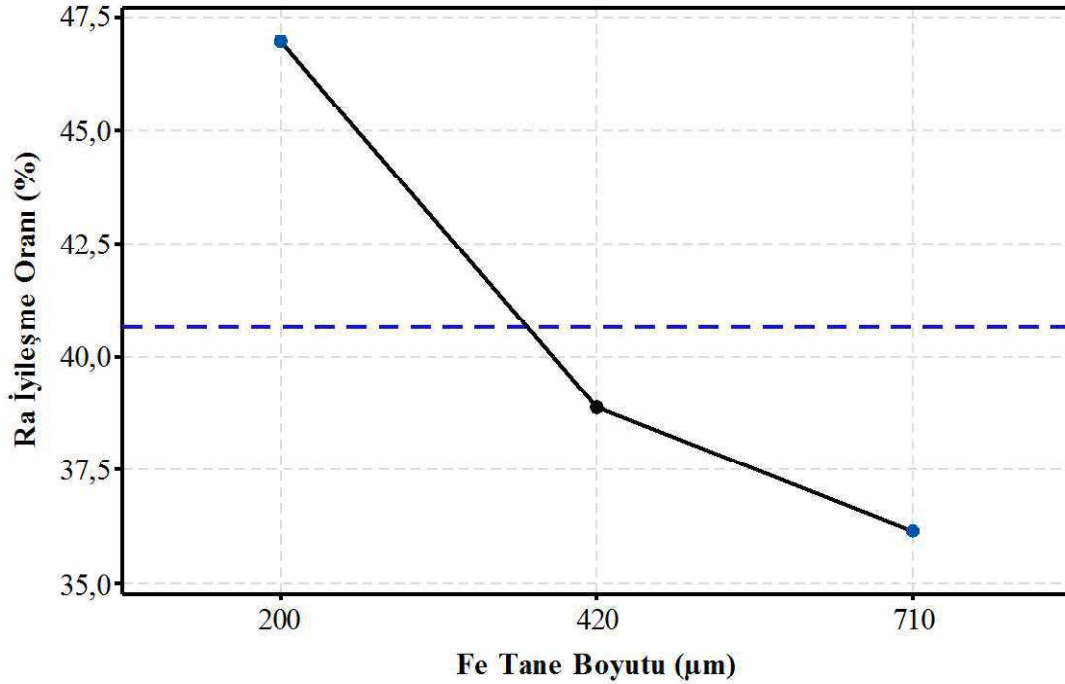
Şekil 6.32. 26 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri



Şekil 6.33. 27 no'lu deneyin MAİ işlemi öncesi ve sonrası yüzey profilleri

6.2.1. Fe Tozu Tane Boyutunun Ra Üzerindeki Etkisi

Fe tozu tane boyutunun ortalama yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme üzerindeki etkisi Şekil 6.34’de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi Fe tozu tane boyutunun 1. seviyesinde(200 μm) %46,96’lık bir iyileşme gerçekleşmiş ve bu değer tüm deneylerin aritmetik ortalaması olan ve şekilde mavi kesikli çizgiyle belirtilen %40,67’lik iyileşme değerinin üzerindedir. Fe tozu tane boyutunun 2. seviyesinde (420 μm) ve 3. seviyesinde (710 μm) ise yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme miktarları sırasıyla %38,89 ve %36,13 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler 1. seviye ile kıyaslandığında ortalama yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme oranında sırasıyla %17,18 ve %23,06’lık bir azalış olduğu görülmektedir. Ortalama yüzey pürüzlülük değerlerindeki bu azalış TKO değerlerinin tam tersine, artan manyetik kuvvetin aşındırıcı tanecikler üzerinde çok fazla baskıya sebep olmasına ve bunun sonucunda yüzeylerde derin çiziklerin oluşmasına bağlanabilir.

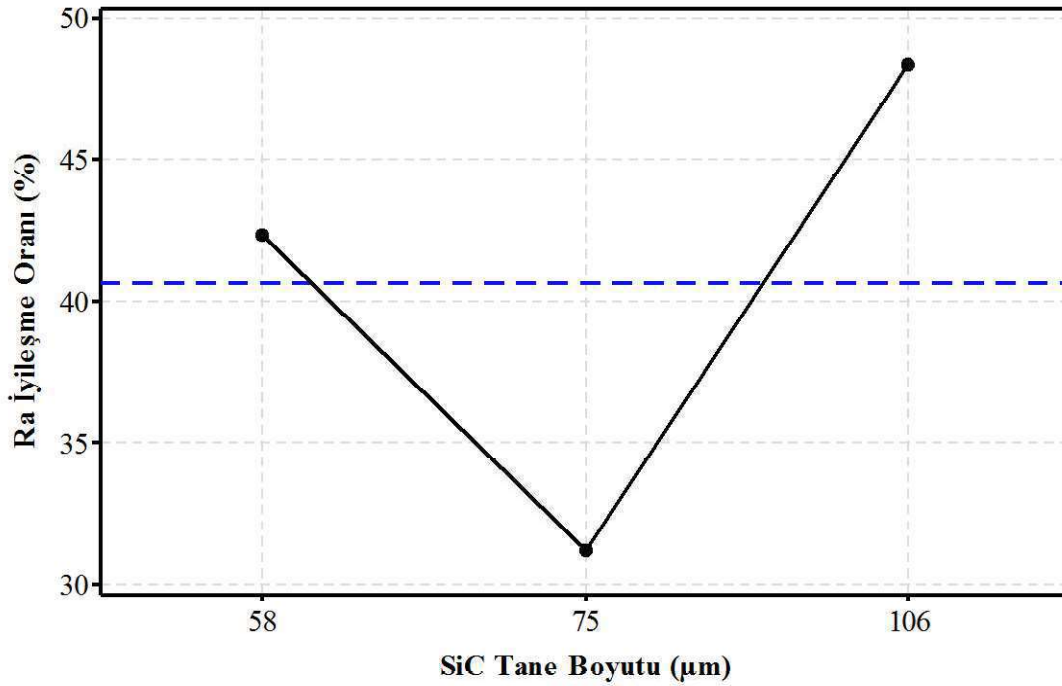


Şekil 6.34. Fe tane boyutunun Ra iyileşme oranına etkisi

6.2.2. SiC Tane Boyutunun Ra Üzerindeki Etkisi

SiC taneciklerin tane boyutlarının ortalama yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme oranı üzerindeki etkisi şekil 6.35’de görülmektedir. Şekil incelendiğinde SiC tane boyutunun 1. seviyesinin (58 μm) kullanıldığı deneylerde ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde %42,36 oranında iyileşme meydana gelmiştir. SiC tane boyutunun 2. Seviyesinin (75 μm)

kullanıldığı deneylerde ise beklenildiği gibi %26,27'lik bir azalma olmuştur. Aşındırıcı boyutunun artması aşındırıcı üzerindeki keskin kenarların sayısını azaltacağı için yüzey pürüzlülük değerlerindeki iyileşme oranındaki azalış buna bağlanabilir. Ancak SiC tane boyutunun 3. seviyesinin kullanıldığı deneylerde ise ortalama yüzey pürüzlülük değerindeki iyileşmenin beklenenin aksine tekrar artarak %48,39 oranına çıktığı görülmektedir. Literatürde bu sonuçla ilgili makul bir değerlendirme bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu sonuç ile ilgili kesin bir yargıya varamamakla birlikte, nispeten daha büyük boyutlu SiC taneciklerinin MAİ işlemi sırasında parçalanarak daha küçük boyutlu tanecikler haline gelmiş ve bu sayede daha etkin bir parlatma işlemi yapmış olması ihtimali üzerinde durulabilir.



Şekil 6.35. SiC tane boyutunun Ra iyileşme oranına etkisi

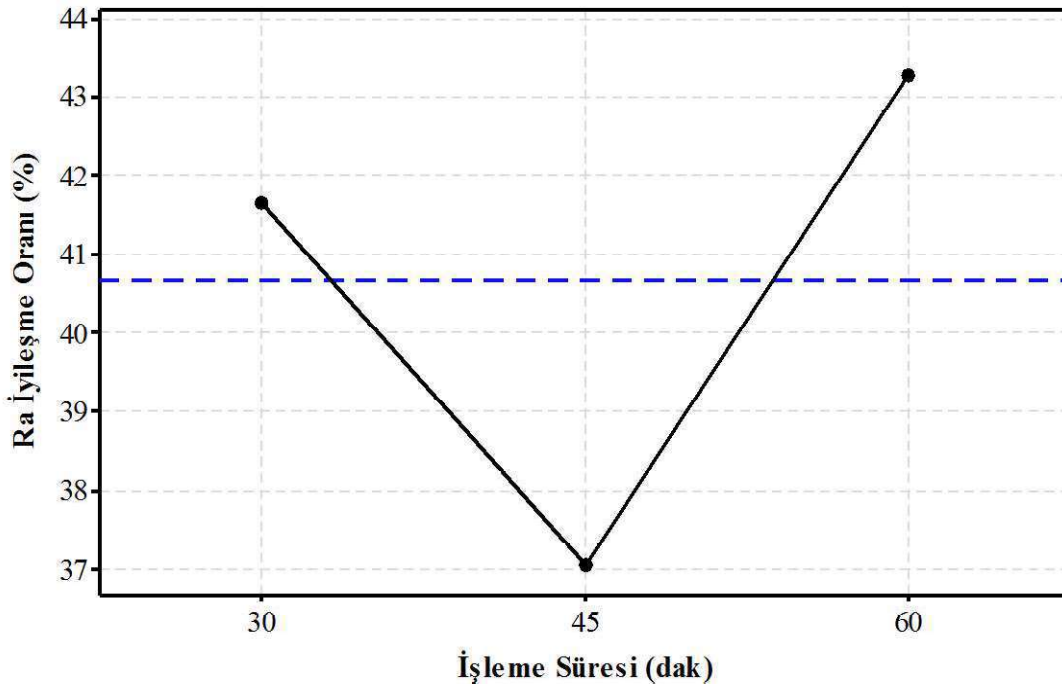
6.2.3. İşleme Süresinin Ra Üzerindeki Etkisi

Ortalama yüzey pürüzlülük değeri iyileşme oranı işleme süresi ile doğru orantılıdır. Şekil 6.36 işleme süresinin Ra iyileşme oranı üzerindeki etkisini göstermektedir.

İşleme süresinin 1. seviyesi olan 30 dakika boyunca yapılan MAİ işleminde Ra değerinde %41,65 oranında bir iyileşme meydana gelmiştir.

Bu değer deneylerin aritmetik ortalaması olan %40,66 değerinin üzerinde yer almakta olup, işleme süresi 2. seviye olan 45 dakikaya çıkarıldığında Ra iyileşme oranı %37,04

olarak deneylerin aritmetik ortalamalarının altına inmiştir. İşleme süresinin 60 dakikaya çıkarılmasıyla (3. seviye) Ra iyileşme oranı %43,29 değerine ulaşmıştır. Bu sonuçlar 1.seviyenin kullanıldığı deneyler için etkin bir parlatma işleminin yapıldığını ancak 2. seviyenin kullanıldığı deneylerde işlemin yüzeyde derin çiziklere sebep olduğunu ve 2. seviyenin (45 dakika) etkin bir parlatma işlemi için yeterli olmadığını göstermektedir. Deneylerin devam ettiği takdirde (3. Seviye) hem aşındırıcıların yüzeyden talaş kaldırmaya devam ettiği için hem de aşındırıcı taneciklerin parçalanarak yeni kesme kenarlarına sahip oldukları için daha önce oluşan derin çiziklerin kaybolarak yüzeyde daha çok iyileşmenin meydana geldiği yorumu yapılabilir. Sonuç olarak işleme süresinin seviyeleri artırıldığı takdirde etki grafiğinin zikzaklar çizerek devam edeceği tahmin edilebilir. Mevcut çalışmada ise işleme süresinin Ra değerindeki iyileşme üzerinde en etkin seviyesinin 3. seviye olduğu görülmektedir.



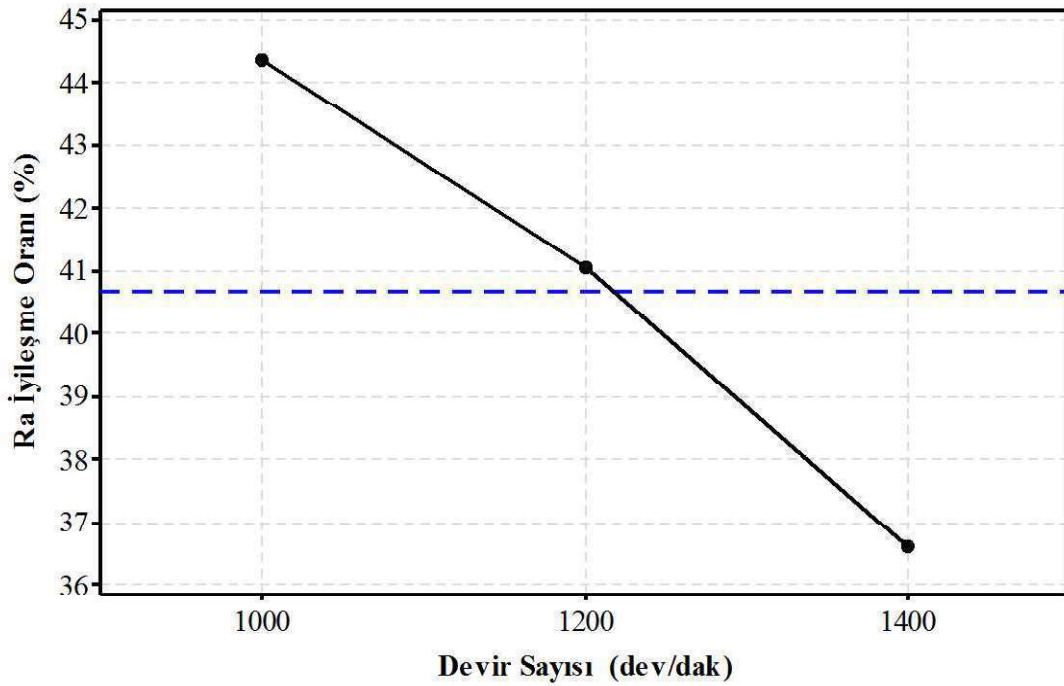
Şekil 6.36. İşleme Süresinin Ra iyileşme oranına etkisi

6.2.4. Devir Sayısının Ra Üzerindeki Etkisi

İş parçası devir sayısının ortalama yüzey pürüzlük değerlerindeki iyileşme oranı üzerindeki etkisini gösteren grafik şekil 6.37’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi devir sayısının artmasıyla Ra değerlerindeki iyileşme miktarları azalmaktadır. Devir sayısı birim zamanda alınan yolu ve taneciklere etkiyen merkezkaç kuvvetini değiştirdiği için

TKO ve Ra değerini de doğrudan etkilemektedir.

Devir sayısının ilk ve 2. seviyeleri olan sırasıyla 1000 dev/dak ve 1200 dev/dak değerleri Ra değerinde yine sırasıyla %44,35 ve %41,04'lük bir iyileştirme meydana getirmişlerdir. Bu değerler tüm deneylerin aritmetik ortalamasının üzerinde yer almıştır. Devir sayısı 3. seviye olan 1400 dev/dak değerine geldiğinde ise yapılan deneyler sonucu Ra iyileşme değeri %36,59'lük bir iyileştirme oranı ile deneylerin aritmetik ortalamasının altına inmiştir. Sonuç olarak elde edilen değerler doğrultusunda Ra iyileşme oranı üzerinde devir sayısının en iyi seviyesinin 1. seviye olduğu görülmektedir.

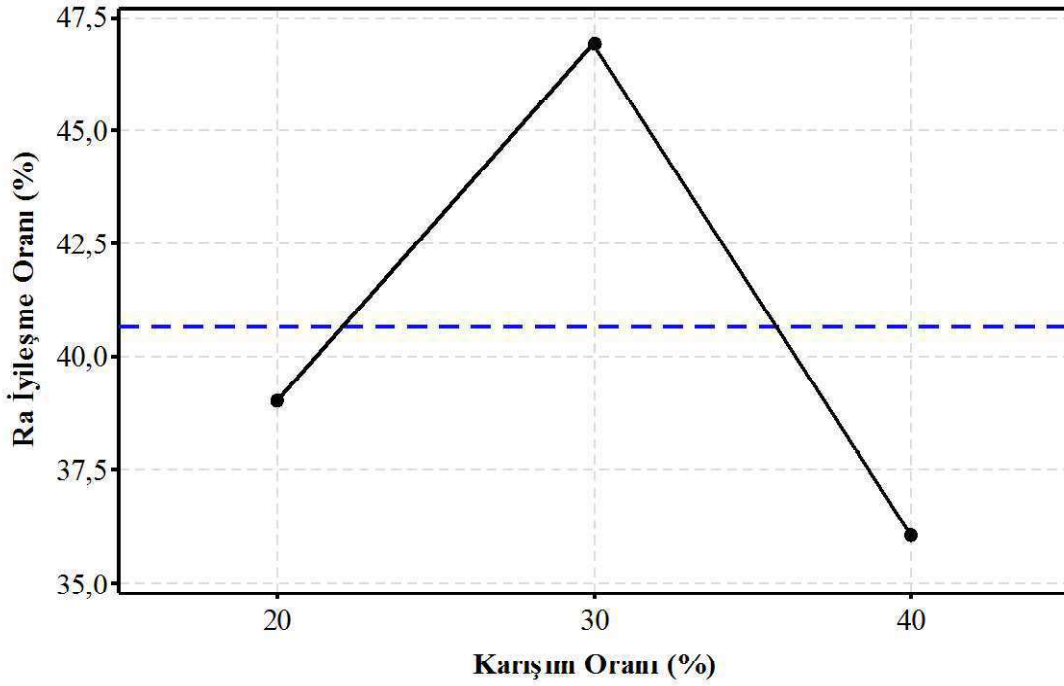


Şekil 6.37. Devir Sayısının Ra iyileşme oranına etkisi

Deney sonuçlarının da gösterdiği gibi devir sayısının artması taneciklere etkiyen merkezkaç kuvvetini artırarak taneciklerin iş parçası yüzeyine etkin bir şekilde tutunamamasına sebep olmaktadır. Devir sayısının artışı bir seviyeden sonra manyetik taneciklerin yüzey üzerinde kalmalarına olanak sağlamayarak tanecikleri boru ile birlikte dönmelerine sebep olmaktadır. Dolayısıyla tanecikler ile yüzey arasında bağıl bir hareket gerçekleşmediği için talaş kaldırma işlemi gerçekleşmemektedir. Yapılan ön deneylerde devir sayısının 1400 dev/dak değerini geçmesi durumunda talaş kaldırma işleminin gerçekleşmediği tespit edilmiştir.

6.2.5. Karışım Oranının Ra Üzerindeki Etkisi

Etkin bir parlatma işlemi için aşındırıcı karışım oranı büyük önem arz etmektedir. Yeterli miktarda aşındırıcı taneciğin bulunmaması bu taneciklerin Fe tozları arasında sıkışıp kalmasına ve yüzeye etki etmemesine sebep olabilmektedir. Yüksek oranlı karışımlarda ise manyetik kuvvet fazla miktardaki aşındırıcıyı işleme yüzeyi üzerinde tutacak büyüklüğe ulaşamadığı için etkin bir parlatma işleminin yapılamamasına sebep olabilmektedir.



Şekil 6.38. Karışım Oranının Ra iyileşme oranına etkisi

Deneylerde kullanılan aşındırıcı taneciklerin Fe tozu taneciklerine kütlece oranının Ra iyileşme oranı üzerindeki etkileri Şekil 6.38’ da görülmektedir. Karışım oranının %20 olduğu 1. seviyede Ra iyileşme oranı % 39,00 değeriyle deneylerin aritmetik ortalamasının altında yer almıştır. Karışım oranı 2.seviye olan %30’luk değere yükseldiğinde Ra iyileşme oranı %20,30’luk bir artış ile % 46,92 değerine ulaşmıştır. Karışım oranındaki artış devam ederek 3. seviye olan %40 değerine ulaştığında ise bir önceki değere göre %23,14’lük keskin bir azalış ile %36,06 değerine ulaşmıştır. Bu sonuçlar en iyi Ra iyileşme değerinin karışım oranının 2. seviyesinde elde edildiğini göstermektedir.

7.SONUÇLAR

MAİ yönteminde amaç, hem yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme hem de talaş kaldırma oranlarının en yüksek olmasını sağlayacak işleme koşullarının belirlenmesidir.

Fe tozu tane boyutunun TKO ve ΔR_a üzerindeki etkisi birlikte incelendiğinde en uygun seviyenin 2. seviye olduğu görülmektedir. Bu seviye her iki oran için de en iyi seviye olmamasına karşın, oranlar birlikte değerlendirildiğinde her iki oran değerlendirilmesi için de kabul edilebilir bir seviyededir.

SiC tane boyutunun TKO ve ΔR_a üzerindeki etkisi birlikte incelendiğinde en uygun seviyenin 3. seviye olduğu ve bu seviyenin her iki oran için de en iyi seviye olduğu görülmektedir.

İşleme süresinin TKO ve ΔR_a üzerindeki etkisi birlikte incelendiğinde en uygun seviyenin 1. seviye olduğu görülmektedir. Bu seviye TKO için en iyi seviye olmasına rağmen ΔR_a değeri için 2. sırada iyi seviyedir. Ancak oranlar birlikte değerlendirildiğinde bu seviye her iki oran için de kabul edilebilir niteliktedir.

Devir sayısının TKO ve ΔR_a üzerindeki etkisi birlikte incelendiğinde en uygun seviyenin 2. seviye olduğu görülmektedir. Bu seviye her iki oran için de en iyi seviye olmamasına karşın, oranlar birlikte değerlendirildiğinde her iki oran için de kabul edilebilir bir seviyededir.

Karışım oranının TKO ve ΔR_a üzerindeki etkisi birlikte incelendiğinde en uygun seviyenin 2. seviye olduğu görülmektedir. Bu seviye TKO için 2. sırada en iyi seviye olmasına karşın ΔR_a için en iyi seviyedir. Dolayısıyla iki oran birlikte değerlendirildiğinde 2. seviye, kabul edilebilir bir seviyedir.

Sonuç olarak bu çalışmada sanayide geniş kullanım alanı olan AISI 304 L ostenitik paslanmaz çelik boruların iç yüzeyleri geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden olan Manyetik Aşındırıcılarla İşleme yöntemi ile işlenmiş ve yöntemin en etkin faktör seviyelerinin A2-B3-C1-D2-E2 olduğu görülmüştür.

8. ÖNERİLER

Mevcut yöntemde kullanılan sabit mıknatıslar uygulamayı kolaylaştırmasına rağmen manyetik alan şiddetini sabit tutması nedeniyle yöntemi kısıtlamaktadır. Ayrıca deneyler sonrasında boru içerisinde bulunan toz karışımının ortamdaki uzaklaştırılması sırasında bu tozlar sabit mıknatıslara tutunmakta ve mıknatıslar üzerinden uzaklaştırmak için ekstra bir işgücü kaybına neden olmaktadır. Dolayısıyla bundan sonraki çalışmalarda gerekli soğutma sistemine sahip elektromıknatıs esaslı akım kaynağı kullanılması bu sorunları ortadan kaldıracaktır.

Mevcut çalışmada yağlayıcı olarak elmas pasta kullanılmıştır. Deneyler sonrasında boru iç yüzeyinin elmas pasta ve toz karışımından temizlenmesi işlemi oldukça güç gerçekleşmiştir. Dolayısıyla sonraki çalışmalarda sıvı yağlayıcıların kullanılması bu sorunu çözecektir.

KAYNAKÇA

- [1] Hashimoto, F., Yamaguchi, H., Krajnik, P., Wegener, K., Chaudhari, R., Hoffmeister, H. W., & Kuster, F. 2016. Abrasive fine-finishing technology. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, **65(2)**, 597-620.
- [2] Fox, M., Agrawal, K., Shinmura, T., and Komanduri, R., 1994. Magnetic Abrasive Machining of Rollers, *Annals of the CIRP*, **43(1)**,181–184
- [3] Yamaguchi, H. and Shinmura, T., 1999. Study of the Surface Modification Resulting from an Internal Magnetic Abrasive Finishing Process, *Wear*, **225–229**,246–255.
- [4] Yamaguchi, H. and Shinmura, T., 2000. Study of an Internal Magnetic Abrasive Finishing using a Pole rotation System–Discussion of the Characteristic Abrasive Behavior, *Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology*, **24**, 237–244.
- [5] Kang, J., 2012. Development of high-speed internal finishing and cleaning of flexible capillary tubes by magnetic abrasive finishing, *PhD Thesis*, University of Florida, Florida.
- [6] Jain, V.K., 2008. Abrasive-Based Nano-Finishing Techniques: An Overview, *Machining Science and Technology*, **12:3**, 257-294.
- [7] Goedel, B., Voisin, J., Dumur, D., El Mansori, M., Frabolot, M., 2013. Flexible Right Sized Honing Technology for Fast Engine Finishing, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, **62 (1)**, 327–330.
- [8] Föhnle, O.W., Brug, H., Frankena H.J., 1998. Fluid Jet Polishing of Optical Surfaces, *Applied Optics*, **37 (28)**, 6771–6773.
- [9] Li, Z., Li, S., Day, Y., Peng X., 2010. Optimization on and Application of Influence Function in Abrasive Jet Polishing, *Applied Optics*, **49 (15)** 2947–2953.
- [10] Evans, C.J., Dornfeld, D., Lucca, D.A., Byrne, G., Tricard, M., Klocke, F., Dambon, O., Mullany B.A., 2003. Material Removal Mechanisms in Lapping and Polishing, *Annals of the CIRP*, **52 (2)**, 611–633.
- [11] Rhoades, L., 1991. Abrasive Flow Finishing: A Case Study, *Journal of Materials Processing Technology*, **28**, 107–116.
- [12] Shinmura, T., 1990. Study on Magnetic Abrasive Finishing, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, **39(1)**, 325-328.

- [13] **Yamaguchi, H., Shinmura, T., Kaneko, T.**, 1996. Development of A New Internal Finishing Process Applying Magnetic Abrasive Finishing by Use of Pole Rotation System, *International Journal of the Japan. Society for Precision Engineering*, **30(4)**, 317–322.
- [14] **Shinmura, T., Hamano, Y., Yamaguchi, H.**, 1998. A New Precision Deburring Process for Inside Tubes by the Application of Magnetic Abrasive Machining, *Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers*, Vol. 64(620), Series C, 1428–1434.
- [15] **Ko, S. L., Baron, Y. M., Chae, J. W., Polishuk, V. S.**, 2003. Development of Deburring Technology for Drilling Burrs Using Magnetic Abrasive Finishing Method. *Proceedings of International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century*, *Japan Society of Mechanical Engineers*, 367-372.
- [16] **Suzuki, K., Takahashi, H., Ohashi, H., Yonemura, T., Miyasaki, E., Uematsu, T.**, 1990. The Research on Magnetic Grinding Method using Short Fiber Magnetic Abrasives –1st Report, *The Effect of the Metal Short Fiber Contamination to Magnetic Abrasives. Proceedings of the JSPE Spring Annual Meeting*, 307-308.
- [17] **Sato, T., Yamaguchi, H., Shinmura, T., Okazaki, T.**, 2006. Study of Surface Finishing Process using Magneto-rheological Fluid (MRF) –2nd report: Effects of the Finishing Behavior of MRF-based Slurry on Finishing Characteristics–. *Journal of Japan Society for Precision Engineering*, **72(11)**, 1402-1406
- [18] **Mori, T., Hikota, K., Kawashima, Y.**, 2003. Clarification of Magnetic Abrasive Finishing Mechanism, *Journal of Material Processing Technology*, **143-144(20)**, 682-686.
- [19] **Yamaguchi, H., Shinmura, T., Takenaga, M.**, 2003. Development of a New Precision Internal Machining Process Using an Alternating Magnetic Field, *Precision Engineering*, **27(1)**, 51-58.
- [20] **Svoboda, J.**, 2004. *Magnetic Techniques for the Treatment of Materials*, Kluwer Academic.
- [21] **Simons A.**, 1929. Method of Polishing Wire-Drawing Dies and Apparatus Therefor, US Patent 1,698,458
- [22] **Coats H. P.**, 1940. Method of and Apparatus for Polishing Containers. US Patent 2,196,059.

- [23] **Baron Y. M.**, 2008 Finishing, Improvement of Wearing and Hardening using Magnetic Field, *Create Space Independent Publishing Platform*, Saint-Petersburg.
- [24] **Kang, J., George, A., Yamaguchi, H.**, 2012. *High-speed Internal Finishing of Capillary Tubes by Magnetic Abrasive Finishing*, 5th CIRP Conference on High Performance Cutting, 414-418
- [25] **Wang, Y., Hu, D.**, 2005. Study on the inner surface finishing of tubing by magnetic abrasive finishing, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **45**, 43-49.
- [26] **Kala, P., Pandey, P.M.**, 2015. Comparison of finishing characteristics of two paramagnetic materials using double disc magnetic abrasive finishing, *Journal of Manufacturing Processes*, **17**, 63-77.
- [27] **Jain, V. K., Kumar, P., Behera, P. K., Jayswal S. C.**, 2001. Effect of working gap and circumferential speed on the performance of magnetic abrasive finishing process, *Wear*, **250**, 384-390.
- [28] **Mulik, R. S., Pandey, P. M.**, 2011. Ultrasonic assisted magnetic abrasive finishing of hardened AISI 52100 steel using unbonded SiC abrasives, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, **29**, 68-77.
- [29] **Nteziyaremye, V., Wang, Y, Li, W., Shih, A., Yamaguchi, H.**, 2014. Surface finishing of Needles for high – performance biopsy, *Procedia CIRP* **14**, 48 – 53.
- [30] **Kang, J., Yamaguchi H.**, 2012. Internal finishing of capillary tubes by magnetic abrasive finishing using a multiple pole-tip system, *Precision Engineering*, **36**, 510-516.
- [31] **Yamaguchi, H., Shinmura, T.**, 2000. Study of an internal magnetic abrasive finishing using a pole rotation system discussion of the characteristic abrasive behaviour, *Precision Engineering*, **24**, 237-244.
- [32] **Yamaguchi, H., Shinmura, T.**, 2004. Internal finishing process for alumina ceramic components by a magnetic field assisted finishing process, *Precision Engineering*, **28**, 135-142.
- [33] **Wu, J., Zou, Y., Sugiyama, H.**, 2015. Study on ultra-precision magnetic abrasive finishing process using low frequency alternating magnetic field, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **386**, 50-59.
- [34] **Yamaguchi, H., Srivastava A. K., Tan, M., Hashimoto, F.**, 2014. Magnetic Abrasive Finishing of cutting tools for high speed machining of titanium alloys, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, **7**, 299-304.

- [35] **Wang, A. C., Lee, S.J.**, 2009. Study the characteristics of magnetic finishing with gel abrasive, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **49**, 1063-1069.
- [36] **Yan, B. H., Chang, G. W., Cheng, T.J., Hsu, R. T.**, 2003. Electrolytic magnetic abrasive finishing, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **43**, 1355-1366.
- [37] **Sihag, N., Kala, P., Pandey, P. M.**, 2015. Chemo Assisted Amgentic Abrasive Finishing: Experimental Investigations, *12th Global Conference on sustainable Manufacturing, Procedia CIRP*, **26**, 539-543.
- [38] **Mori, T., Hirota, K., Kawashima, Y.**, 2003. Clarification of magnetic abrasive finishing mechanism, *Journal of Materials Processing Technology*, **143-144**, 682-686.
- [39] **Chou, S.H., Wang, A.C., Lin, Y.C.**, 2016. Elucidating the rheological effect of gel abrasives in magnetic abrasive finishing, *18th CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining, Procedia CIRP*, **42**, 866-871.
- [40] **Nteziyaremye, V., Wang, Y., Li, W., Shih, A., Yamaguchi, H.**, 2014. Surface Finishing of Needles for High- Performance Biopsy, *6th CIRP Conference on High Performance Cutting, Procedia CIRP*, **14**, 48-53.
- [41] **Chang, G.W., Yan, B.H., Hsu, R.T.**, 2002. Study on cylindrical magnetic abrasive finishing using unbonded magnetic abrasives, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **42**, 575-583.
- [42] **Yamaguchi, H., Srivastava, A.K., Tan, M.A., Riveros, R.E., Hashimoto, F.**, 2012, Magnetic abrasive finishing of cutting tools for machining of titanium alloys, *CIRP Annals- Manufacturing Technology*, **61**, 311-314
- [43] **Yamaguchi, H., Shinmura, T.**, 1999. Study of the surface modification resulting from an internal magnetic abrasive finishing process, *Wear*, **225-229**, 246-255.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Ankara’da doğan Mahmut ÇELİK ilk, orta ve lise eğitimini Kayseri’de tamamladıktan sonra 2013 yılında Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği (İngilizce) bölümünden mezun olmuştur. Mezuniyet sonrası özel bir firmada tasarım mühendisi olarak çalışan ÇELİK, 2015 yılından itibaren Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim dalında araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. İyi derecede İngilizce bilen ÇELİK evli ve bir çocuk babasıdır.

