

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇELİKLERDE SOĞUK HADDELEME ÖNCESİ YÜZEY
TUFALININ GİDERİLMESİNDE KURU BUZ PÜSKÜRTME,
YAŞ VE KURU KUMLAMA YÖNTEMLERİNİN
İNCELENMESİ

MEHMET UÇKAN

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇELİKLERDE SOĞUK HADDELEME ÖNCESİ YÜZEY
TUFALININ GİDERİLMESİNDE KURU BUZ PÜSKÜRTME,
YAŞ VE KURU KUMLAMA YÖNTEMLERİNİN
İNCELENMESİ

MEHMET UÇKAN

Dr.Öğr.Üyesi Ersin Asım GÜVEN

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr.Öğr.Üyesi İlbeyi KILAVUZ

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr.Öğr.Üyesi Mustafa ARMAĞAN

Jüri Üyesi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 10.06.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒Bu tez çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza

Mehmet Uçkan

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

İmza

Mehmet Uçkan

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünyadaki birçok soğuk haddeleme tesisi tarafından kimyasal asit ile yapılan karbon çelik yüzeylerindeki tufal giderme işlemine alternatif bir yöntem geliştirmek hiç şüphesiz demir-çelik endüstrisi için önemli bir adım olacaktır. Karbon çelik numunelere uygulanan kuru buz püskürtme, yaş ve kuru kumlama işlemi de bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmalara katkı sunmak adına gerçekleştirildi.

Bu konuda bana çalışma fırsatı veren ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Ersin Asım Güven'e,

Çalışanı olmaktan gurur duyduğum Ereğli Demir-Çelik Fabrikaları T.A.Ş. firmasına ve yöneticilerine, 1.Soğuk Haddehane Müdürlüğü İşletme ve Mekanik Bakım personellerine, Erdemir Ar-Ge Merkezi yönetimine, proje yöneticilerine ve teknisyenlerine,

Kuru buz püskürtme işleminin deneme uygulamaları için desteklerini sunan Lang Yüzer Otomotiv Yan Sanayi Tic. A.Ş. yönetici ve çalışanlarına,

Sabır ve iyi dilekleri ile desteklerini yanımda hissettiğim eşime, oğluma ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran – 2022

Mehmet UÇKAN

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLOLAR DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Tufal Nedir?	3
2.2. Asitleme İşlemi	4
2.3. Endüstriyel Asitleme Hatları	6
2.4. Asitleme İşlemine Alternatif Yöntemler.....	10
3. KURU BUZ PÜSKÜRTME YÖNTEMİNİN İNCELENMESİ	18
3.1. Önceki Çalışmalar.....	23
3.2. Deney Öncesi Hazırlıklar.....	25
3.3. Deney Şartları	27
3.4. Deney Sonuçlarının İncelenmesi	29
3.4.1. Yüzey Analiz Yöntemi ve Sonuçları.....	30
3.4.2. Mikroyapı İnceleme Yöntemi ve Sonuçları	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	56
4.1. Bulgular	56
4.2. Tartışma	63
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR.....	69
EKLER	72
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	119
ÖZGEÇMİŞ.....	120

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Tufal tabakalarının kesit görüntüsü.....	3
Şekil 2.2.	Asitin metal yüzey üzerindeki tufal tabakalarına etkisi	5
Şekil 2.3.	Bilinen ilk asitleme hattına ait sirkülasyon mekanizması	7
Şekil 2.4.	Sürekli Asitleme-Tandem kombine hat modeli	9
Şekil 2.5.	TLV sistemi şematik gösterimi	9
Şekil 2.6.	AFSR hattı modeli kesit görseli	11
Şekil 2.7.	EPS yönteminde dağıtıcı kafa	13
Şekil 2.8.	Dağıtıcı kafaların hat boyunca yerleşimi	14
Şekil 2.9.	Aşındırıcı karbon çelik partikül.....	15
Şekil 2.10.	Asitlenmiş ve yaş kumlama işlemi uygulanmış çelik yüzeyleri	16
Şekil 3.1.	CO ₂ kar püskürtme işlemi	19
Şekil 3.2.	CO ₂ kar püskürtme yöntemi öncesi ve sonrası	20
Şekil 3.3.	Kuru buz türleri a) pelet halde b) blok halde	21
Şekil 3.4.	Kuru buz blok traşlama sistemi.....	21
Şekil 3.5.	Kuru buz pelet püskürtme sistemi.....	22
Şekil 3.6.	Kuru buz püskürtme işlemi temizlik mekanizması.....	22
Şekil 3.7.	Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	30
Şekil 3.8.	Değişken parametreler ile kuru buz püskürtme işlemi uygulanan numuneler	32
Şekil 3.9.	Değişken parametreler ile uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük değer grafiği	32
Şekil 3.10.	Kuru buz püskürtme işlemi uygulanmamış yüzeye ait pürüzlülük değer grafiği	33
Şekil 3.11.	Sabit parametreler ile uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük değer grafiği	34
Şekil 3.12.	Kuru buz püskürtme işlemi uygulanmamış yüzeye ait pürüzlülük değer grafiği	35
Şekil 3.13.	Sabit parametreler ile kuru buz püskürtme işlemi uygulanmış numuneler	35
Şekil 3.14.	Önceden ısıtılmış numunelere uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük değer grafiği	36
Şekil 3.15.	Kuru kumlama işlemi uygulanan numunelere ait yüzey pürüzlülük değer grafiği	37
Şekil 3.16.	Kuru kumlama işlemi uygulanmamış yüzeye ait pürüzlülük değer grafiği	38
Şekil 3.17.	Yaş kumlama işlemi uygulanan numunelere ait yüzey pürüzlülük değerler grafiği.....	39
Şekil 3.18.	Yaş kumlama işlemi uygulanmış numuneler	39
Şekil 3.19.	Parlatma cihazı ve optik mikroskop	40
Şekil 3.20.	TNR1 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	41
Şekil 3.21.	TNR2 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	41
Şekil 3.22.	TNR3 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	42
Şekil 3.23.	ICCR1 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü	42
Şekil 3.24.	ICCR2 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü	43
Şekil 3.25.	ICCR3 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü	43
Şekil 3.26.	RP1 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	44

Şekil 3.27.	RP2 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	44
Şekil 3.28.	RP3 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	45
Şekil 3.29.	ICCR1 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü	45
Şekil 3.30.	ICCR2 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü	46
Şekil 3.31.	DTNR4 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	46
Şekil 3.32.	RP9 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	47
Şekil 3.33.	RP10 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	47
Şekil 3.34.	ICCR3 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü	48
Şekil 3.35.	DTNR5 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	48
Şekil 3.36.	RP8 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	49
Şekil 3.37.	RP11 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	49
Şekil 3.38.	DTNR6 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	50
Şekil 3.39.	RP7 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	50
Şekil 3.40.	RP12 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	51
Şekil 3.41.	ICCR1 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü	51
Şekil 3.42.	ICCR2 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü	52
Şekil 3.43.	DTNR4 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	52
Şekil 3.44.	DTNR5 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	53
Şekil 3.45.	RP7 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	53
Şekil 3.46.	RP8 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	54
Şekil 3.47.	RP10 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	54
Şekil 3.48.	RP11 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü.....	55
Şekil 4.1.	TNR ve DTNR numuneleri için farklı durumlardaki yüzey pürüzlülük değerleri	56
Şekil 4.2.	ICCR numuneleri için farklı durumlardaki yüzey pürüzlülük değerleri	57
Şekil 4.3.	RP numuneleri için farklı durumlardaki yüzey pürüzlülük değerleri	58
Şekil 4.4.	ICCR numuneleri için farklı işlemlere ait yüzey pürüzlülük değerleri	59
Şekil 4.5.	DTNR numuneleri için farklı işlemlere ait yüzey pürüzlülük değerleri	60
Şekil 4.6.	RP numuneleri için farklı işlemlere ait yüzey pürüzlülük değerleri	61
Şekil 4.7.	RP numuneleri için farklı işlemlere ait yüzey pürüzlülük değerleri	61
Şekil 4.8.	Yaş kumlama işlemi için farklı numunelere ait yüzey pürüzlülük değerleri	62
Şekil 4.9.	Asitleme işleminden önce TNR rumuzlu malzemenin yüzey pürüzlülük raporu.....	64
Şekil 4.10.	Asitleme işleminden sonra alınan TNR rumuzlu malzemenin yüzey pürüzlülük raporu	65
Şekil 4.11.	Asitleme işleminden önce alınan TNR rumuzlu malzemenin kesit mikroyapı görüntüsü	66
Şekil 4.12.	Asitleme işleminden sonra alınan TNR rumuzlu malzemenin kesit mikroyapı görüntüsü	66

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1.	Avrupa Birliği atık tahliye limitleri.....	10
Tablo 3.1.	Temizleme yöntemlerinin mukayesesi.....	18
Tablo 3.2.	Kuru buz püskürtme işlemi uygulanan malzemeye ait kimyasal kompozisyon	24
Tablo 3.3.	DTNR rumuzlu malzemeye ait kimyasal kompozisyon	26
Tablo 3.4.	ICCR rumuzlu malzemeye ait kimyasal kompozisyon	26
Tablo 3.5.	TNR rumuzlu malzemeye ait kimyasal kompozisyon	27
Tablo 3.6.	Değişken parametreler ile uygulanan kuru buz püskürtme işlemi	27
Tablo 3.7.	Sabit parametreler ile uygulanan kuru buz püskürtme işlemi	28
Tablo 3.8.	Önceden ısıtılmış numunelere uygulanan kuru buz püskürtme işlemi	28
Tablo 3.9.	Sabit parametreler ile uygulanan kuru kumlama işlemi	29
Tablo 3.10.	Değişken zaman parametresi ile uygulanan yaş kumlama işlemi	29
Tablo 3.11.	Yaş kumlama işleminde kullanılan kuma ait kimyasal kompozisyon	29
Tablo 3.12.	Değişken parametreler ile uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası numunelere ait yüzey pürüzlülük değerleri	31
Tablo 3.13.	Sabit parametreler ile uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası numunelere ait yüzey pürüzlülük değerleri	33
Tablo 3.14.	Isıtılmış numunelere uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük değerleri.....	36
Tablo 3.15.	Kuru kumlama işlemi uygulanmış numunelere ait yüzey pürüzlülük değerleri.....	37
Tablo 3.16.	Yaş kumlama işlemi uygulanmış numunelere ait yüzey pürüzlülük değerleri	38
Tablo 4.1.	EPS işlemi ve asitleme işlemi uygulanan metal yüzey pürüzlülükleri	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

µm	: Mikrometre
ppm	: Milyonda bir (mikro)

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AFSR	: Acid Free Scale Removal (Asitsiz Tufal Giderimi)
BMD	: Baosteel Mechanical Desclaing (Baosteel Mekanik Tufal Giderimi)
DTNR	: Çift ezmeli, Kalay Kaplı Teneke Rulo
EPS	: Eco-Pickled Surface
ICCR	: Soğuk Haddelenmiş, Sürekli Tavlama Yapılmış, İnce Rulo
NFPA	: National Fire Protection Association (Ulusal Yangından Korunma Derneği)
NESHAP	: National Emission Standarts for Hazardous Air Pollutants (Tehlikeli Hava Kirleticileri için Ulusal Emisyon Standartları)
OSHA	: Occupational Safety and Health Administration (İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi)
RCRA	: Resource Conservation and Recovery Act (Kaynak Koruma ve Kurtarma Yasası)
RP	: Sıcak Haddelenmiş, Asit ile Yüzeyi Temizlenmiş, Kenarları Kesilmiş Rulo
TLV	: Tension Leveler (Gergi Düzenleyici)
TNR	: Tek Ezmeli Kalay Kaplı Teneke Rulo

ÇELİKLERDE SOĞUK HADDELEME ÖNCESİ YÜZEY TUFALININ GİDERİLMESİNDE KURU BUZ PÜSKÜRTME, YAŞ VE KURU KUMLAMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Sıcak haddelenmiş metal yüzeyinde oluşan tufal tabakası soğuk haddeleme ve haddeleme sonrası kaplama işlemleri için kabul edilemez bir kabuktur. Bu nedenle soğuk haddeleme öncesi metal malzeme yüzeylerinin tufal tabakasından arındırılması gerekmektedir. Endüstriyel tesislerde metal yüzeyden tufal tabakasının giderilmesi kimyasal ya da elektrokimyasal bir işlem olup, bu işlem asitleme hatlarında gerçekleştirilmektedir.

Metal yüzeylerin asit tanklarında belirli bir sıcaklık ve derişimdeki kimyasal asit ile yüzeylerinin temizlenmesi anlamına gelen asitleme işlemi hem işletme zorlukları ve artan maliyetler hem de çevre mevzuatları açısından zor bir süreçtir. Bu zorluklar, asitleme işlemine alternatif yöntem geliştirme ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Yapılan incelemeler, gaz indirgeme ve yaş kumlama yöntemlerinin bu ihtiyaç doğrultusunda geliştirildiğini göstermektedir. Her ne kadar bu yöntemlerin asitleme işleminin yerini tamamen alamamış oldukları bilinse de uygulama sonuçlarına dair makaleler ve test raporları incelendiğinde, tufal giderme işleminde, başarılı oldukları görülmektedir.

Bu çalışmada öncelikle, asitleme işlemi ve bu işleme alternatif olarak geliştirilen gaz indirgeme ve yaş kumlama yöntemleri hakkında literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra, asitleme işlemine alternatif bir yöntem olacağı düşünülen kuru buz püskürtme yöntemi araştırılmıştır. Son olarak, farklı kalınlık ve malzeme kalitesine sahip numuneler üzerine kuru buz püskürtme işlemi, yaş ve kuru kumlama işlemi farklı parametreler altında uygulanmıştır. Uygulama işlemlerinin sonuçları, numunelerden alınan yüzey topografyaları ve kesit mikroyapı görüntüleri ışığında incelenerek raporlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Asitleme İşlemi, Gaz İndirgeme İşlemi, Kuru Buz Püskürtme İşlemi, Tufal, Yaş Kumlama İşlemi.

INVESTIGATION OF DRY ICE BLASTING, WET AND DRY SANDBLASTING METHODS FOR REMOVING OF SURFACE SCALE BEFORE COLD ROLLING OF STEELS

ABSTRACT

The oxide scale formed on the surface of the hot rolled metal is an unacceptable layer for cold rolling and coating processes. For this reason, oxide scale layer on the metal surfaces must be removed before cold rolling process. Removing of the scale layer from the metal surface in industrial facilities is a chemical or electrochemical process and this process is carried out on pickling lines.

The pickling process, which means cleaning the surfaces of metal in acid tanks with chemical acid at a certain temperature and concentration, is a difficult process in terms of both operating and environmental regulations. Developing an alternative method to the pickling process is needed due to these difficulties. The investigations indicate that gas reduction and wet blasting methods have been developed because of this need. Although it is known that these methods have not completely replaced the pickling process, they are successful in the descaling process according to the some articles and test reports.

In this study, first of all, a literature review was conducted on the pickling process and methods developed as an alternative to this process, i.e. the gas reduction and wet blasting. Then, dry ice blasting method, which is thought to be an alternative method to pickling, was investigated. Finally, dry ice blasting, wet and dry sandblasting methods were applied on samples which have different thickness and material quality under different parameters. The results of the applications were examined and reported according to the cross-sectional microstructure images and surface roughness topographies which are taken from the samples.

Keywords: Pickling Process, Gas Reduction Process, Dry Ice Blasting Process, Oxide Scale, Wet Sandblasting Process.

1. GİRİŞ

Metal yüzey temizleme işlemi seçilirken aşağıdaki parametreler başta olmak üzere birçok parametreye dikkat edilmelidir;

- Yüzeyden kaldırılacak ürünün yapısı
- Temizlenecek yüzeyin özellikleri
- Parçanın nihai kullanımı esas alınarak yüzey durumu
- Gerekli temizlik derecesi
- Mevcut tesislerin sahip olduğu yeterlilikler
- Temizleme işleminin çevreye olan etkisi
- Maliyet
- Temizlenecek toplam yüzey alanı
- Metalin geçirdiği önceki işlemlerin etkisi
- Pas önleme gereksinimleri
- Malzeme taşıma faktörleri
- Metalin daha sonra göreceği işlemler (boyama, kaplama, vb.)

Birçok endüstriyel uygulamada mevcut bütçenin elverdiği şekilde esneklik söz konusudur. Fakat yüzey temizliğinin seçiminde büyük ölçüde temizlik derecesi ve metalin daha sonraki aşamalarda karşılaşacağı işlemler etkili olmaktadır.

Haddeleme, dövme, döküm, vb. fabrikasyon yöntemleri ile üretilen metal malzemelerde yüzeydeki pas ve tufalı gidermek için aşağıda belirtilen yöntemler kullanılabilmektedir;

- Kumlama (yaş veya kuru)
- Gürleme (yaş veya kuru)
- Fırçalama
- Asitleme
- Tuz banyosu
- Alkali temizleme
- Asit ile temizleme

Haddeleme gibi fabrikasyon metal üretimlerinde metal yüzeyinden tufal tabakasının tamamen kaldırılması amacıyla asitleme işlemi uygulanır. Asitleme uygulamasına esas

medya; sülfamik, fosforik, sülfirik veya hidroklorik asitin sıcak haldeki solüsyonları şeklindedir.

İlave ekipman maliyeti nedeniyle geleneksel asitleme yönteminden daha pahalı olmasına rağmen yaklaşık iki kat daha hızlı bir tufal çözme yöntemi olduğu bilinen elektrolitik asitleme yöntemi zamanın kısıtlı olduğu işletmelerde daha ekonomik bir yöntem olarak uygulanmaktadır.

Ekipman ve kurulum maliyetlerinin az olması, işletme ve operasyon kontrolünün basit olması ve neredeyse her boyut ve şekildeki malzemelere uygulanabilmesi asitleme işleminin avantajlarından bazılarıdır (Chalk, 1994).

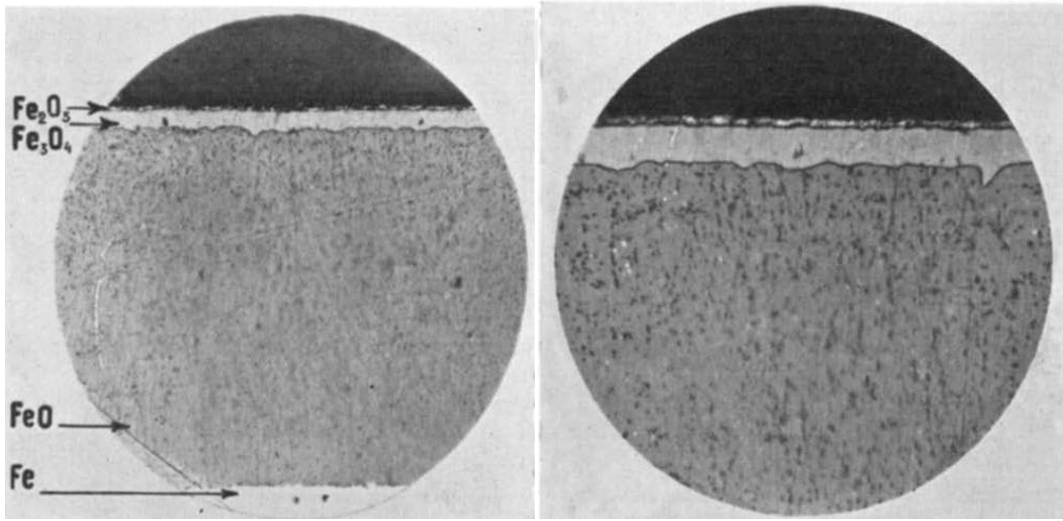
Bu tez çalışmasında tufal tabakasının mahiyeti ve asitleme işleminin özellikleri belirtilerek, asitleme işlemine alternatif olarak geliştirilen yöntemler araştırılacaktır. Son kısımda ise literatürde yeri olan kumlama işlemi ile literatürde soğuk haddeleme öncesi tufal giderme yöntemi olarak daha önce uygulanmamış kuru buz püskürtme¹ işlemi, asitleme işlemine alternatif bir yöntem olacağı düşünüldüğünden, farklı kalite malzemeler üzerinde uygulanarak değerlendirilecektir.

¹ Bazı literatür çalışmalarında ‘‘CO₂ buz püskürtme’’ işlemi olarak tanımlanmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Tufal Nedir?

Metallerin yüksek sıcaklıklarda şekillendirme işlemleri esnasında çelik malzeme yüzeyinde oksit tabakası oluşumu doğal bir süreç olup, oluşan tabakanın kalınlığı nano boyuttan yüksek ise tufal olarak adlandırılmaktadır (Yu ve Zhou, 2017). Tufal oluşumunda malzemenin kimyasal bileşimi çok az etkili olup daha çok malzemenin sıcaklığı ve soğuma hızı etkilidir (Maanonen, 2014). Sıcaklığın 570°C altında olduğu durumda Vüstit (FeO) oluşmazken yüzeyde metale yakınlık sırasına göre sadece Manyetit (Fe_3O_4) ve Hematit (Fe_2O_3) görülmektedir. Fakat sıcaklığın 570°C üzerine çıktığı durumlarda, yüzeyde metale yakınlık sırasına göre Vüstit (FeO), Manyetit (Fe_3O_4) ve Hematit (Fe_2O_3) oluştuğu bilinmektedir (Sun, 2005). Tufal kalınlıklarını saptamak için yapılan bir çalışmada, $700\text{-}1250^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve hava ile temas halindeki saf metal üzerinde oluşan Vüstit/Manyetit/Hematit tufal türlerinin kalınlık oranı, Şekil 2.1’de görüldüğü üzere 95/4/1 olarak saptanmıştır (Paidassi, 1958).



Şekil 2.1. Tufal tabakalarının kesit görüntüsü (Paidassi, 1958)

Henüz slab halinde iken yeniden tavlama fırınında ısıtılan metal yüzeyinde oluşan tufal tabakası birincil tufal tabakası olarak adlandırılmaktadır. Birincil tufal tabakası, tavlama fırını çıkışında tufal kırıcı ünitesi tarafından giderilmektedir. Daha sonra, sıcak haldeki metalin, hadde stantlarında her geçişten önce ve son haddeleme stantına girmeden önce beklediği esnada yüzeyinde oluşan tufal tabakası ise ikincil tufal tabakası olarak

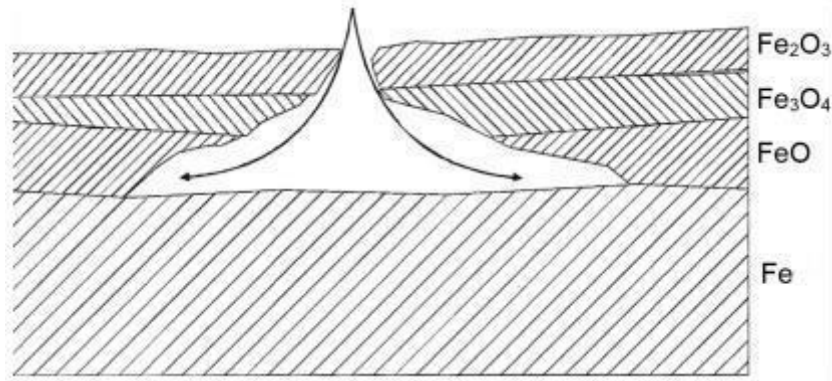
adlandırılmaktadır. Levha, ikincil tufal tabakasından arındırıldıktan sonra oluşan tufal tabakasına da üçüncül tufal tabakası denilmektedir. Sıcak haddeleme sürecinin tüm aşamalarında metal yüzey üzerinde tufal tabakası görülmektedir. Şerit haldeki metalin hadde merdaneleri tarafından ağızlanması esnasında tufal tabakası kalın ve sünek ise yağlayıcı görevi görmekte iken sert ve kırılğan tufal tabakası, aşındırıcı özelliği nedeniyle hadde merdanelerini aşındırmaktadır (Sun ve diğ, 2004).

Sıcak haddeleme esnasında metal yüzey üzerindeki tufal tabakası, iş merdaneleri ile temas halinde bulunan metalin sürtünme ve ısı transferi kontrolü açısından önemlidir. Oksit tufalı aynı zamanda, yassı şerit için sıcak haddelenmiş ürün yüzeyinin belirlenmesinde de büyük rol oynamaktadır. Bu nedenle sıcak haddelenen malzeme yüzeyinden kaldırılan düzensiz tufal kusurları, homojen olmayan kirli bir görüntü oluşturmaktadır. Bu kusurların giderilmesi için slab sıcaklığının kontrol edilmesi ve su jeti tufal kırıcı işleminin güçlendirilmesi gibi yaklaşımlar önerilmektedir (Krzyzanowsk ve Beynon, 2006).

Titreşimli ve titreşimsiz su jeti ile yapılan tufal kırma işleminin incelendiği çalışmada, metal yüzeyindeki tufal tabakasının giderilmesi işleminin, malzeme kalitesi ve hadde merdane ömürleri açısından çok önemli olduğu ve bu işlemin yüksek basınçlı su jeti veya çevreye zararlı bazı kimyasal işlemler ile yapılabildiği belirtilmektedir (Hnizdıl ve Raudensky, 2010).

2.2. Asitleme İşlemi

Sıcak haddelenmiş malzeme yüzeyinde bulunan tufal tabakasının, soğuk haddeleme ve kaplama işlemlerine engel olduğu için, giderilmesi gerekmektedir. Endüstriyel uygulamalarda soğuk haddeleme öncesi metal yüzeydeki tufalın giderilmesi amacıyla metal yüzey, hidroklorik (HCl) veya sülfirik (H_2SO_4) asit ile temizlenmekte ve bu işlem, asitleme işlemi olarak adlandırılmaktadır (Esendağ ve diğ, 2017). Asitleme işlemi kimyasal veya elektrokimyasal tepkime ile metal yüzeylerden tufalın giderilmesidir (Garveric, 1994). Asitleme işleminde temel olarak asit solüsyonu, Şekil 2.2'deki gibi şerit metal yüzeyindeki çatlaklardan manyetit ve hematit tabakalarına nüfuz ederek vüstit tabakası ile tepkimeye girer ve bu tepkime sonucunda şerit metal yüzeyi, tufal tabakasından arındırılır (Maanonen, 2014).



Şekil 2.2. Asitin metal yüzey üzerindeki tufal tabakalarına etkisi (Maanonen, 2014)

Karbon çeliklerin asitleme işleminde genellikle hidroklorik (HCl) ve sülfirik (H_2SO_4) asit kullanılırken, paslanmaz çeliklerde nitrik (HNO_3) ve hidroflorik (HF) asit kullanılmaktadır (Fox ve diğ., 1993). Avrupa’da karbon çeliklerin asitleme işlemi için en çok kullanılan asit türü hidroklorik (HCl) asittir (Maanonen, 2014). Hidroklorik asit, önemli bir mineral asit olup; metal yüzeylerin asitle temizlenmesi, petrol kuyularının işlenmesi, cevherin indirgenmesi, klor üretimi ve gıda işleme gibi birçok farklı sektörde kullanılmaktadır (Garveric, 1994). Hidroklorik asit ayrıca hafif pası temizlemek veya kaplamadan önce metal yüzeyi etkinleştirmek için de kullanılmaktadır. Fakat; asit konsantrasyonu, sıcaklık ve emisyon potansiyeli asitleme işlemine göre daha az olduğundan dolayı yapılan bu işlem, bir asitleme işlemi olarak kabul edilmemektedir (Fox ve diğ., 1993).

Asitleme işlemi için hidroklorik asit türünün tercih edilmesinin nedeni; tedarik maliyetlerinin düşük olması, hızlı ve temiz bir asitleme işlemi sağlaması, düşük sıcaklıklarda bile asitleme işlemine elverişli olması nedeniyle daha az buhar tüketmesi ve daha homojen bir yüzey kalitesi sağlamasıdır. Hidroklorik asitin sülfirik asite göre tek dezavantajı ise daha fazla uçucu olup asit buharına dönüşmesidir (Fox ve diğ., 1993). Asit buharı düşük derişimde bile göz, burun mukozası ve solunum yollarını tahriş edebilecek yapıya sahiptir. Avrupa ülkeleri hidroklorik asit için $2 - 8 \text{ mg/m}^3$ arasında mesleki maruziyet süreleri belirlemiştir. Hidroklorik asit buharına kısa süreli maruziyet limitleri ise $7 - 16 \text{ mg/m}^3$ seviyelerindedir (Howe ve diğ., 2011).

Hidroklorik asitin üç farklı türdeki tufal tabakaları ile tepkime mekanizmaları Denklem (2.1), Denklem (2.2) ve Denklem (2.3)’teki gibidir.



Denge denklemlerinde görüldüğü gibi tepkime sonucu demir tuzu ve su oluşmaktadır. Hidroklorik asit ayrıca tufal tabakası altındaki baz metal ile de tepkimeye girebilmektedir. Bu durumda tepkime mekanizması Denklem (2.4)'deki gibi olmaktadır.



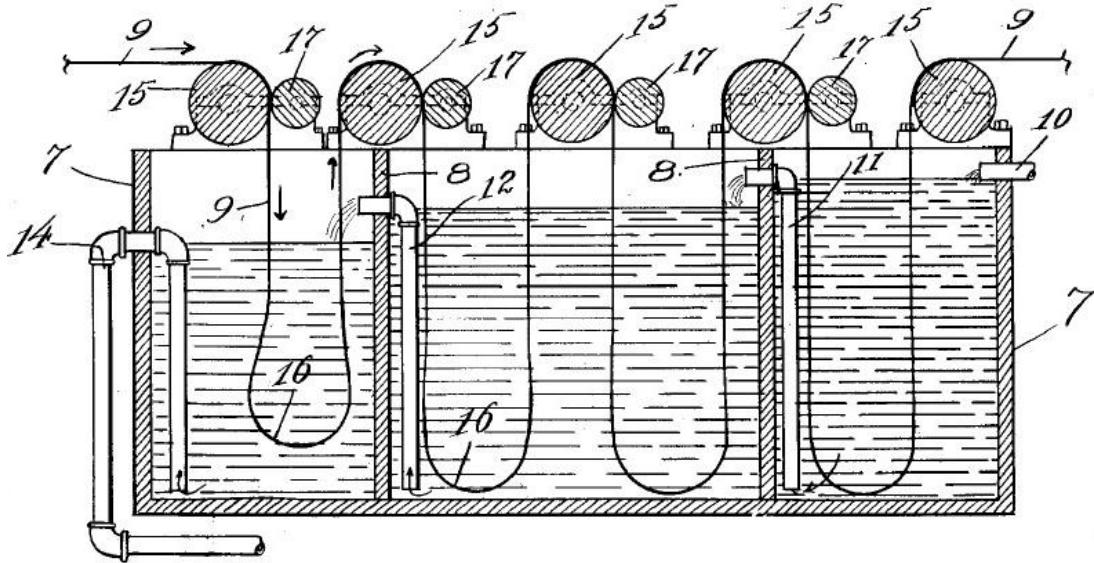
Hidroklorik asitin tufal tabakası ile tepkimeye girmesi hedeflenen bir durum iken, baz metal ile tepkimeye girmesi istenmeyen bir durumdur. Bu durumu engellemek için asit içerisine inhibitör ilave edilmektedir (Fox ve diğ, 1993).

2.3. Endüstriyel Asitleme Hatları

Asitleme hatları ile ilgili bilinen ilk çalışma John B. Tytus tarafından 1923 yılında yapılmış ve bu çalışma 1925 yılında ABD patent ofisi tarafından koruma altına alınmıştır. John B. Tytus, buluşunun sürekli olan, kullanımı kolay, metal şeritlerin asitlenmesi ile ilgili olduğunu belirtmektedir. Buluşunda operasyonun sürekliliği, asitleme işlemi devam eden şerit metalin kuyruk kısmına asitleme işlemine girecek şerit metalin baş kısmı kaynak veya dikiş ile eklenerek sağlamaktadır. Böylece şerit metalin tüm yüzeyleri asit solüsyonuna maruz bırakılmaktadır. Buluşçu, asit tankını Şekil 2.3'de gösterildiği gibi bölmelere ayırarak şerit metalin geldiği yöne zıt olacak şekilde asit solüsyonunu bölmeler arasında yönlendirmekte ve böylece bölmeler arasında sirkülasyon oluşturmaktadır. Ayrıca her tankın üzerine şerit malzemeyi sürecekt tahrirli merdane ve tahrirli merdane üzerine baskı merdanesi yerleştirerek şerit metalin tank içine daldırılmasını sağlamaktadır. Son olarak asitleme işleminden sonra yıkama ve kurutma işlemlerinin de asitleme işlemi kadar önemli olduğu ve şeriti tabakalar halinde kesmeden önce yapılması gerektiği vurgulanmaktadır (Tytus, 1925).

Günümüzde asitleme hatları daha verimli olması açısından türbülanslı nozul sistemi ile donatılmış ve müşteri gereksinimleri kapsamında tedarikçi tarafından; lazer kaynak makinesi, kenar kesme ve hurda doğrama ünitesi, tufal kırıcı ünitesi, giriş ve çıkış şerit

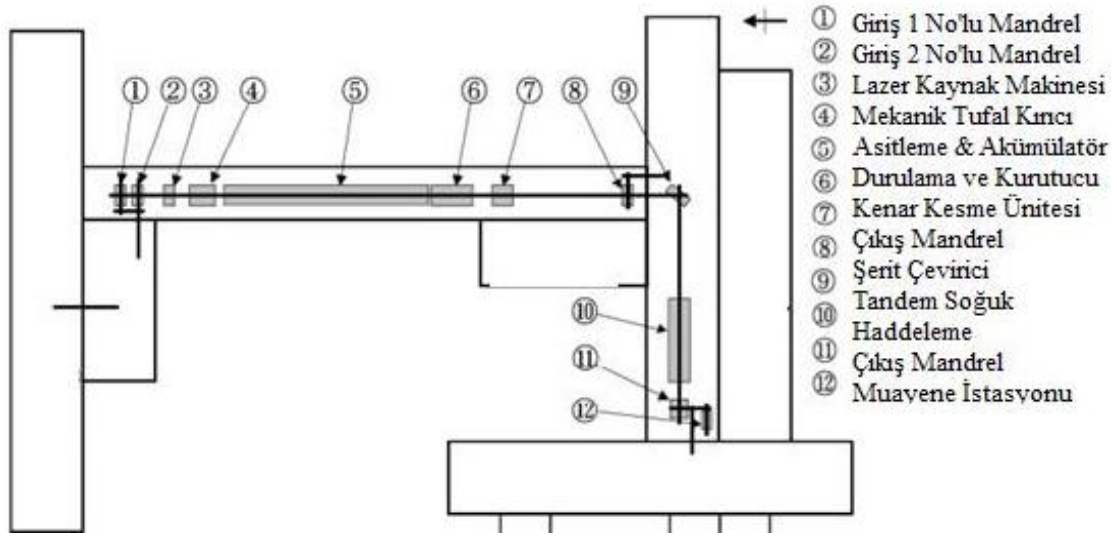
- İtçek (Push-Pull) Asitleme Hattı
- Yarı Sürekli (Semi-Continuous) Asitleme Hattı
- Sürekli (Continuous) Asitleme Hattı
- Asitleme – Tandem Kombine Hatları (SMS Group Product Portfolio, 2017)



Asit konsantrasyonu ve asit sıcaklığı arttıkça asitleme hızı da artmaktadır. Bu nedenle asitleme hatlarında su buharı etkili eşanjörler yardımı ile asit sıcaklığı belirli bir derecede tutulmaktadır. Asitleme işlemi devam ettiği sürece asit solüsyonu içerisindeki

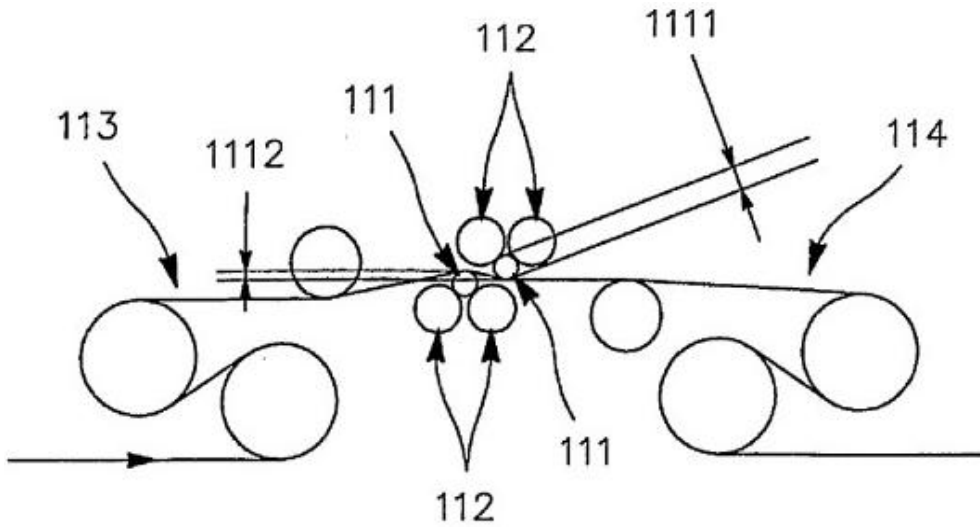
serbest hidroklorik asit azalıp demir klorür oranı çoğalmaktadır. Bu durum asitleme işlemi için olumsuz bir durum teşkil etmekte ve malzeme kalitesini düşürmektedir. Bu nedenle belirli periyotlarda asit banyolarındaki kullanılmış asit depo tanklarına alınarak asit banyolarına taze asit şarj edilmektedir (Fox ve diğ, 1993).

Vietnam’da 2013 yılında kurulumuna başlanan son teknoloji ürünler ile donatılmış Asitleme-Tandem kombine hattı özelliklerinin anlatıldığı konferans bildirisinde hattın yerleşim planı Şekil 2.4’deki gibi sunularak hattın üzerindeki ekipmanlar tanıtılmaktadır. Bobin halindeki şerit metalin kaynak makinesinde birleştirilmesi operasyonu esnasında geçen süreyi en aza indirmek adına hattın girişinde 1 ve 2 numara ile gösterilen iki adet bobin açıcı ünitesi bulunmaktadır. Hattın sürekli bir hat olması nedeniyle bobin baş ve uç kısımlarının birleştirilmesi için 3 numara ile gösterilen lazer kaynak makinesi, hem hızlı kaynak yapma özelliği hem de daha iyi kaynak kalitesi nedeniyle, kullanılmaktadır. Hattın sürekliliği gereği 5 numara ile gösterilen bölümün bir parçası olarak giriş, merkez ve çıkış şerit akümülatörleri bulunmaktadır. Şerit akümülatörleri hat çalıştığı esnada şeriti depolayarak, hattın giriş kısmında bobin verilmesinde, kaynak operasyonunda, çıkış hurda ayıklama esnasında ve hadde merdaneleri değişimi sırasında geçen süreleri telafi etmektedir. Şeritin asit tanklarına girmeden önce uğradığı bir diğer ünite 4 numara ile gösterilen mekanik tip tufal kırıcı ünitesidir. Daha sonra şerit, 5 numara ile belirtilen birbiri ardına sıralanmış üç adet asitleme tankına daldırılarak tufal tabakasından arındırılmaktadır. Asitleme işleminden sonra şerit sırasıyla 6 numaralı durulama ve kurutma ünitesine geçmektedir. Son olarak şerit, belirli bir genişliğe getirilmek adına 8 numara ile gösterilen kenar kesme ünitesinde kenar kesme işlemine tabi tutulmaktadır. Kenar kesme işleminden önce şeritin tam merkezde hareket etmesini sağlayan merkezleme ünitesi, sonrasında ise kesilen kenar hurdalarının kırılması için hurda doğrama ünitesi bulunmaktadır. Asitleme işlemi biten şerit istenildiği takdirde 8 numaralı bobin sarıcıdan alınabilmekte veya devam eden haddeleme işlemi için 9 numaralı şerit yönlendirici vasıtasıyla 10 numaralı tandem soğuk haddeleme ünitesinde kalınlık inceltme işlemine tabi tutulmaktadır. Haddeleme işleminden sonra ise şerit 11 numaralı karusel tip çıkış bobin sarıcıdan alınmaktadır. Ayrıca ihtiyaç duyulan bobinler 12 numaralı muayene istasyonunda kalite kontrol işleminden geçmektedir (Kumai ve Kikkawa, 2014).



Şekil 2.4. Sürekli Asitleme-Tandem kombine hat modeli (Kumai ve Kikkawa, 2014)

Genellikle sürekli asitleme hatlarında kullanılan tufal parçalama işlemi, asitleme işlemi ile tufal giderme sürecini hızlandırmayı amaçlamaktadır. Şekil 2.5'te şematik olarak gösterilen TLV sisteminde şerit metal, 112 numaralı destek merdanelerinin yatakladığı 111 numaralı iş merdaneleri ile aşağı ve yukarı yönde bükülerek yüzeyindeki oksit tabakasının kırılması amaçlanmaktadır. Bu yöntemde 133 numaralı giriş gerdirmе merdaneleri ve 114 numaralı çıkış gerdirmе merdaneleri arasında gergi farkı oluşturularak yaklaşık %2 uzama sağlanmaktadır. Ayrıca bu sistem, asitleme işlemine tabi tutulacak şerit malzemenin kırışıklığını gidererek daha düz bir yapı almasını sağlamaktadır (Barbieri ve diğ., 2008).



Şekil 2.5. TLV sistemi şematik gösterimi (Barbieri ve diğ., 2008)

Çelik şerit yüzeyinden tufal tabakasını asit yardımı ile kaldırmak zor bir süreçtir. Şerit metal yüzeyi hem daha kaliteli bir yüzey için tufal tabakasından tamamen arındırılmalı hem de aşınmaması için asit banyosunda fazla bırakılmamalıdır. Bu iki ana problem asitleme işlemini zor ve pahalı kılmaktadır. Zira fazla asitleme işlemine maruz kalmış şeritin kalitesi düşerken yüzeyi tufal tabakasından tamamen arındırılmamış şeritin ise yeniden asitlenmesi gerekmektedir (Colla ve diğ., 2011).

Çelik endüstrileri için en büyük sorunlardan biri de asitleme hatları atıklarından kaynaklanmaktadır. Asit değişimi sonrası atık haldeki asit solüsyonu çevre için zararlı ve tehlikeli olduğundan dolayı ihmal edilemez. Bu nedenle her ülkenin çevreyi kirlilikten koruma için belirli atık tahliye standartları bulunmaktadır. Avrupa standartlarına göre çelik endüstrisi için atık tahliye limitleri Tablo 2.1’de belirtildiği gibidir (Devi ve diğ., 2014). Asitleme işleminde yoğun olarak kullanılan hidroklorik asit, NESHAP kriterlerine tabi olan 189 zehirli hava kirleticisinden biridir (Fox ve diğ., 1993).

Tablo 2.1. Avrupa Birliği atık tahliye limitleri (Devi ve diğ., 2014)

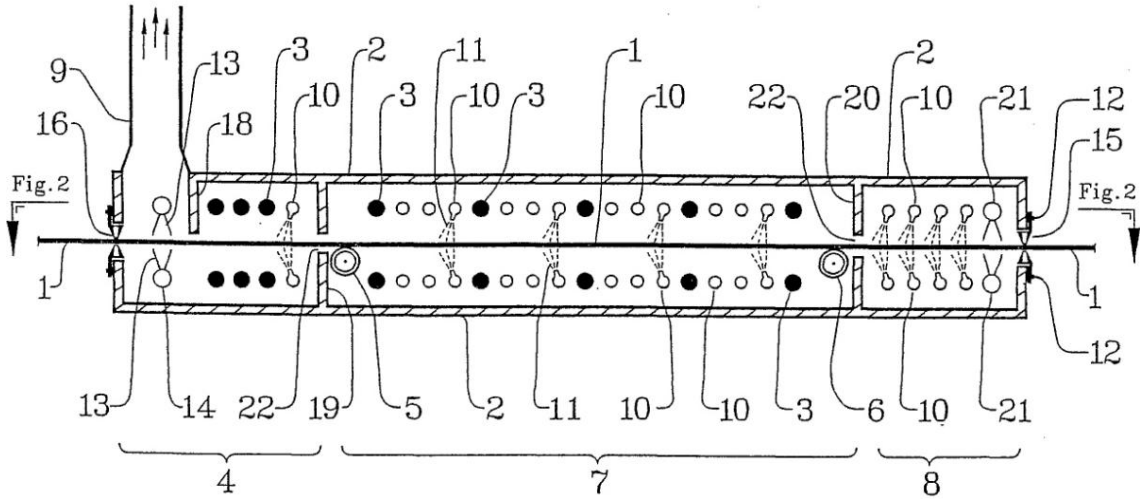
Parametre	Katı Süsp.	Yağ	Fe	Cr _{top}	Ni	Zn
mg/l	<20	<5	<10	<0,5	<0,5	<0,5

2.4. Asitleme İşlemine Alternatif Yöntemler

Geleneksel asitleme işlemi sonucunda açığa çıkan atıklar çevre açısından son derece ciddi olduklarından çelik üreticileri tarafından uzun süredir asitsiz tufal giderme yöntemleri araştırılmaktadır. Bu kapsamında son yıllarda ortaya iki çalışma çıkmıştır. Bunlardan biri gaz indirgeme diğeri ise kumlama yöntemidir. Gaz indirgeme yöntemi ile demir oksitin indirgenmesi üzerine çok sayıda literatür çalışması olmasına karşın sıcak haddelenmiş şerit metal üzerindeki tufal tabakasının giderilmesine yönelik çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu kapsamda 1985 yılında yapılan ilk çalışmada Robert M. Hudson, sıcak haddelenmiş çelik numunelerini paslanmaz çelik kutuda H₂ ya da H₂-N₂ gaz karışımı altında kutu tavlama benzetimi yaparak denemiştir. Deney sonucunda, bobin sıcaklığının 24 saat boyunca 635°C sıcaklığın üzerinde olması gerektiği belirtilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda sıcak haddelenmiş çelik sac üzerindeki tufalin giderilmesinde gaz indirgeme yönteminin kullanılmasının geleneksel asit ile temizleme işleminin yerini alabileceği ileri sürülmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar

ile ilgili birkaç patent yayımlanmıştır. Ayrıca Danieli Wean United firması tarafından bu yöntemi esas alan AFSR hattı geliştirilmiştir. Her ne kadar AFSR hattı gelecek adına umut verici olsa da tufal azaltma oranı ve verimlilik açısından oldukça sınırlıdır. Literatür çalışmalarında genellikle demir oksit tozu ve demir oksit cevheri üzerinde, gaz indirgeme yönteminin veriminden ziyade, reaksiyon sıcaklığı ve su ya da hidrojen konsantrasyonu gibi mühendislik parametreleri üzerine çalışılmıştır. Söz konusu çelik şerit yüzeyindeki tufalın indirgenme mekanizması ve hızı olduğunda, hammadde de önemli bir parametredir (Guan ve diğ., 2014).

AFSR hattında hidrojen, karbonmonoksit veya kullanımı mümkün başka ticari bir gaz, indirgeyici olarak kullanılmaktadır. Hidrojen gazının kullanıldığı durumda demir oksit tabakaları ile reaksiyon sonucu su oluşurken karbonmonoksit gazının indirgeyici olduğu durumda karbondioksit gazı açığa çıkmaktadır. Hidrojen gazının yanıcı ve patlayıcı olması ile karbonmonoksit gazının zehirli olması, gazların bir kapta hapsedilerek tufal ile reaksiyona girmesini gerekli kılmaktadır. Ayrıca şeritin hareket halinde olması bu işlemi zorlaştırmaktadır. Belirtilen kısıtlar nedeniyle indirgeyici gazların kullanıldığı tufal giderme işleminde, kabul edilebilir bir sürekli tufal giderme yöntemi teknik olarak bulunmamaktadır. Firma tarafından geliştirilen hat özette; ısıtma, indirgeme ve soğutma olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Her üç adım da özel bir muhafaza içinde ve özel şartlar altında gerçekleştirilmektedir.



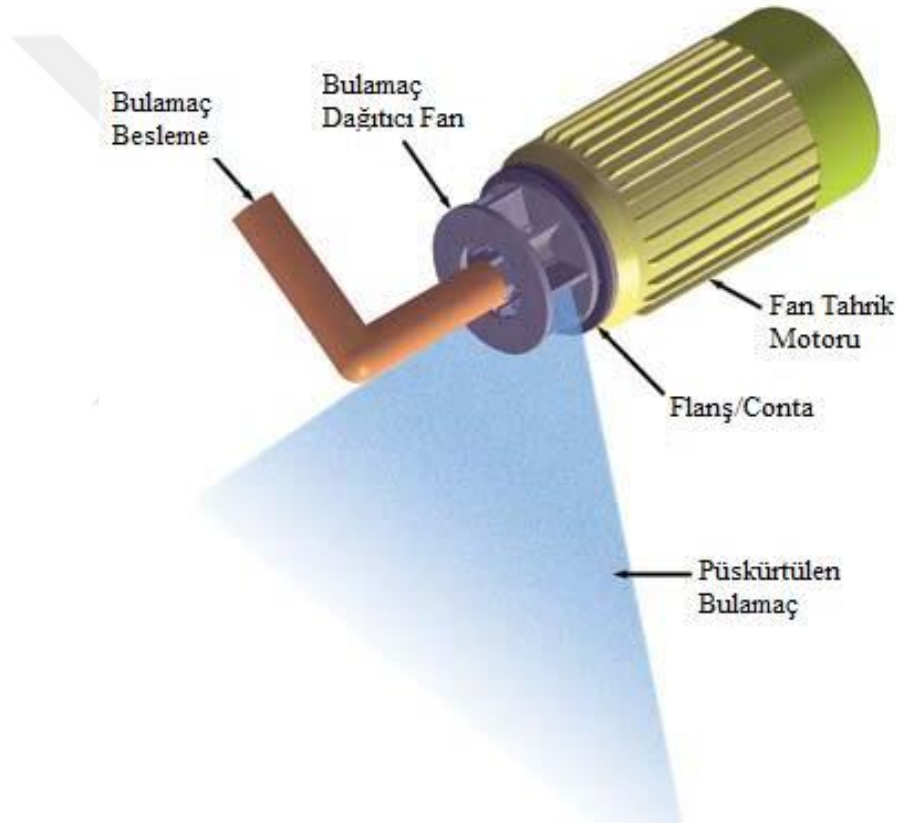
Şekil 2.6. AFSR hattı modeli kesit görseli (Feldbauer ve Braho, 2001)

Şekil 2.6'da 1 numara ile gösterilen şerit soldan sağa doğru hareket ederken ilk önce 4 numaralı ısıtma bölümünde 3 numara ile gösterilen radyan tüpler vasıtasıyla ısıtılmaktadır. İndirgeyici gazın bir kısmı indirgeme bölümünde kullanılırken bir kısmı da 13 numaralı brülörler yardımıyla alev perdesi oluşturmak için kullanılmaktadır. Isıtma bölümünden ayrılan şerit metal, çelik ise yüzey sıcaklığının 400°C, bakır veya başka bir metal ise yüzey sıcaklığının 150°C olması gerektiği belirtilmektedir. Şerit daha sonra 5 ve 6 numaralı merdanelerin yardımı ile 7 numara ile gösterilen indirgeme bölgesine iletilmektedir. İndirgeme bölgesinde 10 numaralı, dikey eksen ile 5-30 derece açılı nozullar tarafından 11 numaralı indirgeyici gaz metal şerit yüzeyine çarptırılarak türbülans etkisi oluşturulmaktadır. Bu sayede oksijenin büyük bir kısmı indirgenmektedir. Daha sonra 1 numaralı şerit 8 numaralı soğutma bölgesine iletilerek 10 numaralı nozullardan atıl gaz atmosferine maruz bırakılarak soğutulmaktadır. Burada atıl gazın belirli oranlarda indirgeyici gaz ile karıştırılabileceği belirtilmektedir. Soğutma bölümünde ise şerit metal yüzeyinin koruyucu atmosfer yardımı ile havadaki oksijen ile temas etmesi önlenmektedir. Soğutma işleminden sonra yüzeyin, tufalden arınmış bir şekilde, haddeme ve kaplama gibi başka işlemlere hazır hale geldiği belirtilmekle birlikte fırçalama işlemi uygulanmasının daha iyi bir yüzey sunacağı vurgulanmaktadır (Feldbauer ve Braho, 2001).

Asitleme işlemine alternatif yöntem geliştirmeyi amaçlayan bir başka çalışmada Danieli Wean United firmasının geliştirdiği gaz indirgeme uygulamasından bahsedilerek; yöntemin geniş bir hidrojen atmosferine ve tam tufal giderimi için mekanik fırçalama işlemine gereksinim duyması, ayrıca metal yüzeyinde kalıntı tufal bırakması nedeniyle endüstriye uyarlanması zor olduğu belirtilmiştir (Duan ve diğ, 2018).

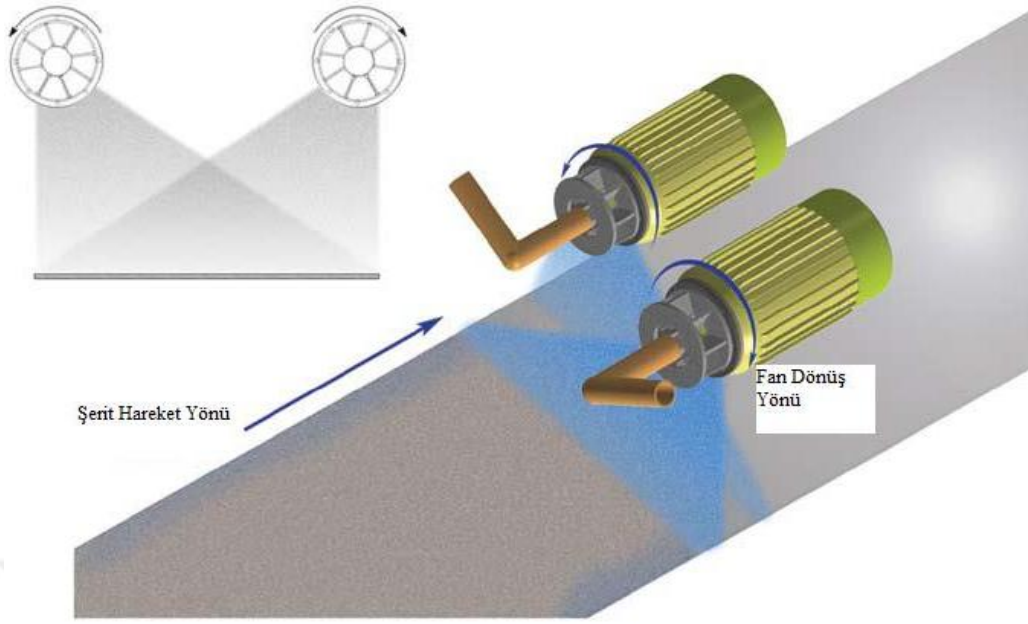
Çelik şerit üzerindeki oksit tufalini gidermek için geliştirilen yeni ve çevreci bir diğer yöntem ise EPS olarak bilinen yaş kumlama işlemidir. Asitleme işlemine göre bazı avantajları olan yaş kumlama yönteminde birkaç parametre değişikliği ile istenilen yüzey pürüzlülüğü elde edilerek tufal giderme sonrası uygulanacak kaplama ve boyama işlemleri için uygun bir yüzey elde edilebilmektedir. Ayrıca bu yöntem ile şerit yüzeyindeki kusurlar giderilebildiği gibi, asitlenmiş çeliğe göre daha homojen yüzey elde edilmesi sayesinde, soğuk haddeme işlemi için avantajlı olduğu belirtilmektedir.

Yaş kumlama yönteminde ince taneli aşındırıcı metal genellikle su ile karıştırılmakta ve bulamaç haline gelen bu karışım yüksek hızda dönen pervaneler yardımı ile yüzeye uygulanmaktadır. Bu yöntemdeki zorluklardan bir tanesi homojen dağılım göstermeyen tufal tabakasının, sürekli hareket eden şerit boyunca giderilmesi esnasında tüm yüzeye homojen kumlamayı sağlayabilmektir. Bu durum The Material Works Ltd. firması tarafından geliştirilen Şekil 2.7’deki dağıtıcı kafa tasarımı ile aşılmaktadır. Her bir kumlama hücresinde, ikisi alt yüzey ikisi de üst yüzey için olmak üzere toplam dört adet dağıtıcı kafa bulunmaktadır. Dağıtıcı kafalar şerit genişliği boyunca en verimli kumlamayı sağlamak üzere Şekil 2.8’de görüldüğü haliyle tasarlanmıştır.



Şekil 2.7. EPS yönteminde dağıtıcı kafa (Voges ve Mueth, 2008)

EPS işleminde aşındırıcı türü, boyutu, şekli, sertliği, karışımın akış hızı, dağıtıcı kafa açısı, şerit hızı gibi farklı parametreler ile denemeler yapılmış ve numuneler X-ışını altında incelenerek tufal seviyeleri karşılaştırılarak en uygun yöntem bulunmuştur. Ayrıca kumlamadan sonra şerit yüzeyin durumunu değerlendirmek adına asitlenmiş ve kumlanmış numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) ve elektron mikroskobu ile taranan yüzey topografyaları alınarak nitel kıyaslama yapılmıştır.



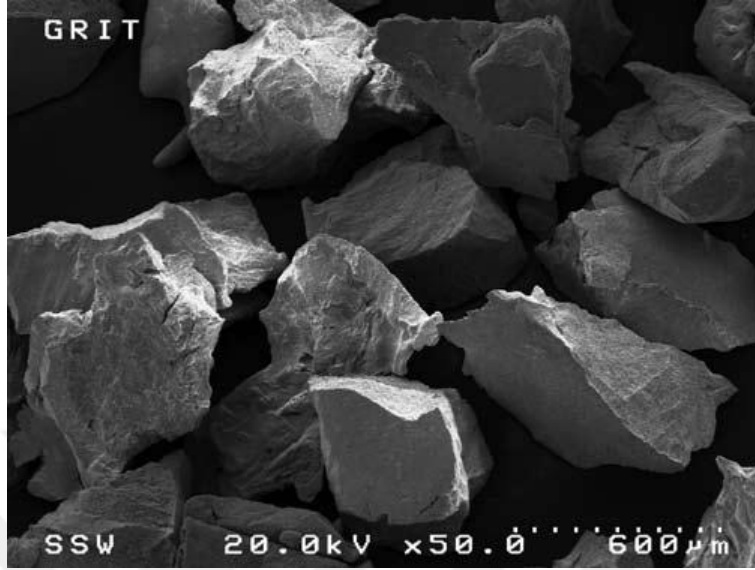
Şekil 2.8. Dağıtıcı kafaların hat boyunca yerleşimi (Voges ve Mueth, 2008)

Kumlama işleminden sonra şerit metal yüzeyi su ile temizlenerek üzerindeki kalıntılardan ve aşındırıcılardan arındırılmaktadır. Tufal kalıntıları ve kum tanecikleri kumlama hücresi altında toplanıp özel filtrelerden geçirilerek, bir birinden ayrıştırılmaktadır. Bu sayede kum taneciklerinin su ile karıştırılıp bulamaç haline getirildikten sonra yeniden kullanılması sağlanmaktadır. Hem suyun hem de uzun ömürlü aşındırıcı kumun yeniden kullanılması sayesinde hattın işletme maliyetleri düşmektedir.

Bu yöntem ile tufal giderme işleminin en önemli parametrelerinden birisi en uygun aşındırıcı malzemenin seçilmesidir. Aşındırıcı malzeme, uzun süre tekrar kullanıldığı için hem maruz kalacağı darbeye dayanıklı olmalı hem de tekrar kullanımla birlikte işlendiği için sertliği de artacağından uygulanacak yüzey sertliğine göre uygun bir başlangıç sertliğinde olmalıdır. Fakat tufal tabakaları içinde en sert tabaka hematit (65 HRC) olmasına rağmen, bu tabaka çok ince olduğundan kullanılacak aşındırıcı malzeme sertliğinin bu sertlik değerinden daha yüksek olmasına gerek yoktur.

Her ne kadar paslanmaz veya karbon çelik aşındırıcı partiküller Şekil 2.9’da görüldüğü gibi keskin kenarlı olsalar da belirli kumlama periyotlarında keskin kenarları kaybolmaktadır. Fakat çarpma şiddetinin etkisi ile aşındırıcı partiküller kırılarak yeniden keskin kenarlı partiküller oluşturmaktadır. Bu durumda kumlama çamuru,

kararlı bir partikül çapı olan max. 0,710 mm'den filtreleme çapı olan 0,300 mm'ye kadar farklı çaplarda partikül barındırmaktadır.



Şekil 2.9. Aşındırıcı karbon çelik partikül (Voges ve Mueth, 2008)

EPS işleminde, kum taneciklerinin şerit metal yüzeyine gömülmemesi ve kumlama işlemi sonunda asitleme işlemindekine benzer bir yüzey pürüzlülüğü elde edilmesi amacıyla kumlama hızı yaklaşık 46 m/sn olmaktadır.

Yöntemin bulunduğu ilk zamanlarda su ile karışımı sonucu pas etkisi oluşturmaması için paslanmaz çelik kum tanecikleri tercih edilmiştir. Fakat paslanmaz çelik maliyetleri karbon çelik maliyetlerine göre dört kat daha fazla olduğu için karbon çelik kum tanecikleri ile hazırlanan bulamaç içerisine özel bir karışım ilave edilerek karbon çelik kum tanelerin paslanması engellenmiştir.

EPS uygulaması öncesinde ve sonrasında yüzeyden alınan EDX spektra analiz sonuçlarına göre tufal birikintilerinin göstergesi olan oksijen seviyesi, EPS işlemi sonrasında görülmemektedir. Ayrıca EPS işlemi uygulanmış malzemedan beklenen bir diğer kıstas, iyi kalitede asitleme işlemi uygulanmış bir malzeme ile benzer yüzey pürüzlülük değerine sahip olmasıdır. EPS işleminde dağıtıcı hızı ve açısı ile aşındırıcı tipi gibi parametreler değiştirilerek istenen yüzey pürüzlülük değerlerinin sağlanabileceği belirtilmektedir. Bir diğer önemli husus ise son kullanıcı tarafından EPS işlemi ile elde edilmiş metal yüzeyinin asitleme işlemi ile elde edilmiş metal yüzeyden farklı olmaması talep edilmektedir.



Şekil 2.10. Asitlenmiş ve yaş kumlama işlemi uygulanmış çelik yüzeyleri (Voges ve Mueth, 2008)

Yaş kumlama işlemi uygulanmış malzeme yüzeyi Şekil 2.10'da görüldüğü gibi asitleme işlemi uygulanmış malzeme yüzeyi ile aynı açık tonda fakat daha homojen bir parlaklık sunmaktadır.

Sonuç olarak EPS işlemi, özel tasarlanmış püskürtme yöntemleri kullanıldığında yüzeyden tufalı tamamen çıkarabilmektedir. Ayrıca aşındırıcı tipi, aşındırıcı hızı, dağıtıcı kafa açısı gibi parametreler ile istenilen yüzey pürüzlülüğü elde edilebilmektedir. Hatta aşındırıcı ortamın doku yumuşatma etkisi sayesinde asitleme uygulanmış yüzeyin pürüzlülüğü de iyileştirilebilmektedir (Voges ve Mueth, 2008).

Sıcak haddelenmiş çelik üzerinde bilyeli kumlama uygulamasında tufal yapısının etkilerinin incelendiği çalışmada, tufal tabakasının giderilmesinde kumlama yöntemi üzerine çok az çalışma yapıldığı vurgulanarak, EPS çalışmasına da değinilmiştir. Ancak EPS işleminin enerji tüketimi ve işletme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle henüz asitleme işleminin yerini alamayacağı belirtilmektedir (Wang ve diğ, 2020).

Çin Halk Cumhuriyeti menşei Baosteel firması tarafından 2009 yılında geliştirilmeye başlanan BMD yöntemi de EPS işlemine benzer yaş kumlama işlemi ile metal yüzeyindeki tufalı kaldırmayı amaçlamaktadır. Yöntemin tarihçesinin, gelişiminin, özelliklerinin ve endüstriyel uygulamalarının sunulduğu çalışmada EPS işlemi üretim hattının en fazla on şirket tarafından kullanıldığı ve tufal gidermede başarılı olmasına

rağmen maliyetler ve istikrar açısından yerli çelik üreticileri için uygun olmadığı belirtilmektedir (Duan ve diğ, 2018).

EPS işlemi uygulanarak elde edilmiş metal şerit; kabul edilen malzeme özelliklerine uygun olduğunun görülmesi, metalin göreceği başka işlemler esnasındaki performansının ölçülmesi ve asitlenmiş malzeme ile bire bir olarak değiştirilebildiğinin kanıtlanması amacıyla bir dizi test işlemine tabi tutulmuştur. Bu testler;

- Otomotiv OEM boya esti
- Tuz sisi püskürtme korozyon testi
- Yüzey analizi
- Boya ve yapıştırıcı testi
- Galvaniz kaplama
- Lazer kesme, bükme ve şekillendirme

Yapılan tüm test sonuçlarına göre bazı bulgular ile test raporu sonuçlandırılmıştır. Bu bulgular şunlardır;

- EPS işlemi, sıcak haddelenmiş çelik yüzeyinde asitleme işleminde olduğu gibi yüzey temizliği sağlamaktadır.
- EPS işlemi uygulanmış çelik yüzeyi, asitleme işlemi uygulanmış çelik yüzeyinden daha yüksek ve daha homojen yüzey pürüzlülüğü sağlamaktadır.
- EPS işlemi uygulanmış çelik, soğuk haddeleme işlemine ve ardından galvaniz kaplama işlemine tabi tutulmuş ve sorunsuz şekilde galvaniz kaplanmıştır.
- EPS işlemi uygulanmış galvanizli çelikteki galvaniz pulu, asitleme işlemi uygulanmış galvanizli çelikteki galvaniz puluna göre daha küçük ve daha homojen olmuştur.
- EPS işleminde kullanılan yüzey temizleme kumları tekrar kullanılabilme özelliği nedeniyle asitleme işlemine göre çevre üzerindeki etkiyi azaltan alternatif bir yöntemdir.
- EPS yöntemini esas alan üretim hattı asitleme hattına göre 70 metre daha kısa olmasına rağmen bakım ve işletme şartları daha az kompleks ve daha az tehlikelidir (EPS Test Results, 2014).

3. KURU BUZ PÜSKÜRTME YÖNTEMİNİN İNCELENMESİ

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan mevcut ve alternatif tufal giderme yöntemleri hakkında literatür taraması yapıldıktan sonra kuru buz püskürtme yönteminin alternatif bir tufal giderme yöntemi olabileceği düşünüldü. Bu kapsamda kuru buz püskürtme yöntemine yönelik literatür taraması yapıldı.

Geleneksel temizleme yöntemlerinde kullanılan ozon tüketen çözücüler, küresel ısınma ve hava kirliliği gibi endişeler ile yeni düzenlemeleri ve zorunlulukları beraberinde getirmektedir. Bu çözücülerin birçoğu endüstriyel uygulamalarda kullanılmasına rağmen kullanımdan kaldırılması için belirli bir program uygulanmaktadır. Alternatif olarak, hedef yüzeye hızlı bir mermi gibi çarpma etkisiyle yüzeyi temizleyecek yöntemler bulunmaktadır. Kum, plastik, cam, seramik toz püskürtme işlemleri gibi geleneksel yöntemler yüzey temizliği esnasında bir takım çevre için imha edilmesi zor ve zararlı atık oluşturabilmektedirler. Fakat kuru buz püskürtme işlemi, Tablo 3.1’de görüldüğü gibi belirli uygulamalar için diğer yöntemlere göre avantaj sağlamaktadır. Kuru buz püskürtme işlemi; basit, çevre dostu, az maliyetli ve aşındırıcı barındırmayan bir yüzey temizleme yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan katı karbondioksit peletleri endüstriyel uygulamaların yan ürünü olarak doğal kaynaklardan elde edilmektedir. Püskürtme işlemi ile kinetik enerjiyi doğrudan yüzeye ileten katı karbondioksit peletleri daha sonra gaz fazına süblimleşerek yüzeyde kalıntı bırakmazken çevre için zararlı değildir. Oldukça geniş bir uygulama alanına sahip olan kuru buz püskürtme işlemi diğer püskürtmeli temizleme işlemlerine göre ikincil atığı %95 oranında azaltmaktadır (Kohli, 2019).

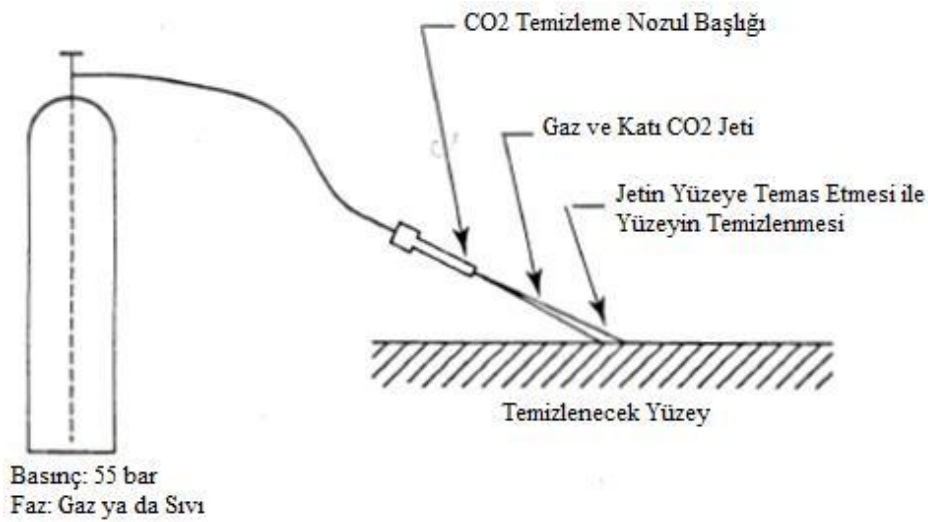
Tablo 3.1. Temizleme yöntemlerinin mukayesesi (Kohli, 2019)

Temizleme Yöntemi	İkincil Atık	İletkenlik	Tahribatlı	Zehirli	Verimlilik
Kuru buz püskürtme	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Çok iyi
Kum/Soda püskürtme	Evet	Hayır	Evet	*	İyi
Su püskürtme	Evet	Evet	Hayır	*	Orta
Buhar ile temizleme	Evet	Hayır	Hayır	*	İyi
Kimyasal/Çözücü	Evet	Bilinmiyor	Hayır	Evet	Sınırlı
Elektriksel/Mekaniksel	Hayır	Bilinmiyor	Evet	Bilinmiyor	Sınırlı

*Toksik ve zehirli maddelerin temizlenmesi durumunda

Karbondioksit hem çevre hem de insan sağığı için zararlı değildir. Yanma ve patlama özelliğı olmayan karbondioksitin NFPA tehlike oranı sıfır iken sağıık açısından risk oranı çok düşüktür. En önemli risk faktörü akciğerlerdeki oksijeni dışarı atarak boğıulma tehlikesine neden olabilmesidir. OSHA kriterlerine göre, 8 saatlik vardiya sürelerinde izin verilen maruziyet miktarı 10.000 ppm'dir. Kimyasallar ve çözücüler, RCRA otoritesi tarafından tehlikeli atıklar olarak sınıflandırılmış olup taşınması ya da tahliye edilmesi belirli prosedüleri gerektirmektedir. Fakat karbondioksitin sıvı olarak ya da basınçlı tüpler içerisinde gaz olarak depolanması ve taşınması tehlikeli bir işlem olmayıp bunun için herhangi özel bir ekipman ya da prosedüre gerek duyulmamaktadır. Ayrıca karbondioksit son derece ekonomiktir. Yaklaşık %90 oranında geri dönüşebilir ve tekrar kullanılabilir. Çok yönlü olması karbondioksitin birçok alanda kullanımını arttırmaktayken ekonomik ve çevreci olması onu geleneksel kimyasallardan üstün kılmaktadır (Steiner, 1993).

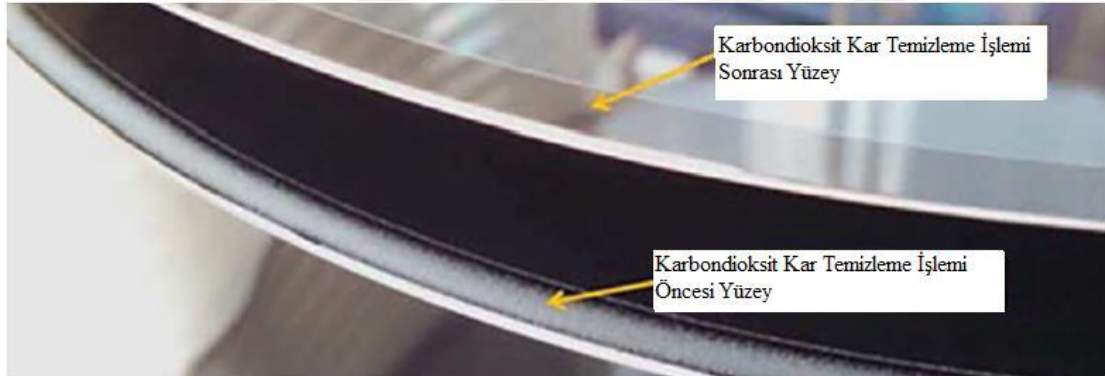
Karbondioksit ile temizleme yöntemi olarak CO₂ kar püskürtme ve CO₂ buz püskürtme işlemleri kullanılmaktadır. CO₂ kar püskürtme yöntemi aşındırıcı bir temizleme işlemi olmayıp, yüzeydeki organikleri ve yüzeye kimyasal bağlarla yapışmamış parçacıkları temizlemek için kullanılan daha hassas bir temizleme işlemidir (Soncu, 2019). Yüzey ile kimyasal reaksiyona giren, metalik veya güçlü kimyasal bağları bulunan kirletici, bu yöntem ile giderilemez. CO₂ karı, CO₂ buzuna göre daha az yoğunur. Ayrıca yüzeyde meydana getirdiğı darbe etkisi CO₂ buzuna göre daha azdır (Sherman, 2019).



Şekil 3.1. CO₂ kar püskürtme işlemi (Whitlock, 1989)

CO₂ karı, CO₂ sıvısının genleşmesinden meydana gelmektedir. CO₂ sıvısının genleşmesi ile gaz ve katı CO₂ parçacıklarının bir arada bulunduğu bir karışım oluşmaktadır. Belirtilen bu karışım, Şekil 3.1’de gösterildiği gibi bir fışkırtma etkisi ile yüzeye çarparak yüzeydeki parçacıkları gevşetmekte ve gazın oluşturduğu akım ile kirler yüzeyden uzaklaştırılmaktadır. CO₂ kar temizliğinin verimliliğine dair yapılan çalışmada yüzeyine çinko ortosilikat parçacıkları emdirilen silikon bir yüzey üzerine oda sıcaklığında, yaklaşık 45° açı ve 1/2" – 1" arasında nozul ucu uzaklığı ile yüzeye uygulanan CO₂ karı deney sonrası alınan ölçümlere göre %99,9 oranında başarılı olmuştur (Whitlock, 1989).

CO₂ kar temizliği basit ve Şekil 3.2’de işlem öncesi ve işlem sonrası görüldüğü gibi etkili bir yöntem olup, temel olarak; CO₂ kaynağı, nozul ve kaynak ile nozul arasında iletim hattına ihtiyaç duymaktadır. Temizlik esnasında; numune desteği, yüzey soğukluğu, elektrostatik şarj ve yeniden kirlilik oluşturma noktalarına dikkat edilmesini gerektirmektedir (Sherman, 2019).

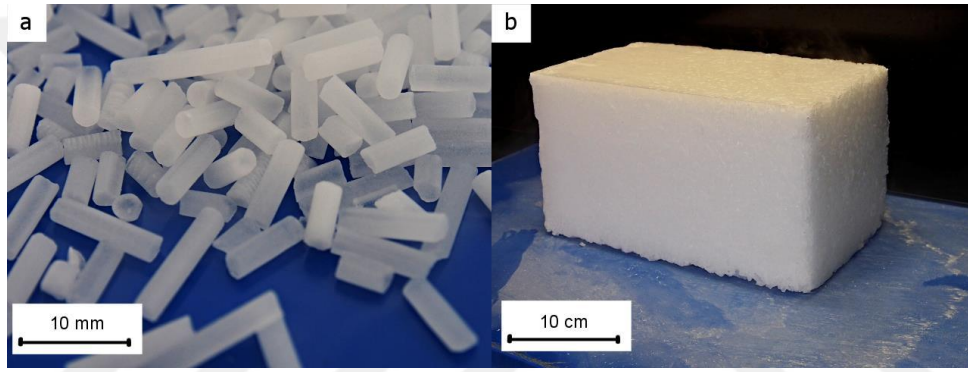


Şekil 3.2. CO₂ kar püskürtme yöntemi öncesi ve sonrası (Sherman, 2019)

Karbondiyoksit ile temizlikte bir diğer yöntem olan CO₂ buz püskürtme yöntemi; kumlama, plastik püskürtme veya soda püskürtmeye benzer bir işlem olup temizlenecek yüzeye katı haldeki CO₂ buzunun basınçlı hava ile birlikte püskürtülmesidir. Bu yöntemin diğer püskürtme işlemlerinden farkı, katı CO₂ buz parçalarının yüzeye çarpma etkisi ile darbe enerjisi dağılımı ve ani bir ısı transferi ile süblimleşerek gaz fazına dönmesidir. Böylece hem temizleme işlemi sonrasında ikincil bir atık oluşmamakta hem de etkili bir mikro patlama ile gaz, mevcut hacminin yaklaşık sekiz yüz katına genişlemektedir. Normal şartlarda CO₂ buzunu sıcaklığı -78,5°C olup, bu sıcaklık ile püskürtme uygulanan yüzey arasındaki sıcaklık farkı, yüzeyde bir termal şok etkisi

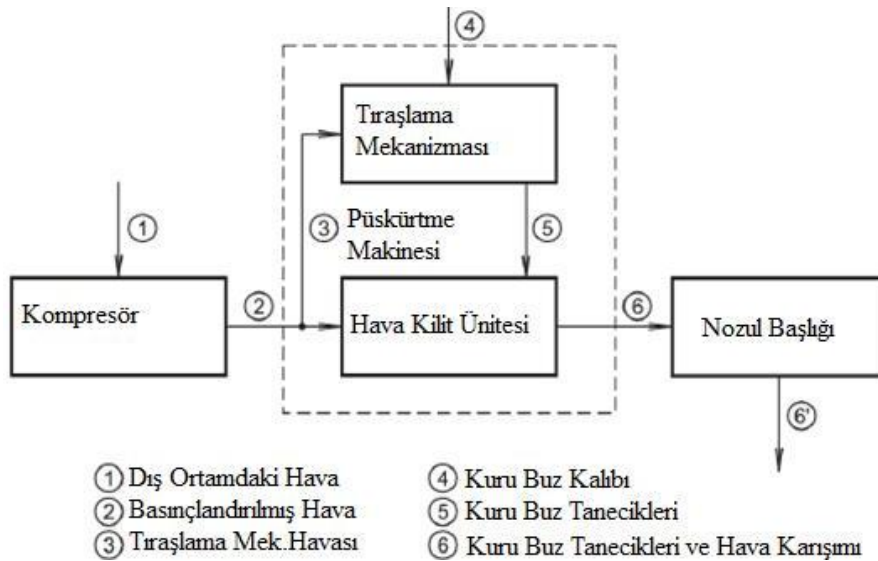
meydana getirmektedir. Termal şok etkisi, yüzey üzerindeki kir veya kaplamanın gevrekleşerek daha kırılğan bir yapıya ve yüzey ile arasında bulunan kimyasal bağların zayıflamasına neden olmaktadır. Belirtilen termal şok etkisi, en fazla metal olmayan yüzeydeki kaplamayı veya metal yüzeye bağlı kirletici maddeyi patlatırken görülmektedir (Foster, 2011).

Karbondiyoksit atmosferik şartlarda renksizdir ve soygazdır. Korozyona neden olmamakta ve genellikle 12-20 bar basınç altında sıvı olarak taşınmaktadır. Sıvı karbondiyoksit, peletleme makinesinde basınç altında sıkıştırılarak Şekil 3.3’de görüldüğü gibi 3 mm çapında CO₂ buz peleti veya blok CO₂ buz haline getirilmektedir.



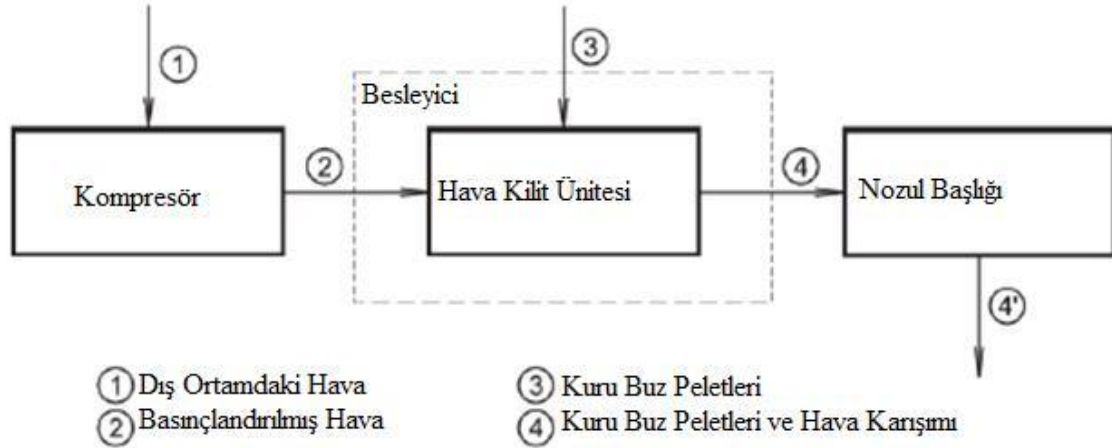
Şekil 3.3. Kuru buz türleri a) pelet halde b) blok halde (Máša, 2016)

Kuru buz püskürtme makinesi, kuru buz parçacıklarını yüzeye yönlendiren basit bir ekipmandır. Dünya çapında geliştirilen tüm makinelerde kuru buz hızlandırmak için basınçlı hava kullanır.



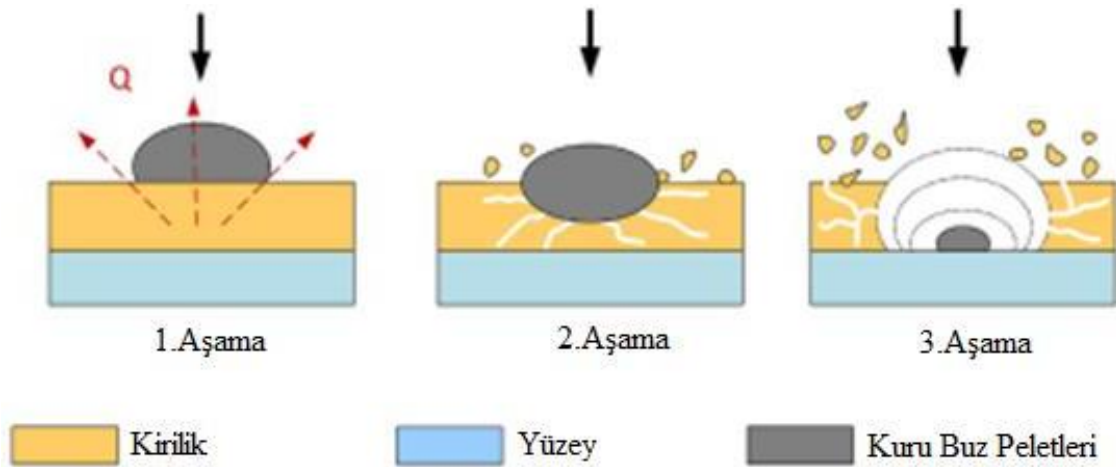
Şekil 3.4. Kuru buz blok traşlama sistemi (Máša, 2016)

İki farklı çalışma prensibine sahip püskürtme makine sistemi bulunmaktadır. Birincisi, Şekil 3.4’de şematik gösterimi bulunan, kuru buz olarak blok halindeki kütleden, pnömatik motorun döndürdüğü traşlama bıçağı ile kopartılan parçaları yüzeye taşıyan ve “blok traş sistemi” adı verilen yöntemdir. Bu yöntemdeki en büyük avantaj, kuru buz bloklarının daha uzun depolama ömrüne sahip olmasıdır.



Şekil 3.5. Kuru buz pelet püskürtme sistemi (Máša, 2016)

İkincisi, Şekil 3.5’de şematik olarak gösterilen, önceden hazırlanmış kuru buz peletlerinin cihaz içerisindeki basınçlı hava akımına beslendiği yöntemdir. Bu teknolojik konsept, kuru buz parçacıklarının boyutunda herhangi bir değişikliğe izin vermez. Pelet sistemi, blok tıraş sisteminden daha basit, ancak daha az yönlü bir kuru buz püskürtme makinesidir (Máša, 2016).



Şekil 3.6. Kuru buz püskürtme işlemi temizlik mekanizması (Dzido ve diğ., 2020)

Kuru buz püskürtme yöntemi bilinen diğer püskürtme yöntemlerinden farklı olarak, Şekil 3.6’da görüldüğü gibi, üç etki mekanizmasına sahiptir. Bunlar;

- Termal Etki: Kuru buz peletlerinin yüzeye çarpması ile yüzeyin ve kirlilik tabakasının soğuması ($-78,5^{\circ}\text{C}$)
- Mekanik Etki: Yüksek hızlı gazın soğumuş yüzeye çarpması ile kirli tabakanın kırılması
- Genleşme Etkisi: Karbondioksit pıhtılarının süblimleşme etkisi ile genleşmesi ve hacminin büyümesi sonucu kirli tabakanın yüzeyden ayrılması (Dzido ve diğ., 2021)

Kuru buz parçalarının çıkış hızı temizleme verimini etkilemektedir. Çıkış hızı 80 m/s ile başlamakta ve uygulamaya göre artarak teorik olarak ses hızına kadar ulaşabilmektedir ($\text{Ma}>1$). Şu üç parametre, püskürtme enerjisini iyice analiz etmek için gereklidir;

- Kullanılan havanın işletme basıncı (bar) [1-20 bar]
- Basıncılı hava tüketimi (Nm^3/s) [18-420 Nm^3/s]
- Kuru buz tüketimi (kg/s) [20-190 kg/s]

Köşeli parantez içindeki değerler Dünya geneli üretilen kur buz temizleme makinelerinin kapasitelerini göstermektedir (Máša, 2016).

3.1. Önceki Çalışmalar

Kuru buz püskürtme yönteminin metal yüzeylerden kir ve pası giderme konusunda başarılı olduğuna dair literatürde birçok çalışma görüldü. Fakat metal yüzeyindeki tufalın giderilmesine yönelik literatür taraması yapıldığında sadece 1994 yılında Japonya’da patent ile koruma altına alınmış bir çalışma bulundu.

Sumitomo Metal Industries Ltd. firması adına belgelenmiş patent çalışmasında mucit Kunihko Ushio tarafından sıcak haddeleme sürecindeki çelik slabın yüzeyine, tavlama fırınından çıktıktan sonra, kuru buz püskürtülmüş ve kuru buzun çarpma etkisi ile slab yüzeyi soğurken tufal tabakasının da yüzeyden kalktığı görülmüştür.

Sıcak haddeleme öncesi giderilemeyen tufal tabakası, haddeleme esnasında çelik yüzeyin içine doğru itilerek haddeleme sonrasında nihai mamül üzerinde çizik kusurları oluşturmaktadır. Geleneksel yöntemde hadde merdaneleri ile tavlama fırını arasına yerleştirilen tufal giderme sistemi, 150-350 bar basınçlı suyu, slab üzerine püskürterek

tufalı yüzeyden girmeyi amaçlamaktadır. Fakat oluşan tufal tabakası kalın ise basınçlı su püskürtme işleminde başarı sağlamak oldukça zordur. Bu duruma çözüm olması amacıyla, 250 µm'den küçük partiküllerden oluşan hacimce % 2-15 oranında şok malzemesini su ile karıştırarak 100-700 bar basınç ile slab yüzeyine püskürtülmesi veya basınçlı su ile birlikte güçlü bir fırçalama sisteminin entegre edilmesi önerilmiştir. Belirtilen yöntemlerde tufal giderme esnasında çelik parçasının yüzeyi soğutulmadığı için yöntemlerin tufal giderme özelliği bozulmaktadır. 1988-21550 numaralı bir başka Japon patent yayınına göre, buz patlatması adı verilen bir yöntem ile seyreltilmiş nitrik asit ve buz taneciklerinin birlikte olduğu karışım paslanmaz çelik yüzeyine püskürtülmüş fakat püskürtme sonrası buz parçacıkları, çelik yüzey üzerinde katı – sıvı arası bir fazda kalarak darbe etkisini azaltmıştır. Bu yöntemde de çelik yüzeyindeki tufal tabakasını tamamen kaldırmak mümkün olmamıştır. Yapılan değerlendirmeler neticesinde, çelik yüzeyini yerel noktada soğutarak tufal tabakasının küçültülmesi ve böylece tufal tabakasının metal yüzeyden fiziksel olarak ayrılması üzerinde durulmuştur. Buluş sahipleri, çeşitli araçlar üzerinde yaptığı çeşitli araştırmalar neticesinde kuru buz püskürtme yönteminin metal yüzeydeki tufalı ayırabileceği ve sonrasında gaz fazına geçen karbondioksit için herhangi bir geri kazanım işlemine ihtiyaç duyulmadığı sonucuna varmıştır.

Tablo 3.2. Kuru buz püskürtme işlemi uygulanan malzemeye ait kimyasal kompozisyon (Ushio, 1994)

C	Si	Mn	P	S
0,14	0,13	0,51	0,024	0,005

Tablo 3.2’de kimyasal kompozisyonu verilen ve kuru buz püskürtme işlemine tabi tutulan slab; 235 mm kalınlığında, 2100 mm genişliğinde ve 2000 mm uzunluğundadır. Haddelme öncesi 4,5 saat süresince 1140°C sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra 50 mm kalınlığında ve 2100 mm genişliğinde sıcak haddelenmiş mamül haline getirilmektedir. Belirtilen özelliklerdeki slab için, ısıtma fırınından sonra ve sıcak haddelenmeden önce, aşağıdaki 5 yöntemin her biri kullanılmıştır. Uygulama sonrası, tufalin artık miktar oranı ölçülmüştür. Arta kalan tufal oranının hesaplanması için artık tufal ortalama alan oranı kullanılmıştır.

- Geleneksel Yöntem A: 150 bar basınç ve 60°C sıcaklığa sahip yüksek basınçlı su püskürtme yöntemi
- Geleneksel Yöntem B: 100 kg/m presleme basıncına sahip 400 mm çapında paslanma çelik fırça merdanesi uygulayan 1986-97309 no'lu faydalı model çalışması
- Geleneksel Yöntem C: 150 bar basınç ve 60°C sıcaklığa sahip su ile bütün ağırlığın %20'si oranında demir tozu karışımının püskürtüldüğü yöntem
- Geleneksel Yöntem D: 5 mm parçacık boyutuna sahip buzun 20 bar basınç altında yüzeye uygulandığı 1988-79383 no'lu patent çalışması
- Buluş Yöntemi: 5 mm çapındaki kuru buzun 720 kg/dk püskürtme miktarı ve 20 bar basınç altında yüzeye uygulandığı yöntem

Her bir yöntem için tufal giderme performansı yok sayılarak 50 tekrar yapılmıştır. Uygulanan yöntemlerin neticesinde buluşa haiz yöntem, çelik slab yüzeyindeki tufalı tamamen gidermede kesin bir sonuç vermiş ayrıca A ve D yöntemlerinden, özellikle D yönteminden, kayda değer bir fark olacak şekilde, daha iyi bir sonuç ortaya çıkarmıştır (Ushio, 1994).

3.2. Deney Öncesi Hazırlıklar

Yapılan çalışmalarda, Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş.² firmasının ürünleri kullanılmıştır. Deney numuneleri olarak asitleme hattında işlem gören birbirinden farklı kalite ve kalınlıktaki malzemeler kullanıldı. Deney yapılacak numuneler, kaynak makinesinde kaynak işlemi öncesinde bobin başı ve/veya sonu kesilirken oluşan hurda parçaları ile TLV ünitesi çıkışından alınan parçalardan yaklaşık 5x25 cm ebatlarında olacak şekilde hazırlandı.

Numunelerin alındığı asitleme hattında her iki bobin açıcı üzerinde bobinlerin rulo kırığı kusurunu gidermek için merdane baskı sistemi (Anti-Coil Breaker) ve 5'li doğrultma merdane sistemi bulunmaktadır. Bobinlerin baş ve kuyruk kısımları, hattın giriş boy makaslarında; kenar ve göbek dalgası, teleskopik sarım, kenar yırtıkları ve homojen olmayan kalınlık dağılımı gibi kalite gereksinimleri nedeniyle kesilerek

²Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. firması Oyak Maden Metalurji Grubunun ana şirketi konumunda olup Erdemir ismi ile bilinmektedir. Tez çalışmasının devam eden kısımlarında Erdemir adı kullanılacaktır.

hurdaya ayrılmaktadır. Alınan numuneler ilerleyen tablo ve şekillerde, Erdemir Yassı Ürün Kataloğundaki rumuzları ile belirtildi. Bu rumuzlar, ürünlerin nihai durumda kazanacakları özellikleri belirtmekte olup, işlem görecekları ilk üretim hattına, üretim planlama sistemi üzerinden tanımlanmaktadır. Rumuzların yanındaki numaralar ise aynı malzeme kalitesine uygulanan farklı işlem sonuçlarını birbirinden ayırt etmek üzere belirtildi.

EN 10202: 2001 standardına göre DTNR rumuzlu sürekli tavlama yapılmış karbon çelik malzemelerin kimyasal kompozisyonu (%) ve Erdemir kalite numaraları Tablo 3.3’de belirtildiği gibidir.

Tablo 3.3. DTNR rumuzlu malzemeye ait kimyasal kompozisyon (Erdemir Yassı Ürün Kataloğu, 2020)

Kalite No	C (max)	Mn (max)	P (max)	S (max)	Si (max)	Al	N (max)
2252	0,08	0,35	0,020	0,020	0,030	0,025-0,070	0,009
2255	0,08	0,35	0,020	0,020	0,030	0,025-0,070	0,009
2258	0,08	0,35	0,020	0,020	0,030	0,025-0,070	0,009
2260	0,006	0,40	0,020	0,020	0,030	max. 0,030	0,006
2262	0,08	0,40	0,020	0,020	0,030	0,025-0,070	0,015

JIS G 3141: 2001 standardına göre üretilen ICCR rumuzlu, soğuk haddelenmiş en yaygın kalite karbon çelik malzemenin kimyasal kompozisyonu ve Erdemir kalite numarası Tablo 3.4’de belirtildiği gibidir.

Tablo 3.4. ICCR rumuzlu malzemeye ait kimyasal kompozisyon (Erdemir Yassı Ürün Kataloğu, 2020)

Kalite No	C (max)	Mn (max)	P (max)	S (max)
6111	0,15	0,60	0,10	0,035

RP rumuzlu malzemeler birçok farklı kalite çelikten elde edilmektedir. Bu nedenle özel bir kalite ve kimyasal kompozisyon belirtilmedi.

EN 10202: 2001 standardına göre TNR rumuzlu sürekli tavlama yapılmış karbon çelik malzemelerin kimyasal kompozisyonu ve Erdemir kalite numaraları Tablo 3.5’de belirtildiği gibidir.

Tablo 3.5. TNR rumuzlu malzemeye ait kimyasal kompozisyon (Erdemir Yassı Ürün Kataloğu, 2020)

Kalite No	C	Mn	P (max)	S (max)	Si (max)	Al	N (max)
2223	max. 0,004	0,10-0,25	0,020	0,015	0,020	0,020-0,070	0,005
2225	max. 0,004	0,10-0,25	0,020	0,015	0,020	0,020-0,070	0,005
2226	max. 0,006	0,20-0,35	0,020	0,020	0,020	0,020-0,060	0,006
2228	0,02-0,05	0,02-0,05	0,020	0,020	0,030	0,030-0,080	0,005
2240	0,03-0,05	0,03-0,05	0,018	0,020	0,030	0,020-0,050	0,005
2242	0,03-0,08	0,03-0,08	0,020	0,020	0,030	0,020-0,070	0,009
2244	0,03-0,08	0,03-0,08	0,020	0,020	0,030	0,020-0,070	0,015

3.3. Deney Şartları

Alınan numuneler için belirli parametreler altında kuru buz püskürtme işlemi, yaş ve kuru kumlama işlemi uygulandı.

Tablo.3.6’da belirtilen, asitleme hattı giriş kaynak makinesinden alınan numunelere, kuru buz püskürtme makinesinden sağlanan 10 bar hava basıncıyla debi ve zaman parametreleri değiştirilerek 3 mm çapındaki kuru buz peletleri ile püskürtme işlemi gerçekleştirildi. Numunelerin sadece ön yüzeyinde belirli bir bölgeye uygulama yapıldı. Püskürtme nozul başlığı el ile tutularak, tüm numunelere, yaklaşık 5 cm uzaklıkta ve yaklaşık 90° açıyla olacak şekilde uygulandı.

Tablo 3.6. Değişken parametreler ile uygulanan kuru buz püskürtme işlemi

NUMUNELER	ALINDIĞI YER	BASINÇ (bar)	DEBİ (m ³ /dk)	SÜRE (dk)
TNR1	Kaynak Makinesi	10	0,5	1
TNR2	Kaynak Makinesi	10	2	2
TNR3	Kaynak Makinesi	10	3,5	3
ICCR1	Kaynak Makinesi	10	05	1
ICCR2	Kaynak Makinesi	10	2	2
ICCR3	Kaynak Makinesi	10	3,5	3
RP1	Kaynak Makinesi	10	0,5	1
RP2	Kaynak Makinesi	10	2	2
RP3	Kaynak Makinesi	10	3,5	3

Tablo 3.7, Tablo 3.8 ve Tablo 3.9’da belirtilen numunelere ise Lang Yüzer Otomotiv Yan Sanayi Tic. A.Ş. firmasında kuru buz püskürtme ve kuru kumlama işlemi,

tablolarda belirtilen parametrelerde yapıldı. Kuru buz püskürtme işlemi LY-JET3 130 Millennium S ve LY-MP1 60 MikroPartikel makineleri ile 2 mm çapındaki kuru buz peletleri kullanılarak gerçekleştirildi. Numunelerin sadece ön yüzeyinde belirli bir bölgeye uygulama yapıldı. Püskürtme nozul başlığı el ile tutularak, tüm numunelere, yaklaşık 5 cm uzaklıkta ve yaklaşık 90° açılı olacak şekilde uygulandı. Tablolarda belirtilen basınç ve debi değerleri püskürtme makinelerinin beslendiği hava devresindeki değerlerdir.

Tablo 3.7. Sabit parametreler ile uygulanan kuru buz püskürtme işlemi

NUMUNELER	ALINDIĞI YER	BASINÇ (bar)	DEBİ (m ³ /dk)	SÜRE(dk)
ICCR1	TLV Çıkışı	7	3	1
ICCR2	TLV Çıkışı	7	3	3
DTNR4	Kaynak Makinesi	7	3	3
RP9	Kaynak Makinesi	7	3	3
RP10	Kaynak Makinesi	7	3	3

ICCR1 numunesine LY-JET3 130 Millennium S makinesi ile püskürtme işlemi uygulandıktan sonra yüzeyde gözle görülür bir değişiklik olmadığından diğer numunelere mekanik etki kapasitesi daha yüksek olan LY-MP1 60 MikroPartikel makinesi ile kuru buz püskürtme işlemi uygulandı.

Sıcaklık farkının kuru buz püskürtme işlemine etkilerinin görülmesi adına yapılan ayrı bir çalışmada, Tablo 3.8’de belirtilen numuneler, 150°C sıcaklıkta bir süre ısıtıldıktan sonra yüzeylerine, LY-MP1 60 MikroPartikel makinesi ile kuru buz püskürtme işlemi uygulandı.

Tablo 3.8. Önceden ısıtılmış numunelere uygulanan kuru buz püskürtme işlemi

NUMUNELER	ALINDIĞI YER	BASINÇ(bar)	DEBİ (m ³ /dk)	SÜRE (dk)
ICCR3	TLV Çıkışı	7	3	3
DTNR5	Kaynak Makinesi	7	3	3
RP8	Kaynak Makinesi	7	3	3
RP11	Kaynak Makinesi	7	3	3

Kuru kumlama işlemi yine Lang Yüzer Otomotiv Yan Sanayi Tic. A.Ş. firmasında, Tablo 3.9’da belirtilen numunelere, 30/40 µm kalınlığında PVC plastik pelet kullanılarak gerçekleştirildi.

Tablo 3.9. Sabit parametreler ile uygulanan kuru kumlama işlemi

NUMUNELER	ALINDIĞI YER	BASINÇ (bar)	DEBİ (m ³ /dk)	SÜRE (sn)
DTNR6	Kaynak Makinesi	7	3	30
RP7	Kaynak Makinesi	7	3	30
RP12	Kaynak Makinesi	7	3	30

Tablo 3.10’da belirtilen numunelere ise Erdemir Ar-Ge Merkezinde bulunan Saykar SK 1100 makinesi ile sadece zaman parametresi değiştirilerek yaş kumlama işlemi gerçekleştirildi.

Tablo 3.10. Değişken zaman parametresi ile uygulanan yaş kumlama işlemi

NUMUNELER	ALINDIĞI YER	BASINÇ(bar)	DEBİ (m ³ /dk)	SÜRE (sn)
ICCR1	TLV Çıkışı	6	1,2	30
ICCR2	TLV Çıkışı	6	1,2	90
DTNR4	Kaynak Makinesi	6	1,2	20
DTNR5	Kaynak Makinesi	6	1,2	60
RP7	Kaynak Makinesi	6	1,2	20
RP8	Kaynak Makinesi	6	1,2	60
RP10	Kaynak Makinesi	6	1,2	30
RP11	Kaynak Makinesi	6	1,2	90

Literatür çalışmalarında uygulanan yaş kumlama işlemlerinde aşındırıcı olarak karbon çelik partikül kullanılmıştır. Bu çalışmada ise alternatif kumların metal yüzeyinde oluşturacağı etkinin görülebilmesi amacıyla yapılan yaş kumlama işleminde, kimyasal bileşimi DIN 8201 standardına göre Tablo 3.11’de belirtilen, Swarco marka cam boncuk kullanıldı.

Tablo 3.11. Yaş kumlama işleminde kullanılan kuma ait kimyasal kompozisyon

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	Diğer (%)
68-75	0-2,5	0-5	7-12	12-18	max. 2

3.4. Deney Sonuçlarının İncelenmesi

Belirtilen şartlarda deney çalışmaları yapıldıktan sonra uygulamanın yüzeyde meydana getirdiği etkiyi görebilmek amacıyla yüzey pürüzlülük topografyaları, yüzeydeki tufal tabakasının görülebilmesi amacıyla da mikroyapı kesit görüntüleri oluşturuldu.

3.4.1. Yüzey Analiz Yöntemi ve Sonuçları

İşlem gören numunelerde tufal kalınlıklarına ait değişimin görülebilmesi için kesit mikroyapısına bakılması gerekmektedir. Kesit mikroyapı oluşturma işlemi esnasında numuneler deforme olacağından dolayı ilk önce Şekil 3.7’de görsel olarak sunulan Nanofocus MarSurf CM Mobile yüzey analiz cihazı kullanılarak yüzey pürüzlülük değerleri DIN/EN/ISO 4287/25178 standardına göre ölçüldü.

Endüstriyel uygulamalarda soğuk haddeleme esnasında malzeme yüzey pürüzlülüğü iş merdanelerinin kullanım ömürleri açısından önemlidir. Bu nedenle kuru buz püskürtme işleminin, tufal giderme işlemi için alternatif bir yöntem olması durumunda çelik yüzeyinde oluşturacağı pürüzlülük değerleri de önemli bir parametre olacaktır.



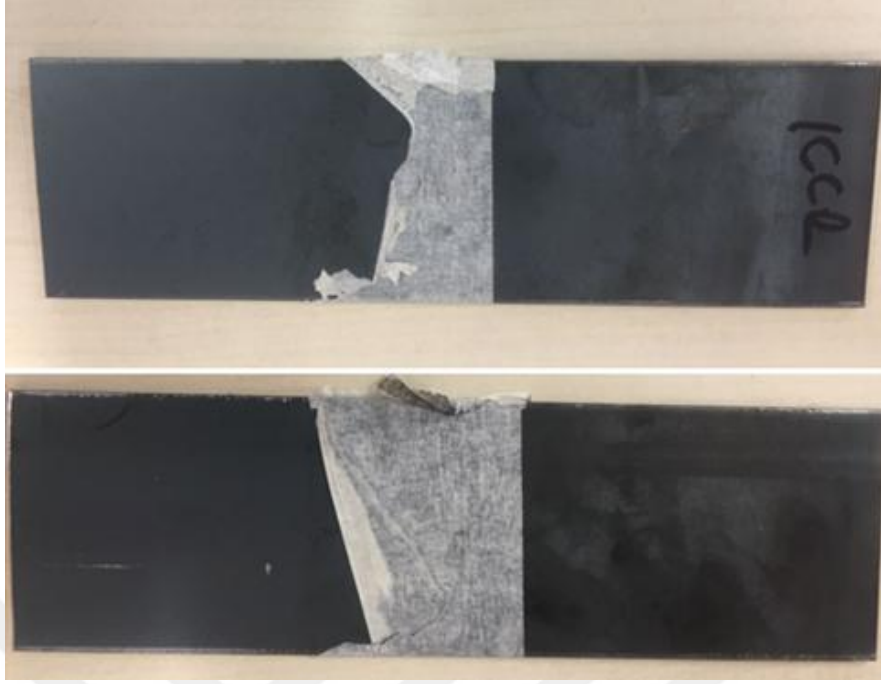
Şekil 3.7. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Tablo 3.6’da belirtilen değişken parametreler ile yapılan kuru buz püskürtme işlemi sonucunda yüzeyde oluşan pürüzlülük değerleri ile aynı numunedeki alt yüzeye ait pürüzlülük değerleri Tablo 3.12’de belirtildi.

Tablo 3.12. Değişken parametreler ile uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası numunelere ait yüzey pürüzlülük değerleri

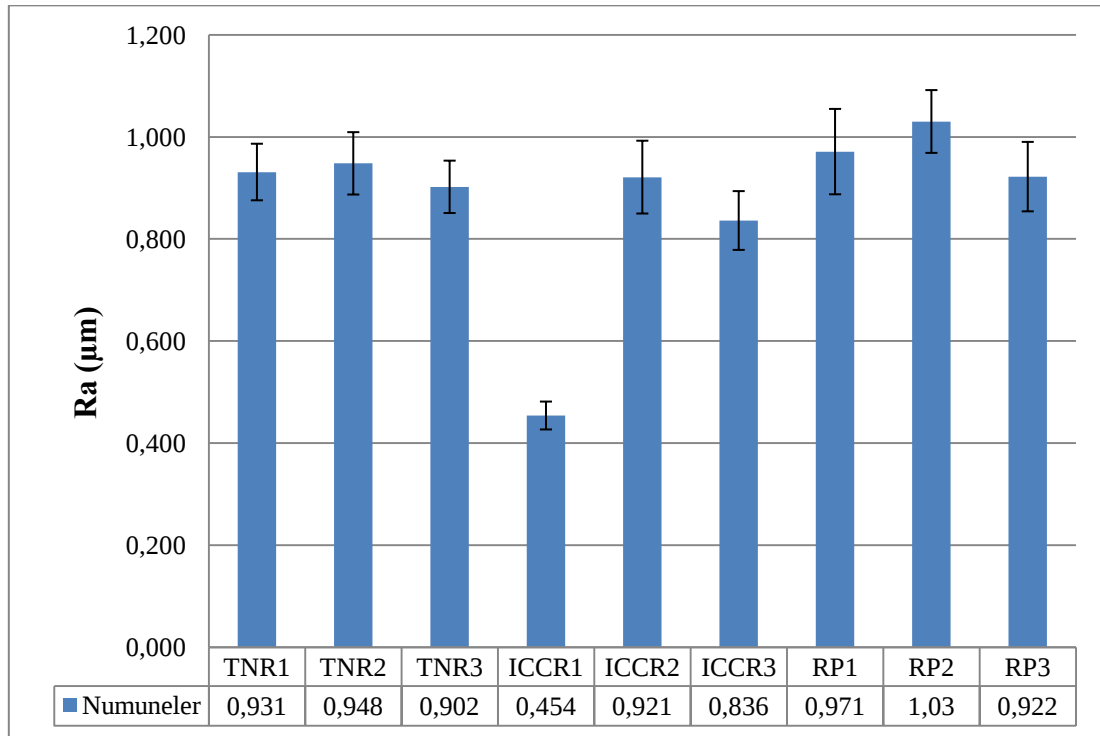
TNR1 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				TNR1 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	0,931	0,832	1,050	Ra	0,929	0,847	1,080
Rz	6,890	6,180	8,030	Rz	6,900	5,770	9,150
TNR2 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				TNR2 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	0,948	0,845	1,070	Ra	0,992	0,852	1,150
Rz	8,020	6,540	9,390	Rz	7,800	6,670	9,750
TNR3 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				TNR3 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	0,902	0,797	0,989	Ra	1,110	0,703	1,610
Rz	7,370	6,410	8,690	Rz	9,500	5,590	13,900
ICCR1 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				ICCR1 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	0,454	0,405	0,515	Ra	0,661	0,592	0,788
Rz	3,840	3,060	5,250	Rz	6,130	4,190	13,500
ICCR2 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				ICCR2 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	0,921	0,772	1,050	Ra	0,873	0,767	0,997
Rz	6,580	5,570	8,260	Rz	6,190	5,290	7,480
ICCR3 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				ICCR3 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	0,836	0,733	0,976	Ra	0,997	0,875	1,180
Rz	6,450	5,470	8,190	Rz	6,940	5,650	11,400
RP1 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				RP1 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	0,971	0,842	1,210	Ra	1,150	0,990	1,300
Rz	9,080	6,990	12,200	Rz	10,100	7,930	11,900
RP2 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				RP2 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	1,030	0,937	1,170	Ra	0,858	0,786	0,932
Rz	6,900	5,910	7,720	Rz	6,110	5,460	8,060
RP3 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				RP3 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	0,922	0,783	1,120	Ra	1,180	1,020	1,390
Rz	8,270	6,300	10,700	Rz	10,200	8,150	14,000

Tablo 3.12’de belirtilen yüzey pürüzlülük değerlerine ait detaylı yüzey topografya raporları Ek-A’da sunulmuştur. Kuru buz püskürtme işlemi sonrası numunelere ait görseller Şekil 3.8’deki gibidir.

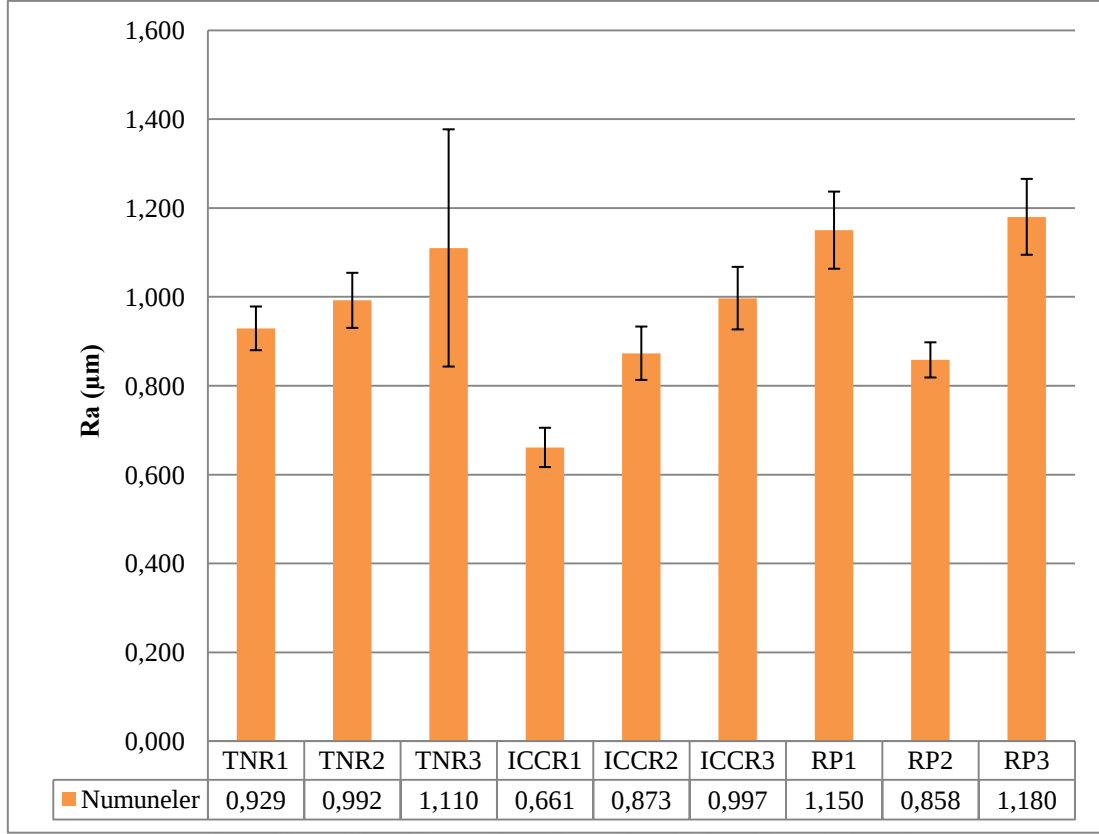


Şekil 3.8. Değişken parametreler ile kuru buz püskürtme işlemi uygulanan numuneler

Tablo 3.12’de ortalama yüzey pürüzlülüğünü ifade eden Ra değerleri ve standart sapmaları Şekil 3.9’da işlem uygulanmış, Şekil 3.10’da ise işlem uygulanmamış olarak sütun grafiğinde özetlendi.



Şekil 3.9. Değişken parametreler ile uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük değer grafiği



Şekil 3.10. Kuru buz püskürtme işlemi uygulanmamış yüzeye ait pürüzlülük değer grafiği

Tablo 3.7’de belirtilen sabit parametreler ile yapılan kuru buz püskürtme işlemi sonucunda yüzeyde oluşan pürüzlülük değerleri ile aynı numunedeki alt yüzeye ait pürüzlülük değerleri Tablo 3.13’de belirtildi. Tablo 3.13’de ortalama yüzey pürüzlülüğünü ifade eden Ra değerleri ve standart sapmaları Şekil 3.11’de işlem uygulanmış, Şekil 3.12’de ise işlem uygulanmamış olarak sütun grafiğinde özetlendi. Kuru buz püskürtme işlemi sonrası numunelere ait görseller Şekil 3.13’deki gibidir.

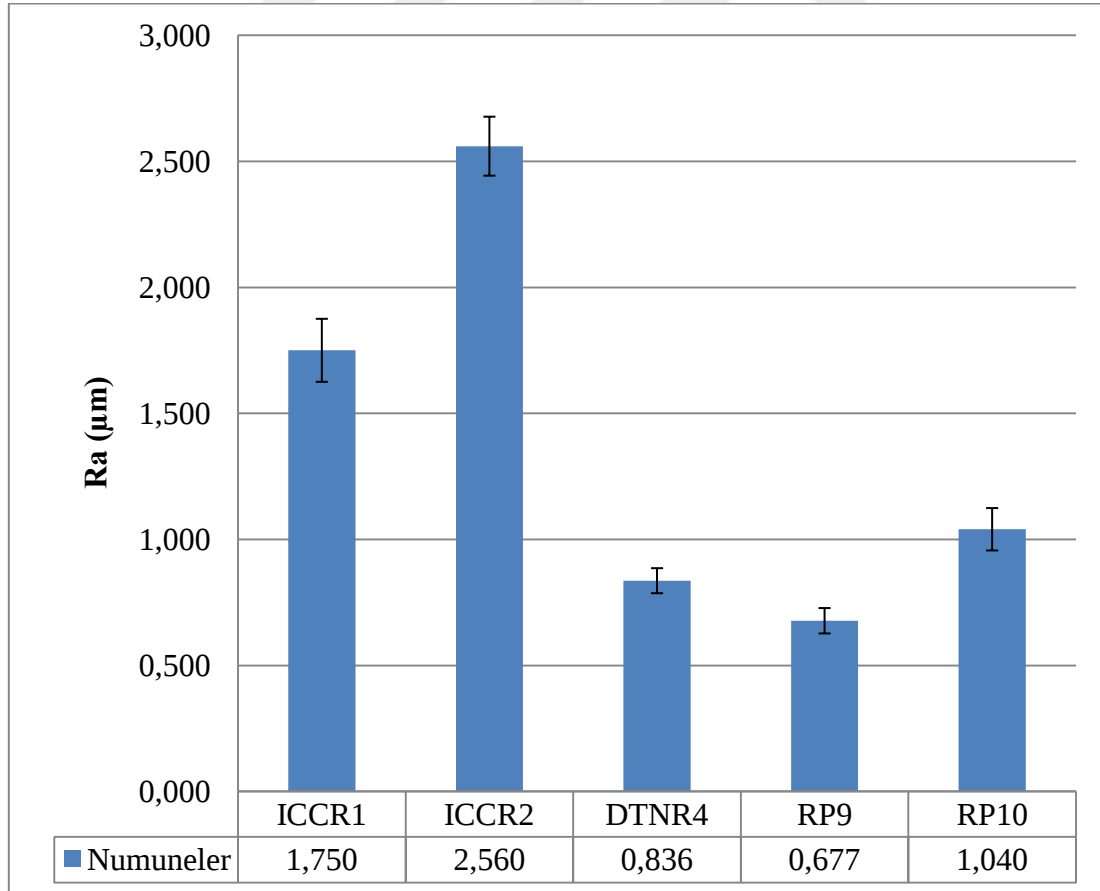
Tablo 3.13. Sabit parametreler ile uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası numunelere ait yüzey pürüzlülük değerleri

ICCR1 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				ICCR1 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(µm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(µm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	1,750	1,530	2,060	Ra	1,510	1,250	1,760
Rz	13,400	11,100	16,000	Rz	12,300	10,200	13,900
ICCR2 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				ICCR2 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(µm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(µm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	2,560	2,300	2,760	Ra	1,310	1,200	1,540
Rz	14,100	12,200	15,700	Rz	9,120	7,110	12,000

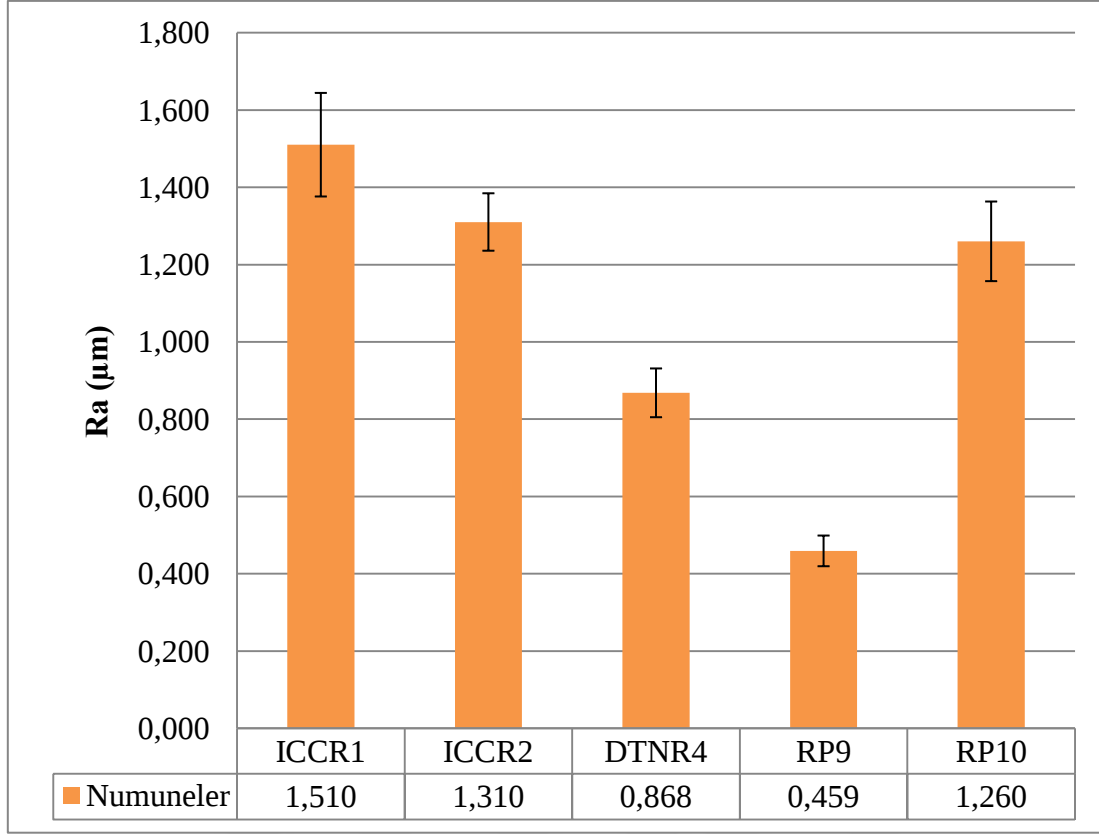
Tablo 3.13. (Devam) Sabit parametreler ile uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası numunelere ait yüzey pürüzlülük değerleri

DTNR4 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				DTNR4 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	0,836	0,741	0,938	Ra	0,868	0,774	1,030
Rz	6,030	4,900	7,340	Rz	6,860	5,690	8,390
RP9 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				RP9 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	0,677	0,582	0,814	Ra	0,459	0,382	0,552
Rz	6,350	4,670	8,940	Rz	4,550	2,990	6,080
RP10 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				RP10 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	1,040	0,874	1,200	Ra	1,260	1,080	1,440
Rz	8,070	6,520	9,470	Rz	9,250	7,370	11,700

Tablo 3.13’de belirtilen yüzey pürüzlülük değerlerine ait detaylı yüzey topografya raporları Ek-B’de sunulmuştur.



Şekil 3.11. Sabit parametreler ile uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük değer grafiği



Şekil 3.12. Kuru buz püskürtme işlemi uygulanmamış yüzeye ait pürüzlülük değer grafiği



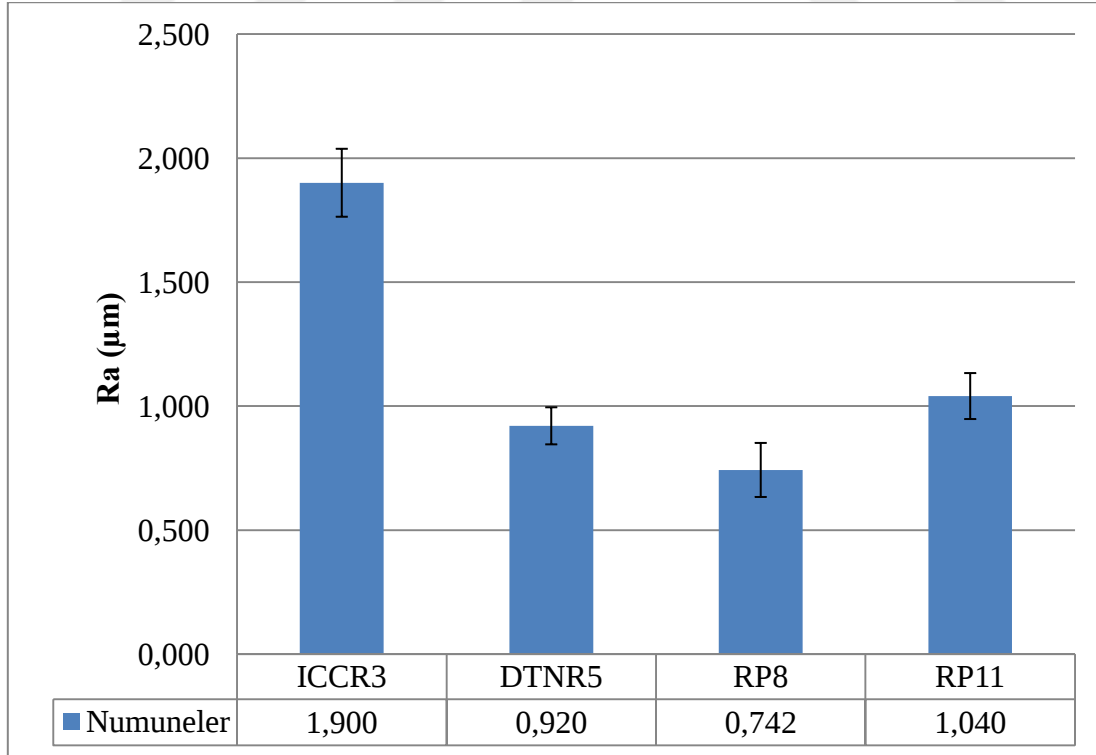
Şekil 3.13. Sabit parametreler ile kuru buz püskürtme işlemi uygulanmış numuneler

Tablo 3.8’de belirtilen parametreler ile önceden 150°C sıcaklığa ısıtılmış numunelere yapılan kuru buz püskürtme işlemi sonucunda yüzeyde oluşan pürüzlülük değerleri Tablo 3.14’de belirtildi. Tablo 3.14’de ortalama yüzey pürüzlülüğünü ifade eden Ra değerleri ve standart sapmaları, Şekil 3.14’de işlem uygulanmış olarak sütun grafiğinde özetlendi.

Tablo 3.14. Isıtılmış numunelere uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük değerleri

ICCR3 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				RP8 -İşlem Uygulanmış Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	1,900	1,520	2,110	Ra	0,742	0,595	1,110
Rz	12,800	11,900	14,100	Rz	6,260	4,470	9,160
DTNR5 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				RP11 -İşlem Uygulanmış Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	0,920	0,729	1,070	Ra	1,040	0,865	1,260
Rz	6,860	5,240	8,690	Rz	8,630	6,500	10,600

Tablo 3.14’de belirtilen yüzey pürüzlülük değerlerine ait detaylı yüzey topografya raporları Ek-C’de sunulmuştur.



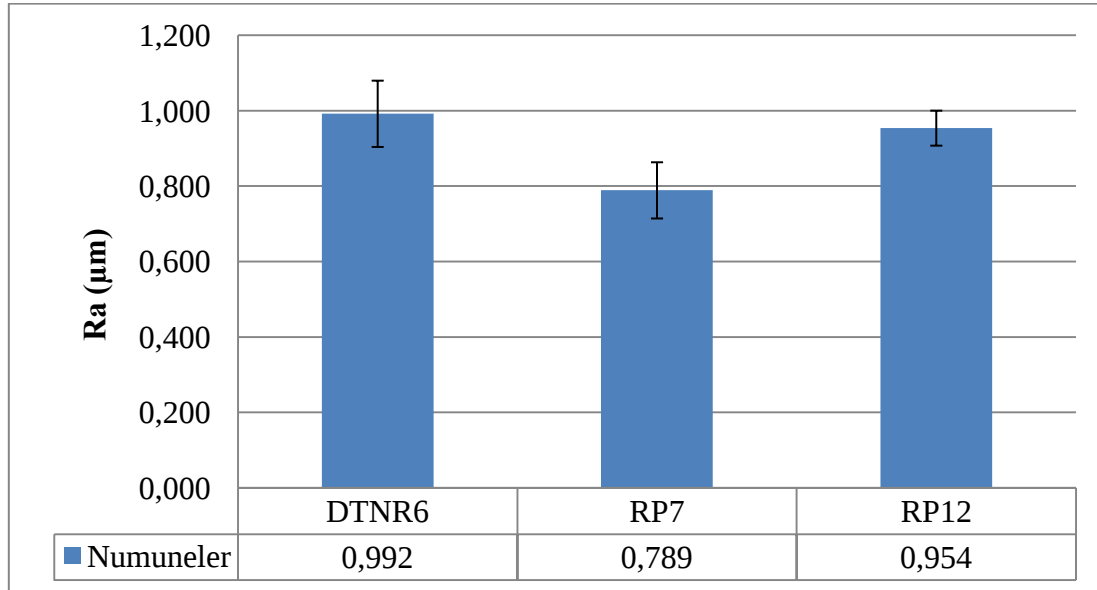
Şekil 3.14. Önceden ısıtılmış numunelere uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük değer grafiği

Tablo 3.9’da belirtilen parametreler ile yapılan kuru kumlama işlemi sonucunda yüzeyde oluşan pürüzlülük değerleri ile numunedeki alt yüzeye ait pürüzlülük değerleri Tablo 3.15’de belirtildi. Tablo 3.15’de ortalama yüzey pürüzlülüğünü ifade eden Ra değerleri ve standart sapmaları, Şekil 3.15’de işlem uygulanmış olarak, Şekil 3.16’da ise işlem uygulanmamış olarak sütun grafiğinde özetlendi.

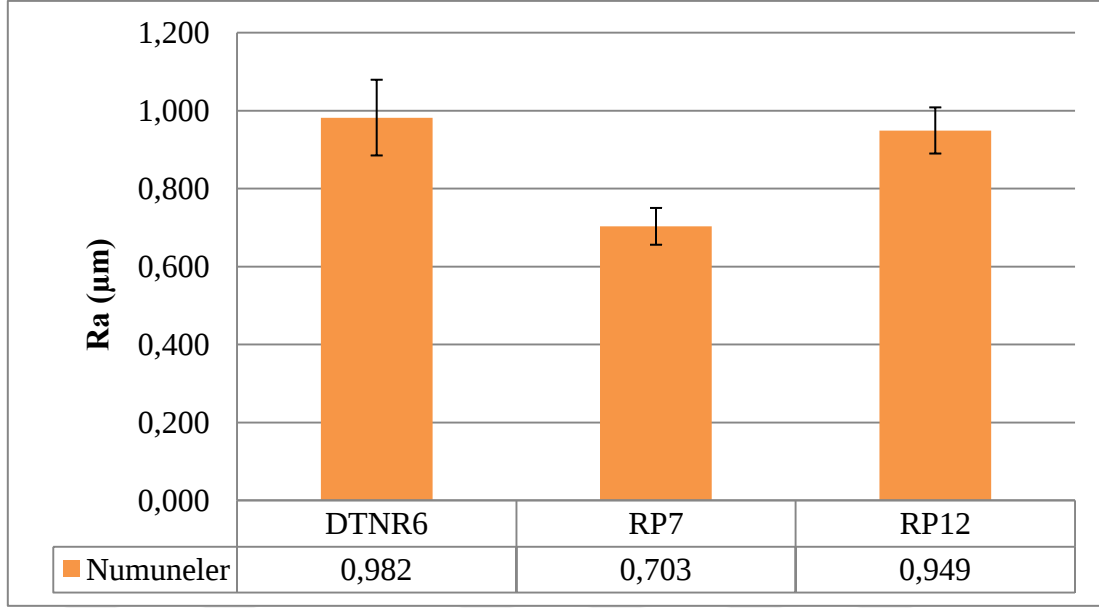
Tablo 3.15. Kuru kumlama işlemi uygulanmış numunelere ait yüzey pürüzlülük değerleri

DTNR6 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				DTNR6 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	0,992	0,813	1,180	Ra	0,982	0,819	1,180
Rz	8,540	6,470	10,100	Rz	8,510	5,740	11,800
RP7 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				RP7 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	0,789	0,659	0,907	Ra	0,703	0,629	0,818
Rz	6,710	4,680	8,920	Rz	6,190	4,740	8,820
RP12 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				RP12 -Normal Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	0,954	0,881	1,060	Ra	0,949	0,823	1,060
Rz	7,490	6,270	10,200	Rz	6,920	5,550	8,860

Tablo 3.15’de belirtilen yüzey pürüzlülük değerlerine ait detaylı yüzey topografya raporları Ek-D’de sunulmuştur.



Şekil 3.15. Kuru kumlama işlemi uygulanan numunelere ait yüzey pürüzlülük değer grafiği



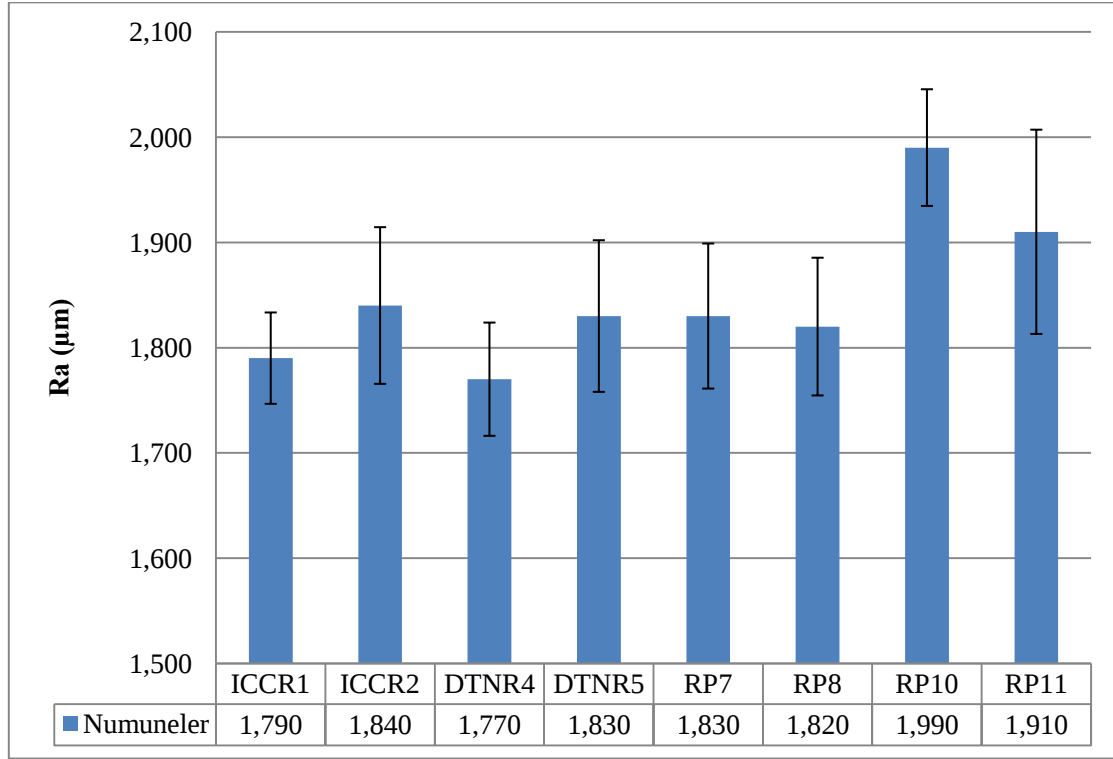
Şekil 3.16. Kuru kumlama işlemi uygulanmamış yüzeye ait pürüzlülük değer grafiği

Tablo 3.10’da belirtilen değişken zaman parametresi ile yapılan yaş kumlama işlemi sonucunda yüzeyde oluşan pürüzlülük değerleri Tablo 3.16’da belirtildi. Tablo 3.16’da ortalama yüzey pürüzlülüğünü ifade eden Ra değerleri ve standart sapmaları Şekil 3.17’de işlem uygulanmış olarak sütun grafiğinde özetlendi. Yaş kumlama işlemi sonrası numunelere ait görseller Şekil 3.18’deki gibidir.

Tablo 3.16. Yaş kumlama işlemi uygulanmış numunelere ait yüzey pürüzlülük değerleri

ICCR1-İşlem Uygulanmış Yüzey-				RP7 -İşlem Uygulanmış Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	1,790	1,680	1,870	Ra	1,830	1,710	1,980
Rz	13,700	12,300	17,000	Rz	13,900	12,500	15,100
ICCR2-İşlem Uygulanmış Yüzey-				RP8 -İşlem Uygulanmış Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	1,840	1,700	2,030	Ra	1,820	1,710	1,950
Rz	13,800	12,200	15,800	Rz	13,800	12,500	16,400
DTNR4 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				RP10 -İşlem Uygulanmış Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	1,770	1,600	1,860	Ra	1,990	1,890	2,130
Rz	13,600	11,800	14,800	Rz	15,700	14,400	17,400
DTNR5 -İşlem Uygulanmış Yüzey-				RP11 -İşlem Uygulanmış Yüzey-			
Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.	Pürüzlülük(μm)	Ort.	Min.	Max.
Ra	1,830	1,650	1,970	Ra	1,910	1,750	2,120
Rz	13,900	12,000	15,900	Rz	14,700	12,700	17,100

Tablo 3.16’da belirtilen yüzey pürüzlülük değerlerine ait detaylı yüzey topografya raporları Ek-E’de sunulmuştur.



Şekil 3.17. Yaş kumlama işlemi uygulanan numunelere ait yüzey pürüzlülük değerler grafiği



Şekil 3.18. Yaş kumlama işlemi uygulanmış numuneler

3.4.2. Mikroyapı İnceleme Yöntemi ve Sonuçları

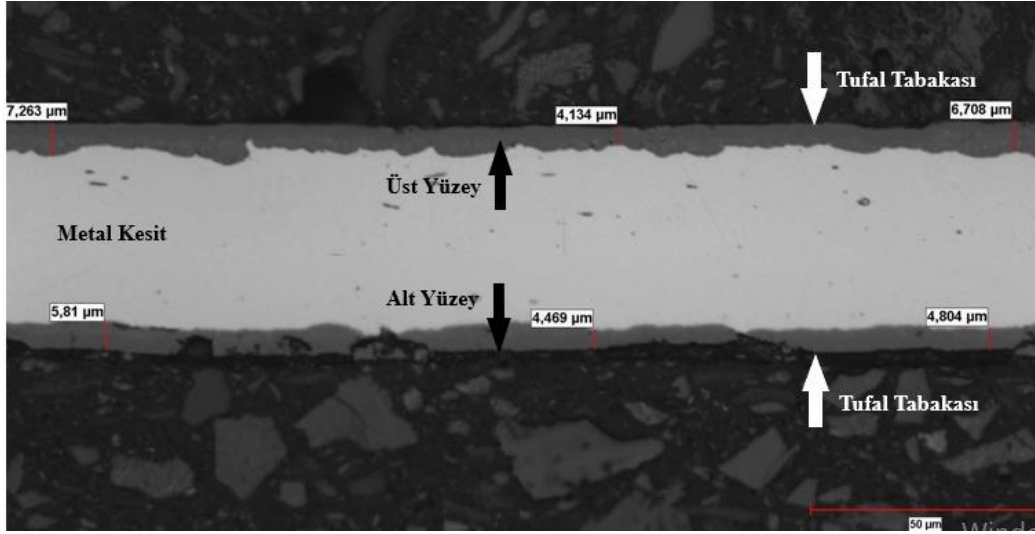
Mikroyapı incelemeleri yapılabilmesi için alınan numuneler ASTM E3 standardı gereğince hazırlandı. %2 Nitral içeren solüsyon kullanılarak ASTM E407 standardına göre aşındırma işlemi gerçekleştirildi. Bakalitleme işlemi Struers Citopress-20 cihazı ile elektrostatik toz bakalit kullanılarak yapıldı. Bakalitleme işleminden sonra numuneler; 400, 800 ve 1200 numaralı SiC zımparalar yardımıyla Struers Tegra Pol-21 cihazında su ile temas ettirilerek zımparalama işlemi yapıldı. Daha sonra Struers Tegra Force-5 cihazı ile elmas solüsyonlar kullanılarak parlatma işlemi yapıldı.



Şekil 3.19. Parlatma cihazı ve optik mikroskop

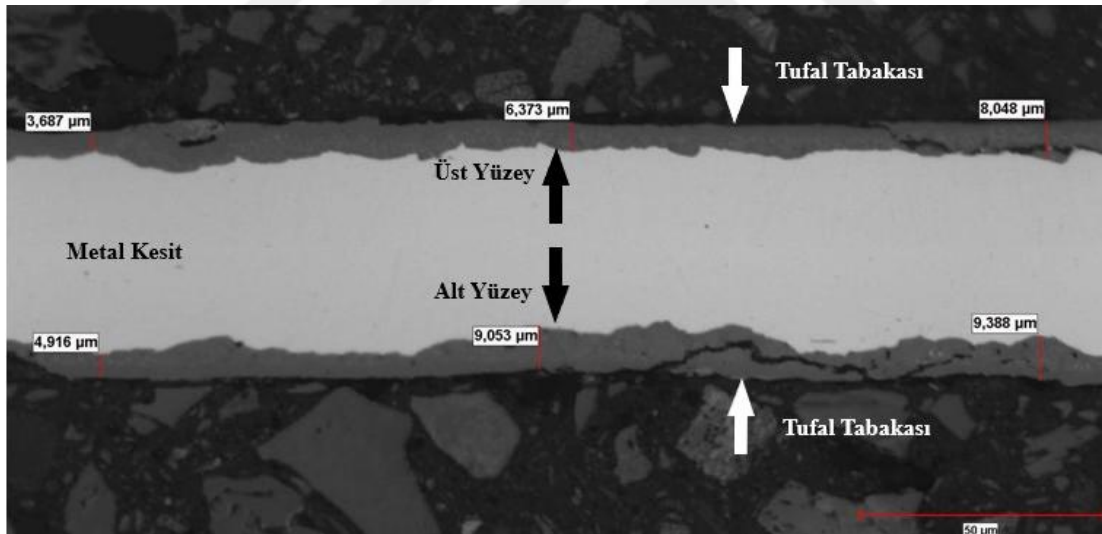
Tüm bu işlemler, numunelerin optik mikroskop altında incelenmesi için gerekli olup inceleme aşamasında ise Nikon Epiphot 200 model numaralı optik mikroskop kullanıldı. ASTM E45 ve ASTM E11 standartlarına göre x200 ve x500 ölçeklerinde büyütülerek mikroyapı görüntüleri alındı. Daha iyi analiz edebilmek adına tez çalışmasında x500 ölçekli görüntülere yer verildi.

Tablo 3.6’da belirtilen değişken parametreler ile kuru buz püskürtme işlemi yapılan numunelere ait kesit mikroyapı görüntüleri ilerleyen şekillerde belirtildiği gibidir.



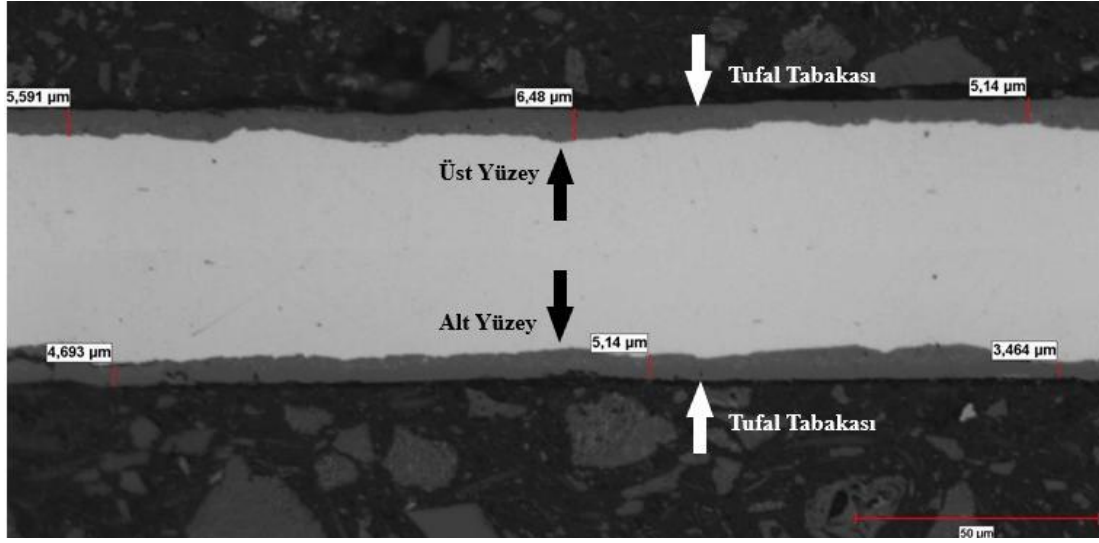
Şekil 3.20. TNR1 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.20’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan TNR1 numunesi yüzeyine, 10 bar basınç ve 0,5 m³/dk debi ile 1 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının devam ettiği görüldü.



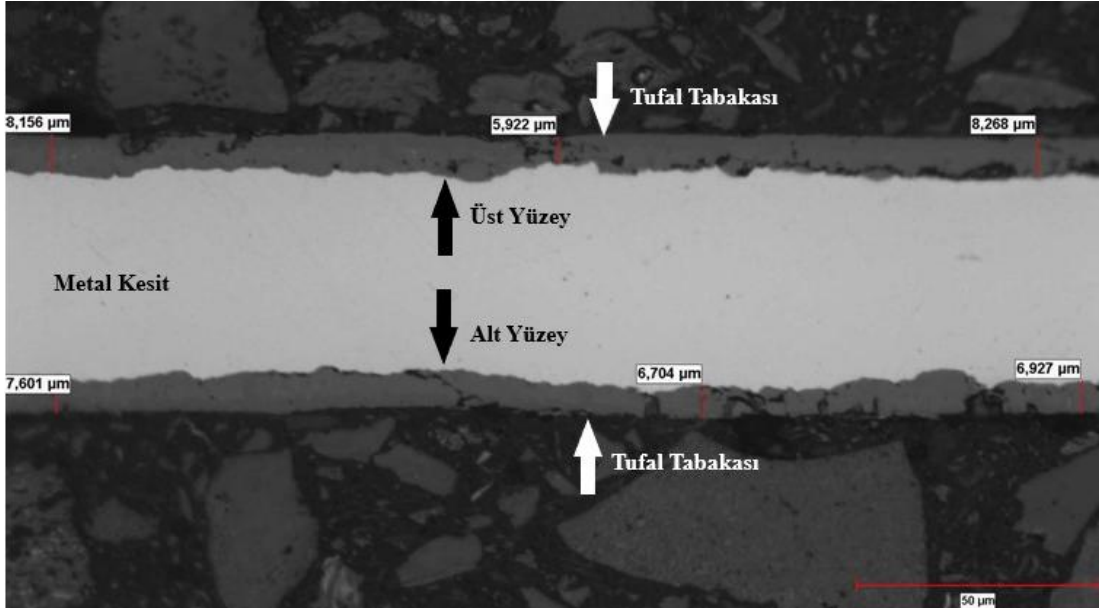
Şekil 3.21. TNR2 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.21’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan TNR2 numunesi yüzeyine, 10 bar basınç ve 2 m³/dk debi ile 2 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının çatladığı fakat varlığını devam ettirdiği görüldü.



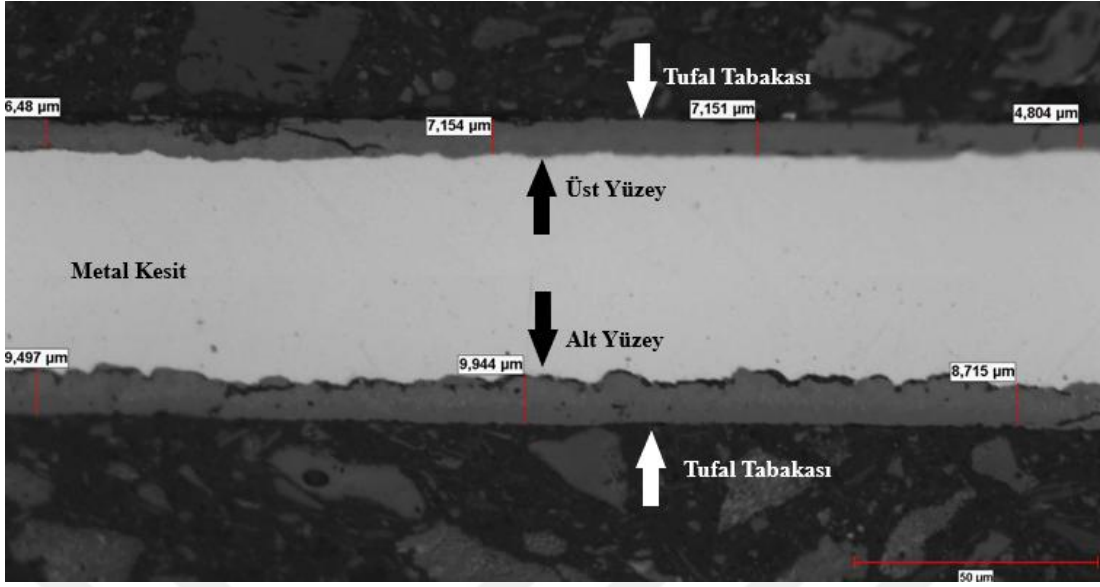
Şekil 3.22. TNR3 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.22’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan TNR3 numunesi yüzeyine, 10 bar basınç ve 3,5 m³/dk debi ile 3 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının devam ettiği görüldü.



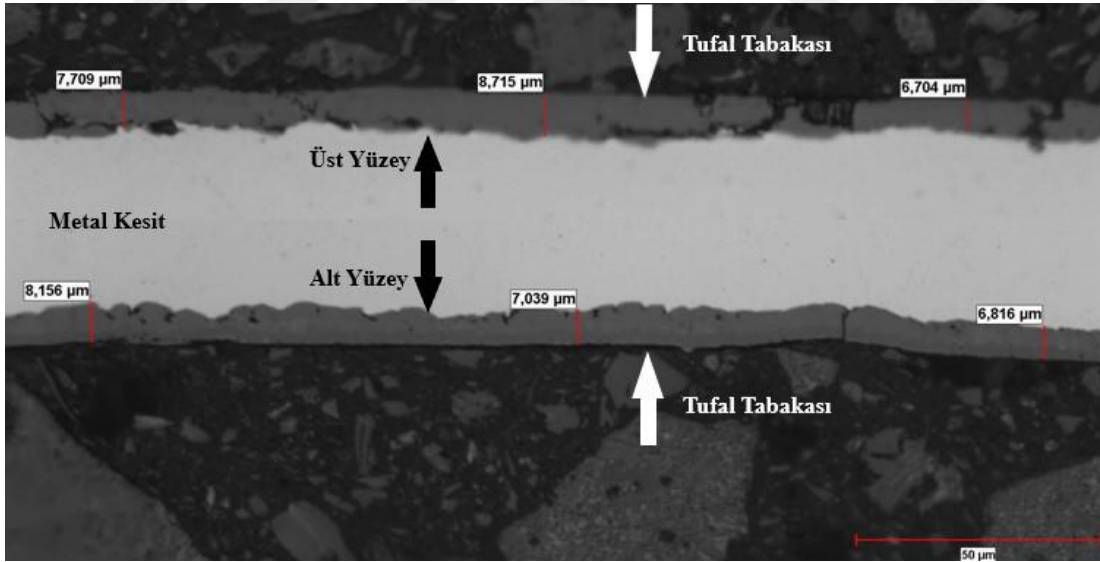
Şekil 3.23. ICCR1 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.23’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan ICCR1 numunesi yüzeyine, 10 bar basınç ve 0,5 m³/dk debi ile 1 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasında yer yer poroziteler oluşmasına rağmen tufal tabakasının devam ettiği görüldü.



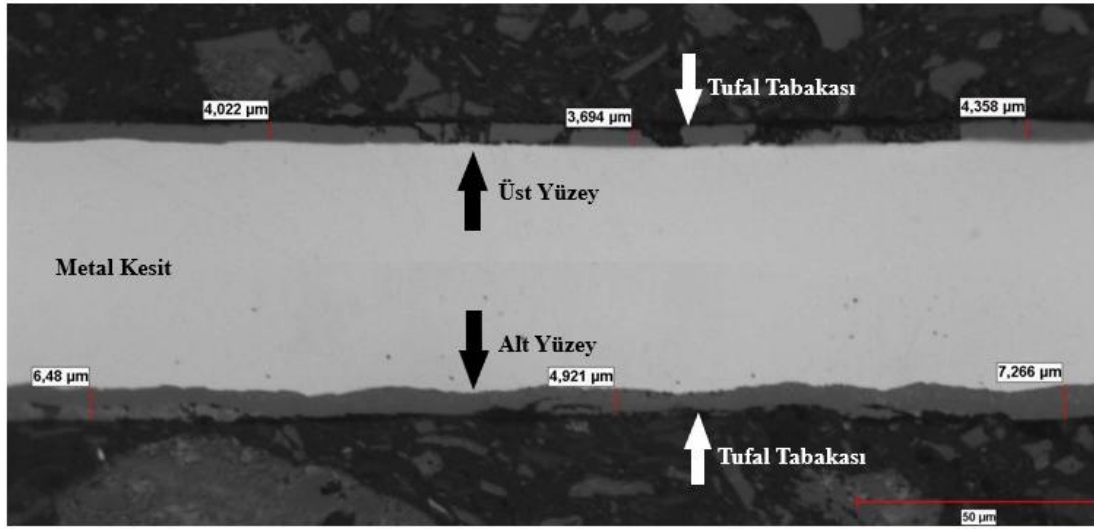
Şekil 3.24. ICCR2 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.24’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan ICCR2 numunesi yüzeyine, 10 bar basınç ve 2 m³/dk debi ile 2 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasında yer yer poroziteler oluştuğu ve tufal tabakasının çatlamaya başladığı görüldü.



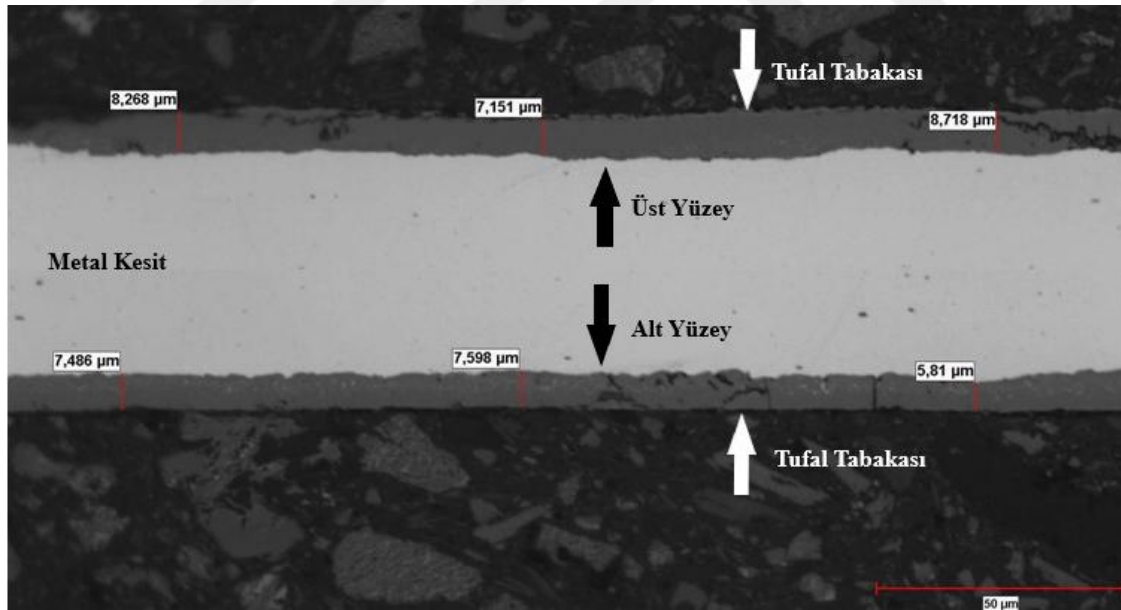
Şekil 3.25. ICCR3 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.25’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan ICCR3 numunesi yüzeyine, 10 bar basınç ve 3,5 m³/dk debi ile 3 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasında yer yer poroziteler oluştuğu ve tufal tabakasındaki çatlakların derinleşmeye başladığı görüldü.



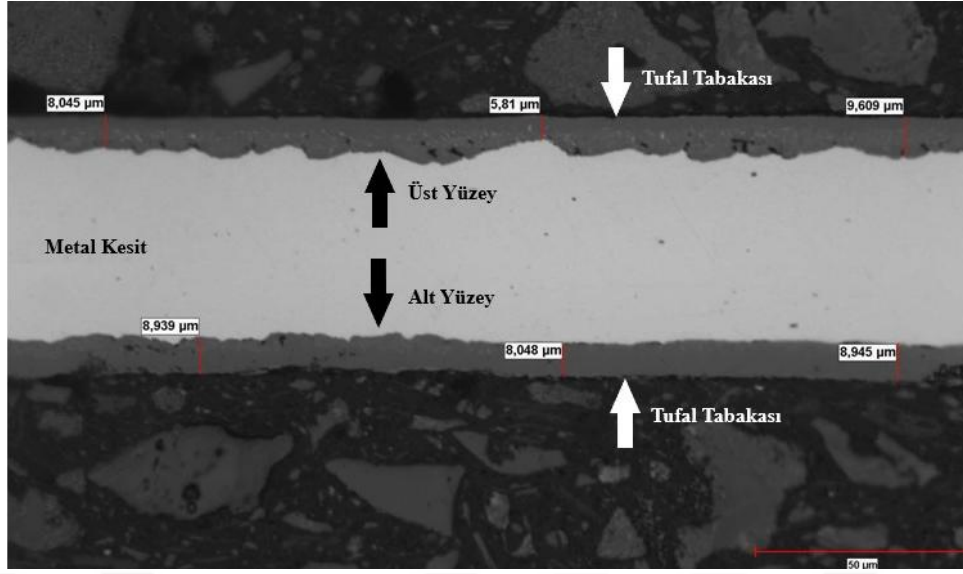
Şekil 3.26. RP1 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.26’da kesit mikroyapı görüntüsü sunulan RP1 numunesi yüzeyine, 10 bar basınç ve 0,5 m³/dk debi ile 1 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasında yer yer poroziteler oluştuğu ve tufal tabakasının çatladığı görüldü.



Şekil 3.27. RP2 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

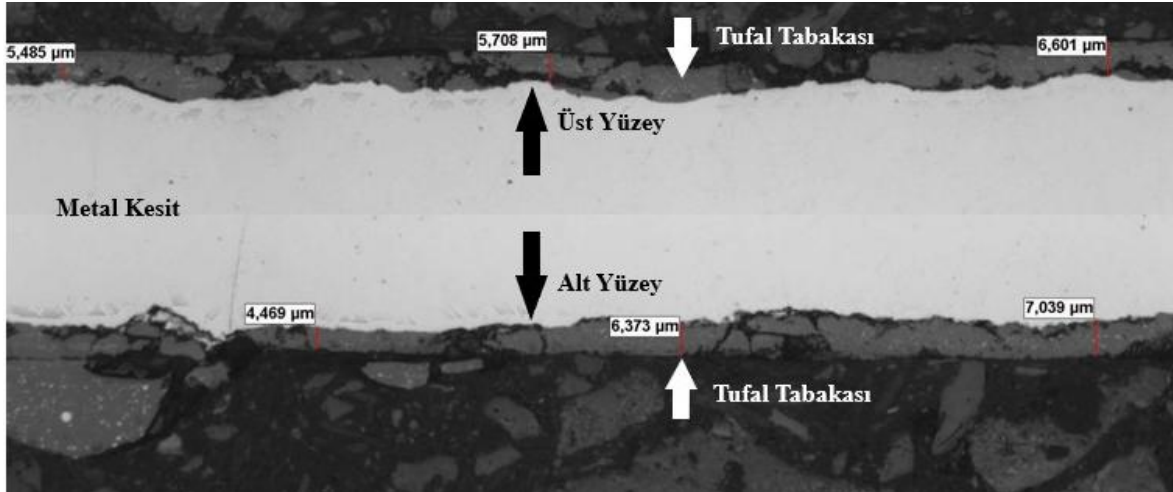
Şekil 3.27’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan RP2 numunesi yüzeyine, 10 bar basınç ve 2 m³/dk debi ile 2 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının çatladığı görüldü.



Şekil 3.28. RP3 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

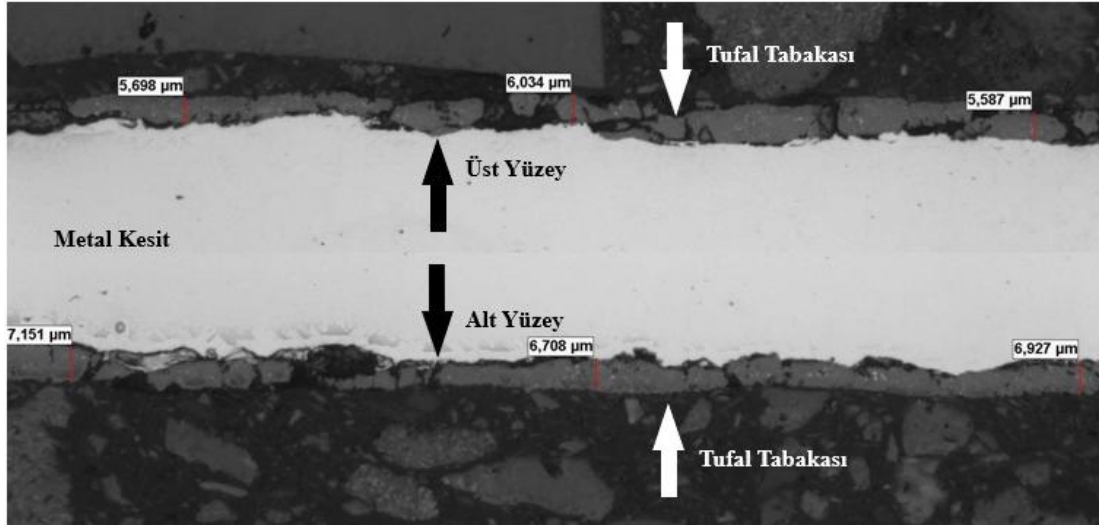
Şekil 3.28’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan RP3 numunesi yüzeyine, 10 bar basınç ve 3,5 m³/dk debi ile 3 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının devam ettiği görüldü.

Tablo 3.7’de belirtilen sabit parametreler ile kuru buz püskürtme işlemi uygulanan numunelere ait kesit mikroyapı görüntüleri ilerleyen şekillerde belirtildiği gibidir.



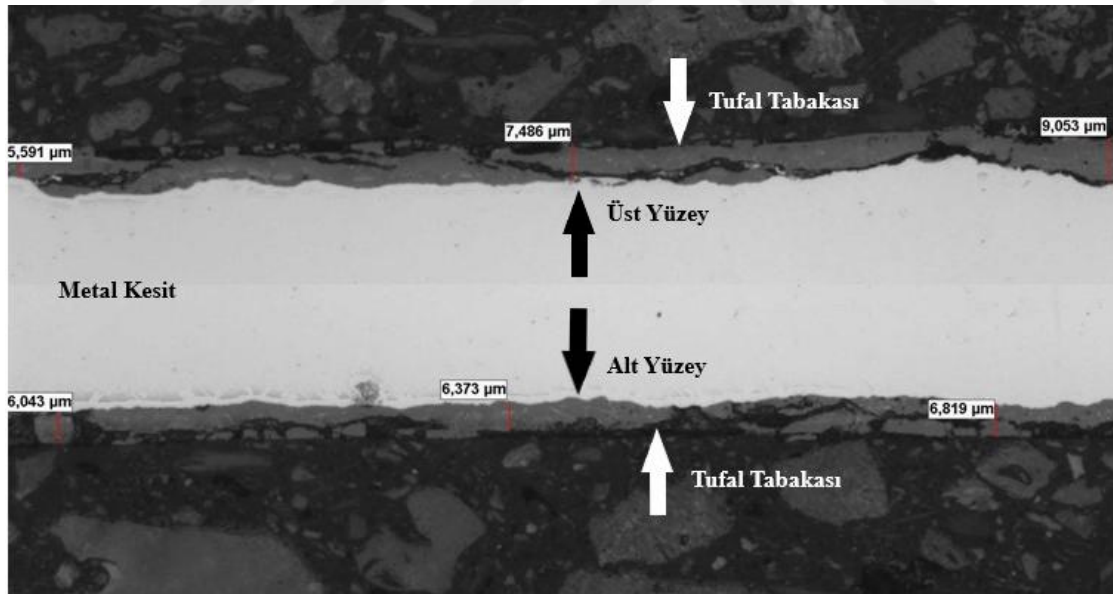
Şekil 3.29. ICCR1 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.29’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan ICCR1 numunesi yüzeyine, LY-JET3 130 Millennium S makinesi ile 7 bar basınç ve 3 m³/dk debi şartlarında 1 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının büyük ölçüde deforme olduğu fakat yüzeyden tamamen giderilemediği görüldü.



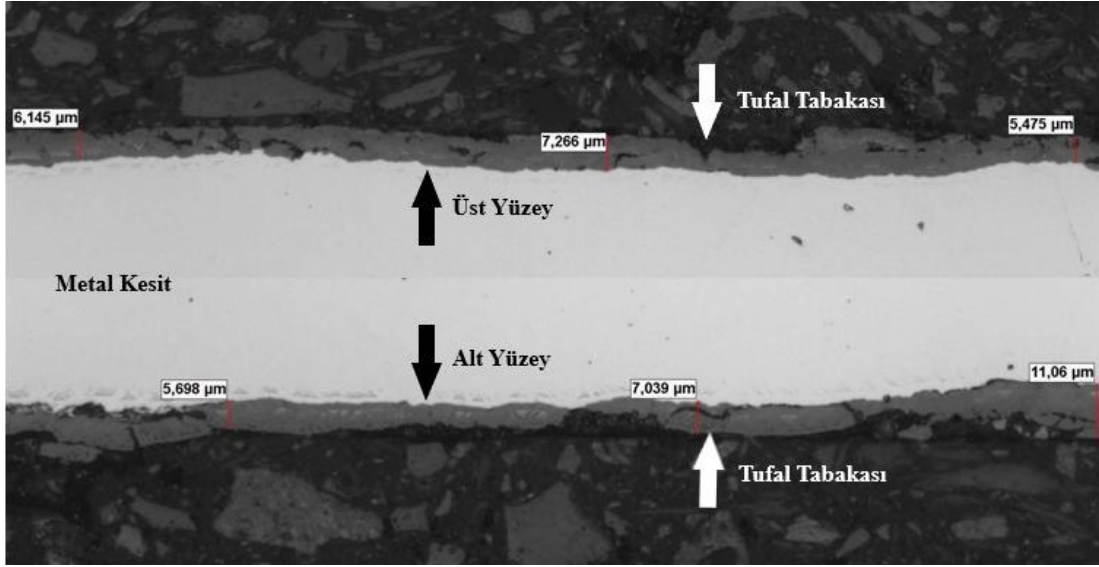
Şekil 3.30. ICCR2 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.30’da kesit mikroyapı görüntüsü sunulan ICCR2 numunesi yüzeyine, LY-MP1 60 MikroPartikel makinesi ile 7 bar basınç ve 3 m³/dk debi şartlarında 3 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının büyük ölçüde deforme olduğu fakat yüzeyden tamamen giderilemediği görüldü.



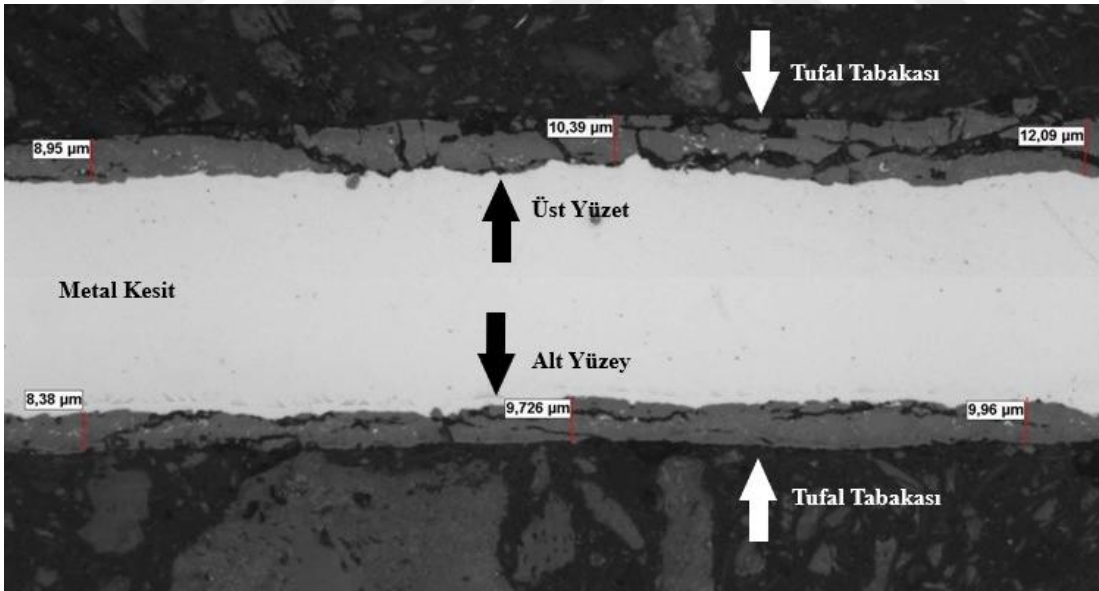
Şekil 3.31. DTNR4 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.31’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan DTNR4 numunesi yüzeyine, LY-MP1 60 MikroPartikel makinesi ile 7 bar basınç ve 3 m³/dk debi şartlarında 3 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının deforme olduğu fakat yüzeyden tamamen giderilemediği görüldü.



Şekil 3.32. RP9 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

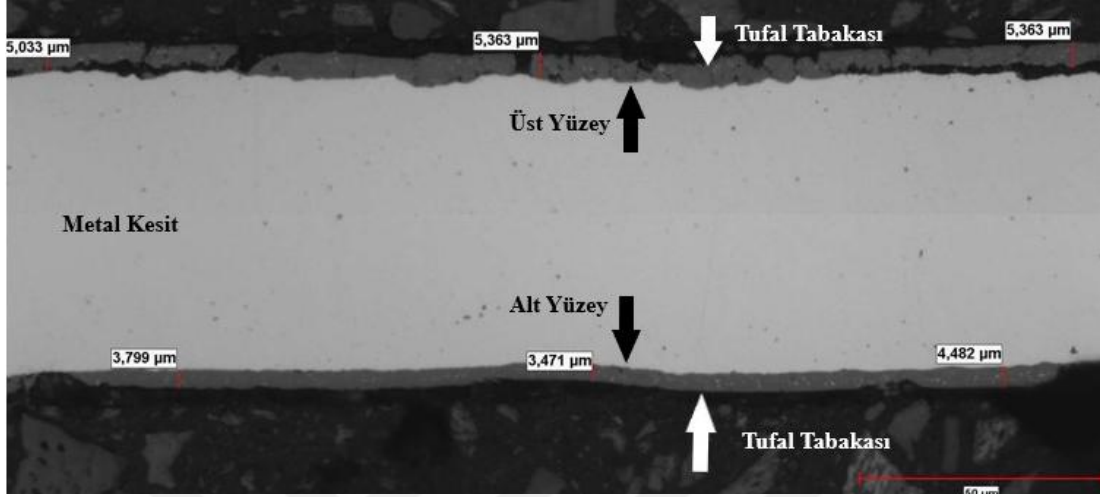
Şekil 3.32’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan RP9 numunesi yüzeyine, LY-MP1 60 MikroPartikel makinesi ile 7 bar basınç ve 3 m³/dk debi şartlarında 3 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasında poroziteler oluştuğu fakat yüzeyden giderilemediği görüldü.



Şekil 3.33. RP10 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

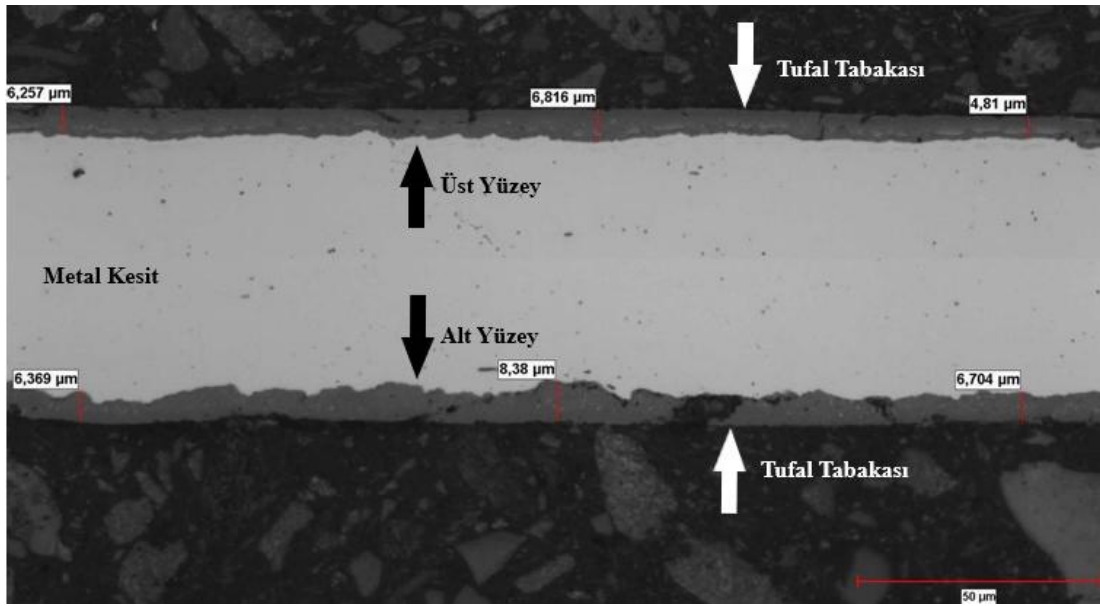
Şekil 3.33’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan RP10 numunesi yüzeyine, LY-MP1 60 MikroPartikel makinesi ile 7 bar basınç ve 3 m³/dk debi şartlarında 3 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının büyük ölçüde deforme olduğu fakat yüzeyden tamamen giderilemediği görüldü.

Tablo 3.8’de belirtilen parametreler ile önce 150 °C sıcaklığa ısıtılan daha sonra kuru buz püskürtme işlemi uygulanan numunelere ait kesit mikroyapı görüntüleri ilerleyen şekillerde belirtildiği gibidir.



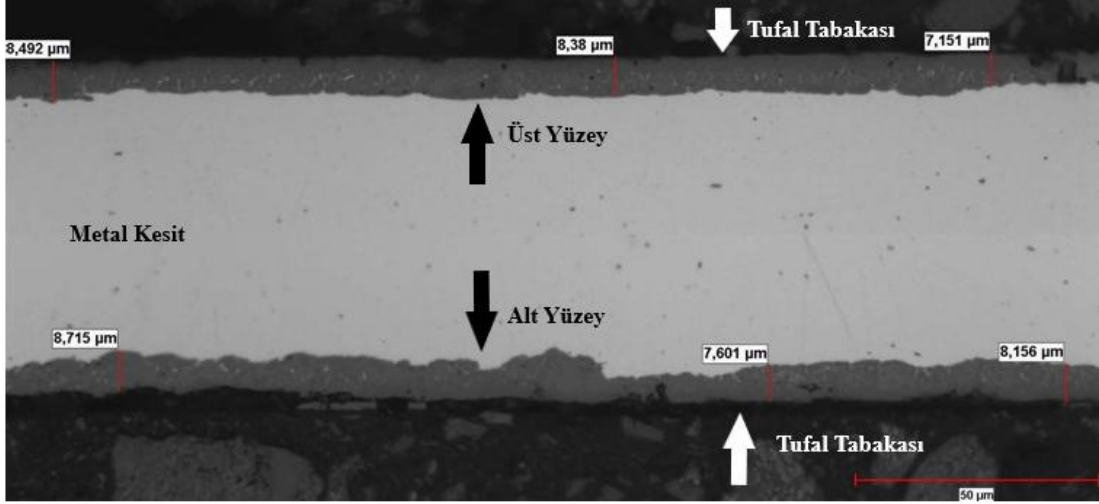
Şekil 3.34. ICCR3 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.34’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan önceden ısıtılmış ICCR3 numunesi yüzeyine, LY-MP1 60 MikroPartikel makinesi ile 7 bar basınç ve 3 m³/dk debi şartlarında 3 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının yer yer çatladığı fakat yüzeyden tamamen giderilemediği görüldü.



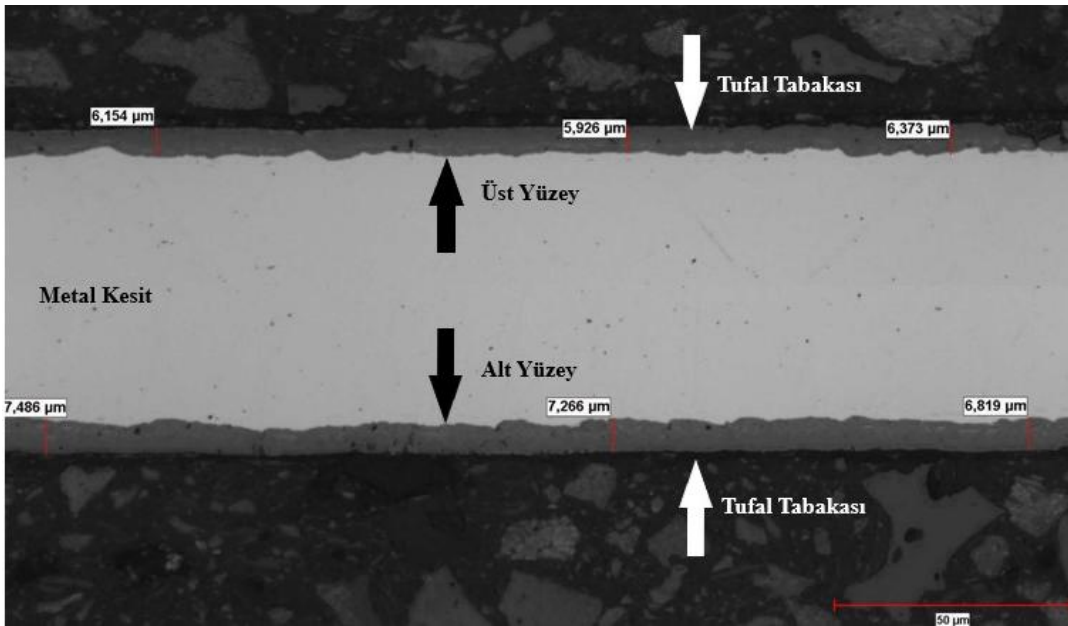
Şekil 3.35. DTNR5 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.35’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan önceden ısıtılmış DTNR5 numunesi yüzeyine, LY-MP1 60 MikroPartikel makinesi ile 7 bar basınç ve 3 m³/dk debi şartlarında 3 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının giderilemediği görüldü.



Şekil 3.36. RP8 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

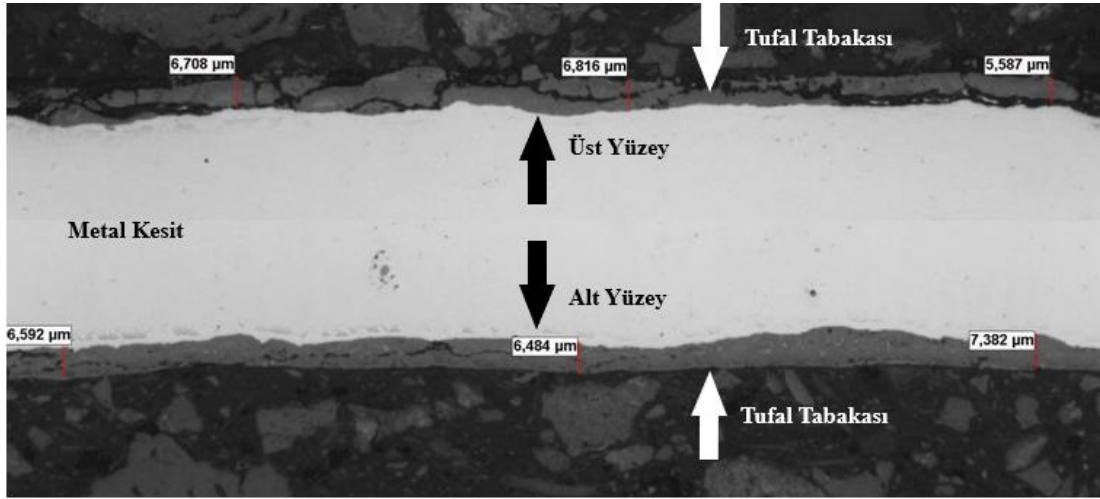
Şekil 3.36’da kesit mikroyapı görüntüsü sunulan önceden ısıtılmış RP8 numunesi yüzeyine, LY-MP1 60 MikroPartikel makinesi ile 7 bar basınç ve 3 m³/dk debi şartlarında 3 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının giderilemediği görüldü.



Şekil 3.37. RP11 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

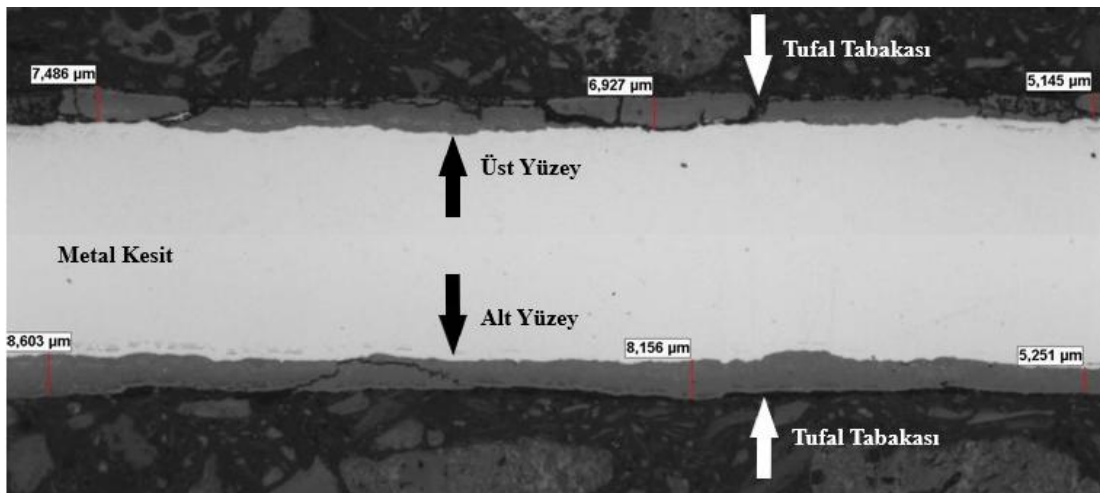
Şekil 3.37’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan önceden ısıtılmış RP11 numunesi yüzeyine, LY-MP1 60 MikroPartikel makinesi ile 7 bar basınç ve 3 m³/dk debi şartlarında 3 dakika boyunca kuru buz püskürtme işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının giderilemediği görüldü.

Tablo 3.9’da belirtilen şartlarda plastik peletler ile kuru kumlama işlemi uygulanan numunelere ait kesit mikroyapı görüntüleri şekillerde belirtildiği gibidir.



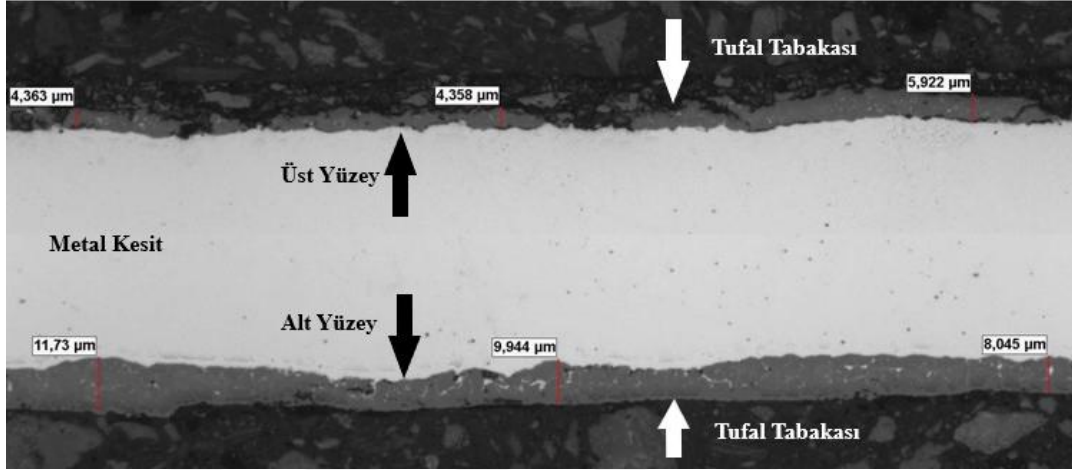
Şekil 3.38. DTNR6 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.38’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan DTNR6 numunesi yüzeyine, 7 bar basınç ve 3 m³/dk debi ile 30 saniye boyunca plastik peletler ile kuru kumlama işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının büyük ölçüde çatladığı fakat tamamen giderilemediği görüldü.



Şekil 3.39. RP7 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

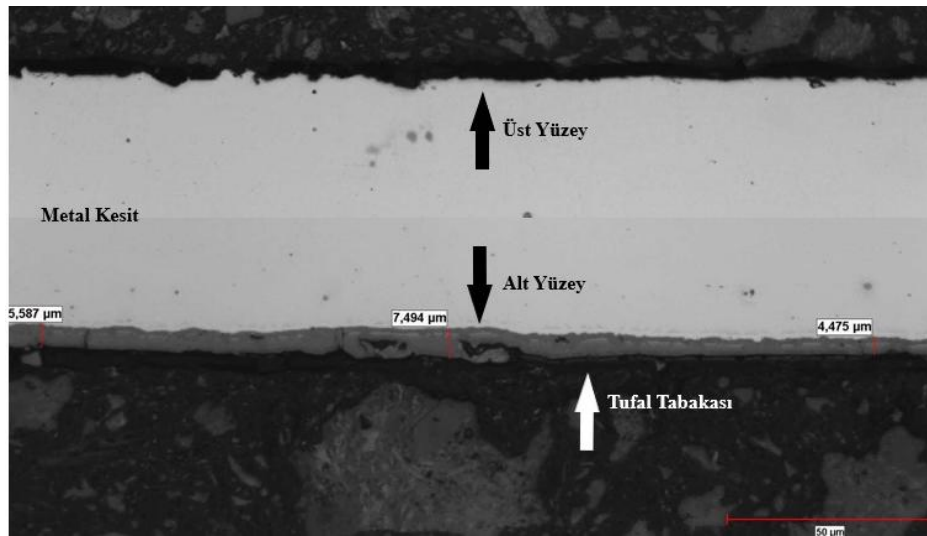
Şekil 3.39’da kesit mikroyapı görüntüsü sunulan RP7 numunesi yüzeyine, 7 bar basınç ve 3 m³/dk debi ile 30 saniye boyunca plastik peletler ile kuru kumlama işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının büyük ölçüde çatladığı fakat tamamen giderilemediği görüldü.



Şekil 3.40. RP12 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

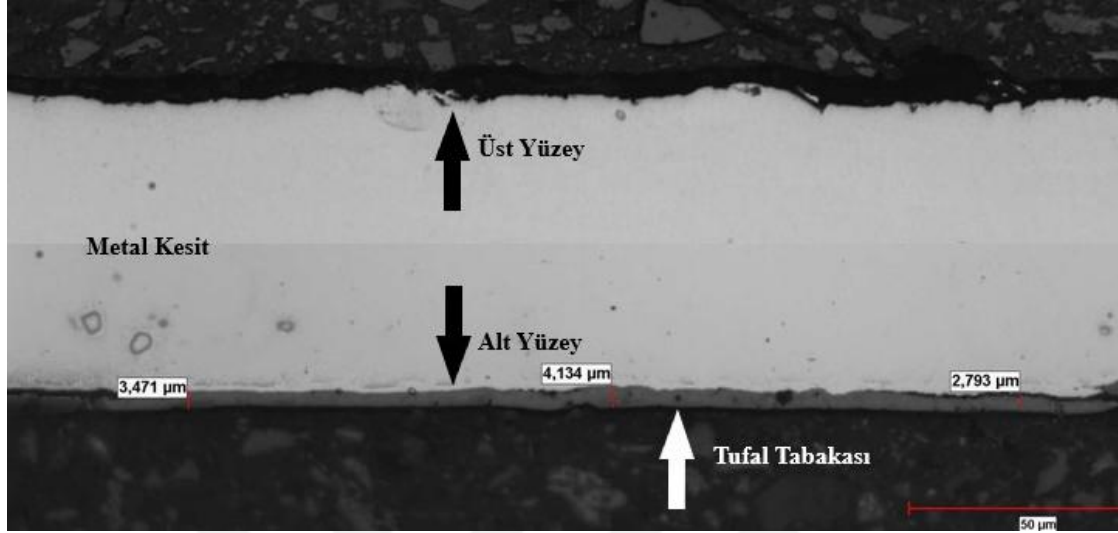
Şekil 3.40’da kesit mikroyapı görüntüsü sunulan RP12 numunesi yüzeyine, 7 bar basınç ve 3 m³/dk debi ile 30 saniye boyunca plastik peletler ile kuru kumlama işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının büyük ölçüde çatladığı fakat tamamen giderilemediği görüldü.

Tablo 3.10’da belirtilen şartlarda yaş kumlama işlemi uygulanan numunelere ait kesit mikroyapı görüntüleri ilerleyen şekillerde belirtildiği gibidir.



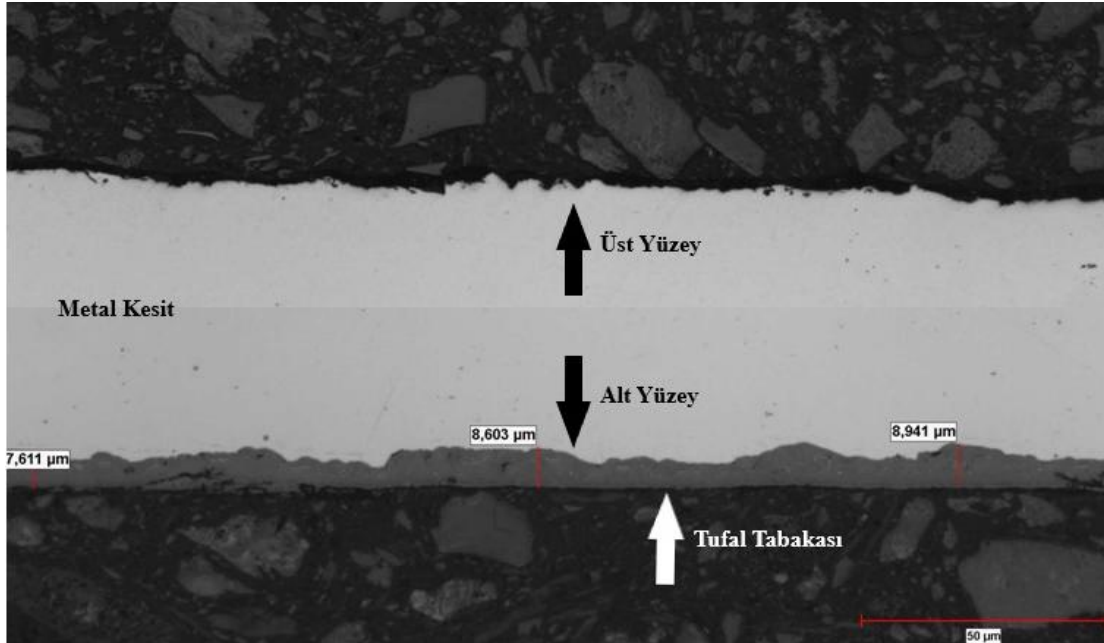
Şekil 3.41. ICCR1 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.41’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan ICCR1 numunesi yüzeyine, 6 bar basınç ve 1,2 m³/dk debi ile 30 saniye boyunca yaş kumlama işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının tamamen giderildiği görüldü.



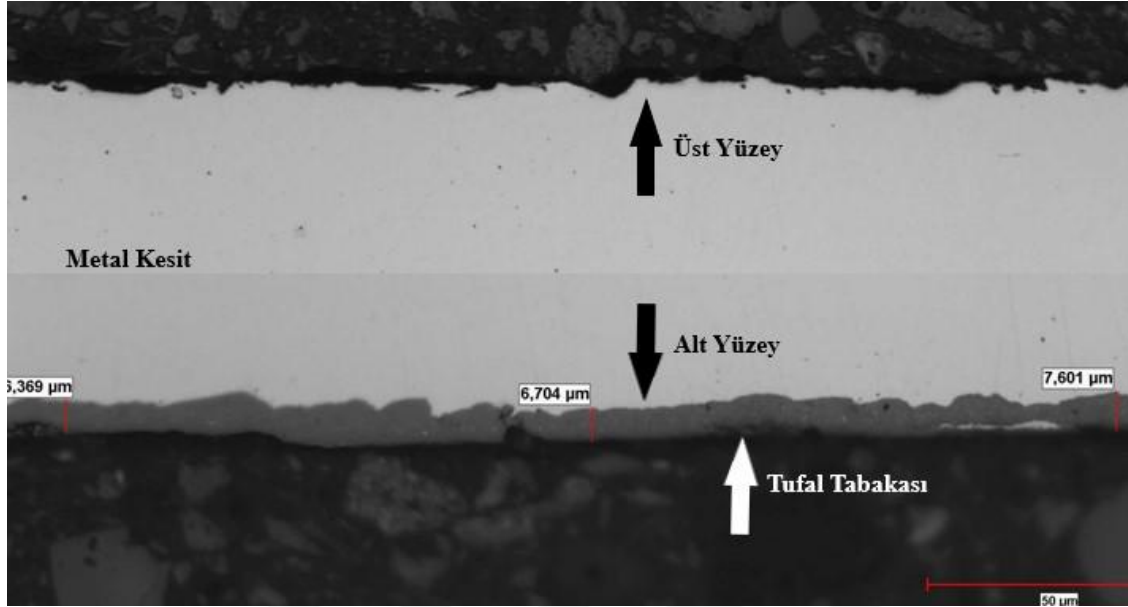
Şekil 3.42. ICCR2 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.42’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan ICCR2 numunesi yüzeyine, 6 bar basınç ve 1,2 m³/dk debi ile 90 saniye boyunca yaş kumlama işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının tamamen giderildiği görüldü.



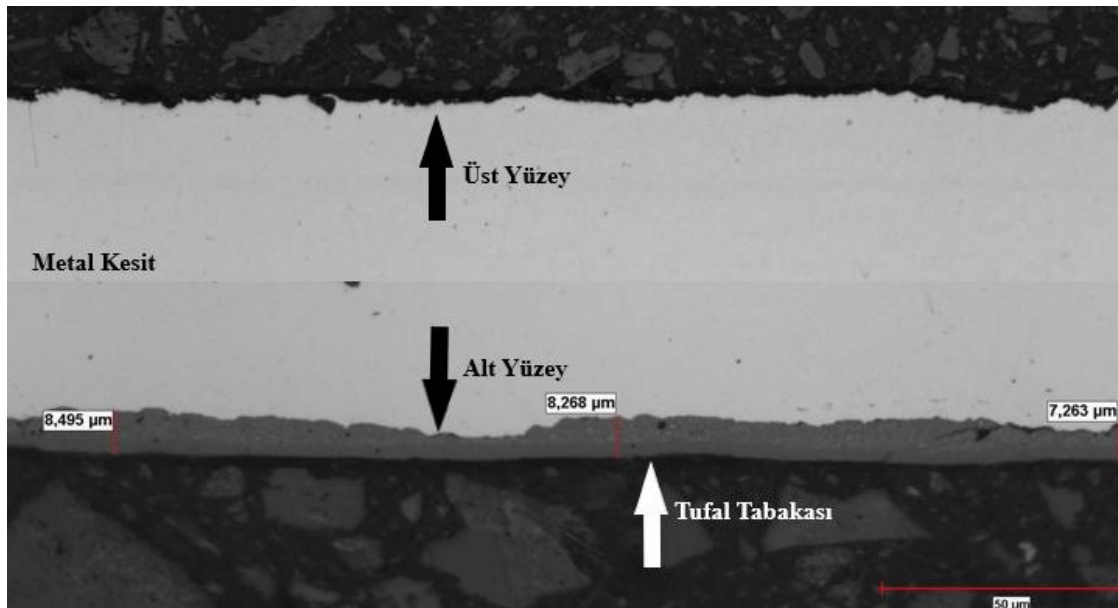
Şekil 3.43. DTNR4 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.43’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan DTNR4 numunesi yüzeyine, 6 bar basınç ve 1,2 m³/dk debi ile 20 saniye boyunca yaş kumlama işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının tamamen giderildiği görüldü.



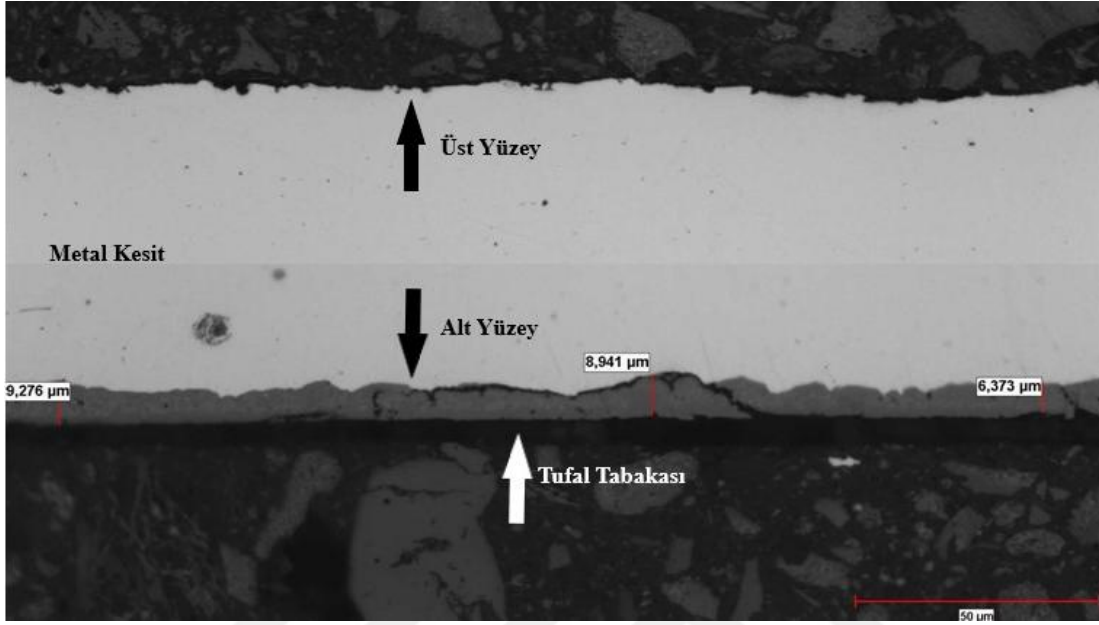
Şekil 3.44. DTNR5 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.44’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan DTNR5 numunesi yüzeyine, 6 bar basınç ve 1,2 m³/dk debi ile 60 saniye boyunca yaş kumlama işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının tamamen giderildiği görüldü.



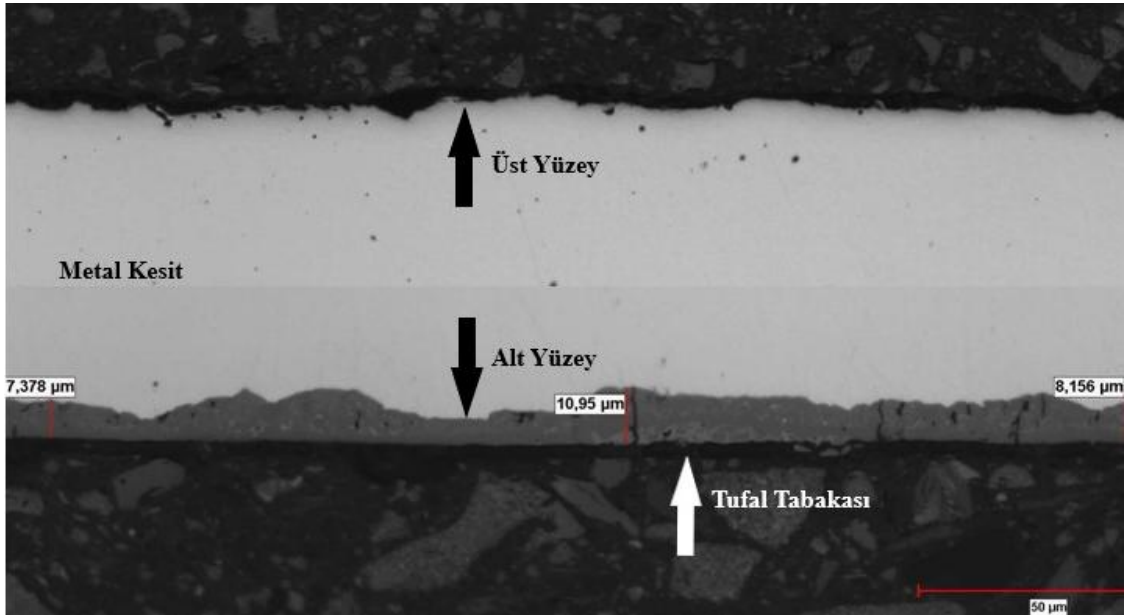
Şekil 3.45. RP7 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.45’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan RP7 numunesi yüzeyine, 6 bar basınç ve 1,2 m³/dk debi ile 20 saniye boyunca yaş kumlama işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının tamamen giderildiği görüldü.



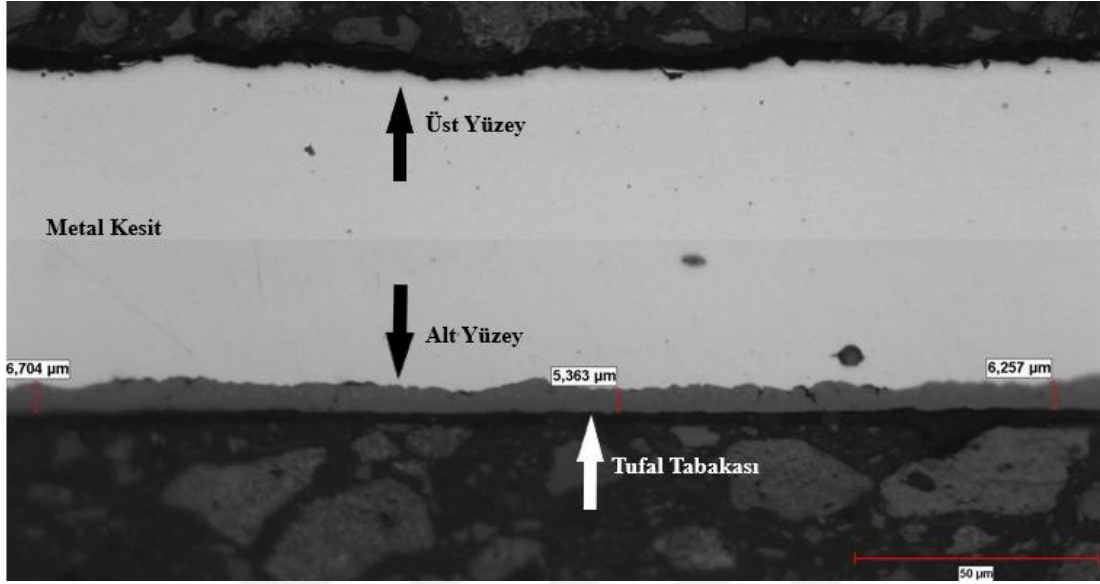
Şekil 3.46. RP8 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.46’da kesit mikroyapı görüntüsü sunulan RP8 numunesi yüzeyine, 6 bar basınç ve 1,2 m³/dk debi ile 60 saniye boyunca yaş kumlama işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının tamamen giderildiği görüldü.



Şekil 3.47. RP10 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.47’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan RP10 numunesi yüzeyine, 6 bar basınç ve 1,2 m³/dk debi ile 30 saniye boyunca yaş kumlama işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının tamamen giderildiği görüldü.



Şekil 3.48. RP11 numunesine ait kesit mikroyapı görüntüsü

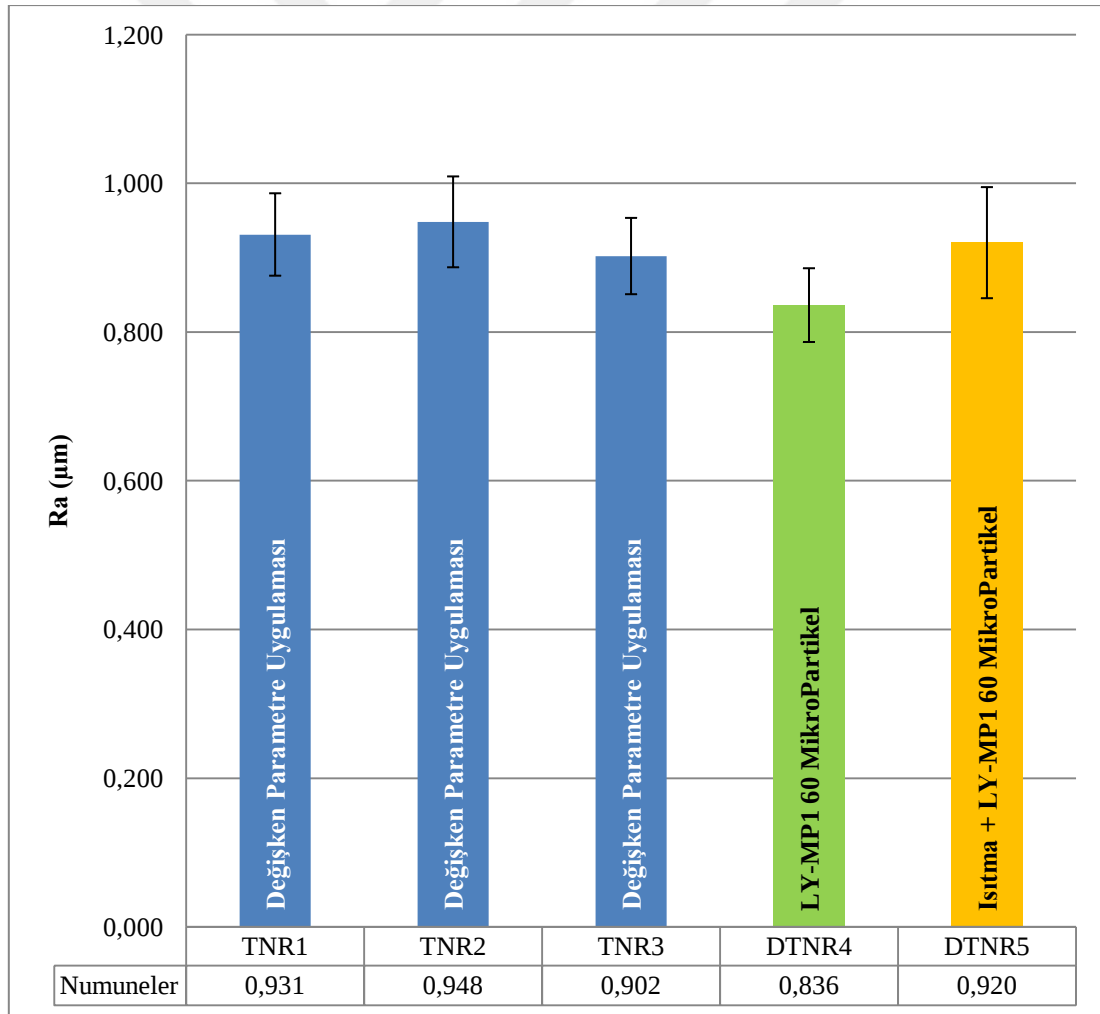
Şekil 3.48’de kesit mikroyapı görüntüsü sunulan RP11 numunesi yüzeyine, 6 bar basınç ve 1,2 m³/dk debi ile 90 saniye boyunca yaş kumlama işlemi uygulandıktan sonra üst yüzeyde tufal tabakasının tamamen giderildiği görüldü.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan deney çalışmalarında uygulanan işlem türünün parametrelerine bağlı olarak saptanan bulgular ilerleyen başlıklar altında incelenmektedir.

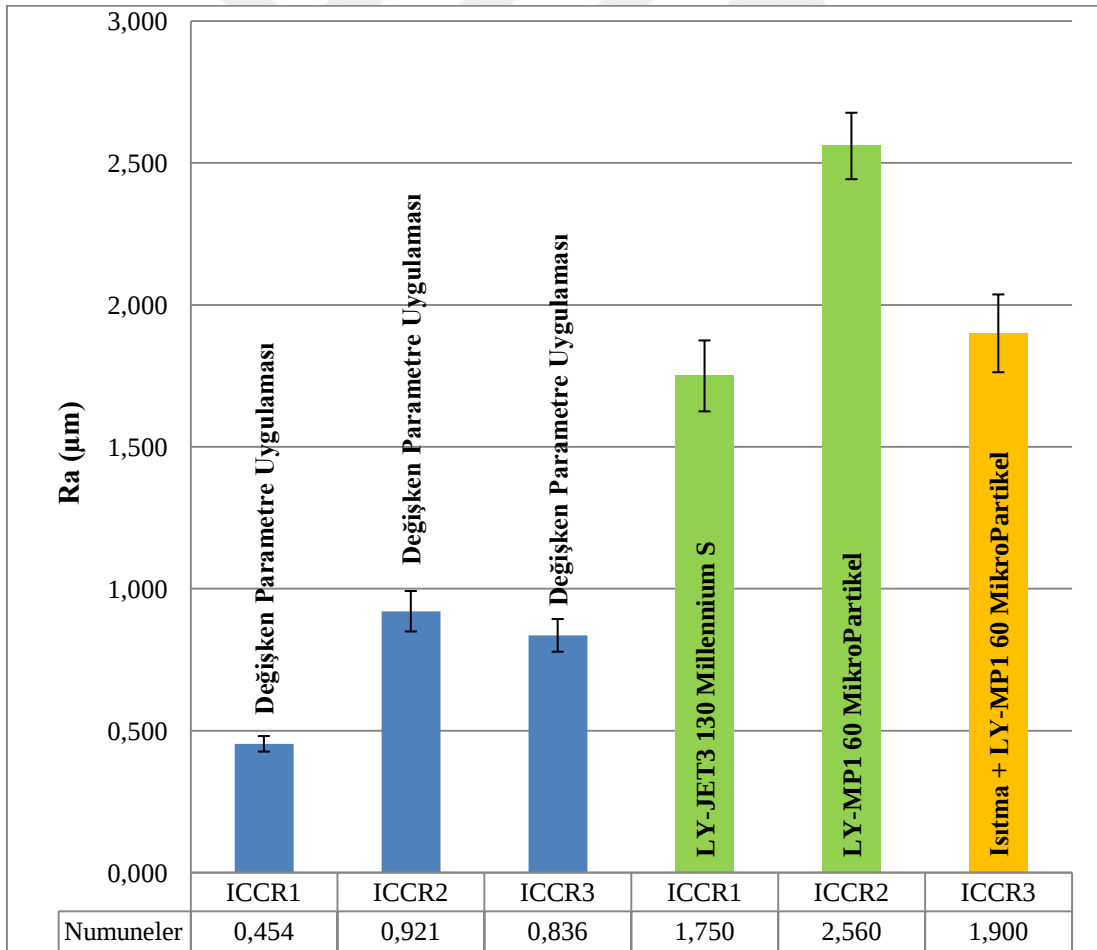
4.1. Bulgular

Nihai durumda farklı kalite ürüne dönüşecek olan TNR ve DTNR rumuzlu malzemelerden alınan numunelere henüz soğuk haddeleme işlemi uygulanmadığından, farklı makinelerde farklı şartlar altında yapılan kuru buz püskürtme işlemine ait karşılaştırma grafiği Şekil 4.1'deki gibidir. Benzer şekilde ICCR ve RP rumuzlu malzemeler üzerinde farklı makinelerde farklı şartlar altında uygulanan kuru buz püskürtme işlemi Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de belirtildiği gibidir.



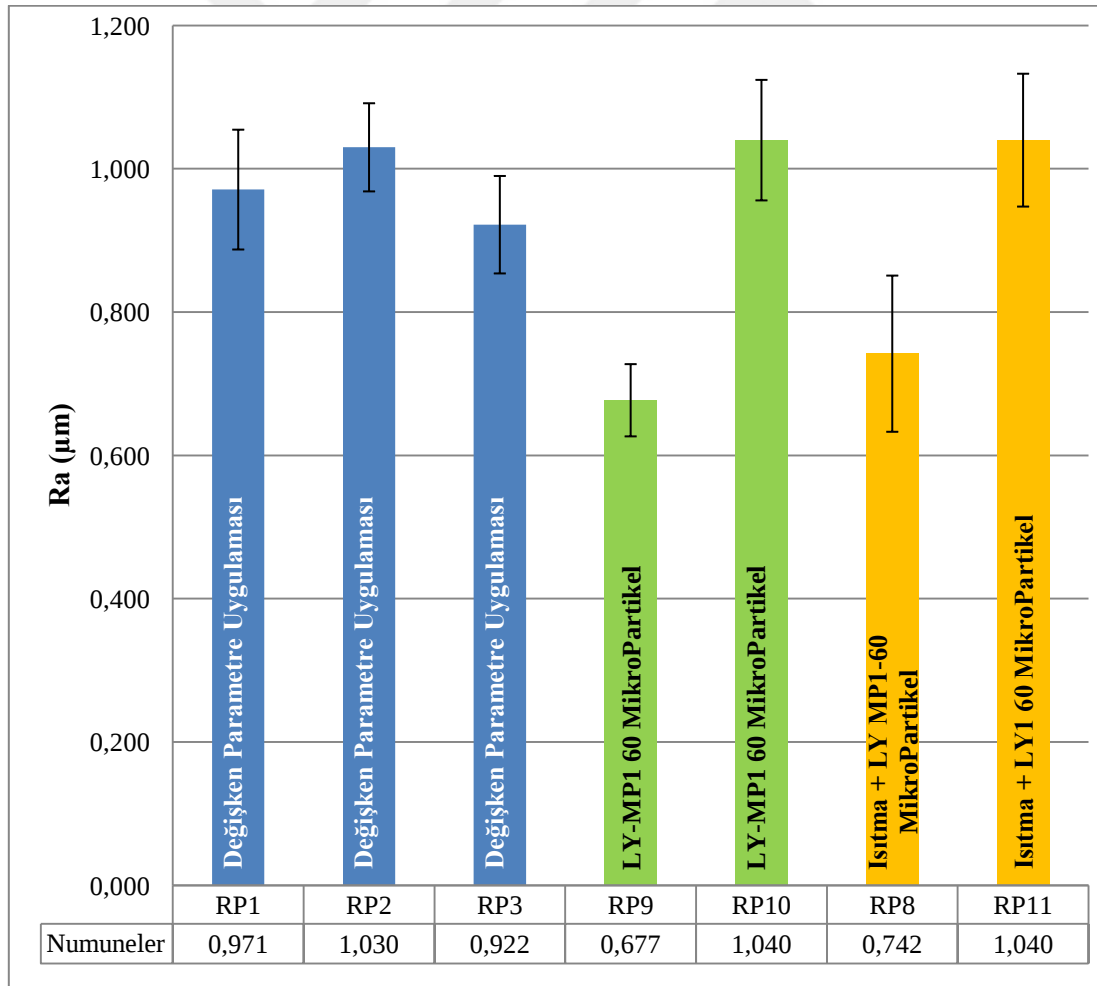
Şekil 4.1. TNR ve DTNR numuneleri için farklı durumlardaki yüzey pürüzlülük değerleri

Şekil 4.1’de yüzey pürüzlülük değerleri sunulan numuneler kaynak makinesinden alındı. TNR rumuzlu numuneler kendi aralarında incelendiğinde debi ve zaman parametrelerinin değişmesi yüzey pürüzlülük değerini az bir miktar düşürmüştür. Bu numunelere ait Şekil 3.20, Şekil 3.21 ve Şekil 3.22’de kesit mikroyapı görselleri ve Tablo 3.12’deki alt yüzey pürüzlülük değerleri birlikte incelendiğinde yapılan kuru buz püskürtme işleminin tufal tabakasına etkisi sınırlı olmuştur. LY-MP1 60 MikroPartikel cihazı ile 7 bar altında püskürtme işlemi yapıldığı halde numunenin ısıtılması kuru buz püskürtme etkisini az bir miktar arttırdığı şeklinde yorumlanabilir. DTNR4 rumuzlu numuneye ait Tablo 3.13’de belirtilen alt yüzey pürüzlülük değeri ile işlem uygulanmış yüzey pürüzlülük değeri çok yakın olsa da yapılan kuru buz püskürtme işlemi Şekil 3.31’e göre tufal tabakasını etkilemeyi başarmıştır. DTNR5 rumuzlu numunede ise Şekil 3.35’deki kesit mikroyapı görseline göre kuru buz püskürtme işleminden önce numunenin ısıtılması, tufal tabakası üzerinde etkili olamamıştır.



Şekil 4.2. ICCR numuneleri için farklı durumlardaki yüzey pürüzlülük değerleri

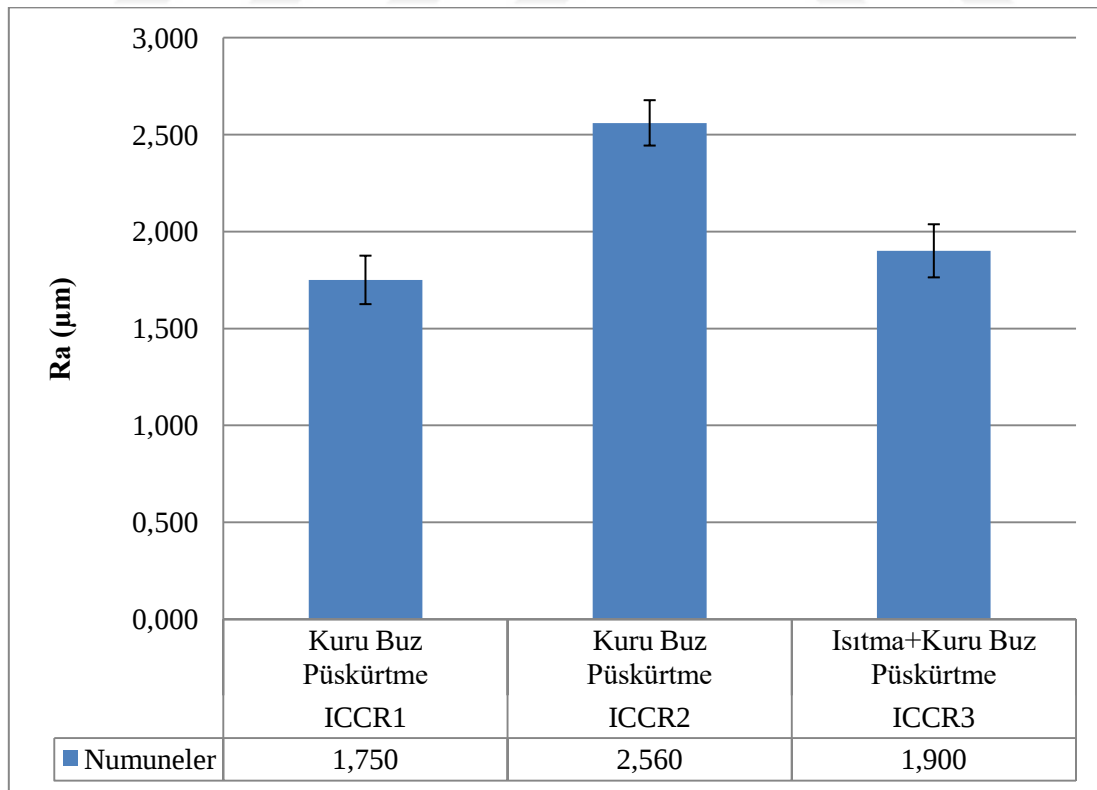
Şekil 4.2’de yüzey pürüzlülük grafikleri sunulan, değişken parametreler ile kuru buz püskürtme işlemi uygulanan numuneler kaynak makinesinden alındı. Bu numuneler kendi içerisinde incelendiğinde basınç, debi ve zaman parametreleri arttıkça yüzey pürüzlülüğünün önce bir miktar arttığı daha sonra düştüğü görülmektedir. Şekil 3.23, Şekil 3.24 ve Şekil 3.25’deki kesit mikroyapı görselleri incelendiğinde debi ve uygulama süresinin artması tufal tabakasına etki oranını arttırdığı söylenebilir. LY-Jet3 130 Millennium S ve LY-MP1 60 MikroPartikel makineleri ile kuru buz püskürtme işlemi uygulanan numuneler ise TLV ünitesi çıkışından alındı. Bu numuneler kendi arasında incelendiğinde LY-MP1 60 MikroPartikel makinesi ile daha yüksek yüzey pürüzlülüğü elde edildi. Hem yüzey pürüzlülük değerleri hem de Şekil 3.30 ve Şekil 3.34 numaralı kesit mikroyapı görselleri birlikte incelendiğinde kuru buz püskürtme işlemi öncesi numune ısıtılması işleminin tufal tabakasının kaldırılması üzerinde olumsuz etki meydana getirdiği söylenebilir.



Şekil 4.3. RP numuneleri için farklı durumlardaki yüzey pürüzlülük değerleri

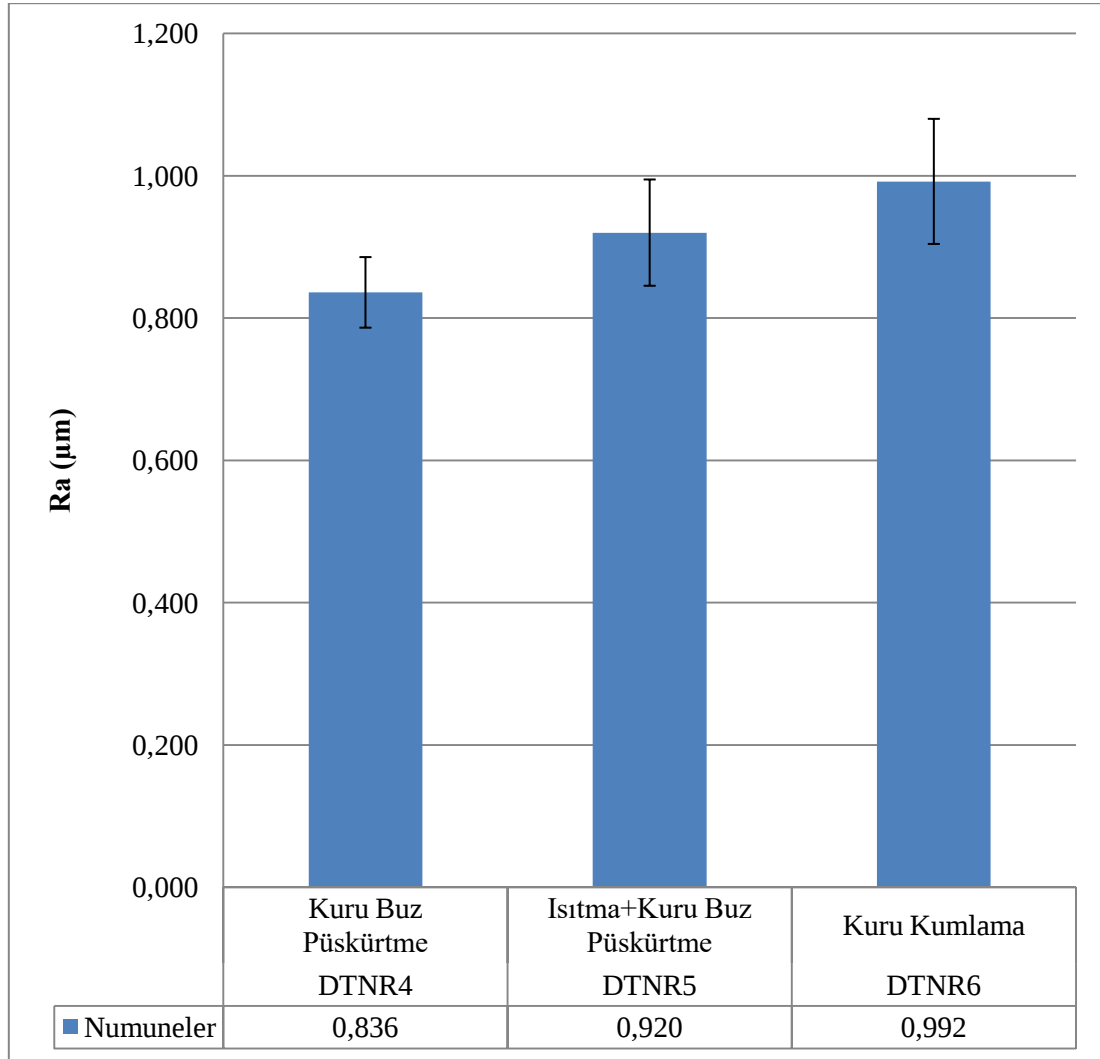
Şekil 4.3'deki değişken parametreler ile kuru buz püskürtme işlemi uygulanan RP rumuzlu malzemelerde de ICCR rumuzlu numuneler gibi önce artan daha sonra düşen yüzey pürüzlülük değeri görülmektedir. Şekil 3.26'daki kesit mikro yapı görselinde ise RP1 numunesinin yüzeyindeki tufal tabakası RP2 ve PR3 numunesine göre daha fazla etkilenmiştir. LY-MP1 60 MikroPartikel makinesi ile kuru buz püskürtme işlemi uygulanan RP8 ve RP9 rumuzlu numuneler bire bir aynı olmasına rağmen ısıtılmış numunelerde uygulama sonrası yüzey pürüzlülüğü bir miktar arttığı fakat; RP10 ve RP11 rumuzlu numunelerde ısıtma işleminin Ra değeri esas alındığında bir fark oluşturmadığı görülmektedir. Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'deki kesit mikroyapı görsellerinde malzeme yüzeyindeki tufal tabakasının deforme olduğu görülmektedir. Şekil 3.36 ve Şekil 3.37'deki kesit mikroyapı görsellerinde ise kuru buz püskürtme işlemi öncesi numune ısıtılması işleminin tufal tabakasının kaldırılması üzerinde olumsuz durum teşkil ettiği söylenebilir.

Lang Yüzer Otomotiv Yan Sanayi A.Ş firmasında yapılan farklı denemeler sonucunda oluşan yüzey pürüzlülükleri Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmektedir.



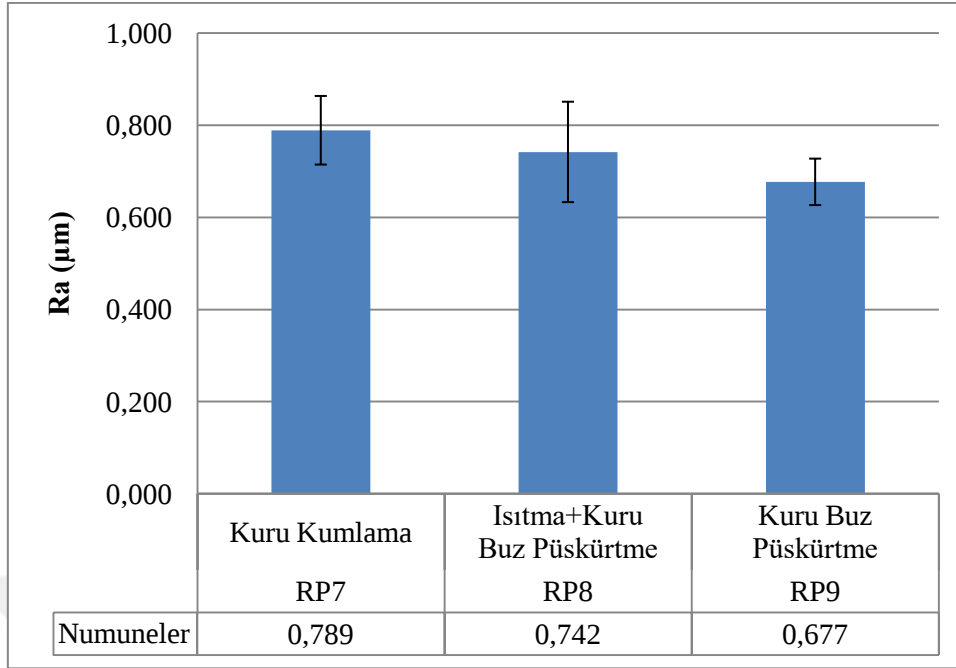
Şekil 4.4. ICCR numuneleri için farklı işlemlere ait yüzey pürüzlülük değerleri

Aynı malzeme kalitesi ve aynı kalınlığa sahip, TLV ünitesi çıkışından alınan ICCR1 numunesine LY Jet3-130 S Millennium makinesi ile ICCR2 ve ICCR3 rumuzlu numunelere ise LY-MP1 60 MikroPartikel makinesi ile 7 bar basınç altında yapılan kuru buz püskürtme işlemine ait yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 4.4’de görüldüğü gibidir. Bu numunelerde işlem görmemiş yüzeye ait pürüzlülük değerleri 1,31-1,51 μm ’dir.



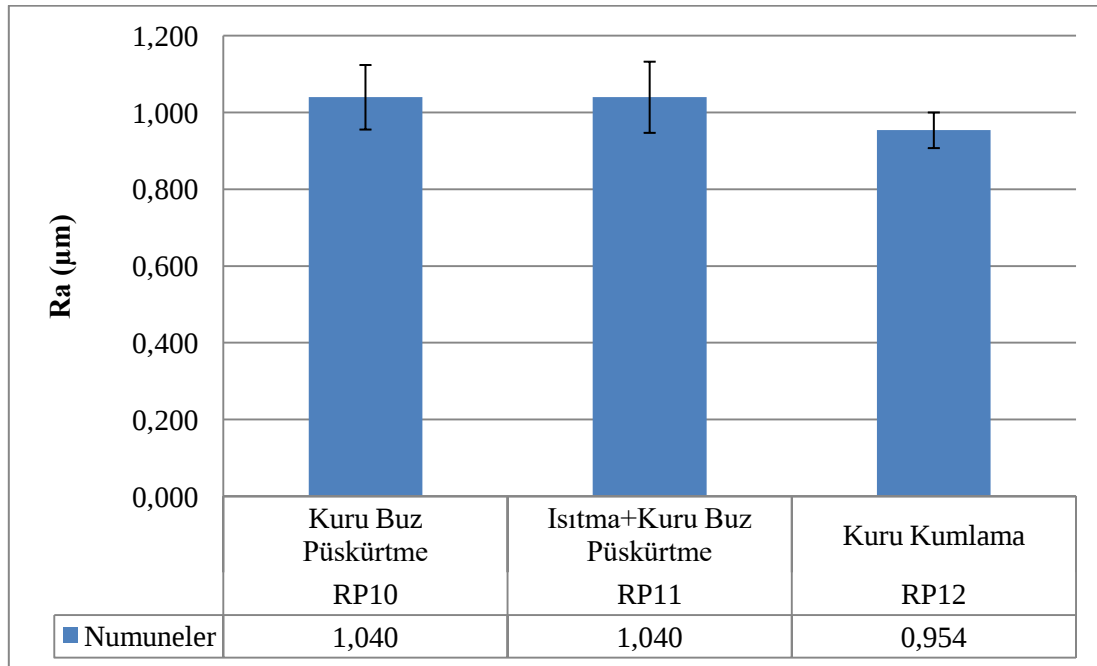
Şekil 4.5. DTNR numuneleri için farklı işlemlere ait yüzey pürüzlülük değerleri

Aynı malzeme kalitesi ve aynı kalınlığa sahip, kaynak makinesinden alınan DTNR4, DTNR5 ve DTNR6 rumuzlu numunelerde, 7 bar basınç altında yapılan kumlama işlemi Şekil 4.5’de görüldüğü gibi en yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahiptir. Sadece kuru buz püskürtme işlemi DTNR4 numunesinde yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır. Bu numunelerde işlem görmemiş yüzeye ait pürüzlülük değerleri 0,87-1,0 μm ’dir.



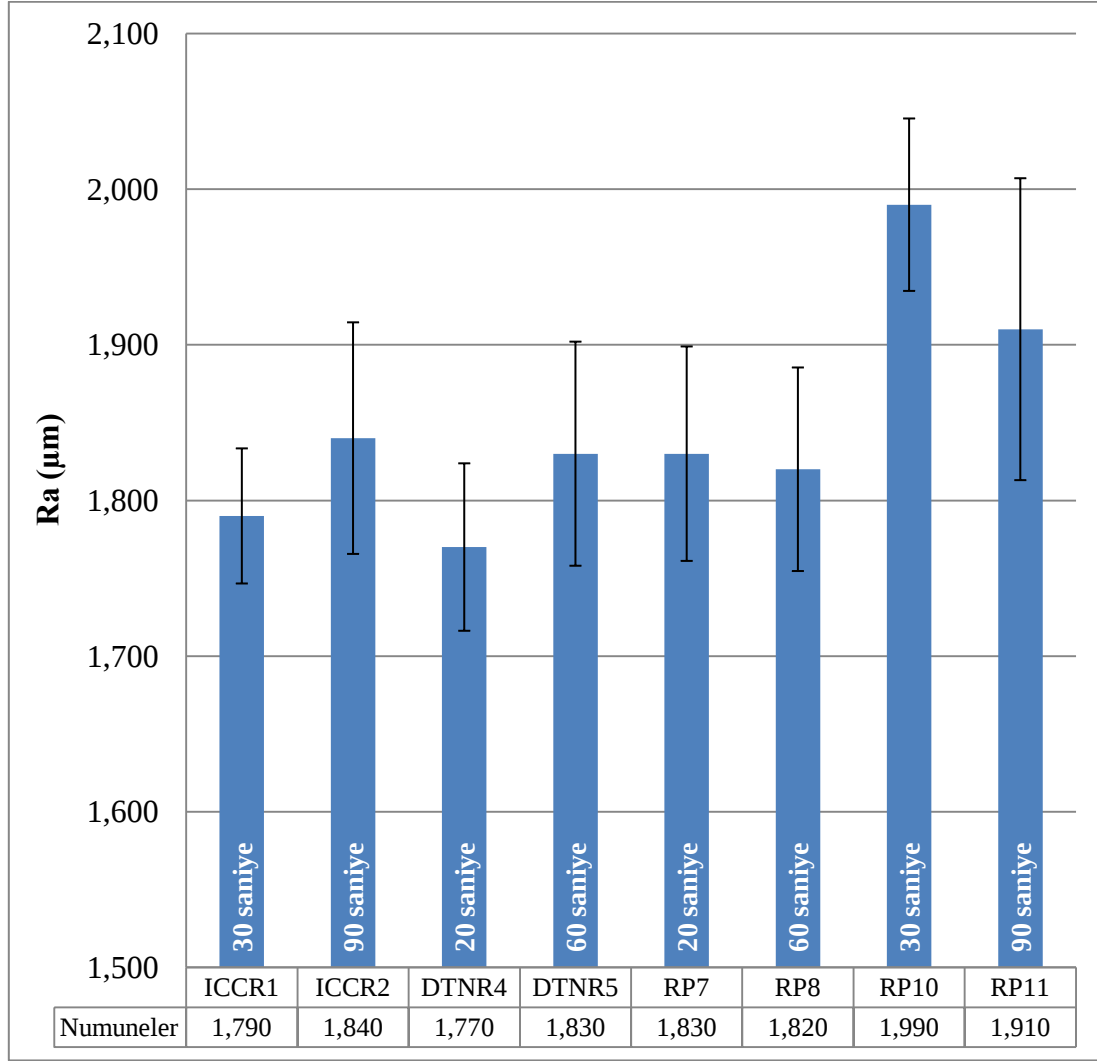
Şekil 4.6. RP numuneleri için farklı işlemlere ait yüzey pürüzlülük değerleri

Aynı malzeme kalitesi ve aynı kalınlığa sahip kaynak makinesinden alınan RP7, RP8 ve RP9 rumuzlu numunelerde 7 bar basınç altında yapılan kuru kumlama işlemi, Şekil 4.6’da görüldüğü gibi en yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahiptir. Sadece kuru buz püskürtme işlemi RP9 numunesinde yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır. Bu numunelerde işlem görmemiş yüzeye ait pürüzlülük değerleri 0,46-0,7 μm ’dir.



Şekil 4.7. RP numuneleri için farklı işlemlere ait yüzey pürüzlülük değerleri

Aynı malzeme kalitesi ve aynı kalınlığa sahip kaynak makinesinden alınan RP10, RP11 ve RP12 rumuzlu numunelerde 7 bar basınç altında yapılan kuru buz püskürtme işlemi, Şekil 4.7’de görüldüğü gibi en yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahiptir. Bu numunelerde işlem görmemiş yüzeye ait pürüzlülük değerleri 0,95-1,26 μm ’dir.



Şekil 4.8. Yaş kumlama işlemi için farklı numunelere ait yüzey pürüzlülük değerleri

Şekil 4.8’de yaş kumlama işlemi sonrası yüzey pürüzlülükleri verilen numunelerde uygulama süresi 3 kat arttırıldığında ICCR ve DTNR rumuzlu numunelerde yüzey pürüzlülükleri bir miktar artarken RP rumuzlu numunelerde yüzey pürüzlülüğü bir miktar düşmektedir. Yaş kumlama işlemi uygulanan numunelere ait kesit mikroyapı görüntüleri incelendiğinde yaş kumlama işleminin yüzeydeki tufalı tamamen çıkardığı görülmektedir. Söz konusu kumlama işlemi plastik peletler ile kuru bir şekilde yapıldığında ise tufal kaldırma performansı olmadığı görülmektedir.

Tablo 4.1'deki yüzey pürüzlülük mukayesesi, asitleme işlemine alternatif yöntemler başlığı altında incelenen EPS işlemine ait test raporundan alınmıştır. Raporda EPS işlemi uygulanmış yüzey ile asitleme işlemi uygulanmış yüzeylere ait pürüzlülük değerleri gösterilmektedir. EPS işlemi uygulanmış yüzeye ait pürüzlülük değeri, asitleme işlemi uygulanmış yüzeye ait pürüzlülük değerinden çok daha yüksektir. EPS yöntemindeki yüzey ile kıyaslandığından cam küreleri ile yapılan yaş kumlama işlemi daha kabul edilebilir pürüzlülük değerleri içerisindedir.

Tablo 4.1. EPS işlemi ve asitleme işlemi uygulanan metal yüzey pürüzlülükleri (EPS Test Results, 2014)

Yalın Yüzey				
	Asitlenmiş Malzeme		EPS Uygulanmış Malzeme	
	1.Yüzey	2.Yüzey	1.Yüzey	2.Yüzey
Rq (μm)	2,11	3,12	5,34	4,67
Ra (μm)	1,65	2,47	4,18	3,65
Rt (μm)	79,66	28,42	72,86	42,71

4.2. Tartışma

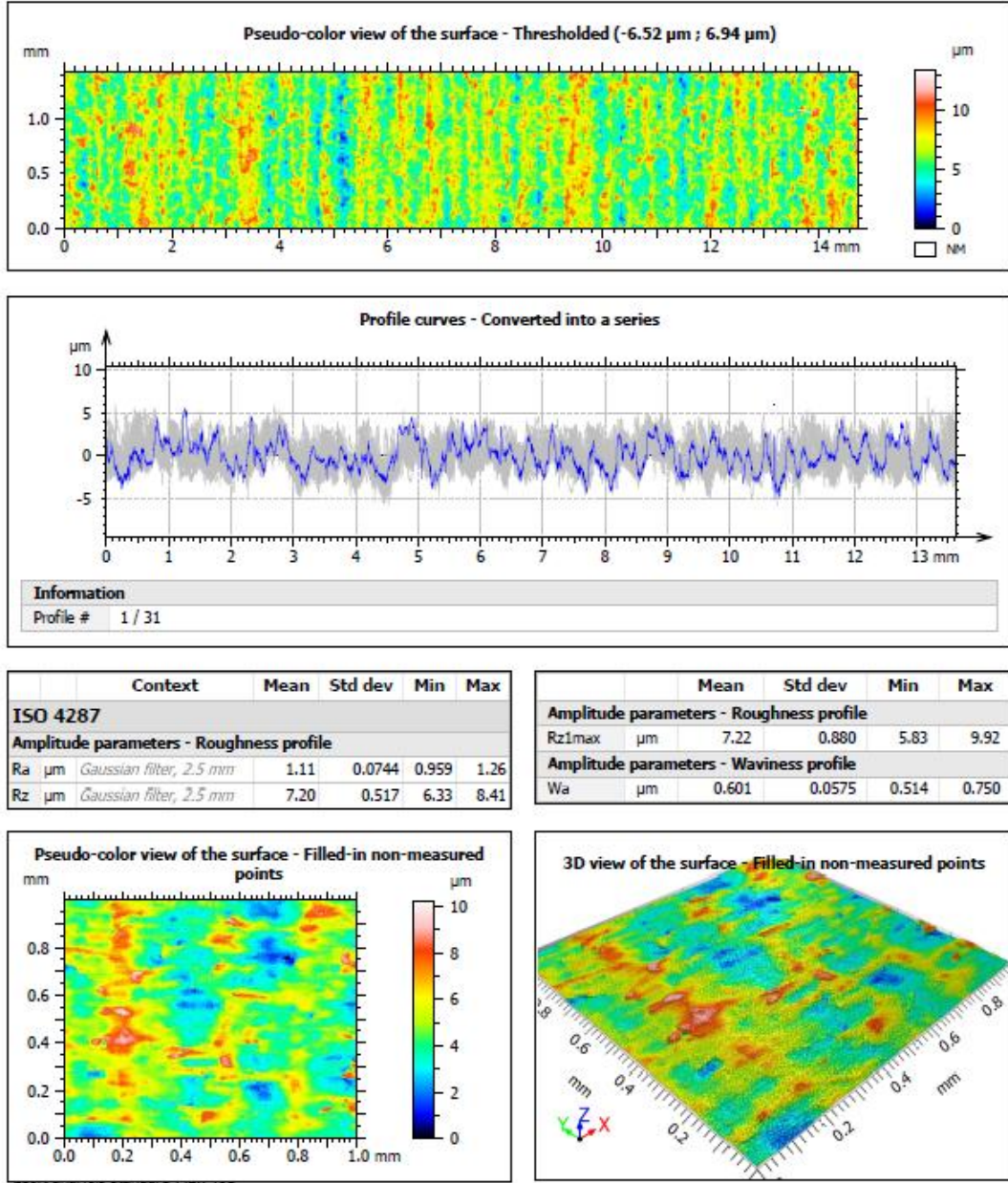
Birbirinden farklı yüzeyler aynı Ra sonucu verebildiği için Ra ölçüm sonuçlarının kıyaslanması doğru değildir. Bununla birlikte Ra değeri yüzey pürüzlülüğü için kabul edilen ölçüm birimidir. İyi kalitede bir asitleme işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğünde kabul edilebilir değer 1,0 – 2,0 μm 'dir (Voges ve diğ., 2008).

Asitleme işleminin malzeme üzerindeki etkilerini görebilmek adına, tez çalışmasına yönelik deney hazırlıklarına başlanmadan önce asitleme işleminden önce ve sonra alınan numunelerin yüzey pürüzlülükleri ve kesit mikroyapı görüntüleri çıkarıldı.

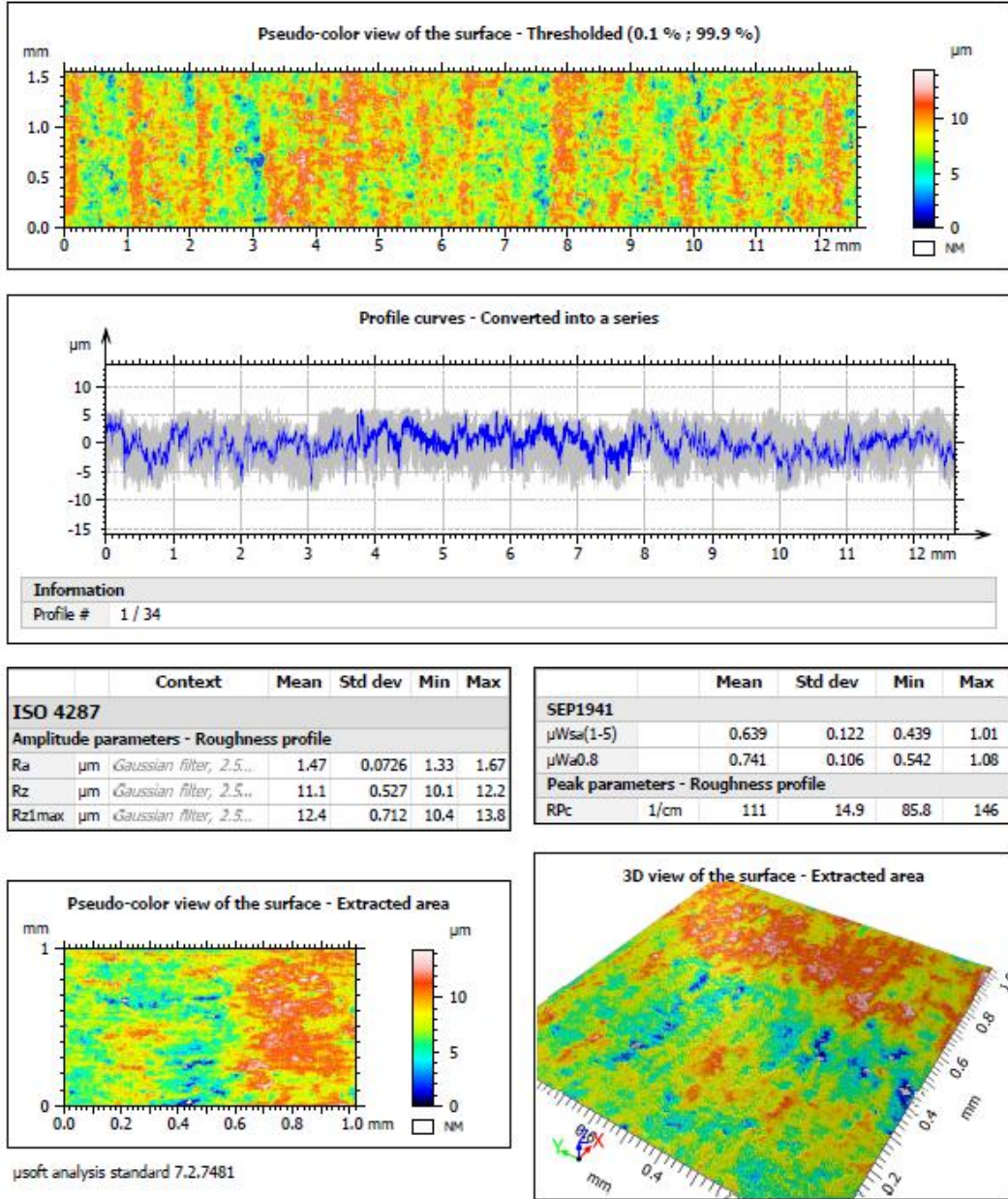
Şekil 4.9'daki yüzey pürüzlülük raporu, 2 mm kalınlığındaki TNR rumuzlu malzemeden, asitleme işleminden önce alınan numuneye aittir. Söz konusu malzemeden, asitleme işlemi sonrası çıkış boy makasından alınan numuneye ait yüzey pürüzlülük raporu ise Şekil 4.10'deki gibidir.

Daha sonra numunelerden alınan parçalara bakalit uygulanarak kesit mikroyapı görselleri oluşturuldu. Asitleme işlemi uygulanmadan önce alınan numuneye ait kesit

mikroyapı görüntüsü Şekil 4.11’de, asitleme işlemi uygulandıktan sonra alınan numuneye ait kesit mikroyapı görüntüsü ise Şekil 4.12’deki gibidir.

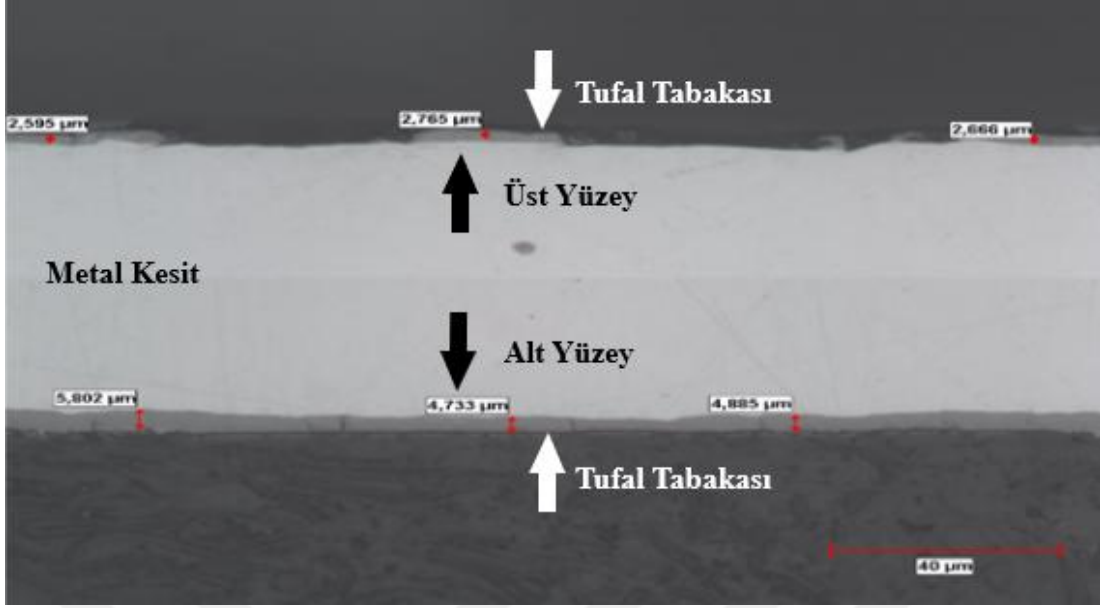


Şekil 4.9. Asitleme işleminden önce TNR rumuzlu malzemenin yüzey pürüzlülük raporu

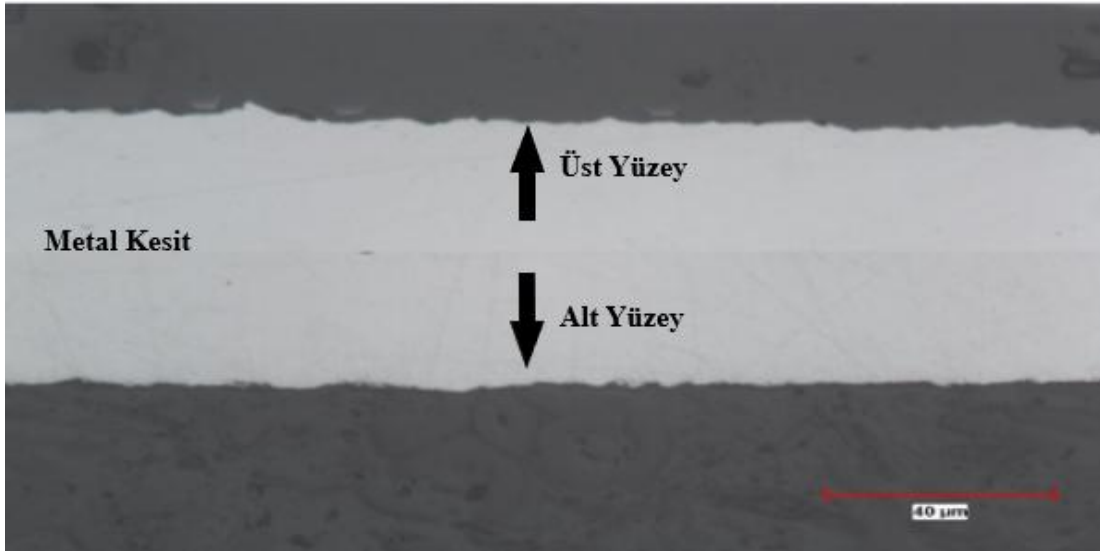


Şekil 4.10. Asitleme işleminden sonra alınan TNR rumuzlu malzemenin yüzey pürüzlülük raporu

Asitleme işleminden sonra tufal tabakası giderildiği için Şekil 4.10'da belirtilen ortalama pürüzlülük değeri metal yüzeye aittir ve bu değer asitleme performansı açısından kabul edilebilir limitler içerisindedir.



Şekil 4.11. Asitleme işleminden önce alınan TNR rumuzlu malzemenin kesit mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.12. Asitleme işleminden sonra alınan TNR rumuzlu malzemenin kesit mikroyapı görüntüsü

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi asitleme işlemine tabi tutulan TNR rumuzlu metal üzerindeki tufal tabakası tamamen kalkmıştır. Bu durum, kimyasal asitleme işleminin metal yüzeyindeki oksit tufalını gidermek için başarılı bir yöntem olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında asitleme işlemi ve alternatif tufal giderme yöntemleri detaylı olarak incelenmiş ve alternatif yeni bir yöntem olacağı düşünülen kuru buz püskürtme işlemi farklı kalitelerdeki numunelere farklı makineler ile farklı parametreler altında uygulanmıştır. Ayrıca literatürde tufal giderme performansı kanıtlanmış olan kumlama işlemi, yaş ve kuru kumlama olarak birbirinden farklı kalitedeki numunelere farklı parametreler ile uygulanmıştır. Hiç şüphesiz püskürtme esaslı bütün yüzey temizleme işlemleri basınç, debi, zaman, nozul tipi, nozul açısı, nozul mesafesi, çevresel ortam gibi birçok parametreye bağlı olarak farklı performans sergilemektedir.

Yapılan deney çalışmalarının sonuçlarına göre tufal gidermede kuru buz püskürtme yöntemi bazı şartlarda tufal tabakasını çatlatmayı başarsa da tufal giderme işlemi için etkili bir alternatif olamamıştır. Bu çalışmada yüzey pürüzlülük ölçümleri, yapılan çalışmanın başarılı olma ihtimaline binaen istenen yüzey şartlarını sağlayıp sağlamadığını görmek adına alındı. Bulgular kısmında ise farklı şartlar altında uygulanan kuru buz püskürtme işleminin etkilerini analiz edebilmek adına irdelendi.

Bir diğer çalışma olarak plastik peletler ile uygulanan kuru kumlama işlemi de kuru buz püskürtme işlemine benzer sonuçlar sergiledi. Bu uygulama da bazı yerlerde metal yüzey üzerindeki tufal tabakasını tahrip etse de yüzeyden tamamen çıkarmayı başaramadı.

Yapılan son çalışmada metal numune yüzeylerine yaş kumlama işlemi uygulandı. Cam boncukların püskürtme malzemesi olarak kullanıldığı bu işlem sonucunda ise tufal tabakası yüzeyden tamamen giderilmiş ve ortaya çıkan yüzeye ait pürüzlülük değerleri kabul edilen sınırlar içerisinde kalmıştır. Bu uygulamada en etkili süreyi tespit edebilmek adına farklı zaman parametreleri ile yapılan çalışmada sürelerin artması yüzey pürüzlülüklerini bir miktar arttırmıştır.

Sonuç olarak, kuru buz püskürtme işleminin, deney çalışmalarında uygulanandan daha yüksek bir basınç değeri altında uygulanması tufal giderme performansı açısından daha başarılı olacaktır. Tasarlanacak deney düzeneği ile farklı nozulların kullanılması ayrıca nozul mesafesi ve nozul açısının da değiştirilerek denemeler yapılması, alternatif tufal

giderme yöntemi olarak, literatürdeki boşluğu dolduracak çalışmalar meydana getirecektir.

Mevcut durumda yapılan denemelerde TLV ünitesi sonrasında alınan numunelerde, kuru buz püskürtme işleminin daha etkili olduğu görülmüştü. Bu nedenle mekanik tufal giderme performansı da yapılacak çalışmalar için önemli bir parametre olacaktır. Son olarak, uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası tel fırça ya da zımpara ile yüzeyde ilave mekanik etki oluşturmak da denenmelidir.



KAYNAKLAR

- Barbieri, P., Crowther, Clavel, J.F., Leroyer, J. (2008). Apparatus and Method for the Continuous Pickling of Steel Strip, U.S. Patent No:US20100269854A1., U.S. Patent and Trademark Office.
- Chalk, D.B. (1994). Classification and Selection of Cleaning Processes. Reidenbach, F., (Ed.), Lucarelli, T., M., (Ed.), *ASM Handbook Volume 5 Surface Engineering*. (9th ed.) (14-32) USA: ASM International.
- Colla, V., Mataresa, N., Nastasi, G., (2011). Prediction of Under Pickling Defects on Steel Strip Surface, *International Journal of Soft Computing And Software Engineering*, 9-17. DOI:10.7321/ jscse.v1.n1.2
- Devi, A., Singhal, A., Gupta, R., Panzade, P. (2014). A Study on Treatment Methods of Spent Pickling Liquor Generated by Pickling Process Of Steel, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1515-1527. DOI 10.1007/s10098-014-0726-7
- Duan, M., Li, S., Chen, S., Fang, X., Yang, X., Xu, J. (2018). Development and Application of Baosteel Mechanical Descaling Technology, *Baosteel Technical Research*, 17-26. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3458.1018.01.003
- Dzido, A., Krawczyk, P., Badyda, K., Chondrokostas, P. (2021). Operational Parameters Impact on the Performance of Dry-Ice Blasting Nozzle. *Energy*, Vol. 214. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118847.
- Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. (2020). *Yassı Ürün Kataloğu*, Türkiye
- Esendağ, K., Bilgin, S., Kayabaşı, İ., Kılıç, V., Yılmaz, C. (2017). Sürekli Asitleme Hattının Mekanik Modellemesi, *Mühendis ve Makine*, Cilt:58, Sayı:689, Sayfa: 63-80.
- Feldbauer, S.L., Braho, B.H. (2001). Apparatus and Method for Sequential Removal of Oxides From Steel, Patent No: WO0191929A1, *World Intellectual Property Organisation*.
- Foster, R.W. (2011). Carbon Dioxide (Dry-Ice) Blasting. *Good Painting Practice: SSPC Painting Manual*, Volume 1, Chapter 2.9.5, pp. 161-167, Society for Protective Coatings, Pittsburgh, PA.
- Fox, T. J., Randal, C.G., Gross, D.H., (1993). Steel Pickling: A Profile, *Research Triangle Institute*, EPA Contract Number 68-D1-0143, Section-2, 4-10.
- Garveric, L. (1994). *Corrosion in the Petrochemical Industry* (Digital Printing ed.) Ohio: ASM International

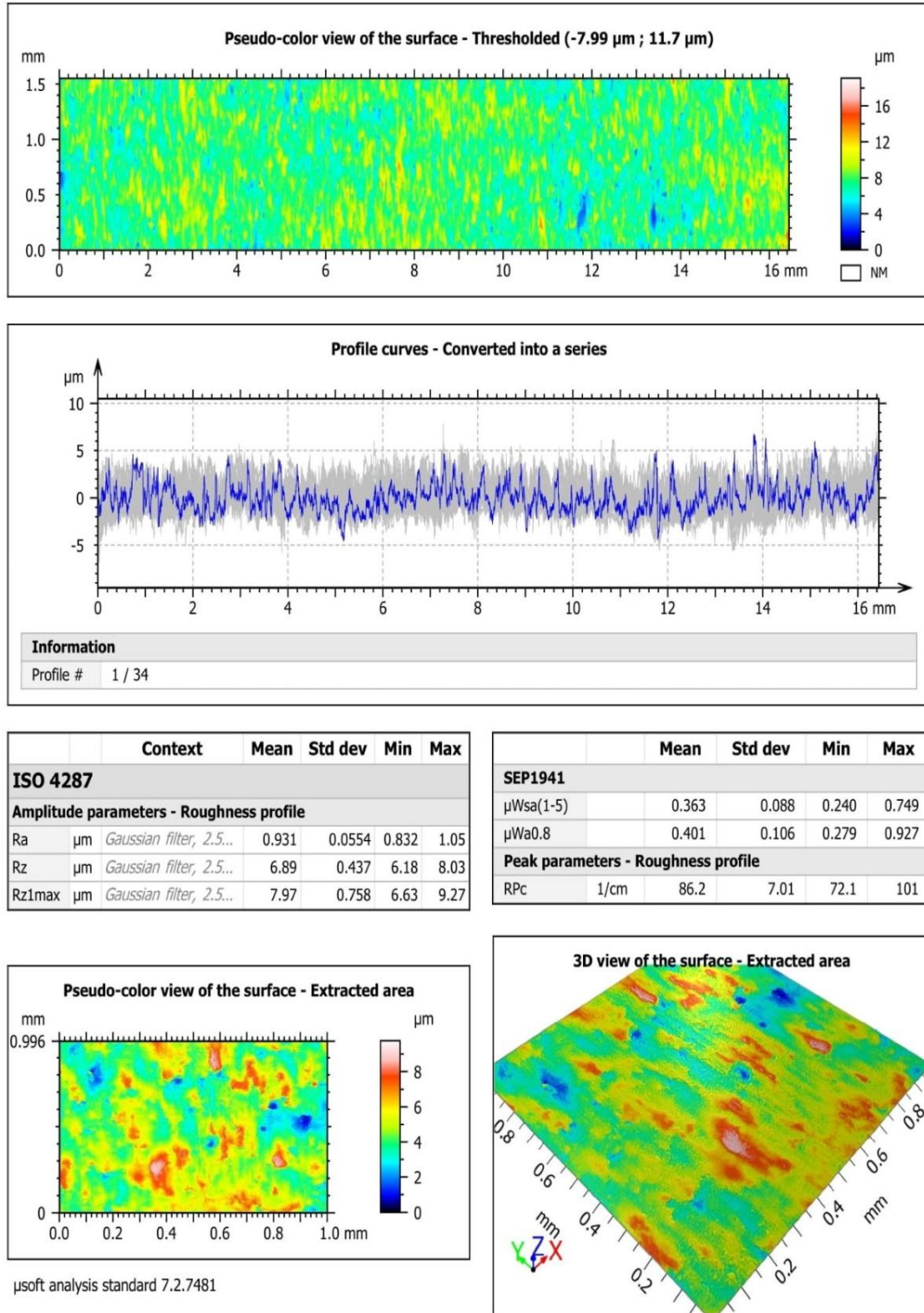
- Guan, C., Li, J., Tan, N., He, Q.Y., Zhang, S.G. (2014). Reduction of Oxide Scale on Hot-Rolled Steel by Hydrogen at Low Temperature, *International Journal of Hydrogen Energy*, 15116-15124. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.07.024.
- Hnizdíl, M., Raudenský, M. (2010). Descaling By Pulsating Water Jet, *19th International Conference on Metallurgy and Materials*, Rožnov pod Radhoštěm, Česká Republika, 18-20 Mayıs 2010.
- Howe, A., Musgrove, D., Breuer, D., Gusbeth, K., Moritz, A., Demange, M., Oury, V., Rousset, D., Dorotte, M. (2011). Evaluation of Sampling Methods for Measuring Exposure to Volatile Inorganic Acids in Workplace Air. Part 1: Sampling Hydrochloric Acid (HCl) and Nitric Acid (HNO₃) from a Test Gas Atmosphere. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 492-502. DOI:10.1080/15459624.2011.596465
- Hudson, R.M., Warning, C.J. (1982). Effect of Strip Velocity on Pickling Rate of Hot-Rolled Steel in Hydrochloric Acid. *Journals of Metal*, 65-70. DOI: 10.1007/BF03339114
- Kohli, R. (2019). Applications of Solid Carbon Dioxide (Dry Ice) Pellet Blasting for Removal of Surface Contaminants. Kohli, R., (Ed.), Mittal, K.L., (Ed.), *Developments in Surface Contamination and Cleaning: Applications of Cleaning Techniques* (Ch. 4), 117-169. Verlag: Elsevier.
- Krzyżanowski, M., Beynon, J.H. (2006). Modelling the Behaviour of Oxide Scale in Hot Rolling. *ISIJ International*, Vol. 46, 1533-1547. DOI:10.2355/isijinternational.46.1533
- Kumai, T., Kikkawa, T. (2014). New PL-TCM (Pickling and Tandem Cold Strip Mill) in Vietnam, *JP Steel Plantech Co.*
- Maanonen, M. (2014). Steel Pickling in Challenging Conditions. Lisans Tezi, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, Materials Technology and Surface Engineering, Helsinki
- Máša, V., Kuba, P. (2016) Efficient Use of Compressed Air for Dry Ice Blasting. *Journal of Cleaner Production*, 76-84. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.07.053
- Paidassi, J. (1958). *Acta Metall* Vol.6, 184-194.
- Sherman, R. (2019). Carbon Dioxide Snow Cleaning Applications. Kohli, R., (Ed.), Mittal, K.L., (Ed.), *Developments in Surface Contamination and Cleaning: Applications of Cleaning Techniques* (Ch. 4), 97-115. Verlag: Elsevier.
- SMS Group GmbH. (2017). *Product Portfolio, Technology and References*, Almanya.

- Soncu, S. (2019). Plastik Parçalarda Boya Öncesi Yüzey Hazırlık Prosesinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 595166.
- Steiner, R.W. (1993). Carbon Dioxide's Expanding Role. *Chemical Engineering*, Vol.100, Iss.3, 114.
- Sun, W. (2005). A study on the characteristics of oxide scale in hot rolling of steel. Doktora Tezi, University of Wollongong, School of Mechanical, Materials and Mechatronic Engineering, Australia
- Sun, W., Tieu, A.K., Jiang, Z., Lu, C. (2004). High temperature oxide scale characteristics of low carbon steel in hot Rolling. *Journal of Materials Processing Technology*, 1307-1312. DOI:10.1016/j.jmatprotec.2004.04.167
- The Material Works, LTD. (2014) EPS End Use and Application Test Results (Rev.9)
- Tytus, J., B. (1925). Metal Pickling Process, U.S. Patent No:1544506., *U.S. Patent and Trademark Office*.
- Ushio, K. (1994) Descaling Method and Rolling Method for Slab, Patent No: JPH06269839A., *Japan Patent Office*
- Voges, K., Mueth, A. (2008). Eco-Pickled Surface: An Environmentally Advantageous Alternative to Conventional Acid Pickling, *Iron&Steel Technology*,5, 81-96.
- Wang, X., Ai, R., Yang, Q., Wang, S., Zhang, Y., Meng, Y., Ma, X. (2020). Effect of Oxide Scale Structure on Shot-Blasting of Hot-Rolled Strip Steel, *PeerJ Materials Science*, 2:e9. DOI 10.7717/peerj-matsci.9
- Whitlock, W.H. (1989). Dry Surface Cleaning with CO₂ Snow. *Proceedings 20th Annual Meeting of the Fine Particle Society, MA, Boston*.
- Yu, X., Zhou, Ji. (2017). Grain Boundary in Oxide Scale During High-Temperature Metal Processing. *Study of Grain Boundary Character. IntechOpen*, 59-77. DOI: 10.5772/66211

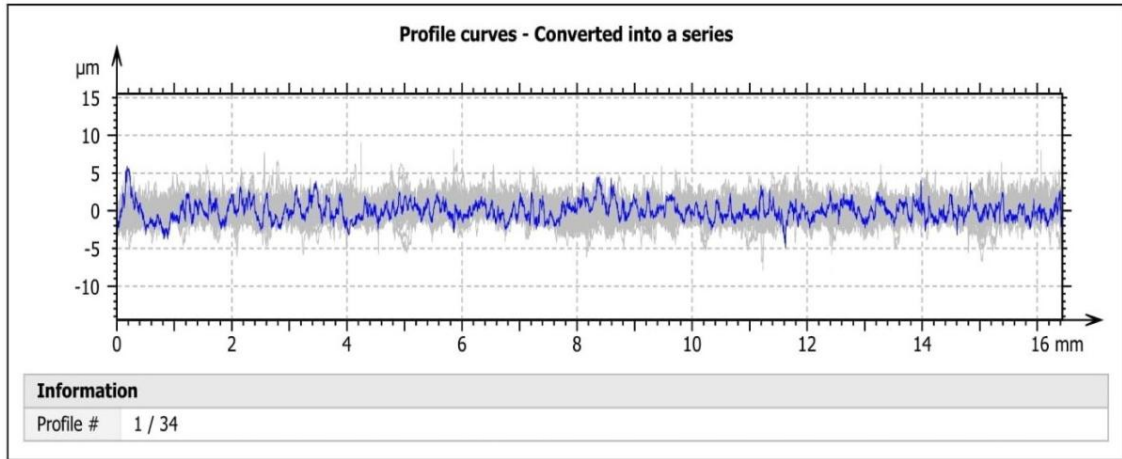
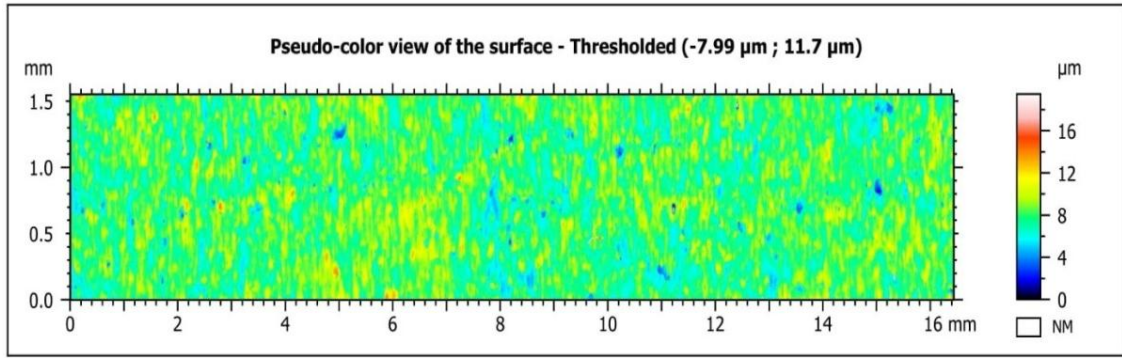


EKLER

Ek-A: Değişken Parametrelili Kuru Buz Püskürtme Uygulamasına ait Yüzey Topografya Raporları

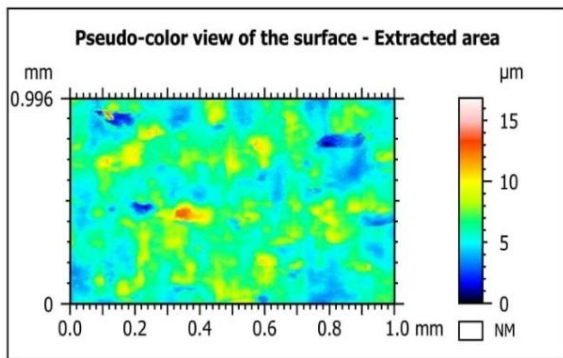


Şekil A.1. TNR1 numunesine uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

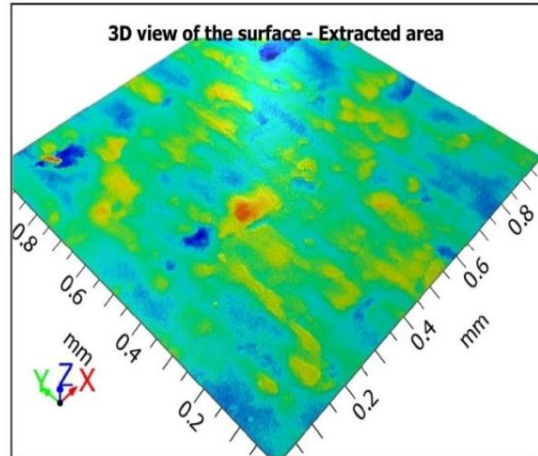


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.929	0.0492	0.847	1.08
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.90	0.637	5.77	9.15
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	8.70	1.66	6.31	13.2

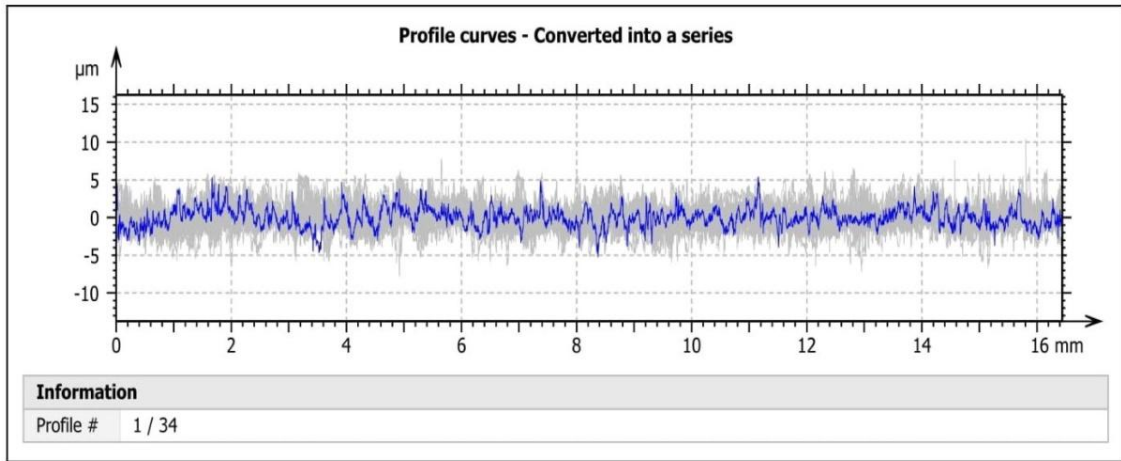
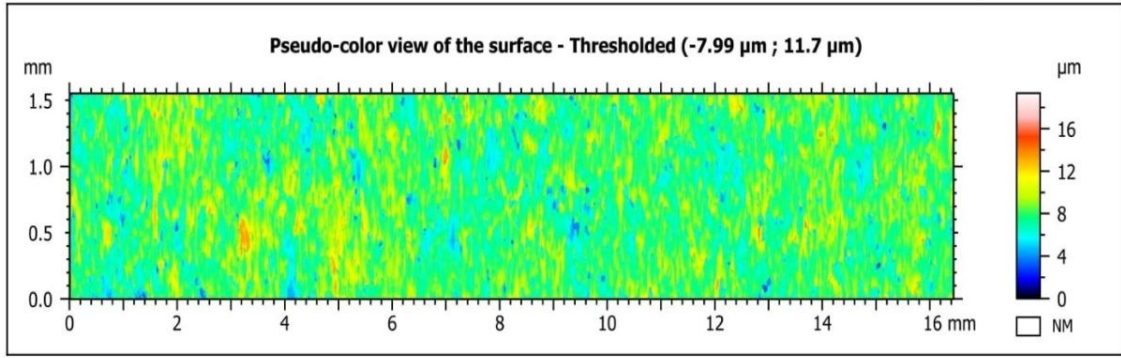
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.361	0.0509	0.266	0.462
$\mu\text{Wa}0.8$		0.369	0.0588	0.263	0.520
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	74.6	7.43	60.6	91.1



μsoft analysis standard 7.2.7481

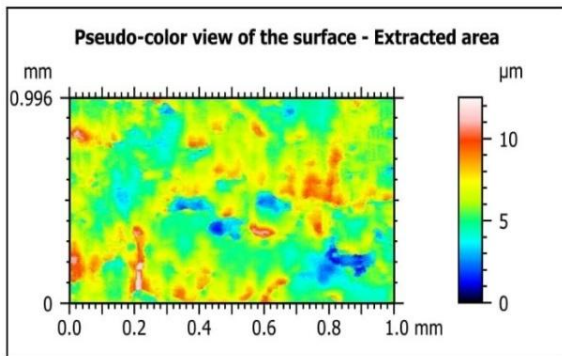


Şekil A.2. TNR1 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

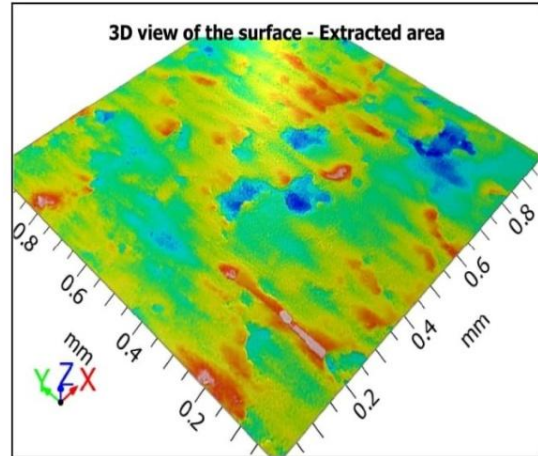


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.948	0.0611	0.845	1.07
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	8.02	0.674	6.54	9.39
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	9.49	0.980	7.09	11.4

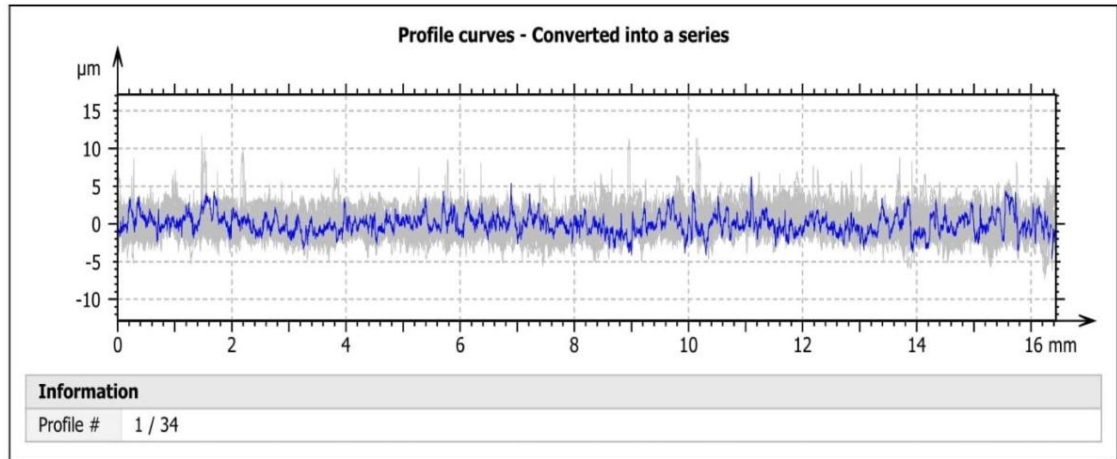
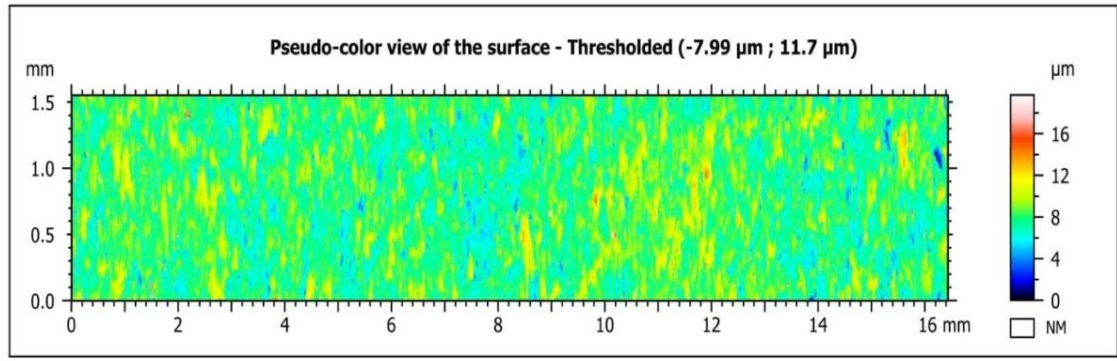
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.391	0.148	0.219	1.19
$\mu\text{Wa}0.8$		0.423	0.151	0.278	1.23
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	80.7	8.77	65.8	108



μsoft analysis standard 7.2.7481

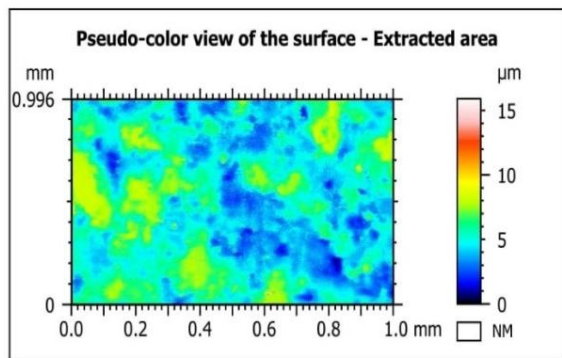


Şekil A.3. TNR2 numunesine uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

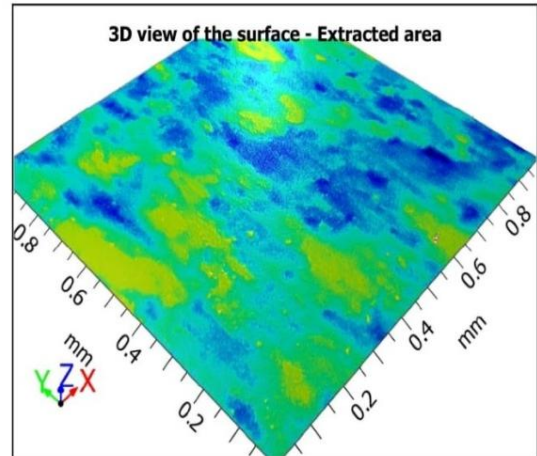


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.992	0.062	0.852	1.15
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	7.80	0.893	6.67	9.75
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	10.0	2.17	7.33	16.4

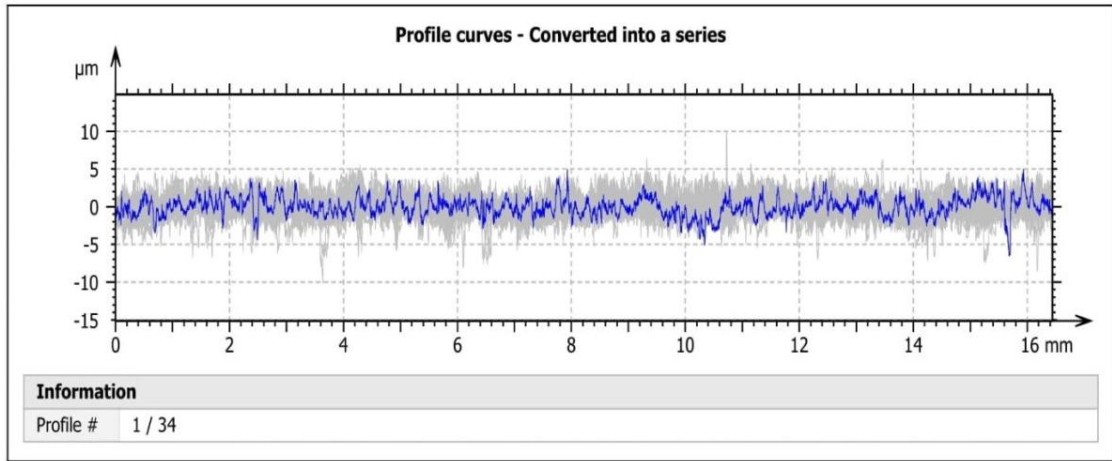
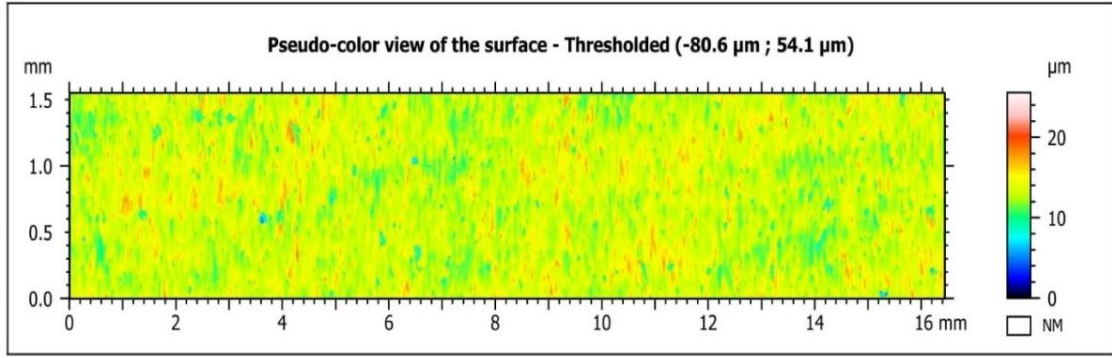
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.362	0.0472	0.276	0.485
$\mu\text{Wa}0.8$		0.376	0.0508	0.274	0.520
Peak parameters - Roughness profile					
RPC	1/cm	86.3	8.66	66.4	105



μsoft analysis standard 7.2.7481

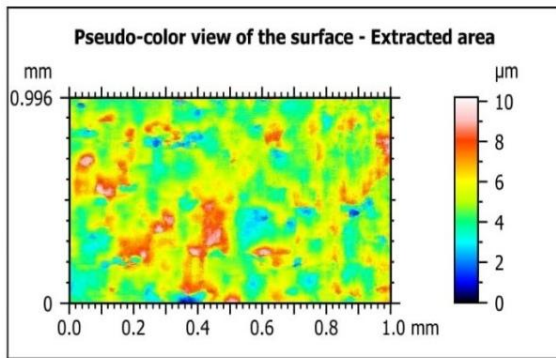


Şekil A.4. TNR2 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

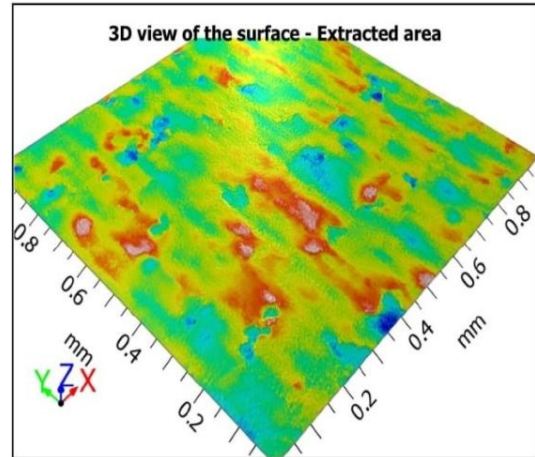


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.902	0.0513	0.797	0.989
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	7.37	0.558	6.41	8.69
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	9.16	1.45	7.16	13.6

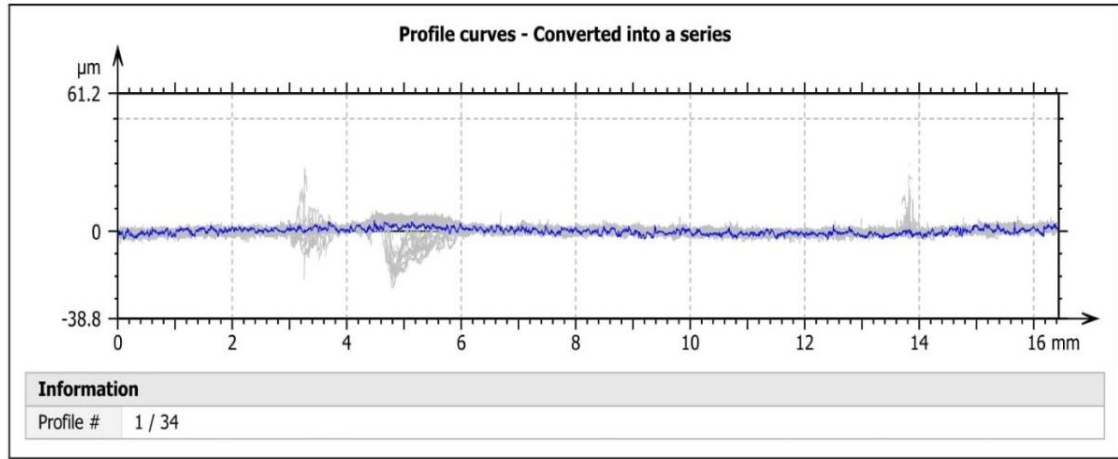
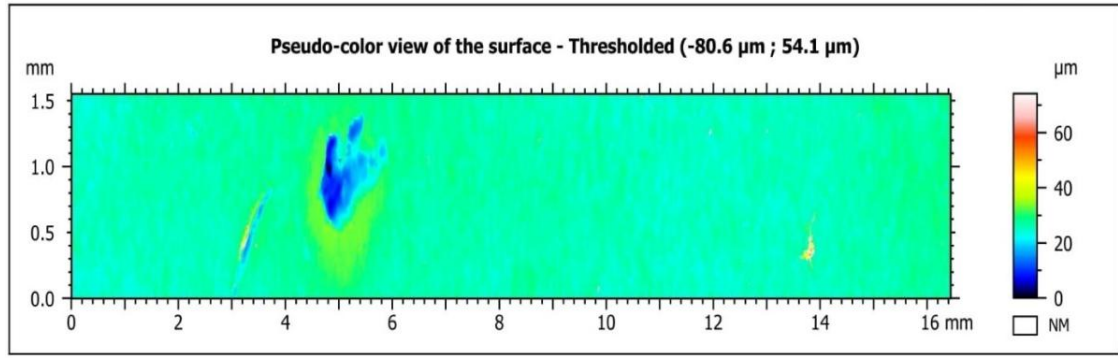
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.314	0.0639	0.189	0.456
$\mu\text{Wa}0.8$		0.339	0.0775	0.192	0.487
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	82.8	8.21	63.7	101



μsoft analysis standard 7.2.7481

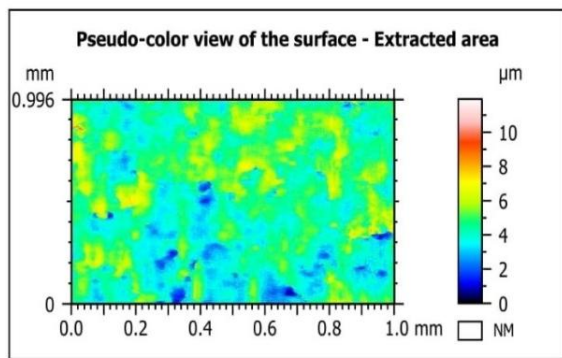


Şekil A.5. TNR3 numunesine uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

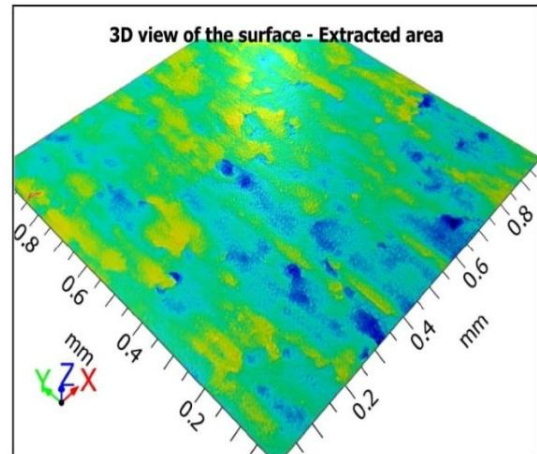


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.11	0.267	0.703	1.61
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	9.50	2.32	5.59	13.9
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	20.1	8.91	6.23	38.5

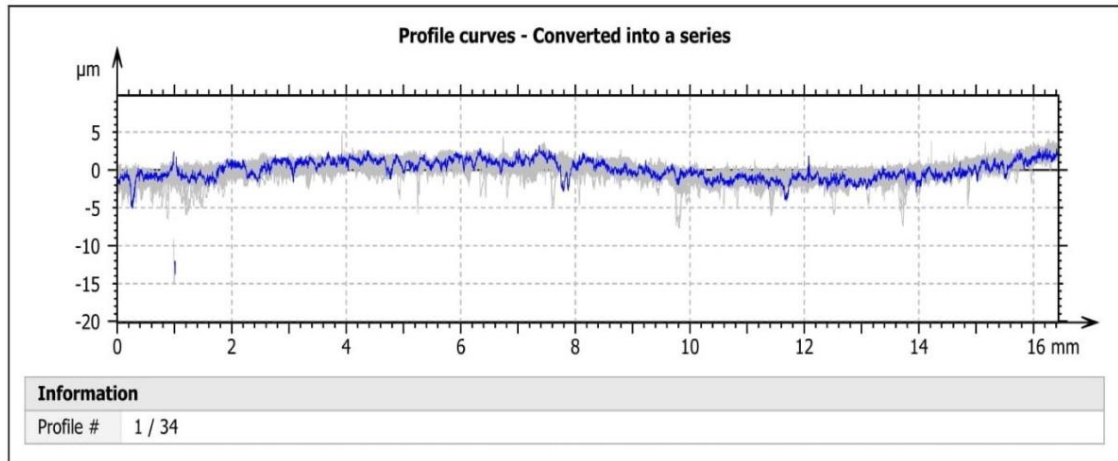
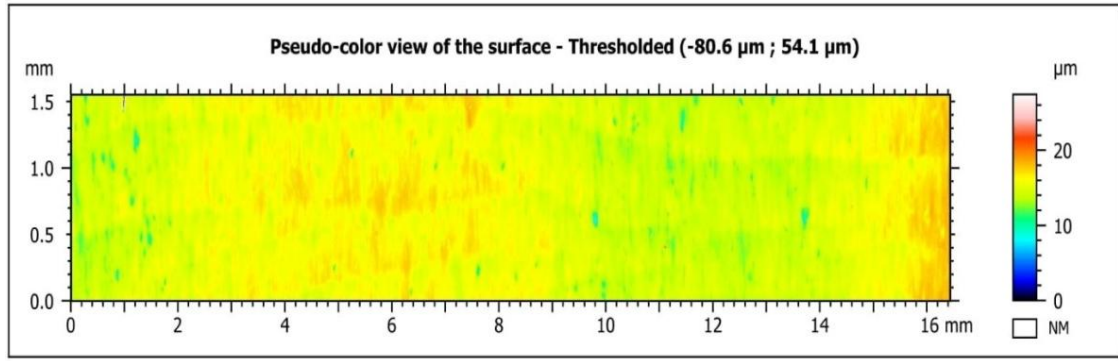
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.651	0.290	0.223	1.19
$\mu\text{Wa}0.8$		0.651	0.277	0.275	1.23
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	60.6	25.7	17.3	131



µsoft analysis standard 7.2.7481

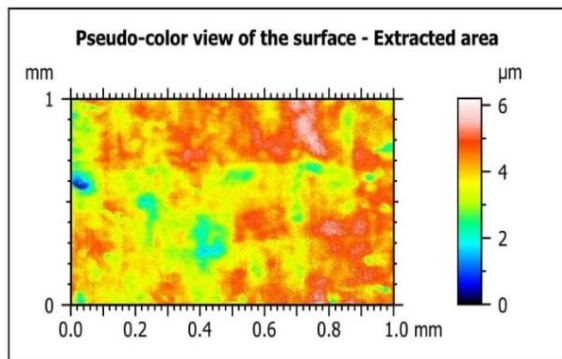


Şekil A.6. TNR3 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

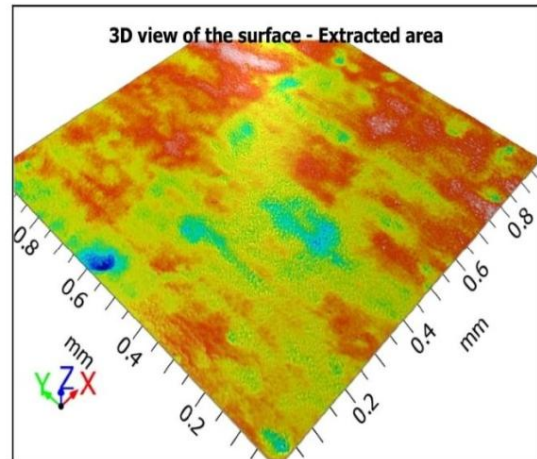


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.454	0.0273	0.405	0.515
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	3.84	0.530	3.06	5.25
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	5.17	1.20	3.25	8.08

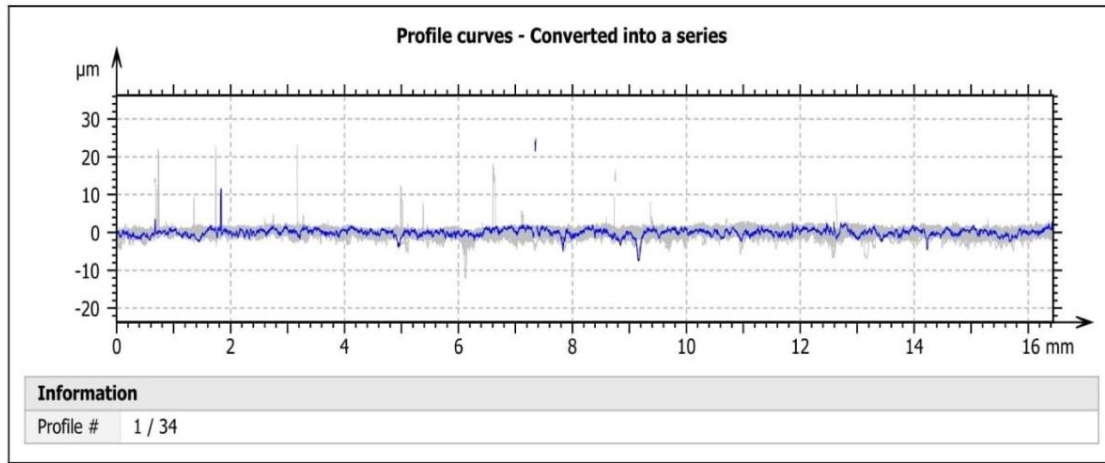
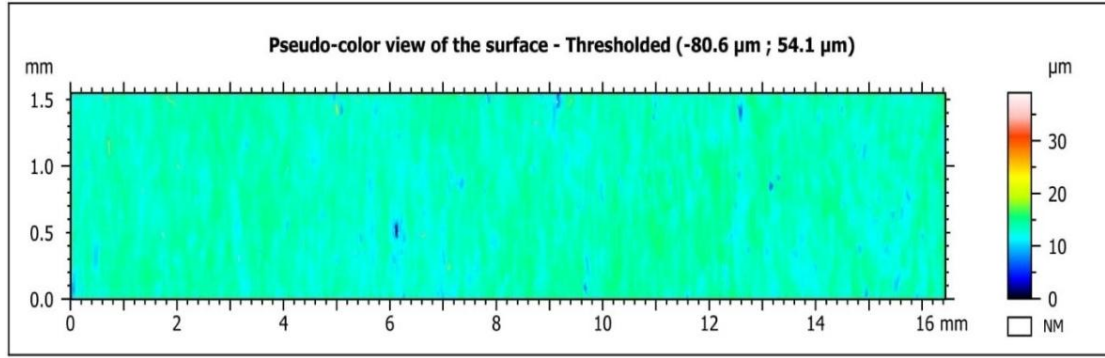
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.235	0.138	0.141	0.781
$\mu\text{Wa}0.8$		0.238	0.151	0.137	0.882
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	111	15.8	74.8	136



μsoft analysis standard 7.2.7481

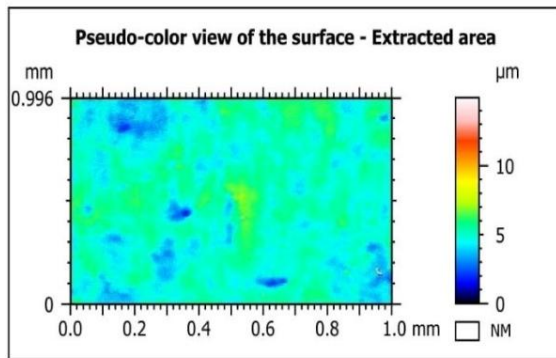


Şekil A.7. ICCR1 numunesine uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

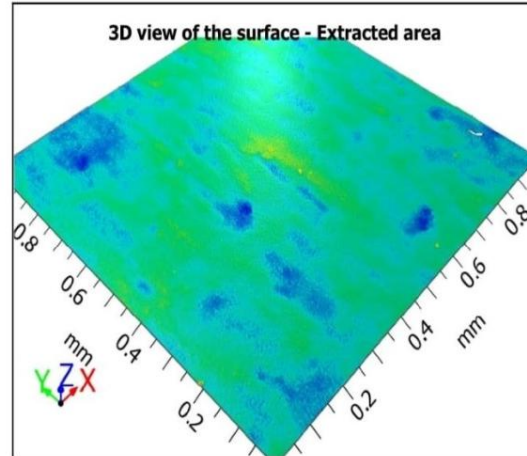


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.661	0.0442	0.592	0.788
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.13	2.27	4.19	13.5
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	9.81	6.31	4.70	28.1

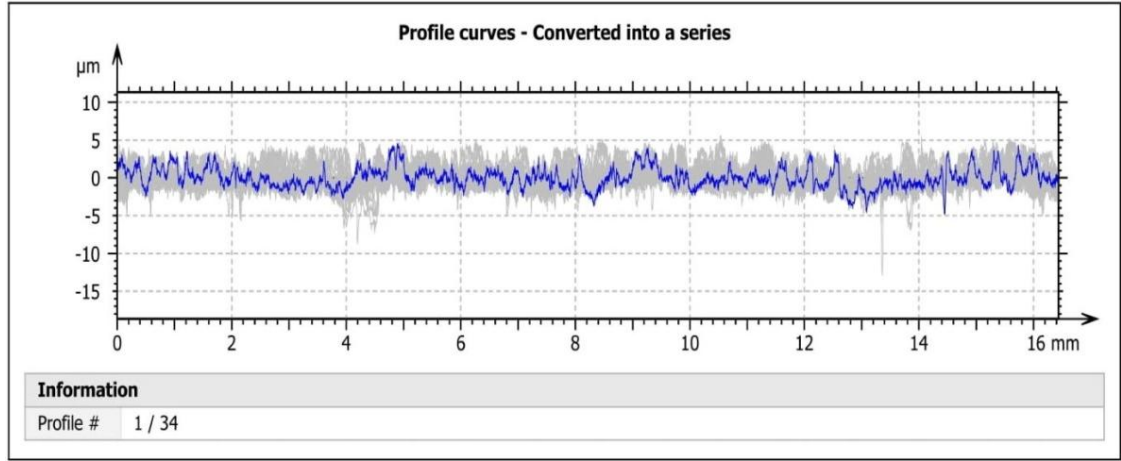
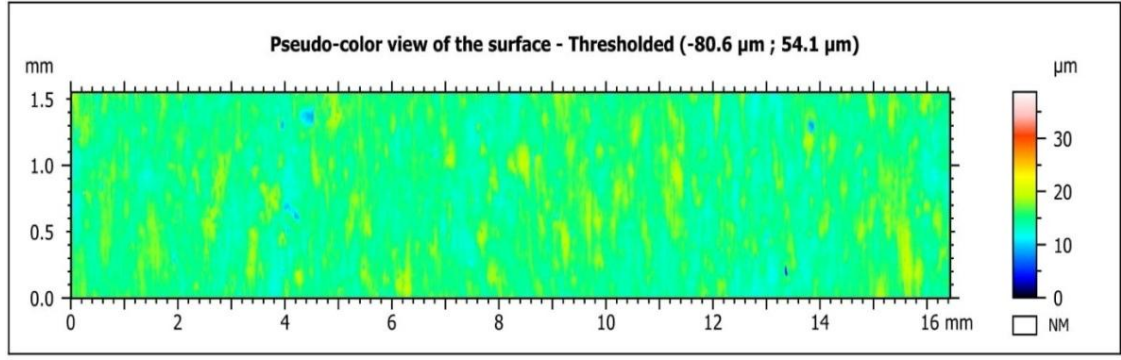
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.243	0.032	0.186	0.309
$\mu\text{Wa}0.8$		0.249	0.0297	0.189	0.304
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	80.6	22.2	34.3	130



μsoft analysis standard 7.2.7481

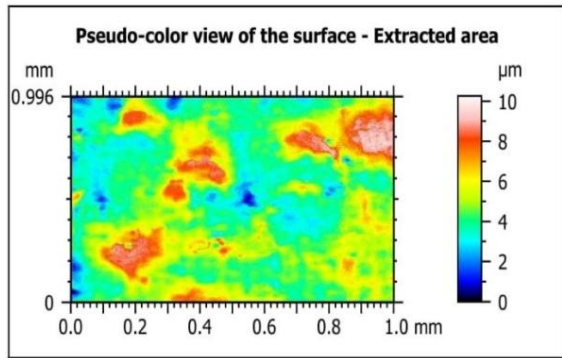


Şekil A.8. ICCR1 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

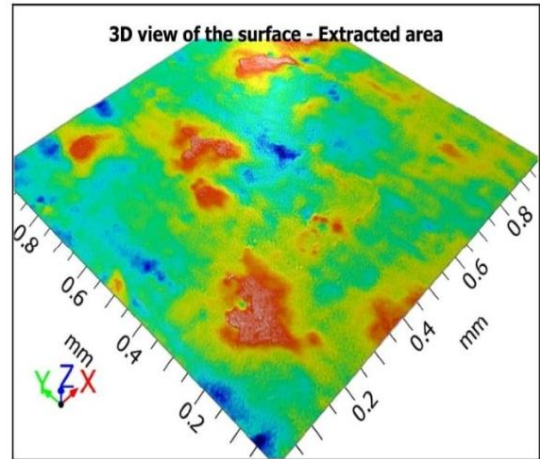


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.921	0.0713	0.772	1.05
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.58	0.515	5.57	8.26
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	8.32	1.53	6.77	14.4

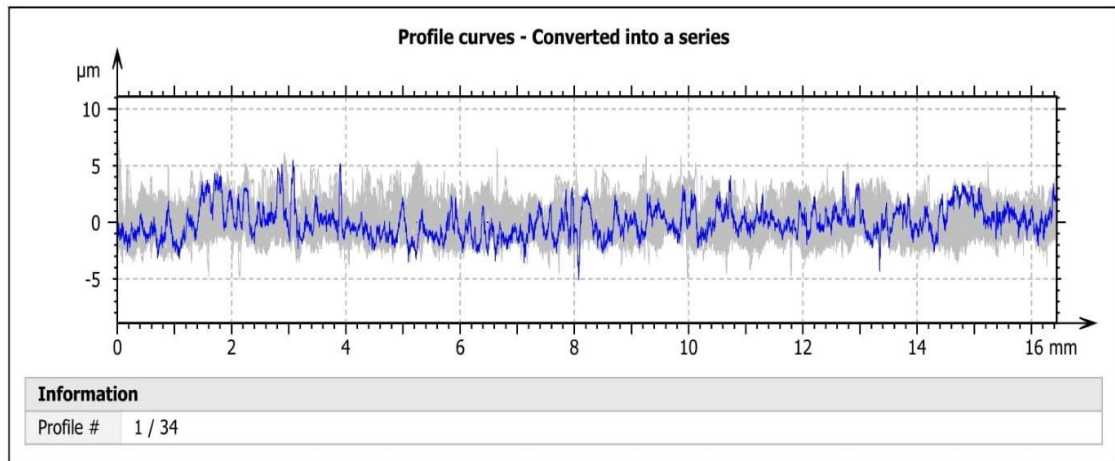
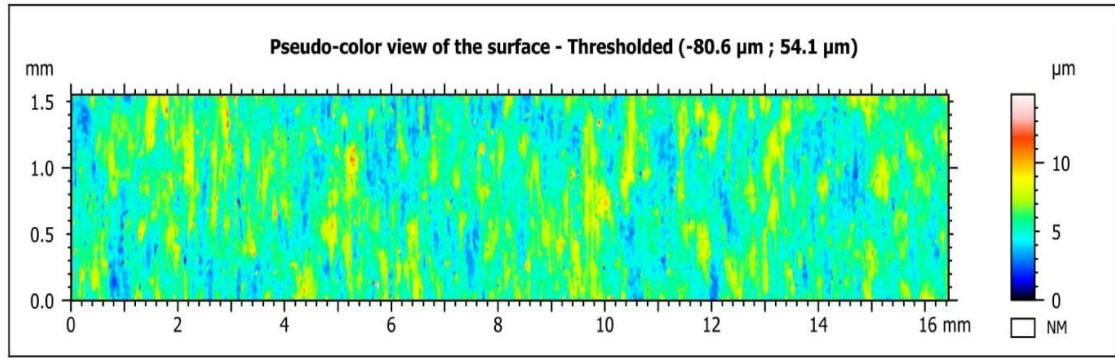
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.444	0.0804	0.329	0.818
$\mu\text{Wa}0.8$		0.475	0.0964	0.342	0.896
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	60.9	8.90	46.2	76.3



μsoft analysis standard 7.2.7481

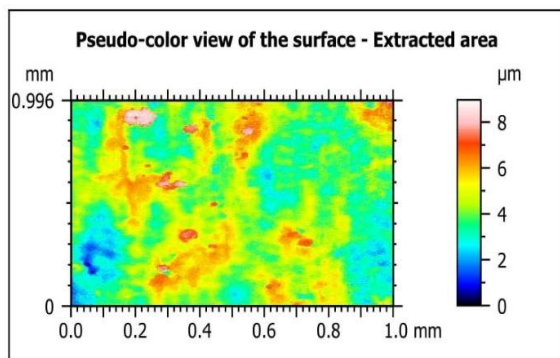


Şekil A.9. ICCR2 numunesine uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

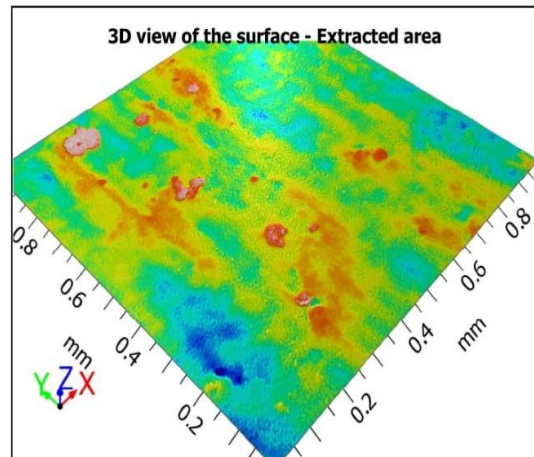


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.873	0.0601	0.767	0.997
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.19	0.496	5.29	7.48
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	7.38	0.803	5.84	9.08

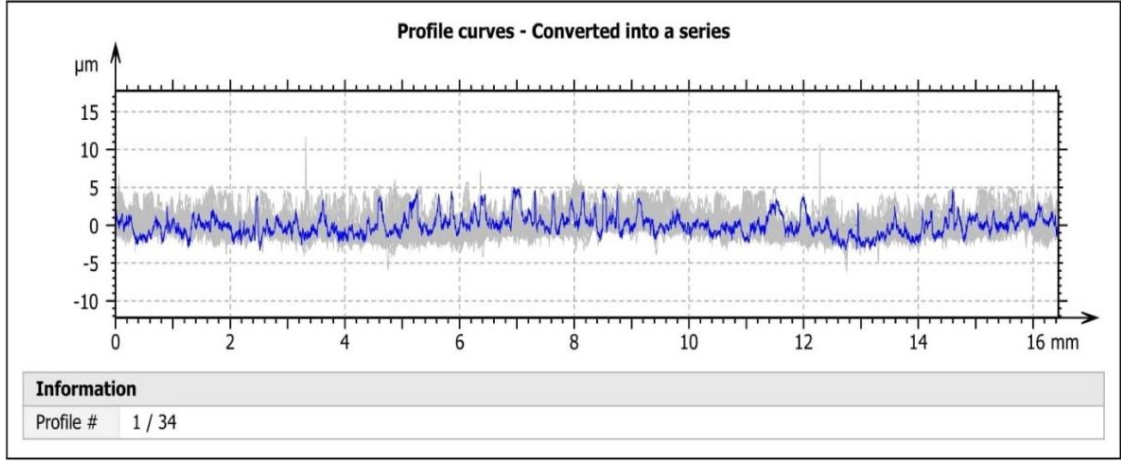
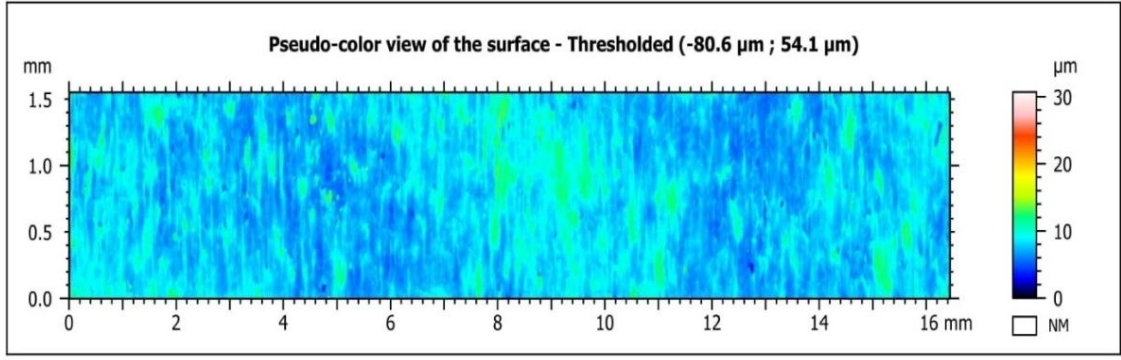
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.405	0.0807	0.247	0.639
$\mu\text{Wa}0.8$		0.386	0.0626	0.299	0.652
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	75.1	9.85	56.0	106



μsoft analysis standard 7.2.7481

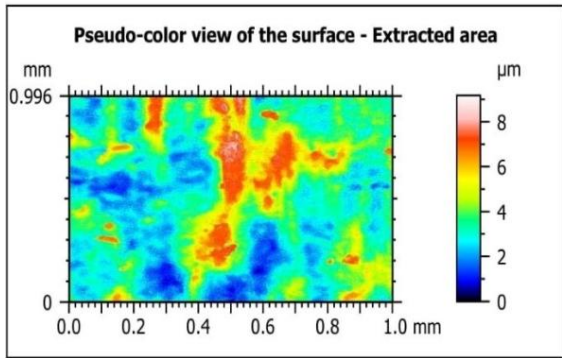


Şekil A.10. ICCR2 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

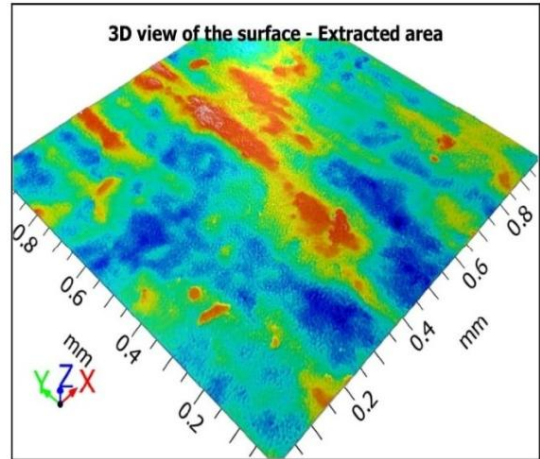


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.836	0.0576	0.733	0.976
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.45	0.532	5.47	8.19
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	8.01	1.66	6.30	14.2

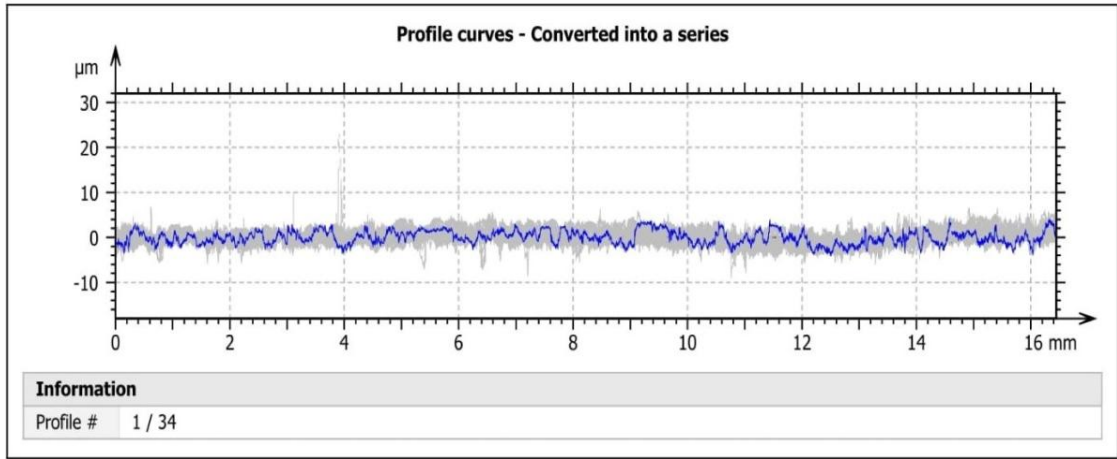
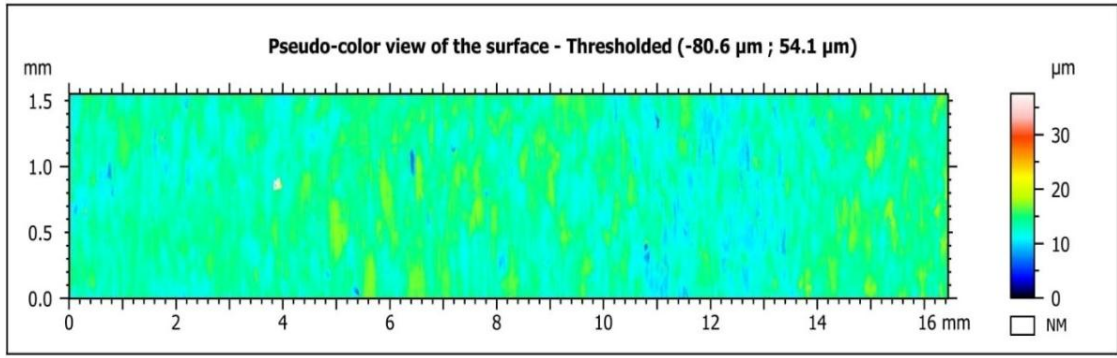
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.368	0.0782	0.266	0.633
$\mu\text{Wa}0.8$		0.459	0.0934	0.252	0.740
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	73.3	10.0	42.8	87.0



μsoft analysis standard 7.2.7481

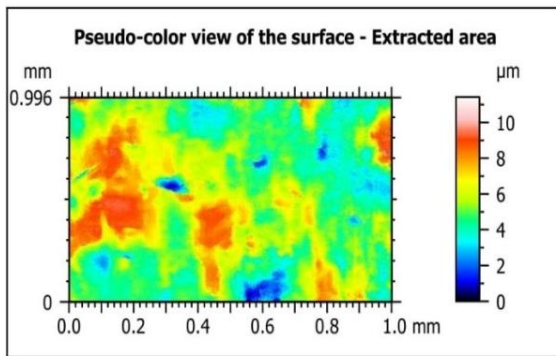


Şekil A.11. ICCR3 numunesine uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

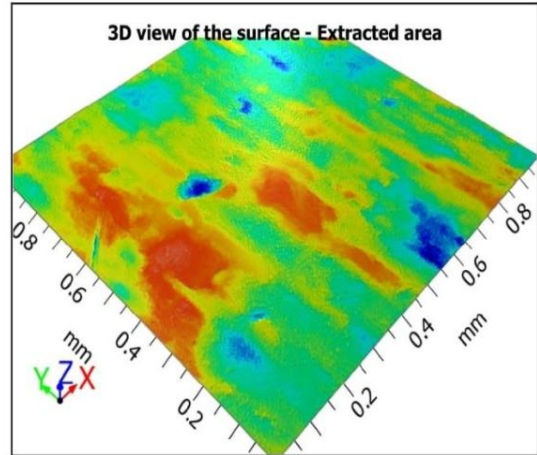


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.997	0.0704	0.875	1.18
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.94	1.17	5.65	11.4
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	9.58	4.13	6.21	25.2

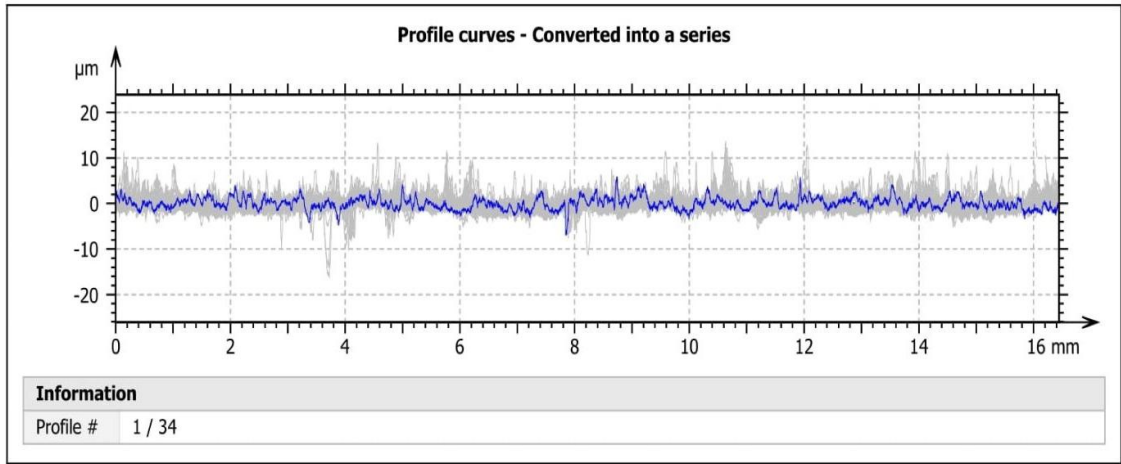
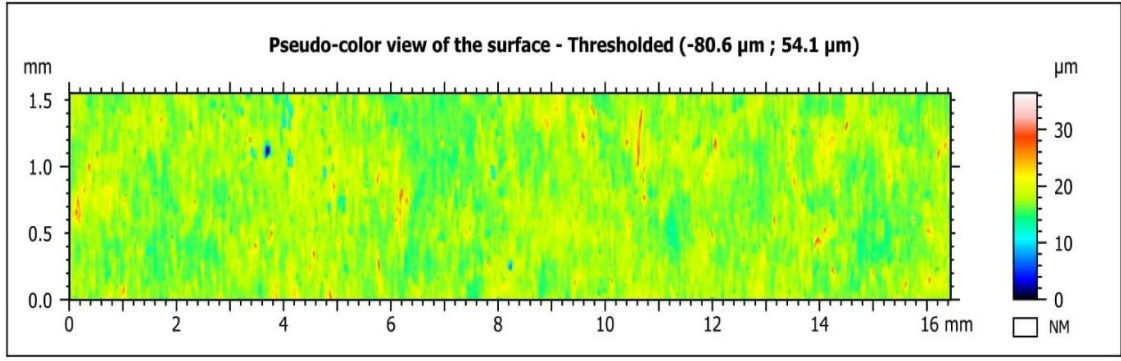
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.459	0.0663	0.360	0.592
$\mu\text{Wa}0.8$		0.438	0.0626	0.309	0.555
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	65.1	9.24	38.4	83.2



μsoft analysis standard 7.2.7481

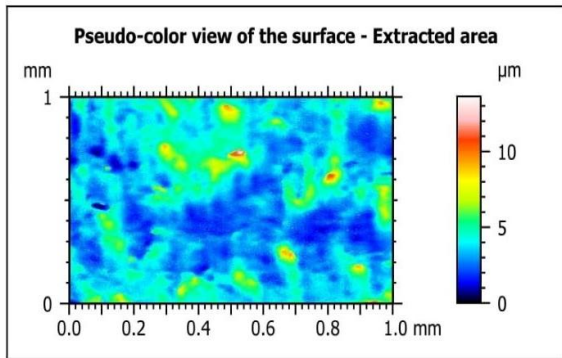


Şekil A.12. ICCR3 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

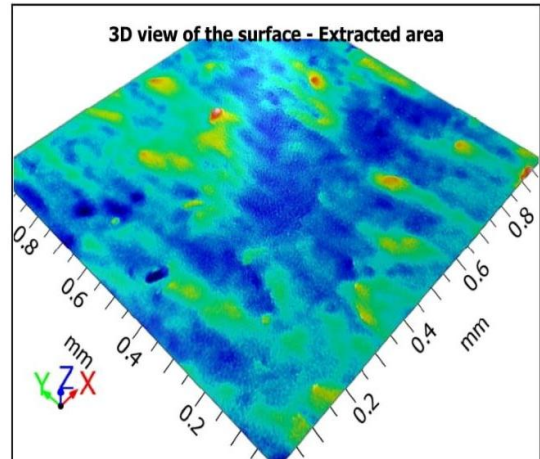


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.971	0.0836	0.842	1.21
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	9.08	1.24	6.99	12.2
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	12.8	2.53	9.06	18.6

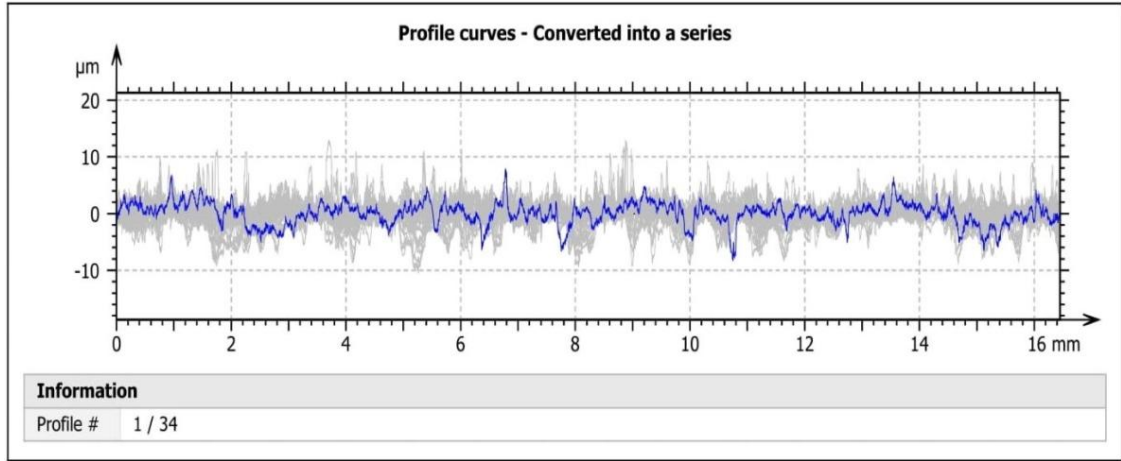
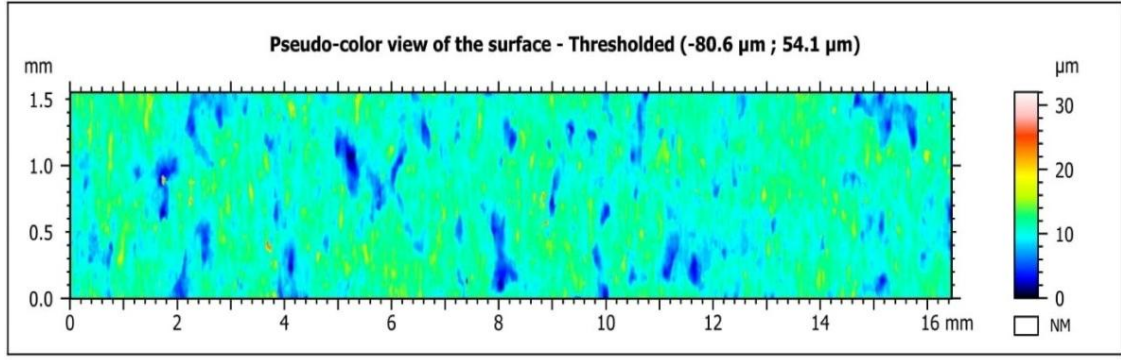
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.430	0.0705	0.288	0.669
$\mu\text{Wa}0.8$		0.509	0.0716	0.367	0.675
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	57.2	8.10	38.2	71.4



μsoft analysis standard 7.2.7481

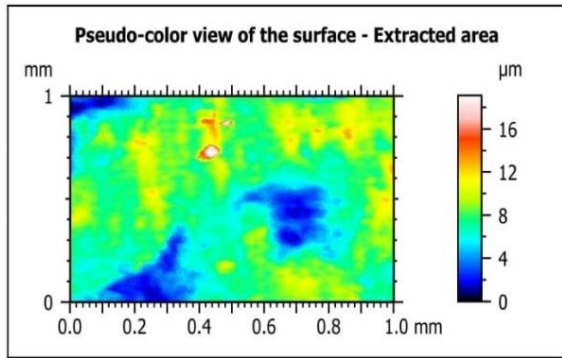


Şekil A.13. RP1 numunesine uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

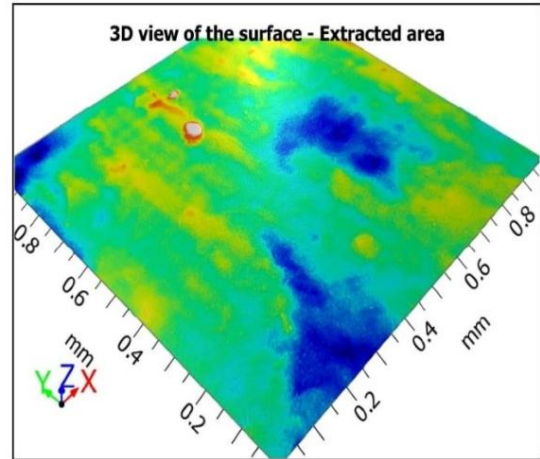


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.15	0.0868	0.990	1.30
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	10.1	0.958	7.93	11.9
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	13.9	2.32	9.59	19.4

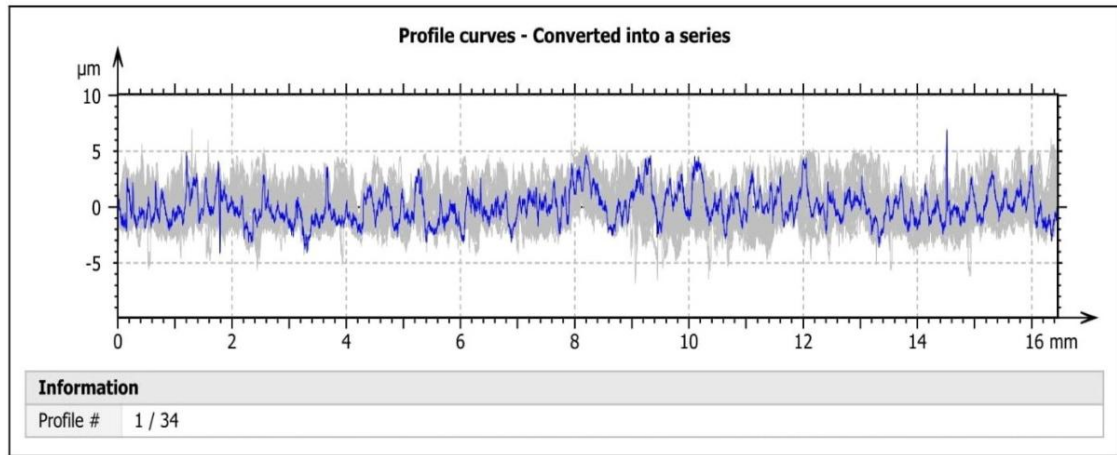
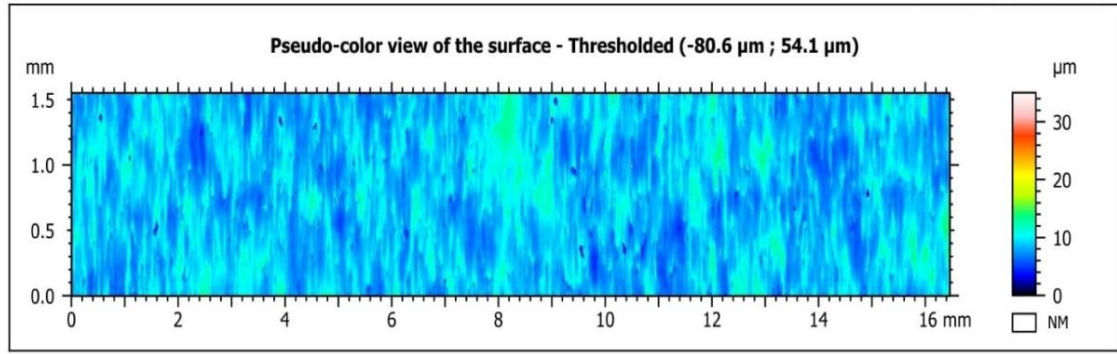
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.633	0.128	0.347	0.833
$\mu\text{Wa}0.8$		0.701	0.137	0.324	0.927
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	49.7	7.05	32.7	68.5



μsoft analysis standard 7.2.7481

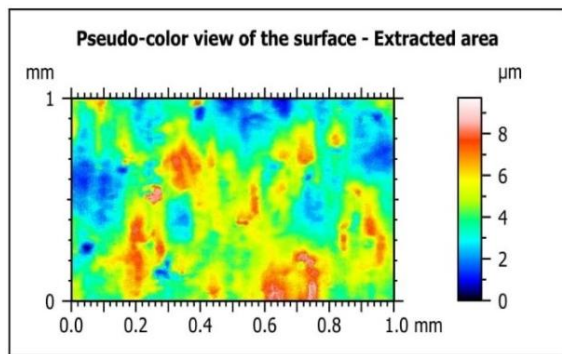


Şekil A.14. RP1 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

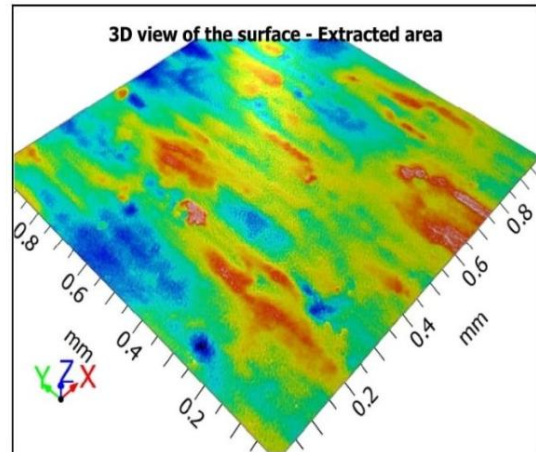


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.03	0.0615	0.937	1.17
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.90	0.418	5.91	7.72
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	8.00	0.916	6.54	11.2

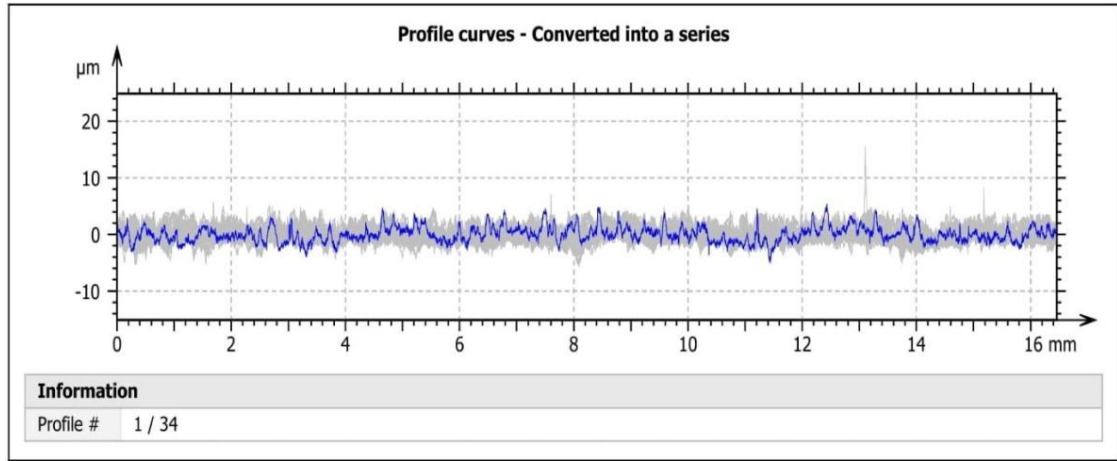
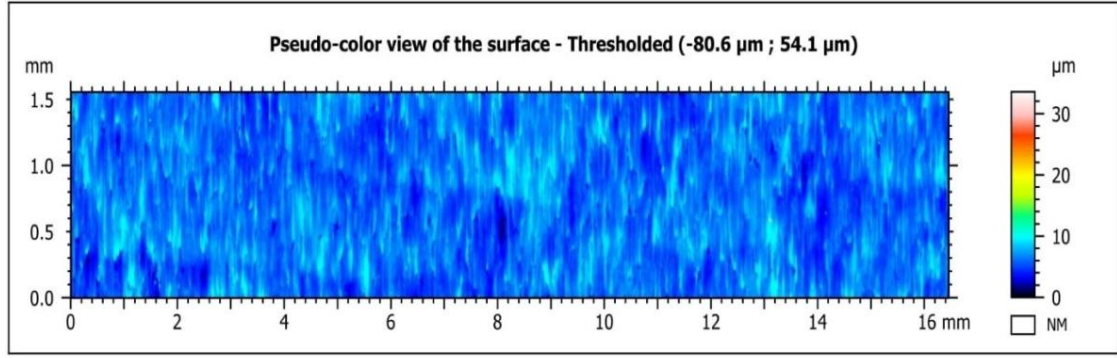
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.471	0.0762	0.351	0.623
$\mu\text{Wa}0.8$		0.491	0.102	0.347	0.723
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	55.7	5.49	43.4	70.2



μsoft analysis standard 7.2.7481

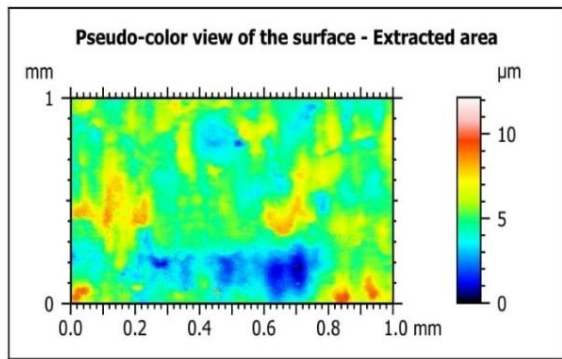


Şekil A.15. RP2 numunesine uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

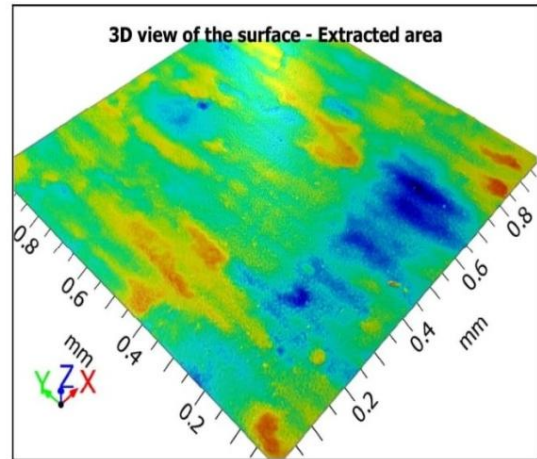


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.858	0.0396	0.786	0.932
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.11	0.552	5.46	8.06
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	7.48	1.65	6.00	16.2

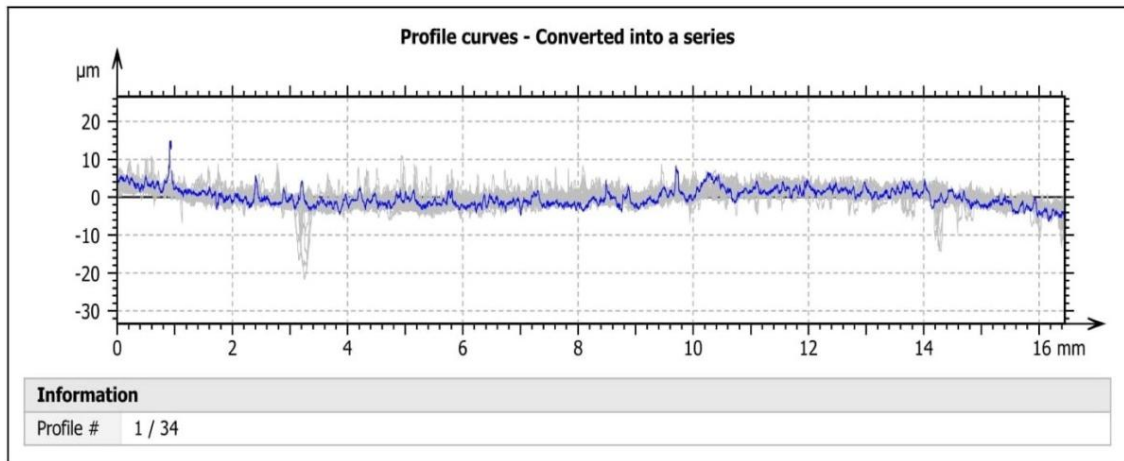
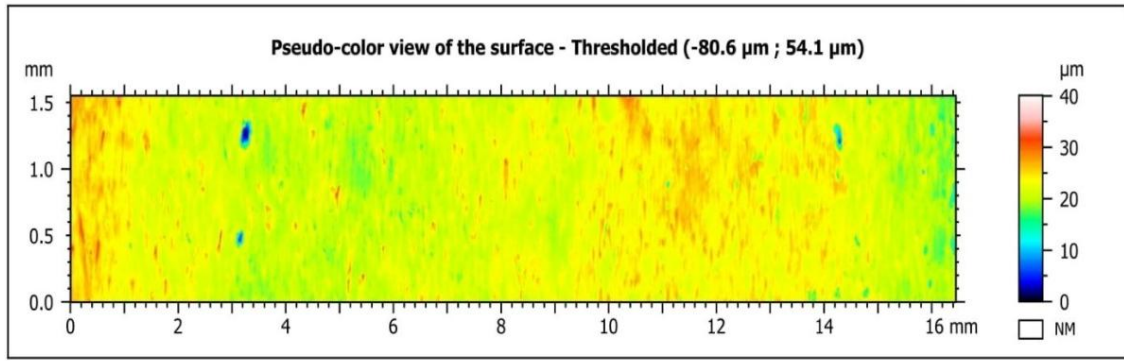
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.408	0.0395	0.323	0.469
$\mu\text{Wa}0.8$		0.445	0.0494	0.339	0.538
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	73.6	9.38	50.6	96.3



μsoft analysis standard 7.2.7481

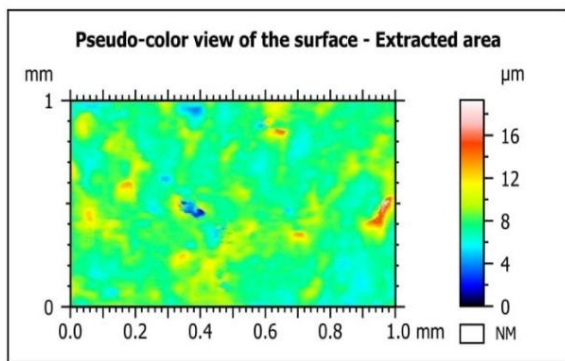


Şekil A.16. RP2 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

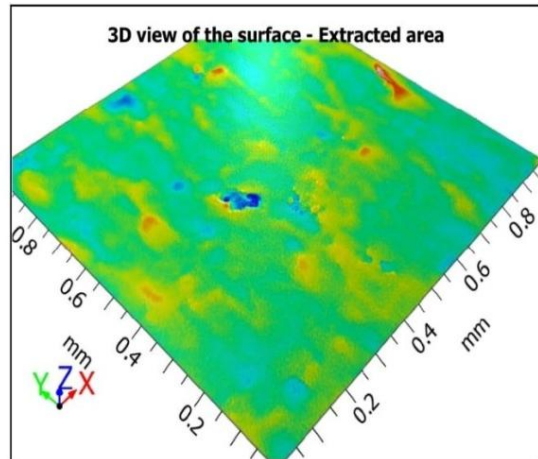


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.922	0.068	0.783	1.12
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	8.27	1.07	6.30	10.7
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	12.1	4.16	6.92	24.4

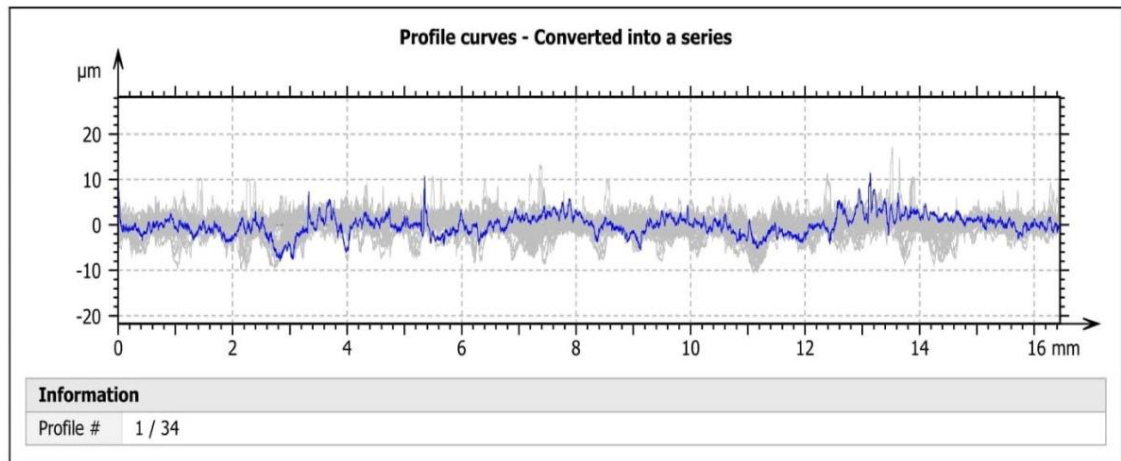
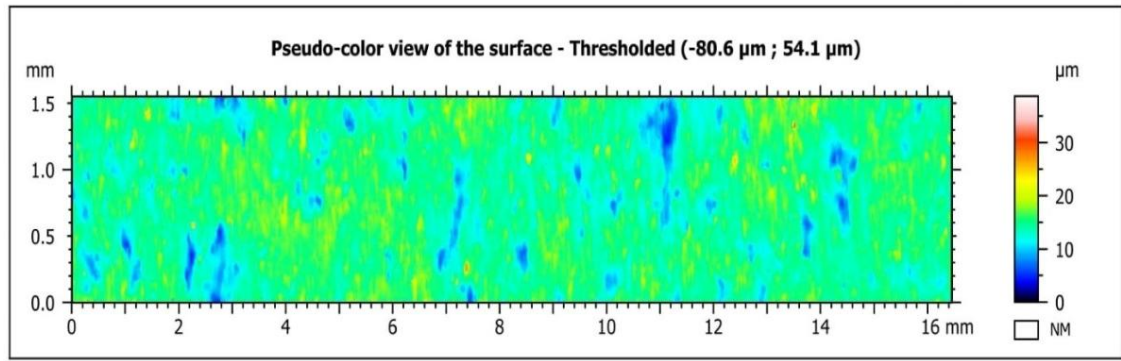
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.433	0.0705	0.307	0.594
$\mu\text{Wa}0.8$		0.415	0.0776	0.290	0.592
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	60.9	7.67	36.3	80.1



μsoft analysis standard 7.2.7481

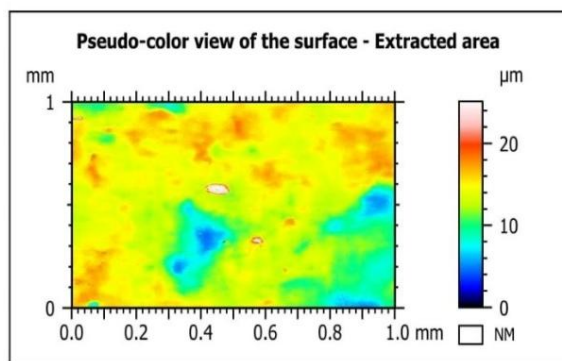


Şekil A.17. RP3 numunesine uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

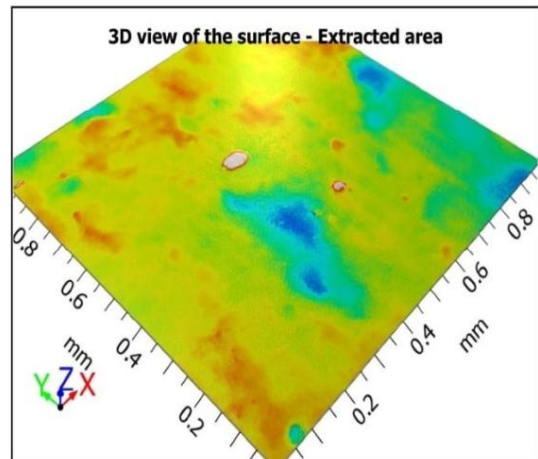


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.18	0.0854	1.02	1.39
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	10.2	1.21	8.15	14.0
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	13.7	2.72	9.76	19.7

		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.777	0.165	0.451	1.26
$\mu\text{Wa}0.8$		0.824	0.185	0.368	1.31
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	48.5	4.87	39.0	57.7

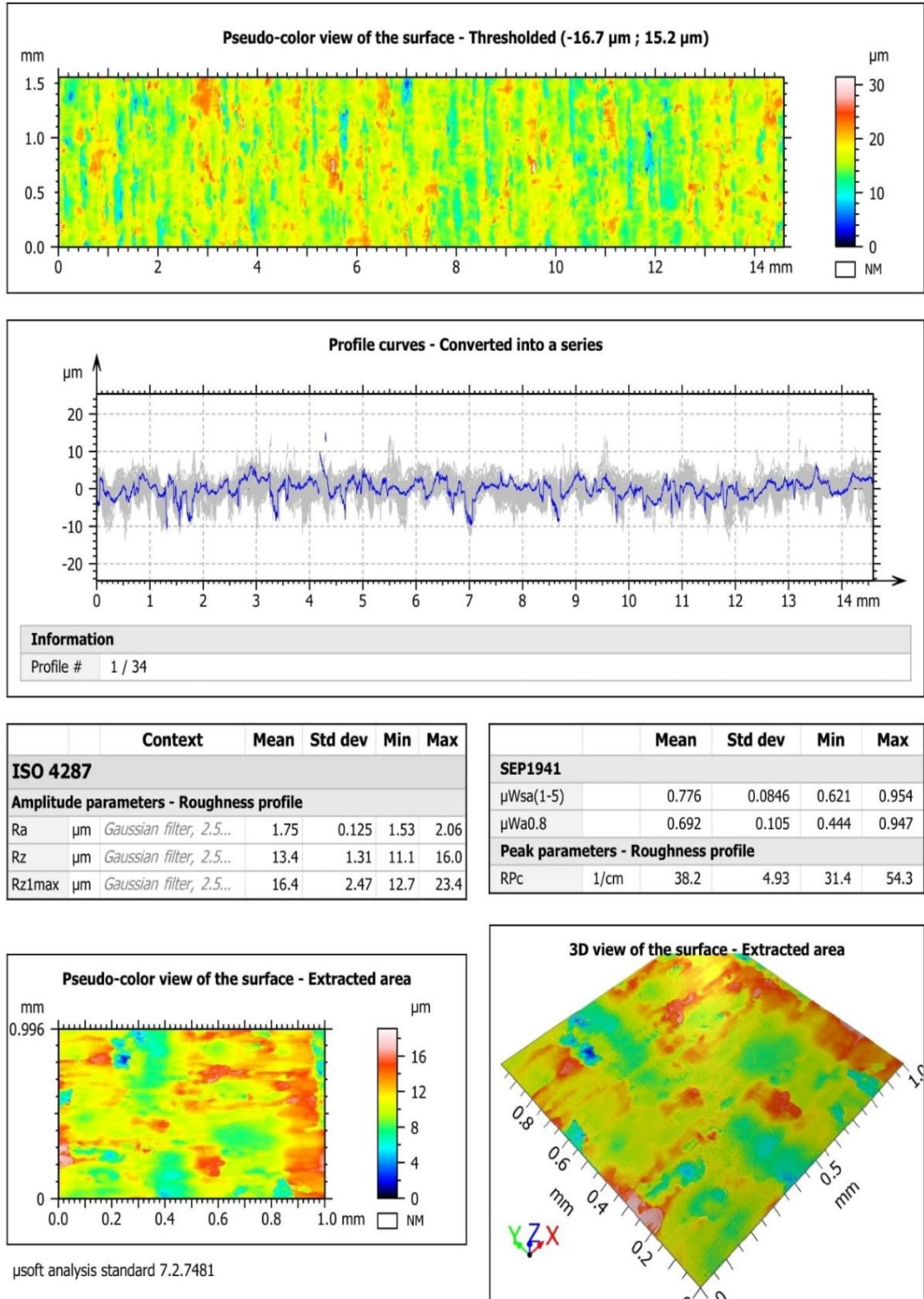


μsoft analysis standard 7.2.7481

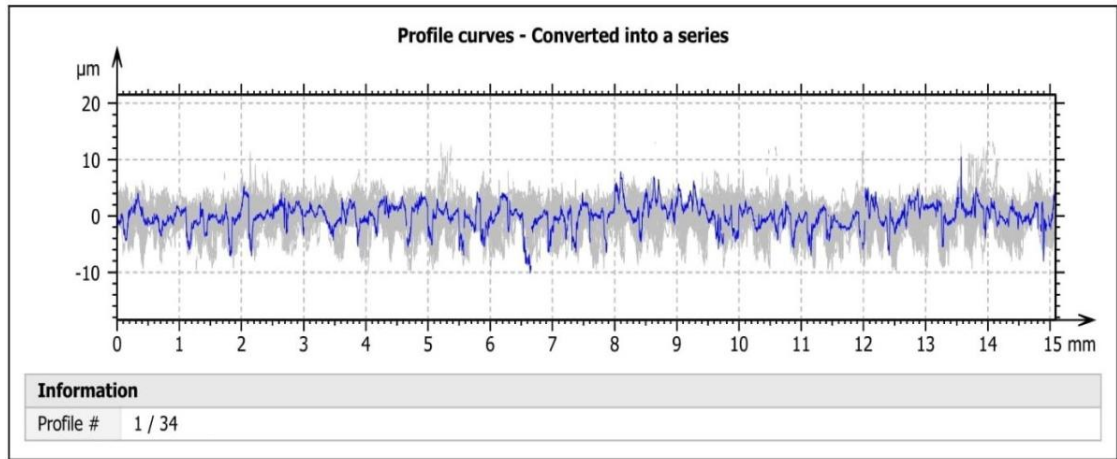
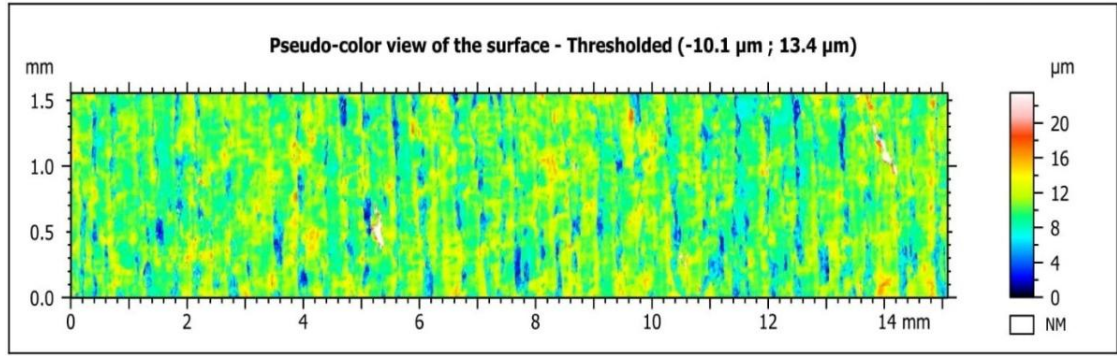


Şekil A.18. RP3 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

Ek-B: Sabit Parametrelili Kuru Buz Püskürtme Uygulamasına ait Yüzey Topografya Raporları

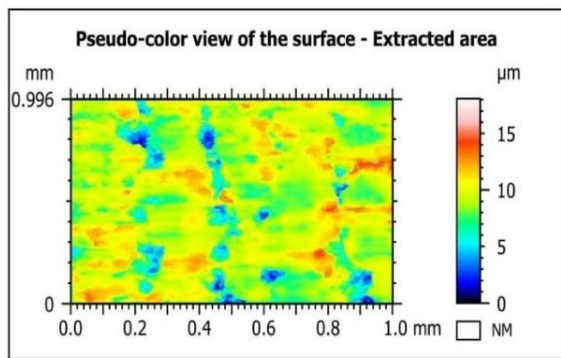


Şekil B.1. ICCR1 numunesine uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

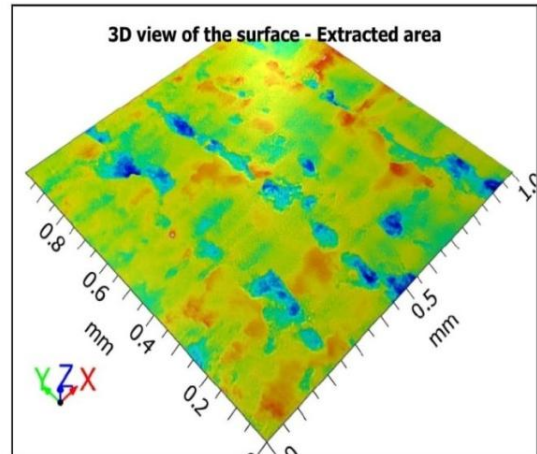


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.51	0.134	1.25	1.76
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	12.3	0.959	10.2	13.9
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	15.6	2.52	11.8	20.9

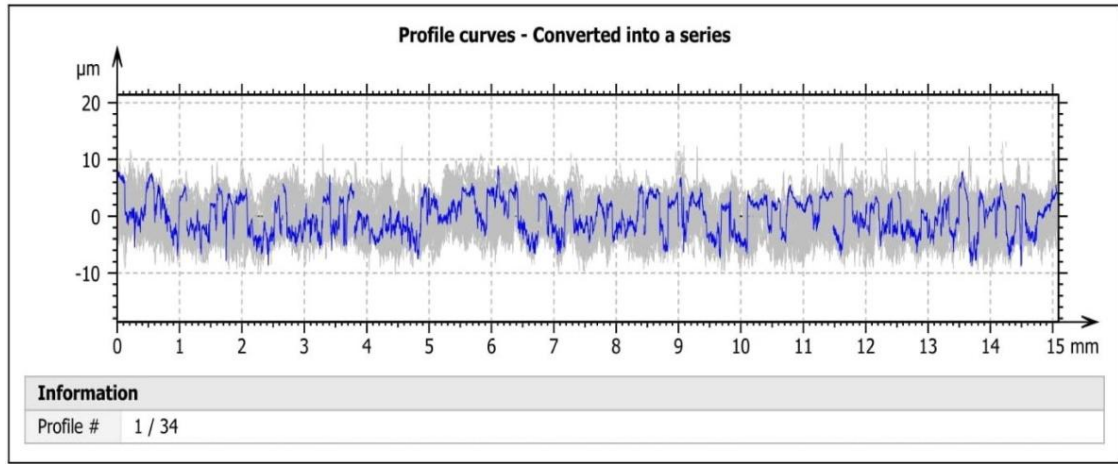
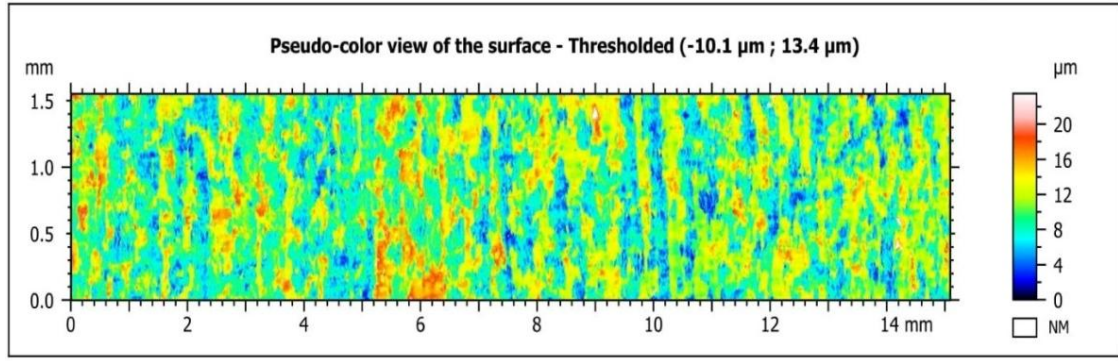
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.560	0.0945	0.332	0.780
$\mu\text{Wa}0.8$		0.517	0.103	0.298	0.738
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	50.1	4.94	39.9	58.7



µsoft analysis standard 7.2.7481

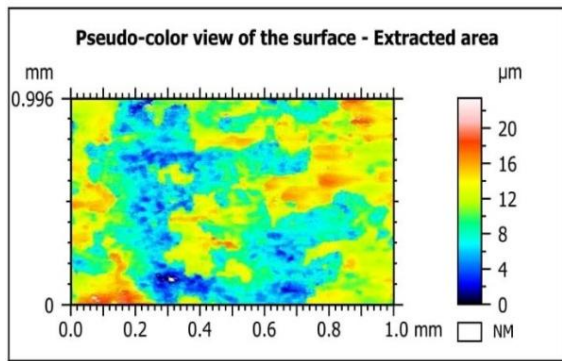


Şekil B.2. ICCR1 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

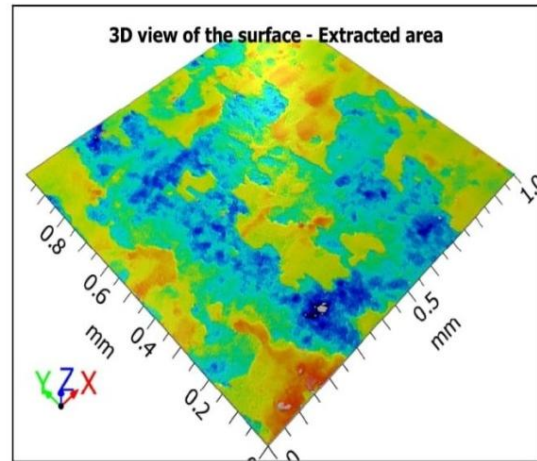


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	2.56	0.117	2.30	2.76
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	14.1	0.931	12.2	15.7
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	16.6	1.80	13.6	20.5

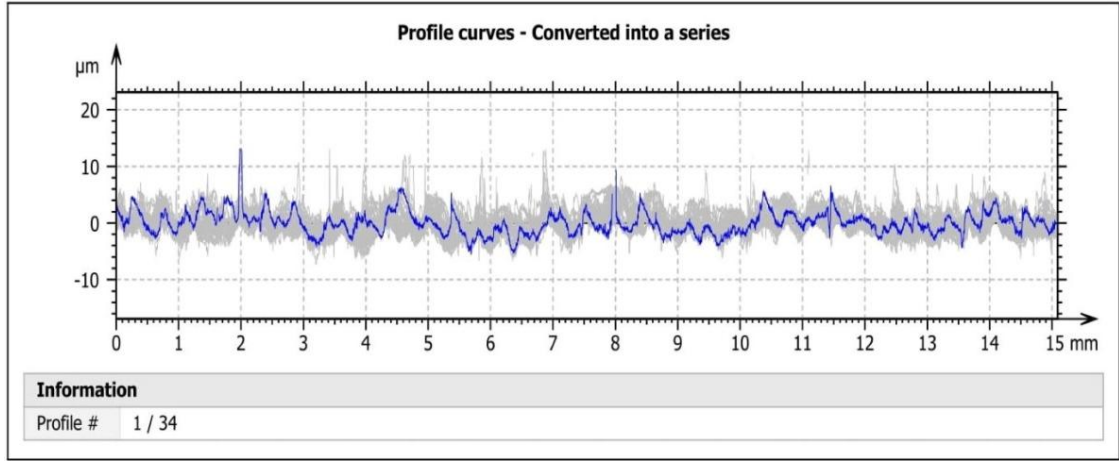
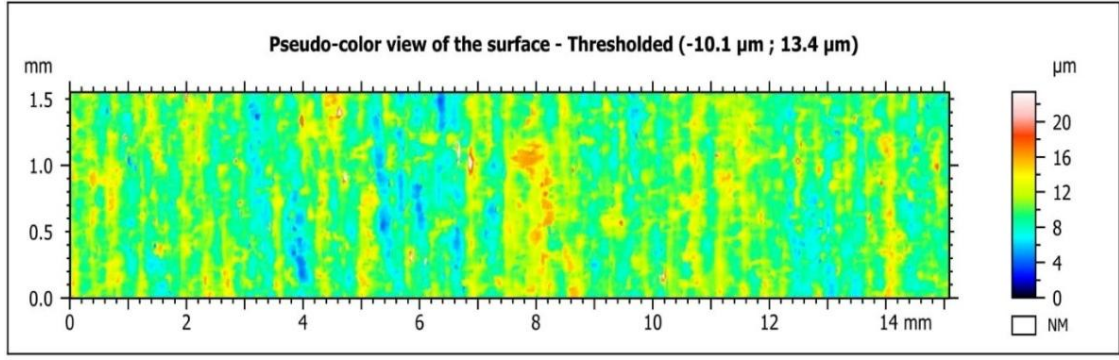
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.960	0.131	0.708	1.19
$\mu\text{Wa}0.8$		0.841	0.113	0.637	1.05
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	52.3	4.85	40.9	61.8



μsoft analysis standard 7.2.7481

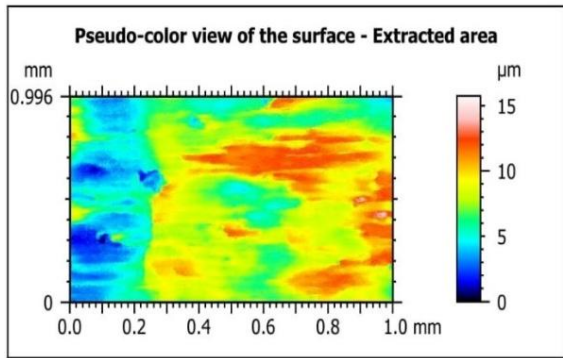


Şekil B.3. ICCR2 numunesine uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

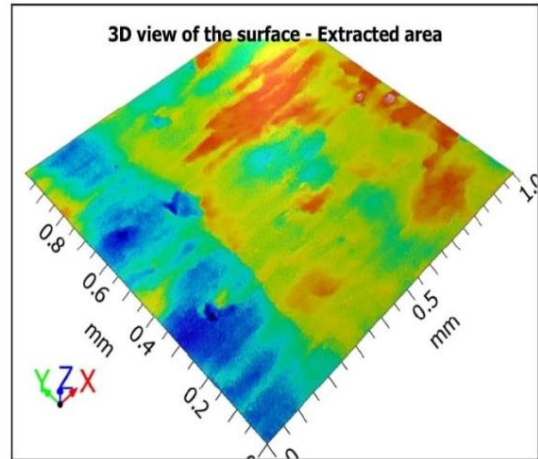


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.31	0.0743	1.20	1.54
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	9.12	1.17	7.11	12.0
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	13.0	2.93	8.50	19.0

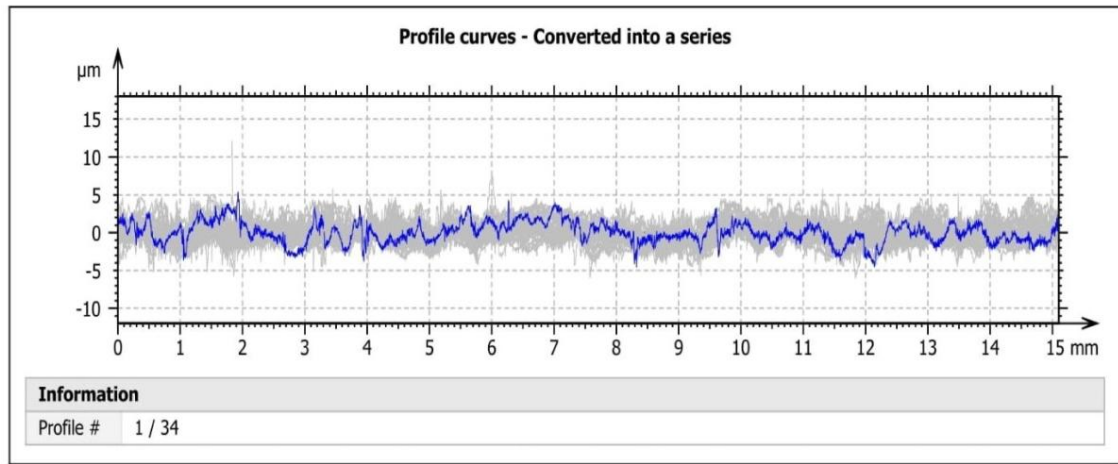
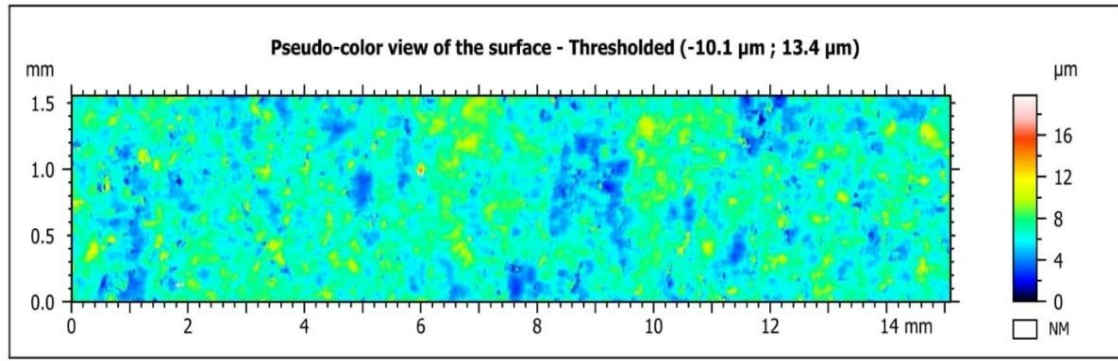
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.745	0.0912	0.567	0.933
$\mu\text{Wa}0.8$		0.704	0.086	0.530	0.901
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	34.3	4.42	27.2	43.2



μsoft analysis standard 7.2.7481

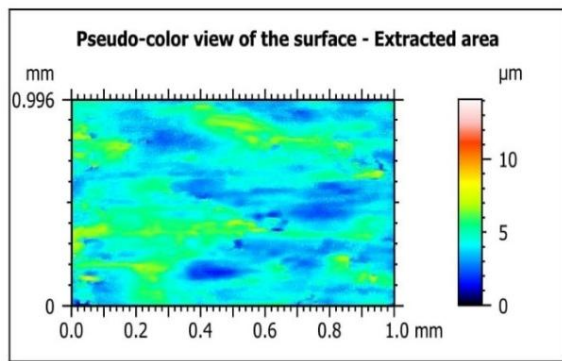


Şekil B.4. ICCR2 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

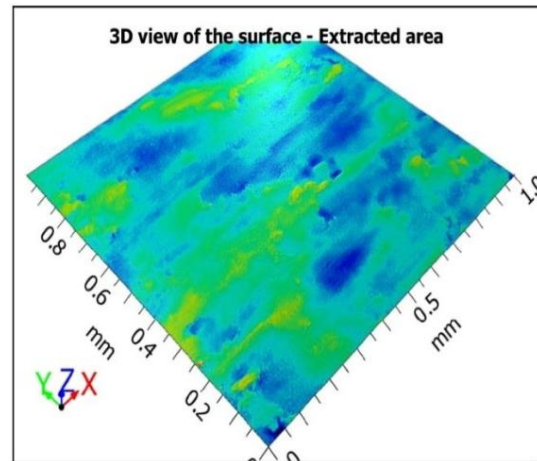


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.836	0.0496	0.741	0.938
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.03	0.527	4.90	7.34
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	7.40	1.42	5.33	13.8

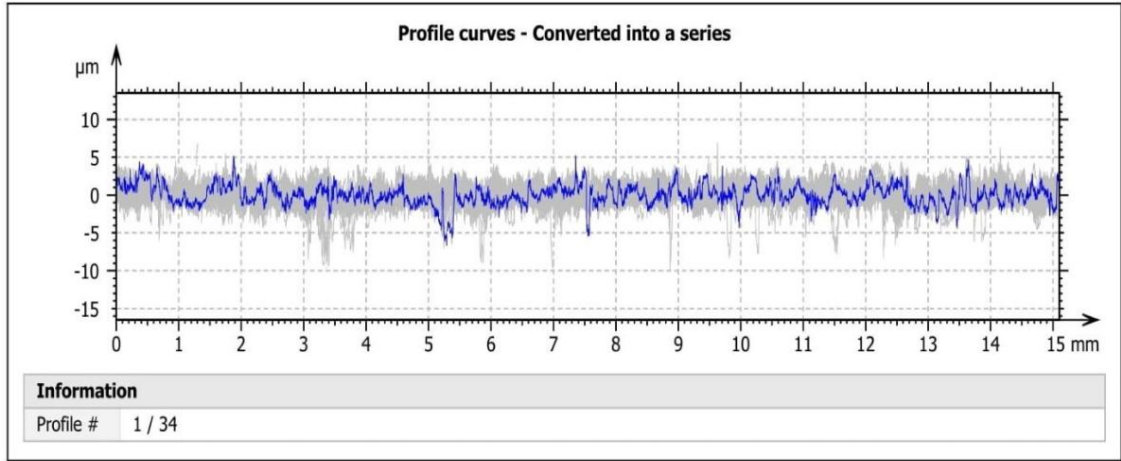
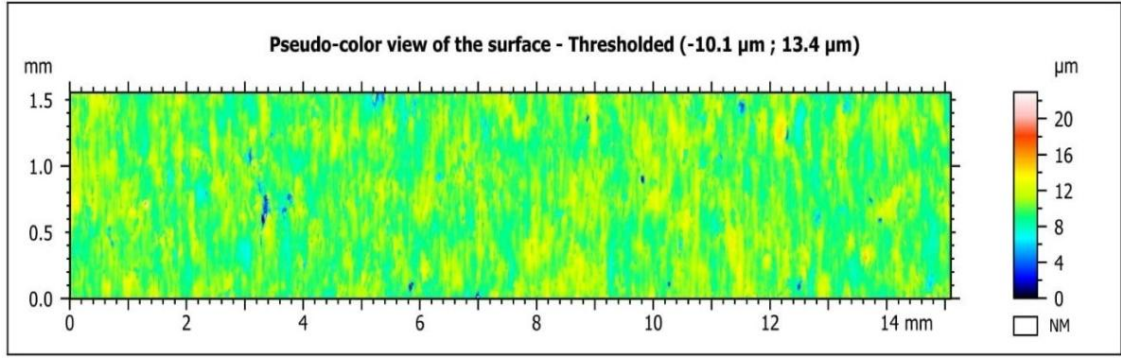
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.492	0.113	0.292	0.728
$\mu\text{Wa}0.8$		0.474	0.105	0.297	0.694
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	48.8	6.61	33.7	70.9



μsoft analysis standard 7.2.7481

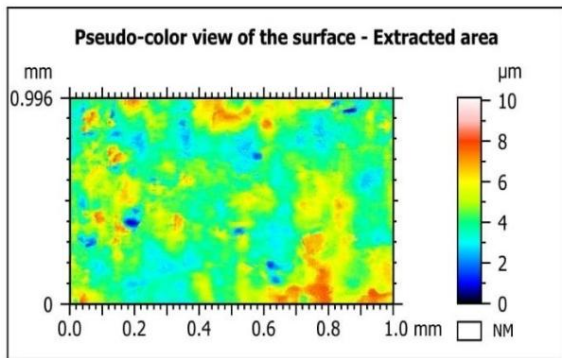


Şekil B.5. DTNR4 numunesine uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

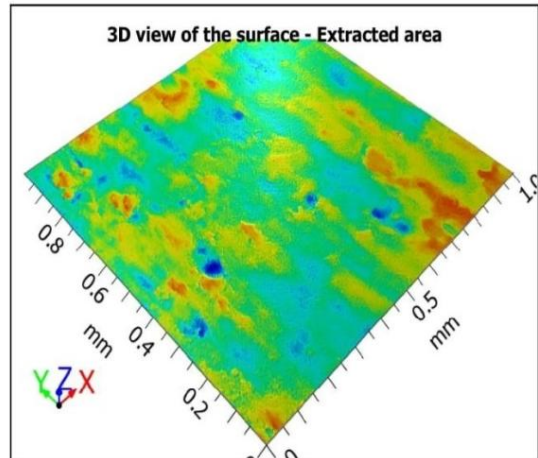


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.868	0.0631	0.774	1.03
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.86	0.791	5.69	8.39
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	9.49	2.10	6.31	14.9

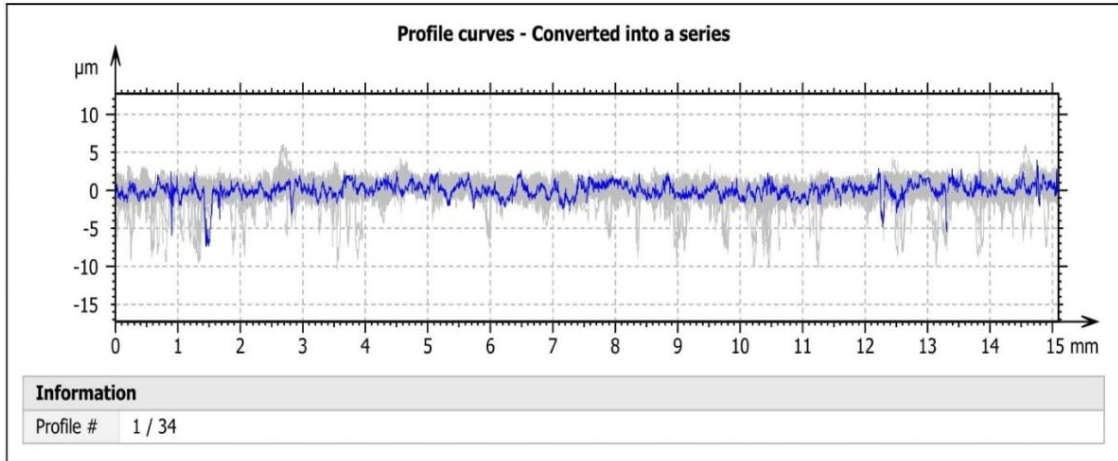
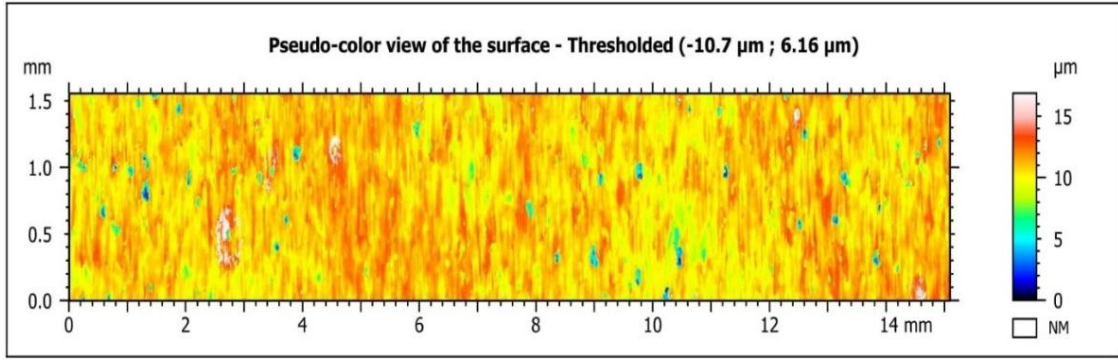
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.324	0.0355	0.245	0.415
$\mu\text{Wa}0.8$		0.299	0.0387	0.227	0.370
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	69.9	9.16	54.3	97.3



μsoft analysis standard 7.2.7481

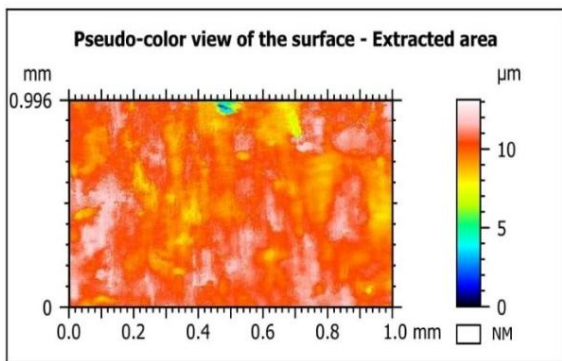


Şekil B.6. DTNR4 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

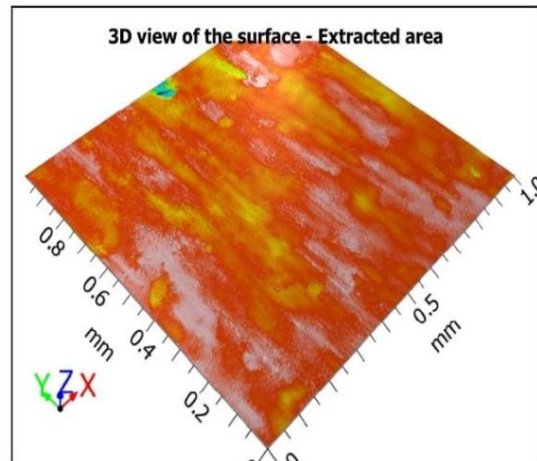


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.677	0.0504	0.582	0.814
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.35	0.883	4.67	8.94
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	9.69	1.71	5.33	12.5

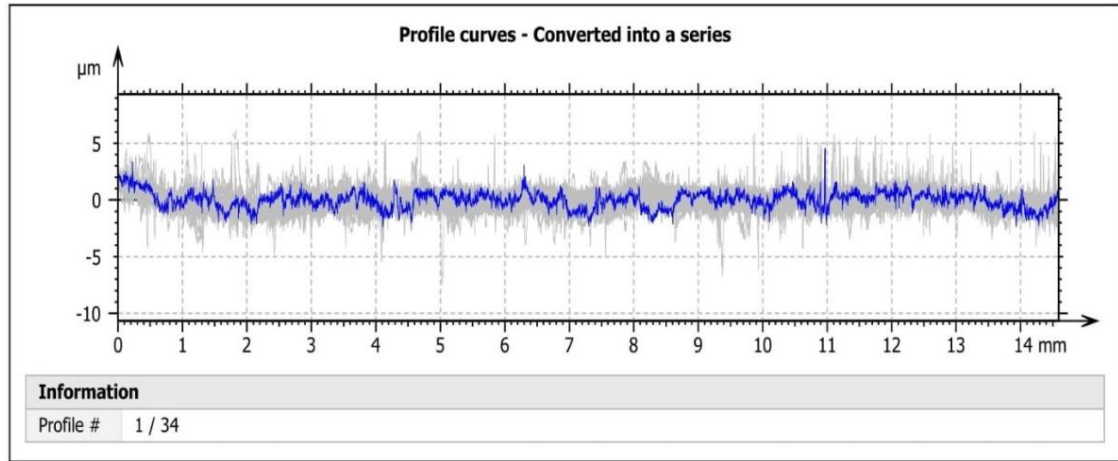
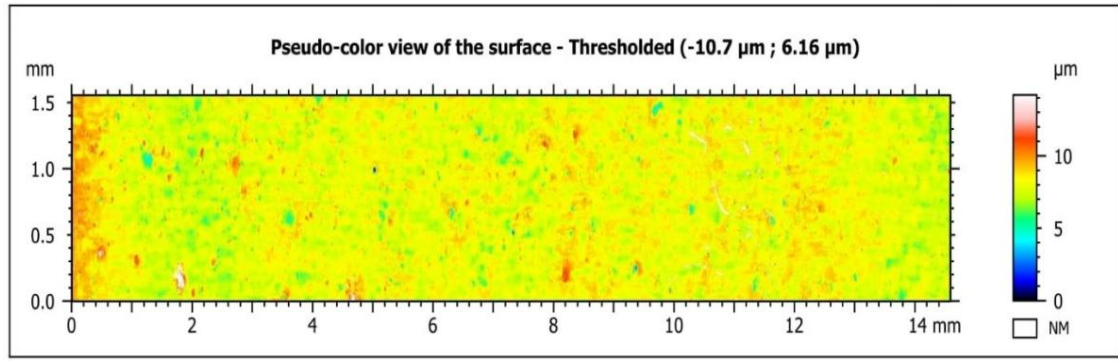
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.270	0.0456	0.204	0.402
$\mu\text{Wa}0.8$		0.264	0.0374	0.171	0.340
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	71.5	10.5	47.8	99.2



μsoft analysis standard 7.2.7481

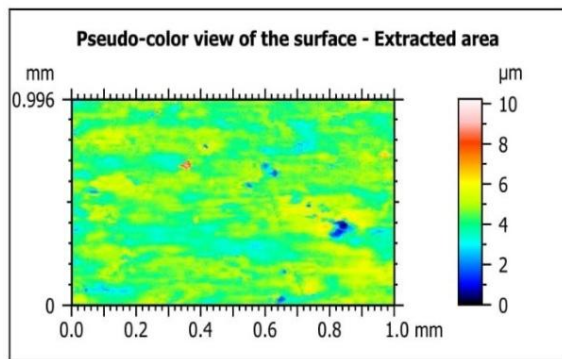


Şekil B.7. RP9 numunesine uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

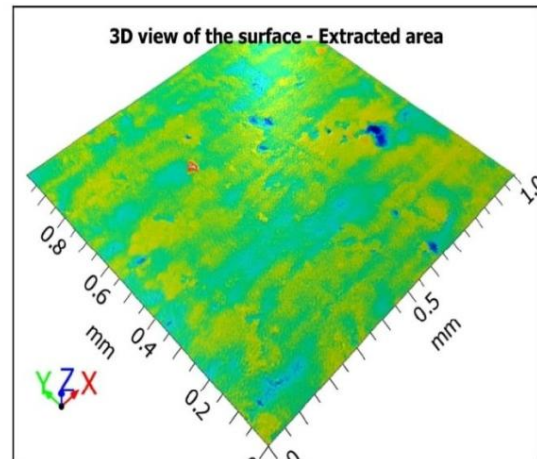


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.459	0.0397	0.382	0.552
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	4.55	0.675	2.99	6.08
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.23	1.34	3.39	9.14

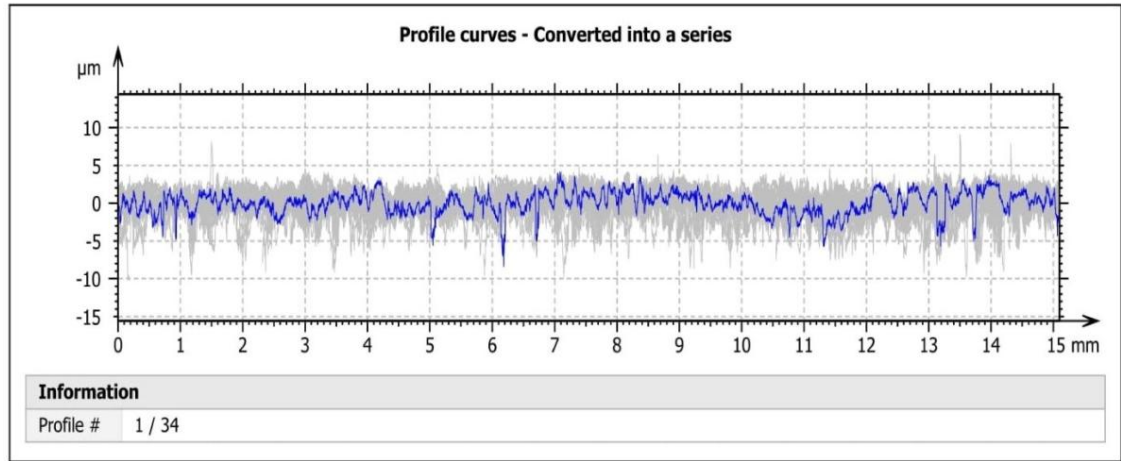
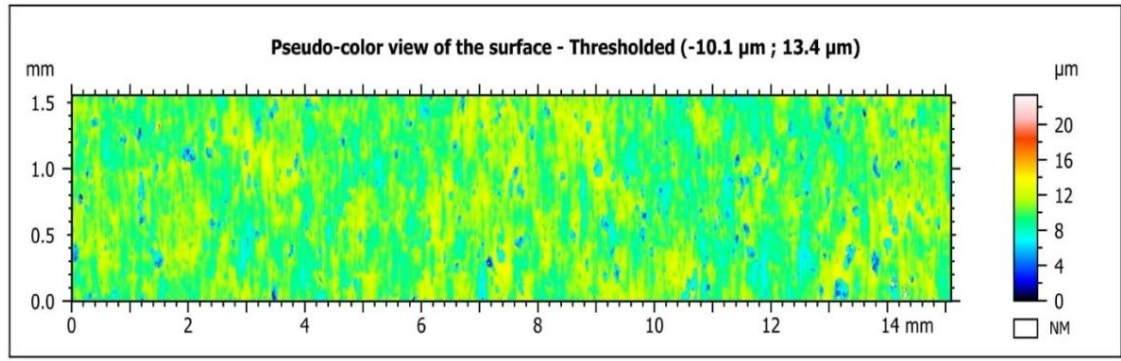
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.184	0.0333	0.117	0.273
$\mu\text{Wa}0.8$		0.182	0.0291	0.128	0.235
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	96.9	19.6	62.2	147



μsoft analysis standard 7.2.7481

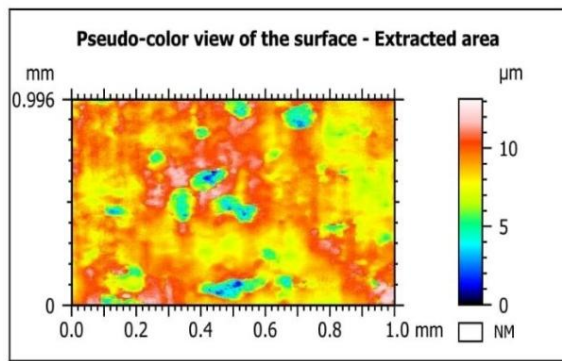


Şekil B.8. RP9 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

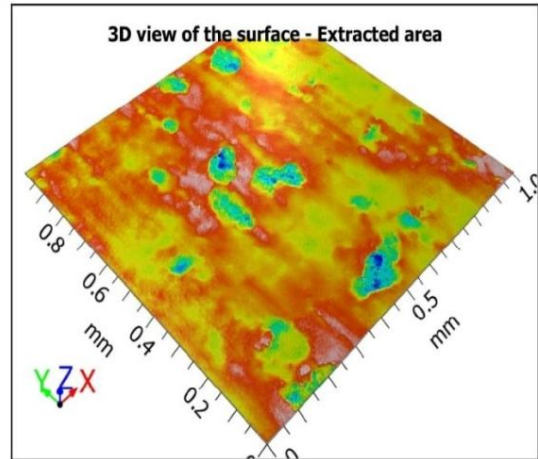


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.04	0.0841	0.874	1.20
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	8.07	0.862	6.52	9.47
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	10.2	1.49	8.07	13.7

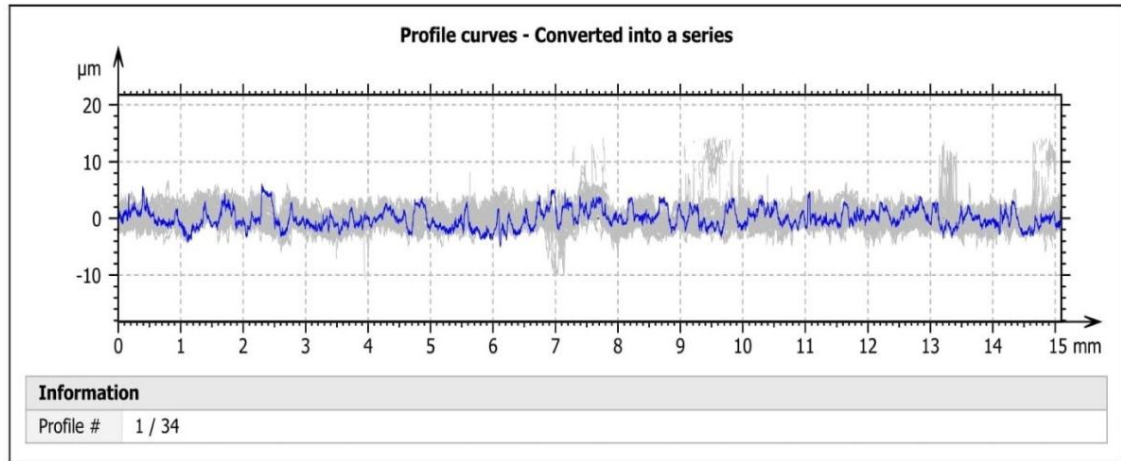
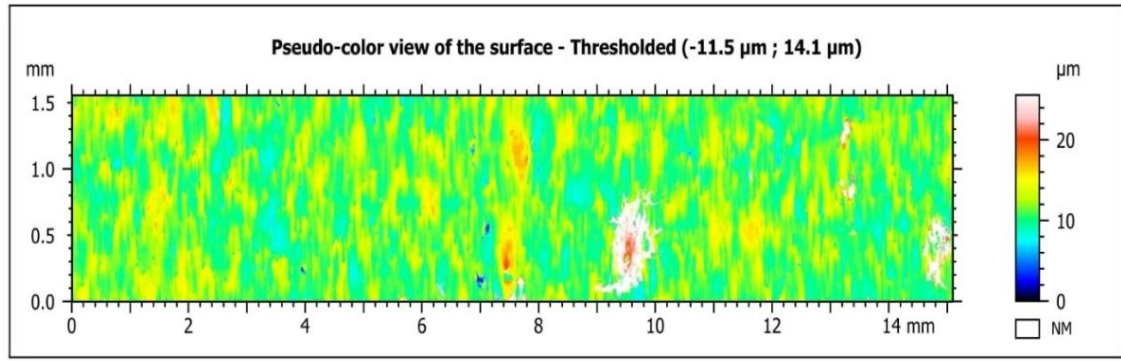
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.410	0.0545	0.290	0.519
$\mu\text{Wa}0.8$		0.407	0.0728	0.276	0.622
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	58.5	5.95	45.8	72.9



μsoft analysis standard 7.2.7481

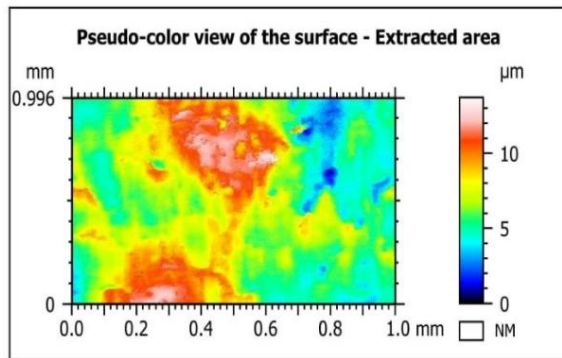


Şekil B.9. RP10 numunesine uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

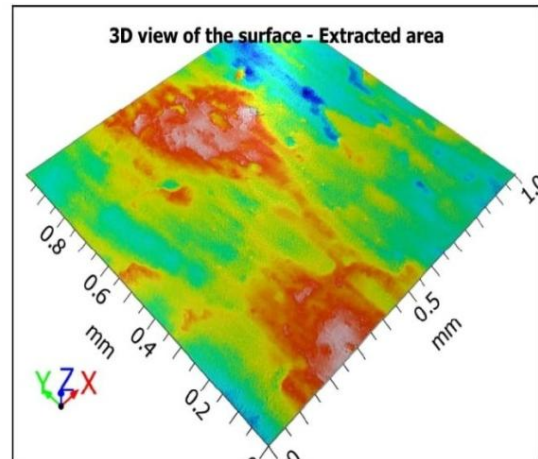


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.26	0.103	1.08	1.44
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	9.25	1.13	7.37	11.7
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	14.1	2.80	8.90	20.4

		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.547	0.109	0.343	0.825
$\mu\text{Wa}0.8$		0.470	0.0935	0.302	0.662
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	44.5	6.84	35.8	59.6

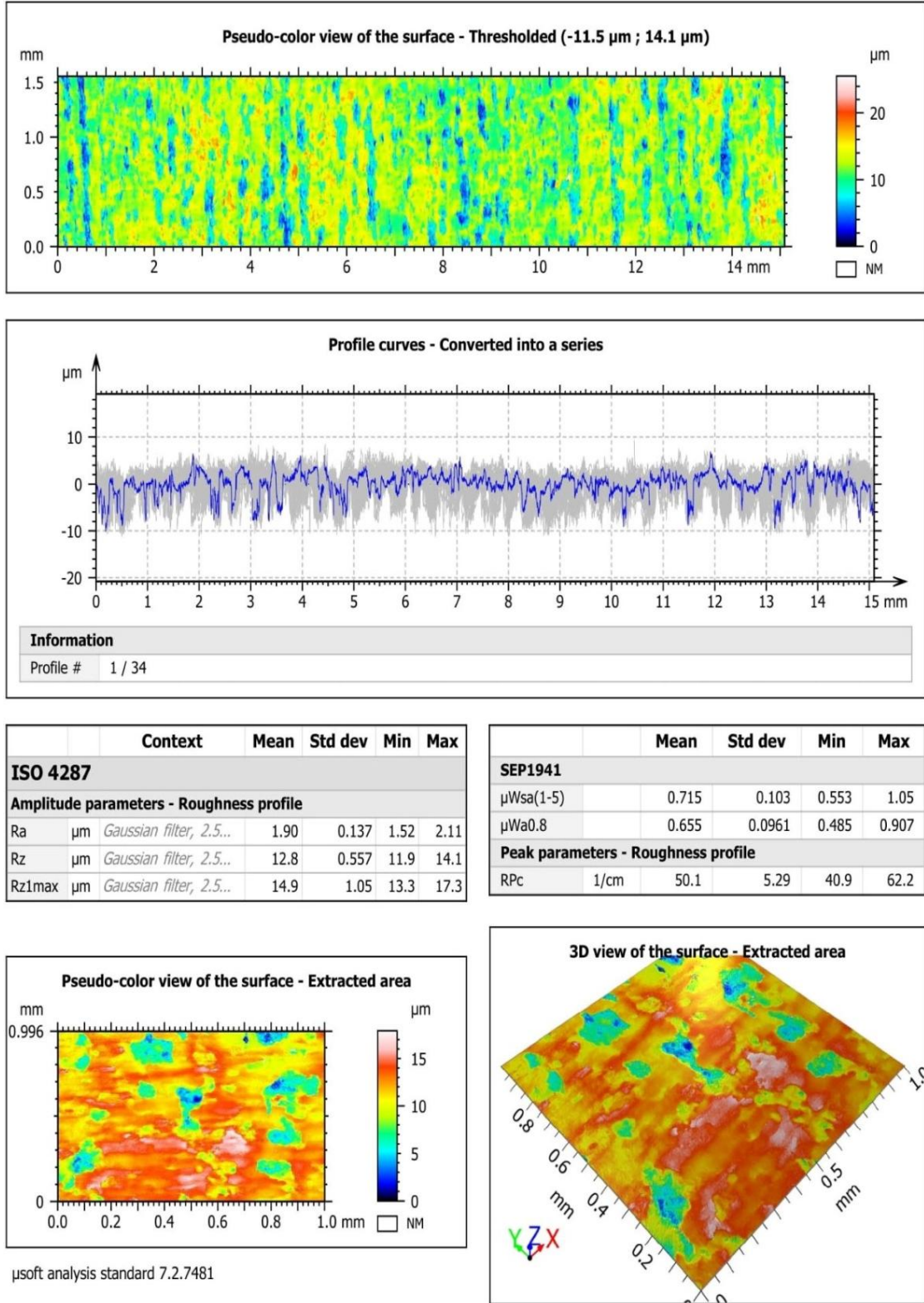


μsoft analysis standard 7.2.7481

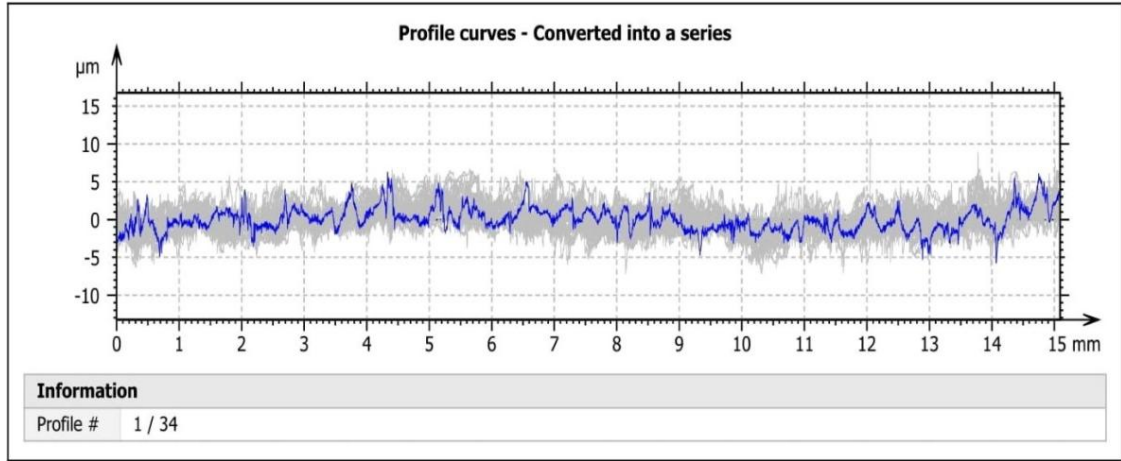
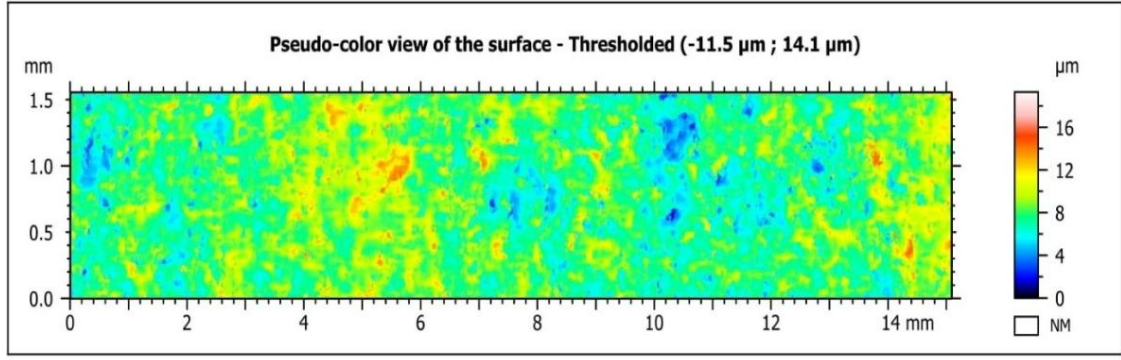


Şekil B.10. RP10 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

Ek-C: Isıtılmış Numunelere Kuru Buz Püskürtme Uygulamasına ait Yüzey Topografya Raporları

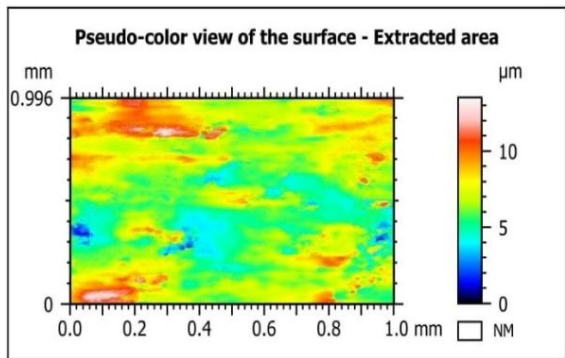


Şekil C.1. ICCR3 önceden ısıtılmış numuneye uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

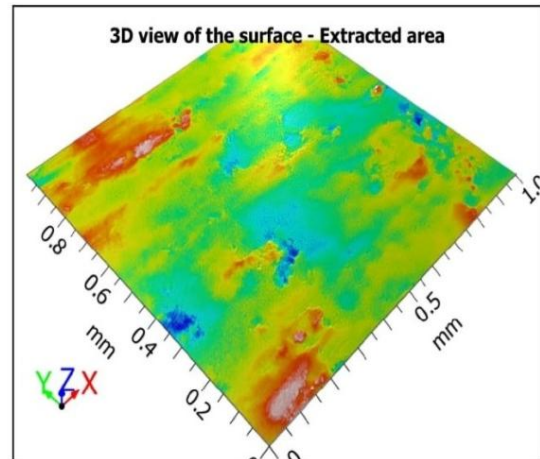


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.920	0.0747	0.729	1.07
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.86	0.678	5.24	8.69
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	8.44	1.48	5.66	14.2

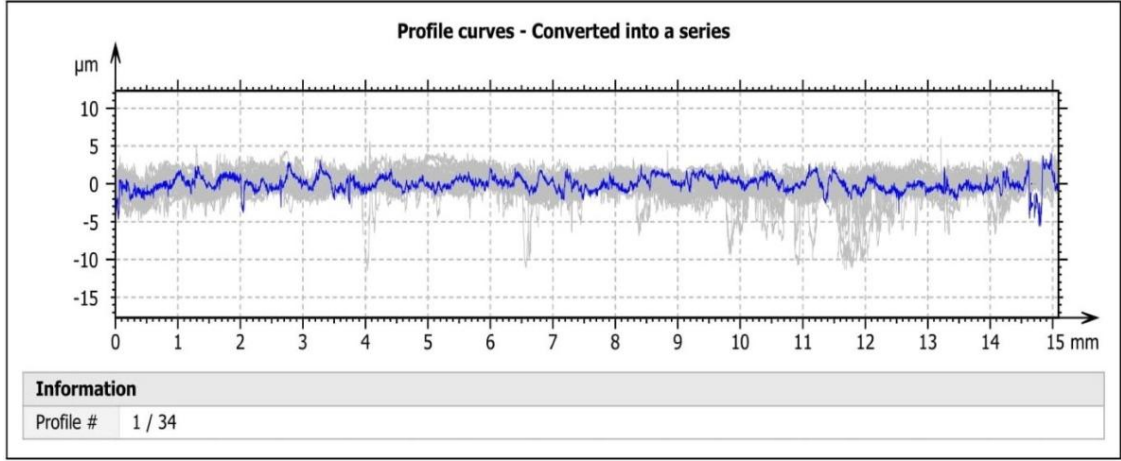
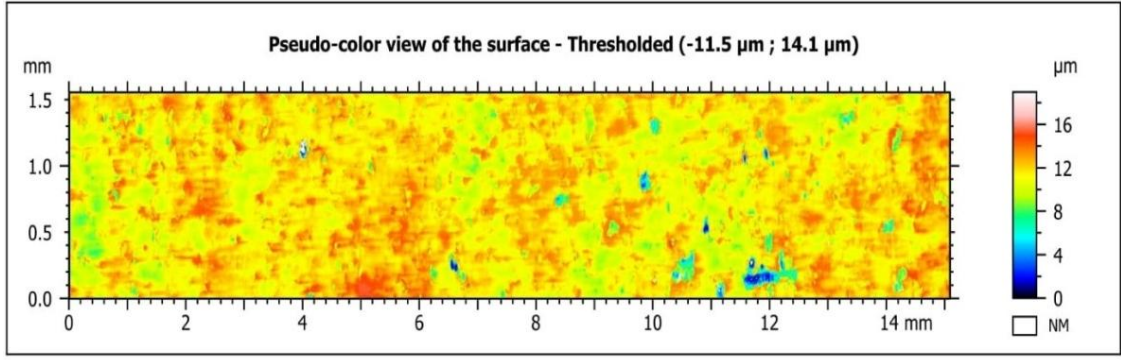
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.533	0.115	0.272	0.750
$\mu\text{Wa}0.8$		0.516	0.121	0.321	0.708
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	46.1	5.76	37.1	57.4



μsoft analysis standard 7.2.7481

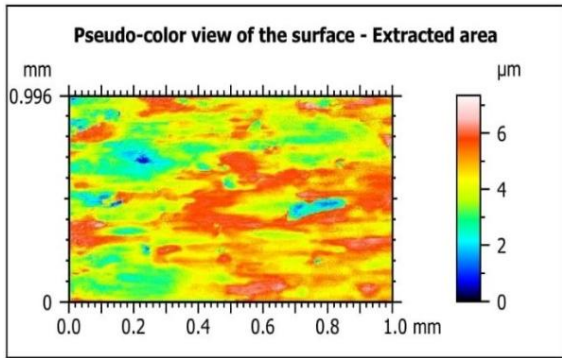


Şekil C.2. DTNR5 önceden ısıtılmış numuneye uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

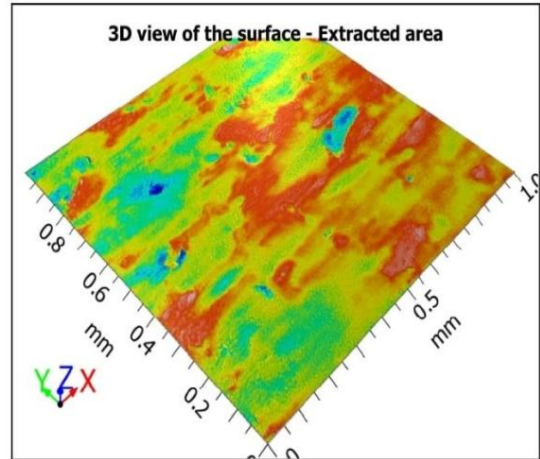


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.742	0.109	0.595	1.11
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.26	1.15	4.47	9.16
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	9.41	2.64	5.22	15.6

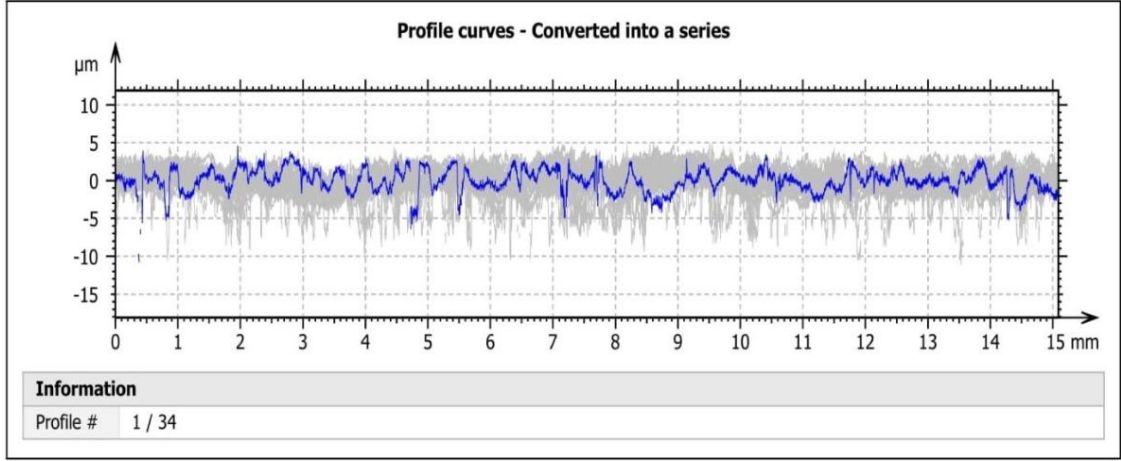
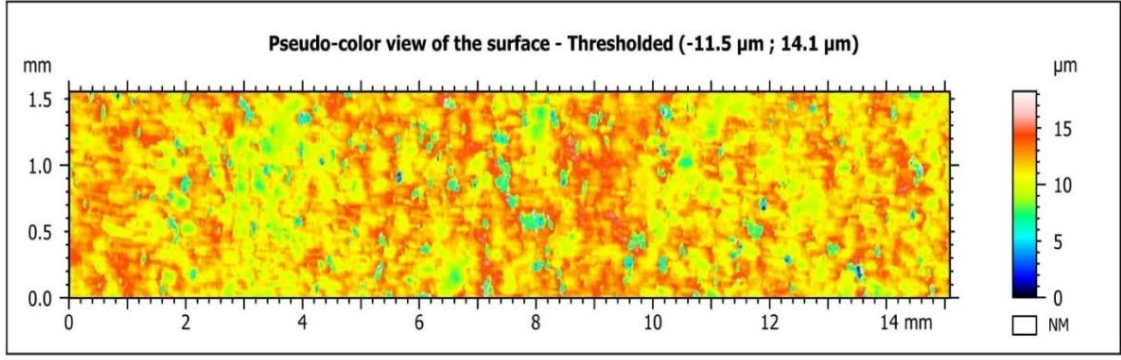
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.426	0.126	0.238	0.898
$\mu\text{Wa}0.8$		0.406	0.118	0.206	0.829
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	48.3	10.6	29.6	69.1



μsoft analysis standard 7.2.7481

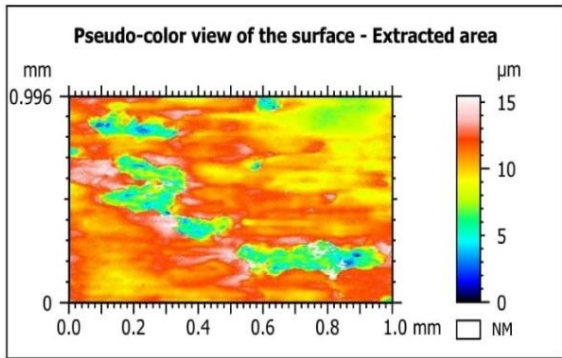


Şekil C.3. RP8 önceden ısıtılmış numuneye uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

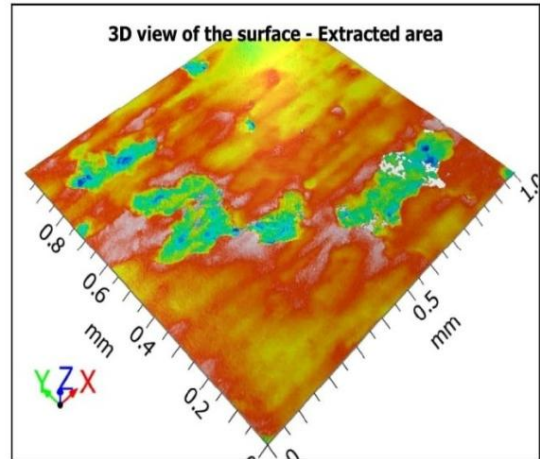


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.04	0.0927	0.865	1.26
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	8.63	0.939	6.50	10.6
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	11.1	1.19	8.50	13.5

		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.505	0.102	0.298	0.717
$\mu\text{Wa}0.8$		0.454	0.0838	0.288	0.636
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	40.6	5.45	31.5	55.2

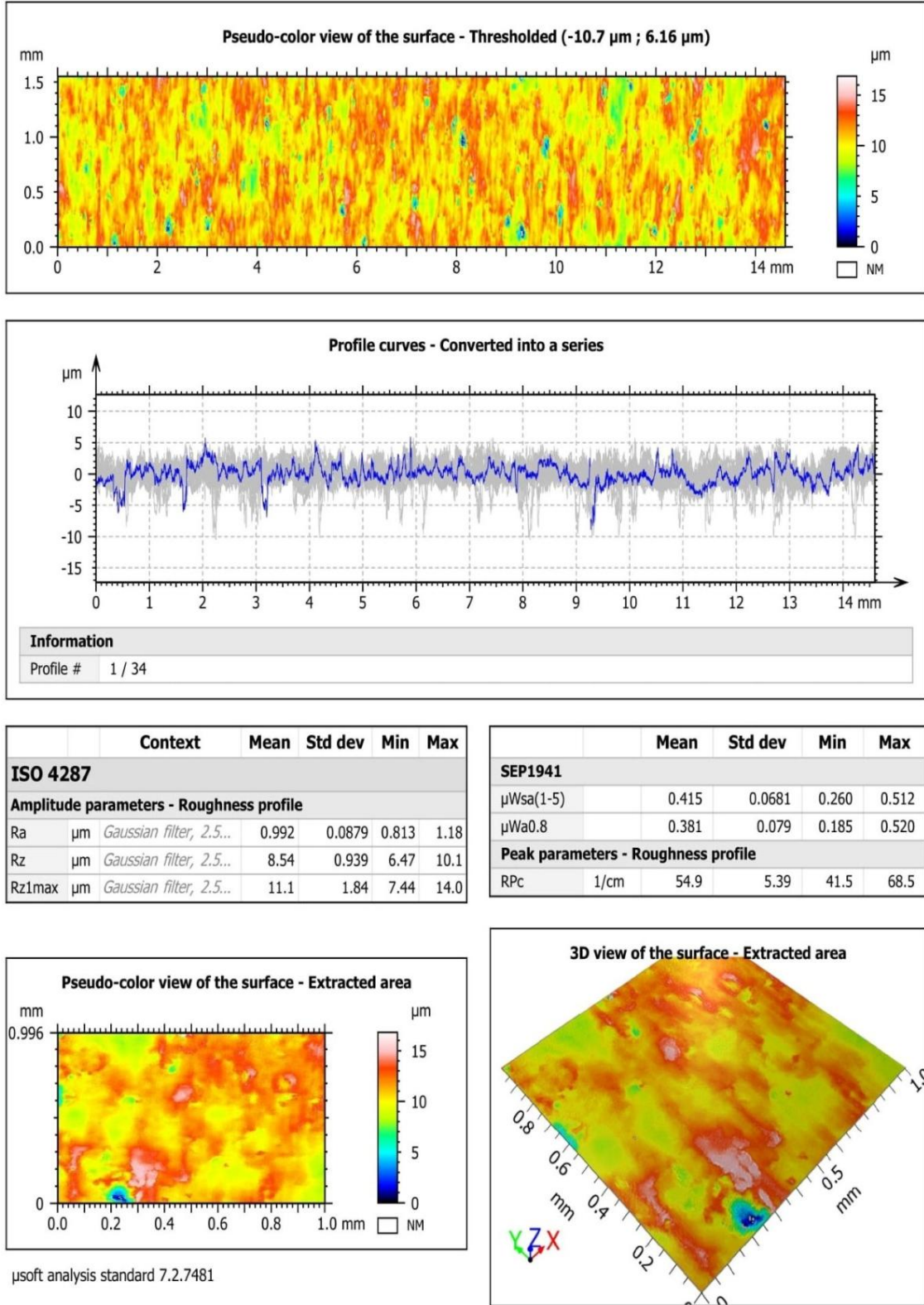


μsoft analysis standard 7.2.7481

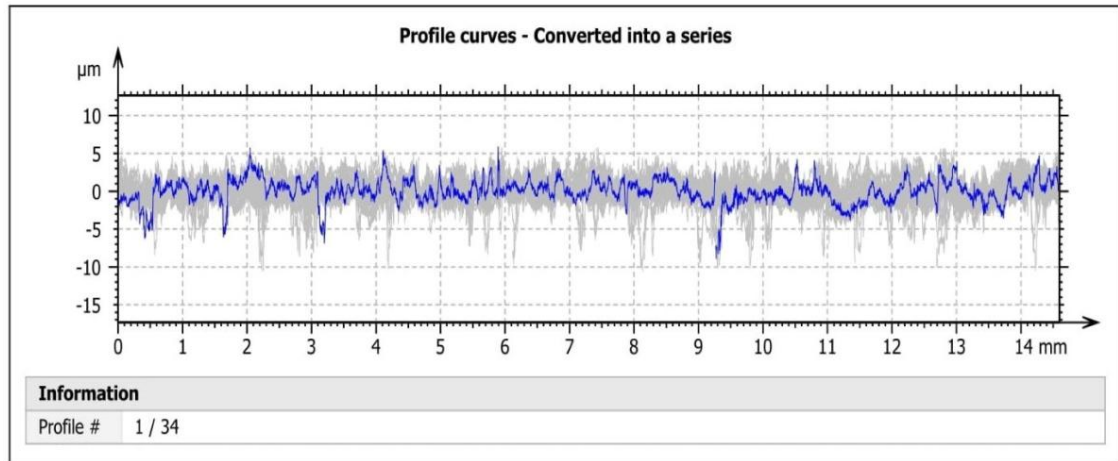
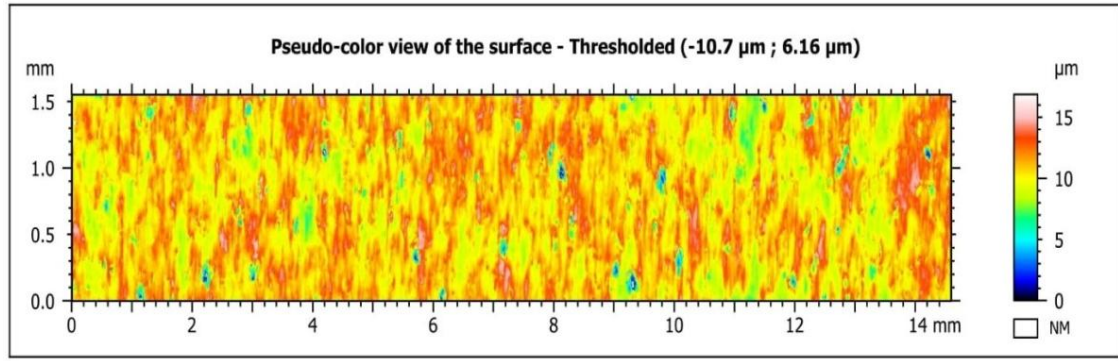


Şekil C.4. RP11 önceden ısıtılmış numuneye uygulanan kuru buz püskürtme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

Ek-D: Plastik Pelet ile Yapılan Kuru Kumlama Uygulamasına ait Yüzey Topografya Raporları

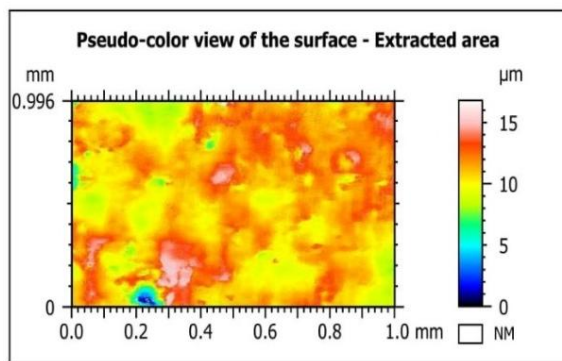


Şekil D.1. DTNR6 plastik pelet ile yapılan kuru kumlama işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

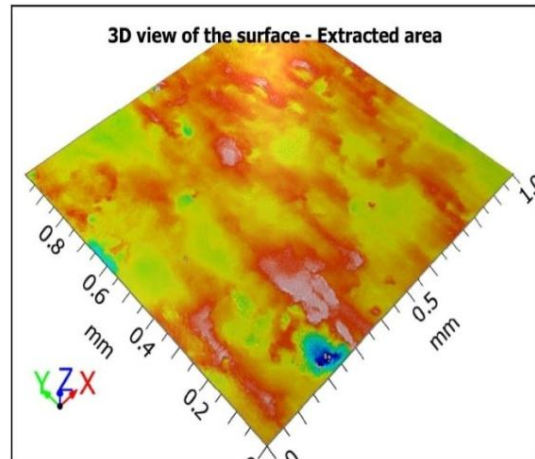


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.992	0.0879	0.813	1.18
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	8.54	0.939	6.47	10.1
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	11.1	1.84	7.44	14.0

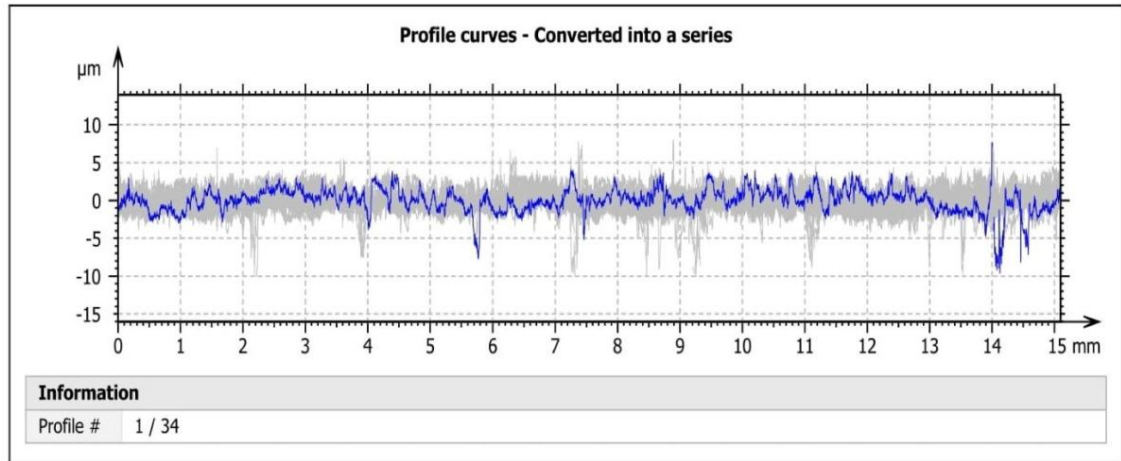
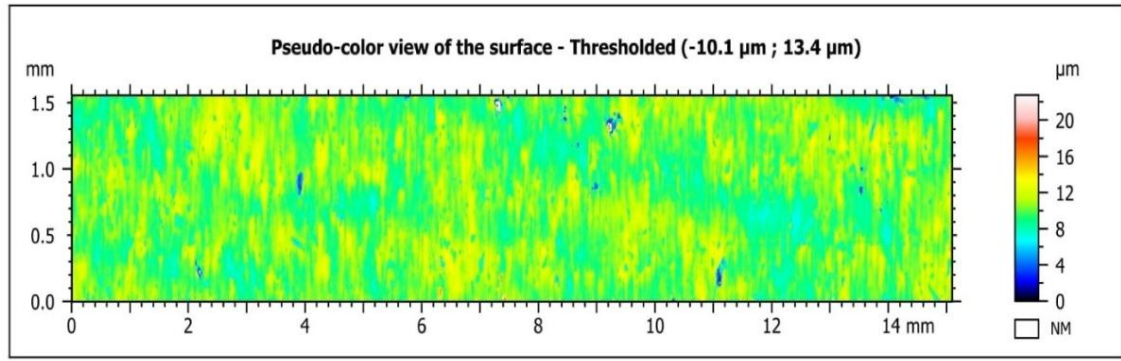
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.415	0.0681	0.260	0.512
$\mu\text{Wa}0.8$		0.381	0.079	0.185	0.520
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	54.9	5.39	41.5	68.5



μsoft analysis standard 7.2.7481

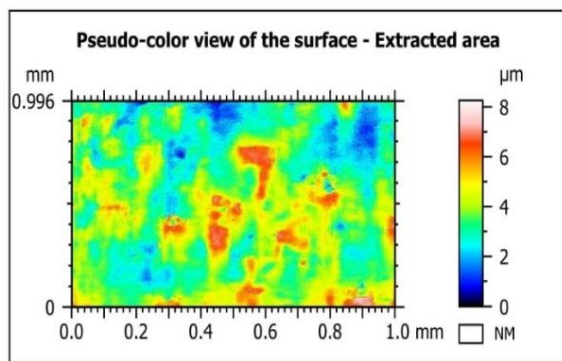


Şekil D.2. DTNR6 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

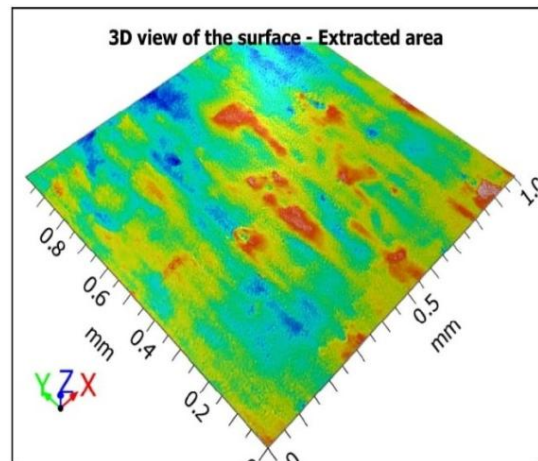


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.789	0.0745	0.659	0.907
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.71	1.18	4.68	8.92
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	9.55	2.69	5.37	15.4

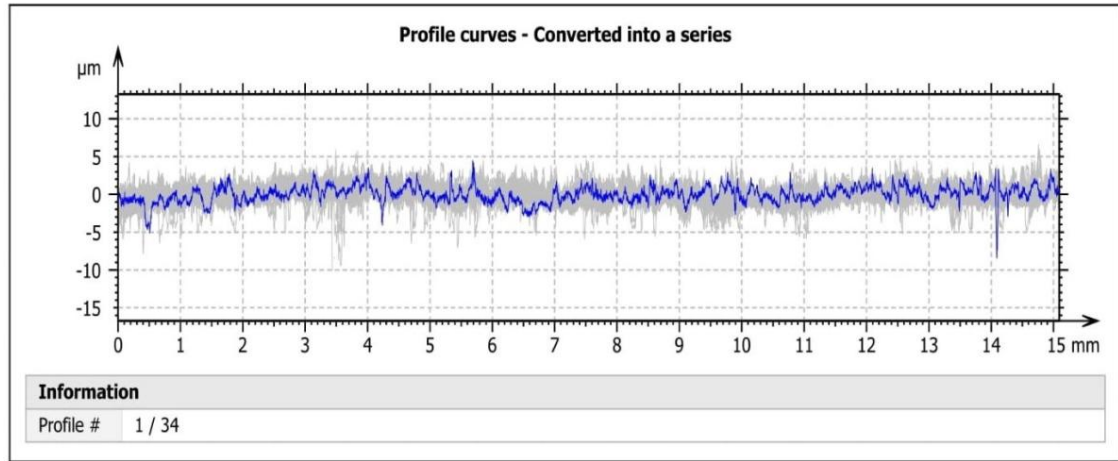
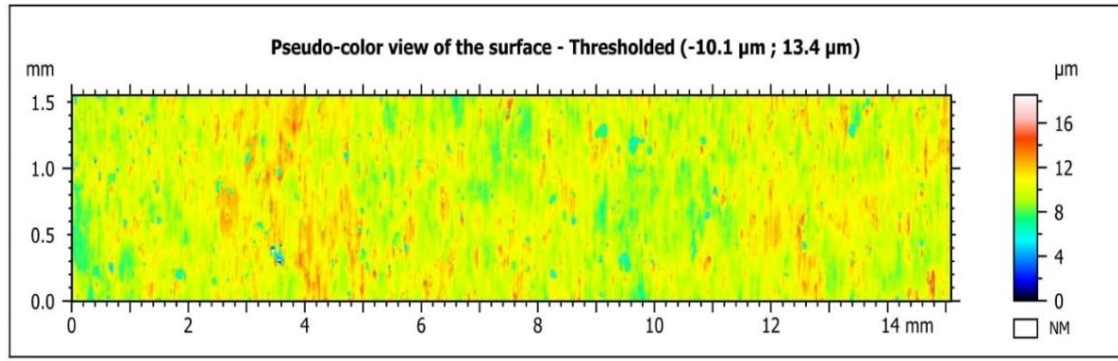
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.354	0.041	0.288	0.446
$\mu\text{Wa}0.8$		0.347	0.0475	0.266	0.446
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	69.6	7.96	51.3	84.1



μsoft analysis standard 7.2.7481

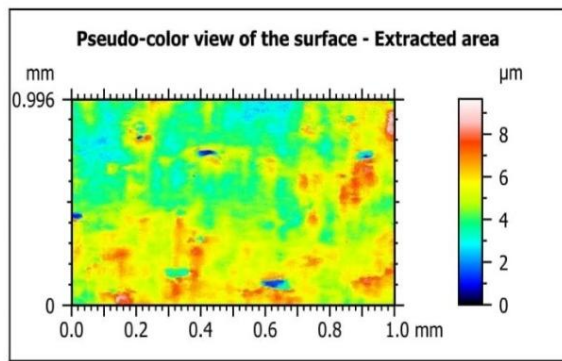


Şekil D.3. RP7 plastik pelet ile yapılan kuru kumlama işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

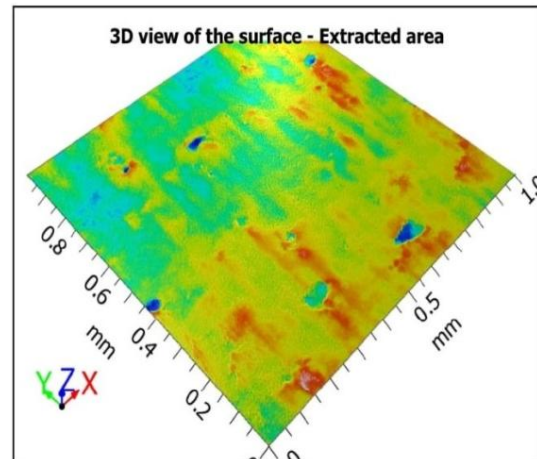


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.703	0.0472	0.629	0.818
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.19	0.829	4.74	8.82
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	8.32	1.79	5.93	14.6

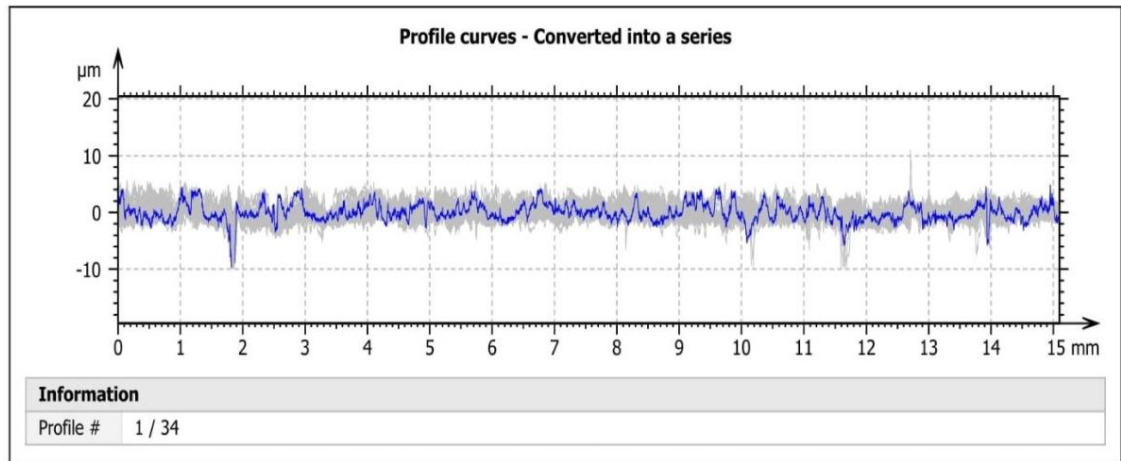
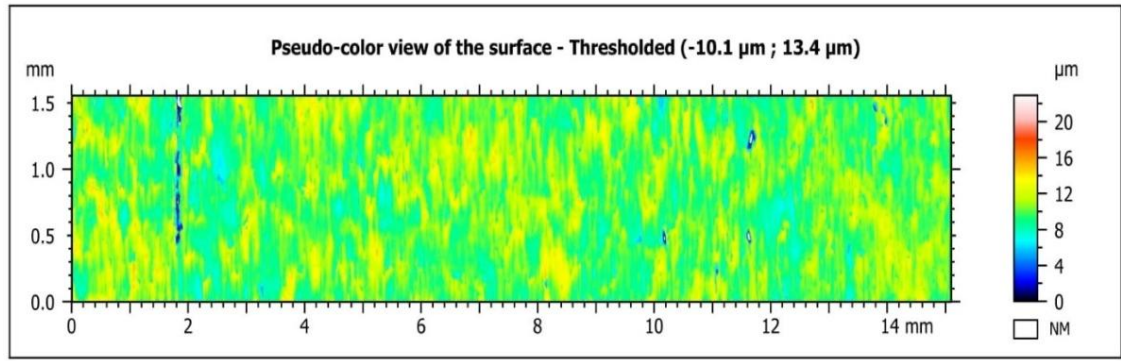
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.313	0.0408	0.238	0.385
$\mu\text{Wa}0.8$		0.300	0.0508	0.228	0.414
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	67.2	7.26	47.4	78.9



μsoft analysis standard 7.2.7481

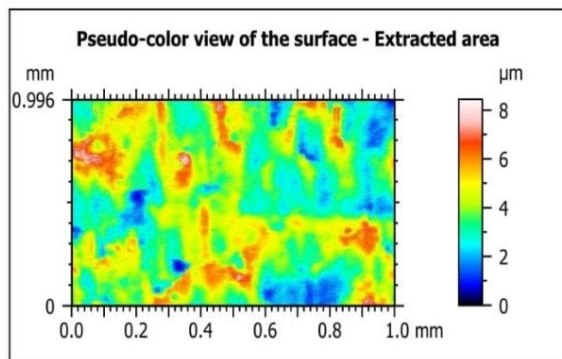


Şekil D.4. RP7 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

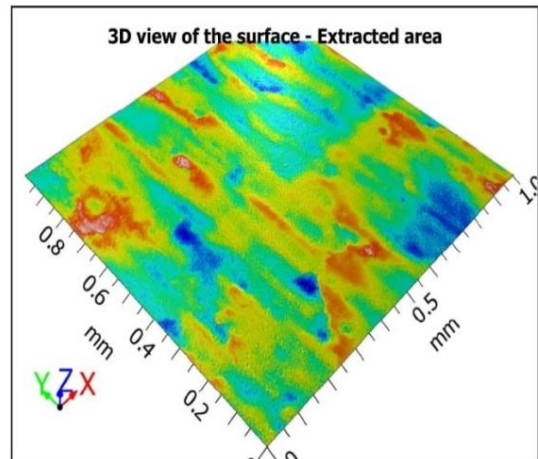


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.954	0.0464	0.881	1.06
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	7.49	0.825	6.27	10.2
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	11.0	2.09	7.02	13.6

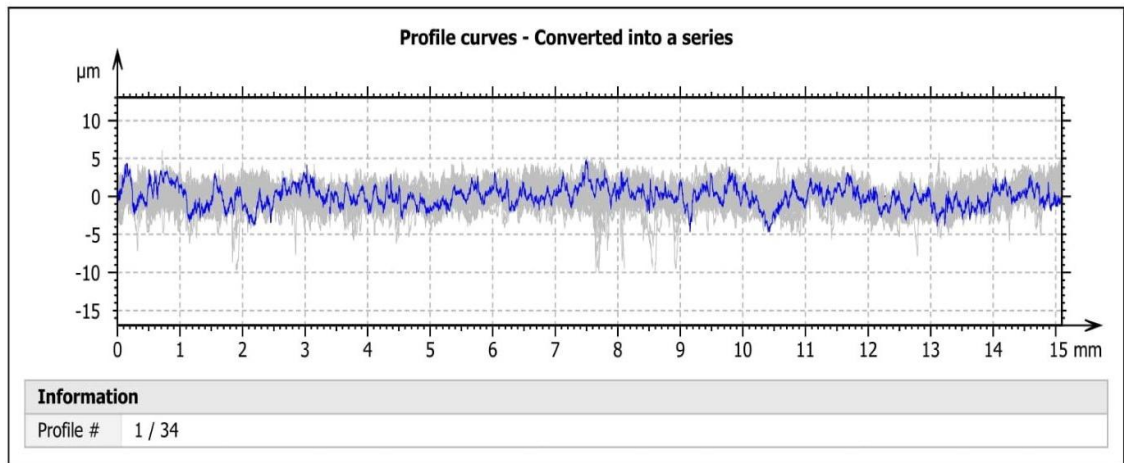
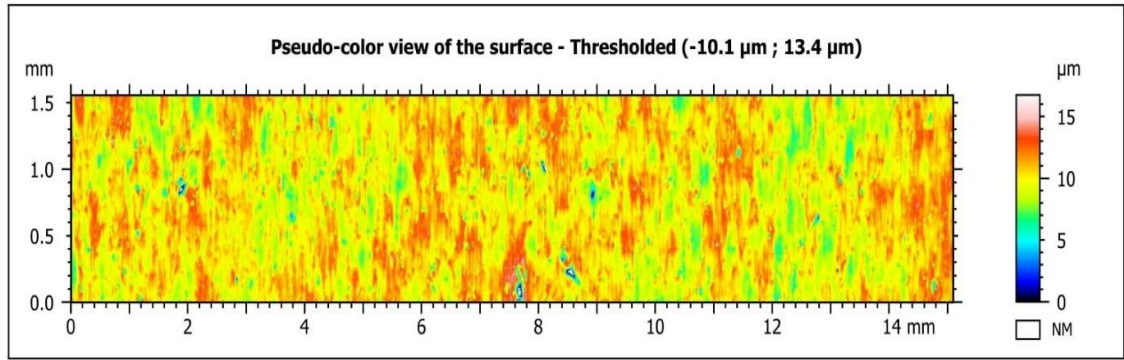
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.429	0.0676	0.270	0.523
$\mu\text{Wa}0.8$		0.404	0.0757	0.256	0.550
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	53.6	6.26	43.5	65.9



μsoft analysis standard 7.2.7481

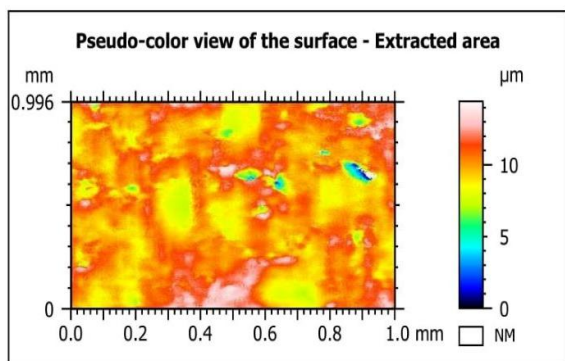


Şekil D.5. RP12 plastik pelet ile yapılan kuru kumlama işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

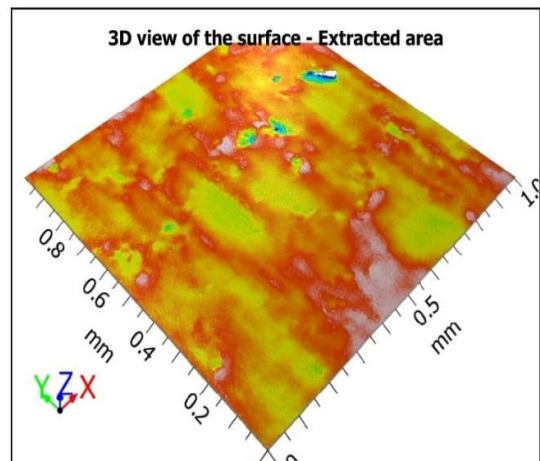


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	0.949	0.0592	0.823	1.06
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	6.92	0.805	5.55	8.86
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	9.19	2.33	5.90	14.4

		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.442	0.0456	0.344	0.517
$\mu\text{Wa}0.8$		0.385	0.0654	0.232	0.512
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	59.7	6.02	49.1	72.4

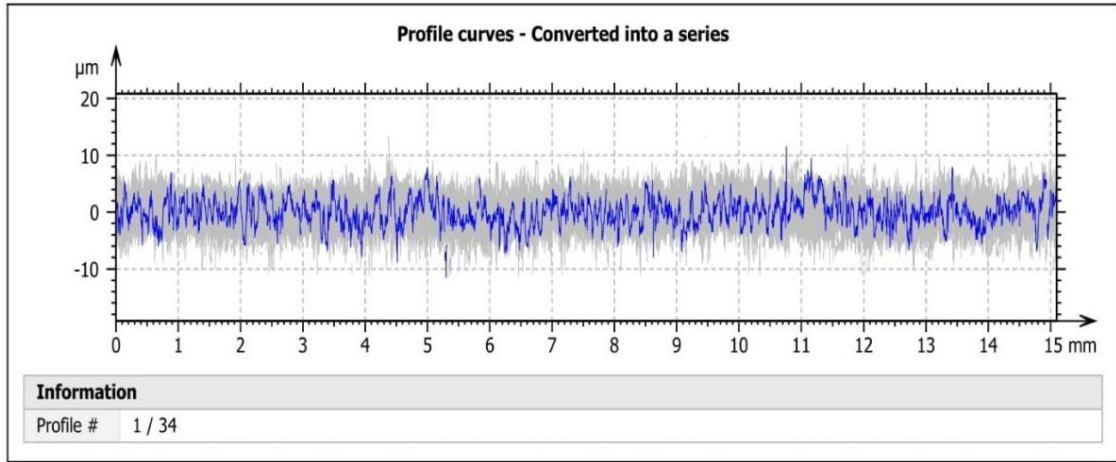
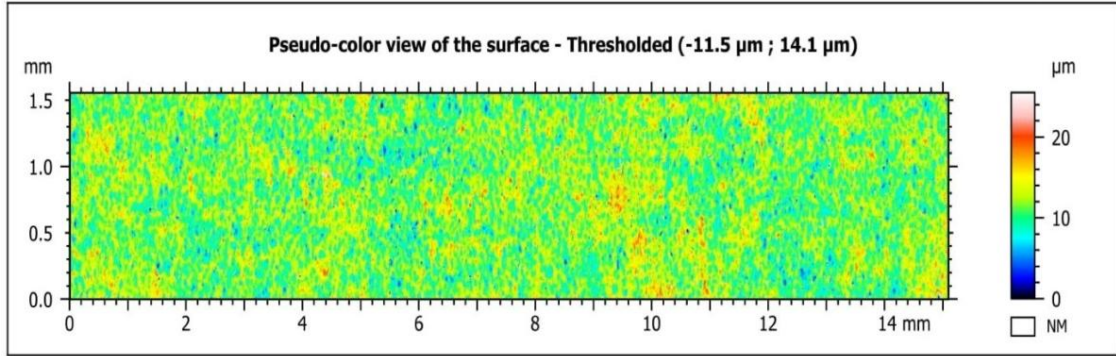


uoft analysis standard 7.2.7481



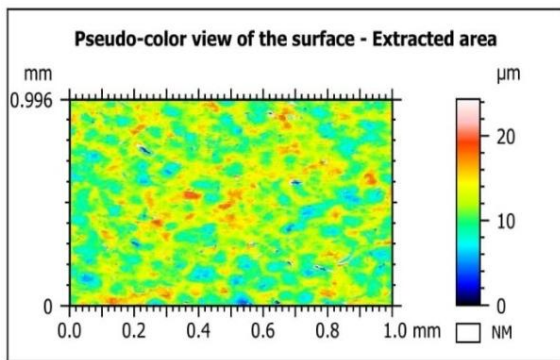
Şekil D.6. RP12 numunesi işlem uygulanmamış yüzey pürüzlülük raporu

Ek-E: Yaş Kumlama Uygulamasına ait Yüzey Topografya Raporları

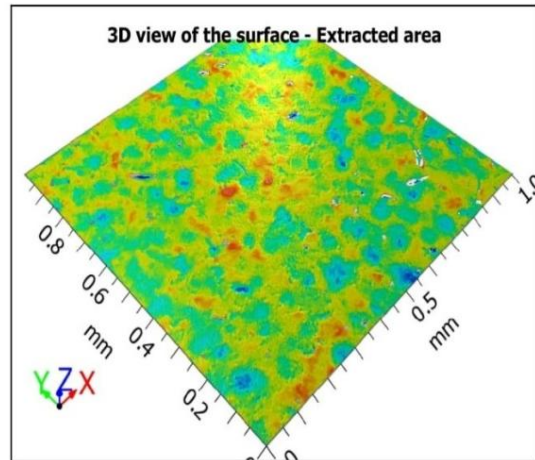


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.79	0.0434	1.68	1.87
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	13.7	0.943	12.3	17.0
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	16.4	1.70	13.2	20.0

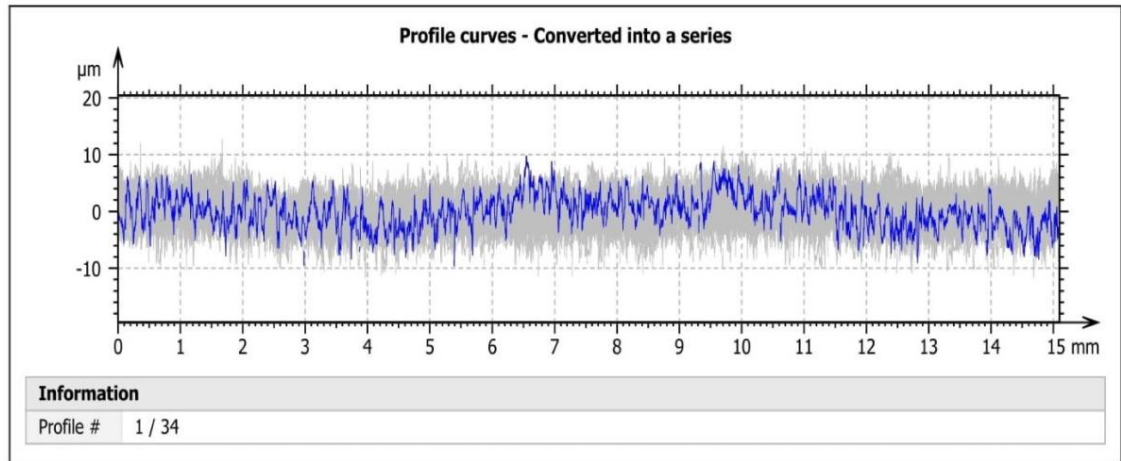
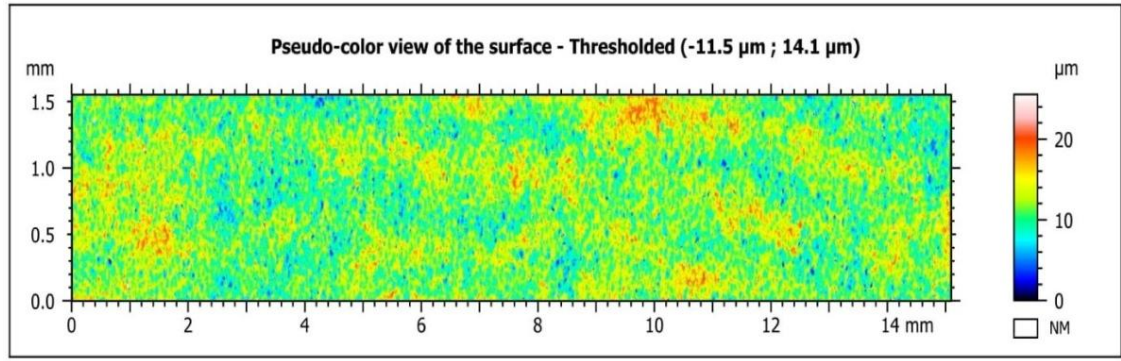
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.535	0.0739	0.344	0.739
$\mu\text{Wa}0.8$		0.523	0.106	0.347	0.791
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	108	7.38	93.8	125



μsoft analysis standard 7.2.7481

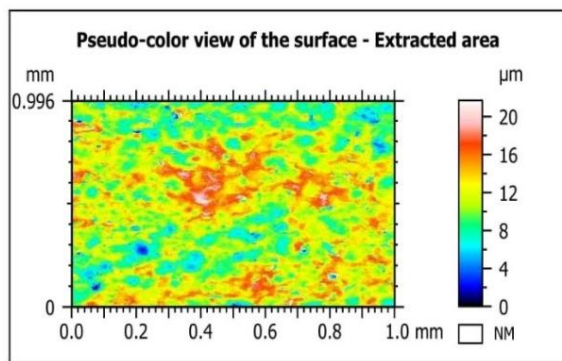


Şekil E.1. ICCR1 numunesi yaş kumlama işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

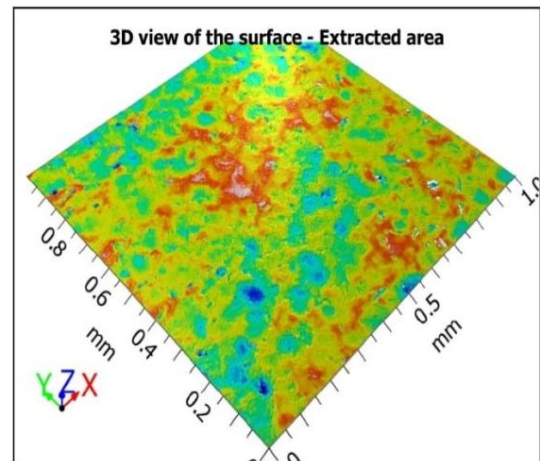


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.84	0.0744	1.70	2.03
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	13.8	0.764	12.2	15.8
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	15.7	1.24	13.2	19.2

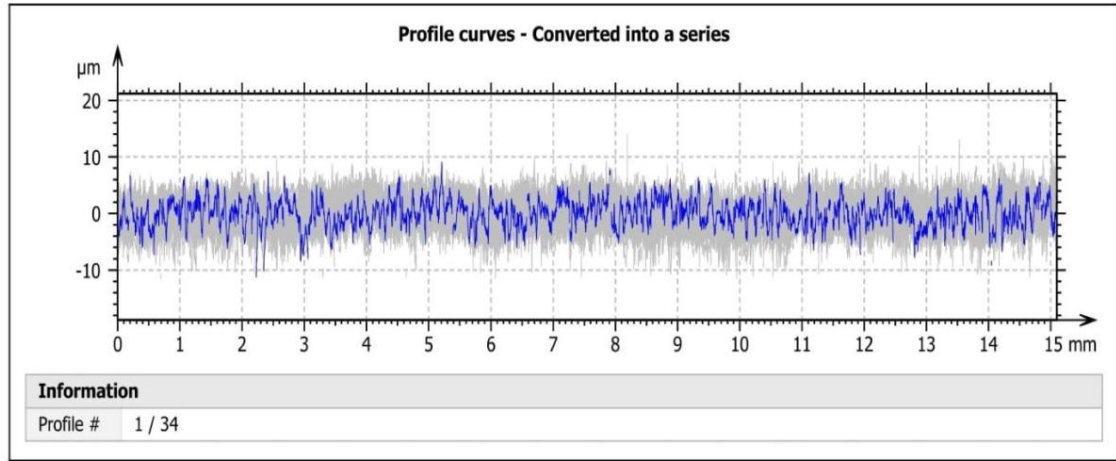
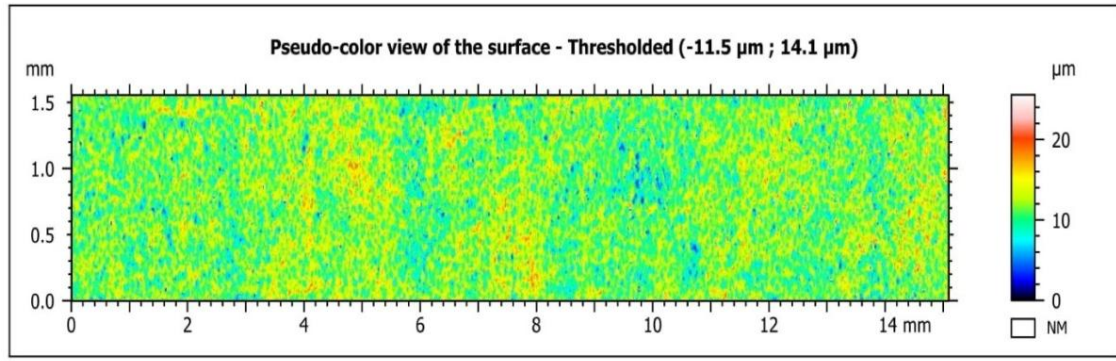
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.656	0.108	0.486	0.875
$\mu\text{Wa}0.8$		0.724	0.138	0.446	0.928
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	106	4.55	97.1	112



μsoft analysis standard 7.2.7481

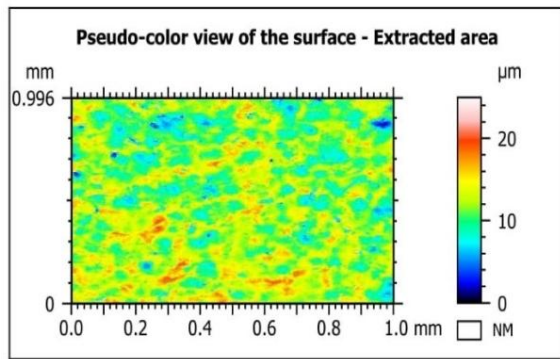


Şekil E.2. ICCR2 numunesi yağ kumlama işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

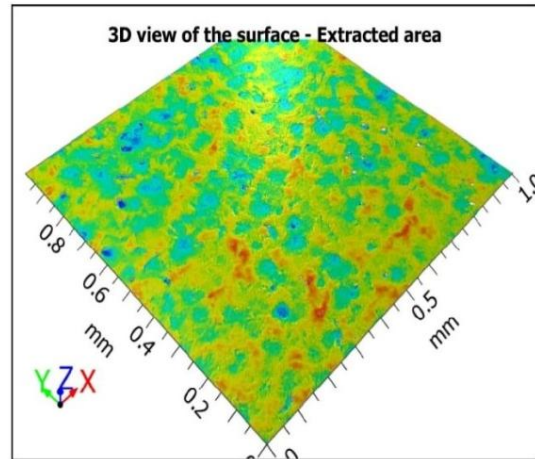


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.77	0.0538	1.60	1.86
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	13.6	0.806	11.8	14.8
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	15.9	1.63	12.9	21.3

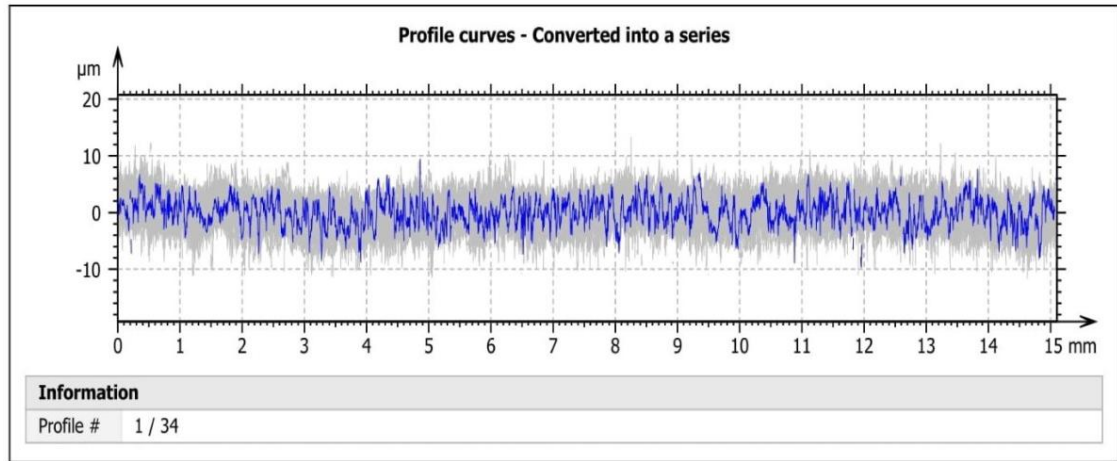
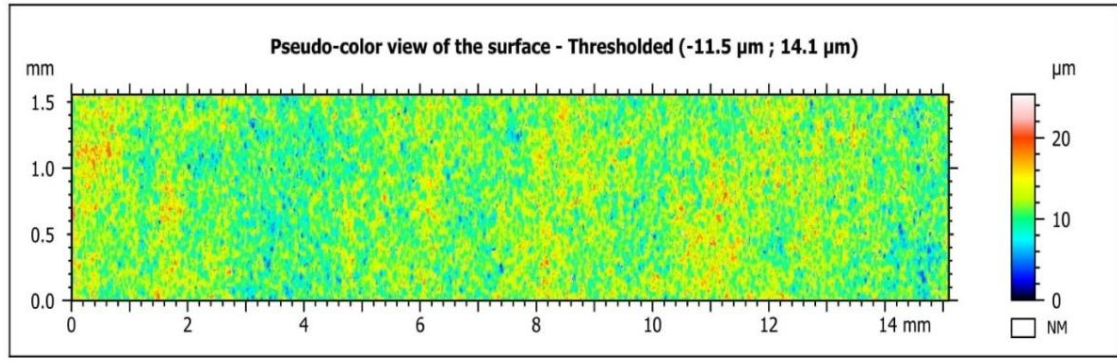
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.557	0.0977	0.334	0.763
$\mu\text{Wa}0.8$		0.518	0.0838	0.334	0.674
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	113	6.28	98.7	124



μsoft analysis standard 7.2.7481

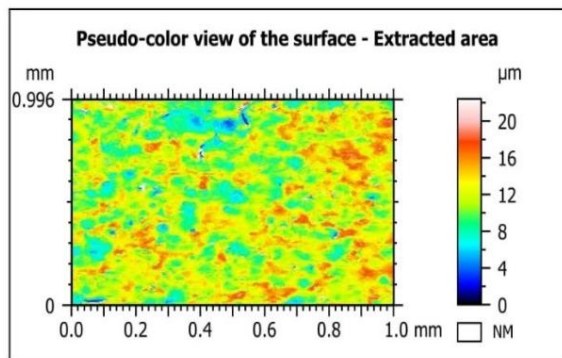


Şekil E.3. DTNR4 numunesi yağ kumlama işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

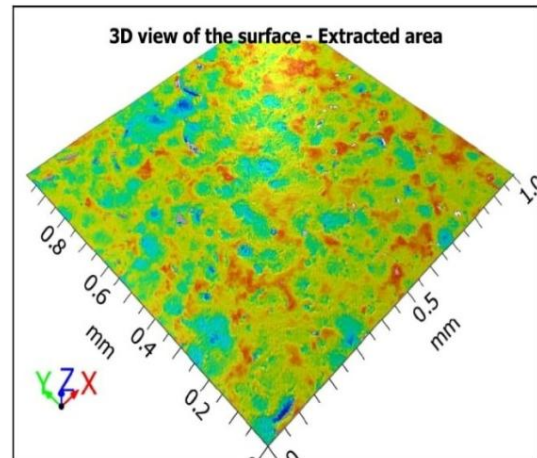


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.83	0.0724	1.65	1.97
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	13.9	0.792	12.0	15.9
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	16.3	1.64	13.2	20.0

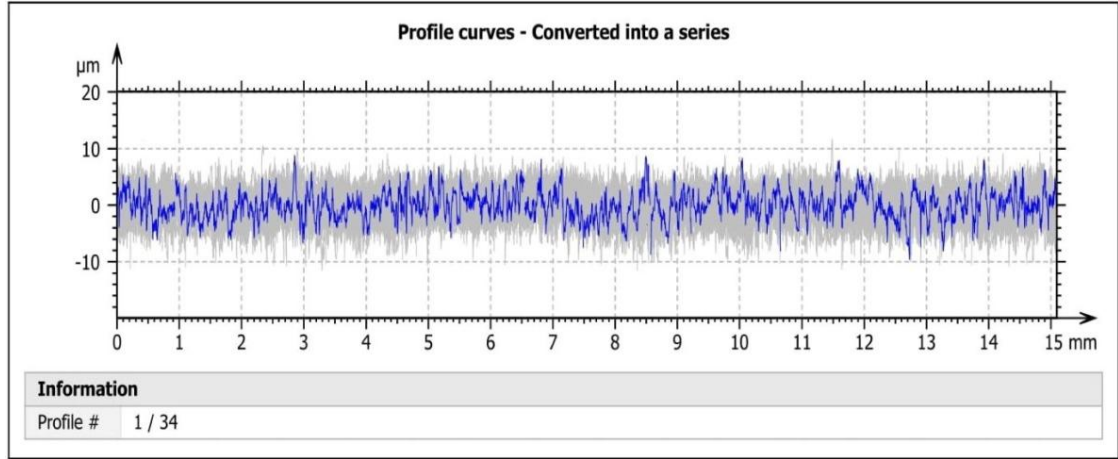
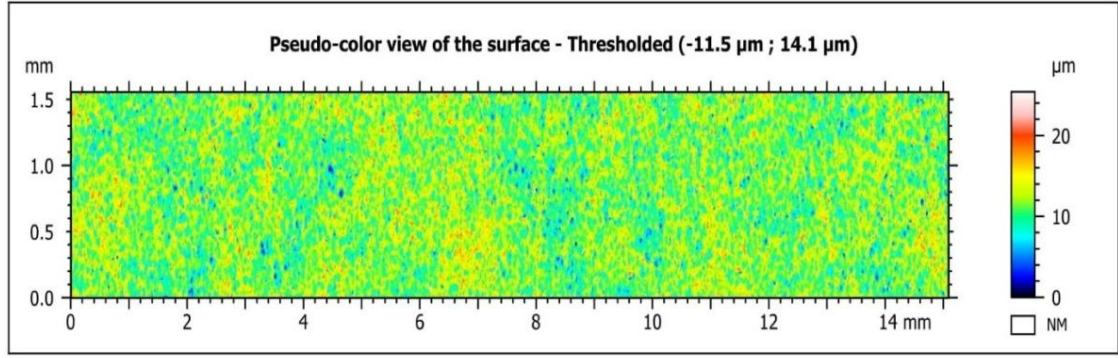
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.555	0.0812	0.393	0.755
$\mu\text{Wa}0.8$		0.512	0.0851	0.325	0.670
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	112	8.07	97.2	126



μsoft analysis standard 7.2.7481

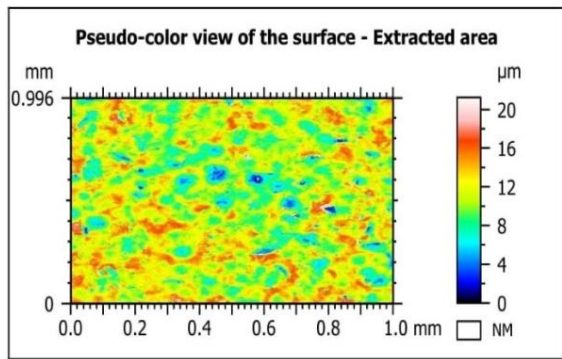


Şekil E.4. DTNR5 numunesi yağ kumlama işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

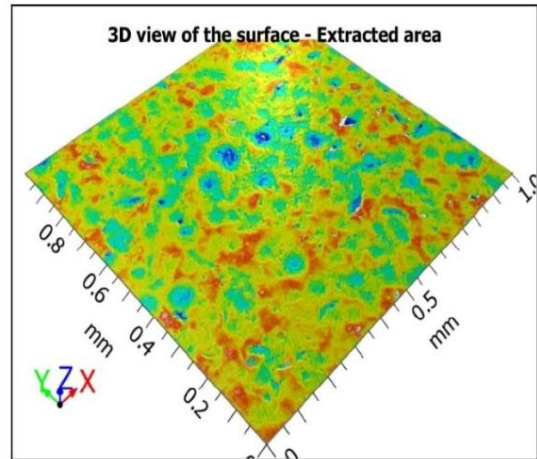


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.83	0.0689	1.71	1.98
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	13.9	0.766	12.5	15.1
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	15.9	1.35	14.2	18.9

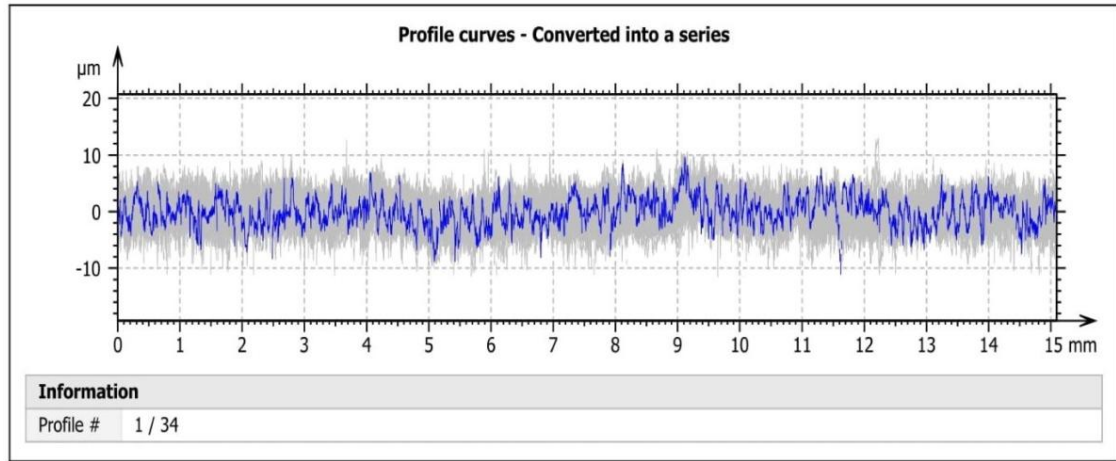
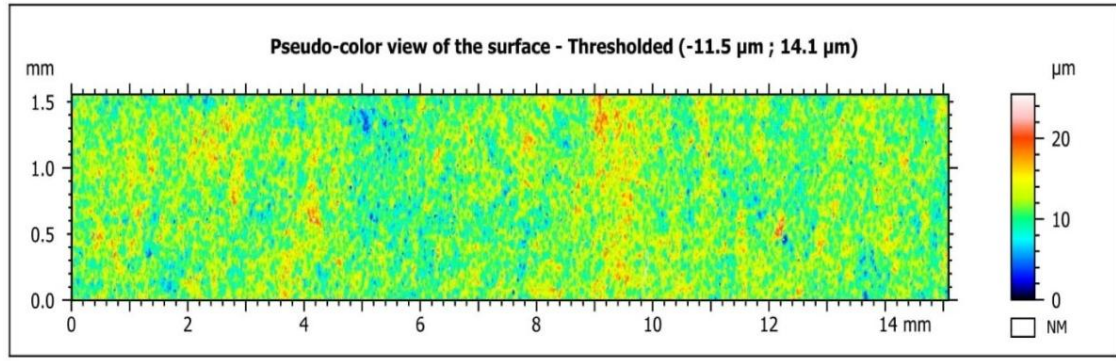
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.533	0.0954	0.336	0.742
$\mu\text{Wa}0.8$		0.527	0.095	0.381	0.711
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	112	7.39	97.7	128



μsoft analysis standard 7.2.7481

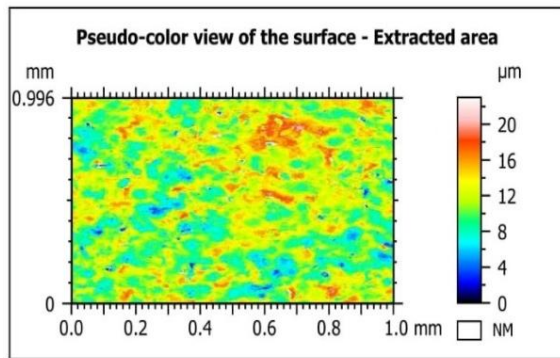


Şekil E.5. RP7 numunesi yaş kumlama işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

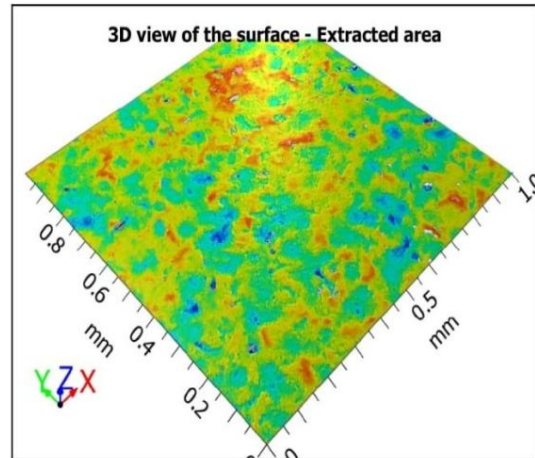


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.82	0.0654	1.71	1.95
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	13.8	0.892	12.5	16.4
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	16.3	1.81	14.0	20.1

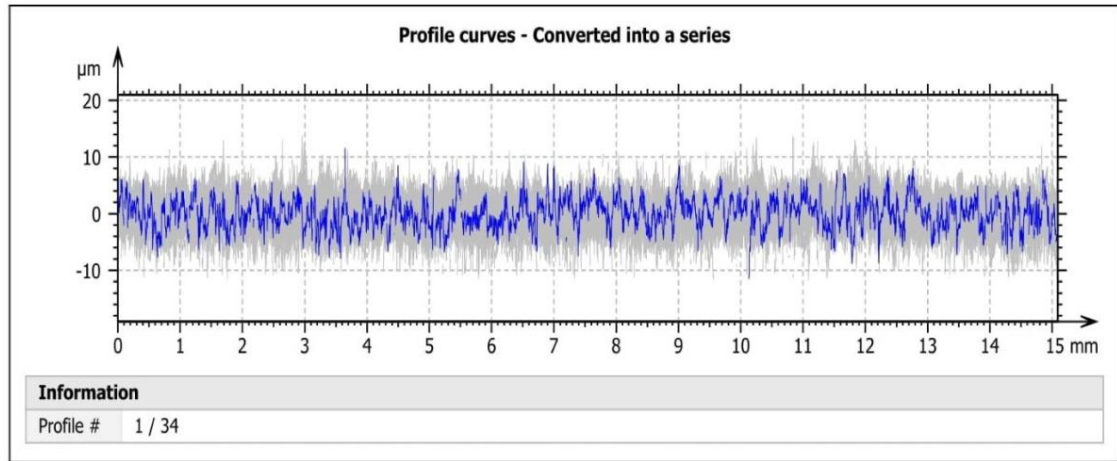
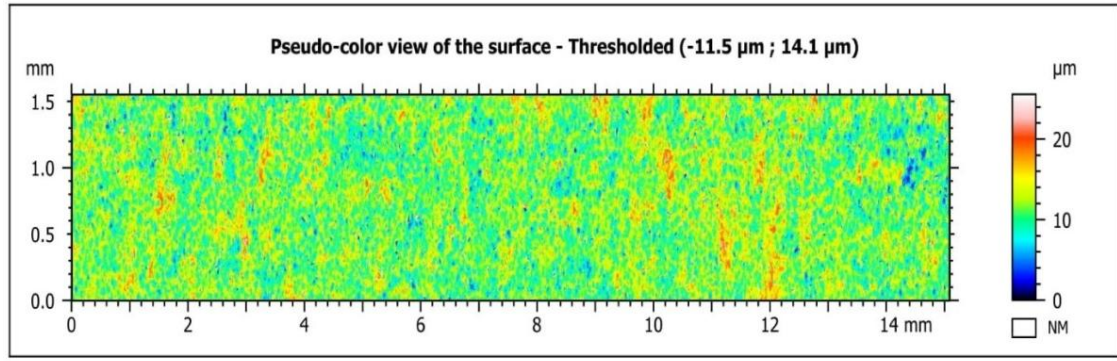
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.598	0.0963	0.404	0.832
$\mu\text{Wa}0.8$		0.584	0.0909	0.406	0.867
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	105	6.04	93.4	118



μsoft analysis standard 7.2.7481

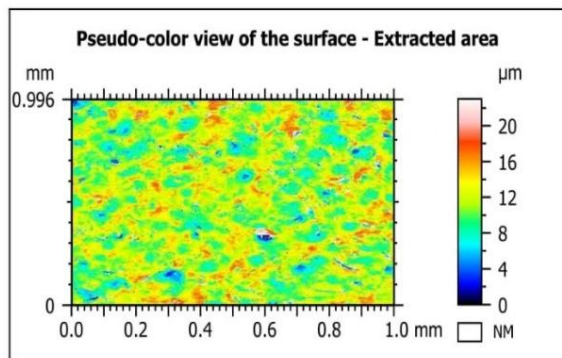


Şekil E.6. RP8 numunesi yaş kumlama işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

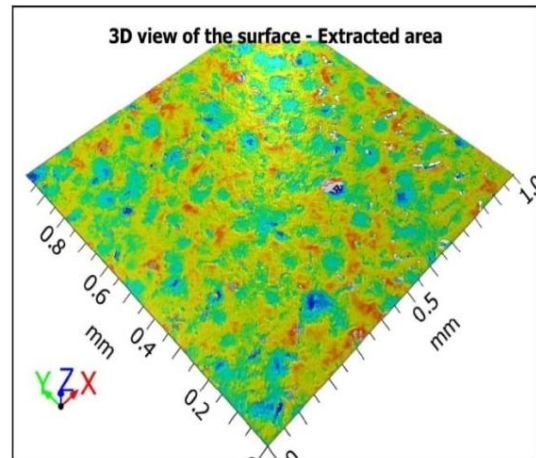


		Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287						
Amplitude parameters - Roughness profile						
Ra	μm	Gaussian filter, 2.5...	1.99	0.0554	1.89	2.13
Rz	μm	Gaussian filter, 2.5...	15.7	0.824	14.4	17.4
Rz1max	μm	Gaussian filter, 2.5...	18.5	1.72	15.8	22.3

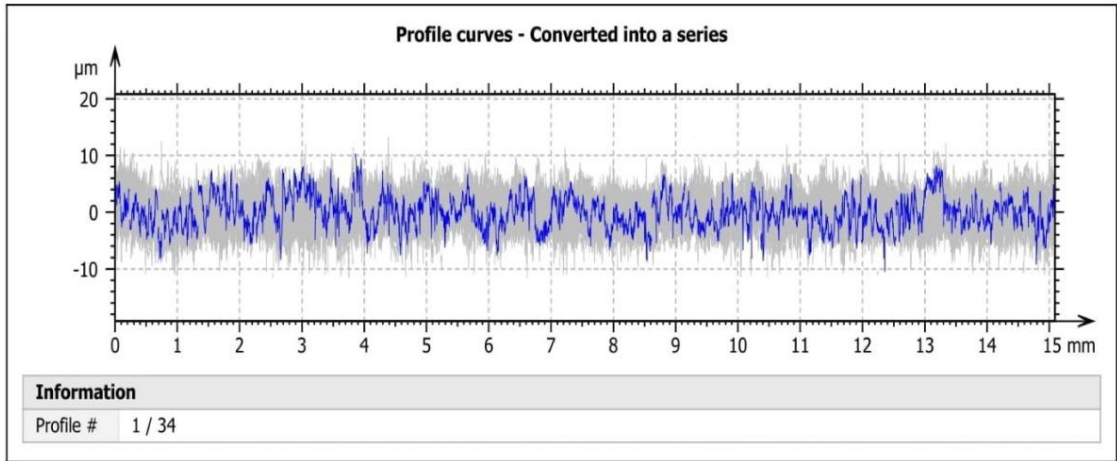
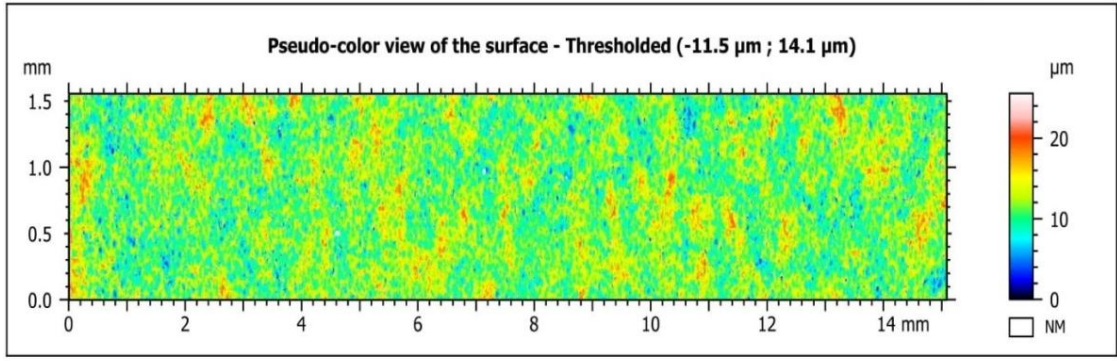
		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.548	0.0993	0.337	0.914
$\mu\text{Wa}0.8$		0.493	0.0888	0.322	0.733
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	122	6.45	111	138



μsoft analysis standard 7.2.7481

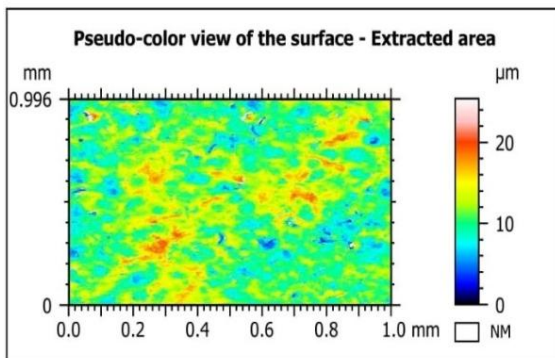


Şekil E.7. RP10 numunesi yaş kumlama işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

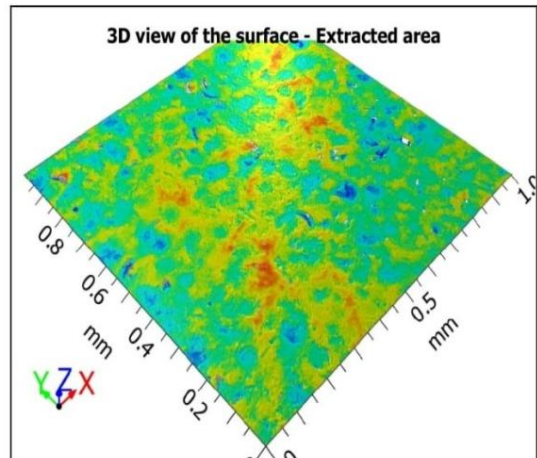


	Context	Mean	Std dev	Min	Max
ISO 4287					
Amplitude parameters - Roughness profile					
Ra	μm Gaussian filter, 2.5...	1.91	0.097	1.75	2.12
Rz	μm Gaussian filter, 2.5...	14.7	1.12	12.7	17.1
Rz1max	μm Gaussian filter, 2.5...	17.0	1.67	13.7	20.0

		Mean	Std dev	Min	Max
SEP1941					
$\mu\text{Wsa}(1-5)$		0.618	0.0716	0.487	0.785
$\mu\text{Wa}0.8$		0.587	0.0854	0.402	0.749
Peak parameters - Roughness profile					
RPc	1/cm	106	7.55	93.0	122



μsoft analysis standard 7.2.7481



Şekil E.8. RP11 numunesi yaş kumlama işlemi sonrası yüzey pürüzlülük raporu

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Çolak B., Doğan S., Tozlu İ., Yavuz M., **Uçkan M.**, Revision of BD1 in Rail and Section Rolling Mill, Kardemir, *2nd International Iron and Steel Symposium(IISS'15)*, Karabük Üniversitesi, Karabük, 1-3 Nisan 2015.

Uçkan M., Güven E.A., The Scale Removal Processes Before Cold Rolling, *5th International Conference on Life and Engineering Sciences*, Alanya, Turkey, 20-22 Mayıs 2022.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise eğitimini Malatya’da tamamladı. 2005 yılında girdiği Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2010 yılında makine mühendisi olarak mezun oldu. Mezun olduktan sonra Teknoplan Mühendislik firmasında proje mühendisi olarak çalışma hayatına başladı. Askerlik hizmeti nedeniyle 2012 yılı aralık ayında ara verdiği görevine, kısa dönem er olarak tamamladığı askerlik hizmetinden sonra, 2014 yılı eylül ayına kadar devam etti. Demir-çelik endüstrisinde kazandığı deneyimleri, 2015 yılı ocak ayında Erdemir 1.Soğuk Haddehane Müdürlüğü’nde mekanik bakım mühendisi pozisyonunda çalışmaya başlayarak 2021 yılı aralık ayına kadar sürdürdü. Halen Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş. bünyesinde, Uzay Sistemleri Entegrasyon ve Test (USET) Merkezinde program ve işletme mühendisi olarak iş hayatına devam etmektedir.

