

**WC-12CO PLAZMA SPREY KAPLAMANIN TAŞLAMA PARAMETRELERİ
OPTİMİZASYONU**

Merve GÖKÇE ÜNAL

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özgür POYRAZ

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Aralık 2023

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Merve GÖKÇE ÜNAL'ın WC-12CO PLAZMA SPREY KAPLAMANIN TAŞLAMA PARAMETRELERİ OPTİMİZASYONU başlıklı çalışması 26/12/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Makine Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Özgür POYRAZ

Üye : Prof Dr. Oğuz ÇOLAK

Üye : Doç. Dr. Koray KILIÇAY

Prof. Dr. Semra KURAMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

26/12/2023

DANIŞMAN ONAYI

DaniŐmanlıđını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Merve GÖKÇE ÜNAL, WC-12CO PLAZMA SPREY KAPLAMANIN TAŞLAMA PARAMETRELERİ OPTİMİZASYONU başlıklı tez çalıŐmasını tamamlamıŐtır. HazırlamıŐ olduğu tez tarafımda incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez DaniŐmanı
Dr. Öğr. Üyesi zgr POYRAZ

ÖZET

WC-12CO PLAZMA SPREY KAPLAMANIN TAŞLAMA PARAMETRELERİ OPTİMİZASYONU

Merve GÖKÇE ÜNAL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Aralık 2023

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özgür POYRAZ

Havacılık motorlarındaki parçaların mekanik performanslarını arttırmak için termal kaplamalar yaygın olarak kullanılır. Kaplamalar, yorulma dayanımını ve aşınma direncini arttırmak gibi pek çok avantaj sağlasa da, kaplama sonrası boyutsal toleranslarının geniş ve yüzey kalitesinin kötü olması nedeniyle kaplanıldığı haliyle kullanıma uygun değildir. Özellikle termal spreycaplamalarda dar tolerans ve yüksek yüzey kalitesini sağlayabilmesi için taşlama işlemine ihtiyaç duyulur. Taşlama işlemi, üzerinde birçok aşındırıcı tanecik bulunan taşlama takımlarıyla yapılan bir talaşlı imalat yöntemidir. Taşlama işleminde, diğer imalat yöntemlerinde olduğu gibi girdiler ile faydalı ve faydasız çıktılar bulunmaktadır. Hedeflenen çıktıyı, istenilen zaman ve maliyette imal edebilmek için girdilerin uygun belirlenmesi önem taşımaktadır. Bugüne kadar taşlama üzerine yapılan araştırmalarda en çok iş mili devri, kesme derinliği, ilerleme ve kesme hızı parametrelerinin; iş parçasının mikro yapısı, yüzey kalitesi veya taşlama diskine gelen kuvvetler üzerinde etkisi incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, ender kullanılan özel bir kaplama olan WC-12Co kaplamanın silindirik taşlama işleminde iş mili devri, kesme derinliği, ilerleme, kesme hızı ve tane büyüklüğünün; yüzey kalitesi, malzeme kaldırma miktarı, takım aşınması ve mikro sertlik üzerinde etkileri Taguchi deney tasarımı yöntemiyle incelenmiş ve mikroskop ile yüzey kalitesi görüntüleri alınmıştır.

Anahtar Sözcükler: Taşlama, Wc-12Co , Yüzey Kalitesi, Kaplama Taşlaması ,
Taguchi.

ABSTRACT

THE GRINDING PARAMETERS OPTIMISATION OF WC-12CO PLASMA SPRAYED COATINGS.

Merve GÖKÇE ÜNAL

Department of Mechanical Engineering
Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, December 2023
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Özgür POYRAZ

Thermal Coatings are extensively used to increase mechanical performance in aero engines. The coatings are not suitable to be used as coated because of their large dimensional tolerances and high surface roughness, although they provide increment fatigue strength and wear resistance. Especially thermal coatings need grinding process in order to satisfy tight dimensional tolerances and low Ra. Grinding is a machining method that is performed by grinding tools including numerous abrasives on. There is inputs, useful and unuseful outputs in grinding operation as with other manufacturing methods. In order to get aimed output in desired level of cost and time, determining inputs in optimum level has importance. Up to date, the effect of spindle revolution, feed, cutting velocity and depth of cut on the micro structure and surface roughness of work piece and forces of grinding tool has been investigated. In the scope of this thesis, the effect of spindle revolution, feed, cutting velocity, depth of cut and grit size on the surface roughness of workpiece, wear of grinding tool, material removal rate and micro hardness of WC-12Co thermal spray coating by Taguchi design in cylindrical grinding machine.

Keywords: Grinding, WC-12Co, Surface Roughness, Coating Grinding, Taguchi.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimin başından itibaren her zaman ilgi ve sabırla yardımcı olan; bilgi ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan, hem mühendislik tecrübesi hem akademisyenlik kimliğiyle eşsiz katkılar sağlayan, öğrettiklerinin yanı sıra kişiliği ve duruşuyla da örnek aldığım değerli danışman hocam Sayın Dr. Özgür POYRAZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bugün mesleğimi en iyi şekilde yapmamı sağlayan, lisans boyunca verdikleri eğitimle mühendislik bakış açısını en iyi şekilde yerleştiren İTÜ Makine Fakültesi öğretim görevlilerine teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans tez çalışmamı yürütmem için her türlü imkanı sağlayan çok değerli yöneticilerim TEI İmalat Direktörü Sayın Dr. Özgür YAMAN' a ve TEI Disk & Kritik Dönen Parçalar Lideri Sayın Yüksek Müh. Levent İNAL' a, yüzey kaplama işlemlerinin sağlanması ve değerlendirilmesi konusunda desteklerini esirgemeyen TEI Yüzey işlemleri bölümü ve TEI bölümü çalışanlarına, taşlama konusunda tecrübelerini paylaşıp deneyleri gerçekleştirmeme imkan sağlayan TEI taşlama operatörlerine ve kalite kontrol teknisyenlerine teşekkür ederim.

Beni yetiştiren ve her zaman yanımda olan anneme, babama, kardeşime; desteğini her zaman hissettiğim eşime ve en değerli varlığım kızıma teşekkürlerimi sunarım.

Merve GÖKÇE ÜNAL

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Merve GÖKÇE ÜNAL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
GÖRSELLER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMA.....	3
2.1. Yüzey Kaplama	3
2.1.1. Termal sprey kaplama	3
2.1.2. Plazma kaplama	5
2.2. Yüzey Kalitesi	5
2.2.1. Yüzey kalitesi terminolojisi	7
2.2.2. Yüzey kalitesi ölçüm yöntemleri	10
2.3. Taşlama	12
2.3.1. Taşlamada talaş oluşumu	12
2.3.2. Taşlama markalamalarının okunuşu	13
2.3.3. Taşlama diskleri	14
2.3.3.1. Taşlama diski şekilleri	16
2.3.3.2. Taşlama diski aşındırıcı tanecik malzemesi.....	17
2.3.3.3. Taşlama diski bağlayıcı malzemesi	19

2.3.3.4. <i>Taşlarda tane büyüklüğü</i>	21
2.3.3.5. <i>Taşların dokusu (gözenekliliği)</i>	21
2.3.4. <i>Taşların konsantrasyonu</i>	22
2.3.4.1. <i>Taşların sertliği</i>	22
2.3.5. <i>Taşlamada parametreler ve etkileri</i>	23
2.4. <i>Taşlama Diski Özelliklerinin Etkileri</i>	33
2.4.1. <i>Tane boyutunun etkileri</i>	33
2.4.2. <i>Bağlayıcı malzemenin etkileri</i>	33
2.4.3. <i>Aşındırıcı tanecik malzemesinin etkileri</i>	33
2.4.4. <i>Taş sertliğinin etkileri</i>	33
2.4.5. <i>Taş dokusunun etkileri</i>	34
2.4.6. <i>Taş konsantrasyonunun etkileri</i>	35
2.5. <i>Kesim Parametrelerinin Etkileri</i>	35
2.5.1. <i>Kesme derinliğinin etkileri</i>	35
2.5.2. <i>İlerlemenin etkileri</i>	35
2.5.3. <i>İş mili devrinin etkileri</i>	36
2.5.4. <i>İş parçası hızının etkileri</i>	37
2.5.5. <i>Taşlama yönünün etkileri</i>	37
2.5.6. <i>Soğutma sıvısının etkileri</i>	38
2.5.7. <i>Kıvılcım paso süresinin etkileri</i>	40
2.6. <i>Taşlama İşleminde Çıktılar</i>	40
2.6.1. <i>Yüzey kalitesi</i>	40
2.6.2. <i>Malzeme kaldırma hızı</i>	43
2.6.3. <i>Taşlama kuvvetleri</i>	44
2.6.4. <i>Özgül Enerji</i>	46
2.6.5. <i>Takım ömrü</i>	47
2.6.6. <i>Mikro sertlik</i>	49
2.6.7. <i>Taşlama literatür araştırması özet</i>	52
3. MALZEME VE YÖNTEM	54
3.1. Deney Tasarımı	54
3.1.1. Deneme yanılma yöntemi	54
3.1.2. Her deneyde bir faktör değiştirme yöntemi	54

3.1.3. Deney tasarımı	54
3.2. Deney Düzenegi	56
3.3. Yüzey Kalitesi Ölçümü	59
3.4. Taş Aşınma Ölçümü.....	60
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	61
4.1.1. Ortalama kesim süresi	61
4.1.2. Takım aşınması.....	65
4.1.3. Malzeme kaldırma miktarı.....	70
4.1.4. Yüzey kalitesi	75
4.1.5. Mikro sertlik	86
5. SONUÇLAR.....	96
KAYNAKÇA.....	98
ÖZGEÇMİŞ	

TABLolar DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin farklı standartlardaki karşılığı.....	9
Tablo 2.2. Farklı imalat yöntemleriyle elde edilebilecek yüzey kalitesi.....	10
Tablo 2.3. Konvansiyonel taşlama disklerinin markalanması	13
Tablo 2.4. Süperabrasif taşlama disklerinin markalanması	13
Tablo 2.5. Taşlama disklerinde aşındırıcı taneciklerin malzeme kodları.....	18
Tablo 2.6. Sık kullanılan abrasif malzemelerin fiziksel özellikleri	19
Tablo 2.7. Taşlarda tane büyüklüğünün karşılık geldiği ölçüler.....	21
Tablo 2.8. Taşların tane büyüklüğü.....	21
Tablo 2.9. Taşların yapı tablosu	21
Tablo 2.10. Süperabrasif taşlama disklerine konsantrasyon tablosu.....	22
Tablo 2.11. Taşların sertlik tablosu.....	22
Tablo 3.1. Deneyde kullanılacak faktör ve seviyeler	55
Tablo 3.2. 6A9-D30-C50 taşlama diskinin özellikleri	56
Tablo 3.3. 6A9-D181-C100 taşlama diskinin özellikleri	56
Tablo 3.4. Taguchi L9 dizayn ile oluşturulmuş 2 deney seti	56
Tablo 3.5. Deneyde kullanılan WC-12Co kaplamanın kimyasal özellikleri	57
Tablo 3.6. Altlık malzeme Ti -17'nin kimyasal özellikleri.....	58
Tablo 3.7. Altlık malzeme Ti-17'nin mekanik özellikleri	58
Tablo 4.1. Kaplamanın taşlama öncesi sertlik değerleri (D30C50).....	87
Tablo 4.2. Kaplamanın taşlama sonrası sertlik değerleri (D30C50).....	88
Tablo 4.3. Kaplamanın taşlama öncesi sertlik değerleri (D181C100).....	89
Tablo 4.4. Kaplamanın taşlama sonrası sertlik değerleri (D181C100).....	90
Tablo 4.5. Taşlama işlemiyle oluşan sertlik farkları(10 değer ortalama)	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Çeşitli taşlama diski şekilleri (Haskimya, 2023).....	16
Şekil 2.2. Taşlama taşı malzemeleri	18



GÖRSELLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Görsel 2.1. Kaplama yöntemleri	3
Görsel 2.2. Termal sprej kaplamanın şematik görünümü	4
Görsel 2.3. Uçak motorunda termal sprej kaplı parçalar.....	5
Görsel 2.4. Yüzey profili gösterimi (ISO4287, 1997)	6
Görsel 2.5. Yüzey izlerinden 2B taranan bir profil.....	6
Görsel 2.6. Değerlendirme uzunluğu ve örnekleme uzunluğu.....	7
Görsel 2.7. Rt, Rti, Rz, Rz (DIN), Rmax gösterimi	8
Görsel 2.8. Rz (ISO) gösterimi	8
Görsel 2.9. Yüzey pürüzlülüğü şematik gösterimi.....	9
Görsel 2.10. Yüzey kalitesi karşılaştırma blokları	11
Görsel 2.11. Taşlamada talaş oluşumu (Yastıkcı, 2016).....	13
Görsel 2.12. Taşlama taşının şematik görünümü	14
Görsel 2.13. Elmas taşlama diskinin 100x büyütülmüş görüntüsü	15
Görsel 2.14. Alüminyum Oksit Tanecikler	19
Görsel 2.15. Silisyum Karbür Tanecikler	19
Görsel 2.16. Soldan sağa yoğun, orta ve açık gözenekli taş dokusu örnekleri	22
Görsel 2.17. Taşlama işleminde girdi ve çıktılar	23
Görsel 2.18. Taşlama literatüründe en çok araştırılan parametrelerin pareto grafiği.....	23
Görsel 2.19. Taşlamada parametrelerin yüzey kalitesi üzerine etkileri (Zhao T., Shi Y., Sampska L., Zhou J., 2017)	24
Görsel 2.20. WC/12Co kaplama taşlamasında kesme derinliğinin yüzey kalitesi üzerine etkileri	26
Görsel 2.21. Taş sertliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi.....	34
Görsel 2.22. Farklı ilerlemelerle taşlanan WC/12Co kaplama görüntüsü	36
Görsel 2.23. Farklı koşullarda taşlanan iş parçalarının SEM görüntüleri	38
Görsel 2.24. Farklı taş ve soğutma sıvısı türlerinin teğetsel taşlama kuvveti üzerinde etkisi (Tawakoli et al (2010b,2011)	39
Görsel 2.25. Farklı taş ve soğutma sıvısı türlerinin yüzey kalitesi üzerine etkileri	40
Görsel 2.26. Parametrelerin Ra üzerinde etkileri	41
Görsel 2.27. Parametrelerin Rz üzerine etkileri	42

Görsel 2.28. Yüzey kalitesi üzerinde kesme hızı, derinliği ve ilerlemenin göreceli önemi.....	42
Görsel 2.29. Ra'yı etkileyen parametreler	43
Görsel 2.30. Taşlamada aşındırıcı taneciğe gelen kuvvetler (DEMİR, 2003)	44
Görsel 2.31. Taşlama diskindeki dolu ve boş gözenekler (Yastıkcı, 2016).....	46
Görsel 2.32. SiC taşlama taşı ile taşlanmış Inc 625'te parametrelerin özgül enerji üzerinde etkileri	47
Görsel 2.33. Elektro kaplama taşlarda aşınma şekilleri (Yastıkcı, 2016)	48
Görsel 2.34. a)keskin b)aşınmış CBN taneciğinin SEM görüntüsü (Yastıkcı, 2016).....	48
Görsel 2.35. Taşlama parametrelerinin sertlik üzerinde etkileri	49
Görsel 2.36. Taşlanmış alüminyum kaplaması (Taş hızı 150 m/s, iş parçası hızı 1m/dak)	50
Görsel 2.37. Farklı taşlama parametreleriyle işlenmiş numunelerin SEM analizleri.....	51
Görsel 2.38. Taşlama öncesi ve sonrası artık gerilme.....	52
Görsel 3.1. Deneyde araştırılacak girdi ve çıktılar.....	55
Görsel 3.2. Deney düzeneği	57
Görsel 3.3. Kullanılan taşlama diskinin 3B modeli	57
Görsel 3.4. Yapılan deneylerde kullanılan takım yolu.....	58
Görsel 3.5. İş parçası ve takım hareketlerinin şematik görünümü.....	59
Görsel 3.6. Deney setinde yüzey kalitesi ölçümü	60
Görsel 3.7. Taşlama diskinin aşınmasının ölçüldüğü çap	60
Görsel 3.8. Deneylerde kullanılan elmas taş ve 100x altında görüntüsü	60
Görsel 4.1. D30-C50 Kaba taş ile ortalama kesim süreleri (dk)	62
Görsel 4.2. Parametrelerin kesim süresi üzerine etkileri (Regresyon Analizi)	63
Görsel 4.3. Yüzey kalitesi Pareto Grafiği (Yanıt yüzey regresyonu)	64
Görsel 4.4. Kesim Süresi Kontür Grafiği (Yanıt Yüzey Regresyonu).....	64
Görsel 4.5. Kesim Süresi Ortalama Etki Grafiği (ANOVA)	65
Görsel 4.6. D30-C50 taş ile takım aşınması miktarı	66
Görsel 4.7. D181-C100 taş ile takım aşınması miktarı	66
Görsel 4.8. D30-C50 ve D181-C100 takım aşınması karşılaştırması	67
Görsel 4.9. Takım aşınması pareto grafiği (Regresyon analizi).....	67
Görsel 4.10. Takım aşınması pareto grafiği (yanıt yüzey regresyonu).....	68
Görsel 4.11. Takım aşınması kontür grafiği (yanıt yüzey regresyonu).....	69

Görsel 4.12. Takım aşınması ortalama etki grafiği (ANOVA).....	69
Görsel 4.13. D30-C50 Kaba Taş ile İş parçasından talaş kaldırma miktarı.....	70
Görsel 4.14. D181C100 taş ile talaş kaldırma miktarı	71
Görsel 4.15. D30-C50 ve D181-C100 malzeme kaldırma miktarı karşılaştırması	72
Görsel 4.16. Malzeme kaldırma miktarı pareto grafiği (regresyon analizi).....	72
Görsel 4.17. Malzeme kaldırma miktarı pareto grafiği (yanıt yüzey regresyonu).....	73
Görsel 4.18. Malzeme kaldırma miktarı kontür grafiği (yanıt yüzey regresyonu)	74
Görsel 4.19. Malzeme kaldırma miktarı ortalama etki grafiği (ANOVA).....	74
Görsel 4.20. D30-C50 Kaba taş ile taşlama öncesi ve sonrası yüzey kaliteleri	75
Görsel 4.21. D181-C100 Finiş taş ile taşlama öncesi ve sonrası yüzey kaliteleri	76
Görsel 4.22. D30-C50 ve D181-C100 yüzey kalitesi karşılaştırması	76
Görsel 4.23. Yüzey kalitesi pareto grafiği (regresyon analizi)	77
Görsel 4.24. WC-12Co kaplamanın taşlanması kesme derinliğinin yüzey kalitesi üzerine etkisi.....	78
Görsel 4.25. WC-12Co kaplamanın taşlanması ilerlemenin yüzey kalitesi üzerine etkisi.	78
Görsel 4.26. Yüzey kalitesi üzerine parametrelerin etkisi pareto grafiği (yanıt yüzey regresyonu).....	79
Görsel 4.27. Yüzey kalitesi kontür grafiği (yanıt yüzey regresyonu)	79
Görsel 4.28. Yüzey kalitesi ortalama etki grafiği (ANOVA)	80
Görsel 4.29. Farklı parametrelerle taşlanmış test kuponları	81
Görsel 4.30. D30C50 taş ile yapılan deneylerle elde edilen yüzey kalitesi (60x büyütme)	82
Görsel 4.31. D181C100 taş ile deneme sonuçları(60x büyütme)	83
Görsel 4.32. D100C181, s:6000 dev/dak, f:5.1 mm/s, ap:0.0013mm ile taşlanmış kaplamada çatlak görüntüsü.....	84
Görsel 4.33. D30C50 taş ile taşlama sonrası ortalama Ra, Rz, Rt değerleri.....	85
Görsel 4.34. D181C100 taş ile taşlama sonrası ortalama Ra, Rz, Rt değerleri.....	85
Görsel 4.35. D30C50 taşla taşlama öncesi ve sonrası sertlik değerleri	91
Görsel 4.36. D181C100 taşla taşlama öncesi ve sonrası sertlik değerleri	91
Görsel 4.37. Taşlama parametrelerinin kaplama sertliği üzerinde etkileri	92
Görsel 4.38. Taşlama parametrelerinin sertlik üzerine etkilerinin pareto grafiği	93

Görsel 4.39. Taşlamada standardize edilmiş etkilerin pareto grafiği (yanıt yüzey regresyonu)	94
Görsel 4.40. Taşlamada parametrelerin sertlik üzerine etkileri (yanıt yüzey regresyonu)	94
Görsel 4.41. Sertlik kontür grafiği (yanıt yüzey regresyonu)	95



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ø	: Çap
°	: Derece
°C	: Santigrat derece
3B	: Üç boyutlu
AISI	: Amerikan demir ve çelik enstitüsü
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
Ba	: Bakalit
Bağl.	: Bağlayıcı
CBN	: Kübik bor nitrür
CNC	: Bilgisayar sayımlı yönetim
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
Co	: Kobalt
Cr ₂ O ₃	: Kronyum oksit
Çeş.	: Çeşit
DIN	: Alman Standardizasyon Enstitüsü
E	: Şellak
EN	: Avrupa standardı
FEPA	: Avrupa abrasif üreticileri federasyonu
HAZ	: Isıdan etkilenmiş bölge
Inc	: Inconel
İmal.	: İmalatçı
K	: Kelvin
Malz.	: Malzeme
µm	: Mikro metre
µin	: Mikro inç
MGL	: Çok tabakalı grafen yapılar
MQL	: Minimum miktarda yağlama
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme
R	: Kauçuk
Ra	: Yüzey Kalitesi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
Sert.	: Sertlik
SiC	: Silisyum karbür
St	: Yapısal karbon çeliği
Td	: Taş dokusu
TiO ₂	: Titanyum oksit
V	: Seramik
WC-12Co	: Tungsten karbür %12 kobalt
WC-%17Co	: Tungsten karbür %17 kobalt
XRD	: X ışını difraksiyonu
YTM	: Yüzey taşlama mekanizması

1. GİRİŞ

Metaller ve metallere elde edilen alaşımlar farklı performans özellikleri sayesinde günlük kullanımdan, yüksek teknoloji ürünlere kadar pek çok alanda yaygın olarak tercih edilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini korumaları nedeniyle metal alaşımları, havacılık motorlarında en çok kullanılan malzemelerdir. Havacılık motorlarının kompresör, türbin ve yanma odası kısımlarında titanyum alaşımları ve nikel esaslı süper alaşımlar, mil ve dişli gruplarında ise yüksek mukavemet çelikleri tercih edilmektedir. Pek çok motor parçası çalışma sırasında birbirine temas eden parçaların sürtünmesi, çalışma sırasında oluşan sıcaklık, sıcaklıktan ve farklı yüklerle maruz kalmaktan kaynaklı yorulma, çevredeki nem, kirlilik vs. nedeniyle de oksidasyon, korozyon gibi çalışma ömrünü kısaltıcı etkenlere maruz kalırlar. Metal alaşımlarını, performanslarını azaltan bu etkilerden korumak için kaplama, boyama veya kimyasal işlemlerden faydalanılır.

Korozyon, metal veya metal alaşımlarının buldukları ortamla kimyasal reaksiyona girerek metalik özellikleri kaybetmesidir. Metal veya metal alaşımları içinde buldukları ortamın elemanları ile reaksiyona girerek doğal bileşik hallerine dönmeye çalışırlar ve bu da zamanla kullanılamaz hale gelmelerine neden olur. Korozyonun neden olduğu zararları en aza indirmek için; elektrokimyasal yöntemler, kimyasal yöntemler ya da koruyucu kaplamalar kullanılır. (Atabay) Koruyucu kaplamalar, kaplandıkları malzemeyi dış çevreye karşı yalıtırlar ve birbiri ile temas ederek çalışan parçalar arasında oluşan sürtünme aşınmasından korurlar.

Ticari hava yolu şirketlerinde; uçakların, yolcu güvenliğini riske atmayacak şekilde mümkün olduğunca uzun süre uçuşması istenir. Uçak motorlarının kullanım ömrünün uzatılması için, belirlenen periyotlarda motorun incelenerek, hasarlanan parçaların belirlenmesi ve bu parçaların değiştirilmesi ya da tamir edilmesi gerekmektedir. Uçak motorları için en önemli emniyet limiti, motor üzerinde takılı bulunan döner kritik parçacıkların yorulma ömür limitleridir. Bu parçalar ve ömür limit değerleri uçak motor tipine göre değişmekle beraber bir uçak motorunda yaklaşık olarak 15-20 arasında ömür limitli parça takılıdır. Ömür limitli parçalara örnek olarak; şaftlar, türbin veya kompresör kanatçıklarının takıldığı diskler vs. sayılabilir. (Demirel, 2008) Kaplama yöntemleri, parçaların hem aşınmadan hem de korozyondan koruyarak ömürlerinin arttırılması için iyi bir çözüm sağlamaktadır.

Uçak motoru parçalarında kaplama kullanımının tarihçesi incelendiğinde, kaplama kullanım oranının ve kullanılan kaplama karmaşıklığının giderek arttığı görülmektedir. 1960'larda en çok kullanılan kaplamalar artıulanmış alüminyum (anodized aluminum), alüminyum lake (aluminum lacquer) ve seramik kaplamalardır. 1970'lerde çalışma sıcaklıklarının artması ile birlikte daha çok parçanın korunmasına ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Ayrıca; disk, pale ve türbin kanadı gibi parçaların korozyona dirençli kaplamalarla kaplanması gerekmiştir. Plazma püskürtümlü, aşınma dirençli kaplamalar aynı zamanda kompresör palelerinde de kullanılmıştır. 1980'lere geldiğinde bir motorun her bölümünde kaplamalı parçalar yer aldığı görülmektedir. (Comassar, 1992) Motor parçalarının tasarımı yıllar içinde geliştikçe çalışma sıcaklığı artmakta, buna paralel olarak kaplamalardan beklentiler de artmaktadır.

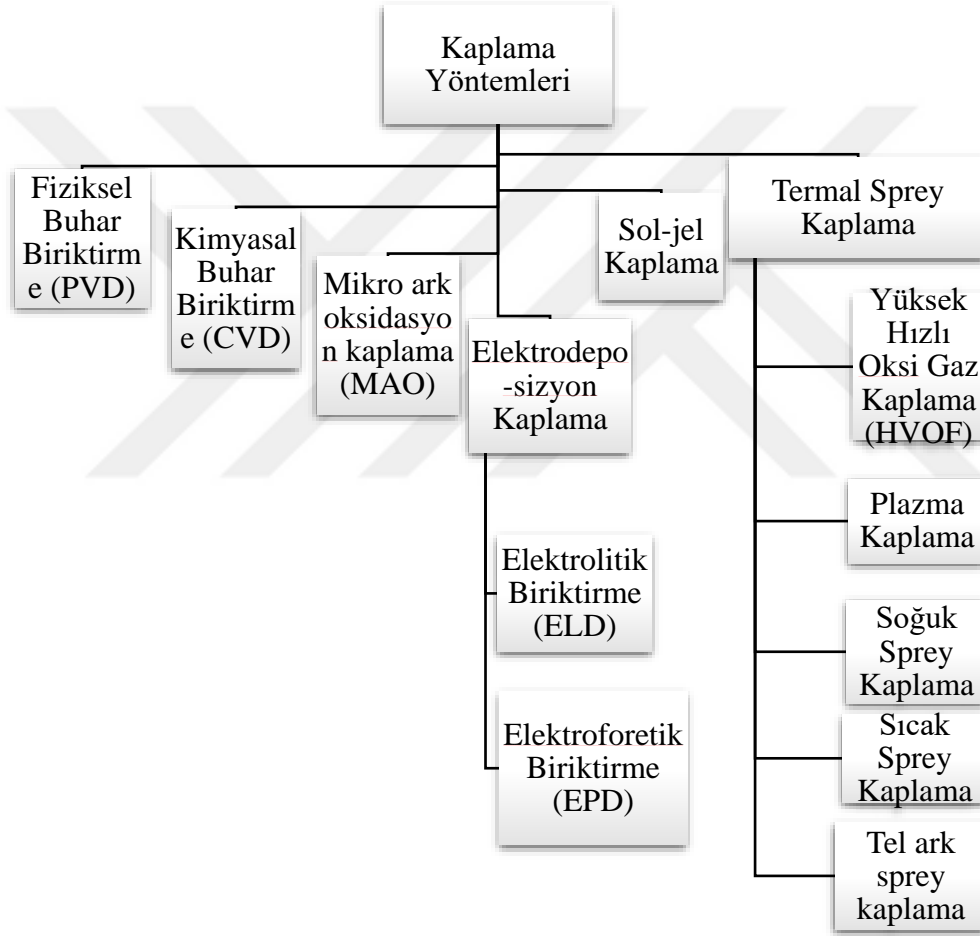
Havacılık motorlarında çalışma sıcaklığı fan dan türbine doğru gidildikçe önemli miktarda yükselmektedir. Fan kanatçıkları ve disklerde titanyum gibi hafif ve yüksek dayanımlı malzemelerin kullanımı aşınma direncinin düşük olması nedeniyle kaplama kullanımını zaruri hale getirmiştir. Kompresör içeri alınan havanın yanma için sıkıştırıldığı kısımdır ve çalışma sıcaklığı 200-550°C arasındadır. Türbin ise jet motorlarında 1700°C'ye varan çalışma sıcaklıklarıyla en kritik kısımdır. Bu sıcaklıklardan dolayı hem ana malzemenin hem de kaplama malzemesinin oksidasyon ve korozyon direncinin oldukça yüksek olması gerekir.

Bu tez kapsamında, plazma sprey kaplamalı metal alaşımların taşlama işlemine ait literatürdeki eksikliği gidermek, ülkemiz ve uluslararası alanda benzer konuları çalışan araştırmacılara fayda sağlamak amacı ile WC-12Co plazma kaplamalı türbin diskinin taşlama parametreleri incelenmiştir. Tezin bundan sonraki kısmında ilk olarak taşlama ile ilgili kapsamlı bir literatür araştırmasının sonuçları sunulmuştur. Malzeme ve yöntem bölümünde deney setinin planlanması, üzerinde çalışılan taşlama parametreleri ve belirlenen seviyeler aktarılmış, iş parçası ve kullanılan taşlama diski ile ilgili bilgiler paylaşılmıştır. Deneyler sonucunda, seçilen parametrelerin yüzey kalitesi, takım aşınması, işleme zamanı, maliyet ve mikro sertlik üzerine etkileri bulgular ve tartışmalar bölümünde verilmiştir. Bu tez kapsamında yapılan kabuller, kısıtlar ve bu çalışmanın devamında olabilecek araştırmalar için öneriler ise sonuçlar kısmında paylaşılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMA

2.1. Yüzey Kaplama

Malzemelerin, mekanik, termal ya da kimyasal özelliklerini iyileştirmek amacıyla yüzeylerinin farklı malzeme ve yöntemler kullanarak kaplanmasına yüzey kaplama denilmektedir. Kaplamalar; korozyon direnci, aşınma direnci, geliştirilmiş yüzey sertliği, farklı yüzey dokuları, ısıl yalıtım, elektrik yalıtımı, geliştirilmiş ıslatılabilirlik gibi farklı özellikler sağlayabilir. En sık kullanılan kaplama yöntemleri tablo 2.1’de gösterilmiştir.

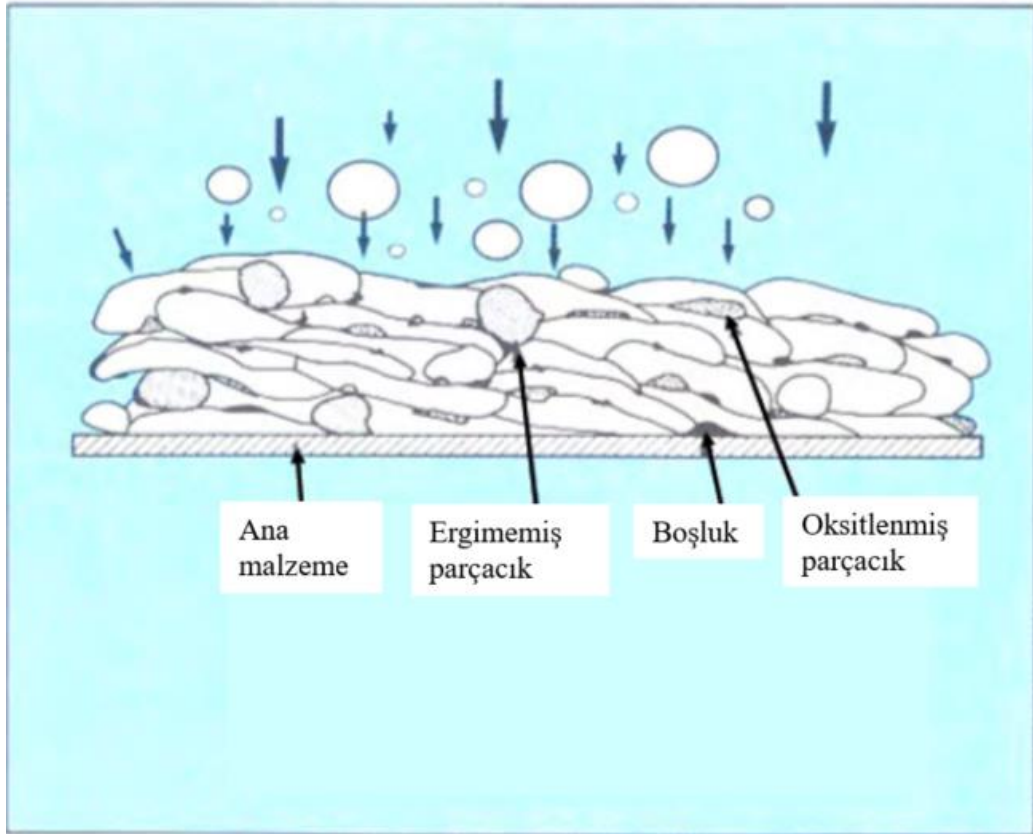


Görsel 2.1. Kaplama yöntemleri

2.1.1. Termal sprej kaplama

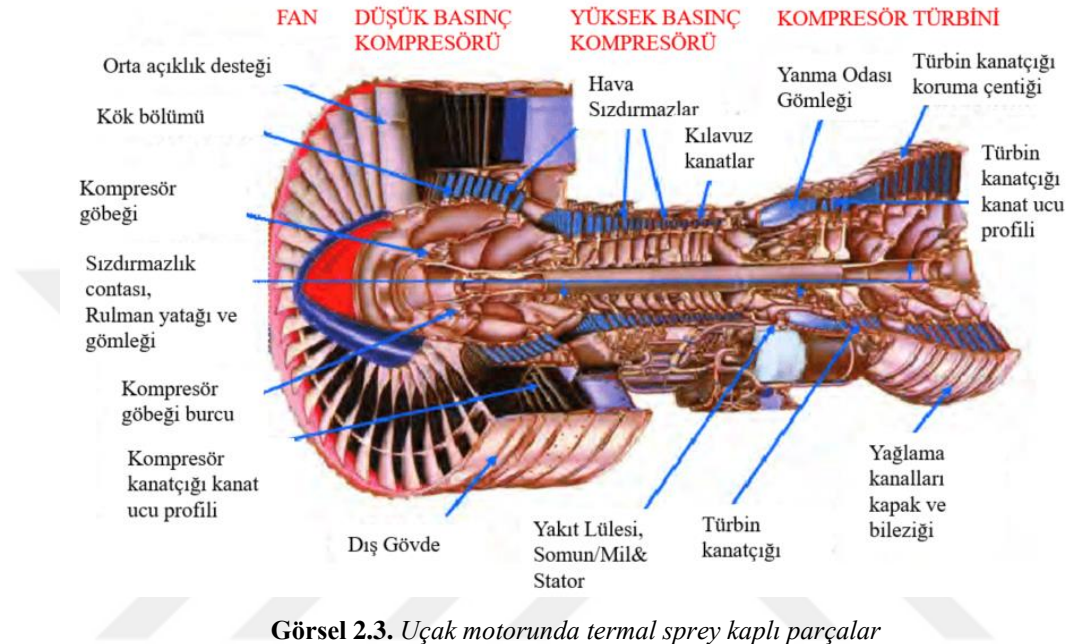
Termal sprej kaplama, ana malzeme üzerinde koruyucu bir tabaka oluşturmak amacıyla kaplanacak malzemeyi eritmek ve eriyik malzemeyi yüzeye püskürtmek için bir plazma, elektrik veya kimyasal yanma ısı kaynağı kullanan bir dizi işlem için kullanılan

genel bir terimdir. Görsel 2.2’ de termal kaplamanın şematik bir görünümü verilmiştir. (Fauchais and Vardelle, 2012) Termal sprej kaplama yöntemi ile aşınma ve korozyona dayanıklılık sağlanır. Termal sprej kaplama tekniklerinde elde edilen kalınlık, 20 µm den başlayıp galvanik, CVD veya PVD prosesinin sunduğu kalınlıktan önemli ölçüde daha yüksek olan birkaç milimetreye kadar değişebilir. Ayrıca termal sprej kaplamalarda, kaplama malzemesi olarak kullanılacak malzemeler, ateşe dayanıklı metaller ve metalik alaşımlardan seramik, plastik ve kompozitlere kadar geniş bir aralıktadır. (Pawlowski, 1992) Başlıca termal sprej kaplama tipleri, alev püskürtme (flame spraying), atmosferik plazma püskürtme (atmospheric plasma spraying), ark püskürtme (arc spraying), detonasyon tabancası püskürtme (detonation gun spraying), yüksek hızlı oksijen yakıt püskürtme (hvof), vakumlu plazma kaplama (vacuum plasma coating), kontrollü atmosferde plazma püskürtme (controlled atmosphere plasma spraying), soğuk gaz püskürtmedir. (cold-gas spraying) (Davis, 2004)



Görsel 2.2. Termal sprej kaplamanın şematik görünümü

Uçak motorlarında pek çok parça termal spreycaplamaya ile kaplanır. (Görsel 2.3) (Fauchais and Vardelle, 2012) Bu kaplamalar; titreşim aşınması (fretting wear), sürtünme aşınması, boşluk kontrolü, yüksek sıcaklık korumasının yanında sızdırmazlık elemanı olarak ve iniş takımlarında sert krom kaplama yerine kullanılabilir. (Davis, 2004)



Görsel 2.3. Uçak motorunda termal spreycaplı parçalar

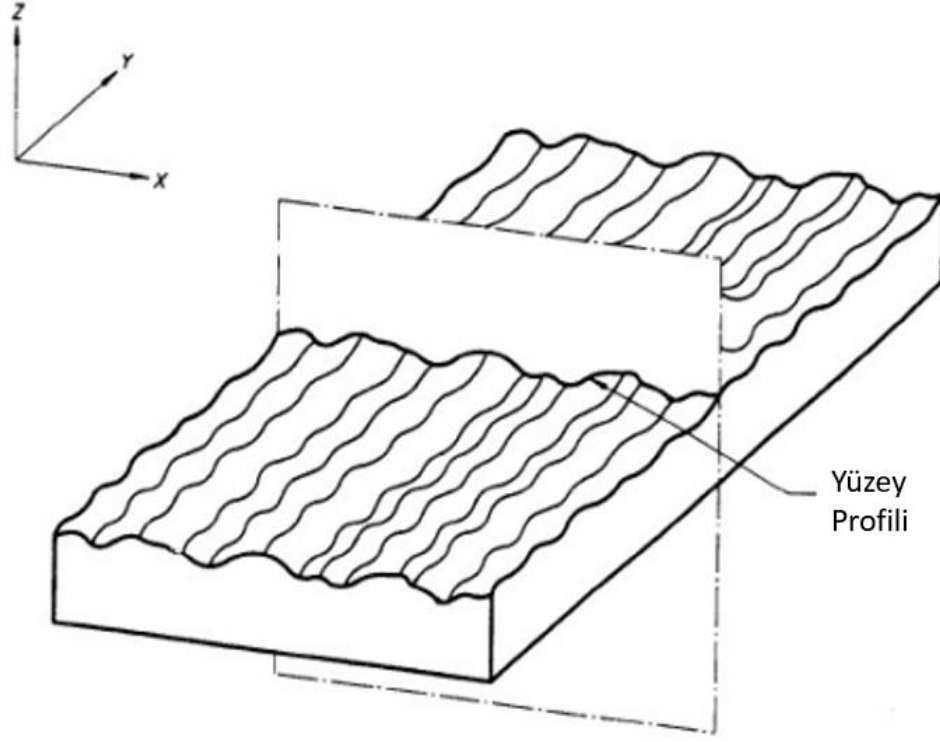
2.1.2. Plazma kaplama

Plazma kaplama işlemi vakum altında ya da atmosferik koşullarda yapılabilir. Bu işlemde bir plazma tabancası, ateşe dayanıklı metalleri seramikleri ve polimerleri kolayca eritebilen yüksek sıcaklık (1000 K'e kadar) sağlar. (Fotovvati, 2019) Plazmanın stabilizasyonunda kullanılan malzemeler gaz, su veya bu ikisinin karışımı olan hibrit şeklinde olabilir. Püskürtülecek malzemeler, sıcak plazma akımına karıştırılır ve yüksek sıcaklık malzemeyi eritir. Nozülün ucundaki yüksek plazma hızı nedeniyle, erimiş damlacıklar anında kaplanacak parça üzerinde biriktirilir.

2.2. Yüzey Kalitesi

İmalatta, işlenen parça yüzeyinde meydana gelen takım izleri, dalgalanmalar ve düzensizliklere pürüzlülük adı verilir. Yüzey pürüzlülüğünün düşük olması malzemenin yorulma, kırılma dayanımı ve korozyon direncini arttırdığı gibi estetik olarak da güzel görünmesini sağlar. Yüzey profil ölçümü için yüzey boyunca bir çizgi alınır ve

bu çizgi matematiksel olarak grafiğe dökülerek, yüksekliğin ilerlemeye bağlı bir fonksiyonu olarak gösterilir.(Görsel 2.4 ve Görsel 2.5) (Yeşilay, 2023)



Görsel 2.4. Yüzey profili gösterimi (ISO4287, 1997)

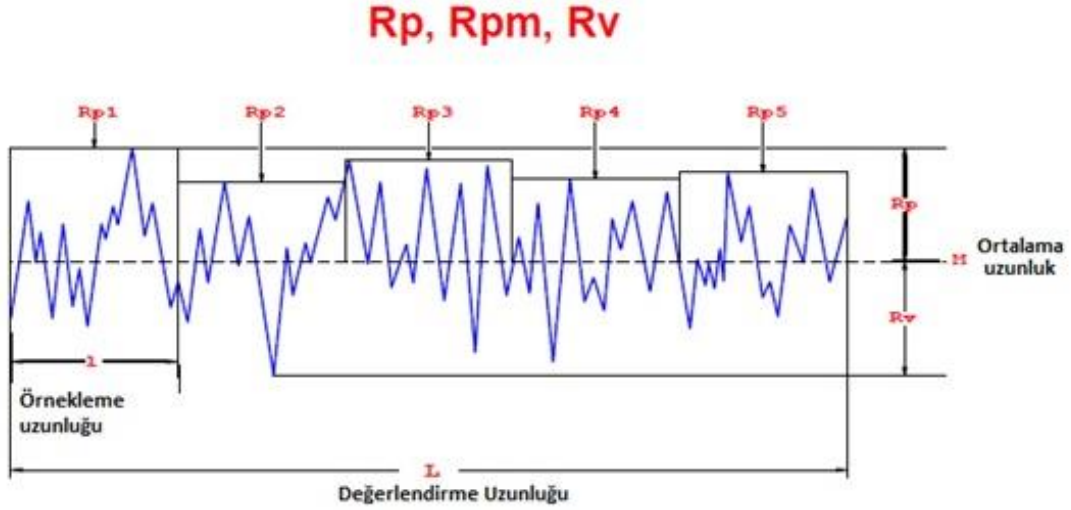


Görsel 2.5. Yüzey izlerinden 2B taranan bir profil

2.2.1. Yüzey kalitesi terminolojisi

I: Örnekleme uzunluğu, dalgalanma ile pürüzlülüğü ayıran nominal dalga boyudur. Kesme uzunluğu olarak da bilinir. (Görsel 2.6) (Yeşilay, 2023)

L: Değerlendirme uzunluğu, yüzey parametrelerinin değerlendirildiği uzunluktur. Değerlendirme uzunluğu genelde beş örnekleme uzunluğundadır. (Görsel 2.6)



Görsel 2.6. Değerlendirme uzunluğu ve örnekleme uzunluğu

M: Ortalama çizgi, hangi yüzey saplamalarının ölçüleceğini belirten referans çizgidir. (Görsel 2.6)

Profil Piki: M çizgisinin üst kısmındaki maksimum yüksekliktir. (Görsel 2.7) (Yeşilay, 2023)

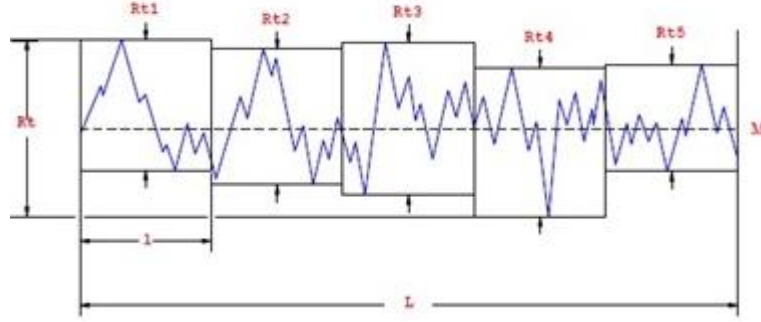
Profil Vadisi: M çizgisinin altındaki maksimum derinliktir. (Görsel 2.7)

Profil Düzensizliği: Birbirine en yakın olan profil piki ve bitişiğindeki profil vadisidir. (Görsel 2.7)

Rt: Maksimum profil yüksekliği, değerlendirme uzunluğundaki profilin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki dikey mesafedir. (Görsel 2.7)

Rti: Örnekleme uzunluğundaki profilin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki dikey mesafedir. (Görsel 2.7)

Rt, Rti, Rz, Rz(DIN), Rmax



Görsel 2.7. R_t , R_{ti} , R_z , R_z (DIN), R_{max} gösterimi

R_z : Ortalama maksimum yükseklik, değerlendirme uzunluğu boyunca hesaplanan ardışık R_{ti} değerlerinin ortalamasıdır. Değerlendirme uzunluğu, beş örnekleme uzunluğunda olduğunda R_z değeri R_z (DIN) değeri ile eşdeğerdir. (Görsel 2.7) (Yeşilay, 2023)

R_{max} : Maksimum pürüzlülük değeri, değerlendirme uzunluğu boyunca ardışık olarak ölçülmüş R_{ti} değerinin en büyüğüdür. (Görsel 2.8)

R_z (ISO): on düzensiz noktanın uzunluğu, değerlendirme uzunluğundaki beş en yüksek profil pikinin gerçek yüksekliği ve beş en derin vadinin gerçek derinliğinin ortalamasıdır. (Görsel 2.8)



Görsel 2.8. R_z (ISO) gösterimi

R_p : Maksimum profil pik yüksekliği, değerlendirme uzunluğundaki en yüksek nokta ile ortalama uzunluk arasındaki yüksekliktir. (Görsel 2.6)

Rpm: Ortalama maksimum profil pik yüksekliği, ardışık olarak ölçülmüş Rp değerlerinin ortalamasıdır.(Görsel 2.6)

Rv: Maksimum profil vadi derinliği, değerlendirme uzunluğundaki en derin vadi ile ortalama uzunluk arasındaki yüksekliktir. (Görsel 2.6)

Ra Yüzey pürüzlülüğü: Malzemenin merkezinden yukarı doğru oluşan profil dalgalarının aritmetik ortalaması Ra yüzey pürüzlülüğüdür. En çok kullanılan yüzey pürüzlülük ölçme parametresidir. (Görsel 2.9)



Görsel 2.9. Yüzey pürüzlülüğü şematik gösterimi

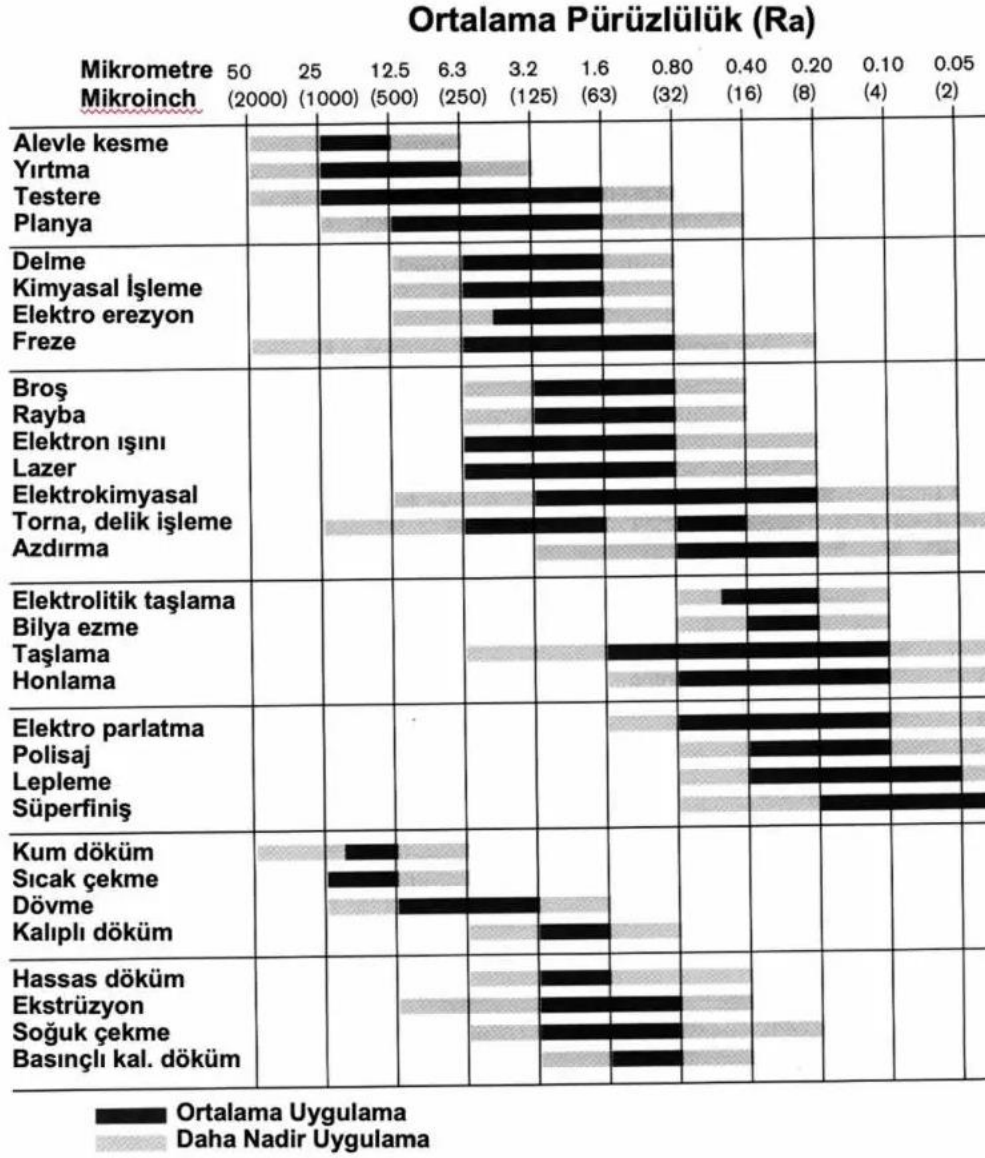
Uygulamadaki farklılıkları önlemek için yüzey kalitesi standart hale getirilmiştir. Ra değerlerinin karşılığı olan farklı standartlar aşağıdaki tablo 2.1’de verilmiştir. (Teknik Resimde Yüzey Pürüzlülüğü, 2023)

Tablo 2.1. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin farklı standartlardaki karşılığı

Standart	Değerler												Birim
Ra	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25.0	50.0	µm
CLA	1	2	4	8	16	32	64	125	250	500	1000	2000	µin
Sınıf	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	
Grup	▽▽▽			▽▽▽			▽▽			▽			

Farklı imalat yöntemleriyle elde edilebilecek yüzey kalitesi değerleri tablo 2.2’de verilmiştir. (Teknik Resimde Yüzey Pürüzlülüğü, 2023)

Tablo 2.2. Farklı imalat yöntemleriyle elde edilebilecek yüzey kalitesi



2.2.2. Yüzey kalitesi ölçüm yöntemleri

Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi için kullanılan en sık kullanılan teknikler;

- 1) Elektrikle çalışan sivri uçlu cihazlarla ölçüm
- 2) Dokunarak yüzeyin değerlendirilmesi ve bu durumun mekanik çalışan cihazlarla ölçülmesi
- 3) Değişik tipli ışık interfans mikroskopları ile ölçüm
- 4) Yüzey kopyaları ede etme yoluyla ölçüm

Elektrikle çalışan sivri uçlu cihazlar, ucunda elmas olan bir kol aracılığıyla ölçüm yaparlar. Elmas uç numune yüzeyini baştan uca çizerken, ucun düşey yöndeki hareketi elektriksel sinyallerle göstergeye aktarılır. Elektriksel sivri uçlu cihazların E-göbekli cihaz, bobin tipli cihaz ve piezoelektrik kristalli cihaz olmak üzere 3 ana tipi vardır. Dokunarak yüzey değerlendirme yüzeyin üzerinde tırnak gezdirilmesi ve pürüzlülük değeri önceden belirlenmiş olan test bloklarıyla kıyaslama prensibine dayanır. (Görsel 2.10)



Görsel 2.10. Yüzey kalitesi karşılaştırma blokları

Düz ve eğimli yüzeyler üzerinde gölge oluşturma tekniğinin optik sistemde uygun bir düzeltme yapılarak kullanılmasına ışık interferans mikroskopları ile yüzey pürüzlülüğü ölçümü denir.

Yüzey kopyalayarak yüzey kalitesi ölçümü ise, parça çok büyük, yüzey cihaza sığmıyorsa düşünülür. Bu yöntemin esası, yüzey üzerine yumuşatılmış plastik parça basmak, numune çevresine duvar örerek veya bir halka geçirilerek sıvı plastiği dökmektir. Dökülen plastik katılaştıkça yüzeyden kaldırılır. Yumuşatılmış plastik ile %80, sıvı plastik dökme ile %100 doğruluk elde edilir.

2.3. Taşlama

Çok sayıda sert aşındırıcı tanecik içeren kesici takım ile iş parçası üzerinden talaş kaldırarak istenilen bitirme yüzey kalitesi ve ölçülerine ulaşmayı sağlayan imalat yöntemine taşlama denir. Taşlamayla talaş kaldırma işlemi, kesici dişlerin yerine çok sayıda aşındırıcı taneciğin bulunduğu, frezeleme işlemine benzetilebilir. (DEMİR ve GÜLLÜ, 2001) Aşındırma işlemleri her türlü malzemeye uygulanabilir, 0.015 mikrometreye kadar pürüzlülük ve dar imalat toleransları sağlayabilir. (DEMİR ve GÜLLÜ, 2008) Taşlama işlemi genel olarak 3 kategori altında sınıflandırılabilir.

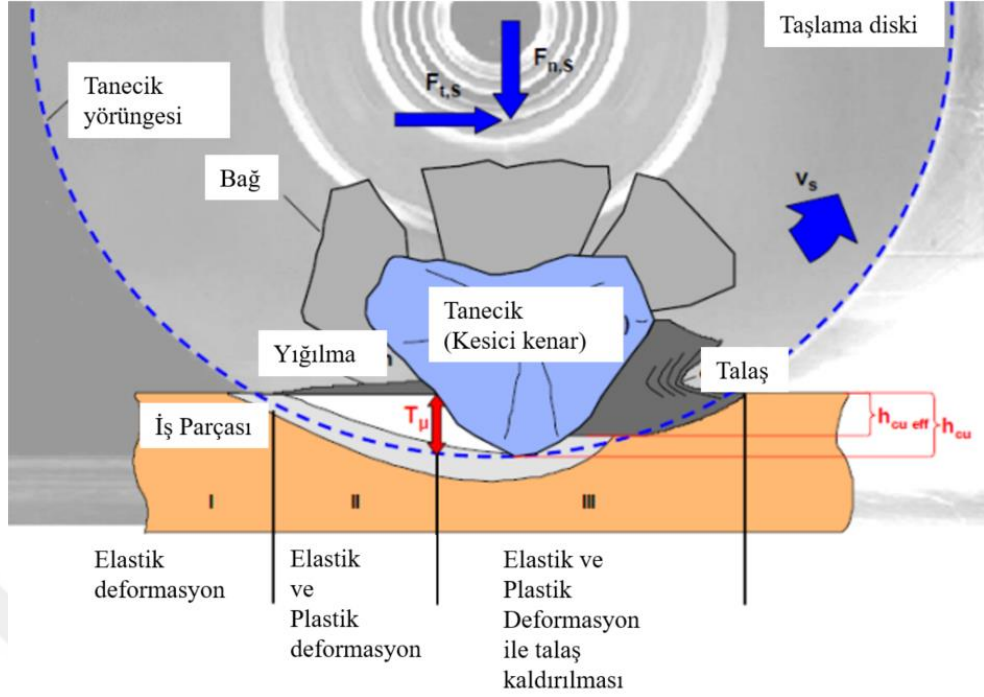
1) Silindirik Taşlama: İş parçalarının silindirik dış yüzeylerinin taşlama işlemine denir. Silindirik taşlamada hem taş hem iş parçası ya da sadece iş parçası dönebilir. Puntasız silindirik taşlama işleminde, dönen iki taş arasında serbest iş parçası bulundurulabilir.

2) Delik Taşlama: Silindirik taşlamaya benzer şekilde, parçanın iç silindirik yüzeyleri taşlanır.

3) Satıh Taşlama: Düzlemsel yüzeyleri taşlamak için kullanılır. İş parçası tabla üzerinde sabit dururken, taş dönerek talaş kaldırma işlemi yapar.

2.3.1. Taşlamada talaş oluşumu

Taşlamada talaş oluşumu 3 aşamada gerçekleşir. İlk aşamada iş parçası ile temasa geçen aşındırıcı tanecik elastik deformasyona neden olur ve buna sürtünme aşaması denir. İkinci aşamada plastik şekil değişiminden elastik şekil değişimine geçilir ve aşındırıcı tanecik malzemeyi yığmaya başlar. Buna kazıma veya çizme denir. Son aşamada ise talaş, iş parçası yüzeyinden kaldırılır ve kesme aşaması yani plastik şekil değişimi gerçekleşmiş olur. (Görsel 2.11)



Görsel 2.11. Taşlamada talaş oluşumu (Yastıkcı, 2016)

2.3.2. Taşlama markalamalarının okunuşu

Taşların üzerinde sertlik, tane boyutu gibi özelliklerinin belirtildiği markalamalar bulunur. Bu kodların okunuşu konvansiyonel taşlar için tablo 2.3'te süperabrasif taşlar için tablo 2.4'te gösterilmiştir. İmalatçılara özel kodlar da bu markalamalara eklenebilir.

Tablo 2.3. Konvansiyonel taşlama disklerinin markalanması

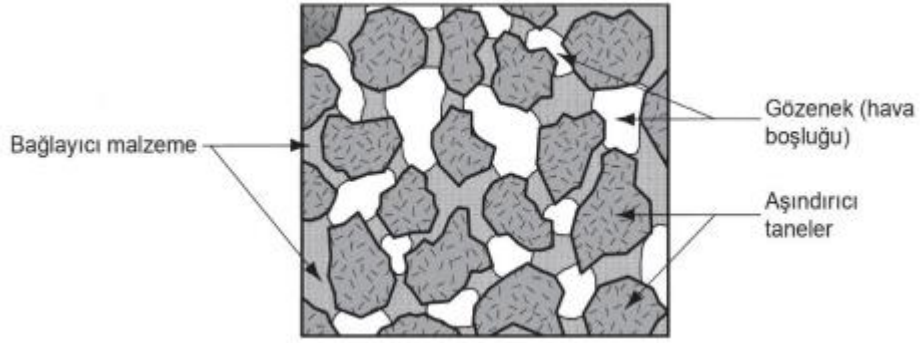
48	A	80	K	6	V	MRAA	
İmalatçı Kodu	Abr.	Abr. Malz.	Tane Boyutu	Sertlik Sınıfı	Doku	Bağl. Çeş.	İmalatçı bağlayıcı kodu

Tablo 2.4. Süperabrasif taşlama disklerinin markalanması

3	B	125	P	100	V	99	1/8
İmal. Abr. Kodu	Abr. Malz.	Tane Boy.	Sert. Sınıfı	Doku	Bağl. Çeşidi	İmal. Bağl. Kodu	Abr. Kalınlığı

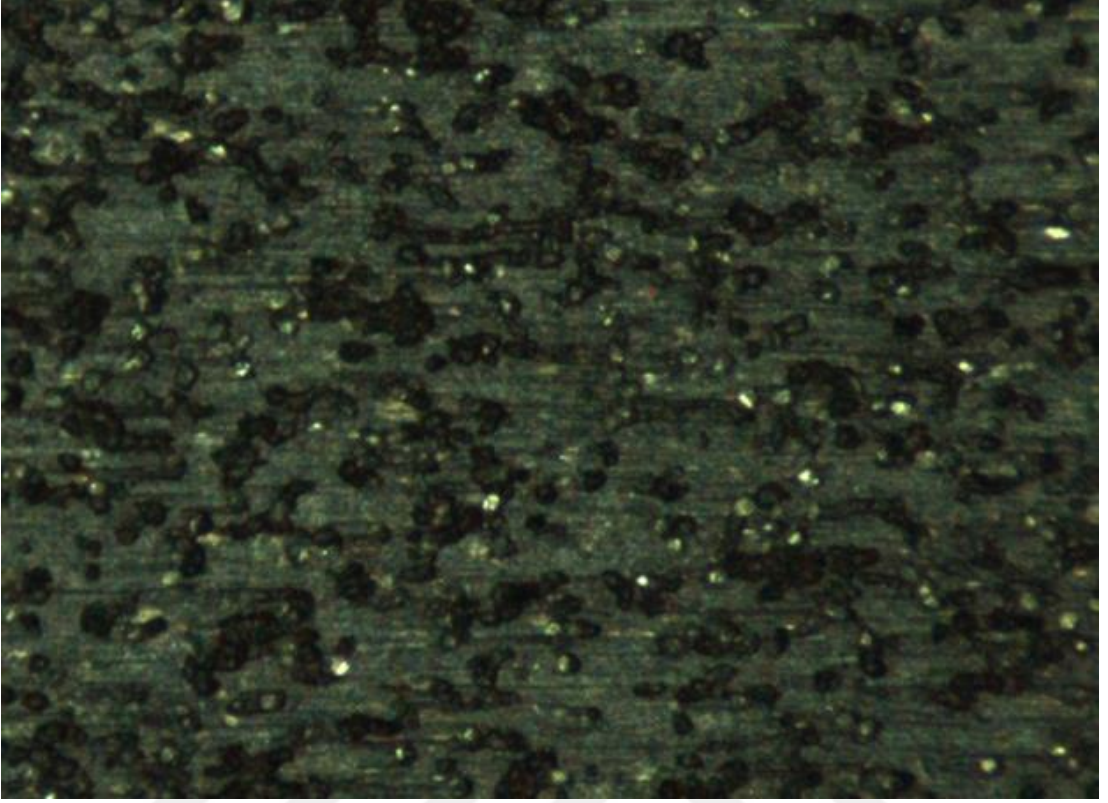
2.3.3. Taşlama diskleri

Taşlama takımları temel olarak 3 bileşenden oluşur; aşındırıcı tanecikler, bağlayıcı malzeme ve gözenekler. Aşındırıcı tanecikler yüzeyden talaş kaldırırken, bağlayıcı malzeme aşındırıcı tanecikleri bir arada tutmaya yarar. Gözenekler ise taşın kesme esnasında soğutulmasını ve talaşın atılmasını sağlar. (Görsel 2.12) (Abrasive Machining Process, 2023)



Görsel 2.12. Taşlama taşının şematik görünümü

Görsel 2.13'te elmas taşlama diskinin 100x büyütme altında görüntüsü verilmekte olup beyaz küçük noktalar abrasif tanecikleri, siyah bölgeler boşlukları, gri bölgeler ise bağlayıcı malzemeyi göstermektedir.



Görsel 2.13. *Elmas taşlama diskinin 100x büyütülmüş görüntüsü*

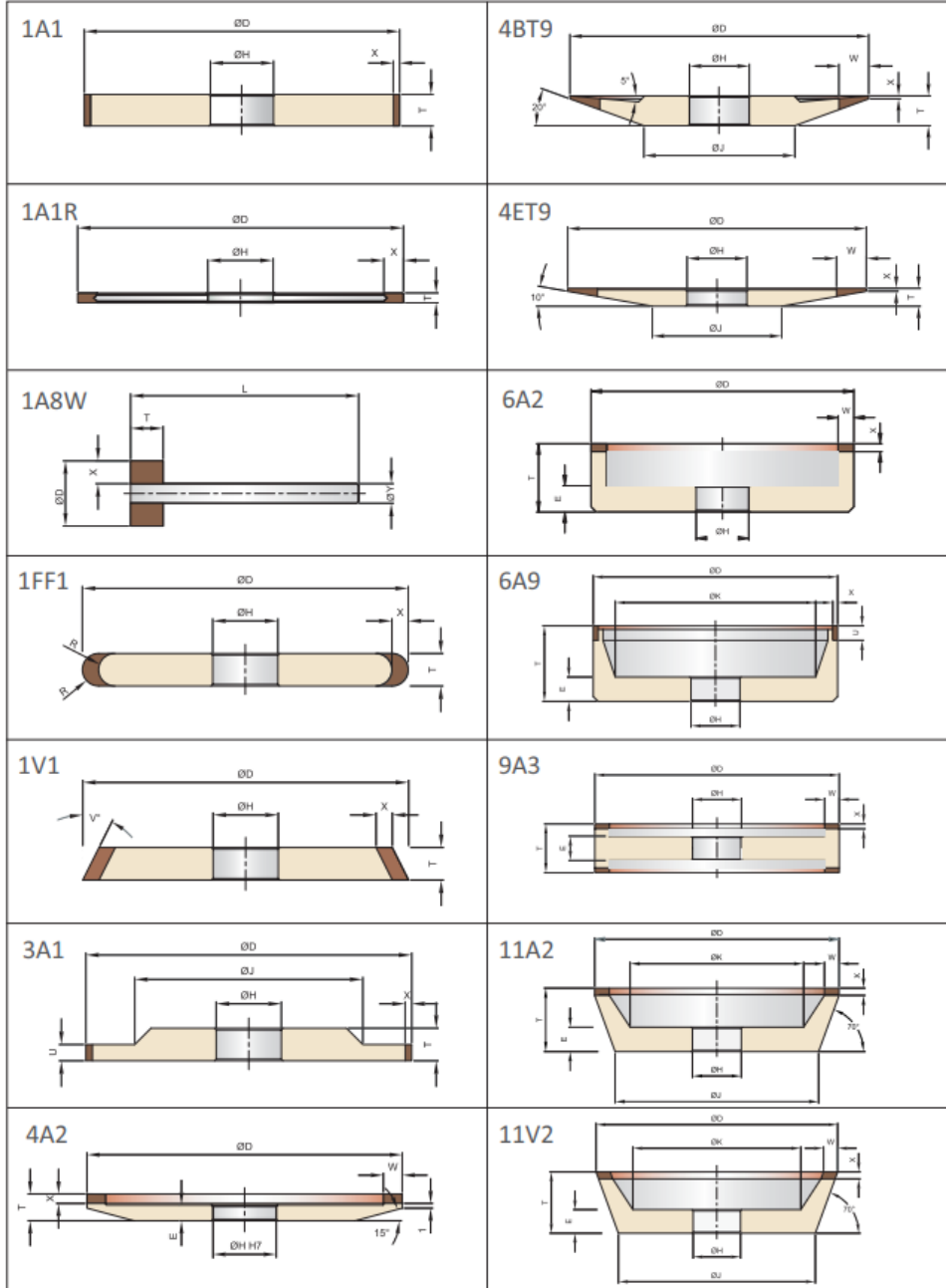
Kullanılacak taşlama taşının seçerken aşağıdaki parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir.

- Taşlama operasyonu tipi (silindirik taşlama, dalma taşlama vb.)
- Taşın şekli
- Taş ölçüleri
- İş parçası malzeme özellikleri
- İş parçası ölçüleri
- Kesme derinliği
- İstenen yüzey kalitesi
- Soğutma sıvısı kullanılıp kullanılmayacağı
- Soğutma sıvısı türü
- Taş dönüş hızı
- Taşlama tezgahı gücü
- Kullanılan taşlama taşının özellikleri (malzeme, konsantrasyon vb.)

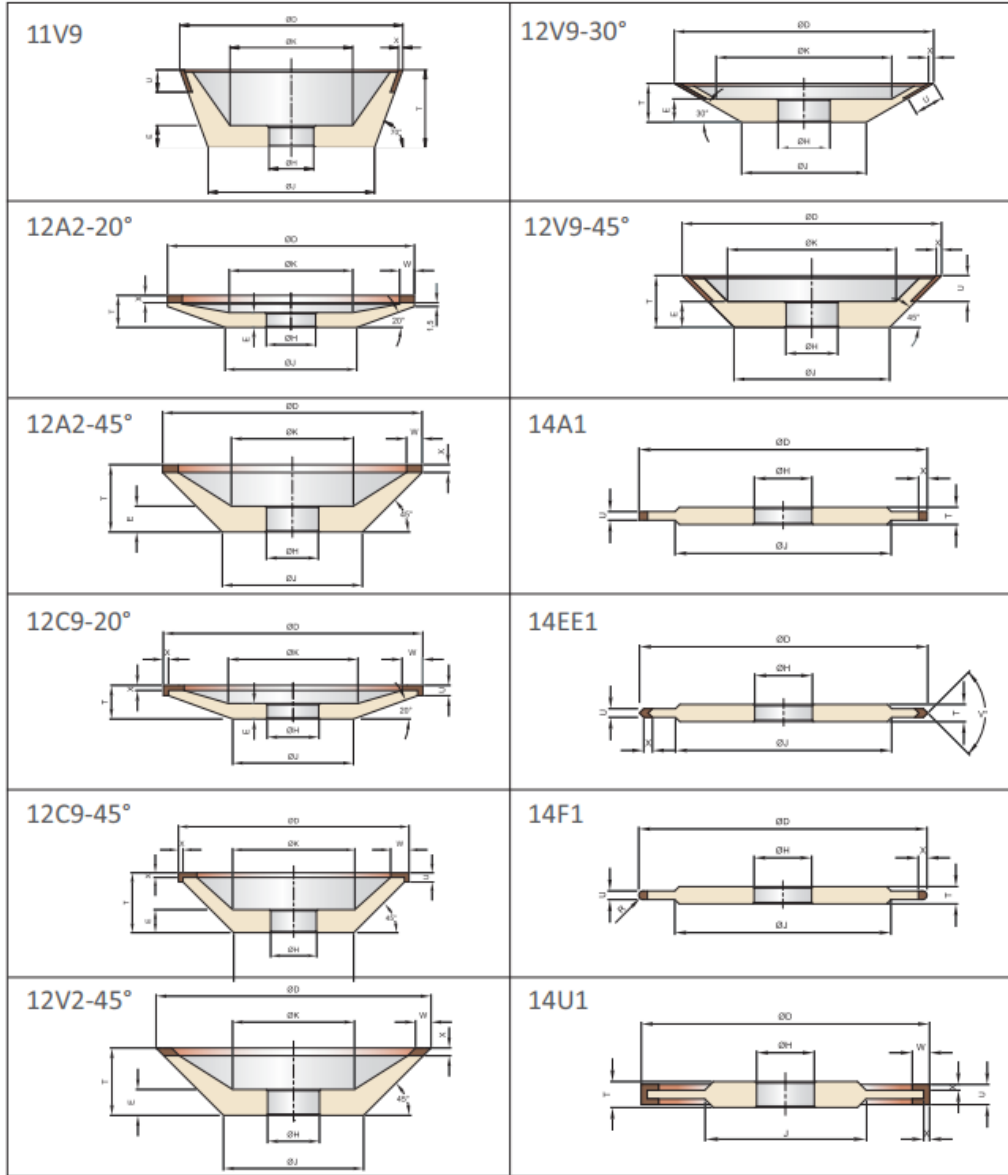
Talaşlı imalat sırasında açığa çıkan yüksek sıcaklık ve kesme kuvvetleri takımlarda çatlama, aşınma gibi takım ömrünü kısaltan etkilere neden olabilir. Bu problemlerle karşılaşmamak için kullanılacak takım malzemesinin listedeki özelliklerin göz önünde bulundurularak seçilmesi gerekir.

2.3.3.1. Taşlama diski şekilleri

Taşlama disklerinin, iş parçasının geometrisine uygun olacak şekilde Şekil 2.1’de görülen farklı şekilleri vardır.



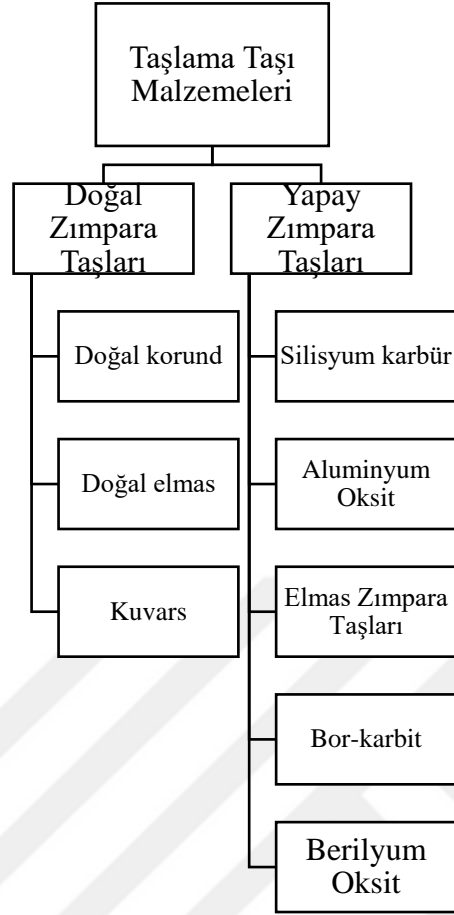
Şekil 2.1. Çeşitli taşlama diski şekilleri (Haskimya, 2023)



Şekil 2.1 (Devam) Çeşitli taşlama diski şekilleri (Haskımya, 2023)

2.3.3.2. Taşlama diski aşındırıcı tanecik malzemesi

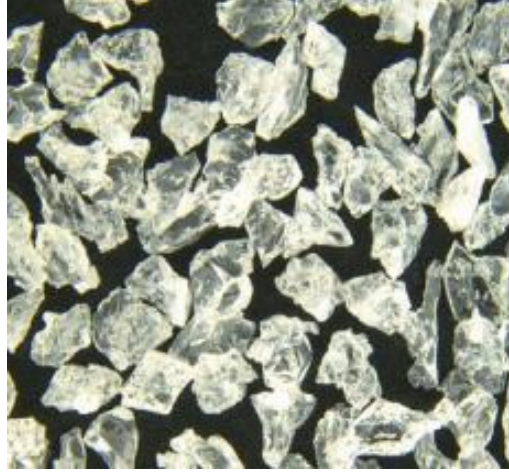
Taşlama taşında iş malzemesi üzerinden talaş kaldırma işini yapan aşındırıcı taneciklerdir. Aşındırıcı taneciklerde en çok istenen mekanik özellikler, yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, yüksek tokluk ve körelendiğinde kolay kırılmasını sağlayacak olan kırılgenliktir. Taşlama taşlarında kullanılan malzemeler şekil 2.2’de verilmiştir. Bunların kodları tablo 2.5’te verilmiştir. En çok kullanılan aşındırıcı malzemeleri Al_2O_3 , SiC, Elmas ve CBN’dir. (Görsel 2.14 ve Görsel 2.15)



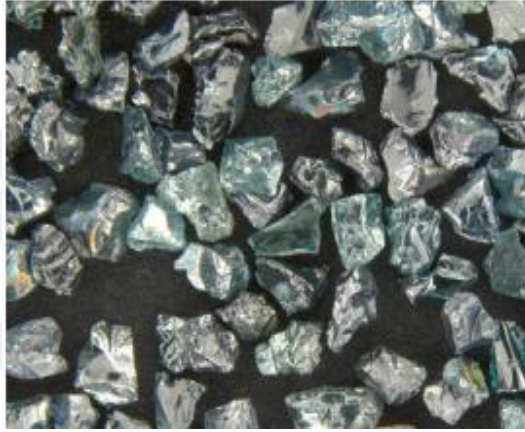
Şekil 2.2. Taşlama taşı malzemeleri

Tablo 2.5. Taşlama disklerinde aşındırıcı taneciklerin malzeme kodları

Kod	Malzeme
A	Alüminyum Oksit (Al_2O_3)
B	CBN
C	Silisyum Karbür (SiC)
D	Elmas
Z	Zirkonyum



Görsel 2.14. *Alüminyum Oksit Tanecikler*



Görsel 2.15. *Silisyum Karbür Tanecikler*

Sık kullanılan abrasif malzemelerin fiziksel özellikleri tablo 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.6. *Sık kullanılan abrasif malzemelerin fiziksel özellikleri*

Abrasif Malzemesi	Knoop Sertliği (kg / cm²)	Termal İletkenlik (W/ m.K)	Yoğunluk (kg / m³)	Özgül Isı (J / kg.K)	Difüzyon (mm² / s)
Elmas	6500	600-2000	3520	511	333-1110
Kübik Bor Nitrür	4500	240-1300	3480	506	136-738
Silisyum Karbür	2500	100	3210	710	44
Alüminyum Oksit	1370-2260	35	3980	765	11.5

2.3.3.3. Taşlama diski bağlayıcı malzemesi

Taşlama diski ile iş parçası arasındaki sürtünme sırasında talaş kaldırma işlemi gerçekleşir. Taşlama sırasında aşındırıcı tanecikler körelendiğinde kendiliğinden dökülerek

yeni kesici taneciklerin ortaya çıkmasına imkan sağlamalıdır. Bu durum aşındırıcı tanecikleri bağlayan malzemenin tutma kabiliyetiyle ilgilidir. Bir zımpara taşının sertliğini bağlayıcı malzeme belirler.

Vitrifiye bağlayıcılar seramik bazlıdır, kuvvetli, rijit ve yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Reçine bağlayıcılar, reçine malzeme içerir ve mukavemeti yüksektir, daha çok kaba taşlamada tercih edilir. Metalik bağlayıcılar ise genellikle CBN ve elmas taşların birleştirmesinde kullanılır.

Organik Bağlayıcı Elemanlar

- Bakalit (B-Ba): Temel maddesi suni reçinedir ve içerisine sertleşebilen fenol formaldahitten belli oranda ilave edildikten sonra aşındırıcı tanelerle karıştırılır. Karışım kalıplanarak fırınlarında kurutulur.
- Kauçuk (R): Kauçuk ve kükürt aşındırıcı tanelerle karıştırılır. Elde edilen karışım kalıplanır ve 165 °C civarında pişirilir. Çevresel hızı yüksek ve esneme kabiliyeti fazla olan taşlar kesme işlemlerinde kullanılır
- Şellak (E): Birleştirme elemanının temel maddesini doğal reçinedir. Aşındırıcı tanelerle şellak kızgın buharla ısınan kazanlar içerisinde karıştırılıp kalıplanır. Bu zımpara taşları ile sertleştirilmiş çelikler ve vidalar taşlanır ve kesici aletlerle ince dişli testereler bilinir

İnorganik Bağlayıcı Elemanlar

- Seramik (V): Birleştirme elemanının temel maddesini feldspat ve kildir. Aşındırıcı ve birleştirme elemanları, nemlendirilip karıştırılarak istenilen ölçü ve biçimlerde kalıplanır ve fırınlarda bir kaç gün pişirilir. Pişirme işlemi sona eren taşlar yine aynı fırınlarda soğutulur. Seramik en iyi birleştirme elemanı olarak bilinir.
- Silikat (S-Si) Temel maddesi soda silikatıdır. Aşındırıcı tanelerle soda silikatı karıştırılıp kalıplanır ve yüksek basınçta preslenerek pişirilir. Aşırı sıcaklığa dayanıklı olmayan silikat birleştirmeli taşlarla genellikle ıslak taşlama yapılmaktadır. Kuru olarak da kesici aletlerin bilinmesinde ve ince parçaların taşlanmasında kullanılır.
- Oksi-Klorit (Magnezit) (O-Mg): Temel maddesi magnezyum oksit ve magnezyum klorittir. Magnezit ile aşındırıcı taneler karıştırılır ve kalıplanarak preslenir. Oda sıcaklığında kurutulur. Bu taşlar, nem ve rutubetten korunarak kullanılır

2.3.3.4. Taşlarda tane büyüklüğü

Taşlama taşlarında malzeme kaldırma işini yapan aşındırıcı taneciklerin boyutudur. Tane boyutu küçüldükçe daha kaba taşları, tane boyutu büyüdükçe daha ince taşları temsil eder. (Tablo 2.7 ve Tablo 2.8)

Tablo 2.7. Taşlarda tane büyüklüğünün karşılık geldiği ölçüler

Makro tanecikler		Mikro tanecikler	
Tane numarası	Ortalama Çap (µm)	Tane numarası	Ortalama Çap (µm)
12	1815	240	58,5
16	1324	280	52,2
20	1000	320	46,2
24	764	360	40,5
30	643	400	35,0
36	538	500	35,0
40	425	600	30,2
50	336	800	25,8
60	269	1000	21,8
80	201	1200	18,3
100	162	1500	15,3
120	125	2000	12,6
150	100	2500	10,3
180	82		
220	68		

Tablo 2.8. Taşların tane büyüklüğü

Grup	Taşlarda Tane Büyüklüğü												
Kaba	8	10	12	14	16	20	24						
Normal	30	36	46	54	60	70							
İnce	80	90	100	120	150	180	220						
Çok ince	240	280	320	400	500	600	700	800	1000	1200	2500		

2.3.3.5. Taşların dokusu (gözenekliliği)

Taşlama taşlarında aşındırıcı parçacıklar ve bağlayıcı malzeme arasında kalan küçük boşuklardır. Taşların gözenekliliği 0-14 arasındaki rakamlarla ifade edilir. (Tablo 2.9) Rakam büyüdükçe gözenek miktarı artar. (Görsel 2.16)

Tablo 2.9. Taşların yapı tablosu

Yapı Numarası	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Tane Yüzdesi (%)	62	60	58	56	52	54	50	48	46	44	42	40	38	36	34
Kısa Tanımlaması	Yoğun (Sıkı) (D)					Orta (M)					Açık (Gözenekli) (W)				



Görsel 2.16. Soldan sağa yoğun, orta ve açık gözenekli taş dokusu örnekleri

2.3.4. Taşların konsantrasyonu

Süperabrasif taşlarda ise birim hacimde bulunan aşındırıcı tanecik miktarına konsantrasyon denir. % 100 konsantrasyon, cm^3 'te 0.88 g aşındırıcı olması durumudur ve kodu 100'dür. En sık kullanılan konsantrasyon kodları aşağıdaki tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.10. Süperabrasif taşlama disklerine konsantrasyon tablosu

Konsantrasyon	İçerilen Tanecik Miktarı (g/cm^3)	Kod
%25	0.22	25
%50	0.44	50
%75	0.66	75
%100	0.88	100
%150	1.32	150

2.3.4.1. Taşların sertliği

Aşındırıcı tanecikleri birbirine bağlayan bağlayıcı malzemenin tanecikleri tutma kabiliyetine o taşın sertliği denir. Taşın sertliği A'dan Z'ye kadar harflerle temsil edilir. (Tablo 2.11)

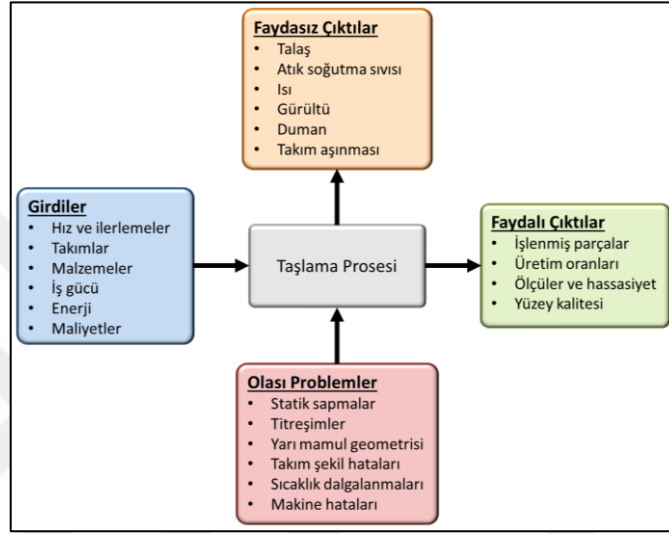
Tablo 2.11. Taşların sertlik tablosu

Çok yumuşak	Yumuşak	Orta	Sert	Çok sert
A,B,C,D,E,F,G	H,I,J,K	L,M,N,O,	P,Q,R,S	T,U,V,W,X,Y,Z

Taşın sertliği ne kadar fazla ise, aşındırıcı taneciklerin dökülmesi o kadar zordur. İş parçası malzemesi göz önünde bulundurularak taş sertliği seçimi yapılmalı ve körelen taneciklerin dökülerek yerlerine yeni tanelerin kesime katılmasına izin verecek sertlik belirlenmelidir.

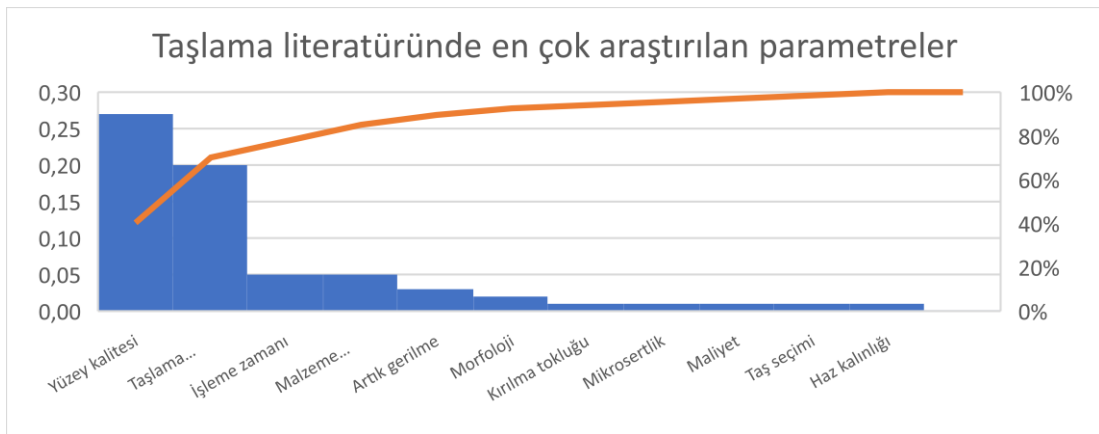
2.3.5. Taşlamada parametreler ve etkileri

Her imalat yönteminde girdiler, faydalı ve faydasız çıktılar ile olası problemler bulunmaktadır. Tüm imalat süreçlerinde olduğu gibi taşlama işleminde de işlem sonunda oluşacak kalite ve maliyet hedefleri ile bunları etkileyen parametreler bulunmaktadır.(Görsel 2.17) Taşlama bir bitirme işlemi olduğu için odaklanılması gereken en önemli çıktı yüzey kalitesidir. Malzeme kaldırma hızı ve takım aşınması üretim maliyetleri açısından göz önünde bulundurulması gereken önemli parametrelerdir.



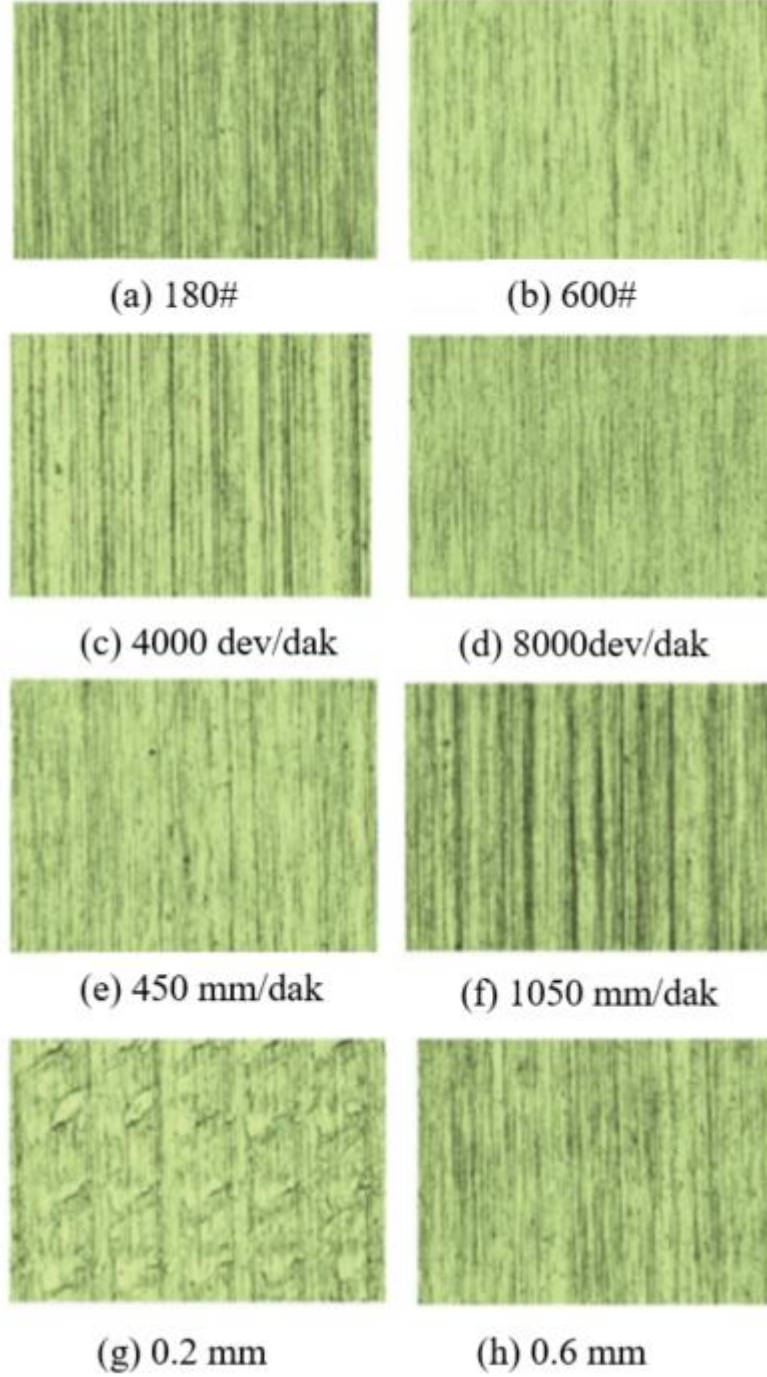
Görsel 2.17. Taşlama işleminde girdi ve çıktılar

Literatürde etkileri en çok araştırılan girdiler taş tane büyüklüğü, iş mili devri, iş parçası hızı, ilerleme ve kesme derinliğidir. Bu parametrelerin, işlem sırasında oluşan taşlama kuvvetleri, taşlama özgül enerjisi, taşlama sonrasında iş parçasının mikro yapısında üzerinde etkileri en sık araştırılan parametrelerdir. (Görsel 2.18)



Görsel 2.18. Taşlama literatüründe en çok araştırılan parametrelerin pareto grafiği

Görsel 2.19’de sırayla tane büyüklüğü (a,b), iş mili devri (c,d), ilerleme (e,f) kesme derinliği (g,h) parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkileri gösterilmiştir.



Görsel 2.19. Taşlamada parametrelerin yüzey kalitesi üzerine etkileri (Zhao T., Shi Y., Sampska L., Zhou J., 2017)

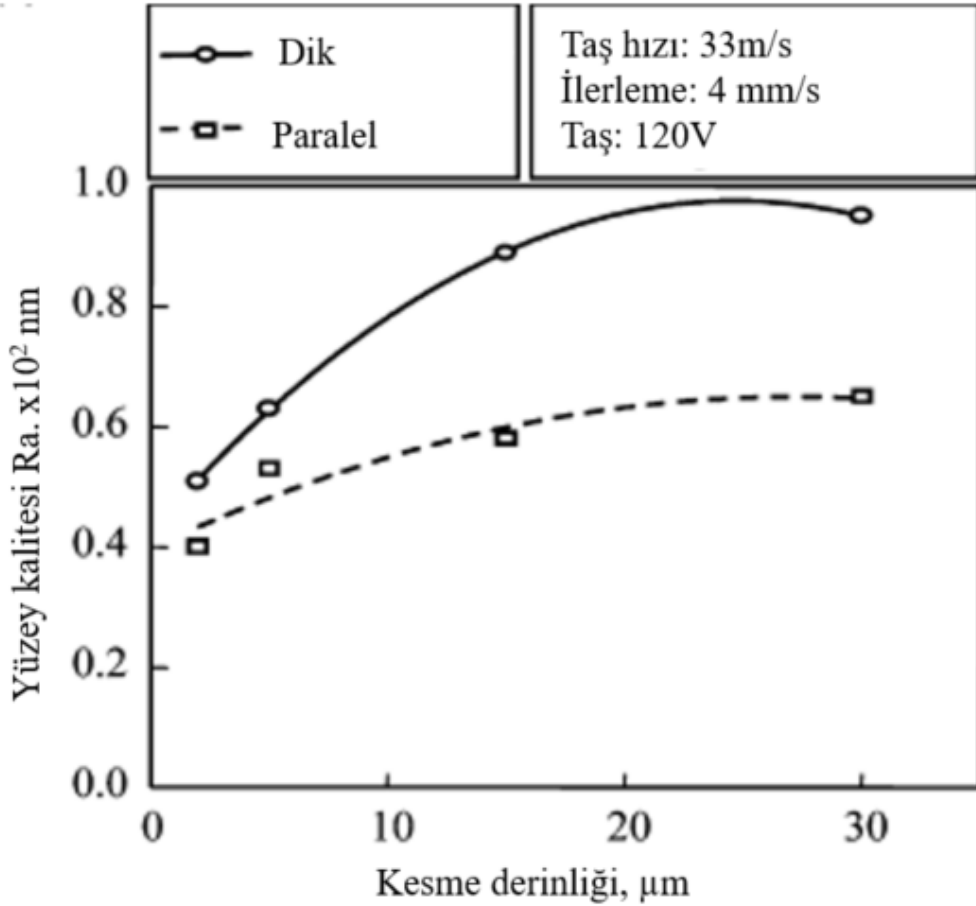
Taşlama parametrelerinin optimizasyonu üzerine 1990'lı yıllardan itibaren yapılan çalışmalara bakıldığında, Güllü (1995) tarafından yazılan “Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu” isimli doktora tezinde tabla hareketli taşlama işlemlerinde 0.25-0.38 mikrometre arasında yüzey kalitesi elde edilebileceği, dalma taşlamada bu değer 0.41-0.51 mikrometre arasında olabileceği belirtilmiş ve daha iyi yüzey kalitesi elde etmek için dikkat edilmesi gereken parametreler belirlenmiştir.

Aynı yılda, Amerika Birleşik Devletlerinde yapılan (Mayer and Feng, 1995) “Effect of Grinding Parameters on Surface Finish of Ground Ceramics” çalışmasında sıcak preslenmiş silisyum nitrür üzerinde; abrasif parçacık büyüklüğü ve parçacıkların kesme derinliği, talaş kesit alanı ve kesme kenarı açıklığının yüzey kalitesi ile ilişkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Yüzey kalitesi ve taşlama diski üzerindeki abrasif parçacıkların büyüklükleri ve taneciklerin kesme derinliği arasında bir ilişki olmadığı bulunmuştur.

2000 yılına gelindiğinde, “Taşlamada Parametrelerin Etkisi” isimli çalışmada taşlama işleminde taşlama kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrelerden birinin taş tane büyüklüğü olduğu görülmüştür. Etkin bir taşlama için tane kesme derinliğinin 0.02 μm 'den daha büyük olması gerektiği ve taşlama işleminde taş tanelerinin körelmesinden dolayı bitirme yüzeyi kalitesinin verilen tolerans sınırını aşmadan taşların zamanında bitmesi gerektiği aktarılmıştır. Belirli bir miktar talaş kaldırmış taşlarda oluşan taşlama kuvvetlerinin, yeni bitenmiş taşlarda oluşan taşlama kuvvetlerinin yaklaşık üç katı olduğu görülmüştür. (Demir ve Güllü, 2000)

2002 yılında “Grinding of Nanostructured Ceramic Coatings: Surface Observations and Material Removal Mechanisms” adlı çalışmada WC-12Co ve $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ termal sprey kaplamalarını elmas taşlama diski ile taşıyarak kesme derinliği, ilerleme, tane büyüklüğü ve bağlayıcı malzemenin taşlama kuvveti, yüzey kalitesi ve yüzey topografyası üzerinde etkilerini araştırılmıştır. Bu tezin konusuyla oldukça yakınlık gösteren çalışmada, kesme derinliği ve ilerlemenin artmasıyla taşlama kuvvetlerinin arttığı, daha büyük tane boyutu ve daha sert bağlayıcı malzeme ile normal taşlama kuvvetinin arttığı bulunmuştur. WC-12Co malzemesi $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 'e göre daha yüksek tokluğa sahip olduğu için taşlama için gereken kuvvet daha büyüktür. Yüzey kalitesine gelindiğinde ise, ilerleme ve kesme derinliği artışının WC-12Co üzerinde daha kötü yüzey kalitesi çıkardığı daha büyük tane boyutu ve daha sert bağlayıcı malzemenin her

iki kaplamanın da yüzey kalitesi üzerinde kötü yönde etkisi olduğu görülmüştür (Görsel 2.20) (Liu vd, 2002) .



Görsel 2.20. WC/12Co kaplama taşlamasında kesme derinliğinin yüzey kalitesi üzerine etkileri

2003 yılında Monticelli C. ve arkadaşları “Investigation on the Corrosion Process of Carbon Steel Coated by HVOF WC/Co Cermets in Neutral Solution” isimli çalışmalarında WC-%17Co kaplamanın aşınma dayanımının WC-%12Co’a göre daha yüksek olduğunu, bunun da kompozisyondaki Co miktarının artmasıyla gözeneklerin birleşik yapıdan ayrı yapılara geçişten kaynaklandığını bulmuşlardır. (Monticelli vd, 2003)

H. Demir tarafından 2003 yılında yazılan “Düzlem taşlamada taşlama parametrelerinin taşlama kuvvetlerine ve yüzey kalitesine etkilerinin incelenmesi” isimli doktora tezinde, AISI4140 ve AISI1050 malzemelerinde 0.01-0.03 mm kesme derinliklerinde yapılan taşlama işlemleri esnasında oluşan taşlama kuvvetlerinde fazla bir

fark görülmemiş, ancak kesme derinliğinin daha fazla artması ile taşlama kuvvetlerinde yaklaşık %50 oranında artış görülmüştür. Paso sayısının artması ile yüzey pürüzlülük değerinde önemli derecede azalmalar görülmüştür. Ayrıca, yapılan bütün taşlama işlemlerinde AISI4140 malzemesinde oluşan taşlama kuvvetleri AISI1050 malzemesinde oluşan taşlama kuvvetlerine nazaran %20-30 daha fazla olmuştur. (Demir, 2003)

Guangqi Cai ve arkadaşları tarafından 2006 yılında yapılan “Investigations of Grinding Forces for Nanostructured WC-12Co Coatings” çalışmasında WC-12Co kaplamasının taşlama kuvvetleri üzerinde hem teorik hem deneysel çalışmalar yapılmıştır. İki bağlayıcı tipi, üç farklı tane büyüklüğüyle ve dört farklı elmas taşlama diski ile hassas taşlama işlemi yapılmıştır. Taşlama kuvvetlerini tahmin etmesi için bir matematiksel model oluşturulmuş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. (Cai, 2006)

2007 yılında “Study on the Material Removal Mechanism of Precision Surface Grinding of Nanostructured WC-12Co Coating” isimli makalede Dongming Guo ve arkadaşları tarafından WC-12Co’ın taşlama parametrelerinin taşlama kuvveti ve özgül taşlama enerjisinin yanında yüzey kalitesini nasıl etkilediği deneysel olarak ortaya konulmuş ve farklı taşlama koşullarıyla işlenen kaplamaların SEM sonuçları paylaşılmıştır.

H. Demir ve A. Güllü tarafından 2008 yılında yazılan “Taş Dokusunun Yüzey Pürüzlülüğü ve Taşlama Kuvvetlerine Etkilerinin İncelenmesi” adlı makalede artan taş dokusu ile yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli artışlar olmakla birlikte taşlama kuvvetlerinde belirgin bir değişiklik görülmemiştir. En büyük taşlama kuvveti, en yüksek kesme derinliğinde en küçük taş dokusuna sahip taşla taşlama işlemi esnasında kaydedilmiştir. Aynı yazarların “Taş Sertliği ve İşleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Taşlama Kuvvetlerine Etkilerinin İncelenmesi” makalesinde AISI1050 ve AISI 4140 çeliği üzerinde yapılan deneylerde artan taş sertliği ile yüzey pürüzlülük ve taşlama kuvveti değerlerinin arttığı; I sertliğindeki taşla yapılan taşlama işlemlerine göre, Q sertliğindeki taşa, yüzey pürüzlülük değerinin %53,5, ortalama taşlama kuvvetlerinin %59,8 daha fazla olduğu ortaya konulmuştur. (Demir ve Güllü, 2008)

Mohammadjafar Hadad tarafından 2015 yılında “An Experimental Investigation of the Effects of Machining Parameters on Environmentally Friendly Grinding Process” isimli çalışmada taşlama parametreleri, taşlama diski tipi ve soğutma sıvısı özelliklerinin bir fonksiyonu olarak yüzey kalitesi ve taşlama kuvvetlerini tahmin etmeye yarayan bir model geliştirilmiştir. Ek olarak MQL akış hızı, hava basıncı ve taşlama bölgesine nozül

mesafesi değerlendirilmek üzere deneylere full faktoriyel dizayn yapılmıştır.(Hadad, 2015)

2016 yılında yazılan “Makara Dış Çap Taşlamada Gerekli Yüzey Pürüzlülük Değerinin Elde Edilmesi için Deneysel Tasarım Yöntemi ile Optimum Taşlama Parametrelerinin Belirlenmesi” yüksek lisans tezinde yapılan taşlama deneylerinin sonucunda yüzey kalitesi (Ra) üzerinde tekli faktörlerin değil, ikili ve üçlü faktör etkileşimlerinin etkili olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla sadece tek değişkenin değiştirilerek yapıldığı denemelerin yetersiz olduğu ve hedeflenen sonuca ulaştırmada tekli faktörler ile çalışmanın çok küçük etkisinin olduğu ortaya çıkmıştır.(Mızrak,2016)

“Investigation of Tool Wear in Grinding Processes” başlıklı yüksek lisans tezinde taşlama diskinin aşınmasını etkileyen faktörler belirlenmiştir. Kesme derinliği arttıkça taşlama diskinin aşınma miktarı artmakta ve ömrü azalmaktadır. (Yastıkcı, 2016)

Mehmet SAĞLAM (2016) “Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak sementasyon çeliğinin teğetsel silindirik taşlama yöntemi ile işlenmesinde kesme parametrelerinin araştırılması” isimli yüksek lisans tezinde AISI8620 malzemesi üzerinde kesme derinliği, iş parçası devri, taşlama diski devri ve aksel ilerleme hızının talaş kaldırma oranı üzerine etkilerini Taguchi yöntemiyle incelemiş ve iş parçası devrinin belli bir değere kadar artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ve bu değerden sonra arttığını, kesme derinliği ve aksel ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığını, talaş kaldırma oranı üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğunu ortaya koymuştur.

2016 yılında yapılan Simanchal Kar ve arkadaşları tarafından yapılan “Precision superabrasive grinding of plasma sprayed ceramic coatings” araştırmasında Al_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 seramik kaplamalarda, ilerleme, taş hızı ve iş parçası hızının taşlama kuvveti ve özgül taşlama enerjisi üzerindeki etkileri ortaya çıkartılmıştır. Ayrıca taşlama sonrası kaplamaların SEM görüntüleri analiz edilmiştir. (Kar vd 2016)

Patil P. ve Patil J. (2016) Tarafından yazılan “Analysis of Process Parameters in Surface Grinding Using Single Objective Taguchi and Multi-objective Grey Relational Grade” isimli makalede, MQL taşlamada kesme derinliği, soğutma sıvısı tipi, taşlama diski hızı, soğutma sıvısı debisinin yüzey kalitesi ve taşlama kuvveti üzerine etkileri Taguchi gri bağlantı çözümlenme yöntemi aracılığıyla incelenmiş ANOVA ile sonuç üzerindeki en etkili parametre bulunmuştur. Bu kapsamda yapılan 27 deneme sonucunda, %2 CuO konsantre soğutma sıvısı 5 mikrometre kesme derinliği 2000 mm/dk ilerleme ve

35 m/s taşlama diski hızının optimum parametre seti olduğu saptanmıştır. (Patil and Patil, 2016)

Guo Li ve Jiang Zhishun (2016) tarafından Changsa Üniversitesinde yapılan “Experimental Research on HVOF Sprayed WC-17Co Coating High Speed Grinding Mechanism” isimli araştırmada WC-17Co kaplama üzerinde elmas taşlama diski çeşitleri ve taşlama parametrelerinin taşlama sıcaklığı, artık gerilme, mikroskobik yapı, yüzey kalitesi ve maksimum deforme olmamış talaş kalınlığı ve özgül taşlama enerjisi ile ilişkisi araştırılmıştır. Taşlama diski hızı arttığında, taşlama kuvvetinin önce hızla düştüğü sonra yavaşça arttığı tespit edilmiştir. Taşlama bölgesindeki sıcaklık arttıkça, kaplamadaki artık gerilme basma gerilmesinden çekme gerilmesine dönmüştür. Bunun sebebi ise kesme modunun gevrekten sünek kesmeye dönmesiyle ilişkilendirilmiştir.

Gürtan (2017) tarafından yazılan “Kinematic and Dynamic Modelling of Grinding Processes” başlıklı yüksek lisans tezinde yüzey kalitesi, talaş kaldırma hızı ve ürün kalitesi açısından değerlendirilmiştir. Bu çalışmada taşlama için geometrik-kinematik model adlı yeni bir simülasyon yöntemi geliştirilmiştir. Geometrik kinematik model, taşlama taşı üzerindeki aşındırıcı parçacıklarının ve iş parçası yüzeyinin mikro etkileşimlerini simüle ederek taşlama kuvvetlerinin ve iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmesi sağlanmıştır.

Adıyaman (2017) tarafından “Yeni Bir Tip Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizması ile Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne (Ra) Etkisinin Araştırılması” üzerine bir araştırma yapılmış ve klasik düzlem yüzey taşlamada taşın ilerleme hareketi yönünde ve bu ilerlemeye dik ve farklı açılarda farklı yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edildiği bilinmektedir. St37-2 çelik üzerinde denemeler yapılmış ve YTM ile taşlama mekanizması ile parça yüzeyinin her bölgesinde birbirine yakın yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Klasik düzlem yüzey taşlama metodunda belirli bir taşlama süresinden sonra taşın bileme ihtiyacı doğmakta, ancak YTM mekanizmasında, taşın elde edilen yeni dönme hareketi ile taş kendi kendini bileme özelliği elde etmekte ve ekstra bilemeye gerek kalmamaktadır. Sonuçlar incelendiğinde ikinci dönme hareketi devrinin artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinde çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen sistemde en yüksek ikinci dönme hareketindeki en yüksek dönme devri olan 240 dev/dak (rev/min) fener mili devrinde yüzey pürüzlülüğü değerlerinin en düşük olduğu görülmüştür.

Simanchal Kar vd. (2017) tarafından yazılan “High Speed and Precision Grinding of Plasma Sprayed Oxide Ceramic Coatings” isimli araştırmada Al_2O_3 , TiO_2 gibi seramik kaplamalar üzerine taşlama işlemi yapılarak, taşlama diskinin hızının arttırılmasıyla dik/teğetsel kuvvet oranının artmadığı bunun gevrek sünek kesme modu değişiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Hem hassas hem yüksek hızlı taşlama işleminde yüzey altı hasarların oluştuğu fakat yüksek hızlı taşlamada yüzey altı hasarların derinliğinin daha az olduğu ortaya koyulmuştur.

Tao Zhao vd. (2017) tarafından yazılan “Investigation of the Effect of Grinding Parameters on Surface Quality in Grinding of TC_4 titanium alloy” isimli makalede TC_4 titanyum alaşımları üzerinde kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme, abrasif büyüklüğünün talaş kaldırma hızı ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri beş seviyeli tek faktör deneyleri ile araştırılmış ve her bir faktörün tek başına etkileri araştırılmıştır.

“Kam Makarasının Dış Çap Yüzey Taşlama İşleminde Etkili Olan Faktörlerin Deney Tasarımı Kullanılarak En İyilenmesi” makalesinde (Günay vd.,2018) arkadaşları tarafından kesme hızı 45.02 m/s, iş kafası devri 929 dev/dk, ilerleme hızı 0.025 mm/s ve 5 bar sıvı basıncı altında 0.098 μm Ra elde edilmiştir. Yüzey kalitesinin iş kafası devrinden etkilenmediği, kesme hızı arttıkça azaldığı, soğutma sıvısının basıncı arttıkça azaldığı bulunmuştur.

Gopan V. vd. (2018) “Integrated ANN-GA Approach For Predictive Modeling And Optimization Of Grinding Parameters With Surface Roughness As The Response” makalesi yazılmış ve burada yüksek karbon yüksek krom çeliği üzerinde kesici taş hızı, kesme derinliği ve ilerlemenin yüzey kalitesi üzerine etkileri, yapay sinir ağı ile bulunmuş, genetik algoritma ile optimum parametre seti elde edilmiştir.

Bracke S. vd. (2019) tarafından “Efficiency and Effectivity of High Precision Grinding Manufacturing Processes: An Approach Based on Combined DEA and Cluster Analyses” isimli makale yazılmış ve $X_{50}CrMoV_{15}$ malzeme üzerinde ilerleme ve kesme hızının, işleme süresi ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkileri küme çözümlenmesi (cluster analysis) yöntemi ile elde edilmiştir. Bu çalışmada deney tasarımı ve kümeleme çözümlenmesi yöntemleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Adıyaman ve Sönmez (2020) tarafından yapılan “Yeni Tip Taşlama Yönteminde Taşlama Parametrelerinin Deneysel Tasarım Yöntemi İle Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin İncelenmesi” adlı araştırmada ikincil eksenli düzlem yüzey taşlama yönteminde

St37-2 çelik üzerinde taşlama taşı tane büyüklüğü, yanal kayma miktarı, talaş derinliği ve ikincil eksen fener mili hızının yüzey kalitesi üzerinde etkileri ortaya koyulmuştur.

Ghosh vd (2020) tarafından yazılan “Theoretical and Experimental Investigation of Material Removal Rate in Shape Adaptive Grinding of HVOF Sprayed WC-Co Coating” isimli makalede şekle uyarlanabilir taşlama işleminde takım hızı, basıncı ve partikül büyüklüğünün normal kuvvet, talaş kaldırma hızı ve yüzey kalitesi üzerine etkileri incelenmiştir.

Kar vd. (2020) tarafından yazılan “Grinding of Hard and Brittle Ceramic Coatings: Force Analysis” makalesinde taşlama kuvvetlerini tahmin etmek üzere bir model geliştirilmiş ve bu modele göre çıkan sonuçlar Al_2O_3 ve TiO_2 malzeme üzerinde yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Deresse vd. (2020) tarafından yazılan “Experimental Investigation of the Effects of Process Parameters on Material Removal Rate Using Taguchi Method in External Cylindrical Grinding Operation” isimli makalede EN45 çeliği üzerinde ısıtılmış taşlama işlemi üzerindeki etkilerini görmek amacıyla kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin ısıtılmış işlem öncesi ve sonrası durumlarda talaş kaldırma hızına etkileri incelenmiştir.

Bo vd. (2020) arkadaşları tarafından yazılan “Effect of Grinding Parameters on Surface Quality, Microstructure and Rolling Contact Fatigue Behaviors of Gear Steel for Vacuum Pump” makalesinde $17CrNiMo_6$ çeliği üzerinde kesme hızı, kesme derinliği ve ilerlemenin yüzey kalitesi, artık gerilme ve yorulma davranışına etkileri tespit edilmiştir. SEM ve XRD görüntüleri analiz edilmiştir.

“Influence of Grinding Parameters on Inconel 625 Surface Grinding” isimli makalede Ruzz vd (2020) tarafından yapılan araştırmada Inconel 625 malzeme üzerinde deneyler yapılarak taşlama diski hızı, iş parçası hızı, tanecik ve taşlama yönünün yüzey kalitesi, özgül taşlama enerjisi ve taşlama kuvvetleri üzerine etkisi ortaya koyulmuştur. Tüm parametreler içinde kesme hızının, yüzey kalitesini en çok etkileyen parametre olduğu bulunmuştur.

Ozner (2020) tarafından yüksek lisans tezi olarak yazılan “Inconel 939 Süper Alaşımın Sürünme İlerlemeli Taşlama Prosesinde Parametre Optimizasyonu” başlıklı çalışmada Inconel 939 malzeme üzerinde bileme tipi, ilerleme, kesme derinliği ve taşlama diski hızının profilden sapma ve yüzey pürüzlülüğü, yeniden katılma ve HAZ kalınlıkları üzerinde etkisi Taguchi yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir.

Kumar vd. (2021) tarafından yazılan “Analysis on Surface Grinding of Mild Steel by Varying Grinding Parameters” isimli makalede EN31 çeliği üzerinde deney tasarımı ve yüzey yanıt yöntemiyle kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin yüzey kalitesi ve talaş kaldırma hızı üzerinde etkileri tespit edilmiştir.

Sanjevevi vd. (2021) tarafından yazılan “Optimization of Machining Parameters in Plane Surface Grinding Process by Response Surface Methodology” isimli makalede EN24 çeliği üzerinde taşlama hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin yüzey kalitesi üzerinde etkileri yanıt yüzey yöntemi ve anova yöntemiyle incelenmiş ve optimum parametre seti bulunmuştur.

Suzzi vd. (2021) tarafından yazılan “Comprehensive Study on Inconel 718 Surface Topography After Grinding” isimli çalışmada taşlama parametrelerinin yüzey kalitesi üzerine etkileri araştırılmış, iş parçasının hızının ihmal edilebilir bir etkisi olduğu, kesme hızı derinliği ve taşlama diski hızının yüzey üzerinde önemli etkileri olduğu ortaya koyulmuştur. Aşındırıcı tanecik büyüklüğünü düşürmenin yüzey kalitesini arttırdığı görülmüştür.

Ruzzi vd. (2021) tarafından yılında yapılan “Study on Grinding of Inconel 625 and 718 Alloys with Cutting Fluid Enriched with Multilayer Graphene Platelets” isimli çalışmada soğutma sıvısının doğaya ve insana zararlı etkilerinin azaltılması amacıyla MQL tekniği ile çok tabakalı grafen yapraklar (MGL) denenmiştir. Inconel 625 ve Inconel 718 malzemelerin soğutma sıvısı kullanım şekillerinin taşlamada yüzey kalitesi, kesme enerjisi ve kesme kuvvetleri üzerinde etkisi araştırılmıştır. MGL kullanımı Inconel 718 üzerinde yüzey kalitesini artırıcı yönde etki yapmıştır. Inconel 625’te ise herhangi bir etki göstermemiştir.

Roy vd. (2021) arkadaşları tarafından yazılan “Multi-Response Optimization of Surface Grinding Process Parameters of AISI 4140 Alloy Steel Using Response Surface Methodology and Desirability Function under Dry and Wet Conditions” isimli makalede AISI4140 çeliği üzerinde taşlama diski hızı, ilerleme, kesme derinliği ve iş parçası hızının, ve soğutma sıvısı kullanılıp kullanılmamasının yüzey kalitesi, malzeme kaldırma hızı ve maliyet üzerinde etkileri çoklu faktöriyel tasarımı ile araştırılmıştır.

2.4. Taşlama Diski Özelliklerinin Etkileri

Taşlama diskinin geometrik, boyutsal ve malzeme özellikleridir. Seçilen taşlama diskinin tane büyüklüğü, gözenekliliği, aşındırıcı taneciklerin ve bağlayıcı malzemesinin etkileridir.

2.4.1. Tane boyutunun etkileri

Tane boyutu küçüldükçe daha iyi yüzey kalitesi elde edilebilirken, malzeme kaldırma hızı düşer.

Küçük tane büyüklüğü ile taşlama yapmak daha düşük yüzey kalitesi elde etmeyi sağlarken, daha yüksek özgül taşlama enerjisine neden olur. (Ruzzi vd. ,2020)

Yumuşak malzemeleri taşlamak için daha büyük tane boyutu, sert malzemeleri taşlamak için daha küçük tane boyutu tercih edilmelidir. Inconel 718 üzerinde yapılan çalışmada tane büyüklüğünü küçültmenin yüzey kalitesini iyileştirdiği görülmüştür.(Ruzzi vd., 2021)

2.4.2. Bağlayıcı malzemenin etkileri

Yumuşak bağlayıcı malzemeler, sert malzemelere göre daha düşük kesme derinliği değerlerinde çalışabilir. Aynı kesim parametreleri kullanıldığında reçine bağlayıcılı taşların kesme derinliği vitrifiye bağlayıcılı taşlara göre daha düşük çıkmıştır. (Liu vd., 2002)

Düşük konsantrasyon, kuru taşlama, ince tane irilikleri tercih edilecek veya geniş alanlarda çalışılacaksa yumuşak bağlayıcı; yüksek konsantrasyon, soğutma sıvısı kullanımı, kaba taneler tercih edilecek veya dar alanlarda çalışılacaksa sert bağlayıcı seçilmelidir.

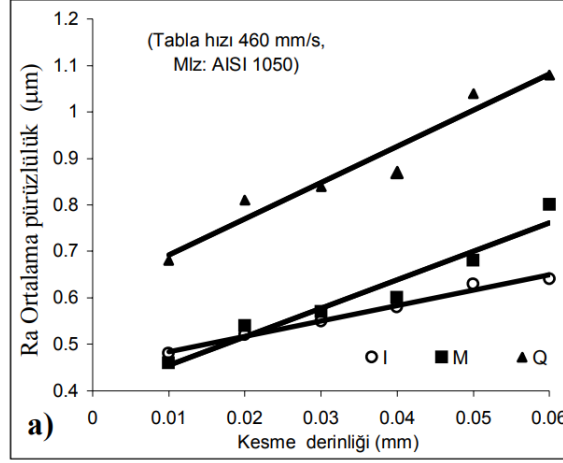
2.4.3. Aşındırıcı tanecik malzemesinin etkileri

Al_2O_3 çelik ve demir esaslı yüksek mukavemetli alaşımlarda; SiC alüminyum, pirinç, paslanmaz çelik ve seramiklerde; CBN, çelik, takım çelikleri, uzay ve havacılık alaşımlarında, elmas ise seramik, sermente karbür gibi sert malzemelerin taşlanmasında tercih edilir.

2.4.4. Taş sertliğinin etkileri

Sert taşları bileme işlemlerinde taneler yerlerinden kolay kopmadıkları için elmasla bileme işleminde taneler düzensiz olarak kırılmakta ve taş tanelerinde uygun kesme geometrisi oluşmamaktadır. Bu da düşük kesme derinliklerinde bile sertliği fazla olan taşlarla yapılan taşlama işleminde yüzey pürüzlülüğünün yüksek çıkmasına neden olmaktadır. AISI1050 ve AISI4140 çeliklerinde yapılan çalışmalarda I sertliğinde yapılan

taşılama işemine göre Q sertliğinde yapılan taşta yüzey pürüzlülük değeri %53.5, ortalama taşılama kuvvetleri %59.5 fazla çıkmıştır. (Demir ve Güllü, 2008) (Görsel 2.21)



Görsel 2.21. Taş sertliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Sert malzemeler taşlanırken, aşındırıcı tanecikler daha çabuk körelir. Körelen taneciklerin dökülüp yenisinin çıkması için yumuşak taş tercih edilmelidir. Aksi durumda körelen taneciklerle işleme devam edilmesi durumunda hem yüzeyde çizikler oluşacak hem de malzeme kaldırılamayacağı için yüzey kalitesi kötüleşecektir. Yumuşak malzemeler taşlanırken taş aşınması düşük olacağı için sert taş seçimi takım ömrünü uzatacaktır.

2.4.5. Taş dokusunun etkileri

Taş dokusunun büyümesi, taş taneleri arasında mesafelerin sık dokulu taşlara göre daha fazla olmasına ve dolayısıyla yüzey kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Literatürde taş dokusunun büyümesiyle taş tanelerinin arasındaki mesafenin arttığı ve buna bağlı olarak da kaldırılan talaş miktarının arttığı ifade edilmiştir. Kaldırılan talaş miktarının artması yüzey pürüzlülük değerinin artmasına neden olur.

Taş dokusunun sık olması (td'nin küçük olması) taş tanelerinin bağlama mukavemetinin azalmasına ve tanelerin daha az kuvvetlerle taşılama diskinden kopmalarına neden olduğu düşünülmektedir. Bu ise yüzey pürüzlülük değerinin her zaman düşük değerde olması yani yüzey kalitesinin iyi olduğu anlamına gelmektedir. (Demir ve Güllü, 2008)

2.4.6. Taş konsantrasyonun etkileri

Konsantrasyon, bir santimetreküp bağlantı içinde mevcut olan elmas veya CBN'nin karat (1 karat = 0,2gr) biçiminde oranıdır. FEPA standartlarına göre 100 konsantrasyon (C100) , 1 cm³ bağlantının içinde 4,4 karat elmas bulunduğunu gösterir. Diğer tüm konsantrasyonlar bu orantıya göre belirlenir.

Abrasif konsantrasyonunun daha düşük olması soğutma sıvısının daha etkin bir şekilde uygulanmasına ve talaşın daha kolay atılmasına imkan sağlarken, abrasiflerin daha kolay kopmasına ve taşın daha çabuk aşınmasına neden olur.

2.5. Kesim Parametrelerinin Etkileri

Kesim parametreleri olarak, iş mili devri, kesme derinliği, yüzey kalitesi, tanecik boyutu ve konsantrasyonu, taşlama yönü vb. parametrelerinin etkilerine bakılmaktadır.

2.5.1. Kesme derinliğinin etkileri

Kesme derinliği takımın bir pasoda kaldırdığı malzeme miktarıdır. Çeşitli sebeplerden dolayı bir pasoda planlanan miktardan daha düşük kalınlıklarda talaş kaldırılabilir. Bu durumda kesimin tekrar edilmesi gerekir. Taşlama operasyonunda kesme derinliği, seçilen takımdaki aşındırıcı taneciklerin boyutu ile sınırlandırılır. Teorik olarak aşındırıcı taneciğin boyunun yarısı bağlayıcı malzeme tarafından tutulduğu için, kesme derinliğinin tane boyutunun yarısından büyük seçilmemesi gerekir.

Taşlama kuvvetleri kesme derinliğine bağlı olarak doğrusal bir artış göstermektedir. (DEMİR ve GÜLLÜ, 2008) Yüksek sıcaklık ve titreşimin yanında her bir aşındırıcı taneciğe düşen talaş miktarının artmasına neden olduğu için kesme derinliği artması yüzey kalitesini kötüleştirir.

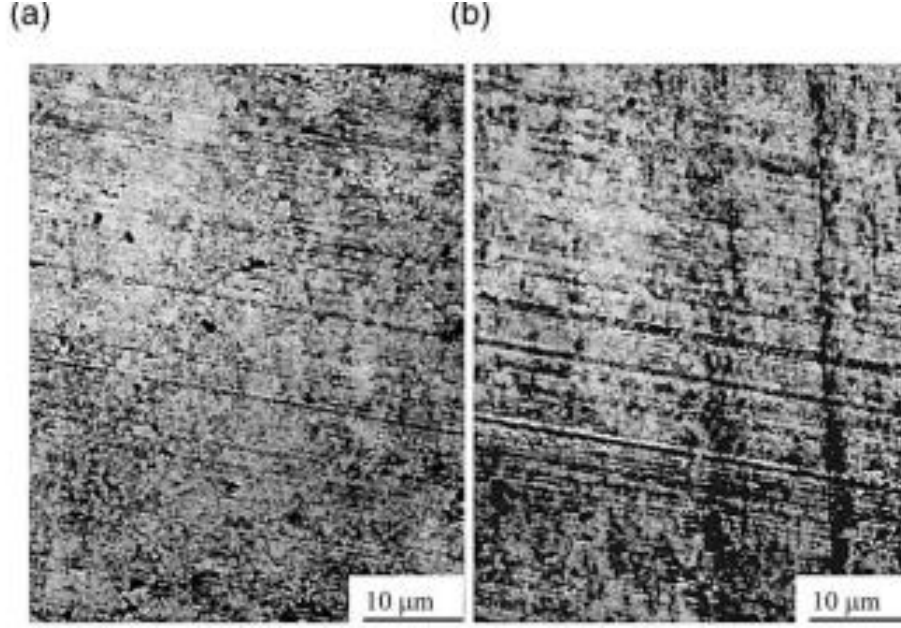
Kesme derinliğinin artmasıyla titreşim artmaktadır. (Sağlam, 2016) Multi-Response Optimization of Surface Grinding Process Parameters of AISI 4140 Alloy Steel Using Response Surface Methodology and Desirability Function under Dry and Wet Conditions isimli çalışmada kesme derinliğinin artmasının taşlama sıcaklığı üzerinde etkili parametre olduğu görülmüştür. (Roy vd 2022)

Simanchal Kar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada kesme derinliğinin artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığı bulunmuştur. Kar vd., 2016)

2.5.2. İlerlemenin etkileri

İlerleme, kesici takımın iş parçası üzerinde kesme yönüne dik olarak bir dakikada mm cinsinde aldığı yolun uzunluğudur.

İlerleme artışının yüzey kalitesi numerik değerini artırıcı yönde etki yaptığı (yüzey kalitesini kötüleştirdiği) pek çok çalışmada kanıtlanmıştır. (Görsel 2.22) Yüzey kalitesi, soğutma sıvısının artmasıyla iyileşmekte, ilerlemenin artmasıyla kötüleşmektedir. (Patil and Patil, 2016). İlerleme arttıkça yüzey kalitesi artmaktadır. (Güllü, 1995)



Görsel 2.22. Farklı ilerlemelerle taşlanan WC/12Co kaplama görüntüsü .

600V taş, 15 mikrometre kesme derinliği, 33mm/s kesme hızı. (a) ilerleme 1 mm/s , (b) 8 mm/s (Xianbing L., Bi Z., Zhaohui D., 2002)

İlerleme arttıkça birim zamanda kaldırılan malzeme miktarının artması dolayısıyla her aşındırıcı taneciğe gelen malzeme miktarı artar bu da taşlama kuvvetinin artmasına neden olur. (Kong vd., 2020)

2.5.3. İş mili devrinin etkileri

Taşın bağlı olduğu iş milinin dakikadaki devir sayısıdır. Taşın çapı ile hesaplanarak mm/s ya da m/dk olarak da verilebilir. High Speed and Precision Grinding of Plasma Sprayed Oxide Ceramic Coatings isimli çalışmada taş hızının artmasının taşlama kuvvetlerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. (Kar and Bandyopadhyay,2017) Taşlama hızı arttıkça, birim zamandaki aktif taşlama yapan tanecik sayısı artmakta ve bu da tanecik başına düşen kesme kuvvetini düşürmektedir. İş mili devrinin yüzey kalitesi üzerine etkileri hakkında literatürde farklı bulgular vardır. Bazı çalışmalarda iş mili devri artışının yüzey kalitesini arttırdığı bazı çalışmalarda ise azalttığı yönünde sonuçlar çıkarılmıştır. Örneğim Effect of Grinding Parameters on Surface Quality, Microstructure

and Rolling Contact Tatigue Behaviors of Gear Steel for Vacuum Pump isimli çalışmada iş parçası üzerinden birim zamanda geçen aşındırıcı tanecik sayısı arttığı için yüzeydeki oyulma izlerinin derinliği daha düşük çıkmıştır. (Kang vd., 2020) Yine “Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek için Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu” çalışmasında çevresel hız oranı arttıkça Ra değerinin düştüğü görülmektedir. (Güllü, 1995) Bazı çalışmalarda ise kesme hızı artışının yüzey kalitesini kötüleştirdiği bulunmuştur. (Kumar vd.,2013) ve (Kar vd., 2020), (Ruzzi vd., 2021). Bunun sebebi kesme hızının belirli bir değere kadar artmasıyla aşındırıcı taneciklerin aşınması olabilir.

Kesme hızının iş parçası üzerinde bırakılan artık gerilme üzerinde de etkisi vardır. Kesme hızının artmasının artık basma gerilmesini düşürmektedir çünkü yüksek hız daha düşük basma kuvveti oluşturur. (Kang vd., 2020)

Taşlama hızının artmasıyla her bir aşındırıcı tanenin kesme derinliği azalmakta, bu da kesmeden çok sürünme hareketi yapmasına neden olmaktadır. (Kar and Bandyopadhyay, 2017)

Influence of Grinding Parameters on Inconel 625 Surface Grinding isimli çalışmada yüzey kalitesi üzerinde en etkili parametrenin kesme hızı olduğu bulunmuştur. (Ruzzi vd.,2020)

2.5.4. İş parçası hızının etkileri

İş parçasının dönme/ilerleme hızıdır. Taşlama işleminde iş parçası sabit kalabilir, silindirik taşlama ise ayna tarafından döndürülebilir ya da satıh taşlama yapılıyorsa üzerinde bulunduğu sevk yatağı aracılığıyla iş parçasına doğrusal hareket yaptırılabilir.

İş parçası devrinin artmasıyla titreşimin arttığı görülmüştür. (Sağlam, 2016)

Düşük kesme derinliklerinde tabla hızının artmasıyla yüzey kalitesi değeri de artmıştır. Ancak kesme derinliğinin daha da arttırılmasıyla yüzey kalitesi artmaya devam etmemiş çünkü dökülen taneciklerin yerine yenisi çıkmıştır. (Demir ve Güllü, 2008)

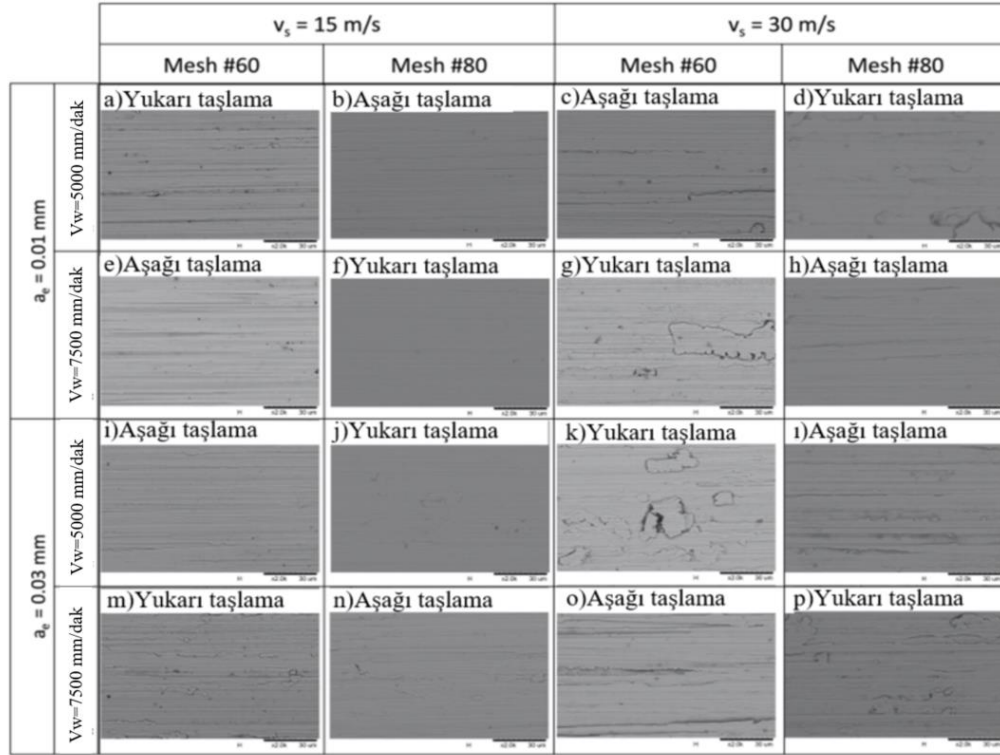
2.5.5. Taşlama yönünün etkileri

Taşlama takımının dönme yönü ile iş parçasının ilerleme yönünün aynı olması durumuna aşağı taşlama, taşlama takımının dönme yönüyle iş parçasının ilerleme yönünün ters olmasına yukarı taşlama denir. Taşlama yönünün yüzey kalitesi üzerinde etkileri Görsel 2.23’de gösterilmiştir.

Kesme yönü sadece kesme kuvvetleri ve özgül taşlama enerjisi üzerinde etkilidir. Yukarı yönlü taşlamada hem kesme kuvveti hem de özgül taşlama enerjisi düşmektedir. (Ruzzi vd., 2020)

Bunun dışında farklı desenlerde de taş ilerlemesi verilebilir. Düşük ilerlemede zikzak taşlama, dalma taşlamaya göre daha iyi yüzey kalitesi elde sağlamaktadır. (Kar and Bandyopadhyay, 2017)

Neredeyse tüm imalat yöntemlerinde, yüzey kalitesi takımın ilerleme yönünde ilerlemeye dik olan yöne göre daha düşüktür. Fakat Adıyaman O. tarafından St37-2 üzerinde yapılan yeni tip yüzey taşlama mekanizması ile parçanın her bölgesinde birbirine yakın pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. (Adıyaman ve Savaş, 2017)



Görsel 2.23. Farklı koşullarda taşlanan iş parçalarının SEM görüntüleri

2.5.6. Soğutma sıvısının etkileri

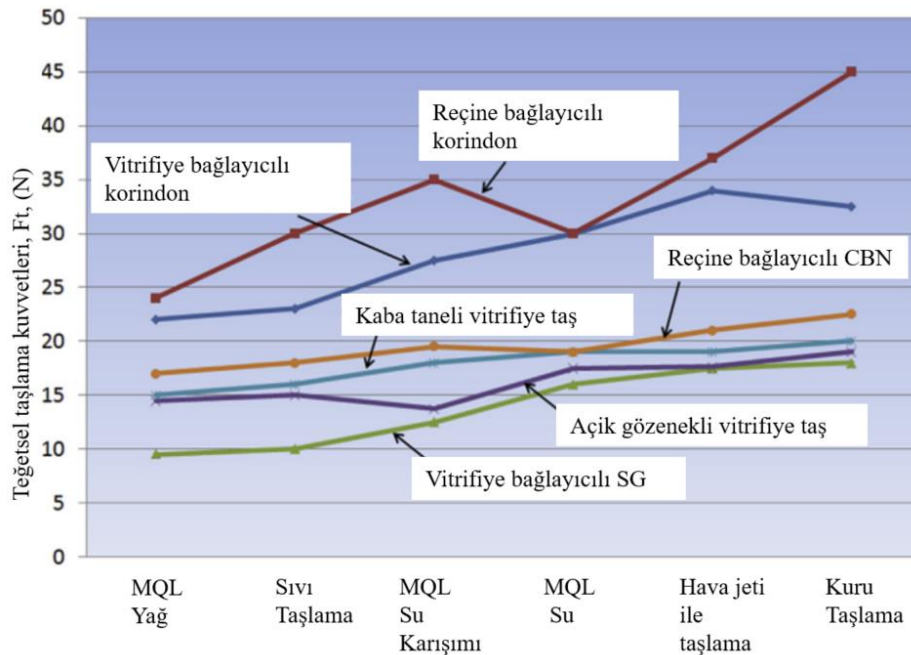
Talaşlı imalatta soğutma sıvısı, talaş kaldırma sırasında oluşan ısıyı azaltmak ve çıkan talaşları uzaklaştırmak amacıyla kullanılır. Taşlama takımlarında aşındırıcı tanecikler arasındaki boşluklara talaş dolması taşın malzeme kaldırma kabiliyetini kötü yönde etkiler. Ayrıca taşlama işlemi sırasında birçok tane aynı anda malzeme kaldırma işlemine katıldığı için oluşan sıcaklık yüzey kalitesini kötüleştirmekte ve taşlama

kuvvetlerini arttırmaktadır. Bu sebeplerden taşlama işleminde soğutma sıvısı kullanımı önemlidir.

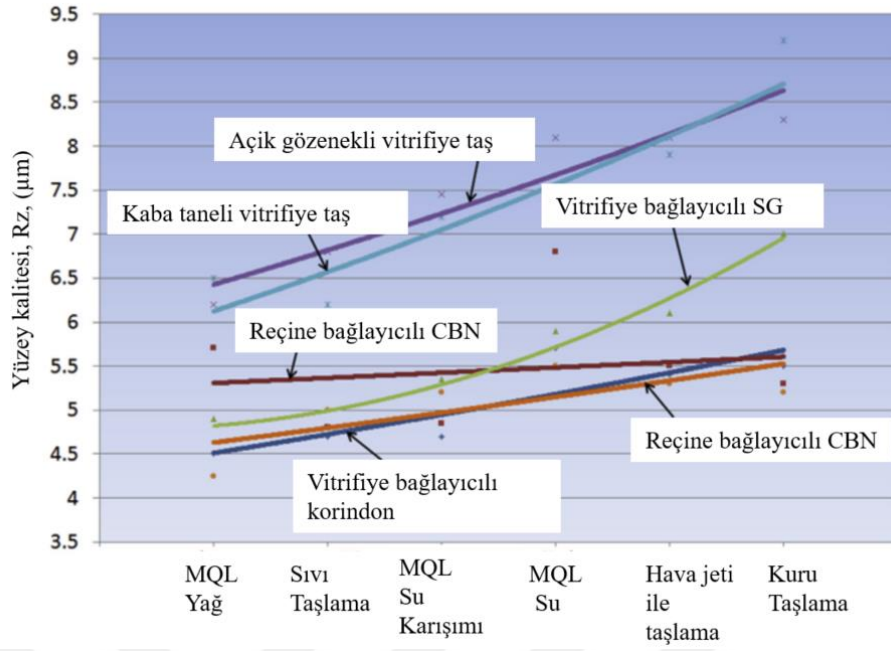
Kam Makarasının Dış Çap Yüzey Taşlama İşleminde Etkili Olan Faktörlerin Deney Tasarımı Kullanılarak En İyi İyilenmesi çalışmasında soğutma sıvısının basıncı arttıkça yüzey kalitesi değerinin düştüğü gösterilmiştir.(Günay ve Yurdakul, 2018)

Soğutma sıvısı kullanıldığı durumda ilerlemenin sıcaklık üzerinde etkisi olmadığı görülmüştür. (Roy vd., 2022)

Taşlama, soğutma sıvısının en yaygın olarak kullanıldığı yöntemlerden biridir. Konvansiyonel yüzey taşlamada dakikada 5500 ml soğutma sıvısı kullanılmaktadır. (Patil and Patil, 2016) Soğutma sıvılarının doğaya zararları düşünüldüğünde taşlama operasyonu pek çevre dostu bir yöntem olarak kabul edilememektedir. Bu kapsamda taşlamada soğutma sıvısı kullanım miktarını kısıtlayan MQL üzerine de çalışmalar yapılmıştır. An Experimental Investigation of the Effects of Machining Parameters on Environmentally Friendly Grinding Process isimli çalışmada MQL tekniği kullanılarak akış hızı, hava basıncı ve nozulun mesafesinin etkileri incelenmiştir. Düşük nozul mesafesinin yanı sıra düşük hava basıncı kullanıldığı durumlarda teğetsel kuvvetin arttığı görülmüştür.(Hadad, 2015) Farklı taş ve soğutma sıvısı türlerinin teğetsel kuvvet ve yüzey kalitesi üzerine etkileri görsel 2.24 ve 2.25'te gösterilmektedir.



Görsel 2.24. Farklı taş ve soğutma sıvısı türlerinin teğetsel taşlama kuvveti üzerindeki etkisi (Tawakoli et al (2010b,2011))



Görsel 2.25. Farklı taş ve soğutma sıvısı türlerinin yüzey kalitesi üzerine etkileri

MQL üzerine başka bir çalışmada yüzey kalitesinin soğutma sıvısı akışının artırılmasıyla iyileştiği, ilerlemenin artmasıyla kötüleştiği bulunmuştur. (Patil ve Patil, 2016)

2.5.7. Kıvılcım paso süresinin etkileri

Kıvılcım paso (finish sparkout), yüzey kalitesi iyileştirme amaçlı taşın ilerleme yapmadan aynı yerinde kalarak taşlamaya devam etmesi ve yüzey pürüzlerini temizleme işlemidir.

Investigation of Tool Wear in Grinding Processes isimli çalışmada ilerleme artışının, verilmesi gereken kıvılcım paso sayısını arttırdığı ispatlanmıştır. (Yastıkcı, 2016) Çünkü ilerleme artışı bir pasoda kaldırılan malzeme miktarını düşürür. Ayrıca İlerleme değeri arttıkça kıvılcım paso güç değerleri de artmaktadır. Yüksek ilerlemede yüksek güç çekilmesinin nedeni hem yüksek ilerlemenin yüksek güç gerektiriyor olması hem de önceki pasodan kalan kesilmemiş malzeme miktarıdır.

2.6. Taşlama İşleminde Çıktılar

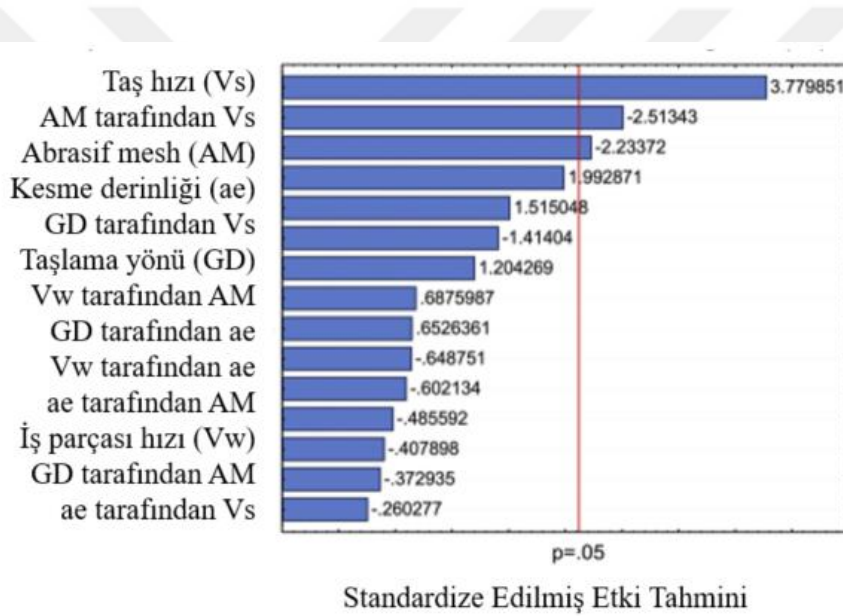
Taşlamada üzerinde parametrelerinin etkilerinin araştırıldığı en yaygın çıktılar; malzeme kaldırma oranı, yüzey kalitesi, taşlama kuvvetleri ve taş ömrüdür.

2.6.1. Yüzey kalitesi

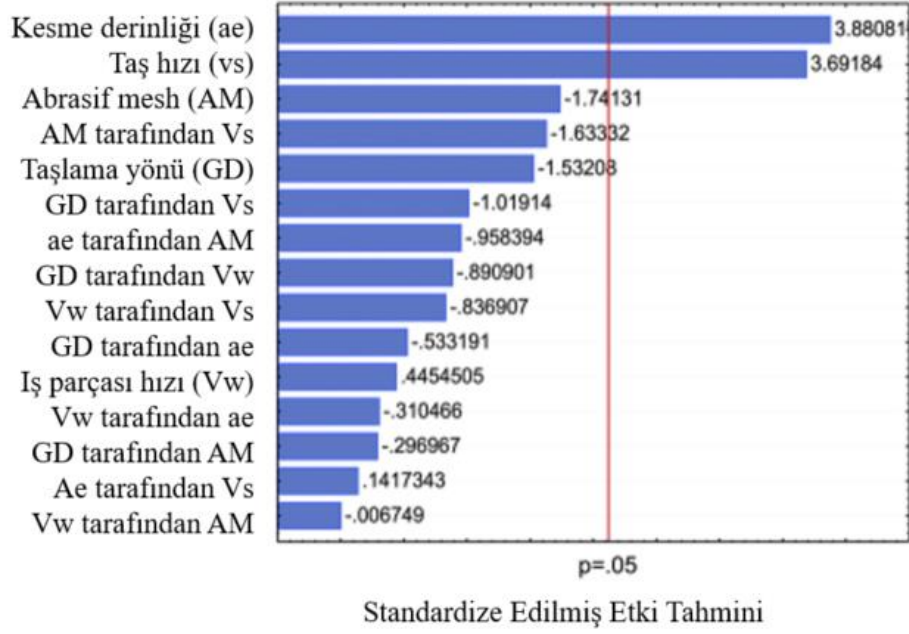
İmalatta iş parçasının yüzeyinde meydana gelen şekil ve dalgalanmalara pürüzlülük adı verilir. Yüzey pürüzlülüğünün düşük olması malzemenin yorulma, kırılma

dayanımı ve korozyon direncini arttırdığı gibi estetik olarak da güzel görünmeyi sağlar. Yüzey profil ölçümü için yüzey boyunca bir çizgi alınır ve bu çizgi matematiksel olarak grafiğe dökülerek, yüksekliğin ilerlemeye bağlı bir fonksiyonu olarak gösterilir. Malzemenin merkezinden yukarı doğru oluşan profil dalgalarının aritmetik ortalaması Ra yüzey pürüzlülüğüdür. Rz ise ortalama maksimum yükseklik, değerlendirme uzunluğu boyunca hesaplanan ardışık Rti değerlerinin (örnekleme uzunluğundaki profilin en yüksek ve en düşük noktaları arası düşey mesafe) ortalamasıdır.

Inc 625 üzerinde yapılan bir çalışmada taşlama parametrelerinin yüzey kalitesi üzerine etkileri incelenirken Ra ve Rz üzerinde etkili olan faktörlerin sıralaması farklı olduğu bulunmuştur. (Görsel 2.26 ve 2.27) (Ruzzi vd., 2020)

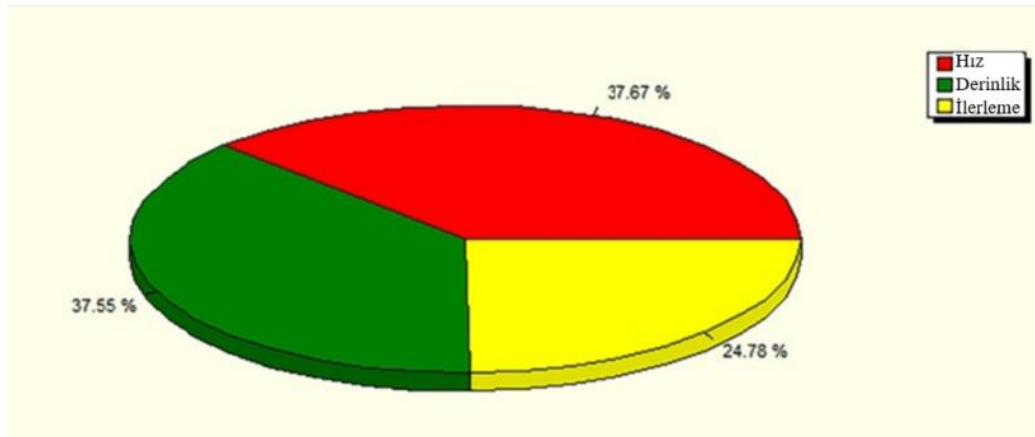


Görsel 2.26. Parametrelerin Ra üzerinde etkileri



Görsel 2.27. Parametrelerin Rz üzerine etkileri

2018 yılında yapılan Integrated ANN-GA Approach For Predictive Modeling And Optimization Of Grinding Parameters With Surface Roughness As The Response isimli çalışmada yüzey kalitesi üzerinde kesme hızının etkisinin en yüksek olduğu bunu sırayla kesme derinliği ve ilerlemenin takip ettiği görülmüştür. (Görsel 2.28) (Gopan vd., 2018)

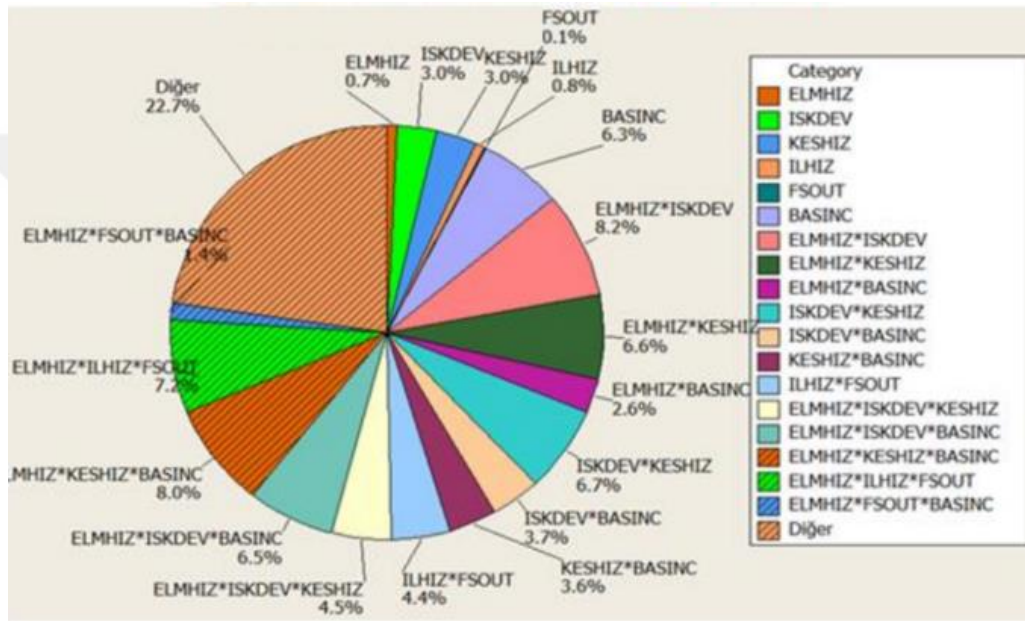


Görsel 2.28. Yüzey kalitesi üzerinde kesme hızı, derinliği ve ilerlemenin göreceli önemi

H. Demir ve A. Güllü “Taşlamada Parametrelerin Etkisi” isimli çalışmalarında taşlama işleminde yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin taş tane büyüklüğü olduğu görülmüştür. (Demir ve Güllü, 2001)

WC-12Co ve Al₂O₃ üzerinde elmas taşla yapılan çalışmada, daha büyük tane boyutu ve daha sert bağlayıcı malzemesinin yüzey kalitesini kötü yönde etkilediği belirtilmiştir. (Liu vd., 2002)

Yüzey kalitesi üzerinde parametrelerin sadece tek başına değil, ikili üçlü faktör etkileşimleri halinde de etkileri olabilir. 2016 yılında Mızrak H. tarafından yapılan çalışmada yüzey kalitesi üzerinde parametrelerin etkileri Görsel 2.29'deki gibi verilmiştir. (Mızrak, 2016)



Görsel 2.29. Ra'yı etkileyen parametreler

AISI8620 üzerinde yapılan çalışmada ilerleme arttıkça yüzey kalitesinin arttığı, iş mili devri arttıkça yüzey kalitesinin azaldığı görülmüştür. (Sağlam, 2016)

Yüzey kalitesi soğutma sıvısının akış oranıyla artmakta, ilerlemenin artmasıyla azalmaktadır. (Patil ve Patil, 2016)

Comprehensive Study on Inconel 718 Surface Topography After Grinding çalışmasında yüzey kalitesini en çok etkileyen parametre iş mili devri olarak bulunmuştur. (Ruzzi vd., 2021)

2.6.2. Malzeme kaldırma hızı

İş parçası üzerinde birim zamanda kaldırılan talaş miktarıdır. Malzeme kaldırma hızının düşük olması işçilik saatini yükselteceği için üretim maliyetleri açısından önem

taşımaktadır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin çarpımıyla bulunup, mm^3/s cinsinden ifade edilmektedir.

Experimental Investigation of the Effects of Process Parameters on Material Removal Rate Using Taguchi Method in External Cylindrical Grinding Operation isimli çalışmada malzeme kaldırma hızında en etkili faktör %57.1 ile ilerleme olarak bulunmuştur. (Derese vd., 2019)

AISI8620 malzemesi üzerinde yapılan çalışmada malzeme kaldırma hızı üzerinde en etkili parametre ilerleme olmuştur. (Sağlam, 2016)

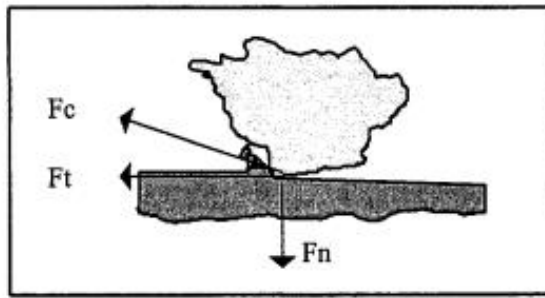
Inconel 939 Süper Alaşımın Sürünme İlerlemeli Taşlama Prosesinde Parametre Optimizasyonu isimli çalışmada iş mili hızının ve ilerlemenin artmasıyla malzeme kaldırma hızının arttığı belirtilmiştir. (Ozoner, 2021)

İş mili hızının ve ilerlemenin artmasıyla malzeme kaldırma hızı artar. (Kumar vd., 2021)

Literatürdeki pek çok alışmada malzeme kaldırma hızının en çok tane büyüklüğünden etkilendiği belirtilmiştir. Küçük taşların malzeme kaldırma kapasitesi küçük olduğu için tane boyutu küçüldükçe malzeme kaldırma hızı düşer.

2.6.3. Taşlama kuvvetleri

Taşlama sırasında, iş parçası tarafından taş üzerine etki eden kuvvetlere taşlama kuvvetleri denir. İlerlemeye ters yöndeki kuvvete teğetsel kuvvet, iş parçasına 90 derece olan kuvvete ise normal kuvvet denir. (Görsel 2.30)



Görsel 2.30. Taşlamada aşındırıcı taneciğe gelen kuvvetler (DEMİR, 2003)

Taşlama hızını arttırdıkça normal ve teğetsel taşlama kuvvetleri azalmaktadır çünkü birim zamanda taşlama alanındaki tanecik sayısı artmakta ve tanecik başına düşen kesme derinliği azalmaktadır. Sonuç olarak tane başına kesme kuvveti azalmaktadır. (Kang vd., 2020)

Ghosh G. ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada takım hızını arttırmanın normal kuvvetler üzerinde etkisi olmadığı bulunmuştur. (Ghosh vd., 2021)

Kesme derinliğinin artması taşlama kuvvetini arttırır. Talaş derinliğinin artması tanecik başına düşen talaş kalınlığını arttıracığı için taşlama kuvvetini de arttırır. Ayrıca taşlama diski ile iş parçası arasındaki temas yayının uzunluğu artacağı için, prosese dahil olan tanecik sayısı artacak ve toplam taşlama kuvvetini arttıracaktır.

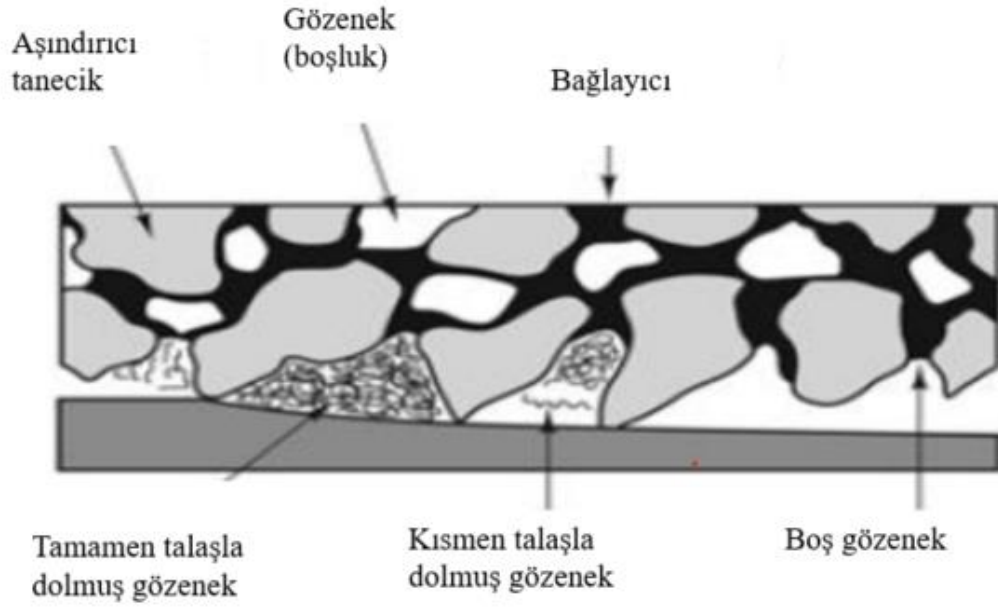
İlerleme arttıkça birim zamanda kaldırılan malzeme miktarı artar ve her aşındırıcı taneciğe gelen malzeme miktarı artar bu da taşlama kuvvetinin artmasına neden olur. (Kang vd., 2020)

Taşlama kuvvetleri kesme derinliğine bağlı olarak doğrusal bir artış göstermiştir. (Demir ve Güllü, 2008)

Taşların körelen abrasif taneciklerinin temizlenmesi ve talaş dolan gözeneklerinin (Görsel 2.31) boşaltılması için belirlenen uygun zaman aralıklarında bilenmesi gerekmektedir. Belirli bir miktar talaş kaldırmış taşlarda oluşan taşlama kuvvetlerinin, yeni bilenmiş taşlarda oluşan taşlama kuvvetlerinin yaklaşık üç katı olduğu görülmüştür (Demir ve Güllü, 2001)

İş parçası malzemesi de taşlama kuvvetleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Yapılan bütün taşlama işlemlerinde AISI4140 malzemesinde oluşan taşlama kuvvetleri AISI1050 malzemesinde oluşan taşlama kuvvetlerine nazaran %20-30 daha fazla olmuştur. (Demir, 2003). WC-12Co malzemesi $Al_2O_3/13TiO_2$ 'e göre daha yüksek tokluğa sahip olduğu için taşlama kuvveti daha büyüktür. (Liu vd. 2002)

Taş dokusunun küçük olması durumunda talaş atımı zorlaşacağı için taşlama kuvveti artar.



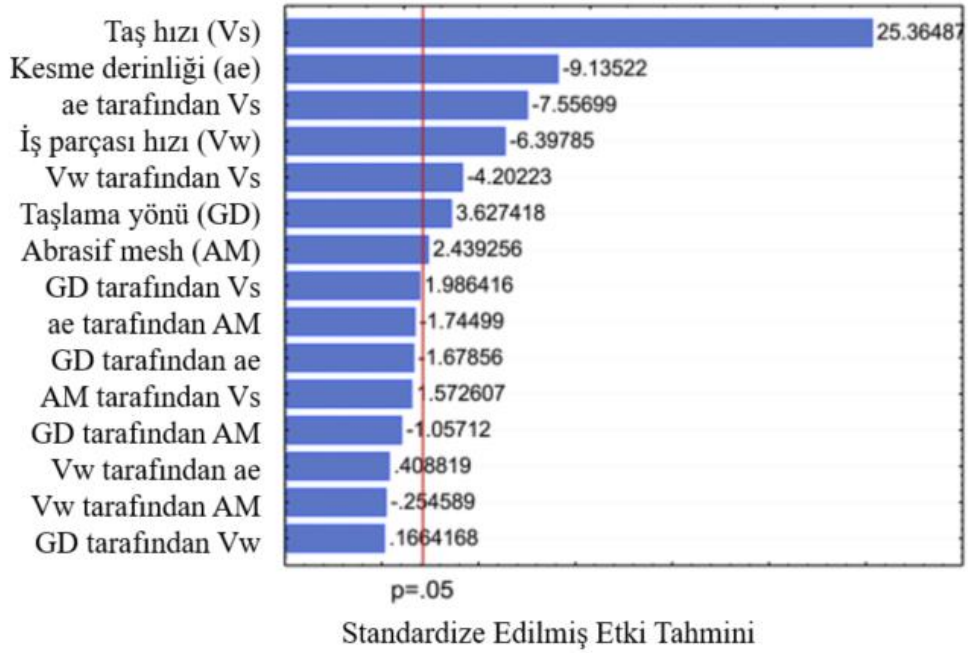
Görsel 2.31. Taşlama diskindeki dolu ve boş gözenekler (Yastıkcı, 2016)

Taşlama hızının artmasıyla taşlama kuvvetleri azalmaktadır. (Kar and Bandyopadhyay, 2017)

2.6.4. Özgül Enerji

İş parçasından birim hacimde malzeme kaldırmak için gereken enerji miktarını belirtmek için kullanılır.

Inc625 üzerinde SiC taş işe yapılan çalışmada, özgül enerji üzerinde en etkili parametrenin taş hızı olduğu bunu kesme derinliğinin takip edildiği tespit edilmiştir.(Görsel 2.32) (Ruzzi vd., 2020)



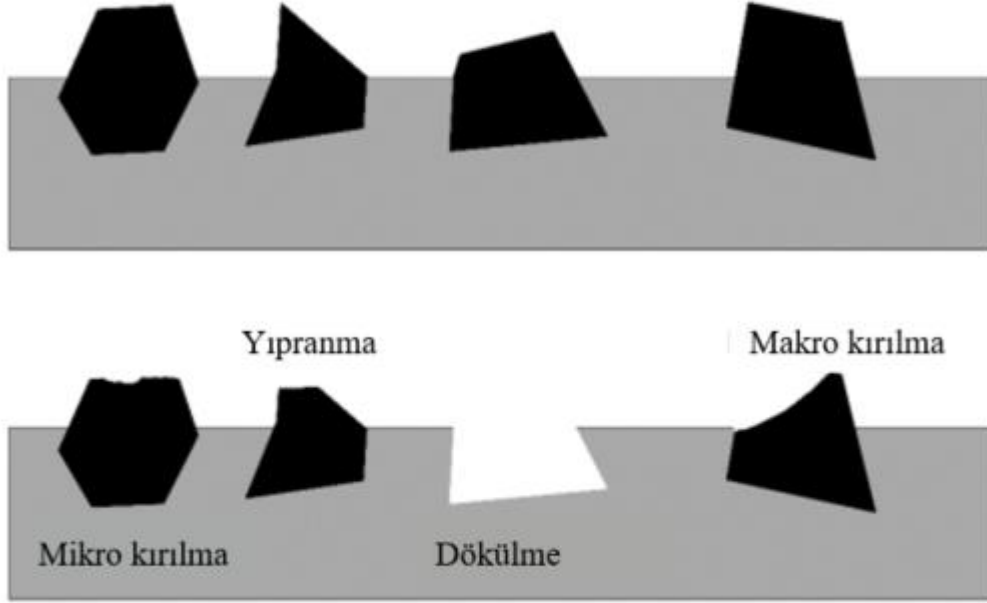
Görsel 2.32. SiC taşlama taşı ile taşlanmış Inc 625'te parametrelerin özgül enerji üzerinde etkileri

Küçük tane büyüklüğü ile taşlama yapmak daha düşük yüzey kalitesi elde etmeyi sağlarken, daha yüksek özgül taşlama enerjisine neden olur.

2.6.5. Takım ömrü

Taşın ömrü taşın etkin bir şekilde taşlama yapabileceği süreyi ifade eder. Taşlama işleminde yüzey kalitesinin istenen toleransı aşmaması için taşların uygun aralıklarla bilenmesi gerekmektedir. Talaşlı imalat sırasında açığa çıkan yüksek sıcaklık ve kesme kuvvetleri takımlarda çatlama, aşınma gibi takım ömrünü kısaltan etkilere neden olabilir. Bu problemlerle karşılaşmamak için kullanılacak takım malzemesinin iş parçasının özellikleri de göz önünde bulundurularak seçilmesi gerekir.

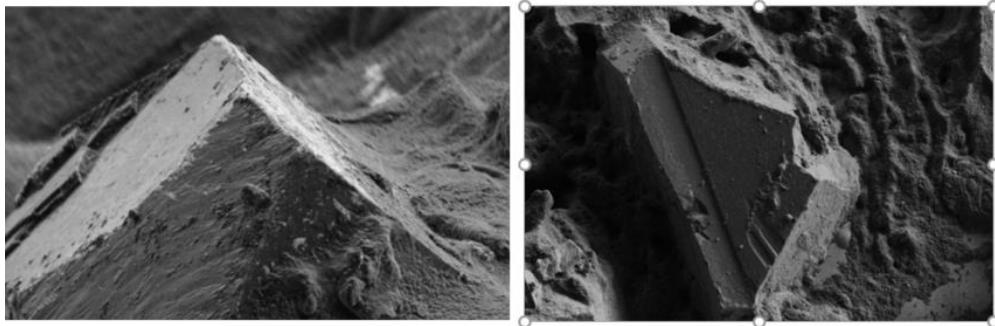
Taşlardaki aşınma 4 şekilde gerçekleşmektedir; sürtünme aşınması (yıpranma), mikro aşınma (mikro kırılma), makro aşınma (makro kırılma) ve taneciğin yerinden çıkması (dökülme).(Görsel 2.33)



Görsel 2.33. Elektro kaplama taşlarda aşınma şekilleri (Yastıkcı, 2016)

İlerleme arttıkça taş ve iş parçasının temas süresi azalmaktadır bu da hem her taneye düşen yükü hem de tane aşınmasını arttırmaktadır böylece kesme bölgesinde sıcaklık artmakta ve artık gerilmenin artmasına neden olmaktadır. Kesme derinliğinin artması da aynı etkiyi yaratmaktadır. (Tao vd., 2017)

Aşınmış tanecikler malzeme kaldırma kabiliyetini yitirerek yüzeyi çizmeye ve yüzey kalitesini kötüleştirmeye neden olurlar. Görsel 2.34’de keskin ve aşınmış CBN tanecikler gözükmemektedir.

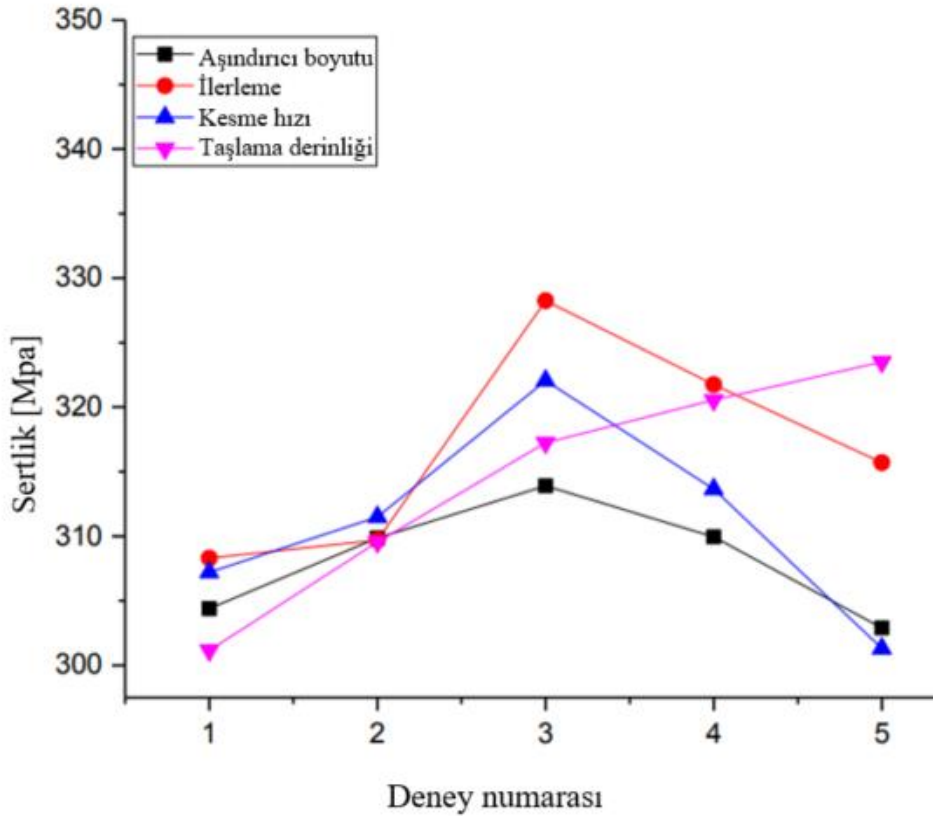


Görsel 2.34. a)keskin b)aşınmış CBN taneciğın SEM görüntüsü (Yastıkcı, 2016)

2.6.6. Mikro sertlik

Sertlik malzemenin çizilmeye aşınmaya karşı gösterdiği dirençtir.

Sertlik en çok kesme derinliğine duyarlıdır çünkü derinlik kesme kuvvetlerini önemli miktarda etkiler. Kesme derinliğinin artmasıyla tane başına düşen yük artar ve tane aşınması artar bu da kesme kuvvetlerini arttırarak yüzey sertliğini arttırır. (Tao vd., 2017) (Görsel 2.35)

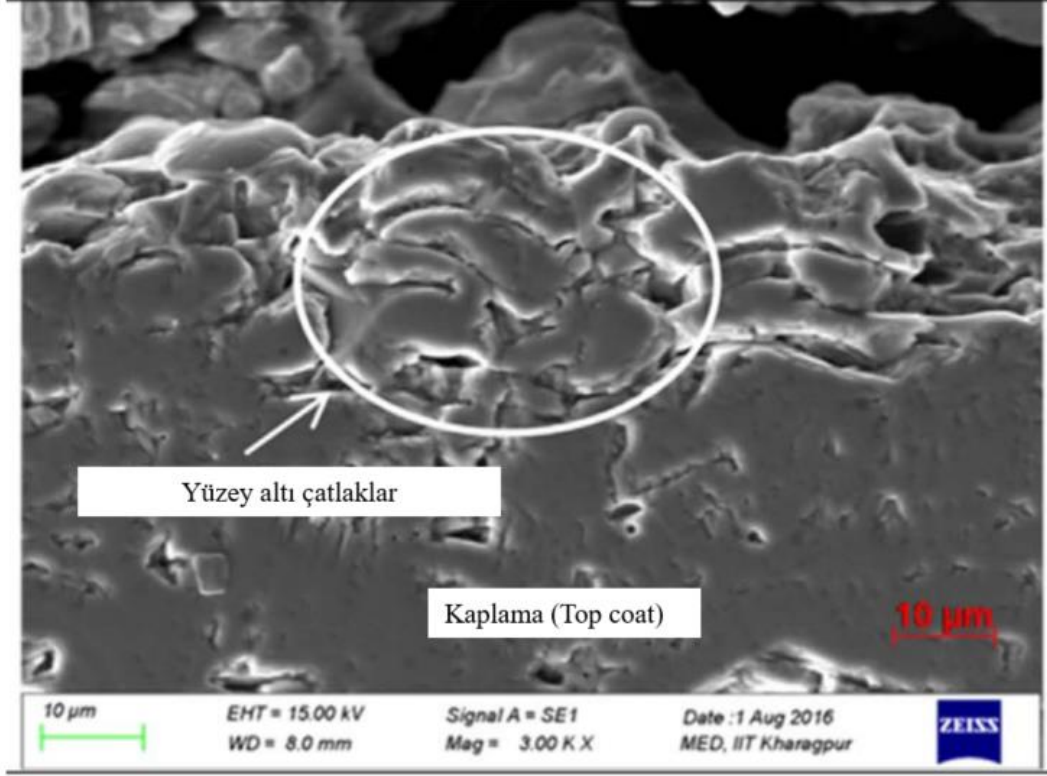


Görsel 2.35. Taşlama parametrelerinin sertlik üzerinde etkileri

Comprehensive Study on Inconel 718 Surface Topography After Grinding isimli çalışmada taşlama öncesi ve sonrası değerler karşılaştırıldığında, kesme derinliği, iş parçası hızı, iş mili hızı ve abrasif tane büyüklüğünün mikro sertlik üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. (Ruzzi vd., 2021)

Taşlama, iş parçasındaki yüzey kalitesinin yanı sıra yüzey altında da etkilere neden olmaktadır.

Hem hassas hem yüksek hızlı taşlama işleminde yüzey altı hasarların oluştuğu fakat yüksek hızlı taşlamada yüzey altı hasarların derinliğinin daha az olduğu ortaya koyulmuştur. (Kar and Bandyopadhyay, 2017) (Görsel 2.36)

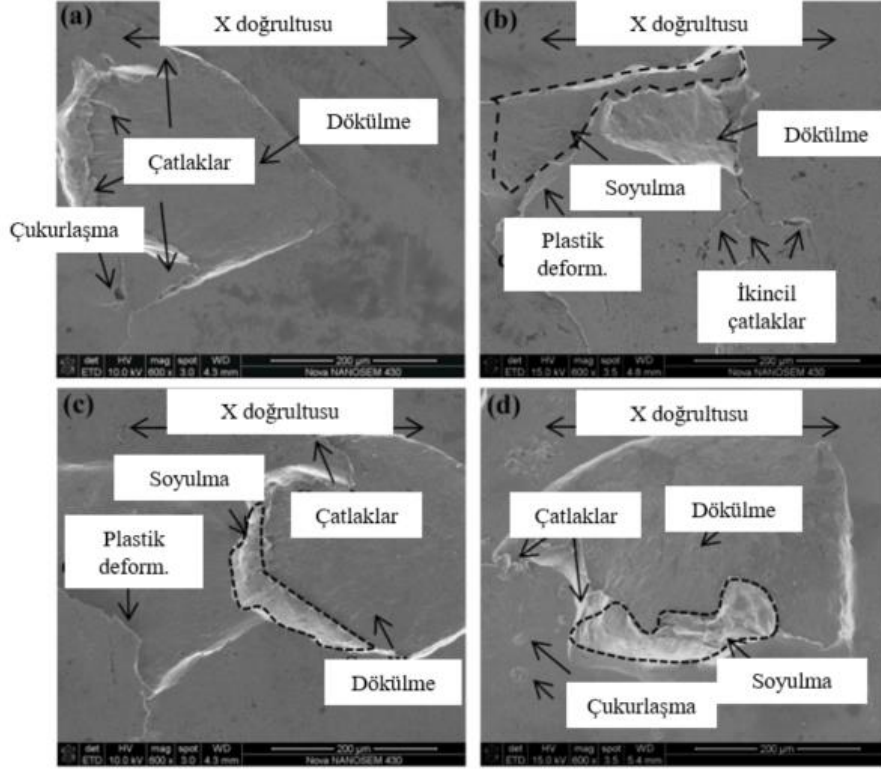


Görsel 2.36. Taşlanmış alüminyum kaplaması (Taş hızı 150 m/s, iş parçası hızı 1m/dak)

Yüzey kalitesi ve yüzeydeki artık gerilme malzemenin yorulma ömrünü etkileyen önemli faktörlerdir.

Kang Bo ve arkadaşları tarafından, 17CrNiMo_6 üzerinde yapılan çalışmada ilerlemenin artmasıyla basma artık gerilmesi artmıştır. (Kang vd., 2020) Bunun nedeni ilerlemenin artmasıyla taşlama taşı ve iş parçasının temas süresinin azalması olarak yorumlanmıştır. İlerlemenin artmasıyla her tane başına düşen yük ve temas alanındaki sıcaklık artmakta bu da artık basma gerilmesinin yükselmesine neden olmaktadır. Aynı çalışmada kesme derinliğinin artması daha yüksek taşlama kuvvetlerine neden olacağı için basma gerilmesini arttırdığı, kesme hızının artması durumunda ise taşlama kuvvetleri azalacağı için artık basma gerilmesinin azaldığı belirtilmiştir.

Farklı parametrelerle taşlama yapılmış numuneler incelendiğinde taşlama koşullarının çatlak başlangıç süresinin değiştiği ve alt yüzeydeki artık basma gerilmelerinin çatlak ilerlemesini kontrol edebildiği görülmüştür.(Görsel 2.37) (Kang vd., 2020)

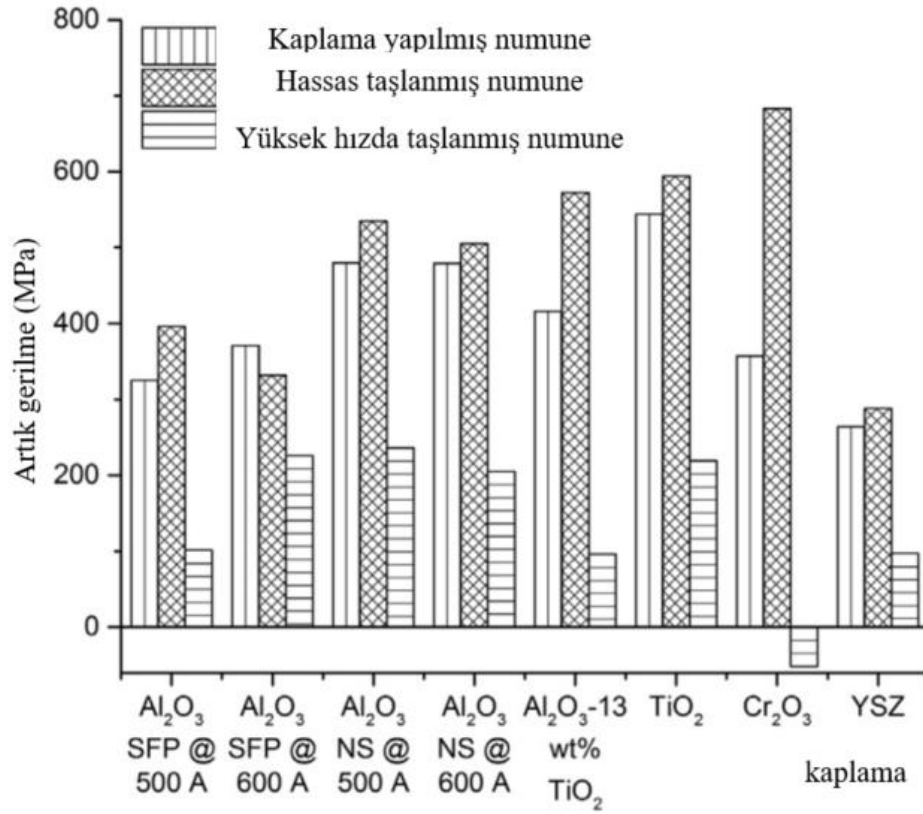


Görsel 2.37. Farklı taşlama parametreleriyle işlenmiş numunelerin SEM analizleri

(a) E numunesi ve hataya 2.15×10^5 döngü, (b) F numunesi ve hataya kadar 1.64×10^5 döngü, (c) M numunesi ve hataya kadar 2.22×10^5 döngü (d) N numunesi ve hataya kadar 2.01×10^5 döngü

İyi bir yüzey kalitesi, artık gerilmeleri etkileyerek yorulma sırasında oluşan çatlakların ilerleme yönünü değiştirebilir ve malzeme kaybını önleyebilir.

Çeşitli kaplamaların taşlama öncesi ve sonrası artık gerilmeleri karşılaştırıldığında hassas taşlamanın artık gerilme değerini arttırdığı, yüksek hızlı taşlamanın ise azalttığı görülmüştür. (Görsel 2.38)



Görsel 2.38. Taşlama öncesi ve sonrası artık gerilme

Taşlama bölgesindeki sıcaklık arttıkça, kaplamadaki artık gerilme basma gerilmesinden çekme gerilmesine dönmüştür. Bunun sebebi ise kesme tipinin gevrekten sünek kesmeye dönmesiyle ilişkilendirilmiştir. (Deresse vd., 2019)

2.6.7. Taşlama literatür araştırması özet

Taşlama parametresi seçimi iş parçası yüzey kalitesinden, takım ömrüne, kullanılan soğutma sıvısı miktarından iş parçasının mikro yapısına kadar pek çok faktör üzerinde etkilidir.

- Tane boyutunun, taş dokusunun ve ilerlemenin artması **yüzey kalitesini** kötüleştirmekte, kesme hızının artması ise iyileştirmektedir.
- **Soğutma sıvısı** kullanımı yüzey kalitesini iyileştirmektedir. Aynı kesme parametreleriyle farklı soğutma sıvısı tekniklerinin kullanımıyla farklı yüzey kaliteleri elde edilmektedir.
- Kesme derinliğinin, ilerlemenin, tane boyutunun, bağlayıcı malzeme sertliğinin artması **taşlama kuvvetlerini** arttırmakta, iş mili hızının artması azaltmaktadır.

- Yumuşak malzemeleri taşlamak için daha büyük tane boyutlu ve sert bağlayıcı malzemeli taşlar, sert malzemeleri taşlamak için daha küçük tane boyutlu ve yumuşak malzemeli taşlar seçilmelidir.
- Abrasif konsantrasyonunun daha düşük olması soğutma sıvısının daha etkin bir şekilde uygulanmasına ve talaşın daha kolay atılmasına imkan sağlarken, abrasiflerin daha kolay kopmasına ve taşın daha çabuk aşınmasına neden olur.
- Bağlayıcı malzemesi seçilirken iş parçası malzemesine dikkat edilmelidir. Sert malzemeler taşlanırken yumuşak, yumuşak malzeme işlenirken sert bağlayıcılı taş seçilmelidir.
- **Malzeme kaldırma hızını** tane boyutunun küçülmesi azaltır. İş mili hızının, kesme derinliğinin ve İlerlemenin artması arttırır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Deney Tasarımı

Kontrol edilebilir girdilerin, bilinmeyen özellikler üzerinde etkisini öğrenmek amacıyla uygulanan işlemlere deney denir. Deney birimlerinin üzerinde etkisinin test edileceği koşulların tasarlanmasına ise deney tasarımı denir. Deney tasarımı belirli kurallar çerçevesinde oluşturulur.

Deneysel yöntemler; deneme yanılma yöntemi, her deneyde bir faktör değiştirme yöntemi ve tasarlanmış deney yöntemi olarak 3 başlık altında sınıflandırılabilir.

3.1.1. Deneme yanılma yöntemi

Bir teoriyi, uygun koşulları oluşturarak denemek ve ortaya çıkan sonuçları bizzat gözlemlene yöntemidir. Sistematik bir yaklaşım olmadığı için kısa sürede sonuç alınabileceği gibi uzun sürede hiç sonuç da elde edilemeyebilir.

3.1.2. Her deneyde bir faktör değiştirme yöntemi

Bu yöntemde, kontrol edilebilir faktörlerin diğer hepsi sabitken her seferinde sadece bir tanesini değiştirerek çıktı üzerindeki etkiyi gözlemlene prensibine dayanır. Her seferinde tek değişkenin etkisi araştırıldığı için faktörler arası etkileşim konusunda bilgi sağlamaz ve optimum noktayı bulamaz.

3.1.3. Deney tasarımı

Deney tasarımı yönteminde, bir önceki deneyin çıktısı bir sonraki deneyin girdisi olarak kullanılır. Böylelikle ulaşılmak istenilen bilgi minimum kaynak kullanımı ile elde edilebilir.

Deneysel tasarımın tarihine bakıldığında ilk olarak 1920'lerde İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından keşfedildiği görülmektedir. Deneysel verileri analiz etmek için günümüzde kullanılan varyans analizi yöntemi Fisher tarafından geliştirilmiştir. 1980'li yılların başında ise Japonya'da Geniji Taguchi deneysel tasarım yöntemlerini kapsamlı ve etkili şekilde geliştirerek özellikle üretim alanında deney tasarımını pratikleştirmiştir.

En sık kullanılan tasarım yöntemleri şunlardır:

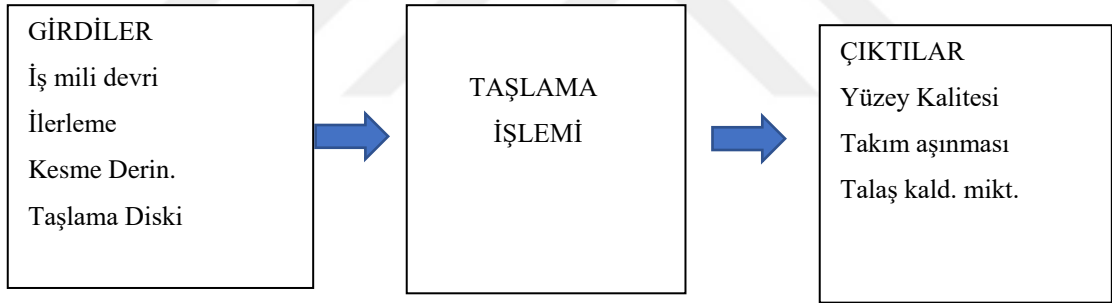
- Rassal Bloklama
- Faktöriyel Tasarım
- 2^k Faktöriyel Tasarım
- 2^k Faktöriyel Tasarım Bloklama

- Kısmı Faktöriyel Tasarım
- Cevap Yüzey Metodu
- Taguchi Tasarımı

Deneysel tasarım yapılırken sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenir:

- Problemin tanımlanması
- Girdi faktörlerinin ve seviyelerinin belirlenmesi
- Çıktı değişkeninin belirlenmesi
- Deney tasarımı seçimi
- Deneyleri gerçekleştirme
- Veri analizi
- Sonuçları Değerlendirme

Bu çalışmada havacılık motorlarında kullanılan türbin parçası üzerindeki Wc-12Co kaplamanın geleneksel taşlama tezgahı ile taşlanması sırasında parametrelerin yüzey kalitesi, takım aşınması ve zaman üzerinde etkileri araştırılmıştır. (Görsel 3.1)



Görsel 3.1. Deneyde araştırılacak girdi ve çıktılar

Literatür araştırması göz önünde bulundurularak, taşlama diskisi, iş mili devri, ilerleme ve kesme derinliği için tablo 3.1’deki seviyeler belirlenmiştir.

Tablo 3.1. Deneyde kullanılacak faktör ve seviyeler

Taşlama Diski	İş mili devri (dev/dak)	İlerleme (mm/s)	Kesme Derinliği (mm)
6A9-D30-C50	3000	1.7	0.0013
6A9-D181-C100	4500	3.4	0.0025
	6000	5.1	0.0038

Deneylerde kullanılan taşlama disklerinin özellikleri tablo 3.2 ve tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.2. 6A9-D30-C50 taşlama diskinin özellikleri

6A9	D	30	C	50
Taşın Geometrisi: Çanak taş	Abr. Malz. : Elmas	Tane Boy. : 643 µm	Sert. Sınıfı : Çok yumuşak	Konsantrasyon:%5 0 (0.44 g/cm ³ aşındırıcı)

Tablo 3.3. 6A9-D181-C100 taşlama diskinin özellikleri

6A9	D	181	C	100
Taşın Geometrisi: Çanak taş	Abr. Malz. : Elmas	Tane Boy. : 82 µm	Sert. Sınıfı : Çok yumuşak	Konsantrasyon: % 100 (0.88 g/cm ³ aşındırıcı)

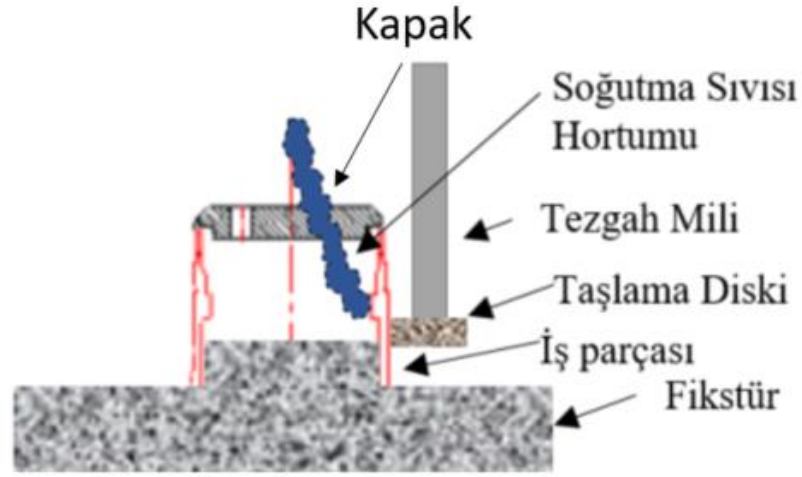
Taguchi L9 dizayn ile deney seti oluşturulmuş ve bu deneyler iki farklı taş tipi için yapıldığında 18 adet deney seti ortaya çıkmıştır. A ile gösterilen deneyler D30C50' ile, B ile gösterilenler D181C100 taşlama diski ile yapılmıştır. (Tablo 3.4)

Tablo 3.4. Taguchi L9 dizayn ile oluşturulmuş 2 deney seti

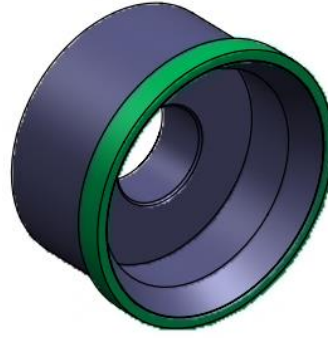
Deney Numarası	Taşlama Diski	İş mili devri (dev/dk)	İlerleme (mm/s)	Kesme Derinliği (mm)
1A	D30-C50	3000	1.7	0.0013
2A	D30-C50	3000	3.4	0.0025
3A	D30-C50	3000	5.1	0.0038
4A	D30-C50	4500	1.7	0.0025
5A	D30-C50	4500	3.4	0.0038
6A	D30-C50	4500	5.1	0.0013
7A	D30-C50	6000	1.7	0.0038
8A	D30-C50	6000	3.4	0.0013
9A	D30-C50	6000	5.1	0.0025
1B	D181-C100	3000	1.7	0.0013
2B	D181-C100	3000	3.4	0.0025
3B	D181-C100	3000	5.1	0.0038
4B	D181-C100	4500	1.7	0.0025
5B	D181-C100	4500	3.4	0.0038
6B	D181-C100	4500	5.1	0.0013
7B	D181-C100	6000	1.7	0.0038
8B	D181-C100	6000	3.4	0.0013
9B	D181-C100	6000	5.1	0.0025

3.2. Deney Düzenegi

Deneyler FANUC işletim sistemli CNC dikey silindirik taşlama tezgahında yapılmıştır. Deney düzeneginin görseli bilgi güvenliği nedeniyle paylaşılamamış olup şematik bir görünüm Görsel 3.2'de verilmiştir. Soğutma sıvısı olarak Rhenus kullanılmıştır.



Görsel 3.2. Deney düzeneği



Görsel 3.3. Kullanılan taşlama diskinin 3B modeli

Taşlama diski olarak 6A9 tipinde $\text{\O}63.5\text{mm}$ çapında çanak taşlar kullanılmıştır. (Görsel 3.3). Deney koşullarında, $\text{\O}90\text{ mm}$ silindirik iş parçası üzerinde cidarda 0.127mm kalınlığında aps plazma kaplama bulunmaktadır. Deneylerde kullanılan iş parçasının ana malzeme ve kaplama malzemesi ile ilgili bilgiler tablo 3.5, tablo 3.6 ve tablo 3.7’de paylaşılmıştır.

Tablo 3.5. Deneyde kullanılan WC-12Co kaplamanın kimyasal özellikleri

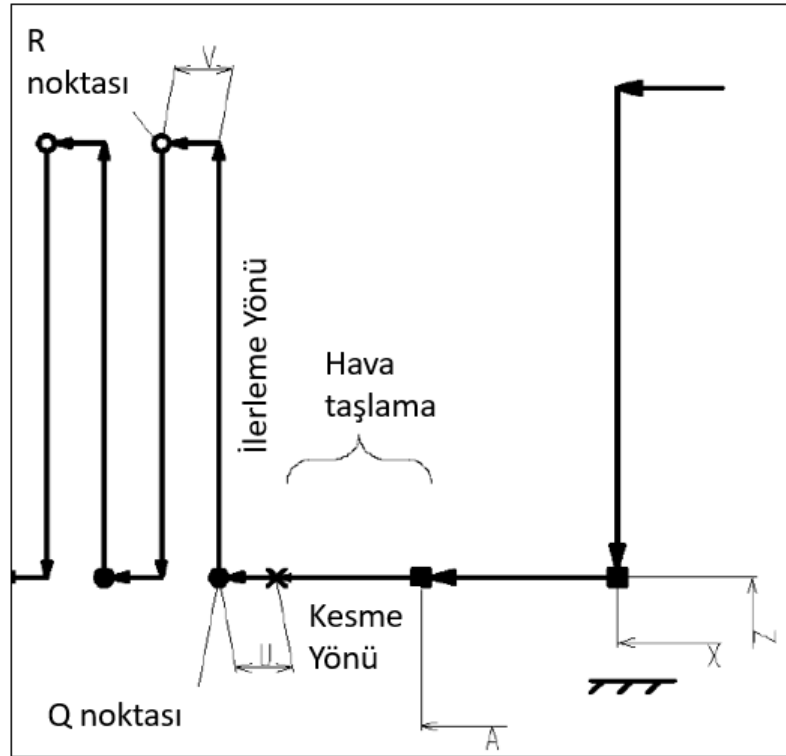
		WC-%12Co
W		82.71
Co		11.85
C, Total		5.38
C, Free		<0.10
Fe		0.02
Other	Impurities,	<1.00
Total		

Tablo 3.6. Altlık malzeme Ti-17'nin kimyasal özellikleri

	Ti-17
Alüminyum (Al)	%5
Krom (Cr)	%4
Hidrojen (H)	\leq %0.0125
Demir (Fe)	\leq %0.30
Molibden (Mo)	%4
Nitrojen (N)	\leq %0.04
Oksijen (O)	%0.080-.013
Çinko (Sn)	%2
Titanyum (Ti)	%83
Zirkonyum (Zr)	%2

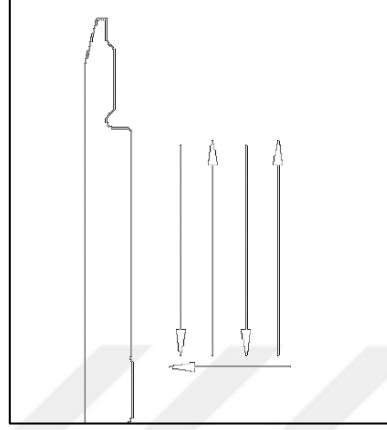
Tablo 3.7. Altlık malzeme Ti-17'nin mekanik özellikleri

	Ti-17
Sertlik	40 Rockwell
Çekme Dayanımı	1180 Mpa
Akma Dayanımı	1050 Mpa
Elastiklik Modülü	115Gpa
Kopma Dayanımı	53 Mpa



Görsel 3.4. Yapılan deneylerde kullanılan takım yolu

Taşlama diski dış çapa 0.0254 mm dışarıdan yaklaşık takım yolu sırayla yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya şeklinde hedef malzemeyi alana kadar devam etmektedir. (Görsel 3.4). İş parçası ve takım hareketlerinin şematik bir görünümü görsel 3.5'te paylaşılmıştır.



Görsel 3.5. İş parçası ve takım hareketlerinin şematik görünümü

3.3. Yüzey Kalitesi Ölçümü

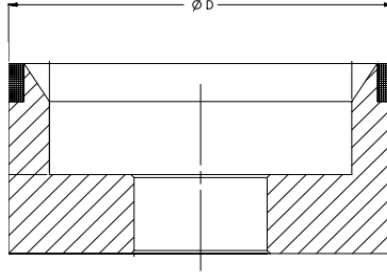
Yüzey kalitesi işleme yapılan silindirik çap yukarıdan aşağıya giriş, orta ve çıkış olarak 3 bölge üzerine ayrılarak 120° aralıklı 3 bölgeden olmak üzere her deneyden sonra 9 ölçüm alınmıştır. Yüzey kalitesi ölçümlerinde Taylor Hobson Surtronic S128 cihazı kullanılmıştır. Ölçümler taşlama yönüne dik olarak alınmıştır. Kesitin dairesel olması nedeniyle taşlama yönünde ölçüm alınamamıştır. Parça bağlama ve sökme sırasında zaman kaybedilmemesi adına ölçümler parça tezgah üzerindeyken alınmıştır. Taşlama yapılan yüzey asetonla temizlendikten sonra ölçüm alınmıştır. Örneklendirme uzunluğu 3.81 mm'dir.



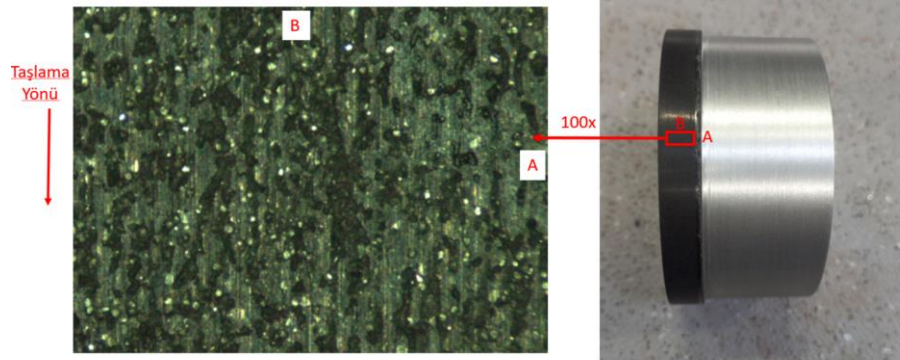
Görsel 3.6. Deney setinde yüzey kalitesi ölçümü

3.4. Taş Aşınma Ölçümü

Taştaki aşınma miktarı, her bir deneyden sonra taşın görsel 3.7’de D ile gösterilen dış çapı 0.000254 mm hassasiyetli dış çap mikrometresi ile ölçülerek kaydedilmiştir.



Görsel 3.7. Taşlama diskinin aşınmasının ölçüldüğü çap



Görsel 3.8. Deneylerde kullanılan elmas taş ve 100x altında görüntüsü

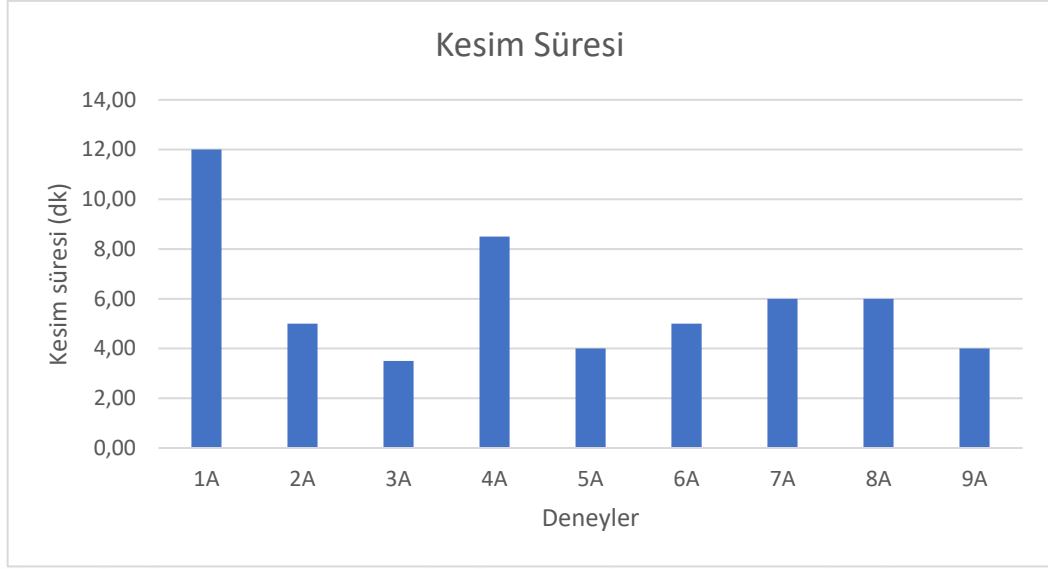
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Yapılan denemelerin sonuçları “ortalama kesim süresi”, “takım aşınması”, “talaş kaldırma miktarı” ve “yüzey kalitesi” olmak üzere 4 başlık altında incelenmiştir. Her bir deney seti 3 kez tekrarlanmış ve ortalama sonuçlar raporlanmıştır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda Taguchi dizayn ile oluşturulmuş 18 deney seti, 3'er kez tekrar edilerek toplamda 54 deney yapılmıştır. Deney setleri, imalat iyileştirme geliştirme çalışmaları için hurdaya ayrılan gerçek bir uçak motor parçası üzerinde denenmiştir. Başlangıç koşulları aynı olan 54 adet motor parçası kullanımı mümkün olmadığı için, aynı hurda parçanın farklı bölgelerinde farklı deney setleri çalışılmıştır. Bu sebeple, başlanılan yüzey kaliteleri 38 ile 62 mikrometre arasında değişmektedir. Ayrıca iş parçasının farklı büyüklükteki çaplarında denemeler yapılmış olması nedeniyle, nispeten küçük çaplarda yapılan deney setlerinde, taşlama yapılan toplam yüzey alanının daha küçük olması nedeniyle taşın aşınmasının daha az olması dikkate alınmamıştır. Taşlama disklerinde ise birebir aynı boyutta ve kullanım ömrüne sahip 54 adet taşlama diski kullanımı mümkün olmadığı için çapları birbirine yakın 2 adet taşlama diski sırayla farklı deneylerde kullanılmıştır. Deneyler sırasında aşınma nedeniyle taşın çapı her bir deneyde ortalama 0.005 mm düşmüştür. Bu da iş mili devrinin aynı olmasına rağmen kesme hızlarının her deneyde farklı olmasına neden olmuştur.

4.1.1. Ortalama kesim süresi

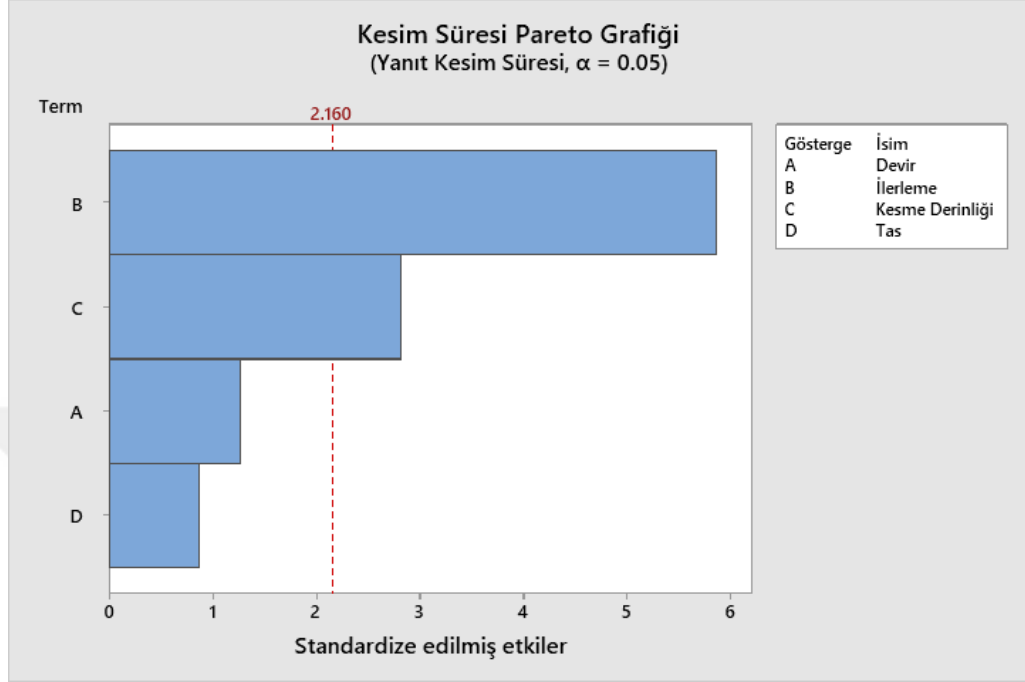
Ortalama kesim süresi taşın parçaya 0.0254 mm mesafede yaklaşmasından başlayıp, taşlama işleminin tamamlanıp taşın parça yüzeyinden ayrıldığı zamana kadar geçen sürenin dakika cinsinden karşılığıdır. Kesim süresi kronometre ile tutulup, aşağıdaki grafikler buna göre oluşturulmuştur.



Görsel 4.1. D30-C50 Kaba taş ile ortalama kesim süreleri (dk)

En uzun kesim süresi 3000 dev/dak. , 1.7 mm/s ilerleme ve 0.0013 mm kesme derinliğiyle 1. Deneye, en kısa kesim süresi 3000 dev/dak. , 5.1 mm/s ilerleme ve 0.0038 mm kesme derinliğiyle 3. Deneye aittir. (Görsel 4.1) Parametrelerin kesim süresi üzerindeki etkisine bakmak için D30-C50 taşı ile yapılan denemelerde regresyon analizi yöntemiyle pareto grafiği çıkartılmıştır. (Görsel 4.2) Bu grafiğe göre kesim süresi

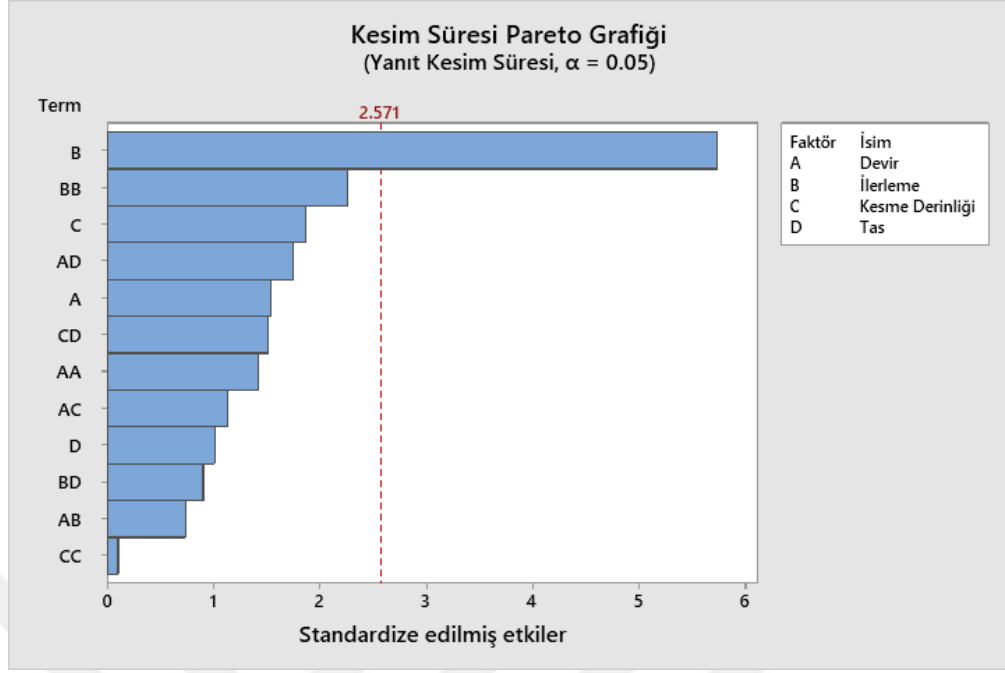
üzerinde etkisi en fazla olan parametre ilerleme, etkisi en az olan parametre seçilen taşlama diskinin cinsidir.



Görsel 4.2. Parametrelerin kesim süresi üzerine etkileri (Regresyon Analizi)

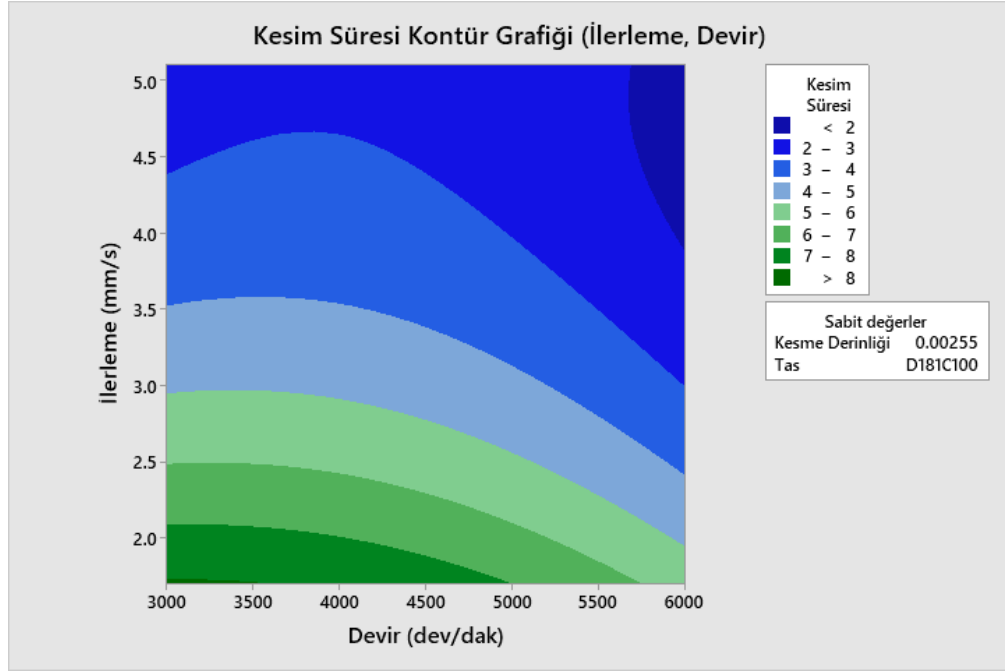
Kesim süresi üzerine yanıt yüzey regresyonu yöntemi ile analiz yapıldığında, parametrelerin ikili etkileşimlerinin etkileri de görülmüştür. (Görsel 4.3) Bu yönetime göre kesim süresi üzerindeki en etkili parametre yine ilerleme olmuş ve parametrelerin tekli etkilerinin sıralaması değişmemiştir. Fakat ikili etkileşimlerin bazı parametrelerin etkilerinden daha öne geçtiği görülmüştür. Örneğin iş mili devri ve taş cinsinin ikili etkileşimi, iş mili devrinin kendi başına etkisinden daha yüksektir.

Mızrak (2016) tarafından yazılan “Makara Dış Çap Taşlamada Gerekli Yüzey Pürüzlülük Değerinin Elde Edilmesi için Deney Tasarım Yöntemi ile Optimum Taşlama Parametrelerinin Belirlenmesi” yüksek lisans tezinde yapılan taşlama deneylerinin sonucunda yüzey kalitesi (Ra) üzerinde tekli faktörlerin değil, ikili ve üçlü faktör etkileşimlerinin etkili olduğu gözlemlenmiştir. Denemelerden elde edilen ikili etkileşim sonucu ile Mızrak (2016). tarafından bulunan sonuç birbirini desteklemektedir.



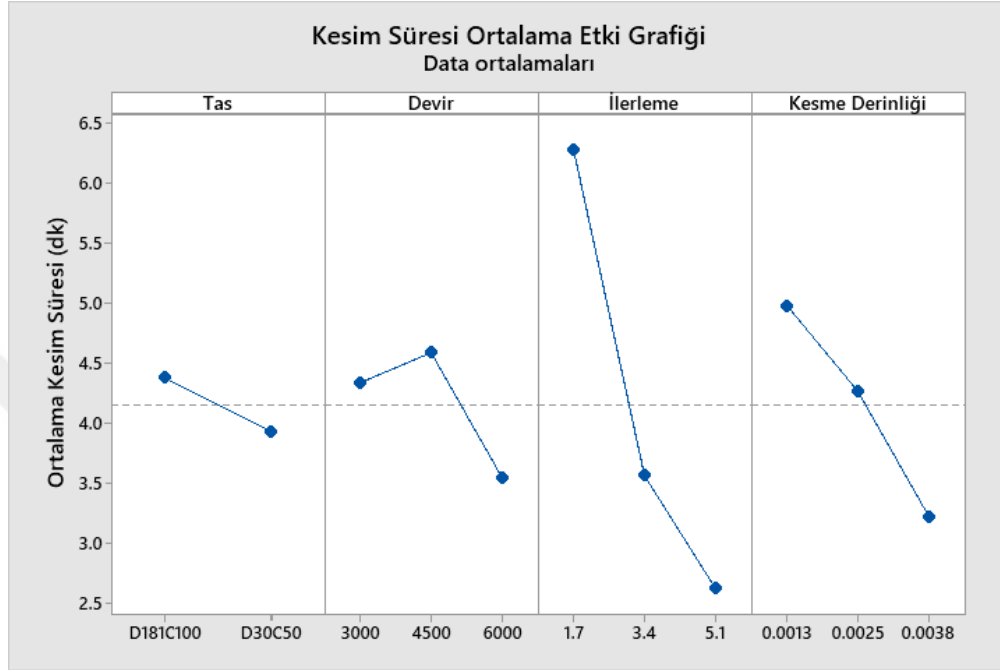
Görsel 4.3. Yüzey kalitesi Pareto Grafiği (Yanıt yüzey regresyonu)

Görsel 4.4'teki kesim süresi kontür grafiğine bakıldığında ilerleme artışının kesim süresi üzerine etkisinin devir artışına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. En düşük kesim süresine 6000 devir ve 4 mm/s'nin üzerinde ulaşılmaktadır.



Görsel 4.4. Kesim Süresi Kontür Grafiği (Yanıt Yüzey Regresyonu)

Devir, ilerleme ve kesme derinliğinin artmasıyla malzeme kaldırma hızının arttığı görülmektedir. İş mili hızının ve ilerlemenin artmasıyla malzeme kaldırma hızının arttığı B. Naveen ve arkadaşları tarafından da raporlanmıştır. (Kumar vd., 2021)



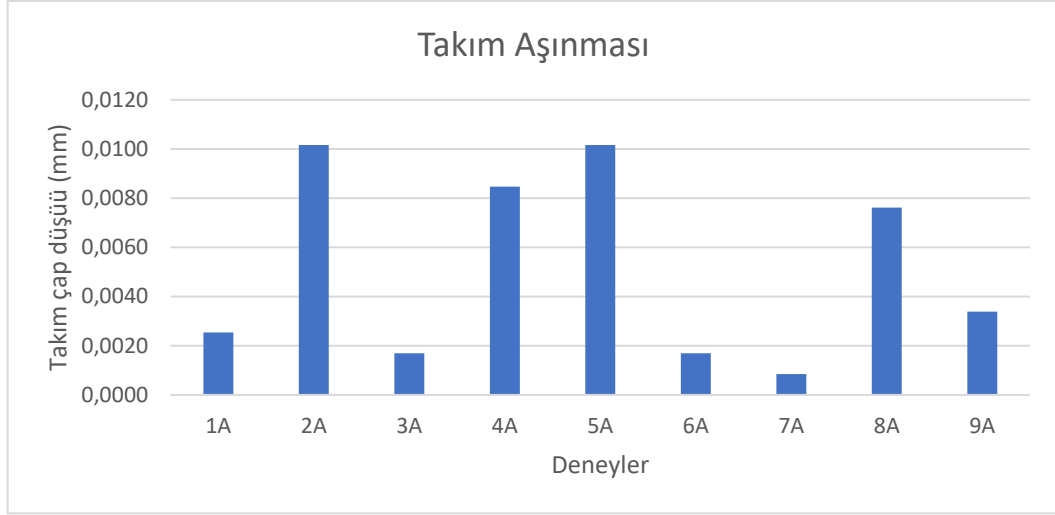
Görsel 4.5. Kesim Süresi Ortalama Etki Grafiği (ANOVA)

ANOVA yöntemiyle deneylerin ortalama sonuçlarına bakıldığında taşlama taşının D181C100'den D30C50'ye tane boyutunun büyümesiyle kesim süresinin kısaldığı görülmektedir. İlerleme hızının ve kesme derinliğinin artmasıyla da kesim süresi kısalmaktadır. (Görsel 4.5)

4.1.2. Takım aşınması

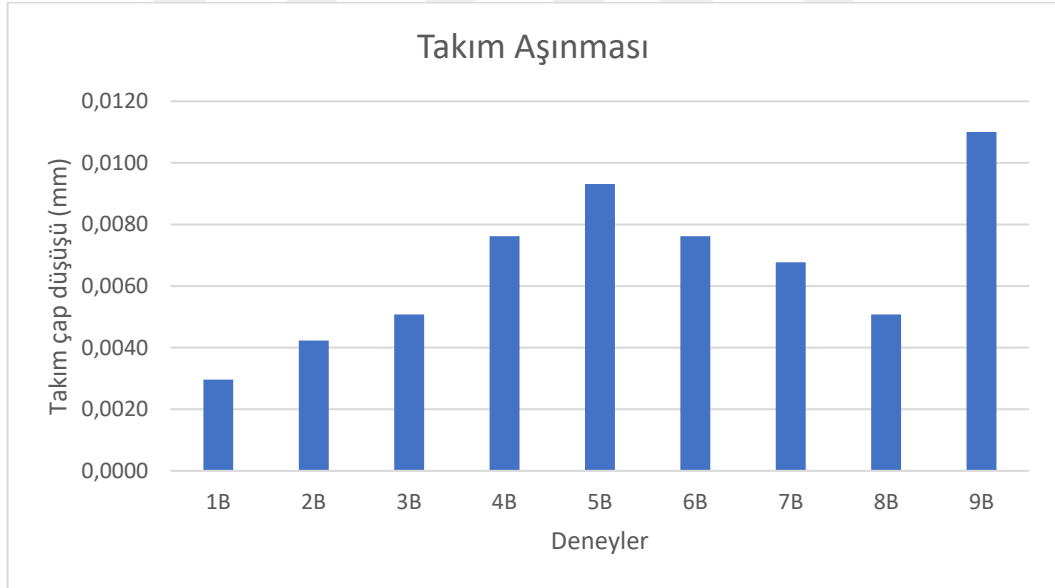
Takım aşınması, her bir deneme sonrasında taşın çapındaki azalma miktarını gösteren boyut ölçümüdür. Mikrometre ile iki farklı çaptan ölçüm alınarak, ölçümlerin ortalaması mm cinsinden raporlanmıştır. Her deneyde aynı miktarda (0.0254 mm) malzeme kaldırılmış olup, sonrasında aşınma ölçümü yapılmıştır.

D30C50 taşlama diski ile yapılan deney sonuçları Görsel 4.6'da gösterilmiş, buna göre en yüksek takım aşınmasına deney 2,4,5 ve 8'de rastlanmıştır. Bu 4 deneyin ortak noktası bulunmamaktadır.

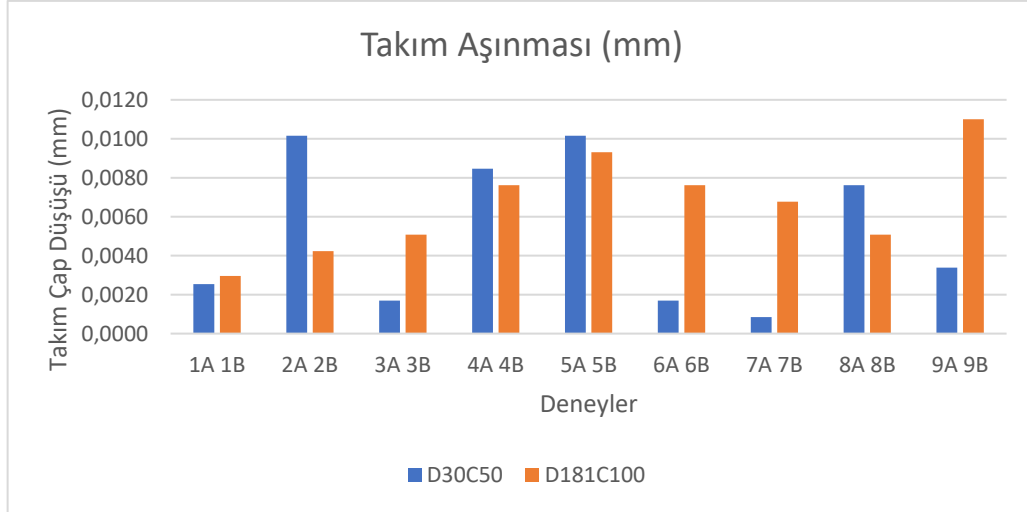


Görsel 4.6. D30-C50 taş ile takım aşınması miktarı

D181C100 taşla yapılan deneylerin takım aşınması üzerinde sonucu Görsel 4.7’de paylaşılmıştır. Buna göre en yüksek takım aşınması 6000 dev/dak., 5.1 mm/s ilerleme ve 0.0025mm kesme derinliğiyle 9. deney setine aittir.

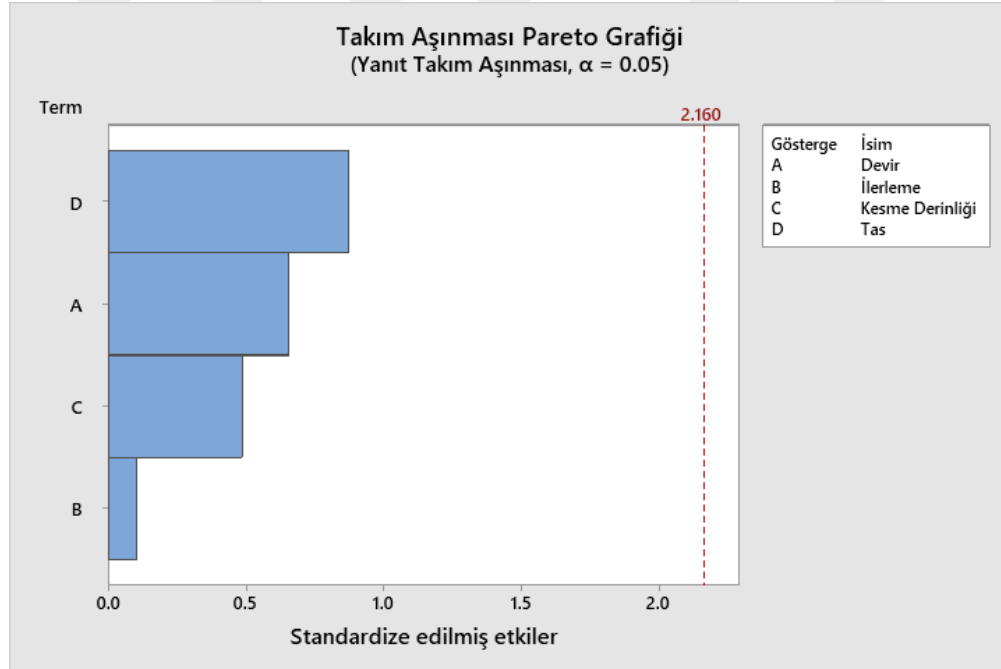


Görsel 4.7. D181-C100 taş ile takım aşınması miktarı



Görsel 4.8. D30-C50 ve D181-C100 takım aşınması karşılaştırması

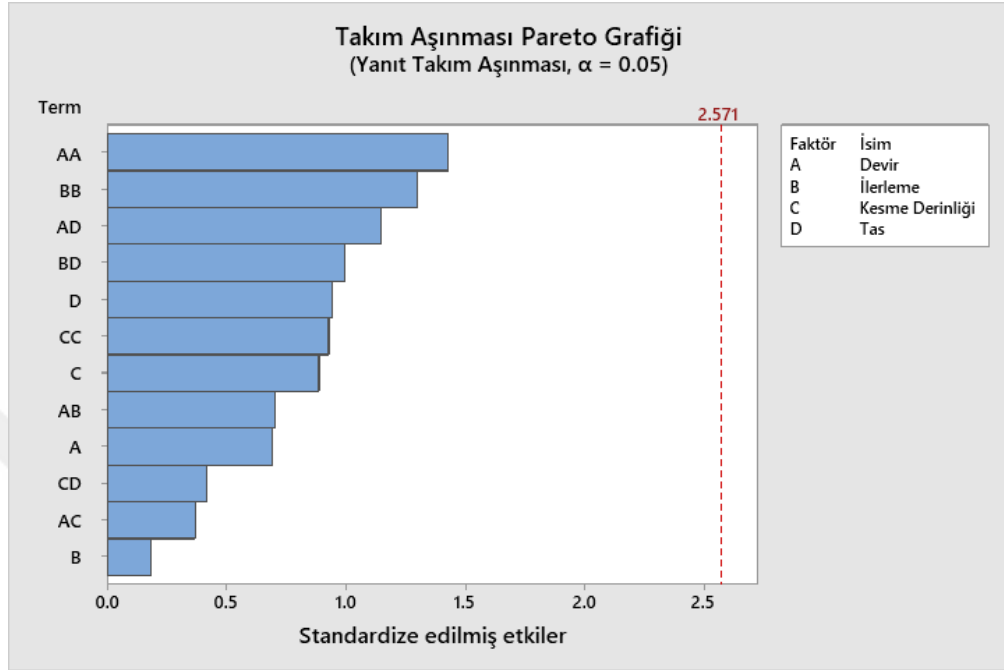
D30C50 ile D181C100'ün, aynı parametrelerle işlenmiş deney setleri görsel 4.8'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiş olup parametre bazında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. D30C50 ile yapılan deneylerde takım aşınmasının D181C100 ile yapılan deneylere göre kesim parametrelerine daha duyarlı olduğu görülmektedir.



Görsel 4.9. Takım aşınması pareto grafiği (Regresyon analizi)

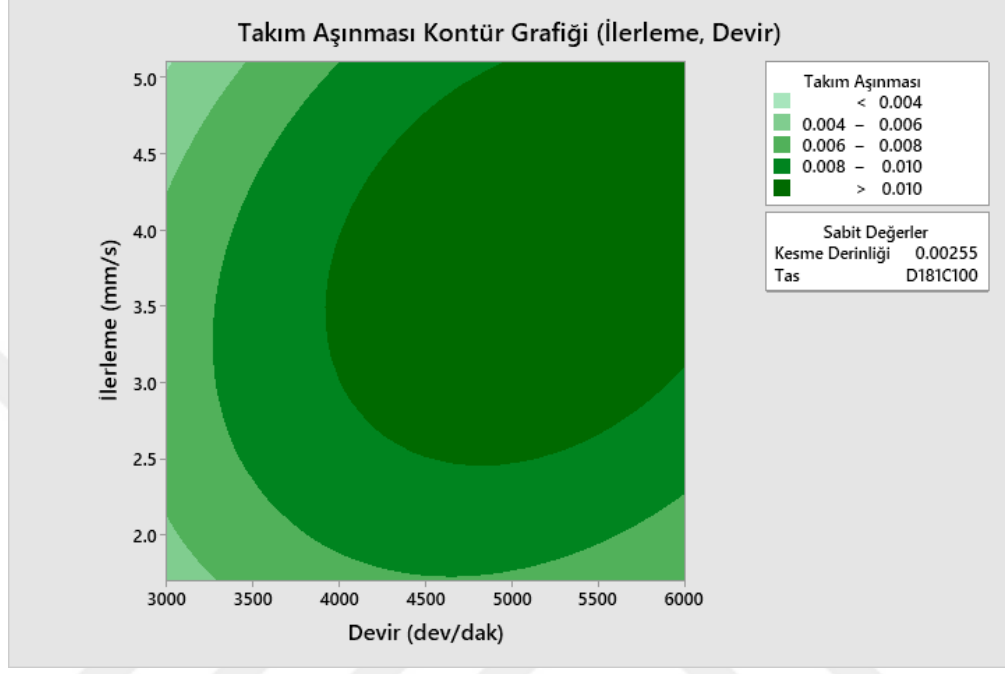
Regresyon analizine göre takım aşınması üzerinde en etkili parametre iş mili devridir, bunu taşın cinsi ve kesme derinliği takip etmektedir. (Görsel 4.9) Yanıt yüzey

yöntemine göre ise ikili etkileşimlerin, parametrelerin tekli etkilerinden daha kuvvetli olduğu görülmektedir. (Görsel 4.10)

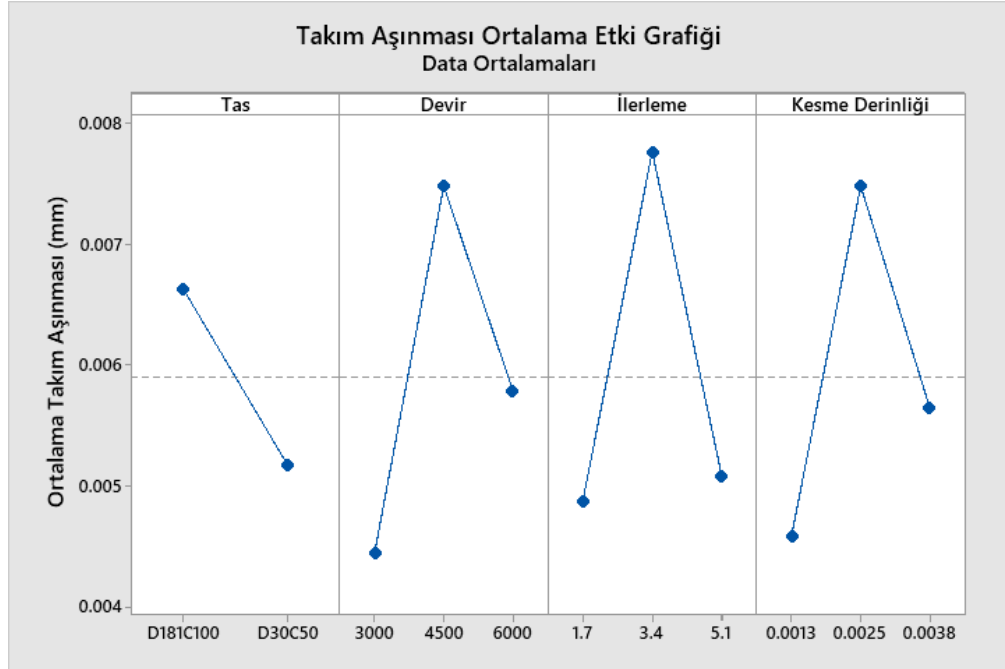


Görsel 4.10. Takım aşınması pareto grafiği (yanıt yüzey regresyonu)

Görsel 4.11’de takım aşınmasının ilerleme ve devir parametrelerine bağlı kontür grafiği verilmiş olup devir veya ilerleme artışının takım aşınması değerini arttırdığı görülmektedir.



Görsel 4.11. Takım aşınması kontür grafiği (yanıt yüzey regresyonu)

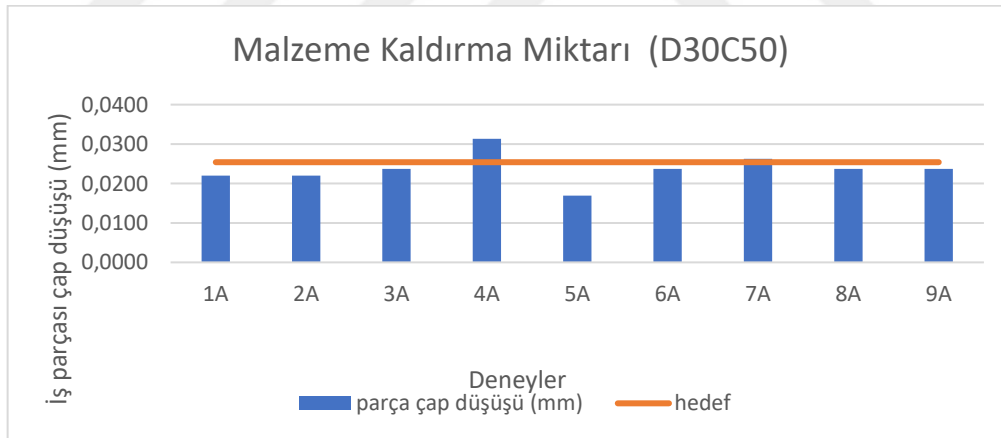


Görsel 4.12. Takım aşınması ortalama etki grafiği (ANOVA)

Kesme derinliğinin 0.0013 mm'den 0.0025 mm'ye artışıyla takım aşınmasının arttığı görülmektedir. (Görsel 4.12) Bu sonuç Yastıkcı (2016) tarafından yazılan "Investigation of Tool Wear in Grinding Processes" başlıklı yüksek lisans tezindeki kesme derinliği arttıkça taşlama diskinin aşınma miktarı artmakta ve ömrü azaldığı sonucuyla örtüşmektedir. Fakat aynı eğilim kesme derinliğinin 0.0025 mm'den 0.0038 mm'ye çıkması sırasında gözlemlenmemiş olup takım aşınma miktarında düşüş olmuştur. Bunun nedeninin 2. Deney sırasında körelen taşların dökülmüş olması ve 3. Deneye daha çok sayıda yeni aşındırıcı ile başlandığı için tane ömürlerinin uzun olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.1.3. Malzeme kaldırma miktarı

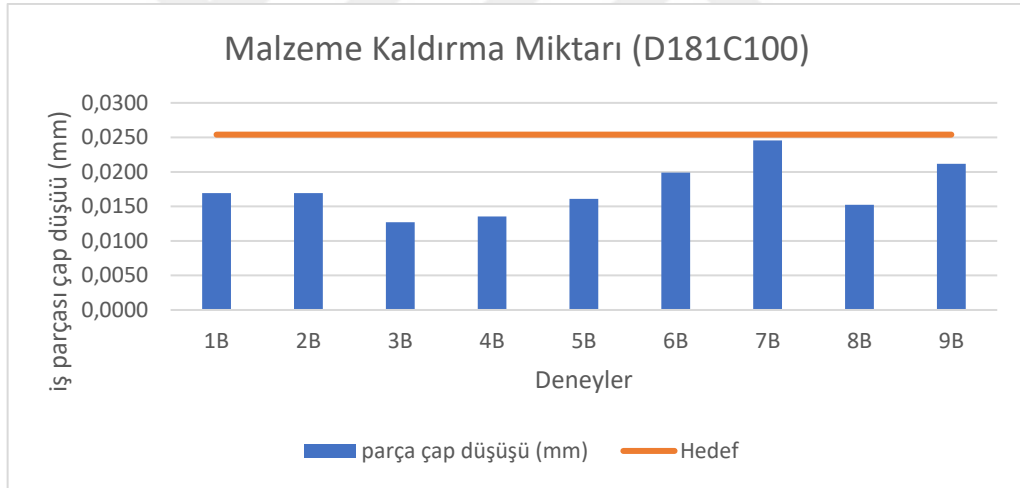
Taşlama işleminde literatür özeti kısmında da bahsedilen çeşitli nedenlerden dolayı, kaldırılmak istenen malzeme miktarı ile kaldırılan malzeme miktarı arasında fark olabilmektedir. Bu fark bazen hedeflenenden az talaş kaldırma nadir olarak da hedeflenenden fazla talaş kaldırma şeklinde olabilir. Bu çalışmada çaptan 0.0254 mm alınacak şekilde cnc program girişi yapılmış ve deney sonunda çap düşüş miktarı aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



Görsel 4.13. D30-C50 Kaba Taş ile İş parçasından talaş kaldırma miktarı

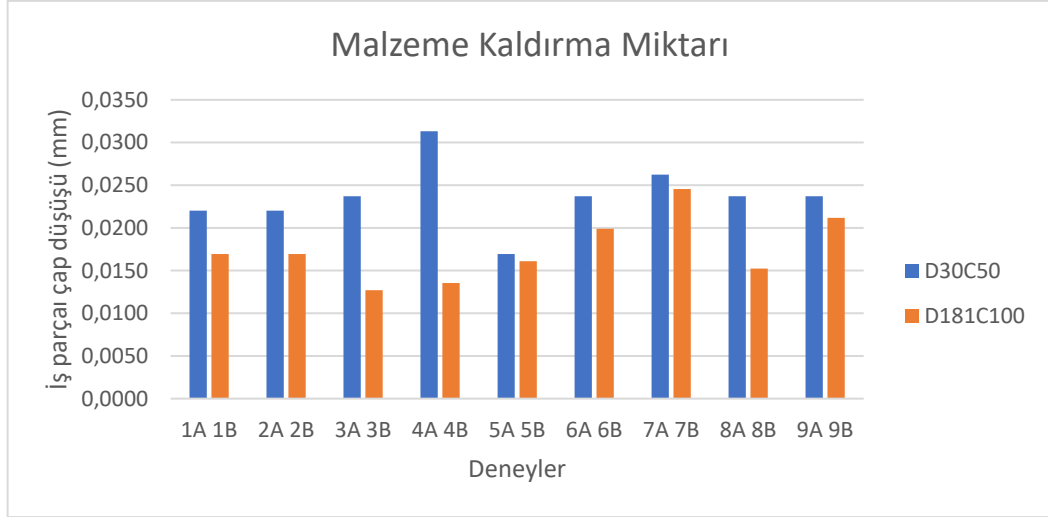
D30C50 taş ile yapılan 9 deneyin 2 tanesinde hedeflenen 0.0245 mm'den fazla, 7 tanesinde ise daha az miktarda malzeme kaldırılmıştır. Hedeflenenden daha fazla malzeme kaldırılan 4A ve 7A numaralı deneyler incelendiğinde 4A'nın 4500 dev/dak, 1.7 mm/s ilerleme ve 0.0025mm kesme derinliği ile 7A'nın 6000 dev/dak, 1.7 mm/s ve 0.0038mm ile tek ortak noktasının 1.7 mm/s ilerleme olduğu görülmektedir. 1.7 mm/s ilerleme bu çalışmadaki deney setlerindeki en düşük ilerleme seviyesi olup aynı ilerlemeye sahip 1A numaralı deneyde aynı sonuç görülmemiştir. (Görsel 4.13)

Taşın elmas taş olması ve elması bileyecek sertlikte malzeme bulunmaması nedeniyle deney aralarında bileme yapılamamıştır. Taşlanan WC-17Co kaplama elmastan sert olduğu için taşlama sırasında taşın bilenmesi de sağlanmış olur. Bu bilgi göz önünde bulundurularak deney 4A ve deney 7A'daki davranışın nedeninin önceki deneylerden kaynaklı bir nedeni olabileceği düşünülmüş ve iki deneyin de bir önceki deney setlerinde ortak bir noktaya rastlanmıştır. Deney 3A ve deney 6A'da ilerleme 0.0051 mm/s ile en yüksek seviyededir. İlerleme takım aşınmasını arttırdığı bilindiği için deney 3A ve Deney 6A sırasında takımın aşınmasının yüksek olduğu yani körelen taneciklerin dökülmüş ve keskin abrasif miktarının fazla olması sonucunu doğurmuştur. Diğer deneylere nispeten daha fazla sayıda keskin tanecik ile başlanan deney 3A ve 7A'da malzeme kaldırma miktarı daha yüksek olmuştur. İlerlemenin aynı şekilde 5.1 mm/s seviyesinde olduğu 9A numaralı deney setinin aynı sonuca neden olup olmadığı yapılan son deney 9A olduğu yani sonrasında deney olmadığı için gözlemlenememiştir.



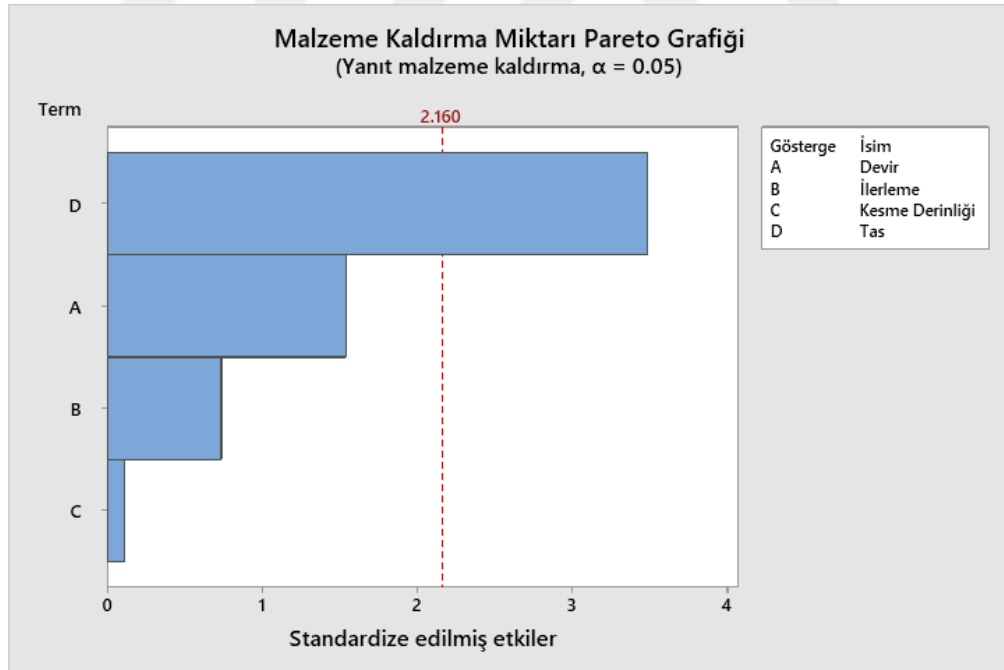
Görsel 4.14. D181C100 taş ile talaş kaldırma miktarı

D181C100 ile yapılan deneylere bakıldığında en yüksek malzeme kaldırma miktarına 7B numaralı deney setinde ulaşıldığı, bu deneyin 6000 dev/dak, 1.7 mm/s ilerleme ve 0.0038 mm kesme derinliğiyle en yüksek iş mili devri-kesme derinliği seviyesine sahip set olduğu görülmektedir. (Görsel 4.14)



Görsel 4.15. D30-C50 ve D181-C100 malzeme kaldırma miktarı karşılaştırması

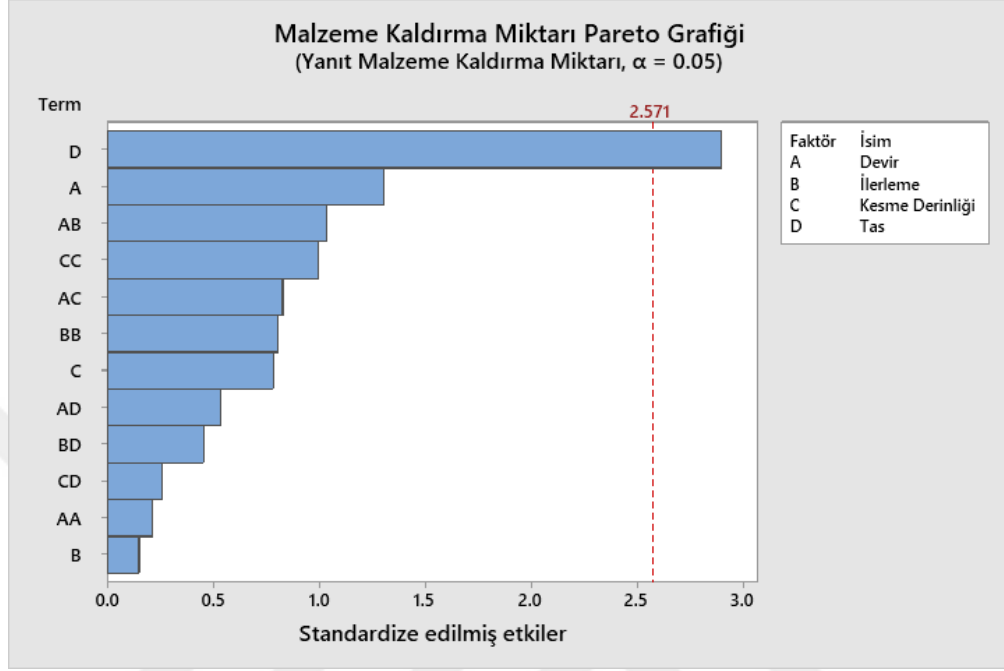
D30-C50 taşın D181-C100'e göre talaş kaldırma miktarı daha fazladır. Aynı kesim parametrelerine sahip ikili deneyler (1A-1B) incelendiğinde tane boyutu büyük taşın daha çok malzeme kaldırdığı sonucuna her deneyde ulaşılmıştır. (Görsel 4.15)



Görsel 4.16. Malzeme kaldırma miktarı pareto grafiği (regresyon analizi)

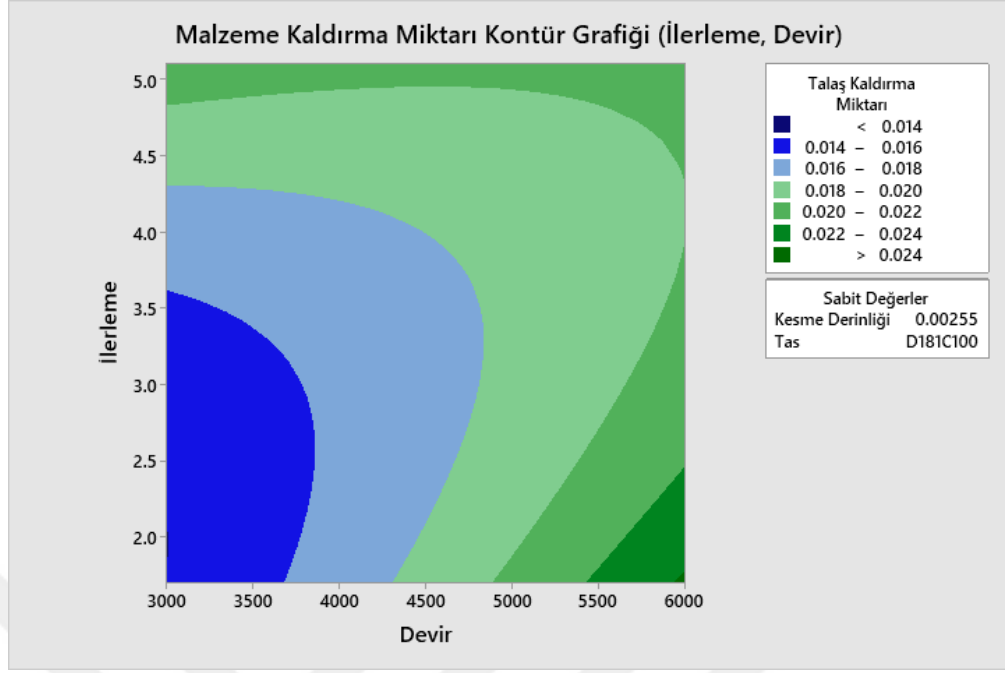
Talaş kaldırma miktarı üzerinde tüm parametrelerin etkisi listelendiğinde regresyon analizi ile oluşturulan grafikte en etkili parametrenin sırayla taş cinsi, devir ve ilerleme olduğu fakat yanıt yüzey regresyonu ile yapılan analiz incelendiğinde en etkili

faktörlerde ilk iki sıra değişmezken üçüncü sırada devir-ilerleme ikilisinin etkileşimi gelmektedir.(Görsel 4.16)



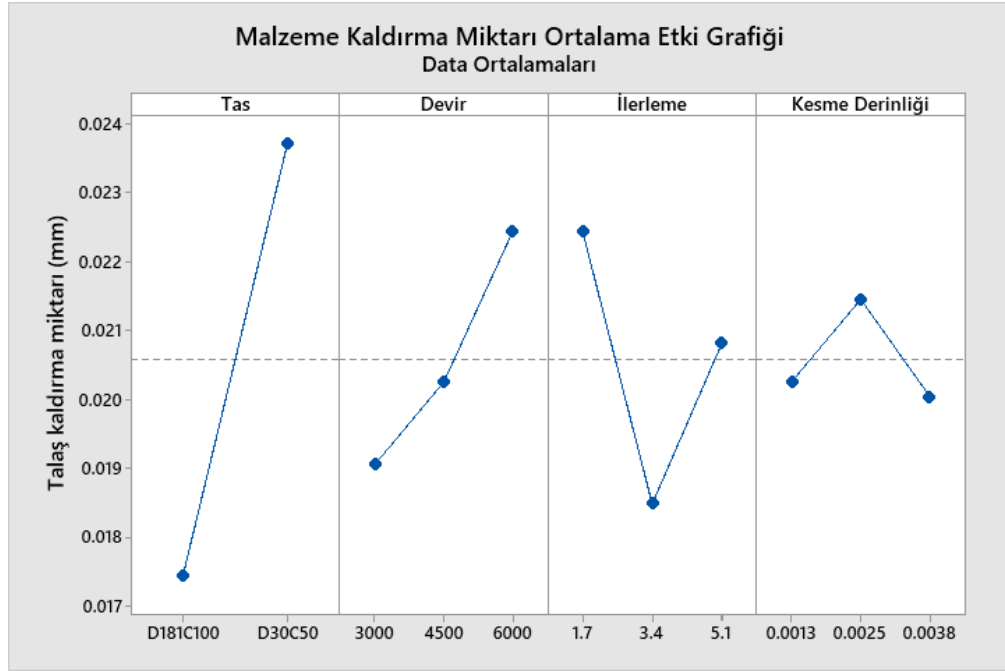
Görsel 4.17. Malzeme kaldırma miktarı pareto grafiği (yanıt yüzey regresyonu)

Parametrelerin talaş kaldırma miktarı üzerine etkileri regresyon analizi yerine yanıt yüzey regresyonu ile incelendiğinde ilerlemenin kesme derinliğinin arkasına düştüğü görülmektedir. (Görsel 4.17)



Görsel 4.18. Malzeme kaldırma miktarı kontür grafiği (yanıt yüzey regresyonu)

Yanıt yüzey regresyonu yöntemi ile yapılan kontür grafiğinde ise devir ve ilerleme artışının malzeme kaldırma hızını arttırıcı yönde etki yaptığı gözükmemektedir. (Görsel 4.18)

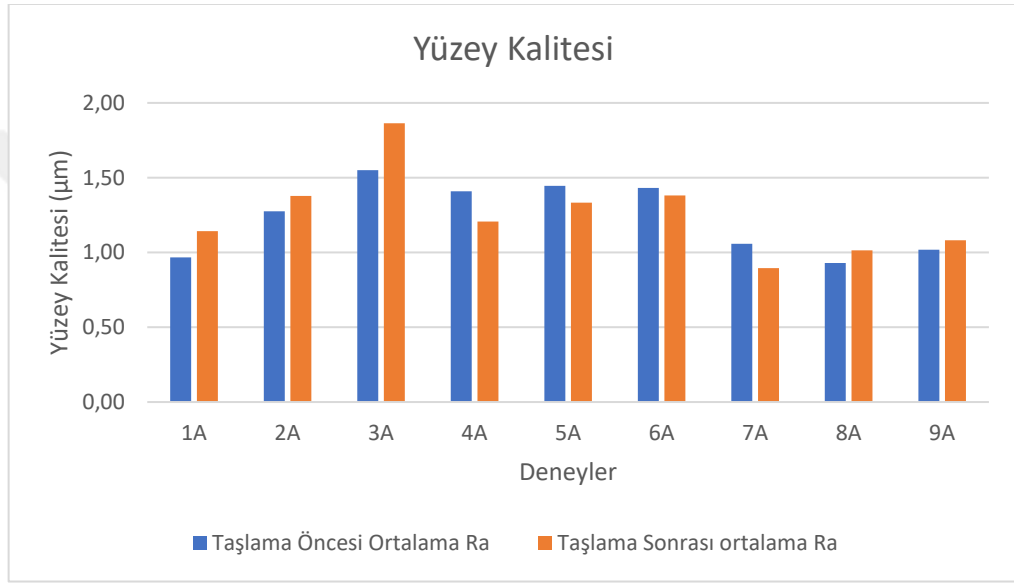


Görsel 4.19. Malzeme kaldırma miktarı ortalama etki grafiği (ANOVA)

Talaş kaldırma miktarı üzerine ANOVA ile yapılan ortalama etki grafiğinde taş tane büyüklüğünün ve ya taş devri artışının malzeme kaldırma miktarını artırıcı yönde etki yaptığı görülmektedir. (Görsel 4.19)

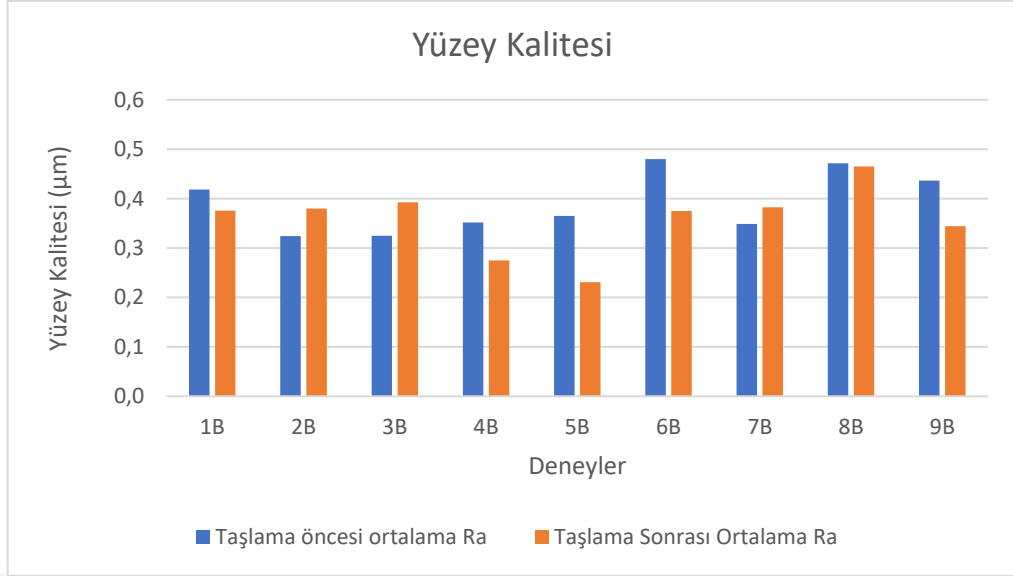
4.1.4. Yüzey kalitesi

Yüzey kalitesi için, iş parçasından taşlama öncesi ve sonrası ölçüm alınmıştır. Değerler, deney sonrası 9 noktadan alınan Ra ölçümünün ortalaması olup, mikrometre cinsinden gösterilmiştir.



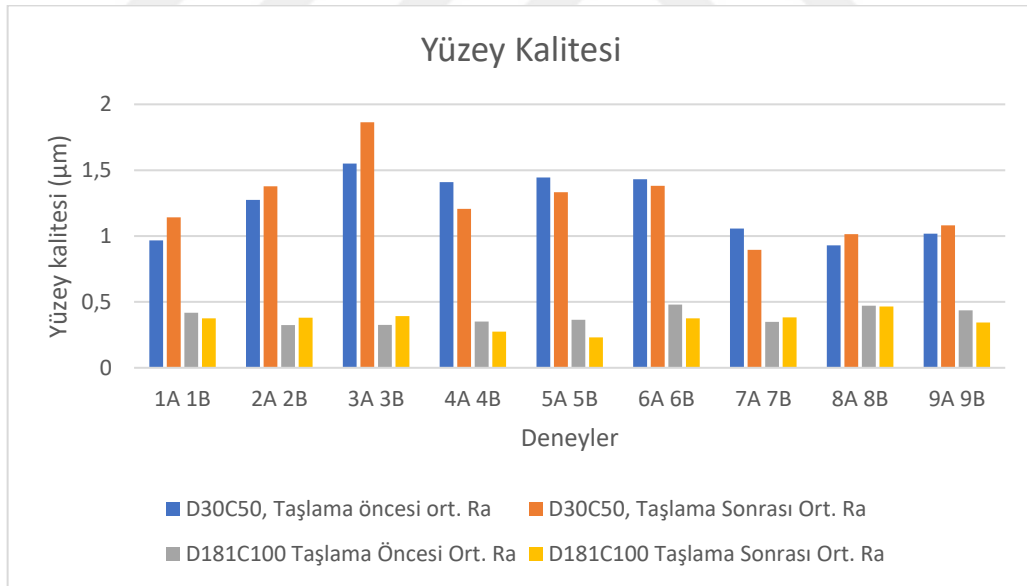
Görsel 4.20. D30-C50 Kaba taş ile taşlama öncesi ve sonrası yüzey kaliteleri

D30-C50 ile yapılan deneylere bakıldığında yüzey kalitesini başlangıç yüzey kalitesine göre bakıldığında 3000 dev/dak ile yapılan deney 1,2,3 te arttırdığı, 4500 dev/dak'da yapılan deney 4,5,6'da azalttığı, 6000 dev/dak yapılan deney 7, 8,9 da ise ilerleme ve kesme derinliğine göre farklı eğilimler gösterdiği gözükmektedir. Deney 7'de deney 8 ve 9'a göre daha düşük ilerleme hızı kullanıldığı için yüzey kalitesi düşerken deney 8 ve 9 da artmıştır. (Görsel 4.20)



Görsel 4.21. D181-C100 Finiş taş ile taşlama öncesi ve sonrası yüzey kaliteleri

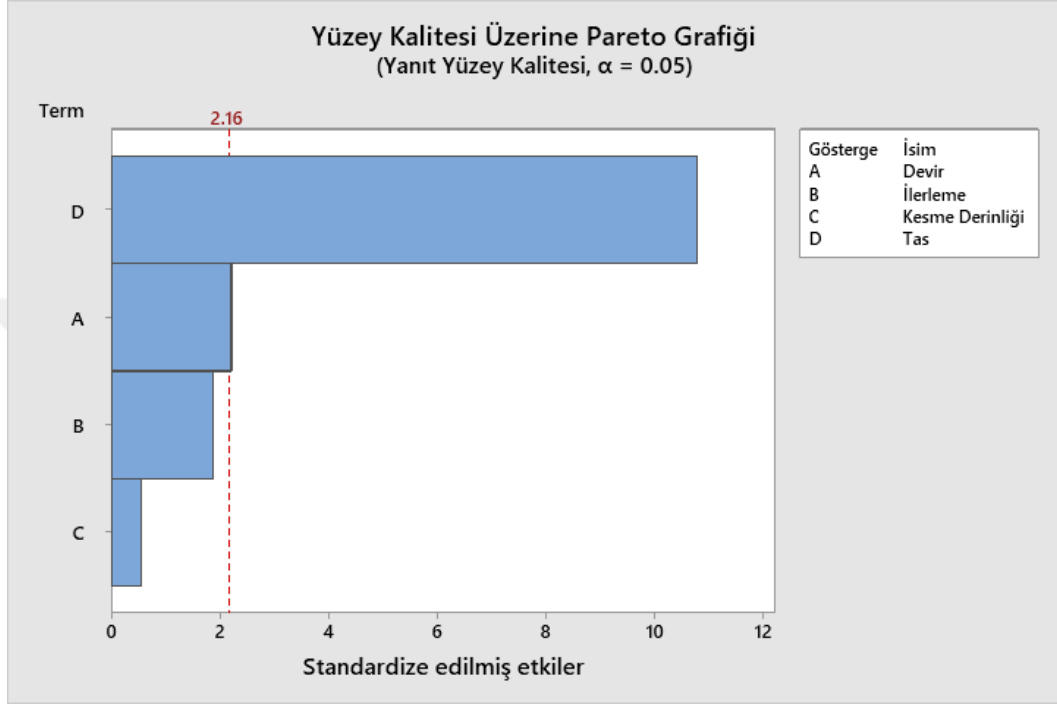
D181C100 ile yapılan deneylere bakıldığında çıkan yüzey kalitesi arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. (Görsel 4.21)



Görsel 4.22. D30-C50 ve D181-C100 yüzey kalitesi karşılaştırması

D181-C100 ile yapılan deneylere bakıldığında yüzey kalitesinin parametreden bağımsız olarak 0.23 ile 0.47 µm arasında olduğu görülmüştür. D30-C50 ile yapılan deneylere bakıldığında ise bu değer 0.90 ile 1.86 µm aralığına çıkmaktadır. Burada yüzey kalitesinin, kesim parametrelerinden çok taş tane büyüklüğünün etkili olduğu

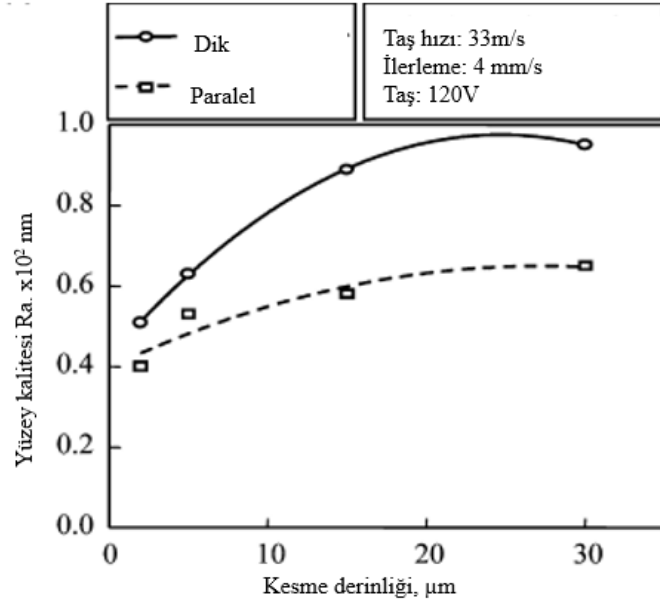
görülmüştür. Ayrıca daha düşük tane boyutuna sahip olan D181-C100 taş ile daha düşük değerlerde yüzey kalitesi elde edilmiştir. (Görsel 4.22) Bu sonuç, Ruzzi vd. (2021) tarafından yapılan Inconel 718 üzerinde yapılan çalışmada ulaşılan tane büyüklüğünün düşmesinin yüzey kalitesi numerik değerini düşürdüğü sonucuyla örtüşmektedir.



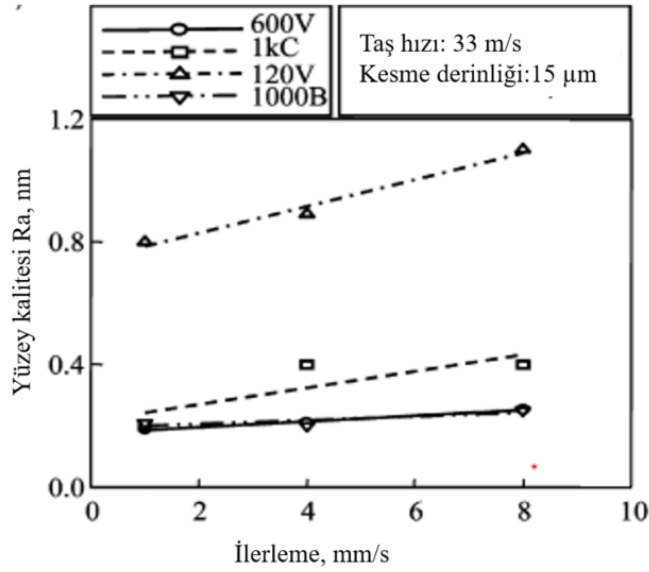
Görsel 4.23. Yüzey kalitesi pareto grafiği (regresyon analizi)

Burada bahsi geçen iki deney seti incelendiğinde ve Görsel 4.22'deki analiz sonuçları göz önüne alındığında, her iki sette de aynı olan ilerleme ve kesme derinliği artışları arasından ilerlemenin yüzey kalitesi üzerinde daha etkili olduğu görülmektedir. İş mili devrinin artmasıyla (kesme hızının artmasıyla) yüzey kalitesi numerik değerinin düştüğü görülmektedir. 1995 ve 2020 yılında yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar bulunmuştur. Effect of Grinding Parameters on Surface Quality, Microstructure and Rolling Contact Tatigue Behaviors of Gear Steel for Vacuum Pump isimli çalışmada iş parçası üzerinden birim zamanda geçen aşındırıcı tanecik sayısı arttığı için yüzeydeki oyulma izlerinin derinliği daha düşük çıkmıştır. (Kang vd., 2020)Yine Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek için Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu çalışmasında çevresel hız oranı arttıkça Ra değerinin düştüğü görülmektedir. (Güllü, 1995)

İlerleme ve kesme derinliğinin artışıyla yüzey kalitesi numerik değerinin arttığı görülmüştür. Liu vd, 2002 yılında “Grinding of Nanostructured Ceramic Coatings: Surface Observations and Material removal mechanisms” adlı çalışmalarında WC-12Co kaplama üzerinde devir ve ilerleme artışı için benzer eğilim tespit etmişlerdir. (Görsel 4.24 ve Görsel 4.25)

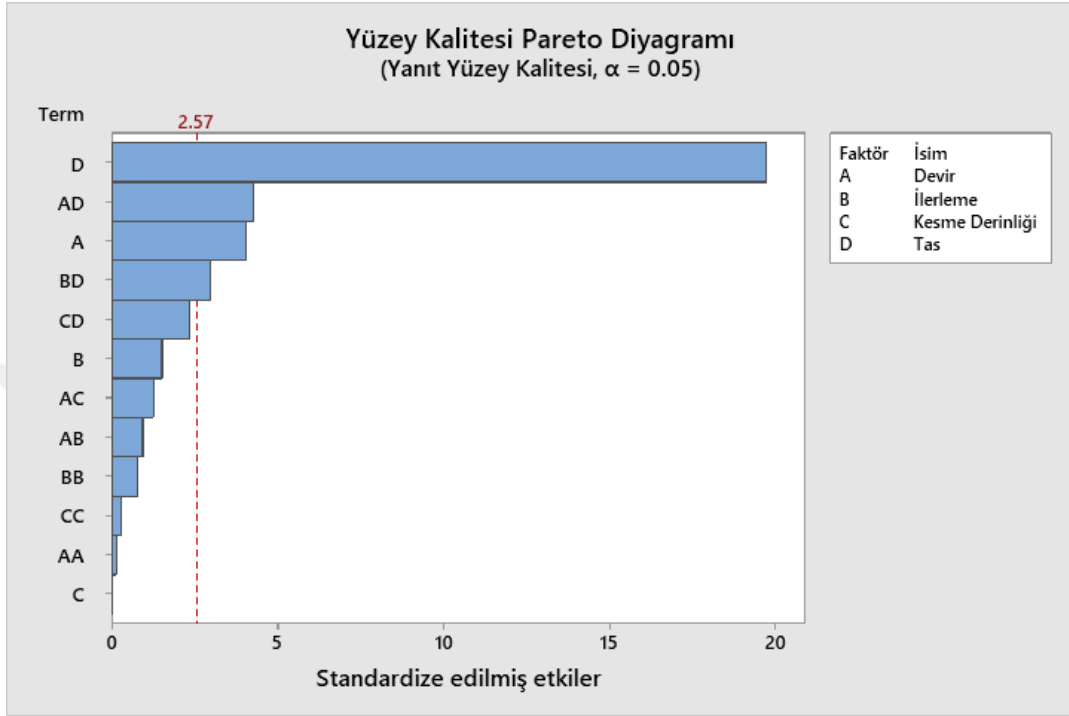


Görsel 4.24. WC-12Co kaplamanın taşlanması sırasında kesme derinliğinin yüzey kalitesi üzerine etkisi.

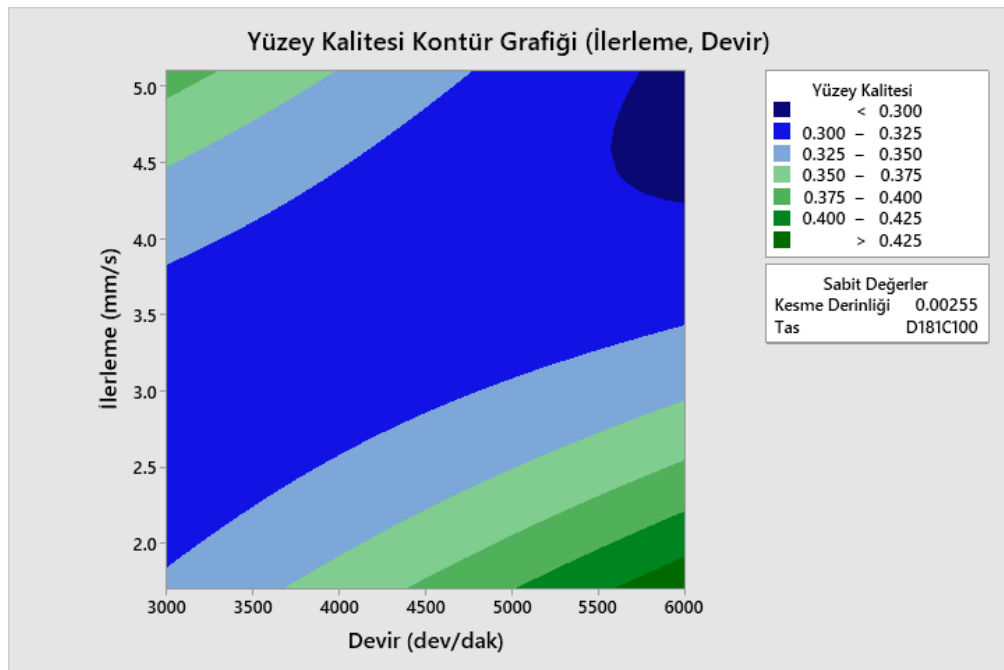


Görsel 4.25. WC-12Co kaplamanın taşlanması sırasında ilerlemenin yüzey kalitesi üzerine etkisi.

Yüzey kalitesi üzerinde parametrelerin etkilerine bakıldığında en etkili parametrenin taşın cinsi olduğu bunu kesme hızının takip ettiği görülmüştür. (Görsel 4.26)

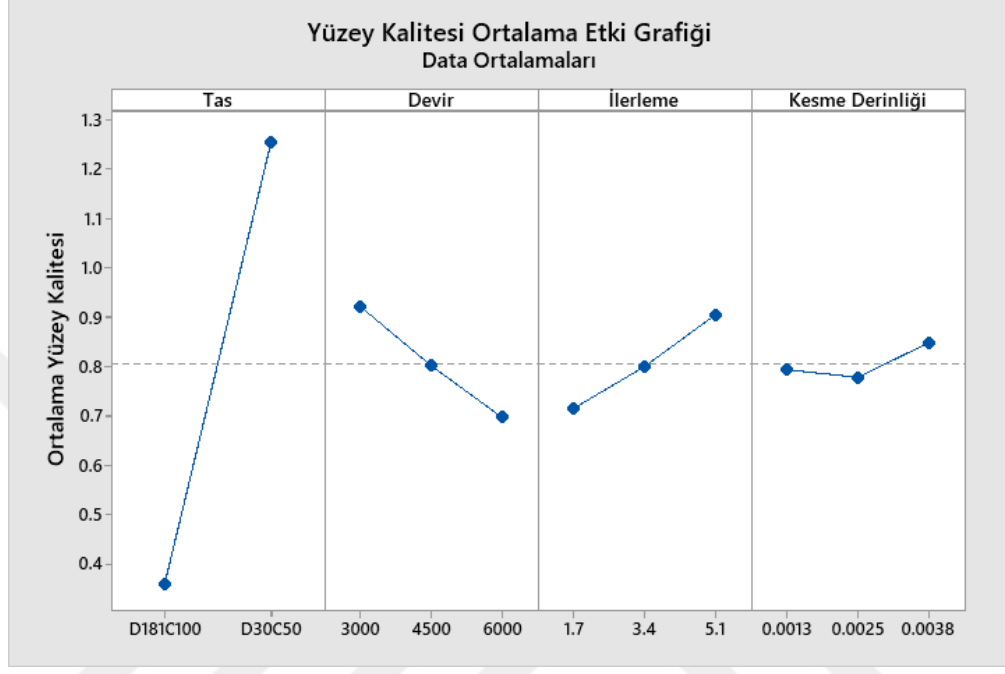


Görsel 4.26. Yüzey kalitesi üzerine parametrelerin etkisi pareto grafiği (yanıt yüzey regresyonu)



Görsel 4.27. Yüzey kalitesi kontür grafiği (yanıt yüzey regresyonu)

Yüzey kalitesi kontür grafiğinde ise optimum ilerleme ve devirde yüzey kalitesinin en iyi haline ulaştığı görülmektedir. Hem devir hem ilerleme için optimum değerden uzaklaştıkça yüzey kalitesi kötüleşmektedir. (Görsel 4.28)



Görsel 4.28. Yüzey kalitesi ortalama etki grafiği (ANOVA)


Ortalama etki grafiğine göre taş tane büyüklüğünün küçülmesi, iş mili devrinin artması, ilerlemenin azalması ve kesme derinliğinin küçülmesi yüzey kalitesini iyileştirmektedir. (Görsel 4.28)

Ortaya çıkan yüzey kalitesini görselleştirebilmek için aynı altlık malzeme ve kaplama malzemesi kullanarak kaplama yapılmış, D30C50 ve D181C100 ile farklı parametrelerle taşlanmıştır.(Görsel 4.29)


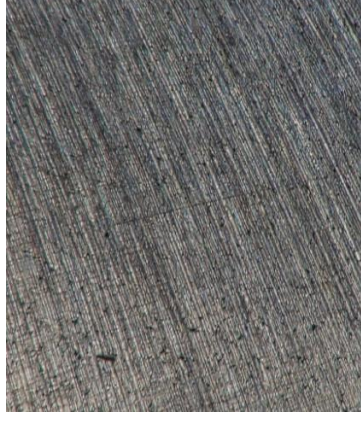

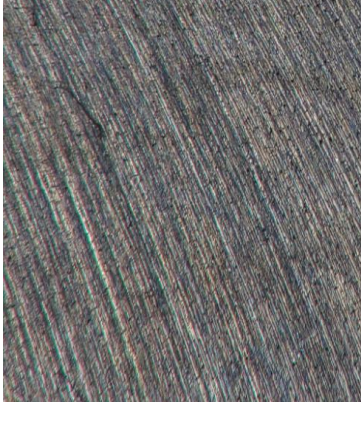
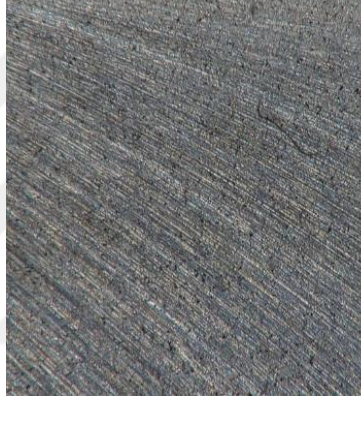

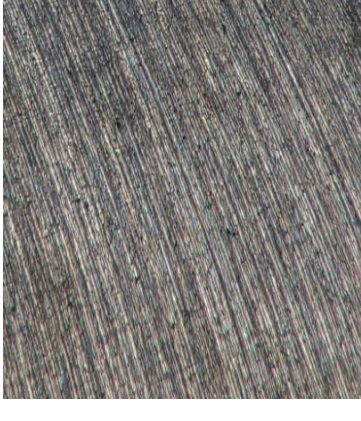
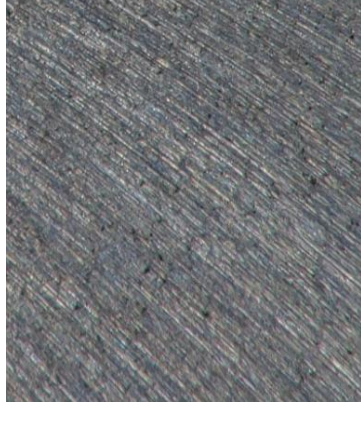
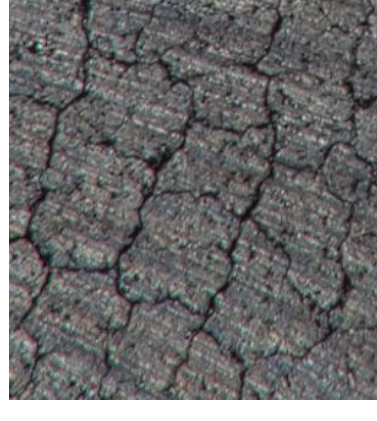


Görsel 4.29. Farklı parametrelerle taşlanmış test kuponları

Görsel 4.29’da görülen 18 adet test kuponuna kesme derinliğini 0.0013 mm’de sabit tutarak, iş mili devri 3000-4500dev/dak, ilerleme de 1.7 mm/s ile 5.1 mm/s arasında değişecek şekilde taşlama yapılmıştır. Taşlanmış yüzeylerin 60x büyütülmüş haldeki yüzey kaliteleri D30C50 taş için Görsel 4.30’da, D181C100 taş için Görsel 4.31’de verilmiştir.

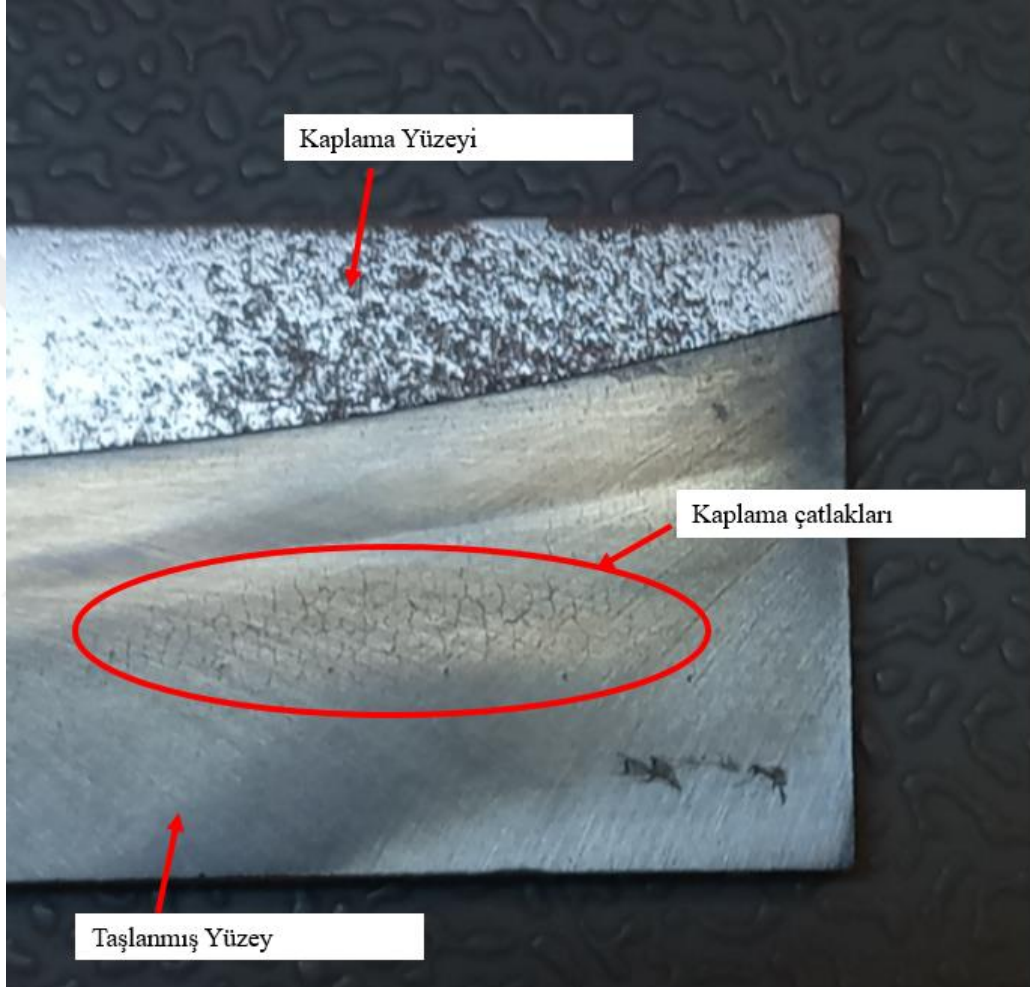
D30C50, Kesme derinliği= 0.0013mm sabit		
		
a) s:3000 dev/dak, f:1.7mm/s	b) s:4500 dev/dak, f:1.7mm/s	c) s:6000 dev/dak, f: 1.7mm/s
		
d) s:3000 dev/dak, f: 3.4mm/s	e) s:4500 dev/dak, f: 3.4mm/s	f) s:6000 dev/dak, f: 3.4mm/s
		
g)s: 3000 dev/dak, f:5.1mm/s	h) s: 4500 dev/dak, f:5.1mm/s	ı) s: 6000 dev/dak, f:5.1mm/s

Görsel 4.30. D30C50 taş ile yapılan deneylerle elde edilen yüzey kalitesi (60x büyütme)

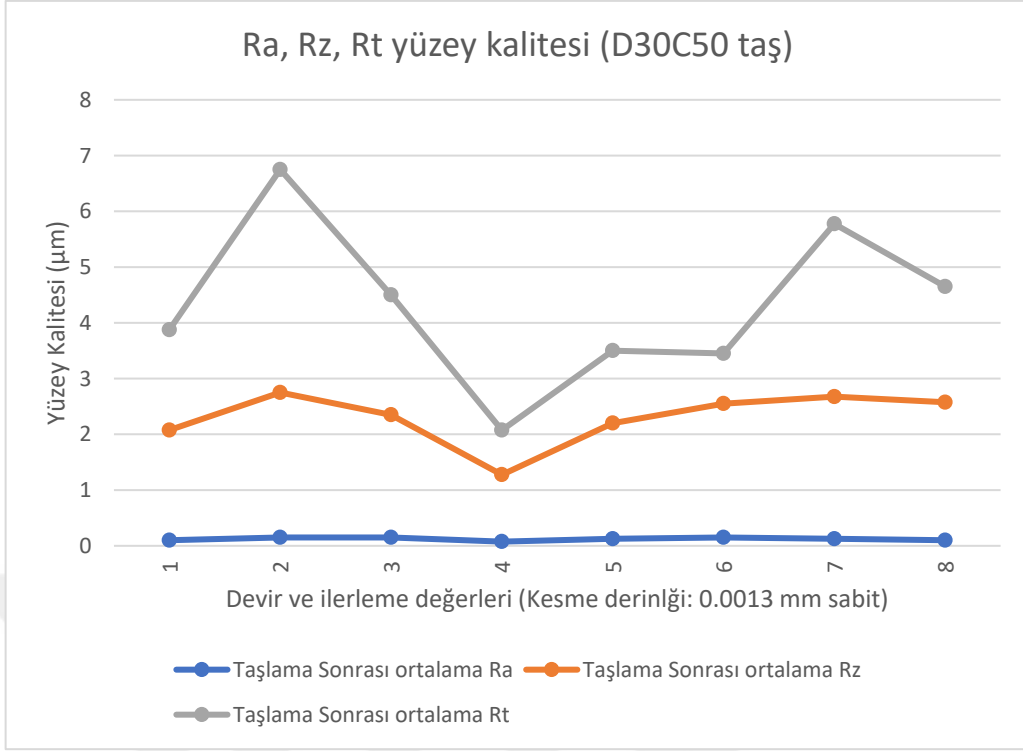
D181C100, $a_p = .0013\text{mm}$ sabit		
		
a) s:3000 dev/dak, f:1.7mm/s	b) s:4500 dev/dak, f:1.7mm/s	c) s:6000 dev/dak, f: 1.7mm/s
		
d) s:3000 dev/dak, f: 3.4mm/s	e) s:4500 dev/dak, f: 3.4mm/s	f) s:6000 dev/dak, f: 3.4mm/s
		
g)s: 3000 dev/dak, f:5.1mm/s	h) s: 4500 dev/dak, f:5.1mm/s	ı) s: 6000 dev/dak, f:5.1mm/s

Görsel 4.31. D181C100 taş ile deneme sonuçları(60x büyütme)

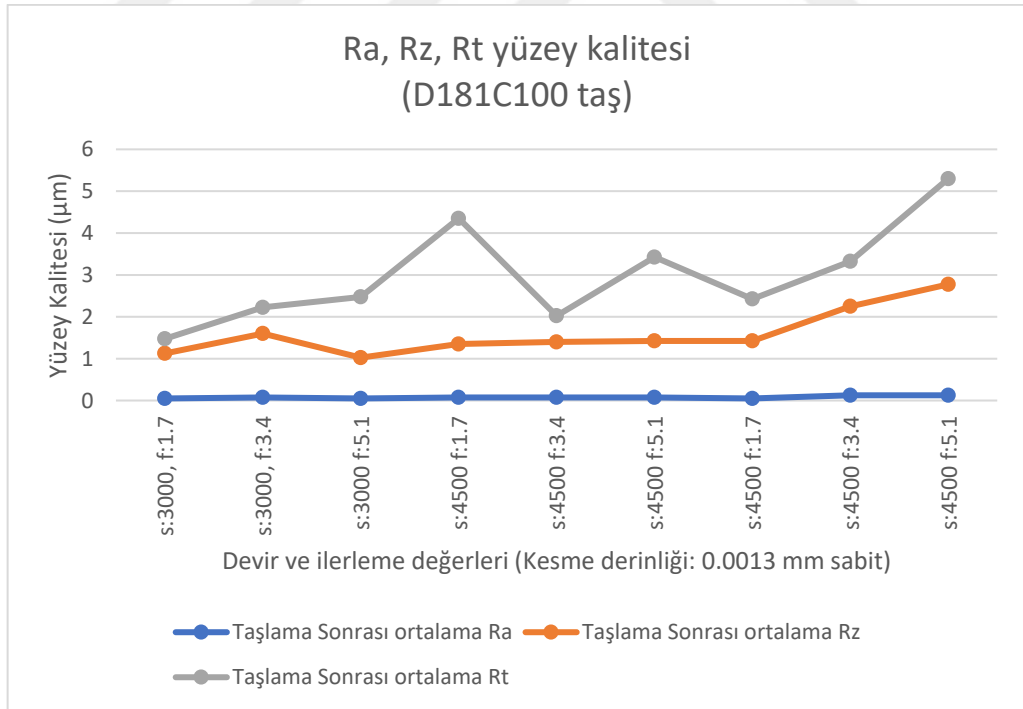
Görsel 4.31’de görülebileceği üzere, iş mili devrinin 4500 dev/dakikanın üzerine çıkmasıyla kaplama yüzeyinde çatlak oluşumu gözlenmeye başlamıştır.(Görsel 4.31, c,e,f,h,ı.) İş mili devrinin 6000 dev/dakika ve ilerlemenin 5.1 mm/s ile en üst seviyeye çıkmasıyla kaplama çatlakları çıplak gözle görülecek kadar belirgin hale gelmiştir. (Görsel 4.32)



Görsel 4.32. D100C181, s:6000 dev/dak, f:5.1 mm/s, ap:0.0013mm ile taşlanmış kaplamada çatlak görüntüsü



Görsel 4.33. D30C50 taş ile taşlama sonrası ortalama Ra, Rz, Rt değerleri



Görsel 4.34. D181C100 taş ile taşlama sonrası ortalama Ra, Rz, Rt değerleri

Görsel 4.33 ve 4.34'te görüldüğü üzere Rz ve Rt yüzey kaliteleri, Ra yüzey kalitesine göre kesme parametrelerine daha duyarlıdır. Özellikle çatlakların görüldüğü

Görsel 4.31)ı)'daki test kuponunun Ra değeri neredeyse diğer test kuponları ile aynı iken Rz ve Rt'de majör farklar gözükmemektedir.

Kesim parametrelerinin Ra ve Rz üzerien farklı etkileri olduğu daha önceki araştırmacılar tarafından da gözlemlenmiştir. Rodrigo vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada taşlama parametrelerinin yüzey kalitesi üzerine etkileri incelenirken Inc 625'in taşlanmasında Ra ve Rz üzerinde etkili olan faktörlerin sıralaması farklı olduğu bulunmuştur. (Görsel 2.25 ve 2.26)

Deneyler sonucunda minitabde yüzey kalitesi için aşağıdaki denklemler elde edilmiştir.

D181C100 Taş için

$$\begin{aligned} Ra = & 0.049 + 0.000137devir - 0.024ilerleme + 60kesme\ derinliği \\ & + 0.000000devir * devir + 0.0149\ ilerleme * ilerleme \\ & + 10587Kesme\ Derinliği * Kesme\ Derinliği - 0.000020Devir \\ & * İlerleme - 0.0368Devir * Kesme\ Derinliği \end{aligned}$$

D30C50 Taş için

$$\begin{aligned} Ra = & 1.059 - 0.000022\ devir + 0.074\ ilerleme + 166\ kesme\ derinliği \\ & + 0.000000devir * devir + 0.0149\ ilerleme * ilerleme \\ & + 10587\ kesme\ derinliği * kesme\ derinliği - 0.00020\ devir \\ & * ilerleme - 0.0368devir * kesme\ derinliği \end{aligned}$$

4.1.5. Mikro sertlik

Belirlenen 18 deney seti için, sertlik ölçümüne uygun 18 adet plakaya plazma kaplama yaptırılarak, EMCO test cihazıyla taşlama öncesi ve sonrası 10'ar adet sertlik ölçümü alınmıştır. (Tablo 4.1, Tablo 4.3)Daha sonra kesme derinliği 0.0013 mm'de sabit tutularak devir ve ilerlemenin kaplamanın sertliğini nasıl etkilediği araştırılmıştır.(Tablo 4.2, Tablo 4.4) Rockwell C skalasında ölçüm yapılmıştır.

Tablo 4.1. *Kaplamanın taşlama öncesi sertlik değerleri (D30C50)*

D30C50	TAŞLAMA ÖNCESİ								
	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A
1	91.2	85	89.4	91.4	89.8	91	89.2	87.2	87.7
2	91	88.6	91.1	91.4	89.9	93.8	89.9	90.2	92.3
3	89.3	86.3	88.4	90.1	90.1	91.4	90.9	90.8	91.1
4	91.8	89.9	89	89.3	89.4	92.4	90.8	92.6	90.6
5	90.4	87.6	89.8	90.4	91.7	90.6	90	90.3	90.4
6	91.7	91	91	89.3	90	90.3	92.3	88.5	90.9
7	91.4	90.2	91.5	91.2	91.4	90.9	91.8	90.3	89.7
8	90.7	89.5	91.9	91.5	91.1	90.7	91	86.7	88.7
9	90.6	89.9	90.6	90.6	90.6	92.6	89.3	90.8	90.8
10	88.3	87.5	91.7	89.1	89.1	86.6	89	89.8	89.7
ORT	90.64	88.55	90.44	90.43	90.31	91.03	90.42	89.72	90.19

Tablo 4.2. *Kaplamanın taşlama sonrası sertlik değerleri (D30C50)*

D30C50	TAŞLAMA SONRASI								
ÖLÇÜM	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A
1	89.3	91.1	91.4	90.5	91.1	91.4	90.5	91.1	90.7
2	90.2	90.7	90.5	90.4	91.6	90.8	90.5	90.6	91.6
3	90.4	91.4	90.8	91.1	91.5	91.6	90.9	91	90.9
4	90	90.8	90.9	90.8	91.4	92.2	90.9	91	91.5
5	90.6	91	91.8	91	91.5	90.8	90.9	90.7	90.5
6	90.2	90.4	91.4	90.9	91	91.6	91.7	90.7	91.3
7	90.6	90.3	90.6	90.3	90.9	91	90.5	91.4	91.4
8	89.9	90	90.6	88.8	91.3	91.9	91.3	90.9	92
9	90.3	89.7	90.5	89.4	91.9	91.7	90.4	91.3	91.5
10	90.4	88.7	91.3	88.3	92.7	91.1	90.4	91.7	90.2
ORT	90.19	90.41	90.98	90.15	91.49	91.41	90.8	91.04	91.16

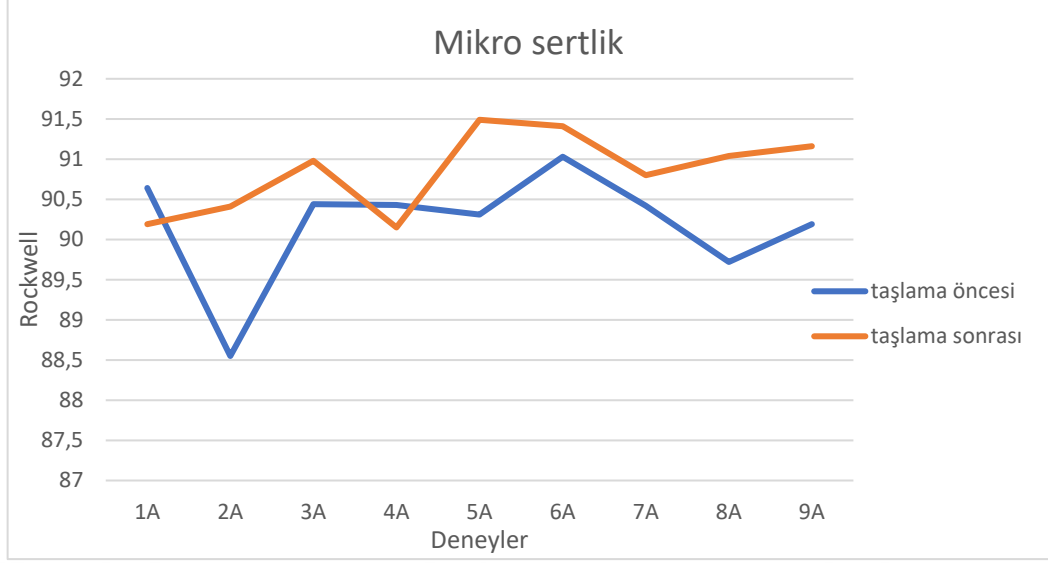
Tablo 4.3. *Kaplamanın taşlama öncesi sertlik değerleri (D181C100)*

D181C100	TAŞLAMA ÖNCESİ								
	ÖLÇÜM	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B
1	90.4	91.5	91.7	89.2	86.5	87.8	86	91	88.1
2	92.7	90.1	88.2	92	89.1	91.8	90.6	90	91.2
3	88.6	90.1	89.1	91.1	90	89.2	90.2	91.1	91.1
4	89.5	92.1	89.8	91.2	89.9	91.5	90.6	93	91
5	91.3	91.3	91.6	91.6	90	90.4	91.3	92.4	91.1
6	89.5	89.7	90.5	88.3	91.1	87.5	90.1	88.9	91.3
7	90.8	88.4	91.4	89.5	91.8	87.1	89.9	91.4	89.2
8	92.3	90.7	91.3	91.1	91.1	88.3	89.2	90.9	90.7
9	91.4	89.7	90.5	89.7	90.4	85.3	84.6	90.5	91.6
10	92	89.5	89.7	88.7	91.1	88.6	91.9	90.1	91.7
ORT	90.85	90.31	90.38	90.24	90.1	88.75	89.44	90.93	90.7

Tablo 4.4. Kaplamanın taşlama sonrası sertlik değerleri (D181C100)

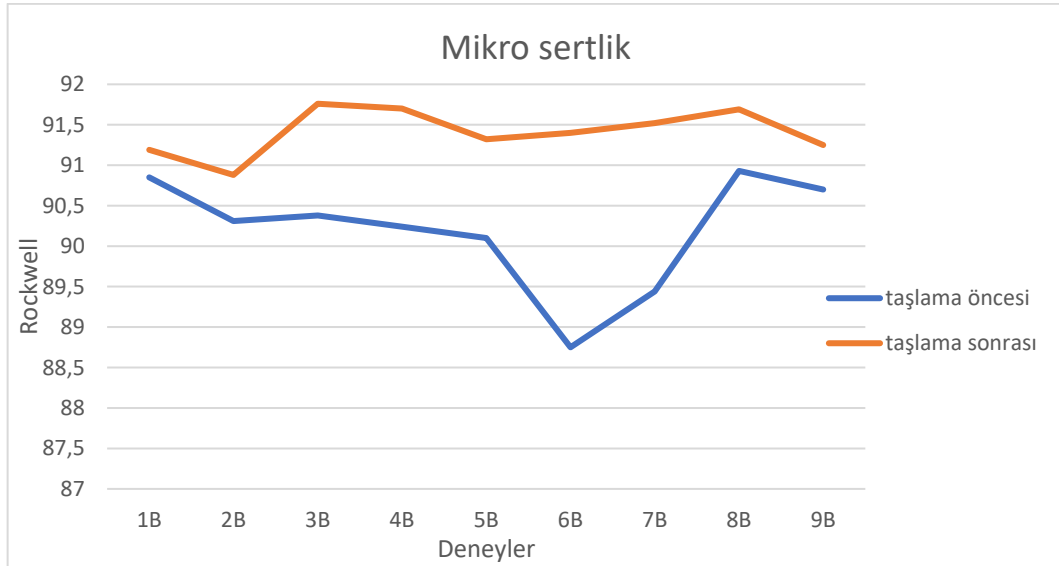
D181C100	TAŞLAMA SONRASI								
	ÖLÇÜM	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B
1	90.4	90	91.5	91.3	90.6	90.8	92	91.8	91
2	91.1	89.6	91.6	91.4	90.6	90.8	92.2	92.2	92.6
3	90.9	90.7	91.7	91.5	91.3	91	91	91.5	91.6
4	90.8	90.5	91.7	92	90.5	90.8	91	91.6	91.4
5	90.5	90.5	92.2	92.8	90.6	91	91.5	91.6	90.4
6	91.8	91.1	92.5	91.5	91.9	91.6	91.5	92	90.6
7	91.9	91.8	92	92.4	91.9	92.2	90.7	91.5	90.6
8	91.3	91.9	90.6	91.1	92.6	91.3	92.4	91.2	92.5
9	91.9	92	92	91	92.8	92	91.6	92.1	91
10	91.3	90.7	91.8	92	90.4	92.5	91.3	91.4	90.8
ORT	91.19	90.88	91.76	91.7	91.32	91.4	91.52	91.69	91.25

Görsel 4.35, 4.36, 4.37, 4.40 ve 4.41'deki grafikler alınan 10 ölçümün ortalama değerleriyle oluşturulmuştur.



Görsel 4.35. D30C50 taşla taşlama öncesi ve sonrası sertlik değerleri

D30C50 taşla yapılan deneyler incelendiğinde 3000 devir ve 1.7 mm/s ilerleme ile yapılan 1. Deney ve 4500 devir/dak ve 1.7 mm/s ilerlemeyle yapılan 4. Deney seti hariç diğer parametrelerin kaplama sertliğini arttırıcı yönde etki yaptığı görülmektedir. (Görsel 4.35)

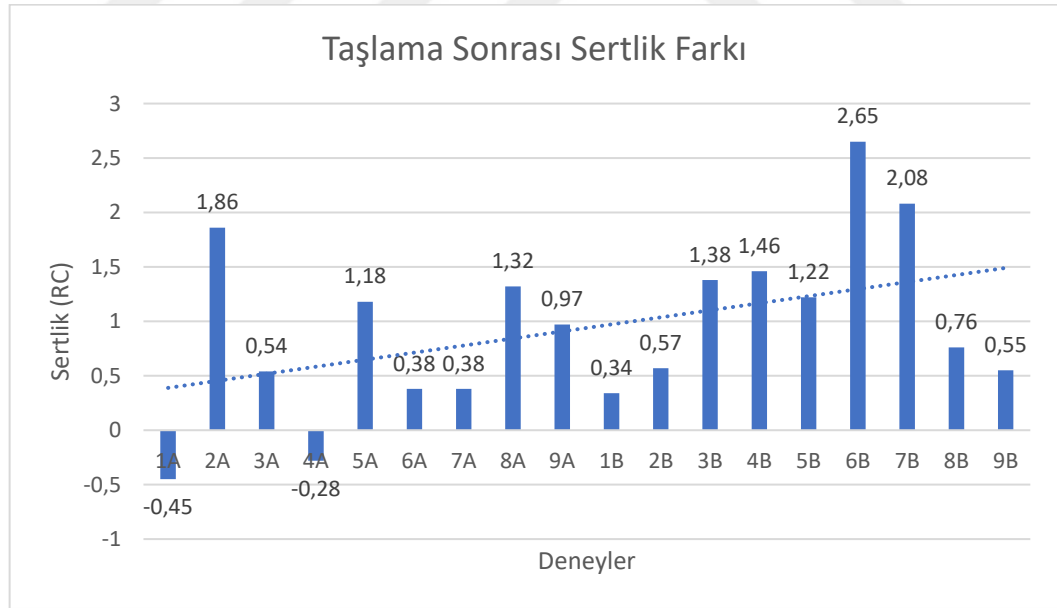


Görsel 4.36. D181C100 taşla taşlama öncesi ve sonrası sertlik değerleri

D181C100 taşla yapılan deneylere bakıldığında taşlamanın tüm parametreler için kaplama sertliğini arttırdığı görülmektedir.(Görsel 4.36)

Tablo 4.5. Taşlama işlemiyle oluşan sertlik farkları(10 değer ortalama)

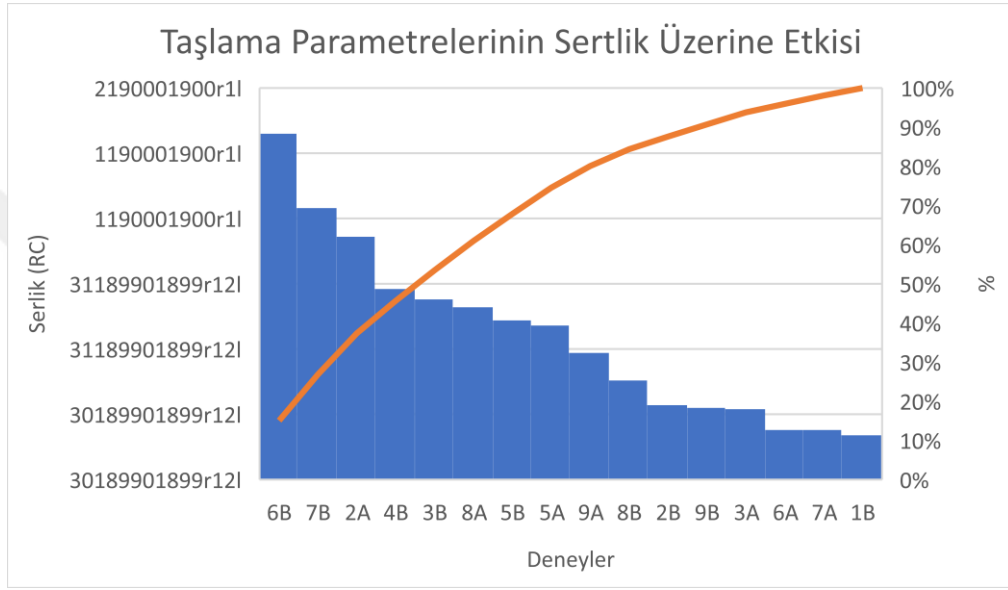
Deneyler	Taşlama öncesi ortalama sertlik	Taşlama sonrası ortalama sertlik	Taşlama sonrası sertlik farkı
1A	90.64	90.19	-0.45
2A	88.55	90.41	1.86
3A	90.44	90.98	0.54
4A	90.43	90.15	-0.28
5A	90.31	91.49	1.18
6A	91.03	91.41	0.38
7A	90.42	90.8	0.38
8A	89.72	91.04	1.32
9A	90.19	91.16	0.97
1B	90.85	91.19	0.34
2B	90.31	90.88	0.57
3B	90.38	91.76	1.38
4B	90.24	91.7	1.46
5B	90.1	91.32	1.22
6B	88.75	91.4	2.65
7B	89.44	91.52	2.08
8B	90.93	91.69	0.76
9B	90.7	91.25	0.55



Görsel 4.37. Taşlama parametrelerinin kaplama sertliği üzerinde etkileri

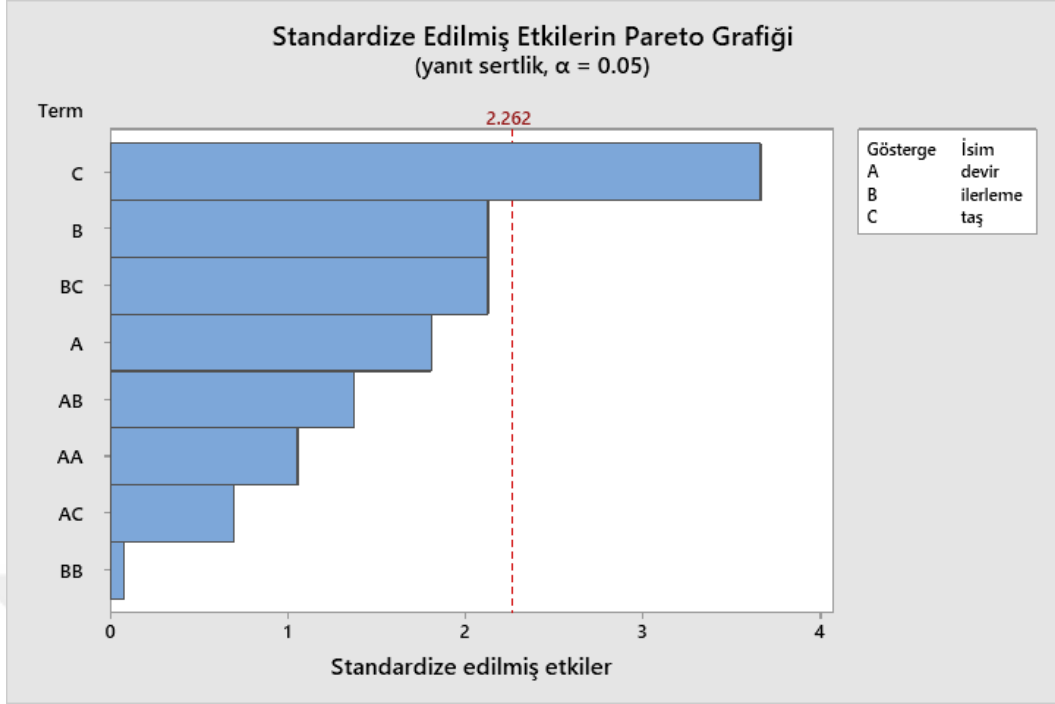
Yapılan 18 deney setinden sadece 1A ve 4A numaralı deneyler sertlik düşüşüne neden olmuş diğer tüm denemelerde taşlama işlemi kaplama sertliğini arttırmıştır.(Görsel 4.37) 18 deneyin ortalamasına bakıldığında taşlama işleminin kaplama sertliğini 0.9 Rockwell arttırdığı görülmektedir. Ayrıca genel trende bakıldığında ince taneli ve yüksek

konsantrasyonlu taşla (D181C100) yapılan deneylerde sertlik artışının iri taneli ve daha düşük konsantrasyonlu (D30C50) ile yapılan deneylere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin ince taneli ve yüksek konsantrasyonlu taşta soğutma sıvısının iri taneli ve düşük konsantrasyonlu taş kadar iyi nüfuz edememesi nedeniyle kesme bölgesinde oluşan sıcaklıktan dolayı olduğu düşünülmektedir. Deneyler sırasında termal kamera kullanılmamıştır.



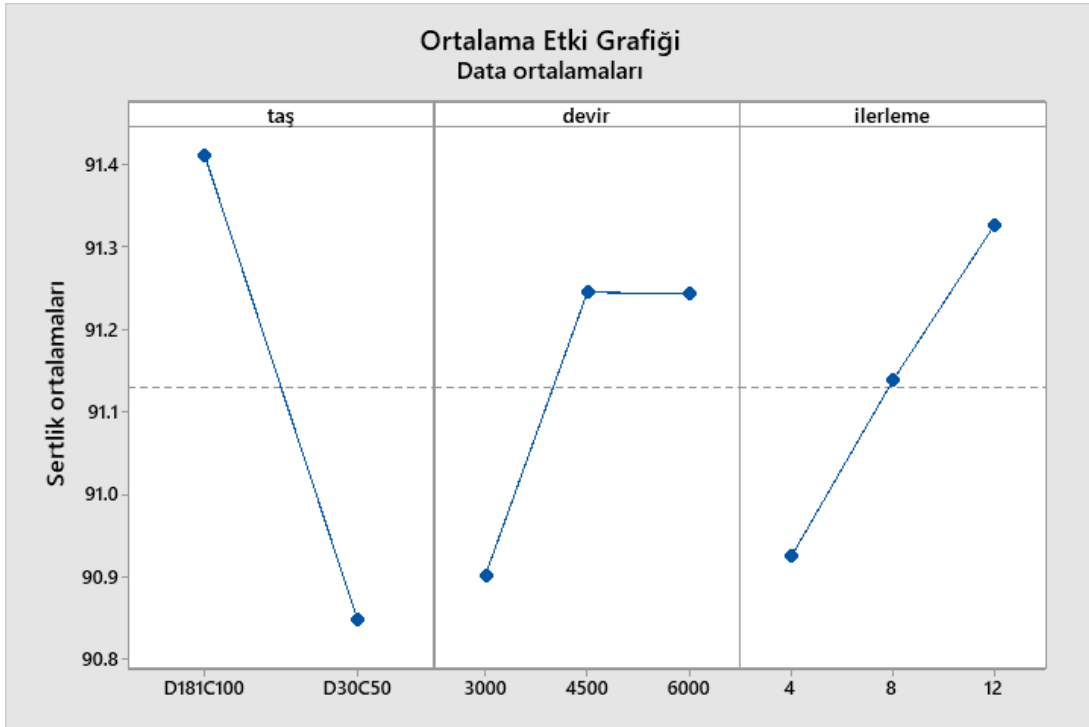
Görsel 4.38. Taşlama parametrelerinin sertlik üzerine etkilerinin pareto grafiği

Görsel 4.38’de sertlik üzerinde etkisi en yüksek olan deney setinden en düşük olan deney setine doğru sıralanmış ve ilk sırada D181C100 taş ile 4500 dev/dak ve 5.1 mm/s ile 6B numaralı deney gelmiştir. Bunu 6000 dev/dak ve 1.7 mm/s ilerleme ile 7B numaralı deney takip etmiştir.



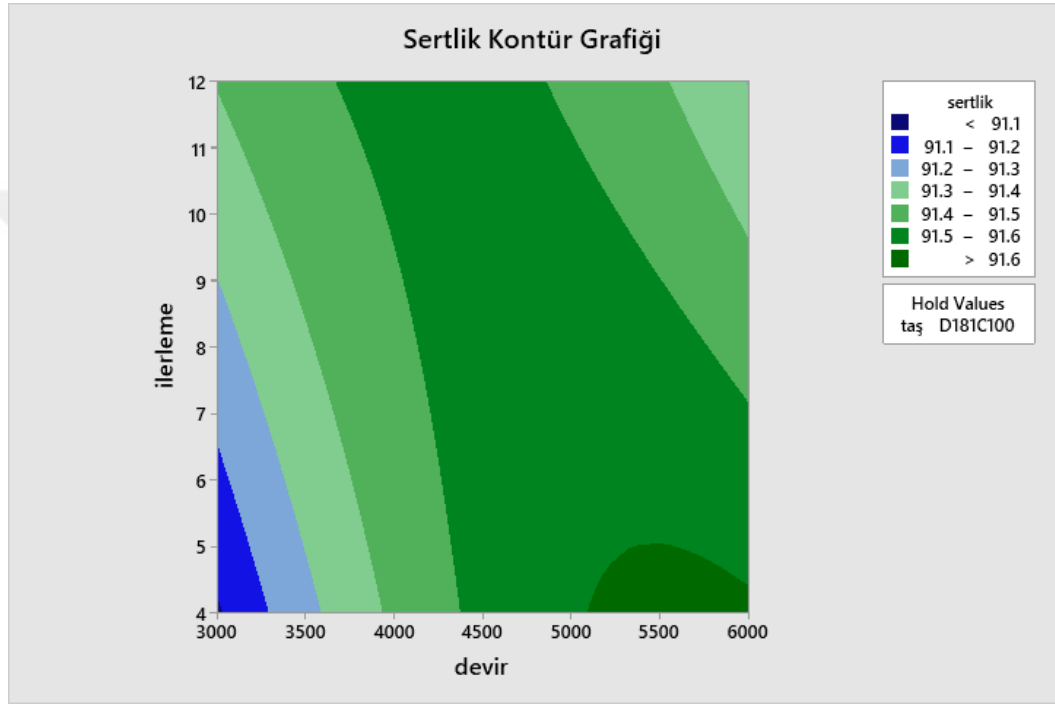
Görsel 4.39. Taşlamada standardize edilmiş etkilerin pareto grafiği (yanıt yüzey regresyonu)

Yanıt yüzey regresyonu ile taş cinsi, iş mili devri ve ilerleme parametrelerinden sertlik üzerinde en çok taşın cinsinin etkili olduğu, bunu ilerlemenin takip ettiği ve 3. Sırada ilerleme-iş mili devri etkileşiminin geldiği görülmektedir. (Görsel 4.39)



Görsel 4.40. Taşlamada parametrelerin sertlik üzerine etkileri (yanıt yüzey regresyonu)

Görsel 4.40'teki ortalama etki grafiğine bakıldığında daha yüksek konsantrasyon ve daha ince taneli taşın kaplama sertliğini iri taneli ve düşük konsantrasyonlu taşa göre daha çok arttırdığı, iş mili devrinin 3000 dev/dak'dan 4500 dev/dak'ya çıkması ile sertlik değerinin arttığı fakat 4500 dev/dak'dan 6000 dev/dak'ya çıkmasıyla daha fazla artmadığı, ilerleme artışının ise doğrusal biçimde sertlik artışına neden olduğu görülmüştür.



Görsel 4.41. Sertlik kontür grafiği (yanıt yüzey regresyonu)

Yanıt yüzey regresyonu ile yapılan sertlik kontür grafiğinde ise iş mili devri ve ilerleme artışının sertliği arttırıcı yönde etki yaptığı görülmektedir. (Görsel 4.41) Kaplama kullanımı amacının ilgili yüzeyi çizilmelere karşı korumak olduğu göz önünde bulundurulduğunda, sertlik artışının olumlu yönde etki yapması beklenmektedir.

5. SONUÇLAR

Taşlama işlemi, dar toleranslar ve yüksek yüzey kalitesi elde etmek için sıkça kullanılan bir imalat yöntemidir. Hedeflenen tolerans bandı ve yüzey kalitesi elde edilmeye çalışılırken; hem işçilik hem de sarf malzeme maliyetlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında WC-17Co termal sprey kaplamanın taşlanması incelenmiştir. Taşlama parametreleri olarak taşın cinsi, kesme derinliği, iş mili devri ve ilerleme seçilmiş, bu parametrelerin yüzey kalitesi, işleme zamanı, takım aşınması ve kaplamanın mikro sertliği üzerindeki etkilerine bakılmıştır.

Tez çalışması ile ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

1. Taşlama süresi üzerinde etkisi en fazla olan parametre ilerleme, en az olan parametre taş cinsidir.

2. Devir, ilerleme, kesme derinliği ve taş tane boyutunun artması taşlama süresini kısaltmaktadır.

3. D30C50 ile yapılan deneylerde takım aşınmasının D181C100 ile yapılan deneylere göre kesim parametrelerine daha duyarlı olduğu görülmektedir. Daha iri taneli taşın aşınması, daha küçük taneli taşın aşınmasına göre daha yüksektir.

4. D30C50 taşın D181C100'e göre talaş kaldırma miktarı daha fazladır. İki taş cinsi için de aynı kesim parametreleriyle yapılan deneyler karşılaştırıldığında tane boyutu büyük olan taşın daha çok malzeme kaldırdığı sonucuna her deneyde ulaşılmıştır.

5. Talaş kaldırma miktarı üzerinde tüm parametrelerin etkisi listelendiğinde regresyon analizi ile oluşturulan grafikte en etkili parametrenin sırayla taş cinsi, devir ve ilerleme olduğu fakat yanıt yüzey regresyonu ile yapılan analiz incelendiğinde en etkili faktörlerde ilk iki sıra değişmezken üçüncü sırada devir-ilerleme ikilisinin etkileşimi gelmektedir.

6. Parametrelerin talaş kaldırma miktarı üzerine etkileri regresyon analizi yerine yanıt yüzey regresyonu ile incelendiğinde ilerlemenin etkisinin kesme derinliğinin etkisinin altına düştüğü görülmektedir.

7. ANOVA ile yapılan analizde taş tane büyüklüğünün ve iş mili devir artışının malzeme kaldırma hızını arttırıcı yönde etki yaptığı görülmektedir.

8. D181-C100 ile yapılan deneylere bakıldığında yüzey kalitesinin parametreden bağımsız olarak 0.23 ile 0.47 μm arasında olduğu görülmüştür. D30-C50 ile yapılan deneylere bakıldığında ise bu değer 0.90 ile 1.86 μm aralığına çıkmaktadır. Burada yüzey kalitesinin, kesim parametrelerinden çok taş tane büyüklüğünün etkili olduğu görülmüştür.

9. Tüm deney setlerinde daha ince taneli olan taş ile daha düşük yüzey kalitesi değeri elde edilmiştir.

10. İş mili devrinin artmasıyla (kesme hızının artmasıyla) yüzey kalitesi numerik değerinin düştüğü görülmektedir

11. İlerleme ve kesme derinliğinin artışıyla yüzey kalitesi numerik değerinin arttığı görülmüştür.

12. Yüzey kalitesi üzerinde parametrelerin etkilerine bakıldığında en etkili parametrenin taşın cinsi olduğu bunu kesme hızının takip ettiği görülmüştür.

13. Ortalama etki grafiğine göre taş tane büyüklüğünün küçülmesi, iş mili devrinin artması, ilerlemenin azalması ve kesme derinliğinin küçülmesi yüzey kalitesini iyileştirmektedir.

14. Belirlenen 18 deney setinin çalışma aralığında taşlama işleminin kaplamanın sertliğinde yaklaşık 1 Rockwell değerinde artışa neden olduğu görülmüştür.

15. İnce tane ve yüksek konsantrasyonlu taşla yapılan taşlama işlemlerinde iri tane ve düşük konsantrasyonla yapılan taşlama işlemlerine göre sertlik değeri daha yüksek çıkmıştır.

16. Tane boyutunun küçülmesi, devir ve ilerlemenin artması kaplama yüzeyindeki sıcaklığı arttırmış ve kaplama yüzeyinde çatlaklara neden olmuştur.

Bu çalışmada bilgi güvenliği nedeniyle mikro yapı fotoğraflarına yer verilememiştir. Bundan sonraki çalışmalarda farklı taşlama parametrelerinin kaplamanın mikro yapısında nelere yol açtığı araştırılmalıdır. Ayrıca iş parçasının (tablanın) dönme hızı bu çalışma kapsamına dahil edilememiştir. İlerleyen çalışmalarda MQL, nano grafen vb. soğutma sıvısı etkileri araştırmaya dahil edilebilir.

KAYNAKÇA

- Atabay, E. (tarih yok). *Uçak Motor Revizyonunda Kullanılan Koruyucu Kaplamalar*. Eskişehir: İnci HİBM.K.lığı.
- Kumar B., Devuri V., Jani S., (2021) Analysis on surface grinding of mild steel by varying grinding parameters. *Science Direct, Materials Today: Proceedings*, s. 8180-8183.
- Fotovvati B., Namdari N., Dehghanghadikolaei A., (2019). On Coating Techniques for Surface Protection : A review. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*.
- Kang B., Ma H., Li J., Xu B. (2020). Effect of grinding parameters on surface quality, microstructure and rolling contact fatigue behaviors of gear steel for vacuum pump. *Elsevier, Vacuum*.(109637)
- Comassar D., (1992). *Surface Coatings Technology For Turbine Engine Applications*. Plating & Surface Finishing.
- Demir, H. (2003). *Düzlem Taşlamada Taşlama Parametrelerinin Taşlama Kuvvetlerine ve Yüzey Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi*. Gazi Üniversitesi.
- Ghosh G., Aj Sidpara A.,Bandyopadhyay.P. (2021). Theoretical and Experimental Inverstigation of Material Removal Rate in Shape Adaptive Grinding of HVOF sprayed WC-Co coating. *Science Direct, Precision Engineering*, s. 627-639.
- Güllü, A. (1995). *Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek için Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu*. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demir H., Güllü A. (2001). Taşlamada Parametrelerin Etkisi. *DergiPark Akademik*, s. 189-198.
- Demir H., Güllü A., (2008). Taş Sertliği ve İşleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Taşlama Kuvvetlerine Etkilerinin İncelenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt:23*, s. 577-584.
- Davis J.R., (2004). *Handbook of Thermal Spray Technology*. Almere: ASM International.
- DEMİREL L., Tolun S., (2008). Ticari Turbofan Uçak Motorlarının Uçuş Ömürlerinin Optimizasyonu. *İTÜ Dergisi*, s. 80-91.
- Mızrak H.V (2016). *Makara Dış Çap Taşlamada Gerekli Yüzey Pürüzlülük Değerinin Elde Edilmesi İçin Deney Tasarım Yöntemi ile Optimum Taşlama Parametrelerinin Belirlenmesi*. Gazi Üniversitesi.
- Deresse N., Deshpande V., Taifa I.. (2019). Experimental investigation of the effects of process parameters on material removal rate using Taguchi method in external

cylindrical grinding operation. *Science Direct, Engineering Science and Technology an International Journal*.

- Adıyaman O., Savaş V., (2017). Yeni bir tip düzlem yüzey taşlama mekanizması ile kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, s. 815-825.
- Ozoner, O. C. (2021). *Inconel 939 Super Alaşımın Sürünme İlerlemeli Taşlama Prosesinde Parametre Optimizasyonu*. Gazi Üniversitesi.
- Fauchais P., Vardelle A., (tarih yok). Thermal Sprayed Coatings Used Against Corrosion and Corrosive Wear. *Advanced Plasma Spray Applications*.
- Kumar P., Kumar A., Singh B., (2013). Optimization of Process Parameters in Surface Grinding. *IJRMET*.
- Pawlowski, L. (1992). *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*. New Jersey: 2008.
- Patil P., Patil C.R., (2016). Analysis of process parameters in surface grinding using single objective Taguchi and multi-objective grey relational grade. *Elsevier, Perspectives in Science*, s. 367-369.
- Roy. R, Ghosh S., Kaiser T., Ahmed T., Hossain S., Aslam M., Kaseem M., Rahman M.D., (2022). Multi-Response Optimization of Surface Grinding Process Parameters of AISI4140 Alloy Steel Using Response Surface Methodology and Desirability Function Under Dry and Wet Conditions. *Coatings*.
- Ruzzi R., Paiva R, Machado A., Silva R. (2021) Analysis of temperature and surface finish of Inconel 718 during grinding utilizing different grinding wheels. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*.
- Ruzzi R., Raphael P., Silva L., Abrao A., Brandao L., Silva R., (2021). Comprehensive Study on Inconel 718 Surface Topography After Grinding. *Elsevier, Tribology International*.
- Ruzzi R., Silva R., Silva L, Machado A., Jackson M., Hassui A., (2020, Temmuz). Influence of Grinding Parameters on Inconel 625 Surface Grinding. *Elsevier Journal of Manufacturing Processes*, s. 174-185.
- Rowe, W. B. (2013). *Principles of Modern Grinding Technology*. Elsevier Science.
- Sağlam, M. (2016). *Taguchi Deney Tasarım Yöntemi Kullanılarak Sementasyon Çeliğinin Teğetsel Silindirik Taşlama Yöntemi ile İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Araştırılması*. Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Simanchal K. P.P. Bandyopadhyay. (2016, Aralık). Precision Superabrasive Grinding of Plasma Sprayed Ceramic Coatings. *Elsevier, Ceramics International*, s. 19302-19319.
- Kar S., Badyopadhyay P., Paul S., (2016). High speed and precision grinding of plasma sprayed oxide ceramic coatings. *Elsevier, Ceramics International*, s. 15316-15331.
- Kar S., Kumar S., Bandyopadhyay P.P, Paul S., (2020). Grinding of hard and brittle ceramic coatings: Force analysis. *Journal of European Ceramic Society*, s. 1453-1461.
- Gopan V., Wins K., Surendran A., (2018). Integrated ANN-GA Approach For Predictive Modeling and Optimization of Grinding Parameters with Surface Roughness As the Response. *Science Direct, Materials Today: Proceedings*, s. 12133-12141.
- Liu X., Zhang B., Deng Z. (2002). Grinding of Nanostructured Ceramic Coatings: Surface observations and material removal mechanisms. *Pergamon, International Journal of Machine Tools & Manufacture*, s. 1665-1676.
- Yastıkcı, B. (2016). *Investigation of Tool Wear Griniding Process*. Sabancı Üniversitesi.
- Yeşilay, C. (2023). *KBT Bilim Sitesi*. <https://www.kuark.org/2017/10/yuzey-puruzluluk-olcumu/> adresinden alındı
- Tao Z., Yaoyao S., Laakso S., Jinming Z., (2017). Investigation of the effect of grinding parameters on surface quality in grinding of TC4 titanium alloy. *27th International Conference on Flexible Automantion and Intelligent Manufacturing, FAIM2017* (s. 2131-2138). Modena, Italya: Science Direct, Procedia Manufacturing.
- http-1: <https://www.diaborelmas.com/baglanti/> (erişim tarihi: 16.10.2023)
- http-2: https://home.iitk.ac.in/~nsinha/Abrasive_machining_processes.pdf (erişim tarihi:08.10.2023)
- http-3: <http://www.haskimya.tc/urunler/> (erişim tarihi: 17:09:2023)
- http-4: <https://www.makinaegitimi.com/teknik-resimde-yuzey-puruzlulugu> (erişim tarihi:25.09.2023)

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0009-0005-1748-2936

Adı Soyadı : Merve GÖKÇE ÜNAL

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2009-2014 : İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, İmalat Mühendisliği
2013 :Ruhr-Universität Bochum, Makine Mühendisliği
- 2014- Halen: Uzman Proses Mühendisi, TEI

Yayımları ve/veya Bilimsel Faaliyetleri

- 2013, “Fabrication and Characterization of Fe₃O₄, BaFe₂O₄ based multicomponent nano particles for biomedical imaging applications” International Conference on Composites or Nano Engineering ICCE-21, Tenerife, Spain, Temmuz 21-27
- 2014, Lisans bitirme Tezi, AFM Tezghında Parametrelerin Etkileri, Matematiksel Modellenmesi ve Optimizasyonu