



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HONLAMA PROSESİNDE YÜZEY KALİTESİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELERİN CEVAP YÜZEY METODU İLE OPTİMİZASYONU

Dilan DOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2020

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Dilan DOĞAN tarafından hazırlanan "HONLAMA PROSESİNDE YÜZEY KALİTESİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELERİN CEVAP YÜZEY METODU İLE OPTİMİZASYONU" adlı tez çalışması …/…/… tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Süleyman YALDIZ	**Sözlü Onayı Alınmıştır**
Danışman Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ	**Sözlü Onayı Alınmıştır**
Üye Prof. Dr. Ahmet SAMANCI	**Sözlü Onayı Alınmıştır**

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
FBE Müdürü

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HONLAMA PROSESİNDE YÜZEY KALİTESİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELERİN CEVAP YÜZEY METODU İLE OPTİMİZASYONU

Dilan DOĞAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Süleyman Neşeli

2020, 73 Sayfa

Danışman: Doç. Dr. Süleyman Neşeli
Prof. Dr. Süleyman YALDIZ
Prof. Dr. Ahmet SAMANCI

Birbiri ile sürtünmeli çalışan parça çiftlerinin hassas kısımlarındaki yüzeylerden, hassas işleme(imalat) öncesi operasyonlarının (tornalama, frezeleme gibi) ardından son talaşı kaldırmak, eş çalışan parçaların performansını etkileyen önemli işlemlerdendir. Ağır vasıtaların ihtiyaç duyduğu hava basıncını üretmek için kullanılan araç üstü kompresör gibi sistemlerin çalışma verimi ve performansını olabildiğince yüksek tutmak, araç sürüş maliyetini indirger. Kompresör performansını ise en çok sürtünme kaynaklı kayıp etkiler. Bu kaybın minimize edilmesi hem silindir yüzey pürüzlülüğünün hassasiyeti hem de silindir içi yağlayabilme kalitesine bağlıdır. Silindir içerisinde ideal pürüzlülük değerlerine ulaşabilmesi ve uygun yağlamanın gerçekleşmesini sağlayan honlama, bilinen en yaygın hassas işleme yöntemlerinden birisidir. Yapılan çalışmada amaç; bir kompresör silindirinin hem yağlanmasını kolaylaştıran hem de yüzey kalitesini istenilen seviyelerde oluşmasını sağlayan silindirik honlama parametrelerinin optimizasyonudur. Yapılan optimizasyonla çalışma maliyetleri düşürülmüş ve eş çalışan parçaların çalışma ömrü uzatılmıştır. Honlama son derece küçük aşındırıcıların talaş kaldırma işlemi gerçekleştirdiği bir süreç olduğundan, proses çıktılarının analitik tahmini oldukça zordur. Süreci en doğru tanımlamanın yolu ampirik modellemelerin kullanılmasıdır. Süreci en doğru modelleyebilmek ve etkili parametrelerin optimizasyonu maksadıyla cevap yüzey metodu uygulanmıştır. Bağımsız değişken olarak, üç seviyeli olmak üzere takım ilerleme hızı, basınç ve iki seviyeli takım dönüş hızı, bağımlı değişken olarak ise yüzey işleme kalitelerini temsil eden *R*a, *R*pk, *R*vk, *R*z, *M*r1 ve *M*r2 parametreleri kullanılmıştır. $L_{18}(2^1x3^2)$ Taguchi ortogonal tasarımına bağlı 18 fiziksel deney gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan kuadratik polinomiyal tahmin fonksiyonlarının R^2 değerinin yaklaşık %90 civarında olması, tahmin geçerliliklerinin oldukça başarılı olduğunun göstergesidir. Elde edilen fonksiyonlara ait oluşturulan yüzey grafiklerinden yola çıkarak ideal pürüzlülük için gerekli parametre seviyeleri elde edilmiştir. Son olarak yapılan ANOVA analizi ile parametrelerin etkililik seviyelerinin tespiti, her bir tepki parametresi için yaklaşık %90 civarı olarak yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: ANOVA, Cevap Yüzey Metodu, Honlama, Yüzey Pürüzlülüğü

ABSTRACT

MS THESIS

HONING PROCESS WITH ANSWER SURFACE METHOD IN THE OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS THAT AFFECT THE QUALITY OF THE SURFACE

Dilan DOĞAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE OF PHILOSOPHY IN AUTOMOTIVE ENGINEERING

Advisor: Assoc Prof Dr. Süleyman NEŞELİ

2020, 73 Pages

Jury
Advisor: Assoc Prof Dr. Süleyman NEŞELİ
Prof. Dr. Süleyman YALDIZ
Prof. Dr. Ahmet SAMANCI

Removing the final or fine cleaning wood chips from the surfaces in the sensitive parts of each other friction-operated parts pairs after precise machining operations (such as turning, milling) is one of the important processes that affect the performance of the co-working parts.Keeping the operating efficiency and performance of systems such as the on-vehicle compressor used to produce the air pressure required by heavy vehicles as high as possible reduces the vehicle driving cost. Compressor performance is mostly affected by friction loss.Minimizing this loss depends on both the precision of the cylinder surface roughness and the quality of the cylinder lubrication. Honing is one of the most common precision machining methods, enabling it to achieve ideal roughness values and proper lubrication in the cylinder. Purpose in the study; is the optimization of cylindrical honing parameters that both facilitates the lubrication of a compressor cylinder and ensures the surface quality to be at desired levels.With the optimization, working costs have been reduced and the working life of the co-operating parts has been extended.Since honing is a process where extremely small abrasives perform machining, analytical estimation of process outputs is very difficult.The most accurate way to describe the process is to use empirical models.In order to model the process most accurately and to optimize the effective parameters, the response surface method has been applied.As an independent variable, three levels of tool feed rate, pressure and two levels of tool rotation speed, and the dependent variable, *R*a, *R*pk, *R*vk, *R*z, *M*r1 and *M*r2 parameters representing surface treatment qualities were used.18 physical experiments based on the L_{18} (2^1x3^2) Taguchi orthogonal design were carried out.The fact that the R^2 value of the generated quadratic polynomial prediction functions is about 90% indicates that the prediction validities are quite succesfull. Based on the surface graphics created for the functions obtained, the required parameter levels for the ideal roughness were obtained.As last step ANOVA analysis, determination of the effectiveness levels of the parameters was made approximately 90% for each response parameter.

Keywords: Answer Surface Method, Honing, Surface Roughness, ANOVA

ÖNSÖZ

Çalışmalarımda desteğini benden esirgemeyip bana zamanını ayıran değerli yardım ve katkılarıyla bana yol gösteren tez danışmanım Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yapılan deneysel çalışmaya katkılarından dolayı Yıldız Pul (Vaden Original) firma ve çalışanlarına gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu günlere gelmemde büyük katkıları olan, eğitim hayatım boyunca beni teşvik edip kayıtsız şartsız destekleyen aileme gösterdikleri sabır için teşekkürü bir borç bilirim.

Dilan DOĞAN
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ……..iii

ÖZET vi

ABSTRACT……v

ÖNSÖZ…….....vi

İÇİNDEKİLER…….....vii

SİMGELER VE KISALTMALAR…….viii

TABLOLARIN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....x-xii

1. GİRİŞ x

1.1. Motivasyon 2
1.2. Literatür Araştırması……... 3-7
1.3. Amaç 7

2. HONLAMA 8

2.1. Honlamada Kinematik Prensipler 14
2.2. Honlama Taşı……18
2.3. Honlama Aşındırıcıları 18
2.2.1. Korondum ve silikon karbür aşındırıcılar 20
2.2.2. Boron nitrit ve elmas aşındırıcılar 20
2.4. Aşındırıcı Tane (Kum) Büyüklüğü 21
2.5. Honlama Taşının Sertliği……..21
2.6. Bağlayıcılar……...22
2.7. Honlamada Kullanılan Sıvılar……..22

3. YÜZEY KARAKTERİSTİKLERİ 24

4. OPTİMİZASYON..... 28

4.1. Cevap Yüzey Analizi (CYA)..... 28
4.2. CYA ile Optimizasyon Süreci 29

5. DENEYSEL ÇALIŞMA……37

5.1. Honlama Proses Adımları…….38
5.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü……...40
5.3. Deney Parametreleri ve Deneysel Tasarım……..41

6. SONUÇLAR VE ANALİZLERİ……..44

6.1.Matematik Model Oluşturulması……..44
6.2. Varyans Analizi (Anova)…….48
6.3. Kontur ve 3B Yüzey Grafikleri Analizi……..50

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER……..56

8. KAYNAKLAR 57

9. ÖZGEÇMİŞ……...60

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	**Açıklamaları**
V_{fa}	Eksenel ilerleme hızı (m/s)
V_{ft}	Teğetsel ilerleme hızı (m/s)
V_{fn}	Normal ilerleme hızı (m/s)
V_c	Kesme hızı (m/s)
l_0	Salınım genliği (m)
y	Salınım fonksiyonu yolu (m)
f	Stroke frekansı (Hz)
$V_{\omega a}$	Eksenel iş parçası hızı (m/s)
d_w	İş parçası çapı (m)
b_h	İş parçası genişliği (m)
l_h	İş parçası boyu (m)
t	Zaman (s)
P_n	İş parçası ile honlama arasındaki temas basıncı (N/m^2)
F_n	İş parçası ile honlama arasındaki temas kuvveti (N)
A_h	Honlanan yüzeyin alanı (m^2)
$P_ı$	Honlama kafası ile honlama taşı arasındaki basınç (N/m^2)
Φ	Kesilme açısı (º)
*R*a	Ortalama pürüzlülük değeri
R_q	Yüzey profil yükseklik dağılımının standart sapması (µm)
R_k	Orta tabaka yüzey pürüzlülüğü değeri (µm)
*R*pk	İndirgenmiş çıkıntı yüksekliği (µm)
*R*vk	İndirgenmiş vadi derinliği (µm)
*M*r1	Malzeme oranı (pürüzlülük çıkıntılar için)
*M*r2	Malzeme oranı (pürüzlülük girintileri için)
α	Çapraz tarama izlerinin açısı (°)
f	İlerleme hızı (kurs/dak)
P	Basınç (bar)
n	Takım dönüş hızı (dev/dak)
l	Örnekleme uzunluğu

Kısaltmalar	**Açıklamaları**
GSP	Geometrik ürün özellikleri
SS_{ESST}	Hataların kareleri toplamı
F	Regrasyon modeli uygunluk değeri
R^2	Regrasyon modelinin çoklu tahmin geçerlilik katsayısı
R^2_{adj}	Regrasyon modelinin ayarlanmış çoklu tahmin geçerlilik katsayısı
MSE	Hataların kareleri toplamının ortalaması
RMSE	Hataların kareleri toplamının karekökü
APE	Ölçülen değerler ile eğri uydurulmuş değerlerin ortalama mutlak
ANOVA	Varyans analizi (Analysis of variance)
CYA	Cevap yüzey analizi
TM	Taguchi metodu
df	Serbestlik derecesi
F	F testi değeri
P	Hatalar varyansı
k	Nicel regresör değişkeni

TABLOLARIN LİSTESİ

Tablo	Açıklama	Sayfa
Tablo 2.1	Honlama teknikleri…….	9
Tablo 2.2	Honlama taşı sertliği…….....	20
Tablo 2.3	Honlamada kullanılan sıvıların karşılaştırılması…….	22
Tablo 5.1	GG25 dökme demir malzemenin kompozisyonu……	35
Tablo 5.2	Mesh 180 honlama taşı…….	36
Tablo 5.3	Mahr M400 marka yüzey pürüzlülük cihazı teknik dataları…….	38
Tablo 5.4	Deneysel parametreler ve seviyeleri……..	39
Tablo 5.5	$L_{18}(2^1x3^2)$ taguchi ortogonal deney-tasarımı- kodlu……	39-40
Tablo 5.6	Parametreler ve ölçülen tepkilerin deneysel sonuçları……	40
Tablo 6.1	*R*a için regrasyon modelleri ve R^2 değerleri……	41
Tablo 6.2	*R*pk için regrasyon modelleri ve R^2 değerleri……..	41
Tablo 6.3	*R*vk için regrasyon modelleri ve R^2 değerleri…….	41
Tablo 6.4	*R*z için regrasyon modelleri ve R^2 değerleri……	41
Tablo 6.5	*M*r1 için regrasyon modelleri ve R^2 değerleri……..	41
Tablo 6.6	*M*r2 için regrasyon modelleri ve R^2 değerleri……..	41
Tablo 6.7	*R*a için Anova sonuçları……...	45
Tablo 6.8	*R*pk için Anova sonuçları…….	45
Tablo 6.9	*R*vk için Anova sonuçları…….	45
Tablo 6.10	*R*z için Anova sonuçları……	46
Tablo 6.11	*M*r1 için Anova sonuçları…….	46
Tablo 6.12	*M*r2 için Anova sonuçları…….	56

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 1.1	Bir silindir gömleği içerisindeki çapraz tarama honlama çizgileri……	4
Şekil 2.1	Honlama işleminin şematik gösterimi……	8
Şekil 2.2	Honlama başlığının ve taşın rotasyonel ve eksenel şematik gösteri……..	10
Şekil 2.3	a) Honlama başlığı b) Çapraz desenler ve açısı…….	10
Şekil 2.4	Honlamada kullanılan farklı tip ilerleme kontrolleri……..	11
Şekil 2.5	a) Honlama öncesi yüzeylerin genel pürüzlülük karakteristiği b) Honlama sonrası yüzeylerin genel pürüzlülük karakteristiği….	12
Şekil 2.6	a) Sabit ilerlemede kuvvet değişimi b) Kuvvetin sabit olduğu durum……	13
Şekil 2.7	Kısa stroklu honlamada ilerleme hız bileşenleri……	13
Şekil 2.8	Merkezsiz kısa stroklu honlamada dalma ve ilerleme hareketi…….	14
Şekil 2.9	Uzun stroklu honlamada yüzey yapısı ve kinematiği……	15
Şekil 2.10	Uzun stroklu honlama: hız ve yol grafiği……...	16
Şekil 2.11	Strok gecikmeli: yol ve hız profili…….	16
Şekil 2.12	Kuvvet ve form uyumlu talaş derinliği prensipleri……	17
Şekil 2.13	Honlama taşı iç yapısı……	18
Şekil 2.14	Elek birim mesh sayısı……...	20
Şekil 3.1	*Ra* yüzey pürüzlülük değeri gösterimi…….	23
Şekil 3.2	Aynı geometrik ortalama pürüzlülüğü ancak farklı topografik özellikler ve performans kabiliyetine sahip iki yüzey……	24
Şekil 3.3	*Rq* ile *Ra* ölçüm farkları……...	25
Şekil 3.4	Pürüzlülük parametrelerini açıklayan Abbott-Fristone eğrisi……..	25
Şekil 4.1	CYA ile modelleme ve optimizasyon süreci……	29
Şekil 4.2	Dağılım grafiği (scatterplot) üzerinden artıkların hesaplanması……	32
Şekil 4.3	Artıkların grafikleştirilmesi a) Tepkilerin tahmin tutarlılık yüzdesi b) Tahmin edilen tepkilere ait artıkların geçerlilik grafiği……...	32

Şekil 4.4	Dik tırmanış prosedürü……	34
Şekil 5.1	Tornalanmş deney numuneleri……	35
Şekil 5.2	Honlama tezgah başlığı ve kafası……	36
Şekil 5.3	İş parçasını tezgaha sabitlemek için kullanılana aparat takımı……..	37
Şekil 5.4	Kompratör saati ile yapılan ölçüm……...	37
Şekil 5.5	Mahr M400 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı……	38
Şekil 6.1	*R*a için deneysel ve tahmin edilen tepki değerlerinin karşılaştırılması……...	41
Şekil 6.2	*R*pk için deneysel ve tahmin edilen tepki değerlerinin karşılaştırılması……	41
Şekil 6.3	*R*vk için deneysel ve tahmin edilen tepki değerlerinin karşılaştırılması……	41
Şekil 6.4	*R*z için deneysel ve tahmin edilen tepki değerlerinin karşılaştırılması……	41
Şekil 6.5	*M*r1 için deneysel ve tahmin edilen tepki değerlerinin karşılaştırılması……	41
Şekil 6.6	*M*r2 için deneysel ve tahmin edilen tepki değerlerinin karşılaştırılması……	41
Şekil 6.7	Deney parametrelerinin *R*a tepkisi üzerine olan etkilerinin 3B yüzey grafiği a-)Basınç-ilerleme hızına olan etkileri b-)Takım dönüş hızı-ilerleme hızına olan etkileri c-)Takım dönüş hızı-basınca olan etkileri……	45
Şekil 6.8	Deney parametrelerinin *R*vk tepkisi üzerine olan etkilerinin 3B yüzey grafiği a-)Basınç-ilerleme hızına olan etkileri b-)Takım dönüş hızı-ilerleme hızına olan etkileri c-)Takım dönüş hızı-basınca olan etkileri……..	45
Şekil 6.9	Deney parametrelerinin *R*pk tepkisi üzerine olan etkilerinin 3B yüzey grafiği a-)Basınç-ilerleme hızına olan etkileri b-)Takım dönüş hızı-ilerleme hızına olan etkileri c-)Takım dönüş hızı-basınca olan etkileri…….	45
Şekil 6.10	Deney parametrelerinin *R*z tepkisi üzerine olan etkilerinin 3B yüzey grafiği a-)Basınç-ilerleme hızına olan etkileri b-)Takım dönüş hızı-ilerleme hızına olan etkileri	

c-)Takım dönüş hızı-basınca olan etkileri…….. 46

Şekil 6.11 Deney parametrelerinin *M*r1 tepkisi üzerine olan etkilerinin 3B yüzey grafiği

a-)Basınç-ilerleme hızına olan etkileri

b-)Takım dönüş hızı-ilerleme hızına olan etkileri

c-)Takım dönüş hızı-basınca olan etkileri…….. 46

Şekil 6.12 Deney parametrelerinin *M*r2 tepkisi üzerine olan etkilerinin 3B yüzey grafiği

a-)Basınç-ilerleme hızına olan etkileri

b-)Takım dönüş hızı-ilerleme hızına olan etkileri

c-)Takım dönüş hızı-basınca olan etkileri…….. 46

1. GİRİŞ

Ağır vasıtalarda ve otobüslerde kullanılan vites, fren, süspansiyon, vb. sistemler sıkıştırılmış hava enerjisinden mekanik iş elde edilmesiyle çalıştırılır. İhtiyaç duyulan basınçlı hava ise genel olarak krank mili, biyel kolu ve piston mekanizmasından oluşan ve silindir içerisinde dönel hareketi doğrusal harekete çeviren, tahrik enerjisini dişli veya kasnak gibi aktarma organları sayesinde ana motordan alan kompresörler vasıtası ile oluşturulur.

Kompresörlerde silindir ve piston gibi eş çalışan bileşenlerin performans seviyeleri sistemin tüm performansının ve kalitesinin bir göstergesidir. Tüketicilerin daha verimli çalışan kompresör ve benzeri sistemlere olan taleplerine nasıl cevap verileceği üzerine akademik ve ilgili sektör uzmanları halen yoğun çaba sarf etmektedirler. Bir kompresör silindirinde hareket eden piston, kompresöre dışardan aktarılan enerjinin bir kısmını havayı sıkıştırmaya harcarken bir kısmını da silindir-piston ikilisinin sürtünmesine harcar. Bu da demektir ki enerjinin bir kısmı dönüşür ve toplam enerji kayba uğrar. O halde var olan sürtünmenin azaltılması tüketici taleplerinin karşılanması için bir çıkış yolu olacaktır. Silindir, pistonla temas halinde olan yüzeyi dikkate alınırsa sürtünme ile ilgili en kritik kompresör bileşenlerinden biri olarak kabul edilebilir. İdeal pürüzlülük değerlerine ulaşabilmesi için bir silindirin honlanması bilinen en yaygın hassas işleme yöntemlerinden birisidir. Honlama, aşındırıcı taşların üç eksen doğrultusu yönünde eş zamanlı hareketiyle, işlenen yüzey üzerinden talaş kaldırılarak kontrollü oluklar oluşturulması için kullanılan bir aşındırıcı işlemdir.

Honlama son derece küçük aşındırıcıların talaş kaldırma işlemi gerçekleştirdiği bir süreç olduğundan, proses çıktılarının analitik tahmini oldukça zordur. Süreci en doğru tanımlamanın yolu ampirik modellemelerin kullanılmasıdır. Bu tezin amacı; kompresör silindiri üretimindeki honlama sürecini anlamak ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı proses kontrolünde anahtar parametreleri tanımlamaktır. Bu tanımlama ve bulgulardan yola çıkarak ideal silindir içi yüzey pürüzlülüğü değeri için uygun parametre ve seviyelerini tespit etmektir.

1.1. Motivasyon

Delik içi honlama, mevcut bir deliğin geometrik ve ölçüsel toleranslarına uygun olacak şekilde bir dizi aşındırıcı çubukla anizotropik doku oluşturma maksatlı sürtünme mekanizmalarının kullanıldığı bir aşındırma işlemi olarak tanımlanabilir. Bu işlemin uygulandığı tipik örnekler arasında, tüfek namluları, yataklar, motor silindir gömlekleri, hidrolik silindirler ve kompresör silindirleri sayılabilir. Her bir honlama uygulamasında aşındırıcı partiküller ve bağlayıcıların oluşturduğu formlandırılmış taşlar iç yüzey üzerinde üç serbestlik dereceli hareketler yaparak simetrik meso ölçekte kanalların oluşmasına neden olur. Piston silindir yüzeyine temas halinde hareket ederken simetrik kanallar içerisine giren yağlayıcı, sürtünmeyi azaltır ve piston hareketinin performansını artırır.

Üretim faaliyeti yürüten tüm işletmeler, ürettikleri ürünlerde en yüksek kalite seviyesini gerçekleştirip ürün performansını artırarak rakipleri ile rekabetlerinde öne geçme çabası içindedirler. Bu sebepten dolayı, hem de buna bağlı olarak işletmelerin müşterilerine daha kaliteli, daha ucuz, işlevini tam olarak yerine getiren ürünler sunma çabaları, kalite sağlama uygulamaları geliştirmelerine ya da mevcut kalite uygulamalarını daha etkin bir şekilde kullanmalarına sebep olmuştur. Bu bağlamda kaliteyi sağlamak ve verimi arttırmak, sadece üretim hattında ve üretim esnasında değil, aynı zamanda mamul ve proses tasarım aşamalarında da planlanan ve uygulamaya alınan faaliyetler bütünü haline gelmiş ve kalite arttırıcı/koruyucu uygulamalar bu yönde hızlı bir gelişim göstermeye ve yaygınlaşmaya başlamıştır.

Ürün kalitesini istatistiki olarak iyileştirmek için ürüne ait kalite karakteristikleri, bu kalite karakteristiklerine etki eden parametreler ve/veya etkileşimleri ve bu parametrelerin etkililik seviyelerinin bilinmesi gerekir. Bu maksatla ön denemeler, bireysel tecrübeler ve katalog değerlendirmeleri yapılabilir. Tespit edilen parametre ve seviyelerinin sayısı ise yapılacak iyileştirme analizleri için gerekli olan sayıdan fazla miktarda olabilir. Parametre sayısının artması ile beraber ise kalite iyileştirme süreci karmaşık hale gelebilmekte ve dolayısıyla uygun çözüme ulaşabilmek için zaman ve maliyetler artmaktadır. Süreci etkileyen parametrelerin seviyelerini tek tek değiştirmek yerine bu faktör seviyelerinin eş zamanlı değiştirilmesi gerekliliği teorisini öne süren Genichi Taguchi adlı Japon mühendis tarafından bulunan ortogonal dizinler kullanılarak ideal iyileştirme için minimum deney sayısı tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada tespit

edilen minimum sayıdaki deneysel kombinasyonlar kullanılarak fiziksel deneyler gerçekleştirilecek ve ardından cevap yüzey metodu vasıtasıyla arzu edilen yüzey pürüzlülüğü değeri tahmini için bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğü performans kriterine bağlı, ortogonal dizinler kullanılarak oluşturulan parametre ve seviye kombinasyonlarının cevap yüzey metodu aracılığıyla optimizasyonu üzerine çalışılmıştır. Bunun sonucunda en iyi yüzey pürüzlülük değerini veren deney kombinasyonu belirlenebilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın bir sonraki kısmında honlama ve yüzey pürüzlülüğü ilişkisi hakkında şimdiye kadar yapılan literatür incelenmiştir. İkinci bölümde honlama, üçüncü bölümde yüzey pürüzlülüğü ve dördüncü bölümde ise cevap yüzey metodu hakkında bilgiler verilerek, deneysel çalışmanın nasıl yapılacağı anlatılmıştır.

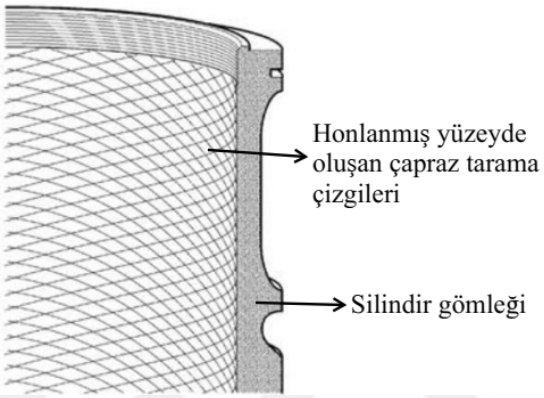
1.2. Literatür Araştırması

Spencer ve diğ.'e (2011a) göre motorlar, birbiriyle temas halinde çalışan ve bir çok kompleks parçaya sahip olan yapılardır. Tüm bu etkileşim yüzeylerinde meydana gelen sürtünme motordaki yanma sonucu açığa çıkan enerjinin kayda değer bir kısmını harcamaktadır. Dolayısıyla bu mecrada elde edilecek ufak kazançlar dahi peyderpey motor veriminde teknik sınırlara yaklaştığımız günümüzde büyük bir öneme sahiptir. Öyle ki motor toplam sürtünmesinde %4 oranında düşüş gerçekleştirilirse yakıt tüketimi takriben %1 dolaylarında azalmaktadır**.**

Her ne kadar motorlarda sürtünme kaybına yol açan birçok bölge olsa da bunlardan en önemlisi kuşkusuz piston-segman-silindir sistemindeki sürtünme kayıplarıdır. Çünkü içten yanmalı motorların sürtünme kayıpları takribi olarak %50 oranında piston-segman silindir takımında meydana gelmektedir (Ryk ve diğ. 2002). Zavos ve Nikolakopoulos'a (2015) göre motordaki sürtünmenin %40-45lik kısmı piston segman-silindir takımından, %25i krank ana yataklarından, %10'luk kısmı da supap ve kam mekanizmasından kaynaklanmaktadır (Gezer 2017).

Yağ sarfiyatı ve sürtünme kayıpları söz konusu olduğunda silindir gömlekleri en kritik motor bileşenleri arasında olur. Sadeghi ve Bolander (2007) tarafından yapılan çalışmada, bir motordaki sürtünme kayıplarının % 40'ının silindir gömleği ve piston halkası arasındaki sürtünmeden kaynaklandığını tahmin etmişlerdir. Bu nedenle, silindir gömlekleri yüzeyinde tatmin edici miktarda yağ tutulması ve dolayısıyla piston sekmanı

ile arasındaki sürtünmeyi azaltması için, yüzeyin yeterince derin vadiler ve yumuşak platolar karışımı içermesi gerekir. Yüzeydeki çizikler bir çapraz çizgi deseni oluşturur ve çizikler arasındaki açı çapraz tarama açısı veya honlama açısı olarak adlandırılır. Aynı yazarlar honlama açısının daha küçük değerlere indirilmesi ile çevrimin ortalama sürtünme katsayısında düşüş görüleceğine de dikkat çekmişlerdir. İlaveten Srivastava ve diğ. (2007) tarafından yapılan çalışmada honlama açısının yağ sarfiyatı üzerinde de doğrudan etkisi olduğu ve honlama açısı arttıkça yağ sarfiyatında düşüş gösterdiği ve sürtünme katsayısı azalırken yağ sarfiyatı miktarı artmıştır. Bir silindir gömleği içindeki çapraz tarama deseni gösterimi Şekil 1.1'de görülebilir.



Şekil 1.1. Bir silindir gömleği içerisindeki çapraz tarama honlama çizgileri

Çapraz tarama çizgileri arasındaki açı hakkında Feng ve diğ. (2002) tarafından yapılan çalışmada bu çizgilerin silindir gömleği yağlanması üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu ifade edilmiş ve "fonksiyonel özellikli yüzeyleri elde etmek için kullanılan üretim yöntemine ise honlama denir" ifadesiyle honlamanın tarifini yapmışlardır.

Yousfi ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada silindir üzerinde prsoses sonrası oluşan honlama izleri ve honlama açısı üzerinde durulmuştur. Bu iz ve açıların talaşlı imalat yönteminin doğal bir sonucu olduğu ifade edilmiş, oluşan açılı izlerin hacimlerince yağ taşıdıklarına değinilmiştir. Honlanmış yüzeylerin tribolojik özellikleri bakımından tepe ve vadi pürüzlülük değerlerinin, honlama açısına göre farklılık göstereceği ve honlama açılarının parametrelere bağlı olarak 25°-60° ve 115°-140° aralığında olması gerektiği ifade edilmiştir. Bahsi geçen iki honlama açısı aralığından ilki daha yaygın olarak kullanılan honlama açısı aralığıdır. Daha büyük honlama açısı aralığı ise helisel honlama için geçerli bir aralıktır (Gezer 2017).

Sürtünme kuvvetinin yüzey dokusu ile oynanarak belirgin bir şekilde düşüş gösterebildiği bilinmektedir. Genel olarak hidrodinamik şartların sağlıklı olarak

gerçeklendiği en düşük yağ film kalınlığı teorik olarak en düşük sürtünme kuvvetini vermektedir (Gezer 2017). Bu değerden daha yüksek ve daha düşük film kalınlıklarında sürtünme kuvveti artış göstermektedir. Daha düşük film kalınlıklarına inilmesi sonucunda gerçekleşecek olan metal metale temas sonucunda aşınmalar ve yüzey pürüz uçlarının teması sonucu sürtünme kuvveti artacaktır. Özellikle üst ölü noktada yoğunlaşan aşınma motor ömrünü kısıtlamaktadır. Bunun sonucu olarak yağlama kötüleşmekte ve sürtünme kuvveti aşınmalar sonucu kendini şiddetlendirerek artmaktadır. Bu amaçla genellikle gri dökme demir malzemeden imal edilen silindir yüzeyleri aşınma direncini arttırıcı alaşım malzemeleri, nitridasyon gibi yüzey sertleştirme işlemleri ve yüzey kaplama teknolojileri ile desteklenmektedir (Srivastava ve diğ. 2007).

Yurdakul ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada, ağır inşaat makinelerinde kullanılan hidrolik silindirlerin silindir iç yüzeylerinin yüzey pürüzlülüğünü arttırmak için uygulanan iç yüzey honlama işleminin deneysel olarak optimize edilmesi amaçlanmıştır. Uygulamada, kritik honlama parametrelerinin optimal değerleri, Taguchi ve Cevap Yüzey metodolojileri gibi iki ayrı yöntemle analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre; honlama kafasının doğrusal hızı, silindirlerin teğet hızı ve aşındırıcı tane büyüklüğü, yüzey pürüzlülüğünün en aza indirilmesinde kritik parametreler olarak öngörülmüştür.

Lawrence ve Ramamoorthy (2016) tarafından yapılan çalışmada, silindir iç yüzeylerinin çoklu yüzey topoğrafik özelliklerinin karşılanmasını hedefleyen kaba, ince ve plato honlama aşamalarında uygun honlama işlem parametre seviyelerini tespit için robust proses tasarımı ve gri ilişkiler analizi birleştirerek bir strateji sunulmuştur. Dökme demir silindir gömlekleri üzerinde yapılan deneylerde dönme hızı, salınım hızı, basınç ve honlanma süresi değişkenleri dikkate alınmıştır. Yüzey kalitesi performans hedefine bağlı olarak elde edilen sonuçlardan yapılan çıkarıma göre önerilen yaklaşımın ideal silindir yüzeyi oluşumunda etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Günay ve Korkmaz (2017) tarafından yapılan çalışmada, motor silindirlerinin yenilenmesi için kullanılan plato honlama işleminde yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için honlama parametrelerinin Taguchi metoduyla optimizasyonu üzerinde durulmuştur. Kalite karakteristiğini etkileyen bağımsız değişkenler; lineer hız, tane büyüklüğü ve üç farklı seviyede inme sayısı olarak belirlenmiştir. Yapılan ilave varyans analizi

sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktörün tane büyüklüğü olduğu sonucuna varılmıştır.

Edberg ve Landqvist (2015) yazarların iki isimi tez çalışmasında, ortogonal deney tasarımı kullanılarak, Scania marka ağır vasıtanın silindir gömleği üretimindeki honlama sürecinde yüzey pürüzlülüğüne bağlı proses kontrolünde önemli parametrelerin tespiti amaçlanmıştır. Bu sayede istenen yüzey dokusunu üretmek için optimal tezgah ayar tespiti öngürülmüştür. Tarama deneyleri ile süreçte en önemli beş parametre bulunmuş ve bu parametreler bir optimizasyon testinde incelenmiştir. Testin sonuçlarına göre plato honlama işleminde en büyük etkiye sahip olan faktörlerin honlama kuvveti ve strok sayısı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sonuçlar ayrıca, ileri-geri hareket hızının yüzey pürüzlülüğünü etkilediğini hatta vadi derinliğini olumsuz etkilemeden merkez yüzey pürüzlülüğünü (Sk) azaltmak için kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir.

Yousfi ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada, farklı boyut ve en-boy oranında honlama desenleri oluşturulması maksatlı yeni bir prototip tezgah üretmişlerdir. Yeni üretilen tezgâhla oluşturulan yüzeylerin sürtünme performansları, diğer endüstriyel standart dokularla kıyaslanmıştır. Sonuçlar, eliptik desenlerin sürtünme katsayısını en aza indirmeye yönelik katkıda bulunduğunu göstermiştir.

Segmanlar, piston eteğine nazaran temas sıklığı ve temas mekaniği açısından daha büyük aşındırıcı etkiye sahiptir. Ölü noktalardaki sınır yağlama rejimi büyük oranda aşınmaların sorumlusudur. Harici olarak yüksek yanma odası sıcaklıkları, düşük film kalınlıkları, yüksek asidik konsantrasyon diğer aşınma faktörleridir. Piston strokunun orta bölgelerinde hidrodinamik şartlar geçerlidir ve buradaki aşınmalar büyük oranda yağın temizliğine yani aşınma sonucu yağın bünyesine katılan abrazif etkiye sahip malzemelerin varlığına bağlıdır (Gezer 2017).

Yüksek pürüzlülük değeri ise yağlama rejimini iyileştirmekte fakat sürtünme kuvvetini arttırmaktadır (Srivastava ve diğ., 2007). Gachot ve diğ., (2017), Yüzey pürüzlülüğünün gereğinden fazla artışı ise hem sürtünme kuvvetini ve aşınmayı, hem de yağ sarfiyatını arttıracağını ifade etmiştir. Böylelikle hem mekanik verimin düşüşü sonucu artan özgül yakıt sarfiyatı hem de artan yağ sarfiyatı sonucu hidrokarbon, karbonmonoksit, karbondioksit ve partikül madde emisyonları artış göstermektedir (Gezer 2017).

Genel olarak sürtünme, pik pürüzlülüğe sahip bölgelerin temasıyla gerçekleşse de vadi pürüzlülük değerinin de ikinci dereceden sürtünme katsayısına etkisi bulunmaktadır. Bu durumun büyük oranda hidrodinamik rejime geçişle ve vadi bölgelerdeki iç akışla ilgili olduğu çıkarımı yapılabilir. Hu ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada düşük yük ve yüksek hız şartlarında vadi pürüzlülüğünün derinliği/yüksekliği oranı arttıkça sürtünme katsayısının düşüş gösterdiğini, ancak düşük hız ve yüksek yüklerde ise vadi pürüzlülük derinliği/yüksekliği oranı arttıkça sürtünme katsayısının artış gösterdiğini saptamışlardır. Bu durum şöyle açıklanabilir; düşük yük ve yüksek hız şartında hidrodinamik koşulların rahatlıkla sağlanabileceği hatta silindir yağ film kalınlığının hidrodinamik yeter koşulun üstünde olduğu bu sebeple viskoz sürtünmelerin artış eğiliminde olduğu, artan vadi pürüzlülüğünün ise yağca doyurulması gereken bir hacim olduğu için yağlama yağını, bu küçük hacimde tutarak yağ film kalınlığının daha fazla artmasının önüne geçmesi ve viskoz sürtünme artışını bir miktar sönümlemesinden kaynaklanmaktadır. Düşük hız ve yüksek yüklerde ise hız düşüklüğünden kaynaklı hidrodinamik şarta geçiş eğilimi yahut bu rejimi sürdürebilme kararlılığı daha düşüktür. Bir diğer yandan da artan yanma odası basınçları sebebiyle yağlama yağı kartere doğru harekete zorlanmaktadır. Bu sebeple vadi pürüz hacimlerini yağlama yağı ile doyurarak hidrodinamik rejime geçiş zorlaşmaktadır ve kuru sürtünme yahut karma film yağlaması meydana gelmekte ve sürtünme kuvveti artış göstermektedir (Gezer 2017).

1.3. Amaç

Literatür çalışmalarının genelinde farklı parametrelere bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi amaçlanmış, buna bağlı sonuçlar ilan edilmiştir. Dikkat çeken durum ise halen honlama parametrelerine bağlı elde edilen yüzeylerin pürüzlülük tahmininde matematiksel tanımlamanın olmamasıdır. Bu çalışmada bir kompresör silindiri yüzeyinin arzu edilen pürüzlülük değerinin hesaplanmasında kullanılabilecek quadratik bir matematik model cevap yüzey metodu kullanılarak geliştirilmiş ve imalat sürecindeki ideal parametre ve kombinasyon tahmini gerçekleştirilmiştir.

Bir sonraki bölümde honlama hakkında genel bilgiler verilecektir.

2. HONLAMA

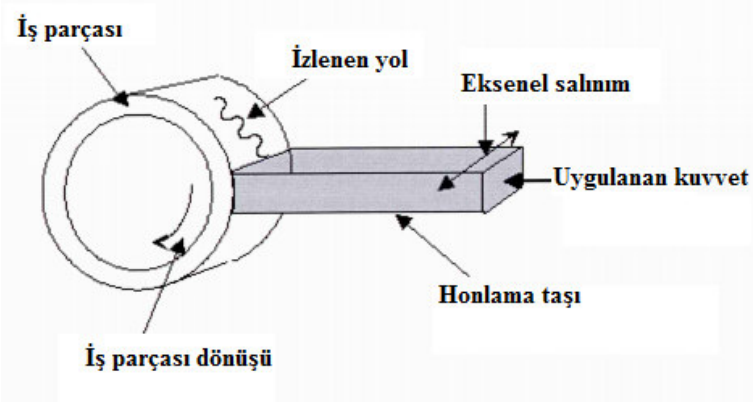
Önemli bir süreç olarak honlama üzerine tanımlayıcı ve betimleyici birçok referans eser literatürde mevcuttur.

Honlama, sabit yüzey teması altında bir iş parçasının formunu, boyutsal hassasiyetini ve yüzey kalitesini iyileştirmek amacıyla aşındırıcı tanecikler kullanılarak yapılan bir bitirme işlemidir (Kısa 2000). Honlama işlemi küçük parçacıklar halindeki elmastan sonraki en sert metal olan korundum, silikon karbür, bor nitrür, elmas (Kolcke 2009) gibi abrazif taneciklerin seramik kili, yapay reçine, mantar, karbon nitrat ve bazı maddeler kullanılarak birleştirilmesi sonucu oluşan honlama taşları 10-100 N/cm^2 gibi düşük basınçlarda iş parçası üzerine temas etmesi sonucu gerçekleşen talaş kaldırma işlemidir.

Honlama taşlarının tahriki mekanik veya hidrolik sistemler aracılığıyla gerçekleşir. Honlama başı gövde ve gövde çevresinde eşit aralıklarla konumlandırılmış 3-12 adet honlama taşından ve aşındırıcı özelliği olmayan kılavuzlardan meydana gelmektedir. Genel olarak aşındırıcı nitelikte olmayan kılavuzlar bronz, dökme demir ve sinter malzemeden imal edilmektedir (Kısa 2002).

Bir honlama operasyonu, aşağıda verilen karakteristik özellikleri içerir (Bkz. Şekil 2.1):

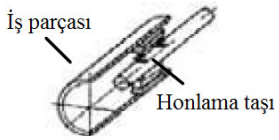
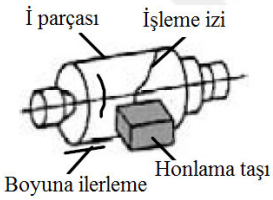
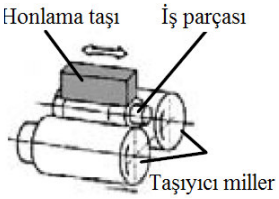
- Büyük temas alanı
- Honlama taşının eksenel salınımı
- Düşük iş parçası dönüş hızı
- Kontrollü kuvvet uygulanmasıyla orta seviye baskı



Şekil 2.1. Honlama işleminin şematik gösterimi

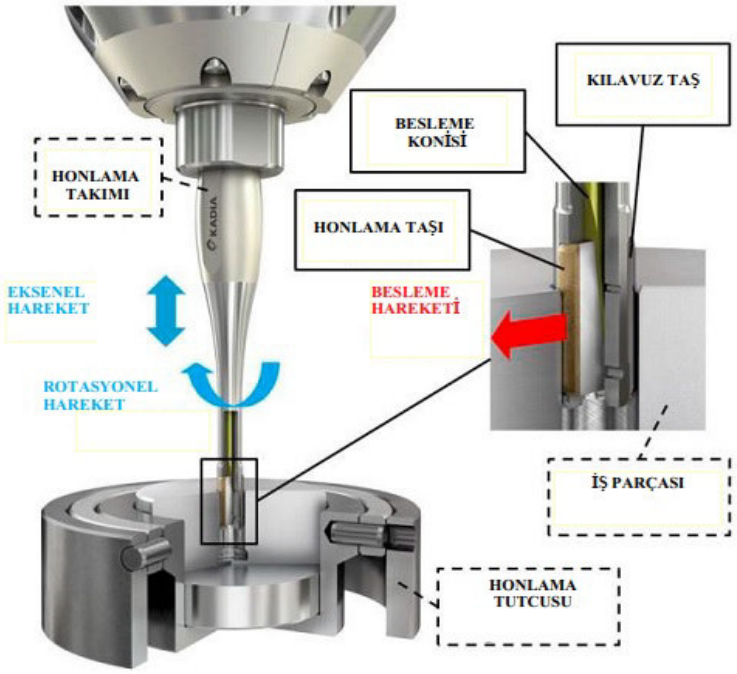
Genel olarak honlama, parçaların hassas işlenmesinden sonra (tornalama,taşlama vs.) uygulanır. Endüstride kullanılan birçok honlama çeşidi vardır. Tablo 2.1'de endüstride en yaygın kullanılan honlama tekniklerini ve bunların ana uygulama alanlarını, ayrıca bunların avantajlarını ve dezavantajlarını göstermektedir.

Tablo 2.1. Honlama teknikleri (Klocke 2009)

Metot	Uygulama alanları	Avantajlar	Dezavantajlar
Uzun stroklu honlama 	Bağlantı çubuğu delikleri, silindir gömlekleri, fren kampanaları, makaralı rulmanlar için kılavuz delikleri, fren silindirleri, dişli göbek delikleri, vs.	Üretim dışı süreler az, yüksek talaş kaldırma miktarı mümkün, köşe yuvarlatma mümkün, form ve ölçü verilebilme mümkün.	Yanlış hizalamaların düzeltilmesi mümkün olmaz, sınırlı uygulama alanı
Kısa stroklu honlama 	Krank milleri, elektrik motorları rotor milleri, uzun şaftlar, komplex dönel parçalar, vs.	Dalma taşlama ve boyuna işleme mümkün, Gerekli dönme ve ilerleme hareketi, takım tutucuya bağlanmış salınım başlığı ile gerçekleştirilir, çok büyük parçaların işlenmesi mümkündür.	Merkezleme sürecinin uzun olması dolayısıyla seri imalata uygun değildir.
Merkezlemesiz dalma honlama 	Kısa şaftlar, dönel şaftlar, kam milleri, vs.	Üretim dışı süreler az, merkezleme gerekmez, otomasyon mümkündür, tutarlı yüzey kalitesinin olması	Eksenel etki oluşturucu destekler gerekli, taşıyıcı silindirler üzerindeki izler iş parçasına geçebilir, sadece bir honlama aşındırıcı ağız ile kesme yapılması olumsuzluktur.

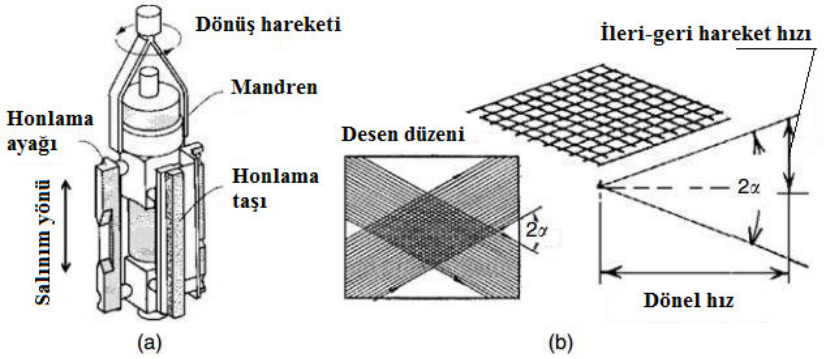
Yapılan bu çalışma kapsamında uzun stroklu honlama işlemi referans alınarak araştırmalar yapılmıştır. Uzun stroklu honlama işlemi yaygın olarak silindirik parçaların iç yüzeylerini işlemek için kullanılan aşındırıcı bir süreçtir (Feng ve diğ. 2002).

Honlama prosesi boyunca üzerinde aşındırıcı taşların olduğu honlama başlığı delik içinde dönerek ileri ve geri ilerler. Bu sırada honlama taşları eş zamanlı olarak delik yüzeyine baskı yaparak parçacık kopmasına neden olur. Sonuçta iş parçası yüzeyinde yağlamanın kolaylaşması için kullanılabilecek çapraz desenler/çizikler oluşturulmuş olur. Honlama taşı hareketlerinin şematik gösterimi Şekil 2.2 ile verilmiştir.



Şekil 2.2 Honlama Başlığının ve Taşın Rotasyonel ve Eksenel Hareket Şematik Gösterimi (Klein ve Bähre 2018)

Arzu edilen çapraz honlama desenlerin oluşması için dönel ve eş zamanlı ileri-geri ilerleme hareketinin bir korelasyon içinde olması gerekir. Oluşan honlama desenlerin şematik gösterimi Şekil 2.3'te verilmiştir.

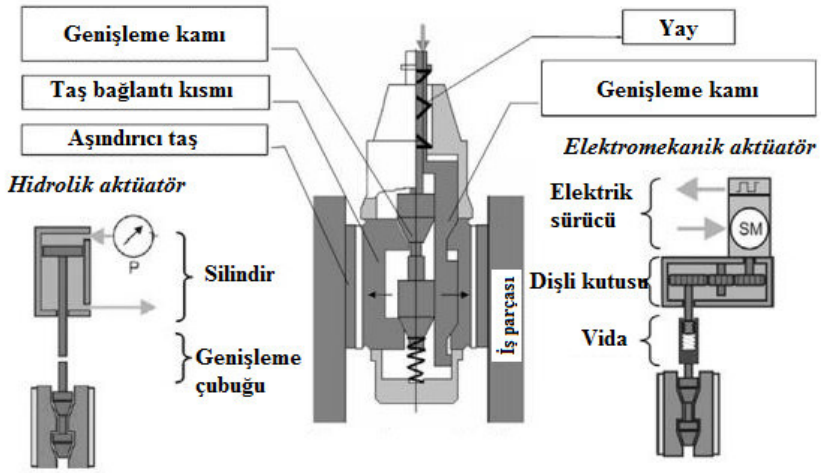


Şekil 2.3. a) Honlama başlığı. b) Çapraz desenler ve açısı (El-Hofy ve diğ. 2008).

İstenen yüzey dokusunun yanı sıra çapraz tarama oluşturabilen işlem silindir gömleklerinde istenilen desendir. Honlama işlemi sırasında aşındırıcı taşlarla donatılmış honlama kafası, silindir çapı karşılıklı dönme hıza tabidir. Kafa silindirden geçerken, honlama taşları aynı anda delik duvarına baskı uygular ve böylece malzeme bu, yüzeyde karakteristik çapraz tarama deseni oluşturur. Oluşan desen yağlama için kanal görevi görmektedir. Doğru honlama açısı ile istenen çapraz tarama deseni oluşturmak için,

honlama kafası dönüş hızı ile takımın dönüş hızı arasında bir korelasyon olması gerekir. (Edberg ve Landqvist 2015).

Radyal ilerleme, honlama taşının bağlantılandığı elemana, konik yüzeyli tahrik kolu tarafından baskı uygulayarak oluşturulur. Bu hareket sırasında taşlar delik yüzeyine doğru hareket eder. Baskı kuvvetinin oluşturulabilmesi için ise hidrolik veya elektrikli tahrik ünitesi kullanılır. Şekil 2.4'te iki farklı genişleme mekanizmasının temel prensibi gösterilmiştir.



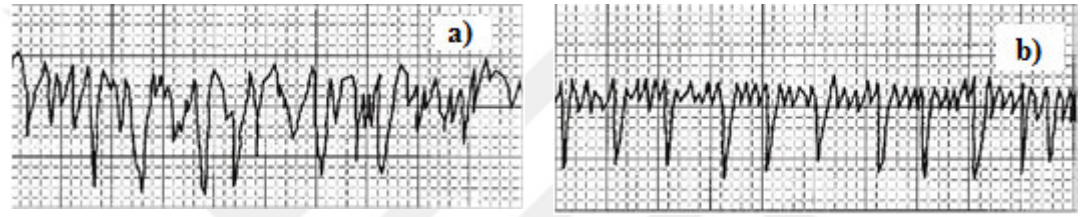
Şekil 2.4. Honlamada kullanılan farklı tip ilerleme kontrolleri (Goeldel ve diğ. 2013).

Bir elektromekanik tahrik kullanıldığında ilerleme sabit olur bu da sabit bir talaş kaldırma oranı sağlar. Bu sistem, kullanıcı tanımlı adımla ilerleyen açık döngü kontrollü bir sistemdir. Diğer yandan, hidrolik servo tahrik ile honlama taşı, talaş kaldırma oranında değişikliğe yol açan sabit bir basınçla ilerletilir. Elektromekanik sistemden farklı olarak, hidrolik tahrikli sistem, kapalı döngü kontrollü bir sistemidir. Burada ilerlemenin kullanıcı tarafından belirlenen aralıkta kalabilmesi için kontrol gerçekleştirilir. Bu durum, takım aşınması gibi operasyonel değişikliklerin tezgâh tarafından otomatik olarak telafi edilmesini mümkün kılar.

Honlama işlemi, nihai yüzey formu kazandırılan yüzey bitirme işlemi olduğu için kesme parametreleri hassas bir şekilde ayarlanmalı ve artık gerilmeler ile termal yük sebepli ölçü bozuklukları en aza indirgenmelidir. Bu amaçla operasyon yüzeyi 100ºC sıcaklığı geçmemelidir (Kısa, 2002). Bundan dolayı kesme sıvısının debisi hassas bir şekilde ayarlanmalıdır. Kesme sıvısı aynı zamanda yüzeyden kaldırılan talaşı bölgeden uzaklaştırma, takım sıvanmasını engelleme gibi görevlere de sahiptir (Gezer 2017).

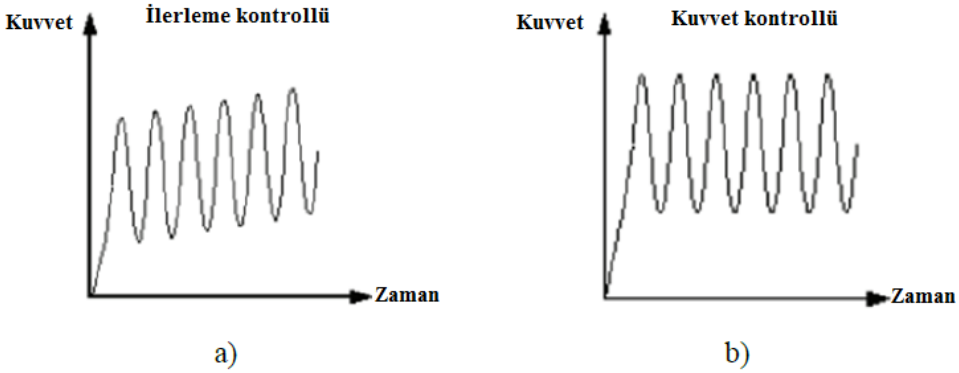
Honlamada temas basıncı arttıkça kesici takımın daha derine nufuziyet şansı artmaktadır. Bu durumda honlama taşı daha büyük gerilmelere maruz kalır. Temas basıncı arttıkça honlama taşı daha büyük gerilmelere maruz kalacağından dolayı aşınmalar artış gösterecek, yüzey pürüzlülüğü artacak, yüzeyden kaldırılan talaş miktarı artacak, silindir cidarlarının eğriliği önce bir miktar iyileşme gösterecek fakat ardından daha kuvvetli bir eğilimle kötüleşmeye başlayacaktır (Klocke 2009).

Aşağıda Şekil 2.5.'de iş parçasının plato honlama öncesi ve sonrasındaki yüzey pürüzlülük karakterleri gösterilmiştir. Plato honlama öncesi yüzey karakteristiği Şekil 2.5.a formundayken, plato honlama sonrasında yüzey pürüzlülük karakterleri Şekil 2.5.b formunda seyretmektedir (Gezer 2017).



Şekil 2.5 a) Honlama öncesi yüzeylerin genel pürüzlülük karakteristiği
b)Honlama sonrası yüzeylerin genel pürüzlülük karakteristiği

Honlama prosesinin başında yüzey pürüzlülüğü göreceli olarak yüksektir. Bu yapı iş parçası yüzeyine sabit ilerlemeyle baskı uygulayacak olan honlama taşı için gerekli kuvvetin az miktarda olmasına neden olur. Yüzey pürüzlülüğü azaldığında, yüzeyden işlenerek kaldırılacak malzeme miktarı artacaktır. Bu durum ise sabit ilerleme kullanıldığında taşın yüzeye uygulayacağı dışa doğru baskının artmasına yol açar. Bu sonuç süreç boyunca baskı kuvvetini artırıyor olacaktır. Sabit kuvvetle honlama taşının ilerletilmesi işlemiyle, sabit talaş kaldırma oranına göre yapılacak ilerleme ile yapılan işlem kıyaslandığında, sabit kuvvetle talaş kaldırma işleminde sistem çok daha kararlı olacağı ve yüzey pürüzlülüğündeki değişimin azalacağı tespit edilebilir. kuvvetin zamana bağlı değişimi Şekil 2.6. ile açıkça görülebilir.



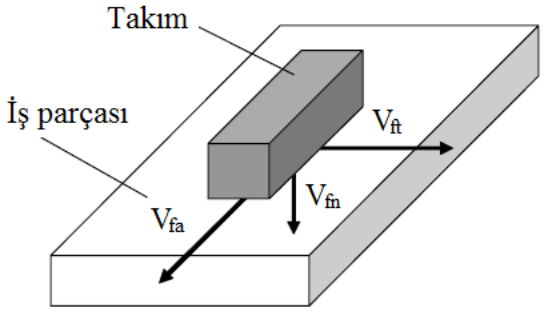
Şekil 2.6. a) Sabit ilerlemede kuvvet değişimi
b) Kuvvetin sabit olduğu durum
(Bähre ve diğ. 2012)

Şekilden görülebileceği gibi iki kontrol yönteminde de süreç kuvvetinde bir dalgalanma söz konusudur. Ancak sabit ilerleme kontrollü durumda zamana göre artan bir kuvvet gözlemlenir. Honlama başlığının eksenel salınımı sırasında gerçekleşen boyuna deformasyonlar, eş çalışan elemanların birleşme noktalarındaki sapma miktarıyla ilişkilidir. Bu salınım ilerleme konisi ve iş parçası arasında göreceli hareketlere sebep olur. Sonuç olarak iş parçası ile takım arasında kuvvet değişimi meydana gelir (Bähre ve diğ. 2012).

2.1. Honlamada Kinematik Prensipler

Honlama prosesinin prensipleri kısa stroklu honlama için bir örnek ile aşağıda açıklanmıştır. Bölüm 2.1 içerisinde yazılan ifadeler Klocke (2009) tarafından yayınlanan eser dikkate alınarak yazılmıştır. Takım ile iş parçası arasındaki hareket birbirine dik ilerleme hız bileşenine ayrılabilir (Şekil 2.7).

Eksenel ilerleme hızı (V_{fa}) ve teğetsel ilerleme hızı (V_{ft}), iş parçası yüzeyine paralel iki bileşendir. Normal ilerleme hızı (V_{fn}) ise iş parçası yüzeyine diktir.



Şekil 2.7. Kısa stroklu honlamada ilerleme hız bileşenleri

Hız bileşenlerinin süperpozesi alınarak bileşke hız bulunursa;

$$V_c = \sqrt{V_{fa}^2 + V_{ft}^2 + V_{fn}^2} \tag{2.1}$$

Burada V_{fa} ve V_{ft} değerlerine göre V_{fn} düşük talaş kaldırma oranından dolayı çok küçüktür ve ihmal edilebilir. Bu durumda V_c :

$$V_c = \sqrt{V_{fa}^2 + V_{ft}^2} \tag{2.2}$$

Hız ve doğrultu, takım kinematiğine bağlıdır. Teğetsel ilerleme hızı genel olarak sabittir. Eksenel ilerleme hızı ise sinüsoidal dalga formunda salınım gerçekleştirir. Şekil 2.6 içerisindeki sinüsoidal yol fonksiyonu aşağıdaki gibi formüle edilebilir.

$$y = \frac{l_0}{2}\sin(\omega t) \tag{2.3}$$

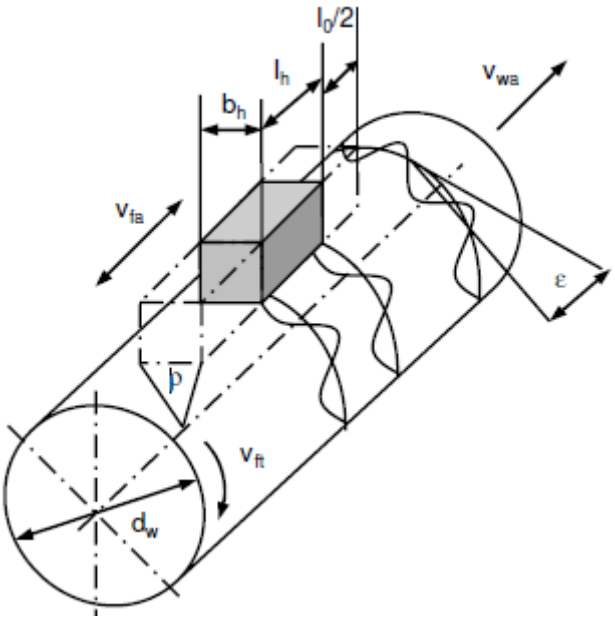
y, salınım fonksiyonu (yolu) ve l_0 salınım genliğidir. Yolun türevi alınırsa hıza ulaşılır.

$$V_{fa} = \dot{y} = \frac{l_0}{2}\omega\cos(\omega t) \tag{2.4}$$

stroke frekansı ise $f = \frac{\omega}{2\pi}$ olur. Buradan;

$$V_{fa} = l_0 \pi f \cos(\omega t) \tag{2.5}$$

sonucuna ulaşılır.



Şekil 2.8. Merkezsiz kısa stroklu honlamada dalma ve ilerleme hareketi

(2.2) ve (2.5) Denklemlerine göre eksenel iş parçası hızı $V_{\omega a}$ dikkate alınarak V_c tekrar yazılırsa:

$$V_c = \sqrt{V_{ft}^2 + (l_{0\max}\pi f \cos(\omega t) + V_{\omega a})^2} \tag{2.6}$$

V_c 'nin en büyük değeri;

$$V_c = \sqrt{V_{ft}^2 + (l_{0\max}\pi f + V_{\omega a})^2} \tag{2.7}$$

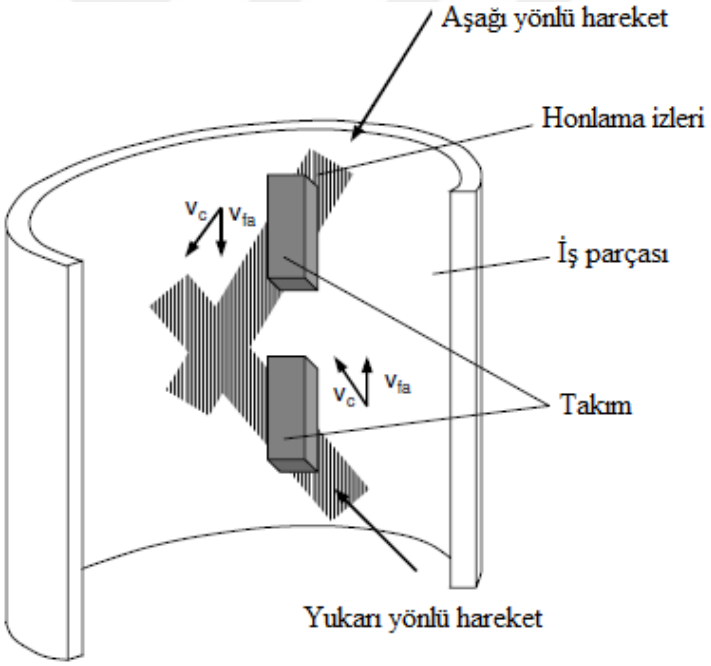
olur. En küçük değeri ise;

$$V_c = V_{ft} \tag{2.8}$$

Yüzeyde oluşacak çapraz izlerin açısı (α) aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\tan\alpha = \frac{V_{fa} + V_{wa}}{V_{ft}} \tag{2.9}$$

Uzun stroklu honlama durumunda takım ile iş parçası arasındaki bağıl hareket kısa stroklu honlamadakiyle aynı düşünülmelidir. Halbuki silindirik iş parçalarının kısa stroklu honlanması sırasında iş parçası genelde dönel hareketi etkiler. Şekil 2.9'da yüzeydeki son iz oluşumunu ve kinematiği ifade edilmiştir.

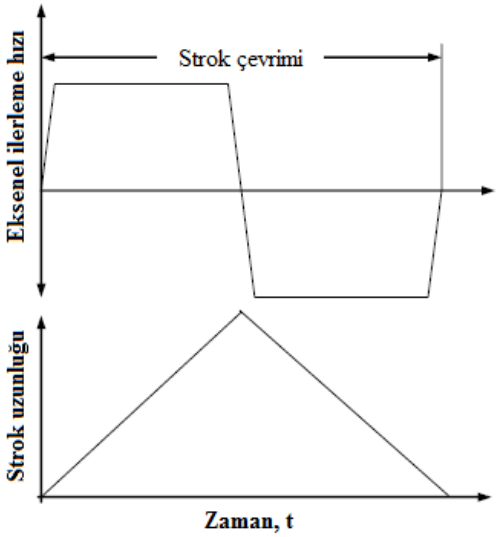


Şekil 2.9. Uzun stroklu honlamada yüzey yapısı ve kinematiği

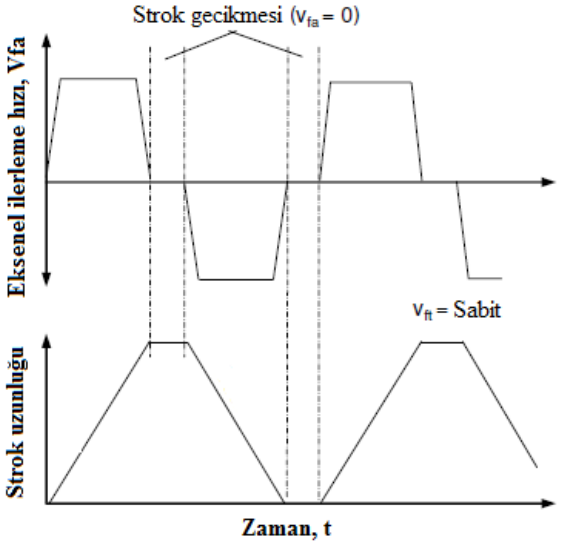
Kısa stroklu honlamanın tersine eksenel hareket bir sinus eğrisi ile tarif edilemez. Eksenel hızın dönme noktasına kadar tüm strok hareketi boyunca sabit kaldığı kabul edilir. Hız $V_c = V_{fa} + V_{ft}$ aşağıdaki Denklem (2.2) ile hesaplanır;

Denklem (2.9)'a göre sabit çapraz tarama izlerinin açısı α, iş parçası işleme stroku sonunda takımın geri dönmesi anında oluşan sabit eksenel ve teğetsel hız durumunda elde edilir. Şekil 2.10 ile strok gecikmesi olmaksızın salınım hareketi

verilmiştir. Strok gecikmesi ilaveten bir veya her iki strok sonundaki dönme pozisyonlarında oluşan şekil hassasiyetinin sebeplerini içerir(Bkz. Şekil 2.11).



Şekil 2.10. Uzun stroklu honlama: hız ve yol profili



Şekil 2.11.Strok gecikmeli: yol ve hız profili

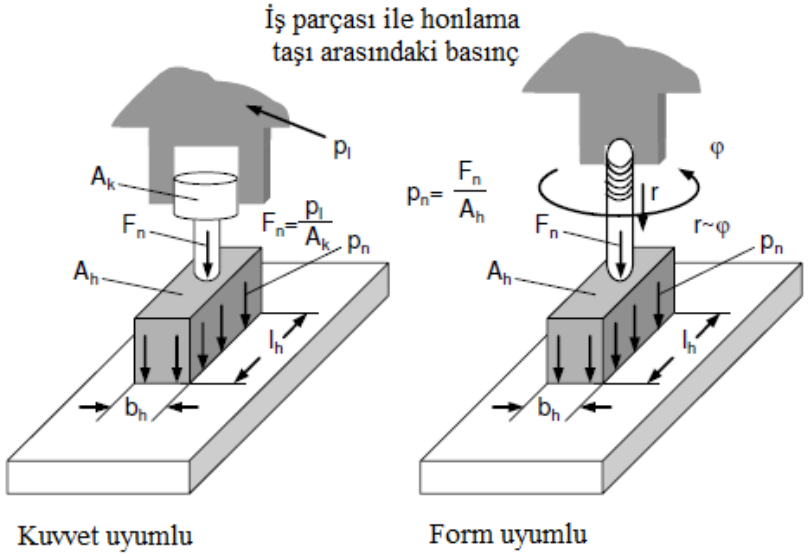
Dönme noktalarının yakınında çapraz tarama izlerinin açısı α'da meydana gelen azalma, takım hareketinin sonunda strok gecikmeleri olmayan birkaç adet vuruş ile iyileştirilir.

Takım V_{fa} ve V_{fa} doğrultusunda ilerleme hızı açısından kontrol edilebilirdir. V_{fn} kuvvet veya ilerleme doğrultusunda yani iş parçası yüzeyine dik olduğunda hareket

kuvvet ve ilerleme kontrollü gerçekleştirilir. Talaş derinliği hidrolik veya mekanik pozisyonlama şeklinde gerçekleştirilir.

Honlama taşının iş parçası yüzeyine olan temas baskısı Şekil 2.12 içerisindeki verilenlerle hesaplanır.

$$P_n = \frac{F_n}{A_h} = \frac{F_n}{b_h l_h} \tag{2.10}$$



Şekil 2.12. Kuvvet ve form uyumlu talaş derinliği prensipleri

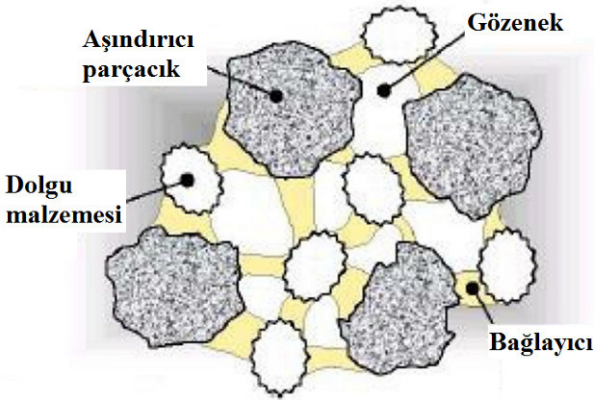
2.2. Honlama Taşı

Endüstride honlama prosesinin özeliğine, işlenecek yüzeyin ölçü ve geometrisine bağlı olarak farkı ebat, tip ve özelliklerde birçok honlama taşı kullanılmaktadır. Honlama taşları yapıştırıcı bir malzeme ile birbirine bağlanan aşındırıcı partiküllerden oluşmaktadır. Aşağıda honlama taşı yapısı hakkında bilgi verilmiştir.

2.3. Honlama Aşındırıcıları

Honlama taşları aşındırıcı partiküller, bağlayıcı malzeme, gözenek ve dolgu maddelerinden oluşan kompozit bir yapıdır (Şekil 2.13). Aşındırıcı tipi ve tanecik büyüklüğü yüzey pürüzlülüğü değeri üzerinde ana etkendir. İri taneli aşındırıcılar yüksek oranda talaş kaldırma kabiliyetine sahiptir ancak daha büyük pürüzlülük değerleri meydana getirirler (Klocke 2009). Küçük taneli aşındırıcılar ise tersi yönde sonuç oluşturur. Aşındırıcı taneciklerin birbirlerine tutunmalarını sağlayan aralarındaki

bağlayıcılardan dışarda kalan kısımlarının aynı form ve yükseklik olabilmesi için son derece hassas (mikron ölçüsü seviyesinde) bir eleme işleminden geçirilirler. Burada amaç yüzey üzerinde oluşturulacak derin izlerin azalmasını sağlamaktır.



Şekil 2.13. Honlama taşı iç yapısı

Honlama taşlarının performansı aşağıdaki parametrelere bağlıdır:

- Aşındırıcı malzemenin tipi
- Tane büyüklüğü
- Bağlayıcı malzemesi ve kompozisyonu
- Boşluğun büyüklüğü
- Bağlayıcı, tane büyüklüğü ve iş parçası arasındaki etkileşim
- Soğutma sıvısı özelliği
- Talaş kaldırma ve aşındırma mekanizmaları
- İşleme koşulları

Geleneksel ve süper aşındırıcılar olmak üzere iki çeşit aşındırıcı tipi mevcuttur. Her bir aşındırıcı tip, yukarıda sıralanan parametrelerin kendi içindeki çeşitliliğinden dolayı farklı kesme özelliğine sahiptir. Bu aşındırıcıların seçimi; sertliğine, aşınma direncine, tokluğuna (darbe direnci), basma direncine ve tane morfolojisi gibi mekanik özellikleri dikkate alınarak yapılır.

Bir aşındırıcının kesme yapabilmesi için iş parçasının malzemesinden daha sert olmalıdır. Düşük tokluk değerine sahip aşındırıcılar kırılgan olup çalışma yüzeyindeki darbelere direnç gösteremez. Buna göre en sert aşındırıcı olan elmas ise son derece kırılgandır ve hassas bitirme yüzeyleri için kullanılır. Daha tok aşındırıcılar ise yüksek talaş kaldırma işlemleri için idealdir.

Geleneksel aşındırıcılar Al_2O_3 (doğal veya sentetik olabilir) ve SiC (sentetik) içerirler. Süper aşındırıcılar ise CBN (Cubik Boron Nitride) ve doğal elmas aşındırıcılardan oluşur (Webster ve diğ. 2004).

2.3.1. Korondum ve silikon karbür aşındırıcılar

Al_2O_3 aynı zamanda korund veya korundom olarakta adlandırılır. Sert α fazı Al_2O_3 hekzagonal yapılı olup değişik saflıkta ve kristalizasyon derecesinde bulunabilen bir üründür.

İlaveten honlama taşlarında aşındırıcı olarak siyah ve yeşil olmak üzere iki tip SiC kullanılır. 2000 C° üstündeki sıcaklıklarda kumun (SiO_2) indirgenmesiyle elde edilir. Hekzagonal yapılıdır. Yeşil renkli olan SiC diğerine göre daha sert olup son honlama işlemlerinde tercih edilir.

Geleneksel aşındırıcı tanelere sahip honlama takımları, mekanik işleme yöntemleri kullanılarak formlandırılırlar. Dar honlama taşları, ilk kullanımları sırasında işlenecek iş parçasına kendilerini çok çabuk adapte edebilmelerinden dolayı, ayrı bir profil oluşturma sürecine nadiren ihtiyaç duyulur. Honlama takımları sadece çok küçük çaplı delikler işlenirken, sertleştirilmiş çelikten yapılmış tesviye manşonları ile yuvarlatılmaları yeterlidir.

Kullanılarak körleşmiş veya yeni olan honlama taşları yeniden keskinleştirilmelidir. Bu bileme işlemi, talaş kaldırma sırasında iki şekilde yapılabilir. Birincisi, aşındırıcı parçacıkların parçalanmasına veya kırılarak alttaki daha keskin olanların çıkmasına neden olacak şekilde honlama taşının temas basıncını arttırmak. İkincisi, salınım hızını arttırarak bileme etkisi oluşturmak.

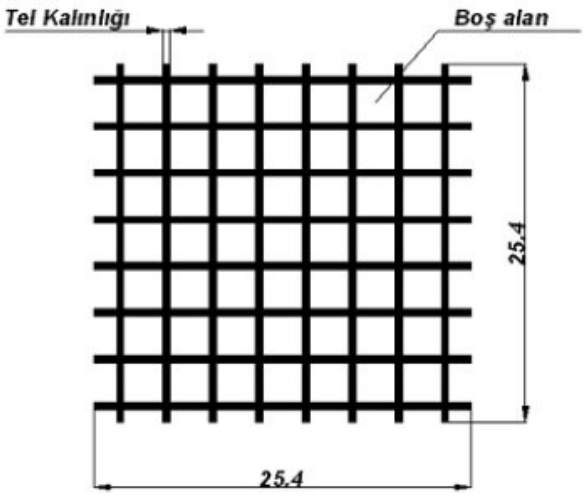
2.3.2. Boron nitrit ve elmas aşındırıcılar

Geleneksel honlama takımlarının aksine, CBN (Cubik Boron Nitride) veya elmas honlama taşları kullanımlarından önce iş parçasının formuna uyarlanmalıdır. Örneğin, deliklerin honlanması için, takımlar, silisyum karbür veya hassas korindon taşlama diskleri olan bir dış yüzey taşlama tezgâhında önceden gerilmiş bir durumda deliğin boyutlarına göre öğütülür (Kanthababu ve diğ. 2008). Bu profil oluşturma işleminden sonra, honlama takımının kesme kabiliyeti ve verimliliği yok denecek kadar azdır. Dolayısıyla bir bileme işlemi uygulanması gerekir. Bu amaçla, honlama işlemi

sırasında bir miktar nemli silikon tanesi iş parçası ve takım arasına dağıtılır. Yapılan bu lepleme işlemi ile takımın kesme kabiliyeti iyi tanelerinin ortaya çıkmasını sağlar. Başka bir olasılık da nemli, yumuşak korindon taşlarının kullanılmasıdır (Klink ve diğ. 1977). Her iki prosedürün ortak noktası, bilemek için seçilen hem silisyum taneciklerinin hem de korindon taşlarının tane büyüklüklerinin, bilenecek olan CBN veya elmas honlama takımları aşındırıcı taneciklerinden daha küçük olmasından ötürü, sadece kesme kabiliyeti kalmamış olan tanecikler arasındaki bağın uzaklaştırılması işlemi olmasıdır.

2.4. Aşındırıcı tane (Kum) Büyüklükleri

Honlama taşı kumları standart elekler vasıtasıyla sınıflandırılır. Nominal kum büyüklüğü, eleğin inch (mesh) başına örgü sayısına göre belirlenir. Şekil 2.14'de bir elek örneği gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Elek birim mesh sayısı

Gözenek sayısı arttıkça kum daha ince olur. 240 kum büyüklünden itibaren kumlar standart eleklere göre sınıflanmaz. Bunu yerine daha karmaşık ve zor bir yöntem olan Sedimantasyon yöntemi kullanılır.

2.5. Honlama Taşının Sertliği

Sertlik; honlama taşı kumunun, honlama taşına nasıl bir sabitlik derecesi ile bağlı olduğuna göre tanımlanır. 150 ve daha ince değerlerde ki honlama taşlarında sertlik derecesi bir sayı ile belirtilir. Buna göre 200 en yumuşak, 0 en sert honlama

taşını ifade etmektedir. 120 ve daha büyük kumlar için ise sertlik harf ile gösterilmektedir (Tablo 2.2). İşaretleme alfabetik sıralama ile dizilen harflerden oluşur ve bu durumda A harfi çok yumuşak, Z harfi çok sert yapıyı ifade eder.

Tablo 2.2. Honlama taşı sertliği (Güneş 2015)

Tanecik Yapısı	Minimum Sertlik	Maksimum Sertlik
Kum Büyüklüğü 150 ve daha ince	200	0
Kum büyüklüğü 120 ve daha kalın	A	Z

2.6. Bağlayıcılar

Bağlayıcının, talaş kaldırma süreci boyunca aşındırıcı taneciklerin taş içerisindeki bulundukları konumda tutunmalarını sağlamaktır.

Genel olarak honlamada kullanılan bağlayıcılar; seramik, Kaolin, Feldspat, Kuvars ve Bor silikatların farklı oranlarda ve kendi aralarında yaptıkları eşleştirilmelerle honlama tipine bağlı oluşturulan bağlayıcılar sayesinde birbirlerinden farklı özellikler elde edilebilir. Özel uygulama durumlarında yapay reçine bağlayıcıları da kullanılabilir.

2.7. Honlamada kullanılan sıvılar

Çalışma ortamında kullanılan sıvılar son işlem olarak yapılan honlama işlemi için talaş kaldırma oranını, son kaliteyi ve yüzey pürüzlülüğünü, talaş kaldırma kuvvetlerini, taş aşınmasını, yüzey altı gerilmeleri, beyaz katman (White layer) oluşumunu ve dolayısıyla işlemin maliyetini etkileyen en önemli faktörlerden biridir.

Bir honlama operasyonunda parça başına honlama maliyetinin en büyük gideri (yaklaşık% 90'ı) işçiliktir. İkinci en büyük gider (yaklaşık% 10) aşındırıcı tüketimidir. Tipik olarak, parça başına yağ maliyeti, toplamın yüzde ondan daha azdır. Ancak iyi bir yağlayıcı kullanılarak döngü zamanında veya aşındırıcının aşınmasında ciddi azalmalara neden olunarak, honlama yağının maliyeti defalarca karşılanmış olur.

Honlama işlemlerinde sıvılar yüksek/orta seviye basınçlar altında ve düşük hızlarda kullanılır. Bu duruma paralel yüksek buharlaşma durumlarında honlama sıvılarının çalışanların sağlığını da olumsuz etkilememesi arzu edilir (Feng ve diğ. 2002, El-Hofy 2008).

Bir talaş kaldırma prosesinde kullanılacak sıvının fonksiyonel özellikleri aşağıda sıralanmıştır (Brumgard 1993).

- Yağlayıcı, aşındırıcı ile iş parçası arası sürtünme ve ısınmayı indirgemelidir.
- Arayüzdeki aşırı taş baskısını azaltmak ve dolayısıyla derin çiziklerin önüne geçebilmek için kesme artıklarını ve partikülleri temas alanından uzaklaştırabilmeli
- Korozyona karşı koruyabilmeli
- Özellikle yüksek hassasiyetli parçaların işlenmesi sırasında ideal ölçü kontrolü için iş parçası sıcaklığının sabit kalmasını sağlamalı
- Aşındırıcı olmayan elemanların da yağlanmasını sağlamalıdır.

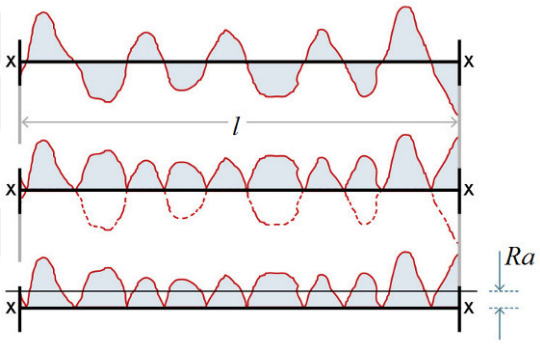
Honlamada kullanılan sıvılar genel olarak 4 tiptir (Brumgard 1993, Koelsch 1994, Carius 1990, Knight 2000). Tablo 2.3 ile yagın kullanılan honlama sıvılarının bazı özelliklerinin karşılaştırılması verilmişir.

Tablo 2.3. Honlama işleminde kullanılan sıvıların karşılaştırılması

	Sentetik	Yarı sentetik	Çözülebilir yağ	Katkısız yağ
Isı iletebilme	4	3	2	1
Yağlayıcılık	1	2	3	1
Filtre edilebilirlik	4	3	2	1
Çevreye uyum	4	3	2	1
Maliyet	4	3	2	1
Ömür	1	2	3	4
1=ZAYIF	4=EN İYİ			

3. YÜZEY KARAKTERİSTİKLERİ

İdeal pürüzlülük değerinde bir kompresör silindiri üretmek için, yüzeyi temsil edecek olan parametrelerin tanımlanması gerekir. Yüzeyi tanımlamak için kullanılabilecek birden fazla yüzey parametresi vardır. Endüstride en yaygın kullanılan profil parametresi ortalama pürüzlülük değerini veren *R*a'dır. Kolay ve az maliyetle ölçülebilmesi dolayısıyla hatta alansal ölçümlerde daha hızlı elde edilmesinden dolayı özellikle kalite kontrolde önemli rol oynar. Aritmetik olarak *R*a, adından da anlaşılacağı gibi, örnek uzunluğu boyunca pürüzlülük profili düşey koordinatlarının mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. İstatistik olarak *R*a, yüzey pürüzlülüğünün y-koordinatlarının merkez çizgisinden ortalama aritmetik sapması olarak tarif edilebilir (Şekil 3.1).

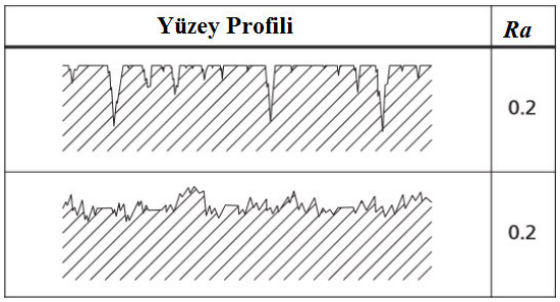


Şekil 3.1. *R*a yüzey pürüzlülük değeri gösterimi
(http://www.teamstainless.org/news/2014-12/Ra_Rq_Rz_ Roughness_values_explained)

Parametre matematiksel olarak Denklem (3.1), (ISO 4287:1997) ile tanımlanmıştır.

$$Ra = \frac{1}{l}\int_0^l \left|Z(x)\right| dx \tag{3.1}$$

Burada *Z(x)* ortalama çizgi ile profil eğrisi arasındaki mesafe ve *l* örnekleme uzunluğudur. Dikkat edilmelidir ki; *Ra* profil çıkıntı ve boşluk kesitleri ile ilgili olarak hassasiyet göstermez. Örneğin, eşit aritmetik ortalama pürüzlülük (*Ra*) değerine sahip iki yüzey, topografik özellikleri itibari ile birbirinden çok farklı olabilir (Şekil 3.2).



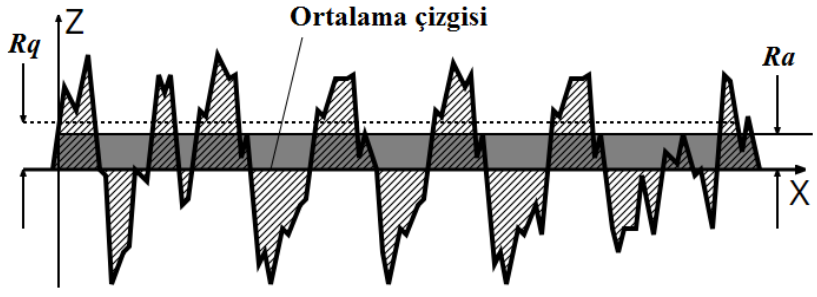
Şekil 3.2. Aynı aritmetik ortalama pürüzlülüğü ancak farklı topografik özellikler ve performans kabiliyetine sahip iki yüzey (http://www.alphaomegapt.com/pdf%20files/Surface%20Finish%20Definitions.pdf).

Yukarda değinilen durum dikkate alındığında, pürüzlülük tanımlanmasında hedeflenen amaca yönelik birden fazla pürüzlülük tanımlama parametresine dikkat edilmesi gerektiği anlaşılır.

Endüstrinin sıklıkla kullandığı bir başka pürüzlülük parametresi *Rq* veya RMS'dir. *Rq*, referans olarak kabul edilen ortalama çizgisine göre yüzey profil yükseklik dağılımının standart sapmasını temsil eder. Aritmetik olarak *Rq*, örnekleme uzunluğu boyunca profil yüksekliklerinin karelerinin ortalamasının kareköküdür ve Denklem (3.2) ile hesaplanır.

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l}\int_0^l \left|Z^2(x)\right| dx} \tag{3.2}$$

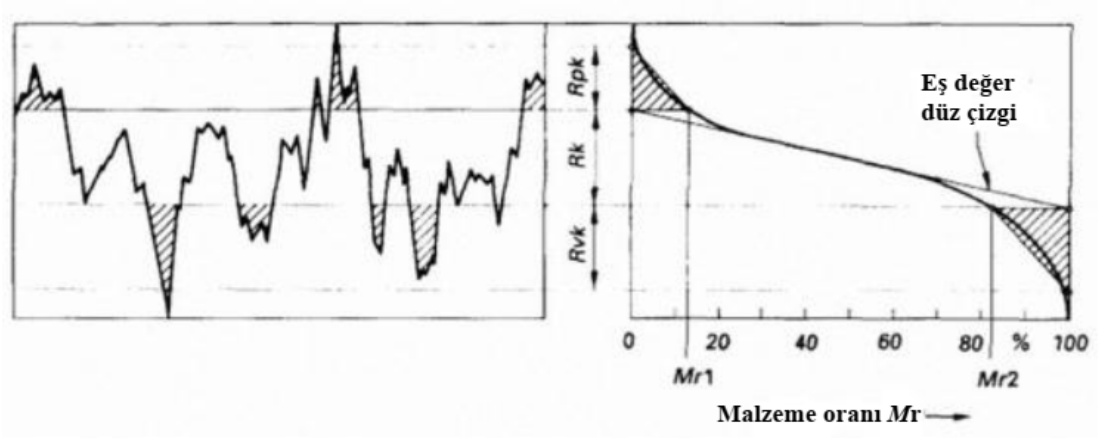
Esasen *Rq* özellikle profil kesitindeki çıkıntı boşluklar için *Ra*'ya göre daha duyarlı bir pürüzlülük parametresidir. Öyle olmasına rağmen kimi *Rq* ölçümlerde *Ra*'ya göre yaklaşık %11 civarında düşük veya yüksek ölçümlere ulaşılabilmektedir (Şekil3.3).



Şekil 3.3. *R*q ile *R*a ölçüm farkları (https://www.mahr.com/mahr-parameter/html/english/MarSurf/meanroughness.html).

Hem *Ra* hem de *Rq* parametreleri yaygın olarak kullanılan geleneksel yüzey parametreleridir ancak tüm ortalama değer ölçümleri gibi sakıncaları vardır. Bahsedilen

parametrelerin hiçbiri çıkıntı ve boşluklar arasında net ayrım gerçekleştiremez. Yüzey özelliklerini daha iyi tanımak ve tanımlamak için yukarıda açıklanan parametreler (*Ra* ve *Rq)* yerine, yüzeydeki tepe ve vadilerin dağılımını daha iyi tanımlayan parametreler kullanılmalıdır. Bu şekilde, işleme süreci daha kontrollü yapılabilir ve istenen yüzey dokusuna sahip parçalar üretmek mümkün olur. Bir silindir performansı ile korelasyonu en iyi olan parametreler *Rk* ailesi parametreleridir. Parametreler Abbott-Firestone eğrisinde veya alan yatak eğrisinde (Leach R. Editor 2013) grafiksel olarak açıklanmıştır. Bu eğriler, malzemenin profil yüksekliği içindeki dağılımını grafiksel olarak tanımlayabilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Pürüzlülük parametrelerini açıklayan Abbott-Firestone eğrisi

Bir maddenin aşınabilirliği hakkında bir ölçüm değeri elde etmenin en uygun yöntemi, yüzey malzeme oranını incelemektir. Malzeme oranının değerlendirilmesi, yüzey kusurunun seviyesini belirlemek için kullanılan basit bir yöntemdir. Bu maksatla Abbott-Firestone yüzey eğrileri kullanılır. Bu eğri, kesim koşullarına göre değiştirilebilen işleme yöntemine göre karakteristik bir şekle sahiptir. *R*mr sembolü ile gösterilir ve % olarak değerlendirilir. Şekil üzerinde eşdeğer bir düz çizgi çizerek, çıkıntı, boşluk ve ana alanlar tanımlanabilir. Çizgi, ölçülen profilin %40'ını içeren eğrinin merkezi bölgesi için hesaplanır. Eğriden, yüzeyin farklı kısımlarını karakterize eden beş parametre elde edilebilir. Parametreler aşağıdaki gibi ISO 13565-2 standardında tanımlanmıştır.

- Öz pürüzlülük derinliği (*R*k*)* : Orta tabaka yüzey pürüzlülük derinliği
- Malzeme oranı (*M*r1*)* : Pürüzlülük çıkıntılarını orta tabaka profil derinliğinden ayıran kesişim çizgisinden belirlenen, yüzde cinsinden malzeme kısmı.

- Malzeme oranı (*M*r2*)* : Pürüzlülük derin boşlukların orta tabaka profil derinliğinden ayıran kesişim çizgisinden belirlenen, yüzde cinsinden malzeme kısmı.
- İndirgenmiş çıkıntı yüksekliği (*R*pk*)* : Orta tabaka yüzey pürüzlülük profili üzerindeki çıkıntıların ortalama yüksekliği
- İndirgenmiş vadi derinliği (*R*vk*)* : Orta tabaka yüzey pürüzlülük profili üzerindeki boşlukların ortalama derinliği.

4. OPTİMİZASYON

4.1. Cevap Yüzey Analizi (CYA)

Cevap yüzey analizi deneysel çalışmalardaki problemlerin analiz edilmesi, modellenmesi ve optimizasyonu için, faktörler (bağımsız değişkenler) ve ölçülen tepkiler (bağımlı değişkenler) arasında matematiksel bağıntılar kuran istatistiksel bir tekniktir. Başka bir ifadeyle CYA, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken veya değişkenler arasındaki analitik formüllere dayalı bir polinomiyal ilişki oluşturma veya model/fonksiyon uydurma işlemidir (Palanikumar ve diğ. 2008, Chiang 2008, Gaitonde ve diğ. 2009, Abhang ve Hameedullah 2010).

CYA ilk olarak 1950'li yılların başında Box ve Wilson (1951) tarafından ortaya atılmıştır. Bu yöntem ile mühendislik uygulamalarındaki bilimsel problemlerin bazı tiplerinin çözümünü istatistiksel olarak yapmak mümkündür. Günümüzde ise özellikle imalat alanında karşılaşılan optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Öktem ve diğ. 2005, Öktem 2009, Bouacha ve diğ. 2010, Neşeli ve diğ. 2011, Asiltürk ve Neşeli 2012). CYA uygulanmasının amacı, elde edilecek cevapları önceden öngörebilecek, sistemi ifade edebilen uygun fonksiyon bulmak ve optimum imalat koşullarını belirlemektir.

Bir sistemde elde edilen sonuç verileri CYA için cevap değerleridir. Cevaplar normalde sürekli ya da kesintili (başta ve sonda) olarak ölçü aletleriyle okunur ve sistemin en önemli fonksiyonudur. Bu yüzden cevapların mümkün olduğunca özenli ve uygun bir ölçme sistemiyle alınması, modelin güvenilirliği açısından önemlidir. Deneyler sonucunda elde edilen model CYA kullanılarak polinom denklemi şeklinde ifade edilir. CYA'nda esas olan iki kısım vardır:

- Deneysel olarak belirlenen faktör değerleri sonucunda elde edilen cevapların matematiksel modelde değerlendirilmesi
- Matematiksel olarak elde edilen modelin istatistiksel olarak analizi

Bu yöntemin avantajları ve dezavantajları Şu şekilde sıralanabilir:

Avantajları;

- Ele alınan tribosistemdeki sürtünme faktörlerinin analizinin yapılabilmesi
- Seçilen faktörlere ait birimlerin modele etkilerinin olmaması

- Oluşturulan model ile sürtünme faktörlerinin optimum çalışma aralığının belirlenebilmesi

Dezavantajları ise;

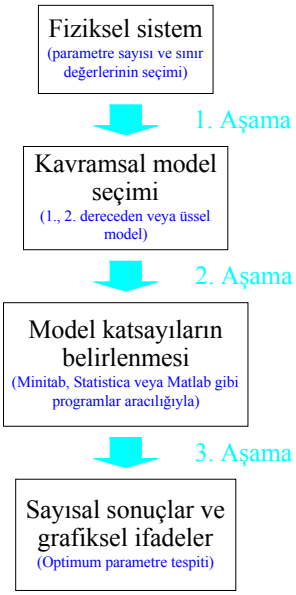
- Her sistem için özel olarak uygulanabilir olması
- Uyarlanacak sisteme uygun olarak belirlenecek bir dizi deneyin yapılması
- Tahminlerin deney limitleri ile sınırlı olması
- Faktör sayılarına bağlı olarak deney sayısının üstel olarak artmasıdır.

CYA aşağıda ifade edilen amaçlar doğrultusunda kullanılabilir (Kini 2004):

- Süreci etkileyen faktör seviyelerinin belirlenmesinde,
- Arzu edilen optimum noktaya en yakın faktör kombinasyonunun belirlenmesinde,
- Alan testleri sayesinde sistem davranışlarının tespitinde,
- Süreç kararlılığı için gerekli koşulların tespitinde.

4.2. CYA ile Optimizasyon Süreci

CYA metodu ile modelleme ve optimizasyon sürecinin daha iyi anlaşılabilmesi için üç aşamalı algoritma takip edilebilir (Şekil 4.1):



Şekil 4.1. CYA ile modelleme ve optimizasyon süreci

1. Aşama:

Sürecin birinci aşamasında varolan fiziksel deney ortamında tepkilerin alınabilmesi için kullanılacak bağımsız parametrelerin ve seviyelerinin tespiti gerçekleştirilir. Ardından parametrelerin kombinasyonu ile deneysel tasarım (DT) oluşturulur. Deneysel tasarım minimum sayıda deneyin gerçekleşmesi ve sonuçların güven aralığında uyum içerisinde olabilmesi için son derece önemlidir. En çok kullanılan deney tasarımları Central composite, Box-Benkhen, tam faktöryel, kısmi faktöryel ve rastgele bloklamadır (Montgomery 2005). Ardından faktör etkilerinin belirlenebilmesi için bir dizi deney gerçekleştirilir. Bunlara ilaveten fiziksel deney sisteminden basit bir kavramsal/matematik model oluşumu gerçekleştirilir. Burada amaç etkili olduğu düşünülen parametrelerin en ideal deneysel kombinasyonunu tespit edebilmektir. Kavaramsal model faktörlerin ve etkileşimlerinin dahil edildiği birinci ya da ikinci seviyeden bir regresyon modeli veya üssel bir model olarak düşünülebilir. Bu aşamada fiziksel sistemi oluşturan tüm faktörlerin modelin içerisine dahil edilecek şekilde dikkate alınması gerekir.

CYA yöntemine dayalı bir regresyon modeli oluşturmak için doğrusal regresyon modelleri ve bu modelleri oluşturan denklemlerde yer alan katsayıların tahmin edilmesinde kullanılan eğri uydurma işleminin bilinmesi gereklidir. Bundan dolayı, öncelikle doğrusal regresyon modelleri ve eğri uydurma işlemi gibi matematiksel kavramlar ifade edilmelidir.

Bir bağımlı değişken (y) birçok bağımsız değişkenden ($x_1,\ x_2,...,x_k$) etkilenir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki doğrusal bir fonksiyon ile yeteri derecede temsil edilebiliyorsa yaklaşım, çoklu doğrusal regresyon modeli olarak aşağıdaki gibi verilir:

$$y = f\left(x_1,\ x_2,...,x_k\right) + \varepsilon$$
$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_k x_k + \varepsilon \qquad (4.1)$$

Bu model iki boyutlu $x_1,\ x_2$ uzayındaki bir düzlemi tanımlar. Burada, y arzu edilen tepki, β'lar fonksiyonun bilinmeyen parametreleri, ε elde edilen tepkilerdeki gürültü veya modelin hata miktarı, indis olarak k ise nicel regresör değişkenidir. Eşitlik

(4.1) ile verilen 1. dereceden çoklu regresyon modeline terimlerin etkileşimleri ilave edilerek;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + ... + \varepsilon \quad (4.2)$$

eşitliği elde edilir. Benzer şekilde sistemde eğrisel bir ilişki varsa ikinci dereceden bir polinomiyal modelin kurulması söz konusudur. Bu durumda ikinci dereceden bir CYA modeli;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + ... + \varepsilon \quad (4.3)$$

şeklinde yazılabilir. (4.2) ve (4.3) eşitliklerindeki matematiksel mantık izlenerek yüksek dereceli polinomiyal çoklu regresyon yani CYA modelleri türetilebilir. Ancak en çok tercih edilen model ikinci dereceden olan modellerdir. CYA analiz yönteminde ikinci dereceden modeller yaygın bir şekilde kullanılmasının nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Montgomery ,2005):

- İkinci dereceden modellerin esnekliği gerçek tepki yüzeyine daha iyi yaklaşım sağlamaktadır.
- İkinci dereceden CYA modellerindeki bilinmeyen parametrelerin (β_0, β_1,... gibi) en küçük kareler yöntemiyle tahmin edilebilmesi daha kolaydır.
- İkinci dereceden CYA modellerinin daha başarılı sonuçlar verdiği birçok uygulamayla ispatlanmıştır.

2. Aşama

İkinci aşamada elde edilen deneysel verilerin bir bilgisayar programı (Minitab, Statistica veya Matlab gibi) yardımı veya elle hesaplama yöntemi ile değerlendirilip model içerisinde kullanılacak katsayıların (bilinmeyen parametrelerin) tespiti yapılır. Katsayıları belirlenen ve son haline gelen matematik modelin kullanılmasıyla tepkiler için tahmin değerleri oluşturulur.

Çoklu regresyon modelindeki bilinmeyen parametreleri tahmin etmek için eğri uydurma işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem sürecinde en küçük kareler yöntemi kullanılarak parametrelerin tahmini yapılır.

En küçük kareler fonksiyonu, deneylerden elde edilen veri seti ve (4.1) nolu eşitlik kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

y	x_1	x_2	.....	x_k
y_1	x_{11}	x_{12}	.....	x_{1k}
.	.	.		
y_n	x_{n1}	x_{n2}	.....	x_{nk}

$$L = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^{k} \beta_j x_{ij} \right)^2 \tag{4.4}$$

burada, i deneysel ölçüm (tepki) x_{ij}, L ise hataların kareleri toplamı olarak ifade edilen en küçük kareler fonksiyonudur. Bu fonksiyonun en kolay çözümü için matris yaklaşımı kullanılırsa:

$$y = X\beta + \varepsilon \tag{4.5}$$

$$y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}, \qquad X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{pmatrix}, \qquad \beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_n \end{pmatrix}, \qquad \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}$$

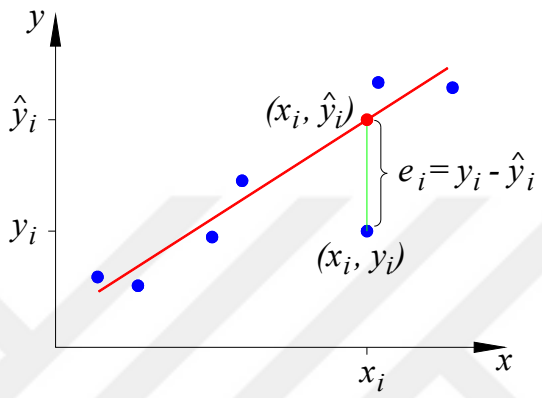
En küçük karelerin tahmin vektörü $\hat{\beta}$:

$$\hat{\beta} = \left(X^T X \right)^{-1} X^T y \tag{4.6}$$

ile elde edilebilir. Eğri uydurulmuş regresyon modeli ise:

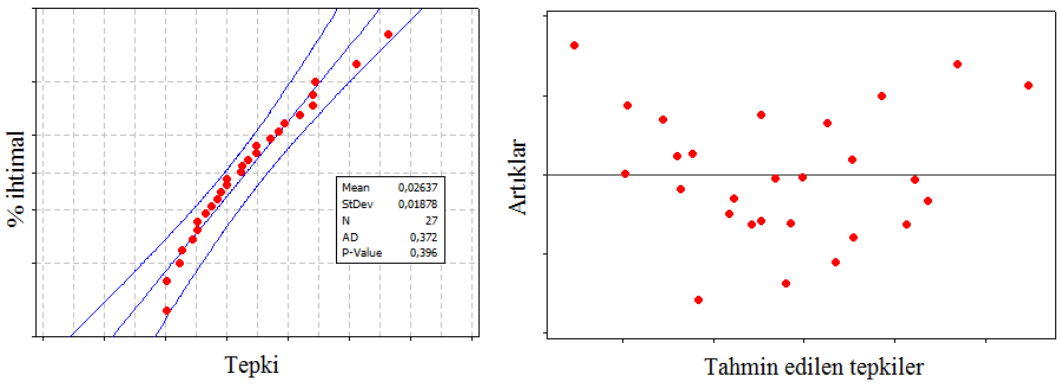
$$\hat{y} = X\hat{\beta} \tag{4.7}$$

olarak yazılabilir. Elde edilen tepki (y) ve uydurulmuş tepki ($\hat{y}$) arasındaki fark, artık (residual) olarak adlandırılır ve $\hat{\varepsilon} = e_i = y_i - \hat{y}_i$ eşitliği ile ifade edilir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Dağılım grafiği (scatterplot) üzerinden artıkların hesaplanması.

Artıkların grafikleri model güvenilirliğinin daha iyi anlaşılabilmesi için yüzde ihtimal oranlarının dikkate alındığı veya tahmin edilen bağımlı değişkenlere göre farklı formlarda çizdirilebilir. Hataların normalliğinin kontrolünde Şekil 4.3(a) ile verilen tepki-% ihtimal (normal-probability) grafiği veya Şekil 4.3(b) ile verilen, tahmin edilen tepkilerle artıklara (predicted response-residual) ait grafikler kullanılır.



a) b)

Şekil 4.3. Artıkların grafikleştirilmesi
a) Tepkilerin tahmin tutarlılık yüzdesi
b)Tahmin edilen tepkilere ait artıkların geçerlilik grafiği

En küçük kareler yöntemiyle eğri uydurma işlemi boyunca oluşturulan matematik modellerin güvenirliği aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak test edilebilir.

$$SS_E = \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - \hat{y}_i \right)^2 = y^T y - \hat{\beta} X^T y \tag{4.8}$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - \bar{\hat{y}}_i \right)^2 = y^T y - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} y_i \right)^2}{n} \tag{4.9}$$

$$F = \frac{\left(SS_T - SS_E \right) / k}{SS_E / \left(n - k \right)} \tag{4.10}$$

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \tag{4.11}$$

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{SS_E / \left(n - k \right)}{SS_T / \left(n - 1 \right)} \tag{4.12}$$

$$MSE = \frac{SS_E}{n - k} \tag{4.13}$$

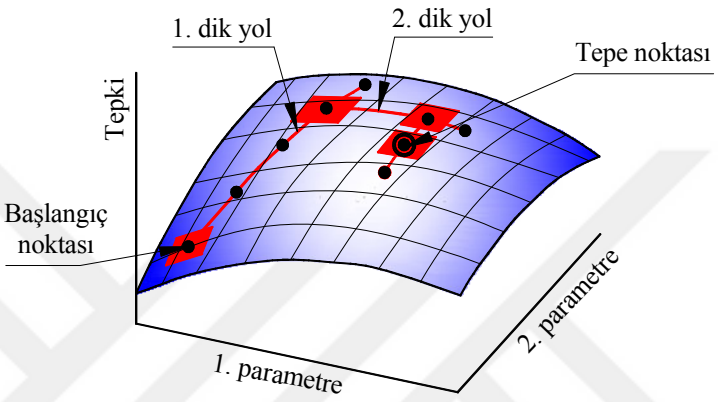
$$RMSE = \sqrt{MSE} \tag{4.14}$$

$$APE\left(\% \right) = \left(\left[\sum_{i=1}^{n} \left(\left| y_i - \hat{y}_i \right| \right)^2 / \hat{y}_i \right] \Big/ p \right) .100 \tag{4.15}$$

Yukarıda verilen eşitliklerde SS_E hataların kareleri toplamı, SS_T hataların kareleri toplamı, F regresyon modelinin uygunluk değeri, R^2 regresyon modelinin çoklu tahmin geçerlilik katsayısı, R_{adj}^2 regresyon modelinin ayarlanmış çoklu tahmin geçerlilik katsayısıdır. *MSE* hataların kareleri toplamının ortalaması, *RMSE* hataların kareleri toplamının karekökünü ve *APE* (%) ise ölçülen değerler ile eğri uydurulmuş (tahmin edilmiş) değerlerin ortalama mutlak yüzde hatasını gösterir. Burada R^2, oluşturulan regresyon modelinin uygun olup olmadığına karar vermek için kullanılır ve değerleri "0-1" arasında değişir. Bu değer 1'e yaklaştıkça regresyon modelinin geçerliliği yükselir yani modelin tahmin yeteneği oldukça iyi demektir. (Montogometry 2005).

3. Aşama

Son olarak CYA'ya ait karakteristik üç boyutlu veya düzlemsel yüzey grafikleri çizdirilir. CYA analizi aslında dik tırmanış (steepest ascent) prosedürü olarak bilinir. Bu teknik, belirli noktalardan geçen doğru bir yol boyunca gerçekleştirilen deneyler aracılığıyla maksimum veya minimum noktaların araştırılması işlemidir (Şekil 4.4.). Optimum noktanın grafikler üzerinden tespiti ile optimimum faktör değerleri bulunmuş olur.



Şekil 4.4. Dik tırmanış prosedürü

Bu tez çalışmasında uygulanan CYA içerisinde maksimum talaş derinliği ve süreç sönümleme değerlerinin tahmininde kuadratik polinom tipi çoklu regresyon modelleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalardaki tepkilerin maksimum çıkabilmesine olanak sağlayan parametre kombinasyonu için ise optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. CYA yöntemiyle oluşturulan regresyon modelleri ve optimizasyon işlemi tez çalışmasında ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan deneysel çalışmada honlanmak üzere kullanılan DIN standartlarında GG25 kalitede gri dökme demirden üretilmiş kompresör bloğu Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Tornalanmış deney numuneleri

Kullanılan GG25 kalitedeki gri dökme demir malzemeye ait kimyasal kompozisyon ise Tablo 5.1 ile verilmiştir.

Tablo 5.1. GG25 Dökme demir malzemenin kimyasal kompozisyonu (http://www.arkocvana.com/site/klavuz/t1.pdf)

	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (max) (%)	P (max) (%)
GG25	3.00-3.25	1.85-2.10	0.40-0.70	0.12	0.25

Özellikle motor gövdesi imalatında yaygın olarak kullanılan bu malzeme mekanik verimi, sıcaklık ve aşınma dayanımı bakımından performans artırıcı kimyasal içeriğe sahiptir. Bu döküm kompresör gövdesinin silindir kısmı üzerinden, ilk önce Yıldız Pul (Vaden Original) firmasındaki DMG MORI marka NHX 5500 model CNC torna tezgâhlarında talaşlı imalat yöntemi ile yaklaşık 0.05-0.07 mm talaş kaldırılıp (honlama ölçülerine yakın işlenerek) honlama operasyonu için ön hazırlığa tabi tutulmuştur. Tornalama işlemi sırasındaki talaş derinliğinin 0.05-0.07 mm aralığında gerçekleştirilmesinin amacı honlama ile kaldırılacak talaş miktarının dökümden gelen ara ürünün ölçüsel sapmalarını tolere etmek, dolayısıyla honlama süresini azaltmaktır. CNC torna tezgâhından alınan kompresör gövdesi NAGEL marka honlama tezgâhına bağlanarak honlama taşı, tezgâh, çevre ve tecrübe kısıtlarına bağlı belirlenen şartlar

altında silindir iç yüzeyinden mikron seviyesinde talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

5.1. Honlama Prosesi Adımları

1. Adım: Kompresör bloğuna uygun honlama kafası (Bkz. Şekil 5.2) seçilerek buna uygun Tyrolit marka TS EN 12413 Standardında, FA 9906893-1C180-85Y18T3 kodlu, 10x10x80 mm boyutlarında honlama taşı yerleştirilmiştir. Honlama taşıyla ilgili teknik detaylar Tablo 5.2 ile verilmiştir.



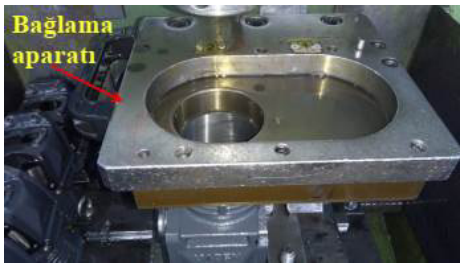
Şekil 5.2. Honlama Tezgahı, Başlığı ve Kafası

Tablo 5.2. Mesh 180 honlama taşı

Özellik	Açıklama
Taş Malzemesi	Silisyum Karbür (SiC)
Kum Büyüklüğü	Mesh 180 TS EN 12413;2008 (2012; TS EN 12413+A1:2011) EN 12413 : (BS) EN 12413: (DIN) EN 12413 : (NF)
Sertlik	≤ 2000 HRc
Bağlayıcı Türü	Seramik Bağlayıcı

2. Adım: Honlama tezgâhı çalıştırılmadan önce tezgâh üzerinde iş parçası olmamasına, tezgahın gerekli basınç değerlerinin ayarlandığına ve iş güvenliği kurallarına uyulduğuna dikkat edilir.

3. Adım: Honlama işlemi yapılacak kompresör bloğu tezgah üzerindeki bağlama aparatına bağlanır (Bkz. Şekil 5.3). Honlama kafası ile honlanacak kompresör arasındaki eksen kaçıklığı yüzey kalitesini, silindirikliği ve daireselliği olumsuz etkiler. Bu maksatla, tezgâh tablasının üzerinde kompresör boluğunu sabitleyen bir aparat daha kullanılmıştır.



Şekil 5.3. İş parçasını tezgaha sabitlemek için kullanılan aparat takımı

4. Adım: Honlanmak üzere tezgâha sabitlenen kompresör bloğununun silindirinden ölçüye dikkat edilmeden yapılan ilk honlama işlemi sonrası işlenmiş yüzey komparatör saati vasıtasıyla ölçülerek sonraki paso sayısı ve kaldırılacak talaş miktarının tespiti gerçekleştirilir.



Şekil 5.4. Komparatör saati ile yapılan ölçüm

5. Adım: Honlama işlemine başlanırken işlenecek yüzeye düşük viskoziteli soğutma sıvısı akıtılarak talaşlı işleme başlanır.

6. Adım: Honlama prosesi esnasında elde edilmek istenilen kompresör bloğunun iç çapının istenilen değere ulaşıldığını kontrol etmek amacı ile ilk parça onayı alınır. Bu sayede ne kadarlık talaş kaldırılması gerektiği tespit edilir. Ardından diğer parçalarda ara ara komparatör saati vasıtasıyla bloğun iç çapı kontrol edilir.

5.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü ve Cihazı

Honlama işlemi sonucunda işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için Mahr M400 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Şekil 5.5'de

kullanılan pürüzlülük cihazının genel görünüşü ve Tablo 5.3'de ise teknik dataları verilmiştir.



Şekil 5.5. Mahr M400 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Tablo 5.3. Mahr M400 marka yüzey pürüzlülük cihazı teknik dataları

Ölçme Prensibi	Tarama ucu yöntemi
Girdiler	BFW desteksiz sistem
Ölçüm aralığı mm	±250 µm (3x prob uzunluğu ile ±750 µm seviyesine kadar)
Profil çözünürlüğü	Ölçme aralığı : ±250 µm: 8 nm Ölçme aralığı : ±25 µm: 0.8 nm
ISO/JIS' e göre filtre	ISO 11562 uyarınca Gauss filtresi ISO13565'e uygun filtre
ISO/JIS' e göre	1-5
Temas Hızları	0.2 mm/s- 1.0 mm/s
Ölçüm Kuvveti	0.75 mN
Ağırlık Tahrik Ünitesi	Yaklaşık 0.9 kg
Ağırlık Ölçüm Aleti	Yaklaşık 1.0 kg
Yüzey Parametreleri	R,P ve W profilleri için 50'den fazla yüzey parametresi geçerli ISO/JIS veya MOTIF standartlarına (ISO 12085) göre

Pürüzlülük ölçüm cihazı vasıtasıyla silindir boyu eksenine paralel olacak şekilde iç yüzey üzerinde 6 farklı noktaya temas ederek değer okuma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ölçümle elde edilen her bir pürüzlülük parametresine ait değerlerin kendi içinde ortalaması alınarak ölçülen kesit için tek bir ölçüm değeri elde edilmiştir.

5.3. Deney parametreleri ve deneysel tasarım

Deneysel tasarımda kullanılacak olan giriş parametrelerin (bağımsız parametreler), silindir iç yüzeyi pürüzlülük değerlerinin oluşmasındaki etkililikleri dikkate alınarak, tecrübeye dayalı ve ön deneysel çalışmalardan yola çıkarak belirlenmiştir. Yapılan honlama işlemlerinin karakteristiğini tam olarak yansıtacağı düşünülen bağımsız parametreler; ilerleme hızı (kurs/dak), basınç (bar) ve takım dönüş hızı (dev/dak) olacak şekilde tespit edilmiştir. Kullanılan parametre kombinasyonuna

karşılık deneylerle bulunan *R*a, *R*pk, *R*vk, *R*z, *M*r1 ve *M*r2 miktarları ise tepkiler (bağımlı parametreler) olarak atanmışlardır. Deneylerde kullanılan giriş parametreleri ve seviyeleri Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4. Deneysel parametreler ve seviyeleri

Sembol	Parametre	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
f	İlerleme hızı	kurs/dak	35	45	55
P	Basınç	bar	1	1.5	2
n	Takım dönüş hızı	dev/dak	1500	3000	--

CYA'nın en önemli kısımlarından biri deneysel tasarım (DT) oluşturulmasıdır. DT oluşturulmasının önemi, fiziksel deneylerden elde edilen verilere ait tahmin verimliliği en yüksek matematik modelin oluşumunu sağlayacak niteliği taşımasından kaynaklanmaktadır (Ross 1998). Tüm parametre kombinasyonlarının tepkiler üzerindeki olası etkilerinin hepsini bulabilmek çok sayıda deneme yapılmasını gerektirir. Örneğin üç seviyeli on üç parametrenin tüm etkilerinin bulunabilmesi için yapılması gereken deney sayısı 3^{13}=1594323 adet olmalıdır. Bu sayıdaki deneyin fiziksel olarak yapılabilmesi imkânsıza yakın olasılıktadır. Fiziksel deney zorlukları ve maliyetlerinin azaltılması amacıyla Japon bilim adamı Genichi Taguchi, "Taguchi orthogonal dizin" adını verdiği daha az sayıda fiziksel deneme içeren ancak, parametrelerin tepkiler üzerindeki tüm etkilerini ortaya koyabilen standart deneysel tasarım tabloları geliştirmiştir.

Yapılan bu çalışmada kullanılan parametre ve seviyelerinin en uygun şekilde değerlendirilmesi amacıyla deneysel tasarım için $L_{18}(2^1x3^2)$ Taguchi ortogonal dizini kullanılmıştır (Bkz. Tablo 5.5). Burada 2^1x3^2 terimi, üç seviyeli iki faktörün ve iki seviyeli bir faktörün varlığını ifade eder ve 18 adet fiziksel deney kombinasyonu içerir.

Tablo 5.5. L_{18} (2^1x3^2) Taguchi ortogonal deney tasarımı-kodlu

Deney No	Deneysel Parametreler		
	f	*P*	*n*
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	2	1
4	1	2	2
5	1	3	1
6	1	3	2
7	2	1	1
8	2	1	2
9	2	2	1
10	2	2	2
11	2	3	1
12	2	3	2
13	3	1	1
14	3	1	2
15	3	2	1
16	3	2	2
17	3	3	1
18	3	3	2

Yukarıdaki tabloda verilen ve yapılan çalışmaya uygun deneysel parametre tasarım sıralaması ile bunlara karşılık gelen tepkiler Tablo 5.6'da verilmiştir. Tablodaki ilk parametre sütununda ilerleme hızı (kurs/dk), ikinci parametre sütununda basınç (bar), üçüncü parametre sütununda ise takım dönüş hızı (dev/dk) ifadeleri yer almaktadır. En sağdaki sütunla ise her kombinasyona göre yapılan fiziksel deneylerden sonra elde edilen pürüzlülük değerlerinin ortalaması *R*a ,indirgenmiş çıkıntı yüksekliği *R*pk, indirgenmiş vadi derinliği *R*vk, maksimum pürüzlülük değeri *R*z ayrıca malzeme oranları *M*r1 ve *M*r2 yapılan deneylerde çıkan analiz değerleri verilmiştir.

Tablo 5.6. Parametreler ve ölçülen tepkilerin deneysel sonuçları

Deney sayısı	Bağımsız parametreler			Bağımlı parametreler					
	f (kurs/dk)	*p* (bar)	*n* (dev/dk)	*R*a	*R*pk	*R*vk	*R*z	*M*r1	*M*r2
				(μ)					
1	35	1	1500	0.630	0.968	1.778	7.002	8.75	84.5
2	35	1	3000	0.698	0.573	1.707	6.564	7.07	83.5
3	35	1.5	1500	0.635	0.801	1.834	6.476	7.45	86.5
4	35	1.5	3000	0.682	0.680	1.042	5.677	7.85	85.75
5	35	2	1500	0.604	0.884	1.007	5.601	9.1	86.5
6	35	2	3000	0.634	0.657	1.056	5.857	7.4	85.75
7	45	1	1500	0.645	0.613	1.516	5.278	8.3	86.75
8	45	1	3000	0.657	0.810	1.153	5.029	7.47	86.25
9	45	1.5	1500	0.536	0.621	1.333	4.449	7.72	86.5
10	45	1.5	3000	0.599	0.630	1.449	4.733	7.85	86.25
11	45	2	1500	0.680	0.640	1.568	3.801	7.6	86.25
12	45	2	3000	0.690	0.639	1.170	5.171	8.82	85
13	55	1	1500	0.615	0.538	1.237	5.209	8.17	86.25
14	55	1	3000	0.653	0.709	1.280	4.766	8.4	87.5
15	55	1.5	1500	0.615	0.631	1.516	5.515	7.62	85
16	55	1.5	3000	0.605	0.689	1.257	5.033	7.8	85.75
17	55	2	1500	0.619	0.755	1.465	4.995	8.2	86.75
18	55	2	3000	0.786	0.595	2.688	5.365	8.5	85.75

6. SONUÇLAR VE ANALİZİ

6.1. Matematik Model Oluşturulması

Bu bölümde Tablo 5.6 ile verilen giriş parametrelerinin veya etkileşimlerinin tepkilerle olan ilişkilerinin önceden tahmin edilmek suretiyle kontrol altına alınabilmesi için CYA yöntemiyle ikinci dereceden polinomiyal modeller oluşturulmuştur. Bu amaçla Statistica 7 (Stat Soft® Inc.) istatistik analiz yazılımı kullanılarak, elde edilen deneysel tepkiler ile giriş parametreleri arasındaki fonksiyonel ilişkiyi gösteren polinomiyal modeller ve yüzde olarak tahmin geçerlilikleri (R^2) Tablo 6.1-6.6 ile verilmiştir:

Tablo 6.1. *R*a için regresyon modeli ve R^2 değerleri

$Ra = 1.589 - 0.006\,f - 0.0001\,f^2 - 1.258\,p + 0.248\,p^2 - 0.0001\,n$	R^2 =92.69

Tablo 6.2. *R*pk için regresyon modeli ve R^2 değerleri

$Rpk = 4.767 - 0.1314\,f - 1.189\,p - 0.000134\,n + 0.001147\,f^2 + 0.2577\,p^2 + 0.01067\,(f * n) + 0.000002\,(f * n) - 0.000009(p * n)$	R^2 =91.2

Tablo 6.3. *R*vk için regresyon modeli ve R^2 değerleri

$Rvk = 3.639 - 0.0845\,f - 0.171\,p - 0.000202\,n + 0.000941\,f^2 + 0.1483\,p^2 - 0.00987\,(f * n) + 0.000004\,(f * n) + 0.000042\,(p * n)$	R^2 =90.68

Tablo 6.4. *R*z için regresyon modeli ve R^2 değerleri

$Rz = 34.15 - 0.997\,f - 5.16\,p - 0.001289\,n + 0.00920\,f^2 + 0.157\,p^2 + 0.0648\,(f * p) + 0.000008\,(f * n) + 0.000561\,(p * n)$	R^2 =90.26

Tablo 6.5. *M*r1 için regresyon modeli ve R^2 değerleri

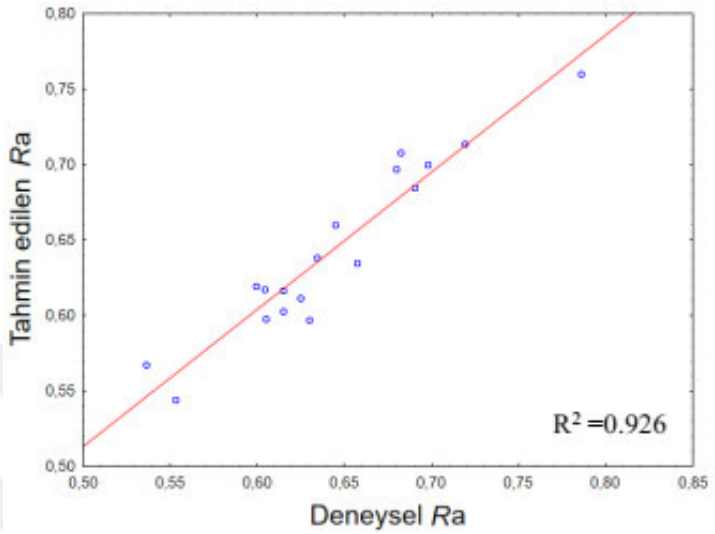
$Mr1 = 19.82 - 0.120\,f - 9.40\,p - 0.002751\,n - 0.00018\,f^2 + 1.067\,p^2 + 0.0798\,(f * p) + 0.000020\,(f * n) + 0.001227\,(p * n)$	R^2 =89.19

Tablo 6.6. *M*r2 için regresyon modeli ve R^2 değerleri

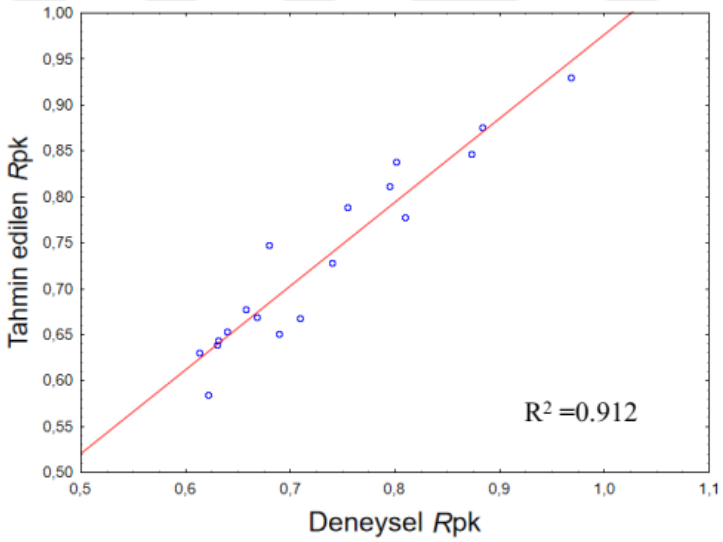
$Mr2 = 56.70 + 0.982\,f + 15.78\,p - 0.003579\,n - 0.00854\,f^2 - 1.667\,p^2 - 0.2562\,(f * n) + 0.000075\,(f * n) + 0.000222\,(p * n)$	R^2 =92.36

Şekil 6.1-6.6 ile verilen grafiklerde, oluşturulan tahmin fonksiyonlarının tahmin yeteneği daha net olarak anlaşılabilir. Grafiklerdeki içi dolu noktalar tahmin değerleri ile deneysel değerlerin örtüştüğü her bir konumu göstermektedir. Bu noktaların grafik içerisindeki doğrusal çizgilere olan yakınlığı ise tahmin edilen değerlerin gerçeğine olan uyumunu gösterir. Yani çizgi üzerinde ne kadar fazla tahmin ve deneysel değer çakışması gerçekleşirse oluşturulan fonksiyonun tahmin tutarlılığı o denli yüksek olur. Buna göre elde edilen kararlı kesme derinliği ve toplam sönümleme oranlarına ait

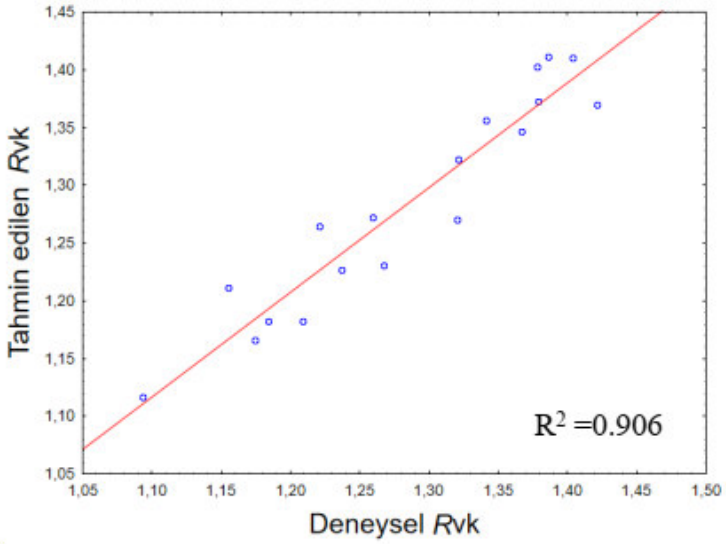
denklemlerin R^2 değerlerine ve aşağıda verilen karşılaştırma grafiklerine bakıldığında, genel olarak %90'dan daha büyük oranla, gerçeğine yakın tahminlerin yapılması mümkün görülmektedir. Dolayısıyla oluşturulan tahmin denklemlerinin geçerliliği ve güvenilirliği ispatlanmış olur.



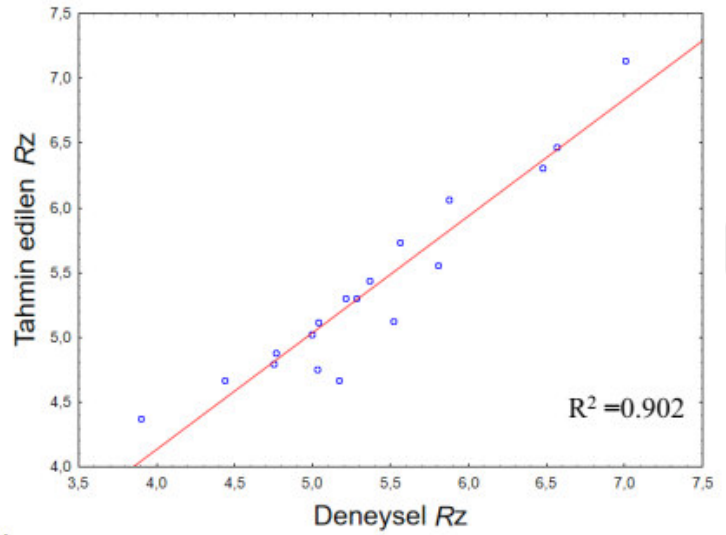
Şekil 6.1. *R*a için deneysel ve tahmin edilen tepki değerlerinin karşılaştırılması



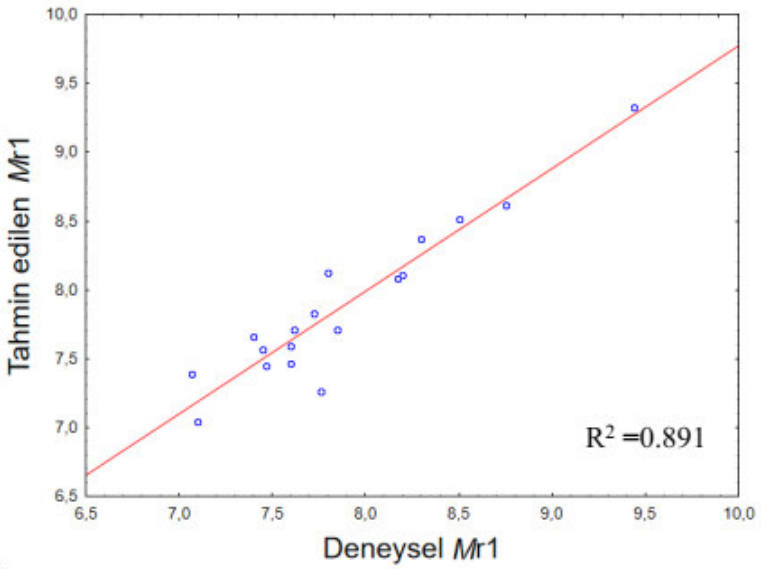
Şekil 6.2. *R*pk için deneysel ve tahmin edilen tepki değerlerinin karşılaştırılması



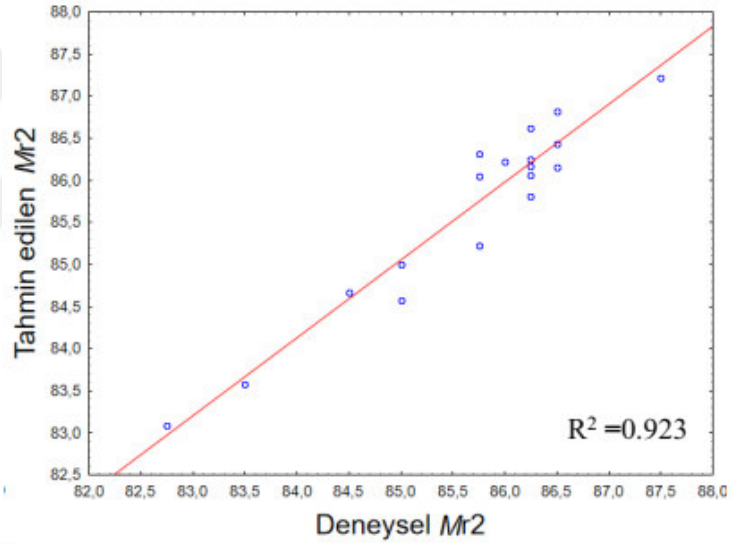
Şekil 6.3. *R*vk için deneysel ve tahmin edilen tepki değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.4. *Rz* için deneysel ve tahmin edilen tepki değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.5. *M*r1 için deneysel ve tahmin edilen tepki değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.6. *M*r2 için deneysel ve tahmin edilen tepki değerlerinin karşılaştırılması

6.2. Varyans analizi (ANOVA)

Deneyde kullanılan parametrelerin *R*a, *R*pk, *R*vk, *R*z, *M*r1 ve *M*r2 üzerindeki hem yalın hem de etkileşimli etkilerinin belirlenmesi için varyans analizi (ANOVA) kullanılmış ve sonuçlar Tablo 6.7-6.12'de sırasıyla verilmiştir. ANOVA analizinde bir parametre veya etkileşiminin tepki üzerinde etkili olup olmadığı P (önem/olasılık) değerine bakılarak kararlaştırılır. %95 güven aralığı göz önüne alınarak $P<0.05$ (%5 önem değeri) olduğunda parametrenin tepki üzerinde etkili olduğu sonucuna varılır.

Tablo 6.7. *R*a için ANOVA sonuçları

	df	SS	F	P	R^2
f	1	0.0004	0.566	0.471	
f^2	1	0.0003	0.474	0.509	
p	1	0.0058	9.268	0.014	
p^2	1	0.0153	**24.657***	0.001	
n	1	0.0016	2.612	0.141	%90.84
$f\,x\,p$	1	0.0287	**46.116***	0.000	
$f\,x\,n$	1	0.0034	5.413	0.045	
$p\,x\,n$	1	0.0013	0.208	0.663	
Hata	9	0.0056			
Toplam SS	17	0.6614			

df:Serbestlik derecesi, SS:Kareler toplamı, F:F-testi değeri, P:Hataların varyansı

*Koyu renkle gösterilen parametreler, tepkiler üzerinde %95 güven aralığında etkilidir.

Tablo 6.8. *R*pk için ANOVA sonuçları

	df	SS	F	P	R^2
f	1	0.054	29.384	**0.000***	
f^2	1	0.053	29.122	**0.000***	
p	1	0.062	3.388	0.099	
p^2	1	0.017	9.191	0.0143	
n	1	0.013	7.177	0.0253	%91.19
$f\,x\,p$	1	0.023	12.621	0.062	
$f\,x\,n$	1	0.0042	2.275	0.166	
$p\,x\,n$	1	0.0013	0.071	0.798	
Hata	9	0.017			
Toplam SS	17	0.19			

*Koyu renkle gösterilen parametreler, tepkiler üzerinde %95 güven aralığında etkilidir.Tablodaki kısaltmaların açıklaması Tablo 6.7. de gösterilmektedir.

Kısaltmalar için Tablo 6.7'ye bakınız

Tablo 6.9. *R*vk için ANOVA sonuçları

	df	SS	F	P	R^2
f	1	0.055	32.33	**0.000***	
f^2	1	0.036	21.090	**0.001***	
p	1	0.018	10.19	0.011	
p^2	1	0.0056	3.28	0.103	
n	1	0.0040	2.35	0.160	%90.68
$f\,x\,p$	1	0.020	11.62	0.008	
$f\,x\,n$	1	0.0084	4.99	0.053	
$p\,x\,n$	1	0.0030	1.78	0.216	
Hata	9	0.016			
Toplam SS	17	0.163			

*Koyu renkle gösterilen parametreler, tepkiler üzerinde %95 güven aralığında etkilidir.Tablodaki kısaltmaların açıklaması Tablo 6.7. de gösterilmektedir.

Kısaltmalar için Tablo 6.7'ye bakınız

Tablo 6.10. *R*z için ANOVA sonuçları

	df	SS	F	P	R^2
f	1	3.407	31.358	**0.000***	
f^2	1	3.385	31.151	**0.000***	
p	1	0.780	7.1727	0.026	
p^2	1	0.0062	0.0570	0.818	
n	1	0.0711	0.6541	0.440	%90.26
f x p	1	0.8404	7.7357	0.022	
f x n	1	0.0439	0.4043	0.541	
p x n	1	0.5317	4.895	0.054	
Hata	9	0.9778			
Toplam SS	17	10.0418			

*Koyu renkle gösterilen parametreler, tepkiler üzerinde %95 güven aralığında etkilidir.Tablodaki kısaltmaların açıklaması Tablo 6.7. de gösterilmektedir.
Kısaltmalar için Tablo 6.7'ye bakınız

Tablo 6.11. *M*r1 için ANOVA sonuçları

	df	SS	F	P	R^2
f	1	0.964	13.209	0.005	
f^2	1	0.002	0.0185	0.895	
p	1	0.065	0.885	0.372	
p^2	1	0.285	3.901	0.079	
n	1	0.000022	0.00030	0.987	%89.16
f x p	1	1.273	17.442	**0.003***	
f x n	1	0.277	3.785	**0.083***	
p x n	1	2.540	34.817	0.001	
Hata	9	0.657			
Toplam SS	17	6.058			

*Koyu renkle gösterilen parametreler, tepkiler üzerinde %95 güven aralığında etkilidir.Tablodaki kısaltmaların açıklaması Tablo 6.7. de gösterilmektedir.
Kısaltmalar için Tablo 6.7'ye bakınız

Tablo 6.11. *M*r2 için ANOVA sonuçları

	df	SS	F	P	R^2
f	1	0.0053	0.0267	0.874	
f^2	1	2.919	15.122	0.004	
p	1	0.188	0.972	0.351	
p^2	1	0.695	3.599	0.091	
n	1	0.171	0.882	0.373	%92.35
f x p	1	13.133	68.047	**0.000***	
f x n	1	3.797	19.674	**0.002***	
p x n	1	0.0834	0.432	0.528	
Hata	9	1.737			
Toplam SS	17	22.726			

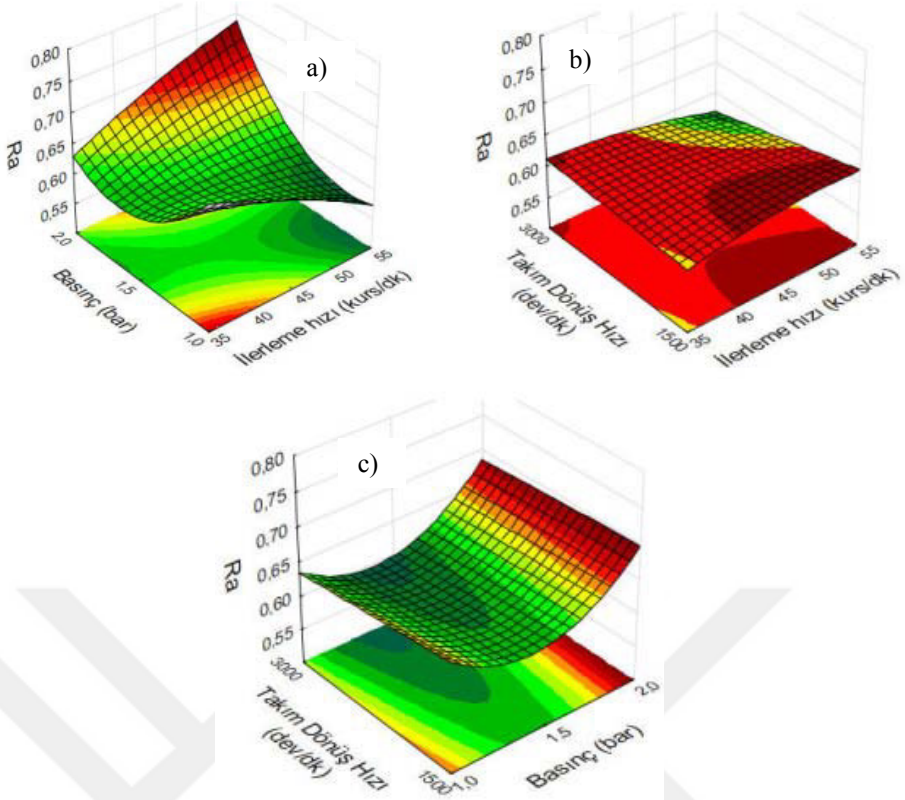
*Koyu renkle gösterilen parametreler, tepkiler üzerinde %95 güven aralığında etkilidir.Tablodaki kısaltmaların açıklaması Tablo 6.7. de gösterilmektedir.
Kısaltmalar için Tablo 6.7'ye bakınız

Buna göre *R*a için en etkili parametrelerin sırasıyla; ilerleme ile basıncın etkileşimli etkisi ve basıncın karesi, *R*pk için en etkili parametrelerin sırasıyla; ilerleme ve ilerlemenin karesi, *R*vk için en etkili parametrelerin sırasıyla; ilerleme ve ilerlemenin karesi, *R*z için en etkili parametrelerin sırasıyla; ilerleme ve ilerlemenin karesi, *M*r1 için en etkili parametrelerin sırasıyla; ilerleme ile takım dönüş hızı etkileşimi ve ilerleme ve basıncın etkileşimli etkisi, *M*r2 ise için en etkili parametrelerin sırasıyla; ilerleme ile takım dönüş hızı etkileşimi ve ilerleme ve basıncın etkileşimli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Verilen ANOVA tablosu için belirtilen etkili parametreler haricindeki diğer parametrelerin de bir miktar etkili olduğu, oranlardan tespit edilebilir. Ancak bu etkiler genele göre oldukça düşük kaldığından etkili değilmiş gibi yani ihmal edilerek analizler yorumlanmıştır.

6.3. Kontur ve 3B Yüzey Grafik Analizleri

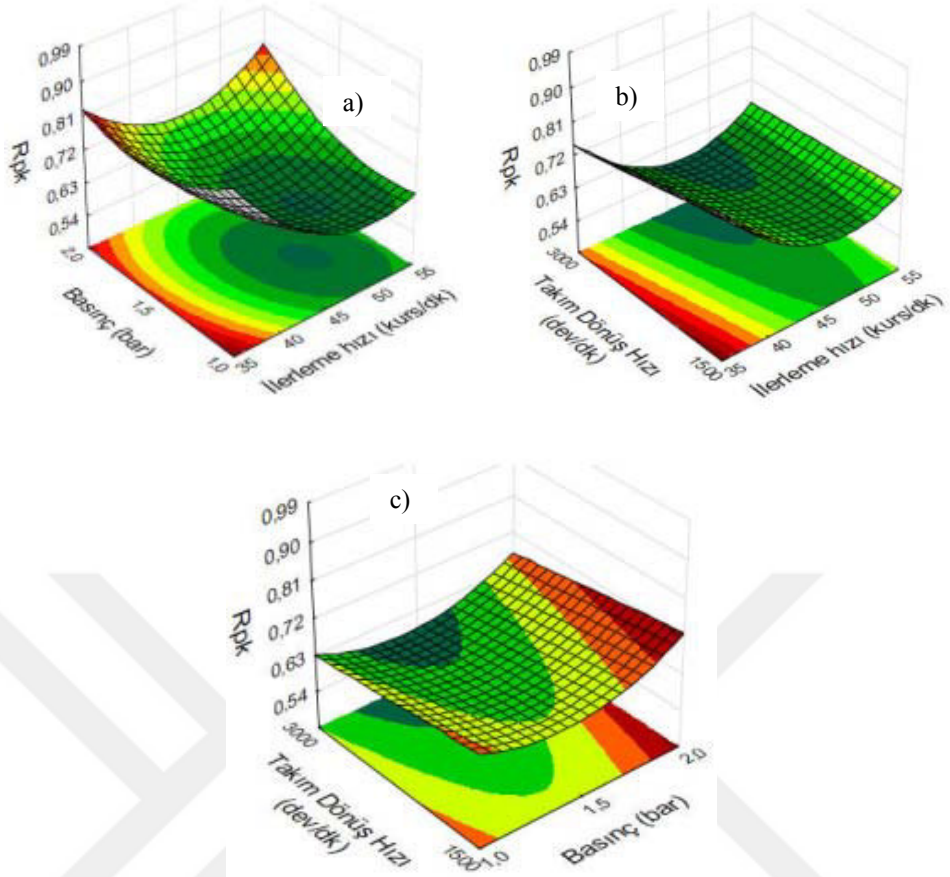
Bu bölümde, daha önce oluşturulan regresyon modellerine (Bkz. Tablo 6.1-6.6) bağlı olarak CYA için karakteristik özelliğe sahip olan eşyükselti ve 3B yüzey grafikleri çizdirilmiştir. Bu sayede deney parametrelerinin tepkiler üzerindeki etkileri ve optimum parametre kombinasyonları net olarak anlaşılabilir. Elde edilen regresyon denklemlerine bağlı olarak çizdirilen kontur ve 3B yüzey grafikleri ile deney parametrelerinin tepkiler üzerindeki etkileri ve optimum parametre kombinasyonları net olarak anlaşılabilir. Kontur ve 3B verilen grafiklerde aranacak optimum noktalar, grafik içerisinde verilen parametre kombinasyonuna göre kuvvetlerin en düşük olduğu bölgelerin tespiti şeklinde olacaktır.

Şekil 6.7'de verilen kontur ve 3B grafiklerinin eldesi amacıyla her bir grafiğin a grubu için takım dönüş hızı 2250 (dev/dk), b grubu için basıncı 1.5 (bar) ve c grubu için ise ilerleme hızı 45 (kurs/dk) değerlerinde sabit olarak kabul edilmiştir. Yapılan bu kabullerin ardından Şekil 6.7 içerisinde verilen her üç grup grafik incelendiğinde minimum *R*a pürüzlülük değerinin oluşması net olarak, takım dönüş ve ilerleme hızlarının yüksek ve basıncın ise ortalama değerlerde olduğu durumlarda söz konusu olmaktadır.



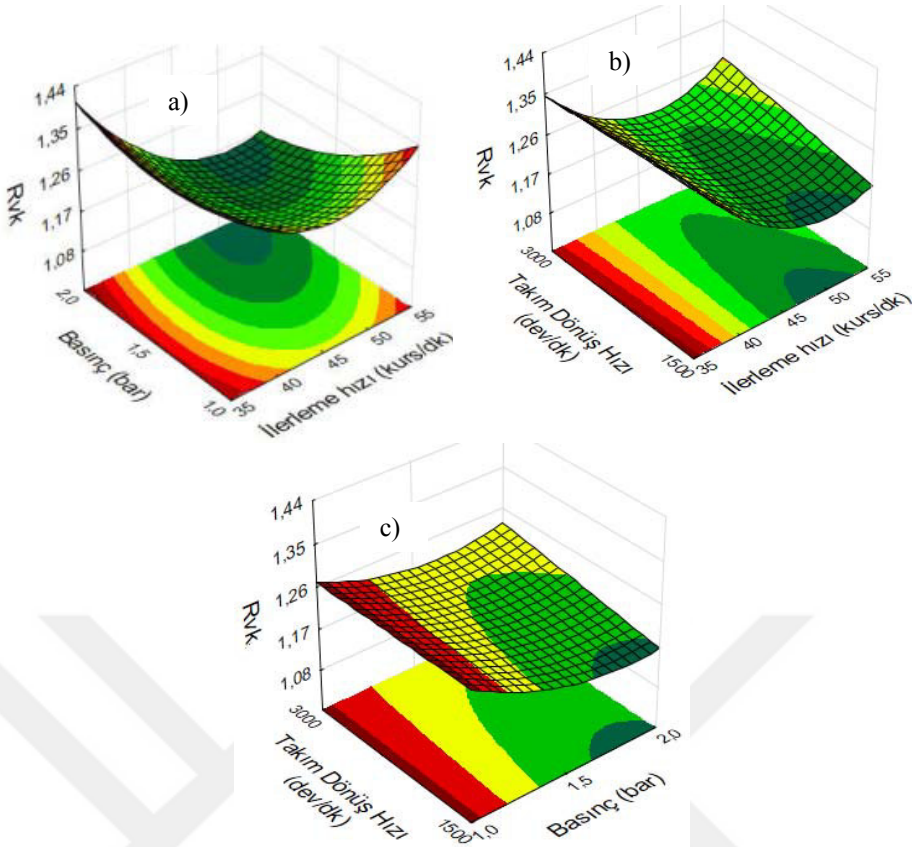
Şekil 6.7. Deney parametrelerinin *R*a tepkisi üzerine olan etkilerinin 3B yüzey grafiği
a) Basınç ve ilerleme parametrelerin *R*a ile olan ilişkisi
b) Takım dönüş hızı ve ilerleme parametrelerin *R*a ile olan ilişkisi
c) Takım dönüş hızı ve basınç parametrelerin *R*a ile olan ilişkisi

Şekil 6.8'de verilen *R*pk için yüzey ve eş yükselti değerlerine bakıldığında Şekil 6.8(a) grafiğindeki ilerleme hızı ve basınç eksen bileşenlerinin *R*pk değişimi üzerindeki etkileri Şekil 6.8(b,c) ile verilen grafikler üzerindeki eksen bileşenlerine nazaran daha fazla olduğu ifade edilebilir. Hatta Şekil 6.8(a) grafiğinden görüleceği üzere etkili olduğu görülen ilerleme hızı ve basınç parametrelerinin yaklaşık orta seviyelerinin *R*pk değerini minimize ettiği söylenebilir. Ancak Şekil 6.8(b)'ye bakıldığında takım dönüş hızının maksimum olduğu yerde *R*pk değerinin minimuma yaklaştığı gözlemlenebilir. Dolayısıyla ilerleme hızı ve basıncın orta seviyeleri, takım dönüş hızının ise en büyük seviyesi optimum *R*pk değerine ulaştıran seviyelerdir.



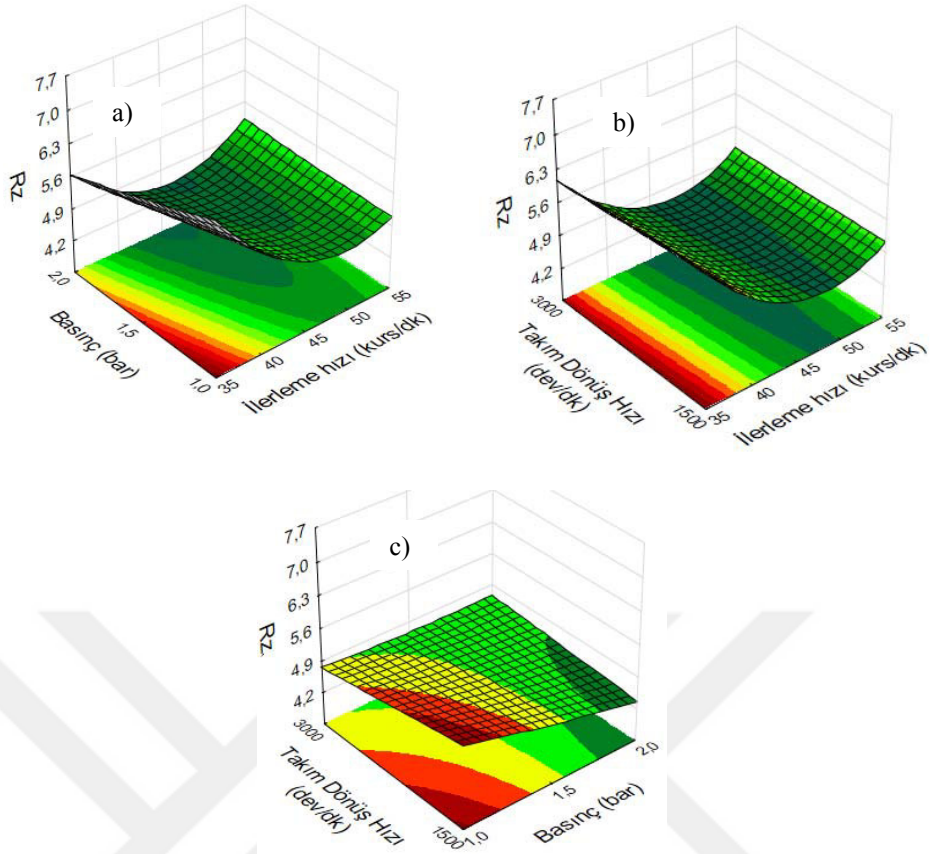
Şekil 6.8. Deney parametrelerinin *R*pk tepkisi üzerine olan etkilerinin 3B yüzey grafiği
a) Basınç ve ilerleme parametrelerin *R*pk ile olan ilişkisi
b) Takım dönüş hızı ve ilerleme parametrelerin *R*pk ile olan ilişkisi
c) Takım dönüş hızı ve basınç parametrelerin *R*pk ile olan ilişkisi

*R*vk pürüzlülük değerine etki eden parametrelerin etkililiklerini gösteren Şekil 6.9(a, b ve c) incelendiğinde hem kontur çizgilerindeki eğrilik keskinliğinden hem de yüzey grafiklerinin artan eğriliklerinden anlaşılacağı üzere *R*vk üzerinde en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu görülebilir. Yine aynı şekil içerisindeki her üç grafikten diğer etkili giriş parametrelerinin sırasıyla basınç ve takım dönüş hızı olduğu ifade edilebilir. Ayrıca Şekil 6.9(a)'ya göre ilerleme hızının ve basıncın yaklaşık en üst seviyelerinde, takım dönüş hızının ise önemli bir fark oluşturmayacağı dikkate alınarak yaklaşık en düşük seviyelerinde arzu edilen *R*vk değerlerine ulaşılabileceği çıkarımı yapılabilir.



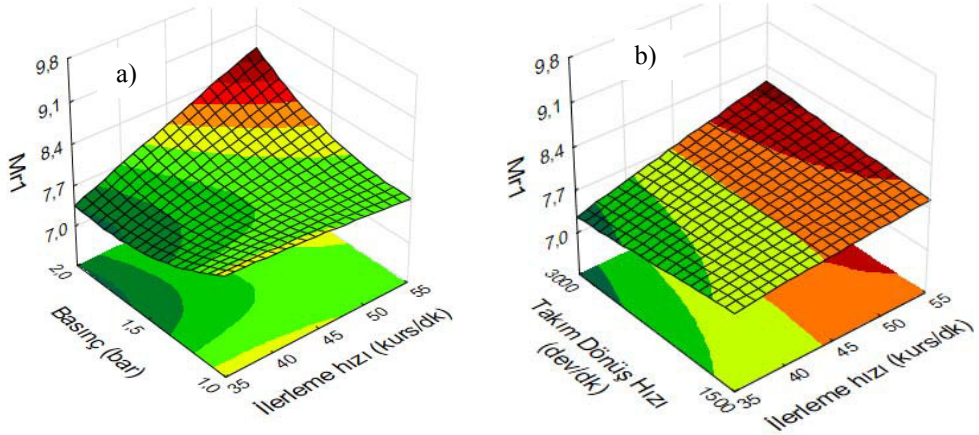
Şekil 6.9. Deney parametrelerinin *R*vk tepkisi üzerine olan etkilerinin 3B yüzey grafiği
a) Basınç ve ilerleme parametrelerin *R*vk ile olan ilişkisi
b) Takım dönüş hızı ve ilerleme parametrelerin *R*vk ile olan ilişkisi
c) Takım dönüş hızı ve basınç parametrelerin *R*vk ile olan ilişkisi

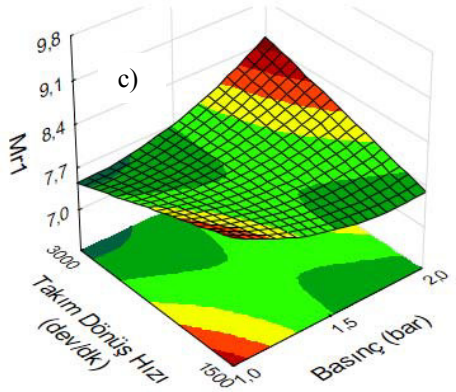
İmalat endüstrisinde en yaygın kullanılan pürüzlülük göstergelerinden biri olan *R*z ifadesinin yapılan çalışma kapsamında minimum değerlerde çıkmasına sebep olacak parametre seviyelerinin tespiti Şekil 6.10(a, b ve c) analizi ile mümkündür. Buna göre *R*vk tepkisine etki eden parametre ve seviyelerinin yaklaşık olarak burada da geçerli olduğu sonucu çıkartılabilir. Burada özellikle takım dönüş hızı parametresinin etkili seviyesi için uygun değerin deneysel çalışma için tespit edilmiş olan en büyük seviyeden daha ötede bir değer olarak kabul edilmesi mümkündür. Dolayısıyla deneyde kullanılan bağımsız parametrelerin her seviyesinin, tepki olarak değerlendirilen her bir çıkış parametresinin optimum değerinin tespiti için uygun olamayacağı, daha önce yorumlanan yüzey grafiklerine de bağlı kalarak söylenebilir.



Şekil 6.10. Deney parametrelerinin *Rz* tepkisi üzerine olan etkilerinin 3B yüzey grafiği
a) Basınç ve ilerleme Parametrelerin *Rz* ile olan ilişkisi
b) Takım dönüş hızı ve ilerleme Parametrelerin *Rz* ile olan ilişkisi
c) Takım dönüş hızı ve basınç Parametrelerin *Rz* ile olan ilişkisi

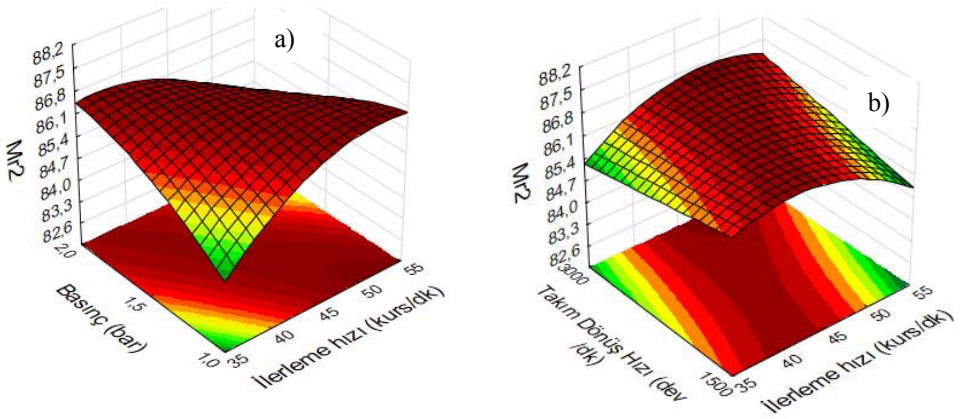
Şekil 6.11(a, b ve c) grafikleriyle analizini gerçekleştirdiğimiz *M*r1 tepki parametresinin optimum değerde oluşmasını sağlayacak parametre seviyeleri sırasıyla; basıncın yaklaşık orta üstü seviyesi, ilerleme hızının en düşük seviyesi ve takım dönüş hızının en yüksek seviyesi olarak tespit edilebilir.

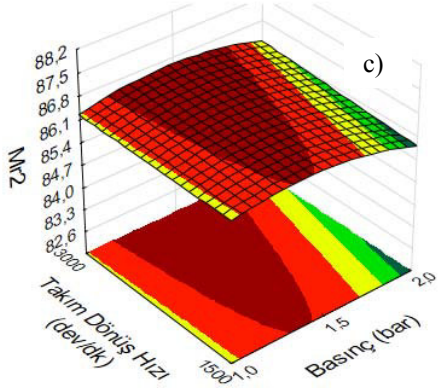




Şekil 6.11. Deney parametrelerinin *M*r1 tepkisi üzerine olan etkilerinin 3B yüzey grafiği
a) Basınç ve ilerleme Parametrelerin *M*r1 ile olan ilişkisi
b) Takım dönüş hızı ve ilerleme Parametrelerin *M*r1 ile olan ilişkisi
c) Takım dönüş hızı ve basınç Parametrelerin *M*r1 ile olan ilişkisi

Son olarak Şekil 6.12(a, b ve c) grafiklerinden ulaşılan *M*r2 tepki parametresinin optimum seviyesine ulaşmak için gerçekleştirilecek deneysel kombinasyondaki bağımsız parametre seviyelerinin; takım dönüş hızı maksimum iken ilerleme hızının ve basıncın minimum şeklinde olması gerekir. takım dönüş hızının minimum olduğu durumda ise ilerleme hızı ve basınç parametrelerinin en büyük seviyelerinin kullanılmasıyla oluşturulan deneysel kombinasyon en küçük *M*r2 değerine ulaşılmasını sağlayacaktır.





Şekil 6.12 Deney parametrelerinin *M*r2 tepkisi üzerine olan etkilerinin 3B yüzey grafiği
a) Basınç ve ilerleme Parametrelerin *M*r2 ile olan ilişkisi
b) Takım dönüş hızı ve ilerleme Parametrelerin *M*r2 ile olan ilişkisi
c) Takım dönüş hızı ve basınç Parametrelerin *M*r2 ile olan ilişkisi

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. İstatistiki sonuçlar

İlerleme hızı, basınç ve takım dönüş hızı minimum olabilmesi için gerekli olan parametre kombinasyonun tespiti amacıyla yapılan bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Her üç kuvvet bileşeninin tahmini için yapılan cevap yüzey analiziyle bulunan regresyon denklemlerinin geçerliliği R^2 oranlarına bağlı olarak R^2a= 0.926, R^2 pk=0.912, R^2vk=0.906, R^2z=0.902, Mr^{2}1=0.819, Mr^{2}2=0.923 şeklinde bulunmuş ve tahmin grafiği ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buradan yola çıkarak benzer çalışmalar için bu tahmin fonksiyonlarının güvenle kullanılabileceği ifade edilebilir.

2. ANOVA analizi ile parametrelerin tepkiler üzerine etkililik oranları tespit edilmiştir. *R*a için en etkili ilk iki parametre sırasıyla ilerleme-basınç etkileşimi ve kuadratik basınçtır. *R*pk, *R*vk ve Rz tepkileri için en etkili parametreler ise sırasıyla ilerlemenin lineer ve kuadratik halleridir. *M*r1 ve *M*r2 değerlerinde ise sırasıyla ilerleme hızı-takım dönüş hızı ve ilerleme hızı-basınç etkileşiminin etkili olduğu tespit edilmiştir.

3. Oluşturulan kontur ve 3B yüzey grafikleri ile yüzey karakteristikleri üzerine etkili olan parametrelerin etkileri görsel olarak teyit edilmiştir.

4. ANOVA, regresyon ve yüzey grafiklerinin sonuçlarının birbirleri ile olan tutarlılığına bakarak çalışmamızda uyguladığımız yöntemin benzeri çalışmalar için güvenle kullanılabileceği ifade edilebilir.

7.2. Öneriler

Bu tez çalışması; honlama operasyonları için etkili parametrelerinin ideal pürüzlülük değerine bağlı seviye tespitinde istatistiki bir yaklaşım sunarak benzeri süreçlerin anlaşılabilirliğini artırmak amacıyla yapılmıştır. Örneğin sadece tek tip honlama taşı kullanılmıştır. Aslında endüstride değişik marka ve özellikte honlama taşı kullanılmaktadır. Gelecek çalışmalarda farklı geometri ve özelliklere sahip aşındırıcı

taşlar dikkate alarak ideal pürüzlülük analizi yapılabilir. Yapılan deneysel çalışmada iş parçasının hareketsiz olduğu kabulü yapılmıştır. Buna göre sonraki çalışmalarda iş parçasının hareketli olması halinde dikkate alınabilir. Bu çalışmadaki ideal pürüzlülük değerlerine ulaştıracak parametre seviyelerinin tespiti amacıyla yapılan parametrik optimizasyonda kullanılan cevap yüzey analizi yerine yine multi-objektif problemlerin çözümünde kullanılabilen yapay zeka veya genetik algoritma gibi yöntemler optimizasyon sürecinde tercih edilebilir.

KAYNAKLAR

Abhang, L.B., Hameedullah, M., 2010, Chip-tool interface temperature prediction model for turning process, *International Journal of Engineering Science and Technology,* vol. 2(4), 382-393

Asiltürk, İ. ve Neşeli, S., 2012, Multi response optimisation of CNC turning parameters via Taguchi method-based response surface analysis, *Measurement*, vol. 45(4), 785-794.

Bähre, D.,Schmitt, C. and Moos, U., 2012, Analysis of the Differences between Force Control and Feed Control Strategies during the Honing of Bores, *Procedia CRIP, 1,337-381*.

Bouacha, K., Yallese, M.A., Mabrouki, T. ve Rigal, J.F., 2010, Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 28(3), 349-361.

Box, G.E.P., ve Wilson, K.B., 1951, On the experimental attainment of optimum conditions, *Journal of the Royal Statistical Society*, *Series B*, vol. 13(1), 1-45.

Brumgard, J. W., 1994, Fundamentals of honing fluids, *SME Reports*, MR93-145

Carius, A. C., 1990, Effects of grinding fluid type on CBN wheel performance, *AES Magazine*, page 22-27.

Chiang, K.T., 2008, Modelling and analysis of the effects of machining parameters on the performance characteristics in the EDM process of Al2O3+TiC mixed ceramic, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 37(5-6), 523-533.

Edberg, S., and Landqvist, E., 2015, The impact of honing process parameters on the surface quality of cylinder liners, Master's Thesis, *KTH Royal Institute of Technology*, Stockholm, Sweden.

Feng, C. X., Wang, X. and Yu, Z., 2002, Neural Networks Modeling of Honing Surface Roughness Parameters Defined by ISO 13565, *Journal of Manufacturing Systems*, 21(5), 395-408.

Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Figueira, L., ve Davim, P.J., 2009, Machinability investigations in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with conventional and wiper ceramic inserts, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 27(4), 754-763.

Gezer, O., 2017, İçten yanmalı motorlarda honlama acısının güç silindiri tribolojik performansı üzerine etkilerinin incelenmesi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,* Tez çalışması, İstanbul.

Günay M. ve Korkmaz, M. E., 2017, Optimization of honing parameters for renewal of cylinder liners, *Gazi University Journal of Science*, 30(1): 111-119.

http://www.teamstainless.org/news/2014-12/Ra_Rq_Rz_Roughness values_explained. Ziyaret tarihi: 28.09.2018.

http://www.alphaomegapt.com/pdf%20files/Surface%20Finish%20Definitions.pdf, Ziyaret tarihi: 28.09.2018.

http://www.alphaomegapt.com/pdf%20files/Surface%20Finish%20Definitions.pdf, Ziyaret tarihi: 28.09.2018.

https://www.mahr.com/mahrparameter/html/english/MarSurf/meanroughness.html, Ziyaret tarihi: 28.09.2018

Hu, Y., Meng, X., Xie, Y. and Fan, J., 2016,. Mutual influence of plateau roughness and groove texture of honed surface on frictional performance of piston ring–liner system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 231(7)

ISO 4287:1997.Geometral Product Specifications (GSP) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters.

Kanthababu, M., Shunmugam, M.S. and Singaperumal. M., 2008, Tool condition monitoring in honing process using acoustic emission signals. International Journal of Automation and Control, 2(1), 99-112.

Klink, U., 1997, Honen kleiner Bohrungen, dima – *Die Maschine,* 31(5), 17 – 22.

Kini, S.D., 2004, An approach to integrating numerical and response surface models for robust design of production systems, M.S. Dissertation, *The Ohio State University*, USA.

Knight, P., 2000, Enhanced surface fnishing of bearing raceway, PhD Thesis, *Cranfield University*.

Klocke, F., 2009, Manufacturing Processes 2 Grinding, Honing, Lapping, ISBN 978-3-540-92258-2, *Springer-Verlag Berlin-Heidelberg*.

Koelsch J.W., 1994, Honing fluid performance, *manufacturing engineering*, 51-55

Lawrence, K. D. and Ramamoorthy, B., 2016, Multi-surface topography targeted plateau honing for the processing of cylinder liner surfaces of automotive engines, *Applied Surface Science*, 365, 19–30.

Montgomery, D.C., 2005, Design and analysis of experiments, Sixth Edition, *Arizona State University*, Wiley&Sons Inc.

Neşeli, S., Yaldız, S. ve Türkeş, E., 2011, Optimization of tool geometry parameters for turning operations based on the response surface methodology, *Measurement*, vol. 44(3), 580-587.

Öktem, H., 2009, Kalıp parçalarının frezelenmesi sonucunda olusan yüzey pürüzlülügünün optimizasyonu, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi*, Türkiye.

Öktem, H., Erzurumlu, T. ve Kurtaran, H., 2005, Application of response surface methodology in the optimization of cutting conditions for surface roughness, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 170(1-2), 11-16.

Palanikumar, K., Mata, F., Davim, P.J., 2008, Analysis of surface roughness parameters in turning of FRP tubes by PCD tool, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 204(1-3), 469-474.

Sadeghi, F. and Bolander, N., 2007, Deterministic Modeling of Honed Cylinder Liner Friction, *Tribology Transactions*. 50(2), 248-56.

Webster. J. and Tricard, M., 2004, Innovations in Abrasive Products for Precision Grinding. *CIRP Annals - Manufacturing technology*, 53(2), 597–617.

Yousfi, M., Mezghani, S., Demirci, I. and Mansori, E. M., 2015, Smoothness and plateauness contributions to the running-in friction and wear of stratified helical slide and plateau honed cylinder liners. *Wear*, 332, 1238-1247.

Yousfi, M., Mezghani, S., Demirci, I. and Mansori, M.E., 2016, Tribological performances of elliptic and circular texture patterns produced by innovative honing process, *Tribology International*, 100, 255–262.

Yurdakul, M., .İç Y. T. ve Güneş S., 2017, An optimization study for the surface quality of the honing process, *24th International Conference on Production Research (ICPR 2017)*, Poland.

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Dilan DOĞAN
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Haymana / 13.09.1994
Telefon	**:**	(0507) 491 3517
Faks	**:**	
e-mail	**:**	dilandogan224@gmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı,**	**İlçe,**	**İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Mimar Sinan Lisesi	Yenimahalle	ANKARA	2012
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi	Seydişehir	KONYA	2016
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi	Selçuklu	KONYA	2020

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2016	Kale Savunma	Makine Mühendisi
2017	Özben Savunma	Makine Mühendisi
2018	PDMSOL Savunma	Makine Mühendisi
2019	Teknikgrup Savunma ve Havacılık	Makine Mühendisi (Devam ediyor)

Yabancı Dil

1-) İngilizce

ALDIĞI EĞİTİM VE SEMİNERLER

1-) SolidWorks, Gazi Üniversitesi (Haziran 2016-Ekim 2016)
2-) Geometrik Boyutlandırma Ve Toleranslandırma, MMO ANKARA (Ekim 2016)
3-) Talaşlı İmalat Yöntemleri, MMO ANKARA (Ekim 2016)
4-) Model uçak kursu, THY (Ocak 2014-Mart 2014)
5-) Catia, Gazi Üniversitesi (Ekim 2018-Aralık 2018)
6-) ISO 19011 İç Denetçi(Tetkikçi) Eğitim Sertifika Programı
7-) Kalite Yönetim Sistemi (ISO 9001:2015)-Giriş Eğitimi
8-) Yalın Altı Sigma ve Araçları (13.04.2020 MMO, Ankara)

Makaleler

1-) Dilan DOĞAN, Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ ve Gökselhan KULA, 2019, Honlama çizgi derinliğini etkileyen parametrelerin analizi (ISPEC, 5 th Internatıonal Conference on Engineerıng & Natural Sciences, December 20-22, Van, Turkey)