

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Sümevra CEVHEROĞLU ÇIRA

**MERMER AŞINDIRMA-CİLALAMA MAKİNASI ÇALIŞMA
DEĞİŞKENLERİ VE MERMER MALZEME ÖZELLİKLERİNİN YÜZEY
KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ VE OPTİMİZASYONU**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2014

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MERMER AŞINDIRMA-CİLALAMA MAKİNASI ÇALIŞMA
DEĞİŞKENLERİ VE MERMER MALZEME ÖZELLİKLERİNİN YÜZEY
KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ VE OPTİMİZASYONU**

SümeYra CEVHEROĞLU ÇIRA

DOKTORA TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 05/03/2014 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Doç. Dr. Ahmet DAĞ
DANIŞMAN

.....
Doç. Dr. Askeri KARAKUŞ
İKİNCİ DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Suphi URAL
ÜYE

.....
Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
ÜYE

.....
Doç. Dr. Ali KOKANGÜL
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

MERMER AŞINDIRMA-CİLALAMA MAKİNASI ÇALIŞMA DEĞİŞKENLERİ VE MERMER MALZEME ÖZELLİKLERİNİN YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ VE OPTİMİZASYONU

SümeYra CEVHEROĞLU ÇIRA

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç.Dr. Ahmet DAĞ
İkinci Danışman : Doç.Dr. Askeri KARAKUŞ
Yıl: 2014, Sayfa: 148
Jüri : Prof.Dr. Suphi URAL
: Prof.Dr.Ahmet Mahmut KILIÇ
: Doç.Dr. Ahmet DAĞ
: Doç.Dr. Ali KOKANGÜL
: Doç.Dr. Askeri KARAKUŞ

Bu çalışmada, sedimanter kökenli bazı kireçtaşlarının aşındırma-cilalama deneyleri istatistiksel deney tasarım yöntemlerinden merkezi kompozit tasarım (MKT) kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılan aşındırma-cilalama makinasının çalışma değişkenlerinden bant hızı, aşındırma-cilalama kafasının basıncı ve devri “bağımsız değişkenler”, mermerin yüzey kalitesini belirleyen parametrelerden pürüzlülük ve parlaklık ise “cevap” olarak belirlenmiştir. Deneyler sonucu elde edilen verilerle pürüzlülük ve parlaklığı tanımlayan modeller geliştirilmiş ve bu modellerle tahmin edilen cevap değerlerinin deneysel verileri hangi ölçüde karşıladığı varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir. Aynı yöntemle her bir faktörün cevaplar üzerindeki istatistiksel önemlilikleri %95 güvenlik seviyesinde Fischer (F) testi uygulanarak bulunmuştur. Kullanılan her bir aşındırıcının mermer yüzey kalitesi üzerindeki etkisi aşamalı olarak ölçülen pürüzlülük ve parlaklık değerleri incelenerek yorumlanmıştır. Ayrıca malzeme özellikleri ile pürüzlülük ve parlaklık arasındaki ilişki incelenmiştir. Deneyler sonucunda model denklemlerden elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerlerin uyumlu olduğu, iki cevap değişkeni arasında negatif doğrusal ilişki olduğu ve düşük bant hızlarında yüzey kalitesinin arttığı belirlenmiştir. Malzeme özelliklerinden gözeneklilik ve tek eksenli basınç dayanımı ile yüzey pürüzlülüğü ve parlaklığı arasında anlamlı ilişki tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Pürüzlülük, Parlaklık, Optimizasyon, İstatistiksel Deney Tasarım Yöntemi, Merkezi Kompozit Tasarım

ABSTRACT

PhD THESIS

THE INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF OPERATIONAL VARIABLES OF POLISHING MACHINE AND MATERIAL PROPERTIES OF MARBLE ON SURFACE QUALITY AND OPTIMIZATION

Sümeýra CEVHEROĞLU ÇIRA

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING

Supervisor : Assoc.Prof.Dr. Ahmet DAĞ
Second Supervisor : Assoc.Prof.Dr. Askeri KARAKUŞ
Year: 2014, Page: 148
Jury : Prof.Dr. Suphi URAL
: Prof.Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
: Assoc.Prof.Dr. Ahmet DAĞ
: Assoc.Prof.Dr. Ali KOKANGÜL
: Assoc.Prof.Dr. Askeri KARAKUŞ

In this study grinding-polishing tests were carried out on some sedimentary originated limestones. The experimental studies were realized by using statistical experiment design methods-central composite design(CCD). Operational variables of polishing machine such as belt speed, rotational speed and pressure of a polishing head were determined as “independent variables”, surface quality parameters such as roughness and glossiness were determined as “responses”. Models which describe roughness and glossiness were produced by using experimental datas and analysis of variance (ANOVA) was used to detect harmony of generated models with experimental data's. By using Fischer (F) test, statistical importance of each factor on responses was found about 95% safety level. Effect of each abrasive was interpreted by stepwise measurements of roughness and glossiness. Relationship between material properties and responses was analysed. At the end of experiments it was seen that estimated values from model equations were compatible with experimental values. Negative linear relationship was found between responses and higher surface quality was determined at lower belt speeds Good correlation was found between porosity, uniaxial compressive strenght and the surface roughness and glossiness of the studied marbles.

Keywords: Roughness, Glossiness, Optimization, Experimental Design, Central Composite Design (CCD)

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum doktora çalışmamın oluşumunda, yönetiminde ve sonuca ulaştırılması sırasında karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında beni yönlendirerek destekleyen danışmanlarım Doç. Dr. Ahmet DAĞ ve Doç. Dr. Askeri KARAKUŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmalarımnda kullanmak üzere gerekli numuneleri temin etmemde her türlü kolaylığı sağlayan Dimer Mermer Sanayi A.Ş. yetkililerine ve çalışmam sırasında tecrübesiyle ve görüşleriyle destek veren fabrika müdürü Maden Yüksek Mühendisi Felat GÖKDEMİR'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında kaya mekaniği ve aşındırma-cilalama deneylerinin gerçekleşmesi için Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği ve Doğal Taş Laboratuvarlarını kullanma izni veren Prof.Dr. Mustafa AYHAN'a, katkılarından dolayı Doç.Dr. Özgür AKKOYUN'a ve Yrd.Doç.Dr. M.Şefik İMAMOĞLU'na, laboratuvar çalışmalarım sırasında meydana gelen mekanik aksaklıkların giderilmesinde yardımcı olan teknisyen Ali AYCAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca bu zorlu tez çalışması sürecinde bana her konuda anlayış göstererek huzurlu bir çalışma ortamı sağlayan, motive eden, değerli zamanından feragat ederek yardıma ihtiyaç duyduğum her an yanımda olan sevgili eşim Ferhat ÇIRA'ya, ilgi ve desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen anneme ve ablama teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
SİMGELER VE KISALTMALAR	XI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. GENEL BİLGİLER	13
3.1. Aşındırıcı Malzemeler ve Özellikleri	13
3.1.1. Aşındırıcı Diskler ve Bağlayıcı Malzemeler	17
3.2. Mermer Aşındırma-Cilalama İşleminde Kullanılan Makinalar	17
3.2.1. Bantlı Silme ve Cilalama Makinaları	19
3.2.2. Köprülü Silme- Cilalama Makinaları	22
3.2.3. Alın Cila Pah (Kenar İşleme) Makinaları	22
3.2.4. El Perdah (Laplap)	23
3.2.5. Yer Silme –Parlatma Makinaları	25
3.3. Mermerin Yüzey Kalitesinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler	25
3.3.1. Yüzey Pürüzlülüğü ve Ölçüm Prensibi	26
3.3.2. Yüzey Parlaklığı ve Ölçüm Prensibi	29
3.4. İstatistiksel Deneysel Tasarım	31
3.4.1. Deneysel Tasarım Amacına Uygun Yöntem Seçimi	33
3.4.1.1. Karşılaştırma Amacı	33
3.4.1.2. Eleme Amacı	33
3.4.1.3. Cevap Yüzeyi Amacı	33
3.4.1.4. Karışım Amacı	34
3.4.1.5. Regresyon Modelinin Optimum Uyum Amacı	34
3.4.2. Deneysel Tasarım Yöntemleri	36

3.4.2.1. Tamamen Rasgeleleştirilmiş Tasarım.....	36
3.4.2.2. Rasgeleleştirilmiş Blok Tasarım.....	36
3.4.2.3. İki Seviyeli Tam Faktöriyel Deneyler	36
3.4.2.4. Kesirli Faktöriyel Tasarımlar.....	37
3.4.2.5. Plackett-Burman Tasarımları	37
3.4.2.6. Cevap Yüzeyi Tasarımları (CYT).....	37
3.4.2.6.(1).Merkezi Kompozit Tasarım Yöntemi(MKT)	39
3.4.2.7. Box- Behnken Tasarımı	42
3.4.2.8. Karışım Tasarımı... ..	43
3.4.2.9. Taguchi Tasarımları.....	43
4. MATERYAL VE METOD	45
4.1.Materyal	45
4.2.Metod.....	45
4.2.1. Mermer Birimlerinin Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi.....	46
4.2.2. MKT ile Deney Tasarımı	47
4.2.3. Mermer Birimlerinin Aşındırma- Cilalama İşlemi.....	49
4.2.4. Aşındırma-Cilalama İşlemi Sonrasında Yüzey Kalitesinin Belirlenmesi.....	53
5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	59
5.1. Bulgular	59
5.2. Değerlendirmeler.....	63
5.2.1. Laboratuvar Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	63
5.2.2. Aşındırma-Cilalama Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	66
5.2.2.1. Adara Birimi İçin Sonuçların Değerlendirilmesi.....	66
5.2.2.2. Emprador Birimi İçin Sonuçların Değerlendirilmesi.....	82
5.2.2.3. Crema Nera Birimi İçin Sonuçların Değerlendirilmesi	97
5.2.2.4. Sand Wave Birimi İçin Sonuçların Değerlendirilmesi	111
5.2.3. Kullanılan Aşındırıcı Serisinin Yüzey Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi.....	126
5.2.4. Malzeme Özellikleri ile Yüzey Kalitesi Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi	127

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	131
KAYNAKLAR	135
ÖZGEÇMİŞ	141
EKLER.....	142

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Farklı aşındırıcı malzemelerin Knoop Sertlik değerleri (Kogel ve ark., 2006: Harris 2000'den).....	15
Çizelge 3.2. Grain numaralarına göre tanecik boyutları (MEGEP a, 2008).....	16
Çizelge 3.3. Deneysel tasarım seçim rehberi (www.itl.nist.gov).....	34
Çizelge 3.4. Farklı sayıdaki değişkenler için n_0 ve α nın değerleri (Kökkılıç, 2011).....	41
Çizelge 3.5. Değişkenlerin kodlanmış ve gerçek değerleri arasındaki ilişki (Aslan, 2007: Napier-Munn, 2000'den)	41
Çizelge 4.1 Mermerlerin üretim yerleri ve rezerv durumları.....	45
Çizelge 4.2. Faktörlerin Seviyeleri ve Değerleri.....	48
Çizelge 4.3. Design Expert 6.0 programı kullanılarak MKT ile oluşturulan deney programı	48
Çizelge 4.4. Emprador birimi 1. Deney, 60 Numaralı aşındırıcı için hazırlanmış çizelgeler	56
Çizelge 5.1. Fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek üzere yapılan deney sonuçları.....	62
Çizelge 5.2. XRF yarı kantitatif yöntem ile yapılan kimyasal analiz sonuçları	62
Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan şehir şebekesi suyunun kimyasal analizi (DİSKİ, 2013)	63
Çizelge 5.4. Schmidt çekici değerlerine göre sertlik sınıflaması(ISRM, 1978).	64
Çizelge 5.5. Çalışılan birimlerin schmidt çekici değerlerine göre sertlik sınıflaması.....	64
Çizelge 5.6. Aşındırıcılığın sınıflandırılması (Deliormanlı, 2012: Cerchar, 1986'den).....	65
Çizelge 5.7. Bazı Kayaç Tiplerinin CAI Değerleri (Kandemir, 2010: Tamrock, 1999'dan)	65
Çizelge 5.8. Çalışılan birimlerin CAI değerlerine göre sertlik sınıflaması.....	65
Çizelge 5.9. Design Expert 6.0 programının Adara birimi için istatistiksel model özeti.....	68

Çizelge 5.10. Adara biriminde kodlanmış ve gerçek değerler kullanılarak türetilen modeller.....	69
Çizelge 5.11. Adara birimi pürüzlülük modeli için ANOVA.....	70
Çizelge 5.12. Adara birimi parlaklık modeli için ANOVA.....	71
Çizelge 5.13. Adara birimi gerçek ve tahmin edilen cevap sonuçlarının karşılaştırılması.....	72
Çizelge 5.14. Adara biriminde çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışması kriterleri	81
Çizelge 5.15. Adara biriminde çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışmasının sonuçları	81
Çizelge 5.16. Design Expert 6.0 programının Emprador birimi için istatistiksel model özeti	83
Çizelge 5.17. Emprador birimi için kodlanmış ve gerçek değerler kullanılarak türetilen modeller	84
Çizelge 5.18. Emprador birimi pürüzlülük modeli için ANOVA	85
Çizelge 5.19. Emprador birimi parlaklık modeli için ANOVA.....	86
Çizelge 5.20. Emprador birimi için gerçek ve tahmin edilen sonuçlarının karşılaştırılması.....	87
Çizelge 5.21. Emprador birimi için çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışması kriterleri.....	95
Çizelge 5.22. Emprador birimi için çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışmasının sonuçları.....	96
Çizelge 5.23. Design Expert 6.0 programının Crema Nera birimi için istatistiksel model özeti	98
Çizelge 5.24. Crema Nera birimi için kodlanmış ve gerçek değerler kullanılarak türetilen modeller	99
Çizelge 5.25. Crema Nera birimi pürüzlülük modeli için ANOVA	100
Çizelge 5.26. Crema Nera birimi parlaklık modeli için ANOVA	100
Çizelge 5.27. Crema Nera birimi için gerçek ve tahmin edilen sonuçlarının karşılaştırılması.....	101

Çizelge 5.28. Crema Nera birimi için çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışması kriterleri.....	109
Çizelge 5.27. Crema Nera birimi için çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışmasının sonuçları.....	110
Çizelge 5.28. Design Expert 6.0 programının Sand Wave birimi için istatistiksel model özeti	112
Çizelge 5.29. Sand Wave birimi için kodlanmış ve gerçek değerler kullanılarak türetilen modeller	110
Çizelge 5.30. Sand Wave birimi pürüzlülük modeli için ANOVA	112
Çizelge 5.31. Sand Wave birimi parlaklık modeli için ANOVA	113
Çizelge 5.32. Sand Wave birimi için gerçek ve tahmin edilen sonuçlarının karşılaştırılması.....	114
Çizelge 5.33. Sand Wave birimi için çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışması kriterleri.....	114
Çizelge 5.34. Sand Wave birimi çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışmasının sonuçları.....	116
Çizelge 5.35. Aşındırıcı numaralarının etkin oldukları pürüzlülük aralıklarına göre sınıflandırılması.....	124
Çizelge 5.36. Aşındırma-cilama işlemi sonrası nihai ürün yüzey kalitesi sınıfları.....	125
Çizelge 5.37. Bağımsız değişkenlerin merkez noktalarındaki ortalama pürüzlülük ve parlaklık değerleri.....	126
Çizelge 5.38. Aşındırma-cilama işlemi sonrası nihai ürün yüzey kalitesi sınıfları (Görgülü, 1998)	127

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1.	Mermer üretim süreci akım şeması.....	4
Şekil 3.1.	Farklı tane boyutundan oluşan aşındırıcı serisi (www.eraabrasiv.com).....	14
Şekil 3.2.	Mermerlerde yapılan aşındırma işlemi	18
Şekil 3.3.	Aşındırıcıların mermer yüzeyi üzerinde oluşturdukları etki (Ozuloğul, 1994).....	18
Şekil 3.4.	Geniş bant cila makinası(www.gurmas.com/katalog)	19
Şekil 3.5.	Dar bant aşındırma-cilalama makinası (www.gmsmakine.com.tr)	19
Şekil 3.6.	Bantlı silme -cilalama makinalarının çalışma değişkenleri	20
Şekil 3.7.	Aşındırıcı takılmış silim kafası	21
Şekil 3.8.	Bantlı silme-cila makinası köprü ünitesi (MEGEP b, 2008).....	21
Şekil 3.9.	Köprülü silme- cilalama makinaları(www.sommak.com).....	23
Şekil 3.10.	Alın Cila Pah Makinası(www.ozyavuzmakina.com)	23
Şekil 3.11.	Alın cila pah makinalarında yapılabilen işlemler	24
Şekil 3.12.	El perdah(www.sevilmermermakinalari.com).....	24
Şekil 3.13.	Yer silme –parlatma makinası	25
Şekil 3.14.	Pürüzlülük ölçerin çalışma prensibi.....	26
Şekil 3.15.	Yüzey pürüzlülüğünde ortalama çizgisi (Rank Taylor Habson, 1992).....	27
Şekil 3.16.	Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde Ry ve Rt değerleri (Rank Taylor Habson, 1992)	28
Şekil 3.17.	Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümünde Sm değeri (Rank Taylor Habson, 1992)	28
Şekil 3.18.	Parlaklık ölçme prensibi(ASTM D 523) (Peiponen ve ark, 2009)	29
Şekil 3.19.	Parlaklık ölçerlerin ölçüm geometrisi(Peiponen ve ark, 2009)	30
Şekil 3.20.	Proses veya sistemi temsil eden model(Montgomery, 2009)	32
Şekil 3.21.	3 faktörlü MKT(Design-Expert 6 User's Guide, 2001)	40
Şekil 3.22.	MKT çeşitleri(Turan ve Altındoğan, 2011).....	42

Şekil 4.1.	Mermer birimlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek üzere hazırlanan numuneler	47
Şekil 4.2.	Mermer striplerinin aşındırma-cilalama işlemine kadar geçirdiği aşamalar	49
Şekil 4.3.	Laboratuvar ölçekli aşındırma-cilalama makinası	50
Şekil 4.4.	Aşındırma-cilalama makinası programı.....	51
Şekil 4.5.	Aşındırma-cilalama işlemi için kullanılan aşındırıcı serisi.....	52
Şekil 4.6.	Kompresör	52
Şekil 4.7.	Pürüzlülük ölçer	53
Şekil 4.8.	Yüzey üzerinde pürüzlülük ölçümü	54
Şekil 4.9.	Parlaklık ölçer	55
Şekil 4.10.	Yüzey üzerinde parlaklık ölçümü	55
Şekil 4.11.	Ölçümü yapılan striplerinin istiflenmesi.....	57
Şekil 5.1.	Adara biriminin ince kesit görüntüsü.....	59
Şekil 5.2.	Emprador biriminin ince kesit görüntüsü	60
Şekil 5.3.	Crema Nera biriminin ince kesit görüntüsü	60
Şekil 5.4.	Sand Wave biriminin ince kesit görüntüsü	61
Şekil 5.5.	Adara biriminin cevap değişkenleri arasındaki ilişkinin grafiği.....	67
Şekil 5.6.	Adara birimi gerçek pürüzlülük değerine karşı tahmin edilen pürüzlülük değerleri	73
Şekil 5.7.	Adara birimi gerçek parlaklık değerine karşı tahmin edilen parlaklık değerleri	73
Şekil 5.8.	Adara birimi pürüzlülük için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı.....	74
Şekil 5.9.	Adara birimi parlaklık için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı.....	74
Şekil 5.10.	Adara birimi pürüzlülük için hesaplanan değere karşı kalıntıların dağılımı	75
Şekil 5.11.	Adara birimi parlaklık için hesaplanan değere karşı kalıntıların dağılımı	75
Şekil 5.12.	Adara biriminde kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri.....	76

Şekil 5.13.	Adara biriminde kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri.....	77
Şekil 5.14.	Adara biriminde kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri.....	78
Şekil 5.15.	Adara biriminde kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	78
Şekil 5.16.	Adara biriminde bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	79
Şekil 5.17.	Adara biriminde bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	80
Şekil 5.18.	Adara birimi için örtüşen kontur grafiği ile optimizasyon	82
Şekil 5.19.	Emprador birimi cevap değişkenleri arasındaki ilişkinin grafiği.....	83
Şekil 5.20.	Emprador birimi gerçek pürüzlülük değerine karşı tahmin edilen pürüzlülük değerleri.....	88
Şekil 5.21.	Emprador birimi için gerçek parlaklık değerine karşı tahmin edilen parlaklık değerleri	88
Şekil 5.22.	Emprador birimi pürüzlülük için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı	89
Şekil 5.23.	Emprador birimi parlaklık için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı..	89
Şekil 5.24.	Emprador birimi pürüzlülük için hesaplanan değere karşı kalıntıların dağılımı.....	90
Şekil 5.25.	Emprador birimi parlaklık için hesaplanan değere karşı kalıntıların dağılımı	90
Şekil 5.26.	Emprador birimi için kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	91

Şekil 5.27.	Emprador birimi için kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	92
Şekil 5.28.	Emprador birimi için kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	92
Şekil 5.29.	Emprador birimi için kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	93
Şekil 5.30.	Emprador birimi için bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	94
Şekil 5.31.	Emprador birimi için bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	94
Şekil 5. 32.	Emprador birimi için örtüşen kontur grafiği ile optimizasyon	96
Şekil 5.33.	Crema Nera birimi için cevap değişkenleri arasındaki ilişkinin grafiği.....	97
Şekil 5.34.	Crema Nera birimi için gerçek pürüzlülük değerine karşı tahmin edilen pürüzlülük değerleri	102
Şekil 5.35.	Crema Nera birimi için gerçek parlaklık değerine karşı tahmin edilen parlaklık değerleri	102
Şekil 5.36.	Crema Nera birimi pürüzlülük için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı	103
Şekil 5.37.	Crema Nera birimi parlaklık için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı	103
Şekil 5.38.	Crema Nera birimi pürüzlülük için hesaplanan değere karşı kalıntıların dağılımı	104
Şekil 5.39.	Crema Nera birimi parlaklık için hesaplanan değere karşı kalıntıların dağılımı	104
Şekil 5.40.	Crema Nera birimi için kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı	

	ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	105
Şekil 5.41.	Crema Nera birimi için kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafiği.....	106
Şekil 5.42.	Crema Nera birimi için kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	107
Şekil 5.43.	Crema Nera birimi için kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	107
Şekil 5.44.	Crema Nera birimi için bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri.....	108
Şekil 5.45.	Crema Nera birimi için bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri.....	109
Şekil 5. 46.	Crema Nera birimi için örtüşen kontur grafiği ile optimizasyon.....	110
Şekil 5.47.	Sand Wave birimi için cevap değişkenleri arasındaki ilişkinin grafiği.....	111
Şekil 5.48.	Sand Wave birimi için gerçek pürüzlülük değerine karşı tahmin edilen pürüzlülük değerleri	117
Şekil 5.49.	Sand Wave birimi için gerçek parlaklık değerine karşı tahmin edilen parlaklık değerleri	117
Şekil 5.50.	Sand Wave birimi pürüzlülük için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı	118
Şekil 5.51.	Sand Wave birimi parlaklık için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı	118
Şekil 5.52.	Sand Wave birimi pürüzlülük için hesaplanan değere karşı kalıntıların dağılımı.....	119
Şekil 5.53.	Sand Wave birimi parlaklık için hesaplanan değere karşı kalıntıların	

	dağılımı	119
Şekil 5.54.	Sand Wave birimi kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	120
Şekil 5.55.	Sand Wave birimi kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	121
Şekil 5.56.	Sand Wave birimi kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	122
Şekil 5.57.	Sand Wave birimi kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	122
Şekil 5.58.	Sand Wave birimi bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	123
Şekil 5.59.	Sand Wave birimi bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri	124
Şekil 5.60.	Sand Wave birimi için örtüşen kontur grafiği ile optimizasyon	125
Şekil 5.61.	Gözeneklilik ile pürüzlülük arasındaki ilişki	128
Şekil 5.62.	Gözeneklilik ile parlaklık arasındaki ilişki	128
Şekil 5.63.	Tek eksenli basınç dayanımı ile pürüzlülük arasındaki ilişki	129
Şekil 5.64.	Tek eksenli basınç dayanımı ile parlaklık arasındaki ilişki	129

SİMGELER VE KISALTMALAR

ASTM	: American society for testing and materials
ISRM	: International society for rock mechanichs
MEGEP	: Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi
CYT	: Cevap yüzeyi tasarımı
MKT	: Merkezi kompozit tasarım
CAI	: Cerchar abrasivity index
S.S.	: Standart sapma
D. R^2	: Düzeltilmiş R^2
T. E. R^2	: Tahmin edilen R^2
M.U.	: Model uyumluluğu
PRESS	: Predicted residual sum of squares
A	: Bant hızı (m/dk)
B	: Kafa basıncı (bar)
C	: Kafa devri(rpm)
ANOVA	: Analysis of variance
S.D.	: Serbestlik derecesi

1. GİRİŞ

Doğal taş ürünlerinin antik çağdan beri yapı ve dekorasyon malzemesi olarak kullanıldığını günümüze kadar ulaşan tapınaklardan, medreselerden, surlardan, camilerden, anıtlardan vb. tarihi eserlerden anlamak mümkündür. Bu yapılarda kullanılan doğal taş ürünlerinin en önemlilerinden biri de mermerdir.

Mermerin oluşum yerini tespit etmek, ocak işletmeciliğine başlayarak kayacı bulunduğu yerden çıkarmak, işleme tesisine nakletmek ve işlenmesini sağlamak oldukça zor, pahalı ve zaman alıcı bir süreçtir. Fakat teknolojinin her geçen gün ilerlemesi ve insanların daha dayanıklı, sağlıklı, antik ve estetik görünen doğal yapı malzemelerine yönelmesi mermer işlemeciliğini günümüzde oldukça önemli bir sektör haline getirmiştir.

Ocaklardan çıkarılan bloklardan ebatlandırılmış fayans veya plaka üretmek için kesme işlemi yapılmakta, bu kesim işlemi mermer yüzeyinde pürüzlülüklere sebep olmaktadır. Mermerin görünümünü, kalitesini, buna bağlı olarak taşa olan talebi ve satış fiyatını etkileyen bu pürüzler aşındırma işlemiyle giderilebilmektedir. Pürüzlülüğü en aza indirilen mermere cilalama işlemi ile yüzey parlaklığı kazandırılmaktadır (Sarı ve Yavuz, 2001).

Üretim sürecinde amaç yüksek verimde, kaliteli ve düşük maliyette ürünü emniyetle üretmektir. Aşındırma-cilalama maliyeti toplam ürün işleme maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Ceylanoğlu ve Görgülü (2001), bu maliyetin toplam ürün maliyetine oranının uygun çalışma koşullarının sağlanıp sağlanmadığına bağlı olarak % 10-30 arasında değişmekte olduğunu, Güzel ve Gündüz (2001) bu oranın %40 civarında olduğunu, Yavuz ve arkadaşları, (2010) ise % 40'dan fazla olduğunu belirtmişlerdir. Üretim maliyeti üzerinde bu kadar etkili olan aşındırma-cilama işlemini etkileyen çeşitli parametreler bulunmaktadır. Örneğin işlenecek olan taşın mineral yapısı, kristal boyutu ve yoğunluğu, kristalizasyon doğrultusunda kesim yönü ve boşlukların doldurulması (dolgu) taşın cila almasında etkin parametrelerdir (Erdoğan, 2000). Bu parametrelerin yanı sıra kullanılan aşındırma-cila kafasının hareket şekli (düzeni), baskısı, devri, bant hızı, aşındırıcı malzeme seçimi vs. gibi taşın nihai cila seviyesini etkileyen başka faktörler de bulunmaktadır (Görgülü ve

Ceylanoğlu, 2008). Bu faktörlerin incelenmesi sonucu işlenecek mermer birimine uygun çalışma koşullarının belirlenmesi ile yapılacak olan aşındırma-cilalama işlemi nihai ürünün kalitesini etkileyen yüzey pürüzlülüğünü azaltıp parlaklık oranını arttıracaktır.

Bu çalışmada aşındırma-cilalama makinasının çalışma değişkenleri olarak belirlenen bant hızı, silim kafasının basıncı ve devrinin hem birbirleriyle olan etkileşimleri hem de mermer yüzeylerinin pürüzlülüğü ve parlaklığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan mermer birimlerinin malzeme özellikleri belirlenmiş ve yüzey kalitesi ile mermer malzeme özellikleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Aşındırma-cilalama işleminde kullanılan aşındırıcıların her birinin mermer yüzeyleri üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak incelenmiş, sonuçlar bu konuda yapılan önceki bir çalışma ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan Dimer Mermer İşleme Fabrikası'ndan temin edilen ticari isimleri Adara, Emprador, Crema Nera ve Sand Wave olan sedimanter kökenli bloklardan alınan numunelerin fiziksel, kimyasal, mekanik, mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmiştir. En az deneysel çalışma ile en çok verinin toplanabilmesi amacıyla istatistiksel deney tasarım programı Design Expert 6.0 (deneme sürümü) kullanılarak farklı çalışma koşullarında aşındırma-cilalama deneyleri tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak pürüzlülük ve parlaklığı tanımlayan modeller geliştirilmiştir. Bu modeller cevap yüzeyi yöntemleri kullanılarak analiz edilmiş, tahmin edilen değerler ile deneyler sonucunda elde edilen gerçek verilerin uyumluluğu incelenmiştir. 3 boyutlu cevap yüzeyi ve 2 boyutlu kontur grafikleri ile bant hızı, silim kafasının basıncı ve devrinin pürüzlülük ve parlaklık üzerindeki etkileri görsel olarak incelenmiş, optimum yüzey kalitesinin oluşmasını sağlayan çalışma koşulları belirlenmiştir. Aşamalı olarak yapılan parlaklık ve pürüzlülük ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda bazı aşındırıcıların seriden çıkarılması önerilmiştir. Böylece gereksiz aşındırıcı, su, enerji, zaman vb sarfiyatların önüne geçilerek aşındırma-cilalama işleminin toplam maliyet üzerindeki etkisinin azaltılması hedeflenmektedir.

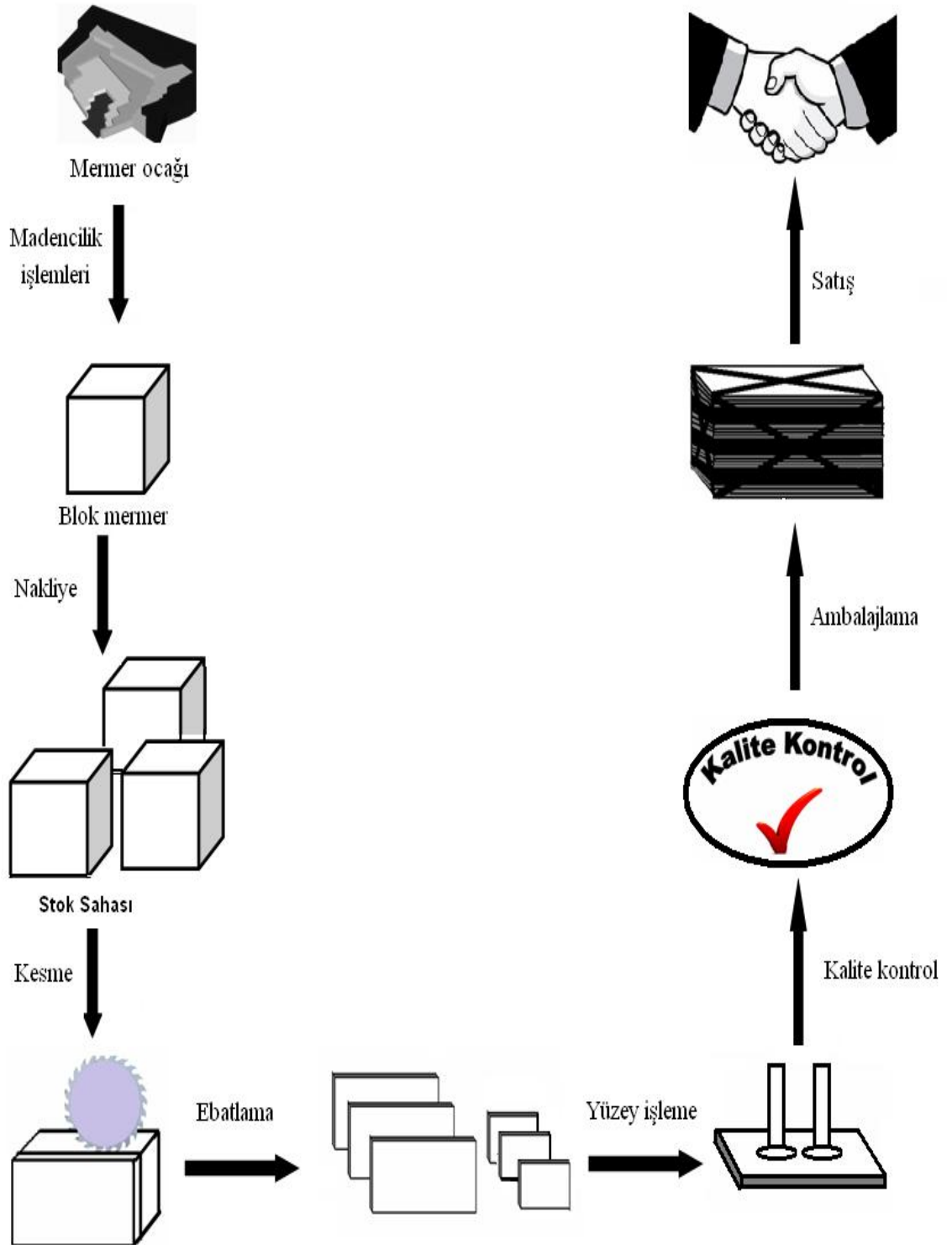
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Mermer işlemeciliğinin ilk aşaması olan üretim safhasını iki aşamada sınıflandırmak mümkündür. Birinci aşamada istenilen ebatta ürün elde edilmekte, ikinci aşamada ise gereken nihai yüzey elde edilmektedir (Xi ve Zhou, 2004).

Birinci aşamada mermer bloğu işleme tesisine geldiğinde boyutuna, damar yapısına, istenilen nihai ürüne göre S/T veya katrak makinaları kullanılarak istenilen ölçüde ebatlanıp fayans/strip veya plaka haline getirilmektedir. Fayanslar ve stripler uç kısımlarının düzeltilmesi için baş kesme makinasına, plakalar ise kullanılabilecek maksimum ebatta düzgün şekilli alanı elde etmek üzere köprü kesme makinasına beslenmektedir. Bu kesim işlemleri ve mermerin doğal yapısından kaynaklanan boşluklar kesim yüzeyinde pürüzlülüğe neden olmaktadır. Bünyelerinde kırık, çatlak ve gözenek gibi yapısal kusurları olan mermerlere epoksi, polyester vb. dolgu malzemeleri kullanılarak güçlendirme işlemleri uygulanmaktadır.

Üretimin ikinci aşamasında ise nihai ürünün kullanım amacına göre parlak, honlanmış (yarı mat) ya da özel işleme teknikleri uygulanmış yüzeyler elde edilmektedir. Elde edilen yüzeyin cilalı olması isteniyorsa plakalar geniş bant cila makinasına, fayanslar ve stripler ise dar bant cila hattına beslenmektedir. Honlanmış yüzeyler yalnızca kalibrasyon işlemi ile sağlanırken, özel yüzeyler ise alevle yakma, kumlama, eskitme, çekiçleme ve su jeti yöntemlerinin yüzeye uygulanması ile elde edilmektedir. Bu işlemlerden sonra ürün kalite kontrolünden geçmekte ve uygun şekilde ambalajlanarak kullanıcıya sunulmaktadır (Şekil 2.1).

Mermer fayanslar, stripler ve plakalar kaplama malzemesi olarak yer ve duvarlarda, merdivenlerde, denizliklerde, iç dekorasyonda şömine, barbekü yapımında, mutfak tezgahlarında ve banyolarda kullanılmaktadır. Mermer piyasasında kullanım alanları gereği göze hoş görünmesi açısından genellikle parlak yüzeyli ürünler tercih edilmektedir. Dolayısıyla mermerin rengi ve parlaklığı satış açısından önemli parametrelerdir. Aşındırma ve sonrasında uygulanan cilama işlemleriyle mermer yüzeylerine parlaklık kazandırılmaktadır.



Şekil 2.1. Mermer üretim süreci akım şeması

Mermer parlatma işleminde etkili olan parametrelerin beş ana başlık altında incelenmesi mümkündür. Bunlar;

- I. Parlatma makinasının özellikleri ve çalışma değişkenleri,
 - Tipi,
 - Kafalara uygulanan baskı,
 - Aşındırıcıların ve cilaların takıldığı disk ve/veya disklerin devirleri,
 - Su miktarı,
 - Bant hızı,
 - Kapasitesi, gücü ve enerji tüketimi,
- II. Kullanılan aşındırıcıların özellikleri,
 - Sertliği,
 - Kırılma tipi,
 - Tane boyutu,
 - Ömrü,
 - Dayanıklılığı,
 - Ufalanma yeteneği,
 - Tanelerin matriks içindeki dağılımı,
 - Tanelerin matriks ile bağ yapısı,
- III. Matriks ile ilgili özellikler,
 - Basınç ve çekme dayanımları,
 - Sertliği,
 - Ömrü,
 - Porozitesi,
 - Elastisitesi,
- IV. Parlatılan malzemenin özellikleri,
 - Sertliği,
 - Kristal yapısı,
 - Kimyasal yapısı,
 - Basınç ve çekme dayanımları,
 - Kohezyon,

- Elastisite özellikleri,
 - Aşınma kabiliyeti,
 - Korozyona dayanıklılık,
- V. Ekonomik özellikler,
- İstenilen yüzey kalitesi,
 - Birim yüzey alanı aşındırma maliyeti,

Bu parametrelerin parlatma performansına etkisinin araştırıldığı birçok çalışma yapılmıştır.

Görgülü (1998), tarafından yapılan çalışmada farklı numunelere, farklı çalışma koşullarında yapılan yüzey aşındırma deneyleri sonucunda aşındırıcı tane boyutunun büyük olduğu küçük aşındırıcı numaralarında aşınma miktarının arttığı, aşındırıcı tane boyutunun küçülmesine paralel olarak aşınma miktarının azaldığı görülmüştür. Serideki aşındırıcı sayısının artışıyla mermer yüzeyinde oluşan aşınma miktarının arttığı görülmüştür. Aşındırıcı serisini oluşturan aşındırıcıların sayısı ve numaralarının mermer üretim maliyeti, yüzey parlaklığı ve pürüzlülüğü üzerinde önemli etkileri olduğu belirlenmiştir. Aşınma miktarı ve mermer malzeme özellikleri arasında yapılan birebir basit regresyon analizlerinde yalnızca sertlik değerleri ile anlamlı ilişkiler elde edilirken, çoklu regresyon analizi sonucunda ise oldukça yüksek korelasyonlu ilişkiler bulunduğu belirlenmiştir. Aynı analizler pürüzlülük artışı ve mermer malzeme özellikleri arasında da yapılmış ve iyi korelasyon katsayılı ilişkiler elde edildiği görülmüştür.

Erdoğan tarafından (1999), görüntü analizi yöntemiyle cilalanmış mermerlerin yüzey parlaklığı ölçümü yapılmıştır. Yüzey parlaklığını ölçmek üzere geliştirilen cihazda ASTM 523-94 (1994) standardında belirtilen özellikte yani 60⁰'lik açı ile yansıyan ışık kullanılmıştır. Fakat standarttan farklı olarak parlaklık ölçümü için bilgisayara bağlanmış yüksek çözünürlüklü bir kamera kullanılmıştır. Ölçülen parlaklık değerleri bu araştırma için geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla siyah-beyaz tonlara dönüştürülmüş, elde edilen sayısallaştırılmış verilerin istatistiksel analizi ile aydınlatılan yüzeylerin ortalama parlaklık değerlerinin hesaplanmasını sağlamıştır. Bu şekilde mat ve parlak alanlar tespit edilerek yüzeyin

parlaklık haritası çıkarılmıştır. Supren ve Yatağan Bölgesi mermerlerinin aşındırma cilalama işleminde 180,200, 220, 280, 360, 400,600 aşındırıcılar ve cila taşı kullanılmıştır. Birinci kafada kullanılan 180 numaralı aşındırıcı sonrası yapılan parlaklık ölçümü G1, 180 ve 200 numaralı aşındırıcı sonrası yapılan parlaklık ölçümü G2 ve son aşındırıcı olan 600 no'lu aşındırıcıya kadar tüm aşındırıcıların kullanımı sonrası yapılan parlaklık ölçümleri benzer şekilde yapılarak G7'ye kadar numaralandırılmıştır. Cila taşı uygulaması sonrası yapılan parlaklık ölçümü ise P ile simgelenmiştir. Benzer ölçümler Türkiye'nin farklı bölgelerine ait numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin bünyelerinde bulunan makro ve mikro gözeneklerin ışınları emdiğini, bu nedenle yüzeyin ortalama parlaklığının azaldığı belirtilmiştir. Nispeten zayıf kristal sınırları olan numunelerin kristal sınırları boyunca mikro-süreksizliklerinin olduğu bu yüzden gelen ışınları çeşitli yönler yansıttığı görülmüştür. Kristallenme yönü ile kesim yönü arasındaki açısal farkın ışık demetinin mineral yüzeyinden farklı yönler yansımaya neden olduğu belirtilmiştir. İkincil süreksizlik dolgularının ana kayaç ile aynı yapıda ve türde olmaması nedeniyle kayacın yüzey parlaklığını azalttığı belirlenmiştir. Numunenin içerdiği mineraller ile yüzey parlaklığı arasında yakın ilişki olduğu, sıkı ve mekanik dayanımı yüksek minerallerden oluşan kayaç yüzeylerinin daha yüksek yansıtma değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca oniks, mermer ve kireçtaşı gibi önemli ölçüde tek bir mineralden oluşan ve tane boyutları küçük olan kayaç yüzeylerinin daha yüksek yansıtma değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Ersoy ve Köse 2001 yılında yaptıkları çalışmada mermerlerin mekanik özelliği ile parlatma kolaylığı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Parlaklık ile yoğunluk, özgül ağırlık, doluluk oranı, gözeneklilik, Moh's, Knoop, Rockwell, eğilme direnci ve basınç dayanımı arasında bir ilişki olmadığını tespit etmişlerdir. Parlatmanın ilk aşamalarında pürüzlülüğün hızla düştüğü parlaklıktaki değişimin fazla olmadığını, fakat sonrasında pürüzlülükteki düşüşün azalmasıyla parlaklıktaki artışın fazlaştığını ve pürüzlülük ile parlaklık arasında ise % 90'dan fazla korelasyon olduğunu, pürüzlülüğün azalmasıyla parlaklığın arttığını belirlemişlerdir. Sürtünme ile aşınmaya karşı direnç böhme deneyiyle ölçülmüş, mermerlerin parlaklığı ve sürtünme ile aşınmaya karşı direnci arasında %70'in üzerinde

korelasyon olduğu, parlaklık artarken sürtünme ile aşınmaya karşı direncin azaldığı ortaya çıkmıştır.

Güzel ve Gündüz (2001), doğal taş sektöründe kullanılan aşındırıcılara alternatif olarak yüksek aşındırma ve parlatma yeteneğine sahip pomzanın doğal taş aşındırma-cilalama işlemlerinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında matriks yapısı pomza, SiC, kalsit, kaya tuzu, bağlayıcı olarak da polyesterden oluşan 3 farklı aşındırıcı serisi üretilmiştir. Aşındırma-cilalama işlemleri sonrasında kullanılan aşındırıcı oranının parlaklık üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Üretilen aşındırıcıların silim performanslarının ortalama % 97 olduğu ve ülkemizde ithal edilen aşındırıcılara alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Kulaksız ve ark (2001), Akmağdeni, Menderes, Kırşehir masifindeki granatların aşındırıcı olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Proje sahasından alınan örnekler ile granat kaplı zımpara kağıdı üretilerek laboratuvar ölçekli denemelerde kullanılmıştır. Ayrıca Kırşehir ili Kaman ilçesi granatlarının mermer aşındırma-cilalama işlemlerinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Proje sahasından alınan numunelerden silim taşları üretilmiş, üretilen aşındırıcılar kullanılarak sanayi ve laboratuvar da mermer aşındırma-cilalama denemeleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda proje sahasından alınan granatların zımpara kağıdı ve silim taşı üretiminde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Sarı ve Yavuz'un 2001 yılında yaptıkları çalışmada 10 farklı mermer çeşidi üzerinde her mermer plaka yüzeyi 1'er cm² lik hücrelere bölünerek, parlaklık ölçer ile her karede ölçümler yapılmış, her hücre için yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak yüzey taraması yapılmıştır. Elde edilen veriler sayesinde parlaklık dağılımının net bir şekilde gözlenebilmesi için 'Shepard' yöntemi kullanılarak yüzey topoğrafyası çıkarılmış, sonuçlar istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda parlatılmış olarak piyasaya sunulan mermerlerin bazılarının parlaklık değeri için yeterli kabul edilen 90 gloss değerinin altında kaldığı ve yeterli parlaklık değerinde olmayan mermer yüzeylerinde parlaklık dağılımının homojen olmadığı belirlenmiştir.

Huang ve ark (2002) kırmızı ve siyah granit numunelerinin kesim işleminden parlatma işlemine kadar değişen mikro yapısını belirlemek amacıyla bir araştırma yapmışlardır. Numunelerin morfolojik yapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile belirlenmiş, her aşındırma işlemi sonrası parlaklık ve pürüzlülük değerleri gelişigüzel 20 noktadan ölçülmüştür. Kesme işleminin gözle görülebilen çizikli ve pürüzlü bir yüzey bıraktığı fakat aşındırıcı tanelerinin küçülmesiyle bir önceki aşındırma işleminden gelen çiziklerin yok olmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün azaldığı belirtilmiştir. Aşındırma işlemi sonrasında yapılan SEM analizi sonucunda 2 numunede de aşındırıcı tane boyutunun azalmasıyla sünümlü deformasyon miktarının arttığı yani asıl aşındırma işleminin ince aşındırma aşamasında sünümlü deformasyon mekanizmasıyla gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Aynı koşullar altında yapılan deneylerde siyah granitin parlaklığının kırmızı granitten daha fazla olduğu ve bu durumun siyah granitin yapısının kırmızı granitten daha sıkı olmasına bağlı olabileceği sonucuna varılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ile parlaklığı arasında güçlü fakat birbirinden farklı bir korelasyon olduğu, pürüzlülüğün azalmasıyla parlaklığın arttığı görülmüştür. İncelenen granitlerin pürüzlülük ve parlaklıkları arasındaki korelasyon farkının malzemelerin kristal yapısı ve özelliklerine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Uğur ve Gündüz (2003), mermerin teknik ve yapısal özelliklerine bağlı olarak silim performansına etki eden faktör ve parametreleri incelemiştir. Bu amaçla farklı alternatif çalışma ortamlarında bir dizi araştırmalar yapmış, mermerin basınç dayanımı ve sertliğinin silim performansını önemli ölçüde etkilediğini, ayrıca gözeneklilik dağılımının da mermer yüzeyinin parlatılmasında etkili bir parametre olduğunu belirtmişlerdir.

Dönmez ve Sarı (2004) mermer işlemeciliği sektöründe büyük ölçekteki yüzeylerde kullanılmak üzere doğrudan bilgisayar kontrollü ve veri toplama kabiliyeti olan bir yüzey pürüzlülük ölçme sistemi tasarlamışlardır. Geliştirilen sistem ile 120 numaralı aşındırıcıya kadar (kaba silim), 320 numaralı aşındırıcıya kadar (ince silim) ve cila aşamasından (nihai ürün) geçen fayansların yüzey taraması yapılarak üç boyutlu pürüzlülük haritaları çıkarılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarının tutarlı, hassas ve güvenilirlik sınırları içinde olduğu belirtilmiştir.

Dönmez ve Sarı tarafından 2005 yılında yapılan çalışma sayısal görüntü analiz tabanlı yüzey parlaklık ölçümünün New York Mermer numunesi üzerinde belli aşındırıcılar kullanılarak aşındırma-cilalama işlemleri yapıldıktan sonra 60° lik ışığın lazer kaynağından gelen yansımalarının CCD (Charge-Coupled Device) kamera ile ölçülüp görüntü analizi yapılmasına dayanmaktadır. Kameradan elde edilen görüntüler bilgisayara imaj kartıyla aktarılmış ve kartın yazılımıyla elde edilen görüntüler işlenmiştir. Sayısal değerlere çevrilen görüntü, gri rengin tonlarına göre değerlendirilmiştir. Lazer ışığını maksimum seviyede yansıtması nedeniyle bir aynanın yansımaya değerine göre numunenin yansımaya değerleri normalize edilmiştir. Elde edilen nicel parlaklık değerleri kullanılarak eş parlaklık eğrileri oluşturulmuştur. Eş parlaklık eğrileri incelendiğinde 320 numaralı aşındırıcıya kadar aşındırma sonucunda yüzey pürüzlülüğünün azaldığının fakat bu azalmanın nihai ürünün parlaklığı hakkında sağlıklı bilgi veremeyeceği sonucuna varılmış, parlaklık ölçümünün nihai aşındırma-cilalama aşaması tamamlandıktan sonra yapılmasının daha sağlıklı olacağı görüşü belirtilmiştir.

Riberio ve ark, 2007 yılında mineralojik özellikleri benzer, kesilebilirlikleri (sertlikleri) farklı iki kayaç üzerinde kesme hızı ve yüzey pürüzsüzlüğü arasında bir ilişki kurmak üzere yaptıkları çalışmada numunelerin petrografik yapılarını, Knoop sertliklerini, derin aşınmalarını, Amsler aşınma değerlerini belirlemişlerdir. Numuneler aynı çalışma koşulları altında kesilerek her biri için üçer kesim hızı kaydedilmiştir. Petrografik yapıları çok farklı olan numunelerin kuvars yüzdesi, boyutları ve dağılımının kesme hızı ve aşınma üzerinde önemli etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Kuvars içeriği yüksek olan ve dilimli yapıdaki kayacın daha pürüzlü ve sert olduğu, bundan dolayı da testereleri daha fazla aşındırdığı belirlenmiştir. Kuvars kristallerinin dağılımı düzgün ve tane boyutu küçük olan, daha homojen yapıdaki kayacın diğerinden biraz daha yüksek Knoop sertlik değerine sahipken derin aşınma değerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Kesim hızının düşmesinde ve yüksek pürüzlülüğün oluşumunda tane boyutundaki farklılığın ve mineral dağılımının fazlalığının, düzensiz şekilleri nedeniyle kuvars ve feldspat kristallerinin birbirine bindirmesi ile kuvars tanelerinin feldspat tanelerinin içine nüfuz etmesinin,

feldspatta tanecik içinde ve kuvarsta tanecikler arasında bulunan mikro çatlak derecesinin düşük olmasının etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Görgülü ve Ceylanoğlu (2008), tarafından yapılan çalışmada farklı mermer ve kireçtaşı numuneleri üzerinde 2 farklı aşındırma-cilalama makinasında elmas ve silisyum karbür (SiC) aşındırıcılar kullanarak belirlenen çalışma koşulları altında yapılan aşındırma-cilalama işlemi sonrasında yüzeylerin parlaklık ve pürüzlülükleri ölçülmüştür. Farklı kayaçların benzer çalışma koşulları altında kullanılan aşındırıcı çeşidi ve serisine bağlı olarak farklı pürüzlülük ve parlaklık ilişkileri gösterdikleri belirlenmiştir. Homojen yapıda olan kayaçların gösterdikleri pürüzlülük-parlaklık ilişkilerinin aşındırıcı çeşidinden bağımsız olduğu, ancak bu iddianın pürüzlü yüzeyi olan kayaçlarda geçerli olmadığı, kayaçların bünyelerinde bulundurdıkları yumuşak mineral ve diğer madde içeriğine bağlı olarak tamamıyla sünek davranış göstermedikleri belirtilmiştir. Yüzey kalitesinin yalnızca parlaklığa bağlı olmadığı kalite değerlendirmesi yapılırken pürüzlülüğün de dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Çalışma koşulları ve kayaç özelliklerinden farklı olarak yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli bir faktörün bir önceki aşındırmadaki yüzey pürüzlülüğü ve aşındırıcının yapısı olduğu belirtilmiş bu açıdan bir değerlendirme yapıldığında elmas aşındırıcıların SiC aşındırıcılardan daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Fakat elmas aşındırıcıların tane boyutları arasındaki fark azaldığında SiC aşındırıcıların etkisinden daha zayıf bir aşındırma etkisi gösterdiği bildirilmiştir. Aşındırma etkisinin artırılması için elmas aşındırıcıların daha geniş aralıklarla yerleştirilmesi tavsiye edilmiş istenilen kalitede yüzey elde edilmesi için uygun çalışma parametreleri ve aşındırıcı serilerinin kullanılması önerilmiştir.

Yavuz ve arkadaşları (2010), tarafından 8 farklı karbonatlı kayaç üzerinde (mikritik, traverten ve gerçek mermer) 4 farklı bant hızı (0,8; 1,3; 1,8; 2,3 m/dk), sabit kafa basıncı ve devri altında aynı SiC aşındırıcı serisi kullanılarak yüzey kalitesini belirlemek üzere parlatma deneyleri yapılmıştır. Kullanılan her bir aşındırıcıdan sonra kayaçların yüzey pürüzlük ve parlaklık değerleri ölçülmüş, bu işlem serideki tüm aşındırıcılar için tekrarlanmıştır. Bant hızının düşürülmesinin aşındırıcı ile kayacın temas süresini arttırdığı dolayısıyla yüzey kalitesini arttırdığı fakat aşındırıcının fazla aşınmasından dolayı maliyeti arttırdığı belirtilmiştir. Aşındırıcı

taneleri büyük olan aşındırıcı serisinde (60, 80, 120, 220) en önemli pürüzlülük düşüşünü 220 numaralı aşındırıcı sağlarken 60, 80, 120 numaralı aşındırıcıların düşük bant hızında pürüzlülüğü önemli ölçüde azalttığı görülmüştür, fakat 320 numaralı aşındırıcıdan sonra bu düşüşün azaldığı belirlenmiştir. Yüzey parlaklığı artışında ise aşındırıcı tanesi küçük olan aşındırıcıların (400 ve 600 numaralı) önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Optimum parlaklık ve pürüzlülük değerlerinin sabit kafa dönüşü ve baskısı uygulandığında 1,3 m/dk lık bant hızında elde edildiği tespit edilmiştir. Kayaçların yapısındaki gözeneklerin ve içerdikleri kil mineralinin yüzeye gelen ışığı emdiği ve yüzeyin parlaklık değerini düşürdüğü belirlenmiştir. Mineral bileşimi bakımından homojen olan, yüksek sertlik ve dayanıma sahip olan kayaçların yüzey parlaklık değerlerinin de yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Karaca (2012), mermerin yüzey pürüzlülüğü ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Tane boyutu, tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, sürtünmeyle aşınmaya karşı direnç (böhme) deneyleri yapılarak 5 mermer numunesinin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Numunelere aşındırma-cilalama işlemi uygulanmış pürüzlülük ve parlaklıkları ölçülmüştür. Mekanik özellikler ile pürüzlülük ve parlaklık değerleri arasında korelasyonlar incelenmiştir. Tane iriliği azaldıkça pürüzlülüğün arttığı, tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı arttıkça pürüzlülüğün arttığı belirlenirken böhme aşındırma deneyi ile belirgin bir ilişkinin olmadığı ortaya çıkmıştır.

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Aşındırıcı Malzemeler ve Özellikleri

Aşınma, cisimlerin yüzeyinden mekanik etkenlerle mikro taneciklerin kopup ayrılması nedeniyle, istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesidir (DIN 50320, 1970). Aşındırma ise cisimlerin üretimi ya da işlenmesi sürecinde yüzeylerinde oluşan ve varlığı istenmeyen pürüzlerin aşındırıcı malzemeler kullanılarak giderilmesidir (Görgülü, 1998) .

Aşındırma işlemi, ilk insanların çakmak taşından yapılan bıçağını bir parça kumtaşına sürterek keskinleştirebileceğini anlamasıyla başlamıştır. Çanak çömleğin bulunmasıyla insanlar taşları aşındırarak yemek kapları yapmaya başlamışlardır. Bu işlem aşındırmanın keskinleştirmekten çok istenilen yüzey şeklinin elde edilmesi amacıyla yapılan ilk işlemdir. Mısır piramitlerinde kullanılan büyük taşların boyutlandırılması işlemi ilkel bir aşındırma ile yapılmıştır. Metallerin aşındırılması işlemi ise M.Ö. 2000 yıllarına dayanmaktadır (Malkin ve Guo, 2008)

Mermerlerde aşındırma işlemi aşındırıcılar kullanılarak yapılmaktadır. Aşındırıcılar genellikle “grains” yada “grit” olarak adlandırılan küçük aşındırıcı parçacıkları ve aşındırıcı parçacıklarını katı kütle halinde bir arada tutan bir matriksten oluşmaktadır. Her aşındırıcı tanesi mikroskobik bir keskidir (Malkin ve Guo, 2008). Bu keskinlerin mermer yüzeyini kazıyarak veya çizerek yüzeyden malzeme koparması ile pürüzsüz bir yüzey elde edilmektedir. Bu işlemden sonra cila taşları kullanılarak mermer yüzeyinin parlak (cılalı) bir görünüme sahip olması sağlanmaktadır. Şekil 3.1’ de aşındırma-cilalama işleminde kullanılan farklı tane boyutundan oluşan bir aşındırıcı serisi gösterilmiştir.

Aşındırıcı malzemeler doğal ve sentetik olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.

Doğada bulunan ilk aşındırıcı malzemeler, kuvars (SiO_2) içeriği yüksek olan kumtaşı, korundum (Al_2O_3) ve bunlara eşit veya daha az miktarda demir minerali hematit (Fe_2O_3) ve magnetit (Fe_3O_4) içeren emery, çakmaktaşı, granat ve elmadır (Malkin ve Guo, 2008 ve Groover, 2010).



Şekil 3.1.Farklı tane boyutundan oluşan aşındırıcı serisi (<http://www.eraabrasiv.com>)

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte 1800'lü yılların sonlarına doğru sentetik aşındırıcılar olan Silisyum Karbür (SiC) ve Alüminyum Oksit (Al_2O_3) üretilmiştir. Süper aşındırıcılar olarak adlandırılan Kübik Bor Nitrür (CBN) ve yapay elmas ise yirminci yüzyılda üretilmişlerdir.

Aşındırıcı seçiminde elde edilecek yüzeyin kalitesi ve aşındırıcının yaptığı işin birim maliyete etkisi önemli bir parametredir. Sentetik aşındırıcıların ilk yatırım maliyetleri doğal aşındırıcılardan daha yüksek olmasına rağmen, aşındırma işini daha iyi ve hızlı yaptıkları için toplam maliyetleri daha düşüktür. Bu nedenle doğal aşındırıcılardan daha çok tercih edilir hale gelmişlerdir (Kogel ve ark., 2006).

Farklı malzemelerin aşındırılması için farklı aşındırıcılar kullanılması gerekmektedir. Aşındırıcılarda olması gereken temel özellikler sertlik, tane boyutu dayanıklılık ve kırılabilirlik olarak nitelendirilebilir.

Sertlik: Sertlik bir malzemenin diğer malzemeye nüfuz etme özelliğidir. Aşındırıcı ile aşındırılan malzeme arasındaki sertlik farkı ne kadar fazla ise aşındırma işlemi o kadar etkin olmaktadır (Demir ve Güllü, 2001). Aşındırıcıların sertliği genellikle Knoop, Vickers ve Rockwell sertlik deneyleri sonucu belirlenmektedir. (Kogel ve ark., 2006; Malkin ve Guo, 2008) Farklı aşındırıcı malzemelerin Knoop sertlik değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir (Kogel ve ark., 2006).

Çizelge 3.1. Farklı aşındırıcı malzemelerin Knoop Sertlik değerleri (Kogel ve ark., 2006; Harris 2000'den)

Malzeme	Knoop Sertliği (K 100)
Kuvars	820
Garnet	1360
Alüminyum/ %25 zirkon	1450
Alüminyum/ %40 zirkon	1600
Alüminyum oksit, kahverengi	1850
Alüminyum oksit, pembe	1900
Alüminyum oksit, beyaz	1950
Al ₂ O ₃ +TiO ₂	1950
Korundum	2050
Alüminyum oksit,Sol-Jel	2100
Korundum (C eksenine dik)	2150
Silikon karbür	2480
Bor karbür	2760
Kübik bor nitrit	7800
Elmas	8000

Dayanıklılık ve Kırılabilirlik: Sert malzemeler dayanıksız ve kırılmaya karşı dirençsizdir. Bilinen en sert malzeme olan elmas, darbe etkisiyle kolayca kırılabilmektedir (Kogel ve ark., 2006). Yüksek dayanıklılık, aşındırıcının yüzeyle temasında kırılma olasılığının daha az olacağı anlamına gelmektedir. Fakat kırılabilirlikleri yüksek olan aşındırıcılar aşınma sırasında kendini törpüleyeceğinden daha keskin uçlar oluşturmaktadır. Sert aşındırıcı taneleri daha kolay kırıldıkları için genellikle ince aşındırmada, dayanıklı olan büyük ebatlı aşındırıcılar ise kaba aşındırmada kullanılmaktadırlar (Malkin ve Guo, 2008).

Tane boyutu: Aşındırıcının tane boyutu aşındırma işlemi sonrası elde edilen nihai yüzey ve aşınan malzeme miktarı açısından önemlidir. Aşındırıcının tane büyüklüğü grain (mesh ölçüsü) numarasına göre belirlenir. Grain numarası bir

eleğin 1” (inç) (25.4 mm) lik kısmına denk gelen delik sayısıdır (MEGEP a, 2008). 220 grain boyutuna kadar taneler iri açıklıklı elekten ince açıklı eleğe doğru eleme yöntemiyle belirlenir ve tanecik boyutu büyük olan aşındırıcılar küçük grain numaraları ile adlandırılırlar. 220 grainden büyük olan taneler için suda çökeltme metodu kullanılmaktadır (Demir ve Güllü, 2001). Grain numaralarına göre tanecik boyutları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Grain numaralarına göre tanecik boyutları (MEGEP a, 2008)

Grain No	Tanecik Büyüklüğü ($\mu\text{m} = \text{mm}/1000$)	Grain No	Tanecik Büyüklüğü ($\mu\text{m} = \text{mm}/1000$)	Grain No	Tanecik Büyüklüğü ($\mu\text{m} = \text{mm}/1000$)
16	1000-1400	120	90-125	400	14-20
24	600-850	180	63-90	500	10-14
36	425-600	220	53-75	600	8-10
46	300-425	240	50-63	800	6-8
60	212-300	280	40-50	1000	4-6
80	150-212	320	28-40	1200	2-4
100	106-150	3/4	15-35	1500	1-2

Mermerlerde aşındırma-cilalama işlemi grain numarası küçük olan aşındırıcıdan grain numarası büyük numaralı aşındırıcıya doğru yapılmaktadır. Büyük tanecikli aşındırıcılar kaba aşınmayı yaparak yüzeyden büyük taneler koparırken küçük tanecikli aşındırıcılar daha pürüzsüz bir yüzey sağlamak için ince aşınma yapmaktadır (Kogel ve ark., 2006).

Aşındırıcı tane boyutunun seçimi aşındırılacak olan malzemenin sertliğiyle de ilgilidir. Sert malzemelerin aşındırılması için küçük aşındırıcı taneleri gerekirken yumuşak malzemelerin aşındırılması için tane boyutunun büyük olması gerekmektedir (Kogel ve ark., 2006). Ayrıca sert mermerlerin aşındırılması için yumuşak aşındırıcı, yumuşak mermerlerin aşındırılması için ise sert aşındırıcı seçilmesi gerekmektedir (Şentürk ve ark., 1996).

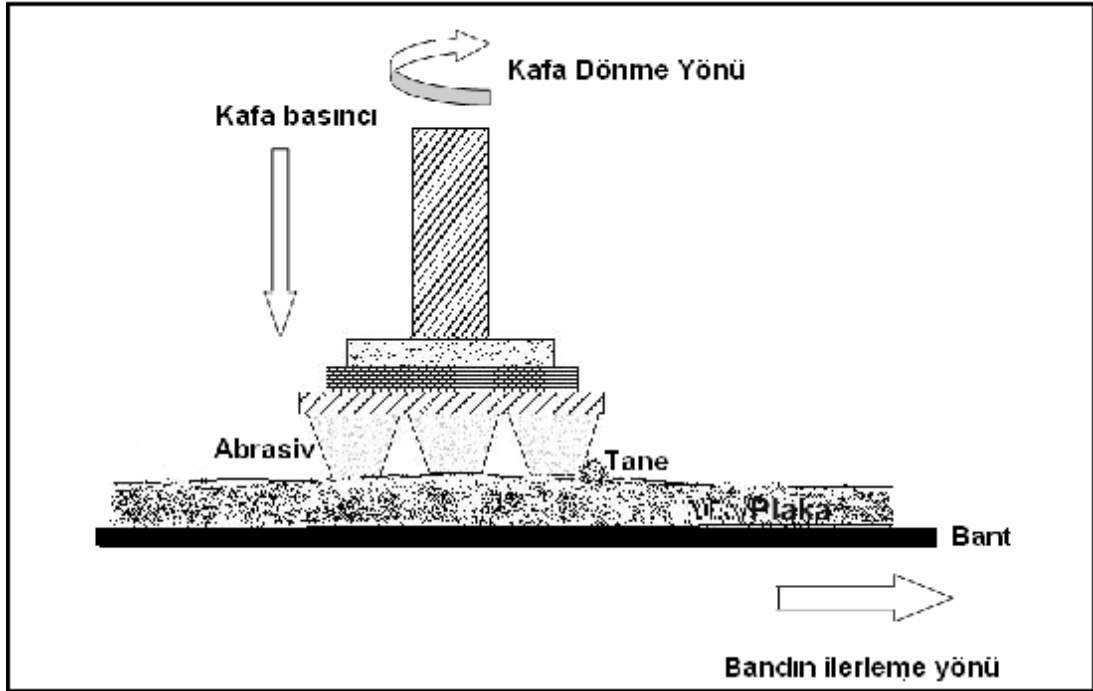
3.1.1. Aşındırıcı Diskler ve Bağlayıcı Malzemeler

1800’lü yılların başında ilk katı bağlayıcılı aşındırıcı diskler Hindistan’da üretilmiş ve mücevher üretiminde kullanılmıştır. Aşındırıcı olarak emery, korundum, elmas bağlayıcı olarak sakız reçineli gamalak kullanılmıştır. Teknolojinin ilerlemesiyle kauçuk bağlı aşındırıcı diskler 1800’lü yılların ortasında, vitrifiye bağlı olanlar 1870’li yıllarda, gamalak bağlı olanlar 1880’li yıllarda ve silikat bağlı aşındırıcı diskler ise ısı ile sertleşen ilk malzeme fenol formaldehitin bulunmasıyla 1920’li yıllarda üretilmiştir (Malkin ve Guo, 2008; Kogel ve ark., 2006).

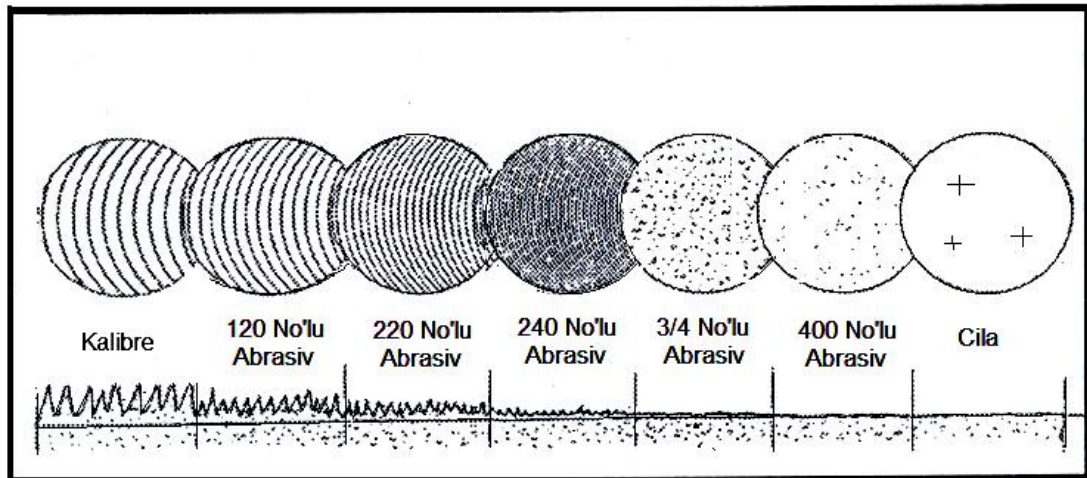
Bağlayıcı malzemeler aşındırıcı tanelerin bir arada tutulmasını ve aşındırıcı diskin yapısal bütünlüğünü sağlamaktadır (Kogel ve ark., 2006). Ayrıca tanecik aşınmasına bağlı olarak diskin aşınmasını kontrol altında tutmaktadır. Yüksek hızdaki aşınmada merkezkaç kuvvetine direnç göstermektedir. Aşındırıcı taneler bağlayıcı malzeme ile birlikte preslenerek aşındırıcı diskleri oluşturmaktadır. Aşındırıcı diskin tanelerin sıyrılmasına karşı gösterdiği direnç “sertlik” denir. Sertlik tane üzerindeki bağlayıcının dayanımı ve bağlayıcı köprülerin dayanımı ile doğrudan ilişkilidir (Webster ve Tricard, 2004). Farklı oranda bağlayıcı ve aşındırıcı tane kullanılarak disklerin sertliği belirlenmektedir (Malkin ve Guo, 2008).

3.2. Mermer Aşındırma-Cilalama İşleminde Kullanılan Makinalar

Mermer yüzeylerinin parlak ve cilalı bir görünüme sahip olabilmesi, yüzeyde oluşan pürüzlülüklerin giderilebilmesi için aşındırma-cilalama makinalarına önce küçük numaralı aşındırıcılar takılarak kaba aşındırma, ardından büyük numaralı aşındırıcılar takılarak ince aşındırma yapılmaktadır. Son olarak kullanılan cila taşları ile de yüzey kalitesinin artması sağlanmaktadır. Mermerlerde yapılan aşındırma-cilalama işlemi Şekil 3.2’de, bu işlem sırasında kullanılan küçükten büyüğe doğru numaralandırılmış aşındırıcıların mermer yüzeyi üzerinde oluşturdukları etki ise Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Mermerlerde yapılan aşındırma işlemi



Şekil 3.3. Aşındırıcıların mermer yüzeyi üzerinde oluşturdıkları etki(Ozuloğul,1994)

3.2.1. Bantlı Silme ve Cilalama Makinaları

Kesim işlemi ST makinasında yapılan 45 cm'ye kadar strip ve fayansların aşındırma-cilalama işlemleri dar bant, kesim işlemi katrakta yapılan 180 cm'ye kadar plakaların aşındırma-cilalama işlemleri ise geniş bant aşındırma-cilalama makinalarında yapılmaktadır (Şekil 3.4 ve 3.5).

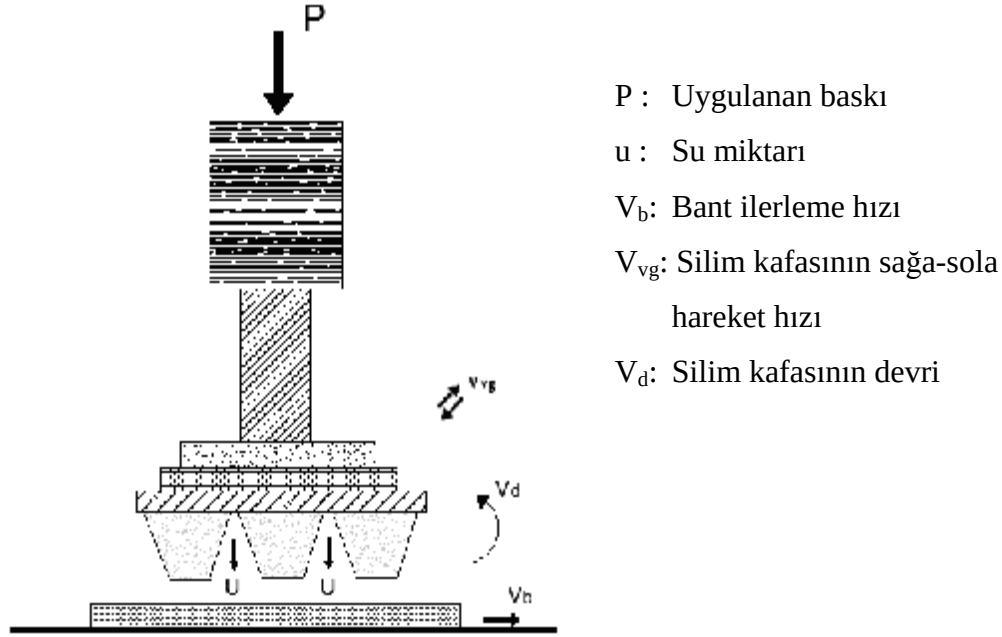


3.4. Geniş bant cila aşındırma-cilalama makinesi (<http://www.gurmas.com/katalog>)



Şekil 3.5. Dar bant aşındırma-cilalama makinası (<http://www.gmsmakine.com.tr>)

Bantlı silme ve cilalama makinalarında, kullanılan makina tipine bağlı olarak oluşan aşındırma kuvvet bileşenleri Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Bantlı silme -cilalama makinalarının çalışma değişkenleri

Hızı kontrol edilebilen ve yatay bir şekilde hareket eden bir bant üzerine aralıksız olarak yerleştiren mermerlerin cila işlemine başlanmadan önce kalınlıklarının aynı seviyeye getirilmesi gerekmektedir. Bu aşındırma işlemi üzerinde elmas soketler bulunan sayıları 1-3 arasında değişen kalibrasyon kafaları ile yapılmaktadır. Kalibrasyon işlemi yapılırken istenilen nihai ürün kalınlığı göz önünde bulundurulmalıdır. Kalibrasyon işleminden sonra bandın ilerlemesiyle mermerler sayıları 5-12 arasında değişen aşındırıcı kafaların altına gelirler. Aşındırıcı kafalara içerdikleri aşındırıcının tane boyutları göz önünde bulundurularak bir önceki kafanın mermer yüzeyi üzerinde bıraktığı izi yok edecek şekilde kaba aşındırmadan ince aşındırmaya doğru pürüzsüz bir yüzey sağlayacak şekilde sıralanan aşındırıcı serisi takılmaktadır (Şekil 3.7)

Aynı silim kafasına takılı olan aşındırıcıların farklı düzeyde aşınması aşındırıcının taşa aynı seviyede temas etmesini engellemektedir. Aşındırma işlemi sırasında aşındırıcının kırılması ise silinen yüzey üzerinde istenmeyen çiziklere

neden olmaktadır. Bu nedenlerle aşındırma işlemi sırasında aşındırıcıların kırık olup olmadığı ve aşındırıcıların aşınma düzeyleri dikkatlice kontrol edilmelidir.



Şekil 3.7. Aşındırıcı takılmış silim kafası

Aşındırıcı kafalar, mermerler üzerinde dairesel şekilde hareket etmektedirler. Aşındırıcı kafaların dairesel hareketinin tüm mermer yüzeyini taramaya yeterli olmadığı durumlarda makinede bulunan Şekil 3.8’de gösterilen köprü ünitesinin var-gel hareketiyle mermer yüzeyinin tümünün işlenmesi sağlanmaktadır.



Şekil 3.8. Bantlı silme-cila makinası köprü ünitesi (MEGEP b, 2008)

Aşındırıcılar ile mermerin teması işlenecek olan mermerin özelliklerine göre aşındırıcı kafaya uygulanan hidrolik veya pnömatik basınç ile sağlanmakta ve aşındırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Mermere uygulanan basınç miktarının düşük olması bir önceki kafanın yaptığı izin silinmemesine neden olurken, fazla basınç uygulanması ise taşın kırılmasına dolayısı ile de gereksiz aşındırıcı, su, enerji vb. tüketimine neden olabilmektedir. Bu sebeple basınç ayarı cilalanan mermere göre yapılmalıdır.

Bantlı aşındırma-cilalama makinalarında aşındırma işlemi sırasında çıkan parçaların ortamdan uzaklaştırılması ve soğutma işleminin yapılması amacıyla aşındırıcı kafanın ortasından su verilmektedir. Suyun az olması mermerin yüzeyinde bulunan aşındırıcı parçacıklarını ve aşınan malzemeyi ortamdan uzaklaştırmaya yeterli olmayacağından mermerin yüzeyinde istenmeyen çiziklere ve pürüzlere yol açacaktır. Dolayısıyla su miktarının iyi ayarlanması gerekmektedir.

3.2.2. Köprülü Silme- Cilalama Makinaları

Köprülü silme makinaları katraktan çıkan plakaların aşındırma-cilalama işlemi için kullanılmaktadır. Bu makinalarda bant bulunmamaktadır(Şekil 3.9). Plakalar makina üzerinde bulunan tabla üzerine yerleştirilmekte ve köprü ünitesinin hareketiyle aşındırıcı kafaya takılan aşındırıcı ve cila taşlarının plaka yüzeyini taraması sağlanmaktadır. Aşındırma serisindeki aşındırıcılar teker teker aşındırıcı kafaya yerleştirilmekte, kafanın pnömatik baskısı ile aşındırıcının taşa temas ettirilmesi sayesinde aşındırma işlemi gerçekleştirilmektedir

3.2.3. Alın Cila Pah (Kenar İşleme) Makinaları

Bu makinalar, üzerindeki bantta hareket eden mermer fayanslarının sivri köşelerinin aşındırıcılar ile temas ederek açılılandırılması ve cilalanması için kullanılmaktadır (Şekil 3.10) Aynı zamanda mermer kenarlarına ovallik vermek içinde kullanılır. Bu makinalarda bulunan dairesel testereler ile de fayansların altına ve üstüne kanal açılabilir (Şekil 3.11) .



Şekil 3.9. Köprülü silme- cilalama makinaları (<http://www.som-mak.com>)



Şekil 3.10. Alın Cila Pah Makinası (<http://www.ozyavuzmakina.com>)

3.2.4. El Perdah (Laplap)

Bu makinalar genellikle atölye tipi işletmelerde kullanılmaktadır (Şekil 3.12). Aşındırma-cilalama işlemi yapılacak olan mermer plakası, makinada bulunan platform üzerine yerleştirilmektedir. Aşındırıcı seride bulunan aşındırıcılar tek tek aşındırma işlemini yapacak olan diske takılmaktadır. Diske takılı olan cila taşlarıyla mermerin teması sağlanarak aşındırma işlemi gerçekleştirilir. Diskin hareketi insan

3.2.5. Yer Silme –Parlatma Makinaları

Bu makinalar mermer veya granit döşenmiş zemini düzeltmek, temizlemek ve parlatmak için kullanılmaktadır. Makinanın hareketi operatör tarafından sağlanmaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Yer silme –parlatma makinası

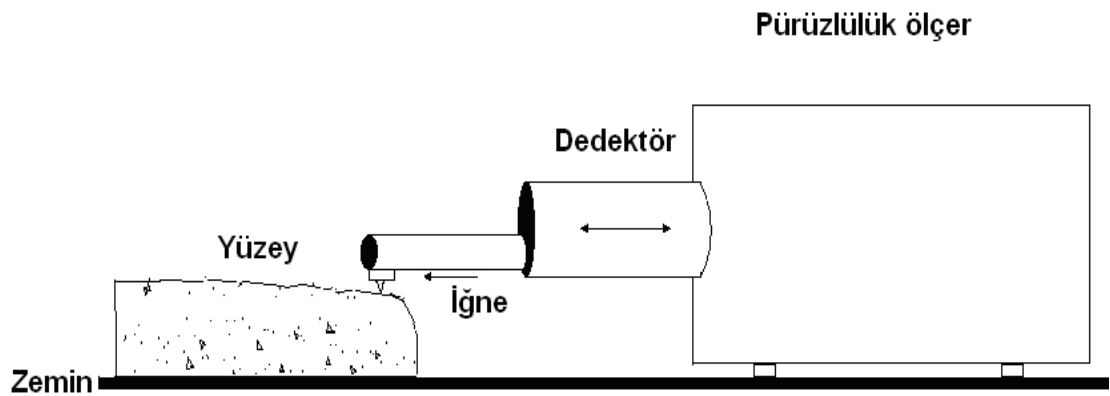
3.3. Mermerin Yüzey Kalitesinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Üretilen ürünlerin (mermerlerin) satışında fiyat kadar önemli olan diğer bir parametre de kalitedir. İşletme tesislerinde üretilen ürünün yüzey kalitesi kontrol elemanları tarafından gözlemlenerek öznel olarak değerlendirilmektedir. Fakat günümüzde ilerleyen teknoloji sayesinde yüzey üzerinde oluşan pürüzlülüklerin ölçümü pürüzlülük ölçer, yüzey parlaklıklarının ölçümü ise parlaklık ölçerler (gloss metre) kullanılarak yapılmakta yüzey kalitesinin değerlendirilmesi için nicel değerler elde edilebilmektedir.

3.3.1.Yüzey Pürüzlülüğü ve Ölçüm Prensibi

Malzemenin doğal yapısında olan ya da üretim sürecinde kesme, aşındırma vb. işlemlerden kaynaklanan yüzey yapısındaki mikro düzensizliklere “pürüzlülük” denir. Modern yüzey kalite ölçümü 1930’lu yıllarda geliştirilen kaydedici iğnenin (stylus) yüzey üzerinde hareket ederken düşey sapmaları kaydetmesine dayanmaktadır (Taylor ve ark, 2006).

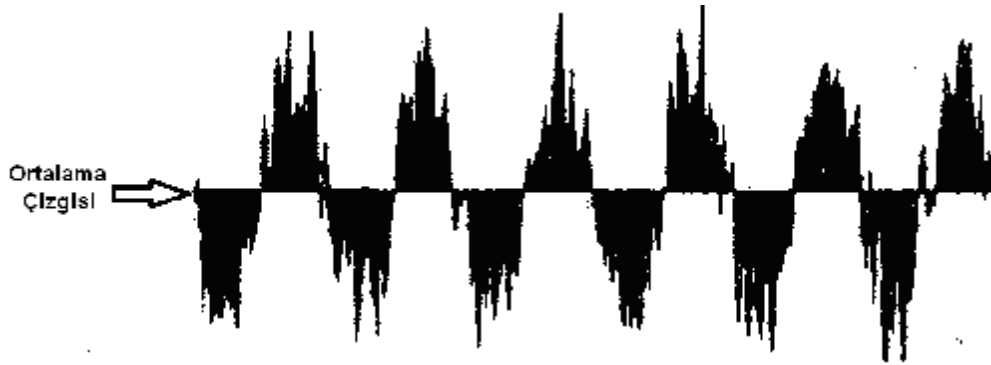
Ölçümü yapılacak olan yüzeyin aşındırıcı, yağ, su vb. malzemelerden temizlenmiş olması yapılacak ölçümün doğruluğu ve aşınmayı azaltma açısından önemlidir (Rank Taylor Habson,1992) Ölçümü yapılacak olan parçanın düz bir yerde ve hareketsiz olması gerekmektedir. Cihaz açılarak pürüzlülük ölçümü ile ilgili gerekli parametreler (örnekleme mesafesi, ölçüm yapılacak toplam mesafe vb) belirlenmektedir. Kaydedici iğnenin ölçüm yapılacak olan yüzeye teması sağlanarak başlangıç düğmesine basılır ve sürücü ünitesine bağlı olan dedektörün, bir motor vasıtasıyla pürüzlülük ölçümü yapılacak yüzey üzerinde belirlenen ölçüm mesafesinde yatay olarak ileri-geri hareket etmesi sağlanmaktadır. Yüzeydeki girinti ve çıkıntılar iğne aracılığıyla tespit edilerek iğnenin dik yöndeki hareketi bir dönüştürücü aracılığıyla elektrik sinyallerine dönüştürülüp yükseltilmekte ve verilere göre filtrelenerek yüzey pürüzlülük parametreleri (R_a , R_q , R_t , R_y , R_z (DIN), S_m) hesaplanarak ekranda gösterilmektedir. Cihaza bağlı olan yazıcı ile yüzey pürüzlülük profilini gösteren grafik çıktısı alınabilmektedir. Ölçüm yapıldıktan sonra dedektör başlangıç pozisyonuna geri dönmektedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14.Pürüzlülük ölçerin çalışma prensibi

Yüzey pürüzlülük ölçümünde aşağıdaki parametrelere dayalı ölçüm yapılmaktadır.

Ortalama Çizgisi: Genellikle yüzey yapısı ölçümünde kullanılmakta ve en küçük kareler yöntemine dayanmaktadır. Şekil 3.15'te görüldüğü gibi ölçülen yüzeyin pürüzlülük profilini alt ve üstte eşit ve minimum alanlar olacak şekilde ayırmaktadır.



Şekil 3.15. Yüzey pürüzlülüğünde ortalama çizgisi (Rank Taylor Habson, 1992)

Ra (Ortalama Pürüzlülük) : Pürüzlülük ölçümünde evrensel olarak tanınan ve en çok kullanılan bu parametrenin aritmetik anlamı profilin ortalama çizgisinden yaptığı sapmaların aritmetik ortalamasıdır (Denklem 3.1).

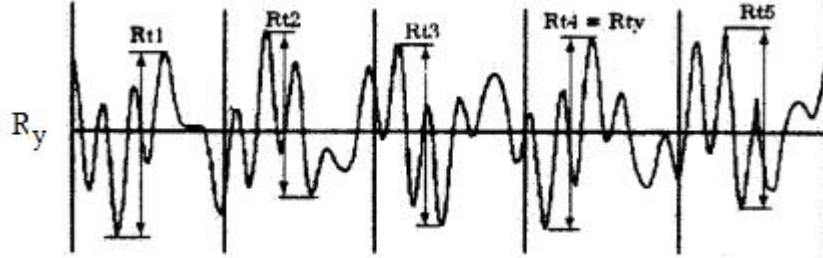
$$Ra = 1/L \int_0^L |y(x)| dx \quad (3.1)$$

Rq: Ra parametresinin yerine kullanılabilen değerdir (Denklem 3.2).

$$Rq = \sqrt{1/L \int_0^L y^2(x) dx} \quad (3.2)$$

Rt: Örnek uzunluğundaki en yüksek tepe ile en derin çukur arasındaki mesafedir.

Ry: Değerlendirme içindeki en yüksek Rt değeridir. Şekil 3.16’da Rt ve Ry değerleri gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde Ry ve Rt değerleri (Rank Taylor Habson, 1992)

Rz(DIN): Rtm olarakta bilinen bu değer örnek uzunluğundaki tüm Rti değerlerinin (en yüksek tepe en derin vadi) toplamının ortalamasıdır (Denklem 3.3).

$$R_z(DIN) = \frac{(R_{t1} + R_{t2} + R_{t3} + ...R_{tn})}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} R_{ti} \quad (3.3)$$

Sm: Değerlendirme uzunluğunda ölçülen ana hatta bulunan profil tepeleri arasındaki ortalama mesafedir (Şekil 3.17). Sm değeri denklem 3.4 kullanılarak hesaplanmaktadır



Şekil 3.17. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümünde Sm değeri (Rank Taylor Habson, 1992)

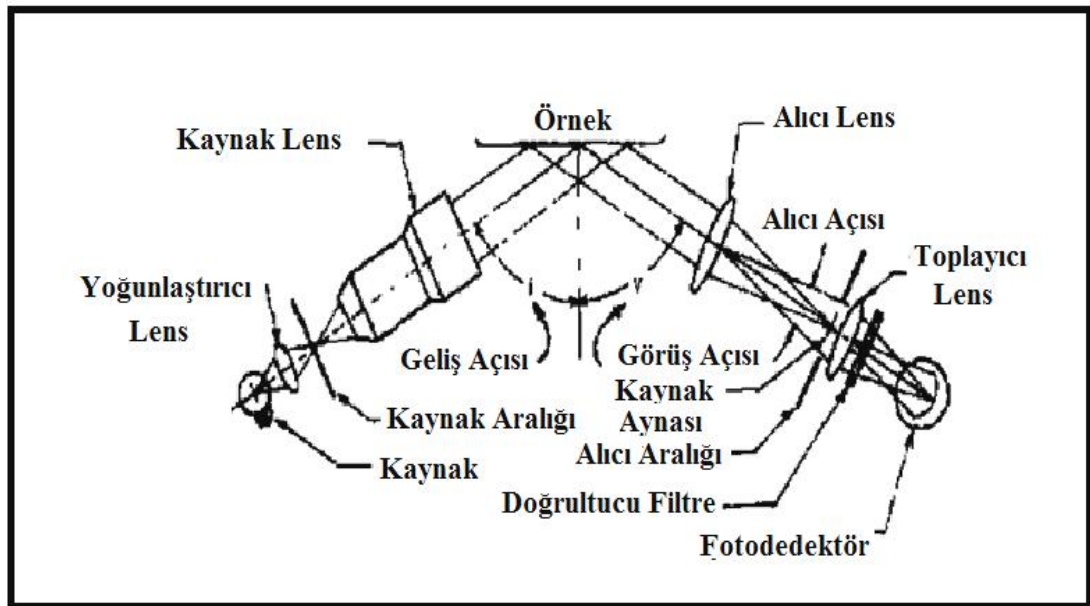
$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} S_i = \frac{(S_1 + S_2 + S_3 + ...S_n)}{n} \quad (3.4)$$

Yüzey kalitesini değerlendirmede en çok kullanılan temel pürüzlülük parametresi geçmişte de yüzey verilerini belirlemede yaygın olarak kullanıldığı literatürden anlaşılan, ölçümü ve hesaplanması kolay ve belirli standartları olan “Ra” parametresidir (Taylor ve ark, 2006).

3.3.2. Yüzey Parlaklığı ve Ölçüm Prensibi

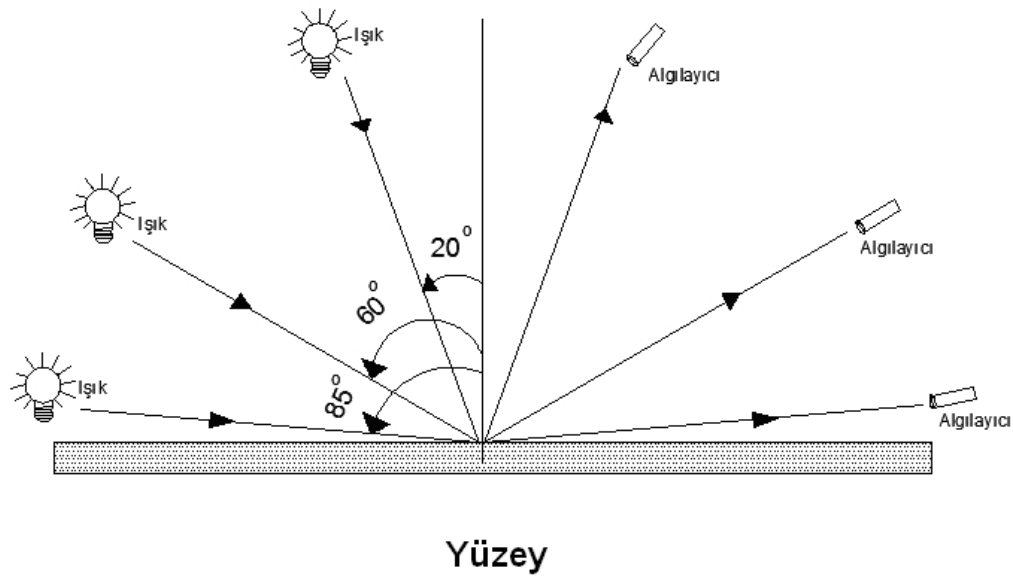
Bir malzemenin görsel olarak değerlendirilmesinde etkili olan parametrelerden biri yüzey parlaklığıdır (Silvennoinen ve ark, 2008). Bir yüzeyin parlaklığı, yüzeye gelen ışın yoğunluğunun yüzeyden yansıyan ışın yoğunluğuna oranı olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan, 2000’den Cayless ve Marseden,1991).

Parlaklık gözle görülebilen bir özellik olmasına rağmen endüstriyel alanda malzemelerin parlaklığını ölçmek ve nicel olarak ifade edebilmek için parlaklık ölçerler geliştirilmiştir. Parlaklık ölçerler, parlaklığı ölçülecek olan yüzeye beyaz ışık kaynağından belli bir açıyla gelen ışınların bir lens ile paralelleştirilmesi prensibi ile ölçüm yapmaktadır. Speküler (aynasal) olarak yansıyan ışık bir başka lens ile fotodedektöre toplanmaktadır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Parlaklık ölçme prensibi (ASTM D 523) (Peiponen ve ark, 2009)

Parlaklık ölçümünde yüzeye gelen ışığın açısı önemlidir. Parlaklık ölçerler 20, 45, 60, 75 veya 85 derecelik ışık insidansı ile ölçüm yapmaktadır. Düşük insidanslı açı parlak yüzeyler, yüksek insidanslı açı ise mat yüzeyler için kullanılmaktadır (Peiponen ve ark, 2009) Parlaklık ölçümü ASTM (American Society for Standard Material) ve ISO (International Organization for Standartisation) standartlarıyla yapılmaktadır. ASTM standardına göre ölçüm yapılacak olan yüzey düzlemsel olmalıdır (Peiponen ve ark, 2009). Parlaklık ölçerler ile eğimli yüzeylerde ölçüm yapılamamaktadır. Parlaklık ölçümü üzerine 1994 yılında ASTM tarafından yapılmış en son çalışmada (ASTM D523-94) yansıma indeks değeri 1,567 olan son derece parlak siyah renkli bir cam kalibrasyon için kullanılmıştır. 20 °, 60 ° ve 85 ° lik açıyla yapılan kalibrasyon ölçüm sonuçlarında parlaklık değerleri 89.2, 93.6 ve 99.4 olarak ölçülmüştür (Şekil 3.19). Bu değerler referans kabul edilerek yüzey parlaklığı ölçülen malzemenin parlaklığı nicel olarak tanımlanmaktadır (Sarı ve Bozdağ, 2001).



Şekil 3.19. Parlaklık ölçerlerin ölçüm geometrisi (Peiponen ve ark, 2009)

Malzemenin yüzey pürüzlülüğü, yapısı ve spektroskopik özellikleri ışığın yansımısını ve dolayısıyla parlaklığı etkileyen özelliklerdir. İdeal koşullarda parlaklık ölçerler yalnızca speküler (aynasal) yansımanın parlaklığını ölçmektedirler

(Silvennoinen ve ark, 2008). Yüzey üzerindeki mikro ve makro seviyedeki pürüzlülüklerin gelen ışığı değişik açılarda yansıtarak dağıtması, cismin yüzeyinin parlaklığının azaltarak yüzeyin donuk gözükmesine sebep olmaktadır. Tam yansımada ise, yüzeye gelen ışın demeti yönünü geldiği açıyla tamamen değiştirdiğinden maksimum parlaklık elde edilir. (Sarı ve Yavuz, 2001).

Wright ve Rouse (1993), mermerlerin yüzey parlaklığının ölçümüyle ilgili olarak yaptıkları çalışmada; ışının ölçüm yüzeyine 85°'lik açıyla gönderilmesi sonucunda malzemenin özelliklerinden daha az etkilendiğini vurgulamışlardır. Ozuloğul ve Erdoğan (1995), mermerlerde yüzey parlaklığının görüntü analiz yöntemi ile ölçülmesi konusunda yaptıkları bir çalışmada ise söz konusu açının 60° olmasının daha uygun olduğunu belirtmişlerdir. Sarı ve Yavuz (2001), çalışmalarında 20°'lik açıdan daha fazla ölçüm alanına sahip olan (6 x 6 mm²) 60°'lik açıyı ölçüm açısı olarak kullanmışlardır. Huang ve ark.(2002), parlaklık ölçümünü 170 mm² alanda ölçen 45° açıyı kullanmışlardır.

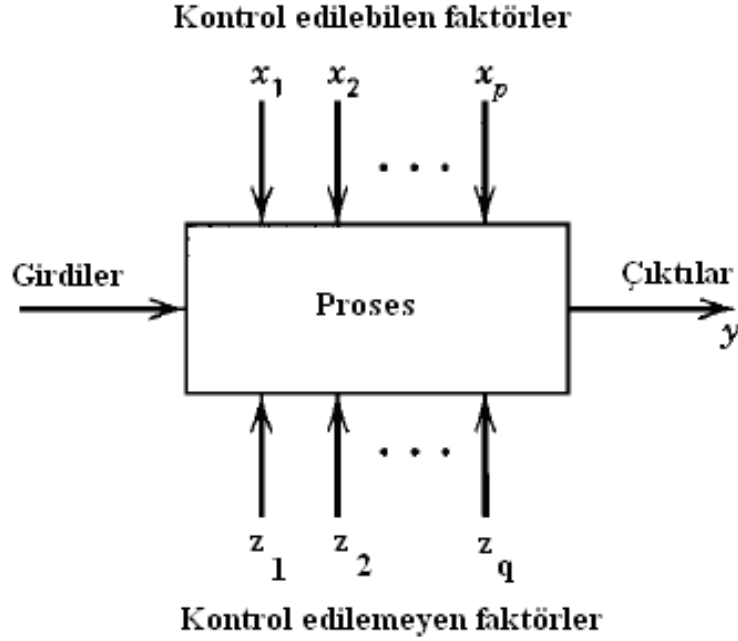
3.4. İstatistiksel Deney Tasarımı

Endüstriyel uygulamalarda hedef en iyiyi, en ucuza ve en kısa zamanda emniyetle üretmektir. Bu hedefe ulaşmak amacıyla kuruluşlar araştırma geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerine büyük yatırımlar yapmakta ve geniş olanaklar sağlamaktadır. Ar-Ge faaliyetlerinin çoğunluğu deney olarak adlandırılan proses veya sistemlerin performansını incelemek üzere yapılan çalışmalara dayanmaktadır. Proses veya sistemi temsil eden model Şekil 3.20'de gösterilmiştir.

Ar-Ge faaliyetlerinin gün geçtikçe pahalılaşması az sayıda deneyle kısa zamanda doğru sonuca ulaşma hedefini ortaya çıkarmıştır. Bu hedefe ulaşmak amacıyla istatistiksel yaklaşımların kullanıldığı deney tasarım yöntemleri geliştirilmiştir

Deneyisel tasarım, bağımlı faktördeki değişikliğin nedeni olarak ele alınan bağımsız faktörün etkilerinin ölçülmesi işlemi yürütmek için kullanılan tekniktir (Soylak, 2000). Bir başka deyişle bir prosesteki girdi faktörleri üzerine istenilen değişikliklerin sistematik bir şekilde yapılmasıyla cevap değişkeni üzerindeki

değişkenliğin gözlenmesi ve yorumlanması olarak da tanımlanabilir (Çömlekçi, 2003)



Şekil 3.20. Proses veya sistemi temsil eden model (Montgomery, 2009)

Üretim prosesini geliştirmede kullanılan deneysel tasarımın amaçları kısaca aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Sonuç üzerinde en etkin girdi faktörlerini belirlemek,
- Performans karakteristiğini hedef değere en yakın sonuca ulaştıracak girdi faktörlerinin seviyelerini belirlemek.
- Kontrol edilemeyen girdi faktörlerinin çıktı üzerindeki etkisinin en az olacağı kontrol edilebilen girdi faktörleri kombinasyonunu oluşturmak (Şanyılmaz, 2006)

Deneysel tasarım planlanırken:

- Öncelikle çözülecek olan problem belirlenmelidir.
- Ardından prosesi etkileyen faktörler ve seviyeleri belirlenmelidir.

- Yapılış amacına uygun olarak deneysel tasarım yöntemine karar verilmelidir.
- Seçilen deneysel tasarım yöntemine göre oluşturulan deney sayısına ve faktör kombinasyonlarına göre yapılan deneylerin sonuçları analiz edilerek cevap üzerindeki etkisi incelenmelidir.

3.4.1. Deneysel Tasarım Amacına Uygun Yöntem Seçimi

Yapılan incelemede kullanılacak olan deneysel tasarım yönteminin seçilmesi deneyin yapılış amacına ve incelenen faktör sayısına bağlıdır. Karşıladıkları amaca göre yapılan deneysel tasarım çeşitleri aşağıda verilmiştir.

3.4.1.1. Karşılaştırma Amacı

Bir veya birden fazla faktörden oluşan incelemelerde asıl amaç cevap değişkeni üzerinde etkin olan en önemli faktörü ve/veya faktörün farklı seviyelerde kullanılmasının cevap üzerinde önemli değişiklik oluşturup oluşturmadığını belirlemek ise bu durumda karşılaştırma söz konusu olup uygun yöntem karşılaştırma yöntemidir.

3.4.1.2. Eleme Amacı

Ana etki tasarımları da denilen bu yöntemde öncelikli amaç cevap değişkeni üzerinde diğer faktörlerden daha önemli etkisi olan ana faktörleri seçmektir. Bu amaçla kullanılan deneysel tasarım eleme yöntemidir.

3.4.1.3. Cevap Yüzeyi Amacı

Proses için geliştirilmiş en iyi faktör kombinasyonun bulunması, proses sorunlarının ve zayıf noktalarının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Aynı zamanda prosesin harici ve kontrol edilemeyen etkilere karşı nispeten duyarsız

olması hedeflenmektedir. Bu durumda cevap yüzeyi yöntemi kullanılmaktadır. Karşılaştırma, eleme ve cevap yüzeyi amaçlarıyla yapılacak olan deneysel yöntemin seçimi Çizelge 3.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 3.3. Deneysel tasarım seçim rehberi (<http://www.itl.nist.gov>)

Faktör Sayısı	Karşılaştırma Amacı	Eleme Amacı	Cevap Yüzeyi Amacı
1	Tamamen Rasgeleleştirilmiş Tasarım	-	-
2-4	Rasgeleleştirilmiş Blok tasarım	Tam veya Kesirli Faktöriyel Tasarım	Merkezi Birlesik veya Box-Behnken Tasarım
5 veya daha fazlası	Rasgeleleştirilmiş Blok tasarım	Kesirli Faktöriyel Tasarım veya Plackett-Burman	Faktör Sayılarını Azaltmaya Yönelik Eleme Tasarımları

3.4.1.4. Karışım Amacı

İncelenen faktörlerin karışımın oranlarını oluşturduğu ve bu faktörlerin cevap değişkenini maksimize (ya da minimize) eden en iyi oranlarını belirlemek amacıyla karışım yöntemi kullanılmaktadır.

3.4.1.5. Regresyon Modelinin Optimum Uyum Amacı

Cevap değişkeninin birkaç sürekli faktörün matematiksel fonksiyonu (bilinen ya da deneysel) olarak modellenmesi ve oluşturulan modelin iyi bir parametre tahmini (tarafsız veya en küçük varyanslı) yapması amacı ile regresyon tasarımları kullanılmaktadır (<http://www.itl.nist.gov>)

Deneyin yapılış amacı belirlendikten sonra cevap üzerinde etkili olan faktörler seçilerek seviyeleri belirlenmelidir. Faktör seviyeleri ayarlanırken uç değerlerden kaçınılarak her bir faktör için o faktöre uygun bir aralığın seçilmesi sonucun uygulanabilirliği açısından önemlidir. Deneysel tasarımda en çok kullanılan

tasarımlar, faktörlerin yüksek ve düşük olmak üzere iki adet seviyesinin bulunduğu iki seviyeli deneysel tasarımlardır (<http://www.itl.nist.gov>).

Kullanılan faktör sayısına ve kullanım şekline bağlı olarak deneyler tek faktörlü ve çok faktörlü olmak üzere sınıflandırılabilir.

- Tek Faktörlü Deneyler

Her defasında sadece bir faktör ele alınarak bu faktörün süreç performansı üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Seçilen faktörün performansa etkisinin olmadığı belirlenirse, başka bir faktör seçilerek denemelere devam edilmektedir. Yapılan bu deneylerde süreç performansını etkileyebilen birden fazla faktör olabilse de seçilen faktör dışında kalanların etkilerinin olmadığı kabul edilmektedir.

Bu deney stratejisinde, herhangi iki faktörün arasında olabilen etkileşimi ortaya çıkarmak mümkün değildir. Ayrıca, her bir faktörün süreç performansına olan etkisi araştırıldığından deney sayısı artacak ve dolayısıyla maliyetlerde bir yükselme söz konusu olacaktır.

- Çok Faktörlü Deneyler

Bu deneylerde de, süreç performansını etkileyen faktörlerin her defasında bir tanesinin üzerinde değişiklik yapılarak diğer faktörlerin sabit tutulması ve faktörlerin hepsinin düzeylerinin aynı anda değiştirilmesi olmak üzere iki yaklaşım söz konusudur.

Birden çok faktör üzerinde yapılan çalışmalarda geleneksel olan metot her defa bir faktör (one at a time) metodudur. Herhangi bir çıktı üzerinde farklı iki faktörün (X_1 , X_2) etkileri üzerinde deneyler yaparken öncelikle X_1 bir seviyede sabit tutularak X_2 'nin çıktı üzerindeki etkileri araştırılır. Daha sonra aynı işlemler X_2 'nin sabit olduğu durumlar için uygulanır. Her bir seviye için yapılan deneylerin tekrarı deneysel hatanın tahminini kolaylaştırmaktadır (Bayraktar 2007: Duncan 1973'den).

- Faktöriyel Deneyler

Faktöriyel deneyler çok faktörlü deneylerde olası etkileşimlerin etkilerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Her defada bir faktörün değiştirildiği deneylerden çok daha etkilidir. Birçok faktörün çoklu seviyelerde araştırılmasını sağlar. Bilgisayarda tasarım ve analiz çok kolay hale gelir. Bu deneyler faktörlerin

farklı seviyelerinin kombinasyonlarının araştırıldığı en etkili tasarımlardır (Bayraktar, 2007: Breyfogle 2003'den).

3.4.2. Deneysel Tasarım Yöntemleri

Deneysel tasarımda birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler:

3.4.2.1. Tamamen Rasgeleleştirilmiş Tasarım

Bu tip deneylerde ana faktörün farklı seviyeleri için çıktı değişkenlerinin aldığı değerler karşılaştırılmaktadır. Tamamen rasgeleleştirilmiş tasarımlarda ana faktörün farklı seviyeleri deneysel birimlere rasgele olarak atanmaktadır.

3.4.2.2. Rasgeleleştirilmiş Blok Tasarım

Bu tasarımlarda birçok gürültü faktörü olmasına rağmen öncelikle bir faktör veya değişkenin etkisi araştırılmaktadır. Gürültü faktörleri sürecin çıktısını etkilese de asıl araştırılmak istenen faktörler değildir. Tüm deneylerde birtakım gürültü faktörleri bulunmaktadır. Araştırmacının hangi gürültü faktörlerinin deneyler süresince kontrol edilmesi gerektiğine karar vermesi gerekmektedir. Gürültü faktörü, ana faktörün her seviyesi ile aynı sayıda tekrar içeriyorsa bloklama faktörü olarak kullanılabilir. Bloklama deneysel hatayı elimine etmek için kullanılan önemli bir yöntemdir. Temel kavram homojen bloklar oluşturmaktır. Bloklar içinde faktörlerin farklı seviyelerinin etkileri, blok faktörlerindeki değişiklik yüzünden oluşacak varyansı önemsemeden ölçülebilir. Deneyin analizinde her bir blokta ana faktörün değişen seviyelerinin etkisi üzerine yoğunlaşmaktadır(<http://www.itl.nist.gov>).

3.4.2.3. İki Seviyeli Tam Faktöriyel Tasarım

Deneylerdeki bütün faktörlerin iki seviyeli olduğu sıkça kullanılan bir deneysel tasarım yöntemidir. Bu seviyeler “yüksek” veya “düşük” ya da “+1” ve “- 1” olarak

adlandırılmaktadır. Eğer tüm girdi faktörlerinin mümkün olan tüm yüksek/düşük kombinasyonları ile tasarım oluşturulursa oluşan tasarım “iki seviyeli tam faktöriyel tasarım olarak adlandırılmaktadır. Tasarımda k tane 2 seviyeli faktör varsa tam faktöriyel tasarımda deney sayısı 2^k adet olur (<http://www.itl.nist.gov>).

3.4.2.4. Kesirli Faktöriyel Tasarımlar

Tam faktöriyel deneylerin ekonomik, kolay ve uygulanabilir olmadığı durumlarda daha az deneyin yapılabilmesi için kullanılan yöntemdir. Bu tasarımlar bütün faktöriyel tasarım düzeneğinden belirli deney bileşimlerinin seçilmesiyle oluşturulmaktadır (Taylan, 2009).

3.4.2.5. Plackett-Burman Tasarımları

Plackett-Burman tasarımları sadece ana etkiler önemsendiğinde kullanılabilecek son derece etkin bir eleme yöntemidir. Bu tasarımlar tüm etkileşimlerin göz ardı edilebilir olduğu varsayımıyla esas etkileri ekonomik olarak hesaplamaktadır (<http://www.itl.nist.gov>).

3.4.2.6. Cevap Yüzeyi Tasarımları (CYT)

Bu tasarımlar;

- En iyi çıktıyı sağlayan faktör bileşimini bulmak,
- Sürecin şartlarına en çok uyum sağlayan faktör bileşimini bulmak,
- Ürün kalitesini iyileştirecek yeni üretim şartları tanımlamak,
- Çıktı ve faktörler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılmaktadır (Bayraktar, 2007: Box, Hunter, 1978’den).

Bu yöntemin temeli, çok sayıda girdi (bağımsız değişken) ve bunlara bağlı bir ya da birkaç cevap (bağımlı değişken) arasındaki ilişkinin belirlenmesidir. CYT uygulanmasının amacı, elde edilecek cevapları önceden öngörebilecek, sistemi ifade

edebilen uygun fonksiyonu bulmak ve optimum işletme koşullarını belirlemektir (Kökkılıç, 2011).

Bir prosesteki girdi ile cevap arasındaki ilişkinin yapısı bilindiğinde, optimum cevap değerini elde etmek için girdi seviyeleri seçilebilir. Ancak, cevap ile girdi arasındaki ilişkinin gerçek yapısı bilinmediğinde, girdilerin cevap üzerindeki etkilerinin ampirik olarak bulunması yani, cevap ile girdiler arasındaki ilişkiyi temsil eden ampirik bir modelin (genellikle bir polinomiyal) bulunması gereklidir.

CYT’de, bir polinomiyal ile girdiler uzayındaki küçük bir bölgede bilinmeyen gerçek ilişkiye yaklaşılabileceği varsayılmaktadır. Bu polinomiyailler ise genellikle birinci ve ikinci derecedendir. Eğer istenen cevap, girdilerin değişimi ile doğrusal olarak değişiyor ise model birinci dereceden bir polinomdur ve Denklem 3.5 ile hesaplanmaktadır. Eğer sistemde bir eğrisellik varsa fonksiyon ikinci dereceden alınmaktadır(Denklem 3.6). Daha yüksek dereceli polinomlar kullanılarak ifade edilen cevaplar ise Denklem 3.7 ile hesaplanmaktadır (Aldemir, 2008 ve Kökkılıç, 2011).

Birinci dereceden modeller:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3.5)$$

İkinci dereceden modeller:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \varepsilon \quad (3.6)$$

Daha yüksek dereceli polinomlar için kullanılan modeller:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3.7)$$

Burada:

y : Modelin cevabı

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$: Girdi

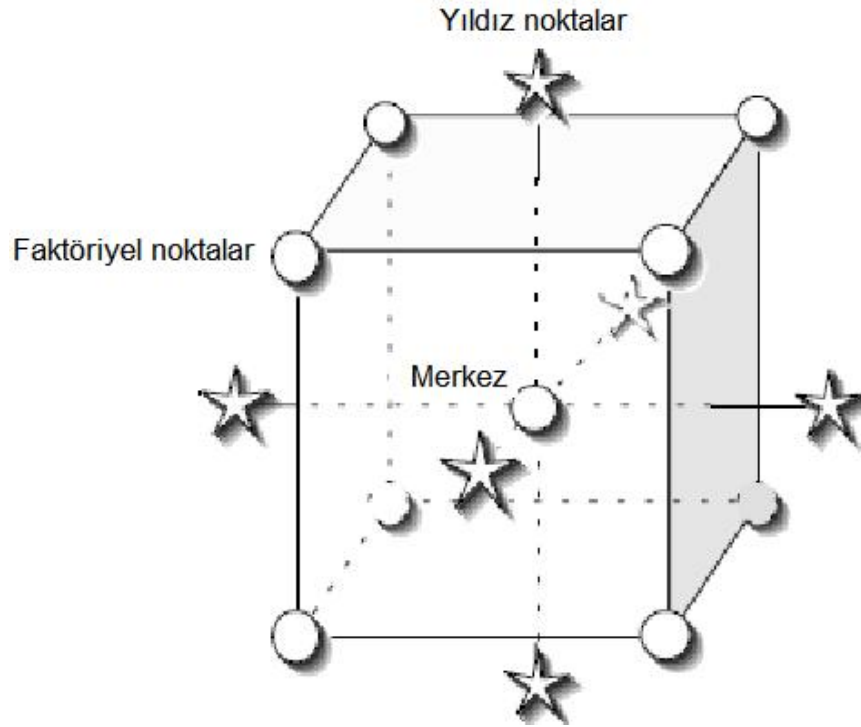
$\beta_0, \beta_{ii} (i=1,2,\dots,k), b_{ij} (i=1,2,\dots,k, j=1,2,\dots,k)$: Katsayılar

ε : Hata değeri

3.4.2.6.(1). Merkezi Kompozit Tasarım Yöntemi (MKT)

Yapısında gömülü faktöriyel (2^k) ve kesirli faktöriyel (2^{k-1}) tasarımı içeren, grafik oluşturmayı sağlayan, genişletilmiş merkez noktaları ($n_0 \geq 1$) ve bir grup yıldız noktası ile eğimin tahmin edilmesine olanak sağlayan bir tasarım yöntemidir. MKT'nin en büyük avantajı ana tasarım noktalarının dışında da tasarıma olanak sağlamasıdır.

MKT faktöriyel (küp) noktalar, yıldız (eksenel) noktalar ve merkez noktalarından oluşmaktadır. MKT'lerde faktörler için merkez noktadan uzaklık faktöriyel noktalar için ± 1 , merkez noktalar için 0, yıldız noktalar için faktöriyel noktaların ötesinde $\pm \alpha$ birimdir. α değeri, tasarım için istenen özelliklere ve faktör sayısına bağlıdır (Kökkılıç, 2011). 3 faktörlü MKT oluşumunu gösteren şekil aşağıda verilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. 3 faktörlü MKT (Design-Expert 6 User's Guide, 2001)

Tasarımda yapılacak olan deney sayısı (N) aşağıdaki eşitlikler ile (3.8 ve 3.9) belirlenmektedir.

$$N=2^k + 2k+n_0 \quad k < 5 \quad (3.8)$$

$$N=2^{k-1} + 2k+n_0 \quad k \geq 5 \quad (3.9)$$

Eşitliklerde kullanılan k bağımsız değişken sayısını, n_0 ise merkez noktada yapılan deney sayısını göstermektedir ve n_0 sayısında bir sınırlama yoktur. Farklı sayıdaki bağımsız değişkenler kullanılarak yapılacak olan deneyler için n_0 ve α değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Farklı sayıdaki değişkenler için n_0 ve α değerleri (Kökkılıç, 2011)

	Bağımsız değişken sayısı (k)								
	2	3	4	5	5	6	6	7	7
Tasarım	2	2^3	2^4	2^5	2^{5-1}	2^6	2^{6-1}	2^7	2^{7-1}
α	1,414	1,682	2,00	2,378	2,00	2,828	2,378	3,33	2,828
(n_0)	5	6	7	10	6	15	9	21	14

Değişkenlerin kodlanmış ve gerçek değerleri arasındaki ilişki Çizelge 3.5'e göre hesaplanmaktadır (Aslan, 2007; Napier-Munn, 2000' den).

Çizelge 3.5. Değişkenlerin kodlanmış ve gerçek değerleri arasındaki ilişki (Aslan, 2007; Napier-Munn, 2000' den)

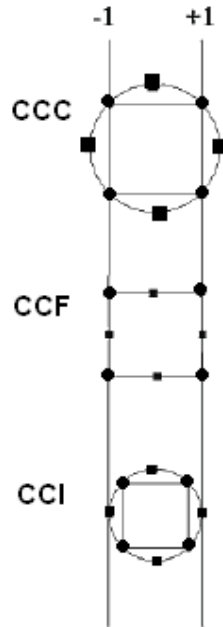
Kod	Değişkenin gerçek değeri
$-\beta$	$X_{\min}$
-1	$[(X_{\max} + X_{\min})/2] - [(X_{\max} - X_{\min})/2\alpha]$
0	$(X_{\max} + X_{\min})/2$
+1	$[(X_{\max} + X_{\min})/2] + [(X_{\max} - X_{\min})/2\alpha]$
$+\beta$	$X_{\max}$

$X_{\min}$ ve $X_{\max}$, X değişkeninin maksimum ve minimum değerleri ; $\alpha = 2^{k/4}$;

k= değişken sayısı

MKT'nin 3 farklı türü ve bunlar arasındaki ilişki Şekil 3.22'de gösterilmiştir. Central Composite Circumscribed (CCC) MKT'nin orjinal formu olup, tasarım noktaları faktöriyel kare etrafında dairesel veya küresel bir simetri oluşturmaktadır ve MKT'nin en büyük işlem aralığına sahip olan çevrimsel çeşididir. Tasarımda bulunan yıldız noktalar, bağımsız değişkenlerin sayısına ve arzulanan tasarımın özelliklerine bağlı olarak merkez noktadan $\pm \alpha$ kadar aynı uzaklıktadır. Yıldız noktalar bütün grafiklerin düşük ve yüksek noktaları için yeni uç noktalar oluşturmaktadır ve her bir faktör için 5 seviye gereklidir. MKT'nin ikinci çeşidi Central Composite Inscribed (CCI) belirlenmiş sınırların bulunduğu durumlarda kullanılmaktadır. Faktör ayarlamalarının gerçek limitlerde olduğu MKT'nin en

küçük işlem aralığına sahip çevrimsel tasarım türüdür. CCI tasarımları yıldız noktalar olarak faktör aralıklarını kullanırlar ve bu limitler içinde faktöriyel ve kısmi faktöriyel tasarım oluştururlar. Yani her bir faktörün α ile bölünmesiyle tasarım oluşturulur. Bu tasarımda da her faktör için 5 seviye gereklidir. Central Composite Faced (CCF) ise MKT'nin üçüncü ve çevrimsel olmayan çeşididir. Her bir faktör için 3 seviyenin gerekli olduğu tasarımda yıldız noktalar faktöriyel boşluğun her bir yüzeyinin merkezindedir, yani $\alpha = \pm 1$ ' dir (Turan ve Altındoğan, 2011).



Şekil 3.22. Merkezi kompozit tasarımın çeşitleri (Turan ve Altındoğan, 2011)

3.4.2.7. Box- Behnken Tasarımı

Box Behnken tasarımında deney kombinasyonları faktöriyel tasarımlarda oluşturulan küpün ayrıtlarının orta noktaları ve merkezde oluşur yani 3 seviyeli faktörler olarak tasarlanmıştır. En az üç en fazla yedi faktör için kullanılabilir. Box- Behnken tasarımı 3 veya 4 faktör için az sayıda deney sayısı önerdiği için tercih edilir. Ancak 4'ten daha fazla faktörde bu özelliği kaybolmaktadır.

3.4.2.8. Karışım Tasarımı

Prosesteki faktörler herhangi bir karışımdaki içeriğin oranları olduğunda deneysel tasarımın standart metotları etkin bir şekilde kullanılamadığından bu durumlarda ileri bir teknik olarak karışım tasarımları kullanılmaktadır.

3.4.2.9. Taguchi Tasarımları

Taguchi çeşitli yaklaşımlar geliştirerek deneysel tasarımın yanı sıra kalite geliştirmeye de yeni bir bakış açısı getirmiştir. Kullanılan metotlarda çeşitli iyileştirmeler yaparak kullanımlarını kolaylaştırmıştır. Taguchi kesirli faktöriyel deney düzenlerini standartlaştırıp basit hale getirmiştir(Bayraktar, 2007)

4.MATERYAL VE METOD

4.1. Materyal

Bu çalışma çerçevesinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren Dimer Mermer İşleme Fabrikası'ndan blok ve kalibreli strip olarak temin edilen, ticari isimleri Adara, Emprador, Crema Nera ve Sand Wave olan kireçtaşı kökenli 4 çeşit mermer üzerinde uygulanmıştır. Bu mermerlerin üretiminin yapıldığı bölge ve rezerv durumları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Mermerlerin üretim yerleri ve rezerv durumları

Mermer Birimleri	Üretim Bölgeleri	Rezerv Durumu (m ³ x1000)		
		Görünür	Muhtemel	Toplam
Adara	Göksun (K.Maraş)	1414	5294	6708
Emprador	Kahta (Adıyaman)	2415	16381	18796
Crema Nera	Afşin (K.Maraş)	1377	338	1715
Sand Wave	Hani (Diyarbakır)	426	11947	12373

4.2.Metod

Çalışılan mermer birimlerinin malzeme özelliklerini belirlemek üzere laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Malzeme özellikleri belirlenen mermer birimlerinin optimum yüzey kalitesini sağlayan en iyi çalışma koşullarını belirlemek amacıyla istatistiksel deney tasarım yöntemi kullanılmıştır. Yapılan aşındırma-cilalama işlemi sonrasında yüzey kalitesi değerlendirilmiş elde edilen verilerle pürüzlülük ve parlaklığı tanımlayan modeller üretilmiştir. Bu modeller cevap yüzeyi yöntemleri

kullanılarak analiz edilmiş ve optimizasyonu kullanılan program yardımıyla oluşturulan grafikler ile yapılmıştır. Oluşturulan modellerin deneysel verileri hangi ölçüde karşıladığı varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir. Bu yöntemle her bir faktörün cevaplar üzerindeki istatistiksel önemlilikleri %95 güvenlik seviyesinde Fischer (F) testi uygulanarak bulunmuştur. Model tarafından tahmin edilen değerler ile gerçek değerler karşılaştırılarak modelin değerlendirilmesi yapılmıştır.

4.2.1. Mermer Birimlerinin Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışılan birimlerin malzeme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 17 x 20 x 20 cm, 7.1 x 7,1 x 7,1 cm ve 2,5 x 5 x 15 cm ebatlarında temin edilen numuneler Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kaya Mekaniği Laboratuvarı'na getirilmiştir. Blok numunelerden NX çaplı karotiyer kullanılarak karotlar alınmıştır. Alınan karotlar, karot kesme makinasında düzeltilerek yapılacak olan deneylere uygun boyutlarda silindirik numuneler hazırlanmıştır (Şekil 4.1)

Mermer birimlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek üzere hazırlanan numuneler üzerinde uluslararası kaya mekaniği standartlarında (ISRM) aşağıda belirtilen deneyler yapılmıştır.

- I. Birim hacim ağırlık,
- II. Özgül ağırlık,
- III. Gözeneklilik,
- IV. Tek eksenli basma dayanımı,
- V. Dolaylı çekme dayanımı,
- VI. Eğilme dayanımı,
- VII. Böhme aşınma dayanımı,
- VIII. Cerchar aşınma indeksi.
- IX. Schmidt Sertliği

Mermer birimlerinin kimyasal analizi Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünde XRF yarı kantitatif yöntem ile, petrografik ve mineralojik

tanımlamaları ise M.T.A. Mineraloji ve Petrografi Analiz Laboratuvarı'nda yapılmıştır.



Şekil 4.1. Mermer birimlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek üzere hazırlanan numuneler

4.2.2. MKT ile Deney Tasarımı

Literatürde deneysel tasarımda kullanılan birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler tartışılarak çalışmaya en uygun yöntem belirlenmiştir. Deneyin tasarımı, cevapların analizi, modelleme ve grafiklerin çizimi için Desing Expert 6.0 paket programı deneme sürümü kullanılmıştır.

Yapılacak tasarıma uygun olarak cevap yüzeyi yöntemlerinden merkezi kompozit tasarım (MKT-CCI) seçilmiştir. Deneylerde bant hızı, kafa basıncı ve kafa devri bağımsız değişken (factor), pürüzlülük ve parlaklık ise cevap (response) olarak belirlenmiştir.

Kullanılan programa bağımsız değişkenlerin sayıları ile en düşük ve en yüksek değerleri girilerek yapılacak aşındırma-cıllama deney sayısı ve deney programı belirlenmiştir (Çizelge 4.2-3).

Çizelge 4.2. Bağımsız değişkenlerin seviyeleri ve değerleri

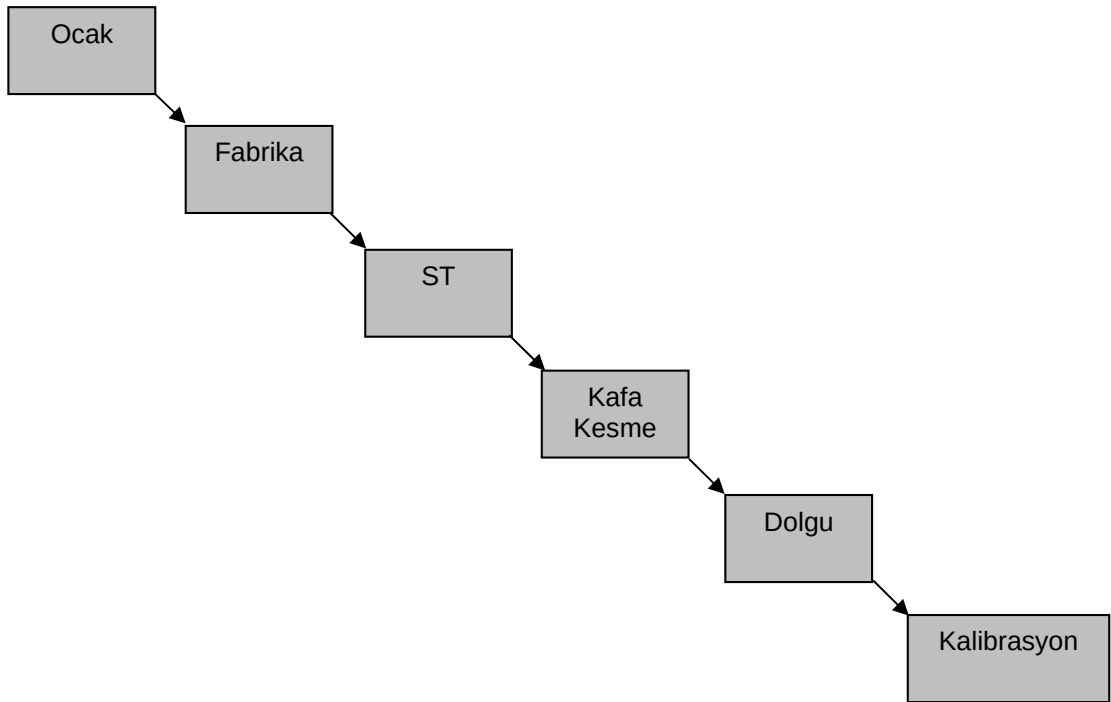
Bağımsız değişken	Adı	Birimi	En Düşük Değer	Düşük Değer	Merkez Değer	Yüksek Değer	En Yüksek Değer
A	Bant Hızı	m/dk	0,8	1,07	1,48	1,88	2.15
B	Kafa Basıncı	bar	0,5	0,8	1,25	1,7	2
C	Kafa Devri	rpm	409	445,69	499,5	553,31	590

Çizelge 4.3. Design Expert 6.0 programı kullanılarak MKT ile oluşturulan deney programı

Deney No	Bağımsız Değişkenlerin			Bağımsız Değişkenlerin		
	Kodları			Gerçek Değerleri		
	A	B	C	Bant Hızı m/dk	Kafa Basıncı bar	Kafa Devri rpm
1	1	-1	1	1,88	0,80	553,31
2	0	0	0	1,48	1,25	499,50
3	-1	1	1	1,07	1,70	553,31
4	0	0	1,682	1,48	1,25	590,00
5	0	0	-1,682	1,48	1,25	409,00
6	0	0	0	1,48	1,25	499,50
7	1	1	-1	1,88	1,70	445,69
8	-1	1	-1	1,07	1,70	445,69
9	0	-1,682	0	1,48	0,50	499,50
10	1	1	1	1,88	1,70	553,31
11	0	1,682	0	1,48	2,00	499,50
12	0	0	0	1,48	1,25	499,50
13	-1,682	0	0	0,80	1,25	499,50
14	0	0	0	1,48	1,25	499,50
15	0	0	0	1,48	1,25	499,50
16	-1	-1	-1	1,07	0,80	445,69
17	1,682	0	0	2,15	1,25	499,50
18	1	-1	-1	1,88	0,80	445,69
19	-1	-1	1	1,07	0,80	553,31
20	0	0	0	1,48	1,25	499,50

4.2.3. Mermer Birimlerinin Aşındırma- Cilalama İşlemi

Dimer Mermer İşleme Fabrikası'ndan temin edilen Adara, Emprador, Crema Nera ve Sand Wave birimine ait striplerin aşındırma-cilalama işlemine kadar geçirdikleri aşamalar Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Mermer striplerinin aşındırma-cilalama işlemine kadar geçirdiği aşamalar

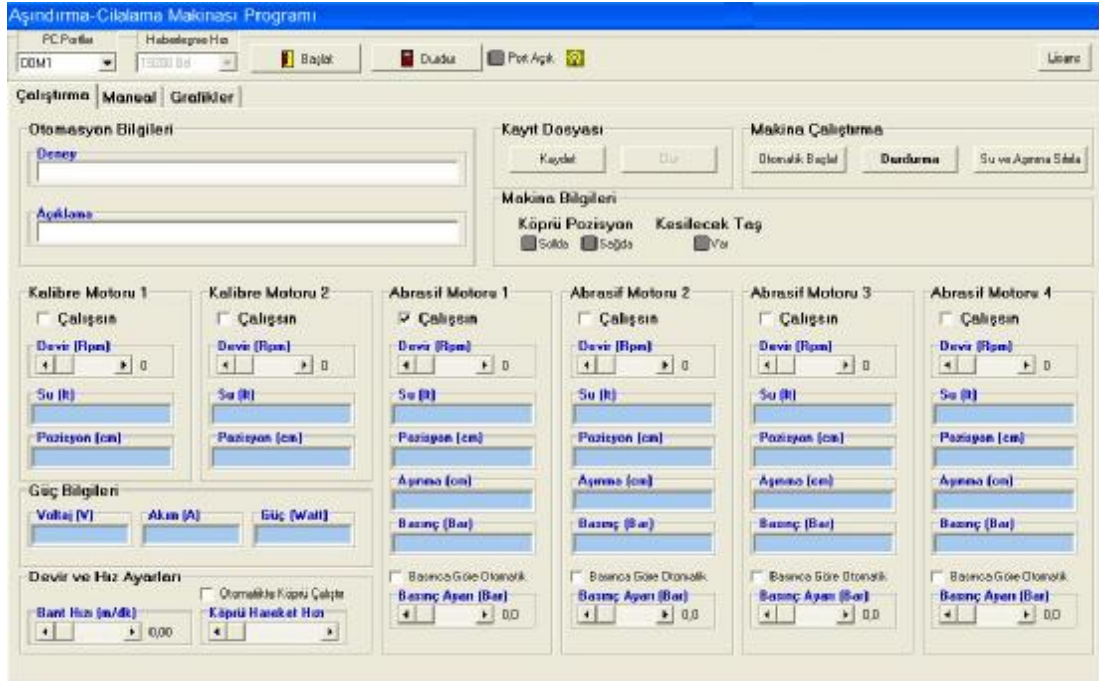
Aşındırma-cilalama işlemleri için Dicle Üniversitesi Doğal Taş Laboratuvarı'nda bulunan Toya-Mer firması tarafından özel olarak üretilen bant hızı, vargel hızı, kafa basıncı ve devri gibi çalışma değişkenleri ayarlanabilen aşındırma-cilalama makinası kullanılmıştır.

Makina üzerinde 2 adet 3 fazlı 15 kW gücünde kalibre motoru, 1 adet 0,75 kW gücünde köprü motoru, 1 adet 1,1 kW gücünde bant motoru, 4 adet 3 fazlı 7,5 kW gücünde silim motoru bulunmaktadır. Makinanın bant genişliği 60 cm, silme disklerinin çapları 35 cm.dir (Şekil 4.3). Her bir silme kafasına 5'er adet aşındırıcı yerleştirilmektedir.

Makinanın kontrolü panel üzerinde bulunan butonlarla manuel olarak yapılabildiği gibi bilgisayarda kurulu olan aşındırma-cilalama makinası programına girilen verilerin makinaya bağlı kontrol sisteminden aktarması ile de otomatik olarak yapılabilmektedir (Şekil 4.4).



1-Bant
2-Kalibre kafaları
3-Kalibre muhafazası
4-Kalibre ayar mekanizması
5-Silim kafaları
6-Silim kafaları muhafazası
7-Silim kafası basınç ayarı
8-Su vanası
9-Makina kontrol sistemi
Şekil 4.3. Laboratuvar ölçekli aşındırma-cilalama makinası



Şekil 4.4. Aşındırma-cilalama makinası programı

Aşındırma-cilalama işlemi aşağıda belirtilen aşamalar halinde gerçekleştirilmiştir.

- Aynı birimdeki striplere 1 ile 20 arası deney numarası verilmiş, hangi mermer birimine ait oldukları belirtilmiştir. Aşındırma-cilalama işlemi için kullanılacak olan aşındırıcı serisindeki (Şekil 4.5) her aşındırıcı ile aşındırma işlemi sonrası yüzeyin pürüzlülük ve parlaklık ölçümlerinin aynı noktadan yapılabilmesi ve değişimlerin gözlenebilmesi için striplerin yan yüzeylerinde noktalar seçilerek işaretlenmiştir.
- Pnömatik olarak çalışan silim kafalarına yeterli basınç sağlanması için kompresör çalıştırılmıştır (Şekil 4.6). Daha sonra hatta enerji veren şartel ve hemen sonrasında bilgisayar açılmıştır.
- Silim kafasına ilk aşındırıcı olan 60 no'lu 5 adet aşındırıcı takılmıştır.
- Silim kafalarına takılan aşındırıcıların soğuması ve aşınan malzemenin uzaklaştırılmasını sağlamak üzere sisteme su gelişini sağlayan vana açılmıştır.
- Deneysel tasarım programının belirlemiş olduğu bant hızı ve motor devri aşındırma-cilalama makinası programına girilerek hatta besleme yapılmıştır.



Şekil 4.5. Aşındırma-cıtalama işlemi için kullanılan aşındırıcı serisi



Şekil 4.6. Kompresör

- Basınç ayarı ise, silim kafası çalıştırılıp kafa indikten sonra makina üzerinde bulunan butondan manuel olarak ayarlanmıştır. Fakat basıncın ölçüm yapılacak stribin tam olarak uygulanabilmesi için ölçümü yapılacak olan stribin önüne ve arkasına aynı mermer birimine ait, yüzey kalitesi değerlendirilmeyecek olan 2 adet strip beslenmiştir.
- Aşındırma işlemi bittikten sonra, silim kafası kaldırılıp, çalışması durdurulmuş beslenen stribin hattın sonundan alınabilmesi için bandın çalışması devam ettirilmiştir.
- Hattan çıkan strip bol ve temiz suyla yıkanmış, pürüzlülük ve parlaklık ölçümleri yapılmadan önce yüzeyde kalan tozların uzaklaştırılabilmesi ve stribin kurutulması için kompresör kullanılmıştır. Yüzey kalitesini belirlemek üzere pürüzlülük ve parlaklık ölçümleri yapılmıştır.

4.2.4. Aşındırma-Cilalama İşlemi Sonrasında Yüzey Kalitesinin Belirlenmesi

Striplerin pürüzlülük ölçümü için Taylor Hobson Surtronic 3+ pürüzlülük ölçer kullanılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Pürüzlülük Ölçer

Cihazın ölçüm uzunluğu kısıtlı olduğu için tüm yüzeyin pürüzlülük ölçümünü yapmak mümkün değildir. Bu nedenle yüzeyin pürüzlülük profilini belirlemek üzere striplerin yan yüzünde seçilen temsili noktalarda her aşındırma işleminden sonra R_a , R_q , R_z (DIN), R_t , R_y , S_m parametreleri ölçülmüştür(Şekil 4.8). Pürüzlülük hesaplamalarında en çok kullanılan temel parametre olarak kabul edilen R_a parametresinin ortalaması hesaplanarak yüzeyin pürüzlülük profili oluşturulmuştur.



Şekil 4.8. Yüzey üzerinde pürüzlülük ölçümü

Striplerin parlaklık ölçümlerinde ise Konica Minolta Multigloss 268 parlaklık ölçer kullanılmıştır (Şekil 4.9). Cihaz ile 20° , 60° ve 85° 'lik açılarla ölçüm yapılabilmektedir. Yapılan ölçümde 20° 'lik açıyla 10×10 mm'lik, 60° 'lik açıyla 9×15 mm'lik, 85° 'lik açıyla 5×38 mm' lik alanlar değerlendirilmektedir (Konica Minolta Inc, 2010).



Şekil 4.9. Parlaklık ölçer



Şekil 4.10. Yüzey üzerinde parlaklık ölçümü

Bu çalışmada, parlaklık ölçümleri de pürüzlülük ölçümlerinin yapıldığı noktalardan 20° , 60° ve 85° 'lik açılarla yapılmış ve 60° lik açı ile yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak yüzeyin parlaklık profili oluşturulmuştur.

Emprador biriminin 1. Deney 60 numaralı aşındırıcı ile aşındırılması sonrası yüzey pürüzlülük ve parlaklık ölçümü için hazırlanan çizelgelere aktarılan ölçüm sonuçları çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Emprador birimi 1. Deney, 60 Numaralı aşındırıcı için hazırlanmış çizelgeler

a) Pürüzlülük ölçüm çizelgesi

Strip Adı: Emprador Deney No: 1 Aşındırıcı No: 60											
Pürüzlülük Parametresi	Pürüzlülük Değeri										
	1.nokta	2.nokta	3.nokta	4.nokta	5.nokta	6.nokta	7.nokta	8.nokta	9.nokta	10.nokta	Ortalama
Ra	2,2	2,2	2,2	2,2	2,6	2	2,4	2,4	2,4	2,8	2,34
Rq	3	3	3	3	3,6	2,6	3	3,2	3,2	3,4	3,1
Rz_(DIN)	18	18	17	17	18	14	18	20	17	19	17,6
Rt	22	33	22	24	24	19	20	37	20	21	24,2
Ry	22	33	22	22	21	19	20	37	19	20	23,5
Sm	102	95	105	114	114	110	125	114	103	110	109,2

b) Parlaklık ölçüm çizelgesi

Strip Adı: Emprador Deney No: 1 Aşındırıcı No: 60											
Ölçüm Açısı	Parlaklık Değeri										
	1.nokta	2.nokta	3.nokta	4.nokta	5.nokta	6.nokta	7.nokta	8.nokta	9.nokta	10.nokta	Ortalama
20°	0,4	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,53
60°	1,8	2	2,1	2,1	2,3	2,4	2,2	2,1	2,3	1,9	2,12
85°	5,6	4,6	3,9	3,9	3,5	7	5,9	5,2	4,2	3,9	4,77

Pürüzlülük ve parlaklık ölçümü yapılmış olan stripler istiflenirken ölçüm yapılan yüzeylerin çizilmesini engellemek üzere striplerin arasına strafor yerleştirilmiştir(Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Ölçümü yapılan striplerin istiflenmesi

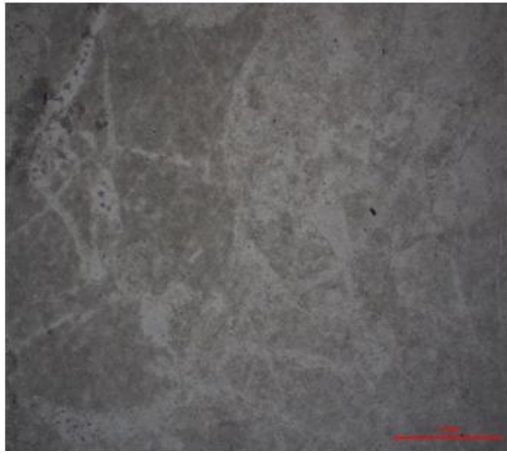
60 numaralı aşındırıcı kullanımı sonrası yapılan ölçümlerden sonra serinin diğer aşındırıcıları (80, 120, 180, 220, 280, 320, 360, 600, 800, 5 extra, pulitore) ile aşındırma-cilalama işlemleri önceki bölümde belirtilen aşamalar halinde tekrarlanmıştır. Fakat cila taşlarında basınç tasarım parametrelerinden bağımsız olarak 1 bar değerinde sabit tutulmuş ve silim kafalarına gelen su miktarı azaltılmıştır.

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

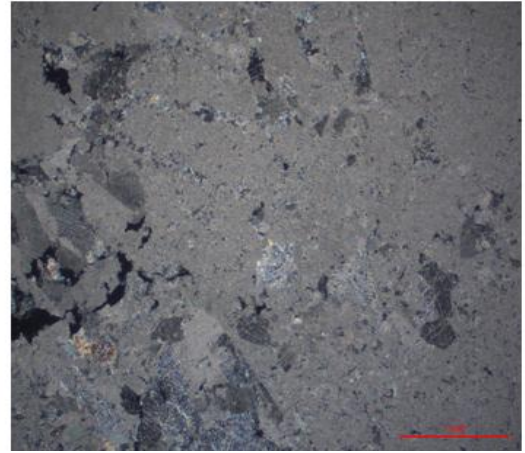
5.1. Bulgular

Mermer birimlerinden hazırlanan ince kesitlerin görüntüleri ile mineralojik ve petrografik analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Adara birimi sarımsı gri renkte, masif ve ince tanelidir. Ana bileşen mikritik karbonat mineralleri olmakla birlikte yer yer iri karbonat kristalleri (kalsit) izlenmektedir. Bazı kesimlerde yoğun olarak izlenen kalsit mineralleri birbirleriyle kontakt olup bağlayıcı gözlenmemiştir. Makroskobik olarak da izlenen ve birbirini kesen çok sayıda ince damarlar kayaca parçalı bir görüntü vermiştir. Damarlar karbonat (kalsit) ile dolguludur. Kayaç “mikritik kireçtaşı” olarak adlandırılmıştır (Şekil 5.1)



a) Tek nikol



b) Çift nikol

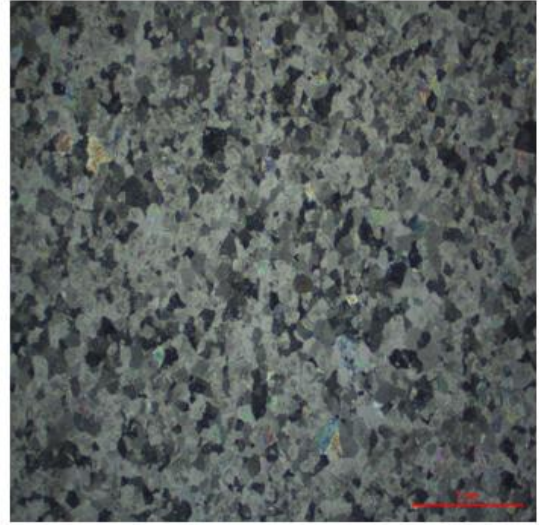
Şekil 5.1. Adara biriminin ince kesit görüntüsü

Ticari olarak “Emprador” olarak anılan mermer soluk sarımsı kahverengi, masif ve ince tanelidir. Tamamen kristalen karbonat minerallerinden (dolomit, az miktarda kalsit) oluşmaktadır. Mermerler birbirine paralel olmayan doğrultu atımlı faylar arasında kalıp, rotasyonel bir hareket kazandıklarından irili ufaklı parçacıklar halinde tektonit bir yapı kazanmış ve bu parçacıklar kalsit çimentoyla birbirine

bağlanmıştır. Tane boyunca birbirini kesen düzensiz, karbonat dolgulu damarlı yapı gözlenmiştir. Kayaç “kalsitik dolomit” olarak adlandırılmıştır (Şekil 5.2).



a) Tek nikol



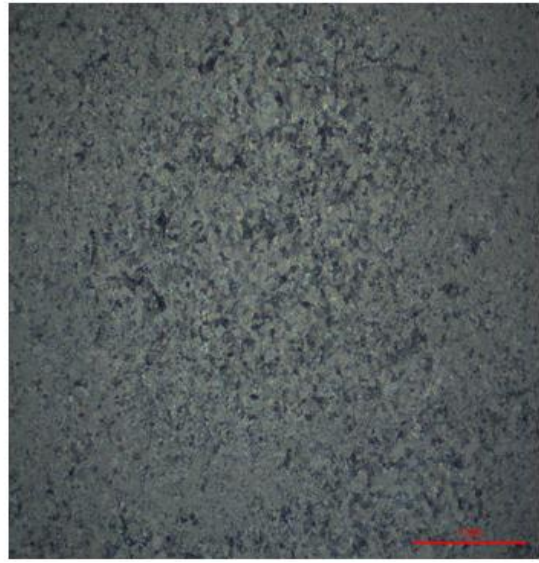
b)Çift nikol

Şekil 5.2. Emprador biriminin ince kesit görüntüsü

Crema Nera birimi çok soluk turuncu renkte, masif ve çok ince kristallidir. Tamamı ile mikritik karbonat minerallerinden oluşmuştur. Yer yer biraz daha iri karbonat taneleri (kalsit) bağlayıcı kriptokristalen çamuru ile bağlanmış halde gözlenmiştir. Kayaç “mikritik kireçtaşı” olarak adlandırılmıştır (Şekil 5.3).



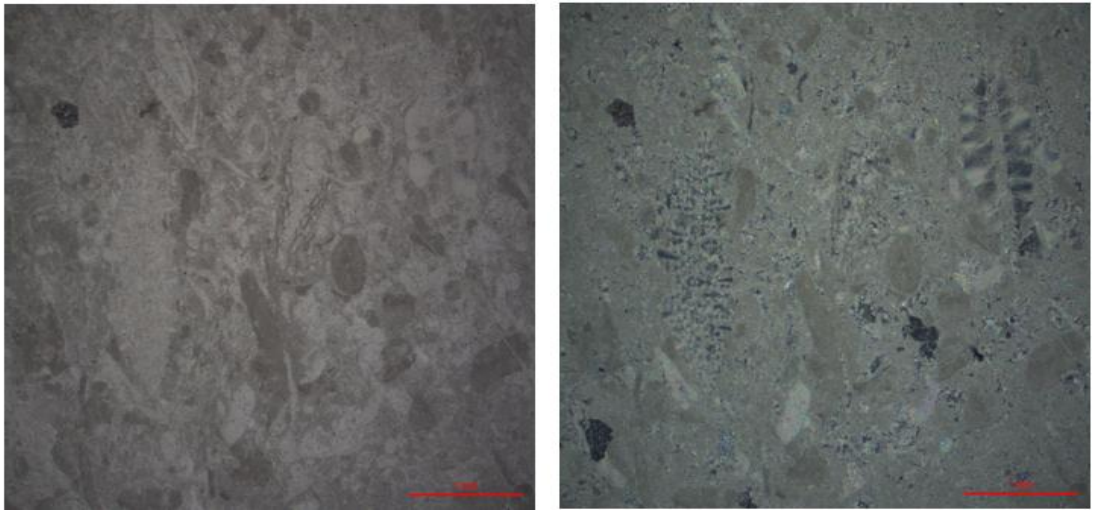
a) Tek nikol



b)Çift nikol

Şekil 5.3. Crema Nera biriminin ince kesit görüntüsü

Sarımsı gri renkte, masif ve ince taneli olan Sand Wave birimi ana bileşen olarak mikritik karbonat minerallerinden oluşmaktadır. Fazla miktarda olan bu küçük tanelerin içleri mikritik karbonat mineralleri ile dolguludur. Ayrıca yer yer ince taneli karbonat dolgulu oolitler ve fosil kavrıkları izlenmiştir. Yapısında bulunan stilolit ara boşluğunda demirli sular bulunmaktadır. Bu kesimdeki hematit boyamalı sular kızılılıklar oluşturmuştur. Kayaç “biyomikritik kireçtaşı” olarak adlandırılmıştır (Şekil 5.4).



a) Tek nikol

b)Çift nikol

Şekil 5.4. Sand Wave biriminin ince kesit görüntüsü

Mermer birimlerinin malzeme özelliklerini belirlemek üzere yapılan kaya mekaniği laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1.’de, XRF yarı kantitatif yöntem ile belirlenen kimyasal analiz sonuçları ise Çizelge 5.2’de sunulmuştur. Deneylerde kullanılan şehir şebekesi suyunun kimyasal analizi ise Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Aşındırma-cilalama deneylerinde kullanılan aşındırıcı serisindeki her bir aşındırıcının kullanımı sonrası aşamalı olarak ölçülen pürüzlülük ve parlaklık değerleri Ek 1-5’te verilmiştir.

Çizelge 5.1. Fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek üzere yapılan deney sonuçları

	Mermer Birimi			
	Adara	Emprador	Crema Nera	Sand Wave
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,62	2,63	2,71	2,76
Birim Hacim Ağırlık(KN/m ³)	25,7	25,8	26,59	27,08
Gözeneklilik (%)	0,39	1,85	0,34	1,46
Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	77,9	61,69	83,99	72,05
Eğilme Dayanımı (MPa)	15,01	13,44	12,90	8,96
Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)	7,53	7,23	8,6	7,35
Böhme Aşınma Dayanımı (cm ³ /50cm ²)	15,76	18,79	15,41	7,95
Cerchar Aşınma İndeksi	1,26	1,99	1,32	1,40
Schmidt Sertliği	39,20	41,20	43,60	40,00

Çizelge 5.2. XRF yarı kantitatif yöntem ile yapılan kimyasal analiz sonuçları

İçerik(%)	Mermer Birimi			
	Adara	Emprador	Crema Nera	Sand Wave
CaO	55,16	47,06	55,09	55,03
MgO	0,67	14,7	1,13	0,53
Al ₂ O ₃	0,38	-	0,16	0,3
MnO	0,035	0,022	0,02	-
CuO	0,026	0,032	0,026	-
Fe ₂ O ₃	0,21	0,14	0,105	0,33
Cr ₂ O ₃	0,058	0,04	0,025	0,036
SO ₃	0,117	-	0,066	0,084
Lu ₂ O ₃	0,02	0,055	0,04	0,04
V ₂ O ₅	-	0,058	-	0,008
SrO	-	0,17	-	-
MoO ₃	-	0,63	-	-
Yb ₂ O ₃	-	0,01	-	-
La ₂ O ₃	-	-	0,06	-
TiO ₂	-	-	-	0,03
Eu ₂ O ₃	-	-	-	0,06
Tu ₂ O ₃	-	-	-	0,32
Kızdırma Kaybı	43,3	37,0	43,3	43,2

Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan şehir şebekesi suyunun kimyasal analizi
(DİSKİ, 2013)

Parametre Adı	Birimi	Analiz Sonucu	Parametre Adı	Birimi	Analiz Sonucu
Bakır	mg/l	10	Florür	mg/l	0,09
Çinko	mg/l	40	Bor	mg/l	0,09
Sülfat	mg/l	25,19	Kobalt	µg/l	0,01
BOİ5	mg/l	8,7	Nikel	µg/l	<10
Orto Fosfat	mg/L	0	Arsenik	mg/l	0
Toplam Kjeldah Azotu	mg/L	0,22	Kadmiyum	µg/l	<0,5
Nitrat Azotu	mg/L	1,01	Kurşun	µg/l	<1
Nitrit Azotu	mg/l	0	Siyanür	µg/l	0,008
Klorür	mg/l	5,12	Fenol	mg/l	0,007
Demir	µg/l	20,51	pH		8,32
Mangan	µg/l	<5	Krom	mg/L	0,024
Aluminyum	mg/l	0,001	Amonyak Azotu	mg/L	0

5.2. Değerlendirmeler

5.2.1. Laboratuvar Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Elde edilen laboratuvar çalışması sonuçlara göre (Çizelge 5.1) çalışılan mermer birimleri literatürde bulunan bazı önemli malzeme sınıflama sistemleri dikkate alınarak sınıflandırılmıştır.

Yapılan Schmidt sertlik çekici deney sonuçlarına göre (Çizelge 5.1) mermer birimlerinin sınıflandırılmasında ISRM'nin (1978) (Çizelge 5.4) sınıflamasından yararlanılmıştır. Schmidt sertliğine göre yapılan sınıflandırma sonucunda Emprador

ve Crema Nera mermer birimleri sert, Adara ve Sand Wave mermer birimleri az sert olarak tanımlanmıştır (Çizelge 5.5)

Çizelge 5.4. Schmidt Çekici değerlerine göre sertlik sınıflaması (ISRM, 1978).

Schmidt Çekici Değerleri	Kaya Sertlik Tanımı
0-10	Yumuşak
11-20	Az yumuşak
21-40	Az sert
41-50	Sert
51-60	Oldukça sert
>60	Çok sert

Çizelge 5.5. Çalışılan birimlerin schmidt çekici değerlerine göre sertlik sınıflaması

Mermer Birimi	Schmidt Sertliği	Sertlik Tanımı
Adara	39,20	Az sert
Emprador	41,20	Sert
Crema Nera	43,60	Sert
Sand Wave	40,00	Az sert

Yapılan CAI deney sonuçlarına göre (Çizelge 5.1) mermer birimleri aşındırıcılıklarına göre sınıflandırılmıştır (Deliormanlı, 2012; Cerchar, 1986'den) (Çizelge 5.6). Ayrıca bazı kayaç tiplerinin CAI değerleri Çizelge 5.7'de verilmiştir (Kandemir,2010'dan: Tamrock, 1999). Yapılan çalışma sonucunda tüm mermer birimlerinin orta aşındırıcı sınıfında olduğu ve elde edilen CAI değerlerinin Çizelge 5.6'da belirlenen kireçtaşının CAI değer aralığında bulunduğu görülmektedir (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.6. Aşındırıcılığın sınıflandırılması (Deliormanlı, 2012; Cerchar, 1986'den)

CAI	Sınıflandırma
0.3–0.5	Çok az aşındırıcı
0.5–1.0	Az aşındırıcı
1.0–2.0	Orta aşındırıcı
2.0–4.0	Oldukça aşındırıcı
4.0–6.0	Çok aşındırıcı

Çizelge 5.7. Bazı kayaç tiplerinin CAI değerleri (Kandemir, 2010; Tamrock, 1999'dan)

Kayaç Tipleri		CAI Değerleri
Magmatik Kayaçlar	Bazalt	1.7 - 5.2
	Diabaz	3.8 - 5.4
	Andezit	1.8 - 3.5
	Diorit/Siyanit	3 - 5.6
	Granit	3.7 - 6.2
Sedimanter Kayaçlar	Kireçtaşı	0.1-2.4
	*Kumtaşı	0.1-2.6
	**Kumtaşı	2.3-6.2
Metamorfik Kayaçlar	Pelit	1.3 - 4.3
	Mikaşist ve Mikaginayis	1.8 - 5
	Felsit Ginayis	3.7 - 6.3
	Amfibolit	2.8 - 3.7
	Kuarsit	4.8 - >6

*Çimentosu karbonatlı ve/veya killi

**Çimentosu kuvarslı

Çizelge 5.8. Çalışılan birimlerin CAI değerlerine göre sertlik sınıflaması

Mermer Birimi	CAI	Sınıflandırma	Kayaç Tipi
Adara	1,26	Orta aşındırıcı	Kireçtaşı
Emprador	1,99	Orta aşındırıcı	Kireçtaşı
Crema Nera	1,32	Orta aşındırıcı	Kireçtaşı
Sand Wave	1,40	Orta aşındırıcı	Kireçtaşı

5.2.2. Aşındırma- Cilalama Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

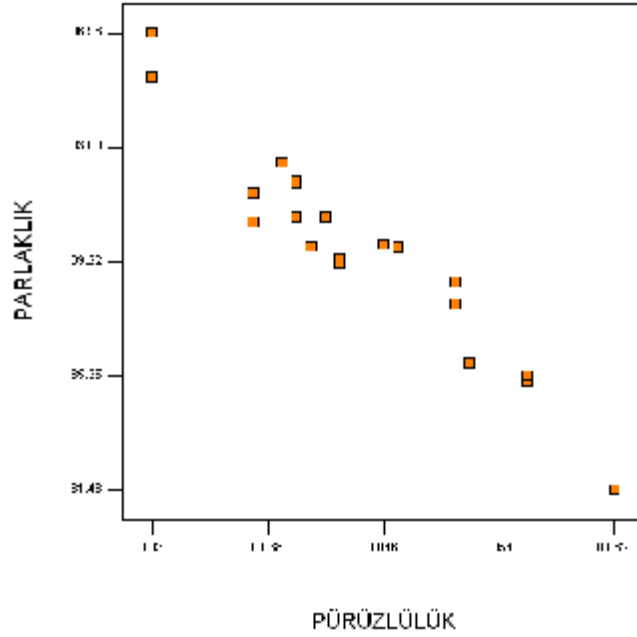
5.2.2.1. Adara Birimi İçin Sonuçların Değerlendirilmesi

Adara biriminin aşındırma-cilalama işleminde kullanılan aşındırıcı serisi ve ölçülen pürüzlülük –parlaklık değerleri Ek 1’de verilmiştir. Aşındırıcı taneleri büyük olan 60, 80 ve 120 numaralı aşındırıcılar sonrasında pürüzlülük değerinin hızla düştüğü görülmüştür. Aşındırıcı serisinin sonuna doğru pürüzlülük değerindeki düşüşün azaldığı görülmektedir.

Parlaklık ölçümleri sonuçları değerlendirildiğinde ise aşındırıcı tanesi küçük olan 360, 600 ve 800 numaralı aşındırıcıların parlaklık üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. 360 numaralı aşındırıcıya kadar parlaklık değerindeki artış yavaşken, 360 ve sonrasındaki aşındırıcılardan sonra hızlı bir artışın olduğu gözlenmiştir.

Aşındırma-cilalama işleminde kullanılan son aşındırıcı olan pulitoreden sonraki nihai parlaklık ve pürüzlülük ölçüm sonuçları deney programına girilmiştir (Ek 5). Ölçüm sonuçları incelendiğinde optimum parlaklık ve pürüzlülük değerlerine bant hızının 1,48 m/dk, kafa basıncının 2 bar ve kafa devrinin 499,5 rpm olduğu 11. deneyde ulaşıldığı görülmektedir.

Cevap değişkenleri arasındaki ilişkinin grafiksel gösterimi Şekil 5.5’te verilmiştir. Şekil incelendiğinde pürüzlülük değeri arttıkça parlaklık değerinin azaldığı görülmektedir. İki cevap değişkeni arasındaki korelasyonun $r = -0,958$ olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.5. Adara birimi cevap değişkenleri arasındaki ilişkinin grafiği

Belirlenen koşullar altında yapılan deney sonuçlarına göre pürüzlülük ve parlaklık değerleri için program tarafından hazırlanan istatistiksel model özeti Çizelge 5.9’da verilmiştir. Program model uyumluluğunu D. R^2 (düzeltilmiş R^2) ve T. E. R^2 (tahmin edilen R^2) değerleri üzerine odaklı olarak önermektedir. Modelin uyumlu olması için iki değer arasındaki farkın 0,20’den küçük olması gerekmektedir. Değerler incelendiğinde kuadratik modelin belirtilen şartı sağladığı ve program tarafından her iki cevap değişkeni için önerildiği görülmektedir.

Çizelge 5.9. Design Expert 6.0 programının Adara birimi için istatistiksel model özeti

Cevap	Model	S.S.	R ²	D. R ²	T. E. R ²	PRESS	M. U.
Pürüzlülük	Lineer	6,288	0,5364	0,4495	0,2449	1,030E-	Önerilmiş model
	2FI	6,526	0,5943	0,4071	-0,0824	1,477E-	
	Kuadratik	<u>2,128</u>	<u>0,9668</u>	<u>0,9369</u>	<u>0,7966</u>	<u>2,775E-</u>	
	Kübik	2,052	0,9815	0,9414	-1,3432	3,197E-	
Parlaklık	Lineer	2,64	0,5326	0,4450	0,2148	186,64	Önerilmiş model
	2FI	2,79	0,5758	0,3800	0,0132	234,56	
	Kuadratik	<u>1,06</u>	<u>0,9529</u>	<u>0,9104</u>	<u>0,7179</u>	<u>67,06</u>	
	Kübik	0,75	0,9859	0,9555	0,6298	88,00	

MKT yöntemine göre yapılan aşındırma-cilalama deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlara göre pürüzlülük ve parlaklığı tanımlayan modeller türetilmiştir. Kodlanmış ve gerçek değerler kullanılarak türetilen modeller Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Kodlanmış değerlere göre gerçekleştirilen deneylerde bağımsız değişkenlerin önündeki katsayılar incelenerek, bu değişkenlerin parlaklık ve pürüzlülük üzerindeki etkileri hakkında fikir edinilebilmektedir. Katsayıların mutlak değerlerinin büyüklüğü gösterdikleri etkinin kuvvetini belirtirken, katsayı önündeki + ve - işaretleri ise etkinin pozitif ya da negatif olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 5.10. Adara biriminde kodlanmış ve gerçek değerler kullanılarak türetilen modeller

	Kodlanmış Değer	Gerçek Değer
Pürüzlülük	$= +0,039$ $+4,683E-003 * A$ $-3,944E-003 * B$ $+4,014E-003 * C$ $+5,281E-003 * A^2$ $-3,763E-004 * B^2$ $+2,982E-003 * C^2$ $+1,500E-003 * A * B$ $-2,500E-004 * A * C$ $+2,750E-003 * B * C$	$= +0,39916$ $-0,089728 * \text{Bant Hızı}$ $-0,073715 * \text{Kafa Basıncı}$ $-1,08050E-003 * \text{Kafa Devri}$ $+0,032780 * \text{Bant Hızı}^2$ $-1,89233E-003 * \text{Kafa Basıncı}^2$ $+1,02995E-006 * \text{Kafa Devri}^2$ $+8,38052E-003 * \text{Bant Hızı} * \text{Kafa Basıncı}$ $-1,15753E-005 * \text{Bant Hızı} * \text{Kafa Devri}$ $+1,14596E-004 * \text{Kafa Basıncı} * \text{Kafa Devri}$
Parlaklık	$=+91,52$ $-2,10 * A$ $+1,88 * B$ $-1,14 * C$ $-2,26 * A^2$ $+0,50 * B^2$ $-0,92 * C^2$ $-0,33 * A * B$ $+0,20 * A * C$ $-1,06 * B * C$	$= - 25,57997$ $+33,77258 * \text{Bant Hızı}$ $+22,80352 * \text{Kafa Basıncı}$ $+0,33815 * \text{Kafa Devri}$ $-14,01193 * \text{Bant Hızı}^2$ $+2,52589 * \text{Kafa Basıncı}^2$ $-3,17962E-004 * \text{Kafa Devri}^2$ $-1,86467 * \text{Bant Hızı} * \text{Kafa Basıncı}$ $+9,31812E-003 * \text{Bant Hızı} * \text{Kafa Devri}$ $-0,044328 * \text{Kafa Basıncı} * \text{Kafa Devri}$

A= Bant Hızı (m/dk) B= Kafa Basıncı (bar) C=Kafa Devri(rpm)

Kodlanmış değerlere göre türetilen modeldeki bağımsız değişkenlerin önündeki katsayılarının mutlak değerleri incelendiğinde pürüzlülük üzerinde en etkin değişkenin bant hızı olduğu görülmektedir. Türetilen modelde ana etkilerden bant hızının ve kafa devrinin pürüzlülüğü pozitif doğrusal, kafa basıncının ise negatif doğrusal olarak etkilediği görülmektedir. Yani bant hızının ve kafa devrinin artması pürüzlülük değerini artırırken, kafa basıncının artması ise pürüzlülüğü

azaltmaktadır. Bant hızının ve kafa devrinin cevap üzerindeki pozitif kuadratik etkisi bu değerlerdeki değişimi cevap üzerine karesi olarak yansıtmaktadır.

Parlaklık üzerindeki en kuvvetli değişkenin bant hızı olduğu parlaklık için kodlanmış değere göre türetilen modelden görülmektedir. Parlaklık ile bant hızı ve kafa devri arasında negatif doğrusal, kafa basıncı ile de pozitif doğrusal etki olduğu belirlenmiştir. Bir başka deyişle bant hızı ve kafa devrinin artması parlaklığı azaltırken kafa basıncının artması parlaklığı arttırmaktadır. Bant hızı ve kafa devrinin pürüzlülük üzerinde negatif kuadratik etkisi de saptanmıştır. Bu değerlerdeki değişim cevap üzerine karesi olarak yansıtmaktadır.

Elde edilen bu modellerin hassasiyetini, uygunluğunu ve yeterliliğini belirlemek amacı ile yapılan ANOVA (varyans analizleri) pürüzlülük ve parlaklık için sırasıyla Çizelge 5.11-12’de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Adara birimi pürüzlülük modeli için ANOVA

Değişimin Kaynağı	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	Prob>F
Regresyon	9	1,319E-003	1,466E-004	32,36	< 0,0001
A	1	2,995E-004	2,995E-004	66,11	< 0,0001
B	1	2,124E-004	2,124E-004	46,90	< 0,0001
C	1	2,200E-004	2,200E-004	48,57	< 0,0001
A ²	1	4,018E-004	4,018E-004	88,71	< 0,0001
B ²	1	2,041E-006	2,041E-006	0,45	0,5173
C ²	1	1,282E-004	1,282E-004	28,30	0,0003
AB	1	1,800E-005	1,800E-005	3,97	0,0742
AC	1	5,000E-007	5,000E-007	0,11	0,7466
BC	1	6,050E-005	6,050E-005	13,36	0,0044
Kalan Hatası	10	4,530E-005	4,530E-006		
Uyum Eksikliği	5	3,447E-005	6,893E-006	3,18	0,1149
Saf Hata	5	1,083E-005	2,167E-006		
Toplam	19	1,365E-003			

Çizelge 5.12. Adara birimi parlaklık modeli için ANOVA

Değişimin Kaynağı	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	Prob>F
Regresyon	9	226,50	25,17	22,46	< 0,0001
A	1	60,38	60,38	53,89	< 0,0001
B	1	48,51	48,51	43,29	< 0,0001
C	1	17,71	17,71	15,80	0,0026
A ²	1	73,42	73,42	65,52	< 0,0001
B ²	1	3,64	3,64	3,25	0,1018
C ²	1	12,22	12,22	10,90	0,0080
AB	1	0,89	0,89	0,80	0,3935
AC	1	0,32	0,32	0,29	0,6025
BC	1	9,05	9,05	8,08	0,0175
Kalan Hatası	10	11,21	1,12		
Uyum Eksikliği	5	8,24	1,65	2,78	0,1429
Saf Hata	5	2,96	0,59		
Toplam	19	237,70			

Modelin geçerliliğini test etmek için 0,05 anlamlılık düzeyi (%95 güven aralığı) seçilmiştir. Seçilen anlamlılık düzeyi gereğince modeller için hesaplanan Prob>F değerleri 0,05'ten küçük ($P < 0,05$) olmalıdır. Pürüzlülük ve parlaklık modelleri için elde edilmiş olan Prob>F değerleri <0,0001 olup $P < 0,05$ koşulunu sağlamaktadır. Aynı şartlar modeli oluşturan her parametreye de uygulanmış ve incelenen parametrelerden $P < 0,05$ koşulunu sağlayarak pürüzlülük ve parlaklık üzerinde etkin olan parametrelerin A, B, C, A², C², BC kodlu değerler olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.11-12'de görüldüğü gibi, model F değerleri, pürüzlülük modeli için 32,36, parlaklık modeli için 22,46 olarak bulunmuştur. $F_{0,05(9,10)}$ değeri F testi tablosundan 3,02 olarak okunmuş dolayısıyla $F_{hesaplanan} > F_{çizelge}$ şartı sağlandığı için kullanılan regresyon modellerinin sistemi matematiksel olarak ifade ettiği kabul edilmiştir.

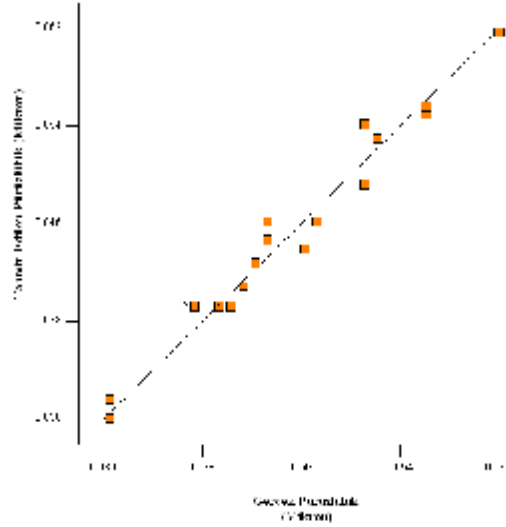
Türetilen modellerden tahmin edilen pürüzlülük ve parlaklık değerleri ile yapılan deneyler sonucunda bulunan gerçek pürüzlülük ve parlaklık değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.13'te verilmiştir. Çizelge incelendiğinde tahmin edilen pürüzlülük ve parlaklık değerlerinin gerçek pürüzlülük ve parlaklık değerlerine yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.13. Adara birimi gerçek ve tahmin edilen cevap sonuçlarının karşılaştırılması

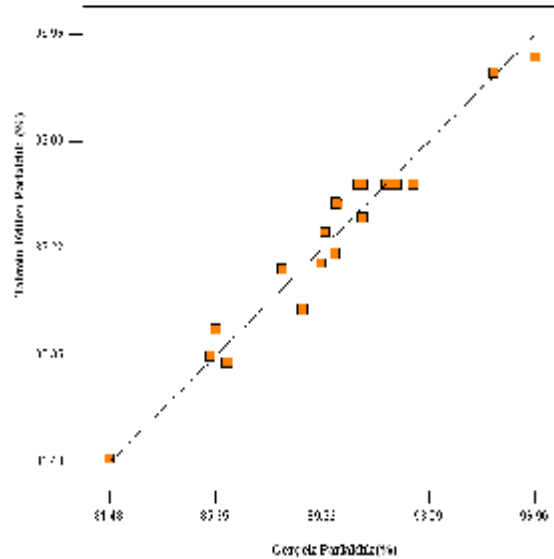
Deney No	Cevap					
	Pürüzlülük(μm)			Parlaklık (%)		
	Gerçek	Tahmin	Hata	Gerçek	Tahmin	Hata
1	0,056	0,055	1,208E-003	85,16	85,32	-0,16
2	0,040	0,039	1,235E-003	91,92	91,52	0,40
3	0,046	0,044	2,462E-003	89,79	90,77	-0,98
4	0,051	0,054	-2,951E-003	88,52	87,01	1,51
5	0,041	0,040	5,504E-004	89,71	90,84	-1,13
6	0,040	0,039	1,235E-003	91,85	91,52	0,33
7	0,042	0,042	-3,762E-004	90,70	90,30	0,40
8	0,030	0,030	4,896E-004	95,46	95,57	-0,11
9	0,043	0,044	-1,333E-003	89,32	89,78	-0,46
10	0,056	0,055	5,959E-004	85,34	86,30	-0,96
11	0,030	0,031	-1,067E-003	96,96	96,11	0,85
12	0,037	0,039	-1,765E-003	91,52	91,52	-4,469E-003
13	0,043	0,046	-2,825E-003	89,19	88,68	0,51
14	0,039	0,039	2,353E-004	92,55	91,52	1,03
15	0,040	0,039	1,235E-003	90,70	91,52	-0,82
16	0,047	0,046	1,102E-003	89,69	89,01	0,68
17	0,062	0,062	4,240E-004	81,48	81,60	-0,12
18	0,052	0,053	-7,643E-004	85,77	85,07	0,70
19	0,051	0,049	2,074E-003	87,78	88,46	-0,68
20	0,037	0,039	-1,765E-003	90,54	91,52	-0,98

Çizelge 5.13'te belirtilen verilere göre elde edilen Şekil 5.6-7'de deneyler sonucunda elde edilen gerçek cevap değerleri ile önerilen model tarafından tahmin edilen değerler arasındaki ilişki grafik olarak gösterilmiştir. Bu grafiklerden iki veri arasında çizilen doğruların belirleme katsayılarının pürüzlülük için $R^2=0,9668$, parlaklık için ise $R^2= 0,9529$ olduğu hesaplanmıştır. Bu değerler gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki uyumun pürüzlülük için % 96,68, parlaklık için ise

% 95,29 olduğunu ve Çizelge 5.9’da önerilen kuadratik modelin proses üzerinde başarıyla uygulanabilir olduğunu göstermektedir



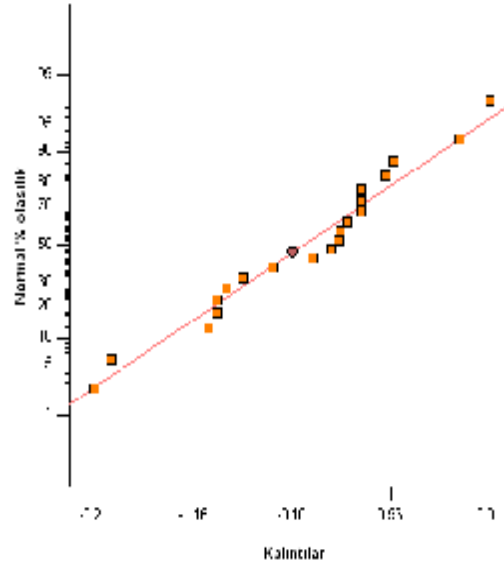
Şekil 5.6. Adara birimi gerçek pürüzlülük değerine karşı tahmin edilen pürüzlülük değerleri



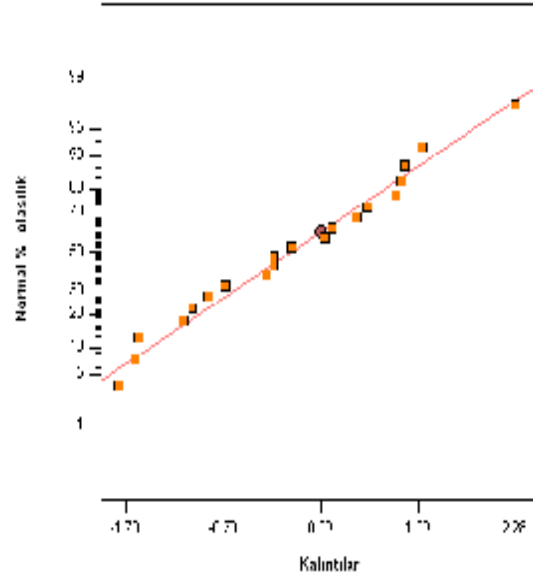
Şekil 5.7. Adara birimi gerçek parlaklık değerine karşı tahmin edilen parlaklık değerleri

Şekil 5.8-9’da kareler farkının yüzde olasılığa göre dağılımı verilmiştir. Bu grafiklerden noktaların olasılık çizgisinin her iki tarafında homojen bir dağılım

sergilediği ve olasılık eğrilerinin düz bir çizgiyi andırdığı görülmektedir. Bu durum istenilen bir sonuçtur ve modelden kaynaklanan bir hatanın olmadığını göstermektedir.



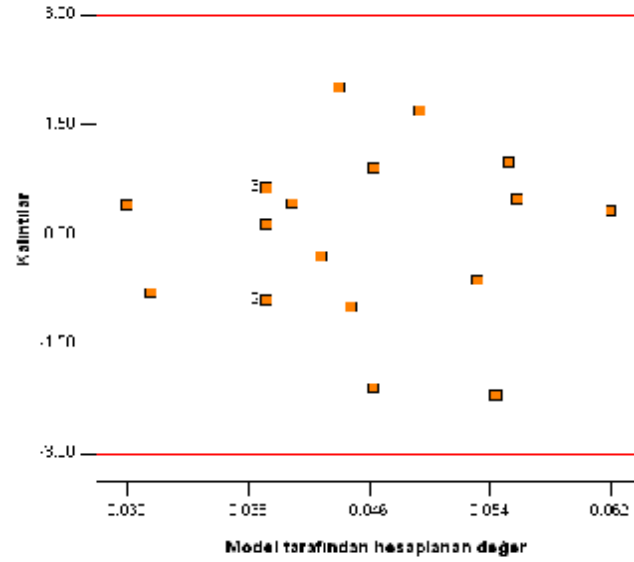
Şekil 5.8. Adara birimi pürüzlülük için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı



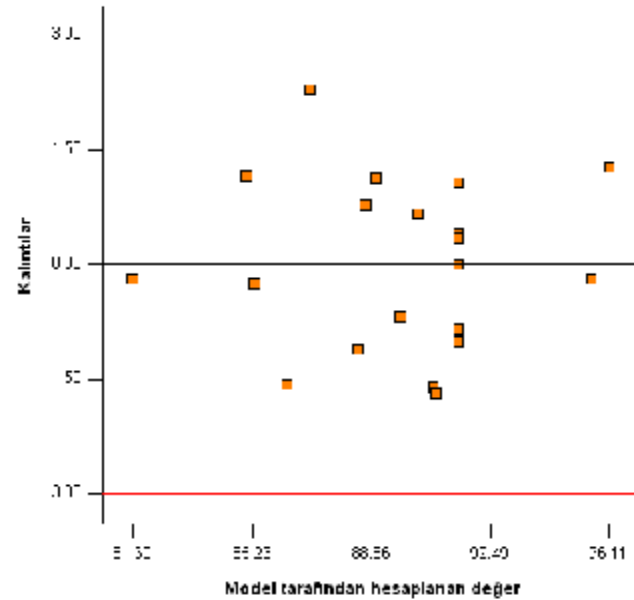
Şekil 5.9. Adara birimi parlaklık için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı

Şekil 5.10-11’de hesaplanan değerlere karşı kalıntıların dağılımı görülmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere sıfır ekseninin altında ve üstünde

rastgele bir dağılım söz konusudur. Bu durum istenilen bir sonuç olup modelden kaynaklanan bir hatanın olmadığını göstermektedir.



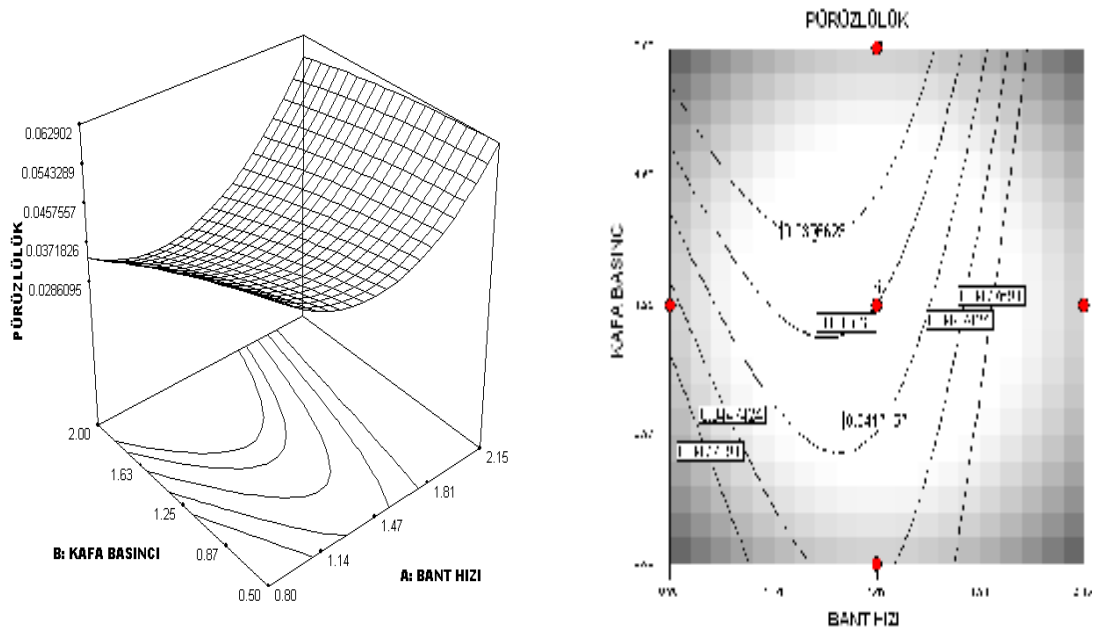
Şekil 5.10. Adara birimi pürüzlülük için hesaplanan değere karşı kalıntıların dağılımı



faktör sabit tutularak diğer iki faktörün cevap üzerindeki etkisinin üç boyutlu gösterimi sağlanmaktadır. Kontur grafikleri ise cevap yüzeyi grafiklerine benzer şekilde, bir faktör sabit tutularak X ve Y eksenlerinde diğer iki faktörün yer alması ile oluşturulmaktadır. Cevabın aldığı değerler, eksenler arasında kalan bölgeler ile gösterilmektedir.

Bağımsız değişkenlerin Adara biriminin yüzey kalitesi üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri Şekil 5.12-17’de verilmiştir. Bağımsız değişkenlerin Çizelge 4.2’de belirtilen merkez değerdeki pürüzlülük ve parlaklık değerleri grafiklerde “6” ile simgelenmiştir ve “merkez nokta”yı göstermektedir. Adara biriminin bu noktada aldığı pürüzlülük ve parlaklık değerleri sırasıyla 0,038669 μm ve % 91,5105’dir.

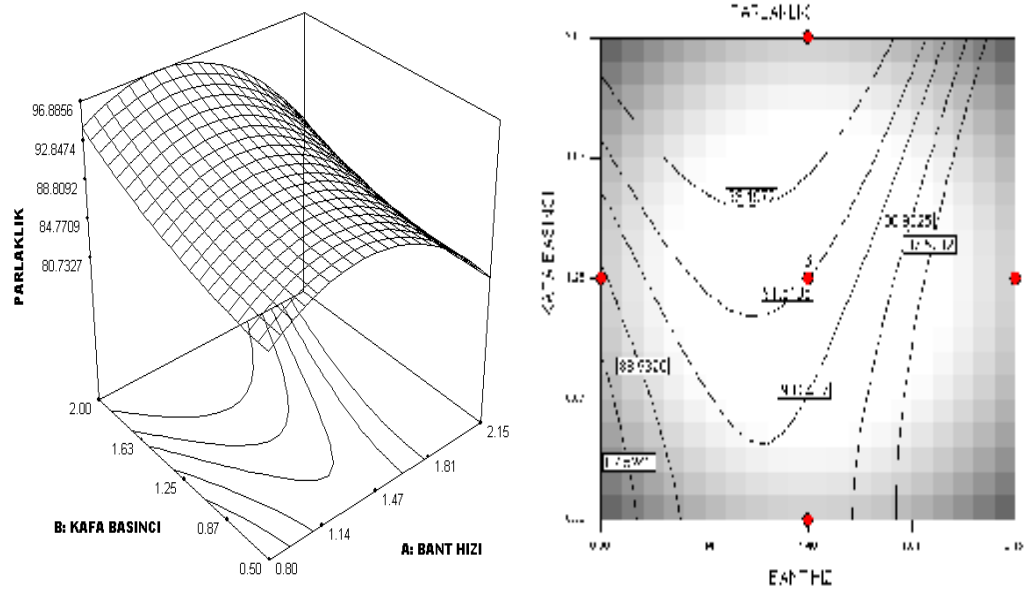
Bağımsız değişkenlerden biri olan kafa devrinin merkez noktasında (499,5 rpm) sabit tutulması durumunda diğer iki değişkenin (kafa basıncının ve bant hızının) Adara biriminin yüzey kalitesi üzerindeki etkisi Şekil 5.12-13’te verilmiştir.



Şekil 5.12. Adara biriminde kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

Şekil 5.12’de cevap yüzeyi grafiğinin azalan sırt yapısında olduğu görülmektedir. Bu grafik durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığını ifade

etmektedir ve pürüzlülük üzerinde bant hızının kafa basıncından daha etkili olduğunu göstermektedir. Düşük pürüzlülük değerlerine 0,8-1,70 m/dk bant hızı ile 1,34-2 bar kafa basıncı değerlerinde ulaşıldığı belirlenmiştir.

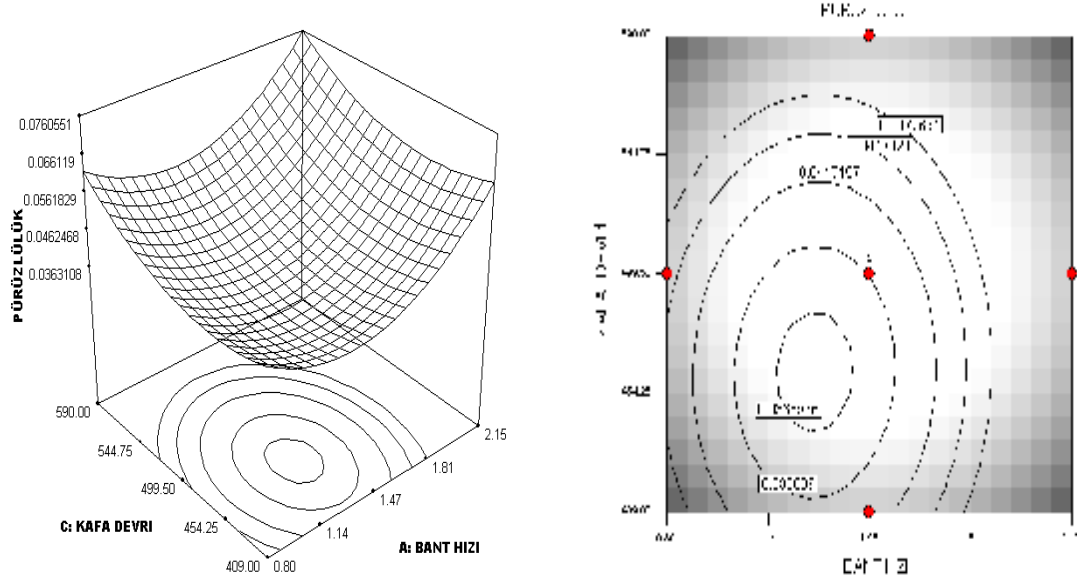


Şekil 5.13. Adara biriminde kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

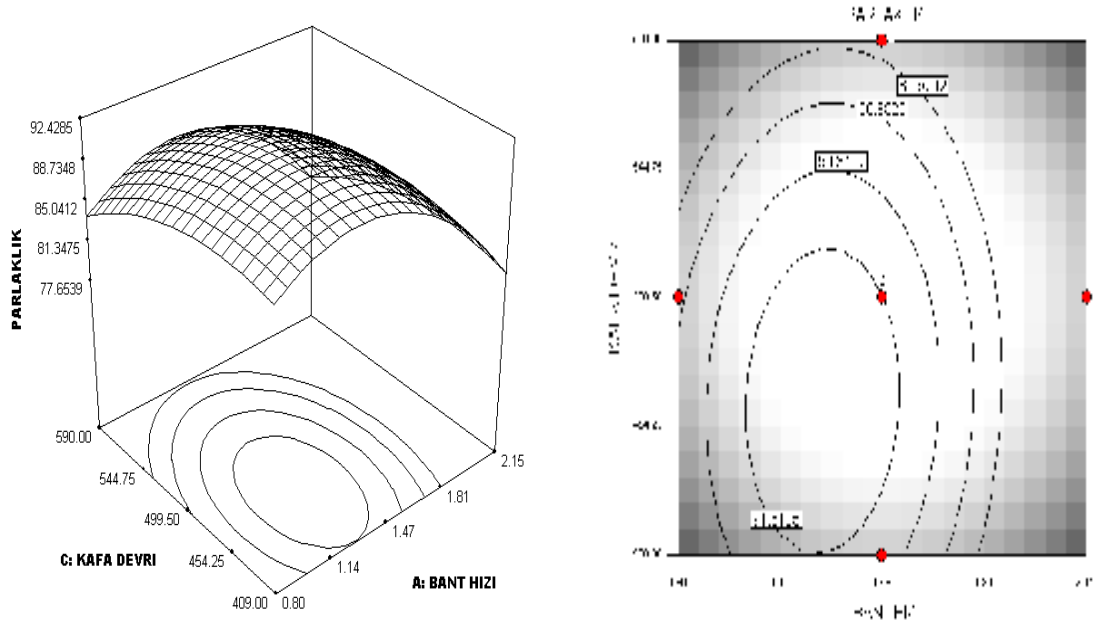
Şekil 5.13'te deneysel bölge içindeki durağan noktanın bir eyer noktası olduğu ve cevabın merkez noktadan uzaklaştıkça yönlere göre artış ya da azalış gösterdiği görülmektedir. Yüksek parlaklık değerlerinin 0,8-1,75 m/dk bant hızı ve 1,47-2 bar kafa basıncı aralığında elde edilebileceği görülmektedir.

Şekil 5.14-15 kafa basıncının merkez noktası olan 1,25 bar olduğu durumda kafa devrinin ve bant hızının Adara biriminin parlaklık ve pürüzlülük değerlerine olan etkisini göstermektedir.

Şekil 5.14'te merkez noktadan uzaklaştıkça pürüzlülük değerlerinde artış görülmektedir. Dolayısıyla durağan noktanın minimum olduğu görülmektedir. Kontur grafiğinin incelenmesi ile en düşük pürüzlülük değerlerinin 439,90-484,63 rpm kafa devri ile 1,17-1,42 m/dk bant hızı aralığında elde edildiği görülmektedir.



Şekil 5.14. Adara biriminde kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri



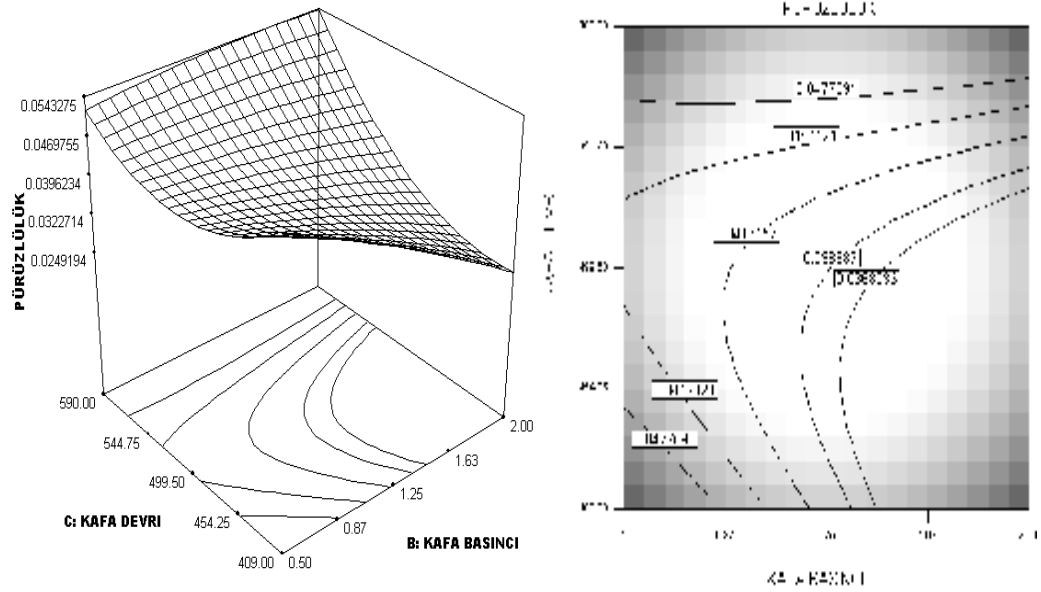
Şekil 5.15. Adara biriminde kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

Şekil 5.15 incelendiğinde merkez noktadan uzaklaştıkça parlaklık değerinin azaldığı, durağan noktanın maksimum olduğu görülmektedir. 1,03-1,53 m/dk bant

hızı ile 409-516,90 rpm kafa devir değerlerinde yüksek parlaklık değerine ulaşılabilirdiği kontur grafiğinden görülmektedir.

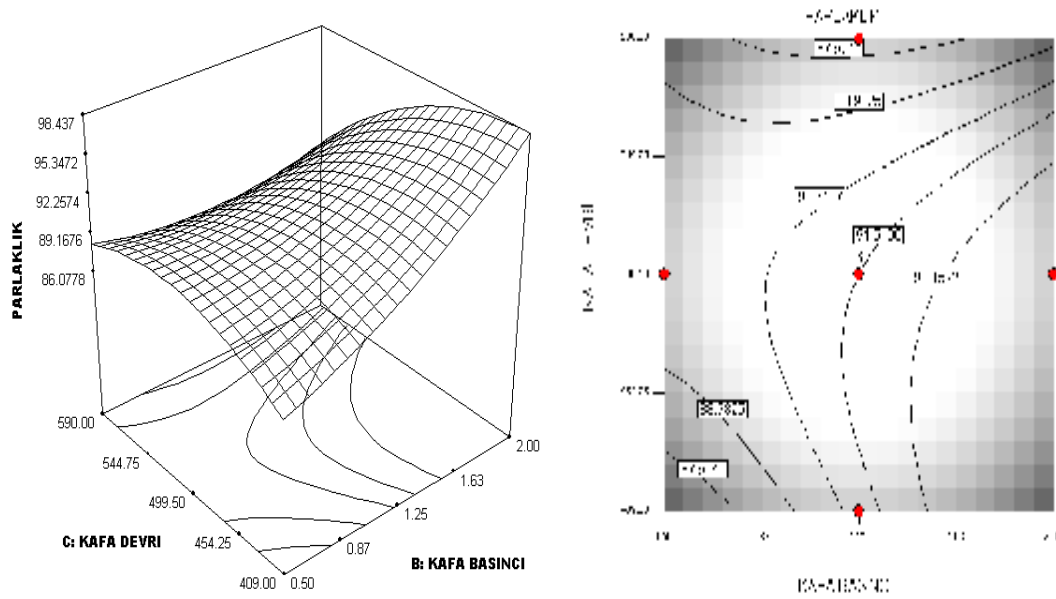
Bant hızının merkez noktası olan 1,48 m/dk değerinde kafa devri ve kafa basıncının pürüzlülük ve parlaklık değeri üzerindeki etkisi Şekil 5.16-17’de gösterilmiştir.

Şekil 5.16’da azalan sırt yapısında olan cevap yüzeyi grafiği, durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığını ifade etmektedir. Pürüzlülük üzerinde kafa devrinin kafa basıncından daha etkili olduğu görülmektedir. En düşük pürüzlülük değerine 1,30-2 bar kafa basıncı ile 409-528,95 rpm kafa devirlerinde ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 5.16. Adara biriminde bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

Şekil 5.17’de durağan noktanın deneysel bölge içinde kaldığı ve bir eyer noktası olduğu, parlaklığın merkez noktadan uzaklaştıkça yönlere bağlı olarak artış ya da azalış gösterdiği görülmektedir. Yüksek parlaklık değerlerinin 1,45-2 bar kafa basıncı ile 409-542,29 rpm kafa devrinde elde edilebileceği görülmektedir.



Şekil 5.17. Adara biriminde bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

Pürüzlülük ve parlaklığın eş zamanlı optimize edilerek tek bir fonksiyon altında toplanması ve bu fonksiyon ile arzu edilen sonuçların elde edilebilmesi için çekicilik (desirability) fonksiyonu yaklaşımı ile modelleme yapılmıştır. Çekicilik fonksiyonu her bir cevap için 0 ile 1 arasında değişen bir indeks olup, bu değer 1 olması belirlenen kriterlerin sağlandığını, 0 olması ise belirlenen kriterlerin sağlanmadığını belirtmektedir.

Çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışması için cevapların ve bağımsız değişkenlerin düşük ve yüksek sınır değerleri ile hedef değerleri ve önem dereceleri belirlenmiştir (Çizelge 5.14). Yapılan optimizasyon çalışmasının sonucu Çizelge 5.15'te verilmiştir. Çekicilik fonksiyonun 1 olması belirlenen kriterin sağlandığını göstermektedir.

İki cevap değişkenine ait kontur grafiklerinin birbiri üstüne bindirilmesi ile oluşturulan örtüşen kontur grafiği yardımı ile optimizasyon yapılmıştır. Örtüşen kontur grafiği ile optimizasyon yapmak üzere 499,50 rpm sabit kafa devrinde parlaklığın en az % 93,1572 ve pürüzlülüğün en fazla 0,0356623 μm olması kriterine dayanarak çalışma şartları belirlenmiş yapılan optimizasyonun grafiği Şekil 5.18'de

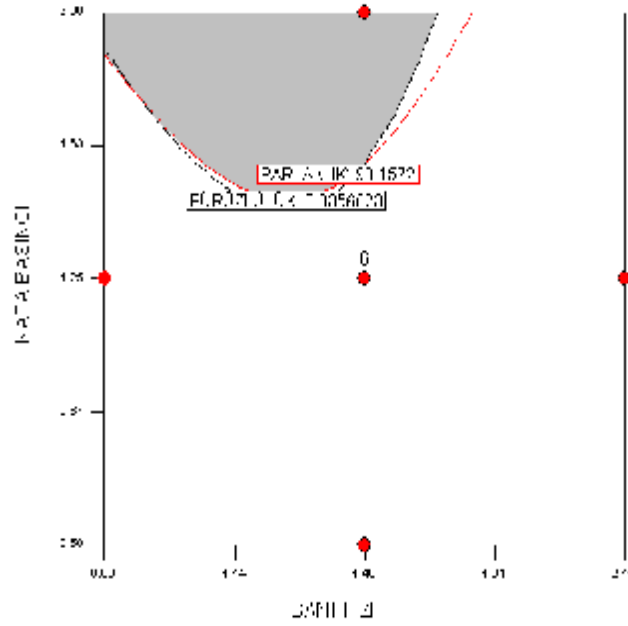
verilmiştir. Şekilde belirtilen taralı alanda belirtilen kriterden daha düşük pürüzlülük ve daha yüksek parlaklık değeri elde edilebileceği görülmektedir.

Çizelge 5.14. Adara biriminde çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışması kriterleri

	İsim	Düşük Sınır	Yüksek Sınır	Hedef Değerleri	Önem
Bağımsız Değişkenler	Bant Hızı (m/dk)	0,8	2,15	0,8-2,15	3
	Kafa Basıncı(bar)	0,5	2	0,5-2	3
	Kafa Devri(rpm)	409	590	409-590	3
Cevap	Pürüzlülük (μm)	0,03	0,062	Minimum	5
	Parlaklık (%)	81,48	96,96	Maksimum	5

Çizelge 5.15. Adara biriminde çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışmasının sonuçları

	Bant Hızı (m/dk)	Kafa Basıncı (bar)	Kafa Devri (rpm)	Pürüzlülük (μm)	Parlaklık (%)	Çekicilik
1	1,43	1,99	430,24	0,024353	98,5184	1
2	1,42	1,91	456,94	0,026821	97,2577	1
3	1,27	1,87	445,78	0,025516	97,6224	1
4	1,14	1,91	472,54	0,026655	97,2	1
5	1,51	1,99	452,32	0,02663	97,6163	1
6	1,21	1,97	466,55	0,024925	98,0937	1
7	1,01	1,96	468,01	0,026377	97,2929	1
8	1,04	1,99	459,93	0,024636	98,1048	1
9	1,02	1,96	422,37	0,023883	98,4338	1
10	1,47	1,92	442,5	0,026544	97,4198	1



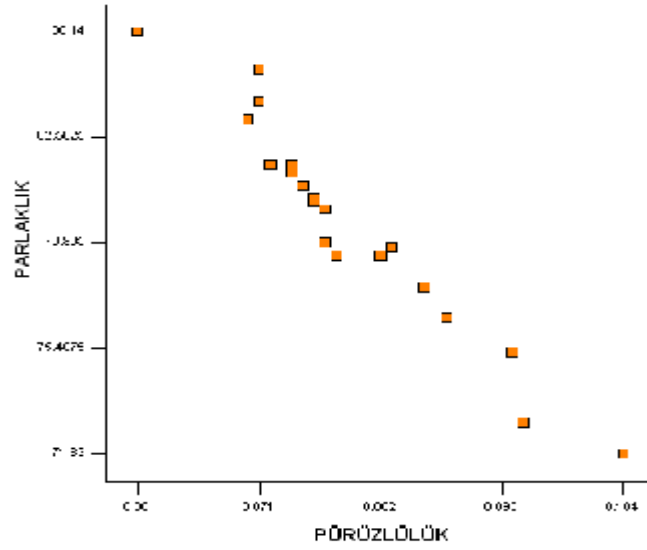
Şekil 5.18. Adara birimi için örtüşen kontur grafiği ile optimizasyon

5.2.2.2. Emprador Birimi İçin Sonuçların Değerlendirilmesi

Emprador biriminin aşındırma-cilalama işleminde kullanılan aşındırıcı serisi ve ölçülen pürüzlülük ile parlaklık değerleri Ek 2’de verilmiştir. 60-80-120 numaralı aşındırıcılarda bir önceki aşındırıcıya oranla pürüzlülük değerlerinde daha hızlı düşüş meydana geldiği belirlenmiştir. Parlaklık değerleri incelendiğinde 360 numaralı aşındırıcıya kadar parlaklık değerindeki artışın yavaş olmasına rağmen 360 ve sonrasındaki aşındırıcılarda artışın hızlandığı gözlenmiştir.

Serinin son aşındırıcısı olan pulitoreden sonra ölçülen nihai parlaklık ve pürüzlülük değerleri deney programına girilmiştir (Ek 5). Ölçüm sonuçları incelendiğinde optimum parlaklık ve pürüzlülük değerlerine bant hızının 1,07 m/dk, kafa basıncının 1,70 bar ve kafa devrinin 445,69 rpm olduğu 8. deneyde ulaşıldığı görülmektedir.

Şekil 5.19’da verilen Emprador birimi cevap değişkenleri arasındaki ilişkinin grafiği incelendiğinde pürüzlülük ve parlaklık değerleri arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu ve iki cevap değişkeni arasındaki korelasyonun $r = -0,97$ olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.19. Emprador birimi cevap değişkenleri arasındaki ilişkinin grafiği

Çizelge 5.16’da verilen istatistiksel model özetinde belirtilen $D.R^2$ ve $T.E.R^2$ değerleri incelendiğinde cevap değişkenlerinin modellenmesi için kuadratik modelin uygun ve kullanılabilir olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.16. Design Expert 6.0 programının Emprador birimi için istatistiksel model özeti

Cevap Adı	Model	S.S.	R^2	$D. R^2$	$T. E. R^2$	PRESS	M. U.
Pürüzlülük	Lineer	5,806	0,7266	0,6753	0,5530	8,818E-004	Önerilmiş model
	2FI	5,899	0,7707	0,6649	0,5249	9,372E-004	
	Kuadratik	<u>2,891</u>	<u>0,9576</u>	<u>0,9195</u>	<u>0,7806</u>	<u>4,328E-004</u>	
	Kübik	2,671	0,9783	0,9313	0,0823	1,810E-003	
Parlaklık	Lineer	2,29	0,6738	0,6126	0,4535	140,38	Önerilmiş model
	2FI	2,21	0,7530	0,6390	0,4258	147,49	
	Kuadratik	<u>1,28</u>	<u>0,9364</u>	<u>0,8791</u>	<u>0,7545</u>	<u>63,07</u>	
	Kübik	1,35	0,9572	0,8643	0,1764	211,53	

MKT'ye göre yapılan aşındırma-cilalama deneyleri sonucunda elde edilen cevaplara göre modeller türetilmiştir. Kodlanmış değerler ve gerçek değerler kullanılarak türetilen modeller Çizelge 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Emprador birimi için kodlanmış ve gerçek değerler kullanılarak türetilen modeller

Cevap	Kodlanmış Değer	Gerçek Değer
Pürüzlülük	$=+0,075$ $+3,844E-003 * A$ $-5,948E-003 * B$ $+7,402E-003 * C$ $+2,556E-004 * A^2$ $+9,627E-004 * B^2$ $+5,029E-003 * C^2$ $+3,250E-003 * A * B$ $-5,000E-004 * A * C$ $-2,500E-004 * B * C$	$= +0,46293$ $-6,23612E-003 * \text{Bant Hızı}$ $-0,047018 * \text{Kafa Basıncı}$ $-1,55010E-003 * \text{Kafa Devri}$ $+1,58664E-003 * \text{Bant Hızı}^2$ $+4,84074E-003 * \text{Kafa Basıncı}^2$ $+1,73657E-006 * \text{Kafa Devri}^2$ $+0,018158 * \text{Bant Hızı} * \text{Kafa Basıncı}$ $-2,31506E-005 * \text{Bant Hızı} * \text{Kafa Devri}$ $-1,04178E-005 * \text{Kafa Basıncı} * \text{Kafa Devri}$
Parlaklık	$=+80,88$ $-1,31 * A$ $+2,24 * B$ $-2,43 * C$ $+0,19 * A^2$ $-0,20 * B^2$ $-1,77 * C^2$ $-1,58 * A * B$ $+0,22 * A * C$ $-0,020 * B * C$	$= -58,96766$ $-0,63702 * \text{Bant Hızı}$ $+20,95582 * \text{Kafa Basıncı}$ $+0,55170 * \text{Kafa Devri}$ $+1,16165 * \text{Bant Hızı}^2$ $-0,99684 * \text{Kafa Basıncı}^2$ $-6,11181E-004 * \text{Kafa Devri}^2$ $-8,82749 * \text{Bant Hızı} * \text{Kafa Basıncı}$ $+9,95477E-003 * \text{Bant Hızı} * \text{Kafa Devri}$ $-8,33422E-004 * \text{Kafa Basıncı} * \text{Kafa Devri}$

Kodlanmış değerlere göre türetilen modeldeki bağımsız değişkenlerin önündeki katsayıların mutlak değeri incelendiğinde pürüzlülük üzerinde en etkin değişkenin kafa devri olduğu görülmektedir. Türetilen modelde ana etkilerden bant hızının ve kafa devrinin pürüzlülüğü pozitif doğrusal, kafa basıncının ise negatif doğrusal etkilediği görülmektedir. Yani bant hızının ve kafa devrinin artması pürüzlülük değerini artırırken, kafa basıncının artması ise pürüzlülüğü

azaltmaktadır. Ayrıca kafa devrinin pürüzlülük üzerinde pozitif kuadratik etkisi mevcuttur ve bu değerdeki değişim pürüzlülük üzerinde karesi olarak yansımaktadır.

Parlaklık üzerindeki en kuvvetli değişkenin kafa devri olduğu görülmektedir. Kafa basıncının sistemi pozitif doğrusal, bant hızı ve kafa devrinin ise negatif doğrusal yönde etkilediği görülmektedir. Bir başka deyişle kafa basıncının artması parlaklığı arttırmakta, bant hızı ve kafa devrinin artması parlaklığı azaltmaktadır. Kafa devrinin parlaklık üzerinde var olan negatif kuadratik etkisi bu değerdeki değişimi parlaklık üzerine karesi olarak yansıtmaktadır.

Elde edilen bu modellerin hassasiyetini, uygunluğunu ve yeterliliğini belirlemek amacı ile yapılan varyans analizleri pürüzlülük ve parlaklık için sırasıyla Çizelge 5.18-19'da verilmiştir.

Çizelge 5.18. Emprador birimi pürüzlülük modeli için ANOVA

Değişimin	SD	Kareler	Kareler	F	Prob>F
Kaynak		Toplamı	Ortalaması		
Regresyon	9	1,889E-003	2,099E-004	25,11	< 0,0001
A	1	2,018E-004	2,018E-004	24,14	0,0006
B	1	4,831E-004	4,831E-004	57,79	< 0,0001
C	1	7,483E-004	7,483E-004	89,51	< 0,0001
A ²	1	9,414E-007	9,414E-007	0,11	0,7441
B ²	1	1,336E-005	1,336E-005	1,60	0,2349
C ²	1	3,644E-004	3,644E-004	43,59	< 0,0001
AB	1	8,450E-005	8,450E-005	10,11	0,0098
AC	1	2,000E-006	2,000E-006	0,24	0,6353
BC	1	5,000E-007	5,000E-007	0,060	0,8117
Kalan Hatası	10	8,360E-005	8,360E-006		
Uyum Eksikliği	5	4,877E-005	9,753E-006	1,40	0,3605
Saf Hata	5	3,483E-005	6,967E-006		
Toplam	19	1,973E-003			

Seçilen anlamlılık düzeyi gereğince pürüzlülük ve parlaklık modelleri için elde edilmiş olan Prob>F değerleri < 0,0001 olup $P < 0,05$ koşulunu sağlamaktadır. Aynı şartlar modeli oluşturan her parametreye de uygulanmış, incelenen parametrelerden $P < 0,05$ koşulunu sağlayarak pürüzlülük ve parlaklık üzerinde etkin olan parametrelerin A, B, C, C², AB kodlu değerler olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.19. Emprador birimi parlaklık modeli için ANOVA

Değişimin	SD	Kareler	Kareler	F	Prob>F
Regresyon	9	240,51	26,72	16,35	<0,0001
A	1	23,55	23,55	14,41	0,0035
B	1	68,63	68,63	42,00	<0,0001
C	1	80,88	80,88	49,49	<0,0001
A ²	1	0,50	0,50	0,31	0,5906
B ²	1	0,57	0,57	0,35	0,5691
C ²	1	45,14	45,14	27,62	0,0004
AB	1	19,97	19,97	12,22	0,0058
AC	1	0,37	0,37	0,23	0,6445
BC	1	3,200E-003	3,200E-003	1,958E-003	0,9656
Kalan Hatası	10	16,34	1,63		
Uyum Eksikliği	5	6,23	1,25	0,62	0,6959
Saf Hata	5	10,11	2,02		
Toplam	19	256,85			

Çizelge 5.18-19’da görüldüğü gibi, model F değerleri, pürüzlülük modeli için 25,11 ve parlaklık modeli için 16,35 olarak bulunmuştur. $F_{0,05(9,10)}$ değeri F testi tablosundan 3,02 olarak okunmuş dolayısıyla $F_{\text{hesaplanan}} > F_{\text{çizelge}}$ şartı sağlandığından kullanılan regresyon modellerinin sistemi matematiksel olarak ifade ettiği kabul edilmiştir.

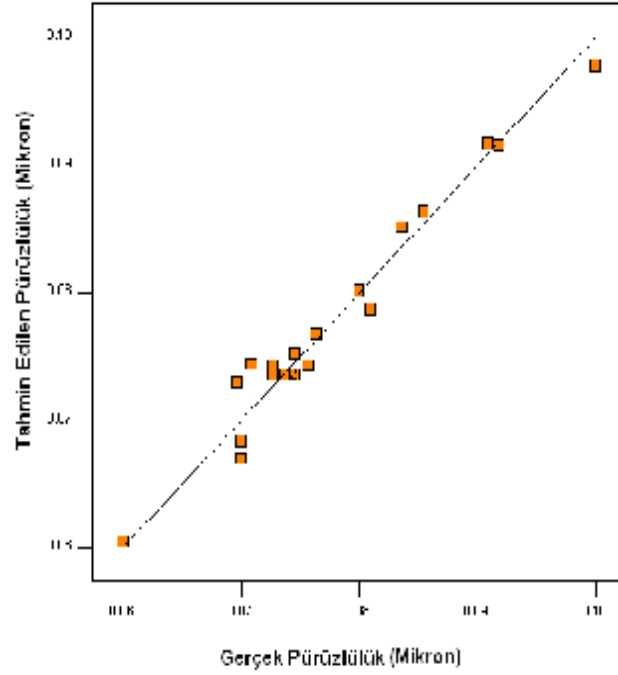
Türetilen modellerden tahmin edilen cevap değerleri ile yapılan deneyler sonucunda bulunan gerçek cevap değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.20’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde tahmin edilen pürüzlülük ve parlaklık değerlerinin gerçek pürüzlülük ve parlaklık değerlerine yakın olduğu hesaplanan hata değerlerinden görülmektedir.

Çizelge 5.20’de belirtilen verilere göre oluşturulan Şekil 5.20-21’de deneyler sonucunda elde edilen gerçek cevap değerleri ile önerilen model tarafından tahmin edilen değerler arasındaki ilişki grafik olarak gösterilmiştir Bu şekillerden iki veri arasında çizilen doğruların belirleme katsayılarının pürüzlülük için $R^2=0,9576$, parlaklık için ise $R^2= 0,9364$ olduğu yani gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki uyumun pürüzlülük için % 95,76 parlaklık için ise % 93,64 olduğu belirlenmiştir.

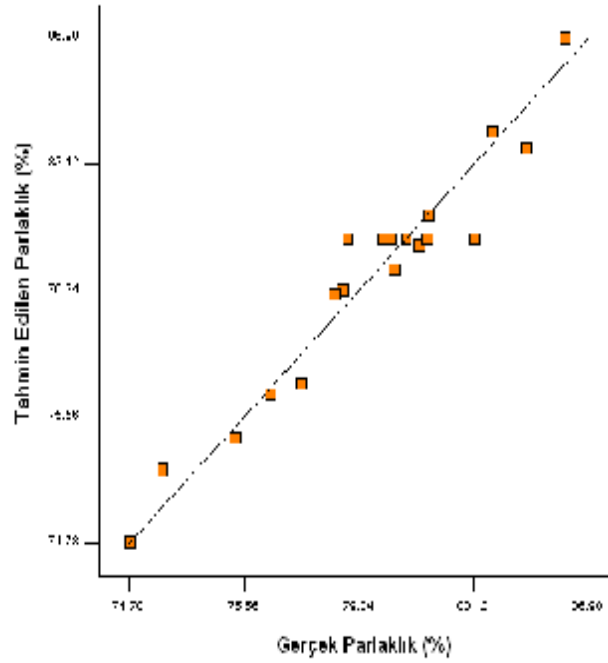
Şekil 5.22-23'te kareler farkının yüzde olasılığa göre dağılımı verilmiştir. Bu grafiklerden noktaların olasılık çizgisinin her iki tarafında homojen bir dağılım sergilediği ve olasılık eğrilerinin düz bir çizgiyi andırdığı görülmektedir. Bu durum istenilen bir sonuç olup ve modelden kaynaklanan bir hatanın olmadığını göstermektedir.

Çizelge 5.20. Emprador birimi için gerçek ve tahmin edilen sonuçlarının karşılaştırılması

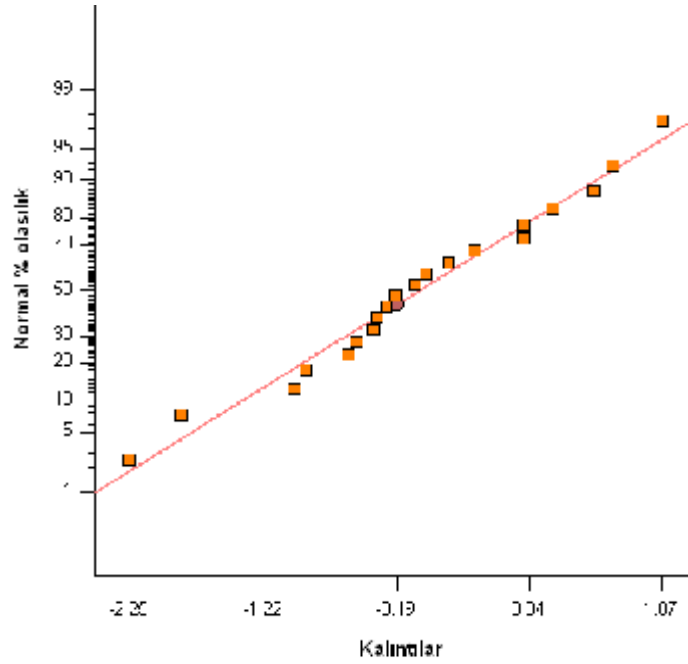
Deney No	Cevap					
	Pürüzlülük(μm)			Parlaklık (%)		
	Gerçek	Tahmin	Hata	Gerçek	Tahmin	Hata
1	0,094	0,095	-3,326E-004	75,27	74,93	0,34
2	0,075	0,075	2,479E-003	80,91	80,88	0,028
3	0,072	0,076	-4,372E-004	81,64	81,57	0,072
4	0,10	0,10	-1,626E-003	71,83	71,78	0,046
5	0,076	0,077	3,631E-004	80,52	79,97	0,55
6	0,077	0,075	-8,253E-004	78,99	80,88	-1,89
7	0,074	0,076	-3,741E-003	81,34	80,69	0,65
8	0,060	0,060	-9,299E-004	86,14	86,90	-0,76
9	0,086	0,088	1,858E-003	77,47	76,55	0,92
10	0,088	0,089	-7,246E-005	76,45	76,21	0,24
11	0,071	0,068	-1,610E-003	83,77	84,09	-0,32
12	0,074	0,075	3,395E-003	81,61	80,88	0,73
13	0,071	0,069	-6,584E-004	84,86	83,62	1,24
14	0,077	0,075	2,444E-003	80,12	80,88	-0,76
15	0,070	0,075	1,156E-004	83,16	80,88	2,28
16	0,078	0,078	2,116E-003	78,56	79,22	-0,66
17	0,082	0,082	-4,884E-003	78,56	79,20	-0,64
18	0,083	0,081	1,116E-003	78,83	79,32	-0,49
19	0,095	0,095	-8,844E-004	72,89	73,96	-1,07
20	0,076	0,075	2,116E-003	80,40	80,88	-0,48



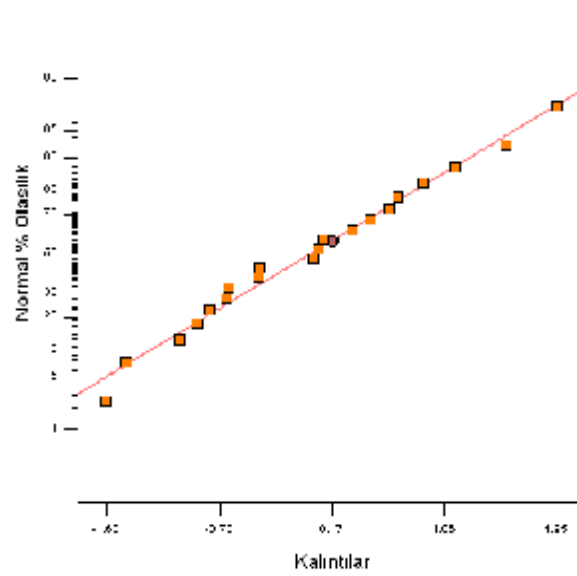
Şekil 5.20. Emprador birimi için gerçek pürüzlülük değerine karşı tahmin edilen pürüzlülük değerleri



Şekil 5.21. Emprador birimi için gerçek parlaklık değerine karşı tahmin edilen parlaklık değerleri

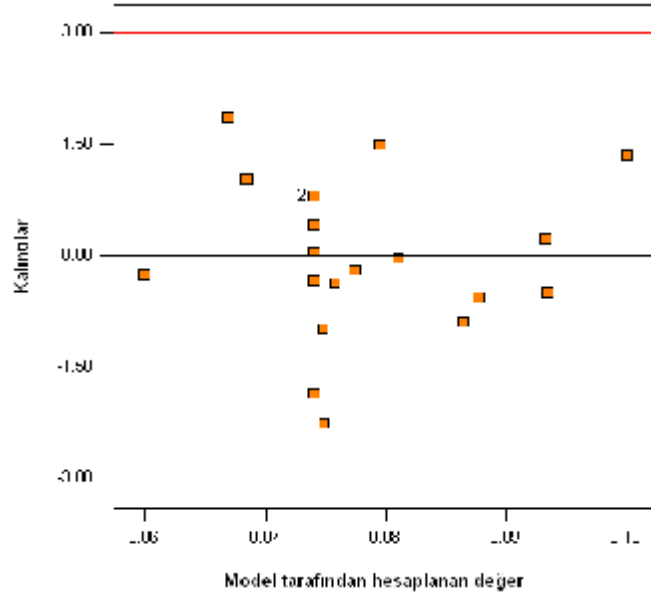


Şekil 5.22. Emprador birimi pürüzlülük için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı

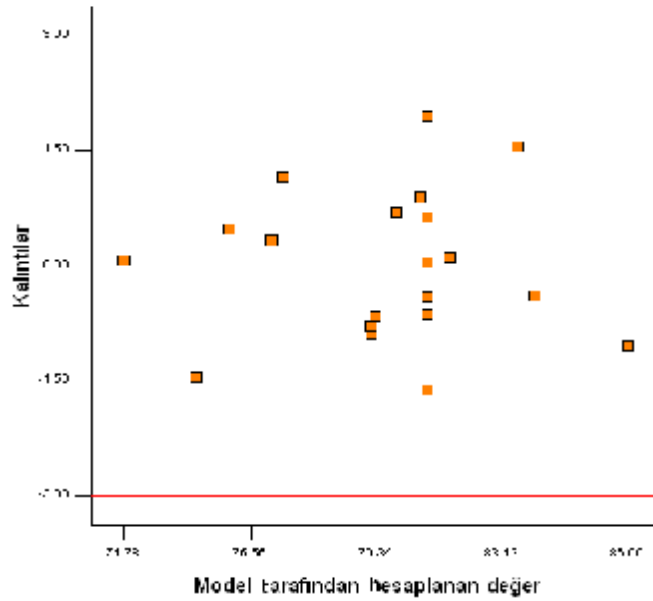


Şekil 5.23. Emprador birimi parlaklık için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı

Şekil 5.24-25'te hesaplanan değerlere karşı kalıntıların dağılımı görülmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere sıfır ekseninin altında ve üstünde rastgele bir dağılım söz konusudur. Bu durum istenilen bir sonuç olup modelden kaynaklanan bir hatanın olmadığını göstermektedir.



Şekil 5.24. Emprador birimi pürüzlülük için hesaplanan değere karşı kalıntıların dağılımı



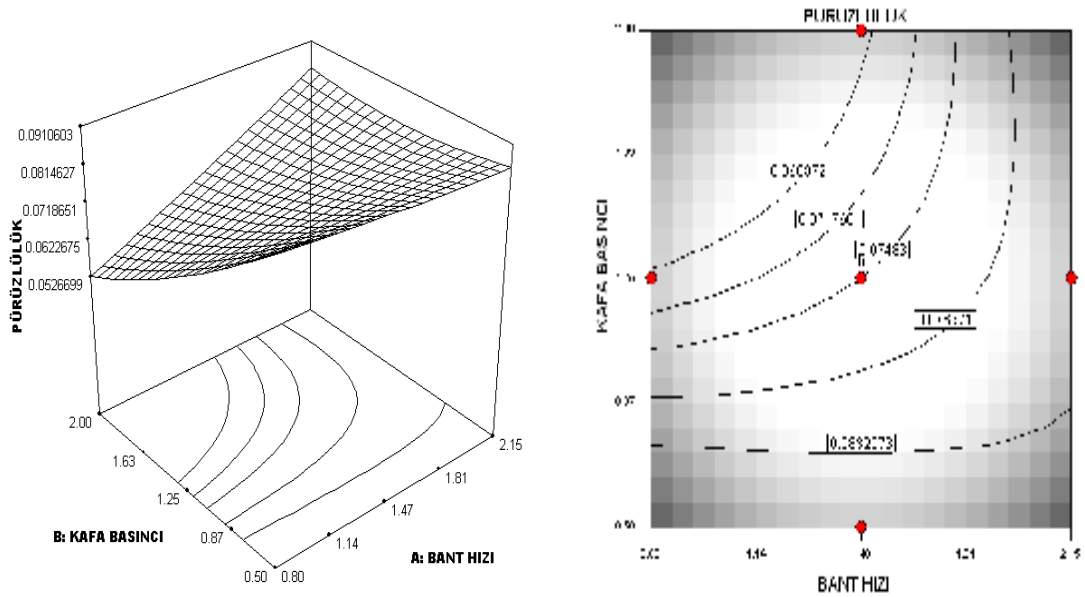
Şekil 5.25. Emprador birimi parlaklık için hesaplanan değere karşı kalıntıların dağılımı

Aşındırma-cilalama deneylerinde bağımsız değişken olarak kullanılan faktörlerin Emprador biriminin yüzey kalitesi üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri Şekil 5.26–5.31’de verilmiştir. Bağımsız değişkenlerin merkez

noktasında pürüzlülüğün 0,07483 μm , parlaklığın ise % 80,865 olduğu görülmektedir.

Şekil 5.26-27 kafa devrinin merkez noktası olan 499,5 rpm de iken kafa basıncının ve bant hızının Emprador biriminin cevap değişkenlerine etkisini göstermektedir.

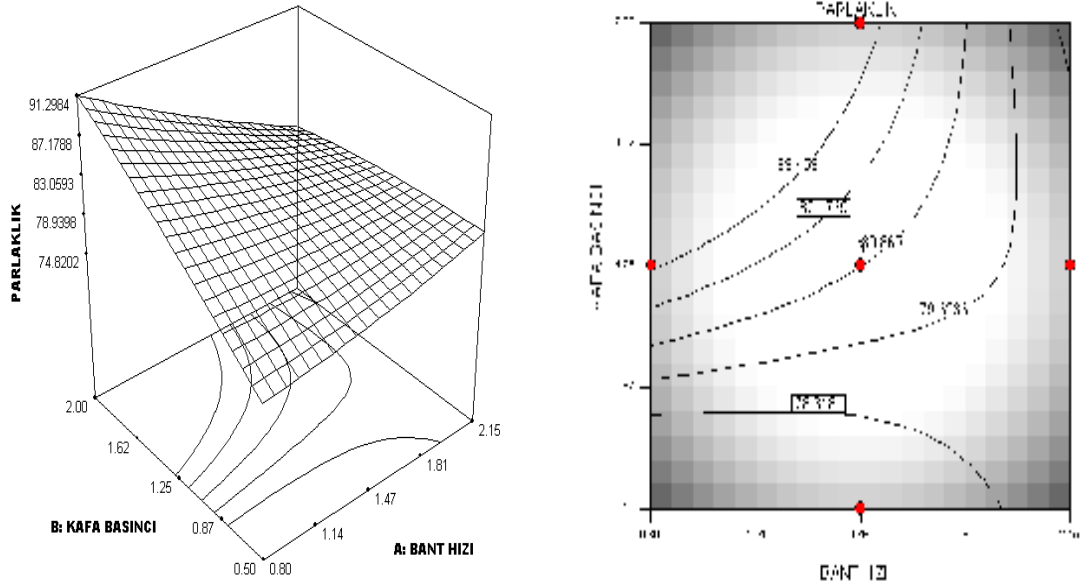
Şekil 5.26 incelendiğinde cevap yüzeyi grafiğinin azalan sırt yapısında olduğu görülmektedir. Bu grafik durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığını ifade etmektedir ve pürüzlülük üzerinde kafa basıncının bant hızından daha etkili olduğunu göstermektedir. En düşük pürüzlülük değerine 0,8-1,50 m/dk bant hızı ve 1,28-2 bar kafa basıncı aralıklarında ulaşıldığı görülmektedir.



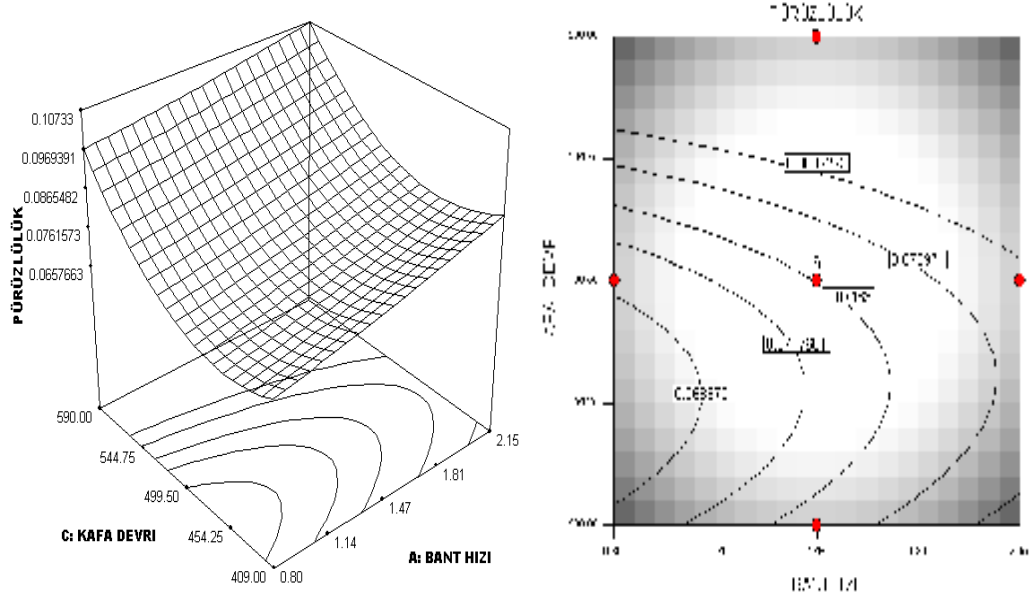
Şekil 5.26. Emprador biriminde kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

Şekil 5.27’de verilen grafik parlaklık üzerinde basıncın bant hızından daha etkili olduğunu göstermektedir. En yüksek parlaklık değerine 0,8-1,53 m/dk bant hızı ile 1,25-2 bar aralığındaki kafa basıncı değerlerinde ulaşılabilirdiği görülmektedir.

Şekil 5.28-29 kafa basıncı 1,25 bar değerinde sabit iken kafa devrinin ve bant hızının Emprador biriminin cevap değişkenlerine olan etkisini göstermektedir.

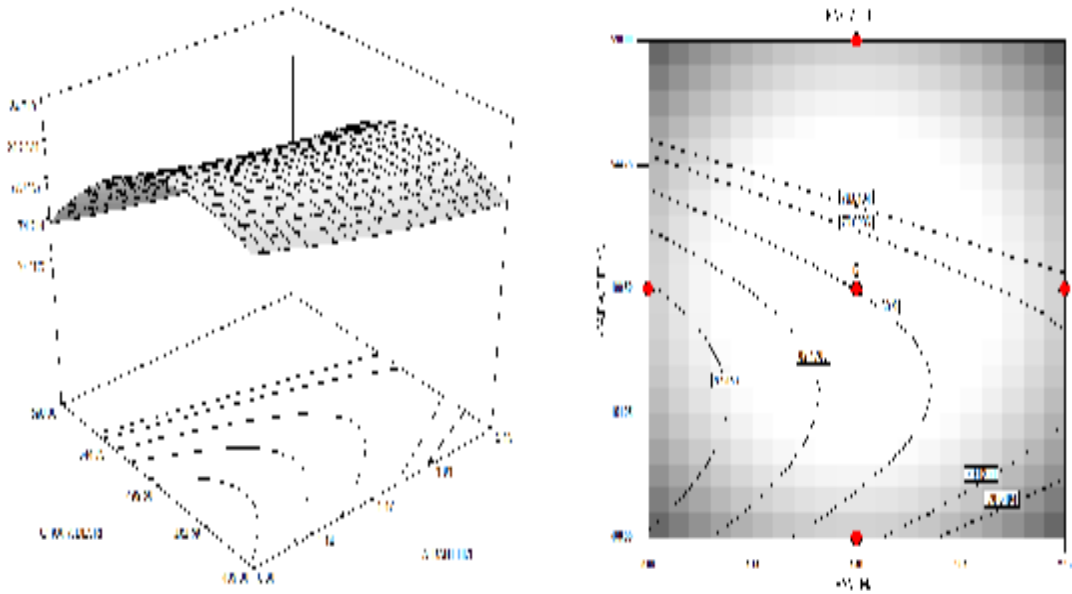


Şekil 5.27. Emprador birimi için kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri



Şekil 5.28. Emprador birimi için kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

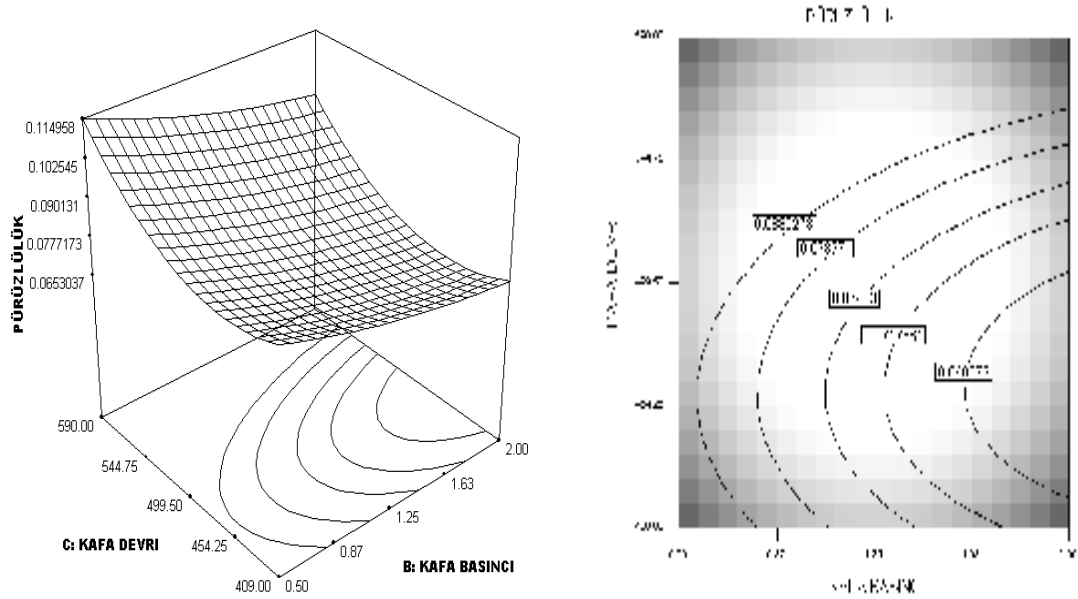
Şekil 5.28 incelendiğinde azalan sırt yapısında olan cevap yüzeyi grafiği, durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığını ifade etmektedir. Pürüzlülüğün kafa devri değişiminden daha çok etkilendiği görülmektedir. En düşük pürüzlülük değerine 0,8-1,09 m/dk bant hızı ile 417,09-493,24 rpm aralığındaki kafa devri değerlerinde ulaşıldığı görülmektedir.



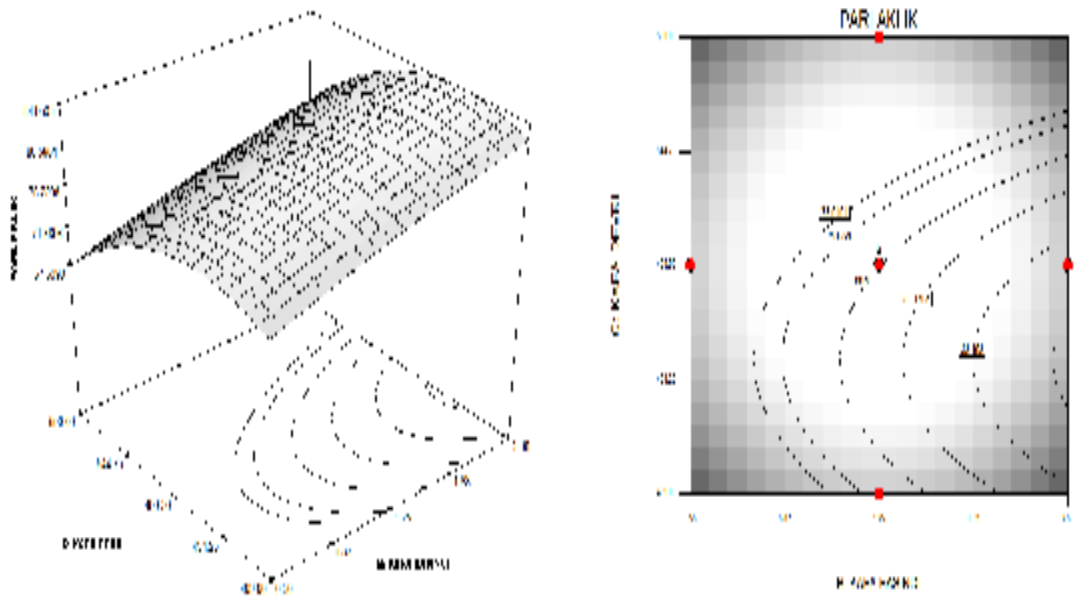
Şekil 5.29. Emprador birimi için kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

Şekil 5.29'da cevap yüzeyi grafiğinin artan sırt yapısında olması durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığını ifade etmektedir. Parlaklığın kafa devri değişiminden daha fazla etkilendiği görülmektedir. En yüksek parlaklık değerine 0,8-1,06 m/dk bant hızı ile 409-501,91 rpm kafa devri değerlerinde ulaşıldığı görülmektedir.

Bant hızının merkez noktası olan 1,48 m/sn değerinde kafa devri ve kafa basıncının pürüzlülük ve parlaklık değeri üzerindeki etkisi Şekil 5.30-31'de gösterilmiştir.



Şekil 5.30. Emprador birimi için bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri



Şekil 5.31. Emprador birimi için bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

Şekil 5.30’da cevap yüzeyi grafiğinin azalan sırt yapısında olması, durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığını ifade etmektedir. Pürüzlülüğün kafa devri değişiminden daha çok etkilendiği görülmektedir. En düşük pürüzlülük değerine 1,60-2 bar arası kafa basıncı ile 420,53-504,44 rpm arası kafa devri değerlerinde ulaşılabildiği görülmektedir.

Şekil 5.31 incelendiğinde grafikte görülen artan sırt yapısı durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığını ifade etmektedir. Parlaklığın kafa devri değişiminden daha çok etkilendiği görülmektedir. En yüksek parlaklık değerinin 1,63-2 bar kafa basıncı ile 409-510, 62 rpm kafa devri değerlerinde elde edildiği görülmektedir.

Çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışması için cevapların ve bağımsız değişkenlerin düşük, yüksek ve hedef değerleri ile önem dereceleri Çizelge 5.21’de belirtilmiştir. Yapılan optimizasyon çalışması sonucunda elde edilen çekicilik değerinin 1 olması yapılan optimizasyonun ideal durumda olduğunu göstermektedir (Çizelge 5.22).

Çizelge 5.21. Emprador birimi için çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışması kriterleri

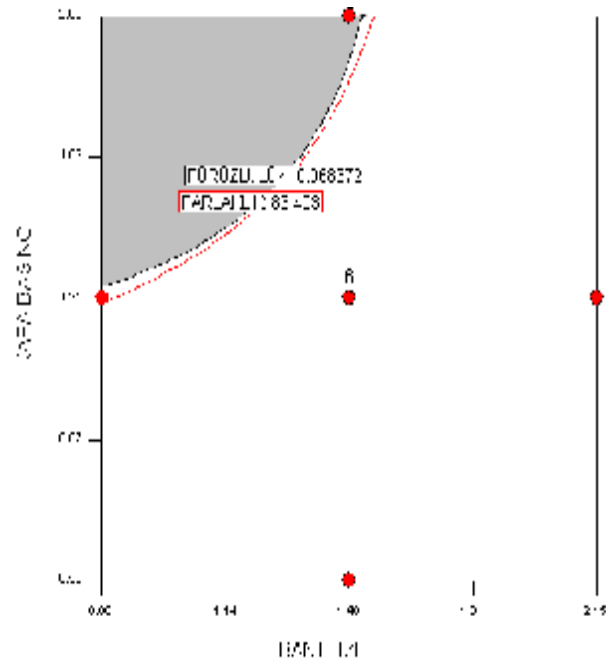
	İsim	Düşük Sınır Değeri	Yüksek Sınır Değeri	Hedef Değerleri	Önem
Bağımsız Değişkenler	Bant Hızı (m/dk)	0,8	2,15	0,8-2,15	3
	Kafa Basıncı (bar)	0,5	2	0,5-2	3
	Kafa Devri(rpm)	409	590	409-590	3
Cevap	Pürüzlülük (µm)	0,06	0,104	Minimum	5
	Parlaklık (%)	71,83	86,14	Maksimum	5

Örtüşen kontur grafiği ile optimizasyon yapmak üzere 499,50 rpm sabit kafa devrinde parlaklığın en az % 83,453 ve pürüzlülüğün en fazla 0,068372 µm olması

kriterine dayanarak çalışma şartları belirlenmiş yapılan optimizasyonun grafiği Şekil 5.32’de verilmiştir. Şekilde belirtilen taralı alanda belirlenen kriterden düşük pürüzlülük ve yüksek parlaklık değerleri elde edilebileceği görülmektedir.

Çizelge 5.22. Emprador biriminde çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışmasının sonuçları

	Bant Hızı (m/dk)	Kafa Basıncı (bar)	Kafa Devri (rpm)	Pürüzlülük (μm)	Parlaklık (%)	Çekicilik
1	1,04	1,96	451,88	0,055615	89,3354	1
2	1,05	1,97	495,61	0,057958	88,4581	1
3	0,87	1,89	490,91	0,054928	89,9367	1
4	1,06	1,91	490,97	0,058389	88,1515	1
5	0,88	1,78	466,37	0,055282	89,5013	1
6	0,96	1,96	413,53	0,057281	89,0539	1
7	0,93	1,92	488,02	0,05533	89,6604	1
8	1,06	1,72	464,13	0,059584	87,2984	1
9	0,99	1,79	480,66	0,058081	88,1641	1
10	1,23	1,96	460,77	0,059729	87,3387	1



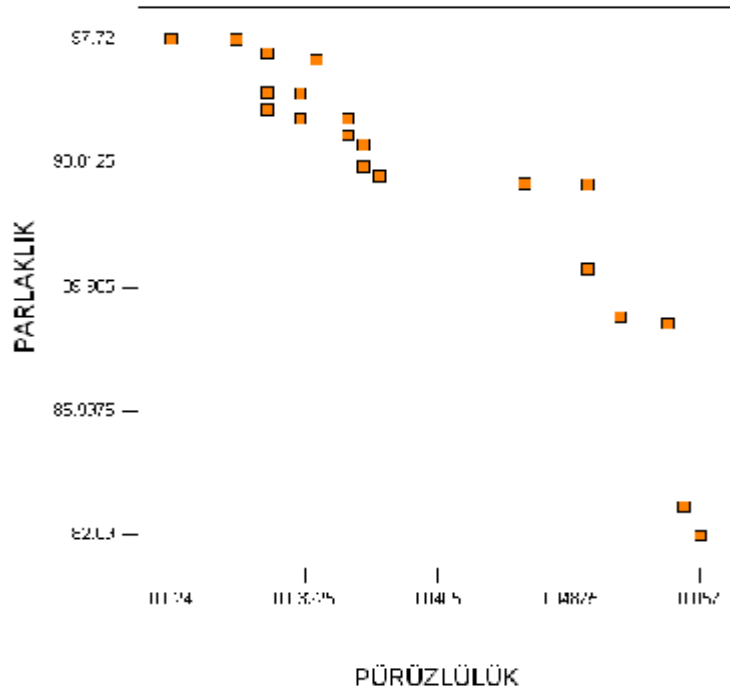
Şekil 5. 32. Emprador biriminde örtüşen kontur grafiği ile optimizasyon

5.2.2.3. Crema Nera Birimi İçin Sonuçların Değerlendirilmesi

Crema Nera biriminin aşındırma-cilalama işleminde kullanılan aşındırıcı serisi ve ölçülen pürüzlülük–parlaklık değerleri Ek 3’te verilmiştir. 60-80-120 numaralı aşındırıcıların kullanımından sonra pürüzlülük değerlerinde belirgin bir azalma görülürken aşındırıcı serisinin sonuna doğru azalmanın yavaşladığı belirlenmiştir. 360 numaralı aşındırıcıya kadar parlaklık değerlerindeki artış yavaşken 360 ve aşındırıcı serisi sonuna kadar hızlı bir artış gözlenmiştir.

Son aşındırıcı olan pulitoreden sonraki nihai parlaklık ve pürüzlülük ölçüm sonuçları deney programına girilmiştir(Ek-5). Ölçüm sonuçları incelendiğinde optimum parlaklık ve pürüzlülük değerlerine bant hızının 0,80 m/dk, kafa basıncının 1,25 bar ve kafa devrinin 499,5 rpm olduğu 13. deneyde ulaşıldığı görülmektedir.

Crema Nera biriminin cevap değişkenleri arasındaki ilişki Şekil 5.33’te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde pürüzlülük değeri arttıkça parlaklık değerinin azaldığı görülmektedir. İki cevap değişkeni arasındaki korelasyonun $r=-0,905$ olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.33. Crema Nera birimi için cevap değişkenleri arasındaki ilişkinin grafiği

Yapılan deney sonuçlarına göre cevap değişkenleri için program tarafından hazırlanan istatistiksel model özeti Çizelge 5.23'te verilmiştir. D. R^2 ve T.E. R^2 değerleri incelendiğinde kuadratik modelin program tarafından her iki cevap değişkeni için önerildiği görülmektedir

Çizelge 5.23. Design Expert 6.0 programının Crema Nera birimi için istatistiksel model özeti

Cevap Adı	Model	S.S.	R^2	D. R^2	T. E. R^2	PRESS	M. U.
Pürüzlülük	Lineer	7,005	0,6270	0,5571	0,3863	1,292E-003	Önerilmiş model
	2FI	5,548	0,8099	0,7222	0,4625	1,132E-003	
	Kuadratik	<u>3,089</u>	<u>0,9547</u>	<u>0,9139</u>	<u>0,7477</u>	<u>5,311E-004</u>	
	Kübik	2,378	0,9839	0,9490	0,9317	1,437E-004	
Parlaklık	Lineer	2,90	0,6452	0,5787	0,3912	230,26	Önerilmiş model
	2FI	2,04	0,8564	0,790	0,5111	184,89	
	Kuadratik	<u>1,29</u>	<u>0,9561</u>	<u>0,9166</u>	<u>0,7397</u>	<u>98,46</u>	
	Kübik	1,10	0,9808	0,9392	-0,4423	545,46	

Yapılan aşındırma-cılalama deneyleri sonucunda elde edilen cevaplara göre modeller türetilmiştir. Kodlanmış ve gerçek değerler kullanılarak türetilen modeller Çizelge 5.24'te verilmiştir.

Kodlanmış değerlere göre türetilen modeldeki bağımsız değişkenlerin önündeki katsayıların mutlak değeri incelendiğinde pürüzlülük üzerinde en etkin değişkenin bant hızı olduğu görülmektedir. Türetilen modelde ana etkilerden bant hızının ve kafa devrinin pürüzlülüğü pozitif doğrusal, kafa basıncının ise negatif doğrusal etkilediği görülmektedir. Yani bant hızının ve kafa devrinin artması pürüzlülük değerini arttırırken, kafa basıncının artması ise pürüzlülüğü

azaltmaktadır. Aynı zamanda tüm bağımsız değişkenlerin cevap üzerinde pozitif kuadratik etkisi görülmektedir.

Bant hızının parlaklık üzerindeki en kuvvetli değişken olduğu görülmektedir(Çizelge 5.24). Bant hızı ve kafa devrinin sistemi negatif doğrusal, kafa basıncının ise pozitif doğrusal etkilediği görülmektedir. Bir başka deyişle bant hızı ve kafa devrinin artması parlaklığı azaltırken kafa basıncının artması parlaklığı arttırmaktadır. Parlaklık üzerinde bant hızı ve kafa devrinin cevap üzerinde negatif kuadratik etkisinin olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.24. Crema Nera birimi için kodlanmış ve gerçek değerler kullanılarak türetilen modeller

Cevap	Kodlanmış Değer	Gerçek Değer
Pürüzlülük	$= +0,033$ $+7,918E-003 * A$ $-4,074E-003 * B$ $+4,167E-003 * C$ $+2,199E-003 * A^2$ $+2,376E-003 * B^2$ $+3,790E-003 * C^2$ $-4,750E-003 * A * B$ $+7,500E-004 * A * C$ $+5,000E-003 * B * C$	$= +0,45880$ $-4,71545E-003 * \text{Bant Hızı}$ $-0,10393 * \text{Kafa Basıncı}$ $-1,54177E-003 * \text{Kafa Devri}$ $+0,013651 * \text{Bant Hızı}^2$ $+0,011946 * \text{Kafa Basıncı}^2$ $+1,30885E-006 * \text{Kafa Devri}^2$ $-0,026538 * \text{Bant Hızı} * \text{Kafa Basıncı}$ $+3,47259E-005 * \text{Bant Hızı} * \text{Kafa Devri}$ $+2,08356E-004 * \text{Kafa Basıncı} * \text{Kafa Devri}$
Parlaklık	$= +95,12$ $-2,92 * A$ $+2,80 * B$ $-1,22 * C$ $-0,84 * A^2$ $-0,62 * B^2$ $-1,39 * C^2$ $+2,92 * A * B$ $-0,26 * A * C$ $-1,17 * B * C$	$= -36,11001$ $-6,17107 * \text{Bant Hızı}$ $+14,32189 * \text{Kafa Basıncı}$ $+0,53636 * \text{Kafa Devri}$ $-5,22805 * \text{Bant Hızı}^2$ $-3,12361 * \text{Kafa Basıncı}^2$ $-4,80697E-004 * \text{Kafa Devri}^2$ $+16,33504 * \text{Bant Hızı} * \text{Kafa Basıncı}$ $-0,012212 * \text{Bant Hızı} * \text{Kafa Devri}$ $-0,04870 * \text{Kafa Basıncı} * \text{Kafa Devri}$

Elde edilen bu modellerin hassasiyetini, uygunluğunu ve yeterliliğini belirlemek amacı ile yapılan varyans analizleri pürüzlülük ve parlaklık için sırasıyla Çizelge 5.25-26'da verilmiştir.

Çizelge 5.25. Crema Nera birimi pürüzlülük modeli için ANOVA

Değişimin	SD	Kareler	Kareler	F	Prob>F
Regresyon	9	2,010E-003	2,233E-004	23,40	< 0,0001
A	1	8,562E-004	8,562E-004	89,73	< 0,0001
B	1	2,267E-004	2,267E-004	23,75	0,0006
C	1	2,371E-004	2,371E-004	24,85	0,0005
A ²	1	6,969E-005	6,969E-005	7,30	0,0222
B ²	1	8,134E-005	8,134E-005	8,53	0,0153
C ²	1	2,070E-004	2,070E-004	21,69	0,0009
AB	1	1,805E-004	1,805E-004	18,92	0,0014
AC	1	4,500E-006	4,500E-006	0,47	0,5079
BC	1	2,000E-004	2,000E-004	20,96	0,0010
Kalan Hatası	10	9,542E-005	9,542E-005		
Uyum Eksikliği	5	6,192E-005	1,238E-005	1,85	0,2583
Saf Hata	5	3,350E-005	6,700E-006		
Toplam	19	2,105E-003			

Çizelge 5.26. Crema Nera birimi parlaklık modeli için ANOVA

Değişimin	SD	Kareler	Kareler	F	Prob>F
Regresyon	9	361,59	40,18	24,21	< 0,0001
A	1	116,43	116,43	70,16	< 0,0001
B	1	107,11	107,11	64,54	< 0,0001
C	1	20,47	20,47	12,33	0,0056
A ²	1	10,22	10,22	6,16	0,0324
B ²	1	5,56	5,56	3,35	0,0971
C ²	1	27,92	27,92	16,83	0,0021
AB	1	68,39	68,39	41,21	< 0,0001
AC	1	0,56	0,56	0,34	0,5753
BC	1	10,93	10,93	6,59	0,0281
Kalan Hatası	10	16,59	1,66		
Uyum Eksikliği	5	11,78	2,36	2,45	0,1742
Saf Hata	5	4,81	0,96		
Toplam	19	378,19			

Seçilen anlamlılık düzeyi gereğince modeller için hesaplanan Prob>F değerleri 0,05'ten küçük ($P < 0,05$) olmalıdır. Pürüzlülük ve parlaklık modelleri için elde edilmiş olan Prob>F değerleri $< 0,0001$ olup $P < 0,05$ koşulunu sağlamaktadır. Aynı

şartlar modeli oluşturan her parametreye de uygulanarak, incelenen parametrelerden $P < 0,05$ koşulunu sağlayarak pürüzlülük ve parlaklık üzerinde etkili olan parametrelerin sırasıyla A, B, C, A^2 , B^2 , C^2 , AB, BC ve A, B, C, A^2 , C^2 , AB, BC kodlu değerler olduğu görülmektedir.

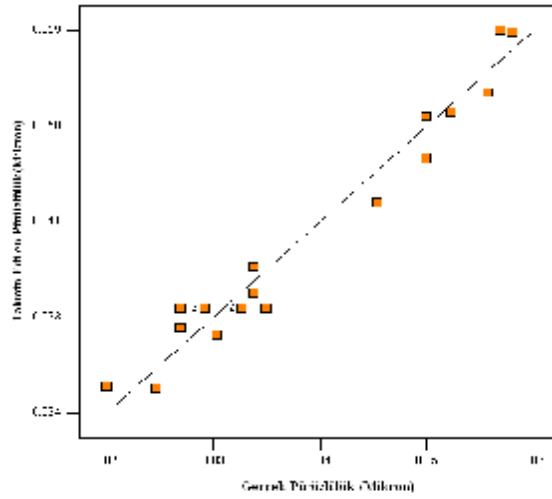
Model F değerlerinin, pürüzlülük modeli için 23,40, parlaklık modeli için 24,21 olarak bulunduğu görülmektedir (Çizelge 5.25-26). $F_{0,05}(9,10)$ değeri F testi tablosundan 3,02 olarak okunmuş dolayısıyla $F_{\text{hesaplanan}} > F_{\text{Çizelge}}$ şartı sağlandığından kullanılan regresyon modellerinin sistemi matematiksel olarak ifade ettiği kabul edilmiştir.

Türetilen modellerden tahmin edilen pürüzlülük ve parlaklık değerleri ile yapılan deneyler sonucunda bulunan gerçek pürüzlülük ve parlaklık değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.27’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde tahmin edilen pürüzlülük ve parlaklık değerlerinin gerçek pürüzlülük ve parlaklık değerlerine yakın olduğu görülmektedir.

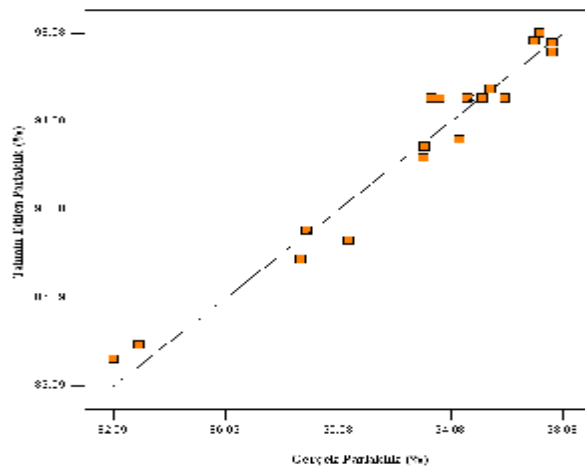
Çizelge 5.27. Crema Nera birimi gerçek ve tahmin edilen sonuçların karşılaştırılması

Deney No	Cevap					
	Pürüzlülük(μm)			Parlaklık (%)		
	Gerçek	Tahmin	Hata	Gerçek	Tahmin	Hata
1	0,057	0,059	-1,512E-003	82,09	83,30	-1,21
2	0,037	0,033	3,512E-003	93,40	95,12	-1,72
3	0,046	0,043	2,972E-003	93,18	92,94	0,24
4	0,052	0,051	7,840E-004	88,96	89,13	-0,17
5	0,036	0,037	-1,200E-003	94,40	93,25	1,15
6	0,032	0,033	-1,488E-003	95,21	95,12	0,087
7	0,033	0,031	1,970E-003	97,06	97,73	-0,67
8	0,028	0,026	1,806E-003	97,71	97,19	0,52
9	0,050	0,047	2,941E-003	90,46	88,66	1,80
10	0,050	0,051	-8,642E-004	93,13	92,42	0,71
11	0,030	0,033	-3,357E-003	97,26	98,08	-0,82
12	0,032	0,033	-1,488E-003	96,00	95,12	0,88
13	0,024	0,026	-2,391E-003	97,72	97,65	0,068
14	0,035	0,033	1,512E-003	95,21	95,12	0,087
15	0,030	0,033	-3,488E-003	96,06	95,12	0,94
16	0,036	0,035	1,158E-003	93,69	95,10	-1,41
17	0,055	0,053	1,976E-003	88,75	87,83	0,92
18	0,056	0,059	-2,678E-003	83,00	83,94	-0,94
19	0,030	0,032	-1,676E-003	95,49	95,52	-0,029
20	0,035	0,033	1,512E-003	94,69	95,12	-0,43

Şekil 5.34 ve 5.35'te aşındırma-cıtalama deneyleri sonucunda elde edilen gerçek cevap değerleri ile önerilen model tarafından tahmin edilen değerler arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu grafiklerden iki veri arasında çizilen doğruların belirleme katsayılarının pürüzlülük için $R^2=0,9547$ parlaklık için ise $R^2= 0,9561$ olduğu hesaplanmıştır. Bu değerler gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki uyumun pürüzlülük için % 95,47 parlaklık için ise % 95,61 olduğunu ve Çizelge 5.23'te önerilen kuadratik modelin proses üzerinde başarıyla uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

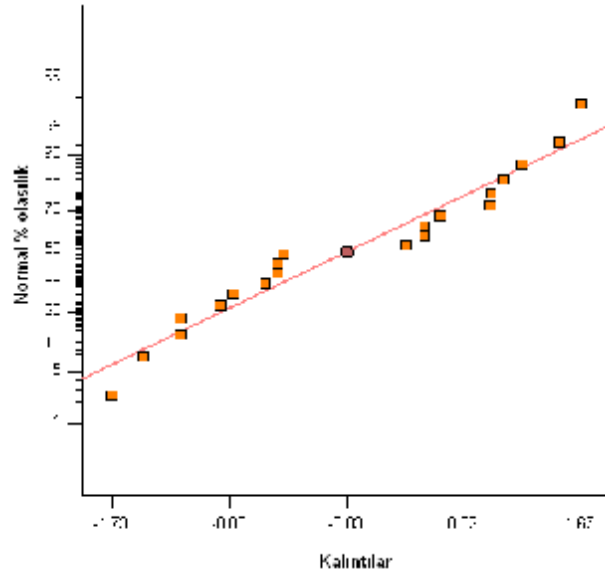


Şekil 5.34. Crema Nera birimi için gerçek pürüzlülük değerine karşı tahmin edilen pürüzlülük değerleri

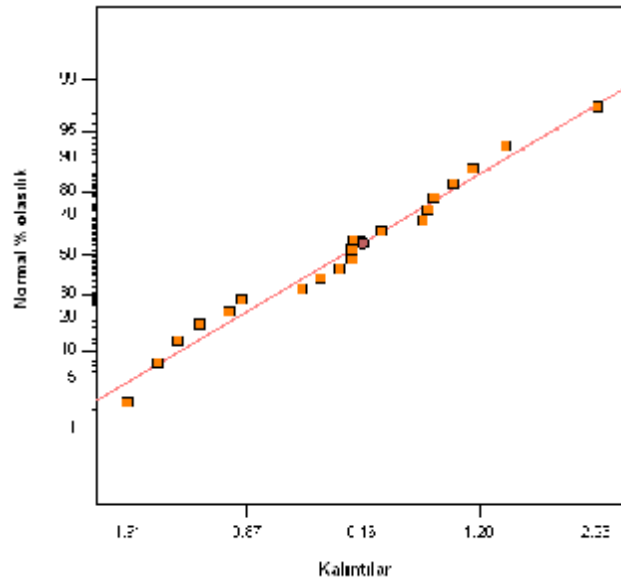


Şekil 5.35. Crema Nera birimi için gerçek parlaklık değerine karşı tahmin edilen parlaklık değerleri

Şekil 5.36 ve 5.37’de kareler farkının yüzde olasılığa göre dağılımı verilmiştir. Bu grafiklerden noktaların olasılık çizgisinin her iki tarafında homojen bir dağılım sergilediği ve olasılık eğrilerinin düz bir çizgiyi andırdığı görülmektedir. Bu durum istenilen bir sonuçtur ve modelden kaynaklanan bir hatanın olmadığını göstermektedir.



Şekil 5.36. Crema Nera birimi pürüzlülük için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı

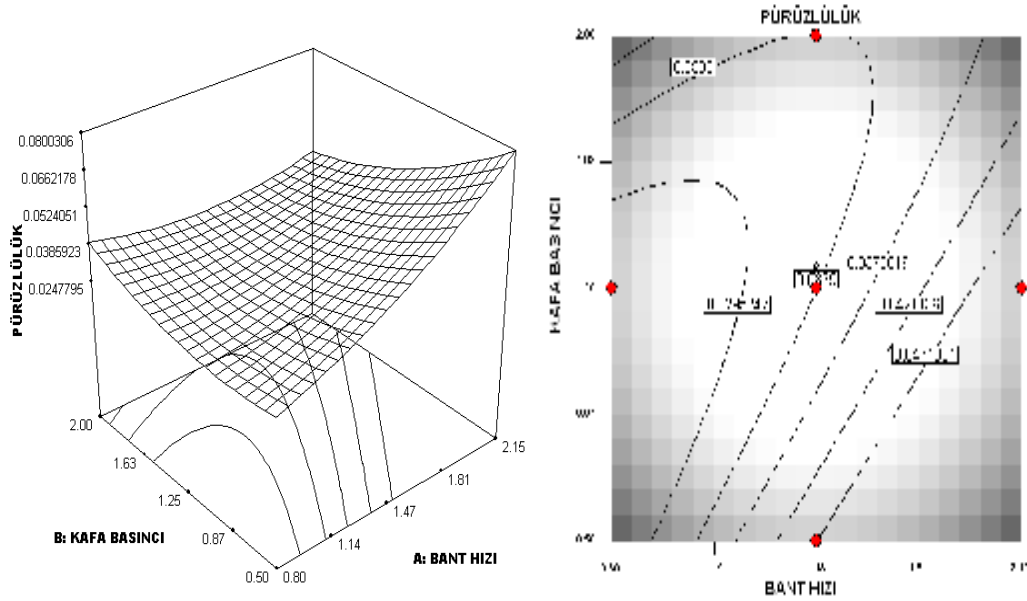


Şekil 5.37. Crema Nera birimi parlaklık için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı

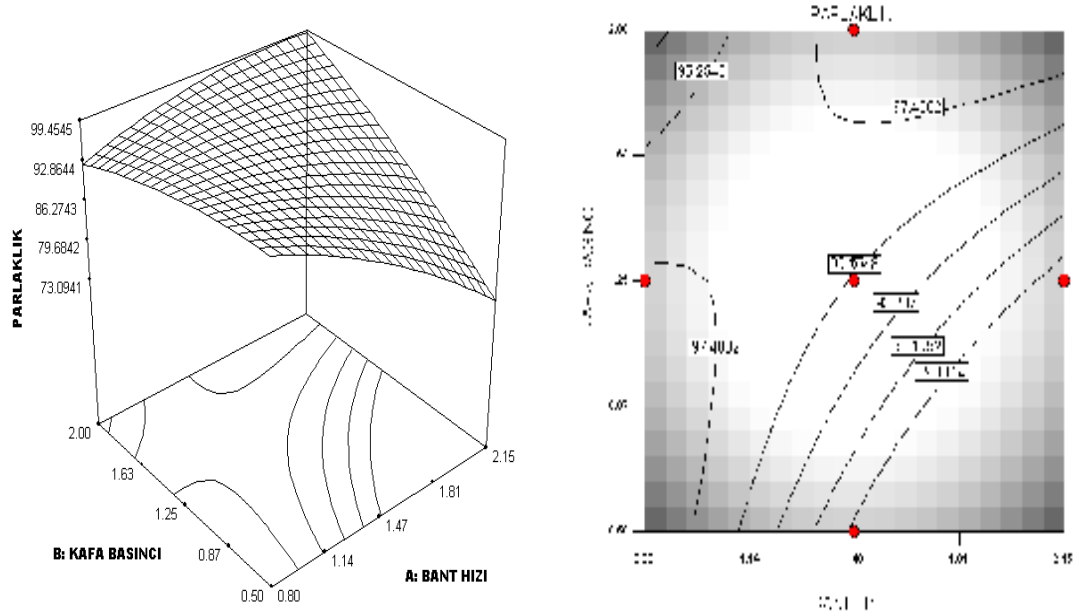
Deneylerde incelenen bağımsız değişkenlerin Crema Nera biriminin yüzey kalitesi üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri Şekil 5.40-5.45'te verilmiştir. Bağımsız değişkenlerin merkez noktasında pürüzlülüğün $0,035 \mu\text{m}$, parlaklığın ise % 95,095 olduğu görülmektedir.

Şekil 5.40 ve 5.41 incelendiğinde kafa devrinin merkez noktası olan 499,5 rpm değerinde kafa basıncı ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri görülmektedir.

Şekil 5.40 incelendiğinde azalan sırt yapısında olan cevap yüzeyi grafiği durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığını ifade etmektedir ve pürüzlülük üzerinde bant hızının kafa basıncından daha etkili olduğunu görülmektedir. En düşük pürüzlülük değerine 0,8-1,23 m/dk bant hızı ile 0,5-1,52 bar kafa basıncında ulaşıldığı görülmektedir.



bant hızı ile 0,5-1,30 bar kafa basıncı ve 1,36 -2,15 m/dk bant hızı ile 1,72-2 bar kafa basıncı değerlerinde ulaşıldığı görülmektedir.

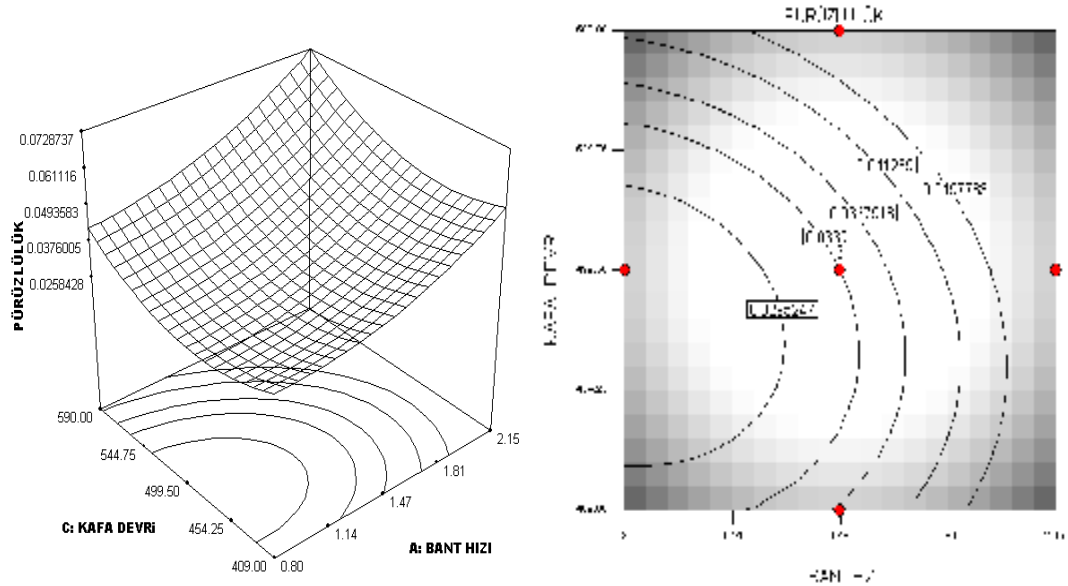


Şekil 5.41. Crema Nera birimi için kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafiği

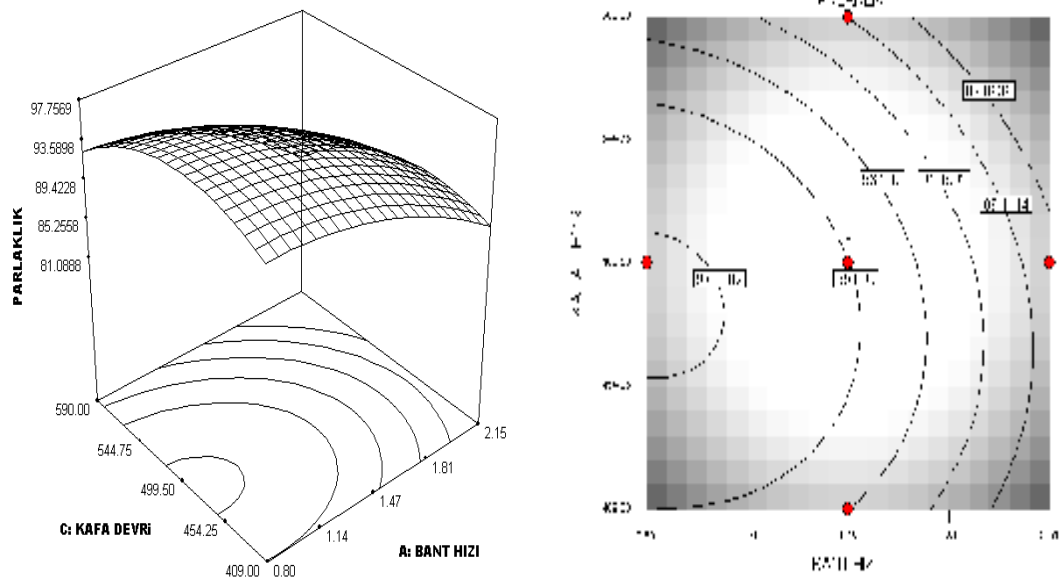
Kafa basıncının 1,25 bar olması durumunda kafa devrinin ve bant hızının Crema Nera biriminin yüzey kalitesi üzerindeki etkisi şekil 5.42 ve 5.43'te gösterilmiştir.

Şekil 5.42'de azalan sırt yapısında olan cevap yüzeyi grafiği, durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığını ifade etmektedir. Pürüzlülük üzerinde bant hızının kafa devrinden daha etkili olduğu görülmektedir. En düşük pürüzlülük değerine 0,8-1,30 m/dk bant hızı ile 426,12-531,10 rpm aralığındaki kafa devri değerinde ulaşılabileceği görülmektedir.

Şekil 5.43'te görülen artan sırt yapısı durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığını ifade etmektedir. Parlaklık üzerinde bant hızının kafa devrinden daha etkili olduğu görülmektedir. En yüksek parlaklık değerinin 0,8-1,06 m/dk bant hızı ile 457,53-510,88 rpm arası kafa devri değerlerinde elde edilebileceği görülmektedir.

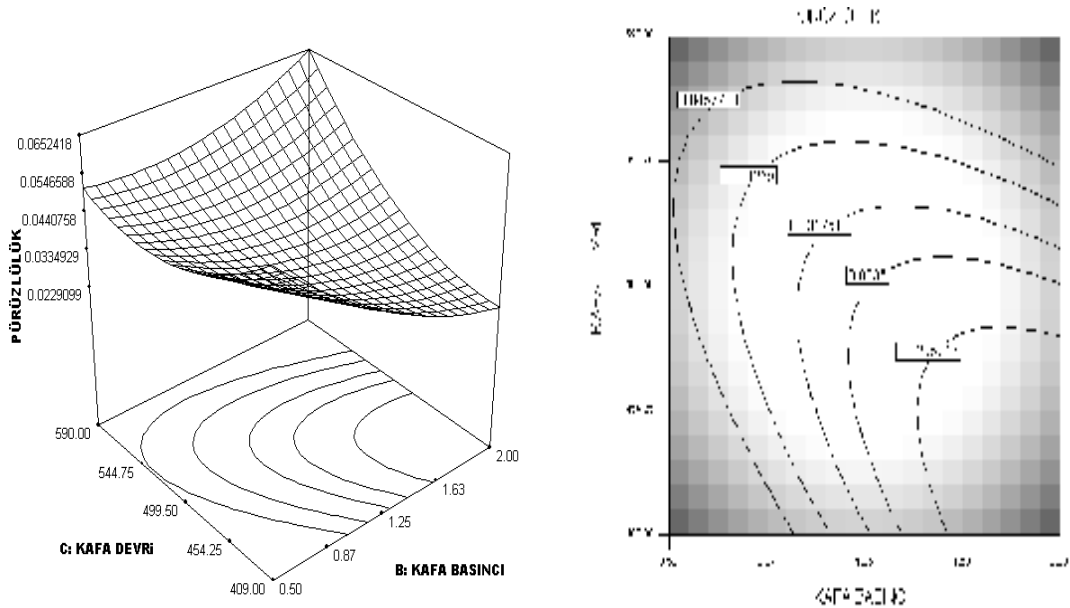


Şekil 5.42. Crema Nera birimi için kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri



Şekil 5.43. Crema Nera birimi için kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

Bant hızının merkez noktası olan 1,48 m/dk değerinde kafa devri ve kafa basıncının pürüzlülük ve parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri Şekil 5.44 ve 5.45'te verilmiştir

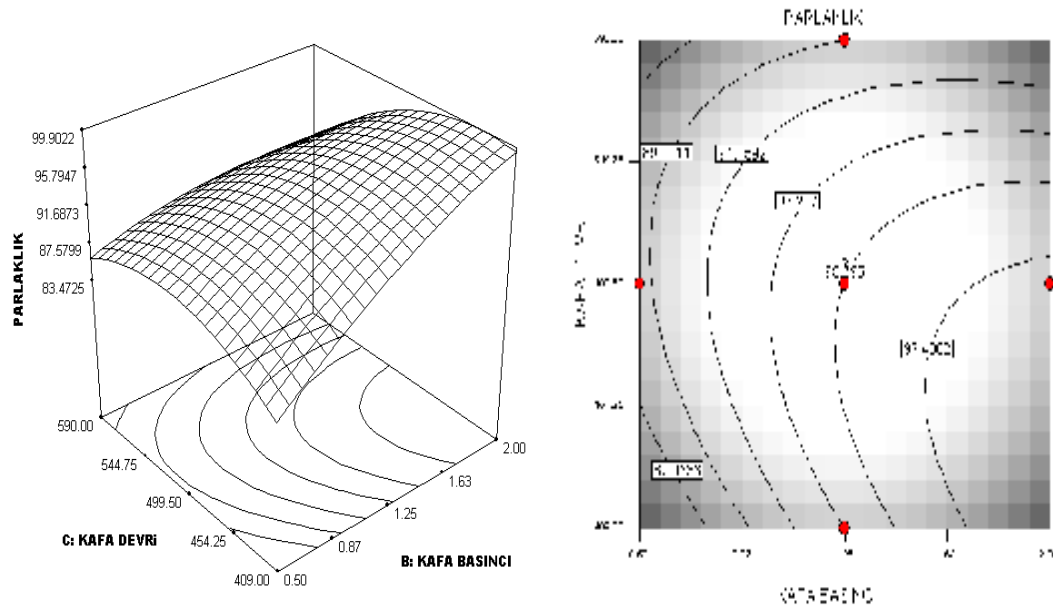


Şekil 5.44. Crema Nera birimi için bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

Şekil 5.44’de görülen azalan sırt yapısı durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığını ifade etmektedir. Pürüzlülük üzerinde kafa devrinin kafa basıncından daha etkili olduğu görülmektedir. En düşük pürüzlülük değerlerinin 1,45-2 bar kafa basıncı ile 409-484,19 rpm kafa devirlerinde elde edilebileceği görülmektedir

Artan sırt yapısı gösteren Şekil 5.45’te durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığı görülmektedir. Parlaklık üzerinde kafa basıncı kafa devrinden daha etkilidir. En yüksek parlaklık değerinin 1,54-2 bar kafa basıncı ile 409-510,44 rpm kafa devir aralığında elde edileceği belirlenmiştir.

Çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışması için cevap değerlerinin ve bağımsız değişkenlerin düşük, yüksek ve hedef değerleri ile önem dereceleri Çizelge 5.28’de belirtilmiştir.



Şekil 5.45. Crema Nera birimi için bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

Yapılan optimizasyon çalışmasının sonucu Çizelge 5.29’da verilmiştir. Çizelgede verilen ilk dört optimizasyonun çekicilik değerinin 1 olması ideal durumu, diğer optimizasyonların çekicilik değerinin 1’e yakın olması ise ideal duruma yakın durumu göstermektedir.

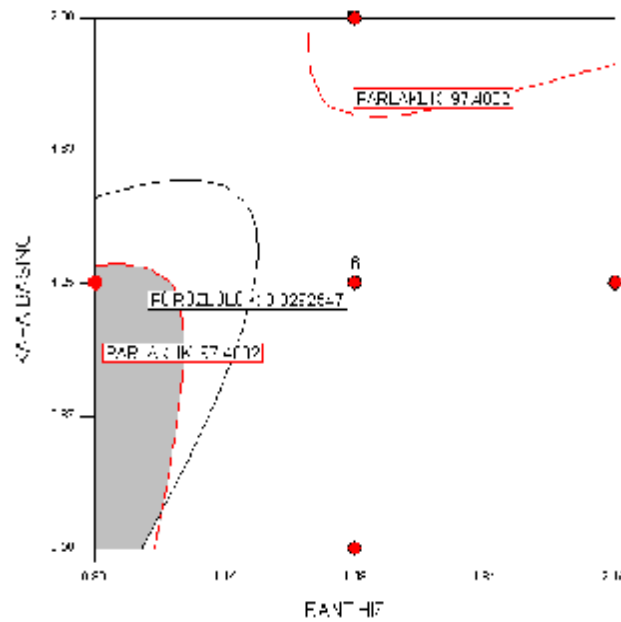
Çizelge 5.28. Crema Nera birimi için çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışması kriterleri

	İsim	Düşük Sınır Değeri	Yüksek Sınır Değeri	Hedef Değerleri	Önem
Bağımsız Değişkenler	Bant Hızı (m/dk)	0,8	2,15	0,8-2,15	3
	Kafa Basıncı (bar)	0,5	2	0,5-2	3
	Kafa Devri(rpm)	409	590	409-590	3
Cevap	Pürüzlülük (µm)	0.024	0.057	Minimum	5
	Parlaklık (%)	82.09	97.72	Maksimum	5

Çizelge 5.29. Crema Nera birimi için çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışmasının sonuçları

	Bant Hızı (m/dk)	Kafa Basıncı (bar)	Kafa Devri (rpm)	Pürüzlülük (μm)	Parlaklık (%)	Çekicilik
1	1,33	1,98	411,72	0,0237927	98,516	1
2	1,38	1,98	415,76	0,023521	98,9708	1
3	1,58	1,96	411,99	0,0232711	99,8326	1
4	1,35	1,93	421,76	0,0239895	98,7389	1
5	0,80	0,64	527,22	0,0244613	99,4344	0,992986
6	0,80	0,65	527,65	0,0244622	99,4177	0,992972
7	0,80	0,69	522,79	0,0244713	99,3755	0,992833
8	0,80	0,65	526,67	0,0244786	99,4078	0,992722
9	0,80	0,77	514,46	0,0245365	99,2266	0,991838
1	0,80	0,78	504,88	0,024713	99,2337	0,989137

Örtüşen kontur grafiği ile optimizasyon yapmak üzere 499,50 rpm sabit kafa devrinde parlaklığın en az % 97,4002 ve pürüzlülüğün en fazla 0,0292547 μm olması kriterine dayanarak çalışma şartları belirlenmiş yapılan optimizasyonun grafiği şekil 5.46’da verilmiştir. Şekilde belirtilen taralı alanda istenilen kriter sağlanmaktadır.

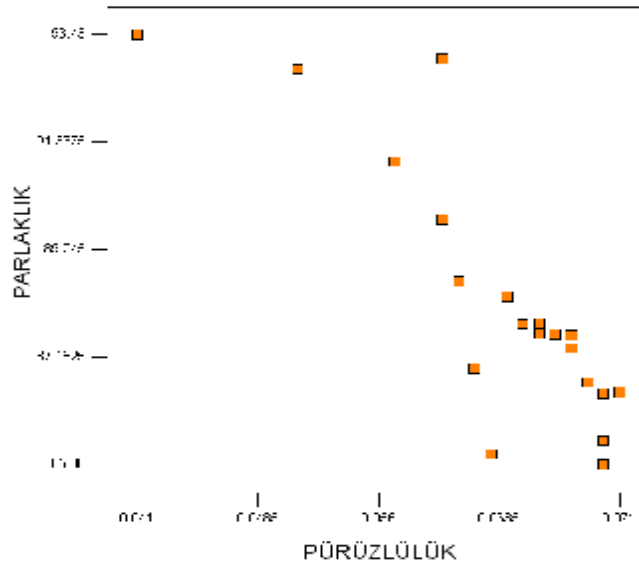


Şekil 5.46. Crema Nera birimi için örtüşen kontur grafiği ile optimizasyon

5.2.2.4. Sand Wave Birimi İçin Sonuçların Değerlendirilmesi

Sand Wave biriminin aşındırma-cilalama işleminde kullanılan aşındırıcı serisi ve ölçülen pürüzlülük–parlaklık değerleri Ek 4’te verilmiştir. Çizelge incelendiğinde pürüzlülük değerlerinde 60 numaralı aşındırıcıdan 180 numaralı aşındırıcıya kadar hızlı düşüş görülmektedir. Aşındırıcı serisinin sonuna doğru bu düşme oranı azalmaktadır. Parlaklık değerlerinde ise ilk aşındırıcılarda yavaş bir artış gözlenirken 360 ve sonrasındaki aşındırıcılardan sonra yapılan ölçümlerde hızlı bir artış gözlenmiştir. Son aşındırıcı olan pulitoreden sonra ölçülen nihai parlaklık ve pürüzlülük değerlerini gösteren Ek 5 incelendiğinde optimum değerlere bant hızının 1,07 m/dk, kafa basıncının 1,70 bar ve kafa devrinin 445,69 rpm olduğu 8. deneyde ulaşıldığı görülmektedir.

Cevap değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 5.47’de pürüzlülük değerinin artışıyla parlaklık değerinin azaldığı görülmektedir. İki cevap değişkeni arasındaki korelasyonun $r = -0,848$ olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.47. Sand Wave birimi cevap değişkenleri arasındaki ilişkinin grafiği

Belirlenen koşullarda yapılan deney sonuçlarına göre pürüzlülük ve parlaklık değerleri için program tarafından hazırlanan istatistiksel model özeti Çizelge 5.30’da

verilmiştir. Çizelgede verilen $D.R^2$ ve $T.E.R^2$ değerleri incelendiğinde kuadratik modelin her iki cevap değişkeni için önerilmiş model olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.30. Design Expert 6.0 programının Sand Wave birimi için istatistiksel model özeti

Cevap	Model	S.S.	R^2	$D.R^2$	$T.E.R^2$	PRESS	M. U.
Pürüzlülük	Lineer	5,223E-003	0,5789	0,5000	0,3056	7,198E-004	
	2FI	4,224E-003	0,7742	0,6699	0,2718	7,548E-004	
	Kuadratik	<u>1,980-003</u>	<u>0,9649</u>	<u>0,9333</u>	<u>0,8035</u>	<u>2,036E-004</u>	Önerilmiş model
	Kübik	1,957E-003	0,9778	0,9298	-1,0709	2,147E-003	
Parlaklık	Lineer	1,56	0,6801	0,6201	0,4685	64,29	
	2FI	1,61	0,7205	0,5914	0,4411	67,60	
	Kuadratik	<u>0,45</u>	<u>0,9833</u>	<u>0,9683</u>	<u>0,9510</u>	<u>5,93</u>	Önerilmiş model
	Kübik	0,52	0,9867	0,9577	0,9214	9,51	

MKT'ye göre yapılan aşındırma-cıllama deneyleri sonucunda elde edilen cevaplara göre kodlanmış ve gerçek değerler kullanılarak türetilen modeller Çizelge 5.31'de verilmiştir.

Kodlanmış değerlere göre türetilen modeldeki bağımsız değişkenlerin önündeki katsayıların mutlak değeri incelendiğinde pürüzlülük üzerinde en etkin değişkenin bant hızı olduğu görülmektedir. Türetilen modelde ana etkilerden bant hızının ve kafa devrinin pürüzlülüğü pozitif doğrusal, kafa basıncının ise negatif doğrusal etkilediği görülmektedir. Yani bant hızının ve kafa devrinin artması pürüzlülük değerini arttırmakta, kafa basıncının artması ise pürüzlülüğü azaltmaktadır. Aynı zamanda bant hızı ve kafa devrinin pürüzlülük üzerinde negatif

kuadratik etkisi de görülmektedir. Bu nedenle bu değerlerdeki değişim, cevap üzerine karesi olarak yansımaktadır.

Parlaklık üzerindeki en kuvvetli değişkenin bant hızı olduğu görülmektedir. Bant hızı ve kafa devrinin sistemi negatif doğrusal etkilediği, kafa basıncının ise pozitif doğrusal etkilediği görülmektedir. Bir başka deyişle bant hızı ve kafa devrinin artması parlaklığı azaltırken kafa basıncının artması parlaklığı arttırmaktadır. Bant hızı ve kafa devrinin cevap üzerinde pozitif kuadratik, kafa basıncının ise negatif kuadratik etkisi olduğu görülmektedir. Bu değişkenlerdeki değişimler cevap üzerine karesi olarak yansımaktadır.

Çizelge 5.31. Sand Wave birimi için kodlanmış ve gerçek değerler kullanılarak türetilen modeller

Cevap	Kodlanmış Değer	Gerçek Değer
Pürüzlülük	= +0.068	= -0.23624
	+5.904E-003 * A	+0.11450 * Bant Hızı
	-1.791E-003 * B	-0.081818 * Kafa Basıncı
	+2.423E-003 * C	+1.00529E-003 * Kafa Devri
	-2.724E-003 * A ²	-0.016909 * Bant Hızı ²
	-9.561E-004 * B ²	-4.80753E-003 * Kafa Basıncı ²
	-2.724E-003 * C ²	-9.40660E-007 * Kafa Devri ²
	+2.375E-003 * A * B	+0.013269 * Bant Hızı * Kafa Basıncı
	-2.875E-003 * A * C	-1.33116E-004 * Bant Hızı * Kafa Devri
	+3.375E-003 * B * C	+1.40640E-004 * Kafa Basıncı * Kafa Devri
Parlaklık	= +87.24	= +193.02790
	-1.88 * A	-17.07171 * Bant Hızı
	+0.42 * B	+20.88033 * Kafa Basıncı
	-1.52 * C	-0.38569 * Kafa Devri
	+0.82 * A ²	+5.06886 * Bant Hızı ²
	-0.38 * B ²	-1.92089 * Kafa Basıncı ²
	+1.18 * C ²	+4.07131E-004 * Kafa Devri ²
	+0.091 * A * B	+0.50982 * Bant Hızı * Kafa Basıncı
	-0.14 * A * C	-6.42430E-003 * Bant Hızı * Kafa Devri
	-0.76 * B * C	-0.031826 * Kafa Basıncı * Kafa Devri

Elde edilen bu modellerin hassasiyetini, uygunluğunu ve yeterliliğini belirlemek amacı ile yapılan varyans analizleri pürüzlülük ve parlaklık için sırasıyla Çizelge 5.32 ve 5.33'te verilmiştir.

Çizelge 5.32. Sand Wave birimi pürüzlülük modeli için ANOVA

Değişimin	SD	Kareler	Kareler	F	Prob>F
Regresyon	9	1,000E-003	1,111E-004	30,52	< 0,0001
A	1	4,761E-004	4,761E-004	130,77	< 0,0001
B	1	4,379E-005	4,379E-005	12,03	0,0060
C	1	8,018E-005	8,018E-005	22,02	0,0009
A ²	1	1,069E-004	1,129E-004	29,37	0,0003
B ²	1	1,317E-005	1,531E-005	3,62	0,0863
C ²	1	1,069E-004	8,615E-005	29,37	0,0003
AB	1	4,512E-005	4,512E-005	12,39,	0,0055
AC	1	6,613E-005	6,613E-005	18,16	0,0017
BC	1	9,112E-005	9,112E-005	25,03	0,005
Kalan Hatası	10	3,641E-005	3,641E-005		
Uyum Eksikliği	5	2,307E-005	4,615E-006	1,73	0,2809
Saf Hata	5	1,333E-005	2,667E-006		
Toplam	19	1,037E-003			

Çizelge 5.33. Sand Wave birimi parlaklık modeli için ANOVA

Değişimin	SD	Kareler	Kareler	F	Prob>F
Regresyon	9	118,93	13,21	65,39	< 0,0001
A	1	48,40	48,40	239,47	< 0,0001
B	1	2,36	2,36	11,70	0,0065
C	1	31,50	31,50	155,85	< 0,0001
A ²	1	9,61	9,61	47,54	< 0,0001
B ²	1	2,10	2,10	10,41	0,0091
C ²	1	20,03	20,03	99,11	< 0,0001
AB	1	0,067	0,067	0,33	0,5786
AC	1	0,15	0,15	0,76	0,4031
BC	1	4,67	4,67	23,09	0,0007
Kalan Hatası	10	2,02	0,2		
Uyum Eksikliği	5	0,44	0,088	0,28	0,9069
Saf Hata	5	1,58	0,32		
Toplam	19	120,95			

Modelin geçerliliğini test etmek için seçilen anlamlılık düzeyi 0,05 gereğince modeller için hesaplanan $\text{Prob}>F$ değerleri 0,05'ten küçük ($P<0,05$) olmalıdır. Çizelge 5.32-33'ten görüldüğü $\text{Prob}>F$ değerleri pürüzlülük ve parlaklık modelleri için $< 0,0001$ olup $P<0,05$ koşulunu sağlamaktadır. Aynı şartlar modeli oluşturan her parametreye de uygulanarak, incelenen parametrelerden $P<0,05$ koşulunu sağlayarak pürüzlülük ve parlaklık üzerinde etkin olan parametrelerin sırasıyla A, B, C, A^2 , C^2 , AB, AC, BC ve A, B, C, A^2 , B^2 , C^2 , BC kodlu değerler olduğu görülmektedir.

Model F değerlerinin, pürüzlülük modeli için 30,52, parlaklık modeli için 65,39 olduğu Çizelge 5.32-33'te görülmektedir. $F_{0,05(9,10)}$ değeri F testi tablosundan 3,02 olarak okunmuş dolayısıyla $F_{\text{hesaplanan}}>F_{\text{çizelge}}$ şartı sağlandığından kullanılan regresyon modellerinin sistemi matematiksel olarak ifade ettiği kabul edilmiştir.

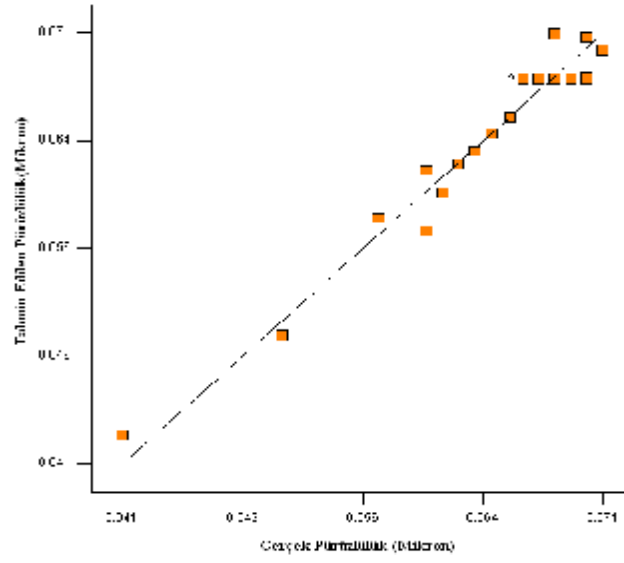
Türetilen modellerden tahmin edilen pürüzlülük ve parlaklık değerleri ile deneysel olarak bulunan gerçek pürüzlülük ve parlaklık değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.34'te verilmiştir. Çizelge incelendiğinde tahmin edilen pürüzlülük ve parlaklık değerlerinin gerçek pürüzlülük ve parlaklık değerlerine yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.34'te belirtilen verilere göre elde edilen Şekil 5.48 ve 5.49'da deneyler sonucunda elde edilen gerçek cevap değerleri ile önerilen model tarafından tahmin edilen değerler arasındaki ilişki grafik olarak gösterilmiştir. Bu grafiklerden iki veri arasında çizilen doğruların belirleme katsayıları pürüzlülük için $R^2=0,9649$, parlaklık için ise $R^2= 0,9833$ olarak belirlenmiştir. Bu değerler gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki uyumun pürüzlülük için % 96,49 parlaklık için ise % 98,33 olduğunu ve Çizelge 5.30'da önerilen kuadratik modelin proses üzerinde başarıyla uygulanabilir olduğunu göstermektedir

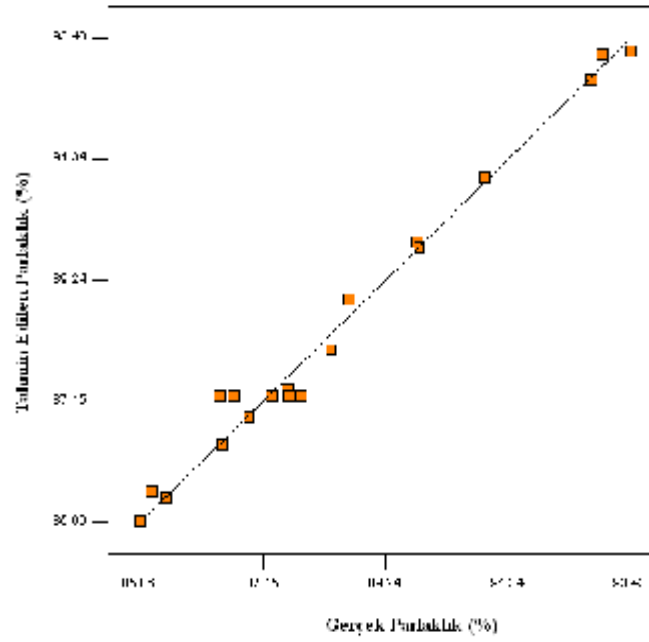
Çizelge 5.34. Sand Wave birimi için gerçek ve tahmin edilen sonuçlarının karşılaştırılması

Deney No	Cevap					
	Pürüzlülük(μm)			Parlaklık (%)		
	Gerçek	Tahmin	Hata	Gerçek	Tahmin	Hata
1	0,063	0,063	1,879E-004	85,26	85,81	-0,31
2	0,068	0,068	2,772E-004	87,31	87,25	0,072
3	0,061	0,060	1,078E-003	88,62	89,16	-0,30
4	0,064	0,064	-9,357E-005	88,32	88,12	0,30
5	0,058	0,056	2,056E-003	92,94	92,74	-0,19
6	0,066	0,068	-1,723E-003	87,61	87,25	0,37
7	0,065	0,065	1,152E-004	89,79	89,90	-0,11
8	0,041	0,043	-1,576E-003	93,43	93,16	0,23
9	0,070	0,068	1,970E-003	85,51	85,56	0,052
10	0,070	0,071	-7,308E-004	85,06	85,01	4,632E-003
11	0,062	0,062	-7,093E-006	86,92	86,47	0,063
12	0,066	0,068	-1,723E-003	87,81	87,25	0,57
13	0,051	0,050	9,115E-004	92,75	92,82	0,036
14	0,069	0,068	1,277E-003	86,66	87,25	-0,58
15	0,070	0,068	2,277E-003	86,43	87,25	-0,81
16	0,057	0,058	-6,572E-004	90,94	91,27	-0,086
17	0,071	0,070	1,051E-003	86,46	85,99	0,078
18	0,068	0,070	-2,466E-003	87,57	87,31	0,21
19	0,060	0,062	-1,503E-003	89,82	89,33	0,027
20	0,067	0,068	-7,228E-004	87,59	87,25	0,35

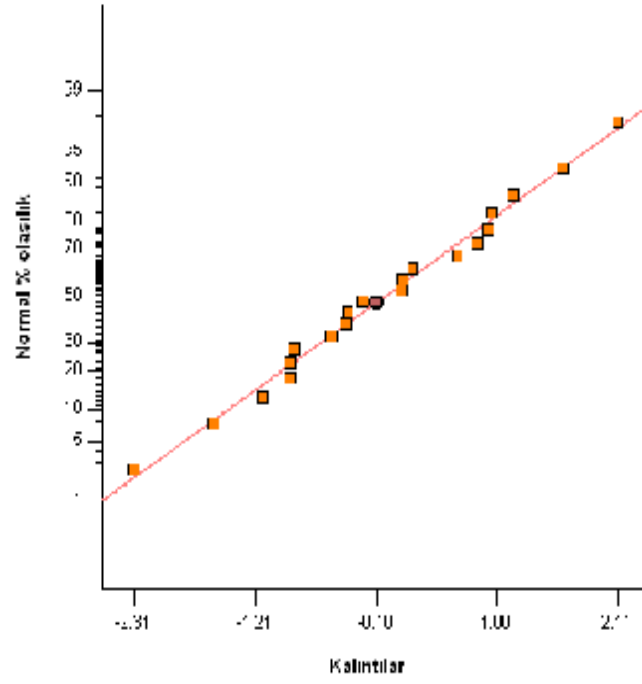
Şekil 5.50 ve 5.51’de kareler farkının yüzde olasılığa göre dağılımı verilmiştir. Bu grafiklerden noktaların olasılık çizgisinin her iki tarafında homojen bir dağılım sergilediği ve olasılık eğrilerinin düz bir çizgiyi andırdığı görülmektedir. Bu durum istenilen bir sonuçtur ve modelden kaynaklanan bir hatanın olmadığını göstermektedir



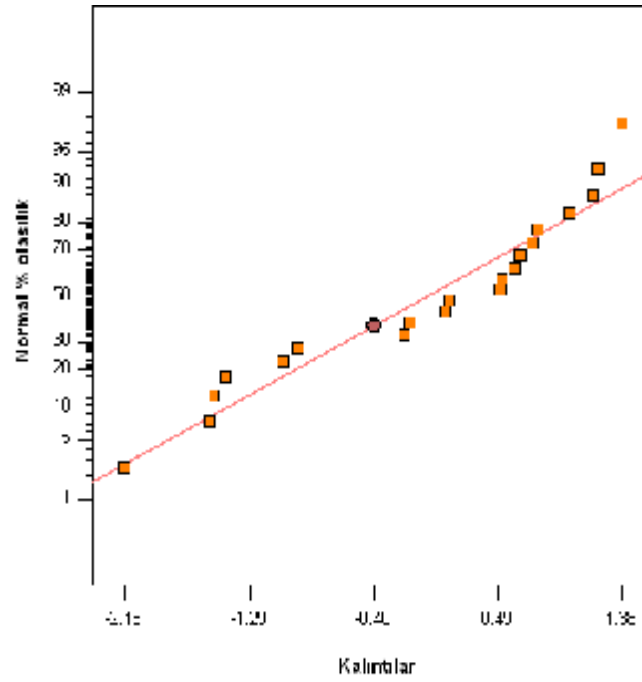
Şekil 5.48. Sand Wave birimi gerçek pürüzlülük değerine karşı tahmin edilen pürüzlülük değerleri



Şekil 5.49. Sand Wave birimi için gerçek parlaklık değerine karşı tahmin edilen parlaklık değerleri



Şekil 5.50. Sand Wave birimi pürüzlülük için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı

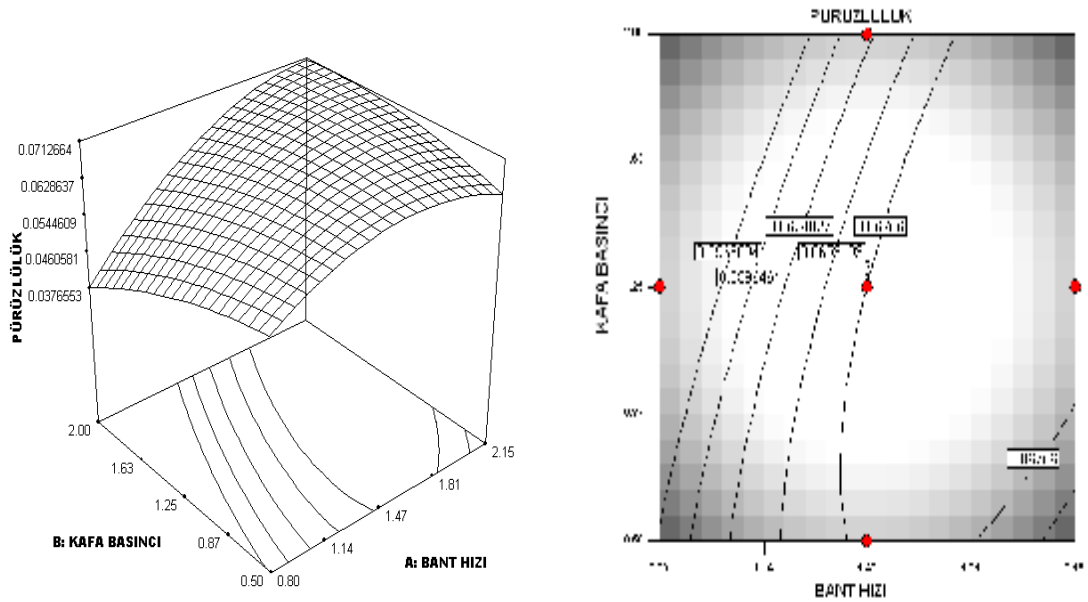


Şekil 5. 51. Sand Wave birimi parlaklık için kalıntıların % olasılığa göre dağılımı

Aşındırma-cilalama deneylerinde bağımsız değişkenlerin Sand Wave biriminin yüzey kalitesi üzerindeki etkisi gösteren cevap yüzeyi ve kontur grafikler aşağıda verilmiştir (Şekil 5.54-59). Grafiklerde bağımsız değişkenlerden birisi Çizelge 4.2’de belirtilen merkez değerde sabit tutulmuş, diğer iki değişkeninin cevaplar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bağımsız değişkenler merkez değerlerde iken pürüzlülük ve parlaklığın sırasıyla 0,06766 μm ve % 87,235 değerlerinde olduğu tüm grafiklerde görülmektedir.

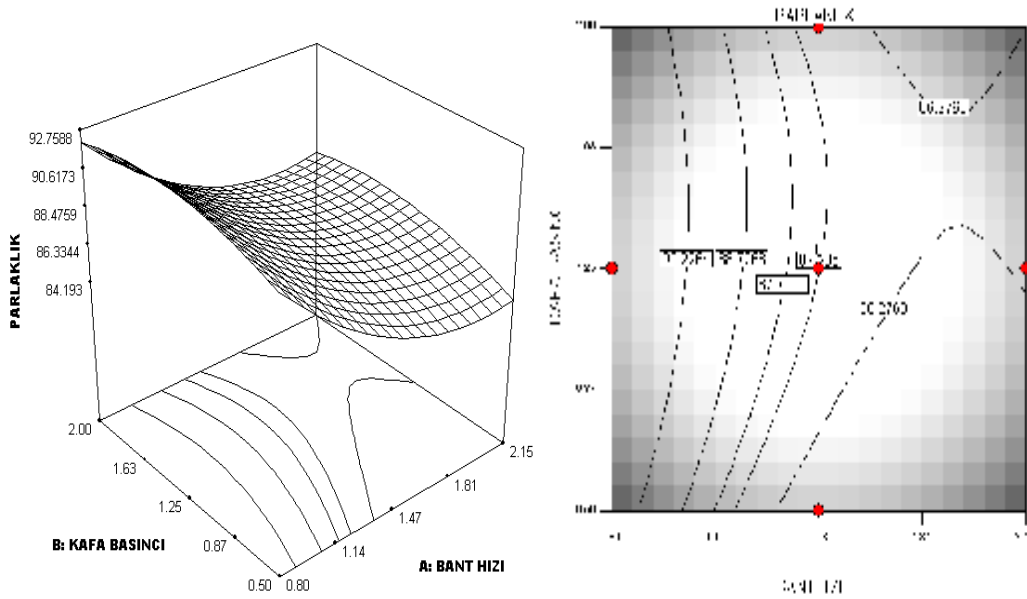
Şekil 5.54-55 kafa devrinin merkez noktası olan 499,5 rpm seviyesinde iken kafa basıncının ve bant hızının Sand Wave biriminin parlaklık ve pürüzlülük değerleri üzerindeki etkisini göstermektedir.

Şekil 5.54’te görülen artan sırt yapısında olan cevap yüzeyi grafiği, durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığını ifade etmektedir. Pürüzlülük üzerinde bant hızının kafa basıncından daha etkili olduğu görülmektedir. En düşük pürüzlülük değerine 0,8-1,28 m/dk bant hızı ve 0,5-2 bar kafa basıncı aralığında ulaşılabildiği görülmektedir.



Şekil 5.54. Sand Wave birimi kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

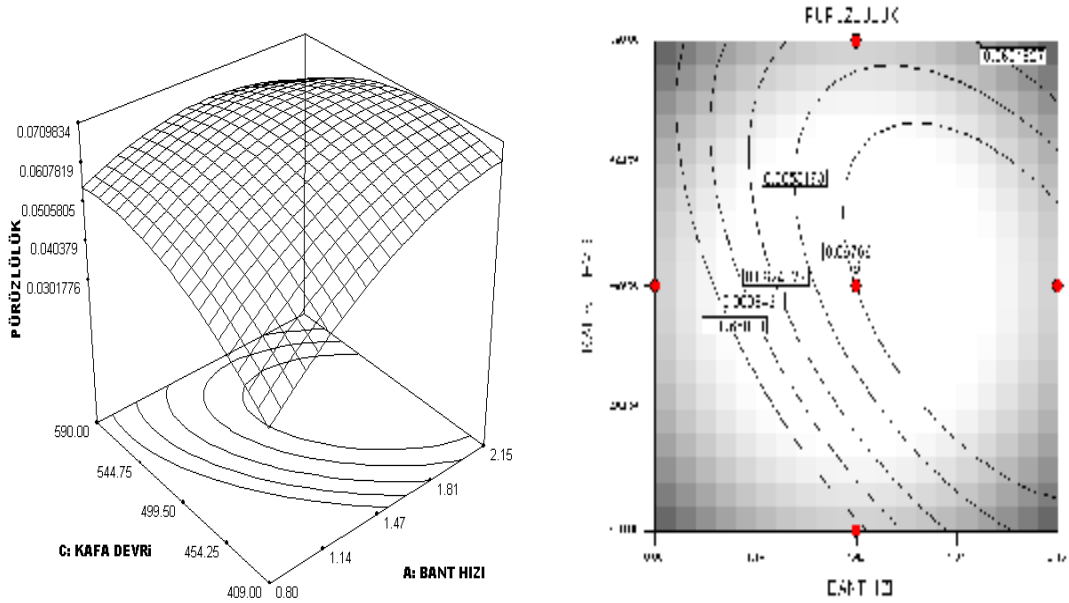
Şekil 5.55 incelendiğinde durağan noktanın deneysel bölge içinde kaldığı ve bir eyer noktası olduğu, parlaklığın merkez noktadan uzaklaştıkça yönlere bağlı olarak artış ya da azalış gösterdiği görülmektedir. Bant hızı ile kafa basıncı arasındaki iç etkileşimin parlaklık değerini etkilediği belirlenmiştir. En yüksek parlaklık değerine 0,8-1,04 m/dk bant hızı 0,5-2 bar aralığında kafa basıncı değerlerinde ulaşıldığı görülmektedir.



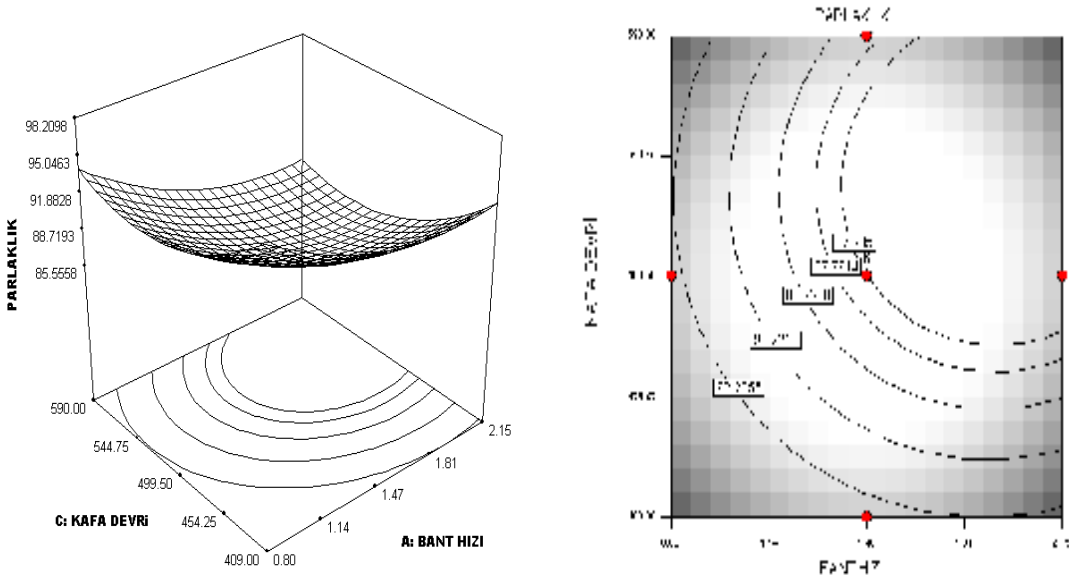
Şekil 5.55. Sand Wave birimi kafa devrinin merkez noktasında kafa basıncı ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

Kafa basıncının merkez noktası olan 1,25 bar olduğu durumda kafa devrinin ve bant hızının pürüzlülük ve parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri Şekil 5.56 ve 5.57’de görülebilmektedir.

Şekil 5.56 incelendiğinde artan sırt yapısında olan cevap yüzeyi grafiği, durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığını ifade etmektedir. Pürüzlülük üzerinde bant hızının kafa devrinden daha etkili olduğu görülmektedir. En düşük pürüzlülük değerine 0,8-1,50 m/dk bant hızı ile 409-590 rpm kafa devri aralığında ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 5.56. Sand Wave birimi kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri



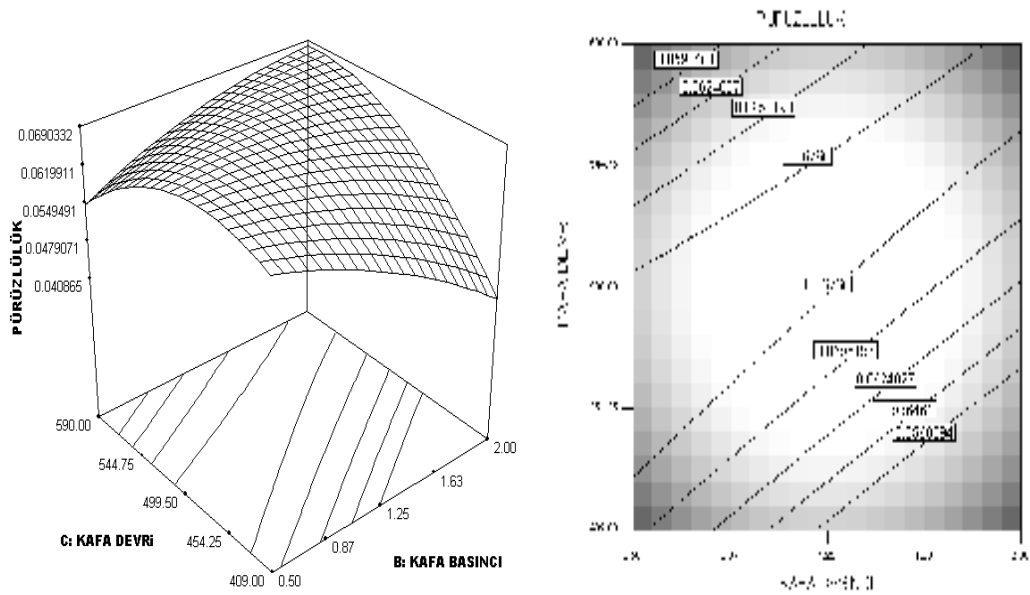
Şekil 5.57. Sand Wave birimi kafa basıncının merkez noktasında kafa devri ve bant hızının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

Şekil 5.57’de azalan sırt yapısında olan cevap yüzeyi grafiği, durağan noktanın deneysel bölge içinde olmadığını ifade etmektedir. Parlaklık üzerinde bant hızının kafa devrinden daha etkili olduğu görülmektedir.

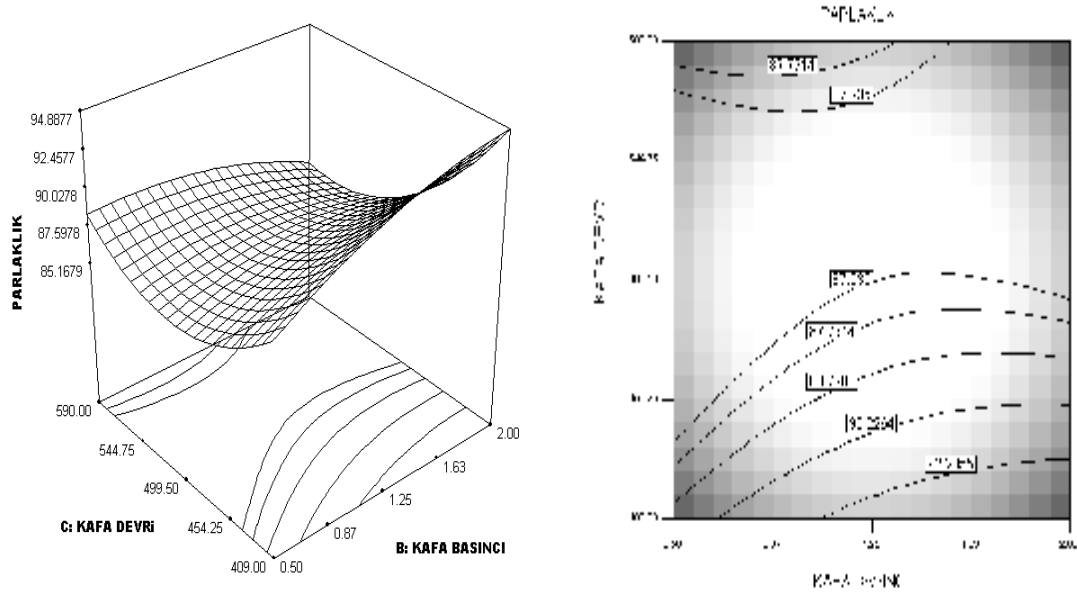
Şekil 5.58-59 bant hızının merkez noktası olan 1,48 m/dk değerinde kafa devri ve kafa basıncının pürüzlülük ve parlaklık üzerindeki etkisi görülmektedir.

Şekil 5.58’de görülen yanıt yüzeyi grafiğinin artan sırt yapısında olması durağan noktanın deneysel bölgede olmadığını göstermektedir. Grafikten pürüzlülüğün daha çok kafa devri değişimine göre hareket ettiği, kafa basıncından fazla etkilenmediği görülmektedir. En düşük pürüzlülük değerine 1,20-2 bar kafa basıncı ile 409-470,70 rpm kafa devir aralığında ulaşılmaktadır.

Şekil 5.59 incelendiğinde deneysel bölge içindeki durağan noktanın bir eyer noktası olduğu ve cevabın merkez noktadan uzaklaştıkça yönler göre artış ya da azalış gösterdiği görülmektedir. Kafa devri ve kafa basıncı arasındaki iç etkileşimin parlaklık değerini etkilediği görülmektedir. En yüksek parlaklık değerinin 1,05-2 bar kafa basıncı ile 409-432,58 rpm kafa devri değerlerinde elde edildiği belirlenmiştir.



Şekil 5.58. Sand Wave birimi bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri



Şekil 5.59. Sand Wave birimi bant hızının merkez noktasında kafa devri ve kafa basıncının parlaklık değeri üzerindeki etkisinin cevap yüzeyi ve kontur grafikleri

Çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışması için cevap ve bağımsız değişkenlerin düşük, yüksek ve hedef değerleri ile önem dereceleri Çizelge 5.35'te, yapılan optimizasyon çalışmasının sonucu ise Çizelge 5.36'da verilmiştir. Çekicilik değerinin ilk altı optimizasyonda 1 olması ideal durumu göstermektedir.

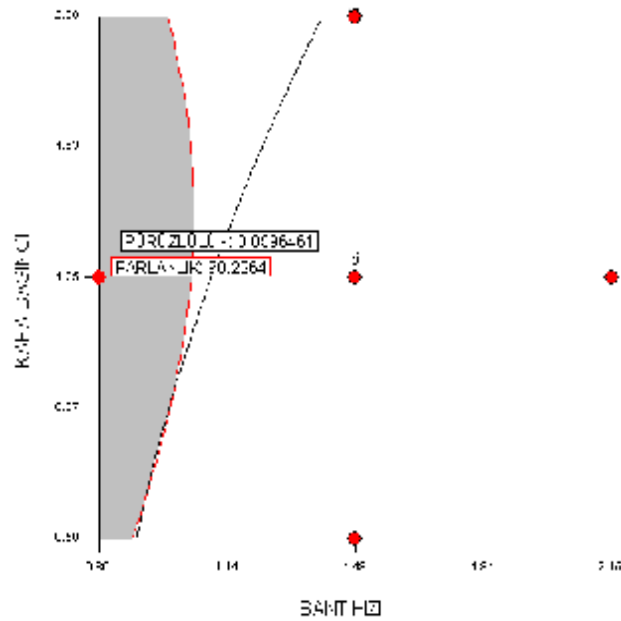
Çizelge 5.35. Sand Wave birimi için çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışması kriterleri

	İsim	Düşük Sınır	Yüksek Sınır	Hedef Değerleri	Önem
Bağımsız değişkenler	Bant Hızı (m/dk)	0,8	2,15	0,8-2,15	3
	Kafa Basıncı(bar)	0,5	2	0,5-2	3
	Kafa Devri(rpm)	409	590	409-590	3
Cevap	Pürüzlülük (µm)	0.041	0.071	Minimum	5
	Parlaklık (%)	0.071	93.43	Maksimum	5

Çizelge 5.36. Sand Wave birimi çekicilik fonksiyonu ile yapılan optimizasyon çalışmasının sonuçları

	Bant Hızı (m/dk)	Kafa Basıncı	Kafa Devri (rpm)	Pürüzlülük (μm)	Parlaklık (%)	Çekicilik
1	1,32	1,87	412,14	0,03903	95,0687	1
2	0,82	1,03	421,2	0,039582	96,1216	1
3	0,81	1,28	442,96	0,039169	95,3551	1
4	0,81	1,33	451,25	0,040047	94,903	1
5	0,88	1,9	445,67	0,028955	94,997	1
6	1,31	1,95	413,04	0,036807	95,1173	1
7	0,8	0,5	589,77	0,052103	94,5075	0,793667
8	0,8	0,5	588,93	0,052274	94,4029	0,790065
9	0,8	1,42	590	0,054404	93,43	0,74378

Örtüşen kontur grafiği ile optimizasyon yapmak üzere 499,50 rpm sabit kafa devrinde parlaklığın en az % 90,2264 ve pürüzlülüğün en fazla 0,0596461 μm olması kriterine dayanarak çalışma şartları belirlenmiş yapılan optimizasyonun grafiği Şekil 5.60'ta verilmiştir.



Şekil 5. 60. Sand Wave birimi için örtüşen kontur grafiği ile optimizasyon

5.2.3. Kullanılan Aşındırıcı Serisinin Yüzey Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi

Görgülü (1998), tarafından yapılan çalışmada aşındırma-cilalama deneyleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve aşındırıcılar etkin oldukları pürüzlülük aralıklarına göre sınıflandırılmıştır (Çizelge 5.37). Aynı çalışmada aşındırma-cilama işlemi sonrasında elde edilen nihai ürünün yüzey kalitesini belirlemeye yönelik bir sınıflandırma da yapılmıştır (Çizelge 5.38).

Bu çalışmada yapılan aşındırma-cilalama deneylerinden sonra elde edilen yüzey pürüzlülüğü sonuçları (Ek 1-4) Görgülü tarafından yapılan sınıflandırmalar ile birlikte değerlendirilmiştir. Deneylerde ilk olarak kullanılan 60 numaralı aşındırıcı ile aşındırma işlemi sonrasında ölçülen pürüzlülük değerlerinin büyük oranda 120 numaralı aşındırıcının kullanılması tavsiye edilen pürüzlülük giriş aralığında olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla 80 numaralı aşındırıcının seriden çıkarılabileceği düşünülmektedir. Diğer aşındırıcılar da kullanılmaları tavsiye edilen pürüzlülük giriş ve çıkış aralıkları dikkate alınarak değerlendirilmiş, deneylerden elde edilen sonuçlar ile Görgülü tarafından yapılan sınıflandırmanın % 90 oranında uyumlu olduğu görülmüştür. Sonuç olarak 60, 180 ve 280 numaralı aşındırıcıların kullanımının gereksiz olduğu ve seriden çıkarılabileceği kanısına varılmıştır

Çizelge 5.37. Aşındırıcı numaralarının etkin oldukları pürüzlülük aralıklarına göre sınıflandırılması (Görgülü, 1998)

Aşındırıcı Sınıfı	Aşındırıcı No	Kullanılmaları Tavsiye Edilen Giriş Pürüzlülük (Ra) Aralığı(μm)	Beklenen Çıkış Pürüzlülük (Ra) Aralığı (μm)
İri	60	10,0-3,0	3,5-1,0
	80	8,0-2,5	3,5-0,8
	120	5,0-1,0	2,0-0,7
	180	3,5-0,8	1,4-0,5
Orta	220	1,8-0,5	1,0-0,3
	280	1,5-0,5	0,8-0,3
	320	1,0-0,4	0,7-0,2
İnce	400	0,8-0,3	0,5-0,2
	600	0,7-0,2	0,4-0,1
	800	0,6-0,2	0,3-0,08

Aşındırma-cilalama deneyleri sonrasında yüzeylerde ölçülen nihai pürüzlülük ve parlaklık değerleri (Ek 5) ile Çizelge 5.38 birlikte değerlendirilmiş, Adara, Crema Nera ve Sand Wave mermerlerinin A-çok iyi kalitede olduğu, Emprador biriminin ise B-iyi kalitede olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.38. Aşındırma-cilama işlemi sonrası nihai ürün yüzey kalitesi sınıfları (Görgülü, 1998)

Sınıf	Pürüzlülük (Ra,µm)	Parlaklık (%)	Görüntü Kalitesi*
A-Çok iyi	< 0,20	> % 80	Yüzeyde çizik ve aşındırıcı izi görülüyor, renkler çok net
B- İyi	< 0,20	70-95	Yüzeyde çizik yok, aşındırıcı izleri çok az belirgin, renkler oldukça net
C- Orta	0,20-0,30	60-85	Yüzeyde nadir olarak çizikler, belirgin aşındırıcı izleri görülüyor, renkler oldukça net
D-Kötü	0,30-0,80	10-60	Yüzeyde oldukça belirgin çizikler ve aşındırıcı izleri görülüyor, renkler oldukça
E-Çok Kötü	> 0,80	0-10	Yüzeyde çok belirgin çizikler ve aşındırıcı izleri görülüyor, renkler mat ve belirsiz

* Göz ile muayene sonucu belirlenmektedir.

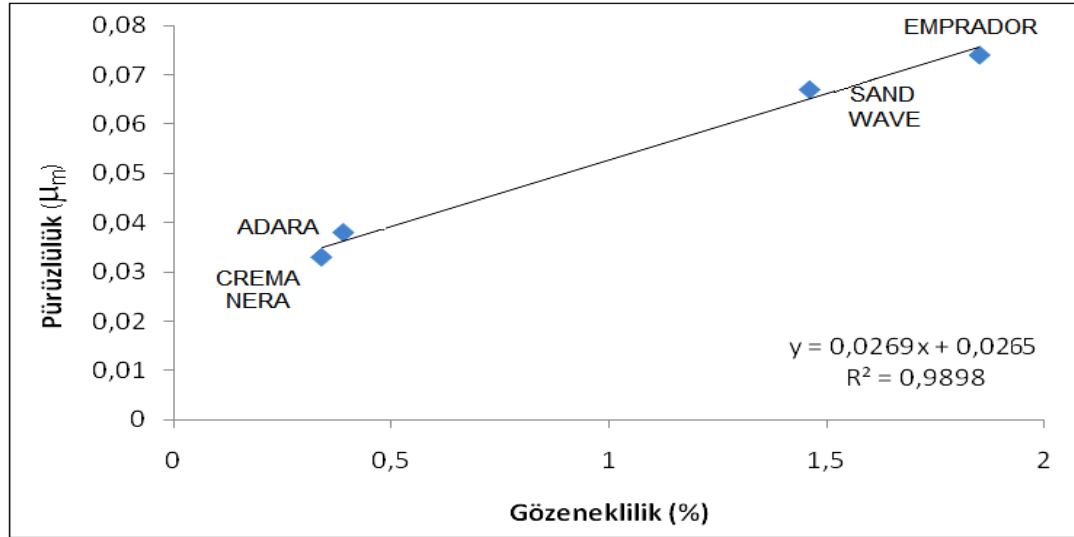
5.2.4. Malzeme Özellikleri ile Yüzey Kalitesi Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi

Aşındırma-cilalama deneylerinde kullanılan bağımsız değişkenlerin merkez noktasında (1,48 m/dk bant hızı, 1,25 bar kafa basıncı ve 499,5 rpm kafa devri) Adara, Emprador, Crema Nera ve Sand Wave mermer birimlerinden elde edilen pürüzlülük ve parlaklık değerlerinin ortalaması Çizelge 5.39’da verilmiştir. Bu değerler ile Çizelge 5.1’de verilen malzeme özellikleri arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Fakat gözeneklilik ve tek eksenli basınç dayanımı haricindeki diğer malzeme özellikleriyle parlaklık ve pürüzlülük arasında belirgin bir ilişki kurulamamıştır (Şekil 5.61-5.64).

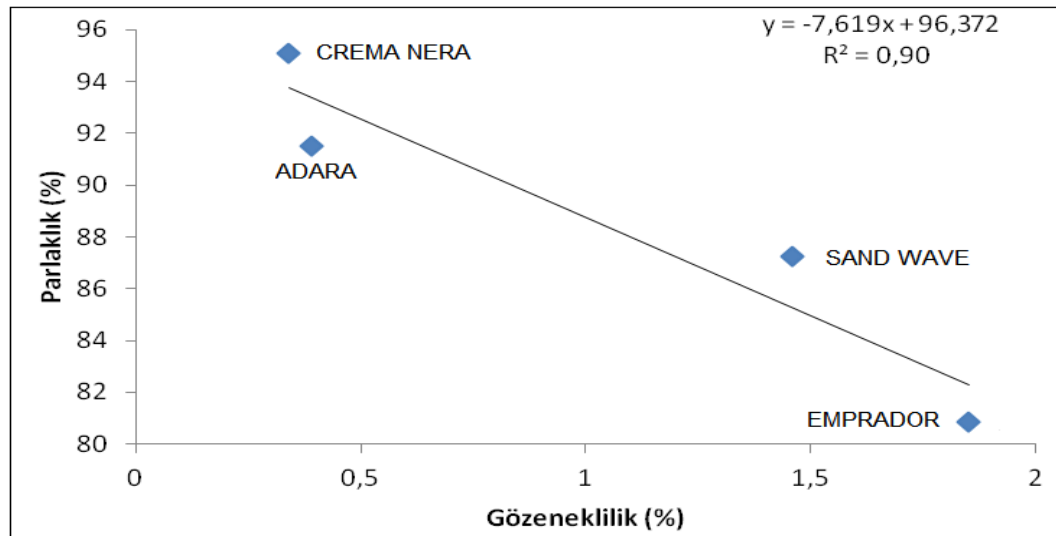
Çizelge 5.38. Bağımsız değişkenlerin merkez noktalarındaki ortalama pürüzlülük ve parlaklık değerleri

Bağımsız değişkenlerin merkez noktalarındaki	Adara	Emprador	Crema Nera	Sand Wave
Ortalama Pürüzlülük Değeri (μm)	0,038669	0,07483	0,0335	0,06766
Ortalama Parlaklık Değeri (%)	91,5105	80,865	95,095	87,235

Şekil 5.61 ve 5.62 incelendiğinde mermer birimlerinin gözenekliliği arttıkça pürüzlülük değerinin arttığı, parlaklık değerinin ise azaldığı tespit edilmiştir.

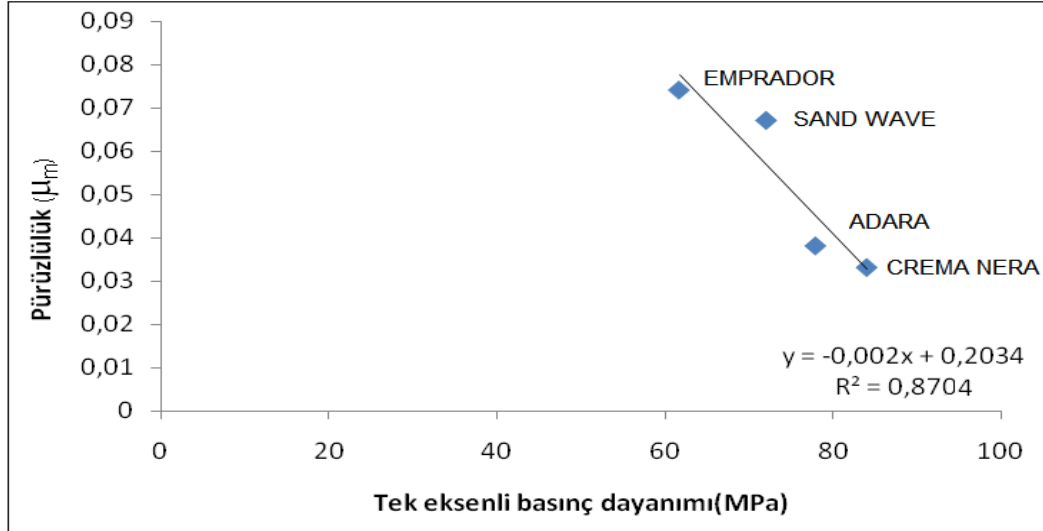


Şekil 5.61. Gözeneklilik ile pürüzlülük arasındaki ilişki

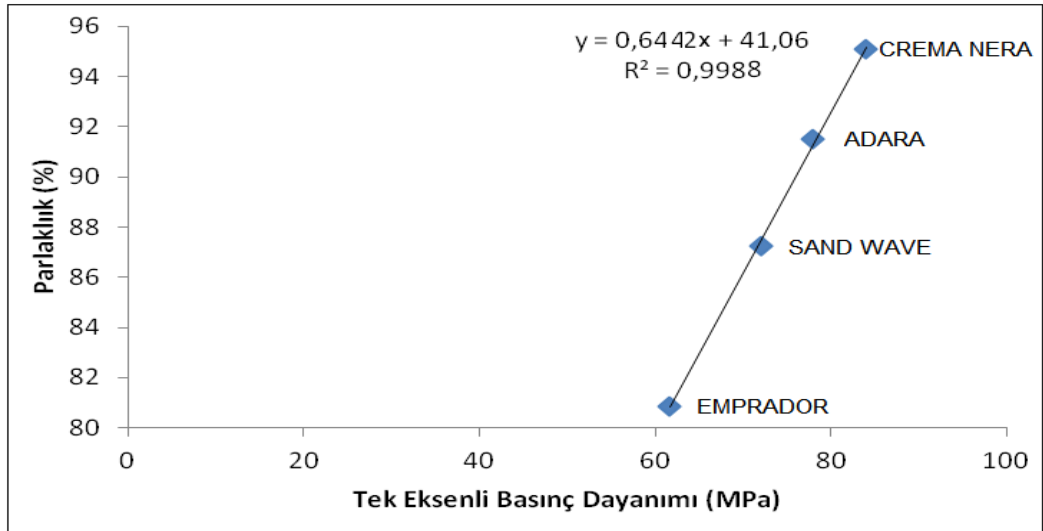


Şekil 5.62. Gözeneklilik ile parlaklık arasındaki ilişki

Şekil 5.63 ve 5.64’te mermer birimlerinin tek eksenli basınç dayanımı arttıkça pürüzlülüğünün azaldığı, parlaklığının ise arttığı görülmektedir.



Şekil 5.63. Tek eksenli basınç dayanımı ile pürüzlülük arasındaki ilişki



Şekil 5.64. Tek eksenli basınç dayanımı ile parlaklık arasındaki ilişki

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

- Yapılan incelemenin amacına uygunluğu ve bağımsız değişkenlerin sayısı göz önüne alınarak aşındırma-cilalama deneylerinin tasarımı için cevap yüzeyi yöntemlerinden merkezi kompozit tasarım seçilmiştir. Aşındırma-cilalama deney sonuçlarına göre pürüzlülük ve parlaklığı tanımlayan aşağıdaki kodlu model denklemleri geliştirilmiştir.

Pürüzlülük ADARA	$= +0,039 + 4,683E-003 * A - 3,944E-003 * B + 4,014E-003 * C + 5,281E-003 * A^2 - 3,763E-004 * B^2 + 2,982E-003 * C^2 + 1,500E-003 * A * B - 2,500E-004 * A * C + 2,750E-003 * B * C$
Parlaklık ADARA	$= +91,52 - 2,10 * A + 1,88 * B - 1,14 * C - 2,26 * A^2 + 0,50 * B^2 - 0,92 * C^2 - 0,33 * A * B + 0,20 * A * C - 1,06 * B * C$
Pürüzlülük EMPRADOR	$= +0,075 + 3,844E-003 * A - 5,948E-003 * B + 7,402E-003 * C + 2,556E-004 * A^2 + 9,627E-004 * B^2 + 5,029E-003 * C^2 + 3,250E-003 * A * B - 5,000E-004 * A * C - 2,500E-004 * B * C$
Parlaklık EMPRADOR	$= +80,88 - 1,31 * A + 2,24 * B - 2,43 * C + 0,19 * A^2 - 0,20 * B^2 - 1,77 * C^2 - 1,58 * A * B + 0,22 * A * C - 0,020 * B * C$
Pürüzlülük CREMA NERA	$= +0,033 + 7,918E-003 * A - 4,074E-003 * B + 4,167E-003 * C + 2,199E-003 * A^2 + 2,376E-003 * B^2 + 3,790E-003 * C^2 - 4,750E-003 * A * B + 7,500E-004 * A * C + 5,000E-003 * B * C$
Parlaklık CREMA NERA	$= +95,12 - 2,92 * A + 2,80 * B - 1,22 * C - 0,84 * A^2 - 0,62 * B^2 - 1,39 * C^2 + 2,92 * A * B - 0,26 * A * C - 1,17 * B * C$
Pürüzlülük SAND WAVE	$= +0,068 + 5,904E-003 * A - 1,791E-003 * B + 2,423E-003 * C - 2,724E-003 * A^2 - 9,561E-004 * B^2 - 2,724E-003 * C^2 + 2,375E-003 * A * B - 2,875E-003 * A * C + 3,375E-003 * B * C$

$$\text{Parlaklık SAND WAVE} = +87,24 - 1,88*A + 0,42*B - 1,52*C + 0,82*A^2 - 0,38*B^2 + 1,18*C^2 + 0,091*A*B - 0,14*A*C - 0,76*B*C$$

- Oluşturulan istatistiksel model özetleri $D.R^2$ ve $T.E.R^2$ değerleri dikkate alınarak incelenmiş ve program tarafından önerilen kuadratik modelin tüm mermer birimlerinde pürüzlülük ve parlaklık için uygulanabilir olduğu tespit edilmiştir.
- Model denklemlerle elde edilen tahmini pürüzlülük ve parlaklık değerleri ile deneysel çalışmalar sonucu elde edilen gerçek değerlerin uyumlu olduğu görülmüştür ($R^2 \geq 0,93$).
- Varyans analizi sonuçları, her mermer birimi için incelenmiş tüm modeller için $F_{\text{hesaplanan}} > F_{\text{çizelge}(0.05)}$ şartı sağlandığından regresyon modelleri kabul edilmiştir.
- $P < 0,05$ koşulunu sağlayarak pürüzlülük ve parlaklık üzerinde etkili olan parametreler belirlenmiştir.
- Modellerin incelenmesi sonucunda Adara, Crema Nera ve Sand Wave birimlerinde cevap değişkenleri üzerinde en kuvvetli ana etkenin bant hızı olduğu, Emprador biriminde ise kafa devri olduğu sonucuna varılmıştır.
- Bant hızı ve kafa devrinin tüm birimlerde pürüzlülük üzerinde pozitif, parlaklık üzerinde ise negatif doğrusal, kafa basıncının ise pürüzlülük üzerinde negatif, parlaklık üzerinde ise pozitif doğrusal etkisinin olduğu belirlenmiştir.
- Genel olarak aşındırıcı ile kayacın temas süresini arttıran düşük bant hızlarında yüzey kalitesinin arttığı belirlenmiştir.
- Yapılan kalıntı testleri modellerde herhangi bir hata olmadığını göstermiştir.
- MKT kullanılarak oluşturulan cevap yüzeyi ve kontur grafikleri sayesinde bağımsız değişkenlerin cevaplar üzerinde oluşturduğu etkiler görsel olarak incelenmiştir.
- Optimum yüzey kalitesini sağlayan çalışma şartları çekicilik fonksiyonu ile belirlenmiştir.

- Örtüşen kontur grafikleri ile sabit kafa devrinde belirlenen pürüzlülük ve parlaklık değerlerine hangi bant hızı ve kafa basıncı değerlerinde ulaşılabileceği belirlenmiştir.
- Nihai parlaklık ve pürüzlülük sonuçları incelendiğinde iki cevap değişkeni arasında kuvvetli ve negatif yönlü doğrusal ilişki olduğu belirlenmiştir ($r \geq -0,85$)
- Malzeme özellikleri ile pürüzlülük ve parlaklık değerlerinin arasındaki ilişki incelenmiş ancak yalnızca gözeneklilik ve tek eksenli basınç dayanımı ile anlamlı ilişki tespit edilmiştir.
- Yapılan mineralojik ve petrografik değerlendirme sonuçları ile Emprador biriminin pürüzlülüğünün diğer mermerlerden yüksek ve parlaklığının ise düşük olmasının nedeninin Emprador biriminin diğer mermer birimlerine oranla daha gözenekli yapıda olmasından kaynaklandığı kanısına varılmıştır. Emprador biriminin yüzeyine gelen ışınların gözenekler tarafından emildiği, bu nedenle yüzeyin ortalama parlaklık değerinin düştüğü tespit edilmiştir.
- Emprador birimini oluşturan irili ufaklı tektonit taneleri arasında farklı boyutlarda çok ince malzemenin bulunduğu görülmüştür. Bu malzemenin bir kısmının iyi çimentolanmamış olması veya çok küçük boşluklar bırakarak çimentolanması nedeni ile bu ara kesimler iyi cila alamamakta, dolayısıyla parlaklık değeri düşmektedir.
- Emprador biriminin dayanımının diğer mermerlere oranla daha düşük olmasının tektonit yapısından kaynaklandığı belirlenmiştir.
- Aşamalı olarak yapılan aşındırma-cilalama deneylerinden elde edilen yaklaşık 19300 pürüzlülük ve parlaklık sonucu incelendiğinde küçük numaralı aşındırıcılarda pürüzlülük değerindeki değişimin, büyük numaralı aşındırıcılarda ise parlaklık değerindeki değişimin önemli oranda olduğu belirlenmiştir.

Yapılan çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda aşağıdakiler önerilmektedir:

- Mermer işleme fabrikalarında aşındırma-cılalama işleminde işlenecek mermer birime göre çalışma parametrelerinin belirlenmesine özen gösterilmelidir.
- Kullanılan aşındırıcı serisinin yüzey kalitesi üzerindeki etkisi incelenerek aşındırıcı serisinde bir önce kullanılan aşındırıcıya yakın etki oluşturan aşındırıcılar seriden çıkarılmalı, nihai ürünün yüzey kalitesi pürüzlülük ve parlaklık ölçümleri alınarak incelenmelidir.
- Ölçüm aralığı kısıtlı olan pürüzlülük ve parlaklık ölçerlerin yerine üretilen plaka yüzeyinin pürüzlülük ve parlaklık ölçümlerinin daha kolay ve hızlı yapılabileceği daha büyük bir yüzeyi tarayabilen bir sistem geliştirilmelidir. Böylece üretilen nihai ürünün tüm yüzey kalite değerlendirmesi daha kolay yapılabilecektir.

KAYNAKLAR

- AKÇİÇEK, N., 2007, Bilyalı Değirmenlerde Bazı Öğütme Parametrelerinin Modellenmesi ve Optimizasyonu, Cumhuriyet Üniversitesi, Yüksek lisans tezi, 41 sayfa
- ALDEMİR, A., 2008. Polianilinin Enzimatik Olarak Sentezlenmesi ve Reaksiyon Koşullarının Optimize Edilmesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Yüksek lisans tezi, 84 sayfa.
- ASLAN, N., 2008. Application of Response Surface Methodology and Central Composite Rotatable Design for Modeling and Optimization Of A Multi-Gravity Separator for Chromite Concentration, Powder Technology pp:80-86
- ASTM D 523, 1994. Standard Test Method for Secular Gloss, 6.01,32-36
- BAYRAKTAR, T., 2007. Kalite Geliştirmede Deneysel Tasarım Ve Bir Uygulama, Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi,137 Sayfa
- BREYFOGLE, Forrest W., 2003. Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods, Hoboken, NJ : Wiley , S:1187
- BOX, G.E.P., HUNTER, W.G., HUNTER, J.S. , 1978. Statistics for Experimenters : An Introduction to Design, Data Analysis and Model Building, New York : Wiley, S: 653
- CERCHAR, (The Cerchar Abrasiveness Index), 1986. Centre d'Etudes et Recherches de Charbonnages de France, Verneuil
- CEYLANOĞLU A., GÖRGÜLÜ, K., 2001. Bazı Mermer Birimlerinde Değişik Aşındırıcılarla Yerde Gerçekleştirilen Yüzey Aşındırma Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi,2001, Madencilik, Haziran - Eylül-Aralık, sayfa: 11-27
- CAYLESS, M.A., MARSEDEN, A.M, 1991. Lamps and Lighting, Edward Arnold, London
- ÇÖMLEKÇİ, N., 2003. Deney Tasarımı İlke ve Teknikleri, Alfa yayınları, İstanbul, 468 sayfa.
- DELİORMANLI, A.H., 2012. Cerchar Abrasivity Index (CAI) and Its Relation to Strength and Abrasion Test Methods for Marble Stones, Construction and Building Materials, 30: 16-21

- DEMİR, H., ve GÜLLÜ, A., 2001. Taşlamada Parametrelerin Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 7, Sayı: 2, sayfa: 189-198
- DESIGN-EXPERT 6 User's Guide, 2001. Stat-Ease, Inc., Minneapolis
- DİSKİ (Diyarbakır Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü), 2013, Su Kontrol Laboratuvarı Deney Raporu
- DÖNMEZ,S., ve SARI, Y.D.,2004. 3 Boyutlu Pürüzlülük Ölçüm Sistemi, Teknoloji, Cilt: 7, Sayı:1, sayfa: 41-49
- DÖNMEZ,S., ve SARI, Y.D., 2005. Sayısal Görüntü Tabanlı Bir Yüzey Parlaklık Ölçüm Sistemi, Mühendislik Bilimi Dergisi, Cilt:11, Sayı:3, Sayfa:401-405
- DUNCAN, A. J., 1973. Quality Control and Industrial Statistics, Homewood Ill. : Irwin, S:992,
- ERDOĞAN,M., 2000.Measurement of Polished Rock Surface Brighness By İmage Analysis Method, Engineering Geology, 57, pp:65-72
- ERSOY, M., ve KÖSE, H., 2001. The Relationship Between Easiness Polishing and Mechanical Properties of Marbles, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM'2001) Bildiriler Kitabı 3-5 Mayıs, Afyon,Sayfa:337-349
- GROOVER, M.P., 2010. Fundamentals of Modern manufacturing: Materials, processes and systems, 4th Edition, pp:1003
- GÖRGÜLÜ, K., 1998. Bazı Mermer Birimleri İçin Optimum Aşındırma-Cılalama Koşullarının Araştırılması ve Malzeme Özellikleri ile İlişkilendirilmesi, C. Ü Fen Bil Ens. Doktora Tezi, Sivas, 178 sayfa.
- GÖRGÜLÜ, K.,CEYLANOĞLU,A., 2008. Evaluation of Continuous Grinding Tests On Some Marble and Limestone Units with Silicon Carbide and Diamond Type Abrasives, Journal of Materials Science Technology, pp:264-268
- GÜZEL, Ö., GÜNDÜZ, L., 2001. Mermer Silim Hatlarında Kullanılan Silim Taşları- Alternatif Matriks Form Analizi, 3. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, Afyonkarahisar, s.249-263
- HARRIS, P., 2000. At the Cutting Edge- Abrasives and Their Markets, Industrial Minerals,388:19-27

- HUANG, H., LI, Y., SHEN, J.Y., ZHU, H.M., XU, X.P., 2002. Micro-Structure Detection of Glossy Granite Surface Machined by the Grinding Process, Journal of Materials Processing Technology, Volume:129, Issues:1-3, p:403-407
- ISRM, 1978. Suggested Method for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, Int. J. Rock Mech. and Min. Sci., Vol. 15, pp.319-368.
- KANDEMİR, A., 2010. Kayaçların Delinebilirlik, Aşındırıcılık ve Petrografik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 175 sayfa.
- KARACA, Z., 2012. Relationship Between The Mechanical Properties And Surface Roughness of Marble, Int. J. Mat.Res., pp:1-5, DOI:10.3139/146.110728
- KOGEL, J.E., TRIVEDI, N.C., BARKER, J.M., KRUKOWSKI, S.T.(Ed), 2006. Industrial Minerals&Rocks: Commodities,Markets and Uses, 7th Edition, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc.,pp:1507
- KONICA MINOLTA INC., 2010. Konica Minolta Multigloss 268 Glossmeter Catalog, pp:2
- KÖKKILIÇ, O., 2011. Falcon Santrifüjlü Gravite Ayırıcısında Zenginleştirmenin Modellenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi 270 sayfa.
- KULAKSIZ, S., ÖZKOL, S., ÖZÇELİK, Y., ENGİN, İ.C., 2001. Akmağdeni, Menderes, Kırşehir Msifi Granatlarının Doğal Aşındırıcı Olarak Kullanım Teknolojilerinin Geliştirilmesi, Tübitak, Proje no: YDABÇAĞ-199Y028, Ankara
- MALKIN, S. ve GUO, C., 2008. Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives, pp:369
- MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi) a, 2008. Mermer Plaka Cilalama ve Dolgu, Ankara
- MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi) b, 2008. Mermer Parlatma, Ankara
- MONTGOMERY, D.C., 2009. Desing And Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, 7th Edition, pp: 336

- NAPIER-MUNN, T.J., 2000. The Central Composite Rotatable Design, JKMRC, The University of Queensland, Brisbane, pp. 1–9.
- OZULOĞUL, A., 1994. Süpren Mermerlerinin Mühendislik Jeolojisi ve Yüzey Parlaklığının Saptanmasında Yeni Bir Yaklaşım, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi
- OZULOĞUL, A., ERDOĞAN, M., 1995. Mermerlerde Yüzey Parlaklığının Görüntü Analiz Yöntemi ile Ölçülmesi, Türkiye I. Mermer Sempozyumu, Afyon, s. 37-44,.
- PEIPONEN, K. E., MYLLYLA, R., PRIEZZHEV, A.V., 2009. Optical Measurement Technics, Innovation for Industry and Life Sciences, 168 p.
- RANK TAYLOR HOBSON LIMITED, 1992. Surtronic 3+ Operating Instructions, Leicester, pp: 53
- RIBERIO, R.P., PARAGUASSU, A.B., ROGRIGUES, J.E., 2007. Sawing of Blocks of Siliceous Dimension Stone: Influence Of Texture And Mineralogy, Bull Eng Geol Env. 66: 101–107, DOI 10.1007/s10064-006-0049-y
- SANYILMAZ, M., 2006. Deney tasarımı ve kalite geliştirme faaliyetlerinde taguchi yöntemi ile bir uygulama, Dumlupınar Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 97 sayfa.
- SARI, D., YAVUZ H., 2001. Mermer Parlaklığının Nicel Tanımı, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM'2001) Bildiriler Kitabı 3-5 Mayıs, Afyon, sayfa: 265-275
- ŞENTÜRK, A., GÜNDÜZ, L., TOSUN, Y.İ., SARIŞIK, A., 1996. Mermer Teknolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta, 243 sayfa.
- SILVENNOINEN ,R., PEIPONEN, K. E., MYLLER, K., 2010. Specular Gloss, 520 p.
- SOYLAK, M., 2000. Kalite Gelistirmede Deneysel Tasarım ve Taguchi Yöntemi, Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 98 sayfa.
- TAMROCK, 1999. Rock Excavation Handbook for Civil Engineering, ed. R. Heneö, 99-808-GB6000, Sandvik Tamrock Corp., 364 p.

- TAYLAN, D., 2009. Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması, Süleyman Demirel Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 62 sayfa
- TAYLOR, J. B., CARRANO A. L., KANDLIKAR S.G.,2006. Characterization of the Effect of Surface Roughness and Texture on Fluid Flow—Past, Present, And Future, International Journal of Thermal Sciences, 45: 962–968
- TURAN M.D. ve ALTINDOĞAN, H.S. 2011. Hidrometalurjik Araştırmalarda Yanıt Yüzeyi Yöntemlerinin (YYY) Kullanımı, Cilt:50, sayı: 3, sayfa: 11-23
- YAVUZ, H., OZKAHRAMAN, T. ve DEMİRDAG, S., 2010. Polishing Experiments Surface Quality of Building Stone Tiles, DOI:10.1016/j.conbuildmat.2010.10.016
- UĞUR İ., GÜNDÜZ L., 2003. Mermer İşleme Fabrikalarında Dar Silim-Geniş Silim ve Honlama İşlemlerinde Silim Karakteristiklerinin İrdelenmesi, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM'2003) Bildiriler Kitabı 18-19 Aralık 2003, sayfa 99-116
- WEBSTER ,J., TRICARD,M., 2004. Innovations in Abrasive Products for Precision Grinding, Cirp Annals - Manufacturing Technology, Volume 53, Issue 2, Pages 597–617
- WRIGHT, D.N., ve ROUSE, C., 1993. Stone Polishing –Measurement of Surface Finish, International Journal of Machine Tools& Manufacture,45 pp: 365-372
- XI, F., ZHOU,D., 2005. Modeling surface roughness in the stone polishing process, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45,pp: 365–372
- <http://www.eraabrasiv.com/?page=silmeTasi> (Erişim tarihi: 19 Ocak 2012)
- <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section3/pri33.htm> (Erişim tarihi: 9 Şubat 2012)
- <http://www.gmsmakine.com.tr/> (Erişim tarihi: 19 Ocak 2012)
- <http://www.som-mak.com/> (Erişim tarihi: 19 Ocak 2012)
- <http://www.gurmas.com/katalog/> (Erişim tarihi: 19 Ocak 2012)

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında İskenderun'da doğdu. İlköğrenimine Kocaeli Körfez İğsaş İlkokulu'nda başlayıp, Diyarbakır'da bulunan Özel Karacadağ İlkokul'unda tamamladı. Orta öğrenimini ise Özel Amid Lisesi'nde 1998 yılında tamamladı. Aynı yıl Dicle Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 2002 yılında aynı bölümden Maden Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı ve 2005 yılında Maden Yüksek Mühendisi olarak mezun oldu. Yine aynı sene Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Maden İşletme Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2008 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora öğrenimine başladı.

EKLER

Ek 1. Adara biriminin aşındırma-cilalama işleminde kullanılan aşındırıcı serisi ve ölçülen pürüzlülük(μm) –parlaklık (%) değerleri

Deney No	Bant Hızı(m/dk)	Kafa Basıncı (bar)	Kafa Devri(rpm)	Aşındırıcı No																							
				60		80		120		180		220		280		320		360		600		800		5 Ekstra		Pulitore	
				Pürüzlülük(µm)	Parlaklık(%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık(%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)
1	1,88	0,80	553,31	2,15	3,03	1,24	3,31	0,62	3,56	0,56	5,2	0,44	5,51	0,44	5,93	0,42	6,02	0,136	11,86	0,102	14,04	0,058	53,07	0,056	72,51	0,056	85,16
2	1,48	1,25	499,50	2,16	2,54	1,48	3,06	1,3	3,21	1,12	3,7	0,7	3,92	0,5	5,24	0,4	6,56	0,28	11,78	0,14	12,87	0,072	38,37	0,052	76,74	0,040	91,92
3	1,07	1,70	553,31	3,68	2,5	1,26	4,02	0,64	4,24	0,48	4,61	0,46	5,56	0,34	5,97	0,27	7,89	0,16	18,2	0,11	36,4	0,068	41,99	0,062	63,91	0,046	89,79
4	1,48	1,25	590,00	1,32	3,7	1	3,8	0,8	4,05	0,78	4,3	0,7	4,59	0,5	5,61	0,42	6,25	0,22	16,83	0,096	31,41	0,06	41,17	0,056	82,76	0,051	88,52
5	1,48	1,25	409,00	1,82	3,52	1,34	3,82	0,74	4,02	0,66	3,95	0,46	5,06	0,4	6,73	0,36	6,87	0,178	12,27	0,11	19,93	0,06	39,74	0,057	69,2	0,041	89,71
6	1,48	1,25	499,50	2,94	2,68	2,1	3,17	0,98	3,46	0,94	3,54	0,72	4,49	0,46	5,77	0,46	6,26	0,3	8,54	0,1	20,83	0,078	43,04	0,054	66,00	0,040	91,85
7	1,88	1,70	445,69	3,42	2,54	2,6	3,34	1,02	3,6	0,78	4,3	0,58	5,43	0,46	5,59	0,32	8,98	0,17	15,58	0,11	22,19	0,06	48,2	0,05	64,25	0,042	90,7
8	1,07	1,70	445,69	2,84	3,00	2,2	3,21	0,9	3,93	0,52	5,11	0,45	6,43	0,4	8,74	0,3	9,48	0,176	14,86	0,094	29,51	0,062	45,08	0,058	77,84	0,030	95,46
9	1,48	0,50	499,50	2,98	2,68	2,5	3,15	0,78	3,81	0,64	3,87	0,42	6,17	0,4	6,44	0,3	6,46	0,196	16,58	0,104	21,75	0,072	44,26	0,05	82,11	0,043	89,32
10	1,88	1,70	553,31	2,64	3,17	1,26	3,31	1,22	3,71	0,58	6,03	0,68	4,11	0,42	6,62	0,35	8,54	0,22	15,64	0,11	20,76	0,06	39,72	0,058	72,48	0,056	85,34
11	1,48	2,00	499,50	3,70	2,42	3,3	2,76	0,68	4,54	0,6	4,56	0,52	5,53	0,54	5,35	0,48	6,23	0,196	12,63	0,118	24,34	0,076	51,63	0,05	70,93	0,030	96,96
12	1,48	1,25	499,50	3,06	2,38	1,56	3,27	0,98	3,49	0,8	3,58	0,48	4,53	0,4	5,81	0,4	6,34	0,34	10,24	0,102	20,67	0,06	45,9	0,05	84,6	0,037	91,52
13	0,80	1,25	499,50	1,16	3,73	1,02	3,86	0,52	5,67	0,52	4,85	0,4	7,13	0,38	7,27	0,36	7,21	0,17	9,25	0,116	26,36	0,06	35,51	0,05	58,67	0,043	89,19
14	1,48	1,25	499,50	3,38	2,28	1,6	3,47	1,36	3,59	0,92	4,19	0,5	4,34	0,46	5,84	0,38	7,03	0,176	17,45	0,09	17,19	0,068	38,72	0,044	85,23	0,039	92,55
15	1,48	1,25	499,50	1,78	3,00	1,44	3,21	1,08	3,49	1,06	3,58	0,48	5,24	0,44	6,07	0,38	6,27	0,158	15,04	0,124	16,79	0,08	37,9	0,056	52,29	0,040	90,70
16	1,07	0,80	445,69	3,10	2,91	0,96	3,77	0,72	4,97	0,58	5,3	0,53	4,48	0,52	4,97	0,5	6,89	0,18	11,28	0,092	27,31	0,072	44,58	0,052	60,98	0,047	89,69
17	2,15	1,25	499,50	2,94	2,92	1,4	3,45	1,28	3,01	0,62	3,9	0,72	3,98	0,52	5,55	0,5	6,5	0,26	12,45	0,11	30,13	0,08	45,32	0,074	57,76	0,062	81,48
18	1,88	0,80	445,69	1,62	3,23	1,82	3,44	0,92	3,45	0,92	3,87	0,7	4,31	0,52	5,4	0,48	5,69	0,24	10,25	0,122	22,62	0,08	42,22	0,058	78,36	0,052	85,77
19	1,07	0,80	553,31	1,22	3,30	0,88	3,46	0,84	3,61	0,58	3,93	0,52	5,75	0,46	5,75	0,34	6,91	0,202	12,37	0,13	16,03	0,08	42,13	0,069	81,95	0,051	87,78
20	1,48	1,25	499,50	1,96	3,31	1,88	3,43	0,94	3,6	0,96	4,29	0,52	4,42	0,4	6,31	0,38	6,99	0,32	10,42	0,13	14,97	0,08	49,66	0,056	76,72	0,037	90,54

Ek 2.Emprador biriminin aşındırma-cıllama işleminde kullanılan aşındırıcı serisi ve ölçülen pürüzlülük(μm) –parlaklık (%) değerleri

Deney No	Bant Hız(m/dk)	Kafa Basıncı (bar)	Kafa Devri(rpm)	Aşındırıcı No																							
				60		80		120		180		220		280		320		360		600		800		5 Ekstra		Pulitore	
				Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)
1	1,88	0,80	553,31	2,34	2,12	1,66	2,36	0,86	2,64	0,78	2,98	0,64	4,07	0,5	5,33	0,46	7,5	0,25	26,69	0,16	31,1	0,12	55,46	0,109	67,21	0,094	75,27
2	1,48	1,25	499,50	3,48	2,02	2,5	2,11	1,56	2,12	1,22	2,99	0,82	3,6	0,7	4,19	0,66	5,26	0,29	7,46	0,17	26,19	0,12	50,46	0,097	63,57	0,075	80,91
3	1,07	1,70	553,31	1,3	1,12	1,12	2,33	0,88	2,84	0,72	3,59	0,58	3,98	0,42	5,6	0,38	10,24	0,17	27,05	0,15	29,68	0,10	55,42	0,079	84,38	0,072	81,64
4	1,48	1,25	590,00	3,22	2,02	2,13	2,33	1,02	2,58	0,84	2,75	0,66	3,7	0,55	4,63	0,48	8,75	0,24	16,91	0,15	30,98	0,12	51,91	0,11	78,35	0,104	71,83
5	1,48	1,25	409,00	3,48	2,07	2,04	2,3	1,82	2,6	1,28	2,63	0,9	3,16	0,7	4,51	0,8	4,39	0,50	10,91	0,32	26,05	0,21	32,59	0,14	59,46	0,076	80,52
6	1,48	1,25	499,50	4,94	1,83	2,62	2,34	1,62	2,46	1,48	2,79	1,16	3,7	0,78	4,74	0,72	4,86	0,44	12,94	0,23	25,73	0,16	52,23	0,10	58,83	0,077	78,99
7	1,88	1,70	445,69	3,16	1,9	2,44	2,79	1,34	3,08	0,9	3,22	0,88	3,27	0,68	4,86	0,45	8,67	0,24	20,32	0,2	24,97	0,11	56,84	0,076	77,74	0,074	81,34
8	1,07	1,70	445,69	3,38	2,17	2,3	2,68	1,04	2,98	0,88	3,49	0,66	4,36	0,5	5,61	0,47	6,05	0,24	18,83	0,146	34,63	0,09	57,71	0,07	63,04	0,06	86,14
9	1,48	0,50	499,50	3,02	2,29	1,72	2,42	1,5	2,91	0,66	3,24	0,64	4,39	0,6	4,41	0,52	4,55	0,48	4,94	0,20	25,08	0,14	49,26	0,089	78,5	0,086	77,47
10	1,88	1,70	553,31	2,7	2,2	1,68	2,45	1,42	2,68	0,86	3,65	0,74	4,09	0,62	5,13	0,59	5,89	0,19	19,22	0,15	31,98	0,11	49,88	0,10	68,34	0,088	76,45
11	1,48	2,00	499,50	4,68	1,91	1,8	2,01	1,22	3,65	0,84	4,4	0,66	4,5	0,55	4,76	0,47	8,74	0,28	16,54	0,20	27,19	0,13	54,78	0,09	57,48	0,071	83,77
12	1,48	1,25	499,50	1,62	2,08	1,72	2,27	1,58	2,3	1,18	2,93	0,72	3,8	0,64	5,29	0,58	6,25	0,42	14,57	0,2	36,41	0,13	48,12	0,078	77,35	0,074	81,61
13	0,80	1,25	499,50	1,88	2,21	1,74	2,57	1,2	3,48	0,94	3,94	0,68	5,42	0,62	5,46	0,58	5,64	0,20	15,52	0,16	32,71	0,1	56,85	0,08	56,49	0,071	84,86
14	1,48	1,25	499,50	3,68	2,31	1,94	2,06	1,28	2,58	1,06	2,81	0,94	3,51	0,68	4,59	0,65	4,85	0,6	4,93	0,29	16,13	0,21	44,34	0,11	69,35	0,077	80,12
15	1,48	1,25	499,50	4,5	1,89	1,38	3,14	0,88	3,21	0,84	4,47	0,56	4,92	0,56	5,47	0,48	5,57	0,4	9,87	0,21	26,64	0,12	52,45	0,09	57,58	0,07	83,16
16	1,07	0,80	445,69	4,94	1,98	2,72	2,45	2,32	2,93	1,18	3,61	0,8	3,7	0,6	4,16	0,51	6,23	0,28	11,69	0,18	26,23	0,13	47,18	0,11	60,1	0,078	78,56
17	2,15	1,25	499,50	3,38	2,14	2,8	2,49	1,3	2,82	1,1	3,37	1	4,41	0,7	4,66	0,58	5,35	0,55	17,14	0,13	25,55	0,11	46,38	0,09	65,22	0,082	78,56
18	1,88	0,80	445,69	1,94	2,27	1,58	2,51	1,08	2,89	0,96	2,91	0,74	3,9	0,68	4,47	0,52	5,13	0,29	12,57	0,19	22,81	0,14	42,14	0,13	72,17	0,083	78,83
19	1,07	0,80	553,31	1,88	2,23	1,36	2,39	1,46	2,82	0,8	2,88	0,52	7,19	0,32	8,02	0,48	8,98	0,29	15,1	0,12	39,42	0,11	44,48	0,10	68,99	0,095	72,89
20	1,48	1,25	499,50	2,72	1,85	2,36	2,32	1,44	2,48	1,42	2,53	1,04	3,09	0,68	4,26	0,6	4,74	0,4	13,41	0,2	18,31	0,18	55,97	0,09	71,12	0,076	80,4

Ek 3.Crema Nera biriminin aşındırma-cılalama işleminde kullanılan aşındırıcı serisi ve ölçülen pürüzlülük(µm) –parlaklık (%) değerleri

Tasarım No	Bant Hız(m/dk)	Kafa Basıncı (bar)	Kafa Devri(rpm)	Aşındırıcı No																							
				60		80		120		180		220		280		320		360		600		800		5 Ekstra		Pulitore	
				Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)
1	1.88	0.80	553,31	2.98	3.36	1.14	3.49	0.7	3.78	0.68	4.59	0.62	4.8	0.52	5.48	0.45	6.81	0.13	15,89	0.09	16.9	0.08	54,35	0.06	58,71	0.057	82.09
2	1.48	1.25	499,50	2.28	3.07	2.02	3.17	1.32	3.21	1	3.83	0.72	3.97	0.48	4.84	0.42	5.52	0.3	10,58	0.11	16.72	0.072	40,17	0.06	73,45	0.037	93,4
3	1.07	1.70	553,31	2.38	3.43	1.38	4.21	0.64	4.96	0.5	5.56	0.46	6.56	0.38	6.92	0.28	8.75	0.16	17,49	0.11	28,29	0.09	50,58	0.06	78,8	0.046	93,18
4	1.48	1.25	590,00	3.12	3.03	1.26	3.55	0.78	3.93	0.76	4.4	0.48	6.01	0.5	5.43	0.43	6.89	0.21	12,86	0.12	27.93	0.09	43,88	0.06	76,82	0.052	88,96
5	1.48	1.25	409,00	2.54	3.46	1.8	3.69	1.02	3.85	0.82	3.85	0.48	6.45	0.42	6.23	0.39	7.97	0.16	16,07	0.15	20.76	0.08	35,83	0.06	77,49	0.036	94,4
6	1.48	1.25	499,50	2.58	2.76	2.22	3.34	1.14	3.63	0.98	3.8	0.66	4.58	0.42	6.2	0.42	6.18	0.3	9.75	0.12	24.22	0.08	50,58	0.05	73.77	0.032	95,21
7	1.88	1.70	445.69	2.34	2.83	2.3	3.35	1.2	3.81	0.62	5.86	0.6	4.74	0.38	6.72	0.35	7.59	0.14	19,04	0.11	27.7	0.07	35.94	0.05	92.8	0.033	97.06
8	1.07	1.70	445.69	2.68	3.27	1.94	3.74	0.76	3.94	0.56	4.76	0.46	6.45	0.36	7.34	0.29	8.16	0.13	19.56	0.09	31.88	0.06	46.83	0.06	75.71	0.028	97.71
9	1.48	0.50	499,50	4.06	2.68	2.58	2.69	0.94	3.9	0.9	3.68	0.52	5.12	0.49	5.94	0.46	6.3	0.2	14.58	0.1	21.73	0.08	45.29	0.04	87.85	0.05	90.46
10	1.88	1.70	553,31	2.52	3.45	1.24	3.51	1.14	3.51	0.72	4.41	0.58	4.68	0.47	5.77	0.4	6.87	0.15	17.36	0.08	25.51	0.06	52.95	0.06	62.55	0.05	93.13
11	1.48	2.00	499,50	3.84	3.01	1.00	3.45	0.84	4.06	0.62	4.21	0.58	5.07	0.4	6.62	0.38	7.54	0.14	11.14	0.09	31.84	0.06	54.5	0.05	78.91	0.03	97.26
12	1.48	1.25	499,50	3.26	2.86	2.18	3.76	0.88	3.93	0.76	4.25	0.52	5.1	0.42	6.22	0.42	6.76	0.32	13,08	0.10	15.52	0.06	47.7	0.04	94.3	0.032	96
13	0.80	1.25	499,50	1.32	4.45	0.7	4.68	0.65	4.19	0.52	4.78	0.44	6.34	0.36	7.42	0.36	8.01	0.22	11.97	0.10	28.33	0.08	42.69	0.07	57.23	0.024	97.72
14	1.48	1.25	499,50	1.6	1.06	2.26	2.68	1.42	3.53	0.98	3.45	0.64	4.27	0.46	5.66	0.37	6.89	0.138	18.92	0.11	19	0.08	50.58	0.04	93.27	0.035	95.21
15	1.48	1.25	499,50	2.94	2.59	2.14	3.54	1.1	3.87	0.72	4.15	0.56	4.78	0.54	5.58	0.5	5.99	0.28	8.84	0.14	15.17	0.09	37.74	0.06	63.09	0.03	96.06
16	1.07	0.80	445.69	3.16	2.78	2.4	2.88	1.26	3.08	0.68	4.82	0.54	6.35	0.52	6.45	0.49	6.04	0.15	16.42	0.1	23.36	0.07	38.83	0.06	60.44	0.036	93.69
17	2.15	1.25	499,50	2.1	3.53	2.06	3.17	1.26	3.22	0.88	4.01	0.72	4.83	0.5	5.33	0.48	5.97	0.17	17.5	0.11	31.73	0.08	46.23	0.058	83.46	0.055	88.75
18	1.88	0.80	445.69	1.34	3.17	1.34	3.36	0.84	3.86	0.76	4.06	0.56	4.79	0.58	5.3	0.42	6.14	0.27	13.54	0.13	17.34	0.09	44.76	0.07	65.73	0.056	83
19	1.07	0.80	553,31	1.92	3.11	1.3	3.51	0.9	3.7	0.84	3.98	0.64	5.27	0.42	6.27	0.42	6.93	0.158	19.82	0.1	26.02	0.07	48.11	0.038	93.27	0.03	95.49
20	1.48	1.25	499,50	1.5	3.19	1.88	3.28	0.96	3.33	0.88	3.36	0.62	4.07	0.54	5.01	0.4	5.51	0.26	10.84	0.12	20.13	0.06	49.5	0.05	61.99	0.035	94.69

Ek 4. Sand Wave biriminin aşındırma-cilalama işleminde kullanılan aşındırıcı serisi ve ölçülen pürüzlülük(μm) –parlaklık (%) değerleri

Tasarım No	Bant Hız(m/dk)	Kafa Basıncı (bar)	Kafa Devri(rpm)	Aşındırıcı No																							
				60		80		120		180		220		280		320		360		600		800		5 Ekstra		Pulitore	
				Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (µm)	Parlaklık (%)
1	1,88	0,80	553,31	2,6	2,61	1,64	2,69	1,52	3,39	0,88	3,47	0,52	4,38	0,5	5,92	0,47	6,84	0,2	11,09	0,15	15,08	0,12	44,7	0,09	70,33	0,063	85,26
2	1,48	1,25	499,50	1,46	3,21	1,42	3,47	1,08	3,26	0,96	3,71	0,78	3,87	0,52	5,48	0,4	5,6	0,4	7,17	0,21	23,66	0,11	39,39	0,06	66,26	0,068	87,31
3	1,07	1,70	553,31	1,02	4,28	1	4,78	0,64	4,06	0,64	3,99	0,48	4,29	0,46	5,75	0,32	8,91	0,17	17,3	0,13	24,99	0,10	52,28	0,07	59,3	0,061	88,62
4	1,48	1,25	590,00	2,72	2,88	1,16	4,13	1,04	4,41	0,74	4,59	0,62	4,95	0,46	5,64	0,39	6,78	0,19	12,86	0,12	24,58	0,08	42,91	0,06	87,7	0,064	88,32
5	1,48	1,25	409,00	2,68	3,03	1,46	3,63	0,86	3,46	0,62	3,85	0,6	4,31	0,52	6,28	0,4	5,9	0,2	11,55	0,2	13,35	0,12	32,05	0,09	66,46	0,058	92,94
6	1,48	1,25	499,50	2,9	2,87	2,24	2,81	1,9	3,21	0,84	3,34	0,66	4,27	0,52	5,62	0,44	5,6	0,38	8,77	0,208	18,94	0,13	47,57	0,086	77,77	0,066	87,61
7	1,88	1,70	445,69	1,98	3,1	1,8	3,24	1,12	3,34	1,06	3,41	0,7	4,42	0,46	6,00	0,38	8,05	0,21	13,13	0,17	13,97	0,12	36,05	0,07	61,46	0,065	89,79
8	1,07	1,70	445,69	3,34	3,18	1,96	3,12	0,88	3,41	0,78	4,1	0,62	4,96	0,46	5,71	0,41	6,79	0,20	10,17	0,14	12,89	0,09	46,35	0,06	89,57	0,041	93,43
9	1,48	0,50	499,50	3,44	2,98	1,64	3	1,34	3,33	1,06	3,78	0,78	4,23	0,6	5,42	0,56	5,72	0,3	11,29	0,15	16,7	0,1	41,05	0,062	89,17	0,07	85,51
10	1,88	1,70	553,31	3,04	1,62	3,00	2,77	0,92	3,47	0,82	3,67	0,64	4,2	0,44	5,89	0,37	8,57	0,18	14,93	0,13	21,01	0,094	51,77	0,07	72,19	0,07	85,06
11	1,48	2,00	499,50	3,3	2,81	1,18	3,32	0,9	3,79	0,88	4,51	0,56	4,97	0,5	6,51	0,36	7,81	0,19	11,49	0,17	20,94	0,12	39,15	0,08	62,01	0,062	86,92
12	1,48	1,25	499,50	3,26	3,69	1,1	2,69	1,08	3,22	0,92	3,06	0,62	4,81	0,66	5,78	0,44	5,83	0,38	9,93	0,15	20,14	0,13	42,91	0,06	82,23	0,066	87,81
13	0,80	1,25	499,50	1,4	3,88	1,36	3,46	0,76	3,95	0,62	3,73	0,44	5,05	0,42	6,90	0,36	6,98	0,18	12,65	0,13	15,4	0,09	39,29	0,07	55,73	0,051	92,75
14	1,48	1,25	499,50	1,76	2,73	1,4	3,33	1	3,57	0,94	3,6	0,72	4,38	0,58	5,78	0,54	5,63	0,47	6,48	0,214	11,37	0,128	36,19	0,086	77,08	0,069	86,66
15	1,48	1,25	499,50	2,54	3,43	2,02	3,22	1,6	3,37	1,48	3,64	0,62	5,05	0,46	5,39	0,56	4,76	0,36	11,58	0,2	15,9	0,11	39,87	0,072	85,64	0,07	86,43
16	1,07	0,80	445,69	3,34	2,48	1,8	2,74	1,34	3,41	0,8	3,64	0,66	4,58	0,6	5,51	0,51	6,05	0,21	11,69	0,15	18,83	0,11	38,18	0,08	66,36	0,057	90,94
17	2,15	1,25	499,50	1,88	3,61	1,86	2,76	1,38	2,96	0,72	5,08	0,58	4,66	0,58	4,82	0,56	5,41	0,23	11,93	0,15	20,21	0,1	43,69	0,08	73,64	0,071	86,46
18	1,88	0,80	445,69	2,86	2,45	1,16	3,11	1,06	3,2	0,96	4,47	0,62	4,72	0,52	5,23	0,52	5,67	0,3	12,65	0,17	20,92	0,12	42,19	0,07	84,54	0,068	87,57
19	1,07	0,80	553,31	0,94	3,03	0,94	3,38	0,88	3,92	0,64	4,05	0,58	5,28	0,52	6,1	0,34	6,21	0,18	13,43	0,15	18,53	0,08	43,88	0,05	87,22	0,06	89,82
20	1,48	1,25	499,50	1,8	2,69	1,66	3,1	1,1	3,28	1,02	3,55	0,64	3,99	0,5	4,99	0,44	6,24	0,36	8,04	0,196	18,31	0,104	43,28	0,073	63,48	0,067	87,59

Ek 5. Design Expert 6.0 kullanılarak MKT ile oluşturulan deney programı ve yüzeylerde ölçülen nihai pürüzlülük (μm) ve parlaklık (%) değerleri

Deney No	Bağımsız Değişkenler			Mermer Birimleri							
				Adara		Emprador		Crema Nera		Sand Wave	
				Cevap		Cevap		Cevap		Cevap	
	A:Bant Hızı	B:Kafa Basıncı	C:Kafa Devri	Pürüzlülük (μm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (μm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (μm)	Parlaklık (%)	Pürüzlülük (μm)	Parlaklık (%)
1	1,88	0,80	553,31	0,056	85,16	0,094	75,27	0,057	82,09	0,063	85,26
2	1,48	1,25	499,50	0,040	91,92	0,075	80,91	0,037	93,40	0,068	87,31
3	1,07	1,70	553,31	0,046	89,79	0,072	81,64	0,046	93,18	0,061	88,62
4	1,48	1,25	590,00	0,051	88,52	0,104	71,83	0,052	88,96	0,064	88,32
5	1,48	1,25	409,00	0,041	89,71	0,076	80,52	0,036	94,4	0,058	92,94
6	1,48	1,25	499,50	0,040	91,85	0,077	78,99	0,032	95,21	0,066	87,61
7	1,88	1,70	445,69	0,042	90,70	0,074	81,34	0,033	97,06	0,065	89,79
8	1,07	1,70	445,69	0,030	95,46	0,060	86,14	0,028	97,71	0,041	93,43
9	1,48	0,50	499,50	0,043	89,32	0,086	77,47	0,05	90,46	0,07	85,51
10	1,88	1,70	553,31	0,056	85,34	0,088	76,45	0,05	93,13	0,07	85,06
11	1,48	2,00	499,50	0,030	96,96	0,071	83,77	0,03	97,26	0,062	86,92
12	1,48	1,25	499,50	0,037	91,52	0,074	81,61	0,032	96,00	0,066	87,81
13	0,80	1,25	499,50	0,043	89,19	0,071	84,86	0,024	97,72	0,051	92,75
14	1,48	1,25	499,50	0,039	92,55	0,077	80,12	0,035	95,21	0,069	86,66
15	1,48	1,25	499,50	0,040	90,70	0,07	83,16	0,03	96,06	0,07	86,43
16	1,07	0,80	445,69	0,047	89,69	0,078	78,56	0,036	93,69	0,057	90,94
17	2,15	1,25	499,50	0,062	81,48	0,082	78,56	0,055	88,75	0,071	86,46
18	1,88	0,80	445,69	0,052	85,77	0,083	78,83	0,056	83,00	0,068	87,57
19	1,07	0,80	553,31	0,051	87,78	0,095	72,89	0,03	95,49	0,06	89,82
20	1,48	1,25	499,50	0,037	90,54	0,076	80,40	0,035	94,69	0,067	87,59