



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İNCONEL 625 TORNALAMA İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ, KESİCİ TAKIM
AŞINMASI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİYEN PARAMETRELERİN
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI VE MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

FİTİM ZEQRİ

EKİM 2018

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İNCONEL 625 TORNALAMA İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ, KESİCİ
TAKIM AŞINMASI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİYEN
PARAMETRELERİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI VE MATEMATİKSEL
MODELLENMESİ

FİTİM ZEQRİ

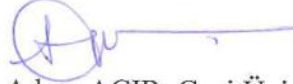
Doktora Tezi

Danışman

Doç. Dr. Mahmut ALKAN

Ekim 2018

Fitim ZEQRİ tarafından Doç. Dr. Mahmut ALKAN danışmanlığında hazırlanan “Inconel 625 Tornalama İşleminde Kesme Kuvvetleri, Kesici Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkiyen Parametrelerin Deneysel Araştırılması ve Matematiksel Modellenmesi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



Başkan :Prof. Dr. Adem ACIR, Gazi Üniversitesi



Üye :Doç. Dr. Mahmut ALKAN, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



Üye :Doç. Dr. Bülent KAYA, Erciyes Üniversitesi



Üye :Doç. Dr. Serkan TOROS, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



Üye :Doç. Dr. Yusuf CUNEDİOĞLU, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../2018

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.


Fitim ZEQIRI

ÖZET

İNCONEL 625 TORNALAMA İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ, KESİCİ TAKIM AŞINMASI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİYEN PARAMETRELERİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI VE MATEMATİKSEL MODELENMESİ

ZEQIRI, Fitim

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği AnaBilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Mahmut ALKAN

Ekim 2018, 147 sayfa

Bu çalışmada, Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri, kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. İmalat parametrelerinin etkilerinin incelenmesi için Taguchi L9 ortogonal dizi kullanılmıştır. Optimum talaş kaldırma koşulları, ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti ile hesaplanan sinyal/gürültü (S/N) oranını kullanarak belirlenmiştir. Analiz sonuçları kullanılarak, parametrelerin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkileri Minitab17 üzerinde ANOVA (varyans analizi) metodu ile hesaplanmıştır. Yapılan deneylerde ısıtılmış ve soğutulmuş formlardaki Inconel 625 çeliği kullanılmıştır. Ortogonal kesme işleminin sayısal simülasyonu Deform 3D ile FEM modellemesiyle yapılmıştır. Inconel 625 çeliğin farklı işleme rejimlerindeki (v,f,a) soğutma olmaksızın tornalanması sırasındaki güçlü kesici ağza sahip kesici metal takımın aşınma sonuçları elde edilmiştir. Deneysel ve sayısal sonuçların oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada, CNC tornalama işleminde imalat parametrelerinin, maksimum kesme kuvveti, kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından optimize edilmesinde Taguchi tekniğinin oldukça başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Inconel 625, taguchi metodu, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, kesici takım aşınması, titreşim ve sıcaklık.

SUMMARY

EXPERIMENTAL RESEARCH AND MATHEMATICAL MODELLING OF PARAMETERS AFFECTING CUTTING FORCE, CUTTING TOOL WEAR AND SURFACE ROUGHNESS IN TURNING PROCESS OF INCONEL 625

ZEQIRI, Fitim

Niğde Ömer Halisdemir University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Associate Professor Dr. Mahmut ALKAN

October 2018, 147 pages

In this study was determined the effects of cutting parameters on cutting forces, tool wear and surface roughness based on Taguchi experimental design. Taguchi L9 orthogonal array is used to investigate the effects of machining parameters. Optimal cutting conditions are determined using the signal/noise (S/N) ratio which is calculated by average surface roughness and cutting force. Using results of analysis, effects of parameters on both average surface roughness and cutting forces are calculated on Minitab 17 using ANOVA method. The material Inconel 625 steel which is investigated in two state with heat treatment and without heat treatment. Numerical simulation of orthogonal cutting operation using FEM modeling with Deform 3D. The results of tool wear of metal cutting tool with strong cutting blade are given during the turning of Inconel 625 steel by changing the cutting regimes (v , f , a), without cooling means. The predicted and calculated values with measurement are very close to each other. Confirmation test of results showed that the Taguchi method was very successful in the optimization of machining parameters for maximum cutting forces, cutting tool wear and surface roughness during CNC turning process.

Keywords: Inconel 625, taguchi design, surface roughness, cutting force, cutting tool wear, vibrations and temperature.

ÖN SÖZ

Inconel alaşımı 625, Nb ve Mo gibi refrakter metaller tarafından Ni-Cr-Fe matrisiyle katı çözelti sertleşmesi yoluyla sertleştirilmiş bir süper alaşımdır. Inconel 625, karbonlama ve oksitleme gibi çok çeşitli çürütücü ve yüksek ısı kaynaklı etkilere karşı yüksek direnç göstermektedir. Bu alaşımın bölgesel korozyon, korozyon yorulması ve yüksek çekme dayanımı oluşan gerilmeli korozyon çatlağına karşı gösterdiği direnç, onu deniz suyu uygulamaları için harika bir seçenek haline getirmektedir.

Kaynak edilebilmesi ve yüksek oksitleme direnci sayesinde, Inconel 625, gaz türbini bıçakları, roket parçaları vs. dahil olmak üzere havacılık uygulamaları için etkileyici bir materyaldir. Bu çalışma için Inconel 625 alaşımının seçilme sebebi onun yüksek ısıda oksidasyona gösterdiği direnç, iyi mekanik özellikleri ve dayanımı ve yüksek ısı uygulamalarındaki geniş kullanımınıdır.

Doktora eğitimim sürecin'de, her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr Mahmut ALKAN'a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında desteklerinden ötürü Sayın Prof. Dr. Adem ACIR, Doç. Dr. Bülent KAYA, Doç. Dr. Serkan TOROS, Doç. Dr. Yusuf CUNEDİOĞLU'na teşekkür ederim.

Her zaman ve her konuda yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xvi
SİMGE VE KISALTMALAR	xvii
BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1 Nikel Tabanlı Alaşımların İşlenmesi Sırasındaki Parametrelerin İncelenmesi.....	7
BÖLÜM III TEZİN AMACI	15
BÖLÜM IV DENEYSEL ÇALIŞMA	16
4.1 Deneysel Çalışma - İş Parçası Malzemesi	17
4.2 Materyal ve Metod	18
4.3 Takım Aleti ve Kesme Kuvvetlerinin Ölçüm Aleti ve Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	18
4.4 Inconel 625'in Tornalanması Sırasında Takım Titreşimleri.....	20
4.5 Inconel 625 Isıl İşlem.....	23
4.6 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	24
BÖLÜM V TAGUCHI YÖNTEMİ TEMELLİ DENEYSEL TASARIM.....	26
5.1 Varyans Analizi (ANOVA).....	30
5.2 Lineer Regresyon Analizi	33
5.3 Çok Değişkenli Regresyon Analizi	34
5.4 Regresyonun Uyum Değerlendirmesi	35
5.4.1 Belirtme katsayısı (R^2)	36
5.4.2 Düzeltilmiş belirtme katsayısı (R_d^2)	36
5.4.3 Kalıntıların (Residual) incelenmesi	37

BÖLÜM VI KESME KUVVETİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI VE MATEMATİKSEL MODELLEMESİ.....	38
6.1 Dik Kesmede Takıma Etkiyen Kuvvetler	39
6.2 Eğik Kesmede Takıma Etkiyen Kuvvetler.....	41
6.3 Deneyin Tasarımı	44
6.3.1 Çıkış tepkileri için S/N oranının ana etki grafikleri	49
6.3.2 Kesme kuvvetleri F_{x1} için temel etken gösterimi.....	49
6.3.3 Kesme kuvvetleri F_{y1} için temel etken gösterimi.....	50
6.3.4 Kesme kuvvetleri F_{z1} için temel etken gösterimi.....	51
6.4. Kesme kuvveti için varyans analizi (ANOVA).....	52
6.4.1 Kesme kuvvetleri F_{x2} için temel etken gösterimi.....	61
6.4.2 Kesme kuvvetleri F_{y2} için temel etken gösterimi.....	61
6.4.3 Kesme kuvvetleri F_{z2} için temel etken gösterimi.....	62
6.5 Kesme kuvveti için Varyans Analizi (ANOVA).	63
6.6 Yüzey Pürüzlülüğü.....	68
6.6.1 Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler	70
6.6.3 Yüzey pürüzlülüğü parametreleri	73
6.6.4 Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi.....	73
6.6.5 Yüzey pürüzlülüğü için deneysel analiz.	74
6.7.1 Yüzey pürüzlülüğü R_{a1} için temel etken gösterimi.....	79
6.6.2 Yüzey pürüzlülüğü R_{z1} için temel etken gösterimi.....	79
6.6.3 Yüzey pürüzlülüğü R_{t1} için temel etken gösterimi	80
6.6.4 Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi (ANOVA)	81
6.6.5 Yüzey pürüzlülüğü R_{a2} için temel etken gösterimi.....	90
6.6.6 Yüzey pürüzlülüğü R_{t2} için temel etken gösterimi	90
6.6.7 Yüzey pürüzlülüğü R_{z2} için temel etken gösterimi.....	91
6.6.8 Yüzey pürüzlülüğü için Varyans Analizi (ANOVA)	92
6.7 Regresyon Analizi Denklemleri	97
6.8 Normal Olasılık Grafikleri	99
BÖLÜM VII CNC İŞLEMLERİNDE KESİCİ TAKIM AŞINMASINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN DENEYSEL VE SAYISAL ARAŞTIRMASI	108
7.1 Kesici Takım Aşınması	109
7.2 Deneysel Tasarım.....	110
7.2.1 Kesme takım aşınması VB için temel etken gösterimi	111

7.2.2 Kesme takım aşınması için varyans analizi (ANOVA).....	112
7.3 FEM Yöntemi ve Deform 3D ile Takım Aşınması Simülasyonu.....	115
7.3.1 İş Malzemesi oluşturma modelleri	115
7.3.2 Oxley malzeme modeli.....	115
7.3.3 Zerilli ve Armstrong malzeme modeli	116
7.3.4 Johnsonve Cook malzeme modeli	117
7.3.5 Kesme takım aşınması VB_{FEA} için temel etken gösterimi.....	122
7.3.6 Kesici takım aşınması için varyans analizi (ANOVA).....	123
7.4 Regresyon Analiz Eşitlikleri.....	126
7.5 Normal Olasılık Grafikleri	126
BÖLÜM VIII SONUÇ.....	129
EKLER.....	138
ÖZ GEÇMİŞ	146
TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER	146

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Inconel 625 kimyasal içeriği.....	17
Çizelge 4.2. Inconel 625 mekanik özellikleri	17
Çizelge 6.1. Kesme hızı, beslemesi ve derinliği için girilen değerler	45
Çizelge 6.2. L ₉ ortogonal dizisi.	45
Çizelge 6.3. L ₉ ortogonal diziyi kullanarak elde edilen deney sonuçları.....	45
Çizelge 6.4 F _{x1} 'nin S/N oranları için varyans analizi.	49
Çizelge 6.6 F _{z1} 'nin S/N oranları için varyans analizi.	51
Çizelge 6.7. F _{x1} 'in kesme kuveti ANOVA analizi.....	52
Çizelge 6.8. F _{x1} 'in Katsayılar ve regresyon İstatistikleri.....	53
Çizelge 6.10. F _{y1} 'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri.....	54
Çizelge 6.11. F _{z1} 'in kesme kuveti ANOVA analizi.....	56
Çizelge 6.12. F _{z1} 'in Katsayılar ve regresyon İstatistikleri	56
Çizelge 6.13. L ₉ ortogonal dizi kullanılarak tavlama sonrası deney sonuçları	57
Çizelge 6.14 F _{x2} 'nin S/N oranları için varyans analizi.	61
Çizelge 5.16. F _{z2} 'nin S/N oranları için varyans analizi.	62
Çizelge 6.17. F _{x2} 'nin kesme kuveti ANOVA analizi.....	63
Çizelge 5.18. F _{x2} 'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri.....	64
Çizelge 6.19. F _{y2} 'nin kesme kuveti ANOVA analizi.....	65
Çizelge 6.20. F _{y2} 'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri.....	65
Çizelge 5.22. F _{z2} 'in Katsayılar ve regresyon İstatistikleri.....	67
Çizelge 6. 23. L ₉ ortogonal diziyi kullanarak elde edilen deney sonuçları.....	75
Çizelge 6.24. R _{a1} 'nin S/N oranları için varyans analizi.....	79
Çizelge 6.25. R _{z1} 'nin S/N oranları için varyans analizi.....	80
Çizelge 6.26. R _{t1} 'nin S/N oranları için varyans analizi.	80
Çizelge 6.27 R _{a1} 'nin yüzey pürüzlülük ANOVA analizi.....	81
Çizelge 6.28 R _{a1} 'nin katsayılar ve regresyon İstatistikleri	82
Çizelge 6.29. R _{t1} 'nin yüzey pürüzlülüğüne ANOVA analizi.	83
Çizelge 6.30. R _{t1} 'nin katsayılar ve regresyon İstatistikleri.....	83
Çizelge 6.32. R _{z1} 'nin katsayılar ve regresyon İstatistikleri	85

Çizelge 6.33. L9 ortogonal dizi kullanılarak elde edilen tavlama sonrası deney sonuçları	86
Çizelge 6.34. R_{a2} 'nin S/N oranları için varyans analizi.....	90
Çizelge 6.35. R_{t2} 'nin S/N oranları için varyans analizi.	91
Çizelge 6.36. R_{a2} 'nin S/N oranları için varyans analizi.....	91
Çizelge 6.37. R_{a2} 'nin yüzey pürüzlülüğüne ANOVA analizi.....	92
Çizelge 6.38 R_{a2} 'nin katsayılar ve regresyon İstatistikleri	93
Çizelge 6.39. R_{t2} 'nin yüzey pürüzlülüğüne ANOVA analizi.	94
Çizelge 6.40. R_{t2} 'nin katsayılar ve regresyon İstatistikleri.....	94
Çizelge 6.42. R_{z2} 'nin katsayılar ve regresyon İstatistikleri	96
Çizelge 7.1. L9 ortogonal dizi kullanarak elde edilen deney.....	110
Çizelge 7.2. L9 ortogonal dizi kullanarak elde edilen deney sonuçları.....	111
Çizelge 7.3. VB'nin S/N oranları için varyans analizi.	111
Çizelge 7.4. VB'nin kesici takım aşınması ANOVA analizi.....	112
Çizelge 7.5. VB'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri	113
Çizelge 7.6. Artık ve olasılık çıktıları.....	114
Çizelge 7.7. Inconel 625 için Johnson-Cook model sabitleri.	118
Çizelge 7.8. L ₉ ortogonal seri kullanılarak elde edilen analitik sonuçlar.	121
Çizelge 7.9. VB_{FEA} 'nin S/N oranları için varyans analizi.....	122
Çizelge 7.10. VB_{FEA} 'nin kesici takım aşınması ANOVA analizi.....	123
Çizelge 7.11. VB_{FEA} 'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri	123
Çizelge 7.12. Kalıntı ve olasılık çıktıları.	125

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Filtreli-x LMS algoritması ile geri besleme kontrol durumunun eşdeğer diyagramı.	22
Şekil 5.2. Değerlerin bir doğru ile temsili	33
Şekil 6.1. Dik (a) ve Eğik (b) Kesmenin Mukayesesi.	38
Şekil 6.2 Dik kesme örnekleri	39
Şekil 6.3. Basit dik kesme (kesici kenar hız vektörüne dik kalemle vargelleme)	40
Şekil 6.4. Klasik tornalama işleminde bileşke kuvvet ve bileşenleri.....	42
Şekil 6.5. Eğik kesme işleminde kesme kuvvetlerinin analizi.....	43
Şekil 6.6. Planyalama ve vargellemedeki kesme kuvvetleri.....	44
Şekil 6.7. Kesme kuvveti deneyi 1.	46
Şekil 6.8. Kesme kuvveti deneyi 2.	46
Şekil 6.9. Kesme kuvveti deneyi 3.	46
Şekil 6.10. Kesme kuvveti deneyi 4.	47
Şekil 6.11. Kesme kuvveti deneyi 5.	47
Şekil 6.12. Kesme kuvveti deneyi 6.	47
Şekil 6.13. Kesme kuvveti deneyi 7.	48
Şekil 6.14. Kesme kuvveti deneyi 8.	48
Şekil 6.15. Kesme kuvveti deneyi 9.	48
Şekil 6.16. S/N oranı ve F_{x1} için temel etkenler.....	50
Şekil 6.17. S/N oranı ve F_{y1} için temel etken gösterimi.	51
Şekil 6.18. S/N oranı e F_{z1} için temel etken gösterimi.....	52
Şekil 6.19. Kesme ve ilerleme hızının F_{x1} üzerindeki etkisi.....	53
Şekil 6.20. Kesme derinliği ve ilerlemenin F_{x1} üzerindeki etkisi.	53
Şekil 6.21. Sıcaklık ve titreşimin F_{x1} üzerindeki etkisi.....	54
Şekil 6.22. Kesme ve ilerleme hızının F_{y1} üzerindeki etkisi.....	55
Şekil 6.23. Kesme derinliği ve ilerlemenin F_{y1} üzerindeki etkisi.	55
Şekil 6.24. Sıcaklık ve titreşimin F_{y1} üzerindeki etkisi.....	55
Şekil 6.25. Kesme ve ilerleme hızının F_{z1} üzerindeki etkisi.....	56
Şekil 6.26 Kesme derinliği ve ilerlemenin F_{z1} üzerindeki etkisi.	57
Şekil 6.27 Sıcaklık ve titreşimin F_{z1} üzerindeki etkisi.....	57

Şekil 6.28. Kesme kuvveti deneyi 1.	58
Şekil 6.29. Kesme kuvveti deneyi 2.	58
Şekil 6.30. Kesme kuvveti deneyi 3.	58
Şekil 6.31. Kesme kuvveti deneyi 4.	59
Şekil 6.32. Kesme kuvveti deneyi 5.	59
Şekil 6.33. Kesme kuvveti deneyi 6.	59
Şekil 6.34. Kesme kuvveti deneyi 7.	60
Şekil 6.35. Kesme kuvveti deneyi 8.	60
Şekil 6.36. Kesme kuvveti deneyi 9.	60
Şekil 6.37. SN oranı ve F_{x2} için temel etken gösterimi.....	61
Şekil 6.38. Kesme kuvveti F_{y2} için temel etken gösterimi.....	62
Şekil 6.39. F_{z2} için temel etken gösterimi.....	63
Şekil 6.40. Kesme ve ilerleme hızının F_{x1} üzerindeki etkisi.....	64
Şekil 6.41. Kesme derinliği ve ilerlemenin F_{x2} üzerindeki etkisi.	64
Şekil 6.42. Sıcaklık ve titreşimin F_{x2} üzerindeki etkisi.....	65
Şekil 6.43. Kesme ve ilerleme hızının F_{y2} üzerindeki etkisi.....	66
Şekil 6.44. Kesme derinliği ve ilerlemenin F_{y2} üzerindeki etkisi	66
Şekil 6.45. Sıcaklık ve titreşimin F_{y2} üzerindeki etkisi.....	66
Şekil 6.46. Kesme ve ilerleme hızının F_{z2} üzerindeki etkisi.....	67
Şekil 6.47. Kesme derinliği ve ilerlemenin F_{z2} üzerindeki etkisi	68
Şekil 6.48. Sıcaklık ve titreşimin F_{z2} üzerindeki etkisi.....	68
Şekil 6.49. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin diyagramı	71
Şekil 6.50. Takım uç yarıçapı ve ilerleme hızının pürüzlülüğe etkisi (Çakır, 1999).	72
Şekil 6.51. Yüzey kalitesi için sayısal değerler (Scarr, 1991).	73
Şekil 6.52. Yüzey pürüzlülük profili (Yang ve Chen, 2001).	73
Şekil 6.53. Yüzey pürüzlülüğü deney 1.	76
Şekil 6.54. Yüzey pürüzlülüğü deney 2.	76
Şekil 6.55. Yüzey pürüzlülüğü deney 3.	76
Şekil 6.56. Yüzey pürüzlülüğü deney 4.	77
Şekil 6.57. Yüzey pürüzlülüğü deney 5.	77
Şekil 6.58. Yüzey pürüzlülüğü deney 6.	77
Şekil 6.56. Yüzey pürüzlülüğü deney 7.	78
Şekil 6.57. Yüzey pürüzlülüğü deney 8.	78
Şekil 6.58. Yüzey pürüzlülüğü deney 9.	78

Şekil 6.62. Yüzey pürüzlülüğü R_{a1} için SN oranı temel etken gösterimi.	79
Şekil 6.63. Yüzey pürüzlülüğü R_{z1} için SN oranı temel etken gösterimi.	80
Şekil 6.64. Yüzey pürüzlülüğü R_{t1} için S/N oranı temel etken gösterimi.....	81
Şekil 6.65. Kesme hızı ve ilerlemenin R_{a1} üzerindeki etkisi.	82
Şekil 6.66. Kesme derinliği ve ilerlemenin R_{a1} üzerindeki etkisi.	82
Şekil 6.67. Sıcaklık ve titreşimin R_{a1} üzerindeki etkisi.	83
Şekil 6.68. Kesme hızı ve ilerlemenin R_{t1} üzerindeki etkisi.	84
Şekil 6.69. Kesme derinliği ve ilerlemenin R_{t1} üzerindeki etkisi.	84
Şekil 6.70. Sıcaklık ve titreşimin R_{t1} üzerindeki etkisi.....	84
Şekil 6.71. Kesme hızı ve ilerlemenin R_{z1} üzerindeki etkisi.	85
Şekil 6.72. Kesme derinliği ve ilerlemenin R_{z1} üzerindeki etkisi.....	86
Şekil 6.73. Sıcaklık ve titreşimin R_{z1} üzerindeki etkisi.	86
Şekil 6.74. Yüzey pürüzlülüğü deney 1 sonuçları.	87
Şekil 6.75. Yüzey pürüzlülüğü deney 2 sonuçları.	87
Şekil 6.76. Yüzey pürüzlülüğü deney 3 sonuçları.	87
Şekil 6.77. Yüzey pürüzlülüğü deney 4 sonuçları.	88
Şekil 6.78. Yüzey pürüzlülüğü deney 5 sonuçları.	88
Şekil 6.79. Yüzey pürüzlülüğü deney 6 sonuçları.	88
Şekil 6.80. Yüzey pürüzlülüğü deney 7 sonuçları.	89
Şekil 6.81. Yüzey pürüzlülüğü deney 8 sonuçları.	89
Şekil 6.82. Yüzey pürüzlülüğü deney 9 sonuçları.	89
Şekil 6.83. Yüzey pürüzlülüğü R_{a2} için S/N oranı temel etken gösterimi.	90
Şekil 6.84. Yüzey pürüzlülüğü R_{t2} için SN oranı temel etken gösterimi.....	91
Şekil 6.85. Yüzey pürüzlülüğü R_{z2} için SN oranı temel etken gösterimi.	92
Şekil 6.86. Kesme hızı ve ilerlemenin R_{a2} üzerindeki etkisi.	93
Şekil 6.87. Kesme derinliği ve ilerlemenin R_{a2} üzerindeki etkisi.	93
Şekil 6.88. Sıcaklık ve titreşimin R_{a2} üzerindeki etkisi.	94
Şekil 6.89. Kesme hızı ve ilerlemenin R_{t2} üzerindeki etkisi.	95
Şekil 6.90. Kesme derinliği ve ilerlemenin R_{t2} üzerindeki etkisi.	95
Şekil 6.91. Sıcaklık ve titreşimin R_{t2} üzerindeki etkisi.	95
Şekil 6.92. Kesme hızı ve ilerlemenin R_{z2} üzerindeki etkisi.	96
Şekil 6.93. Kesme derinliği ve ilerlemenin R_{z2} üzerindeki etkisi.....	97
Şekil 6.94. Sıcaklık ve titreşimin R_{z2} üzerindeki etkisi.	97
Şekil 6.95. Kesme kuvveti için normal olasılık grafikleri.	99

Şekil 6.96. Kesme kuvveti için normal olasılık grafikleri	100
Şekil 6.97. Yüzey pürüzlülüğü için normal olasılık grafikleri	101
Şekil 6.98. Yüzey pürüzlülüğü için normal olasılık grafikleri.	102
Şekil 6.99. Kesme kuvveti için çok amaçlı optimizasyon grafiği.	103
Şekil 6.100. Kesme kuvveti için çok amaçlı optimizasyon grafiği.	104
Şekil 6.101. Yüzey pürüzlülüğü için çok amaçlı optimizasyon grafiği.	105
Şekil 6.102. Yüzey pürüzlülüğü için çok amaçlı optimizasyon grafiği.	106
Şekil 6.1. Kesici takımındaki aşınmaların şematik olarak gösterilmesi.	110
Şekil 6.2. S/N oranı ve VB için temel etkenler.	112
Şekil 7.3. Kesme hızı ve beslemenin VB üzerine etkisi	113
Şekil 7.4. Kesme hızı ve beslemenin VB üzerine etkisi.	113
Şekil 7.5 Sıcaklık ve titreşimin VB üzerine etkisi.	114
Şekil 7.6. Takım aşınması için sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.	114
Şekil 7.7. Basitleştirilmiş üç boyutlu kesme modeli.	119
Şekil 7.8. CNMG 120408 NN takım eki modellemesi	119
Şekil 7.9. Inconel 625 iş parçası modeli.	120
Şekil 7.10. Takım aşınma hızı simülasyon sonuçları (gölgeli).	121
Şekil 7.11. Takım aşınma hızı simülasyon sonuçları (katı).	121
Şekil 7.12. SN oranı ve VB_{FEA} için temel etkenler	122
Şekil 7.13. Kesme hızı ve beslemenin VB_{FEA} 'ye etkisi.	124
Şekil 7.14. Kesme derinliği ve beslemenin VB_{FEA} 'ye etkisi.	124
Şekil 7.15. Sıcaklık ve titreşimin VB_{FEA} 'ye etkisi.	124
Şekil 7.16. Takım aşınması için deneysel sayısal sonuçların karşılaştırması.	125
Şekil 7.17. Kesici takım aşınması VB_{FEA} , için normal olasılık grafikleri.	126
Şekil 7.18. Kesici takım aşınması VB_{FEA} , için normal olasılık grafikleri.	127
Şekil 7.19. Kesici takım aşınması VB_{FEA} için çok amaçlı optimizasyon grafiği.	127
Şekil 7.20. Kesici takım aşınması VB_{FEA} için çok amaçlı optimizasyon grafiği.	126

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 4.1. a) Tutucu takım PCLNR 2525 12A, b) Kesici takım CNMG 120408.....	18
Fotoğraf 4.2. Kuvvet ölçme aparatı Kistler Type 5070A.	18
Fotoğraf 4.3. Pico Turn <i>V-Turn 410</i> CNC torna cihazı	19
Fotoğraf 4.4. Kistler 5134B ile titreşim ölçüm düzeneği.	20
Fotoğraf 4.5. Kistler 5134B ile titreşim ölçüm ekipmanı.	21
Fotoğraf 4.6. Deneysel düzenek	22
Fotoğraf 4.7. Deneysel düzenek ve akış şeması.	23
Fotoğraf 4.8. Takım aşınması ölçüm ekipmanları	24
Fotoğraf 4.9. Talysurf, Taylor Hobson ile pürüzlülük ölçümü.....	24
Fotoğraf 4.10. Tool master 10 ile aşınma ölçümü	25

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
V	Kesme hızı
f	İlerleme
d	Kesme derinliği
t	Sıcaklık
a	Titreşim genliği
VB	Kesici takım aşınması
S/N	Sinyal/Gürültü oranı
F_x	Ölerleme kuvveti (F_f)
F_y	Pasif kuvvet (radyal kuvvet) (F_p)
F_z	Esas kesme kuvveti (F_C)
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü
R_z	Ortalama maksimum yüzey pürüzlülüğü
R_t	Maksimum tepe yüksekliği

Kısaltmalar	Açıklama
DF	Serbestlik Derecesi
SS	Kareler Toplamı
MS	Kareler Ortalaması
FEM	Finite Element Method
FEA	Finite Element Analysis
ANOVA	Analysis of Variance
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı sayısal denetim)
HRC	Hardness Rockwell C (Rockwell C sertlik)
HV	Hardness Vickers (Vickers sertlik değeri)
DOF	Köşe düğümlerinin küresel yer değiştirme derecesi
PVD	Physical Vapor Deposition (Fiziksel buhar çökeltme)
WC	Tungsten Karbür

BÖLÜM I

GİRİŞ

Makine elemanlarında önemli bir parametre olan ömür kavramı sistemde kullanılan malzemelerin kalitesi ve ayrıca bu parçaların imalatı sürecinde kullanılan proses parametrelerine direkt olarak bağlı bulunmaktadır. Özellikle montaj elemanlarında önemli bir gösterge olan parça yüzey kalitesi, birbiriyle temas eden ve dinamik olarak birbirlerine hareket ileten sistemlerde çalışma verimini önemli derecede etkilemektedir. Makine elemanlarında arzulanan yüzey kalitesi, parçanın imalatı aşamasında kullanılan kesici takıma, parça için seçilen malzemeye ve parçanın imalatının gerçekleştirildiği tezgahlarda seçilen işleme parametrelerine bağlı olarak değişebilmektedir. Bundan dolayı parçaların işlenmesi esnasında seçilen parametrelerin optimize edilmesi ve uygun işleme koşullarının ortaya konulması büyük önem arz etmektedir.

Elde edilen yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması ve kesme kuvveti değerlerinin kesme parametreleri ile olan ilişkilerinin matematiksel olarak modellenmesi ve istenilen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi işleme zamanını ve maliyeti önemli derecede azaltacaktır.

Parçaların talaşlı imalatı esnasında hedeflenen yüzey kalitesine ulaşmak için, işleme parametrelerinin hassas bir şekilde optimize edilmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda ise çok sayıda deneysel çalışmaya ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu da snilen yüzey kalitesindeki parçaların imalatında zaman kaybını ve buna bağlı olarak ta işleme maliyetlerini önemli derecede arttırmaktadır.

Bu çalışmada; tornalama işleminde, istenilen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi, zaman ve maliyetten tasarruf sağlanması adına matematiksel bir model geliştirilecektir. Matematiksel modeller, deneysel olarak gerçekleştirilen çalışmalarda sistem üzerine etki eden parametreler ile bunların sonuçları arasında ilişki kurmada kullanılan en etkin yöntemlerden birisidir. Matematiksel modelleme çalışmaları kapsamında bir takım model sabitleri kullanılmakta olup bu sabitler deneylerden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Hedef bir deneysel çalışma için oluşturulan matematiksel model, sonraki deneysel çalışmalarda işleme parametrelerinin değiştirilmesi ile elde edilecek sonuçların belirlenmesinde yardımcı olacak, oluşturulan model ile önceden bilinmeyen değerleri hesaplamak mümkün olacaktır.

Deneysel çalışmalar için Inconel 625 çeliği kullanılacaktır. Tornalama işlemi CNC tornalama tezgahında yapılacaktır. Buna ilave olarak malzeme sertliğinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisinin belirlenmesi için bu malzemeye farklı ısıl işlem uygulanacaktır. Uygulanan ısıl işlemler sonucu malzeme sertlikleri sertlik ölçme cihazında ölçülecektir.

Inconel 625 çeliğini işlemek için en uygun kesici takım literatür taraması sonucu belirlenecektir. Kesici takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisinin belirlenmesi için üç farklı uç yarıçapı kullanılacaktır. Tornalama işlemi kuru kesme şartlarında yapılacaktır. Deneyler literatürden belirlenecek farklı kesme hızları, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinde gerçekleştirilecektir.

Kesme kuvveti bileşenleri, PC uyumlu bir veri toplama kartı ve bir arayüzü olan dinamometre kullanılarak ölçülecektir. İşlem süresince periyodik olarak Ra ve Rt değerleri bir yüzey pürüzlülük cihazı ile, takım aşınması değerleri de takımçı mikroskobu ile ölçülecektir.

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde Ra değerleri esas alınacak ve ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama Ra değerleri hesaplanacaktır. Daha sonra parametrelerinin optimizasyonu işlemi yapılacak, ilgili matematiksel model oluşturulacaktır.

BÖLÜM II

LİTERATÜR ÖZETİ

Talaşlı imalat kavramı; yarı mamül olan iş parçalarından malzeme kopartılarak amaca hizmet edebilecek şekilde geometrisinde oluşturulan değişiklik olarak tanımlanabilmektedir. Parçalara hedef geometrik özelliklerin kazandırılması aşamasında birçok farklı türde kesici takım kullanılabilmektedir. İşleme esnasında kesike

Talaşlı imalat sektöründe karşılaşılan problemin başında ürünlerdeki boyutsal standartlarının sağlanabilmesi adına birçok deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmaktadır. Parçaların kesici takımlarla işlenmesi aşamasında parça kalitesini etkileyen en önemli parametre kesici takımların parça yüzeyinde oluşturduğu pürüzlülük değeridir. Birçok talaşlı imalat tezgahında işleme sonrası yüzeyde karşılaşılan kesici takım izlerinin minimize edilmesi anlamında firmalar tarafından gerek kesici takım kalitesinde gerekse de işleme sürelerinin getirdiği maliyetlerde önemli harcamaları bulunmaktadır.

Malzemelerin işlenmesi aşamasında seçilen işlem parametrelerindeki yanlışlıklar hızlı takım aşınmalarına ve kötü yüzey kalitesine sebep olabilmektedir. Bu anlamda gerek akademik gerekse de kesici takım imalatçıları tarafından malzeme yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve takım ömürlerinin artırılmasına yönelik önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Talaş kaldırma aşamasında kesici takımlara gelen kuvvetler, malzemelerden istenen boyutsal toleransların elde edilmesinde önemli bir yer almaktadır. Kesici takımlara gelen kuvvet bileşenlerinin özellikleri; işleme yapılan tezgahların yeteri kadar rijit olmasının ve işlenen parçanın sertliğinin ve/veya sertleşebilirliğinin yanı sıra, tek aşamada uygulanan parça işleme derinliği, kesim işlemi aşamasında parça üzerinden ayrılan ve kesici takım üzerinde kayarak hareket eden talaş açısı ve kesici takımın ilerleme hızı gibi parametrelere bağlı olup, proses öncesinde dikkat edilemesi gereken unsurlardır.

Yukarda değinilen deneysel parametrelerin çokluğu dikkate alındığında, parça işleme aşamasında, kesici takımlara gelen kuvvet bileşenlerinin matematiksel olarak modellenmesi büyük önem arz etmektedir. Özellikle, teknolojik anlamda büyük ilerlemeler kateden talaşlı imalat makineleri, parça işleme aşamasında takım ömürlerinin artırılmasına ve yüzey kalitesinin iyileştirilmesine yönelik olarak parça işleme parametrelerini seçebilmekte ve kayıt tutabilmektedir. Bu tercihli davranışlar hedef talaşlı imalat sistemi için geliştirilmiş matematiksel modellerle mümkün olabilmektedir.

Hedef talaşlı imalat sistemleri için geliştirilecek olan matematiksel modeller çok sayıda deneysel çalışmalar neticesinde gerçekleştirilmektedir. Belirtilen sistemler için geliştirilen matematiksel modellerde bir çok bağımlı/bağımsız değişkenler olup, deneysel çalışmalar kapsamında belirlenebilmektedir. Talaşlı imalat aşamasında belirlenen proses parametrelerine (bağımsız değişkenler) bağlı olarak elde edilen yüzey kalitesi ya da kesme kuvvetleri (Bağımlı değişken) değerlerine bir takım eğri uydurma yöntemleri kullanılarak matematiksel ifadeler elde edilebilmektedir. Bu matematiksel ifadeler sonrasında farklı işleme koşulları altında hedef bağımlı değişkenlerin nasıl değişeceği buna bağlı olarak ta hangi işleme parametrelerinin değiştirilmesi gerektiği noktasında önemli fikirler verebilmektedir. Elde edilen deneysel verilere uygulanan eğri uydurma işlemi için birçok model bulunmaktadır. Burada uydurulan eğrilerin deneysel verileri en iyi şekilde temsil edilemesi için gerekli sayıda denemenin kullanılması gerekmektedir (Nas vd., 2012). Literatürde de bu alanda yapılan bir çok çalışma yer almakta olup aşağıda bazıları özetlenmiştir.

Göloğlu ve Arslan (2006), son yıllarda özellikle bağımsız değişkenlerin oldukça fazla olduğu deneysel sistemlerin modellenmesinde oldukça başarılı olan Genetik Algoritma ile talaşlı imalat sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülüğünü iş parçasının devri, kesici takımın ilerleme miktarı, kesme derinliği ve kesici takımın yanal yönde ilerleyişi ile spiral takım yolu gibi proses parametrelerine bağlı olarak ifade etmeye çalışmışlardır. Modelleme sonucunda işleme parametrelerine bağlı olarak değişen yüzey kalitesi değerlerini % 98 oranında doğru olarak modellemiştir. Bu sonuçlar GA'nın ileriki dönemlerde özellikle günümüzün yenilikçi konularından olan Makinelerin Derin Öğrenmesi noktasında önemli kazanımlar sağlanacağını işaret etmektedir.

Yücel ve Günay (2012) gerçekleştirdiği matematiksel modelleme çalışmasında yüksek alaşımlı beyaz dökme demirin (Ni-Hard) tornalama işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetinin modellenmesini, Taguchi L9 yöntemi kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Deneyler sırasında iki farklı kesici olan seramik ve kübik boron nitrid (CBN) kullanılmış ve kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği olarak üç farklı seviye için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında seçilen parametrelerin kesme kuvveti üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Özel ve Karpat (2005) ise AISI H-13 çeliğinin CBN kesici ucu ile işlenmesi aşamasında seçilen kesme parametrelerinin parça yüzey pürüzlülüğüne ve kesici takımında oluşan yanak aşınması üzerine etkisinin belirlenmesinde regresyon analizi kullanmışlardır. Sonuç olarak çalışan parametreleri içerisinde kesici takım ilerleme miktarının azaltılması parça yüzey kalitesinin iyileşmesine sebep olmuştur. Buna ilave olarak ta ilerleme hızının artması ile kesici takımdaki yanak aşınmaların arttığını tespit etmişlerdir.

Mavi ve Korkut (2010) seçilen kesme parametrelerinin neden olduğu kesme kuvvetlerinin ve parça yüzey kalitesinin değerlendirme işlemlerini çoklu regresyon yöntemi ile yapmıştır. Çalışmalar esnasında iş malzemesi olarak farklı mikro yapıya sahip vermiküler grafitli dökme incelemiştir. Deneylerde farklı kesme hızları ve ilerleme miktarları dikkate alınmış, kesme derinliği ise sabit tutulmuştur. Bunlara ilave olarak malzeme mikro yapısının ve diğer işleme parametrelerinin hedef yüzey kalitesi ve kesici takımlara gelen kuvvetlerin değerlendirme işlemlerini Varyans Analizi (ANOVA) çizelgesi kullanarak tayin etmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak her iki modelde de yaklaşık %95 lik bir tahmin başarısı elde edilmiştir.

Özler vd. (2000)'nin yapmış oldukları deneysel çalışmalarda; farklı ısıl işlemler uygulanmış östenitik formdaki manganlı çeliğe, farklı kesme ve ilerleme miktarı, ve kesme derinliği gibi proses parametreleri uygulayarak yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemişlerdir. Elde edilen deneysel verileri ise regresyon analizlerinde kullanarak malzemenin yüzey kalitesinin matematiksel ifadesini elde etmeye çalışmışlardır.

Asiltürk ve Çunkaş (2011) AISI 1040 çeliğinin tornalama işlemi neticesinde elde edilen parça yüzey kalitesine, talaş kaldırma esnasında seçilen devir sayısı, ilerleme miktarı ve

kesme derinliği gibi parametrelerin etkilerini deneysel olarak belirlemişlerdir. Ayrıca belirlenen bağımsız değişken parametreleri ile yzey kalitesinin ilişkilendirilmesi noktasında yapay sinir ağları ile çoklu regresyon analizlerini sisteme tatbik etmişlerdir. Yapılan analizler neticeinde , yapay sinir açı modeli ile elde edilen sonuçlar çoklu regresyon analizlerinden elde edilenlere göre deneysel verilerle daha yzsek uyum göstermiştir.

Aggarwal vd. (2008) ise AISI P-20 takım çeliğinin tornalanması esnasında soğutucu olarak sıvı nitrojen kullanılması kesme kuvveti, takım ömrü, yzey pürüzlülüğü ve g tüketime üzerindeki etkilerini belirlemeye çalışmışlar, deneyler için tepki yzey yöntemi (RSM) kullanmışlardır.

zkul vd. (2013) ise yukarda belirtilen talaşlı imalat yönteminden farklı olarak sıcak iş takım çeliklerinden Dievar eliği üzerine farklı matkap uçları ile açılan delikler açmışlardır. Uygulana işleme prosesi esnasında kesici takımda oluşan, kesme momentleri ile aksenal kuvvetler ve delik yzeyinin kalitesi, ölçü tamlığı ve dairesellikten sapma değerlerini incelemişlerdir. Daha sonra ölçülen veriler doğrusal regresyon ve polinom regresyon metodları kullanılarak modellenmeye çalışılmış model başarıları karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda çalışmada kesme işlem parametreleri ve elde edilen sonuçlarla alaklı olarak varyans analizi de gerekleştirilmifitir.

Matkap ile delik delme prosesinin gerçekleştirildiği bir diğer çalışmada Meral vd. (2011) tarafından gerekleştirilmifitir. Yapılan deneylerde, ilerleme kuvvetleri ve yzey pürüzlülüklerinin bağımsız değişkenler olan matkap türü (kaplamalı-kaplamasız), matkap çapı, ilerleme miktarı ve kesme hızı gibi delme parametreleri ile olan ilişkisini belirlemeye çalışmışlardır. Elde edilen deneysel veriler ile farklı yaklaşımlarla oluşturulmuş matematiksel modelleme sürecide çalışmada uygulanmıştır. Çalışmada lineer regresyon, ikinci dereceden regresyon ve üstel regresyon metotları deneysel verilere uygulanarak kesme kuvveti ve yzey pürüzlülüğü değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak ikinci dereceden regresyon analizinden elde edilen sonuçlar, ilerleme kuvvetinin kaplamasız matkaplarda daha+ fazla oluştuğu, ayrıca ilerleme miktarı ve matkap çapı ile daha da arttığı gözlemlenmiştir. Yzey pürüzlülüğü noktasında ise kaplamalı matkapların oluşan sretnme değerlerine ve buna bağlı olarak

oluşan ısınma problemlerinin azaltılmasında dolayı daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

2.1 Nikel Tabanlı Alaşımların İşlenmesi Sırasındaki Parametrelerin İncelenmesi

Wang vd. (2003) nikel tabanlı süper alaşım olan Inconel 718'in işlenmesinde klasik tornalamayı kriyojenik ve plazma işleme ile birleştiren yeni bir yaklaşım önermiştir. Bu iki geleneksel olmayan tekniğin kullanılması ile geleneksel yöntemle imalata nazaran yüzey pürüzlülüğünde %250 ve kesme kuvvetinde % 30-50 azalma sağlanırken kesici takım ömrünün %170 iyileştiği görülmüştür.

Ezugwu vd. (2000) düşük besleme koşullarındaki işleme sırasında kuvvet bileşenlerinde düşüş ve talaş-takım temas süresindeki azalma nedeniyle kesici takım aşınmasının azaldığını ve bu sayede kesici takım üzerindeki gerilmelerin ve sıcaklığın da azaldığı belirlenmiştir. Nikel tabanlı bir süper alaşımın yüksek kuvvet bileşenlerinin olduğu işlemlerdeki karakteristik özellikleri de çalışmada incelenmişlerdir. Çalışmada işleme parametrelerinin (kesme hızı: m/dak, besleme: mm/tur, kesme derinliği: mm vb.), işlenen malzeme özelliklerinin (sertlik, dayanım vb.), kesici takım geometrisi, yağlama özellikleri ve konsantrasyonlarının kuvvet bileşenleri üzerine etkili olduğu tespit edilmiştir.

Thakur vd. (2009) nikel tabanlı Inconel 718'in süper alaşımının çok yüksek sıcaklıklarda dahi, sahip olduğu özgün yüksek oksidasyonu ve korozyon dayanımı ile mühendislik endüstrisinde birçok uygulama alanı olduğunu ifade etmiştir. Bu alaşımın tungsten karbür (K20) ile tornalanmasının deneysel olarak analiz edildiği çalışmada kesme kuvvetleri, sıcaklık ve kesici yüzey aşınması bakımından alaşımın işlenebilirliği incelenmiştir. Inconel 718'in işlenmesi için gerekli olan tipik imalat karakteristiklerinden düşük kesme kuvveti ve sıcaklık koşullarının sağlanması için işleme parametrelerinin çok dikkatlice seçilmesi gerektiği rapor edilmiştir.

Fnides vd. (2011) AISI H11 sıcak işlem çeliği (50HRC) üzerinden Tepki Yüzeyi Metodolojisi (RSM) kullanarak kesme kuvvetlerinin istatistiksel modellerini belirlemek adına deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. L27 ortogonal dizi temelli deneylerde kesme kuvveti bileşenlerini etkileyen en önemli parametrenin kesme derinliği olduğu

belirlenmiştir. Ayrıca parça besleme hızının radyal ve aksenal kuvvetlerden ziyade teğetsel kesme kuvvetini çok daha fazla etkilediği, kesme hızının ise teğetsel ve aksenal kuvvetlerden ziyade radyal kesme kuvvetini çok daha fazla değiştirdiği tespit edilmiştir.

Thakur vd. (2009a) Inconel 178 alaşımının yüksek hızlardaki dönme sırasındaki Tungsten karbür (K20) kesici takım altında işlenebilirliğini incelemiştir. Kesme kuvveti, özgül kesme basıncı, kesme sıcaklığı, kesici yüzey aşınma ve pürüzlülüğü gibi imalat parametrelerinin göz önüne alındığı çalışmada, kesme kuvvetinin besleme kuvvetinden daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca özgül kesme basınçlarındaki değişim kesme kenarının form stabilitesi kaybıyla açıklanmıştır. En düzgün yüzey, 0,08mm/tur ilerleme hızı ve 0.50mm kesim derinliğinde 45-55m/dak arasında değişen kesme hızlarında elde edilmiş olup meydana gelen aşınmaların sürtünme, mikroçiplenme ve plastik deformasyon aşınmaları oldukları ifade edilmiştir.

Ezugwu ve Okeke (2000) kesme kuvveti, aşınma ve yüzey pürüzlülüğü açısından PVD kaplı karbür kesici takımının C-263 alaşımının yüksek hız koşullarında işlenmesi sırasındaki performansını incelemiştir. Pozitif, honlanmış ve pahlı kenara sahip TiN/TiCN/TiN kaplı karbürünü söz konusu alaşımın işlenmesi için uygun olduğu rapor edilmiştir. İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve kesme kuvveti oluşumunu önemli ölçüde etkilediği da tespit edilen çalışmada ayrıca C-263 alaşımının kaplı karbür takımlarla işlenmesi sırasında yan aşınma, çentiklenme, çapak oluşumu, aşırı yontma gibi problemlerin oluştuğu belirlenmiştir.

Pawada vd. (2007) Inconel 718'in yüksek hızlardaki PCBN kesicilerle işlenmesi sırasındaki farklı proses ve kesici takım temelli parametrelerinin işlenmiş yüzey bütünlüğünün dolaylı bir ölçüsü olan kesme kuvveti üzerindeki etkisini işlenmiş yüzey hasarının mikroyapı analizlerinin de dahil edildiği deneysel çalışmalarla incelemiştir. Kesme kuvveti büyüklüğünün diğer kuvvet bileşenlerinin 2-3 katı kadar olduğu belirlenen çalışmada, yüksek kesme kuvvetlerinin kötü yüzey kalitesi ve geniş yüzey hasarları doğurduğu rapor edilmiştir.

Arunachalam vd. (2004) yüksek sıcaklık dayanıklı süper alaşımların işlenmesindeki üretim verimliliğini arttırmak için seramik kesici takımlara önemli bir ilgi olduğunu ifade etmiştir. Fakat yüzey bütünlüğüne olan negatif etkilerinden dolayı seramik

takımlar özellikler yüzey bitirme uygulamalarında tercih edilmemektedir. Bu çalışmada özellikle yüksek sıcaklık dayanımlı süper alaşımlar için geliştirilmiş olan iki farklı karbür takımı kullanılarak yaşlandırılmış Inconel 718'in işlenmesi sırasındaki artık gerilmeler ve yüzey bütünlüğünün yüzey bitirme bileşenleri üzerine yoğunlaştırılmıştır. Sonuç olarak çalışmada yuvarlak, yivli, negatif tip ve küçük burun yarıçaplı (0,8 mm) kaplanmış karbür kesici takım uçlarının özellikle basma artık gerilmelerine neden olabileceği dile getirilmiştir.

Kuru ortamlarda Inconel 718'in talaşlı imalatındaki kesici takım kaplama malzemelerinin ve kesme hızının, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi ise Muammer Nalbant (2007) tarafından araştırılmıştır. Kesme hızı ile kesme kuvveti arasındaki artma-azalma ilişkisi olduğu rapor edilmiştir. En düşük kesme kuvveti SCMT 120412 tipi çoklu-kaplamalı alümina (Al_2O_3) karbür kesici takımından elde edilirken en yüksek kesme kuvvetlerini RCMT 120400 tipi tek kaplamalı TiN sement karbür kesici takım ortaya çıkarmıştır. Ayrıca kesme hızı ile ortalama yüzey pürüzlülüğü arasında ve kaplama numarası ile ortalama yüzey pürüzlülüğü arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Kesme kuvvetlerinin aksine en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü TiN sement karbür kesici takım ile elde edilirken çoklu-kaplamalı alümina karbür kesici takım en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğünü ortaya koymuştur.

Du Jin vd. (2012) nikel temelli bir başka süper alaşım olan FGH95'in frezeleme işlemleri sırasında yüzey bütünlüğünü yüzey pürüzlülüğü, mikro-sertlik ve beyaz tabaka açısından incelemiştir. Kesme hızının talaş morfolojisi üzerindeki etkisi çalışmada ayrıca ele alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün 2400m/dak altındaki kesme hızlarında önemli bir değişim göstermediği fakat 2800-3600m/dak arası hızlarda yüksek yüzey pürüzlülüğü olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan artan kesme hızıyla talaş segmentasyon derecesinin de arttığı görülmüştür.

Zou vd. (2011) nikel tabanlı NiCr20TiAl alaşımının Al_2O_3/TiN kaplı karbür kesici takımları ile farklı işleme koşulları altındaki özelliklerini araştırmıştır. Çalışmada kesme kuvvetleri, yüzey bütünlüğü, takım aşınması ve difüzyon, parka ile kesici takım arasındaki elementlerin aktarımı gibi konular üzerinde durulmuştur. Yüksek kesme parametrelerinde yüksek kesme kuvvetleri kesici takımların kaplama matrikslerinin

dökülmesi ve aşırı talaş kaldırma ile işlenmiş yüzeylerde çukur oluşumu gibi bir dizi olumsuzluklar ortaya çıkarmıştır. Yüzey kalitesi ve kesici takım aşınması açısından kesme hızının 60 m/dak, ilerleme hızının 0,15 mm/tur ve kesme kalınlığının 0,40 mm olması önerilmiştir.

Altın vd. (2007) silikon nitrür esaslı ve fiber takviyeli seramik kesiciler ile Inconel 718'in tornalanması işleminde kesme hızının kesici takım aşınma ve ömrü üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Seramik kare tip (SNGN) kesme uçlarındaki baskın aşınma tiplerinin krater ve yan aşınma, yuvarlak kesme uçlarındakilerin ise yan ve çentik aşınması olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada ayrıca kare tipi kesici takım uçlarının yuvarlak tipe göre düşük işleme hızlarında daha iyi bir performans sergilediği belirlenmiştir. Bu kapsamda düşük kesme hızlarında Inconel 718'in işlenmesinde kare tipi KYON 4300 uçlu kesici takımın, yüksek kesme hızlarında ise yuvarlak uçlu KYON 4300 kesici takımın kullanılması önerilmiştir.

Li vd. (2002) Inconel'in kaplanmış karbür ve seramik uçlu kesici takımlar altında tornada işlenmesi sırasındaki işleme koşullarının takım aşınması ve ömrüne olan etkilerini çalışmıştır. Düşük hızlarda (120m/dak) kesici uçlarda kesme derinliği çentikleri tespit edilmiş ve geçiş 240m/dak civarında sağlanmıştır. Kesme hızının 300m/dak'ya yükseltilmesi ile bu aşınmalar azalmış fakat burun ve yan aşınmalar artmıştır. Çalışmada ayrıca Inconel 718'in işlenmesinde kaplanmış karbür ve seramik uçlu KY2000 tipi kesici takımlar yerine PVD kaplı karbür KC7310 önerilmektedir.

Ezuqwu Okeke (2002) nikel tabanlı süper alaşım olan C-263'ün yüksek hızlarda talaşlı imalatında kaplanmış karbür kesici takımların davranışlarını incelemiştir. C-263 alaşımının işlenmesinde PVD kaplı karbür karşılaşılan karakteristik aşınma mekanizmalarına daha yüksek direnç sergilemesi nedeniyle daha büyük avantaj sağladığı rapor edilmiştir.

Abhay Bhatt (2010) Inconel 718'in kaplanmış ve kaplı olmayan karbür kesici takımları ile tornalanmasındaki aşınma mekanizmalarını deneysel olarak incelemiştir. Aşındırma ve yapışma aşınmalarının baskın olduğu tespit edilen çalışmada yüksek kesme hızları ve düşük ilerleme hızlarında CVD kaplı kesici takımların yüksek aşınma direnci sergilediği görülmüştür. Öte yandan kaplanmamış takımlar, düşük kesme hızları ve orta ilerleme

hızlarında tekli ve çok katmanlı kaplamalı takımlardan daha iyi performans gösterdiği ifade edilmiştir.

Gatto ve Iuliano (1994) ısıya dayanıklı Inconel 718 alaşımının yüksek hızlarda tornalanmasını çalışmıştır. Kesici takım olarak %20 SiC fiber destekli seramiklerin kullanıldığı çalışmada takım aşınma mekanizması ve talaş oluşum işlemi ayrıca analitik olarak modellenmiştir. Takım-talaş temas uzunluğu boyunca ortaya çıkan değişken aşınma mekanizmaları plastik deformasyon enerjisindeki değişmelere atfedilmiştir.

Senthilkumar vd. (2006) sertleştirilmiş HRC 60 martensitik çelik üzerinde talaş kaldırma çalışmaları gerçekleştirerek takım aşınmasının alümina seramik kesme takımlarının ömrü üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Farklı işleme koşulları altında kenar, krater ve çentik tipi aşınma türleri tespit edilmiştir. Bu aşınmaların tahmini için çoklu regresyon analizine dayanan bir aşınma modeli de geliştirilen çalışmada alümina esaslı seramik kesici takımların ömrü, bu aşınma modelleri ile değerlendirilmiştir. Ayrıca, kesici takım aşınmasının iş parçasının boyutlarını ve yüzey kalitesini etkilediği ve bu durumun kesici takım ömrünün belirlenmesindeki önemli kriterlerden biri olduğu ifade etmiştir.

Thakur vd. (2012) pekleşme derecesi ve takım ömrünün kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği ile olan ilişkisini işlem görmemiş ve ön kriyojeniklenmiş tungsten karbür kesici takımlar için çalışmıştır. Tungsten karbür takımın maruz bırakıldığı kriyojenik uygulamanın kesici takım ömrünü önemli derecede iyileştirdiği tespit edilmiştir. Optimize edilmiş işleme parametrelerinin, Inconel 718'in yüksek hızlarda işlenmesinde pekleşme özelliklerini en aza indirdiği ve takım ömrünü iyileştirdiği de ifade edilmiştir.

Outeiro vd. (2008) kaplanmış ve kaplanmamış sement karbür kesici takımlar altında Inconel 718 ve AISI 316L malzemelerinin tornada işlenmesi sırasındaki artık gerilmelerin oluşumunu incelemiştir. Kaplanmamış kesici takımların kullanılması durumunda daha yüksek artık gerilmelerin ortaya çıktığının ifade edildiği çalışmada geçici yüzeylerdeki artık gerilmelerin işlenmiş yüzeydekilerden daha büyük olduğu da belirlenmiştir.

Chakraborty vd. (2000) sertleştirilmiş çelik işleminde ticari olarak satılan tungsten karbür (WC) temelli kesici takımlar ile alümina ve zirkonyum oksit ile güçlendirilmiş alümina (ZTA) oksit temelli seramik kesici takımları kullanmıştır. Hem takım ömrü hem de iş parçasının son yüzeyi açısından seramik takımların WC kesici takımlara göre çok üstün bir performans sergilediği belirlenmiştir. Yüksek işleme hızlarında seramik kesici takımların kullanılması durumunda küçük miktarlarda talaş ve burun aşınması görülürken, WC takımlarının kullanıldığı durumlarda ciddi krater aşınmaları tespit edilmiştir.

Berruti vd. (2009) karbür uçlu kesici takımlar kullanılarak Inconel 718 nikel tabanlı süper alaşımın tornalanması sırasında boylamsal ve teğetsel yönlere oluşan artık gerilmeleri araştırmıştır. Söz konusu artık gerilmelerin yüzeyde çekme yüzeyin aşağısında ise basma formunda olduğu belirlenmiştir. Yüksek kesme ve ilerleme hızlarının ayrıca daha yüksek çekme gerilmeleri oluşturduğu ve boylamsal yönde olan yüzey gerilmelerinin teğetsel yönde olanlara nazaran işleme parametrelerine karşı daha yüksek bir hassasiyete sahip olduğu ifade edilmiştir.

Ulutan ve Özel (2011) titanyum ve nikel esaslı süper alaşımlardaki işleme kaynaklı yüzey bütünlüğü çalışmalarını derlemiştir. Derleme, nihai ürünün yüzey kalitesinin iyileştirilmesi adına beyaz tabaka ve pekleşme katmanlarının yanı sıra mikroyapısal değişikliklerin, önemli yüzey bütünlüğü problemleri olarak karşımıza çıktığını göstermiştir. Nikel tabanlı süper alaşımların işlenmesinde ortaya çıkan belli başlı işleme yüzey kusurları; yüzey sürüklenmesi, malzeme çekme/çatlama, ilerleme işaretleri, yapışmış malzeme parçacıkları, yırtılma yüzeyi, talaş tabakası oluşumu, mikro talaş yığılması, bozulmuş tanecikler, yüzey boşlukları, yüzey soyulması, kayma bölgeleri, yüzey üzerine katlanmış malzeme ve izleme patternleri olarak verilmiştir. Çalışmada ayrıca, nikel esaslı süper alaşımların işlenmesi sırasında iş parçasındaki yüksek mekanik ve termal yüklerden dolayı ortaya çıkan sertleşmeden dolayı ara ve son yüzeylerin sertleşmesine de değinilmiştir.

Sharman vd. (2004) benzer bir çalışmada Inconel 718'in tornada işlenmesindeki değişen kesici takım malzemelerinin, geometri, aşınma seviyesi ve işleme parametrelerinin yüzey bütünlüğüne etkilerini değerlendirmiştir. Yüzey bütünlüğünün özellikle takım aşınmasına bağlı olduğu rapor edilen çalışmada yıpranmış kesici takım ile işleme daha

fazla mikroyapısal bozukluk, mikro sertlik değişiklikleri ve yüksek yüzey çekme gerilmelerine neden olduğu sonucuna varılmıştır. Takım aşınmasının seviyesinin kontrol edilmesinin çok yönlü olduğu ve tutarlı yüzey bütünlüğü oluşturmak için takım aşınmasının minimumda tutulması gerektiği de belirtilmiştir.

Chan ve Braiden (1991), ters kesme mekanizmasını incelemek için kesici takımının FEM modelini geliştirmişlerdir. İş parçası ve takım üzerinde gerilme dağılımları üzerine çalışarak normal kesme koşulları altında ters kesmenin kesici takımdaki gerilme dağılımı üzerinde oldukça etkili olduğunu göstermişlerdir. İş parçası ve takımda oluşan termal gerilmelerin kesme takımların performansını etkilemede çok önemli bir rol oynadığını göstermişlerdir.

Budak ve Özlu (2008), işlenebilirlik simülasyon yöntemi için ısıl mekanik kesme yöntemi modelini geliştirmiştir. Kesme bölgesinin deformasyonunda Johnson-Cook malzeme modelini kullanmışlar; talaş teması, kayma ve yapışma bölgeleri ile bunların tahmini uzunluklarını kullanarak modellemişlerdir. Talaş üzerindeki malzeme modeli parametreleri ve sürtünme katsayısını, birçok ortogonal kesme deneylerinden faydalanarak doğrudan tanımlamışlardır. Geliştirilen modelle kesme kuvveti, talaş açısı, gerilme, gerilme dağılımı, talaş yüzeyindeki temas uzunluğu ve ısı dağılımı gibi parametreleri tahmin edebilmişlerdir.

Lorentzon vd. (2008) Inconel 718 süper alaşımların işlenmesinde takım aşınması ve takım ömrünü tahmin etmek için FEM kullanarak bir aşınma modeli geliştirmişlerdir. Talaş oluşum simülasyonunda takım geometrisi, basınç, sıcaklık ve geometrideki değişime uyum sağlayan bağıl hızların oluşturduğu aşınma profil gelişiminin devamını sağlamak üzere kullanılan FEM'i güncellemişlerdir. Yaptıkları analizlerde aşınma tahminleri yapmak için Coulomb sürtünmesinden daha gelişmiş bir sürtünme modelinin gerekli olduğunu göstermişlerdir.

Kurt A, (2009) nikel bazlı süper alaşım Inconel 718'in işlenebilirliğinde kesici takımda meydana gelen gerilmeleri (normal, kayma, Von Mises akma kriteri) kesme parametrelerindeki (V , f ve a) değişkenleri hesaba katarak ANSYS yazılımı kullanılarak FEM'le analiz etmiştir. Kesme kuvvetlerini bir dizi deneysel ölçümlerle belirlemiş ve kesici takım üzerindeki gerilme dağılımını ANSYS yazılımı yardımıyla analiz etmiştir.

Analizlerde kesici takım aşınmasını; özellikle von mises gerilme dağılımlarından, seramik kesici takımın esas kesme kenarı üzerindeki a 'ya eşit mesafede aşınmış olduğunu, aşınma tiplerinin çentik aşınması ve esas kesme kenarı üzerindeki kenar aşınması biçiminde olduğunu tespit etmiştir.



BÖLÜM III

TEZİN AMACI

Bu çalışma; Inconel 625 çeliğinin tornalanmasında iş parçasına uygulanan ısı işlem etkisinin, kesici takım geometrisinin ve kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin incelenmesini, takım aşınmasına bağlı olarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğündeki değişimlerin analizi hedeflemektedir.

Elde edilen yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme kuvveti değerlerinin, kesme parametreleri ile olan ilişkilerinin matematiksel olarak modellenmesi ve istenilen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında yukarıda belirtilen proses parametrelerine bağlı olarak gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları ile en yüksek yüzey kalitesinin elde edilmesi için gerekli parametrelerin belirlenmesi ve hedef kalitenin tekrar tekrar sağlanabilmesi adına gereken talaşlı işlemin optimum şartlarda yapılarak, maliyetlerin düşürülmesi amaçlanmaktadır.

BÖLÜM IV

DENEYSEL ÇALIŞMA

Inconel-625, yüksek mekanik özelliklere sahip olan ve oksidasyon ve korozyona karşı yüksek direnç gösteren bir malzemedir. Bu malzeme gaz türbin kanatları, havacılık bileşenleri ve nükleer santrallerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstri ve mühendislik uygulamaları olarak çoğunlukla gaz türbini bileşenleri, uzay araçları, denizaltılar, buhar santralleri ve roket/füze bileşenleri sayılabilir. Süper alaşım malzemelerinin işlenmesi sırasında kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü iki önemli parametre olarak dikkat çekmektedir. Bu durum kesme kuvvetlerinin deneysel ölçümü ve yüzey pürüzlülüğü kaçınılmaz kılmaktadır. Bu kapsamda, farklı laboratuvarlarda; talaş oluşum prensiplerini anlamak, kesme kuvveti modelleri geliştirmek, süreç kontrolü, takım geometrisi optimizasyonu, alet durumunun izlenmesi ve ses titreşimlerinin tespiti ve bastırılması konularında araştırmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada kesme parametrelerinin değerlerine göre, deneyler Minitab 17 yazılımında Taguchi L9'a uygun olarak tasarlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün regresyon modeli ANOVA ile yapılmış ve parametre etkisinin optimizasyonu sunulmuştur. Günümüzde, takım tezgâhlarının kapasitesini geliştirmek için pek çok çalışma yapılmaktadır. Üretim ve işletme mühendisliğinde devam eden gelişme ve eğilimlere göre mevcut yöntemler ve süreçler kullanılarak sürdürülemez görünmektedir. Bazı kurulum parametreleri veya işleme kalitesi takım ömrü gibi ana parametrelerden etkilenmektedir.

Takım ömrü üzerindeki pekleşme etkisini azaltmanın bir yolu, tornalama işlemlerini yüksek hızlarda yapmaktır. Yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek için kriterler incelendiğinde, günümüzde, bazı özel ve fonksiyonel özelliklerin üretimi için en önemli sorunlardan birisini temsil ettiği görülmektedir. Bu nedenle birçok araştırmacı pürüzlülüğü, tasarımın dördüncü boyutu olarak değerlendirmektedir. Verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek ve aynı zamanda yüksek ürün kalitesini korumak, bugün imalatta yüz yüze gelinen ana zorluklardır. CNC tornalama işleminde kesme kuvvetinin izlenmesi ve kontrol edilmesinin önemi, takım tezgâhı topluluklarınca iyi bilinmektedir. Kesme kuvvetlerinin tahmini ve ölçülmesi amacıyla önemli miktarda araştırma yapılmıştır.

Bunun nedeni, metal kesim sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin ısı üretimi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olmasıdır. Deneyle takım aşınması, titreşim, işlenmiş yüzey kalitesi ve iş parçasının doğruluğu olmaksızın yapılmaktadır. Bu çalışmada, kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğünü araştırmak için ısı işleme tabi tutulmuş ve tutulmamış Inconel 625'in kaplanmış takımlarla susuz tornalanmasını araştırmaktadır.

4.1 Deneysel Çalışma - İş Parçası Malzemesi

İş parçası malzemeleri olarak 62 mm çapında ve 180 mm uzunluğunda yuvarlak çubuklar kullanılmıştır. Mevcut araştırma için kullanılan iş malzemesi Inconel 625'dir. Inconel 625 alman menşeli olup malzeme EN 10204-3.1 standardına göre denetleme sertifikası ile Deutsche Nickel GMBH tarafından onaylanmıştır. İş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi Çizelge 3.1'de, mekanik özellikleri ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Inconel 625 kimyasal içeriği

Ni	Cr	Mo	Nb	Fe	S	Al
59.64*	22.34	9.20	3.57	4.29	0.002	0.16
Co	Cu	C	Mn	P	Ta	Si
0.032	0.091	0.020	0.057	<0.005	0.014	0.28

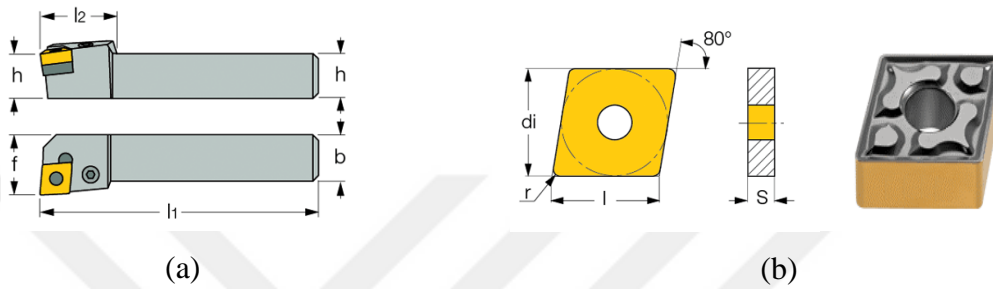
* % 100 ile ölçülen elemanların toplamı arasındaki fark olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. Inconel 625 mekanik özellikleri

Mekanik Sertlik HRC	35/35
Mekanik Sertlik HB	223.229
Akma Dayanımı 0,2% [MPa]	470
Gerilme Mukavemeti [MPa]	874
Uzama AL=4D [%]	48.9
Charpy V-notch-testi -46 ⁰ C (-46 ⁰ F) [Joule]	109/113/120
ASTM G 48 A [mm/a]	0
API 6A PSL 3	OK
Isıl İşlem 980 ⁰ C	2h/AC

4.2 Materyal ve Metod

Deneyler, tüm dişli CNC torna makinesinde imal edilmiş tutucu takımlar kullanılarak susuz kesme koşullarında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kesici takım TiN / TiCN PVD kaplanmış CNMG 120408NN'dir. Araştırmalara göre Inconel 625 sert bir işlemden geçirilmiş olup, torna için ünlü ISCAR firmasının PCLNR 2525 12A ürününü kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 3.1).



Fotoğraf 4.1. a) Tutucu takım PCLNR 2525 12A, b) Kesici takım CNMG 120408.

4.3 Takım Aleti ve Kesme Kuvvetlerinin Ölçüm Aleti ve Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

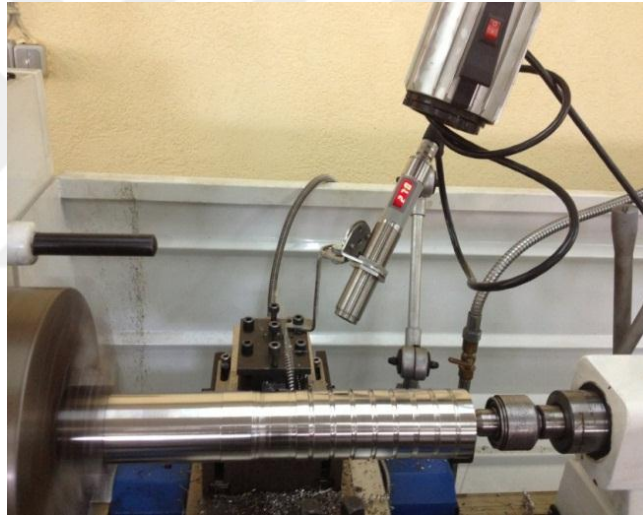
Kesici takımın iş parçasına hareketiyle indüklenen toplam kesme kuvveti “F” ile gösterilmiştir. Kesme işleminin üstel fonksiyon olarak analizi için, ortaya çıkan kesme kuvveti “F”, ilgili bileşenlere ayrılmaktadır. İş parçasını döndürme işlemi sırasında, vektör olan kesme kuvveti, bireysel bileşenlere ayrılabilir. Deneylerde *Kistler Type 5070A* kuvvet ölçüm aparatı kullanılmıştır Fotoğraf 4.2. CNC Torna Fotoğraf 4.3 üzerine monte edilmiş olan dinamometreler ile kesme kuvveti ölçümleri yapılmıştır.



Fotoğraf 4.2. Kuvet ölçme aparatı *Kistler Type 5070A*.

Günümüzde, takım tezgahlarının kapasitesini geliştirmek için pek çok çalışma yapılmaktadır. Önceden belirtildiği gibi, üretim ve işletme mühendisliğinde devam eden gelişme ve eğilimler, mevcut yöntemler ve süreçler kullanılarak sürdürülemez görünmektedir.

Bazı kurulum parametreleri veya işleme süreçleri, takım ömrü gibi ana parametrelerden etkilenmektedir. Takım ömrü üzerindeki pekleşme etkisini azaltmanın bir yoluda, tornalama işlemlerini yüksek hızlarda yapmaktır. Yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek için kriterler incelendiğinde, günümüzde, malzemelerin bazı özel ve fonksiyonel özelliklere sahip olarak üretimi için en önemli sorunlardan birini temsil ettiği görülmektedir. Verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek ve aynı zamanda yüksek ürün kalitesini korumak, bugün imalatta yüz yüze gelinen ana zorluklardır.

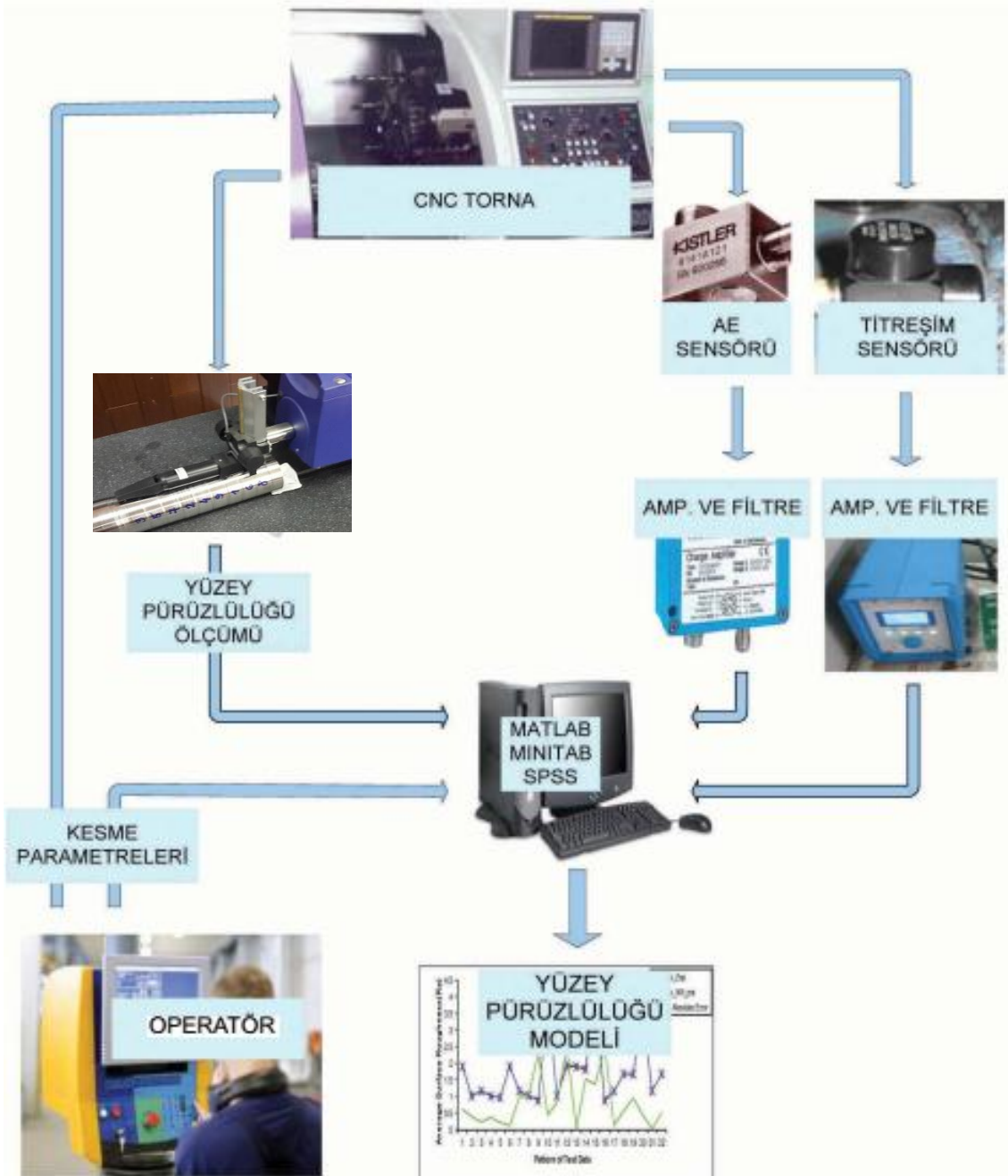


Fotoğraf 4.3. Pico Turn *V-Turn 410* CNC torna cihazı

Sıcaklık ölçümü için ölçüm ekipmanı olarak, özel olarak tasarlanmış Pyrometer Cella Temp PQ 38 seçilmiştir. Cella Temp PQ 38, induksiyonlu ısıtma uygulamalarında 2 mm kadar küçük olan hedef noktaların sıcaklığının ölçülmesi için özel olarak tasarlanmıştır. Entegre LED spot ışığı, hedef noktasının tam konumunu ve boyutunu işaretlemeyebilmektedir. Pirometrenin 2 ms'den daha küçük olan kısa tepki süresi, proses kontrolünü kolaylaştırmaktadır.

4.4 Inconel 625'in Tornalanması Sırasında Takım Titreşimleri

Tornalama işlemlerinde kesme takımı, kesme işlemi sırasında iş malzemesinin deformasyonu nedeniyle dinamik bir uyarmaya maruz kalmaktadır. Kesici takım ile iş parçası arasındaki bağıl dinamik hareket, özellikle son yüzey işlemi gibi imalat proseslerini etkileyecektir. Bu yüzden titreşimle ilgili problemler tornalama işlemlerinde büyük ilgi görmektedir. Titreşim ölçümleri *Kistler Type 5134B* yardımı ile gerçekleştirilmiştir Fotoğraf 4.4 ve Fotoğraf 4.5.



Fotoğraf 4.4. Kistler 5134B ile titreşim ölçüm düzeneği.



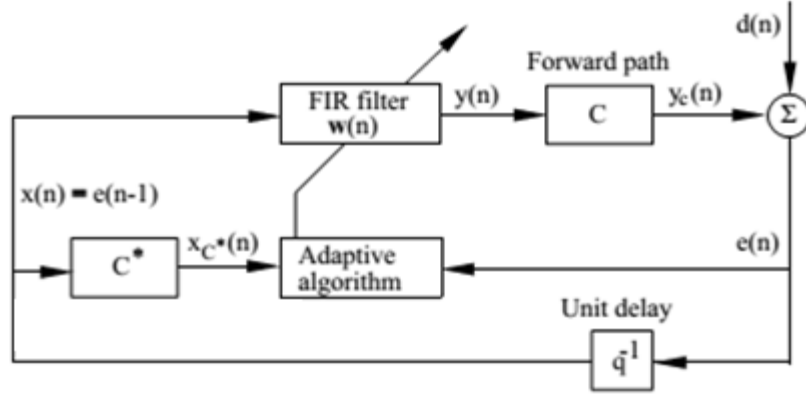
Fotoğraf 4.5. Kistler 5134B ile titreşim ölçüm ekipmanı.

İmalat prosesleri kadar takımların ömrü de titreşimlerden etkilenmektedir. Çalışma ortamındaki şiddetli akustik gürültü, kesme aleti ile iş parçası arasındaki dinamik hareket sonucu oluşmaktadır. Bu problemler, makine-alet titreşiminin aktif kontrolü ile azaltılabilir. Bununla birlikte, takım tezgâhı titreşim kontrol sistemleri genellikle bir genel torna ve tornalama işlemi için geçerli değildir.

Mekanik yapıların fiziksel yapı ve özellikleri veya ikincil titreşim öneren çözümler genellikle uygulanabilirliklerini sınırlamaktadır. Literatürde, genel torna uygulaması için uyarlamalı bir aktif kontrol çözümü geliştirilmiştir. Sistem, gömülü bir piezo seramik aktüatör ve adaptif bir geri besleme kontrolörüne sahip standart bir endüstri takım tutucu gövdeye dayanmaktadır Şekil 4.1.

Uyarlamalı kontrolör, iyi bilinen filtrelenmiş-x LMS algoritmasına dayanmaktadır. Malzeme deformasyon sürecinden kaynaklanan takım titreşimlerinin orijinal uyarımı doğrudan gözlenebilir değildir. Sonuç olarak, makine-takım titreşiminin kontrolü için kontrol birimi bir geri bildirim yaklaşımına dayanmaktadır.

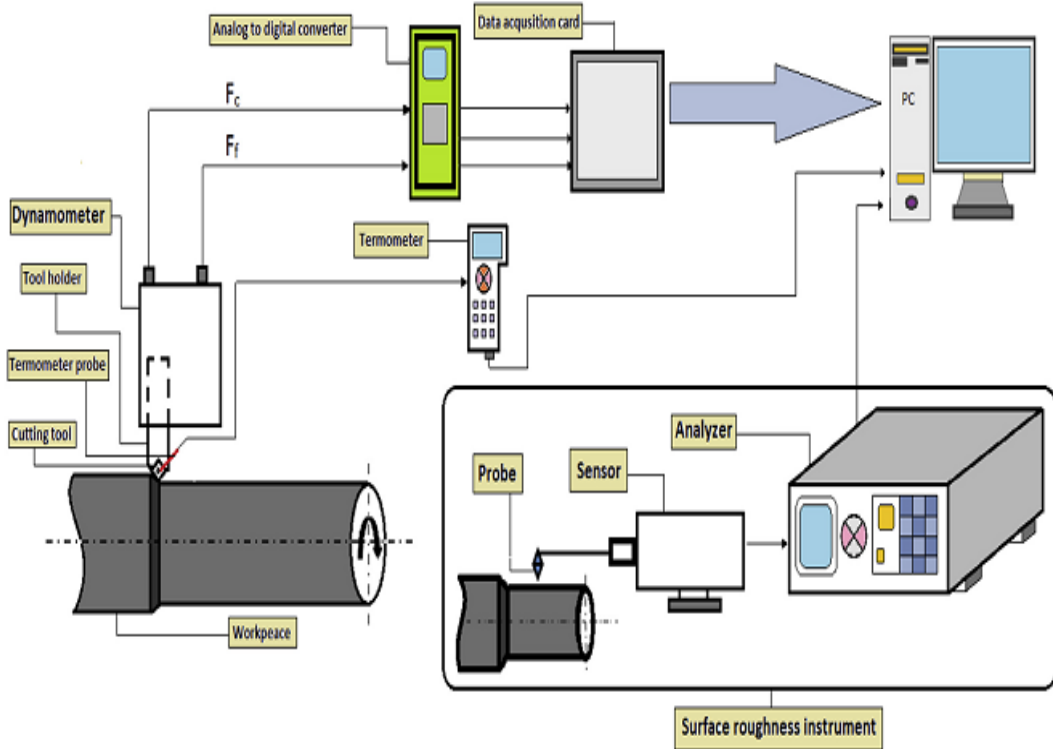
Takım tutucunun tepkisi, makineye monte edilmiş bir sensörle ölçülebilir. Sekonder anti-titreşimlerin ikincil bir kaynakla devreye girmesiyle, aktüatör, takım tutucunun cevabı değiştirilebilmektedir.



Şekil 4.1. Filtreli-x LMS algoritması ile geri besleme kontrol durumunun eşdeğer diyagramı.

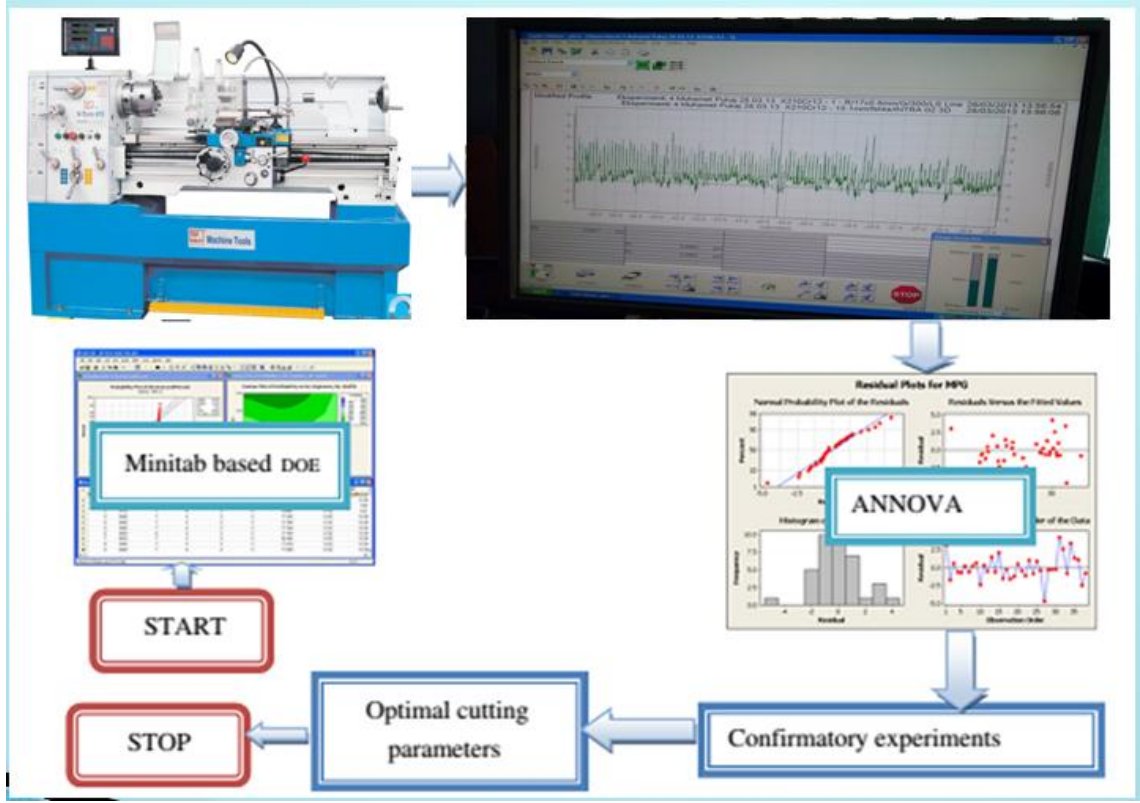
Bu çalışmada, kesme kuvvetleri ve karakteristikleri, iki temel yöntem ile belirlenecektir Şekil 4.2 ve Şekil 4.3.

- Analitik metod: Taguchi metodu ve ANOVA
- Deneysel yöntemler: Doğrudan ölçüm özellikleri F_x , F_y ve F_z , titreşim, sıcaklık ve yüzey pürüzlülüğü



Şekil 4.2. Deneysel düzenek

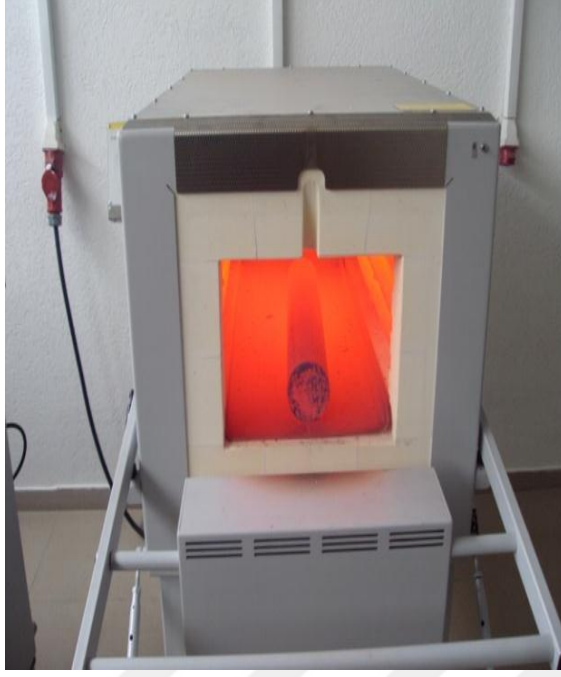
Yüzey pürüzlülüğü ve yuvarlama hatasını tahmin eden denklemleri elde etmek için çoklu regresyon analizi kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve yuvarlama hatası denklemleri, kontrol faktörlerine ve bunların etkileşimlerine dayanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 4.3. Deneysel düzenek ve akış şeması.

4.5 Inconel 625 Isıl İşlem

Bu çalışmada ısıl işlem görmüş ve görmemiş Inconel 625'in kaplanmış takımlarla susuz tornalanması sırasındaki kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi ele alınmıştır. Isıl işlem görmüş örnekler, 1350°C sıcaklıkta 1 saat tutulduktan sonra oda sıcaklığında soğutulmuştur (Hermant Jain., (2015); Fujia Xu., vd (2013); Shankar V., vd (2001); Valencia J.J., (1994).



Fotoğraf 4.6. Takım aşınması ölçüm ekipmanları

4.6 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için Surface Measurement Talysurf, Taylor Hobson makinesi kullanılmıştır (Fotoğraf 4.7).



Fotoğraf 4.7. Talysurf, Taylor Hobson ile pürüzlülük ölçümü.

4.7 Takım Aşınması

Aşınmanın ölçülmesi, dijital aparat olan ve üç eksene göre yer değiştirmeye izin veren TOOL MASTER 10 aparatında gerçekleştirilmiştir Fotoğraf 4.8. Kesme bıçağı mikro parçacıklardan her deneyden sonra alkollü bezle temizlenmiş ve daha sonra ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Deneyler, soğutucu aracı olmayan yeni kesici kenarlı kavramalar kullanılarak yapılmıştır. 0,5 km'lik dairesel kesme uzunluğu ve aşınma miktarını belirlemek için temel kriter olan $VB=221\mu\text{m}$ olarak kabul edilen aşınma değerine ulaşana kadar artan kesme rejimleri alınmıştır.



Fotoğraf 4.8. TOOL MASTER 10 ile aşınma ölçümü

BÖLÜM V

TAGUCHI YÖNTEMİ TEMELLİ DENEYSEL TASARIM

Taguchi yöntemi, yüksek kaliteli sistemlerin tasarımı için güçlü bir araçtır. Performans, kalite ve maliyet için tasarımları optimize etmek için basit, verimli ve sistematik bir yaklaşım sunar. Taguchi metodu, çeşitli koşullar altında tutarlı ve optimal bir şekilde çalışan proses tasarımı için etkin bir yöntemdir. Taguchi yönteminin adımları aşağıdaki gibidir:

- Ana fonksiyonun, yan etkilerin ve arıza modunun tanımlanması.
- Gürültü faktörünün, test koşulu ve kalite özelliklerinin belirlenmesi.
- Optimize edilecek ana fonksiyonun tanımlanması.
- Kontrol faktörünü ve seviyelerini tanımlamak.
- Ortogonal dizi ve matris deneyi seçimi.
- Matris deneyi yürütmek.
- Verilerin analiz edilmesi, optimum seviye ve performansın tahmini.
- Doğrulama denemesinin yapılması ve gelecekteki eylemlerin planlanması.

Taguchi tasarlanmış deneylerin uygulanması için bir metodoloji geliştirmiştir, bu metodoloji istatistiklerin özel dünyasından deneylerin tasarımını almıştır ve onu üretim dünyasına daha eksiksiz bir hale getirmiştir. Katkısı, daha az deneysel tasarımın kullanımını savunarak uygulayıcının daha basit çalışmasını ve üretim dünyasında kalite mühendisliğinin varyasyon doğası ve ekonomik sonuçlarının daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Taguchi, yaklaşımını aşağıda verilen deneysel tasarımı kullanarak tanıtmıştır:

- Çevresel koşullara dayanıklı olacak şekilde ürün / süreçlerin tasarlanması;
- Bileşen / varyasyona karşı güçlü olacak şekilde ürün / süreç tasarlamak ve geliştirmek;
- Bir hedef değer etrafında varyasyonu en aza indirmek.

Taguchi'nin felsefesi geniş çapta uygulanabilir. Bir sürecin veya ürünün mühendislik optimizasyonunun üç aşamalı bir yaklaşımla, yani sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıyla gerçekleştirilmesini önermiştir.

Sistem tasarımında, mühendis, ürün tasarım aşamasını ve süreç tasarım aşamasını içeren bu tasarımı temel işlevsel prototip tasarımını üretmek için bilimsel ve mühendislik bilgilerini uygular. Ürün tasarım aşamasında malzeme, bileşen, geçici ürün parametre değeri vb. seçimi yapılır. Proses tasarım aşamasına gelince, işlem dizilerinin analizi, üretim ekipmanı seçimleri, geçici işlem parametresi değerleri, vb. yer almaktadır. Sistem tasarımı ilk fonksiyonel tasarım olduğundan, kalite ve maliyet açısından optimum olmaktan uzak olabilir.

Parametre tasarımının amacı, performans karakteristiklerini iyileştirmek için proses parametre değerlerinin ayarlarını optimize etmek ve optimal proses parametre değerleri altında ürün parametre değerlerini tanımlamaktır. Ek olarak, parametre tasarımından elde edilen optimal işlem parametresi değerlerinin, çevresel koşulların ve diğer gürültü faktörlerinin değişkenliğine karşı duyarsız olması beklenir. Bu nedenle, parametre tasarımı, maliyet artırmadan yüksek kaliteyi elde etmek için Taguchi yöntemindeki önemli adımdır.

Temel olarak, Fisher tarafından geliştirilen klasik parametre tasarımı karmaşıktır ve kullanımı kolay değildir. Özellikle, işlem parametrelerinin sayısı arttığında çok sayıda deney yapılması gerekmektedir. Bu sorunu çözmek için, Taguchi yöntemi tüm parametre alanını yalnızca az sayıda deney ile incelemek için özel bir ortogonal dizi kullanır. Daha sonra deney değeri ve istenen değer arasındaki sapmayı hesaplamak için bir kayıp fonksiyonu tanımlanır.

Taguchi, istenen değerden sapan performans karakteristiğini ölçmek için kayıp fonksiyonunun kullanılmasını önermektedir. Kayıp fonksiyonunun değeri daha sonra sinyal-gürültü (S/N) oranına, η , dönüştürülür. Genellikle, S/N oranının analizinde performans karakteristiğinin üç kategorisi vardır. Bu kategoriler daha düşük-daha iyi, daha yüksek-daha iyi ve nominal-daha iyi olarak adlandırılmaktadır.

Her bir işlem parametresi seviyesi için S/N oranı S/N analizine dayanarak hesaplanmaktadır. Performans karakteristiği kategorisine bakılmaksızın, daha büyük S/N oranı, daha iyi performans karakteristiğine karşılık gelmektedir.

Bu nedenle, işlem parametrelerinin en uygun seviyesi en yüksek S/N oranı n'ya sahip olan seviyedir. Ayrıca, hangi işlem parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu görmek için istatistiksel bir varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilir.

S/N ve ANOVA analizleri ile, işlem parametrelerinin optimal kombinasyonu tahmin edilebilir. Son olarak, parametre tasarımından elde edilen en uygun işlem parametrelerini doğrulamak için bir doğrulama deneyi gerçekleştirilir. Bu çalışmada Taguchi yöntemi ile tornalama işlemindeki kesme parametresi tasarımı optimum işleme performansı elde etmek için uygulanmıştır.

Nominal (en iyisi): $S / N_T = 10 \cdot \log \left(\frac{\bar{y}}{s_y^2} \right)$

Daha büyük olan daha iyidir (maksimize): $S / N_L = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i} \right)$

Daha küçük olan daha iyidir (en aza indir): $S / N_S = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$

Burada

\bar{y} - gözlemlenen verilerin ortalaması,

s_y^2 - y'nin varyansı,

n - gözlem sayısı ve

y - gözlemlenen veriyi ifade etmektedir.

Dikkat edilirse S/N oranları desibel ölçeğinde ifade edilmektedir. Eğer amaç belirli bir hedefe göre değişkenliği azaltmaksa, S/NT'yi, sistem optimize edildiğinde yanıt mümkün olduğu kadar büyük olduğunda S/NL'yi, ve yanıt mümkün olduğunca küçük olduğunda sistem optimize edilirse S/NS kullanılmaktadır. Uygun S/N oranını maksimize eden faktör seviyeleri optimaldir.

Çoklu performans özelliklerine sahip bir işlemi optimize etmek için Taguchi yönteminin parametre tasarımının kullanımı aşağıdaki adımları içermektedir:

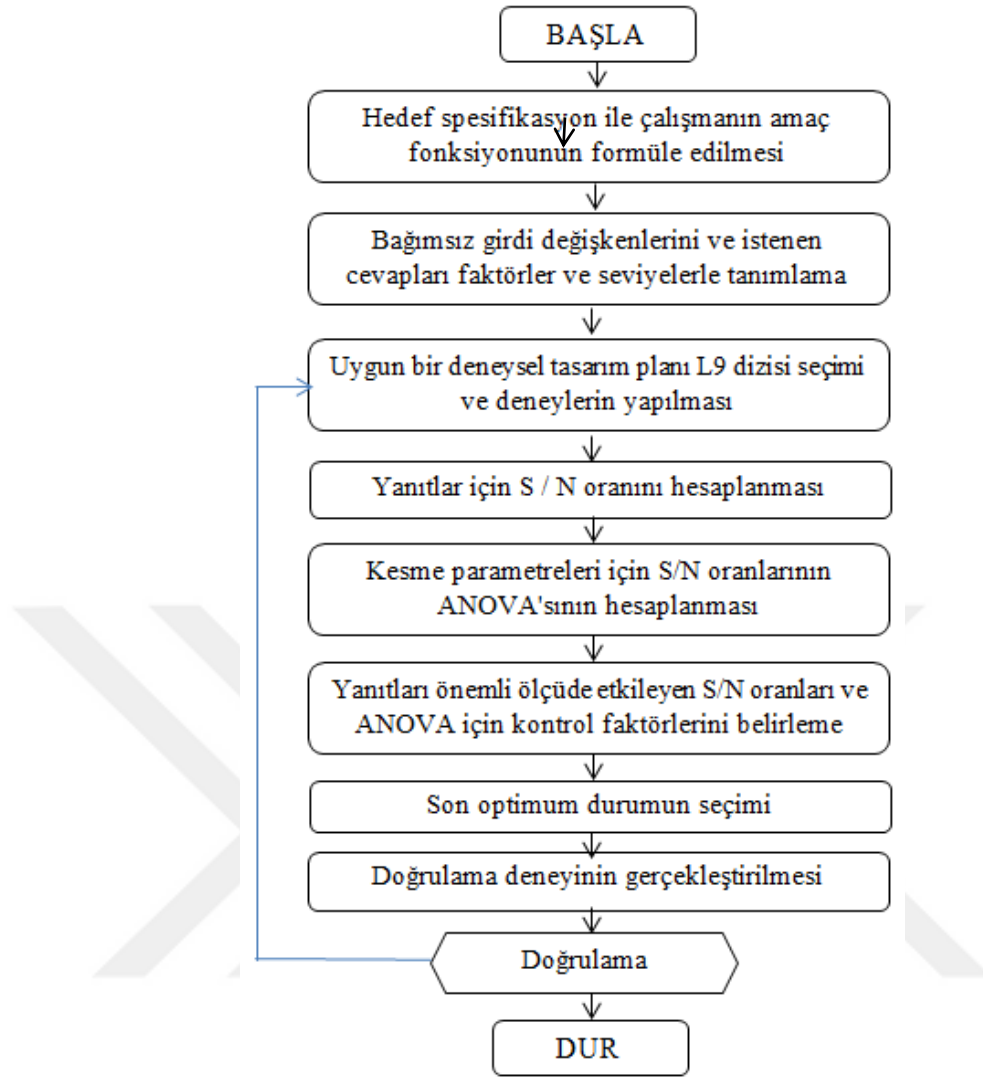
- Performans özelliklerini tanımlanması ve değerlendirilecek işlem parametrelerinin seçimi.
- Proses parametreleri için seviye sayısını ve işlem parametreleri arasındaki olası etkileşimlerin belirlenmesi.
- Ortogonal diziyeye uygun ortogonal dizi ve işlem parametrelerinin atanması.
- Ortogonal dizinin düzenlenmesine dayalı olarak deneyleri yürütmek.
- Toplam kayıp fonksiyonunun ve S/N oranını hesaplanması.
- S / N oranı ve ANOVA kullanarak deney sonuçlarının analizi.
- Optimum proses parametrelerinin seçimi.
- Doğrulama deneyi ile en uygun işlem parametrelerinin doğrulanması.

Taguchi yöntemi tabanlı deney tasarımı, yanıt değişkenlerini, bağımsız değişkenleri, etkileşimlerini ve ortogonal bir diziyi seçmeyi içermektedir. Bu çalışmada muhtemel kesme koşullarının yeterince geniş bir yelpazesini kapsayacak şekilde proses parametrelerinin seviyeleri seçilmiştir. Çizelge 5.1, bu deney için seçilen parametreleri ve karşılık gelen seviyeleri göstermektedir. Bu çalışmada standart bir Taguchi L9 (3^3) ortogonal dizi seçilmiştir.

Ortogonal dizilerin kullanımı minimum sayıda deneyi gerektirir ve herhangi bir karışık seviyeye sahip değildir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği kontrol faktörleri olarak ve her biri kesici takımı tarafından sağlanan tüm menzili yeterince kapsayacak şekilde üç seviyeye kadar değiştirilmiştir.

Deney verilerini yorumlamak ve gerekli kararları vermek için ANOVA kullanılmıştır. Normal yarılacalar işlem parametreleri ile L9 ortogonal dizisini göstermektedir.

Şekil 5.1, tornalama sürecindeki Taguchi'nin optimizasyon metodunun adımlarını göstermektedir.



Şekil 5.1 Taguchi'nin tornalama işlemi optimizasyonu için tasarımı.

5.1 Varyans Analizi (ANOVA)

Varyans analizi, örneklenmiş veri ilişkilerini incelemek için genel bir yöntemdir (Clarke ve Cooke, 1998). Bu yöntem, analiz edilecek iki veya daha fazla numune aracı arasındaki toplam karelerin toplamının alt gruplanmasıyla elde edilen farkı verir. Bir bakıma ANOVA en basit durumdur. Amaç, sınıflar arasındaki önemli farklılıkları test etmektir ve varyansları analiz ederek bu gerçekleştirilir. ANOVA, bir yanıt değişkeni ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi araştırmak ve modellemek için kullanılması bakımından regresyona benzemektedir.

Sonuç olarak, varyans analizi, iki popülasyon aracının eşitliğini daha genel bir boş hipoteze test etmek için iki örnek t-testini genişletmektedir (Draper ve Smith, 1982).

Süreci kontrol eden çok sayıda değişken olduğundan, süreci temsil etmek için bazı matematiksel modeller gereklidir. Ancak, bu modeller, tüm parametreleri içermekten ziyade süreci etkileyen önemli parametreler kullanılarak geliştirilmelidir. Bunu başarmak için, deney sonuçlarının istatistiksel analizi, varyans analizi kullanılarak işlenmelidir. ANOVA, kontrol faktörlerinin her birinin göreceli katkılarının, toplam ölçülen tepkiye tahminini sağlayan bir hesaplama tekniğidir.

ANOVA, herhangi bir girdi parametresinin, bir dizi deneysel sonuçtan, işleme prosesi için deney tasarımı ile etkisinin belirlenmesi için yararlı olabilir ve deneysel verileri yorumlamak için kullanılabilir. Herhangi bir yüksek boyutlu işlevin, bir terim alt kümesine ayrılacağı bir yaklaşım gösterilebilir:

$$f(x) = f_0 + \sum_{i=1}^n f_i(x_i) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n-i+1} f_{i,j}(x_i, x_j) + f_{1,2,\dots,n}(x) \quad (5.1)$$

Burada

n - girdilerin sayısı,

f_0 - bir sabit (*bias terimi*) ve sağ taraftaki diğer terimler tek değişkenli, iki değişkenli, tek değişkenli, vb., giriş parametrelerinin fonksiyonel kombinasyonlarını temsil eder.

ANOVA, toplam bileşenlerini uygun bileşenlerine ayırır. Toplam kareler toplamı şöyle tanımlanabilir:

$$SS_T = \sum y_i^2 \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n \quad (5.2)$$

Bu şu şekilde verilebilir:

$$SS_T = SS_m + SS_e \quad (5.3)$$

Burada

$$SS_m = n \cdot M^2 \quad \text{and} \quad SS_e = \sum (y_i - M)^2 \quad (5.4)$$

Sırasıyla karelerin toplamı ve karelerin toplamı toplamıdır ve

$$M = \frac{1}{n} \cdot \sum y_i \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (5.5)$$

İki yönlü ANOVA durumunda, ana faktörlerin etkileşim etkisi çıktı değerlerini etkilediğinde, toplam varyasyon, daha fazla bileşene ayrıştırılabilir.

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_e \quad (5.6)$$

burada

$$SS_A = (A_1 - A_2) \quad \text{and} \quad SS_R = (B_1 - B_2) \quad (5.7)$$

sırasıyla A ve B faktörlerine bağlı varyasyonlardır, ve

$$SS_{AB} = \sum \frac{(AB) \cdot i^2}{n_{AB_i}} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, k \quad (5.8)$$

A ve B faktörlerinin etkileşiminden dolayı varyasyon olup, burada k, etkileşim faktörlerinin olası kombinasyonlarının sayısını temsil eder ve nABi bu koşul altında veri noktalarının sayısıdır. ANOVA yapılırken, her bir karenin toplamı ile birlikte serbestlik derecesi de dikkate alınmalıdır.

ANOVA çalışmalarında belirli test hatasıyla, hata varyansı belirlenmesi çok önemlidir. Elde edilen veriler Fisher testinin F değerini hesaplamak için kullanılır (F-testi). Her önemli faktöre veya etkileşime atfedilen bir deneyde gözlemlenen varyasyon (toplam), yüzde katkıya (P) yansır. Bu, varyasyonu azaltmak için bir faktörün veya etkileşimin göreceli gücünü gösterir. P ile ilgili faktör ve etkileşimler önemli bir rol oynamaktadır.

5.2 Lineer Regresyon Analizi

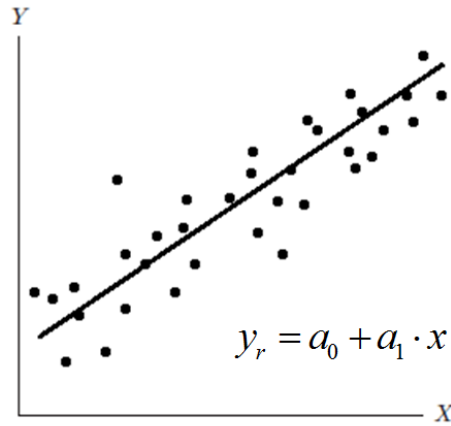
Bağımsız değişken x , bağımlı değişken y olmak üzere $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ değerleri verilmiş olsun. Bu noktalar Şekil 5.2' de ki gibi doğrusal bir değişim gösteriyorsa bu noktaları temsil eden,

$$y_r = a_0 + a_1 \cdot x \quad (5.9)$$

doğru denklemi bulunabilir. Burada r indisi regresyon anlamında kullanılmıştır. Buradaki a_0 ve a_1 sabitleri o şekilde bulunmalıdır ki en az hatalı denklem bulunmuş olsun. Herhangi bir i noktası için verilen değer ile doru denkleminden elde edilen değer arasındaki fark mutlak hata olduğuna göre:

$$e_i = y_i - y_r = y_i - a_0 - a_1 \cdot x \quad (5.10)$$

yazılabilir. En küçük kareler yönteminde, her nokta için hesaplanan bu hatanın kareleri toplamı minimum olacak şekilde a_0 ve a_1 belirlenir.



Şekil 5.2 Değerlerin bir doğru ile temsili

Hataların kareleri toplamı,

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 \cdot x)^2 \quad (5.11)$$

minimum olması için her değişkene göre türevi sıfır olmalıdır. Yani:

$$\begin{aligned}\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = 0 &\Rightarrow \sum y_i - \sum a_0 - \sum a_1 \cdot x_i = 0 \\ &\Rightarrow a_0 \cdot n + a_1 \cdot \sum x_i = \sum y_i\end{aligned}\quad (5.12)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = 0 &\Rightarrow \sum x_i \cdot y_i - \sum a_0 \cdot x_i - \sum a_1 \cdot x_i^2 = 0 \\ &\Rightarrow a_0 \cdot \sum x_i + a_1 \cdot \sum x_i^2 = \sum x_i \cdot y_i\end{aligned}\quad (5.13)$$

şeklinde iki denklem elde edilir. Bu denklemlerden aranan sabitler:

$$a_1 = \frac{n \cdot \sum x_i \cdot y_i - \sum x_i \cdot y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}\quad (5.13)$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x}\quad (5.14)$$

elde edilir. Burada ortalama x ve y değerleri:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{ve} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}\quad (5.15)$$

şeklinde yazılabilir.

5.3 Çok Değişkenli Regresyon Analizi

Buraya kadar tek bir bağımsız değişkenden oluşan problemlerin analizi verilmiştir. Ancak incelenen problemde bağımsız değişken sayısı birden fazla olabilir. Bu durumda çok değişkenli regresyon analizi yapılmalıdır. Verilen data x_1, x_2, \dots, x_m gibi m adet değişkene bağlı ise, bu veriyi temsil etmek üzere:

$$y_r = a_0 + a_1 \cdot x + \dots + a_m \cdot x_m\quad (5.16)$$

şeklinde lineer bir fonksiyon kurulur. En küçük kareler yöntemine göre hataların kareleri toplamı:

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 \cdot x_{1i} - a_2 \cdot x_{2i})^2 \quad (5.17)$$

şeklinde ifade edilir ve bu toplamın minimum olması için denklemin her değişkene göre türevinin sıfır olması gerekir.

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = 0 \Rightarrow n \cdot a_0 + \sum x_{1i} \cdot a_1 + \sum x_{2i} \cdot a_2 = \sum y_i \quad (5.18)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = 0 \Rightarrow \sum x_{1i} \cdot a_0 + \sum x_{1i}^2 \cdot a_1 + \sum x_{1i} \cdot x_{2i} \cdot a_2 = \sum x_{1i} \cdot y_i \quad (5.19)$$

⋮

Toplam m adet değişkenden m+1 adet denklem elde edilir bu denklemler matris formunda aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_{1i} & \sum x_{2i} & \dots & \sum x_{mi} \\ \sum x_{1i} & \sum x_{1i}^2 & \sum x_{1i} \cdot x_{2i} & \dots & \sum x_{1i} \cdot x_{mi} \\ \sum x_{2i} & \sum x_{2i} \cdot x_{1i} & \sum x_{2i}^2 & \dots & \sum x_{2i} \cdot x_{mi} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum x_{mi} & \sum x_{mi} \cdot x_{1i} & \sum x_{mi} \cdot x_{2i} & \dots & \sum x_{mi}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_{1i} \cdot y_i \\ \sum x_{2i} \cdot y_i \\ \vdots \\ \sum x_{mi} \cdot y_i \end{bmatrix} \quad (5.20)$$

Bu matrisin uygun yöntemler ile çözülmesiyle aranan katsayılar a_0, a_1, \dots, a_m kolaylıkla bulunur.

5.4 Regresyonun Uyum Değerlendirmesi

En küçük kareler tekniği uygulanarak uydurulan regresyonun istatistiksel olarak önemli olup olmadığını test etmek amacıyla varyans analizi tekniği, modeldeki katsayıların ayrı ayrı önem kontrolleri için ise t-testi kullanılır.

Ancak bu yöntemler tek başlarına uydurulan modelin değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koyan en iyi model olduğunu veya verileri gerçekten temsil eden bir model olduğunu göstermezler. Çünkü model, en iyi model olmasa bile regresyon ve katsayılar önemli olabilirler.

5.4.1 Belirtme katsayısı (R^2)

Belirtme katsayısı, kullanılan X değişkenlerinin Y'deki toplam varyasyonu açıklayabilme oranını verir ve $0 < R^2 < 1$ ' dir (Newton ve ark. 1996). Bu katsayı:

$$R^2 = \text{Reg.K.T.} / \text{G.K.T.} = 1 - (\text{H.K.T.} / \text{G.K.T.}) \quad (5.21)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada; Reg.K.T. : varyans analiz çizelgesindeki regresyon kareler toplamını, H.K.T. : hata kareler toplamını, G.K.T. : genel kareler toplamını göstermektedir. R^2 değerinin büyük çıkması her zaman modelin iyi olduğu sonucunu göstermez. Çünkü, modele konu ile ilgili veya ilgisiz bir değişkenin eklenmesi R^2 'nin değerini artıracaktır. Dolayısıyla da büyük R^2 'si olan modeller her zaman tahmin yapmada en iyi model olmayabilir (Montgomery ve Peck, 2011). Ancak modele giren değişkenler yönünden bir problem yoksa pratikte iyi bir ölçüdür. R^2 'nin karekökü Y ile X değişkenleri arasındaki çoklu korelasyon katsayısını verir.

5.4.2 Düzeltilmiş belirtme katsayısı (R_d^2)

Bu katsayı, belirtme katsayısının (R^2) serbestlik derecesine göre düzeltilmiş şekli olup:

$$R_d^2 = 1 - \{[(\text{H.K.T.}/(n-p))]/[\text{G.K.T.}/(n-1)]\} = 1 - [(n-1)/(n-p)](1-R^2) \quad (5.22)$$

formülü ile hesaplanır. Burada G.K.T. : varyans analiz çizelgesindeki genel kareler toplamını, H.K.T. ise hata kareler toplamını göstermektedir.

Yukarıdaki bilgilere ek olarak pratikte, modele giren bağımsız değişkenler ve gözlem sayısının (n) yeterliliği konusunda ön bilgiler verebilir (Levine ve ark.,1997).

Eğer R^2 ile R_d^2 değerleri çok farklı değilse basit olarak kullanılan gözlem sayısının yeterli olduğu, aksi durumda ise anlamlı katkıları olmayan değişkenlerin modele dahil edildiği anlamını taşır. Modelin yeterliliği konusunda bilgi vermez.

5.4.3 Kalıntuların (Residual) incelenmesi

Teorik modeli temsil eden regresyon modeli ile açıklanamayan değişkenliğin bir ölçüsü olan kalıntular, modelin uygunluğu hakkında daha açıklayıcı bilgiler verirler. Basit olarak kalıntı; “gözlenen değer ile uydurulan değer arasındaki fark” olarak tanımlanabilir (Ascombe ve Tukey,1963).

$$y = x \cdot b + c \quad (5.23)$$

şeklindeki bir modelde kalıntı;

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (5.24)$$

eşitliği ile hesaplanır .

Burada;

e_i -i'nci kalıntı değerini,

y_i -i'nci gözlenen değeri,

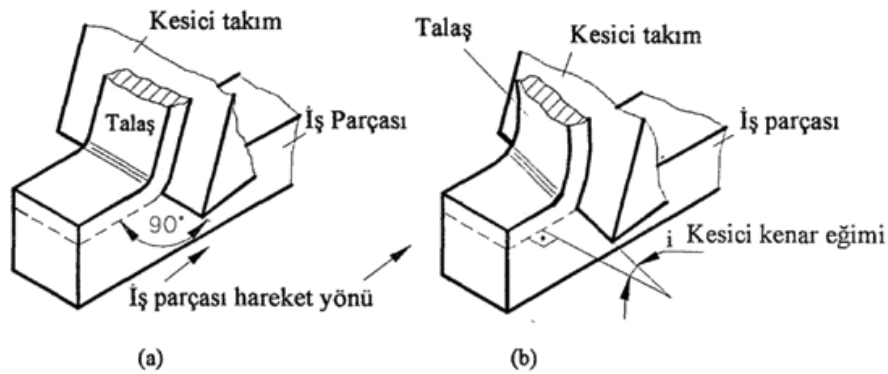
\hat{y}_i -i'nci tahmin değerini göstermektedir (Cox ve Snell, 1968; Cook ve Weisberg, 1982; Newton vd., 1996).

BÖLÜM VI

KESME KUVVETİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI VE MATEMATİKSEL MODELLEMESİ

Kesici takımın kesme kenarı iş parçası-takım hareket yönüne veya hız vektörüne dik olacak şekilde konumlandırılmışsa bu tür talaş kaldırma dik kesme olarak adlandırılır, Şekil 5.1.a. Şekil değişimindeki düzensizliği önlemek için malzemenin tamamen homojen olduğu kabul edilen ve ideal kesme işlemini temsil eden dik kesme iki boyutlu olup aşağıdaki kabullenmeler üzerine kurulmuştur (Shaw, M. C., 1991).

- Takım son derece keskindir ve serbest yüzeyi boyunca parça ile temas yoktur
- Kayma yüzeyi düzlemsel olup kesici kenardan yukarıya doğru uzanır
- Kesici kenar doğru bir çizgi şeklinde olup hareket yönüne dik olarak uzanır ve iş parçasından uzaklaşarak onu geçmesiyle düzlemsel bir yüzey oluşturur
- Talaş yanlara doğru akmaz
- Kesme derinliği sabittir
- Takımın genişliği iş parçasınıninkinden daha büyüktür
- İş parçası kesici takıma göre düzgün bir hızda hareket eder
- Kesici ağızda talaş birikintisi (talaş sıvanması) olmaksızın kesintisiz talaş üretilir
- Kayma düzlemi ve takım boyunca, kayma ve normal gerilmeler uniformdur (Malzeme mukavemeti yaklaşımı)



Şekil 6.1. Dik (a) ve Eğik (b) Kesmenin Mukayesesi.

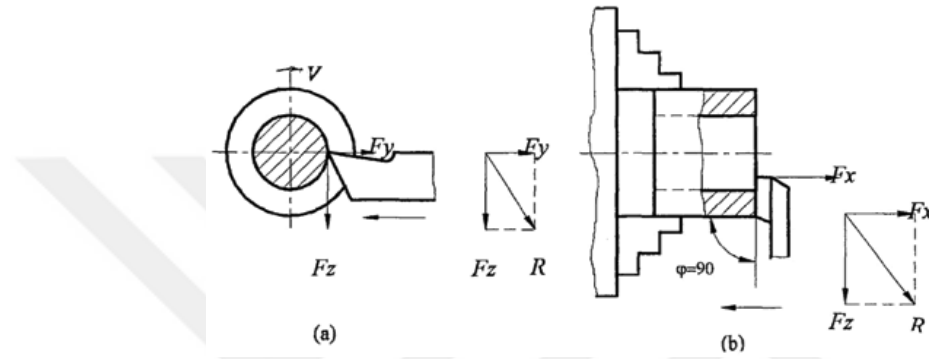
Usi ve diğerleri minimum enerji prensibi kullanarak dik kesmenin deneysel sonuçlarının deneysel olmayan başka bir dik kesme durumunun analizinde kullanılabileceğini vurguladılar. Dik kesmeye örnek olarak tornada kesme Şekil 6.2(a), tornada boru tornalama Şekil 6.2(b), vargelde kama kanalı açma, testere ile kesme, yüzey broşlama vb. işlemler gösterilebilir.

F_x - Eksenel (İlerleme) Kuvvet

F_y - Radyal Kuvvet

F_z - Kesme (Teğetsel) Kuvveti

R - Bileşke Kuvvet



Şekil 6.2 Dik kesme örnekleri a. kesici ağız parça eksenine paralel keski kalemle tornada kesme, b. yaklaşma açısı $\varphi=90^\circ$ ve kesici kenar eğim açısı $\lambda=0$ olan bir kalemle alın tornalama.

6.1 Dik Kesmede Takıma Etkiyen Kuvvetler

Kesme hareketinin oluşması için takım tarafından iş parçasına uygulanan bileşke kuvvet (R), genellikle deneysel çalışma ile ölçülen ve biri kesme yönünde (kesme kuvveti olarak bilinen F_z) diğeri ise kesme yüküne dik durumdaki (radyal veya itme kuvveti olarak bilinen F_y) iki ortogonal bileşenden hesaplanır Şekil 6.3.

Kesme işleminde elastik ve plastik deformasyon işlemlerinin her ikisi de oluştuğu için talaş katmanının kaldırılması için Şekil 6.3'da görüldüğü gibi F_{el} elastik ve F_{p1} plastik deformasyon kuvvetleri takım talaş yüzeyine dik olarak etkir. İşlenen yüzey tarafından ise F'_{el} ve F'_{p1} kuvvetleri de takım esas (serbest) yüzüne dik olarak etkir.

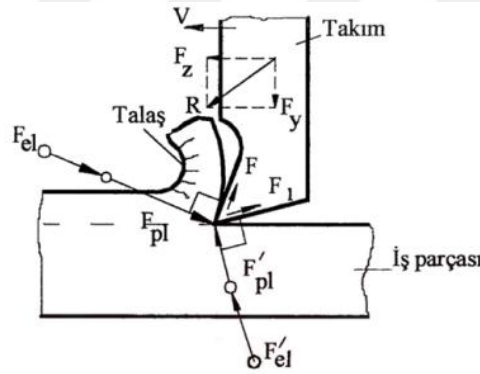
Talaşın ve işlenen yüzeyin dik baskı kuvvetleriyle takım-talaş ve takım-iş parçasının izafi hareketi sonucu olarak talaş yüzeyi ve serbest yüzey boyunca etkiyen F ve F_1 , sürtünme kuvvetleri oluşur.

Sürtünme kuvvetleri:

$$F = \mu \cdot (F_{pl} + F_{el}) \quad (6.1)$$

$$F_1 = \mu \cdot (F'_{pl} + F'_{el}) \quad (6.2)$$

Burada μ ve μ_1 sırasıyla talaş yüzeyi ve esas yüzey sürtünme katsayılarıdır. F'_{pl} , F'_{el} , F_{pl} , F_{el} , F ve F_1 direnç kuvvetlerinin yatay düzlem üzerindeki izdüşümlerinin toplamı F_z kuvveti tarafından karşılanır. Aynı kuvvetlerin düşey düzlem üzerindeki izdüşümlerinin toplamı takimi düşey doğrultuda iş parçasından uzaklaştırmak ister. Bunu önlemek için takım katere (takim tutucuya) tespit edilir ve kesme işlemi esnasında reaksiyon kuvveti olarak F_y , oluşur (Altınas Y, 2012).



Şekil 6.3. Basit dik kesme (örneğin; kesici kenar hız vektörüne dik kalemle vargelleme) işleminde takıma etkiyen kuvvet sistemi.

Bileşke takım kuvvetinin (R), yatay (F_z) ve düşey (F_y) bileşenini hesaplamak geçmişteki çalışmaların temelini teşkil etmiştir. Bunun en iyi şekilde belirlenmesi, verilen bir iş parçası malzemesi için değişik kesme koşullarında toplam özgül kesme enerjisinin (u) hemen hemen sabit kaldığı durumlarda mevcuttur. İki boyutlu kesme işleminde birim zamanda harcanan toplam enerjiye bağlı olarak esas kesme kuvveti (F_z) şu şekilde tahmin edilebilir.

$$F_z = \frac{U}{V} = \frac{u \cdot V \cdot b \cdot t}{V} = u \cdot b \cdot t \quad (6.3)$$

Bileşke takım kuvvetinin (R) düşey bileşenini (F_y) hesaplamak kolay değildir. Ancak , yatay bileşenin (F_z) yarısı olarak tahmin edilir.

$$F_y = \frac{F_z}{2} \quad (6.4)$$

Bileşke kuvvet:

$$R = \sqrt{F_z^2 + F_y^2} \quad (6.5)$$

Burada:

- u - özgül kesme enerjisi,
- U- birim zamanda harcanan toplam kesilme enerjisi,
- b - talaş genişliği,
- t - talaş kalınlığı,
- V - kesme hızı.

6.2 Eğik Kesmede Takıma Etkiyen Kuvvetler

Genellikle pek çok talaş kaldırma işlemi eğik kesme şeklindedir. Örneğin Şekil 6.4'de görülen klasik tornalama işlemi bir eğik kesme olup buradaki kuvvet sistemi, aslında Şekil 6.5'de kesici takım ağızındaki l, h, m ve n eksen takımının üç boyutlu x,y,z referans sistemine dönüştürülüş bir şeklidir. Eğik kesme işlemi ile ilgili olarak şekil 6.4 den muhtelif kuvvet ve açı bağıntıları türetilir. Analiz için F_x, F_y ve F_z kesme kuvvet bileşenlerinin ölçüldüğü x-x, y-y ve z-z temel eksenlere ilave olarak kesici kenarı içine alan ve yerini tanımlayan h-h, l-l, m-m ve n-n yardımcı eksenleri ile φ ve λ açıları nazarı dikkate alınır. Şekil 6.4 den ve geometrik yoldan aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.

$$F_x = F_{mx} - F_{hx} = F_m \cdot \sin \varphi - F_h \cos \varphi \quad (6.6)$$

$$F_y = F_{my} + F_{hy} = F_m \cdot \cos \varphi + F_h \sin \varphi \quad (6.7)$$

$$F_z = F_{nz} + F_{lz} = F_n \cdot \cos \lambda + F_l \sin \lambda \quad (6.8)$$

$$F_h = F_{lh} - F_{nh} = F_l \cdot \cos \lambda - F_n \sin \lambda \quad (6.9)$$

$\lambda=0$ ve $\varphi=90^0$ olduğu zaman $F_x=F_m$, $F_y=F_h=F_l=0$, $F_z=F_n$ olur.

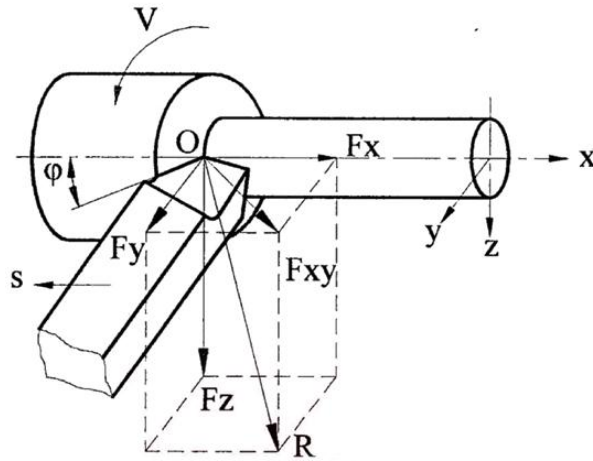
Bu durum dik kesmedir. Ancak çoğu kesme durumlarında $\lambda \neq 0$ olduğundan işlem eğik kesme olarak adlandırılır. Oysa iki boyutlu olan dik tornalama için ayar açısı $\varphi=90$ ve eğim açısının $\lambda=0$ derece olduğu bilinmektedir. Eksenlerin bu şekilde (x,y,z) seçilmesinin sebebi, kuvvetler üç boyutlu kuvvet dinamometreleriyle, kolayca belirlenebildiği içindir.

F_x - Takım ilerleme hareketine ters yönde (parça eksenine paralel olarak) etkiyen aksel veya ilerleme kuvveti.

F_y - İşlenen yüzeye veya parça eksenine dik olarak etkiyen radyal veya itme kuvveti.

F_z - Kesme hızı vektörü doğrultusunda etki eden teğetsel veya esas kesme kuvveti.

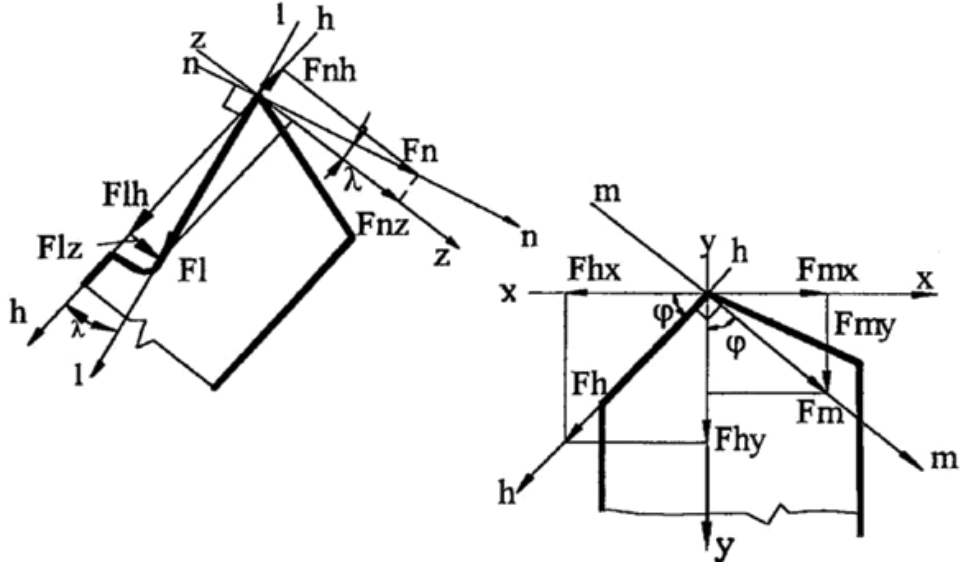
Bunlardan F_y kuvveti takımı geri iterken, F_x ve F_z kuvvetleri eğme ve burmaya zorlamaktadırlar.



Şekil 6.4. Klasik tornalama işleminde bileşke kuvvet ve bileşenleri.

Üç boyutlu olan bu kuvvet sisteminde bileşke kuvvet (dikdörtgen prizmanın köşegeni durumunda olduğundan) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (6.10)$$

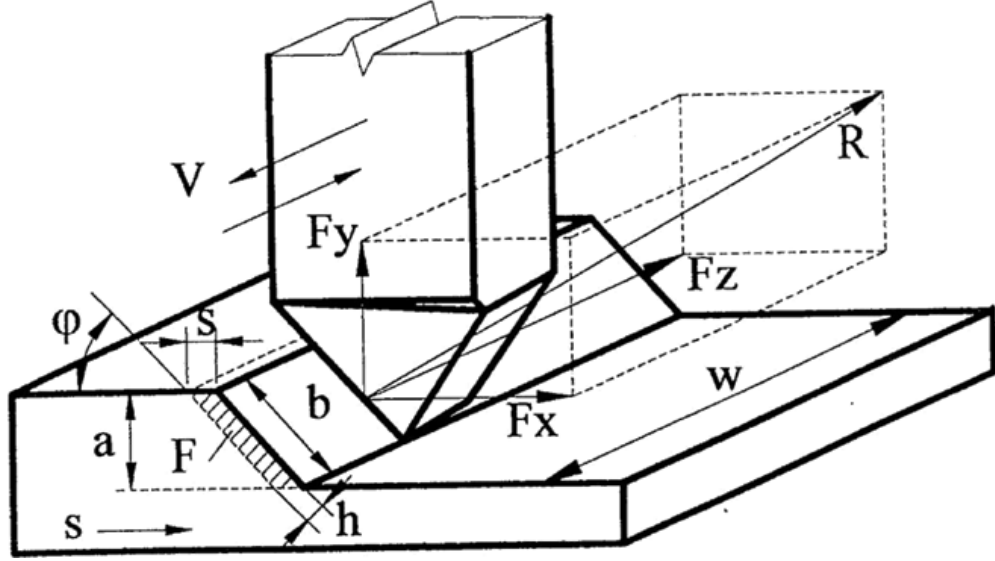


Şekil 6.5. Eğik kesme işleminde kesme kuvvetlerinin analizi.

F_x , F_y ve F_z kuvvetleri arasındaki ilişkiler kesme değişkenlerine, takım uç geometrisine, iş parçası malzemesine, takım aşınmasına $v \cdot b$ bağlıdır. Yaklaşık 50m/dak kesme hızından başlayarak hızı arttırmaya başladığımızda F_y/F_z ve F_x/F_z oranları azalır. Negatif talaş açısında ve ağız aşınmasının olması durumunda F_y ve F_z değerleri artar. Sertleştirilmiş çelik malzemelerin ($\sigma \geq 1500 \text{ N/mm}^2$) negatif (-5° ile -15°) talaş açılı kalemle işlenmesinde F_y kuvveti F_z 'den %30÷%130) büyük olur.

Kesme derinliğinin ve yaklaşma açısının (ϕ) artması durumunda ise F_x/F_z artar ve F_y/F_z azalır. Birçok araştırma ve deneylerden elde edilen sonuçlara göre bu üç kuvvetten F_z teğetsel kuvvetinin en büyük değerde olduğu ve bunu takiben F_x aksenal ilerleme kuvveti ve F_y radyal itme kuvvetinin geldiği görülmüştür. Sağ el kaidesi olarak $F_x=1/2 \cdot F_z$ ve $F_y=1/2 \cdot F_z$ olduğu kabul edilir.

Vargelleme ve planyalama işlemlerinin pek çoğu eğik kesme şeklinde olduğundan buradaki kuvvet sistemleri Şekil 6.3'de görüldüğü gibi ve yukarıda izah edilen tornalama sisteminin benzeridir. Ancak frezeleme ve matkapla delme işlemlerinde kesici kenar sayısının fazlalığı ve ağız geometrisinin farklı olmasından dolayı özel analiz gerekir.



Şekil 6.6. Planyalama ve vargellemedeki kesme kuvvetleri.

6.3 Deneyin Tasarımı

Bizim çalışmamızda deneysel tasarım olarak 9 DOF ile Taguchi standart ortogonal dizi L9 kullanılmıştır. Taguchi'nin ortogonal dizileri, sonuçları daha az zaman ve maliyetle yürütmek için en uygun tekniklerdir. (Kaya B., vd (2011); Rao C. J, vd (2013); Deep D. Vadalia., (2015).

Tam faktöriyel tasarıma kıyasla bu deney tasarımıyla uyumlu sonuçlar elde edilebilir. Deneyler, Çizelge 6.1'de gösterildiği gibi her bir giriş parametresi için 3 seviye kullanılarak planlanmıştır. Taguchi yöntemine göre deneyler gerçekleştirilmiştir:

- Dikkate alınan giriş değerleri: hızı, ilerleme ve kesme derinliği
- Aynı anda ölçülen değerler: sıcaklık, titreşim ve kesme kuvvetleri
- Matematiksel modelleme ve analiz Minitab 17'de gerçekleştirilmiştir
- Yüzey pürüzlülüğü için grafik yorumlama 5 giriş faktörü (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, sıcaklık ve titreşim genliği) için yapılmıştır
- Analiz ANOVA yöntemi ve regresyon modeli ile yapılmıştır
- Kesme kuvvetini etkileyen parametrelerin optimizasyonu

Çizelge 6.1. Kesme hızı, beslemesi ve derinliği için girilen değerler

Kesme parametreleri	Düşük seviye	Orta seviye	Yüksek seviye
Kesme hızı [m/dak]	50	65	80
İlerleme hızı [mm/diş]	0,04	0,06	0,08
Kesme derinliği [mm]	0,4	0,7	1,0

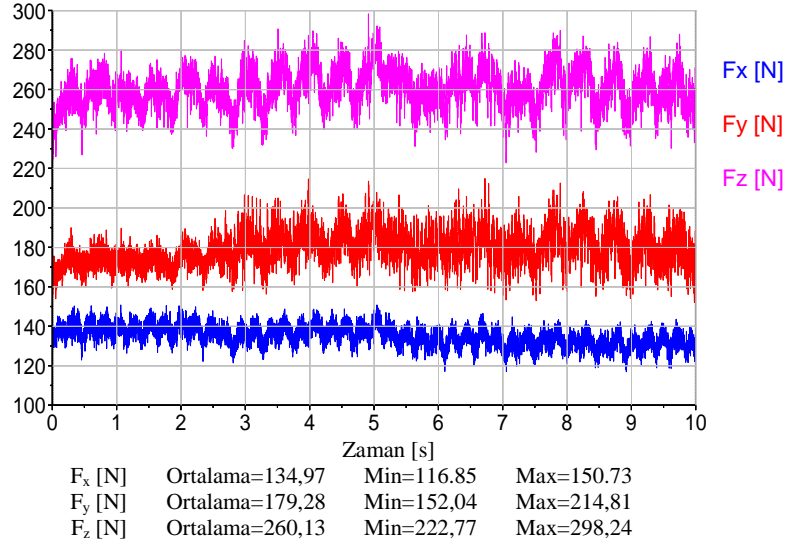
Çizelge 6.2. L₉ ortogonal dizisi.

Deney	İşlem parametreleri		
	Kesme hızı V [m/dak]	İlerleme f [mm/diş]	Kesme derinliği d [mm]
1	50	0,04	0,4
2	50	0,06	0,7
3	50	0,08	1,0
4	65	0,04	0,7
5	65	0,06	1,0
6	65	0,08	0,4
7	80	0,04	1,0
8	80	0,06	0,4
9	80	0,08	1,0

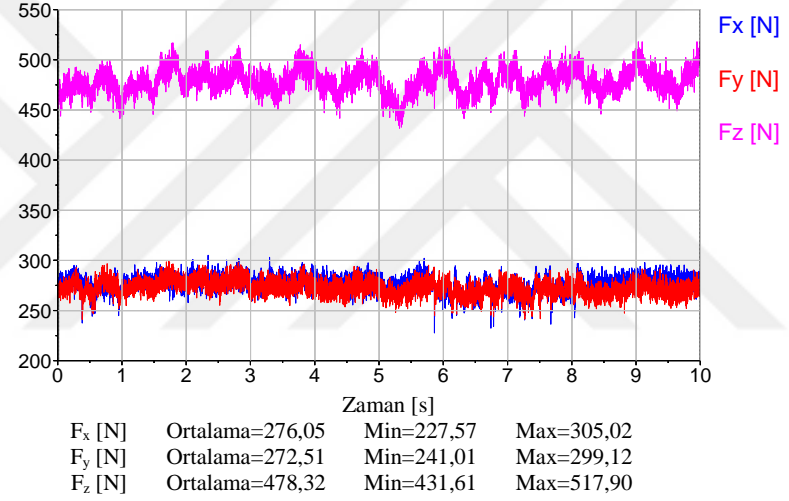
Deneyssel parametreler ve karşılık gelen tepkiler, aşağıdaki Çizelge 6.3'te ve deneyler için 1'den 9'a kadar olan rakamlar halinde sunulmuştur.

Çizelge 6.3. L₉ ortogonal diziyi kullanarak elde edilen deney sonuçları.

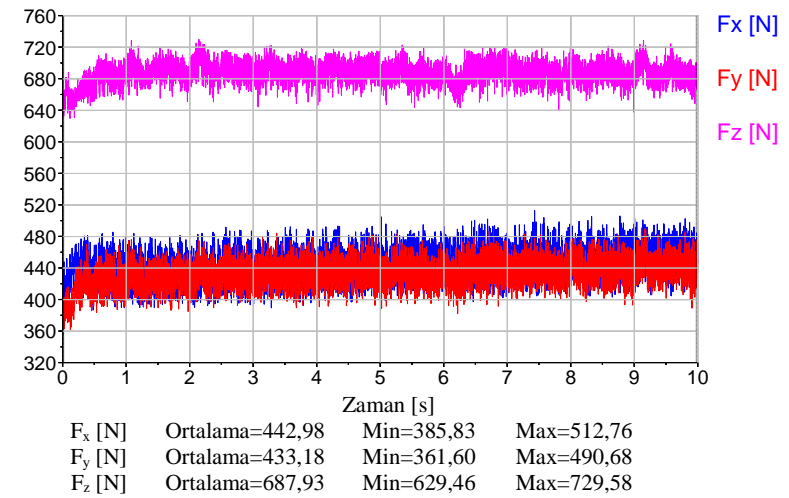
Deney	Proses parametreleri ve değerleri				Deneyssel sonuçlar			
	Kesme hızı	İlerleme	Kesme derinliği	t (°C)	Titreşim Genliği	F _{x1}	F _{y1}	F _{z1}
1	50	0,04	0,4	329,05	0,4930	134,98	179,28	260,14
2	50	0,06	0,7	361,21	0,3999	276,04	272,05	478,31
3	50	0,08	1,0	374,29	0,1083	442,98	433,18	687,93
4	65	0,04	0,7	333,22	0,3108	262,06	230,25	383,37
5	65	0,06	1,0	286,44	0,4281	282,97	206,21	622,56
6	65	0,08	0,4	299,44	0,4617	174,01	236,2	419,92
7	80	0,04	1,0	443,66	0,4322	262,1	164,92	460,55
8	80	0,06	0,4	333,75	0,5217	145,71	251,37	342,28
9	80	0,08	1,0	372,71	0,6544	371,15	348,75	642,74



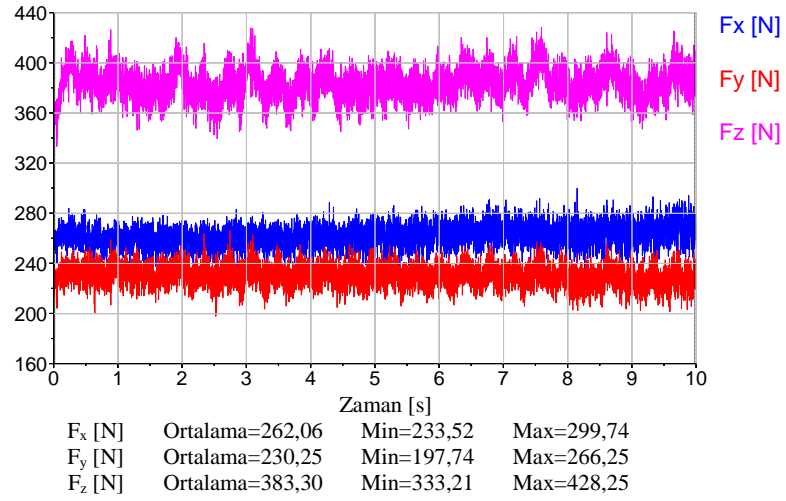
Şekil 6.7. Kesme kuvveti deneyi 1.



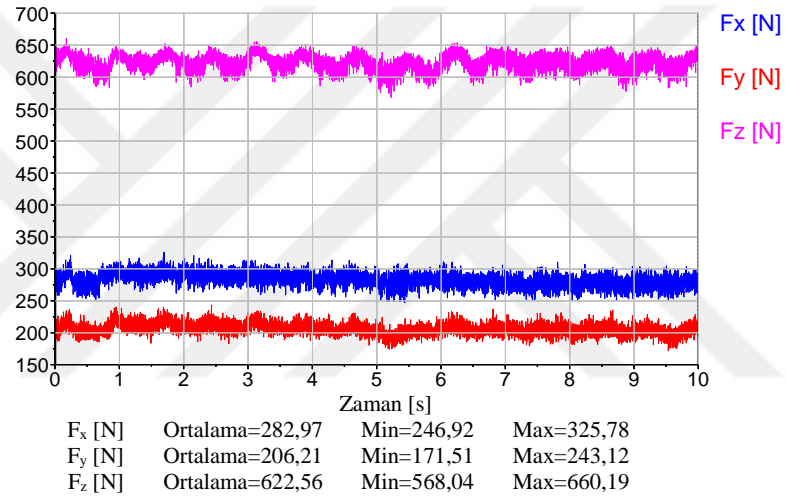
Şekil 6.8. Kesme kuvveti deneyi 2.



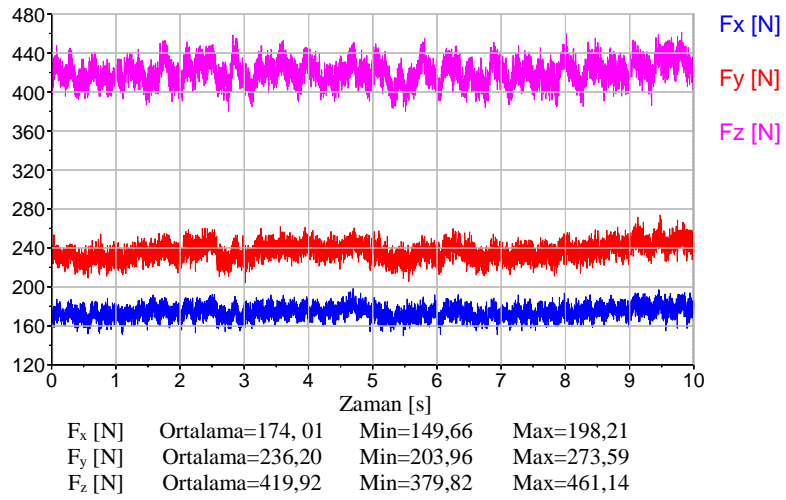
Şekil 6.9. Kesme kuvveti deneyi 3.



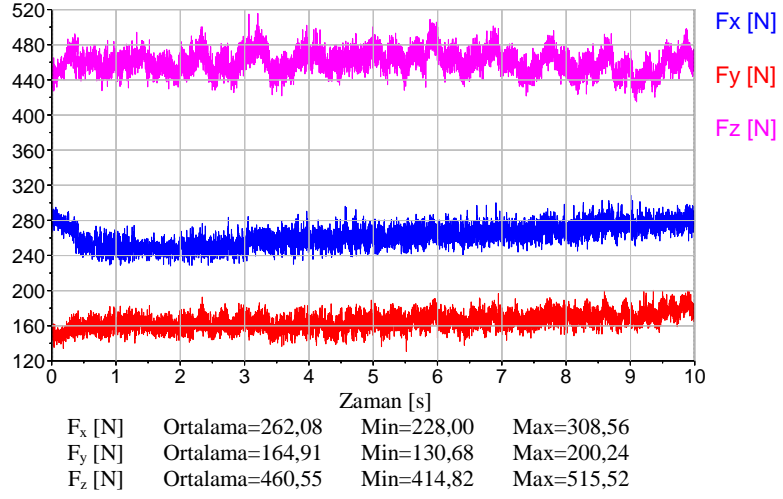
Şekil 6.10. Kesme kuvveti deneyi 4.



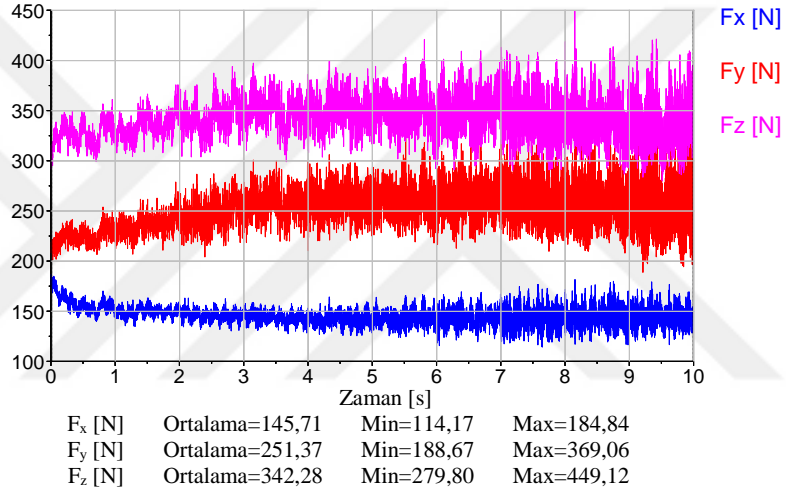
Şekil 6.11. Kesme kuvveti deneyi 5.



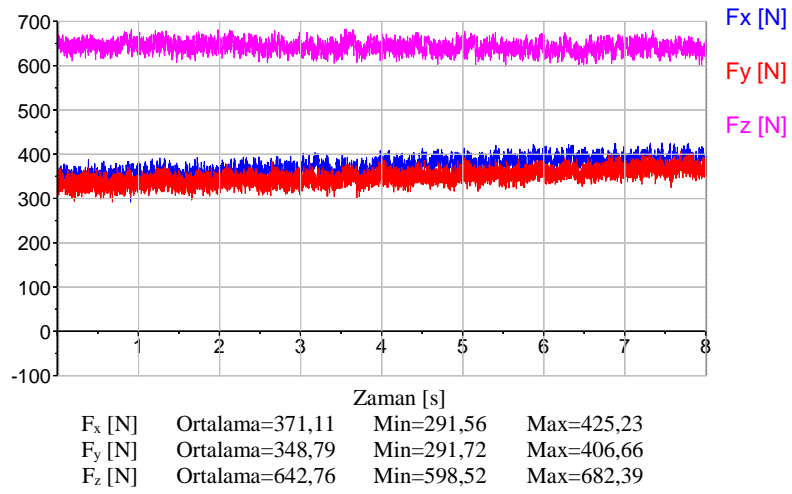
Şekil 6.12. Kesme kuvveti deneyi 6.



Şekil 6.13. Kesme kuvveti deneyi 7.



Şekil 6.14. Kesme kuvveti deneyi 8.



Şekil 6.15. Kesme kuvveti deneyi 9.

6.3.1 Çıkış tepkileri için S/N oranının ana etki grafikleri

S/N oranı, bir çalışma sırasında gözlemin değişimini ölçen sinyal-gürültü oranıdır. Genel olarak, belirli bir çalışma koşullarında en iyi çıktı sonuçlarını elde etmek için giriş parametrelerinin optimal koşullarını seçmek için hesaplanmaktadır (Rao C. J., vd (2013); Deep D. Vadalia., vd (2015); M. Nalbant., vd (2008)).

Gürültünün etkisini azaltmak için S/N oranı değeri her zaman maksimum olmalıdır. Yanıtların türüne bağlı olarak S/N oranını hesaplamak için üç farklı formül kullanılmaktadır. Bu çalışmada her çıkış tepkisi için aşağıdaki gibi hesaplanabilen “smaller-is-better” metodolojisi kullanılmıştır:

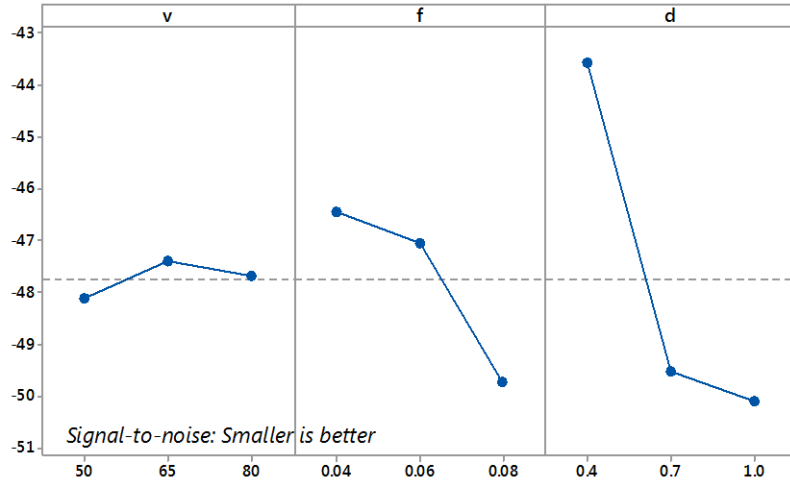
$$S / N_s = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (6.11)$$

6.3.2 Kesme kuvvetleri F_{x1} için temel etken gösterimi

Şekil 6.16'da, kesme hızı ve kesme derinliğinin kesme hızına kıyasla kesme kuvveti üzerinde daha etkili parametreler olduğu açıktır. Kesme kuvveti için en uygun koşul kesme hızı $V=65\text{m/dak}$, ilerleme hızı $f=0.04\text{mm/diş}$ ve kesme derinliği $d=0.4\text{mm}$ 'dir. Cevap çizelgesi Çizelge 6.4'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.4. F_{x1} 'nin S/N oranları için varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Kareler Ortalaması	F Oranı	P Değeri
V	2	0,7762	0,3881	0,70	0,589
f	2	18,1183	9,0591	16,31	0,058
d	2	78,7915	39,3957	70,93	0,014
Hata	2	1,1108	0,5554		
Toplam	8	98,7968			



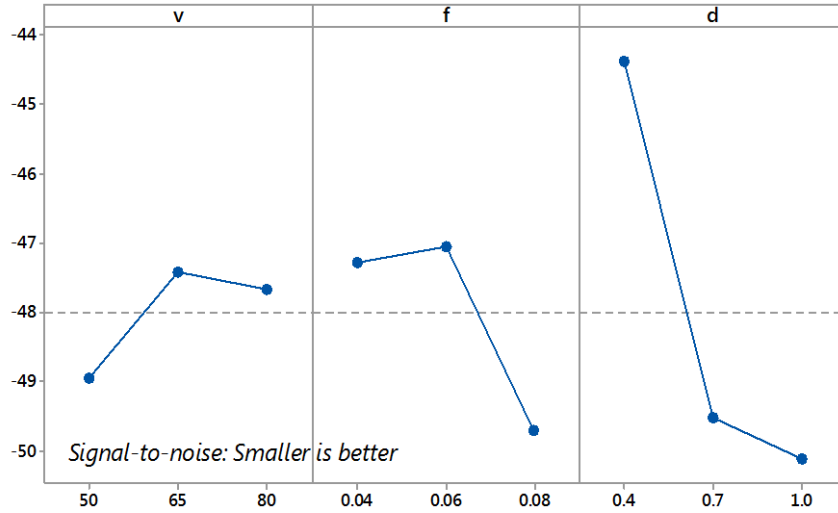
Şekil 6.16. S/N oranı ve F_{x1} için temel etkenler.

6.3.3 Kesme kuvvetleri F_{y1} için temel etken gösterimi

Şekil 6.17'den, besleme hızı ve kesme derinliğinin, kesme hızına kıyasla kesme gücü için daha etkili parametreler olduğu açıktır. Kesme kuvveti için en uygun koşul kesme hızı $V=65$ m/dak, ilerleme hızı $f=0.06$ mm/diş ve kesme derinliği $d=0.4$ mm'dir. Yanıt çizelgesi Çizelge 6.5'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.5. F_{y1} 'nin S/N oranları için varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Kareler Ortalaması	F Oranı	P Değeri
V	2	4,023	2,011	1,84	0,352
f	2	13,131	6,566	6,01	0,143
d	2	59,578	29,789	27,26	0,035
Hata	2	2,186	1,093		
Toplam	8	78,917			



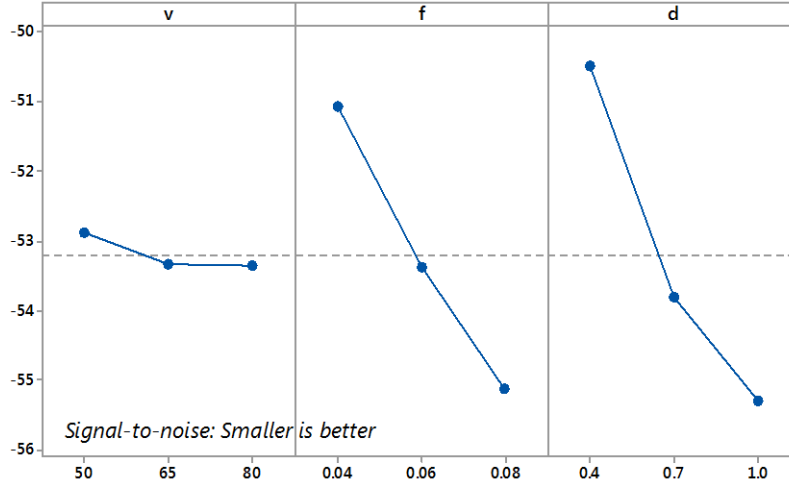
Şekil 6.17. S/N oranı ve F_{y1} için temel etken gösterimi.

6.3.4 Kesme kuvvetleri F_{z1} için temel etken gösterimi

Şekil 6.18'den, kesme hızı ve kesme derinliğinin, kesme hızına kıyasla kesme kuvveti için daha etkili parametreleri olduğu açıktır. Kesme kuvveti için en uygun koşul kesme hızı $V=50\text{m/dak}$, ilerleme hızı $f=0.04\text{mm/diş}$ ve kesme derinliği $d=0.4\text{mm}$ 'dir. Cevap çizelgesi Çizelge 6.6'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.6. F_{z1} 'nin S/N oranları için varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Kareler Ortalaması	F Oranı	P Değeri
V	2	0,4500	0,2250	1,54	0,394
f	2	24,6964	12,3482	84,40	0,012
d	2	36,4522	18,2261	124,5	0,008
Hata	2	0,2926	0,1463		
Toplam	8	61,8912			



Şekil 6.18. S/N oranı e F_{z1} için temel etken gösterimi

6.4 Kesme Kuvveti İçin Varyans Analizi (ANOVA)

ANOVA çizelgesi genellikle çıktı yanıtlarını en çok etkileyen önemli girdi parametrelerini bulmak için hazırlanmaktadır. Her bir çıktı cevabı için anlamlı bir $\alpha=0.05$ ve güven seviyesi %95 olan varyans çizelgesi analizi hazırlanmıştır. P-değerinin 0,05'ten az olduğu ANOVA çizelgesinde bulunan kaynaklar, ilgili çıkış cevabı için önemli bir parametre olarak ele alınmıştır. Kesme gücü için ANOVA ile analiz Çizelge 6.7 ila 6.12'de sunulmuştur.

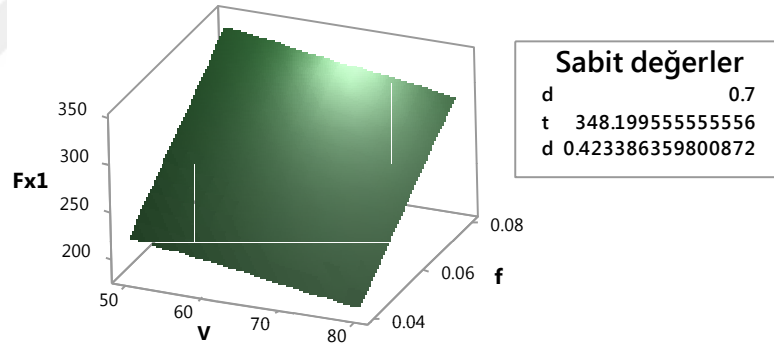
Çizelge 6.7. F_{x1} 'in kesme kuvveti ANOVA analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Kareler Ortalaması	F Oranı	P Değeri
Regresyon	5	69713,6	13942,7	3,22	0,182
V	1	1022,1	1022,1	0,24	0,660
f	1	20527,1	20527,1	4,74	0,118
d	1	19111,9	19111,9	4,42	0,126
t	1	3254,9	3254,9	0,75	0,450
a	1	21,7	21,7	0,01	0,948
Hata	3	12986,5	4328,8		
Toplam	8	82700,0			

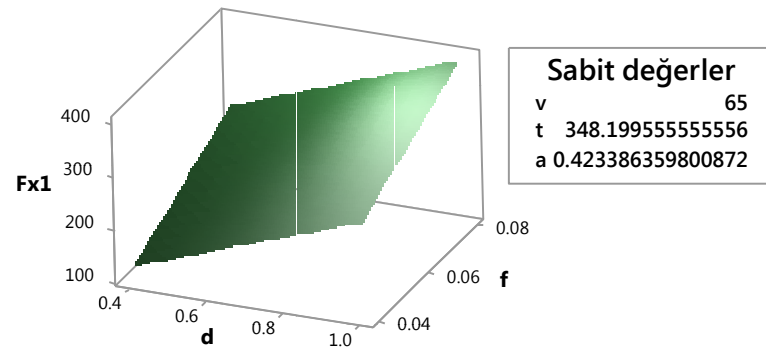
Çizelge 6.8. F_{x1} 'in Katsayılar ve regresyon İstatistikleri

Kaynak	DF	SS	MS	F	Anlamlılık	
Regresyon	5	69713,56	13942,71	3,220	0,182	
Kalan	3	12986,47	4328,82			
Toplam	8	82700,04				
		Katsayılar	Standart Hata	P değeri	Regresyon İstatistikleri	
Kesişim		-187,274	226,316	0,469	Çoklu R	0,91
Kesme hızı		-1,209	2,488	0,660	R^2	0,84
İlerleme		2994,792	1375,271	0,118	Adj R^2	0,58
Kesme derinliği		250,989	119,450	0,126	Standart Hata	65,79
Sıcaklık		0,514	0,593	0,450	Gözlemler	9,00
Titreşim genliği		-16,785	236,838	0,948		

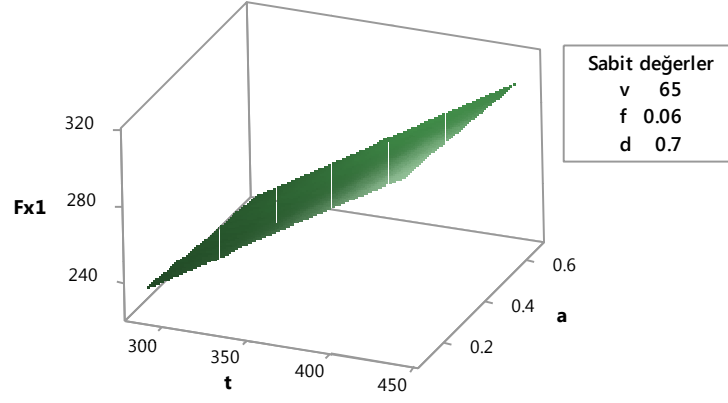
Çizelge 6.7 ve 6.8'den elde edilenlerle, Şekil 6.19, 6.20 ve 6.21'de kesme hızı, İlerleme, kesme derinliği, sıcaklık ve titreşim genlik etkileri gösterilmektedir.



Şekil 6.19. Kesme ve ilerleme hızının F_{x1} üzerindeki etkisi.



Şekil 6.20. Kesme derinliği ve ilerlemenin F_{x1} üzerindeki etkisi.



Şekil 6.21. Sıcaklık ve titreşimin F_{x1} üzerindeki etkisi.

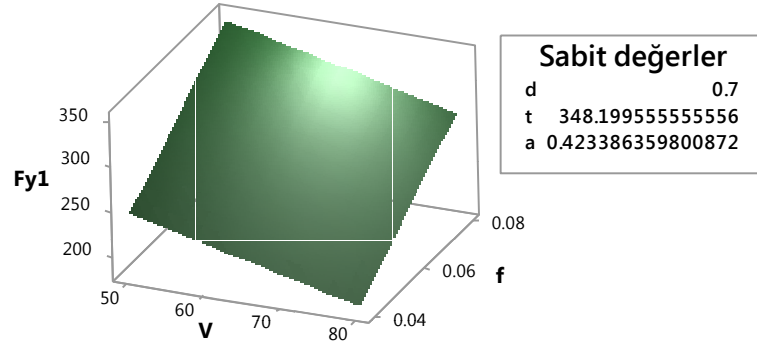
Çizelge 6.9. F_{y1} 'in kesme kuvveti ANOVA analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
Regresyon	5	59547,6	11909,5	2,61	0,230
V	1	2998,5	2998,5	0,66	0,477
f	1	16073,4	16073,4	3,52	0,157
d	1	17057,9	17057,9	3,73	0,149
t	1	3777,6	3777,6	0,83	0,430
a	1	81,1	81,1	0,02	0,902
Hata	3	13702,0	4567,3		
Toplam	8	73249,6			

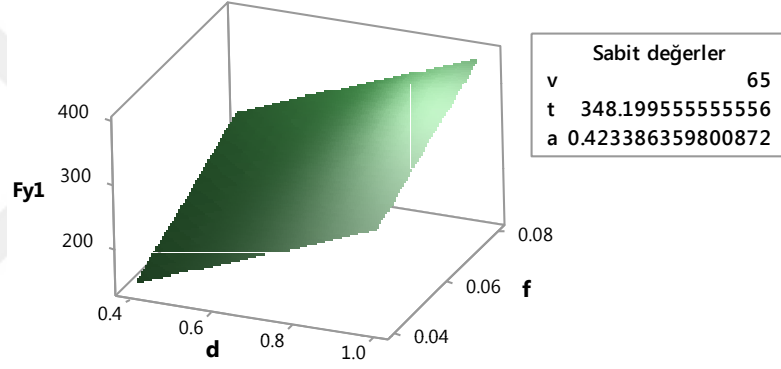
Çizelge 6.10. F_{y1} 'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri

Kaynak	DF	SS	MS	F	Anlamlılık	
Regresyon	5	59547,59	11909,52	2,607547	0,230031	
Kalan	3	13701,98	4567,327			
Toplam	8	73249,57				
		Katsayılar	Standart Hata	P değeri	Regresyon İstatistikleri	
Kesişim		-130,60	232,47	0,61	Çoklu R	0,90
Kesme hızı		-2,07	2,56	0,48	R^2	0,81
İlerleme		2650,07	1412,65	0,16	Adj R^2	0,50
Kesme derinliği		237,12	122,70	0,15	Standart Hata	67,58
Sıcaklık		0,55	0,61	0,43	Gözlemler	9
Titreşim genliği		32,41	243,27	0,90		

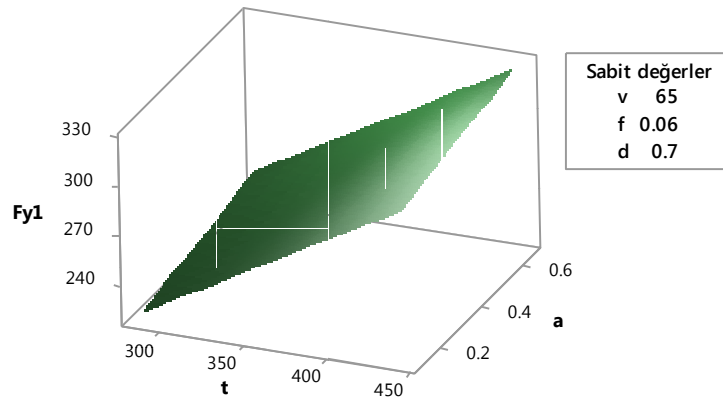
Çizelge 6.9 ve 6.10'dan elde edilenlerle, Şekil 6.22, 6.23 ve 6.24'te kesme hızı, İlerleme, kesme derinliği, sıcaklık ve titreşim genlik etkileri gösterilmektedir.



Şekil 6.22. Kesme ve ilerleme hızının F_{y1} üzerindeki etkisi.



Şekil 6.23. Kesme derinliği ve ilerlemenin F_{y1} üzerindeki etkisi.



Şekil 6.24. Sıcaklık ve titreşimin F_{y1} üzerindeki etkisi.

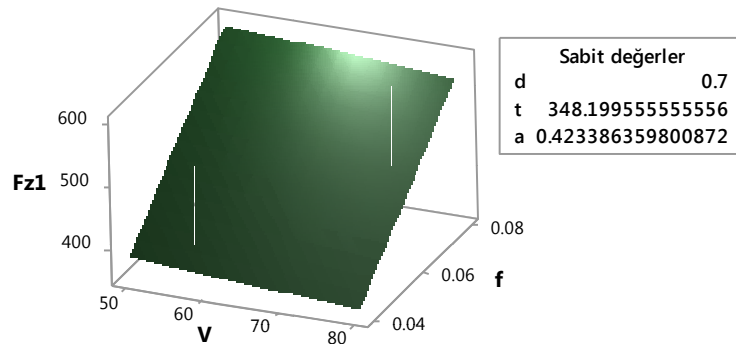
Çizelge 6.11. F_{z1} 'in kesme kuveti ANOVA analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
Regresyon	5	166358	33271,5	23,4	0,013
V	1	587	587,4	0,41	0,566
f	1	64999	64998,9	45,7	0,007
d	1	70397	70396,8	49,5	0,006
t	1	297	296,8	0,21	0,679
a	1	2776	2776,3	1,95	0,257
Hata	3	4263	1421,1		
Toplam	8	170621			

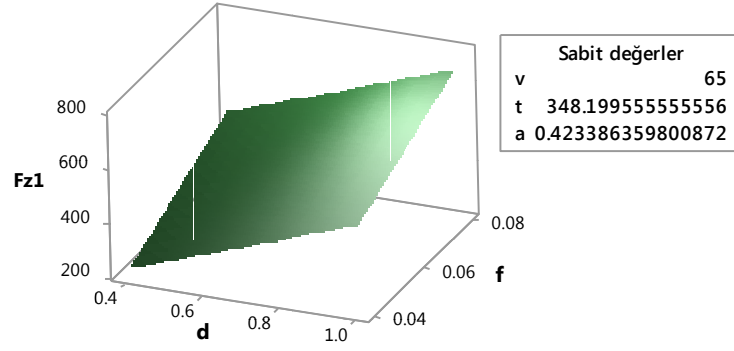
Çizelge 6.12. F_{z1} 'in Katsayılar ve regresyon İstatistikleri

Kaynak	DF	SS	MS	F	Anlamlılık
Regresyon	5	166357,6	33271,52	23,41264	0,01311
Kalan	3	4263,277	1421,092		
Toplam	8	170620,9			
	Katsayılar	Standart Hata	P değeri	Regresyon İstatistikleri	
Kesişim	-146,12	129,67	0,34	Çoklu R	0,99
Kesme hızı	-0,92	1,43	0,57	R^2	0,98
İlerleme	5329,13	787,98	0,01	Adj R^2	0,93
Kesme derinliği	481,70	68,44	0,01	Standart Hata	37,70
Sıcaklık	-0,16	0,34	0,68	Gözlemler	9
Titreşim genliği	189,67	135,70	0,26		

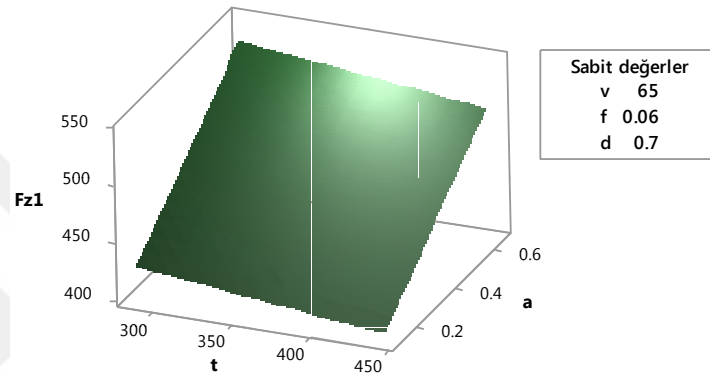
Çizelge 6.11 ve 6.12'den, Şekil 6.25, 6.26 ve 6.27'de kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, sıcaklık ve titreşim genlik etkileri gösterilmiştir.



Şekil 6.25 Kesme ve ilerleme hızının F_{z1} üzerindeki etkisi.



Şekil 6.26 Kesme derinliği ve ilerlemenin F_{z1} üzerindeki etkisi.

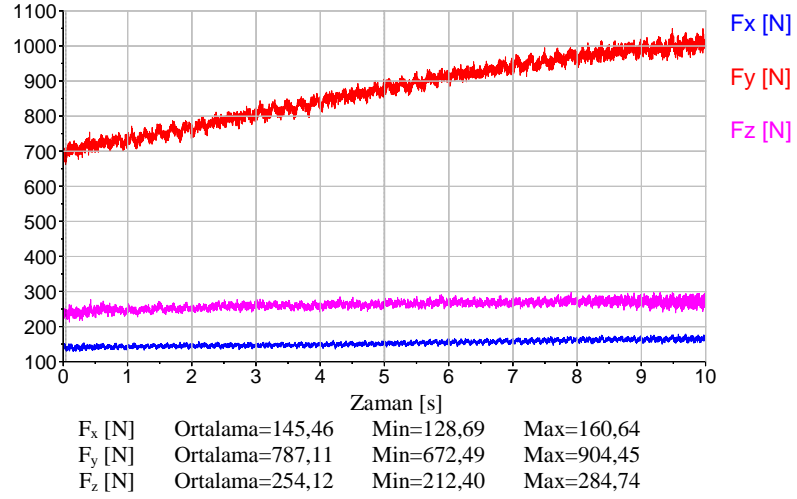


Şekil 6.27. Sıcaklık ve titreşimin F_{z1} üzerindeki etkisi.

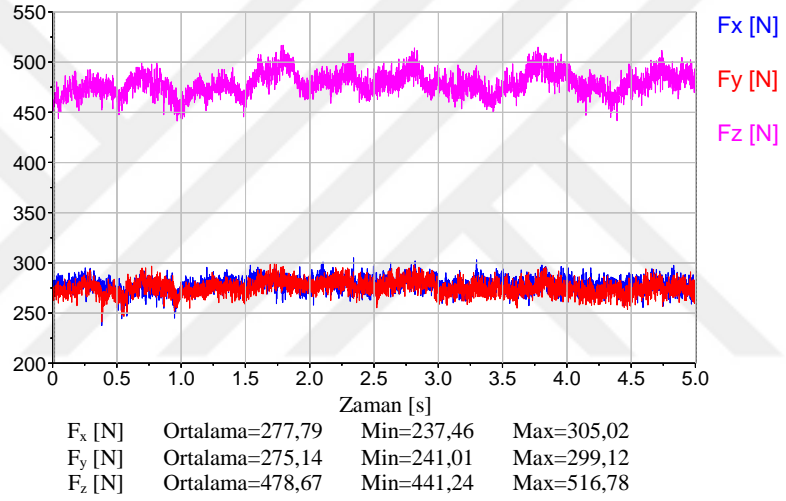
Deneysel parametreler ve karşılık gelen tepkiler, Çizelge 6.13'ün altında ve Şekil 6.28'den 6.36'ya kadar olan deneylere yönelik şekillerde sunulmuştur.

Çizelge 6.13. L9 ortogonal dizi kullanılarak tavlama sonrası deney sonuçları

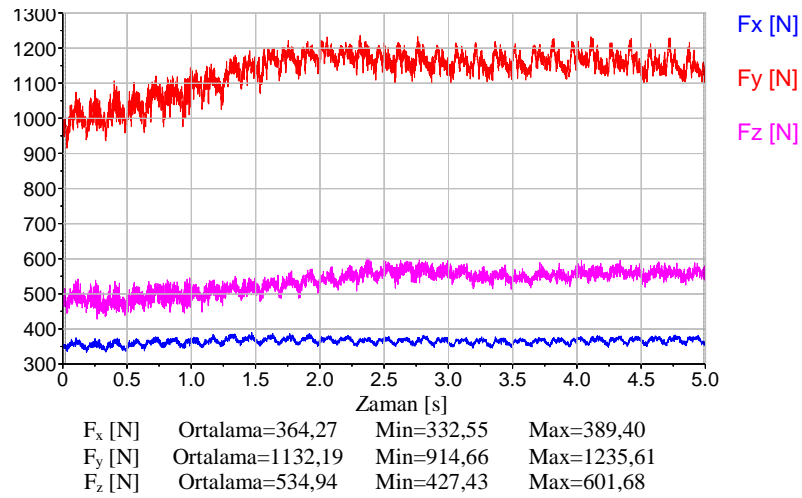
Deney	Process parameters and its level				Isıl işlem sonrası sonuçlar			
	Kesme hızı	İlerleme	Kesme derinliği	t (°C)	Titreşim genliği	F_{x2}	F_{y2}	F_{z2}
1	50	0,04	0,4	399,63	0,598	145,46	787,11	254,12
2	50	0,06	0,7	407,81	0,451	277,79	275,14	478,67
3	50	0,08	1,0	467,70	0,135	364,27	1132,1	427,43
4	65	0,04	0,7	404,28	0,377	256,88	1046,2	361,66
5	65	0,06	1,0	343,72	0,513	334,00	1278,6	473,35
6	65	0,08	0,4	376,24	0,580	145,47	787,06	254,11
7	80	0,04	1,0	532,61	0,518	308,86	886,65	441,65
8	80	0,06	0,4	416,19	0,6506	151,4	946,06	244,52
9	80	0,08	1,0	438,30	0,7695	361,07	697,17	406,1



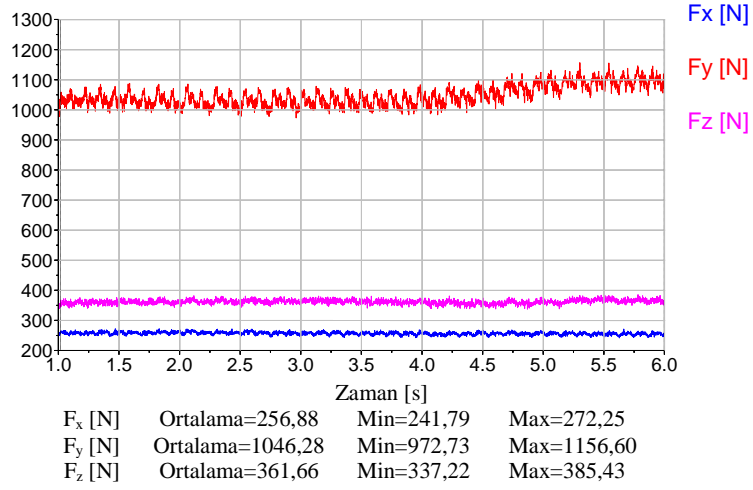
Şekil 6.28. Kesme kuvveti deneyi 1.



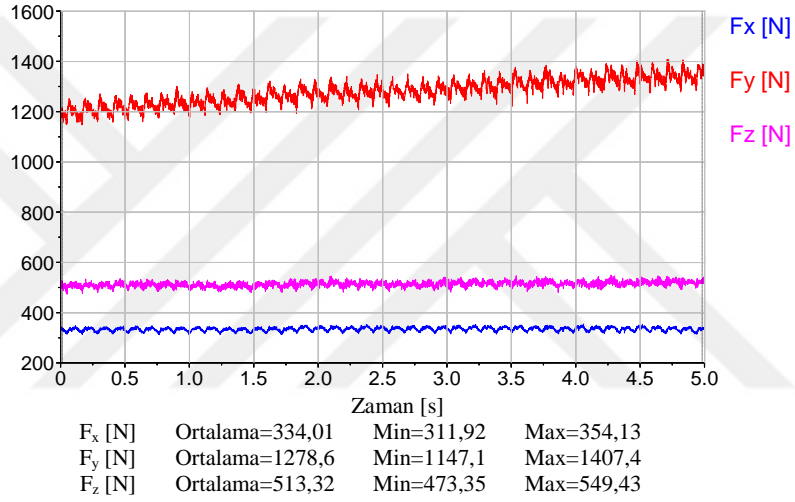
Şekil 6.29. Kesme kuvveti deneyi 2.



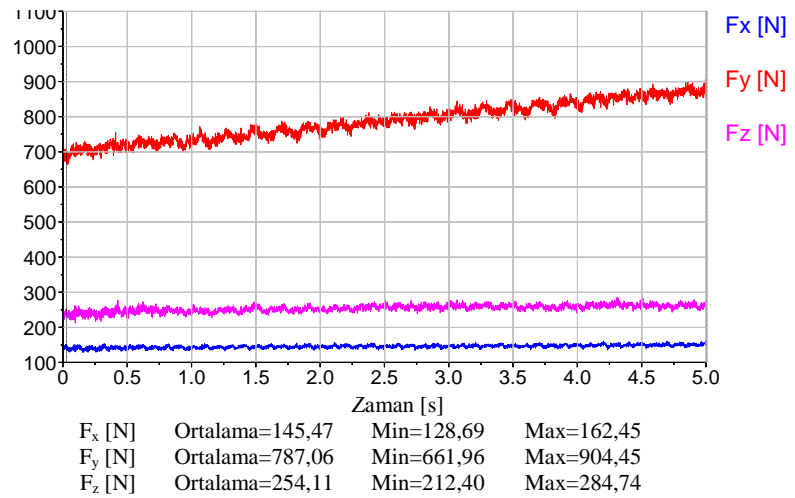
Şekil 6.30. Kesme kuvveti deneyi 3.



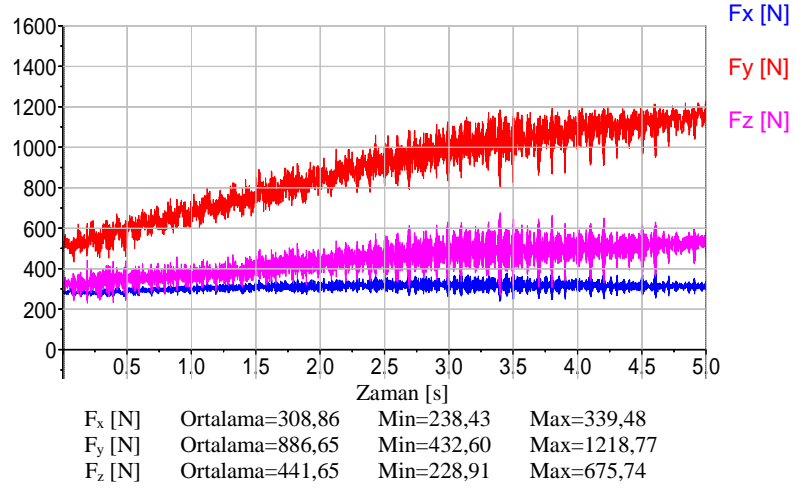
Şekil 6.31. Kesme kuvveti deneyi 4.



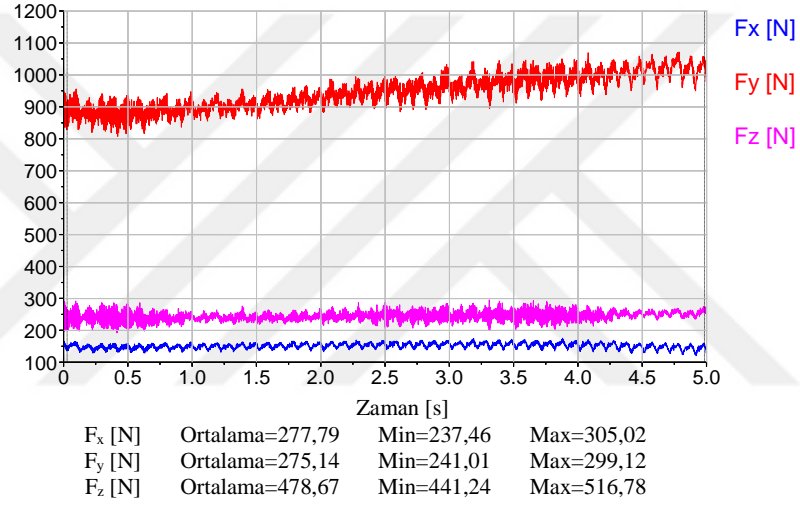
Şekil 6.32. Kesme kuvveti deneyi 5.



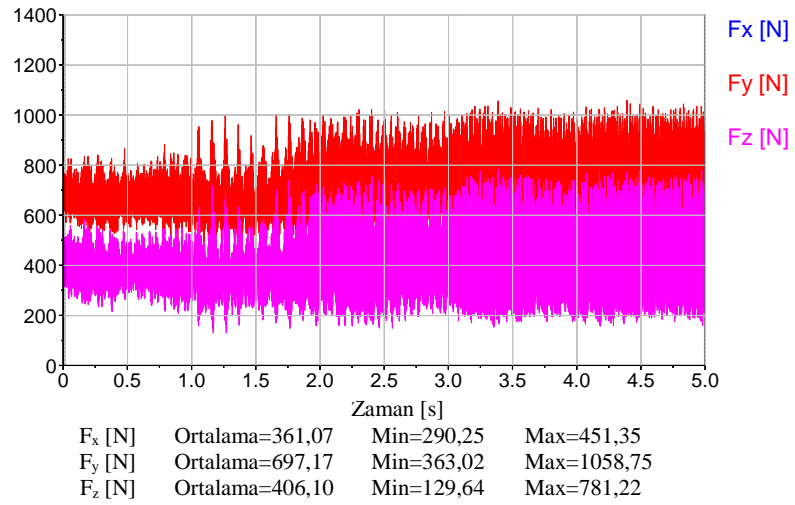
Şekil 6.33. Kesme kuvveti deneyi 6.



Şekil 6.34. Kesme kuvveti deneyi 7.



Şekil 6.35. Kesme kuvveti deneyi 8.



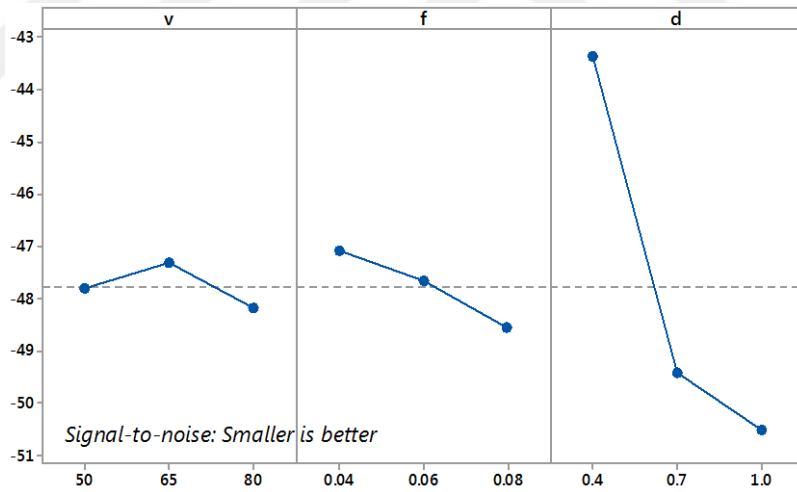
Şekil 6.36. Kesme kuvveti deneyi 9.

6.4.1 Kesme kuvvetleri F_{x2} için temel etken gösterimi

Şekil 6.37'den, besleme hızı ve kesme derinliğinin, kesme hızına kıyasla kesme kuvveti için daha etkili parametreler olduğu açıktır. Kesme kuvveti için en uygun koşul kesme hızı $V=65\text{m/dak}$, ilerleme hızı $f=0.06\text{mm/diş}$ ve kesme derinliği $d=0,7\text{mm}$ 'dir. Cevap çizelgesi Çizelge 6.14'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.14 F_{x2} 'nin S/N oranları için varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Kareler Ortalaması	F Oranı	P Değeri	Kaynak
V	2	1,151	1,151	0,5756	0,77	0,564
f	2	3,267	3,267	1,6333	2,19	0,313
d	2	88,444	88,444	44,2218	59,41	0,017
Artık hata	2	1,489	1,489	0,7443		
Toplam	8	94,350				



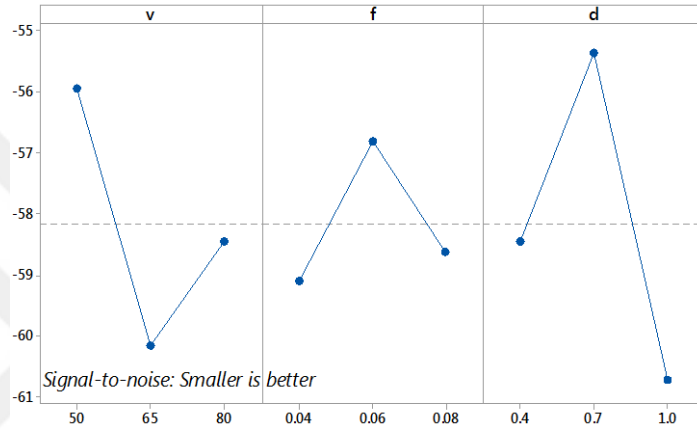
Şekil 6.37. SN oranı ve F_{x2} için temel etken gösterimi

6.4.2 Kesme kuvvetleri F_{y2} için temel etken gösterimi

Şekil 6.38'den, besleme hızı ve kesme derinliğinin, kesme hızına kıyasla kesme kuvveti için daha etkili parametreler olduğu açıktır. Kesme kuvveti için en uygun koşul kesme hızı $V=65\text{m/dak}$, ilerleme hızı $f=0.04\text{mm/diş}$ ve kesme derinliği $d=0.4\text{mm}$ 'dir. Cevap çizelgesi Çizelge 6.15'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.15. F_{y2} 'nin S/N oranları için varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Kareler Ortalaması	F Oranı	P Değeri	Kaynak
V	2	143680	143680	71840	0,59	0,627
f	2	8094	8094	4047	0,03	0,968
d	2	276795	276795	138398	1,15	0,466
Artık hata	2	241740	241740	120870		
Toplam	8	670309				



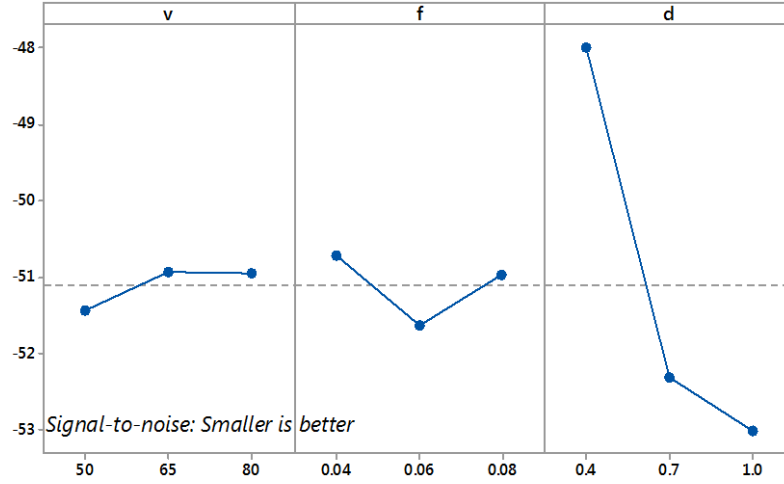
Şekil 6.38. Kesme kuvveti F_{y2} için temel etken gösterimi

6.4.3 Kesme kuvvetleri F_{z2} için temel etken gösterimi

Şekil 6.39'da, kesme hızı ve kesme derinliğinin, kesme hızına kıyasla kesme kuvveti için daha etkili parametreler olduğu açıktır. Kesme kuvveti için en uygun koşul kesme hızı $V=65\text{m/dak}$, ilerleme hızı $f=0.06\text{ mm/diş}$ ve kesme derinliği $d=0.4\text{mm}$ 'dir. Cevap çizelgesi Çizelge 6.16'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.16. F_{z2} 'nin S/N oranları için varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Kareler Ortalaması	F Oranı	P Değeri	Kaynak
V	2	0,5099	0,5099	0,2549	0,31	0,765
f	2	1,3050	1,3050	0,6525	0,78	0,560
d	2	44,3625	44,3625	22,181	26,68	0,036
Artık hata	2	1,6628	1,6628	0,8314		
Toplam	8	47,8402				



Şekil 6.39 F_{22} için temel etken gösterimi

6.5 Kesme kuvveti için Varyans Analizi (ANOVA)

ANOVA çizelgesi genellikle çıktı yanıtlarını en çok etkileyen önemli girdi parametrelerini bulmak için hazırlanır. Her bir çıktı cevabı için anlamlı bir $\alpha = 0,05$ ve güven seviyesi % 95 olan varyans çizelgesi analizi hazırlanmıştır. P-değerinin 0,05'ten az olduğu ANOVA çizelgesinde bulunan kaynaklar, ilgili çıkış cevabı için önemli bir parametre olarak ele alınmıştır. Isıl işlemde sonra kesme kuvveti için ANOVA ile analiz sonuçları Çizelge 6.17 ile 6.22 arasında sunulmuştur.

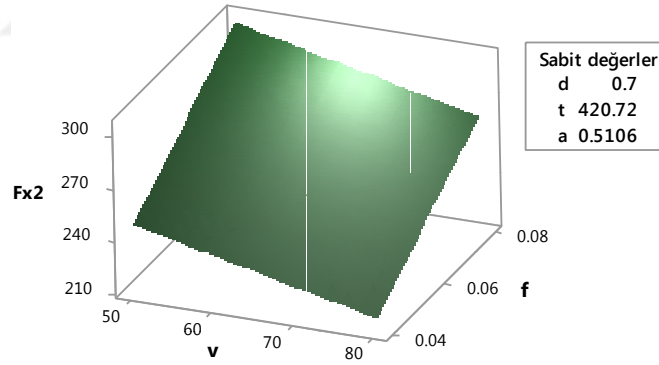
Çizelge 6.17. F_{x2} 'nin kesme kuvveti ANOVA analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
Regresyon	5	59509,7	11901,9	4,58	0,120
V	1	603,8	603,8	0,23	0,663
f	1	4621,6	4621,6	1,78	0,275
d	1	37507,8	37507,8	14,4	0,032
t	1	355,9	355,9	0,14	0,736
a	1	1872,2	1872,2	0,72	0,458
Hata	3	7794,7	2598,2		
Toplam	8	67304,4			

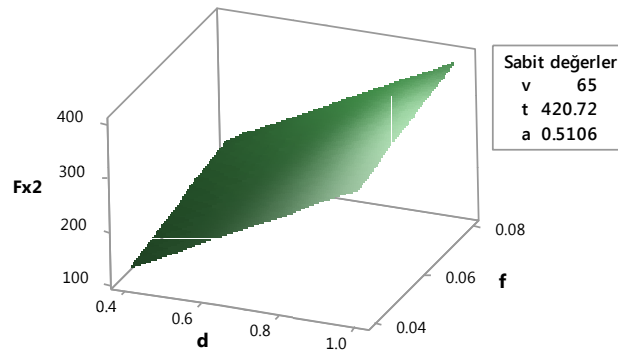
Çizelge 6.18. F_{x2} 'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri

Kaynak	DF	SS	MS	F	Anlamlılık	
Regresyon	5	59509,6	11901,94	4,580786	0,120162	
Kalan	3	7794,69	2598,23			
Toplam	8	67304,3				
	Katsayılar		Standart Hata	P değeri	Regresyon İstatistikleri	
Kesişim	-143,46	186,94	0,50	Çoklu R	0,94	
Hız	-1,05	2,18	0,66	R^2	0,88	
İlerleme	1410,26	1057,41	0,27	Adj R^2	0,69	
Kesme derinliği	355,62	93,60	0,03	Standart Hata	50,97	
Sıcaklık	0,15	0,41	0,74	Gözlemler	9	
Titreşim genliği	148,37	174,79	0,46			

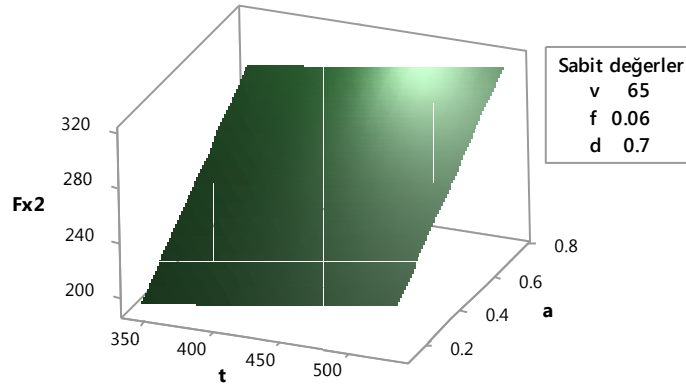
Çizelge 6.17 ve 6.18'den, Şekil 6.40, 6.41 ve 6.42'de kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, sıcaklık ve titreşim genlik etkileri gösterilmektedir.



Şekil 6.40. Kesme ve ilerleme hızının F_{x2} üzerindeki etkisi.



Şekil 6.41. Kesme derinliği ve ilerlemenin F_{x2} üzerindeki etkisi.



Şekil 6.42. Sıcaklık ve titreşimin F_{x2} üzerindeki etkisi

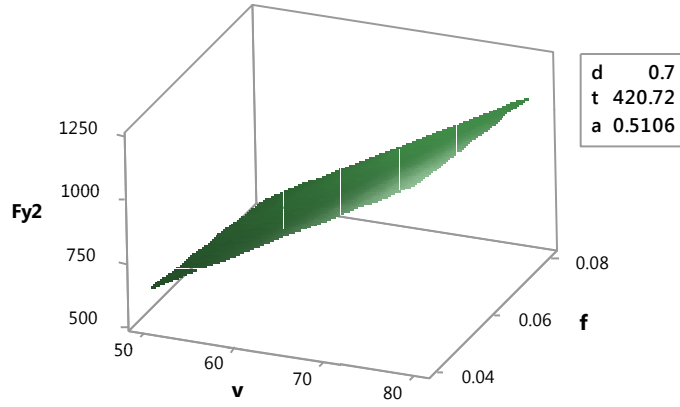
Çizelge 6.19 F_{y2} 'nin kesme kuvveti ANOVA analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
Regresyon	5	358498	71700	0,69	0,666
V	1	196120	196120	1,89	0,263
f	1	13199	13199	0,13	0,745
d	1	11257	11257	0,11	0,764
t	1	152777	152777	1,47	0,312
a	1	157274	157274	1,51	0,306
Hata	3	311811	103937		
Toplam	8	670309			

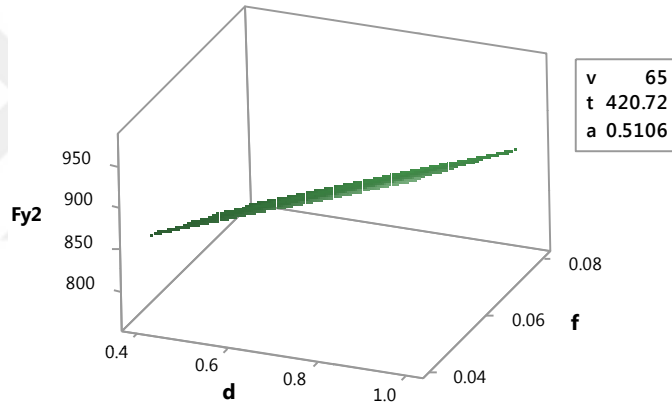
Çizelge 6.20. F_{y2} 'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri

Kaynak	DF	SS	MS	F	Anlamlılık	
Regresyon	5	358497,9	71699,57	0,68983	0,666359	
Kalan	3	311810,7	103936,9			
Toplam	8	670308,6				
	Katsayılar		Standart Hata	P değeri	Regresyon İstatistikleri	
Kesişim	1647,05		1182,38	0,26	Çoklu R	0,73
Hız	18,98		13,82	0,26	R^2	0,53
İlerleme	-2383,27		6687,92	0,75	Adj R^2	-0,24
Kesme derinliği	194,82		591,98	0,76	Standart Hata	322,39
Sıcaklık	-3,11		2,57	0,31	Gözlemler	9
Titreşim genliği	-1359,89		1105,51	0,31		

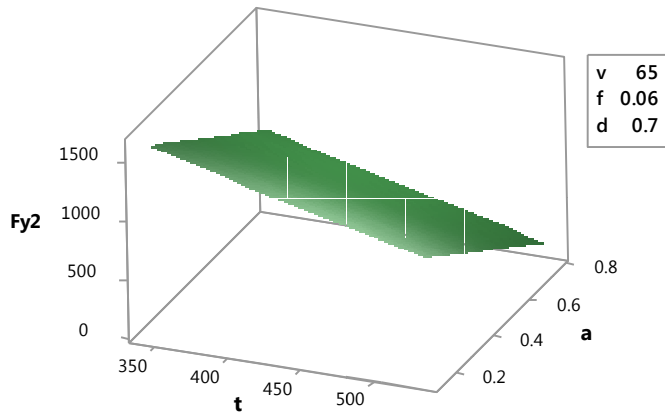
Çizelge 6.19 ve 6.20'den, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, sıcaklık ve titreşim genlik etkilerinin Şekil 6.43, 6.44 ve 6.45'te gösterilmiştir.



Şekil 6.43. Kesme ve ilerleme hızının F_{y2} üzerindeki etkisi.



Şekil 6.44. Kesme derinliği ve ilerlemenin F_{y2} üzerindeki etkisi .



Şekil 6.45. Sıcaklık ve titreşimin F_{y2} üzerindeki etkisi.

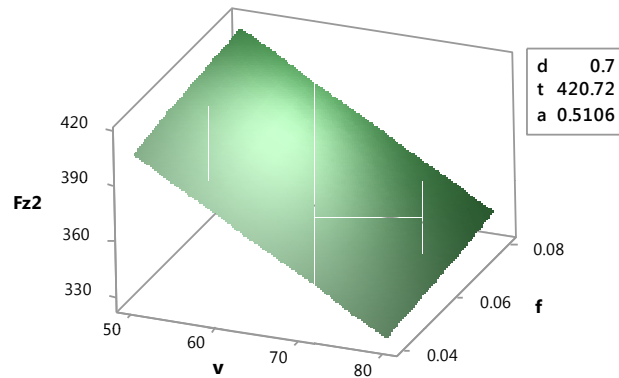
Çizelge 6.21. F_{z2} 'in kesme kuveti ANOVA analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
Regresyon	5	63645,2	12729,0	3,40	0,171
V	1	3665,2	3665,2	0,98	0,396
f	1	158,7	158,7	0,04	0,850
d	1	50118,0	50118,0	13,3	0,035
t	1	6,0	6,0	0,00	0,971
a	1	4217,5	4217,5	1,13	0,367
Hata	3	11238,8	3746,3		
Toplam	8	74884,0			

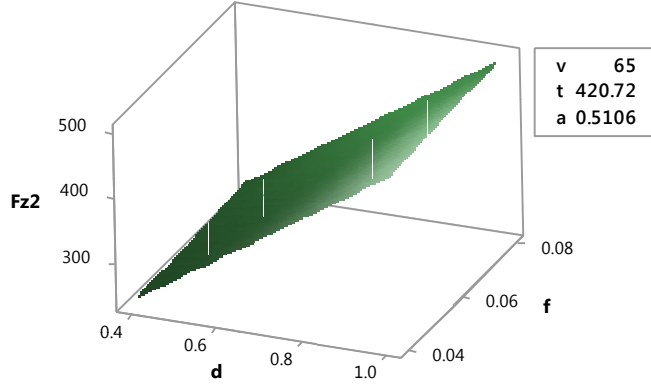
Çizelge 5.22. F_{z2} 'in Katsayılar ve regresyon İstatistikleri

Kaynak	DF	SS	MS	F	Anlamlılık
Regresyon	5	63645,22	12729,045	3,3978023	0,171476
Kalan	3	11238,77	3746,258		
Toplam	8	74884,00			
	Katsayılar	Standart Hata	P değeri	Regresyon İstatistikleri	
Kesişim	131,02	224,48	0,60	Çoklu R	0,92
Hız	-2,59	2,62	0,40	R^2	0,85
İlerleme	261,31	1269,71	0,85	Adj R^2	0,60
Kesme derinliği	411,07	112,39	0,04	Standart Hata	61,21
Sıcaklık	-0,02	0,49	0,97	Gözlemler	9
Titreşim genliği	222,69	209,88	0,37		

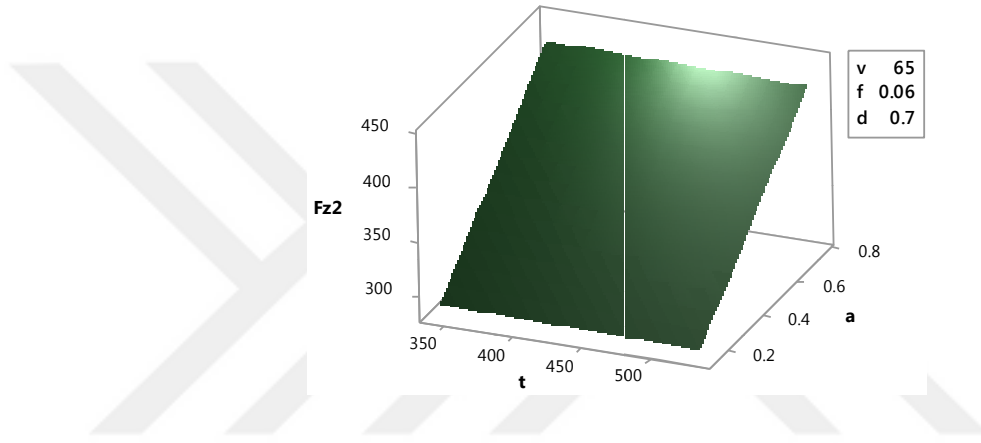
6.21 ve 6.22 no'lu çizelgeden, Şekil 6.43, 6.44 ve 6.45'te kesme hızının, ilerleme, kesme derinliğinin, sıcaklığın ve titreşim genliğinin etkilerinin gösterilmiştir.



Şekil 6.46. Kesme ve ilerleme hızının F_{z2} üzerindeki etkisi



Şekil 6.47. Kesme derinliği ve ilerlemenin F_{z2} üzerindeki etkisi



Şekil 6.48. Sıcaklık ve titreşimin F_{z2} üzerindeki etkisi

6.6 Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalat sırasında iş parçası yüzeyinde istenmeyen izler oluşur. İşleme metodu,kesicinin cinsi, işlenen malzeme ve kesme parametreleri, fiziksel, kimyasal ve ısı faktörleri ile kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlere bağlı olarak, nominal (anma) yüzey çizgisinin altında veya üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir.

Bir makine parçasının, gerektiği gibi çalışması ve hizmet ömrü, büyük ölçüde yüzey kalitesine bağlıdır. Resimlerde gösterilen teorik yüzeylerin aksine, gerçekte işlenen makine parçalarının yüzeylerinde çeşitli düzensizlikler ve yükseklikler vardır. Bunlar takım tezgahında işleme sırasında meydana gelirler.

İş parçasının bu yüzey düzensizliklerinin sebepleri; yükseklik şekilleri, dağılımları ve yönleri birçok faktöre bağlıdır, bunlar şöyle sıralanabilir; kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesici takımın soğutulma ve yağlanma koşulları, iş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi ve mikro yapısı; takımın (kesici) dizaynı, geometrisi ve kesme kapasitesi; takım tezgahının tipi ve şartları, kalıp ve bağlama aparatlarıdır.

Yüzey pürüzlülüğü talaşlı imalatta en önemli kalite karakteristiklerinden biridir, minimum seviyede yüzey pürüzlülüğü değerleri ulaşılması gereken bir hedeftir. İyi bir yüzey bitirme ve boyutsal kesinlik için optimum kesme şartlarının seçimi ve tahmin edilmesi imalat kalitesinde ve proses planlamada çok önemli rol oynar.

Metal kesme işlemlerinde kesme şartlarının belirlenmesinde genelde makine operatörünün tecrübesine güvenilir ancak iyi ve tecrübeli bir operatörün olması halinde bile optimum değerlerin tespiti zordur. Birbiriyle temaslı çalışan eşlenik parçalar, üzerlerindeki dalgaların sadece tepe noktalarında birbirlerine dokunduklarından, yüzey dalgalılığı, temas basıncının artmasına neden olur. Aynı durum eşlenik yüzeylerin mikro düzensizlikleri için de söz konusudur. Bu mikro düzensizliklerin tepecikleri deforme olurlar; sürtünen yüzeylerin birbirleri üzerindeki hareketleri sonucunda bunlar ya parçalanır ya da ezilirler. Eğer bir yağlama maddesi kullanılıyorsa, bu yağ filmi bu düzensizlik tepecikleri tarafından kesilir ve sonuç olarak bu kısımlarda kuru sürtünme olur.

Temaslı alıştırmanın dayanıklılığı da yüzey pürüzlülüğüne, özellikle mikro düzensizliklerin yüksekliklerine bağlıdır. Bir parça diğerine preslenerek geçirildiğinde elde edilen geçme, eğer parçalar pürüzlü yüzeyli iseler düzgün yüzeyli parçalarda (pres geçme yapılan parçalarla aynı ölçülmüş çaplarda) elde edilenden farklı olacaktır.

Yüzey pürüzlülüğünün etkilediği bir diğer faktör de korozyon direncidir. Yüzey kalitesi sınıfı ne kadar yüksek olursa, yüzeyin korozyon yapıcı ortamla temas halinde olan alanı o ölçüde az olacaktır, dolayısı ile korozyon yapıcı madde, yüzeyi daha az etkileyecektir. Mikro düzensizliklerde tepecikler arasındaki girintiler ne kadar derin ve keskin çizgili olursa, metalin derinliklerinde korozyonun yıkıcı etkileri o ölçüde fazla olur.

Talaş kaldırma işleminde amaç yapım resminde belirtilen tolerans derecesine göre parçaların istenilen geometrik ölçü ve yüzey kalitesinde parça imal edilmesidir. Makine parçasının geometrisi, boyutu, ve yüzey kalitesi işleme kalitesini oluşturur.

Ancak parça yapım resminde gösterilen ideal ölçülere göre üretimi tamamlanan parça üzerinde boyut, yüzey kalitesi ve geometrisi yönünden bazı hatalar ortaya çıkabilir. Bu hatalar “tolerans” olarak adlandırılır ve parçanın kullanıldığı yere göre müsaade edilen belli bir değerde tutulduğu takdirde parçanın çalışmasına engel teşkil etmez. Bu toleranslar da parçanın hem boyutu hem de yüzey kalitesini meydana getirirler. Ancak hatalar (toleranslar) ne kadar küçük olursa, o kadar yüksek yüzey kalitesi elde edilir.

Kesme maliyeti ve toleranslar arasında ters bir ilişki mevcuttur. Çünkü toleranslar büyüdükçe parça maliyeti büyük oranda azalır. Fakat parçanın fonksiyonunu yerine getirmesi yüzey kalitesi toleranslarının küçülmesi ile artar. Bu nedenle, imalat mühendisliği açısından parçaların kullanılacağı yere göre ekonomiklik de dikkate alınarak parçanın uygun yüzey kalitesinde işlenmesini gerçekleştirecek üretim metodu yanında yüzey kalitesi tolerans ve maliyet arasında bir uzlaşma sağlayacak şekilde belirlenmelidir.

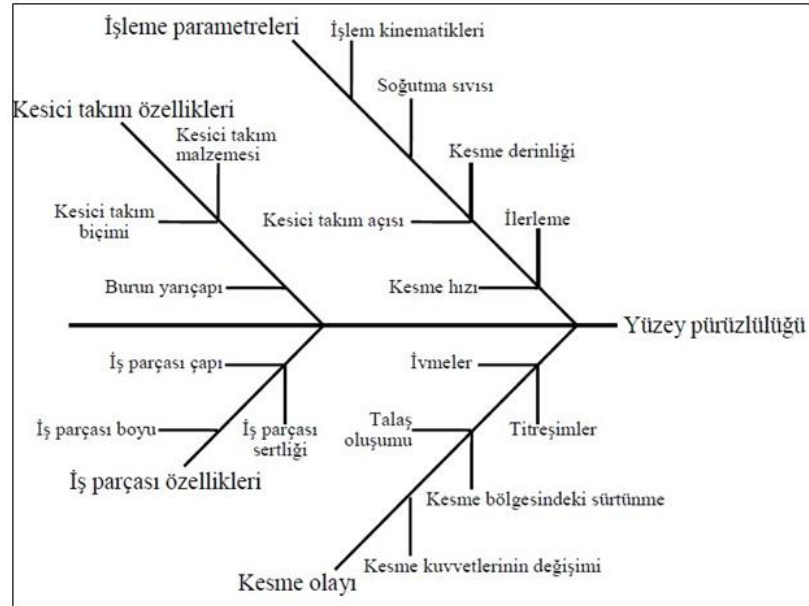
6.6.1 Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler

Talaş kaldırarak şekillendirme sırasında; seçilen işleme yöntemine, kesici cinsine ve işleme şartlarına bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısı faktörlerin ve kesici ile iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde genellikle istenmediği halde işleme izleri oluşmaktadır.

Değişik parçaların bir araya gelmesiyle oluşan ürün kalitesini ve endüstriyel makinelerin performansını arttırmak, yeterli seviyede hassas işlenmiş yüzeyleri gerektirmektedir. Aynı malzemenin farklı metotlarla aynı yüzey pürüzlülüğü değerinde işlendiği, bazen bunların korozyon, sürtünme, aşınma ve yorulma dayanımı olarak farklı davranışlar gösterdikleri bilinmektedir. Yüzeylerin pürüzlülüğünden başka, yüzeydeki işleme izlerinin yönü ve dağılımları da malzemenin performansını önemli derecede etkilemektedir (Güllü ve ark., 2003).

Yüzey pürüzlülüğüne birden fazla faktörün etkisi bulunmakla birlikte; talaş kaldırmada etkili olabilecek en önemli parametrelerler, aşağıda belirtildiği gibi özetlenebilir.

- Bağlamadan dolayı işlenen malzemede oluşan deformasyon,
- İlerleme mekanizmasındaki düzensizlikler,
- İşlenen malzemede yapı bozuklukları,
- Kırılgan malzemelerin işlenmesi sırasında düzensiz talaş akışı,
- Kolay şekillendirilebilir malzemelerin düşük kesme hızlarında, işlenen malzeme yüzeyindeki yırtılmalar,
- Talaş akışının sebep olduğu bozukluk,
- Kesme hızında meydana gelen düzensizlikler,
- İlerleme hızında meydana gelen düzensizlikler,
- Kesme esnasındaki kesme derinliği,
- Kesici takımın soğutulma ve yağlanma koşulları,
- İşlenen malzemenin kimyasal bileşimi ve metalürjik (atomik) yapısı,
- Kesicinin tasarımı, geometrisi ve kesme kapasitesi,
- Takım tezgâhının tipi, rijitliği ve çalışma şartları,
- Kalıp ve bağlama aparatları,
- İşlenen malzemeden talaş kaldırma şekli,
- Yatak ve takımlarda oluşacak geometrik bozukluklar,
- Kesme hızı
- İlerleme ve kesici geometrisi vb.



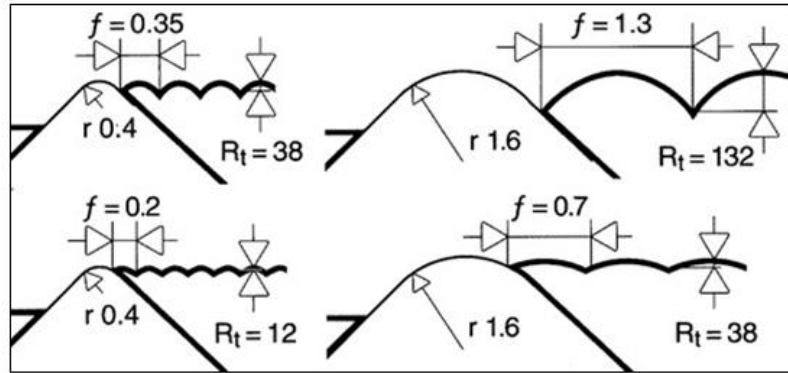
Şekil 6.49. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin diyagramı (Benardos ve Vosniakos, 2003).

Kesici uç istenilen kalitede (pürüzlülük değerinde) talaş kaldıramadığı noktada değiştirilmelidir. Bu, özellikle ince talaşta (son pasoda) büyük önem taşır. Metal kesmede yüzey yapısını, işleme operasyonu esnasında malzemenin plastik akışından doğan düzensizlikler tayin eder.

Yüzey yapısı, esas itibariyle işleme metoduna, titreşimlere, tezgâh kızıklarındaki hatalara, takımın tip ve durumuna, kesme parametrelerine, iş parçası malzemesine ve toplam kararlılığa bağlı olarak değişir. Takım ucunun yuvarlatılması, talaş kesitinin bombeli teşekkülüne sebep olur. Bu durumda gerçek talaş kesiti, teorik talaş kesitinden daha küçük olur ve aradaki fark, parça üzerinde artık talaş olarak kalır. Bu kaldırılmamış talaş kesiti, yüzey pürüzlülüğünü meydana getirir (Akkurt, 2000).

Talaşın sürekli veya kesikli oluşumuna göre farklı yüzeyler oluşacaktır. Talaş kaldırmanın tornalama, frezeleme, matkapla delme, broşlama, raybalama, taşlama veya honlama ile yapılması halinde ise farklı yüzey şekilleri elde edilir. Yüzey kalitesi farklı işleme metodları için takım geometrisine, takım özelliklerine ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametrelerine bağlı olarak ifade edilebilir.

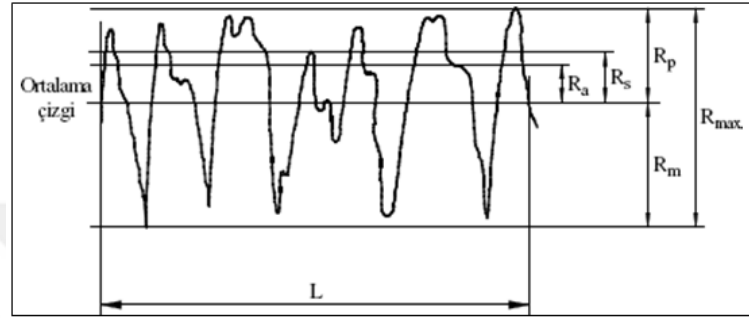
İlerleme ve kesici takım uç yuvarlatma yarıçapının teorik maksimum yüzey pürüzlülüğü değerine (R_t) etkisi Şekil 6.50'de gösterilmiş olup; daha yüksek kesme hızları ve daha pozitif bir kesme geometrisi kullanılarak (R_t) değeri azaltılabilir. Kesme hızının artırılmasının talaşın yapışmasına, titreşime ve aşınmaya olan etkisinden dolayı yüzey pürüzlülüğü üzerinde ikinci dereceden bir etkiye sahiptir.



Şekil 6.50. Takım uç yarıçapı ve ilerleme hızının pürüzlülüğe etkisi (Çakır, 1999).

6.6.3 Yüzey pürüzlülüğü parametreleri

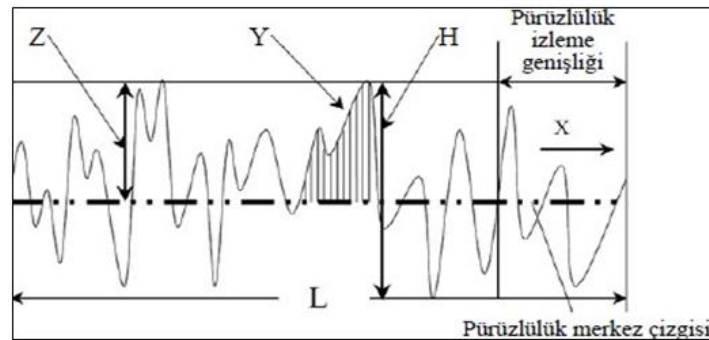
Gelişmiş ülkelerin büyük bir çoğunluğu M yöntemini benimsemekte, bu ülkelerin bir kısmı ortalama pürüzlülüğü (R_a) bir kısmı da en büyük pürüzlülüğü (R_{max}) yüzey pürüzlülüğü ölçme kriteri olarak kullanmaktadır Şekil 6.51. Yüzey pürüzlülüğü, pürüzlülük değerine bağlı olarak değişen ve “değerlendirme uzunluğu” olarak tanımlanan standart bir aralıkta ölçülmektedir.



Şekil 6.51. Yüzey kalitesi için sayısal değerler (Scarr, 1991).

6.6.4 Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

İşlenmiş bir yüzey üç boyutlu bir yapıya sahip olduğundan, bir yüzeyin hatasız kabul edilen başka bir yüzeye göre incelenmesi, üç boyutlu bir geometri problemidir. Ancak yüzeye dik alınan bir kesit düzlemi üzerinde hata profillerinin incelenmesi ile problem iki boyuta indirgenebilir. Bu durumda pürüzlülüğün derecesi, seçilen bu düzlemin konumuna bağlıdır. yüzey pürüzlülüğü profilinde genel olarak oluşabilecek dalgalılık ve pürüzlülüğün iki boyuta indirgendiği Şekil 4.52’de verilen grafikte; Y, profil eğrisini, X, profil yönünü; Z, ortalama pürüzlülük yüksekliğini; L, örnekleme uzunluğunu ve H, profil yüksekliğini göstermektedir.



Şekil 6.52. Yüzey pürüzlülük profili (Yang ve Chen, 2001).

Pürüzler doğrultusunda ölçüm yapılırsa, elde edilen pürüzlülük değerinin, pürüzler doğrultusuna dik yapılan ölçümle elde edilene göre daha az olması doğaldır. Bu, tek doğrultulu pürüzlü yüzeyler için doğrudur. Çok yönlü karmaşık izlerde, iki ayrı yönde yapılan ölçüm sonuçları arasında fark daha az olur.

Tek yönlü izlerin olduğu yüzeylerde, herhangi bir yön belirtilmemişse, ölçümler iz doğrultusuna dik yapılmalı, çok yönlü izlerde ise birkaç değişik yönde yapılan ölçümlerin ortalaması alınmalıdır. Tatmin edici bir değer vermesi için esas pürüzlülük izlerinin dalga boyu ne kadar büyük ise, numune uzunluğu o kadar büyük alınmalıdır. Yüzey tamlığı numarası; taşlama, honlama gibi farklı metotlarla üretilen, fakat eşit pürüzlülük değerine sahip yüzeyler arasındaki yapı farklılıklarını göstermez. Bunun için yüzeylerin grafiklerinin çizilmesi gereklidir.

Yüzey kalitesi ölçme problemini çözmek için, üç boyuttan iki boyuta indirgemek ve grafik ortalamalarıyla sonucu göstermek mümkün olmasına rağmen, tasarımcının bu şekilde gerekli olan yüzey kalitesini açıkça belirleyebilmesi pratik bir metot değildir.

6.6.5 Yüzey pürüzlülüğü için deneysel analiz

Sıralar, her faktörün cevaba göreceli önemini göstermektedir. Çeşitli parametreler için sıralar ve delta değerleri, burun yarıçapının yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu ve bunu besleme, kesme derinliği ve kesme hızının takip ettiğini göstermektedir.

Üç yüzey pürüzlülüğü parametresi, yüzey karakteristikleri için, yani yüzey pürüzlülüğü aritmetik ortalaması (R_a), örnekleme uzunluğu içindeki maksimum tepe-vadi yüksekliği ve değerlendirme uzunluğu içinde maksimum tepe-vadi yüksekliği (R_t) ölçülmüştür. İş parçasını işlerken oluşan yüzeyin pürüzlülüğünü ölçmek için, kesme uzunluğu 1,25 mm ve değerlendirme uzunluğu 10mm olarak sabitlenmiştir. Ölçümler, iş parçasının çevresi etrafında üç noktada (90^0 ayrı) alınmış ve işlenmiş yüzeyin yüzünde her noktada üç kez tekrarlanmış ve ortalama değerler rapor edilmiştir.

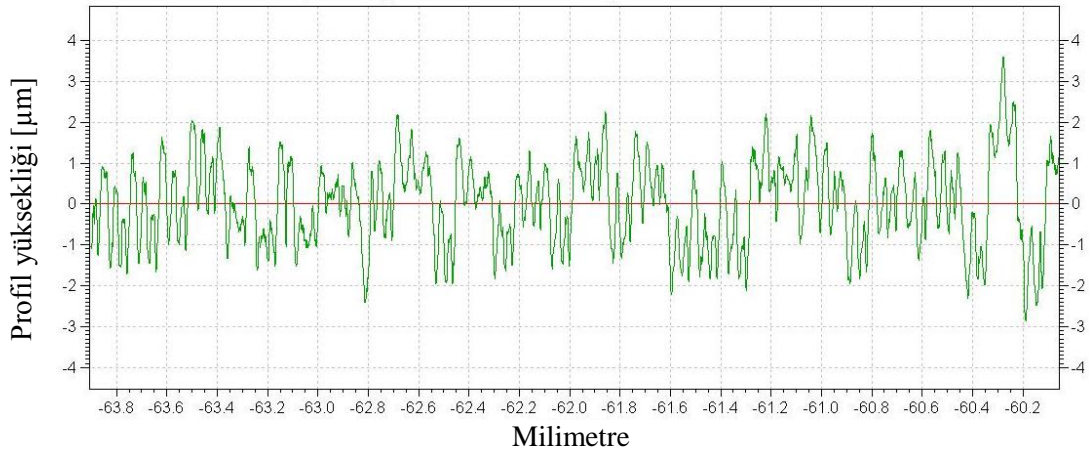
Deneysel parametreler ve karşılık gelen tepkiler aşağıdaki Çizelge 6.23'te ve 6.53'ten 6.69'a kadar olan deneylere yönelik şekillerde sunulmuştur.

Çizelge 6. 23. L9 ortogonal diziyi kullanarak elde edilen deney sonuçları

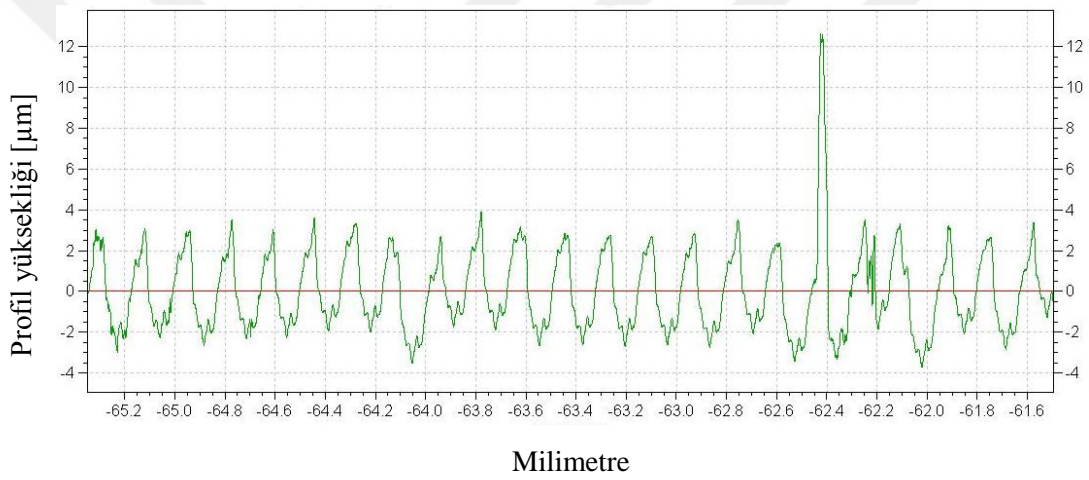
Deney	İşleme parametreleri ve değerleri					Deneysel sonuçlar		
	Kesme hızı	İlerleme	Kesme derinliği	t (°C)	Titreşim Genliği	R _{a1}	R _{t1}	R _{z1}
1	50	0,04	0,4	329,05	0,4930	0,911	7,750	5,138
2	50	0,06	0,7	361,21	0,3999	1,595	16,465	7,761
3	50	0,08	1,0	374,29	0,1083	1,573	14,531	8,779
4	65	0,04	0,7	333,22	0,3108	1,174	10,369	6,457
5	65	0,06	1,0	286,44	0,4281	1,514	9,791	7,842
6	65	0,08	0,4	299,44	0,4617	2,092	15,930	10,334
7	80	0,04	1,0	443,66	0,4322	0,883	6,806	5,411
8	80	0,06	0,4	333,75	0,5217	1,355	8,703	7,114
9	80	0,08	1,0	372,71	0,6544	2,345	11,607	10,251

CNC tornalama işlemini gerçekleştirdikten sonra, yüzey pürüzlülüğü Ra, Rt ve Rz'nin deneysel parametreleri ölçülmüştür:

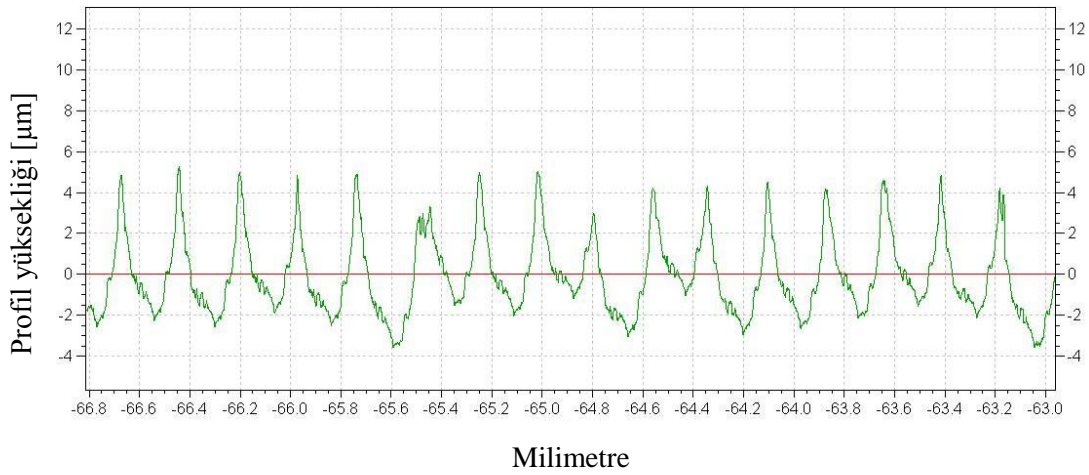
- dikkate alınan giriş değerleri şunlardır: hızı, besleme ve kesme derinliği.
- matematiksel modelleme ve analiz Minitab 17'de gerçekleştirilmiştir..
- yüzey pürüzlülüğü için grafikler 5 giriş faktörü için oluşturulmuştur (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, sıcaklık ve titreşim genliği).
- analiz, ANOVA yöntemi ve regresyon modeli ile gerçekleştirilmiştir.
- yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin optimizasyonu.



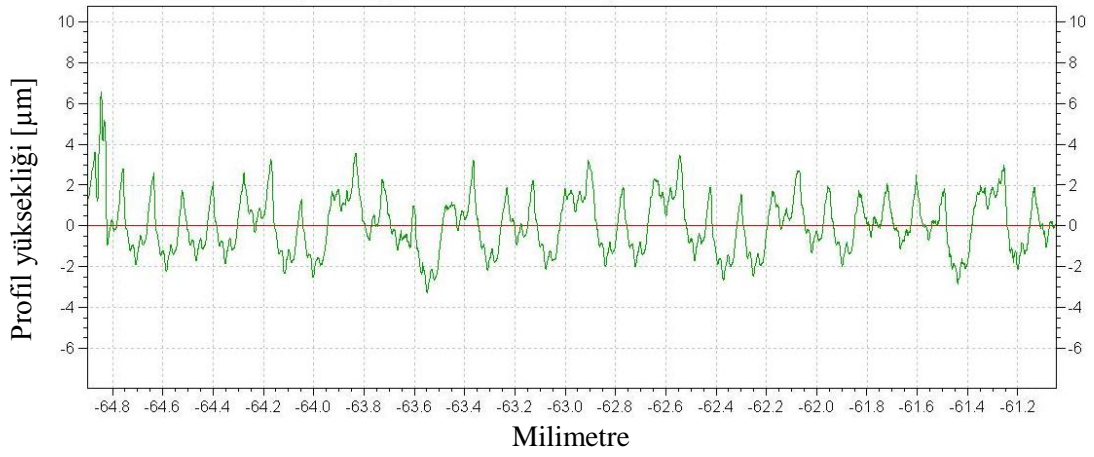
Şekil 6.53. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 1 ($V=50$ [mm/dak], $f=0,04$ [mm/diş] ve $d=0,4$ mm).



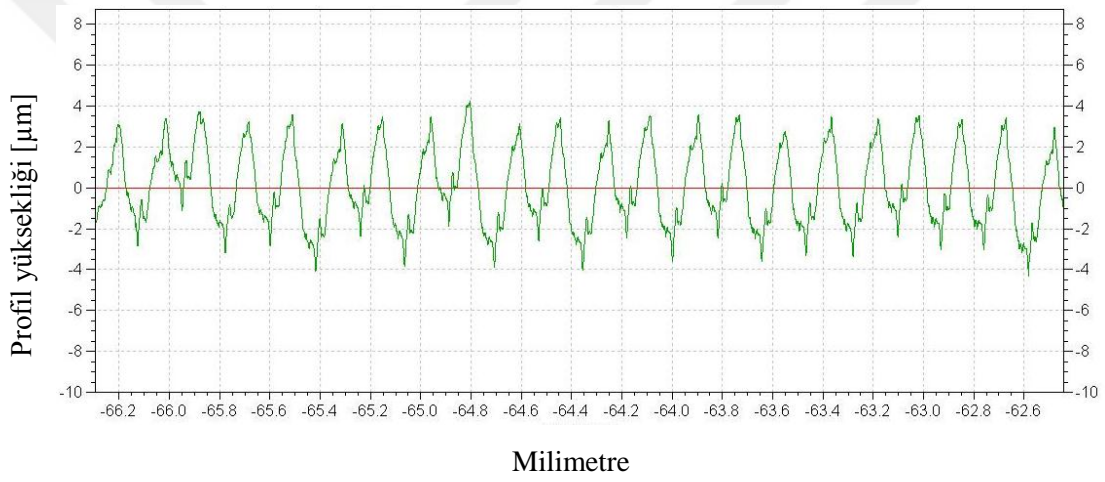
Şekil 6.54. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 2 ($V=50$ [mm/dak], $f=0,06$ [mm/diş] ve $d=0,7$ mm).



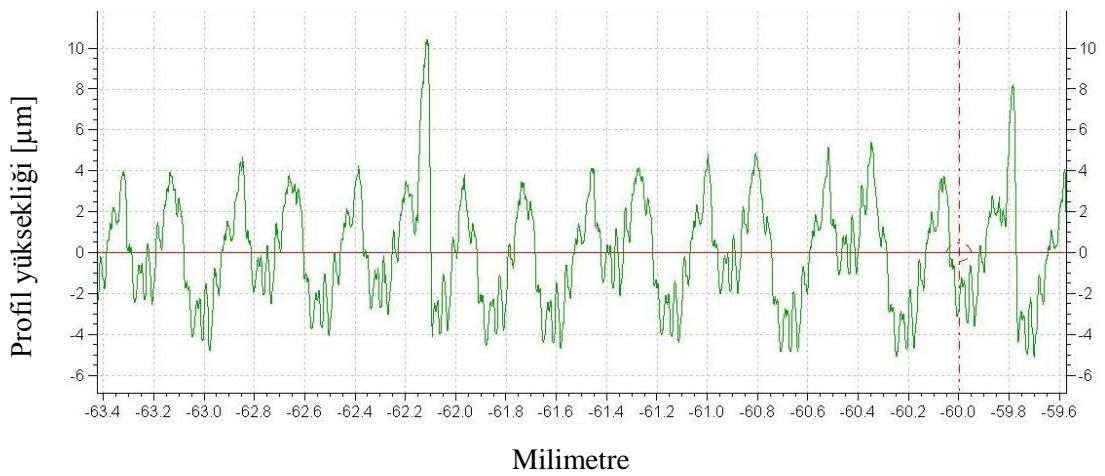
Şekil 6.55. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 3 ($V=50$ [mm/dak], $f=0,08$ [mm/diş] ve $d=1,0$ mm).



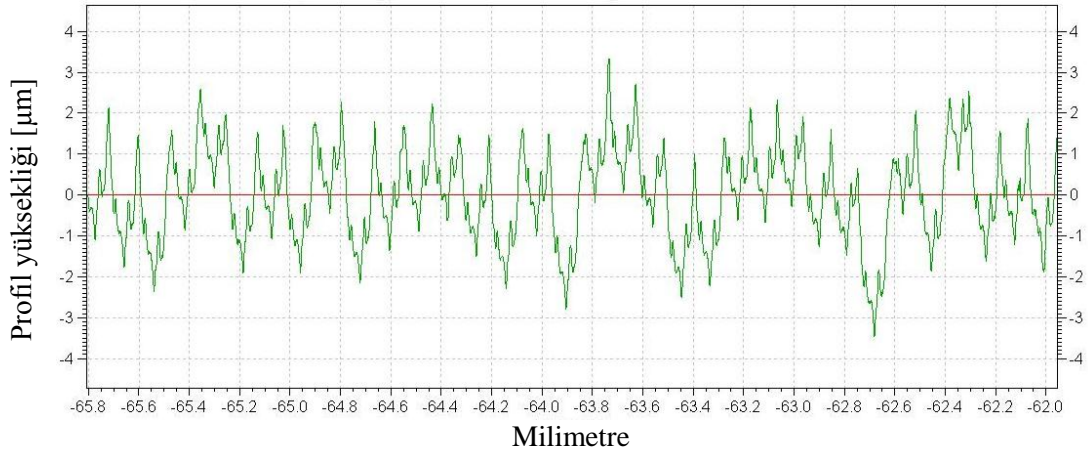
Şekil 6.56. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 4 ($V=65$ [mm/dak], $f=0,04$ [mm/diş] ve $d=0,7$ mm).



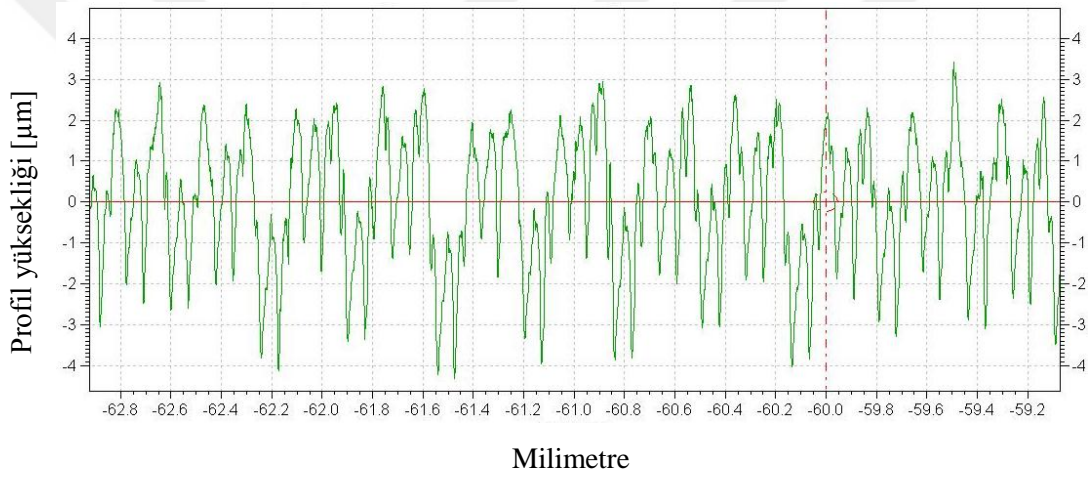
Şekil 6.57. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 5 ($V=65$ [mm/dak], $f=0,04$ [mm/diş] ve $d=0,7$ mm).



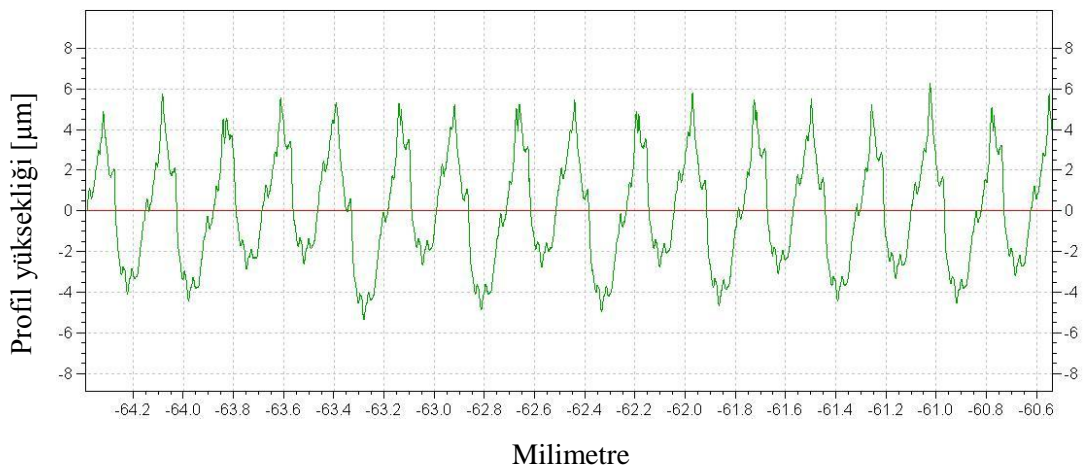
Şekil 6.58. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 6 ($V=65$ [mm/dak], $f=0,08$ [mm/diş] ve $d=0,4$ mm).



Şekil 6.59. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 7 ($V=80$ [mm/dak], $f=0,04$ [mm/diş] ve $d=1,0$ mm).



Şekil 6.60. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 8 ($V=80$ [mm/dak], $f=0,06$ [mm/diş] ve $d=0,4$ mm).



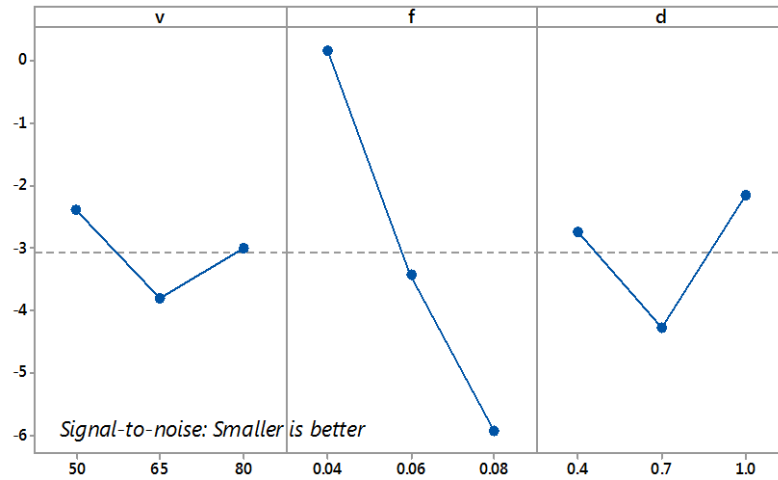
Şekil 6.61. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 9 ($V=80$ [mm/dak], $f=0,08$ [mm/diş] ve $d=1,0$ mm).

6.7.1 Yüzey pürüzlülüğü R_{a1} için temel etken gösterimi

Şekil 6.62'den, besleme hızının kesme hızı ve kesme derinliği ile karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğüne yönelik parametreleri daha fazla etkilediği açıktır. Kesme kuvveti için en uygun koşul kesme hızı $V=65$ m/dak, ilerleme hız $f=0.06$ mm/diş ve kesme derinliği $d=0.4$ mm'dir. Cevap çizelgesi Çizelge 6.24'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.24. R_{a1} 'nin S/N oranları için varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Kareler Ortalaması	F Oranı	P Değeri
V	2	2,9993	2,9993	1,4996	3,53
f	2	56,0716	56,0716	28,0358	66,06
d	2	7,2598	7,2598	3,6299	8,55
Hata	2	0,8488	0,8488	0,4244	
Toplam	8	67,1794			



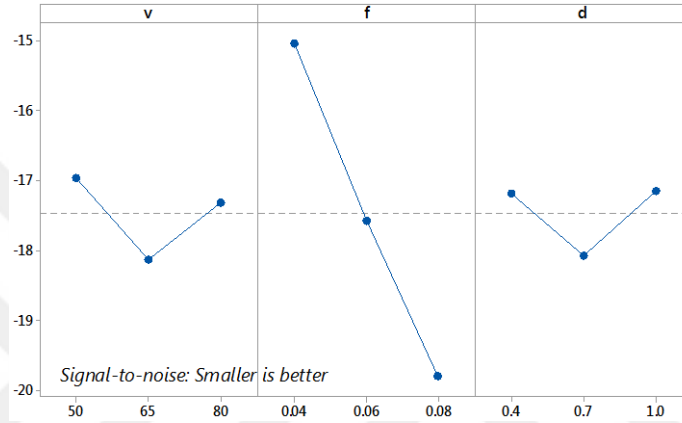
Şekil 6.62. Yüzey pürüzlülüğü R_{a1} için S/N oranı temel etken gösterimi.

6.6.2 Yüzey pürüzlülüğü R_{z1} için temel etken gösterimi

Şekil 6.62'den, besleme hızının kesme hızı ve kesme derinliği ile karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğüne yönelik parametreleri daha fazla etkilediği açıktır. Yüzey pürüzlülüğü için en uygun koşul kesme hızı $V=80$ m/dak, ilerleme hızı $f=0.06$ mm/diş ve kesme derinliği $d=0.4$ mm'dir. Cevap çizelgesi Çizelge 6.25'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.25. R_{z1} 'nin S/N oranları için varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Kareler Ortalaması	F Oranı	P Değeri
V	2	2,1422	2,1422	1,0711	30,45
f	2	34,0772	34,0772	17,0386	484,31
d	2	1,6603	1,6603	0,8301	23,60
Hata	2	0,0704	0,0704	0,0352	
Toplam	8	37,9500			



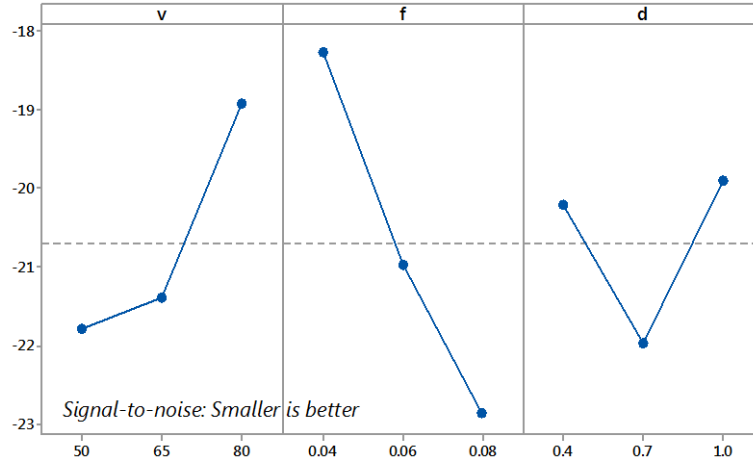
Şekil 6.63. Yüzey pürüzlülüğü R_{z1} için SN oranı temel etken gösterimi.

6.6.3 Yüzey pürüzlülüğü R_{t1} için temel etken gösterimi

Şekil 6.62'den, besleme hızının kesme hızı ve kesme derinliği ile karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğüne yönelik parametreleri daha fazla etkilediği açıktır. Yüzey pürüzlülüğü için en uygun koşul kesme hızı $V=65$ m/dak, ilerleme hızı $f=0.06$ mm/diş ve kesme derinliği $d=0,7$ mm'dir. Cevap çizelgesi Çizelge 6.25'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.26. R_{t1} 'nin S/N oranları için varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Kareler Ortalaması	F Oranı	P Değeri
V	2	14,539	14,539	7,270	2,30
f	2	32,217	32,217	16,108	5,10
d	2	7,529	7,529	3,764	1,19
Hata	2	6,311	6,311	3,156	
Toplam	8	60,596			



Şekil 6.64. Yüzey pürüzlülüğü R_{t1} için S/N oranı temel etken gösterimi

6.6.4 Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi (ANOVA)

ANOVA çizelgesi genellikle çıktı yanıtlarını en çok etkileyen önemli girdi parametrelerini bulmak için hazırlanır. Her bir çıktı cevabı için anlamlı bir $\alpha = 0,05$ ve güven seviyesi% 95 olan varyans çizelgesi analizi hazırlanmıştır. P-değerinin 0,05'ten az olduğu ANOVA çizelgesinde bulunan kaynaklar, ilgili çıkış cevabı için önemli bir parametre olarak ele alınmıştır. Yüzeysel pürüzlülüğü için ANOVA analizi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 6.27 ila 6.32'de verilmiştir.

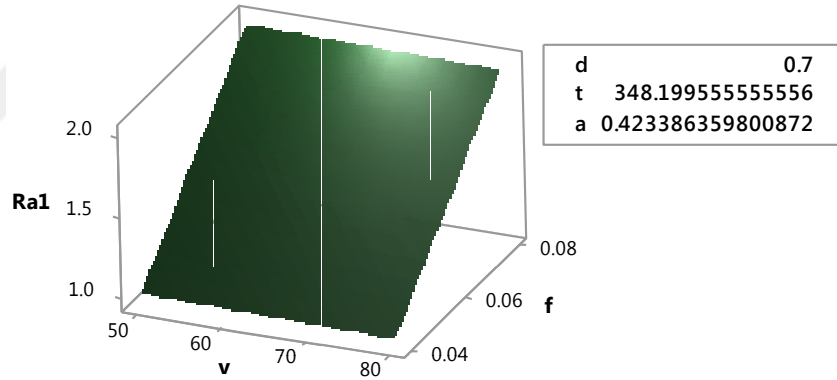
Çizelge 6.27. R_{al} 'nin yüzey pürüzlülük ANOVA analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
Regresyon	5	1,727	0,345	5,03	0,107
V	1	0,001	0,001	0,01	0,911
f	1	1,428	1,428	20,7	0,020
d	1	0,010	0,010	0,15	0,723
t	1	0,011	0,011	0,17	0,708
a	1	0,101	0,101	1,48	0,311
Artık hata	3	0,206	0,068		
Toplam	8	1,933			

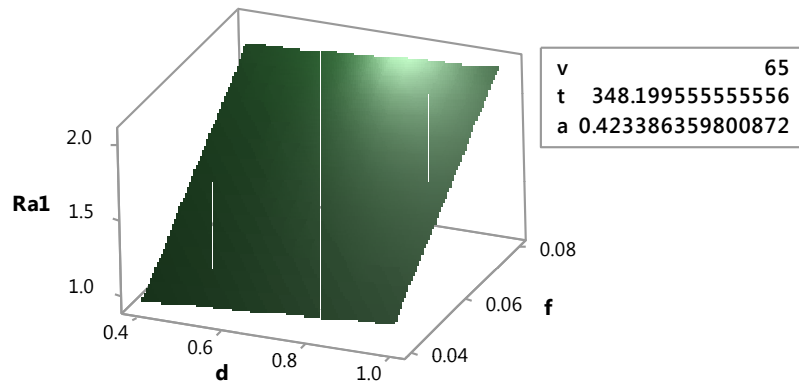
Çizelge 6.28. R_{a1} 'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri

Kaynak	DF	SS	MS	F	Anlamlılık
Regresyon	5	1,72767	0,345535	5,029885	0,107017
Kalan	3	0,20608	0,068696		
Toplam	8	1,93376			
	Katsayılar	Standart Hata	P değeri	Regresyon İstatistikleri	
Kesişim	-0,20	0,90	0,84	Çoklu R	0,95
Hız	0,00	0,01	0,91	R^2	0,89
İlerleme	24,98	5,48	0,02	Adj R^2	0,72
Kesme derinliği	0,18	0,48	0,72	Standart Hata	0,26
Sıcaklık	0,00	0,00	0,71	Gözlemler	9
Titreşim genliği	1,15	0,94	0,31		

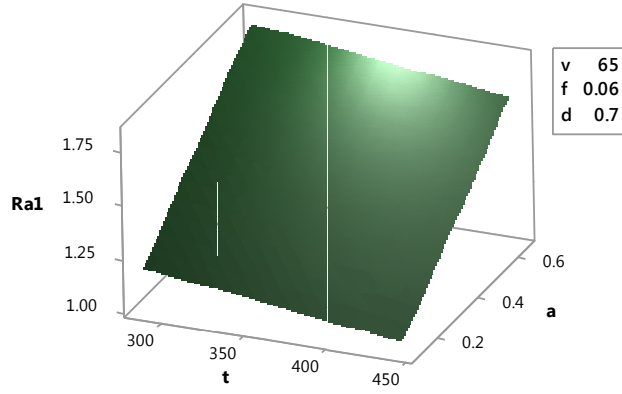
Çizelge 6.27 ve 6.28'de verilen kesim hızı, ilerleme, kesim derinliği, sıcaklık ve titreşim genliklerinin etkisi Şekil 6.65, 6.66 ve 6.67'de gösterilmiştir.



Şekil 6.65. Kesme hızı ve ilerlemenin R_{a1} üzerindeki etkisi.



Şekil 6.66. Kesme derinliği ve ilerlemenin R_{a1} üzerindeki etkisi.



Şekil 6.67. Sıcaklık ve titreşimin R_{a1} üzerindeki etkisi

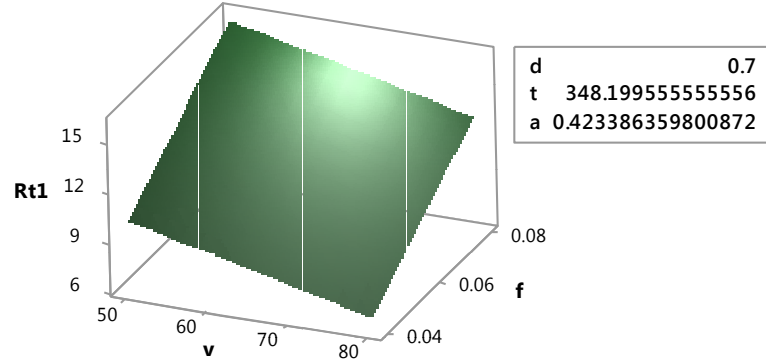
Çizelge 6.29. R_{t1} 'nin yüzey pürüzlülüğüne ANOVA analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
Regresyon	5	72,955	14,5910	1,54	0,383
V	1	9,4105	9,4105	0,99	0,392
f	1	48,5635	48,5635	5,13	0,108
d	1	1,1978	1,1978	0,13	0,746
t	1	0,4756	0,4756	0,05	0,837
a	1	0,6191	0,6191	0,07	0,815
Hata	3	28,376	9,4586		
Toplam	8	101,331			

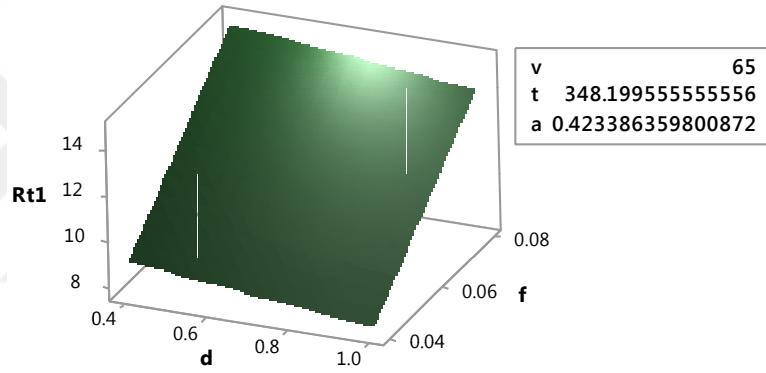
Çizelge 6.30. R_{t1} 'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri.

Kaynak	DF	SS	MS	F	Anlamlılık
Regresyon	5	72,95512	14,59102	1,542616	0,382928
Kalan	3	28,37586	9,458621		
Toplam	8	101,331			
	Katsayılar		Standart Hata	P değeri	Regresyon İstatistikleri
Kesişim	10,557	10,579	0,392	Çoklu R	0,85
Hız	-0,116	0,116	0,392	R^2	0,72
İlerleme	145,666	64,286	0,108	Adj R^2	0,25
Kesme derinliği	-1,987	5,584	0,746	Standart Hata	3,08
Sıcaklık	0,006	0,028	0,837	Gözlemler	9
Titreşim genliği	-2,832	11,071	0,815		

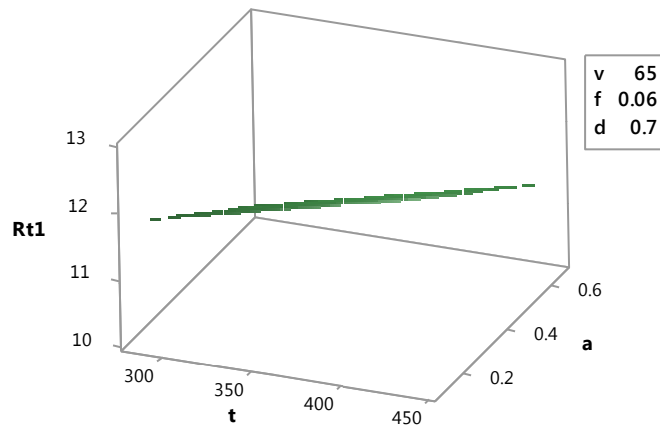
Çizelge 6.29 ve 6.30'tan elde edilen kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, sıcaklık ve titreşim genliklerinin etkileri Şekil 6.68, 6.69 ve 6.70'de şekilsel olarak sunulmuştur.



Şekil 6.68. Kesme hızı ve ilerlemenin R_{t1} üzerindeki etkisi



Şekil 6.69. Kesme derinliği ve ilerlemenin R_{t1} üzerindeki etkisi



Şekil 6.70. Sıcaklık ve titreşimin R_{t1} üzerindeki etkisi

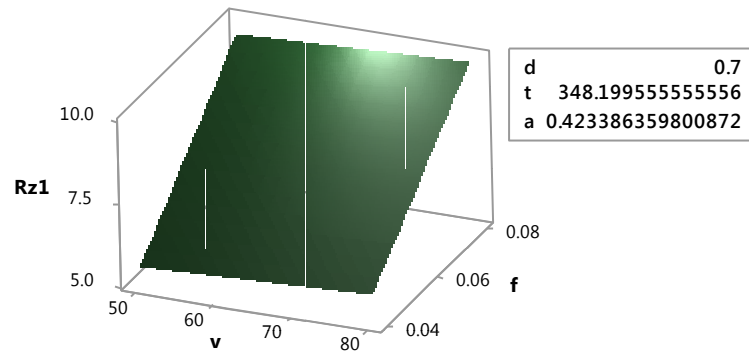
Çizelge 6.31. R_{z1} 'nin yüzey pürüzlülüğüne ANOVA analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
Regresyon	5	26,1808	5,2362	7,34	0,066
V	1	0,0637	0,0637	0,09	0,784
f	1	23,0972	23,0972	32,3	0,011
d	1	0,0572	0,0572	0,08	0,796
t	1	0,3485	0,3485	0,49	0,535
a	1	0,1007	0,1007	0,14	0,732
Hata	3	2,1399	0,7133		
Toplam	8	28,3207			

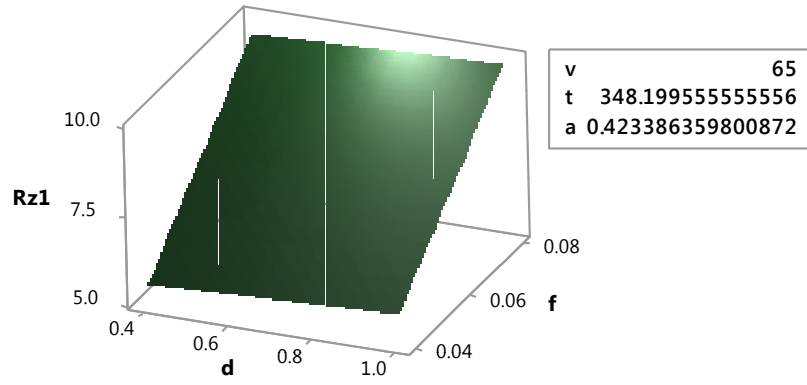
Çizelge 6.32. R_{z1} 'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri

Kaynak	DF	SS	MS	F	Anlamlılık
Regresyon	5	26,1808	5,2362	7,3408	0,0658
Kalan	3	2,1399	0,7133		
Toplam	8	28,3207			
	Katsayılar	Standart Hata	P değeri	Regresyon İstatistikleri	
Kesişim	2,0922	2,9051	0,5235	Çoklu R	0,96
Hız	0,0095	0,0319	0,7845	R^2	0,92
İlerleme	100,4577	17,6538	0,0108	Adj R^2	0,80
Kesme derinliği	0,4341	1,5333	0,7955	Standart Hata	0,84
Sıcaklık	-0,0053	0,0076	0,5349	Gözlemler	9
Titreşim genliği	1,1425	3,0402	0,7321		

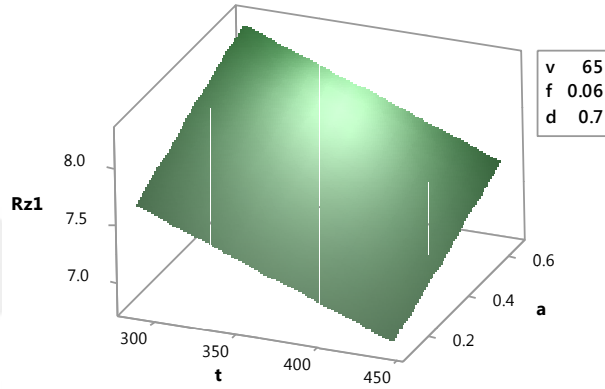
Çizelge 5.31 ve 5.32'den elde edilen kesme hızı, besleme, kesme derinliği, sıcaklık ve titreşim genliklerinin etkileri Şekil 6.71, 6.72 ve 6.73'te görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 6.71. Kesme hızı ve ilerlemenin R_{z1} üzerindeki etkisi



Şekil 6.72. Kesme derinliği ve ilerlemenin R_{z1} üzerindeki etkisi

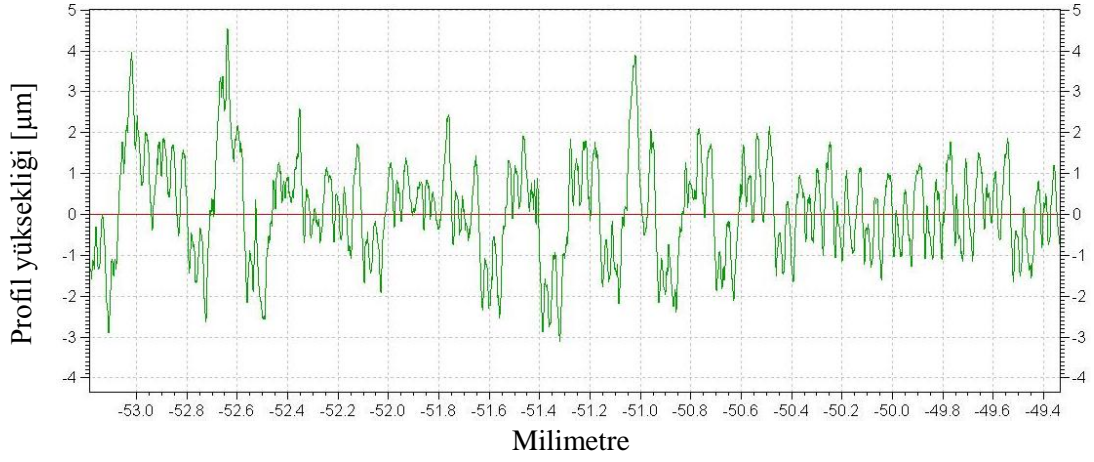


Şekil 6.73. Sıcaklık ve titreşimin R_{z1} üzerindeki etkisi

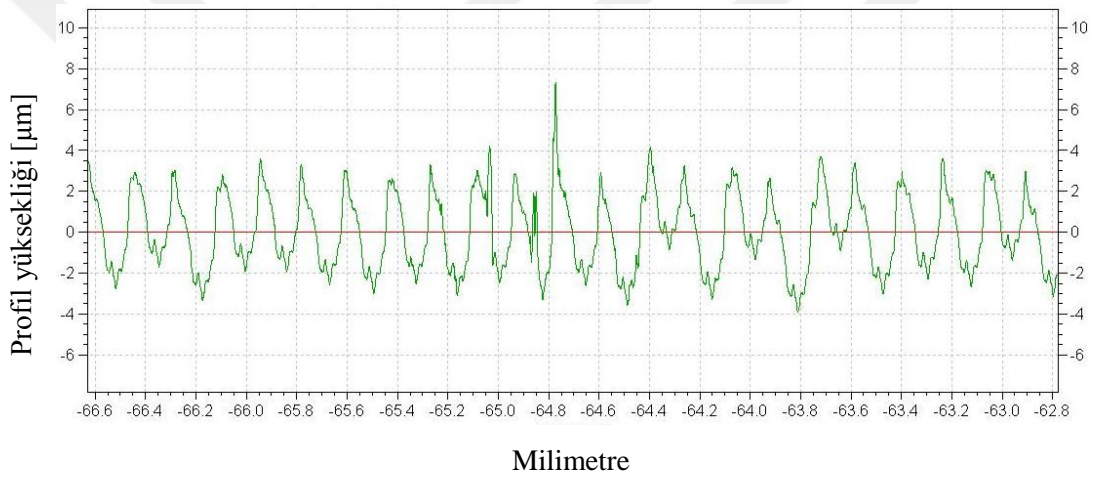
DeneySEL parametreler ve karşılık gelen tepkiler, Çizelge 6.33'ün altında ve 6.74'ten 6.82'ye kadar olan deneylere yönelik şekillerde sunulmuştur.

Çizelge 6.33. L9 ortogonal dizi kullanılarak elde edilen tavlama sonrası deney sonuçları

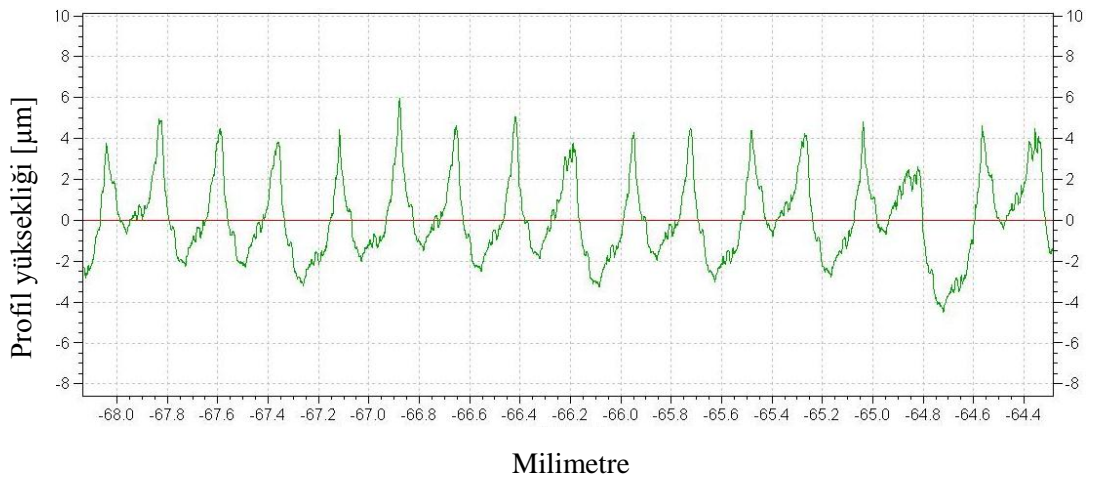
Deney	İşleme parametreleri ve değerleri					DeneySEL sonuçlar		
	Kesme Hızı	İlerleme	Kesme derinliği	t (°C)	Titreşim genliği	R_{a2}	R_{t2}	R_{z2}
1	50	0,04	0,4	399,63	0,598	0,9974	8,4336	5,5721
2	50	0,06	0,7	407,81	0,451	1,6015	11,6238	7,4998
3	50	0,08	1,0	467,70	0,135	1,6281	10,4363	8,3869
4	65	0,04	0,7	404,28	0,377	1,2317	8,6635	6,8242
5	65	0,06	1,0	343,72	0,513	1,6202	10,7137	8,5033
6	65	0,08	0,4	376,24	0,580	2,2018	19,3488	10,667
7	80	0,04	1,0	532,61	0,518	0,9604	8,2655	5,381
8	80	0,06	0,4	416,19	0,6506	1,2709	17,8425	7,6771
9	80	0,08	1,0	438,30	0,7695	2,3214	11,8395	10,281



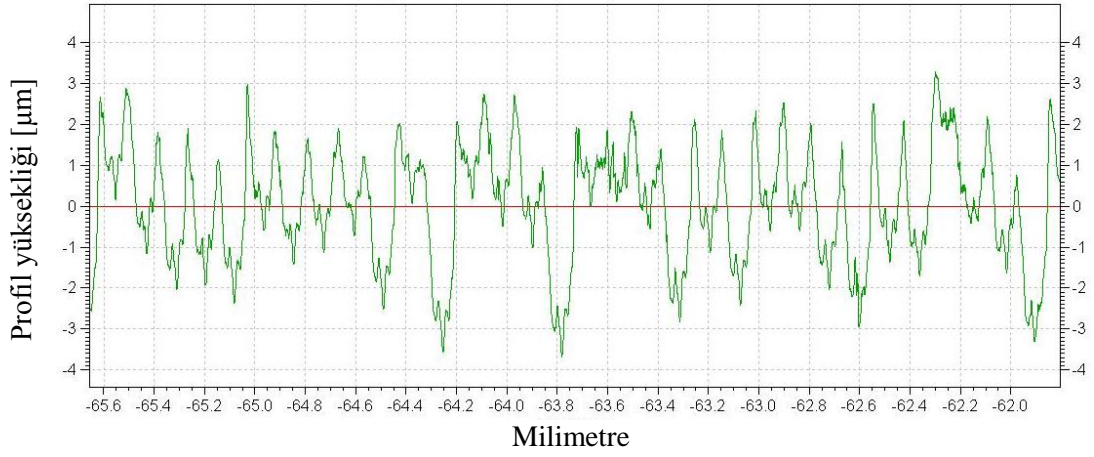
Şekil 6.74. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 1 ($V=50$ [mm/dak], $f=0,04$ [mm/diş] ve $d=0,4$ mm).



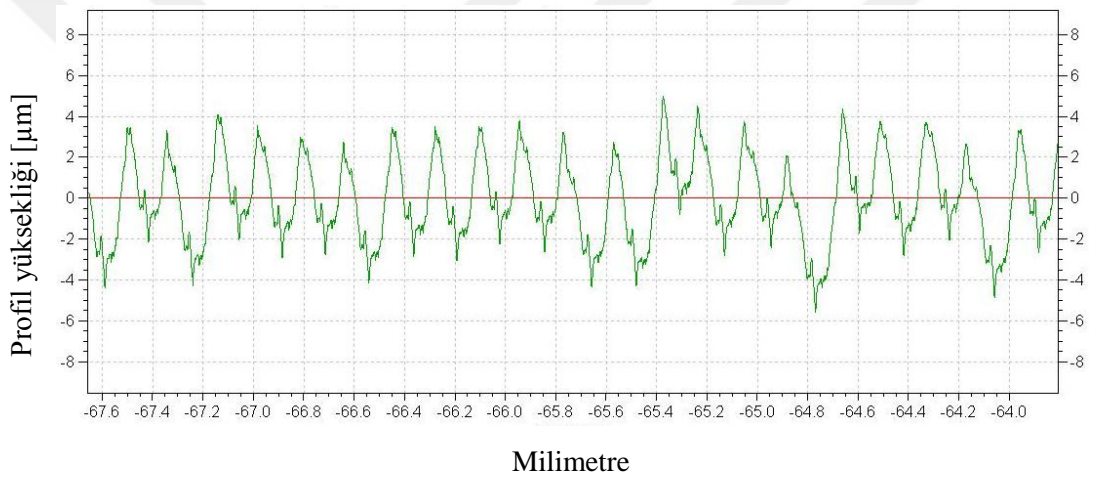
Şekil 6.75. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 2 ($V=50$ [mm/dak], $f=0,06$ [mm/diş] ve $d=0,7$ mm).



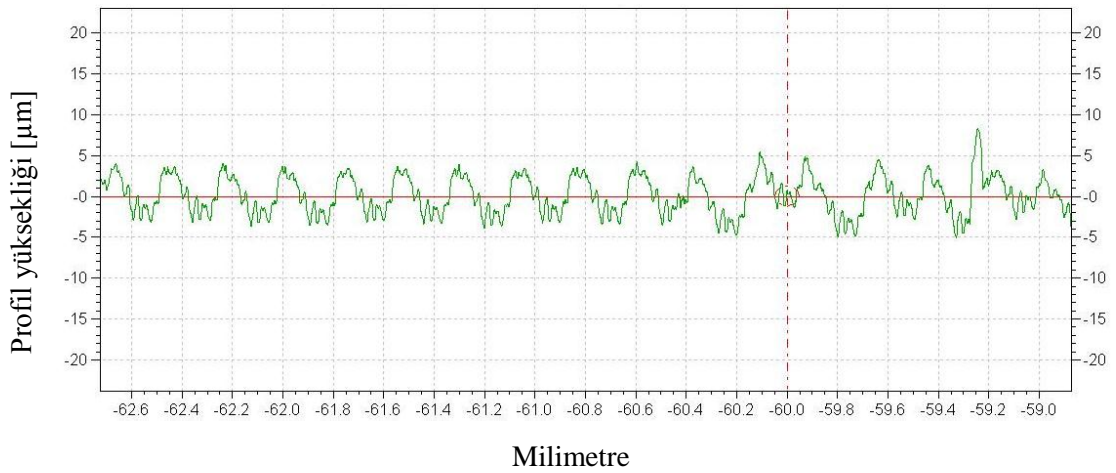
Şekil 6.76. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 3 ($V=50$ [mm/dak], $f=0,08$ [mm/diş] ve $d=1,0$ mm).



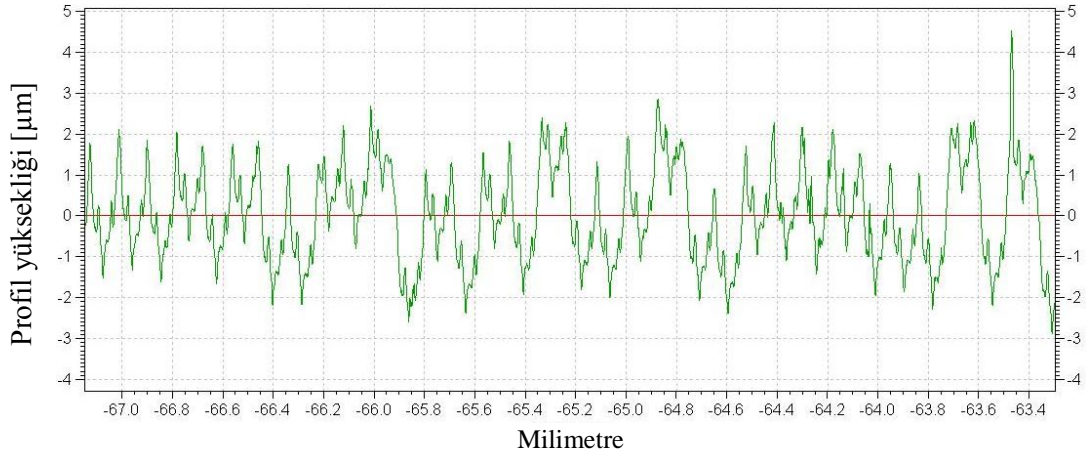
Şekil 6.77. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 4 ($V=65$ [mm/dak], $f=0,04$ [mm/diş] ve $d=0,7$ mm).



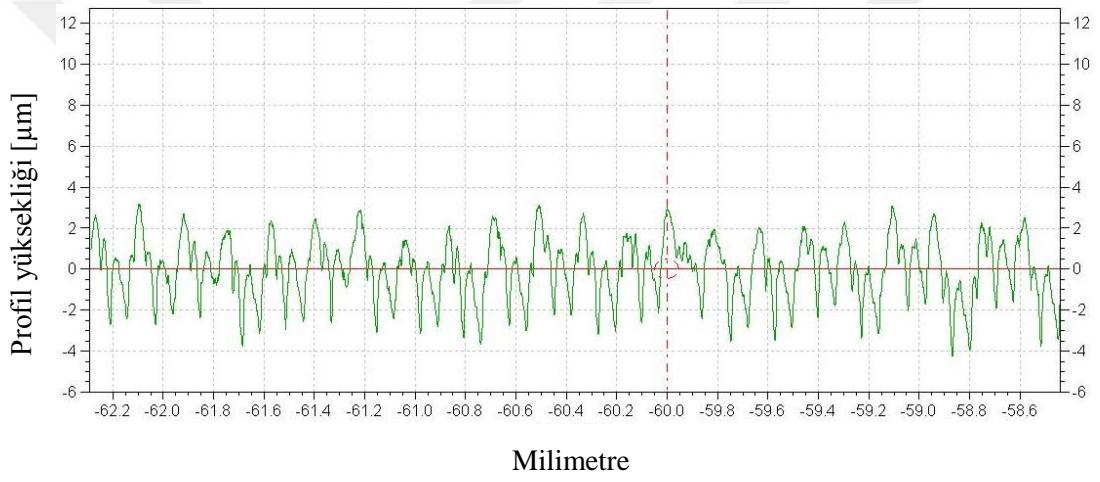
Şekil 6.78. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 5 ($V=65$ [mm/dak], $f=0,06$ [mm/diş] ve $d=1,0$ mm).



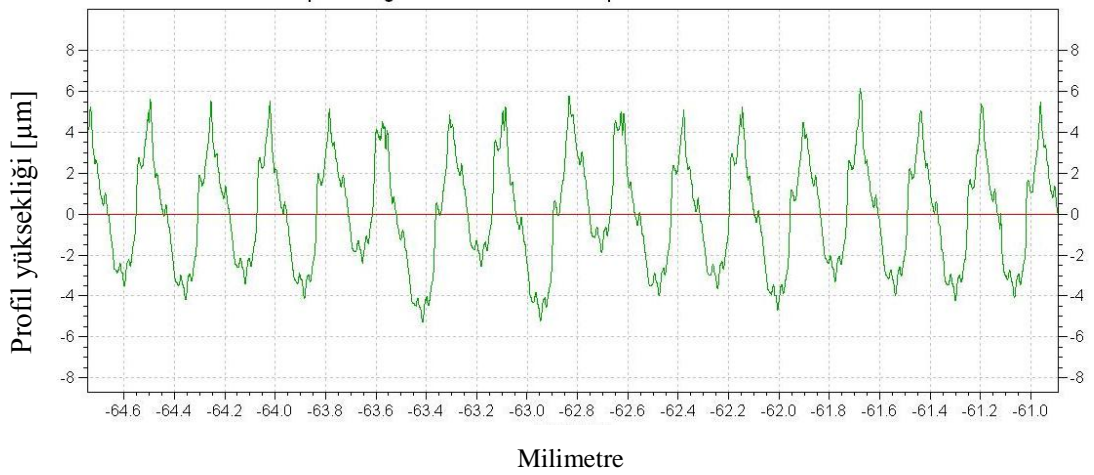
Şekil 6.79. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 6 ($V=65$ [mm/dak], $f=0,08$ [mm/diş] ve $d=0,4$ mm).



Şekil 6.80. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 7 ($V=80$ [mm/dak],
 $f=0,04$ [mm/diş] ve $d=1,0$ mm).



Şekil 6.81. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 8 ($V=80$ [mm/dak],
 $f=0,06$ [mm/diş] ve $d=0,4$ mm).



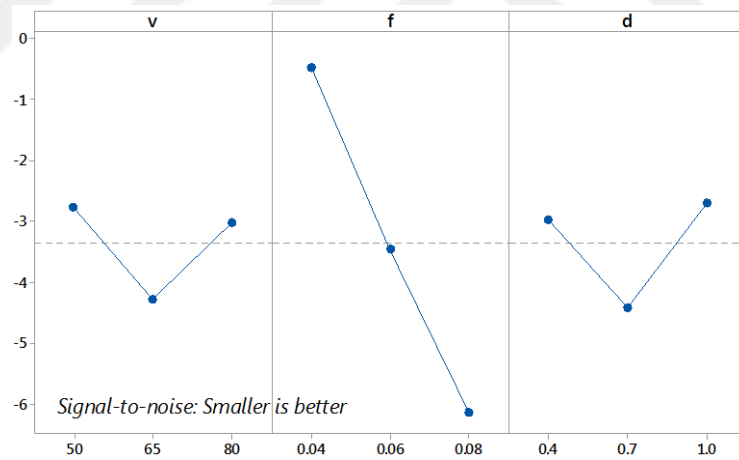
Şekil 6.82. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlar deney 9 ($V=80$ [mm/dak],
 $f=0,08$ [mm/diş] ve $d=1,0$ mm).

6.6.5 Yüzey pürüzlülüğü R_{a2} için temel etken gösterimi

Şekil 6.83'ten, besleme hızının kesme hızı ve kesme derinliği ile karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğüne yönelik parametreleri daha fazla etkilediği açıktır. Yüzey pürüzlülüğü için en uygun koşul kesme hızı $V=65$ m/dak, ilerleme hızı $f=0.06$ mm/diş ve kesme derinliği $d=0.7$ mm'dir. Yanıt çizelgesi Çizelge 6.34'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.34. R_{a2} 'nin S/N oranları için varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Kareler Ortalaması	F Oranı	P Değeri
V	2	3,981	3,981	1,990	1,97
f	2	48,027	48,027	24,014	23,80
d	2	5,071	5,071	2,535	2,51
Hata	2	2,018	2,018	1,009	
Toplam	8	59,097			



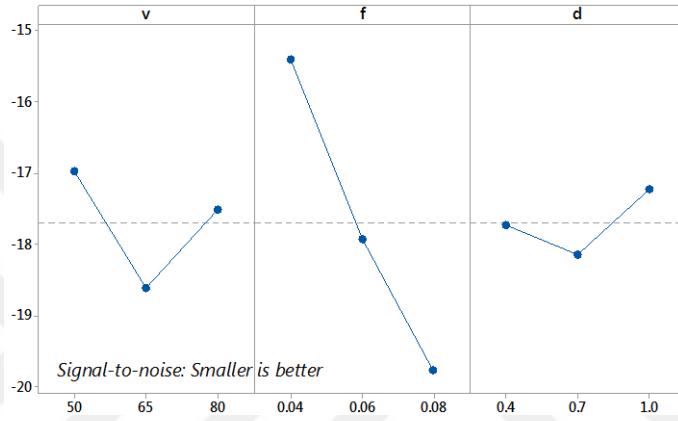
Şekil 6.83. Yüzey pürüzlülüğü R_{a2} için S/N oranı temel etken gösterimi

6.6.6 Yüzey pürüzlülüğü R_{t2} için temel etken gösterimi

Şekil 6.84'ten, besleme hızının kesme hızı ve kesme derinliği ile karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğüne yönelik parametreleri daha fazla etkilediği açıktır. Yüzey pürüzlülüğü için en uygun koşul kesme hızı $V=80$ m/dak, ilerleme hızı $f=0.06$ mm/diş ve kesme derinliği $d=0.7$ mm'dir. Yanıt çizelgesi Çizelge 6.35'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.35. R_{12} 'nin S/N oranları için varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Kareler Ortalaması	F Oranı	P Değeri
V	2	4,2117	4,2117	2,1058	19,08
f	2	28,6548	28,6548	14,3274	129,82
d	2	1,2571	1,2571	0,6286	5,70
Hata	2	0,2207	0,2207	0,1104	
Toplam	8	34,3443			



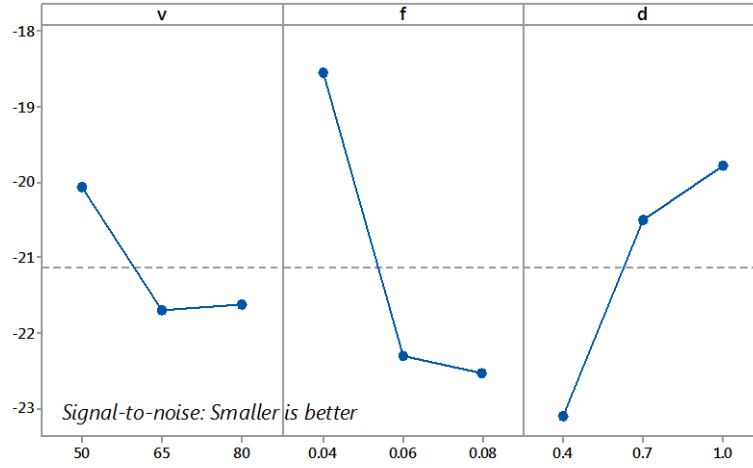
Şekil 6.84. Yüzey pürüzlülüğü R_{12} için SN oranı temel etken gösterimi

6.6.7 Yüzey pürüzlülüğü R_{z2} için temel etken gösterimi

Şekil 6.85'ten, besleme hızının kesme hızı ve kesme derinliği ile karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğüne yönelik parametreleri daha fazla etkilediği açıktır. Yüzey pürüzlülüğü için en uygun koşul kesme hızı $V= 65$ m/dak, ilerleme hızı $f=0.06$ mm/diş ve kesme derinliği $d=0.7$ mm'dir. Cevap çizelgesi Çizelge 6.36'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.36. R_{a2} 'nin S/N oranları için varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Kareler Ortalaması	F Oranı	P Değeri
V	2	5,056	5,056	2,528	1,22
f	2	30,141	30,141	15,071	7,28
d	2	18,265	18,265	9,132	4,41
Hata	2	4,143	4,143	2,071	
Toplam	8	57,605			



Şekil 6.85. Yüzey pürüzlülüğü R_{z2} için SN oranı temel etken gösterimi

6.6.8 Yüzey pürüzlülüğü için Varyans Analizi (ANOVA)

ANOVA çizelgesi genellikle çıktı yanıtlarını en çok etkileyen önemli girdi parametrelerini bulmak için hazırlanır. Her bir çıktı cevabı için anlamlı bir $\alpha = 0,05$ ve güven seviyesi% 95 olan varyans çizelgesi analizi hazırlanmıştır. P-değerinin 0,05'ten az olduğu ANOVA çizelgesinde bulunan kaynaklar, ilgili çıkış cevabı için önemli bir parametre olarak ele alınmıştır. Isıl işlemden sonra yüzey pürüzlülüğü için ANOVA ile analiz sonuçları Çizelge 6.37. ve Çizelge 6.42. arasındaki çizelgelerde sunulmuştur.

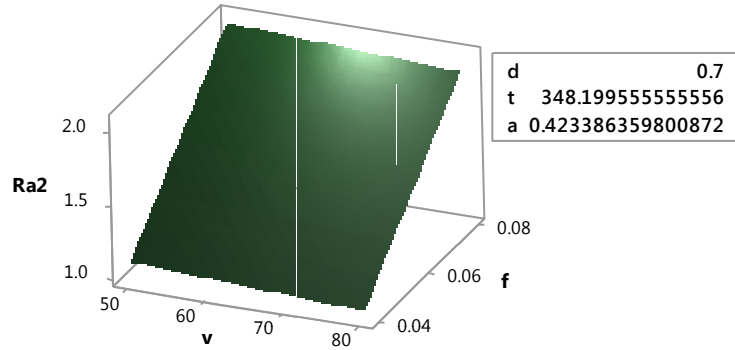
Çizelge 6.37. R_{a2} 'nin yüzey pürüzlülüğüne ANOVA analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
Regresyon	5	1,62937	0,32587	4,16	0,135
V	1	0,00560	0,0056	0,07	0,807
f	1	1,32558	1,3255	16,9	0,026
d	1	0,02708	0,0270	0,35	0,598
t	1	0,02657	0,0265	0,34	0,601
a	1	0,10436	0,1043	1,33	0,332
Hata	3	0,23490	0,0783		
Toplam	8	1,86428			

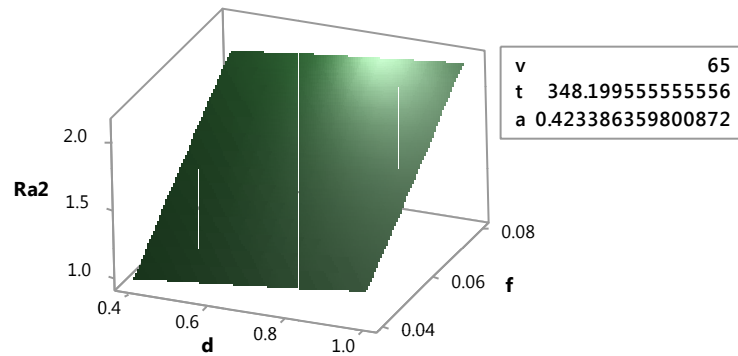
Çizelge 6.38. R_{a2} 'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri

Kaynak	DF	SS	MS	F	Anlamlılık
Regresyon	5	1,62937	0,325875	4,161807	0,135034
Kalan	3	0,23490	0,078301		
Toplam	8	1,86427			
	Katsayılar	Standart Hata	P değeri	Regresyon İstatistikleri	
Kesişim	0,087	0,963	0,934	Çoklu R	0,93
Hız	-0,003	0,011	0,807	R^2	0,87
İlerleme	24,066	5,849	0,026	Adj R^2	0,66
Kesme derinliği	0,299	0,508	0,598	Standart Hata	0,28
Sıcaklık	-0,001	0,003	0,601	Gözlemler	9
Titreşim genliği	1,163	1,007	0,332		

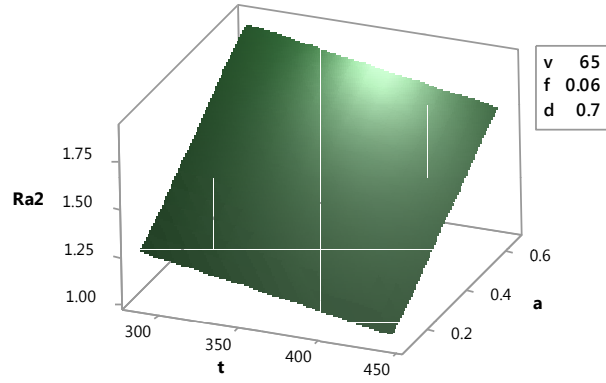
Çizelge 6.37 ve 6.38'den elde edilen kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, sıcaklık ve titreşim genliklerinin etkileri Şekil 6.86, 6.87 ve 6.88'de görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 6.86. Kesme hızı ve ilerlemenin R_{a2} üzerindeki etkisi.



Şekil 6.87. Kesme derinliği ve ilerlemenin R_{a2} üzerindeki etkisi.



Şekil 6.88. Sıcaklık ve titreşimin R_{a2} üzerindeki etkisi.

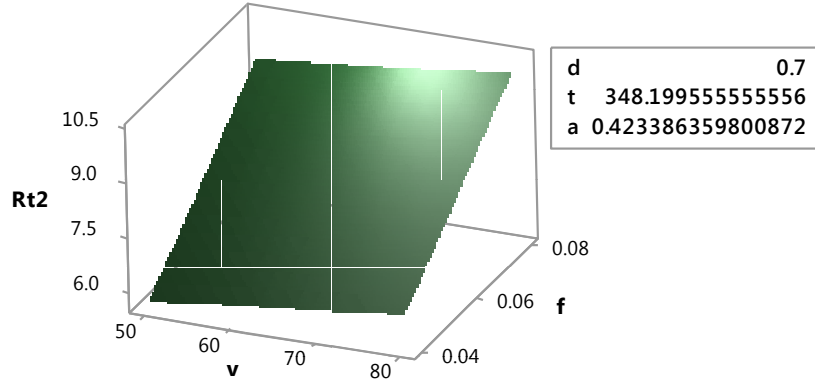
Çizelge 6.39. R_{12} 'nin yüzey pürüzlülüğüne ANOVA analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
Regresyon	5	25,4015	5,080	9,22	0,048
V	1	0,4084	0,408	0,74	0,453
f	1	18,6599	18,659	33,8	0,010
d	1	0,0541	0,054	0,10	0,775
t	1	1,8984	1,898	3,45	0,160
a	1	0,1233	0,123	0,22	0,668
Hata	3	1,6531	0,551		
Toplam	8	27,0546			

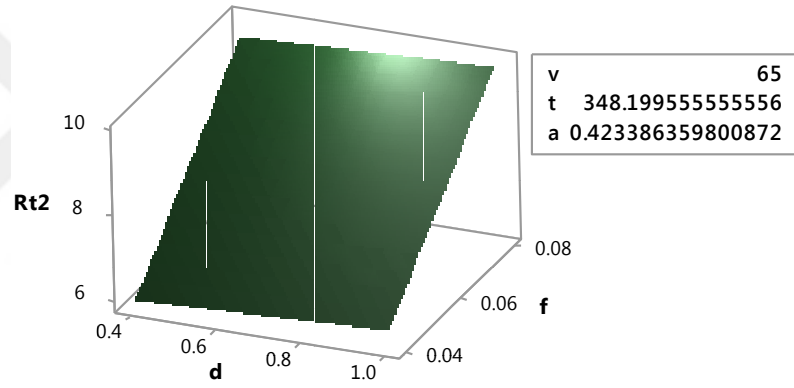
Çizelge 6.40. R_{12} 'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri

Kaynak	DF	SS	MS	F	Anlamlılık
Regresyon	5	25,401	5,0803	9,2196	0,0485
Kalan	3	1,6531	0,5510		
Toplam	8	27,054			
	Katsayılar	Standart hata	P değeri	Regresyon İstatistikleri	
Kesişim	4,3678	2,5534	0,1857	Çoklu R	0,97
Hız	0,0242	0,0281	0,4526	R^2	0,94
İlerleme	90,2939	15,5164	0,0101	Adj R^2	0,84
Kesme derinliği	0,4222	1,3477	0,7746	Standart Hata	0,74
Sıcaklık	-0,0124	0,0067	0,1604	Gözlemler	9
Titreşim genliği	1,2639	2,6721	0,6685		

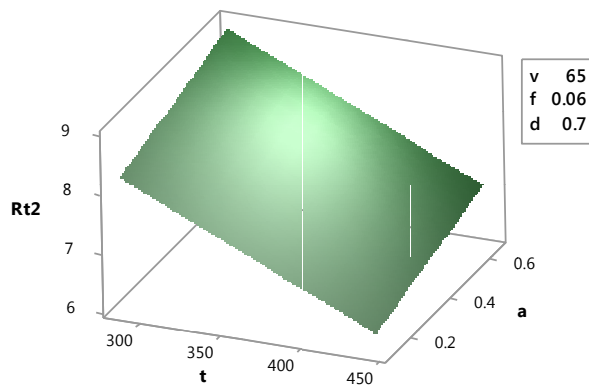
Çizelge 6.39 ve 6.40'dan elde edilen kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, sıcaklık ve titreşim genliklerinin etkileri Şekil 6.89-91'de görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 6.89. Kesme hızı ve ilerlemenin R_{t2} üzerindeki etkisi.



Şekil 6.90. Kesme derinliği ve ilerlemenin R_{t2} üzerindeki etkisi.



Şekil 6.91. Sıcaklık ve titreşimin R_{t2} üzerindeki etkisi.

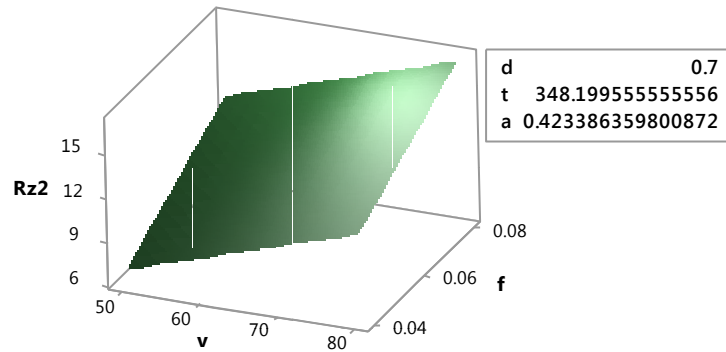
Çizelge 6.41. R_{z2} 'nin yüzey pürüzlülüğüne ANOVA analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
Regresyon	5	107,481	21,496	2,85	0,209
V	1	18,683	18,68	2,47	0,214
f	1	35,975	35,97	4,77	0,117
d	1	31,344	31,34	4,15	0,134
t	1	4,285	4,28	0,57	0,506
a	1	6,716	6,71	0,89	0,415
Hata	3	22,646	7,549		
Toplam	8	130,128			

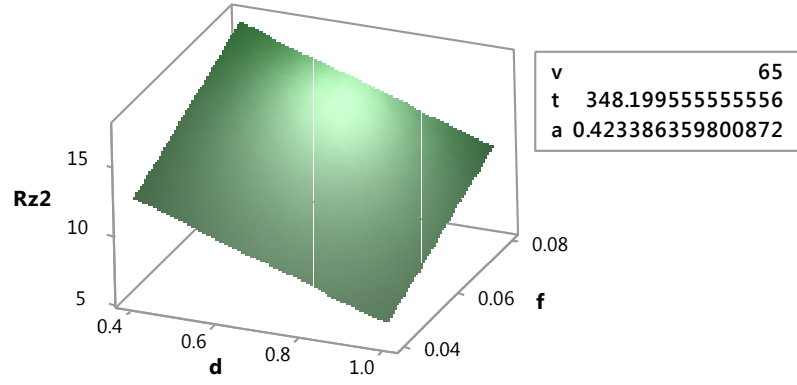
Çizelge 6.42. R_{z2} 'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri

Kaynak	DF	SS	MS	F	Anlamlılık
Regresyon	5	107,481	21,496	2,8476	0,2091
Kalan	3	22,6463	7,5487		
Toplam	8	130,127			
	Katsayılar	Standart Hata	P değeri	Regresyon İstatistikleri	
Kesişim	11,316	9,451	0,317	Çoklu R	0,91
Hız	0,163	0,104	0,214	R^2	0,83
İlerleme	125,373	57,430	0,117	Adj R^2	0,54
Kesme derinliği	-10,164	4,988	0,134	Standart Hata	2,75
Sıcaklık	-0,019	0,025	0,506	Gözlemler	9
Titreşim genliği	-9,329	9,890	0,415		

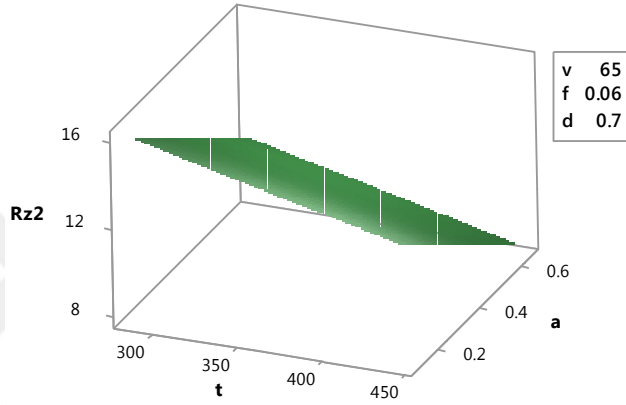
Çizelge 6.41 ve 6.42'den elde edilen kesme hızı, besleme, kesme derinliği, sıcaklık ve genliklerin etkileri Şekil 6.92-94'te görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 6.92. Kesme hızı ve ilerlemenin R_{z2} üzerindeki etkisi



Şekil 6.93. Kesme derinliği ve ilerlemenin R_{z2} üzerindeki etkisi



Şekil 6.94. Sıcaklık ve titreşimin R_{z2} üzerindeki etkisi

6.7 Regresyon Analizi Denklemleri

Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkileri tahmin etmek için kullanılan istatistiksel bir süreçtir. Bir bağımlı değişken ve bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişki üzerine odaklandığı zaman, çeşitli değişkenleri modellemek ve analiz etmek için birçok teknik içermektedir. Minitab 17'de ANOVA analizi ile kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü hesabı için denklemler oluşturulmuştur. Kesme kuvveti için regresyon analizi denklemleri:

$$F_{x1} = -187 - 1.21 \cdot V + 2995 \cdot f + 251 \cdot d + 0.514 \cdot t - 17 \cdot a \quad (6.12)$$

$$\text{Çoklu } R = \%0.91 \quad R^2 = \%0.84, \quad \text{Adj } R^2 = \%0.58$$

$$F_{y1} = -131 - 2.07 \cdot V + 2650 \cdot f + 237 \cdot d + 0.55 \cdot t + 32 \cdot a \quad (6.13)$$

$$\text{Çoklu } R = \%0.90, \quad R^2 = \%0.81, \quad \text{Adj } R^2 = \%0.50$$

$$F_{z1} = -146 - 0.92 \cdot V + 5329 \cdot f + 481.7 \cdot d - 0.155 \cdot t + 190 \cdot a \quad (6.14)$$

Çoklu R=%0.99, R²=%0.98, Adj R²=%0.93

$$F_{x2} = -143 - 1.05 \cdot V + 1410 \cdot f + 355.6 \cdot d + 0.150 \cdot t + 148 \cdot a \quad (6.15)$$

Çoklu R=%0.94, R²=%0.88, Adj R²=%0.69

$$F_{y2} = 1647 + 19.0 \cdot V - 2383 \cdot f + 195 \cdot d - 3.11 \cdot t - 1360 \cdot a \quad (6.16)$$

Çoklu R=%0.73, R²=%0.53, Adj R²=%0.54

$$F_{z2} = 131 - 2.59 \cdot V + 261 \cdot f + 411 \cdot d - 0.019 \cdot t + 223 \cdot a \quad (6.17)$$

Çoklu R=%0.92, R²=%0.85, Adj R²=%0.60

Yüzey pürüzlülüğü için regresyon analizi denklemleri:

$$R_{a1} = -0.203 - 0.00121 \cdot V + 24.98 \cdot f + 0.185 \cdot d - 0.00097 \cdot t + 1.147 \cdot a \quad (6.18)$$

Çoklu R=%0.95, R²=%0.89, Adj R²=%0.72,

$$R_{11} = 10.6 - 0.116 \cdot V + 145.7 \cdot f - 1.99 \cdot d + 0.0062 \cdot t - 2.8 \cdot a \quad (6.19)$$

Çoklu R=%0.85, R²=%0.72, Adj R²=%0.52,

$$R_{z1} = 2.09 + 0.0095 \cdot V + 100.5 \cdot f + 0.43 \cdot d - 0.00532 \cdot t + 1.14 \cdot a \quad (6.20)$$

Çoklu R=%0.96, R²=%0.92, Adj R²=%0.80,

$$R_{a2} = 0.087 - 0.0028 \cdot V + 24.07 \cdot f + 0.299 \cdot d - 0.00147 \cdot t + 1.16 \cdot a \quad (6.21)$$

Çoklu R=%0.93, R²=%0.87, Adj R²=%0.66,

$$R_{t2} = 4.37 + 0.0242 \cdot V + 90.3 \cdot f + 0.42 \cdot d - 0.01241 \cdot t + 1.26 \cdot a \quad (6.22)$$

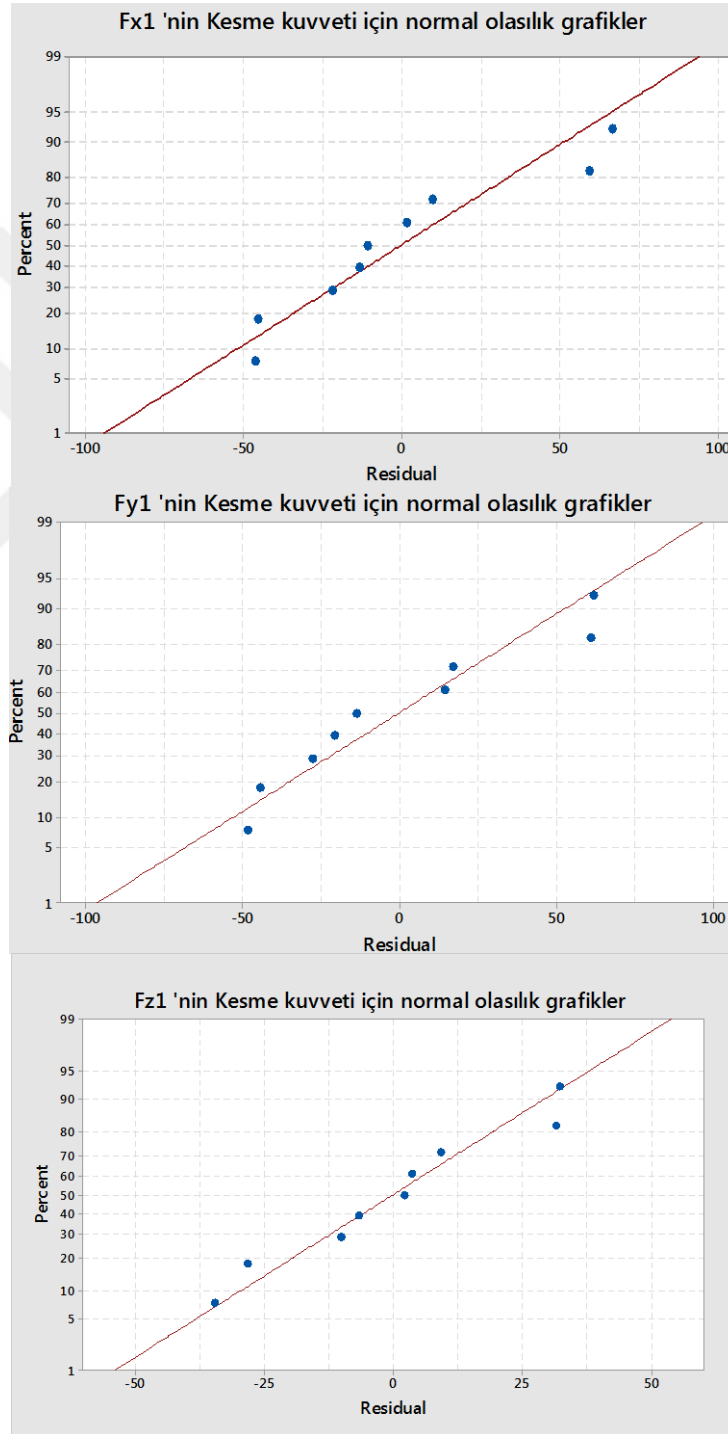
Çoklu R=%0.97, R²=%0.94, Adj R²=%0.84,

$$R_{z2} = 11.32 + 0.163 \cdot V + 125.4 \cdot f - 10.16 \cdot d - 0.0186 \cdot t - 9.33 \cdot a \quad (6.23)$$

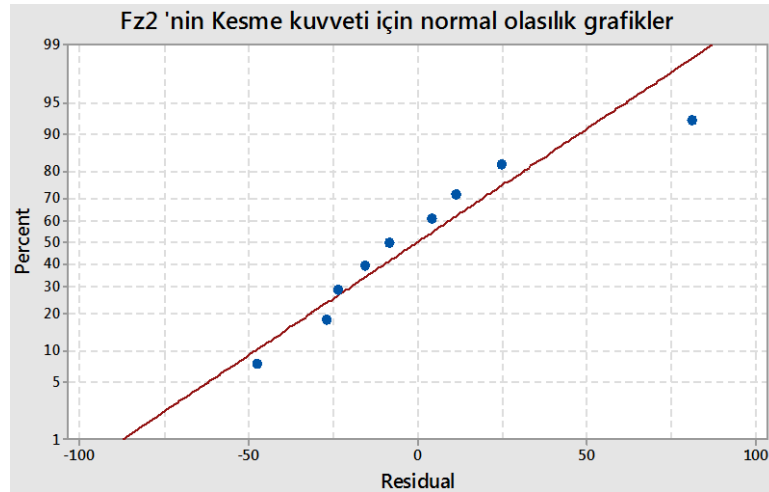
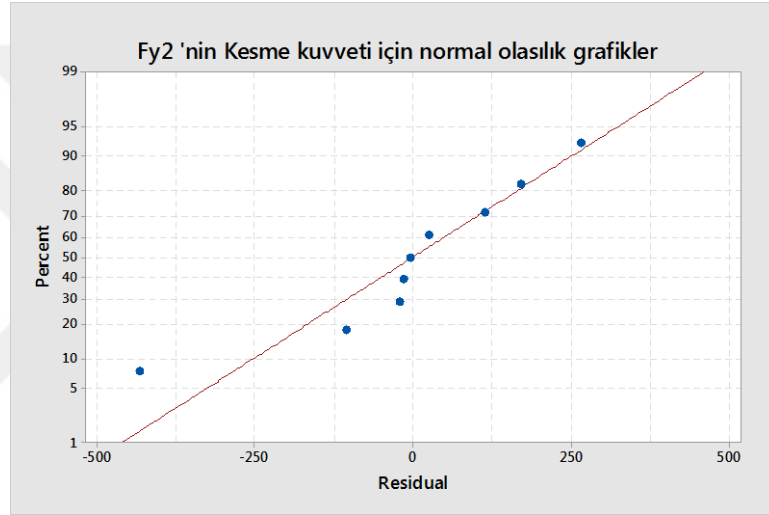
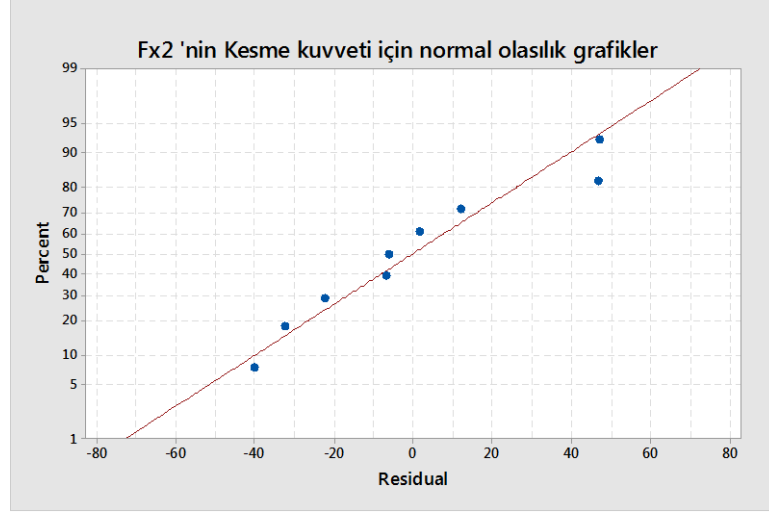
Çoklu R=%0.91, R²=%0.83, Adj R²=%0.54

6.8 Normal Olasılık Grafikleri

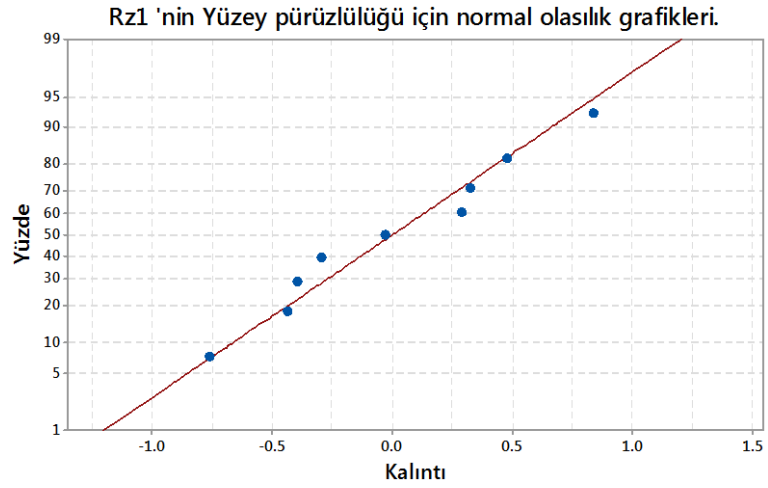
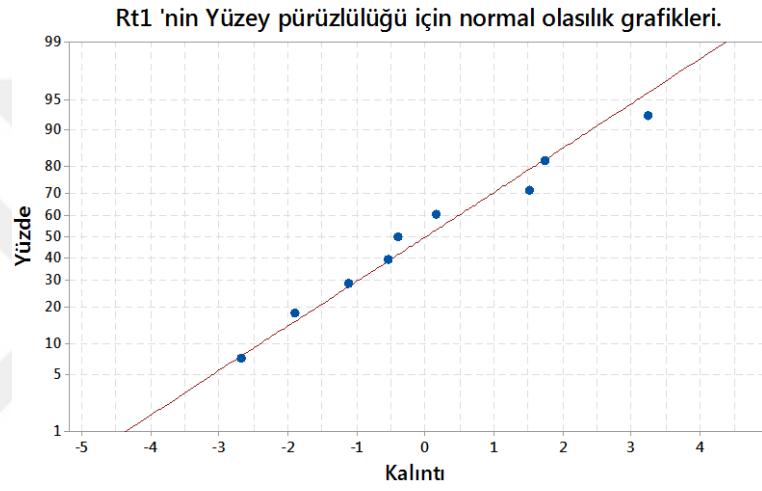
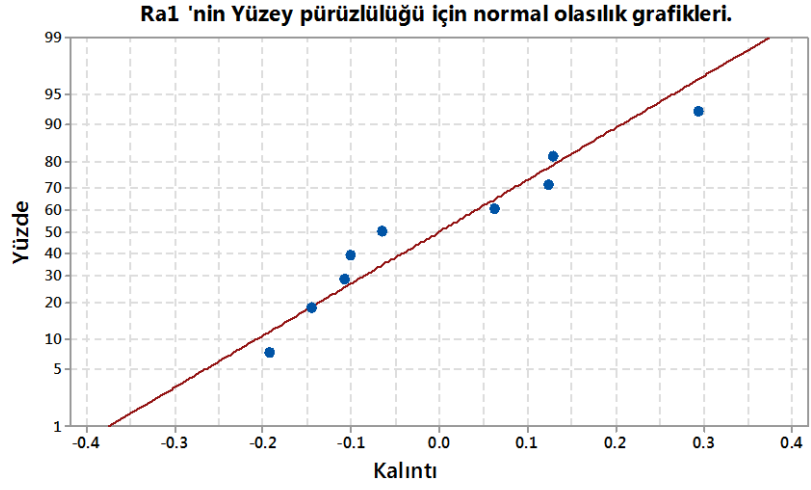
Yukarıdaki istatistiksel modelin geçerliliğini veya doğruluğunu kontrol etmek için normal olasılık çizelgesi elde edilmiştir. Bu sayede modelde yetersizlik ve olağandışı bir yapı olmayacak ve ileride daha iyi sonuçların tahmini sağlanacaktır. Şekil 6.95 ve Şekil 6.98'te gösterilen grafiklerden istatistiksel modelimizin uygunluğu açıkça görülmektedir.



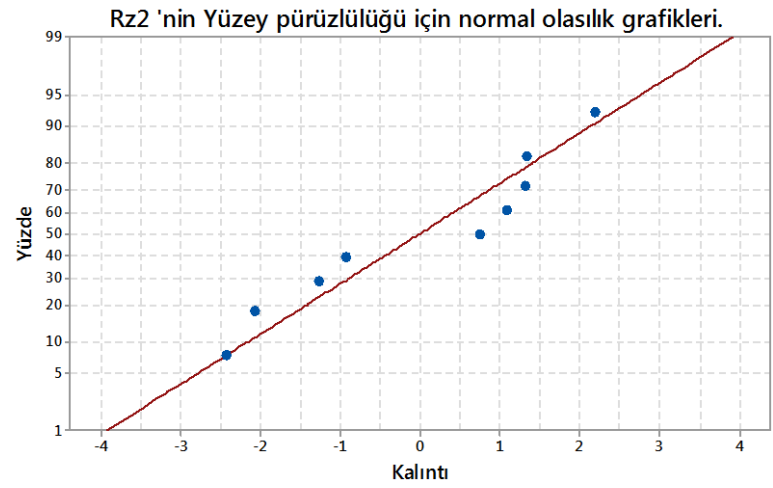
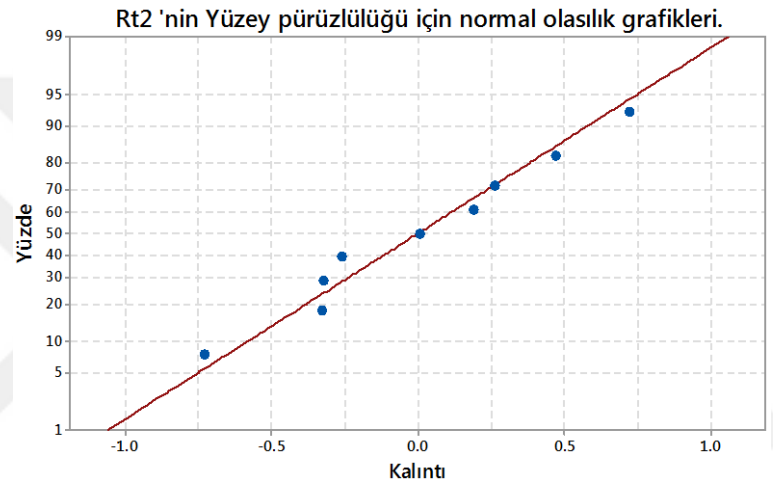
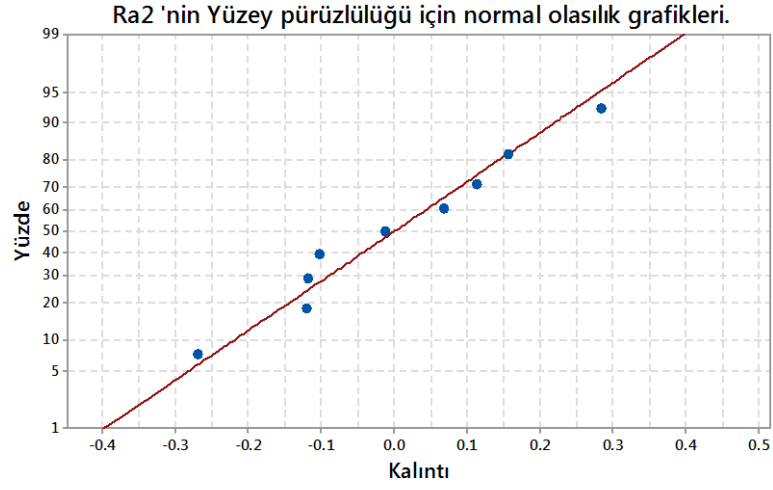
Şekil 6.95. Kesme kuvveti için normal olasılık grafikleri.



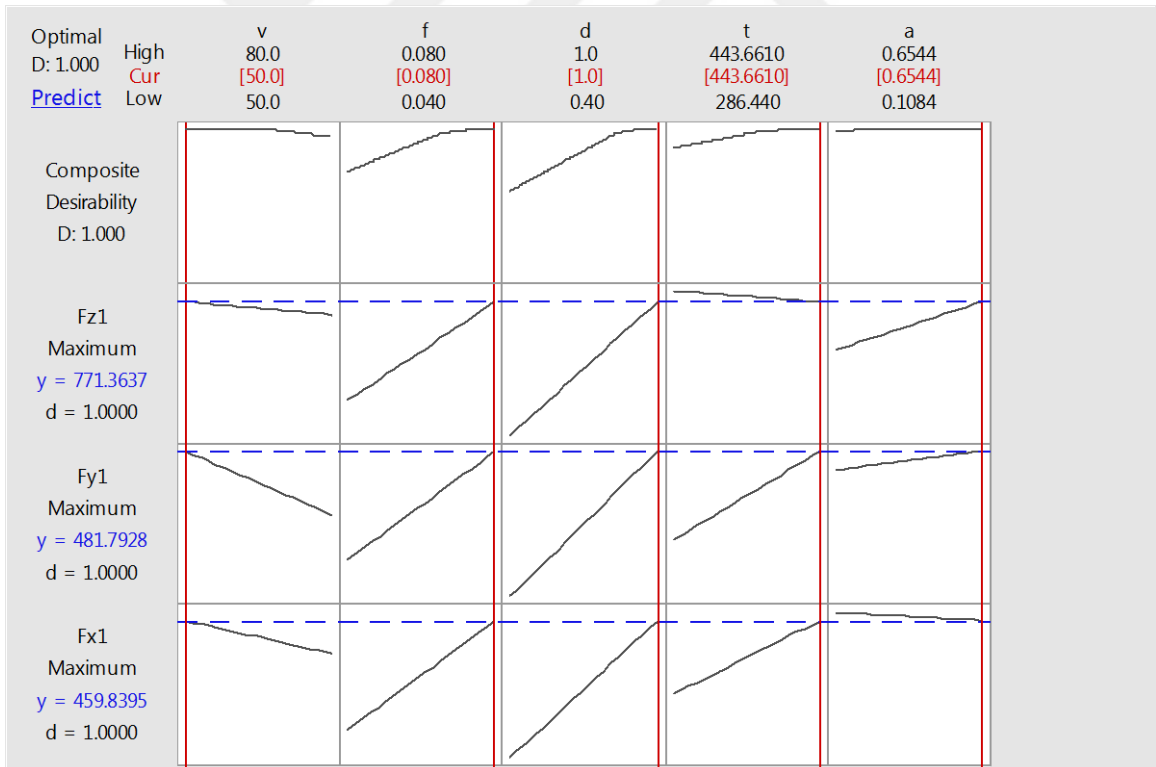
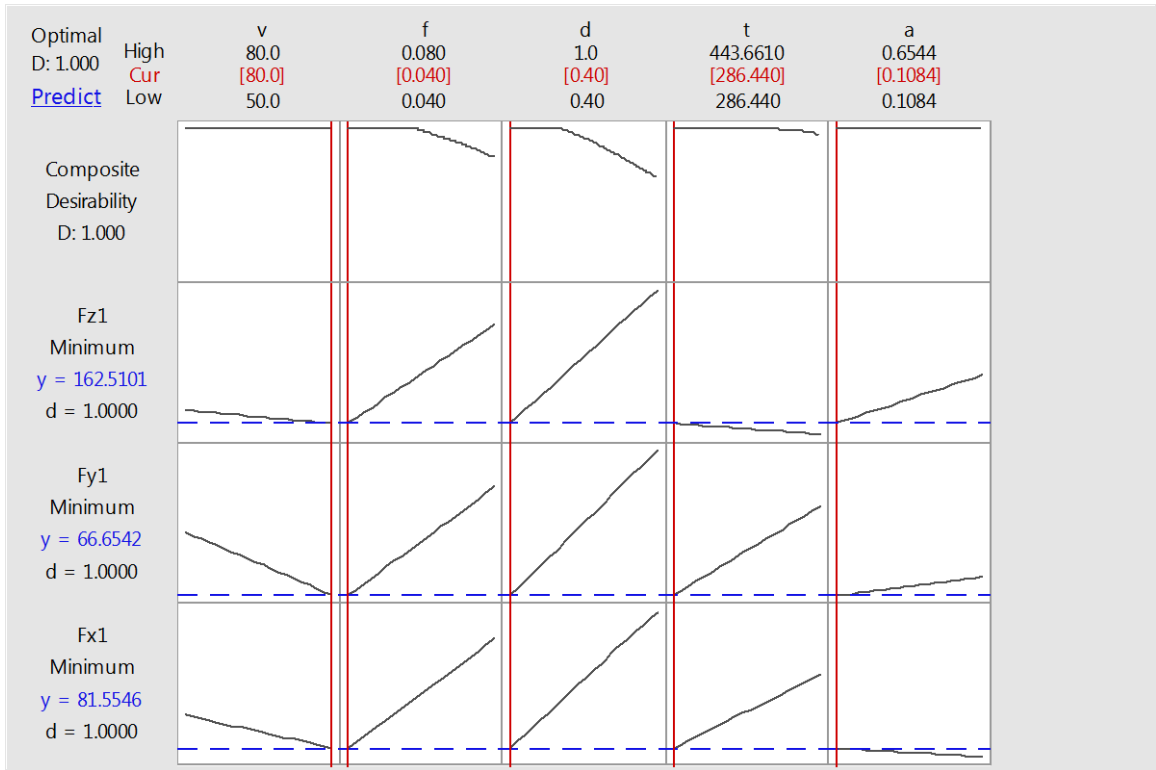
Şekil 6.96. Kesme kuvveti için normal olasılık grafikleri



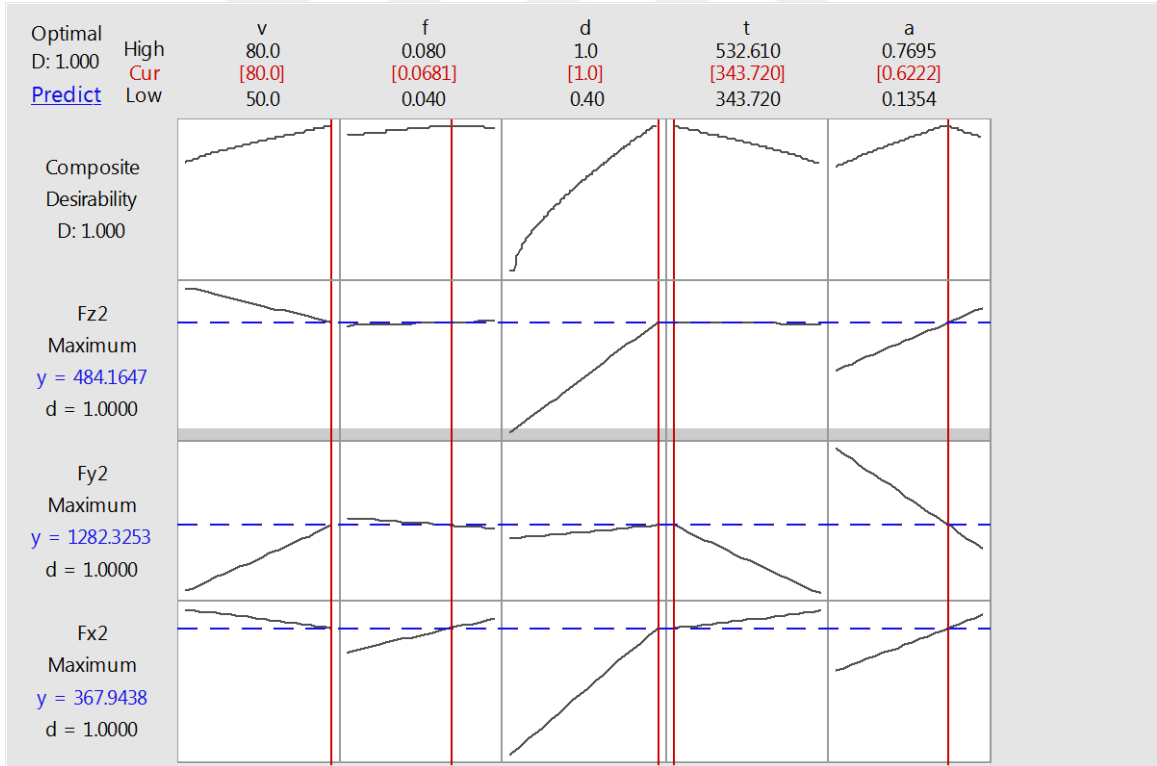
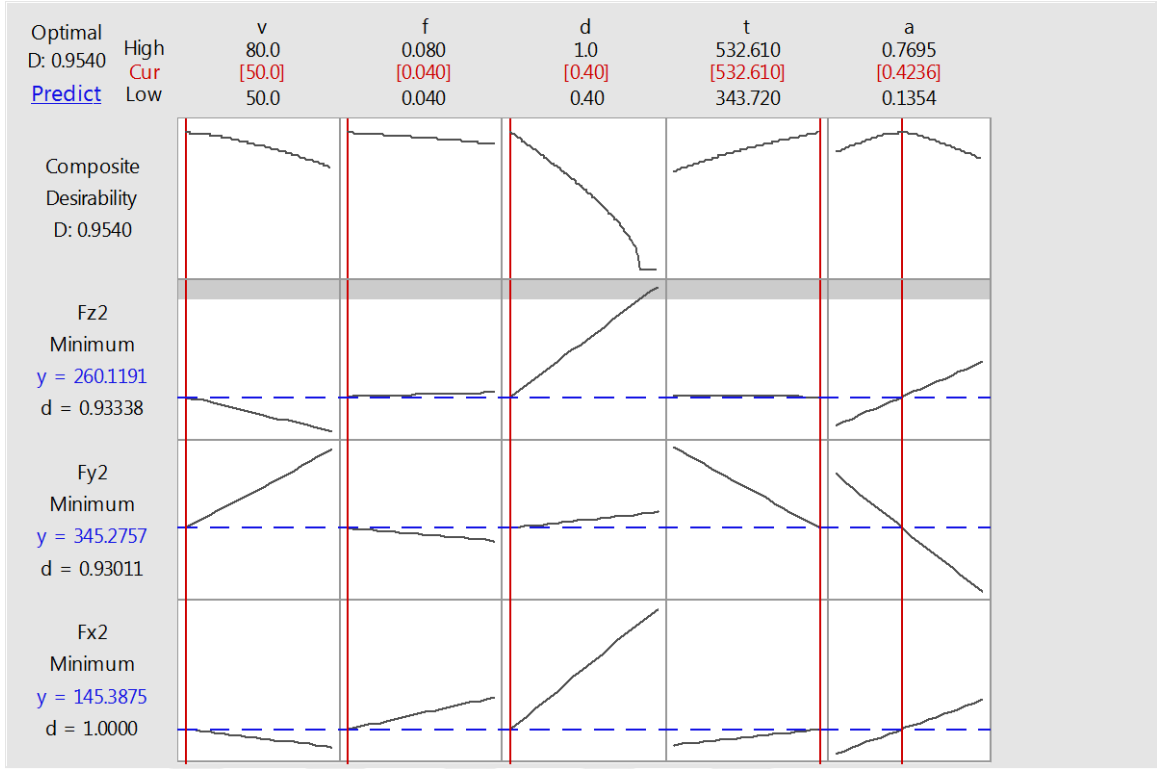
Şekil 6.97. Yüzey pürüzlülüğü için normal olasılık grafikleri



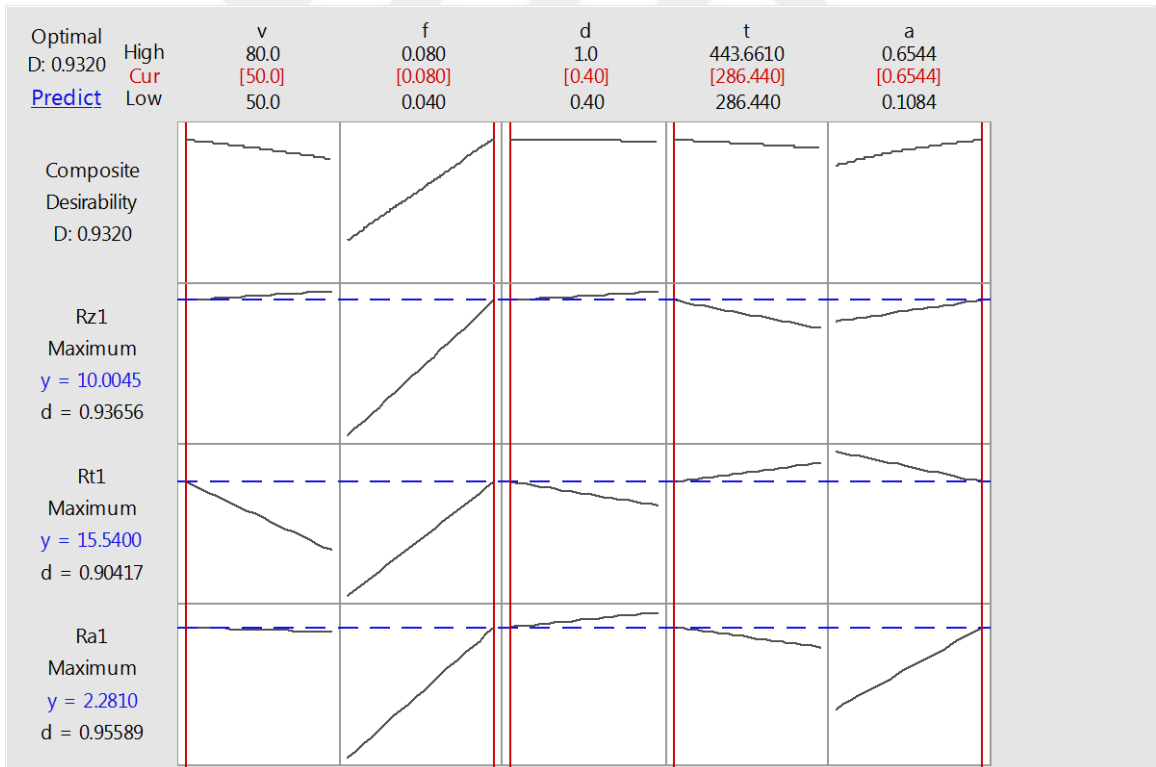
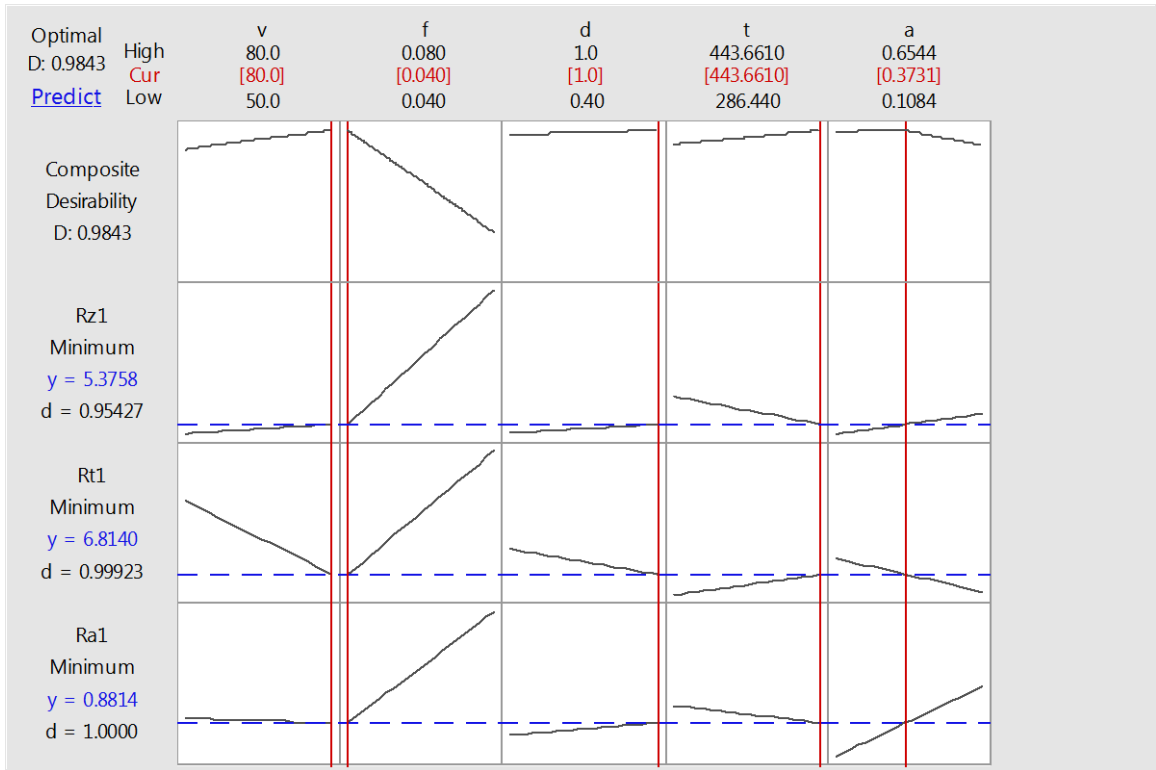
Şekil 6.98. Yüzey pürüzlülüğü için normal olasılık grafikleri.



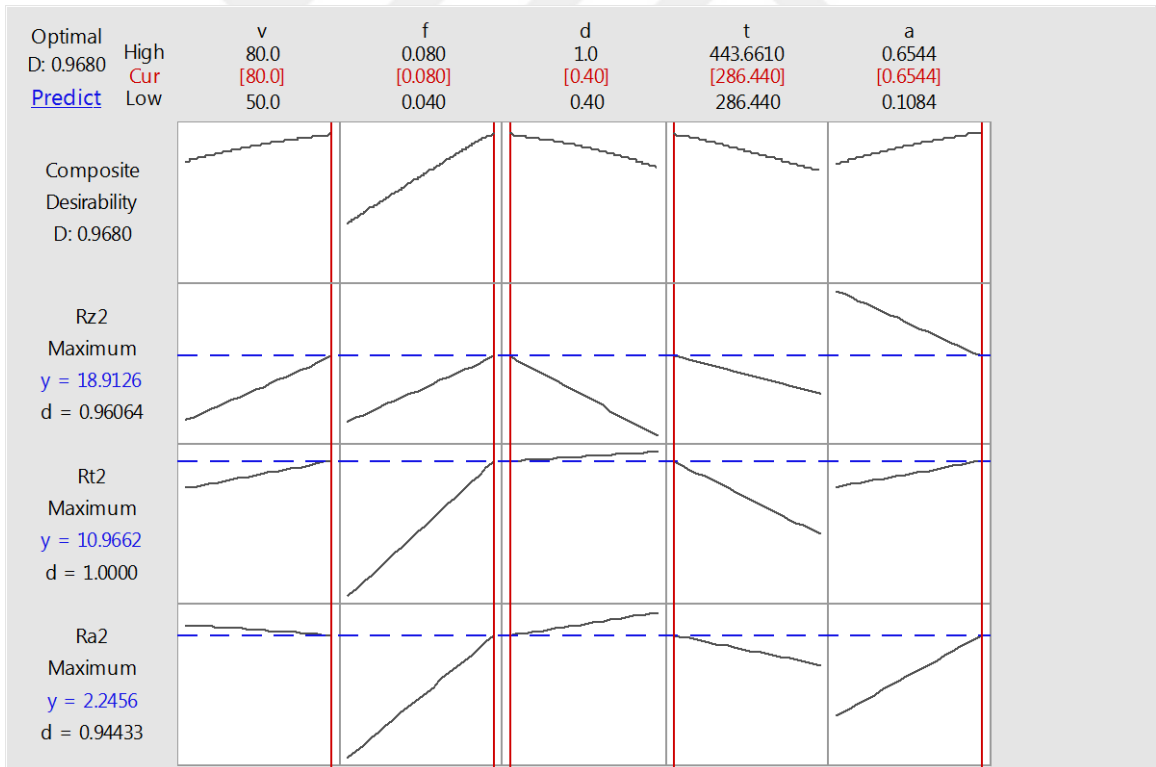
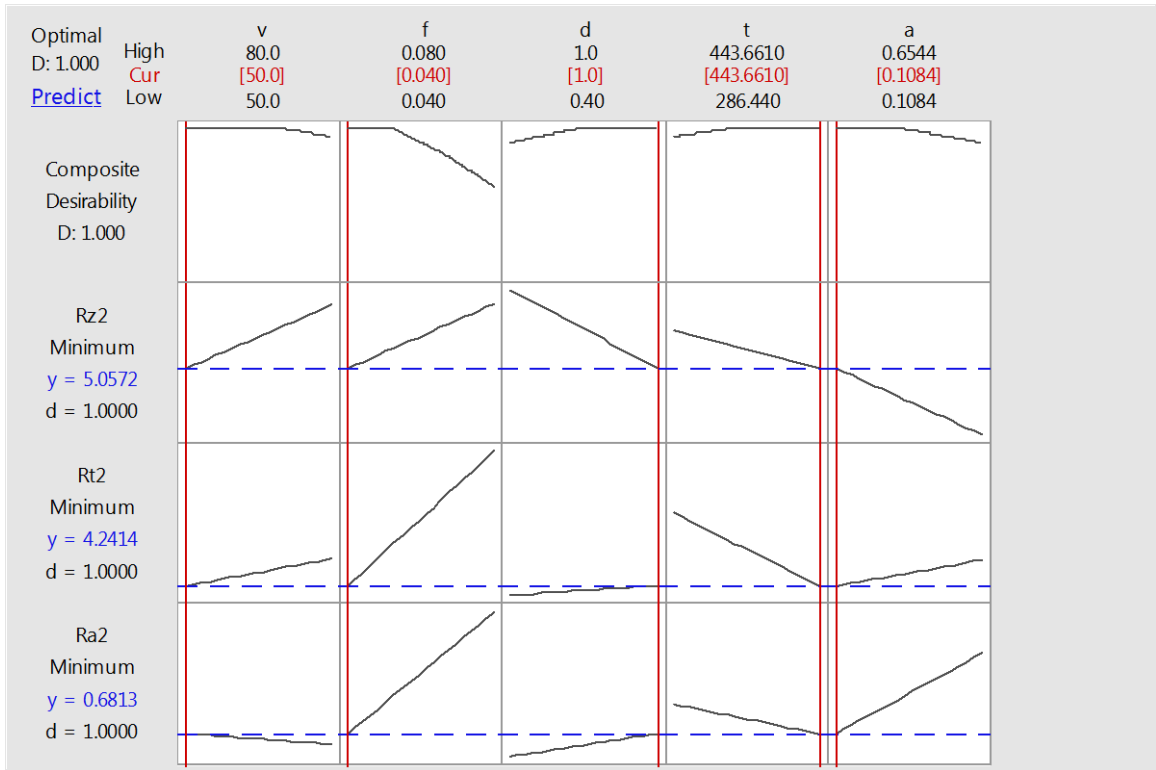
Şekil 6.99. Kesme kuvveti için çok amaçlı optimizasyon grafiği.



Şekil 6.100. Kesme kuvveti için çok amaçlı optimizasyon grafiği.



Şekil 6.101. Yüzey pürüzlülüğü için çok amaçlı optimizasyon grafiği.



Şekil 6.102. Yüzey pürüzlülüğü için çok amaçlı optimizasyon grafiği.

Deneysel değerlerden Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.13 analiz edilip ve Şekil 6.99 ve 6.100'deki şema analizi incelendiğinde şu sonuçlar çıkarılabilir:

- CNC tornalama işlemi sırasında kesme kuvvetleri değerlerinin (F_{x1} , F_{y1} , F_{z1}), minimum optimizasyonu, şu parametrelere uygulanır: v_{max} , f_{min} , d_{min} ve t_{min} , a_{min}
- CNC tornalama işlemi sırasında kesme kuvvetleri değerlerinin (F_{x1} , F_{y1} , F_{z1}), maksimum optimizasyonu, şu parametrelere uygulanır: v_{min} , f_{max} , d_{max} ve t_{max} , a_{max}

Isıl işlemden sonra (tavlanmış) görünür bir kesme kuvvetleri artışı olur:

- CNC tornalama işlemi sırasında kesme kuvvetleri değerlerinin (F_{x2} , F_{y2} , F_{z2}), minimum optimizasyonu, şu parametrelere uygulanır: v_{min} , f_{min} , d_{min} ve t_{max} , a_{mes}
- CNC tornalama işlemi sırasında kesme kuvvetleri değerlerinin (F_{x2} , F_{y2} , F_{z2}), maksimum optimizasyonu, şu parametrelere uygulanır: v_{max} , f_{mes} , d_{max} ve t_{min} , a_{mes}

Deneysel değerlerden Çizelge 6.23 ve Çizelge 6.33 analiz edilip ve Şekil 6.101 ve 6.102'deki şema analizi incelendiğinde ise:

- CNC tornalama işlemi sırasında yüzey pürüzlülük değerlerinin (R_{a1} , R_{t1} , R_{z1}), minimum optimizasyonu, şu parametrelere uygulanır: v_{max} , f_{min} , d_{min} ve t_{min} , a_{min}
- CNC tornalama işlemi sırasında yüzey pürüzlülük değerlerinin (R_{a1} , R_{t1} , R_{z1}), maksimum optimizasyonu, şu parametrelere uygulanır: v_{min} , f_{max} , d_{max} ve t_{max} , a_{max}

Isıl işlemden sonra (tavlanmış) yüzey pürüzlülüğünün küçük bir farkı vardır:

- CNC tornalama işlemi sırasında yüzey pürüzlülük değerlerinin (R_{a2} , R_{t2} , R_{z2}), minimum optimizasyonu, şu parametrelere uygulanır: v_{min} , f_{min} , d_{min} ve t_{max} , a_{mes}
- CNC tornalama işlemi sırasında yüzey pürüzlülük değerlerinin (R_{a2} , R_{t2} , R_{z2}), maksimum optimizasyonu, şu parametrelere uygulanır: v_{max} , f_{mes} , d_{max} ve t_{min} , a_{mes}

BÖLÜM VII

CNC İŞLEMLERİNDE KESİCİ TAKIM AŞINMASINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN DENEYSSEL VE SAYISAL ARAŞTIRMASI

Metal kesme takımlarının güvenilirliğinin tahmini, işleme süreci, geometrik karmaşıklık, dinamik ve termal gerilmeler gibi bir dizi faktöre bağlı karmaşık bir konuyu temsil etmektedir.

Bu çalışmada, Inconel 625 çeliğinin farklı kesme koşullarında (V, f, d) soğutma uygulanmaksızın güçlü kesme bıçakları CNMG 120408 NN ile tornalanması sırasında metal kesici takım aşınmasına ilişkin sonuçlar sunulmuştur.

Deneyler, CNC ile torna tezgahı gerçekleştirilmiş, aşınma ölçümü VB ise mikroskop tipi TOOL MASTER 10 ile yapılmıştır. Veri işleme için beş faktörlü bir istatistik metod kullanılmıştır. Bu çalışmada kesme parametrelerinin Taguchi deneysel tasarımına dayalı takım aşınması üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Taguchi L9 ortogonal dizi, işleme parametrelerinin etkilerini araştırmak için kullanılmıştır.

Optimum kesme koşulları, ortalama takım aşınmasıyla hesaplanan sinyal/gürültü (S/N) oranı kullanılarak belirlenmiştir. Analiz sonuçları kullanılarak, parametrelerin, ANOVA yöntemi ile Minitab 17'de hesaplanan ortalama takım aşınması üzerindeki etkileri hesaplanmıştır. Ayrıca, özellikle metal kesimi sırasında hacim kaybına uğramış takım aşınmasının deneysel ölçümleri sunulmuştur.

Ortogonal kesme işleminin sayısal simülasyonu Deform 3D v.11.0 ile FEM modelleme kullanarak yapılmıştır. Inconel 625 çeliğinin farklı işleme rejimleri (V, f, d) altında tornolanması sırasında metal kesme aletinin takım aşınmasının sonuçları verilmiştir. Kesici takım aşınmasını araştırmak için bir tornalama işlemi için FEM ile sayısal yöntemler ve simülasyon analizleri geliştirilmiştir.

7.1 Kesici Takım Aşınması

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımların aşınması, talaşlı imalat işleminin verimliliğini, üretilen iş parçasının boyutlarını ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler.

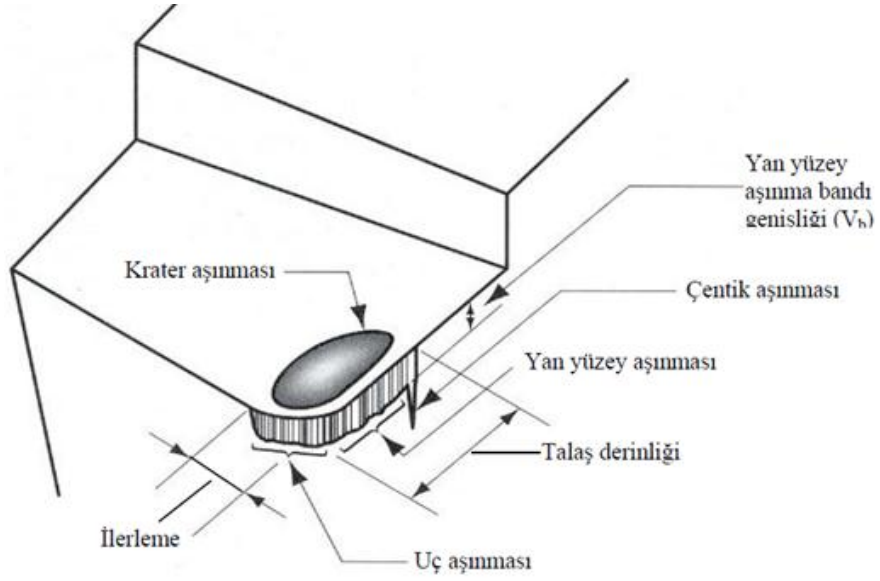
Kesici takımında aşınma arttıkça, kesme kuvvetleri, kesme bölgesinde sıcaklık, titreşim ve ses artar. Artan kesme kuvvetleri sonucu daha fazla enerji gereksinimine ihtiyaç duyulur. Aynı zamanda, artan kesme kuvvetleri iş parçası ve kesici üzerinde daha fazla gerilme oluşturur.

Aşınmış kesici takımında, kesici takımın kesici ucunda keskin bir kenardan farklı olarak sürtünen bir bölge olacağı için bu bölgenin iş parçası ile sürtünmesi sonucu da daha fazla ısı enerjisi açığa çıkarak, kesme bölgesinde kesici takım ve iş parçasının sıcaklığı artar. Artan sıcaklıkla, kesici takımın aşınma direnci ve dayanımı azalır. Artan sıcaklıkla aynı zamanda, iş parçası boyutlarında sapma olur ve istenilen ölçü toleranslarının dışına çıkılarak hatalı parçalar üretilebilir.

Yüksek sıcaklık sonucu iş parçasının yüzeyinde ve yüzey altında istenilmeyen metalurjik dönüşümler oluşabilir. Bu dönüşümler iş parçası yüzeyinde çekme tipinde kalıcı gerilmelere neden olarak iş parçalarının yorulma dayanımını azaltabilir. Kesici takımın aşınması sonucu ortaya çıkan diğer bir olumsuzluk ta titreşimdir. Titreşim sonucu iş parçası yüzey pürüzlülüğü artar. İş parçası yüzey pürüzlülüğü kesici takımında küçük kırılmalar şeklinde aşınma olduğunda da artar.

Talaşlı imalat işlemi esnasında titreşim kesici takım üzerinde çevrimsel yükler oluşturacağı için kesici takımın kırılmasına da neden olabilir. Şekil 7.1’de, kesici takımdaki aşınmalar şematik olarak gösterilmiştir. Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması aşağıdakilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesiyle anlaşılır:

- kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme,
- sıcaklık artışı,
- aşırı titreşim,
- yüksek gürültü,
- işlenen malzeme boyutlarındaki değişim,
- işlenen yüzeyin bozulmasıdır.



Şekil 7.1. Kesici takımdaki aşınmaların şematik olarak gösterilmesi.

7.2 Deneysel Tasarım

Taguchi tekniği, en az sayıda deneyle kalite özelliklerini incelemek için özel bir ortogonal dizi (OA) tasarımını kullanmaktadır. Ortogonal diziyeye dayanan deney sonuçları daha sonra performans özelliklerini değerlendirmek için S/N oranlarına dönüştürülmektedir. Taguchi deney tasarımı, üç seviye boyunca değişen üç parametre için ortogonal diziyi tasarlamakta kullanılmaktadır. Kontrol parametreleri ve seçilen seviyeleri Çizelge 7.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. L9 ortogonal dizi kullanarak elde edilen deney.

Deney	Hız	İlerleme	Kesme Derinliği
1	50	0,04	0,4
2	50	0,06	0,7
3	50	0,08	1,0
4	65	0,04	0,7
5	65	0,06	1,0
6	65	0,08	0,4
7	80	0,04	1,0
8	80	0,06	0,4
9	80	0,08	1,0

Deneyler, kesme yan eğim açısı, arka tırmık açısı ve burun yarıçapının sekiz kombinasyonundan oluşan Taguchi'nin L9 Ortogonal Array deney tasarımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taguchi tarafından hazırlanan tasarım kataloğuna göre, üç işlem parametresi (etkileşim olmaksızın) üç sonlu seviyede değişecektir.

Çizelge 7.2. L9 ortogonal dizi kullanarak elde edilen deney sonuçları.

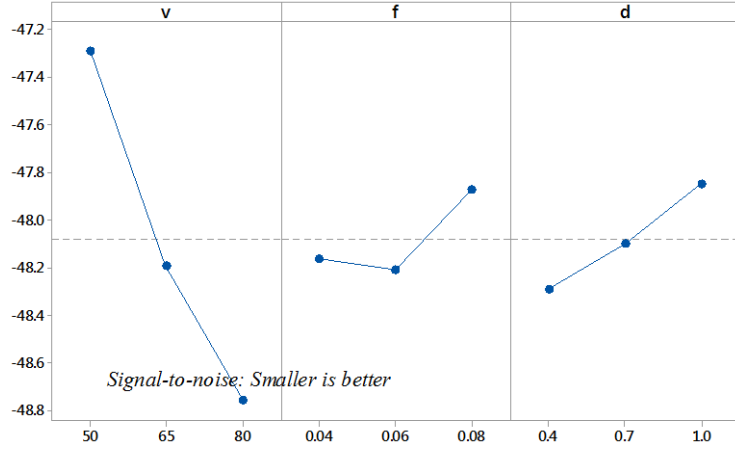
Den.	İşlem parametreleri ve değerleri			Deneysel sonuçlar		
	Hız	İlerleme	Kesme derinliği	t °C	Titreşim genliği	VB [µm]
1	50	0,04	0,4	329,05	0,493	215,33
2	50	0,06	0,7	361,21	0,400	232,21
3	50	0,08	1,0	374,29	0,108	248,24
4	65	0,04	0,7	333,22	0,311	293,22
5	65	0,06	1,0	286,44	0,428	228,13
6	65	0,08	0,4	299,44	0,462	253,34
7	80	0,04	1,0	443,66	0,432	265,57
8	80	0,06	0,4	333,75	0,522	321,36
9	80	0,08	1,0	372,71	0,654	241,02

7.2.1 Kesme takım aşınması VB için temel etken gösterimi

Şekil 7.2'den bakıldığında, besleme hızının ve kesme derinliğinin kesme hızına kıyasla kesme kuvveti parametrelerini daha fazla etkilediği açıkça görülmektedir. Kesici takım aşınması için en uygun koşulun kesme hızı V=65 m/dak, ilerleme hızı f =0.04 mm/diş ve kesme derinliği d=0.4mm iken elde edildiği bulunmuştur. Sonuçlar Çizelge 6.3'te sunulmuştur.

Çizelge 7.3. VB'nin S/N oranları için varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
V	2	2948,0	1474,0	0,54	0,647
f	2	286,6	143,3	0,05	0,950
d	2	385,5	192,7	0,07	0,934
Hata	2	5413,7	2706,8		
Toplam	8	9033,8			



Şekil 7.2. S/N oranı ve VB için temel etkenler.

7.2.2 Kesme takım aşınması için varyans analizi (ANOVA)

ANOVA çizelgesi genellikle çıktı yanıtlarını en çok etkileyen önemli girdi parametrelerini bulmak için hazırlanmaktadır. Her bir çıktı cevabı için önem seviyesi $\alpha = 0,05$ ve güven seviyesi % 95 olan varyans çizelgesi analizi hazırlanmıştır. P-Değerinin 0,05'ten az olduğu ANOVA çizelgesinde bulunan kaynaklar, ilgili çıkış cevabı için önemli bir parametre olarak ele alınmıştır. Kesici takım aşınması için ANOVA ile analizi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.5'te sunulmuştur.

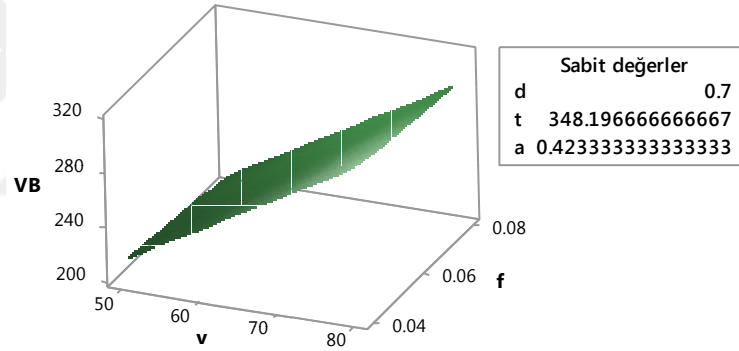
Çizelge 7.4. T'nin kesici takım aşınması ANOVA analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
Regresyon	5	7985,54	1597,11	4,57	0,120
V	1	6852,35	6852,35	19,61	0,021
f	1	209,15	209,15	0,60	0,496
d	1	2607,01	2607,01	7,46	0,072
t	1	11,90	11,90	0,03	0,865
a	1	4522,16	4522,16	12,94	0,037
Hata	3	1048,28	349,43		
Toplam	8	9033,83			

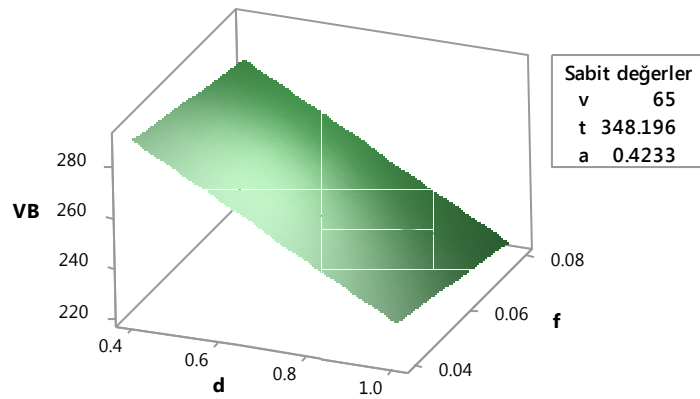
Çizelge 7.5 T'nin Katsayılar ve regresyon İstatistikleri

Kaynak	DF	SS	MS	F	Anlamlılık
Regresyon	5	7985,54	1597,108	4,570	0,1204
Kalıntı	3	1048,28	349,427		
Toplam	8	9033,82			
	Katsayılar	Standart Hata	P değeri	Regresyon İstatistikleri	
Kesişim	248,254	64,32416	0,030	Çoklu R	0,94
Hız	3,132	0,707282	0,021	R ²	0,88
İlerleme	-302,300	390,7448	0,495	Adj R ²	0,69
Kesme derinliği	-92,771	33,96411	0,071	Standart Hata	18,69
Sıcaklık	-0,031	0,168381	0,865	Gözlemler	9
Genlik	-242,270	67,34517	0,036		

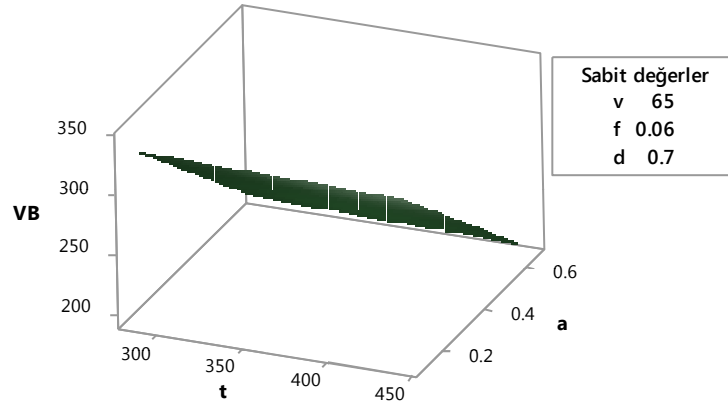
Çizelge 7.4 ve 7.5't verilen kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, sıcaklık ve genlik etkileri Şekil 7.3-7.5'te gösterilmiştir.



Şekil 7.3. Kesme hızı ve beslemenin VB üzerine etkisi



Şekil 7.4. Kesme hızı ve beslemenin VB üzerine etkisi.

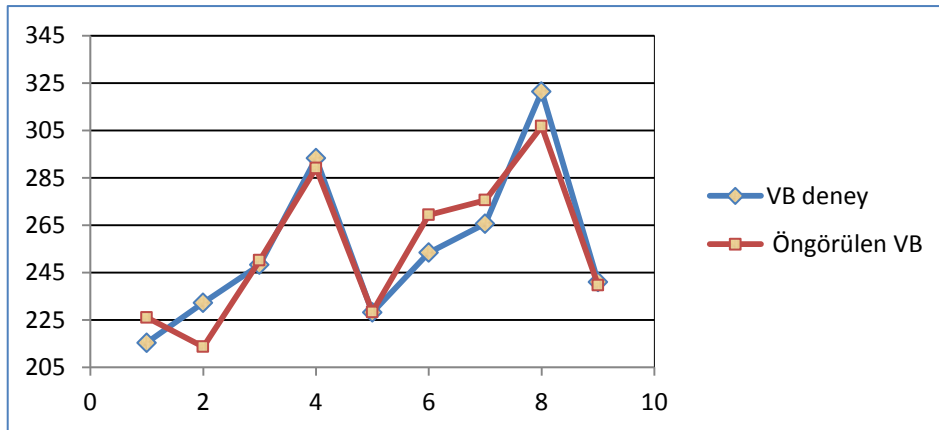


Şekil 7.5 Sıcaklık ve titreşimin VB üzerine etkisi.

Çizelge 7.6. Artık ve olasılık çıktıları.

Gözlem	Kalıntı	Standart kalıntı	Yüzdellik	VB - tahmin	VB _{deney}
1	-10,66	-0,93	5,56	225,99	215,33
2	18,56	1,62	16,67	213,65	228,13
3	-1,87	-0,16	27,78	250,11	232,21
4	4,11	0,36	38,89	289,11	241,02
5	-0,21	-0,02	50,00	228,34	248,24
6	-15,97	-1,40	61,11	269,31	253,34
7	-9,94	-0,87	72,22	275,51	265,57
8	14,62	1,28	83,33	306,74	293,22
9	1,35	0,12	94,44	239,67	321,36

Şekil 7.6, deneysel değerler ile birlikte doğrusal denklem kullanılarak hesaplanan takım aşınması için öngörülen değerleri göstermektedir. Tahmin edilen değerlerin, %6'dan az ortalama hata ile deney sonuçları ile iyi bir uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7.6. Takım aşınması için sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

7.3 FEM Yöntemi ve Deform 3D ile Takım Aşınması Simülasyonu

Sonlu elemanlar yönteminin, talaş oluşturma sürecini analiz etmek ve sıcaklıklar, kuvvetler, gerilmeler vb. gibi parça işleme performans özelliklerini tahmin etmek için etkili bir teknik olduğu kanıtlanmıştır (Fagan, 1992; Lorentzon and Jarvstrat, 2008; Lorentzon et al., 2009; Yue et al., 2009;).

Bu çalışmada, PVD kaplı tungsten karbür aleti kullanılarak Inconel 625'in tornalanmasını simüle etmek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır.

Sonlu elemanlar analizi için DEFORM 3D yazılımı kullanılmıştır. Deform 3D yazılımı örtük bir Lagrangian hesaplama yaklaşımına dayanmaktadır (Deform 3D manual, 2014). Yan yüzey aşınması ve MRR'nin değerlendirilmesi için, çıktı parçası-çip arabirimi basıncının, alet çip arabirimi sıcaklığının, kayan hızın ve iş parçası malzemesindeki hacim değişiminin belirlenmesi gerekmektedir (Yen et al., 2004). Simülasyonun başlangıç aşamasında, iş parçası ve takım eki için işlem parametreleri tanımlanmalıdır.

7.3.1 İş malzemesi oluşturma modelleri

Metal kesme simülasyonunda en önemli konulardan biri, gerçek sonuçların elde edilmesi için iş parçası malzemesinin akma stresinin düzgün bir şekilde modellenmesidir.

Akma stresi anlık bir akma gerilmesi olup, gerilme, gerinme oranı ve sıcaklığa bağlıdır ve kurucu denklemlerin matematiksel formları ile temsil edilmektedir. Diğerleri arasında metal kesme simülasyonlarında en çok kullanılanlar Oxley, Johnson-Cook ve Zerilli - Armstrong malzeme oluşturma modelleridir.

7.3.2 Oxley malzeme modeli

Oxley (1990) vd. karbon çeliğindeki malzeme akma gerilmesi için güç yasasını kullanmışlardır:

$$\sigma = \sigma_1 \cdot \varepsilon^n \quad (7.1)$$

Burada σ ve ε akma gerilme ve gerinmesi iken σ_1 $\varepsilon=1.0$ için malzeme akma gerilmesini ve n is pekleşme üssünü ifade etmektedir ve, σ_1 ve n Macgregor and Fisher tarafından verilen hızla değiştirilmiş sıcaklığa (T_{mod}) bağlı olmaktadır. T_{mod} aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$T_{\text{mod}} = T \cdot \left(1 - \nu \log \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \quad (7.2)$$

Bu eşitlikte ν ve $\dot{\varepsilon}_0$ iş parçası malzeme sabitleri olup karbon çelik için sırası ile 0,09 ve 0,1 olarak kullanılmaktadır.

7.3.3 Zerilli ve Armstrong malzeme modeli

Zerilli and Armstrong (1987) iki mikro yapısal temelli malzeme oluşturma denklemini geliştirmiştir. Sıcaklıkları ve yüksek gerinim oranlarını analiz etmek için yüzey merkezli kübik (f.c.c.) ve gövde merkezli kübik (b.c.c.) metaller üzerinde çalışmışlar ve bu materyaller arasında önemli bir fark olduğunu fark etmişlerdir. Bu nedenle, iki ayrı model geliştirilmiştir. B.c.c. metaller için kurucu denklem aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\sigma = C_0 + C_1 \cdot \exp \left(-C_3 \cdot T + C_4 \cdot T \cdot \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) + C_5 \cdot \varepsilon^n \quad (7.3)$$

FCC metaller için akma gerilmesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\sigma = C_0 + C_2 \cdot \varepsilon^{-1/2} \cdot \exp \left(-C_3 \cdot T + C_4 \cdot T \cdot \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \quad (7.4)$$

Bu eşitliklerde, akma stresi üzerinde dislokasyon yoğunluğunu hesaba katan stres bileşeni, $C_1 - C_5$, n malzeme sabitleri ve T mutlak sıcaklıktır. Eşitlik 6.3'te, Eşitlik 6.4'ün aksine akma stresi üzerindeki yük bağımlılığının, gerilme oranı ve sıcaklıktan etkilenmediği varsayılmaktadır.

7.3.4 Johnson ve Cook malzeme modeli

Johnson and Cook (1993) gerilme oranları ve sıcaklıkların geniş bir yelpazesi üzerinde burulma ve dinamik Hopkinson bar testine dayanan bir malzeme modeli geliştirdi. İlgili ana denklem aşağıda verilmiştir:

$$\bar{\sigma} = \left[A + B \cdot \bar{\varepsilon}^n \right] \cdot \left[1 + C \cdot \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_o} \right) \right] \cdot \left[1 - \left(\frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}} \right)^m \right] \quad (7.5)$$

Burada :

$\bar{\sigma}$ - Akış gerilmesi	$\bar{\varepsilon}$ - Eşdeğer plastik gerilme
A - Akma gerilmesi sabiti	$\dot{\varepsilon}$ - Gerilme oranı
B - Pekleşme katsayısı	$\dot{\varepsilon}_o$ - Referans gerilme oranı
n - Pekleşme üssü	T - Sıcaklık
C - Gerilme oranı katsayısı	T_{room} - Oda sıcaklığı
m - Sıcaklık katsayısı	T_{melt} - Erime sıcaklığı

Johnson-cook modeli yüksek gerilme, gerilme oranı, pekleşme ve doğrusal olmayan malzeme özelliklerinin tornalama sürecine dahil olması nedeniyle modelleme için uygun olmaktadır (Uhlmann et al., 2007; Ezilarasan et al., 2014). Malzeme modeli eşitlik 7.5'te verilmiştir. DEFORM 3D malzeme kütüphanesinde de tanımlanmıştır. Johnson-cook model sabitleri Çizelge 7.7'de verilmiştir.

Çizelge 7.7. Inconel 625 için Johnson-Cook model sabitleri.

A (MPa)	B (MPa)	n	C	m	$\frac{\dot{\epsilon}_o}{\epsilon_o}$ (1/s)	T_{room} (°C)	T_{melt} (°C)
559	22,01	0,8	0,00021	1,146	0,0016	20	1297

Tornada işleme prosesi sırasında, sürtünme takım ve iş parçası teması boyunca önemli bir rol oynamaktadır. Sürtünme; çip geometrisi, kenar oluşumu, kesme sıcaklığı ve takım aşınmasını etkilemektedir. Sürtünme kuvveti, Eşitlik 7.6'da verilen Coulomb yasası ile tanımlanmaktadır. Bu çalışmada 0,6 kayma sürtünme faktörü dikkate alınmıştır (Ezilarasan et al., 2014).

$$f_s = \mu \cdot \sigma_t \quad (7.6)$$

Burada,

f_s - sürtünme stresi

μ - kesme sürtünmesi

σ_t - arayüzey basıncı.

Takım eki DEFORM 3D kütüphanesinden tanımlanmıştır. Simülasyonlar sonrasında, Usui modeli yan yüzey aşınmasının hesaplanmasında kullanılmıştır (Eşitlik 6.7). Ara yüzey basıncı, ara yüzey sıcaklığı ve kayma hızı gibi parametreler her bir simülasyon için not edilmektedir (Usui et al., 1984).

$$\frac{dw}{dt} = A \cdot \sigma_t \cdot V \cdot \exp\left(-\frac{B}{\theta}\right) \quad (7.7)$$

Burada,

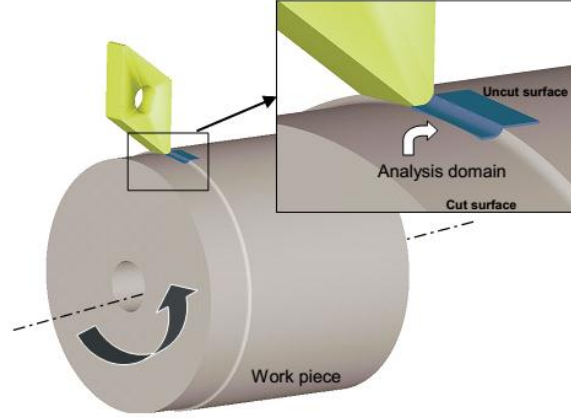
w – Yan yüzey aşınması,

σ_t – Ara yüzey basıncı,

V – Kayma hızı,

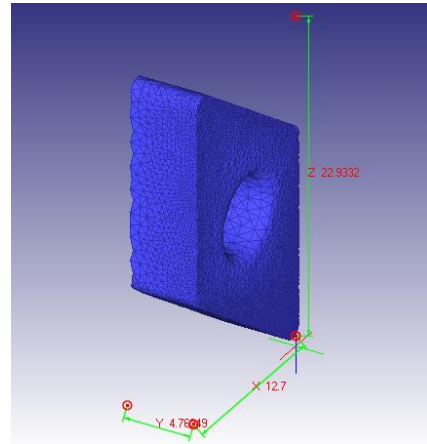
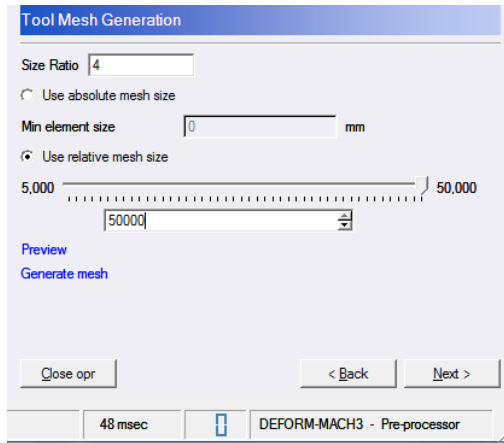
θ – Ara yüzey sıcaklığı.

DEFORM 3D, model tanımını basitleştiren ve aynı süreç mühendisliği dilini kullanan özel bir şablonu desteklemektedir. Tornalama uygulamaları için dönen iş parçası, takım eki ve bunların analiz alanına olan ilişkileri Şekil 7.6'da gösterilmiştir.



Şekil 7.7. Basitleştirilmiş üç boyutlu kesme modeli.

Şekil 7.8 (a) Inconel 625 süper alaşım malzemesinin örgü yapısını gösterirken takım ekinin örgü yapısı Şekil 7.8 (b)'de sunulmuştur. Deforme 3D yazılımı, modelleme ve simülasyonlarda kullanılmakta olup kesme işlemi için eşleşmiş termo-mekanik geçici analiz gerçekleştirebilir. Literatürde tartışıldığı gibi, mevcut araştırma çalışmaları, 2 boyutlu çalışmalarda edinilen bilgiyi kullanarak takım aşınmasının 3 boyutlu sayısal tahminini hedeflemektedir. Böylece, titreşim nedeniyle hem yan yüzey aşınması hem de yer değiştirme için 3 boyutlu sayısal tahminleri doğrulamak için, tornalama işleminde bir dizi deneyler gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, *Tool Mesh Generation* menüsünden boyut oranı 4 olarak seçilmiş olup takım eki için 50000 tetrahedral örgü kullanılmıştır.



Şekil 7.8. CNMG 120408 NN takım eki modellemesi

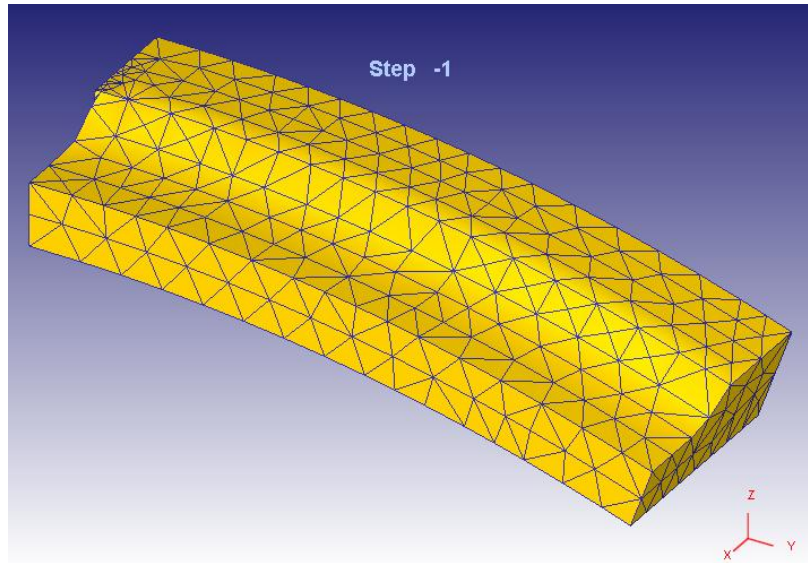
Workpiece Shape menüsünde yer alan iş parçası geometrisi ve örgü oluşturulması, iş parçasının detaylarını belirtmektedir. İş parçası çapına bağlı olarak kullanıcı bir düz model veya eğri bir model belirtebilir.

Daha sonra şablon ilgili verileri soracaktır ve ekran alanında iş parçası kurulumunu oluşturacaktır. Bu çalışmada 5mm uzunluğunda basitleştirilmiş bir model göz önüne alınmıştır.

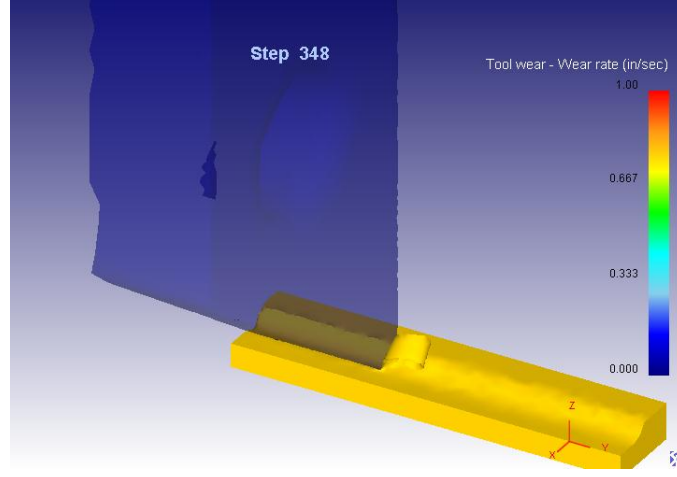
Simülasyon kontrolleri ve takım aşınması tanımlamaları ilk Lagrangian run için adım sayısı (6000), kaydetme adımları (25) ve kesim uzunluğu (5,0mm) dahil simülasyon kontrollerini tanımlamaktadır.

Bu çalışmada çok sayıda adım belirlenmiş olsa da, simülasyon kesim uzunluğuna dayalı bir durdurma kriterine sahiptir. Daha sonra takım aşınma modeli parametreleri kontrol edilmektedir.

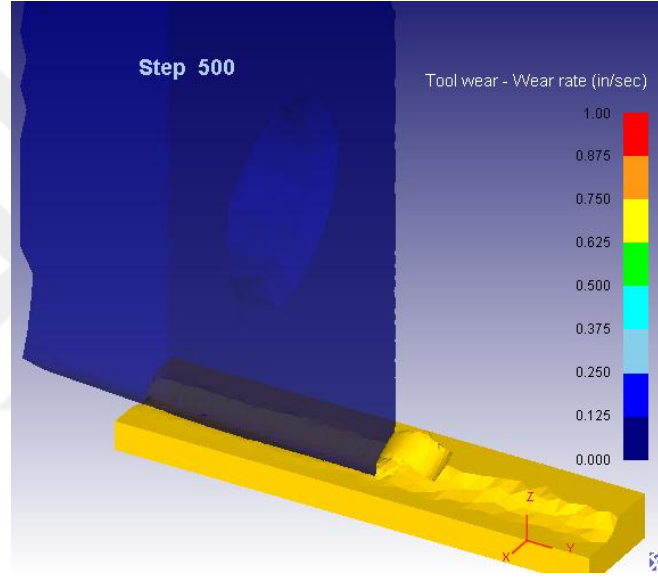
Sistem mevcut haliyle sadece "Usui'nin modelini desteklemektedir. Bu modelde kullanılan katsayılar, proses koşullarına ve doğru sonuçlar elde etmek için kullanılan materyallere bağlı oldukları için deneysel kalibrasyona dayalı olarak belirlenmelidir. Bu duruma bir örnek olarak $a = 0.0000002$ ve $b = 650$ olarak kullanılmıştır.



Şekil 7.9. Inconel 625 iş parçası modeli.



Şekil 7.10. Takım aşınma hızı simülasyon sonuçları (gölgeli).



Şekil 7.11. Takım aşınma hızı simülasyon sonuçları (katı).

Çizelge 7.8. L_9 ortogonal seri kullanılarak elde edilen analitik sonuçlar.

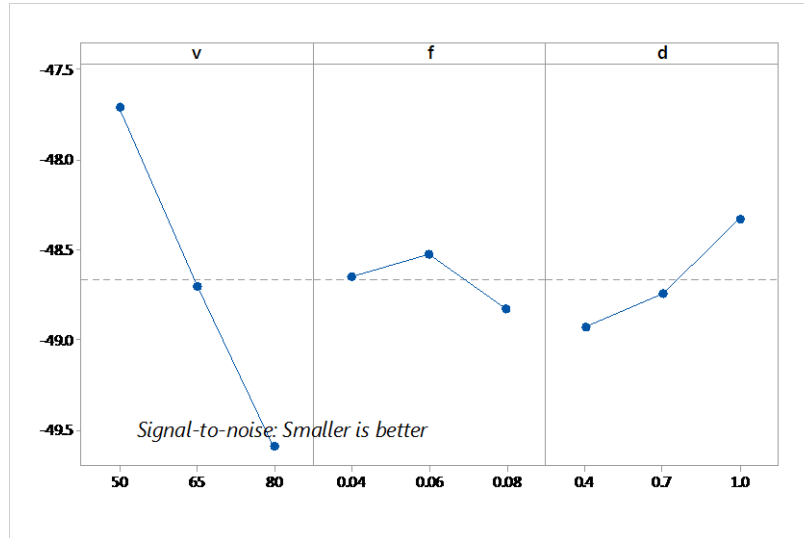
Deney	İşlem parametreleri ve değerleri			Deform 3D analiz dataları		
	Hızı	İlerleme	Kesme derinliği	t ($^{\circ}$ C)	Titreşim genli	VB_{FEA} [μ m]
1	50	0,04	0,4	399,63	0,5988	230,933
2	50	0,06	0,7	407,81	0,4514	230,471
3	50	0,08	1,0	467,70	0,1354	269,494
4	65	0,04	0,7	404,28	0,3771	310,453
5	65	0,06	1,0	343,72	0,5137	238,130
6	65	0,08	0,4	376,24	0,5800	273,267
7	80	0,04	1,0	532,61	0,5189	276,680
8	80	0,06	0,4	416,19	0,6506	345,955
9	80	0,08	1,0	438,30	0,7695	286,220

7.3.5 Kesme takım aşınması T_{FEA} için temel etken gösterimi

Şekil 7.12'den bakıldığında, besleme hızının ve kesme derinliğinin kesme hızına kıyasla kesici takım aşınması parametrelerini daha çok etkilediği açıktır. Kesici takım aşınması için optimum durum kesme hızı $v=65$ m/dak, ilerleme hızı $f=0.04$ mm/diş ve kesme derinliği $d=0.4$ mm olduğunda elde edilmiştir. Elde edilen yanıt çizelgesi Çizelge 7.9'da verilmiştir.

Çizelge 7.9. VB_{FEA} 'nin S/N oranları için varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
V	2	5279,0	2639,49	0,93	0,517
f	2	37,7	18,86	0,01	0,993
d	2	744,6	372,28	0,13	0,884
Hata	2	5656,5	2828,23		
Toplam	8	11717,7			



Şekil 7.12. SN oranı ve VB_{FEA} için temel etkenler

7.3.6 Kesici takım aşınması için varyans analizi (ANOVA)

ANOVA çizelgesi genellikle çıktı yanıtlarını en çok etkileyen önemli girdi parametrelerini bulmak için hazırlanmaktadır. Her bir çıktı cevabı için önem seviyesi $\alpha = 0,05$ ve güven seviyesi % 95 olan varyans çizelgesi analizi hazırlanmıştır. P-Değerinin 0,05'ten az olduğu ANOVA çizelgesinde bulunan kaynaklar, ilgili çıktı cevabı için önemli bir parametre olarak ele alınmıştır. Çizelge 7.10 ve Çizelge 7.11'de ANOVA ile elde edilen takım aşınması analizleri verilmiştir.

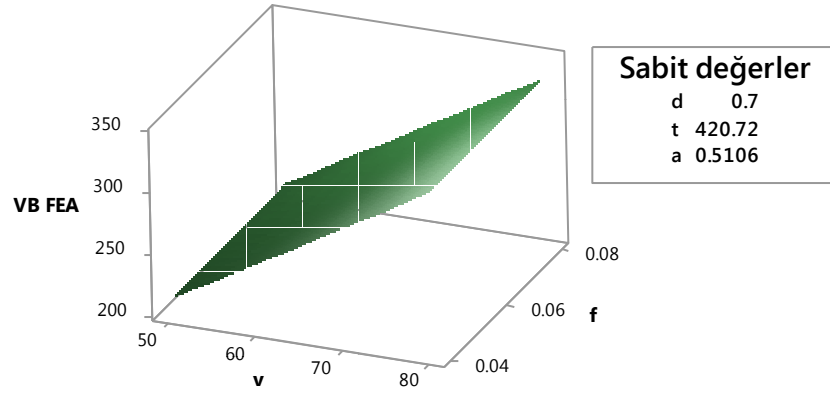
Çizelge 7.10. VB_{FEA} 'nin kesici takım aşınması ANOVA analizi

Kaynak	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı Seq SS	Kareler Ortalaması Adj MS	F	P
Regresyon	5	10696,0	2139,20	6,28	0,081
V	1	8448,0	8448,01	24,81	0,016
f	1	6,5	6,50	0,02	0,899
d	1	4046,7	4046,68	11,88	0,041
t	1	28,5	28,54	0,08	0,791
a	1	4424,9	4424,86	12,99	0,037
Hata	3	1021,7	340,57		
Toplam	8	11717,7			

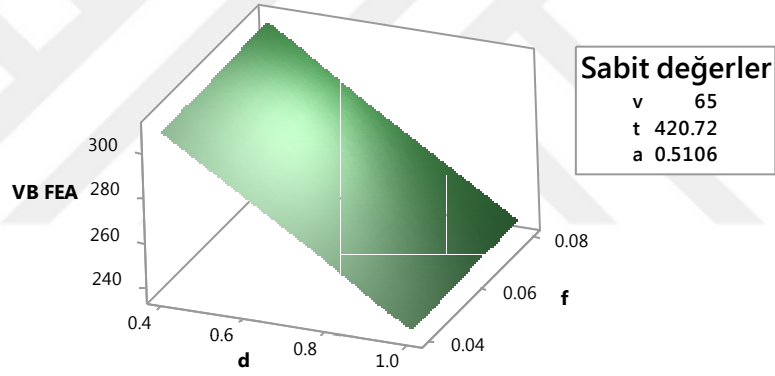
Çizelge 7.11. VB_{FEA} 'nin katsayılar ve regresyon istatistikleri

Kaynak	DF	SS	MS	F	Anlamlılık
Regresyon	5	10696,0	2139,204	6,281	0,081
Kalıntı	3	1021,72	340,575		
Toplam	8	11717,7			
	Katsayılar	Standart Hata	P değeri	Regresyon İstatistikleri	
Kesişim	230,386	67,683	0,042	Çoklu R	0,955
Hız	3,940	0,791	0,016	R^2	0,913
İlerleme	52,903	382,835	0,899	Adj R^2	0,767
Kesme derinliği	-116,807	33,887	0,041	Standart Hata	18,455
Sıcaklık	-0,043	0,147	0,791	Gözlemler	9
Titreşim genlik	-228,100	63,282	0,037		

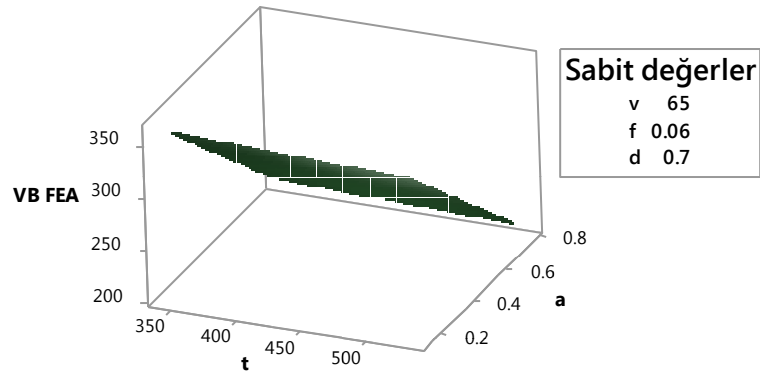
Bu çizelgelerden elde edilen veriler ışığında, kesme hızının, ilerleme, kesme derinliğinin, sıcaklık ve titreşim genliğinin etkileri Şekil 7.13-7.15'te verilmiştir.



Şekil 7.13. Kesme hızı ve beslemenin VB_{FEA} 'ye etkisi.



Şekil 7.14. Kesme derinliği ve beslemenin VB_{FEA} 'ye etkisi.

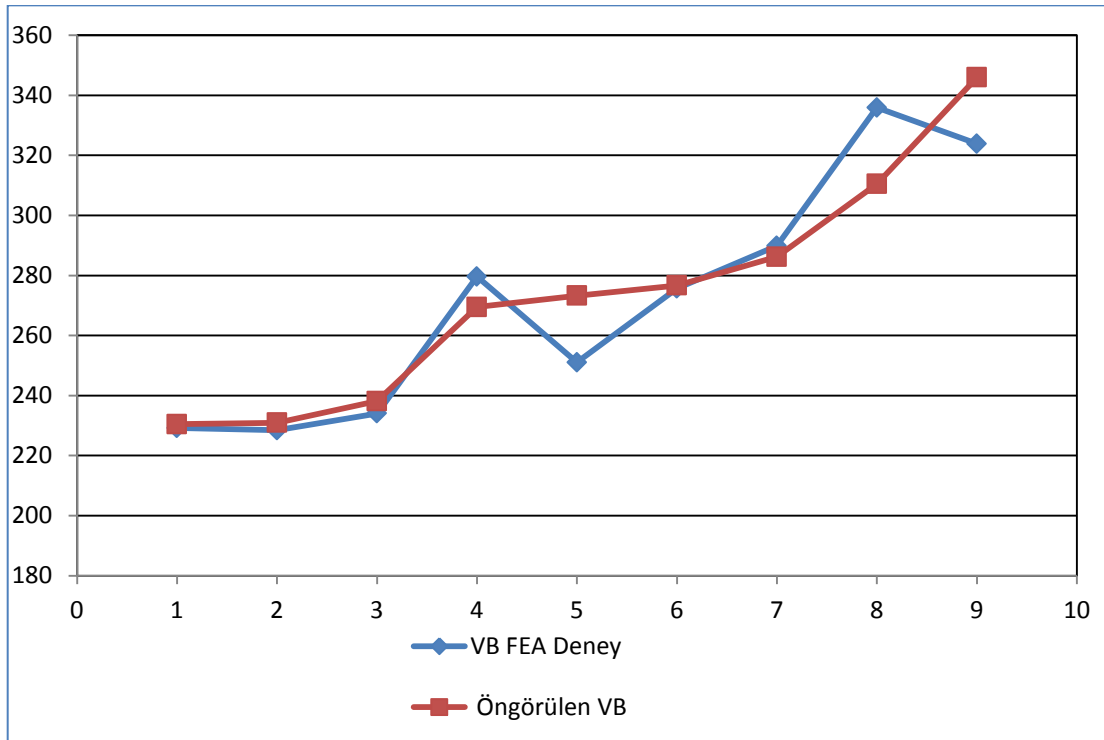


Şekil 7.15. Sıcaklık ve titreşimin VB_{FEA} 'ye etkisi.

Çizelge 7.12. Kalıntı ve olasılık çıktıları

Gözlem	Yüzde	Kalıntı	Standart kalıntı	VB _{FEA} Tahmin	VB _{FEA} deney
1	5,556	1,754	0,155	229,179	230,47
2	16,667	2,002	0,177	228,469	230,93
3	27,778	5,476	0,485	234,018	238,13
4	38,889	6,849	0,606	279,604	269,49
5	50,000	-2,907	-0,257	251,037	273,26
6	61,111	-22,406	-1,983	275,673	276,68
7	72,222	-13,174	-1,166	289,854	286,22
8	83,333	10,048	0,889	335,907	310,45
9	94,444	12,358	1,094	323,862	345,95

Şekil 7.16 doğrusal denklem kullanılarak elde edilen sayısal sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırmasını göstermektedir. Sayısal sonuçların teorik sonuçlara yakın olduğu ve ortalama hatanın %7.8'den az olduğu görülmektedir.



Şekil 7.16. Takım aşınması için teorik sayısal sonuçların karşılaştırması

7.4 Regresyon Analiz Eşitlikleri

Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkileri tahmin etmek için kullanılan istatistiksel bir süreçtir. Bir bağımlı değişken ve bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişki üzerine odaklandığı zaman, çeşitli değişkenleri modellemek ve analiz etmek için birçok teknik içermektedir. Kesici takım aşınmasını öngörülen denklemlerini ve yuvarlaklık hatasını türetmek için regresyon analizi kullanılmıştır. Minitab 17'de ANOVA analizi ile kesici takım aşınması hesabı için denklemler oluşturulmuştur. Kesici takım aşınmasında için regresyon analizi denklemleri:

$$VB = 248.3 + 3.132 \cdot V - 302 \cdot f - 92.8 \cdot d - 0.031 \cdot t - 242.3 \cdot a \quad (7.8)$$

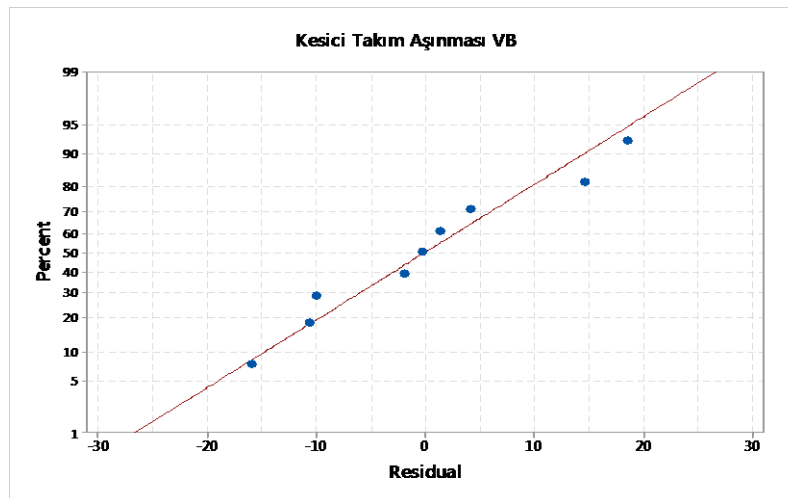
$$\text{Çoklu } R = \%0.94, R^2 = \%0.88, \text{ Adj } R^2 = \%0.69,$$

$$VB = 230.4 + 3.940 \cdot V - 53 \cdot f - 116.8 \cdot d - 0.043 \cdot t - 228.1 \cdot a \quad (7.9)$$

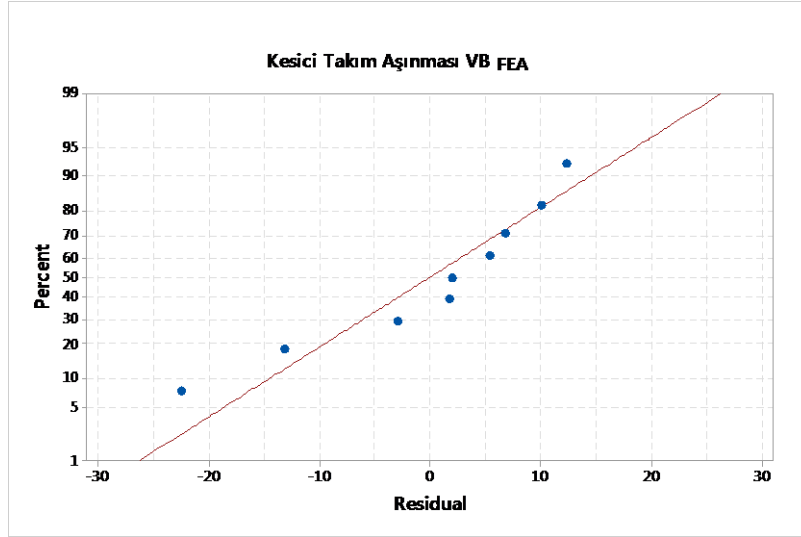
$$\text{Çoklu } R = \%0.95, R^2 = \%0.84, \text{ Adj } R^2 = \%0.76,$$

7.5 Normal Olasılık Grafikleri

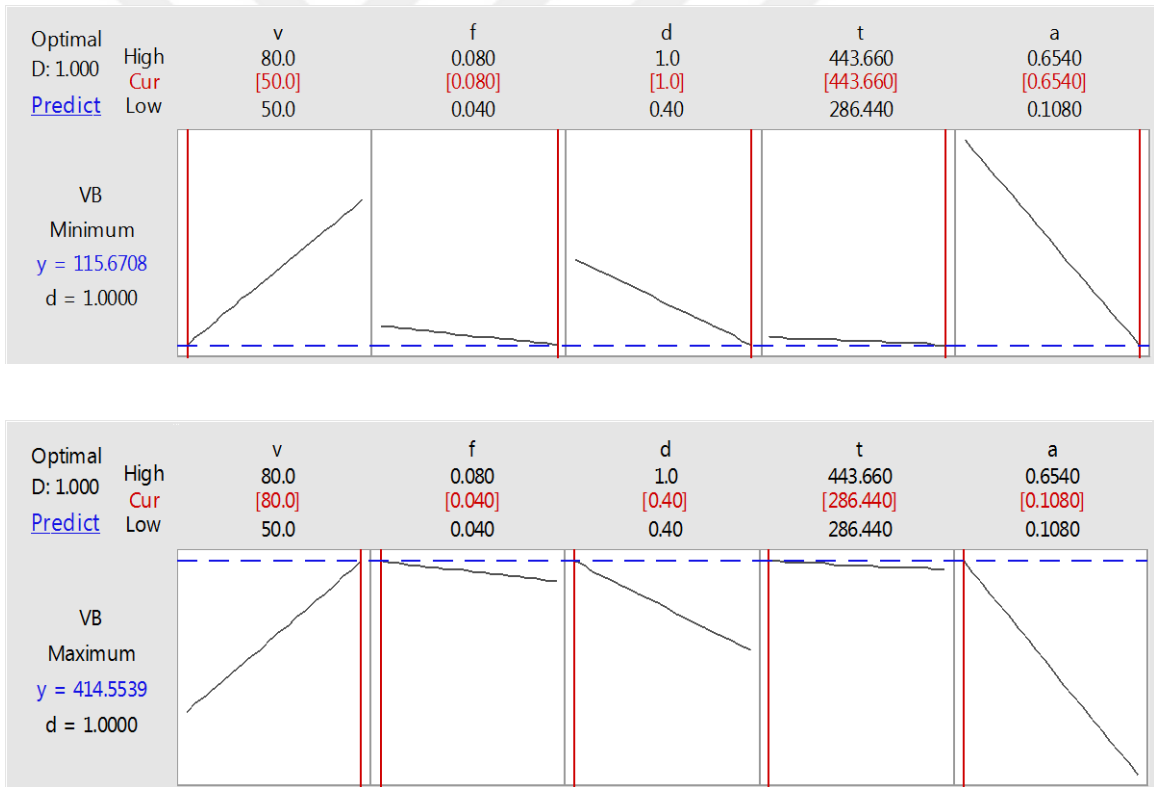
Yukarıdaki istatistiksel modelin geçerliliğini veya doğruluğunu kontrol etmek için normal olasılık çizelgesi elde edilmiştir. Bu sayede modelde yetersizlik ve olağandışı bir yapı olmayacak ve ileride daha iyi sonuçların tahmini sağlanacaktır. Şekil 7.17 ve Şekil 7.18'te gösterilen grafiklerden istatistiksel modelimizin uygunluğu açıkça görülmektedir.



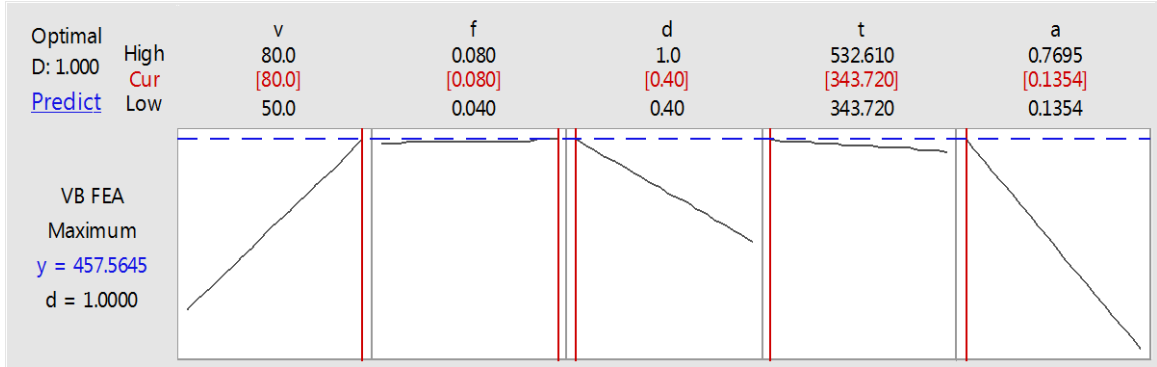
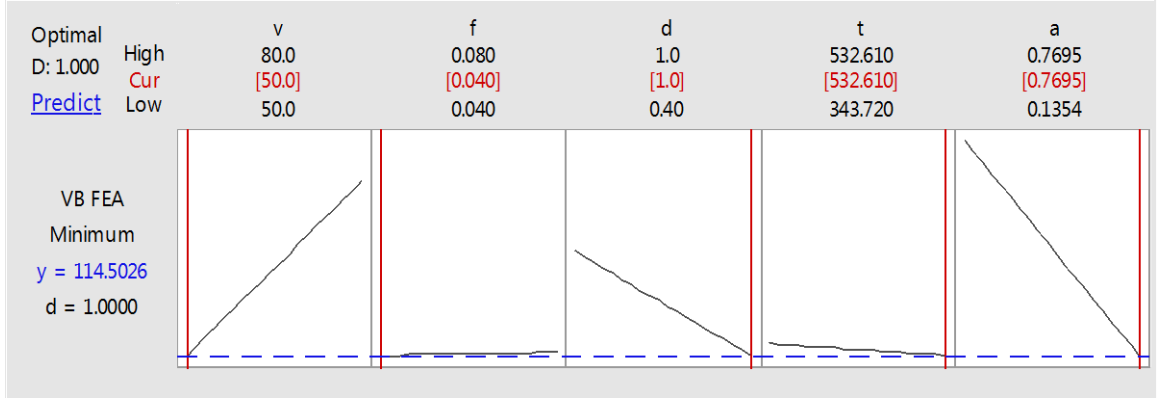
Şekil 7.17. Kesici Takım Aşınması VB, için normal olasılık grafikleri.



Şekil 7.18. Kesici Takım Aşınması VB_{FEA}, için normal olasılık grafikleri.



Şekil 7.19. Kesici Takım Aşınması VB için çok amaçlı optimizasyon grafiği.



Şekil 7.20. Kesici takım aşınması VB_{FEA} için çok amaçlı optimizasyon grafiği

Çizelge 7.4 ve 7.5'te sunulan deneysel değerler ve Şekil 7.19'ten aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Tornalama işlemindeki kesici takım aşınmasındaki VB minimal optimizasyonu için v_{min} , f_{max} , d_{max} ve t_{max} , a_{min} uygulanmalıdır.
- Tornalama işlemindeki kesici takım aşınmasındaki VB maksimum optimizasyonu için v_{max} , f_{min} , d_{min} ve t_{min} , a_{min} uygulanmalıdır.

Öte yandan Çizelge 7.10 ve 7.11'de verilen deneysel sonuçlar ve Şekil 7.20'dan şu sonuçlara ulaşılabilir:

- Tornalama işlemindeki kesici takım aşınmasındaki VB_{FEA} minimal optimizasyonu için, v_{min} , f_{min} , d_{max} ve t_{max} , a_{max} uygulanmalıdır.
- Tornalama işlemindeki kesici takım aşınmasındaki VB_{FEA} maksimum optimizasyonu için v_{max} , f_{max} , d_{min} ve t_{min} , a_{min} uygulanmalıdır.

BÖLÜM VIII

SONUÇ

Deneyin gerçekleştirilmesi ve analitik araştırmaların yanı sıra bugüne kadar literatürdeki tam analizler, karmaşıklığın ve kesme koşullarından dolayı kesme kuvveti, sıcaklık, titreşim ve yüzey pürüzlülüğünü tanımlayan ve fiziksel olayın değiştiği ve işlem görmüş yüzey pürüzlülüğüne teknolojik etkilerinin öngörülmesini mümkün kılan matematiksel modelleri zorunlu kılmıştır. Kesme kuvvetleri için matematiksel modellerin sonuçları ve grafik gösterimlerinden aşağıdaki sonuçlar çıkarabilir:

- Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetleri azalmaktadır.
- Kesme beslemesinin artmasıyla kesme kuvvetleri artmaktadır.
- Kesme derinliğinin artmasıyla kesme kuvveti artmaktadır.
- Sıcaklık ve titreşimin artmasıyla kesme kuvveti artmaktadır.

Deneysel sonuçlara dayalı olarak elde edilen matematiksel modele (6.18 ve 6.21) göre, R_{a1} ve R_{a2} ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Besleme hızının artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü artmaktadır,
- Kesme hızının artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır,
- Kesme derinliğinin artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü miktarı artmaktadır,
- Titreşimlerin artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü artmaktadır,
- Sıcaklığın artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır.

Deneysel sonuçlara dayalı olarak elde edilen matematiksel modele (6.19 ve 6.22) göre R_{t1} ve R_{t2} ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- besleme hızının artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü artmaktadır,
- kesme hızının artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır,
- kesme derinliğinin artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü miktarı artmaktadır,
- titreşimlerin artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır,
- sıcaklığın artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.

Deneysel sonuçlara dayalı olarak elde edilen matematiksel modele (6.20 ve 6.23) göre R_{z1} ve R_{z2} ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- besleme hızının artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü artmaktadır,
- kesme hızının artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü artmaktadır,
- kesme derinliğinin artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü miktarı azalmaktadır,
- titreşimlerin artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır,
- sıcaklığın artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır.

Inconel 625'in işlenmesinde CNMG 120408NN kesici takımı kullanılmıştır. Kullanılan kesici takımlar parçanın yüzey pürüzlülüğü kalitesini ve kesme kuvvet değerlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Kesici takım aşınması, zorlu koşullarda gelişen olumsuz bir durum olup, kesme parametrelerine ve üretim teknolojilerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Sonlu elemanlar analizlerinden ve matematik modellerinden (7.8 ve 7.9) elde edilen sonuçlar aşağıda ifade edilmiştir.

- kesme hızı arttıkça, kesici takım aşınması azalmaktadır.
- kesici takım aşınmasına kesici takım ilerleme miktarının küçük bir etkisi bulunmaktadır.
- kesme derinliğinin artması ile birlikte kesici takım aşınması miktarı da azalmaktadır
- titreşimin artması ile birlikte kesici takım aşınması azalmaktadır.
- sıcaklık kesici takım aşınmasını etkilemektedir.

KAYNAKLAR

Abhay Bhatt, Vargas R. and Helmi A., Vincent James Thomson J. V., “Wear mechanisms of WC coated and uncoated tools in finish turning of Inconel 718”, **Tribology International**, 43(5-6):1113-1121, 2010.

Aggarwal A., Singh H., Kumar P. and Singh M., “Optimization of multiple quality characteristics for CNC turning under cryogenic cutting environment using desirability function”, **Journal of Materials Processing Technology**, (205), 42–50, 2008.

Altın A. and Nalbant A., “The effects of cutting speed on tool wear and tool life when machining Inconel 718 with ceramic tools”, **Materials and Design** 28, 2518–2522, 2007.

Altınas Y, Manufacturing Automation Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design, **University of British Columbia**, Vancouver , 2012.

Arunachalam R, Mannan M. and Spowage C. A. “Surface integrity when machining age hardened Inconel 718 with coated carbide cutting tools”, **International Journal of Machine Tools and Manufacture** 44(14):1481-1491, 2004.

Asiltürk I. and Çunkaş M., “Modeling and Prediction Of Surface Roughness in Turning Operations Using Artificial Neural Network And Multiple Regression Method”, **Expert Systems with Applications**, (38), 5826–5832, 2011.

Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 104-105, 2000.

Bin Zou, and Ming Chen, “Study on finish-turning of NiCr20TiAl nickel-based alloy using Al₂O₃/TiN-coated carbide tools”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, pp 81–92, 2011.

Bouacha K., Yallese A. M., Mabrouki T. and Rigal J., “Statistical Analysis Of Surface Roughness and Cutting Forces Using Response Surface Methodology in Hard Turning Of AISI 52100 Bearing Steel With CBN Tool”, *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, (28), 349–361, 2010.

Budak, E., and Ozlu, E., “Development of a thermomechanical cutting process model for machining process simulations”, *CIRP Annals – Manuf. Techno.*, 57 (1): 97-100 2008.

Bushlya V, Zhou J, Stahl J. E, “Effect of cutting conditions on machinability of superalloy inconel 718 during high speed turning with coated and uncoated pcbn tools”. *Procedia CIRP* 3, 370 – 375, 2012.

Benardos, P.G., Vosniakos, G.C., “Prediction of surface roughness in CNC face milling using neural networks and Taguchi’s design of experiments”, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 18: 343–354, 2002.

Chakraborty A, Ray K. K, and Bhaduri B. S, “Comparative Wear Behavior of Ceramic and Carbide Tools During High Speed Machining of Steel”, *Journal Materials and Manufacturing Processes* 15, Issue 2, 2000.

Chan, J.F.L. and Braiden, P.M., “The effect of reverse shear on the failure of metal cutting tools”, *J. Mater. Pro. Techno.*, 28 (1-2): 75-82, 1991.

Costes J. P., Guillet Y., Poulachon G, and Dessoly M, “Tool-life and wear mechanisms of CBN tools in machining of Inconel 718”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 47, 1081–1087, 2007.

Çakır, M.C., “Modern talaşlı imalatın esasları”, *Uludağ Üniversitesi Yayınları*, Yayın No:140, Bursa, 124-125, 1999.

Deep D. Vadalia, Alpesh H. Makwana, “Investigation of cutting and tool wear in dry turning of Inconel 625”, *International Journal of advance engineering and research development*, V.2, Issue 5, 2015.

Du Jin, Zhanqiang Liu, “Effect of cutting speed on surface integrity and chip morphology in high-speed machining of PM nickel-based superalloy FGH95”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp 893–899, 2011.

Ezugwu E. O, and V. K. Leong , “Surface Abuse Associated with Finish Turning of Gray Cast Iron with Ceramic Tools”, *Journal Tribology Transactions* 39, 362-367, 1996.

Ezugwu E. O, Wang Z. M, and Okek C. I. “Tool Life and Surface Integrity When Machining Inconel 718 With PVD- and CVD-Coated Tools”. *Tribology transactions*, 42:2, 353-360, 2008.

Findes B, Yallese M. A, Mabrouki T, and Rigal J, “Application of response surface methodology for determining cutting force model in turning hardened AISI H11 hot work tool steel”, *Indian Academy of Sciences* Vol 36, 109–123, 2011.

Ezugwu E. O, Olajire K. A, and Jawaid A. “Wear performance of multilayer-coated carbide tools”, *MACH SCI T*, 5(1), pp. 115-129, 2001.

Fujia Xu, YaohuiLv, Yuxin Liu, BinishiXu, and Penge He, “Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of Inconel 625 alloy fabricated by pulsed plasma arc deposition”, *PhysicsProcedia* 50, 48-54, 2013.

Gatto A, and Luliano L, “Chip formation analysis in high speed machining of a nickel base superalloy with silicon carbide whisker-reinforced alumina”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 1147-1161, 1994.

Göloğlu, C. and Arslan, Y., “Genetik Programlama ile İmalat İçin Yüzey Pürüzlülük Modeli Geliştirilmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21 (4), 667-674, 2006.

Güllü, A., Özdemir, A., Demir, H., “Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri ve mukayesesi”, *Teknoloji*, 6 (1-2), 2003.

Hemant J, Tripathi J, Bharilya R, Sanaya J, and Kumar A, “Optimisation and Evaluation of Machining Parameters for Turning Operation of Inconel-625”, *Material's Today Proceedings* 2, 2015.

Kaya B, Oysu C, Ertunc M. H, “Force – torque based on-line wear estimation system for CNC milling of Inconel 718 using neural networks”, *Advances in engineering software* 42, 2011.

Kurt A., “Modelling of the cutting tool stresses in machining of Inconel 718 using artificial neural networks”, *Expert Systems with Applications*, 36 (6): 9645-9657 (2009).

Lingao Li, N He, M Wang and Z.G Wang, “High speed cutting of Inconel 718 with coated carbide and ceramic inserts”. *Journal of Materials Processing Technology* 129(1), 2002.

Lorentzon, J., Jarvstrat, N., “Modelling tool wear in cemented-carbide machining alloy 718”, *Int. J. Machine Tools and Manuf.*, 48 ,2008.

M. Nalbant, H Gökçaya, and G. Sur, “Application of taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning”, *Materials and Design* 28, 2008.

Mavi A., ve Korkut İ., “Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Regresyon Analizi ile Modellenmesi”, *Politeknik Dergisi*. 13(4), 2010.

Meral G., Dilipak H. and Sarıkaya M., (2011). AISI 1050 Malzemenin Delinmesinde İlerleme Kuvvetleri Ve Yüzey Pürüzlülüğünün Regresyon Analiziyle Modellenmesi, *TÜBAV Bilim*, 4(1) 31-41.

Montgomery, D.C., Runger, and G.C., *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 2011.

Muammer N, Gokkaya H, Sur G, “Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning”. *Materials and design* 28, 2007.

Nas, E., Samtaş, G., ve Demir, H., “CNC Frezelemede Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Parametrelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi”. Pamukkale Üniversitesi. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(1), 2012.

Outeiro J. C, Pina J. C, M’Saoubi R, Pusavec F, and Jawahir I.S, “Analysis of residual stresses induced by dry turning of difficult-to-machine materials”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 57, 2008.

Özel T., Karpaz Y., Figueira L. and Davim P., “Modelling of Surface Finish And Tool Flank Wear in Turning of AISI D2 Steel With Ceramic Wiper Inserts”, *Journal of Materials Processing Technology*, (189), 2007.

Özel, T. and Karpaz, Y., “Predictive Modeling Of Surface Roughness and Tool Wear in Hard Turning Using Regression And Neural Networks”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. (45), 2005.

Özkul İ., Buldum B. B. and Akkurt A., “Dievar Sıcak İş Takım Çeliğinin Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Kalitesine Etkisinin Regresyon Analiziyle Modellenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), 2013.

Özler L., Tosun N. ve İnan A., “Östenitik Manganlı Çeliğin Sıcak Talaşlı İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi”, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*. (24), 2000.

Pawade R. S, Joshi S. S, Brahmanekar P. K, and Rahman M. “An investigation of cutting forces and surface damage in high-speed turning of Inconel 718”. *Journal Material Process Technology*. 192-193, 2007.

Puertas, I. and Luis perez, C.J., “Surface Rougness Prediction By Factorial Design of Experiments in Turning Processes”, *Journal of Materials Processing Tech.*, 2003.

Rao C. J, Nageswara Rao D, and Srihari P, “Influence of cutting parameters on cutting force and surface finish in turning operation”, *Procedia Engineering* 64, 2013.

Senthil Kumar A, Sornakumar R, and Durai Raja A, “The effect of tool wear on tool life of alumina-based ceramic cutting tools while machining hardened martensitic steels”, *Journal of Materials Processing Technology* 173(2), 2006.

Sharman A. R. C, Hughes J. C, and Ridgway K, “Workpiece surface integrity and tool life issues when turning inconel 718 nickel based superalloy”, *Machining Science and Technology*, 399-414, 2004.

Shaw, M. C, “Metal Cutting Principles”, *Oxford Univei sity Press*, New York, 2-178, 1991.

Stout, K.J., “Engineering surfaces – A Philosophy of Manufacture (A Proposal For Good Manufacturing Practise)”, *Proc. Instn.Mech. B*, 212, 169 – 174, 1998.

Scarr A.J.T., “Metrology and Precision Engineering”, *Mc. Graw-Hill Publishhing Company Limited*. New York, 1991.

Thakur D. G, B. Ramamoorthy and Vijayaraghavan L, “Machinability investigation of Inconel 718 in high-speed turning”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 45, 2009.

Thakur Dinesh G, Ramamoorthy B, and Vijayaraghavan L, “Effect of cutting parameters on the degree of work hardening and tool life during high-speed machining of Inconel 718”, *International Journal Adv Manuf Technol*, 59, 2012.

Ulutan D, ve Özel T, “Machining Induced Surface Integrity in Titanium and Nickel Alloys: A Review” *Intern Journal of Machine Tools and Manufacture* 250-280, 2011.

Valencia J.J, McCabe T, and Hens K, “Microstructure and mechanical properties of Inconel 625 and 718 alloys processed by powder injection molding”, *The minerals and Materials society*, 1994.

Vani Shankar, K Bhanu Sankara Rao, S. L Mannan, “Microstructure and mechanical properties of Inconel 625”, *Journal of Nuclear Materials*, 222-232, 2001.

Wang, Z. Y., Rajurkar, K., Fan, J., Lei, S., Shin, Y. C., Petrescu, G. “Hybrid machining of Inconel 718”. *Int. Journal Mach. Tools Manuf.* 43: 1391–1396, 2003.

Watson, P. K. and Teelucksingh, S.S., “A Practical Introduction to Econometric Methods: Classical and Modern”, *University of the West Indies Press*, Jamaica, 2002.

Yücel, E. ve Günay, M., “Yüksek Alaşımli Beyaz Dökme Demirlerin (Ni-Hard) Tornalanmasında Kesme Kuvvetinin Modellenmesi”, *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 2012.

Yang, J.L., and Chen, J.C., “A systematic approach for identifying optimum surface roughness performance in end-milling operations”, *Journal of Industrial Technology*, 17 (2), 2001.

EKLER

EK-A

HARALD PIHL

PROFORMA INVOICE



Our contact
Staffan Trotzig
 Your contact
Fitim Zeqiri
 Tel. No +37744355401
 Fax No
 Consignee
Fitim Zeqiri
Mitrovica Str Tomori No.202

Date
2016-01-04
 Order Number **HP 158924** Vat No
 Your order number
Alloy 625
 Buyer
Fitim Zeqiri
Mitrovica Str Tomori No.202

Page 1

ort 40000
 Kosovo
 Transportation
 NTEX
 Markings
 Email best. 2016-01-04

ort 40000
 Kosovo
 Delivery terms to Incoterms 2010
 CPT
 Payment terms
Payment in advance
 Dispatch date
2016-01-06
 Currency
SEK

Item	Specification	Quantity	Unit price	Discount	Amount
1	ALLOY 625 (61 Ni/22 Cr/9 Mo) 75051200 Round bar; forged, peeled, annealed Dia=65.4 mm, Weight=26.7 kg/m Tolerance: +0.78/-0 mm **1 pc cut 0,5 m** ASTM B/ASME SB446 UNS N06625 AMS 5666G NORSOK MDS N01 (except 5 & 6) NACE MR0175 ISO 15156-3 W.Nr 2.4856 Country of Origin: DE	kg m	425,00		5 695,00
2	Packing cost Including handling cost	pc	220,00		220,00
3	Certificate with the invoice Acc. to EN 10204/3.1	pc	100,00		100,00
4	Freight cost Will be invoiced separately when known.	pc	900,00		900,00

Net	0,00
Vat	0,00
Rounding	0,00
TOTAL DUE	SEK 6 915,00

HARALD PIHL AB	Contact information:	Bank details:	IBAN SE 696000000000525935142 (SEK)
P.O. Box 7387	Tel: +46 8731 56 00	HANDELSBANKEN, TÄBY	IBAN SE 186000000000043585809 (EUR)
SE-18715 Täby, Sweden	Fax: +46 8 731 05 40	SWIFT: HANDSESS	IBAN SE 806000000000043585469 (USD)
Registered office: Stockholm	E-mail: info@haraldpihl.com	VAT-No: SE556064198601	IBAN SE 496000000000043585639 (GBP)
	Website: www.haraldpihl.com		IBAN SE 526000000000043585779 (CHF)

Major Stockholder of Nickel Alloys, Titanium, Special Copper Alloys & Welding Materials
 For general sales terms and updated stocklist visit www.haraldpihl.com



DEUTSCHE NICKEL GMBH
Rosenweg 15, 58239 Schwerte, Germany

Inspection Certificate
EN 10204 - 3.1

Certificate No: 4094 / 2014 Rev. 1

HARALD PIHL AB

Mätslingan 19
S - 187 16 TÄBY

Order-No.:
HP 3062 / 07.08.2014

Confirmation-No.:
80143098 / 1

Material: Chronin 625
Mat.-No.: 2.4856
UNS N06625
Form of delivery: bars
Dimension: dia. 65,400 mm

Specification: ASTM B 446-03 Reappr. 2008,
ASME SB 446-07,
AMS 5666G-13,
DIN EN ISO 15156-3:2010 /
NACE MR 0175,
Norsok MDS N01 except
Point 5 and 6

Condition: hot worked, annealed, peeled

Net Weight:
528,00 kg

No. of pieces:
6 bars

Heat-No.:
42411

MEASURED VALUES

Melting Composition (mass-%):

Al	Co	Cr	Cu	C	Fe	Mn
0,16	0,032	22,34	0,091	0,020	4,29	0,057
Mo	Nb	Ni	P	Si	S	Ta
9,20	3,57	59,64*	<0,005	0,28	0,002	0,014
Ti						
0,23						

* Calculated as the difference between 100 % and the sum of the measured elements

Hardness HRC	35 / 35
Hardness HB	223 / 229
Yield strength 0,2% [MPa]	470
Tensile strength [MPa]	874
Elongation AL=4D [%]	49,0
Charpy V-notch-test at -46°C (-50°F) [Joule]	109 / 113 / 120
IK-Test gem. ASTM G 48 A [mm / a]	0
U.S.-Test acc. to API 6A PSL 3	O.K.

Heat treatment: 980°C / 2h / AC



DEUTSCHE NICKEL GMBH
Rosenweg 15, 58239 Schwerte, Germany

Inspection Certificate
EN 10204 - 3.1

Certificate No: 4094 / 2014 Rev. 1

HARALD PIHL AB

Mätslingan 19
S - 187 16 TÄBY

Order-No.:
HP 3062 / 07.08.2014

Confirmation-No.:
80143098 / 1

Our QM-system is certified by Lloyd's Register Quality Assurance in accordance to DINENISO9001, certificate-no.: KLN 4000313-10
Our EM-system is certified by Lloyd's Register Quality Assurance in accordance to DINENISO14001, certificate-no.: KLN 4001026

Schwerte, 30.12.2014

QA Manager
Martin Bäuml

EK-B

Technical Data

Excitation

Voltage compliance, min.	V	24
Current, programmable, 16 levels	mA	0 ... 15
ESD Protection	kV	15

Electrical/Signal Processing

Channels		4
Gain, programmable		0,5 ... 150
Gain step resolution (G)		
0,5 ... 99,99		0,01
100 ... 150		0,1
Gain Accuracy		
0,5 ... 150	%	±0,5
Total wideband noise, 1 ... 10 kHz (Gain = 1, 0 Ω shunt on input), typ.	μVrms	≤35
Avg. noise density (Gain = 1, Rin = 0 Ω)	μVrms/√Hz	0,35
Channel crosstalk (Signal 10 Vpp at 1,2 kHz in any 1 channel, G = 1)	dB	-90
Frequency response, ±5 %, Filter = bypassed		
2 Vpp Input	Hz	0,1 ... 68 k
20 Vpp Input	Hz	0,1 ... 12 k
Fault detect		open, short
Overload detect, programmable	V	1 ... 10 (±5 % of FS)
Programmable LP filter frequencies (-3 dB), ±10 %	Hz	100, 1 k, 10 k, 30 k
Filter type		Butterworth
Poles		4
Filter bypass		programmable

Smart Sensor (PiezoSmart®)

Interface		IEEE 1451.4 with TEDS
-----------	--	--------------------------

Input

Impedance	MΩ	2 at 1 nF
Time constant programmable, nom.	s	10/1/0,1 (Rapid Zero)
ESD Protection	kV	15

Output

Impedance	Ω	<100
RLoad, min.	Ω	300
Voltage range	V	±5 or ±10 selectable

Indicators

Status LED (Fault/Overload)		1/channel, 3-color (red, green, blue)
Status	yellow yellow flash green red blue	fault, open fault, short normal IEPE overload TEDS/normal

Connectors

Input/output	Type	BNC, neg.
USB	Type	mini-B

Environmental

Operating temperature range	°C	0 ... 60
Storage temperature range	°C	-25 ... 85
Humidity, non-condensing	%	0 ... 95

Power

Line Voltage, -23 %, +18 % (115)	VAC	89 ... 135
(230)	VAC	178 ... 270
Line Frequency	Hz	48 ... 62
Power consumption, max.	VA	14

Physical

Dimensions, case wxhxd	mm	195,1x141x93,5
Weight (with housing)	kg	1,75

1 g = 9,80665 m/s², 1 Inch = 25,4 mm, 1 gram = 0,03527 oz, 1 lbf-in = 0,113 N-m

Accessing TEDS Data

The Type 5134B... is used to view the TEDS. The interface provides negative current excitation (reverse polarity) altering the operating mode of the PiezoSmart sensor allowing the program editor software to read or add information contained in the memory chip.

EK-C

Technical Data

Charge Amplifier

Number of channels		4
Option		8
Connector type		BNC neg.
Option		Fischer 9-pole neg.
Measuring range FS	pC	±200 ... 200 000
Option	pC	±600 ... 600 000
Measurement uncertainty (0 ... 50 °C) typ./max.	%	<±0,3/<±1
Drift, measuring mode DC (Long) at 25 °C, max. relative humidity RH of 60 % (non-condensing)	pC/s	<±0,05 (typ. <±0,03)
at 25 °C, max. relative humidity RH of 70 % (non-condensing)	pC/s	typ. <±0,05
at 50 °C, max. relative humidity RH of 50 % (non-condensing)	pC/s	<±0,2
Frequency range (20 Vpp)	kHz	≈0 ... >45
Group delay	µs	<9

Voltage Output

Connector type		D-Sub 15f
Output voltage	V	±10
Output current	mA	<±2
Output resistance	Ω	10
Reset-measure transition	pC	<±2
Zero point error (Reset)	mV	<±10
Output interference signal (0,1 Hz ... 1 MHz)	mVpp	<10

Ordering Key

Type 5070A

Case

19" cassette for rack mounting	0
Desk top version with support bracket	1
19" cassette version with panel mounting set	2

Number of Channels

4 channels	0
8 channels	1
8 channels with 6-component summing calculator	2

Measuring Signal Input

BNC neg.	0
Fischer 9-pole neg.	1

Measuring Range

±200 ... 200 000 pC	0
±600 ... 600 000 pC	1

Interface

RS-232C	0
RS-232C and IEEE-488	1

Ordering Example Type 5070A10100

(suitable for cutting force measurement)

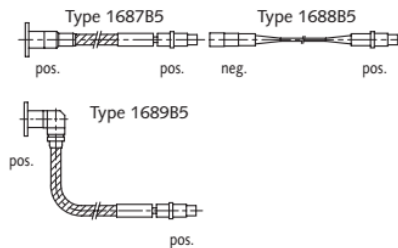
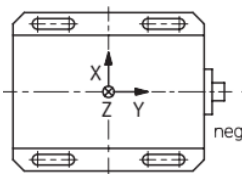
Multichannel Charge Amplifier for Multicomponent Force Measurement

Case: Desktop unit with mounting bracket
 Number of channels: 4
 Measuring signal input: Fischer 9-pole neg.
 Measuring range: ±200 ... 200 000 pC
 Interface: RS-232C

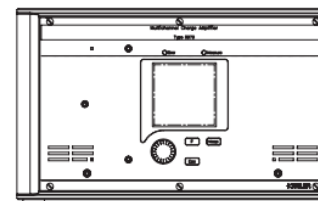
3-Component Force Measurement F_x , F_y , F_z with 4-Channel Charge Amplifier

Dynamometer
 Type 9119AAx, 9129A, 9129AA, 9253B,
 9255C, 9257B, 9139AA

Cable



Charge Amplifier
 Type 5070Ax01xx



3 output signals
 from the charge amplifier

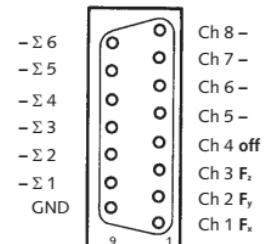
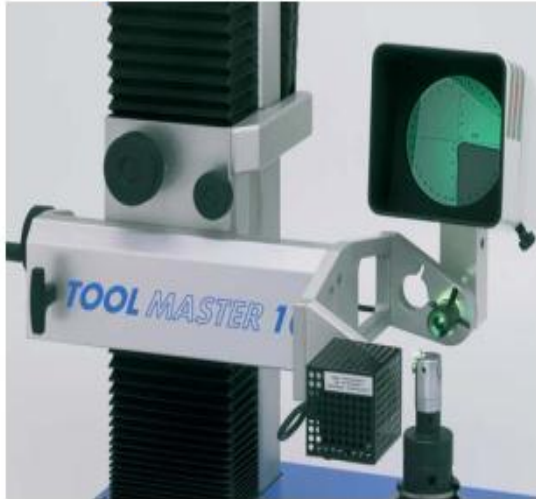


Fig. 2: Example of a measuring system with standard dynamometer

Measured Value Processing

DynoWare Type 2825A... is suitable for data acquisition.

TM10-P Projector



- Projector «swiss made» providing high contrast, minimum distortion and even illumination for non-tiring and error free measuring
- Diameter 110 mm (4,33")
- Magnification 20-X
- Fixed and rotatable reticule
- Extended life of halogene illumination thanks to automatic shutdown
- Ideal for additionally establishing radii and angles

- Glass scales AcuRite, resolution 0.001 mm (0,00004")
- 6" LCD display
- Extremely simple operation
- Dirt resistant soft key pad
- Dialogue in English/German/French/Italian/Spanish
- 99 reference point memory for different adapters and machine zero points
- Designation and counting direction freely selectable for each reference point
- Tool library for 500 tools
- Absolute/incremental measuring
- Hold function
- R/D switchable
- Axis parallelism compensation
- Linear and section compensation
- Formats for label and tool list printing
- Serial interface RS 232 for PC and other applications
- Parallel interface Centronics for printer
- Simple setup program
- Password protection

Technical Data

Additional measurement on Toolmaster 10-P and SMART

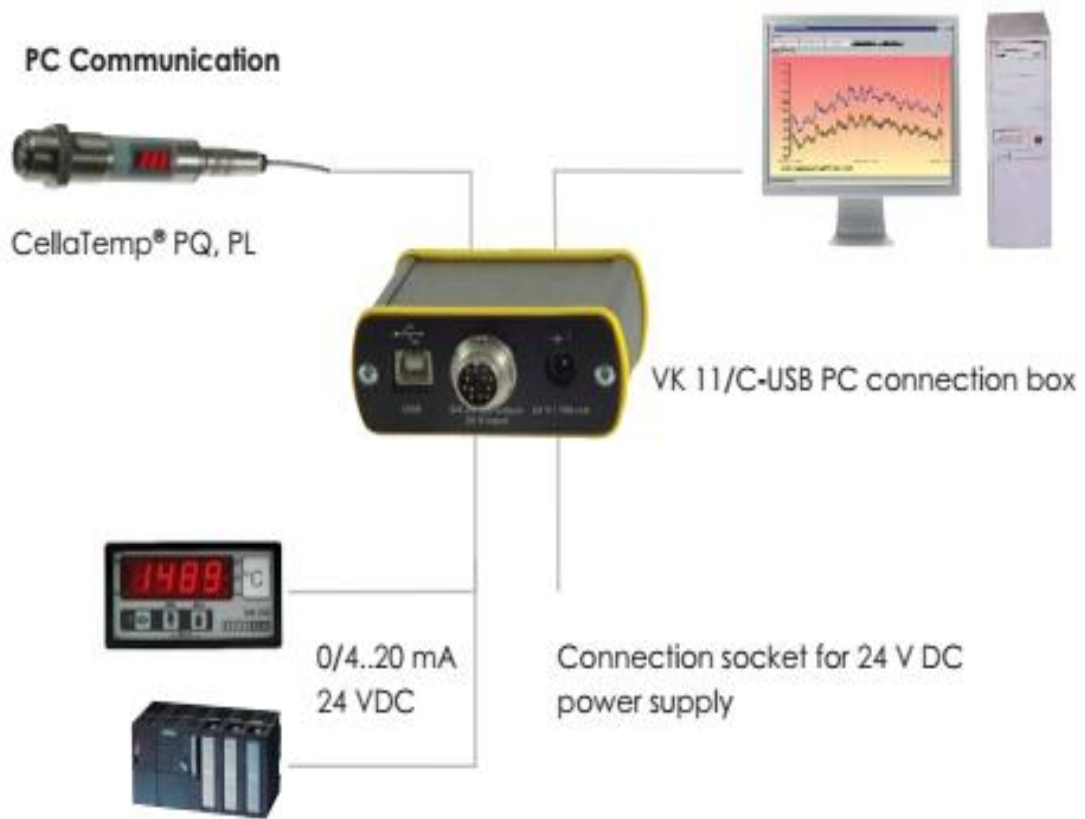
- Circle measuring 3-100 points by reticule
- Angle measuring 2-100 points per line

TM10-2D and TM10-P

Designation	Measuring range		L	H	Weight kg / lbs
	X-Axis (Ø)	Z-Axis (L)			
Toolmaster 10-2D	310 (12,2")	42-360 (1,66"-14,17")	650 (25,6")	814 (32,05")	65 / 143
	310 (12,2")	82-500 (3,23"-19,68")	650 (25,6")	977 (38,46")	70 / 154
Toolmaster 10-P	210 (8,27")	42-360 (1,66"-14,17")	635 (25,0")	814 (32,05")	75 / 165
	210 (8,27")	82-500 (3,23"-19,68")	635 (25,0")	977 (38,46")	80 / 176

Tool adapter available for ISO 40 or ISO 50
All dimensions in mm (inch)

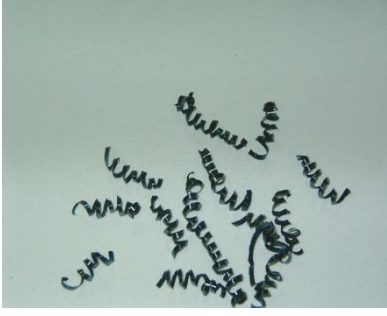


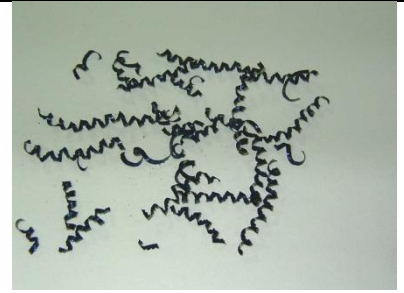



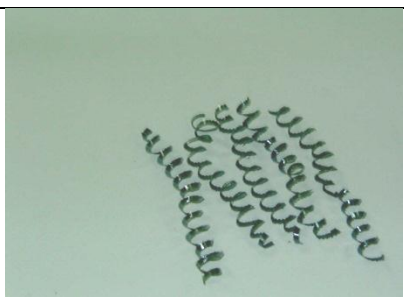
EK-E

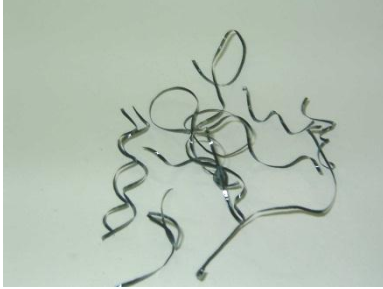







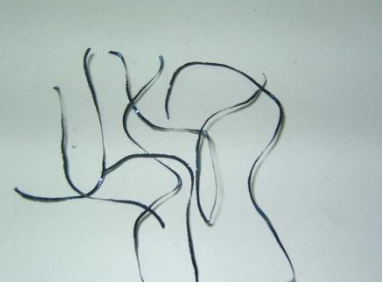



Version	High Temperature			Glass Surface Pyrometer		Reverberatory furnace
Model	PQ 31 AF...	PQ 32 AF...	PQ 38 AF...	PQ 41 AF...	PQ 42 AF...	PQ 51
Distance ratio	120:1	30:1	100:1	30:1	50:1	30:1
Focal distance	800 mm	300 mm	200 mm	400 mm	400 mm	400 mm
Ranges	AF1:	700 – 1400 °C		300 – 1300 °C	700 – 1500 °C	400 – 1400 °C
	AF2:	800 – 2000 °C			1000 – 2500 °C	
	AF3:	1000 – 2500 °C				
	AF4:	500 – 2500 °C				
	AF90 ¹⁾ :	500 – 2500 °C		300 – 1300 °C	700 – 2500 °C	400 – 1400 °C
Sensor	photodiode			thermopile		thermopile
Spectral range	0.78 – 1.06 µm			4.6 – 4.9 µm		3.8 – 4.0 µm
Target marker			continuous LED spotlight			
Uncertainty (at $\epsilon=1$ and $T_a=+23$ °C)	0.3 % of reading at least 4 K			0.75 % of reading at least 4 K	1.0 % of reading	1.0 % of reading
Repeatability	1 K			2 K	4 K	2 K
Response time t_{90}	< 2 ms for $T > 900$ °C			≤ 100 ms		≤ 100 ms
Resolution	≤ 0.65 K			≤ 0.65 K		≤ 0.65 K
Length of enclosure A	149 mm	112 mm	189 mm	149 mm		123 mm
Length of thread B	66 mm	35 mm	100 mm	66 mm		35 mm

¹⁾ Measuring range is user-configurable within specified span.

EK-F**Çizelge 1.0.** Inconel'in 625 Talaş Tipleri.

Dency	Kesme parametreleri	Talaş Tipleri	
		Inconel 625	Inconel 625 Isıl işlem sonrası (after annealed)
1	v=50m/dak f=0.04mm/diş d=0.4mm		
2	v=50m/dak f=0.06mm/diş d=0.7mm		
3	v=50m/dak f=0.08mm/diş d=1.0mm		
4	v=65m/dak f=0.04mm/diş d=0.7mm		

5	$v=65\text{m/dak}$ $f=0.06\text{mm/diş}$ $d=1.0\text{mm}$		
6	$v=65\text{m/dak}$ $f=0.08\text{ mm/diş}$ $d=0.4\text{mm}$		
7	$v=80\text{m/dak}$ $f=0.04\text{ mm/diş}$ $d=1.0\text{mm}$		
8	$v=80\text{m/dak}$ $f=0.06\text{ mm/diş}$ $d=0.4\text{mm}$		
9	$v=80\text{m/dak}$ $f=0.08\text{ mm/diş}$ $d=1.0\text{mm}$		

ÖZ GEÇMİŞ

Fitim ZEQRİ 01.09.1982 tarihinde Kosova Kaçandoll'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Mitrovica'da tamamladı. 2000 yılında girdiği Priştina Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Ocak 2005'de mezun oldu. 2005-2007 yılları arasında Priştina Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisansını tamamladı. 2005 yılında Priştina Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak akademik hayatına başladı. 2014 yılından bu yana Mitrovica Üniversitesinde Makine Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimleri Bölümünde çalışmanın ardından, 2011 yılından bu yana Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Doktora çalışmalarını sürdürmektedir. Evli ve üç çocuk babasıdır.

Bu tez çalışmasından, 1 (bir) adet uluslararası bildiri üretilmiştir. Bu üretilen çalışma aşağıda sunulmuştur.

ZEQIRI F., ALKAN M., KAYA B., TOROS S., ‘‘Experimental Research and Mathematical Modeling of Parameters Effecting on Cutting Force and Surface Roughness in CNC Turning Process’’, **Proceedings Book of 9th International Conference On Tribology**, 383-393, 13-15 September, Cappadocia/Turkey 2017.

