T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TORNALAMA İŞLEMLERİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İSTATİSTİKSEL VE YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİYLE TAHMİN EDİLMESİ

Harun AKKUŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

KONYA, 2010

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TORNALAMA İŞLEMLERİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İSTATİSTİKSEL VE YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİYLE TAHMİN EDİLMESİ

Harun AKKUŞ
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. İlhan ASİLTÜRK
2010, 125 Sayfa
Jüri: Yrd. Doç. Dr. İlhan ASİLTÜRK
Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR
Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU

CNC tornalama işlemlerinde, yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerlerinin önceden tahmini üretim açısından son derece önemlidir. Üretimin temel amaçlarından; parça kalitesinin artırılması ve maliyetin düşürülmesi ancak kesme parametrelerinin en doğru şekilde seçilmesi ile mümkündür.

Bu çalışmada, AISI 4140 ıslah çeliği 51 HRC sertlikte sert tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği alınmıştır. Bu değerlere karşılık çıkış olarak; offline ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve online olarakta z yönündeki titreşim (a_z) sinyalleri ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler MATLAB programı aracılığıyla yapay zeka yöntemlerinden bulanık mantık ve yapay sinir ağı kullanılarak tahmin modellemede kullanılmıştır. Yine istatistik yöntemlerle Ra ve a_z değerleri için I. derece, II. derece ve logaritmik olarak regresyon denklemleriyle modellendi. Modelde faktörlerin etkinliği ANOVA (varyans analizi) ile tespit edildi. Regresyon için MİNİTAB 14 adlı istatistik

programı, ANOVA testi için SPSS 16.0 programı kullanıldı. Bulanık mantık, yapay sinir ağları ve çoklu regresyon modeli ile elde edilen tahmin değerleri karşılaştırıldı. Bu çalışma için verilen şartlarda en iyi sonuç bulanık mantıkla kurulan modelde elde edilmiştir. Elde edilen teorik ve pratik kazanım gelecekte imalatta çeşitli alanlarda kullanılabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Sert tornalama, Yüzey Pürüzlülüğü, Titreşim, Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağı, Regresyon Analizi, Varyans Analizi.

ABSTRACT

PhD Thesis

PREDICTION OF SURFACE ROUGHNESS IN TURNING OPERATIONS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND STATISTICAL METHODS

Harun AKKUŞ
Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Machine Education Branch
Advisor: Assist. Prof. Dr. İlhan ASİLTÜRK
2010, 125 Page
Jury: Assist. Prof. Dr. İlhan ASİLTÜRK
Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR
Assoc. Prof. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU

In CNC turning process, predicting surface roughness and vibration value is crucial for manufacturing. Increasing product quality and decreasing costs which are basic purposes of manufacturing, can only be possible by correct selection of cutting parameters.

In this study, AISI 4140 tempered steel was used in hard turning process with 51 HRC hardness. Cutting parameters were determined as cutting speed, feed rate, dept of cut. For these values, offline mean surface roughness (Ra) and online vibration signals (a_z) are measured as correspondents. These data are used for prediction modeling by using fuzzy logic and artificial neural network methods with MATLAB software. Also Ra and a_z are used in statistical modeling by using first grade, second grade and logarithmic regression equation. Effectiveness (activity) of factors in models were determined (confirmed) by ANOVA (variance analysis). MİNİTAB 14 software was used for regression and SPSS 16.0 software was used for ANOVA test. Prediction values which are determined by fuzzy logic, artificial neural

network and multi regression model were compared. For this study, best result was achieved by fuzzy logic. Theoretical and practical gains will be used in various applications in manufacturing.

Key words: Hard Turning, Surface Roughness, Vibration, Fuzzy Logic, Artificial Neural network, Regression Analysis, Variance Analysis.

TEŞEKKÜR

Teknolojik gelişmelerin ışığında hızla gelişen ve büyüyen talaş kaldırma teknolojisine fayda sağlaması amacıyla yaptığım bu çalışmanın planlanması ile araştırma ve deneysel çalışmalar sırasında sağladığı araştırma olanakları, rehberlik ve yardımlarıyla kesintisiz çalışma fırsatı verdiği için öncelikle danışman hocam Yrd. Doç. Dr. İlhan ASİLTÜRK'e, deneysel çalışmalar için imkan sunan İSOMER yönetimi ve personeline, deney sonuçlarının yorumlanmasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Mehmet Turan DEMİRCİ hocama, yapay zeka yöntemleri konularında tecrübe ve bilgilerini benden esirgemeyen Arş. Gör. Okan UYAR ve Arş. Gör. İlker Ali ÖZKAN hocalarıma, regresyon denklemlerin elde edilmesinde vaktini ayırıp sabırla yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Seyit Ali KAYIŞ hocama, yüksek lisans boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen Niğde Çağatay Kitabevi sahibi değerli abim Ahmet Çağatay AKKUŞ'a, maddi ve manevi destekleriyle hayatım boyunca bana hep yardımcı olan sevgili aileme en içten duygularımla teşekkür ederim.

Harun AKKUŞ

Haziran 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **iii**
TEŞEKKÜR ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **x**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **xiii**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xiv**
KISALTMALAR ..... **xv**
1.GİRİŞ **1**
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**
3. TAKIM TEZGAHLARI **14**
3.1. Takım Tezgahları Hakkında Genel Bilgiler 14
3.2. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler 15
3.2.1. Takım ömrü 17
3.2.2. Kesme hızı- ömür ilişkisi 18
3.2.3. Takım geometrisinin etkisi 19
3.2.3.1. Dik kesme işlemi 19
3.2.3.3. Eğik kesme işlemi 20
3.2.4. Titreşimin etkisi 20
3.2.5. Takım malzemesi ve iş parçası malzemesinin etkisi 21
3.2.6. Takım maliyeti 21
3.2.7. Takım uç yarıçapının etkisi 22
3.2.8. Soğutma sıvısının etkisi 23
4. TORNALAMA İŞLEMİNDE TEMEL BİLGİLER **25**
4.1. Tornalama 25
4.2. Tornada Kesme Parametreleri 28
4.2.1. Kesme hızı 28
4.2.2. İlerleme miktarı 29
4.2.3. Talaş derinliği 29
4.3. Torna Takım Geometrisi 30

4.4. Sert Tornalama....32
4.5. Yüzey Pürüzlülüğü....33
4.5.1. Yüzey yapısının özellikleri....34
4.5.2. Yüzey pürüzlülüğünün önemli olduğu durumlar....35
4.5.3. Yüzey kalitesini etkileyen faktörler....35
4.5.4. Yüzey kalitesinin sayısal olarak değerlendirilmesi....36
4.5.4.1. Ortalama çizgi sistemi (M)....36
4.5.4.2. Zarf sistemi (Z)....40
4.5.5. Yüzey pürüzlülük ölçme metotları....41
4.6. Titreşim....42
4.6.1. Titreşimin sınıflandırılması....43
4.6.2. Titreşim testleri....44
4.6.3. Titreşim (İvmemetre) seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar....46
4.6.4. Titreşimin ölçülmesi....46
5. TALAŞLI İMALATTA TAHMİN MODELLERİ....48
5.1. Bulanık Mantık (BM)....49
5.1.1. Bulanık mantığın avantaj ve dezavantajları....50
5.1.2. Bulanık mantığın uygulama alanları....51
5.1.3. Bulanık mantık modelinin yapısı....52
5.1.3.1. Bulanıklaştırma....52
5.1.3.2. Kural tabanı....53
5.1.3.3. Çıkarım ünitesi....53
5.1.3.4. Durulaştırma....53
5.1.4. Bulanık mantık tahmin modeli örnekleri....53
5.2. Yapay Sinir Ağları....55
5.2.1. Yapay sinir ağlarının uygulama alanları....56
5.2.2. Yapay sinir ağı hücresi....56
5.2.3. Yapay sinir ağlarının çalışma şekli....57
5.2.4. YSA tahmin modeli örnekleri....59
5.3. Regresyon analizi ile tahmin....61
5.3.1. İstatistik....61
5.3.2. Deneye ve gözleme dayalı çalışmalar....61

5.3.3. Regresyon analizi 62
5.3.4. Regresyon denklemleri 63
5.3.4.1. Basit doğrusal regresyon denklemi 63
5.3.4.2. Çoklu regresyon denklemi 65
5.3.4.2.1. I. dereceden (Lineer) regresyon modeli 66
5.3.4.2.2. II. dereceden regresyon modeli 66
5. 3.4.2.3. Logaritmik regresyon denklemi 66
5.3.5. Regresyon tahmin modeli örnekleri 67
5.4. Varyans Analizi (ANOVA) 69
6. TORNALAMADA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ve TİTREŞİMİN YAPAY ZEKA TEKNİKLERİYLE TAHMİN EDİLMESİ 70
6.1. Materyal ve Metot 70
6.1.1. Deney numunesi 70
6.1.2. Kullanılan kesici takım ve takım tutucusu 71
6.1.3. Veri alma ekipmanları 72
6.1.4. Deney tasarımı 72
6.1.5. Deneyin yapılışı 73
6.2. Deneysel sonuçlar 75
6.2.1. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) ölçümü sonuçları 76
6.2.2. Titreşim (a_z) ölçüm sonuçları 81
6.3. Verilerin Bulanık Mantık Modeli ile Modellenmesi 85
6.3.1. Geliştirilen bulanık mantık modelinin üyelik fonksiyonları 85
6.3.2. Geliştirilen bulanık mantık modelinin kural tabanı 89
6.3.3. Geliştirilen bulanık mantık modelinde durulaştırma işlemi 91
6.3.4. Deney sonuçları ile BM modeli sonuçlarının karşılaştırılması 94
6.3.4.1. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) sonuçlarının karşılaştırılması 95
6.3.4.2. Titreşim (a_z) sonuçlarının karşılaştırılması 96
6.4. Verilerin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi 97
6.4.1. Test verileri İle YSA sonuçlarının karşılaştırılması 102
6.5. Verilerin Regresyon Modeli ile İstatistiksel Modellenmesi 103
6.5.1. Yüzey pürüzlüğü (Ra) için regresyon denklemleri 103
6.5.2. Titreşim (a_z) için regresyon denklemleri 106

7. DENEY SONUÇLARI, BM, YSA VE REGRESYON MODELİ TAHMİN SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....110
8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER 113
9. KAYNAKLAR 115
10. EKLER 123
Ek 1: Deney sırası 123
Ek 2: Yüzey pürüzlülüğü (Ra) için regresyon model sonuçları 124
Ek 3: Titreşim (a_z) için regresyon model sonuçları 125

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Talaş kaldırmaya etki eden faktörler 17
Şekil 3.2. Kesme hızı ve takım ömrü ilişkisi a) Lineer ilişki, b) Logaritmik ilişki. 18
Şekil 3.3. İlerleme ve takım uç yarıçapının pürüzlülüğe etkisi 23
Şekil 4.1. Üniversal torna tezgahı 25
Şekil 4.2. Torna tezgahın iki boyutlu temel parçaları 26
Şekil 4.3. Torna tezgahında yapılabilen temel operasyonlar 27
Şekil 4.4. Tornalamada kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği 29
Şekil 4.5. Kesici takım terminoloji ve takım geometrisi 31
Şekil 4.6. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri 34
Şekil 4.7. M sistemine göre yüzey pürüzlülük profili 36
Şekil 4.8. Alanlarla Ra değerinin gösterimi 38
Şekil 4.9. On nokta yükseklik parametresinin tanımlanması (RZ(ISO)) 39
Şekil 4.10. Ordinatlarla Rq değerinin gösterimi 39
Şekil 4.11. Zarf eğrisinin elde edilişi 40
Şekil 4.12. Titreşim ivme sensörü (Akselometre) iç yapısı 47
Şekil 4.13. Çalışmamızda kullandığımız coupler ve titreşim sensörü 47
Şekil 5.1. a) Klasik küme ve b) Bulanık kümenin doğruluk değeri 50
Şekil 5.2. BM model yapısı 52
Şekil 5.3. Gündüz tarafından oluşturulan BM modeli 53
Şekil 5.4. Özkan tarafından oluşturulan BM modeli 54
Şekil 5.5. Biyolojik sinir hücresi 55
Şekil 5.6. Yapay sinir ağı modeli 56
Şekil 5.7. Yapay sinir ağının çalışma şekli 58
Şekil 5.8. Zhong ve ark. kurmuş oldukları YSA yapısı 59
Şekil 5.9. Zain ve ark. tarafından oluşturulan YSA yapısı 59
Şekil 5.10. Özkan tarafından oluşturulan YSA yapısı 60
Şekil 5.11. Regresyon denkleminde a ve b sabit değerlerinin konumları 64
Şekil 6.1. Deney şeması 70
Şekil 6.2. WNMA 080408 IC 5005 kesici takım 71
Şekil 6.3. Takım tutucunun kesitleri 71

Şekil 6.4. Deney düzeneğinde titreşim ölçümü için sensörün yerleşimi 72
Şekil 6.5. Mitutyo SJ 201 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı 72
Şekil 6.6. Deneylerde kullanılan CNC torna tezgahı..... 73
Şekil 6.7. a=0,6 mm ve f=0,18-0,27-0,36 mm/dev. için kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafiği 76
Şekil 6.8. f=0,36 mm/dev. ve a=0,2-0,4-0,6 mm için kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafiği 77
Şekil 6.9. a=0,2 mm ve V=90-120-150 m/dk için ilerleme-yüzey pürüzlülüğü grafiği 78
Şekil 6.10. V=150 m/dk. ve a=0,2-0,4-0,6 mm için ilerleme-yüzey pürüzlülüğü grafiği 78
Şekil 6.11. f=0,36 mm/dev. ve V=90-120-150 m/dk. için talaş derinliği-yüzey pürüzlülüğü grafiği 79
Şekil 6.12. V=120 m/dk. ve f=0,18-0,27-0,36 mm/dev. için talaş derinliği-yüzey pürüzlülüğü grafiği 79
Şekil 6.13. Üç boyutlu Ra-V-f grafiği 80
Şekil 6.14. Üç boyutlu Ra-f-a grafiği 80
Şekil 6.15. a=0,4 mm ve f=0,18-0,27-0,36 mm/dev. için kesme hızı-titreşim grafiği 81
Şekil 6.16. f=0,36 mm/dev. ve a=0,2-0,4-0,6 mm için kesme hızı-titreşim grafiği 81
Şekil 6.17. a=0,6 mm ve V=90-120-150 m/dk için ilerleme- titreşim grafiği 82
Şekil 6.18. V=150 m/dk. ve a=0,2-0,4-0,6 mm için ilerleme- titreşim grafiği 82
Şekil 6.19. f=0,18 mm/dev. ve V=90-120-150 m/dk. için talaş derinliği- titreşim grafiği 83
Şekil 6.20. V=120 m/dk. ve f=0,18-0,27-0,36 mm/dev. için talaş derinliği-titreşim grafiği 83
Şekil 6.21. Üç boyutlu a_z-f-V grafiği..... 84
Şekil 6.22. Üç boyutlu a_z-a-V grafiği 84
Şekil 6.23. Geliştirilen Bulanık Mantık Modeli..... 85
Şekil 6.24. Kesme hızı için üyelik fonksiyonu ve üyelik dereceleri 86
Şekil 6.25. İlerleme için üyelik fonksiyonu ve üyelik dereceleri..... 86
Şekil 6.26. Talaş derinliği için üyelik fonksiyonu ve üyelik dereceleri 87

Şekil 6.27. Ra için üyelik fonksiyonu ve üyelik dereceleri 88
Şekil 6.28. a_z için üyelik fonksiyonu ve üyelik dereceleri..... 89
Şekil 6.29. Belirlenen kuralların MATLAB'daki görüntüsü 91
Şekil 6.30. Bulanık mantık modelinin durulaştırma işlemi 92
Şekil 6.31. Ra için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı BM modeli sonuçları..... 92
Şekil 6.32. Ra için talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı BM modeli sonuçları 92
Şekil 6.33. a_z için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı BM modeli sonuçları 93
Şekil 6.34. a_z için talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı BM modeli sonuçları..... 93
Şekil 6.35. Ra için deney ve BM modeli tahmin sonuçlarının karşılaştırılması..... 95
Şekil 6.36. a_z için deney ve BM modeli tahmin sonuçlarının karşılaştırılması 96
Şekil 6.37. Oluşturulan YSA modeli 97
Şekil 6.38. Network/Data Manager ekran görüntüsü 98
Şekil 6.39. Oluşturulan YSA'nın parametreleri 99
Şekil 6.40. Tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu..... 99
Şekil 6.41. YSA'da eğitim için seçilen parametreleri 100
Şekil 6.42. YSA'da test verilerinin Simulate edilmesi..... 100
Şekil 6.43. MSE performans grafiği..... 101
Şekil 6.44. Deney sonuçları ile YSA tahmin modeli sonuçlarının karşılaştırılması
a) Ra, b) a_z 102
Şekil 6.45. Ra için deney sonuçları ve regresyon sonuçlarının karşılaştırılması 106
Şekil 6.46. a_z için deney sonuçları ve regresyon sonuçlarının karşılaştırılması 109
Şekil 7.1. Ra için tüm sonuçların kıyaslanması 110
Şekil 7.2. a_z için tüm sonuçların kıyaslanması..... 112

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. ISO tarafından Ra değerinin simgelenmesi 37
Tablo 5.1. Klasik mantık-bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar 49
Tablo 6.1. AISI 4140 çeliğinin kimyasal birleşimi 71
Tablo 6.2. Takım tutucunun ölçüleri (mm) 71
Tablo 6.3. Kesme parametrelerinin üç seviye değerleri 73
Tablo 6.4. Mori Seiki NL 2500 torna tezgahının özellikleri 74
Tablo 6.5. Deney sonuçları 75
Tablo 6.6. Kesme hızının üyelik dereceleri 86
Tablo 6.7. İlerleme için üyelik dereceleri 87
Tablo 6.8. Talaş derinliği için üyelik dereceleri 87
Tablo 6.9. Ra için üyelik dereceleri 88
Tablo 6.10. a_z için üyelik dereceleri 89
Tablo 6.12. Geliştirilen bulanık mantık modeli için oluşturulan kural tabanı 90
Tablo 6.12. Bulanık mantık modelinin tahmin sonuçları 94
Tablo 6.13. BM Modeli için MSE sonuçları 95
Tablo 6.14. Test için seçilen veriler 97
Tablo 6.15. YSA'nın test verileri için bulmuş olduğu sonuçlar 101
Tablo 6.16. Ra ve az için hata değerleri 102
Tablo 6.17. Ra için I. dereceden regresyon denklem katsayıları 103
Tablo 6.18. Ra için II. Derece regresyon denklem katsayıları 104
Tablo 6.19. Ra için II. derece regresyon modelinde SPSS'de ANOVA sonuçları. 104
Tablo 6.20. Ra için logaritmik regresyon denklem katsayıları 105
Tablo 6.21. a_z için I. dereceden regresyon denklem katsayıları 106
Tablo 6.22. a_z için II. dereceden regresyon denklem katsayıları 107
Tablo 6.23. a_z için II. derece regresyon modelinde SPSS'de ANOVA sonuçları .. 108
Tablo 6.24. a_z için logaritmik regresyon denklem katsayıları 108
Tablo 7.1. Ra için modellerin tahmin sonuçları 110
Tablo 7.2. Ra için hesaplanan MSE sonuçları 111
Tablo 7.5. a_z için modellerin tahmin sonuçları 111
Tablo 7.6. a_z için hesaplanan MSE sonuçları 111

SEMBOL LİSTESİ

T	: Kesici takım ömrü (dk.)
n	: Devir sayısı (rpm)
f	: İlerleme (mm)
D_1	: İlk çap (mm)
D_2	: Son çap (mm)
β	: Kama açısı
ϕ	: Kayma açısı
KA_{hep}	: Kesme açılarının hepsi
V	: Kesme hızı (m/dk.)
R_a	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
R_q	: Ortalamanın karekökü (μm)
$R_{\max}$	: Yüzey bozukluğunun en büyük yüksekliği (μm)
R_z	: Yüzey bozukluğunun on noktasının yüksekliği (μm)
l	: Örnekleme uzunluğu (mm)
M	: Profil ortalama çizgisi
R_t	: Pürüzlülük yüksekliği (μm)
R^2	: Regresyon için belirtme katsayısı
α	: Serbest açı
r	: Takım burun yarıçapı (mm)
γ	: Talaş açısı
a	: Talaş derinliği (mm)
V_i	: Titreşim durumu
$\alpha, \beta, \gamma, \chi, \varepsilon, \lambda$	: Kesme açıları
$TM_{ç}$	: Takım/ iş parçası malzeme çifti
a_x, a_y, a_z	: X, Y, Z yönündeki titreşim (mV/g)
Ss	: Soğutma sıvısı

KISALTMALAR

AI	: Yapay Zeka (Artificial Intellenge)
ANOVA	: Varyans Analizi
BC++	: Borland C++
BM	: Bulanık Mantık
CBN	: Cubic boron nitride
CNC	: Computer Numeric Control
MSE	: Hataların karesinin ortalaması (Mean Square Error)
RSM	: Cevap hata yöntemi (Response Surface Methodology)
SVR	: Support Vector Regression
TFT	: Tam Faktöriyel Tasarım
YSA	: Yapay Sinir Ağı
YZ	: Yapay Zeka

1.GİRİŞ

Teknolojinin gelişmeye başladığı ilk dönemlerde talaş kaldırmayı etkileyen parametreler, takım aşınması, takım ömrü ve yüzey kalitesini etkileyen faktörler fazla önemsenmiyordu. Ancak talaşlı imalatta, seri imalatın önemli olduğu günümüzde, bu faktörler büyük önem kazanmaktadır.

İmalat sanayindeki temel üretim işlemlerinin şüphesiz en önemlisi talaş kaldırarak yapılan üretimdir. Üreticinin globalleşen dünyada ayakta kalabilmesi ve rekabet edebilmesi; en düşük maliyet ve en kısa sürede istenen boyutta ve yüzey kalitesinde parça üretmesine bağlıdır (Asiltürk 2007).

İmalatın amacı, hammadde ile ürün arasındaki dönüşümü sağlamaktır. Bu dönüşümün sağlanabilmesi için pek çok değişik teknolojik yöntemler kullanılabilir. İmal usulleri adı verilen bu teknolojik yöntemler, talaşlı imalat ve talaşsız imalat yöntemleri olarak iki temel gruba ayrılabilir. Bu iki temel grup arasındaki fark; talaşlı imalat yöntemlerinde (tornalama, frezeleme, planyalama vb.) hammadde-ürün dönüşümü sırasında hammadde üzerinden talaş kaldırılması, talaşsız imalat yöntemlerinde (kaynak, döküm, dövme vb.) ise hammadde üzerinden talaş kaldırmadan bu dönüşümün sağlanabilmesidir (İşbilir 2006).

Talaşlı imalat işleminde iş parçasını istenilen geometriye getirmek için, üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgahı ve kesici takım kullanarak, talaşlar şeklinde uzaklaştırıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. Uzay ve havacılık, otomotiv, kalıp gibi endüstriyel alanlarda çoğu ürüne son şekli talaşlı imalat işlemleriyle verilir.

Talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak yapılan makine parçalarının yüzey kalitesi birçok değişkene bağlı olarak değişmektedir. İşlenmiş bir yüzeyin yapısı, kalite açısından en önemli kriterlerden biridir. Yüzey kalitesi işleme parametrelerinin doğru seçimi ile sağlanabilmektedir.

Bir makineyi meydana getiren parçaların ayrı ayrı ele alınarak yüzeyleri incelenecek olursa, birbirine benzer yüzeylerin çok az olduğu görülür. Bu benzerlik, özellikle pürüzlülük ve düzgünlük bakımından son derece önemlidir. Gereksiz yere sarf edilen zaman maliyetin yükselmesine sebep olur. Bu sebeple yüzeyler, gerektiği kadar pürüzsüz ve düzgün olmalıdır.

Bu çalışma ile sert tornalama operasyonlarında işleme gerçekleşmeden ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve z yönündeki titreşim (a_z) değerlerinin tahmin edilebilmesi ve istenen değerlerin kontrol altında tutulması için model geliştirilmesi hedeflenmiştir. CNC tornalama işleminde giriş parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği kullanılarak proses sonucunda Ra ve a_z değerleri ölçülmüştür. Bu değerler MATLAB ortamında Neural Network Toolbox'ı kullanılarak geliştirilen Yapay Sinir Ağı Modeli ile ve MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'ı yardımıyla Bulanık Mantık Modeli ile Ra ve a_z değerlerinin tahmininde kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar Ra ve a_z değerleri için I. derece, II. derece ve logaritmik olarak çoklu regresyon denklemleri çıkartıldı ve modellere etki eden faktörlerin etkileri tablo halinde verildi. Modelde etkili parametrelerinin etki durumları ANOVA testi ile tespit edildi. Regresyon modelinde denklemlerin oluşturulması için MİNİTAB 14 adlı istatistik programı kullanıldı. ANOVA testi için SPSS 16.0 programı kullanıldı. Sonuçta modeller arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma sonuçları talaşlı imalatın izlenmesi, optimizasyonu ve adaptif kontrolünde de kullanılabilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Lasota ve Rusek (1983) tornalama işleminde finiş yüzey pürüzlülüğünün genel olarak enerji tüketim süresince kesici takım şartlarının nasıl etkilendiğini tanımladılar. Ra için takım iş parçası sistemi için ilerleme hızı ve titreşim genliğinden faydalanarak bir denklem oluşturmuşlardır.

Noaker (1993) yüzey pürüzlülüğü hakkında bir literatür tarama çalışması yapmıştır. Kesme parametrelerine bağlı fonksiyon ihtiyacını ortaya çıkardı. Çeliklerde tornalamada serbest kesme şartlarında topladığı ve analizini yaptığı veriler tarafından yüzey pürüzlülüğü ve kesme titreşimi arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur.

Mer ve Diniz (1994) yapmış oldukları çalışmalarına göre farklı kesme parametreleri altında finiş tornalama işleminde titreşim yoluyla iş parçasındaki yüzey pürüzlülüğü değişimini ve takım aşınmasının artışını izlemeye çalışmışlardır. Sonuçlar takım titreşimlerinin finiş tornalamada yüzey pürüzlülüğünün tahmininde on line izlemenin iyi bir yol olduğunu göstermiştir, ayrıca bunlar kullanılarak işlemde takım ömrü ilişkisi de kurmuşturlar.

Rahman ve ark. (1995) yapmış oldukları çalışmalarında tornalama işleminde YSA temelli yaklaşımı on-line hata teşhis şemasını, takım aşınması, titreşim genlikleri ve çatlak oluşumu için oluşturmuşturlar. Deney sonuçları tahmininde YSA'nın yüksek başarı oranlı tahminler verdiği görülmüştür.

Jang ve ark. (1996) kontrol algoritmalarıyla makine işlemesinde gerçek zamanlı üretim sistemini geliştirdiler. Algoritma ile kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve titreşim, kesici takım ve iş parçası arasındaki etkileşimini ayrıntılı olarak rapor etmişlerdir.

Thomas ve ark. (1996) yapmış oldukları çalışmalarında tornalama işleminde orta karbon çeliğinde yüzey pürüzlülüğü ve titreşimleri ölçüp, analizini yapmışlardır. Giriş parametresi olarak: kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliği, takım uç radyusu, takım bağlama uzunluğu ve iş parçası uzunluğunu almışlardır. Çıkış olarakta yüzey pürüzlülük değerini ve titreşim değerini almışlardır. Titreşim analizinde dinamik kuvvetleri göstermişlerdir.

Baradie (1997) tornalama işlemi sırasında işlenecek malzemenin sertliğine uygun kesme hızının tahmin modelini yapay zeka yöntemlerinden bulanık mantık yardımıyla oluşturmuştur. Elde ettiği veriler ile standart verilerin karşılaştırmasını yapmıştır.

Yang ve Tarng (1997) çalışmalarında deney tasarımında Taguchi yöntemini optimum kesme parametrelerinin bulunmasında kullanmışlardır. S45C çelik deney numunesini karbür kesici takımla işlemiştirler. Kesme parametrelerinden kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğini seçmiştirler, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini araştırmıştırlar. Değerlerin sinyal gürültü oranlarını araştırmışlar ve varyans analizi ile sonuçları değerlendirmişlerdir. Çalışmalar sonucunda optimum değerler elde edilmiştir.

Hashmia ve ark.'na (1998) göre, bulanık mantık modelini kullanarak kesici uç türleri ile çeşitli sertlikteki malzemelere göre kesme hızlarını ve ilerleme miktarı tahmininde kullanmışlardır. İki farklı malzeme için dört faklı kesici uçla kesme hızı ve ilerleme değerlerinin tahminini yapmışlardır.

Dimla (1999) yapmış olduğu çalışmasında tornalama işlemi süresince takım durumu sınıflandırılmasının ve yüzey pürüzlülüğünün YSA yardımıyla tahmin modelini oluşturmuştur.

Kartal (2000) sert maden uçlu takım ile belirlenen kesme hızları, ilerleme miktarları ve talaş derinliklerinde St 33 çelik malzeme ve St 52 çelik malzeme işlenmiş deneylerden elde edilen veriler varyans analizi (ANOVA) ve Taguchi metodu yardımıyla değerlendirilerek en uygun kesme parametrelerini (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) bulmuştur. Kesme parametrelerinin optimizasyonuyla çok önemli ölçüde yüzey kalitesinde artış ve takım aşınmasında iyileştirmeler tespit etmiştir.

Liang ve ark. (2000) kesme parametreleriyle eş zamanlı optimizasyon yaklaşımını oluşturmuşlardır. İşlemeye tesirli parametreler hız, ilerleme, talaş derinliği, takım bağlama mesafesi olarak belirtmiştir.

Raj ve ark. (2000) yapmış oldukları çalışmalarında takım aşınmasını tahmininde geri yayılımlı yapay sinir ağı modelini kullanmışlar. Giriş değişkeni olarak kesme sırasında oluşan kuvvetleri kullanmış ve takım aşınması hakkında ağı eğitmişlerdir.

Thiele ve Melkote (2000) yapmış oldukları çalışmalarında kenar geometrisi ve iş parçası sertliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini finiş tornalamada AISI 52100 çeliğine uygulamışlardır. CBN (Cubic borron nitride) takım, numune olarak çeşitli kesme kenarları hazırlanıp kesici takım olarak kullanıldı. Kesme kenarının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin önemini istatistiksel olarak ortaya koymuşlardır. İki faktörün etkileşimi kenar geometrisi ve iş parçası sertliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini ortaya koymuşlardır. Büyük kenar bilemesi eksenel, radyal ve teğetsel yönlerde küçük kenar bilemesinden yüksek kuvvet istediği sonucuna ulaşmışlardır.

Abouelatta ve Madl (2001) yapmış oldukları çalışmalarında tornalamada kesici takım titreşimi ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi, modellenen yüzey pürüzlülüğünün hem kesme parametreleri hem de kesici takım titreşimlerinin matematiksel yönünü incelemişlerdir. Kesici takım titreşimini radyal ve ilerleme yönünde ölçmüşlerdir. Sonuçları MATLAB, BC++ ve SPSS paket programları aracılığıyla değerlendirmişlerdir.

Lin ve ark. (2001) kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için tahmin model yapısı abductive network ile adapte etmişlerdir. PSE (Predicted Square Error) kullanarak optimum ağ hiyerarşisi oluşturmuşlardır. Sisteme giriş olarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği değerlerini almışlardır. Çıktı değerleri olarak da yüzey pürüzlülüğü ve kuvvet değerlerini almıştırlar. Toplam 27 adet deney yapmışlardır. Abductive network doğruluğunu regresyon analizi tarafından geliştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar bu yaklaşımın etkilerinin teyidini sağlamıştır.

Huang ve Chen (2001) yapmış oldukları çalışmalarında yüzey pürüzlülüğü değerinin çoklu regresyon modelini oluşturmuşlardır. Ra bağımlı değişkenine, bağımsız değişkenler ilerleme (F), kesme hızı (S), talaş derinliği (D) ve titreşim (V) değerlerinin etkilerini araştırmışlardır. Bu denklemde en önemli parametre olarak ilerleme, titreşim, kesme hızı ve talaş derinliği olarak belirlemişlerdir.

Chou ve ark.'na (2002) göre, sert çeliklerin CBN uç ile tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve yan yüzey aşınmasını çeşitli parametrelerin etkileriyle benzer yaklaşımlar kullanarak elde etmiştirler. Faktör sayısını 3'e indirmişlerdir; kesme hızı, CBN yüzde içeriği ve kesici uzunluğudur. CBN takımla finiş sert tornalama işlemi için sadece bu faktörlerin etkilerini araştırmışlardır.

Feng ve Wang (2002) çalışmalarında 8620 çeliğini karpit takımla tornalanması işleminde logaritmik veri dönüşümü ile non-lineer regresyon analizi kullanarak deneysel model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada iş parçası sertliği, ilerleme, takım uç açısı, talaş derinliği, kesme hızı ve kesme zamanının yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü tahmininde modellenen değişkenleri deneyler ile doğrulamışlar ve üretilen modelde küçük hatalar gözlemlemişlerdir.

İlkaz (2002) tornalamada kesme parametrelerinin belirlemesi için bulanık mantık modelini kullanmıştır. Kesme parametrelerini; işlenecek malzemeye, kesici uç malzemesine ve kullanılan takım tezgahının gücüne göre belirlemiştir. Bulanık mantık modelini ise MATLAB Fuzzy Tollbox'ını kullanarak hazırlamıştır.

Kopac ve ark. (2002) torna tezgahında C15 E4 çeliğinin işlenmesinde değişken olarak kesme hızı, kesici takım malzemesi, iş parçası malzemesi, ilerleme ve talaş derinliği değerlerini almıştırlar. Bu değişkenlere bağlı yüzey pürüzlülüğü değerlerini elde etmiştirler. Deneysel tasarımda iki seviyeye ve 13 serbestlik derecesine sahip L_{16} (2^5) Taguchi ortogonal dizisi kullanılmıştır. Sinyal gürültü oranlarının hesaplanmasında "daha küçük, daha iyi" kalite belirleyicisi kullanılmıştır. Kesme hızı en büyük etkiye sahip kontrol parametresi olmuş ve daha yüksek kesme hızlarında daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.

Özçatalbaş (2002) yapmış olduğu çalışmasında kesici takım aşınması ve iş malzemesinin mekanik özelliklerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme kuvvetlerine etkisini incelemiştir. Sonuç olarak kesici takımın serbest yüzey aşınma miktarındaki artışla birlikte işlenen yüzeyin pürüzlülüğünde de artış olduğunu, kesici takım serbest yüzey aşınma (VB) miktarındaki artış talaş kaldırma kuvvetlerinden kesme ve ilerleme kuvvetlerinde de artışa sebep olduğunu ortaya koymuştur.

Suresh ve ark. (2002) cevap yüzey tekniğini (RSM) kullanarak, orta karbonlu çeliğin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü tahmin modelini geliştirmişlerdir. Parçalarının işlenmesinde TiN kaplı 0,4- 0,8- 1,2mm uç radyusuna sahip CNMG uçlar ve 4025 kaliteye sahip tungsten karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği ve uç yarıçapı sırasıyla alınmıştır. Deneylerin sonuçları regresyon analizi ile değerlendirilmiştir. Kullanılan algoritma yüzey pürüzlülüğü tahmininde başarılı bulunmuştur.

Arbizu ve Perez (2003) çalışmalarında giriş değeri olarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği almışlar; çıkış olarak Ra değeri almışlardır. Ra değerinin analizinde varyans (ANOVA) analizini kullanmışlardır. Deneyleri tekrar ederek sistemin performansını arttırmışlardır. RSM yöntemi kullanılarak tornalama işleminde parçaların istenilen yüzey pürüzlülüklerinin elde edilmesine yardımcı olmuşlardır.

Benardos ve Vosniakos'a (2003) yüzey pürüzlülüğü hakkında literatürü taramışlardır. Çalışmalarında yüzey pürüzlülüğünün genel imalatta ürün kalitesi, zaman kısıtlamaları, maliyet ve başarı açısından önemli olduğunu belirtmişlerdir. Her bir yaklaşımının avantajı ve dezavantajı, geçmişteki, günümüzdeki ve gelecekteki eğilimlerini tartışmışlardır. Bu yaklaşımlara dayalı olarak işleme kuramı, deneysel araştırma, deney ve yapay zeka (AI) olarak sınıflandırılmıştır. Sonuçta üretilen yararlı proseslerin daha verimli rekabetçi ve aynı zaman içinde herhangi bir iş parçasının yeniden işlenmesini azaltmıştırlar.

Risbood ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada sıcak haddelenmiş %0,35 C içeren 130 BSD sertlikteki çeliğin yapay sinir ağı yardımıyla yüzey pürüzlülüğü tahmini etmiştirler. Sisteme girdi değişkeni olarak kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği, takım tutucu üzerindeki artan radyal titreşimlerin ve kesme sıvısı değerlerini alınmıştırlar. Çıktı olarak yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir.

Kohli ve Dixit (2004) bir ivmeölçer vasıtasıyla radyal yöndeki titreşimi ölçerek yapay sinir ağı yöntemiyle yüzey pürüzlülük tahminini amaçlamışlardır. Ağı geri yayılım algoritması kullanarak eğitmişlerdir. Bu metot mevcut küçük eğitim ve test veri kümelerinin ölçekli kullanılarak yüzey pürüzlülüğünün doğru tahmin edilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Şahin ve Motorcu (2004) tornalama işleminde AISI 4140 çeliğini CVD (Chemical Vapor Deposition) kaplı karbit uç ile işleyerek yüzey pürüzlülüğü modelini geliştirmiştirler. Sisteme girdi olarak kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve takım uç yarıçapı; çıktı olarak ise Ra değerini almışlardır. 3D yüzey çizici ile Ra değerinin analizini yapmışlardır. Değerlerin güvenilirlik analizinde varyans analizi kullanmışlardır. Tahmin değişkenleri ile test değişkenleri arasında %5'ten az hata değişimi gözlemişlerdir.

Özel ve Karpat (2005) tornalamada yüzey pürüzlülüğünü Yapay Sinir ağı yöntemiyle tahmin etmiş ve regresyon yöntemiyle modellemişlerdir. Sonuçların doğruluğunu ortaya koymuşlardır.

Çaydaş ve Hasçalık (2005) normalleştirme ve su verme-menevişleme ısıl işlemleri görmüş AISI 4340 çeliğini, değişik işleme koşullarında tornalama ve taşlama deneylerine tabi tutularak numunelerin yüzey pürüzlülüğünün gösterdiği değişimleri incelemişler. Fener mili/iş mili dönme hızı arttırıldığında yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği, ilerleme miktarı ve paso derinliğinin arttırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiğini görmüşlerdir.

Abburi ve Dixit (2006) tornalama işleminde ıslak ve kuru ortamda yüzey pürüzlülüğü için bilgi sistemli bir model geliştirdiler. Giriş verisi olarak kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve radyal titreşim; çıkış olarak da Ra değerini gözlemlediler. HSS ile yumuşak çelik ve karbit takımla deneyler yapıldı. Elde edilen veriler kullanılarak NN ve fuzzy ile sistem modellediler.

Gündüz (2006) kesici uca etki eden kuvvetleri; kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği parametrelerine bağlı olarak, CNC torna tezgahında ölçmüştür. Ara değerlerin tahmininde gerek maliyet, gerekse zaman açısından çok sayıda deney yapmanın mümkün olmadığı durumlarda, kesme parametrelerinin ara değerlerine göre, kesme kuvvetlerinin tahmininde Yapay Zeka tekniklerinden Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık modellerini kullanmıştır. Sonuç bölümünde deney değerleri, YSA ve BM değerlerini kıyaslamıştır.

Hadi ve Ahmed (2006) yüzey niteliğinin mühendislikte performans açısından önemli bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır. Finiş tornalamada deneylerle yüzey pürüzlülük tahmin modelinin geliştirilmesini araştırmalarında odak olarak almışlardır. Bu modelde çalışma parametreleri izlenmesinde parametre olarak: ilerleme hızı, talaş derinliği ve kesme hızı kullanılmıştır. Non-lineer regresyon analizi, deneysel modelin geliştirilmesinde veri dönüşüm logaritmasıyla uygulamışlar. Metal kesme deneyleri ve istatistiksel model gelişmesinde üretimde küçük hatalar ve memnuniyet verici sonuçlar elde ettiler. Sonuç olarak küçük ilerleme hızında yüzey pürüzlülük değeri küçük değişimler göstermiştir. Tüm durumlar için düşük hızlarda yapılan deneyler yerine, daha yüksek hızlarda yapılan deneylerin daha iyi yüzeyler verdiğini gözlemlemişlerdir.

Özkan (2006) tornalamada farklı talaş açısı, yaklaşma açısı ve kesme hızı değerlerinde oluşan teğetsel kesme kuvveti, radyal kuvvet, ilerleme kuvveti ve takım ucu sıcaklığının Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağı ve Bulanık Sinir Ağı teknikleriyle modellemesini yapmıştır.

Neşeli (2006) yapmış olduğu çalışmasında dinamik kesme şartları altında takım geometrisine bağlı olarak meydana gelen tırlama titreşiminin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi deneysel olarak araştırmıştır. Tam Faktöriyel Tasarım (TFT) yöntemiyle üç seviyeli dört faktörlü deney yapısı kullanılarak 81 ($=3^4$) farklı deney yapmıştır. Yapılan deneylerde farklı negatif talaş açılı takım tutucuları kullanmış, kullanılan tutucuya uygun farklı uç radyuslu takımlarla belirlenen yaklaşma açılarında kuru kesme işlemini gerçekleştirmiştir. Takımı her kesme operasyonu için değiştirmiştir.

Zhong ve ark. (2006) tornalama işleminde takım sınıfı, iş parçası, takım uç yarıçapı, boşluk açısı, talaş derinliği, kesme hızı ve ilerleme hızını giriş olarak almışlar; çıkış olarak da Ra ve Rt değerlerini yapay sinir ağı ile modellemişlerdir. Elde edilen değerlerin doğruluğunu varyans (ANOVA) analizi ile tespit etmişlerdir. Test verileri ile tahmin verileri teorik verilerle kıyaslamışlardır. Yapay sini ağının Ra ve Rt değişkenlerinin tahmininde tornalama işleminde iyi bir sonuç sağladığını görmüşlerdir.

Aslan E. ve ark. (2007) sertleştirilmiş AISI 4140 (63 HRC) çeliği Al_2O_3+TiCN kaplamalı seramik uçla torna tezgahında optimizasyonunu sağlamışlardır. Aşınma direnci ve yüksek sertlik sırasında, Al_2O_3 esaslı seramikler sert çelik işlenmesinde kesici takım için çok uygun olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışmalarında Taguchi yöntemiyle deneysel çalışmalarının optimizasyonunu sağlamışlardır. Kesme hızı (100- 175- 250 m/min), ilerleme miktarı (0.05- 0.10- 0.20 mm/dev.) ve talaş derinliği (0.25- 0.50- 1 mm); performans ölçütleri olarak yan yüzey aşınması (VB) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri optimum 27 deney sonunda elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar varyans analizi (ANOVA) ile analiz etmişlerdir. Sonuç olarak; VB değerinin kesme hızı arttıkça azaldığını, ilerleme arttıkça önce azalıp sonra arttığı, talaş derinliği arttıkça arttığını; ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinin kesme hızı arttıkça azaldığı, ilerleme arttıkça arttığı, talaş derinliği arttıkça düşük ilerleme miktarında azaldığı yüksek ilerleme miktarında giderek arttığını gözlemlemişlerdir.

En uygun değerleri VB için kesme hızını 250 m/min, talaş derinliğini de 0.25 ya da 0.50 mm; Ra için kesme hızı 250 m/min, ilerleme miktarı 0.10 mm/dev., talaş derinliği 0.25 mm olarak belirlemişlerdir.

Demirayak ve Çakır (2007) çalışmalarında kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği) ve kesici takım kaplama tabakasının iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Soğuk iş takım çeliklerinden AISI P20 çeliğini aynı talaş kırıcı geometrisine, farklı kaplama tabakasına sahip kesici uçlarla işlemişler ve bu işlemler sonunda ölçülen yüzey pürüzlülüğü kesme parametreleri arasında çoklu regresyon modellerini oluşturmuşlardır. Kesme parametrelerinin yanı sıra kaplama tabakalarının yüzey pürüzlülüğünde etkilerini değerlendirmişlerdir.

Kirby ve Chen (2007) çalışmalarında tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünü bulanık mantık temelli tahminini geliştirdiler. Amaçları bulanık mantık temelli yüzey pürüzlülüğü tahmin sisteminde (FN-SRP) iş parçası titreşim bileşiminde kullanılmaktadır. Sistem girdileri olarak ilerleme, kesme hızı ve yüzeysel titreşim; çıktı olarak ise Ra değeri ölçüldü. Bir dizi onaylama çalışmasından sonra sistemin %95 civarlarında doğruluk gösterdiğini belirtmişledir.

Singh ve Rao (2007) finiş sert tornalama işleminde takım geometrisi ve kesme şartlarının dayanıklı çelik AISI 52100 (58 HRC) malzemede yüzey pürüzlülük davranışını gözlemlemişlerdir. Sisteme girdi olarak kesme hızı, ilerleme, yan yüzey açısı ve uç radyusu almışlardır. Çıktı olarak ise tek değer Ra almışlardır. 3^4 full faktöriyel dizayna göre 81 deney yapmışlardır. Orta kısım seramik karışımlı, alüminyum oksit ve titanyum karbitten yapılmış (SNGA), farklı uç radyusları ve farklı yan açıların etkilerine sahip kesici takımlar kullanmışlardır. Son yüzeyde ilerleme baskın faktör olarak tanımlanır, uç radyusu ve kesme hızı bu faktörü izler. Yan açı son yüzeyde daha az etkiye sahiptir, uç yarıçapı ve yan açının etkileşimi ise oldukça önemlidir. Matematiksel yazılım olarak MATLAB programını kullanmışlardır. Analizlerde varyans (ANOVA) analizini kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü için matematiksel model olarak RSM (Response Surface Methodology) geliştirmişlerdir.

Davim ve ark. (2008) YSA kullanarak yüzey pürüzlülüğü tahmin modelini tornalama işleminde 9SMnPb28k (DIN) çeliğine işleme süresince etkisini araştırdılar. YSA yüzey pürüzlülük modeli (Ra ve Rt) kesme şartlarında (ilerleme

hızı, kesme hızı ve talaş derinliği) parametrelerin etkilerini gösterdiler. Deneyle L_{27} ortogonal dizi ile her bir faktör üç bölümlü sınırlandırılarak YSA modeli EBTA (Error Back-Training Algorithm) ile eğitmişlerdir. 3D yüzey çizici genellikle YSA modeli yüzey pürüzlülüğü ile kesme şartlarının etkileşimini göstermişlerdir. Analizler kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde azalttığını, talaş derinliğinin ise arttırdığını göstermişlerdir.

Jayant ve Kumar (2008) deney malzemesi olarak sertleştirilmiş çelik AISI 4140 karbür kullanmışlardır. Elde edilen veriler varyans analizi (ANOVA) ve Taguchi Metodu yardımıyla değerlendirerek en uygun kesme parametreleri bulmuşturlar.

Sharma ve ark. (2008) çalışmalarında işleme değişkenleri kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün tornalama işleminde farklı kesme parametreleri yaklaşma açısı, hız, ilerleme ve talaş derinliği ölçülmüştür. Deneylerle gözlenen veriler YSA model yapısında kullanıldı ve analiz edildi. Elde edilen modelle deneysel veriler ve sonuçlar test edilerek ortaya konulmuştur.

Tekaslan ve ark.'na (2008) göre AISI 304 Östenitik paslanmaz çeliğin CNC torna tezgahında işlenmesi sırasında en ideal yüzey pürüzlülüğünün elde edilebilmesi için optimum işleme parametrelerinin belirlenmesi hedeflemiştirler. Yapılan çalışmaya göre kesme hızı artırıldığında yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği, ilerlemenin artırılması ile yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiğini görmüştürler.

Derakhshan ve Akbari (2009) yapmış oldukları çalışmalarında sert tornalama işleminde iş parçası sertliği ve kesme hızının CBN takım ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. AISI 4140 malzeme kullanmışlardır. Malzemeyi beş farklı sertliği 45- 50- 55- 60- 65 HRC sertlik değerinde iki farklı takımla işlemişlerdir. Toplam 30 adet deney yapmışlardır. Girdi olarak takım tipi, sertlik değeri, motor devri ve kesme hızı; çıktı olarak Ra ve Rz değerlerini incelemişlerdir.

Kaçal ve Gülesin (2009) küresel grafitli dökme demirlerin yüksek kesme hızlarında finiş tornalama işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri istatistiksel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak seramik kesici ile daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. % 5 istatistiksel önem düzeyinde F_P ile yüzey pürüzlülüğü arasında bir ilişkinin olduğunu görmüşlerdir.

Karayel (2009) yapmış olduğu çalışmada YSA yaklaşımıyla CNC torna tezgahında yüzey pürüzlülüğünün kontrolünü ve tahminini yapmıştır. Deney malzemesi olarak St 50.2 çeliğini kullanmıştır. Deneylerde talaş derinliği, kesme hızı ve ilerleme hızı olmak üzere üç değişken parametre kullanmıştır. Diğer parametreler örneğin takım uç radyusu, takım çıkıntısı, yaklaşım açısı, iş parçası uzunluğu, iş parçası ölçüsü ve iş parçası malzemesi sabit almıştır. Deneylerde çıkış olarak üç farklı yüzey pürüzlülük değeri Ra, Rz ve Rmax ölçmüştür. Deneylerle elde edilen veriler kullanılarak YSA'yı eğitmiş ve test etmiştir. Bir ileri beslemeli çok katmanlı YSA geliştirdi ve SCGA (Scaled Conjugate Gradient Algorithm) kullanılarak ağ eğitti. Adaptif öğrenme oranı eğitimden önce seçmedi ve o eğitim süresince minimize edildi. 8000 iterasyon sayısı, düzeltme faktörü kullanmadı. Bir gizli katman kullanmış olmasına rağmen Ra modelinde beş nöron ve Rz ile Rmax. için on nöron kullanmıştır. Sonuçta YSA yaklaşımının sonuçlarını gerçek verilerle kıyaslamıştır ve YSA modeli ile gerçek deney sonuçlarının birbiriyle örtüştüğünü görmüştür.

Ucun ve Aslantaş (2009) yapmış oldukları çalışmada sertleştirilmiş malzemelerin imalat sanayisinde yoğun olarak kullanıldıkları için bunların tornalamada işleminde yüzey pürüzlülüğüne karşı etkilerini incelemiştirler. Bu çalışmada, sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin kaplamalı karbür kesici takımla işlenmesinde takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından performansı incelenmiştirler. Deneysel çalışmalar boyunca dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme değeri ve iki farklı kesme derinliği kullanmışlardır. Sonuç olarak karbürlü kesici takımlar özellikle büyük değerlerdeki kesme parametreleri için sert tornalama işlemine uygun olmadığını görmüştürler.

Chavoshi ve Tajdari (2010) yapmış oldukları çalışmalarında sertlik (H) ve kesme hızı değişkenleriyle AISI 4140 çeliğini CBN kesici uçla sert tornalama işlemiyle işleyerek Ra değerinin değişimini gözlemlemişlerdir. Toplamda on sekiz deney yapmışlar. İlerleme ve talaş derinliğini sabit almışlardır. Regresyon ve YSA ile oluşturulan optimum model yüzey pürüzlülüğü tahmininde kullanmışlardır. Sonuç olarak sertlik tahmininin doğruluğu kabul edilebilir fakat kesme hızı tahmini istenilen doğrulukta bulmuşlardır. Sertliğin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Gupta (2010) yapmış olduğu çalışmasında tornalama işleminde kesme hızı, ilerleme ve kesme zamanına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve ihtiyaç duyulan gücün hesaplanmasını amaçlamıştır. Toplam 27 adet deney sonrasında elde ettiği verileri RSM (Respond Surface Methodology), YSA ve SVR (Support Vector Regresion) yöntemi kullanarak modellemiştir. Hataları mutlak hata olarak bulmuşlar ve modellerin hatalarının kıyaslamasını yapmışlardır. Sonuçta geliştirilen modellerden YSA ve SVR'nin sonuçlarının RSM sonuçlarından daha iyi olduğu kanısına varmıştır.

3. TAKIM TEZGAHLARI

3.1. Takım Tezgahları Hakkında Genel Bilgiler

Takım tezgahı, kesici takım yardımı ile istenmeyen malzemeyi talaş şeklinde kaldırarak bir parçanın ölçüsüne getirme ve şekillendirilmesi için elektrik enerjisi kullanan bir tezgahtır. Takım tezgahlarıyla hızlı parça üretilmesinde kullanıldığından dolayı bu tezgahlar modern bir atölyenin kaçınılmaz bir unsurunu oluşturur. Takım tezgahlarının uygun değerle verimli kullanımı oldukça yüksek derecede beceri gerektirir. İşlemler uygun yapıldığı takdirde oldukça seri parça üretilebilir. Optimum verimlilikte makine ve parça üretimiyle uğraşan her seviyedeki insan, bu tezgahlar üzerinde yapılabilecek farklı işlemleri ve farklı takım tezgahları hakkında gerekli bilgiye sahip olmalıdır. Bu tezgahlar farklı işleme prensipleri, aygıtları, bağlama elemanlarıyla uyumlu olmalıdır.

Takım tezgahları ve makineler farklı şeylerdir. Torna tezgahı, freze tezgahı, vargel tezgahı, planya tezgahı, alet bileme tezgahı vb. bunların hepsi takım tezgahlarıdır. Dikiş makinesi ise bir takım tezgahı değil fakat bir makinedir. Bu nedenle takım tezgahlarının gerçek tanımını belirlemekte yarar vardır. En uygun kabul edilen tanım şöyle yapılabilir. Bir takım tezgahı; takım ve iş parçasını tutan, bağlayan farklı şekil ve ölçülerde parça üretiminde değişik talaş kaldırma işlemleri yapmak için hem kesici takım hem de iş parçasını aynı anda yönlendiren ve kılavuzluk yapabilen, güçle tahrik edilen bir tezgahtır. Her metal işleme makinesi sadece malzeme kaldırdığı için bir takım tezgahı olarak adlandırılamaz. Dövme çekiçleri, çekme kalıpları, çekme presleri, haddeleme makinesi vb. takım tezgahları değildir (Şahin 2000).

Bir takım tezgahına üzerinde uygun olarak tasarlanan aygıtlar aracılığıyla takımlar ve iş parçaları bağlanır. Farklı takım tezgahları farklı bağlama aygıtlarıyla donatılır. Herhangi bir atölyedeki bir takım tezgahı genellikle farklı şekilli parçaların üretimi ve son bitirme yüzeylerinin elde edilmesinde kullanılır. Takım tezgahları farklı usullere göre de sınıflandırılabilir. İşlenen yüzeylerin şekillerine göre sınıflandırma:

1. Silindirik yüzeylerin işlenmesi için kullanılan takım tezgahları; tornalar, vida çekme tezgahları, rovelver tezgah vb.
2. Düz yüzeyi işleyen takım tezgahları; freze tezgahı, vargel tezgahı, planya tezgahı,
3. Delik açmada kullanılan takım tezgahları; çeşitli matkap tezgahları,
4. Profil işleme tezgahları; kopya freze tezgahı, pantoğrafya vb.,
5. Dişli açma tezgahları; dişli azdırma tezgahı, dişli taşlama tezgahı vb.dir.

Atölyedeki takım tezgahları daha geniş anlamda; standart takım tezgahları ve özel takım tezgahları şeklinde sınıflandırılabilir. Standart takım tezgahları, çoğunlukla "genel amaçlı takım tezgahları" olarak da bilinir. Bunlarda çok değişik işlemler yapılabilir. Tornalar, planyalar, alet bileme tezgahları ve freze tezgahları standart amaçlı takım tezgahlarıdır. Özel amaçlı takım tezgahları; benzer şekilli bazı özel işlemleri yapmak için tasarlanırlar. Bunlar temel olarak büyük miktarda birbirinin aynı olan özdeş parçaların üretilmesinde kullanılır. Dişli planyası, dişli taşlama tezgahı, krank mili taşlama tezgahı vb. özel amaçlı tezgahlardır. Her iki türdeki takım tezgahlarının birbirine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Çok sayıdaki değişik işlemler standart takım tezgahlarında yapılabilir olmasına rağmen özel amaçlı tezgahların kullanımı, birkaç çeşit işlemle sınırlıdır. Buna örnek olarak rovelver veya otomat tornaları gösterilebilir. Diğer yandan ise özel amaçlı bir takım tezgahı; özdeş parçaların seri üretimi için hızlı ve verimli bir metottur.

Talaş kaldırma işlemleri, genel olarak, tornalama, delme ve delik büyültme, frezeleme, vargelleme/planyalama, testere ile kesme, taşlama ve tığ çekme olarak yedi ana gruba ayrılabilir. Bütün bu talaş kaldırma işlemleri ve bu işlemde kesme parametreleri olarak adlandırılan kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği önemlidir.

3.2. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler

Talaş kaldırma işleminde, kesici takım iş parçası üzerine belirli kuvvetle bastırıldığında ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği zaman, takım ucunun temas ettiği malzeme katmanında önce elastik daha sonrada plastik şekil değişiklikleri oluşarak malzeme tabakasında akmalar başlar. Gerilmeler malzemenin

kopma sınırını geçtiği anda talaş olarak adlandırılan belirli bir yüzey tabakası, iş biçimi, parça malzemesinin mekanik özelliklerine ve kesme şartlarına bağlı olarak değişik bir şekilde gerçekleşerek farklı talaş tipleri meydana gelir.

Sürekli talaş kaldırma işlemi bakımından, tornalama, talaş kaldırmayı en iyi şekilde karakterize etmektedir. Bu nedenle, talaş kaldırma işlemine etki eden faktörlerin bilinmesi ve birbirlerine tepkilerinin dikkate alınması gereklidir. Bunların başlıcaları şöyle sıralanabilir (Şahin 2000):

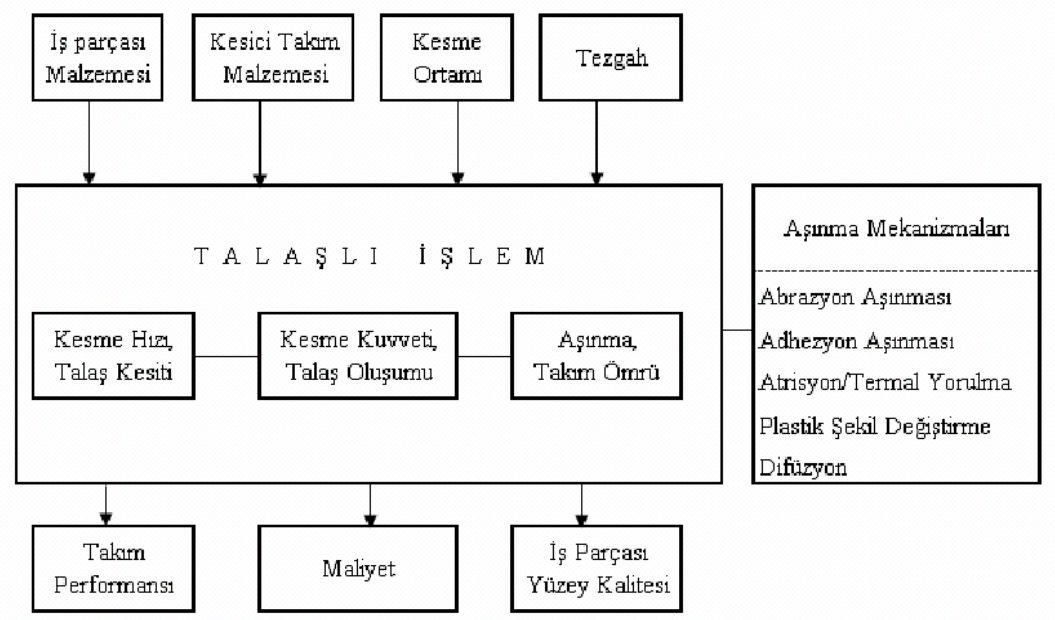
1. Kesici takım ömrü, T (dk.)
2. Kesme hızı, V (m/dk.)
3. İlerleme miktarı, f (mm/dev)
4. Talaş derinliği, a (mm)
5. Kesme açıları ($\alpha, \beta, \gamma, \chi, \varepsilon, \lambda$) ve hepsine birden KA_{hep}
6. Titreşim durumu, V_i
7. Soğutma sıvısı, Ss
8. Takım /iş parçası malzeme çifti, $TM_ç$
9. Takım burun yarıçapı, r (mm)

Bunlar fonksiyonel olarak denklem (3.1)'deki gibi ifade edilebilir;

$$F(T, V, f, a, KA_{hep}, V_i, Ss, TM_ç, r) = 0 \qquad (3.1)$$

Talaş kaldırma işleminin karışıklığı nedeniyle bu fonksiyonda karışıktır. Bu nedenle, yapılan araştırmalarda bunlardan birçok faktör sabit tutularak bir kısım etmenlerin tespit edilmesi gerekir. Bunlar arasında en önemlisi ise kesici takım performansı ve maliyet bakımından daha yüksek olduğundan dolayı takım ömrüdür. Buda kesici takımın birbirini takip eden iki bileme esnasında etkili olarak çalıştığı zaman olduğundan, genellikle takım ömrü-kesme hızı ve kesme hızı-talaş kesitli ilişkileri öncelik arz etmektedir.

Şekil 3.1'de talaş kaldırmaya etki eden faktörler gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Talaş kaldırmaya etki eden faktörler

3.2.1. Takım ömrü

Takım ömrü, genellikle belirli bir kritere ulaşmak için gerekli olan etkili kesme zamanı veya pratik olarak, takımın iki bileme arasında geçen çalışma zamanı olarak tanımlanır. Ancak diğer bazı işlemlerde planyalama-vargelleme işleme uzunluğu ve delik delme de takım ömrü delme uzunluğu olarak belirtilirken frezeleme işleminde ise kaldırılan talaş hacmine göre ifade edilir.

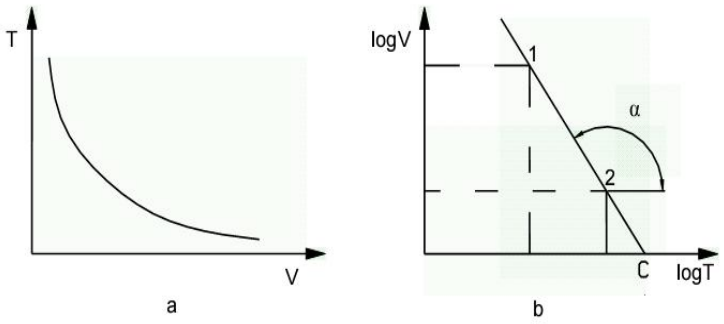
Takım ömrü esas itibariyle aşınma olayına bağlı olduğunda aşınmaya etki eden faktörler takım malzemesi ve iş malzemesi, takım ve talaş geometrisi, kesme hızı, soğutma sıvısı gibi faktörler takım ömrünü de etkilemektedir. Ancak bunlardan en önemli faktör kesme hızıdır. Kesme işleminin optimizasyonu için; kesme hızı (V) ve takım ömrü (T) arasındaki ilişkiyi bilmek gerekir bu konuda ilk çalışma Taylor tarafından yapılmış olup, denklem (3.2)'deki formül ile ifade edilmiştir (Şahin 2000).

$$V.T^{n} = C = \text{sabit} \qquad (3.2)$$

Bu eşitlikle; n: takım üssünü göstermekte olup verilen takım malzemesi, iş malzemesi, işlem şartları, ilerleme miktarı veya talaş derinliği, takım geometrisi ve soğutma sıvısı gibi faktörlere bağlıdır. Yine burada; V: kesme hızı, T: takım ömrü ve

n üssü olup -1/k değerine eşit alınabilir. Sabit de C ile gösterilirse denklem (3.3) elde edilir.

$$T.V^{k} = C \tag{3.3}$$



Şekil 3.2. Kesme hızı ve takım ömrü ilişkisi a) Lineer ilişki, b) Logaritmik ilişki (Hamamcı 2004)

Takım ömrü işleme maliyetini belirlemede faydalı olduğundan iş parçasından kaldırılan malzeme hacmine bağlı olarak elde edilen takım ömrü keza hem takım aşınması hem de işleme maliyetini belirlemede etkili olmaktadır. İş parçasında kaldırılan malzeme hacmi bilinen verilerden kolaylıkla tayin edilebilir. Bu değer kesme hızının fonksiyonu olarak çizilirse daha ekonomik kesme hızı belirlenebilir (Hamamcı 2004).

3.2.2. Kesme hızı- ömür ilişkisi

Kesme hızı, talaş kaldırma esnasında kesici takımın dönen iş parçası üzerinden dakikadaki metre cinsinden aldığı yoldur. Kesme hızı (V) ile ifade edilir ve birimi m/dk.'dır. Talaş kaldırma esnasında uygulanması gereken kesme hızı;

1. İşlenecek malzemeye,
2. Kesici takım malzemesine,
3. Talaş derinliğine,
4. İlerleme miktarına,
5. Soğutma sıvısına,
6. Tezgah rijitliği ve tipine göre değişmektedir.

Özellikle alın tornalama işleminde, kesici takım dış çevreden iç merkeze doğru ilerleyerek kesme yaptığından dolayı kesme hızı merkezde sıfır olurken dış çapı işlerken ise maksimum değere sahip olmaktadır. Bu nedenle, iş parçalarının işlenmesinde iş parçası merkezine yaklaştıkça daha kötü yüzey elde edilir. Bunu önlemek için özellikle büyük parçaların üretiminde devir kontrollü aletler kullanılması gibi gerekli tedbirler alınmalıdır. Aksi halde farklı kalitede iş parçası üretilmiş olacaktır. Kesmede genel kural olarak ideal kesme şartlarının belirlenmesinde düşünülmesi gereken en önemli faktör, önceki deneylerden de yararlanılarak, uygun kesme hızı seçiminin yapılmasıdır. Kesme hızı oldukça düşük seçilirse az parça üretilir. Çok düşük kesme hızlarında takım ucunda talaş sıvanması meydana gelebilir. Bu durum takım değişikliğini gerekli kılabilir. Ancak kesme hızı çok yüksekse takım hızla bozulacak ve sıkça takım değişikliği gerekecektir. Bu nedenle, herhangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir.

3.2.3. Takım geometrisinin etkisi

3.2.3.1. Dik kesme işlemi

Kayma açısı (ϕ), serbest açı (α), kama açısı (β) ve talaş açısı (γ) gibi açılar kesici takım geometrisini oluşturan açılardır. Bunların en önemlisi kayma açısı olup, kayma düzlemi ile takımın hareket yönü arasındaki açıdır. Kayma açısı değiştiği zaman talaş kalınlığı da değiştiği için önemlidir. Boşluk açısı; kesici takım ucunun ve taban alt yüzeyinin işlenecek iş parçasına sürtünmesini önlemek amacıyla verilir. Bu açının değeri genellikle 5-8^{o} arasında olmakla beraber kesici takım/ iş parçasına göre değişebilmektedir. Kama açısı; kesici takım ucunun kesme özelliğini sağlaması yani batmanın kolaylaştırılması için verilmekte olan bu açının değeri hem takım malzemesi hem de iş malzemesi çifti için deneyle tespit edilen tecrübeyle sağlanır. Ancak bu açının değişmesi talaş açısını da değiştirir ve dolayısıyla bu açı talaş açısındaki değişmeye bağlıdır. Talaş açısı: talaşın kesici takım yüzeylerinden akarak uzaklaşmasını sağlayan açı olup, bu açı genellikle pozitif olarak verilir. Ancak bazı durumlarda özellikle seramik takımla kesme yapıldığında, talaş açısının değeri

negatif olabilmektedir. Bu dik kesme işleminde boşluk açısı, kama açısı ve talaş açıları toplamı 90^o olmalıdır (Şahin 2001).

3.2.3.3. Eğik kesme işlemi

Eğik kesmede kesici takımın kesme kenarı, takımın hareket yönüne dik değil fakat λ gibi bir meyilli açı veriliyorsa bu tür kesme işlemi eğik kesme işlemi olarak tanımlanır. Pratik atölye uygulamalarında çoğu kez bu tip kesme işlemi uygulanır çünkü kesicideki meyil açısı değiştirilirse talaş açısı değişmektedir. Keza bu meyil açısı kesme esnasında şu faktörlere etki eder: Takım ömrü, yüzey kalitesi, kesme kuvveti olarak özetlenebilir. Kesici takım ucunun, işlenen parçasına göre durumu ve kesme şartları, kesme açıları ve meyil açısı ile birlikte tamamen belli olur. Yukarıda bahsedilen kesme açılarının uygun değerleri şu kriterlere bağlı olarak: takım ömrü, işlenen yüzey kalitesi, kesme kuvvetlerinin düşüklüğü ve güç sarfiyatı vb. talaş kaldırma deneyleri ile belirlenir (Şahin 2001).

3.2.4. Titreşimin etkisi

Titreşimin kesici takım ömrüne ve işlenen yüzey kalitesine, kesici takım ile iş parçası arasında sürekli oluşan bir relatif titreşimin mevcut olması nedeniyle kötü etkisi vardır. Talaş kaldırma esnasında genellikle zorlanmış titreşim ve kendiliğinden doğan titreşim olmak üzere iki tür titreşim ortaya çıkmaktadır. Zorlanmış titreşim; tezgahın mekanik hareketlerinden dolayı ileri gelirken kendiliğinden doğan titreşim kaldırma olayından dolayı meydana gelen titreşimdir. Genelde kendisinden doğan titreşim, kesme hızı arttığı zaman kesme kuvvetlerinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Bu titreşimlerin en kötü hali ise, işlenen yüzeyde titreşimden doğan takım izleri bırakacak derecede büyük olan “tırlama” veya “otlama” olarak adlandırılan titreşimin ortaya çıkmasıdır ki bu doğrudan yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki yapar. Herhangi bir kesme işleminde titreşim veya otlama iş parçası yüzeyinde kuvvetli dalgalanmalar ile sonuçlanır. Otlama meydana geldiğinde farklı bir ses oluşur, bu durum herhangi bir operatör tarafından da anlaşılabilir. Talaş kaldırma sırasında oluşan bu olayı önlemek için şu faktörlere dikkat edilir:

1. İş parçası bağlama mesafesi mümkün olduğunca en aza indirilmeli,
2. İş parçası dengeli tespit edilmeli ve kesici takım altına altlıklar konulmalı,
3. Rijit takım ve tezgahlar kullanılmalı,
4. Tezgahın hareket eden kısımları arasındaki boşluklar en aza indirilmeli,
5. Kesme şartları (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) optimize edilmeli ve kesmede oluşan kuvvetleri azaltmak için talaş derinliği ve ilerleme miktarı azaltılmalı,
6. Aşınma kriterine ulaşmış bir takımla talaş kaldırılmamalı,
7. İşletme hızları takım tezgahı kontrol sisteminin doğal frekansına yaklaşılmasına müsaade edilmemelidir.

3.2.5. Takım malzemesi ve iş parçası malzemesinin etkisi

Herhangi bir kesme operasyonunun maliyet analizi yapıldığı zaman doğru bir maliyet elde etmek için birçok faktör düşünülmelidir. Talaş kaldırma miktarına etki eden en önemli etken kullanılan kesici takım çeşididir. Geleneksel kesici takımın maliyeti çok düşük olabilir fakat kullanılan takımın maliyeti çok yüksek olabilir. Bir kesici takımın ekonomik olup olmadığını anlamak için, toplam işleme maliyeti denklemi için iki faktör dikkate alınmalıdır. Bunlar ise kesici takım kullanım maliyeti ve kesici takımın fiyatıdır.

3.2.6. Takım maliyeti

Talaş kaldırma işlemlerinde ekonomiklik önemli ölçüde üretim kaynaklarının en iyi kullanımına bağlıdır (Çakır 1999).

Talaş kaldırma işlemleri çeşitli özellikteki takımlarla gerçekleştiğinden takım maliyetinin önemi büyük olup, aşağıdaki faktörlerde takım maliyetini etkilemektedirler. Bunlar kısaca şöyle özetlenebilir:

1. Talaş kaldıracak bir takımın özelliği, üretim miktarını ve aynı zamanda parçaları üretmek için gerekli yatırım ve işçi sayısı belirleyecek olması,
2. Talaş kaldırmak için herhangi bir takımın özelliği, hassas iş parçası ve iyi yüzey elde etmek için takımın birkaç defa yeniden ayarlanması veya yeni takımın tespiti ile ilgili olması,

3. Kesici takımın aşınma miktarı, kaç tane aşınmış takım tezgahtan çıkarılacak ve yeni takım yerine takılarak kullanılacak olması,
4. Kesici takımın yeniden bilenmesi ve toplam işleme maliyetine etki eden faktörlerin incelenebilir olmasıdır.

Talaş kaldırma miktarı ile ilgili en önemli elemanlardan biri kullanılan kesici takımın seçimidir. Bir kesici takım bir diğerlerden daha pahalı olsa da bu kesici malzemeden daha çabuk talaş kaldırır ve her parçada daha az takım maliyeti oluşursa uzun periyotlu kesme işlemi süresinde kesici daha ekonomik olabilir.

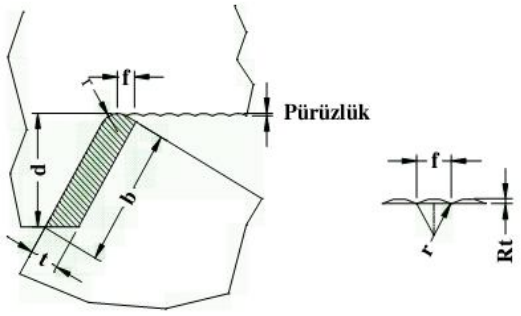
3.2.7. Takım uç yarıçapının etkisi

Kesme işlemi üzerine takım uç veya burun yarıçapının önemli etkisi mevcuttur. Ancak takım uç yarıçapı en az talaş derinliğini gösterdiğinden dolayı optimize edilmesi gerekir. Çünkü uç yarıçapı büyükse malzeme üzerine daha büyük kuvvetle bastırılması gerekir. Bu da kesici ucun daha fazla sürtünmesi anlamına gelir ki iş parçası yüzeyi sertleştirir, takım ucunda daha çok ısı ve bunun sonucunda da takım aşınması, daha hızlı oluşur. Bununla birlikte kötü yüzey kalitesi elde edilir. Takım uç yarıçapı çok küçük ise o zaman takım sadece kazıma işlemi yapacağından yine takım hızla körelebilir ve yüzeyde çentik etkisi mevcut olabilir. Takım ucunun yarıçapı yüzey kabalığını belirlediği için, ilerleme miktarı ve yüzey pürüzlülüğü arasında teorik bir bağlantı mevcuttur. İlerleme miktarı, takım uç radyusu ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki teorik bağlantı denklem (3.4)'de verilmiştir.

$$f^2 = (8.r.Rt) \tag{3.4}$$

Bu eşitlikte; f : İlerleme miktarı (mm/dev.), r : Takım uç yarıçapı (mm), Rt : toplam yüzey pürüzlülük değerini göstermektedir.

İşlenmiş yüzeydeki keskin ilerleme izlerini minimize etmek için takımlar burunlarında küçük bir kavise sahip olurlar. Şekil 3.3'de takımın sahip olduğu kavis görülmektedir. Büyük takım uç radyusu takımı işleme sırasında kendiliğinden doğan titreşimlere veya tırlamaya daha duyarlı olduğundan tavsiye edilmez (Neşeli 2006).



Şekil 3.3. İlerleme ve takım uç yarıçapının pürüzlülüğe etkisi (Neşeli 2006)

3.2.8. Soğutma sıvısının etkisi

Takım / talaş ara yüzeyinde oluşan ısı; iş parçası, takım veya talaşla dışarı çıkmalıdır. İş parçası fazla ısı alırsa bu parçanın boyutunu değiştirerek iş parçası ısı ile genleşeceğinden dolayı konik bir yüzey elde edilebilir. Bu fazla ısı iş parçası yüzeyine ısıl olarak zararda verebilir. Kesici takım fazla ısı alırsa kesici uç aniden bozulabilir ve takım ömrünü azaltabilir. İdeal olan kesici takım ise, kesici uç bölgesinden çabuk olarak ısıyı transfer eden bir takım olmalıdır. İdeal olan yine çoğu ısının talaş tarafından taşınmasıdır. Transfer edilen ısı, talaşın oksitlenmesine sebep olduğundan talaş renginin değişmesinin de göstergesidir. Eğer çok az ilerleme ve talaş derinliğinde malzeme kesiliyorsa, oldukça küçük talaş oluşacağından, ısı bu oluşan küçük talaş parçası tarafından emilemez. Bu durumda depolanamayan ısı takıma ve iş parçası içine nüfuz etmeğe zorlanır. Soğutma sıvısı kullanılması durumunda ise talaş ve takım ara yüzeyinde oluşan ısının taşınması veya tahliye edilmesi daha kolay gerçekleşir. Uygun soğutma veya yağlama sıvısı ile takım/talaş ara yüzeyinde oluşan ısının en azından %50'si kesme sırasında talaşla birlikte dışarıya tahliye edilmelidir. Yapılan çalışmalarda soğutma sıvısının kesici takım ömrüne olumlu etkisi olduğu deneylerle, diğer kesme faktörleri sabit kalmak şartıyla, sabit bulunmuştur. Keza uygun soğutma sıvısı ile yapılan kesme işlemlerinde kuru şartlarda yapılan kesmeye göre daha yüksek kesme hızı elde edilebilmektedir. Dolayısı ile talaş kaldırma hacmi ve üretim oranı artmaktadır. Kesme sıvısını hem soğutma hem de yağlama fonksiyonu mevcut olup başlıca faydaları şöyle özetlenebilir (Şahin 2003);

1. Kesme sıcaklığını azaltarak takım ömrünü arttırması,
2. Kesici takım iş parçası yapışmasını dolayısıyla daha kötü yüzey kalitesi ve daha kısa takım ömrünü engellenmesi,
3. Tezgah veya iş parçasını korozyon, pas, lekelenmeye ve oksitlenmeye karşı koruması,
4. Kesme işlemi esnasında iş parçasının operatör tarafından daha iyi görülebilmesi sağlaması,
5. Talaş ve parçacıkların daha kolay akışının sağlanmasıdır.

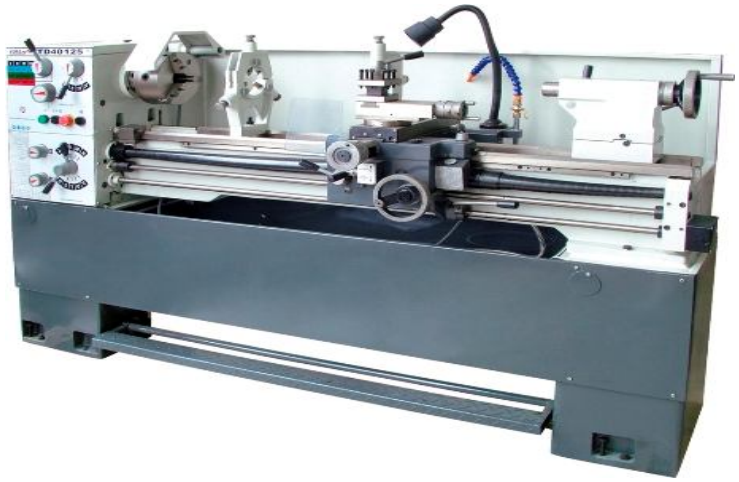
4. TORNALAMA İŞLEMİNDE TEMEL BİLGİLER

4.1. Tornalama

Bu temel işlem, imalat sanayinde talaş kaldırma için pratik uygulamalarda ve deneysel çalışmalarda en çok kullanılan bir metottur. Bu işlemde kesme hareketi; dönen iş parçası üzerinden sabit konumda bağlanan takımın hareketiyle gerçekleşen talaş kaldırma işlemidir (Şahin 2003).

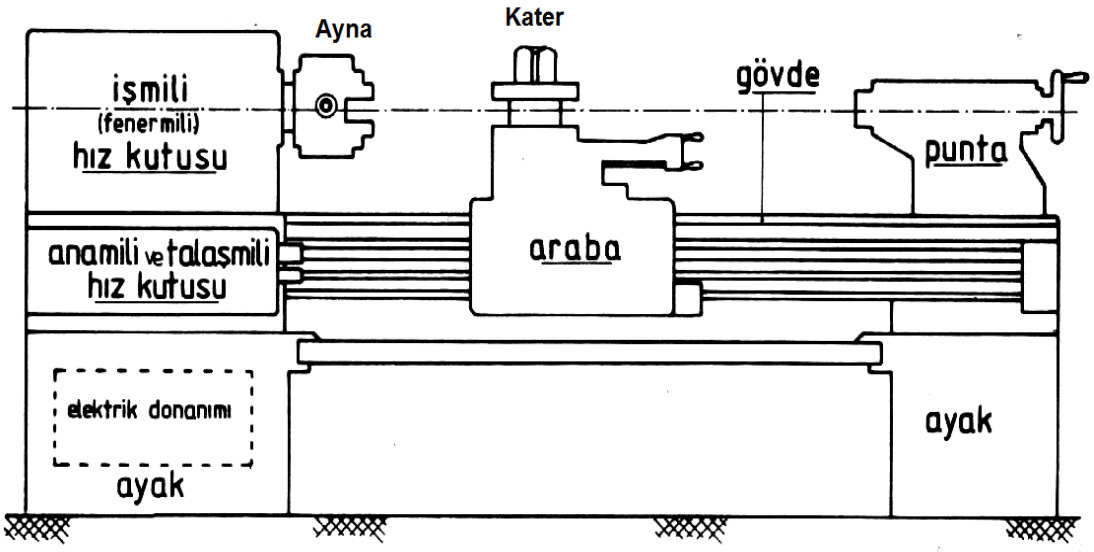
İş parçası torna tezgahının aynasına bağlanır. Ayna parçanın durumuna göre üç veya dört ayaklı, düz veya mengeneli ayna olabilir. İstenen devirde döndürülür. Aynada fener miline bağlanır ve fener mili ise dişli kutusu aracılığıyla tahrik edilmektedir. İş parçasını işlemek için kullanılan kesici takım çok önemli bir eleman olup kater üzerine rijit bir şekilde tespit edilir. İş parçası ekseni boyunca sabit bir ilerleme miktarıyla hareket ederek silindirik veya daha karmaşık profil yüzeyden talaş kaldırır. Tornalama işlemi, üniversal torna, rovelver torna, nümerik kontrollü (NC) torna veya bilgisayar denetimli sayısal kontrollü (CNC) torna tezgahında yapılır (Şahin 2003).

Şekil 4.1'de üniversal bir torna tezgahı gösterilmiştir. Tezgah şu kısımlardan oluşur: Gövde içinde fener mili hız kutusu, ana mili, talaş mili, gezer punta, kayıt ve kızak, araba, ayna, norton kutusu, kumanda kolu, motor vb. elemanlardır. Tezgah motorundan alınan dönme hareketi hız kutusunda bulunan dişliler aracılığıyla ana mile veya parçalara ulaşır.



Şekil 4.1. Üniversal torna tezgahı

İlerleme hareketi ise yine hız kutusundan alınan dönme hareketi, talaş mili aracılığıyla arabaya iletilir. Araba üzerinde bulunan kremayer dişli mekanizması dönme hareketini ilerleme hareketine çevirir. Araba kayıtlar ve kızaklar üzerinde bulunduğundan araba üzerinde de takım tutucu kater ve araba hız kutusu mevcuttur. Ayrıca araba üzerinde hem enine hem de boyuna ilerleme hareketleri, kızaklar üzerinde kaymayla sağlanır. Tezgahta iş parçası ise değişik şekildeki iş durumuna göre, aynaya veya iki punta arasında olmak üzere tespit edilebilir. Kesici takım ise araba üzerinde bulunan kalemlik veya katerlik adı verilen tertibata bağlanır. Katerlik tek takım veya dört takımı bağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Böylece farklı operasyonlar birbiri ardı sıra gerçekleştirilebilir (Şahin 2003).



Şekil 4.2. Torna tezgahın iki boyutlu temel parçaları

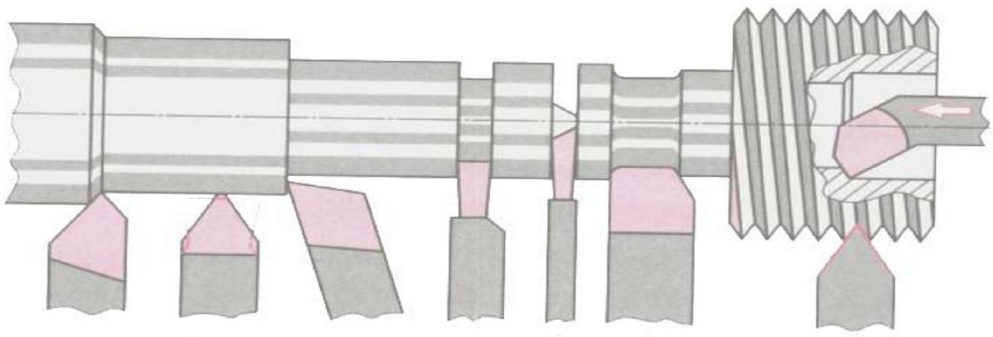
Tornalama işleminde farklı operasyonlar olarak iç ve dış silindirik yüzeyler, konik yüzeyler, alın yüzeylerin işlenmesi, profil yüzeyler, vida açma, kanal açma ve parça kesme işlemleri yapılabilir. Boyuna tornalama işleminde kesici takım iş parçası eksenine paralel olarak sabit bir ilerlemeyle ilerleyerek kesme yaparken konik tornalamada ise kesici takım, iş parçası eksenine belirli açıda ilerleme hareketi yapılarak talaş kaldırma işlemi yapılır. Şekil 4.3.'de alın tornalama, silindirik tornalama, konik tornalama, kanal açma, vida açma, profil tornalama, delik delme, rayba çekme, delik büyütme işlemleri gösterilmiştir.

Alın tornalama işlemi Şekil 4.3'de gösterildiği gibi kesici takım dönen iş parçası ekseninin dik olarak ilerleme hareketiyle kesme işlemi gerçekleştirilir. Benzer işlem kanal açma işlemi içinde uygulanır.

Vida açma işleminde ise istenilen profile göre hazırlanmış kesici takımla belirli derinlikte ve adıma uygun ilerleme miktarıyla parça üzerinden talaş kaldırılır. Ancak vida açma işleminde istenilen adımda ilerlemeyi sağlamak için hız kutusundan arabaya hareket iletimi ana mili aracılığıyla gerçekleşeceğinden, ana milinin irtibatlı olması gerekmektedir. Bu nedenle de gerekli dişli çarklarının seçiminin yapılması ve donatımın sağlanmasını gerektirir.

Profil oluşturma işleminde ise yine istenilen profilde takım hazırlanarak iş parçası eksenine dik yönde ilerleme hareketi verilerek sağlanır. Delik delme işlemi de, matkap tezgahında matkapta olduğu gibi tornada da gerçekleştirilir.

Özellikle daha büyük ve tolerans gerektiren hassas deliklerin işlenmesi hem matkap kullanılarak hem de delik kateri aracılığıyla daha iyi şekilde yapılmaktadır (Şekil 4.3). Rayba çekme işlemi de delinmiş deliklerin yüzey kalitesini daha da iyileştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir işlemdir.



Şekil 4.3. Torna tezgahında yapılabilen temel operasyonlar (MEGEP 2005)

Her çeşit malzeme işlenebilmekle beraber birim hacimde iş parçasının ağırlığı ve çapı, tornalanacak parçanın ölçüsünü sınırlayabilir. Kesici takım malzemesi ve takım geometrisi; kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği gibi kesme parametrelerinin belirlenmesinden önce seçilmelidir.

4.2. Tornada Kesme Parametreleri

Bir tornanın etkili çalıştırılması; kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğine bağlıdır. Tornalama işleminde uygun fener hızı ve uygun ilerleme miktarı seçilmezse çok zaman kaybedilebilir. İşleme maliyeti artabilir ve yüzey kalitesi bozulabilir. Bu nedenle iş parçasının devir sayısı hesaplanmalıdır. Kaba ve bitirme işlemi için uygun ilerleme miktarının belirlenmesi ve parçanın işleme zamanının hesap edilmesi gerekmektedir. Aşağıda bu kavramlar hakkında temel bilgilere yer verilmiştir.

4.2.1. Kesme hızı

Kesme hızı, sabit bir kesici takıma göre iş parçasının dönme hızı ile ilgili hareketi olup parça üzerindeki bir noktadan takımın dakikada metre cinsinden aldığı yol olarak tanımlanır. Kesme hızı V , ile gösterilir. Birimi genelde m/dk. olarak ifade edilir. Örneğin, bir metal için kesme hızı 30 m/dk. ise kesici takımın bir dakikada iş parçası çevresinden 30 m yol alması demektir. Kesme hızı Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Üreticiler kesme işleminin mümkün olduğunca çabuk yapılmasını isterler. Bu nedenle de işlenecek malzeme cinsleri için doğru kesme hızları kullanılmalıdır.

Kesme hızı çok yüksek seçilirse; kesici takım ucu hızlı aşınarak bozulur. Kesici takımı tekrar eski konumuna getirmek için ya bilemek yada yeni kesici takım hazırlamak gerekir ki bunlarda zaman kaybına yol açar ve maliyeti arttırır.

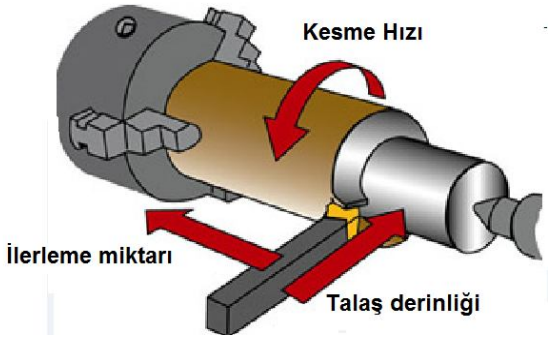
Kesme hızı çok düşük ise kesme işlemi için daha çok zaman harcanır. Bunu sonucu olarak da parça üretim miktarı düşer. Ancak belirlenen bu hızlar; tezgah durumuna, iş parçası cinsine, sert ve yumuşak malzeme gibi faktörlere bağlı olarak hafif değişiklikler gösterebilir. Dakikadaki fener mili dönme hızını hesaplamak için malzemenin kesme hızı ve iş parçasının çapı bilinmelidir. İş parçasının dönme hızı veya tezgahın devir sayısı iş parçasının dış çapı ile ilgili olduğundan kesme hızı ile ilişkisi denklem (4.1)'deki eşitlik ile ifade edilmiştir.

$$V = \frac{\pi . D . n}{1000} \tag{4.1}$$

Bu eşitlikte; D: İş parçasının çapı (mm), V: Kesme hızı (m/dk.), n: İş parçasının dakikadaki devir sayısını (dev./dk.) ve 1000 sayısı ise makine üretiminde ölçüler mm olarak ifade edildiğinden, 1000 mm 1 m'ye eşit olduğundan bu değerin m'ye çevrildiğini göstermektedir. Aynı formül diğer talaş kaldırma işlemleri içinde geçerlidir. Verilen iş malzemeleri için uygun olan bu kesme hızı değerlerine göre tezgahların fener mili devir sayısı hesaplanmalıdır.

4.2.2. İlerleme miktarı

İlerleme miktarı, iş parçasının her bir dönüşünde, yani; birim zamanda takımın iş ekseni boyunca hareket ettiği mesafe veya her bir pasoda kaldırılan malzeme miktarıdır. İlerleme miktarı birimi genelde mm/dev. veya mm/dk. olup, f ile gösterilir. İş parçası dönme eksenine paralel ilerleme hareketi yapar. Fakat alın tornalamada ise dik ilerleme hareketi yapar. İlerleme birimi işleme türüne bağlı olarak her devirde mm/dev, her çevrimde mm veya her dişteki ilerleme mm/diş şeklinde olabilir. Şekil 4.4'de ilerleme gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Tornalamada kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği

4.2.3. Talaş derinliği

Talaş derinliği, talaş kaldırma işleminde üçüncü boyutu göstermekte olup takımın iş parçası içine dikey olarak daldığı mesafedir. İlk çapla son çap arasındaki farkın yarısına eşittir. Talaş derinliği genellikle a ile gösterilir, birimi mm'dir. Başka bir ifadeyle kaldırılan malzemenin kalınlığı olup Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Talaş derinliği denklem (4.2)'deki eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$a = \frac{D_1 - D_2}{2} \tag{4.2}$$

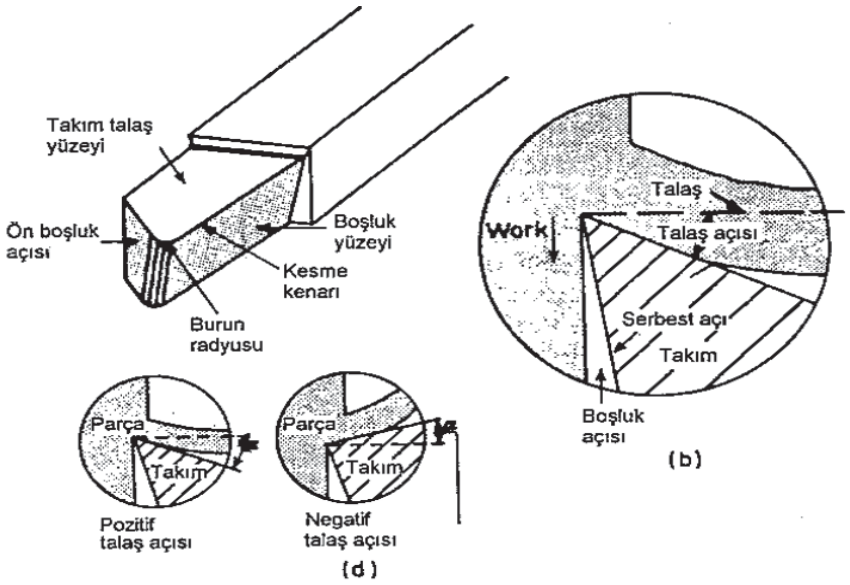
Takım tezgahıyla farklı malzemelerin talaş kaldırma işlemine tabi tutulmasında giriş veri parametrelerinin belirlenmesi gereklidir. Tornalama işlemi için giriş parametreleri; talaş derinliği, ilerleme miktarı ve kesme hızıdır. Devir sayısının değeri de kesme hızının seçimine bağlıdır. Kesme hızı ise ilerleme ve talaş derinliği yanında diğer birçok faktöre bağlı olup en iyi kombinasyonu belirlemek için daha fazla tecrübe veya deney gereklidir. Uygun değerler için çizelgeler oluşturulabilir. Bu çizelgelerde kullanılan işleme parametreleri; işlenecek malzeme, sertlik ve kesici takım malzemelerine göre düzenlenir. Kesme hızı ve ilerleme miktarı optimum kesme şartlarını elde etmek için operatör tarafından ayarlanabilen çok önemli iki parametredir. Talaş derinliği parçasının ilk boyutu ve istenen ölçüye göre tespit edilir. Kesme hızı genelde, kesici takım ve iş parçası cinsine göre değişmekle beraber 3-600 m/dk. Civarında olup bazı durumlarda ise 3000 m/dk.'ya kadar çıkılabilir.

Kompleks şekilli parçalar işlendiği zaman kesme hızı kesilen parça çapı ile değişebilir. Kesme hızı, tornalamada kesici uç boyunca sabit olarak düşünülür. Son yıllarda geliştirilen bilgisayar kontrollü takım tezgahları iş parçası çapı değiştiğinde bile tezgah durdurulmadan fener mili hızını değiştirerek istenilen kesme hızı kapasitesi elde edilebilmektedir. Her devirdeki ilerleme miktarı 0,0135 mm'ye kadar düşebilir. Ağır kesme şartlarında ise 3,5 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Talaş derinliği takım geometrisine bağlı olarak 0'dan 13,5 mm'ye veya daha fazla verilebilmektedir her dakikada 1600 cm^3'ten fazla talaş kaldırmak mümkündür. Ancak bu miktar çok genel olmayıp normal olarak 160 cm^3/dk talaş hacminin elde edilmesi oldukça hızlı sayılmaktadır (Şahin 2000).

4.3. Torna Takım Geometrisi

Bir torna tezgahında kesici takım geometrisini oluşturan kısımlar Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Talaşın aktığı takım yüzeyi "Talaş açısı" olarak adlandırılır. Takım yan kenarı veya serbest yüzeyi ve talaş yüzeyinin kesişmesi ile kesici takım oluşur. Yeni oluşan malzeme yüzeyine karşı talaş yüzeyinin sürtünmemesi için takım tasarımı böyle yapılır. Boşluk açısı, malzemeye bağlı olarak değişmektedir. Fakat

sıkça 5-10^{o} arasında gerçekleşmektedir. Talaş yüzeyi, çubuk iş parçasının eksenine belirli bir açıyla eğimlidir. Bu açı belli takım malzemeleri, iş malzemeleri, kesme şartları için optimum kesme performansını elde etmek için ayarlanabilir. Talaş açısı iş parçasının dönme eksenine paralel bir doğrudan ölçülebilir. Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Pozitif talaş açısı, referans doğrusunun aşağı tarafındaki talaş yüzeyi kısmı olup Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Bu pozitif talaş açıları ise 30^{o} kadar verilebilmektedir. Daha küçük talaş açılı takımlar daha dayanıklıdır. Fakat pek çok durumda sıfır veya negatif talaş açılı takımlar kullanılmaktadır (Şekil 4.5.d). 5^{o} veya 6^{o} negatif talaş açılı takımlar serbest veya talaş yüzeyleri arasındaki açı 90^{0} olabilmekte olup bu bir avantaj sağlamaktadır. Takım uç boşluk yüzeyi Şekil 4.5'de gösterildiği gibi yeni kesilen yüzeylere karşı sürtünmeden kaçınmak için verilen bir acıdır. Bu uç yüzeyin ara kesiti de takım burnu olup keskin olabilir. Yani; esas kesme kenarı, ön boşluk açısı ve takım yüzeyi açısı arasındaki açıdır (Şahin 2000).



Şekil 4.5. Kesici takım terminoloji ve takım geometrisi

Takımların tasarımı çok değişik şekiller içerdiğinden karmaşıktır. Çok değişik takımların hareketini gerçekten bunları gözlemeden veya kullanmaksızın değerlendirmek zordur. Pek çok durumda yeterli kesme için kritik özellikler ve hassas olması gereken boyutlar mevcuttur. Boşluk açıları, burun radyusu ve burunun yüzeylerle kesişmesi veya kesici uçun keskinliği bunlara örnektir. Takım yapımı ve

geometrisinin belirlenmesi önemli olduğundan pek çok kesme işlemlerinde; delme, frezeleme, delik büyültme ve alın yüzey işleme, vargelleme ve planyalamada bazı benzerlikler ve farklılıklar mevcuttur.

4.4. Sert Tornalama

Sert tornalama işlemi, yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahip kesici takımlar kullanılarak 50-70 HRC arasında sertliğe sahip iş malzemelerinin düşük talaş derinliğinde tornalama işlemidir (Singh ve Rao 2007). Başka bir görüşe göre sert tornalama 45 HRC sertlik değerine sahip ve üst değerlerdeki iş parçasının uygun uçlarla tornalanmasıdır (Chavoshi 2010).

Son yıllarda takım, tezgah ve parametre seçimi malzeme sertliğine göre yapılmaktadır. Yüksek sertlikteki malzemenin işlenmesinin avantajı: makine maliyetlerindeki azalma, zamandan tasarruf, yüzey kalitesindeki artış, finiş işleme zamanının azalması ve sıcaklıktan dolayı parçada oluşan çarpıklıkların ortadan kaldırılması olarak sayılabilir (Aslan ve Camuşcu 2007).

4.5. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırarak şekillendirme sırasında; seçilen yönteme, kesici cinsine ve işleme şartlarında bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısıl faktörlerin ve kesici-iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde genellikle istenmediği halde işleme izleri oluşmaktadır. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denmektedir (İşbilir 2006).

İmalatı yapılan iş parçalarının yüzey pürüzlülüğü, elemanların yataklama ve aşınma özelliklerinin incelenmesi ile malzeme yorulması için son derece önemli olduğu yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Yüzey kalitesinin değerlendirilmesi ve matematiksel büyüklüklere (parametrelere) çevrilmesi için pürüzlülük değerinin ölçülmesi gerekir. Pürüzlülük ölçümlerinin değerlendirmek maksadıyla ölçülen profilde pürüzlülük, form ve dalgalılık sapmaları birbirinden ayrılır. Günümüzde bu ölçümleri yeterli doğrulukla, hassasiyetle ve kısa sürede gerçekleştiren cihazlar; temaslı ölçüm yapan indüktif problu yüzey pürüzlülük cihazlarıdır. Pürüzlülük ölçümünün doğru ve hassas yapılması ile aynı zamanda hangi pürüzlülük parametrelerinin kullanılacağının doğru tespiti ve bunların doğru değerlendirilmesi büyük önem taşır.

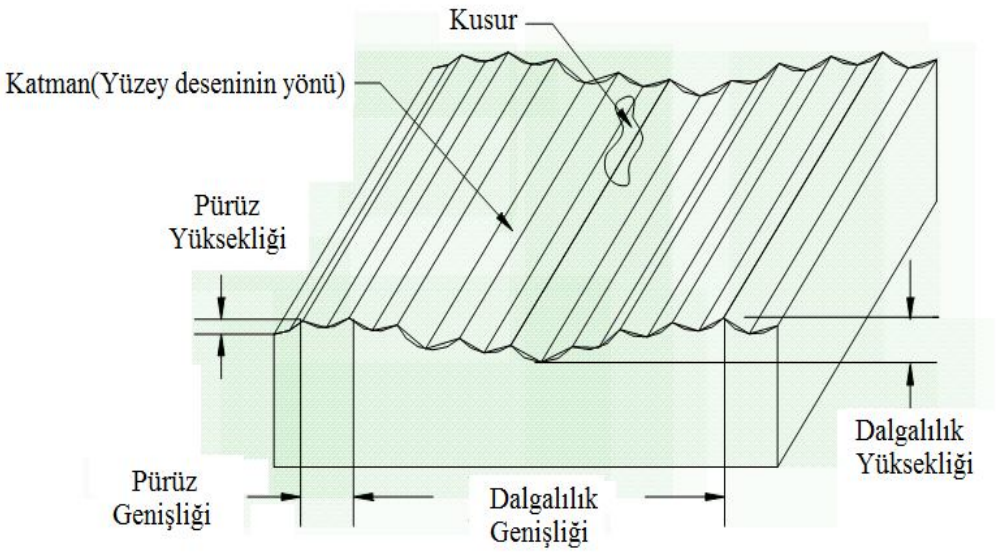
İşlenmiş yüzeylerde, kullanılan iş malzemesi ve işleme metodu ne olursa olsun (tornalama, frezeleme, taşlama vb.) yüzey pürüzlülüğünün meydana gelmesi kaçınılmazdır. İşlenen malzemelerde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü, endüstride çok büyük önem teşkil etmektedir. Üretici firmalar imalat sektöründeki ticari paydan mümkün olduğu kadar fazla pay alabilmek için bu alanda çok büyük yatırımlarla araştırma ve geliştirme faaliyetleri yapmaktadırlar (İşbilir 2006).

Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara şekil vermenin yanında bunların geometri, boyut ve yüzey bakımından yapım resimlerinde gösterilen toleranslar dahilinde imal etmektir. Günümüzde seri üretime geçilmesi ile birlikte standart ürünler üretmek şart olmuştur. Bu standart ürünlerin üretilmesinde ölçü tamlıklarının yanında yüzey kalitesi de öne çıkan etkenlerden birisidir. Malzeme bilimi, yüzey kalitesini iyileştirmek için yeni malzeme arayışlarının sürdürmektedir. Yüzey kalitesini iyileştirmek için yalnızca malzeme alanında gelişmeler olmamaktadır.

Kesici takım malzemesi, geometrisi, takım tezgahı, takım tutucu, soğutma sıvısı ve işleme şekli gibi pek çok alanda gelişmeler olmaktadır (Tekaüt 2008).

4.5.1. Yüzey yapısının özellikleri

Bir yüzey yapısının kontrolünde yorulma ömrü, yataklık etme özelliği ve aşınma önemli faktörlerdir. İşlenen yüzeylerde dalgalılık ve pürüzlülük olmak üzere iki tip yüzey sapması meydana gelir. Dalgalılık yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder. Yüzey pürüzlülüğü standartlara göre yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Düz bir yüzey denildiğinde dalgasız, pürüzsüz denildiğinde dalgalı, fakat gözle bakıldığında veya tırnakla kontrol edildiğinde, pürüzlülükleri fark edilemeyen yüzeyler anlatılmak istenir. Doğrultu, yüzey pürüzlerinin referans alınan bir alın yüzeyine göre durumunu belirler. Yüzey geometrileri, işleme metoduna bağlı olarak değişir. Şekil 4.6'da işlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri verilmiştir.



Şekil 4.6. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri (Lou ve ark. 1999)

4.5.2. Yüzey pürüzlülüğünün önemli olduğu durumlar

Yüzey pürüzlülüğü birçok alanda önemli bir parametredir (Tekaüt 2008). Bunların bazıları;

1. Sürtünmeli yataklar,
2. Korozyon ortamında çalışan parçalar,
3. Yuvarlanmalı yataklar,
4. Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
5. Sızdırmazlık yüzeyleri,
6. Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
7. Mastarlar vb.

4.5.3. Yüzey kalitesini etkileyen faktörler

Genellikle yüzey kalitesini etkileyen faktörler şöyle özetlenebilir:

1. Takım tezgahlarının yeterli rijitlikte olmaması,
2. İşlenen malzemede bağlamadan dolayı oluşan deformasyon,
3. Talaş akışının sebep olduğu bozukluk,
4. İlerleme hızında meydana gelen düzensizlikler,
5. İşlenen malzemedeki yapı bozukluğu,
6. Kolay şekillendirilebilir malzemeler düşük kesme hızlarında işlendiği zaman işlenen malzeme yüzeyindeki yırtılmalar,
7. Tezgahın kinematik mekanizması,
8. Yataklama sisteminden kaynaklanan tezgah hataları,
9. Takım ucu ve takım tutucunun rijit olmamasından kaynaklanan imalat hataları,
10. Kesicinin tasarımı, geometrisi ve kesme kapasitesi,
11. Takım konumlama ve bağlama hataları,
12. Takım aşınmasından kaynaklanan hatalar,
13. İşlenen malzemeden talaş kaldırma şekli,
14. Çevrenin etkisi ile oluşan hatalar olarak sayılabilir.

Bütün talaş kaldırma işlemlerinde temel amaç iş parçasında istenilen geometri ve hassas bir bitirme yüzeyi oluşturmaktır. Talaş kaldırma işlemlerinde; istenilen geometri ve yüzey pürüzlülüğü olmak üzere iki önemli kalite karakteristiği üzerinde durulmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde talaş akışı ve malzeme taşınımının oldukça karmaşık olmasından dolayı matematiksel modellenebilmesi için çoklu değişkene ihtiyaç vardır. Bu karmaşık yapıya rağmen, kısmen yüzey pürüzlülüğünün kontrolü, öncelikli olarak üç önemli talaş kaldırma değişkeni olan kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği için uygun değerler seçilerek sağlanabilir.

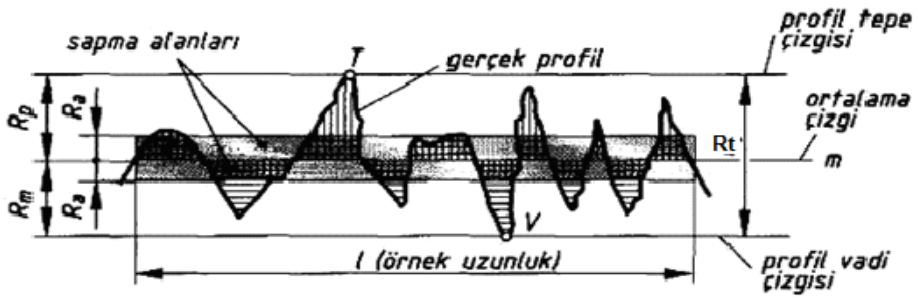
Genel olarak, talaş derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü miktarı artarken, buna zıt olarak kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerleri azalmaktadır (Neşeli 2006).

4.5.4. Yüzey kalitesinin sayısal olarak değerlendirilmesi

Yüzey pürüzlülüğü kalitesinin hesaplanmasında iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar Ortalama çizgi sistemi (M) ve Zarf sistemi (Z) olarak bilinirler.

4.5.4.1. Ortalama çizgi sistemi (M)

Standartlara göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli kriterlerle yapılmaktadır. Bu kriterlere göre pürüzler, yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı eşit olacak şekilde belirlenir (Turhan 2008). Şekil 4.7'de M sistemine göre yüzey pürüzlülük profili gösterilmiştir.



Şekil 4.7. M sistemine göre yüzey pürüzlülük profili (Kartal 2000)

a) Örnek uzunluk (l: mm): Örnek uzunluk yüzey pürüzlülüğünün değerlenmesinde alınan etken uzunluktur.

b) Profil ortalama çizgisi (M): Profil ortalama çizgisi etken profilin alt ve üst sınır noktalarının ortasından paralel geçen çizgidir. Bu çizgi, alt ve üst alanları eşit yapacak şekilde geçmelidir.

c) Geometrik profil alt sınır çizgisi: Geometrik profil alt sınır çizgisi etken profilin alt sınırından geçen ve profile (V) noktasından değen çizgidir.

d) Geometrik profil üst sınır çizgisi: Geometrik profilin üst sınır çizgisi etken profilin üst sınırında geçen ve profile (T) noktasından değen çizgidir (Kartal 2000).

e) Pürüzlülük yüksekliği (R_t, R_{max}): Pürüz yüksekliği örnek uzunluk içinde profil üst sınır çizgisi ile alt sınır çizgisi altındaki mesafedir.

Tornalama işlemi için Rt değeri denklem (4.3)'deki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$R_t = \frac{f^2}{8r} \tag{4.3}$$

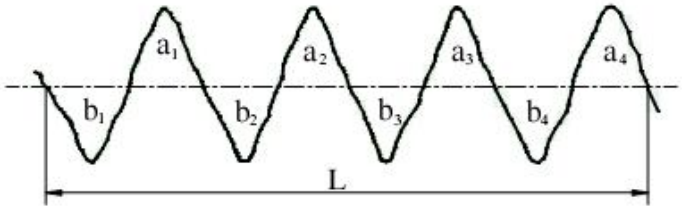
Burada f değeri ilerleme hızı (mm/dk.) ve r değeri de takım uç yarıçapını (mm) ifade etmektedir.

f) Aritmetik ortalama sapma (Ortalama pürüzlülük değeri, R_a): Merkez ortalama çizgisi (CLA) olarakta bilinen, yükseklik aritmetik ortalaması kalite kontrolünde oldukça sık kullanılan pürüzlülük parametresidir (Motorcu 2006). Ortalama pürüzlülük değeri etken profille ortalama çizgi arasında kalan alanın örnek uzunluğa bölünmesi ile elde edilen değerdir.

ISO tarafından Ra değerleri N ile simgelenmiş ve 0,025-50 μm arasında sınıflandırmışlardır. Tablo 4.1'de ISO tarafından Ra değerinin simgelenmesi verilmiştir.

Tablo 4.1. ISO tarafından Ra değerinin simgelenmesi

Pürüzlülük Derecesi	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
R_a (µm)	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50
Simge	▽▽▽▽			▽▽▽			▽▽			▽		



Şekil 4.8. Alanlarla Ra değerinin gösterimi (Neşeli 2006)

Ra'nın değeri Şekil 4.8'de görüldüğü gibi, düzensiz bir alan eşit uzunlukta bölünerek bu uzunluklara tekabül eden orta çizginin (eksen çizgisinin) üstünde (a) ve altında (b) kalan alanlar, planimetre ile ölçülüp bu alanların toplamının örnek uzunluğa (L) bölünmesi ile de belirlenebilir (Neşeli 2006). Denklem (4.4)'de Ra için bu ifadenin eşitliği verilmiştir.

$$Ra = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + b_1 + b_2 + b_3 + b_4}{L} = \frac{\sum Alan(a) + \sum Alan(b)}{L} \qquad (4.4)$$

Ra değerini elde etmek için denklem (4.5)'deki eşitlikle ifade edildiği gibi toplam alanın örnekleme uzunluğuna oranı düşey büyütmeye bölünür ve µm dönüşümü için 10^3 ile çarpılır.

$$Ra = \frac{\sum Alan(a) + \sum Alan(b)}{L} \frac{10^3 \mu m}{DüşeyBüyütme} \qquad (4.5)$$

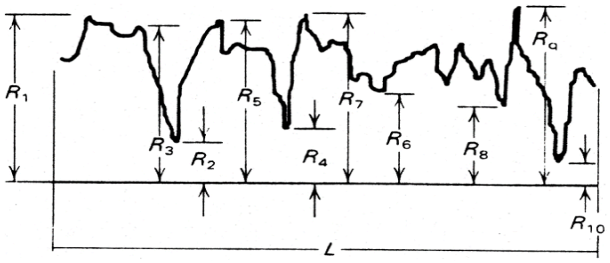
Tornalama işlemi için Ra ifadesinin f ve r değeri arasındaki ilişkinin formülsel ifadesi denklem (4.6)'da verilmiştir. Burada f değeri ilerleme hızı (mm/dk.) ve r değeri de takım uç yarıçapını (mm) ifade etmektedir.

$$R_a = \frac{0,0642 f^2}{r} \qquad (4.6)$$

Başka bir ifade ile Ra denklem (4.7)'deki gibi ifade edilir. Burada C_s değeri takımın yardımcı kenar açısı, C_e ise takım ayar açısıdır.

$$Ra = \frac{f}{4(\tan C_s + \cos C_e)} \tag{4.7}$$

g) Yüzey bozukluğunun on noktasının yüksekliği (Ortalama pürüz yüksekliği, R_Z): Bu parametre yüksek tepe ve derin çukurları daha iyi ifade edebildiğinden dolayı Ra'dan daha hassastır. Uluslararası Standart Organizasyonuna (ISO) göre bu parametre profil değerlendirme boyunca en yüksek beş tepe ve en düşük beş çukurun ortalamasının yükseklik farkı olarak tanımlar (Motorcu 2006). Şekil 4.9'da on nokta yükseklik parametresinin tanımlanması ($R_{Z(ISO)}$) gösterilmiştir.

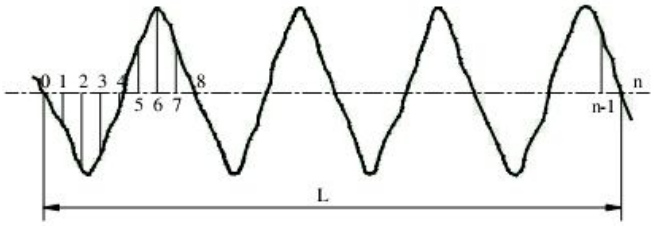


Şekil 4.9. On nokta yükseklik parametresinin tanımlanması ($R_{Z(ISO)}$)

Rz ifadesinin formülsel ifadesi denklem (4.8)'de verilmiştir:

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5} \tag{4.8}$$

h) Ortalamaların kareleri toplamının karekökü (R_q, R_s, rms): Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarında, eksen çizgisinin altında ve üstünde meydana gelen sapmaların geometrik ortalama değeridir.



Şekil 4.10. Ordinatlarla R_q değerinin gösterimi (Neşeli 2006)

R_q değeri denklem (4.9)'daki formülle hesaplanabilir:

$$R_q = \sqrt{\frac{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + ... + h_n^2}{n}} \tag{4.9}$$

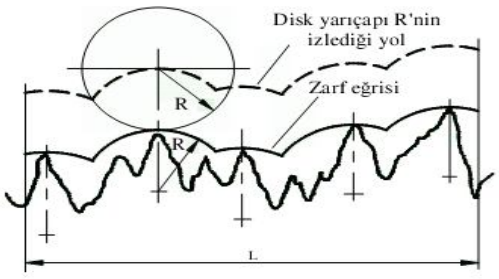
ı) Profil maksimum dip derinliği (R_m): Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarındaki en dip girintiye temas edecek şekilde ve eksen çizgisine paralel olarak çizilen doğru ile eksen çizgisi arasındaki mesafedir.

i) Profil maksimum üst derinliği (R_p): Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarındaki en üst girintiye temas edecek şekilde ve eksen çizgisine paralel olarak çizilen doğru ile eksen çizgisi arasındaki mesafedir.

4.5.4.2. Zarf sistemi (Z)

Zarf sistemi, izlere karşı yuvarlanan bir dairenin yarıçapı tarafından üretilen bir çizgi esasına dayanır. Daire merkezinin hareketinden oluşturulan bu eğri R mesafesi tarafından düşey olarak yerleştirilmiştir. Bu çizgi yüzeyin üzerinde yer alır. Şekil 4.11'de gösterildiği gibi zarf eğrisi, ideal geometrik profile dik açılardan en yüksek profile doğru çizilen ordinatlar tarafından oluşturulur.

Yarıçap R'nin dairesel yayları ordinatlar üzerindeki merkezleriyle birlikte tepelere doğru çizilerek zarf eğrisini oluşturur. Bu eğrinin oluşumu yüzey kalitesinin grafik çıktısının dikey ve yatay eksenlerde aynı oranda büyütüldüğünü kabul eder. Dikey büyümelerin yataydaki büyümelerden dikkati çekecek kadar fazla olması ve dairesel yayların bozularak eliptik şekil alması olağandır (Tekaüt 2008). Buradaki zarf eğrisi M sistemindeki ortalama çizgiyi ifade eder.



Şekil 4.11. Zarf eğrisinin elde edilişi (Neşeli 2006)

4.5.5. Yüzey pürüzlülük ölçme metotları

Yüzey pürüzlülüğü ölçmekte kullanılan en yaygın cihaz temaslı yüzey pürüzlülük ölçme aletidir. Cihaz bir izleyici kafa ve bir sinyal yükseltici/kuvvetlendiriciden oluşur. İzleyici kafada uç yarıçapı küçük olan bir elmas iğne vardır. Yüzeyde izleyici kafa otomatik olarak gezdirilir. Yüzeydeki pürüzlülükten kaynaklanan iğne hareketleri izleyici kafa tarafından elektrik sinyallerine çevrilir. Bu sinyaller yükseltici tarafından büyütülür ve cihaza kaydedilir. Göstergedeki değerler referans çizgisine göre yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalamasını (Ra), ortalamanın karekökü (Rq) veya ortalama pürüz yüksekliği (Rz) gibi düzeltilmiş yüzey pürüzlülük değerlerini verir (Vural 2006).

Yüzey yapısı için en önemli ölçme tekniği mekanik- elektronik cihaz kullanımı olup küçük yarıçaplı elmas iğne işlenmiş yüzey çizgisi üzerinden geçmesi esnasında yüzey profilinden alınan pürüzlülüğü okuyarak çıktı olarak gösterir. Çok genel olan standart elmas iğnenin eğrilik yarıçapı 10 μm ancak araştırmalarda 2.5 μm kadar küçük radyuslu iğne uçları da kullanılmaktadır (Şahin 2001).

Yüzey pürüzlülüğü; ölçülmek istenen yüzeyin özelliği bilinen bir yüzeyle karşılaştırılması esasına dayanan, izleyici problarla veya optik cihazlarla ölçüm yapılması ile belirlenir (Vural 2006).

Yüzey pürüzlülük ölçüm metotları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Dokunma metodu
2. Mekanik metot
3. Hidrolik metot
4. Pnömatik metot
5. Kapasitans metodu
6. X ışını metodu
7. Elektron mikroskobu metodu
8. Optik mikroskop metodu
9. Yüzey dinamometresi metodu
10. Kesit alan metodu
11. Karşılaştırma mikroskobu metodu
12. Enterferometrik metotlar
13. İzleyici uçlu cihazlar metodu
14. Optik yansıtma metodu
15. Optik parazit aletleri metodu
16. Replika (Mask) metodu
17. Elektro-fiber-optik sistem metodu

4.6. Titreşim

Titreşim, hızlı salınım hareketi, bir ritimle tekrarlanan sarsıntı veya bir sesin modülasyonudur. Dinamik sistemlerdeki titreşimler, dış kuvvetler ve sistemin bu dış kuvvetlere cevap verme özelliğinden kaynaklanır. Dolayısıyla dış kuvvetler veya sistemin bu kuvvetlere cevap verme özelliği değiştirilerek sistemin titreşim özelliği değiştirilmiş olur.

İnsanoğlunun endüstride kullanmak üzere makineleri üretmeye başlamasından ve özellikle bu makineleri motorlar vasıtasıyla çalıştırmaya başlamasından itibaren titreşim probleminin yok edilmeye çalışılması (azaltılması veya izole edilmesi) mühendisleri meşgul etmiştir. Yavaş yavaş titreşim azaltma ve izolasyon tekniklerinin makine dizaynının tamamlayıcı bir parçası haline gelmesiyle, titreşimlerin doğru bir şekilde ölçülmesi ve analizi önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Fabrika mühendislerinin tecrübeli kulakları ve dokunuşları veya titreşim ölçen basit optik aletler geçmişin yavaş ve hantal makinaları için bu ihtiyaç yeterince tatmin edilmiştir. Son 15-20 yıldır büyük gerilimler altında ve yüksek hızlarda çalışan makinelerin incelenmesinde kullanılmak üzere tamamen yeni bir teknoloji geliştirilmiştir. Piezoelektrik ivme algılayıcıların kullanımı ile titreşimin elektrik sinyallerine dönüştürülmesi, ölçüm ve incelemede elektroniğin avantajlarını kullanma işleri çok kolaylaşmıştır (http://www.erpakademi.com).

Titreşim olayında frekanstan söz edilir. Frekans, periyodik bir dalga hareketinin, belli bir aralıkta kaç kez tekrarlandığını ölçen büyüklüktür. Olay zaman içerisinde meydana geliyorsa frekans Hertz (Hz) ile ölçülür ve 1/s olarak ifade edilir.

Teknikte titreşen elemanların cinsine, kütlesine ve boyutlarına göre değişen "doğal frekansları" vardır. Doğal frekans sistemin sürtünmesiz serbest titreşimi esnasındaki frekansıdır. Sönümlü doğal frekans ise sistemin sürtünmeli serbest titreşim yapması halindeki frekansıdır. Titreşim olayında doğal frekansın önemi büyüktür. Makine elemanları doğal frekanslarına yaklaştıkça plastik deformasyonları artar (http://www.msxlabs.org).

Serbest titreşim bir başlangıç hareketi verilen ve daha sonra serbestçe salınmaya bırakılan sistemlerde meydana gelir. Bir çocuğu salıncakta sallanırken ardından ittirmek ve daha sonra serbest bırakmak veya bir akort çatalına vurmak ve daha sonra

salınmaya bırakmak bu titreşim türünün örnekleridir. Mekanik sistem daha sonra kendi frekansı veya frekanslarında titreşecek ve sıfıra gidecektir (http://www.erpakademi.com).

4.6.1. Titreşimin sınıflandırılması

Titreşimler sönümlü titreşimler ve sönümsüz titreşimler olarak iki şekilde inceleyebiliriz. Titreşim bir süre sonra sona eriyorsa sönümlüdür. Bir yere tespit edildikten sonra çekilip bırakılan çelik bir telin titreşimi sönümlüdür. Otoların titreşimi gibi titreşimler, yay ve amortisör tarafından yutulduğu için sönümlüdür. Titreşim sürekli ise sönümsüzdür ki o durumda titreşimin bir kuvvetle desteklenmesi gerekir.

Talaş kaldırmada iki tür titreşim meydana gelir. Bunlar;

1. Zorlanmış titreşimler
2. Kendiliğinden doğan titreşimler olarak iki şekilde inceleyebiliriz.

Bu titreşimler yüzey kalitesine etki eder. Takım ve tezgah aşınmasını arttırır ve ömürlerini kısaltırlar.

Zorlanmış titreşim değişen bir kuvvet veya hareket bir mekanik sisteme uygulandığında meydana gelir. Zorlanmış titreşimler:

1. Kesintili talaş kaldırma veya üniform olmayan talaşın kaldırılması durumunda,
2. Balanssız dönen kütlelerin meydana getirdiği atalet kuvvetleri,
3. Hareket ileten mekanizma elemanlarının imalat kuvvetleri ve darbe kuvvetleri nedeniyle oluşur.

Kendiliğinden doğan titreşimler başlangıç hareketi verilen ve daha sonra serbestçe salınmaya bırakılan sistemlerde meydana gelir. Kendiliğinden doğan titreşimler:

1. Sürtünme kuvvetinin değişkenliği,
2. Uzama sertleşmesinin ve iş parçası içerisindeki sert noktaların üniformsuzluğu nedeniyle,
3. Talaş kesitinde ve takım geometrisinde değişmelere neden olan yığma ağzın kararsızlığı nedeniyle oluşur (Tekaüt 2008).

4.6.2. Titreşim testleri

Makinelerin çalışma koşulları altında yaydıkları titreşim, onların durumları hakkında kullanıcıya fikir vermektedir. Bu özellik sayesinde, tesis içerisinde yer alan makinelerin titreşim değerlerinin periyodik olarak kontrol edilerek olası bir hatanın önceden fark edilmesi bakım açısından avantaj sağlamaktadır. Bozulması beklenen makine veya parçaların yedeklerinin temin edilerek, zamanında değiştirilmesi sayesinde fabrika üretimi en az kayba uğramış olur.

Bu makinalar da problemin ne olduğunu anlayabilmek için frekans analizi yapabilen ölçüm cihazlarına ihtiyaç vardır. Bilgisayar programı üzerinde tanımlanan tesis yapısı üzerinde ölçülecek makinalar ve ölçüm noktaları belirlenerek, veri toplama cihazına transfer edilmektedir. Bu sayede, veri toplama cihazı açıldığında üzerinde hangi makinenin hangi noktasında ne ölçümü yapılacağını göstermektedir. Kullanıcı bu ölçümleri (rota) tamamladıktan sonra toplanan data tekrar bilgisayar transfer edilir.

Bilgisayar üzerinde her noktada yapılan ölçümlerin kayıtları saklanmaktadır. Bu sayede, aynı noktada daha önce elde edilmiş ölçüm sonuçları ile yenileri karşılaştırılarak herhangi bir hata oluşup oluşmadığı anlaşılabilmektedir. Hata tespiti için değişik (FFT, CPB, BCU, Cepstrum, Envelope vs.) analiz teknikleri bulunmaktadır (http://www.erpakademi.com).

Firmalar, ürünlerinin veya ürünlerini oluşturan parçaların titreşime karşı dayanıklılığını test etmektedirler. Bunu yaparken amaç, ürünün gerçek çalışma ortamında titreşimden nasıl etkilendiğini görebilmek olduğu kadar, nakledilme sırasında (yol testi) olası titreşimlere karşı ne kadar dayanıklı olduğunu görebilmektir. Bu testlerde gerekli olan cihazlar:

1. Kontrol Ünitesi (controller)
2. Güç Yükselticisi (amplifier)
3. Sarsıcı (shaker)
4. Akselerometre (accelerometer)

Kontrol ünitesi, istenen dalga formunun elektriksel olarak üretilmesini sağlamakta ve akselerometreden gelen geri besleme (feedback) titreşim sinyaline bakarak gerçekte oluşan titreşim seviyesini kontrol altında tutmaktadır.

Basit sinüzoidal sinyal üretebilen kontrol cihazları olduğu gibi, bilgisayar tabanlı gelişmiş kontrol sistemleri de bulunmaktadır. Titreşim testlerinde aşağıdaki dalga formları kullanılmaktadır:

1. Sinüs (tek bir frekans ve genlikte) – Sine
2. Sinüs taraması (bir frekans bölgesinde genliği sabit tutarak taramak) – Swept Sine
3. Rasgele (seçilen alt ve üst frekans arasındaki bölgeyi uyarmak) – Random
4. Şok Testleri – Shock
5. Rezonans frekansı (ürünün rezonans bölgesinde test yapmak) – Resonance Dwell

Güç yükselticisi, kontrol sisteminde oluşturulan düşük seviyeli sinyali yükseltmek için kullanılmaktadır.

Sarsıcı, güç yükselticisinden gelen elektriksel sinyali, mekanik titreşime dönüştüren silindirik ünitedir. Bu cihazlar performanslarına göre çok çeşitli boyutlarda olabilmektedir. Uygun bir titreşim test sistemini seçebilmek için en azından:

1. Test edilecek objenin ağırlığı,
2. Test edilecek objenin sarsıcıya bağlantısı için bir bağlantı parçası (fixture) olup olmadığı ve ağırlığı,
3. İstenen en yüksek ivmelenme ve deplasman seviyesi,
4. Testte kullanılacak dalga formu bilgisine sahip olmak gerekmektedir.

4.6.3. Titreşim (İvmemetre) seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar

1. Frekans aralığına,
2. Minimum titreşim genliğine,
3. Maksimum titreşim genliğine,
4. İşleme sıcaklığı aralığı,
5. Çalışacağı çevre (sıvılar, gazlar, kimyasallar) şartlarına,
6. Montaj metoduna,
7. Fiziksel kısıtlamaların neler olduğuna,
8. Gerçek güvenlik sertifikasının bulunup bulunmadığına ivmeölçer seçiminde dikkat edilmelidir (Lally 2001).

4.6.4. Titreşimin ölçülmesi

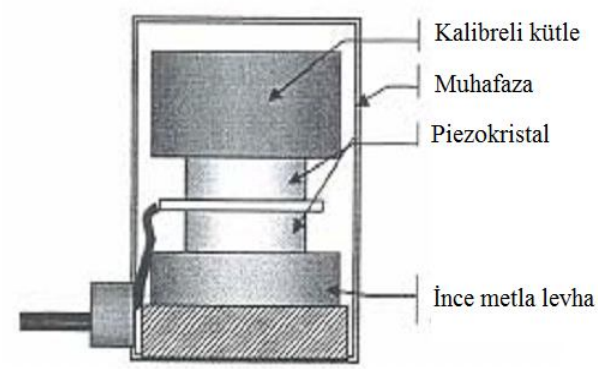
Bir sistemin titreşimini ölçebilmek için titreşimin spektrum analizine ihtiyaç vardır. Titreşimin spektrumu bir cisme etki eden kuvvetler sonucunda meydana gelen titreşimin sıfır (0) ile belli bir frekans üst değeri arasında belli bir sayıdaki frekans bileşenlerindeki genlikleri gösteren grafiklerdir. Spektrum analizi spektrumu elde etmek için enerji dönüştürücü dediğimiz ölçüm probuna ihtiyaç vardır. Titreşim ölçüm tipine göre üç farklı sensör kullanılır (http://www.erpakademi.com).

Bunlardan birincisi Eddy prob titreşim yer değiştirme sensörüdür. Bu sensörün uç kısmındaki bobinin oluşturmuş olduğu manyetik alan çizgileri yanındaki rotordan etkilenerek sıkışma ya da gevşeme yapar. Direnç üzerinde akım değişimine neden olan bu durum voltaj değişimi nedeni ile yer değiştirme değerinin ölçülmesini sağlar. Genellikle şaft ile yatak arasındaki değişimlerin ölçüldüğü kaymalı yataklarda kullanılır.

İkincisi ise hız ölçer titreşim hız sensörüdür. Bir yay ile tespit edilmiş metalik çubuk etrafını çevrelemiş bobin içerisinde sensörün bulunduğu ortamdaki titreşime bağlı olarak hareket eder. Manyetik alan çizgilerini etkileyen bu çubuğun neden olmuş olduğu akım değişimi titreşim miktarıyla doğrudan ilgilidir. Bu sensör tipi, hareketli parça içerdiğinden sık sık kalibrasyon ihtiyacı doğurur.

Üçüncüsü ve en çok kullanılanı ise ivme ölçer titreşim ivme sensörüdür. İvme sensörünün çalışması şu şekilde açıklanabilir. İki yüksek duyarlılıktaki sismik kütle arasına yerleştirilen piezo-elektrik kristal sismik kütlelerin ortam titreşimine bağlı

olarak yapmış olduğu sıkıştırma ile akım üretir. Şekil 4.12'de görüldüğü gibi aralarında ince akım toplayıcı plaka bulunan kristaller, alt taraftan bir şaseye bağlanır; üst tarafı ise, çok hassas bir şekilde ağırlığı bilinen bir parçaya yapıştırılır. Üst taraftaki ağırlık, titreştikçe F=M(Kütle)xa(İvme) prensibine göre kendi kütlesine ve ivmesine bağlı olarak kristali ezer. Bu a ivmesiyle titreşen üst taraftaki ağırlık, kristali ezince F kuvvetine orantılı olan bir akım (I) meydana gelir. Bağıntı kurulacak olursa, ivme (a) oluşan akım (I)'ya orantılıdır. Bu akım, bir dirençten (R)'den geçirilirse, burada oluşacak voltaj mV (milivolt) seviyesinde olur. Bu milivolt seviyesindeki voltajlar ölçüm cihazları tarafından genlikler olarak cihazın ekranında çizgi şeklinde gözükür (Tekaüt 2008). Şekil 4.13'de bu tez çalışmasında kullanılan sensör gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Titreşim ivme sensörü (Akselometre) iç yapısı (Tekaüt 2008)



Şekil 4.13. Çalışmamızda kullandığımız coupler ve titreşim sensörü

5. TALAŞLI İMALATTA TAHMİN MODELLERİ

Günümüzde, teknolojik gelişmeler ve bununla bağlantılı olarak daha mükemmeli arayan müşteri talepleri beraberinde daha karmaşık sistem ve yaklaşımları zorunlu hale getirmiştir. Bu karmaşık sistemlerle ilgili problemleri çözmek geleneksel mühendislik yöntemleriyle çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu noktada uzman bilgisini öğrenebilen, karmaşık eşleştirmeleri yapabilen ve non-lineer problemleri daha hızlı ve yüksek doğrulukta çözebilen akıllı sistemler yada modern mühendislik yöntemleri (bulanık mantık, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları) geleneksel yöntemlere alternatif olmaya başlamıştır (Hamamcı 2004).

1950'lerin ortasında meydana çıkan Yapay Zeka (YZ) yöntemleri normal insan zekası ile modellenmesi ve çözümü zor mühendislik problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılır. Yapay zeka yöntemlerinin yaygın olanları; yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritmalar, uzman sistemler, bilgi tabanlı uzman sistem yaklaşımı, benzetilmiş tavlama, nesne tabanlı programlama, coğrafi bilgi sistemleri, karar destek sistemlerinin gelişimi, esnek programlama, karınca kolonileri, veri madenciliği ve bunların hibrid kullanımıdır. Günümüzde YZ üretimin her alanında kullanılmaktadır (Asiltürk 2007).

YZ; zeka ve düşünme gerektiren işlemlerin bilgisayarlar tarafından yapılmasını sağlayacak araştırmaların yapılması ve yeni yöntemlerin geliştirilmesi hususunda çalışan bilim dalıdır. YZ "düşünme, anlama, kavrama, yorumlama ve öğrenme yapılarının programlamayla taklit edilerek problemin çözümüne uygulanması" olarak ifade edilebilir (Sağıroğlu ve ark. 2003).

Bu teknikler herhangi bir sınırlama olmamakla birlikte pratik hayatta en çok; yorumlama, tahmin etme, teşhis/tanı, tasarım, planlama, gözlem, talimat oluşturma ve kontrol fonksiyonlarını oluşturmak için kullanılırlar (Asiltürk 2007).

Regresyon analizi aralarında sebep sonuç ilişkisi olan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi incelemek ve o konuyla ilgili tahmin yapabilmek amacıyla oluşturulan ve matematiksel bir model ile belirtilen istatistiksel bir analizdir. Bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasında kurulan istatistiksel modelle bağımsız değişkenlerin belirli değerleri için bağımlı değişkenlerin alacağı değeri tahmin etme yöntemidir (Şahinler 2000).

Aşağıda bu tez çalışmasında kullanılan YZ yöntemlerinden bulanık mantık ve yapay sinir ağları, matematiksel olarak çoklu regresyon modeline ait temel kavramlar verilmiştir.

5.1. Bulanık Mantık (BM)

Bulanık mantık kavramı ilk kez 1965 yılında Kaliforniya Berkeley Üniversitesinden Profesör Lotfi A. Zadeh'in konu üzerinde ilk makalesini yayınlamasıyla duyuldu. O tarihten sonra önemi artarak günümüze kadar gelen bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışabilmesi için kurulmuş katı bir matematik model olarak tanımlanabilir.

Bulanık kümelere dayalı olan BM genelde, insan düşüncesine benzer işlemlerin gerçekleştirmesini sağlamakla, gerçek dünyada sık sık meydana gelen belirsiz ve kesin olmayan verileri modellemede yardımcı olmaktadır. Klasik mantıkta bir önerme doğru ya da yanlıştır. Fakat gerçek dünyadaki olayların ne derecede doğru yada yanlış olmasının belirlenmesi gerekmektedir. Örnek vermek gerekirse 100 ^{o}C suyun sıcaklığı "sıcak" olarak kabul edilirse 95 ve 80 ^{o}C suyun sıcaklığı için "Sıcak değildir" demek doğru olmadığı gibi yanlışta değildir. Bu yüzden önermelerin "doğru" ve yanlış değerleri arasındaki değerler "az sıcak", "ılık", "az soğuk" gibi değerler kullanılarak bulanık küme kavramı ortaya atılmıştır (Gündüz 2006).

Tablo 5.1. Klasik mantık-bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar

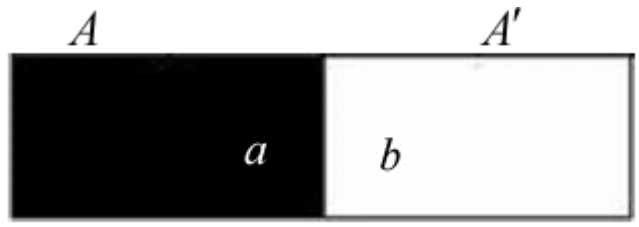
Klasik Mantık	**Bulanık Mantık**
A veya A Değil	A ve A Değil
Kesin	Kısmi
Hepsi veya Hiçbiri	Belirli Derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 Arasında Süreklilik
İkili Birimler	Bulanık Birimler

Bulanık mantığın başlıca özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

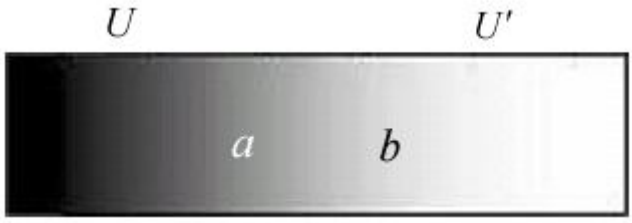
1. "doğru", "çok doğru", "az çok doğru" vb. gibi sözel olarak ifade edilen (linguistik/ dilsel/ değişkenli) doğruluk derecelerine sahip olması,
2. Geçerliliği kesin değil fakat yaklaşık olan çıkarım kurallarına sahip olması,
3. Her kavramın bir derecesi olması,

4. Her mantıksal sistemin bulanıklaştırılabilmesi,
5. Bulanık mantıkta bilginin, bulanık kısıtlara ait değişkenlerin esnekliği veya denkliğiyle yorumlanması.

Şekil 5.1'de klasik küme ve bulanık kümenin doğruluk değerlerinin kapsamı verilmiştir. Klasik küme iki tip değer verirken, bulanık mantığın göreceli değer verdiği görülmektedir.



a)



b)

Şekil 5.1. a) Klasik küme ve b) Bulanık kümenin doğruluk değeri (Çağman 2006)

5.1.1. Bulanık mantığın avantaj ve dezavantajları

Bulanık mantıktan yola çıkılarak kullanılan bulanık denetleyicilerle ilgili başlıca üstünlükler, zayıf noktalar ve eleştiriler aşağıda açıklanmıştır.

Avantajları

1. Günlük hayatta olduğu gibi belirsiz, zamanla değişen, karmaşık, iyi tanımlanmamış sistemlerin denetimine basit çözümler getirmesi,
2. İnsan düşünme tarzına yakın olması,
3. Uygulanışın matematiksel modele ihtiyaç duymaması,
4. Yazılımın basit olması dolayısıyla ucuza mal olması,

5. Bulanık mantıkta işaretlerin bir ön işleme tabi tutulmaları ve oldukça geniş bir alana yayılan değerlerin az sayıda üyelik fonksiyonlarına indirgenmeleri nedeni ile bulanık denetim genellikle daha küçük bir yazılımla daha hızlı bir şekilde sonuçlanır,
6. Söz edilen az sayıda değerler üzerinde uygulanacak kural sayısı da az olduğundan sonuca ulaşmak daha da çabuk olur,
7. Doğrudan kullanıcı girişlerine ve kullanıcının deneyimlerinden yararlanabilmesine olanak sağlaması bulanık mantığın avantajlarındandır.

Dezavantajları

1. Bulanık denetimde kullanılan kurallar deneyime çok bağlı olması,
2. Üyelik fonksiyonlarının seçiminde belirli bir yöntem yoktur. En uygun fonksiyon deneme ile bulunur. Bu da oldukça uzun bir zaman alır,
3. Denetlenen sistemin bir kararlılık analizi yapılamaz ve sistemin nasıl cevap vereceği önceden kestirilemez. Yapılacak tek şey benzetim çalışmasıdır. Bunlar bulanık mantığın dezavantajlarındandır.

5.1.2. Bulanık mantığın uygulama alanları

Günümüzde hemen hemen her alanda uygulama imkanı bulan bulanık mantık, özellikle sanayi alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Japonlar bulanık mantığı özellikle bulaşık makineleri, çamaşır makineleri, elektrik süpürgeleri, video kameralara uygulamışlardır.

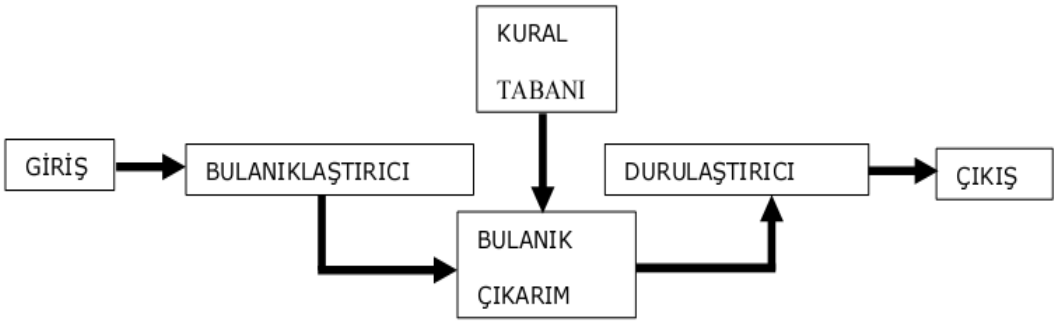
Bulanık mantık uygulamaları ilk olarak çimento sektöründe kullanılmaya başlanmıştır. Bu sektörde kireç taşı ve kil 1000-1400 ^{o}C sıcaklıkta reaksiyona girmektedir. Fırın içindeki sıcaklık ve oksijen oranı çimentonun kalitesini doğrudan etkilemektedir. Sadece bu konuda uzman operatörler istenilen limitler dahilinde ürün elde edebilmektedirler. Ama vardiyalı bir sistemle çalışan bu fabrikada çok sayıda operatör vardır ve her operatörün uzmanlıklarının farklı olması nedeniyle farklı niteliklerde ve verimlilikte ürün elde edilmektedir. İstenilen kalitede ürün sadece bu işte yıllardır çalışan uzmanlar tarafından sağlanabilmektedir. Zira çimento üretimi bulanık bir yapıya sahiptir ve süreç kontrolünü bulanık kurallar sağlamaktadır.

Örneğin sıcaklığı 10 ^{o}C yükselt veya 5 ^{o}C azalt gibi kesin kurallar değil biraz azalt, biraz yükselt gibi bulanık terimlerle ifade edilen kurallarla kontrol edilmektedir. Bir Danimarka firması bu sürecin kontrolü için uzman operatörlerin kullandığı 50-60 pratik kuraldan hareketle bir mikro kontrolör oluşturmuşlar ve sonuç olarak sabit ürün kalitesi ve yakıtta büyük tasarruf elde etmişlerdir.

Daha sonraları bulanık mantık, insansız uçakların kontrolünde, tren frenleme sistemlerinde, ABS (otomatik fren sistemi) ve ASC (otomatik vites kontrolü) kontrolünde kullanılmıştır.

5.1.3. Bulanık mantık modelinin yapısı

BM modeli 3 kısımdan oluşur, bu kısımlar Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. BM model yapısı

Birinci kısım giriş verilerinin üyelik derecelerinin belirlenmesi, ikinci kısım kural veritabanı kullanılarak giriş verilerinden çıktı verilerinin elde edilmesini sağlayan, karar verme ara yüzü. Elde edilen veriler bulanık verilerdir. Son kısım bulanık veriler gerçek değerlerine çevrilerek çıkış sonuçları elde edilir.

5.1.3.1. Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma işleminin amacı, gerçek sayılarla tanımlanan giriş değişkenlerini bulanık ifadelere çevirmektir. Burada, kesin olmayan ölçümleri ifade eden her giriş değişkeni için, bir bulanıklaştırma fonksiyonu tanımlanır. Bulanıklaştırma işlemi için öncelikle üyelik fonksiyonlarının tiplerinin, sayılarının ve sınır değerlerinin seçilmesi gereklidir.

5.1.3.2. Kural tabanı

Kural tabanı, bulanık kontrolör davranışını belirleyen kontrol kurallarını içerir. Kural tabanı çoğunlukla eğer….ise (if....then) şeklinde tanımlanmış olan kurallardan oluşur ve kolay anlaşılması amacıyla tablo haline getirilir.

5.1.3.3. Çıkarım ünitesi

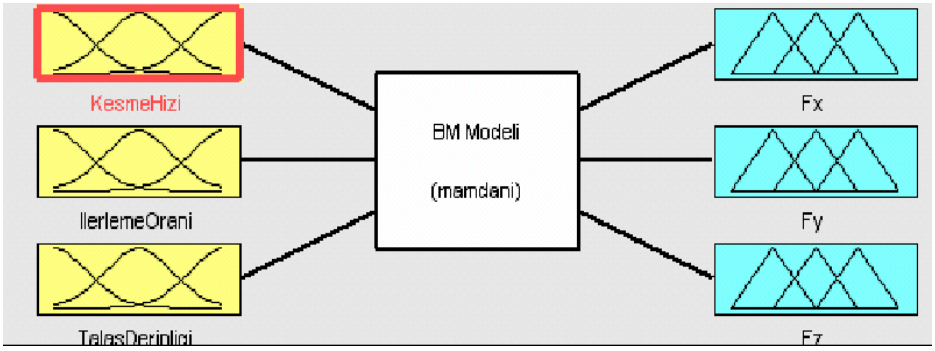
Çıkarım ünitesinin amacı, giriş değişkenlerini amaca uygun olarak, ilgili bulanık kurallar ile birleştirerek bulanık kontrol işaretini bulmaktır. Literatürde farklı bulanık çıkarım modelleri tanımlanmıştır. Bu bulanık çıkarım modellerinde en önemlileri Mamdani ve Sugeno'dur.

5.1.3.4. Durulaştırma

Bu ünite, çıkarım ünitesinden gönderilen kontrol işaretinin fiziksel ve kesin sayılara getirilmesini sağlamaktadır.

5.1.4. Bulanık mantık tahmin modeli örnekleri

Gündüz (2006) tarafından yapılan bulanık mantık modelinde kesici uca X, Y, Z yönünde etki eden kuvvetleri; kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği parametrelerine bağlı olarak bulanık mantık modeli ile tahmin etmiştir. Mamdani çıkarım ünitesi ve üçgen üyelik fonksiyonu kullanmıştır. 37 adet kural oluşturmuştur. Gündüz'ün kurmuş olduğu bulanık mantık model yapısı Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Gündüz tarafından oluşturulan BM modeli

İlkaz (2002) yapmış olduğu tornalama işleminde kesme parametrelerinin belirlemesi için bulanık mantık modelini kullanmıştır. Kesme parametrelerini; işlenecek malzemeye, kesici uç malzemesine ve kullanılan takım tezgahının gücüne göre belirlemiştir.

Özkan (2006) yapmış olduğu çalışmasında tornalamada farklı talaş açısı, yaklaşma açısı ve kesme hızı değerlerinde oluşan teğetsel kesme kuvveti, itme radyal kuvveti, ilerleme kuvveti ve takım ucu sıcaklığının bulanık mantık yöntemiyle modellemesini yapmıştır. Çıkarım mekanizması olarak Mamdani yöntemini seçmiştir. Toplam 64 adet kural oluşturmuştur. Özkan'ın kurmuş olduğu bulanık mantık model yapısı Şekil 5.4'de verilmiştir.

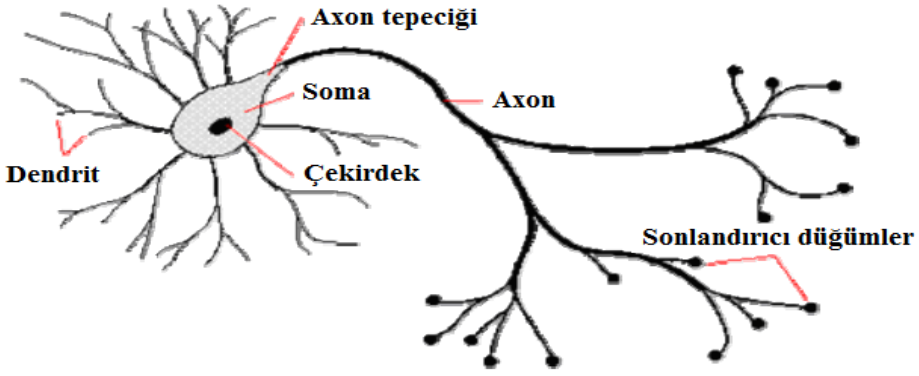


Şekil 5.4. Özkan tarafından oluşturulan BM modeli

5.2. Yapay Sinir Ağları

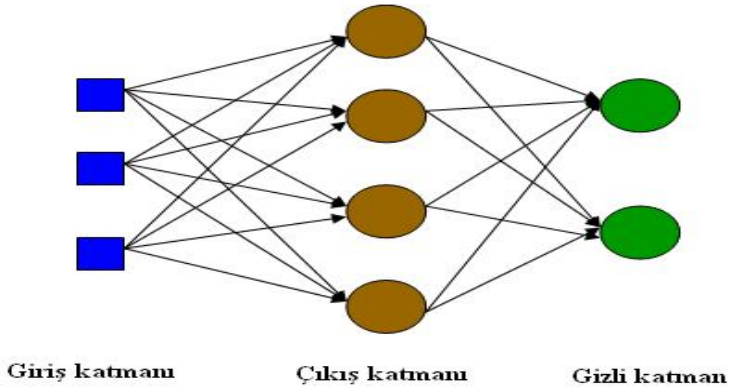
Yapay Sinir Ağları (YSA) insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yoluyla yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi kabiliyetleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek maksadıyla geliştirilen bilgisayar yazılımlarıdır (Özkan 2006).

Bir sinir ağı basit proses elemanlarının nöronlar arası bağlantılarının toplamıdır. Sinir ağının her bağlantısı bir ağırlıkla bağlantıya sahiptir. Yapay sinir ağı insan beynine göre gevşek modellenmiş bir sistemdir. Geliştirilmiş donanım veya ileri teknoloji yazılım programlarıyla benzetilmeye çalışılan bir sistemdir. Basit proses elemanlarının çoklu katmanları nöronlar olarak adlandırılır. Bu bağlantıların güçlerini sunan bağlayıcının farklı katsayıları ile her bir nöron komşularının bazılarına bağlanır. Öğrenme bu güçlerin düzeltilmesi ile başarılır. Bu yüzden tüm ağ çıktıya uygun sonuçlar sağlar. Sinir ağının temel birimi, yapay nöronlar doğal nöronların dört temel fonksiyonuna benzetilir. Bütün doğal sinirler dört temel öğeden oluşur: dentritler, soma, axon ve sinapstır. Bir biyolojik sinir hücresi Şekil 5.5'de verilmiştir. Temel olarak bir biyolojik nöron başka kaynaklardan girdileri alır, bazen de onları birleştirir. Sonuçta doğrusal olmayan operasyonlar çalışır ve final sonucu da çıktı olur.



Şekil 5.5. Biyolojik sinir hücresi (Özkan 2006)

Yapay sinirler biyolojik sinirden çok daha basittir. Basit bir yapay sinir ağı modeli Şekil 5.6'de verilmiştir. Yapay sinir ağlarının bağlantı mimarisi, proses elemanı ve eğitim (öğrenme) süreçlerinden oluşur (Gündüz 2006).



Şekil 5.6. Yapay sinir ağı modeli

5.2.1. Yapay sinir ağlarının uygulama alanları

Yapay sinir ağları, hem yapısal açıdan hem de öğrenme algoritmalarının çeşitliliği karmaşık problemlerin çözümünde tasarımcıya oldukça farklı imkanlar sunması bu yöntemin birçok alanda kullanımına neden olmaktadır. Bugün yapay sinir ağları; oldukça fazla girdi-çıktı verilerine sahip Kaotik sistemlerin denetiminden robot uygulamalarına, borsa ve işletme yönetiminden tıp alanı, savunma sanayinden elektronik ve haberleşme sistemlerine, görüntü ve ses işlemeden optimizasyon ve sinyal işlemeye kadar birçok alanda başarı ile uygulanmaktadır. Bu konuda gelecekte sesle kontrol edilebilen cihazlar ve güvenlik sistemleri, hatta sahibinin sesiyle çalışan sistemler çok uzak değildir (Hamamcı 2004).

Genel olarak yapay sinir ağları; tahmin, sınıflandırma, veri ilişkilendirme, veri kavramsallaştırma ve veri süzme gibi işlemleri yapabilmektedir.

5.2.2. Yapay sinir ağı hücresi

Yapay sinir ağı beş temel elemandan oluşmaktadır (Özkan 2006).

1. Girdiler
2. Ağırlıklar
3. Toplama fonksiyonu
4. Aktivasyon fonksiyonu
5. Hücrenin çıktısı

Burada girişler dış kaynaklardan, diğer işlem elemanlarından veya kendi kendisinden gelen işaretlerdir. Bu işaretler, kaynağına göre kuvvetli veya zayıf olabileceğinden ağırlıkları da farklıdır. Ağırlıklar yapay hücreye gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Ağırlıklar +/-, sabit veya değişken değer alabilirler. Toplama fonksiyonu bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Aktivasyon fonksiyonu, hücreye gelen net girdiyi işleyerek karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Hücrenin çıktısı aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen çıktı değeridir. Üretilen çıktı dış ortama veya bir başka hücreye gönderilir. Hücre kendi çıktısını kendisine girdi olarak gönderebilir.

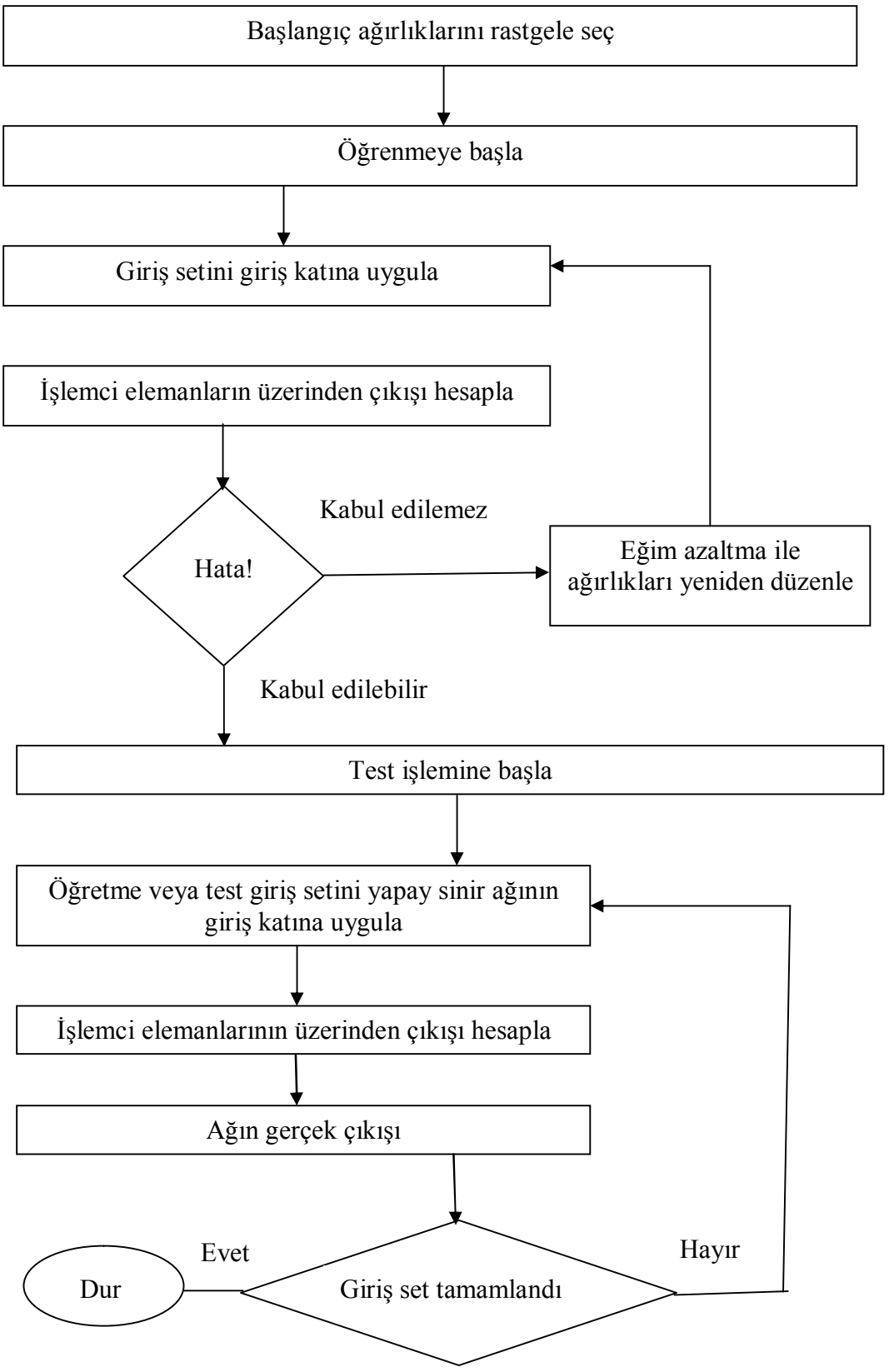
5.2.3. Yapay sinir ağlarının çalışma şekli

Yapay sinir ağlarının iki türlü çalışma şekli vardır. Biri eğitme diğeri kullanma aşamasıdır. Bir yapay sinir ağlarının kullanılabilmesi için önce eğitilmesi gerekir (Hamamcı 2004).

Eğitme aşamasında yapay sinir ağlarının içindeki düğümlerin (node) birbirine bağlantı yüzdelerini gösteren ve ağırlık diye tabir edilen değerler hesaplanır. Eğitme aşamasında ağırlıkların hesaplanabilmesi için yapay sinir ağlarına girişler ve karşılık gelen çıkışlar verilmektedir. Yapay sinir ağları için öğrenme bu giriş ve çıkış verileri arasında bir çeşit bağlantı kurmak olarak tanımlanabilir.

Kullanma aşamasındaki algoritma eğitme aşamasına göre daha basittir. Dolayısıyla yapay sinir ağları kullanma aşamasında eğitme aşamasına göre daha hızlı çalışır. Yani bir kere tam manasıyla eğitilmiş olan bir yapay sinir ağları eğitme aşamasında güçlükler çıkarmış olsa da, kullanma aşamasında özellikle hız açısından o kadar sorun çıkarmaz. Kullanma aşamasında girişlere karşılığı istenen değerler konulur. Eğitme aşmasında hesaplanan ağırlık değerleri bu aşamada, sadece giriş değerlerini verilip çıkışların yapay sinir ağları tarafından hesaplanmasında kullanılır.

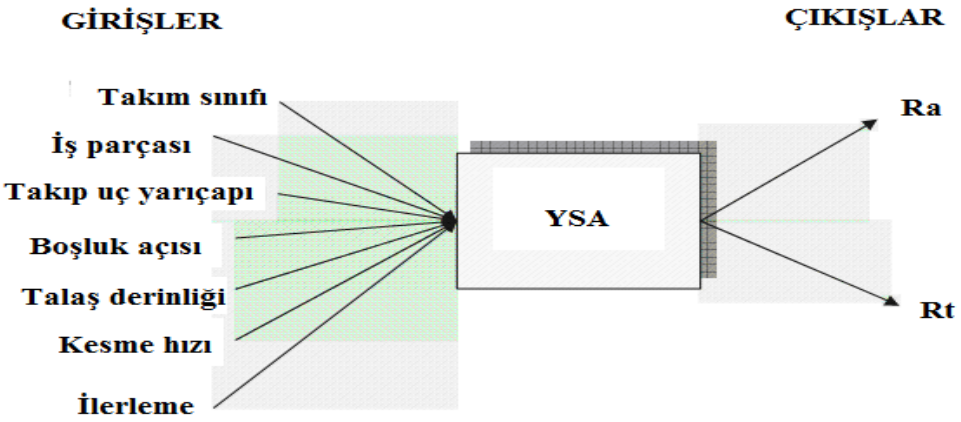
Şekil 5.7'de yapay sinir ağının çalışma şekli verilmiştir.



Şekil 5.7. Yapay sinir ağının çalışma şekli

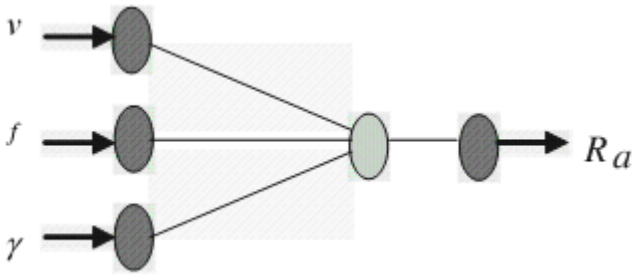
5.2.4. YSA tahmin modeli örnekleri

Zhong ve ark. (2006) yapmış oldukları çalışmalarında tornalama işleminde takım sınıfı, iş parçası, takım uç yarıçapı, boşluk açısı, talaş derinliği, kesme hızı ve ilerlemeyi giriş olarak almışlar; çıkış olarak da Ra ve Rt değerlerini yapay sinir ağı ile modellemişlerdir. Şekil 5.8'de Zhong ve ark. tarafından kurulmuş olan YSA yapısı görülmektedir. Toplam 304 veriden 274'ünü ağın eğitimi için, 30 veriyi de ağın test edilmesi için kullanmışlardır. Gizli katman çift katmandan oluşmaktadır. I. katmanda 10-15 nöron ve II. katmanda 15-20 nöron kullanmışlardır.



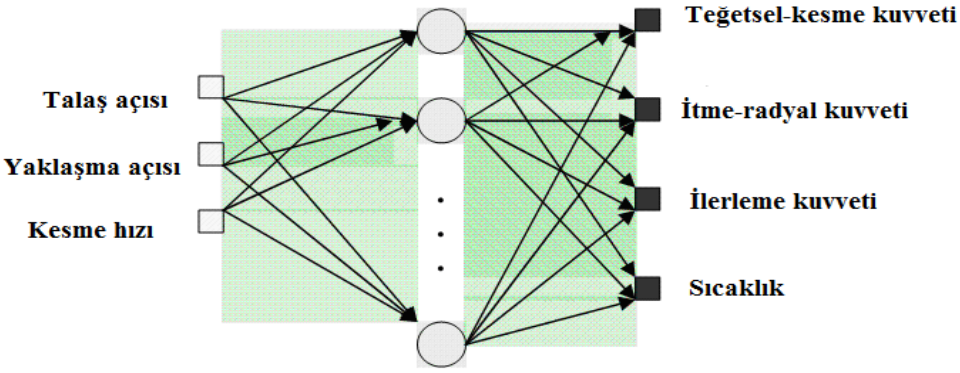
Şekil 5.8. Zhong ve ark. kurmuş oldukları YSA yapısı

Zain ve ark. (2010) yılında yapmış oldukları frezeleme işleminde giriş parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği değerlerini, çıkış olarak da ortalama yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Bunun için tek ve çift gizli katmanlı denemeler yapmışlardır. Bu deneme modellerinden en iyi sonucu 3-1-1 modelinden elde etmişlerdir. Şekil 5.9'da bu model verilmiştir.



Şekil 5.9. Zain ve ark. tarafından oluşturulan YSA yapısı

Özkan (2006) yapmış olduğu çalışmasında tornalamada farklı talaş açısı, yaklaşma açısı ve kesme hızı değerlerinde oluşan teğetsel kesme kuvveti, radyal kuvvet, ilerleme kuvveti ve takım ucu sıcaklığının yapay sinir ağı yöntemiyle modellemesini yapmıştır. Özkan'ın kurmuş olduğu yapay sinir ağı model yapısı Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Özkan tarafından oluşturulan YSA yapısı

5.3. Regresyon analizi ile tahmin

5.3.1. İstatistik

Bir tanım olarak istatistik; belirsizlik altında bir konuda karar verebilmek amacıyla, ilgilenilen konuya ilişkin verilerin toplanması, düzenlenmesi, özetlenmesi, çözümlenmesi ve sonuçlarının yorumlanmasına yönelik olarak kullanılan yöntemler topluluğu olarak ifade edilebilir. Kısacası veri bilimidir ya da verilerin dilidir (Balce ve Demir 2007).

Yaşantımızın her anında bir karar verme durumu söz konusudur. Bu kararları verirken sahip olduğumuz bilgileri düşünce sürecinden geçirerek sonuca varmaya çalışırız. "Peki sahip olduğumuz bilgiler her zaman yeterli midir? Bu bilgileri nasıl elde ediniriz?" vb. sorulara vereceğimiz cevaplar bizi istatistiğe yönlendirecektir. İhtimallerin bu kadar çok olduğu yaşamda elbette ki alınacak kararların, içinde bulunulan koşulların en iyi biçimde değerlendirilerek alınması gerekmektedir. Bu değerlendirme sürecinde en güçlü yardımcı araçlardan birisi istatistiktir. İstatistik, matematiğe dayalı olan kuramını uygulamaya geçirerek her türlü alanda büyük katkılar sağlamaktadır. Günümüzde ekonomi, işletme, sağlık, spor, mühendislik, genetik, astronomi, sanat vd. hemen hemen tüm alanlarda kullanılan istatistiksel yöntemler, hızla artan bir öneme sahiptir. Bu nedenle istatistiğin doğru biçimde anlatılması ve tanımlanması gerekmektedir. Burada temel düzeyde istatistik konuları ele alınarak, insanlara günlük yaşamlarında ya da iş yaşamlarında yararlı olacak bilgileri vermek amaçlanmalıdır (Balce ve Demir 2007).

5.3.2. Deneye ve gözleme dayalı çalışmalar

İstatistiksel araştırmaların ortak amaçlarından biri nedenselliği incelemek ve özelde tahmin edicilerdeki veya bağımsız değişkenlerdeki bir değişimin bağımlı değişken üzerindeki etkisini incelemektir. Nedenselliği ele alan temelde iki tür istatistiksel yöntem bulunur: deneysel çalışmalar ve gözleme dayalı çalışmalar. İki çalışma türünde de bağımsız değişken veya değişkenlerdeki farklılıkların gözlenen bağımlı değişken üzerindeki etkisi incelenir. Bu çalışma türlerinde oluşan fark ise

yöntemin uygulanma biçimidir. Yöntemlerin ikisi de verimli sonuçlar ortaya koyabilir.

Deneysel yöntemde çalışılan sistem üzerinde bir takım ölçümler yapılır, sistem üzerinde oynamalar yapılır ve bu oynamaların sistem üzerinde etkisi olup olmadığını anlamak için tekrar ölçüm yapılır. Gözleme dayalı yöntemde ise sisteme müdahale olmaz, bunun yerine veri toplanır ve tahmin edicilerle (bağımsız değişkenler) tepki değişkenleri (bağımlı değişkenler) arasındaki örüntüler araştırılır (Balce ve Demir 2007).

Bir deneyin temel adımları;

1. Araştırmanın planlanması, bilgi kaynaklarının, araştırmanın konusunun belirlenmesi, öne sürülen yöntemdeki yönlerin ele alınması,
2. Sistemin modellenmesi, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiye odaklanma,
3. Bir gözlem grubunu ortak yönlerini ele alacak şekilde özetlemek,
4. Gözlemlediğimiz dünya hakkında sayıların bize neler söylediğini açıklamak,
5. Çalışmanın sonuçlarını belgelemek ve sunmaktır.

5.3.3. Regresyon analizi

Regresyon analizi bağımlı değişken ile bir veya daha çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. Bir tek bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon tek değişkenli regresyon analizi, birden fazla bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon analizi de çok değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılmaktadır (Orhunbilge 1996).

Bağımlı değişken (Y) ile bir bağımsız değişken (X_1) arasındaki bağıntıyı inceleyen yönteme basit regresyon, bir bağımlı değişken (Y) ile iki ya da daha fazla bağımsız değişken (X_1, X_2, X_3,….., X_P) arasındaki bağıntıları modeller aracılığı ile inceleyen yönteme ise çoklu regresyon adı verilmektedir. Burada verilen bağımlı değişkenlerin, deney esnasında ardışık olarak eklenerek çoklu regresyon analizini oluşturur. Böylece analizin sonunda gözlemlerin sayısının her eklenen değişkenle azaldığı görülür. Kurulan modellerin geçerliliğini analiz için yararlanılan yönteme ise regresyon analizi adı verilmektedir (Biçkici 2007).

Regresyon analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında bir ilişki var mıdır? Eğer bir ilişki varsa bu ilişkinin gücü nedir? Değişkenler arasında ne tür bir ilişki vardır? Bağımlı değişkene ait ileriye dönük değerleri tahmin etmek mümkün müdür ve nasıl tahmin edilmelidir? Belirli koşulların kontrol edilmesi durumunda özel bir değişken veya değişkenler grubunun diğer değişken veya değişkenler üzerindeki etkisi nedir ve nasıl değişir? gibi sorulara cevap aranmaya çalışılır.

Regresyon analizinin temelinde; gözlenen bir olayın değerlendirilirken, hangi olayların etkisi altında olduğunun araştırılması yatmaktadır. Bu olayların arasındaki kuşkulanılan bu ilişkinin nicel verilere dayanması gerekmektedir. Regresyon analizi yapılırken, gözlem değerlerinin ve etkilenilen olayların bir matematiksel gösterimle yani bir fonksiyon yardımıyla ifadesi gerekmektedir. Kurulan bu modele regresyon modeli denilmektedir. Regresyon analizi yapılırken kurulan matematiksel modelde yer alan değişkenler bir bağımlı değişken ve bir veya birden çok bağımsız değişkenden oluşmaktadır. Bağımsız değişkenler kurulacak modelde bir değişkenli olarak ele alınırsa basit doğrusal regresyon, birden fazla bağımsız değişkenli olarak alınırsa çoklu regresyon modeli konusunu oluşturmaktadır. Bu çalışmada da çoklu regresyon modeli uygulanmıştır.

5.3.4. Regresyon denklemleri

Bu bölümde iki değişken arasındaki ilişki matematiksel olarak gösterilecektir. Buda bize X bağımsız değişkeninin değerleriyle Y bağımlı değişkeninin değerleri hakkında tahmin yapma olanağı verecektir.

1. Verilere uygun serpilme grafiği oluşturulur.
2. Verilere balı kalarak, doğrusal regresyon denklemi oluşturulur.
3. X değerleri esas alınarak, Y değerleri tahmin edilir.
4. Tahmin hatası ölçülür.
5. Tahmin güven aralığı belirlenir (Tekin 2006).

5.3.4.1. Basit doğrusal regresyon denklemi

En küçük kareler yöntemi, regresyon doğrusunun belirlenmesinde kullanılan matematiksel yöntemdir. Bu yöntem kullanıldığında, elde edilen çizgi, verilere en

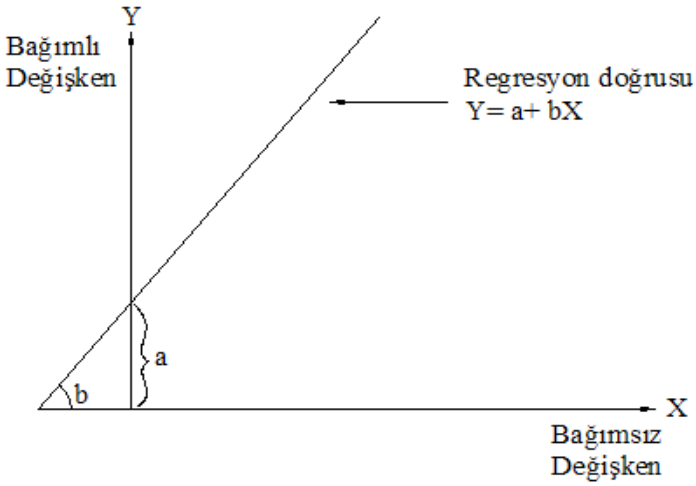
uygun regresyon doğrusudur. Çünkü bu işlem çizgiden dikey sapmaların karelerinin toplamını en aza indirger.

En küçük kareler yöntemi gerçek X değerleriyle, tahmin edilen Y değerleri arasındaki dikey sapmaların kareleri toplamı en aza indirerek regresyon denkleminin oluşturulmasında kullanılan tekniktir.

Regresyon denkleminin genel biçimi $Y' = a + bX$ şeklindedir. Bu denklemdeki a ve b katsayılarının hesaplanması için gerekli matematiksel ifade sırayla denklem (5.1) ve denklem (5.2)'de verilmiştir. Şekil 5.11'de regresyon denkleminde a ve b sabit değerlerinin konumları gösterilmiştir (Tekin 2006).

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \qquad (5.1)$$

$$a = \bar{Y} - b\,\bar{X} \qquad (5.2.)$$



Şekil 5.11. Regresyon denkleminde a ve b sabit değerlerinin konumları

X : Bağımsız değişkenin değeri

Y : Bağımlı değişkenin gerçek değeri

Y' : X değişkeninin bir değeri veriyken Y değişkeninin tahmin değeri

$\bar{X}$: Bağımsız değişkenin ortalaması

$\bar{Y}$: Bağımlı değişken ortalaması

a : Doğrunun Y eksenini kestiği ($X = 0$ olduğu) noktanın yüksekliğidir.

b : Doğrunun X eksenine göre yaptığı açının katsayısı olarak standart bir anlatımıdır.

n : Örnek kütle birim sayısı

e : u hata teriminin gerçek değerinin tahmin ifadesi

Regresyon doğrusu etrafındaki sapmaların tahmini ölçüsü olan standart hata formülü denklem (5.3)'de verilmiştir.

$$S_{y.x} = \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(X - \bar{X})^2}{\sum (X - \bar{X})^2}} \tag{5.3}$$

Verilerin herhangi bir X değerine ait Y değerine ortalamasının güven aralığı denklem (5.4)'deki eşitlik ile hesaplanır.

$$Y' \pm t(S_{y.x}) \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(X - \bar{X})^2}{\sum (X - \bar{X})^2}} \tag{5.4}$$

5.3.4.2. Çoklu regresyon denklemi

Çoklu regresyon denklemi bağımlı değişkene etkiyen parametre sayısının artmasıdır. Bu durumda elde edilen denklem $Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2$ şeklinde olur. Bu denkleme göre a, b_1 ve b_2'nin değerlerini bulmak için denklem (5.5)'deki gibi üç eşitlik kullanılır (Tekin 2006).

$$\begin{aligned} \sum Y &= a + b_1 \sum X_1 + b_2 \sum X_2 \\ \sum X_1 Y &= a \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1 X_2 \\ \sum X_2 Y &= a \sum X_2 + b_1 \sum X_1 X_2 + b_2 \sum X_2^2 \end{aligned} \tag{5.5}$$

Veriler uygun hale getirilir. Sonra $\bar{Y}$, $\bar{X}_1$ ve $\bar{X}_2$ ortalama değerleri hesaplanır. Standart hata ve güven aralığı basit doğrusal regresyon denklemindeki gibi hesaplanır.

5.3.4.2.1. I. dereceden (Lineer) regresyon modeli

Bağımlı değişken T, bağımsız değişken x, y, z kabul edilirse lineer regresyon eşitliği (5.6)'daki denklemle ifade edilir.

$$T = k_o + k_1 x + k_2 y + k_3 z \tag{5.6}$$

Burada k_o sabit; k_1, k_2, k_3 ise x, y, z bağımsız değişkenlerinin katsayılarıdır.

5.3.4.2.2. II. dereceden regresyon modeli

Bağımlı değişken T, bağımsız değişken x, y, z kabul edilirse II. dereceden regresyon eşitliği (5.7)'deki denklemle ifade edilir.

$$T = k_o + k_1 x + k_2 y + k_3 z + k_4 x^2 + k_5 y^2 + k_6 z^2 + k_7 xy + k_8 xz + k_9 yz \tag{5.7}$$

5. 3.4.2.3. Logaritmik regresyon denklemi

Bağımlı değişken T, bağımsız değişken x, y, z kabul edilirse logaritmik regresyon eşitliği (5.8)'deki denklemle ifade edilir.

$$T = k_o + k_1 Log(x) + k_2 Log(y) + k_3 Log(z) \tag{5.8}$$

MİNİTAB 14 programındaki regresyon analizi için kurulan model sonucunda elde edilen veriler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Belirtme katsayısı (R^2) olarak bilinen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı ise modeldeki açıklama miktarının açıklanamayan miktara olan oranıdır. Regresyon sonuçlarında belirtme katsayısı (R^2) 1'e yakın bulunursa bağımlı değişkendeki değişimin büyük bir kısmı bağımsız değişken tarafından açıklanabilmektedir. Bulgulardaki katsayı

ifadesi değerlerdeki 1 birimlik değişimin denklemi ne kadar etkilediğini gösterir. Regresyon katsayısı bağımsız değişkende bir birimlik değişimin bağımlı değişkende ne kadar etkiye sahip olacağını ifade eder. Katsayıların standart hatası ise katsayılardaki standart sapmayı ifade eder. Sabit ve regresyon katsayısı için hata değerleri istatistiklerinin sonucu arasındaki farkı ifade eder. Anlamlılık ise regresyon analizine etki eden bağımsız değişkenlerin denklemde anlamlı olup olmadığını test etmektedir. Anlamlılık<0,05 olursa regresyon denkleminde bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkisinin olduğu sonucuna varılır.

5.3.5. Regresyon tahmin modeli örnekleri

Huang ve Chen (2001) yapmış oldukları çalışmalarında yüzey pürüzlülüğü değerinin çoklu regresyon modelini oluşturmuşlardır. Bağımsız değişken olarak ilerleme (F), kesme hızı (S), talaş derinliği (D) ve titreşim (V) değerlerini almışlardır. Oluşturulan eşitlik denklem (5.9)'da verilmiştir. β ifadesi katsayıları ifade etmektedir. R^2 değerini 0,90 olarak bulmuşlardır. Bu denklemde en önemli parametre olarak ilerleme, titreşim, kesme hızı ve talaş derinliği olarak belirlemişlerdir.

$$R = \beta_o + \beta_S S + \beta_F F + \beta_D D + \beta_V V + \beta_{SF} SF + \beta_{SD} SD + \beta_{SV} SV + \beta_{DF} DF + \beta_{DV} DV + \beta_{FV} FV + \beta_{SDF} SDF + \beta_{SDV} SDV + \beta_{SFV} SFV + \beta_{DFV} DFV + \beta_{SDFV} SDFV \quad (5.9)$$

Demirayak ve Çakır (2007) yapmış oldukları çalışmalarında tornalama işleminde ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerini farklı iki takım için IC9007 ve IC 907, regresyon yöntemlerinden I.dereceden, II. dereceden ve logaritmik olarak modellemişlerdir. Bağımsız değişken olarak kesme hızı (V), ilerleme (f) ve talaş derinliği (a)'dir. Elde ettikleri I. dereceden eşitlikler denklem (5.10)'da, II. dereceden eşitlikler denklem (5.11)'de, logaritmik eşitlikler denklem (5.12)'de verilmiştir. I. dereceden denklemler için sırayla R^2'leri 0,93 ve 0,94 olarak bulmuşlardır. II. dereceden denklemler için sırayla R^2'leri 0,98 ve 0,95 bulmuşlardır. Logaritmik denklemler için sırayla R^2'leri 0,97 ve 0,96 bulmuşlardır.

$$Ra_{(IC9007)} = -0,03408 - 0,004951V + 12,571053f + 0,106111a$$
$$Ra_{(IC907)} = -0,533368 - 0,001138V + 9,882895f + 0,235778a \quad (5.10)$$

$$Ra_{(IC9007)} = 2,228504 - 0,018730V - 4,875512f + 0,216281a + 0,000071V^2 +$$
$$79,888889f^2 - 0,058a^2 - 0,057226Vf + 0,000621Va - 0,204825fa$$
$$Ra_{(IC907)} = -0,155678 + 0,007654V - 1,737500f + 0,046754a - 0,0000171V^2 + \quad (5.11)$$
$$33,916667f^2 + 8,22E-14a^2 - 0,013904Vf + 0,000567Va + 1,613596fa$$

$$Ra_{(IC9007)} = 1,668979 - 0,485202InV + 1,434333Inf + 0,122558Ina$$
$$Ra_{(IC907)} = 1,11035 - 0,121693InV + 1,271060Inf + 0,252474Ina \quad (5.12)$$

5.4. Varyans Analizi (ANOVA)

Yakın zamana kadar sadece üniversitelerde ve araştırma kurumlarında çalışan araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalardan elde edilen verileri bilimsel bir yöntemle de irdelemek amacıyla kullanılan istatistik teknikler, artık sınırların giderek kalktığı, mal ve hizmetin ülkeler ve bölgeler arasında daha rahat dolaştığı günümüzde, zorlaşan rekabet şartları nedeniyle üretilen mal ve hizmetlerin denetlenmesinden, kaynakların etkin kullanımına kadar geniş bir yelpazede gerek özel sektör gerekse resmi kurumlar tarafından artık daha da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Varyans analizi tekniği, gözlenen değişimi kaynaklarına ayırarak araştırmaya konu olan bağımsız değişken ya da değişkenlerin, bağımlı değişken üzerindeki etkilerini karşılaştırmayı sağlayan, başta biyoloji olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Varyans analizinde bu bağımsız değişkenlere faktör, bağımsız değişkenin aldığı değerlere de faktör seviyeleri ya da muameleler denir. Bazen yapılan araştırmalar birden çok faktörün incelenmesini gerektirebilir. Faktörlerin birlikte incelenmesi amacıyla faktöriyel deneme düzenleri kullanılır. Faktöriyel denemelerin tek yönlü varyans analizine nazaran en büyük avantaj, faktörler arası etkileşimin (interaksiyon) araştırılabilmesine imkan vermesidir. Bu nedenle faktöriyel denemeler, tarımsal araştırmalarda, sosyal bilimlerde ve tıpta yaygın kullanım alanı bulmuştur (Akbulut 2008).

Tek yönlü varyans analizi, bir değişken açısından ikiden fazla grup arasında fark olup olmadığını test etmekte kullanılır. Çok değişkenli tek yönlü varyans analizi ise; her bir grupta iki veya daha fazla değişken olması durumunda kullanılır. Diğer bir değişle ikiden çok grubun ortalama vektörleri karşılaştırılır (Biçkici 2007).

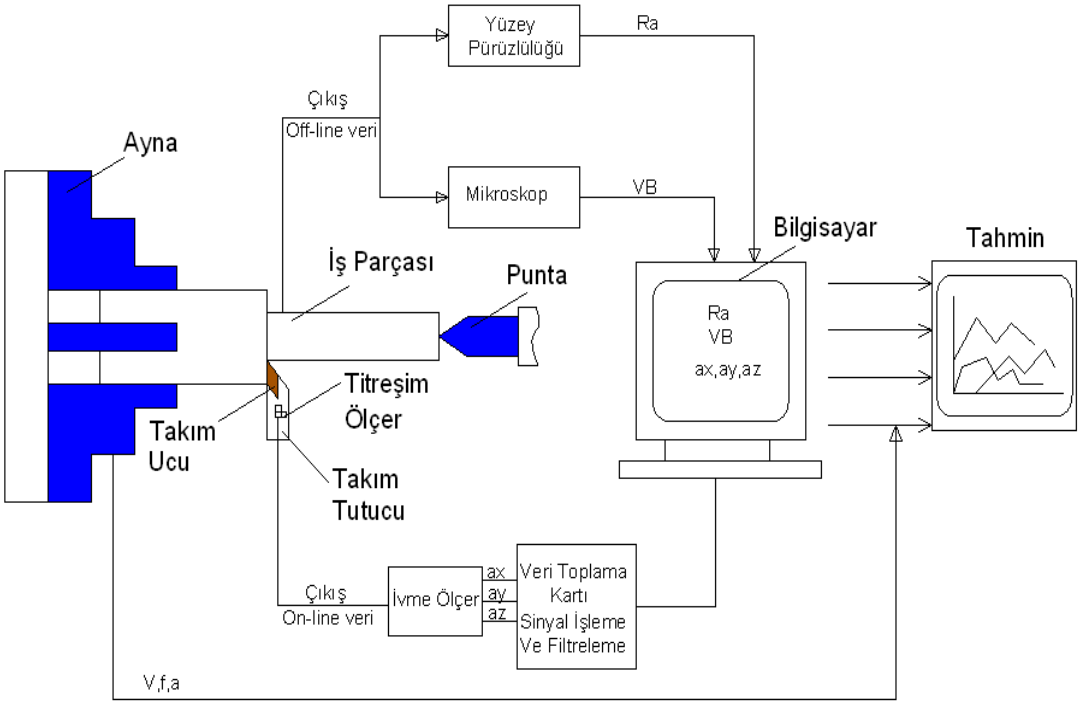
Varyans analizinde SPSS programı sonuç tablosundaki kareler toplamı artıkların ve tahminlerin kareleri toplamına eşittir. Toplam serbestlik derecesi toplam veri sayısının bir eksiğidir. Kareler ortalamasında tahminlerin kareleri ortalaması tahmin değerlerinin karelerinin toplamının tahmin değerlerinin serbestlik derecesine bölünmesi ile artıkların kareleri ortalaması da artık değerlerinin karelerinin toplamının artık değerlerinin serbestlik derecesine bölünmesi ile bulunur. Önem ise bu denklemin anlamlığını ortaya koyar.

6. TORNALAMADA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ve TİTREŞİMİN YAPAY ZEKA TEKNİKLERİYLE TAHMİN EDİLMESİ

6.1. Materyal ve Metot

6.1.1. Deney numunesi

Deney numunesi olarak; Ø110x600 mm ebatlarında AISI 4140 (SAE 4140, DIN 42CrMo4) ıslah çeliği kullanılmıştır. AISI 4140 çeliğini yüksek dayanım gerektiren makina parçalarının, dişli çarkların, bağlantı çubuklarının, cıvataların, pimlerin, aksların üretiminde kullanılmaktadır. Tablo 6.1'de deney numunesinin kimyasal birleşimi verilmiştir. Parçalar ısıl işleme verilemeden önce alın ve yüzey tornalama işlemi yapılmış, iki adet punta deliği açılmıştır. Isıl işlem olarak malzeme 920 ^{o}C'de sulandırılıp ardından 350 ^{o}C'de 2,5 saat menevişlenerek gerginlik giderme ve sertlik düşürme sağlanmıştır. Bu sayede malzemenin sertliği 62 HRC'den 51 HRC'ye düşürülmüştür. Isıl işlemden dolayı yüzeyde oluşan kabuk tornalanarak alınmıştır. Şekil 6.1'de deney şeması gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Deney şeması

Tablo 6.1. AISI 4140 çeliğinin kimyasal birleşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Sn
0.40	0.28	0.88	0.016	0.002	0.91	0.17	0.19	0.017	0.13	0.008

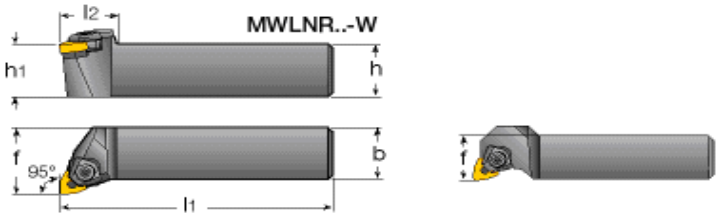
6.1.2. Kullanılan kesici takım ve takım tutucusu

Kesici takım olarak çalışmamızda ISCAR marka 0,8 mm uç yarıçapına sahip WNMA 080408 IC5005 CVD kaplamalı kesme uçlar kullanıldı. Takım yüzeyi Al_2O_3 ve TiC kaplanmıştır. Şekil 6.2'de deneylerde kullanılan kesici uç gösterilmiştir.



Şekil 6.2. WNMA 080408 IC 5005 kesici takım

Takım tutucu olarak da ISCAR MWLNR 2525M-0.8W kullanıldı. Şekil 6.3'de takım tutucu, Tablo 6.2'de takım tutucunun boyutları verilmiştir.



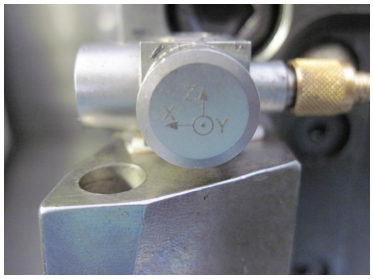
Şekil 6.3. Takım tutucunun kesitleri

Tablo 6.2. Takım tutucunun ölçüleri (mm)

	h	b	h1	l1	l2	f
MWLNR 2525M-08W	25.0	25.0	25.0	150.00	30.0	32.0

6.1.3. Veri alma ekipmanları

Titreşim ölçümü için Kistler marka 5134 tip ivmeölçer kullanılmıştır. Şekil 6.4'de titreşim ölçüm sensörü ve titreşim ölçüm sensörünün sistemdeki yerleşimi görülmektedir.



Şekil 6.4. Deney düzeneğinde titreşim ölçümü için sensörün yerleşimi

İşlenen numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerini ölçmek için Mitutyo SJ 201 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Şekil 6.5'de cihaz görülmektedir.



Şekil 6.5. Mitutyo SJ 201 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

6.1.4. Deney tasarımı

Kesme parametreleri olarak üretici firma kataloguna göre üç farklı kesme hızı (V), üç farklı ilerleme hızı (f) ve üç farklı kesme derinliği (a) belirlenmiştir. Deney tasarımında tam faktöriyel yöntem kullanılarak 27 farklı deney kombinasyonu tasarlanmıştır. Tablo 6.3'de deneyde kullanılan parametreler ve seviyeleri gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Kesme parametrelerinin üç seviye değerleri

Kesme parametreleri	Seviye		
	I.	**II.**	**III.**
Kesme hızı (m/dk.)	90	120	150
İlerleme (mm/dev.)	0.18	0.27	0.36
Talaş derinliği (mm)	0.2	0.4	0.6

6.1.5. Deneyin yapılışı

Deneyler Selçuk Üniversitesi bünyesindeki İmalat Sistemleri Otomasyonu ve Bilgisayar Destekli Tasarım Üretim Araştırma ve Uygulama Merkezi (İSOMER)'nde Mori Seiki firmasına ait NL 2500 CNC torna tezgahında yapılmıştır. Deneylerde soğutma sıvısı yada gazı kullanılmamış, kuru kesme şartlarında talaş kaldırılmıştır. Torna tezgahının şekli Şekil 6.6'da ve torna tezgahının özellikleri Tablo 6.4'de verilmiştir.

Deney numunesinin yüzeyindeki tufal alma ve şekil bozukluklarını ortadan kaldırmak için 3 mm tüm yüzeyde talaş kaldırıldı. Yazılan CNC programı vasıtasıyla her deney için yeni bir uçla 260 mm boyunca tornalama yapılmıştır. Deneyler üç tekrar olarak yapılmıştır. Bu esnada titreşimler saniyede 80 veri alınarak bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Titreşim için kayıt altına alınan verilerin ortalama değerleri alınmıştır. İşlem sonunda yüzey pürüzlülüğü 120^{o} açılarla belirlenen üç noktadan ölçülmüştür. Ra için yapılan üç ölçümün ortalama değeri alınmıştır.



Şekil 6.6. Deneylerde kullanılan CNC torna tezgahı

Tablo 6.4. Mori Seiki NL 2500 torna tezgahının özellikleri

Max. tornalama çapı	366 mm
Max. tornalama uzunluğu	705 mm
X ekseninde işleme	260 mm
Z ekseninde işleme	795 mm
Max. basınç	3 MPa
Tezgah gücü	10 kw
Devir sayısı	4000 rpm
Taret takım adedi	12 adet
Hassasiyet	0,001 mm

6.2. Deneysel sonuçlar

Tablo 6.5'de deney yapıldıktan sonra elde edilen Ra ve a_z değerleri verilmiştir.

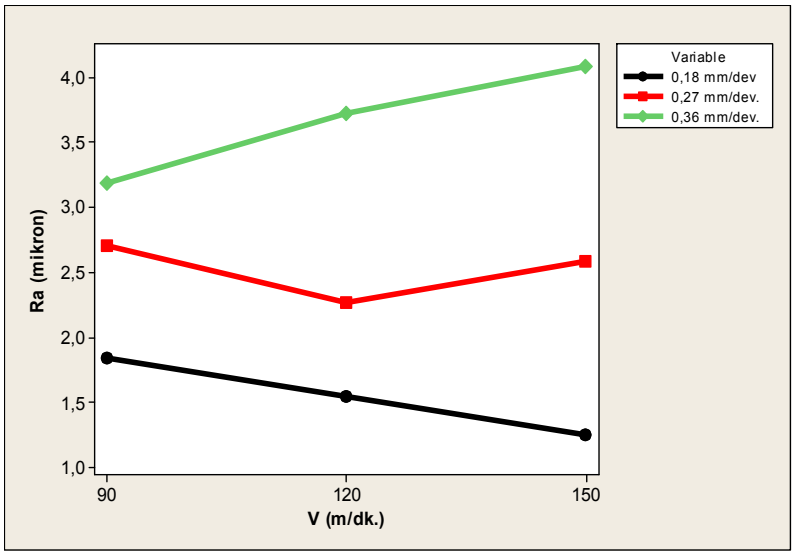
Tablo 6.5. Deney sonuçları

	Deney parametreleri			**Ölçülen sonuçlar**	
No	**V (m/dk.)**	**f (mm/dev.)**	**a (mm)**	**Ra (mikron)**	**a_z (mV/g)**
1	90	0.18	0.2	0,95	7,01
2	90	0.18	0.4	1,21	8,1
3	90	0.18	0.6	1,84	8,81
4	90	0.27	0.2	1,69	10,8
5	90	0.27	0.4	1,78	10,92
6	90	0.27	0.6	2,71	15
7	90	0.36	0.2	3,04	18,8
8	90	0.36	0.4	3,1	19,5
9	90	0.36	0.6	3,19	19,98
10	120	0.18	0.2	0,94	7,12
11	120	0.18	0.4	1,28	8,74
12	120	0.18	0.6	1,55	10,4
13	120	0.27	0.2	2,11	13,21
14	120	0.27	0.4	2,13	14,62
15	120	0.27	0.6	2,27	15,6
16	120	0.36	0.2	2,82	17,8
17	120	0.36	0.4	3,55	20,2
18	120	0.36	0.6	3,72	20,49
19	150	0.18	0.2	1,14	7,2
20	150	0.18	0.4	1,21	8,1
21	150	0.18	0.6	1,25	8,34
22	150	0.27	0.2	2,14	10,3
23	150	0.27	0.4	2,35	15,6
24	150	0.27	0.6	2,59	17,3
25	150	0.36	0.2	3,63	21
26	150	0.36	0.4	3,87	22,35
27	150	0.36	0.6	4,09	22,4

6.2.1. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) ölçümü sonuçları

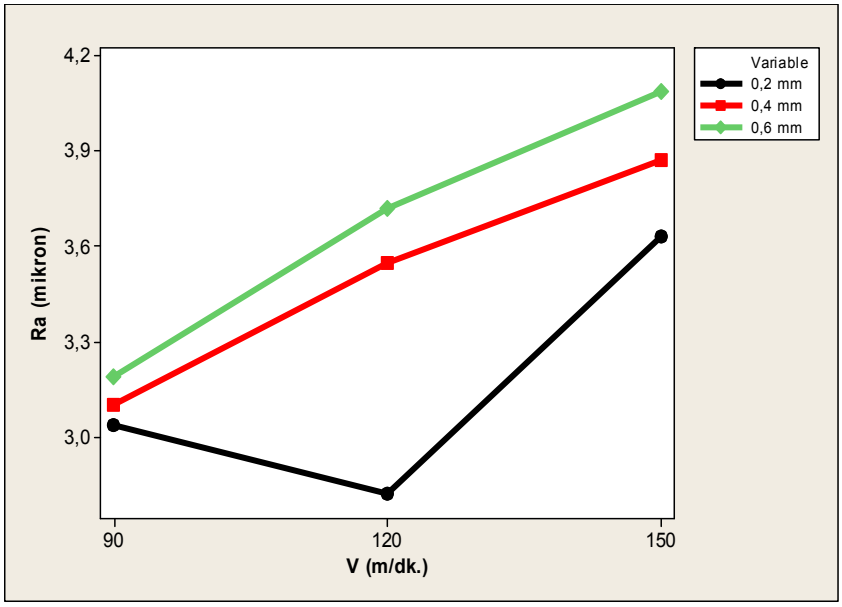
Genel olarak kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğü değeri ters orantılıdır. Kesme hızı arttıkça pürüzlülük değeri azalır, kesme hızı azaldıkça yüzey pürüzlülük değeri artar. Kesme hızı yeteri kadar yüksek olduğunda doğal frekans ve titreşim etkisi kayda değer bir önem arz etmez ve daha kaliteli bir yüzey elde edilmiş olur.

Şekil 6.7'de a=0,6 mm ve f=0,18-0,27-0,36 mm/dev. için kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafiği verilmiştir. f=0,18 mm/dev. için bu şart sağlanırken, f=0,27 mm/dev. ve f=0,36 mm/dev.'de hız artmasına rağmen ilerleme değeri de arttığı için yüzey pürüzlülüğü değerinde ilerlemenin etkisi ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.7. a=0,6 mm ve f=0,18-0,27-0,36 mm/dev. için kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafiği

Şekil 6.8'da f=0,36 mm/dev. ve a=0,2-0,4-0,6 mm için kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafiği verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi hız arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri talaş derinliğine bağlı olarak artmıştır. a=0,2 mm için V=90 m/dk.'dan 120 m/dk.'ya çıktığında f=0,36 mm/dev. değerinin önce etkisi görülmemiş, V=150 m/dk. için ilerleme değerinin etkisi ortaya çıkmıştır.

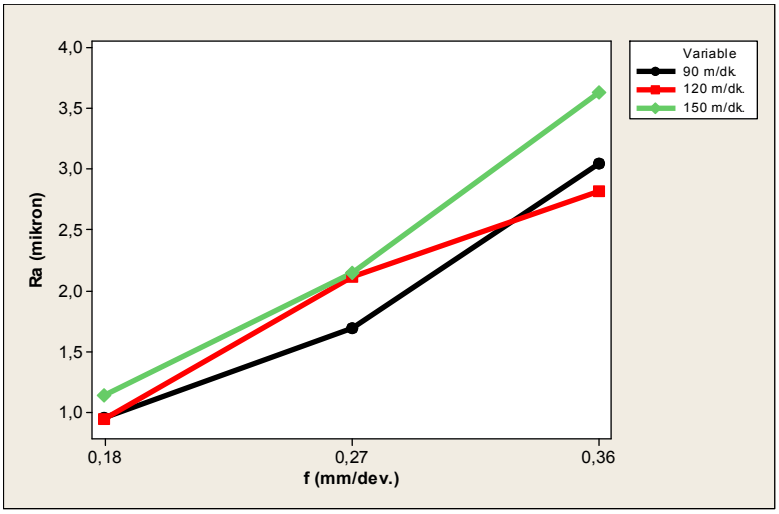


Şekil 6.8. f=0,36 mm/dev. ve a=0,2-0,4-0,6 mm için kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafiği

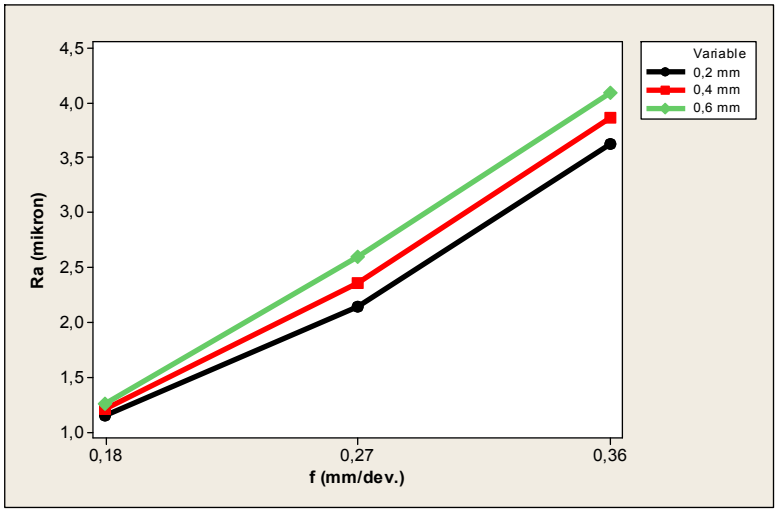
Genel olarak ilerleme ile yüzey pürüzlülüğü doğru orantılıdır. Yani ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğü artar, ilerleme azaldıkça yüzey pürüzlülüğü azalır. İlerlemedeki azalma kesme kuvvetlerini azaltarak sönümleme etkisini çoğaltmış ve böylece meydana gelen titreşimi azaltarak daha güzel bir yüzey kalitesi değerinin elde edilmesini sağlamıştır.

Şekil 6.9'da a=0,2 mm ve V=90-120-150 m/dk için ilerleme-yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri artmıştır. V=90-120-150 m/dk. için ilerleme değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri artmaktadır.

Şekil 6.10'da V=150 m/dk. ve a=0,2-0,4-0,6 mm için ilerleme-yüzey pürüzlülüğü grafiği verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ilerleme artışı yüzey pürüzlülüğü değerini arttırmaktadır.



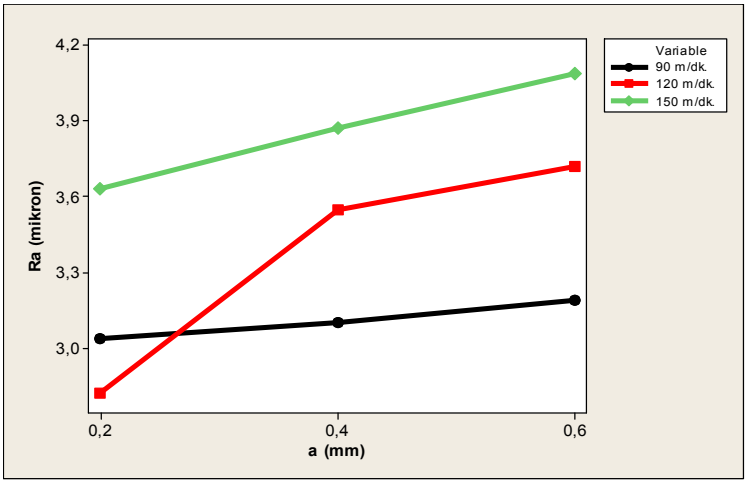
Şekil 6.9. a=0,2 mm ve V=90-120-150 m/dk için ilerleme-yüzey pürüzlülüğü grafiği



Şekil 6.10. V=150 m/dk. ve a=0,2-0,4-0,6 mm için ilerleme-yüzey pürüzlülüğü grafiği

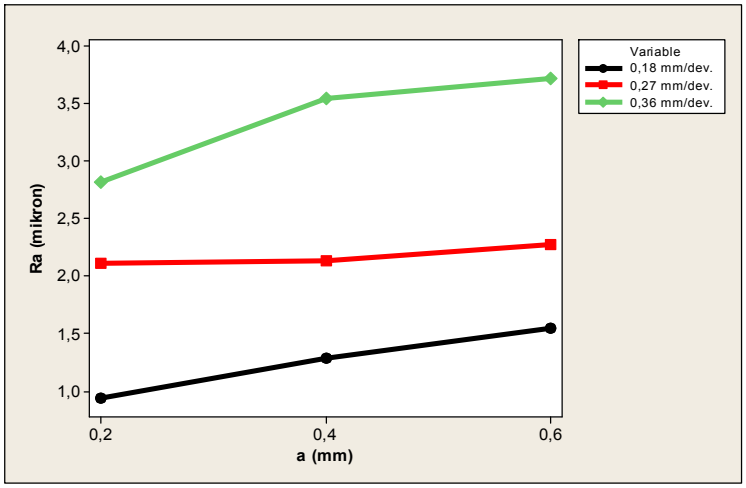
Genel bir ifade olarak talaş derinliği ile yüzey pürüzlülüğü değeri doğru orantılıdır. Talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülük değeri artar, talaş derinliği azaldıkça yüzey pürüzlülük değeri azalır.

Şekil 6.11'de f=0,36 mm/dev. ve V=90-120-150 m/dk. için talaş derinliği-yüzey pürüzlülüğü grafiğinde de aynı şekilde talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri de artmaktadır. V=90 m/dk. ve V=150 m/dk. için yüzey pürüzlülük değeri lineer (doğrusal)'e yakın bir artış göstermiştir.



Şekil 6.11. f=0,36 mm/dev. ve V=90-120-150 m/dk. için talaş derinliği-yüzey pürüzlülüğü grafiği

Şekil 6.12'de V=120 m/dk. ve f=0,18-0,27-0,36 mm/dev. için talaş derinliği-yüzey pürüzlülüğü grafiği verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri artmıştır. V=120 m/dk. için 0,27 mm/dev. ilerleme değerinde yüzey pürüzlülük değeri önemli derecede bir artış göstermemektedir.

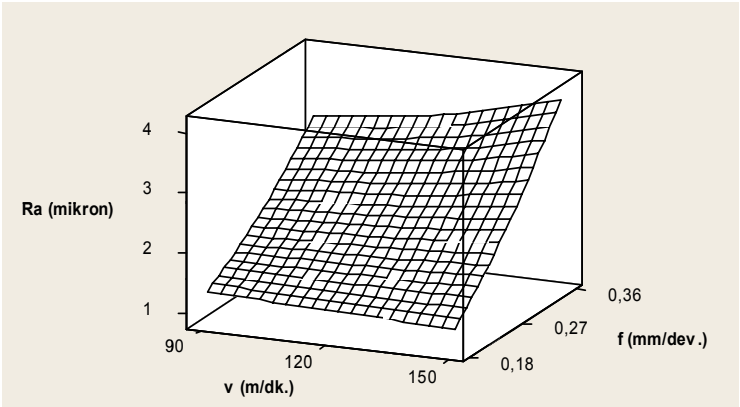


Şekil 6.12. V=120 m/dk. ve f=0,18-0,27-0,36 mm/dev. için talaş derinliği-yüzey pürüzlülüğü grafiği

Ucun ve Aslantaş (2009) yapmış oldukları sert tornalama çalışmasında AISI 52100 çeliğini 63 HRC sertlikte karbür kesici takımla işlemelerinde hız arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığını, ilerleme ve talaş derinliği arttıkça yüzey

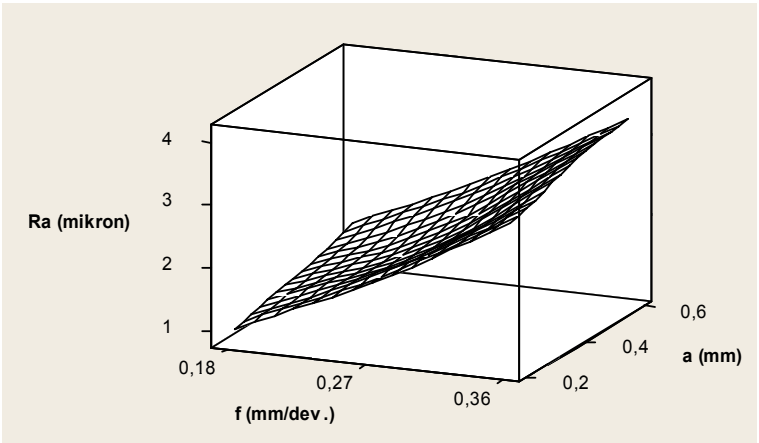
pürüzlülük değerinin arttığına ve tersi durumlarda tersi olduğu sonucuna varmışlardır. Yapmış olduğumuz sert tornalama çalışması da literatür sonuçlarına paralel sonuçlar vermiştir.

Şekil 6.13'de görüldüğü gibi ilerleme değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerinin de buna bağlı olarak bir artış gösterdiği görülmektedir. Kesme hızı değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.13. Üç boyutlu Ra-V-f grafiği

Şekil 6.14'de görüldüğü gibi ilerleme değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerinin de buna bağlı olarak bir artış gösterdiği görülmektedir. Talaş derinliği değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görülmektedir.



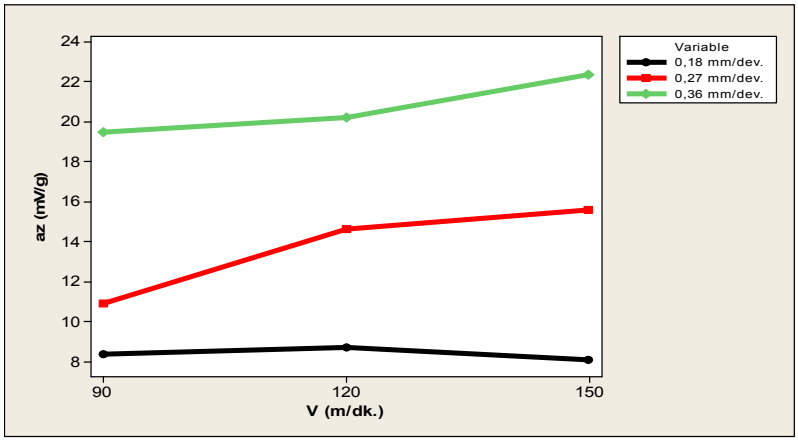
Şekil 6.14. Üç boyutlu Ra-f-a grafiği

6.2.2. Titreşim (a_z) ölçüm sonuçları

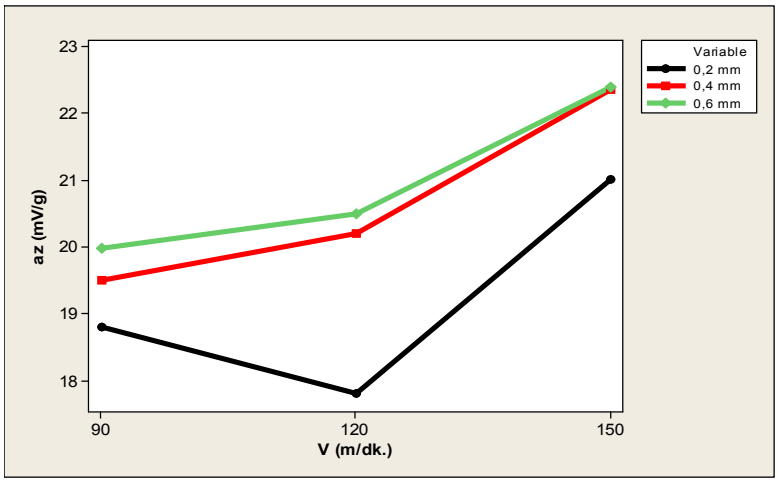
Genel olarak kesme hızı ile titreşim değeri doğru orantılıdır. Yani kesme hızı arttıkça titreşim değeri artar, kesme hızı azaldıkça titreşim değeri azalır.

Şekil 6.15'da a=0,4 mm ve f=0,18-0,27-0,36 mm/dev. için kesme hızı-titreşim grafiği verilmiştir. Şekilde f=0,27 mm/dev. ve f=0,36 mm/dev. için titreşim değeri artarken, f=0,18 mm/dev. için titreşim değeri 90 m/dk.'dan 120 m/dk.'ya doğru çok az bir artış gösterirken, 120 m/dk.'dan 150 m/dk.'ya doğru azalış göstermektedir.

Şekil 6.16'de f=0,36 mm/dev. ve a=0,2-0,4-0,6 mm için kesme hızı-titreşim grafiği verilmiştir. Talaş derinliği 0,4 mm ve 0,6 mm için titreşim değeri artış gösterirken, 0,2 mm için 90 m/dk.'dan 120 m/dk.'ya doğru azalış göstermiş sonra artmıştır.



Şekil 6.15. a=0,4 mm ve f=0,18-0,27-0,36 mm/dev. için kesme hızı-titreşim grafiği

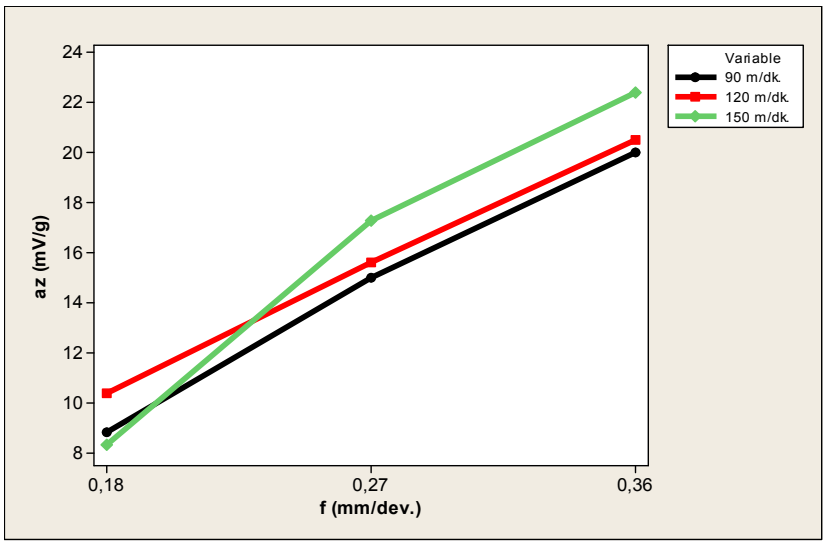


Şekil 6.16. f=0,36 mm/dev. ve a=0,2-0,4-0,6 mm için kesme hızı-titreşim grafiği

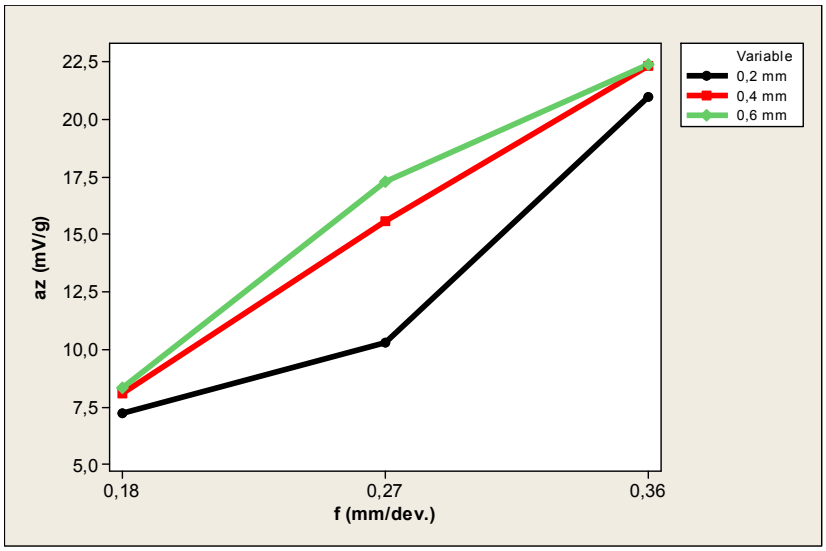
Genel olarak titreşim değeri ilerleme ile doğru orantılıdır. Yani ilerleme arttıkça titreşim değeri artar, ilerleme azaldıkça titreşim değeri azalır.

Şekil 6.17'de a=0,6 mm ve V=90-120-150 m/dk için ilerleme- titreşim grafiği verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi ilerleme değerindeki artış titreşim değerinde artışa sebep olmaktadır.

Şekil 6.18'de V=150 m/dk. ve a=0,2-0,4-0,6 mm için ilerleme- titreşim grafiği verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi ilerleme değerindeki artış titreşim değerinde artışa sebep olmaktadır.



Şekil 6.17. a=0,6 mm ve V=90-120-150 m/dk için ilerleme- titreşim grafiği

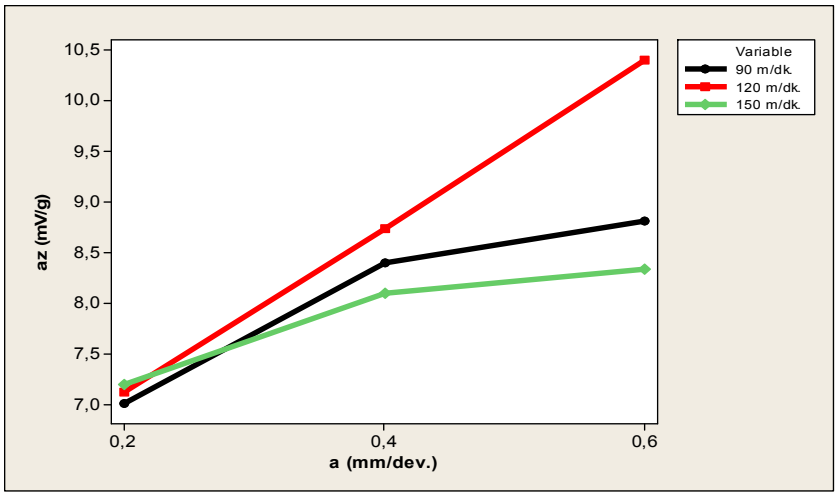


Şekil 6.18. V=150 m/dk. ve a=0,2-0,4-0,6 mm için ilerleme- titreşim grafiği

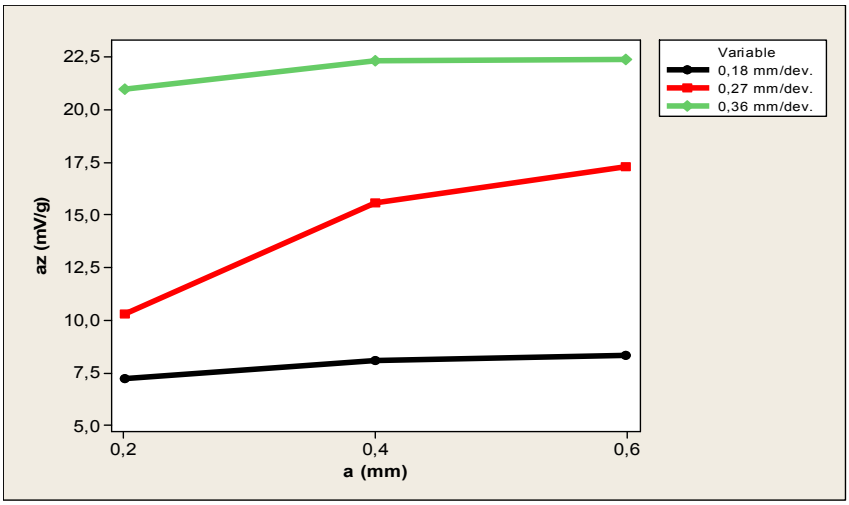
Genel olarak talaş derinliği ile titreşim değeri doğru orantılıdır. Yani titreşim değeri; talaş derinliği arttıkça artar, talaş derinliği azaldıkça azalır.

Şekil 6.19'da f=0,18 mm/dev. ve V=90-120-150 m/dk. için talaş derinliği-titreşim grafiği verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi talaş derinliğinin artması titreşim değerini arttırmaktadır.

Şekil 6.20'de V=120 m/dk. ve f=0,18-0,27-0,36 mm/dev. için talaş derinliği-titreşim grafiği verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi talaş derinliğinin artması titreşim değerini arttırmaktadır.

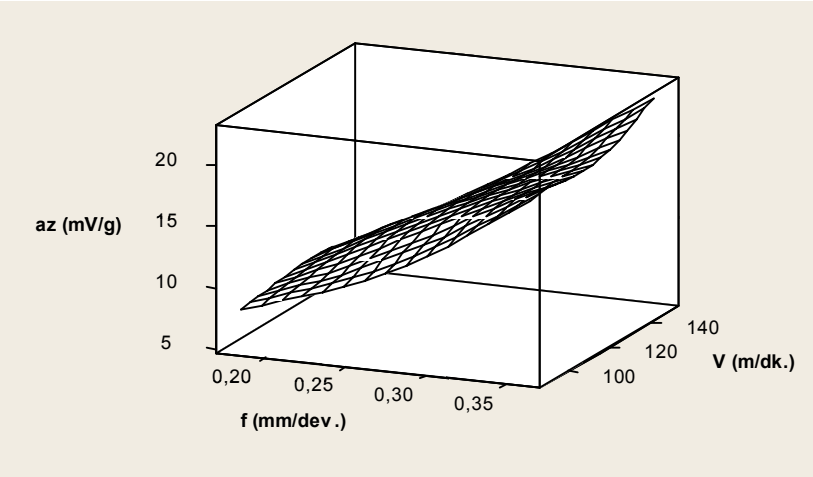


Şekil 6.19. f=0,18 mm/dev. ve V=90-120-150 m/dk. için talaş derinliği- titreşim grafiği



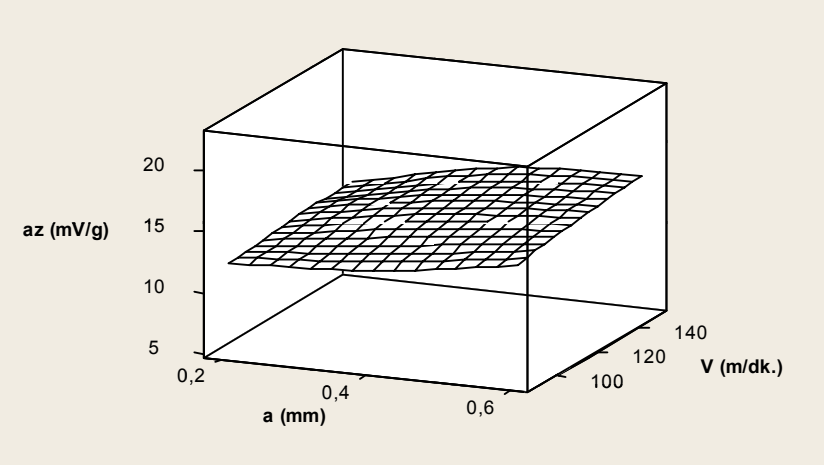
Şekil 6.20. V=120 m/dk. ve f=0,18-0,27-0,36 mm/dev. için talaş derinliği-titreşim grafiği

Şekil 6.21'de görüldüğü gibi ilerleme değeri arttıkça titreşim değerinin de buna bağlı olarak bir artış gösterdiği ayrıca kesme hızı değerindeki artışla titreşim değerinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 6.21. Üç boyutlu a_z-f-V grafiği

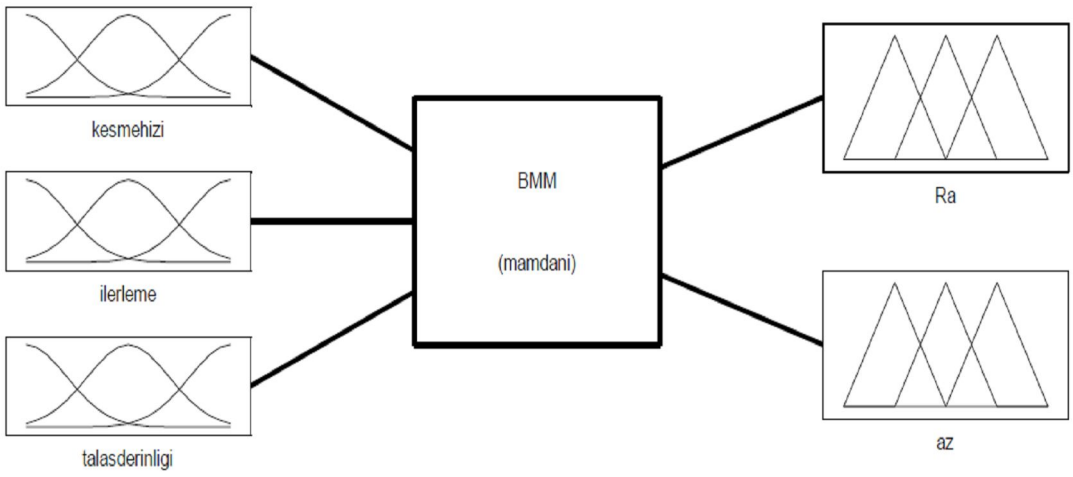
Şekil 6.22'de görüldüğü gibi a değeri arttıkça a_z değerinin de buna bağlı olarak bir artış gösterdiği ayrıca kesme hızı değerindeki artışla titreşim değerinin de arttığı görülmektedir. Bu çalışmada da literatürle paralel sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6.22. Üç boyutlu a_z-a-V grafiği

6.3. Verilerin Bulanık Mantık Modeli ile Modellenmesi

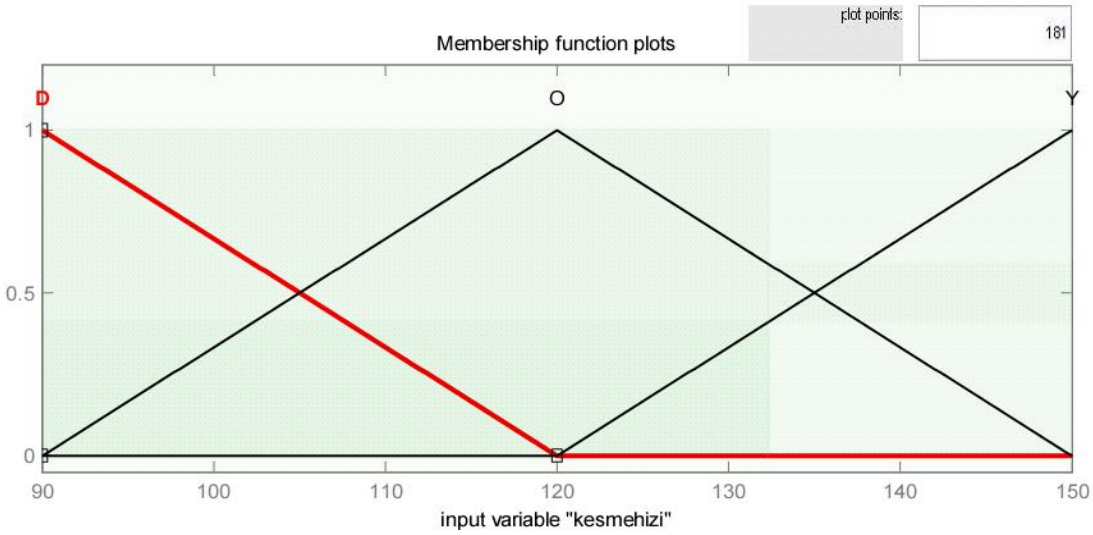
Bu bölümde çok girişli-çok çıkışlı bir bulanık uzman sistem tasarlandı ve MATLAB R2008b Fuzzy Toolbox programı yardımıyla sonuçlar hesaplandı. Deneysel verilerle bulanık uzman sistem sonuçları karşılaştırılarak değerlendirmeler yapıldı. Bulanık mantık çıkarım mekanizması olarak Mamdani yaklaşımı seçilmiştir. Giriş değişkenleri olarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği değerleri alınmıştır. Giriş değerleri üç adet üyelik derecesi ve üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak tanımlandı. Çıkış değişkenleri olarak da Ra ve z yönündeki titreşim (a_z) değerleri alındı. Ra değeri on bir adet üyelik derecesi ve üçgen üyelik fonksiyonuyla, Z yönündeki titreşim (a_z) değeri dokuz adet üyelik derecesi ve üçgen üyelik fonksiyonuyla tanımlandı. Bulanık mantık modelin yapısı Şekil 6.23'de verilmiştir.



Şekil 6.23. Geliştirilen Bulanık Mantık Modeli

6.3.1. Geliştirilen bulanık mantık modelinin üyelik fonksiyonları

Şekil 6.24'de kesme hızı üyelik fonksiyonları ile üyelik dereceleri gösterilmiştir. Kesme hızı Düşük (D), Orta (O), Yüksek (Y) olarak üç dilsel ifadeye dönüştürüldü. Tablo 6.6'da üyelik derecelerinin aralıkları verilmiştir.

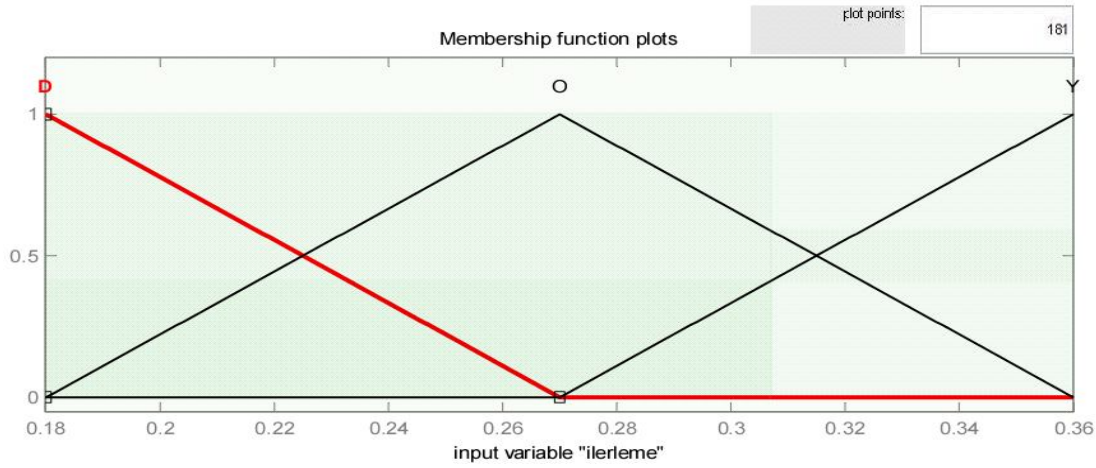


Şekil 6.24. Kesme hızı için üyelik fonksiyonu ve üyelik dereceleri

Tablo 6.6. Kesme hızının üyelik dereceleri

Kesme Hızı	**Üyelik dereceleri**
90-120	Düşük
90-150	Orta
120-150	Yüksek

Şekil 6.25'da ilerleme için üyelik fonksiyonları ile üyelik dereceleri gösterilmiştir. İlerleme Düşük (D), Orta (O), Yüksek (Y) olarak üç dilsel ifadeye dönüştürüldü. Tablo 6.7'de üyelik derecelerinin aralıkları verilmiştir.

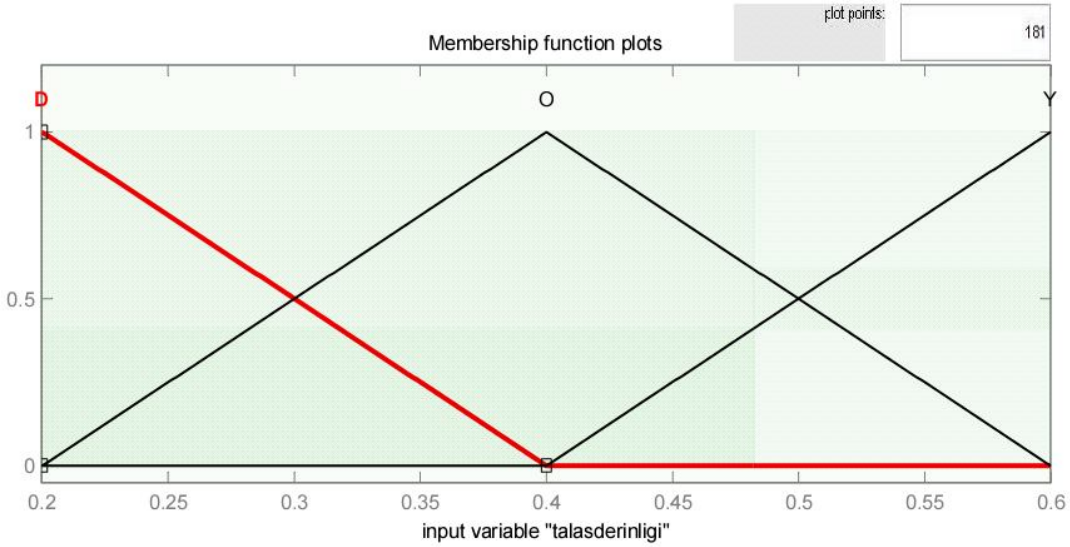


Şekil 6.25. İlerleme için üyelik fonksiyonu ve üyelik dereceleri

Tablo 6.7. İlerleme için üyelik dereceleri

İlerleme	Üyelik dereceleri
0,18-0,27	Düşük
0,18-0,36	Orta
0,27-0,36	Yüksek

Şekil 6.26'da talaş derinliğinin üyelik fonksiyonları ile üyelik dereceleri gösterilmiştir. Talaş derinliği Düşük (D), Orta (O), Yüksek (Y) olarak üç dilsel ifadeye dönüştürüldü. Tablo 6.8'de üyelik derecelerinin aralıkları verilmiştir.



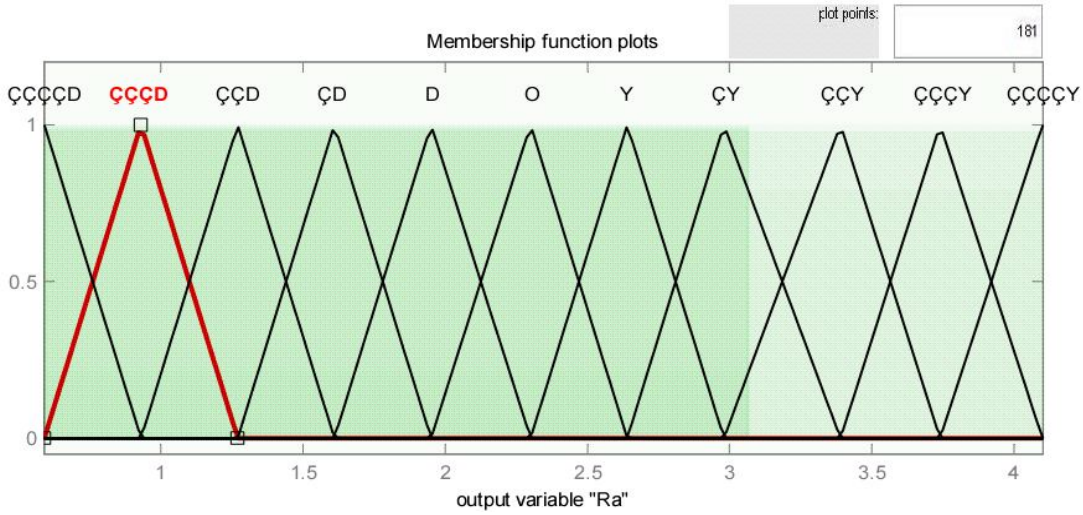
Şekil 6.26. Talaş derinliği için üyelik fonksiyonu ve üyelik dereceleri

Tablo 6.8. Talaş derinliği için üyelik dereceleri

Talaş Derinliği	Üyelik dereceleri
0,2-0,4	Düşük
0,2-0,6	Orta
0,4-0,6	Yüksek

Şekil 6.27'de yüzey pürüzlülüğünün üyelik fonksiyonları ile üyelik dereceleri gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü Çok Çok Çok Çok Düşük (ÇÇÇÇD), Çok Çok Çok Düşük (ÇÇÇD), Çok Çok Düşük (ÇÇD), Çok Düşük (ÇD), Düşük (D), Orta (O), Yüksek (Y), Çok Yüksek (ÇY), Çok Çok Yüksek (ÇÇY), Çok Çok Çok Yüksek

(ÇÇÇY), Çok Çok Çok Çok Yüksek (ÇÇÇÇY) olarak on bir dilsel ifadeye dönüştürüldü. Tablo 6.9'da üyelik derecelerinin aralıkları verilmiştir.



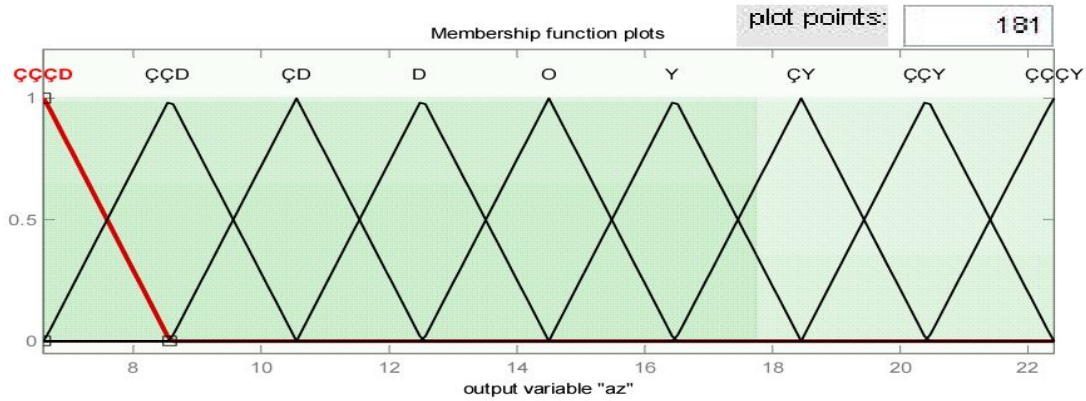
Şekil 6.27. Ra için üyelik fonksiyonu ve üyelik dereceleri

Tablo 6.9. Ra için üyelik dereceleri

Ra	**Üyelik dereceleri**
0,59-0,93	Çok Çok Çok Çok Düşük
0,59-1,27	Çok Çok Çok Düşük
0,93-1,61	Çok Çok Düşük
1,27-1,95	Çok Düşük
1,61-2,3	Düşük
1,95-2,64	Orta
2,3-2,98	Yüksek
2,64-3,39	Çok Yüksek
2,98-3,74	Çok Çok Yüksek
3,39-4,1	Çok Çok Çok Yüksek
3,74-4,1	Çok Çok Çok Çok Yüksek

Şekil 6.28'de a_z'nin üyelik fonksiyonları ile üyelik dereceleri gösterilmiştir. Z yönündeki titreşim değeri Çok Çok Çok Düşük (ÇÇÇD), Çok Çok Düşük (ÇÇD), Çok Düşük (ÇD), Düşük (D), Orta (O), Yüksek (Y), Çok Yüksek (ÇY), Çok Çok

Yüksek (ÇÇY), Çok Çok Çok Yüksek (ÇÇÇY) olarak dokuz dilsel ifadeye dönüştürüldü. Tablo 6.10'da üyelik derecelerinin aralıkları verilmiştir.



Şekil 6.28. a_z için üyelik fonksiyonu ve üyelik dereceleri

Tablo 6.10. a_z için üyelik dereceleri

a_z	**Üyelik dereceleri**
6,6-8,57	Çok Çok Çok Düşük
6,6-10,55	Çok Çok Düşük
8,57-12,52	Çok Düşük
10,55-14,5	Düşük
12,52-16,47	Orta
14,5-18,45	Yüksek
16,47-20,42	Çok Yüksek
18,45-22,4	Çok Çok Yüksek
20,42-22,4	Çok Çok Çok Yüksek

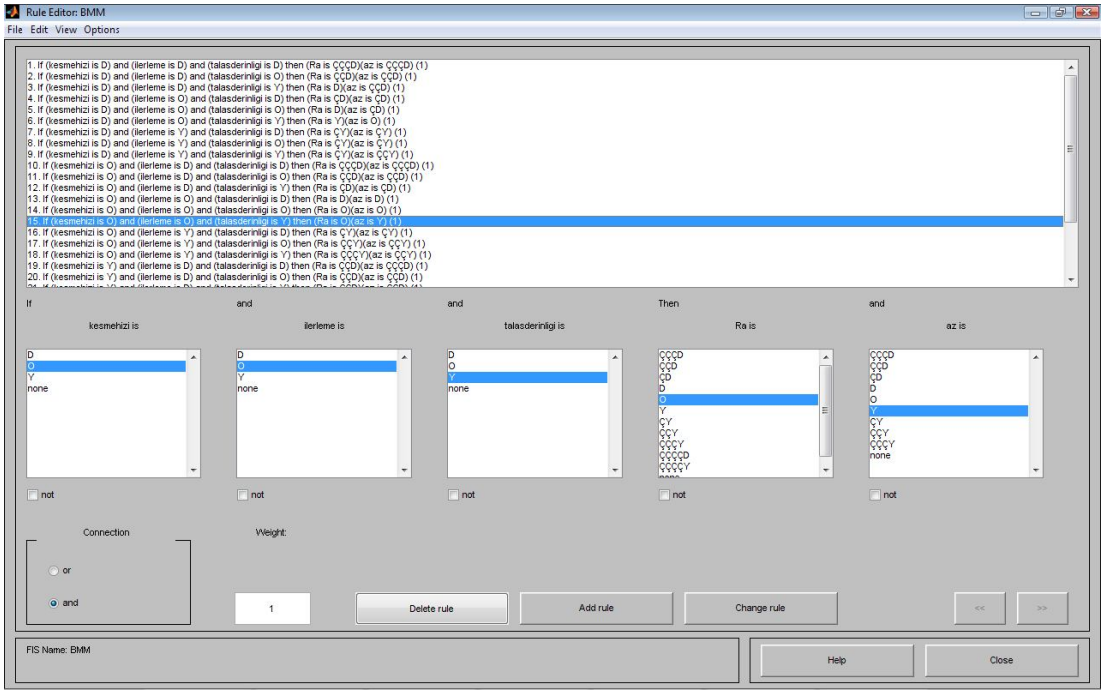
6.3.2. Geliştirilen bulanık mantık modelinin kural tabanı

Tornalamada değişik kesme şartlarında girilen giriş parametrelerine karşılık ölçülen Ra ve a_z tahmini için belirlenmiş olan kurallar Tablo 6.11'de gösterilmektedir. Kurallar elde edilen deneysel çalışma sonuçlarına göre oluşturulmuştur.

Tablo 6.11. Geliştirilen bulanık mantık modeli için oluşturulan kural tabanı

Kural	**Hız**		**İlerleme**		**Derinlik**		**Ra**		**a_z**
1	D	ve	D	ve	D	O halde	ÇÇÇD	ve	ÇÇÇD
2	D	ve	D	ve	O	O halde	ÇÇD	ve	ÇÇD
3	D	ve	D	ve	Y	O halde	D	ve	ÇÇD
4	D	ve	O	ve	D	O halde	ÇD	ve	ÇD
5	D	ve	O	ve	O	O halde	D	ve	ÇD
6	D	ve	O	ve	Y	O halde	Y	ve	O
7	D	ve	Y	ve	D	O halde	ÇY	ve	ÇY
8	D	ve	Y	ve	O	O halde	ÇY	ve	ÇY
9	D	ve	Y	ve	Y	O halde	ÇY	ve	ÇÇY
10	O	ve	D	ve	D	O halde	ÇÇÇD	ve	ÇÇÇD
11	O	ve	D	ve	O	O halde	ÇÇD	ve	ÇÇD
12	O	ve	D	ve	Y	O halde	ÇD	ve	ÇD
13	O	ve	O	ve	D	O halde	D	ve	D
14	O	ve	O	ve	O	O halde	O	ve	O
15	O	ve	O	ve	Y	O halde	O	ve	Y
16	O	ve	Y	ve	D	O halde	ÇY	ve	ÇY
17	O	ve	Y	ve	O	O halde	ÇÇY	ve	ÇÇY
18	O	ve	Y	ve	Y	O halde	ÇÇÇY	ve	ÇÇY
19	Y	ve	D	ve	D	O halde	ÇÇD	ve	ÇÇÇD
20	Y	ve	D	ve	O	O halde	ÇÇD	ve	ÇÇD
21	Y	ve	D	ve	Y	O halde	ÇÇD	ve	ÇÇD
22	Y	ve	O	ve	D	O halde	O	ve	ÇD
23	Y	ve	O	ve	O	O halde	O	ve	Y
24	Y	ve	O	ve	Y	O halde	Y	ve	Y
25	Y	ve	Y	ve	D	O halde	ÇÇÇY	ve	ÇÇY
26	Y	ve	Y	ve	O	O halde	ÇÇÇY	ve	ÇÇÇY
27	Y	ve	Y	ve	Y	O halde	ÇÇÇÇY	ve	ÇÇÇY

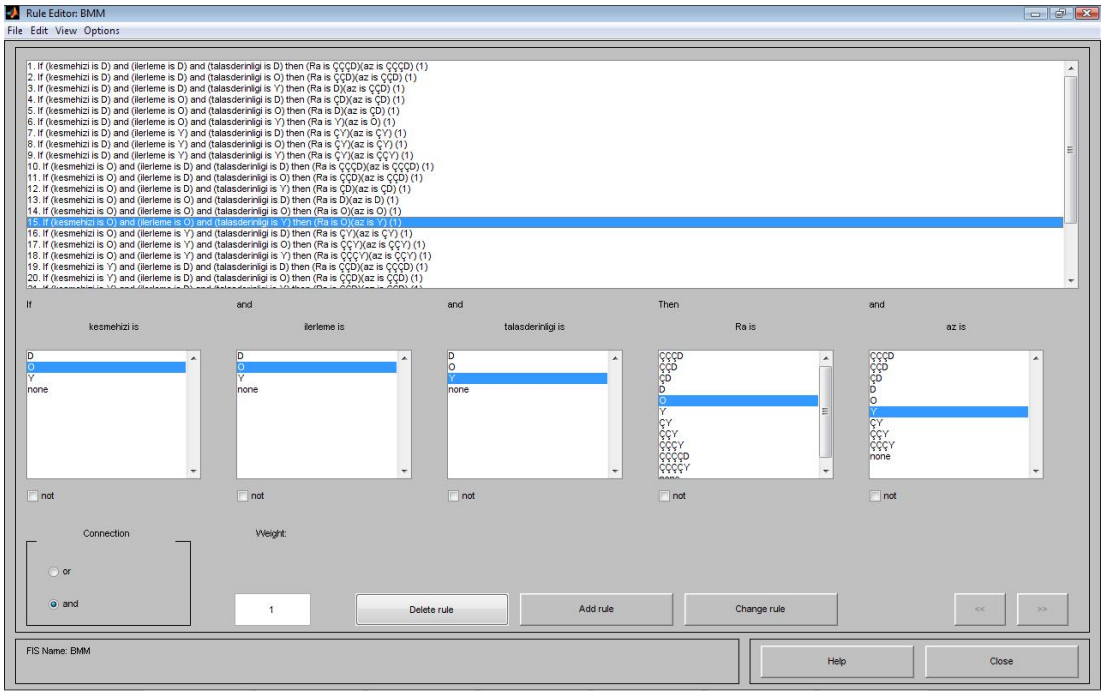
Şekil 6.29'da önceden Tablo 6.11'de belirlenen kuralların MATLAB programına aktarıldıktan sonraki görüntüsü verilmiştir. Oluşturulan kural tablosuna yardımıyla Bulanık Mantık Modeli için MATLAB Rules Editor'e 27 adet kural girişi yapılmıştır.



Şekil 6.29. Belirlenen kuralların MATLAB'daki görüntüsü

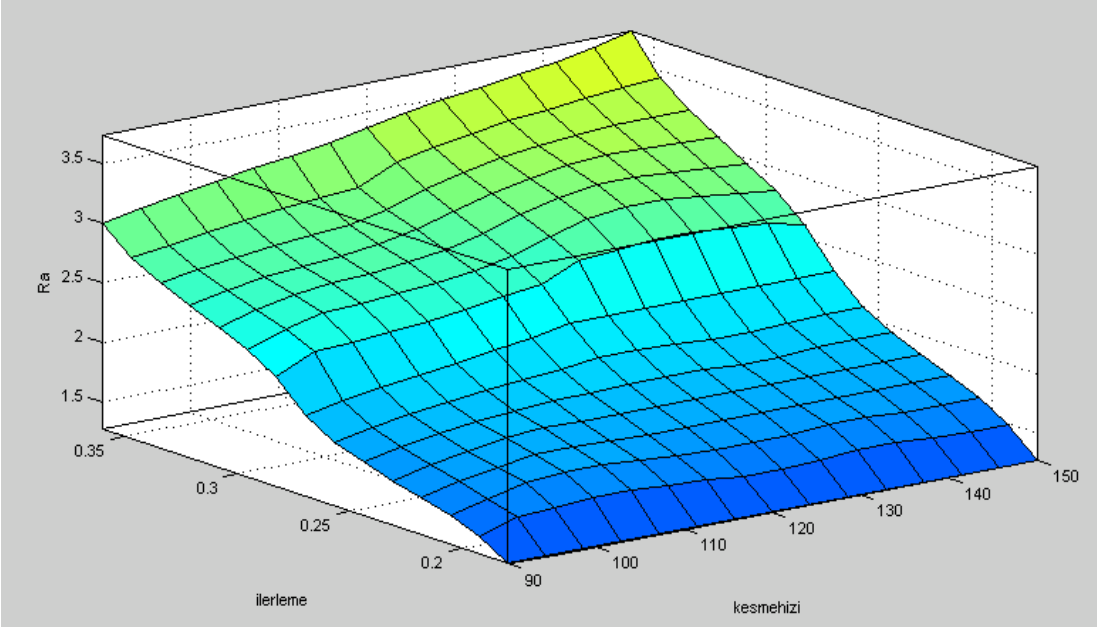
6.3.3. Geliştirilen bulanık mantık modelinde durulaştırma işlemi

Hazırlanan bulanık mantık modelinde durulaştırma işleminin MATLAB programındaki görüntüsü Şekil 6.30'da verilmiştir.



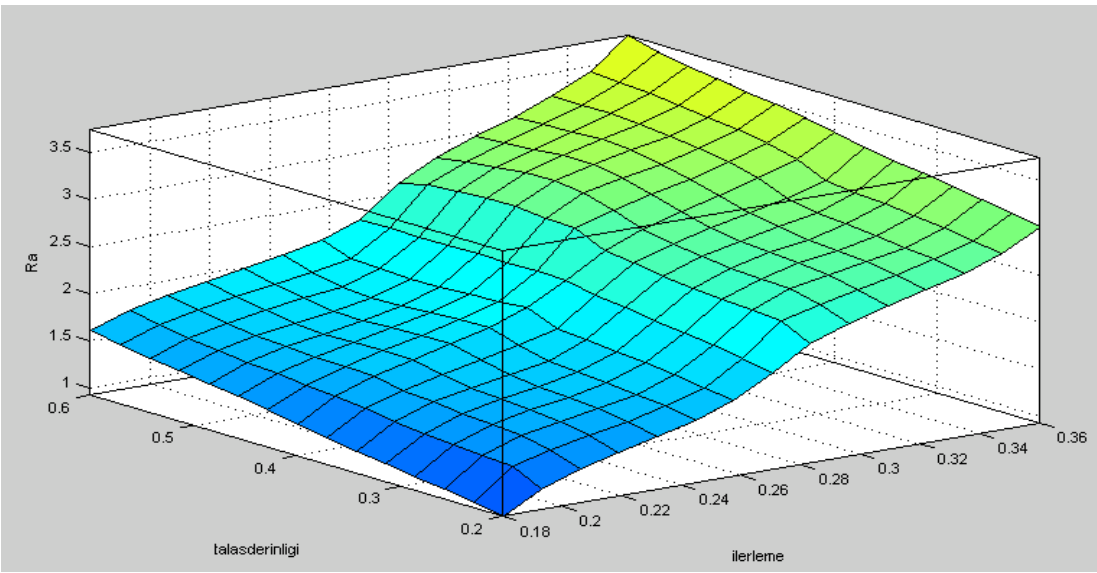
Şekil 6.30. Bulanık mantık modelinin durulaştırma işlemi

Tornalama işlemi sırasında Ra değeri için BM modelinin tahmin sonuçları, üç boyutlu olarak kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak Şekil 6.31'de verilmiştir.



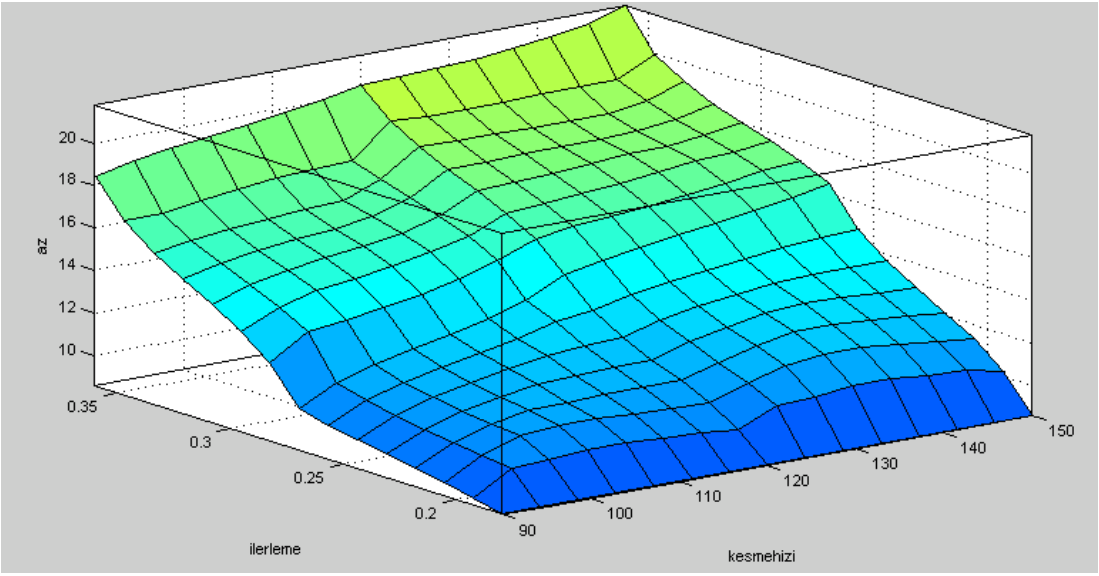
Şekil 6.31. Ra için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı BM modeli sonuçları

Tornalama işlemi sırasında Ra değeri için BM modelinin tahmin sonuçları, üç boyutlu olarak talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak Şekil 6.32'de verilmiştir.



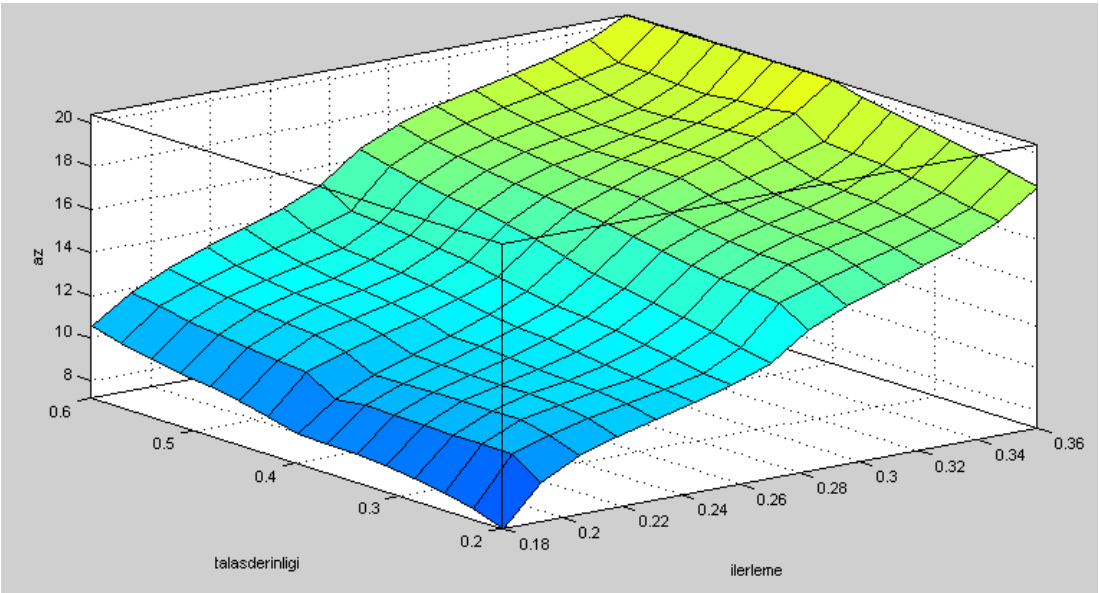
Şekil 6.32. Ra için talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı BM modeli sonuçları

Tornalama işlemi sırasında a_z değeri için BM modelinin tahmin sonuçları, üç boyutlu olarak kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak Şekil 6.33'de verilmiştir.



Şekil 6.33. a_z için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı BM modeli sonuçları

Tornalama işlemi sırasında a_z değeri için BM modelinin tahmin sonuçları, üç boyutlu olarak talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak Şekil 6.34'de verilmiştir.



Şekil 6.34. a_z için talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı BM modeli sonuçları

6.3.4. Deney sonuçları ile BM modeli sonuçlarının karşılaştırılması

MATLAB R2008b Fuzzy Toolbox'ı kullanılarak hazırlanan bulanık mantık modelinde, test için 27 deneyin hepsi kullanılarak tahmin sonuçları elde edildi. Tablo 6.12'de kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine bağlı Ra ve a_z için deney sonuçları ve bulanık mantık model tahmin sonuçları verilmiştir.

Tablo 6.12. Bulanık mantık modelinin tahmin sonuçları

	Deney sonuçları		**BM modeli sonuçları**	
Deney no	**Ra (mikron)**	**a_z (mV/g)**	**Ra (mikron)**	**a_z (mV/g)**
1	0,95	7,01	0,93	7,21
2	1,21	8,4	1,27	8,57
3	1,84	8,81	1,95	8,57
4	1,69	10,8	1,61	10,5
5	1,78	10,92	1,95	10,5
6	2,71	15	2,64	14,5
7	3,04	18,8	3	18,4
8	3,1	19,5	3	18,4
9	3,19	19,98	3	20,4
10	0,94	7,12	0,93	7,21
11	1,28	8,74	1,27	8,57
12	1,55	10,4	1,61	10,5
13	2,11	13,21	1,95	12,5
14	2,13	14,62	2,3	14,5
15	2,27	15,6	2,3	16,5
16	2,82	17,8	3	18,4
17	3,55	20,2	3,37	20,4
18	3,72	20,49	3,74	20,4
19	1,14	7,2	1,27	7,21
20	1,21	8,1	1,27	8,57
21	1,25	8,34	1,27	8,57
22	2,14	10,3	2,3	10,5
23	2,35	15,6	2,3	16,5
24	2,59	17,3	2,64	16,5
25	3,63	21	3,74	20,4
26	3,87	22,35	3,74	21,8
27	4,09	22,4	3,99	21,8

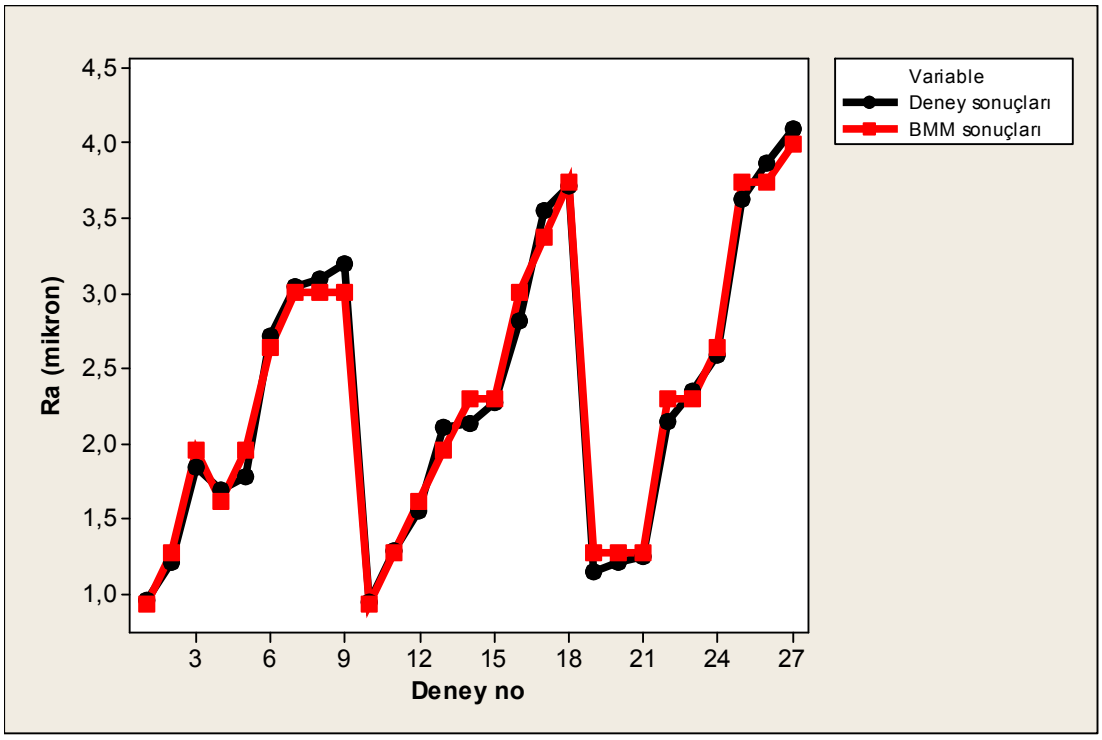
Tablo 6.13'de BM modeli için yüzey pürüzlülüğü ve titreşimin toplam MSE hataları verilmiştir.

Tablo 6.13. BM Modeli için MSE sonuçları

	Ra	**a_z**
MSE	0,01	0,25

Deneysel çalışma sonucu elde edilen Ra ve a_z değerlerinin bulanık mantık modeli kullanılarak elde edilen tahmin sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırması ve yorumları aşağıda yapılmıştır. Grafikler MİNİTAB 14 programı yardımıyla çizdirilmiştir.

6.3.4.1. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) sonuçlarının karşılaştırılması

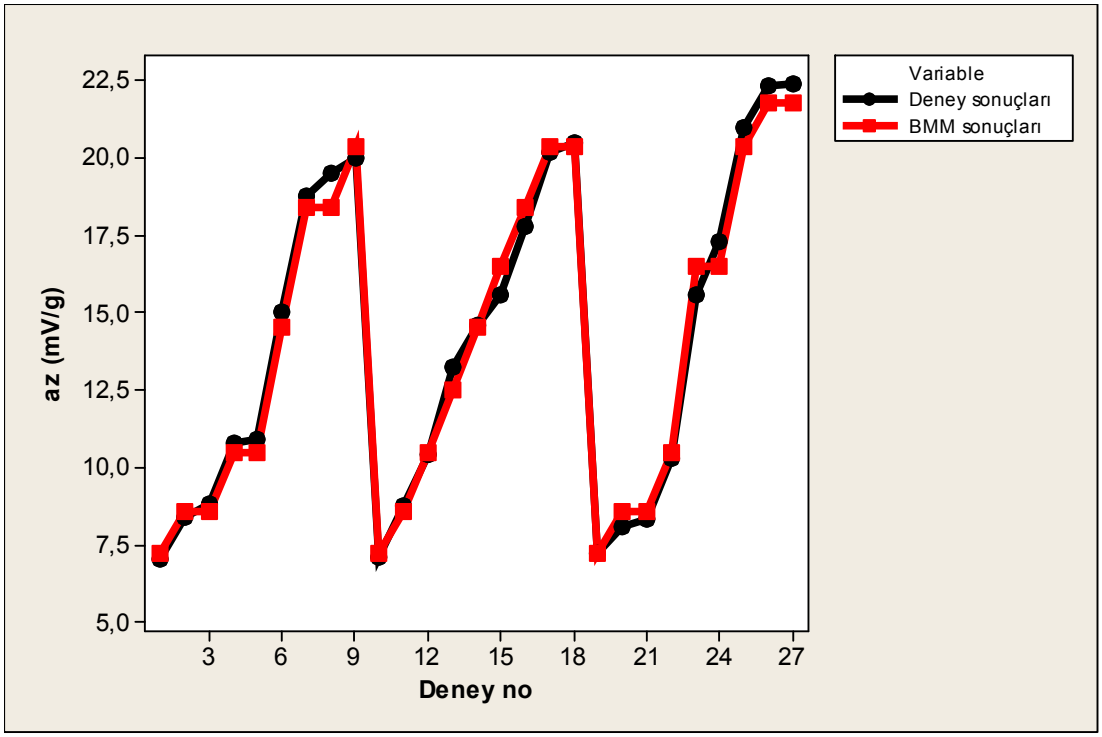


Şekil 6.35. Ra için deney ve BM modeli tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

Ra için; deneysel çalışmada elde edilen veriler ile bulanık mantık modeli kullanılarak elde edilen Ra tahmin değerlerinin grafiksel olarak karşılaştırılması Şekil 6.35'de verilmiştir. BM modeli tahmin sonuçları, deneysel sonuçlara çok yakın değerlerdir. Deneysel sonuçlar ile BM model tahmin sonuçları arasındaki en az hata

değeri on numaralı deney sonucu için, en çok hata değeri ise dokuz nolu deney sonucu için elde edilmiştir. BM modelinde yüzey pürüzlüğü için MSE değeri 0,01 bulunmuştur.

6.3.4.2. Titreşim (a_z) sonuçlarının karşılaştırılması

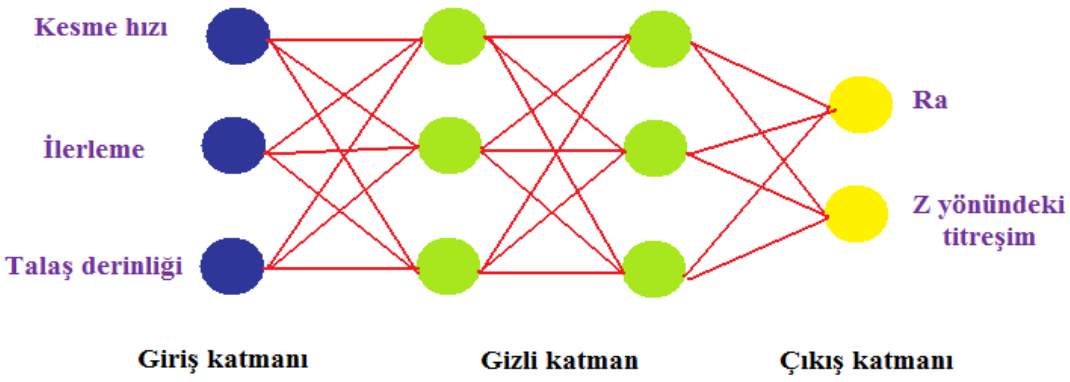


Şekil 6.36. a_z için deney ve BM modeli tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

a_z için; deneysel çalışmada elde edilen veriler ile bulanık mantık modeli kullanılarak elde edilen a_z tahmin değerlerinin grafiksel olarak karşılaştırılması aşağıdaki Şekil 6.36'da verilmiştir. Deneysel sonuçlar ile BM modeli tahmin sonuçları arasındaki en az hata değeri on dokuz numaralı deney sonucu için, en çok hata değeri ise sekiz nolu deney sonucu için elde edilmiştir. BM modelinde z yönündeki titreşim için MSE değeri 0,25 bulunmuştur.

6.4. Verilerin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi

Deney sonuçları MATLAB R2008b programının Neural Network Toolboxes'ı tarafından eğitilmiştir. YSA modelinde üç giriş ve iki çıkış bulunmaktadır. Giriş değişkenleri olarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği değerleri alınmıştır. Çıkış değişkenleri olarak da Ra ve a_z değerleri alınmıştır. Yapay sinir ağının eğitiminde deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanıldı. Literatürde yapılan çalışmalarda genellikle verilerin %75-80'i eğitim için, %20-25'i de test için kullanılmıştır. Bu yaklaşımlardan yola çıkarak toplam 27 adet deney verisinden ağın eğitimi için 21 adet deney verisi, test için 6 adet deney verisi kullanıldı. Test için seçilen deney verileri Tablo 6.14'de verilmiştir. Eğitim ve test için kullanılan veriler Microsoft Excell'de satır halinden sütün haline çevrilmiştir, veriler random seçeneği ile rastgele seçilmiş, birçok ağ mimarisi denenerek en iyi sonucu verebilen veriler ve ağ yapısı seçilmiştir. Düğüm sayısı ve öğrenme derecesi deneme yanılma ile bulunmuştur. Şekil 6.37'de oluşturulan YSA modeli verilmiştir.

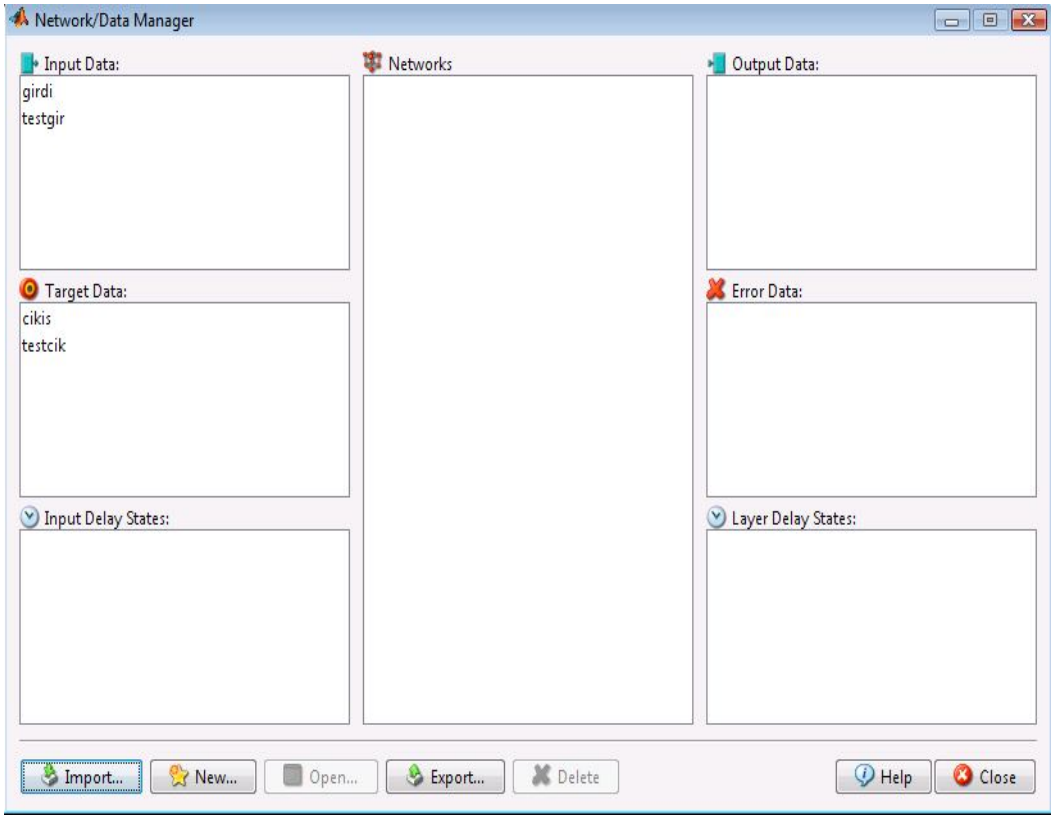


Şekil 6.37. Oluşturulan YSA modeli

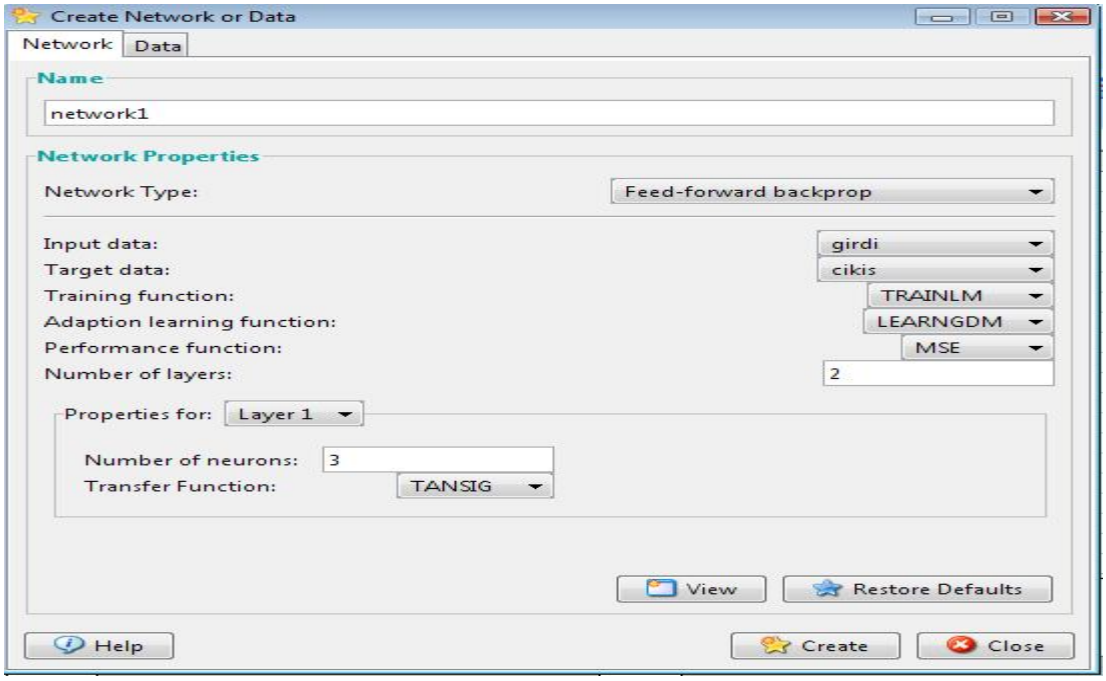
Tablo 6.14. Test için seçilen veriler

Deney no		**16**	**2**	**14**	**9**	**24**	**1**
Giriş	**V (m/dk)**	120	90	120	90	150	90
	f (mm/dev.)	0.36	0.18	0.27	0.36	0.27	0.18
	a (mm)	0.2	0.4	0.4	0.6	0.6	0.2
Çıkış	**Ra (μm)**	2,82	1,21	2,13	3,19	2,59	0,95
	a_z (mV/g)	17,8	8,1	14,62	19,98	17,3	7,01

YSA'yı eğitmek için ileri beslemeli geriye yayılım algoritmasının (feed-forward backprop) Levenberg-Marquardt (LM) eğitim fonksiyonu ve tansigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. İleri beslemeli YSA'da hücreler, katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. Girdi katmanı, aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan gizli katmanlardaki hücrelere iletir. Bilgi, gizli katman ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Bu yapısı ile ileri beslemeli ağlar doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirir. İleri beslemeli YSA'nın en çok bilinen algoritması geriye yayılım algoritmasıdır. Geriye yayılım algoritması, bu tip YSA'nın eğitiminde etkin olarak kullanılmakta ve bu ağlara genel olarak ileri beslemeli geriye yayılım ağları da denilmektedir. Şekil 6.38'de Network/Data Manager'in görüntüsü verilmiştir. Kurulan modelde parametrelerin MATLAB programında seçilmiş hali Şekil 6.39'da gösterilmiştir.



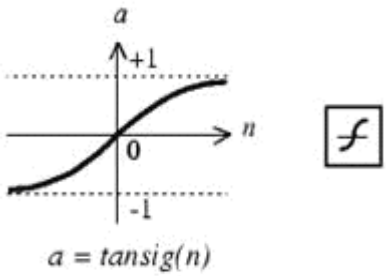
Şekil 6.38. Network/Data Manager ekran görüntüsü



Şekil 6.39. Oluşturulan YSA'nın parametreleri

Sigmoid aktivasyon fonksiyonunun kullanılma sebebi; doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesinde en iyi sonuçlar Sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılarak elde edilebilmesidir (Gündüz 2006). Şekil 6.40'da TANSIG fonksiyonunun grafiği verilmiştir. Matematiksel ifadesi denklem (6.1)'de verilmiştir.

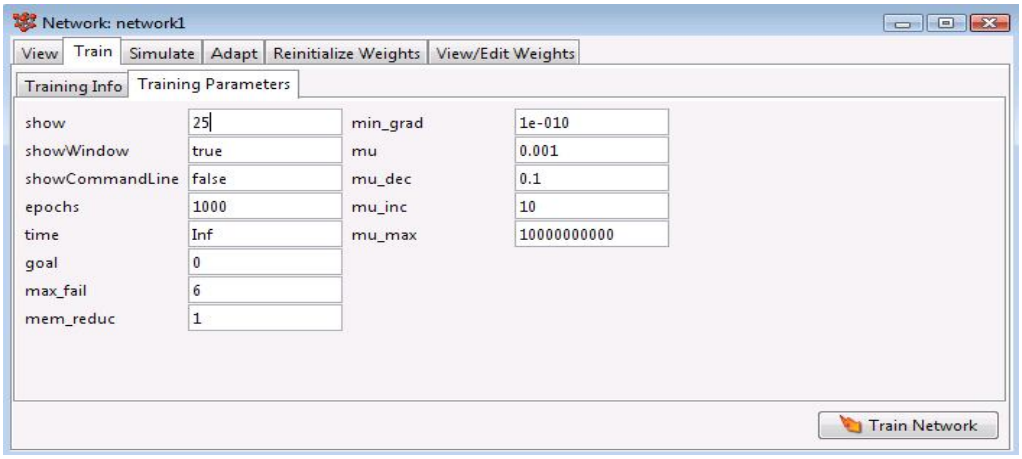
$$a = \tan sig(n) = 2/[1+\exp(-2*n)]-1 \qquad (6.1)$$



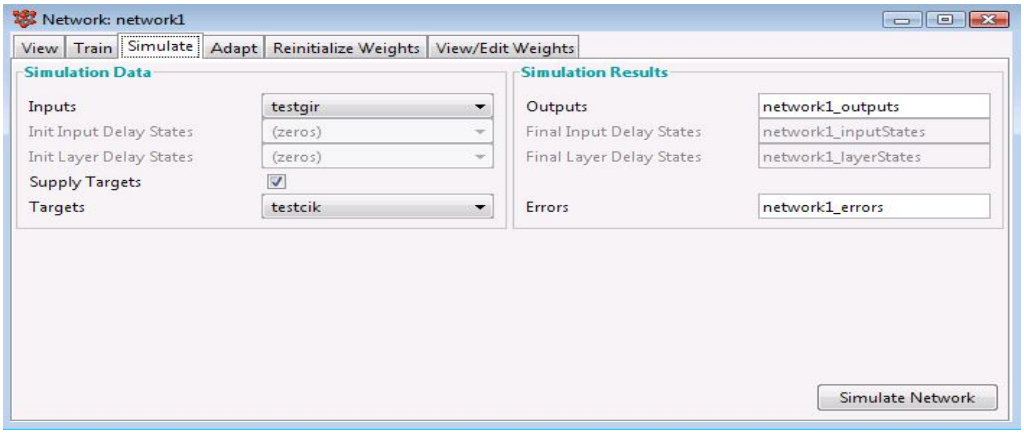
Şekil 6.40. Tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu

Ağ oluşturulduktan sonra seçilen eğitim parametreleri Şekil 6.41'de verilmiştir. Ağın test için test verilerinin seçilip Simulate edilmesi Şekil 6.42'de verilmiştir. Simulate işleminin sonucunda hata değerleri ve ağın bulduğu sonuçlar Network/Data

Manager sisteminde output data ve error data kısmında oluşmuştur. Export seçeneği ile değerler MATLAB Workspace bölümüne atılmıştır.



Şekil 6.41. YSA'da eğitim için seçilen parametreleri



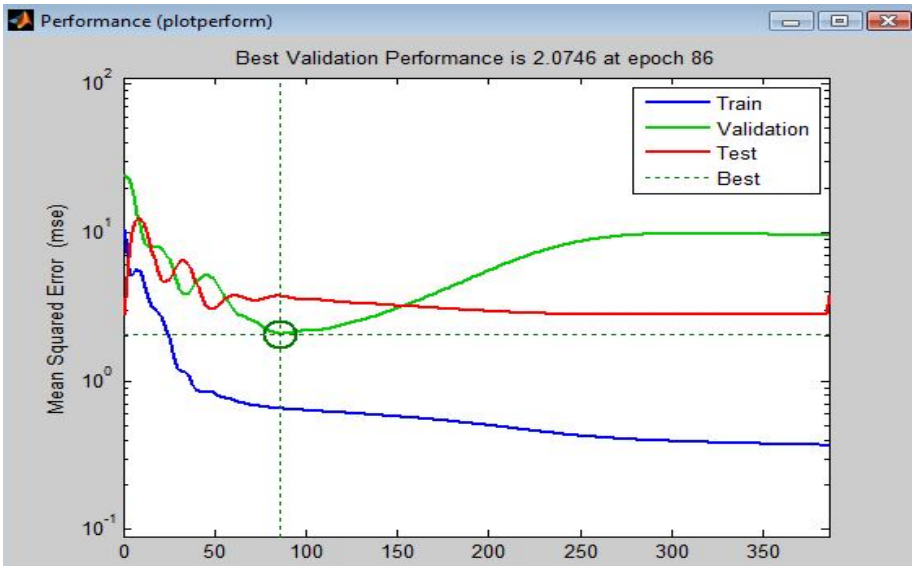
Şekil 6.42. YSA'da test verilerinin Simulate edilmesi

MSE hatanın kareleri toplamının ortalamasının minimize edilmesi gerekir. Bu minimize edilmek istenen değer MSE (Mean Squared Error) olarak tanımlanır ve ağ performansını belirler (Özkan 2006). MSE denklem (6.2)'deki formül yardımıyla hesaplanır.

$$MSE = \frac{1}{Q}\sum_{k=1}^{Q} e(k)^2 = \frac{1}{Q}\sum_{k=1}^{Q} [t(k) - y(k)]^2 \qquad (6.2)$$

Denklemdeki $e(k)$: Hedef ve YSA çıkışları arasındaki hatayı, $t(k)$: Hedef çıkışı, $y(k)$: YSA çıkış değerini ve Q: Toplam veri sayısını ifade eder.

Geri yayılım ağında tek gizli katmanında 3 adet nörona sahip YSA'nın 86 çevrim süren eğitimi esnasında hesaplanan MSE değerlerinin bulunduğu performans grafiği Şekil 6.43'deki gibidir. Şekil 6.58'de görüldüğü gibi 86 çevrim sonucunda yapay sinir ağının MSE hata değeri 2,0746 olarak bulunmuştur, hata oranının azalmasını sağlayan eğim çevrim sayısı ilerledikçe sıfıra yaklaşmıştır.



Şekil 6.43. MSE performans grafiği

Tablo 6.15'de yapay sinir ağının test verileri için bulmuş olduğu değerler ve Tablo 6.16'da hata değerleri verilmiştir. Verilen girişlere karşılık YSA'nın bulduğu çıkışlar ile hedef (istenen) çıkış karşılaştırılır. YSA çıkışı ile hedef çıkış arasındaki fark hata olarak hesaplanır. Hata değerleri programda denklem (6.3)'deki gibi hesaplanmaktadır.

Hata = İstenilen Çıkış - YSA Çıkışı (6.3)

Tablo 6.15. YSA'nın test verileri için bulmuş olduğu sonuçlar

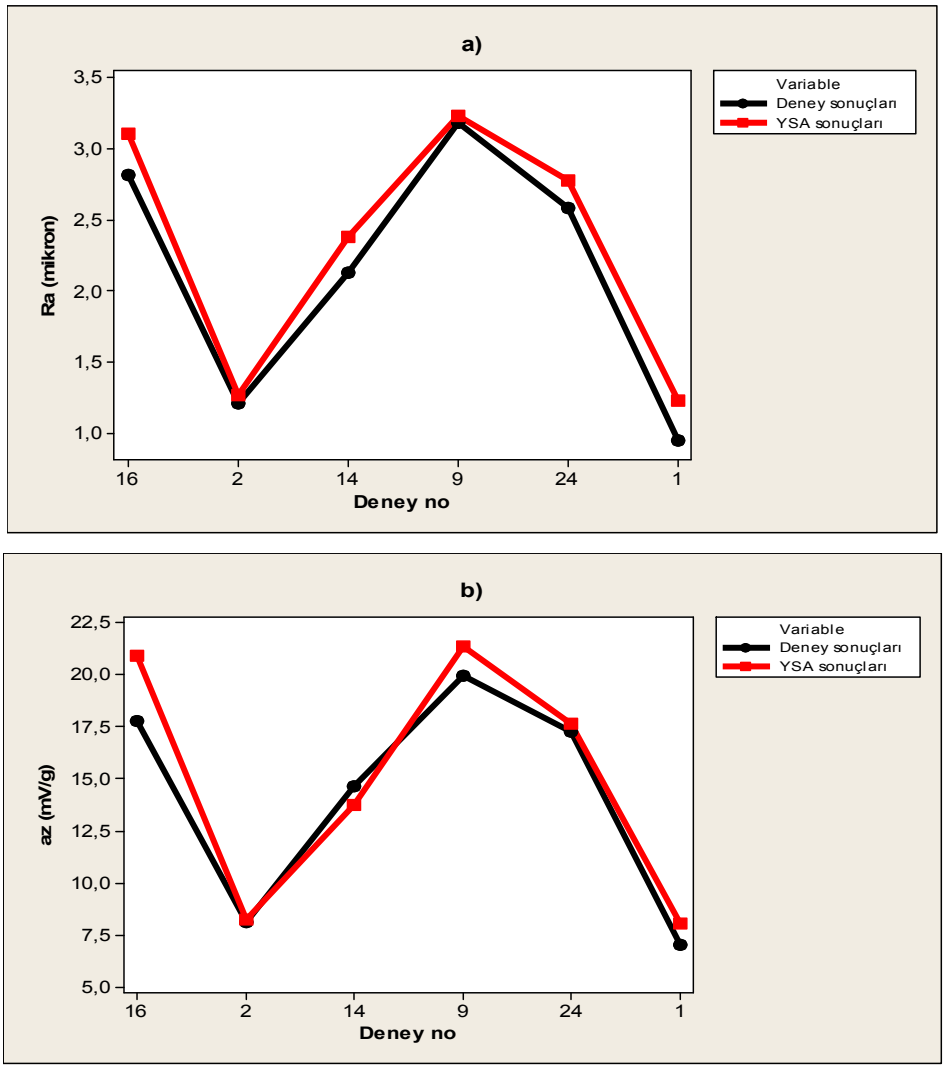
Deney no	**16**	**2**	**14**	**9**	**24**	**1**
Ra	3,11	1,27	2,38	3,24	2,78	1,23
a_z	20,91	8,22	13,74	21,40	17,66	8,02

Tablo 6.16. Ra ve a_z için hata değerleri

Deney no	16	2	14	9	24	1
Ra	-0,29	-0,06	-0,25	-0,05	-0,19	-0,27
a_z	-3,11	0,18	0,88	-1,42	-0,36	-1,01

6.4.1. Test verileri İle YSA sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 6.44'de YSA'nın geri yayılım ağı test aşaması sonucu elde edilen çıkış ile istenilen çıkış arasındaki ilişki a)'da Ra ve b)'de a_z değerleri için gösterilmiştir. Ra değerlerinin a_z değerlerinin tahmin sonuçlarından daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. YSA sonuçlarının düşük olmasının sebebi ağın eğitimi ve testinde kullanılan verilerin sayısının azlığı olarak yorumlanmıştır.



Şekil 6.44. Deney sonuçları ile YSA tahmin modeli sonuçlarının karşılaştırılması a) Ra, b) a_z

6.5. Verilerin Regresyon Modeli ile İstatistiksel Modellenmesi

Bu bölümde deneylerden elde edilen Ra ve a_z değerleri için I. derece, II. derece ve logaritmik olarak regresyon denklemleri çıkartıldı ve modellere etki eden faktörlerin etkileri tablo halinde verildi. Regresyon modelinde denklemlerin oluşturulması için MİNİTAB 14 adlı istatistik programı kullanıldı. ANOVA testi için SPSS 16.0 adlı istatistik programı kullanıldı.

6.5.1. Yüzey pürüzlüğü (Ra) için regresyon denklemleri

Deneysel Ra değerleri için elde edilen I. derece regresyon denklemi denklem (6.4)'de verilmiştir. Ra için I. dereceden regresyon denklem katsayıları Tablo 6.17'de verilmiştir.

Tablo 6.17. Ra için I. dereceden regresyon denklem katsayıları

Tahmin edici	Katsayılar	Katsayıların standart hatası	Test hatası	Anlamlılık
Sabit	-2,1126	0,3235	-6,53	0,000
v	0,005111	0,001980	2,58	0,017
f	12,1235	0,6599	18,37	0,000
a	1,3194	0,2970	4,44	0,000

$$Ra = - 2,11 + 0,00511\ v + 12,1\ f + 1,32\ a \qquad (6.4)$$

Ra için I. dereceden regresyon denkleminde belirtme katsayısı R^2 = %94,1'dir. 1' e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin %94,1'i bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. Ra bağımlı değişkenine I. dereceden denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken ilerleme ve talaş derinliği değeridir.

Ra değerleri için elde edilen II. derece regresyon denklemi denklem (6.5)'de verilmiştir. Ra için II. dereceden regresyon denklem katsayıları Tablo 6.18'de verilmiştir.

Tablo 6.18. Ra için II. Derece regresyon denklem katsayıları

Tahmin edici	Katsayılar	Katsayıların standart hatası	Test hatası	Anlamlılık
Sabit	2,136	1,624	1,32	0,009
v	-0,02669	0,02153	-1,24	0,93
f	-8,062	5,805	-1,39	0,000
a	2,389	2,061	1,16	0,913
v^2	0,00006420	0,00008529	0,75	0,347
f^2	19,479	9,476	2,06	0,000
a^2	0,986	1,919	0,51	0,725
vf	0,08210	0,02010	4,08	0,000
va	-0,014444	0,009046	-1,60	0,585
af	-0,463	3,015	-0,15	0,102

$$Ra = 2,14 - 0,0267\ v - 8,06\ f + 2,39\ a + 0,000064\ v^2 + 19,5\ f^2 + 0,99\ a^2 + 0,0821\ vf - 0,0144\ va - 0,46\ af \quad (6.5)$$

Ra için II. dereceden regresyon denkleminde belirtme katsayısı (R^2) %97,6'dır. 1' e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin %97,6'sı bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. Ra bağımlı değişkenine II. dereceden denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişkenler f, f^2 ve vf değeridir.

SPSS programında II. dereceden Ra regresyon denklemi için ANOVA tablosuna bakıldığında bu denklemin güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır. Tablo 6.19'da ANOVA tablosu verilmiştir.

Tablo 6.19. Ra için II. derece regresyon modelinde SPSS'de ANOVA sonuçları

Model		Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem
1	**Regresyon**	23,9654	9	2,6628	75,32	0,000
	Artık	0,6010	17	0,035		
	Toplam	24,5664	26			

Ra değerleri için elde edilen logaritmik regresyon denklemi denklem (6.6)'da verilmiştir. Ra için logaritmik regresyon denklem katsayıları Tablo 6.20'de verilmiştir.

Tablo 6.20. Ra için logaritmik regresyon denklem katsayıları

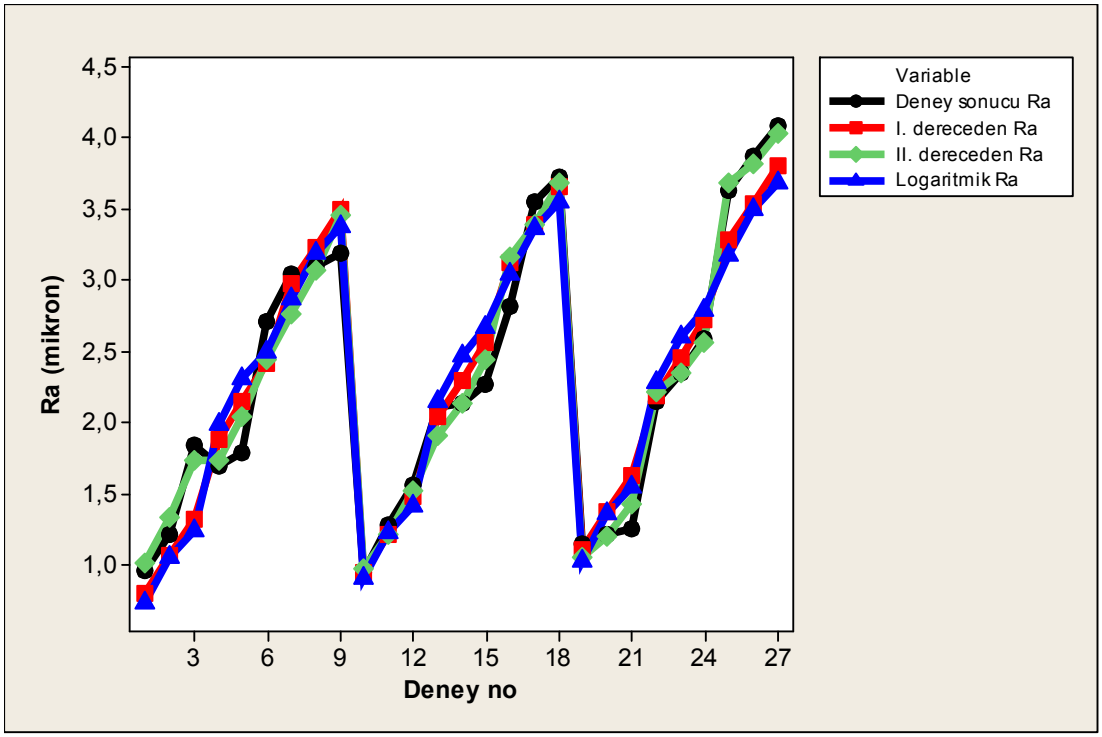
Tahmin edici	Katsayılar	Katsayıların standart hatası	Test hatası	Anlamlılık
Sabit	4,141	1,357	3,05	0,006
Logv	1,3532	0,6383	2,12	0,045
Logf	7,1213	0,4694	15,17	0,000
Loga	1,0673	0,2942	3,63	0,001

$$Ra = 4,14 + 1,35 \text{ Log } (v) + 7,12 \text{ Log } (f) + 1,07 \text{ Log } (a) \quad (6.6)$$

Ra için logaritmik regresyon denkleminde belirtme katsayısı (R^2) %91,5'dir. 1' e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin %91,5'i bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. Ra bağımlı değişkenine logaritmik regresyon denkleminde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken Logf değeridir.

Ra için I. dereceden, II. dereceden ve logaritmik regresyon denklemlerinden elde edilen sonuçların R^2 değerleri karşılaştırılınca en iyi sonucun II. dereceden regresyon denklemi ile ifade edildiği görülmüştür.

Ra için regresyon denklemi ile elde edilen I. derece, II. derece ve logaritmik modellerle elde edilen sonuçların deney verileri değeri ile karşılaştırılması Şekil 6.45'de de şekil üzerinde verilmiştir.



Şekil 6.45. Ra için deney sonuçları ve regresyon sonuçlarının karşılaştırılması

6.5.2. Titreşim (a_z) için regresyon denklemleri

a_z değerleri için elde edilen I. derece regresyon denklemi denklem (6.10)'da verilmiştir. a_z için I. dereceden regresyon denklem katsayıları Tablo 6.21'de verilmiştir.

Tablo 6.21. a_z için I. dereceden regresyon denklem katsayıları

Tahmin edici	Katsayılar	Katsayıların standart hatası	Test hatası	Anlamlılık
Sabit	-9,751	1,587	-6,14	0,000
V	0,024759	0,009711	2,55	0,018
f	66,914	3,237	20,67	0,000
a	6,967	1,457	4,78	0,000

$$a_z = - 9,75 + 0,0248\ v + 66,9\ f + 6,97\ a \qquad (6.10)$$

a_z için I. dereceden regresyon denkleminde belirtme katsayısı (R^2) %95,2'dir. 1' e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Ra değerine göre bu değer daha iyidir. Bağımlı değişkendeki değişimin %95,2'i bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. a_z bağımlı değişkenine I. dereceden regresyonda en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken f ve a değişkenleridir.

a_z değerleri için elde edilen II. derece regresyon denklemi denklem (6.11)'de verilmiştir. a_z için II. dereceden regresyon denklem katsayıları Tablo 6.22'de verilmiştir.

Tablo 6.22. a_z için II. dereceden regresyon denklem katsayıları

Tahmin edici	Katsayılar	Katsayıların standart hatası	Test hatası	Anlamlılık
Sabit	-0,86	10,78	-0,08	0,937
v	0,0120	0,1429	0,08	0,934
f	2,04	38,53	0,05	0,958
a	10,11	13,68	0,74	0,470
v^2	-0,0002809	0,0005660	-0,50	0,626
f^2	68,18	62,89	1,08	0,080
a^2	-7,36	12,73	-0,58	0,571
vf	0,2485	0,1334	1,86	0,293
va	0,03278	0,06003	0,55	0,592
af	-4,40	20,01	-0,22	0,829

$$a_z = -0,9 + 0,012\ v + 2,0\ f + 10,1\ a - 0,000281\ v^2 + 68,2\ f^2 - 7,4\ a^2 + 0,248\ vf + 0,0328\ va - 4,4\ af \quad (6.11)$$

a_z için II. dereceden regresyon denkleminde belirtme katsayısı (R^2) %96,4'tür. 1' e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Ra değerine göre bu değer daha iyidir. Bağımlı değişkendeki değişimin %96,4'ü bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. a_z bağımlı değişkenine II. Dereceden regresyonda en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken f^2 değişkenidir, ancak bu değerde $P<0,5$ değildir. SPSS programında II. dereceden a_z regresyon denklemi için

ANOVA tablosuna bakıldığında bu denklemin güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır. Tablo 6.23'de ANOVA tablosu verilmiştir.

Tablo 6.23. a_z için II. derece regresyon modelinde SPSS'de ANOVA sonuçları

Model		**Kareler toplamı**	**Serbestlik derecesi**	**Kareler ortalaması**	**F**	**Önem**
1	**Regresyon**	706,357	9	78,484	50,410	0,000
	Artık	26,468	17	1,557		
	Toplam	732,825	26			

a_z değerleri için elde edilen logaritmik regresyon denklemi denklem (6.12)'de verilmiştir. a_z için logaritmik regresyon denklem katsayıları Tablo 6.24'de verilmiştir.

Tablo 6.24. a_z için logaritmik regresyon denklem katsayıları

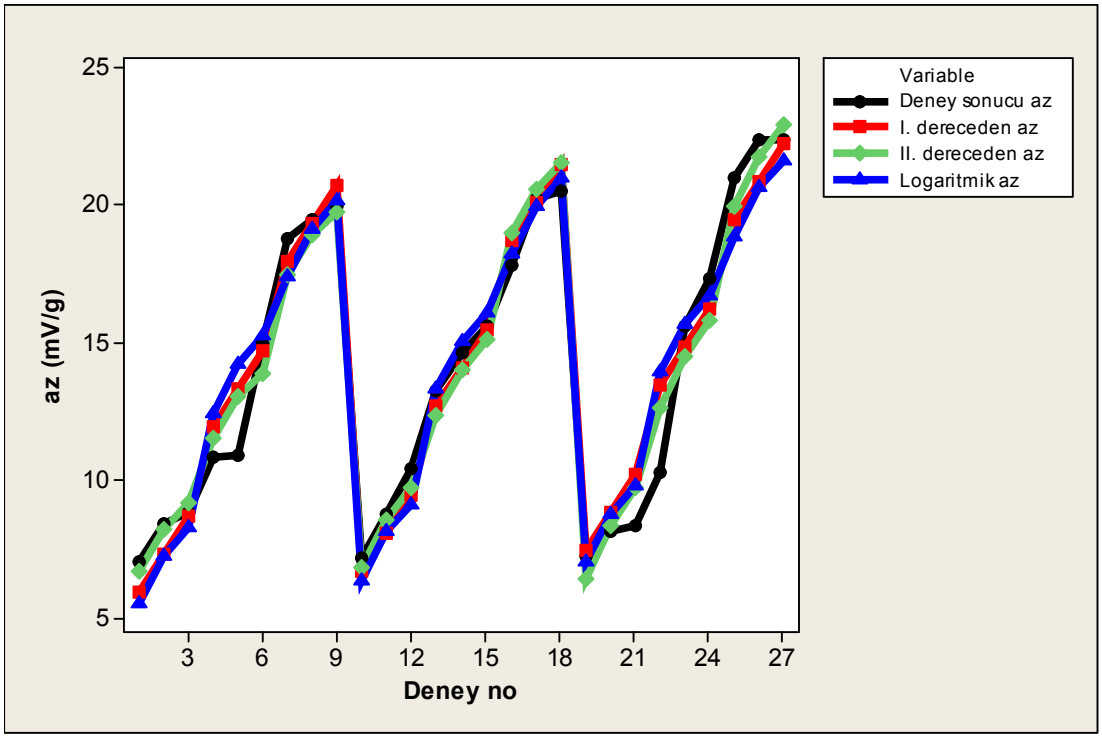
Tahmin edici	**Katsayılar**	**Katsayıların standart hatası**	**Test hatası**	**Anlamlılık**
Sabit	25,736	6,463	3,98	0,001
Logv	6,756	3,040	2,22	0,036
Logf	39,424	2,236	17,63	0,000
Loga	5,815	1,402	4,15	0,000

$$a_z = 25,7 + 6,76 \text{ Log (v)} + 39,4 \text{ Log (f)} + 5,82 \text{ Log (a)} \qquad (6.12)$$

a_z için logaritmik regresyon denkleminde belirtme katsayısı (R^2) %93,5'dir. 1' e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Ra değerine göre bu değer daha iyidir. Bağımlı değişkendeki değişimin %93,5'i bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. a_z bağımlı değişkenine logaritmik regresyonda en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken Logf ve Loga değişkenleridir.

a_z için I. dereceden, II. dereceden ve logaritmik regresyon denklemlerinden elde edilen sonuçların R^2 değerleri karşılaştırılınca en iyi sonucun II. dereceden regresyon denklemi ile ifade edildiği görülmüştür.

a_z için regresyon denklemi ile elde edilen I. derece, II. derece ve logaritmik modellerle elde edilen sonuçların deney verileri değeri ile karşılaştırılması Şekil 6.46'da ise şekil üzerinde verilmiştir.



Şekil 6.46. a_z için deney sonuçları ve regresyon sonuçlarının karşılaştırılması

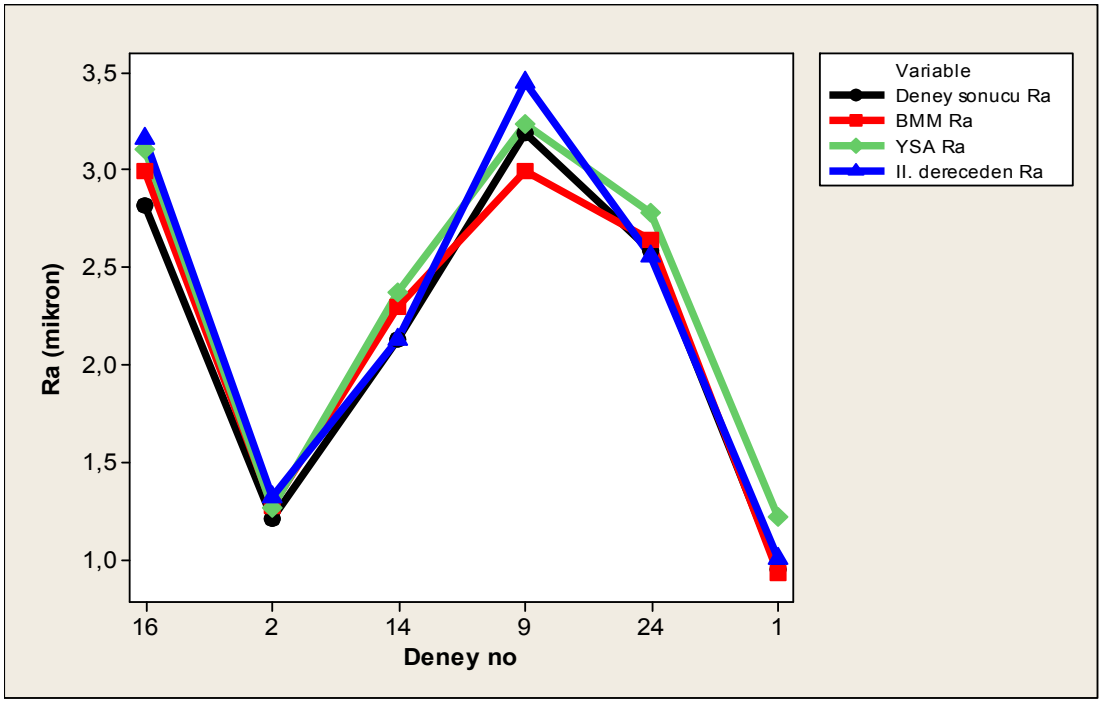
7. DENEY SONUÇLARI, BM, YSA VE REGRESYON MODELİ TAHMİN SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde deney sonuçları, Bulanık mantık modeli, Yapay sinir ağı ve II. dereceden regresyon modeli tahmin sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırmada altı adet YSA test verileri için diğer modellerin bu altı değer sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü (Ra) deney verileri, bulanık mantık, yapay sinir ağı ve II. dereceden regresyon modeli tahmin sonuçları Tablo 7.1'de verilmiştir. Şekil 7.1'de karşılaştırılmaları gösterilmiştir.

Tablo 7.1. Ra için modellerin tahmin sonuçları

Deney no	Deney sonucu Ra	BMM Ra	YSA Ra	II. dereceden Ra
16	2,82	3	3,11	3,16
2	1,21	1,27	1,26	1,32
14	2,13	2,3	2,37	2,13
9	3,19	3	3,24	3,45
24	2,59	2,64	2,78	2,56
1	0,95	0,93	1,22	1



Şekil 7.1. Ra için tüm sonuçların kıyaslanması

Ra için MSE hataları hesaplaması yapılmıştır. Tablo 7.2'de MSE sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre MSE karşılaştırmaları yapıldığında Ra değerini en iyi tahmin eden model bulanık mantık modeli, en kötü tahmin eden model ise yapay sinir ağı modelidir.

Tablo 7.2. Ra için hesaplanan MSE sonuçları

	BMM	**YSA**	**II. dereceden regresyon**
MSE	0,01	0,04	0,03

Titreşim (a_z) için deney verileri, bulanık mantık, yapay sinir ve II. dereceden regresyon modeli tahmin sonuçları Tablo 7.3'de verilmiştir. Şekil 7.3'de karşılaştırılmaları gösterilmiştir.

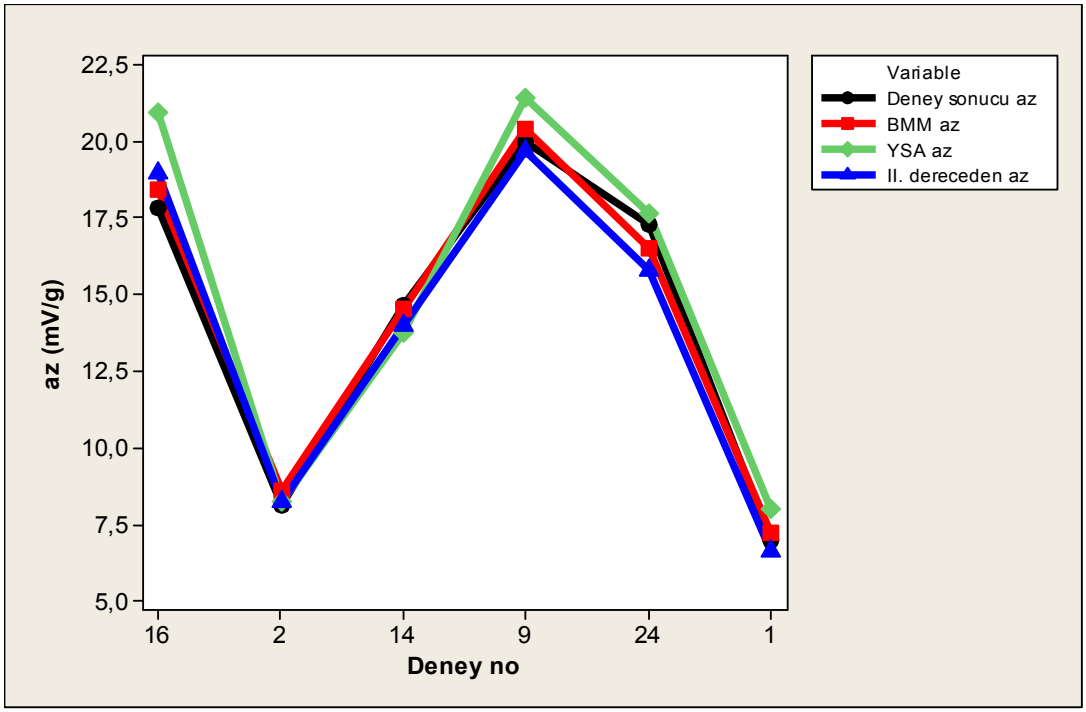
Tablo 7.3. a_z için modellerin tahmin sonuçları

Deney no	**Deney sonucu a_z**	**BMM a_z**	**YSA a_z**	**II. dereceden a_z**
16	17,8	18,4	20,91	18,96
2	8,1	8,57	8,22	8,21
14	14,62	14,5	13,74	14,00
9	19,98	20,4	21,40	19,71
24	17,3	16,5	17,66	15,77
1	7,01	7,21	8,02	6,65

a_z için MSE hataları hesaplaması yapılmıştır. Tablo 7.4'de MSE sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre MSE karşılaştırmaları yapıldığında a_z değerini en iyi tahmin eden model bulanık mantık modeli, en kötü tahmin eden model ise yapay sinir ağı modelidir.

Tablo 7.4. a_z için hesaplanan MSE sonuçları

	BMM	**YSA**	**II. dereceden regresyon**
MSE	0,24	2,27	0,71



Şekil 7.2. a_z için tüm sonuçların kıyaslanması

8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile AISI 4140 ıslah çeliği 51 HRC sertlikte sert tornalama işlemine tabi tutulmuştur. CNC tornalama işleminde giriş parametreleri olarak kesme hızı (90-120-150 m/dk.), ilerleme (0,18-0,27-0,36 mm/dev.) ve talaş derinliği (0,2-0,4-0,6 mm) kullanılarak proses sonucunda Ra ve a_z değerleri ölçülmüştür. Bu değerler MATLAB ortamında Neural Network Toolbox'ı kullanılarak geliştirilen Yapay Sinir Ağı ile ve MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'ı yardımıyla geliştirilen Bulanık Mantık Modeli Ra ve a_z değerlerinin tahmininde kullanılmıştır. MİNİTAB 14 istatistik programı yarımıyla I. dereceden regresyon modeli sonuçları, II. dereceden regresyon modeli sonuçları ve logaritmik regresyon modeli Ra ve a_z değerlerinin tahmininde kullanıldı. Çoklu regresyon modellerinden en iyi sonuç veren II. dereceden regresyon modelinde giriş olarak kullanılan parametrelerinin çıkışlar üzerindeki etkinliliği SPSS 16.0 programı vasıtasıyla yapılan Varyans analizi (ANOVA) ile tespit edilmiştir. Elde edilen tüm modeller arası yapılan MSE karşılaştırılmasına göre Ra ve a_z değerlerini en iyi tahmin eden model bulanık mantık modeli olarak gözlemlenmiştir.

Deney sonuçlarına göre kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğü değeri ters orantılıdır. Kesme hızı arttıkça pürüzlülük değeri azalır, kesme hızı azaldıkça yüzey pürüzlülük değeri artar. İlerleme ile yüzey pürüzlülüğü doğru orantılıdır. Yani ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğü artar, ilerleme azaldıkça yüzey pürüzlülüğü azalır. Talaş derinliği ile yüzey pürüzlülüğü değeri doğru orantılıdır. Talaş derinliği arttıkça pürüzlülük değeri artar, talaş derinliği azaldıkça yüzey pürüzlülük değeri azalır.

Kesme hızıyla a_z değeri doğru orantılıdır. Yani a_z değeri kesme hızı arttıkça artar, kesme hızı azaldıkça azalır. a_z değeri ilerleme ile doğru orantılıdır. Yani a_z değeri ilerleme değeri arttıkça artar, ilerleme azaldıkça azalır. a_z değeri talaş derinliği ile doğru orantılıdır. Yani a_z değeri talaş derinliği arttıkça artar, talaş derinliği azaldıkça azalır.

Aynı giriş ve çıkış parametreleri için kullanılan YSA, BM ve çoklu regresyon modellerinin karşılaştırılması ile özgün çalışmalardan biridir.

Sonuçlar optimizasyon ve adaptif kontrol çalışmalarında kullanılabilir. İmalat prosesleri için giriş parametreleri doğru belirlenebilmesi, hangi parametrenin hangi

bağımsız değişken üzerinde etkin olduğu, etkinlik derecesinin seviyesi belirlenmeden modelleme yapılmamalıdır. Zira deney sonuçlarının etkinliği olmayan parametre veya seviyelerle gereksiz zaman, malzeme ve ekonomik kaynaklar harcanmaktadır.

Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelerle büyük ilerleme kazanan yapay zeka yöntemlerinden BM ve YSA bu çalışmada non lineer bir problemi modellemede kullanılmıştır. Bu modelleme teknikleri ile elde edilen sonuçlar farklı talaş kaldırma proseslerinin gerçek zamanlı izlenmesi, optimizasyonu, model referans adaptif kontrolü, model prediktif (predictive) kontrolü, kestirimci (öngörülü) tahmin uygulamalarında güvenle kullanılabilecektir.

9. KAYNAKLAR

Abburi N. R., Dixit U. S., (2006), A knowledge-based system fort he prediction of surface roughness in turning process, Robotics and Computer-İntegrated Manufacturing, Volume 22, pp. 363-372

Abouelatta O. B., Madl J.,(2001), Surface roughness prediction based on cutting parameters and tool vibrations in turning operations, Journal Materials Processing Technology, Volume 118, pp. 269-277

Akbulut M. C., (2008), Faktöriyel düzende varyans analizi tekniğinde varyansların homojenliği ve normal dağılım ön şartları yerine gelmediğinde interaksiyona ilişkin I. tip hata ve testin gücü, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara

Arbizu I. P., Perez C. J. L., (2003), Surface roughness prediction by factorial design of experiments in turning processes, Journal of Materials Processing Technology, Volumes 143-144, pp. 390- 396

Asiltürk İ., (2007), Testere ile kesme işleminde yapay zeka tabanlı adaptif kontrol uygulaması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya

Aslan E., Camuşcu N., Bingören B., (2007), Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 (63 HRC) with Al_2O_3+TiCN mixed ceramic tool, Materials and Design, Volume 28, pp. 1618-1622

Balce A. O., Demir S., (2007), İstatistik ders notları, Pamukkale Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Ekonometri Bölümü, Denizli

Benardos P. G., Vosniakos G. C., (2003), Predicting surface roughness in machining: a review, International Journal of machine Tools&Manufacture, Volume 43, pp. 833-844

Biçkici B., (2007), Çok değişkenli varyans analizi ile çoklu doğrusal regresyon analizinin uygulamalı olarak karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum

Chavoshi S. Z., Tajdari M., (2010), Surface roughness modelling in hard turning operation of AISI 4140 using CBN cutting tool, International Journal of Material Forming, DOI 10.1007/s12289-009-0679-2

Chou Y. K., Evans C. J., Barash M. M., (2002), Experimental investigation on CBN turning of hardened AISI 52100 steel, Journal of Materials Processing Technology, Volume 124, pp. 274–283

Çağman N., (2006), Bulanık mantık, Bilim ve Teknik, Sayı:463, Sayfa:50-51

Çakır M. C., (1999), Modern talaşlı imalatın esasları, Ceylan Matbaacılık, İstanbul

Çaydaş U., Hasçalık A., (2005), CNC tornalamada işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, Teknoloji, Cilt 8, Sayı 2, s. 167-172

Çevik E., (2006), Tornalama işleminde kesici takım ömrünün iyileştirilmesine yönelik alternatif bir yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara

Çolak O., (2006), CNC freze tezgahı için kesme parametrelerinin akıllı yöntemlerle elektronik ortamda optimizasyonu, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta

Davim J. P., Gaitonde V. N., Karnik S. R., (2008), Investigations into the effect of cutting conditions on surface roughness in turning of free machining steel by ANN models, Journal Materials Processing Technology, Volume 205, pp. 16-23

Demirayak İ., Çakır M. C., (2007), Kesme parametreleri ve kaplama tabakasının iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi, IV. Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, Makine Mühendisleri Odası, Konya

Derakhshan E. D., Akbari A. A., (2009), Experimental investigation on the workpiece hardness and cutting speed on surface roughness in hard turning with CBN tools, Proceedings of the World Congress on Engineering, Volume II

Dimla D. E., (1999), Application of perceptron neural networks to tool state classification in a metal turning operation, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Volume 12, pp. 471–477

El Baradie M. A., (1997), A fuzzy logic model for machining data selection, İnternational Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 37, pp. 1353-1372

Feng C. X., Wang X., (2002), Development of empirical models for surface roughness prediction in finiş turning, International Journal of Manufacturing Technology, Volume 20, pp. 348-356

Gupta A. K., (2010), Predictive modelling of turning operations using response surface methodolgy, artificial neural networks and support vector regression, International Journal of Manufacturing Technology, Volume 48, pp. 763-778

Gündüz A., (2006), Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetlerinin bulanık mantık ve yapay sinir ağlarıyla tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul

Hadi Y., Ahmed S. G., (2006), Assessment of surface roughness model for turning process, International Federation for Information Processing(IFIP), Volume 207, pp. 152-158

Hamamcı E., (2004), Frezeleme işleminde takım ömrünün akustik emisyon sinyalleri ile akıllı yöntemler kullanılarak belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta

Hashmia K., El Baradie M. A., Ryan M., (1998), Fuzzy logic based intelligent selection of machining parameters, Journal of Materials Processing Technology, Volume 35, pp. 571-574

Huang L., Chen J. C., (2001), A multiple regression model to predict ın-process surface roughness in turning operation via accelerometer, Journal of Industrial Technology, Volume 17, Number 2

İlkaz S., (2002), CNC tornalama işlemlerinde kesme parametrelerinin bulanık mantıkla belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta

İşbilir F., (2006), Takım ömrünün sebep-sonuç diyagramları ile açıklanması, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne etkili faktörlerin analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara

Jang D. Y., Choi Y. G., Kim H. G., Hsiao A., (1996), Study of the correlation between surface roughness and cutting vibrations to develop an online roughness measuring technique in hard turning, International Journal of Machine Tools&Manufacture, Volume 36, pp. 453-464

Jayant A., Kumar V., (2008), Prediction of surface roughness in CNC turning operation using taguchi design of experiments, Journal of the Institution of Engineers, Production Engineering Division, Volume 88, pp. 19-25

Kaçal A., Gülesin M., (2009), Küresel grafitli dökme demirlerin son bitirme operasyonlarının analizi üzerine bir çalışma, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu(IATS'09), Karabük

Karayel D., (2009), Prediction and control of surface roughness in CNC lathe using artificial neural network, Journal Materials Processing Technology, Volume 209, pp. 3125-3137

Kartal M. S., (2000), Alaşımsız çeliklerin CNC torna tezgahında işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasının Taguchi yöntemiyle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul

Kirby E. D., Chen J. C., (2007), Development of a fuzzy net-based surface roughness prediction system in turning operations, Computers&Industrial Engineering, Volume 53, pp. 30-42

Kohli A., Dixit U. S., (2004), A neural-network-based methodology for the prediction of surface roughness turning process, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 25, pp. 118-129

Kopac J., Bahor M., Sokovi M., (2002), Optimal machining parameters for achieving the desired surface roughness in fine turning of cold pre-formed steel workpieces, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 42, pp. 707-716

Lally J.,(2001), Accelerometer selectıon consıderatıons charge and ıntegral electronic piezo electric, Tachinicial Note, Vibration Division

Lasota A., Rusek P., (1983), Influence of random vibrations on the roughness of turned surfaces, J. Mech. Working Technology, Volume 7, pp. 277-284

Liang M., Mgwatu M., Zuo M., (2000), Integration of cutting parameters election and tool adjustment decisions for multipass turning, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 17, pp. 861-869

Lin W. S., Lee B. Y., Wu C. L., (2001), Modeling the surface roughness and cutting force for turning, Journal of Materials Processing Techonology, Volume 108, pp. 286-293

Lou M. S., Chen J. C., Li C. M., (1999), Surface roughness prediction technique for CNC end milling, Journal of Industrial Techonology, Volume 15, Number 1

MEGEP(Meslekî Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), (2005), Tornalama işlemleri-1, Ankara

Mer B., Diniz A. E., (1994), Correlating tool wear, tool life, surface roughness and tool vibration in finiş turning with coated carbide tools, Wear 173, pp. 137-144

Motorcu A., (2006), Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin farklı takımlarla işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara

Neşeli S., (2006), Tornalamada takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya

Noaker P. M., (1993), How smooth enough?, Manuf. Eng., Volume 110, pp. 47-51

Orhunbilge N., (1996), Uygulamalı regresyon ve korelasyon analizi, Avcıol Basım, İstanbul

Özçatalbaş Y., (2002), Kesici takım aşınması ve iş malzemesi mekanik özelliklerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisi, Politeknik Dergisi, Cilt: 4 Özel Sayı 47-52, Ankara

Özel T., Karpat Y., (2005), Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Volume 45, pp. 467-479

Özkan İ. A., (2006), Tornalamada Kesme Kuvvetlerinin Ve Takım Ucu Sıcaklığının Bulanık Mantık Ve Yapay Sinir Ağı Teknikleriyle Tahmin Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya

Rahman M., Zhou Q., Hong G. S., (1995), On-line cutting state recognition in turning using a neural network, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 10, pp. 87-92

Raj K. H., Sharma R. H., Srivastava S., (2000), Modeling of manufacturing processes with ann for intelligent manufacturing, İnternational Journal of Machine Tools&Manufacture, Volume 40, pp. 851-868

Risbood K. A., Dixit U. S., Sahasrabudhe A. D., (2003), Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process, Journal of Materials Processing Technology, Volume 132, pp. 203-214

Sağıroğlu Ş., Beşdok E., Erler M., (2003), Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I: Yapay Sinir Ağları, Ufuk Yayınevi, Kayseri

Sharma V. S., Dhiman S., Sehgal R., Sharma K., (2008), Estimation of cutting forces and surface roughness for hard turning using neural networks, İnternational Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 19, pp. 473-483

Singh D., Rao P. V., (2007), A surface roughness prediction model for hard turning process, İnternational Journal of Machine Tools & Manufacture, Volume 32, pp. 1115-1124

Suresh P. V. S., Rao P. V., Deshmukh S. G., (2002), A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 42, pp. 675-680

Şahin Y., (2000), Talaş kaldırma prensipleri Cilt-I, Nobel Yayınevi, Ankara

Şahin Y., (2001), Talaş Kaldırma Prensipleri 2, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara

Şahin Y., (2003), İmalat usulleri, Gazi Kitapevi, Ankara

Şahin Y., Motorcu. A. R., (2004), A model surface roughness in turning of AISI 4140 steel using coated carbide cutting tool, On Birinci Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, Antalya

Tekaslan Ö., Gerger N., Şeker U., (2008), CNC torna tezgahında AISI 304 çeliklerin işlenmesinde optimum yüzey pürüzlülüğünü sağlayacak kesme parametrelerinin tespiti, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 16, Dumlupınar Üniversitesi, Ankara

Tekaüt İ., (2008), Takım tezgahlarındaki kesici takım titreşiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara

Tekin V. N., (2006), SPSS uygulamalı istatistik teknikleri, Seçkin Yayıncılık, Ankara

Thielle J. D., Melkote S. N., (2000), Effect of cutting edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finiş hard turning of AISI 52100 steel, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Volume 122, pp. 642-649

Thomas M., Beauchamp Y., Youssef A. Y., Masounave J., (1996), Effect of tool vibration on surface roughness during lathe dry turning process, Computers & Industrial Engineering, Volume 31, pp. 637-644

Turhan H., (2008), Tornalama işleminde kesme parametrelerinin ve iş parçası uzunluğunun geometrik toleranslara etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul

Ucun İ., Aslantaş K., (2009), Sertleştirilmiş 52100 takım çeliğinin tornalanmasında karbürlü kesici takımın performansının araştırılması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük

Vural M., (2006), İML 401 imalat laboratuarı-1 talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğünün tayini, Ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Yalçın G., (2005), Akustik emisyon sinyalleri kullanarak, tornalamada takım kırılmasının eş-zamanlı olarak algılanması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya

Yang W. H., Tarng Y. S., (1998), Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method, Journal of Materials Processing Technology, Volume 84, pp. 122-129

Zain A. M., Haron H., Sharif S., (2010), Prediction of surface roughness in the end milling machining using arttificial neural network, Expert Systems with Applications, Volume 37, pp. 1755-1768

Zhong Z. W., Khoo L. P., Han S. T., (2006), Prediction of surface roughness of turned surfaces using neural networks, International Journal of Machine Tools&Manufacture, Volume 28, pp. 688- 693

http://www.msxlabs.org (Erişim Tarihi: 17.02.2010)

www.mis.boun.edu.tr/kutlu/iu/yapay4.ppt (Erişim Tarihi: 18.01.2010)

http://www.erpakademi.com (Erişim Tarihi: 09.03.2010)

10. EKLER

Ek 1: Deney sırası

Deney no	V (m/dk.)	f (mm/dev)	a (mm)
1	90	0.18	0.2
2	90	0.18	0.4
3	90	0.18	0.6
4	90	0.27	0.2
5	90	0.27	0.4
6	90	0.27	0.6
7	90	0.36	0.2
8	90	0.36	0.4
9	90	0.36	0.6
10	120	0.18	0.2
11	120	0.18	0.4
12	120	0.18	0.6
13	120	0.27	0.2
14	120	0.27	0.4
15	120	0.27	0.6
16	120	0.36	0.2
17	120	0.36	0.4
18	120	0.36	0.6
19	150	0.18	0.2
20	150	0.18	0.4
21	150	0.18	0.6
22	150	0.27	0.2
23	150	0.27	0.4
24	150	0.27	0.6
25	150	0.36	0.2
26	150	0.36	0.4
27	150	0.36	0.6

Ek 2: Yüzey pürüzlülüğü (Ra) için regresyon model sonuçları

No	Deney sonucu Ra	I. dereceden Ra	II. dereceden Ra	Logaritmik Ra
1	0,95	0,7919	1,00826	0,72787
2	1,21	1,0559	1,3293	1,04997
3	1,84	1,3199	1,72954	1,23839
4	1,69	1,8809	1,72934	1,98164
5	1,78	2,1449	2,0421	2,30374
6	2,71	2,4089	2,43406	2,49216
7	3,04	2,9699	2,76632	2,8712
8	3,1	3,2339	3,0708	3,19331
9	3,19	3,4979	3,45448	3,38172
10	0,94	0,9452	0,9674	0,89654
11	1,28	1,2092	1,20204	1,21864
12	1,55	1,4732	1,51588	1,40706
13	2,11	2,0342	1,91015	2,15031
14	2,13	2,2982	2,13651	2,47241
15	2,27	2,5622	2,44207	2,66083
16	2,82	3,1232	3,1688	3,03987
17	3,55	3,3872	3,38688	3,36197
18	3,72	3,6512	3,68416	3,55039
19	1,14	1,0985	1,04174	1,02737
20	1,21	1,3625	1,18998	1,34947
21	1,25	1,6265	1,41742	1,53789
22	2,14	2,1875	2,20616	2,28114
23	2,35	2,4515	2,34612	2,60324
24	2,59	2,7155	2,56528	2,79166
25	3,63	3,2765	3,68648	3,1707
26	3,87	3,5405	3,81816	3,4928
27	4,09	3,8045	4,02904	3,68122

Ek 3: Titreşim (a_z) için regresyon model sonuçları

No	Deney sonucu a_z	I. dereceden a_z	II. dereceden a_z	Logaritmik a_z
1	7,01	5,918	6,64718	5,50041
2	8,1	7,312	8,21118	7,25241
3	8,81	8,706	9,18318	8,27726
4	10,8	11,939	11,51888	12,4384
5	10,92	13,333	13,00368	14,1904
6	15	14,727	13,89648	15,2153
7	18,8	17,96	17,49542	17,361
8	19,5	19,354	18,90102	19,113
9	19,98	20,748	19,71462	20,1378
10	7,12	6,662	6,77288	6,345
11	8,74	8,056	8,53368	8,09699
12	10,4	9,45	9,70248	9,12184
13	13,21	12,683	12,31418	13,283
14	14,62	14,077	13,99578	15,035
15	15,6	15,471	15,08538	16,0598
16	17,8	18,704	18,96032	18,2056
17	20,2	20,098	20,56272	19,9576
18	20,49	21,492	21,57312	20,9824
19	7,2	7,406	6,39278	7,00011
20	8,1	8,8	8,35038	8,7521
21	8,34	10,194	9,71598	9,77695
22	10,3	13,427	12,60368	13,9381
23	15,6	14,821	14,48208	15,6901
24	17,3	16,215	15,76848	16,7149
25	21	19,448	19,91942	18,8607
26	22,35	20,842	21,71862	20,6127
27	22,4	22,236	22,92582	21,6375