

**VERMİKÜLER GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN FREZELEMEDEKİ
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI VE
YAPAY SİNİR AĞLARIYLA MODELLENMESİ**

Şener KARABULUT

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2012

ANKARA

Şener KARABULUT tarafından hazırlanan “VERMİKÜLER GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN FREZELEMEDEKİ İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI VE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA MODELLENMESİ” adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ
Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd.Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Mehmet TÜRKER
Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 26/01/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Şener KARABULUT

**VERMİKÜLER GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN FREZELEMEDEKİ
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI VE
YAPAY SİNİR AĞLARIYLA MODELLENMESİ
(Doktora Tezi)**

Şener KARABULUT

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2011**

ÖZET

Bu deneysel çalışma ile vermiküler grafitli dökme demirin frezelemede işlenebilirliği ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda araştırma sonuçları Yapay Sinir Ağları (YSA) ve regresyon analizi ile modellenmiştir. İşlenebilirlik parametreleri olarak farklı giriş açıları, kesme hızları ve maksimum talaş kalınlığı seçilmiştir. Deneylerde TiCN ve Al₂O₃ kaplamalı karbür uç ve silisyum nitrür esaslı seramik kesici uç kullanılmıştır. Her iki kesici uç için farklı giriş açılarında, kesme parametrelerinin; kesici takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemenin çekme dayanımı 508 MPa, akma dayanımı 284 MPa, sertliği 280 HV ve darbe dayanımı 8,6 joule olarak ölçülmüştür. Karbür kesici uçlarda, en düşük kesici takım aşınması (VB=0,12 mm) , 45°'lik yanaşma açısında 215 m/dak kesme hızında ve 492 mm/dak tabla ilerlemesinde gerçekleşmiştir. En yüksek kesici takım aşınması (VB=0,87 mm), 88° yanaşma açısında 290 m/dak kesme hızında ve 704 mm/dak tabla ilerlemesinde olmuştur. Maksimum ve minimum kesici takım aşınması arasında %725,0 oranında bir fark oluşmuştur. Yanaşma açısının değeri 45°, 60°, 75°, 88° ye doğru yükseldikçe kesici takım ömrü azalmıştır. Seramik kesici uçlarla yapılan deneysel çalışmada en düşük kesici takım aşınması (VB= 0,11 mm), 45°'lik yanaşma açısında 400 m/dak kesme hızında ve 400 mm/dak tabla

ilerlemesinde gerçekleşmiştir. En yüksek kesici takım aşınması ($VB=1,1$ mm), 88° yanaşma açısında 530 m/dak kesme hızında ve 540 mm/dak tabla ilerlemesinde olmuştur. Maksimum ve minimum kesici takım aşınması arasında %982,0 oranında bir fark oluşmuştur. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneylerde, 45° ve 60° 'lik giriş açılarında %1,0 -%15,33 oranında kesme kuvvetlerinde azalma olmuştur. 75° ve 88° 'lik giriş açılarında %1,0 ile %16,0 kesme kuvvetlerinde artma olmuştur. Karbür kesici uçlarda, yanaşma açısının değeri 45° 'den 88° 'ye doğru arttıkça yüzey pürüzlülük değeri iyileşmiştir. Seramik kesicilerde karbür kesici uçlarda oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin aksine, kesici takım yanaşma açısının değeri 45° 'den 88° 'ye doğru arttıkça yüzey pürüzlülük değeri de artmıştır.

Bu çalışma ile vermiküler grafitli dökme demirin (VGDD) işlenebilirliği için yeni ve farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Sunulan metotlar ile VGDD için en uygun işleme yöntemlerini bulmak mümkün olacak, işleme süresi ve üretim maliyetleri büyük oranda azalacaktır.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Vermiküler grafitli dökme demir, mekanik özellikler, işlenebilirlik, takım ömrü, takım aşınması, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, tahminsel modelleme, yapay sinir ağları, regresyon analizi
Sayfa Adedi : 196
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

**AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MACHINABILITY
PROPERTIES OF THE COMPACTED GRAPHITE IRON IN MILLING AND
MODELLING BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS
(Ph.D. Thesis)**

Şener KARABULUT

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
January 2011**

ABSTRACT

This experimental research contains the mechanical properties and the milling of Compacted Graphite Iron. The results of the experimental investigation have been modeled with artificial neural networks (ANN) and Regression Analysis Method. As milling parameters various lead angles, cutting speeds and the maximum chip thickness were used. In this study TiCN and Al₂O₃ coated carbide inserts and silicon nitrate based ceramic inserts were utilized. During the face milling process, the effects of cutting parameters on the surface roughness, milling forces and tool wear were investigated. The following mechanical properties for the material used in the experiments were measured. The hardness of Vickers is 280 HV, the ultimate tensile strength is 508 MPa, the yield strength is 284 MPa, and an impact strength of 8,6 joules. The lowest cutting tool wear for the coated carbide insert (VB = 0,12) was realized with 45° lead angle, 215 m/min cutting speed and 492 mm/min table feed rate. The highest tool wear (VB=0,87 mm) was realized with 88° lead angle, 290 m/min cutting speed and 704 mm/min table feed rate. Between the maximum and the minimum cutting tool wear exists a difference of 725,0%. An increase of the angle value 45°, 60°, 75°, 88° results in a higher decrease of the cutting tool life. The lowest cutting tool wear for the ceramic cutting insert (VB=0,11) was realized with 45° lead angle. The highest cutting tool wear for the ceramic

cutting insert ($VB=1,1$) was realized with 88° lead angle. Between the maximum and minimum cutting tool wear exists a difference of 982,0%. Using cutting oil in the experiments shows a decrease of the cutting forces between 1,0% - 15,33% at the lead angles of 45° and 60° . In comparison to that an increase of the cutting forces between 1,0% and 16,0% occurs at the lead angles of 75° and 88° . When using the coated carbide insert as cutting material for milling, surface roughness values were improved while increasing the lead angle from 45° to 88° . But when using the ceramic inserts as cutting material, the surface roughness values were worsened while increasing the lead angle from 45° to 88° because of micro fractures on the cutting tool. Face milling process has been studied by other researchers with different lead angle before. This is a new and different approach which has been developed through an experimental study for machinability of CGI. This study is considered helpful in predicting the wear mechanism, cutting forces and surface roughness of the coated carbide insert and ceramic inserts in the milling of compacted graphite iron. The present method greatly reduces the cost of time and of machining to find the optimum machining solution.

Science Code	: 708.3.028
Key Words	: Compacted graphite cast iron, mechanical features, machinability, tool life, tool wear, cutting force, surface roughness, predictive modelling, artificial neural network, regression analysis. ,
Page Number	: 196
Adviser	: Assist. Prof. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Sayın Yrd. Doç.Dr. Abdulkadir GÜLLÜ'ye, Tez izleme komitesinde yer alan ve değerli katkılarından dolayı Sayın Prof.Dr. Mahmut GÜLESİN'e, Sayın Prof.Dr. Mehmet TÜRKER'e, kıymetli bilgilerinden faydalandığım Sayın Prof.Dr. Ulvi ŞEKER'e, Sayın Prof.Dr. Ahmet ÖZDEMİR'e, deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yard. Doç.Dr. Yakup TURTGUT'a ve Gültekin UZUN'a teşekkür ederim.

Deneylerde kullandığım CNC tezgâh ve diğer ekipmanları ile çalışmaya katkıda bulunan Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı Başkanlığına teşekkür ederim.

Gösterdiği sabır ve desteklerinden dolayı eşime ve çocuklarıma teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmayı, 109M670 nolu proje ile destekleyen TÜBİTAK'a, 07/2010-33 nolu proje ile destekleyen Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne ve COMPENANTA DÖKTAŞ'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvi
RESİMLERİN LİSTESİ	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxiv
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
3. MALZEME VE METOT	23
3.1. Malzeme	23
3.1.1. Deneyde kullanılan malzeme	23
3.1.2. Takım ömrü deneyi parçalarının hazırlanması.....	23
3.1.3. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük deneyi parçalarının hazırlanması	24
3.1.4. Metalografik inceleme numunelerinin hazırlanması.....	30
3.1.5. Darbe deneyi numunelerinin hazırlanması.....	30
3.1.6. Sertlik ölçümü numunelerinin hazırlanması	31
3.1.7. Çekme deneyi numunelerinin hazırlanması	32
3.1.8. Deneylerde kullanılan frezeleme takımları ve açıları	32
3.2. Yanaşma Açısı	37

Sayfa

3.3. Deneylerde Kullanılan Karbür Kesici Uçlar	39
3.4. Deneylerde Kullanılan Seramik Kesici Uçlar	39
3.5. Karbür Kesici Uçlarla Kullanılan Soğutma Sıvısı	40
3.6. CNC Takım Tezgâhı	40
3.7. Deney Metotları	41
3.7.1. Takım ömrü deneyleri	41
3.7.2. Kesme hızının seçimi	42
3.7.3. Deneylerde kullanılan kesici uç sayısı	45
3.7.4. Ön takım ömrü deneyleri	45
3.7.5. Esas takım ömrü deneyleri	46
3.7.6. Yüzey pürüzlülüğü deneyleri	47
3.7.7. Mikro yapı incelemeleri	48
3.7.8. Aşınmış takım uçlarının görüntülenmesi	48
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	49
4.1. Vermiküler Grafitli Dökme Demirin Mekanik Özellikleri	49
4.1.1. Sertlik ölçme deneyi.....	49
4.1.2. Darbe dayanımı ölçme deneyi.....	50
4.1.4. Mikro yapı.....	53
4.2. Vermiküler Grafitli Dökme Demirin İşlenebilirliğinin.....	56
4.2.1. Kaplamalı karbür kesici uçlarda takım ömrü	57
4.2.2. Karbür kesici uçlarda aşınmanın karakterizasyonu	62
4.2.3 Seramik kesici uçlarda aşınma	71
4.2.4. Seramik kesici uç takım aşınmalarının incelenmesi	78

Sayfa

4.2.5. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi	85
4.2.6. Karbür kesici uçlar için kesme kuvveti.....	90
4.2.7. Seramik kesici uçlar için kesme kuvveti.....	100
4.2.8. Karbür kesicilerde yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi	106
4.2.9. Seramik kesicilerde yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi	112
5. DENEYSEL SONUÇLARIN YAPAY SİNİR AĞLARI VE REGRESYON ANALİZİ İLE YORUMLANMASI	117
5.1. Kesici Takım Aşınmasının YSA İle Modellenmesi.....	120
5.2. Kesici Takım Aşınmasının Regresyon Analizi İle Modellenmesi.....	124
5.3. Seramik Kesici Uçlarda Kesici Takım Aşınmasının YSA İle Modellenmesi.....	128
5.4. Yan Kenar Aşınmasının Regresyon Analizi İle Modellenmesi	132
5.5. Karbür Kesici Uçlarda Kesme Kuvvetinin YSA İle Modellenmesi	136
5.6. Kesme Kuvvetinin Regresyon Analizi İle Modellenmesi.....	139
5.7. Soğutma Sıvısıyla Yapılan Deneylerde Oluşan Kesme Kuvvetlerinin YSA İle Modellenmesi.....	143
5.8. Kesme Kuvvetinin Regresyon Analizi İle Modellenmesi.....	146
5.9. Karbür Kesici Uçlarda Yüzey Pürüzlülük Değerinin YSA İle Modellenmesi.....	149
5.10. Yüzey Pürüzlülük Değerinin Regresyon Analizi İle Modellenmesi.....	152
5.11. Soğutma Sıvısı İle İşlemede Oluşan Yüzey Pürüzlülük Değerinin YSA İle Modellenmesi.....	156
5.12. Yüzey Pürüzlülük Değerinin Regresyon Analizi İle Modellenmesi.....	159
5.13. Seramik Kesici Uçlarda Kesme Kuvvetinin YSA İle Modellenmesi	164
5.14. Kesme Kuvvetlerinin Regresyon Analizi İle Modellenmesi	167

Sayfa

5.15. Seramik Kesicilerin Yüzey Pürüzlülük Değerinin YSA İle Modellenmesi.....	171
5.16. Yüzey Pürüzlülük Değerinin Regresyon Analizi İle Modellenmesi.....	174
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	178
6.1. Karbür Kesici Uçların Aşınması	178
6.2. Seramik Kesici Uçların Aşınması	179
6.3. Karbür Kesicilerle Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi.....	180
6.4. Seramik Kesicilerle Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi.....	182
6.5. Karbür Kesiciler İçin Yüzey Pürüzlülüğü Değerlendirmesi	183
6.6. Seramik Kesiciler İçin Yüzey Pürüzlülüğü Değerlendirmesi	184
KAYNAKLAR	187
ÖZGEÇMİŞ	195

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan Vermiküler grafitli dökme demirin kimyasal bileşimleri (% ağırlık).....	23
Çizelge 3.2. Karbür kesici uçlar için kesme kuvvetleri ölçümü kesme parametreleri	27
Çizelge 3.3. Seramik kesici uçlar için kesme kuvvetleri ölçümü kesme parametreleri	28
Çizelge 3.4. Tavsiye edilen kesme şartları [tst ISO 8688-1, 2002].....	41
Çizelge 3.5. Karbür kesici uçlar için aşınma deneyi kesme parametreleri	43
Çizelge 3.6 Seramik kesici uçlar için aşınma deneyi kesme parametreleri.	44
Çizelge 4.1. VGDD sertlik ölçme sonuçları.....	49
Çizelge 4.2. Dökme demirlere ait genel mekanik özellikler	49
Çizelge 4.3. Değişik dökme demirlerin charpy darbe dayanımlarının sıcaklığa bağlı değişimi	50
Çizelge 4.4. Darbe dayanımı sonuçları	51
Çizelge 4.5. Çekme deneyi sonuçları.....	51
Çizelge 4.6. VGDD standartları	52
Çizelge 4.7. Alman standardına göre VGDD sınıfları VDG merkblatt W50	52
Çizelge 4.8. Vermiküler grafitli dökme demir için ISO standardı	53
Çizelge 5.1. YSA program girdileri için sınır değerleri.....	121
Çizelge 5.2. 1-6 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.5.9'da kullanılan sabitler	123
Çizelge 5.3. 7-10 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.10'da kullanılan sabitler	123
Çizelge 5.4. 11-12 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.11'da kullanılan sabitler.....	124

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.5. 13-14 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.12’de kullanılan sabitler.....	124
Çizelge 5.6. VB için varyans analizi (ANOVA).....	126
Çizelge 5.7. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması	128
Çizelge 5.8. YSA program girdileri için sınır değerleri.....	129
Çizelge 5.9. 1-6 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.5.17’de kullanılan sabitler	130
Çizelge 5.10. 7-10 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.18’de kullanılan sabitler	131
Çizelge 5.11. 11-12 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.19’da kullanılan sabitler	131
Çizelge 5.12. 13-14 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.20’de kullanılan sabitler	131
Çizelge 5.13. Seramik kesici aşınması için varyans analizi (ANOVA).....	134
Çizelge 5.14. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması	135
Çizelge 5.15. YSA program girdileri için sınır değerleri.....	136
Çizelge 5.16. 1-5 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.5.25’de kullanılan sabitler ..	138
Çizelge 5.17. 6-8 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.26 kullanılan sabitler	138
Çizelge 5.18. Kesme kuvveti için varyans analizi (ANOVA)	141
Çizelge 5.19. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması	143
Çizelge 5.20. YSA program girdileri için sınır değerleri.....	143
Çizelge 5.21. 1-5 arası nöronlardan elde edilen ve Eş. 5.32’de kullanılan sabitler .	145
Çizelge 5.22. 6-10 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.33’te kullanılan sabitler.....	145
Çizelge 5.23. Kesme kuvveti için varyans analizi (ANOVA)	148
Çizelge 5.24. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması	149

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.25. YSA program girdileri için sınır değerleri.....	149
Çizelge 5.26. 1-6 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.5.38’de kullanılan sabitler ..	151
Çizelge 5.27. 7-11 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.39’da kullanılan sabitler	152
Çizelge 5.28. Yüzey pürüzlülük değeri için varyans analizi (ANOVA).....	154
Çizelge 5.29. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması	156
Çizelge 5.30. YSA program girdileri için sınır değerleri.....	156
Çizelge 5.31. 1-5 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.5.44’te kullanılan sabitler ...	158
Çizelge 5.32. 6-10 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.45’te kullanılan sabitler.....	158
Çizelge 5.33. 11-16 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.46’da kullanılan sabitler	159
Çizelge 5.34. Islak kesmede yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi (ANOVA)....	162
Çizelge 5.35. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması	164
Çizelge 5.36. YSA program girdileri için sınır değerleri.....	164
Çizelge 5.37. 1-6 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.5.52’de kullanılan sabitler ..	166
Çizelge 5.38. 7-10 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.40’da kullanılan sabitler	166
Çizelge 5.39. Kesme kuvveti için varyans analizi (ANOVA)	170
Çizelge 5.40. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması	171
Çizelge 5.41. YSA program girdileri için sınır değerleri.....	172
Çizelge 5.42. 1-5 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.5.59’da kullanılan sabitler ..	173
Çizelge 5.43. 6-8 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.60’da kullanılan sabitler	173
Çizelge 5.44. Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi (ANOVA).....	176
Çizelge 5.45. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması	177

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Takım ömrü deneylerinde kullanılan VGDD malzemenin ölçüleri.....	24
Şekil 3.2. KISTLER 9257B dinamometrenin boyutları.....	25
Şekil 3.3. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçümü çalışma düzlemi.....	25
Şekil 3.4. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü deneylerinde kullanılan VGDD malzemesinin ölçüleri.....	26
Şekil 3.5. Kesme kuvvetleri ölçüm deney düzeneği.	26
Şekil 3.6. Darbe dayanımı deney numunesi.....	30
Şekil 3.7. Çekme deneyi numunesi	32
Şekil 3.8. 88° açılı karbür kesici uçlar için frezeleme takımı	33
Şekil 3.9. 75° açılı karbür kesici uçlar için frezeleme takımı	33
Şekil 3.10. 60° açılı karbür kesici uçlar için frezeleme takımı	34
Şekil 3.11. 45° açılı karbür kesici uçlar için frezeleme takımı	34
Şekil 3.12. 88° açılı seramik kesici uçlar için frezeleme takımı	35
Şekil 3.13. 75° açılı seramik kesici uçlar için frezeleme takımı	35
Şekil 3.14. 60° açılı seramik kesici uçlar için frezeleme takımı	36
Şekil 3.15. 45° açılı seramik kesici uçlar için frezeleme takımı	36
Şekil 3.16. Yanaşma açısının ilerleme hızı ve <i>hex</i> değeri üzerindeki etkisi	37
Şekil 3.17. Yanaşma açısının talaş oluşumu üzerindeki etkileri	38
Şekil 3.18. Deneyde kullanılan kaplamalı karbür kesici uç	39
Şekil 3.19. Deneyde kullanılan seramik kesici uç	40
Şekil 4.1. Çekme deneyi uzama/gerilme grafiği	52
Şekil 4.2. Vermiküler grafitli dökme demirin farklı kesme parametrelerinde işlenmesinde oluşan ortalama yan kenar aşınması.....	58

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. İlerleme hızına (maksimum talaş kalınlığı) bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması	58
Şekil 4.4. 45° yanaşma açısında tabla ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması.....	59
Şekil 4.5. 60° yanaşma açısında tabla ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması.....	60
Şekil 4.6. 75° yanaşma tabla ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması.....	61
Şekil 4.7. 88° yanaşma açısında tabla ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması.....	61
Şekil 4.8. Kesme hızı ve yanaşma açısına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması	72
Şekil 4.9. İlerleme hızına (maksimum talaş kalınlığı) bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması.....	73
Şekil 4.10. 45° yanaşma açısı ile ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması.....	74
Şekil 4.11. 60° yanaşma açısı ile ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması.....	75
Şekil 4.12. 75° yanaşma açısı ile ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması.....	75
Şekil 4.13. 88° yanaşma açısı ile ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması.....	76
Şekil 4.14. Karbür kesici uçlarda oluşan kesme kuvveti	86
Şekil 4.15. Karbür kesici uçlarla frezeleme sırasında oluşan kesme kuvveti	87
Şekil 4.16. Seramik kesici uçlarla frezeleme sırasında oluşan kesme kuvveti	87
Şekil 4.17. a) Frezede kesme kuvveti bileşenleri. F_a , F_c ve F_r kesici takıma göre kuvvet bileşenleri. F_x , F_y ve F_z sabit tablaya göre kuvvet bileşenleridir. b) F_c ve F_r	88
Şekil 4.18. 45°'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri a) kuru kesme b) ıslak kesme	92

Şekil	Sayfa
Şekil 4.19. 60°'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri a) kuru kesme b) ıslak kesme	94
Şekil 4.20. 75°'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı ilerleme yönünde oluşan kesme kuvvetleri	96
Şekil 4.21. 88°'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı ilerleme yönünde oluşan kesme kuvvetleri	97
Şekil 4.22. Kesme hızı ve giriş açısına bağlı olarak oluşan ortalama kesme kuvvetleri	100
Şekil 4.23. 45°'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ortalama kesme kuvveti	102
Şekil 4.24. 60°'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ortalama kesme kuvveti	103
Şekil 4.25. 75°'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ortalama kesme kuvveti	104
Şekil 4.26. 88°'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ortalama kesme kuvveti	105
Şekil 4.27. Kesme hızı ve maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerleri a, b) kuru işleme c,d) ıslak işleme.....	106
Şekil 4.28. 45° yanaşma açısında a) kuru b) ıslak kesme şartlarında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü	108
Şekil 4.29. 60° yanaşma açısında a) kuru b) ıslak kesme şartlarında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü	109
Şekil 4.30. 75° yanaşma açısında a) kuru b) ıslak kesme şartlarında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü	110
Şekil 4.31. 88° yanaşma açısında a) kuru b) ıslak kesme şartlarında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü	112
Şekil 4.32. Kesme hızı ve yanaşma açısına bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değeri	113
Şekil 4.33. 45° yanaşma açısında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	114

Şekil	Sayfa
Şekil 4.34. 60° yanaşma açısında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	114
Şekil 4.35. 75° yanaşma açısında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	115
Şekil 4.36. 88° yanaşma açısında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	115
Şekil 5.1. Basit bir yapay sinir hücresi şekli .	118
Şekil 5.2. Karbür kesici takım aşınması tahmini için 15 Nöronlu YSA yapısı.....	122
Şekil 5.3. Deney sonuçlarının YSA ve Regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması	125
Şekil 5.4. Kontrol deneylerinin YSA ve regresyon modeli ile kıyaslanması.....	126
Şekil 5.5. VGDD işlenmesinde kaplamalı karbür kesici uç yan kenar aşınması üzerinde kesme parametrelerinin etkisi.....	127
Şekil 5.6. Seramik kesici takım aşınması tahmini için 15 nöronlu YSA yapısı	129
Şekil 5.7. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması	133
Şekil 5.8. Kontrol deneylerinin YSA ve regresyon modeli ile kıyaslanması.....	133
Şekil 5.9. Seramik kesici uç yan kenar aşınması üzerinde kesme parametrelerin etkisi.....	135
Şekil 5.10. 9 nöronlu YSA yapısı	137
Şekil 5.11. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması	140
Şekil 5.12. Kontrol deneylerinin YSA ve regresyon modeli ile kıyaslanması.....	141
Şekil 5.13. Kuru işleme şartlarında kesme kuvvetleri üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı	142
Şekil 5.14. 11 nöronlu YSA yapısı	144
Şekil 5.15. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması	146

Şekil	Sayfa
Şekil 5.16. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması	147
Şekil 5.17. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan frezeleme işleminde kesme kuvvetleri üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı.....	148
Şekil 5.18. 12 nöronlu YSA yapısı	150
Şekil 5.19. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması.....	153
Şekil 5.20. Kontrol deneylerinin YSA ve regresyon modeli ile kıyaslanması.....	154
Şekil 5.21. Kuru işleme şartlarında yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı	155
Şekil 5.22. 17 nöronlu YSA yapısı	157
Şekil 5.23. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması.....	161
Şekil 5.24. Kontrol deneylerinin YSA ve regresyon modeli ile kıyaslanması.....	161
Şekil 5.25. Islak işleme şartlarında yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı	163
Şekil 5.26. Seramik kesici takım kesme kuvveti tahmini için 11 nöronlu YSA yapısı.....	165
Şekil 5.27. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması.....	168
Şekil 5.28. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması.....	168
Şekil 5.29. Kesme kuvvetleri üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı.....	170
Şekil 5.30. Yüzey pürüzlülük tahmininde kullanılan 9 nöronlu ağ yapısı	172
Şekil 5.31. Seramik kesicilerle işlemede yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı	175
Şekil 5.32. Kontrol deneylerinin YSA ve regresyon modeli ile	175
Şekil 5.33. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı	176

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Metkon gripo 2 polisaj cihazı	30
Resim 3.2. Instron wolpert PW30 çentik darbe cihazı.....	31
Resim 3.3. Instron-Wolpert marka DIATESTOR 7551 sertlik ölçme cihazı	32
Resim 3.4. Deneylerde kullanılan CNC işleme merkezi.....	41
Resim 3.5. Yan kenar aşınmasının ölçülmesinde kullanılan verniyer bölüntülü optik mikroskop.	46
Resim 3.6. MAHR- Perthometer M1 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı.....	47
Resim 3.7. Leica DM400M optik mikroskop	48
Resim 4.1. Vermiküler grafitli dökme demirin mikroyapısı.....	54
Resim 4.2. Vermiküler grafitli dökme demirin nital ile dağlandıktan sonraki mikroyapısı.....	54
Resim 4.3. Kırık parçadan çekilen SEM resmi	55
Resim 4.4. 60° yanaşma açısında $V_c=250$ m/dak $V_f=467$ mm/dak kesme parametrelerinde aşınmış kaplamalı karbür takım yüzeyinin SEM görüntüleri	63
Resim 4.5. 60° yanaşma açısında $V_c=215$ m/dak, $V_f=402$ mm/dak kesme parametrelerinde aşınmış kaplamalı karbür takım yüzeyinin SEM görüntüleri.....	65
Resim 4.6. Kesici uç EDX analizi.....	66
Resim 4.7. VGDD'nin kaplamalı karbür kesici uçla 75° yanaşma açısında $V_c=250$ m/dak ve $V_f=419$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri.....	67
Resim 4.8. VGDD'nin kaplamalı karbür kesici uçla 88° yanaşma açısında $V_c=215$ m/dak ve $V_f=522$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri	68

Resim	Sayfa
Resim 4.9. 88° yanaşma açısında $V_c=250$ m/dak ve $V_f=506$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri.....	69
Resim 4.10. 88° yanaşma açısında $V_c=290$ m/dak ve $V_f=470$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri	70
Resim 4.11. VGDD'nin seramik kesici uçla 60° yanaşma açısında $V_c=400$ m/dak ve $V_f=471$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri.....	79
Resim 4.12. VGDD'nin seramik kesici uçla 60° yanaşma açısında $V_c=400$ m/dak ve $V_f=392$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri.....	79
Resim 4.13. VGDD'nin seramik kesici uçla 60° yanaşma açısında $V_c=460$ m/dak ve $V_f=451$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri	80
Resim 4.14. VGDD'nin seramik kesici uçla 75° yanaşma açısında $V_c=400$ m/dak ve $V_f=352$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri.....	81
Resim 4.15. VGDD'nin seramik kesici uçla 75° yanaşma açısında $V_c=460$ m/dak ve $V_f=337$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri.....	82
Resim 4.16. VGDD'nin seramik kesici uçla 75° yanaşma açısında $V_c=460$ m/dak ve $V_f=485$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri.....	82
Resim 4.17. 75° yanaşma açısında $V_c=530$ m/dak ve $V_f=466$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri	83
Resim 4.18. 88° yanaşma açısında $V_c=400$ m/dak ve $V_f=283$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri.....	84
Resim 4.19. 88° yanaşma açısında $V_c=460$ m/dak ve $V_f=326$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri.....	84

Resim**Sayfa**

Resim 4.20. 88° yanaşma açısında $V_c=530$ m/dak ve $V_f=541$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri.....	85
--	----

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
ae	Kesme genişliği (mm)
ap	Talaş derinliği (mm)
Dc	Kesici çapı (mm)
Fr	Bileşke kesme kuvveti (N)
Fx	İlerleme yönündeki kesme kuvveti (N)
fz	Diş başına ilerleme oranı
hex	Maksimum talaş kalınlığı (mm)
HV	Vickers sertliği
Kr	Yanaşma açısı (giriş açısı-derece)
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (μm)
Vc	Kesme hızı (m/dak)
Vf	Tabla ilerleme hızı (mm/dak)
Zn	Bir ağızdaki diş sayısı
Kısaltmalar	Açıklama
GDD	Gri dökme demir
KGDD	Küresel grafitli dökme demir
MAPE	Ortalama mutlak yüzde hata
R²	Determinasyon katsayısı
RMSE	Ortalama karesel hatanın karekökünün
VB	Ölçülen yan kenar aşınması (mm)
VB_{ANN}	Tahmin edilen kenar aşınması (mm)
VGDD	Vermiküler grafitli dökme demir

$V_{\max}$	Kesme deęişkenlerinin maksimum değeri
$V_{\min}$	Kesme deęişkenlerinin minimum değeri
V_N	Normalize edilmiş değer
V_R	Gerçek değer
YSA	Yapay sinir ağı

1.GİRİŞ

Bu çalışmanın konusu, Vermiküler Grafitli Dökme Demirin (VGDD) frezelemedeki işlenebilirliğinin deneysel olarak araştırılması, takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti parametreleri ile işlenebilirlik arasındaki ilişkinin matematiksel modelinin çıkarılmasıdır.

Vermiküler grafitli dökme demirler; otomotiv endüstrisinde son 10 yıldır çok yaygın olarak kullanılmakta ve fren diskleri, eksoz manifoldları, motor kapağı ve dizel motor blokları gibi parçaların yapımında oldukça tercih edilen bir malzeme olduğu bilinmektedir. Üstün mukavemet özelliklerine sahip bu malzeme, gri dökme demirle karşılaştırıldığında, yüksek basınçlı yanma odalarının imalatına daha elverişli olup daha verimli yanma ve düşük emisyon değerleri elde edilmesine imkan sağlamaktadır. Daha ince et kalınlığında makine parçası yapımı ve dolayısıyla daha hafif motorların imalatı söz konusu olmaktadır. Bu avantajların yanısıra, bu malzemenin işlenmesi esnasında, işlenebilirlik açısından çözüm bekleyen birçok problem de mevcuttur. Yüksek tork, düşük emisyon ve gün geçtikçe artan gelişmiş yakıt ekonomisi talebi, motor tasarımcılarını motor bloklarının yapımında daha güçlü malzemeleri araştırmak zorunda bırakmaktadır. Bu özellikle, artan silindir basıncı ihtiyaçlarını karşılayabilmek için dizel motor sektöründe daha da gerçekçidir. Gelecek nesil dizelerde 160 bar ve ilerisi piston delik basıncı hedeflenirken günümüzde doğrudan enjeksiyonlu dizelerde piston delik basıncı 135 bar civarındadır. Ağır kamyonlarda en üst yanma basıncı neredeyse 200 bar basıncı aşmaktadır. Bu çalışma seviyelerinde gri dökme demir ve alüminyum alaşımları dayanım, sertlik ve kırılma gibi özelliklerin hepsini bir arada bulunduracak dayanıklılık kriterlerine sahip değildir. Bu nedenle, birçok otomotiv firmaları hem benzinli hem de dizel motor blokları için VGDD'yi değerlendirmektedirler. VGDD neredeyse 40 yıldan fazla bir süredir bilinen bir malzeme olmasına ve birçok inceleme makalesi yayınlanmasına rağmen nitelikleri henüz gri dökme demir kadar iyi bilinmemektedir. VGDD'nin otomotiv sanayinde yoğun olarak kullanılmasının önündeki ana engel gri dökme demire göre yüksek kesme hızlarında işlenebilirliğinin oldukça zor olmasıdır. Ülkemiz otomotiv endüstrisi içinde önemli bir yer tutan

VGDD malzemenin işlenebilirliğinin her yönden araştırılarak; işlenebilirlik ve işleme parametreleri arasında matematiksel bir modelinin çıkarılması önem arz etmektedir. Çünkü işleme sırasında takım ömrü önemli derecede düşmektedir. Talaşlı imalat işlemlerinde (tornalama, frezeleme, delme, taşlama vb.) üretilen iş parçası kalitesinin artırılması ve maliyetin düşürülmesine yönelik yapılan çalışmalarda kesme kuvvetlerinin tespiti ve analizi önemli bir yer tutmaktadır. Kesme kuvvetleri; ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da önemli bir etkidir. Talaş kaldırmada asıl amaç; en düşük maliyetle en yüksek üretim miktarını maksimum takım ömrü ile elde etmektir. Bunu yaparken yüzey kalitesini muhafaza etmek için talaş kaldırmaya etki eden kesme şartlarının, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmak gerekir. Optimum kesme şartlarının seçimi ekonomik fayda sağlamada önemli bir faktördür. Alın frezelemede, takım eksenine işlenen yüzeye diktir. Kesme, esasen takımın yan kenarı ile gerçekleşir. Bu bakımdan frezenin yanaşma açısı çok önemlidir. Frezenin konumu işlenen yüzeyin B genişliğine göre simetrik veya asimetrik olabilir. Kesme hızının azaltılması talaş derinliğinin arttırılmasını mümkün kılmaktadır. Aynı zamanda kesme hızının azaltılması; takım ömrünü arttırır, aşınmayı azaltır ve işleme sırasında takım sıcaklığında düşüş meydana getirir. Oysa tezgâhın maksimum güçte kullanılması istendiğinde, kesme hızı ve talaş derinliği arasında ters orantılı bir ilişki bilinmektedir. Frezelemede talaş kalınlığını etkileyen bir faktör de yüzey frezenin yanaşma açısıdır. Bu açı, kesicinin ön kesme kenarı ile iş parçası arasındaki açıdır. Yanaşma açısının azalması verilen bir ilerleme oranı için talaş kalınlığını azaltır ve bu talaş inceltme etkisi malzeme miktarını kesme kenarının daha büyük bir bölümüne dağıtır. Daha küçük bir yanaşma açısı da kesime daha fazla kademeli giriş sağlayarak radyal basıncı düşürür ve kesme kenarını korur. Açılı frezelemede, kesme işlemi sonunda azalan malzeme miktarına bağlı olarak daha yüksek tabla ilerlemesi elde edilmekte ve bunun sonucu olarak da yüksek verimlilik oluşmaktadır.

Bu çalışmayla, freze tezgâhında, kesme şartlarının (kesme hızı, ilerleme oranı, talaş derinliği, açılı frezeleme ve kesme sıvısının) VGDD'nin işlenebilirliği üzerindeki

etkilerinin belirlenmesi ve elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak Yapay Sinir Ağları (YSA) ile tahmin modelinin oluşturulması hedeflenmiştir. Bu hedeflere ulaşmak için farklı yavaşma açılarında, 500 cm³ sabit talaş hacminde seramik ve karbür kesici uçlar için deneylerde belirlenen kesme parametreleri kullanılarak aşınma deneyleri yapılmıştır. Ayrıca farklı yavaşma açılarında karbür ve seramik kesici uçlar için kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçme deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda farklı açılarda frezelemenin, işlenebilirlik üzerinde çok etkili olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak YSA yöntemi ile matematiksel tahmin modelleri oluşturulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Vermiküler grafitli dökme demirler ve işlenebilirliği ile ilgili olarak yapılan çalışmaların genel içeriği aşağıda özetlenmiştir.

Vermiküler grafitli dökme demirler, geçmişte küresel grafit üretmek üzere yetersiz magnezyum ve seryum seviyelerinin ergitilmesiyle tesadüf olarak ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, farklı üretim teknolojileri gerektiren farklı özellikleriyle, 1965'ten itibaren dökme demir ailesindeki yerini almıştır. Vermiküler grafitli dökme demirin grafit yapısı oldukça karışıktır. Kabul edilir olan mikro yapı hiç lamel grafit olmayan, küresel grafitin %20'den az olduğu ve tüm grafitin %80'inin vermiküler olduğu bir küresel grafitli dökme demirdir. Vermiküler grafitli dökme demirde grafitler lamelde değil de ötektik hücreler içinde, birbirine kenetlenmiş olan salkımlar şeklinde olduğu görülmüştür [Handbook, 1972].

Walton, vermiküler grafitin içindeki grafitin gri demirdeki gibi birbirine bağlanmış ince tabakalar halinde bulunduğunu, bu durumun özellikle karmaşık biçimdeki maça pasajlarında, hatasız döküm üretimini kolaylaştırdığını, vermiküler grafitin körleşmiş ve kısa olan uçlarının, daha iyi kuvvet, süneklik, daha fazla ısı iletkenliği sönümleme sağladığını belirtmiştir. Grafitin bu formunun, ilk olarak, küresel dökme demir geliştirildiği sırada keşfedildiğini, ancak yakın zamana kadar ticari amaçlı bir üretim metodu olarak kullanılmadığını, günümüzde ise vermiküler grafitli dökme demirin artık güvenle üretilmekte olduğunu ifade etmiştir [Walton, 1981].

Higgins, dökme demirlerdeki grafitin genellikle demir matrikse göre ısıyı daha iyi iletmediğinden, vermiküler grafitli dökme demirin (VGDD) gri demirden biraz daha az, fakat küresel grafitli dökme demirden daha iyi bir ısı iletimine sahip olduğu ifade etmiştir. Bütün bu faktörler VGDD'yi ısıya dirençli bir malzeme olarak çekici kıldığını belirtmiştir [Higgins, 1993].

Dawson, gri dökme demir, vermiküler grafitli dökme demir ve küresel grafitli dökme demirin grafit parçacıkları farklı şekilde olduğunu söylemiştir. Küresel grafitli

dökme demirdeki grafit parçacıkları bireysel küreler şeklinde görülürken, gri dökme demirde rastgele yönelmiş lamelli parçacıklar olarak görülmüştür. Bunun aksine, Vermiküler grafitli dökme demirdeki grafit parçacıklar, vermiküler (solucan) parçacıklar olarak görünür. Vermiküler grafit demir ile küresel grafitli dökme demir kıyaslandığında, VGDD'nin daha iyi ısı iletimine, daha iyi dökülebilirlik özelliğine, mekanik enerjinin ısı enerjisine dönüşmesi ve sürtünme ile oluşan titreşimi daha iyi absorbe edebilme yeteneğine sahip olduğunu ifade etmiştir [Dawson, 2001].

Sorger, mekanik özelliklerdeki iyileştirmenin bir sonucu olarak AVL Avusturya tarafından yürütülen bir araştırmada 1,8 L dizel motor silindir bloğunu gri demirden vermiküler grafit demir'e dönüştürdüklerini bu dönüşümün sonucu olarak da şu faydaları elde ettiklerini açıklamıştır,

- Toplam motor ağırlığında %9 azalma
- İşlenen silindir bloğunun ağırlığında %22 azalma
- Bitmiş motorun toplam uzunluğunda %15 azalma
- Bitmiş motorun yükseklik ve genişliğinde %5 azalma [Sorger, 1999].

Guesser, vermiküler grafitli dökme demirin (VGDD), motor başlıkları, dizel motor blokları, eksoz manifoldları ve fren diskleri gibi birçok parçada gri dökme demire göre daha verimli bir şekilde kullanıldığını, günümüzde artık otomotiv imalat malzemesi olarak kabul gördüğünü ifade etmiştir. VGDD'nin çok iyi mekanik özellikleri sayesinde daha iyi basınç ve performans özelliği ile dizel motorların imalatına izin verdiğini, motorların yanma odalarında daha yüksek basınçlar elde etmenin mümkün olacağını belirtmiştir [Guesser, 2003].

Melleras ve arkadaşları, Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin otomotiv endüstrisinde son 10 yıl çok yaygın olarak kullanıldığını bahsetmekte ve fren

diskleri, eksoz manifoldları, motor kapağı ve dizel motor blokları gibi parçaların yapımında oldukça fazla seçilen bir malzeme olduğunu söylemektedirler. Üstün mukavemet özelliklerine sahip bu malzeme, gri dökme demirle karşılaştırıldığında, yüksek basınçlı yanma odalarının imalatına daha elverişli olup daha verimli yanma ve düşük emisyon değerleri elde edilmesine imkan sağlamaktadır. Daha ince et kalınlığında parça üretmek mümkün olup daha hafif motorların imalatı söz konusu olmaktadır. Bunun yanı sıra bu malzemenin işlenmesi esnasında işlenebilirlik açısından birçok problem mevcuttur. Melleras ve arkadaşları yapmış oldukları bu araştırmada, beş değişik VGDD alaşımı ve motor bloğu malzemesi olarak geniş kullanım alanına sahip FC-250 gri dökme demiri kullanmışlardır. Bu iki malzemeyi işlenebilirlik yönünden karşılaştırmışlar, işlenebilirlik kriterleri olarak da takım aşınması ve kesme kuvvetlerini dikkate almışlardır. Yapılan deneyler sonucunda VGDD-450 malzemesi geliştirilmiş ve bu malzemenin FC-250 gri dökme demire göre işlenebilirliğinin daha iyi olduğu gözlenmiş olup, yüksek kalitede motor bloğu ve otomotiv parça imalatlarında daha iyi bir malzeme olduğunu ispat etmişlerdir. Talaşlı imalat, yukarıdaki malzemelerin takım ömrü yönünden önemli farklılıklar gösterdiği belirtilmiştir. Deneylerin başlangıcında gri dökme demirin işlenmesinde daha az kesici takım aşınması görülmüştür [Melleras, 2004].

Kennametal kesici takım katalogunda, dökme demirlerin işlenebilirliği, dökümün tipine ve mikro yapısına bağlı olduğu, beyaz dökme demirin işlenebilirliği oldukça zor iken, ferritik dökümün işlenebilirliği ise en kolay olduğu ifade edilmiştir. Dökme demirin diğer çeşitlerinin işlenebilirliği beyaz döküm ile ferritik döküm arasındadır. Sonuç olarak hızlı soğuma sırasında oluşan sertleşme ve karbür tabakasının aşırı varlığı işlenebilirliği ciddi olarak düşürdüğü belirtilmiştir [Kennametal, 2005].

Amerikan Döküm Birliği bir çalışmada, vermiküler grafitli dökme demir'in mekanik özelliklerini tartışmıştır. Bu demirin çekme özellikleri ve Brinell sertliğinin malzemenin mikro yapısına ve grafitin matris içindeki miktar ve dağılımına bağlı olarak değiştiğini belirtmişlerdir. Yorulma özellikleri, matris yapıdan, küresel grafit oranından ve mekanik çentiklerin varlığından etkilenmektedir. VGDD düşük tokluk

ve sünek-gevrek geçiş davranışı gösterir ve perlit oranının artmasıyla darbe dayanımının azaldığı söylenebilir [Society, 2004].

Borghigiani, vermiküler grafitli dökme demirlerin sertlik değerlerinin, küresel grafitli dökme demirler ile gri dökme demirlerin arasında olduğunu, perlit matrisli vermiküler grafitli dökme demirlerin, ferrit matrisli vermiküler grafitli dökme demirlerden daha sert olduğunu ifade etmiştir. Vermiküler grafitli dökme demirlerin sertlikleri, mikro yapıya bağlı olmasına rağmen; çekme dayanımı aynı olan gri dökme demirden daha düşük olduğunu rapor etmiştir [Borghigiani, 1982].

Stefanescu, perlitik vermiküler grafitli dökme demirin akma ve çekme mukavemeti ferritik tipe göre daha yüksek olmakla beraber sertliği ve sünekliği düşük olduğunu [Stefanescu, 1988], Dawson, vermiküler grafitli dökme demirlerde perlit oranı arttıkça sertliğin de arttığını [Dawson,1999], vermiküler grafitli dökme demirin mikro yapısının, gri dökme demir ile küresel grafitli dökme demir arasında bir yapıda [Dawson, 2004] olduğunu rapor etmişlerdir.

Goodrich, vermiküler grafitli dökme demir'in küt tanecik şekli ile ve küresel grafit miktarı ile hem gri demir hem de küresel grafitli dökme demirin arasında vermiküler grafit parçacıkları içerdiğini, dökülebilirlik olarak gri dökümün davranışlarını gösterirken, daha iyi mekanik özellikler ve ısı iletme özelliğine sahip olduğunu rapor etmiştir [Goodrich, 2006].

DPT, Türkiye'de sfero ve vermiküler grafitli dökme demir dökümünün başlamış olduğunu yaygınlaşmasının beklendiğini henüz standardının yayınlanmadığını rapor etmiştir [DPT, 2007].

Grzesik, yüksek performanslı dizel motor bloklarında vermiküler grafitli dökme demir kullanımı sürekli olarak arttığını rapor etmiştir [Grzesik, 2009].

Stefanescu, hem deneysel çalışmalarında hem de uygulamada, VGDD'in işlenebilirliğinin gri dökme demir ile küresel grafitli dökme demir arasında olduğunu

söylemiştir. VGDD'in morfolojisi, malzemeyi işleme anında talaş kaldırmak için yeteri kadar kırılğan yapmaktığını, bundan dolayı toz talaş çıkışını engellemenin zor olduğunu rapor etmiştir [Stefanescu, 1988].

Cooper ve Loper yapmış oldukları çalışmada, delme işlemlerinde vermiküler grafitli dökme demirin, aynı sertlik ve kompozisyona sahip küresel grafitli dökme demir ve gri dökme demire göre işlenebilirliğinin daha iyi olduğuna karar vermiştir ve ayrıca sertlik ve işlenebilirliği etkileyen en önemli değişkenin döküm kesit kalınlığı olduğunu söylemişlerdir [Cooper, 1978].

VGDD malzemeyi ekonomik bir şekilde işleyebilmek, kesme hızının azaltılması ve tekli kesici uç yerine çoklu kesici uç kullanımı ile mümkün olduğunu, kesme hızının azaltıldığı miktar kadar ilerleme oranını artırarak aynı verimliliğin elde edileceğini ifade etmiştir [Heck, 2008].

Abele ve arkadaşları, otomotiv sanayinde vermiküler grafitli dökme demirin ekonomik olmayan işleme şartlarından dolayı endüstriyel kullanımının oldukça uzun bir zaman alacağını, işleme sırasında takım ömrü önemli derecede düştüğünü belirtmişlerdir. Darmstadt teknoloji üniversitesinde, dökümcüler, imalatçılar ve malzeme bilimcilerin ortaklığında 6 yıllık bir analitik araştırma ile takım aşınma mekanizması araştırmışlardır. Araştırma sonucunda takım aşınmasına vermiküler grafitli dökme demirin mikro yapısındaki sülfürün kesici kenar üzerinde bir mangan sülfür (MnS) tabakası oluşumuna doğrudan etki ettiği görülmüştür. Gri dökme demiri (GDD) işlemede bu katman kesici kenarı abrasif aşınmaya karşı koruduğunu, bundan dolayı VGDD işlemede kullanılacak takım tasarımında MnS tabakasının olmadığı dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Çok kristalli kübik bor nitrür (ÇKKBN) kesici uçlarla yüksek kesme hızlarında frezeleme deneylerinde takım ömrü gri dökme demire göre yaklaşık olarak %50 oranında azalmıştır. Frezeleme deneyleri için takım tutucuya iki tane kesici uç takılmıştır. Tornalama numuneleri tek bir kesici uç ile sürekli işlemeye tabi tutulmuştur. Kaplamalı karbür uçlarla düşük kesme hızlarında (150-250 m/dak) frezeleme ve tornalamanın her ikisinde de gri dökme demirde takım ömrünün yaklaşık %50 sini sağladığı gözlemlenmiştir [Abele, 2002].

Abele ve Schramm, vermiküler grafitli dökme demiri torna tezgâhında, çok kristalli elmas kesici uç ve CO₂ soğutucu sistemi ile kullanarak kesme deneylerine tabi tutmuşlardır. Elmas kesici uç ve CO₂ soğutucu yaptıkları çalışmada takım aşınma davranışının kesme hızı, kesme kuvvetleri, kesme sıcaklığı ve iş parçasının yüzey kalitesi ile çok kuvvetli bir korelasyona sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca bu çalışmada elmas kesici uçların demir malzemelerin işlenebilirliğinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır [Abele, 2008].

Dawson, karbür kesici takımlarla düşük kesme hızlarında frezeleme yapıldığında takım ömründe çok büyük bir değişme olmadığını rapor etmiştir. Vermiküler grafitli dökme demirde perlit oranı arttıkça kesici takım ömrü düşmektedir [Dawson, 2001].

Sadık, 300 m/dak kesme hızlarının altındaki kesme hızlarında vermiküler grafitli dökme demirin frezelenmesinde sementit karbür kesici uç kullanılması gerektiğini rapor etmiştir. Sadık, iki farklı kaplama kalınlığına sahip kesici uç kullanarak gri demir ile vermiküler grafitli dökme demiri, $V_c=250$ m/dak kesme hızı, $f_z=0,2$ mm/diş, $a_p=3$ mm işleme şartları altında yüzey frezeleme işlenebilirlik deneylerine tabi tutmuştur. VGDD işlemede takım ömrü GDD'e göre %50 oranında daha düşük çıkmıştır. Ayrıca gri demir için üretilmiş olan kesici uçların vermiküler grafitli dökme demir için uygun olmadığını, vermiküler grafitli dökme demiri işlemek için yeni kesici uçların geliştirilmesi gerektiğini rapor etmiştir [Sadık, 2007].

Dawson, farklı perlitik yapıdaki VGDD'yi karbür kesici takımlarla 150-250 m/dak aralığında kesme hızlarında işlenebilirlik deneylerine tabi tutmuştur. %70 ve %97,5 aralığındaki perlit oranına sahip malzemeler 150 m/dak kesme hızında işlenmiş ve kesici takım ömrü %75 gibi yüksek bir değere ulaşırken, %100 perlit oranında takım ömrü aniden düşmüştür. Takım ömründeki bu düşüş %2,5 oranındaki perlit artışından değil ferritin ve diğer değişkenlerin mikro sertliğinin değişmesinden kaynaklandığını rapor etmiştir [Dawson, 2001].

Schulz ve arkadaşları VGDD'nin işlenmesinde ortaya çıkan düşük takım ömrünü tespit etmek için yüzey frezeleme deneyleri yapmışlardır. Deneylerinde motor blokları ile aynı mikroyapıya sahip malzemeler kullanılmıştır. Frezeleme deneyleri için takım tutucuya iki tane kesici uç takılmıştır. Karbür kesici uçlarla yapılan deneylerde 150 ve 250 m/dak kesme hızı kullanılmıştır. VGDD işlemede kesici takım ömründe önemli oranda bir düşüş gerçekleştiğini rapor etmişlerdir [Schulz , 2000].

Niniza, çok kristalli kubik bor nitrür (ÇKKBN) takımların kesici takım aşınması yüksek kesme hızlarında, vermiküler grafitli dökme demirin işlenebilirliğini araştırmıştır. Deneyler CNC torna tezgâhında 500–800 m/dak kesme hızlarında 0,05 mm/rev ilerleme oranında ve 0,2 mm talaş derinliği gibi kesme parametreleri kullanılarak ve kesme sıvısı kullanılmadan son yüzey tornalama yapılarak gerçekleştirilmiştir. Yüksek kesme hızlarında kesici takımların talaş yüzeyi üzerinde hızlı krater aşınması olmasından dolayı serbest yüzey aşınması hata kriterine öncelikle ulaşıldığı için kesici takımlardan istenilen performans elde edilemediğini rapor etmiştir [Niniza, 2007].

Dawson ve Schroeder yapmış oldukları çalışmada, gri döküme göre %75'den daha fazla çekme dayanımına ve yaklaşık olarak %45'den daha yüksek rijitliğe sahip olan VGDD'nin işlenebilirliği gri döküme göre biraz daha zor olduğunu söylemişlerdir. İşlenebilirlik deneylerinde VGDD ile GDD kıyaslamasını yapmışlardır. Gri dökme demir düşük kesme hızlarında (100-200 m/dak) geleneksel karbür takımlarla tornalama ve frezeleme işlemine tabi tutulduğunda %50 takım ömrünün arttığı gözlenmiştir. Yüksek kesme hızlarında (400-800 m/dak) ÇKKBN kesicilerle frezeleme yaparken de gri dökme demir işlemede takım ömrünün %50 arttığı gözlenmiştir. VGDD'i ÇKKBN ve seramik kesici takımlar kullanarak yüksek kesme hızlarında işleme yaparken aralarındaki işlenebilirlik farkının çok önemli olduğu görülmüştür [Dawson, 2004].

Mavi, VGDD'nin tornada işlenebilirliğini araştırmıştır. ISO 3685'e uygun işleme parametreleri seçerek 2,5 mm talaş derinliğinde 0,2, 0,25 ve 0,30 mm/rev ilerleme

oranlarında, 150, 170, 190 ve 210 m/dak kesme hızları kullanarak işleme deneylerine tabi tutmuştur. Deneysel araştırmalarda kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda, en iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerini perlitik yapıdaki vermiküler grafitli dökme demirlerde, en yüksek kesme hızlarında elde etmiştir. En büyük kesme kuvveti ise Ferritik+Perlitik vermiküler grafitli dökme demirlerde ölçüldüğünü rapor etmiştir [Mavi, 2008].

Sahm, GDD ile kıyaslandığında, en az %75 daha yüksek dayanım, %40 daha yüksek elastik modül ve yaklaşık iki kat daha fazla malzeme dayanımı ile VGDD dizel motor üreticileri için geleceğin malzemesi olduğunu belirtmiştir. Silindirik delik büyütme gibi sürekli kesme işlemlerinde ÇKKBN kullanımının takım ömründe 10-20 kat düşüşe yol açtığını, kaplamalı karbür uçlarla 100-120 m/dak kesme hızlarında kabul edilebilir takım ömrü elde edildiğini rapor etmiştir [Sahm, 1997].

Armarego, vermiküler grafitli dökme demirde MnS'ün olmaması nedeni ile artan kesme hızlarında sürekli kesme şartları altında ekonomik bir işleme yapmak mevcut kesici takımlarla mümkün olmadığını ifade etmiştir. Ancak kaplamalı karbür uçlarla 100-120 m/dak kesme hızlarında kabul edilebilir bir takım ömrü elde edilmiştir. Silisyum nitrür seramikle desteklenmiş, yüksek kesme hızlarında dönen kesici uçlu takımlarla daha yüksek verimlilik elde edildiği görülmüştür [Armarego, 1993; Armarego, 1997].

Schmitt ve Schulz, yüksek kesme hızlarında (400-800 m/dak) seramik veya çok kristalli kübik bor nitrür (ÇKKBN) ile VGDD'de işlendiğinde, gri dökme demir frezelemede takım ömrünün yaklaşık %50'sini sağladığını söylemişlerdir [Schmitt, 1997; Schulz, 1998].

Phillips yapmış olduğu deneysel çalışmada; ferritik ve perlitik vermiküler grafitli dökme demir ile ferritik, perlitik gri ve küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliklerini karşılaştırmıştır. Tornalama işlemleriyle yapılan deneylerde değişik kesme hızları, ıslak ve kuru şartlarda, kaplanmış tungsten karbür ve sıcak preslenmiş alüminyum oksit kesici takımlar kullanmıştır. Deneylerde kaplanmış

tungsten karbür cinsi kesici uç, sıcak kaplanmış alüminyum oksit kesici uca göre daha fazla takım ömrü sergilemiştir. Ferritik vermiküler grafitli dökme demirin işlenebilirliğinin perlitik vermiküler grafitli dökme demire göre daha iyi olduğunu tespit etmiş ve tornalama işlemlerinde soğutma sıvısının işlenebilirliği olumlu etkileyen bir unsur olduğunu ortaya koymuştur [Phillips, 1982].

Riposan ve arkadaşları çalışmalarında 25 mm, 40 mm ve 60 mm çaplarında gri dökme demir, vermiküler grafitli dökme demir ve küresel grafitli dökme demir kullanmışlardır. Tüm numuneler 15 mm çapa ulaşıncaya kadar tornalanmış ve tornalama işlemleri sırasında SNGW 120 408 formunda kesici takım kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kesme hızı 100 m/dak, ilerleme 0,25 mm/rev ve kesme derinliği 1 mm alınmıştır. Çalışmanın sonucunda, yapısı ve özellikleri ne olursa olsun vermiküler grafitli dökme demir; küresel grafitli dökme demire göre daha iyi bir işlenebilirlik sergilemiştir. Ayrıca, talaş derinliğinin fazla olduğu durumlarda dahi yüzey pürüzlülüğünün diğer malzemelere göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Vermiküler grafitli dökme demir bu özellikleri ile gri dökme demir ve küresel grafitli dökme demir arasında iyi tanımlanmış özelliklere sahip, teknoloji ve uygulama alanlarında tavsiye edilen bir malzeme olmuştur [Riposan, 1985].

Varghese ve ark. VGDD malzemenin işlenebilirliği ile ilgili yaptıkları deneysel çalışmada, kesici takım malzemesinin, kuru işlemenin ve minimum miktarda yağlamanın (MQL) VGDD'in işlenebilirliği üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde dört farklı tipte kesici takım malzemesi kullanmışlardır. Deneyleri sabit ilerme ve talaş derinliği ile iki farklı kesme hızında yapmışlardır. Sonuçlar, Sermet takımların kaplamalı kesici takımlara göre kesme kuvvetlerinde önemli derecede bir düşüş sağladığını ortaya koymaktadır. Yüksek hızda minimum miktarda soğutma sıvısı kullanarak yapılan işlemede kesme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür [Varghese, 2007].

Balaji, yüksek hızlarda sürekli kesme işlemlerinde kesici takımın üzerinde MnS'nin yağlayıcı bir tabakasının olmamasından dolayı VGDD işlemede takım aşınması problemleri ile karşılaşıldığını ifade etmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda sermet

takımların düşük kesme hızlarında kaplamalı takımlara göre kesme kuvvetlerinde önemli oranda düşüş sağladığı görülmüştür. Yüksek kesme hızlarında ise sermet takımlarda kesme kuvvetlerinde küçük artış olduğu görülmüştür. Soğutma sıvısı düz kaplamalı kesici uçlar hariç diğer kesici uçların hepsinde sadece düşük kesme hızlarında kesme kuvvetlerinde bir azalma meydana getirmiştir. Yüksek hızlarda soğutma sıvısı kullanımının bileşke kuvvetlerde bir artış oluşturduğu ve VGDD işleme performansı üzerinde olumsuz bir etki yaptığı rapor edilmiştir [Balaji, 2006].

Gastel, VGDD'in işlenmesinde kullanılan kubik bor nitrür (KBN) takımların aşınma mekanizmasını araştırmak için çeşitli deneyler yapmıştır. Gri dökme demir işlemede kullanılan kesici takımlarla kıyaslayıcı çalışmalar yaparak gri demir işlemede neden kesici takım ömrünün yüksek olduğu araştırmıştır. Araştırma sonucunda takım aşınmasına neden olan iki ana etki tespit etmiştir. Bunlardan birincisi takımın oksidasyonu, diğeri ise takım ve VGDD elemanları arasında difüzyon oluşmasıdır. Araştırma sonuçları VGDD ve GDD işleme için kullanılan KBN takımların aşınmasında kimyasal etkilerin çok önemli olduğunu göstermiştir. Deneyler yüksek hızda kesme işlemlerinde oksidasyon ve difüzyona karşı sistemin hassas olduğunu göstermiştir. KBN takımların yüzeyinde MnS tabakası olduğundan ve takımların yüzeyinde yağlayıcı görevi gördüğünden, KBN kesici takımlarla gri dökme demirlerin VGDD'e göre daha işlenebilir olduğunu, takımın yüzeyini difüzyona ve oksidasyona karşı koruduğunu ifade etmiştir. VGDD'in MnS içeriği gri dökme demirden daha düşük olduğu için VGDD işleme sırasında böyle bir tabaka oluşmadığını söylemiştir [Gastel, 2000].

Sahm, işleme parametrelerine bağlı olarak KBN takımların ömrü gri dökme demirlerin işlenmesinde VGDD'ye göre 20 kat daha arttığını belirtmiştir [Sahm, 2000].

Schulz ve arkadaşları VGDD işlemek için ÇKKBN kesici takımlarla 500 ile 1500 m/dak arasında kesme hızları kullanmışlardır. Araştırmacılar, bu kesme hız aralığının gri dökme demir için optimal kesme hızları olduğunu, ancak VGDD işlemede

kullanılan kesme hızlarının daha düşük olması gerektiğini rapor etmişlerdir [Schulz, 2000].

Flom ve arkadaşları, Seramik kesici uçlarla VGDD işlendiğinde kesme hızlarının 350-800 m/dak aralığına düştüğünü belirtmişlerdir [Flom, 1991].

Scheidtweiler, düşük kesme hızlarında ve yüksek kesme hızlarında kaplamalı karbür uçlar kullanarak, GDM ve VGDD sürekli frezeleme işlemine tabi tutmuş ve deneyler sonucunda VGDD işlemede takım ömrünün %50 daha düşük çıktığını rapor etmiştir [Scheidtweiler, 2000].

Sadık farklı kalitede kesici uçlarla farklı kesme hızlarında %0,004 ile %0,1 oranında titanyum içeren CGI üzerinde frezeleme deneyleri yapmıştır. VGDD işleme deneyleri sonucunda 400 m/dak ile 1000 m/dak arasındaki yüksek hızlarda kaplamalı karbür uçların çok uygun olmadığı görülmüştür. Ayrıca farklı titanyum içeriğine sahip VGDD'lerle işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirmiş ve titanyum oranı %0,02 nin altında olan VGDD'lerde iyi sonuçlar elde edilmiştir [Sadık, 2007].

Sadık, 300 m/dak den küçük olan kesme hızlarında VGDD işlemede genellikle abrasif aşınmanın egemen aşınma mekanizması olduğunu gözlemlemiştir. Seramik kesici uçların 300 m/dak kesme hızından yüksek kesme hızında özellikle düşük ilerleme oranı ve talaş derinliğinde çok iyi difüzyon aşınma direncine sahip olduğunu, ilerleme oranını ve talaş genişliği arttırıldığında ise sementit karbür uçlara göre takım ömrünün azaldığını rapor etmiştir [Sadık, 2007].

Berglund, kaplamalı sementit karbür uçlarla frezeleme de, en genel aşınma mekanizmasının yan kenar aşınması olduğunu ifade etmiş, ayrıca kesici kenarda çentik, çatlama, termal çatlaklar ve burun aşınması ile karşılaştığını rapor etmiştir [Berglund, 2008].

Jönsson yüksek perlitik oranına sahip VGDD ile düşük perlitik oranına sahip VGDD'nin frezelenmesinde aşınma davranışı arasında fark olduğunu, düşük perlit

oranına sahip VGDD için takım aşınma oranı tahmin edilemediğini, yüksek perlit oranına sahip VGDD'nin işlenmesi sırasında oluşan takım aşınma sürecinin sabit olmasından dolayı aşınmanın daha kolay tahmin edilebildiğini rapor etmiştir [Jönsson,2008].

Heck ve arkadaşları, yüksek kesme hızlarında (800 m/min) VGDD işlendiğinde, işlenen yüzeyin yüzey kalitesi GDD ile kıyaslandığında daha kaba bir yüzey elde edildiğini gözlemlemişlerdir [Heck, 2008].

Georgiou,tornada VGDD'nin işlenmesi sırasında GDD'e göre daha yüksek kesme kuvvetleri oluştuğunu gözlemlemiş [Georgiou, 2002], Berglund, kesme kuvvetleri üzerinde yumrulaşmanın etkisinin yüksek kesme hızlarında, düşük kesme hızlarına göre kısmen daha fazla olduğunu [Berglund, 2008], Jönsson, VGDD'nin işlenmesi sırasında kesme kuvvetlerinin daha hızlı arttığını ifade etmiştir [Jönsson,2008].

Georgiou, VGDD'nin işlenmesi sırasında GDD'e göre daha yüksek kesme bölgesinde daha yüksek ısı oluştuğunu [Georgiou, 2002], Berglund, VGDD ile GDD arasında kesme sıcaklığında daha az bir fark oluştuğunu [Berglund, 2008], Reuter, yüksek kesme hızlarında (400 m/dak ve 800 m/dak) sürekli olmayan kesme işlemlerinde kesici takım sıcaklığı arasındaki farkın çok büyük olmadığını gözlemlemiştir [Reuter, 2001].

Mendi ve Başak freze tezgâhında, St37 malzeme kullanarak kesme hızı ve talaş derinliğinin verim üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Verim olayının incelenmesi için örnek olarak 18 KW motor gücüne sahip bir tezgâhın verim eğrileri incelenmiştir. İşlenen malzeme ve oluşturulan işleme şartları aynıdır. 18 KW motor gücüne sahip bir alın freze tezgâhında 190 m/dak kesme hızı için %80 verime 4,5 mm talaş derinliği ile ulaşmak mümkünken, aynı verime 150 m/dak kesme hızı ve 5,3 mm talaş derinliğiyle de ulaşılabilir. Kesme kenarı açısına göre verimin değişimi incelendiğinde; yine 18 KW' lık bir alın freze tezgâhında 45° kesme kenarı açısı ve 190 m/dak kesme hızı ile %80 verime ulaşabilmek için 4,3 mm talaş derinliğine ihtiyaç vardır. Aynı verime, aynı kesme hızında, kesme kenarı açısı 60° iken 4,4 mm

talaş derinliği ile 75° iken 4,5 mm talaş derinliği ile ulaşılabilir. Buradan kesme kenarı açısının yüksek tutulması durumunda daha fazla talaş vererek aynı verimin elde edilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Sabit tezgah gücü için kesme kenarı açısı 45° ve kesme hızı 150 m/dak olduğunda talaş derinliği 2,8 mm olmakta, bu kesme kenarı açısı 60° 'de 2,9 mm'ye, kesme kenarı açısı 75° 'de 3 mm'ye çıkmaktadır. Buradan kesme kenarı açısının yüksek tutulmasının kullanıcıya daha fazla talaş derinliği ve kesme hızı verme imkânı sağlayacağı söylenebilir. Kesme hızının azalması talaş derinliğini arttırmamıza imkân tanımaktadır. Aynı zamanda kesme hızının azalması; takım ömrünü artırır, aşınmayı azaltır, işlem sırasında takım sıcaklığında düşüş meydana getirir. Özgül kesme kuvvetini ve işleme süresini artırır. Teorik olarak bulunan bu grafikler, tezgâhı maksimum güçte kullanmak istediğimizde kesme hızı ve talaş derinliği arasında ters orantılı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte aynı tezgâh gücü için yavaşma açısı'nın artması daha fazla kesme hızı ve talaş derinliği verme imkânını ortaya çıkardığı grafiklerden anlaşılmıştır [Mendi, 2000].

Şeker ve Günay, talaşlı imalat işlemlerinde (tornalama, frezeleme, delme, taşlama vb.) üretilen iş parçası kalitesinin artırılması ve maliyetin düşürülmesine yönelik yapılan çalışmalarda kesme kuvvetlerinin tespiti ve analiz edilmesi önemli bir yer tuttuğunu ifade etmişlerdir [Şeker, 2002; Günay, 2003].

Demir, kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, kesme kuvvetlerinin aynı zamanda takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da önemli bir etken olduğunu ifade etmiştir [Demir, 2001; Demir, 2006].

Chien ve Chou yaptıkları çalışmada, 304 paslanmaz çeliğinin işlenebilirliği için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. İş parçasının yüzey pürüzlülük değerini, kesme kuvvetlerini ve takım ömrünü tahmin etmek için, yapay sinir ağları (YSA) teorisini geliştirdikleri modelde kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve takım ömrü sırasıyla %4,4, %5,3 ve %4,2 hata oranlarıyla tahmin edilmiştir. Daha sonra, yapay sinir ağları ve genetik algoritma, belirli yüzey pürüzlülüğü ve

sınırlandırılmış takım ömrü altında, elde edilebilecek yüzey pürüzlülüğü sınırlamalarına bağlı kalınarak, maksimum talaş kaldırma oranı için optimum kesme şartlarının bulunması amacıyla karşılaştırılmıştır. Bu modellerde optimum kesme şartları için kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, tüm tornalama testleri kuru kesme şartları altında yapılmış ve üçgen formdaki karbür uçlar kullanılmıştır. Kontrol parametreleri olarak ise kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme oranı sırasıyla, $149,47 \text{ m/dak} \leq V \leq 178,28 \text{ m/dak}$, $0,75 \text{ mm} \leq d \leq 1,5$ ve $0,1 \text{ mm/dev} \leq f \leq 0,3 \text{ mm/dev}$ olarak seçilmiştir. Teorik değerlerle deneysel veriler karşılaştırıldığında, elde edilen modelin kullanışlı ve kesme parametrelerinin tanımlanmasında elverişli olduğu görülmüştür. Yine, diğer kontrol parametrelerinin de eklenmesiyle oluşturulan bu modelin genişletilebileceği önerilmiştir [Chien, 2001].

Sağlam doktora tez çalışmasında, alın frezeleme işlemlerinde, kesme kuvvetleri verilerine dayalı zeki bir takım durumu izleme sistemi kurmak için, yapay sinir ağı uygulaması yapmış ve değerlendirmiştir. Kurulan bu sistem ile işleme esnasında serbest yüzey aşınması (VB) ve yüzey pürüzlülüğünün (Ra) matematiksel tahmini hedeflenmiştir. Deneysel çalışmada belirlenen kesme şartları ve kesme parametrelerine göre frezeleme işlemleri yerine getirilmiştir. Frezeleme esnasında kesme kuvvetleri bilgisayara kaydedilmiş, VB ve Ra değerleri ise periyodik olarak doğrudan ölçülmüştür. Ağ eğitimi için gerekli veri seçiminde, her deney için belirlenen bir işleme süresine karşılık gelen kuvvet verileri kullanılmıştır. Ağ eğitmede kullanılacak etkili özelliklerin seçimi ve her parametrenin ağ çıktıları üzerindeki etkisini tayin etmek için giriş-çıkış parametreleri grafikleri çizilmiş ve elde edilen sonuçlar istatistik metotlar ile doğrulanmıştır. Takım durumu izleme sistemi için çok-katmanlı perseptron YSA modeli kullanılmış ve ağ geriye yayınma algoritması ile eğitilmiştir. Kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve iki kesme kuvveti bileşenini (düşey kuvvet ve ilerleme kuvveti) ihtiva eden bu YSA modeli, tahmin edilen VB ve Ra değerleri ile doğrudan ölçülen VB ve Ra değerleri arasında sıkı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu sebeple bu değerler ağ eğitiminde giriş parametreleri olarak kabul edilmiştir. Test sonuçlarına göre takım aşınması %77 ve yüzey pürüzlülüğü %79 başarı ile tahmin edilmiştir [Sağlam, 2000].

Traş, “Yapay sinir ağları kullanılarak kesme kalıplarındaki çapak ve kesme düzlüğünün tahmini” konulu yüksek lisans tez çalışması yapmıştır. Çalışmada farklı sertlik değerlerine sahip dört adet numune almışlar ve bu numunelerin yuvarlanma değerleri, kesme düzlüğü değeri, kopma derinliği ve çapak yüksekliği ölçülerek veriler hazırlamışlardır. Bu deneysel veriler yapay sinir ağları kullanılarak eğitilmiş ve deney yapılmayan malzeme ve kalınlık değerleri için ideal kesme boşluğu değerleri tahmin edilmiştir. Yaptırılan tahminler sonucunda elde edilen korelasyon değerleri ortalaması %96,3 olarak görülmüştür. En düşük korelasyon değeri %93,3 ve en yüksek korelasyon değeri ise %99,2 olarak gerçekleşmiştir [Traş, 2007].

Lo, YSA'ların talaşlı imalat uygulamalarında çok etkili sonuçlar verdiğini, kesici takım ucu yarıçapı, ilerleme, kesme hızı ve kesme işlemi sırasında oluşan sıcaklık ve titreşimlerin yüzey pürüzlülüğünü etkileyen temel etkenler olduğunu ifade etmiştir [Lo, 2003].

Ghosh ve ark. giriş verileri olarak kesme kuvvetleri, ana mil akımı, ana mildeki titreşim ve ses basıncını kullanan sinir ağı tabanlı algılayıcı birleştirme modeli ile kesici takım ucundaki aşınmayı belirleyebilmek için bir takım durumu izleme aracı geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu araç için algılayıcı olarak dinamometre yerine ucuz ve kolay takılabilir akım ve voltaj algılayıcıları kullanmışlar ve takımdaki aşınmayı 0,85 saniyede ve 0,25 μm 'nin altında bir hata ile hesaplayarak, aşınmayı önceden tahmin etmişlerdir [Ghosh, 2007].

Bilgisayarlı sayısal denetimli freze tezgâhında gerçekleştirdikleri çalışmalarında, kesme kuvvetlerini belirlemek için bir adet kuvvetölçer ve ana mil hızını ölçebilmek için bir adet ivmeölçer kullanan Chen ve Jen elde ettikleri verileri farklı veri birleştirme yöntemleri kullanarak işledikten sonra sinir ağlarının eğitiminde kullanmışlardır [Chen, 2000].

Kesme kuvvetlerini kestirebilmek için sinir ağı çıktı hata modeli kullanan Haber ve Alique [Haber, 2003] değişik geometrilerdeki iş parçalarında frezeleme ile

gerçekleştirdikleri çalışmalarında, ağ girdileri olarak sadece talaş derinliği ve ilerleme verilerini kullanmışlardır. Geri yayılımlı sinir ağı modeli ile takım yan yüzey aşınmasını inceleyen Özel ve Nadgir, ağın eğitildiği aralığın dışında kestirim yapması durumunda hatalı sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir [Özel, 2002]. Das ve ark., TiN kaplamalı uç kullandıkları, 8x7x1 yapısındaki geri yayılımlı sinir ağını çevrimiçi verileri kullanarak sınımışlardır [Das, 1997]. Lee ve Lee çok katmanlı perseptron modeli kullandıkları çalışmalarında kesme kuvvetlerinin oranını kullanarak takım aşınmasını önceden kestirmişlerdir [Lee, 1999]. Çok katmanlı ileri besleme sinir ağı kullanarak yaptıkları çalışmalarında Altıntaş ve Liu [Liu, 1999] ağın çevrimiçi kullanımı sırasında yapacağı kestirimlerin algılayıcı başarımı gibi donanımsal sınırlamalara bağımlı olduğunu belirtmişlerdir. Obikawa ve Shinozuka yapay sinir ağı ile kaplamalı kesici takım ucunda meydana gelen aşınmayı yüksek hızlarda incelediklerinde krater oluşumunun daha da derinleştiğini ve kesici takımın çok daha hızlı aşındığını gözlemlemişlerdir [Obikawa, 2004].

Elenayar ve arkadaşları, YSA için giriş olarak kesme kuvvetleri sinyallerini ve kuvvet oranlarını (F_x/F_y ve F_z/F_y) kullanmışlar, fakat takım durumu izleme uygulamasını farklı sinir ağı mimarileri ile gerçekleştirmişlerdir. Takım aşınma tipini tanımlayan ağ çıkışları (serbest yüzey, krater ve burun aşınması) yüzey tamlığı ile birlikte ikinci bir ağa giriş olarak sunulmuştur. YSA uygulaması yoluyla takım aşınması, yüzey tamlığı ve kesme kuvvetleri ile ilgili bu deneme başarılı fakat nicelik olarak yetersiz bulunmuştur [Elenayar, 1990].

Oraby ve Hayhurst, Takım ömrü ve aşınma-kuvvet ilişkilerini tanımlamak için, bazı matematiksel modeller de geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller, başlangıç ve sabit aşınma oranı aralığında, yavaş aşınma gelişimini tahmin etmede yeterli tamlığa sahip bulunmuştur. Özellikle radyal kuvvetin, düşey kuvvet elemanlarına oranı, takım aşınması ve tahribatının niteliğini tespit etmede, genel ve pratik bir yaklaşım getirmiştir [Oraby, 1991].

Guillot ve El Ouafi, bir freze tezgâhında dört grup test yaparak, kesme kuvvetlerini kaydetmişlerdir. Kaydedilen kuvvetler, kesme parametreleri ile birlikte çok-katmanlı

sinir ağılarına giriş olarak verilmiştir. Araştırılan dört durum, sinir ağılarına sunulan sinyal girişlerine göre değiştirilmiştir. İlk örnekte iki kesme parametresi -kesme hızı ve talaş derinliği- en geçerli numune sensör sinyalleri ile birleştirilmiştir. İkinci durumda, sadece en geçerli numuneler kullanılmıştır. Üçüncü durumda ise dördüncü durumdaki ilk türetilen numune sinyalleri dikkate alınırken, en geçerli numune sinyallerinin normalize girişleri kullanılmıştır. Her durum, eğitime ve test gerektiren ayrı bir araştırma olarak ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar bir, iki ve dördüncü durumların üçüncü durumdan daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Sınırlı model kullanımı ile takım durumunun doğru yorumlanması, benzetim verilerinin uygulaması ile teyit edilmiştir [Guillot, 1991].

Tansel ve McLaughlin, delmede takım kırılmasının incelenmesi üzerinde çalışmışlar ve kesme kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Deneysel veriler üzerindeki sınıflandırma başarı oranı %97,2 ve benzetilmiş veriler üzerinde ise %99,9 olarak rapor edilmiştir [Tansel, 1991].

Ko ve Cho, frezelemede kesme kuvvetleri ve titreşim sensörleri sinyallerine dayalı ve sinir ağı tekniklerini kullanarak, takım durumu izleme sistemi geliştirmişlerdir. Bu çalışmada özellik olarak AR (Auto-Regresif) parametre vektörleri ile kesme hızı ve ilerleme gibi kesme şartları kullanılmıştır. Bu özellikler Sinir ağılarına sunularak ağ, geriye yayınma öğrenme algoritması ile eğitilmiştir. Metot hızlı bir çözümleme ve karar verme mekanizmasına sahiptir. Çok katmanlı ağlar ile model tanıma, öğrenme ve karar vermede büyük başarı sağlanmış bu başarı takım durumu izleme de %97 - %100 olarak tespit edilmiştir [Ko, 1994].

Purushothaman ve Srinivasa, keskin ve aşınmış takımı ayırt etmek için, takım aşınmasını sınıflandıran bir YSA tekniği kullanmışlardır. Takım aşınmasının algılanmasında kesme kuvvetlerinden faydalanılarak, aşınma ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tahmini hesapları yapılmış ve veri seçiminde varyans analizi kullanılmıştır. Çok katmanlı ağların eğitilmesinde geriye yayınma öğrenme algoritması kullanılmış ve ağ eğitimi off-line olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, boyutsal olarak seçilmiş özellikler yerine, üç kesme parametresi ile

birlikte yükseltilmiş kesme kuvvetleri sinyallerini kullanmışlardır. Giriş sinyalleri 0-1 aralığında normalize edilmiş, beklenen çıkışlar iki gruba ayrılmış ve sinir ağı mimarisi araştırılmıştır [Purushothaman, 1994].

Tarng ve ark. (1994), takım kırılmasının oluşup oluşmadığını belirlemede ilave elemanlar ve giriş sinyalleri olarak da kesme kuvvetlerini kullanmışlardır. Kesme parametrelerini (kesme hızı, radyal ve eksenel talaş derinliği) seçilen sensör sinyalleri ve iş parçası malzemesi ile birleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, YSA'nın takım durumunu başarılı bir şekilde izleyebileceğini göstermiştir [Tarng, 1994].

Rahman ve ark. ve Zhou ve ark., dinamik kesme kuvvetleri sinyallerini işlemek üzere kesme testleri yapmışlardır. Çalışmada boyutsal bir özellik seçim işlemi yerine getirilerek, elde edilen özellikler, çok-katmanlı sinir ağı için giriş olarak kullanılmıştır. Takım aşınma deneylerinde, talaş kırıcsız ve talaş kırıcılı kesici uçlar kullanılmış ve son tahmin sonuçları, özellikle talaş kırıcılı takımlarla %92,1 başarı sağlanmıştır [Rahman, 1995, Zhou,1995].

Yapılan kaynak taramasında Vermiküler grafitli dökme demirin; sabit kesme derinliğinde farklı kesme hızı, ilerleme hızı ve sabit yanaşma açısı değişkenleri dikkate alınarak işlenebilirlik deneylerine tabi tutulduğu görülmektedir. Bu kaynak araştırmasından yola çıkarak, özellikle ülkemiz endüstrisi için yeni olan Vermiküler grafitli dökme demirin karbür ve seramik kesici takımlarla işlenebilirliğinin araştırılarak bulguların değerlendirilmesi ve kesici takımların performanslarının incelenmesi için kapsamlı bir deneysel çalışma yapılması gereksiniminin olduğu görülmüştür. Bu nedenle;

1. Ülkemizde üretilen ve deneysel çalışmada kullanılan Vermiküler grafitli dökme demir kimyasal ve fiziksel testlere tabi tutularak yurtdışında üretilen VGDD'lerle kıyaslanıp hangi sınıfa tabi olduğu belirlenmiştir.

2. Deneysel çalışmada 2,5 mm sabit kesme derinliğinde farklı yanaşma açıları ile birlikte farklı kesme hızları ve maksimum talaş kalınlıkları kullanılmıştır. Yanaşma açısı değerine ve maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak ilerleme hızı her bir deney parametresinde değişkenlik gösterecektir. Böylece farklı yanaşma açılarının kesici takım ömrü, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve işleme verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

3. Karbür kesici uçlarla kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük ölçümlerinde kuru işleme şartlarının yanı sıra, soğutma sıvısı kullanarak da deneyler yapılmış ve soğutma sıvısının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

4. Varyans analizi (ANOVA) ile kesme parametrelerinin kesici takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

5. Elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak yapay sinir ağları ve regresyon analizi yöntemi ile kesici takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerinin deney sınırları içerisinde tahmin edilebilmesi için tahmin modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen tahmin modellerinin hassasiyetleri yapılan kontrol deneyleri ile test edilmiş ve tahmin modellerinin kabul edilebilir hata sapma oranında olup olmadığı araştırılmıştır.

Bu çalışma ile vermiküler grafitli dökme demirin işlenebilirliği için yeni ve farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Yeni sunulan metotlar ile VGDD için en uygun işleme yöntemleri bulunmuş, işleme süresi ve üretim maliyetlerinin azaltılması için tavsiyelerde bulunulmuştur.

3. MALZEME VE METOT

Bu bölüm, deneysel çalışmalarda kullanılan iş parçalarını ve bunların hazırlanmasını, kesici takım uçlarını, frezeleme açılarını, takım tezgâhını, ölçme araçlarını ve araştırmada izlenen strateji ve yöntemleri tanımlamaktadır.

3.1. Malzeme

3.1.1. Deneyde kullanılan malzeme

Takım ömrü deneylerinde iş parçası malzemesi 200x200x100 mm ölçülerinde dökülmüş olan Vermiküler grafitli dökme demir (VGDD) malzeme kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü deneyleri için aynı malzeme 100x100x100 mm ölçülerinde kesilerek dinamometreye uygun hale getirilmiştir. Numuneler Componenta Döktaş Dökümcülük Ticaret ve Sanayi A.Ş.'nin Bursa/Orhangazi fabrikasında Ford Otasan için dökülen 9 Lt Motor blok kafa dökümleri ile birlikte dökülmüş ve kimyasal bileşimleri fabrikada belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan VGDD malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 3.1'de verilmiştir.

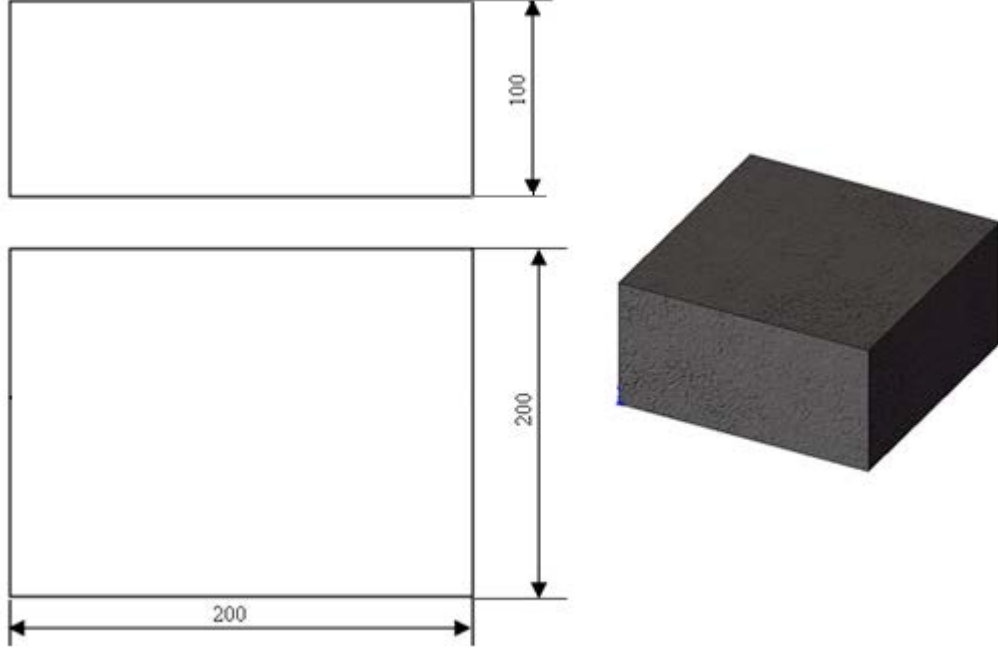
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan vermiküler grafitli dökme demirin kimyasal bileşimleri (% ağırlık)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Perlitik	3,82	1,804	0,337	0,031	0,015	0,074	0,013	0,002
	Cu	Mg	Sn	Ti	Al	Zn	Bi	Fe
Perlitik	0,879	0,014	0,092	0,0203	0,008	0,082	0,007	Kalan

3.1.2. Takım ömrü deneyi parçalarının hazırlanması

Numuneler deneylerde kullanılmadan önce geleneksel torna ve freze tezgâhında Şekil 3.1'de görülen ebatlarda işlenerek bütün yüzeylerdeki curuf tabakası temizlenmiştir. Ayrıca takım ömrü deneylerine başlamadan önce mengene

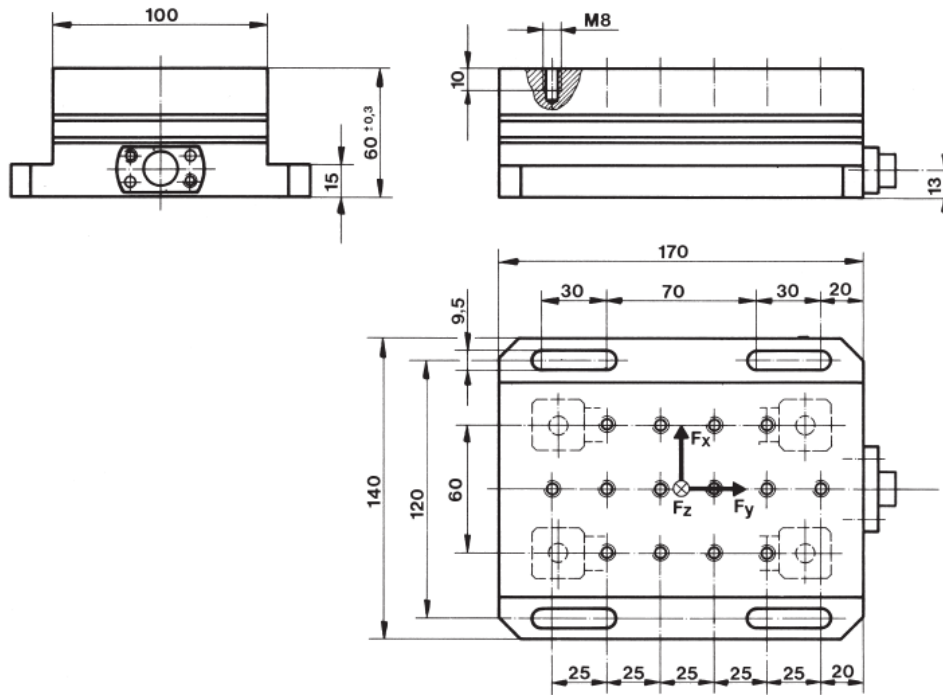
bağlanan iş parçası malzemesi üzerinde başka bir kesici takım kullanılarak yüzey temizleme ve sıfırlama işlemi yapılmıştır.



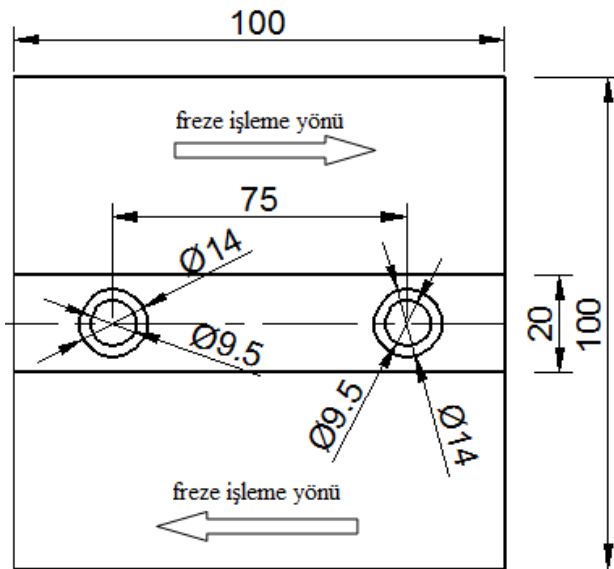
Şekil 3.1. Takım ömrü deneylerinde kullanılan VGDD malzemenin ölçüleri

3.1.3. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük deneyi parçalarının hazırlanması

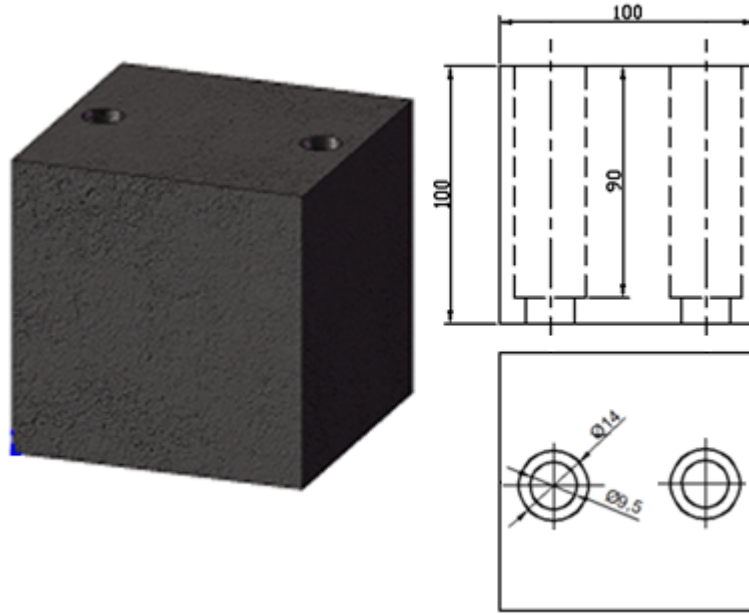
Numuneler fabrika tarafından 200x200x100 mm ebatlarında döküldükten sonra 100x100x100 mm ölçülerinde kesilmiştir. Kesilen numunelerin yüzeyleri geleneksel torna ve freze tezgâhı kullanılarak cüruflar temizlenmiş ve deneye hazır hale getirilmiştir. Deney numunesi üzerindeki cüruflar temizlendikten sonra Şekil 3.2’de ölçüleri görülen KISTLER 9257B dinamometreye M8 cıvata ile doğrudan monte edebilmek için Şekil 3.3’de görüldüğü gibi numuneler üzerine eksenler arası 75 mm olan 9,5 mm çapında matkap ile boydan boya delik delinmiştir. M8 cıvata başlığı için 14 mm çapında matkap ile 90 mm boyunda delik delinmiştir. Deliklerin olduğu bölgelerde kesme kuvvetlerinde değişim olacaktır. Bu nedenle kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri iş parçasının kenar kısımları üzerinden yapılmıştır. Freze dönüş yönünün her iki kenarda da aynı olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.2. KISTLER 9257B dinamometrenin boyutları

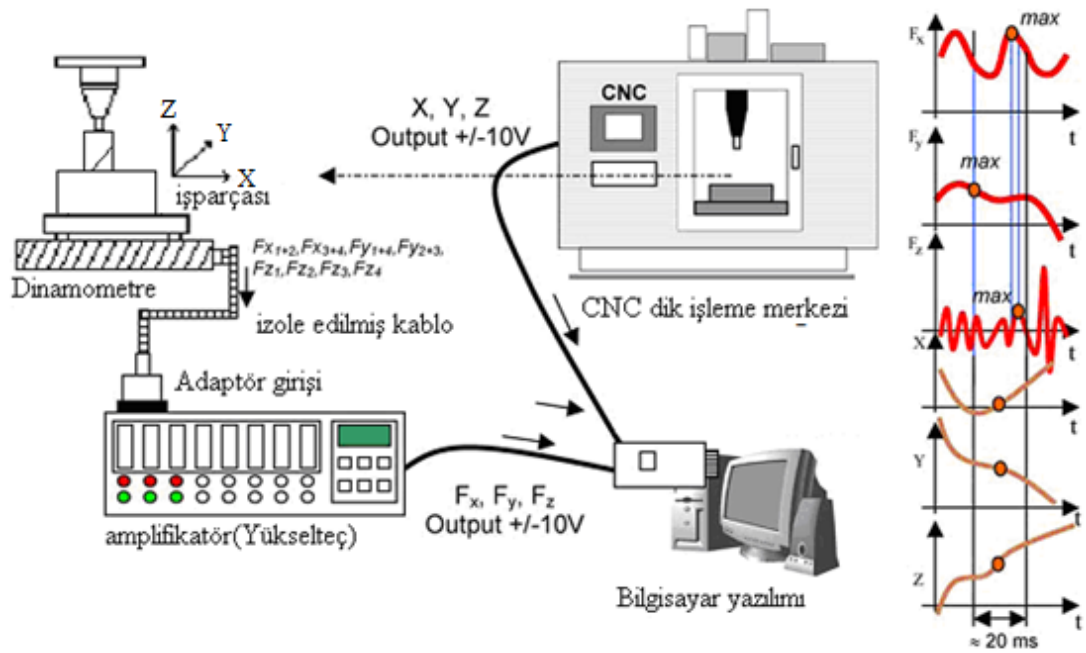


Şekil 3.3. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçümü çalışma düzlemi



Şekil 3.4. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü deneylerinde kullanılan VGDD malzemesinin ölçüleri

Kesme kuvvetleri karbür kesici uçlarda hem kuru hem soğutma sıvısı kullanılarak yapılmıştır. Soğutma sıvısının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kesme kuvvetlerini ölçmek için kullanılan deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 3.5’de görülmektedir.



Şekil 3.5. Kesme kuvvetleri ölçüm deney düzeneği.

Karbür kesici uçlarla kuru ve soğutma sıvısı kullanılarak gerçekleştirilen kesme kuvveti deneylerinin yapıldığı kesme parametreleri Çizelge 3.2’de, seramik kesici uçlarla kesme kuvveti ölçümünde kullanılan kesme parametreleri ise Çizelge 3.3’de görülmektedir. Her bir kesme kuvveti deneyinin tamamlanmasının ardından deney yapılan yüzey üzerinde yüzey pürüzlülük ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.2. Karbür kesici uçlar için kesme kuvvetleri ölçümü kesme parametreleri

Deney No	Kesme hızı Vc m/dak	Yanaşma açısı (Derece)	Max. talaş kalınlığı hex (mm)	Diş Sayısı (Zn)	Freze çapı Dc (mm)	Talaş derinliği ap (mm)	Talaş genişliği ae (mm)	Tabla ilerlemesi Vf (mm/dak)
D1	180	45°	0,16	2	63	2,5	40	412
D2			0,20					515
D3			0,24					618
D4	215		0,16					492
D5			0,20					615
D6			0,24					738
D7	250		0,16					572
D8			0,20					715
D9			0,24					858
D10	290		0,16					663
D11			0,20					829
D12			0,24					995
D13	180	60°	0,16					336
D14			0,20					420
D15			0,24					504
D16	215		0,16					402
D17			0,20					502
D18			0,24					602
D19	250		0,16					467
D20			0,20					584
D21			0,24					700
D22	290		0,16					542
D23			0,20					677
D24			0,24					813
D25	180	75°	0,16					301
D26			0,20					377
D27			0,24					452

Çizelge 3.2. (Devam) Karbür kesici uçlar için kesme kuvvetleri ölçümü kesme parametreleri

D28	215	75°	0,16	2	63	2,5	40	360
D29			0,20					450
D30			0,24					540
D31	250		0,16					419
D32			0,20					523
D33			0,24					628
D34	290		0,16					486
D35			0,20					607
D36			0,24					728
D37	180	88°	0,16					291
D38			0,16					364
D39			0,16					437
D40	215		0,16					348
D41			0,20					435
D42			0,24					522
D43	250		0,16					405
D44			0,20					506
D45			0,24					607
D46	290		0,16					469
D47			0,20					587
D48			0,24					704

Çizelge 3.3. Seramik kesici uçlar için kesme kuvvetleri ölçümü kesme parametreleri

Deney No	Kesme hızı Vc m/dak	Yanaşma açısı (Derece)	Max. talaş kalınlığı hex (mm)	Diş Sayısı (Zn)	Freze çapı Dc (mm)	Talaş derinliği ap (mm)	Talaş genişliği ae (mm)	Tabla ilerlemesi Vf (mm/dak)
D1	334	45°	0,0700	2	63	2,5	40	334
D2			0,0840					401
D3			0,1008					481
D4	400		0,0700					400
D5			0,0840					480
D6			0,1008					576
D7	460		0,0700					460
D8			0,0840					552
D9			0,1008					663

Çizelge 3.3. (Devam) Seramik kesici uçlar için kesme kuvvetleri ölçümü kesme parametreleri

D10	530	45°	0,0700	2	63	2,5	40	530
D11			0,0840					637
D12			0,1008					764
D13	334	60°	0,0700					273
D14			0,0840					328
D15			0,1008					393
D16	400		0,0700					327
D17			0,0840					392
D18			0,1008					471
D19	460		0,0700					376
D20			0,0840					451
D21			0,1008					541
D22	530		0,0700					433
D23			0,0840					520
D24			0,1008					624
D25	334	75°	0,0700					245
D26			0,0840					294
D27			0,1008					352
D28	400		0,0700					293
D29			0,0840					352
D30			0,1008					422
D31	460		0,0700					337
D32			0,0840					404
D33			0,1008					485
D34	530		0,0700					388
D35			0,0840					466
D36			0,1008					559
D37	334	88°	0,0700					237
D38			0,0840					284
D39			0,1008					341
D40	400		0,0700					283
D41			0,0840					340
D42			0,1008					408
D43	460		0,0700					326
D44			0,0840					391
D45			0,1008					469
D46	530		0,0700					375
D47			0,0840					450
D48			0,1008					540

3.1.4. Metalografik inceleme numunelerinin hazırlanması

Darbe testi sonucu kırılan numuneler üzerindeki kırık yüzeyler kullanılarak JSM-6060 LV 0.5-30 kV ve 15X-300.000 X büyütme yapabilen SEM (Elektron Tarama Mikroskobu) ile yüksek büyütmede mikro yapı incelemesi yapılmıştır.

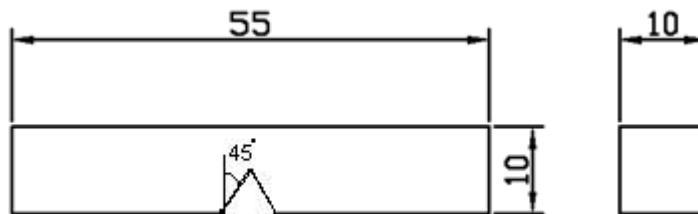
Metalografik inceleme numuneleri sırasıyla 220#, 400#, 600#, 800# ve 1200# taneli zımparalar ile zımparalandıktan sonra, ilk olarak 6 μm 'lik ve daha sonra 3 μm 'lik elmas pasta süspansiyonu ile parlatılmıştır. Parlatılan numuneler %2,0'lik Nital (2 ml HNO_3 + 98 ml CH_3OH) ile dağlanarak metalografik incelemeye uygun hale getirilmiştir.



Resim 3.1. Metkon gripo 2 polisaj cihazı

3.1.5. Darbe deneyi numunelerinin hazırlanması

Araştırmada kullanılan vermiküler grafitli dökme demirin yanı sıra fabrika tarafından mekanik analizde kullanılmak üzere $\text{Ø}25 \times 50$ mm 5 adet numune daha dökülmüştür.



Şekil 3.6. Darbe dayanımı deney numunesi

Ø25 mm olan numunelerden freze tezgâhında divizör yardımıyla 10x10x55 mm ölçülerinde beş adet darbe testi numunesi hazırlanmıştır (Şekil 3.6). Hazırlanan bu numuneler Resim 3.2’de görülen Instron wolpert PW30 çentik darbe cihazı ile teste tabi tutulmuştur.



Resim 3.2. Instron wolpert PW30 çentik darbe cihazı

3.1.6. Sertlik ölçümü numunelerinin hazırlanması

Deneyde kullanılan her bir malzemeden artan parçalar üzerinde sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde Instron-Wolpert marka DIATESTOR 7551 tipi universal sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır (Resim 3.3). Bütün numunelerin sertlik ölçümleri Vickers yöntemi (136° elmas piramit uç ve 30 kgf yük) kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca deneyde kullanılan malzemelerden 15 mm talaş kaldırıldıktan sonra malzemenin iç yüzeyinde sertlik değerinin değişip değişmediğini kontrol etmek için sertlik ölçümü yapılmıştır.

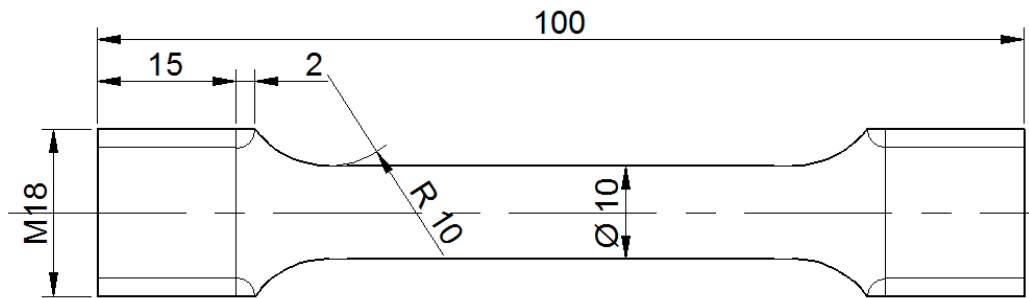


Resim 3.3. Instron-Wolpert marka DIATESTOR 7551 sertlik ölçme cihazı

Cihazlar kalibrasyon bloğu ile kalibre edildikten sonra numunelerin sertlikleri ölçülmüştür. Aynı numune için 5 değişik noktadan ölçülen sertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır.

3.1.7. Çekme deneyi numunelerinin hazırlanması

Ø25x50 mm ebatlarındaki numuneler CNC torna tezgâhında Şekil 3.7’de teknik resmi görülen çekme deney çubuğu numunesinden 5 adet hazırlanmıştır.

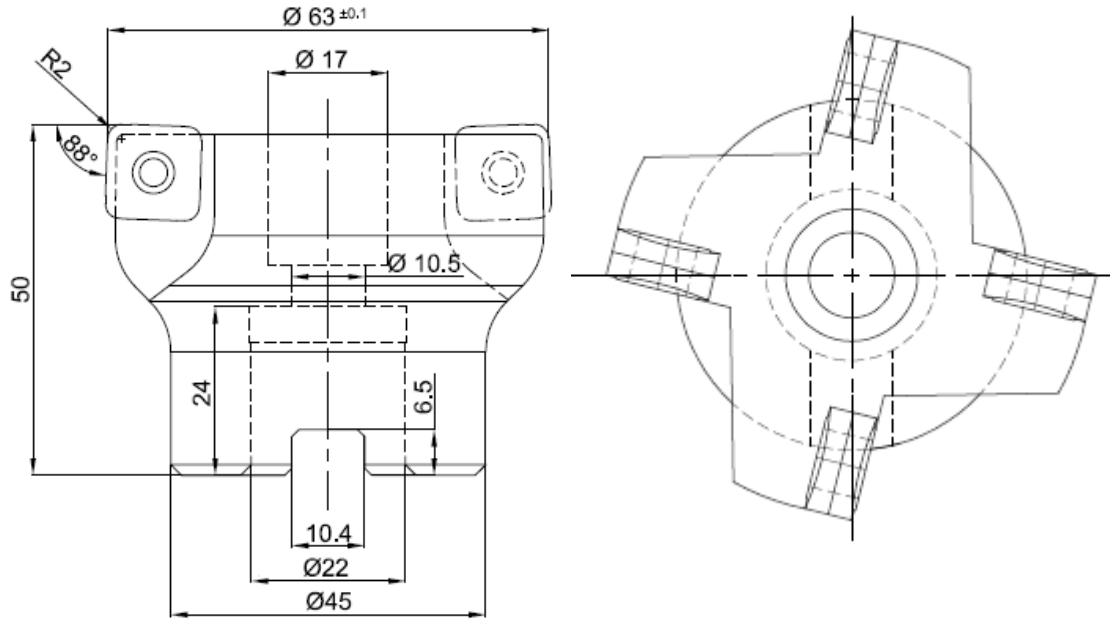


Şekil 3.7. Çekme deneyi numunesi

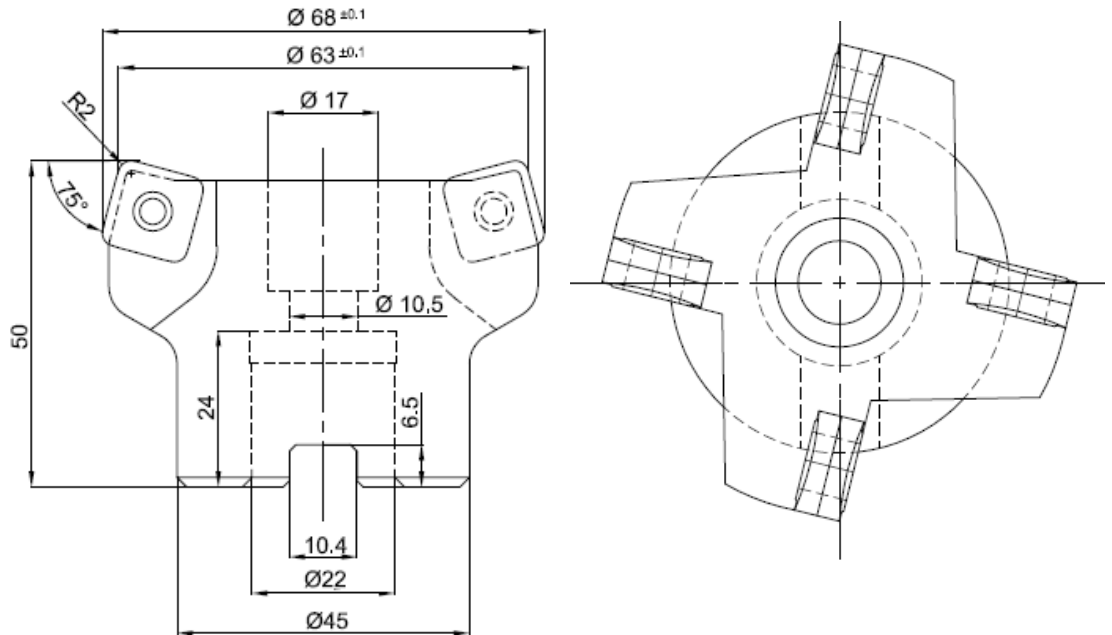
3.1.8. Deneylerde kullanılan frezeleme takımları ve açıları

Deneyisel çalışmalarda, Sandvik ticari firması tarafından üretilen aşağıdaki özellikleri verilen frezeleme takımları ve kesici uçlar kullanılmıştır. Frezeleme takımları hem

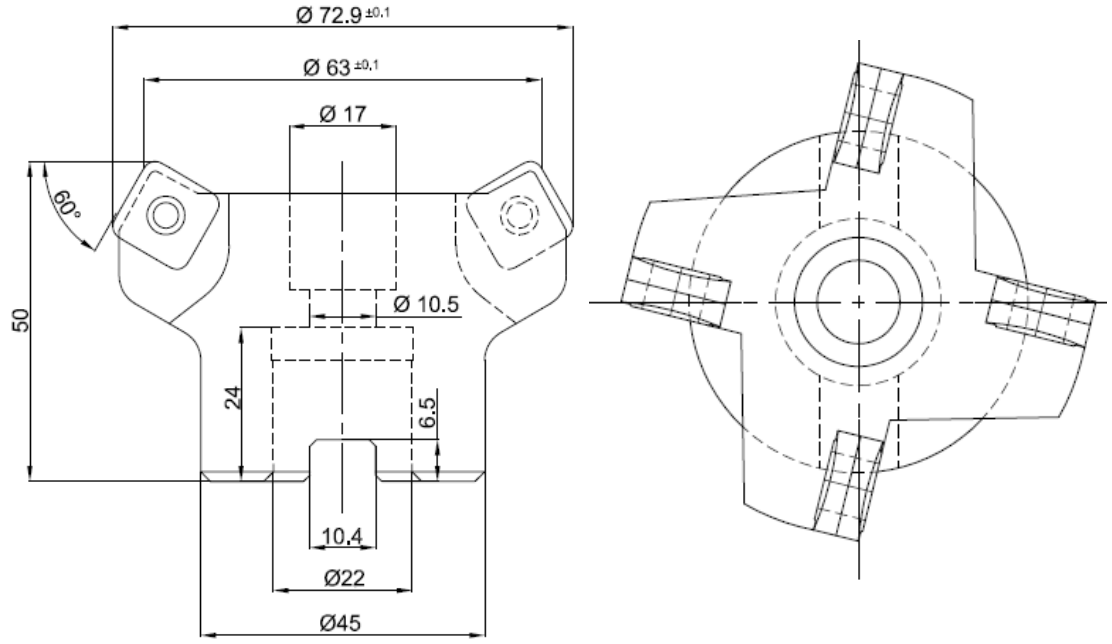
kaplamalı karbür kesici uçlar için hem de seramik kesici uçlar için 88° 75° 60° ve 45° olarak seçilerek yavaşma açılarının kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve tezgâh verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan freze başlıkları Şekil 3.8 ila Şekil 3.15 arasında görülmektedir.



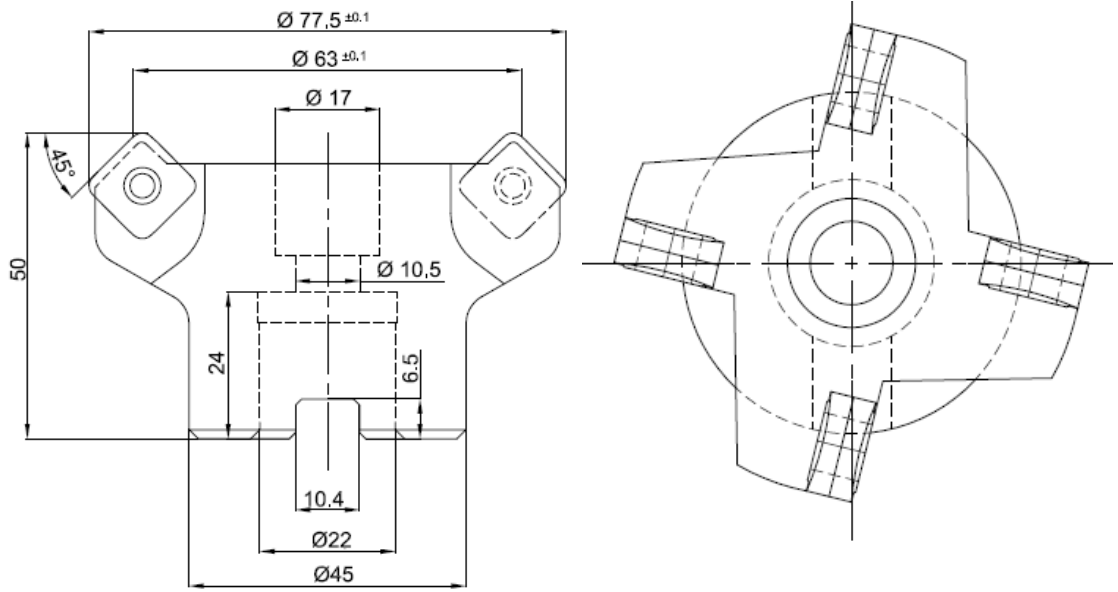
Şekil 3.8. 88° açılı karbür kesici uçlar için frezeleme takımı



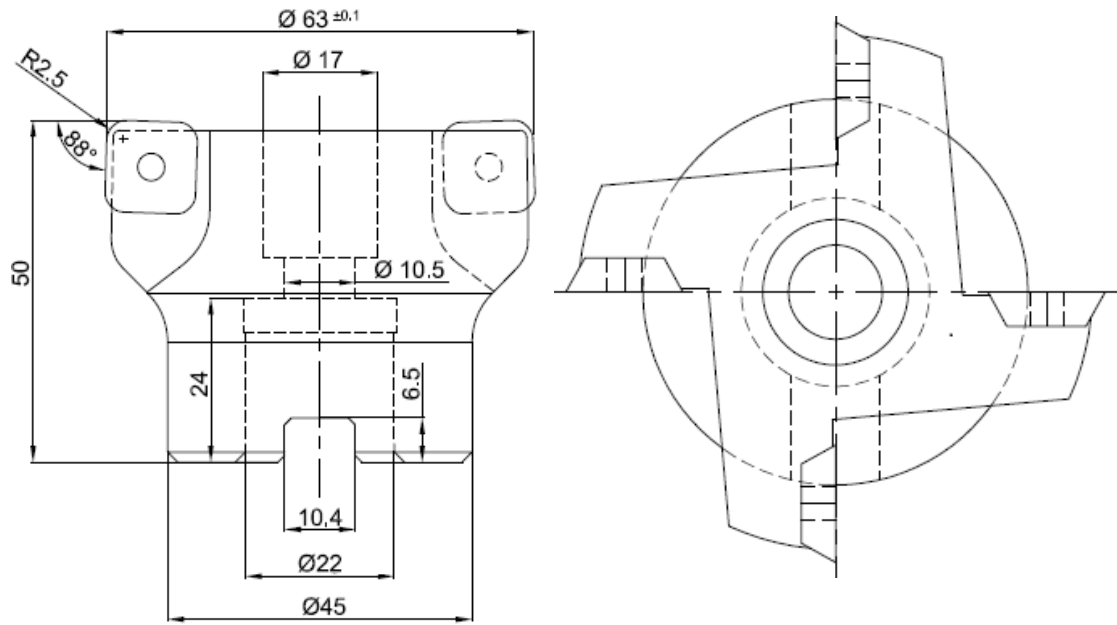
Şekil 3.9. 75° açılı karbür kesici uçlar için frezeleme takımı



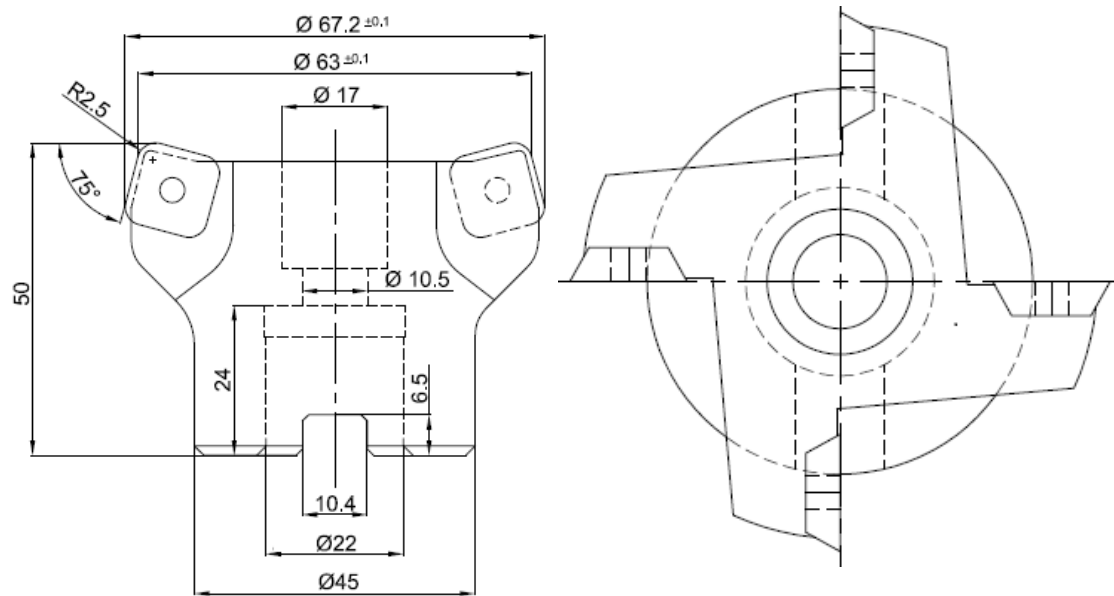
Şekil 3.10. 60° açılı karbür kesici uçlar için frezeleme takımı



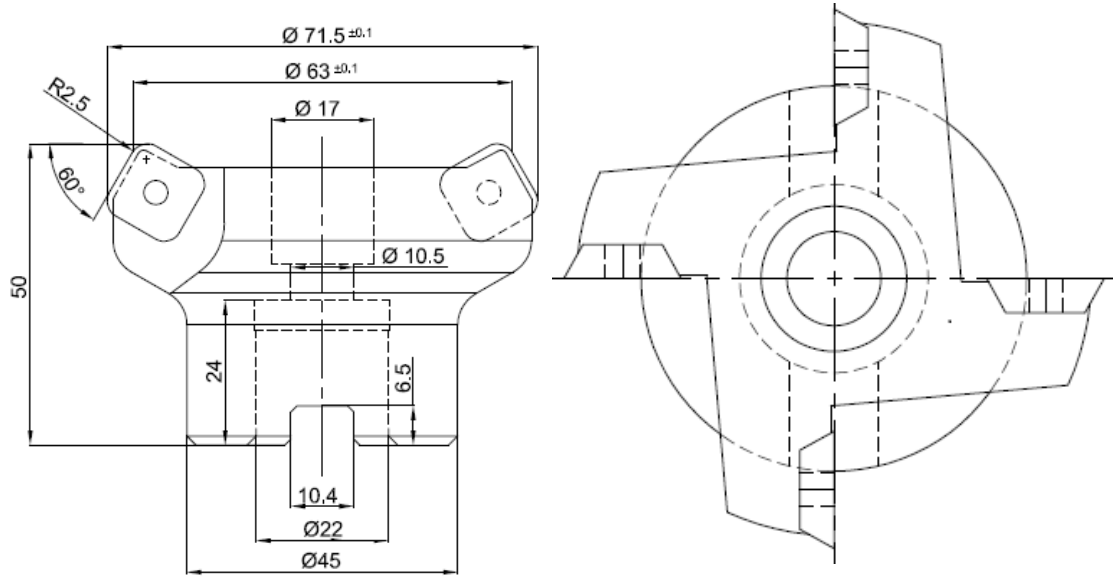
Şekil 3.11. 45° açılı karbür kesici uçlar için frezeleme takımı



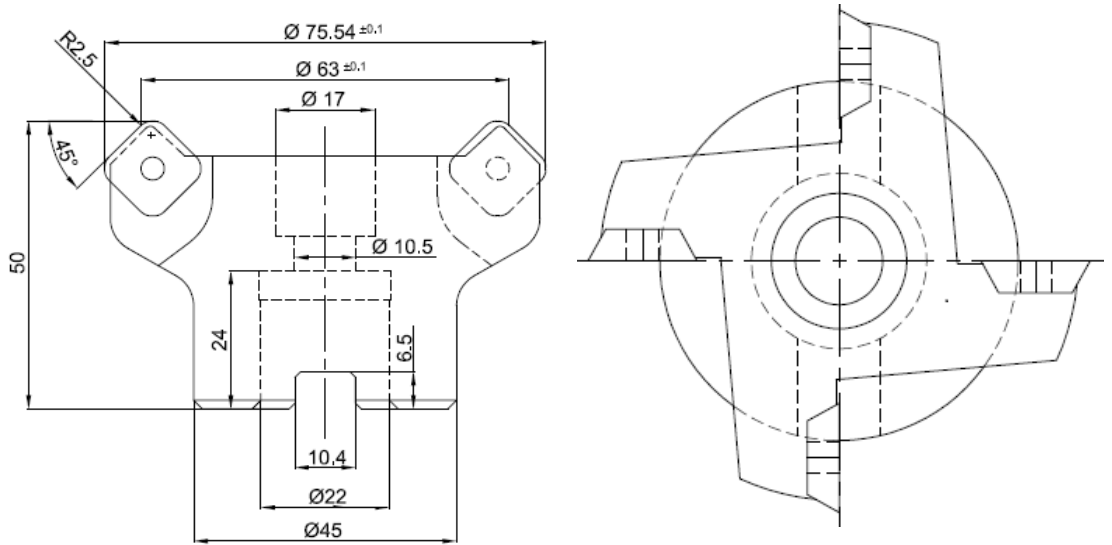
Şekil 3.12. 88° açılı seramik kesici uçlar için frezeleme takımı



Şekil 3.13. 75° açılı seramik kesici uçlar için frezeleme takımı



Şekil 3.14. 60° açılı seramik kesici uçlar için frezeleme takımı

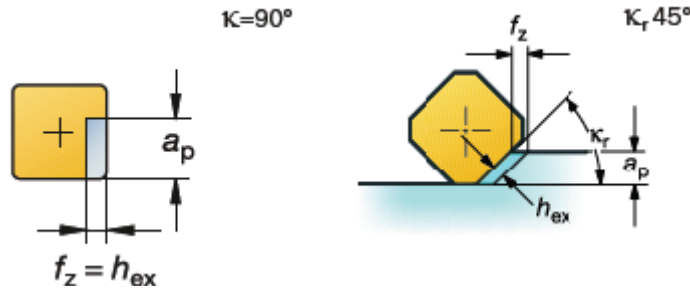


Şekil 3.15. 45° açılı seramik kesici uçlar için frezeleme takımı

f_z (mm/diş) diş başına ilerleme tabla ilerlemesi gibi kesme parametrelerinin hesaplanması için temel bir değerdir. Diş başına ilerleme oranı maksimum talaş kalınlığı (h_{ex}) ve yanaşma açısına bağlı olarak ta hesaplanabilmektedir.

$$f_z = \frac{h_{ex}}{\sin \kappa_r}$$

Maksimum talaş kalınlığı verimli ve güvenilir bir frezeleme işlemi için en önemli parametrelerden biridir. Çok düşük h_{ex} değerine sahip ince bir talaş verimliliğinin düşmesine, takım ömrünün ve talaş oluşumunun olumsuz etkilenmesine sebep olurken, h_{ex} değerinin yüksek olması kesici kenara çok fazla yüklenmeye ve bunun sonucunda da kesici uçta kırılmaya sebep olmaktadır. Doğru seçilmiş h_{ex} değeri ile talaşın inceltilmesi ilerlemenin artmasına, ilerlemeye bağlı olarak da verimliliğin artmasına katkı sağlamaktadır. Yanaşma açısının 90° olması durumunda h_{ex} değeri f_z ilerleme oranına eşit olmaktadır. Yanaşma açısının (κ_r) azaltılması f_z ilerleme oranını artırmaktadır (Şekil 3.16.). $h_{ex} = f_z \times \sin \kappa_r$ eşitliği ile ilerleme hızı hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.16. Yanaşma açısının ilerleme hızı ve h_{ex} değeri üzerindeki etkisi

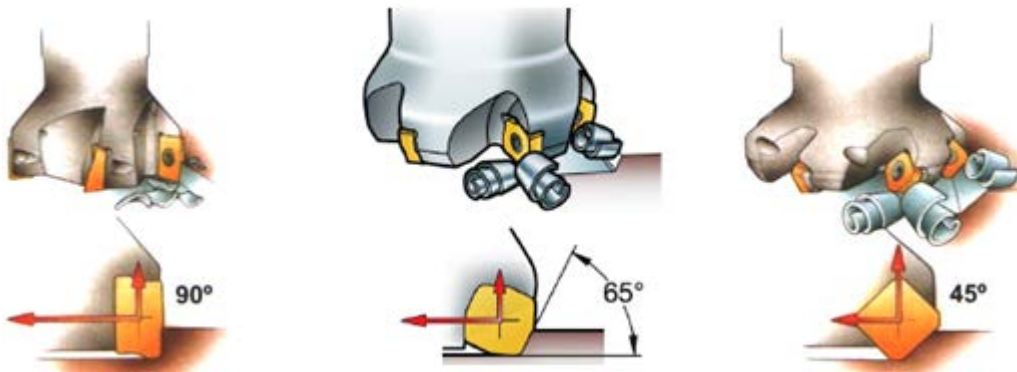
Örneğin $h_{ex} = 0,16$ ve yanaşma açısının 60° olması durumunda $f_z = 0,184 \text{ mm/diş}$, yanaşma açısının 88° olması durumunda ise $f_z = 0,160 \text{ mm/diş}$ olarak gerçekleşmektedir [Sandvik, 2006]. Bu nedenle deneysel çalışmada h_{ex} değerleri sabit tutularak farklı yanaşma açılarının VGDD'nin işlenebilirliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

3.2. Yanaşma Açısı

Frezelemede talaş kalınlığını etkileyen bir faktör de yüzey frezenin yanaşma açısıdır. Bu açı kesici ucun ana, ön kesme kenarı ile iş parçası yüzeyi arasındaki açıdır. Talaş kalınlığı, kesme kuvvetleri ve takım ömrü, özellikle yanaşma açısından etkilenir. Yanaşma açısının azalması verilen bir ilerleme oranı için talaş kalınlığını azaltır ve bunun sonucunda meydana gelen talaş inceltme etkisiyle malzeme miktarı kesme

kenarının daha büyük bir bölümüne dağılır. Daha küçük bir yanalma açısı da kesme işlemine daha fazla kademeli giriş sağlayarak radyal basıncı düşürür ve kesme kenarını korur. Fakat daha yüksek eksenel kuvvetler iş parçasındaki basıncı artırır. Günümüzde en yaygın olan giriş açıları 45° , 90° , 10° ve yuvarlak kesici ucun dereceleridir.

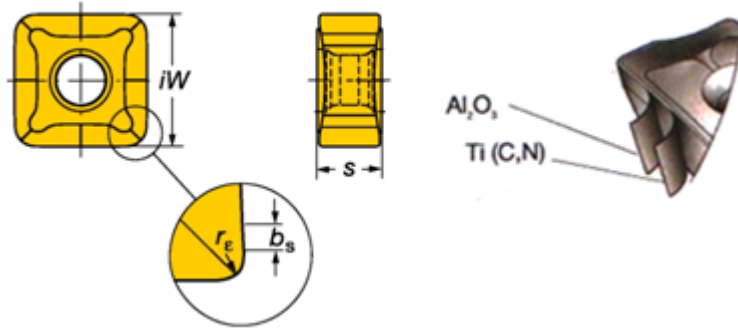
Giriş açısı 90° olan freze ilerleme yönünde radyal kuvvetler üretecektir. Böylece, işlenen yüzey çok fazla eksenel basınca maruz kalmayacaktır. Bu durum zayıf yapıli veya ince duvarlı iş parçalarının işlenmesi için avantaj oluşturur. Yanalma açısı 45° 'li olan freze, yaklaşık aynı değerde, daha dengeli basınç sağlayan, radyal ve eksenel kesme kuvvetleri oluşturur. Bu açı genel amaçlı yüzey frezeleme yanalma açısıdır. Daha küçük yanalma açıları için ise yük, ilerleme ile yanalma açısının sinüsünün çarpımına eşittir. Bu durumda 45° 'lik bir frezelemede kesici uca gelen yük 90° 'lik bir frezelemedeki yükün 0,707 katıdır. Yanalma açısının azalması talaş kalınlığını inceltirken, kesme kenarı dayanımını artırmakta, daha yüksek tabla ilerlemesi ile yüksek verimlilik sağlamaktadır (Şekil 3.17). Giriş açıları 60° ve 75° olan frezeler genel yüzey frezeleme işlemleri ile kıyaslandığında daha yüksek kesme derinliklerinde tercih edilmektedir. 45° yüzey frezelemeye göre daha düşük eksenel kuvvet oluşmaktadır. 90° kesicilerle kıyaslandığında ise daha iyi kesici kenar dayanımı sağlamaktadır [Sandvik, 2006].



Şekil 3.17. Yanalma açısının talaş oluşumu üzerindeki etkileri

3.3. Deneylerde Kullanılan Karbür Kesici Uçlar

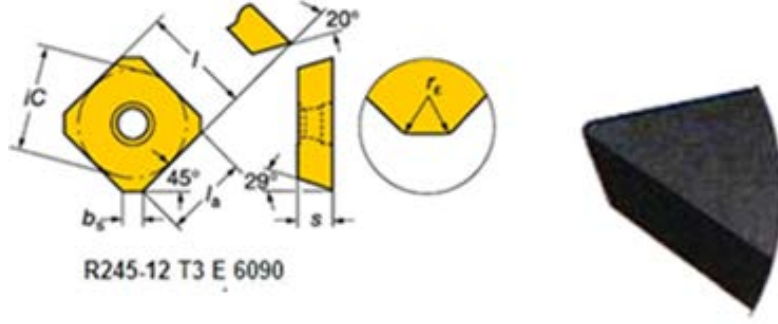
İşlenebilirlik deneylerinde Sandvik kesici uç firması tarafından üretilen GC3040 kalite olarak adlandırılan kesici uçlar kullanılmıştır (Şekil 3.18). Kesici uç genişliği $iW=13,4$ mm, uç genişliği $s=6,55$ mm ve kesici uç radyüsü 2 mm dir. Sinterlenmiş karbür uç; sertlik ve tokluk arasında iyi bir dengeye sahiptir. Ayrıca, azaltılmış sıcaklıkta kimyasal buharlaştırma (MT-CVD) yöntemiyle üretilen, mükemmel aşınma direnci sağlayan TiCN katmanı ve bu katmanı takiben çok iyi yüksek sıcaklıktan korunum sağlayan Al_2O_3 katmanına sahiptir. Toplam kaplama kalınlığı yaklaşık 9 mikrondur. Karbür kesici uçlar; yüksek çekme dayanımlı sfero dökme demirler ve ıslak işlenen dökme demirlerde ve tokluk isteyen uygulamalarda ilk seçenek olarak tercih edilirler.



Şekil 3.18. Deneyde kullanılan kaplamalı karbür kesici uç

3.4. Deneylerde Kullanılan Seramik Kesici Uçlar

Seramik kesici takım olarak CC6090 kalite olarak adlandırılan nitrür esaslı seramik kesici uçlar kullanılmıştır (Şekil 3.19). Çok yüksek kesme hızlarında gri dökme demirlerin hafif kaba işlemleri için kullanılan silisyum nitrür esaslı seramik kesici uçlardır. Kesici uç ölçüsü 12 mm ve kesici uç radyüsü 2,5 mm dir. Bu kesici uçlar perlitik yapıya sahip sfero dökme demirler ve dökme demirlerin kaba işlemleri için de kullanılmaktadır.



Şekil 3.19. Deneyde kullanılan seramik kesici uç

Kesici uç firması tarafından hem karbür kesici uçlar hem de seramik kesici uçlar için, 0,1 - 0,3 mm aralıktaki maksimum talaş kalınlığı (h_{ex}) için kesme hızı değerleri 15 dakikalık takım ömrüne göre tavsiye edilmiştir.

3.5. Karbür Kesici Uçlarla Kullanılan Soğutma Sıvısı

Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri hem kuru hem de soğutma sıvısı kullanılarak yapılmıştır. Soğutma sıvısının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneylerde Ford Otosan firmasının Vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesi sırasında kullandığı Castrol Hysol G soğutma sıvısı kullanılmıştır. Castrol Hysol G soğutma sıvısı demir ve demir içeriği olmayan malzemelerde tornalama, frezeleme, taşlama, vida çekme gibi bütün genel işleme operasyonlarında kullanılmaktadır. Castrol Hysol G soğutma sıvısı dökme demirlerde %3 oranında seyreltilmektedir.

3.6. CNC Takım Tezgâhı

Talaş kaldırma deneyleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim dalındaki Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Deneylerde kullanılan CNC dik işleme merkezi Resim 3.4’de görülmektedir.



Resim 3.4. Deneylerde kullanılan CNC işleme merkezi

3.7. Deney Metotları

3.7.1. Takım ömrü deneyleri

Takım ömrü deneylerinde yanaşma açısı, kesme hızı, maksimum talaş kalınlığı (h_{ex}) ve bu değere bağlı olarak ortaya çıkan ilerleme oranı, talaş derinliği (sabit) ve kesici takım türü deney değişkenleri olarak seçilmiştir.

Çizelge 3.4. Tavsiye edilen kesme şartları [tst ISO 8688-1, 2002]

Kesme şartı		I	II	III	IV
Eksenel kesme derinliği a_a	mm	2,5	2,5	2,5	4
Talaş genişliği a_e	mm	0,6xDc			
İlerleme f_z	mm/diş	0,125	0,2	0,315	0,5

Takım ömrü deney değişkenleri şu şekilde belirlenmiştir. Kesme parametrelerinden talaş derinliği, talaş genişliği ve ilerleme oranları tst ISO 8688-1 nolu frezelemede

kesici takım ömrü standardına göre seçilmiştir (Çizelge 3.4). İlerleme oranlarının standart da belirtilen değerler arasında olması için uygun h_{ex} değerleri seçilmiştir.

3.7.2. Kesme hızının seçimi

Kesme hızı değerlerinin belirlenmesinde öncelikli olarak literatürde araştırmacılar tarafından benzer ya da aynı malzemelerin aynı takımlarla işlenmesinde seçilen kesme hızı değerleri ve Sandvik firmasının önermiş olduğu kesme hızı değerleri dikkate alınmıştır. Kesici takım firmasının önermiş olduğu kesme hızı değerleri ve literatürdeki araştırmacıların önermiş olduğu kesme hızı değerlerinin maksimum ve minimum değerlerinde ön testler yaparak kesme hızı değerlerine karar verilmiştir. Takım ömrü deneyleri için 200x200x100 mm lik iş parçası üzerinde aynı yönlü frezeleme yapılmış ve takım ömrünü belirleme de talaş kaldırma hacmi esas alınmıştır. Kesme hızı değerleri belirlendikten sonra ortadaki kesme hızı değeri kullanılarak 100 cm³ talaş kaldırdıktan sonra kesici uçlar sökülmüş ve verniyer bölüntülü mikroskopla aşınma miktarı kontrol edilmiştir. 500 cm³ talaş hacminde aşınmanın olduğu görülmüş ve talaş hacmi olarak 500 cm³ sabit tutulmuştur. ISO 8688-1'de kesme hızındaki nispi küçük bir değişimin, takım ömrünü belirgin bir şekilde etkileyeceğinden, %10 luk bir değişimin yaklaşık olarak takım ömrünü ikiye katlayacağından veya yarıya düşüreceğinden bahsedilmektedir [tst ISO 8688-1, 2002]. Bu prensipten yola çıkarak orta kesme hızı değerinin %20 aşağısı ve %20 yukarısı kesme hızı değişkenleri arasında 1,20 oranını koruyacak şekilde kesme hızları belirlenmiştir. Karbür kesici uçlar için kesici uç aşınma deneylerinin yapıldığı kesme parametreleri Çizelge 3.5'de, seramik kesici uçlar için kesici uç aşınma deneylerinin yapıldığı kesme parametreleri ise Çizelge 3.6'da görülmektedir.

Çizelge 3.5. Karbür kesici uçlar için aşınma deneyi kesme parametreleri

Deney No	Kesme hızı Vc m/dak	Yanaşma açısı (Derece)	Max. talaş kalınlığı hex (mm)	Diş sayısı (Zn)	Freze çapı Dc (mm)	Talaş derinliği ap (mm)	Talaş genişliği ae (mm)	Tabla ilerlemesi Vf (mm/dak)
D1	215	45°	0,16	2	63	2,5	40	492
D2	215	45°	0,20					615
D3	215	45°	0,24					738
D4	215	60°	0,16					402
D5	215	60°	0,20					502
D6	215	60°	0,24					602
D7	215	75°	0,16					360
D8	215	75°	0,20					450
D9	215	75°	0,24					540
D10	215	88°	0,16					348
D11	215	88°	0,20					435
D12	215	88°	0,24					522
D13	250	45°	0,16					572
D14	250	45°	0,20					715
D15	250	45°	0,24					858
D16	250	60°	0,16					467
D17	250	60°	0,20					584
D18	250	60°	0,24					700
D19	250	75°	0,16					419
D20	250	75°	0,20					523
D21	250	75°	0,24					628
D22	250	88°	0,16					405
D23	250	88°	0,20					506
D24	250	88°	0,24					607
D25	290	45°	0,16					663
D26	290	45°	0,20					829
D27	290	45°	0,24					995
D28	290	60°	0,16					542
D29	290	60°	0,20					677
D30	290	60°	0,24					813
D31	290	75°	0,16					486
D32	290	75°	0,20					607
D33	290	75°	0,24					728
D34	290	88°	0,16					469
D35	290	88°	0,20					587
D36	290	88°	0,24					704

Çizelge 3.6 Seramik kesici uçlar için aşınma deneyi kesme parametreleri.

Deney No	Kesme hızı Vc m/dak	Yanaşma açısı (Derece)	Max. talaş kalınlığı hex (mm)	Diş sayısı (Zn)	Freze çapı Dc (mm)	Talaş derinliği ap (mm)	Talaş genişliği ae (mm)	Tabla ilerlemesi Vf (mm/dak)
D1	400	45°	0,0700	2	63	2,5	40	400
D2	400	45°	0,0840					480
D3	400	45°	0,1008					576
D4	400	60°	0,0700					327
D5	400	60°	0,0840					392
D6	400	60°	0,1008					471
D7	400	75°	0,0700					293
D8	400	75°	0,0840					352
D9	400	75°	0,1008					422
D10	400	88°	0,0700					283
D11	400	88°	0,0840					340
D12	400	88°	0,1008					408
D13	460	45°	0,0700					460
D14	460	45°	0,0840					552
D15	460	45°	0,1008					663
D16	460	60°	0,0700					376
D17	460	60°	0,0840					451
D18	460	60°	0,1008					541
D19	460	75°	0,0700					337
D20	460	75°	0,0840					404
D21	460	75°	0,1008					485
D22	460	88°	0,0700					326
D23	460	88°	0,0840					391
D24	460	88°	0,1008					469
D25	530	45°	0,0700					530
D26	530	45°	0,0840					637
D27	530	45°	0,1008					764
D28	530	60°	0,0700					433
D29	530	60°	0,0840					520
D30	530	60°	0,1008					624
D31	530	75°	0,0700					388
D32	530	75°	0,0840					466
D33	530	75°	0,1008					559
D34	530	88°	0,0700					375
D35	530	88°	0,0840					450
D36	530	88°	0,1008					540

3.7.3. Deneylerde kullanılan kesici uç sayısı

Kesici takım üzerinde tek kesici uç kullanarak işlenebilirlik deneyleri yapmanın avantajları vardır. Kesme sırasında kesme kuvvetleri tek bir kesici uca gelir ve elde edilen sonuç tek bir kesici uca ait olur. Bundan dolayı kesme kuvvetinin analizi daha kolay yapılabilir. Ancak daha fazla kesme kuvvetine neden olduğundan dolayı ve daha istikrarlı bir kesme işlemine imkân verdiği için birden fazla kesici uçla işlenebilirlik deneyleri yapmak tavsiye edilmektedir [Berglund, 2007]. Tarayıcı başlığın üzerine takılan kesici uç sayısı arttıkça çok fazla miktarda deney malzemesi gerektiğinden, frezeleme deneylerinde freze tarayıcı başlığı nadiren tam donanımlı olarak kullanılmaktadır. Richetti, tek kesici uç kullanarak yapılan deneylerin çoklu kesici uç kullanarak yapılan deneylere göre daha fazla takım ömrü vereceğini rapor etmiştir. Deneysel çalışmamızda hem daha istikrarlı bir kesme işlemi hem de darbeler karşısında kesici uçların daha az kırılması için deneylerimizin tamamı tarayıcı başlık üzerinde karşılıklı 2 kesici uç kullanılmıştır. Kesme kuvvetlerinde ve aşınma deneylerinde kesici uçlar arasında kuvvet ve aşınma farkı olmaması için kesici uçlar tarayıcı başlık üzerine sıkılırken azami dikkat gösterilmiştir [Richetti, 2004].

3.7.4. Ön takım ömrü deneyleri

Takım ömrü deneylerinde belirlenen malzeme ve metodu belirlemek amacıyla kesici takım firmasının ve literatürdeki araştırmacıların önermiş olduğu parametre değerlerine yakın değerler alınarak belirli sayıda ön deneyler yapılmıştır. Bu deneyleri yapmaktaki amaç;

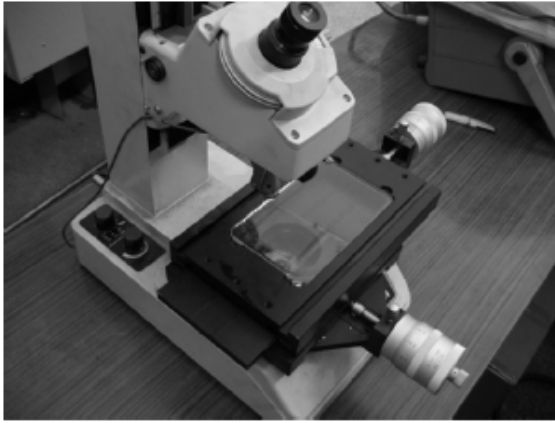
1. Tezgâhtan, istenilen talaş kaldırma parametrelerinin alınıp alınamayacağını ve kaldırabileceği en büyük ilerleme ve kesme derinliğini belirlemek,
2. Verilen bir kesme hızı değeri sonrası tezgâhın harcamış olduğu gücü tespit etmek,

3. Kesici takımlar için işlenen malzeme cinsine bağlı olarak kataloglarda önerilen değerlerin geçerliliğini test etmek ve buna göre uygun değerleri belirlemek,
4. Tezgâhta çalışırken en uygun kesme stratejilerini belirlemek
5. Kesici takımların göstermiş olduğu aşınma tiplerini belirlemektir.

Bu amaçlar için yapılan ön deneyler değerlendirildiğinde seçilen kesme şartları bazı düzeltmeler yapılarak tamamlanmış ve ölçme hassasiyetlerinin de uygunluğu tespit edildikten sonra takım ömrü deneylerine başlanmıştır.

3.7.5. Esas takım ömrü deneyleri

Tüm takım ömrü deneyleri kuru işleme şartları altında yapılmıştır. Her deney öncesi yeni bir kesici uç kullanılmıştır. Takım ömrü deneylerinde aynı yönlü frezeleme işlemi yapılmıştır. 40x200 mm'lik kesme işleminden sonra kesici uç kesme yüzeyine temas etmeden 5 mm yukarıda G00 hızlı hareketi ile geri dönerek kesme işlemine başlamıştır. 200x200x2,5 mm'lik her yüzeyin bitmesinden sonra kesici uç üzerindeki aşınma veya kesici uçta kırılma olup olmadığı kontrol edildikten sonra CNC programında 2. paso işleme için 2,5 mm talaş verilmiştir.



Resim 3.5. Yan kenar aşınmasının ölçülmesinde kullanılan verniyer bölüntülü optik mikroskop.

Bu şekilde her bir deney için toplam 5 paso talaş verilmiştir. Her deneyin bitiminden sonra kesme bölgesinden talaş numunesi alınmış ve talaşlar uzaklaştırılmıştır. Kesici uçlar sökülerek 0,001 hassasiyetli ve X, Y ve Z yönünde ölçüm yapabilen verniyer bölüntülü optik mikroskopla kontrol edilmiş ve ortalama serbest yan yüzey aşınma değerleri ölçülmüştür (Resim 3.5). Ölçülen değerler not edilmiştir. Her deney sonrası kesici ucun ilgili kısmı kodlanarak oksitlenmemesi için poşetlenmiş ve özel kaplarda saklanmıştır.

3.7.6. Yüzey pürüzlülüğü deneyleri

Yüzey pürüzlülüklerinin ölçümünde, yüzeydeki girinti ve çıkıntıların toplam alanlarının eşit olduğu düzlemi referans kabul ederek, bu düzleme göre üstte ve altta kalan alanların eşit olduğu yeni iki düzlemi bulan ve bunlar arasındaki uzaklığı esas alan, aritmetik ortalama (R_a) değeri yüzey pürüzlülük kriteri olarak dikkate alınmıştır. Bununla birlikte, cihaz tarafından ölçülen on nokta yükseklik ortalaması R_z ve maksimum pürüzlülük R_{max} değerleri de kayıt altına alınmıştır.

Pürüzlülük ölçümünde profil metodu kullanılmıştır. Bu amaçla profil değişimini R_a , R_z ve R_{max} cinsinden okuyabilen ve Resim 3.6'de görülen MAHR-Perthometer M1 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Cihazla 150 μm 'ye kadar yüzey pürüzlülükleri ölçülmektedir.



Resim 3.6. MAHR- Perthometer M1 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı.

Ölçme işlemine geçmeden önce yüzey pürüzlülük cihazı, yüzey pürüzlülük değeri önceden bilinen kalibrasyon blokları ile kalibre edilmiştir. Örnekleme uzunluğu (l_c) 0,8 mm alınmıştır. Ölçülecek yüzey uzunluğu (L) örnekleme uzunluğunun en az 5

katı olacağından 10 mm seçilmiştir. Yüzey pürüzlülük numuneleri Şekil 3.4’de verilen boyutlarda hazırlandıktan sonra iş parçasından talaş kaldırılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümleri kesme kuvveti ölçüm deneylerinin yapıldığı yüzeyler üzerinde yapılmıştır. Her yüzey yeni bir takım ile işlenmiştir. Numuneler 100 mm boyunda işlenerek hem kuvvet ölçümü yapılmış hem de yüzey pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Yüzeylerin oksitlenmemesi ve ölçme değerlerini etkilememesi amacıyla ölçme işlemi bekletilmeden yapılmıştır. Pürüzlülük ölçüm işlemleri işlenen yüzeyin başlangıcı ile bitimi arasında ilerleme yönüne paralel olarak 4 farklı noktadan alınmıştır. Ölçüm sonuçları excel veri tablosuna kaydedilerek ortalamaları alınmıştır.

3.7.7. Mikro yapı incelemeleri

Mikro yapıların görüntülenmesinde Leica DFC320 dijital kamera bağlantılı Leica marka DM4000M model optik mikroskop kullanılmıştır (Resim 3.7). %2 nital ile dağlama sonrası optik mikroskop ile Vermiküler grafitli dökme demirin mikro yapı resimleri çekilmiştir.



Resim 3.7. Leica DM400M optik mikroskop

3.7.8. Aşınmış takım uçlarının görüntülenmesi

Aşınmış takım uçlarının SEM çalışmaları JEOL JSM-6300 model tarama elektron mikroskopları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınmış uçlar SEM çalışmaları öncesi metanol içerisinde Struers Metason ultrasonik temizleyicide 5 dakika bekletilerek üzerinde oluşabilecek yağ ve kirlere temizlenmiştir.

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Vermiküler Grafitli Dökme Demirin Mekanik Özellikleri

Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılmış olan vermiküler grafitli dökme demirin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler bu alanda daha önce yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

4.1.1. Sertlik ölçme deneyi

Literatür ile deneysel malzemenin kıyaslaması Çizelge 4.1 ile Çizelge 4.2’de görülmektedir. Deneylerde kullanılan malzemelerden 5x5x55 mm ebatlarında hazırlanan 5 deney numunesinin her birinde 5 farklı noktada ölçme yapılmış ve ölçülen değerler not edilmiştir.

Çizelge 4.1. VGDD sertlik ölçme sonuçları

1. Parça (HV)	2. Parça (HV)	3.Parça (HV)	4.Parça (HV)	5.Parça (HV)	15 mm sonra
286	274	283	268	285	272
276	281	276	275	274	275
285	286	285	285	277	286
277	287	277	280	287	285
282	276	280	282	283	265
281	281	280	278	281	270
Genel ort.= 280 HV					276 HV

Çizelge 4.2. Dökme demirlere ait genel mekanik özellikler [Zeigler, 1984]

Özellik	VGDD	GDD	KGDD
Çekme Dayanımı (MPa)	276-586	138-414	414-928
%0.2 Akma Sınırı (MPa)	207-435	-	276-621
Elastikiyet Modülü (MPa x 10 ³)	121-152	76-131	152-172
Uzama %	1,0-4,0	<1,0	2,0-25,0
Brinell Sertlik (BHN)	140-260	110-270	149-300
Darbe Dayanımı (J/cm ²)	2-9,5	<1,4	2,7-24,5
Isıl İletkenliği (Cal/cm s °C)	0,08-0,12	0,105-0,135	0,075-0,09
Hacimsel Büzülme (%)	3,0-6,0	4,0-10,0	2,0-3,0

Numunelerden ölçülen sertlik değerlerinin ortalaması hesaplanmış ve ortalama değer olarak 280 HV elde edilmiştir. Ayrıca deneyde kullanılan malzemelerden 15 mm talaş kaldırıldıktan sonra malzemenin farklı noktalarından sertlik ölçümü yapılmıştır. 10 farklı noktada ölçme yapılmış ve ölçüm sonucunun ortalaması 276 HV olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.1). Sertlik ölçüm için hazırlanan numune ile deney numuneleri arasında 4 HV gibi az bir fark oluşmuştur. Bu fark deney malzemesinde yüzeyden merkeze doğru inildiğinden dolayı oluşmuştur. Sertlik değerleri dönüşüm tablosundan kıyaslama yapıldığında vickers olarak elde edilen 280 HV 266 HB değerine, 276 HV ise 262 HB değerine karşılık gelmektedir. Çizelge 4.2'deki değerlerle kıyalandığında deneysel çalışmada kullanılan malzemenin sertliği literatüre paralel çıkmıştır.

4.1.2. Darbe dayanımı ölçme deneyi

Vermiküler grafitli dökme demirlerin oda sıcaklığında yapılan charpy darbe deneyi sonuçları, çekme mukavemetleri, % uzamaları ve sertlik deneylerinde olduğu gibi, gri dökme demirlere ve küresel grafitli dökme demirlere uygulanan darbe deneylerinin sonuçlarının arasında bir değerde çıkmıştır. Genel olarak vermiküler grafitli dökme demirlerin darbe dayanımları, karbon içeriğindeki artışla artacak ve fosfor oranı ya da matris yapıda perlit oranı arttıkça azalacaktır. Dökme demirlerin darbe dayanımları sıcaklıkla değişmektedir. Çizelge 4.3'de değişen Charpy darbe deneyinde değişen sıcaklığa bağlı olarak dökme demirlerdeki darbe dayanımı gösterilmiştir [Stefanescu, 1988].

Çizelge 4.3. Değişik dökme demirlerin charpy darbe dayanımlarının sıcaklığa bağlı değişimi [Altstetter, 1982]

Sıcaklık °C	VGDD	KGDD	GDD
24	4,7	6,1	2,0
	4,7	7,5	2,7
	5,4	8,1	2,7
100	5,4	14,2	2,7
	6,1	14,2	2,7
	6,8	14,9	2,,7

Deneyleerde kullanılan malzemelerden hazırlanan, darbe numuneleri INSTRON PW 30150 J çentik Darbe Test Cihazı ile oda sıcaklığında teste tabi tutulmuştur. Ölçmeler, 5 adet numune üzerinde yapılmış olup, ortalaması alınmıştır. Darbe deneyi sonuçları Çizelge 4.4’de görülmektedir. Darbe dayanımı sonucunda elde edilen veriler literatürle kıyaslandığında bu çalışmanın deneylerinde kullanılan vermiküler grafitli dökme demirin darbe dayanımı ortalama 8,6 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4. Darbe dayanımı sonuçları

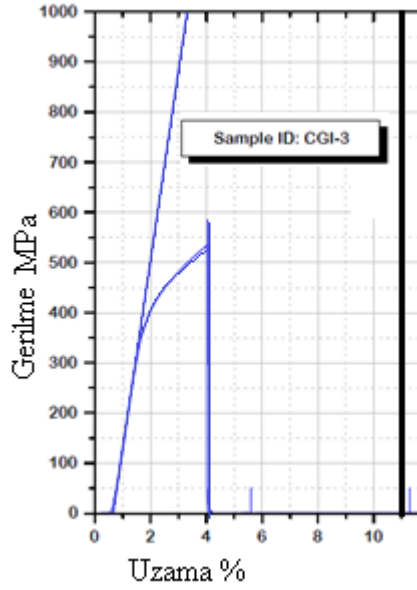
Deney Parçası	Joule	Ortalama (Joule)
1. parça	7,5	8,6
2.parça	9,5	
3. parça	8,5	
4.parça	9,0	
5.parça	8,6	

4.1.3. Çekme dayanımı ölçme deneyi

Deneyleerde kullandığımız VGDD’in çekme deneyleri INSTRON 8503 Bilgisayar kontrollü ve 50 ton çekme-basma kapasitesine sahip üniversal test cihazı ile yapılmıştır. Çekme deneyinden elde edilen sonuçlar ve ortalamaları Çizelge 4.5’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlar literatüre paralellik göstermektedir. Uzama gerilme grafiği ise Şekil 4.1’de görülmektedir. Çizelge 4.6’da vermiküler grafitli dökme demir standartları görülmektedir.

Çizelge 4.5. Çekme deneyi sonuçları

Toplam uzama (%)	Kesit Alan Daralması uzama (%)	%0.2 Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
0,08	2,16210	274,70	491,90
0,22	0,58451	253,20	480,60
0,76	2,54268	325,00	535,70
0,40	1,80	284,30	502,70



Şekil 4.1. Çekme deneyi uzama/gerilme grafiği

Çizelge 4.6. VGDD standartları

Ülke	Kısaltma	No	Yıl
International	ISO	ISO 16112	2006
International	SAE	J 1887	2002
Germany	VDG	W 50	2002
USA	ASTM	A 842-85	1997
China	JB	4403-87	1987
Romania	STAS	12443-86	1986

Çizelge 4.7. Alman standardına göre VGDD sınıfları VDG merkblatt W50
[Guesser, 2003]

Sınıflandırma	Maksimum çekme Dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Uzama (%)	HB 30
EN-GJV-300	300-375	220-295	1,5	140-210
EN-GJV-350	350-425	260-335	1,5	160-220
EN-GJV-400	400-475	300-375	1,0	180-240
EN-GJV-450	450-525	340-415	1,0	200-250
EN-GJV-500	500-575	380-455	0,5	220-260

Çizelge 4.7’de vermiküler grafitli dökme demirler için Alman standardı Merkblatt W50 ve Çizelge 4.8’de ise ISO 16112’ ye göre vermiküler grafitli dökme demirin mekanik özellikleri görülmektedir. Deneysel çalışmamızda kullandığımız vermiküler grafitli dökme demirin mekanik özellikleri ISO 16112 JV 500 sınıfı, Alman standardı Merkblatt W50 ye göre de EN-GJV-500 sınıfı malzemenin özelliklerini taşımaktadır. JV 400 ile JV 500 standardına sahip vermiküler grafitli dökme demirler daha çok dizel silindir bloklarının üretiminde kullanılmaktadır. Ülkemizde vermiküler grafitli dökme demirler için henüz bir Standard yayınlanmamıştır.

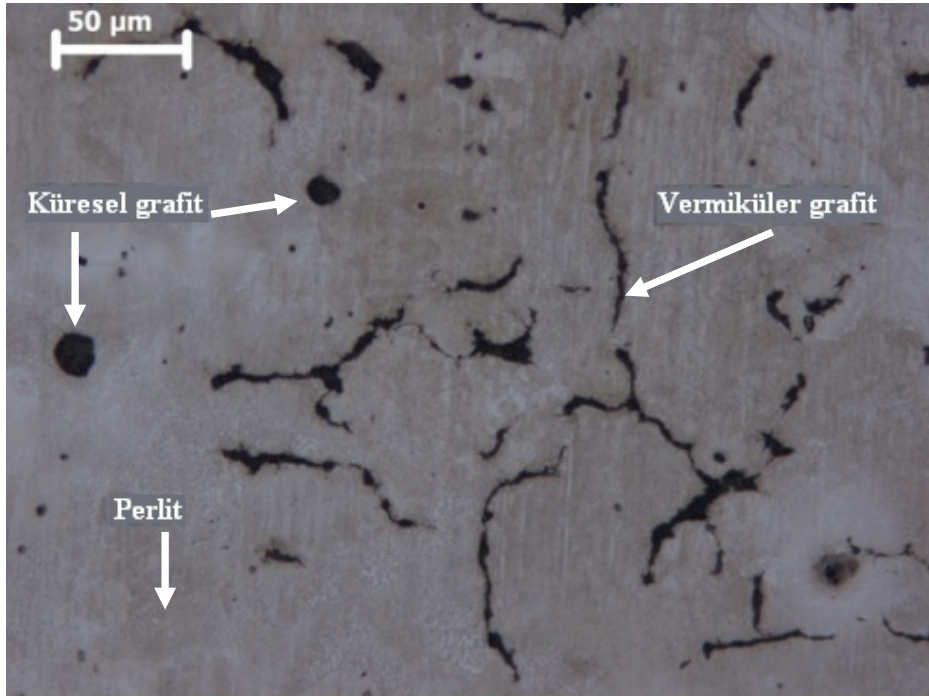
Çizelge 4.8. Vermiküler grafitli dökme demir için ISO standardı

Sınıflandırma ISO 16112	Maksimum çekme Dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Uzama (%)	HB 30
JV 300	300	210	2,0	140-210
JV 350	350	245	1,5	160-220
JV 400	400	280	1,0	180-240
JV 450	450	315	1,0	200-250
JV 500	500	350	0,5	220-260

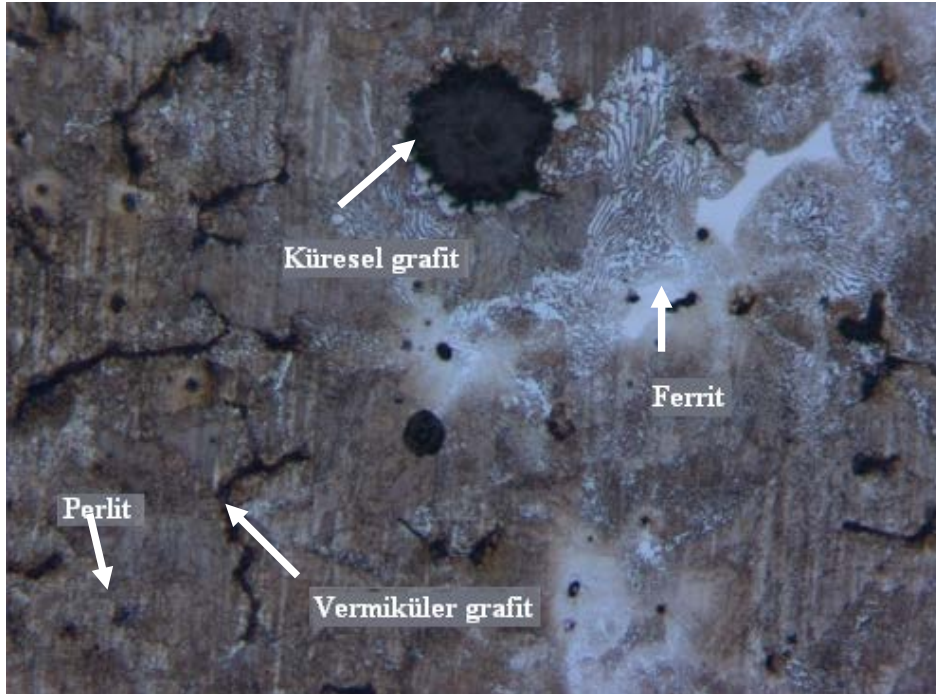
Demir ve çelik döküm mamulleri için üretim yöntemleri bazında çeşitli sınıflamalar mevcutsa da, kimyasal kompozisyon, mikro yapı ve mekanik özellikler bazında yapılan sınıflama daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna göre üretim, malzeme özelliklerine göre 5 ana gruba ayrılmaktadır;

4.1.4. Mikro yapı

Deneysel çalışmada kullanılan vermiküler grafitli dökme demir zımparalandıktan ve nital ile dağlandıktan sonra Leica DM400M optik mikroskop ile mikroyapı resimleri çekilmiştir.

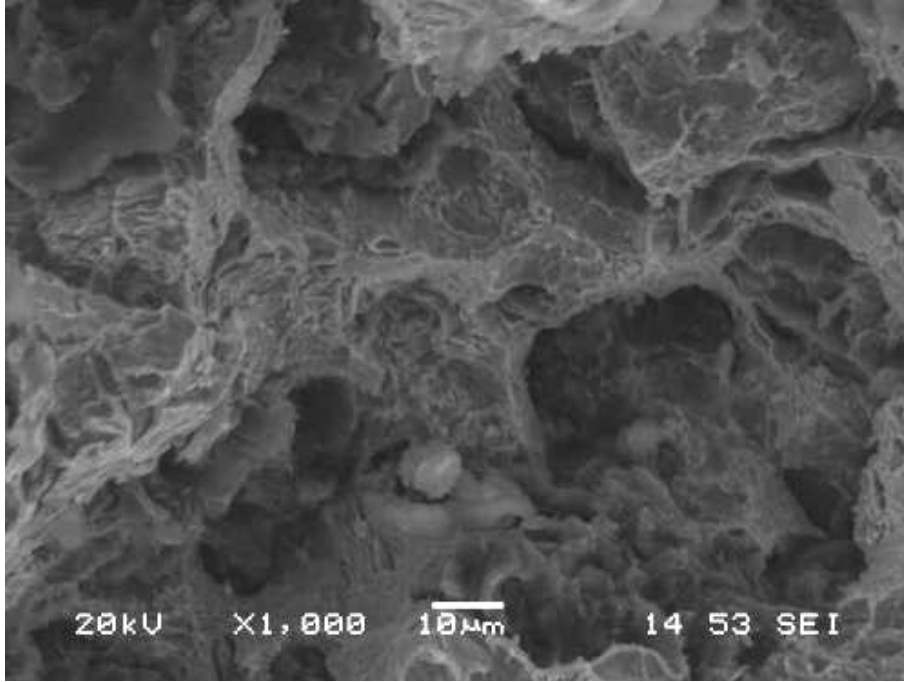


Resim 4.1. Vermiküler grafitli dökme demirin mikroyapısı



Resim 4.2. Vermiküler grafitli dökme demirin nital ile dağlandıktan sonraki mikroyapısı

Resim 4.1 ve Resim 4.2’de görüleceği üzere perlit+vermiküler grafit +küresel grafit ve ferritten oluşmaktadır. Vermiküler grafitli dökme demirin mikroyapısındaki grafit, kurtçuklar ya da solucan (vermiküler) parçaları şeklinde gözükmetedir. Literatürle kıyaslandığında, bu parçacıklar her ne kadar gri dökme demirde olduğu gibi uzatılmış ve rastgele yönlendirilmiş gibi olsalar da, vermiküler grafit parçalar resimde de görüldüğü gibi daha kısa, kalın ve uç kısımları yuvarlak şekillidirler. Resimler üzerindeki beyaz bölgeler ferrit yapıyı, gri renkli bölgeler ise perlitik yapıyı göstermektedir. Vermiküler grafitli dökme demirin yapısındaki bu küresel grafitler ve vermiküler yapı, gri dökme demirde oluşan çentik etkisini ortadan kaldırmakta, malzemeye daha yüksek dayanım, tokluk ve süneklik özelliği katmaktadır. Vermiküler grafit parçalar optik mikroskopla bakıldığında solucan şeklinde gözükebiliyorken SEM cihazı ile daha derinlikli bakıldığında Resim 4.3’de gözüktüğü gibi ötektik hücre içindeki en yakın komşuları ile birbirine bağlı düzensiz silindirik geometrisi ile birlikte bu küresel geometriye yakın görülmektedir. Vermiküler grafit yapısı çatlak oluşumunu ve yayılmasını önlemekte ve gri dökme demire göre daha güçlü mekanik özellik sunmaktadır.



Resim 4.3. Kırık parçadan çekilen SEM resmi

4.2. Vermiküler Grafitli Dökme Demirin İşlenebilirliğinin

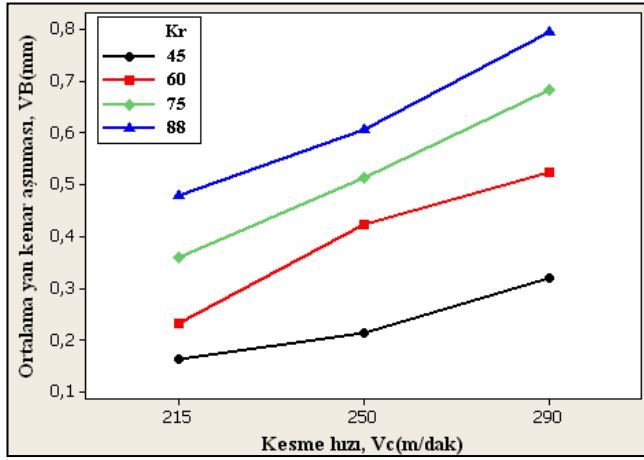
Mühendislik malzemelerinin işlenebilirliği, malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerini belirleyen mikroyapılarına bağlıdır. Malzemelerin işlenebilirlik özelliğine göre optimize edilmesi gereken ve işlenebilirliğin karakterizasyonunda kullanılan değişkenler olan; takım ömrü, kesme kuvveti, talaş oluşumu, kesici takım malzemesi, kesme parametreleri, araştırılması gereken önemli değişkenlerdir. Frezeleme işlemi, kesici ucun sürekli kesme işlemi yapmamasından dolayı tornalama işlemine göre daha karmaşıktır. Frezenin pozisyonu işleme üzerinde çok büyük etkiye sahip olan farklı kesme şartlarına yol açmaktadır. Yüksek miktarda verimli bir işleme süreci elde edebilmek için kararlı ve kontrol edilebilen kesme süreçlerine ihtiyaç vardır. Bunu gerçekleştirmek için frezelemedeki bazı işleme özelliklerini anlamak gerekir. Bunun için kesicinin pozisyonu, kesme parametreleri ve kesme kuvvetlerinde etkili olan takım tasarımının dikkate alınması gerekmektedir. Frezelemede değişken talaş kalınlığı ve buna bağlı olarak oluşan değişken kesme kuvvetlerinden dolayı aralıklı kesme işlemi oluşmaktadır. Bundan dolayı talaş oluşum şeklini izlemek ve işleme özelliklerinden nasıl etkilendiğini anlamak çok önemlidir.

Bu deneysel çalışmada maksimum talaş kalınlığı (h_{ex}) sabit tutularak, farklı yanaşma açılarında yüzey frezeleme işlemi yapılmıştır. h_{ex} değeri sabit kalırken kesici takımın yanaşma açısına bağlı olarak ilerleme oranı her kesme değerinde farklı oluşmuştur.

Bu çalışma ile VGDD malzemenin frezeleme işleminde farklı yanaşma açısının karbür ve seramik kesici takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, işleme verimliliği ve maliyeti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca karbür kesici uçlarla dökme demirlerin işlenmesi sırasında soğutma sıvısının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu ya da olumsuz etkisi olup olmadığı araştırılmıştır.

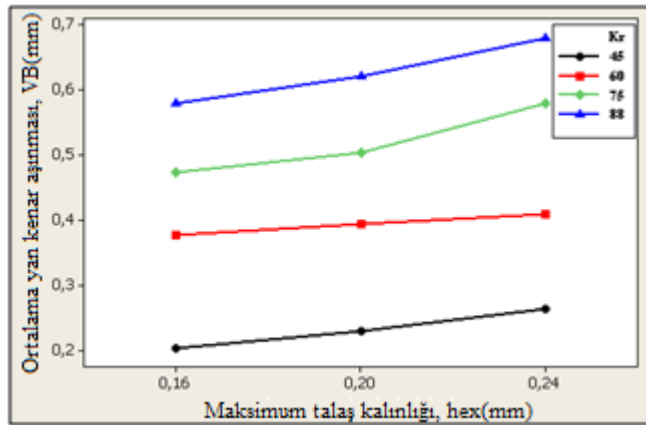
4.2.1. Kaplamalı karbür kesici uçlarda takım ömrü

Bu bölümde kaplamalı karbür kesici uç kullanarak vermiküler grafitli dökme demirin kuru frezelenmesinde en yüksek takım ömrü değerlerini verecek optimum kesme parametrelerini ve faktör etkileşimlerinin takım ömrü üzerindeki etkilerini belirlemek amaçlanmıştır. Karbür kesici uçların aşınma deneyleri için, kesici takım firmasının önermiş olduğu kesme hızları ile literatür dikkate alınarak yapılan ön testler sonucu tespit edilen kesme hızları kullanılmıştır. 200x200 ebatlarındaki deneysel malzemeden her seferde 2,5 mm talaş kaldırılmıştır. Ön testlerde her bir talaş kaldırma işleminden sonra verniyer bölüntülü mikroskop ile aşınma miktarı kontrol edilmiştir. Yapılan bu ön testlerde $VB=0,3$ mm aşınma sınırına 500.000 mm^3 talaş hacminde ulaşılmıştır. Aşınma sınırına ulaşılan 500 cm^3 talaş kaldırma hacmi sabit tutularak, mevcut malzeme miktarı da dikkate alınarak kesici takım aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 45° , 60° , 75° , ve 88° 'lik yanaşma açısı kullanılarak toplam 36 adet deney yapılmıştır. Aşınma deneyleri için freze takım tutucu üzerine 2 adet karşılıklı kesici uç yerleştirilmiştir. Kesici uçların eşit miktarda kesme yapabilmesi için kesici uçların takım tutucu üzerine takılması sırasında azami özen gösterilmiştir. Deneylerin yapımı sırasında CNC işleme merkezinin kontrol panosu üzerindeki güç göstergesi sürekli olarak takip edilmiş, tezgâhın her bir pasoda harcamış olduğu güç miktarı not edilmiştir. Talaş kaldırma deneylerin son pasosu olan 5. pasoda tezgâh, aşınma miktarına bağlı olarak yaklaşık %100 güç harcama oranına ulaşmıştır. Şekil 4.2'da 500 cm^3 sabit talaş hacminde, 45° , 60° , 75° , ve 88° 'lik giriş açılarında, vermiküler grafitli dökme demirin farklı kesme parametrelerinde işlenmesinde oluşan yan kenar aşınması değişimi verilmiştir.



Şekil 4.2. Vermiküler grafitli dökme demirin farklı kesme parametrelerinde işlenmesinde oluşan ortalama yan kenar aşınması

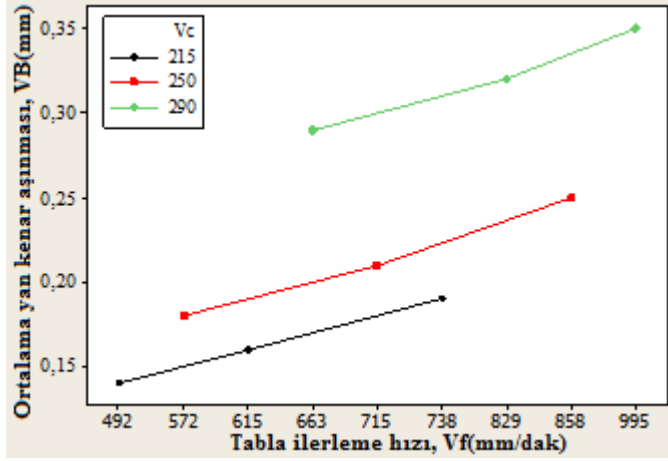
Deneylerde sabit maksimum talaş kalınlığında çalışıldığı için her bir deney parametresinde farklı bir ilerleme değeri oluşmuştur. Bu nedenle Şekil 4.3’de ise ilerleme hızına bağlı olarak yan kenar aşınmasında meydana gelen değişim görülmektedir.



Şekil 4.3. İlerleme hızına (maksimum talaş kalınlığı) bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması

Kesme hızı takım aşınması grafiğinde görüleceği üzere, yanaşma açısının değeri azaldıkça takım aşınma oranı da azalmıştır. Takım aşınması üzerinde yanaşma açısının etkisinin çok fazla olduğu görülmektedir. Deneysel çalışmada en düşük kesici takım aşınması 0,12 mm, 45°’lik yanaşma açısında 215 m/dak kesme hızında ve 492 mm/dak tabla ilerlemesinde gerçekleşmiştir. Bu işleme parametrelerinde

işleme süresi 10,17 dakika olarak gerçekleşmiştir. En yüksek kesici takım aşınması 0,87 mm, 88° yanaşma açısında 290 m/dak kesme hızında ve 704 mm/dak tabla ilerlemesinde gerçekleşmiştir. Bu işleme parametrelerinde ise işleme süresi 7,1 dakika olarak gerçekleşmiştir. Maksimum ve minimum kesici takım aşınması arasında %725 oranında bir fark oluşmuştur. İşleme verimliliği açısından bakıldığında ise en yüksek tabla ilerlemesi; 45° yanaşma açısında 290 m/dak kesme hızında 995 mm/dak olarak gerçekleşmiştir. Bu kesme şartlarında aşınma oranı 0,36 mm olurken işleme süresi teorik olarak 5,02 dakika hesaplanmıştır. En düşük tabla ilerlemesi; 88° yanaşma açısında 215 m/dak kesme hızında 348 mm/dak olarak gerçekleşmiştir. Bu kesme şartlarında aşınma oranı $VB=0,45$ mm olurken işleme süresi teorik olarak 14,37 dakika hesaplanmıştır. Grafikte görüldüğü üzere her bir açı değerinde, üç farklı kesme hızı kullanılarak 9 adet aşınma deneyi yapılmıştır. Her bir kesme hızında ise maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak üç farklı ilerleme oranı ortaya çıkmıştır. Grafiklerde görülen aşınma oranları değerlendirilirken kesme hızı ve ilerleme oranının değişken olması dikkate alınmalıdır.

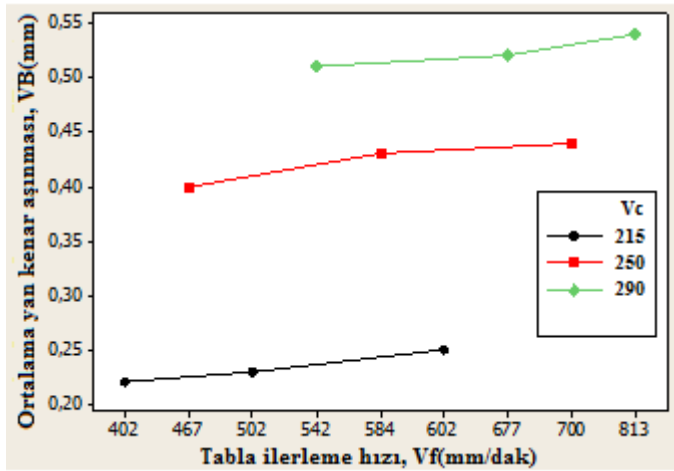


Şekil 4.4. 45° yanaşma açısında tabla ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması

45° yanaşma açısı ile yapılan takım ömrü deneylerinde en yüksek takım ömrü; 215 m/dak kesme hızında ve 492 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=0,12$ mm ve işleme süresi 10,17 dakika gerçekleşirken, en düşük takım ömrü; 290 m/dak kesme hızında ve 995 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=0,36$ mm ve işleme süresi 5,02 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.4). 45° yanaşma açısı ile yapılan deneylerin tamamında

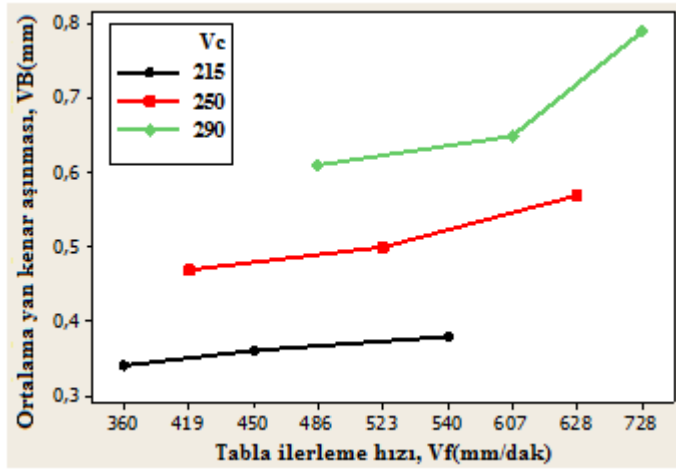
minimum ve maksimum takım aşınması kıyaslandığında ise %300 oranında daha fazla aşınma oluşmuştur. Maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak ilerleme hızında iki kat artış meydana gelirken işleme süresinde %49,36'lık bir azalma meydana gelmiştir.

60° yanaşma açısı ile yapılan takım ömrü deneylerinde en yüksek takım ömrü; 215 m/dak kesme hızında ve 402 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=0,23$ mm olarak gerçekleşirken en düşük takım ömrü; 290 m/dak kesme hızında ve 813 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=0,54$ mm olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.5). 60° yanaşma açısı ile yapılan deneylerin tamamında minimum ve maksimum takım aşınması kıyaslandığında, 290 m/dak kesme hızında kesici takım yan kenar aşınmasında %234,7 oranında daha fazla aşınma oluşmuştur. Maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak ilerleme hızında iki kat artış meydana gelirken işleme süresinde %49,39'lık bir azalma meydana gelmiştir.



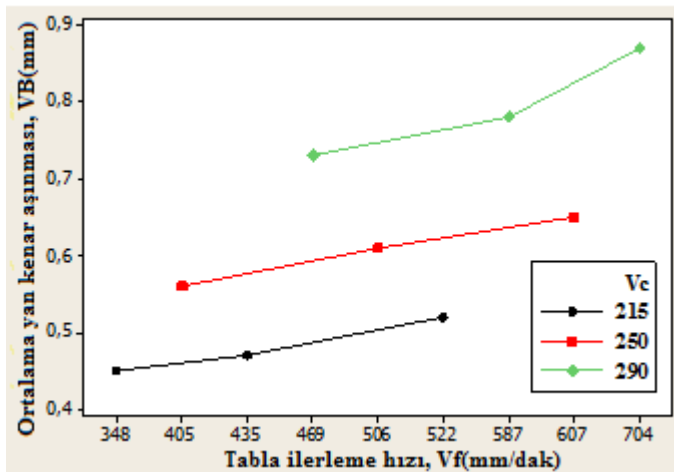
Şekil 4.5. 60° yanaşma açısında tabla ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması

75° yanaşma açısı ile yapılan takım ömrü deneylerinde en yüksek takım ömrü; 215 m/dak kesme hızında ve 360 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=0,34$ mm olarak gerçekleşirken en düşük takım ömrü; 290 m/dak kesme hızında ve 728 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=0,71$ mm olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. 75° yanaşma tabla ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması

75° yanaşma açısı ile yapılan deneylerin tamamında minimum ve maksimum takım aşınması kıyaslandığında, 290 m/dak kesme hızında kesici takım yan kenar aşınmasında %208,8 oranında daha fazla aşınma oluşmuştur. Maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak ilerleme hızında iki kat artış meydana gelirken işleme süresinde %49,38'lik bir azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.7. 88° yanaşma açısında tabla ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması

88° yanaşma açısı ile yapılan takım ömrü deneylerinde en yüksek takım ömrü; 215 m/dak kesme hızında ve 348 mm/dak tabla ilerlemesinde VB=0,45 mm olarak

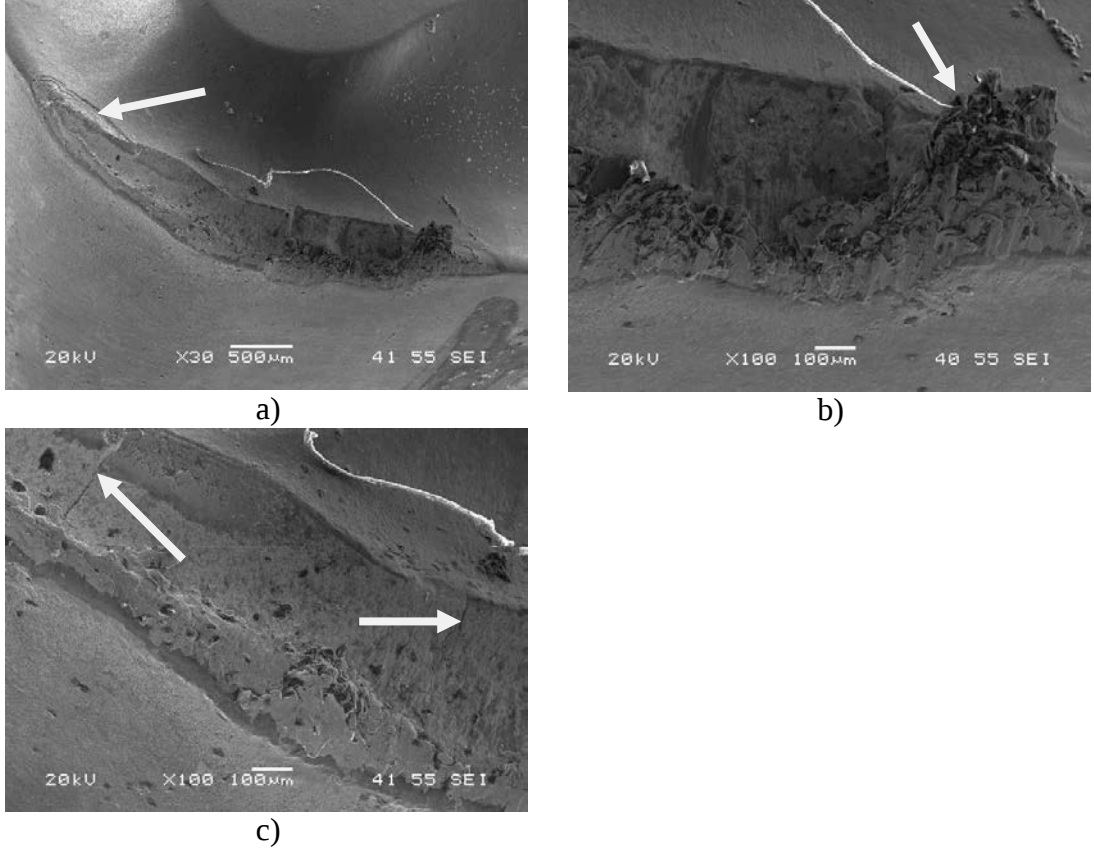
gerçekleşirken, en düşük takım ömrü; 290 m/dak kesme hızında ve 704 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=0,87$ mm olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.7). 88° yanaşma açısı ile yapılan deneylerin tamamında minimum ve maksimum takım aşınması kıyaslandığında, 290 m/dak kesme hızında kesici takım yan kenar aşınmasında %193,3 oranında daha fazla aşınma oluşmuştur. Maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak ilerleme hızında iki kat artış meydana gelirken işleme süresinde %49,4 lık bir azalma meydana gelmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda, literatüre paralel olarak kesme hızının ve ilerlemenin artışına bağlı olarak kesici takım ömrü azalmıştır (Şekil 4.4- Şekil 4.7). Tabla ilerlemesi yan kenar aşınması grafikleri incelendiğinde, 45° , 60° , 75° , ve 88° 'lik giriş açıları ile yapılan deneylerin tamamında ilerleme oranı arttıkça yan kenar aşınması doğrusal olarak artış göstermiştir. Karbür kesici uçlar kullanılarak vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesinde kesme parametreleri ve kesici takım seçimi yapılırken işleme verimliliği, işleme süresi, kesici takım aşınması gibi faktörlere göre seçim yapılması gerekmektedir. Literatürde düzlem frezeleme ve vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesi sırasında, yanaşma açısının işlenebilirlik üzerindeki etkisi ile ilgili yapılmış bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Sabit maksimum talaş kalınlığında yanaşma açısı değeri yükseldikçe tabla ilerleme hızı ve kesici takım ömrü azalmaktadır. Tabla ilerleme hızının düşmesi; işleme süresinin artmasına ve işleme verimliliğin düşmesine sebep olmaktadır. Deneysel veriler sonucu elde edilen grafiklerden de görüleceği üzere kesici takım ömrü üzerinde sırasıyla yanaşma açısı, kesme hızı ve tabla ilerlemesinin etkisinin olduğu görülmektedir.

4.2.2. Karbür kesici uçlarda aşınmanın karakterizasyonu

Deneysel çalışmada mevcut deneysel malzeme miktarı ve deney şartları göz önünde bulundurularak takım ömrü kriteri için $VB=0,3$ mm olarak belirlenmiştir. tst ISO 8688-1 takım şekil değiştirmesinin tarifinde, düzenli yan kenar aşınması için VB değeri en büyük 0,5 mm, düzenli olmayan yan kenar aşınma kriteri olarak 1,5 mm ve bölgesel yan kenar aşınması için de 1,2 mm olarak belirtilmiştir. Çentiklenmede ise, makro çentiklenme üst sınırı 0,5 mm olarak belirtilmiştir [tst ISO 8688-1, 2002].

Deneysel ölçümler sonucunda düzenli yan kenar aşınma sınırının geçildiği üst sınırlara ise ulaşılmadığı görülmüştür. Resim 4.4’de karbür kesici uç kullanılarak vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesinde oluşan kesici takım aşınmasına ait SEM görüntüleri verilmektedir. Her bir deneyde iki adet kesici uç kullanılmış, kesici uçların aşınma miktarları verniyer bölüntülü mikroskopla ölçülmüştür. Ölçme sonucunda kesici uçlardan bir tanesinin periyodik olarak daha fazla aşındığı diğer kesici ucun ise az aşındığı tespit edilmiştir. Kesme kuvveti analizlerinde kesici uçlardan birisinde kesme kuvvetleri daha fazla olurken diğer kesici uça daha az kesme kuvveti oluşmuştur.

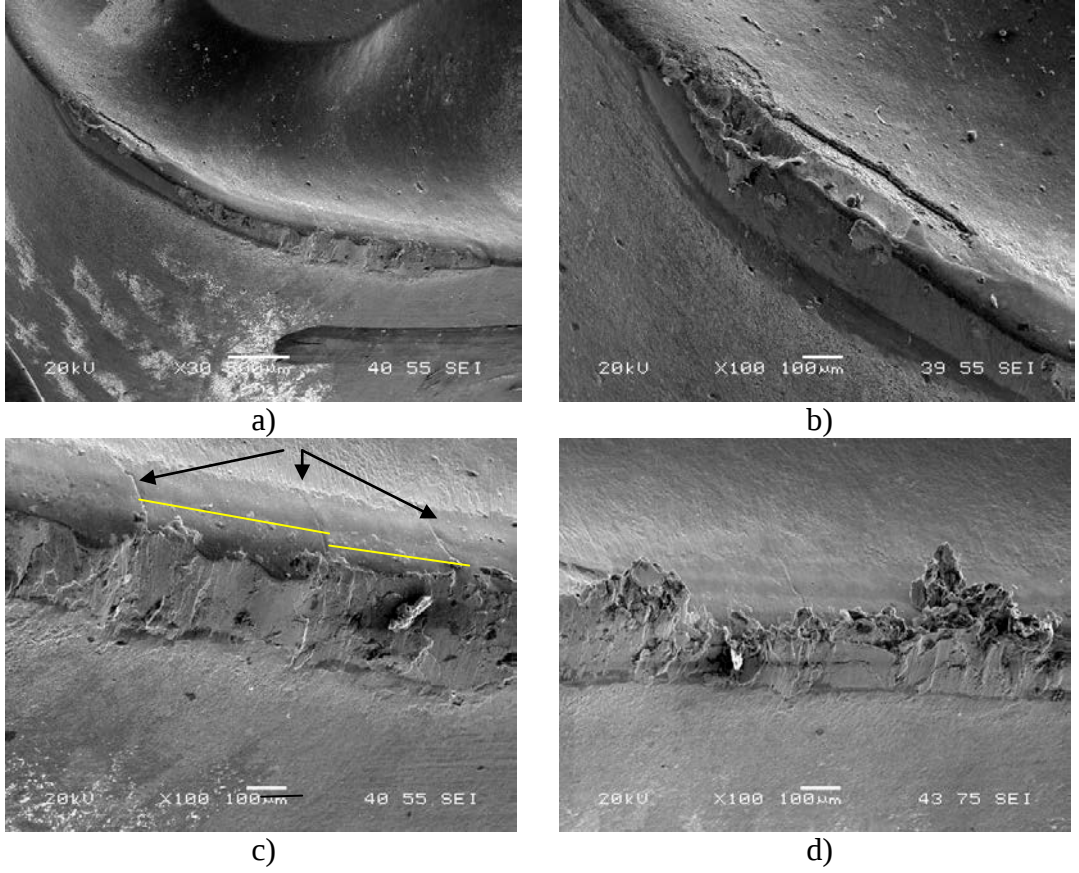


Resim 4.4. 60° yanaşma açısında $V_c=250$ m/dak $V_f=467$ mm/dak kesme parametrelerinde aşınmış kaplamalı karbür takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) kesici uç yan kenar aşınma bölgesi b) Yüksek büyütmede yan kenar ve adezyon aşınması c) Yüksek büyütmede yan kenar ve mekanik yorulma çatlağı

Kesme kuvvetinin fazla olduğu kesici uça aşınma daha fazla olmuştur. Takım aşınma grafikleri ve Yapay Sinir Ağları (YSA) ile aşınma modeli oluşturulurken her

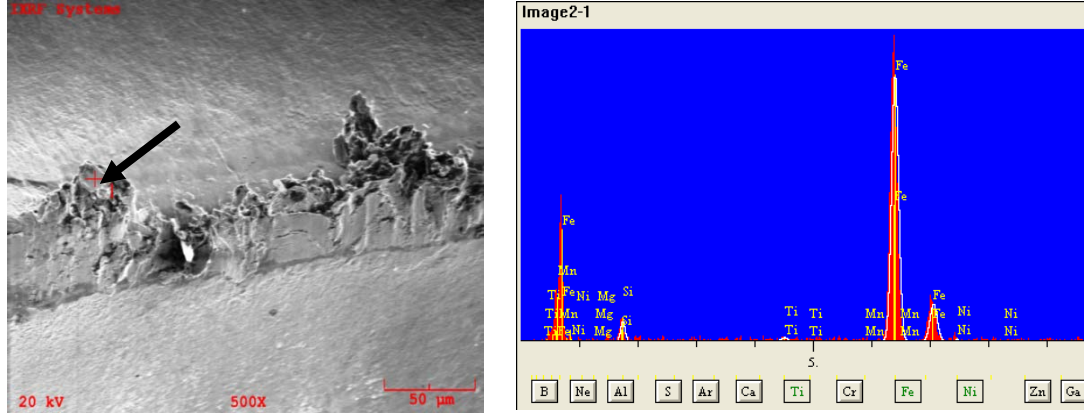
iki kesici uçta meydana gelen aşınma miktarının ortalaması alınmıştır. Aşınma miktarı fazla olan kesici uçlar kodlanarak ayrılmış ve bu kesici uçların SEM resimleri çekilmiştir. 45° ve 60° giriş açılarında aşınma daha çok kesici ucun yan kenarlarına doğru düzgün şekilde dağılırken 75° ve 88° giriş açılarında daha çok kesici uç yarıçapına yakın bölgede oluşmuştur. Kesici uç radyüsünün 2 mm olması ve talaş derinliğinin 2,5 mm olması nedeni ile yan kenar aşınması burun yarıçapında veya burun yarıçapına yakın bölgede oluşmuştur. Karbür kesicilerle yapılan deneylerde etkin takım aşınması yan kenar aşınması, yapışma aşınması şeklinde gerçekleşmiştir. SEM resimlerinden de görüleceği üzere iş parçasından kopan talaşlar kesici takım yüzeyine kaynaklanarak sertleşmiş ve kesici kenarın bir parçası halini almıştır. İşleme şartlarına göre kesici takıma yapışan bu talaş parçacıkları koparak kesici uç kırılmasına neden olmuştur [Jang, 2000].

Kesme işlemi sırasında talaş sıvanması kesici takımın bozulmasına sebep olmuş, kesici takım üzerine kaynaklanan malzemeler kesici takım üzerinden küçük parçalar koparmıştır [Şahin, 2000]. Resim 4.5’de görüldüğü gibi frezeleme işleminde meydana gelen sıcaklık dalgalanması, kesme kuvvetlerinin ani yüklenmesi ve kalkması kesici uç üzerinde mekanik ve ısı yorulma aşınmasına, çatlaklara ve kırılmalara sebep olmuştur. Vermiküler grafitli dökme demirin karbür kesici uçla 60° yanaşma açısında $V_c=215$ m/dak, $V_f=402$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde de kesici ucun burun radyüsü üzerinde mikro kırılmalar ve kaplama katmanında kırılma oluşmuştur. Kesici uç üzerinde yan kenar aşınması ile birlikte mekanik yorulma çatlakları ve yapışma aşınması oluşmuştur (Resim 4.5 a,b c ve d). Resim 4.5. a ve b incelendiğinde takım yüzeyine yapışan metal malzemeler aşınmış takım yüzeyini gizlemektedir. Ayrıca kesme kenarındaki kaplama katmanları kırılarak olarak ana katmana ulaşılmıştır.



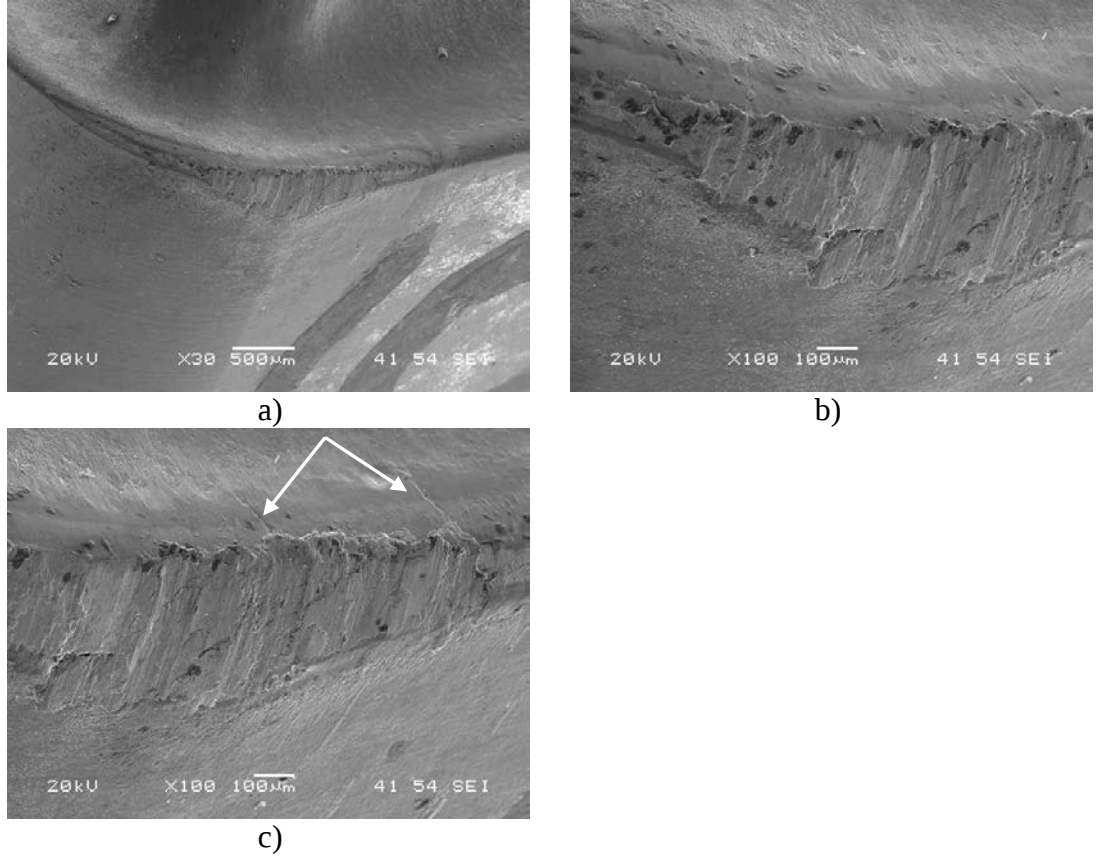
Resim 4.5. 60° yanaşma açısında $V_c=215$ m/dak, $V_f=402$ mm/dak kesme parametrelerinde aşınmış kaplamalı karbür takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) kesici uç yan kenar aşınma bölgesi b) yüksek büyütmede burun bölgesinde aşınma ve kaplama kırılması c) yüksek büyütmede yan kenar ve mekanik/termal yorulma aşınması d) yüksek büyütmede yan kenar ve yapışma aşınması

Ancak genel olarak kesici uç üzerindeki Al_2O_3 ve Ti kaplama katmanının yüksek sertlik etkisiyle kesme kenarının keskinliği bozulmamıştır [Ruppi, 1998]. c ve d ise yüksek kesme hızının etkisiyle yüksek sıcaklıktaki iş parçası malzemelerinden çıkan talaş parçacıklarının takım talaş ve yan kesme kenarına yapıştığı ve birbirine paralel olarak [tst ISO 8688-1, 2002] termal yorulma çatlakları oluşturduğu görülmektedir [D'Errico, 1995]. Resim 4.6'daki SEM fotoğrafından ve EDX analizinden de görüleceği üzere iş parçasından koparak kesici takım yüzeyine kaynaklanarak sertleşmiş ve kesici kenarın bir parçası haline almıştır.



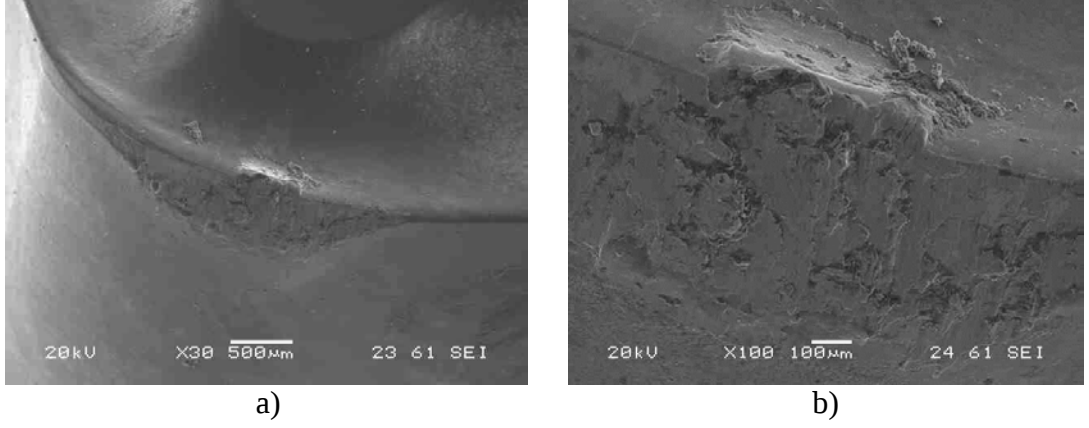
Resim 4.6. Kesici uç EDX analizi

Resim 4.7’de vermiküler grafitli dökme demirin karbür kesici uçla 75° yanaşma açısında $V_c=250$ $V_f=419$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM fotoğrafları görülmektedir. Kesici ucun yan kenarında düzenli yan kenar aşınması VB1 [tst ISO 8688-1, 2002] ile birlikte yapışma aşınması oluşmuştur. Kesici takımın yan kenarında çatlaklarının başladığı görülmektedir. Kesici takımın yan kenarında oluşan bu çatlaklar mekanik yorulma ya da termal yorulmaya atfedilebilir. Frezeleme işleminin fasılalalı kesme yapmasından kaynaklanır. Bu termal çatlaklar kesici uca yakın ve paraleller şeklinde oluşmuştur. Bu işleme şartlarında bu çatlaklar kesici takım malzemesinden parça kopmasına sebep olmamıştır (Resim 4.5 ve Resim 4.7). Dökme demirlerin işlenmesi sırasında yapışma aşınması belirgin olarak görülmektedir. Düşük kesme şartlarında, kesici uca yapışan talaşlar koparak takımın yapışma ile aşınmasına sebep olmuştur. Bu resimde de görüleceği üzere kesme hızı ve ilerleme hızının uyumlu olmasından dolayı yığma talaş oluşumu çok fazla olmamış devamında da kesici uç kırılması oluşmamıştır (Resim 4.7).



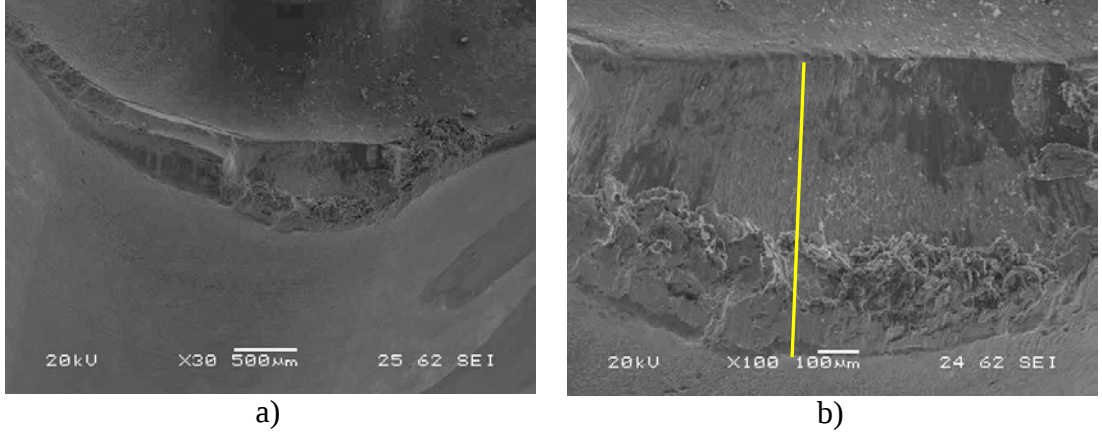
Resim 4.7. VGDD'nin kaplamalı karbür kesici uçla 75° yanaşma açısında $V_c=250$ m/dak ve $V_f=419$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) kesici uç yan kenar aşınma bölgesi b) yüksek büyütmede yan kenarda aşınma ve kaplama kırılması c) yüksek büyütmede termal yorulma çatlakları ve adezyon aşınması

Resim 4.8'de vermiküler grafitli dökme demirin karbür kesici uçlarla 88° yanaşma açısında $V_c=215$ m/dak kesme hızında, $V_f=522$ mm/dak tabla ilerleme hızında işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM fotoğrafları görülmektedir. Resimde de görüldüğü üzere bu yanaşma açısında kesici uç iş parçasına burun kısmında temas ettiğinden dolayı aşınma mekanizması kesici ucun burun yarıçapından gerçekleşmiştir. Kesici ucun burun yarıçapında yorulma aşınması ile yığılma şeklinde talaş yapışması meydana gelmiştir. Aşınmanın olduğu bölgede kaplama katmanında kırılmalar ve kopmalar oluşmaya başlamıştır.



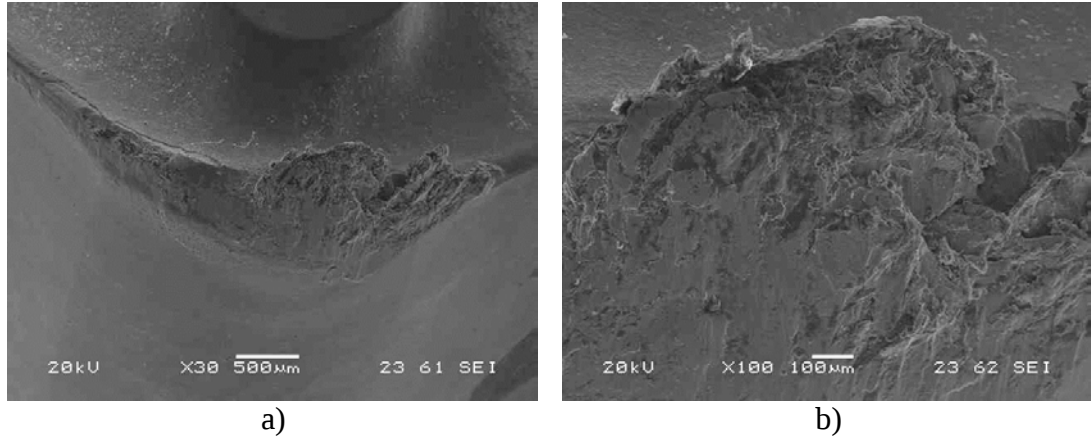
Resim 4.8. VGDD'nin kaplamalı karbür kesici uçla 88° yanaşma açısında $V_c=215$ m/dak ve $V_f=522$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) kesici uç burun kısmında talaş yapışması b) X100'de aşınma bölgeleri

Resim 4.9'da vermiküler grafitli dökme demirin kaplamalı karbür kesici uçla 88° yanaşma açısında $V_c=250$ m/dak ve $V_f=506$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntülerinden aşınmanın kesici uç yarıçapı boyunca gerçekleştiği görülmektedir. Yine kesici uç yarıçapı kesme bölgesinde kaplama katmanlarının kırıldığı aynı resimde görülmektedir. Bu kesme şartlarında 500 cm^3 talaş hacminin kaldırılmasında kesici uç dayanımının yeterli olmadığı görülmektedir. Resimlerde de görüleceği üzere iş parçasından kopan parçalar kesici uca yapışarak adezyon aşınması meydana getirmiş devamında kesici uç üzerinden koparak takımın etkin kesici kenarının kırılmasına sebep olmuştur [tst ISO 8688-1, 2002]. Ayrıca kesici ucun diğer yarıçap kısmında oluklu aşınma görülmektedir. Yapışan iş parçası artıkları kesici uç üzerinden tamamen uzaklaşmamış kesme işleminin bittiği noktada kesici uç üzerine kaynaklanarak kesici ucun bir parçası haline gelmiştir. Kaplama katmanındaki kopmalar mekanik yorulma, kesici takım sıcaklığı ve vuruntulu çalışma şartlarına da atfedilebilir. Aşınma bölgesinde çizilen çizginin uzunluğu resim ölçeği ile oranlandığında bu kesici uçta meydana gelen aşınma $VB=0,71$ mm olarak gerçekleşmiştir.



Resim 4.9. 88° yanaşma açısında $V_c=250$ m/dak ve $V_f=506$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) X30 büyütmede aşınma bölgeleri b) X100 büyütmede mekanik ve termal yorulma etkili kütleli kırılma

Bu kesici ile beraber çalışan ikinci kesici uçta meydana gelen aşınma miktarı ise $VB=0,50$ mm olarak gerçekleşmiştir. Her iki kesici uçta meydana gelen ortalama aşınma değeri ise aşınma $VB=0,61$ mm olarak hesaplanmıştır. Resim 4.10'da vermiküler grafitli dökme demirin karbür kesici uçla 88° yanaşma açısında $V_c=290$ m/dak ve $V_f=470$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış SEM resimleri görülmektedir. Bu kesme şartlarında Resim 4.9'daki işleme şartlarında olduğu gibi kesici takım aşınmasının kesici uç yarıçapı boyunca gerçekleştiği görülmektedir. Yine kesici uç yarıçapı kesme bölgesinde kaplama katmanlarının kırıldığı aynı resimde görülmektedir. Bu kesme şartlarında 500 cm^3 talaş hacminin kaldırılmasında kesici uç dayanımının yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Resimlerde de görüleceği üzere iş parçasından kopan parçalar kuvvetli bir şekilde kesici uca yapışarak adezyon aşınması meydana getirmiştir. Frezeleme işlemi kesintili ve vuruntulu olarak gerçekleştiğinden dolayı deneylerde kullanılan kesici takımlar sürekli olarak tekrarlanan bir şok etkisine maruz kalmış ve kesici takım üzerine yapışan talaşların kesici takım malzemesini kırarak uzaklaştırmıştır. Yanaşma açısının değeri yükseldikçe yüksek gerilme ve sıcaklıklarla birlikte kesici takım ucuna yapışan işparçası kesicinin körlenmesine sebep olmuştur. Ayrıca kesici takım ucuna yapışan işparçası malzemesi vuruntulu kesme işlemine rağmen kopmamış kesici uç üzerinde yığılma talaş oluşumuna sebep olmuştur.



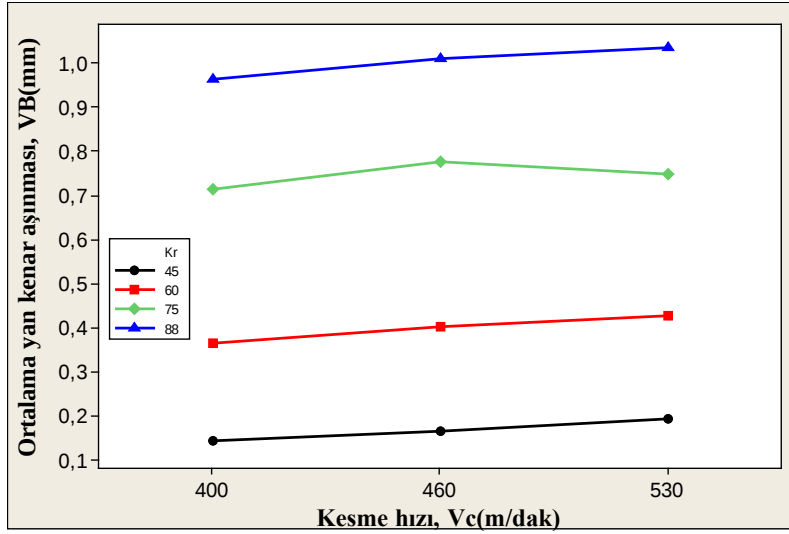
Resim 4.10. 88° yanaşma açısında $V_c=290$ m/dak ve $V_f=470$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) X30 büyütmede aşınma bölgesi b) X100 büyütmede aşınma bölgesi

Resim 4.10 'da görüleceği üzere iş parçasından çıkan malzeme kesme parametrelerine bağlı olarak kesici uç ile kimyasal reaksiyona girmiş, takım-talaş temas alanındaki sürtünme mekanizmasının sonucu olarak adezyon aşınması oluşmuştur. Kesici uca yapışan iş parçası artıkları kesici uç üzerinden uzaklaşmamış kesme işleminin bittiği noktada kesici uç üzerine kaynak olarak kesici ucun bir parçası haline gelmiştir. Burada yapışma aşınmasının meydana gelmesi takım-talaş arasında kesikli temasın olmasına bağlanabilir. Ayrıca kesici ucun diğer yarıçap kısmında malzeme yapışmasına bağlı olarak oluk şeklinde kaplama katmanı kırılması oluşmuştur [tst ISO 8688-1, 2002]. Yüksek yanaşma açısı ve yüksek kesme parametrelerinde kaplamalı karbür takımda adezyon aşınması ile [Jang, 2000] kesici uç radyüsü kırılmalar şeklinde aşınmıştır.

4.2.3 Seramik kesici uçlarda aşınma

Bu bölümde seramik kesici uç kullanarak vermiküler grafitli dökme demirin kuru olarak frezelenmesinde en yüksek takım ömrü değerlerini verecek optimum kesme parametrelerini ve faktör ilişkilerinin takım ömrü üzerindeki etkilerini belirlemek amaçlanmıştır. Seramik kesici uçların aşınma deneyleri için, kesici takım firmasının önermiş olduğu kesme hızları ile literatür dikkate alınarak 60° yanaşma açısı ile ön testler yapılmıştır. Literatürde 350-800 m/dak aralığında kesme hızı değerleri tavsiye edildiğinden ön testlere en yüksek kesme değeri olan 800 m/dak kesme hızı ve deneyde kullanılan sabit h_{ex} değerleri ile başlanmıştır. Ancak seramik kesici uçlar 800 m/dak kesme hızında ve deneysel çalışmada kullanılan h_{ex} değerlerinde çok başarılı olamamıştır. Maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak 2. ve 3. paso sonunda kesici uçlarda kırılma meydana gelmiştir. Kesici uçta kırılma meydana geldiğinde tezgâh kontrol panosundaki güç %100 değere ulaşmış ve tezgâh normalden daha fazla ses ve titreşim yapmaya başlamıştır. 800 m/dak kesme hızında başarılı sonuç alınamadığı için 600 m/dak kesme hızı ile deneme testleri yapılmıştır. Ancak bu kesme hızı değerinde de başarılı sonuç alınamamıştır. Yüksek kesme hızı değerlerinde başarılı sonuç alınamadığı için 400 m/dak kesme hızı değeri ile ön test yapılmıştır. 400 m/dak kesme hızında yapılan deneylerde kesici uçlarda kırılma olmadığından ve $VB=0,3$ mm aşınma sınırına yaklaşıldığı için bu kesme hızı taban değer olarak alınmıştır. Kesme hızları arasında %15 oranında artış uygulayarak 400, 460 ve 530 m/dak kesme hızlarında deneylerin yapılmasına karar verilmiştir. 200x200 ebatlarındaki deneysel malzemeden her seferde 2,5 mm talaş kaldırılmıştır. Ön testlerde her bir talaş kaldırma işleminden sonra verniyer bölüntülü mikroskop ile aşınma miktarı kontrol edilmiştir. Karbür kesici uçlarla yapılan ön testlerde $VB=0,3$ mm aşınma sınırına 500.000 mm^3 talaş hacminde ulaşıldığı için seramik kesici uçlar içinde aynı talaş hacmi kullanılmıştır. Deneylerde 45° , 60° , 75° , ve 88° 'lik yanaşma açısı kullanılarak toplam 36 adet deney yapılmıştır. Başarılı olmayan deneyler tekrarlanmıştır. Ayrıca yapay sinir ağları (YSA) ve regresyon analizinin doğruluğunu test etmek için de 8 adet ara değer doğrulama deneyi yapılmıştır. Aşınma deneyleri için freze takım tutucu üzerine 2 adet karşılıklı kesici uç yerleştirilmiştir. Deney sonucunda kesicilerden birinden kırılma meydana gelmiş ise aşınma ölçme işlemi

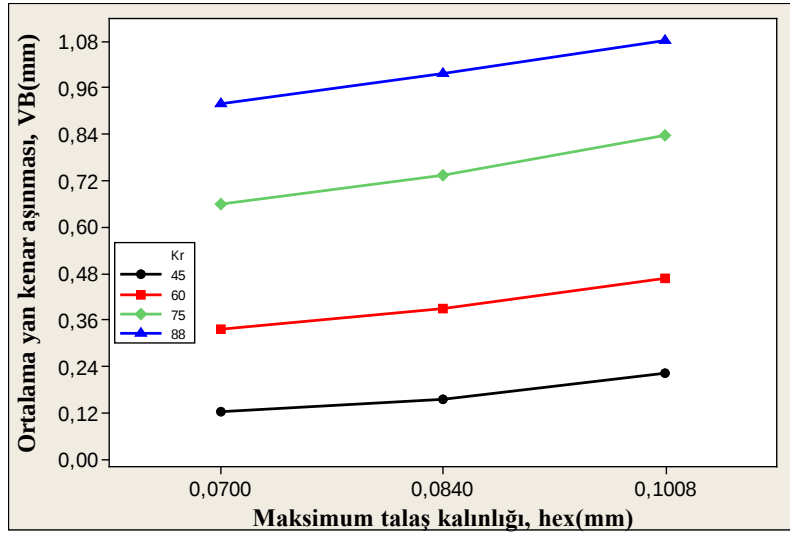
sağlam kesici uç üzerinden yapılmıştır. Kesici uçların eşit miktarda kesme yapabilmesi için kesici uçların takım tutucu üzerine takılması sırasında azami hassasiyet gösterilmiştir. Deneyler sırasında CNC işleme merkezinin kontrol panosu üzerindeki güç göstergesi sürekli olarak takip edilmiş, tezgâhın her bir pasoda harcamış olduğu güç miktarı not edilmiştir. Talaş kaldırma deneylerin son pasosu olan 5. pasoda tezgâh, aşınma miktarına bağlı olarak yaklaşık %100 güç harcama oranına ulaşmıştır. Şekil 4.8’de 500 cm³ sabit talaş hacminde, 45°, 60°, 75°, ve 88°’lik giriş açılarında, vermiküler grafitli dökme demirin kesme hızı ve yanaşma açısına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması değişimi görülürken, Şekil 4.9’da ise ilerleme hızı ve yanaşma açısına bağlı olarak oluşan yan kenar aşınması görülmektedir.



Şekil 4.8. Kesme hızı ve yanaşma açısına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması

Kesme hızı takım aşınması grafiğinde görüleceği üzere karbür kesici uçlarda elde edilen değerlere benzer şekilde yanaşma açısının değeri azaldıkça takım aşınma oranı azalmıştır. Seramik kesicilerde de kesici takım yan kenar aşınması üzerinde yanaşma açısının etkisinin çok fazla olduğu görülmektedir. 45° ve 60°’lik yanaşma açılarında yapılan deneylerde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. 75° ve 88°’lik giriş açılarında 460 ve 530 m/dak kesme hızlarında yüksek ilerleme değerlerinde yapılan deneylerde, kesici uçlarda bazen 4. paso sonunda bazen de 5. paso sonunda kesici uçlarda kırılma

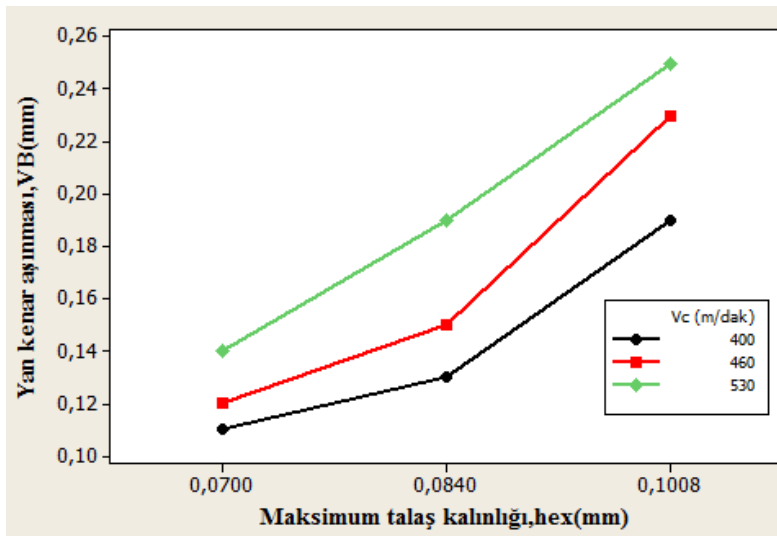
meydana gelmiştir. Kesici uçlarda kırılmanın olduğu kesme parametrelerinde deneyler tekrar edilmiş, ancak kesici uçlarda da tekrar kırılma meydana gelmiştir. Böylece, kesici uç aşınması değeri kırılmayan ikinci kesici uç üzerinden ölçülmüştür.



Şekil 4.9. İlerleme hızına (maksimum talaş kalınlığı) bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması

Deneysel çalışmada en düşük kesici takım aşınması 0,11 mm, 45°'lik yanaşma açısında 400 m/dak kesme hızında ve 400 mm/dak tabla ilerlemesinde gerçekleşmiştir. Bu işleme parametrelerinde işleme süresi 12,49 dakika olarak gerçekleşmiştir. En yüksek kesici takım aşınması 1,1 mm, 88° yanaşma açısında 530 m/dak kesme hızında ve 540 mm/dak tabla ilerlemesinde gerçekleşmiştir. Bu işleme parametrelerinde ise işleme süresi 9,25 dakika olarak gerçekleşmiştir. Maksimum ve minimum kesici takım aşınması arasında %982 oranında bir fark oluşmuştur. İşleme verimliliği açısından bakıldığında ise en yüksek tabla ilerlemesi 45° yanaşma açısında 530 m/dak kesme hızında 764 mm/dak olarak gerçekleşmiştir. Bu kesme şartlarında aşınma miktarı $VB=0,25$ mm olurken işleme süresi teorik olarak 6,55 dakika hesaplanmıştır. En düşük tabla ilerlemesi 88° yanaşma açısında 400 m/dak kesme hızında 283 mm/dak olarak gerçekleşmiştir. Bu kesme şartlarında aşınma miktarı $VB=0,86$ mm olurken işleme süresi teorik olarak 17,65 dakika hesaplanmıştır. Grafikte görüldüğü üzere her bir açı değerinde, üç farklı kesme hızı kullanarak 9 adet aşınma deneyi yapılmıştır. Her bir kesme hızında ise maksimum

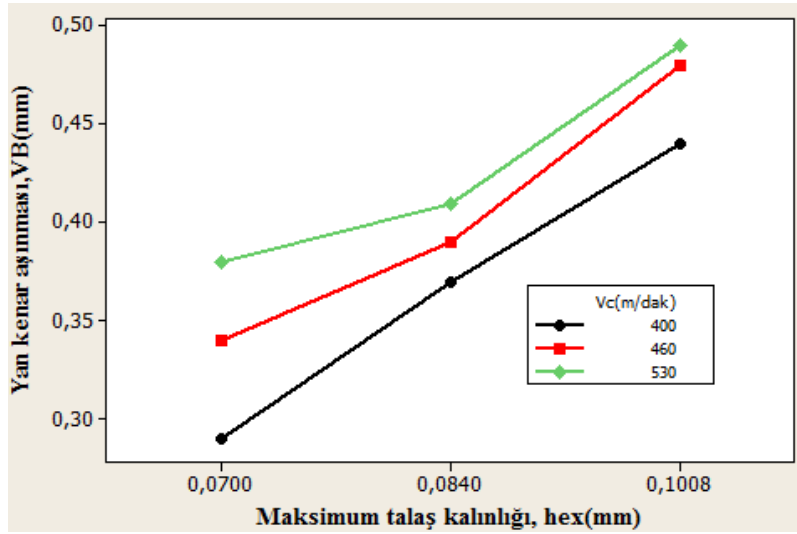
talaş kalınlığına bağlı olarak üç farklı ilerleme oranı ortaya çıkmıştır. Grafiklerde görülen aşınma oranları değerlendirilirken kesme hızı ve ilerleme oranının değişken olması dikkate alınmalıdır. 45° yanaşma açısı ile yapılan takım ömrü deneylerinde en yüksek takım ömrü 400 m/dak kesme hızında ve 400 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=0,11$ mm ve işleme süresi 12,49 dakika gerçekleşirken, en düşük takım ömrü, 530 m/dak kesme hızında ve 764 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=0,25$ mm ve işleme süresi 6,55 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.10. 45° yanaşma açısı ile ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması

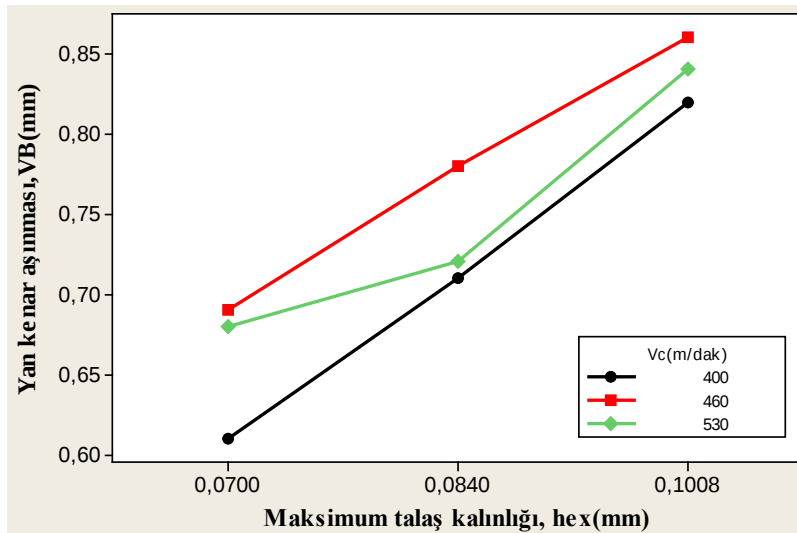
45° yanaşma açısı ile yapılan deneylerin tamamında minimum ve maksimum takım aşınması kıyaslandığında, 530 m/dak kesme hızında kesici takım yan kenar aşınmasında %127,27 oranında daha fazla aşınma oluşmuştur. İlerleme oranındaki %91 'lik artışa bağlı olarak işleme süresinde %52,44'lük bir azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.10).

60° yanaşma açısı ile yapılan takım ömrü deneylerinde; en yüksek takım ömrünün elde edildiği 400 m/dak kesme hızı ve 327 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=0,29$ mm gerçekleşirken en düşük takım ömrünün elde edildiği 530 m/dak kesme hızı ve 624 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=0,49$ mm olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.11. 60° yanaşma açısı ile ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması

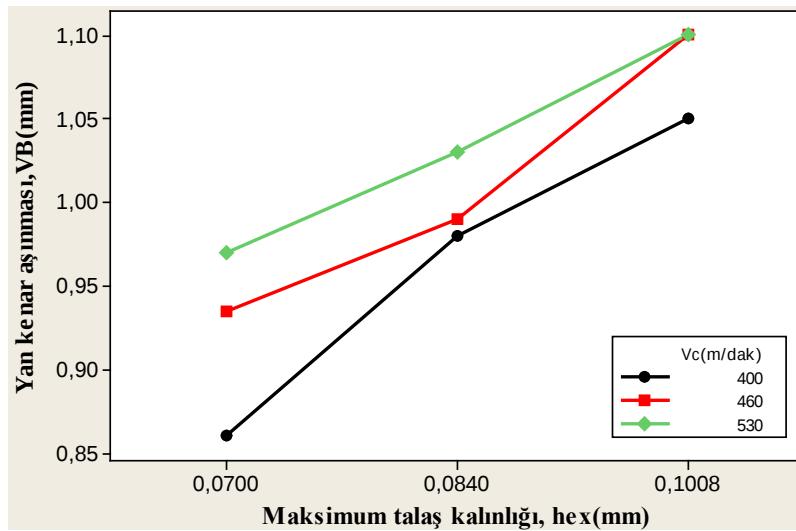
60° yanaşma açısı ile yapılan deneylerin tamamında minimum ve maksimum takım aşınması kıyaslandığında, 530 m/dak kesme hızında kesici takım yan kenar aşınmasında %68,96 oranında daha fazla aşınma oluşmuştur. İlerleme oranında ki %90,82 lik artışa bağlı olarak işleme süresinde %52,41 lik bir azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.11) .



Şekil 4.12. 75° yanaşma açısı ile ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması

75° yanaşma açısı ile yapılan takım ömrü deneylerinde en yüksek takım ömrünün elde edildiği 400 m/dak kesme hızı ve 293 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=0,61$ mm olarak gerçekleşirken en düşük takım ömrünün elde edildiği 530 m/dak kesme hızı ve 559 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=0,84$ mm olarak gerçekleşmiştir. 75° yanaşma açısı ile yapılan deneylerin tamamında minimum ve maksimum takım aşınması kıyaslandığında, 530 m/dak kesme hızında kesici takım yan kenar aşınmasında %37,7 oranında daha fazla aşınma oluşmuştur. İlerleme oranındaki %90,78'lik artışa bağlı olarak işleme süresinde %52,41'lik bir azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.12).

88° yanaşma açısı ile yapılan takım ömrü deneylerinde en yüksek takım ömrünün elde edildiği 400 m/dak kesme hızı ve 283 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=0,86$ mm olarak gerçekleşirken; en düşük takım ömrünün elde edildiği 530 m/dak kesme hızında ve 540 mm/dak tabla ilerlemesinde $VB=1,1$ mm olarak gerçekleşmiştir. 88° yanaşma açısı ile yapılan deneylerin tamamında minimum ve maksimum takım aşınması kıyaslandığında, 530 m/dak kesme hızında kesici takım yan kenar aşınmasında %27,9 oranında daha fazla aşınma oluşmuştur. İlerleme oranındaki %90,8 lik artışa bağlı olarak işleme süresinde %52,41'lik bir azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.13. 88° yanaşma açısı ile ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınması

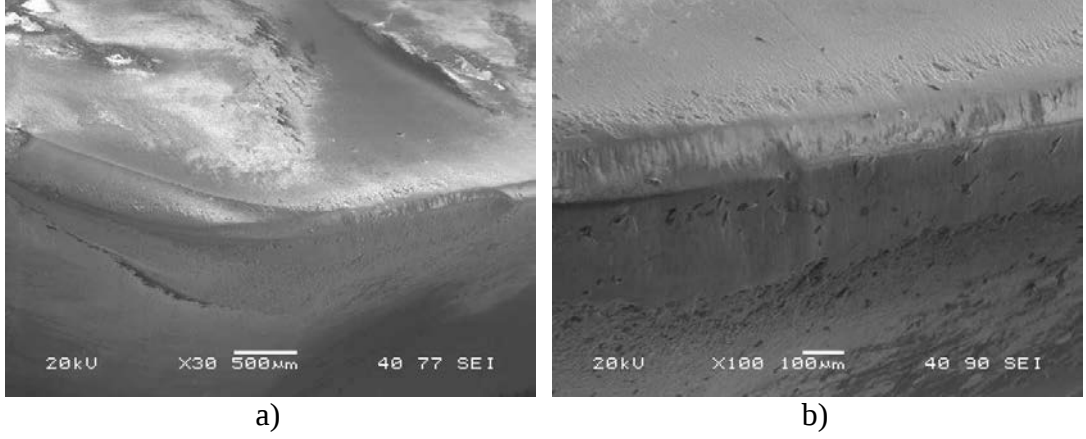
Tabla ilerleme oranı yan kenar aşınma grafiklerinde görüldüğü gibi aşınma oranları literatürdeki çalışmalara ve karbür kesici uçlara paralel olarak kesme hızının ve ilerlemenin artışına bağlı olarak kesici takım ömrü azalmaktadır (Şekil 4.9-13). Tabla ilerlemesi yan kenar aşınması grafikleri incelendiğinde, 45° ve 60°'lik giriş açıları ile yapılan deneylerin tamamında ilerleme oranı arttıkça yan kenar aşınması doğrusal olarak artış göstermiş ve daha kararlı bir seyir izlemiştir. Bu açılarda kesme işlemi daha geniş yüzeye dağıldığı için başarılı sonuçlar elde edilmiştir. 75° ve 88°'lik giriş açıları ile yapılan deneylerde ise yan kenar aşınmasının daha hızlı geliştiği görülmektedir. 75° ve 88°'lik giriş açılarında kesme işlemi kesicinin uç kısmında gerçekleşmesinden ve seramik kesicilerin darbeler karşısında daha kırılğan bir yapıya sahip olmasından dolayı kırılmalar ve çıtlamalar meydana gelmiştir. Yanaşma açısının yükselmesi kesici ömrünü olumsuz etkilemiştir. Sabit maksimum talaş kalınlığında yanaşma açısı değeri yükseldikçe tabla ilerleme hızı ve kesici takım ömrü azalmaktadır. Tabla ilerleme hızının düşmesi işleme süresinin artmasına ve işleme verimliliğin düşmesine sebep olmaktadır. Deneysel veriler sonucu elde edilen grafiklerden de görüleceği üzere kesici takım ömrü üzerinde sırasıyla yanaşma açısı, tabla ilerlemesinin ve kesme hızı etkisinin olduğu görülmektedir. Schulz ve arkadaşları tarafından VGDD işlemek için ÇKKBN kesici takımlarla 500 ile 1500 m/dak arasında kesme hızları kullanılmıştır. Bu kesme hız aralığının gri dökme demir için optimal kesme hızları olduğunu ancak VGDD işlemede kullanılan kesme hızlarının daha düşük olması gerektiğini rapor etmişlerdir [Schulz, 2000]. Flom ve arkadaşları seramik kesici uçlarla VGDD işlendiğinde (alüminyum oksit, silisyum nitrür türü seramik) kesme hızlarının 350-800 m/dak aralığına düştüğünü belirtmişlerdir [Flom, 1991]. Scheidtweiler, düşük kesme hızlarında ve yüksek kesme hızlarında kaplamalı karbür uçlar kullanarak, GDM ve VGDD sürekli frezeleme işlemine tabi tutmuş ve deneyler sonucunda VGDD işlemede takım ömrünün %50 daha düşük çıktığını rapor etmiştir [Scheidtweiler, 2000]. Deneysel çalışmalar sonucunda elde ettiğimiz verileri kullanarak yapılan varyans analizinde seramik kesicilerle yapılan kesme kuvveti analizinde kesme kuvvetleri üzerinde ilerleme hızının en büyük etkiye sahip olduğu görülmüştür. Varyans analizinden yola çıkarak seramik kesicilerle işleme sırasında kesicilerde meydana gelen kırılma ve çıtlamaların vuruntulu çalışmanın yanı sıra ilerleme hızının yüksek seçilmesinden

kaynaklandığı düşünülebilir. Seramik kesicilerle daha verimli sonuçlar elde edebilmek için deneyde kullanılan maksimum talaş kalınlığı değerlerinden daha düşük değerler seçilebilir. Bu deneysel çalışmada kaba talaş kaldırma işlemlerinde ve kesintili işlemlerde başarılı olduğu için Siyalon seramik kesiciler seçilmiştir. Siyalon kesiciler kopmaya ve ani uç kırılmasına karşı daha güvenilir ve takım ömrü de oldukça uzundur [Şahin, 2000].

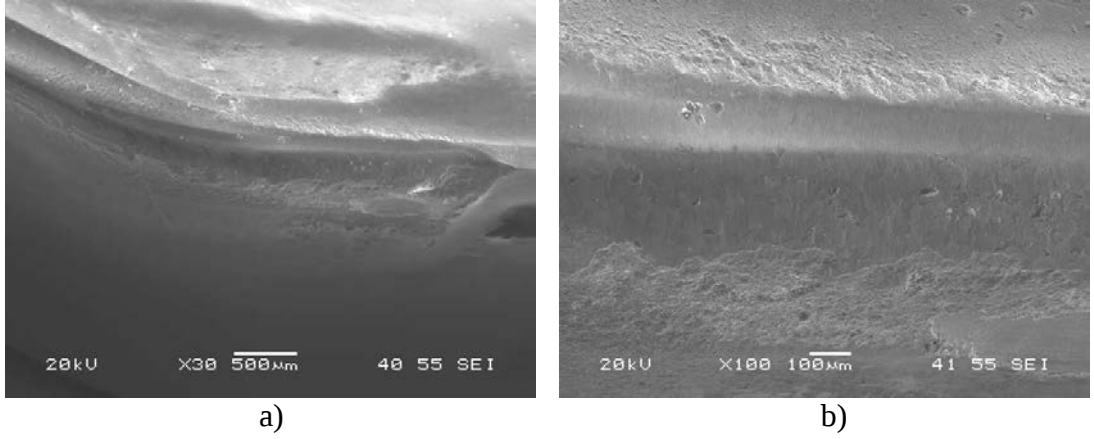
4.2.4. Seramik kesici uç takım aşınmalarının incelenmesi

Frezeleme işleminde kesici takım iş parçasından kesme yapıp boşa çıktığı için kesintili olarak kesme işlemi yapmaktadır. Bu nedenle tornalama ve delme işlemlerine göre takım ömrü kriterinde düzenli bir takım aşınmasından ziyade çentikleme, kırılma daha sık karşılaşılan bir durumdur. Düzenli takım aşınması mekaniksel ve termal şoklara karşı yeteri kadar tok olan kesici takımlarda görülecektir. Seramik kesiciler kimyasal olarak aşınmaya karşı dirençli olduklarından deneylerde aşınma, düşük yavaşma açılarında yan kenar aşınması büyük yavaşma açılarında ise daha çok kırılma şeklinde gerçekleşmiştir. Yan kenar aşınmasının esas kaynağının ise; takım ile iş parçası arasındaki sert parçacıkların aşındırma etkisi olduğu düşünülmektedir. Karbür kesici uçların daha tok ve darbelere dayanımlı olmasından dolayı düzenli takım aşınması oluşurken seramik kesicilerle yapılan deneylerde ise daha çok çentikleme, çatlama ve kırılma şeklinde aşınma mekanizması oluşmuştur [Diniz A., 1999]

Vermiküler grafitli dökme demirin seramik kesici uçla 60° yavaşma açısında $V_c=400$ m/dak ve $V_f=471$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde takım yüzeyinin SEM görüntüleri Resim 4.11'de gösterilmektedir. Bu işleme şartlarında kesici uç çok iyi bir aşınma direnci göstermiştir. Herhangi bir kırılma veya çıtlamaya maruz kalmamıştır. Kesicinin yan kenarında düzenli bir yan kenar aşınması oluşmuştur. Bu kesme şartlarında kesici 500 cm^3 talaş hacmini başarılı bir şekilde tamamlamıştır. X100 büyütmede görüldüğü gibi kesici kenarda talaş yapışmaları görülmektedir.



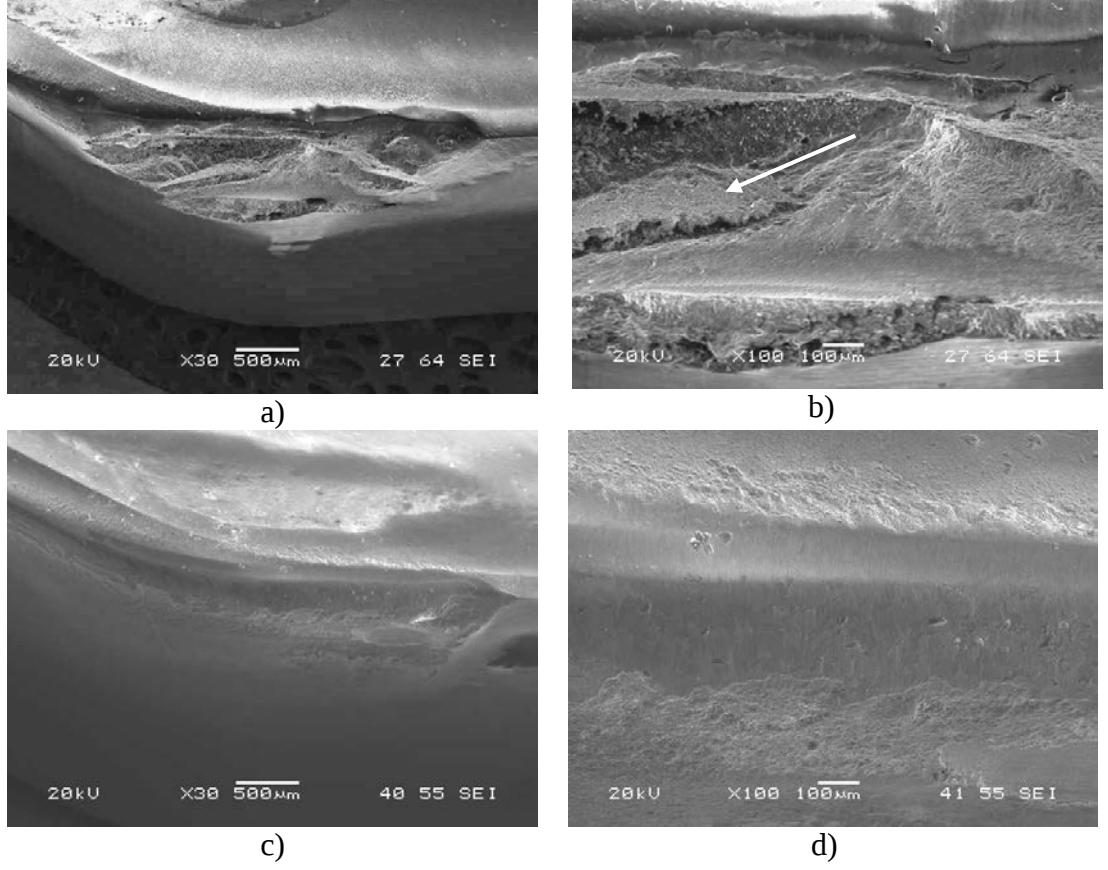
Resim 4.11. VGDD'nin seramik kesici uçla 60° yanaşma açısında $V_c=400$ m/dak ve $V_f=471$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) yan kenar aşınma bölgesi b) X100 büyütmede talaş yapışması



Resim 4.12. VGDD'nin seramik kesici uçla 60° yanaşma açısında $V_c=400$ m/dak ve $V_f=392$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) yan kenar aşınma bölgesi b) X100 büyütmede talaş yapışması

Resim 4.12'de görüldüğü gibi vermiküler grafitli dökme demirin seramik kesici uçlarla 60° yanaşma açısında $V_c=400$ m/dak ve $V_f=392$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde Resim 4.11'de görüldüğü gibi birbirine çok yakın aşınma değeri elde edilmiştir. Her iki kesme işlemleri arasında sadece tabla ilerleme hızları arasında bir değişim olmuştur. Bu kesme parametrelerinde de düzenli yan kenar aşınması oluşmuştur. Yüksek büyütmede mikro kırıklara da rastlanılmamıştır.

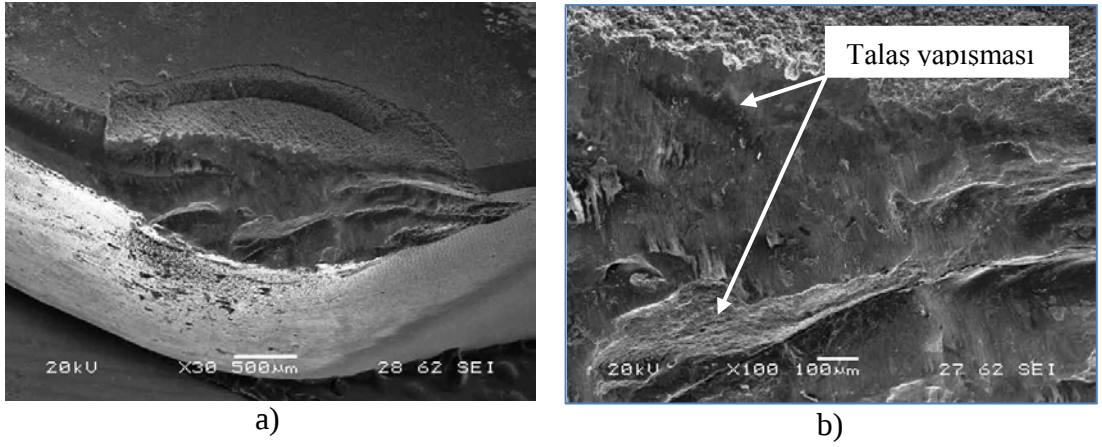
Bu kesme şartlarında seramik kesici uçlar takım ömrü olarak çok iyi performans göstermiştir.



Resim 4.13. VGDD'nin seramik kesici uçla 60° yanaşma açısında $V_c=460$ m/dak ve $V_f=451$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) yan kenar aşınma bölgesi b) yüksek büyütmede kırılma bölgesi c) $V_c=530$ m/dak ve $V_f=433$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde kesici takım aşınması d) Yüksek büyütmede yan kenar aşınması

Resim 4.13'de vermiküler grafitli dökme demirin seramik kesici uçlarla 60° yanaşma açısında $V_c=460$ m/dak ve $V_f=451$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri görülmektedir. Resimde de görüleceği üzere, kesme hızı ve ilerleme hızı arttığında kesici takımın uç kısmında mikro kırılmalar ve kesici kenar üzerinde yapışma aşınması meydana gelmiştir. Resim 4.13 a) ve b) de görüldüğü gibi kesici uç radyüsü ve kesme şartlarına bağlı olarak kesici uçta kırılma oluşmuş ve işparçası malzemesinden çıkan talaşlar bu bölgeye kaynarak kesici ucun bir parçası haline dönüşmüştür. Kesme hızının artırıldığı ve

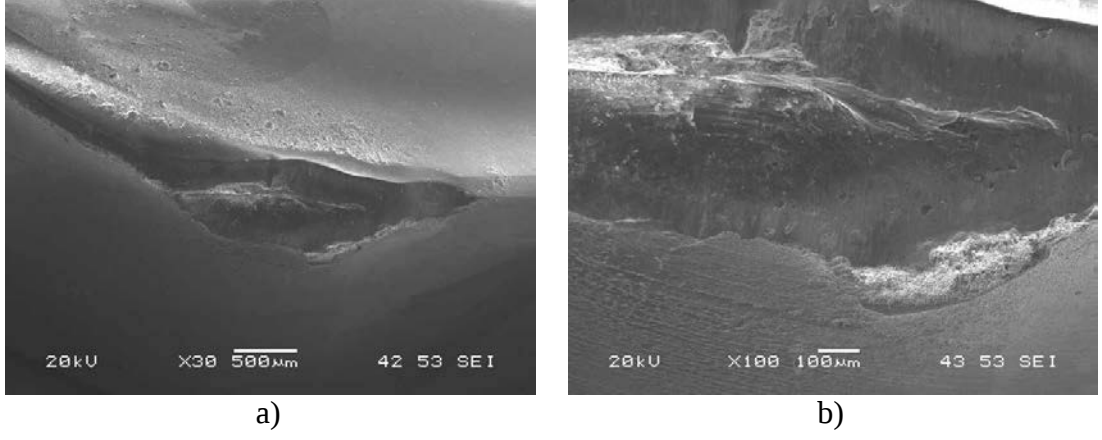
ilerleme hızının düşürüldüğü, $V_c=530$ m/dak kesme hızında ve $V_f=433$ mm/dak ilerleme hızında kesici takım yan kenarı üzerinde düzenli yan kenar aşınması ile birlikte yapışma aşınması oluşmuştur. Seramik kesici uçlarla 45° ve 60° giriş açılarında yapılan takım ömrü deneyleri, herhangi bir tekrar yapılmadan başarı ile tamamlanmıştır. Takım ömrü olarak da 500 cm^3 talaş hacminin kaldırılması sırasında çok iyi performans göstermiştir.



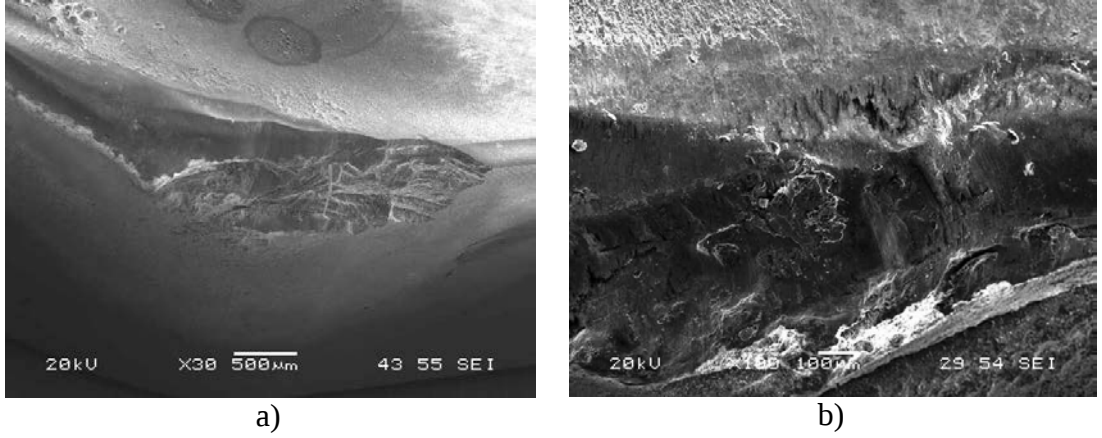
Resim 4.14. VGDD'nin seramik kesici ucla 75° yanaşma açısında $V_c=400$ m/dak ve $V_f=352$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) burun yarıçapında oluşan kırılma b) kırılmış kesme kenarı ve yapışmış iş parçaları

Resim 4.14'de vermiküler grafitli dökme demirin seramik kesici ucla 75° yanaşma açısında $V_c=400$ m/dak ve $V_f=352$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri görülmektedir. Bu yanaşma açısında kesici uç iş parçasına daha çok burun yarıçapına yakın bölgeden temas ettiğinden dolayı burun yarıçapı bölgesinde kırılma meydana gelmiştir. Kırık bölge üzerindeki ergimiş talaş bulunması talaş kaldırma sırasında iş parçasından kopan talaşların kırılma tepe noktalarına tutunmasından kaynaklanmaktadır.

Resim 4.15'de görüleceği üzere kesme hızı arttırılıp ilerlemenin azaldığı 75° yanaşma açısında kesici takımın burun yarıçapı kısmı ile yan kenarında kopmalar olduğu ve bu bölgede kesme sırasında iş parçasından ayrılan talaşların yan kesme kenarına yapışmaya başladığı görülmektedir.



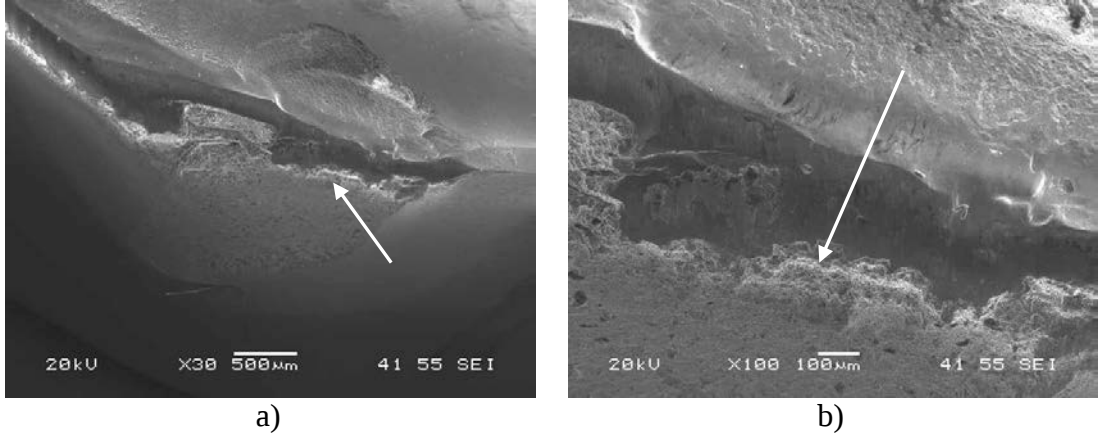
Resim 4.15. VGDD'nin seramik kesici uçla 75° yanaşma açısında $V_c=460$ m/dak ve $V_f=337$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) yan kenar aşınma bölgesi b) X100 büyütmede aşınma bölgesi



Resim 4.16. VGDD'nin seramik kesici uçla 75° yanaşma açısında $V_c=460$ m/dak ve $V_f=485$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) yan kenar aşınma bölgesi b) X100 kırılmış kesme kenarı ve yapışmış iş parçaları

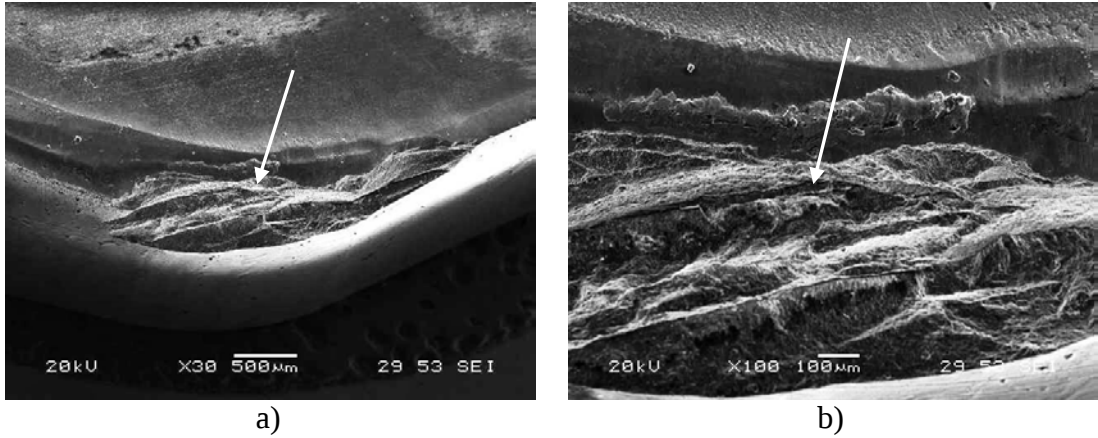
Resim 4.16'da vermiküler grafitli dökme demirin seramik kesici uçla 75° yanaşma açısında $V_c=460$ m/dak ve $V_f=485$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmiş ve kesici uç burun yarıçapında kırılma meydana gelmiştir. İlerleme hızının artmasıyla 500 cm^3 talaş kaldırma hacminin son pasosunda kesici ucun burun yarıçapında resimde de görüldüğü gibi kırılma meydana gelmiştir. Seramik kesicilerle bu kesme parametrelerinde yapılan deneylerde ve tekrar deneylerinde çatlama ve kırılma

şeklinde aşınma mekanizması oluşmuştur [Diniz, 1999]. Kesici takım kullanılamaz hale gelmiştir. Seramik kesici uçlardaki bu kırılmanın sebebinin; kesici ucun daha dik pozisyonda yaklaşmasının yanı sıra, frezeleme işleminin vuruntulu ve ilerleme hızının yüksek olmasından kaynaklandığı sanılmaktadır. Bu kesme parametrelerinde ilerleme hızının azaltılması kesici takım kırılmasını azaltacağı düşünülmektedir. Kesme hızının 530 m/dak ilerleme hızının ise 466 mm/dak olduğu kesme şartlarında ise burun yarıçap bölgesinde ve kaplama katman bölgesinde mikro kırıklar meydana gelmiştir (Resim 4.17.).



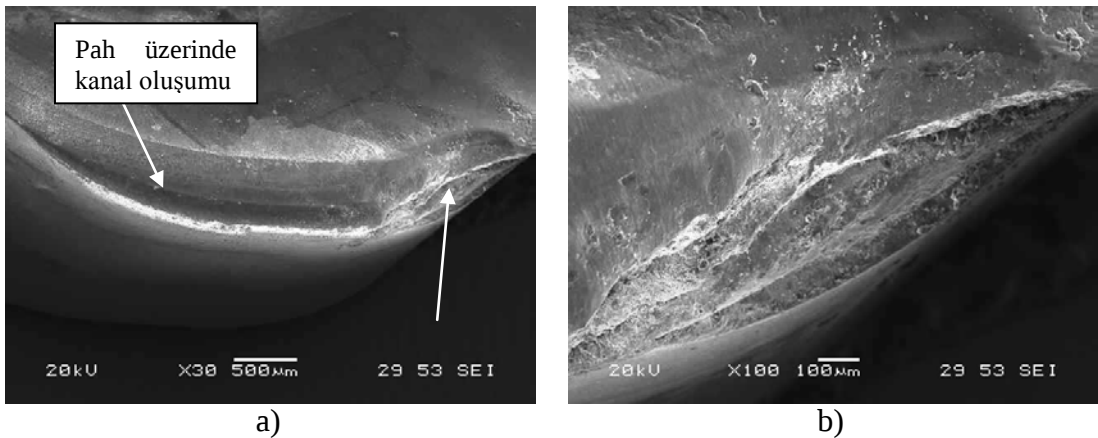
Resim 4.17. 75° yanaşma açısında $V_c=530$ m/dak ve $V_f=466$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) yan kenar aşınma bölgesi b) X100 yapılmış işparçası

Resim 4.18’de vermiküler grafitli dökme demirin seramik kesici uçla 88° yanaşma açısında $V_c=400$ m/dak ve $V_f=283$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde meydana gelen kesici takım aşınması SEM resmi görülmektedir. 88° yanaşma açısında kesici takım daha çok burun yarıçapı bölgesinden kesme işlemi yapmasına rağmen kesme hızının ve ilerleme hızının azalmasından dolayı kesici uç burun bölgesinde kırılma meydana gelmemiştir. X100 büyütmede görüldüğü gibi işparçası malzemesinden çıkan talaşlar kesici takım burun kısmına kaynakarak kesici ucun bir parçası halini almıştır. Bu kesme şartlarında 500 cm^3 talaş hacmi teorik olarak 17,65 dakikada tamamlanmıştır.

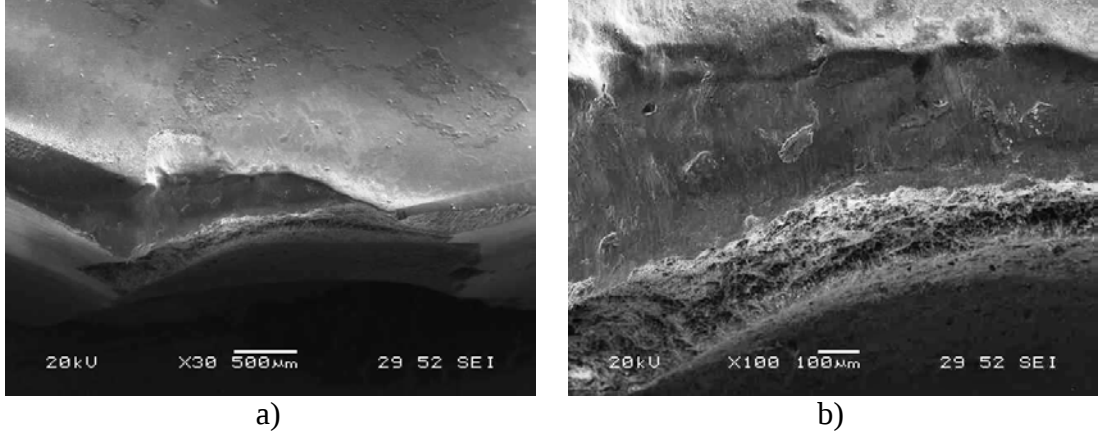


Resim 4.18. 88° yanaşma açısında $V_c=400$ m/dak ve $V_f=283$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) yan kenar aşınma bölgesi b) X100 büyütmede talaş yapışması

Kesme süresinin uzun olmasından dolayı ortaya çıkan yüksek kesme sıcaklığı ile iş parçası malzemesi kesici ucun kesme yapan burun yarıçap bölgesine kaynaklanarak kesici ucun bir parçası haline gelmiştir. Kesme işlemi sürecince kesici uçta kırılma oluşmamıştır. Resim 4.19 ve Resim 4.20’de görüldüğü gibi 88° yanaşma açısında ilerleme hızının artmasıyla birlikte kesici ucun kesme yaptığı burun yarıçapında kırılma miktarı da artarak devam etmiş ve kesici uç kullanılamaz hale gelmiştir.



Resim 4.19. 88° yanaşma açısında $V_c=460$ m/dak ve $V_f=326$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) yan kenar aşınma bölgesi b) X100 kırılma bölgesi

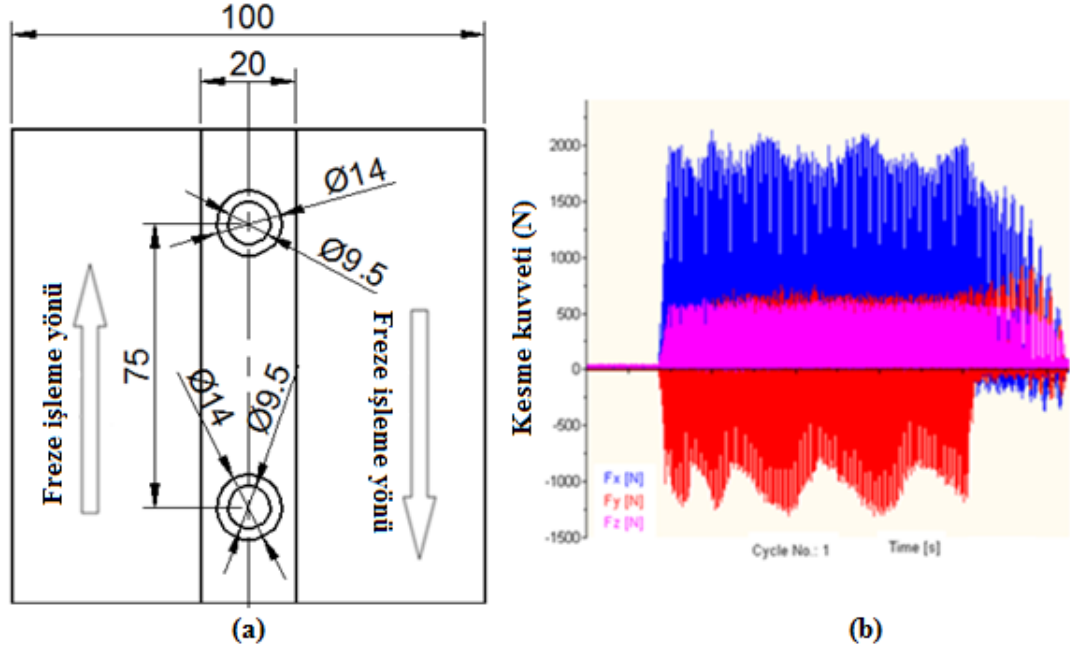


Resim 4.20. 88° yanaşma açısında $V_c=530$ m/dak ve $V_f=541$ mm/dak kesme parametrelerinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin SEM görüntüleri a) kesici uç burun kırılması b) X100 kırılma bölgesi

4.2.5. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

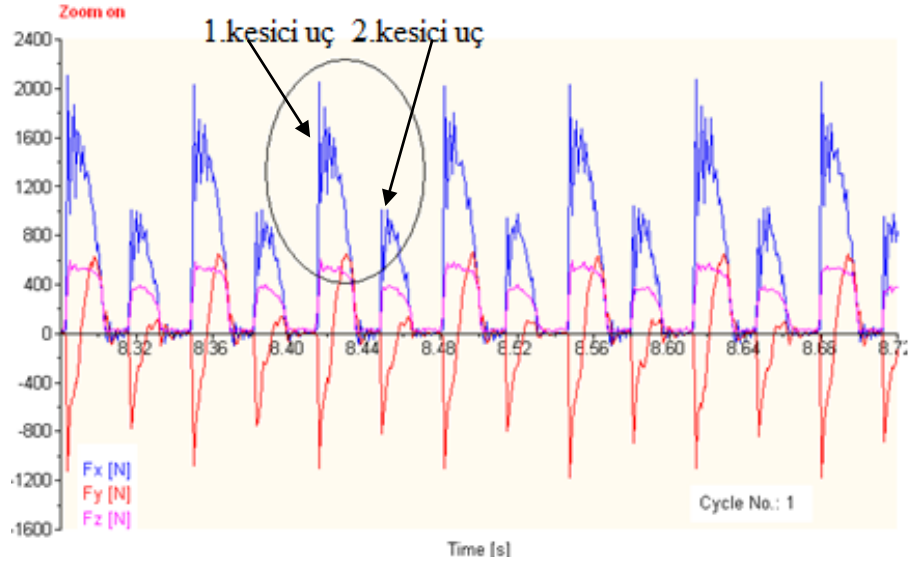
Daha önce açıklandığı gibi, kesici takım aşınması üzerinde kesici takım giriş açılarının, maksimum talaş kalınlığının ve bu parametrelere bağlı olarak ortaya çıkan ilerleme oranının frezede işleme için çok büyük bir öneme sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Bu bölümde 45°, 60°, 75°,ve 88°'lik giriş açıları ile kaplamalı karbür ve seramik kesici uç kullanarak vermiküler grafitli dökme demirin frezelenmesinde ortaya çıkan kesme kuvvetleri ve faktör ilişkilerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini belirlemek amaçlanmıştır. Ayrıca dökme demirin işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerine soğutma sıvısının etkisini araştırmak için, sadece karbür kesici uçlarla, hem kuru hem de soğutma sıvısı kullanılarak kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Kesme kuvvetleri ölçümünde freze başlığı üzerinde 2 adet kesici uç kullanılmıştır. Karbür kesici uçlarda en yüksek kesme kuvvetleri F_x yönünde gerçekleşirken seramik kesici uçlarda ise kesme kuvvetleri F_x , F_y ve F_z arasında değişkenlik göstermiştir. Dinamometreden elde edilen F_x , F_y ve F_z kesme kuvvet verileri tabloya ayrı ayrı aktarılmış ve F_r bileşke kuvvet değerleri hesaplanmıştır. Deneylerde 2 adet kesici uç kullanıldığı için kesici uçlardan birisinde yüksek kesme kuvveti oluşurken diğerinde daha düşük bir kesme kuvveti oluşmuştur.



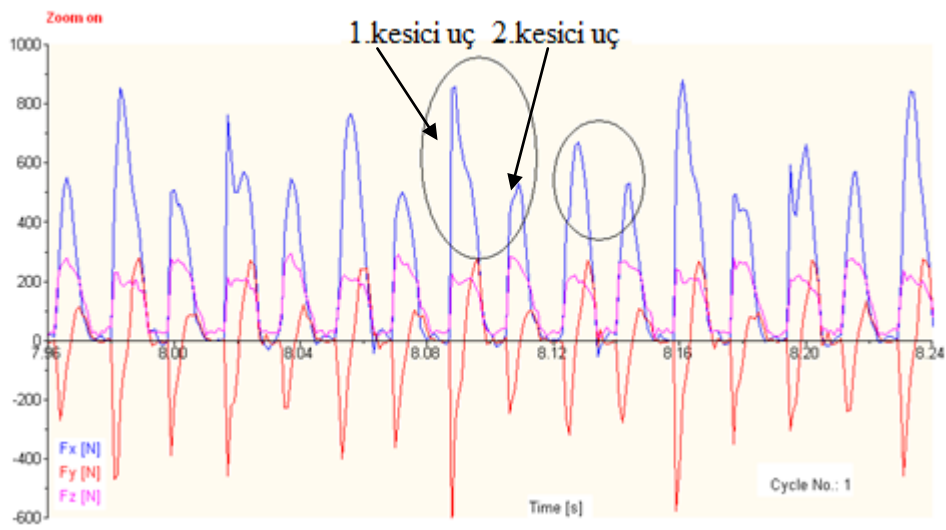
Şekil 4.14. Karbür kesici uçlarda oluşan kesme kuvveti

Şekil 4.14’de karbür kesici uçlarda oluşan kesme kuvveti, Şekil 4.15’de ise grafik üzerinde büyütme yapılarak 8,32 ile 8,72 saniyeler arasında karbür kesici uçlarda oluşan kesme kuvvetleri, Şekil 4.16’de ise 8,00 ile 8,24 saniyeler arasında seramik kesici uçlarda oluşan kesme kuvvetleri görülmektedir. Şekilden de anlaşılabileceği gibi kesici uçlardan bir tanesi üzerine daha az yük gelmektedir. Bunun sonucunda da kesicilerden bir tanesinde periyodik olarak daha az aşınma oluşmuştur. Aşınma oranlarının hesaplanmasında bu faktör dikkate alınmış ve her iki kesici uça da oluşan aşınmanın ortalaması alınmıştır. Kesme kuvvetinde de bu fark dikkate alınmış aynı kesici uç üzerindeki maksimum ve minimum kesme kuvvetinin ortalama değeri hesaplanmıştır. Kesme kuvvetlerinde karbür uçlar daha kararlı bir görüntü sergilerken, seramik uçlarda daha karmaşık bir görüntü ortaya çıkmıştır. Şekil 4.15’de görülen çember içerisindeki yüksek kesme kuvveti 1. kesici uca düşük kesme kuvveti ise 2. kesici uca aittir. Deneylerde ölçülen deney aralığındaki bütün kesme kuvvetlerinin değerleri hesaplanırken 5 tane maksimum kuvvetin ortalaması ile 5 tane minimum kuvvetin ortalama değeri hesaplanmıştır. Daha sonra da bu iki kuvvetin ortalama değeri hesaplanmıştır.



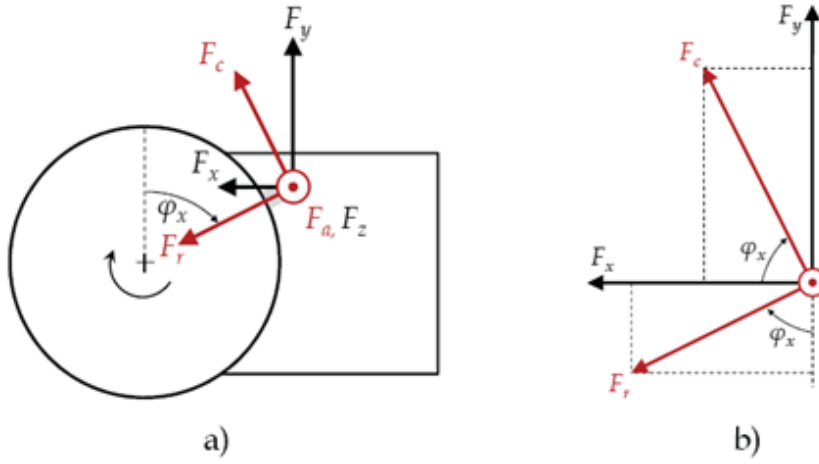
Şekil 4.15. Karbür kesici uçlarla frezeleme sırasında oluşan kesme kuvveti

Seramik kesicilerde kuvvet oluşumu karbür kesici uçlara göre farklı davranış göstermiştir. Kesme hızının yüksek olması nedeni ile kesme kuvvetleri karbür kesicilere göre daha düşük gerçekleşmiştir. Ancak yanaşma açısının değeri yükseldikçe ilerleme yönündeki kesme kuvvetlerinde artışlar olmuştur. Bu duruma yanaşma açısının değerinin artmasıyla kesici uçta meydana gelen kırılma ve çatlamların sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.16. Seramik kesici uçlarla frezeleme sırasında oluşan kesme kuvveti

Freze tezgâhında düzlem yüzey frezeleme işlemi sırasında oluşan kesme kuvveti bileşenleri Şekil 4.17’de görülmektedir. Şekil üzerinde görülen, F_a aksenal kesme kuvveti, F_c kesici takıma dik yönde etki eden kesme kuvveti, F_r bileşke kesme kuvvetidir. Bu kesme kuvveti bileşenleri, kesici takım kesme işlemine başladığı anda kesicinin üzerine sürekli olarak etki etmektedir.



Şekil 4.17. a) Frezede kesme kuvveti bileşenleri. F_a , F_c ve F_r kesici takıma göre kuvvet bileşenleri. F_x , F_y ve F_z sabit tablaya göre kuvvet bileşenleridir.
b) F_c ve F_r

F_x , F_y ve F_z bileşke kuvvetlerdir ve F_r aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir.

$$F_c = k_c a_p h_r(\varphi_x) = k_c a_p f_z \sin \varphi_x \quad (4.1)$$

$$F_r = \cos t \times F_c \quad (4.2)$$

$$F_a = F_r \tan \kappa_r \quad (4.3)$$

k_c 'nin özel kesme kuvveti olduğu yerde F_a ve F_c kesme kuvveti bileşenleri F_x ve F_y kuvvet bileşenleri üzerinden tahmin edilebilir.

$$F_x = F_c \cos \varphi_x + F_r \sin \varphi_x \quad (4.4)$$

$$F_y = F_c \sin \varphi_x - F_r \cos \varphi_x \quad (4.5)$$

(4.4), (4.5) nolu eşitlikler ve sabit sayının yaklaşık olarak 0,3 olduğu farz edilirse F_x ve F_y şu şekilde ifade edilebilir.

$$F_x = k_c a_p f_z (\sin \varphi_x \cos \varphi_x + 0,3 \sin^2 \varphi_x) \quad (4.6)$$

$$F_y = k_c a_p f_z (\sin^2 \varphi_x - 0,3 \sin \varphi_x \cos \varphi_x) \quad (4.7)$$

Trigonometri kuralına göre,

$$2 \sin \varphi_x \cos \varphi_x = \sin 2 \varphi_x \quad (4.8)$$

$$\cos 2\varphi_x = 1 - 2 \sin^2 \varphi_x \quad (4.9)$$

Eşitlikleri ile

$$F_x = \frac{1}{2} k_c a_p f_z (\sin 2 \varphi_x + 0,3 - 0,3 \cos 2 \varphi_x) \quad (4.10)$$

$$F_y = \frac{1}{2} k_c a_p f_z (1 - \cos 2 \varphi_x - 0,3 \sin 2 \varphi_x) \quad (4.11)$$

Tezgâhtan elde edilen güç P_m aşağıdaki eşitlikle elde edilebilir. η tezgâhın verimliliğidir.

$$P_m = \eta F_c v_c \quad (4.12)$$

Kesme kuvvetlerinin oluşmasında sadece kesme parametreleri değil aynı zamanda aşağıdaki faktörler de etkilidir;

- Kesme sırasında malzemenin gösterdiği direnç
- Takım-talaş ara yüzünde oluşan sürtünme ve aşınma
- Kesici takımın yan yüzündeki sürtünme ve aşınma davranışı

Bu tez çalışmasında kesme kuvvetleri deneysel olarak bir dinamometre ile ölçülmüş ve sonuçta ortaya çıkan kesme kuvveti aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (4.13)$$

F_x, F_y ve F_z Kistler dinamometresinden elde edilen farklı kesme kuvveti bileşenleridir. Deneysel olarak ölçülen kesme kuvveti F_z gerçekte F_a ile aynıdır.

4.2.6. Karbür kesici uçlar için kesme kuvveti

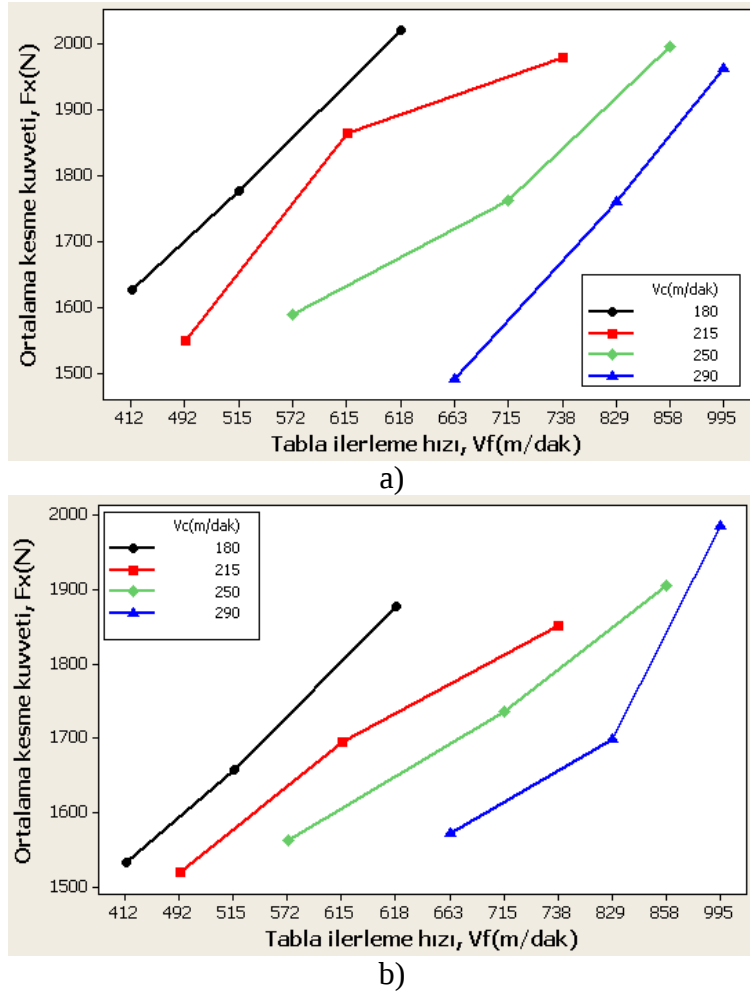
Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetlerini etkileyen faktörlerden birisi takım-talaş arasındaki temas uzunluğudur. Örneğin; iki fazlı ve kesikli talaş çıkaran malzemeleri işlemede, kesici takım ve talaş arasında daha az temas uzunluğunun olmasından dolayı çok küçük kuvvetler meydana gelmektedir. Kesme hızının artırılması, kayma açısını artırdığı, daha ince talaş oluşturduğu ve temas uzunluğunu azalttığı için kesme kuvvetleri de oldukça düşmektedir. Sınırlı temas uzunluğuna sahip takımlar kullanılarak, takım-talaş arasındaki temas uzunluğunun sınırlandırılmasıyla kesme kuvvetlerinde belirli düşüşler sağlanabilmektedir. Kesme kuvvetleri kesici uç geometrisinden de etkilenmektedir. Talaş açısının optimum bir değeri mevcut olup, bu değer daha fazla artışı kesici ucun dayanımını azaltacağından aşınmayı artırır. Artan aşınma ile birlikte boşluk yüzeyi temas alanı artacağından oluşan kesme kuvvetleri artacaktır. Talaşlı imalatla takım tezgâhlarının pek çoğu için kesme kuvveti, talaş kesiti ile işlenen malzemenin özgül kesme direncinin çarpımı esasına dayanır ve buna bağlı kesme gücü bu esasa göre belirlenir. Bu hesaplamada, talaş geometrisi de büyük önem taşımaktadır [Shaw, 1989]. Deneysel araştırmaların ortaya koyduğu sonuçlara göre, talaş kaldırma sırasında asıl kesme kuvvetini etkileyen değişik faktörler vardır. Bunların en önemlileri; kesme hızı faktörü (kv), talaş açısı faktörü (kγ), takım aşınma faktörü (ku), takım malzemesi faktörü (ko)'dur [Mendi, 1996]. Karbür kesici uçlarla kuru olarak gerçekleştirilen deneylere ait grafiklerde görüleceği üzere en yüksek kesme kuvvetleri 45°'lik yanaşma açısına sahip kesici takım ile yapılan işlemlerde ortaya çıkmıştır. Deneylerin tamamında 45°'lik yanaşma açısında $V_c=180$ m/dak kesme hızında, $V_f=618$ mm/dak'lık ilerleme hızında F_x yönünde en yüksek kesme kuvveti 2019,96 N olarak gerçekleşmiştir. Soğutma sıvısı ile yapılan kesme kuvveti deneylerinde ise 45°'lik yanaşma açısında $V_c=290$ m/dak kesme hızında, $V_f=995$ mm/dak'lık ilerleme hızında en yüksek kesme kuvveti 1984,86 N olarak gerçekleşmiştir. Fr bileşke kuvvetler yönünden incelendiğinde ise en yüksek kesme kuvveti 45°'lik yanaşma açısında $V_c=290$ m/dak

kesme hızında, $V_f=995$ mm/dak'lık ilerleme hızında 2730,95 N olarak gerçekleşmiştir. Aynı kesme şartlarında, soğutma sıvısı ile yapılan kesme kuvveti deneylerinde en yüksek F_r bileşke kesme kuvveti yine bu şartlarda oluşmuş ve kesme kuvveti 2408,82 N olarak gerçekleşmiştir. Kuru olarak yapılan kesme kuvveti ölçme deneylerinin tamamında F_x yönünde en düşük kesme kuvveti 88° 'lik yanaşma açısında $V_c=215$ m/dak kesme hızında, $V_f=435$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1004,15 N olarak ölçülürken, en yüksek kesme kuvveti 2019 N olarak 45° 'lik yanaşma açısında ölçülmüştür. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan kesme kuvveti ölçme deneylerinin tamamında F_x yönünde en düşük kesme kuvveti 88° 'lik yanaşma açısında $V_c=290$ m/dak kesme hızında, $V_f=469$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1103,52 N olarak ölçülürken, en yüksek kesme kuvveti 1984,86 N olarak 45° 'lik yanaşma açısında ölçülmüştür.

Grafikler incelendiğinde hem kuru hem de ıslak kesme şartları altında kesme kuvvetleri üzerinde en büyük etkiyi yanaşma açısının yaptığı anlaşılmaktadır. Maksimum talaş kalınlığının artması ve bu değere bağlı olarak ilerleme hızının artması da ortalama kesme kuvvetleri üzerinde etkili olmuştur. Yapılan bu deneysel çalışmada her bir kesme hızında maksimum talaş kalınlığı ve yanaşma açısı değerine bağlı olarak ilerleme oranı sürekli değişkenlik göstermiştir. Kesme kuvveti grafiklerinden de görüleceği üzere kesme hızı artarken, maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak ilerleme hızı da arttığı için kesme hızları arttıkça kesme kuvvetlerinde küçük artışlar meydana gelmiştir. Deneylerin tamamı bileşke kuvvetler açısından incelendiğinde ise, kuru olarak yapılan kesme kuvveti ölçüm deneylerinin tamamında F_r yönünde en düşük kesme kuvveti 88° 'lik yanaşma açısında $V_c=290$ m/dak kesme hızında, $V_f=469$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1509,41 N olarak ölçülürken en yüksek kesme kuvveti 2730,95 N olarak 45° 'lik yanaşma açısında ölçülmüştür.

Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan kesme kuvveti ölçme deneylerinin tamamında F_r yönünde en düşük kesme kuvveti 88° 'lik yanaşma açısında $V_c=180$ m/dak kesme hızında, $V_f=291$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1561,28 N olarak ölçülürken en yüksek

kesme kuvveti 2408,82 N olarak 45° 'lik yanaşma açısında ölçülmüştür. 45° yanaşma açısı ile yapılan kesme kuvveti deneylerinde kesme hızına bağlı olarak incelendiğinde, grafikte de görüldüğü gibi, küçük miktarda artış yönünde değişimler olmuştur. Bu artışın sebebi daha öncede açıklandığı gibi ilerleme oranındaki değişimden kaynaklanmaktadır. Sabit kesme hızında, ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetinde de artma olmuştur.

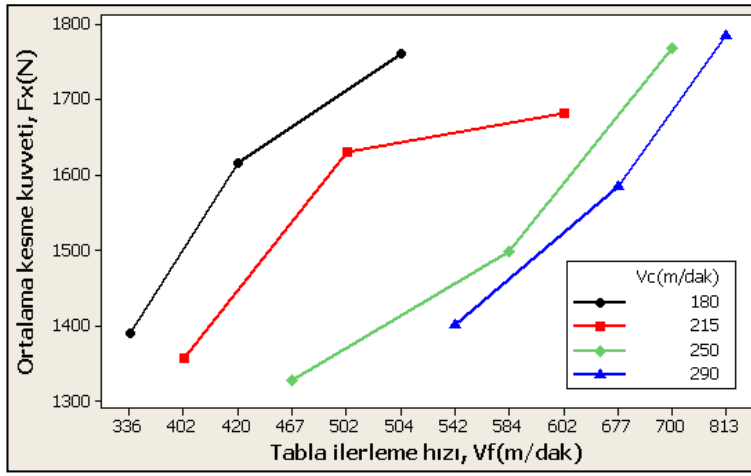


Şekil 4.18. 45° 'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri a) kuru kesme b) ıslak kesme

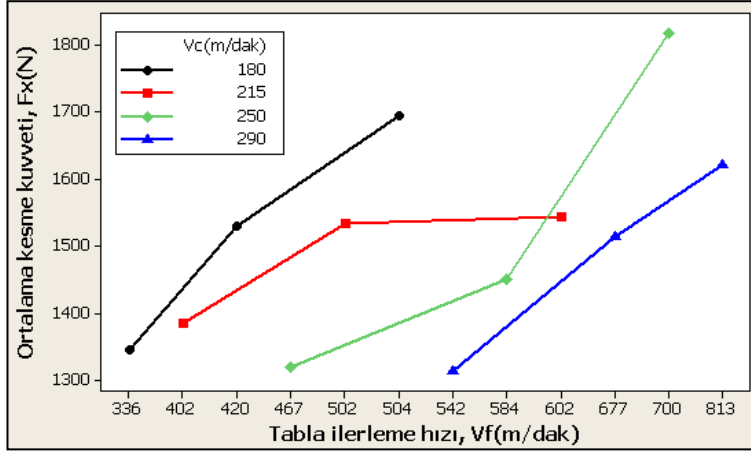
Vermiküler grafitli dökme demirin 45° yanaşma açısı ile işlenmesi sırasında soğutma sıvısı kullanımı kesme kuvvetlerinin azalmasına katkı sağlamıştır. $V_c=290$ m/dak kesme hızı, $V_f=995$ mm/dak ilerleme hızında F_r yönündeki kesme kuvveti 2730,95 N olurken soğutma sıvısı ile yapılan işlemler de 1984,86 N olarak gerçekleşmiştir.

Kuru işleme şartlarında en düşük kesme kuvveti, $V_c=180$ m/dak, $V_f=412$ mm/dak'lık işleme şartlarında 2124,26 N olurken aynı kesme şartlarında soğutma sıvısı kullanıldığında 1971,72 N olarak gerçekleşmiştir. 45° yanaşma açısında yapılan deneylerde, F_x yönünde en düşük kesme kuvveti $V_c=290$ m/dak kesme hızında, $V_f=663$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1491,7 N olarak ölçülürken en yüksek kesme kuvveti 2019,96 N olarak ölçülmüştür. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneylerde F_x yönünde en düşük kesme kuvveti $V_c=215$ m/dak kesme hızında, $V_f=492$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1521 N olarak ölçülürken en yüksek kesme kuvveti 1984,86 N olarak ölçülmüştür. 45° yanaşma açısında yapılan deneylerde soğutma sıvısı, maksimum kesme kuvvetinin %7,7 azalmasını sağlamıştır. Her iki şekilde de görüldüğü gibi soğutma sıvısı kesme kuvvetlerinin düşmesini sağlamıştır. Deneylerin tamamında kesme kuvvetlerinde %7 ile %13 arasında bir azalma olmuştur (Şekil 4.18). 60° yanaşma açısı ile yapılan kesme kuvveti deneylerinde kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri incelendiğinde, ilerleme hızının artmasına bağlı olarak kesme hızının artışı ile kesme kuvvetleri değişkenlik göstermiştir. $V_c=180$ m/dak kesme hızında oluşan kuvvetlerle $V_c=250$ m/dak kesme hızı kıyaslandığında, $V_c=250$ m/dak kesme hızında ilerleme hızı daha yüksek olmasına rağmen kesme kuvvetlerinde azalma meydana gelmiştir. Kesme hızlarının tamamı kıyaslandığında ise kesme hızları arasında ilerlemenin sürekli artmasına karşılık kesme kuvvetlerinde dikkate değer bir artış olmamıştır. Grafikte görüldüğü gibi soğutma sıvısı kullanımı kesme kuvvetlerinin azalmasına katkı sağlamıştır. $V_c=290$ m/dak kesme hızı, $V_f=813$ mm/dak ilerleme hızında F_r yönündeki kesme kuvveti 2311,88 N olurken soğutma sıvısı ile yapılan işlemler de $V_c=250$ m/dak kesme hızı, $V_f=700$ mm/dak ilerleme hızında 2332,66 N olarak gerçekleşmiştir. Kuru işleme şartlarında en düşük kesme kuvveti, $V_c=250$ m/dak ve $V_f=467$ mm/dak'lık işleme şartlarında 1826 N olurken aynı kesme şartlarında soğutma sıvısı kullanıldığında 1743,3 N olarak gerçekleşmiştir. 60° yanaşma açısında yapılan deneylerde, F_x yönünde en düşük kesme kuvveti $V_c=250$ m/dak kesme hızında ve $V_f=467$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1326,91 N olarak ölçülürken en yüksek kesme kuvveti $V_c=290$ m/dak kesme hızında ve $V_f=813$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1784,67 N olarak ölçülmüştür. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneylerde F_x yönünde en

düşük kesme kuvveti $V_c=290$ m/dak kesme hızında, $V_f=542$ mm/dak'lık ilerleme hızında $1313,48$ N olarak ölçülürken en yüksek kesme kuvveti $1816,41$ N olarak ölçülmüştür. Her iki şekilde de görüldüğü gibi soğutma sıvısı kesme kuvvetlerinin düşmesini sağlamıştır. Bu yanaşma açısında, deneylerin biri hariç diğerlerinde kesme kuvvetlerinde %1 ile %15 arasında bir azalma olmuştur. $V_c=250$ m/dak kesme hızında, $V_f=700$ mm/dak'lık ilerleme hızında $1816,41$ N olurken soğutma sıvısı, kesme kuvvetinde %5,2 oranında bir artışa sebep olmuştur (Şekil 4.19).



a)

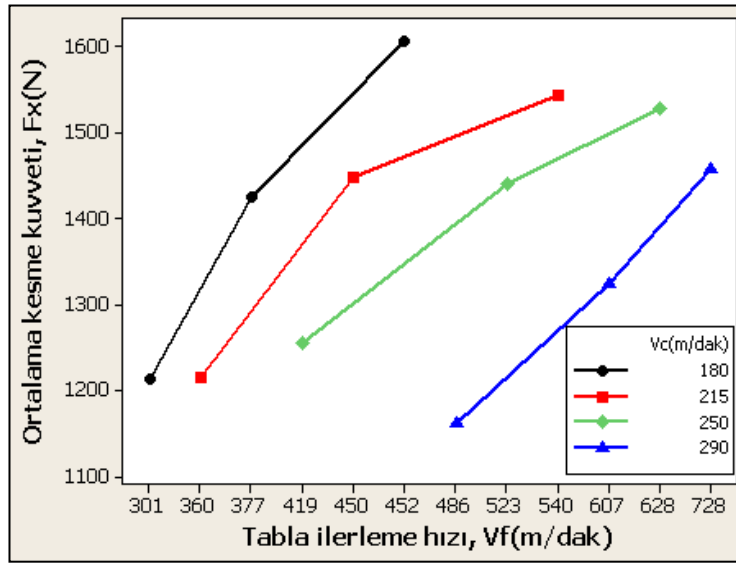


b)

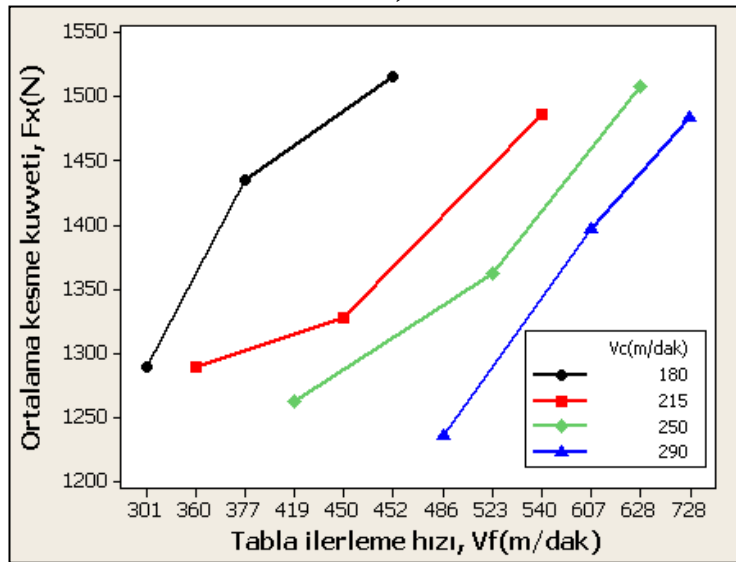
Şekil 4.19. 60° 'lık yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri a) kuru kesme b) ıslak kesme

60° yanaşma açısı ile 45° yanaşma açısında oluşan kuru kesme şartlarında en yüksek ve en düşük kuvvetleri kıyasladığımızda 60° yanaşma açısında F_x yönünde, 45°

yanaşma açısında oluşan en düşük kesme kuvvetine göre %12,4 oranında azalma olmuştur. En yüksek kuvvetlerde ise %13,2 oranında bir azalma olmuştur. Islak kesme şartlarında ise minimum kuvvetlerde %15,7 maksimum kuvvetlerde %9,2 oranında azalma olmuştur. F_r bileşke kuvvetlerde kuru işleme şartlarında minimum kuvvetlerde %16,3 maksimum kuvvetlerde %18,1 oranında azalma olmuştur. Islak kesme şartlarında ise minimum kuvvetlerde %13,1 maksimum kuvvetlerde %3,2 oranında azalma olmuştur. 75° yanaşma açısı ile yapılan kesme kuvveti deneylerinde kesme hızlarının ve kesme hızları arasında ilerlemenin sürekli artmasına karşılık kesme kuvvetlerinde dikkate değer bir artış olmamıştır. Grafikte görüldüğü gibi 75° yanaşma açısında soğutma sıvısı kullanımı deneylerin çoğunda özellikle 250 ve 290 m/dak kesme hızlarında kesme kuvvetleri üzerinde olumsuz etki yapmış ve kuvvetlerin artmasına neden olmuştur. $V_c=215$ m/dak kesme hızı, $V_f=540$ mm/dak ilerleme hızında F_r yönündeki kesme kuvveti 2035,86 N olurken, soğutma sıvısı ile yapılan işlemlerde $V_c=290$ m/dak kesme hızı ve $V_f=728$ mm/dak ilerleme hızında 2111,18 N olarak gerçekleşmiştir. Soğutma sıvısı ile yapılan deneylerde en yüksek kesme kuvveti $V_c=290$ m/dak kesme hızı ve $V_f=728$ mm/dak ilerleme hızında 2111,19 N olarak gerçekleşmiştir. Kuru işleme şartlarında en düşük kesme kuvveti, $V_c=290$ m/dak ve $V_f=486$ mm/dak'lık işleme şartlarında 1675,35 N olurken soğutma sıvısı ile yapılan deneylerde en düşük 1711,4 N olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.19). 75° yanaşma açısında yapılan deneylerde, F_x yönünde en düşük kesme kuvveti $V_c=290$ m/dak kesme hızında ve $V_f=486$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1162,11 N olarak ölçülürken en yüksek kesme kuvveti $V_c=180$ m/dak kesme hızında ve $V_f=452$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1606,45 N olarak ölçülmüştür. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneylerde F_x yönünde en düşük kesme kuvveti $V_c=290$ m/dak kesme hızında ve $V_f=486$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1235,35 N olarak ölçülürken en yüksek kesme kuvveti $V_c=180$ m/dak kesme hızında ve $V_f=452$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1516,11 N olarak ölçülmüştür (Şekil 4.20).



a)

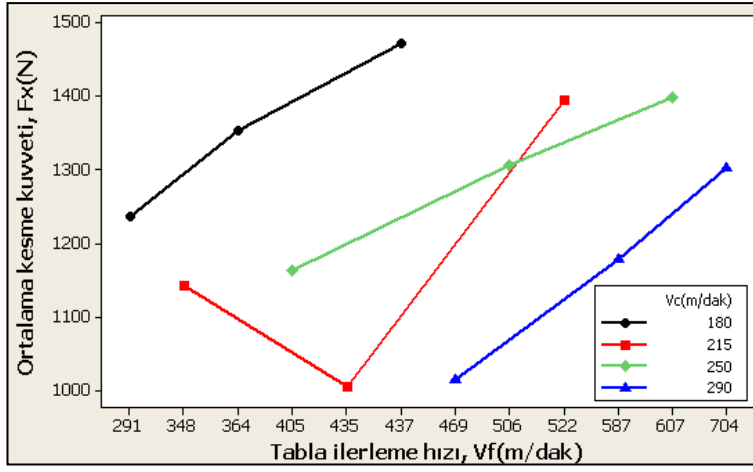


b)

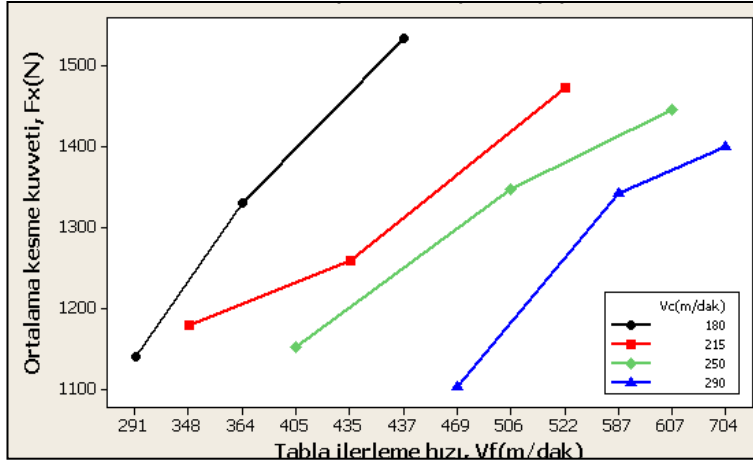
Şekil 4.20. 75°'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı ilerleme yönünde oluşan kesme kuvvetleri

Bu yanaşma açısında soğutma sıvısı kesme kuvvetleri üzerinde olumlu bir etki sağlamamıştır. Bu yanaşma açısında, 180 m/dak kesme hızında yapılan 2 adet deneyde soğutma sıvısı kesme kuvvetlerinin %6 ve %8 düşmesini sağlamış ancak diğer 10 adet deneyde %2 ile %10 arasında kuvvetlerin artmasına sebep olmuştur. 75° yanaşma açısı ile 60° yanaşma açısında oluşan kuru kesme şartlarında en yüksek ve en düşük kuvvetleri kıyaslandığında 75° yanaşma açısında F_x yönünde, 60° yanaşma açısında oluşan en düşük kesme kuvvetine göre %14,1 oranında azalma

olmuştur. En yüksek kuvvetlerde ise %11 oranında bir azalma olmuştur. Islak kesme şartlarında ise minimum kuvvetlerde %6 maksimum kuvvetlerde %19,8 oranında azalma olmuştur. F_r bileşke kuvvetlerde kuru işleme şartlarında minimum kuvvetlerde %8 maksimum kuvvetlerde %1 oranında azalma olmuştur. Islak kesme şartlarında ise minimum kuvvetlerde %1 maksimum kuvvetlerde %10 oranında azalma olmuştur.



a)



b)

Şekil 4.21. 88°'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı ilerleme yönünde oluşan kesme kuvvetleri

88° yanaşma açısı ile yapılan kesme kuvveti deneylerinde kesme hızlarının ve kesme hızları arasında ilerlemenin sürekli artmasına karşılık kesme kuvvetleri birbirine yakın değerlerde oluşmuştur. Grafikte görüldüğü gibi 88° yanaşma açısında soğutma

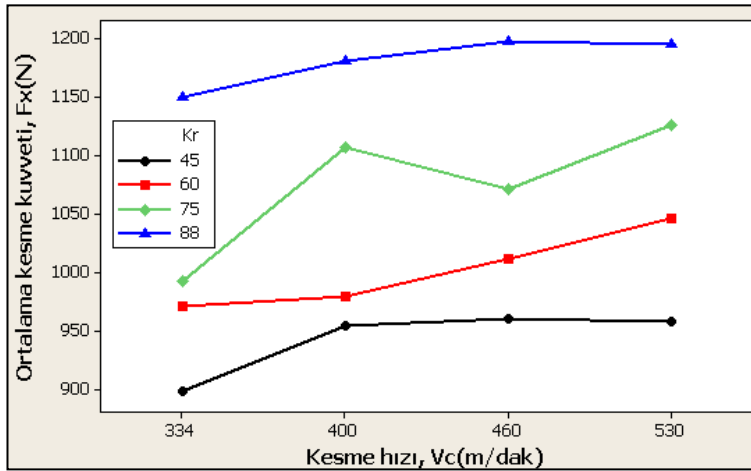
sıvısı kullanımı deneylerin çoğunda kesme kuvvetleri üzerinde olumsuz etki yapmış ve kuvvetlerin artmasına neden olmuştur. $V_c=290$ m/dak kesme hızı ve $V_f=704$ mm/dak ilerleme hızında F_r yönündeki kesme kuvveti 1831,84 N olurken, soğutma sıvısı ile aynı kesme şartlarında yapılan işlemler de 2159,34 N olarak gerçekleşmiştir. Kuru işleme şartlarında en düşük kesme kuvveti, $V_c=290$ m/dak ve $V_f=469$ mm/dak'lık işleme şartlarında 1509,4 N olurken soğutma sıvısı ile yapılan deneylerde 180 m/dak kesme hızı ve 291 mm/dak ilerleme hızında en düşük 1561,2 N olarak gerçekleşmiştir. 88° yanaşma açısında yapılan deneylerde, F_x yönünde en düşük kesme kuvveti $V_c=215$ m/dak kesme hızında, $V_f=435$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1004 N olarak ölçülürken en yüksek kesme kuvveti $V_c=180$ m/dak kesme hızında, $V_f=437$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1470,74 N olarak ölçülmüştür. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneylerde F_x yönünde en düşük kesme kuvveti $V_c=290$ m/dak kesme hızında, $V_f=469$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1103,5 N olarak ölçülürken en yüksek kesme kuvveti $V_c=180$ m/dak kesme hızında, $V_f=437$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1533,2 N olarak ölçülmüştür. Bu yanaşma açısında soğutma sıvısı kesme kuvvetleri üzerinde olumlu bir etki sağlamamıştır. 5 adet deneyde soğutma sıvısı kesme kuvvetlerinin %1 ile %3 oranında düşmesini sağlamış ama diğer 7 adet deneyde %1 ile %16 arasında kuvvetlerin artmasına sebep olmuştur (Şekil 4.21). 88° yanaşma açısı ile 75° yanaşma açısında oluşan kuru kesme şartlarında en yüksek ve en düşük kuvvetleri kıyasladığımızda 88° yanaşma açısında F_x yönünde, 75° yanaşma açısında oluşan en düşük kesme kuvvetine göre %15,7 oranında azalma olmuştur. En yüksek kuvvetlerde ise %9 oranında bir azalma olmuştur. Islak kesme şartlarında ise minimum kuvvetlerde %11 azalma maksimum kuvvetlerde %2 oranında artma olmuştur. F_r bileşke kuvvetlerde kuru işleme şartlarında minimum kuvvetlerde %10,9 maksimum kuvvetlerde %11 oranında azalma olmuştur. Islak kesme şartlarında ise minimum kuvvetlerde %9 azalma maksimum kuvvetlerde %3 oranında artma olmuştur. Giriş açılarının tamamı değerlendirildiğinde açı değeri yükseldikçe kesme kuvvetlerinde dikkate değer bir azalma olmuştur. En yüksek kesme kuvvetleri 45° ve 60° 'lik giriş açılarında oluşmuştur. Yanaşma açısının değeri küçüldükçe formüle bağlı olarak ilerleme hızı yükseldiğinden ve kesici uç kesme sırasında iş parçası malzemesine daha geniş bir

yüzeyden temas sağladığından dolayı oluşan sürtünme nedeniyle kesme kuvvetleri yüksek oluşmuştur. Kesme kuvvetleri ile kesici takım aşınmaları kıyaslandığında kesici takım ömrü ile kesme kuvvetleri birbiri ile ters orantılı hareket etmiş, yavaşma açısı düştükçe kesme kuvvetleri artarken takım ömrü de artmıştır. Kesici takım daha fazla yüzeyden temas sağladığı için kesici takım yan kenarı daha iyi dayanım göstermiştir. Fr bileşke kesme kuvveti açısından kıyaslama yapıldığında, Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneylerde, 45° ve 60° 'lik giriş açılarında kesme kuvvetleri kuru olarak yapılan deneylere göre daha düşük oluşurken, 75° ve 88° 'lik giriş açılarında yapılan 18 adet deneyin 14 tanesinde kesme kuvvetleri kuru olarak yapılan deneylerden daha yüksek oluşmuştur. Yüksek çıkan bu kuvvetlerden 7 adet deneyde 111 N ile 258 N arasında bir fark oluşmuştur. Diğer 7 adet deneyde ise 100 N altında bir fark gerçekleşmiştir. Soğutma sıvısı kullanıldığında Fr bileşke kesme kuvvetlerinin kuru kesme şartlarına göre yüksek çıkmasında F_y ve F_z yönünde oluşan kesme kuvvetlerinin yüksek çıkmasının etkili olduğu görülmüştür. 60° yavaşma açısında $V_c=180$ m/dak kesme hızında ve $V_f=504$ mm/dak işleme şartlarında, soğutma sıvısı ile yapılan deneylerde kesme kuvveti kuru işleme şartlarına göre %15,33 oranında daha düşük oluşmuştur. Soğutma sıvısı ile yapılan deneylerde, soğutma sıvısı kesme kuvvetlerinin %1 ile %15,33 oranında düşmesini sağlamıştır. Talaşlı imalat işleminde malzemeleri işleyebilmek için belli bir sıcaklığa ulaşmak gerekmektedir. Kesme hızlarının artmasıyla yüksek oluşan ısı kesme bölgesinde sıcaklığı artırır. Bu sıcaklık artışının doğal sonucu olarak da kesme bölgesinde işlenen malzemelerin dayanımları azalır ve dolayısıyla talaş oluşturmak için daha az kuvvet gerekir [Çiftçi, 2005]. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan kuvvet ölçme deneylerinde kesme kuvvetlerinin yüksek çıkması ya da çok değişkenlik göstermemesinin sebebi soğutmanın etkisi ile takım talaş ara yüzeyindeki kayma bölgesinde yapışan malzemenin kayma dayanımının azalmasıyla açıklanabilir [Trent, 1989; Vieira, 2001]. Kesme sıvıları genellikle kesme bölgesindeki ısıyı kontrol etmek için kullanılmaktadır. Ancak çevre kirliliği, operatöre zarar vermesi vb. gibi olumsuz etkilerinden dolayı işleme sırasında soğutma sıvısının kullanılması tartışma konusu olmaktadır. Bu olumsuz etkilerin yanında ayrıca imalat maliyetinin de artmasına neden olmaktadır [Ngoi, 2000; Klocke, 1997] Bu deneysel çalışmada vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesinde soğutma sıvısının karbür kesiciler

kullanıldığında, kesme kuvvetleri ve iş parçası yüzeyi üzerindeki etkileri araştırılmış ve kesici takım aşınması üzerindeki etkileri araştırılmamıştır. İmalat sanayinde dökme demirlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan tozun çevreye, operatöre ve tezgâhın kızaklarına zarar vermemesi için soğutma sıvısı kullanılmaktadır. Soğutma sıvısının 45° ve 60° yanaşma açılarındaki olumlu etkisi de göz önüne alınarak, vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesi sırasında soğutma sıvısı kullanımı faydalı olacaktır.

4.2.7. Seramik kesici uçlar için kesme kuvveti

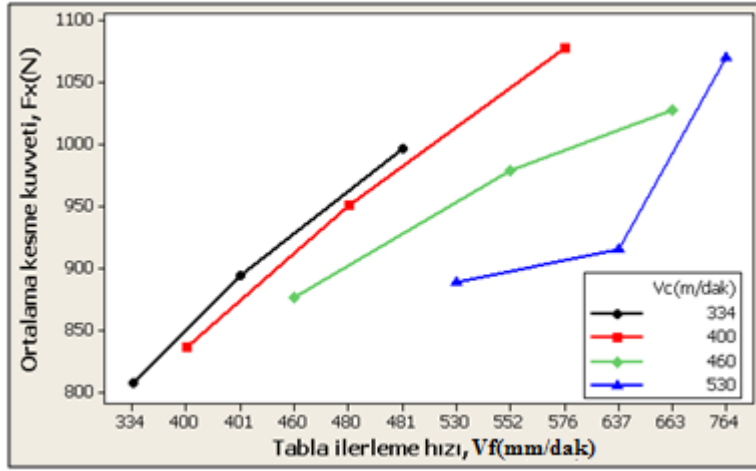
Seramik kesici uçlarla kuru olarak gerçekleştirilen deneylere ait grafiklerde görüleceği üzere, en yüksek kesme kuvvetleri karbür kesici uçlarda oluşan kuvvetlerin aksine, yanaşma açısının değeri arttıkça kesme kuvvetlerinde de artışlar meydana gelmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Kesme hızı ve giriş açısına bağlı olarak oluşan ortalama kesme kuvvetleri

Deney sırasında kesme kuvvetlerinde ani artışların görüldüğü durumlarda kesici uç kontrol edilmiş ve kesici uçta kırılma varsa değiştirilerek deney tekrarlanmıştır. Özellikle 75° ve 88° 'lik giriş açılarındaki deney sırasında kesici uçlarda kırılma meydana geldiği için deneylerin tekrar sayısı çok fazla olmuştur. Bu nedenle seramik kesici uçlarla soğutma sıvısı kullanılarak kesme kuvveti ölçümü yapılmamıştır. Kesme kuvvetleri üzerinde en fazla etkiye yanaşma açısı, maksimum talaş kalınlığı

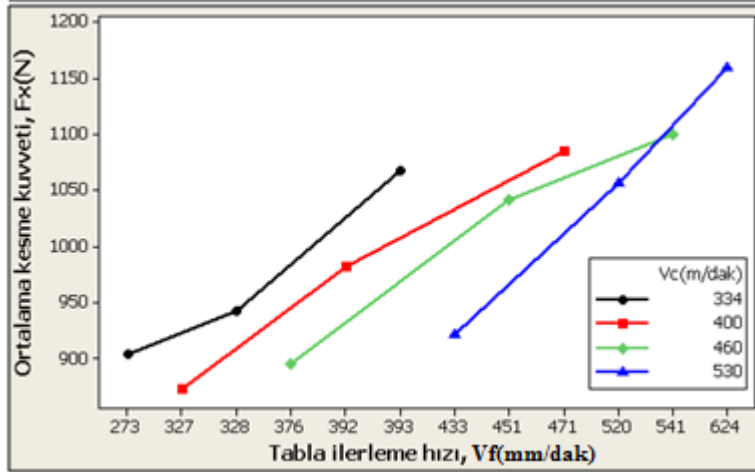
ve bu değere bağlı olarak ortaya çıkan ilerleme hızı sahip olmuştur. Deneylerde kullanılan kesme hızı değerlerinin kesme kuvvetleri üzerinde çok fazla etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Yanaşma açısının değeri yükseldikçe kesici uçta kırılma kolaylaştığı için kesme kuvvetlerinde artış meydana gelmiştir. Ayrıca kesici ucun radyüsü ile talaş derinliği birbirine eşit olduğu için ortaya çıkan titreşim de kesme kuvvetlerinin artmasında etkili olmuştur. Deneylerin tamamında en yüksek kesme kuvvetleri 88°'lik yanaşma açısına sahip kesici takım ile yapılan işlemlerde ortaya çıkmıştır. F_x yönünde en yüksek kesme kuvveti, $V_c=530$ m/dak kesme hızında, $V_f=540$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1319 N, F_y yönünde ise en yüksek kesme kuvveti 1253,67 N olarak gerçekleşmiştir. F_r bileşke kuvvetler yönünden incelendiğinde ise en yüksek kesme kuvveti aynı kesme şartlarında 1972 N olarak gerçekleşmiştir. F_x yönünde en düşük kesme kuvveti 45°'lik yanaşma açısında $V_c=334$ m/dak kesme hızında, $V_f=334$ mm/dak'lık ilerleme hızında 806,33 N olarak ölçülürken, F_y yönünde ise $V_c=530$ m/dak kesme hızında, $V_f=764$ mm/dak'lık ilerleme hızında en düşük kesme kuvveti 878,5 N olarak gerçekleşmiştir. F_r bileşke kuvvetler yönünden incelendiğinde ise en düşük kesme kuvveti 334 mm/dak'lık ilerleme hızında 1064,58 N olarak ölçülmüştür. Yapılan bu deneysel çalışmada; her bir kesme hızında, maksimum talaş kalınlığı ve yanaşma açısı değerine bağlı olarak ilerleme oranı sürekli değişkenlik göstermiştir. Kesme kuvveti grafiklerinden de görüleceği üzere kesme hızı artarken, maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak ilerleme hızı da arttığı için kesme hızları arttıkça kesme kuvvetlerinde küçük artışlar meydana gelmiştir. 45° yanaşma açısı ile yapılan kesme kuvveti deneylerinde, kesme hızına ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde küçük miktarda artışlar olduğu görülmektedir. Sabit kesme hızında, ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetinde de artma olmuştur. Sabit kesme hızında ilerleme hızındaki %20'lik artışa karşılık kesme kuvvetlerinde %10 ile %14 aralığında bir artış meydana gelmiştir. Grafikte görüldüğü gibi aynı ya da birbirine yakın ilerleme hızına sahip farklı kesme hızları arasında kıyaslama yapıldığında; kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde azalma olduğu görülmektedir. F_x yönünde, maksimum kesme kuvveti 1077 N minimum kesme kuvveti ise 806,33 N olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.23. 45°'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ortalama kesme kuvveti

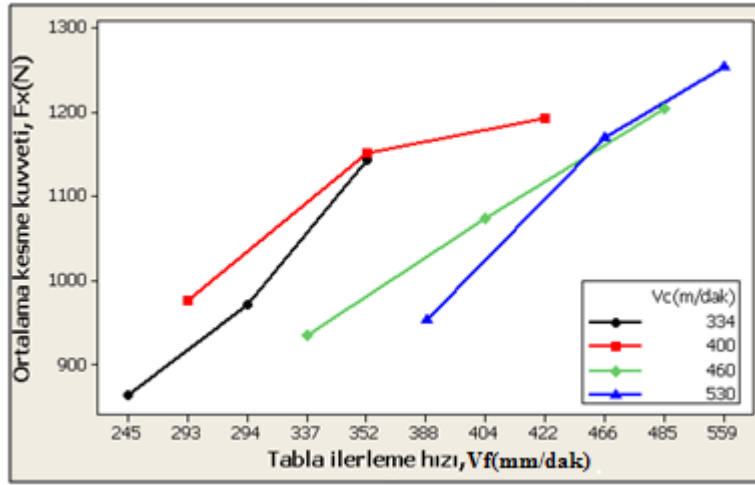
45° yanaşma açısı ile yapılan deneylerde oluşan F_r yönündeki bileşke kesme kuvvetleri incelendiğinde, bileşke kesme kuvvetlerinin F_x yönünde oluşan kesme kuvvetlerine benzer hareket ettiği görülmüştür. Sabit kesme hızında, ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetinde de artma olmuştur. Sabit kesme hızında ilerleme hızındaki %20'lik artışa karşılık bileşke kesme kuvvetlerinde de %10-%14 aralığında bir artış meydana gelmiştir. Grafikte görüldüğü gibi aynı ya da birbirine yakın ilerleme hızına sahip farklı kesme hızları arasında kıyaslama yapıldığında kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde azalma olduğu görülmektedir. F_r yönünde, maksimum kesme kuvveti 1477 N, minimum kesme kuvveti ise 1064,58 N olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.23). 60° yanaşma açısı ile yapılan kesme kuvveti deneylerinde kesme hızına ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde küçük miktarda artışlar olduğu görülmektedir. Sabit kesme hızında, ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetinde de artma olmuştur. Sabit kesme hızında ilerleme hızındaki %20'lik artışa karşılık kesme kuvvetlerinde %4 ile %13 aralığında bir artış meydana gelmiştir. Grafikte görüldüğü gibi aynı ya da birbirine yakın ilerleme hızına sahip farklı kesme hızları arasında kıyaslama yapıldığında kesme hızı arttıkça kesme bölgesinde artan kesme sıcaklığına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde azalma olduğu görülmektedir. F_x yönünde, maksimum kesme kuvveti 1160 N, minimum kesme kuvveti ise 872,67 N olarak gerçekleşmiştir. Maksimum kesme kuvveti 45° yanaşma açısı ile kıyaslandığında

%7,7 oranında artış olurken minimum kesme kuvvetinde ise %8,2 oranında artış olmuştur.



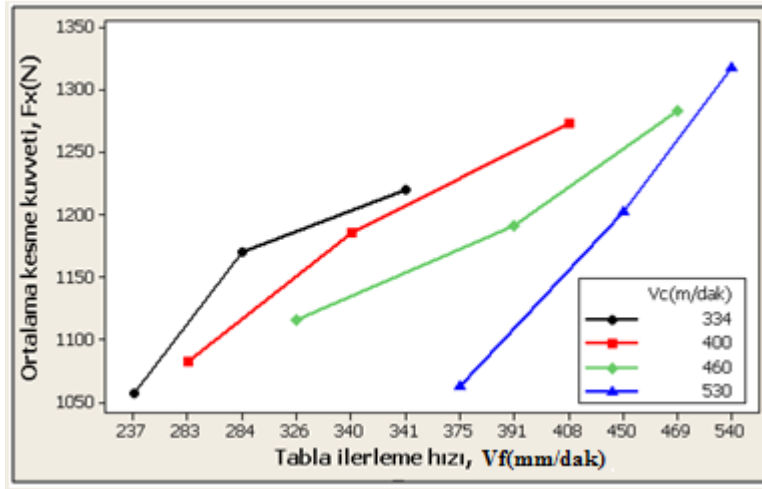
Şekil 4.24. 60°'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ortalama kesme kuvveti

60° yanaşma açısı ile yapılan deneylerde F_r yönünde oluşan bileşke kesme kuvvetleri incelendiğinde, bileşke kesme kuvvetlerinin F_x yönünde oluşan kesme kuvvetlerine benzer hareket ettiği görülmüştür. Sabit kesme hızında, ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetinde de artma olmuştur. Sabit kesme hızında ilerleme hızındaki %20'lik artışa karşılık bileşke kesme kuvvetlerinde de %3,5 oranında bir artış meydana gelmiştir. Grafikte görüldüğü gibi aynı ya da birbirine yakın ilerleme hızına sahip farklı kesme hızları arasında kıyaslama yapıldığında kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde azalma olduğu görülmektedir. F_r yönünde, maksimum kesme kuvveti 1617,5 N, minimum kesme kuvveti ise 1247,76 N olarak gerçekleşmiştir. Maksimum kesme kuvveti 45° yanaşma açısı ile kıyaslandığında %9,8 oranında artış olurken, minimum kesme kuvvetinde ise %17,2 oranında artış olmuştur (Şekil 4.24). 75° yanaşma açısı ile yapılan deneylerde kesme hızına ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde artışlar olduğu görülmektedir. Sabit kesme hızında, ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetinde de artma olmuştur.



Şekil 4.25. 75°'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ortalama kesme kuvveti

Sabit kesme hızında ilerleme hızındaki %20'lik artışa karşılık kesme kuvvetlerinde %12,3 ile %17,7 aralığında bir artış meydana gelmiştir. Grafikte görüldüğü gibi aynı ya da birbirine yakın ilerleme hızına sahip farklı kesme hızları arasında kıyaslama yapıldığında; kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde azalma olduğu görülmektedir. F_x yönünde, maksimum kesme kuvveti 1254,67 N, minimum kesme kuvveti ise 864 N olarak gerçekleşmiştir. Maksimum kesme kuvveti 60° yanaşma açısı ile kıyaslandığında %8 oranında artış olurken minimum kesme kuvvetinde ise bir değişim olmamıştır. 75° yanaşma açısı ile yapılan deneylerde F_r yönünde oluşan bileşke kesme kuvvetleri incelendiğinde, bileşke kesme kuvvetlerinin F_x yönünde oluşan kesme kuvvetlerine benzer hareket ettiği görülmüştür. Sabit kesme hızında, ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetinde de artma olmuştur. Sabit kesme hızında ilerleme hızındaki %20'lik artışa karşılık bileşke kesme kuvvetlerinde de %11 ile %18,9 oranında bir artış meydana gelmiştir. Grafikte görüldüğü gibi aynı ya da birbirine yakın ilerleme hızına sahip farklı kesme hızları arasında kıyaslama yapıldığında kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde azalma olduğu görülmektedir. F_r yönünde, maksimum kesme kuvveti 1844,25 N, minimum kesme kuvveti ise 1329,59 N olarak gerçekleşmiştir. Maksimum kesme kuvveti 60° yanaşma açısı ile kıyaslandığında %14 oranında artış olurken, minimum kesme kuvvetinde ise %6,5 oranında artış olmuştur (Şekil 4.25).



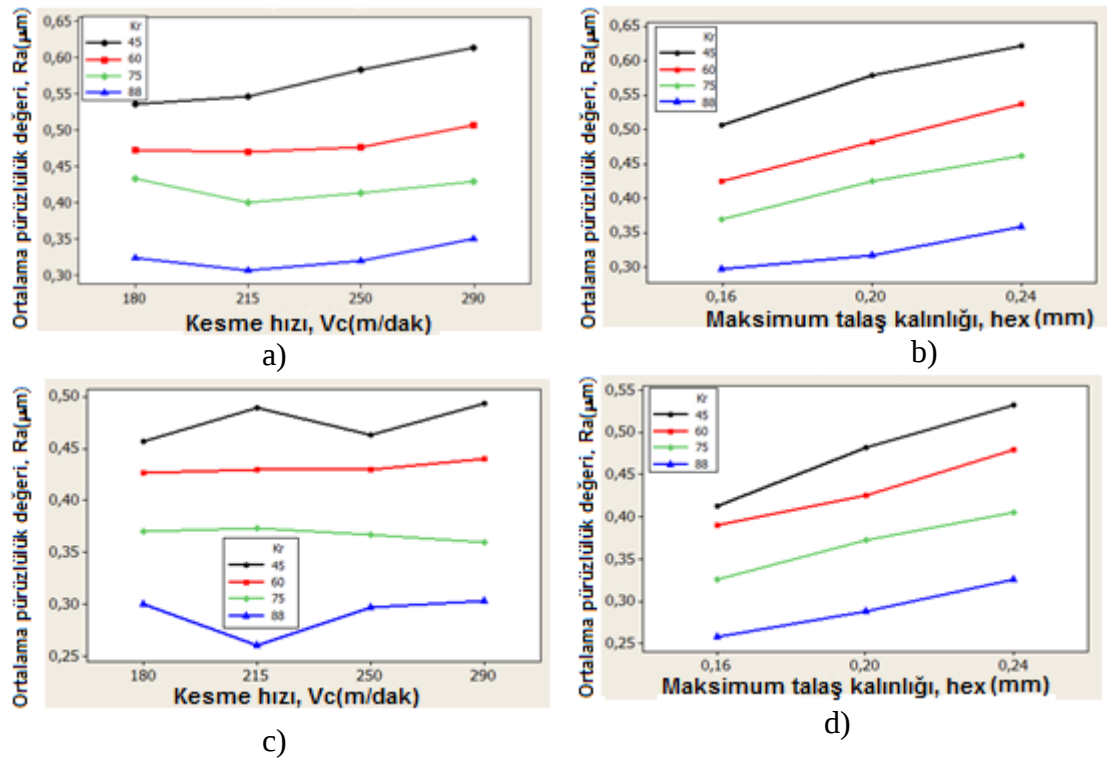
Şekil 4.26. 88°'lik yanaşma açısında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ortalama kesme kuvveti

88° yanaşma açısı ile yapılan deneylerde de diğer açılarda olduğu gibi kesme hızına ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde artışlar olduğu görülmektedir. Sabit kesme hızında, ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetinde de artma olmuştur. Sabit kesme hızında ilerleme hızındaki %20'lik artışa karşılık kesme kuvvetlerinde %5 ile %10,7 aralığında bir artış meydana gelmiştir. Grafikte görüldüğü gibi aynı ya da birbirine yakın ilerleme hızına sahip farklı kesme hızları arasında kıyaslama yapıldığında kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde azalma olduğu görülmektedir. F_x yönünde, maksimum kesme kuvveti 1319 N, minimum kesme kuvveti ise 1057 N olarak gerçekleşmiştir. Maksimum kesme kuvveti 75° yanaşma açısı ile kıyaslandığında %5,1 oranında artış olurken, minimum kesme kuvvetinde ise %22,3 oranında artış olmuştur. 88° yanaşma açısı ile yapılan deneylerde F_r yönünde oluşan bileşke kesme kuvvetleri incelendiğinde, bileşke kesme kuvvetlerinin F_x yönünde oluşan kesme kuvvetlerine benzer hareket ettiği görülmüştür. Sabit kesme hızında, ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetinde de artma olmuştur. Sabit kesme hızında ilerleme hızındaki %20'lik artışa karşılık bileşke kesme kuvvetlerinde de %2,9 ile %11,9 oranında bir artış meydana gelmiştir. Grafikte görüldüğü gibi aynı ya da birbirine yakın ilerleme hızına sahip farklı kesme hızları arasında kıyaslama yapıldığında kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde azalma olduğu görülmektedir. F_r yönünde, maksimum kesme kuvveti 1972 N, minimum kesme kuvveti ise 1582 N

olarak gerçekleşmiştir. Maksimum kesme kuvveti 75° yanaşma açısı ile kıyaslandığında %6,9 oranında artış olurken, minimum kesme kuvvetinde ise %19,3 oranında artış olmuştur. 88° yanaşma açısında F_x yönünde oluşan kesme kuvvetlerinde, 60° yanaşma açısına göre maksimum kuvvetlerde %13,7 ve 45° yanaşma açısına göre %22,4 oranında artış olmuştur. Minimum kuvvetlerde 60° yanaşma açısına göre %21 ve 45° yanaşma açısına göre %31 oranında artış olmuştur (Şekil 4.26)

4.2.8. Karbür kesicilerde yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

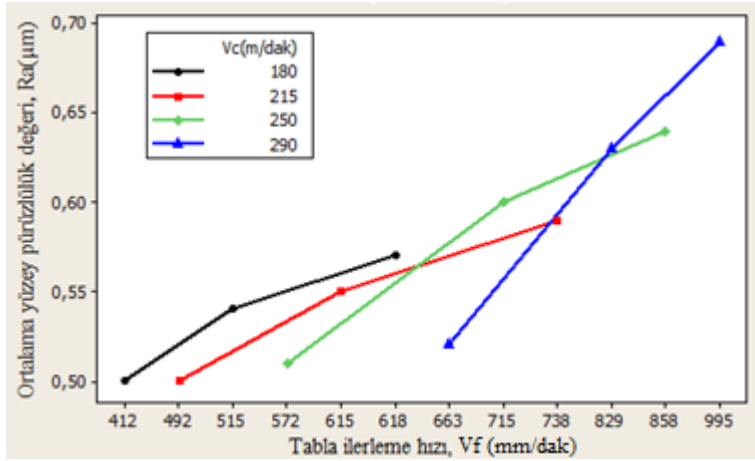
Vermiküler grafitli dökme demirin karbür kesici uçlarla kuru ve soğutma sıvısı kullanılarak işlenmesinde elde edilen ortalama R_a yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları Şekil 4.27’de görülmektedir.



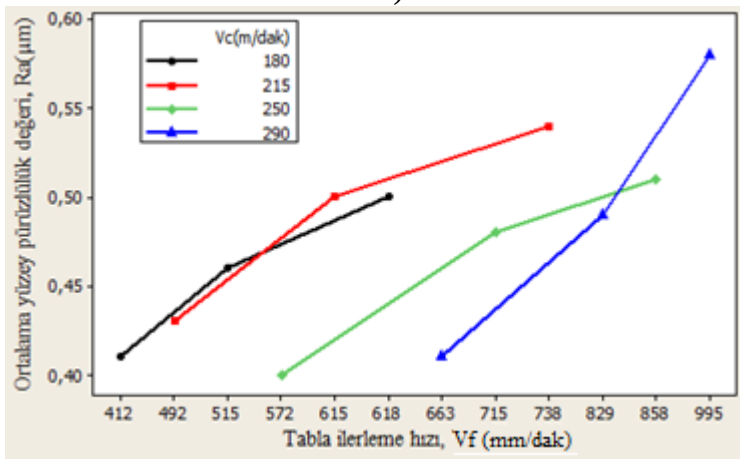
Şekil 4.27. Kesme hızı ve maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerleri a, b) kuru işleme c,d) ıslak işleme

Hem kuru hem de ıslak kesme şartlarında yapılan her bir deneyde yüzey pürüzlülük çalışması olarak dört ölçüm yapılmış ve her ölçümün ortalama değeri hesaplanmıştır. Deneysel verilerin tamamı ve grafikler incelendiğinde kesici takım yanaşma açısının değeri 45° 'den 88° 'ye doğru arttıkça yüzey pürüzlülük değeri iyileşmiştir. Yanaşma açısının değeri arttıkça açılı ve maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak ilerleme hızında azalma meydana gelmektedir. Yüksek kesme hızında daha iyi yüzey kalitesi elde edilirken, ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır. Kuru kesme şartlarında en yüksek yüzey pürüzlülük değeri 45° yanaşma açısında, $V_c=290$ m/dak kesme hızında ve deney parametrelerinin içerisindeki en yüksek ilerleme hızında $V_f=994$ mm/dak'da $R_a=0,69$ μm olarak elde edilmiştir. Grafikler de görüldüğü gibi 75° ve 88° giriş açılarında ilerleme hızının birbirine yakın olduğu kesme parametrelerinde en iyi yüzey pürüzlülük değeri 88° yanaşma açısında elde edilmiştir. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan işlemlerde ise aynı kesme şartlarında $R_a=0,58$ μm olarak elde edilmiştir. Yanaşma açısının değeri küçüldükçe ilerleme hızı artmakta, kesme işlemi daha geniş bir yüzeyde gerçekleşmektedir. Yanaşma açısının değeri büyüdükçe kesme işlemi daha küçük bir bölgede ve kesici uç radyüsüne yakın gerçekleşmektedir. Yanaşma açısının değerinin büyümesi ile ilerleme hızının değeri de azalmaktadır. Bütün bunlara bağlı olarak düşük yanaşma açılarında yüzey pürüzlülük değeri daha kötü gerçekleşirken, yanaşma açısının değerinin büyümesi ile yüzey kalitesi daha iyi gerçekleşmiştir. Talaş kaldırma işlemi sırasında, talaş, kesici uç ve iş parçası arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen sürtünme ve malzeme deformasyonu sonucu ortaya yüksek ısı çıkmaktadır. Talaş kaldırma işlemi sırasında mekanik enerji ısı enerjisine dönüşmektedir. Kesme işlemi sırasında soğutma sıvısı sürtünme ısılarını düşürmekte, sürtünmeye bağlı aşınmayı azaltmakta ve kesici takımın işparçası yüzeyinde kaymasını kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Bunlara bağlı olarak soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneylerde kuru işlemeye göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4.27). En iyi yüzey pürüzlülük değeri ise 88° yanaşma açısında $V_c=215$ m/dak kesme hızında $V_f=348$ mm/dak ilerleme hızında $R_a=0,29$ μm olarak elde edilmiştir. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan işlemlerde ise aynı kesme şartlarında $R_a=0,21$ μm olarak elde edilmiştir. Deneylerin

tamamında soğutma sıvısı yüzey pürüzlülük değerlerinin %3 ile %38 oranında iyileşmesine katkı sağlamıştır.



a)

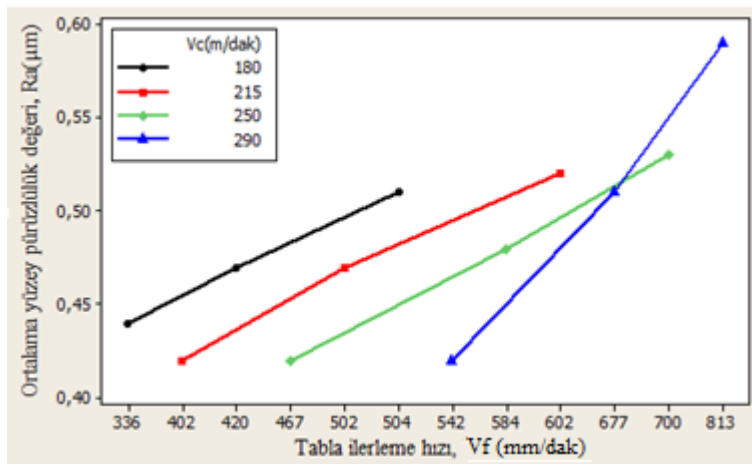


b)

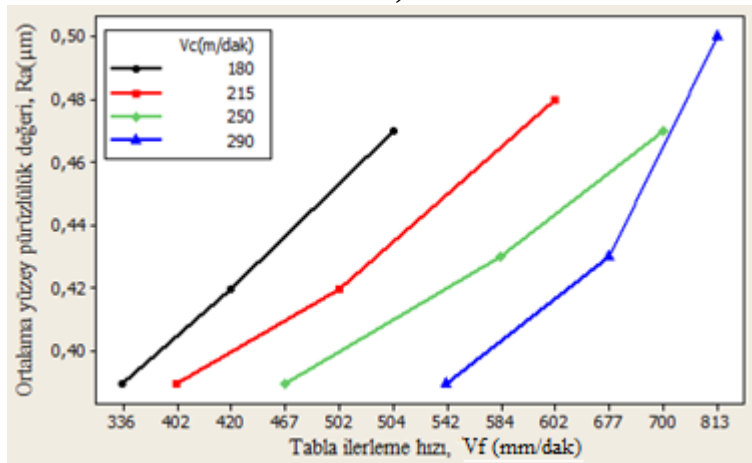
Şekil 4.28. 45° yanaşma açısında a) kuru b) ıslak kesme şartlarında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.28’de 45° yanaşma açısında kuru ve ıslak kesme şartlarında kesme hızları ve ilerleme hızlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi, sabit kesme hızında yanaşma açısının değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü iyileşmiştir. Yanaşma açısı değeri sabit tutulduğunda ise, hem kuru hem de ıslak kesmede ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Vc=180 m/dak kesme hızında, 88° yanaşma açısında ve 291 mm/dak ilerleme hızında en iyi yüzey pürüzlülük değeri Ra=0,3 μm olarak elde

edilirken soğutma sıvısı kullanıldığında ise aynı kesme şartlarında $Ra=0,28 \mu m$ olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 45° yanaşma açısında ve 618 mm/dak ilerleme hızında $Ra=0,57 \mu m$ olarak elde edilirken soğutma sıvısı kullanıldığında ise aynı kesme şartlarında $Ra=0,5 \mu m$ olarak elde edilmiştir. Soğutma sıvısı, minimum yüzey pürüzlülük değerinde %7 oranında, maksimum yüzey pürüzlülük değerinde ise %14 oranında bir iyileşme sağlamıştır.



a)

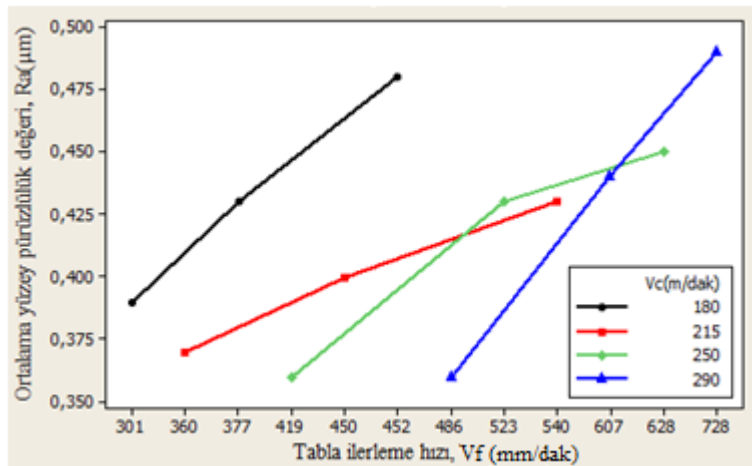


b)

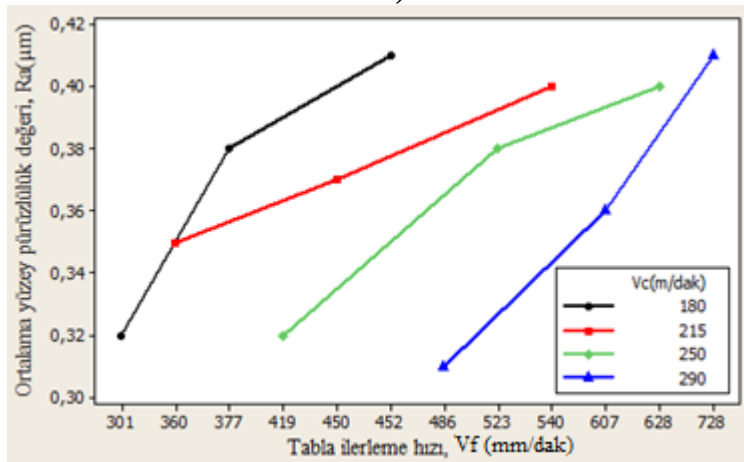
Şekil 4.29. 60° yanaşma açısında a) kuru b) ıslak kesme şartlarında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.29'da 60° giriş açısında kuru ve ıslak kesme şartlarında kesme hızları ve ilerleme hızlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi sabit kesme hızında yanaşma açısının değeri arttıkça yüzey

pürüzlülüğü iyileşmiştir. Yanaşma açısı değeri sabit tutulduğunda ise hem kuru hem de ıslak kesmede ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin doğrusal olarak arttığı görülmektedir. $V_c=215$ m/dak kesme hızında, 88° yanaşma açısında ve 348 mm/dak ilerleme hızında en iyi yüzey pürüzlülük değeri $R_a=0,29$ μm olarak elde edilirken soğutma sıvısı kullanıldığında ise aynı kesme şartlarında $R_a=0,21$ μm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 45° yanaşma açısında ve 738 mm/dak ilerleme hızında $R_a=0,59$ μm olarak elde edilirken soğutma sıvısı kullanıldığında ise aynı kesme şartlarında $R_a=0,54$ μm olarak elde edilmiştir. Soğutma sıvısı; minimum yüzey pürüzlülük değerinde %38 oranında, maksimum yüzey pürüzlülük değerinde ise %9 oranında bir iyileşme sağlamıştır.



a)

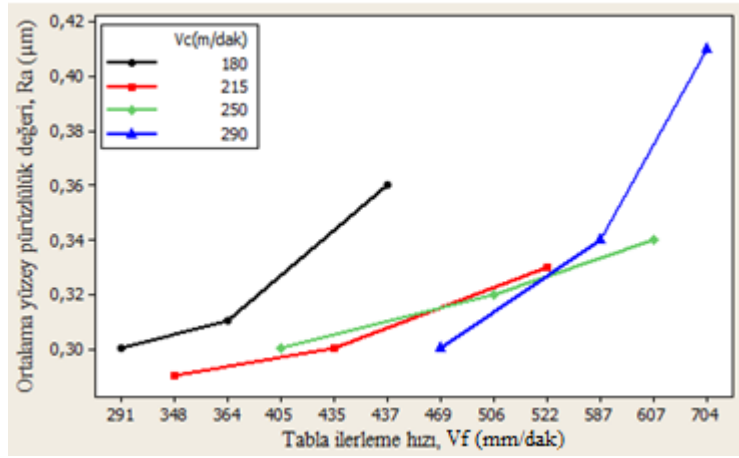


b)

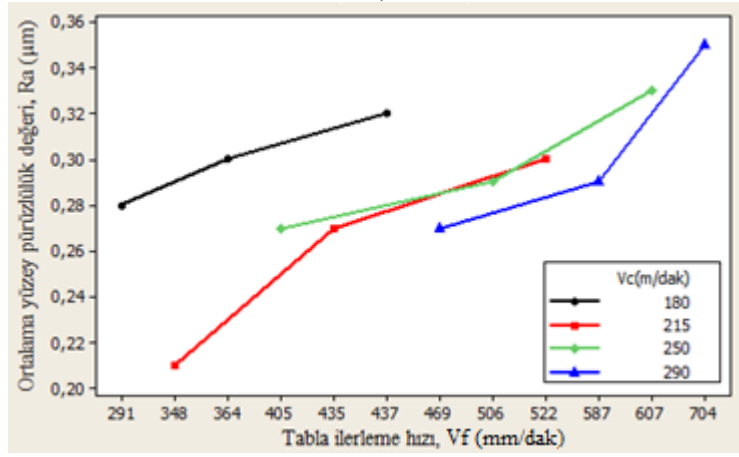
Şekil 4.30. 75° yanaşma açısında a) kuru b) ıslak kesme şartlarında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.30'da 75° yanaşma açısında kuru ve ıslak kesme şartlarında kesme hızları ve ilerleme hızlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi sabit kesme hızında yanaşma açısının değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü iyileşmiştir. Yanaşma açısı değeri sabit tutulduğunda ise hem kuru hem de ıslak kesmede ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Bu kesme hızında yüzey pürüzlülük değerlerinde birbirine yakın değerler elde edilmiştir. $V_c=250$ m/dak kesme hızında, 88° yanaşma açısında ve 405 mm/dak ilerleme hızında en iyi yüzey pürüzlülük değeri $R_a=0,3$ μm olarak elde edilirken soğutma sıvısı kullanıldığında ise aynı kesme şartlarında $R_a=0,27$ μm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 45° yanaşma açısında ve 858 mm/dak ilerleme hızında $R_a=0,64$ μm olarak elde edilirken soğutma sıvısı kullanıldığında ise aynı kesme şartlarında $R_a=0,51$ μm olarak elde edilmiştir. Soğutma sıvısı minimum yüzey pürüzlülük değerinde %11 oranında maksimum yüzey pürüzlülük değerinde ise %25,4 oranında bir iyileşme sağlamıştır.

Şekil 4.31'de 88° yanaşma açısında kuru ve ıslak kesme şartlarında kesme hızları ve ilerleme hızlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri görülmektedir. Bu kesme hızında yüzey pürüzlülük değerleri 75° yanaşma açısında olduğu gibi birbirine yakın değerler elde edilmiştir. $V_c=290$ m/dak kesme hızında, 88° yanaşma açısında ve 469 mm/dak ilerleme hızında en iyi yüzey pürüzlülük değeri $R_a=0,3$ μm olarak elde edilirken soğutma sıvısı kullanıldığında ise aynı kesme şartlarında $R_a=0,27$ μm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 45° yanaşma açısında ve 995 mm/dak ilerleme hızında $R_a=0,69$ μm olarak elde edilirken soğutma sıvısı kullanıldığında ise aynı kesme şartlarında $R_a=0,58$ μm olarak elde edilmiştir. Soğutma sıvısı minimum yüzey pürüzlülük değerinde %11 oranında maksimum yüzey pürüzlülük değerinde ise %18,9 oranında bir iyileşme sağlamıştır.



a)

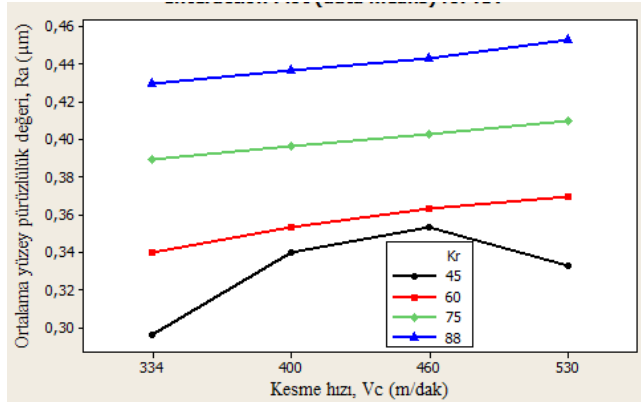


b)

Şekil 4.31. 88° yanaşma açısında a) kuru b) ıslak kesme şartlarında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü

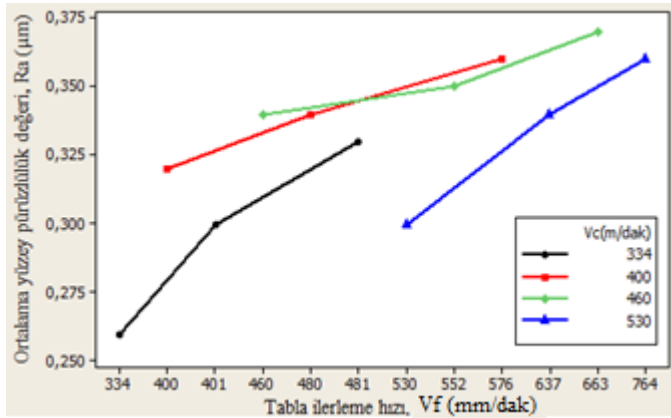
4.2.9. Seramik kesicilerde yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

Seramik kesicilerle yapılan deneylerde karbür kesicilerin aksine yanaşma açısının değeri büyüdükçe yüzey kalitesi kötüleşmiştir. Yanaşma açısının değerinin yükselmesine bağlı olarak kesme işlemi uç radyüsünde gerçekleşmiştir. Seramik kesicilerin yapısı gereği ve frezeleme işleminin kesintili ve vuruntulu olması nedeni ile kesici uçta meydana gelen mikro kırılmalar ve titreşime bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değeri artmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri üzerinde yanaşma açısı en fazla etki eden parametre olarak elde edilmiştir (Şekil 4.32).



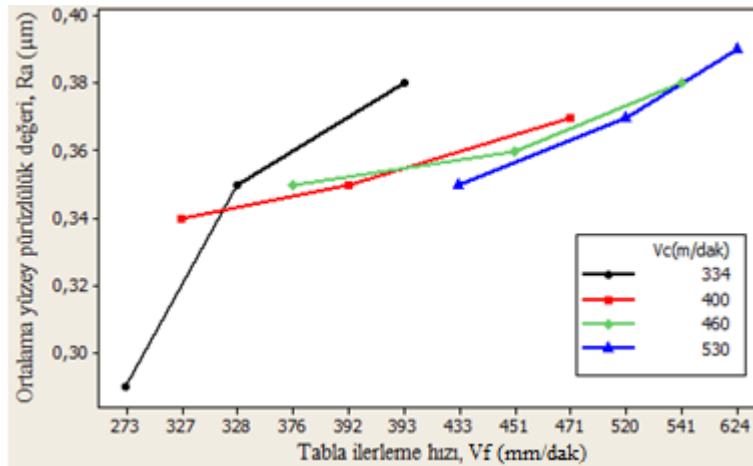
Şekil 4.32. Kesme hızı ve yanaşma açısına bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değeri

Vermiküler grafitli dökme demirin seramik kesici uçlarla işlenmesinde tabla ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak elde edilen R_a yüzey pürüzlülük ölçme sonuçları Şekil 4.33 ila Şekil 4.36'da görülmektedir. Deneysel çalışmadaki kesme şartlarında yapılan her bir deneyde yüzey pürüzlülük çalışması olarak dört ölçüm yapılmış ve her ölçümün ortalama değeri hesaplanmıştır. Deneysel verilerin tamamı ve grafikler incelendiğinde, seramik kesicilerle yapılan deneylerde, karbür kesici uçlarla yapılan deneylerde oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin aksine, kesici takım yanaşma açısının değeri 45° 'den 88° 'ye doğru arttıkça yüzey pürüzlülük değeri de artmıştır. Yanaşma açısının değeri arttıkça kesicinin iş parçasına temas noktası yan yüzeylerden kesici takımın uç noktasına doğru kaymaktadır. Seramik kesici uçlarla yapılan kesme kuvvetleri ve aşınma deneylerinde uçlarda 75° ve 88° yanaşma açıları başarılı sonuçlar alınamamış ve deneyler tekrarlanmak zorunda kalmıştır. Kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri sırasında da bu giriş açıları kesici uçlarda kırılmalar ve çatlamlar olduğu için kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri karbür uçların aksi yönde hareket etmiştir. Ancak deneylerin tamamı kıyaslandığında ise elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri karbür kesici uçlarla hem kuru işleme hem de ıslak işleme şartlarında elde edilen değerlerden daha düşük gerçekleşmiştir.

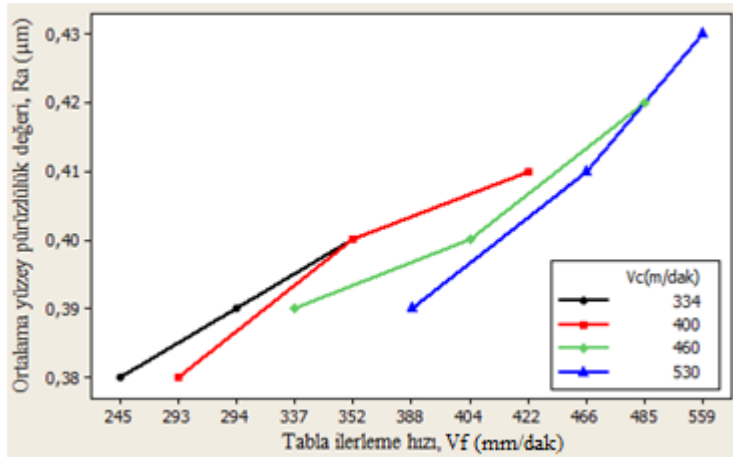


Şekil 4.33. 45° yanaşma açısında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü değişimi

Yüzey pürüzlülük değerlerinin karbür uçlara göre daha iyi gerçekleşmesinde ise seramik kesicilerle yapılan deneylerde kesme hızlarının daha yüksek olmasına bağlanabilir. Deneylerin tamamında yüzey pürüzlülük değerleri birbirine çok yakın değerlerde gerçekleşmiştir. Karbür uçlarda maksimum Ra değeri ile minimum Ra değeri arasında %138 oranında fark varken seramik kesici uçlarda bu fark %80 olarak elde edilmiştir.

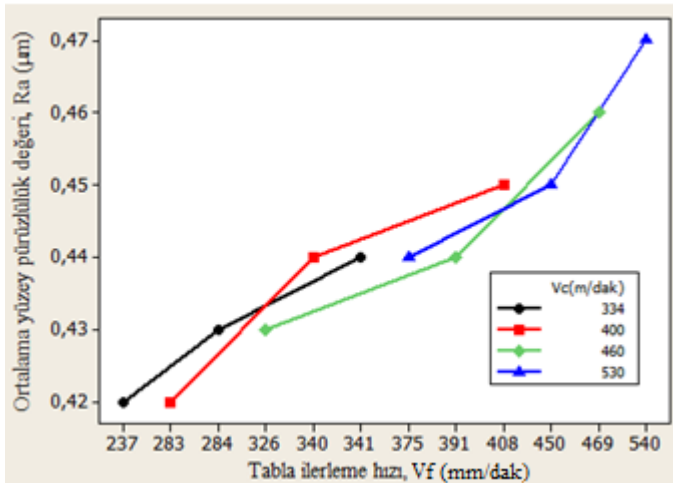


Şekil 4.34. 60° yanaşma açısında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü değişimi



Şekil 4.35. 75° yanaşma açısında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü değişimi

En yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri 88° yanaşma açısında, $V_c=530$ m/dak kesme hızında ve $V_f=540$ mm/dak ilerleme hızında $R_a=0,47$ µm olarak elde edilmiştir. En iyi yüzey pürüzlülüğü değeri ise 45° yanaşma açısında $V_c=334$ m/dak kesme hızında $V_f=334$ mm/dak ilerleme hızında $R_a=0,26$ µm olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.36. 88° yanaşma açısında tabla ilerlemesi ve kesme hızına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülüğü değişimi

İş parçası yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme miktarının etkisi grafiklerde görülmektedir. Kullanılan tüm kesici takım malzemeleri ve soğutma yöntemleri için ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. İlerleme miktarının artması yüksek ilerleme kuvvetine, düşük kayma açısına ve kaldırılan talaş hacminin artmasına neden olmaktadır [Şahin, 2000]. Bu durum yüzey

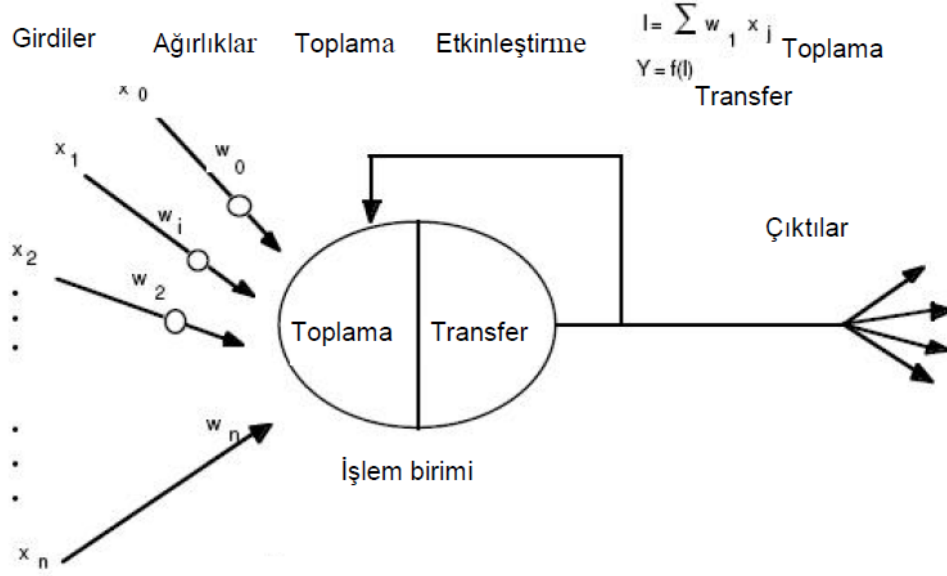
pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemektedir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda da, ilerleme miktarı arttıkça kesme kuvvetleri ve buna bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü artmıştır [Lalwani, 2008]. Dolayısıyla, yüzey kalitesini iyileştirmek için ilerleme değerinin azaltılması gerekmektedir. Kesme hızındaki artışa bağlı olarak, yüzey kalitesindeki iyileşme, beklenen bir özellik olup yüzey kalitesini iyileştirmek için kesme hızının arttırılması literatürdeki en yaygın yöntemdir [Gökkaya, 2004]. Deneysel çalışmamız sonucu elde edilen değerler literatüre paralel olarak gerçekleşmiştir.

5. DENEYSEL SONUÇLARIN YAPAY SİNİR AĞLARI VE REGRESYON ANALİZİ İLE YORUMLANMASI

Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Bu yetenekleri geleneksel programlama yöntemleri ile gerçekleştirmek oldukça zordur veya mümkün değildir. O nedenle, yapay sinir ağları bilim dalının, programlanması çok zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bir bilgisayar bilim dalı olduğu söylenebilir. Yapay sinir ağları, olayların örneklerine bakmakta, onlardan ilgili olay hakkında genellemeler yapmakta, bilgiler toplamakta ve daha sonra hiç görmediği örnekler ile karışılışınca öğrendiği bilgileri kullanarak o örnekler hakkında karar verebilmektedir. Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyni çalışma sisteminin yapay yolla taklidi sonucu tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, insan beyni veya merkezi sinir sistemi çalışma prensibini esas alan bir bilgi işleme sistemidir. Örneklerle olaylar arası ilişkileri öğrenme, karar ve sonuç bulmanın yapay modelleme temeline dayalı ve paralel çalışan bir bilgi işleme sistemidir [Forest, 1993; Martin, 2002]. YSA, eğitilme veya öğrenme yeteneğine sahiptir. Ayrıca ezberleme ve bilgiler arası ilişki kurma özelliği de taşır. Farklı YSA modelleri arası küçük farklılıklar olsa da genelde; girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, etkinleştirme fonksiyonu ve çıktılar şeklinde beş bileşen içerirler (Şekil 5.1). Burada girdiler, diğer hücreler veya dış ortamdan rastgele gelen bilgileri kapsar. Bilgiler, bağlantıya ait ağırlıklar vasıtası ile hücrelere geçer. Ağırlık değerine bağlı olarak etki artar veya azalır. Toplama fonksiyonu, bir hücreye gelen girdiyi hesaplama fonksiyonudur. Etkinleştirme fonksiyonu, toplama fonksiyonundan belirlenen girdiyi işleme tabi tutar ve hücre çıktısını saptar [Fausett, 1994]. Çıktılar, etkinleştirme fonksiyon çıktılarını bir sonraki işlem elemanına veya dışarıya gönderir [Negnevitsky, 2005].

Öğrenme kabiliyeti ve değişik algoritmalar kullanabilme, YSA'nın önemli avantajıdır. Buna karşın, çalışma analizi yapılamaması ve öğrenmede başarısızlık riski sakıncalar arasındadır. YSA'nın diğer üstün yanları; kural formatlı bilgi

gerektirmeme, yeni problemler çözebilme, hızlı çalışma, matematik model gerektirmeme, şeklinde sıralanabilir. Zayıf yanları ise; zor ve zaman alıcı eğitim süreci, yorum yapamama, farklı sistemlerde uygulama gücüğü şeklinde belirtilebilir [Sağıroğlu, 2003].



Şekil 5.1. Basit bir yapay sinir hücresi şekli [Spall, 1997].

Bu çalışmada; kullanımının ve uygulamalarının yaygın olması sebebiyle geriye yayımlı, çok katmanlı YSA modeli esas alınmış Levenberg - Marquardt algoritması kullanılmıştır. Oldukça başarılı bir optimizasyon metodu olan Levenberg - Marguardt (LM) Öğrenme Algoritması, öğrenmede kullanılan geri yayılım algoritmasının farklı öğrenme tekniklerinden biridir. Çok sayıda komşuluk fikri üzerine dayanan LM algoritması, en küçük kareler yaklaşımı metodudur. LM algoritmasının en önemli avantajlarından biri, hızlı yakınsama özelliğidir.

Bir modelleme işleminin başarısı, geliştirilen modelin temsil ettiği gerçek sistemin belirli bir giriş işaretine karşılık ürettiği çıkış ile modelin aynı girişe karşılık ürettiği çıkış arasındaki farkın (*hata*) esas alındığı çeşitli tanımlamalara göre belirlenmektedir [Taş, 2009]. Deneysel çalışmada geliştirilen YSA modelinin tahmin performansı farklı analiz yöntemleri uygulanarak belirlenmiştir. Bu yöntemler

sırasıyla; (5.1) nolu eşitlik ile verilen belirleme katsayısı (R^2) ve (5.2) nolu eşitlik ile verilen ortalama karesel hatanın karekökünün (RMSE) alınması suretiyle bulunan hatadır. RMSE değerleri hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki sapmayı göstererek korelasyonların performansı hakkında bilgi verir. Oluşturulan modellerin performansını kıyaslamak amacıyla kullanılan bir diğer yöntem ise, ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) performans kriteridir. Bir çok performans ölçütü tanımlanmasına karşın MAPE'nin tercih edilmesinin nedeni, veri setinin ölçek büyüklüğünden bağımsız olarak 0-100 aralığında kolayca karşılaştırılabilir küçük değerler üretmesidir [Chen, 2009]. MAPE değeri ne kadar küçük olursa elde edilen tahmin değerleri gerçek değerlere o oranda yaklaşıacaktır. MAPE değeri (5.3) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum (VB_i - VB_{ANN,i})^2}{\sum (VB_{ANN,i})^2} \right) \quad (5.1)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |VB_{ANN,i} - VB_i|^2 \right)} \quad (5.2)$$

$$MAPE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{VB_{ANN} - VB}{VB_{ANN}} \right| \times 100 \right)} \quad (5.3)$$

Pythia yazılımı, transfer fonksiyonu olarak Fermi fonksiyonunu kullanarak eğitim yapmaktadır. Fermi transfer fonksiyonu eşitlik (5.4) ile hesaplanabilmektedir.

$$N_{(z)} = \frac{1}{1 + e^{-4(z-0.5)}} \quad (5.4)$$

Regresyon analiz yöntemi takım ömrü modelini elde etmede kullanılan en yaygın yöntemlerden birisidir. Birçok araştırmacı bu yöntemi başarılı bir şekilde kullanmıştır. Regresyon katsayısını deneysel veriler kullanılarak tahmin edilir. Taylor tarafından geliştirilen eşitliğe göre takım ömrü, kesme şartlarına bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$V_c T^n = C \quad (5.5)$$

$$C = V_c T^n \times d^x f^y \quad (5.6)$$

V_c Kesme hızı, T takım ömrü, d kesme derinliği f ilerleme hızı, x ve y deneysel olarak belirlenmiş katsayı, n ve C ise sabit sayılardır. Taylorun geliştirmiş olduğu bu matematiksel modele (5.5 nolu eşitlik) daha sonraları araştırmacılar tarafından talaş derinliği ilerleme ve sıcaklık gibi etkenler de ilave edilerek genişletilmiştir. Yaptığımız deneysel çalışma ve varyans analizlerinde elde ettiğimiz sonuçlara göre frezeleme işleminde, yüzey frezeleme işleminde yavaşma açısının takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen verilerin tamamı hem yapay sinir ağları ile hem de regresyon analizi ile modellenerek iki adet tahmin modeli geliştirilmiş, varyans analizi (ANOVA) ile yorumlaması yapılarak tahmin modellerinin kıyaslaması yapılmıştır.

5.1. Kesici Takım Aşınmasının YSA İle Modellenmesi

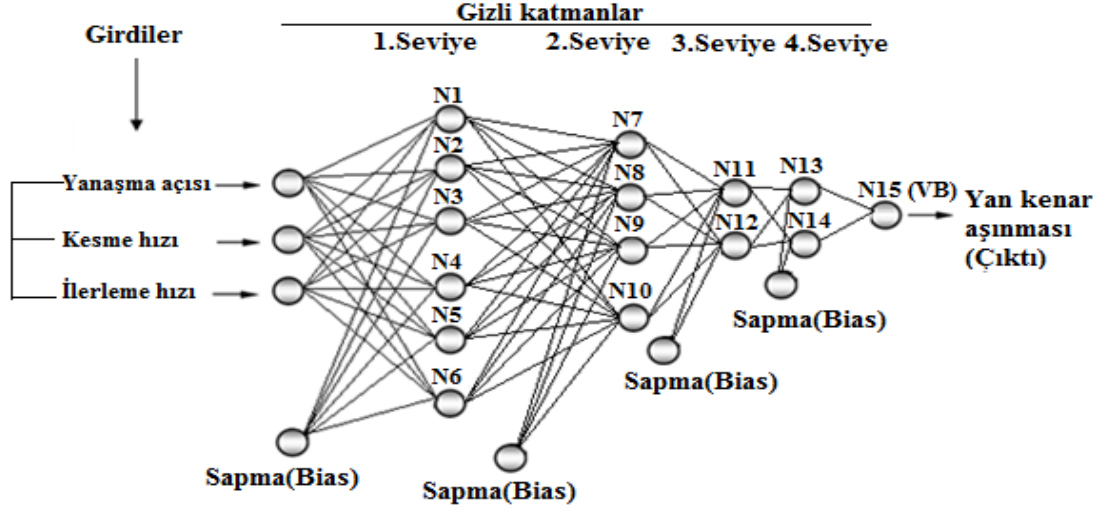
Vermiküler grafitli dökme demirin karbür kesici uçlarla farklı yavaşma açıları, kesme hızları ve ilerleme hızlarında işlenmesi ile elde edilen deneysel sonuçlar Excel dosya formatında kaydedilmiştir. Daha sonra bu sonuçlar, Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanan Pythia yazılımı eğitiminde kullanılmış ve bir ağ yapısı belirlenmiştir. Arkasından bu ağ yapısı Excel ortamında test edilmiştir ve yüksek öğrenme / düşük sapma oranı elde edilmiştir. Karbür kesici uçlar kullanılarak toplam 36 adet aşınma deneyi yapılmış ve bu deneylerin tamamı Pythia yazılımında YSA eğitimi için kullanılmıştır. Arkasından bu çözümler eğitilerek en uygun ağ yapıları, farklı döngü ve nöron sayılarıyla araştırılmıştır. Program içinde, en uygun ağ yapılarını bulma işlemi, otomatik veya elle yapabilmektedir. Bu çalışmada; önce programa otomatik optimizasyon yaptırılmış ve en düşük sapma değerine sahip bir ağ yapısı seçilmiştir. Bu ağ yapısı, programın döngü (iterasyon) sayısı ve öğrenme oranları değiştirilerek en uygun (en küçük) sapma değerine kadar eğitilmiştir. Bu işlemler sonucu 4 katman ve 15 nöronlu oluşan bir ağ yapısı seçilmiştir. YSA eğitimi yapılırken; ilk girdi

değerleri (I_1 , I_2 ve I_3) program tarafından normalize edilerek işleme girer. Dolayısı ile sonuç değerleri de, ağ yapısından normalize edilmiş şekilde elde edilir. Normalize işlemi, fazla döngü ve büyük sayılarla kullanıldığında işlemin yavaş veya yapılamaz olmasını önler. Böylece kullanılacak sayılar 0 ve 1 değer aralığında seçilerek işlem hızı artırılır. Test aşamasına geçmeden önce bulunan ağ yapısının sonuçları ile gerçek sonuç değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 5.1’de deneyde kullanılan kesme değerlerinin maksimum ve minimum değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. YSA program girdileri için sınır değerleri

Girdiler			
	Yanaşma açısı (κ_r), derece	Kesme hızı (V_c), m/dak	Tabla ilerleme hızı (V_f), mm/dak
V_{max}	88	290	995
V_{min}	45	215	348

Aşınma oranının (VB) çıkış değerini tahmin edebilmek için, çok katmanlı ileri beslemeli ağ yapısı kullanılmıştır. İleri beslemeli ağ yapılarında hücreler katmanlar şeklinde düzenlenmekte ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilmektedir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta (gizli) katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Şekil 5.2’de deneysel çalışmamızda kullanılan 15 nöronlu LM algoritmasındaki YSA ağ yapısı görülmektedir. YSA sonucu elde edilen modelin doğruluğunu test etmek için 8 adet deney daha yapılarak elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.



Şekil 5.2. Karbür kesici takım aşınması tahmini için 15 nöronlu YSA yapısı

Bu ağ yapısını test etmek ve bu deneysel çalışmaya ait matematiksel formülü elde etmek için öncelikle çıktı nöronunun (N15) formüle edilmesi gerekmektedir. 15 Nöronlu LM algoritması ile vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesi ile elde edilen ve yan kenar aşınmasının tahmininde kullanılan matematiksel formül (5.7) nolu eşitlikte verilmektedir. Bu eşitlik, yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerini kullanarak vermiküler grafitli dökme demirin işlendiğinde oluşacak yan kenar aşınmasının tahmininde kullanılabilir.

$$N_{15}(VB) = \frac{1}{1+e^{-4(-1,522117*N_{13}+1,512718*N_{14}-0,5)}} \quad (5.7)$$

Her bir giriş değeri bağlantılı olduğu ağırlık değerleri ile çarpılıyor. Ağırlıklı giriş değerleri doğrusal olarak ekleniyor ve çıkış değerine dönüşüyor. Bu çıkış değerleri de Şekil 5.2’de görüldüğü gibi diğer nöronlar için giriş değerleri olarak kullanılmaktadır.

$$N_{(i)} = \frac{1}{1+e^{-4*(E_i-0,5)}} \quad (5.8)$$

$N1-N5$ nöronlar için E_i değeri (5.9) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. YSA ağ yapısından elde edilen sabitler Çizelge 5.2’de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} * V_c + w_{2i} * \kappa_r + w_{3i} * V_f \quad (5.9)$$

Çizelge 5.2. 1-6 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.5.9’da kullanılan sabitler

i	Sabitler		
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}
1	-0,628341	1,428712	-0,199413
2	0,508838	-0,461154	0,820906
3	-0,264352	-0,556014	0,176622
4	-0,714426	-0,350457	0,464586
5	-1,454960	1,374410	-0,315752
6	-0,222364	-0,939458	0,317280

$N7-N10$ arası nöronlar için E_i değeri (5.10) nolu eşitlik kullanılarak, $N11-N12$ arası nöronlar için E_i değeri (5.11) nolu eşitlik kullanılarak, $N13-N14$ arası nöronlar için E_i değeri (5.12) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sabitler sırasıyla Çizelge 5.3, 5.4 ve 5.5’de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} * N_1 + w_{2i} * N_2 + w_{3i} * N_3 + w_{4i} * N_4 + w_{5i} * N_5 + w_{6i} * N_6 \quad (5.10)$$

Çizelge 5.3. 7-10 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.10’da kullanılan sabitler

i	Sabitler					
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}	w_{4i}	w_{5i}	w_{6i}
7	0,919471	-0,155158	-0,925898	-1,178296	-0,310877	-1,120616
8	-0,269901	1,077365	-1,617829	-0,962827	-1,192473	-1,711635
9	-0,791579	-1,184605	1,976912	0,000275	0,948232	1,701282
10	-0,819206	0,251331	-0,465790	-0,057604	-0,563909	0,010288

$$E_i = w_{1i} * N_7 + w_{2i} * N_8 + w_{3i} * N_9 + w_{4i} * N_{10} \quad (5.11)$$

$$E_i = w_{1i} * N_{11} + w_{2i} * N_{12} \quad (5.12)$$

Çizelge 5.4. 11-12 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.11’de kullanılan sabitler

<i>i</i>	Sabitler			
	W_{1i}	W_{2i}	W_{3i}	W_{4i}
11	1,726836	0,494352	-0,773293	-0,185145
12	1,247775	-1,740483	1,760649	-0,312200

Çizelge 5.5. 13-14 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.12’de kullanılan sabitler

<i>i</i>	Sabitler	
	W_{1i}	W_{2i}
13	-1,941718	1,156224
14	0,987498	-0,813027

Giriş ve çıkış katmanları (-1,1) veya (0,1) aralığında normalize edilmiştir.

$$V_N = \frac{V_R - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (5.13)$$

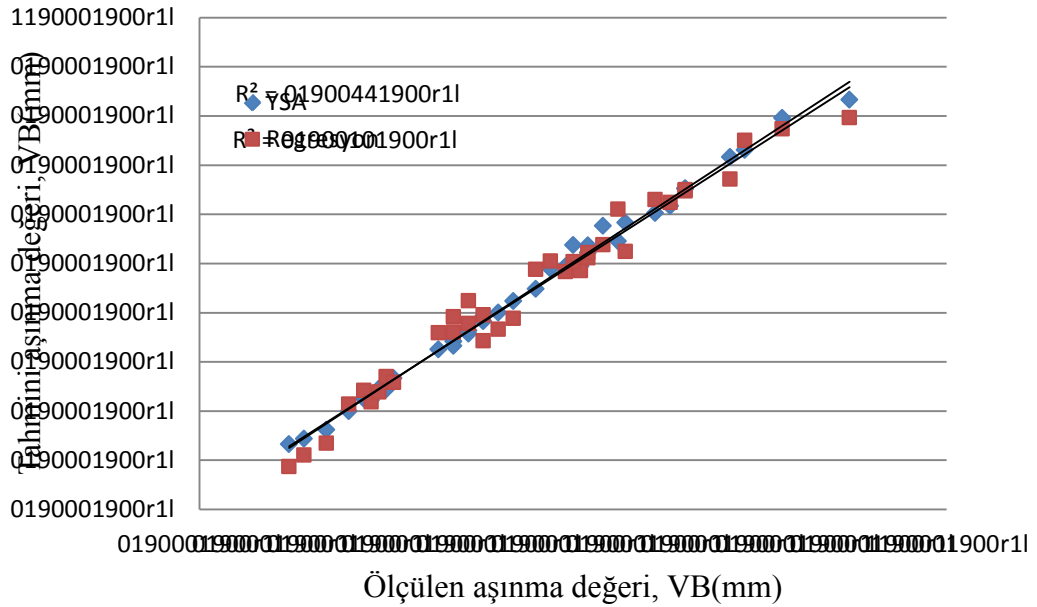
5.2. Kesici Takım Aşınmasının Regresyon Analizi İle Modellenmesi

Karbür kesici uçlar kullanılarak toplam 36 adet aşınma deneyi yapılmış ve bu deneysel veriler Minitab yazılımında regresyon analizinde kullanılmıştır. Takım ömrü denklemleri, 500 cm³ sabit talaş hacminde 2,5 mm talaş kaldırarak kontrol faktörlerinin seviyelerine bağlı olarak yavaşma açısı (Kr), kesme hızı (Vc) ve maksimum talaş kalınlığı (hex) esas alınarak oluşturulmuştur. Sadece kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan birinci dereceden denklem;

$$VB = -1,14369 + 0,00997637 \times \kappa_r + 0,00318761 \times V_c + 0,000195358 \times V_f \quad (5.14)$$

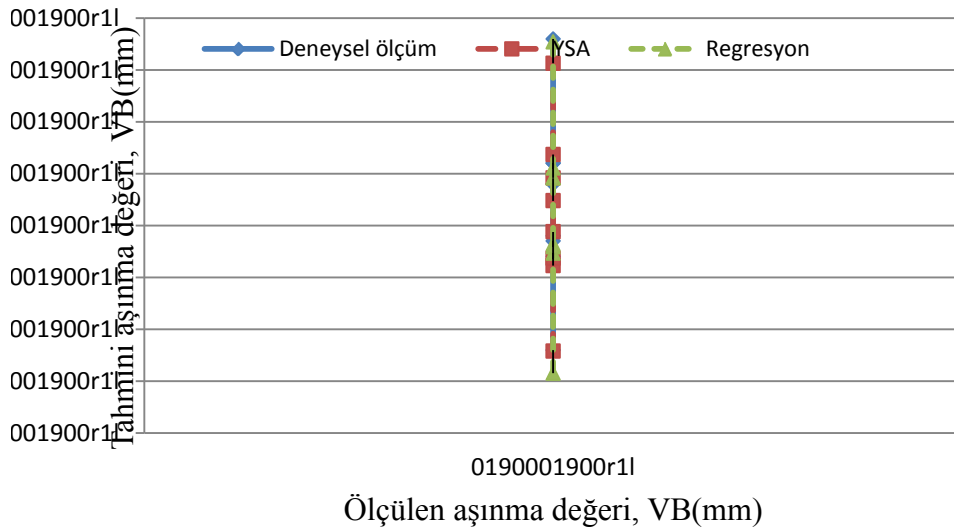
Olarak elde edilmiştir. Elde edilen birinci dereceden denklemin belirleme katsayısı R²= 0,9737 olarak hesaplanmıştır. %95 güvenirlilik düzeyinde gerçekleşen birinci dereceden denklem aşınma modeli tahmininde kullanılmıştır. Ayrıca faktör etkileşimlerinin de yer aldığı denklem ile varyans analizi yapılmış sadece bir faktörün anlamlı olduğu görüldüğü için birinci dereceden denklemin kullanılmasına

karar verilmiştir. %95 güvenilirlik seviyesinde birinci derece denklemle elde edilen tahminsel takım ömrü değerleri, YSA sonucu elde edilen tahminsel takım ömrü değerleri ve deneysel çalışma sonucunda elde edilen deneysel takım ömrü sonuçlarının kıyaslaması Şekil 5.3’de görülmektedir. Daha sonra kontrol faktörlerinden yanaşma açısı, kesme hızı ve maksimum talaş kalınlığı esas deney seviyelerinin arasında yer alan değerler seçilerek 8 adet ara değer doğrulama deneyleri yapılmıştır. Ara değer doğrulama deney sonuçları ile YSA ve regresyon analizi sonucu elde edilen sonuçların kıyaslaması Şekil 5.4’de görülmektedir. Deneysel çalışmada VB bağımlı değişken, yanaşma açısı, kesme hızı ve maksimum talaş kalınlığı ise bağımsız değişkenler olarak tanımlanmıştır. Tahmin sonucu elde edilen sonuçlar deneysel çalışma sonucu elde edilen değerlere oldukça yakın çıkmıştır (Şekil 5.4). Tahmin modelinin oluşturulmasında kullanılan deneysel veriler ile YSA sonucu elde edilen veriler arasındaki korelasyon değeri R^2 %99,4 oranında gerçekleşmiştir. Regresyon analizi ile deneysel veriler arasındaki korelasyon değeri ise R^2 %97,3 oranında gerçekleşmiştir.



Şekil 5.3. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması

YSA ve regresyon analizi ile oluşturulan tahminel modeller sonucunda ara değer doğrulama ve kontrol deneylerinin kıyaslaması yapılmıştır. Tahmin modelleri %98 ve %99 doğruluk oranında deneysel sonuçlara yaklaşmıştır. Hem YSA hem de regresyon analizi ile elde edilen matematiksel eşitlikten görüleceği üzere kesici takım aşınması VB, yanaşma açısı, kesme hızı ve maksimum talaş derinliğine bağlı olarak artmıştır. Çizelge 5.6'da takım ömrü için varyans analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede serbestlik derecesi, kareler toplamı, düzeltilmiş kareler toplamı, kareler toplamı ortalaması, F etki katsayıları ve P anlamlılık sütunları görülmektedir. Varyans analizinde kontrol faktörlerinin ana etkileri değerlendirilmiştir.



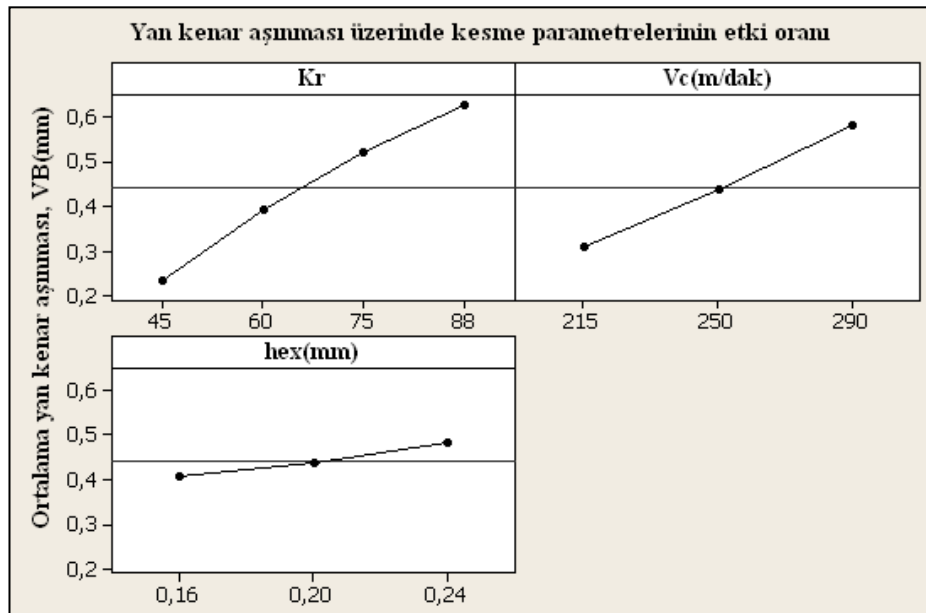
Şekil 5.4. Kontrol deneylerinin YSA ve regresyon modeli ile kıyaslanması

Çizelge 5.6. VB için varyans analizi (ANOVA)

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Düzeltilmiş Kareler Top.	Kareler Ortalaması	F	P
Kr	1	0,76143	1,22400	0,582931	395,244	0,0000000
Vc	1	0,44845	0,58293	0,229666	564,707	0,0000000
Vf	1	0,01412	0,01412	0,014119	222,486	0,0008105
Hata	32	0,03303	0,03303	0,001032	13,678	
Toplam	35	1,25703				

Varyans analizinde kontrol faktörlerinin ana etkileri değerlendirilmiştir. Değişken faktörler ve bu değişkenlerin etkileşimleri dikkate alınarak yapılan ikinci dereceden

çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen aşınma modeli ile yapılan varyans analizinde, P anlamlılık değerine göre, ikinci dereceden denklemde aşınma modelini etkileyen değişkenler arasında, sadece $K_r \cdot V_c$ katsayısının %95 güven aralığında anlamlı olduğu ($p < 0,05$) görülmüştür. Bu nedenle, tahmin modelinde birinci dereceden denklemin daha etkili olduğu görülmüş ve varyans analizi değerlendirmesi değişken faktörlere bağlı olarak yapılmıştır. Çizelge 5.6’da görüldüğü gibi takım aşınması üzerinde tüm kontrol faktörlerinin %2’den fazla etkiye sahip olduğu görülmektedir. Takım aşınması üzerinde kontrol faktörlerinin etkisi sırasıyla; yanaşma açısı (K_r) %60,57, kesme hızı (V_c) %35,67, ilerleme hızı (V_f) %1,12 ve hata %2,62 şeklinde olmuştur. Varyans analizi incelendiğinde; kesici takım aşınması üzerinde en büyük etkiye yanaşma açısının, maksimum talaş kalınlığı bu değere bağlı olarak ilerleme hızının ise en az etkiye sahip olduğu görülmüştür (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. VGDD işlenmesinde kaplamalı karbür kesici uç yan kenar aşınması üzerinde kesme parametrelerinin etkisi

Küçük yanaşma açılarında ve düşük kesme hızlarında daha yüksek takım ömrü elde edilmekte iken yanaşma açısının ve kesme hızının artırılması takım ömrünü düşürmüştür. İlerleme hızının kesici takım aşınması üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Deneysel çalışmalardan elde edilen verilerle, YSA ve regresyon analizi sonucu geliştirilen matematiksel modellerin performansları çeşitli

hata kontrol yöntemleri ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucu elde edilen değerler Çizelge 5.7’de görülmektedir. R^2 değeri her iki modelde %99 olarak elde edilirken ortalama mutlak hata (MAPE) YSA da %2,32; regresyon modelinde ise %6,96 olarak elde edilmiştir. Ortalama Karesel Hata Karekökü (RMSE) ise YSA sonucu elde edilen modelde %1,35 regresyon modelinde ise %3,02 olarak hesaplanmıştır. MAPE ve RMSE değeri ne kadar küçükse; gözlenen değerle beklenen değer arasındaki sapma da o oranda küçük gerçekleşecektir.

Çizelge 5.7. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması

Ölçüm Performansı	YSA	Regresyon değerleri
R^2	0,999974	0,999869
MAPE	0,023235	0,069633
RMSE	0,013534	0,030287

Ortalama Karesel Hata Karekökü (RMSE), ölçme değerleri ile model tahminleri arasındaki hata oranını belirlemek amacıyla kullanılmakta ve RMSE değerinin sıfıra yaklaşması modelin tahmin kabiliyetinin artması anlamına gelmektedir [Singh, 2009]. Elde edilen sonuçlar, YSA algoritmasının girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi iyi bir şekilde tanımladığını ve çıktı değişkeninin yüksek doğrulukla tahmin edildiğini ortaya koymaktadır.

5.3. Seramik Kesici Uçlarda Kesici Takım Aşınmasının YSA İle Modellenmesi

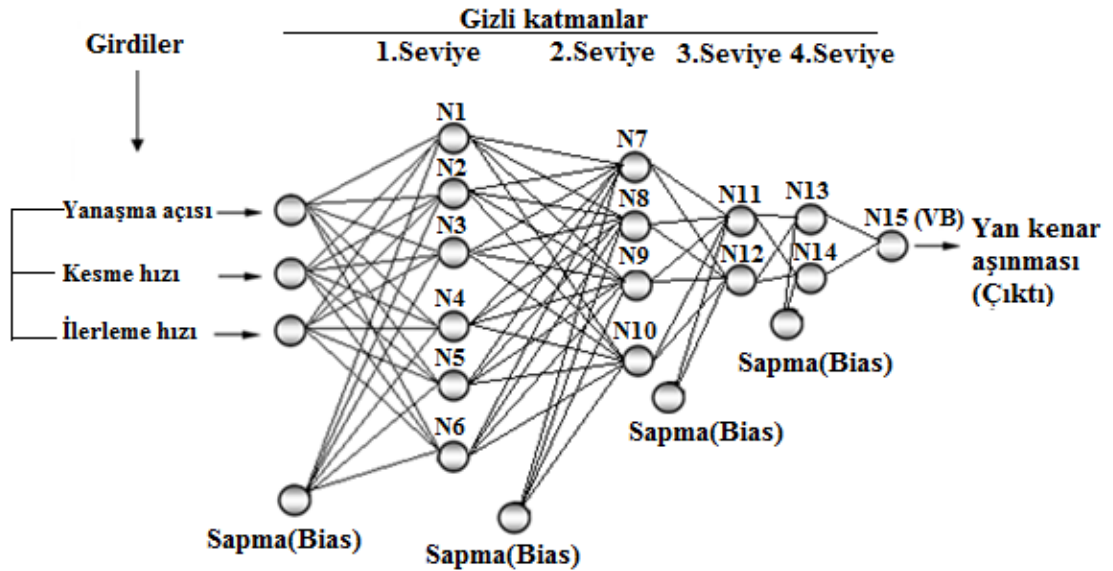
Seramik kesici uçlar kullanılarak toplam 36 adet deney yapılmıştır. Bu deneylerin tamamı Pythia yazılımında YSA eğitimi için kullanılmıştır. Daha sonra modelin doğruluğunu test etmek için 8 adet ilave deney yapılmıştır. Deney sonuçları yazılıma aktarıldıktan sonra eğitilerek en uygun ağ yapıları, farklı döngü ve nöron sayılarıyla araştırılmıştır. Bu çalışmada öncelikle, programa otomatik optimizasyon yaptırılmış ve en düşük sapma değerine sahip bir ağ yapısı seçilmiştir. Bu ağ yapısında, programın döngü sayısı ve öğrenme oranları değiştirilerek en uygun sapma değerine kadar eğitilmiştir. Bu işlemler sonucu 4 gizli katman ve 15 nörondan oluşan bir ağ yapısı seçilmiştir. Çizelge 5.8’de deneyde kullanılan kesme değerlerinin maksimum ve minimum değerleri verilmiştir. Ölçülen aşınma değeri ile YSA sonucu tahmin

dilen aşınma değerleri arasındaki sapma oranında çok belirgin bir hata olmadığı görülmüş ve test aşamasına geçilmiştir.

Çizelge 5.8. YSA Program girdileri için sınır değerleri

Girdiler			
	Yanaşma açısı (κ_r)	Kesme hızı (Vc)	Tabla ilerleme hızı (Vf)
En büyük	88	530	764
En küçük	45	400	283

Aşınma oranının (VB) çıkış değerini tahmin edebilmek için, deneysel sonuçlar çok katmanlı ileri beslemeli ağ yapısı kullanılmıştır. İleri beslemeli ağ yapılarında hücreler katmanlar şeklinde düzenlenmekte ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilmektedir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta (gizli) katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Şekil 5.6'da yapılan bu deneysel çalışmada kullanılan 15 nöronlu LM algoritmasındaki YSA ağ yapısı görülmektedir.



Şekil 5.6. Seramik kesici takım aşınması tahmini için 15 nöronlu YSA yapısı

Bu ağ yapısını test etmek ve bu deneysel çalışmaya ait matematiksel formülü elde etmek için öncelikle çıktı nöronunun (N15) formüle edilmesi gerekmektedir. 15

Nöronlu LM algoritması ile vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesi ile elde edilen ve yan kenar aşınmasının tahmininde kullanılan matematiksel formül (5.15) nolu eşitlikte verilmektedir. Bu eşitlik, yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerine bağlı kalarak, Seramik kesici uç ile vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesinde oluşacak yan kenar aşınmasının tahmininde kullanılabilir.

$$N_{15(VB)} = \frac{1}{1+e^{-4(2,68484*N_{13}-2,264778*N_{14}-0,5)}} \quad (5.15)$$

Her bir giriş değeri bağlantılı olduğu ağırlık değerleri ile çarpılıyor. Ağırlıklı giriş değerleri doğrusal olarak ekleniyor ve çıkış değerine dönüşüyor. Bu çıkış değerleri de Şekil 5.6'da görüldüğü gibi diğer nöronlar için giriş değerleri olarak kullanılmaktadır.

$$N_{(i)} = \frac{1}{1+e^{-4*(E_i-0,5)}} \quad (5.16)$$

$N1-N6$ arasındaki nöronlar için E_i değeri (5.17) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte i nöron numaralarını temsil etmektedir. Elde edilen sabitler Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. 1-6 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.5.17'de kullanılan sabitler

i	Sabitler		
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}
1	0,722765	0,057003	-0,218459
2	0,051442	-0,162736	-0,416983
3	-0,319189	-0,096655	1,327603
4	-0,346647	0,132961	-0,092823
5	-1,643332	-0,223513	-0,056815
6	0,911424	0,134206	-0,380160

$$E_i = w_{1i} * V_c + w_{2i} * \kappa_r + w_{3i} * V_f \quad (5.17)$$

$N7-N10$ arası nöronlar için E_i değeri (5.18) nolu eşitlik kullanılarak, $N11-N12$ arası nöronlar için E_i değeri (5.19) nolu eşitlik kullanılarak, $N13-N14$ arası nöronlar için E_i değeri (5.20) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sabitler sırasıyla Çizelge 5.10, 5.11 ve 5.12’de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} * N_1 + w_{2i} * N_2 + w_{3i} * N_3 + w_{4i} * N_4 + w_{5i} * N_5 + w_{6i} * N_6 \quad (5.18)$$

$$E_i = w_{1i} * N_7 + w_{2i} * N_8 + w_{3i} * N_9 + w_{4i} * N_{10} \quad (5.19)$$

$$E_i = w_{1i} * N_{11} + w_{2i} * N_{12} \quad (5.20)$$

Çizelge 5.10. 7-10 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.18’de kullanılan sabitler

i	Sabitler					
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}	w_{4i}	w_{5i}	w_{6i}
7	0,218985	-0,626447	0,477632	-1,210188	-1,333063	0,294570
8	0,307321	0,188230	0,059982	0,340966	1,963849	-0,901311
9	0,231298	0,660768	-0,085428	0,146600	-0,829829	-0,201232
10	0,819858	-1,017972	0,182591	-1,351522	-1,057759	-0,019937

Çizelge 5.11. 11-12 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.19’da kullanılan sabitler

i	Sabitler			
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}	w_{4i}
11	-1,792269	1,341304	-0,104920	-0,265596
12	0,423498	-1,946949	-0,268216	0,633974

Çizelge 5.12. 13-14 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.20’de kullanılan sabitler

i	Sabitler	
	w_{1i}	w_{2i}
13	-0,917143	1,072589
14	1,803513	-1,736131

Giriş ve çıkış katmanları (-1,1) veya (0,1) aralığında normalize edilmiştir.

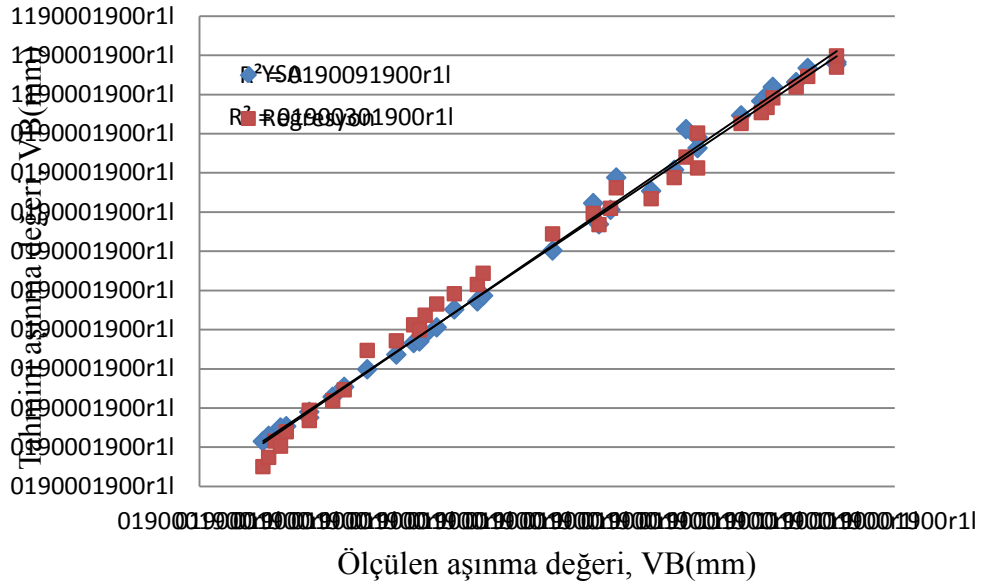
$$V_N = \frac{V_R - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (5.21)$$

5.4. Yan Kenar Aşınmasının Regresyon Analizi İle Modellenmesi

Seramik kesici uçlar kullanılarak toplam 36 adet aşınma deneyi yapılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen veriler Minitab yazılımında regresyon analizinde kullanılmıştır. Takım ömrü denklemleri, 500 cm³ sabit talaş hacminde 2,5 mm talaş kaldırarak kontrol faktörlerinin seviyelerine bağlı olarak yanaşma açısı (K_r), Kesme hızı (V_c) ve maksimum talaş kalınlığı (h_{ex}) esas alınarak oluşturulmuştur. Sadece kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan birinci dereceden denklem;

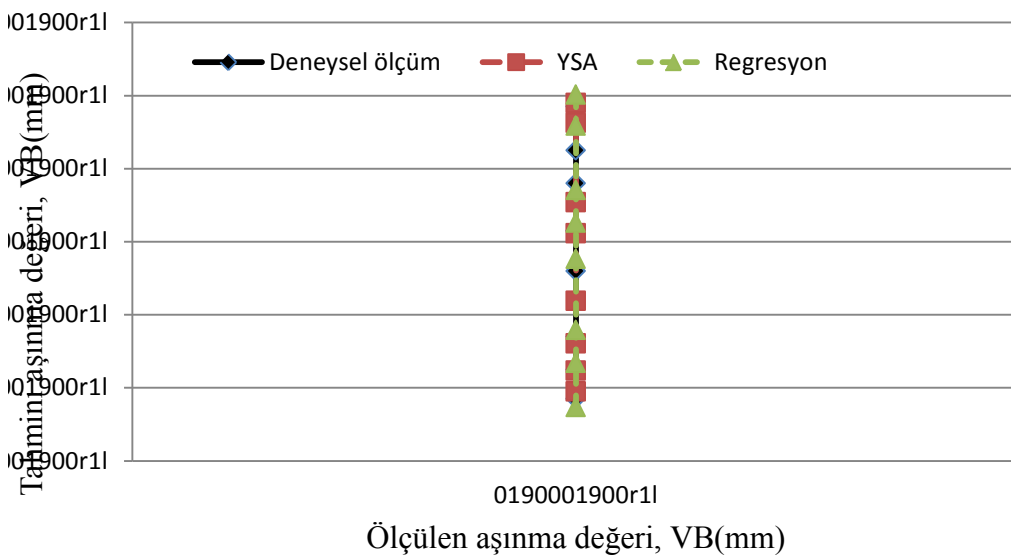
$$VB = -1,33 + 0,0198 \times K_r + 0,000403 \times V_c + 4,68 \times h_{ex} \quad (5.22)$$

Olarak elde edilmiştir. Elde edilen birinci dereceden denklemin belirleme katsayısı $R^2=0,989$ olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle tahminsel takım ömürleri hesabında birinci dereceden denklemin kullanılmasına karar verilmiştir. %95 güvenilirlik seviyesinde birinci derece denklemle elde edilen tahminsel takım ömrü değerleri, YSA sonucu elde edilen tahminsel takım ömrü değerleri ve deneysel çalışma sonucunda elde edilen deneysel takım ömrü sonuçlarının kıyaslaması Şekil 5.7’de görülmektedir. Daha sonra kontrol faktörlerinden yanaşma açısı, kesme hızı ve maksimum talaş kalınlığı esas deney seviyelerinin arasında yer alan değerler seçilerek 8 adet ara değer doğrulama deneyleri yapılmıştır. Ara değer doğrulama deney sonuçları ile YSA ve regresyon analizi sonucu elde edilen sonuçların kıyaslaması Şekil 5.8’de görülmektedir. Deneysel çalışmada VB bağımlı değişken, yanaşma açısı, kesme hızı ve maksimum talaş kalınlığı ise bağımsız değişkenler olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5.7. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması

Hem YSA hem de regresyon analizi sonucu elde edilen matematiksel eşitlikten görüleceği üzere kesici takım aşınması VB, yanaşma açısı, kesme hızı ve maksimum talaş derinliğine bağlı olarak artmıştır. Tahmin sonucu elde edilen değerler, deneysel çalışma sonucu elde edilen değerlere oldukça yakın çıkmıştır (Şekil 5.8).

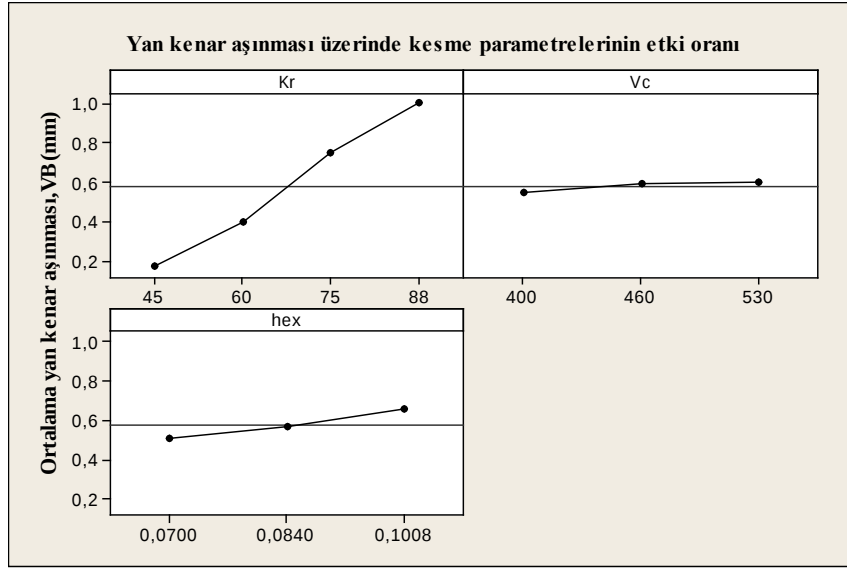


Şekil 5.8. Kontrol deneylerinin YSA ve regresyon modeli ile kıyaslanması

Çizelge 5.13. Seramik kesici aşınması için varyans analizi (ANOVA)

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Düzeltilmiş Kareler Top.	Kareler Ortalaması	F	P
Kr	3	3,67137	3,67137	1,22379	2436,46	0,00
Vc	2	0,01897	0,01897	0,00948	18,88	0,00
hex	2	0,12503	0,12503	0,06252	124,47	0,00
Hata	28	0,01406	0,01406	0,00050		
Toplam	35	3,82943				

Çizelge 5.13’de takım ömrü için varyans analizi sonuçları verilmiştir. Varyans analizinde kontrol faktörlerinin ana etkileri değerlendirilmiştir. Değişken faktörler ve bu değişkenlerin etkileşimleri dikkate alınarak yapılan ikinci dereceden çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen aşınma modeli kullanılarak varyans analizi yapılmıştır. P anlamlılık değerine göre ikinci dereceden denklemde aşınma modelini etkileyen değişkenler arasında sadece $Kr \cdot Vc$ katsayısının %95 güven aralığında anlamlı olduğu ($p < 0,05$) görülmüştür. Bu nedenle tahmin modelinde birinci dereceden denklemin daha etkili olduğu görülmüş ve varyans analizi değerlendirmesi değişken faktörlere bağlı olarak yapılmıştır. Takım aşınması üzerinde yavaşma açısı (Kr) %95,87, maksimum talaş kalınlığı (hex) ve bu değere bağlı olarak oluşan ilerleme hızı %3,67 ve kesme hızı (Vc) %0,495 etkili olmuştur (Şekil 5.9). Varyans analizi incelendiğinde kesici takım aşınması üzerinde en büyük etkiye yavaşma açısının, en az etkiye ise kesme hızının sahip olduğu görülmüştür (Şekil 5.9). Seramik kesici uçlarla yapılan kesme işleminde yavaşma açısının etkisinin %95,87 gibi çok yüksek düzeyde anlamlı bir etkiye sahip olması yavaşma açısının değerinin büyümesiyle kesici uca gelen yük, kesici uç başına gelen ilerleme değerine yaklaşması ile ilgili olabilir. Küçük yavaşma açılarında yük ilerleme ile yavaşma açılarının sinüsünün çarpımına eşittir. 88° ’lik frezelemede talaş kalınlığı ilerleme miktarına eşittir. Bu durumda 45° ’lik yavaşma açısında kesici uca gelen yük 88° ’lik frezelemedeki yükün yaklaşık 0,707 katına, 60° ’lik yavaşma açısında 0,866 katına, 75° ’lik yavaşma açısında ise 0,965 katına eşittir. Seramik kesiciler gibi kırılğan yapıya sahip olan kesici uçlarda yavaşma açısının değerinin küçülmesi ile hem kesici uca gelen yük azalmakta, hem de kesi uç daha geniş yüzeyden kesme işlemi yaparak kırılmaya ve aşınmaya karşı daha dirençli hale gelmektedir.



Şekil 5.9. Seramik kesici uç yan kenar aşınması üzerinde kesme parametrelerinin etkisi

Yanaşma açısının değerinin yükselmesine bağlı olarak ilerleme hızı ve yükün etkisi ile meydana gelen titreşim sonucu kesici ucun burun kısmında kırılmalar ve mikro çatlaklar meydana gelmiştir. Varyans analizinden de görüleceği üzere seramik kesicilerle küçük yanaşma açılarında deneyde kullanılan kesme hızlarından daha yüksek kesme hızlarında çalışılabileceği görülmektedir. Kesme kuvvetleri de dikkate alınarak özellikle 60° 'lik yanaşma açısında seramik kesiciler çok güvenli ve verimli bir şekilde kullanılabilir. Deneysel çalışma sonucu YSA ve regresyon analizi sonucu elde edilen matematiksel modellerin performansları çeşitli hata kontrol yöntemleri ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucu elde edilen değerler Çizelge 5.14'de görülmektedir. R^2 değeri her iki modelde %99 olarak elde edilirken ortalama mutlak hata (MAPE) YSA da %2,19 regresyon modelinde ise %3,28 olarak elde edilmiştir. Ortalama Karesel Hata Karekökü (RMSE) ise YSA sonucu elde edilen modelde %2,7 regresyon modelinde ise %8,47 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.14. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması

Ölçüm Performansı	YSA	Regresyon değerleri
R^2	0,9999606	0,9999113
MAPE	0,0219	0,0328
RMSE	0,0270	0,0847

Elde edilen sonuçlar, YSA algoritmasının girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi iyi bir şekilde tanımladığını ve çıktı değişkeninin yüksek doğrulukla tahmin edildiğini ortaya koymaktadır.

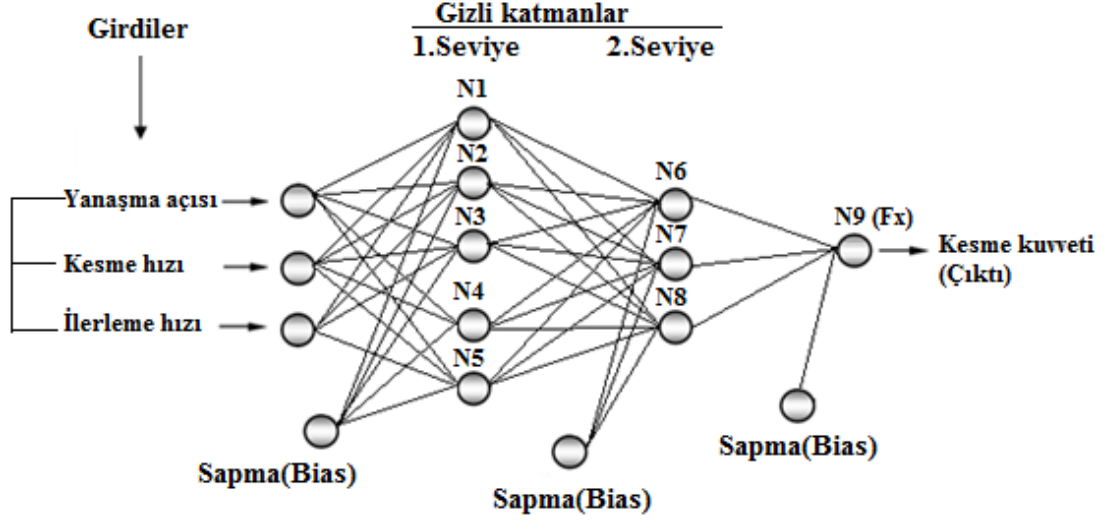
5.5. Karbür Kesici Uçlarda Kesme Kuvvetinin YSA İle Modellenmesi

Karbür kesici uçlarda kesme kuvvetlerinin YSA ile modellenebilmesi için, eğitim ve test amaçlı deneyler belirlendikten sonra, 32 adet deney eğitim, 16 deney ise test amaçlı olarak ayrılmıştır. YSA ile deneysel sonuçlar eğitilerek en uygun ağ yapıları, farklı döngü ve nöron sayılarıyla araştırılmıştır. Öncelikle, programa otomatik optimizasyon yaptırılarak en düşük sapma değerine sahip bir ağ yapısı seçilmiştir. Bu ağ yapısı belirlendikten sonra programın döngü sayısı ve öğrenme oranları değiştirilerek en küçük sapma değerine kadar eğitilmiştir. Bu işlemler sonucu 3 katman ve 9 nöronlu oluşan bir ağ yapısı seçilmiştir. Çizelge 5.15’de normalizasyon için deneyde kullanılan kesme değerlerinin maksimum ve minimum değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.15. YSA program girdileri için sınır değerleri

Girdiler			
	Yanaşma açısı (κ_r)	Kesme hızı (V_c)	Tabla ilerleme hızı (V_f)
En büyük	88	290	995
En küçük	45	180	291

Elde edilen ağ yapısının güvenilirliğini test etmek için bulunan ağ yapısının sonuçları ile gerçek sonuç değerleri karşılaştırılmış ve sapma oranında çok belirgin bir hata olmadığı görülmüştür. Bu aşamadan sonra nöronlardaki ağırlık değerleri Excel ortamına aktarılmış ve bu ağırlık değerleri kullanılarak kesme kuvvetinin modellenmesi için gereken analitik denklem oluşturulmuştur.



Şekil 5.10. 9 nöronlu YSA yapısı

İlerleme yönündeki kesme kuvveti çıkış değerini tahmin edebilmek için, deneysel sonuçlar ile çok katmanlı ileri beslemeli ağ yapısı kullanılmıştır. İleri beslemeli ağ yapılarında hücreler katmanlar şeklinde düzenlenmekte ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilmektedir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta (gizli) katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Şekil 5.10'da deneysel çalışmamızda kullanılan 9 nöronlu LM algoritmasındaki YSA ağ yapısı görülmektedir. Bu ağ yapısını test etmek ve bu deneysel çalışmaya ait matematiksel formülü elde etmek için öncelikle çıktı nöronunun (N9) formüle edilmesi gerekmektedir. Bunun için; 9 Nöronlu LM algoritması ve vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesi ile elde edilen ve ilerleme yönündeki kesme kuvveti tahmininde kullanılan matematiksel formül (5.23) nolu eşitlikte verilmektedir. Bu eşitlik; yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerini kullanarak, vermiküler grafitli dökme demirin işlendiğinde ilerleme yönündeki kesme kuvveti tahmininde kullanılabilir.

$$N_{9(Fx)} = \frac{1}{1 + e^{-4(1,506045 \cdot N_6 + 2,464779 \cdot N_7 - 1,270780 \cdot N_8 - 0,5)}} \quad (5.23)$$

Her bir giriş değeri bağlantılı olduğu ağırlık değerleri ile çarpılıyor. Ağırlıklı giriş değerleri doğrusal olarak ekleniyor ve çıkış değerine dönüşüyor. Bu çıkış değerleri de Şekil 5.10'da görüldüğü gibi diğer nöronlar için giriş değerleri olarak kullanılmaktadır.

$$N_{(i)} = \frac{1}{1+e^{-4*(E_i-0,5)}} \quad (5.24)$$

Çizelge 5.16. 1-5 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.5.25'de kullanılan sabitler

<i>i</i>	Sabitler		
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}
1	-1,065721	0,522264	-0,292896
2	-0,129143	-0,904597	-0,685960
3	-0,290663	-0,732700	1,358160
4	0,321671	0,524056	-1,044147
5	-1,939982	0,843873	0,575755

N1–N5 arasındaki nöronlar için E_i değeri (5.25) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte i nöron numaralarını temsil etmektedir. Elde edilen sabitler Çizelge 5.16'da verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} * V_c + w_{2i} * \kappa_r + w_{3i} * V_f \quad (5.25)$$

N6–N8 arası nöronlar için E_i değeri (5.26) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sabitler Çizelge 5.17'de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} * N_1 + w_{2i} * N_2 + w_{3i} * N_3 + w_{4i} * N_4 + w_{5i} * N_5 \quad (5.26)$$

Çizelge 5.17. 6-8 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.26 kullanılan sabitler

<i>i</i>	Sabitler				
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}	w_{4i}	w_{5i}
6	-1,248395	-0,165368	0,210498	-0,015451	0,741036
7	-0,695100	0,046587	0,729198	-0,035056	-0,208222
8	-0,407417	1,353170	-2,067429	0,868209	-1,431401

Giriş ve çıkış katmanları (-1,1) veya (0,1) aralığında normalize edilmiştir.

$$V_N = \frac{V_R - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (5.27)$$

YSA sonucu elde edilen (5.24) nolu eşitlik ile test amaçlı eğitim dışında tutulan deneysel verilerle kıyaslama yapılmış ve kıyaslama sonucu grafik olarak gösterilmiştir.

5.6. Kesme Kuvvetinin Regresyon Analizi İle Modellenmesi

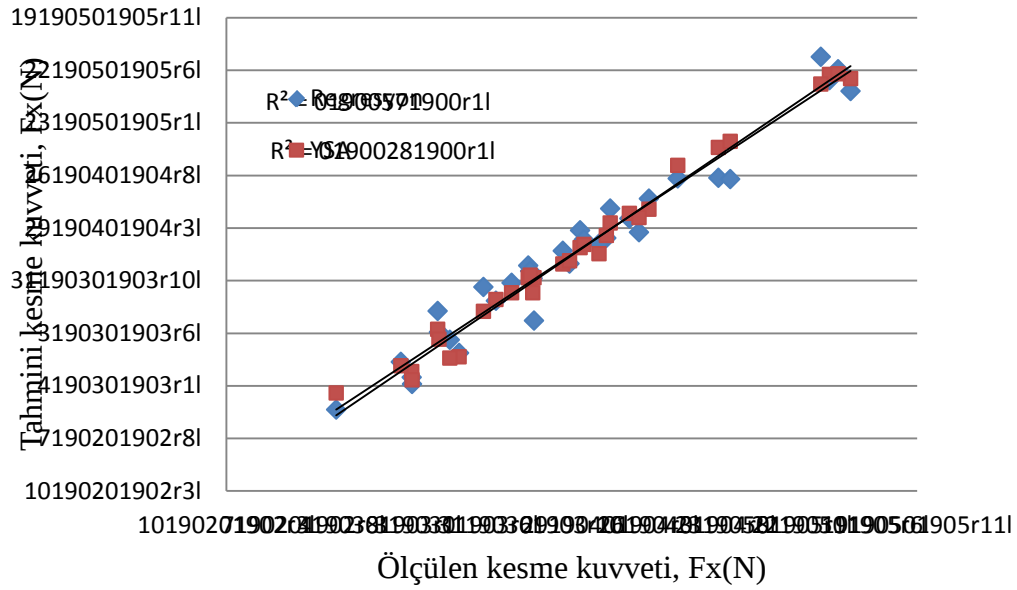
Karbür kesici uçlar kullanılarak toplam 48 adet kesme kuvveti ölçüm deneyi yapılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen verilerden 32 tanesi Minitab yazılımında regresyon analizinde kullanılmıştır. Kesme kuvveti denklemleri, kontrol faktörlerinin seviyelerine bağlı olarak yavaşma açısı (K_r), kesme hızı (V_c) ve maksimum talaş kalınlığı (h_{ex}) parametreleri sonucu oluşan ilerleme kuvveti esas alınarak oluşturulmuştur. Sadece kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan birinci dereceden denklem;

$$Fx = 2012,46 - 5,18078 \times K_r - 4,22 \times V_c + 1,49 \times V_f \quad (5.28)$$

olarak elde edilmiştir. Elde edilen birinci dereceden denklemin belirleme katsayısı $R^2 = 0,962$ olarak hesaplanmıştır. Faktör etkileşimlerinin de yer aldığı denklem;

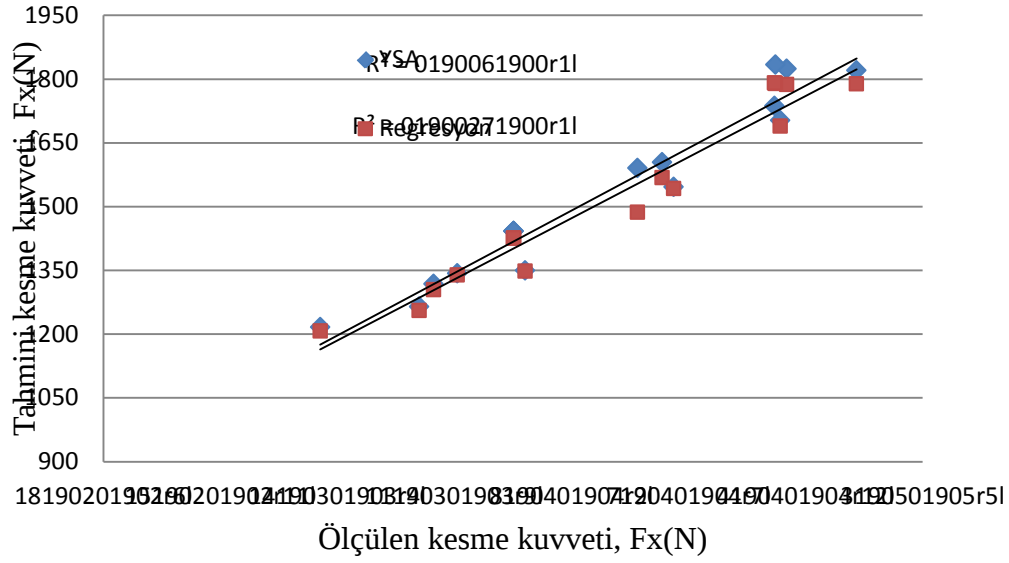
$$\begin{aligned} Fx = & 1649,78 - 23,9533 \times K_r - 0,505374 \times V_c + 6169,51 \times h_{ex} + 0,023366 \times \\ & K_r \times V_c - 0,0203759 \times K_r \times V_f + 0,00215462 \times V_c \times V_f + 0,111784 \times K_r \times \\ & K_r - 0,00282994 \times V_c \times V_c + 0,000089359 \times V_f \times V_f \end{aligned} \quad (5.29)$$

olarak elde edilmiştir. Bu denklemin belirleme katsayısı, $R^2 = 0,979$ bulunmuştur. %95 güvenilirlik seviyesinde birinci derece denklemle elde edilen tahmini takım ömrü değerleri, YSA sonucu elde edilen tahmini takım ömrü değerleri ve deneysel çalışma sonucunda elde edilen deneysel takım ömrü sonuçlarının kıyaslaması Şekil 5.11’de görülmektedir.



Şekil 5.11. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması

Daha sonra kontrol faktörlerinden yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı esas deney seviyelerinin arasında yer alan değerler seçilerek 16 adet ara değer doğrulama deneyleri yapılmıştır. Ara değer doğrulama deney sonuçları ile YSA ve regresyon analizi sonucu elde edilen sonuçların kıyaslaması Şekil 5.12’de görülmektedir. Deneysel çalışmada VB bağımlı değişken, yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı ise bağımsız değişkenler olarak tanımlanmıştır. Hem YSA hem de regresyon analizi sonucu elde edilen matematiksel eşitlikten görüleceği üzere ilerleme yönündeki kesme kuvveti, yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak artmıştır. Tahmin sonucu elde edilen değerler deneysel çalışma sonucu elde edilen değerlere oldukça yakın çıkmıştır.



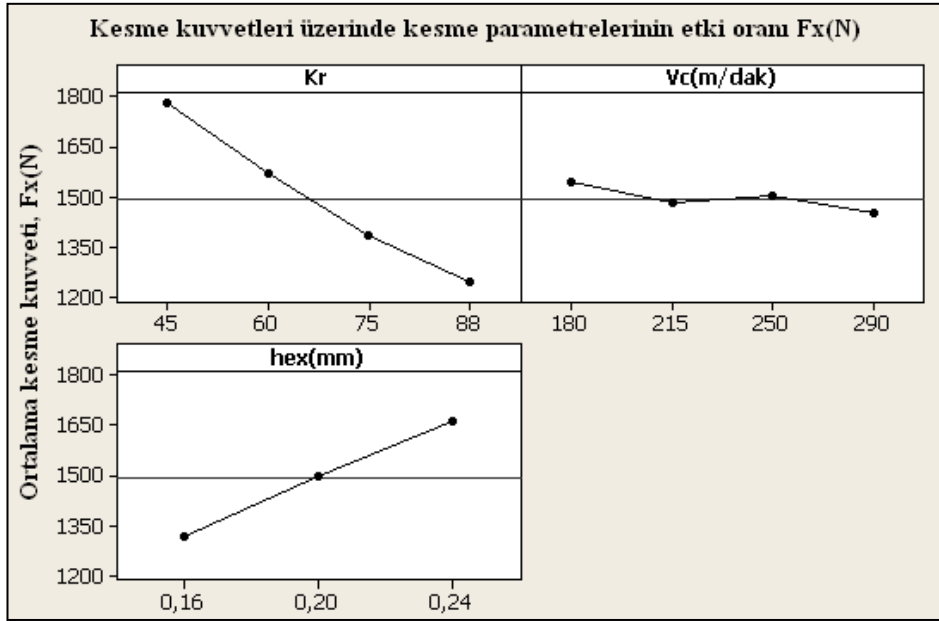
Şekil 5.12. Kontrol deneylerinin YSA ve regresyon modeli ile kıyaslanması

Çizelge 5.18’de ilerleme yönündeki kesme kuvveti için varyans analizi sonuçları verilmiştir. Varyans analizinde kontrol faktörlerinin ana etkileri değerlendirilmiştir. Değişken faktörler ve bu değişkenlerin etkileşimleri dikkate alınarak yapılan ikinci dereceden çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen aşınma modeli ile varyans analizi yapılmıştır. P anlamlılık değerine göre ikinci dereceden denklemde aşınma modelini etkileyen değişkenlerin tamamında, %95 güven aralığında anlamlı olmadığı ($p < 0,05$) görülmüştür. Bu nedenle tahmin modelinde birinci dereceden denklemin daha etkili olduğu görülmüş ve varyans analizi değerlendirmesi değişken faktörlere bağlı olarak yapılmıştır.

Çizelge 5.18. Kesme kuvveti için varyans analizi (ANOVA)

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Kareler Top.	Kareler Ortalaması	F	P
Kr	3	1254030	1233185	411062	134,69	0,000
Vc	2	38429	35995	11998	3,93	0,021
Vf	2	901666	901666	450833	147,72	0,000
Hata	28	73247	73247	3052		
Toplam	35	2267372				

Takım aşınması üzerinde kontrol faktörlerinin etkisi sırasıyla; yanaşma açısı (K_r) %55,3, ilerleme hızı (V_f) %39,76 ve kesme hızı (V_c) %1,69 şeklinde olmuştur (Şekil 5.13). Varyans analizi incelendiğinde farklı yanaşma açıları ile işleme yapıldığında kesme kuvvetleri üzerinde en büyük etkiye yanaşma açısının en az etkiye ise kesme hızının sahip olduğu görülmüştür (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. Kuru işleme şartlarında kesme kuvvetleri üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı

Şekilden de görüleceği üzere küçük yanaşma açılarında kesici uç sürtünmesi daha fazla olduğundan ve maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak ilerleme hızı daha yüksek olduğundan dolayı kesme kuvvetleri daha yüksek oluşmuştur. Kesme hızının artmasına bağlı olarak ortaya çıkan kesme ısıyla kesme kuvvetlerinin azalması beklenir. Ancak maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak artan ilerleme hızından dolayı kesme hızının etkisi sınırlı kalmıştır. Deneysel çalışma, YSA ve regresyon analizi sonucu elde edilen matematiksel modellerin performansları çeşitli hata kontrol yöntemleri ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucu elde edilen değerler Çizelge 5.19'da görülmektedir. R^2 değeri her iki modelde %99 olarak elde edilmiştir. Çizelge 5.19'da görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar, YSA algoritmasının girdi ve çıktı değişkenleri

arasındaki ilişkiyi iyi bir şekilde tanımladığını ve çıktı değişkeninin yüksek doğrulukla tahmin edildiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.19. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması

Ölçüm Performansı	YSA	Regresyon değerleri
R^2	0,999987	0,999965
MAPE	0,017450	0,024399
RMSE	30,645920	49,84144

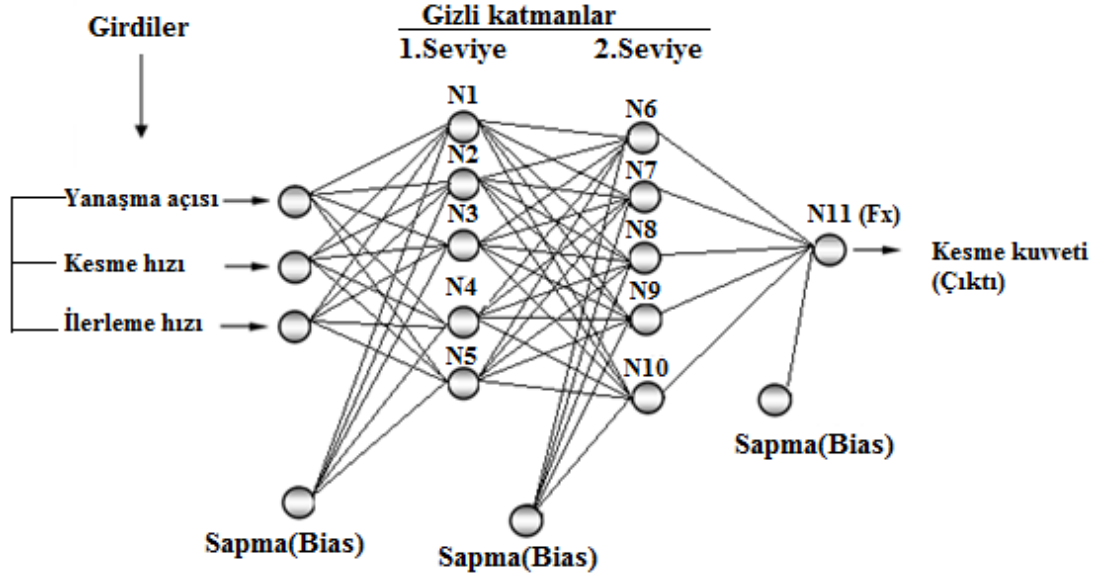
5.7. Soğutma Sıvısıyla Yapılan Deneylerde Oluşan Kesme Kuvvetlerinin YSA İle Modellenmesi

Karbür kesici uçlarla soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneyler sonucunda kesme kuvvetlerinin YSA ile modellenebilmesi için, eğitim ve test amaçlı deneyler belirlendikten sonra, 32 adet deney eğitim, 16 deney ise test amaçlı olarak ayrılmıştır. Çizelge 5.20’de normalizasyon için deneyde kullanılan kesme değerlerinin maksimum ve minimum değerleri verilmiştir. Elde edilen ağ yapısının güvenilirliğini test etmek için bulunan ağ yapısının sonuçları ile gerçek sonuç değerleri karşılaştırılmış ve 0,004 oranında bir sapma ile çok belirgin bir hata olmadığı görülmüştür. Bu aşamadan sonra nöronlardaki ağırlık değerleri Excel programına aktarılmıştır. Excel programına aktarılan bu ağırlık değerleri kullanılarak bir tahmin modeli geliştirilmiştir.

Çizelge 5.20. YSA program girdileri için sınır değerleri

Girdiler			
	Yanaşma açısı (κ_r)	Kesme hızı (V_c)	Tabla ilerleme hızı (V_f)
En büyük	88	290	995
En küçük	45	180	291

Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneylerde, ilerleme yönündeki kesme kuvveti çıkış değerini tahmin edebilmek için, deneysel sonuçlar ile çok katmanlı ileri beslemeli ağ yapısı kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmada kullanılan 11 nöronlu LM algoritmasındaki YSA ağ yapısı Şekil 5.14’de görülmektedir.



Şekil 5.14. 11 nöronlu YSA yapısı

11 Nöronlu LM algoritması ile vermiküler grafitli dökme demirin soğutma sıvısı kullanılarak işlenmesi ile elde edilen ve kesme kuvvetlerinin tahmininde kullanılan matematiksel eşitlik (5.30)'da verilmektedir. Bu eşitlik, soğutma sıvısı kullanılarak yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerine bağlı olarak vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesi sırasında oluşacak kesme kuvvetlerinin tahmininde kullanılabilir.

$$N_{11(Fx)} = \frac{1}{1 + e^{-4(0,359924*N_6 + 0,763549*N_7 + 0,639026*N_8 - 1,008533*N_9 + 1,068184*N_{10} - 0,5)}} \quad (5.30)$$

Her bir giriş değeri bağlantılı olduğu ağırlık değerleri ile çarpılıyor. Ağırlıklı giriş değerleri doğrusal olarak ekleniyor ve çıkış değerine dönüşüyor. Bu çıkış değerleri de Şekil 5.14'de görüldüğü gibi diğer nöronlar için giriş değerleri olarak kullanılmaktadır.

$$N_{(i)} = \frac{1}{1 + e^{-4*(E_i - 0,5)}} \quad (5.31)$$

$N1-N5$ arasındaki nöronlar için E_i değeri (5.32) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte i nöron numaralarını temsil etmektedir. Elde edilen sabitler Çizelge 5.21’de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} * V_c + w_{2i} * \kappa_r + w_{3i} * V_f \quad (5.32)$$

Çizelge 5.21. 1-5 arası nöronlardan elde edilen ve Eş. 5.32’de kullanılan sabitler

i	Sabitler		
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}
1	0,463869	0,654461	-1,616397
2	0,116601	-0,586008	1,484177
3	-1,022094	0,155305	0,643116
4	0,164544	-0,309141	0,165886
5	-0,109290	2,463877	1,161961

$N6-N10$ arası nöronlar için E_i değeri (5.33) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sabitler Çizelge 5.22’de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} * N_1 + w_{2i} * N_2 + w_{3i} * N_3 + w_{4i} * N_{40} + w_{5i} * N_5 \quad (5.33)$$

Çizelge 5.22. 6-10 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.33’te kullanılan sabitler

i	Sabitler				
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}	w_{4i}	w_{5i}
6	-0,366925	0,307939	-0,905471	-0,453842	-0,214899
7	0,432302	-1,115181	-1,155520	0,864666	-0,192715
8	-0,826577	0,292670	0,621602	1,374312	0,376806
9	1,695485	-0,521065	-0,566214	-0,590025	-0,567086
10	-0,022456	1,293823	0,830037	-0,877081	-0,939555

Giriş ve çıkış katmanları (-1,1) veya (0,1) aralığında normalize edilmiştir.

$$V_N = \frac{V_R - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (5.34)$$

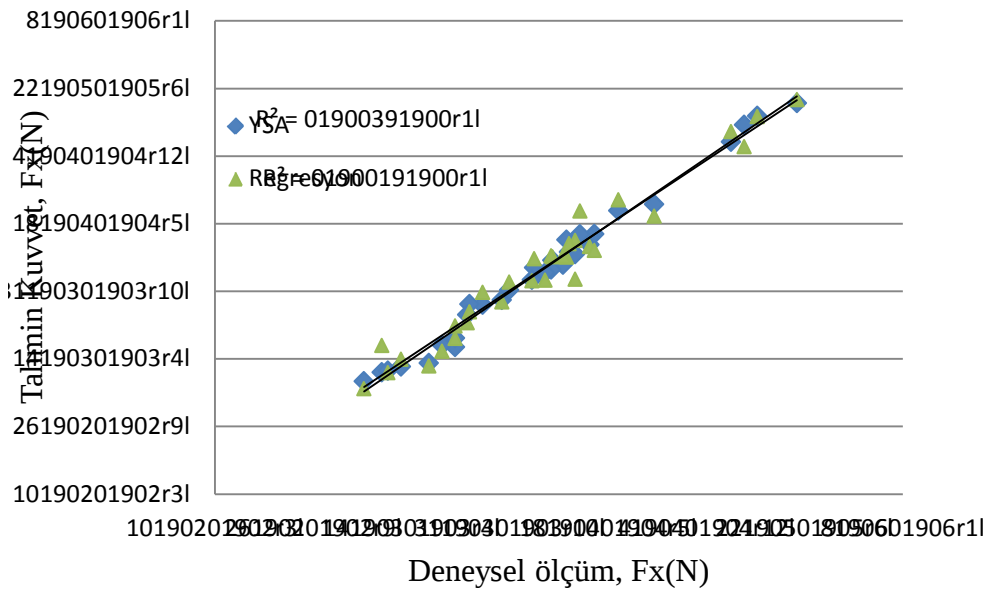
YSA sonucu elde edilen (5.30) nolu eşitlik ile test amaçlı eğitim dışında tutulan deneysel veriler kıyaslama yapılmış ve kıyaslama sonucu grafik olarak gösterilmiştir.

5.8. Kesme Kuvvetinin Regresyon Analizi İle Modellenmesi

Karbür kesici uçlar ve soğutma sıvısı kullanılarak yapılan 48 adet kesme kuvveti ölçüm deneyinin 32 tanesi Minitab yazılımında regresyon analizinde kullanılmış, 16 adet deney ise elde edilen regresyon modelinin güvenilirliğini test etmek amacı ile eğitim dışında tutulmuştur. Kesme kuvveti denklemleri, sabit talaş hacminde 2,5 mm talaş kaldırarak ve soğutma sıvısı kullanarak kontrol faktörlerinin seviyelerine bağlı olarak yanaşma açısı (K_r), Kesme hızı (V_c) ve ilerleme kuvveti (V_f) esas alınarak oluşturulmuştur. Sadece kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan birinci dereceden denklem;

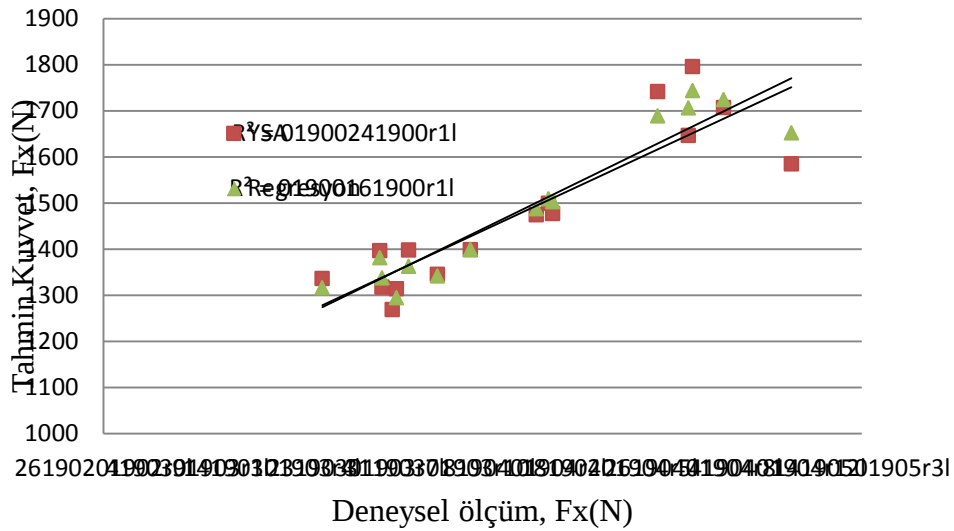
$$F_x = 1752,46 - 3,45039 \times K_r - 3,3372 \times V_c + 1,34453 \times V_f \quad (5.35)$$

olarak elde edilmiştir. Elde edilen birinci dereceden denklemin belirleme katsayısı $R^2=0,962$ olarak hesaplanmıştır. %95 güvenilirlik seviyesinde birinci derece denklemle elde edilen tahmini takım ömrü değerleri, YSA sonucu elde edilen tahmini takım ömrü değerleri ve deneysel çalışma sonucunda elde edilen deneysel takım ömrü sonuçlarının kıyaslaması Şekil 5.15’de görülmektedir.



Şekil 5.15. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması

Daha sonra kontrol faktörlerinden yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı esas deney seviyelerinin arasında yer alan değerler seçilerek 16 adet ara değer doğrulama deneyleri yapılmıştır. YSA ile tahmin modelinin oluşturulmasında R^2 değeri %98,8 oranında gerçekleşmiştir. Ancak ara değer doğrulama deneyleri ile matematiksel model ile elde edilen değerler arasındaki korelasyon R^2 değeri %79,3 oranında gerçekleşmiştir. Regresyon modeli sonucu elde edilen matematiksel model ile %90 doğruluk oranında tahmin yapılmıştır. Tahmin modellerindeki sapma oranının %90'ın altına düşmesinde, soğutma sıvısı kullanımının; kesme kuvvetlerinin kararsız davranmasına sebep olması düşünülmektedir. Ara değer doğrulama deney sonuçları ile YSA ve regresyon analizi sonucu elde edilen sonuçların kıyaslanması Şekil 5.16'da görülmektedir. Deneysel çalışmada VB bağımlı değişken; yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı ise bağımsız değişkenler olarak tanımlanmıştır.



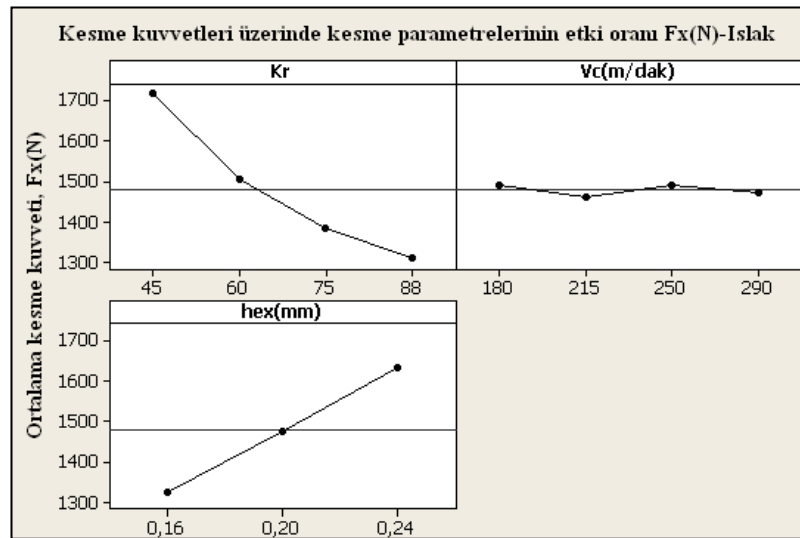
Şekil 5.16. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması

Hem YSA hem de regresyon analizi sonucu elde edilen matematiksel eşitlikten görüleceği üzere ilerleme yönündeki kesme kuvveti; yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak artmıştır. Tahmin sonucu elde edilen değerler deneysel çalışma sonucu elde edilen değerlere oldukça yakın çıkmıştır (Şekil 5.16).

Çizelge 5.23. Kesme kuvveti için varyans analizi (ANOVA)

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Kareler Top.	Kareler Ortalaması	F	P
Kr	3	731351	71179	71179	33,960	0,0000000
Vc	2	3446	354844	354844	169,299	0,0000029
Vf	2	751931	751931	751931	358,752	0,0000000
Hata	28	73247	58687	2096		
Toplam	31	1559975				

Çizelge 5.23’de ilerleme yönündeki kesme kuvveti için varyans analizi sonuçları verilmiştir. Varyans analizinde kontrol faktörlerinin ana etkileri değerlendirilmiştir. Tahmin modeli birinci dereceden denklem kullanılarak yapılmıştır. Varyans analizi değerlendirmesi ise değişken faktörlere bağlı olarak yapılmıştır.



Şekil 5.17. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan frezeleme işleminde kesme kuvvetleri üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı

Takım aşınması üzerinde kontrol faktörlerinin etkisi sırasıyla yanaşma açısı (K_r) %46,88 ilerleme hızı (V_f) %48,2 ve kesme hızı (V_c) %0,22 şeklinde olmuştur (Şekil 5.17). Varyans analizi incelendiğinde soğutma sıvısı kullanılarak vermiküler grafitli dökme demirin frezelenmesi işleminde kesme kuvvetleri üzerinde en büyük etkiye yanaşma açısının, en az etkiye ise kesme hızının sahip olduğu görülmüştür (Şekil 5.17). Şekilde de görüleceği üzere küçük yanaşma açılarında kesici uç sürtünmesi

daha fazla olduğundan ve maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak ilerleme hızı değeri yükseldiğinden dolayı kesme kuvvetleri daha yüksek oluşmuştur. Deneysel çalışma sonucunda YSA ve regresyon analizi ile elde edilen matematiksel modellerin performansları çeşitli hata kontrol yöntemleri ile kıyaslanmıştır (Çizelge 5.24).

Çizelge 5.24. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması

Ölçüm Performansı	YSA	Regresyon değerleri
R^2	0,999991	0,999973
MAPE	0,014525	0,023382
RMSE	24,287400	42,824850

Tahmin modellerinde regresyon analizi ile elde edilen tahmin modelinin girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi iyi bir şekilde tanımladığı ve çıktı değişkenini yüksek doğrulukla tahmin ettiği ortaya çıkmıştır.

5.9. Karbür Kesici Uçlarda Yüzey Pürüzlülük Değerinin YSA İle Modellenmesi

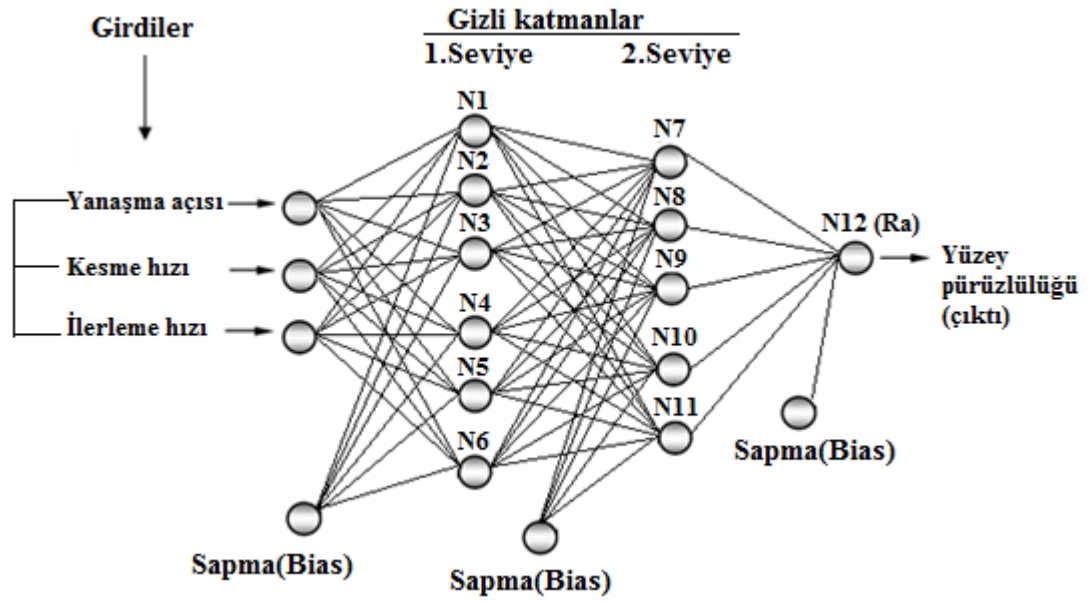
Karbür kesici uçlarla yapılan işlenebilirlik deneyleri sonucunda kuru kesme şartları altında toplam 48 adet deney yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda matematiksel bir denklem elde edebilmek için 31 adet deney, YSA veri eğitiminde kullanılmak üzere ve rastgele seçilen 17 adet deneysel sonuç ise geliştirilecek tahmin modelinin doğruluk düzeyini test etmek için kontrol amaçlı olarak ayrılmıştır.

Çizelge 5.25. YSA program girdileri için sınır değerleri

Girdiler			
	Yanaşma açısı (κ_r)	Kesme hızı (V_c)	Tabla ilerleme hızı (V_f)
En büyük	88	290	995
En küçük	45	180	291

YSA ile tahmin modeli geliştirmek üzere ayrılan deneysel veriler program aracılığı ile eğitilerek en uygun ağ yapıları ve nöron sayıları araştırılmıştır. Eğitim sonucunda ortalama sapma oranı 0,0006 olan 12 nörondan oluşan ağ yapısı seçilmiştir. Deneyde

kullanılan kesme parametrelerinin normalizasyon işleminde kullanılan maksimum ve minimum değerleri Çizelge 5.25’de verilmiştir. Elde edilen ağ yapısının güvenilirliğini test etmek için bulunan ağ yapısının çıktıları ile gerçek sonuçlar karşılaştırılmış ve 0,0006 oranında bir hata sapma oranı olduğu tespit edilmiştir. Bu aşamadan sonra nöronlardaki ağırlık değerleri Excel ortamına aktarılmış ve bu ağırlık değerleri kullanılarak yüzey pürüzlülük değerlerinin modellenmesi için gereken analitik denklem oluşturulmuştur. YSA eğitiminde çok katmanlı ileri beslemeli ağ yapısı kullanılmış ve eğitim işlemi sonucunda nöronların ağırlık değerleri Excel tablosuna aktarılmıştır. Şekil 5.18’de görülen 12 nöronlu LM algoritmasından elde edilen ağırlık değerleri kullanılarak ortalama yüzey pürüzlülük değerini (Ra) tahmin etmek için bir model geliştirilmiştir.



Şekil 5.18. 12 nöronlu YSA yapısı

12 Nöronlu LM algoritması ile kuru işleme şartlarında vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesi ile elde edilen ve ortalama yüzey pürüzlülük değerinin (Ra) tahmininde kullanılan matematiksel formül (5.36) nolu eşitlikte verilmektedir. Bu eşitlik; yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerini kullanarak vermiküler grafitli dökme demirin kuru işleme şartlarında işlenmesi ile oluşacak ortalama yüzey pürüzlülük değerinin (Ra) tahmininde kullanılabilir.

$$N_{12(Ra)} = \frac{1}{1+e^{-4(1,898239*N_7+1,214437*N_8-0,476672*N_9-1,760697*N_{10}+0,848790*N_{11}-0,5)}} \quad (5.36)$$

Her bir giriş değeri bağlantılı olduğu ağırlık değerleri ile çarpılmaktadır. Ağırlıklı giriş değerleri doğrusal olarak eklenmekte ve çıkış değerine dönüşmektedir. Bu çıkış değerleri de Şekil 5.18’de görüldüğü gibi diğer nöronlar için giriş değerleri olarak kullanılmaktadır.

$$N_{(i)} = \frac{1}{1+e^{-4*(E_i-0,5)}} \quad (5.37)$$

$N1-N6$ arasındaki nöronlar için E_i değeri (5.38) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte i nöron numaralarını temsil etmektedir. Elde edilen sabitler Çizelge 5.26’da verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} * V + w_{2i} * \kappa_r + w_{3i} * V_f \quad (5.38)$$

Çizelge 5.26. 1-6 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.5.38’de kullanılan sabitler

i	Sabitler		
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}
1	-1,068314	0,830852	-0,252841
2	-0,235084	-0,131288	0,939488
3	0,027382	-1,092550	0,274929
4	0,589768	-0,194317	0,063548
5	-0,211420	-0,550743	0,799970
6	-1,429907	0,464325	0,673908

$N7-N11$ arası nöronlar için E_i değeri (5.39) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sabitler Çizelge 5.27’de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} * N_1 + w_{2i} * N_2 + w_{3i} * N_3 + w_{4i} * N_4 + w_{5i} * N_5 + w_{6i} * N_6 \quad (5.39)$$

Giriş ve çıkış katmanları (-1,1) veya (0,1) aralığında normalize edilmiştir.

$$V_N = \frac{V_R - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (5.40)$$

Çizelge 5.27. 7-11 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.39'da kullanılan sabitler

<i>i</i>	Sabitler					
	W_{1i}	W_{2i}	W_{3i}	W_{4i}	W_{5i}	W_{6i}
7	0,850954	0,604835	-0,107952	0,223413	0,368959	-0,380113
8	-0,460165	-0,719499	0,892320	0,177093	-0,559321	0,024755
9	-1,100507	-0,186601	-0,567789	0,565843	0,440070	-0,323774
10	0,790632	-1,428010	-0,885115	1,311894	-1,960543	0,402976
11	-0,503508	-1,020433	0,603632	0,050887	-0,234520	-0,471311

Bu çalışmada farklı yavaşma açılarına, kesme hızlarına ve üç farklı maksimum talaş kalınlığına (tabla ilerleme hızlarında) bağlı olarak ortaya çıkan yüzey pürüzlülük sonuçları kullanılarak YSA ile analitik bir bağıntı oluşturulmuştur. YSA ile eğitim sürecine dâhil edilmemiş test değerleri ile analitik bağıntının geçerliliği test edilmiştir.

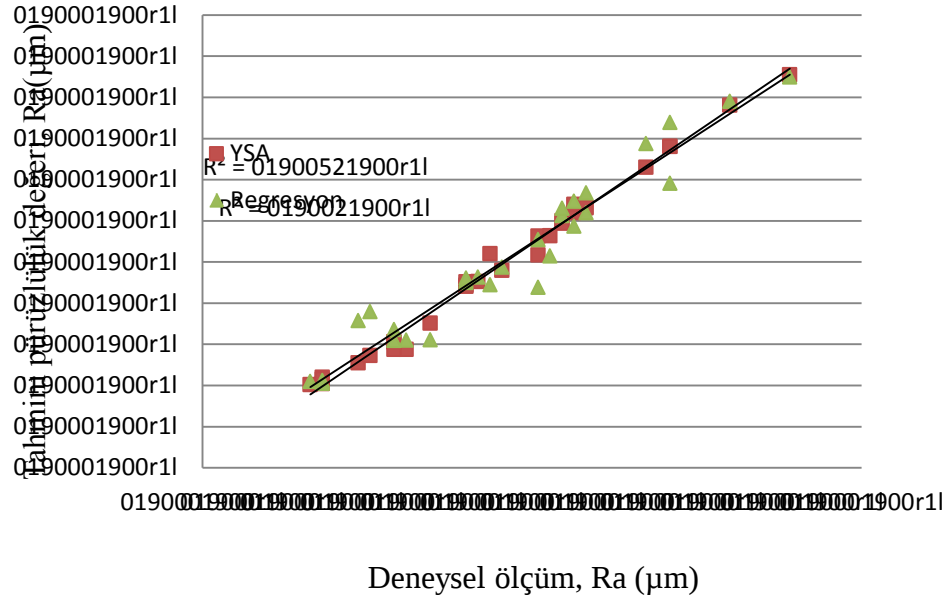
5.10. Yüzey Pürüzlülük Değerinin Regresyon Analizi İle Modellenmesi

Karbür kesici uçlar kullanılarak yapılan 48 adet yüzey pürüzlülüğü ölçüm deneyinden 31 adet deney Minitab yazılımında regresyon analizinde kullanılmıştır. Regresyon modeli, sabit talaş hacminde 2,5 mm talaş kaldırarak; yavaşma açısı (K_r), kesme hızı (V_c) ve maksimum talaş kalınlığına (hex) bağlı olarak oluşan ilerleme kuvveti esas alınarak oluşturulmuştur. Sadece kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan birinci dereceden denklem;

$$R_a = 0,617096 - 0,0034838 \times K_r - 0,000717807 \times V_c + 0,00042847 \times V_f \quad (5.41)$$

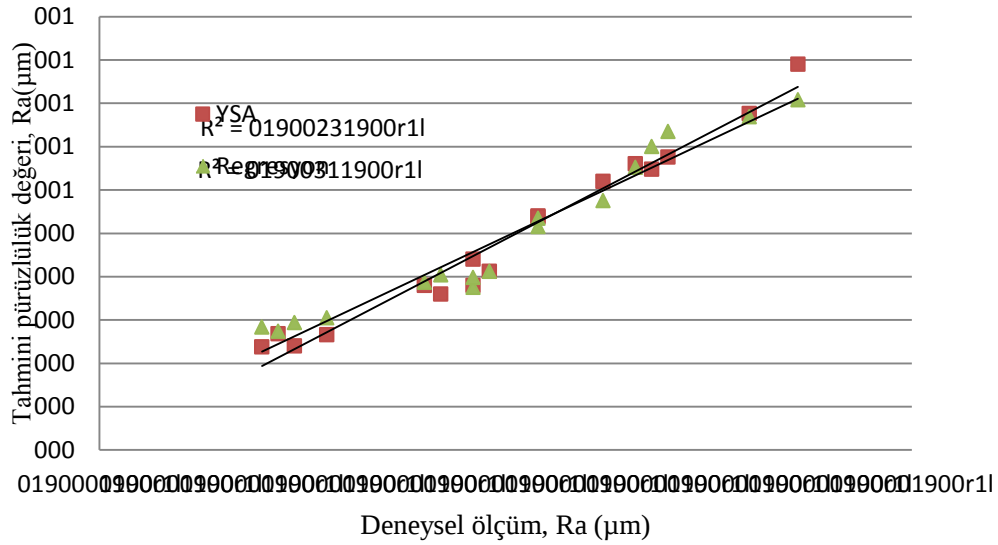
olarak elde edilmiştir. Elde edilen birinci dereceden denklemin belirleme katsayısı $R^2 = 0,95$ olarak hesaplanmıştır. %95 güvenilirlik seviyesinde oluşan birinci derece denklemle elde edilen tahmini yüzey pürüzlülük değeri, YSA sonucu elde edilen tahmini yüzey pürüzlülük değerleri ve deneysel çalışma sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin kıyaslaması Şekil 5.19'da görülmektedir. Daha sonra kontrol faktörlerinden yavaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı değerlerine göre çeşitli deney seviyeleri arasından seçilen 17 adet deney ile ara değer doğrulama deneyleri

yapılmıştır. Ara değer doğrulama deney değerleri ile YSA ve regresyon analizi sonucu elde edilen değerlerin kıyaslaması Şekil 5.20’de görülmektedir. Deneysel çalışmada Ra bağımlı değişken, yavaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı ise bağımsız değişkenler olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5.19. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması

Hem YSA hem de regresyon analizi ile elde edilen matematiksel model değerlerinden görüleceği üzere YSA sonucu elde edilen tahmin modeli ile %96,9 oranında, regresyon analizi ile elde edilen tahmin modelinde ise %94,7 doğruluk oranında tahmin yapılmıştır. Tahmin sonucu elde edilen değerler ile deneysel çalışma sonucu elde edilen değerlere oldukça yakın çıkmıştır (Şekil 5.20).



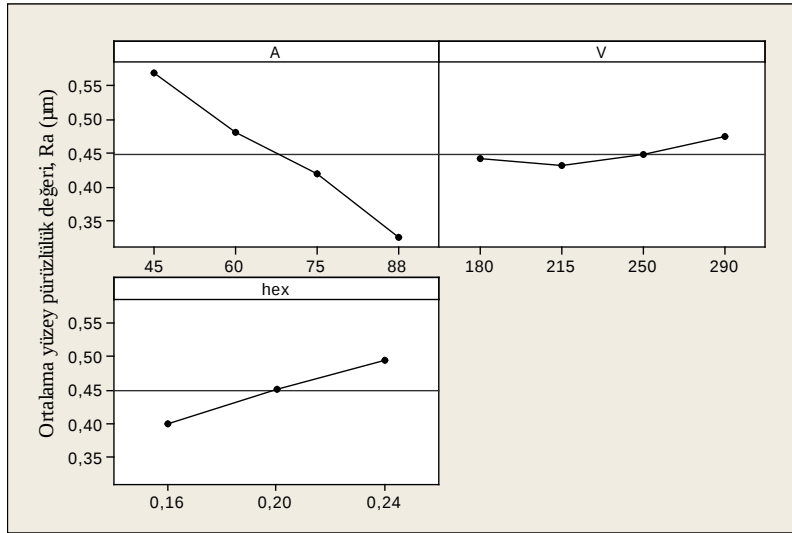
Şekil 5.20. Kontrol deneylerinin YSA ve regresyon modeli ile kıyaslanması

Çizelge 5.28’de yüzey pürüzlülük ölçme değerleri için varyans analizi sonuçları verilmiştir. Varyans analizinde kontrol faktörlerinin ana etkileri değerlendirilmiştir. Değişken faktörler ve bu değişkenlerin etkileşimleri dikkate alınarak yapılan ikinci dereceden çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen aşınma modeli ile yapılan varyans analizinde P anlamlılık değerine göre ikinci dereceden denklemde aşınma modelini etkileyen değişkenlerin tamamında %95 güven aralığında anlamlı olmadığı ($p < 0,05$) görülmüştür. Bu nedenle tahmin modelinde birinci dereceden denklemin daha etkili olduğu görülmüş ve varyans analizi değerlendirmesi değişken faktörlere bağlı olarak yapılmıştır.

Çizelge 5.28. Yüzey pürüzlülük değeri için varyans analizi (ANOVA)

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Kareler Top.	Kareler Ortalaması	F	P
Kr	3	0,23981	0,06479	0,06479	168,603	0,00
Vc	2	0,00176	0,01634	0,01634	104,741	0,00000
Vf	2	0,07133	0,07133	0,07133	26,411	0,0000210
Hata	28	0,0167	0,0167	0,00062	115,305	
Toplam	31	0,32959				

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kontrol faktörlerinin etkisi sırasıyla yanaşma açısı (Kr) %72,75 ilerleme hızı (Vf) %21,64 ve kesme hızı (Vc) %0,533 şeklinde olmuştur (Şekil 5.21). Varyans analizi sonuçları incelendiğinde farklı yanaşma açıları ile işleme yapıldığında yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkiye yanaşma açısının, en az etkiye ise kesme hızının sahip olduğu görülmüştür (Şekil 5.21). Maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak, sürekli değişkenlik gösteren ilerleme hızı değeri yükseldikçe yüzey pürüzlülük değeri de yükselmiştir. Deneysel çalışma sonucu elde edilen sonuçlar literatüre paralel olarak gerçekleşmiştir. Kesme hızının artışı ile yüzey kalitesinin daha iyi olması beklenir ancak ilerleme hızındaki artış kesme hızı artışının etkisini ortadan kaldırmıştır.



Şekil 5.21. Kuru işleme şartlarında yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı

YSA sonucu elde edilen (5.36) nolu eşitlik ile ve regresyon modeliyle elde edilen tahmin modelinin güvenilirliğini test etmek amacıyla eğitim dışında tutulan deneysel veriler arasında kıyaslama yapılmış ve kıyaslama sonucu ve Çizelge 5.29'da verilmiştir. R^2 değeri her iki modelde %99 olarak elde edilmiştir. Çizelge 5.29'da görüldüğü gibi tahmin modelleri ile elde edilen sonuçlardan YSA algoritmasının girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi iyi bir şekilde tanımladığını ve çıktı değişkeninin yüksek doğrulukla tahmin edildiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.29. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması

Ölçüm Performansı	YSA	Regresyon değerleri
R^2	0,999984	0,996812
MAPE	0,017632	0,457084
RMSE	0,009799	0,195662

5.11. Soğutma Sıvısı İle İşlemede Oluşan Yüzey Pürüzlülük Değerinin YSA İle Modellenmesi

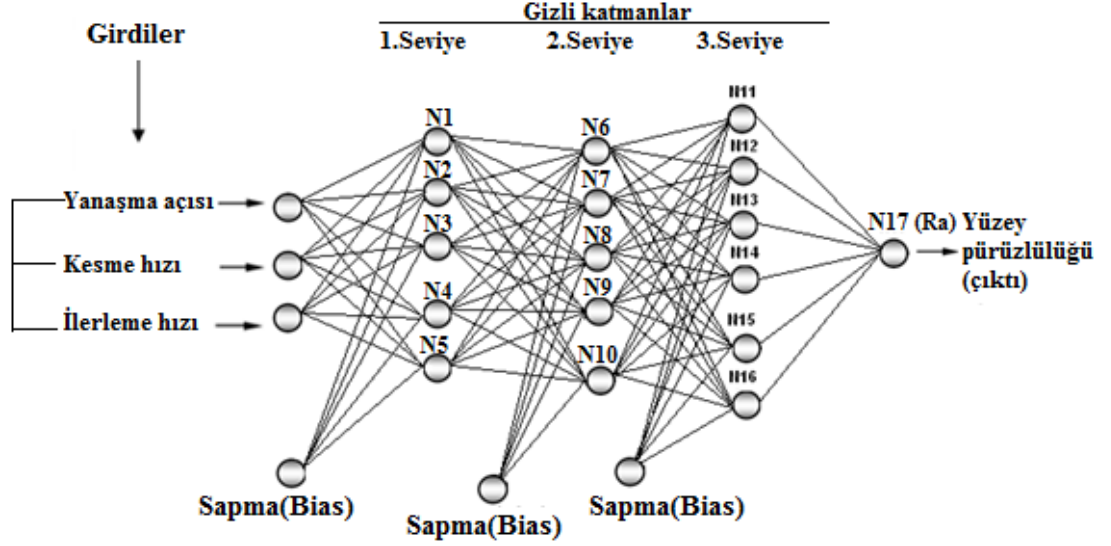
Karbür kesici uçlarla yapılan işlenebilirlik deneyleri sonucunda soğutma sıvısı kullanılarak toplam 48 adet yüzey pürüzlülük deneyi yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda matematiksel bir denklem elde edebilmek için 31 adet deney yapay sinir ağlarında eğitim amaçlı kullanılmak üzere ve rastgele seçilen 17 adet deney ise YSA ile elde edilecek tahmin modelinin doğruluk düzeyini test etmek için kontrol amaçlı olarak ayrılmıştır. YSA eğitimi için ayrılan deneysel sonuçlar eğitilerek en uygun ağ yapıları ve nöron sayıları araştırılmıştır. Eğitim sonucunda ortalama sapma oranı 0,001 olan 17 nöronlu oluşan ağ yapısı seçilmiştir. Deneyde kullanılan kesme parametrelerinin normalizasyon işleminde kullanılan maksimum ve minimum değerler Çizelge 5.30’da verilmiştir.

Çizelge 5.30. YSA program girdileri için sınır değerleri

Girdiler			
	Yanaşma açısı (κ_r)	Kesme hızı (Vc)	Tabla ilerleme hızı (Vf)
En büyük	88	290	995
En küçük	45	180	291

Elde edilen ağ yapısının güvenilirliğini test etmek için bulunan ağ yapısının sonuçları ile gerçek sonuçlar karşılaştırılmış ve sapma oranında çok belirgin bir hata olmadığı görülmüştür. Bu aşamadan sonra nöronlardaki ağırlık değerleri Excel ortamına aktarılmış ve bu ağırlık değerleri kullanılarak yüzey pürüzlülük değerlerinin modellenmesi için gereken analitik denklem oluşturulmuştur. YSA eğitiminde çok katmanlı ileri beslemeli ağ yapısı kullanılmış ve eğitim işlemi sonucunda nöronların ağırlık değerleri Excel tablosuna aktarılmıştır. 17 nöronlu LM algoritmasından elde

edilen ağırlık değerleri kullanılarak, ortalama yüzey pürüzlülük değerini (R_a) tahmin etmede kullanılacak olan matematiksel denklem geliştirilmiştir.



Şekil 5.22. 17 nöronlu YSA yapısı

Vermiküler grafitli dökme demirin soğutma sıvısı kullanılarak yapılan frezeleme işlemi sonucunda bulunan deneysel değerler kullanılarak 17 Nöronlu LM algoritması elde edilmiş, nöronlardaki ağırlık değerleri excel ortamına aktarılarak da, yüzey pürüzlülük değerinin (R_a) tahmininde kullanılan matematiksel eşitlik (5.42) oluşturulmuştur. Bu eşitlik, yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerini kullanarak, vermiküler grafitli dökme demirin ıslak işleme şartları altında işlenmesi ile oluşacak yüzey pürüzlülük değerinin (R_a) tahmininde kullanılabilir.

$$N_{17(Ra)} = \frac{1}{1 + e^{-4(1,026041 \cdot N_{11} + 1,366720 \cdot N_{12} + 0,849316 \cdot N_{13} + 1,614065 \cdot N_{14} - 0,361943 \cdot N_{15} - 0,991599 \cdot N_{16} - 0,5)}}$$

(5.42)

Her bir giriş değeri; bağlantılı olduğu ağırlık değerleri ile çarpılır, ağırlıklı giriş değerleri doğrusal olarak eklenir ve çıkış değerine dönüşür. Bu çıkış değerleri de

Şekil 5.22’de görüldüğü gibi diğer nöronlar için giriş değerleri olarak kullanılmaktadır.

$$N_{(i)} = \frac{1}{1+e^{-4*(E_i-0,5)}} \quad (5.43)$$

$N1-N6$ arasındaki nöronlar için E_i değeri (5.44) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte i nöron numaralarını temsil etmektedir. Elde edilen sabitler Çizelge 5.31’de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} * V_c + w_{2i} * \kappa_r + w_{3i} * V_f \quad (5.44)$$

Çizelge 5.31. 1-5 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.5.44’te kullanılan sabitler

i	Sabitler		
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}
1	0,223671	-0,528556	1,271025
2	0,741552	0,359002	-0,716669
3	-0,274169	0,097705	0,391986
4	1,176485	-2,398944	-0,218577
5	0,004250	0,385007	-1,839784

$N6-N10$ arası nöronlar için E_i değeri (5.45) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sabitler Çizelge 5.32’de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} * N_1 + w_{2i} * N_2 + w_{3i} * N_3 + w_{4i} * N_4 + w_{5i} * N_5 \quad (5.45)$$

Çizelge 5.32. 6-10 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.45’te kullanılan sabitler

i	Sabitler				
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}	w_{4i}	w_{5i}
6	0,382548	-0,699944	-0,590017	0,646119	-0,471840
7	-0,164589	1,136325	-1,322452	-0,196480	-1,308185
8	-0,931087	-1,173439	0,869143	-0,192901	0,105950
9	0,456575	-0,151332	0,532153	-0,215186	1,210140
10	-1,203295	0,661660	-1,116207	1,346328	-0,778138

N_{11} – N_{16} arası nöronlar için E_i değeri (5.46) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sabitler Çizelge 5.33’de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} * N_6 + w_{2i} * N_7 + w_{3i} * N_8 + w_{4i} * N_9 + w_{5i} * N_{10} \quad (5.46)$$

Çizelge 5.33. 11-16 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.46’da kullanılan sabitler

i	Sabitler				
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}	w_{4i}	w_{5i}
11	-0,433657	-0,458551	-0,643912	0,522064	-0,442472
12	-0,734969	0,368748	-0,025489	-0,167362	-0,531363
13	-0,885300	-0,783036	0,571686	-0,602674	0,488736
14	0,771363	-0,730785	-0,986845	0,840777	0,634347
15	-0,275527	0,661349	0,770736	-0,818973	-0,795326
16	-0,428654	-0,114545	-0,298867	-0,864344	1,521841

Giriş ve çıkış katmanları (-1,1) veya (0,1) aralığında normalize edilmiştir.

$$V_N = \frac{V_R - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (5.47)$$

Bu çalışmada soğutma sıvısı kullanılmış, farklı yanaşma açılarında, kesme hızlarında ve maksimum talaş kalınlığında (tabla ilerleme hızlarına) yüzey pürüzlülük sonuçları elde edilmiş ve YSA ile analitik bir bağıntı oluşturulmuştur. Daha sonra YSA ile eğitim sürecine dâhil edilmemiş test değerleri ile YSA sonucu elde edilen eşitliğin geçerliliği test edilmiştir.

5.12. Yüzey Pürüzlülük Değerinin Regresyon Analizi İle Modellenmesi

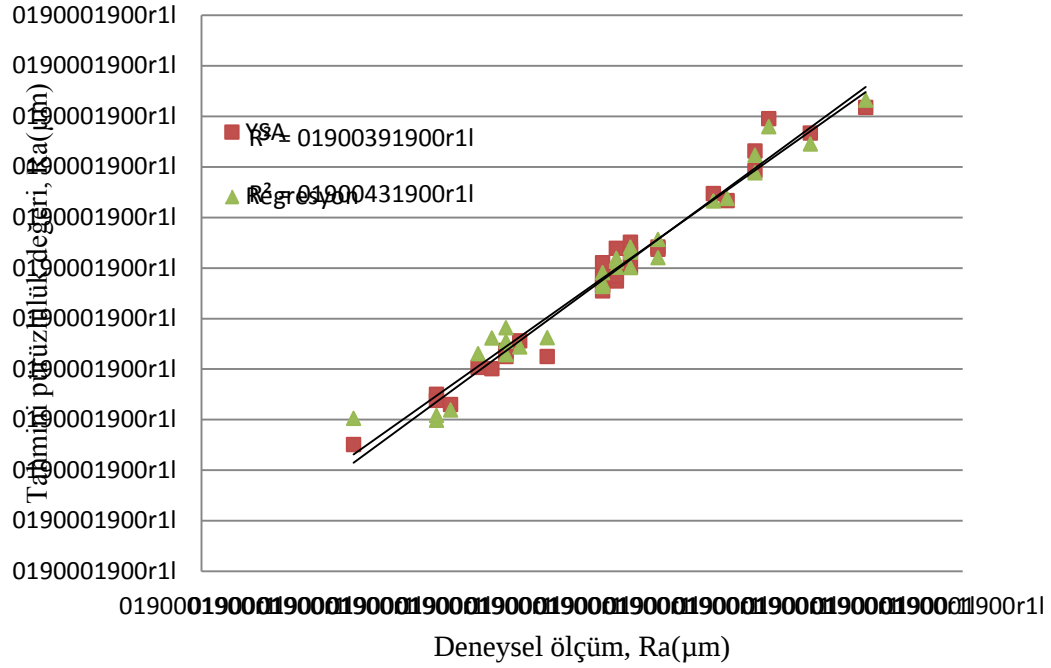
Karbür kesici uçlarla soğutma sıvısı kullanılarak yapılan 48 adet yüzey pürüzlülüğü ölçme deneyinden 31 adet deney Minitab yazılımında regresyon analizinde kullanılmıştır. Regresyon modeli, sabit talaş hacminde 2,5 mm talaş kaldırarak yanaşma açısı (Kr), kesme hızı (Vc) ve maksimum talaş kalınlığına (hex) bağlı olarak oluşan ilerleme kuvveti esas alınarak oluşturulmuştur. Sadece kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan birinci dereceden denklem;

$$R_a = 0,533 - 0,00257 \times K_r - 0,000727 \times V_c + 0,000368 \times V_f \quad (5.48)$$

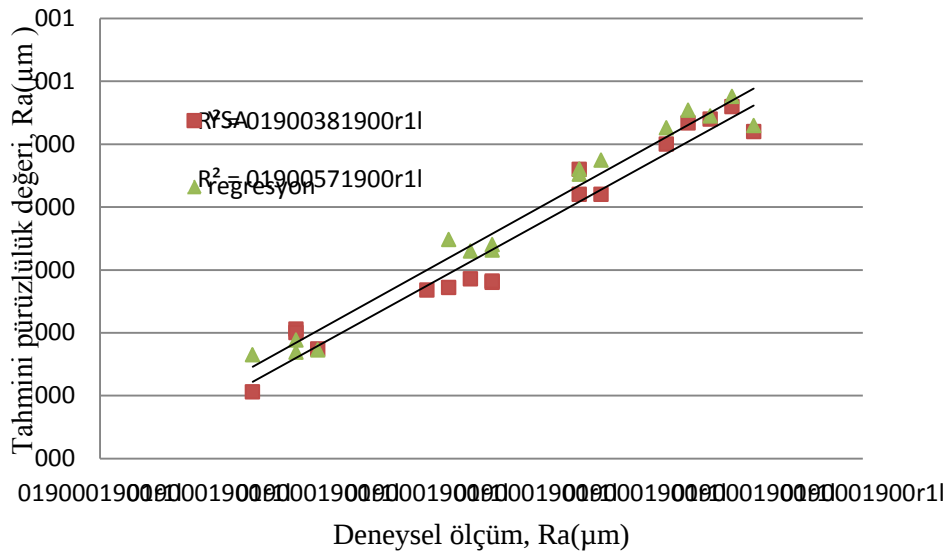
olarak elde edilmiştir. Elde edilen birinci dereceden denklemin belirleme katsayısı $R^2 = 0,90$ olarak hesaplanmıştır. %95 güvenirlik düzeyinin altında gerçekleşen birinci dereceden denklemle elde edilen tahmini yüzey pürüzlülük değerleri ile deneysel çalışmalarla elde edilecek yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki farklar fazla olacaktır. Dolayısıyla faktör etkileşimlerinin de yer aldığı denklem;

$$\begin{aligned} R_a = & 0,23095 + 0,0122182 \times K_r - 0,00252211 \times V_c + 0,000527258 \times V_f + \\ & 0,00000673564 \times K_r \times V_c - 0,00000127682 \times K_r \times V_f - 0,0000006148 \times V_c \times \\ & V_f - 0,000116653 \times K_r \times K_r + 0,0000033134 \times V_c \times V_c + 0,0000000970135 \times \\ & V_f \times V_f \end{aligned} \quad (5.49)$$

olarak elde edilmiştir. Elde edilen ikinci dereceden denklemin belirleme katsayısı $R^2 = 0,9686$ olarak hesaplanmıştır. %95 güvenilirlik seviyesinde oluşan ikinci derece denklemle elde edilen tahmini yüzey pürüzlülük değeri, YSA sonucu elde edilen tahmini yüzey pürüzlülük değerleri ve deneysel çalışma sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin kıyaslaması Şekil 5.23’de görülmektedir.



Şekil 5.23. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması



Şekil 5.24. Kontrol deneylerinin YSA ve regresyon modeli ile kıyaslanması

Kontrol faktörlerinden yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı değerlerine göre çeşitli deney seviyeleri arasından seçilen 17 adet deney ile ara değer doğrulama deneyleri yapılmıştır. Ara değer doğrulama deney sonuçları ile YSA ve regresyon

analiziyle elde edilen sonuçların kıyaslaması Şekil 5.24’de görülmektedir. Kıyaslama sonucunda; YSA metoduyla elde edilen matematiksel model ile %95,1 oranında, regresyon analiziyle elde edilen matematiksel model ile de %97,2 oranında bir doğruluk tahmini gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizi faktör etkileşimlerinin de içerisinde olduğu ikinci dereceden denklem kullanılarak matematiksel model elde edildiğinden, tahmin oranı YSA ‘ya göre yüksek olmuştur. Deneysel çalışmada Ra bağımlı değişken, yavaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı ise bağımsız değişkenler olarak tanımlanmıştır. Hem YSA hem de regresyon analizi ile elde edilen matematiksel model değerlerinden görüleceği üzere yüzey pürüzlülük değeri, yavaşma açısı ve ilerleme hızına bağlı olarak artmıştır. Tahmin sonucu elde edilen değerler, deneysel çalışma sonucu elde edilen değerlere oldukça yakın çıkmıştır (Şekil 5.24).

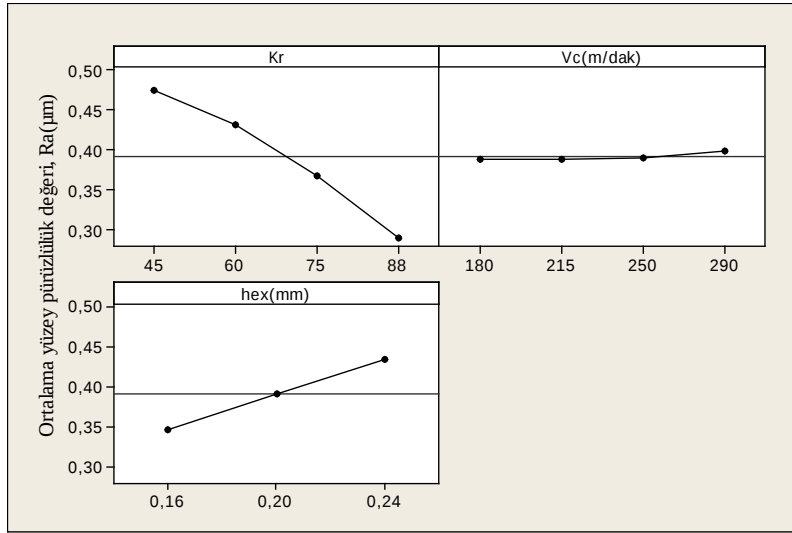
Çizelge 5.34’de, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin etkileşimleri dikkate alınarak yapılan varyans analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.34. Islak kesmede yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi (ANOVA)

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Kareler Top.	Kareler Ortalaması	F	P
Kr	1	0,148062	0,004176	0,0041762	12,4232	0,002012
Vc	1	0,000174	0,001048	0,0010481	3,1178	0,091979
Vf	1	0,053707	0,000610	0,0006098	1,8139	0,192401
Kr*Vc	1	0,000405	0,000092	0,0000923	0,2746	0,605751
Kr*Vf	1	0,001174	0,000019	0,0000194	0,0577	0,812540
Vc*Vf	1	0,000602	0,000022	0,0000215	0,0641	0,802653
Kr*Kr	1	0,012967	0,010092	0,0100923	30,0220	0,000020
Vc*Vc	1	0,000306	0,000241	0,0002409	0,7165	0,406835
Vf*Vf	1	0,000014	0,000014	0,0000138	0,0409	0,841597
Hata	21	0,007059	0,007059	0,0003362		
Toplam	30	0,224471				

İkinci dereceden çoklu regresyon analizinin anlamlılık katsayısına (P) bakıldığında yapılan analizin %95 güven aralığında anlamlı olduğu gözükmemektedir. Bu nedenle tahmin modelinde ikinci dereceden denklemin daha etkili olduğu görülmüş ve varyans analizi değerlendirmesi bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin

etkileşimlerine bağlı olarak yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kontrol faktörlerinin etkisi sırasıyla yanaşma açısı (Kr) %65,96; ilerleme hızı (Vf) %23,92 ve kesme hızı (Vc) %5,77 şeklinde olmuştur (Şekil 5.25).



Şekil 5.25. Islak işleme şartlarında yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı

Varyans analizi sonuçları incelendiğinde; yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkiye yanaşma açısının, en az etkiye ise kesme hızının sahip olduğu görülmüştür (Şekil 5.25). Maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak sürekli olarak değişkenlik gösteren ilerleme hızı değeri yükseldikçe yüzey pürüzlülüğü değeri de yükselmiştir. Deneysel çalışmayla elde edilen sonuçlar literatüre paralel olarak gerçekleşmiştir. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneylerde; yüzey pürüzlülüğü değerleri, kuru işlemeye göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak soğutma sıvısı kullanımı kuru işleme şartlarına göre deneysel sonuçların daha kararsız gerçekleşmesine sebep olmuştur. Verilerin kararsız davranışı tahmin modelleri üzerinde de etkili olmuştur. R^2 değeri her iki modelde %99 olarak elde edilmiştir. Çizelge 5.35’de görüldüğü gibi tahmin modelleri ile elde edilen sonuçlar; regresyon analizi ile elde edilen modelin girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi iyi bir şekilde tanımladığını ve çıktı değişkeninin yüksek doğrulukla tahmin edildiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.35. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması

Ölçüm Performansı	YSA	Regresyon değerleri
R^2	0,9999580	0,999520
MAPE	0,0281180	0,036165
RMSE	0,0140590	0,015091

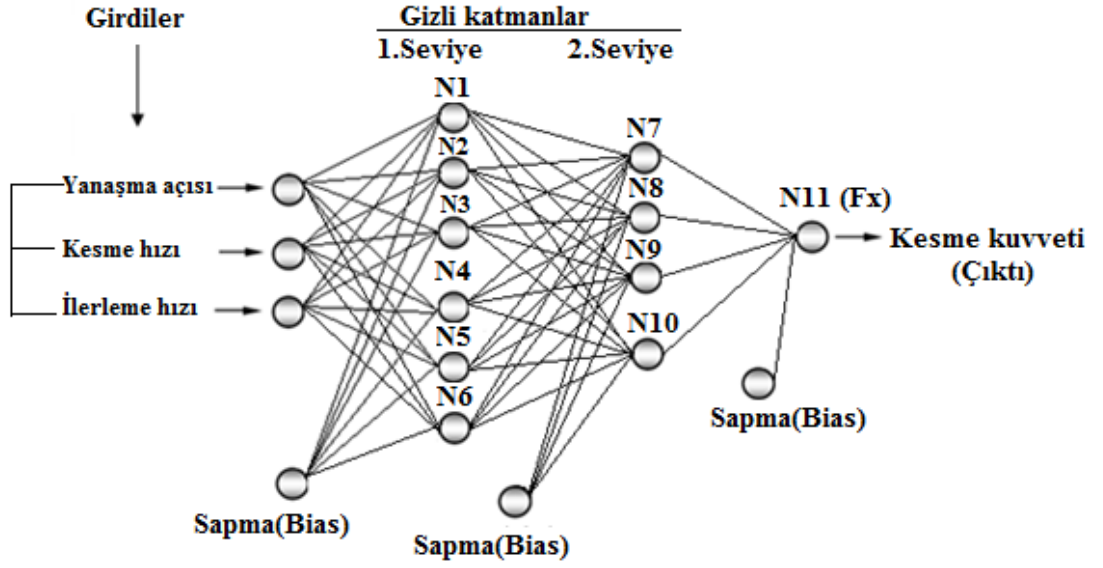
5.13. Seramik Kesici Uçlarda Kesme Kuvvetinin YSA İle Modellenmesi

Seramik kesici uçlarda kesme kuvvetlerinin YSA ile modellenenebilmesi için, eğitim ve test amaçlı deneyler belirlendikten sonra, 32 deney eğitim, 16 deney ise test amaçlı olarak ayrılmıştır. YSA ile deneysel sonuçlar eğitilerek en uygun ağ yapıları, farklı döngü ve nöron sayılarıyla araştırılmıştır. Programın içerisinde otomatik optimizasyon yaptırılarak en düşük sapma değerine sahip bir ağ yapısı seçilmiştir. Programın döngü sayısı ve öğrenme oranları değiştirilerek, bu ağ yapısı en küçük sapma değerine kadar eğitilmiştir. Bu işlemler sonucunda 3 katman ve 11 nörondan oluşan bir ağ yapısı seçilmiştir. Çizelge 5.36’da deneyde kullanılan kesme değerlerinin normalizasyon için maksimum ve minimum değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.36. YSA program girdileri için sınır değerleri

Girdiler			
	Yanaşma açısı (κ_r)	Kesme hızı (Vc)	Tabla ilerleme hızı (Vf)
En büyük	88	530	764
En küçük	45	334	237

Elde edilen ağ yapısının güvenilirliğini test etmek için bulunan ağ yapısının sonuçları ile gerçek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekildeki grafikler incelendiğinde; R^2 değerinin 0,974 olduğu ve sapma oranında çok belirgin bir hata olmadığı görülmüş ve test aşamasına geçilmiştir.



Şekil 5.26. Seramik kesici takım kesme kuvveti tahmini için 11 Nöronlu YSA yapısı

Seramik kesici uçlarla işleme yapıldığında oluşan kesme kuvvetlerinin tahmin modeli (5.50) nolu eşitlikte verilmektedir. Bu eşitlik; yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerini kullanarak vermiküler grafitli dökme demirin seramik kesicilerle işlenmesinde oluşacak kesme kuvvetlerinin tahmininde kullanılabilir.

$$N_{11}(Fx) = \frac{1}{1 + e^{-4(1,419569 \cdot N_7 - 1,422860 \cdot N_8 - 0,730919 \cdot N_9 - 1,442730 \cdot N_{10} - 0,5)}} \quad (5.50)$$

Her bir giriş değeri bağlantılı olduğu ağırlık değerleri ile çarpılır, ağırlıklı giriş değerleri doğrusal olarak eklenir ve çıkış değerine dönüşür. Bu çıkış değerleri de Şekil 5.26’da görüldüğü gibi diğer nöronlar için giriş değerleri olarak kullanılır.

$$N_{(i)} = \frac{1}{1 + e^{-4 \cdot (E_i - 0,5)}} \quad (5.51)$$

$N1-N6$ arasındaki nöronlar için E_i değeri (5.52) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte i nöron numaralarını temsil etmektedir. Elde edilen sabitler Çizelge 5.37’de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} \cdot V_c + w_{2i} \cdot \kappa_r + w_{3i} \cdot V_f \quad (5.52)$$

Çizelge 5.37. 1-6 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.5.52’de kullanılan sabitler

<i>i</i>	Sabitler		
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}
1	-0,777477	0,520418	-0,326554
2	-0,604251	-0,095167	0,217275
3	-2,239858	0,853686	0,034037
4	-0,059506	0,110932	-1,701141
5	0,510820	-0,849660	1,889282
6	0,319647	1,161758	-1,250025

$N7-N10$ arası nöronlar için E_i değeri (5.53) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sabitler Çizelge 5.38’de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} * N_1 + w_{2i} * N_2 + w_{3i} * N_3 + w_{4i} * N_{40} + w_{5i} * N_5 + w_{6i} * N_6 \quad (5.53)$$

Giriş ve çıkış katmanları (-1,1) veya (0,1) aralığında normalize edilmiştir.

$$V_N = \frac{V_R - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (5.54)$$

Çizelge 5.38. 7-10 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.40’da kullanılan sabitler

<i>i</i>	Sabitler					
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}	w_{4i}	w_{5i}	w_{6i}
7	-1,631240	-2,142308	1,005644	-1,891919	1,020244	0,323800
8	-0,298981	-0,817045	0,705787	0,293561	-0,151824	-0,665842
9	-0,113883	0,984068	0,129060	-0,716587	-0,463320	-0,542435
10	0,908963	-0,443962	0,258602	-0,422099	-0,004986	-0,817757

YSA sonucu elde edilen (5.50) nolu eşitlik ile test amaçlı eğitim dışında tutulan deneysel veriler kıyaslama yapılmış ve kıyaslama sonucu grafik olarak gösterilmiştir. Bu çalışmada; farklı yavaşma açılarına, kesme hızlarına, üç farklı maksimum talaş kalınlığına (tabla ilerleme hızlarında) bağlı olarak ortaya çıkan ilerleme yönündeki kesme kuvveti deney sonuçları kullanılarak YSA ile analitik bir bağıntı oluşturulmuştur. YSA ile eğitim sürecine dâhil edilmemiş test değerleri ile analitik bağıntının geçerliliği test edilmiştir.

5.14. Kesme Kuvvetlerinin Regresyon Analizi İle Modellenmesi

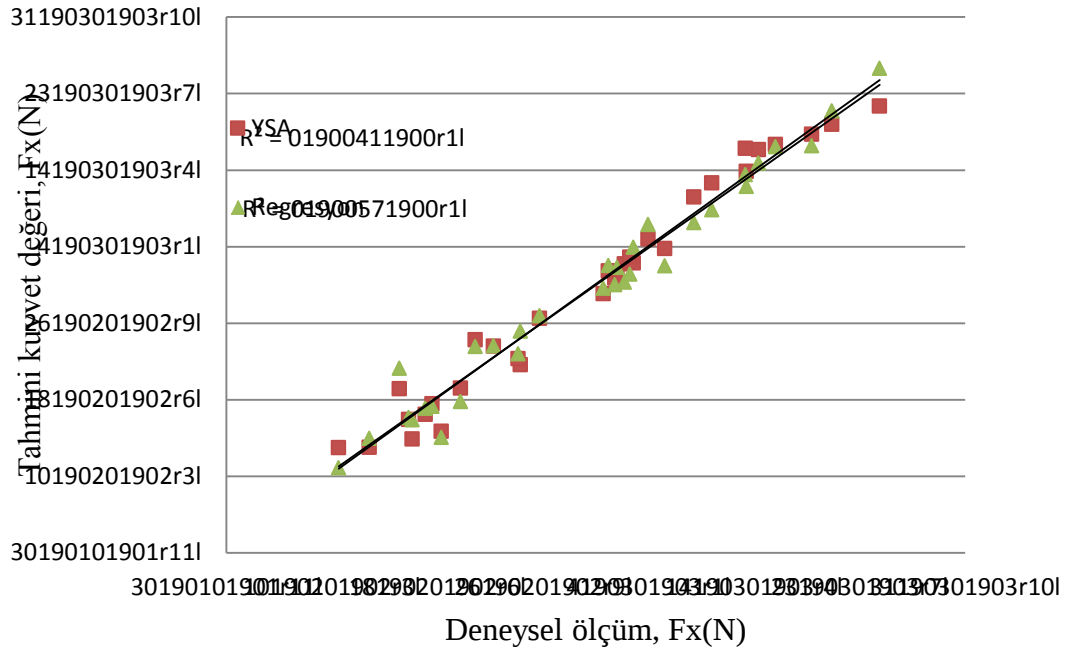
Seramik kesici uçlar kullanılarak yapılan 48 kesme kuvveti ölçüm deneyinden 31 deney minitab yazılımında regresyon analizinde kullanılmıştır. Regresyon modeli; sabit talaş hacminde 2,5 mm talaş kaldırarak yanaşma açısı (K_r), kesme hızı (V_c) ve maksimum talaş kalınlığına (h_{ex}) bağlı olarak oluşan ilerleme kuvveti esas alınarak oluşturulmuştur. Sadece kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan birinci dereceden denklem;

$$Fx = 247,943 + 9,6783 \times K_r - 0,96367 \times V_c + 1,33061 \times V_f \quad (5.55)$$

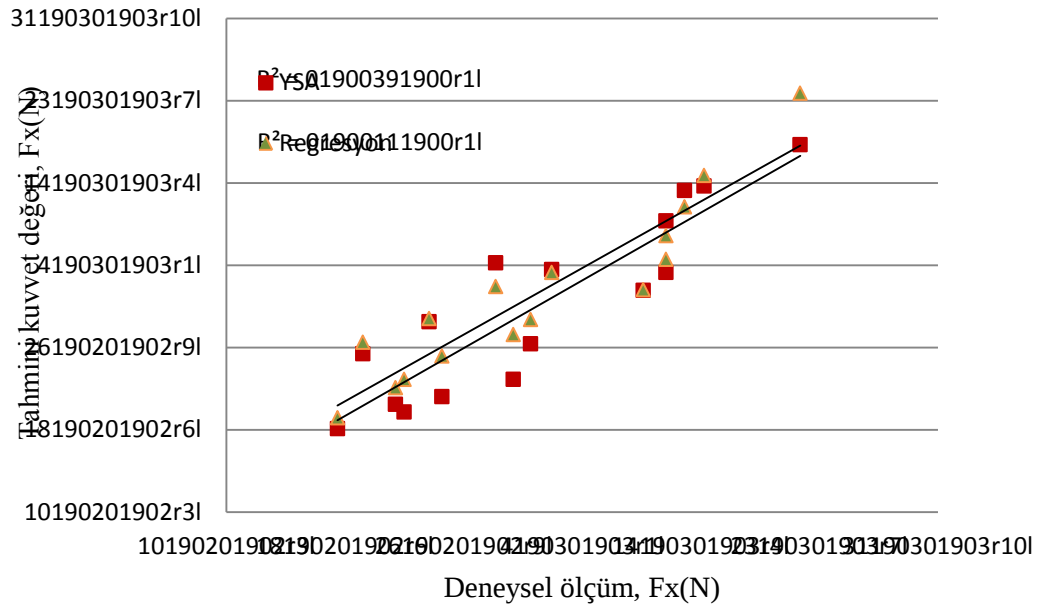
olarak elde edilmiştir. Elde edilen birinci dereceden denklemin belirleme katsayısı $R^2 = 0,9291$ olarak hesaplanmıştır. %95 güvenirlilik düzeyinin altında gerçekleşen birinci dereceden denklemle elde edilen tahmini kesme kuvveti değerleri ile yapılacak deneysel çalışmalarla elde edilecek kesme kuvveti değerleri arasındaki farklar fazla olacaktır. Dolayısıyla faktör etkileşimlerinin de yer aldığı denklem;

$$\begin{aligned} Fx = & -28,6416 + 10,9338 \times K_r - 0,976542 \times V_c + 2,47221 \times V_f + \\ & 0,00632611 \times K_r \times V_c - 0,00356983 \times K_r \times V_f + 0,00310475 \times V_c \times V_f - \\ & 0,0176192 \times K_r \times K_r - 0,0020676 \times V_c \times V_c - 0,0024508 \times V_f \times V_f \end{aligned} \quad (5.56)$$

olarak elde edilmiştir. Elde edilen ikinci dereceden denklemin belirleme katsayısı $R^2 = 0,9722$ olarak hesaplanmıştır. %95 güvenirlilik seviyesinde oluşan ikinci derece denklemle elde edilen tahmini kesme kuvveti değeri, YSA sonucu elde edilen tahmini kesme kuvveti değerleri ve deneysel çalışma sonucunda elde edilen kesme kuvveti değerlerinin kıyaslaması Şekil 5.27’de görülmektedir.



Şekil 5.27. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması



Şekil 5.28. Deney sonuçlarının YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması

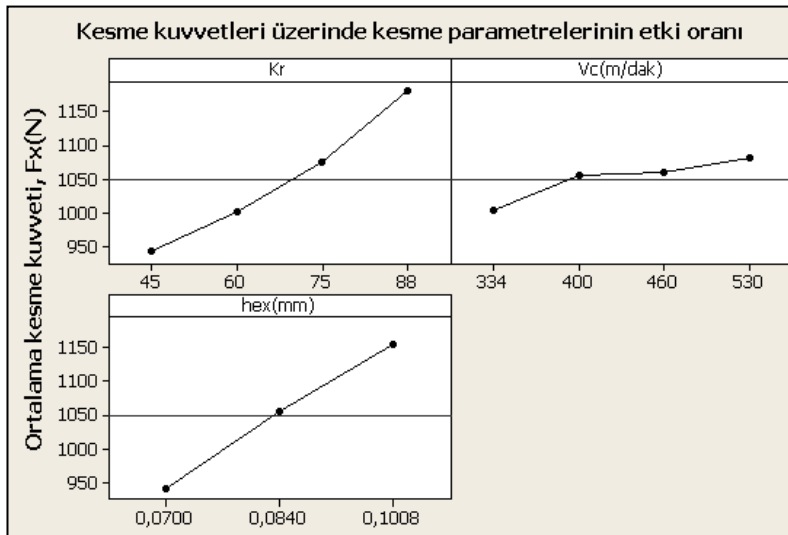
Daha sonra, kontrol faktörlerinden yavaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı değerlerine göre çeşitli deney seviyeleri arasından seçilen 17 adet deney ile ara değer doğrulama deneyleri yapılmıştır. Ara değer doğrulama deney sonuçları ile YSA ve regresyon analizi sonucu elde edilen sonuçların kıyaslaması Şekil 5.28’de görülmektedir. Grafikten de görüleceği üzere her iki model ile yapılan tahminler %90 oranının altında gerçekleşmiştir. R^2 değerinin her iki modelde de düşük çıkmasında seramik kesicilerle yapılan deneylerde, seramik kesicilerin kırılmalı bir yapıya sahip olmalarından dolayı kararsız davranışlarının etkili olduğu düşünülmektedir. Deneysel çalışmada F_x bağımlı değişken, yavaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı ise bağımsız değişkenler olarak tanımlanmıştır. Hem YSA hem de regresyon analizi ile elde edilen matematiksel modelle elde edilen değerlerden görüleceği üzere ilerleme yönündeki kesme kuvveti; yavaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak artmıştır. Tahmin sonucu elde edilen değerler deneysel çalışma sonucu elde edilen değerlere oldukça yakın çıkmıştır. YSA sonucu elde edilen (5.50) eşitlik ile regresyon yoluyla elde edilen tahmin modelinin (5.56) güvenilirliğini test etmek amacıyla eğitim dışında tutulan deneysel veriler arasında kıyaslama yapılmış ve kıyaslama sonucu Şekil 5.28’de verilmiştir. Deneysel sonuçlar ile tahmin modellerinin kıyaslanması sonucunda YSA ile yapılan modelleme de R^2 değeri 0,808 olarak gerçekleşmiş, regresyon modeli ile yapılan tahminde ise R^2 değeri 0,862 olarak gerçekleşmiştir. Regresyon modeli ile daha etkili sonuç alınmasında modelin ikinci dereceden denklem ile oluşturulması etkili olmuştur.

Çizelge 5.39’da kesme kuvvetlerini etkileyen bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin etkileşimleri dikkate alınarak yapılan varyans analizi sonuçları verilmiştir. İkinci dereceden çoklu regresyon analizinin anlamlılık katsayısına (P) baktığımızda yaptığımız analizin %95 güven aralığında anlamlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle tahmin modelinde ikinci dereceden denklemin daha etkili olduğu görülmüş ve varyans analizi değerlendirmesi bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin etkileşimlerine bağlı olarak yapılmıştır.

Çizelge 5.39. Kesme kuvveti için varyans analizi (ANOVA)

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Kareler Top.	Kareler Ortalaması	F	P
Kr	1	215187	3422	3421,6	4,4138	0,047330
Vc	1	16606	412	412,1	0,5316	0,473631
VF	1	337970	7594	7594,2	9,7963	0,004872
KrXVc	1	3808	238	237,6	0,3065	0,585411
KrXVf	1	12805	84	83,9	0,1082	0,745282
VcXVf	1	6478	988	988,2	1,2747	0,271045
KrXKr	1	401	206	205,8	0,2654	0,611563
VcXVc	1	0	1049	1048,9	1,3530	0,257210
VfXVf	1	2912	2912	2912,2	3,7566	0,065537
Hata	22	17055	17055	775,2		
Toplam	31	613222				

Kesme kuvvetleri üzerinde kontrol faktörlerinin etkisi sırasıyla ilerleme hızı (Vf) %55,11; yanaşma açısı (Kr) %35,09; kesme hızı (Vc) %2,7 ve KrXVf %2,08 şeklinde olmuştur. Varyans analizi sonuçları incelendiğinde ve farklı yanaşma açıları ile işleme yapıldığında kesme kuvvetleri üzerinde en büyük etkiye ilerleme hızının, daha sonra yanaşma açısının en az etkiye ise kesme hızının sahip olduğu görülmüştür (Şekil 5.29).



Şekil 5.29. Kesme kuvvetleri üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı

Varyans analizi sonuçlarından deneyde kullanılan maksimum talaş kalınlığı ve bu değere bağlı olarak oluşan ilerleme hızı değerlerinin yüksek seçildiği sonucuna ulaşılabilir. Vermiküler grafitli dökme demirin seramik kesicilerle kaba işlemede ve düşük ilerleme hızlarında kullanılması hem takım aşınması, hem de kesme kuvveti açısından olumlu sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

Çizelge 5.40. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması

Ölçüm Performansı	YSA	Regresyon değerleri
R^2	0,999987	0,999985
MAPE	0,016731	0,017010
RMSE	21,591410	23,455300

R^2 değeri her iki modelde %99 olarak elde edilmiştir. Çizelge 5.40’da görüldüğü gibi tahmin modelleri ile elde edilen sonuçlardan YSA algoritması ve regresyon modelinin girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi iyi bir şekilde tanımladığını ve çıktı değişkeninin yüksek doğrulukla tahmin edildiğini ortaya koymuş ancak tahmin modellerinde regresyon analizi ile yapılan tahmin %86,2 oranında bir doğrulukla yapılmıştır. Her iki modelde de birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

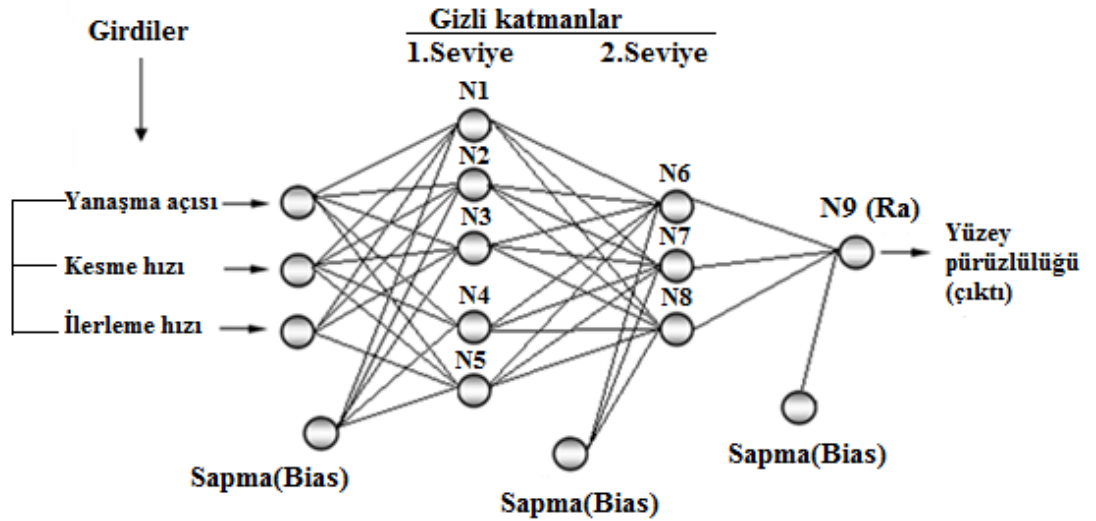
5.15. Seramik Kesicilerin Yüzey Pürüzlülük Değerinin YSA İle Modellenmesi

Seramik kesici uçlarda elde edilen deneysel verilerin yüzey pürüzlülük değerinin YSA ile modellenebilmesi için, öncelikle eğitim ve test amaçlı deneyler belirlenmiştir. 32 adet deney eğitim, 16 deney ise test amaçlı olarak ayrılmıştır. YSA ile deneysel sonuçlar eğitilerek en uygun ağ yapıları, farklı döngü ve nöron sayılarıyla araştırılmıştır. Bu çalışmada; öncelikle programa otomatik optimizasyon yaptırılarak en düşük sapma değerine sahip bir ağ yapısı seçilmiştir. Bu ağ yapısı, programın döngü sayısı ve öğrenme oranları değiştirilerek en uygun sapma değerine kadar eğitilmiştir. Bu işlemler sonucu Şekil 5.30’da görülen 9 nöronlu oluşan bir ağ yapısı seçilmiştir. Çizelge 5.41’de YSA ağının eğitiminde kullanılan kesme değerlerinin maksimum ve minimum değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.41. YSA program girdileri için sınır değerleri

Girdiler			
	Yanaşma açısı (κ_r)	Kesme hızı (Vc)	Tabla ilerleme hızı (Vf)
En büyük	88	530	764
En küçük	45	334	237

YSA eğitimi sonucu elde edilen değerler Excel programına kopyalanmış ve bu program içerisinde elde edilen ağ yapısının güvenilirliğini test etmek için, bulunan ağ yapısının sonuçları ile gerçek sonuç değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda sapma oranında çok belirgin bir hata olmadığı görülmüş ve test aşamasına geçilmiştir. Eğitime tabi tutulan deneysel verilerin tamamında maksimum 0,006 oranında bir sapma olmuştur. 9 Nöronlu LM algoritması ile vermiküler grafitli dökme demirin seramik kesicilerle işlenmesi ile oluşacak yüzey pürüzlülük değerinin tahmininde kullanılan matematiksel formül (5.57) nolu eşitlikte verilmektedir. Bu eşitlik; yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerini kullanarak vermiküler grafitli dökme demirin Seramik kesicilerle, deneyde kullanılan kesme parametreleri aralığında işlendiğinde oluşacak yüzey pürüzlülük değerinin tahmininde kullanılabilir.



Şekil 5.30. Yüzey pürüzlülük tahmininde kullanılan 9 nöronlu ağ yapısı

$$N_{9(Ra)} = \frac{1}{1 + e^{-4(-2,986773 \cdot N_6 + 1,403399 \cdot N_7 + 1,625655 \cdot N_8 - 0,5)}} \quad (5.57)$$

Her bir giriş değeri bağlantılı olduğu ağırlık değerleri ile çarpılır, ağırlıklı giriş değerleri doğrusal olarak eklenir ve çıkış değerine dönüşür. Bu çıkış değerleri de Şekil 5.30’da görüldüğü gibi diğer nöronlar için giriş değerleri olarak kullanılır.

$$N_{(i)} = \frac{1}{1+e^{-4*(E_i-0,5)}} \quad (5.58)$$

$N1-N5$ arasındaki nöronlar için E_i değeri (5.59) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte i nöron numaralarını temsil etmektedir. Elde edilen sabitler Çizelge 5.42’de verilmiştir.

Çizelge 5.42. 1-5 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.5.59’da kullanılan sabitler

i	Sabitler		
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}
1	-0,200544	-0,785645	-0,825014
2	0,685859	-0,871897	1,432073
3	-0,650129	-2,109688	0,680974
4	0,695588	-0,437300	-1,744061
5	0,634416	0,409598	-0,539687

$$E_i = w_{1i} * V_c + w_{2i} * \kappa_r + w_{3i} * V_f \quad (5.59)$$

$N6-N8$ arası nöronlar için E_i değeri (5.60) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sabitler Çizelge 5.43’de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} * N_1 + w_{2i} * N_2 + w_{3i} * N_3 + w_{4i} * N_{40} + w_{5i} * N_5 \quad (5.60)$$

Çizelge 5.43. 6-8 arası nöronlar için LM algoritmasından elde edilen ve Eş.5.60’da kullanılan sabitler

i	Sabitler				
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}	w_{4i}	w_{5i}
6	1,636783	-1,680250	3,461023	1,209950	0,373785
7	-0,938679	0,124534	0,113635	1,145851	0,411226
8	0,321202	0,004154	0,937025	-2,150989	0,696841

Giriş ve çıkış katmanları $(-1,1)$ veya $(0,1)$ aralığında normalize edilmiştir.

$$V_N = \frac{V_R - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (5.61)$$

YSA sonucu elde edilen (5.57) nolu eşitlik ile test amaçlı eğitim dışında tutulan deneysel veriler kıyaslama yapılmış ve kıyaslama sonucu tahmin modelinden elde edilen verilerin deneysel verilere yakın gerçekleştiği görülmüştür.

5.16. Yüzey Pürüzlülük Değerinin Regresyon Analizi İle Modellenmesi

Seramik kesici uçlarla yapılan 48 adet yüzey pürüzlülüğü ölçüm deneyinden 32 adet deney Minitab yazılımında regresyon analizinde kullanılmıştır. Regresyon modeli; sabit talaş hacminde 2,5 mm talaş kaldırarak yavaşma açısı (K_r), kesme hızı (V_c) ve maksimum talaş kalınlığına (h_{ex}) bağlı olarak oluşan ilerleme kuvveti esas alınarak oluşturulmuştur. Sadece kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan birinci dereceden denklem;

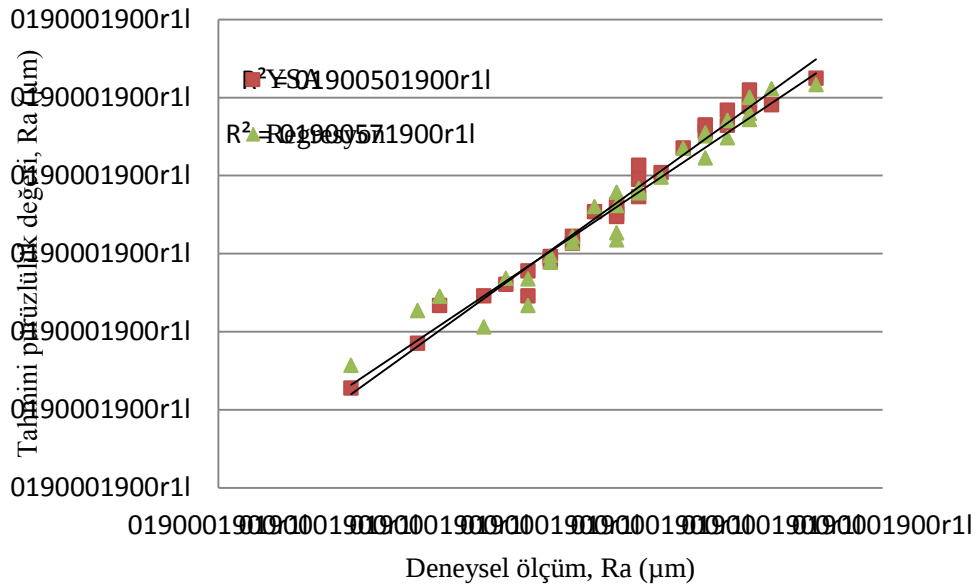
$$Ra = 0,0866371 + 0,00344224 \times K_r - 0,0000879685 \times V_c + 0,00023951 \times V_f \quad (5.62)$$

olarak elde edilmiştir. Elde edilen birinci dereceden denklemin belirleme katsayısı $R^2=0,924$ olarak hesaplanmıştır. %95 güvenirlilik düzeyinin altında gerçekleşen birinci dereceden denklemle elde edilen tahmini yüzey pürüzlülük değerleri ile deneysel çalışmalarla elde edilecek yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki farklar fazla olacaktır. Dolayısıyla faktör etkileşimlerinin de yer aldığı denklem;

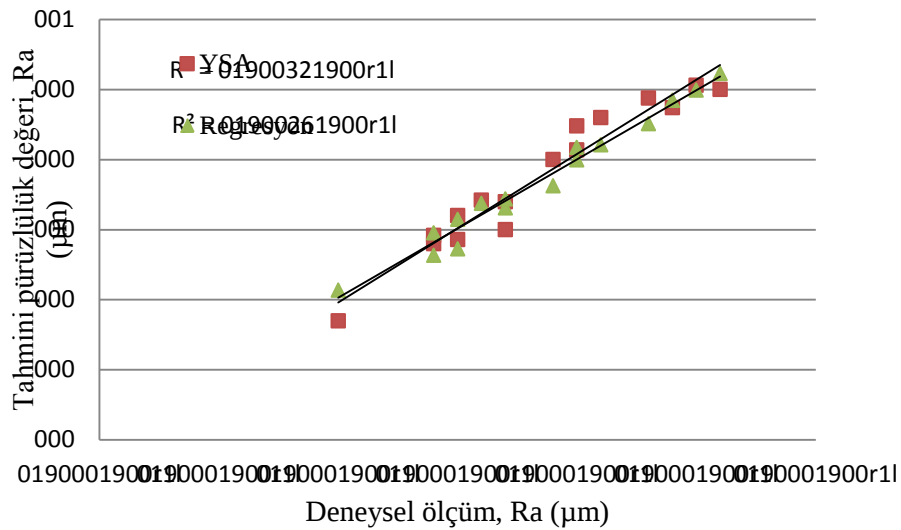
$$\begin{aligned} Ra = & -0,244888 + 0,00604697 \times K_r + 0,000326014 \times V_c + 0,000990923 \times \\ & V_f + 0,00000252519 \times K_r \times V_c - 0,00000546195 \times K_r \times V_c + \\ & 0,000000236563 \times V_c \times V_f - 0,0000101646 \times K_r \times K_r - 0,000000800118 \times \\ & V_c \times V_c - 0,00000054651 \times V_f \times V_f \end{aligned} \quad (5.63)$$

olarak elde edilmiştir. Elde edilen ikinci dereceden denklemin belirleme katsayısı $R^2=0,95$ olarak hesaplanmıştır. %95 güvenirlilik seviyesinde oluşan ikinci derece denklemle elde edilen tahmini yüzey pürüzlülük değeri, YSA sonucu elde edilen

tahmini yüzey pürüzlülük değerleri ve deneysel çalışma sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin kıyaslaması Şekil 5.31’de görülmektedir. Daha sonra kontrol faktörlerinden yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı değerlerine göre çeşitli deney seviyeleri arasından seçilen 16 adet deney ile ara değer doğrulama deneyleri yapılmıştır. Ara değer doğrulama deney sonuçları ile YSA ve regresyon analizi sonucu elde edilen sonuçların kıyaslaması Şekil 5.32’de görülmektedir.



Şekil 5.31. Seramik kesicilerle işlemede yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı

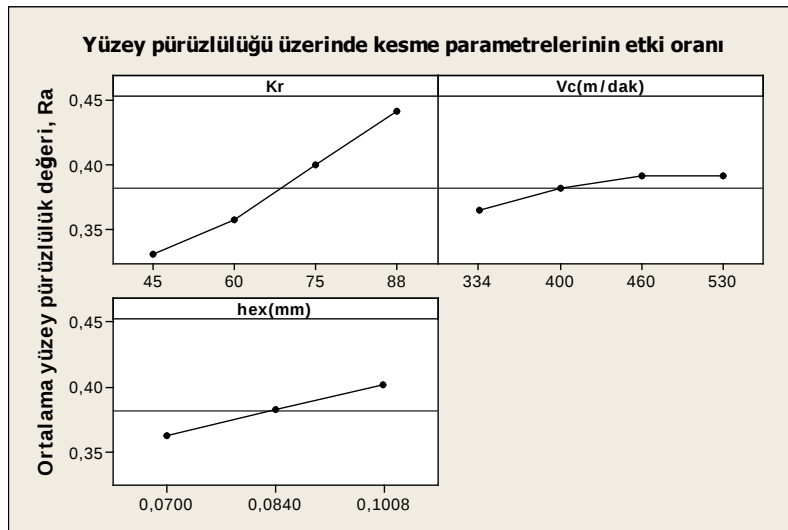


Şekil 5.32. Kontrol deneylerinin YSA ve regresyon modeli ile

Deneysel çalışmada Ra bağımlı değişken, yavaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı ise bağımsız değişkenler olarak tanımlanmıştır. Hem YSA hem de regresyon analizi ile elde edilen matematiksel değerlerden görüleceği üzere yüzey pürüzlülük değeri; yavaşma açısı ve ilerleme hızına bağlı olarak artmıştır. Tahmin sonucu elde edilen değerler deneysel çalışma sonucu elde edilen değerlere oldukça yakın çıkmıştır (Şekil 5.32).

Çizelge 5.44. Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi (ANOVA)

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Kareler Top.	Kareler Ortalaması	F	P
Kr	1	0,0568110	0,0010466	0,0010466	5,9774	0,022961
Vc	1	0,0034038	0,0000459	0,0000459	0,2623	0,613635
VF	1	0,0109723	0,0012201	0,0012201	6,9684	0,014963
Kr*Vc	1	0,0000049	0,0000379	0,0000379	0,2162	0,646493
Kr*Vf	1	0,0000583	0,0001964	0,0001964	1,1218	0,301029
Vc*Vf	1	0,0016925	0,0000057	0,0000057	0,0328	0,858015
Kr*Kr	1	0,0000035	0,0000685	0,0000685	0,3911	0,538152
Vc*Vc	1	0,0000445	0,0001571	0,0001571	0,8971	0,353845
Vf*Vf	1	0,0001448	0,0001448	0,0001448	0,8271	0,372978
Hata	22	0,0038519	0,0038519	0,0001751		
Toplam	31	0,0769875				



Şekil 5.33. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı

Çizelge 5.44’de; yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin etkileşimleri dikkate alınarak yapılan varyans analizi sonuçları verilmiştir. İkinci dereceden çoklu regresyon analizinin anlamlılık katsayısına (P) bakıldığında yapılan analizin %95 güven aralığında anlamlı olduğu gözükmemektedir. Bu nedenle tahmin modelinde ikinci dereceden denklemin daha etkili olduğu görülmüş ve varyans analizi değerlendirmesi bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin etkileşimlerine bağlı olarak yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kontrol faktörlerinin etkisi sırasıyla yanaşma açısı (Kr) %73,79; ilerleme hızı (Vf) %14,25 ve kesme hızı (Vc) %4,42 VcXVf %2,19 şeklinde olmuştur (Şekil 5.33). Deneysel sonuçlar ile tahmin modellerinin kıyaslanması sonucunda YSA ile yapılan modellemede R^2 değeri 0,942 olarak gerçekleşmiş, regresyon modeli ile yapılan tahminde ise R^2 değeri 0,977 olarak gerçekleşmiştir. Regresyon modeli ile daha etkili sonuç alınmasında modelin ikinci dereceden denklem ile oluşturulması etkili olmuştur.

Çizelge 5.45. YSA ve regresyon analizi değerlerinin kıyaslanması

Ölçüm Performansı	YSA	Regresyon değerleri
R^2	0,999987	0,999974
MAPE	0,015706	0,022825
RMSE	0,007817	0,010971

Her iki modelde eğitime tabi tutulan deneysel sonuçların R^2 değeri %99 olarak elde edilmiştir. Çizelge 5.45’de görüldüğü gibi tahmin modelleri ile elde edilen sonuçlardan YSA algoritması ve regresyon modelinin girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi iyi bir şekilde tanımladığını ve çıktı değişkeninin yüksek doğrulukla tahmin edildiğini ortaya koymaktadır. Her iki modelde de birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan malzemenin çekme dayanımı 508 MPa, akma dayanımı 284 MPa, ortalama sertlik 280 HV, darbe dayanımı 8,6 joule belirlenmiştir.

6.1. Karbür Kesici Uçların Aşınması

500 cm³ sabit talaş hacminde en düşük kesici takım aşınması VB=0,12 mm, 45°'lik yanaşma açısında 215 m/dak kesme hızında ve 492 mm/dak tabla ilerlemesinde gerçekleşmiştir. Bu işleme parametrelerinde işleme süresi 10,17 dakika olarak gerçekleşmiştir. En yüksek kesici takım aşınması VB=0,87 mm, 88° yanaşma açısında 290 m/dak kesme hızında ve 704 mm/dak tabla ilerlemesinde olmuştur. Bu işleme parametrelerinde ise işleme süresi 7,1 dakika olarak gerçekleşmiştir.

Maksimum ve minimum kesici takım aşınması arasında %725 oranında bir fark oluşmuştur.

Yanaşma açısı ve kesme hızı arttıkça takım aşınması artmıştır. Yanaşma açısı azaldıkça açı değerine bağlı olarak ilerleme hızı ve bu değere bağlı olarak ta işleme verimliliği artmıştır. En yüksek tabla ilerlemesi; 45° yanaşma açısında, 290 m/dak kesme hızında 995 mm/dak olarak gerçekleşmiştir. Bu kesme şartlarında aşınma oranı VB=0,36 mm olurken işleme süresi teorik olarak 5,02 dakika olarak hesaplanmıştır. En düşük tabla ilerlemesi; 88° yanaşma açısında, 215 m/dak kesme hızında 348 mm/dak olarak gerçekleşmiştir. Bu kesme şartlarında aşınma değeri 0,45 mm olurken, işleme süresi teorik olarak 14,37 dakika olarak hesaplanmıştır.

SEM resimleri incelendiğinde; 45° ve 60° giriş açılarında açının etkisi ile aşınma kesici ucun yan yüzeyinde, 75° ve 88° giriş açılarında ise kesici uç yarıçapına yakın bölgede oluşmuştur.

Vermiküler grafitli dökme demirin 45° ve 60° yanaşma açıları ile düzlem yüzey frezelenmesinde ekonomik ve verimli bir işleme elde edilebilir. 75° ve 88° yanaşma açılarında, düşük kesme hızları ve ilerleme oranlarında başarılı sonuçlar alınmıştır. Ancak; yüksek kesme hızları ve ilerleme oranlarında; 75° yanaşma açısında ve yüksek kesme hızlarında, ayrıca 88° yanaşma açısının tüm kesme hızlarında kesici takım ömrünü tamamlamıştır.

Frezeleme işleminde kesme kuvvetlerinin ani yüklenmesi ve kalkması, kesici uç üzerinde mekanik ve termal yorulma aşınmasına, çatlaklara ve kırılmalara sebep olmuştur. Karbür kesicilerle yapılan deneylerde etkin takım aşınması; yan kenar aşınması ve yapışma aşınması şeklinde gerçekleşmiştir. Yanaşma açısının değeri büyüdükçe aşınma mekanizması kesici ucun burun yarıçapında gerçekleşmiş, burun yarıçapında yorulma aşınması ve sıvanma şeklinde yapışma aşınması görülmüştür. Yığma talaş oluşumu ve devamında kesici uç üzerinden parçacık kopmaları ile kırılmalar görülmüştür.

6.2. Seramik Kesici Uçların Aşınması

Deneysel çalışmada en düşük kesici takım aşınması 0,11 mm, 45°'lik yanaşma açısında 400 m/dak kesme hızında ve 400 mm/dak tabla ilerlemesinde gerçekleşmiştir. En yüksek kesici takım aşınması 1,1 mm, 88° yanaşma açısında 530 m/dak kesme hızında ve 540 mm/dak tabla ilerlemesinde olmuştur.

Maksimum ve minimum kesici takım aşınması arasında %982 oranında bir fark oluşmuştur. İşleme verimliliği açısından bakıldığında ise en yüksek tabla ilerlemesi; 45° yanaşma açısında, 530 m/dak kesme hızında 764 mm/dak olarak gerçekleşmiştir. Bu kesme şartlarında aşınma değeri 0,25 mm olurken, işleme süresi teorik olarak 6,55 dakika olarak hesaplanmıştır. En düşük tabla ilerlemesi; 88° yanaşma açısında, 400 m/dak kesme hızında 283 mm/dak olarak gerçekleşmiştir. Bu kesme şartlarında aşınma değeri 0,86 mm olurken, işleme süresi teorik olarak 17,65 dakika olarak hesaplanmıştır.

45° ve 60° 'lik giriş açıları ile yapılan deneylerin tamamında; ilerleme oranı arttıkça yan kenar aşınması doğrusal olarak artış göstermiş ve daha kararlı bir seyir izlemiştir. Bu açılarda, kesme işlemi daha geniş yüzeye dağıldığı için başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

75° ve 88°'lik giriş açıları ile yapılan deneylerde ise; yan kenar aşınmasının daha hızlı geliştiği görülmüştür. 75° ve 88°'lik giriş açılarında, kesme işleminin kesicinin uç kısmında gerçekleşmesinden ve seramik kesicilerin darbeler karşısında daha kırılgan bir yapıya sahip olmasından dolayı kırılmalar meydana gelmiştir.

Karbür kesici uçların daha tok ve darbelere dayanıklı olması nedeniyle düzenli takım aşınması oluşurken, seramik kesicilerle yapılan deneylerde ise; daha çok kesici uç kırılması şeklinde aşınma mekanizması oluşmuştur.

6.3. Karbür Kesicilerle Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Kuru kesmede 45°'lik yanaşma açısında, $V_c=180$ m/dak kesme hızında ve $V_f=618$ mm/dak'lık ilerleme hızında F_x yönünde en yüksek kesme kuvveti 2019,96 N olarak gerçekleşmiştir. Soğutma sıvısı ile yapılan kesme kuvveti deneylerinde ise; 45° 'lik yanaşma açısında, $V_c=290$ m/dak kesme hızında ve $V_f=995$ mm/dak'lık ilerleme hızında en yüksek kesme kuvveti 1984,86 N olarak gerçekleşmiştir. İlerleme miktarının artması; yüksek ilerleme kuvvetine, düşük kayma açısına ve kaldırılan talaş hacminin artmasına neden olmaktadır. Yanaşma açısının değerinin azalması ile ilerleme miktarı arttığından, ilerleme yönündeki kesme kuvvetlerinin artmasında da en önemli etken olmuştur. Ayrıca yanaşma açısının değerinin düşmesi ile kesici takım daha geniş yüzey ile iş parçasına temas etmekte ve sürtünme artmaktadır. Bu da kesme kuvvetinin artmasına sebep olmuştur.

F_r bileşke kuvvetler yönünden incelendiğinde ise, en yüksek kesme kuvveti; 45°'lik yanaşma açısında, $V_c=290$ m/dak kesme hızında ve $V_f=995$ mm/dak'lık ilerleme hızında 2730,95 N olarak gerçekleşmiştir. Aynı kesme şartlarında, soğutma sıvısı ile

yapılan kesme kuvveti deneylerinde en yüksek F_r bileşke kesme kuvveti yine bu şartlarda oluşmuş ve kesme kuvveti 2408,82 N olarak gerçekleşmiştir.

Kuru olarak yapılan kesme kuvveti ölçme deneylerinin tamamında, F_x yönünde en düşük kesme kuvveti; 88° 'lik yanaşma açısında, $V_c=215$ m/dak kesme hızında ve $V_f=435$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1004,15 N olarak ölçülürken, en yüksek kesme kuvveti 2019 N olarak 45° 'lik yanaşma açısında ölçülmüştür. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan kesme kuvveti ölçüm deneylerinin tamamında F_x yönünde en düşük kesme kuvveti; 88° 'lik yanaşma açısında, $V_c=290$ m/dak kesme hızında ve $V_f=469$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1103,52 N olarak ölçülürken, en yüksek kesme kuvveti 1984,86 N olarak 45° 'lik yanaşma açısında ölçülmüştür.

Deneylerin tamamı bileşke kuvvetler açısından incelendiğinde ise, kuru olarak yapılan kesme kuvveti ölçme deneylerinin tamamında, F_r yönünde en düşük kesme kuvveti; 88° 'lik yanaşma açısında, $V_c=290$ m/dak kesme hızında ve $V_f=469$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1509,41 N olarak ölçülürken, en yüksek kesme kuvveti 2730,95 N olarak 45° 'lik yanaşma açısında ölçülmüştür. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan kesme kuvveti ölçme deneylerinin tamamında, F_r yönünde en düşük kesme kuvveti; 88° 'lik yanaşma açısında, $V_c=180$ m/dak kesme hızında ve $V_f=291$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1561,28 N olarak ölçülürken, en yüksek kesme kuvveti 2408,82 N olarak 45° 'lik yanaşma açısında ölçülmüştür.

45° yanaşma açısında yapılan deneylerde soğutma sıvısı, maksimum kesme kuvvetinin %7,7 azalmasını sağlamıştır. Deneylerin tamamında soğutma sıvısı, kesme kuvvetlerinde %7 ile %13 arasında bir azalmaya sebep olmuştur.

60° yanaşma açısında soğutma sıvısı kesme kuvvetlerinin düşmesini sağlamıştır. Bu yanaşma açısında, deneylerin biri hariç diğerlerinde kesme kuvvetlerinde %1 ile %15 arasında bir azalma olmuştur. $V_c=250$ m/dak kesme hızında ve $V_f=700$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1816,41 N olurken, soğutma sıvısı; kesme kuvvetinde %5,2 oranında bir artışa sebep olmuştur.

75° ve 88° yanaşma açılarında soğutma sıvısı kesme kuvvetleri üzerinde kararlı bir etki sağlamamıştır.

Yanaşma açısının değeri yükseldikçe kesme kuvvetlerinde dikkate değer bir azalma olmuştur. Yanaşma açısının değeri küçüldükçe açı değerine bağlı olarak ilerleme hızı yükseldiğinden ve kesici uç kesme sırasında iş parçası malzemesine daha geniş bir yüzeyden temas sağladığından dolayı oluşan sürtünme nedeniyle kesme kuvvetleri yüksek olmuştur. Kesici takım daha fazla yüzeyden temas sağladığı için kesici takım yan kenarı daha iyi dayanım göstermiştir.

Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneylerde; kesme kuvvetlerinde 45° ve 60° 'lik giriş açılarında %1-%15,33 oranında düşme meydana gelirken; 75° ve 88° 'lik giriş açılarında %1 ile %16 arasında kuvvetlerin artmasına sebep olmuştur.

6.4. Seramik Kesicilerle Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Fx yönünde en yüksek kesme kuvveti; 88° 'lik yanaşma açısında, $V_c=530$ m/dak kesme hızında ve $V_f=540$ mm/dak'lık ilerleme hızında 1319 N, Fy yönünde ise; en yüksek kesme kuvveti 1253,67 N olarak gerçekleşmiştir. Fr bileşke kuvvetler yönünden incelendiğinde ise; en yüksek kesme kuvveti aynı kesme şartlarında 1972 N olarak gerçekleşmiştir.

Fx yönünde en düşük kesme kuvveti; 45° 'lik yanaşma açısında, $V_c=334$ m/dak kesme hızında ve $V_f=334$ mm/dak'lık ilerleme hızında 806,33 N olarak ölçülürken, Fy yönünde ise; $V_c=530$ m/dak kesme hızında ve $V_f=764$ mm/dak'lık ilerleme hızında en düşük kesme kuvveti 878,5 N olarak gerçekleşmiştir. Fr bileşke kuvvetler yönünden incelendiğinde ise; en düşük kesme kuvveti 334 mm/dak'lık ilerleme hızında 1064,58 N olarak ölçülmüştür.

88° yanaşma açısında Fx yönünde oluşan maksimum kesme kuvvetleri; 75° yanaşma açısı ile kıyaslandığında %6,9 oranında artış olurken minimum kesme kuvvetinde ise %19,3 oranında artış olmuştur. 88° yanaşma açısında Fx yönünde

oluşan kesme kuvvetlerinde; 60° yanaşma açısına göre maksimum kuvvetlerde %13,7; 45° yanaşma açısına göre ise %22,4 oranında artış olmuştur. Minimum kuvvetlerde; 60° yanaşma açısına göre %21; 45° yanaşma açısına göre ise %31 oranında artış olmuştur.

Seramik kesici uçlarda karbür kesici uçlardakinin tersine yanaşma açısının değeri büyüdükçe kesme kuvvetlerinde artış olmuştur. Kesme kuvvetlerinde meydana gelen bu artışa, yanaşma açısının değeri büyüdükçe kesici uçta meydana gelen kırılmaların etkisi olmuştur. Ayrıca deneysel çalışmada kullanılan kesici takımın uç radyüsünün 2,5 mm olması ve talaş derinliğinin de 2,5 mm olmasından dolayı 75° ve 88° yanaşma açılarında meydana gelen titreşimin de kesme kuvvetlerinin artmasında etkili olmuştur.

6.5. Karbür Kesiciler İçin Yüzey Pürüzlülüğü Değerlendirmesi

Kesici takım yanaşma açısının değeri 45° 'den 88° 'ye doğru arttıkça yüzey pürüzlülük değeri iyileşmiştir. Yanaşma açısının değerinin artmasıyla sinüs değerine bağlı olarak ilerleme hızı azalmaktadır. İlerleme hızında meydana gelen bu azalma yüzey pürüzlülük değerinin iyileşmesini sağlamıştır. İlerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır.

Kuru kesme şartlarında en yüksek yüzey pürüzlülük değeri 45° yanaşma açısında, $V_c=290$ m/dak kesme hızında ve $V_f=994$ mm/dak ilerleme hızında $R_a=0,69$ μm olarak elde edilmiştir. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan işlemlerde ise aynı kesme şartlarında $R_a=0,58$ μm olarak elde edilmiştir.

En iyi yüzey pürüzlülük değeri ise; 88° yanaşma açısında, $V_c=215$ m/dak kesme hızında ve $V_f=348$ mm/dak ilerleme hızında $R_a=0,29$ μm olarak elde edilmiştir. Soğutma sıvısı kullanarak yapılan işlemlerde ise, aynı kesme şartlarında $R_a=0,21$ μm olarak elde edilmiştir. Burada yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme hızı değerinin minimum düzeyde olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

Deneyleerin tamamında soğutma sıvısının yağlayıcılık özelliği; yüzey pürüzlülük değerlerinin %3 ile %38 oranında iyileşmesine katkı sağlamıştır.

6.6. Seramik Kesiciler İçin Yüzey Pürüzlülüğü Değerlendirmesi

Seramik kesicilerde; karbür kesici uçlarda oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin aksine, kesici takım yanaşma açısının değeri 45° 'den 88° 'ye doğru arttıkça yüzey pürüzlülük değeri de artmıştır. İlerleme hızının yüksek olması kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olmuştur. Ayrıca yanaşma açısının değerinin yükselmesi ile kırılgan bir yapıya sahip olan seramik kesicilerde kırılmalara ve titreşime sebep olmuştur. Bunun sonucunda ise, yüzey pürüzlülük değerinin bozulmasına sebep olmuştur.

Seramik kesicilerle elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri; karbür kesici uçlarla hem kuru işleme hem de ıslak işleme şartlarında elde edilen değerlerden daha düşük gerçekleşmiştir.

Deneyleerin tamamında yüzey pürüzlülük değerleri birbirine çok yakın değerlerde gerçekleşmiştir. Karbür uçlarda maksimum Ra değeri ile minimum Ra değeri arasında %138 oranında fark varken, seramik kesici uçlarda bu fark %80 olarak elde edilmiştir.

6.7. Tahmin Modellerinin Değerlendirilmesi

Karbür kesici uçların aşınma modeli için en uygun ağ yapısı $3 \times 6 \times 4 \times 2 \times 2 \times 1$, seramik kesici uçlar için ise en uygun ağ yapısı $3 \times 6 \times 4 \times 2 \times 2 \times 1$ olarak bulunmuştur. Kesme kuvvetlerinde karbür kesici uçlarda en uygun ağ yapısı, kuru deneylerde $3 \times 5 \times 3 \times 1$, soğutma sıvısı ile yapılan deneylerde $3 \times 5 \times 5 \times 1$ olarak bulunmuştur. Seramik kesicilerle yapılan deneylerde kesme kuvvetleri için en uygun ağ yapısı $3 \times 6 \times 4 \times 1$ olarak bulunmuştur. Yüzey pürüzlülükleri için ise, karbür kesici uçlarla kuru olarak yapılan deneylerde en uygun ağ modeli $3 \times 6 \times 5 \times 1$, soğutma sıvısı ile yapılan deneylerde $3 \times 5 \times 5 \times 6 \times 1$ ve seramik kesicilerle yapılan deneylerde $3 \times 5 \times 3 \times 1$ olarak bulunmuştur.

Karbür kesici uçlarla yapılan aşınma deney sonuçları ile elde edilen matematiksel modeller kullanılarak yapılan tahminlerde YSA ile %99 regresyon analizi ile de %98 başarı sağlanmıştır.

Seramik kesici uçlarla yapılan aşınma deney sonuçları ile elde edilen matematiksel modeller kullanılarak yapılan tahminlerde YSA ile %99 regresyon analizi ile de %98 başarı sağlanmıştır.

Karbür kesici uçlarla kuru olarak yapılan kesme kuvveti deney sonuçları ile elde edilen matematiksel modeller kullanılarak yapılan tahminlerde YSA ile %95; regresyon analizi ile de %94,9 başarı sağlanmıştır.

Karbür kesici uçlarla ve soğutma sıvısı ile yapılan kesme kuvveti deney sonuçları ile elde edilen matematiksel modeller kullanılarak yapılan tahminlerde YSA ile %79,3 regresyon analizi ile de %90 oranında başarı sağlanmıştır. Karbür kesici uçlarla, soğutma sıvısı kullanarak yapılan kesme kuvveti ölçüm deneylerinde; soğutma sıvısı kesme kuvvetlerinde dalgalanmalara ve kararsız bir davranış göstermesine sebep olmuştur. Soğutma sıvısının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisinden dolayı YSA ile elde edilen matematiksel model ile test verileri arasında başarı oranı düşük çıkmıştır.

Seramik kesici uçlarla yapılan kesme kuvveti deney sonuçları ile elde edilen matematiksel modeller kullanılarak yapılan tahminlerde YSA ile %80,8 regresyon analizi ile de %86,2 oranında başarı sağlanmıştır. Seramik kesici uçlarla yapılan kuvvet ölçüm deneylerinde ise, kesici uça meydana gelen kırılmalar ve işleme sırasındaki titreşimden dolayı dinamometreden elde edilen sinyallerde kirliliğe neden olmaktadır. Hedeflenen matematiksel model değerinde meydana gelen küçük sapmalar ile test verileri arasındaki korelasyonun düşük çıkması; vuruntulu çalışma karşısında zayıf kalan seramik kesici uçlarda meydana gelen kırılmalardan kaynaklanmıştır.

Karbür kesici uçlarla kuru olarak yapılan yüzey pürüzlülük deney sonuçları ile elde edilen matematiksel modeller kullanılarak yapılan tahminlerde YSA ile %96,9 regresyon analizi ile de %94,7 oranında başarı sağlanmıştır.

Karbür kesici uçlarla soğutma sıvısı kullanılarak yapılan yüzey pürüzlülük deney sonuçları ile elde edilen matematiksel modeller kullanılarak yapılan tahminlerde YSA ile %95,1 regresyon analizi ile de %97,2 oranında başarı sağlanmıştır.

Seramik kesici uçlarla yapılan yüzey pürüzlülük deney sonuçları ile elde edilen matematiksel modeller kullanılarak yapılan tahminlerde YSA ile %94,2 ve regresyon analizi ile de %97,7 oranında başarı sağlanmıştır.

VGDD'in demirin düzlem yüzey frezeleme işleminde elde edilen bu sonuçlar ışığında şu öneriler sunulabilir:

Daha yüksek takım ömrü elde etmek için hem kaplamalı karbür kesici uçlar hemde seramik kesici uçlarda 45° ve 60° yanaşma açılarında çalışılması tavsiye edilebilir.

Seramik kesici uçlarla 75° ve 88° yanaşma açılarında çalışılması gereken durumlarda daha düşük ilerleme hızı değerlerinin seçilmesi tavsiye edilir.

Kaplamalı karbür kesici uçlarla kaba frezeleme işlemlerinde takım ömrü kriterinin $VB=0,6$ mm alınması durumunda; 75° ve 88° yanaşma açılarında, 290 m/dak kesme hızının altındaki hızlarda çalışılması tavsiye edilebilir.

Vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesi sırasında soğutma sıvısının 45° ve 60° yanaşma açılarındaki olumlu etkisi de göz önüne alınarak kullanımı faydalı olacaktır.

Yanaşma açılarının farklı malzemelerin işlenebilirliği üzerindeki etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

Abele, E., Sahm, A., “Wear Mechanism when Machining Compacted Graphite Iron”, *Institute of Production Management, Technology and Machine Tools (PTW) University of Technology*, 51: 53-56 (2002).

Abele, E., Schramm, B., “Using PCD for machining CGI with a CO₂ coolant system”, *Production Process*, 165-169 (2008).

Altstetter, J.D., “Compacted Graphite Iron: Its properties and Automotive Applications”, *Transactions of the American Foundrymen's Society*, 90: 959-970 (1982).

Diniz, A., “Influence of the relative positions of tool and workpiece on tool life, tool wear and surface finish in the face milling process”, *Wear*, 232: 67–75 (1999).

Armarego, E., “Computer Aided Predictive Models for Fundamental Rotary Tool Cutting Processes”, *Annals of the CIRP*, 42: 49-54 (1993).

Armarego, E., “Predictive Cutting Model for Forces and Power in Self-Propelled Rotary Tool Turning Operations”, *Annals of the CIRP*, 19-26 (1997).

Balaji, K. P., “On Some Tribological Effects in Machining Of Compacted Graphite Iron (CGI)”, *International Joint Tribology Conference*, San Antonio, 971-980 (2006).

Berglund, A., “Investigation of the effect of microstructure on CGI machining”, *Swedish Production Symposium*, Gothenburg, Sweden (2007).

Berglund, A., “Analysis of compacted graphite iron machining by investigation of tool temperature and cutting force”, *1st International Conference on Process Machine Interactions*, Hannover Germany (2008).

Borghigiani, E. M., “Compacted Graphite Iron Ingot Molds”, *Transactions of the American Foundrymen's Society*, 90: 529-549 (1982).

Chen, S., “Forecasting tourist arrivals by using the adaptive networkbased fuzzy inference system”, *Expert Systems with Applications* (2009).

Chen, S., “Data fusion neural network for tool condition monitoring in CNC milling machining”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 40: 381-400 (2000).

Chien, W., “The predictive model for machinability of 304 stainless steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 118: 442-447 (2001).

Cooper, K., “Some Properties of Compacted Graphite Cast Iron”, *American Foundry Society Transactions*, 241-248 (1978).

Çiftçi, İ., “Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. ,* 20: 205-209 (2005).

Sahm, D., “Investigation of the wear mechanism of cubic boron nitride tools used for the machining of compacted graphite iron and grey cast iron”, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 18: 287-296 (2000).

D’Errico, G., “Advanced ceramic tools: An experimental assessment in turning tests”, *Journal of Materials Processing Technology*, 54, 34-39 (1995).

Das, S., “Neural-Network Based Tool Wear Monitoring in Turning Medium Carbon Steel Using a Coated Carbide Tool”, *Journal of Materials Processing Technology*, 63: 187-192 (1997).

Dawson S., “The mechanical and physical properties of compacted graphite iron”, *Materials Science and Engineering Technology*, 29: 397-411 (1998).

Dawson, S., “Compacted Graphite Iron: Mechanical and Physical Properties for Engine Design”, *Werkstoff und Automobilantrieb*, 8-9 (1999).

Dawson, S., “The Effect of Metallurgical Variables on the Machinability of Compacted Graphite Iron”, *SAE Technical Paper Series* (2001).

Dawson, S., “Lost and Foundry”, *Engine Technology International*, 48-52 (2001).

Dawson, S., “Practical Applications for Compacted Graphite Iron”, *American Foundry Society Transactions*, 1-9 (2004).

Demir H., Güllü, A., “Düzlem Taşlama İşleminde Taşlama Kuvvetlerinin Ölçülmesi İçin Bir Dinamometre Tasarımı ve İmalatı”, *Teknoloji-ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi*, 111-118 (2006).

Demir, H. “Taşlama parametrelerinin taşlama kalitesine etkilerinin incelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 189-198 (2001).

DPT., "Ana metal sanayii özel ihtisas komisyonu raporu", (2007).

Elenayar, S., “Machining condition monitoring for automation using neural Networks”, *ASME Winter Annual Meeting, Monitoring and Control of Manufact. Process*, 44: 85 (1990).

Fallon, M., “Experiments on the treatment of compacted graphite iron”, **Foundry Trade Journal**, 178: 34-38 (2004).

Fausett, L., “Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications”, **Publisher Englewood Cliffs**, New Jersey: Prentice-Hall, Inc. (1994).

Flom D., “High speed machining of cast iron with BZN compacts”, **Wear**, 147: 253-65 (1991).

Forest, S., “Genetic algorithms: principle of naturel selection applied to computation”, **Science**, 261: 872-878 (1993).

Georgiou, G., “CGI high speed machine tool solutions, Compacted graphite iron machining workshop”, **Warren conference**, Lamb Technicon, USA (2002).

Ghosh, N. R., “Estimation of tool wear during CNC milling using neural network-based sensor fusion”, **Mechanical Systems and Signal Processing** 21: 466-479 (2007).

Goodrich, G., “Iron Castings Engineering Handbook”, Schaumburg: **American Foundry Society**, (2006).

Gökkaya H., “PVD ve CVD kaplamalı sementit karbür kesici takımların işleme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, **Karabük Üniversitesi Teknoloji Dergisi**, 7: 473-478 (2004).

Guesser, W., “Compacted Graphite Iron – a new material for diesel engine cylinder blocks”, **II Encontro da SBPMat Brazilian MRS Meeting**, Santa Catarina: Universidade do Estado de Santa Catarina (2003).

Guillot M.ve El Ouafi, A., “On-line identifcation of tool breakage in metal cutting processes by uses of artificial neural networks”, **Proceed. Of ANNIE**, 701 (1991).

Günay, M., “Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2003).

Lee, H., “One-step-ahead prediction of Flank wear using cutting force”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 39: 1747-1760 (1999).

Haber, R. E., Alique, A., “Intelligent process supervision for predicting tool wear in machining processes”, **Mechatronics**, 13: 825-849 (2003).

Handbook, “Compacted Graphite Irons”, **American Society For Metals**, U.S.A. 15, (1972).

Heck., “Analytical investigations concerning the wear behaviour of cutting tools used for the machining of compacted graphite iron and grey cast iron”. ***International Journal of Refractory Metals and Hard Materials***, 2: 197-206 (2008).

Higgins, R., “Applied Physical Metallurgy”, ***British Government***, (1993).

Işık Y., “Takım Çeliklerinin Talaşlı İmalatında Kesme Kuvvetleri İle Takım Ömrü Arasındaki İlişkinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, ***9. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi***, ODTÜ (2000).

Jang, D., “Use of ceramic tools in hard turning of hardened AISI M2 steel”, ***Tribology Transactions***, 43: 641-646 (2000).

Jönsson, H., “Milling of Compacted Graphite Iron (CGI)”, ***Royal Institute of Technology, KTH Production Engineering***, Stockholm, Sweden (2008).

Kennametal, “Tornalama Takımları Katalogu”, ***Metallurgy and Machinability***, 32-36, İstanbul (2005).

Klocke, F., “Dry cutting”, ***Ann. CIRP***, 46, 519–526 (1997).

Ko, T.J., “Cutting state monitoring in milling by a neural network”, ***Int. J. Mach. Tools Manufact***, 34: 659-676 (1994).

Lalwani, D. M., “Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel”, ***Journal of Materials Processing Technology***, 206:167-179 (2008).

Liu, Q. A., “On-line monitoring of Flank wear in turning with multilayered feed-forward neural network”, ***International Journal of Machine Tools & Manufacture***, 39: 1945-1959 (1999).

Lo, S.-P., “An adaptive-network based fuzzy inference system for prediction of workpiece surface roughness in end milling”, ***Journal of Materials Processing Technology***, 142: 665-675 (2003).

Gastel, M., “Investigation of the wear mechanism of cubic boron nitride tools used for the machining of compacted graphite iron and grey cast iron”, ***International Journal of Refractory Metals and Hard Materials***, 18: 287-296 (2000).

Gastel, M., “SIMS analysis of the wear of boron nitride tools for the machining of compacted graphite iron and grey cast iron”, ***Fresenius J Anal Chem.***, 365: 142–146 (1999).

Mavi, A., “Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara (2008).

Marquard, R., “Modern Engine Design”, *CGI Design and Machining Workshop*, Sintercast -PTW Darmstadt (1997).

Marquard, R., “Crank it up: New materials create new possibilities”, *Engine technology international*, 2: 58-60 (1998).

Martin T., “Neural network design”, *Thomson learning*, (2002).

Martin, T., “Dünnwandige Zylinderblöcke aus Gusseise. Giesserei”, *Erfahrungsaustausch*, (2003).

Melleras, E., “Study of Machinability of Compacted Graphite Iron for Drilling Process1”, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 26: 22-27 (2004).

Mendi, F., “Takım Tezgâhları Teori ve Hesapları”, Ankara: 72 TDFO Ltd. Şti. (1996).

Mendi, F., “Frezeleme işleminde motor gücünün verimli kullanımına esnek bir yaklaşım”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 33-38 (2000).

Mohrdieck, C., “Innovations in Iron Casting for Automotive Applications”, *5th CGI Machining Workshop PTW*, Darmstadt, Germany (2003).

Negnevitsky, M. “Artificial Intelligence”, *Addison-Wesley*, (2005).

Ngoi, P., “Dry machining: machining the future”, *Journal of Materials Processing Technology*, 101: 287–291 (2000).

Niniza S. P., Dlamini, L. S., “Cutting Tool Wear And Mechanisms Of Chip Formation During High-Speed Machining Of Compacted Graphite Iron”, *International Joint Tribology Conference*, San Diego, California, USA 701-703 (2007).

Obikawa, T. S., “Monitoring of flank wear of coated tools in high speed machining with a neural network ART2”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44: 1311-1318 (2004).

Oraby, S. H., “Development of models for tool wear force relationships in metal cutting”, *Int. J. Mech. Sci.*, 33: 125-138 (1991).

Özel, T. N., “Prediction of flank wear by using back propagation neural network modeling when cutting hardened H-13 steel with chamfered and honed CBN tools”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42: 287-29 (2002).

Phillips, C. W., “Machinability of Compacted Graphite Iron”, *American Foundry Society Transactions*, 41-52 (1982).

Purushothaman, S., "A back-propagation algorithm applied to tool wear monitoring", *Int. J. Mach. Tools Manufact*, 34: 625-631 (1994).

Rahman, M. Z., "On-line cutting state recognition in turning using a neural network", *Int. J. Adv. Manufact. Tech.*, 10: (1995).

Reuter, U., "Wear mechanism of the machining of cast iron with PCBN-tools" Ph.D. thesis, *Faculty of Mechanical Engineering Darmstadt University of Technology*, (2001).

Richetti, A., "Influence of the number of inserts for tool life evaluation in face milling of steels", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44: 695-700 (2004).

Riposan, I. C., "Contribution to the Study of Some Technological and Applicational Properties of Compacted Graphite Cast Iron", *American Foundry Society Transactions*, 35-48 (1985).

Rizzo, F., "Cast a production line", *Engine Technology International*, 4: 54-55 (2001).

Ruppi, S. H., "Wear characteristics of TiC, Ti(C,N), TiN and Al₂O₃ coatings in the turning of conventional and Ca-treated steels", *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 16: 353-368 (1998).

Sadik, I., "The Interaction between Cutting Data and Tool Performance for different Cutting Tool Material in Milling of Compacted Graphite Iron", *Sandvik Tooling, R&D Mater.*, Sixth International Conference on High Speed Machining (2007).

Sağıroğlu, Ş., "Mühendislikte yapay zekâ uygulamaları I: Yapay sinir ağları". *Kayseri, Ufuk Kitabevi* (2003).

Sağlam, H., "Frezelemede yapay sinir ağları kullanarak, çok-elemanlı kuvvet ölçümlerine dayalı takım durumu izleme", Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Konya (2000).

Sahm, A., "CGI-Machining Requirements in Large-Scale Production", *Proceedings of CGI Design & Machining Workshop* (1997).

Sahm, A., "Wear mechanism when machining compacted graphite iron", *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 56: 53-56 (2002).

Sandvik, "Talaşlı imalat teknik klavuzu", *Sandvik Coromant El Kitabı* (2006).
Scheidtweiler, L., "CGI machining with carbide tools", *Proceedings of the machining workshop* (2000).

Schmitt, T. R., “Examination of the Wear Mechanisms of Different Cutting Materials”, *Proceedings of CGI Design & Machining Workshop* (1997).

Schulz, H., “Basic Investigations in CGI Machining”, *Proceedings of CGI Design & Machining Workshop* (1998).

Schulz H., “Boring tools – Now there is a way to machine compacted graphite iron efficiently”, *Engine Technol Int*, 9: (2000).

Schulz, H., “Scientific Fundamentals of HSC”, Munich: *Carl Hanser Verlag* (2001).

Sergeant, G., “The Production and properties of Compacted Graphite Irons”, *British Foundryman*, 115-124 (1978).

Shaw, M., “Metal Cutting Principles”, *Oxford: Oxford University Press* (1989).

American Foundry Society, “Mechanical properties of compacted graphite iron”, *Engineered Casting Solutions*, 36: (2004).

Sorger, H., Holland, T., “The effect of downsizing on light-weight engine design”, *CGI Design and Machining Workshop*, Auburn Hills (1999).

Spall, J., “A neural network controller for treatment”, *IEEE Trans Syst, Man Cybernet Part B: Cybernet*, 27: 369–375 (1997).

Stefanescu, D. M., “Compacted Graphite Iron”, *ASM Handbook* (1988).

Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri I.”, Ankara: *Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti.* (2000).

Şeker, U. K., “Design and construction of a dynamometer for measurement of cutting forces during machining with linear motion”, *Materials and Design*, 355-360 (2002).

Tansel I.N., “On-line monitoring of tool breakage with unsupervised neural network”, *Trans. NAMRI/SME*, 19: 364 (1991).

Tarng, Y. H., “Sensing tool breakage in face milling with a neural network”, *Int. J. Mach. Tools Manufact.* (1994).

Taş, Ü., “Fizyolojik Sistemlerin Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Modellenmesi Ve Kontrolü İçin Eğitim Amaçlı Bir Simülatör Tasarımı”, Doktora Tezi, 10-13, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2009).

Tholl, M., Magata, A., Dawson, S., “Practical experience with passenger car engine blocks produced in high quality compacted graphite iron”, Detroit: SAE Paper 960297, SAE Congress (1996).

Traş, M., “Yapay sinir ağları kullanılarak kesme kalıplarındaki çapak ve kesme düzlüğünün tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi*, Ankara (2007).

Trent, E., “Metal Cutting”, *Butterworths Pres.*, London (1989).

tst ISO 8688-1, “Frezelemede kesici takım ömrü deneyi-bölüm 1: Yüzey frezeleme” (Cilt 34126) (2002).

Varghese, K., Balaji, A., “Effects of tool material, tool topography and minimal quantity lubrication (MQL) on machining performance of compacted graphite iron (CGI)”, *International Journal of Cast Metals Research*, 20: 347-358 (2007).

Vieira, J. M., “Performance of cutting fluids during face milling of steels”, *Journal of Materials Processing Technology*, 116: 244-251 (2001).

Vollrath, K., “Motorguss – Werden die Werkstoffkarten neu gemischt”, *Kontruieren Giessen*, 357-362 (2003).

W.Grzesik, J. K., “Machining performance of pearlitic–ferritic nodular cast iron with coated carbide and silicon nitride ceramic tools”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49: 125–133 (2009).

Walton, C. F., “Iron Casting Handbook”, *New York: Iron Castings Society Inc.* (1981).

Zeigler, K. W., “The Effect of Matrix Structure and Alloying on the Properties of Compacted Graphite Iron”, *Transactions of the American Foundrymen's Society*, 92: 735-748 (1984).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARABULUT, Şener
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 15.05.1975 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 736 00 40
 Faks : 0 (312) 736 00 42
 e-mail : senerkarabulut06@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Eğitimi Bölümü	2006
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Eğitimi Bölümü	1996
Lise	Abidinpaşa Teknik Lisesi	1992

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010	Kızılcahamam Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi	Müdür
2005-2010	Kızılcahamam Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi	Müdür Yardımcısı
1999-2005	Tirebolu Mesleki Eğitim Merkezi	Tesviye Öğretmeni
1998-1999	Patnos Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi	Yd.Sby.Öğretmen
1996-1998	Tirebolu Mesleki Eğitim Merkezi	Tesviye Öğretmeni

Yabancı Dil

İngilizce KPDS 75 (C)

Yayınlar

1. Güllü, A., Karabulut, Ş., "Dynamic Chip Breaker Design For Inconel 718 Using Positive Angle Tool Holder", Materials Manufacturing Processes, V. 23 Is.8, 852

2. Güllü, A., Karabulut, Ş., GÜLDAŞ, A., "Chip Breaking Problems in Machining of Inconel 718 Super Alloy and Chip Breaker Design", Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,, 23/1, 157-164, 2008
3. Karabulut, Ş., Gullu, A., "Dynamic Chip Breaker Design for Nickel-Base, Inconel 718, Alloy with Coated Carbide Tools Using Negative Angle Tool Holder", Solid State Phenomena, ISSN: 1662-9779
4. The 4th International Conference Mechatronic Systems and Materials (MSM 2008)-Polonya

Patent

1-Dinamik talaş kırıcı takım tutucu 2008

Yurt Dışı Seminerler-Sertifikalar

- Innovative Learning Methods in Adult Education in Czech Republic- Mayıs 2011
- Legislation and Institutions for pupils with special needs in Greece -Kasım 2009
- The different system of adult education in Germany and Europe; Especially in Vocational Training -Temmuz 2005

Yurt İçi Seminerler-Sertifikalar

- Yenilikçi Liderlik Eğitimi-Temmuz 2011 Yalova
- SIEMENS CNC programlama kursu-Temmuz 2010 Tekirdağ
- Avrupa Birliği-MFİB ve UA Hibe programları semineri- Ekim 2009 Ankara
- PLC programlama kursu-Temmuz 2009 İskenderun
- Proje hazırlama Teknikleri Kursu-Haziran 2009 Ankara
- SIEMENS CNC programlama kursu-Temmuz 2007 Fethiye
- Okul Geliştirme Semineri-Mart 2008 Kızılcahamam

Hobiler

Bilişim teknolojileri, doğa sporları