

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

114375

**LAMEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN
TORNALANMASINDA KALEM İLE PARÇA ARASINDA
MEYDANA GELEN GERİLİM FARKLARININ
ARAŞTIRILMASI**

Ahmet YARDIMEDEN

114375

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Ali İNAN

ELAZIĞ
2001

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LAMEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN
TORNALANMASINDA KALEM İLE PARÇA ARASINDA
MEYDANA GELEN GERİLİM FARKLARININ ARAŞTIRILMASI**

Ahmet YARDIMEDEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

Bu Tez, Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği / Oyçokluğu İle Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)	(İmza)	(İmza)
Danışman	Üye	Üye
Doç. Dr. Ali İNAN		

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ABSTRACT

Master Thesis

**INVESTIGATION OF THE VOLTAGE DIFFERENCES BETWEEN
TOOL AND MATERIAL DURING THE MACHINING OF THE
GREY CAST IRONS ON THE LATHE**

Ahmet YARDIMEDEN

University of Firat
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Mechanical Engineering

2001, Page: 103

In this study, steel (Ç1020), brass (%79Cu, %20Zn ve %1Pb) and four different type cast irons materials were machined with the HSS tool at the 12x12x160 mm dimensions under the conditions of the various cutting speeds (125, 250, 355 rpm), various pitches (0.16, 0.32, 0.48 mm/r) and various feed depths (0.5, 1, 1.5 mm). Voltages obtained during these machinings were then measured.

A mathematical model was developed by using the highest voltage values and the results were presented.

Key Words: Lathe, cast iron, voltage difference.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LAMEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN TORNALANMASINDA KALEM İLE PARÇA ARASINDA MEYDANA GELEN GERİLİM FARKLARININ ARAŞTIRILMASI

Ahmet YARDIMEDEN

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2001, Sayfa: 103

Bu çalışmada; Çelik (Ç1020), Pirinç (%79Cu, %20Zn ve %1Pb) ve 4 farklı tip dökme demir malzemeler, 12x12x160 mm boyutlarında HSS torna kalemi ile çeşitli kesme hızlarında (125, 250, 355 dev/dak), çeşitli devir başına ilerlemelerde (0.16, 0.32, 0.48 mm/dev) ve çeşitli paso derinliklerinde (0.5, 1, 1.5 mm) işlenerek, elde edilen voltajlar ölçüldü.

En büyük voltaj değerleri kullanılarak bir matematiksel model geliştirilerek çalışma tamamlandı.

Anahtar Kelimeler: Torna, dökme demir, potansiyel farkı.

TEŐEKKÖR

Bu çalışmanın yapılmasında her tÖrlÖ yardım ve fedakarlığını esirgemeyen hocam sayın Doç. Dr. Ali İNAN'a sonsuz teőekkÖr ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca, bu araştırmamda gerekli imkanları sağlayan F. Ö. MÖh. Fak. Makine BölÖm Başkanı değerli hocam sayın Prof. Dr. Aydın TURGUT'a , tez çalışmalarım boyunca yardımlarını hiç esirgemeyen Metalurji MÖhendisliği BölÖm Başkanı değerli hocam sayın Doç. Dr. Mustafa AKSOY'a ve F. Ö. MÖh. Fak. Elektrik.-Elektronik BölÖmÖ hocalarımdan sayın Yrd. Doç. Dr. Fikret ATA'ya ve Makine MÖhendisliği BölÖmÖ AtÖlye Teknisyenlerine teőekkÖrlerimi sunarım.

Ahmet YARDIMEDEN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. PİEZOELEKTRİK ETKİ.....	3
2.1.Tarihçesi.....	3
2.2.Teorisi.....	4
2.3. Piezoelektrik Uygulama Alanları.....	11
3. DENEY DÜZENEGİNİN HAZIRLANMASI.....	14
3.1. Deney Malzemelerinin Seçimi Ve Bağlama Şekli.....	14
3.2. Deney Düzeneginde Kullanılan Bazı Elamanların Tanıtılması.....	16
3.2.1. Torna Tezgahı.....	16
3.2.2. Aumetre.....	16
3.2.3. Plotter.....	16
3.3. Torna Kaleminin Seçimi, Bağlama Şekli Ve Bileme Açıları.....	16
4. YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLARI.....	19
4.1. Tornalama Esnasında Meydana Gelen Gerilimin Ölçülmesi.....	19
5. MATEMATİKSEL MODELİN ÇIKARILMASI.....	73
5.1. Regresyon Analiz ve Regresyon Metotları.....	74
5.1.1 Basit Regresyon.....	75
5.1.2. Regresyon Katsayılarının Elde Edilmesi.....	75
5.1.3. Çoklu Regresyon.....	77
5.1.4. Lineer Olmayan Regresyon.....	78
5.1.5. Polinom Regresyonu.....	79
5.2. Regresyon Metodu İçin Matris Formulasyonu.....	80
5.2.1. Önemlilik Testi.....	82

5.3. Faktoriyel Denemeler.....	83
5.3.1. 2 ⁿ Faktöryel Denemeler.....	84
5.4. Gerilim Denklemi Bulunması.....	85
6. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ.....	95
7. GENEL SONUÇLAR.....	101
KAYNAKLAR.....	102



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Elektriksel ve mekaniksel uyarımın yönü.....	4
Şekil 2.2. Kuvvet polarizasyon eksenini boyunca.....	6
Şekil 2.3. Kuvvet polarizasyon eksenine dik olursa.....	7
Şekil 2.4. Uygulanan mekanik stres kesildiğinde.....	7
Şekil 3.1. Deney Malzemesinin Bağlama Şekli.....	14
Şekil 3.2. Torna kalemini Bağlama Şekli.....	17
Şekil 4.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.....	19
Şekil 4.2. 1. Numune için Gerilimin devir sayısı ile değişimi t=0,5 mm, d=51 mm.....	20
Şekil 4.3. 1. Numune için Gerilimin devir sayısı ile değişimi t=1mm, d=50 mm.....	21
Şekil 4.4. 1. Numune için Gerilimin devir sayısı ile değişimi t=1,5 mm, d=49 mm.....	22
Şekil 4.5. 1. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi t=0,5 mm, d=51 mm.....	23
Şekil 4.6. 1. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi t=1 mm, d=51 mm.....	24
Şekil 4.7. 1. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi t=1,5 mm, d=51 mm.....	25
Şekil 4.8. 1. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi t=1,5 mm, d=41 mm.....	26
Şekil 4.9. 1. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi t=1,5 mm, d=31 mm.....	27
Şekil 4.10. 1. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi t=1,5 mm, d=21 mm.....	28
Şekil 4.11. 1. Numune için $q=0.24 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi.....	29
Şekil 4.12. 1. Numune için $q=0.48 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi.....	30
Şekil 4.13. 1. Numune için $q=0.72 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi.....	31

Şekil 4.14. 2. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=0,5 mm, d=51 mm	32
Şekil 4.15. 2. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=1 mm, d=50 mm	33
Şekil 4.16. 2. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=1,5mm, d=49 mm	34
Şekil 4.17. 2. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=0,5 mm, d=51 mm	35
Şekil 4.18. 2. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1 mm, d=51 mm	36
Şekil 4.19. 2. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=51 mm	37
Şekil 4.20. 2. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=41 mm	38
Şekil 4.21. 2. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=31 mm	39
Şekil 4.22. 2. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=21 mm	40
Şekil 4.23. 2. Numune için $q=0.24 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	41
Şekil 4.24. 2. Numune için $q=0.48 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	42
Şekil 4.25. 2. Numune için $q=0.72 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	43
Şekil 4.26. 3. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=0,5 mm, d=51 mm	44
Şekil 4.27. 3. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=1 mm, d=50 mm	45
Şekil 4.28. 3. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=1,5 mm, d=49 mm	46
Şekil 4.29. 3. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=0,5 mm, d=51 mm	47
Şekil 4.30. 3. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1 mm, d=50 mm	48

Şekil 4.31. 3. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=49 mm	49
Şekil 4.32. 3. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=41 mm	50
Şekil 4.33. 3. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=31 mm	51
Şekil 4.34. 3. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=21 mm	52
Şekil 4.35. 3. Numune için $q=0.24 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	53
Şekil 4.36. 3. Numune için $q=0.48 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	54
Şekil 4.37. 3. Numune için $q=0.72 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	55
Şekil 4.38. 4. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=0,5 mm, d=51 mm	56
Şekil 4.39. 4. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=1 mm, d=50 mm	57
Şekil 4.40. 4. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=1,5 mm, d=49 mm	58
Şekil 4.41. 4. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=0,5 mm, d=51 mm	59
Şekil 4.42. 4. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1 mm, d=50 mm	60
Şekil 4.43. 4. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=49 mm	61
Şekil 4.44. 4. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=41 mm	62
Şekil 4.45. 4. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=31 mm	63
Şekil 4.46. 4. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=21 mm	64
Şekil 4.47. 4. Numune için $q=0.24 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	65
Şekil 4.48. 4. Numune için $q=0.48 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	66
Şekil 4.49. 4. Numune için $q=0.72 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	67

Şekil 4.50. Çelik için gerilim devir sayısı değişimi	
$t=0.5 \text{ mm}$, $d=20 \text{ mm}$	68
Şekil 4.51. Çelik için gerilim devir sayısı değişimi	
$s=0.5 \text{ mm/dev}$, $d=20 \text{ mm}$	69
Şekil 4.52. Pirinç için gerilim devir sayısı değişimi	
$t=0.5 \text{ mm}$, $d=20 \text{ mm}$	70
Şekil 4.53. Pirinç için gerilim devir sayısı değişimi	
$s=0.16 \text{ mm/dev}$, $d=20 \text{ mm}$	71
Şekil 5.1. Deneysel ve teorik gerilim devir sayısı ilişkisi	
$t= 0.5 \text{ mm}$, $d=51 \text{ mm}$, $s=0.48 \text{ mm/dev}$	92
Şekil 5.2. Deneysel ve teorik gerilim devir sayısı ilişkisi	
$t=1 \text{ mm}$, $d=50 \text{ mm}$, $s=0.48 \text{ mm/dev}$	93
Şekil 5.3. Deneysel ve teorik gerilim devir sayısı ilişkisi	
$t=1,5 \text{ mm}$, $d=49 \text{ mm}$, $s=0.48 \text{ mm/dev}$	94
Şekil 6.1. Birinci numunenin iç yapısı ($d=40 \text{ mm}$)	96
Şekil 6.2. Birinci numunenin iç yapısı ($d=30 \text{ mm}$)	96
Şekil 6.3. İkinci numunenin iç yapısı ($d=40 \text{ mm}$)	97
Şekil 6.4. İkinci numunenin iç yapısı ($d=30 \text{ mm}$)	97
Şekil 6.5. Üçüncü numunenin iç yapısı ($d=40 \text{ mm}$)	98
Şekil 6.6. Üçüncü numunenin iç yapısı ($d=30 \text{ mm}$)	98
Şekil 6.7. Dördüncü numunenin iç yapısı ($d=40 \text{ mm}$)	99
Şekil 6.8. Dördüncü numunenin iç yapısı ($d=30 \text{ mm}$)	99

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1. Piezoelektrik malzemelerin uygulama alanlarından bazıları.....	13
Tablo 3.1. Numunelerin spektral analiz değerleri.....	15
Tablo 3.2. HSS Torna Kalem Açılı (DIN 768).....	18
Tablo 4.1. 1. Numune için Gerilimin devir sayısı ile değişimi t=0,5 mm, d=51 mm.....	20
Tablo 4.2. 1. Numune için Gerilimin devir sayısı ile değişimi t=1mm, d=50 mm.....	21
Tablo 4.3. 1. Numune için Gerilimin devir sayısı ile değişimi t=1,5 mm, d=49 mm.....	22
Tablo 4.4. 1. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi t=0,5 mm, d=51 mm.....	23
Tablo 4.5. 1. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi t=1 mm, d=51 mm.....	24
Tablo 4.6. 1. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi t=1,5 mm, d=51 mm.....	25
Tablo 4.7. 1. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi t=1,5 mm, d=41 mm.....	26
Tablo 4.8. 1. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi t=1,5 mm, d=31 mm.....	27
Tablo 4.9. 1. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi t=1,5 mm, d=21 mm.....	28
Tablo 4.10. 1. Numune için $q=0.24 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi.....	29
Tablo 4.11. 1. Numune için $q=0.48 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi.....	30
Tablo 4.12. 1. Numune için $q=0.72 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi.....	31
Tablo 4.13. 2. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi t=0,5 mm, d=51 mm.....	32
Tablo 4.14. 2. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi t=1 mm, d=50 mm.....	33

Tablo 4.15. 2. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=1,5 mm, d=49 mm	34
Tablo 4.16. 2. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=0,5 mm, d=51 mm	35
Tablo 4.17. 2. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1 mm, d=51 mm	36
Tablo 4.18. 2. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=51 mm	37
Tablo 4.19. 2. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=41 mm	38
Tablo 4.20. 2. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=31 mm	39
Tablo 4.21. 2. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=21 mm	40
Tablo 4.22. 2. Numune için $q=0.24 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	41
Tablo 4.23. 2. Numune için $q=0.48 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	42
Tablo 4.24. 2. Numune için $q=0.72 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	43
Tablo 4.25. 3. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=0,5 mm, d=51 mm	44
Tablo 4.26. 3. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=1 mm, d=50 mm	45
Tablo 4.27. 3. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=1,5 mm, d=49 mm	46
Tablo 4.28. 3. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=0,5 mm, d=51 mm	47
Tablo 4.29. 3. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1 mm, d=50 mm	48
Tablo 4.30. 3. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=49 mm	49
Tablo 4.31. 3. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=41 mm	50

Tablo 4.32. 3. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=31 mm	51
Tablo 4.33. 3. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=21 mm	52
Tablo 4.34. 3. Numune için $q=0.24 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	53
Tablo 4.35. 3. Numune için $q=0.48 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	54
Tablo 4.36. 3. Numune için $q=0.72 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	55
Tablo 4.37. 4. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=0,5 mm, d=51 mm	56
Tablo 4.38. 4. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=1 mm, d=50 mm	57
Tablo 4.39. 4. Numune için gerilimin devir sayısı ile değişimi	
t=1,5 mm, d=49 mm	58
Tablo 4.40. 4. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=0,5 mm, d=51 mm	59
Tablo 4.41. 4. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1 mm, d=50 mm	60
Tablo 4.42. 4. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=49 mm	61
Tablo 4.43. 4. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=41 mm	62
Tablo 4.44. 4. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=31 mm	63
Tablo 4.45. 4. Numune için gerilimin talaş kesiti ile değişimi	
t=1,5 mm, d=21 mm	64
Tablo 4.46. 4. Numune için $q=0.24 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	65
Tablo 4.47. 4. Numune için $q=0.48 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	66
Tablo 4.48. 4. Numune için $q=0.72 \text{ mm}^2$ için gerilim talaş kesiti değişimi	67
Tablo 4.49. Çelik için gerilim devir sayısı değişimi	
t=0.5 mm, d=20 mm	68
Tablo 4.50. Çelik için gerilim devir sayısı değişimi	
s=0.5 mm/dev, d=20 mm	69

Tablo 4.51. Pirinç için gerilim devir sayısı değişimi	
$t=0.5\text{mm}$, $d=20\text{ mm}$	70
Tablo 4.52. Pirinç için gerilim devir sayısı değişimi	
$s=0.16\text{ mm/dev}$, $d=20\text{ mm}$	71
Tablo 5.1. Polinom regresyonunda kullanılan ortalama	
gerilim ve bağımsız değişkenler.....	88
Tablo 5.2. Deneysel gerilim ile teorik gerilimlerin karşılaştırılması	90
Tablo 5.3. Birinci numune için deneysel ve teorik gerilim ve devir sayısı değişimi	
$t=0.5\text{ mm}$, $d=51\text{ mm}$	92
Tablo 5.4. Birinci numune için deneysel ve teorik gerilim ve devir sayısı değişimi	
$t=1\text{ mm}$, $d=50\text{ mm}$	93
Tablo 5.5. Birinci numune için deneysel ve teorik gerilim ve devir sayısı değişimi	
$t=1,5\text{ mm}$, $d=49\text{ mm}$	94
Tablo 6.1. Basma deneyi sonucunda meydana gelen gerilimler	100



1. GİRİŞ

İmalat sanayiinde kullanılan kesici takımların verimliliği, takımın kullanma süresinin uygun seçilmesi ile ölçülür. Bu verimlilik kesme hızına, kesme sıcaklığına, işlenen malzemenin cinsine, ilerleme miktarına, paso derinliğine ve işlemin kuru veya soğutma sıvısı kullanılıp kullanılmaması gibi kesme şartlarına bağlıdır.

Kesici kalemin ömrü ile ilgili literatürde görülen ilk çalışmanın Taylor tarafından yapılmış olduğu (Taylor, 1907), daha sonra Trufir'in kesme sıcaklıklarının kesici kalem ömrüne etkisini incelediği görülmüştür (Trufir, 1948). Yine tornalama işleminde kesen ve kesilen parça üzerinde meydana gelen sıcaklık dağılımlarının tespitinin yapıldığı (Loewen ve Shaw, 1954), daha sonra semantasyonlu karbür torna kalemlerinde krater aşınması üzerinde çalışıldığı (Ling ve Saibel,1956) ve aynı yıl, kalem ömrü ile kesme sıcaklığı arasındaki ilişkinin araştırıldığı saptanmıştır (Trigger ve Chao,1956). HSS torna kalemlerinin kesici ağızlarının üzerindeki araştırmaların incelendiği (Takeyama ve Usin ,1958) bir yıl sonra da sert maden uçlu kalem ile bir çelik boru üzerinde meydana gelen kesme sıcaklıklarının kalem ömrüne etkisinin araştırıldığı görülmüştür (Alberts, 1959). Japon araştırmacılar tarafından değişken kesme şartlarında FC30 kalitesindeki dökme demir için, kesici kalem aşınmasının incelendiği ve matematiksel bir ifadenin verilmeye çalışıldığı (Takeyama,1963) daha sonraki yıllarda semantasyonlu karbür torna kalemlerinde aşınma etüdü (Hsü 1969). 1970 yılında da yine semantasyonlu karbür torna kalemlerinin kesme açılarında meydana gelen aşınmaların ölçülmesi ile ilgili bir çalışma yapılmıştır (Bhattacharya, Ghosh ve Ham,1970). 1971 yılında krater aşınmasının teorik modeli incelenmiş (Lee, 1971) . 1973 yılında kalem ömrü ile kalem aşınması arasındaki ilişki formüle edilmeye çalışılmıştır (Cook, 1973). Yine torna kalemlerinin ömürlerinin optimizasyonu ile ilgili bir çalışma (Hitomi , Nakamura ve Inoue, 1979). 1981 yılında torna tezgahında kesme esnasında oluşan titreşimlerin yüzey kalitesi üzerine etkilerinin araştırıldığı saptanmıştır (Kondo, Kawano ve Sato, 1981). 1985 yılında ise torna kalem uçlarında meydana gelen uç kenar aşınmasının oranı ile ilgili bir çalışma yapıldığı tespit edilmiştir.

Christopher A. Fannin (1997), tarafından bir piezoelektrik transdüserin aynı anda hem bir sensör ve hem de bir hareket ettirici olarak kullanılabilmesi amacıyla yeni bir analog uyarlayıcı piezoelektrik sensör ve hareket ettiricinin tasarımı yapılmış. Kabeya, Kazuhisa III (1998), tarafından çoklu piezoelektrik sensör ve hareket ettiricileri kullanarak gerçek değerlerinin görüntülemesi yapılmıştır. Loveday, Philip Wayne (1999), tarafından piezoelektrik titreşimli jiroskoplarda anormal etkilerin analiz ve kompanzasyonu üzerine çalışılmış. DeGuilio, Andrew Phillip (2000), eş zamanlı sağlık görüntülemesi ve temsili bir hava taşıtı panelinin aktif olarak sönmümlendirilmesi (yavaşlatılması) için akıllı materyalleri ile fiber optikleri kullanmanın fizibilitesini tetkik etmek için, fiber optik sensörlerin temsili bir test malzemesi üzerindeki kullanımını araştırmıştır. 1999'da yapılan bir çalışmada ise tornalamada sıcaklık ve gerilim farkının kalem ömrüne olan etkilerinin araştırılması yapılmış (İnan, 1999).

Çalışmanın amacı: Dökme demir malzemelerin tornalanması esnasında büyük gerilim farkları dikkat çekmiş ve bu konu hakkında da literatürde fazla bir araştırmaya rastlanmaması, konunun piezoelektrik olup olmaması şüphesini doğurmuştur. Bu amaçla da, çeşitli karbon yüzdelere sahip dökme demir malzemeler üzerinde konunun araştırılmasına karar verilmiştir.

2. PIEZOELEKTRİK ETKİ

2.1. Tarihçesi

Piezoelektrik materyaller mekanik enerjiyi elektrik enerjisine elektrik enerjisini de mekanik enerjiye dönüştüren materyallerdirler. Piezoelektrik etki olarak bilinen bu etki Encarta Concise Encyclopedia'da; Basınç altında tutulduğunda kristalin bazı yüzlerinde oluşan elektriksel potansiyel ve elektrik alan uygulandığında da meydana gelen şekil bozukluğu olarak tanımlanmıştır. Pierre Curie ve kardeşi bu etkiyi 1880'de keşfettiler. Bu olay iyonların yer değişimi ve bunun sonucu olarak da kristalin yapısal birimlerinin elektrik polarizasyonu olarak açıklamışlardır. Elektrik alan uygulandığında iyonlar elektrostatik kuvvetlerin etkisiyle yer değiştirirler ve bunun sonucu olarak da tüm kristalde bir mekanik deformasyon oluşur. Piezoelektrik kristaller transducer olarak kullanılırlar.

Curie kardeşler piezoelektrik etkiyi 1880'de keşfetmelerine rağmen 1940'lara kadar bu etki tam olarak kullanılmadı. Bu tarihte yüksek giriş empedanslı yükselteçler, mühendislere ve bilim adamlarına sinyallerini yükseltme imkanı ve dolayısıyla piezoelektrik materyallerin kullanımını sağladılar. 1950'lerde elektrometre tüplerin ortaya çıkışıyla piezoelektrik etki ticarileşti.

Piezoelektrik materyaller bir yük değişimine maruz kaldıklarında bir elektriksel çıkış veren kristal yapılı aktif elektriksel sistemlerdirler. Bu etki tabii olarak quartz kristalinde meydana gelir. Bu etkiye sahip en yaygın materyal kurşun, zirconium ve titanium'dan oluşan özel formüle edilmiş bir seramiktir. Bu metaller karışımı Curie sıcaklığına kadar ısıtma işlemine tabi tutulursa bu piezoelektrik materyal aktif hale gelir. Bu sıcaklıkta istenen yönde bir voltaj uygulanır ve iyonlar "polling" eksen denilen ekseninde tekrar düzene girerler. Materyal soğuduğunda iyonlar bu polling eksenini anımsarlar ve ona uygun davranırlar.

Piezoelektrik materyaller hem laboratuvar içi ve hem de laboratuvar dışı birçok uygulamalarda kullanılırlar. Uzay araştırmalarından biyomekanik aygıtların geliştirilmesine kadar özellikle hassas ölçümlerin yapıldığı bir çok alanda kullanılırlar.

2.2. Teorisi

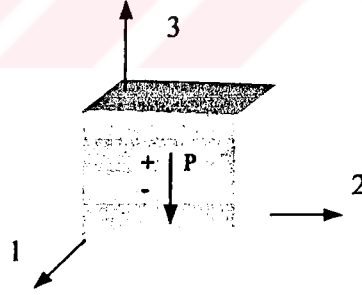
Bir piezoseramik elemana elektriksel olarak bir gerilim uygulandığında boyutları değişir. Mekaniksel olarak bir kuvvet uygulandığında bir elektriksel yük oluşturur. Eğer elektrotlar kendi aralarında kısa devre edilmezlerse, oluşan yüklerden kaynaklanan bir gerilim oluşur.

Bu nedenle bir piezoseramik, hassaslığı algılayıcı veya iletici bir eleman olma özelliği gösterme kabiliyetine sahiptir. Piezoseramik elemanlar çok yüksek gerilim oluşturabilme özelliklerinden dolayı, günümüz katı-hal donanımlarla, ki onlar dayanıklı, az yer kaplayan, güvenilir ve verimlidirler ayrıca tam bir uyum içerisindedirler.

Aşağıdaki metin, piezoseramik terminolojisi ve fonksiyonel uygulamaların değişkenleri arasındaki ilişkiyi açıklar.

Uygulanan kuvvetler ve gösterilen tepkiler arasındaki ilişkiler şu faktörlere bağlıdır: Seramiğin piezoelektrik özellikleri; Parçanın ebadı ve şekli, elektriksel ve mekaniksel uyarımın yönü.

Bir piezoseramik elemandaki yönleri tanımlamak için 3 tane eksen kullanılır. Bu 1,2,3 diye tanımlanan eksenler Şekil 2.1'de gösterildiği gibi klasik 3 boyutlu ortogonal eksenler kümesindeki X, Y, Z'ye karşılık gelirler.



Şekil 2.1. Elektriksel ve mekaniksel uyarımın yönü

Polar (kutupsal) veya 3 eksen seramik içerisindeki polarizasyonun yönüne paralel alınır. Bu yönlendirme; İmalat esnasında, materyali aktif hale getirmek için bir elektrot çifti arasına uygulanan yüksek bir gerilimle yapılır. Polarizasyon vektörü "P"

kutup elektrotunun pozitifinden negatifine bir ok ile gösterilir. Kesme işlemlerinde, bu kutup elektrotları daha sonra çıkartılıp ikinci bir yüzdeki elektrotlarla değiştirilir. Bu olayda 3 eksen değiştirilmez ama sonra, kalan eleman üzerinde bulunan elektrot yüzlerine paralel yapılır (Şekil 2.1.).

Çift indisli piezoelektik katsayıları elektriksel ve mekaniksel nicelikleri birbirine bağlar. Birinci indis, uygulanan gerilim veya üretilen yük ile ilgili elektriksel alanın yönünü verir. İkinci indis ise mekanik gerilim veya şekil değişiminin yönünü verir.

Birkaç tane piezoseramik materyal sabitleri; Mekaniksel ya da elektriksel sınır şartlarını belirleyen bir üst indisle birlikte kullanılabilir. Bu üst indisler T, E, D ve S olup aşağıdaki anlamları içerirler:

T: Sabit gerilim (mekaniksel olarak serbest),

E: Sabit alan (kısa devre),

D: Sabit elektriksel yer değiştirme (açık devre),

S: Sabit şekil değişikliği (mekanik olarak kenetli),

Örneğin, K^T_3 bağıl dielektrik sabitesini ifade eder (K), mekanik bir sıkıştırma (bloka) olmadan (3) no'lu kutupsal yönde ölçüldüğünü gösterir.

Bir elektrik alan tarafından oluşturulan mekanik şekil değişikliği ile ilgili piezoelektrik sabitleri, şekil değişikliği sabitleri veya “d” katsayıları olarak adlandırılırlar. Birimler metre/metre, volt/metre (metre/volt) olarak ifade edilebilir.

$$d = \text{Oluşan şekil değişikliği} / \text{Uygulanan elektrik alanı}$$

Şunu hatırlatmakta fayda vardır; büyük d_{ij} sabitleri genellikle hareketli transdüser aletlerinde araştırılan büyük mekaniksel yer değiştirmelerle ilgilidir. Buna mukabil katsayı, elektrotlar üzerinde toplanan yük ile uygulanan mekaniksel gerilim ilişkilendiriliyor gibi görülebilir. Kuvvet 3 yönünde olduğunda (polarizasyon eksenini boyunca) ve yükün toplandığı aynı yüzey üzerine basıldığında d_{33} etkili olur. (Şekil 2.2). Yük bir önceki gibi aynı yüzey üzerinde toplanır ve kuvvet polarizasyon eksenine dik olursa bu kez d_{31} etkili olur (Şekil 2.3) .

d_{15} 'teki alt indis, yükün asıl elektrotlara dik olan elektrotlar üzerinde toplandığını ve uygulanan mekanik gerilimin kesildiğini gösterir (Şekil 2.4).

d_{ij} katsayılarının birimleri genellikle coulomb/m² , newton/m² dır.

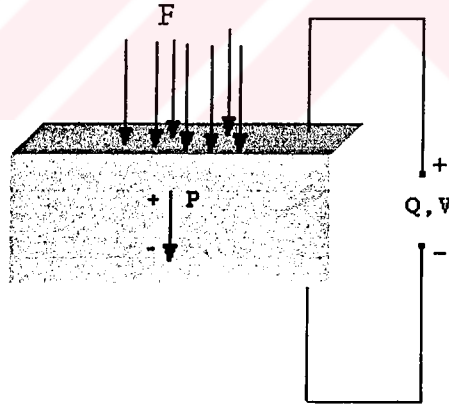
$$d = \text{Kısa devre yük yoğunluğu} / \text{Uygulanan mekanik gerilim}$$

Uygulanan kuvvet tamamıyla elektrotlarla kaplı bir alana dağıtıldığında (toplam elektrotun bir kısmı bile olsa) denklemdaki alan birimleri olur ve katsayı birim kuvvetteki, (coulomb/newton) cinsinden ifade edilebilir. Yük oluşturucular düşünüldüğünde, bu durumdaki dij katsayılarını gözlemlemek faydalıdır. Örneğin; ivme ölçme aleti.

Mekaniksel gerilim tarafından üretilen elektrik alan ile ilgili piezoelektrik sabitler, gerilim sabitleri veya “g” katsayıları olarak adlandırılırlar. Birimler : volt/metre , newton/m² olarak ifade edilebilirler.

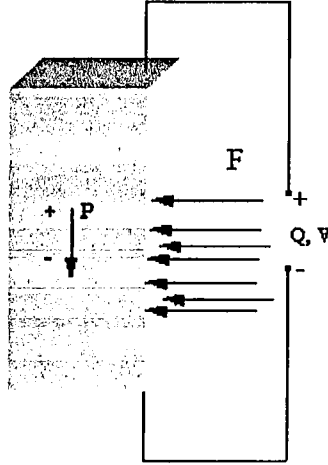
$$g = \text{Açık devre elektrik alanı} / \text{Uygulanan mekanik gerilim}$$

Çıkış gerilimi, hesaplanan elektrik alanı ile elektrotlar arasındaki seramik kalınlığının çarpımından elde edilir. Bir “33” alt indisi, elektrik alanı ve mekanik gerilimin her ikisinin de polarizasyon eksenini boyunca olduğunu gösterir (Şekil 2.2).



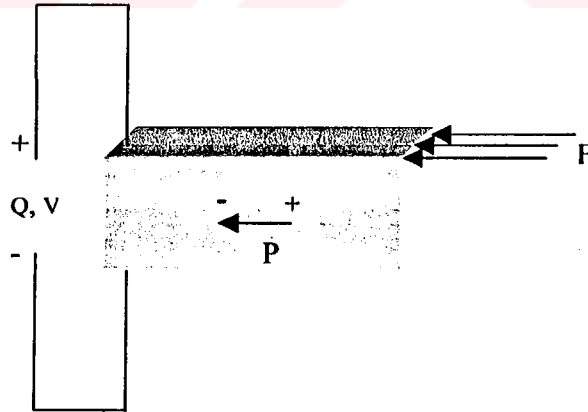
Şekil 2.2. Kuvvet polarizasyon eksenini boyunca

Bir “31” alt indisi basıncın polarizasyon eksenine dik açıyla uygulandığını, ama gerilimin aynen “33” te olduğu gibi aynı elektrotlar üzerinde belireceğini belirtir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Kuvvet polarizasyon eksenine dik olursa

Bir “15” alt indisi, uygulanan gerilimin kesildiğini ve sonuç elektrik alanının polarizasyon eksenine dik olduğunu belirtir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Uygulanan mekanik stres kesildiğinde

Yüksek g_{ij} sabitleri yüksek çıkış gerilimi verirler ve sonra sensörler için araştırılırlar. g katsayılarının gerilim katsayıları olarak bilinmesine rağmen, g_{ij} için, oluşan gerilimin uygulanan yüke oranıdır denilebilir. Birimleri ise; m/m, coulomb/m² dir.

$$g = \text{Oluşan şekil değişikliği} / \text{Uygulanan yük}$$

Bağıl dielektrik sabiti, materyalin dielektrik sabitinin (ϵ), boşluğun dielektrik sabitine (ϵ_0) oranıdır. Parçanın mekanik rezonansı:

$$K = \text{Materyalin dielektrik sabiti} / \text{Boşluğun dielektrik sabiti} = \epsilon / \epsilon_0$$

Bağıl dielektrik sabiti maddenin kesin bir özelliği iken kapasitans, maddenin cinsine ve boyutlarına bağlı bir niceliktir. Kapasitans aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$C = K \cdot \epsilon_0 \cdot A / t$$

K : Bağıl dielektrik sabitesi

ϵ_0 : Boşluğun dielektrik sabitesi ($\epsilon_0 = 8,9 \times 10^{-12}$ farad / metre)

A : Elektrot yüzey alanı

t : Elektrotları ayıran kalınlık

K_3 asıl elektrotlar arasındaki kapasitansla ilgilidir. K_1 kesme uyarımı amacıyla çıkarılan asıl elektrotlardan sonra uygulanan ikinci bir çift elektrotlar arasındaki kapasitans ile ilgilidir. Rezonans frekans değerinden uzakta kalan frekans değerlerinde piezoelektrik seramik transdüserleri temelde kapasitörlerdirler. Nasıl ki bir kapasitörde gerilim kapasitans aracılığıyla yük ile ilişkilidir; aynı şekilde voltaj katsayıları g_{ij} , dielektrik sabitesi K_i aracılığıyla yük katsayıları d_{ij} ile ilişkilidir. Denklemler aşağıdaki gibidir:

$$Q = C V$$

$$d_{33} = K_{33}^T e_o g_{33}$$

$$d_{31} = K_{33}^T e_o g_{33}$$

$$d_{15} = K_{11}^T e_o g_{15}$$

Elektromekanik kuplaj (bağlaşım) k_{33} , k_{31} , k_p ve k_{15} ; seramik elemanın yapmış olduğu elektrik enerjisini mekanik enerjiye veya tersini gerçekleştirme olayını tanımlar. Dönüşümü yapılarak depolanan bir çeşit enerjinin (elektrik veya mekanik) ikinci çeşit enerjiye oranı (elektrik veya mekanik) kuplaj katsayısının karesine eşittir.

$$k = \sqrt{\frac{\text{depolanan mekanik enerji}}{\text{Uygulanan mekanik enerji}}}$$

$$k = \sqrt{\frac{\text{depolanan elektrik enerjisi}}{\text{Uygulanan mekanik enerji}}}$$

Alt indisler elektriksel ve mekaniksel niceliklerin ilgili yönlerini ve söz konusu hareketlerin çeşidini belirler. Bazı basit transdüser şekillerinin titreşimli modlarıyla ilişkilendirilebilirler; k_{33} , uç noktalarda elektrotlaşmış, uzunluğu boyunca polarize olmuş ve basit bir uzunluk genleşme ve büzülmesinde titreşen bir uzun ince bir çubuk için kullanılır. k_{31} ise, bir çift uzun yüz üzerinde elektrotlaşmış, kalınlığına (enine) polarize olmuş ve basit bir uzunluk genleşme ve büzülmesinde titreşen bir uzun ince çubuk için kullanılır. k_p , elektriksel ve mekaniksel enerjinin ince yuvarlak bir diskte kuplajını, kalınlığına (enine) polarize olduğunu, radyal genleşme ve büzülmede titreştiğini belirtir. k_{15} , kalınlık kesim titreşiminde enerji dönüşümünü tanımlar. Bu katsayılar enerji oranları olduğundan boyutsuzdurlar.

Bütün katılarda olduğu gibi piezoelektrik seramikler, özellikleri Young's Modul'de belirtilen mekanik katılığa ve sağlamlığa sahiptirler. Young's Modul'ü stresin (birim alana uygulanan kuvvet) şekil değişikliğine (birim uzunluktaki uzunluk değişim miktarı) oranıdır.

Y = Gerilim / Şekil değişikliği

Seramiğin mekaniksel streslenmesinin, oluşan şekil değişimine karşı koyan bir elektriksel response üretmesinden dolayı, elektrotları kısa devre edilen etkili Young's modülleri elektrotları açık devre edilenden daha az etkilidir. Buna ilaveten 3 yönündeki katılık (sağlamlık) 1 ve 2 yönündekinden farklıdır. Bu nedenle bu tür nicelikler ifade edilirken hem yön hem de elektriksel şartlar belirtilmelidir. Y_{33}^E stresin, sabit elektrik alanda (elektrotlar kısa devre edilmiş) 3 yönündeki şekil değişikliğine oranıdır. Y_{33}^D elektrotların açık devre haline karşılık gelir. Y_{11}^E ve Y_{11}^D 1 veya 2 yönündeki modüllerdir. Y_{55}^E ve Y_{55}^D kesim stresinin kesim şekil değişikliğine oranıdır. Birimler genellikle newton/m²'dir.

Şurası açıkça anlaşılmalıdır ki; piezoseramik için yukarıda açıklanan özellikler, ideal mekaniksel ve elektriksel sınır şartlarında ölçümü yapılmış ideal şekiller için tanımlanmıştır. Pratik cihazların çalışma şartlarında kullanıldığında beklenen performansa yaklaşılr ama nadiren gerçekleşme sağlanır. Durağan dalgalar, karışan titreşimli modlar, sahte blokaj, aldatıcı elektrik ve dielektrik rezistansı gibi ideal olmayan şekiller ve sınır şartları dönüşüm kayıplarına katkıda bulunurlar.

Olasılıklar sonsuz olduğundan dizayn edici, her komponenti amacına uygun kullanım şartlarında değerlendirmek zorundadır.

Materyalde, kütlenin hacime oranı kg/m³ olarak ifade edilir:

$$r = \text{kütle} / \text{hacim}$$

Maddedeki dielektrik kayıpların ölçümü, kayıp açısının tanjantı veya paralel rezistansın paralel reaktansa yüzde olarak oranıdır. Eşdeğer seri devrede ki reaktansın rezistansa oranı mekanik titreşim rezonant sistemini gösterir. Parçanın şekli değeri etkiler. Kristal yapısının simetrik olmayan formdan (piezoelektrik) simetrik olan (piezoelektrik olmayan) forma dönüştüğündeki sıcaklık °C cinsinden ifade edilir.

Aging, seramiği polarizasyon öncesi tekrar eski haline dönüştürme girişimidir. Piezoelektrik seramiklerin agingi zamanın logaritmik fonksiyonudur. Aging oranı madde madde parametrelerindeki zamanın her onluk bölümündeki değişiklikleri tanımlar. Örneğin; 1-10 gün, 5-50 gün gibi.

Sapma ve Kuvvet; Piezoelektrik harekete geçiriciler (actuator) genellikle serbest (boşluk) sapmaları ve bloklanmış kuvvetleriyle belirtilirler. Serbest sapma, $X(f)$, herhangi bir dış yüke karşı harekete geçiriciler kullanılmadan verilen bir voltaj seviyesindeki yer değiştirmeyi belirtir. Bloklanmış kuvvet $F(b)$, hareket ettiricilerin hareket etmesine izin verilmeden verilen bir voltaj seviyesinde uygulanan kuvveti belirtir. Maksimum sapmadaki kuvvet sıfır olduğundan, aynı andaki yer değiştirme ve kuvvetin (verilen bir voltaj seviyesi için) diğer tüm değerleri, aşağıda gösterilen kuvvet-sapma diyagramında belirtilen bu iki nokta arasında çizilen bir çizgi ile belirtilir. Pratikte, bükme motoru belirtilen miktarda hareket etmek zorundadır. Yapılan iş; meydana gelen sapma bloklanmış kuvvetin yarısının oluşmasına izin verdiğinde maksimum düzeye erişir. Bu da sapmanın, serbest sapmanın yarısına eşit olduğunda gerçekleşir.

2.3. Piezoelektrik Uygulama Alanları

Piezoelektrik ölçüm aletleri laboratuvarlarda günümüzde çok geniş bir şekilde orijinal ekipmanlarda kullanılmaktadır. Bunlar basınç, kuvvet, ivme gibi mekanik parametrelerin dinamik değişimlerinin kaydında ve hassas ölçümlerinde her adımda kullanılırlar.

I. Dünya Savaşı'nda piezoelektrik etkiden yararlanılarak su altında akustik dalgalar üretilmesi yoluyla sonarın ilk biçimi olan denizaltı dedektörleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, piezoelektrik kristallerden yararlanılarak gerçekleştirilen frekansı kesin ve sabit titreşim üreteçleri (osilatör), radyoyla iletişimde yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır.

II. Dünya Savaşı'nda uçaktan atılan bombaların patlatma düzeneklerinde piezoelektrik kristal kullanıldı; bomba yere çarpınca, bombanın ucuna yerleştirilmiş kristal bir elektrik gerilimi oluşturuyor, bu da bombanın patlamasını sağlıyordu. Günümüzde piezoelektrik kristaller her tür elektrik donanımında, çakmaktarda, masa ve kol saatlerinde ve daha birçok aygıtlarda kullanılmaktadır.

Piezoelektrik etkiyle büyükçe gerilimler oluşturan Rochelle tuzu kristalleri daha çok pikaplarda kullanılır. Plaktaki izi izleyerek titreşen iğnenin bu titreşimleri iğnenin bağlı olduğu kristale geçer, böylece kristalde ses frekanslı gerilim oluşur.

Rochelle tuzu kristallerinde oluşan piezoelektrik etki sıcaklığa büyük ölçüde bağımlı olduğundan bu kristaller iletişimde yararlanılan filtrelerde ve titreşim üreteçlerinde kullanılmazlar. Kuvars kristalleri ise daha zayıf piezoelektrik etkinlik gösterirler, ama bunlar sıcaklıktan etkilenmeyecek biçimde kesilebilir; bu nedenle elektronik aygıtlarda ve saatlerde kuvars kristalleri kullanılır.

Seramik bir malzeme olan baryum titanatın yüksek sıcaklıkta güçlü bir elektrik alanı içinde tutularak piezoelektrik etkinlik gösterir duruma getirilebileceği 1940'larda bulundu. Günümüzde yüksek güç gerektiren uygulamalarda baryum titanat ve benzeri seramik kristaller kullanılmaktadır. Aşağıda uygulama örneklerinden bazıları görölmektedir.



Tablo 2.1. Piezoelektrik malzemelerin uygulama alanlarından bazıları

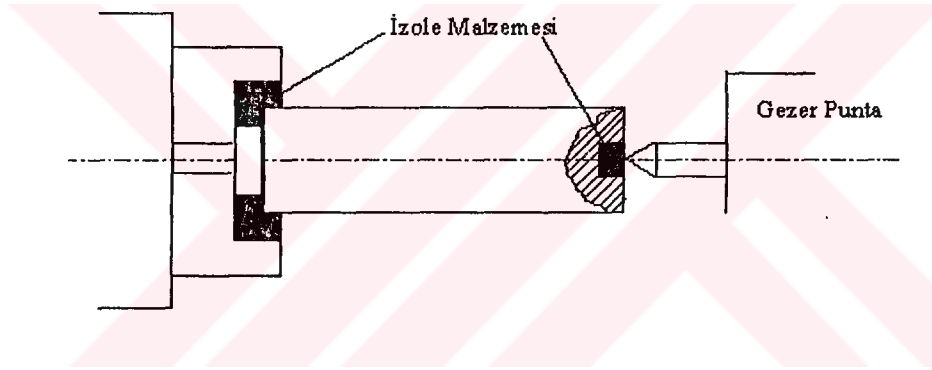
Uygulama Alanı	Açıklamalar
Aerospace	Model testleri, rüzgar tüneli ve şok tüp enstrümanları, iniş dişli hidrolikleri, roketler genel yapılar fırlatma sistemleri ve kesme kuvveti araştırmalarında v.s.
Balistik	Yanma, patlama ve ses basınç dağılımı v.s.
Biomekanik	Ortopedik yürüyüşler için çok parçalı kuvvet ölçümleri ve posturography, sporlar, ergonomik özellikler, nöroloji, kardiyoloji ve rehabilitasyon v.s.
Motor Testi	Sıkıştırma, patlama, vuruntu, gaz değişimi ve enjeksiyon, indikatör diyagramları ve dinamik dayanımlar v.s.
Mühendislik	Malzeme geliştirme, kontrol sistemleri, reaktörler, bina yapıları, gemi yapıları, oto kaporta yapısal testleri, şok ve vibrasyon izolasyonu ve dinamik cevaplama testi v.s.
Endüstriyel/Fabrika	İşleme sistemleri, metal kesme, pres ve bükme kuvveti, kuvvetin otomasyonuna dayalı montaj operasyonlarında ve makina işleyişinin izlenmesi v.s.
OEM'ler	Transport sistemleri, plastik kaplama, roketler, takım tezgahları, kompresörler, motorlar, esnek yapılar, petrol ve gaz delme, şok ve vibrasyon testleri v.s.

3. DENEY DÜZENİĞİNİN HAZIRLANMASI

3.1. Deney Malzemelerinin Seçimi ve Bağlama Şekli

Deneylerde dört farklı kompozisyona sahip dökme demir kullanıldı. Bu malzemelerin kullanılma nedeni, İNAN, A., 1999'da çelik, pirinç ve dökme demir numuneleri üzerinde yapılan çalışmasında, en fazla dökme demirin gerilim üretmesinin sebebinin araştırılmasıdır. Bu malzemeler 50mm çapında ve 500mm boyunda ODTÜ Metalürji Mühendisliği Bölümünün Döküm Atölyesinde aşağıdaki tabloda görülen kimyasal bileşimlerde döküm malzemeleri döküldü. (Tablo 3.1.)

Deney numunelerinin her biri araştırma esnasında izole edilen ayna ve punta ucu arasına yerleştirilerek, yine izole edilen kesme kalemi ile torna edilmesi sağlandı. (Şekil 3.1.)



Şekil 3.1. Deney Malzemesinin Bağlama Şekli

Tablo 3.1. Numunelerin spektral analiz değerleri

Numune Sırası	1	2	3	4
Elementler	Element Yüzdesi			
Karbon (C)	2,86	2,52	2,52	3,203
Fosfor (P)	0,0304	0,0331	0,0309	0,0281
Molibden (Mo)	0,0084	0,00172	0,0114	0,00529
Cobalt (Co)	0,0148	0,0153	0,0159	0,013
Titanium (Ti)	0,00623	0,00601	0,00522	0,00532
Kurşun (Pb)	<0,00200	<0,00210	<0,00200	<0,00200
Silisyum (Si)	3,23	2,64	1,16	1,02
Kükürt (S)	0,0127	0,0154	0,0281	0,0059
Nikel (Ni)	0,0435	0,0593	1,64	1,61
Bakır (Cu)	0,05	0,0589	0,0817	0,0455
Vanadyum (V)	0,00862	0,00873	0,00866	0,00855
Kalay (Sn)	0,00495	0,00346	0,00413	<0,00300
Magnezyum (Mg)	<0,00100	<0,00100	<0,00100	<0,00100
Mangan (Mn)	0,599	1,13	0,543	0,839
Krom (Cr)	0,0602	0,0626	0,062	0,059
Aluminyum (Al)	0,00444	0,00791	0,00233	0,00764
Niobium (Nb)	<0,00200	<0,00200	<0,00200	<0,00200
Wolfram (W)	<0,00500	<0,00500	<0,00500	<0,00500
Antimon (Sb)	<0,00200	<0,00200	<0,00200	<0,00200

3.2. Deney Düzenğinde Kullanılan Bazı Elamanların Tanıtılması

3.2.1. Torna Tezgahı

3.2.2. Aumetre

3.2.3. Plotter

3.2.1. Torna Tezgahı

Araştırmada kullanılan torna tezgahı, Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Makine Kimya Endüstrisi Kurumunun İmalatı olan UT-48 tipi bir tornadır.

3.2.2. Aumetre

Malzemeleri tornada işlemeye başlamadan önce izolasyon kontrolü için Dijital Aumetre kullanıldı (Alman malı, M 4650 modeli ve P504121 seri nolu, 4.5 Digit). 0,01 mV hassasiyete sahip olan bu ölçüm aleti istenilen değerleri ekranda durdurabilme özelliğine de sahiptir ve taşınabilir olması da, deneyler esnasında büyük kolaylık sağladı.

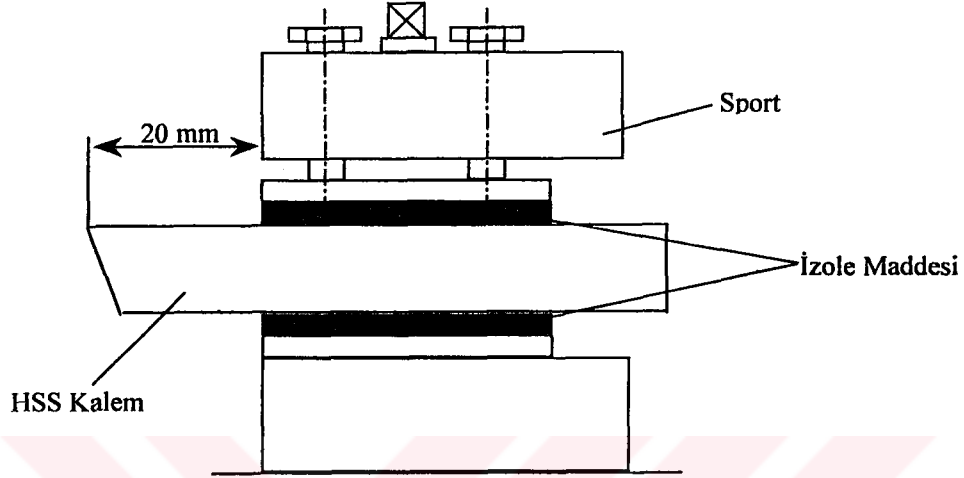
3.2.3. Plotter

LEYBOOLD Markalı ve SE 790 moddelli XY plotter'ı 0~250 V arasında çalışabilen elektro mıknatıs ile kağıt tutma özelliğine sahiptir. Plotter üzerinde X eksenı zaman değişkenini belirlemekte ve Y eksenı de voltaj değişimini belirlemektedir.

3.3. Torna Kaleminin Seçimi, Bağlama Şekli ve Bileme Açıları

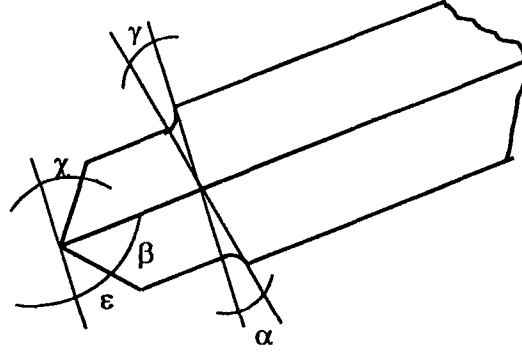
Araştırmada kullanılan kare kesitli HSS (Yüksek Hız Çeliği) torna kalemlerinden 12x12x160 (mmxmmxmm) ebatlarına sahip ve (C % 0.7, W % 0.18, Cr % 0.4-5, V % 1, Co % 5) kimyasal bileşimindeki bir hız kalemi seçildi. Bu seçimin nedeni uç aşınmasının rahatlıkla izlenmesini sağlamak içindir. Torna kalemi sporta bağlanırken; kalemin yanına, altına ve üst yüzeyine izole malzemesi olarak teflon

konuldu. Her kesme şartı için TOS – HOSTIVAR marka bileme tezgahında yeniden bilenen torna kalemı, sporttan 20 mm dışarı taşacak şekilde bağlandı. (Şekil 3.2.)



Şekil 3.2. Torna kalemını Bağlama Şekli

Torna kaleminin açıları her kesilen malzeme için farklı olduğundan, bu açılar aşağıdaki tablodan (DIN 768'e göre verildi (Tablo3.1). Bilenen kesici kalem ucu, gezer punta ucu ile ekslenenerek, deney için hazır hale getirildi.

Tablo 3.2. HSS Torna Kalem Açıları (DIN 768)

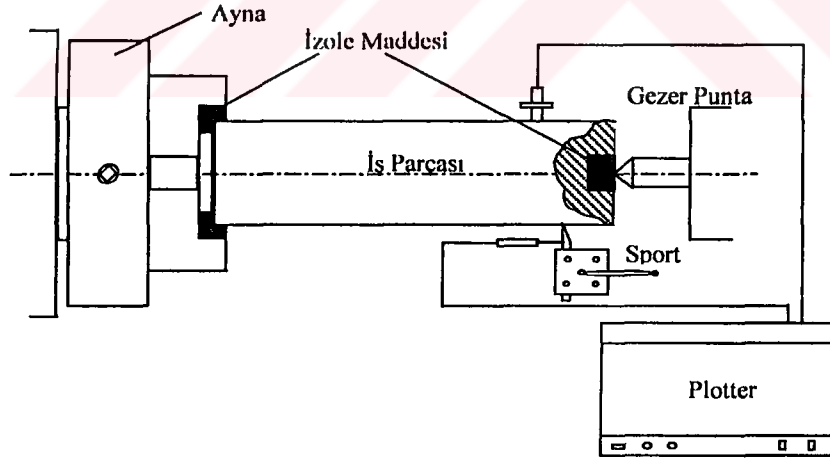
İşlenecek Malzeme	Kalem Açıları				
	α	β	γ	ϵ	χ
Kopma Dayanımı 34 kPmm ² olan Çelikler	10	55	25	35	16
Kopma Dayanımı 34-50 kPmm ² olan Çelikler	8	62	20	28	16
Kopma Dayanımı 50-70 kPmm ² olan Çelikler	8	70	12	20	16
Kopma Dayanımı 70 kPmm ² olan Çelikler	8	74	8	16	16
Cr-Ni Çelikler	6-8	72-74	8-10	18-14	16
Pik	6	74	10	16	16
Pirinç	8	74	8	16	16
Bronz	8	74	8	16	16
Alüminyum	10	40	40	50	16
Sert Lastik	6-8	54-56	20-28	36-34	16
Pres Maddeleri	30	55	5	35	16

4. YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLARI

Deneyler için hazırlanan 50 mm çapında ve 500 mm boyunda çelik, pirinç ve dört farklı kompozisyona sahip pik malzemelerle 125, 250, 355 dev/dak hızlarında; 0.16, 0.32, 0.48 mm devir başına ilerlemelerde; 0.5, 1, 1.5 mm paso derinliğinde ve 2 dakikalık kesme süresince kuru tornalamaya tabi tutularak, meydana gelen gerilimler plotter'la çizilerek tespit edildi. Daha sonra da olayın açıklanmasına yardımcı olabilir düşüncesiyle, pik numunelerden alınan kesitler 80C, 120D, 240A, 280A, 400A, 600A, 800A, 1000A, 1200A'lık silicon carbide zımpara kağıtlarıyla ve 6 mikron elmasla parlatılarak, numune merkezinden belirli uzaklıklarda ki noktalardan iç yapı tayini için numuneler dağlanarak fotoğrafları çekildi.

4.1. Tornalama Esnasında Meydana Gelen Gerilimin Ölçülmesi

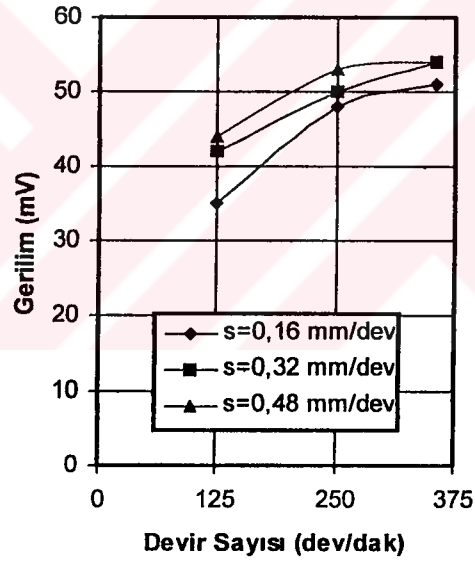
Deney malzemelerinin her biri torna tezgahına Şekil 4.1'de görüldüğü gibi plotter'ın bir ucu kalem ile izole malzemesi arasına yerleştirildi, diğer ucu ise tornalanacak malzemeye sürekli temas edecek şekilde kalem ucundan devir başına ilerleme (s) kadar hareket yönünde tezgah arabasına tespit edildi.



Şekil 4.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Tablo 4.1. Birinci numune için gerilim ve devir sayısı değişimi
($t=0.5$ mm, $d=51$ mm)

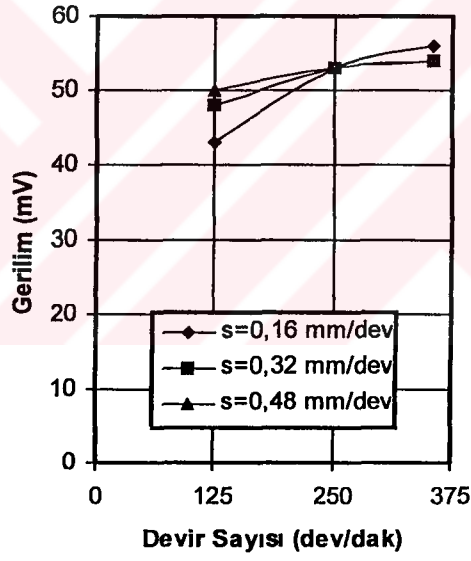
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	$s=0,16$ (mm / dev)	$s=0,32$ (mm / dev)	$s=0,48$ (mm / dev)
125	35	42	44
250	48	50	53
355	51	54	54



Şekil 4.2. $t=0.5$ mm, $d=51$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

Tablo 4.2. Birinci numune için gerilim ve devir sayısı değişimi
($t=1$ mm, $d=50$ mm)

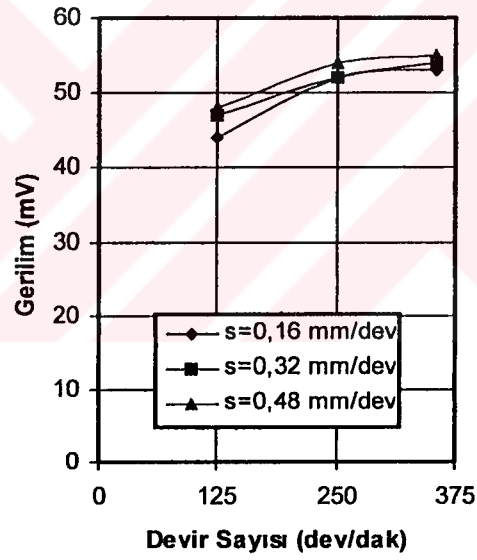
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	$s=0,16$ (mm / dev)	$s=0,32$ (mm / dev)	$s=0,48$ (mm / dev)
125	43	48	50
250	53	53	53
355	56	54	54



Şekil 4.3. $t=1$ mm, $d=50$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

Tablo 4.3. Birinci numune için gerilim ve devir sayısı değişimi
($t=1.5$ mm, $d=49$ mm)

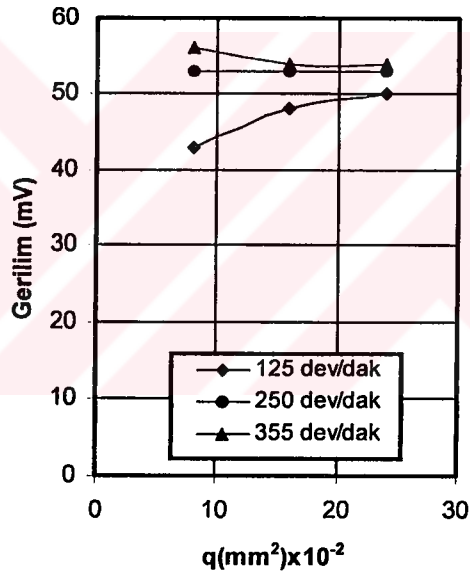
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	$s=0,16$ (mm / dev)	$s=0,32$ (mm / dev)	$s=0,48$ (mm / dev)
125	44	47	48
250	52	52	54
355	53	54	55



Şekil 4.4. $t=1.5$ mm, $d=49$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

Tablo 4.5. Birinci numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1$ mm, $d=50$ mm)

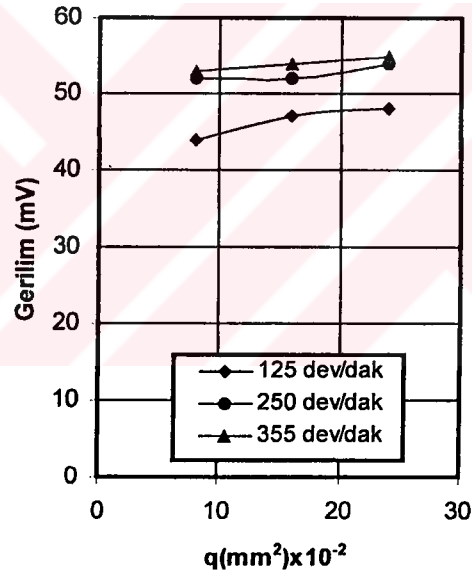
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	43	53	56
0,16	48	53	54
0,24	50	53	54



Şekil 4.6. $t=1$ mm, $d=50$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.6. Birinci numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=49$ mm)

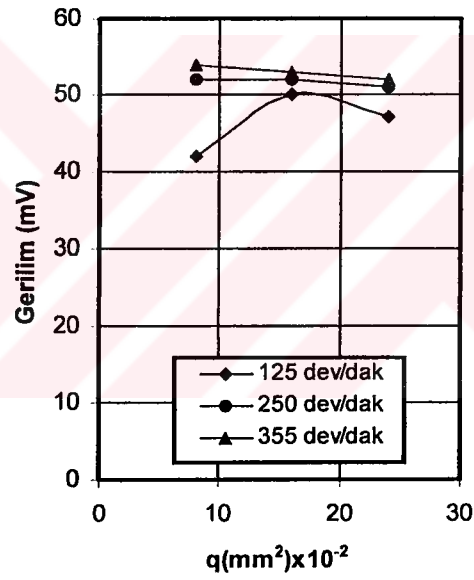
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	44	52	53
0,16	47	52	54
0,24	48	54	55



Şekil 4.7. $t=1.5$ mm, $d=49$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.7. Birinci numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=41$ mm)

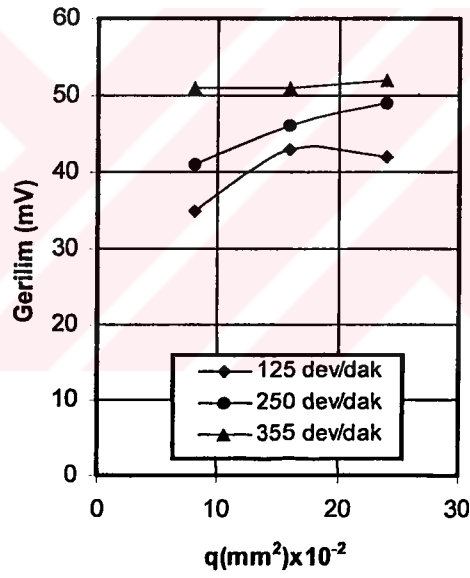
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	42	52	54
0,16	50	52	53
0,24	47	51	52



Şekil 4.8. $t=1.5$ mm, $d=41$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.8. Birinci numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=31$ mm)

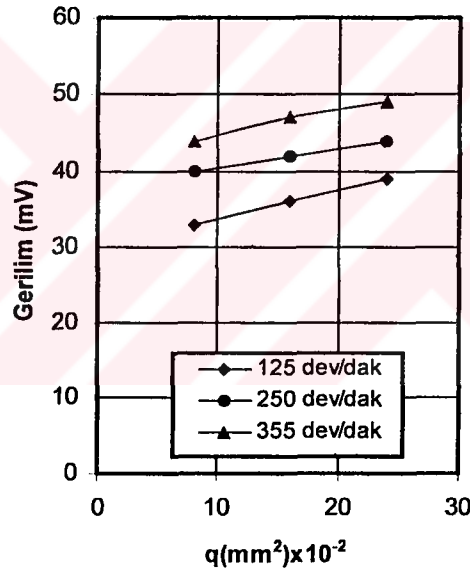
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	35	41	51
0,16	43	46	51
0,24	42	49	52



Şekil 4.9. $t=1.5$ mm, $d=31$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.9. Birinci numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=21$ mm)

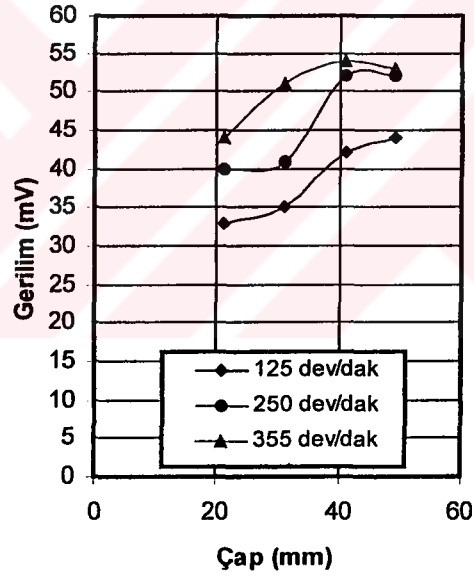
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	33	40	44
0,16	36	42	47
0,24	39	44	49



Şekil 4.10. $t=1.5$ mm, $d=21$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.10. Birinci numune için gerilim ve ϕ değışımi
($q=0.24 \text{ mm}^2$)

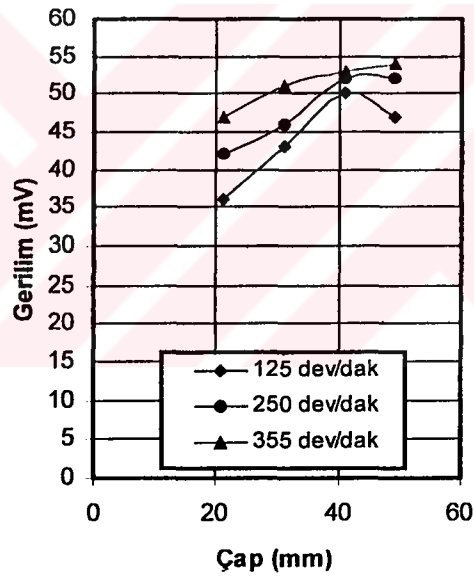
Çap (mm)	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
25	33	40	44
35	35	41	51
45	42	52	54
51	44	52	53



Şekil 4.11. $q=0.24 \text{ mm}^2$ için gerilim-talaş kesiti değışımi

Tablo 4.11. Birinci numune için gerilim ve ϕ değışimi
($q=0.48 \text{ mm}^2$)

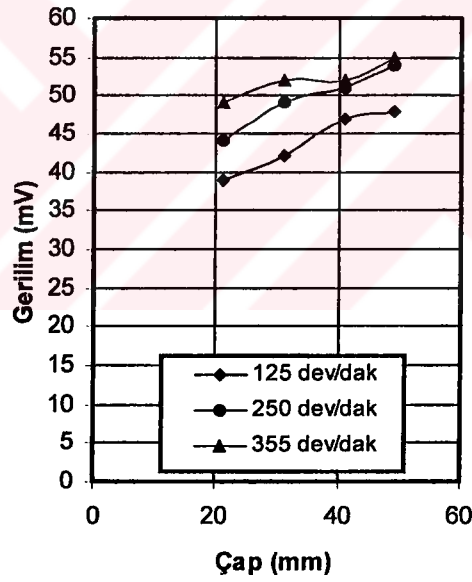
ϕ (mm)	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
25	36	42	47
35	43	46	51
45	50	52	53
51	47	52	54



Şekil 4.12. $q=0.48 \text{ mm}^2$ için gerilim-talaş kesiti değışimi

Tablo 4.12. Birinci numune için gerilim ve ϕ değışimi
($q=0.72 \text{ mm}^2$)

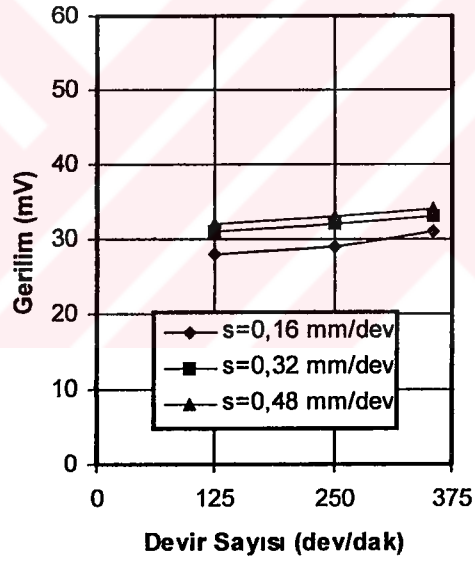
Çap (mm)	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
25	39	44	49
35	42	49	52
45	47	51	52
51	48	54	55



Şekil 4.13. $q=0.72 \text{ mm}^2$ için gerilim-talaş kesiti değışimi

Tablo 4.13. İkinci numune için gerilim ve devir sayısı değişimi
($t=0.5$ mm, $d=51$ mm)

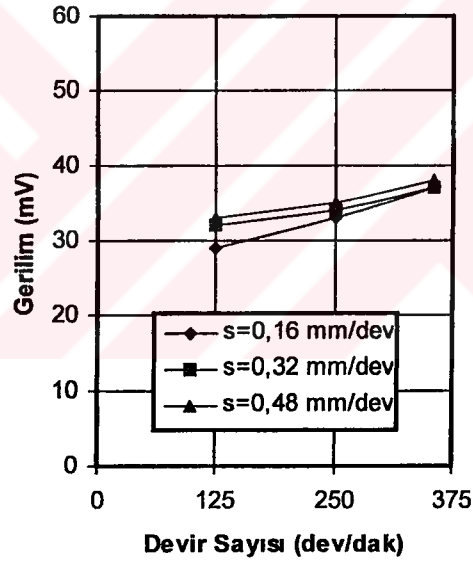
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	s=0,16 (mm / dev)	s=0,32 (mm / dev)	s=0,48 (mm / dev)
125	28	31	32
250	29	32	33
355	31	33	34



Şekil 4.14. $t=0.5$ mm, $d=51$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

Tablo 4.14. İkinci numune için gerilim ve devir sayısı değişimi
($t=1$ mm, $d=50$ mm)

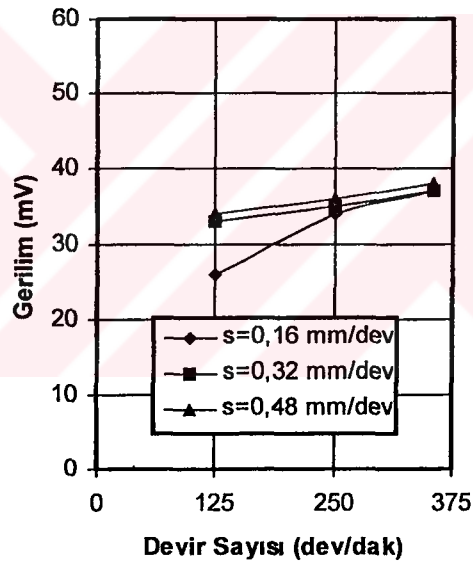
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	$s=0,16$ (mm / dev)	$s=0,32$ (mm / dev)	$s=0,48$ (mm / dev)
125	29	32	32
250	33	34	34
355	37	37	37



Şekil 4.15. $t=1$ mm, $d=50$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

Tablo 4.15. İkinci numune için gerilim ve devir sayısı değişimi
($t=1.5$ mm, $d=49$ mm)

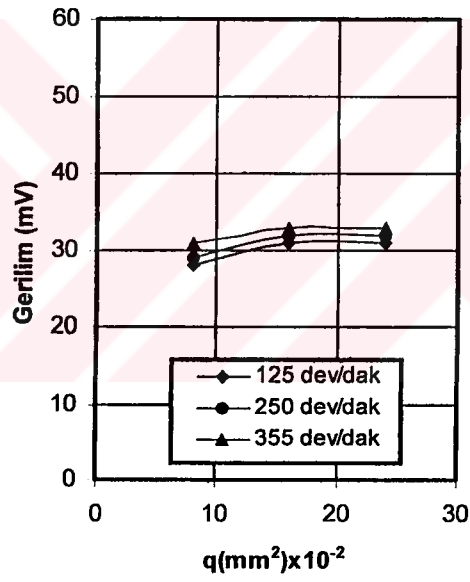
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	$s=0,16$ (mm / dev)	$s=0,32$ (mm / dev)	$s=0,48$ (mm / dev)
125	26	33	33
250	34	35	35
355	37	37	37



Şekil 4.16. $t=1.5$ mm, $d=49$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

Tablo 4.16. İkinci numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=0.5$ mm, $d=51$ mm)

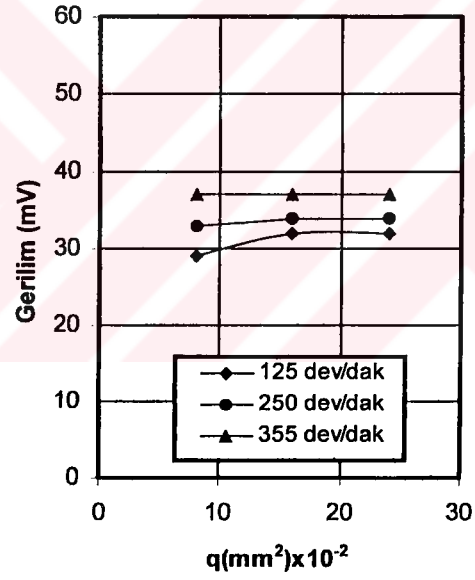
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	28	29	31
0,16	31	32	33
0,24	31	32	33



Şekil 4.17. $t=0.5$ mm, $d=51$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.17. İkinci numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1$ mm, $d=50$ mm)

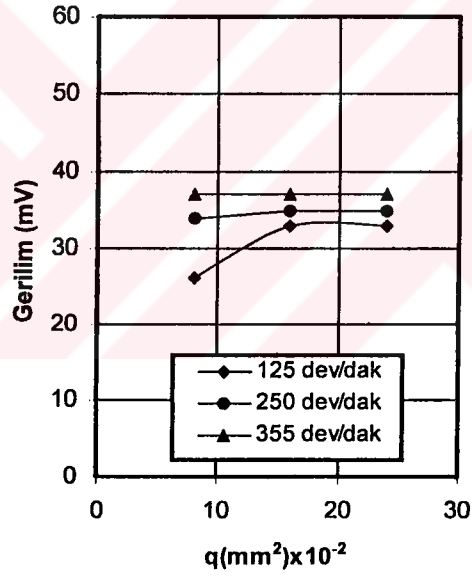
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	29	33	37
0,16	32	34	37
0,24	32	34	37



Şekil 4.18. $t=1$ mm, $d=50$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.18. İkinci numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=49$ mm)

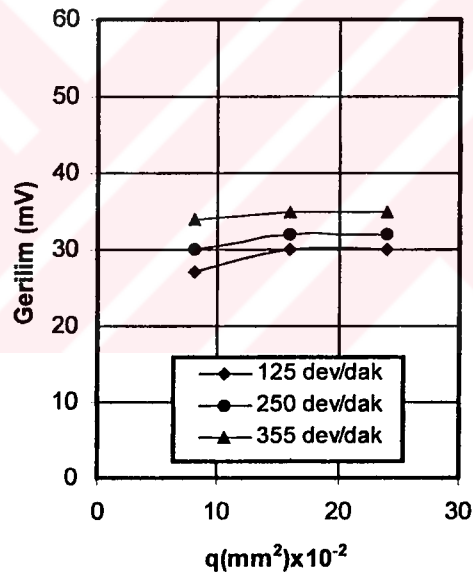
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	26	34	37
0,16	33	35	37
0,24	33	35	37



Şekil 4.19. $t=1.5$ mm, $d=49$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.19. İkinci numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=41$ mm)

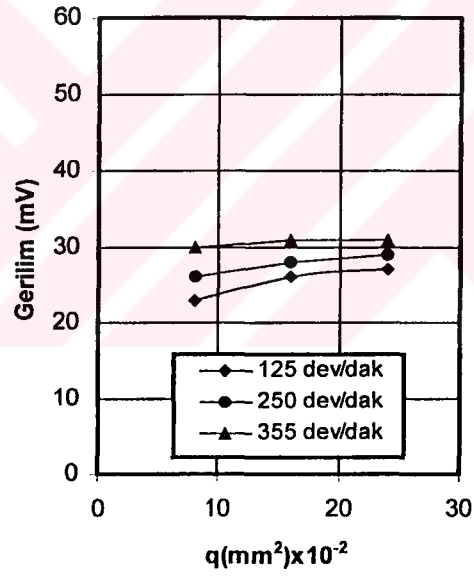
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	27	30	34
0,16	30	32	35
0,24	30	32	35



Şekil 4.20. $t=1.5$ mm, $d=41$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.20. İkinci numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=31$ mm)

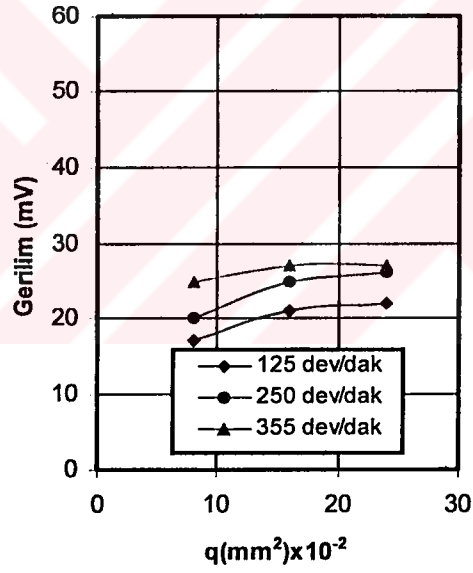
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	23	26	30
0,16	26	28	31
0,24	27	29	31



Şekil 4.21. $t=1.5$ mm, $d=31$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.21. İkinci numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=21$ mm)

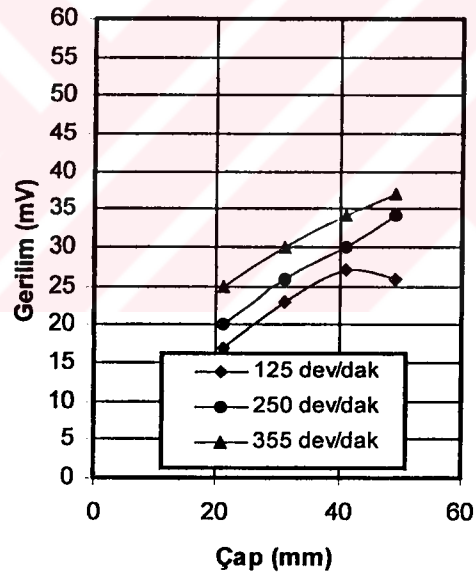
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	17	20	25
0,16	21	25	27
0,24	22	26	27



Şekil 4.22. $t=1.5$ mm, $d=21$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.22. İkinci numune için gerilim ve ϕ ap değişimi
($q=0.24 \text{ mm}^2$)

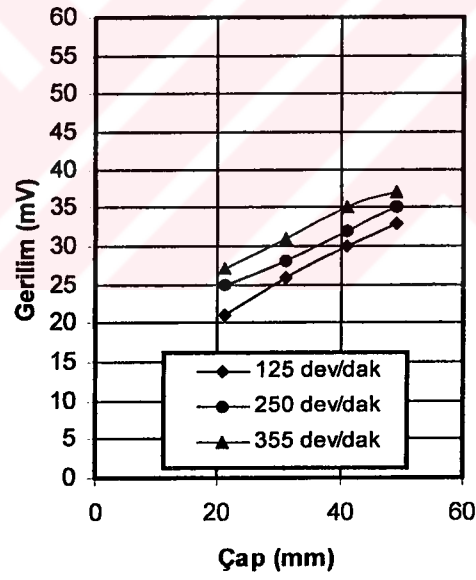
ϕ ap (mm)	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
21	17	20	25
31	23	26	30
41	27	30	34
49	26	34	37



şekil 4.23. $q=0.24 \text{ mm}^2$ için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.23. İkinci numune için gerilim ve çap değişimi
($q=0.48 \text{ mm}^2$)

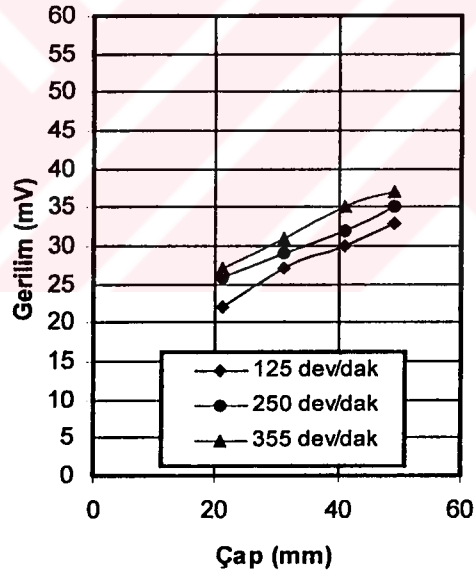
Çap (mm)	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
21	21	25	27
31	26	28	31
41	30	32	35
49	33	35	37



Şekil 4.24. $q=0.48 \text{ mm}^2$ için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.24. İkinci numune için gerilim ve çap değişimi
($q=0.72 \text{ mm}^2$)

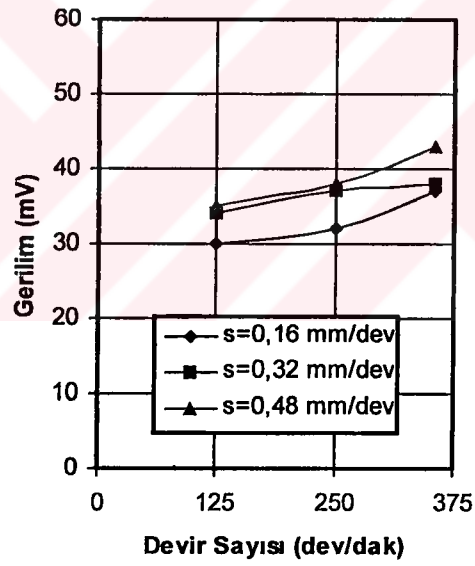
Çap (mm)	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
21	22	26	27
31	27	29	31
41	30	32	35
49	33	35	37



Şekil 4.25. $q=0.72 \text{ mm}^2$ için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.25. Üçlncü numune için gerilim ve devir sayısı değışimi
($t=0.5$ mm, $d=51$ mm)

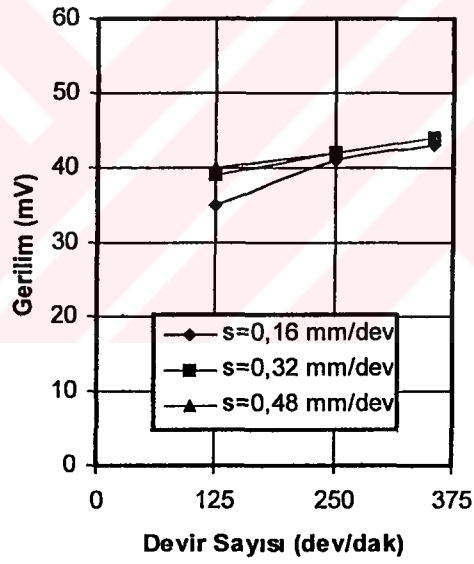
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	$s=0,16$ (mm / dev)	$s=0,32$ (mm / dev)	$s=0,48$ (mm / dev)
125	30	34	35
250	32	37	38
355	37	38	43



Şekil 4.26. $t=0.5$ mm, $d=51$ mm için gerilim-devir sayısı değışimi

Tablo 4.26. Üçüncü numune için gerilim ve devir sayısı değişimi
($t=1$ mm, $d=50$ mm)

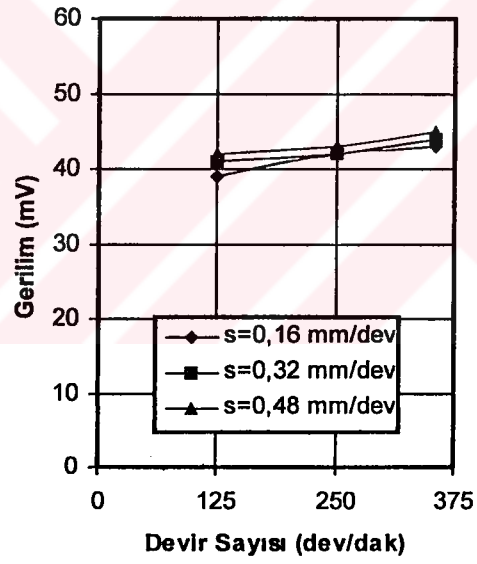
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	$s=0,16$ (mm / dev)	$s=0,32$ (mm / dev)	$s=0,48$ (mm / dev)
125	35	39	40
250	41	42	42
355	43	44	44



Şekil 4.27. $t=1$ mm, $d=50$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

Tablo 4.27. Üçüncü numune için gerilim ve devir sayısı değişimi
($t=1.5$ mm, $d=49$ mm)

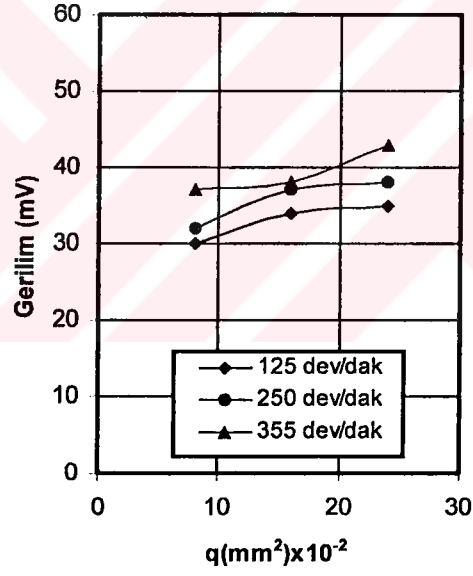
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	$s=0,16$ (mm / dev)	$s=0,32$ (mm / dev)	$s=0,48$ (mm / dev)
125	39	41	42
250	42	42	43
355	43	44	45



Şekil 4.28. $t=1.5$ mm, $d=49$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

Tablo 4.28. Üçüncü numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=0.5$ mm, $d=51$ mm)

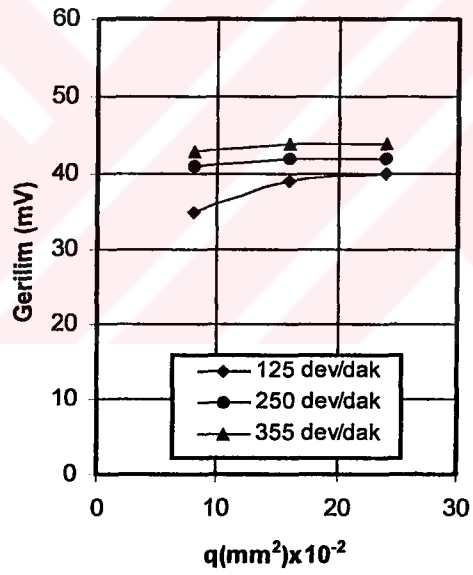
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	30	32	37
0,16	34	37	38
0,24	35	38	43



Şekil 4.29. $t=0.5$ mm, $d=51$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.29. Üçüncü numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1$ mm, $d=50$ mm)

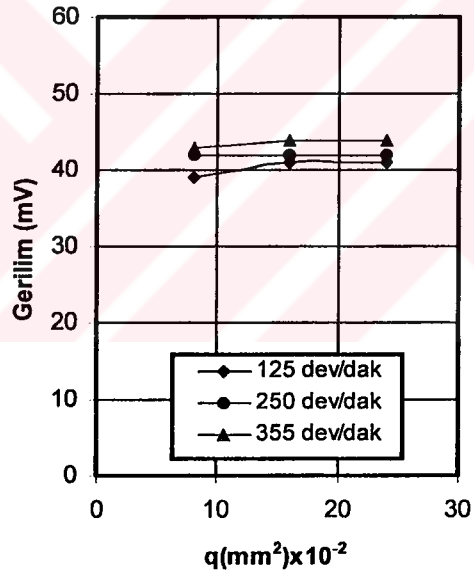
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	35	41	43
0,16	39	42	44
0,24	40	42	44



Şekil 4.30. $t=1$ mm, $d=50$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.30. Üçüncü numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=49$ mm)

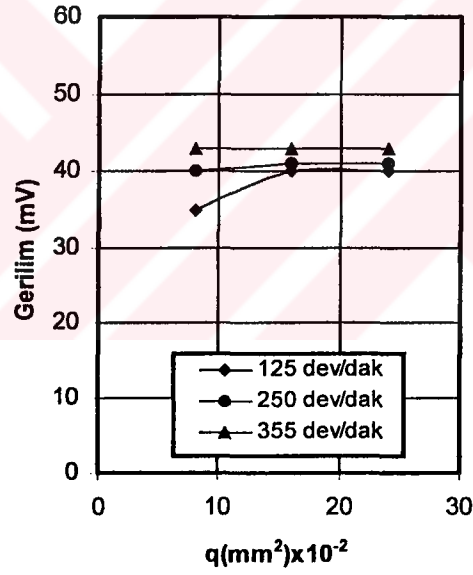
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	39	42	43
0,16	41	42	44
0,24	41	42	44



Şekil 4.31. $t=1.5$ mm, $d=49$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.31. Üçüncü numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=41$ mm)

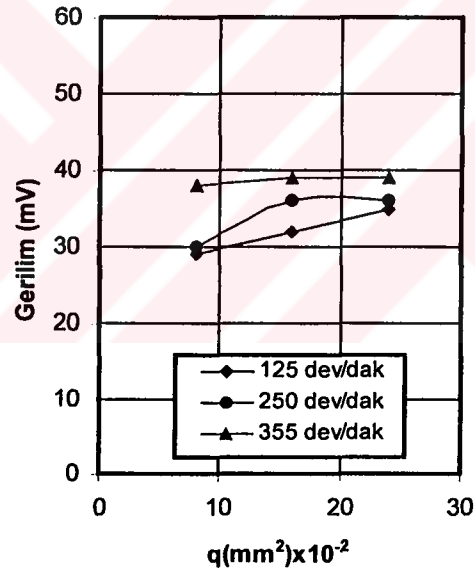
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	35	40	43
0,16	40	41	43
0,24	40	41	43



Şekil 4.32. $t=1.5$ mm, $d=41$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.32. Üçüncü numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=31$ mm)

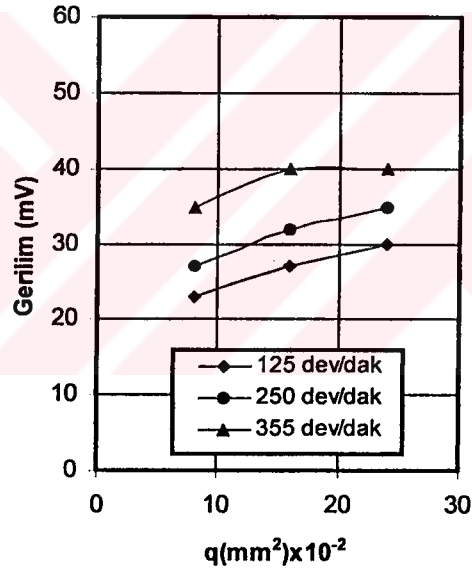
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	29	30	38
0,16	32	36	39
0,24	35	36	39



Şekil 4.33. $t=1.5$ mm, $d=31$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.33. Üçüncü numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=21$ mm)

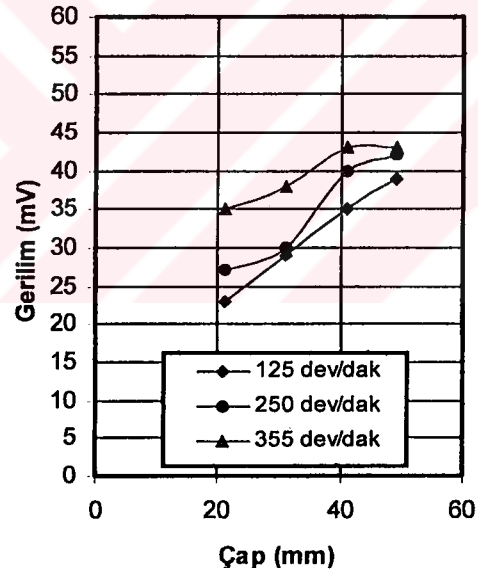
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	23	27	35
0,16	27	32	40
0,24	30	35	40



Şekil 4.34. $t=1.5$ mm, $d=21$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.34. Üçüncü numune için gerilim ve çap değişimi
($q=0.24 \text{ mm}^2$)

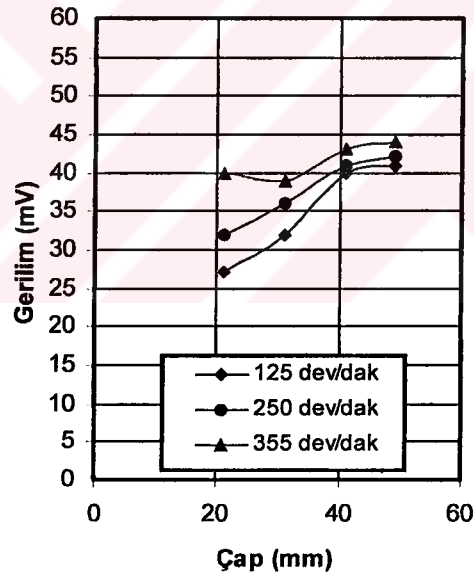
Çap (mm)	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
21	23	27	35
31	29	30	38
41	35	40	43
49	39	42	43



Şekil 4.35. $q=0.24 \text{ mm}^2$ için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.35. Üçüncü numune için gerilim ve çap değişimi
($q=0.48 \text{ mm}^2$)

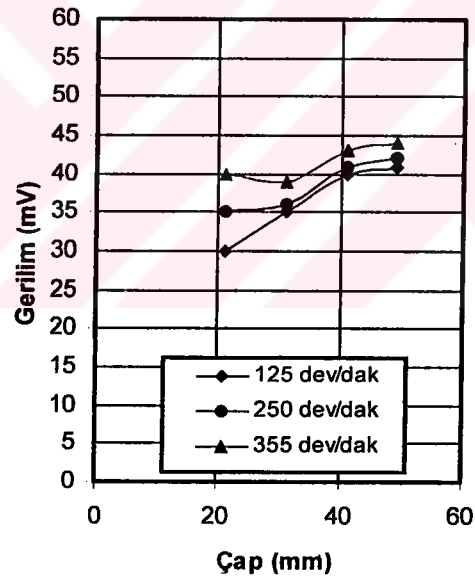
Çap (mm)	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
21	27	32	40
31	32	36	39
41	40	41	43
49	41	42	44



Şekil 4.36. $q=0.48 \text{ mm}^2$ için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.36. Üçüncü numune için gerilim ve çap değişimi
($q=0.72 \text{ mm}^2$)

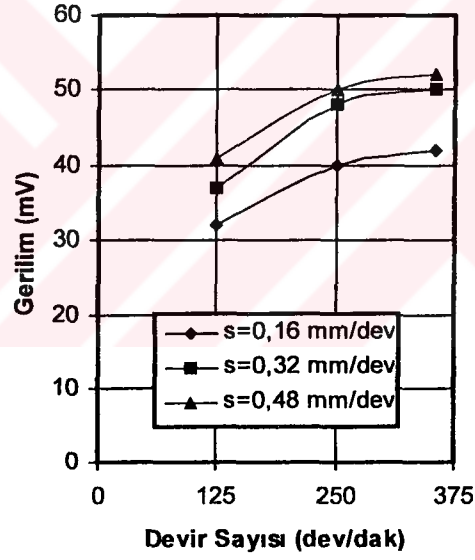
Çap (mm)	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
21	30	35	40
31	35	36	39
41	40	41	43
49	41	42	44



Şekil 4.37. $q=0.72 \text{ mm}^2$ için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.37. Dördüncü numune için gerilim ve devir sayısı değişimi
($t=0.5$ mm, $d=51$ mm)

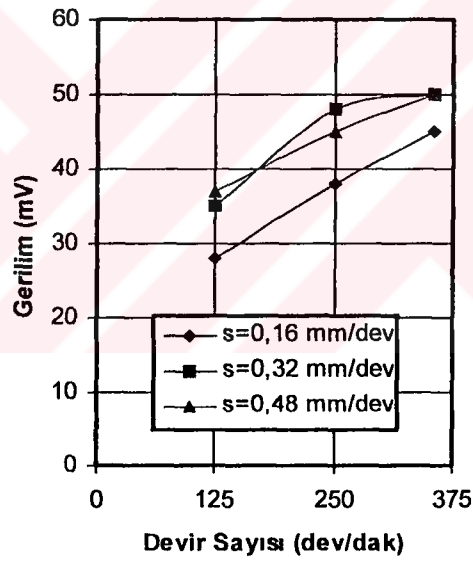
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	$s=0,16$ (mm / dev)	$s=0,32$ (mm / dev)	$s=0,48$ (mm / dev)
125	32	37	41
250	40	48	50
355	42	50	52



Şekil 4.38. $t=0.5$ mm, $d=51$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

Tablo 4.38. Dördüncü numune için gerilim ve devir sayısı değişimi
($t=1$ mm, $d=50$ mm)

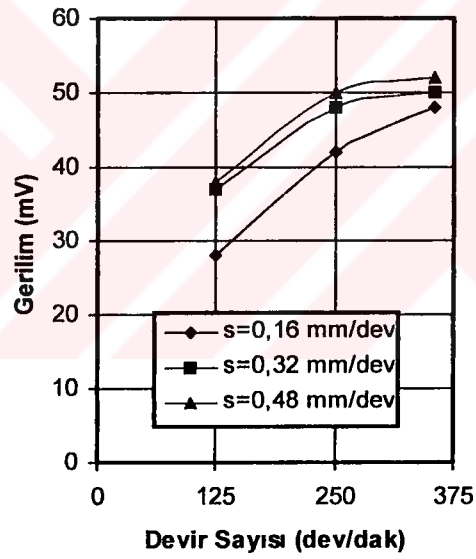
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	$s=0,16$ (mm / dev)	$s=0,32$ (mm / dev)	$s=0,48$ (mm / dev)
125	28	35	37
250	38	48	45
355	45	50	50



Şekil 4.39. $t=1$ mm, $d=50$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

Tablo 4.39. Dördüncü numune için gerilim ve devir sayısı değişimi
($t=1.5$ mm, $d=49$ mm)

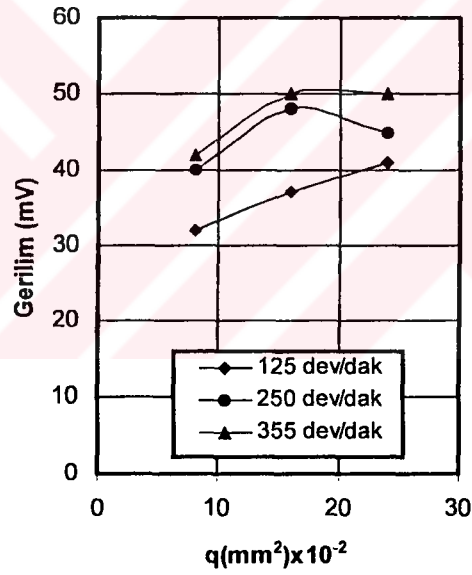
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	$s=0,16$ (mm / dev)	$s=0,32$ (mm / dev)	$s=0,48$ (mm / dev)
125	28	37	38
250	42	48	50
355	48	52	52



Şekil 4.40. $t=1.5$ mm, $d=49$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

Tablo 4.40. Dördüncü numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=0.5$ mm, $d=51$ mm)

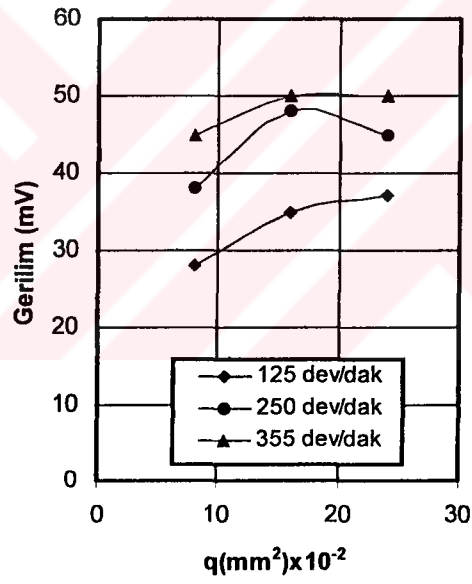
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	32	40	42
0,16	37	48	50
0,24	41	45	50



Şekil 4.41. $t=0.5$ mm, $d=51$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.41. Dördüncü numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1$ mm, $d=50$ mm)

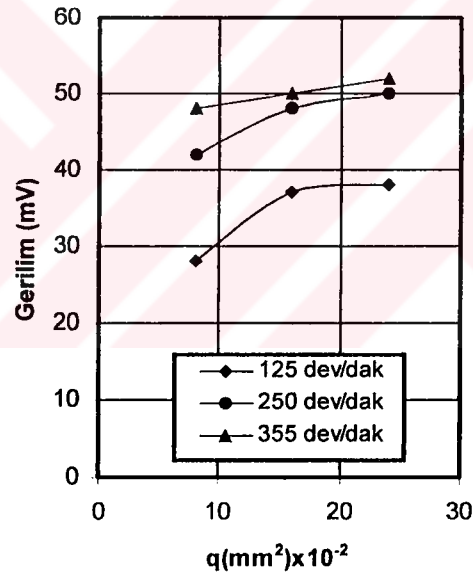
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	28	38	45
0,16	35	48	50
0,24	37	45	50



Şekil 4.42. $t=1$ mm, $d=50$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.42. Dördüncü numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=49$ mm)

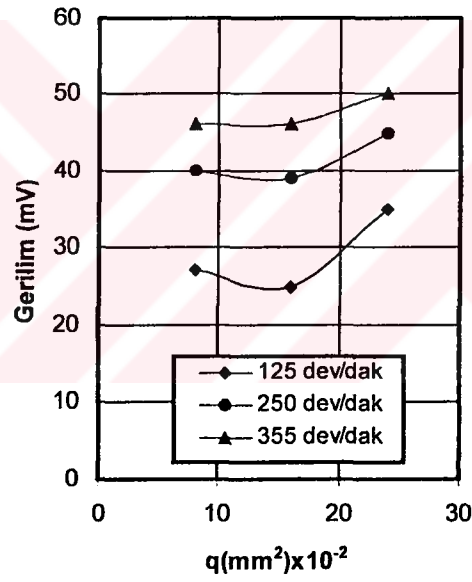
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	28	42	48
0,16	37	48	50
0,24	38	50	52



Şekil 4.43. $t=1.5$ mm, $d=49$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.43. Dördüncü numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=41$ mm)

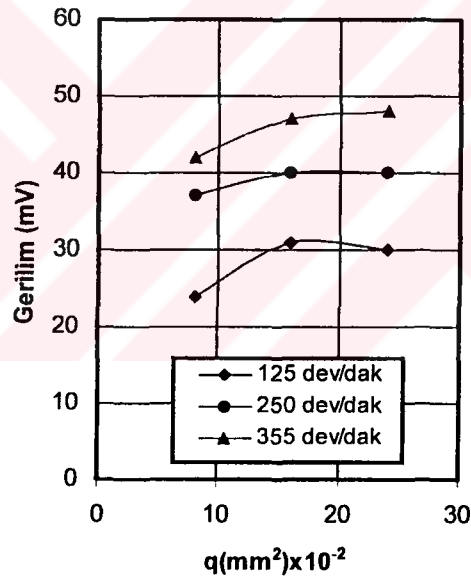
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	27	40	46
0,16	25	39	46
0,24	35	45	50



Şekil 4.44. $t=1.5$ mm, $d=41$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.44. Dördüncü numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=31$ mm)

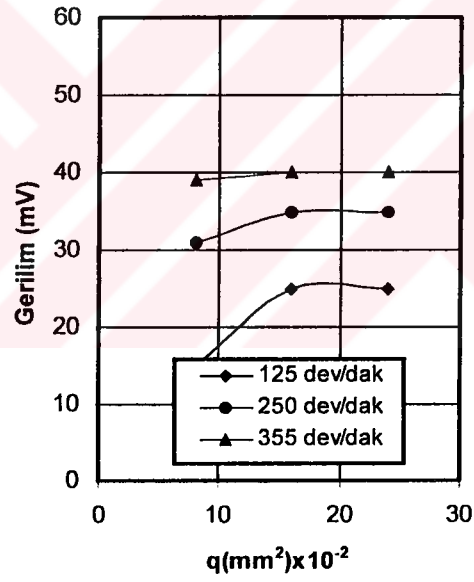
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	24	37	42
0,16	31	40	47
0,24	30	40	48



Şekil 4.45. $t=1.5$ mm, $d=31$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.45. Dördüncü numune için gerilim ve talaş kesiti değişimi
($t=1.5$ mm, $d=21$ mm)

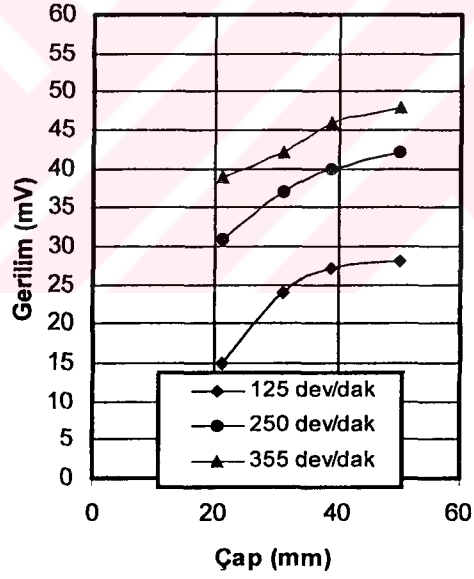
Talaş Kesiti (mm^2) $\times 10^{-2}$	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
0,08	15	31	39
0,16	25	35	40
0,24	25	35	40



Şekil 4.46. $t=1.5$ mm, $d=21$ mm için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.46. Dördüncü numune için gerilim ve çap değişimi
($q=0.24 \text{ mm}^2$)

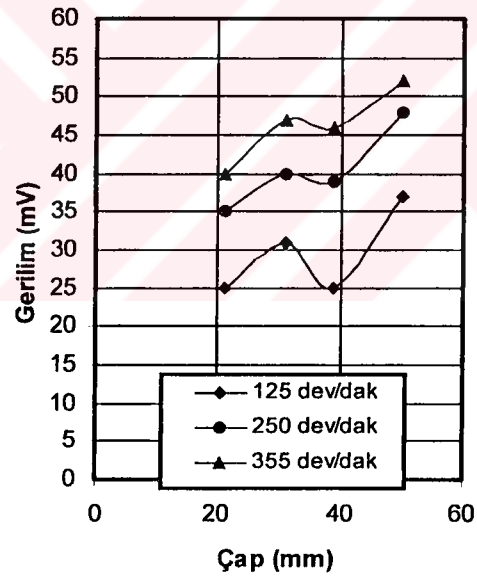
Çap (mm)	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
21	15	31	39
31	24	37	42
39	27	40	46
50	28	42	48



Şekil 4.47. $q=0.24 \text{ mm}^2$ için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.47. Dördüncü numune için gerilim ve çap değişimi
($q=0.48 \text{ mm}^2$)

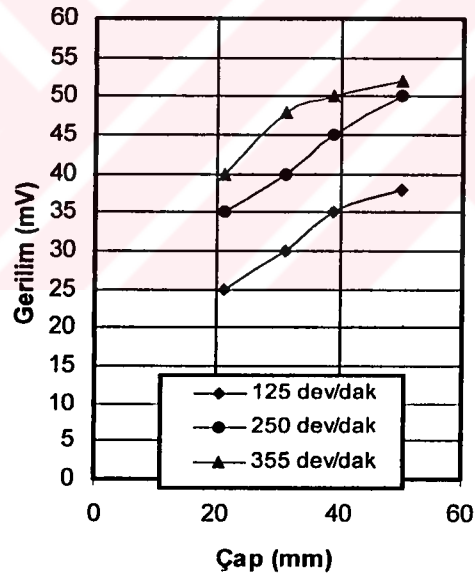
Çap (mm)	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
21	25	35	40
31	31	40	47
39	25	39	46
50	37	48	52



Şekil 4.48. $q=0.48 \text{ mm}^2$ için gerilim-talaş kesiti değişimi

Tablo 4.48. Dördüncü numune için gerilim ve ϕ değışimi
($q=0.72 \text{ mm}^2$)

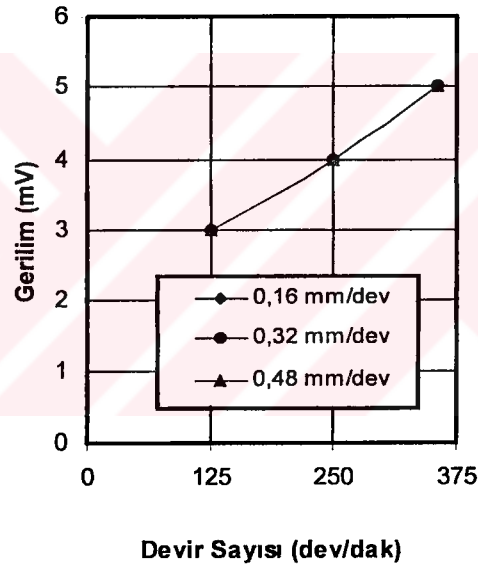
Çap (mm)	Gerilim (mV)		
	n=125 (dev / dak)	n=250 (dev / dak)	n=355 (dev / dak)
21	25	35	40
31	30	40	48
39	35	45	50
50	38	50	52



Şekil 4.49. $q=0.72 \text{ mm}^2$ için gerilim-talaş kesiti değışimi

Tablo 4.49. Çelikte gerilimin devir sayısı ile değişimi
($t=0.5$ mm, $d=20$ mm)

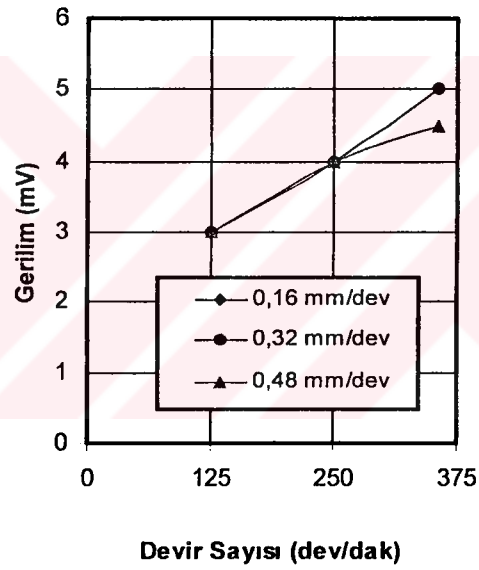
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	s=0,16 (mm / dev)	s=0,32 (mm / dev)	s=0,48 (mm / dev)
125	3	3	3
250	4	4	4
355	5	5	5



Şekil 4.50. $t=0.5$ mm, $d=20$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

Tablo 4.50. Çelikte gerilimin devir sayısı ile değişimi
($s=0.16$ mm, $d=20$ mm)

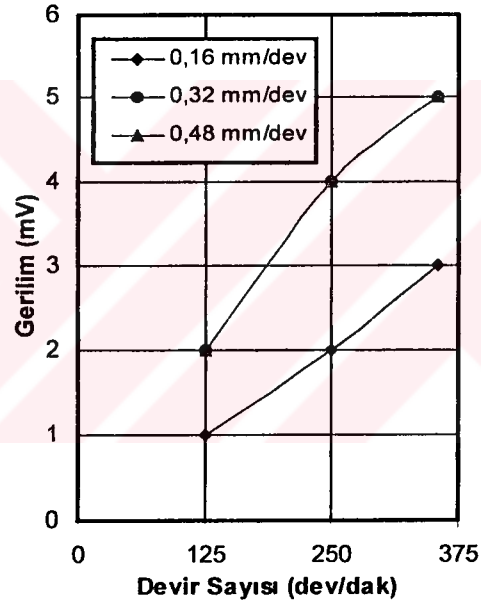
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	$t=0,5$ (mm)	$t=1$ (mm)	$t=1,5$ (mm)
125	3	3	3
250	4	4	4
355	5	5	4,5



Şekil 4.51. $s=0,16$ mm, $d=20$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

Tablo 4.51. Pirinçte gerilimin devir sayısı ile değişimi
($t=0.5$ mm, $d=20$ mm)

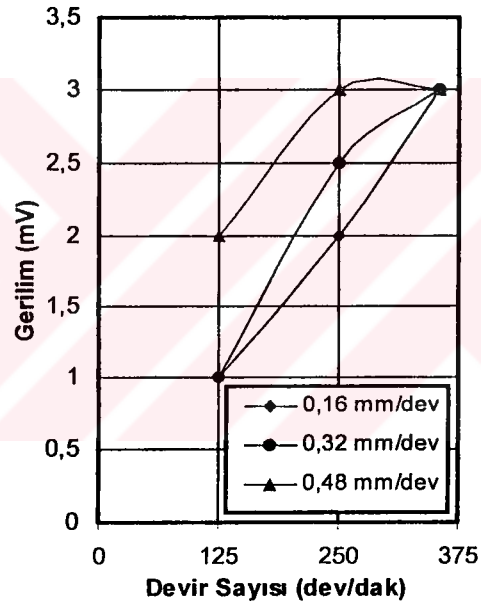
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	$s=0,16$ (mm / dev)	$s=0,32$ (mm / dev)	$s=0,48$ (mm / dev)
125	1	2	2
250	2	4	4
355	3	5	5



Şekil 4.52. $t=0.5$ mm, $d=20$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

Tablo 4.52. Pirinçte gerilimin devir sayısı ile değişimi
($s=0.16$ mm, $d=20$ mm)

Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV)		
	$t=0,5$ (mm)	$t=1$ (mm)	$t=1,5$ (mm)
125	1	1	2
250	2	2,5	3
355	3	3	3



Şekil 4.53. $s=0.16$ mm, $d=20$ mm için gerilim-devir sayısı değişimi

5. MATEMATİKSEL MODELİN ÇIKARILMASI

Talaşlı imalatla üretim hızının ve üretim ekonomikliğinin artırılabilmesi için kesme şartlarının en iyi şekilde belirlenmesi gerekir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen çalışmalarla optimum kesme şartlarının tümünün birden belirlenmesi oldukça zordur. Bu nedenle takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünde etkili olan kesme şartlarının (paso derinliği, ilerleme, kesme hızı gibi) en iyi şekilde belirlenmesi ve yüzey pürüzlülüğü ile takım ömrü denklemlerinin bilinmesi gerekir. Taylor (1907), sabit kesme şartları altında yaptığı ardışık deneyler neticesinde kesme hızı ile takım ömrü arasında bir bağıntı ortaya koymuş ve bir model geliştirmiştir. En çok kullanılan $V.T^n=C$ şeklindeki bu modelde, kesici takım ile iş parçası çifti göz önüne alınarak kesme hızı ile takım ömrü arasında bir ilişki kurulmuştur. Kesme şartlarının değişmesi halinde Taylor modelinin kullanılması her zaman yeterli olmaz. Çünkü takım ömrü denkleminin elde edilmesi için değişik kesme şartları altında çok fazla sayıda deneylerin yapılması gerekmektedir. Bu işlem ise çok sayıda zaman alacağı ve çok fazla miktarda iş parçası gerektirdiği için oldukça zordur. Gilbert (1950), tarafından geliştirilen ve bir anlamda Taylor modelinin tamamlayıcısı olan modelde paso derinliğinin ve ilerlemelerinde etkisi göz önüne alınmıştır. Bu modelde takım ömrü $T=C.V^{\alpha}.S^{\beta}.f^{\gamma}$ şeklinde ifade edilmiştir. Sıcak talaşlı imalat da ise yeni bir parametre olan sıcaklık, kesme hızı, ilerleme ve paso derinliği gibi parametrelerin üzerinde çok fazla etkilidir. Takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü denklemlerinin tayininde sıcaklığın tesiri de göz önüne alınmalıdır.

Takım ömrü ve yüzey pürüzlülük denklemlerinde en fazla kullanılan teknik faktoriyel regresyon analiz metodudur. Bu metotlar bir çok araştırmacılar tarafından başarıyla kullanılmıştır. Konvansiyonal talaşlı imalat için takım ömrü denkleminde ilk defa bu metot kullanılmıştır (Wu, 1964). Sıcak talaşlı imalat da ise takım ömrü denkleminin tayininde bu metot bir çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Hassan and Suliman 1974, vb). ayrıca deneysel çalışmalar sonucu yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için de bu metot kullanılabilir. Lu ve Chen (1974), yaptıkları çalışmalarında regresyon metodunu kullanarak yüzey pürüzlülüğü denklemlerini tayin etmişlerdir.

5.1. Regresyon Analiz ve Regresyon Metotları

Regrasyon analiz iki veya daha fazla değişken arasında herhangi bir ilişkinin olup olmadığını, varsa bu ilişkinin derecesinin belirlenmesinde kullanılan metottur. Bir başka deyişle bir y değişkeninin diğer bir x değişkeni ile bağımlılığı inceleme konusu yapılarak bunlar arasındaki ilişkiler karşılıklı olarak incelenir. Matematikte bu ilişkiye fonksiyon adı verilir. Değişkenler bağımsız değişkenler ve bağımlı değişkenler olmak üzere ayırım yapılırlar. Doğrusal regresyonda bağımlı değişkenin bir tek bağımsız değişkene olan regresyonu inceleme konusu yapılırken, çoklu regresyonda birden fazla bağımsız değişkenin tek bir bağımlı değişkene olan etkileri inceleme konusu yapılır. Regresyon analiz metodu deneysel araştırmayı, matematiksel metotları ve istatistik analizi içine alır. Bir araştırmacı amaç fonksiyonunu belirleme amacıyla ya bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi araştırır ya da optimum çözümü elde etmek için bağımsız değişkenlerin katsayılarını tespit etmek ister. Bu nedenle önceden belirlenen modelin katsayıları deneysel dataların yardımıyla tahmin edilir (Yurtsever, 1984). Talaşlı imalat da optimum kesme koşullarının elde edilmesi için deneylerin ya çok geniş aralıkta seçilmesi gerekir ya da deneysel dizaynın iyi seçilmesi gerekir. Takım ömür ve yüzey pürüzlülük denkleminde en uygun dizaynın faktoriyel denemeler olduğu ifade edilmiştir ve kullanılmıştır (Hassan and Suliman, 1990, vb). Faktoriyel denemeler çoğu kez değişik ve birbirleri ile ilişkili olmayan koşulların (faktörlerin) belli bir karaktere olan etkileri inceleme konusu yapılmaktadır. Bir başka anlatımla bir faktörün durumu diğer faktör ve faktörlerin değişik seviyelerinde ele alınmakta ve faktörler arasında karşılıklı etkileşim (iteraksiyon) olup olmadığı ortaya çıkarılmaktadır.

Regresyon fonksiyonu, bir tek bağımsız değişken durumunda iki boyutlu koordinat sisteminde bir eğriyi ifade eder. İki bağımsız değişken durumunda sabit regresyon kontürlerini meydana getirir. İkidenden fazla bağımsız değişken olması durumunda ise bunlar regresyon yüzeyleri ile temsil edilirler. Çoğu kez birden çok faktörün seviyelerinin ele alındığı faktöryel denemeler regresyon yüzeylerini hesaplamak amacıyla planlanmış denemeler olarak kabul edilir. Regresyon yüzeylerinin analizi, matematiksel metotlarla geliştirilmiş olan en küçük kareler metodunun kullanılması ile yapılır.

5.1.1. Basit Regresyon

$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)$ gibi bir takım ikili gözlemlerden meydana gelen düz bir doğru en küçük kareler yaklaşımının en basit örneğidir. Düz bir doğru için matematiksel ifade aşağıdaki gibi yazılır.

$$Y_i = a_0 + a_1 \cdot x_i + e \quad 5.1$$

Burada a_0 ve a_1 eğimi temsil eden katsayılardır. e ise matematiksel model ve gözlemler arasındaki hatadır. 1 nolu denklem tekrar düzenlenirse;

$$e = Y_i - (a_0 + a_1 \cdot x_i)$$

Böylece hata, önceden lineer denklem yardımıyla elde edilen yaklaşık değer $(a_0 + a_1 \cdot x_i)$ ve Y_i 'nin gerçek değeri arasındaki fark olduğu görülür.

5.1.2. Regresyon Katsayılarının Elde Edilmesi

deneyisel gözlemlerdeki amaç x ve y arasındaki ilişkiyi gösteren en iyi hattı bulmaktır. Bu hattı temsil eden denkleme regresyon denklemi denir. Gözlemlere en iyi uyan hat en küçük kareler metodu yardımıyla bulunması yani a_0 ve a_1 katsayılarının elde edilmesidir. Bu işlem ise hataların (artıkların) karelerinin toplamının minimize edilmesi ile olur. Yani tahmin edilen Y_i değerlerindeki hata değerinin en küçük olmasıdır. Hataların toplamı;

$$\sum_{i=1}^n e_i = \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i) \quad 5.2$$

şeklinde ifade edilir ve hataların karelerinin toplamı ise;

$$S_e = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i)^2 \quad 5.3$$

şeklinde yazılabilir. x ve Y arasındaki ifade eden a_0 ve a_1 katsayıları, hataların karelerinin toplamının her bir katsayıya göre kısmi türevlerinin alınarak sıfıra eşitlenmesi ile elde edilir. Kısmi türevleri;

$$\frac{\partial S_e}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1 x_i)$$

$$\frac{\partial S_e}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1 x_i) x_i$$

şeklinde elde edilir. Bu değerlerin sıfıra eşitlenmesi ile bir minimum S_r değeri elde edilir. Denklemden $\sum_{i=1}^n a_0$ yerine $n.a_0$ yazılırsa iki bilinmeyenli iki lineer denklem takımı elde edilir ve aşağıdaki gibi yazılır.

$$n.a_0 + \sum_{i=1}^n x_i . a_1 = \sum_{i=1}^n Y_i \quad 5.4$$

$$\sum_{i=1}^n x_i . a_0 + \sum_{i=1}^n x_i^2 . a_1 = \sum_{i=1}^n x_i . Y_i \quad 5.5$$

Bu denklemler normal denklemler olarak adlandırılırlar. Denklemler sayısal çözümlendiğinde ise a_1 katsayısı;

$$a_1 = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i . Y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad 5.6$$

şeklinde elde edilir. Elde edilen a_1 katsayısı denklem 5.4'te yerine konarak a_0 katsayısı elde edilir.

$$a_0 = \bar{Y} - a_1 \cdot \bar{x} \quad 5.7$$

Denklem 5.7'deki $\bar{Y}$ ve $\bar{x}$ değerleri sırasıyla her bir Y ve x değişkenlerinin aritmetik ortalamalarını ifade eder ve aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \text{ ve } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad 5.8$$

5.1.3. Çoklu Regresyon

Regresyon fonksiyonları inceleme konusu yapıldığında gözlem değeri üç ya da daha fazla gruptandırmaya tabii tutulacaklarsa bunlar arasındaki ilişki artık eğrilerle temsil edilemezler. Çünkü üç ya da daha fazla boyutlu olduklarından regresyon yüzeyleri söz konusu olur. Örneğin herhangi bir x_1 değişkeninin x_2 değişkeni ile birlikte bir ürüne ya da sonuca etkisi varsa bu ilişkiyi bir eğri ile gösterme olanağımız yoktur. Bu ilişki ancak yüzeylerle temsil edilebilirler. x_1 , x_2 ve y arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak gösterebilmek için üç karşılıklı dikey eksene ihtiyaç olmaktadır. Bu eksenler arasında meydana gelen noktalar ise yüzeyleri meydana getirirler.

Çoklu regresyonda bir bağımsız değişken ile birden fazla bağımsız değişken inceleme konusu yapılarak cevap fonksiyonu araştırılır. Çoklu regresyon için lineer fonksiyon aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_4 + \dots + a_m \cdot x_m \quad 5.9$$

Basit regresyonda olduğu gibi bilinmeyen katsayılar hataların karelerinin toplamının bilinmeyen her bir katsayıya göre ayrı ayrı kısmi türevleri alınarak sıfıra eşitlenmesiyle elde edilir. Hataların karelerinin toplamı;

$$S_e = \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_{1i} - a_2 \cdot x_{2i} - \dots - a_m \cdot x_{mi})^2 \quad 5.10$$

şeklinde yazılır ve bilinmeyen katsayılarla göre kısmi türevleri alınır;

$$\frac{\partial S_e}{\partial a_0} = -2 \sum (Y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - a_2 x_{2i} - \dots a_m x_{mi})$$

$$\frac{\partial S_e}{\partial a_1} = -2 \sum (Y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - a_2 x_{2i} - \dots a_m x_{mi})$$

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_m} = -2 \sum x_{mi} (Y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - a_2 x_{2i} - \dots a_m x_{mi})$$

denklemleri elde edilirler. Denklemlerdeki toplam sembolleri aksini belirtmedikçe 1'den n'e kadar olan toplamlarını ifade eder. Hataların karelerinin toplamının minimize edilmesi yani sıfıra eşitlenmesiyle;

$$n \cdot a_0 + \sum x_{1i} \cdot a_1 + \sum x_{2i} \cdot a_2 + \dots \sum x_{mi} \cdot a_m = \sum Y_i$$

$$\sum x_{1i} \cdot a_0 + \sum x_{1i}^2 \cdot a_1 + \sum x_{1i} x_{2i} \cdot a_2 + \dots + \sum x_{1i} x_{mi} \cdot a_m = \sum x_{1i} Y_i$$

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$$

$$\sum x_{mi} \cdot a_0 + \sum x_{mi}^2 \cdot a_1 + \sum x_{mi} x_{2i} \cdot a_2 + \dots + \sum x_{1i} x_{mi}^2 \cdot a_m = \sum x_{mi} Y_i$$

normal denklem takımları elde edilir.

5.1.4. Lineer Olmayan Regresyon

Lineer regresyon datalardan en iyi doğruyu elde etmek için kullanılan bir tekniktir. Bununla beraber bağımsız ve bağımlı değişkenler arasında lineer olduğu önceden kabul edilir. Bu her zaman geçerli değildir ve bir lineer model kullanılmaksızın herhangi bir regresyon modeli uygulanarak datalar gözle görülür bir şekilde de kontrol edilir. Diğer taraftan dönüştürülebilir bir formda ki datalar lineer regresyon ile de ifade

edilebilir. Örnek olarak aşağıdaki gibi eksponansiyel formdaki bir denklem ele alınabilir.

$$Y = a_1 \cdot e^{b_1 \cdot x}$$

Burada a_1 ve b_1 birer sabiti ifade etmekte ve Y ile x arasında lineer olmayan bir ilişki vardır. Bu tip deneysel çalışmalarda denklemdeki katsayılar lineer olmayan regresyon tekniği kullanılarak elde edilirler. Bununla beraber alternatif olarak lineer olmayan denklem matematiksel dönüşümler kullanılarak lineer forma dönüştürülür ve daha sonra basit ya da çoklu lineer regresyondan datalara en uygun eğri elde edilir. Örnek olarak yukarıda verilen denklem ele alınırsa, lineer olmayan denklemin önce her iki tarafının doğal logaritması alınarak;

$$\ln Y = \ln a_1 + b_1 \cdot x \cdot \ln e$$

şeklinde elde edilir ve $\ln e = 1$ yazılırsa;

$$\ln Y = \ln a_1 + b_1 \cdot x$$

şeklinde lineer şekle dönüştürülür ve lineer regresyon kullanılmak suretiyle çözüm elde edilir.

5.1.5. Polinom Regresyonu

Deneysel datalar her zaman lineer veya logaritmik eğrilerle temsil edilemezler. Bu durumda bağımsız değişken x ile bağımsız değişken Y arasındaki ilişki genellikle ikinci ya da üçüncü derece polinomlara uydurulabilirler. Bu tip eğrilerde en yüksek üstlü bağımsız değişken sayısında bir eksik sayıda pik (en yüksek nokta) ve depresyon (en düşük nokta) vardır. İkinci derecede çoklu polinom regresyonda $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ve bağımlı değişken Y arasındaki ilişki genel formda;

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i x_j \quad 5.11$$

şeklinde yazılır. Denklemdaki n bağımsız değişken sayısıdır. Bilinmeyen katsayılar çoklu lineer regresyonda olduğu gibi hataların karelerinin toplamının minimize edilmesi ile elde edilir.

5.2. Regresyon Metodu İçin Matris Formulasyonu

Regresyon analiz basit lineer, çoklu lineer regresyon ve lineer olmayan regresyon olmak üzere üç tipi vardır. Her üç regresyon tipi için en küçük kareler metoduna göre genel denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Y = a_0 z_0 + a_1 z_1 + a_2 z_2 + \dots + a_m z_m \quad 5.12$$

Burada $z_0, z_1, \dots, z_m$ farklı $m+1$ fonksiyonlarıdır. Basit ve çoklu lineer regresyonda $z_0=1, z_1=x_1, \dots, z_m=x_m$ olduğu kolay bir şekilde görülür. Lineer olmayan regresyonda ise $z_0=x^0, z_1=x, z_2=x^2, z_3=x^3, \dots, z_m=x^m$ şeklindedir. Denklem 5.12 matris notasyonda genel olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\{Y\} = [z] \{a\} + \{E\} \quad 5.13$$

Burada $[z]$, bağımsız değişkenler matrisidir ve bu matris aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[z] = \begin{bmatrix} z_{01} & z_{11} & \dots & z_{m1} \\ z_{02} & z_{12} & \dots & z_{m2} \\ z_{03} & z_{13} & \dots & z_{m3} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{0n} & z_{1n} & \dots & z_{mn} \end{bmatrix} \quad 5.14$$

Burada m değişkenlerin sayısı ve n data sayısıdır. $\{Y\}$ ise bir kolon vektörü olup bağımlı değişkenlerin gözlem değerini ifade eder ve aşağıdaki gibi yazılır.

$$\{Y\}^T = [Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n] \quad 5.15$$

Denklem 5.13'deki $\{a\}$ bilinmeyen katsayılar ve $\{E\}$ ise hataların kolon vektörü olup aşağıdaki gibi yazılabilirler.

$$\begin{aligned} \{a\}^T &= [a_0, a_1, a_2, \dots, a_m] \\ \{e\}^T &= [e_0, e_1, e_2, \dots, e_n] \end{aligned} \quad 5.16$$

Daha önceki bölümlerde ifade edildiği gibi hataların karelerinin toplamı bu model için aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$S_e = \sum_{i=1}^n (Y_i - \sum_{j=1}^{m+1} a_j \cdot z_{ji})^2 \quad 5.17$$

Her bir katsayıya göre hataların karelerinin minimize edilmesi yani kısmi türevlerinin alınması ve sıfıra eşitlenmesi ile normal denklemler elde edilir. Bu denklemler matris notasyonda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[[z]^T \ [z]] \cdot \{a\} = [z]^T \cdot \{Y\} \quad 5.18$$

Denklemin çözümü matrisin inversinin alınması ile elde edilir ve $\{a\}$ vektörü aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\{a\} = [[z]^T \ [z]]^{-1} [z]^T \cdot \{Y\} \quad 5.19$$

5.2.1. Önemlilik Testi

Çok değişkenli regresyonlar da Y bağımlı değişken ile $z_1, z_2, z_3, \dots, z_m$ bağımsız değişkenleri arasında doğrusal bağımlılığın bir ölçüsü;

$$R = \left(\frac{S_r}{S_r + S_e} \right)^{1/2} \quad 5.20$$

şeklinde tanımlanan korelasyon katsayısıdır. R'nin 1'e yaklaşması regresyon denkleminin ifade ettiği ilişkinin daha doğru bir şekilde olduğunu gösterir. Regresyon denklemindeki m bağımsız değişken sayısı arttıkça R'nin değeri de artar. Ancak bu durum regresyon denkleminin yapılacak tahminlerdeki hata $n-(m+1)$ 'e eşit olan serbestlik derecesinin azalması yüzünden artabileceği için bağımsız değişken sayısının artması ile regresyon denkleminin daha az hatalı tahminler verebilmesi ancak R'nin m ile hızlı bir şekilde artması ile mümkün olur.

Kabul edilen regresyon denkleminin $E(y) = \beta_0 + \beta_1.x_1 + \beta_2.x_2 + \beta_3.x_3 + \beta_4.x_4$ şeklinde olması nedeniyle; F_α testi, regresyon fonksiyonunun önemli olup olmadığını (yani y ile x_1, x_2, x_3 ve x_4 arasındaki ilişki önemlidir ya da önemli değildir şeklinde) belirlemek için kullanılır. Bu test H_0 : hipotezinin kabul edilmesi yani $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4 = 0$ katsayılarının en az birisi sıfır ya da birbirine eşit olması ya da kabul edilmemesi (H_1 : hipotezinin kabul edilmesi $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ ve β_4 katsayılarının en az birisinin sıfıra ya da birbirine eşit olmaması olarak değerlendirilir. Bunun için;

$$F = \frac{S_r/m}{S_e/(n-m-1)} \quad 5.21$$

şeklinde tanımlanan F istatistiği kullanılır. Burada S_r regresyon kareler toplamı olup aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_r = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{m+1} a_j . z_{ji} - \bar{Y} \right)^2 \quad 5.22$$

Denklem 5.21'de verilen istatistiğin dağılımı s.d.=m, n-m-1 olan F dağılımıdır. 5.21 denklemi ile hesaplanan F değeri F_{α} anlamlılık düzeyindeki α kritik değerinden büyükse H_0 : hipotezi reddedilir yani değişkenler arasında anlamlı bir bağımlılığın bulunduğu kabul edilir. Uygulamalar da α için genellikle 0.05 kullanılır. anlamlılık düzeyi için standart bir değerin seçilmesi ile bilgilerin iletiliminde kolaylık sağlanmış olur. Seçilen F_{α} değeri küçüldükçe testin sonucu daha anlamlı bir hale gelir. Çünkü bu durumda H_0 : hipotezi reddedilmesiyle yanlış bir karar verme olasılığı daha da azalır.

5.3. Faktöriyel Denemeler

Bir çok durumda birden çok faktörün değişik seviyelerinin ele alındığı faktöriyel denemeler regresyon yüzeylerini hesaplamak amacıyla planlanmış denemeler olarak kabul edilirler (Yurtsever, 1984). Bu gibi yüzeyler sayesinde esas etki ve iteraksiyonlar karşılıklı açıklanabilmektedirler.

Araştırmalarda çoğu kez değişik ve birbirleri ile ilişkili olmayan konuların (faktörlerin) belli bir karaktere olan etkileri inceleme konusu yapılmaktadır. Fakat bazı araştırma problemlerinde, ilgilendiğimiz bir karakteri değişik faktörlerin etkiledikleri düşünülür ve her faktörün bağımsız etkisi kadar diğer faktöründe etkisini bilmek isteriz. Faktöriyel olarak düzenlenen denemelerde iteraksiyon olmasa dahi, faktörler değişik şartlarda düzenlendiklerinde, sonuçlar daha güvenilir ve daha geniş uygulama alanına sahip olmaktadır.

Faktöryel denemelerde, denemeye alınan değişik faktörlerin etkileri birbirinden bağımsız veya bağımlı olabilirler. Eğer faktörler arasında iteraksiyon yok ise bu faktörlerin etkileri bağımsızdır denir. Aksi halde etkilerin birbirlerine bağımlı oldukları yani birinin etkisi diğerine bağlı olarak değiştiği kabul edilir. Faktöryel denemeler deneysel çalışmayı, matematiksel modeli ve istatistik analizi içine alan bir koleksiyondur.

Faktöriyel denemede deneysel planı oluştururken her faktör belirlenen seviyelerde alınırlar. Her faktörün iki seviyede deneysel dizaynına 2^n faktöryel dizayn olarak adlandırılırlar. Birinci derece modellerde iki seviyeli faktöryel dizayn kullanılabilir. Deneysel dizaynı oluşturan her faktör üç seviyede oluşturuluyorsa 3^n

faktöryel dizayn olarak ifade edilirler. Bu tip deneysel dizaynlar ikinci derece modellerde kullanılırlar (Ünütvar, 1986).

5.3.1. 2ⁿ Faktöryel Denemeler

En kolay deneme şekli olan bu denemede n faktör 2'şer seviyede denenmektedir. 4 değişkenli deney durumunda $2^4=16$ deneme kombinasyonu gerekmektedir. Bu durumda deneysel dizayn matrisi ve cevap matrisi 2^4 faktöryel deneme için aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$D = \begin{bmatrix} x1alt & x2alt & x1üst & x4alt \\ x1alt & x2alt & x1üst & x4üst \\ x1alt & x2üst & x1üst & x4alt \\ x1alt & x2üst & x1üst & x4üst \\ x1alt & x2alt & x3alt & x4alt \\ x1alt & x2alt & x3alt & x4üst \\ x1alt & x2üst & x3alt & x4alt \\ x1alt & x2üst & x3alt & x4üst \\ x1üst & x2alt & x3üst & x4alt \\ x1üst & x2alt & x3üst & x4üst \\ x1üst & x2üst & x3üst & x4alt \\ x1üst & x2üst & x3üst & x4üst \\ x1üst & x2alt & x3alt & x4alt \\ x1üst & x2alt & x3alt & x4üst \\ x1üst & x2üst & x3alt & x4alt \\ x1üst & x2üst & x3alt & x4üst \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad Y = \begin{bmatrix} y1 \\ y2 \\ y3 \\ y4 \\ y5 \\ y6 \\ y7 \\ y8 \\ y9 \\ y10 \\ y11 \\ y12 \\ y13 \\ y14 \\ y15 \\ y16 \end{bmatrix}$$

şeklinde yazılabilir. dizayn matrisindeki x1alt, x2alt, x3alt ve x4alt bağımsız değişkenlerin üst seviyelerini, x1üst, x2üst, x3üst ve x4üst ise bağımsız değişkenlerin üst seviyelerini gösterir. Bağımsız değişkenler matrisi Z;

$$Z = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} D$$

şeklinde yazılır.

5.4. Gerilim Denklemi Bulunması

Polinom regresyonu için 5.11 denklemi ile verilen genel form dikkate alınmış ve gerilim denklemi için aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i x_i + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i+1}^4 a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 a_{ij} x_i x_j \quad 5.23$$

Denklem 5.23'deki a_0 , a_i ve a_{ij} sabitler olup bağımsız değişken katsayılarıdır. Bu katsayılar çoklu lineer regresyon için verilen 5.19 denklemi kullanılmak suretiyle elde edilirler. Polinom regresyonun çözülebilmesi için bağımsız değişkenler aşağıdaki şekilde ifade edilerek hazırlanan bilgisayar programında çözüm yapılmıştır. Deneylerde kullanılan bağımsız ve bağımlı değişkenler,

$$Y=V$$

$$x1=t$$

$$x2=d$$

$$x3=s$$

$$x4=n$$

ve regresyonun bağımsız değişkenleri;

$$Z0=1, Z1=x1, Z2=x2, Z3=x3, Z4=x4, Z5=(x1)^2, Z6=(x2)^2, Z7=(x3)^2, Z8=(x4)^2,$$

$$Z9=x1.x2, Z10=x1.x3, Z11=x1.x4, Z12=x2.x3, Z13=x2.x4, Z14=x3.x4$$

şeklinde dönüşüm yapılmıştır.

Adım adım regresyon uygulandığında Z5 değişkenin tekil bir çözümünün olmaması nedeniyle ihmal edilmiş ve bağımsız değişkenlerin katsayıları hazırlanan Matlab programı çalıştırılarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$a0=273.7540$$

$$a1=-140.7660$$

$$a2=-6.8174$$

$$a3=128.8497$$

$$a4=0.0883$$

$$a5=0.0420$$

$$a6=-87.8906$$

$$a7=-0.0001$$

$$a8= 2.8551$$

$$a9=-25.5063$$

$$a10=0.0077$$

$$a11=-1.5455$$

$$a12=-0.0007$$

$$a13=0.0691$$

Bu katsayılar denklem 5.23 de yerlerine konarak ortalama gerilim;

$$Y=a0+a1.t+a2.d+a3.s+a4.n+a5.d^2+a6.s^2+a7.n^2+a8.t.d+a9.t.s+ \\ a10.t.n+a11.d.s+a12.d.n+a13.s.n$$

$$Y=273,7540-140.7660.t-6,8174.d+128,8497.s+0,0883.n+0,0420.d^2-87,8906.s^2 \\ -0,0001.n^2+2,8551.t.d-25,5063.t.s+0,0077.t.n-1,5455.d.s-0,0007.d.n+0,0691.s.n$$

elde edilir.



Tablo 5.1. Polinom regresyonunda kullanılan ortalama gerilim ve bağımsız değişkenler

	V	t	d	s	n
1	35	0,5	51	0,16	125
2	48	0,5	51	0,16	250
3	51	0,5	51	0,16	355
4	42	0,5	51	0,32	125
5	50	0,5	51	0,32	250
6	54	0,5	51	0,32	355
7	44	0,5	51	0,48	125
8	53	0,5	51	0,48	250
9	55	0,5	51	0,48	355
10	43	1	50	0,16	125
11	53	1	50	0,16	250
12	56	1	50	0,16	355
13	48	1	50	0,32	125
14	53	1	50	0,32	250
15	54	1	50	0,32	355
16	50	1	50	0,48	125
17	53	1	50	0,48	250
18	54	1	50	0,48	355
19	44	1,5	49	0,16	125
20	52	1,5	49	0,16	250
21	53	1,5	49	0,16	355
22	47	1,5	49	0,32	125
23	52	1,5	49	0,32	250
24	54	1,5	49	0,32	355
25	48	1,5	49	0,48	125
26	54	1,5	49	0,48	250
27	55	1,5	49	0,48	355
28	42	1,5	45	0,16	125

29	52	1,5	45	0,16	250
30	54	1,5	45	0,16	355
31	50	1,5	45	0,32	125
32	52	1,5	45	0,32	250
33	53	1,5	45	0,32	355
34	47	1,5	45	0,48	125
35	51	1,5	45	0,48	250
36	52	1,5	45	0,48	355
37	35	1,5	35	0,16	125
38	41	1,5	35	0,16	250
39	51	1,5	35	0,16	355
40	43	1,5	35	0,32	125
41	46	1,5	35	0,32	250
42	51	1,5	35	0,32	355
43	42	1,5	35	0,48	125
44	49	1,5	35	0,48	250
45	52	1,5	35	0,48	355
46	33	1,5	25	0,16	125
47	40	1,5	25	0,16	250
48	44	1,5	25	0,16	355
49	36	1,5	25	0,32	125
50	42	1,5	25	0,32	250
51	47	1,5	25	0,32	355
52	39	1,5	25	0,48	125
53	44	1,5	25	0,48	250
54	49	1,5	25	0,48	355

Deneysel değerler ve tahmin edilen gerilimler Tablo 5.2’de verilmiştir. En iyi sonucu aldığımız birinci numune için $t=0,5\text{mm}$, $t=1\text{mm}$, ve $t=1,5\text{mm}$, $d=51\text{mm}$ ve

$s=0,48\text{mm/dev'}$ lerde elde edilen deneysel ve tahmini değerler karşılaştırılarak grafik halinde gösterilmiştir.

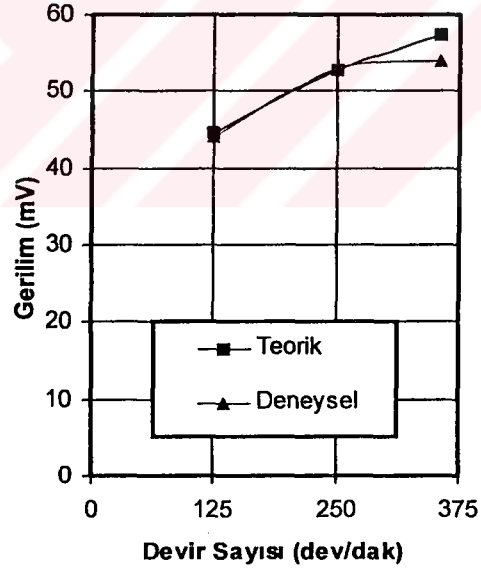
Tablo 5.2. Deneysel gerilim ile teorik gerilimlerin karşılaştırılması

Deney No	V_{Deneysel}	V_{Teorik}
1	35	34.5250
2	48	43.3045
3	51	48.2192
4	42	41.6028
5	50	48.4964
6	54	51.8270
7	44	44.5467
8	53	52.8217
9	55	57.3127
10	43	42.9905
11	53	52.6470
12	56	58.2985
13	48	48.1813
14	53	51.8337
15	54	52.4418
16	50	48.7768
17	53	53.8107
18	54	55.5792
19	44	44.8723
20	52	51.2877
21	53	54.2166
22	47	49.1034
23	52	53.3239
24	54	54.4092
25	48	47.9056

26	54	53.5077
27	55	55.7534
28	42	42.2079
29	52	49.1914
30	54	52.5975
31	50	47.2542
32	52	52.0429
33	53	53.6053
34	47	44.2633
35	51	50.4334
36	52	53.1563
37	35	36.7724
38	41	44.3239
39	51	48.2073
40	43	42.9554
41	46	48.0949
42	51	49.9520
43	42	40.9536
44	49	47.4745
45	52	50.4921
46	33	34.4518
47	40	42.3542
48	44	46.5322
49	36	38.0830
50	42	44.0995
51	47	46.6933
52	39	38.5540
53	44	45.9520
54	49	49.7063

Tablo 5.3. Birinci numune için deneysel ve teorik gerilim ve devir sayısı değişimi
($t=0.5$ mm, $d=51$ mm)

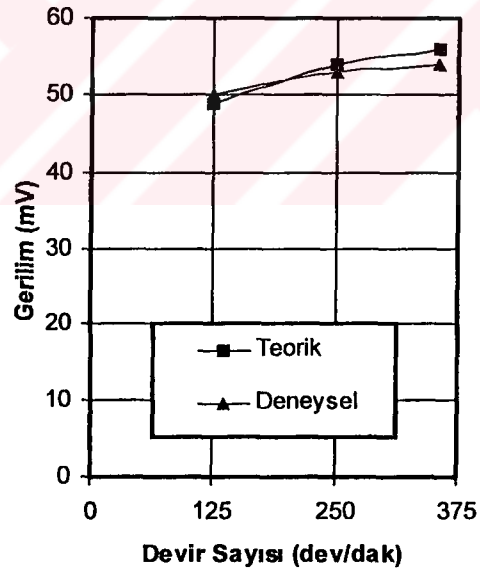
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV), $s=0,48$ (mm / dev)	
	Deneysel	Teorik
125	44	44.5467
250	53	52.8217
355	54	57.3127



Şekil 5.1. Deneysel ve teorik gerilim-devir sayısı ilişkisi
($s=0,48$ mm/dev)

Tablo 5.4. Birinci numune için deneysel ve teorik gerilim ve devir sayısı değişimi
($t=1$ mm, $d=50$ mm)

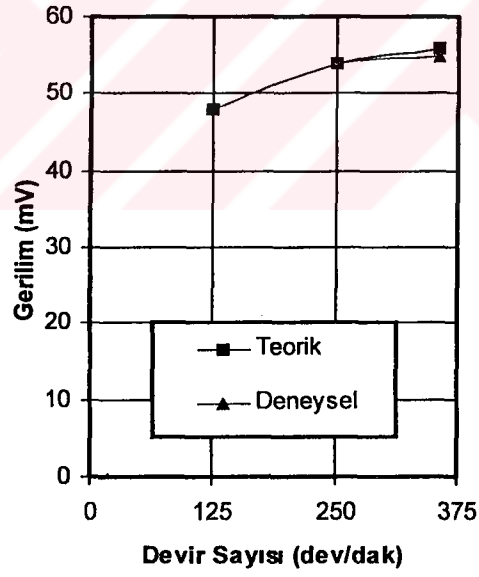
Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV), $s=0,48$ (mm / dev)	
	Deneysel	Teorik
125	50	48.7768
250	53	53.8107
355	54	55.5792



Şekil 5.2. Deneysel ve teorik gerilim-devir sayısı ilişkisi
($s=0,48$ mm/dev)

Tablo 5.5. Birinci numune için deneysel ve teorik gerilim ve devir sayısı değişimi
($t=1,5$ mm, $d=49$ mm)

Devir Sayısı (dev / dak)	Gerilim (mV), $s=0,48$ (mm / dev)	
	Deneysel	Teorik
125	48	47.9056
250	54	53.5077
355	55	55.7534



Şekil 5.3. Deneysel ve teorik gerilim-devir sayısı ilişkisi
($s=0,48$ mm/dev)

6. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Araştırılmak üzere göz önüne aldığımız, pirinç, çelik ve dört farklı analize sahip olan pik malzemeler, sırasıyla devir başına 0.16, 0.32 ve 0.48 mm değerlerde, 0.5, 1 ve 1.5 mm paso derinliklerinde ve dakikada 125, 250 ve 355 devirlerde torna tezgahında işlemeye tabi tutulduklarında; çelik malzemenin küçük devirlerde en küçük 3 mV ve büyük devirlerde ise en büyük 5 mV gerilim ürettiği (Şekil 4.52, 4.53), pirinç malzemenin ise çelik malzeme gibi küçük devirlerde en küçük 1 mV, büyük devirlerde ise en büyük 5 mV gerilim ürettiği gözlemlendi (Şekil 4.54, 4.55). Pik malzemelerde ise, çelik ve pirinç malzemede olduğu gibi küçük devirlerde en küçük, büyük devirlerde ise en büyük gerilimlerin üretildiği görüldü. Bunlar, birinci numunede; en küçük 39 mV, en büyük 55 mV (Şekil 4.4, ..., 4.15), ikinci numunede; en küçük 22 mV, en büyük 37 mV (Şekil 4.16, ..., 4.24), üçüncü numunede; en küçük 23 mV, en büyük 43 mV, (Şekil 4.25, ..., 4.39), dördüncü numunede ise; en küçük 25 mV, en büyük 52 mV'luk gerilimler üretildiği saptandı (Şekil 4.40, ... 4.57).

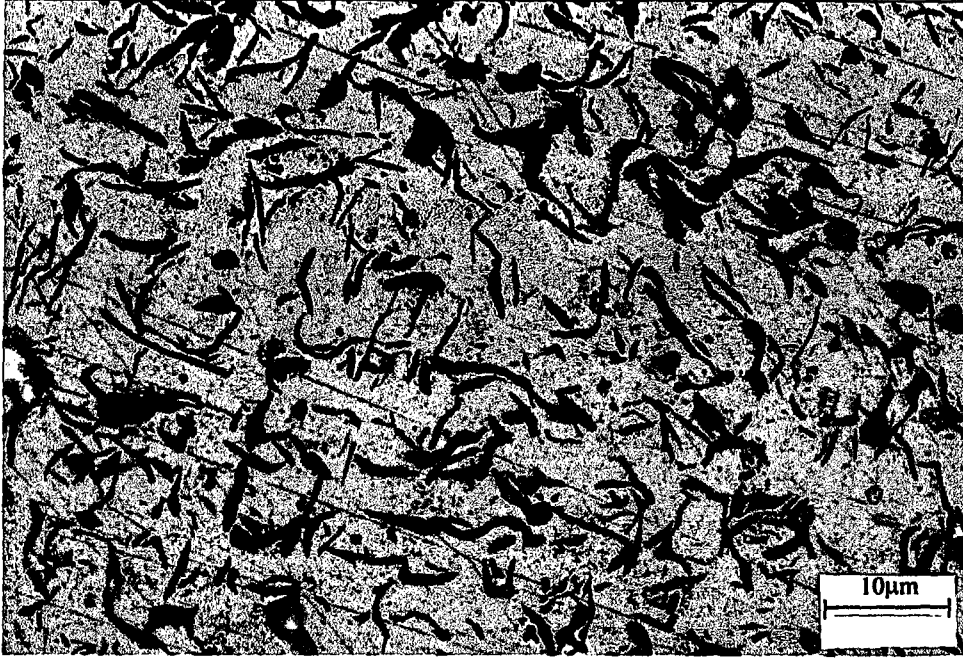
Bu üretilen gerilimlerde; paso kalınlığından ziyade, devir başına ilerlemenin daha etkili olduğu görüldü. Bu da, Takım Tezgahlarının talaş alma yöntemlerine uymaktadır. Ancak pirinç ve çelik malzemelerde düşük gerilim farklarının elde edilmesi, buna karşılık pik malzemelerde ise daha büyük gerilimlerin ortaya çıkması ve pik malzemelerin de kendi aralarında farklılıklar göstermesi dikkat çekti. Bu durumların açıklanabilmesi için, farklı karbon yüzdelere sahip pik malzemelerden yuvarlak parçalar kesilerek yüzeyleri parlatılıp, grafit tanelerinin parça içindeki dağılım ve şekilsel durumlarının incelenmesi yapıldı (Şekil 6.1). Parlatılan yuvarlak malzemelerin merkezlerinden dış çaplarına doğru farklı iki çapta ve aynı büyütmede (450X) çekilen fotoğraflardan, her dört numuneden elde edilen resimlerdeki grafitlerin durumları incelendi. Bu incelemelere



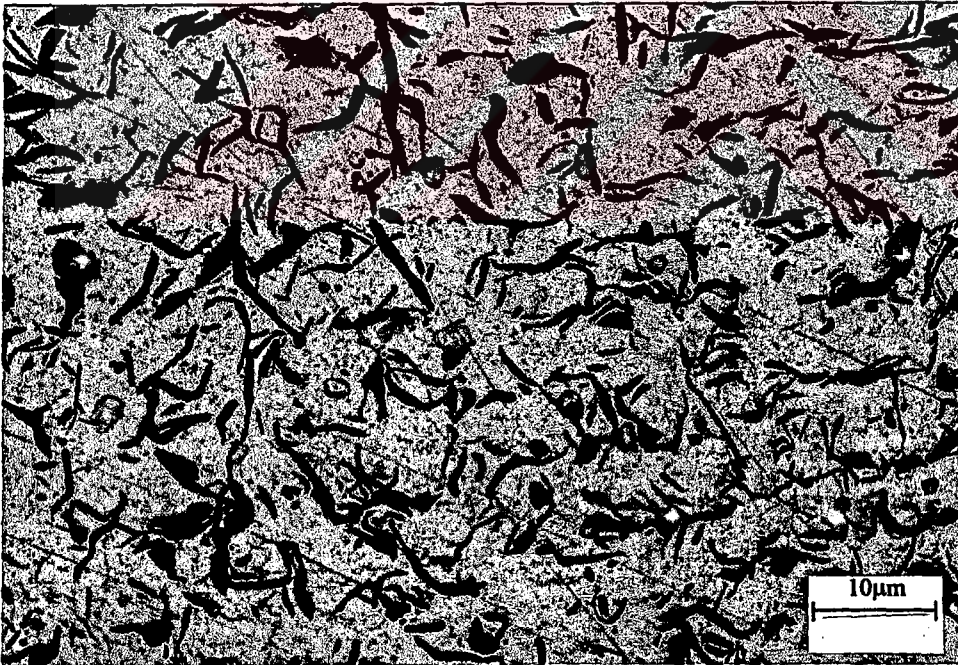
Şekil 6.1 Birinci numunenin iç yapısı (d=40 mm)



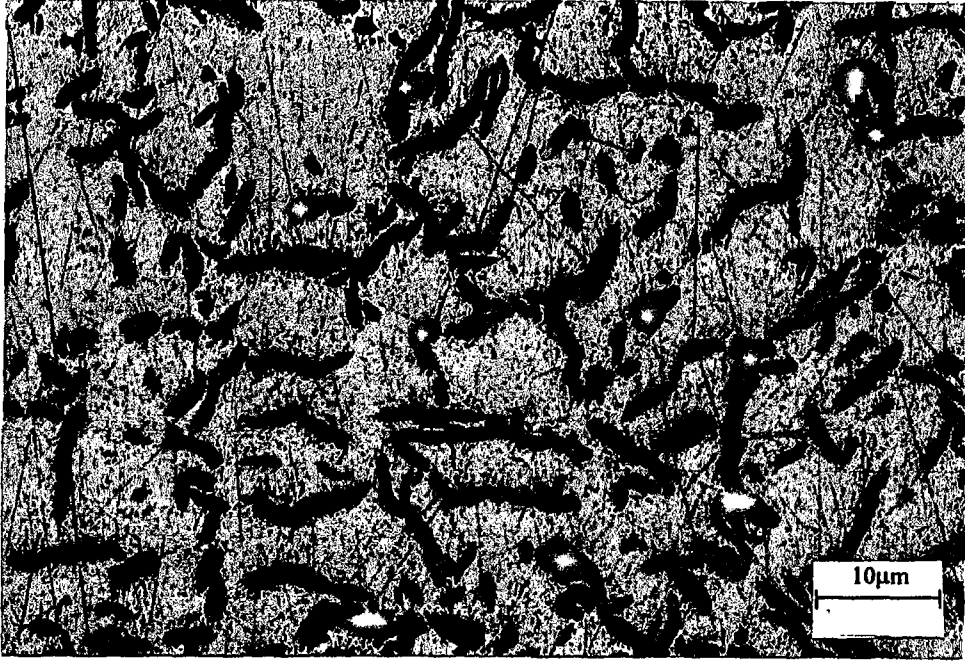
Şekil 6.2 Birinci numunenin iç yapısı (d=30 mm)



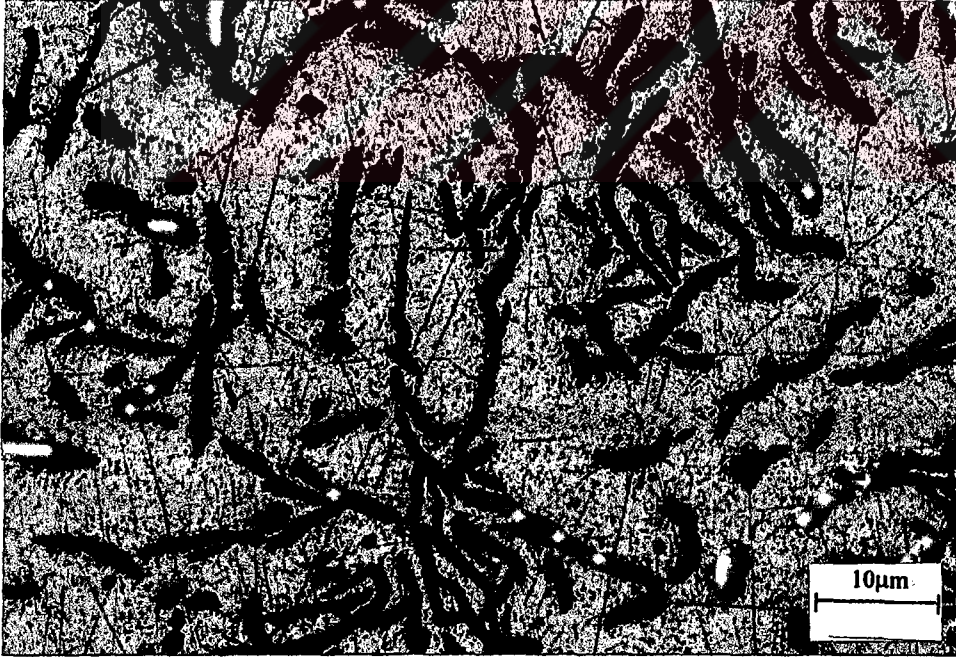
Şekil 6.3 İkinci numunenin iç yapısı (d=40 mm)



Şekil 6.4 İkinci numunenin iç yapısı (d=30 mm)

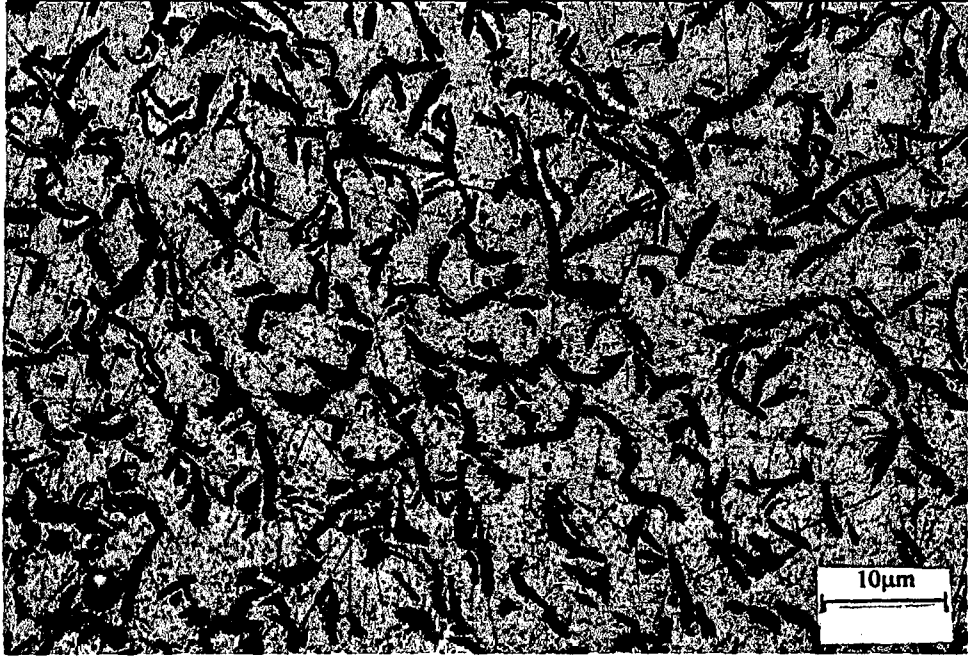


Şekil 6.5 Üçüncü numunenin iç yapısı (d=40 mm)



Şekil 6.6 Üçüncü numunenin iç yapısı (d=30 mm)





Şekil 6.7 Dördüncü numunenin iç yapısı (d=40 mm)



Şekil 6.8 Dördüncü numunenin iç yapısı (d=30 mm)

göre; grafit taneleri uzun ve ince olan pikin daha fazla gerilim ürettiği, buna karşı kısa ve kalın grafit yapısına sahip olan pikin daha küçük gerilim ürettiği saptandı.

Deneyler sonucu elde edilen grafiklerde görülen ikinci bir husus, yüksek devirlerde ve deney malzemeleri işlenirken parçaların en büyük çapında gerilimin daha fazla meydana geldiğinin görülmesidir. Bunun nedeni, yüksek devirlerde dönen parçaların, torna tezgahının güçlü sabit olduğundan, momenti küçültmesi ($Md = 71620 \frac{N}{n}$), küçülen momentle parçanın yarıçapı büyüdüğü zaman kesme kuvveti

küçülür ($Md = F \cdot \frac{d}{2}$). Halbuki, kalemin uyguladığı kesme kuvveti mekanik olarak sabit

ve parçanın dış çapının ihtiyaç duyduğu kuvvetten büyüktür. Küçük kuvvet yerine uygulanan büyük kuvvet pik deney parçalarının içerisindeki grafitlere daha büyük oranda tesir etmekte ve bunun neticesinde de dış çapta, küçük çaplara nazaran daha büyük gerilimler meydana getirmektedir.

Yine grafiklerden görüleceği gibi, daha büyük talaş kesitleri, daha büyük gerilim meydana getirmektedir. Bu durum da doğaldır.

Dökme demir, çelik ve pirince göre daha yüksek gerilim oluşturmamasının sebebi piezoelektriğe bağlanmıştır. Kaynaklar da bu sonucu doğrulamaktadır (Ikeda, Takuro., 1990). Bu sonucun doğrulanması için basma deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları tablo 6.1’de verilmiştir. Deney sonuçlarından da görüleceği gibi basma kuvveti arttıkça ölçülen gerilme de artmaktadır.

Araştırmadan elde edilen sonuçların genelleşmesine yardımcı olunması bakımından, en yüksek değerleri veren birinci numunenin sonuçları göz önüne alınıp, Regresyon Analiz Metodu uygulanarak bir matematiksel model geliştirildi. Bu geliştirilen modelle, teorik ve deneysel değerler karşılaştırılarak bunların birlikte değişim grafikleri çizildi (Şekil 5.1, 5.2, 5.3). Bu grafikler incelendiğinde; dakikada 125 ve 250 devirlerde çok az bir farkla teorik ve deneysel değerlerin üst üste çakıştığı, ancak dakikada 355 devirde ise, deneysel değerın paso kalınlığı arttıkça teorik değerlerden 0.01 den 0.06 ya kadar uzaklaştığı görüldü. Bu kadarlık sapmanın da toleranslar içinde olabileceği düşüncesiyle, elde edilen matematiksel formülün, deneysel araştırmayı temsil edebileceği kabul edilerek, çalışma tamamlandı.

Tablo 6.1. Basma deneyi sonucunda meydana gelen gerilimler

Numune Sırası	1	2	3	4
Uygulanan Kuvvet (kP)	Oluşan Gerilim (mV)			
100	3,4	1,1	2,2	3
200	4,8	1,6	2,9	3,2
300	6	1,8	3,5	3,8
400	7,6	1,9	4,4	4,8
500	9,4	2,2	5,8	5,8
600	11,6	2,8	6,5	7,2
700	13,4	3,6	7,2	8
800	15,4	4,2	8	9,2
900	17,5	4,5	8,7	10,4
1000	19,2	5,5	9,6	12
1100	20,8	6	11,3	15
1200	23,4	6,9	13	17,6
1300	26	7,5	14,6	19,4
1400	28,5	8,3	15,8	21,5
1500	31,4	10,2	16,5	23,8

7.GENEL SONUÇLAR

Yapılan araştırmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler şöyle sıralanabilir;

1. Pik malzemelerin, bünyesinde bulunan grafit taneleri ne kadar ince ve uzun olursa o kadar büyük gerilim üretmektedir.
2. Grafit tanelerinin boy, kalınlık ve pik içerisindeki biçiminin gerilim farkı üretmekteki fonksiyonu araştırılabilir.
3. Pik malzemenin ucuz olması nedeniyle elde edilen gerilimlere uygun elektriksel devreler kurularak, silah sanayiinde, binaların kapı, pencere kollarında, otomobil sanayiinde ve burulma ile eğilme durumunun söz konusu olduğu yerlerde kontrol elemanı olarak kullanılabilirliği araştırılmalı, diğer piezoelektirik malzemelerle karşılaştırılmalıdır.
4. Pik malzemenin büyük yükler altında, gerilim depolama ve yükün kalkması sonunda da, bu depolanan gerilimin zamana bağlı olarak nasıl boşaldığı (diyot gibi) araştırılabilir.

KAYNAKLAR

Active Control expert's Online Website: <http://www.acx.com>

Alberty, D.R., 1959, A Study of Effects of Tool Flank Wear on Tool Chip Interface Temperature, Trans. ASME. Vol.81, pp. 152-158.

Algor's Online Website: <http://www.algor.com>

Cady, Walter Guyton., (1964), Piezoelectricity: An Introduction to the Theory and Applications of Electromechanical Phenomena in Crystals, reprinted by Dover Press

Cole, D. G. and R. L. Clark., 1994, Adaptive Compensation of Piezoelectric Sensoriactuators, J. of Intell. Mater. Syst. and Struct, Vol. 5, Sept., pp. 665-672.

Cook, N.H., 1973, Tool Wear and Tool Life. Trans. ASME, Vol. 95, pp. 931-937.

Crawley, E. F., deLuis. J., 1987. Use of Piezoelectric Actuators as Elements of Intelligent Structures, AIAA Journal, Vol. 25, No. 10, Oct., pp. 1373-1385.

Davis, C.L., Lesieutre, G.A., 1999, An Actively Tuned Solid State Piezoelectric Vibration Absorber, Proceedings of the SPIE – The International Society for Optical Engineering, Vol. 3327, pp. 169-182, 1998

DeGuilio - Andrew P., Hegewald - Thomas, Luo - Zhaoju, Ahmadian - Mehdi, Claus - Richard O., and Inman – Daniel J., 1999, Simultaneous Active Damping and Health Monitoring of Aircraft Panels (IRAD 1932), Final Technical Report to Richard A. Ely, December 15, 1999

D'Cruz, Jonathan., 1993, The Active Control of Panel Vibrations with Piezoelectric Actuators, Journal of Intelligent Material Systems and Structures.

Encarta Concise Encyclopedia Online Website: <http://encarta.msn.com>

Fagan, Gary T., 1997, An Experimental Evaluation into Active Damage Control Systems Using Positive Position Feedback for AVC, Master's Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.

Hagood, N. W. and von Flotow, A., 1991, Damping of Structural Vibrations with Piezoelectric Materials and Passive Electrical Networks, Journal of Sound and Vibration, Vol. 146, No. 2, pp. 243-268, April 1991

Ikeda, Takuro., (1990), Fundamentals of Piezoelectricity, Oxford University Press

Inan, A., 1999, Tornalamada sıcaklık ve gerilim farkının kalem ömrüne olan etkilerinin araştırılması. MMO. Denizli Şubesi., 5-6-7 Mayıs 1999

Jaffe, Cook & Jaffe., (1971), Piezoelectric Ceramics, Academic Press Inc. Ltd.

Kistler Online Website for Technology and Piezoelectric Theory: <http://www.kistler.com>

Lesieutre, George A., 1998, Vibration Damping and Control Using Shunted Piezoelectric Materials, The Shock and Vibration Digest, Vol. 30, No. 3, May 1998, pp.187-195

Piezo Systems Product Catalog, Piezo Systems, Inc., Cambridge, MA. 2001

Saunders, W. R., D. G. Cole, and C. A. Fannin., 1996, Similitude Analyses for Piezostructures, J. of Intell. Mater. Syst. and Struct., Vol. 7, March, pp. 162-167.

Taylor, F.W., 1907, On The Art of Cutting Metals, ASME. Vol.78, pp. 1119-1126.