KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEMİR DIŞI METAL MALZEMELERİN İŞLENMESİNDE KULLANILAN KESİCİ TAKIMLARIN FARKLI KAPLAMA MALZEMELERİ İLE İŞLEME VERİMLİLİĞİNİN VE KAPASİTELERİNİN ARTIRILMASININ DENEYSEL TASARIM YÖNTEMİ İLE ENİYİLENMESİ

EMRE DAL

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

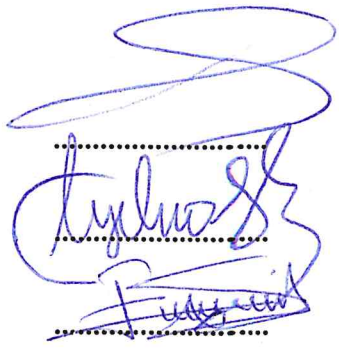
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEMİR DIŞI METAL MALZEMELERİN İŞLENMESİNDE KULLANILAN KESİCİ TAKIMLARIN FARKLI KAPLAMA MALZEMELERİ İLE İŞLEME VERİMLİLİĞİNİN VE KAPASİTELERİNİN ARTIRILMASININ DENEYSEL TASARIM YÖNTEMİ İLE ENİYİLENMESİ

EMRE DAL

Dr. Öğr. Üyesi Şenol ŞAHİN
Danışman, Kocaeli Üniv.
Prof. Dr. Taner YILMAZ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.
Dr. Öğr. Üyesi Erdal KARADENİZ
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 05.07.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Endüstride hızlı bir değişim içinde olduğumuz şu dönemlerde, sadece üretilen ürünler değil, ürünlerin üretimi için kullanılan üretim metotları da bir değişim içerisindedir. Örnek olarak, fosil yakıtlı motorlar yerlerini elektrik motorlara bırakacak, çelik dışında malzemelerinde kullanımı ağırlık kazancı avantajından dolayı zamanla artacaktır. Türkiye'deki talaşlı imalat sektörü için yapmış olduğumuz bu çalışma ile demir dışı malzemelerin işlenmesindeki verimliliklerin artması ve daha hızlı şekilde daha kaliteli ürünlerin ortaya çıkması hedeflenmiştir. Yapılan bu çalışmanın Otomotiv, Havacılık, Makine İmalatı gibi demir dışı metallerin yoğunlukla kullanıldığı işletmelere, ekonomik fayda sağlayacağını, Hem ülke içerisine takım satan, hem de yurt dışına ihracat yapan kesici takım üreticilerinin takımları içinde teknolojik bir yenilik olması bakımından faydalı olmasını dilerim.

Yapılan bu çalışmada, bana her şekilde destek olan, bende zamanını esirgemeyen, danışman hocam Sayın Dr. Ögr. Üyesi Şenol Şahin'e, aynı zamanda tez yazımı ve deneysel çalışmadaki desteklerinden dolayı Dr. Öğr. Üyesi Yıldız Şahin'e, Kocaeli Üniversitesi İleri Disiplinlerarası Araştırma Laboratuvarı (İDEAL) İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarı'na, desteklerinden dolayı eşim Filiz Dal'a çok teşekkür ederim.

Mayıs – 2018 Emre DAL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR……..……..... i
İÇİNDEKİLER……..……. ii
ŞEKİLLER DİZİNİ……..…..... iv
TABLOLAR DİZİNİ……..... vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ……..…… viii
ÖZET……..…… ix
ABSTRACT...……..... x
GİRİŞ…… 1
1. GENEL KISIMLAR……. 2
1.1. Demir Dışı Metallerin Sanayide Kullanımı……..... 2
1.2. Demir Dışı Metallerin İşlenmesi……..……..... 4
1.3. Kaplama Teknolojisi……..... 6
1.3.1. PVD kaplama nedir ?..... 7
1.3.2. PACVD kaplama nedir ?..... 9
1.3.3. DLC nedir ?.....11
2. DENEYSEL ÇALIŞMA……. 12
2.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Matkap Tezgahı ve Ekipmanlar……..... 12
2.2. Deneyde Kullanılan İş Malzemeleri ve Özellikleri……. 14
2.3. Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar ve Özellikleri……..... 17
2.4. Deneysel Metot……..... 18
2.4.1. Deney tasarımı……..... 19
2.4.2. Deneysel tasarım yöntemi…… 19
2.4.2.1. Kontrol edilebilir parametrelerin ve faktörlerin belirlenmesi……..……... 20
2.4.3. İstatiksel analiz……..... 23
2.4.3.1. Kapsız ve DLC kaplı takımda oluşan Fx kuvveti…… 23
2.4.3.2. Kapsız ve DLC kaplı takımda oluşan Fy kuvveti……..…….. 25
2.4.3.3. Kapsız ve DLC kaplı takımda oluşan Mz momenti…….. 28
2.4.3.4. TiN ve DLC kaplı takımda oluşan Fx kuvveti……..... 31
2.4.3.5. TiN ve DLC kaplı takımda oluşan Fy kuvveti……..…….. 33
2.4.3.6. TiN ve DLC kaplı takımda oluşan Mz momenti…….. 36
2.4.3.7. Kapsız ve TiN kaplı takımda oluşan Fx kuvveti..... 38
2.4.3.8. Kapsız ve TiN kaplı takımda oluşan Fy kuvveti……..... 41
2.4.3.9. Kapsız ve TiN kaplı takımda oluşan Mz momenti……..... 43

2.5. Delme Esnasında Ortaya Çıkan Kuvvetler…… 46
2.6. Deney Sonrası İncelemeler…… 47
2.6.1. Kesici takımlardaki talaş birikmeleri……..... 48
2.6.2. Kesici takımlardaki köşe yuvarlaklığı değişimleri……52
2.6.3. İşleme malzemelerindeki yüzey pürüzlülükleri…….....53
3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER……..... 60
KAYNAKLAR……..... 61
EKLER……... 63
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER……. 118
ÖZGEÇMİŞ…….. 119

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Metallerin yoğunluklarına göre değişimi…….....3
Şekil 1.2. İmalat yöntemleri…….…….. 5
Şekil 1.3. Yüzey teknolojileri……..……... 6
Şekil 1.4. İnce film kaplama kalınlığı…..……..... 7
Şekil 1.5. PVD kaplama prosesi…….……..... 8
Şekil 1.6. PVD yönetimi ile kaplanmış kesici takım…….. 9
Şekil 1.7. PACVD yöntemi ile DLC kaplanması……..... 10
Şekil 1.8. PACVD ile kaplanmış kesici takım. ……. 10
Şekil 1.9. DLC bağ yapısı……..... 11
Şekil 2.1. TU5032B delik delme tezgahı…….…….. 13
Şekil 2.2 KISTER marka kuvvet ölçer ekipmanı……..... 13
Şekil 2.3. Deney anında delme işlemi……..... 14
Şekil 2.4. 40mmx40mmx60mm ölçülerinde Aluminyum 6000 serisi malzeme...……..... 15
Şekil 2.5. Pirinç CuZn38Pb2 (CW608N) malzeme…….. 17
Şekil 2.6. Kaplamasız, TiN kaplı, DLC kaplı takımlar……..... 18
Şekil 2.7. Kapsız ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Fx için ana etki grafikleri……..……..... 24
Şekil 2.8. Kapsız ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Fy için ana etki grafikleri……... 27
Şekil 2.9. Kapsız ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Mz için ana etki grafikleri……... 29
Şekil 2.10. TiN ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Fx için ana etki grafikleri…….…….. 32
Şekil 2.11. TiN ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Fy için ana etki grafikleri……... 34
Şekil 2.12. TiN ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Mz için ana etki grafikleri……... 37
Şekil 2.13. Kapsız ve TiN kaplı matkap ucunda oluşan Fx için ana etki grafikleri……... 39
Şekil 2.14. Kapsız ve TiN kaplı matkap ucunda oluşan Fy için ana etki grafikleri…….. 42
Şekil 2.15. Kapsız ve TiN kaplı matkap ucunda oluşan Mz için ana etki grafikleri…….. 44
Şekil 2.16. Alicona 3 boyutlu yüzey tarama cihazı……..... 47
Şekil 2.17. Çap 6'lık kaplamasız, TiN kaplı ve DLC kaplı takımlar……..... 48
Şekil 2.18. Aluminyum yapışma görünümü……..... 49
Şekil 2.19. Kaplamasız takımdaki, Aluminyum yapışan bölgedeki yükseklik……... 49
Şekil 2.20. Aluminyum yapışma görünümü……..……..... 50
Şekil 2.21. TİN kaplı takımdaki, Aluminyum yapışan bölgedeki yükseklik…..... 50
Şekil 2.22. Aluminyum yapışma görünümü…….51

Şekil 2.23. DLC kaplı takımdaki, Aluminyum yapışan bölgedeki yükseklik……....51
Şekil 2.24. Kesilen Aluminyum 6000 serisi ve Pirinç malzemeler……..... 54
Şekil 2.25. Metkon Mikracut 201 kesme ekipmanı……..……..... 54
Şekil 2.26. Alicona 3 boyutlu yüzey tarama ile deliklerin ölçümü.……..... 55
Şekil 2.27. Aluminyum malzemede kaplamasız takım ile delinen delikteki Ra değeri profili……...…...…..... 55
Şekil 2.28. Aluminyum malzemede TiN kaplı takım ile delinen delikteki Ra değeri profili……..... 56
Şekil 2.29. Aluminyum malzemede DLC kaplı takım ile delinen delikteki Ra değeri profili……..……..…..... 56
Şekil 2.30. Pirinç malzemede kaplamasız takım ile delinen delikteki Ra değeri profili……..... 57
Şekil 2.31. Pirinç malzemede TiN kaplı takım ile delinen delikteki Ra değeri profili…….……..…….. 57
Şekil 2.32. Pirinç malzemede DLC kaplı takım ile delinen delikteki Ra değeri profili……...…..…….….... 58

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Aluminyumun kullanım alanları……..……..…….. 4
Tablo 1.2. Pirinç malzeme çeşitleri ve kullanım alanları……..…….. 4
Tablo 2.1. Aluminyum 6000 serisi mekanik özellikleri……. 16
Tablo 2.2. CuZn38Pb2 mekanik ve fiziksel özellikleri…….. 17
Tablo 2.3. Delik delme işlemi ıslak çalışma deney tasarımı…….. 19
Tablo 2.4. Delik delme işlemi kuru çalışma deney tasarımı…….. 19
Tablo 2.5. Kontrol faktörleri ve seviyeleri……..... 20
Tablo 2.6. Kapsız ve DLC kaplama malzemeleri için deneysel koşullar…..... 21
Tablo 2.7. Kapsız ve TiN kaplama malzemeleri için deneysel koşullar..... 22
Tablo 2.8. DLC ve TiN kaplama malzemeleri için deneysel koşullar……..... 22
Tablo 2.9. Ortalamalar için yanıt tablosu……..……... 23
Tablo 2.10. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)…..... 23
Tablo 2.11. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu…….. 25
Tablo 2.12. Kapsız ve DLC kaplı matkap ucu varyans analizi…… 25
Tablo 2.13. Ortalamalar için yanıt tablosu……... 26
Tablo 2.14. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)…..... 26
Tablo 2.15. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu……..... 27
Tablo 2.16. Kapsız ve DLC kaplı matkap ucu varyans analizi……..... 28
Tablo 2.17. Ortalamalar için yanıt tablosu……..... 28
Tablo 2.18. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)……..... 29
Tablo 2.19. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu…….. 30
Tablo 2.20. Kapsız ve DLC kaplı matkap ucu varyans analizi……..... 30
Tablo 2.21. Ortalamalar için yanıt tablosu……..... 31
Tablo 2.22. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)..... 31
Tablo 2.23. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu……..……... 32
Tablo 2.24. TiN ve DLC kaplı matkap ucu varyans analizi……..... 33
Tablo 2.25. Ortalamalar için yanıt tablosu……..... 34
Tablo 2.26. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)..…… 34
Tablo 2.27. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu…….. 35
Tablo 2.28. TiN ve DLC kaplı matkap ucu varyans analizi……..... 35
Tablo 2.29. Ortalamalar için yanıt tablosu……..... 36
Tablo 2.30. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)..…… 36
Tablo 2.31. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu……..…… 37
Tablo 2.32. TiN ve DLC kaplı matkap ucu varyans analizi……..... 38
Tablo 2.33. Ortalamalar için yanıt tablosu…….…….. 39
Tablo 2.34. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)……..... 39
Tablo 2.35. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu…….. 40
Tablo 2.36. Kapsız ve TiN kaplı matkap ucu varyans analizi……..... 40
Tablo 2.37. Ortalamalar için yanıt tablosu……..... 41
Tablo 2.38. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)……..... 41
Tablo 2.39. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu…… 42
Tablo 2.40. Kapsız ve TiN kaplı matkap ucu varyans analizi……..... 43
Tablo 2.41. Ortalamalar için yanıt tablosu…….. 44

Tablo 2.42. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)…..... 44
Tablo 2.43. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu…….. 45
Tablo 2.44. Kapsız ve TiN kaplı matkap ucu varyans analizi……..…….... 45
Tablo 2.45. Soğutma sıvısı ile yapılan delme işlemlerindeki kuvvetler…..... 46
Tablo 2.46. Soğutma sıvısı kullanılmadan yapılan delme işlemlerindeki kuvvetler..... 47
Tablo 2.47. Kaplamasız, TiN Kaplı, DLC kaplı takımların talaş yapışma yükseklikleri……..... 52
Tablo 2.48. Takımlardaki Köşe yuvarlaklığı değişimi……..... 52
Tablo 2.49. Farklı malzemelerin delik içlerindeki yüzey pürüzlülükleri…..... 58
Tablo 2.50. Talaş birikmesi ve yüzey pürüzlülüğü……..... 59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Fx	: X ekseni yönündeki kesme kuvveti, (N)
Fy	: Y ekseni yönündeki kesme kuvveti, (N)
Fz	: Z ekseni yönündeki kesme kuvveti, (N)
HV	: Malzemenin vikers cinsinden sertliği,
Mz	: Dönme momenti, (Nm)
Ra	: Yüzey pürüzlülük değeri,
Rz	: Yüzey pürüzlülük değeri,
ΔRadyus	: Kesici takımın köşe yuvarlaklığı değeri, (Mikron, μ)
$\Delta Radyus_{Kaplamasız}$	: Kaplamasız kesici takımın köşe yuvarlaklığı değeri, (Mikron, μ)
$\Delta Radyus_{TiN}$	: TİN kaplı kesici takımın köşe yuvarlaklığı değeri, (Mikron, μ)
$\Delta Radyus_{DLC}$	: DLC kaplı kesici takımın köşe yuvarlaklığı değeri, (Mikron, μ)

Kısaltmalar

Ag	: Gümüş
Al	: Aluminyum
Au	: Altın
Cu	: Bakır
C_2H_2	: Asetilen Gazı
CuZn38Pb2	: Kullanılan Pirinç Malzeme
DLC	: Diamond Like Carbon (Elmas Benzeri Karbon)
Ni	: Nikel
PACVD	: Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition (Plazma ile Güçlendirilmiş Kimyasal Buhar Biriktirme)
Pb	: Kurşun
Pt	: Platinyum
PVD	: Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi)
Sn	: Kalay
TiN	: Titanyum Nitrür Kaplama
Zn	: Çinko

DEMİR DIŞI METAL MALZEMELERİN İŞLENMESİNDE KULLANILAN KESİCİ TAKIMLARIN FARKLI KAPLAMA MALZEMELERİ İLE İŞLEME VERİMLİLİĞİNİN VE KAPASİTELERİNİN ARTIRILMASININ DENEYSEL TASARIM YÖNTEMİ İLE ENİYİLENMESİ

ÖZET

Çelik malzemeler sertliklerinden ötürü, aluminyum malzemelere göre daha iyi talaş kaldırılarak işlenebilirler. Aluminyum, bakır ve bakır alaşımları gibi malzemeler, daha yumuşak bir yapıda olduklarından talaşlı imalat esnasında talaş yapışması gibi işleme zorlukları ile karşılaşmaktadırlar. Taguchi yöntemiyle yapılan deneysel tasarım ile farklı çaplı kaplamasız matkap ve farklı kaplamalar yapılmış matkapların, seçilen farklı Non Ferro (demir dışı) malzemelerin (aluminyum ve pirinç malzemelerin) delme işlemi esnasında alınan değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada demir dışı malzemelerin delinmesinde kullanılan iki farklı çaptaki matkaplar, Oerlikon Balzers firmasında DLC ve TiN kaplanmıştır. DLC (Diamond like Carbon) kaplama, karbon içerikli olduğundan siyah renkte olup Oerlikon 830DLC makinasında kaplanmış, TiN (Titanium Nitrür) kaplama ise, sarı renkte olup Oerlikon firmasının BAI 1200 makinasında kaplanmıştır. Demir dışı malzemelerin delinmesi için deneyde kaplamasız takım da kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada, deneysel sonuçlar üzerinde etkili olan 4 parametre; malzeme, matkap çapı, kaplama cinsi ve kesme hızı olarak tespit edilmiş ve her bir parametre için iki farklı seviye ile sonuç üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Demir Dışı Malzemeler, Kaplama, Matkap İşleme Kalitesi, Taguchi, Talaş Yapışması.

PROCESSING EFFICIENCY AND IMPROVEMENT OF CAPACITIES WITH EXPERIMENTAL DESIGN METHODS BY USING DIFFERENT COATING MATERIALS USED IN NON-IRON METAL MATERIALS PROCESSING

ABSTRACT

Due to the hardness of the steel materials, they can be processed better by removing the chips than aluminum materials. Materials such as aluminum, copper and copper alloys encounter a processing difficulty such as chip sticking during machining because they are softer in construction. The experimental design with the Taguchi method compared the drills made with different diameter uncoated drills and differently coated drills to the values obtained during drilling of different selected Non Ferro (non-ferrous) materials (aluminum and brass materials). The two different drill bits used in the drilling of non-ferrous materials in the study were coated with DLC and TiN in Oerlikon Balzers. The DLC (Diamond like Carbon) coating is black in color because it has carbon content. It is coated in Oerlikon 830DLC machine. The TiN (Titanium Nitride) coating is yellow in color and covered in Oerlikon company's BAI 1200 machine. An uncoated tool was also used in the experiment to drill non-ferrous materials. In addition, four parameters which are effective on the experimental results; material, drill diameter, coating type and cutting speed, and the effects on the result were investigated with two different levels for each parameter.

Keywords: Non Ferrous Materials, Coating, Drilling Quality, Taguchi, Chipping Adhesion.

GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte, üretimde kullanılan malzemlerde bir değişim sürecine girmiştir. Günümüz teknolojisinde malzemelerden beklenen özellikler daha hafif ve fiziksel özellik olarak daha iyi olmaları yönündedir.

Aynı zamanda değişen malzeme türleri ile birliktede bu malzemeleri işlemek için gerekli olan teknolojilerde değişmektedir.

Teknolojik gelişmelerin paralelinde ise bir diğer önemli husus ise ekonomiklik sürecidir. Endüstirde daha az maliyet ile daha fazla ve daha kaliteli parça üretebilmek rekabet ortamında bir gereksinim olmuştur. Bunun paralelinde, yüzey teknolojileride günden güne daha fazla önem kazanmaktadır.

Örnek olarak motor teknolojisinin gelişmesinde en önemli faktörlerden bir tanesi hem malzemelerin değişimi ile daha hafif motorların üretilmesi, hemde kaplama teknolojisi ile motoru oluşturan parçaların dayanımlarının daha fazla olmasıdır. Görüldüğü gibi hem malzeme, hemde yüzey teknolojilerinin parallel gelişmesi endüstirde ekonomiklik ve daha dayanıklı ürünlerin ortaya çıkmasına sebeb olmaktadir.

Bir diğer örnek ise talaşlı imalatta kullanılan kaplamasız bir takım ile kaplamalı takım arasındaki farklardır. Kaplamasız bir takım ile belli bir parça işlenebilirken, kaplama yapılmış bir takım ile işlenebilen parça adedi gözle görülür bir artış göstermektedir. Buda parça başına maliyeti belirli bir şekilde düşürmektedir.

Tabiki buradaki en önemli husus, doğru malzeme için doğru proses ve şartların sağlanmasıdır. Çelik gibi sert bir malzeme karbür TiN kaplı bir takım ile iyi işlenebiliyorken, Aluminyum gibi yumuşak bir malzemenin karbür TiN kaplı bir takım ile işlenmesi aynı sonucu vermez.

Bu çalışmada irdelemek istediğimiz en önemli nokta, artan demir dışı malzeme kullanımı ile birlikte, bu malzemelerin işlenmesi için gerekli olan en iyi uygulamadır.

1. GENEL KISIMLAR

1.1. Demir Dışı Metallarin Sanayide Kullanımı

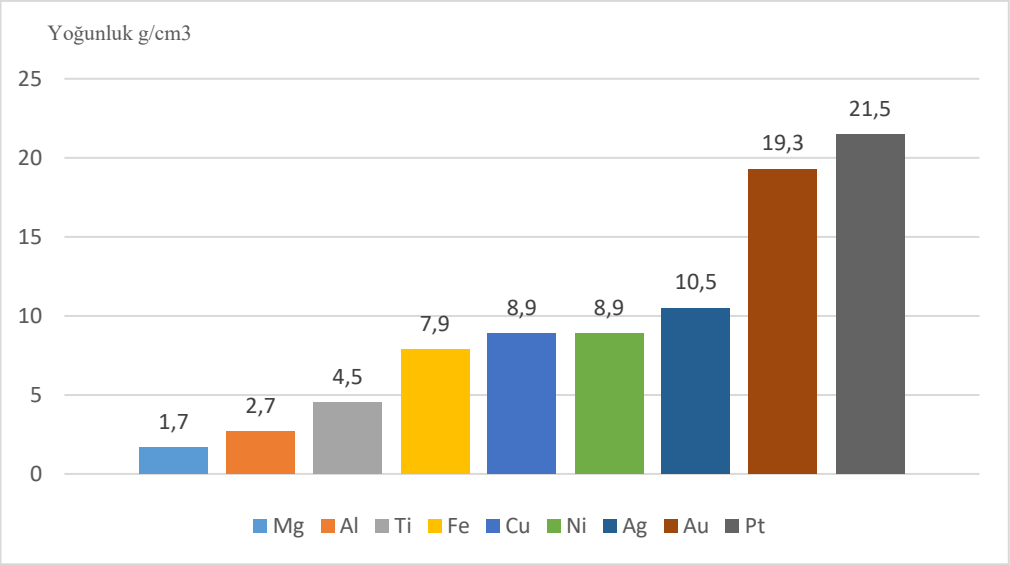
Demir hariç, bütün saf metaller ve alaşım elementi olarak demir miktarı, en büyük oranı oluşturmayan bütün alaşımlar, demir dışı metallerden sayılırlar. Demir dışı malzemelerin bazı özellikleri sebebiyle endüstride önemli yerlerde uygulama alanları bulmuştur [1].

Demir dışı malzemelerin bazı özellikleri aşağıda listelenmiştir;
- Korozyona dayanıklılık gösterirler,
- Yüksek Termal iletkenlik,
- Yüksek Elektiriksel iletkenlik,
- Hafiflik
- Düşük Eleastisite modüllerine sahip olma,
- Sertlikleri daha düşük,

Bu bazı üstün özelliklerinden dolayı sanayide kullanımları çeşitlilik göstermektedir. Aynı zamanda demir dışı metallerin maliyetleri, demir alaşımı yoğun malzeme gruplarına göre daha fazladır.

Demir dışı metaller genel olarak ağır metaller ve hafif metaller olmak üzere ikiye ayrılır. Yoğunluğu 5 g/cm^3 üzerindeki metalleri ağır metaller, yoğunluğu 5 g/cm^3 altındaki malzemeleri ise hafif metaller olarak adlandırılır. Şekil 1.1'de ki grafikte bazı malzeme grupları yoğunluklarına göre ayrılmıştır.

Bir metalin, sanayide üretim için bir malzeme olarak kullanılabilmesi için, o malzemenin sadece istenen fiziksel, kimyasal ve teknolojik özelliklere sahip olması yeterli olmaz. Aynı zamanda, ulaşılabilir bir fiyatta, yeterli miktarlarda tedarik edilebilir olması önemlidir. Aluminyum, Kurşun, Bakır, Demir, Nikel, Çinko gibi malzemelerde bu durum izlenebilmektedir. Bunun haricinde, Cr, Co, Mo, Mn, V ve Sn gibi metalerin elde edilmesi pahalıdır hemde miktar olarak azdırlar. Bundan dolayı genellikle alaşım elementi olarak kullanılırlar.



Şekil 1.1. Metallerin yoğunluklarına göre değişimi

Genel olarak demir dışı malzemelerin kullanım alanlarını aşağıdaki şekilde belirtebiliriz.

• Alüminyum (Al): Taşımacılık, Ambalajlama, Yapı, Yüksek gerilim hatları, Elektrik, Genel Mühendislik.
• Bakır (Cu): Elektrik iletkenleri, Yapı, Taşımacılık, Otomotiv, Havacılık.
• Altın (Au): Yatırım aracı, Takı, Elektronik sanayi, Havacılık.
• Kurşun (Pb): Piller, Boyalar, Askeri ekipmanlar, Radyasyon yalıtımı.
• Nikel (Ni): Paslanmaz çelikler, Elektro-kaplama.
• Platinyum (Pt): Takı, katalizör.
• Gümüş (Ag): Elektronik sterlin gümüşü.
• Kalay (Sn): Kalay kaplama, Lehim üretimi.
• Çinko (Zn): Galvanizleme, Pirinç alaşımları, Makine imalatı, Elektrik.

Gerek fiyatı, gerekse ağırlık avantajı bakımından ise endüstride en yoğun kullanılan demir dışı malzeme ise Aluminyum'dur.

Tablo 1.1'de Aluminyum'un kullanım yerleri, Demir Dışı Metaller Sanayii özel İhtisas Komisyonu Raporunda belirtilmiştir [2].

Tablo 1.1. Aluminyumun kullanım alanları

Sektör	**Kullanım Oranı**
İnşaat	%25
Ulaşım	%24
Ambalaj	%15
Elektrik/Elektronik	%10
Genel Mühendislik	%9
Mobilya	%6
Demir Çelik, Metalurji	%3
Kimya ve Tarım Ürünleri Sanayi	%1
Diğer	%7
Toplam	**%100**

Bir diğer taraftan sanayide Aluminyum'dan sonra en yaygın kullanılan demir dışı metaller ise bakır ve bakır alaşımlarıdır. Pirinç ise bakırın en önemli alaşımı olup, bir Cu-Zn alaşımıdır. Çinko fiyatının düşük olması sebebiylede, bu alaşım sanayide geniş kullanım alanlarına sahiptir. Tablo 1.2'de prinç türlerine göre kullanım miktarları verilmiştir.

Tablo 1.2. Pirinç malzeme çeşitleri ve kullanım alanları

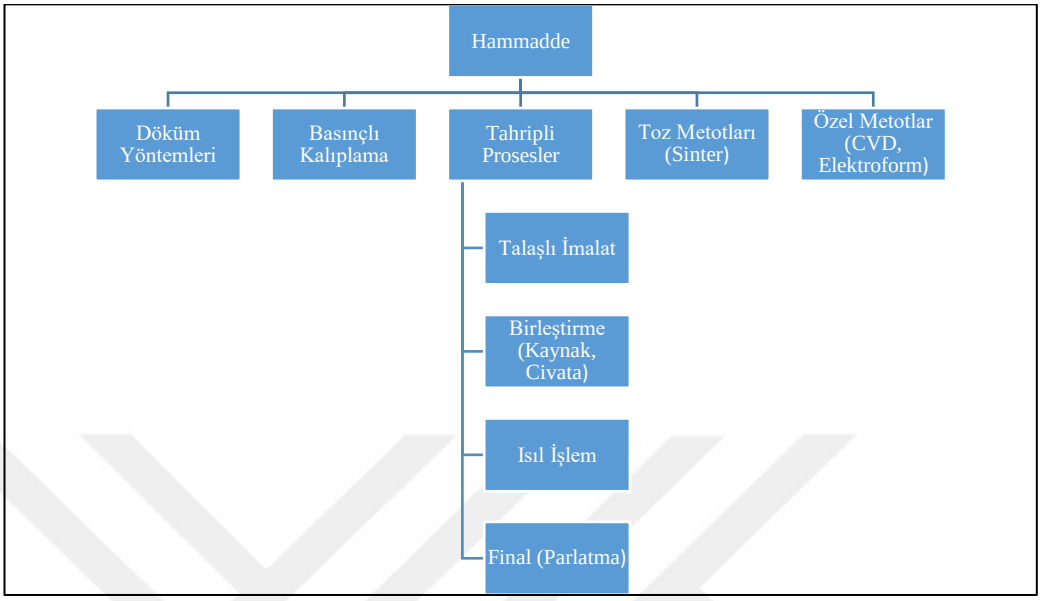
Pirinç Cinsi	**Kullanım Alanları**
Ticari Bronz	Askeri Mühimmat, takı
Düşük Çinkolu Pirinç	Pil Kutuları, Müzik aletleri
Mangan Bronzu	Debriyaj diskleri, Su sayaçları, Vanalar
Donanma Pirinci	Pervane şaftları, Somun, Civata,
Dövme Pirinç	Dövme ve Ekstrüzyon Malzemeleri
Talaşlı İmalat Pirinci	Dişli, Makina Parçaları
Orta Kurşunlu Pirinç	Civata Somun, Dişli Parçası

1.2. Demir Dışı Metallerin İşlenmesi

Demir dışı metal ve alaşımlarda aranan en büyük özellikler aşağıdaki şekilde belirtilebilir; [3].

- Dökülebilirlik,
- Dövülebilirlik,
- Talaşlı işlenebilirlik,
- Kaynak edilebilirlik,
- Korozyon direncinin yüksek olması şeklinde belirtilir.

Malzemelerin imalat teknolojilerine baktığımız zaman Şekil 1.2. ‘deki gibi bir durum karşımıza çıkar.



Şekil 1.2. İmalat yöntemleri

Talaşlı imalat, Metallerin şekillendirilmesinde, günümüz sanayinde en çok kullanılan yöntemlerin başında gelir. Nitekim ki döküm ile üretilen bir malzeme için bile son işlemi yapmak için talaşlı imalat teknolojisi tercih edilebilmektedir.

Talaşlı imalatın avantajları olduğu gibi dezavantajları da mevcuttur. Talaşlı imalatta belli başlı avantaj ve dezavantajları sıraladağımızda, genel olarak şu sonuçlar ortaya çıkar.

Talaşlı İmalat ile farklı malzemelerin işlenebilir olmasından, farklı boyuttta parçalar elde edilebilecek olmasından, delme, vida açma gibi farklı işlemlerin yapılabilir olması, düzgün ölçülerde ve yüzey pürüzlülüğüne sahip parçalar elde edilemesinden dolayı avantajları oldukça fazladır. Bunun yanı sıra ise, talaşlı imalatta malzeme israfı fazla olabilmekte, işlem süreleri fazla zaman alma ihtimali olduğundan dolayı da bazı dezavantajları söz konusudur.

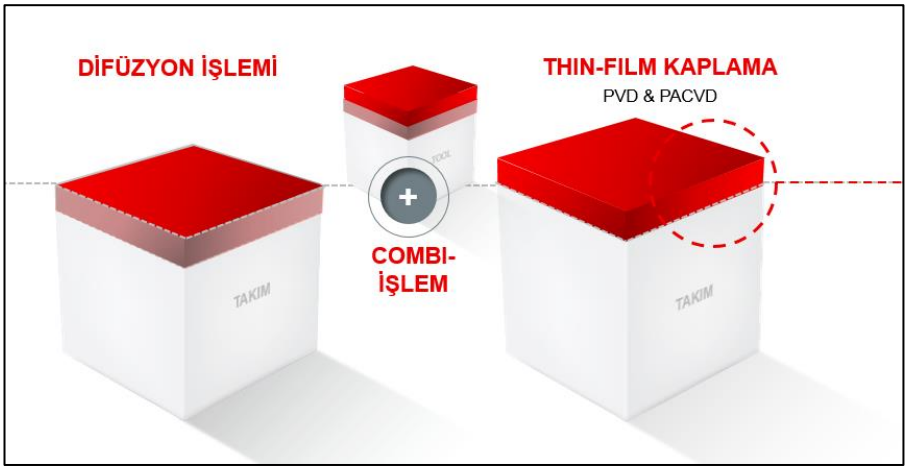
Talaşlı imalatta, metallerin işlenebilirliği çok farklıdır. Bu nedenle de işlenebilirlik; kolay talaş oluşturma, pürüzsüz yüzey oluşturabilme yeteneği ve ekonomik kalem ömrü sağlama yeteneğinin bir ölçüsüdür. Kötü işlenebilirlik yüksek maliyet anlamına gelmektedir [3].

Dolayısıyla, demir alaşımı fazla olan çelik gibi malzemeler sertliklerinden ötürü, aluminyum malzemelere göre daha iyi talaş kaldırılarak işlenebilirler. Aluminyum, bakır ve bakır alaşımları gibi malzemeler, daha yumuşak bir yapıda olduklarından talaşlı imalat esnasında talaş yapışması gibi işleme zorlukları ile karşılaşmaktadırlar.

1.3. Kaplama Teknolojisi

Muhammet Mustafa Kurt'un '' 304L Paslanmaz Çelik Üzerine (Diamond Like Carbon) Kaplanması Mekanik–Tribolojik Özelliklerinin Araştırılması'' konulu yüksek lisans tezinde bahsettiği gibi, Bir malzemenin yüzey özelliklerini değiştirmeye yönelik termal, termokimyasal ve kaplama işlemlerine "yüzey işlemleri" ve bu amaçla kullanılan teknolojilere de "yüzey teknolojileri" denir. Yüzey işlemleri genelde bir ürünün üretiminde %5-15 arasında ekonomik paya sahip olmasına karşın, o ürünün kullanımını veya kullanım amacını sağlamasında ve satışında %100'e yakın payı olan işlemlerdir [4].

Yüzey teknolojilerine baktığımız zaman Şekil 1.3.'te göründüğü gibi 3 farklı işlemden bahsedebiliriz.



Şekil 1.3. Yüzey teknolojileri

Bunlardan bir tanesi Malzemenin içi ile ilgili olan ve difüzyon işlemi olarak adlandırılan, yüzey teknolojileri yöntemidir. Buna en iyi örnek olarak, Nitrasyon işlemi gösterilebilir. Difüzyon işlemi ile birlikte belli bir derinlikte malzemenin içine doğru malzemeye bir sertlik kazandırılır.

Diğer bir yöntem ve çalışmamızın konusu olan yöntem ise Kaplama yöntemleridir. Kaplama yöntemleri ile yapılan yüzey teknolojisi işlemlerinde, asıl konu malzemenin kendisi değil, malzeme yüzeyinin kendisidir. Burada yapılan kaplama malzeme yüzeyinde bir sertlik oluşturur. Oluşan kaplamalı yapıyı aslında yeni bir kompozit malzeme olarak ta adlandırabiliriz. Yapılan bu kaplanın kalınlığı ince film kaplamalar için yaklaşık olarak Şekil 1.4' teki gibi 2 ile 8 micron aralığında değişebilmektedir.

Üçüncü farklı işlem için bu iki işlemin birleşimi olan kombi işlemlerden bahsetmek söz konusu olabilir. Bu durumda hem malzeme içine bir difüzyon işlemi uygulanır, hemde malzeme yüzeyinde ince bir kaplama oluşturulur. Oerlikon Balzers firmasında yapılan uygulamalara bakıldığı zaman bu 3. yöntem daha çok form kalıpları, Plastik enjeksiyon kalıpları gibi çelik malzemelere dayanım kazandırılmasında uygulanmaktadır.

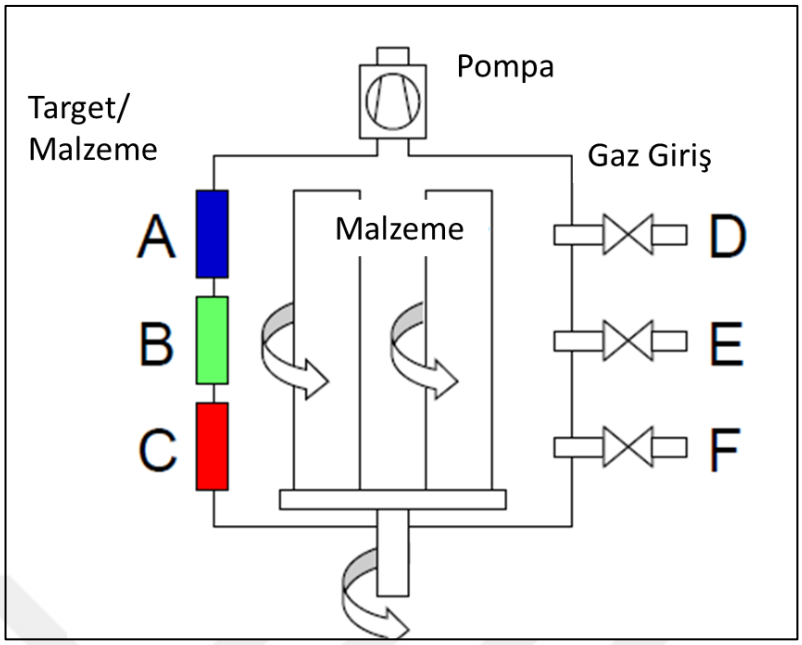
Kesici takım sektöründe 3. Yöntem HSS takımlara uygulanıp denenebilir. Günümüzde karbür takımların yoğunlukla kullanıldığı yerlerde bu yöntem uygulama alanı bulmamaktadır [5].



Şekil 1.4. İnce film kaplama kalınlığı

1.3.1. PVD kaplama nedir ?

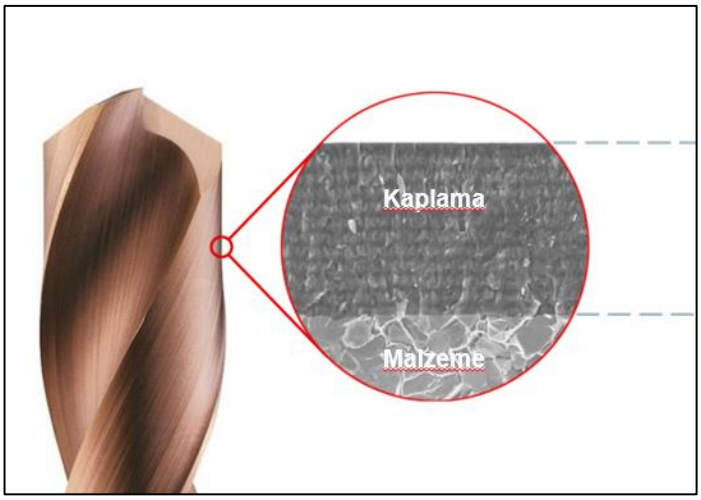
PVD kaplama yöntemi, fiziksel buhar biriktirme olan adlandırılan bir kaplama yöntemidir. Burada vakum ortamında malzeme kopartılarak, hedef malzemenin üzerinde biriktirilir. Kaplama prosesi Şekil 1.5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 1.5. PVD kaplama prosesi

PVD kaplama kaplama prosesindeki makina ve proses adımları şu şekilde gerçekleştirilir.

İlk etap kaplama makinası hazırlığıdır. Kaplama malzemesi, Oerlikon firmasında target olarak adlandırılır, makinaya yerleştirilir. Yapılacak olan kaplamanın cinsine göre bu malzeme değişklik gösterir. Ardından kaplanacak olan takımlar bir fikstür yardımıyla, kaplama çemberi içerisinde ortaya yerleştirilir. Kaplama makinasının kapağı kapandıktan sonra vakum işlemi başlar, burada makina yaklaşık olarak 10^{-5} mbar seviyelerine kadar düşer. Ardından makina içerisindeki ısıtıcılar yardımıyla makina ısınır buradaki sıcaklık yaklaşık olarak 450 ^{o}C civarlarındadır. Bu işlem'den sonra target'lar önünde bulunan tetikleme çubuklarında bir ark oluşur. Arkın oluşumu ile birlikte targetların önünde bir plazma oluşur. Oluşan bu plazma ile birlikte, katı fazda bulunan target malzemesi birden buhar fazına geçer. Kaplanacak olan malzeme fikstür yardımıyla elektirik yüklendiğinden olayı, targetlardan kopan metal iyonları kaplanacak malzeme üzerine yönelirler. Bu sayede kaplanacak olan malzeme yüzeyinde bir biriktirme sağlanır. Buradaki en önemli hususlardan bir tanesi, kaplanacak olan malzemenin kaplama odası(çemberi) içerisinde 360 derece kendi eksenş etrafında dönebilmesidir. Homojen bir kaplama için bu çok önemlidir. Aksi halde homojen bir kaplamadan söz etmek mümkün değildir. Şekil 1.6.'da PVD yöntemi ile kaplanmış kesici bir takım'ın fiziksel durumu görsellenmiştir.



Şekil 1.6. PVD yönetimi ile kaplanmış kesici takım

1.3.2. PACVD kaplama nedir ?

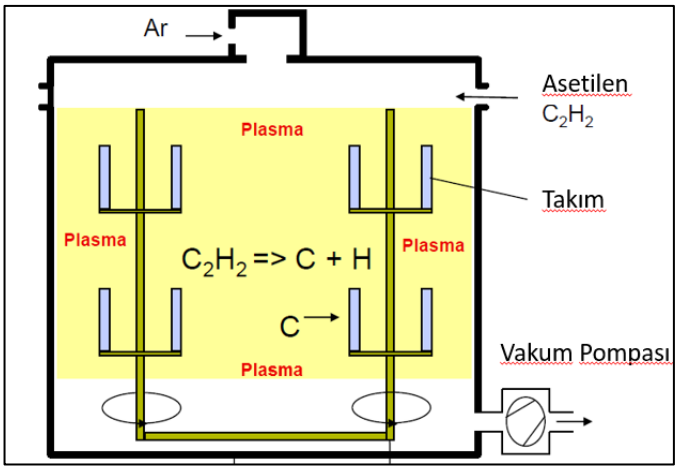
PACVD, Plazma ile güçlendirilmiş kimyasal buhar biriktirme olarak türkçeleştirilebilir. Bu yöntem PECVD olarak'ta anılır. Bu yöntem ile 200 – 220 ^{o}C civarlarında DLC kaplama imkanı elde edilir [6].

PECVD tekniği ile üst düzeyde pürüzsüz ve adhezyonu kuvvetli film tabakaları oluşturulabilir [7].

PACVD kaplama yöntemi ile DLC kaplama yöntemi Şekil 1.7.'de gösterilmiştir. İlk olarak, kaplama makinası hazırlanır ve burada makina'ya Cr targetlar takılır. Cr target takılmasındaki amaç DLC kaplama yapılmadan önce kaplanacak malzeme yüzeyine bir Cr tabakası atılması ihityacındandır. Bu ihtiyacın temel nedeni, sertlik olarak DLC ile ana malzeme arasında bir geçiş katmanı oluşturabilmektir.

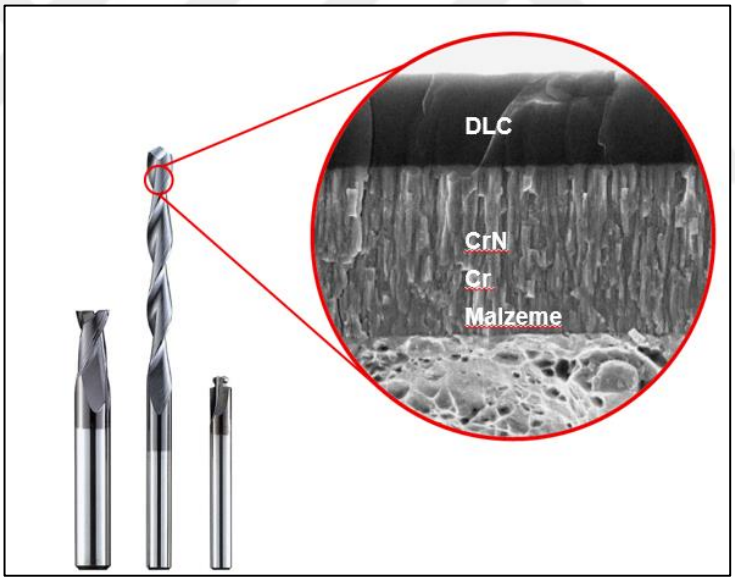
Kaplanacak olan kesici takım veya malzeme, fikstürler yardımıyla makina içerisinde yerleştirilir. Makina Vakum işlemine başlar, Vakum ortamında makina ısındıktan sonra Cr targetlar açılır ve malzeme klasik PVD yöntemi ile ilk önce Cr kaplanır. Cr kaplama tabakası atılmasındaki esas amaç, yukarıda da bahsedildiği gibi bir geçiş katmanı oluşturabilmektir.

Cr tabakasından sonra ortama Asetilen gazı verilir. (C_2H_2)



Şekil 1.7. PACVD yöntemi ile DLC kaplanması

Asetilen gazı içerde oluşan plazmanın etkisi ile parçalanır ve asetilen gazından ayrılan karbon malzeme yüzeyine bağlanarak bir kaplama oluşturur. Şekil 1.8'de DLC kaplanan bir takımın fiziksel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1.8. PACVD ile kaplanmış kesici takım

DLC kaplı takımın, içerdiği karbon katkısı sayesinde bir yağlayıcı görevi görmektedir. CrN ve Cr katmanları geçiş katmanları olarak atılmaktadır. Yapılan DLC Kaplamanın ortalama sertliği 2500 HV civarlarındadır.

1.3.3. DLC nedir ?

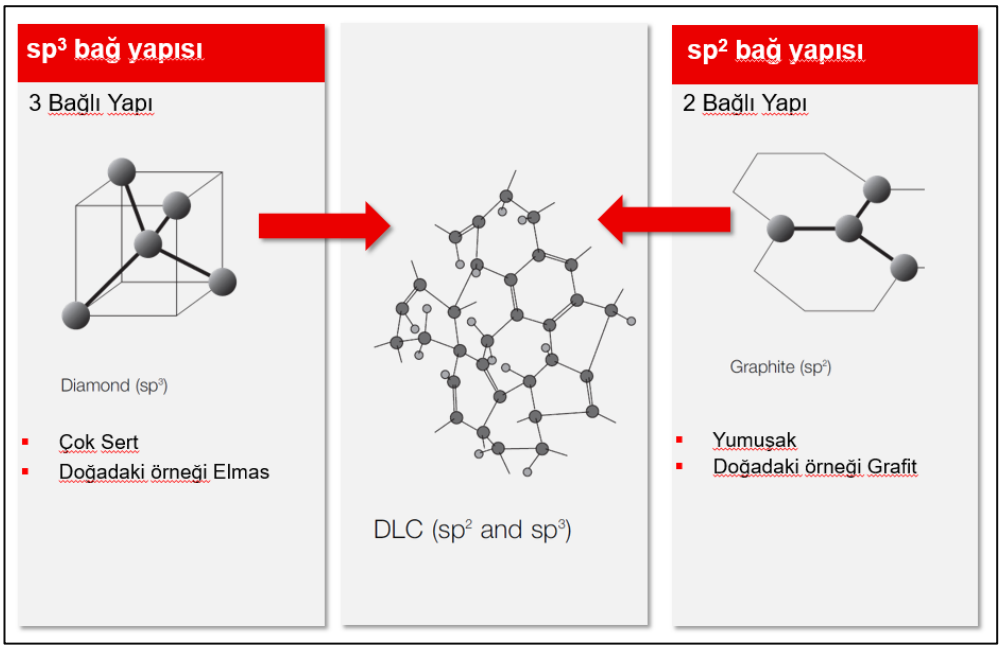
DLC kaplamanın açılımı ‘’Diamond Like Karbon’’ olarak adlandırılır. Türkçe olarak bu kaplamaya, Elmas gibi karbon diyebiriliz.

Bilindiği üzere Karbon atomu doğada sp^2 dediğimiz bağ ve sp^3 dediğimiz bağ yapısında bulunabilir. Aslında bu bağ yapısının şekli malzemenin sertliği ile direk ilgildir. Doğada en sert malzeme olarak bilinen elmas’ta karbon atomları sp^3 dediğimiz bağ yapısı ile bağlıdır ve 3 boyutlu düzlemde karbonlar bağlanmıştır.

Bunun aksine doğada, yumuşak olarak bildiğimiz grafit ise 2 düzlemsel olarak sp^2 dediğimiz bağ yapısı ile bağlanmıştır.

Dolayısıyla sp2 bağ yapısından sp3 bağ yapısına gittikçe malzememiz sertleşir. Buna en iyi örnek yukarıda da bahsettiğimiz gibi Elmas – Grafit ilişkisidir.

DLC kaplama ile elde ettiğimiz durum ise bunun arasında olan bir durumdur. DLC kaplamada karbon atomları Şekil 1.19’da görüldüğü gibi hem 2 düzlemsel hemde 3 düzlemsel bağlandığından dolayı, grafit gibi yağlayıcı özelliğe sahip olmakta, aynı zamanda ise elmas gibi sert olmaktadır.



Şekil 1.9. DLC bağ yapısı

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Demir dışı metal malzemelerin işlenmesinde kullanılan kesici takımların farklı kaplama malzemeleri ile işleme verimliliğinin ve kapasitelerinin artırılması amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, deneysel sonuçlar üzerinde etkili olan 4 parametre;

- Malzeme,
- Matkap çapı,
- Kaplama cinsi,
- Kesme hızı,

olarak tespit edilmiş ve her bir parametre için iki farklı seviye ile sonuç üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Çalışma konusu kapsamında, malzeme; aluminyum, pirinç, matkap çapı; 6mm, 10mm, kaplama cinsi; DLC, TiN, kesme hızı 125 d/dak, 250 d/dak parametre seviyelerine göre oluşturulan Taguchi L8 deney düzeneğine uygun rastgele sıra izlenerek delik delme işlemi tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Deneysel sonuçların analizinde Minitab 17 programı kullanılmıştır. Delme momenti değerinin düşük olması istendiğinden ‘En küçük en iyi’ seçimi yapılarak S/N oranı incelenmiştir. Belirlenen faktörlerin delme momenti değeri üzerindeki etkileri saptanmıştır.

2.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Matkap Tezgahı ve Ekipmanlar

Deneysel çalışmada Kocaeli Üniversitesi İleri Disiplinlerarası Araştırma Laboratuvarı (İDEAL) İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarında gerçekleştirilmiş ve burada bulunan ekipmanlar kullanılmıştır. Şekil 2.1’de görülen delik delme tezgahı kullanılmıştır. Model: TU5032B.



Şekil 2.1. TU5032B delik delme tezgahı

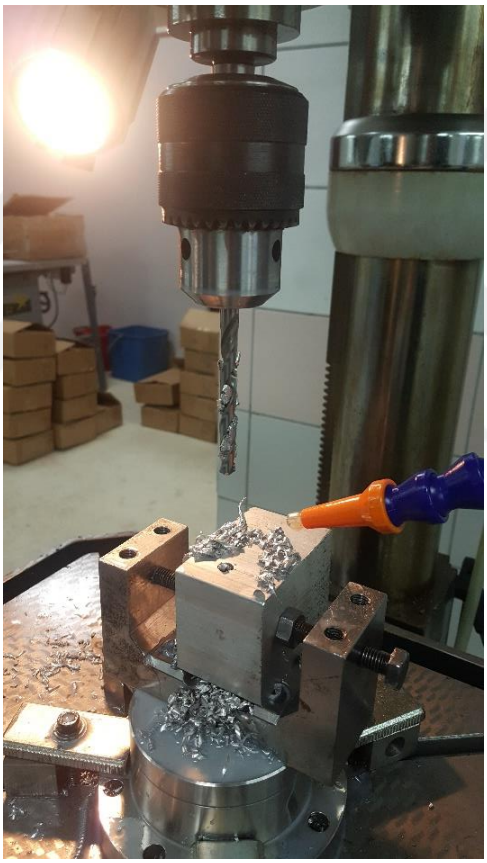
Ayrıca, tezgah üzerine bağlı olan KISTLER marka 1701846 seri nolu moment ve kuvvet ölçer ekipmanı (Şekil 2.2) kullanılmış ve delme işlemlerinde yapılan her delik için Fx, Fy, Fz ve Mz değerleri kaydedilmiştir.



Şekil 2.2. KISTER marka kuvvet ölçer ekipmanı

Delme tezgahına entegre bu ekipmanlar dışında delme işlemi esnasında, termal kamera ile görüntüler alınmış aynı zamanda yüksek hızlı görüntüleme ekipmanı ile delme işlemi esnasında görüntüler kaydedilmiştir.

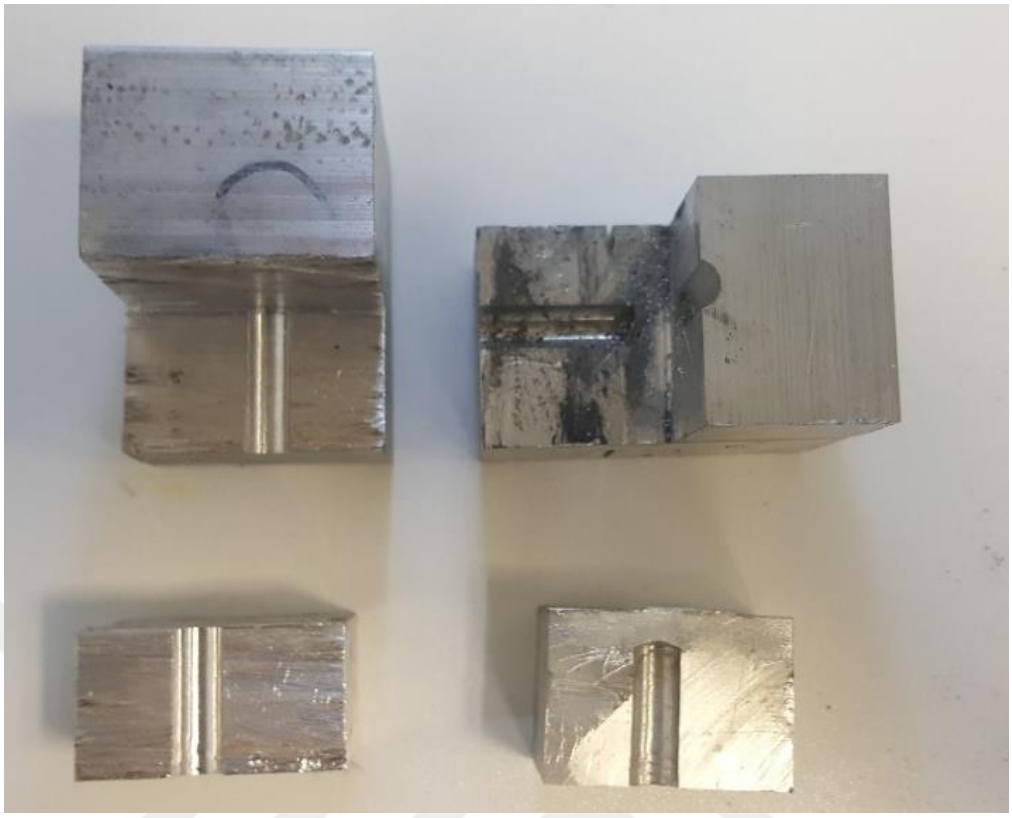
Termal kamera kullanımındaki amaç, delme işlemi esnasında takım'ın ve iş malzemesinin sıcaklığını görmek, yüksek hızlı kamera kullanımında ise amaç talaş hareketlerini farklı takım çapları ve farklı kaplama malzemelerine göre inceleyebilmektir. Şekil 2.3'de delme işlemi esnasında çekilen bir fotoğraf görsellenmiştir.



Şekil 2.3. Deney anında delme işlemi

2.2. Deneyde Kullanılan İş Malzemeleri ve Özellikleri

Yapılan deney tasarımında demir dışı malzemeler olarak 40 mm x 40 mm x 60 mm geometrik ölçülerindeki Aluminyum 6000 serisi (Şekil 2.4.) ve Pirinç CuZn38Pb2 (CW608N) malzemeler (Şekil 2.5) kullanılmıştır.



Şekil 2.4. 40mmx40mmx60mm ölçülerinde Aluminyum 6000 serisi malzeme

Aluminyum malzeme seçimindeki amaç, sanayide en fazla kullanılan ikinci metal olması gelişen teknoloji ile (Elektrikli araçlar, Hybrid araçlar) kullanımının ağırlık avantajından dolayı daha da önem kazanmasıdır.

Bunu bir örnek ile açıklamak gerekirse; günümüzde bir otomobilde 50 kg. kadar aluminyum kullanılmaktadır. Bu sayede, yaklaşık 100 kg. demir çelik ve bakır malzeme tasarrufu yapılmaktadır. Aluminyum kullanılan bir otomobil, aluminyum kullanılmamış bir otomobile kıyasla, ekonomik ömrü boyunca 1500 litre daha az yakıt harcar. Bir uçağın ağırlıka %70'i aluminyumdan oluşmaktadır. Alminyum, alaşımlarının hafifliğinin yanı sıra sağlamlığı ile de havacılık sektörünün gelişmesine büyük katkı sağlamıştır. Aluminyum-bakır alaşımlarından sonra gelecekte en önemli uçak malzemesi aluminyum-lityum alaşımları olacaktır. Aluminyum-lityum alaşımları ile uçakların %15 hafiflemesi mümkün olacaktır.

Ülkemizde yeni otomobil yatırımlarının yapılmasına bağlı olarak önümüzdeki yıllarda otomobil sanayinde önemli oranlarda aluminyum kullanımı beklenmektedir [8].

Kullanılan Aluminyum 6000 Serisi malzeme ile ilgili teknik özellikler, aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.1. Aluminyum 6000 serisi mekanik özellikleri

	Akma Mukavemeti (Mpa) min-max	**Çekme Mukavemeti (Mpa) min-max**	**Uzama (%50) Min-Max**	**Sertlik (Brinel) Min-Max**
6013 T	-	-	-	
6013 T8	379	392	7	Max130
6013 T651	359	379	5	Max130
6060 T	50	100	26	25
6060 T8	90	150	26	45
6060 T651	65-90 185 195-215	130-160 220 245	20 13 12	45-50 75 75-85
6061 0	55	125	26	40-30
6061 T4	110-140	180-235	16-21	65
6061 T6	240-275	260-310	8-12	90-95
6063 0	50	100	26	25
6063 T1	90	150	24	45
6063 T4	90	160	21	50
6063 T5	110-175	150-215	12	60
6063 T6	170-210	205-245	12	75
6063 T8	240	260	9	80
6082 0	60	130	26	35
6082 T1	70	260	24	70
6082 T4	170	260	19	70
6082 T5	250-275	290-325	19	70
6082 T6	260-310	310-340	19	95



Şekil 2.5. Pirinç CuZn38Pb2 (CW608N) malzeme

Pirinç malzeme seçiminde ise bakırın en önemli alaşımı olup, bakır-çinko alaşımı, çinko fiyatının bakırdan düşük olması nedeniyle sanayide, geniş kullanım alanına sahip olmasıdır. Seçilen pirinç malzeme ile ilgili mekanik ve fiziksel özellikler Tablo 2.2 ‘de verilmiştir.

Tablo 2.2. CuZn38Pb2 mekanik ve fiziksel özellikleri

MEKANİK ÖZELLİKLER		
ÇEKME MUKAVEMETİ	**N/mm²**	**380 - 540**
AKMA MUKAVEMETİ	**N/mm²**	**140 - 520**
UZAMA	**%**	**10 - 45**
SERTLİK	**HV**	**80 - 160**
FİZİKSEL ÖZELLİKLER		
YOĞUNLUK	**Kg/dm³**	**8,44**
ELASTİSİTE MODÜLÜ	**GPa = kN/mm²**	**102**
ERİME NOKTASI	**°C**	**895 - 900**
ISIL GENLEŞME KATSAYISI (0 - 300 °C)	**10/K**	**20,40**
ISI İLETKENLİĞİ	**W /(mK)**	**109**
ELEKTRİK İLETKENLİĞİ	**%IACS**	**24,00**
	MS/m = m/Ω • mm²	**14,00**

2.3. Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar ve Özellikleri

Talaşlı imalat endüstirisinde delik delme operasyonu önemli bir yere sahiptir. Çalışmada demir dışı malzemelerin delinmesinde çapları 6 mm ve 10 mm olan iki farklı çapta takım seçilmiştir. Takımların farklı çaplarda seçilmesindeki amaç aynı zamanda çap değişkenliğinin delme prosesine olan etkilerini incelemek olmuştur. Seçilen bu iki farklı çaptaki takımlar, Oerlikon Balzers firmasında, Şekil 2.6’da görüldüğü gibi DLC ve TiN kaplanmıştır.

DLC (Diamond like Carbon) kaplama, karbon içerikli olduğundan siyah renkte olup Oerlikon 830DLC makinasında kaplanmış, TiN (Titanium Nitrür) kaplama ise, sarı renkte olup Oerlikon firmasının BAI 1200 makinasında kaplanmıştır. Ayrıca demir dışı malzemelerin delinmesi için deneyde kaplamasız takım da kullanılmıştır.



Şekil 2.6. Kaplamasız, TiN Kaplı DLC kaplı takımlar

2.4. Deneysel Metot

Uygun sayıda deney yapabilmek adına deney Taguchi L8 Deney düzeneğine uygun olarak tasarlanmıştır. Taguchi deney tasarımı yapılırken aşağıdaki değişkenler dikkate alınmıştır.

1-Kesme hızı,
2-Kaplama çeşidi,
3-Kesici takım'ın çapı,
4-Malzeme

Ayrıca deneysel tasarım kuru ve soğutma sıvılı olarak tekrarlanmıştır.

Delme momenti değerinin düşük olması istendiğinden ‘En küçük en iyi’ seçimi yapılarak S/N oranı incelenmiştir. Belirlenen faktörlerin delme momenti değeri üzerindeki etkileri saptanmıştır.

2.4.1. Deney tasarımı

Taguchi ile yapılan deney düzeneğine göre delme işlemi soğutma sıvılı ve soğutma sıvısız olarak tablo 2.3 ve Tablo 2.4 ’de olduğu gibi tasarlanmıştır. Tablo 2.3 ‘te soğutma sıvılı deney tasarımı görülmektedir.

Tablo 2.3. Delik delme işlemi ıslak çalışma deney tasarımı

Deney	İşleme Malzemesi	Takım Çapı	Yüzey Teknolojisi	Kesme Hızı	Soğutma Sıvısı
DAL01	Aluminyum	Ø6	Kaplamasız	125 d/dak	Var
DAL02	Aluminyum	Ø6	TiN	250 d/dak	Var
DAL03	Aluminyum	Ø10	Kaplamasız	250 d/dak	Var
DAL04	Aluminyum	Ø10	TiN	125 d/dak	Var
DAL05	Pirinç	Ø6	Kaplamasız	250 d/dak	Var
DAL06	Pirinç	Ø6	TiN	125 d/dak	Var
DAL07	Pirinç	Ø10	Kaplamasız	125 d/dak	Var
DAL08	Pirinç	Ø10	TiN	250 d/dak	Var
DAL09	Aluminyum	Ø6	DLC	250 d/dak	Var
DAL10	Aluminyum	Ø10	DLC	125 d/dak	Var
DAL11	Pirinç	Ø6	DLC	125 d/dak	Var
DAL12	Pirinç	Ø10	DLC	250 d/dak	Var

Tablo 2.4. Delik delme işlemi kuru çalışma deney tasarımı

Deney	İşleme Malzemesi	Takım Çapı	Yüzey Teknolojisi	Kesme Hızı	Soğutma Sıvısı
DAL01K	Aluminyum	Ø6	Kaplamasız	125 d/dak	Yok
DAL02K	Aluminyum	Ø6	TiN	250 d/dak	Yok
DAL03K	Aluminyum	Ø10	Kaplamasız	250 d/dak	Yok
DAL04K	Aluminyum	Ø10	TiN	125 d/dak	Yok
DAL05K	Pirinç	Ø6	Kaplamasız	250 d/dak	Yok
DAL06K	Pirinç	Ø6	TiN	125 d/dak	Yok
DAL07K	Pirinç	Ø10	Kaplamasız	125 d/dak	Yok
DAL08K	Pirinç	Ø10	TiN	250 d/dak	Yok
DAL09K	Aluminyum	Ø6	DLC	250 d/dak	Yok
DAL10K	Aluminyum	Ø10	DLC	125 d/dak	Yok
DAL11K	Pirinç	Ø6	DLC	125 d/dak	Yok
DAL12K	Pirinç	Ø10	DLC	250 d/dak	Yok

2.4.2. Deneysel tasarım yöntemi

Projede, Alüminyum (Al) ve Pirinç (CuZn) malzemelerin matkap ile delik delme operasyonunun eniyilenmesi ve en uygun matkap çapı, devir sayısı ve/veya kaplama

malzemesi parametre seviyelerinin tespit edilmesi amacıyla Taguchi deney tasarım yönteminden faydalanılmıştır.

Öncelikle delik delme operasyonu deneysel çalışma sonuçları üzerinde etkili olan kontrol edilebilir matkap çapı, devir sayısı ve/veya kaplama malzemesi parametreleri ve her bir matkap çapı, devir sayısı ve/veya kaplama malzemesi parametresi için farklı seviyeler tespit edilmiştir. Delik delme operasyonu deneysel çalışmalar için uygun ortogonal dizinin belirlenmesi sonrasında önce Al sonra da CuZn deney parçaları (blokları) temin edilmiş ve/veya hazırlanmıştır.

Belirlenen sınır koşullarına (seviyelere) göre hazırlanan plana uygun olarak temin edilen ve/veya hazırlanan Al ve CuZn deney parçalarında (bloklarında) delik delme operasyonları gerçekleştirilmiş ve elde edilen ilgili deney verileri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

2.4.2.1. Kontrol edilebilir parametrelerin ve faktörlerin belirlenmesi

Yapılan ön çalışmalar sonucunda Al ve CuZn malzemelerin matkap ile delik delme operasyonu üzerinde etkili olduğu bilinen ve/veya öngörülen kontrol edilebilir faktörler belirlenmiştir. Faktörler belirlenirken, genel olarak demir dışı malzeme delik delme süreçlerinde çıktıya etki eden faktörler üzerinde tartışılmış ve 4 faktör seçilmiştir. Tüm faktörler iki ayrı deney seviyesiyle incelenmiştir. Deneysel çalışma bu iki seviyeli dört kontrol faktörünü içeren bir yapıda L8 (24) ortogonal dizisi kullanılarak ve her bir veri için 1 adet deney yapılarak yürütülmüştür. Belirlenen faktörler ve seviyeleri Tablo 2.5'te verilmektedir.

Tablo 2.5. Kontrol faktörleri ve seviyeleri

	Tasarım 1		Tasarım 2		Tasarım 3	
Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 1	Seviye 2
Malzeme cinsi	Al	CuZn	Al	CuZn	Al	CuZn
Matkap çapı [mm]	6	10	6	10	6	10
Kaplama malzemesi	Kapsız	DLC	Kapsız	TiN	DLC	TiN
Devir sayısı [dev/dak	125	250	125	250	125	250

Diğer taraftan, deneysel çalışma için uygun ortogonal dizi belirlenirken faktörlerin seviye sayısına ve buna bağlı olarak da toplam serbestlik derecelerine göre karar verilir. Bu toplam serbestlik derecesine veya daha büyük deneme sayısına sahip olan ortogonal dizi uygun dizi olarak seçilir. Bir faktör için serbestlik derecesi, o faktörün seviye sayısının bir eksiğine eşittir.

Kapsız ve DLC kaplı malzemelere uygun ortogonal dizinin seçilmesi:

Al ve CuZn malzemeler için 2 seviyeli ve 7 serbestlik derecesini kaldırabilecek ortogonal dizi L8 olduğundan deney için L8 (2^4) ortogonal dizisi seçilmiş ve ilgili ortogonal dizi için deney koşulları Tablo 2.6'da verilmektedir.

Tablo 2.6. Kapsız ve DLC kaplama malzemeleri için deneysel koşullar

		Faktörler (Tasarım 1 için)							
		A		B		C		D	
Deney no	Deney adı	Malzeme cinsi		Matkap çapı [mm]		Kaplama malzemesi		Devir sayısı [dev/dak]	
1	D1	1	Al	1	6	1	Kapsız	1	125
2	D2	1	Al	1	6	2	DLC	2	250
3	D3	2	CuZn	2	10	1	Kapsız	1	125
4	D4	2	CuZn	2	10	2	DLC	2	250
5	D5	1	Al	2	10	1	Kapsız	2	250
6	D6	1	Al	2	10	2	DLC	1	125
7	D7	2	CuZn	1	6	1	Kapsız	2	250
8	D8	2	CuZn	1	6	2	DLC	1	125

Kapsız ve TiN kaplı malzemelere uygun ortogonal dizinin seçilmesi:

Al ve CuZn malzemeler için 2 seviyeli ve 7 serbestlik derecesini kaldırabilecek ortogonal dizi L8 olduğundan deney için L8 (24) ortogonal dizisi seçilmiş ve ilgili ortogonal dizi için deney koşulları Tablo 2.7'de verilmektedir.

Tablo 2.7. Kapsız ve TiN kaplama malzemeleri için deneysel koşullar

		Faktörler (Tasarım 1 için)							
		A		B		C		D	
Deney no	Deney adı	Malzeme cinsi		Matkap çapı [mm]		Kaplama malzemesi		Devir sayısı [dev/dak]	
1	D1	1	Al	1	6	1	Kapsız	1	125
2	D2	1	Al	1	6	2	TiN	2	250
3	D3	2	CuZn	2	10	1	Kapsız	1	125
4	D4	2	CuZn	2	10	2	TiN	2	250
5	D5	1	Al	2	10	1	Kapsız	2	250
6	D6	1	Al	2	10	2	TiN	1	125
7	D7	2	CuZn	1	6	1	Kapsız	2	250
8	D8	2	CuZn	1	6	2	TiN	1	125

TiN ve DLC kaplı malzemelere uygun ortogonal dizinin seçilmesi:

Al ve CuZn malzemeler için 2 seviyeli ve 7 serbestlik derecesini kaldırabilecek ortogonal dizi L8 olduğundan deney için L8 (2^4) ortogonal dizisi seçilmiş ve ilgili ortogonal dizi için deney koşulları Tablo 2.8'de verilmektedir.

Tablo 2.8. DLC ve TiN kaplama malzemeleri için deneysel koşullar

		Faktörler (Tasarım 1 için)							
		A		B		C		D	
Deney no	Deney adı	Malzeme cinsi		Matkap çapı [mm]		Kaplama malzemesi		Devir sayısı [dev/dak]	
1	D1	1	Al	1	6	1	DLC	1	125
2	D2	1	Al	1	6	2	TiN	2	250
3	D3	2	CuZn	2	10	1	DLC	1	125
4	D4	2	CuZn	2	10	2	TiN	2	250
5	D5	1	Al	2	10	1	DLC	2	250
6	D6	1	Al	2	10	2	TiN	1	125
7	D7	2	CuZn	1	6	1	DLC	2	250
8	D8	2	CuZn	1	6	2	TiN	1	125

2.4.3. İstatiksel analiz

Taguchi L8 deney düzeneğine göre önerilen matkap çapı, kaplama malzemesi ve devir sayısı parametreleri doğrultusunda hazırlanan ve/veya temin edilen Al sonra da CuZn deney parçaları (blokları) üzerinde gerçekleştirilen delik delme operasyonu deney verileri (farklı yanıt değişkenleri için) kullanılarak her bir deney için yanıt değişkenlerini ayrı ayrı değerlendirmek suretiyle, en iyi delik delme operasyon parametre seviyelerinin tespit edilmesine çalışılmıştır. Çalışma kapsamında sadece ana etkiler göz önünde bulundurulmuştur.

Yine Minitab 17 paket programı kullanılarak her bir deney veri grubu için ANOVA testi uygulanmış, deney parametrelerinin yanıt değişkenleri üzerindeki etkilerinin anlamlılık düzeyleri incelenmiştir.

Ayrıca çalışma kapsamında elde edilen tüm delik delme operasyonları deney verileri için regresyon analizi gerçekleştirilerek, her bir yanıt değişkeni için tüm parametrelerin farklı seviyelerini içeren regresyon denklemleri hesaplanmıştır.

2.4.3.1. Kapsız ve DLC kaplı takımda oluşan Fx kuvveti

Kapsız ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Fx kuvvetinin ham verilerinin analizlerinden elde edilmiş olan Tablo 2.9 ve 2.10'dan görüldüğü üzere, Fx kuvveti için en etkili parametre sıralaması, matkap çapı, devir sayısı, malzeme cinsi ve kaplama malzemesi şeklindedir.

Tablo 2.9. Ortalamalar için yanıt tablosu

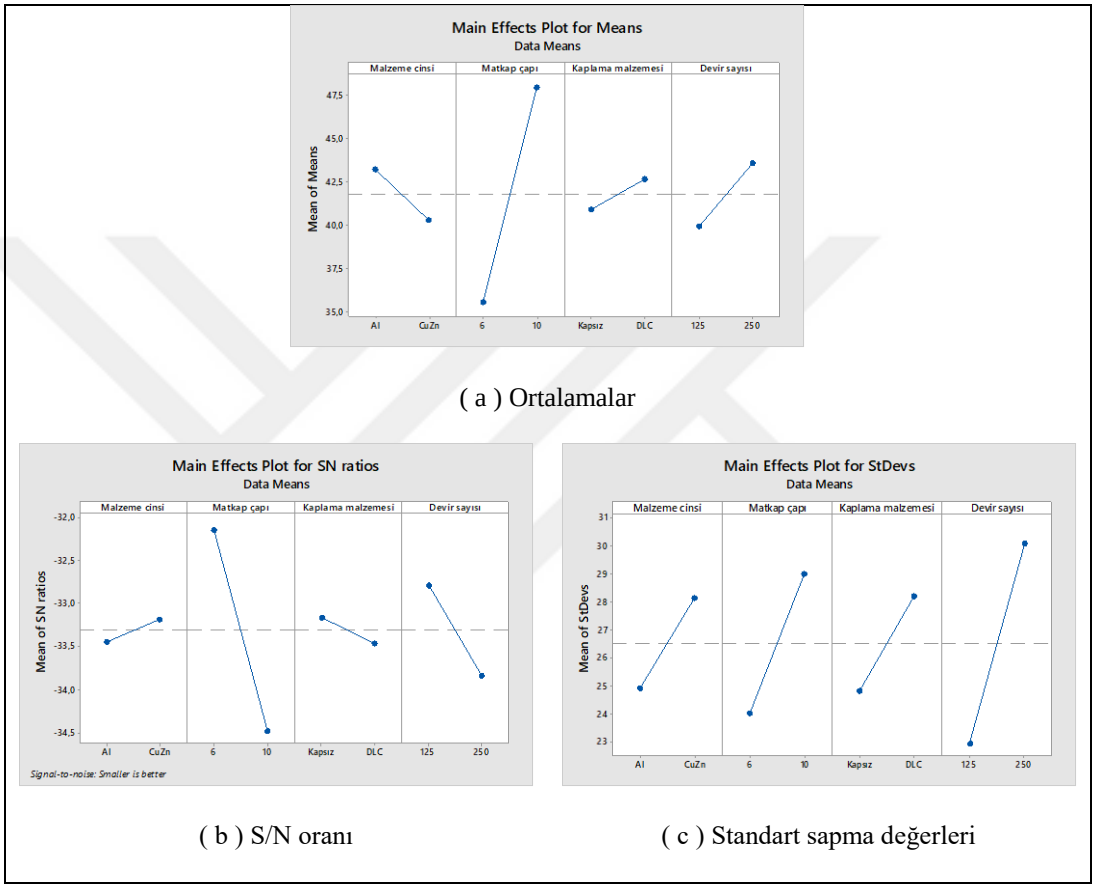
Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**43,25**	35,59	40,91	39,96
2	40,33	**47,99**	**42,67**	**43,62**
Delta	2,91	12,40	1,76	3,65
Sıralama	3	1	4	2

Tablo 2.10. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**-33,45**	-32,15	-33,16	-32,79
2	-33,18	**-34,48**	**-33,47**	**-33,84**
Delta	0,27	2,33	0,30	1,05
Sıralama	4	1	3	2

Matkap çapı parametresinin ve sonrasında da devir sayısının diğerlerine göre çok daha etkili olduğu Şekil 2.7 üzerinden de görülmektedir.

Fx kuvveti yanıt değişkenini eniyileyen parametre seviyeleri matkap çapı için 2., devir sayısı için 2., malzeme cinsi için 1. ve kaplama malzemesi için ise 2. seviye olarak belirlenmiştir.



(a) Ortalamalar

(b) S/N oranı

(c) Standart sapma değerleri

Şekil 2.7. Kapsız ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Fx için ana etki grafikleri

Fx kuvveti verileri standart sapma değerleri incelendiğinde parametre önem sırasının az da olsa değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Devir sayısı parametresinin farklı seviyeleri standart sapma değerlerini oldukça etkilemektedir. Sonuçlar üzerinde en fazla değişkenlik yaratan ve kontrol edilmesi mutlak olan parametre olduğu açıktır. Bu kapsamda, Tablo 2.11 incelendiğinde standart sapma değerleri açısından devir sayısı parametresinin matkap çapına göre daha etkili olduğu görülmektedir. Deneysel verilerin standart sapma değerleri dikkate alındığında, sonuçlar üzerinde en etkili parametre sıralaması değişmekle birlikte 1. ve 2. parametrelerin önerilen seviyeleri değişkenlik göstermemektedir.

Tablo 2.11. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	24,91	24,03	24,83	22,96
2	**28,12**	**29,00**	**28,20**	**30,08**
Delta	3,22	4,97	3,37	7,12
Sıralama	4	2	3	1

Kapsız ve DLC kaplı matkap uçlarıyla gerçekleştirilen delme operasyonundan elde edilen Fx verileri kullanılarak gerçekleştirilen Varyans analizi sonuçları Tablo 2.12'de yer almaktadır.

Tablo 2.12. Kapsız ve DLC kaplı matkap ucu varyans analizi

Kaynak	**SD**	**Adj SS**	**Adj MS**	**F-Value**	**P-Value**
Regresyon	4	237,095	59,274	29,50	0,010
Malzeme cinsi	1	68,973	68,973	34,33	0,010
Matkap çapı	1	157,975	157,975	78,63	0,003
Kaplama	1	0,000	0,000	0,00	0,998
Devir sayısı	1	10,148	10,148	5,05	0,110
Hata	3	6,028	2,009		
Toplam	7	243,123			
Model Özeti					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
1,41746	%97,52	%94,22	%82,37		

Varyans analizi sonuçları dikkate alındığında ise, modelin Fx kuvveti deneysel verilerini tahmin etmede %82,37 oranında başarılı olduğu görülmüştür. P-Value (>0,05) değeri, başta kaplama malzemesi ve sonra da devir sayısı parametrelerinin verileri açıklamada anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.

Modele ait regresyon denklemi, deney parametrelerinin farklı seviyelerine göre aşağıdaki şekilde oluşmuştur.

Fx = 19,82 + 0,0 Malzeme cinsi_Al - 5,87 Malzeme cinsi_CuZn + 0,0 Matkap çapı_6 + 8,89 Matkap çapı_10 + 0,0 Kaplama malzemesi_Kapsız - 0,00 Kaplama malzemesi_DLC + 0,0 Devir sayısı_125 - 2,25 Devir sayısı_250

2.4.3.2. Kapsız ve DLC kaplı takımda oluşan Fy kuvveti

Kapsız ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Fy kuvvetinin ham verilerinin analizlerinden elde edilmiş olan Tablo 2.13 ve 2.14'ten görüldüğü üzere, Fy kuvveti

için en etkili parametre sıralaması, malzeme cinsi, devir sayı, matkap çapı, ve kaplama malzemesi şeklindedir.

Tablo 2.13. Ortalamalar için yanıt tablosu

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**210,2**	146,5	**167,4**	143,1
2	119,7	**183,4**	162,5	**186,9**
Delta	90,5	37,0	4,9	43,8
Sıralama	1	3	4	2

Tablo 2.14. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)

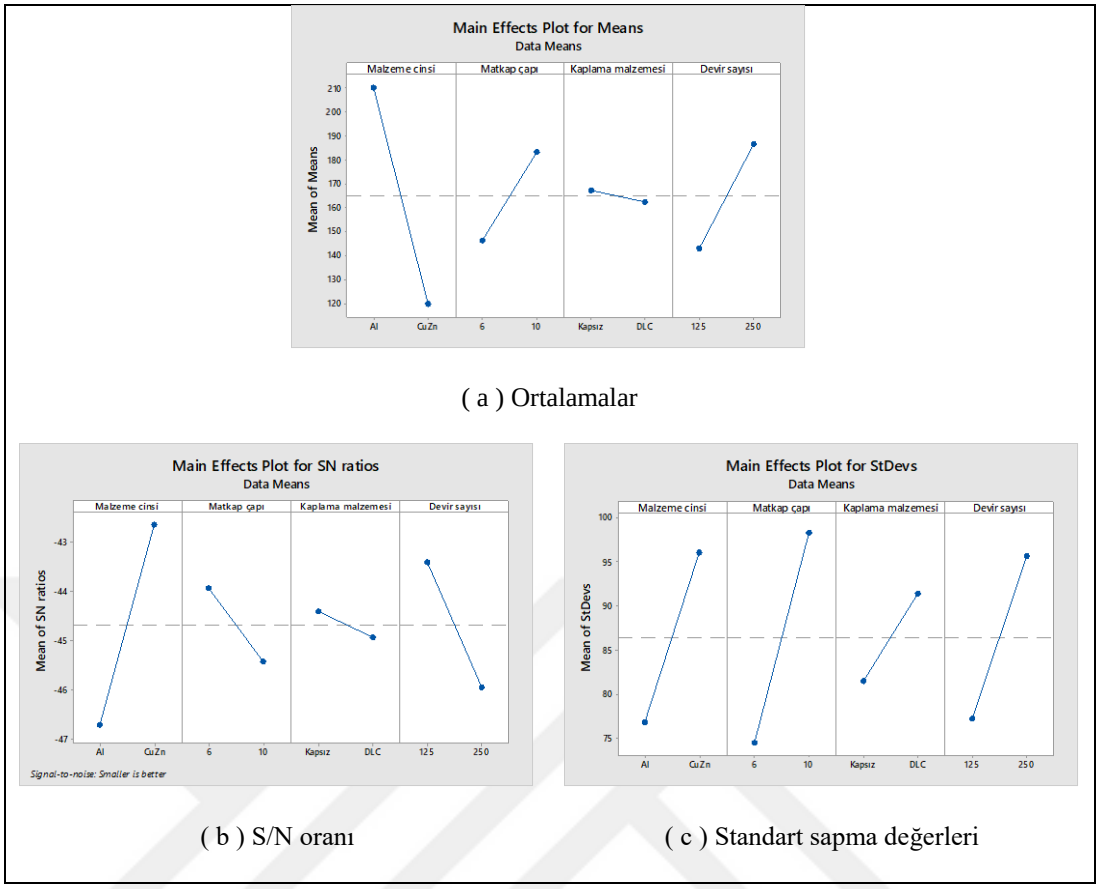
Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**-46,72**	-43,93	-44,41	-43,40
2	-42,63	**-45,42**	**-44,94**	**-45,95**
Delta	4,08	1,48	0,53	2,55
Sıralama	1	3	4	2

Malzeme cinsi parametresinin ve sonrasında da devir sayısının diğerlerine göre çok daha etkili olduğu Şekil 2.8 üzerinden de görülmektedir.

Fy kuvveti yanıt değişkenini eniyileyen parametre seviyeleri malzeme cinsi için 1., devir sayısı için 2.,matkap çapı için 2. ve kaplama malzemesi için ise 1. seviye olarak belirlenmiştir.

Fy kuvveti verileri standart sapma değerleri incelendiğinde parametre önem sırasının az da olsa değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Matkap çapı parametresinin farklı seviyeleri standart sapma değerlerini oldukça etkilemektedir. Sonuçlar üzerinde en fazla değişkenlik yaratan ve kontrol edilmesi mutlak olan parametre olduğu açıktır.

Bu kapsamda, Tablo 2.15 incelendiğinde standart sapma değerleri açısından matkap çapı parametresinin malzeme cinsine göre daha etkili olduğu görülmektedir. Deneysel verilerin standart sapma değerleri dikkate alındığında, sonuçlar üzerinde en etkili parametre sıralaması değişmekle birlikte 1. ve 2. parametrelerin önerilen seviyeleri değişkenlik göstermektedir.



(a) Ortalamalar

(b) S/N oranı

(c) Standart sapma değerleri

Şekil 2.8. Kapsız ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Fy için ana etki grafikleri

Tablo 2.15. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	76,83	74,52	81,49	77,20
2	**96,04**	**98,35**	**91,38**	**95,67**
Delta	19,21	23,83	9,89	18,47
Sıralama	2	1	4	3

Kapsız ve DLC kaplı matkap uçlarıyla gerçekleştirilen delme operasyonundan elde edilen Fy verileri kullanılarak gerçekleştirilen Varyans analizi sonuçları Tablo 2.16'da yer almaktadır.

Tablo 2.16. Kapsız ve DLC kaplı matkap ucu varyans analizi

Kaynak	SD	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regresyon	4	17864,0	4466,0	15,08	0,025
Malzeme cinsi	1	15678,7	15678,7	52,95	0,005
Matkap çapı	1	442,8	442,8	1,50	0,309
Kaplama	1	3,8	3,8	0,01	0,917
Devir sayısı	1	1738,7	1738,7	5,87	0,094
Hata	3	888,3	296,1		
Toplam	7	18752,3			
Model Özeti					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
17,2073	%95,26	%88,95	%66,32		

Varyans analizi sonuçları dikkate alındığında ise, modelin Fy kuvveti deneysel verilerini tahmin etmede %66,32 oranında başarılı olduğu görülmüştür. P-Value (>0,05) değeri, başta kaplama malzemesi ve sonra da sırasıyla matkap çapı, devir sayısı parametrelerinin verileri açıklamada anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.

Modele ait regresyon denklemi, deney parametrelerinin farklı seviyelerine göre aşağıdaki şekilde oluşmuştur.

Fy = 106,7 + 0,0 Malzeme cinsi_Al - 88,5 Malzeme cinsi_CuZn + 0,0 Matkap çapı_6 + 14,9 Matkap çapı_10 + 0,0 Kaplama malzemesi_Kapsız + 1,4 Kaplama malzemesi_DLC + 0,0 Devir sayısı_125 + 29,5 Devir sayısı_250

2.4.3.3. Kapsız ve DLC kaplı takımda oluşan Mz momenti

Kapsız ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Mz momentinin ham verilerinin analizlerinden elde edilmiş olan Tablo 2.17 ve 2.18'den görüldüğü üzere, Mz momenti için en etkili parametre sıralaması, malzeme cinsi, matkap çapı, devir sayısı ve kaplama malzemesi şeklindedir.

Tablo 2.17. Ortalamalar için yanıt tablosu

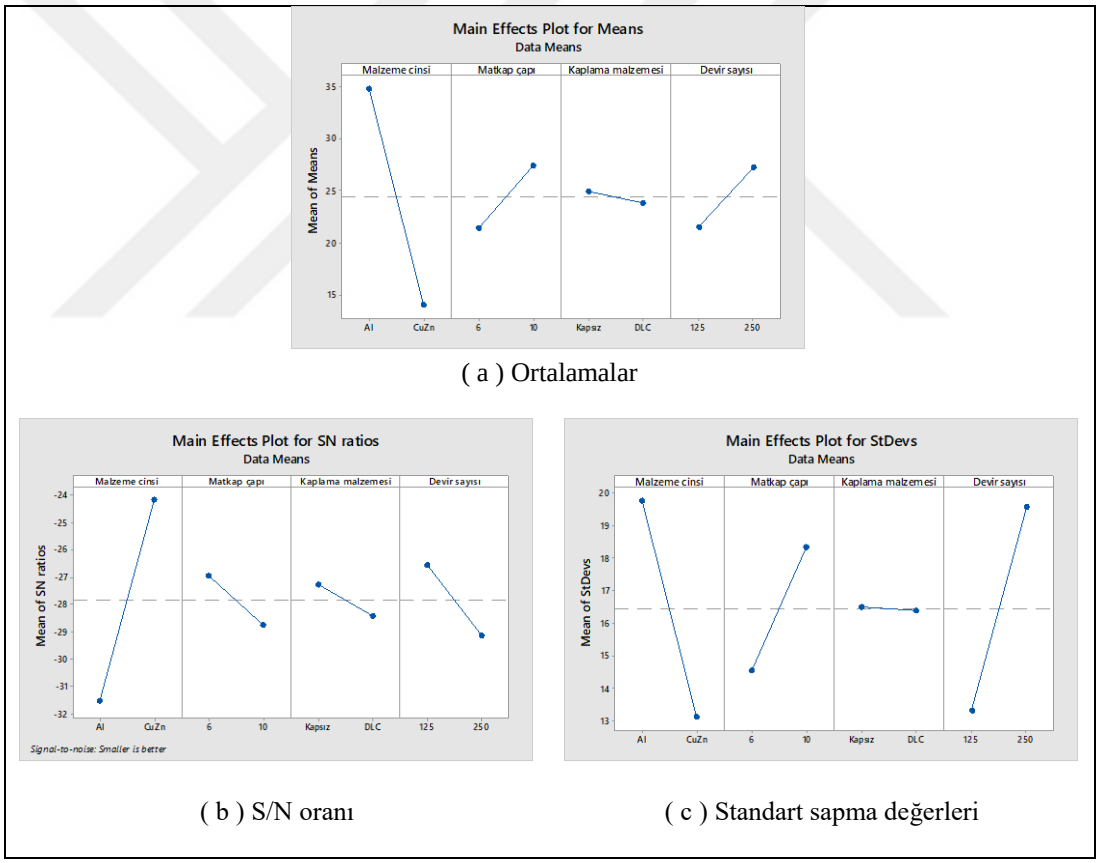
Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**34,84**	21,41	**25,00**	21,57
2	14,02	**27,45**	23,86	**27,29**
Delta	20,83	6,04	1,14	5,72
Sıralama	1	2	4	3

Tablo 2.18. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**-31,53**	-26,94	-27,26	-26,54
2	-24,14	**-28,74**	**-28,41**	**-29,13**
Delta	7,39	1,80	1,15	2,59
Sıralama	1	3	4	2

Malzeme cinsi parametresinin ve sonrasında da matkap çapının diğerlerine göre çok daha etkili olduğu Şekil 2.9 üzerinden de görülmektedir.

Mz momenti yanıt değişkenini eniyileyen parametre seviyeleri malzeme cinsi için 1., devir sayısı için 2., matkap çapı için 2. ve kaplama malzemesi için ise 2. seviye olarak belirlenmiştir.



(a) Ortalamalar

(b) S/N oranı

(c) Standart sapma değerleri

Şekil 2.9. Kapsız ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Mz için ana etki grafikleri

Mz momenti verileri standart sapma değerleri incelendiğinde parametre önem sırasının az da olsa değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Malzeme cinsi parametresinin farklı seviyeleri standart sapma değerlerini oldukça etkilemektedir. Sonuçlar üzerinde en fazla değişkenlik yaratan ve kontrol edilmesi mutlak olan parametre olduğu açıktır. Bu

kapsamda, Tablo 2.19 incelendiğinde standart sapma değerleri açısından da malzeme cinsi parametresinin diğerlerine göre daha etkili olduğu görülmektedir. Deneysel verilerin standart sapma değerleri dikkate alındığında, sonuçlar üzerinde en etkili parametre sıralaması değişmekle birlikte 1. ve 2. parametrelerin önerilen seviyeleri değişkenlik göstermemektedir.

Tablo 2.19. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**19,77**	14,56	**16,50**	13,32
2	13,12	**18,33**	16,39	**19,57**
Delta	6,65	3,78	0,11	6,25
Sıralama	1	3	4	2

Kapsız ve DLC kaplı matkap uçlarıyla gerçekleştirilen delme operasyonundan elde edilen Mz verileri kullanılarak gerçekleştirilen Varyans analizi sonuçları Tablo 2.20'de yer almaktadır.

Tablo 2.20. Kapsız ve DLC kaplı matkap ucu varyans analizi

Kaynak	**SD**	**Adj SS**	**Adj MS**	**F-Value**	**P-Value**
Regresyon	4	254,690	63,673	6,36	0,080
Malzeme cinsi	1	237,075	237,075	23,68	0,017
Matkap çapı	1	8,141	8,141	0i81	0,434
Kaplama	1	6,864	6,864	0,69	0,468
Devir sayısı	1	2,611	2,611	0,26	0,645
Hata	3	30,032	10,011		
Toplam	7	284,722			
Model Özeti					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
3,16399	%89,45	%75,39	%24,99		

Varyans analizi sonuçları dikkate alındığında ise, modelin Mz momenti deneysel verilerini tahmin etmede (%24,99 oranında) başarılı olmadığı görülmüştür. P-Value (>0,05) değeri, başta devir sayısı ve sonra da sırasıyla kaplama malzemesi, matkap çapı parametrelerinin verileri açıklamada anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.

Modele ait regresyon denklemi, deney parametrelerinin farklı seviyelerine göre aşağıdaki şekilde oluşmuştur.

Mz = 13,38 + 0,0 Malzeme cinsi_Al - 10,89 Malzeme cinsi_CuZn + 0,0 Matkap çapı_6 + 2,02 Matkap çapı_10 + 0,0 Kaplama malzemesi_Kapsız + 1,85 Kaplama malzemesi_DLC + 0,0 Devir sayısı_125 - 1,14 Devir sayısı_250

2.4.3.4. TiN ve DLC kaplı takımda oluşan Fx kuvveti

TiN ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Fx kuvvetinin ham verilerinin analizlerinden elde edilmiş olan Tablo 2.21 ve 2.22'den görüldüğü üzere, F_x kuvveti için en etkili parametre sıralaması, malzeme cinsi, kaplama malzemesi, matkap çapı ve devir sayısı şeklindedir.

Tablo 2.21. Ortalamalar için yanıt tablosu

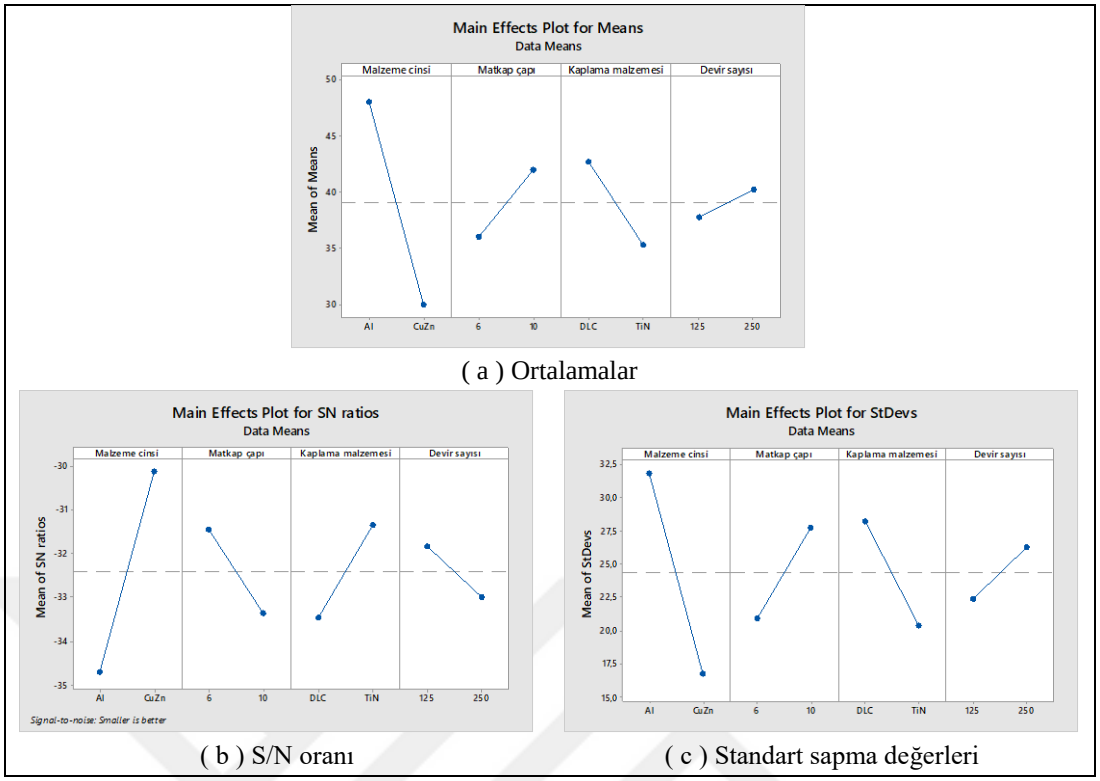
Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**48,05**	36,06	**42,67**	37,77
2	29,96	**41,95**	35,34	**40,23**
Delta	18,08	5,89	7,33	2,46
Sıralama	1	3	2	4

Tablo 2.22. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**-34,70**	-31,45	**-33,47**	-31,82
2	-30,11	**-33,36**	-31,34	**-32,99**
Delta	4,59	1,91	2,12	1,17
Sıralama	1	3	2	4

Malzeme cinsi parametresinin ve sonrasında da kaplama malzemesinin diğerlerine göre çok daha etkili olduğu Şekil 2.10 üzerinden de görülmektedir.

Fx kuvveti yanıt değişkenini eniyileyen parametre seviyeleri matkap çapı için 2., devir sayısı için 2., malzeme cinsi için 1. ve kaplama malzemesi için ise 2. seviye olarak belirlenmiştir.



(a) Ortalamalar

(b) S/N oranı

(c) Standart sapma değerleri

Şekil 2.10. TiN ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Fx için ana etki grafikleri

Fx kuvveti verileri standart sapma değerleri incelendiğinde parametre önem sırasının değişkenlik göstermediği görülmektedir. Malzeme cinsi parametresinin farklı seviyeleri standart sapma değerlerini oldukça etkilemektedir. Sonuçlar üzerinde en fazla değişkenlik yaratan ve kontrol edilmesi mutlak olan parametre olduğu açıktır. Bu kapsamda, Tablo 2.23 incelendiğinde standart sapma değerleri açısından malzeme cinsi parametresinin diğerlerine göre daha etkili olduğu görülmektedir. Deneysel verilerin standart sapma değerleri dikkate alındığında, sonuçlar üzerinde en etkili parametre sıralaması değişmemekle birlikte 1. ve 2. parametrelerin önerilen seviyeleri de değişkenlik göstermemektedir.

Tablo 2.23 Standart sapma değerleri için yanıt tablosu

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**31,84**	20,89	**28,20**	22,36
2	16,76	**27,71**	20,39	**26,24**
Delta	15,08	6,82	7,81	3,88
Sıralama	1	3	2	4

TiN ve DLC kaplı matkap uçlarıyla gerçekleştirilen delme operasyonundan elde edilen Fx verileri kullanılarak gerçekleştirilen Varyans analizi sonuçları Tablo 2.24'te yer almaktadır.

Tablo 2.24. TiN ve DLC kaplı matkap ucu varyans analizi

Kaynak	SD	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regresyon	4	81,416	20,3540	0,46	0,767
Malzeme cinsi	1	71,820	71,8201	1,62	0,293
Matkap çapı	1	1,970	1,9701	0,04	0,847
Kaplama	1	7,277	7,2771	0,16	0,713
Devir sayısı	1	0,349	0,3486	0,01	0,935
Hata	3	133,280	44,4267		
Toplam	7	214,696			
Model Özeti					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
6,66534	%37,92	%0,00	%0,00		

Varyans analizi sonuçları dikkate alındığında ise, modelin Fx kuvveti deneysel verilerini tahmin etmede (%0,00 oranında) başarız olduğu görülmüştür. P-Value (>0,05) değeri, başta devir sayısı olmak üzere tüm diğer parametrelerin verileri açıklamada anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.

Modele ait regresyon denklemi, deney parametrelerinin farklı seviyelerine göre aşağıdaki şekilde oluşmuştur.

Fx = 22,49 + 0,0 Malzeme cinsi_Al - 5,99 Malzeme cinsi_CuZn + 0,0 Matkap çapı_6 + 0,99 Matkap çapı_10 + 0,0 Kaplama malzemesi_DLC - 1,91 Kaplama malzemesi_TiN + 0,0 Devir sayısı_125 + 0,42 Devir sayısı_250

2.4.3.5. TiN ve DLC kaplı takımda oluşan Fy kuvveti

TiN ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Fx kuvvetinin ham verilerinin analizlerinden elde edilmiş olan Tablo 2.25 ve 2.26'dan görüldüğü üzere, Fy kuvveti için en etkili parametre sıralaması, malzeme cinsi, kaplama malzemesi, matkap çapı ve devir sayısı şeklindedir.

Tablo 2.25. Ortalamalar için yanıt tablosu

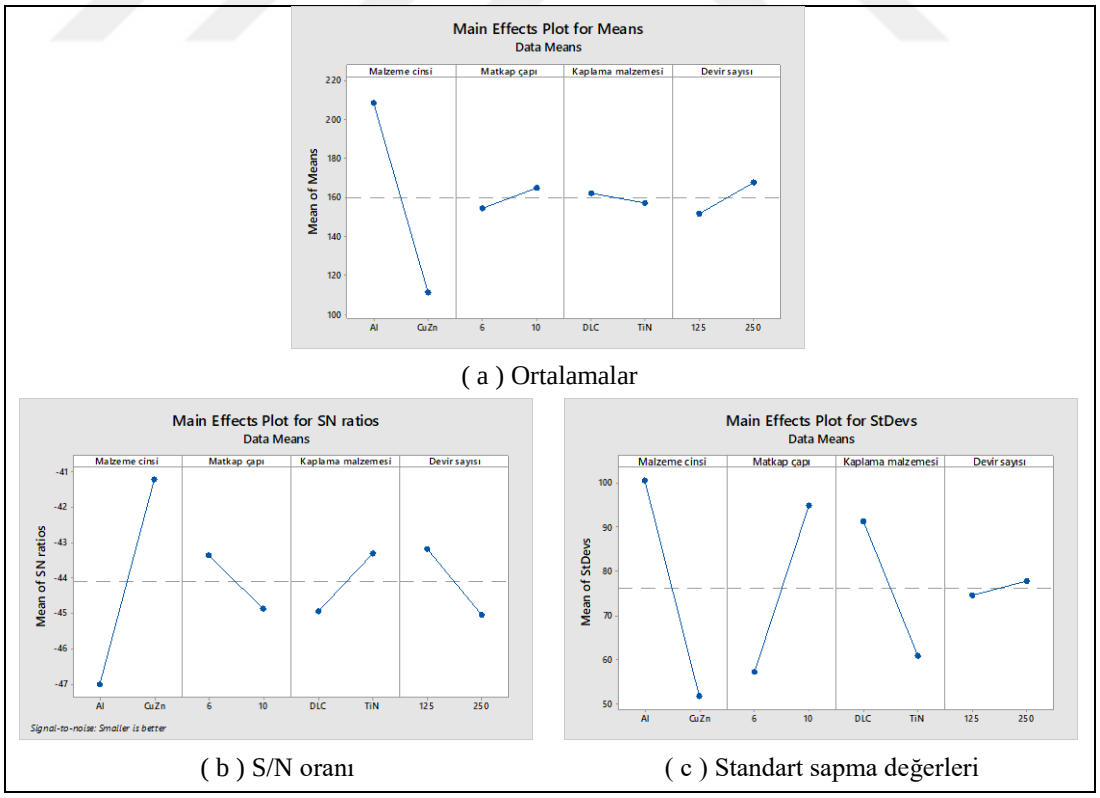
Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**208,6**	154,7	**162,5**	151,8
2	111,3	**165,2**	157,4	**168,1**
Delta	97,1	10,5	5,1	16,3
Sıralama	1	3	4	2

Tablo 2.26. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**-47,01**	-43,37	**-44,92**	-43,19
2	-41,22	**-44,87**	-43,40	**-45,05**
Delta	5,80	1,49	1,64	1,86
Sıralama	1	4	3	2

Malzeme cinsi parametresinin ve sonrasında da devir sayısı parametresinin diğerlerine göre çok daha etkili olduğu Şekil 2.12 üzerinden de görülmektedir.

Fy kuvveti yanıt değişkenini eniyileyen parametre seviyeleri matkap çapı için 2., devir sayısı için 2., malzeme cinsi için 1. ve kaplama malzemesi için ise 1. seviye olarak belirlenmiştir.



(a) Ortalamalar

(b) S/N oranı

(c) Standart sapma değerleri

Şekil 2.11. TiN ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Fy için ana etki grafikleri

Fy kuvveti verileri standart sapma değerleri incelendiğinde parametre önem sırasının değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Malzeme cinsi parametresinin farklı seviyeleri standart sapma değerlerini oldukça etkilemektedir. Sonuçlar üzerinde en fazla değişkenlik yaratan ve kontrol edilmesi mutlak olan parametre olduğu açıktır. Bu kapsamda, Tablo 2.27 incelendiğinde standart sapma değerleri açısından malzeme cinsi parametresinin diğerlerine göre daha etkili olduğu görülmektedir. Deneysel verilerin standart sapma değerleri dikkate alındığında, sonuçlar üzerinde en etkili parametre sıralaması değişmekle birlikte 1. ve 2. parametrelerin önerilen seviyeleri de değişkenlik göstermemektedir.

Tablo 2.27. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**100,62**	57,28	**91,38**	74,61
2	51,74	**95,09**	60,99	**77,75**
Delta	48,88	37,81	30,39	3,14
Sıralama	1	2	3	4

TiN ve DLC kaplı matkap uçlarıyla gerçekleştirilen delme operasyonundan elde edilen Fy verileri kullanılarak gerçekleştirilen Varyans analizi sonuçları Tablo 2.28'de yer almaktadır.

Tablo 2.28. TiN ve DLC kaplı matkap ucu varyans analizi

Kaynak	**SD**	**Adj SS**	**Adj MS**	**F-Value**	**P-Value**
Regresyon	4	5997,6	1499,40	0,36	0,824
Malzeme cinsi	1	4975,5	4975,53	1,20	0,353
Matkap çapı	1	323,7	323,72	0,08	0,798
Kaplama	1	45,8	45,84	0,01	0,923
Devir sayısı	1	652,5	652,51	0,16	0,718
Hata	3	12411,3	4137,10		
Toplam	7	18408,9			
Model Özeti					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
64,3203	%32,58	%0,00	%0,00		

Varyans analizi sonuçları dikkate alındığında ise, modelin Fy kuvveti deneysel verilerini tahmin etmede (%0,00 oranında) başarız olduğu görülmüştür. P-Value (>0,05) değeri, başta kaplama olmak üzere tüm diğer parametrelerin verileri açıklamada anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.

Modele ait regresyon denklemi, deney parametrelerinin farklı seviyelerine göre aşağıdaki şekilde oluşmuştur.

Fy = 108,3 + 0,0 Malzeme cinsi_Al - 49,9 Malzeme cinsi_CuZn + 0,0 Matkap çapı_6 -12,7 Matkap çapı_10+0,0 Kaplama malzemesi_DLC+ 4,8 Kaplama malzemesi_TiN+ 0,0 Devir sayısı_125 + 18,1 Devir sayısı_250

2.4.3.6. TiN ve DLC kaplı takımda oluşan Mz momenti

TiN ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Mz momentinin ham verilerinin analizlerinden elde edilmiş olan Tablo 2.29 ve 2.30'da görüldüğü üzere, Mz momenti için en etkili parametre sıralaması, malzeme cinsi, matkap çapı devir sayısı ve kaplama malzemesi şeklindedir.

Tablo 2.29. Ortalamalar için yanıt tablosu

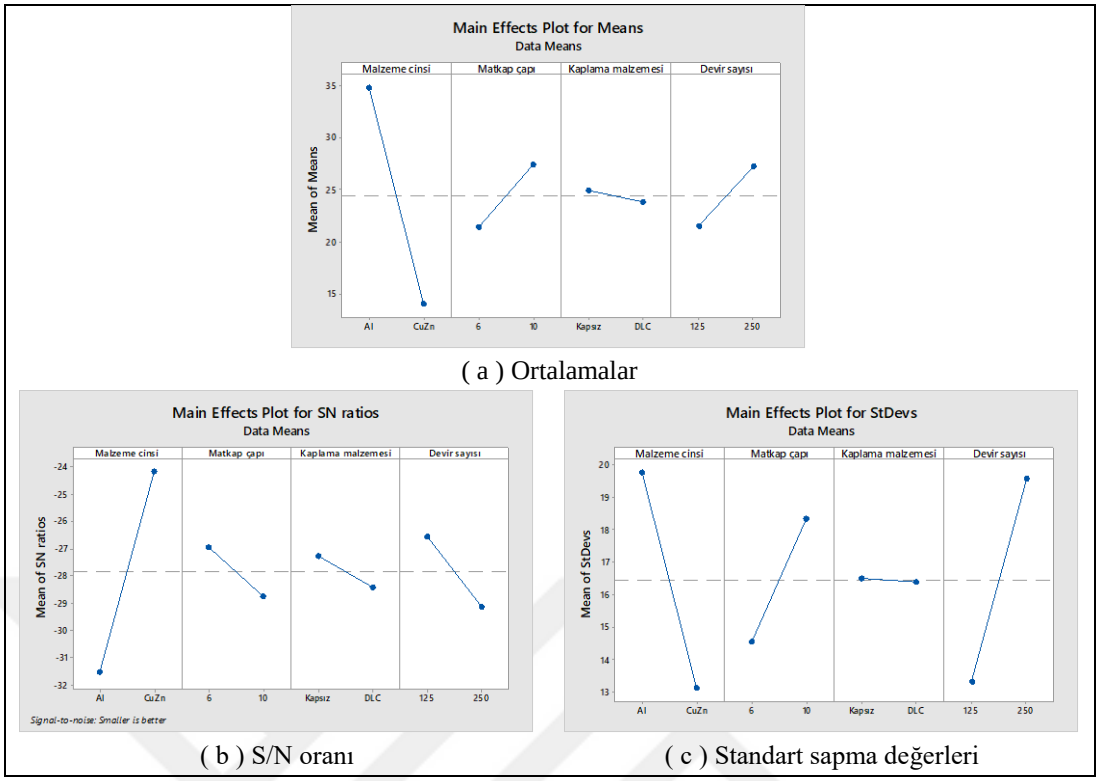
Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**34,84**	21,41	**25,00**	21,57
2	14,02	**27,45**	23,86	**27,29**
Delta	20,83	6,04	1,14	5,72
Sıralama	1	2	4	3

Tablo 2.30. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**-31,53**	-26,94	**-27,26**	-26,54
2	-24,14	**-28,74**	-28,41	**-29,13**
Delta	7,39	1,80	1,15	2,59
Sıralama	1	3	4	2

Malzeme cinsi parametresinin ve sonrasında da matkap çapı parametresinin diğerlerine göre çok daha etkili olduğu Şekil 2.12 üzerinden de görülmektedir.

Mz momenti yanıt değişkenini eniyileyen parametre seviyeleri matkap çapı için 2., devir sayısı için 2., malzeme cinsi için 1. ve kaplama malzemesi için ise 1. seviye olarak belirlenmiştir.



(a) Ortalamalar

(b) S/N oranı

(c) Standart sapma değerleri

Şekil 2.12. TiN ve DLC kaplı matkap ucunda oluşan Mz için ana etki grafikleri

Mz momenti verileri standart sapma değerleri incelendiğinde parametre önem sırasının değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Malzeme cinsi parametresinin farklı seviyeleri standart sapma değerlerini oldukça etkilemektedir. Sonuçlar üzerinde en fazla değişkenlik yaratan ve kontrol edilmesi mutlak olan parametre olduğu açıktır. Bu kapsamda, Tablo 2.31 incelendiğinde standart sapma değerleri açısından malzeme cinsi parametresinin diğerlerine göre daha etkili olduğu görülmektedir. Deneysel verilerin standart sapma değerleri dikkate alındığında, sonuçlar üzerinde en etkili parametre sıralaması değişmekle birlikte 1. ve 2. parametrelerin önerilen seviyeleri de değişkenlik göstermemektedir.

Tablo 2.31. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**19,77**	14,56	**16,50**	13,32
2	13,12	**18,33**	16,39	**19,57**
Delta	6,65	3,78	0,11	6,25
Sıralama	1	3	4	2

TiN ve DLC kaplı matkap uçlarıyla gerçekleştirilen delme operasyonundan elde edilen Mz verileri kullanılarak gerçekleştirilen Varyans analizi sonuçları Tablo 2.32'de yer almaktadır.

Tablo 2.32. TiN ve DLC kaplı matkap ucu varyans analizi

Kaynak	SD	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regresyon	4	254,690	63,673	6,36	0,080
Malzeme cinsi	1	8,141	8,141	0,81	0,434
Matkap çapı	1	6,864	6,864	0,69	0,468
Kaplama	1	2,611	2,611	0,26	0,645
Devir sayısı	1	237,075	237,075	23,68	0,017
Hata	3	30,032	10,011		
Toplam	7	284,722			
Model Özeti					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
3,16393	%89,45	%75,39	%24,99		

Varyans analizi sonuçları dikkate alındığında ise, modelin Mz momenti deneysel verilerini tahmin etmede (%24,99 oranında) başarılı olmadığı görülmüştür. P-Value (>0,05) değeri, devir sayısı parametresi dışında başta kaplama olmak üzere diğer parametrelerin verileri açıklamada anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.

Modele ait regresyon denklemi, deney parametrelerinin farklı seviyelerine göre aşağıdaki şekilde oluşmuştur.

Mz = 13,38 + 0,0 Malzeme cinsi_Al + 2,02 Malzeme cinsi_CuZn + 0,0 Matkap çapı_6 +1,85Matkap çapı_10+0,0 Kaplama malzemesi_DLC-1,14Kaplama malzemesi_TiN+ 0,0 Devir sayısı_125 - 10,89 Devir sayısı_250

2.4.3.7. Kapsız ve TiN kaplı takımda oluşan Fx kuvveti

Kapsız ve TiN kaplı matkap ucunda oluşan Fx kuvvetinin ham verilerinin analizlerinden elde edilmiş olan Tablo 2.33 ve 2.34'ten görüldüğü üzere, Fx kuvveti için en etkili parametre sıralaması, malzeme cinsi,matkap çapı,kaplama malzemesi ve devir sayısı, şeklindedir.

Tablo 2.33. Ortalamalar için yanıt tablosu

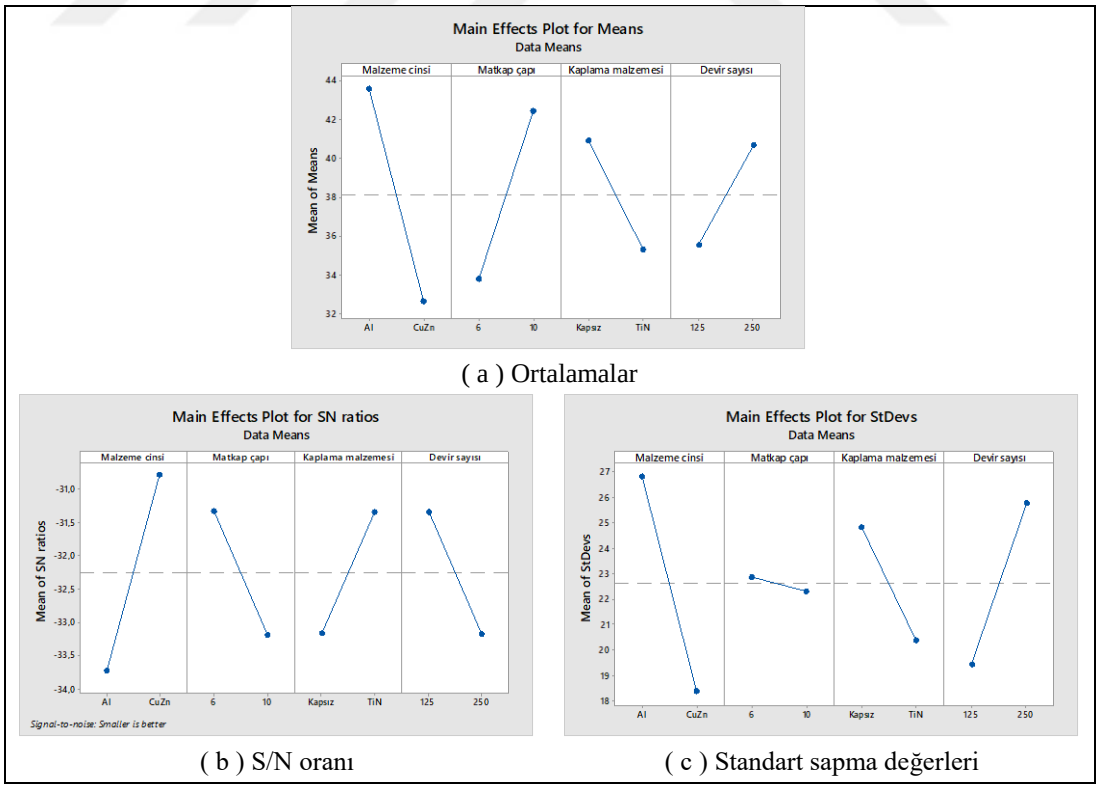
Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**43,60**	33,81	**40,91**	35,57
2	32,66	**42,44**	35,34	**40,68**
Delta	10,94	8,63	5,57	5,11
Sıralama	1	2	3	4

Tablo 2.34. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**-33,73**	-31,32	-33,16	-31,34
2	-30,78	**-33,18**	**-31,34**	**-33,17**
Delta	2,94	1,86	1,82	1,83
Sıralama	1	2	4	3

Malzeme cinsi parametresinin ve sonrasında da matkap çapı diğerlerine göre çok daha etkili olduğu Şekil 2.13 üzerinden de görülmektedir.

Fx kuvveti yanıt değişkenini eniyileyen parametre seviyeleri matkap çapı için 2., devir sayısı için 2., malzeme cinsi için 1. ve kaplama malzemesi için ise 2. seviye olarak belirlenmiştir.



(a) Ortalamalar

(b) S/N oranı

(c) Standart sapma değerleri

Şekil 2.13. Kapsız ve TiN kaplı matkap ucunda oluşan Fx için ana etki grafikleri

Fx kuvveti verileri standart sapma değerleri incelendiğinde parametre önem sırasının az da olsa değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Malzeme cinsi parametresinin farklı seviyeleri standart sapma değerlerini oldukça etkilemektedir. Sonuçlar üzerinde en fazla değişkenlik yaratan ve kontrol edilmesi mutlak olan parametre olduğu açıktır. Bu kapsamda, Tablo 2.35 incelendiğinde standart sapma değerleri açısından malzeme cinsi parametresinin devir sayısına göre daha etkili olduğu görülmektedir. Deneysel verilerin standart sapma değerleri dikkate alındığında, sonuçlar üzerinde en etkili parametre sıralaması değişmekle birlikte 1. ve 2. parametrelerin önerilen seviyeleri değişkenlik göstermemektedir.

Tablo 2.35. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**26,84**	**22,89**	**24,83**	19,45
2	18,38	22,33	20,39	**25,77**
Delta	8,45	0,56	4,44	6,33
Sıralama	1	4	3	2

Kapsız ve TiN kaplı matkap uçlarıyla gerçekleştirilen delme operasyonundan elde edilen Fx verileri kullanılarak gerçekleştirilen Varyans analizi sonuçları Tablo 2.36'da yer almaktadır.

Tablo 2.36. Kapsız ve TiN kaplı matkap ucu varyans analizi

Kaynak	**SD**	**Adj SS**	**Adj MS**	**F-Value**	**P-Value**
Regresyon	4	236,149	59,037	11,15	0,038
Malzeme cinsi	1	46,948	46,948	8,86	0,059
Matkap çapı	1	181,832	181,832	34,33	0,010
Kaplama	1	7,296	7,296	1,38	0,325
Devir sayısı	1	0,072	0,072	0,01	0,914
Hata	3	15,890	5,297		
Toplam	7	252,039			
Model Özeti					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
2,30147	%93,70	%85,29	%55,17		

Varyans analizi sonuçları dikkate alındığında ise, modelin Fx kuvveti deneysel verilerini tahmin etmede %55,17 oranında başarılı olduğu görülmüştür. P-Value (>0,05) değeri, matkap çapı haricinde diğer tüm parametre verilerini açıklamada anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.

Modele ait regresyon denklemi, deney parametrelerinin farklı seviyelerine göre aşağıdaki şekilde oluşmuştur.

Fx = 17,76 + 0,0 Malzeme cinsi_Al - 4,84 Malzeme cinsi_CuZn + 0,0 Matkap çapı_6+9,54Matkap_çapı_10+0,0Kaplama_malzemesi_Kapsız-1,91Kaplama_malzemesi_TiN+ 0,0 Devir sayısı_125 + 0,19 Devir sayısı_250

2.4.3.8. Kapsız ve TiN kaplı takımda oluşan Fy kuvveti

Kapsız ve TiN kaplı matkap ucunda oluşan Fy kuvvetinin ham verilerinin analizlerinden elde edilmiş olan Tablo 2.37 ve 2.38'den görüldüğü üzere, Fy kuvveti için en etkili parametre sıralaması, malzeme cinsi,matkap çapı, devir sayısı ve kaplama malzemesi, şeklindedir.

Tablo 2.37. Ortalamalar için yanıt tablosu

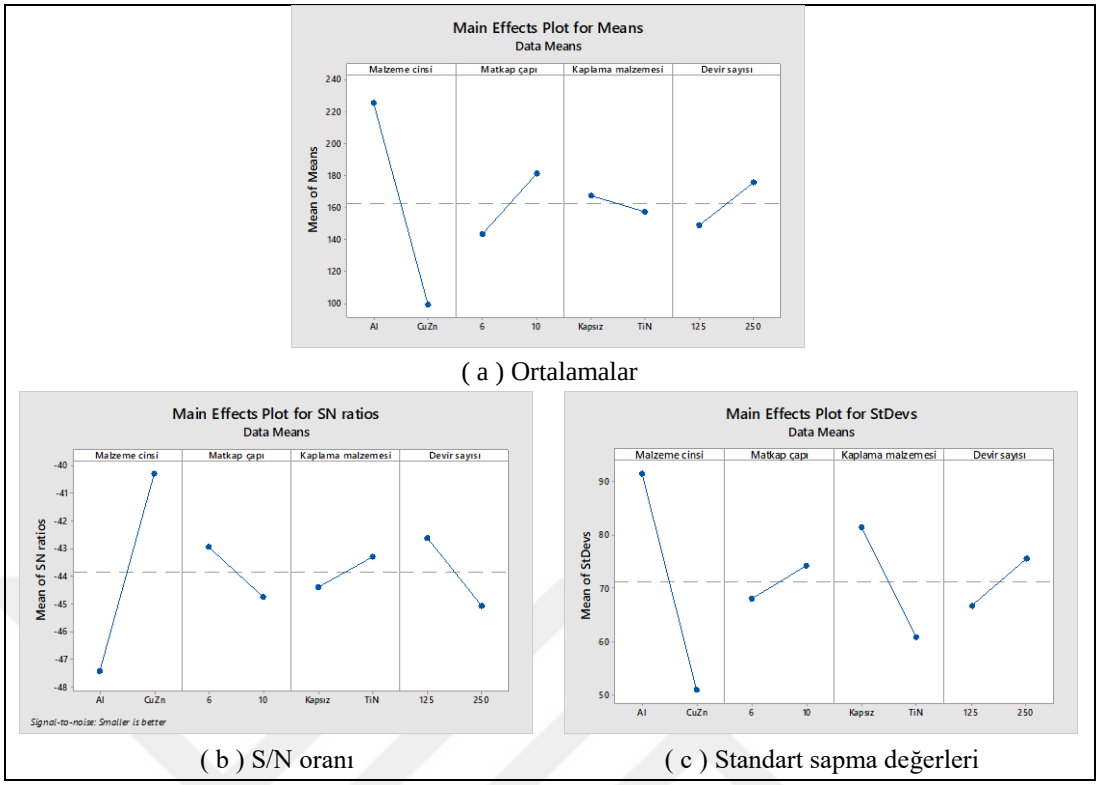
Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**225,51**	143,54	**167,42**	148,95
2	99,29	**181,26**	157,39	**175,85**
Delta	126,22	37,72	10,03	26,89
Sıralama	1	2	4	3

Tablo 2.38. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**-47,42**	-42,95	-44,41	-42,64
2	-40,29	**-44,76**	**-43,30**	**-45,07**
Delta	7,14	1,80	1,11	2,44
Sıralama	1	3	4	2

Malzeme cinsi parametresinin ve sonrasında da matkap çapı diğerlerine göre çok daha etkili olduğu Şekil 2.14 üzerinden de görülmektedir.

Fy kuvveti yanıt değişkenini eniyileyen parametre seviyeleri matkap çapı için 2., devir sayısı için 2., malzeme cinsi için 1. ve kaplama malzemesi için ise 1. seviye olarak belirlenmiştir.



(a) Ortalamalar

(b) S/N oranı

(c) Standart sapma değerleri

Şekil 2.14. Kapsız ve TiN kaplı matkap ucunda oluşan Fy için ana etki grafikleri

Fy kuvveti verileri standart sapma değerleri incelendiğinde parametre önem sırasının az da olsa değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Malzeme cinsi parametresinin farklı seviyeleri standart sapma değerlerini oldukça etkilemektedir. Sonuçlar üzerinde en fazla değişkenlik yaratan ve kontrol edilmesi mutlak olan parametre olduğu açıktır. Bu kapsamda, Tablo 2.39 incelendiğinde standart sapma değerleri açısından malzeme cinsi parametresinin kaplama malzemesine göre daha etkili olduğu görülmektedir. Deneysel verilerin standart sapma değerleri dikkate alındığında, sonuçlar üzerinde en etkili parametre sıralaması değişmekle birlikte 1. ve 2. parametrelerin önerilen seviyeleri değişkenlik göstermemektedir.

Tablo 2.39. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**91,52**	**68,17**	**81,49**	66,83
2	50,95	74,31	60,99	**75,65**
Delta	40,57	6,14	20,51	8,82
Sıralama	1	4	2	3

Kapsız ve TiN kaplı matkap uçlarıyla gerçekleştirilen delme operasyonundan elde edilen Fy verileri kullanılarak gerçekleştirilen Varyans analizi sonuçları Tablo 2.40'da yer almaktadır.

Tablo 2.40. Kapsız ve TiN kaplı matkap ucu varyans analizi

Kaynak	**SD**	**Adj SS**	**Adj MS**	**F-Value**	**P-Value**
Regresyon	4	13849,0	3462,3	3,46	0,168
Malzeme cinsi	1	11484,5	11484,5	11,48	0,043
Matkap çapı	1	1666,1	1666,1	1,66	0,287
Kaplama	1	76,0	76,0	0,08	0,801
Devir sayısı	1	622,5	622,5	0,62	0,488
Hata	3	3002,2	1000,7		
Toplam	7	16851,2			
Model Özeti					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
31,6342	%82,18	%58,43	%0,00		

Varyans analizi sonuçları dikkate alındığında ise, modelin Fx kuvveti deneysel verilerini tahmin etmede %00,00 oranında başarılı olmadığı görülmüştür. P-Value (>0,05) değeri, malzeme cinsi haricinde diğer tüm parametre verilerini açıklamada anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.

Modele ait regresyon denklemi, deney parametrelerinin farklı seviyelerine göre aşağıdaki şekilde oluşmuştur.

Fy = 99,2 + 0,0 Malzeme cinsi_Al - 75,8 Malzeme cinsi_CuZn + 0,0 Matkap çapı_6 +28,9 Matkap çapı_10 + 0,0Kaplama malzemesi_DLC+6,2Kaplama malzemesi_TiN+ 0,0 Devir sayısı_125 + 17,6 Devir sayısı_250

2.4.3.9. Kapsız ve TiN kaplı takımda oluşan Mz momenti

Kapsız ve TiN kaplı matkap ucunda oluşan Mz momenti ham verilerinin analizlerinden elde edilmiş olan Tablo 2.41 ve 2.42'den görüldüğü üzere, Mz momenti için en etkili parametre sıralaması, malzeme cinsi,matkap çapı, devir sayısı ve kaplama malzemesi, şeklindedir.

Tablo 2.41. Ortalamalar için yanıt tablosu

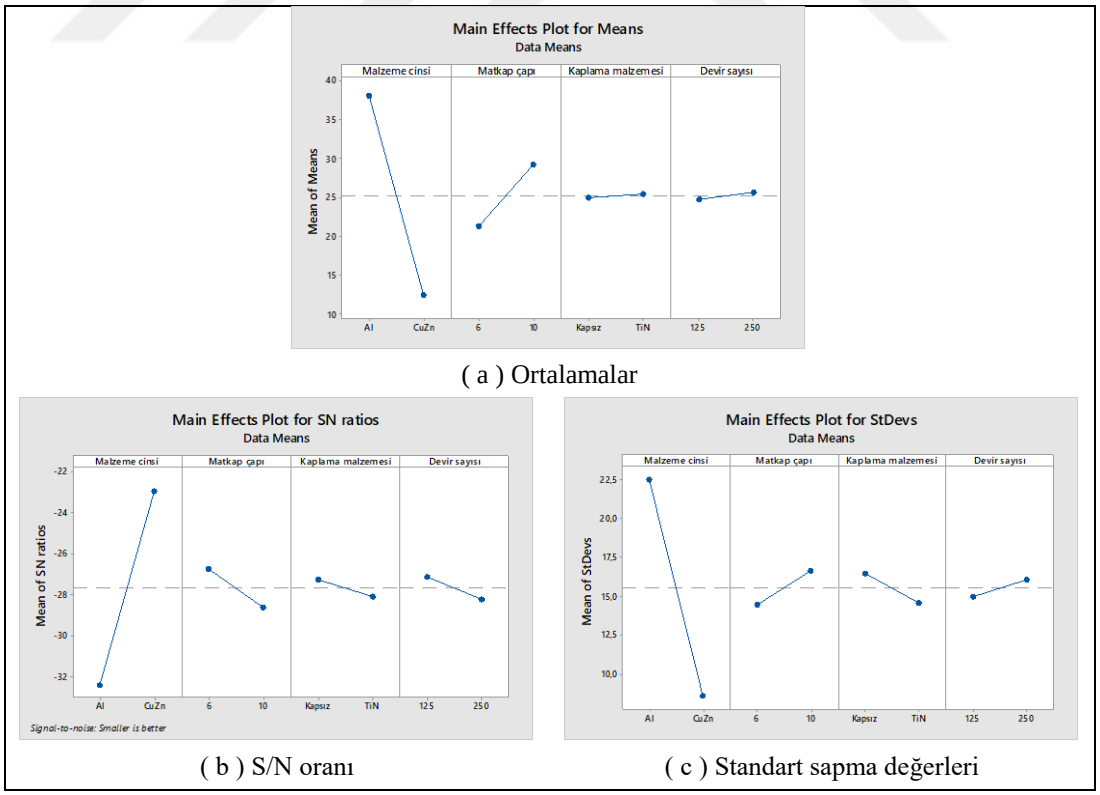
Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**38,05**	21,26	**25,00**	24,77
2	12,43	**29,23**	25,48	**25,71**
Delta	25,62	7,97	0,48	0,94
Sıralama	1	2	4	3

Tablo 2.42. Sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu (en küçük en iyi)

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**-32,39**	-26,74	-27,26	-27,13
2	-22,96	**-28,61**	**-28,09**	**-28,22**
Delta	9,42	1,88	0,82	1,09
Sıralama	1	2	4	3

Malzeme cinsi parametresinin ve sonrasında da matkap çapı diğerlerine göre çok daha etkili olduğu Şekil 2.15 üzerinden de görülmektedir.

Mz momenti yanıt değişkenini eniyileyen parametre seviyeleri matkap çapı için 2., devir sayısı için 2., malzeme cinsi için 1. ve kaplama malzemesi için ise 1. seviye olarak belirlenmiştir.



(a) Ortalamalar

(b) S/N oranı

(c) Standart sapma değerleri

Şekil 2.15. Kapsız ve TiN kaplı matkap ucunda oluşan Mz için ana etki grafikleri

Mz momenti verileri standart sapma değerleri incelendiğinde parametre önem sırasının az da olsa değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Malzeme cinsi parametresinin farklı seviyeleri standart sapma değerlerini oldukça etkilemektedir. Sonuçlar üzerinde en fazla değişkenlik yaratan ve kontrol edilmesi mutlak olan parametre olduğu açıktır. Bu kapsamda, Tablo 2.43 incelendiğinde standart sapma değerleri açısından malzeme cinsi parametresinin matkap çapına göre daha etkili olduğu görülmektedir. Deneysel verilerin standart sapma değerleri dikkate alındığında, sonuçlar üzerinde en etkili parametre sıralaması değişmekle birlikte 1. ve 2. parametrelerin önerilen seviyeleri değişkenlik göstermektedir.

Tablo 2.43. Standart sapma değerleri için yanıt tablosu

Seviye	Malzeme cinsi	Matkap çapı	Kaplama	Devir sayısı
1	**22,534**	**14,454**	**16,502**	15,005
2	8,579	16,659	14,611	**16,108**
Delta	13,955	2,204	1,891	1,103
Sıralama	1	2	3	4

Kapsız ve TiN kaplı matkap uçlarıyla gerçekleştirilen delme operasyonundan elde edilen Mz momenti verileri kullanılarak gerçekleştirilen Varyans analizi sonuçları Tablo 2.44'te yer almaktadır.

Tablo 2.44. Kapsız ve TiN kaplı matkap ucu varyans analizi

Kaynak	**SD**	**Adj SS**	**Adj MS**	**F-Value**	**P-Value**
Regresyon	4	275,656	68,914	2,18	0,274
Malzeme cinsi	1	203,213	203,213	6,43	0,085
Matkap çapı	1	63,169	63,169	2,00	0,252
Kaplama	1	5,184	5,184	0,16	0,713
Devir sayısı	1	4,090	4,090	0,13	0,743
Hata	3	94,788	31,596		
Toplam	7	370,444			
Model Özeti					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
5,62104	%74,41	%40,30	%0,00		

Varyans analizi sonuçları dikkate alındığında ise, modelin Mz momenti deneysel verilerini tahmin etmede %00,00 oranında başarılı olmadığı görülmüştür. P-Value (>0,05) değeri, tüm parametre verilerini açıklamada anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.

Modele ait regresyon denklemi, deney parametrelerinin farklı seviyelerine göre aşağıdaki şekilde oluşmuştur.

Mz = 11,32 + 0,0 Malzeme cinsi_Al - 10,08 Malzeme cinsi_CuZn + 0,0 Matkap çapı_6+ 5,62 Matkap çapı_10 + 0,0 Kaplama malzemesi_Kapsız + 1,61 Kaplama malzemesi_TiN + 0,0 Devir sayısı_125 - 1,43 Devir sayısı_250

2.5. Delme Esnasında Ortaya Çıkan Kuvvetler

Yapılan deneylerde deneyler DAL01, DAL02 gibi değişen parametrelere göre adlandırılmıştır. Soğutma sıvısı olmadan yapılan deneyler ise DAL01K, DAL02K şeklinde isimlendirilmiştir.

Soğutma sıvısıyla yapılan deney sonucunda ortaya çıkan Fx,Fy,Fz ve Mz kuvvetlerinin grafikleri Ek-A'da DAL01, DAL02 ve DAL03 olarak, Tablo 2.45'teki sıra ile verilmiştir. Ayrıca soğutma sıvısı ile yapılan delme esnasında ortaya çıkan Mz, Fx, Fz, Fy kuvvetleri Tablo 2.45 'de görülmektedir.

Tablo 2.45. Soğutma sıvısı ile yapılan delme işlemlerindeki kuvvetler

					Mz (Nm)		Fx (N)		Fy (N)		Fz (N)	
Deney	Malzeme	Çap	Takım Durumu	Kesme Hızı	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
DAL01	Aluminyum	Ø6	Kaplamasız	125 d/dak	18,14	31,65	17,78	26,09	139,24	165,71	-26,4	19,38
DAL02	Aluminyum	Ø6	TiN	250 d/dak	18,47	35,89	18,77	31,2	119,25	179,98	-27,31	26,25
DAL03	Aluminyum	Ø10	Kaplamasız	250 d/dak	43,78	59,45	34,71	50,28	278,32	338,59	-33,57	26,86
DAL04	Aluminyum	Ø10	TiN	125 d/dak	39,82	57,77	32,88	67,37	248,34	337,52	-32,2	12,66
DAL05	Pirinç	Ø6	Kaplamasız	250 d/dak	5,83	13,23	4,12	23,04	49,97	88,12	-18,46	65,31
DAL06	Pirinç	Ø6	TiN	125 d/dak	8,17	21,84	14,34	30,29	57,6	122,68	-21,82	18,77
DAL07	Pirinç	Ø10	Kaplamasız	125 d/dak	9,43	21,03	20,83	31,2	77,82	121,46	-25,79	14,04
DAL08	Pirinç	Ø10	TiN	250 d/dak	8,41	27,37	23,5	48,83	65,54	115,43	-41,05	37,23
DAL09	Aluminyum	Ø6	DLC	250 d/dak	13,5	28,39	18,77	35,93	101,85	152,97	-21,67	31,59
DAL10	Aluminyum	Ø10	DLC	125 d/dak	39,93	52,23	26,86	45,24	258,87	304,26	-38,76	10,99
DAL11	Pirinç	Ø6	DLC	125 d/dak	3,29	37,97	14,65	40,51	57,53	187,38	-40,28	29,6
DAL12	Pirinç	Ø10	DLC	250 d/dak	4,38	23,18	17,55	38,91	66,83	130,23	-26,7	25,18

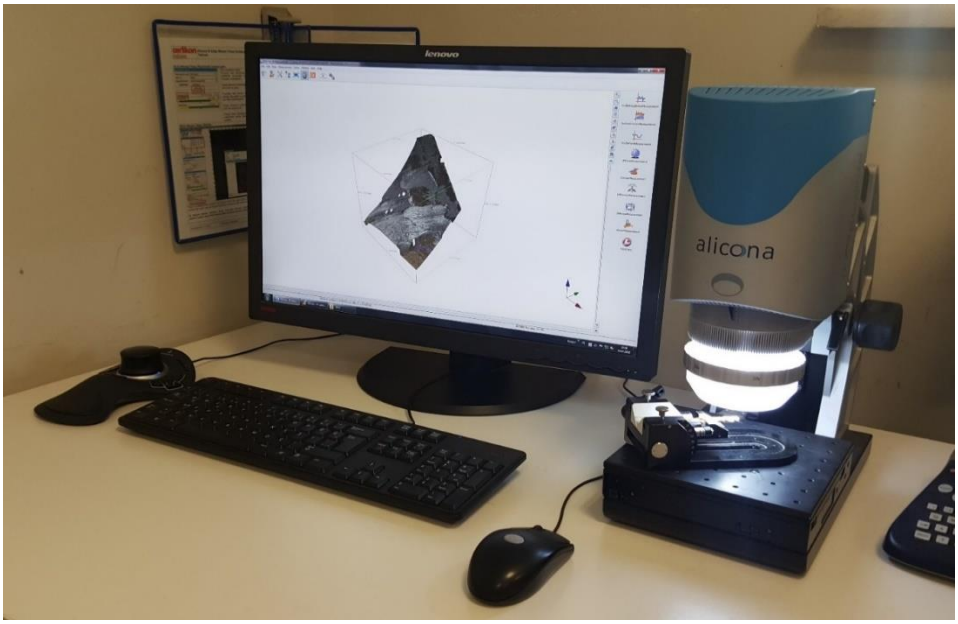
Soğutma sıvısı olmadan yapılan deneyler sonuna ''K'' harfi getirilerek tanımlanmış ve yapılan delme işlemlerinde elde edilen grafikler Ek-B'de DAL01K, DAL02K ve DAL03K olarak, Tablo 2.46'daki sıraya göre verilmiştir. Ayrıca soğutma sıvısı kullanılmadan yapılan delme işlemlerine ait Mz, Fx, Fy ve Fz kuvvetleri Tablo 2.46.'te görülmektedir.

Tablo 2.46. Soğutma sıvısı kullanılmadan yapılan delme işlemlerindeki kuvvetler

					Mz (Nm)		Fx (N)		Fy (N)		Fz (N)	
Deney	**Malzeme**	**Çap**	**Takım Durumu**	**Kesme Hızı**	Min	Max	**Min**	**Max**	**Min**	**Max**	**Min**	**Max**
DAL01K	Aluminyum	Ø6	Kaplamasız	125 d/dak	16,73	55,85	18,77	65,16	117,03	279,85	-46,84	41,81
DAL02K	Aluminyum	Ø6	TiN	250 d/dak	-8,12	42,96	17,7	69,35	93,84	248,57	-33,87	45,32
DAL03K	Aluminyum	Ø10	Kaplamasız	250 d/dak	12,97	70,86	26,7	80,57	139,92	352,4	-70,95	62,56
DAL04K	Aluminyum	Ø10	TiN	125 d/dak	19,05	65,42	23,5	78,96	151,52	338,75	-90,18	48,22
DAL05K	Pirinç	Ø6	Kaplamasız	250 d/dak	-1,88	44,18	11,22	72,78	58,36	212,71	-80,26	68,36
DAL06K	Pirinç	Ø6	TiN	125 d/dak	0,31	20,59	10,22	28,76	23,8	88,96	-11,14	54,63
DAL07K	Pirinç	Ø10	Kaplamasız	125 d/dak	-3,48	16,89	24,11	55,08	23,12	136,57	-26,25	16,17
DAL08K	Pirinç	Ø10	TiN	250 d/dak	12,45	26,46	21,74	54,4	93,92	164,95	-31,43	10,07
DAL09K	Aluminyum	Ø6	DLC	250 d/dak	13,06	45,01	18,84	53,86	127,64	212,17	-61,65	55,24
DAL10K	Aluminyum	Ø10	DLC	125 d/dak	16,21	44,61	28,23	84,84	133,67	281,83	-29,3	27,62
DAL11K	Pirinç	Ø6	DLC	125 d/dak	-3,06	25,22	14,19	57,3	8,39	192,03	-30,36	16,33
DAL12K	Pirinç	Ø10	DLC	250 d/dak	8,57	51,7	19,53	101,24	74,23	362,93	-47,45	24,87

2.6. Deney Sonrası İncelemeler

Deney sonrasında kesme kuvvetleri haricinde, takım ve iş parçası üzerindeki değişimleri de incelemek, proses verimliliği açısından büyük önem arzetmektedir. Kesici takımlarda işleme esnasında oluşan köşe yuvarlama değişimi, talaş birikmesi veya iş parçasının delme işlemi sonrasında oluşan yüzey pürüzlülük değerleri işleme verimliliğini değiştiren en önemli parametrelerdendir. Takımlara ve iş parçalarına yapılan işlemlerde, Oerlikon Balzers firmasında bulunan, Şekil 2.17'de görülen Alicona adlı 3 boyutlu yüzey tarama cihazından faydalanılmıştır.



Şekil 2.16. Alicona 3 boyutlu yüzey tarama cihazı

2.6.1. Kesici takımlardaki talaş birikmeleri

Talaş kaldırma prosesinde, kesici takım ve is parçasının birbiri ile teması söz konusu olduğundan dolayı ısı oluşumu pek tabidir. Ancak, bu oluşumun belli sınırlar dahilinde kalarak, iş parçasına yapısal anlamda zarar vermemesi istenmektedir. Temas bölgesindeki sıcaklıktaki artış, haliyle alüminyum is parçasının yumuşayıp kendisini bir nebzede olsa salmasına sebebiyet vermekte, bu durum hem talas kaldırma prosesini hem de malzemeyi islenen yüzeyini olumsuz anlamda etkilemektedir [9].

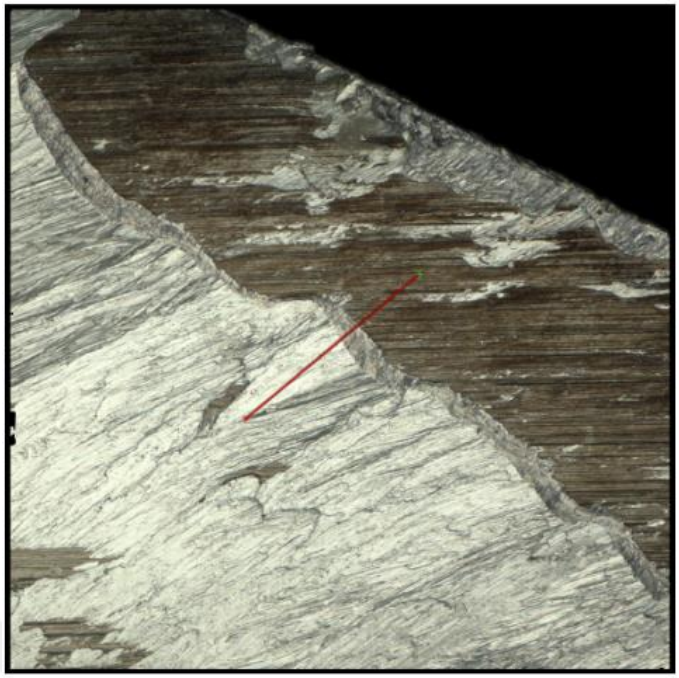
İş parçasının ısının etkisi ile yumuşaması aynı zamanda, iş parçasının kesici takıma yapışmasına ve kesici takım üzerinde talaş birikmelerine neden olmaktadır.

Deney sonrasında, deneyde kullanılan kaplamasız, TİN kaplamalı ve DLC kaplamalı takımlardan, Şekil 2.18'de görüldüğü gibi örnekler alınmış. Takımların kesici ağızları ve yüzeyleri incelenerek, takımlar üzerindeki talaşş yüksekliklerine bakılmıştır.

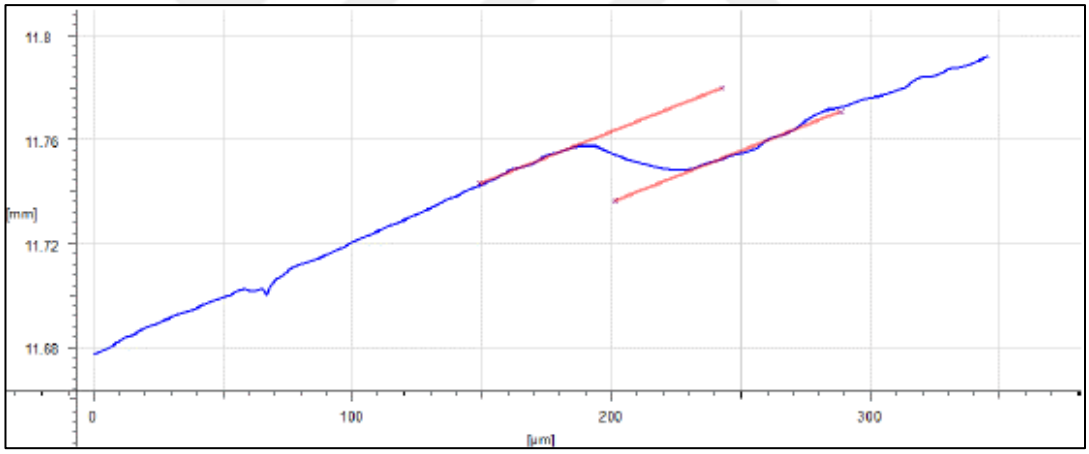


Şekil 2.17. Çap 6'lık kaplamasız, TİN kaplı ve DLC kaplı takımlar

İnceleme sonucunda, Çap 6'lık kaplamasız olarak kullanılan takımdaki, talaş görüntüsü Şekil 2.19'da göründüğü gibi meydana gelmiş ve talaş yüksekliği, Şekil 2.20'deki gibi 25 Mikron olarak ölçülmüştür.

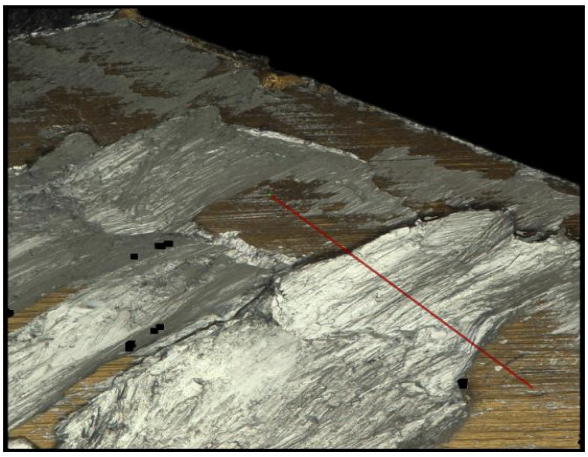


Şekil 2.18. Aluminyum yapışma görünümü

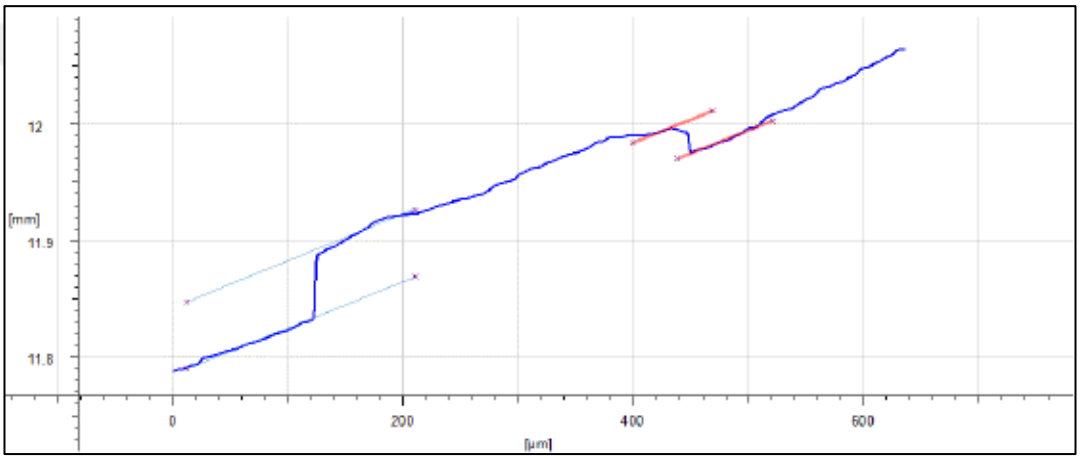


Şekil 2.19. Kaplamasız takımdaki, Aluminyum yapışan bölgedeki yükseklik

Çap 6'lık TİN kaplı takım için ise takım üzerindeki talaş görünümü Şekil 2.21'de verilmiştir. TİN kaplı takım için ölçülen değer Şekil 2.22'de verildiği gibi 53 micron olarak ölçülmüştür.

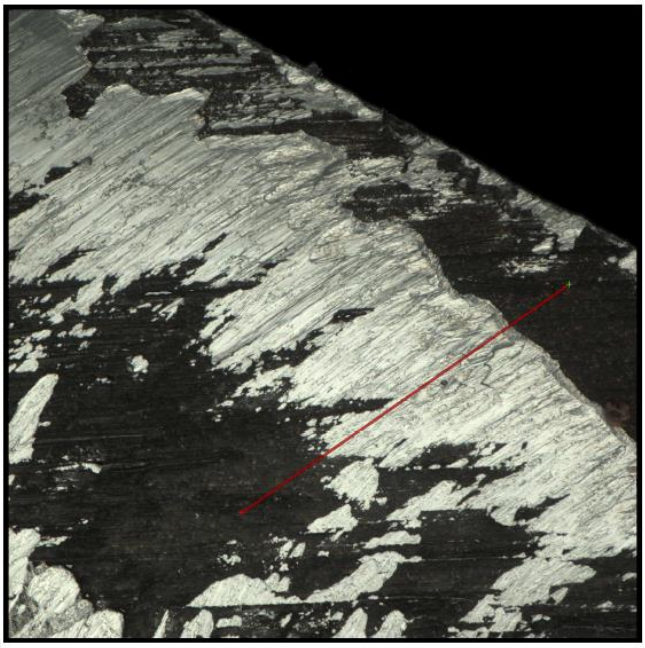


Şekil 2.20. Aluminyum yapışma görünümü

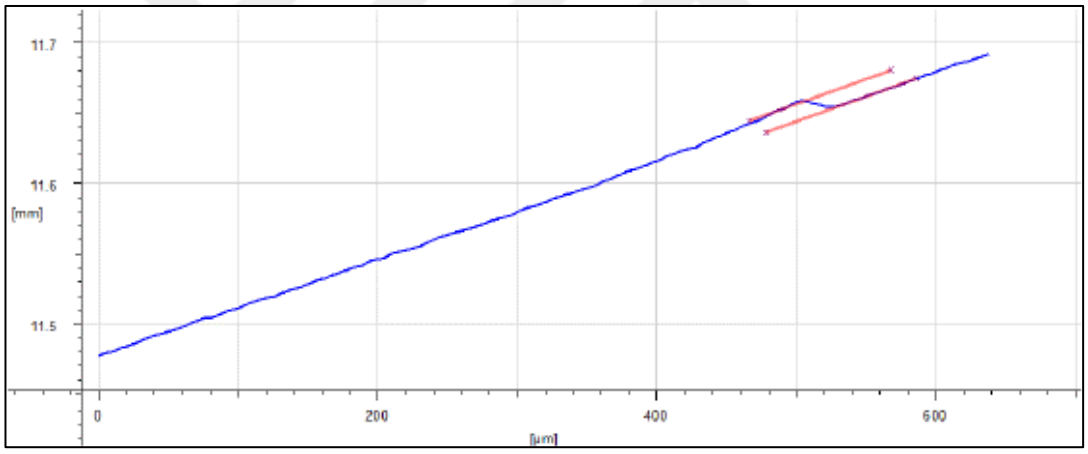


Şekil 2.21. TiN kaplı takımdaki, Aluminyum yapışan bölgedeki yükseklik

Çap 6'lık DLC kaplı takım için ise takım üzerindeki talaş görünümü Şekil 2.23'te verilmiştir. DLC kaplı takım için ölçülen değer Şekil 2.24'te verildiği gibi 11.6 micron olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.22. Aluminyum yapışma görünümü



Şekil 2.23. DLC kaplı takımdaki, Aluminyum yapışan bölgedeki yükseklik

Yukarıdaki gibi Çap 6'lık 3 farklı takımı karşılaştırdığımızda en az talaş yüksekliğinin ve yapışmasının, Tablo 2.47'de görüldüğü üzere DLC kaplı takımda olduğu görülmüştür. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında yapılan, İnconel 718 Malzemesinin Mikro işlenebilirliği ve Kaplama Malzemesinin etkisinin araştırılması adlı, İrfan Ucun Doktora tezinde de benzer bulgular ile karşılaşılmıştır.

AlTiN, TiAlN+AlCrN, AlCrN kaplı kesici takımların, TiAlN+WC/C ve DLC kaplı takımlara nispeten, daha iyi bir aşınma performansı sergilediği görülmüştür. Fakat,

DLC ve TiAlN+WC/C kaplı takımlar ise, talaş yapışmasına (BUE) karşı daha iyi bir direnç göstermişlerdir [10].

Tablo 2.47.kaplamasız, TiN kaplı, DLC kaplı takımların talaş yapışma yükseklikleri

Kaplama Cinsi	**Kaplamasız**	**TiN Kaplı**	**DLC Kaplı**
Takım Çapı	Çap 6	Çap 6	Çap 6
Talaş Yüksekliği	25 mikron	53 mikron	11,6 mikron

DLC kaplı takım'da DLC de bulunan karbonlu tabaka yağlayıcı görevi gördüğünden dolayı, talaş yapışması diğer takımlara göre oldukça daha iyi bir noktadadır. TiN kaplı takımdaki talaş yapışmasının fazla olması, TiN kaplamanın ısıl dağılımı engellediğinden dolayı takımda ve kesme uçlarında daha fazla ısınma meydana geldiğinden dolayı yapışmanın diğer 2 takıma göre daha fazla olduğu düşünülmektedir.

2.6.2. Kesici takımlardaki köşe yuvarlaklığı değişimleri

Kesici takımlarda, işleme sonrasında kesici ağızın körelmesi durumu beklenen bir durumdur. Kesici ağzın körelmesinde talaş'ın ve iş malzemesinin durumu oldukça büyük bir rol oynar. Dolayısıyla talaşın fazla biriktiği durumlarda daha körelmiş bir yüzey görmek beklenebilir.

Kaplamasız, TiN kaplamalı ve DLC kaplamalı takımların işlem öncesinde kesici ağızların köşe yuvarlaklıklarını alınarak, iş malzemesinin işlenmesi sonrasında alınan köşe yuvarlaklıkları ile arasındaki farklar Tablo 2.48'deki gibi ortaya çıkmaktadır. Takımlar ile 10 delik delindikten sonra köşe yuvarlaklıkları tekrardan ölçülmüştür. Ölçüm raporları ve kesici ağız görüntüleri Ek-C'de verilmiştir.

Tablo 2.48. Takımlardaki köşe yuvarlaklığı değişimi

	İşlem Öncesi	**İşlem Sonrası**	**İşlem Adedi**
Kaplamasız	3,17 micron	7,59 micron	10 delik
TiN Kaplama	3,72 micron	6,11 micron	10 delik
DLC Kaplama	4,76 micron	5,10 micron	10 delik

Takımlar üzerinde yapılan incelemede 10 delik için köşe yuvarlaklığı değişimini aşağıdaki gibi denklemlersek;

ΔRadyus=(İ.Sonrası K.Yuvarlaklığı-İ.Öncesi K.Yuvarlaklığı)÷İ.Adedi

$\Delta Radyus_{Kaplamasız}$ = (7,59 – 3,17) / 10 delik = 0,442 μ/delik

$\Delta Radyus_{TiN}$ = (6,11 – 3,72) / 10 delik = 0,239 μ/delik

$\Delta Radyus_{DLC}$ = (5,10 – 4,76) / 10 delik = 0,034 μ/delik

DLC Kaplı takımın Kaplamasız takıma göre yaklaşık %92 daha verimli olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

DLC kaplamalı takım yağlayıcı özelliğinden dolayı talaşı daha iyi tahliye etmiş ve talaş birikmesi az olduğundan dolayı TiN kaplı ve Kaplamasız kullanılan takımlara göre daha az aşınmıştır.

2.6.3. İşleme malzemelerindeki yüzey pürüzlülükleri

Talaşlı imalatta, üretilen parçanın kalitesinin değerlendirilmesinde en önemli kıstaslardan biride parça yüzeyde oluşan pürüzlülük değeridir. Delinen deliklerin yüzeylerindeki pürüzlülük, sadece kalite açısından değil aynı zamanda, delinen parçanın mukavemeti ve dayanımı açısından önemlidir. Parçanın kullanımı esnasında delik yüzeyinde pürüzlülük, parçanın çalışma koşullarına göre parçanın yorulması ve bunun sonucunda işlevini yerine getirememesine neden olabilmektedir. Mikro metre seviyesindeki bu hatalar zamanla çentiğe dönüşebilmekte ve malzemesinin yorulmasına sebep olmaktadır. [11]

Deneysel çalışmada kullanılan ve 3 farklı tip matkap ile delinen Aluminyum 6000 serisi ve Pirinç CuZn38Pb2 (CW608N) malzemelerin delik içlerindeki pürüzlülükleri Alicona cihazı ile ölçülmüştür. İşlemede kullanılan takımların delikleri Şekil 2.25'deki gibi kesilmiş, yüzey taramaları yapılıp Ra değerlerine bakılmıştır. Kesme işlemi esnasında Metkon'un labaratuvar tipi, Şekil 2.26'daki Micracut 201 kesme ekipmanı kullanılmıştır. Ekipman otomatik ilerleme hızına sahip olduğundan kesme işlemi esnasında herhangi bir müdahalede bulunulmamıştır.

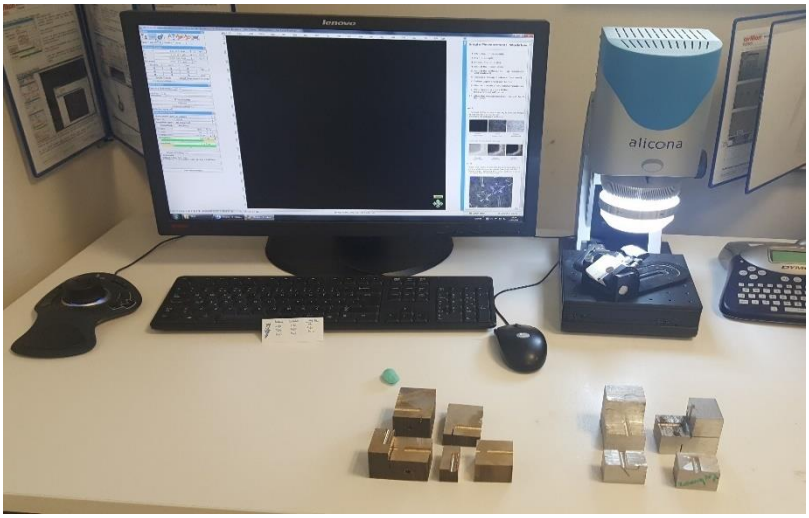


Şekil 2.24. Kesilen Aluminyum 6000 serisi ve Pirinç malzemeler

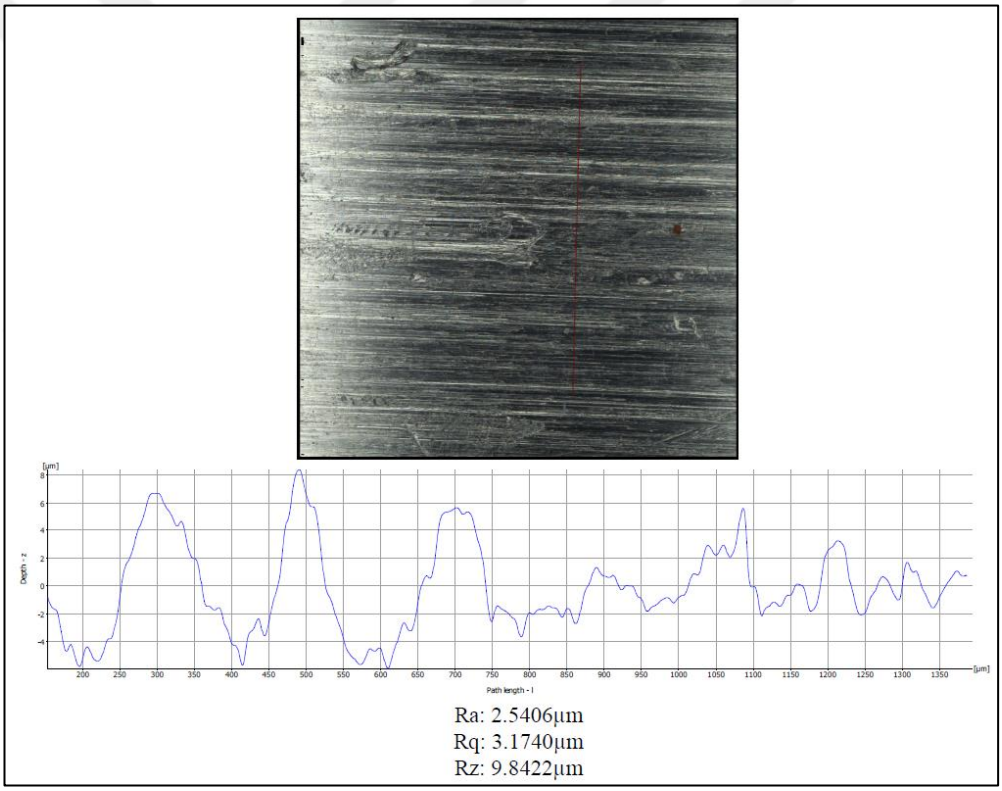


Şekil 2.25. Metkon Mikracut 201 kesme ekipmanı

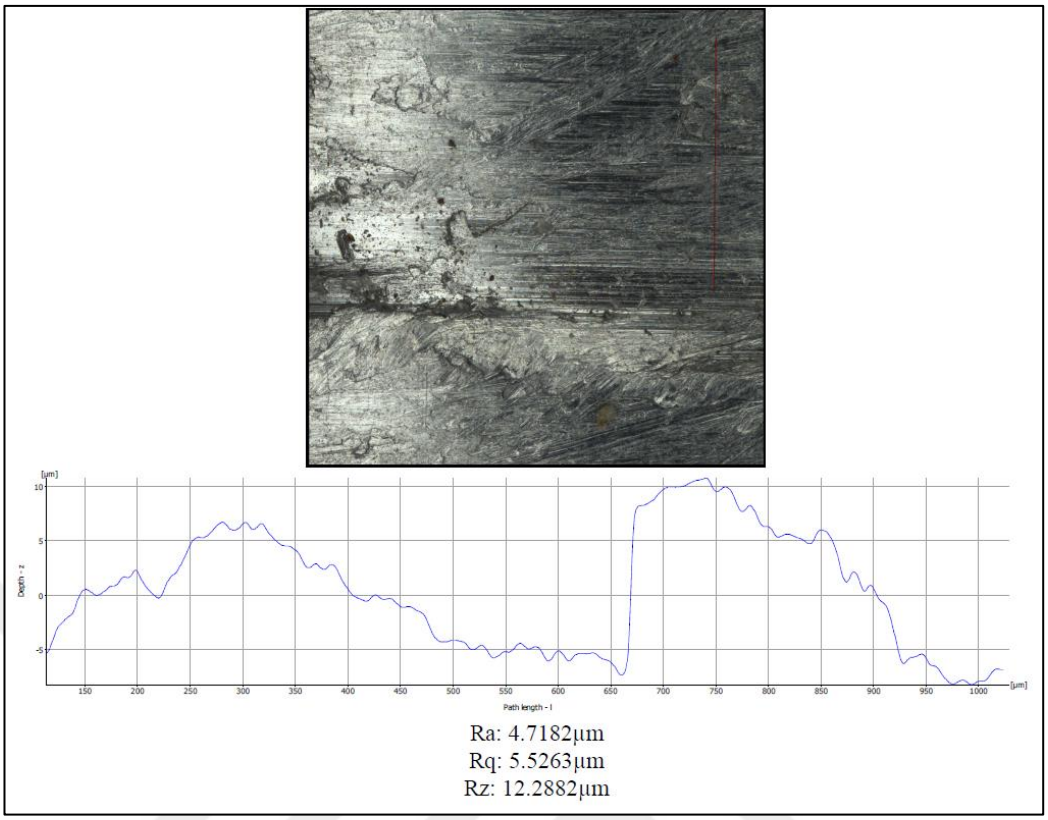
Kesme işlemi sonrasında, Şekil 2.27'deki Alicona 3 Boyutlu yüzey tarama cihazı ile delik içlerinden alınan yüzey profillerinde Aluminyum malzemedeki sırası ile delikleri Kaplamasız, TiN ve DLC olacak şekilde, Şekil 2.28, Şekil 2.29 ve Şekil 2.30'da gösterilmiştir. Pirinç malzemedeki sırası ile delikler kaplamasız, TiN ve DLC takımlar ile delinen deliklerin profilleri ise Şekil 2.31, Şekil 2.32. ve Şekil 2.33'te gösterilmiştir. DLC kaplı takım ile delinen her iki malzeme grubunda da pürüzlülük değerleri en düşük olarak elde edilmiştir.



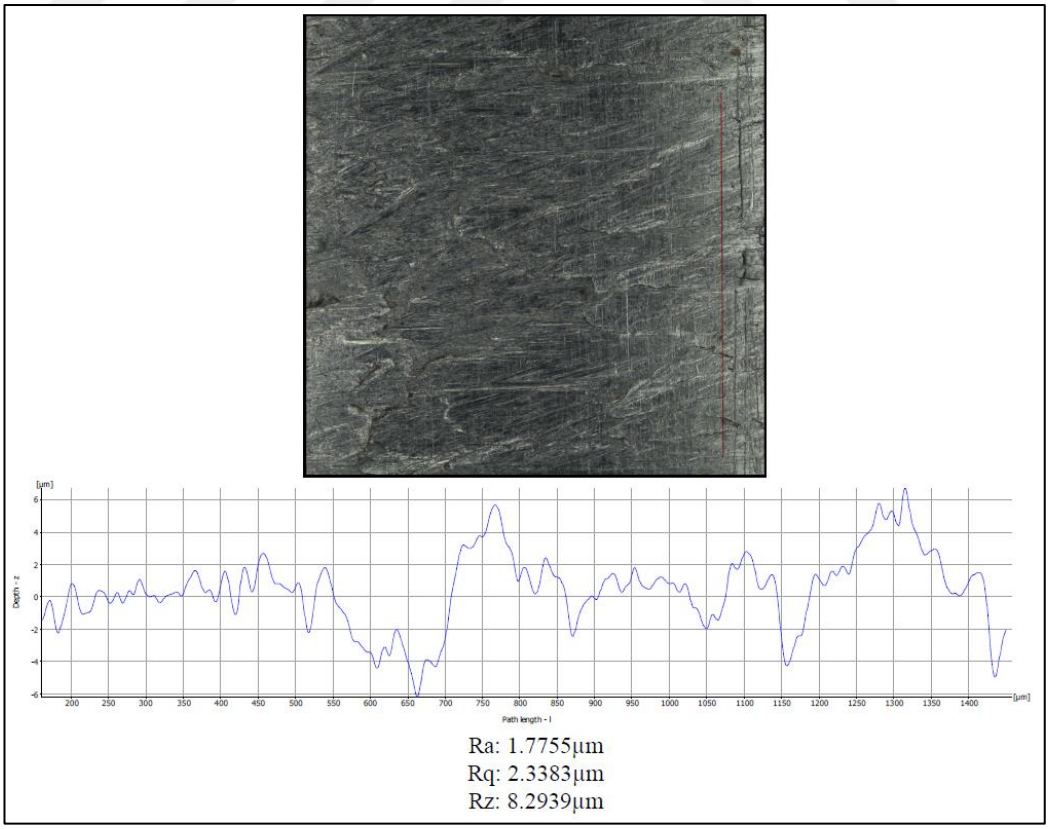
Şekil 2.26. Alicona 3 boyutlu yüzey tarama ile deliklerin ölçümü



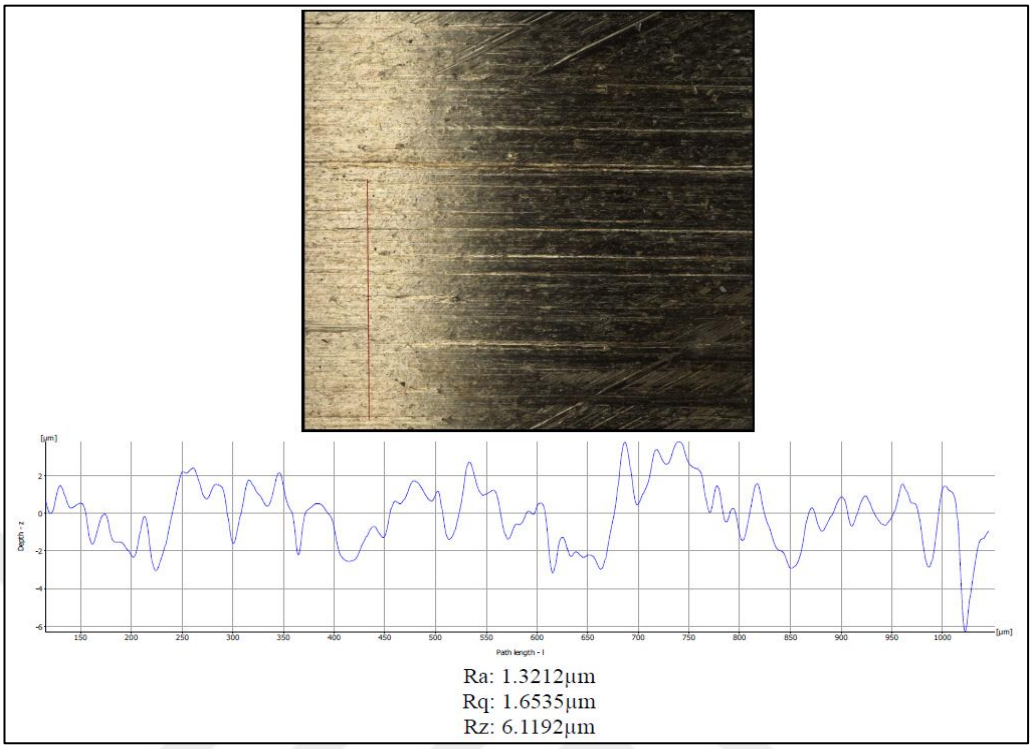
Şekil 2.27. Al malzemede kaplamasız takım ile delinen delikteki Ra profili



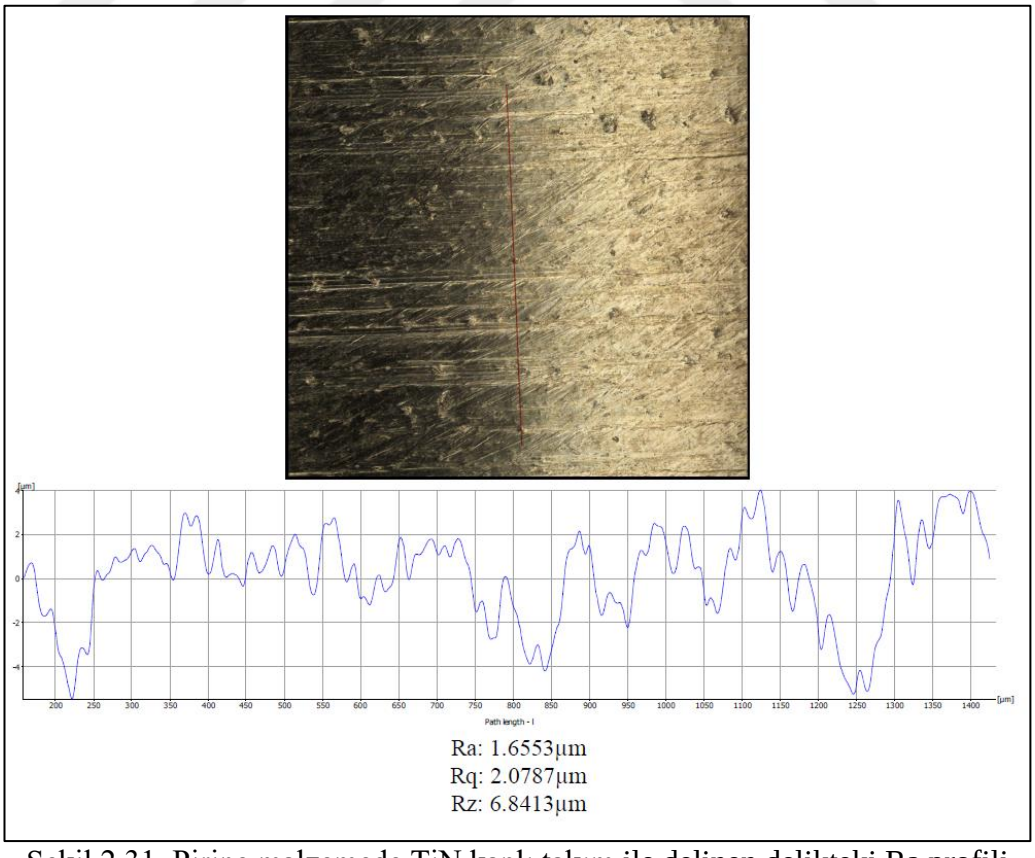
Şekil 2.28. Al malzemede TiN kaplı takım ile delinen delikteki Ra profili



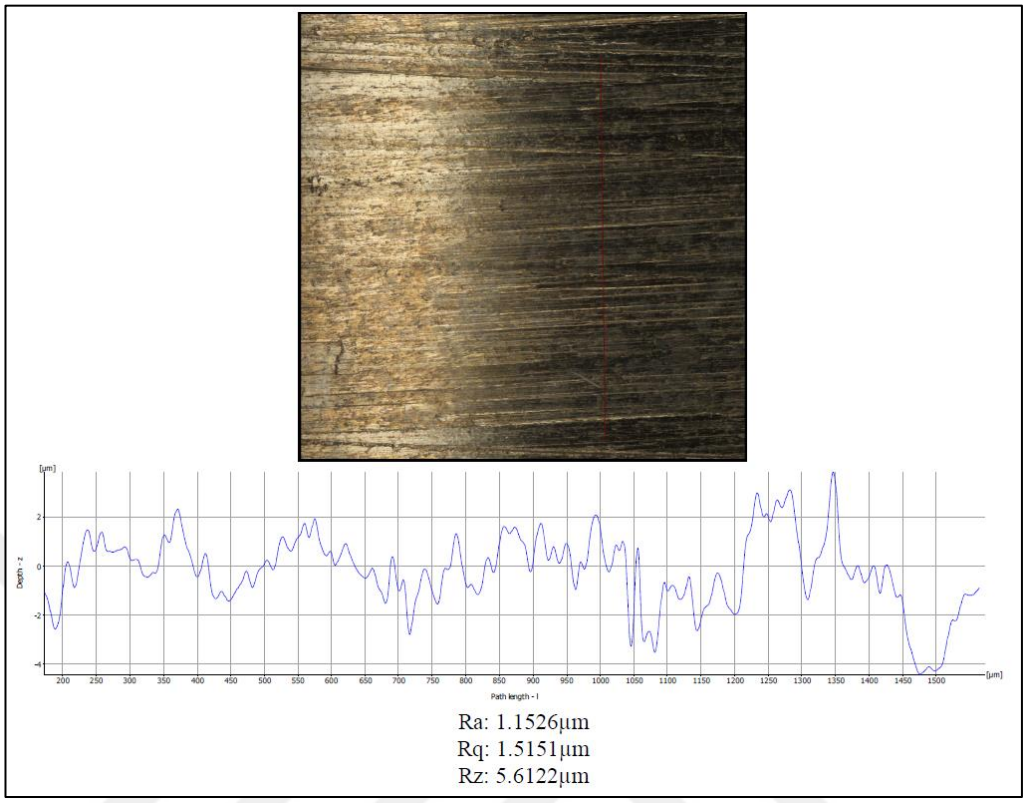
Şekil 2.29. Al malzemede DLC kaplı takım ile delinen delikteki Ra profili



Şekil 2.30. Pirinç malzemede kaplamasız takım ile delinen delikteki Ra profili



Şekil 2.31. Pirinç malzemede TiN kaplı takım ile delinen delikteki Ra profili



Şekil 2.32. Pirinç malzemede DLC kaplı takım ile delinen delikteki Ra profili

Yukarıdaki farklı işleme malzemeleri ve farklı tipteki kesici takımlar için ulaşılan Ra değerleri özet tablosu, Tablo 2.49. 'da görüldüğü gibi aslında yüzey pürüzlülüğüi işlemede malzemenin sertliği ve kullanılan kesici takımın cinsine göre farklılıklar göstermektedir. Aluminyum malzeme, pirinç malzemeye göre daha yumuşak olduğundan dolayı Ra değerleri, Pirinç malzemeye göre daha yüksektir. Her iki iş malzemesi içinde DLC kaplı takımlar ile işlenen deliklerin yüzey pürüzlülükleri Pirinç Malzemede yaklaşık %15 oranında, Aluminyum malzemede ise %43 oranında daha iyidir.

Tablo 2.49. Farklı malzemelerin delik içlerindeki yüzey pürüzlülükleri

	Al 6000 Serisi (Ra)	**Pirinç Malzeme (Ra)**
Kaplamasız	2,54	1,32
TiN Kaplı	4,71	1,65
DLC Kaplı	1,77	1,15

Buradan çıkan sonuca göre daha yumuşak olan malzemelerde DLC kaplamanın yüzey pürüzlülüğüne etkisi çok daha fazla olmaktadır.

Aynı zamanda çıkan sonuçlar irdelendiğinde TiN kaplı takımın Ra değerinin, kaplamasız takıma göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Bunun en büyük nedeninin TiN kaplı takımdaki talaş birikmesinin diğer takımlara göre fazla olduğundan kaynaklandığından dolayıdır. Biriken talaşlar, işlem esnasında malzeme içerisindeki deliği çizmekte bu da Tablo 2.50'de görüldüğü gibi Ra değerini arttırmaktadır.

Tablo 2.50. Talaş birikmesi ve yüzey pürüzlülüğü

	Al 6000 Serisi (Ra)	**Talaş Yapışma**	**Pirinç Malzeme (Ra)**
Kaplamasız	2,54	25 µ	1,32
TiN Kaplı	4,71	53 µ	1,65
DLC Kaplı	1,77	11,6 µ	1,15

Daha önce, Marmara Üniversitesinde, Yalçın Seymen tarafından yapılan, ''Aluminyum (Al7075) elmas benzeri karbon (DLC) kaplanmış parmak freze ile işlenmesinin deneysel incelenmesi'' konulu yapılan Yüksek lisans tezinde de benzer sonuçlar bulgulanmıştır.

Al 7075 alaşım malzemesinin, herhangi bir soğutucu sıvı kullanmaksızın DLC kaplamalı parmak freze ile işlenmesinde, işlenen iki yüzeyde oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerleri beklentileri karşılamıştır. Uygun kesme parametrelerinin tayini ile yüzey pürüzlülük değerleri 1 µm'nin altına indirilebilmiştir [12].

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deney sonrasında takımlarda ve delme işlemi yapılan malzemelerde yapılan incelemelerde, DLC (diamond like carbon) kaplı takım yüzeyinde daha az talaş birikmesi görülmüştür.

Demir dışı malzemelerin işlenmesinde, yapışma işlemede en büyük problemlerin başında gelir. DLC kaplama bu tip uygulamalarda olumlu yağlayıcı özelliğinden dolayı takım ömründe artış ve işleme kalitesinde ise olumlu sonuçlar vermektedir.

Ayrıca delinen malzemelerin delik çaplarından kesit alınarak, delik içlerindeki yüzey pürüzlülükleri incelendiğinde DLC kaplı takım ile delinen malzemelerin yüzey pürüzlülüklerinin, TiN kaplı takım ve kaplamasız takım ile delinen malzemelere göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Takımlar üzerinde delme işlemi öncesi ve delme sonrası ALİCONA (3D yüzey tarama) cihazında yapılan köşe radyusu ölçümlerinde, DLC (Diamond Like Carbon) kaplı takımın köşe yuvarlaklığının daha az arttığı gözlemlenmiştir.

Araştırma kapsamında tespit edilen parametre ve seviyelerinin sonuç üzerindeki etkileri incelendiğinde en etkili parametrenin malzeme cinsi olduğu, kesme hızı, matkap çapı ve kaplama cinsi parametrelerinin sırasıyla onu takip ettiği görülmüştür.

Her bir parametre için delme momentini eniyileyen seviyelerin de malzeme cinsi için aluminyum, kesme hızı 125 d/dak(düşük hızda), matkap çapı 6mm(küçük çaplı)) ve kaplama cinsinin ise DLC olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Yılmaz R., Barlas Z., *Demir Dışı Metalurjisi Giriş Ders Notları*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 20-32, 2016.

[2] İzmirlioğlu A., Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, *Demirdışı Metaller Sanayii Özel İhtisas Komisyonu,* DPT:2537-ÖIK553, Ankara, 2000.

[3] Akdoğan A., *Demir Dışı Metal ve Alaşımları Sunumu*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1-11, 2008.

[4] Kurt M. M., 304L Paslanmaz Çelik Üzerine DLC (Diamond Like Carbon) Kaplanması, Mekanik-Tribolojik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2006, 181451.

[5] Oerlikon B., Şirket İçi Kaplama Eğitimi Notları, Balzers, İsviçre, 2016.

[6] Oerlikon B., BALINIT DLC Physics and Chemistry Advance, Teknik Eğitim Notları, İsviçre, Nisan 2017.

[7] Aytutuldu N., Titanyum Yüzeyler Üzerindeki Elmas Benzeri Karbon Kaplamanın Mikrobiyolojik ve Biyokimyasal Açıdan Etkinliğinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009, 242852.

[8] İzmirlioğlu A., Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, *Demirdışı Metaller Sanayii Özel İhtisas Komisyonu,* DPT:2537-ÖIK553, Ankara, 2000

[9] Kutlu L., Al 2024-T4 Aluminyum Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi ve Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 238945.

[10] Ucun İ., İnconel 718 Malzemesinin Mikro İşlenebilirliği ve Kaplama Malzemesinin Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2013, 341575.

[11] Kutlu L., Al 2024-T4 Aluminyum Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi ve Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 238945.

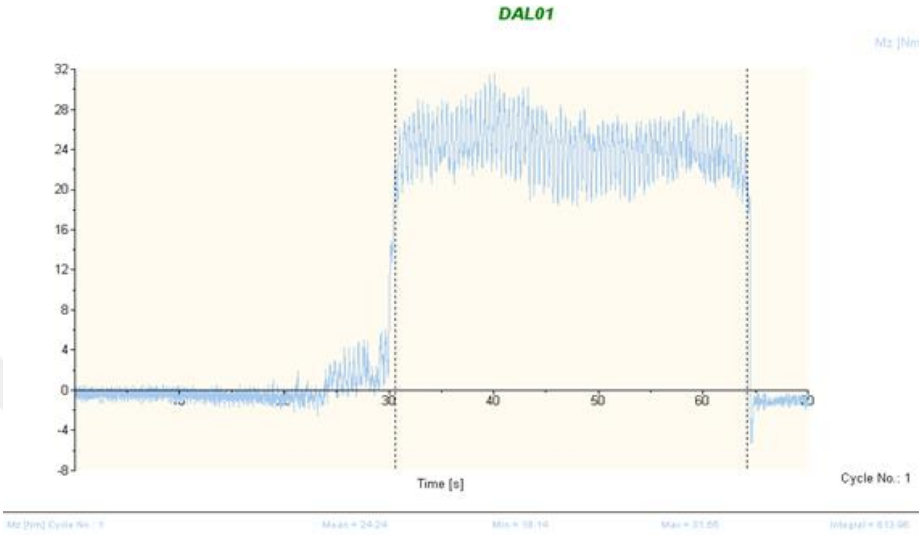
[12] Seymen Y., Aluminyum (Al7075) Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Parmak Freze ile İşlenmesinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 238786.

EKLER

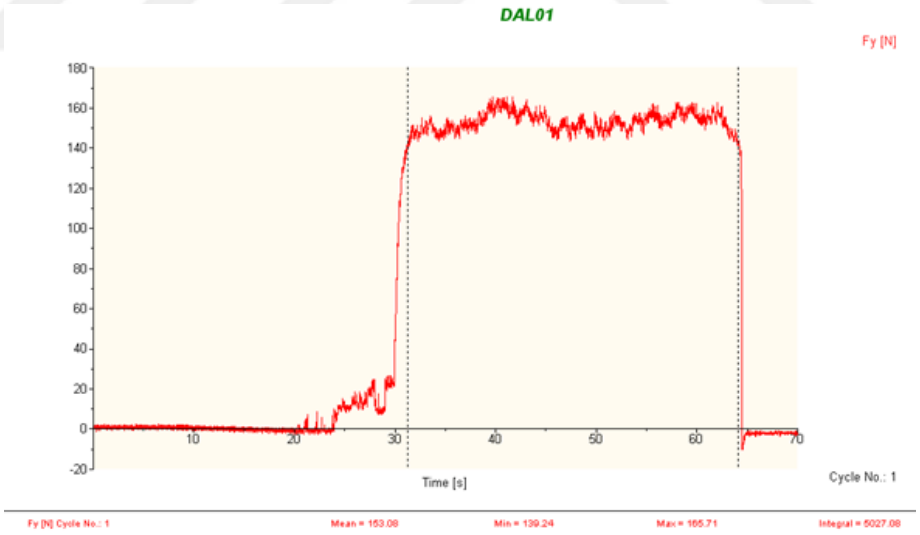
Ek-A

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL01

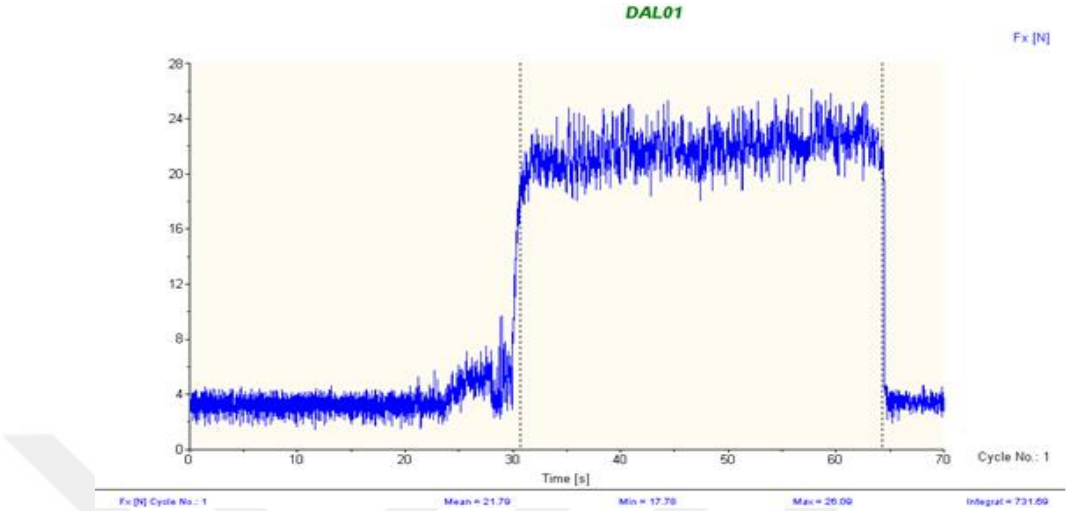


DAL01 Mz değişim grafiği

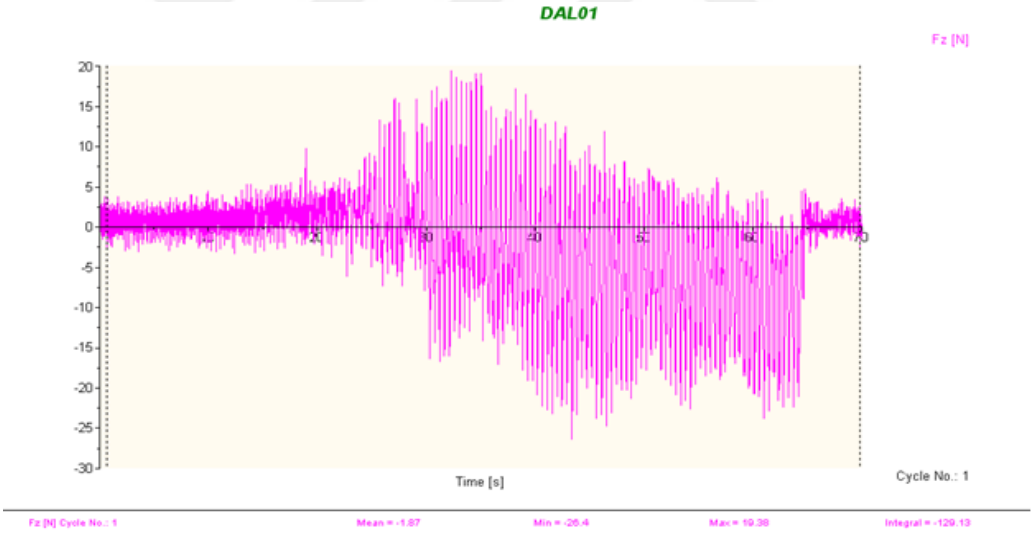


DAL01 Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



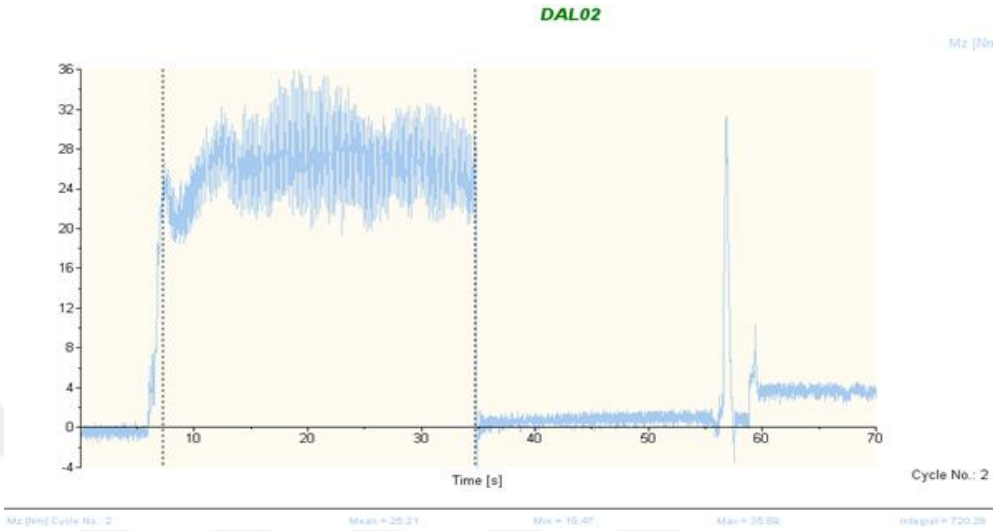
DAL01 Fx değişim grafiği



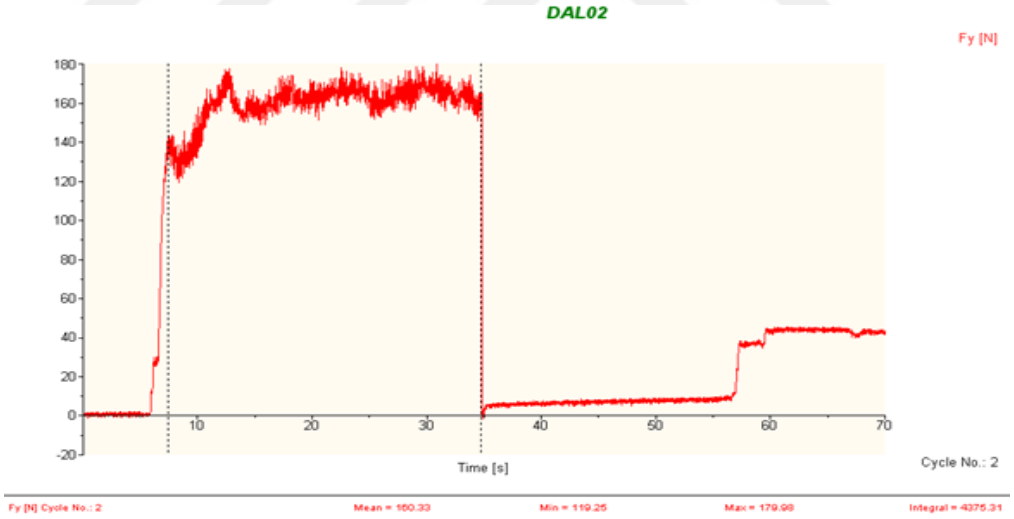
DAL01 Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL02

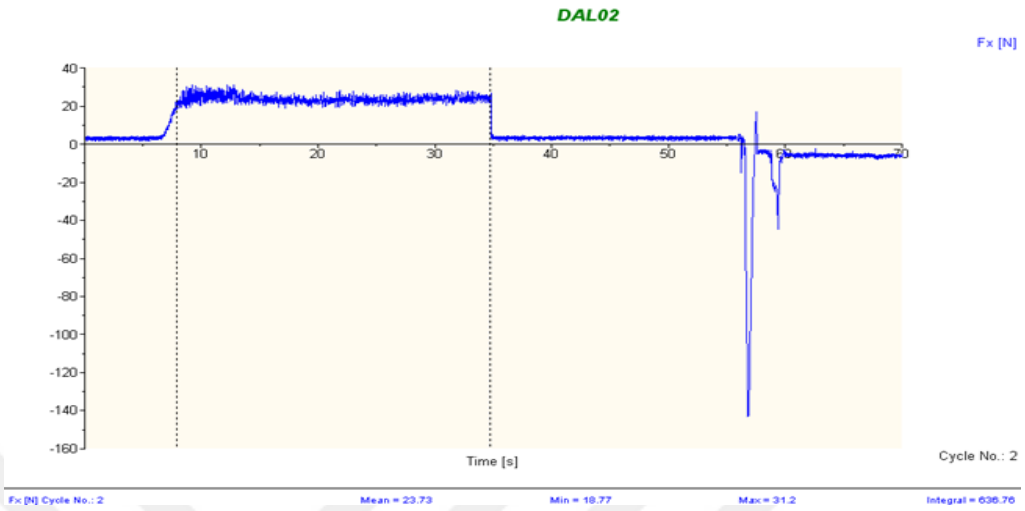


DAL02 Mz değişim grafiği

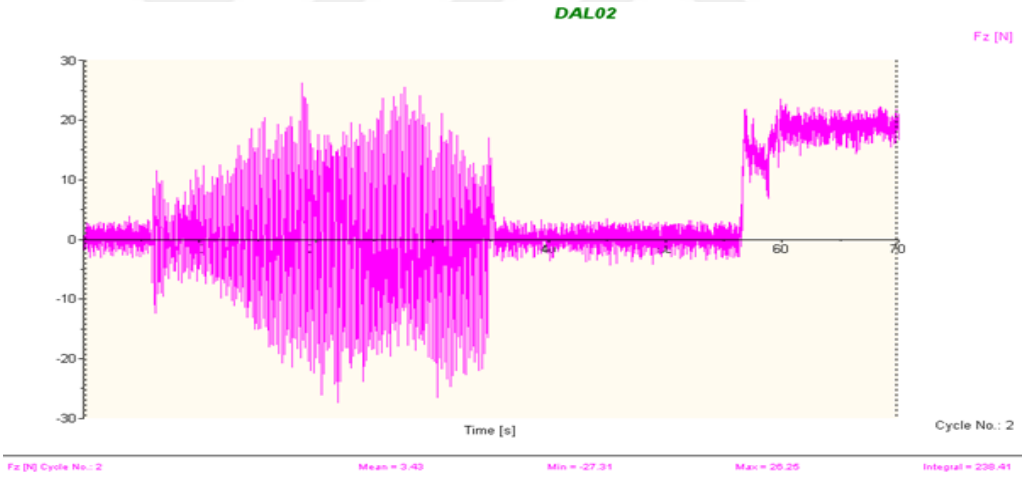


DAL02 Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



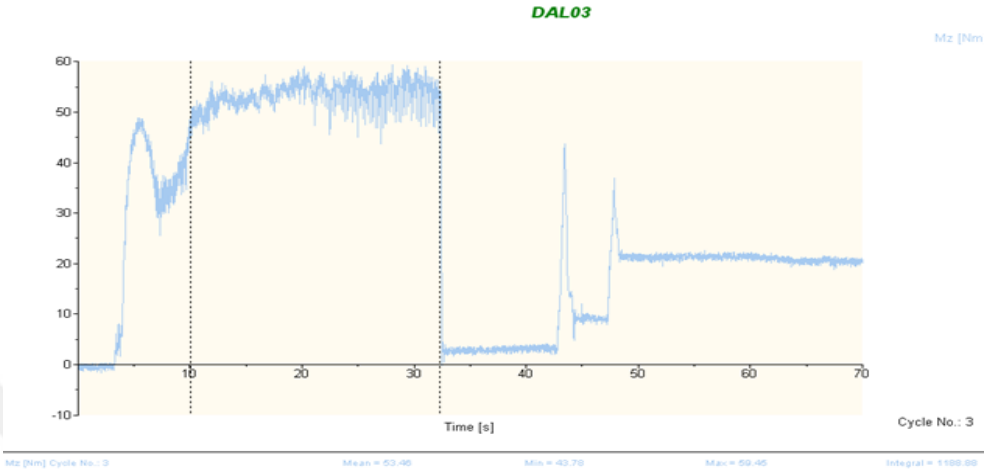
DAL02 Fx değişim grafiği



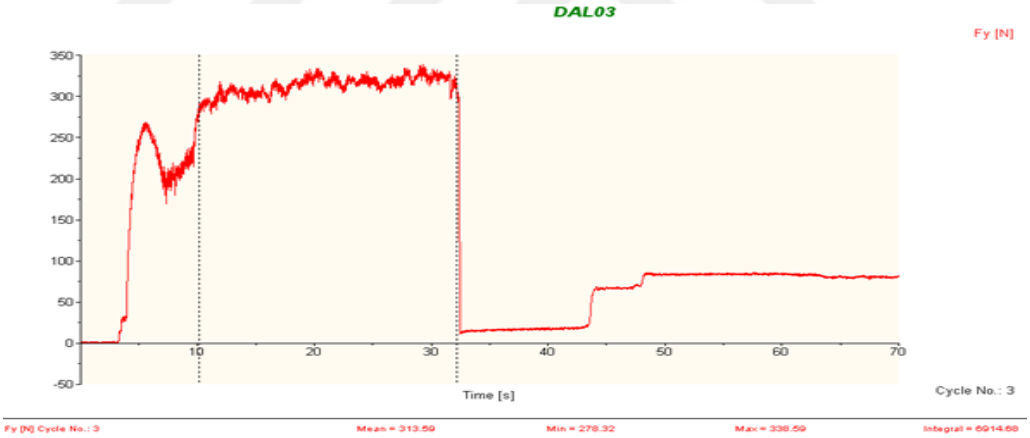
DAL02 Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL03

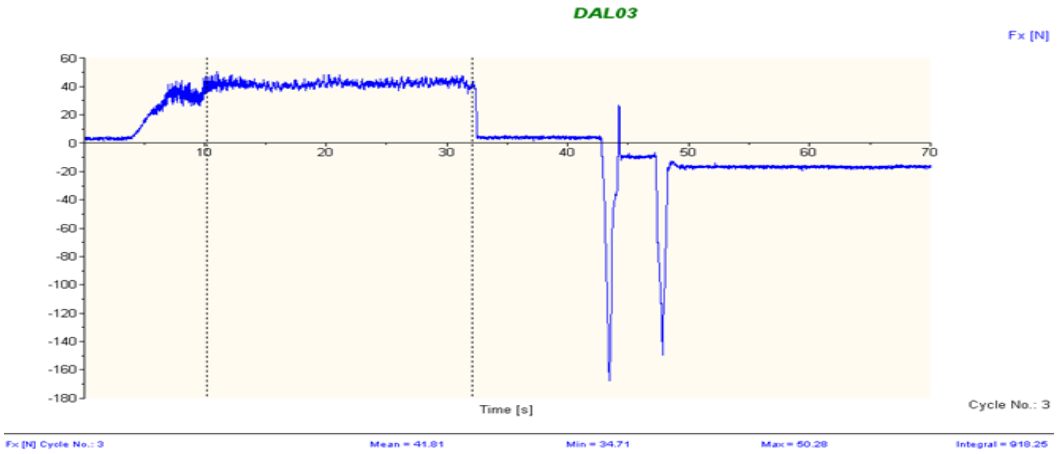


DAL03 Mz değişim grafiği

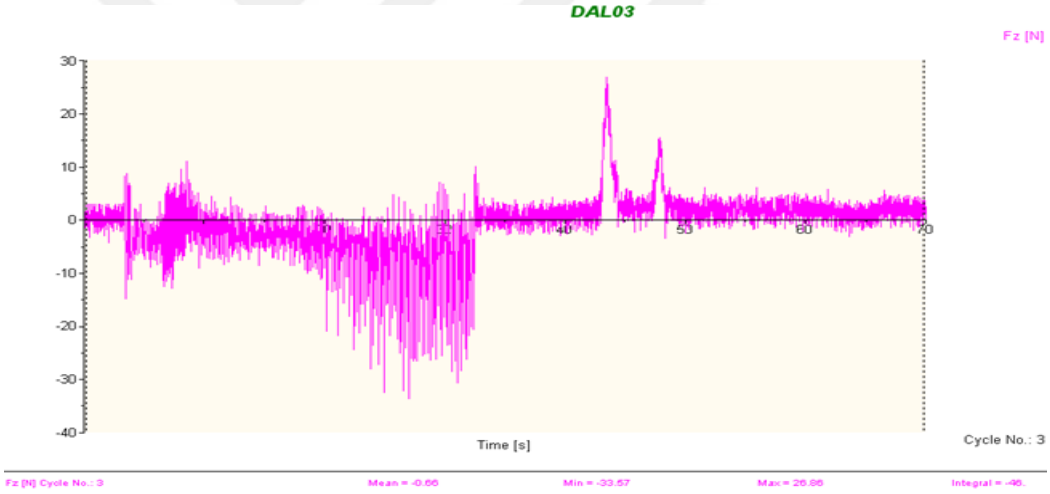


DAL03 Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



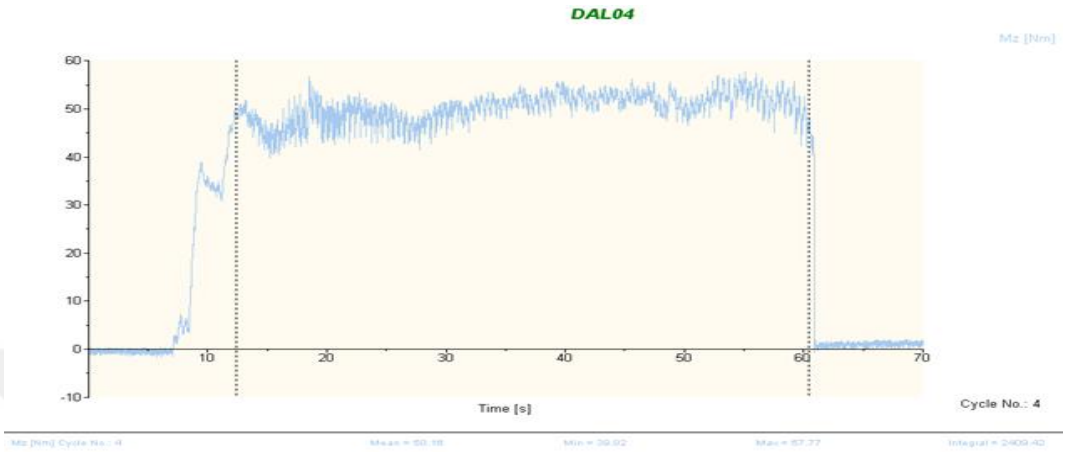
DAL03 Fx değişim grafiği



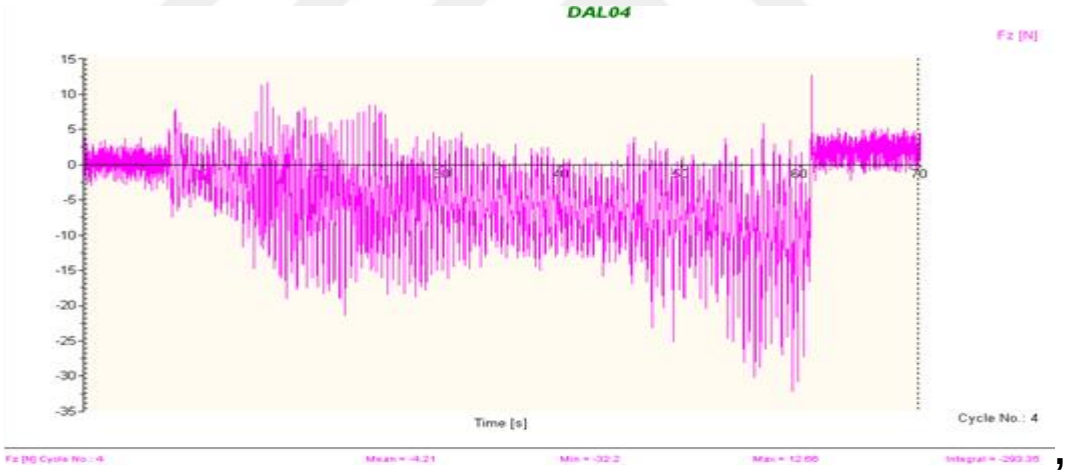
DAL03 Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL04



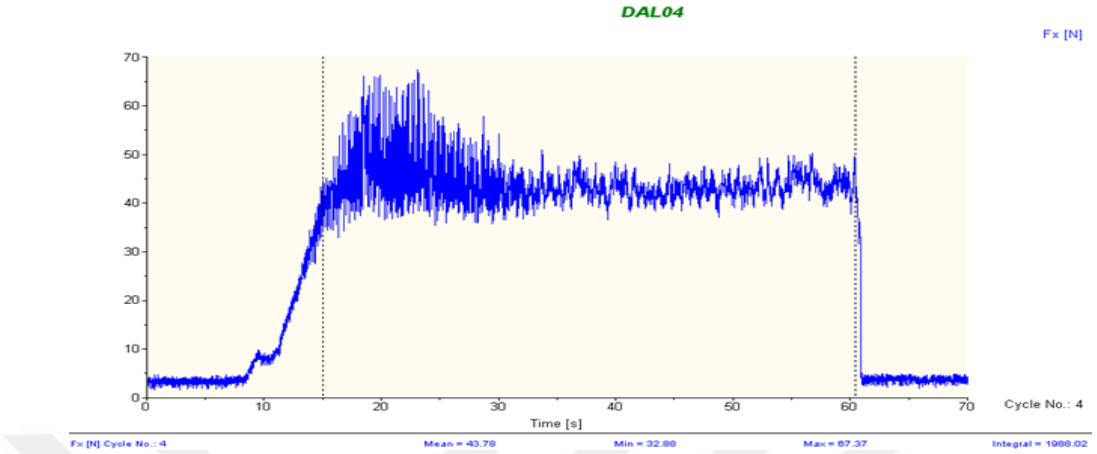
DAL04 Mz değişim grafiği



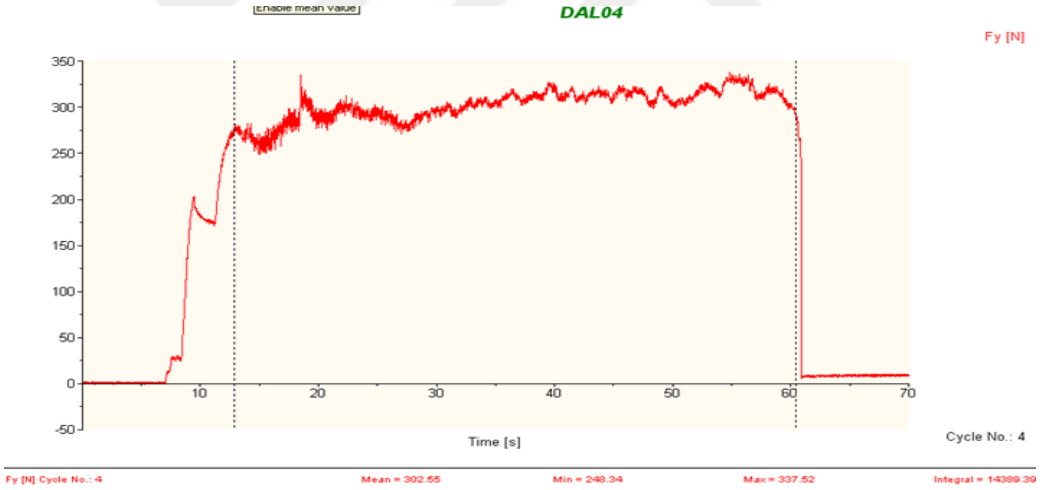
,

DAL04 Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



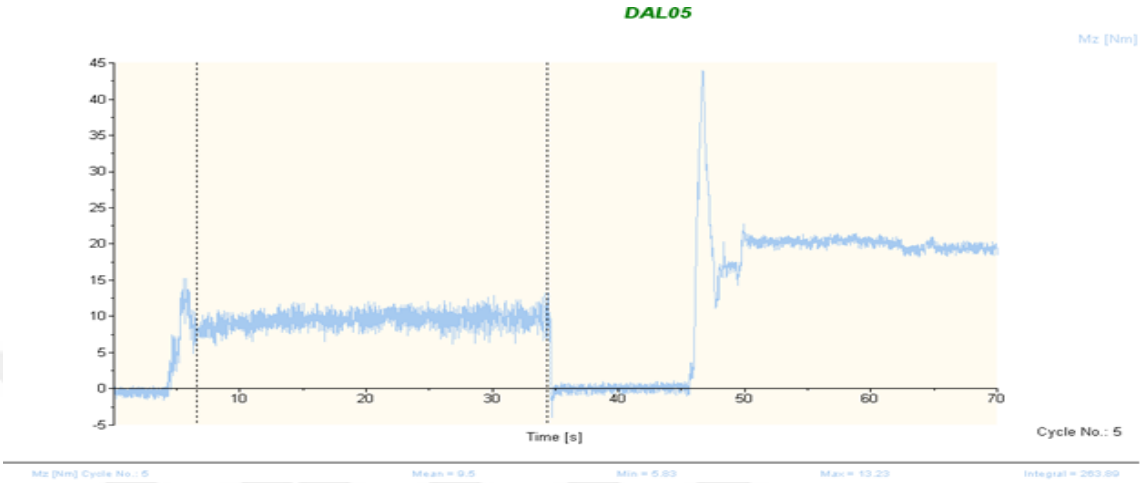
DAL04 Fx değişim grafiği



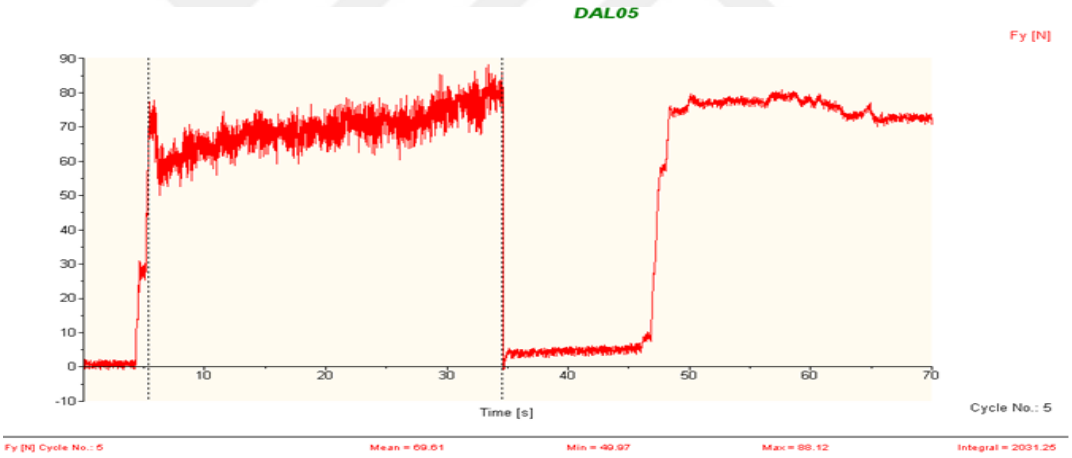
DAL04 Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL05

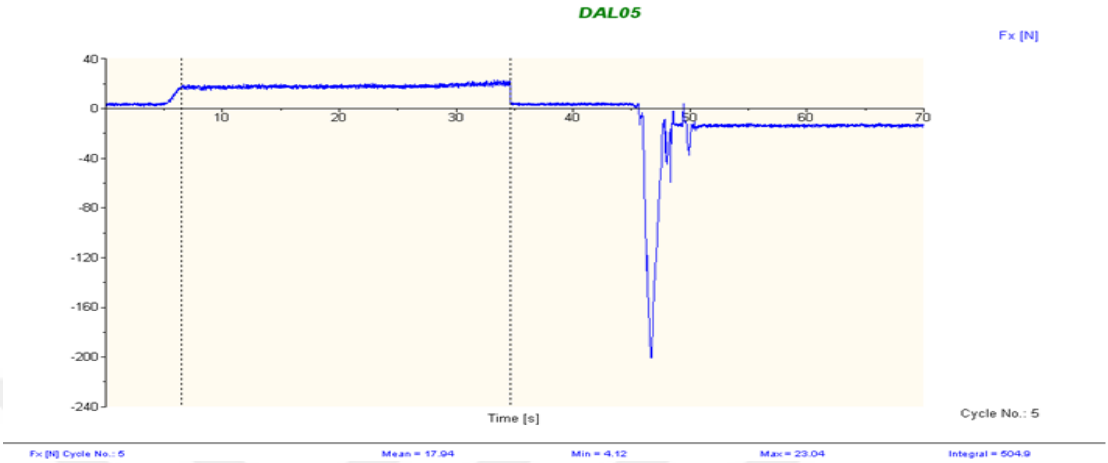


DAL05 Mz değişim grafiği

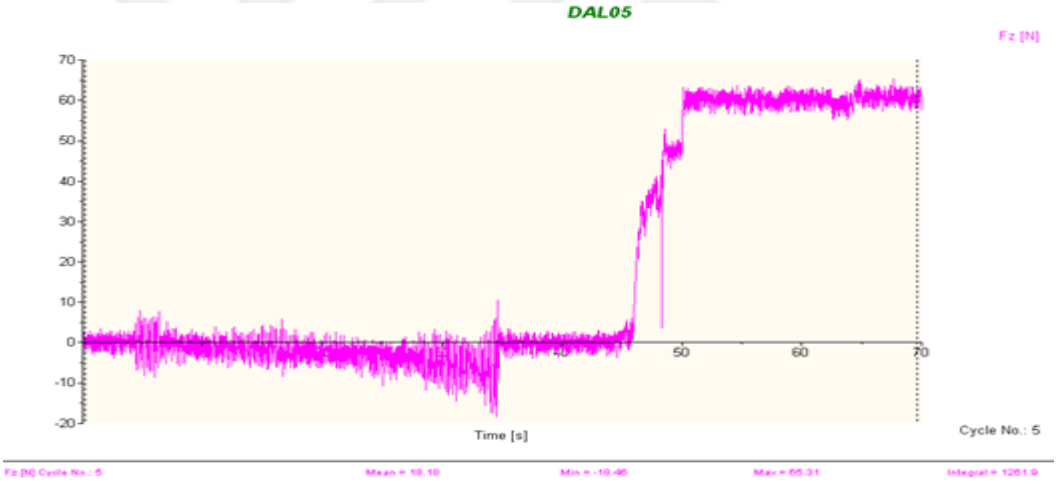


DAL05 Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



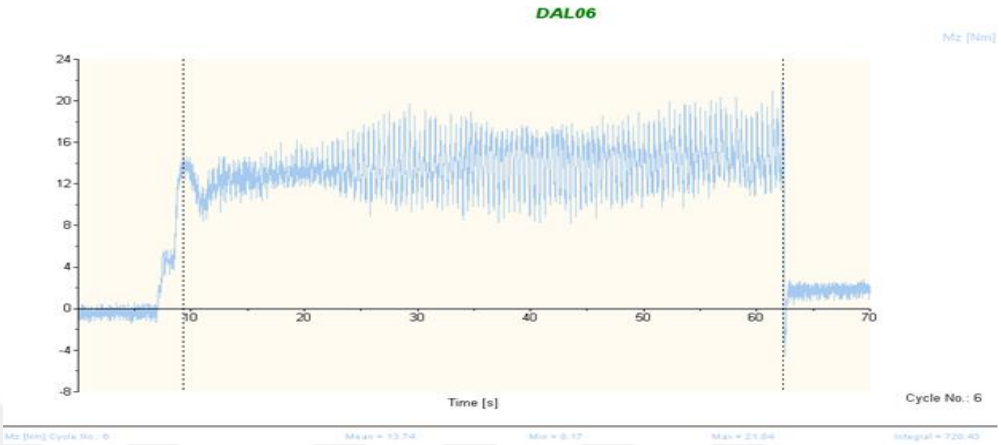
DAL05 Fx değişim grafiği



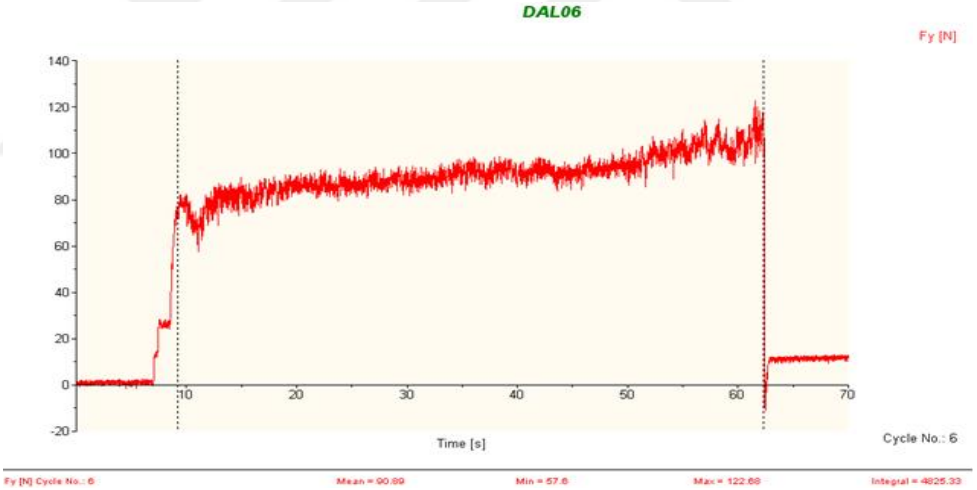
DAL05 Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL06

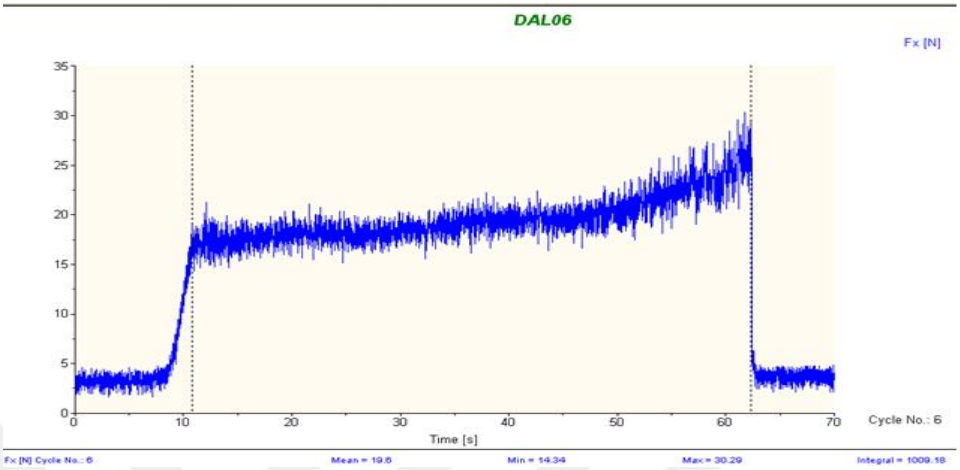


DAL06 Mz değişim grafiği

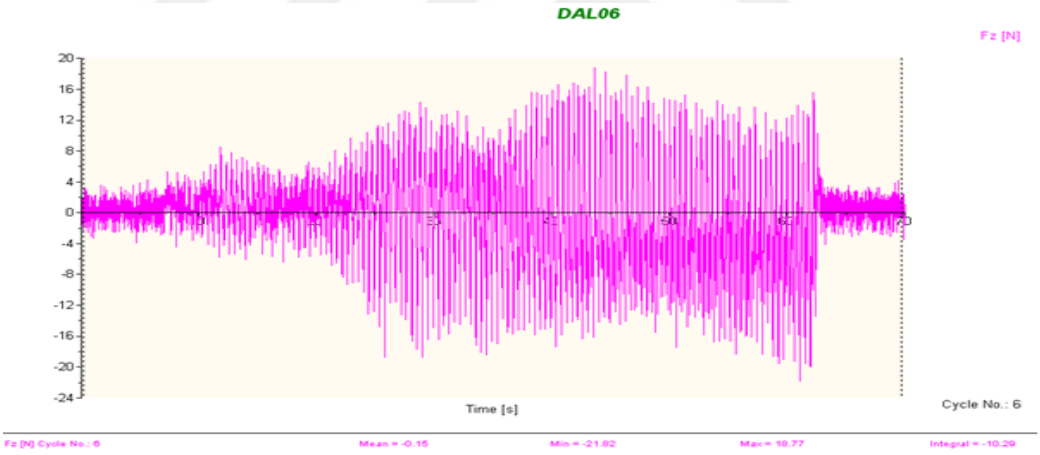


DAL06 Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



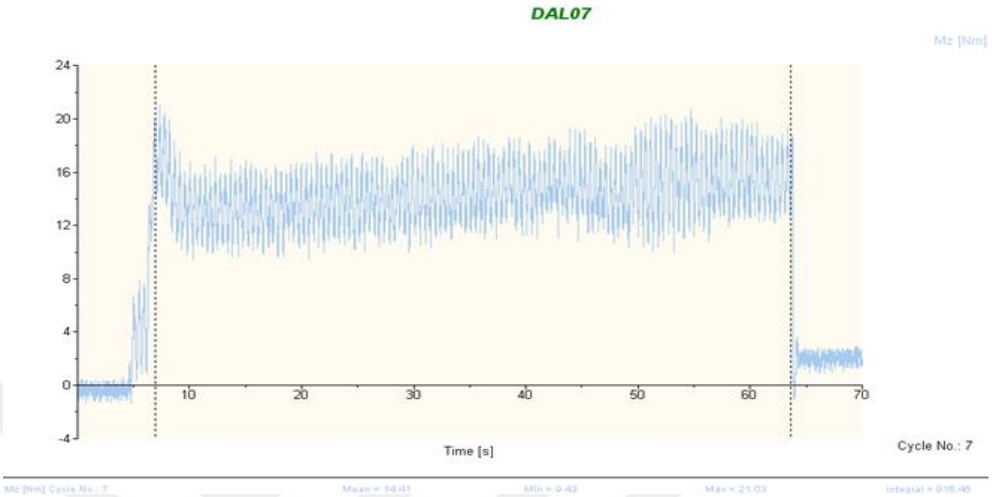
DAL06 Fx değişim grafiği



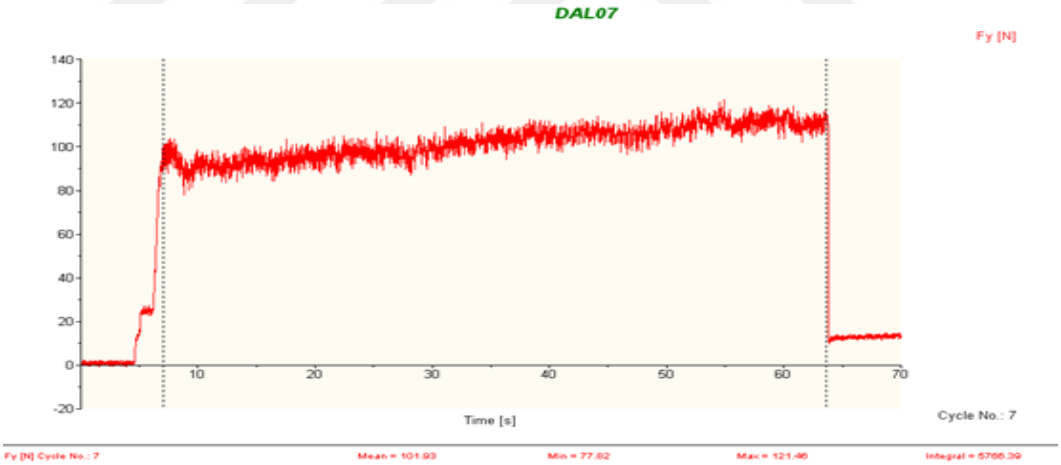
DAL06 Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL07

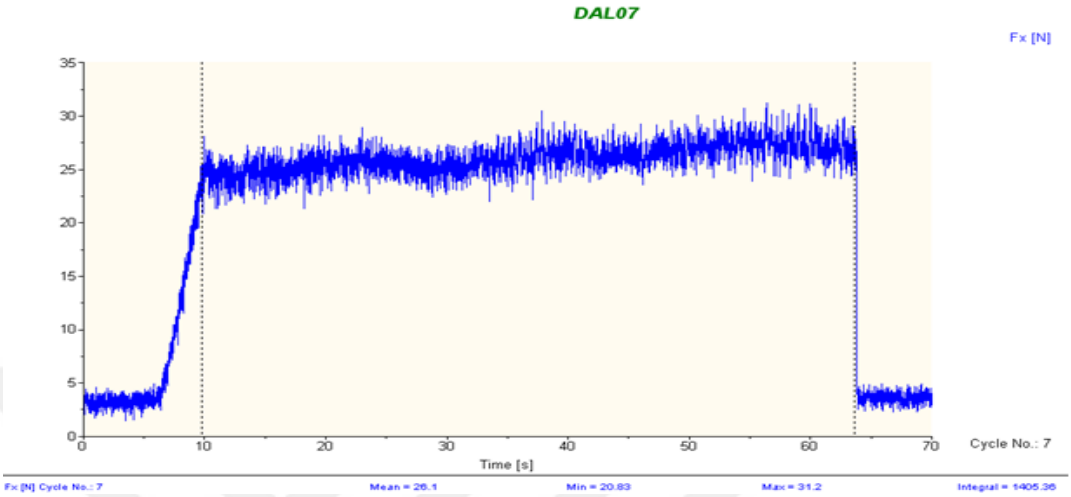


DAL07 Mz değişim grafiği

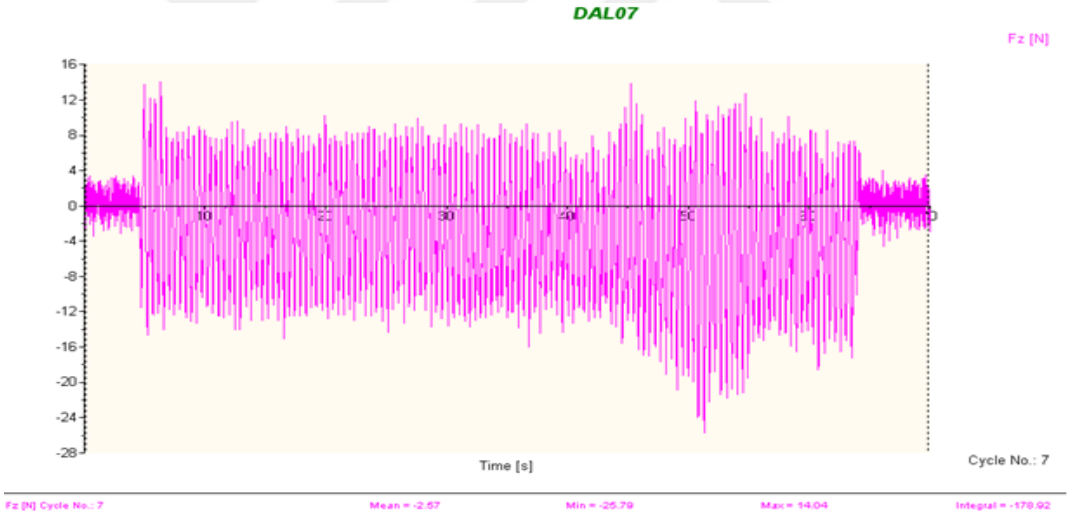


DAL07 Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



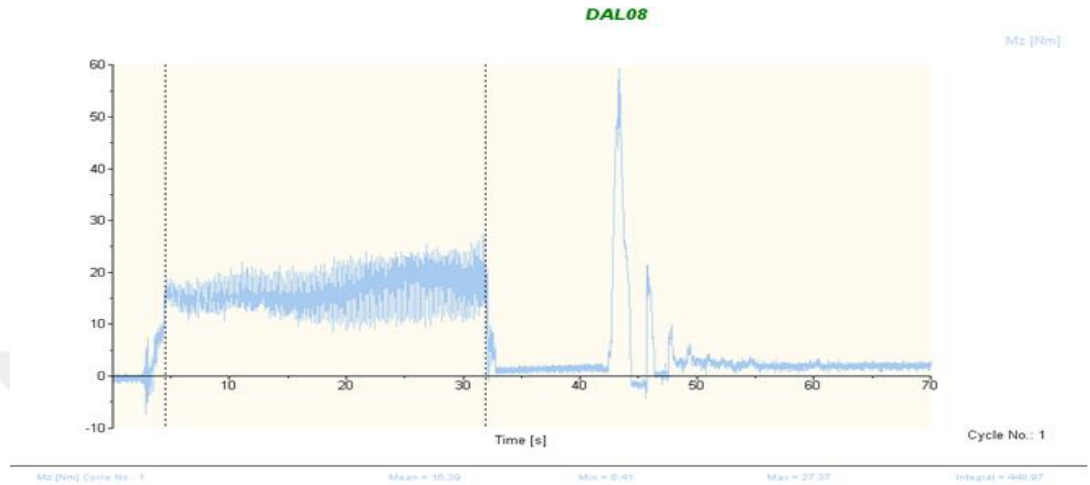
DAL07 Fx değişim grafiği



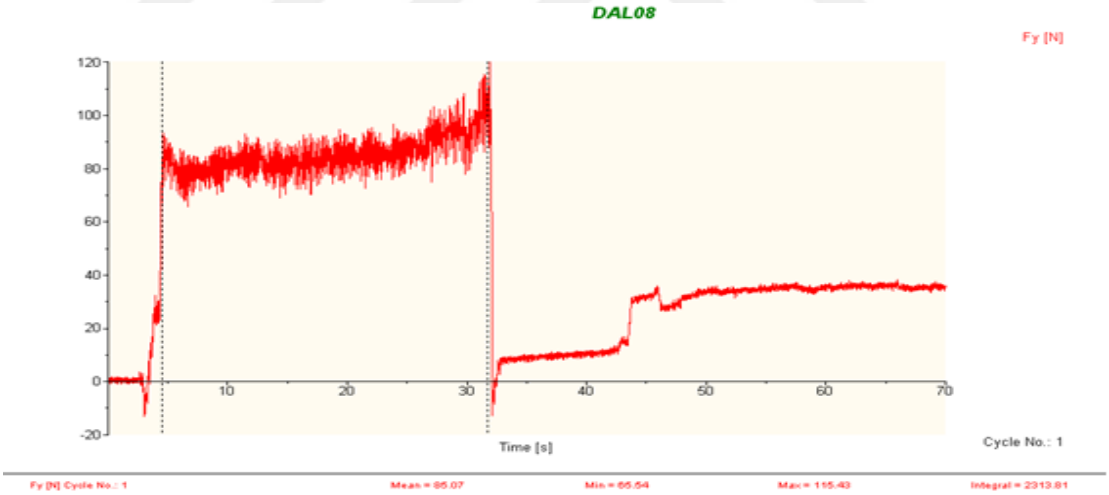
DAL07 Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL08

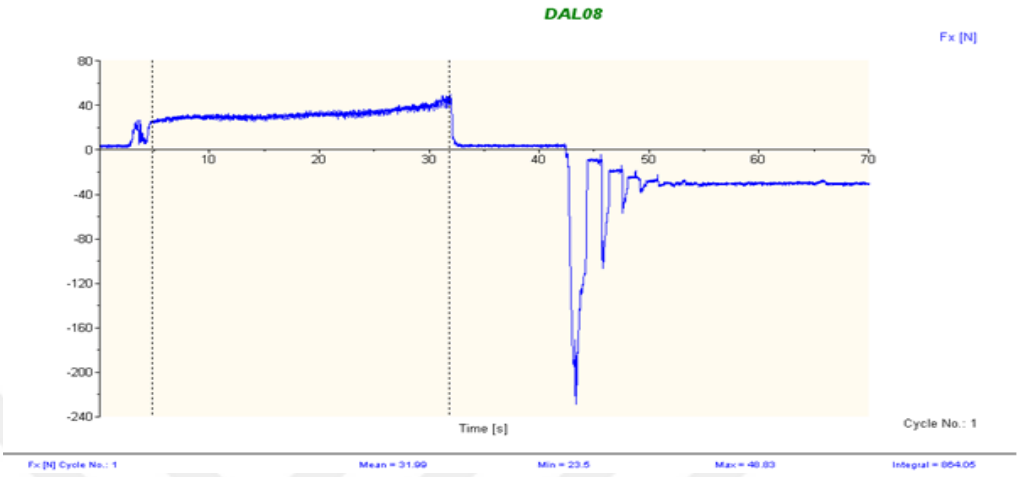


DAL08 Mz değişim grafiği

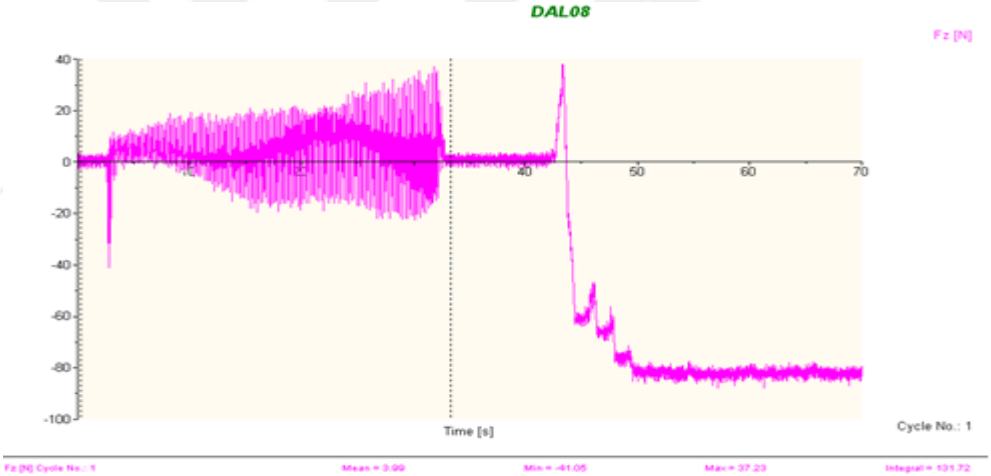


DAL08 Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



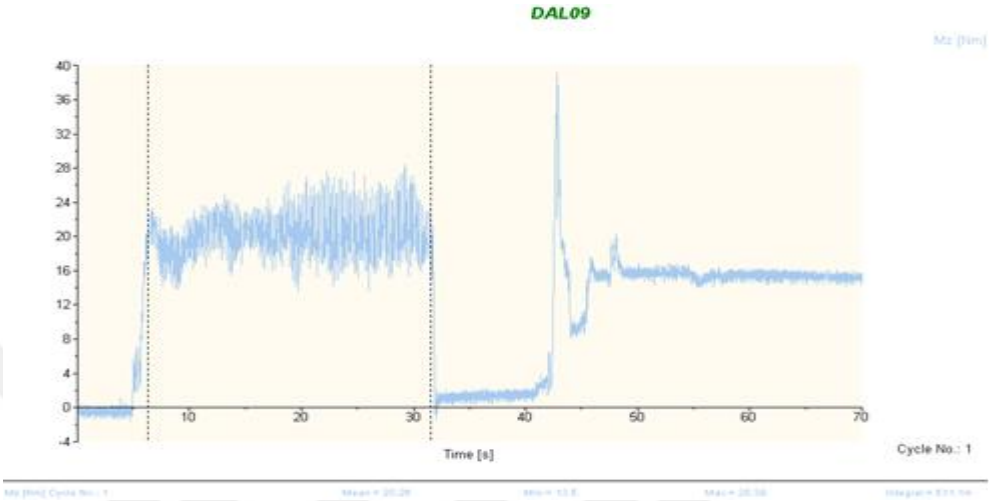
DAL08 Fx değişim grafiği



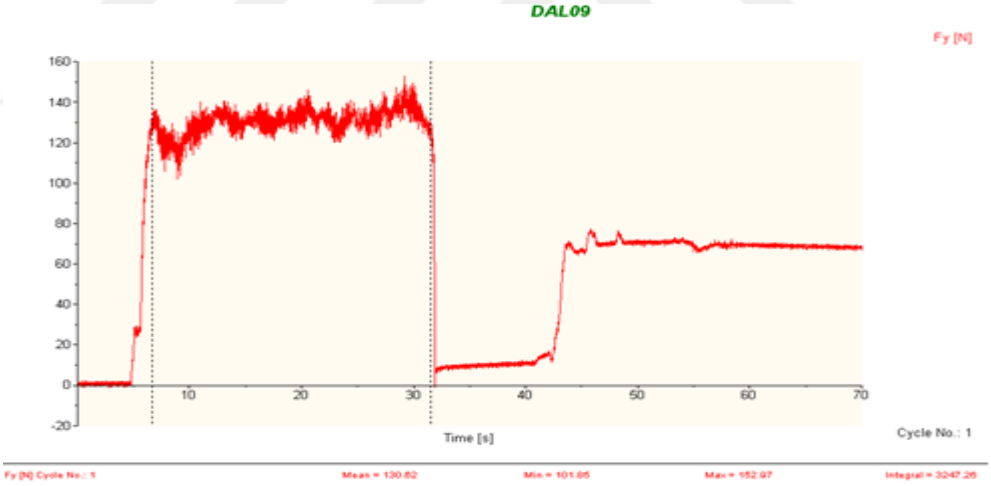
DAL08 Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL09

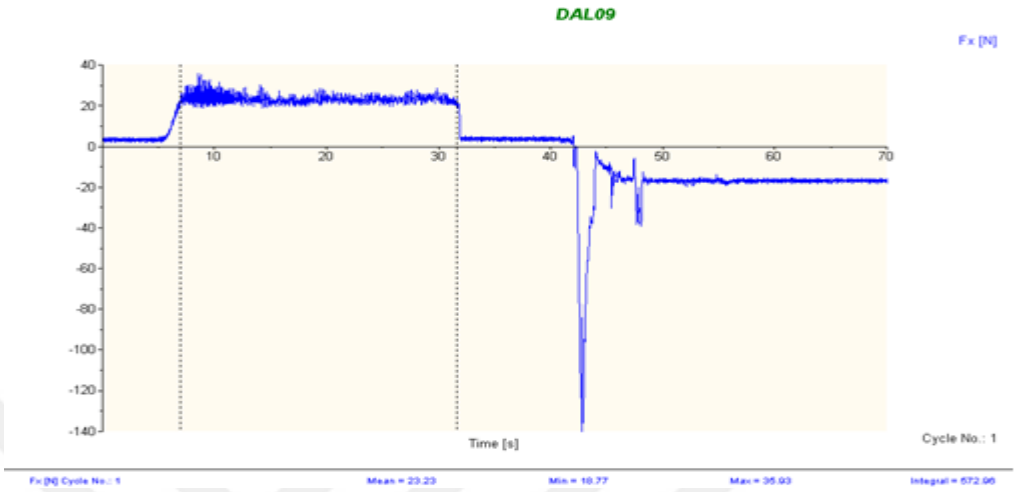


DAL09 Mz değişim grafiği

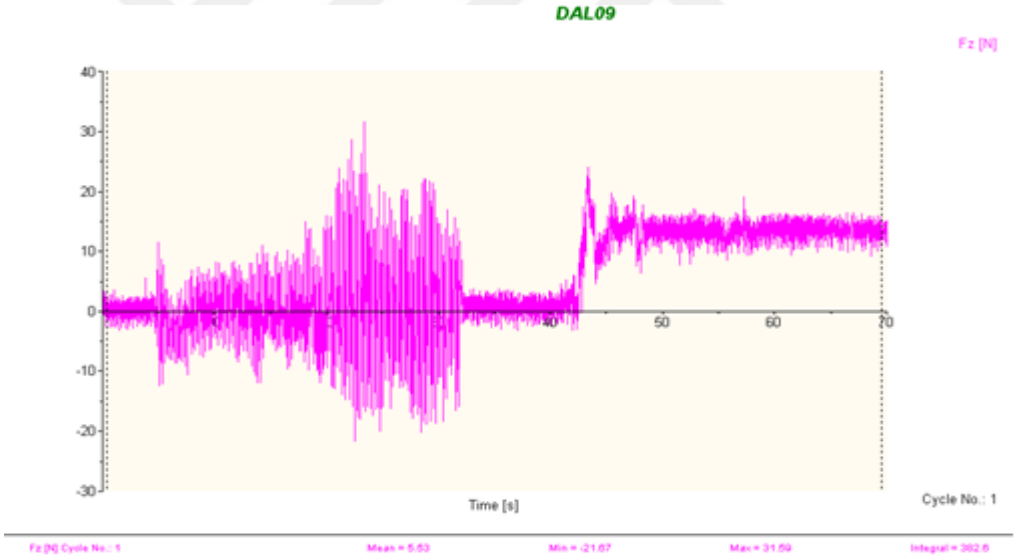


DAL09 Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



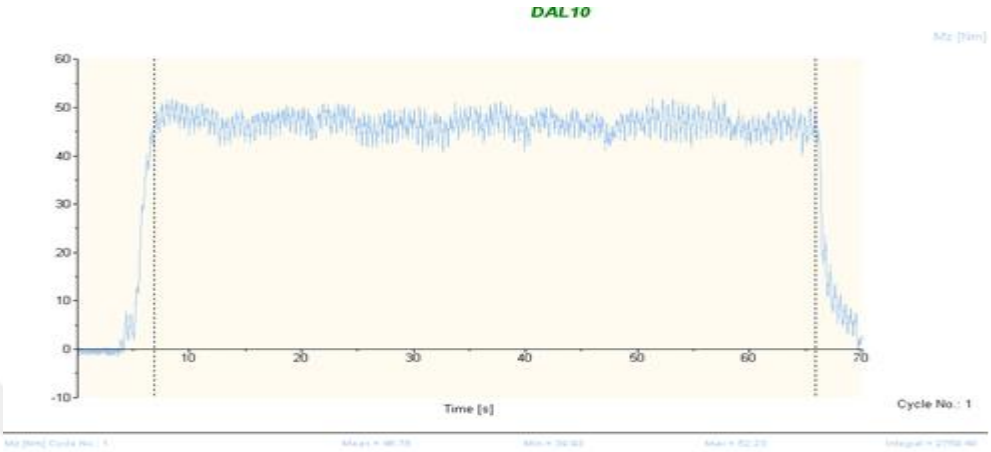
DAL09 Fx değişim grafiği



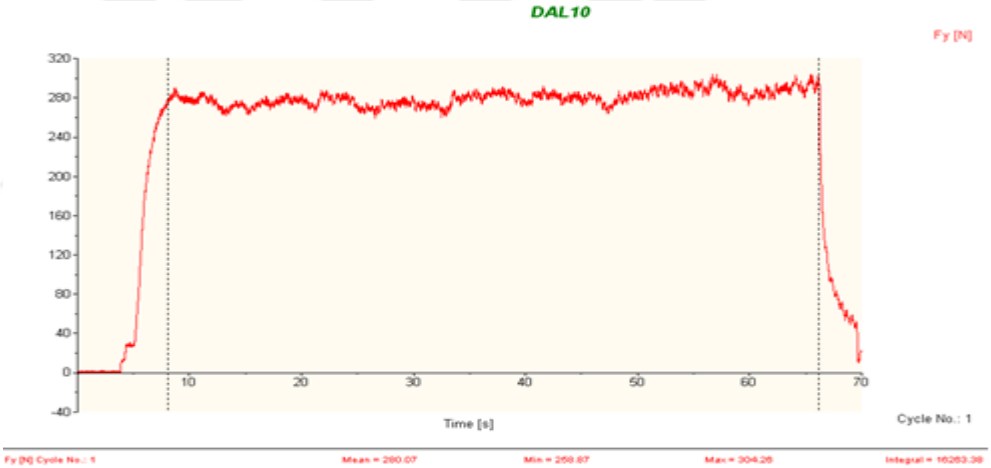
DAL09 Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL10

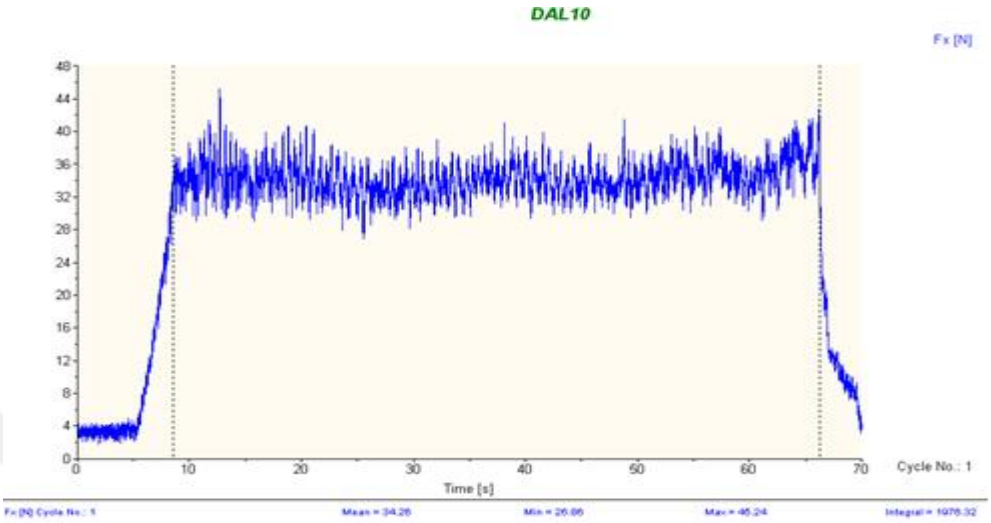


DAL10 Mz değişim grafiği

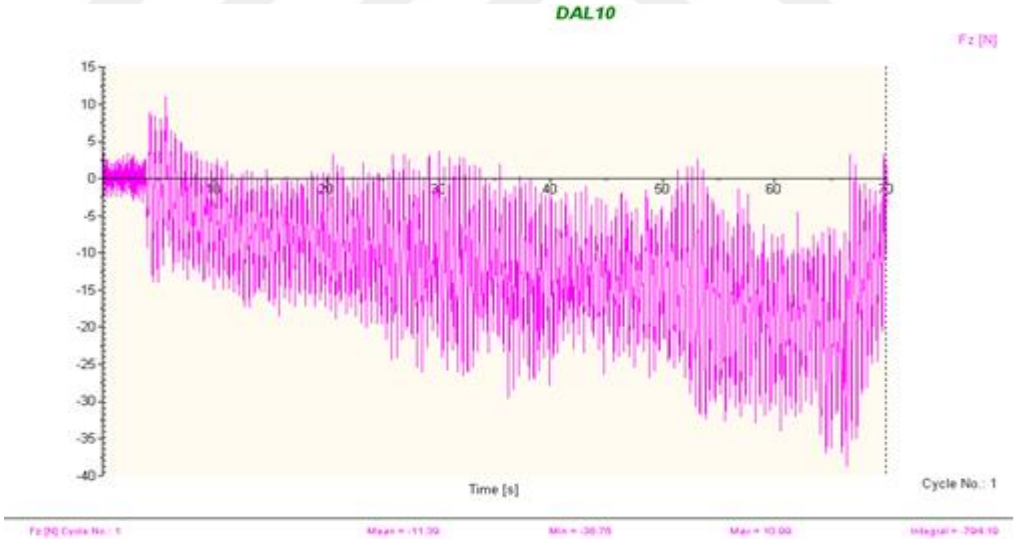


DAL10 Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



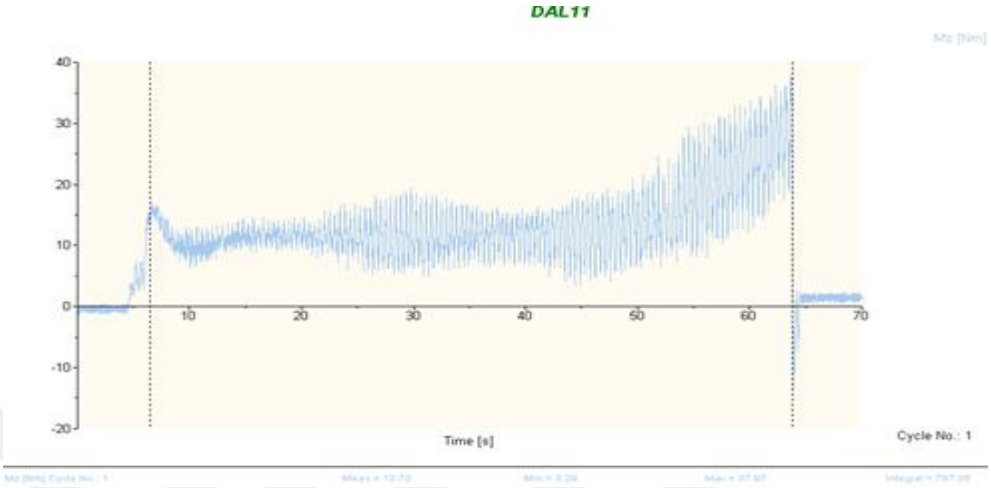
DAL10 Fx değişim grafiği.



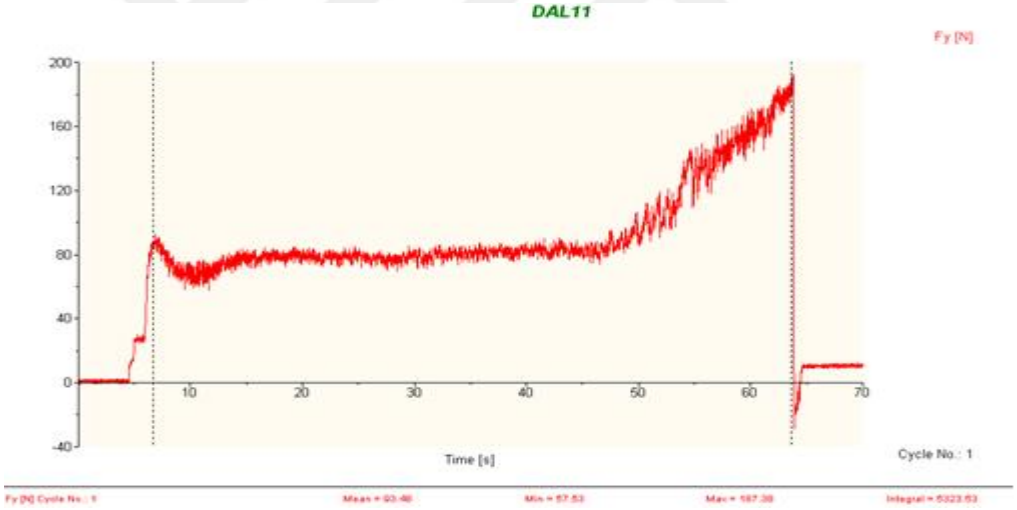
DAL10 Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL11

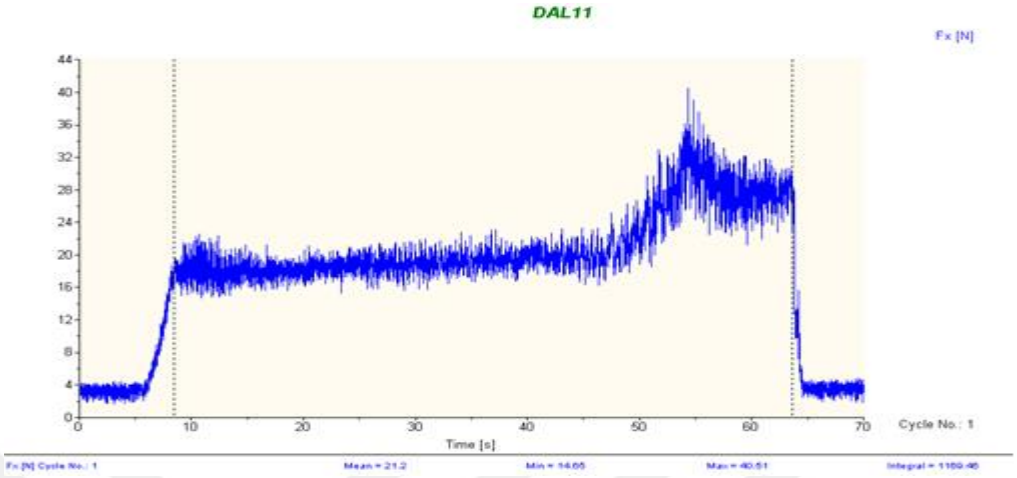


DAL11 Mz değişim grafiği

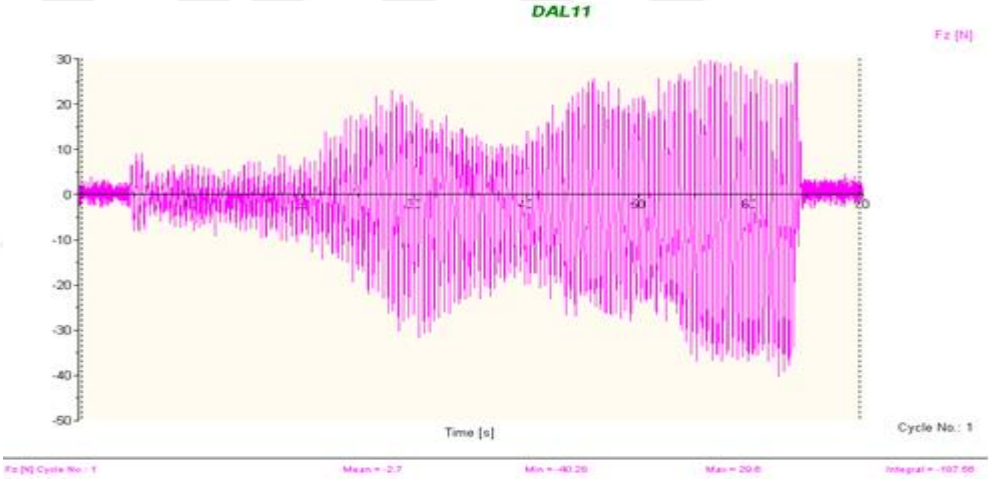


DAL11 Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



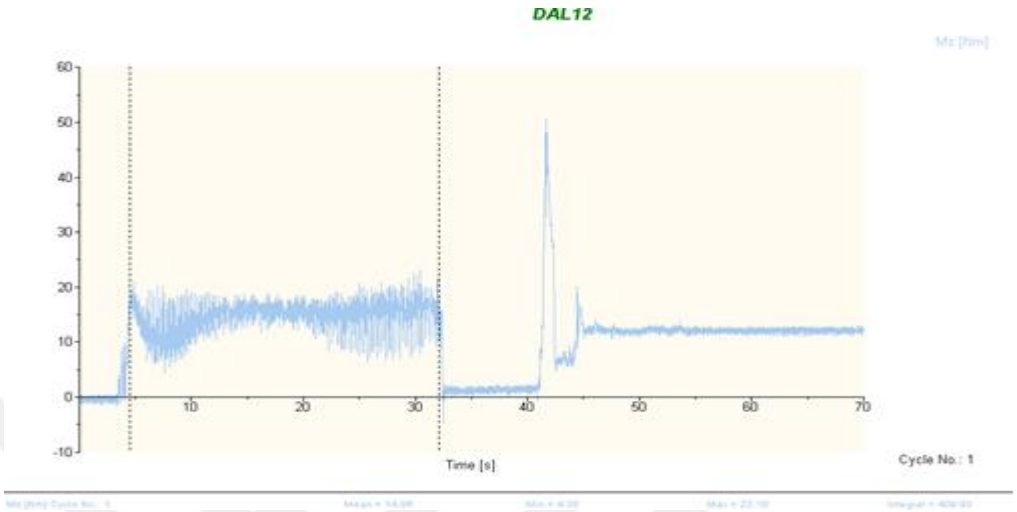
DAL11 Fx değişim grafiği.



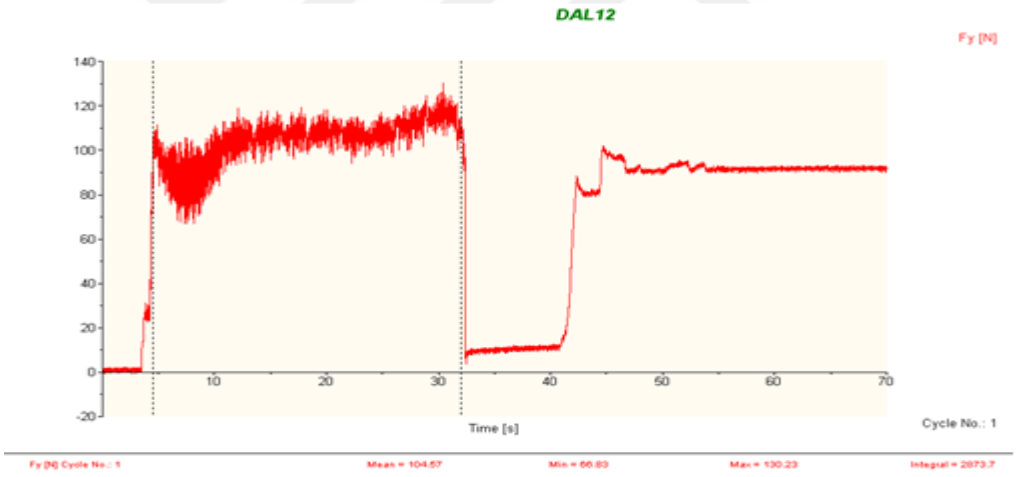
DAL11 Fz değişim grafiği.

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL12

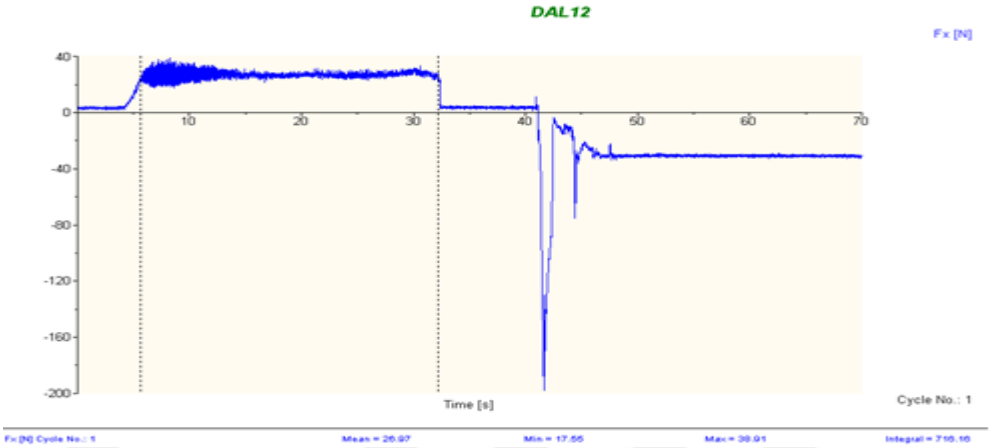


DAL12 Mz değişim grafiği

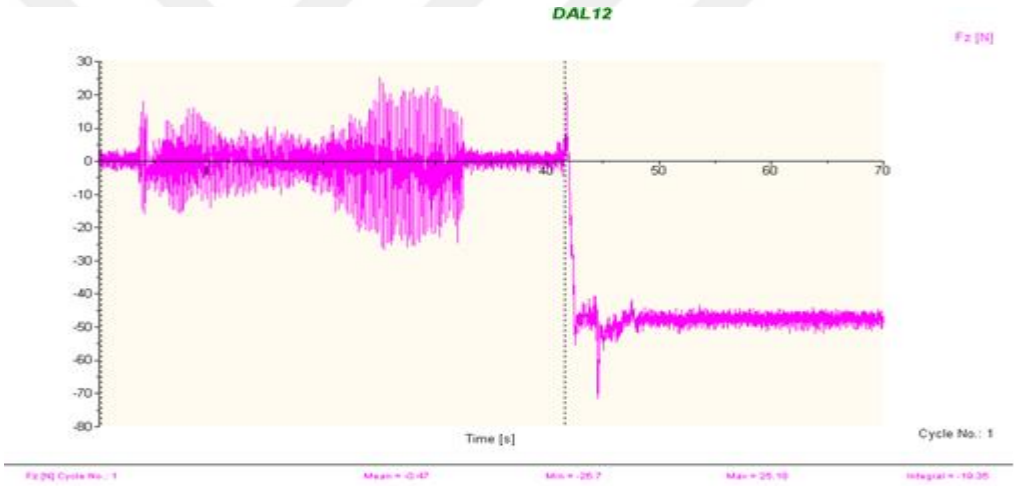


DAL12 Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısıyla yapılan DAL01'den DAL12'ye kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



DAL12 Fx değişim grafiği

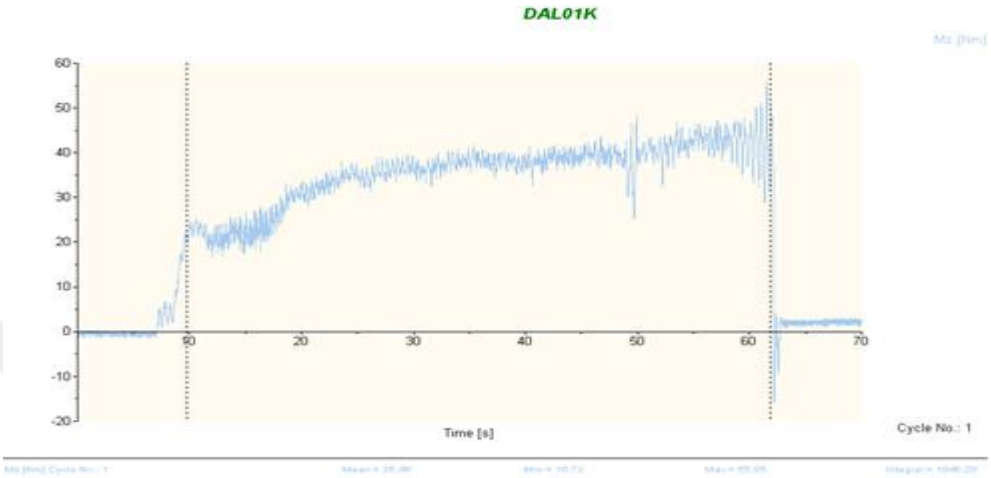


DAL12 Fz değişim grafiği

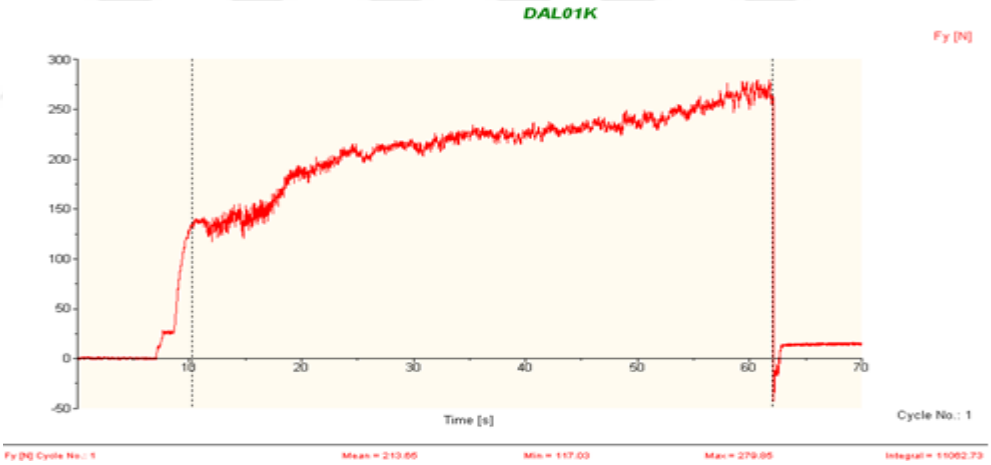
Ek-B

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL01K

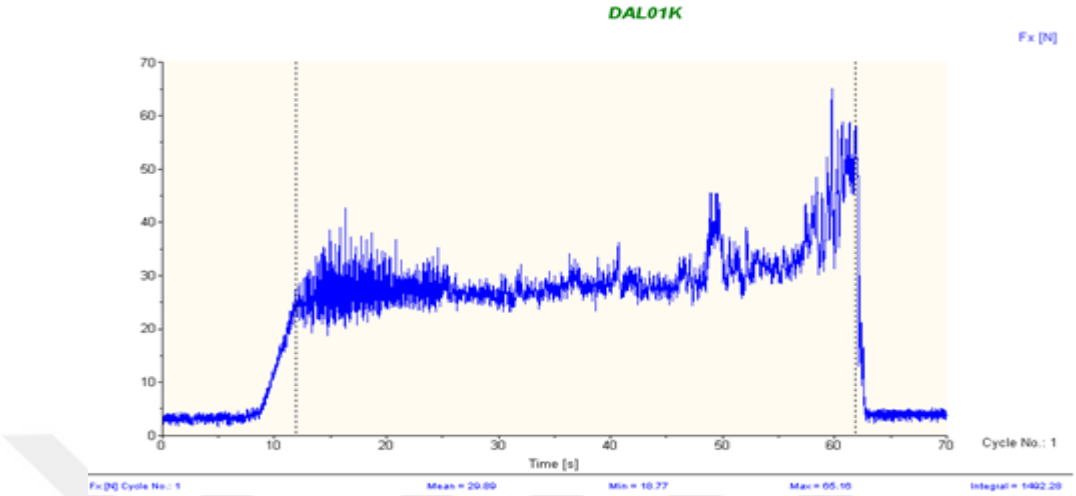


DAL01K Mz değişim grafiği

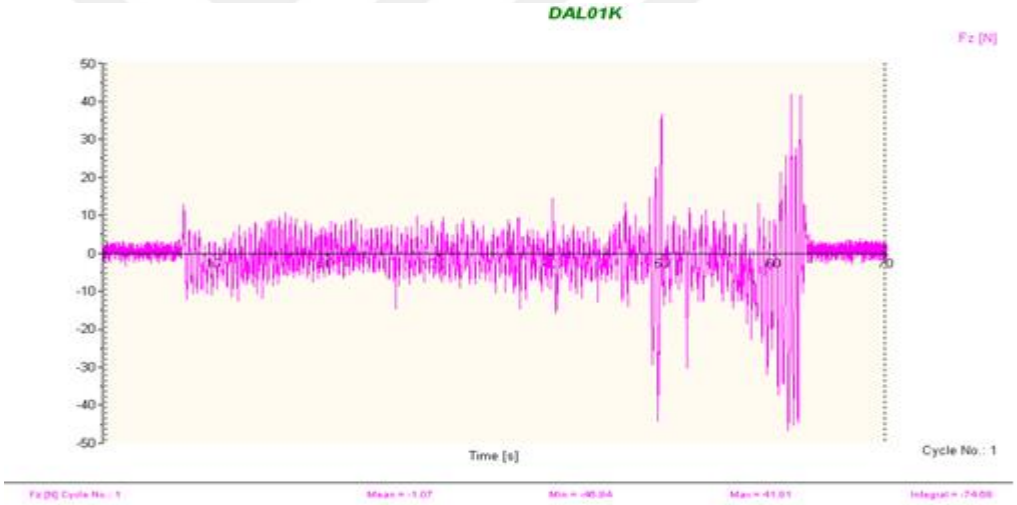


DAL01K Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



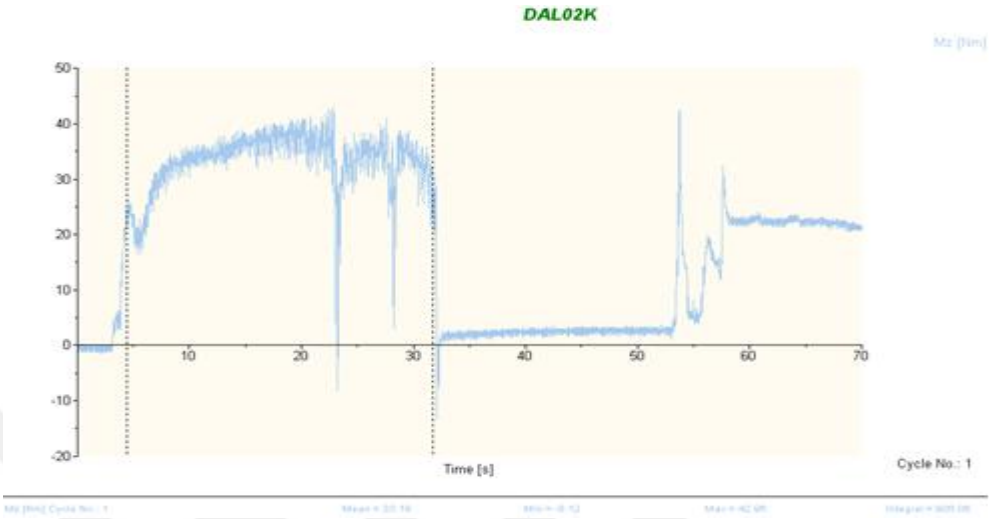
DAL01K Fx değişim grafiği



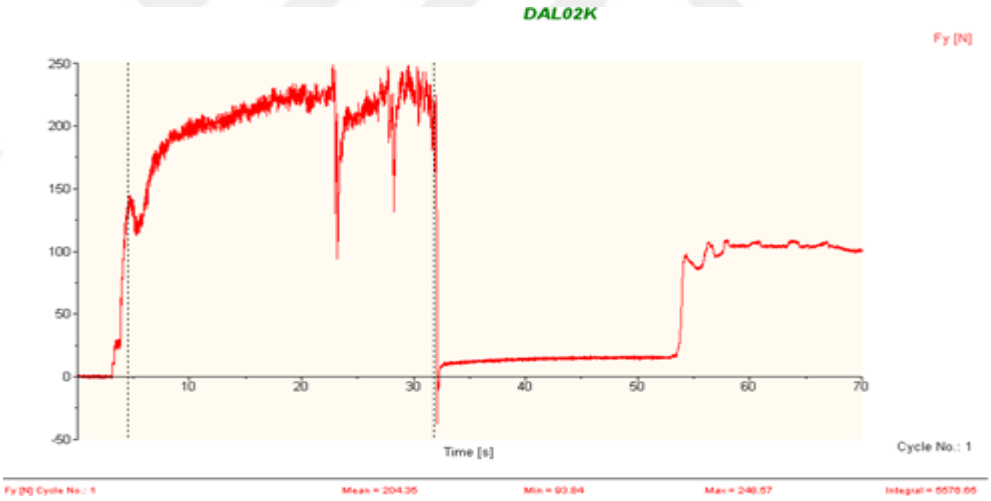
DAL01K Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL02K

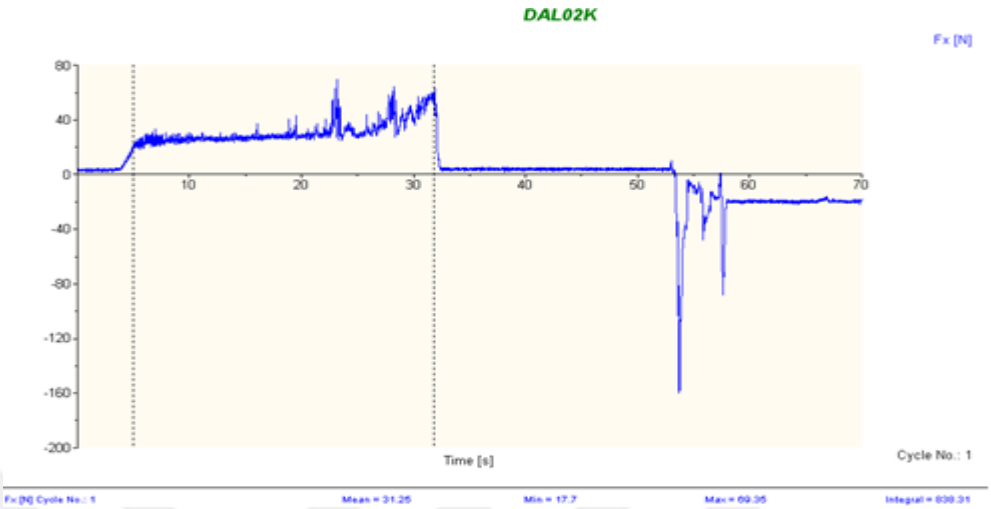


DAL02K Mz değişim grafiği

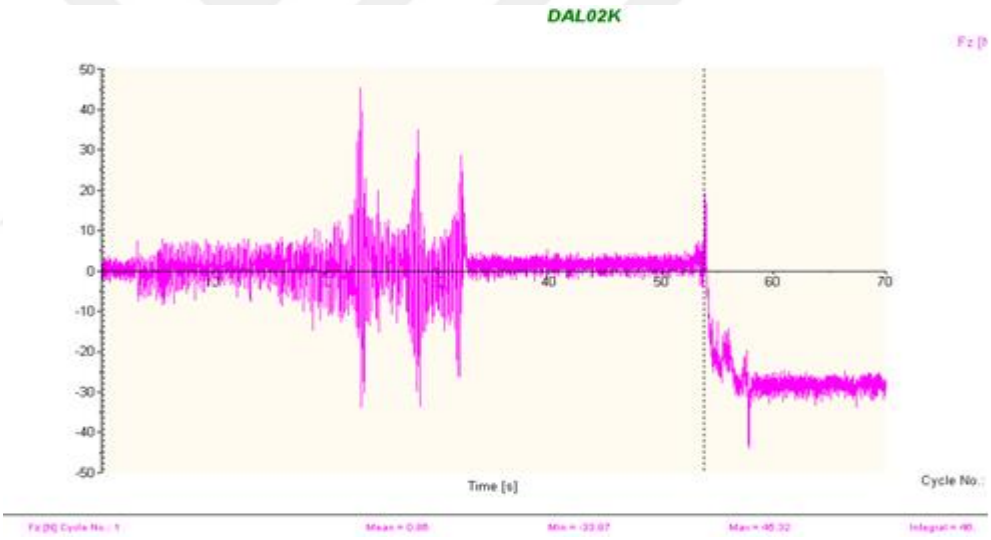


DAL02K Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



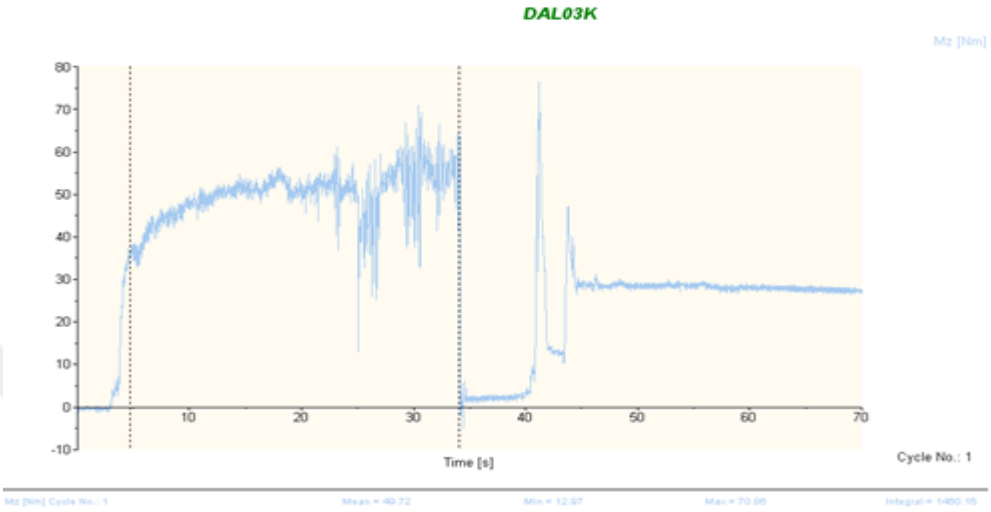
DAL02K Fx değişim grafiği



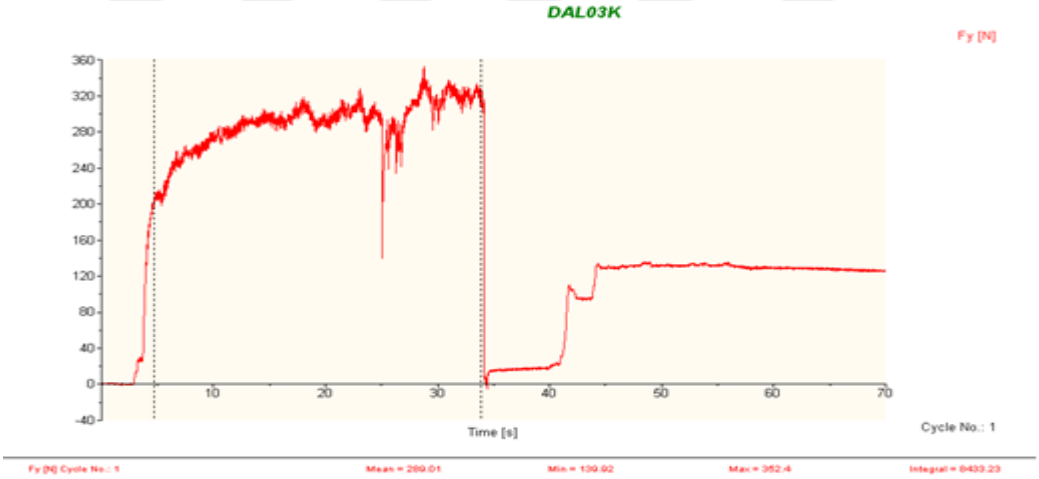
DAL02K Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL03K

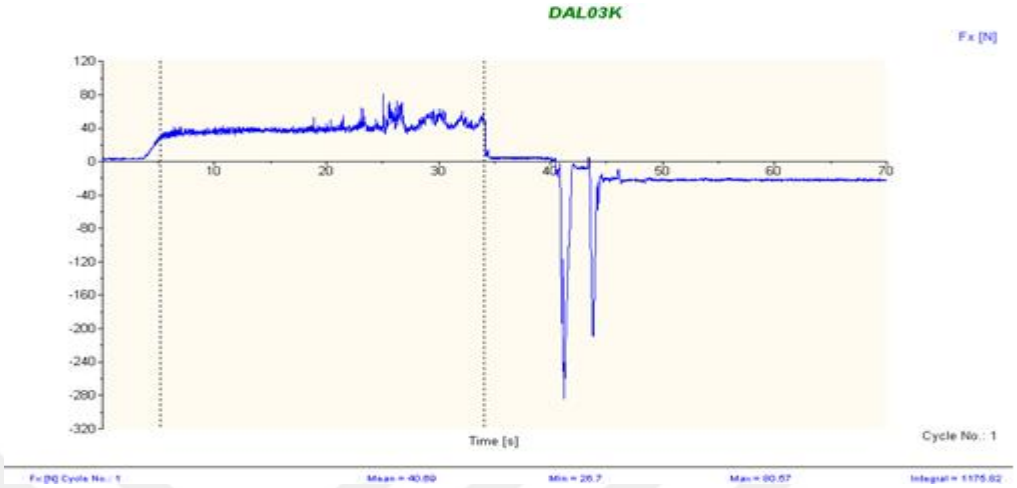


DAL03K Mz değişim grafiği

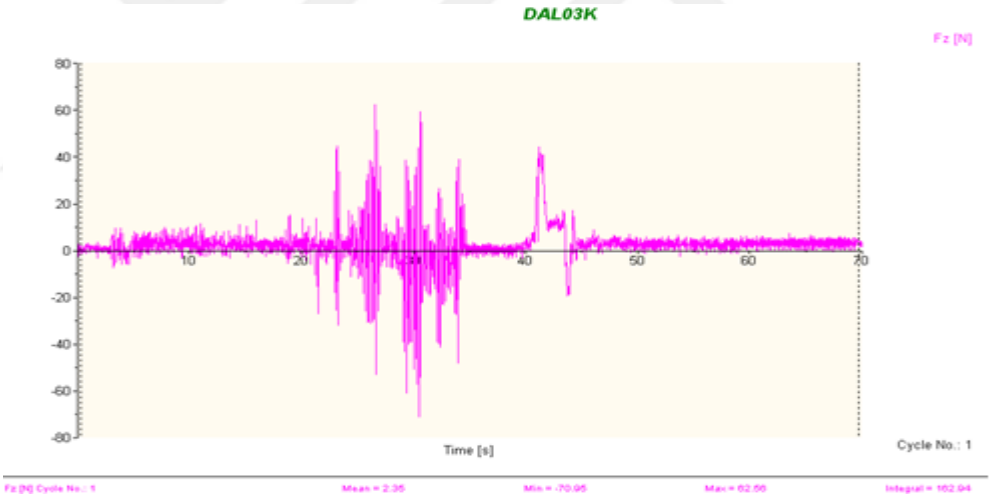


DAL03K Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



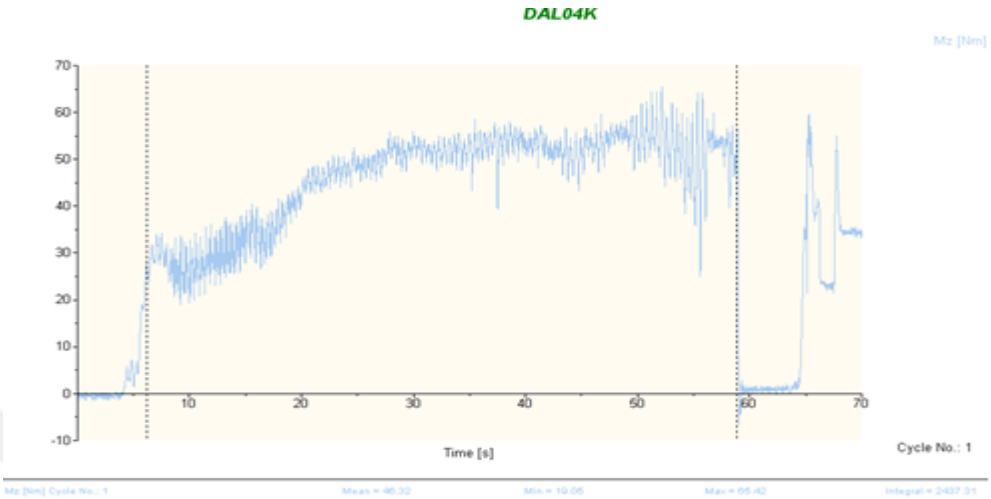
DAL03K Fx değişim grafiği



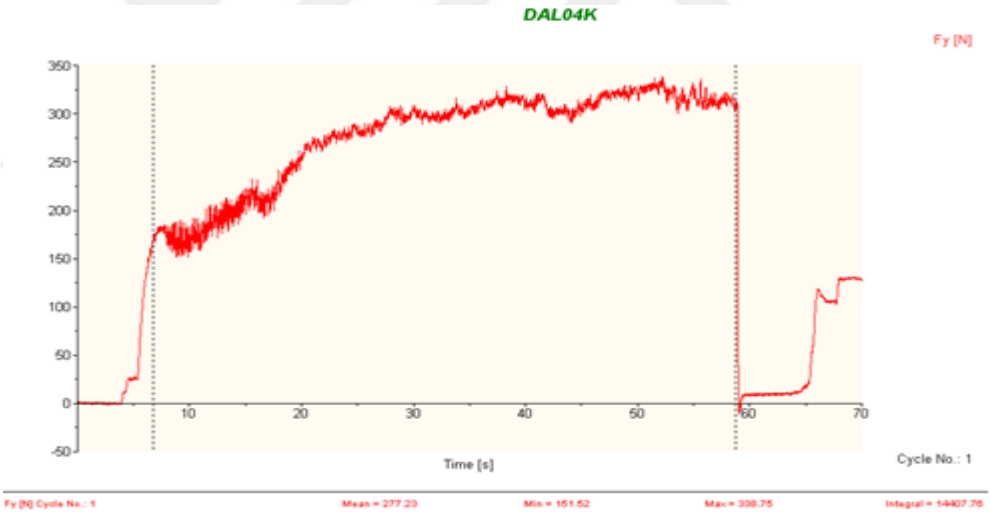
DAL03K Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL04K

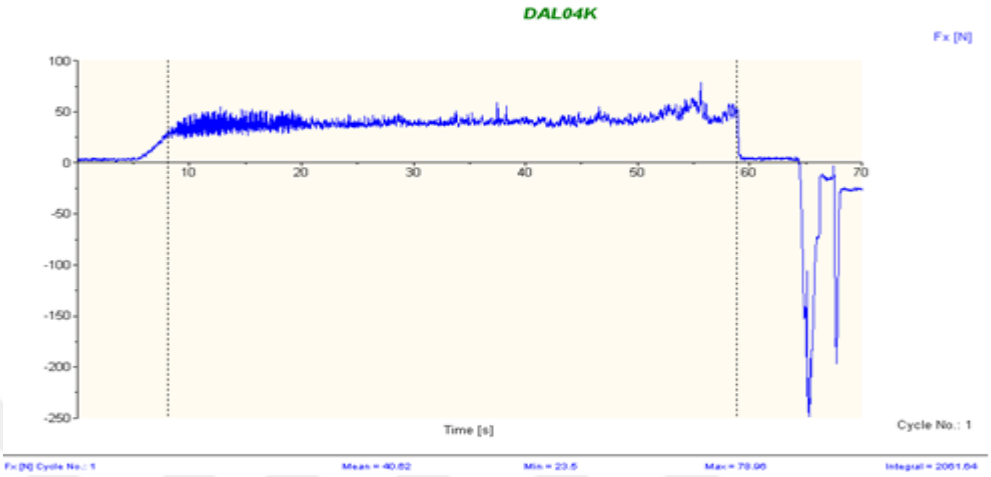


DAL04K Mz değişim grafiği

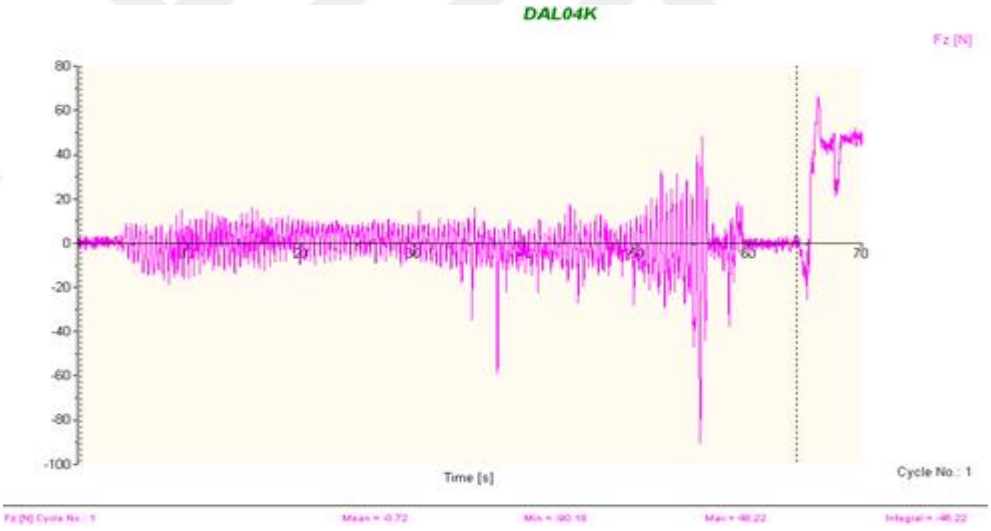


DAL04K Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



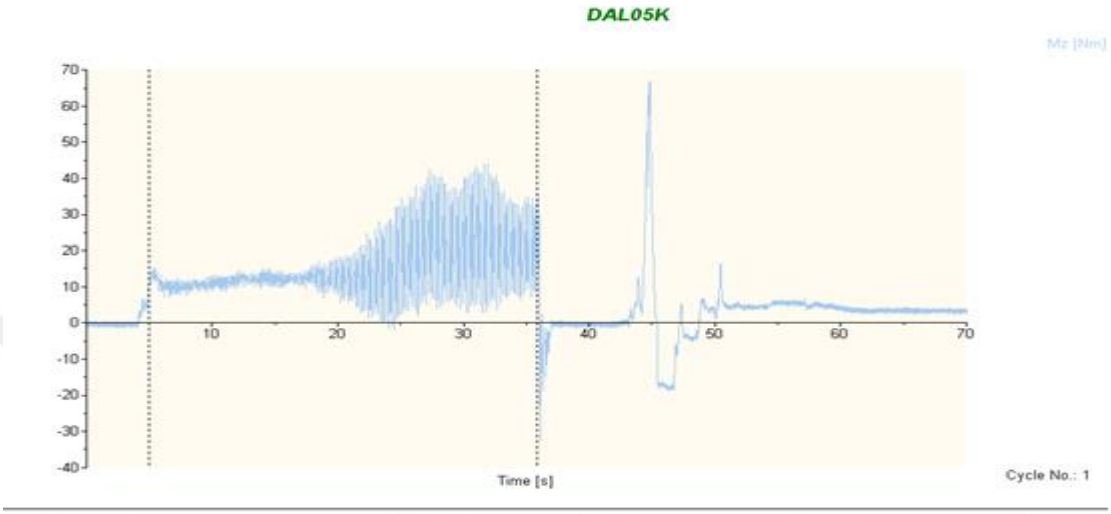
DAL04K Fx değişim grafiği



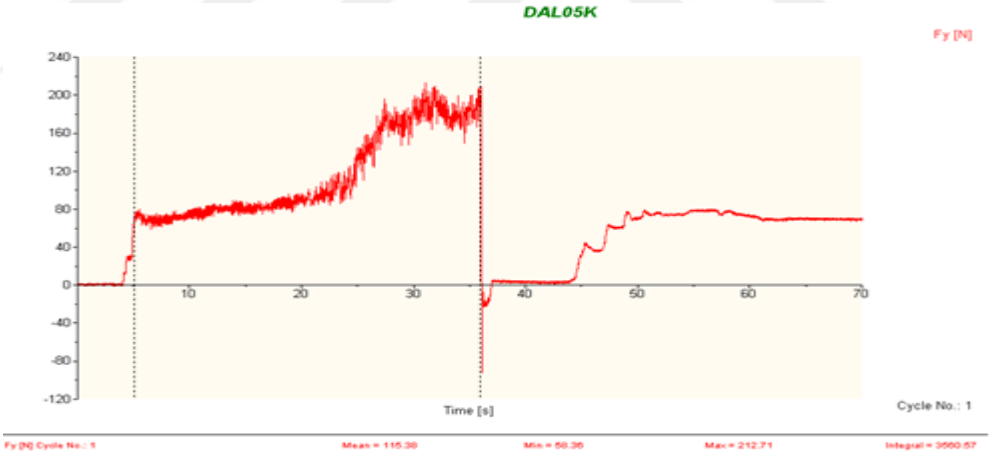
DAL04K Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL05K

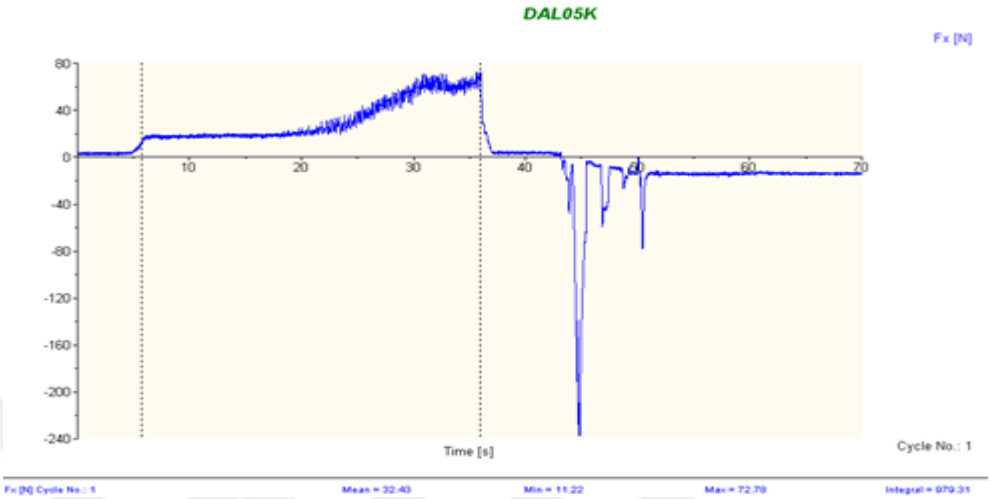


DAL05K Mz değişim grafiği

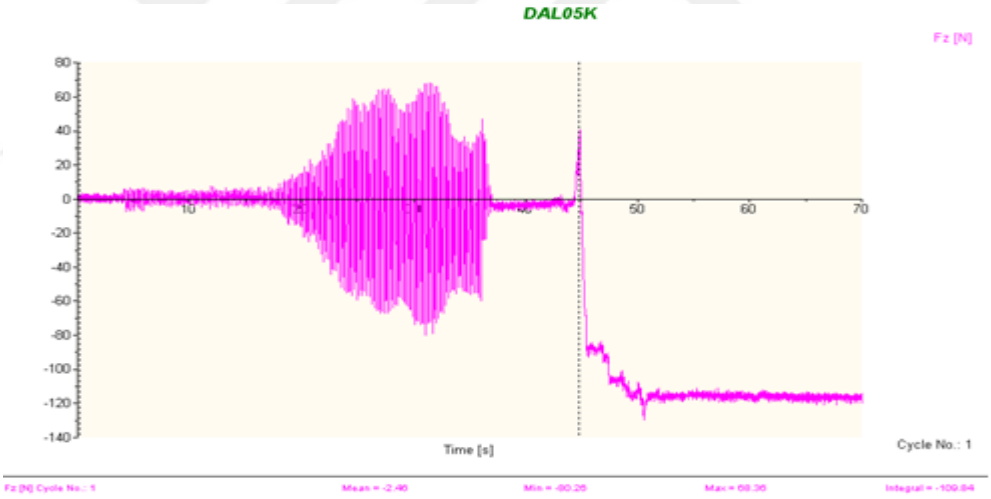


DAL05K Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



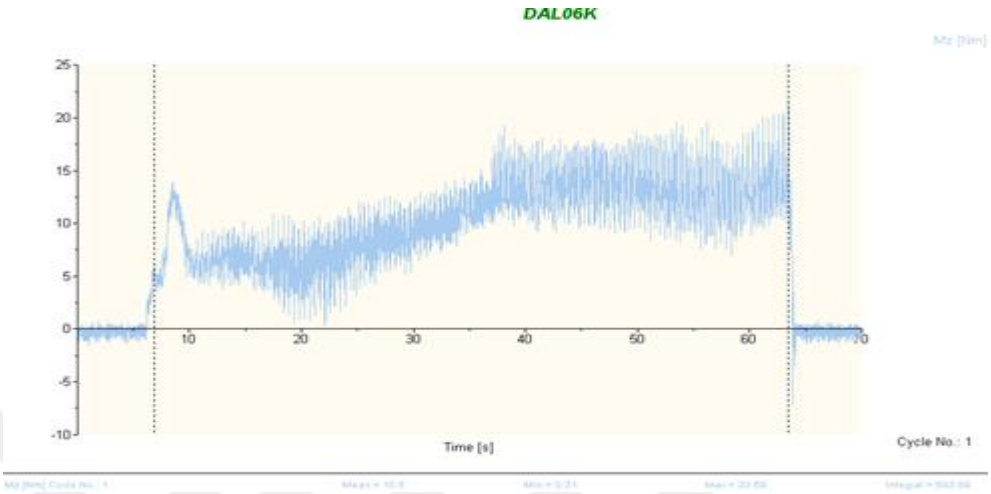
DAL05K Fx değişim grafiği



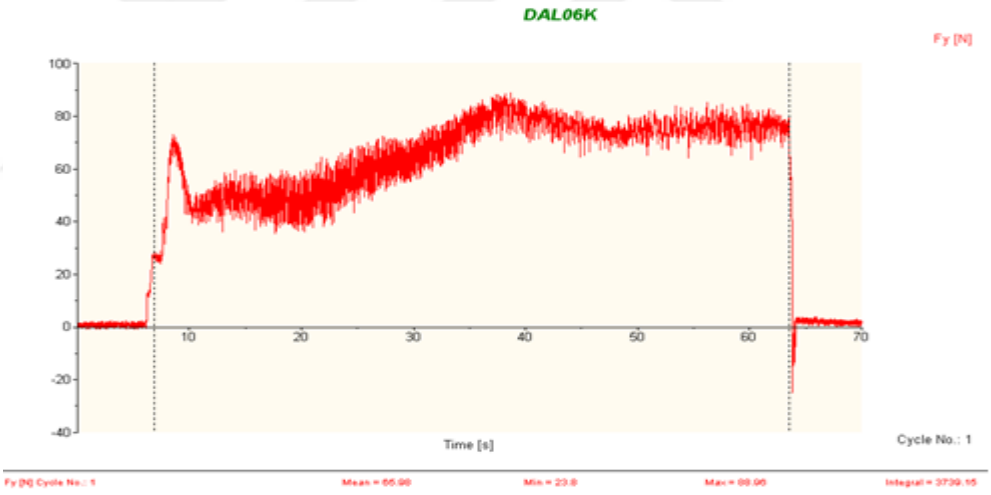
DAL05K Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL06K

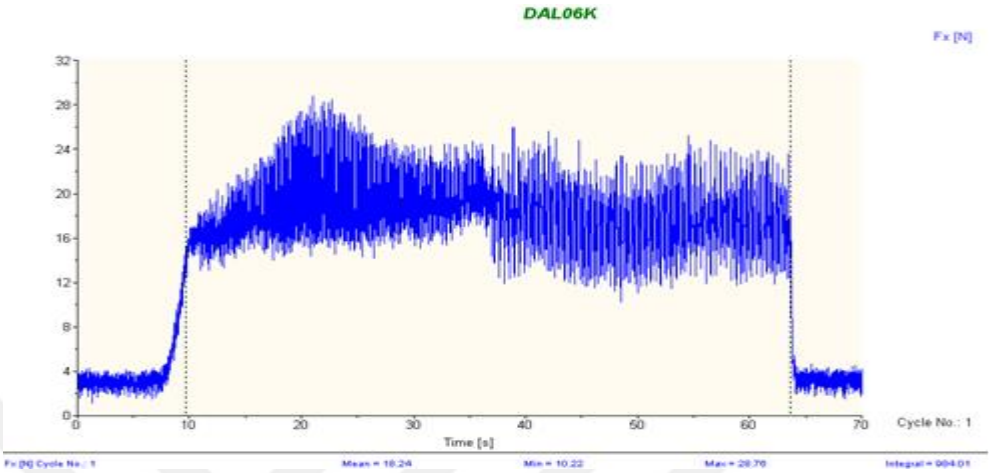


DAL06K Mz değişim grafiği

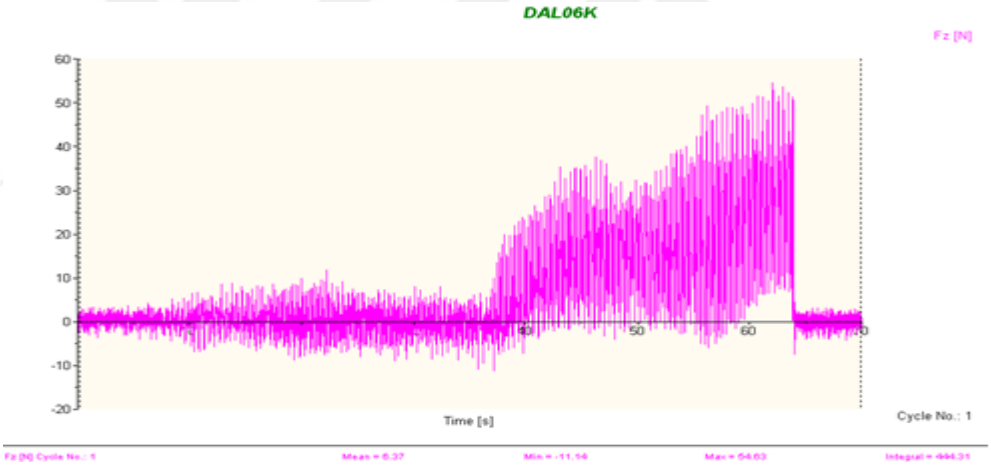


DAL06K Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



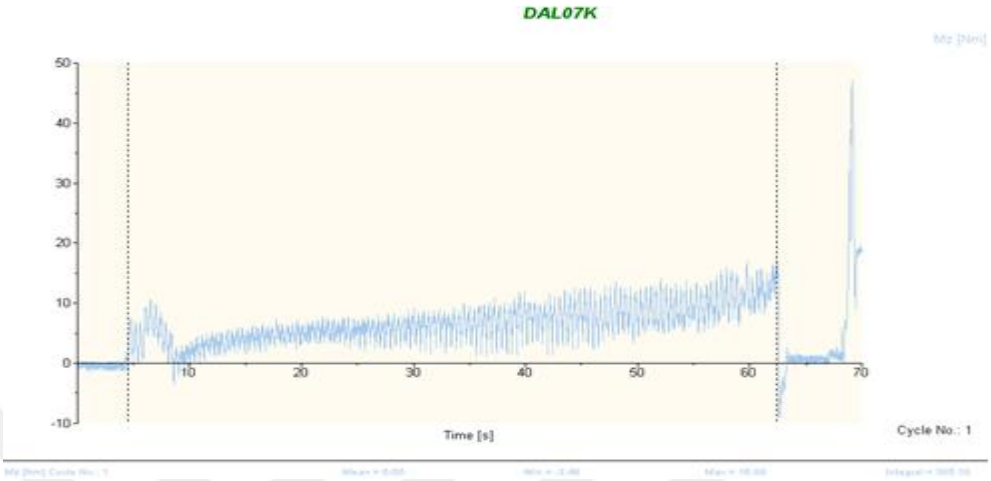
DAL06K Fx değişim grafiği



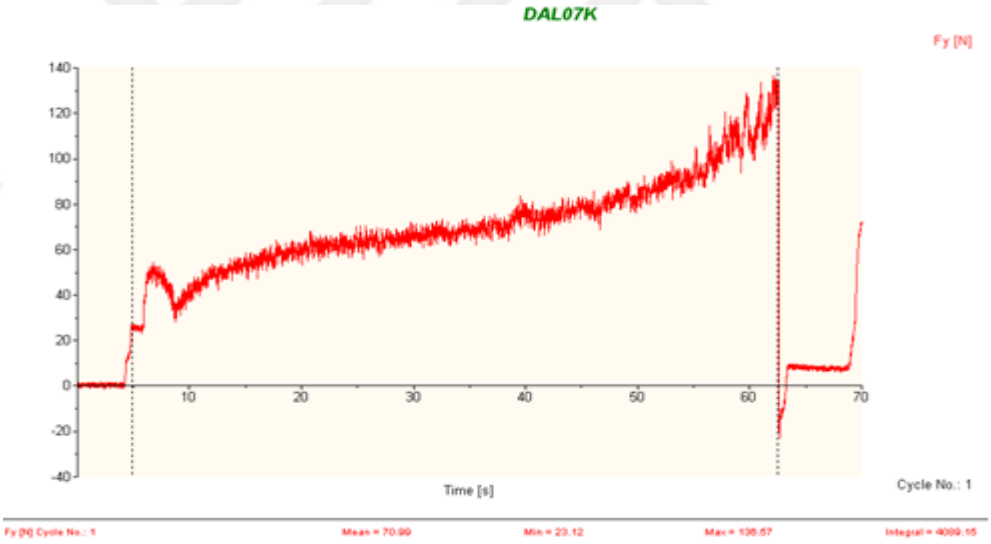
DAL06K Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL07K

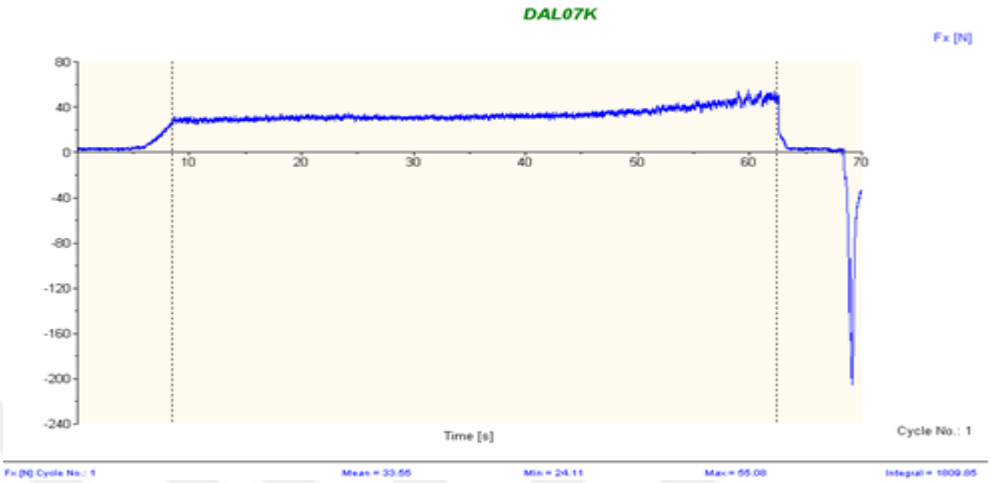


DAL07K Mz değişim grafiği

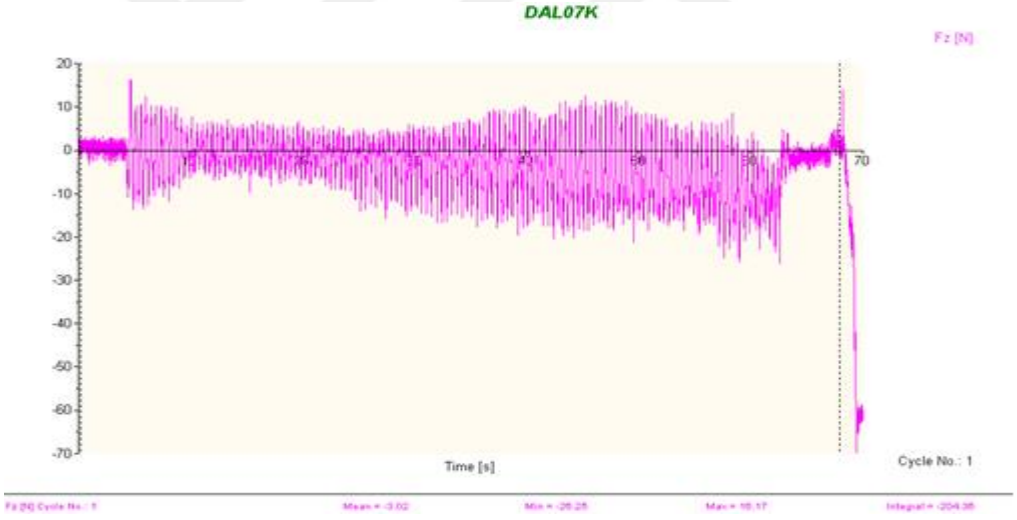


DAL07K Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



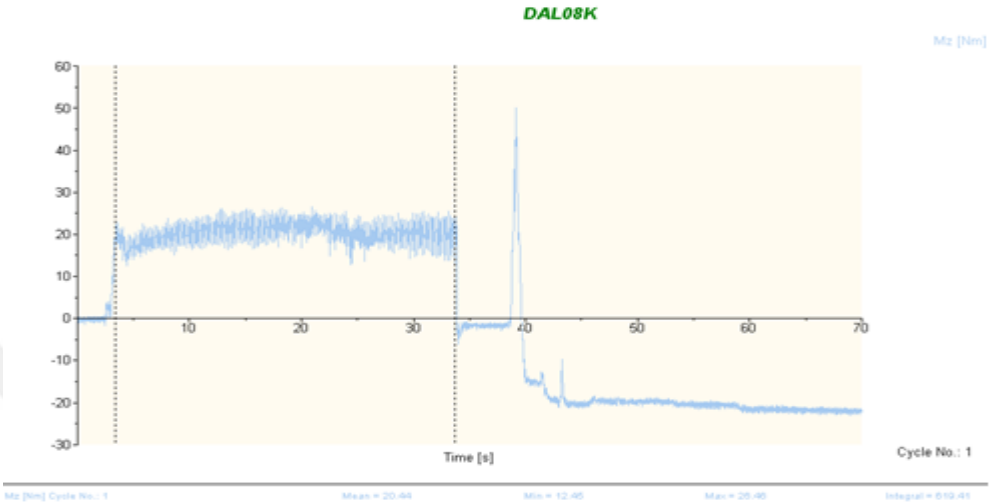
DAL07K Fx değişim grafiği



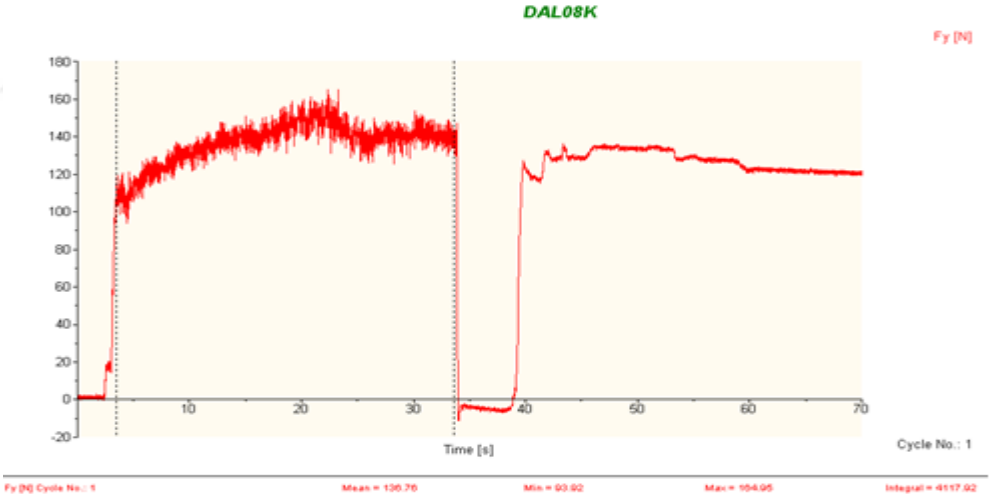
DAL07K Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL08K

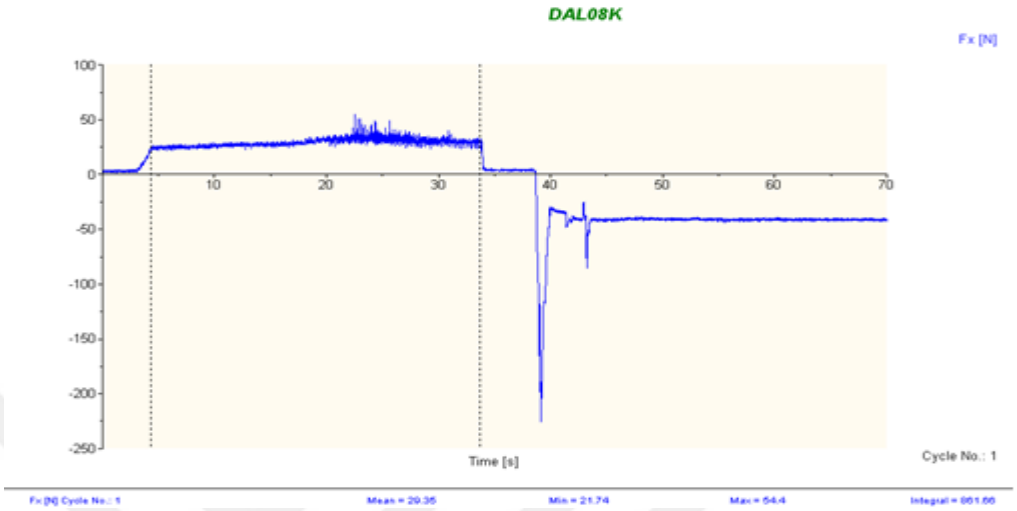


DAL08K Mz değişim grafiği

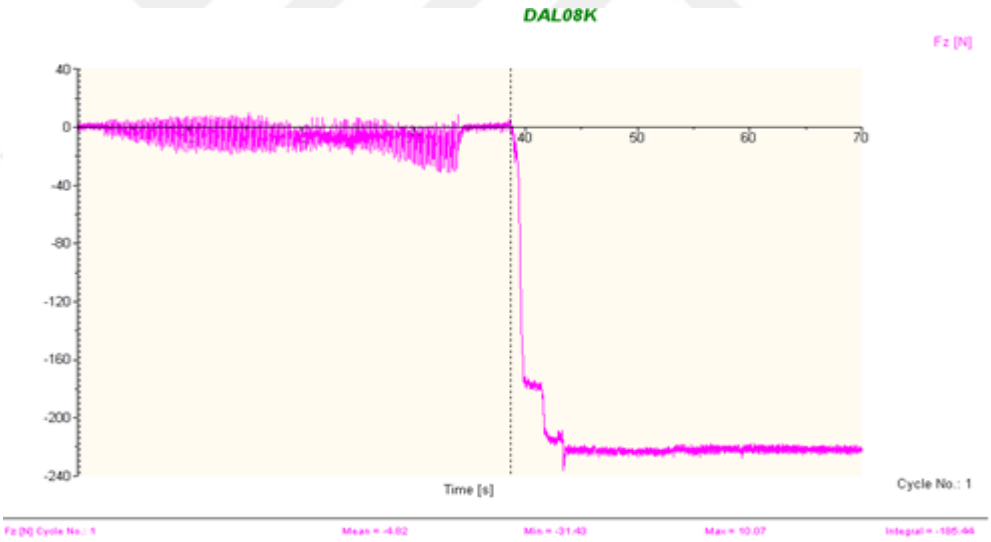


DAL08K Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



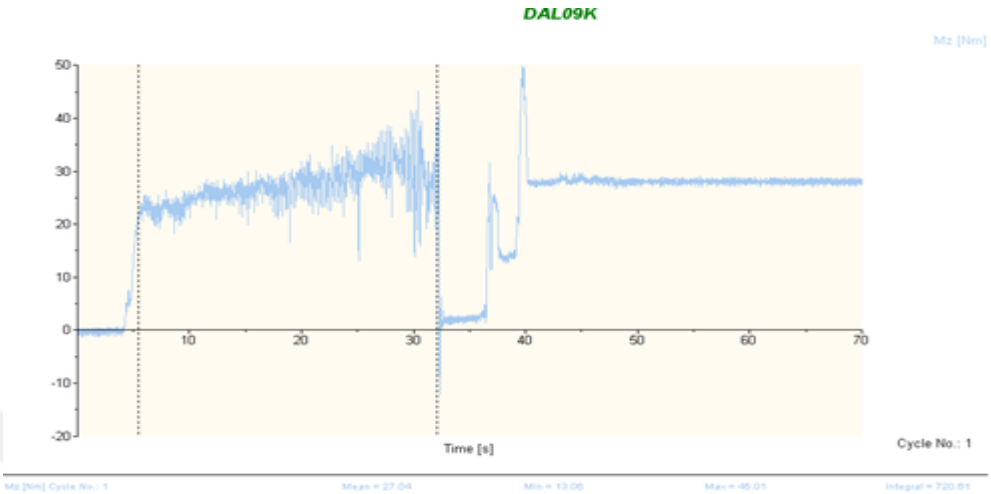
DAL08K Fx değişim grafiği



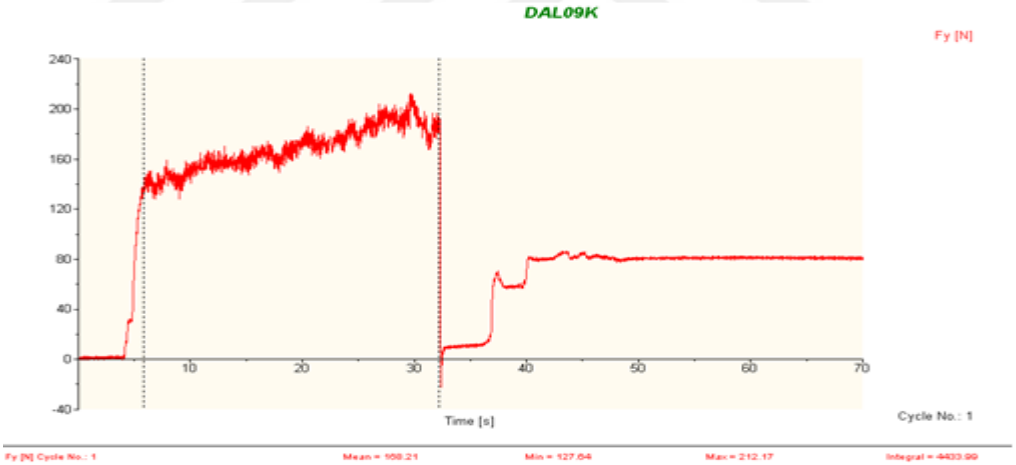
DAL08K Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL09K

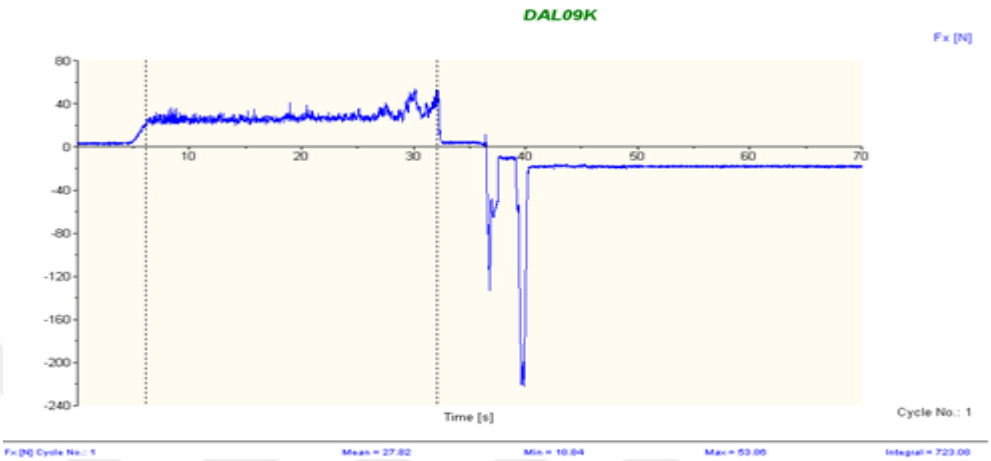


DAL09K Mz değişim grafiği

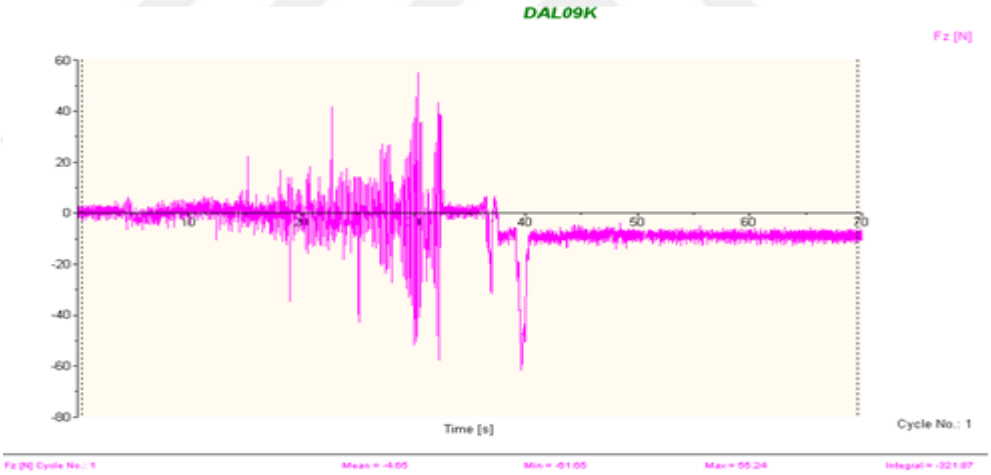


DAL09K Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



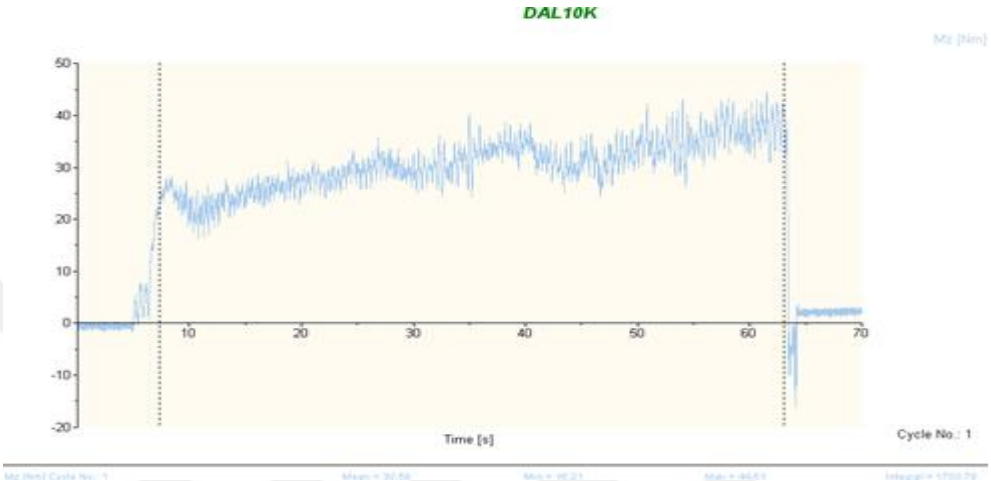
DAL09K Fx değişim grafiği



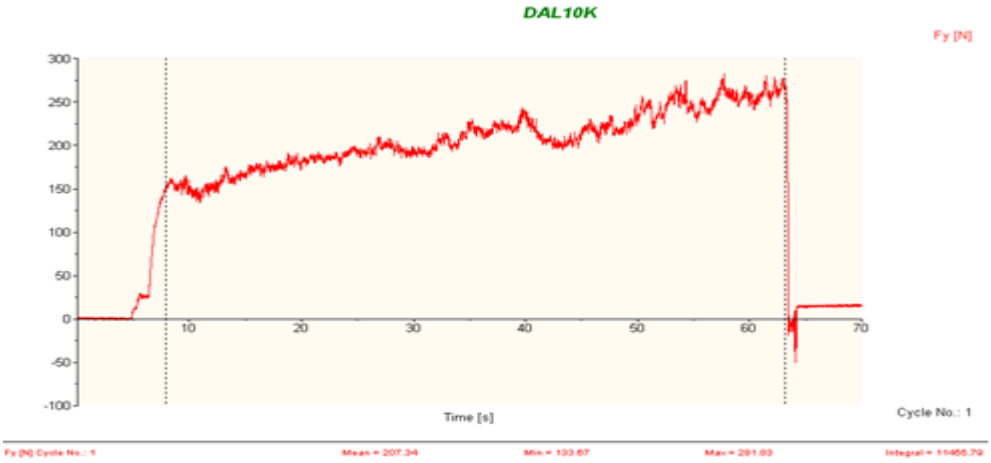
DAL09K Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL10K

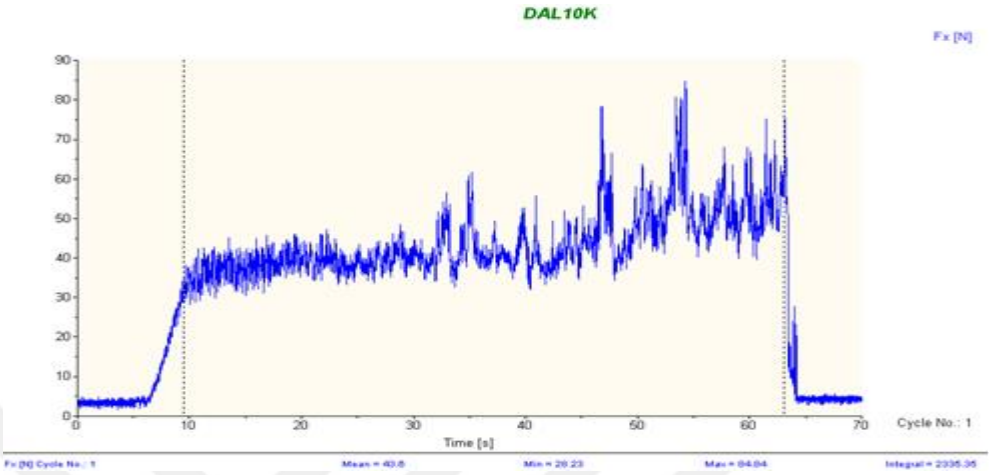


DAL10K Mz değişim grafiği

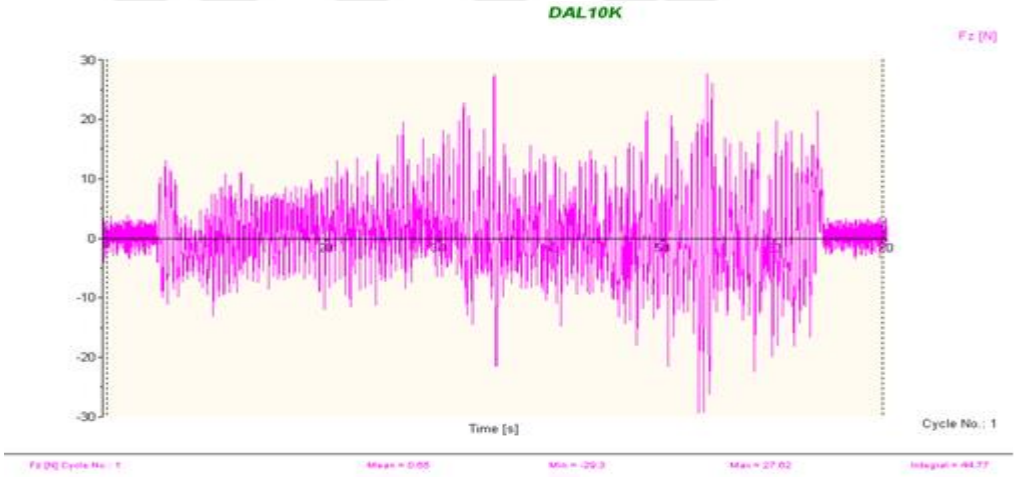


DAL10K Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



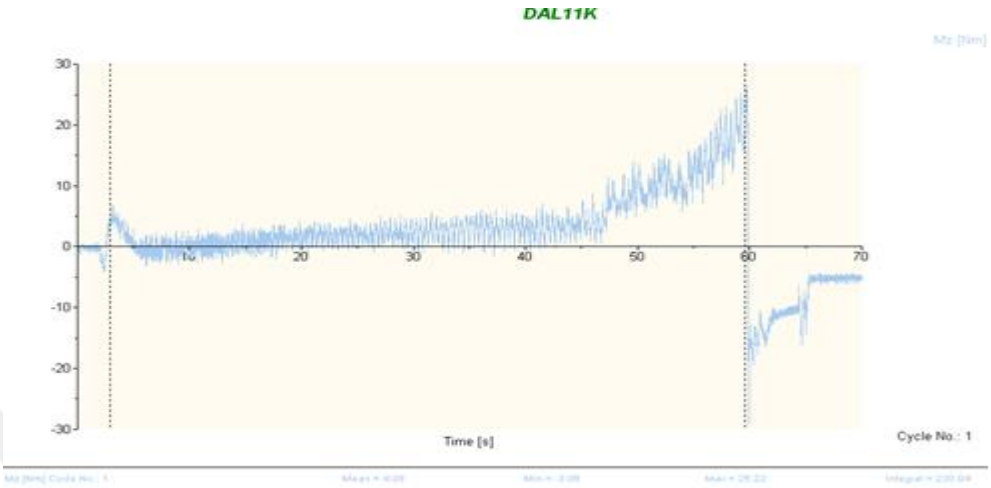
DAL10K Fx değişim grafiği



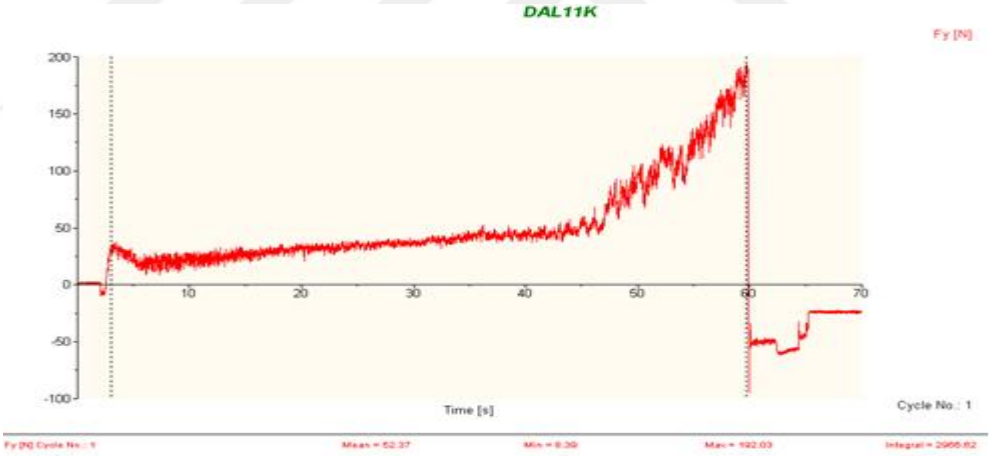
DAL10K Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL11K

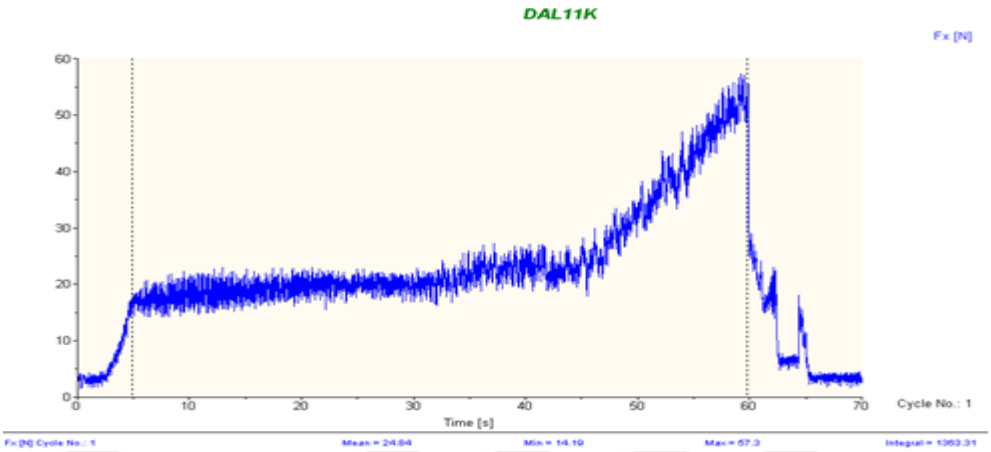


DAL11K Mz değişim grafiği

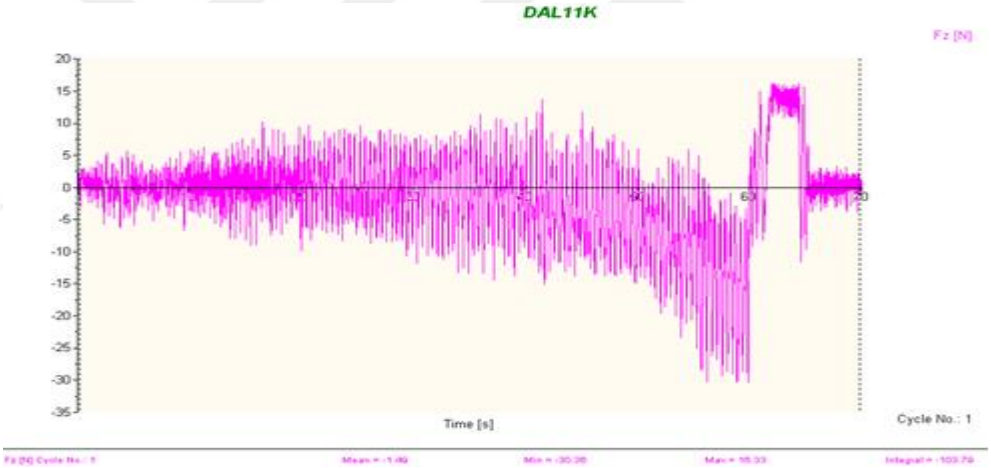


DAL11K Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



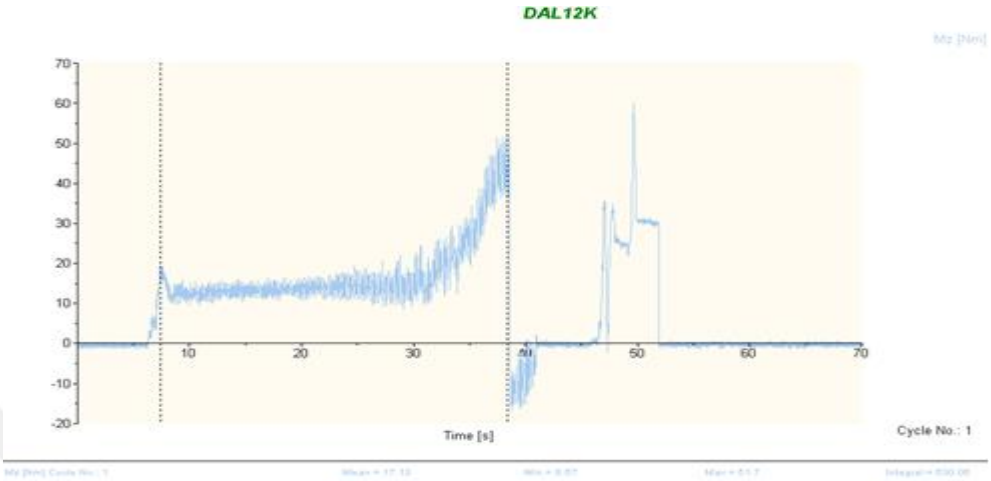
DAL11K Fx değişim grafiği



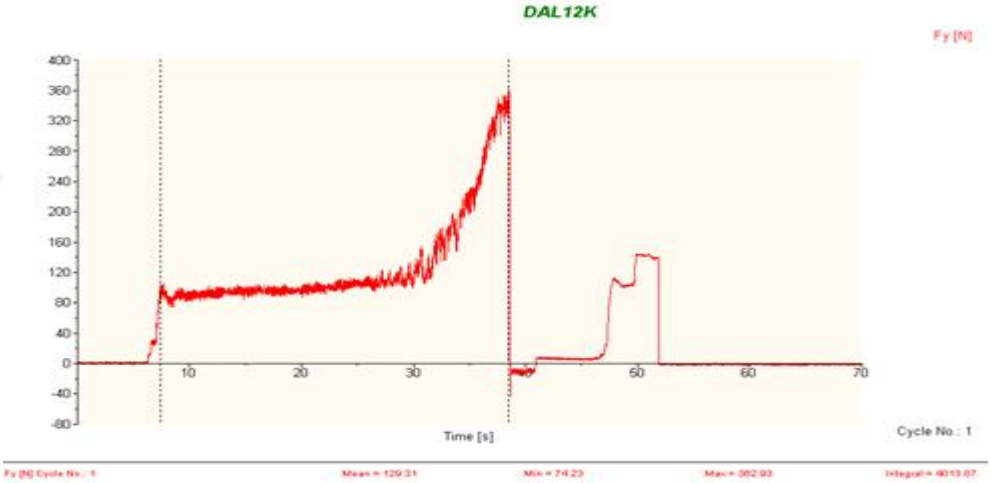
DAL11K Fz değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:

DAL12K

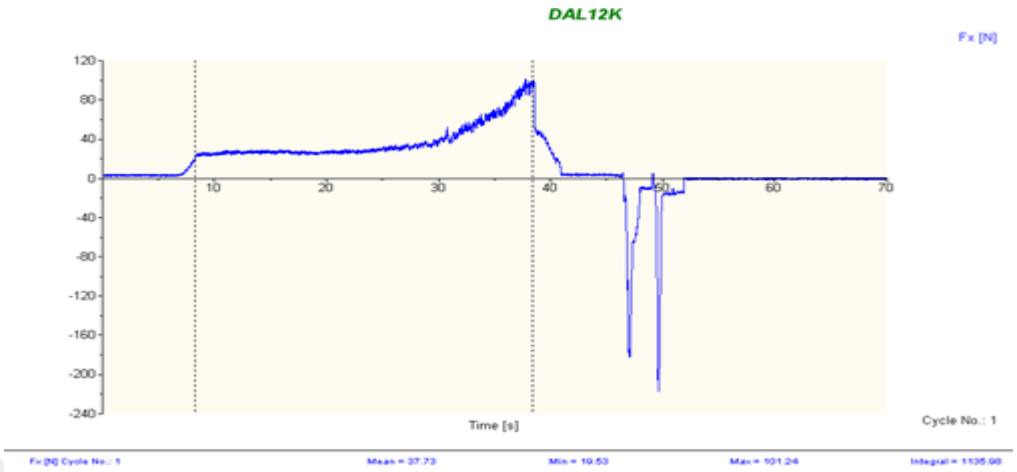


DAL12K Mz değişim grafiği

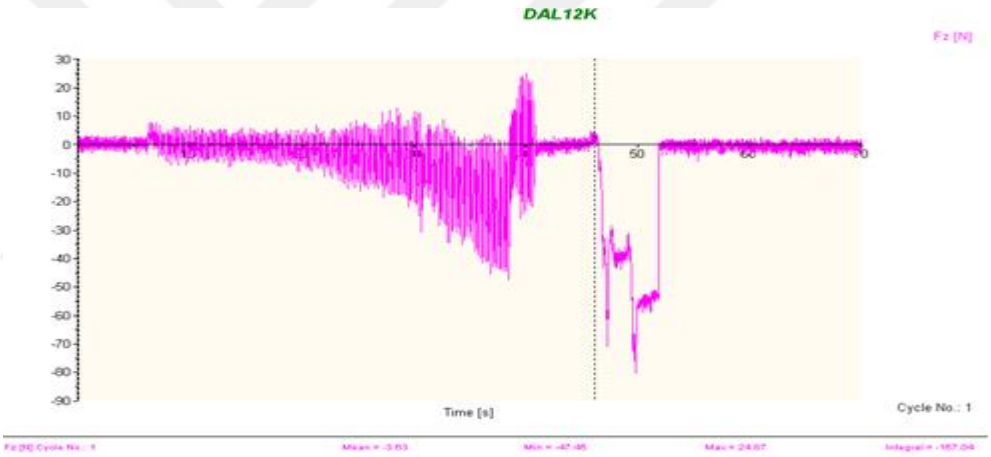


DAL12K Fy değişim grafiği

Soğutma sıvısız yapılan DAL01K'dan DAL12K'ae kadar deneylerin Mz, Fx, Fy ve Fz grafikleri:



DAL12K Fx değişim grafiği



DAL12K Fz değişim grafiği

Ek-C

Alicona köşe yuvarlaklığı ölçüm raporu (işlem öncesi kaplamasız takım)

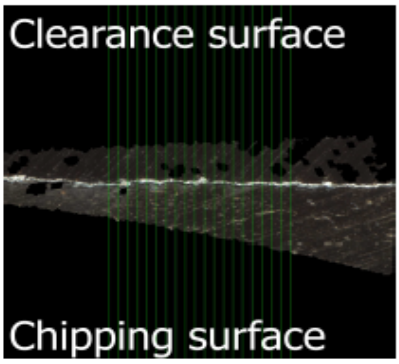
Oerlikon Balzers
Ihlamur Cad. No:16/A Nosab / Nilüfer Bursa Türkiye
Tel: +90 224 411 00 77

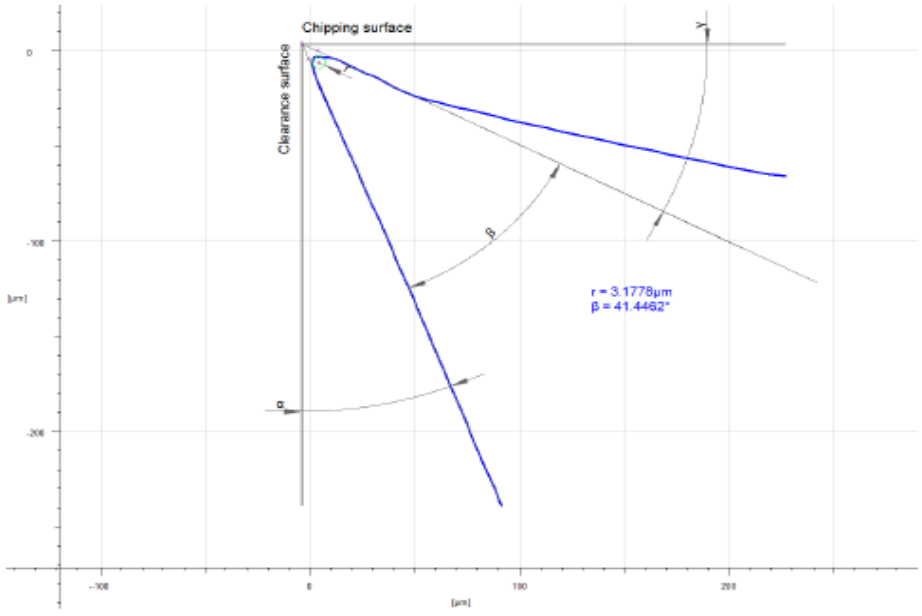
oerlikon balzers

IF-EdgeMasterModule Measurement Report
Cutting Edge Measurement

ReferenceType:	01_Std 20x
Number of extracted profiles:	20
Edge profile type:	No Bevel
Date of measurement:	06.03.2018 17:03:16
Operator:	Administrator

Name	Value	[u]	Description
r	3.1778	µm	Mean radius of mean edge
α	21.4762	°	Clearance angle
β	41.4462	°	Wedge angle
γ	27.0776	°	Chip angle
Sα	9.0359	µm	Dist. apex to end of clearance roundness (former: a)
Sγ	8.5457	µm	Dist. apex to end of chipping roundness (former: b)
K	0.9457		Symmetry of cutting edge
Δr	9.8481	µm	Min. dist. of edge to apex (former: S)
Ecq	0.1339	µm	Form deviation of circle (RMS)





Tarih, 06.03.2018 17:03:16

Alicona köşe yuvarlaklığı ölçüm raporu (işlem öncesi DLC kaplı takım)

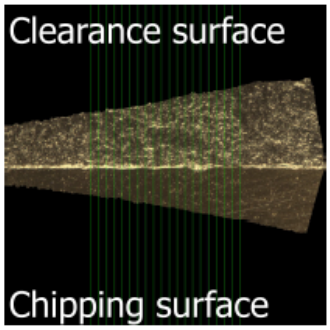
Oerlikon Balzers
Ihlamur Cad. No:16/A Nosab / Nilüfer Bursa Türkiye
Tel: +90 224 411 00 77

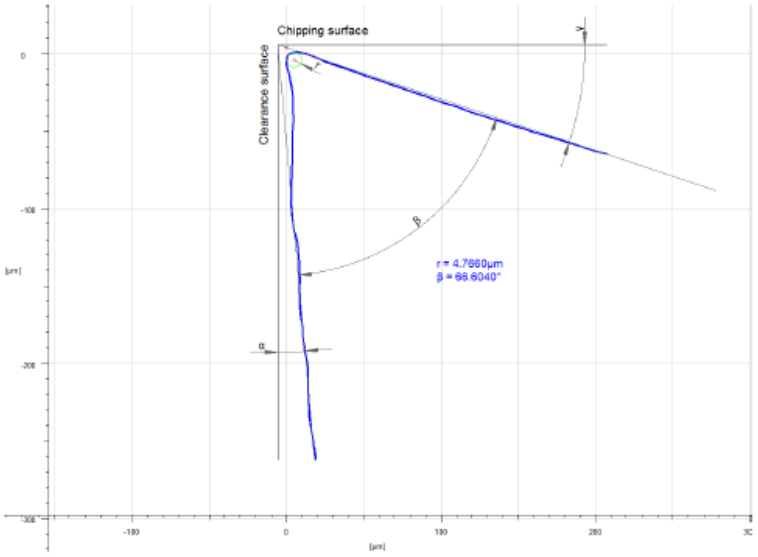
oerlikon balzers

IF-EdgeMasterModule Measurement Report
Cutting Edge Measurement

ReferenceType:	01_Std 20x
Number of extracted profiles:	20
Edge profile type:	No Bevel
Date of measurement:	06.03.2018 17:17:22
Operator:	Administrator

Name	Value	[u]	Description
r	4.7660	µm	Mean radius of mean edge
α	5.0377	°	Clearance angle
β	66.6040	°	Wedge angle
γ	18.3583	°	Chip angle
Sα	6.5733	µm	Dist. apex to end of clearance roundness (former: a)
Sγ	12.5644	µm	Dist. apex to end of chipping roundness (former: b)
K	1.9114		Symmetry of cutting edge
Δr	4.7025	µm	Min. dist. of edge to apex (former: S)
Ecq	0.1097	µm	Form deviation of circle (RMS)
Form	Trumpet		Estimated Curvature





Tarih, 06.03.2018 17:17:22

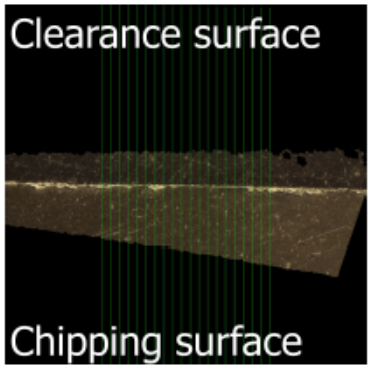
Alicona köşe yuvarlaklığı ölçüm raporu (işlem öncesi TiN kaplı takım)

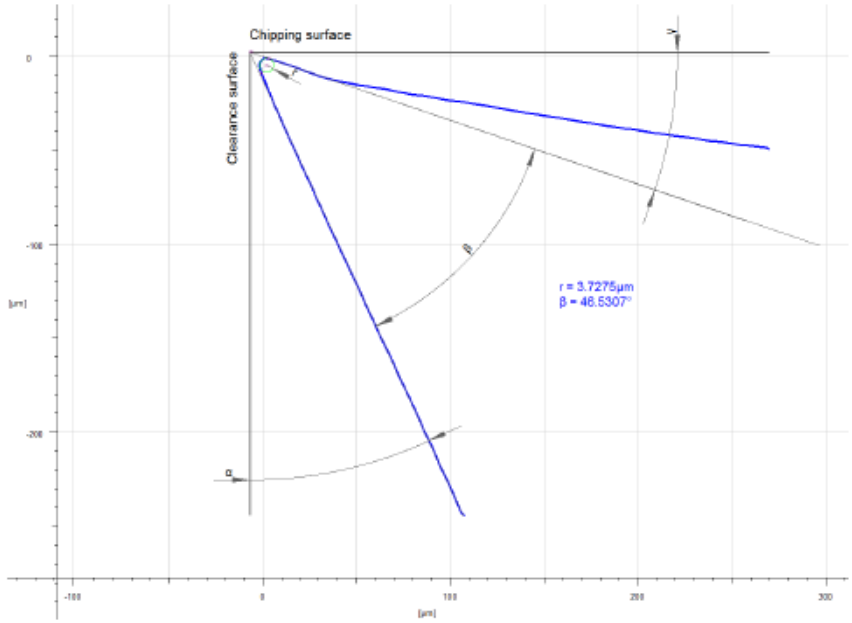
Oerlikon Balzers
Ihlamur Cad. No:16/A Nosab / Nilüfer Bursa Türkiye
Tel: +90 224 411 00 77

IF-EdgeMasterModule Measurement Report
Cutting Edge Measurement

ReferenceType:	01_Std 20x
Number of extracted profiles:	20
Edge profile type:	No Bevel
Date of measurement:	06.03.2018 17:51:22
Operator:	Administrator

Name	Value	[u]	Description
r	3.7275	µm	Mean radius of mean edge
α	24.7248	°	Clearance angle
β	46.5307	°	Wedge angle
γ	18.7444	°	Chip angle
Sα	12.5417	µm	Dist. apex to end of clearance roundness (former: a)
Sγ	10.0284	µm	Dist. apex to end of chipping roundness (former: b)
K	0.7996		Symmetry of cutting edge
Δr	7.2463	µm	Min. dist. of edge to apex (former: S)
Eoq	0.0642	µm	Form deviation of circle (RMS)
Form	Waterfall		Estimated Curvature





Tarih, 06.03.2018 17:51:22

Alicona köşe yuvarlaklığı ölçüm raporu (işlem sonrası kaplamasız takım)

Oerlikon Balzers
Ihlamur Cad. No:16/A Nosab / Nilüfer Bursa Türkiye
Tel: +90 224 411 00 77

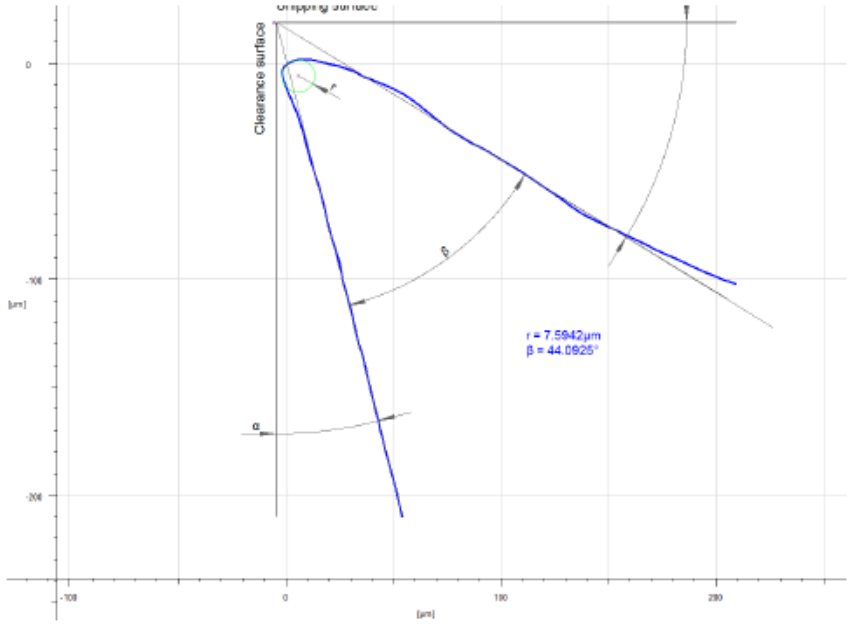
oerlikon balzers

IF-EdgeMasterModule Measurement Report
Cutting Edge Measurement

ReferenceType:	01_Std 20x
Number of extracted profiles:	20
Edge profile type:	No Bevel
Date of measurement:	15.03.2018 11:15:44
Operator:	Administrator

Name	Value	[u]	Description
r	7.5942	µm	Mean radius of mean edge
α	14.4393	°	Clearance angle
β	44.0925	°	Wedge angle
γ	31.4682	°	Chip angle
Sα	21.1719	µm	Dist. apex to end of clearance roundness (former: a)
Sγ	42.9325	µm	Dist. apex to end of chipping roundness (former: b)
K	2.0278		Symmetry of cutting edge
Δr	19.6904	µm	Min. dist. of edge to apex (former: S)
Eoq	0.2046	µm	Form deviation of circle (RMS)
Form	Trumpet		Estimated Curvature





Tarih, 15.03.2018 11:15:44

Alicona köşe yuvarlaklığı ölçüm raporu (işlem sonrası DLC kaplı takım)

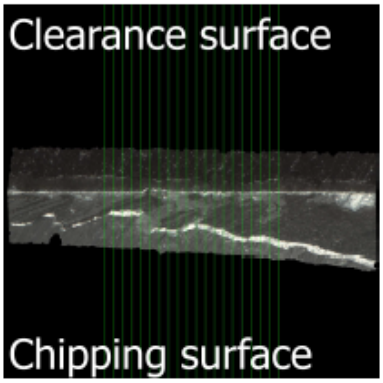
Oerlikon Balzers
Ihlamur Cad. No:16/A Nosab / Nilüfer Bursa Türkiye
Tel: +90 224 411 00 77

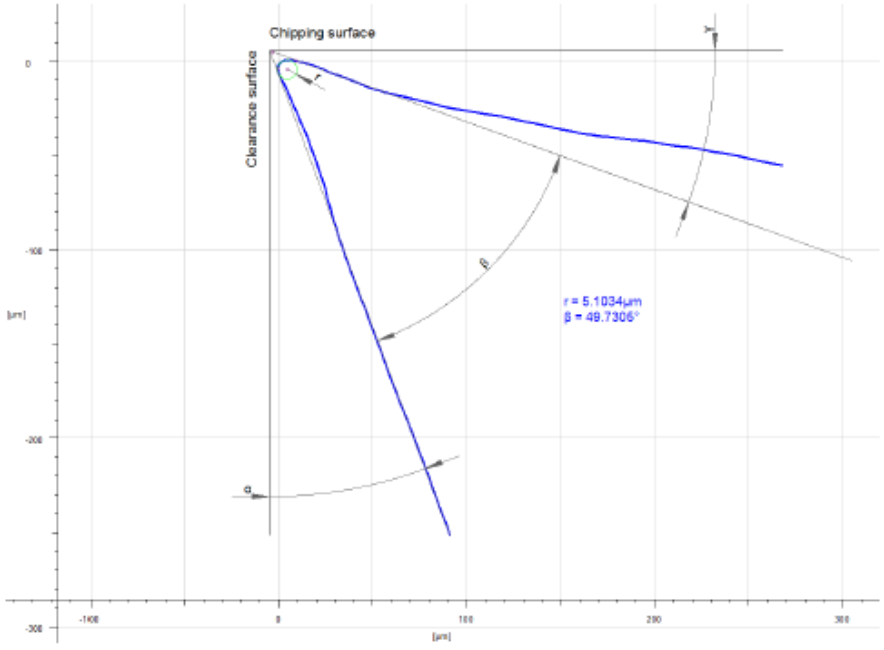
oerlikon balzers

IF-EdgeMasterModule Measurement Report
Cutting Edge Measurement

ReferenceType:	01_Std 20x
Number of extracted profiles:	20
Edge profile type:	No Bevel
Date of measurement:	15.03.2018 11:07:06
Operator:	Administrator

Name	Value	[u]	Description
r	5.1034	µm	Mean radius of mean edge
α	20.4240	°	Clearance angle
β	49.7305	°	Wedge angle
γ	19.8454	°	Chip angle
Sα	9.1533	µm	Dist. apex to end of clearance roundness (former: a)
Sγ	13.6514	µm	Dist. apex to end of chipping roundness (former: b)
K	1.4914		Symmetry of cutting edge
Δr	7.0562	µm	Min. dist. of edge to apex (former: S)
Ecq	0.0664	µm	Form deviation of circle (RMS)
Form	Trumpet		Estimated Curvature





Tarih, 15.03.2018 11:07:06

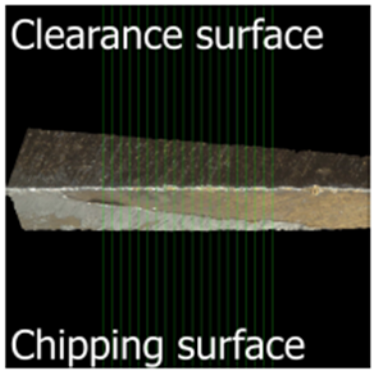
Alicona köşe yuvarlaklığı ölçüm raporu (işlem sonrası TiN kaplı takım)

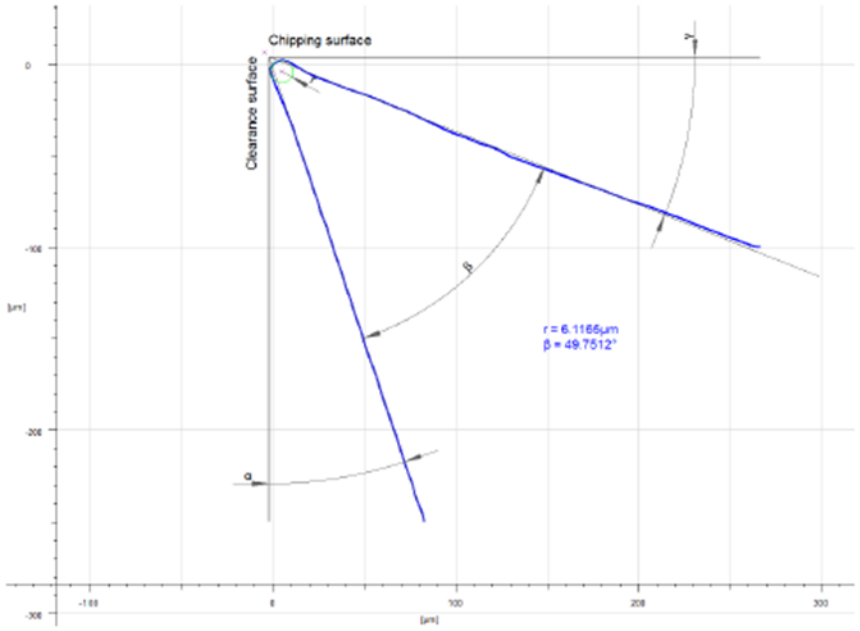
Oerlikon Balzers
Ihlamur Cad. No:16/A Nosab / Nilüfer Bursa Türkiye
Tel: +90 224 411 00 77

IF-EdgeMasterModule Measurement Report
Cutting Edge Measurement

ReferenceType:	01_Std 20x
Number of extracted profiles:	20
Edge profile type:	No Bevel
Date of measurement:	15.03.2018 10:56:26
Operator:	Administrator

Name	Value	[u]	Description
r	6.1165	µm	Mean radius of mean edge
α	18.5272	°	Clearance angle
β	49.7512	°	Wedge angle
γ	21.7216	°	Chip angle
Sα	11.5575	µm	Dist. apex to end of clearance roundness (former: a)
Sγ	13.2249	µm	Dist. apex to end of chipping roundness (former: b)
K	1.1443		Symmetry of cutting edge
Δr	7.9269	µm	Min. dist. of edge to apex (former: S)
Eoq	0.1106	µm	Form deviation of circle (RMS)
Form	Trumpet		Estimated Curvature





Tarih, 15.03.2018 10:56:26

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] Dal E**,** Demir Dışı Metal Malzemelerin İşlenmesinde Kullanılan Kesici Takımların Farklı Kaplama Malzemeleri ile İşleme Verimliliğinin ve Kapasitelerinin Artırılmasının Deneyesel Tasarım Yöntemi ile Eniyilenmesi, *3. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, Kocaeli, 04-05 Mayıs 2018.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Bursa'da doğdu. Kocaeli Üniversitesine öğrenimine Çift Anadal öğrencisi olarak devam etti ve 2007 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden, 2008 yılında ise Makine Mühendisliği bölümlerinden lisans derecesinde mezun oldu. Mezun olduktan sonra bir süre Amerikada kaldı. Amerika dönüşü Hyundai Assan firmasında Parça Geliştirme ve Satınalma Mühendisi olarak göreve başladı. Hyundai Assan sonrasında, Karsan firmasında Hyundai Projesinde kordinatörlük görevini üstlendi. Ardından İsviçreli Oerlikon Balzers firmasında Operasyon Müdürü olarak görev aldı. Şu anda ise Akia Hess adlı bir firmada Satınalma Müdürü olarak görev yapmaktadır.

Halen Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir.