

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

**SÜPER ALAŞIMLARIN AŞINDIRICILI SUJETİ İLE
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

İBRAHİM AY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Mustafa AY**

İSTANBUL 2010

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜPER ALAŞIMLARIN AŞINDIRICILI SUJETİ İLE
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

İBRAHİM AY
(141101720070010)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Mustafa AY

İSTANBUL 2010

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL ve ONAY BELGESİ

İbrahim AY'ın "SÜPER ALAŞIMLARIN AŞINDIRICILI SUJETİ İLE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI" başlıklı Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14.09.2010 tarih ve 2010/19-22 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Danışman: Yard. Doç. Dr. Mustafa AY (M.Ü. T.E.F. Makine Eğitimi Bölümü).....

1. Üye: Prof. Dr. Mustafa KURT (M.Ü. T.E.F. Makine Eğitimi Bölümü).....

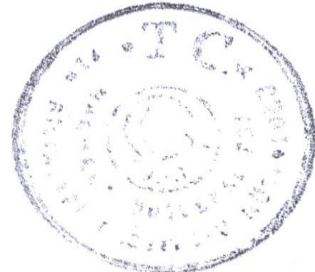
2. Üye: Yard. Doç. Dr. Hüseyin KURT (M.Ü. T.E.F. Metal Eğitimi Bölümü).....

Tezin Savunulduğu Tarih : 08.12.2010

ONAY

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 27.12.2010 tarih ve 2010/26-02 sayılı kararı ile İbrahim AY'ın Makine Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programında Y.Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

M. Ünal
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Meral ÜNAL



ÖNSÖZ

Uzay ve uçak sanayinde geniş kullanım alanına sahip olan inconel 718 malzemesi gibi süper alaşımlar, geleneksel imalat yöntemleri ile işlenmesi zor malzemeler oldukları için geleneksel olmayan yöntemler önem kazanmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan Su Püskürtümlü Kesme tezgâhları ile gerçekleştirilen kesimlerin kalitesi, tezgah değerleri ile doğrudan ilişkilidir.

İnconel 718 malzemesinin kesik eğimi üzerine eğildiğimiz bu çalışmaya desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Mustafa KURT'a, tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mustafa AY'a, deneyi gerçekleştirdiğimiz Furkan Aydınlatma'ya ve yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Hamdi SÖZÖZ ve Arş. Gör. Barkın BAKIR'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | SAYFA |
|---|-----------|
| ÖNSÖZ..... | i |
| İÇİNDEKİLER..... | ii |
| ÖZET..... | v |
| ABSTRACT..... | vi |
| SEMBOLLER..... | vii |
| KISALTMALAR..... | viii |
| ŞEKİLLER..... | ix |
| TABLolar..... | xi |
| BÖLÜM I. GİRİŞ VE AMAÇ..... | 1 |
| I.1 GİRİŞ..... | 1 |
| BÖLÜM II. GENEL BİLGİLER..... | 3 |
| II.1 GENEL BİLGİLER..... | 3 |
| II.2 SU PÜSKÜRTÜMLÜ KESME..... | 3 |
| II.2.1 Su Püskürtümlü Kesmenin Tarihi..... | 5 |
| II.3 AŞINDIRICILI SU PÜSKÜRTÜMLÜ KESME..... | 7 |
| II.4 LÜLE..... | 10 |
| II.4.1 Su Püskürtüm Lülesi..... | 10 |
| II.4.2 Aşındırıcılı Su Püskürtüm Lülesi..... | 11 |
| II.5 SU İÇİN KATKILAR..... | 12 |
| II.6 AŞINDIRICILAR..... | 13 |
| II.7 BASINÇ ELDE ETME YÖNTEMLERİ..... | 15 |
| II.7.1 Pistonlu Pompalar..... | 16 |
| II.7.2 Basınç Arttırıcılar..... | 16 |
| II.7.2.1 Çift Etkili Basınç Arttırıcılar..... | 16 |
| II.7.2.2 Fazlı-Çift Etkili Basınç Yükselticiler..... | 17 |
| II.8 SU PÜSKÜRTÜMLÜ KESME TEKNİKLERİ..... | 18 |
| II.8.1 Açılı Kesim..... | 18 |

| | | |
|-------------------|--|-----------|
| II.8.2 | Tekrarlı Kesim..... | 19 |
| II.8.3 | Salınımlı Kesim..... | 20 |
| II.9 | SPK VE ASPK ÇALIŞMALARI..... | 20 |
| II.9.1 | Tornalama..... | 20 |
| II.9.2 | Frezeleme..... | 21 |
| II.9.3 | Delme..... | 22 |
| II.9.4 | Kesme Derinliği..... | 24 |
| II.9.5 | Kesik Genişliği Ve Eğimi..... | 25 |
| II.9.6 | Yüzey Kalitesi..... | 26 |
| II.10 | YÜKSEK BASINÇLI SU İLE KESME PRENSİBİ..... | 30 |
| II.11 | DENEY TASARIMI VE ANALİZ..... | 33 |
| II.11.1 | Tam Eşleştirmeli Deney Tasarımı..... | 33 |
| II.11.2 | Kesirli Eşleştirmeli Deney Tasarımı..... | 33 |
| II.11.3 | Taguchi Metodu..... | 34 |
| II.11.4 | Yapay Sinir Ağları..... | 35 |
| II.11.5 | Buckingham'ın Pi Teoremi..... | 37 |
| II.11.6 | İlgileşim..... | 37 |
| II.11.7 | Regresyon..... | 38 |
| II.12 | SÜPER ALAŞIMLAR..... | 39 |
| II.12.1 | Demir Esaslı Alaşımlar..... | 40 |
| II.12.2 | Nikel Esaslı Alaşımlar..... | 41 |
| II.12.3 | Kobalt Esaslı Alaşımlar..... | 42 |
| II.13 | SÜPER ALAŞIMLAR'IN SPK İLE İŞLENMESİ..... | 43 |
| BÖLÜM III. | ÇALIŞMALAR..... | 44 |
| III.1 | ÖLÇME YÖNTEMİ..... | 44 |
| III.2 | VARYANS ANALİZİ..... | 47 |
| III.3 | İLGİLEŞİM..... | 50 |
| III.4 | DOĞRUSAL REGRESYON..... | 51 |
| III.5 | TAM EŞLEŞTİRMELİ REGRESYON..... | 52 |
| III.6 | YAPAY SİNİR AĞLARI | 53 |
| III.6.1 | Doğrusal Sinir Ağı..... | 53 |
| III.6.2 | Tan-Sig Ve Logaritmik-Sig Transfer Fonksiyonları..... | 54 |

| | |
|---|----|
| III.6.3 Verilerin Normalleştirilmesi..... | 56 |
| BÖLÜM IV. SONUÇLAR ve TARTIŞMA..... | 59 |
| BÖLÜM V. SON DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER..... | 63 |
| KAYNAKLAR..... | 64 |
| EKLER..... | 75 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 95 |

ÖZET

SÜPER ALAŞIMLARIN AŞINDIRICILI SUJETİ İLE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Yüksek basınçlı su püskürtme, önce laboratuarda kayaçların, kömürün ve çeşitli malzemelerin kesilmesi ve parçalanmasında denenmiştir. Daha sonra, arazi ve sanayi uygulamalarına geçilmiştir.

Aşındırıcı Su Püskürtümlü Kesim, endüstriyel amaçlı malzemelerdeki gelişmelere paralellik gösterecek şekilde, bilinen tüm malzemelerin özellikle de süper alaşımların işlenmesinde etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Kesme sırasında yüksek sıcaklık oluşmadığından ısı çarpılma ve kısmi yapısal değişiklik gibi riskler söz konusu değildir. Yapısal farklılıklar içeren su püskürtümlü kesim teknolojisi, sağladığı operasyonel ve ekonomik faydalardan dolayı gelişmiş ülke endüstrilerinde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF MACHINABILITY SUPER ALLOYS BY ABRASIVE WATERJET

Initially, high-pressure water jets were employed for cutting and fracturing rocks, coal and various materials in the laboratory. Later, field and industrial applications have been emerged.

Abrasive water jet (AWJ) cutting process is being developed related to developments in industrial materials and is used effectively in cutting application of super alloys. Because it cuts without heat generation, there is no risk of thermal distortion and localized structural changes. Water jet cutting systems which have many structural differences have been widely used in industrialised countries due to its superior operational and economic advantages.

August 2010

İbrahim AY

SEMBOLLER

| | |
|------------|---|
| A | : Alan (mm^2) |
| a | : Alt Kesik Genişliği (mm) |
| C | : Akıntı Katsayısı |
| d | : ap (mm) |
| db | : Ses Seviye Birimi, Desibel |
| dbA | : A Ağırlıklı Ses Seviye Birimi, DesibelA |
| F | : Kuvvet (N) |
| h | : Kesim Yükseklđi (mm) |
| K | : Malzeme Dayanımı |
| KE | : Kinetik Enerji (Joule) |
| l | : Kesik Genişliği (mm) |
| L | : Uzunluk (m) |
| m | : Aşındırıcı sarfiyatı (kg/dak) |
| M | : Kütle (kg) |
| P | : Basınç (Mpa) |
| P | : Malzemeye arpma Basıncı (Mpa) |
| Ra | : Yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalaması |
| T | : Zaman (s) |
|  | : st Kesik Genişliği (mm) |
| V | : Hız (m/s) |
| Q | : Sıcaklık (derece) |
| m | : Nanometre (Metrenin milyonda biri) |
|  | : Eğim Açısı ($^{\circ}$) |

KISALTMALAR

ASPK : Aşındırıcılı Su Püskürtümlü Kesme

ASPL : Aşındırıcılı Su Püskürtüm Lülesi

Ç.Ü. : Çukurova Üniversitesi

SPK : Su Püskürtümlü Kesme

SPL : Su Püskürtüm Lülesi

SSE : Hataların Karelerinin Toplamı

SST : Ortalamadan Farkların Karelerinin Toplamı

TNT : Trinitrotoluen. Kuvvetli Bir Patlayıcı Olan Kimyasal Bileşik

YSA : Yapay Sinir Ağı

ŞEKİLLER

| | SAYFA NO |
|---|----------|
| Şekil II.1 Aşındırıcılı Su Püskürtümlü Kesim Tezgâhının Genel Yapısı..... | 4 |
| Şekil II.2 AISI 1030 Malzemenin Ve Kesilen Kenarın Mikro Yapısı..... | 5 |
| Şekil II.3 ASPK İle İkiye Bölünmüş TNT Antipersonel Kovanı..... | 9 |
| Şekil II.4 En uygun Lüle Tasarımı..... | 10 |
| Şekil II.5 Lüle..... | 10 |
| Şekil II.6 Lüle Tipleri..... | 11 |
| Şekil II.7 Aşındırıcılı Lüle..... | 11 |
| Şekil II.8 Basıncılı Suların, Lüle Çıkışından 20 mm Uzaklıktaki Durumları..... | 12 |
| Şekil II.9 Katkılı Ve katkısız Suyun Kesme Derinliğine Etkisi..... | 13 |
| Şekil II.10 Elek..... | 13 |
| Şekil II.11 Aşındırıcılar..... | 14 |
| Şekil II.12 Aşındırıcının Malzemeye Çarpması İle Gerçekleşen Aşınma Modeli.... | 14 |
| Şekil II.13 Çift Etkili Pompa..... | 17 |
| Şekil II.14 Akümülatörün Kullanımı..... | 17 |
| Şekil II.15 Fazlı-Çift Etkili Basıncı Yükselticinin Çalışma Prensibi..... | 17 |
| Şekil II.16 Açılı Kesim..... | 18 |
| Şekil II.17 Kesim Açısının Yumuşak Ve Kırılgan Malzemelere Etkisi..... | 19 |
| Şekil II.18 Aşındırıcı Taneciğın İki Farklı Biçimde Malzeme Taşıma Şekilleri... | 19 |
| Şekil II.19 Salımlı Kesim..... | 20 |
| Şekil II.20 Tortalama..... | 21 |
| Şekil II.21 ASPK İle Tortalanmış Parça Örnekleri | 21 |
| Şekil II.22 Tekrar Sayısı Ve İşleme Açısının Yüzey Üzerindeki Etkileri..... | 22 |
| Şekil II.23 Delme Aşamaları..... | 23 |
| Şekil II.24 Kesik Eğimi..... | 25 |
| Şekil II.25 Aşındırıcılı Su Jeti İle Kesik Yüzey Oluşum Süreçleri..... | 27 |
| Şekil II.26 Kesim Yüzeyinde Dalgalanmalar..... | 27 |

| | |
|--|----|
| Şekil II.27 Suyun Parabolik Davranışı..... | 28 |
| Şekil II.28 ASPK İle Kesilmiş Yüzey Kalitesi..... | 28 |
| Şekil II.29 Aşınmanın Modellenmesi..... | 33 |
| Şekil II.30 YSA İşlem Elemanları..... | 35 |
| Şekil II.31 YSA Katmanları..... | 36 |
| Şekil II.32 Tan-Sig, Logaritmik-Sigmoid ve Purelin giriş-çıkış eğrileri..... | 36 |
| Şekil II.33 En Küçük Kareler Yöntemi..... | 38 |
| Şekil III.1 Kumpas İle Kesik Ölçümü..... | 45 |
| Şekil III.2 Kesğin Bilye İle Ölçümü..... | 45 |
| Şekil III.3 Kesik Mesafesinin Ölçümü..... | 45 |
| Şekil III.4 Kesikte Oluşan Eğim..... | 46 |
| Şekil III.5 Üst Kesik Regresyonu..... | 51 |
| Şekil III.6 Alt Kesik Regresyonu..... | 51 |
| Şekil III.7 Eğim Regresyonu..... | 51 |
| Şekil III.8 Doğrusal Sinir Ağı Yapısı..... | 53 |
| Şekil III.9 Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları..... | 55 |
| Şekil III.10 Nöron Sayılarına Göre Test Sonuçları..... | 56 |
| Şekil III.11 Normalleştirilen Girdilerin Nöron Sayılarına Göre Test Sonuçları..... | 57 |
| Şekil III.12 Normalleştirilen Girdilerin Nöron Sayılarına Göre Test Sonuçları..... | 58 |
| Şekil IV.1 Değişkenlerin Üst Kesige Etkileri..... | 59 |
| Şekil IV.2 Değişkenlerin Üst Kesige Ortalama Etkileri..... | 60 |
| Şekil IV.3 Değişkenlerin Alt Kesige Etkileri..... | 60 |
| Şekil IV.4 Değişkenlerin Alt Kesige Ortalama Etkileri..... | 61 |
| Şekil IV.5 Değişkenlerin Eğime Etkileri..... | 61 |
| Şekil IV.6 Değişkenlerin Eğime Ortalama Etkileri..... | 62 |

TABLolar

| | SAYFA NO |
|---|----------|
| Tablo II.1 SPK'nin diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması..... | 8 |
| Tablo II.2 SPK Ve ASPK'nin Bazı Kullanım alanları..... | 9 |
| Tablo II.3 SPK ve ASPK Kesim Hızları..... | 24 |
| Tablo II.4 Bazı Malzemelerin Ortalama Sıkıştırma Dayanımları..... | 32 |
| Tablo II.5 Taguchi Dikey Dizilerinde, Faktör, Seviye Ve Deneme Sayıları..... | 34 |
| Tablo II.6 690 Mpa Basınçlı Su İle Azami İlerleme Hızları..... | 43 |
| Tablo III.1 Deneyde Kullanılan Değişkenler Ve Seviyeleri..... | 44 |
| Tablo III.2 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test..... | 47 |
| Tablo III.3 Değişkenlerin ANOVA İle Ölçülen Görece Etkileri..... | 48 |
| Tablo III.4 Çok Faktörlü Varyans Analizi..... | 49 |
| Tablo III.5 İlgileşim Tablosu..... | 50 |
| Tablo III.6 Doğrusal Ağ Ve Regresyon Test Sonuçları..... | 54 |
| Tablo III.7 Nöron Sayılarına Göre Test Sonuçları..... | 55 |
| Tablo III.8 Normalleştirilmiş Girdilerin Göre Test Sonuçları..... | 57 |
| Tablo III.9 Normalleştirilmiş Girdilerin Göre Test Sonuçları (2)..... | 58 |

BÖLÜM I

GİRİŞ VE AMAÇ

I.1 GİRİŞ VE AMAÇ

Geleneksel işleme yöntemlerinin istenmeyen sınırlamaları ve gelişen teknolojik istemler sonucu, imalat mühendisleri daha yeni imalat yöntemleri aramaya başladı. Özellikle 2. Dünya Savaşını izleyen yıllarda bu konuda yoğun çaba harcandı ve ilk geleneksel olmayan yöntemler 1950-1970 yılları arasında doğdu (Erden, 1996).

Su Püskürtümlü Kesme piyasada sujeti olarak bilinmektedir. Bu çalışmada Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nden emekli Prof. Dr. Erdoğan Tekin'in hazırlamış olduğu "Metal Bilim Ve Gereç Bilim Karşılıklar Sözlüğü" nden yararlanarak "Su Püskürtümlü Kesme" tanımı kullanılmıştır (Tekin, 2006). Lazerle kesme sistemlerinden sonra geliştirilen su püskürtümlü kesme sistemleri, geleneksel ve modern malzeme işleme yöntemlerine kıyasla sağlamış olduğu yararlarından dolayı malzeme işleme çalışmalarında, özellikle yurt dışında, yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda su jeti kullanılarak değişik işler yapılmaktadır. Esas olarak su jeti ile kesme, karmaşık geometriye sahip parçaların mekanik temizleme işleri ve parça yüzeydeki boya tabakasının kaldırılması işlemleri, yaygın kullanım alanı bulmaktadır (Varol ve Tunay, 2001). Sistem, bir basınç artırıcıda basıncı artırılan suyun, bir lüleden geçirilerek çok yüksek hızlara ulaştırılması ve yüksek hızlara çıkarılan bu su huzmesinin malzeme yüzeyinden aşınma yoluyla talaş kaldırarak işlenmesi esasına dayanır (Geren ve Tunç, 2000).

Su püskürtümlü kesme (SPK), geleneksel olmayan yöntemlerden olup iki sınıfa ayrılır:

1. Su Püskürtümlü Kesme
2. Aşındırıcı Su Püskürtümlü Kesme

SPK çok eski senelerden bu yana nispeten yumuşak zeminlerin ve kayaçların kesilip kazılmasında kullanılan bir yöntemdir. Bugün sanayide kullanılan SPK'nin ilk

örneği 1950'lere; ilk ticari uygulaması ise 1971 yılına dayanır (Tunç, 2001). Suyun kesim kabiliyetini arttırma arayışları sonucunda ortaya çıkan aşındırıcılı sistem olan "Aşındırıcılı Su Püskürtümlü Kesme" ise 1980 sonrasında ön plana çıkmış ve sanayide kullanılmaya başlanmıştır (Geren ve Tunç, 2001), (Kuni, 2008).

SPK ve ASPK ile malzemelerin kesimi hakkında araştırmalar sürdürölmekte, kesim kalitesini arttırmak için sistem değişkenleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Her ne kadar sanayide SPK üretici firmalarınca tavsiye edilen ortalama değerler ile kesim işlemleri gerçekleştiriliyorsa da kesim sonrası elde edilen yüzey kalitesinin iyileştirilmesi için farklı malzemeler üzerinde farklı değerşken değerleri ön plana çıkmaktadır.

Her işleme yönteminde olduğu gibi, SPK'nin de denetlenebilir değerşkenleri, kaliteli çalışma için önemlidir (Kolahan ve Khajavi 2009). Şimdiye kadar yapılan çeşitli araştırmalar, bazı özel uygulamalardaki birçok problemi çözmüştür. Örneğin aşındırıcı taneciğin hedef malzeme üzerine geliş açısı yüzeyden parçacıkların taşınması hızı işlenen parçanın yüzey kalitesine oldukça etki eder. SPK'nin dinamik bir takım olması nedeniyle su ile kesilen parçada kesilme işleyişleri tam olarak anlaşılammıştır. Uygulamaların tam anlamıyla başarılı olabilmesi için pek çok araştırmanın yapılması ve sayısal açıklamalar getirilmesi gerekmektedir (Akkurt, 2006).

SPK, özellikle süper alaşımların işlenmesinde ekonomik olan bir uygulamadır. Bu nedenle çalışmaların önemli bir kısmının süper alaşımların işlenmesi konusunda yoğunlaşıldığı görölmektedir. Süper alaşımlar demir, nikel ve kobalt esaslı olmak üzere 3 grubu ayrılırlar. Nikel esaslı süper alaşımlar, %50 kullanım oranı ile uzay aracı motorları ve türbini kompartımanlarının üretiminde süper alaşımlar içerisinde en fazla kullanılanıdır. Inconel 718 ise nikel alaşımlar içerisinde en çok kullanılanıdır (Motorcu, 2010). Buna rağmen ASPK ile işlenebilirliğine dair çalışmalar çok azdır. Bu nedenle çalışmamızda, Inconel 718'in işlenebilirliği üzerinde deneysel uygulama yapılacaktır. Bunun yanı sıra deneysel verilerin değerlendirmesinde farklı modeller üzerinde durulup, başarımları da değerlendirme konusu yapılacaktır.

BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

II.1 GENEL BİLGİLER

SPK, su ve aşındırıcı su kullanılmak üzere iki çeşittir (Külekçi, 2002), SPK ve ASPK, mekanik enerji kullanan, lüle vb. takımlar kullanarak göreceli olarak uzaktan işleme yapan ve tezgâh birimleri standart ürün olarak üretilen tezgâhlardandır (Erden, 1996).

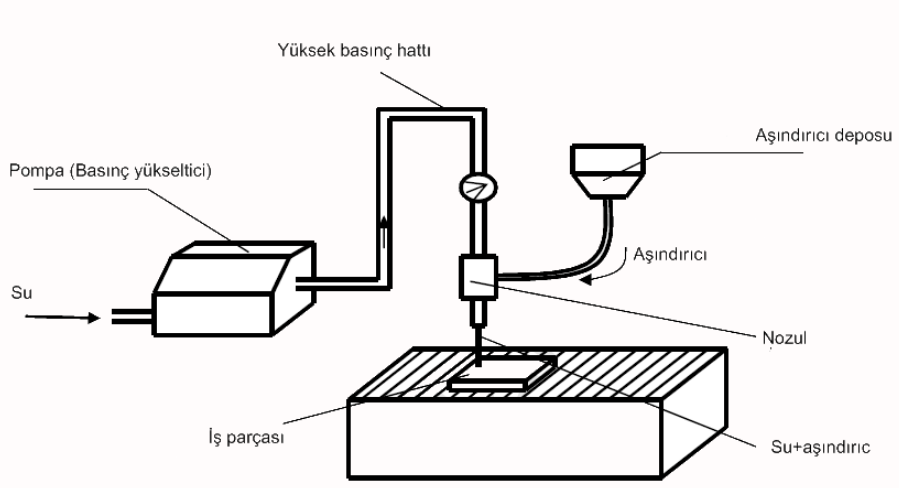
SPK, gıda, kâğıt ve mukavva, tekstil ve giyim, kauçuk ve plastik, temizlik, ayakkabı ve deri, yalıtım, cam, mermer, granit ve seramik, metal işleme, elektrik-elektronik, otomotiv, uzay, havacılık gibi birçok alanda yer edinmiştir (Geren ve Tunç, 2001). Sırlı karolardan veya granit seramiklerden basınçlı su püskürtümlü kesme ile küçük parçalar keserek ve kenarları taşlanarak, desen olacak şekilde file üzerine yapıştırmak yoluyla bordür yapılmaya başlanması, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı döneminde, dünyada ve Türkiye'deki teknolojik gelişmeler arasındaki uygulamalardandır (DPT, 2001), (Kafalı, 2005).

SPK deprem gibi doğal afetlerde, enkaz altındakileri kurtarma çalışmalarında beton vb. yıkıntıları kesme ve parçalama amaçlı hızla ve güvenli bir şekilde kullanılabilmesi (The Rolla, 2009), tıpta, karaciğerden parça alınması ve dişçilik cerrahisi uygulamaları (Kotan ve ark., 2001), (Grygla, 2007) diğer dikkati çeken uygulamalardır. SPK, tekstil üretiminde de kullanılmakta olup önümüzdeki 20 yılda öncelik tanınması tavsiye edilen yöntemlerdendir (Duran, 2003).

ASPK, SPK'den sonra geliştirilmiş olup iki tezgâh arasında ayırt edici fark, ASPK'de bulunan, suya aşındırıcı ekleme ünitesidir.

II.2 SU PÜSKÜRTÜMLÜ KESME

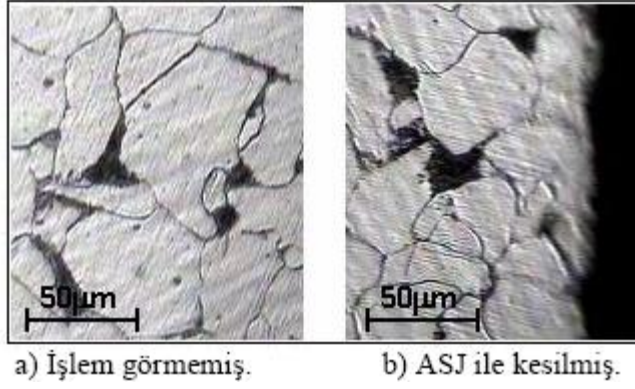
SPK, basıncı artırılan suyun bir lüleden geçirilmesiyle elde edilen yüksek hızlardaki tazyikli suyun, çarpma etkisiyle malzemeden parçacıklar aşındırması ve bunun sonucu olarak parçanın işlenmesi esasına dayanır (Geren ve Tunç, 2001), (Maniadaki ve ark., 2007).



Şekil II.1 Aşındırıcılı Su Püskürtümlü Kesim Tezgâhının Genel Yapısı

Su ile kesme prensibi kısaca şöyle açıklanabilir. Küçük hacimdeki su, özel bir pompa ile yaklaşık 3800 bar düzeyinde yüksek basınca çıkarılıp 0,1-0,4 mm çapında bir lüleden geçirilerek atmosfere atılır. Bu işlem, lüleden çıkan suyun hızını 900 m/s'nin üzerine çıkarır. Bu yüksek hızlı su huzmesi, kesilecek malzemeye 2,5 ile 6,0 mm uzaklıktan çarptırıldığında kesme işlemi gerçekleşir. İşlem sırasında yüzeye çarpan su huzmesi, yaratılan aşınma kuvveti ile yüzeyden malzeme parçacıklarını uzaklaştırarak kesme işlemi gerçekleştirir. Lüle ile malzeme arası mesafe malzemenin dayancına göre değişebilmektedir. Örneğin basılı elektronik devre kartları (PCB) için, bu mesafe 19 mm ye kadar çıkabilmektedir. Aşınma ile uzaklaştırılan parçacıkların çapı 0,1 mm ile başlayıp arttırılan lüle çapı ile orantılı şekilde artar (Geren ve Şahin, 1995).

SPK'de su çapı çok küçük ve su hızı yüksek olduğu için kesilen malzeme ıslanmamakta ya da çok az oluşan ıslaklık ise, açığa çıkan ısı nedeni ile kaybolmaktadır. Kesim sırasında geleneksel yöntemlerde karşılaşılan yüksek ısı sorunu yoktur. Dolayısıyla malzemenin yapısı bozulmamaktadır.



Şekil III.2 AISI 1030 Malzemenin Ve Kesilen Kenarın Mikro Yapısı (Akkurt, 2009)

Kesme sırasında toz oluşmamakta, bu durum asbest türünde malzemelerin SPK ile işlenmesi için büyük üstünlük sağlamaktadır. Metal olmayan malzemelerin çok katlı olarak kesilmesi mümkündür. Özellikle robot teknolojisinin gelişmesi ile bilgisayar denetimli SPK tezgâhları gelişmiştir. Bu tezgâhlar şekilli kesmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Tipik kesme hızları 15 m/dak olabilmektedir (Erden, 1996).

II.2.1 Su Püskürtümlü Kesmenin Tarihi

Yüksek basınçlı su, yaklaşık 200 yıllık bir uygulama geçmişine sahiptir. Günümüzde kullanılan SPK, önceleri madencilikte uygulanan bir yöntemin geliştirilerek yapım endüstrisine uygulanmasıdır (Erden, 1996). SPK ilk kez 1800'li yıllarda madencilik alanında, başta Rusya olmak üzere değişik ülkelerdeki kömür yıkama işlemlerinde, 1853-1856 yılları arasında Kaliforniya'da altın madenlerinde (Summers, 1995), nispeten yumuşak zeminlerin ve kayaçların kesilip kazılmasında (Akçin, 1987) ve 1930'lu yıllarda, kömür, taş ve toprağın birbirinden ayrıştırılmasında kullanıldığı görülmektedir (Tunç, 2001).

Yüksek basınçlı su, önce laboratuarda kayaçların, kömürün ve çeşitli malzemelerin kesilmesi ve parçalanmasında denenmiştir. Daha sonra, arazi ve sanayi uygulamalarına geçilmiştir. Su püskürtümlü talaşlı imalat, delik delme, tünel açma, hidromekanik ve hidrolik kazı gibi arazi uygulamaları yanında sanayide de çeşitli çalışmalarda kullanılmaktadır (Akçin, 1987).

Bugün sanayide kullanılan SPK'nin ilk örneği, 1960'ların sonlarında Michigan Üniversitesi'nden, Orman Mühendisi Dr. Norman C. Franz tarafından, kalın ağaçları dilimlemek için başka bir yöntem ararken tasarlanmıştır (200 Mpa). Franz bu çalışması ile basınçlı suyun küçük çaplı bir delikten malzeme üzerine

çarpıtıldığında kesme işleminin gerçekleşebildiğini kanıtlamış ve SPK'nin tasarım ve gelişimine öncülük etmiştir. İlk ticari sistem Franz'ın girişimleri ile bugün Ingersol-Rand firmasının bir bölümü olan McCartney şirketi tarafından 1971 yılında hayata geçirilmiştir (Grygla, 2007), (Tunç, 2001). Bu yeni su püskürtümlü kesme tezgahı ilk kez, mobilya endüstrisinde kağıt boruları kesmek için Alton Boxboard tarafından 1972'de satın alınmıştır (Grygla, 2007).

1979'da Dr. Mohamed Hashish, SPK'nin kesme gücünü arttırmanın yollarını ararken suya aşındırıcı katmanın kesme gücünü arttırabileceğini düşünerek bu konuda çalışmalara başladı. Hashish aşındırıcı olarak garnet kullandı ve suya aşındırıcı katıldığında kesme gücünün arttığını ve her türlü malzemenin kesilebileceğini keşfetti. Aşındırıcılı sistem 1980'de Flow International Corporation'da Mohamed Hashish tarafından başarılı şekilde uygulandı ve 1980'de beton, cam ve çelik kesiminde kullanıldı. 1982'den sonra metal sanayisinde ön plana çıktı (Grygla, 2007) (Geren, 2001).

İlk ticari ASPK, 1983'te otomobil camlarının kesiminde kullanılmak üzere satın alındı. Türkiye'de ise 1999'da Çukurova Üniversitesi tarafından pirinç gibi yumuşak malzemeleri kesebilecek 140 Mpa basınçla çalışan bir SPK ilk örneği tasarlanmış ve imal edilmiştir (Kuni, 2008).

1990'da yayınlanan bir rapora göre, bütün dünyadaki sanayilerde 500'ün üzerinde sistem kurulmuştur. Birçok yararından ve geniş bir kullanım alanına sahip olduğundan 1996'da Ç.Ü. Makine Mühendisliği Bölümü'nde SPK sisteminin tasarımı ve imalatı üzerine bir araştırma çalışması yapılmıştır. Bu proje Devlet Planlama Teşkilatı ve Ç.Ü. Araştırma Fonu tarafından maddi olarak desteklenmiştir. Bu araştırma çalışmasında; sistemin en önemli ve ana elemanı olan basınç yükselticisinin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada, tahta, mermer, deri gibi malzemeleri kesmek için suyun basıncını yaklaşık 1200 bara çıkarabilecek basınç yükselticisi tasarımı ve imalatının yapılması amaçlanmıştır. 1999 yılında ilk örnek SPK kesme sistemi Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Tasarım ve İmalat grubu tarafından tasarlandı. Geliştirilen sistemle elde edilen basınç yaklaşık 1400 bardır. Bu, metal olmayan ve ince metal malzemelerin kesilmesi için yeterli bir basınçtır (Çukurova, 2010).

II.3 AŞINDIRICILI SU PÜSKÜRTÜMLÜ KESME

ASPK yakın zaman önce kullanılmaya başlanmış geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden biridir (Liu, 2004). Tahta, plastik gibi metallere nazaran yumuşak malzemelerin kesimi için SPK yeterli olurken, metal gibi daha dayanıklı malzemelerin kesimi ASPK ile gerçekleştirilmektedir. ASPK; alüminyum gibi yumuşak metallerin, çinko, çelik, titanyum ve nikel esaslı alaşımların, cam gibi kırılabilir malzemelerin, taş ve seramiklerin kesiminde sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır (Erden, 1996), (Xu, 2005), (EITobgy ve ark., 2005).

ASPK ile kesme işlemi, su atmosfere bırakılmadan önce içerisine dâhil olan aşındırıcı taneciklerin çarpma etkisi ile meydana gelen aşınma mekanizmasından ibarettir (Küleççi ve Akkurt, 2001), (Fabiân ve Hloch, 2005). Yüksek basınçlı suya aşındırıcı parçacıklar kontrollü bir şekilde karıştırılır. Aşındırıcı parçacık miktarının hassas kontrolü çok önemlidir. Tipik olarak 3-4 l/dak dolaylarında su, 0,2-0,3 kg/dak dolaylarında aşındırıcı parçacık harcanır. İş malzemesi üzerine uygulanan toplam kuvvet 10-12 kg dolaylarındadır (Erden, 1996).

ASPK süreklilik, hassasiyet ve tekrarlanabilirlik özellikleri ile seri üretim otomasyona çok uygundur. Bilgisayar denetimli esnek imalat sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Mekanik testerelerin sıkıştığı ve yapıştığı malzemeleri sorunsuz keser. Kesme işlemini tamamlayan ve kesilen malzemenin diğer tarafına geçen su ve aşındırıcı parçacık karışımının özel bir toplama birimi ile toplanması gerekir. Bu amaçla su-aşındırıcı enerjisini yutan bir sistem (bilye haznesi) ya da çelik plakalar kullanılır (Erden, 1996).

ASPK'de su basıncı 400 Mpa civarındadır. Tipik ASPK tezgâhında aşındırıcı hızı 450 – 720 m/s aralığındadır (Hiu, 2004) 1999'da 4100 barlık sistemlerden sonra günümüzde 6500 barlık sistemler üretilmiş ve satışa sunulmuştur (Flow Europe, 2010). ASPK ile delme ve kesme işlemlerinde malzeme sertliğinde belirgin bir değişim olmamakta, malzemelerin metalik özelliklerinde bir değişiklik olmadığı görülmektedir (Akkurt, 2006).

Bugün bu yöntem özellikle havacılık ve otomotiv endüstrisinde kullanılmakta, otomasyona çok uygun bir yöntem olduğu için giderek yaygınlaşmaktadır. Metal ve sentetik malzemeler, çok katmanlı (örnek: çelik-alüminyum) malzemelerin şekilli kesimi yapılmaktadır (Erden, 1996).

Tablo II.1 SPK'nin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması (Yazıcıoğlu ve Yalçınkaya, 2003)

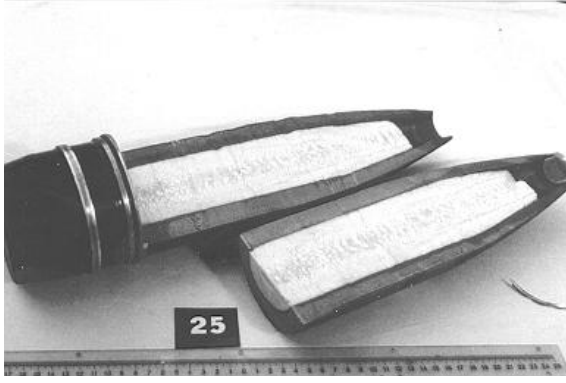
| Yöntem | Parça Maliyeti | Hassasiyeti | İşe başlama | Malzeme Kısıdı | Çarpılma | Kesme Yüzeyi |
|--------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------|----------|---------------|
| SPK | Birim | ± 0.13 mm daha yüksek | - | Yok | Yok | Düzgün |
| Alevle kesme | Daha az | Daha az | Daha hızlı | Var | Var | Kaba |
| Delme presi | Kısa çalışmada daha yüksek | Benzer | Daha yavaş | Var | Var | Buruşuk kenar |
| Laser | Daha yüksek | 13 mm den az kalınlıkta daha yüksek | İnce malzemede daha hızlı | Var | Var | Kaba |
| Plazma kesme | Daha az | Daha az | Daha hızlı | Var | Var | Kaba |
| Tel erozyon | Daha yüksek | Daha yüksek | %75 daha yavaş | Var | Var | Düzgün |

ASPK ile her türlü malzeme kesilebilmektedir. Kesme yüzeyleri 5-10 μ m yüzey pürüzlülüğüne sahiptir. Kesme aralığı ise 2 mm den az, 1 mm dolaylarındadır.

Uygun düzenek ile eğimli kesme kenarı sağlanabilir (Erden, 1996) SPK ile delik delme ve kesme işlemleri haricinde frezeleme ve tornalama uygulamaları da yapılabilmektedir (Akkurt, 2006), (Shipway ve ark., 2005), (Shih, 2002), (Hashish, 2009).

Karmalar (kompozitler) tasarımcılar ve mühendislerce yüksek kaliteli malzemeler olarak görülmektedir. Günümüzde otomobil, uçak ve savunma endüstrisinde kullanılan ASPK, bütün uçak gövde üreticilerinin karma malzemeleri kesmek için tercih ettiği yöntemdir (bkz. EK-1) (Hashish, 2009). Polimer matrisli karmalar ise bazı özel fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı çeşitli uygulamalarda aranılan malzemelerdendir. Geleneksel yöntemler kullanılarak kesildiğinde kesilen yüzeyin kalitesi ve kesme verimliliği düşmektedir (Gökmen ve ark., 2007).

ASPK'de kesilen ısınmadığı için mermi, füze vb. tehlikeli ürünlerin kesiminde, diğer yöntemlere göre daha güvenlidir (Louis ve ark., 2007). ASPK, nükleer santraller gibi riskli çalışma alanlarında, diğer yöntemlere göre çok daha az tehlike taşıdığı için tercih edilmiştir (Bechtel, 2000). Bu yöntem nükleer santrallerde ilk kez Kahl'da (Almanya) 1999'da kullanılmıştır (Louis ve ark., 2007).



Şekil II.3 ASPK İle İkiye Bölünmüş TNT Antipersonel Kovanı, 100 mm (Louis ve ark., 2007)

ASPK ile döküm malzemelerin işlenmesinde gürültü seviyesi 80-100 dBA olarak ölçülmüştür. (Malm, 2010) Diğer bir çalışmada ASPK’de ses şiddetine etki eden en önemli değişkenlerin %34 ile ilerleme hızınının, %12 ile de basıncın olduğu görülmüş ve 117 m/s’lik ilerleme hızında 93 dB ses şiddeti ölçülmüştür (Hloch ve ark., 2006b). 85 dBA'nın üzerindeki sesler, geçici ve kalıcı işitme kayıpları gibi rahatsızlıklara neden olan uyarı sınırı, 90 dBA'lık gürültü düzeyi de tehlike sınırı olarak kabul edilmektedir (Can ve ark., 2001). Böyle durumlarda işitme duyusunu koruyucu donanım giyilmesi gerekmektedir (Malm, 2010). Türkiye’de; uzun dönem ses seviyesinin enerji ortalamasına göre; Organize Sanayi Bölgesi veya İhtisas Sanayi Bölgesi içindeki her bir tesis için gündüz 70 dbA, akşam 65 dbA, gece 60 dbA sınırı getirilmiştir. Yerleşim alanlarına yaklaştıkça bu sınır değerleri de düşmektedir (Resmi Gazete, 2008).

Tablo II.2 SPK ve ASPK’nin Bazı Kullanım Alanları (Geren ve Tunç, 2001)

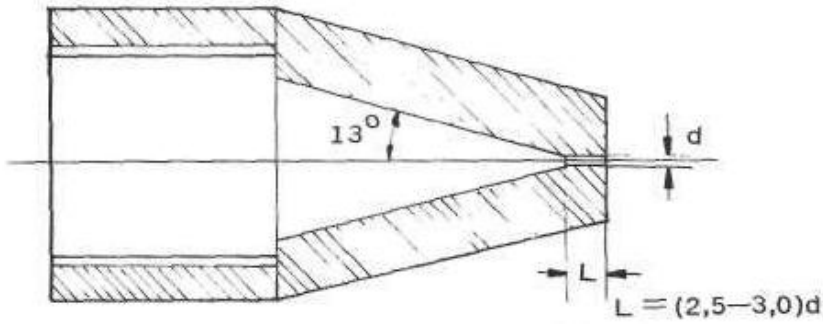
| Yoğun | Diğer Kullanım Alanları |
|---|---|
| Gıda sektörü Kağıt ve mukavva sanayi, Tekstil ve giyim sektörü, Kauçuk ve plastik sanayi, Temizlik sektörü, Ayakkabı ve deri sektörü, İzolasyon uygulamaları, Cam, mermer, granit, ve seramik sektörü, Metal işleme sektörü, Elektrik-elektronik sanayi, Otomotiv sektörü, Uzay ve havacılık sanayi | Riskli alanlarda ve patlayıcı ortamlarda kesme işlemleri, Nükleer ve elektrik santralleri, İnşaat sektörü ve dekoratif mimari uygulamalar Maden sektörü, Basın-yayın, Kimya ve tıp alanları, Yol bakımı, taş ve beton kesme işleri. Gözlük camı, güvenlik camları, katlı (karma, kompozit) camlar. |

II.4 LÜLE

Su püskürtümlü kesmede aşındırıcısız ve aşındırıcılı yöntemler için 2 tip lüle kullanılır. Sadece suyun püskürtüleceği çalışmalarda lüle kullanılır iken, aşındırıcılı su ile çalışılacağı zaman aynı lüleye karıştırma lülesi eklenerek kullanıma geçilebilir.

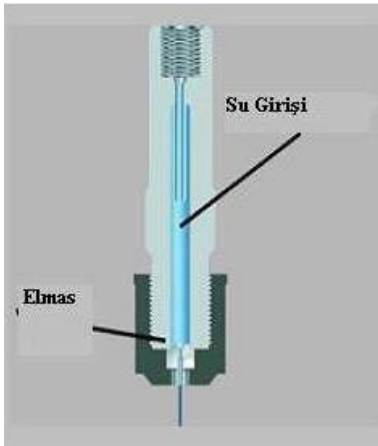
II.4.1 Su Püskürtüm Lülesi

Lüle, SPK'de suyun malzeme yüzeyine çarpacak şekilde atmosfere bırakıldığı bölümdür. Lüle malzemesi olarak tungsten karbür, elmas, çelik alaşımları, doğal safir ya da yaygın olarak yapay safir kullanılır. Lüle çapları 0,1-1 mm dolaylarındadır. Genellikle konik girişte 6° - 20° (en iyi olarak 13° - 14°) bir açı bulunur. Düz silindirik kısmının boyu ise çapın 2-4 katı olabilir. Tipik lüle ömürleri 50-200 saattir. Lüle iç çeperlerinin düzgün ve çok iyi parlatılmış olması gerekir (Erden, 1996), (Akçin, 1987).



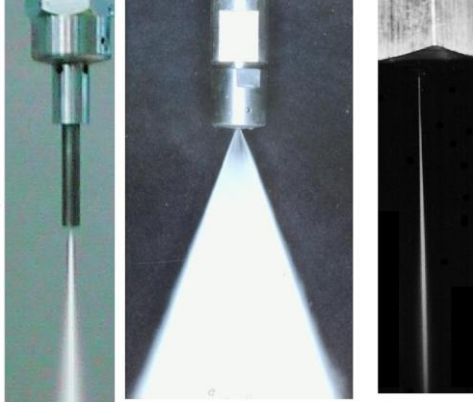
Şekil II.4 En Uygun Lüle Tasarımı (Akçin, 1987)

Sistemde şebeke suyu kullanıldığında 30 saat olan lüle ömrü arıtma ve filtrasyon işlemlerinden sonra 200 saate kadar çıkmaktadır (TT Proje, 2010)



Şekil II.5 Lüle (Yazıcıoğlu ve Yalçinkaya 2003)

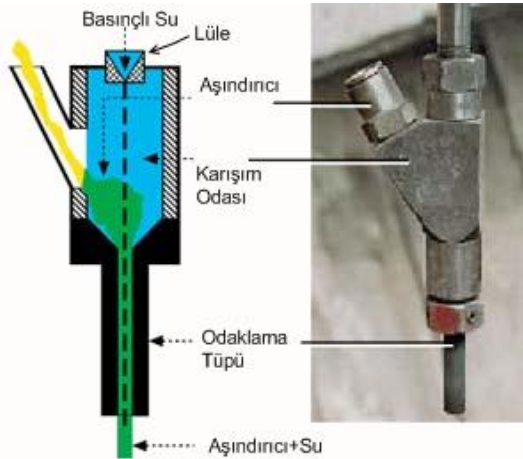
SPL'nin tipi, çapı ve boyu, suyun sıkı akış uzunluğunu, dolayısıyla kesim kabiliyetini etkileyen unsurlardandır (Hoogstrate ve ark., 2006). Yelpaze tip lülelerin sıkı akış mesafesi çok kısadır. Suyun sabit çaplı bir yoldan geçerek atmosfere bırakılmasını sağlayan oyuklu tip lülelerin sıkı akış mesafesi daha uzun olup kesim işlemlerinde daha başarılıdır (Zhong ve Han, 2003).



Şekil II.6 Lüle Tipleri-Soldan Sağa Kabarık, Yelpaze, Ve Sıkı Püskürtme Örnekleri (Kunaporn ve ark., 2008)

II.4.2 Aşındırıcı Su Püskürtüm Lülesi

Aşındırıcı sistemlerde lüleden çıkan suya, lüle çıkışında, çapları 10 ile 150 μm arasında değişen aşındırıcılar eklenir. Aşındırıcılar, karıştırıcı adı verilen kısımda karıştırılır ve karışım tekrar odaklanabilmesi amacıyla odaklama tüpü adı verilen tüpten geçirilerek dışarı atılır. Lüle, karışım ve odaklama tüpü gibi elemanlardan oluşan bu kesici kısım "Aşındırıcı Su Püskürtüm Lülesi" olarak adlandırılır. Suya aşındırıcı katkısının temel nedeni suyun sahip olduğu kesme kabiliyetini arttırmaktır (Geren ve Tunç, 2001).



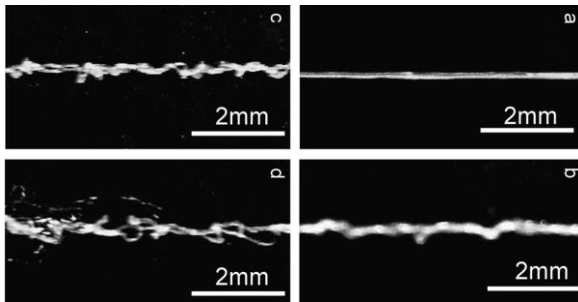
Şekil II.7 Aşındırıcı Lüle

400 MPa için tipik SPK lülesi ile ASPK lülesi arasındaki çap oranları şöyle sıralanabilir; 6/21 (0.15/0.54 mm), 9/30 (0.23/0.76 mm), 13/43 (0.33/1.10 mm), 18/63 (0.45/1.60 mm) (Janković ve Radovanović, 2008) ASPK ile hemen her malzeme kesilebilir (bkz. EK II-Tablo 1)

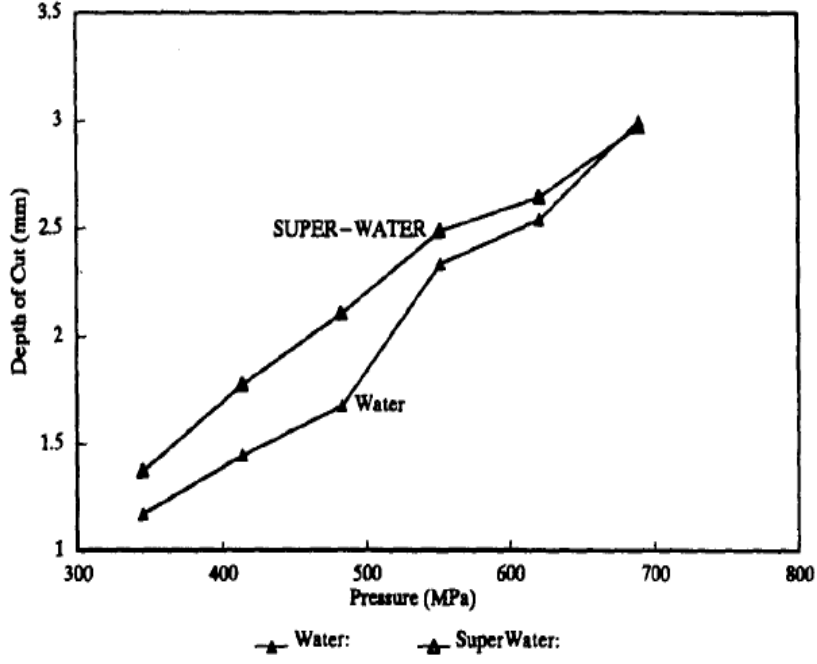
II.5 SU İÇİN KATKILAR

SPK'de akışkan olarak sudan başka benzen, gliserin ve mineral yağlar da kullanılabilir (Yazıcıoğlu ve Yalçınkaya, 2003). Kullanılan su, normal çeşme suyu olabildiği gibi, daha ince su elde etmek için su içine polimer (polietilen türü polimerler-yapıştırıcılar) karıştırılabilir (Erden, 1996). Sistemin kesim karakteristiğini geliştirmekte tercih edilen bu işlem, suyun hidrojen molekülleri arasında kuvvetli hidrojen bağları oluşturarak suyun lüle çıkışında hemen dağılmasını önlemek için uygulanır (Geren ve Tunç, 2001). Polimer katkılı sular kullanıldığında kesik genişliği de azalmaktadır. Kesim kabiliyetini arttıran bu uygulama ile aşındırıcı sarfiyatı %50 oranında azaltılabilmektedir (Howells, 1999), (Hashish ve ark., 1997).

Yüksek basınçlı su, kazanmış olduğu yüksek hız ile atmosfere bırakıldığında hava ile sürtünmesinden dolayı belli bir uzaklıktan sonra dağılmaktadır. Bu ise SPK kalitesini olumsuz yönde etkileyen istenmeyen bir durumdur. Suyun basıncı arttıkça, lüle çıkışındaki sıkı akış mesafesi kısalmakta, lüle çapındaki artış ise bu mesafeyi uzatmaktadır. Polimerin yanı sıra aşındırıcı katkısı da suyun sıkı akış uzunluğunu arttırmaktadır (Nguyen ve ark., 2008). Aşındırıcı katkılı sistemlerde polimer katılması ile ilgili genel yaklaşım, aşındırıcının güçlü bağlara sahip suya nüfuz etmekte karşılaştığı direncin yüksek oluşu nedeniyle doğru olmadığı şeklindedir. Bu nedenle polimerlerle aşındırıcıların aynı anda kullanımı doğru görülmemektedir (TT Proje, 2010).



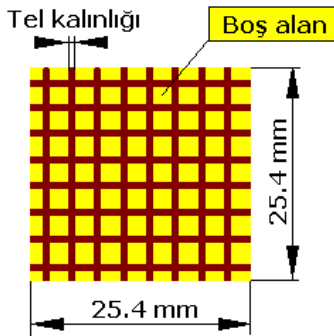
Şekil II.8 Sırası ile 1, 2, 3 ve 4 Mpa Basınçlı Suyun, Lüle Çıkışından 20 mm Uzaklıktaki Durumları (Nguyen ve ark., 2008)



Şekil II.9 Katkılı Ve Katkısız Suyun Kesme Derinliğine Etkisi (Hashish ve ark., 1997)

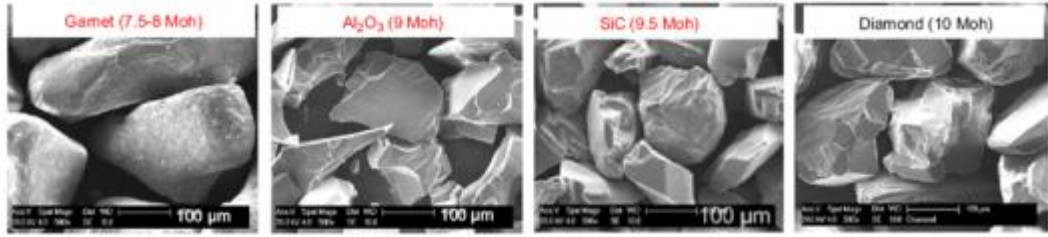
II.6 AŞINDIRICILAR

Aşındırıcılar μm (nanometre) boyutlarında olup birimi elektir. Piyasada elek yerine İngilizce tabiri olan meş (mesh) tanımı kullanılmaktadır. Elek ölçüsü, belli bir tel kalınlığı ve dokuma sıklığıyla üretilmiş bir elekten geçebilen en büyük parçanın ölçüsü anlamına gelmektedir. Örnek: 100 elek inceliğinde öğütülmüş bir malzemede bulunan en büyük parçacığın ebadı 0.142 mm'dir (Töreci Makine, 2010).



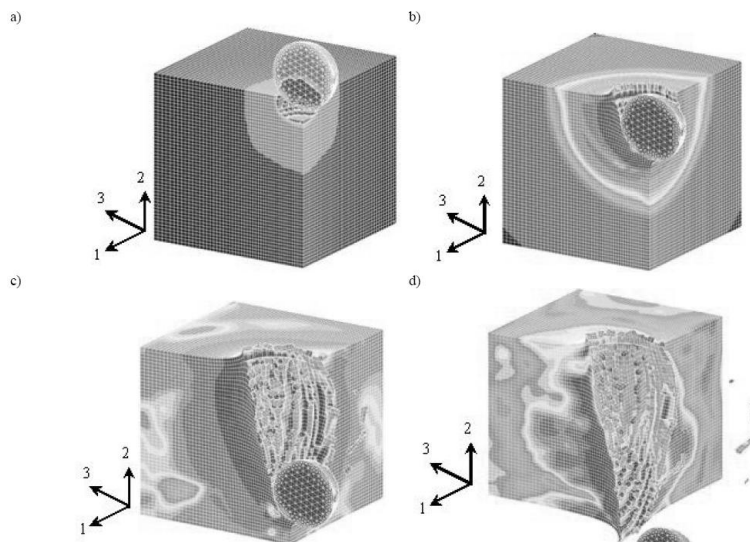
Şekil II.10 Elek

Aşındırıcı sistemlerde özel olarak şekillendirilmiş ve sınıflandırılmış, silis (kuvars) kumu, silisyum karpit (karbür), cam, çelik, titanyum ve garnet (grena) taşı tanecikleri kullanılır. Silisin akciğer kanserine neden olduğu bilindiğinden silis içerikli aşındırıcıların özellikle tercih edilmemesi tavsiye edilmektedir (Yazıcıoğlu ve Yalçinkaya, 2003). Aşındırıcı boyutundaki artış kaldırılan talaş miktarını ve kesme derinliğini artırır. Örneğin 80 elek aşındırıcınının 200 elek aşındırıcıdan daha fazla talaş kaldırdığı gözlenmiştir (Shipway ve ark., 2005).



Şekil II.11 Aşındırıcılar (Axinte ve ark., 2009)

ASPK uygulamalarında en çok kullanılan aşındırıcı tipi garnettir. Garnet minerali, doğada yüzde 98 oranında saf halde bulunan garnet kayalarından öğütülerek elde edilir (Saykar Metalurji, 2010). Kullanılacak aşındırıcı miktarı, tank çıkışındaki bir valf yardımıyla denetlenir. Aşındırıcı fiyatları, aşındırıcı sistemlerde imalat maliyetlerini artıran önemli bir etkindir. ASPK’de yeniden kazanım üniteleri kullanılarak aşındırıcı maliyetleri düşürülebilmektedir (Geren ve Tunç, 2001).



Şekil II.12 Aşındırıcının Malzemeye Çarpması İle Gerçekleşen Aşınma Modeli (Gudimetla ve Yarlagadda 2007)

Aşındırıcı hızındaki artış, malzemeden kaldırılan talaş miktarını arttırmaktadır (Gudimetla ve Yarlagadda, 2007). En fazla kesme derinliği için aşındırıcı yük oranının 0,3 civarında (aşındırıcı akış oranı/su akış oranı) olması tavsiye edilmektedir (Hoogstrate ve ark., 2006). Garnet yerine olivine kullanıldığında daha iyi kesme yüzeyi elde edilmekle beraber, aşındırıcı sarfiyatındaki artış yüzey kalitesini düşürmektedir (Hloch ve ark., 2008). Silisyum karpit (SiC) ve elmas aşındırıcılar karşılaştırıldığında, elmas aşındırıcı ile daha iyi yüzey kalitesi elde edilmekte ve daha fazla talaş kaldırılabilir (Axinte ve ark., 2009).

Su püskürtümlü kesmenin tıbbi uygulamalarında yukarıda bahsettiğimiz aşındırıcılar sağlıklı ve uygun olmadığından tuz gibi alternatifler ön plana çıkmaktadır (Schwieger ve ark., 2004). Bununla beraber daha ucuz aşındırıcılar için yapılan araştırmalarda buz parçalarının kullanıldığı görülmektedir. (Hoogstrate ve Van Lutervelt, 1997).

II.7 BASINÇ ELDE ETME YÖNTEMLERİ

SPK'de basınç yükseldikçe, kesme hızı arttırılabilir. Basıncıdaki artış kesme derinliğini arttırır. Bu durumda sarf edilmesi gereken aşındırıcı miktarı da azalacağı için çalışma maliyetleri de ucuzlar. Basınç artışı sıkı akış uzunluğunu kısaltsa da lüle tipi de bu mesafede etkilidir (Hoogstrate ve ark., 2006). Basıncın arttırılmasının yanı sıra, basınç üretme yöntemi de kesim kalitesi için önemli bir etkidir. Örneğin, basınç pompasındaki düzensizlik Valiçek ve arkadaşları tarafından, kesim yüzeyinde oluşan dalgalanma ve kabalığın sebeplerinden biri olarak gösterilmektedir (Valiçek ve arkadaşları, 2008).

SPK'de basınç artırma bölümü, yağ ve su silindirlerinden oluşur. Sistemde kullanılmak üzere geliştirilen silindirler, ulaşılması düşünülen su basıncına bağlı olarak yapısal farklılıklar gösterirler. Geleneksel basınç artırma yöntemleri (Vereshchagin hidrolik kompresör, geleneksel akışkan pompalar, Sidorov pompa, Airhydropump, Belfast intensifier, Harwood intensifier gibi) kullanılabilir olmalarına rağmen imalat maliyetleri, çalıştırma güçlükleri, imal edilebilirlik ve kabul edilemez sistem boyutları nedeniyle SPK için basınç yükseltici olarak tercih edilmemektedirler. Bu sakıncaları asgariye çekmek için yeni tasarımlar düşünülmüştür (Geren ve Tunç, 2000).

Basınç arttırıcının çalışma prensibine göre;

- Çift etkili model (double-acting type) basınç arttırıcılı SPK.
- Fazlı model (phased type) basınç arttırıcılı SPK.

Basınç arttırıcıyı oluşturan su silindirlerinin yapısına göre;

- Tek katlı (single-layer) silindirik yapılı SPK (azami 1800-2000 bar)
- Çok katlı (multi-layer) silindirik yapılı SPK

SPK'de kullanılan basınç elde etme yöntemleri, pistonlu pompalar ve basınç arttırıcılar olmak üzere iki bölümde incelenebilir (Geren ve Tunç, 2001).

II.7.1 Pistonlu Pompalar

Pistonlu pompalar küçük hacimli üç veya daha fazla silindirden oluşur ve aşınmayı minimize edebilmek amacıyla yaklaşık 600 dev/dak çalıştırılırlar. Bunların çalışma prensibi pistonlu motorlarda veya pistonlu hidrolik pompalarda olduğu gibidir fakat silindirler içine düşük basınçlı su alınarak, bu su azami 3000 bar'a kadar çıkarılabilmektedir (Geren ve Tunç, 2001).

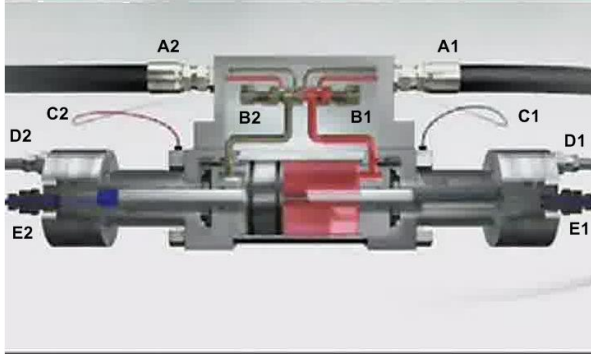
II.7.2 Basınç Arttırıcılar

Basınç arttırıcılar da çalışma prensiplerine göre çift etkili ve fazlı-çift etkili tip olmak üzere iki alt sınıfa ayrılırlar.

II.7.2.1 Çift Etkili Basınç Arttırıcılar

Bu tip sistemlerin en büyük dezavantajları silindirde hareket sonuna gelen pistonlar yön değiştirdiğinde basınçta ani bir düşüşün olmasıdır. Bu düşüşü önlemek amacı ile lüle öncesi basıncı düzenleyen akümülatör adı verilen bir depo kullanılmaktadır (Geren ve Tunç, 2001).

İleri-geri hareket eden pistonun yön değiştirmesi sırasında lüle basıncının sabit değerde kalmasını ve su hızının düzgün olmasını akümülatör sağlamaktadır (Geren ve Şahin, 1995).

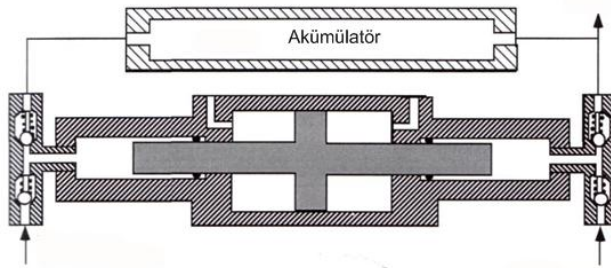


Şekil II.13 Çift Etkili Pompa

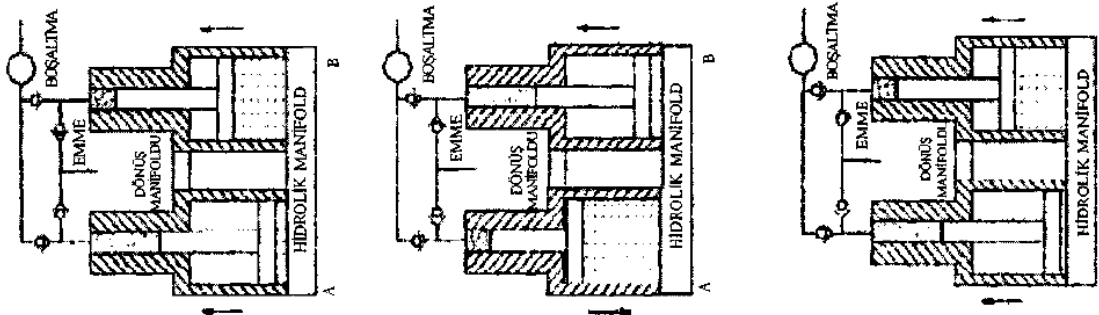
E2'den su basılırken D1'den küçük silinire su emilir. Su silindirlerinde basınç, Pascal prensibi gereği, yağ silindir alanı ile ters orantılı olacak şekilde artırılır. Alanlar oranı, "intensification factor" olarak bilinir ve SP kesme sistemleri için 20 civarında kabul edilir (Geren ve Tunç, 2000).

II.7.2.2 Fazlı-Çift Etkili Basınç Yükselticiler

Çift etkili basınç arttırıcılarda kullanılan akümülatör gibi en tehlikeli elemanı kullanmamak için fazlı-çift etkili basınç arttırıcılar kullanılmaktadır.



Şekil II.14 Basınçtaki Ani Düşüşü Önlemek Amacı İle Lüle Öncesi Basıncı düzenleyen Akümülatörün Kullanımı (Summers, 1995)



Şekil II.15 Fazlı-Çift Etkili Basınç Yükselticinin Çalışma Prensibi (Geren ve Tunç, 2001)

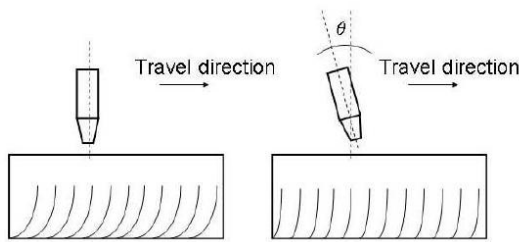
Fazlı-çift etkili basınç yükselticiler, çift etkili sistemdeki basınç düşüşünü önlemek amacı ile tasarlanmış daha gelişmiş bir sistemdir. Bu sistemin çalışma prensibi temelde diğeri ile aynı olmasına karşın, sistem iki adet tek taraflı hidrolik silindir ve su silindiri içerecek şekilde tasarlanmıştır. Her iki hidrolik silindir içine gönderilen yağın debisi (dolaylı olarak piston hızları) özel tasarlanmış bir manifold ile kontrol edilerek, bir su silindirindeki piston stroğun sonuna geldiğinde diğerin stroğunun ortasında olması sağlanmaktadır. Böylece, akümülatör gibi en tehlikeli sistem elemanına olan gereksinme ortadan kaldırılarak, sistemin sürekli sabit basınç yaratması sağlanmıştır. Temelde daha basit gibi görünen bu sistemin kontrolü ve kontrolü gerçekleştiren manifoldun yapısı daha karmaşıktır (Geren ve Tunç, 2001). (Basınç arttırıcıların karşılaştırması için bkz. EK II–Tablo 2)

SPK sistemlerde basınç 4000 bar civarında olmakla birlikte günümüzde 6000 bar'lık sistemler üretilmiş ve satışa sunulmuştur (Flow Europe ,2009).

II.8 SU PÜSKÜRTÜMLÜ KESME TEKNİKLERİ

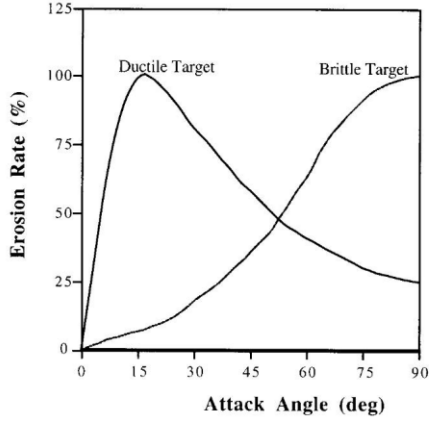
Yüksek basınçlı su ile işlemede kesim kabiliyetini arttırmak için, suya aşındırıcı eklendiğinden bahsetmiştik. Bunun yanı sıra daha kısa zamanda daha fazla iş yapabilmek için, aşındırıcı katkısı veya su basıncının artırılması gibi seçeneklerin haricinde, farklı kesim teknikleri doğmuştur.

II.8.1 Açılı Kesim

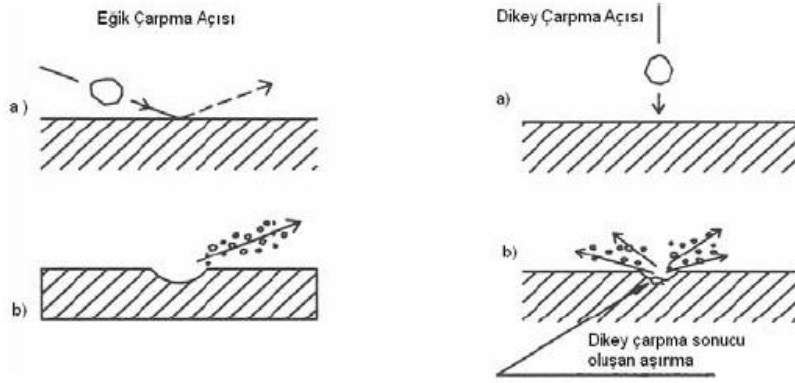


Şekil II.16 Açılı Kesim

Açılı kesimde maksat su veya aşındırıcılı suyun, kesilecek malzemeye dik açıdan farklı bir açı ile çarparak talaş kaldırmasını sağlamaktır. En fazla talaş kaldırma oranı, yumuşak malzemeler için 15^0 'lik, kırılğan malzemeler için ise 90^0 'lik kesim açısı ile gerçekleşmektedir.



Şekil II.17 Kesim Açısının Yumuşak Ve Kırılgan Malzemelere Etkisi (Grygl 2007).



Şekil II.18 Aşındırıcı Taneciğin İki Farklı Biçimde Malzeme Taşıma Şekilleri (Akkurt, 2006)

II.8.2 Tekrarlı Kesim

Tekrarlı kesim, daha kısa zamanda daha fazla derinlik elde edilebilen bir tekniktir. Bu teknikte tek kesim için harcanacak zamanda, daha fazla hızlarla tekrar tekrar kesimin gerçekleştirilmesi ile daha derinlere inilebilmektedir (Zhong, 2008).

Örneğin, alümina seramikler üzerinde yapılan bir çalışmada, ilerleme yönünde 1 mm'lik mesafe 1 sn'de işlendiğinde elde edilen derinlik 8,557 mm olmaktadır. Dolayısıyla ilerleme yönü boyunca derinlik değişmeyeceği için 2 mm mesafeyi 2 sn'de kesmektedir. Eğer kesme hızını 2 katı arttırıp kesimi 1 keredede değil de 2 keredede gerçekleştirirsek 9,81 mm derinlik elde ediyoruz. Görüldüğü gibi aynı sürede 2 tekrar ile daha derine inilmiş olmaktadır.

II.8.3 Salınlı Kesim

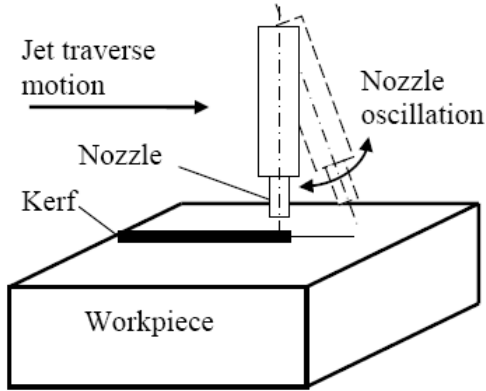


Figure 3.1. Schematic of controlled nozzle oscillation.

Şekil II.19 Salınlı Kesim (Zhong, 2008)

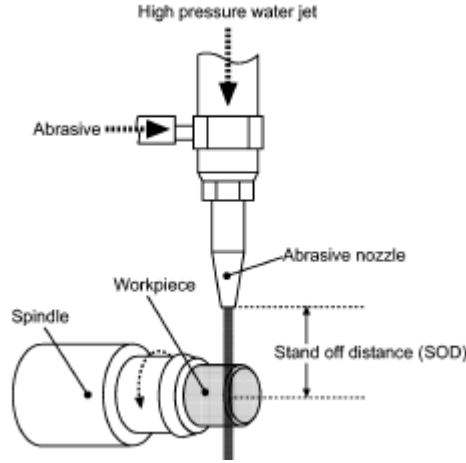
Salınlı kesim, ASPL hareket ederken belli bir açı ile salınması ile gerçekleşir. Bu yöntemde SPK'ye 2 girdi değişkeni daha eklenmiş olur. Salınım sayısı ve salınım açısı. Anlaşılacağı üzere burada kesim gerçekleşirken, kesme yüzeyinden birden fazla kere geçilmekte ve daha önce tekrarlı kesim tekniğinde olduğu gibi daha fazla derinlik elde edilebilmektedir. Yine alümina seramikler üzerinde yapılan aynı çalışmada 1 mm/s hız ile 11,301 mm derinlik elde edilirken, aynı hızda 4°'lik 6 salınım ile 13,299 mm derinlik elde edilmiştir (Zhong, 2008).

II.9 SPK VE ASPK ÇALIŞMALARI

Araştırmalara bakıldığında, yüksek basınçlı su ile işleme çalışmalarının tornalama ve frezeleme gibi hemen yönetime uyarlanabildiği görülmektedir.

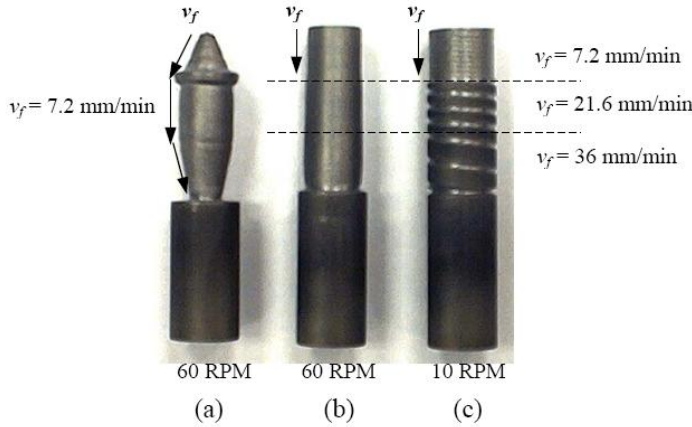
II.9.1 Tornalama

SPK ile tornalama işleminde, basınçlı su torna kalem yerine kullanılır. Çok sert alaşımlar, seramikler ve karmaşık metal karmalar gibi kesilmesi zor metallere döner simetriklerin üretimini kolaylaştırabilir. SPK tormalamanın önemli bir avantajı, işlenmesi zor malzemelerden yapılan hassas millerin (çubukların) çok küçük çaplara kadar işlenmesine olanak tanıyan zayıf kesme kuvvetleridir. Gerilme deneyleri, ASPK ile işlenmiş millerde, malzemenin gerilme karakteristiğinde değişiklik olmadığını göstermiştir (Akkurt, 2006).



Şekil II.20 Tornalama (Warisawa ve Akamatsu, 2003)

Bir çalışmada SPK ile tornalamada işlenen mil için hedeflenen $0,3 \mu\text{m}$ 'den daha iyi yüzey kalitesine ulaşılamamıştır. Bununla beraber aşındırıcı boyutunun 80 elekten 220 eleğe düşürülmesi ile yüzey kabalığının azaldığı, silindirik tornalama yüzeyinin ise alın tornalamadan daha kaba olduğu gözlenmiştir (Warisawa ve Akamatsu, 2003). Tornalamada, ilerleme hızındaki artış yüzeyi olumsuz etkilemekte, özellikle yüzey dalgalılığını çok arttırmaktadır (Shih, 2002).



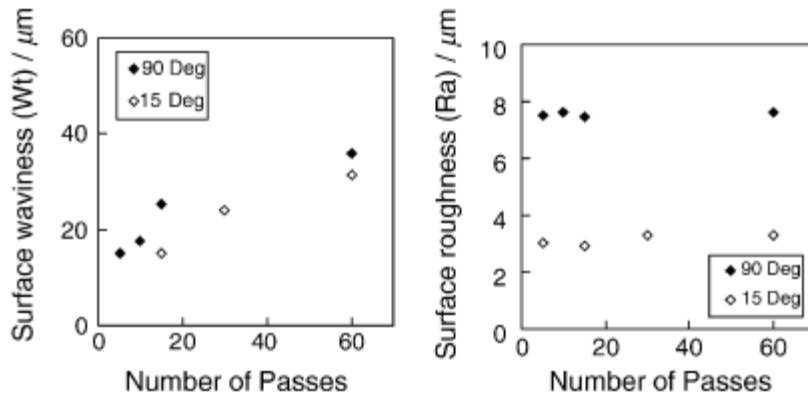
Şekil II.21 ASPK İle Tornalanmış Parça Örnekleri (Shih, 2002)

II.9.2 Frezeleme

Frezeleme işleminde amaç, istenilen ölçüde bir oyuk oluşturmaktır (Akkurt, 2006). ASPK ile frezeleme işleminde, ilerleme hızı yüksek, kesme derinliği azdır. Derinliği arttırmak için, kesme hattı üzerinden tekrar geçilir ve derinlik bir miktar daha arttırılmış olur. Hızlı ve tekrarlı kesim ile ASPK'de frezeleme işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

ASPK ile frezelemede yüzeylerden bahsederken en önemlisi, dip yüzeydir. Oluşan dip yüzey, değişken kesme performansının bir sonucu olan, derinlik düzensizlikleriyle karakterize edilir. Derinlikteki sapmalar yüksek yanal ilerleme hızlarında ve püskürtünün enerji yoğunluğunun düşük olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Yüzey morfolojisi; kesme işlemleriyle dönen yüzeylerde erozyon mekanizmasından dolayı farklıdır. İşlem zorluğu, yüzey kırılmaları ve parçacık gömülmeleri gibi problemler, ASPK yöntemiyle yapılan frezelemede daha azdır (Akkurt, 2006).

ASPK ile frezelemede 80 elek aşındırıcınının 200 elek aşındırıcıdan daha fazla talaş kaldırmakta ancak daha kaba ve daha dalgalı yüzey oluşturmaktadır. İlerleme hızındaki artış ise kaldırılan talaş miktarını ve dalgalanmayı azaltmakta, yüzey kabalığını ise arttırmaktadır. En fazla talaş miktarı 60⁰ kesim açısı ile elde edilirken, 15⁰ kesim açısı ile daha iyi yüzey kalitesi oluşmaktadır (Shipway ve ark., 2005).



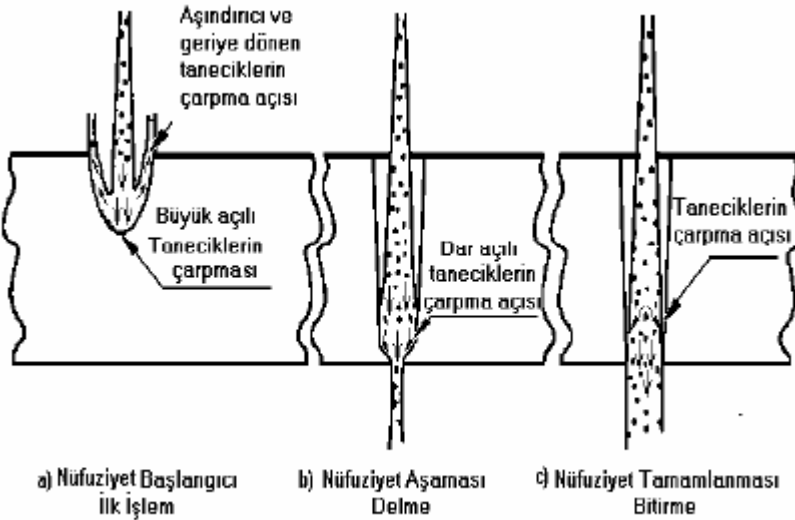
Şekil II.22 Frezele İşleminde Tekrar Sayısı Ve İşleme Açısının Yüzey Üzerindeki Etkileri (Shipway ve ark., 2005)

ASPK ile freze uygulaması kompozit malzemelere de uygulanabilmektedir. Örneğin grafit epoksi, 0,025 mm (25 μm) derinlik doğruluğu ile işlenebilmiştir (Hashish, 2009).

II.9.3 Delme

Delik açmada iki değişik yöntem uygulanmaktadır. Eğer açılacak delik çapı, aşındırıcılı suyun çap ölçüleri içindeyse, iş parçası üzerinde herhangi bir hareket olmaksızın açma kapama yapılarak delik açılır. Bu işlem, 0,6mm' den daha küçük çaplardaki deliklerin açılmasını sağlar. Eğer açılacak deliğin çapı, su çapını aşıyorsa, matkap deliğinin daha önce anlatılan şekilde delinmesinden sonra bir daire kesilerek

deliğin üretilmesi gerçekleştirilebilir. Malzemenin gevrekliğine bağlı olarak delme basıncının değiştirilmesi zorunludur. Özellikle delme işleminin başlangıcında doğru basıncın seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Yüksek delme basıncı yardımıyla aşırı gerilim (stres) üretilmesi, malzemenin kırılmasına yol açacaktır. Eğer ilk açıklık delinirse, su akıp gidebilir ve basınç seviyesi yükselebilir. Eğer basınç seviyesi doğru saha içersinde korunursa, geleneksel yöntemlerle delinemeyen CFC (kloroflorokarbon) malzemeler bile delinebilir (Akkurt, 2006). Yapılan bir araştırma sonucunda; ASPK, çapı 0,6 mm' ye kadar inen yüzeye 25° açı yapan delikleri açmak için kullanılabilir. Böyle bir iş, 0,1 mm çaplı lüle ve 0,35 mm karıştırma tüpüyle (ASPL) yapılmıştır. Ticari olarak bulunan lüleler 0,76 mm`ye kadar deliklerin açılabilceği G.E. Aircraft Mühendislik için yapılan deneylerle desteklenmiştir. Aynı deney ASPK ile delmenin, seramik kaplı jet motoru parçalarındaki soğutma kanallarının açılmasında kullanılabilceğini de göstermiştir. Ayrıca bu teknik, lazere tercih edilmiştir (Kovacevic, 1995).



Şekil II.23 Delme Aşamaları (Akkurt, 2006)

ASPK ile kesilen numuneler değerlendirildiğinde, malzeme kalınlığındaki artışa bağlı olarak, yüzeyde eğrisel-çizgisel izler halinde oluşan dalgalanmaların derinliği ve buna bağlı olarak da yüzey pürüzlüğü artmaktadır. Tornalama, frezeleme ve delme uygulamalarında malzeme kalınlığı arttıkça, yüzeydeki dalgalanmaların derinliği ve buna bağlı olarak da yüzey pürüzlüğü artmaktadır. Fakat kesme performansını iyileştirilmesini sağlayan kesme parametreleriyle (en uygun değişkenler) ile yüzey kalitesinde de iyileşme sağlanmaktadır (Akkurt 2006).

ASPK ile delmede, grafit epoksi gibi karmaların katmanlara ayrılması temel sorunlardan biridir ve uygun parametreler kullanılarak çözülebilmektedir. ASPK, karbon fiberde binlerce deliği sorunsuz delebilmektedir. Uygun işlem zamanlaması ile delikler, süratle, yüksek doğrulukta delinebilmekte ve iyi yüzey kalitesi elde edilebilmektedir (Hashish, 2009). Diğer taraftan karmaların delinmesinde sıra dışı yöntemlerden olan SPK, lazer ve elektro erozyon denenmiş ama malzemenin sahip olduğu mekanik, ısıl özellikler sebebi ile deliklerin az hasarlı ve ekonomik olarak delinmesinde geleneksel yöntemler tercih edilmiştir (Ekici ve Işık, 2009).

II.9.4 Kesme Derinliği

Tablo II.3 SPK ve ASPK kesim hızları (0,35 / 1,1 mm meme kombinasyonu ile) (CT, 2010)

| Kalınlık | 2 | 5 | 10 | 20 | 40 | 100 | 102 | 120 |
|--------------------------|--------|-------|--------|-------|-----|-------|-----|-----|
| Yalın su ile | | | | | | | | |
| Kauçuk | 25.000 | - | 10.000 | 2.000 | - | - | - | - |
| Plastik PU | 20.000 | 8.000 | 3.000 | - | - | - | - | - |
| Plastik PTFE , PVC | 6.000 | 2.000 | 800 | - | - | - | - | - |
| Kontraplak | 25.000 | 4.000 | 500 | - | - | - | - | - |
| Kontraplak | - | - | 25.000 | - | - | 5.000 | - | - |
| Aşındırıcı su ile | | | | | | | | |
| Paslanmaz Çelik | - | - | 230 | - | 50 | 5 | - | - |
| Titanyum | - | - | 270 | - | 55 | 20 | - | - |
| Alüminyum | - | - | 700 | - | 140 | - | - | 35 |
| Mermer | - | - | 800 | - | 150 | - | - | 40 |
| Cam | - | - | 600 | - | 120 | - | 33 | - |
| Kesim hızları mm/dak | | | | | | | | |

Kesme derinliği; basınç, aşındırıcı sarfiyatı ile doğru; lüle çapı ve kesme hızı ile ters orantılıdır. 1,2 mm'den büyük nozul çapında kesme derinliğinin azaldığı gözlenmiştir (Jegaraj ve Babu, 2005). Bununla beraber nozul çapının etkisi lüle çapı ve aşındırıcı sarfiyatına göre farklılık gösterebilmektedir. Bir çalışmada kesme derinliğine, aşındırıcı akış oranının %32, ilerleme hızının %22, su basıncının %19, lüle çapının %5 ve ASP lülesi çapının %1 etkili olduğu görülmektedir (Jegaraj ve Babu, 2007).

Hashish, kompozitlerin frezelenmesinde aşındırıcı akışındaki kesintinin tabaka ayrışmasına neden olabileceğini, bunun nedeninin ise grafit-epoksi karmasını

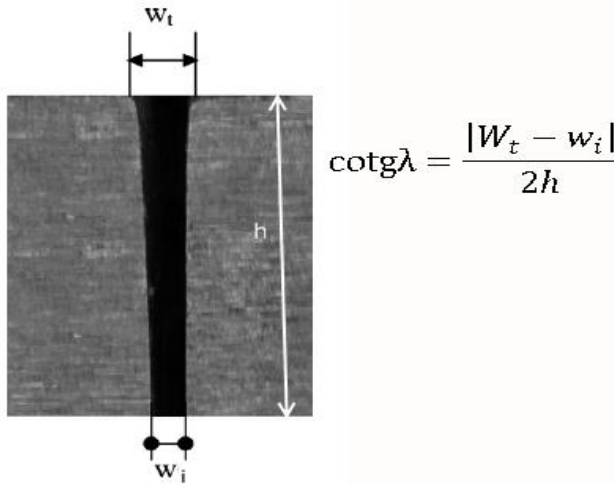
kesme yeteneği olmayan saf suyun uygulandığı basınçla tabakalarına ayırmasına bağlamaktadır (Akkurt, 2006). Bununla beraber çok katmanlı karma vb. malzemeler, ASP ile kesilirken aşındırıcı parçacıklar, katmanların arasına girerek çatlaklar oluşturabilmektedir. Uygun değişkenler ile bu hatalar asgariye çekilebilmektedir (Shanmugam ve ark., 2008).

Polimer esaslı kompozitlerde de basınç ve aşındırıcı sarfiyatı arttıkça derinlik artmakta, nozul çapı, ilerleme hızı ve akışkan (su) yoğunluğu arttıkça azalmaktadır (Wang ve Guo, 2002).

Xu ve Bell, alümina seramik ile gerçekleştirdikleri çalışmada kesme derinliği için iki model tavsiye etmektedirler. Buckingham Pi teoremi ile tasarlanan denklemlerde aşındırıcı sarfiyatı, basınç ve ortalama aşındırıcı boyutu arttıkça kesme derinliğinin arttığı; akışkan yoğunluğu, nozul çapı, kesme hızı, malzeme akma dayanımı ve parça-lüle aralığındaki artışın ise azalttığı görölmektedir. Kesim salınımlı gerçekleştirildiğinde daha fazla derinlik elde edilebilmektedir (Xu ve Bell, 2005). Aynı malzeme üzerinde yapılan diğer bir çalışmada da elde edilen denklemde de aynı etkiler gözlenmekle beraber, ayrıca aşındırıcı yoğunluğuunda ki artışında kesme derinliğini arttırdığı görölmektedir (Zhong, 2008) (Wang ve Zhong, 2009).

II.9.5 Kesik Genişliği Ve Eğimi

Yüksek hızlarda ki su, lüleden uzaklaştıkça çapını artırma eğilimindedir. Dolayısıyla, iş parçası-lüle arası mesafe, kesik eğimi üzerinde ki en önemli etkendir.



şekil II.24 Kesik Eğimi (Haşçalık ve ark., 2007)

AISI 304 paslanmaz çeliğinin kesiminde SPK'de SPL/ASPL oranı ve kesim hızı arttıkça eğimin büyüdüğü, aşındırıcı sarfiyatı ve basınç arttığında ise azaldığı gözlenmiştir (Hloch ve Fabiân, 2005). İlerleme hızındaki artış, kesik eğimini arttırmaktadır.(Haşçalık ve ark., 2007). Eğimin, basınç ile ters, ilerleme hızı ile doğru orantılı olduğu görülmektedir (Shanmugam ve Masood, 2008).

Granit kesiminde kesme hızındaki artış, aşındırıcı boyutunda ki küçülme, kesik eğimini arttırmış, aşındırıcı sarfiyatı net bir değişime sebep olmamıştır. Basınçta ki değişimin kesik eğimine etkisi, artan basınca bağlı olarak artma-azalma-artma şeklinde gözlenmişse de genel olarak eğimi artırma eğilimindedir. Kesik eğimine en belirgin etki, lüle-parça uzaklığındaki değişimlerde izlenmiş olup, bu mesafedeki artış eğimi de arttırmıştır (Aydın ve ark., 2010).

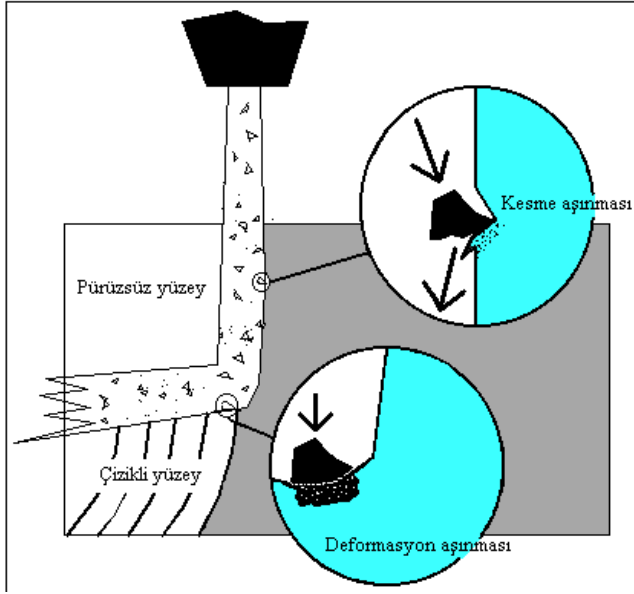
Kesik genişliğine ise lüle çapı hemen hemen tek başına hakim olmakta ve çap arttıkça da kesme genişliği artmaktadır. Kesik genişliğine lüle çapının etkisi %98 civarındadır (Jegaraj ve Babu, 2007), (Jegaraj ve Babu, 2005). Kesik genişliği, ilerleme hızı ve derinlik arttıkça azalmaktadır (Shih, 2001).

II.9.6 Yüzey Kalitesi

Yüzey kalitesi (kabalığı) için genellikle, yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalaması olan Ra veya düzeltilmiş yüzey pürüzlülük değerleri olan (Rq) (ortalamanın karekökü) kullanılır. Birimleri μm 'dir. Aşağıda Ra ve Rq değerlerinin hesaplanması gösterilmiştir. Rq büyük sapmaları hesapladığı için gerçeğe daha yakındır.

ASPK ile elde edilen kesme yüzey kalitesi, malzemenin teknolojik olarak kalitesinin ölçüsü olup, birçok parametrenin denetimi altındadır. Kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasında önemli bir ilişki vardır. Kabul edilebilir bir yüzey kalitesi için uygun kesme parametrelerinin belirlenmesinde kesik derinliği ve kesik genişliği gibi yüzey pürüzlülüğünün de dikkate alınması zorunludur (Karakurt ve ark., 2010).

Tornalama, frezeleme ve delme uygulamalarında malzeme kalınlığı arttıkça, yüzeydeki dalgalanmaların derinliği ve buna bağlı olarak da yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Fakat kesme performansını iyileştirilmesini sağlayan kesme parametreleriyle (optimum parametreler) ile yüzey kalitesinde de iyileşme sağlanmaktadır (Akkurt ve ark., 2004), (Akkurt, 2006).

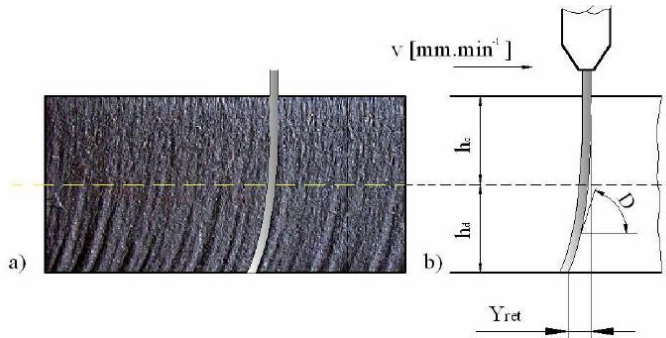


Şekil II.25 Aşındırıcılı Su Jeti İle Kesik Yüzey Oluşum Süreçleri (Akkurt, 2009)

Grafit epoksida $10\mu\text{m}$ 'den (Boeing tarafından belirlenen tipik değer) daha iyi yüzey kalitesi elde edilebildiği gibi 76 mm kalınlığında kompozit I kirişlerde, 25 mm/dak ilerleme hızı ile $10,16\ \mu\text{m}$ yüzey kalitesi elde edilebilmektedir (Hashish, 2009).

ASPK'de derinlik arttıkça yüzeyde birbirine paralel ve gözle ayırt edilebilir dalgalanmalar oluşmaktadır. (Valiçek ve ark., 2007). Bu dalgalanma, suyun belli bir noktadan sonra enerjisinin azalması ile doğrusal akışının bozulması ve parabolik bir akış göstermesindedir (Orbanic ve Junkar 2008).

ASPK ile işlemede, kesme veriminin azalmasına bağlı olarak yanal ilerleme yönüne zıt yönde çizgisel izler gözlenmektedir. Değişik malzemelerin işlenmesindeki, farklı işleme parametrelerinden bağımsız olarak ortaya çıkan bu izlerin birbirine benzerliği dikkate değerdir. Çeşitli araştırmacılar bu gözlemi doğrulamak için sünek ve gevrek malzemeler üzerinde yaptıkları çalışmalarda, benzer izlerin varlığını ortaya koymuşlardır (Akkurt, 2009).



Şekil II.26 Kesim Yüzeyinde Dalgalanmalar (Valiçek ve ark., 2007)

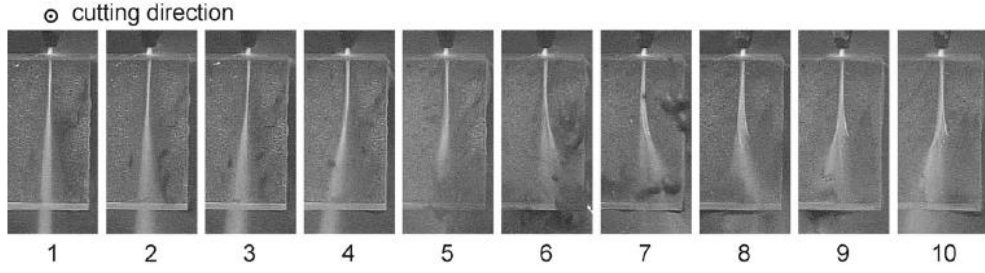


Fig. 13. Sequence of jet cutting into the PMMA workpiece. The cutting velocity was 6 mm/s. The time interval between consecutive frames is 0.04 s.

Şekil II.27 Suyun Parabolik Davranışı (Orbanic ve Junkar 2008)

Yumuşak çeliğin salınlı kesilmesinde en iyi yüzey kalitesini, $2,5^0$ 'lik açıya sahip 3 salınlı kesim sağlamaktadır. Kesik genişliği, salınlı sayısı ve açısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Dolayısıyla yüzey kalitesinin hareket mekanizmasına bağlı olduğu görülmektedir (Patel ve Chen, 2003).

AA 7075-T6 (AlZnMgCu1.5) alüminyum alaşımında yüzey kalitesini en fazla %71 ile basıncın, sonra %18 ile sırasıyla ilerleme hızı etkilemektedir. Bu malzemede Ra için $2\mu\text{m}$ yüzey kalitesi elde edilebilmektedir. Basınç, lüle uzaklığı, aşındırıcı sarfiyatı ve kesme hızındaki artış yüzey kabalığını arttırmakta, aşındırıcı boyutu arttığında ise azaltmaktadır (Çaydaş ve Haşçalık, 2008).



Şekil II.28 ASPK İle Kesilmiş Yüzey Kalitesi (Akkurt, 2009)

AISI 304 paslanmaz çeliğinin kesiminde SPL/ASPL oranı ve kesme hızı arttıkça yüzey kabalığı artmakta, aşındırıcı sarfiyatı ve basınç arttıkça da azalmaktadır (Hloch ve ark., 2006a), (Fabiân ve Hloch, 2005), (Hloch ve Fabiân, 2005), (Haşçalık ve ark., 2007). 0,25-0,3 SPL, 0,76-1,2 ASPL ile 3,5-4 oranları (ASPL/SPL) ile iyi yüzey kalitesi elde edilebilmektedir (Jegaraj ve Babu, 2005).

Ti-6Al-4V alaşımı telli elektroerozyon tezgahında (WEDM) 1,5 mm/dak ilerleme hızı ile kesildiğinde 3µm'den daha az kabalık değeri elde edilirken, 14 mm/dak veya daha az ilerleme hızı ile ASPK tezgahında daha iyi kabalık değerine ulaşılabilir. SPK ile telli erozyondan ortalama 10 kat hızlı kesim ile daha iyi yüzey elde edilebilmektedir. Bununla beraber yüzey dalgalılık değerleri telli erozyonda 0,8µm civarında olup, SPK'den daha iyidir. Yüzey dalgalılık değerleri telli erozyonda derinlik artışı ile fazla değişiklik göstermez iken, SPK'de 1µm'den başlayıp 60 mm derinlikte yaklaşık 6µm'ye çıkmaktadır. Kesim hızı 36 mm/dak'ya çıkarılırsa bu değer 100µm'ye yaklaşmaktadır (Shih, 2001).

Sünek malzemelerin ASPK ile işlenmesi sırasında kaliteli yüzey özellikleri hedeflendiğinde, kesme parametrelerinin ayarlarının çok daha dikkatli yapılması gerekir (Akkurt, 2009). ASPK ile kesilmek suretiyle elde edilen iş parçası yüzey kalitesi ile ilgili değerlendirmelerde aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır;

Daha iyi kesme performansı sağlayan işlem parametreleri aynı zamanda kesme aşınma bölgesini genişletmektedir,

Kesilen kanalın alt kısmındaki yüzey bölgesinde oluşan paralel hatlı dalgalı yüzey, yüzey pürüzlülüğünü tayin etmektedir,

Kesme aşınma bölgesinde elde edilen daha iyi yüzey kalitesi her zaman deformasyon aşınma bölgesinde daha iyi yüzey elde edilebileceğini garanti etmez,

Kesme parametrelerinin optimizasyonu yüzey kalitesini artırabilir, Burada ele alınan parametreler arasında her iki aşınma mekanizması bölgesinde de önemli yüzey kalitesi artışı sağlayan parametre daha düşük kesme hızının seçilmesidir,

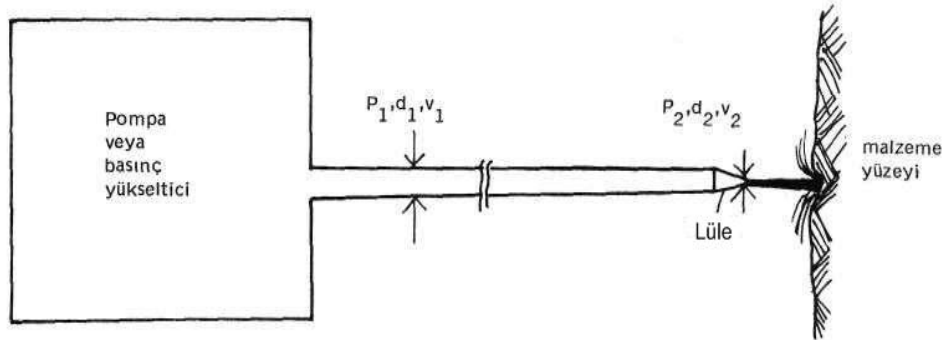
Burada denenen malzemelerin hepsinde özellikleri farklı olmasına rağmen, benzer yüzey topografyası elde edilmiştir (Külekçi ve Akkurt; 2001).

II.10 YÜKSEK BASINÇLI SU İLE KESME PRENSİBİ

Yüksek basınçlı su, 0,1-1,0 mm çapında bir uçtan (lüleden) geçirilerek belli mesafeden malzeme üzerine akıtıldığında, yüzeye çarpan su, yaratılan erozyon kuvveti ile yüzeyden malzeme parçacıklarını uzaklaştırarak kesme işlemini gerçekleştirebilmektedir.

Su ile kesme mekanizması karmaşıktır ve talaş kaldırma işlemi tam olarak anlaşılabilmiş değildir (Maniadaki ve ark., 2007). Uygulamaların tam anlamıyla başarılı olabilmesi için pek çok araştırmanın yapılması ve analitik açıklamalar getirilmesi gerekmektedir. Şimdiye kadar yapılan çeşitli araştırmalar, bazı özel uygulamalardaki birçok problemi çözmüştür. Örneğin aşındırıcı taneciğin hedef malzeme üzerine geliş açısı yüzeyden parçacıkların taşınması hızı işlenen parçanın yüzey kalitesine oldukça etki eder (Akkurt, 2006).

ASPK ile elde edilecek kesme derinliği, malzemenin dayanımı (metal's strength K) ile ters orantılıdır (1/K). Yani kaldırılacak talaş miktarı malzemenin mekaniksel özelliklerine son derece bağlıdır (Arola ve Ramulu, 1997).



Su püskürtümlü kesimi kuramsal incelersek;

Yüksek hızdaki su katı davranışı gösterir ve (Geren ve Şahin, 1995) sabit basınç altındaki suyun hızı;

$$v = \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \text{ ile hesaplanabilir (TT Proje, 2010)}$$

Uygulamada basınç 90-350 Mpa aralığında ise denklem 0,85 ile 0,9 arasında değişen bir katsayı ile çarpılmalıdır (Chen ve Geskin, 1992), (Shanmugam ve ark., 2008).

$$v = C \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \quad 90 \leq P \leq 350 ; 0,85 \leq C \leq 0,9 \quad 400 \text{ Mpa (4000 bar) için örnek}$$

bir hesap yaparsak;

$$v = \sqrt{\frac{2P}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \times 400 \times 10^6}{1000}} = 894 \text{ m/s}$$

Görüldüğü gibi tipik olarak suyun hızı örneğimizde 2 Mach değerinden fazla bir hız çıktı ve basınca bağlı olarak bu hız 2.8 Mach değerlerine ve daha üstüne ulaşabilir. Bu yüksek hızdaki suyun, sert bir yüzeye çarpması ve çok kısa bir sürede hızını tümüyle kaybetmesi sonucu, suyun kinetik enerjisi, basınç enerjisine dönüşür. Suyun yüzeye ilk temasından birkaç milisaniye sonra malzeme yüzeyinde normal stagnasyon basıncından birkaç kez daha büyük geçici basınç dalgaları oluşur. Bu basınç dalgaları iş malzemesinin dayanımını aşarak, malzemenin işlenmesini sağlar (Erden, 1996).

Yüksek basınçlı suyun akış oranı;

Lüle çıkışı için, $Q=C*A*V$, aşındırıcılı lüle çıkışı için $Q=C^2*A*V$ dir. Burada C lüle tipine bağlı olarak değişen akıntı katsayısıdır ve lüle için 0,6 olup aşındırıcılı lüle için 0,9'dur (Jurisevic ve ark., 2004). Impuls-Momentum'un tanımından herhangi bir yüzeye dik doğrultuda uygulanan suyun yüzeyde oluşturduğu kuvvet teorik olarak;

$$F = \rho * V^2 * A \text{ 'dır (Akçin, 1987).}$$

Keskin köşeli lüle çıkışında kuvvet $F=2*A*P*C$ düz lüle çıkışında ise $F=2*A*P*C^2$ ile hesaplanır (Jurisevic ve ark., 2004). Yüzeye dik doğrultuda uygulanan 400 MPa basınç ve 0,4 mm çaplı lüleden çıkan suyun yüzeyde oluşturduğu kuvvet;

$$F = \rho * V^2 * A = 1000 * 894^2 * \pi 0,2^2 * 10^{-6} = 100 \text{ N olur.}$$

ASPK ile malzeme kesmede gözlenen başlıca 4 kesme mekanizması vardır:

1. Yerel yüksek statik basıncının yarattığı gerilmeler.
2. Basınçlı suyun temas noktasından çevreye doğru hızla akan suyun yarattığı kayma gerilmeleri.
3. Malzeme içindeki gerilme dalgalarının yarattığı yansıma ve kesişmeler sonucu malzeme parçacıklarının kopması ve yüzeyden sıçraması.
4. Malzeme çatlaklarının ilerlemesi (Erden, 1996).

Erozyon mekanizması olayı daha detaylı olarak incelendiğinde; tazyikli su katı malzemeye çarptığı zaman, çarpmanın olduğu nokta çok kısa bir süre için değişken yüksek geçiş-basıncına maruz kalır. Bu basıncın büyüklüğü, suyun hızının, çapının ve akışkanın özelliklerinin bir işlevidir. Kuramsal olarak kesme noktasındaki

basınç lüle çıkış basıncının 2 katına ulaşabilir (Geren ve Şahin, 1995).

Yukarıdaki örneğimizde yüzeye etki eden kuvvetimiz $F=100$ N ve lüle çapımız $0,4$ mm ve basıncımız 400 Mpa idi. Kesme noktasındaki basınç teorik olarak; $Pç=F/A=100/π0,2^2= 800$ Mpa olur. $F= ρ *V^2*A$ denkleminde V^2 yerine $2P/ ρ$ yazdığımızda $F=2PA$ olur. Buradan $F/A=2P$; $Pç=2P$ sonucuna varırız.

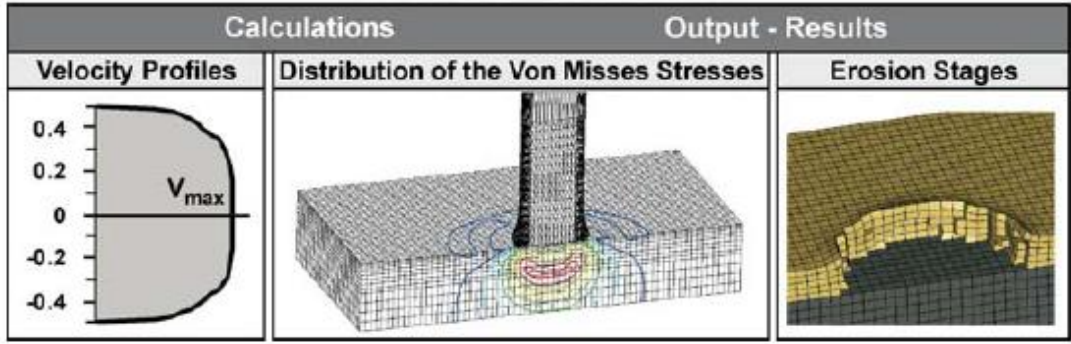
$Pç$ akışkanın malzeme yüzeyine çarpması ile gerçekleşen basınç (kesme noktasındaki basınç), P ise lüle çıkış basıncıdır. Bu denkleme akış katsayısı C 'yi de eklersek Keskin köşeli lülede $Pç=2PC$ düz lülede $Pç=2PC^2$ olur (Jurisevic ve ark., 2004).

Suyun erozyon ile kesme kapasitesi, sahip olduğu hızın yarattığı kinetik enerji (KE) ile de tanımlanır. Kinetik enerji; $KE=mV^2/2$ (J) eşitliği ile hesaplanır. Burada m kütle; V ise hızdır. Malzemelerin SPK yada ASPK kesme yöntemiyle işlenebilmesi için, suyun çarpmasıyla malzeme yüzeyinde oluşan gerilme değerinin, malzemelerin sahip olduğu ortalama sıkıştırma dayanımı (compressive strength) değerinden yüksek olması gerekir. Bazı malzemelerin sahip olduğu ortalama sıkıştırma dayanımı değerleri Tablo'da verilmiştir.

Tablo II.4 Bazı Malzemelerin Ortalama Sıkıştırma Dayanımları (TT Proje, 2010)

| Malzeme Adı | Ortalama Sıkıştırma Dayanımı (Mpa) |
|-------------|------------------------------------|
| Tuğla | 28-30 |
| Tahta | 35-62 |
| Mermer | 83 |
| Granit | 131 |
| Alüminyum | 131-759 |
| Titanyum | 345-931 |

SPK'de en yüksek gerilim su huzmesi ile parçanın bulunduğu merkezi noktada gerçekleşir ve bu noktadan malzeme yüzeyinde ve çarpma ekseninde yayılır. Bu gerilmeler malzeme dayanımını yenerek aşındırır ve parça koparılmasını mümkün kılar (Maniadaki ve ark., 2007).



Şekil II.29 Aşınmanın Modellenmesi (Maniadaki ve ark., 2007)

II.11 DENEY TASARIMI VE ANALİZİ

Deney tasarım ve değerlendirmelerinde çeşitli metotlar ve istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır.

II.11.1 Tam Eşleştirmeli Deney Tasarımı

Herhangi bir değerdeki etkinin (değişkenin), sonuç (çıktı) üzerindeki etkisi, diğer değişkenlerin düzeylerinin değişmesi ile değişebilir. Değişkenin çıktı üzerindeki önemini diğer bir ifade ile çıktı üzerindeki ağırlığını görmemiz için, diğer değişkenlerin düzeyleri ile teker teker ölçülmelidir. Bu eşleşmenin bütün değişkenler ve düzeyleri için yapılması için tam eşleştirmeli gözlem gerekir.

Deney tasarımı tam eşleştirmeli yapılmak istendiğinde, değişkenler için tanımlanan düzey sayısı arttıkça, deney sayısı da artar. 4 değişken için 2'şer düzey tanımlandığında $2^4=16$ deney yapmak gerekir. Eğer düzeyleri 3'e çıkardığımızda $3^4=81$ deney yapmak gerekir.

II.11.2 Kesirli Eşleştirmeli Deney Tasarımı

Bazı durumlarda düzey ve değişken sayısı, tam eşleştirmeli çalışmayı neredeyse imkansız kılabilir. Bu gibi durumlarda kesirli eşleştirmeli deneyler kullanılır.

2 farklı düzeye sahip 5 değişken için tam eşleştirmede $2^5=32$ gözlem gerekir. $\frac{1}{2}$ kesirli eşleştirmede ise deney sayısı $32/2=16$ olur. Bazen yarım kesirli eşleştirmeli gözlemlerde fazla olabilir. Örneğin $4^4=256$ gözlem $\frac{1}{4}$ eşleştirme ile 64'e $\frac{1}{8}$ kesirli eşleştirme ile 32'ye indirilebilir.

Deneyleerin sanayi sektöründe yoğun olarak uygulanmamasının bir nedeni, tam eşleştirmeli (tam faktöryel) deneyleerin yüksek maliyetidir. Kesirli deneyleer, maliyet engelinin aşılmasına büyük ölçüde yardımcı olur (Yavuz, 2006).

II.11.3 Taguchi Metodu

Taguchi Metodu, dikey dizileri kullanarak kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini asgariye çekmeye çalışan bir deneysel tasarım tekniğidir. Bu teknikte faktör seviyelerinin tespit edilmesinde çeşitli yöntemler kullanılır (Canıyılmaz ve Kutay, 2003). Bu metot, düşük maliyetli ve yüksek kaliteli ürün üretmede önemli bir metottur. 1960'lı yıllardan beri Japonya'da ve 1980'lerden beri de ABD ve Avrupa'da, kalitenin tasarım aşamasında sağlanması amacı ile deney tasarım teknikleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmaları başlatan, Japon mühendisi Dr. Genichi Taguchi'dir. Taguchi kendi adı ile anılan Taguchi Metodu ile, bir ürünün kalitesinin, söz konusu ürünün geliştirilmesi sonucunda oluştuğunu söylemektedir. Ürünün arzulan özellikleri, ürün kalitesini belirlediğinden, bu özellikler tasarım aşamasında ortaya konmalı ve böylece arzu edilen performansta ürünlerin üretilmesi sağlanmalıdır. Aşağıda 3'er düzeyli 4 değişken için tipik L9 dikey dizisi görülmektedir. L harfi dikey diziyi, 9 da satır sayısını bir başka deyişle deneme sayısını göstermektedir Tam faktöryel tasarım gereği $3^4=81$ deneme yapılması gerekirken, dikey diziler kullanılarak sadece 9 deneme ile aynı sonuçlar elde edilmeye çalışılır. Daha büyük dizilerde daha fazla kolaylık sağlayacağı açıktır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003).

Tablo II.5 Taguchi Dikey Dizilerinde, Faktör, Seviye Ve Deneme Sayıları

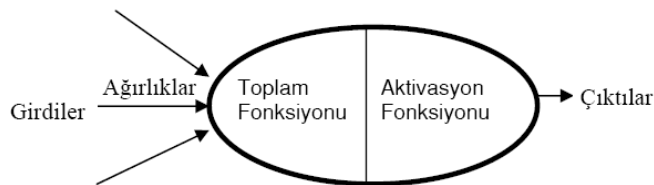
| Dikey Dizi | Faktör ve Seviye sayısı | Tam Faktöryel Tasarım Deneme Sayısı |
|------------|-------------------------|-------------------------------------|
| L4 | 3 faktör 2 seviyeli | 8 |
| L8 | 7 faktör 2 seviyeli | 128 |
| L9 | 4 faktör 3 seviyeli | 81 |
| L16 | 15 faktör 2 seviyeli | 32768 |
| L27 | 13 faktör 3 seviyeli | 1594323 |

II.11.4 Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler elde etmek, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir (Demetgül ve Yazıcıoğlu, 2006). Yapay sinir ağları biyolojik beyin sinir sisteminin çalışma şekli örnek alınarak tasarlanmış programlama yaklaşımıdır (Erdoğan ve Pekçakar, 2009). Bilgisayarların işlem hızlarının geliştirilmesiyle birlikte bir çok kompleks problemin çözümünde kullanılan bu yöntem paralel işlem mimarisine dayanmaktadır. Yöntemin işleyişinin insan beyninin işleyişine benzer iki yönü mevcuttur.

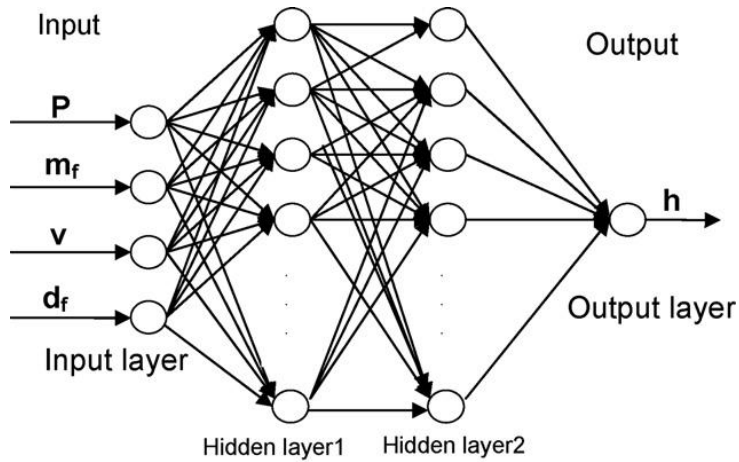
- 1) Bilgi, bir öğrenme sürecine tabi tutulan bir ağ tarafından kazanılır
- 2) Nöronların arasındaki bağlantıyı sağlayan ve sinaptik ağırlıklar (weights) olarak bilinen bağlar bilgiyi sınıflandırma yaparak depo etmektedir (Sümer, 2004).

Bilgilerin kurallar şeklinde açıklandığı geleneksel uzman sistemlerin tersine, YSA gösterilen örnekten öğrenerek kendi kurallarını oluşturur (Akpolat, 2009). YSA'lar, ağırlıklandırılmış şekilde birbirlerine bağlanmış birçok işlem elemanlarından (nöronlar) oluşan matematiksel sistemlerdir. Bir işlem elemanı, aslında sık sık transfer fonksiyonu olarak anılan bir denklemdir. Bu işlem elemanı, diğer nöronlardan sinyalleri alır; bunları birleştirir, dönüştürür ve sayısal bir sonuç ortaya çıkartır. Genelde, işlem elemanları kabaca gerçek nöronlara karşılık gelirler ve bir ağ içinde birbirlerine bağlanırlar; bu yapı da sinir ağlarını oluşturmaktadır (Yurtoğlu, 2005). Biyolojik sinir ağlarının sinir hücreleri olduğu gibi YSA'nın da yapay sinir hücreleri vardır. Yapay sinir hücreleri "işlem elemanı" olarak da adlandırılmaktadır. Her işlem elemanının 5 temel elemanı vardır. Bunlar: Girdiler, Ağırlıklar, Toplama Fonksiyonu, Aktivasyon Fonksiyonu ve Çıktıdır. Şekil'de, bu işlem elemanının yapısını göstermektedir (Terzi ve Kardeş, 2004).



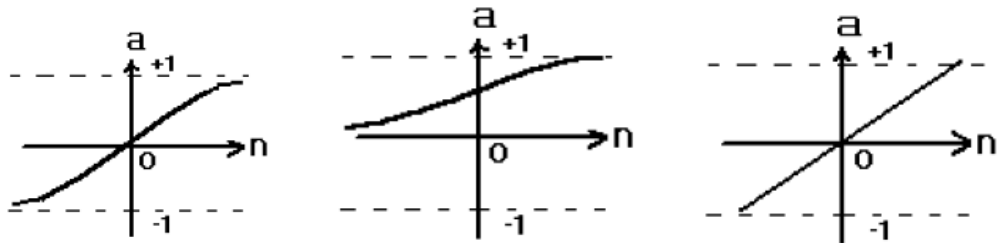
Şekil II.30 YSA İşlem Elemanları

Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağını oluştururlar. Sinir hücrelerinin bir araya gelmesi rastgele olmaz. Genel olarak hücreler 3 katman halinde ve her katman içinde paralel olarak bir araya gelerek ağı oluştururlar. Bu katmanlar: Girdi Katmanı, Ara Katmanlar (Gizli Katman) ve Çıktı Katmanı'dır (Terzi ve Kardeş, 2004). Şekil II.31'de, bu katmanların birbiri ile ilişkisi gösterilmektedir. Burada basınç, aşındırıcı sarfiyatı, ilerleme hızı ve ASPL çapı SPK girdileri olarak kullanılmıştır. Çıktı değeri ise kesme derinliğidir (Srinivasu ve Babu, 2008).



Şekil II.31 ASPK İçin Modellenmiş YSA Modelinin Katmanlar (Srinivasu ve Babu, 2008)

Geniş olarak kullanılan çok katmanlı MLP (Multi-Layered Perceptron) tipi yapay sinir ağları için katmanlar arasında en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları Tangent-Sigmoid, Logaritmik-Sigmoid ve Purelin'dir (Altun ve ark.).



Şekil II.32 Sırasıyla Tangent-Sigmoid, Logaritmik-Sigmoid ve Purelin giriş-çıkış eğrileri.

Tan-Sigmoid Transfer fonksiyonu, grafiğinden de anlaşılacağı gibi yumuşak bir geçiş, purelin ise keskin bir geçiş sağlamaktadır.

Yapay sinir ağları yönteminde, en iyi ve hızlı öğrenen algoritma tipi LM (Levenberg-Marquadt)'dir (Ergür, 2009). LM algoritmasının kullanıldığı trainlm, çok fazla hafıza kullanmakla birlikte daha kısa sürede daha az epoch (devir) ile sonuca ulaşmaktadır (Sazlı ve Tanrıkulu, 2007). ASPK için YSA modeli LM eğitim algoritması ile eğitilip elde edilen değerler ile gerçek veriler karşılaştırıldığında mükemmel sonuçlar elde edilebilmektedir (Ergür, 2009).

II.11.5 Buckingham'ın Pi Teoremi

Boyut analizinde temel birimleri sembolik olarak tanımlarız. M, L, T, Q, kütle, uzunluk, zaman ve sıcaklık. Buradaki dört boyut bağımsız boyut olarak tanımlanır. Mekanik sistemler için bu dört bağımsız boyut bütün boyutlu büyüklükleri tanımlamak için yeterlidir. Buckingham Pi teoremine göre n sayıdaki parametre arasındaki g ilişkisi mevcutsa, n sayıdaki parametre n-m sayıdaki bağımsız boyutsuz oran şeklinde gruplanabilir.

$$G(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{n-m}) = 0$$

m sayısı genellikle (ancak her zaman değil) tüm parametrelerin boyutlarını belirlemek için kullanılan minimum bağımsız boyut sayısıdır. 1915'te verilen fiziksel problem için bağımsız boyutsuz grupların sayısının toplam değişken sayısından az olduğu ispatlandı. Tanım olarak BG değişkenlerin cebirsel bir birleşimidir. Kural dışı boyutsuz gruplara rastlanabilir. Eğer problem sadece M, L, ve T (3 bağımsız boyut) içeriyorsa n=3. Eğer sıcaklık da varsa n=4 olur. İndis metodu ile Buckingham; bu boyutsuz grupların elde edilmesini çıkarmıştır. Akışkanlar mekaniğinde gözönüne alınan kuvvetler, atalet, viskozite, basınç, yerçekimi, yüzey gerilmesi, ve sıkıştırılabilirlikle ilgili kuvvetlerdir. Herhangi iki kuvvetin birbirine oranı boyutsuz olacaktır (Ertürk, 2003).

II.11.6 İlgileşim

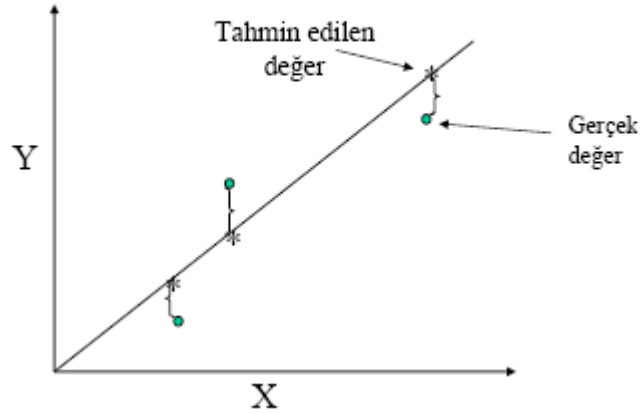
Korelasyon tabiri ile meşhur ilgileşim, değişkenler arasında ki ilişki şiddet ve yönünü belirlemek amacı ile kullanılan inceleme yöntemidir. İlgileşim, r ile tanımlanır ve -1;1 arasında değişir. 0; iki değişken arasında ilişki yok; 0-0,3 zayıf ilişki; 0,3-0,6 orta ilişki; >0,7 güçlü ilişki anlamına gelir. r katsayısı hesabı şöyledir:

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2][n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}}$$

II.11.7 Regresyon

En küçük kareler yöntemine dayanan, ilgileşimin, $y=a+ bx$ vb. şekilde ki matematiksel ifadesidir. Burada denklem, gerçek y değerleri ile tahmin edilen y değerleri arasında ki uzaklıkların karelerinin toplamını asgariye çekerek belirlenir. Regresyon analizi, bir değişkenin bir veya daha fazla değişkenle arasındaki ilişkinin matematik bir fonksiyonla ifade edilmesidir. Matematik fonksiyonun tipine göre doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modelleri olarak ikiye ayrılırlar. Doğrusal modeller yansız, normal dağılımlı, minimum varyanslı tahmin verirken, doğrusal olmayan regresyon modelleri genelde bunu sadece örnek boyutu çok büyük olduğunda yapabilmektedir. Sonuç çıkartmak, doğrusal modellerden daha zordur. Ayrıca normal dağılım teorisi, doğrusal olmayan regresyon modellerine tam olarak uygulanamamaktadır. Bunun yerine asimptotik ve büyük çaplı örnekler teorisine dayanan yöntemler kullanılmaktadır (Keskintürk ve Şahin, 2009).

$$\sum (Y - Y')^2 = \text{minimum}$$



Şekil II.33 En Küçük Kareler Yöntemi

Genel olarak bir regresyon modeli $Y=a+ bx$ şeklinde tanımlanır ve katsayıları şu şekilde hesaplanır.

$$a = \frac{\sum Y}{n} - b \frac{\sum X}{n}$$

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

Değerlendirmede hataların karelerinin toplamı olan SSE terimi kullanılarak uydurulan eğrinin kalitesi değerlendirilebilir.

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (a + bx_i - y)^2$$

SSE ne kadar küçükse, hatalar da o kadar küçük olacaktır. Diğer taraftan bu terimin boyuttan bağımsız olmaması dolayısı ile tercih edilen bir yaklaşım değildir. Bu nedenle r^2 göstergesi daha yaygın olarak kullanılır (Sönmez, 2008).

$$r^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

Dikkat edilirse r^2 nin boyutsuz olduğu gözlenir ve değeri 0 ile 1 arasında değişir. Fark edileceği gibi r^2 nin değerinin 1 olması için SSE değerinin sıfır olması yani hataların sıfır olmasını gerektirir. Yani r^2 nin değerinin 1 yaklaşmasının anlamı; hataların karelerin küçük olduğu ve uydurulan eğri ile verilen noktaların iyi bir uyumda olduğunu göstergesidir. Bu denklemden SST, y_i değeri ile y 'nin ortalamasının, $(\bar{y} = \sum y_i / n)$ farklarının karelerinin toplamıdır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır (Sönmez, 2008).

$$SST = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (a + bx_i - \bar{y})^2$$

r^2 değerinin büyük çıkması her zaman modelin iyi olduğu göstermez. Büyük r^2 'si olan modellerin her zaman tahmin yapmada en iyi model olmayabilir. Ancak modele giren değişkenler yönünden bir problem yoksa pratikte iyi bir ölçüdür (Şahinler, 2000). Regresyon modeline ilave edilen her yeni bağımsız değişken, açıklayıcılığı olsun veya olmasın, r^2 değerinin büyümesine neden olmaktadır. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için r^2 değeri, değişken sayısına göre yeniden düzenlenir ve ortaya çıkan r^2 değerine uyarlanmış r^2 değeri denir. Dolayısıyla çalışmalarda bu iki değere de önem verilmelidir.

II.12 SÜPER ALAŞIMLAR

Alaşım; kimyasal yollarla ayrılamayacak kadar birleşmiş olan iki veya daha fazla element içeren ve makroskopik düzeyde homojen olan metalik bir materyal anlamına gelmektedir (OJEU, 2007).

Alaşımların tarihi milattan 4. bin yıllara kadar uzanmaktadır. Alaşımlar karışımdaki metallerin 2zelliklerinden farklı 2zellikler g2sterirler. En bilinen alaşımlara; tunç (bakır-kalay), pirinç (bakır-çinko), lehim (kalay-kurşun) ve cıva alaşımları olan amalgamlar 2rnek verilebilir. Alaşımlar, uygulamaların gerektirdiği fiziksel 2zelliklere sahip malzemeler 2retilmesinde yaygın olarak kullanılır. Y2ksek sıcaklıklar, aşınma, kimyasal etkiler, metal yorgunluğu vb. gibi her t2rl2 etkilere saf metallerin yetersiz kaldığı durumlarda, gerekli olan 2zellikleri sağlayan niteliklerde alaşımlar kullanılır. 2rneğin demirin sertliğinin yeterli olmadığı uygulamalarda, daha sert yapıdaki demir alaşımları olan çelikler kullanılır (Wiki, 2010).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının desteği ile T2rkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi (T2B2TAK MAM) Malzeme Enstit2s2 tarafından geliştirilen Hamitabat Santrali için T2B2TAK MAM tarafından 21 modelde toplam 1509 s2per alaşım malzeme 2retilerek teslim edilmiştir. Termik santrallerde, sıcaklık korozyon etkisinin en çok tahribata yol açtığı b2lge t2rbin b2lgesidir. Bu t2rbinler, kesintisiz ve g2venilir olarak enerji 2retebilmesi için s2per alaşımlardan imal edilmiştir. Uzay, havacılık ve savunma sanayinde de kullanılan s2per alaşım malzemeler, santrallerin en 2nemli gider kalemlerindedir. T2rkiye'nin 2010 yılında t2rbin s2per alaşım malzeme ihtiyacının yaklaşık 300 milyon dolar olacağı tahmin edilmektedir (T2B2TAK MAM, 2009).

Son yıllarda farklı çalışma sıcaklıklarına sahip çeşitli alaşımlar geliştirilmiştir (Erdem ve Akmandor, 2004). Diğer alaşımlardan farklı olarak y2ksek sıcaklıklarda y2ksek mekanik gerilmelere ve y2zey yapısı değişimlerine karşı 2retilmiş ısıl direnci y2ksek, demir-nikel, nikel ya da kobalt esaslı alaşımlar, y2ksek sıcaklıklarda (1500⁰ - 1650⁰ C) uzun s2reli ve başarılı uygulamaları nedeni ile s2per alaşımlar terimi ile ifade edilirler (Yazıcıoğlu ve ark., 2005) (Altın ve ark., 2006).

S2per alaşımlar genel olarak demir, nikel ve kobalt esaslı olmak 2zere 3 ana başlık altında ele alınabilir (bkz. EKII-Tablo 3) (Eker, 2008).

II.12.1 Demir Esaslı Alaşımlar

Demir esaslı s2per alaşımlar; %25-45 Ni, %15-60 Fe, y2ksek sıcaklıklarda oksidasyon direncini sağlamak için %15-28 Cr, katı 2zelti mukavemetini sağlamak için %1-6 Mo ilave edilir. Karbon, boron, zirkonyum, kobalt ve bazı diğer elementler de ilave edilebilir. Titanyum, al2miyumu ve niobyumu mukavemet arttırıcı 2kelti oluşturmak için nikel kombine edilir. Ayrıca al2miyumu ve

titanyum içermeleri nedeni ile çökeltme sertleşmesi işlemi ile sertleştirilebilirler. Kübik yüzey merkezli kafes yapısına sahip matriste alaşım elementlerine bağlı olarak çökelen fazlar, malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde etkin rol oynarlar. Demir esaslı süper alaşımlar yaklaşık 650⁰C 'a kadar olan sıcaklıklarda kullanım bulmaktadırlar. Demir esaslı süper alaşımların dayanımları, nikel esaslı alaşımlara göre daha düşüktür. Bu nedenle de, daha uzun ömür ve aynı zamanda yüksek mekanik ve termik zorlamalarda nikel ve kobalt esaslı alaşımlar tercih edilir. Pek çok gaz türbin motorlarında, kanatlarında, diskler ve şaftlar ile buhar türbinlerindeki bazı parçalar demir esaslı süper alaşımlardan yapılabilir. Diğer süper esaslı alaşımlara kıyasla daha ucuzdurlar (Eker, 2008).

II.12.2 Nikel Esaslı Alaşımlar

Nikel esaslı süper alaşımlar, %50 kullanım oranı ile uzay aracı motorları ve türbini kompartımanlarının üretiminde süperalaşımlar içerisinde en fazla kullanılanıdır. Inconel, Nimonic, Rene, Udimet, Pyromet ticari olarak kullanılan nikel esaslı süper alaşımlardır. Inconel 718, nikel alaşımlar içerisinde en çok kullanılanıdır. Nikel esaslı süper alaşımların birçok karakteristik özellikleri yüksek sıcaklıklarda onları oldukça dayanıklı kıldığından islenmeleri oldukça zordur. Nikel esaslı süper alaşımların bu özellikleri yüksek işlenebilirlik maliyetleri ile sonuçlanan düşük işleme oranlarına ve düşük takım ömürlerine sebep olmaktadır (Motorcu, 2010). Bu nedenle kesme parametrelerinin iyi seçilmesi çok önemlidir (Kıvak, 2007). İlk nikel esaslı alaşım olan Nimonic 75, 1941'de İngilizler tarafından geliştirilmiştir. Bu alaşımlar günümüzde de "Inconel" ve "Incoloy" alaşımları ile birlikte gaz türbinli motor üretiminde üstünlüklerini devam ettirmektedirler (Tanatmış, 1997).

Nikel; ergime sıcaklığı 1453 °C ve yoğunluğu 8,9 g/cm³ elementtir. Nikel esaslı süper alaşımların yapısında, %50-70 Ni bulunan alaşımlardır. Nikel esaslı süper alaşımlara çökeltme sertleşmesi işlemi uygulanabilir. 1941 yılında İngiltere'de geliştirilen NIMONIC 80 alaşımı, ilk kez çökeltme sertleşmesi ile sertleştirilen alaşımdır. Alaşım içinde Ni₃ (AlTi) çökeltilerinin oluşması için %22.25 Ti ve %1.3 Al ve %19.5 Cr bulunmaktadır. Nikel esaslı süper alaşımların kullanım verimliliklerinin artırılması için Mo, Co, Nb, Zr, B, Fe ve diğer elementler ilave edilmiştir. Süper alaşımlar içinde yapı-özellik ilişkisi en iyi bilinen malzemelerdir. İleri teknoloji hava taşıt motorlarının %50'sini nikel esaslı süper alaşımlar oluşturur.

815⁰C – 900⁰C ‘da kullanım alanı bulan nikel esaslı süper alaşımlar; uçak ve gaz türbinlerinde, uzay araçlarında, roket motorlarında, nükleer reaktörlerde, termik santrallerde, petrokimyasal donanımlarda ve diğer yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Nikel esaslı süper alaşımlar; tek kristal döküm yöntemi ve toz metalürjisi yöntemi ile üretilebilirler (Eker, 2008).

II.12.3 Kobalt Esaslı Alaşımlar

Kobalt esaslı alaşımlar genellikle iyi aşınma dayanımı, korozyon dayanımı ve ısı dayanımı gerektiren yerlerde kullanılır (Somunkıran ve Çelik, 2007). Karbür içerikli kobalt esaslı alaşımlardan ilk olarak geliştirilen Co-28Cr-4W-1.1 C bileşimi ile bilinen alaşımdır ve 1900'lerden beri kullanılmaktadır (Yaz ve Çelik, 2007).

Kobalt; ergime sıcaklığı (1495 0 C) ve yoğunluğu (8.90 g/cm³) gibi bir çok fiziksel özelliği açısından nikel benzer. Kobaltın krom, nikel, tungsten, karbon ve diğer alaşım elementleri ile alaşımlanarak elde edilen karmaşık süper esaslı kobalt alaşımları, ilk olarak gaz türbini motorlarında kullanılmaya başlandığı 1943 yılından bu yana büyük gelişim göstermiştir. Normal olarak kobalt esaslı süper alaşımlar ısı işleme tabi tutulmaz. Ancak kaynak yapmak ve ya işlemek gerektiğinde bu kural bozulabilir. Kobalt esaslı süper alaşımlar; nispeten düşük gerilmelerde ve yüksek sıcaklıklarda uzun ömürlü olması istenen statik parçalarda kullanım alanı bulmuşlardır (Eker, 2008).

Kobalt esaslı süper alaşımların son yıllarda başlıca tercih edilme nedenleri şunlardır.

- Ergime sıcaklığının yüksek olması nedeniyle yüksek sıcaklıklarda, demir ve nikel esaslı süper alaşımlara kıyasla daha yüksek dayanım gösterirler.
- Bileşimlerindeki yüksek krom nedeni ile mükemmel sıcak korozyon direncine sahiptirler. Bu nedenle de gaz türbinlerindeki atmosferde çalışacak parçalar için uygun malzemelerdir.
- Nikel esaslı süper alaşımlara göre çok daha mükemmel termal yorulma direncine sahiptirler.
- Kaynak edilebilirler (Eker, 2008).

II.13 SÜPER ALAŞIMLAR'IN SPK İLE İŞLENMESİ

Geleneksel işleme yöntemleri uygulandığında sorunlara yol açan titanyum alaşımları ve benzer özelliklerdeki metal alaşımlar, aşındırıcı su püskürtme ile çok daha kolay bir şekilde işlenebilmektedir. SPK ile tornalama; çok sert alaşımlar gibi kesilmesi zor metallere döner simetriklerin üretimini kolaylaştırabilir (Akkurt, 2006). SPK, süper alaşımlar ve gelişmiş seramiklerle yapılan kesme işlemlerinde elektro-erozyon yöntemi dahil hemen tüm klasik yöntemlere, üstünlük sağlar (Geren ve Şahin, 1995).

ASPK ile alüminyum alaşımlarından seramiklere kadar her alanda çalışmalar yapılmakta ise de süper alaşımların işlenmesi ile ilgili çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Süper alaşımlar içerisinde inconel süper alaşımları, SPK'de önerilen ilerleme hızı en yavaş olan malzemedir. (bkz. EKII-Tablo 4)

Tablo II.6 690 MPa Basıncılı Su İle Azami İlerleme Hızları (1.6 mm kalınlık) (Hashish ve ark., 1997)

| Material | Traverse rate (mm/s) |
|-------------------------------|----------------------|
| <i>Sheet metals</i> | |
| 1018 steel | 2.33 |
| 4130 steel | 1.06 |
| 15-7 pH stainless steel | 0.85 |
| 321 stainless steel | 0.74 |
| Titanium 6A1/4V | 0.42 |
| Hastelloy | 0.36 |
| 301 stainless steel | 0.32 |
| Inconel | 0.21 |
| <i>Composites</i> | |
| Printed circuit board | 74* |
| Graphite epoxy (6.3 mm thick) | 74* |
| Copper-clad fiberglass | 74* |

BÖLÜM III

ÇALIŞMALAR

Süper alaşımlardan 50*150*2 mm³ ebadında İnconel 718 malzemesi, SPK ile kesilerek elde edilen kesik genişlikleri ölçülmüştür. Deneyde kullanılan değişkenler basınç (P), ilerleme hızı (V), aşındırıcı sarfiyatı (m) ve kesim yüksekliğidir (h).

Tablo III.1 Deneyde Kullanılan Değişkenler Ve Seviyeleri

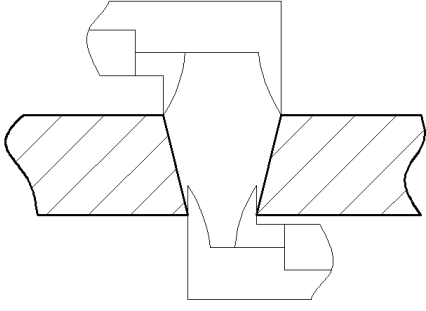
| | |
|----------------------------------|---------------|
| Basınç - P (Mpa) | 300, 340, 380 |
| İlerleme hızı - V (mm/dk) | 60, 100, 150 |
| Aşındırıcı sarfiyatı - m (gr/dk) | 100, 175, 250 |
| Kesim yüksekliği h - (mm) | 2, 3, 4 |
| Aşındırıcı (elek) | 120 |
| SPL (mm) / ASPL (mm) | 0,1/1,1 |

Deney tasarımı için Minitab 15 yazılımı ile oluşturulan Taguchi'nin L27 dizilimi kullanılmıştır. Bu dizilimde PV-Vm veya dengi olan PV-Vh etkileşimli dizisi kullanılmıştır ki bu dizi L9'u da içermektedir. Deneyde 6 numaralı kesik fire olduğu için L27 için yapılan incelemelerimiz 26 deney üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Ek III-Tablo 1'de teknik özellikleri verilen HJ3020 model tezgâhta, kesim için; 120 elek garnet, şebeke suyu ve 0,1/1,1 kesme kafası kullanılmıştır.

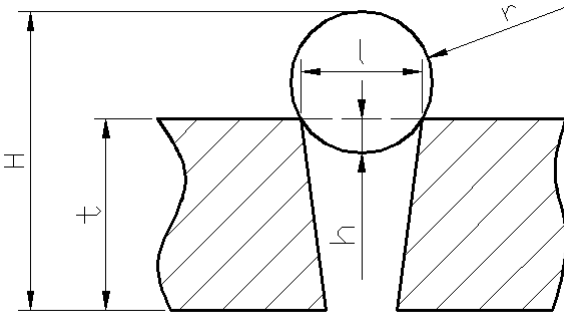
III.1 ÖLÇME YÖNTEMİ

SPK ile elde edilen kesimin eğimli olduğundan daha önce bahsetmiştik. Malzemenin alt kesik genişliği, dış çap kumpası ile ölçülebilirse de üst kesimin kumpas ile ölçülmesi büyük hatalar ile mümkün olabilir. Resimde de görüldüğü gibi kesimin eğimli olması nedeni ile üst kesimin ölçümünde kumpasın en üst seviyede tutulması gerekir ki bu net olarak mümkün değildir. Alt kesikte ise böyle bir sorun yoktur ve ölçülebilir.



Şekil III.1 Kumpas İle Kesik Ölçümü

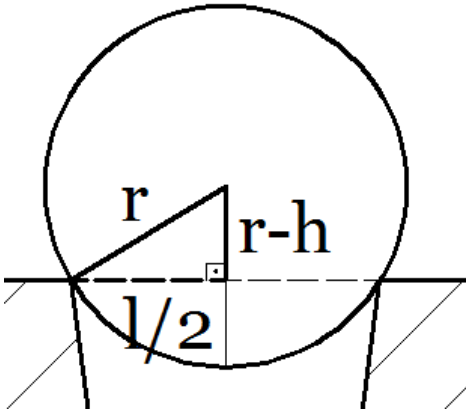
Bu tip ölçümler için genellikle elektron mikroskobu kullanılır. Bu çalışmada ise mekanik bir yöntem kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Kesik genişliğini ölçmek için 2 farklı mekanik yöntem önerilebilir. Ya açısı bilinen uygun bir ucun battığı mesafeden ya da bilyenin gömüldüğü mesafeden yola çıkılarak ölçüm yapılabilir. Bu çalışmada rulmanlarda kullanılan çelik bir bilye kullanılarak ölçüm yapılmıştır.



Şekil III.2 Kesik Bilye İle Ölçümü

Bilyenin gömüldüğü mesafe olan h; H ve t ölçüldükten sonra şu şekilde bulunur:

$$h=2r+t-H$$



Şekil III.3 Kesik Mesafesinin Ölçümü

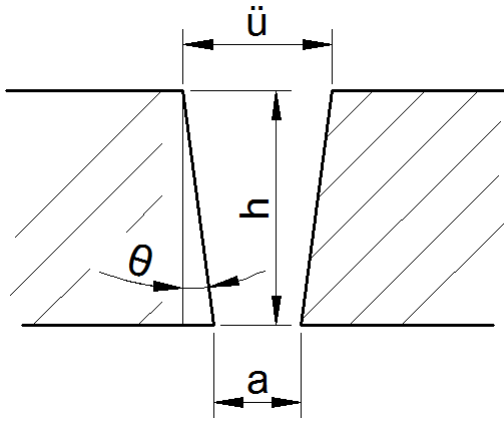
Kesik genişliği olan l mesafesi de aşağıda ki denklem ile elde edilir:

$$l = (8rh - 4h^2)^{1/2}$$

Yöntemde ölçüm aletinin hassasiyetine bağlı olarak bilye çapı önem arz etmektedir. 1/100 hassasiyetli mikrometre ile ölçüm yapılacak bilye çapı, 1/1000 hassasiyetli mikrometre ile kullanılacak bilyeye göre daha küçük olmalıdır. Örneğin l mesafesinin ortalama 1,25 mm olduğu düşünüldüğünde kullanılacak bilye çapı, bu değere ne kadar yakın olursa o kadar hassas ölçüm yapılabilir. Mesela; $r=1,5$ iken;

$l=1,25$ mm için ölçülecek h mesafesi 0,3354; $l=1,26$ mm için ölçülecek h mesafesi ise 0,3431 mm olacaktır. Aradaki fark 0,0076 mm olduğu için 1/100 hassasiyetli mekanik ölçüm aleti ile ölçülmesi mümkündür. Zira mikrometrede ki iki birim arası mesafe, tahmini olarak 3'e bölünerek 0,0025'in katları ölçüme dâhil edilebilir. Bu örnek için dijital ölçüm aleti kullanılacaksa 1/1000 hassasiyet gerekmektedir ki mekanik ölçüm aletinin de bu hassasiyette olması daha sağlıklı sonuçlar verecektir. Bu çalışmada 1/100 hassasiyetli mikrometre kullanılmış olup bilye çapı 1,485 mm'dir.

Kesik boyunca oluşan düzgünsüzlükler göz önüne alınarak, her bir ölçüm üçer kere tekrarlanarak, aritmetik ortalamaları kullanılmıştır. Alt ve üst kesikler arasındaki farklar, kesimin eğimli olduğunun göstergesi olup, aşağıdaki denklem ile belirlenir.



Şekil III.4 Kesikte Oluşan Eğim

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{u} - a}{2h} \right)$$

Bilyenin gömüldüğü h mesafesi ve buna bağlı olarak hesaplanarak ortalamaları alınmış l mesafeleri Ek III-Tablo 2’de verilmiş olup, deney sonuçları Ek III-Tablo 3’te sunulmuştur.

III.2 VARYANS ANALİZİ

Kısaca ANOVA olarak isimlendirilen varyans analizi (Analysis of Variance), iki yada daha çok kümeye ait ortalama puanları karşılaştırmada kullanılan güçlü bir parametrik istatistiktir. ANOVA modelleri, bağımsız değişkene işaret eden örneklemelerin, bağımlı değişken açısından karşılaştırılması üzerine kurulur.

Veri sayısı 30 ve üstü olan kümeler normal dağılımlı kabul edilebilmektedir. Elimizdeki veri sayısı 30’dan az olduğu için SPSS ile yapacağımız ANOVA’da işleme başlamadan önce normallik ve homojenlik testi yapmalıyız.

Tablo III.2 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

| | N | Normal Parameters(a,b) | | Kolmogorov – Smirnov Z | Asymp. Sig. (2-tailed) |
|------|----|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------------|
| | | Mean | Std. Deviation | | |
| P | 26 | 341,54 | 32,95 | 1,15 | 0,15 |
| V | 26 | 103,46 | 38,26 | 1,19 | 0,12 |
| m | 26 | 172,12 | 61,78 | 1,15 | 0,15 |
| h | 26 | 2,96 | 0,82 | 1,15 | 0,15 |
| Üst | 26 | 1,27 | 0,04 | 0,55 | 0,92 |
| Alt | 26 | 0,98 | 0,08 | 0,55 | 0,92 |
| Eğim | 26 | 4,13 | 0,90 | 0,70 | 0,71 |

a Test distribution is Normal. b Calculated from data.

Verilerimizin normal dağılımlı kabul edilebilmesi için Asymp Sig. kısmındaki değer 0,05’ten büyük ($p > 0,05$) olmalıdır. Ölçümlerimizin bu kuralı sağlandığı görülmektedir. Veri setimizin dağılımları normaldir. Değişkenlerimizin, çıktılar üzerinde ki etkileri her bir değişken için elde edilen ANOVA çıktıları ile karşılaştırılmış, bu değerlendirmelerin R2 değerleri tabloda verilmiştir. (bkz. Ek-III.1)

Tablo III.3 Değişkenlerin ANOVA İle Ölçülen Görece Etkileri

| | R-sq | |
|----------|---------|--|
| Üst * P | 0,007% | |
| Üst * V | 28,095% | |
| Üst * m | 3,427% | |
| Üst * h | 56,991% | |
| | | |
| Alt * P | 0,476% | |
| Alt * V | 42,764% | |
| Alt * m | 48,012% | |
| Alt * h | 1,936% | |
| | | |
| Eğim * P | 0,718% | |
| Eğim * V | 23,671% | |
| Eğim * m | 59,242% | |
| Eğim * h | 13,533% | |
| | | |

Tablo III.4'te çok faktörlü varyans analizi sonuçları verilmiş olup; değişkenler arasında %95 düzeyinde anlamlı bir etkileşim olması için, sig sütununda verilen p değerinin, 0,05'ten küçük olması ($p < 0,05$) gerekir.

Tablo III.4 Çok Faktörlü Varyans Analizi

| Dependent Variable: Üst | | | | | |
|--|-------------------------|--------|-------------|-----------|-------|
| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Corrected Model | 0,0415 | 8 | 0,0052 | 20,9828 | 0,000 |
| Intercept | 41,3847 | 1 | 41,3847 | 167521,02 | 0,000 |
| P | 0,0002 | 2 | 0,0001 | 0,4655 | 0,635 |
| V | 0,0127 | 2 | 0,0063 | 25,6261 | 0,000 |
| m | 0,0027 | 2 | 0,0013 | 5,4371 | 0,014 |
| h | 0,0271 | 2 | 0,0136 | 54,9366 | 0,000 |
| Error | 0,0042 | 17 | 0,0002 | | |
| Total | 41,9563 | 26 | | | |
| Corrected Total | 0,0457 | 25 | | | |
| a R Squared = ,908 (Adjusted R Squared = ,865) | | | | | |
| Dependent Variable: Alt | | | | | |
| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Corrected Model | 0,1544 | 8 | 0,0193 | 27,1245 | 0,000 |
| Intercept | 24,7622 | 1 | 24,7622 | 34792,26 | 0,000 |
| P | 0,0000 | 2 | 0,0000 | 0,0209 | 0,979 |
| V | 0,0696 | 2 | 0,0348 | 48,9252 | 0,000 |
| m | 0,0793 | 2 | 0,0396 | 55,7087 | 0,000 |
| h | 0,0046 | 2 | 0,0023 | 3,2057 | 0,065 |
| Error | 0,0121 | 17 | 0,0007 | | |
| Total | 25,1867 | 26 | | | |
| Corrected Total | 0,1665 | 25 | | | |
| a R Squared = ,927 (Adjusted R Squared = ,893) | | | | | |
| Dependent Variable: Eğitim | | | | | |
| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Corrected Model | 18,832 | 8,000 | 2,354 | 27,480 | 0,000 |
| Intercept | 433,808 | 1,000 | 433,808 | 5064,318 | 0,000 |
| P | 0,084 | 2,000 | 0,042 | 0,492 | 0,620 |
| V | 4,726 | 2,000 | 2,363 | 27,588 | 0,000 |
| m | 10,818 | 2,000 | 5,409 | 63,146 | 0,000 |
| h | 2,146 | 2,000 | 1,073 | 12,524 | 0,000 |
| Error | 1,456 | 17,000 | 0,086 | | |
| Total | 463,001 | 26,000 | | | |
| Corrected Total | 20,288 | 25,000 | | | |
| a R Squared = ,928 (Adjusted R Squared = ,894) | | | | | |

III.3 İLGİLEŞİM

Değişkenlerimiz arasındaki ilişki, homojen veri setleri için kullanılan Pearson ilişkisi ve homojen olmayan setler için kullanılan Spearman's ilişkisi olmak üzere iki farklı şekilde incelenmiş olup, şiddet ve yönleri bakımından anlamlı farklılıklar görülmemiştir.

Tablo III.5 İlgileşim Tablosu

| | Üst | Alt | Eğim | | Üst | Alt | Eğim |
|------|-----------|-----------|-----------|------|----------|-----------|-----------|
| P | | | | | | | |
| Pea. | ,008 | ,061 | -,074 | Spr. | -,025 | ,061 | -,022 |
| Sig. | ,968 | ,767 | ,721 | | ,903 | ,769 | ,915 |
| V | | | | | | | |
| Pea. | -,521(**) | -,637(**) | ,470(*) | Spr. | -,478(*) | -,622(**) | ,512(**) |
| Sig | ,006 | ,000 | ,016 | | ,014 | ,001 | ,008 |
| m | | | | | | | |
| Pea. | ,184 | ,693(**) | -,770(**) | Spr | ,158 | ,688(**) | -,758(**) |
| Sig | ,368 | ,000 | ,000 | | ,441 | ,000 | ,000 |
| h | | | | | | | |
| Pea. | ,754(**) | ,122 | ,353 | Spr | ,791(**) | ,112 | ,332 |
| Sig | ,000 | ,554 | ,077 | | ,000 | ,585 | ,097 |
| N | 26 | 26 | 26 | | 26 | 26 | 26 |

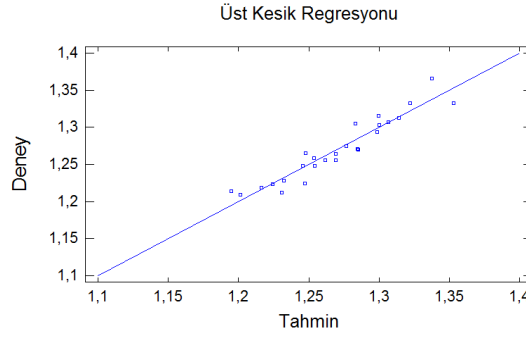
İlgileşim tablolarında ki p (sig. 2-tailed) değeri anlamlılık değeri olup istatistiksel hesaplamalarda sınır değeri olarak kabul edilirler. P değeri 0,05'ten veya daha hassas olarak 0,01'den küçük olan sonuçlar anlamlı, büyük olanlar anlamsız kabul edilirler. r değeri (Correlation Coefficient) ise -1 ile 1 arasında değişen bir değer olup, ilişkinin yön ve şiddeti hakkında bilgi verir. Bu değer negatif olması durumu, değişkenler arasında ters orantı olduğunu gösterir. Ek III-Tablo 5 ve Tablo 6'da tamamı verilen sonuçlarda deney setimizin de girdileri gösterilmiştir ki hiç birinin birbiri ile istatistiksel olarak anlamlı bir etkileşimi yoktur, birbirlerinden bağımsızdırlar.

İlgileşim tablosunda, bağımlı-bağımsız değişkenler arasında ki ilişkinin yanı sıra, bağımlı değişkenlerimiz arasında da istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki görülmektedir. Eğim değerini, malzeme kalınlığına, üst ve alt kesik genişliklerine bağlı olarak biz hesaplamıştık. Dolayısı ile eğim ile kesik genişlikleri ilişkilidir. İlgileşim tablosunda, üst kesik eğime etkisi istatistiksel olarak anlamsız görülüp, alt kesik eğime etkisinin güçlü ve ters yönde olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, alt kesik, üst kesik arttıkça artmaktadır ki, bu etki de anlamlı görülmektedir.

III.4 DOĞRUSAL REGRESYON

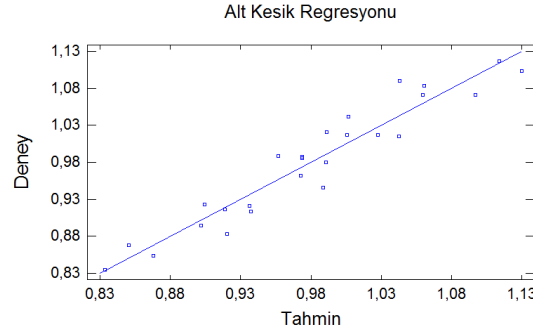
Değişkenler ile kurulan doğrusal regresyon modelleri aşağıda verilmiştir. ANOVA tabloları Ek III-Tablo 7’de sunulmuştur.

$$\text{Üst}_{L27} = 1,21 - 0,000073*P - 0,000588*V + 0,000164*m + 0,0402*h$$
$$[R^2 = 90,2\% - R^2 (\text{adj}) = 88,3\%]$$



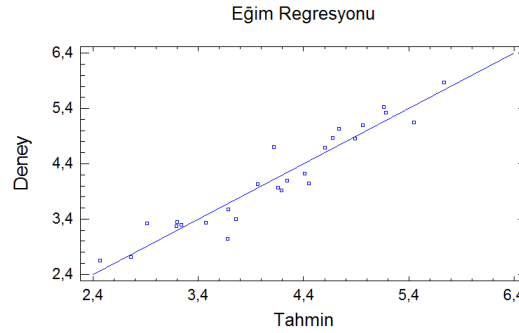
Şekil III.5 Üst Kesik Regresyonu

$$\text{Alt}_{L27} = 0,909 + 0,000012*P - 0,00137*V + 0,000932*m + 0,0166*h$$
$$[R^2 = 91,7\% - R^2 (\text{adj}) = 90,2\%]$$



Şekil III.6 Alt Kesik Regresyonu

$$\text{Eğim}_{L27} = 4,28 - 0,00121*P + 0,0111*V - 0,0109*m + 0,336*h$$
$$[R^2 = 91,0\% - R^2 (\text{adj}) = 89,3\%]$$



Şekil III.7 Eğim Regresyonu

III.5 TAM EŞLEŞTİRMELİ REGRESYON

Tam eşleştirmeli regresyon modeli ve sonuçları aşağıdadır.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon_i$$

$$Y = b_0 + b_1P + b_2V + b_3m + b_4h + b_{11}P_2 + b_{22}V_2 + b_{33}m_2 + b_{44}h_2 + b_{12}PV + b_{13}Ph + b_{14}Pm + b_{23}Vm + b_{24}Vh + b_{34}mh \text{ (Çaydaş ve Haşçalık, 2008)}$$

$$\begin{aligned} \text{Üst}_{L27} = & 1,78 - 0,00224*P - 0,00062*V - 0,00150*m - 0,0157*h + 0,000002*P^2 + \\ & 0,000001*V^2 + 0,000001*m^2 + 0,00895*h^2 - 0,000000*PV + 0,000004*Pm + \\ & 0,000054*Ph + 0,000001*Vm - 0,000100*Vh \quad [R^2 = 94,1\% - R^2(\text{adj}) = 87,6\%] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Alt}_{L27} = & 1,29 - 0,00045*P - 0,00506*V - 0,00274*m + 0,141*h - 0,000000*P^2 + \\ & 0,000008*V^2 + 0,000002*m^2 + 0,0037*h^2 + 0,000005*PV + 0,000007*Pm - \\ & 0,000384*Ph + 0,000004*Vm - 0,000053*Vh \quad [R^2 = 95,9\% - R^2(\text{adj}) = 91,4\%] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eğim}_{L27} = & 7,11 - 0,0254*P + 0,0633*V + 0,0176*m - 2,22*h + 0,000031*P^2 - \\ & 0,000093*V^2 - 0,000021*m^2 + 0,075*h^2 - 0,000072*PV - 0,000047*Pm + \\ & 0,00621*Ph - 0,000035*Vm - 0,00067*Vh \quad [R^2 = 96,0\% - R^2(\text{adj}) = 91,6\%] \end{aligned}$$

Denklemlerin ANOVA tabloları ekte verilmiştir. Yukarıda ki denklemlere “...+ b₁₂₃PVm + b₁₂₄PVh + b₁₃₄Pmh + b₂₃₄Vmh” ifadesini de ekleyebiliriz. Bu şekilde birbirlerine bağlı olsalar da bağımsız değişken sayımızı arttırmış, gereksiz etkileşim ve değişkenler elendikten sonra daha yüksek R² değeri elde etmiş oluruz. Ancak, birbirine bağlı değişken sayısını arttırmak, R² değerini arttırırken L₂₇Üst modellerinde görüleceği gibi uyarlanmış R² değerini çoğunlukla düşürür. Bu nedenle de önceki modele tercih edilmez.

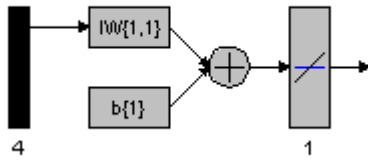
III.6 YAPAY SİNİR AĞLARI

Deney verilerimiz L27 Taguchi dizisi ile hazırlanmış olup L9 dizisini barındırmaktadır. Buradaki amacımız L9 dizisi ile yapay sinir ağını eğitmek ve geriye kalan diğer 17 veriye, ağın cevabını gözlemektir. Çalışmada giriş değerlerimiz basınç (P), ilerleme hızı (V), aşındırıcı sarfiyatı (m) ve kesim mesafesi (h)'dir. Çıkış değerleri olarak doğrusal ağda üst ve alt kesik ile eğim kullanılmış olup, ileri beslemeli geri yayımlı ağ için sadece eğim kullanılmıştır.

Çalışmalarımız; MATLAB 7.0.4 (R2007a) programı ile gerçekleştirilmiş olup ağ tipi olarak ileri beslemeli geri yayımlı ağ (newff), öğrenme algoritması için Levenberg-Marquart (trainlm), çıkış katmanında Lineer Transfer Fonksiyonu (purelin) kullanılmıştır. Birinci katmanlarda Tan-Sigmoid Transfer Fonksiyonu (tansig) ile Logaritmik-Sigmoid Transfer Fonksiyonu (logsig), farklı nöron girişleri ile kullanılarak karşılaştırılmışlardır.

Çalışmada giriş nöronları için 5-10-15-20-30-40-50-75 ve 100 değerleri ayrı ayrı incelenerek başarımları gözlenmiştir.

III.6.1 Doğrusal Sinir Ağı



Şekil III.8 Doğrusal Sinir Ağı Yapısı

Doğrusal sinir ağı ile yaptığımız çalışmada L9 ve diğer 17 veri için ayrı ayrı çalışılmıştır. Eğitim sonunda belirlenen ağırlıklandırılmalar neticesinde elde edilen denklemler şöyledir:

$$\text{Üst}_9 = 1,2542 - 0,00018976 * P - 0,00067648 * V + 0,00018462 * m + 0,042208 * h$$

$$\text{Alt}_9 = 0,92783 - 0,000061125 * P - 0,001281 * V + 0,00088353 * m + 0,019969 * h$$

$$\text{Eğim}_9 = 4,6691 - 0,0018485 * P + 0,0086173 * V - 0,0099583 * m + 0,31669 * h$$

$$\text{Üst}_{17} = 1,1811 + 0,000008972 * P - 0,00054172 * V + 0,00014172 * m + 0,038276 * h$$

$$\text{Alt}_{17} = 0,897430000 + 0,000059382 * P - 0,001409 * V + 0,00095061 * m + 0,014475 * h$$

$$\text{Eğim}_{17} = 4,0569 - 0,0007214 * P + 0,012351 * V - 0,011523 * m + 0,33904 * h$$

Aşağıdaki tabloda eğitimlerin başarıları gerçek değerler ile ölçülerek elde edilen r^2 değerleri ile karşılaştırılmıştır. Aşağıda 9 ve 17 veri ile oluşturulan regresyon denklemleri de yazılmış olup tabloda sonuçları karşılaştırılmıştır.

$$\text{Üst}_{L9} = 1,25 - 0,000190 P - 0,000676 V + 0,000185 m + 0,0422 h$$

$$\text{Alt}_{L9} = 0,928 - 0,000061 P - 0,00128 V + 0,000884 m + 0,0200 h$$

$$\text{Eğim}_{L9} = 4,67 - 0,00185 P + 0,00862 V - 0,00996 m + 0,317 h$$

$$\text{Üst}_{r17} = 1,18 + 0,000009 P - 0,000542 V + 0,000142 m + 0,0383 h$$

$$\text{Alt}_{r17} = 0,897 + 0,000059 P - 0,00141 V + 0,000951 m + 0,0145 h$$

$$\text{Eğim}_{r17} = 4,06 - 0,00072 P + 0,0124 V - 0,0115 m + 0,339 h$$

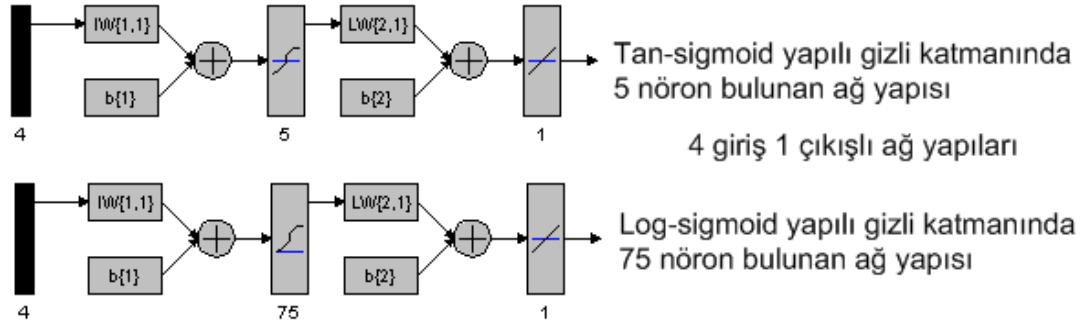
Tablo III.6 Doğrusal Ağ Ve Regresyon Test Sonuçları

| Deney Seti | YSA9 | | | YSA17 | | |
|------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| | Üst ₉ | Alt ₉ | Eğim ₉ | Üst ₁₇ | Alt ₁₇ | Eğim ₁₇ |
| 9 | 0,9556 | 0,8949 | 0,8848 | 0,9311 | 0,8877 | 0,8739 |
| 17 | 0,8780 | 0,9276 | 0,9214 | 0,9730 | 0,9927 | 0,9879 |
| Deney Seti | RegL9 | | | Reg17 | | |
| | Üst ₉ | Alt ₉ | Eğim ₉ | Üst ₁₇ | Alt ₁₇ | Eğim ₁₇ |
| 9 | 0,9556 | 0,8949 | 0,8848 | 0,9311 | 0,8877 | 0,8735 |
| 17 | 0,8779 | 0,9275 | 0,9214 | 0,9024 | 0,9344 | 0,9327 |

Değerlere ve denklemlere bakıldığında doğrusal sinir ağları, regresyon denklemleri ile aynı denklemleri vermekte ve dolayısıyla r^2 'leri birbirlerine çok yakın olmaktadır. Daha önceki doğrusal regresyon sonuçları ile L9 dizisi ile elde edilen regresyon sonuçlarının birbirine çok yakın oldukları da görülmektedir.

III.6.2 Tan-Sigmoid Ve Logaritmik-Sigmoid Transfer Fonksiyonları

Her iki giriş fonksiyonunda 5-100 kadar değişen nöron sayıları ile ayrı ayrı eğitilmiş ve eğitim MSE değeri 10^{-5} değerini bulduğunda sonlandırılmıştır. Özellikle 5 ve 10 nöronlu ağlar ilk seferde eğitimlerini tamamlayamamışlardır. Ağın, yapıyı ezberlememesi için bu denemeler aynı ağın üstüne yapılmak yerine baştan tekrarlanmıştır.

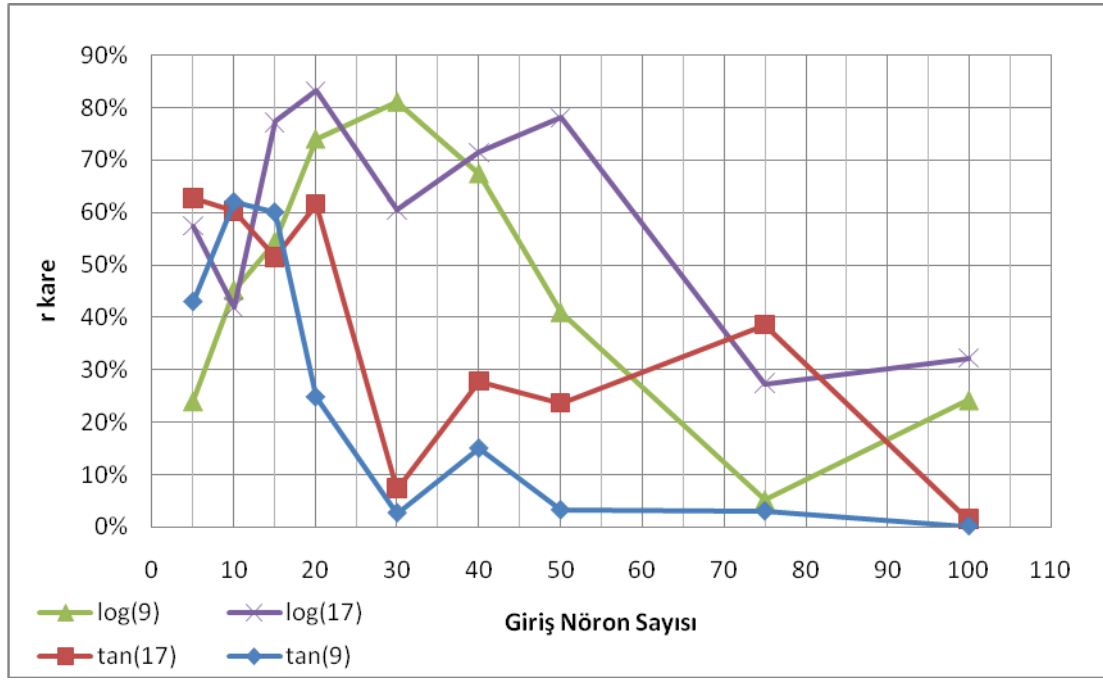


Şekil III.9 Çok Katmalı Yapay Sinir Ağları

Aşağıdaki tabloda eğitilen ağlar neticesinde diğer verilere (test) verdikleri yanıt doğrultusunda elde edilen r^2 değerleri gösterilmektedir.

Tablo III.7 Nöron Sayılarına Göre Test Sonuçları

| | | Tansig - 9 veri ile eğitilen ağ | | | | | | | |
|-----------|---------------|----------------------------------|--------|---------------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| Nöron | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| Döngü | 81 | 18 | 16 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 4 |
| 9 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| 17 (test) | 0,4302 | 0,6207 | 0,6010 | 0,2480 | 0,0266 | 0,1499 | 0,0322 | 0,0301 | 0,0016 |
| | | Logsig - 9 veri ile eğitilen ağ | | | | | | | |
| Nöron | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| Döngü | 122 | 20 | 36 | 15 | 19 | 29 | 7 | 3 | 4 |
| 9 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| 17 (test) | 0,2392 | 0,4516 | 0,5434 | 0,7404 | 0,8112 | 0,6743 | 0,4096 | 0,0510 | 0,2412 |
| | | Tansig - 17 veri ile eğitilen ağ | | | | | | | |
| Nöron | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| Döngü | 283 | 22 | 251 | 102 | 12 | 7 | 6 | 5 | 5 |
| 9 (test) | 0,6277 | 0,6027 | 0,5148 | 0,6167 | 0,0732 | 0,2778 | 0,2365 | 0,3861 | 0,0139 |
| 17 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| | | Logsig - 17 veri ile eğitilen ağ | | | | | | | |
| Nöron | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| Döngü | 62 | 229 | 15 | 76 | 10 | 5 | 8 | 7 | 4 |
| 9 (test) | 0,5745 | 0,4186 | 0,7723 | 0,8320 | 0,6054 | 0,7143 | 0,7816 | 0,2733 | 0,3212 |
| 17 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |



Şekil III.10 Nöron Sayılarına Göre Test Sonuçları

III.6.3 Verilerin Normalleştirilmesi

Veri kalitesindeki aşırı salınımlar, problemlerin YSA modellerini, olumsuz yönde etkileyebilir. Bu olumsuzluk, kullanılacak öğrenme fonksiyonunu da başarısız kılabilir. Örneğin, bir transfer fonksiyonuna uygulanan girişler ile ağırlıkların çarpım toplamının 10 ve 100 olduğunu farz edelim. Bu toplamı bir tanjant hiperbolik fonksiyonundan geçirdiğimizde;

$$y = \tanh(10) = (e^{10} - e^{-10}) / (e^{10} + e^{-10}) = 1.000000$$

$$y = \tanh(100) = (e^{100} - e^{-100}) / (e^{100} + e^{-100}) = 1.000000$$

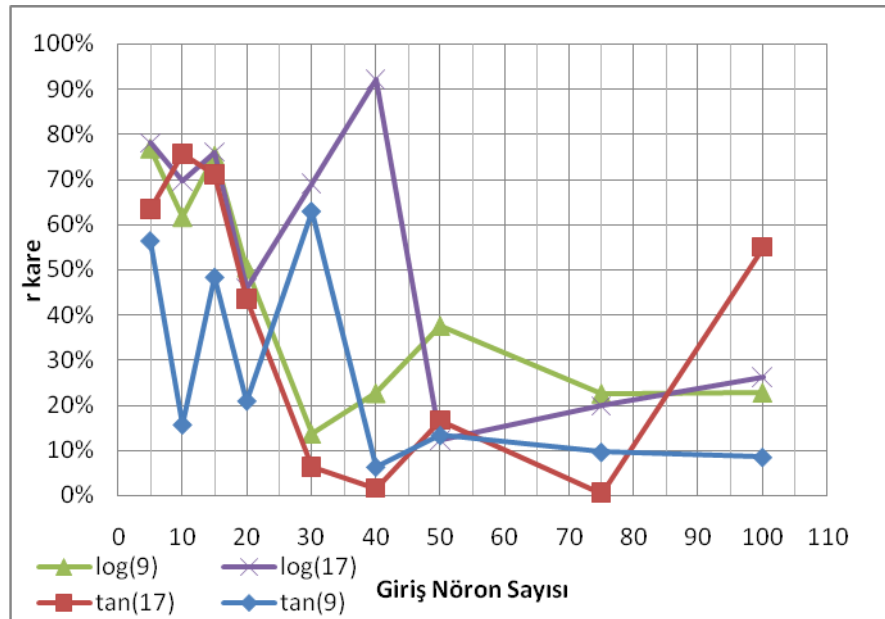
sonuçları elde edilir. Görüldüğü gibi, 10 ve 100 skalar değerlerine karşılık gelen fonksiyon sonuçları arasında fark yoktur. Bu durumda da, birbirinden oldukça farklı skalar değerler sistemde sanki aynı değerlermiş gibi ele alınacak ve hem uygulama hem de öğrenme algoritması açısından olumsuz sonuçlar ortaya çıkacaktır. Bunun için, X veri kümesi [-1 +1] ya da [0 1] aralığına ölçeklendirilmelidir. Veri kümesinin [0 1] arasında bir ölçeklendirmeye tabi tutulabilmesi için o kümenin azami ve asgari aralığı bulunur ve aşağıdaki formüle göre ölçeklendirme yapılabilir (Saraç, 2004).

$$X_{yeni} = \frac{X - X_{asgari}}{X_{azami} - X_{asgari}}$$

Verilerimize normalleştirme işlemini uyguladıktan sonra, elde edilen karşılaştırma değerlerimiz tabloda gösterilmiştir.

Tablo III.8 Normalleştirilmiş Girdilerin Nöron Sayılarına Göre Test Sonuçları

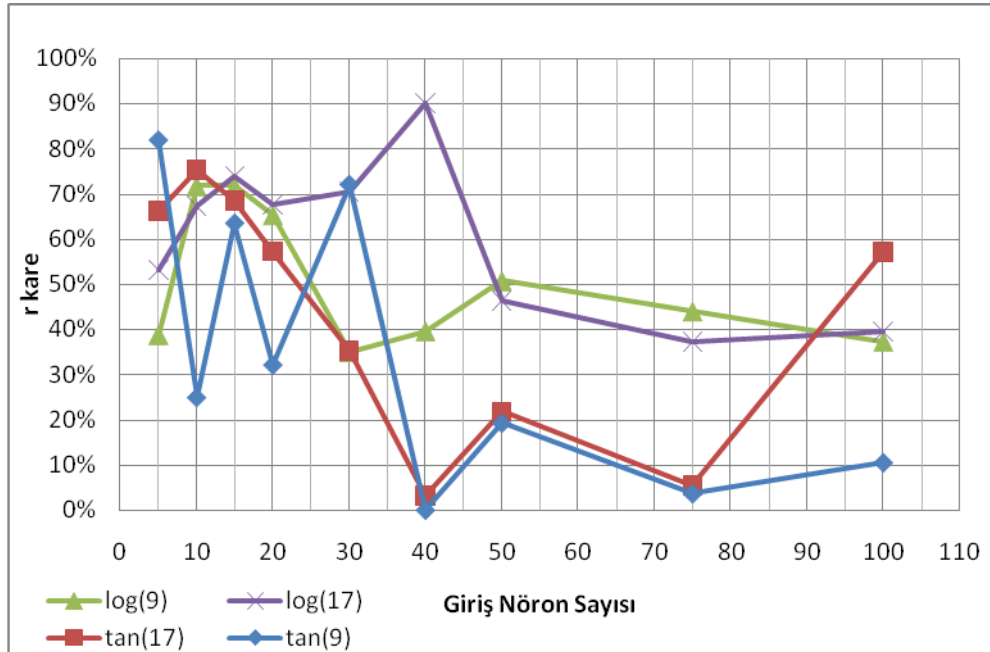
| Tansig 9 veri ile eğitilen ağ | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------|---------------|--------|--------|---------------|---------------|--------|--------|--------|
| Nöron | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| Döngü | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 9 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| 17 (test) | 0,5632 | 0,1561 | 0,4826 | 0,2086 | 0,6286 | 0,0624 | 0,1324 | 0,0952 | 0,0839 |
| Logsig 9 veri ile eğitilen ağ | | | | | | | | | |
| Nöron | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| Döngü | 15 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 9 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| 17 (test) | 0,7682 | 0,6163 | 0,7527 | 0,5049 | 0,1363 | 0,2263 | 0,3757 | 0,2255 | 0,2274 |
| Tansig 17 veri ile eğitilen ağ | | | | | | | | | |
| Nöron | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| Döngü | 10 | 4 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| 9 (test) | 0,6334 | 0,7557 | 0,7090 | 0,4338 | 0,0623 | 0,0152 | 0,1654 | 0,0041 | 0,5493 |
| 17 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| Logsig 17 veri ile eğitilen ağ | | | | | | | | | |
| Nöron | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| Döngü | 43 | 5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 9 (test) | 0,7811 | 0,6971 | 0,7605 | 0,4588 | 0,6907 | 0,9218 | 0,1224 | 0,1980 | 0,2618 |
| 17 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |

**Şekil III.11** Normalleştirilmiş Girdiler İle Eğitimin Nöron Sayılarına Göre Test Sonuçları

Bir diğer normalleştirme yöntemi de verilerin ortalamasını 0 ve standart sapmasını -1 olacak şekilde yeniden düzenlemektir (Kızır, 2010). Bu işlem sonrası elde edilen değerler Tablo III.9’da verilmiştir.

Tablo III.9 Normalleştirilmiş Girdilerin Nöron Sayılarına Göre Test Sonuçları

| tansig 9 veri ile eğitilen ağ | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|
| Nöron | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| Döngü | 81 | 18 | 16 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 4 |
| 9 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| 17 (test) | 0,8187 | 0,2493 | 0,6353 | 0,3215 | 0,7207 | 0,0005 | 0,1927 | 0,0364 | 0,1053 |
| logsig 9 veri ile eğitilen ağ | | | | | | | | | |
| Nöron | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| Döngü | 122 | 20 | 36 | 15 | 19 | 29 | 7 | 3 | 4 |
| 9 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| 17 (test) | 0,3865 | 0,7178 | 0,7165 | 0,6532 | 0,3484 | 0,3951 | 0,5067 | 0,4390 | 0,3720 |
| tansig 17 veri ile eğitilen ağ | | | | | | | | | |
| Nöron | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| Döngü | 283 | 22 | 251 | 102 | 12 | 7 | 6 | 5 | 5 |
| 9 (test) | 0,6623 | 0,7534 | 0,6843 | 0,5720 | 0,3520 | 0,0313 | 0,2178 | 0,0544 | 0,5706 |
| 17 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| logsig 17 veri ile eğitilen ağ | | | | | | | | | |
| Nöron | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| Döngü | 62 | 229 | 15 | 76 | 10 | 5 | 8 | 7 | 4 |
| 9 (test) | 0,5323 | 0,6734 | 0,7400 | 0,6773 | 0,7050 | 0,9013 | 0,4633 | 0,3725 | 0,3964 |
| 17 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |

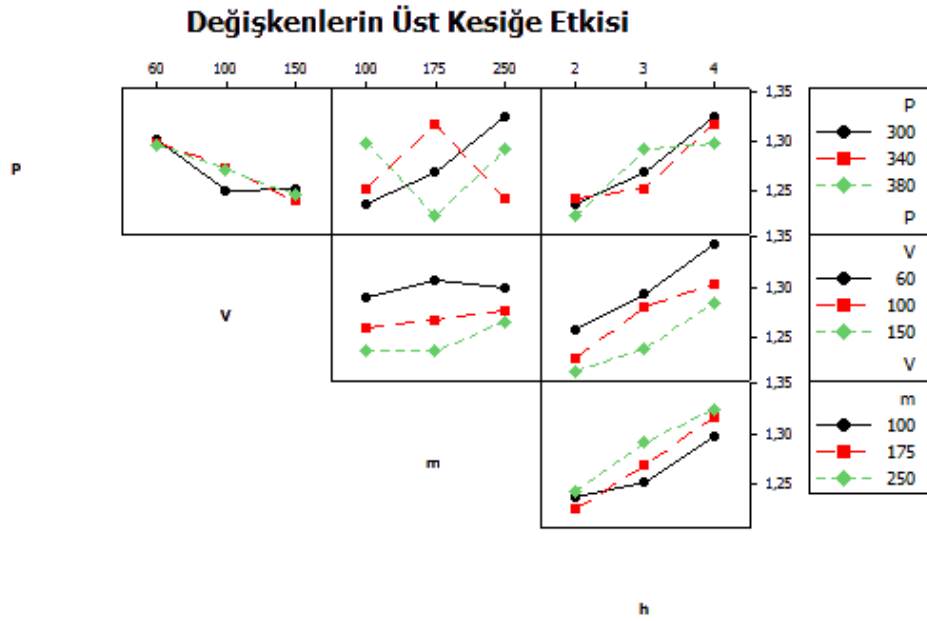


Şekil III.12 Normalleştirilmiş Girdiler İle Eğitimin Nöron Sayılarına Göre Test Sonuçları

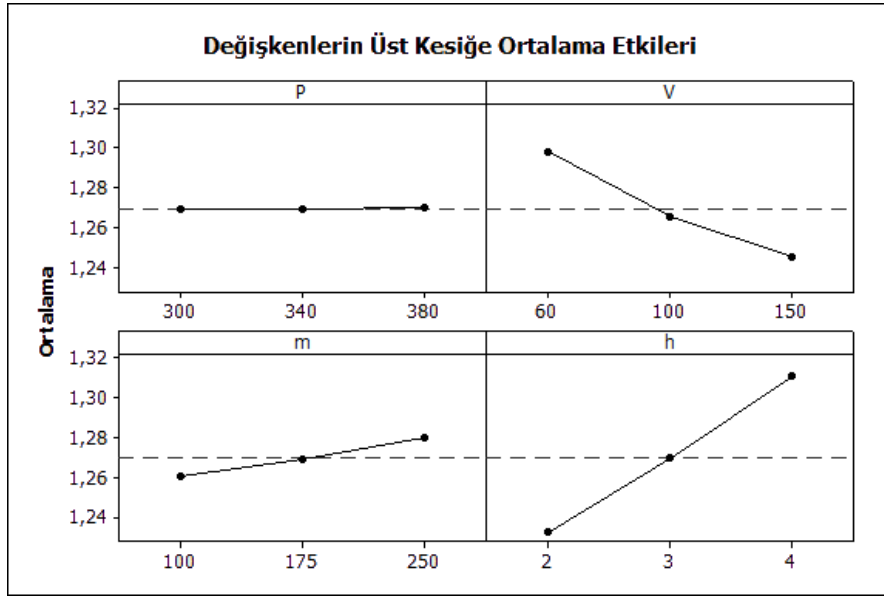
BÖLÜM IV

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Üst kesik genişliğine en önemli etkenin kesim yüksekliği olduğu görülmektedir. Bunun sebebi yüksek basınçlı suyun lüleden çıktıktan sonra çapını arttırma eğiliminde olmasıdır. Dolayısıyla kesim yüksekliğindeki artış üst kesik genişliğini arttırmaktadır. Kesim hızındaki artış ise üst kesik genişliğini azaltmaktadır (Shih, 2001), (Ay ve ark., 2010). Üst kesik genişliğinin ve aşındırıcı sarfiyatının istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi görülmemektedir. Bu iki unsur kesimin gerçekleşmesi için gereken temel etkenler olsalar da diğer değişkenlerin istatistiksel etkileri nedeniyle anlamsız görülebilir. 5 değişkenli bir çalışmada (Jegaraj ve Babu, 2007) değişkenlerden biri aşındırıcı lülesi çapıdır ve etkisi %98 olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla diğer etkenler istatistiksel olarak anlamsız kalmıştır. Bununla beraber regresyon sonuçlarına göre basınç ve aşındırıcı sarfiyatında ki artış üst kesik genişliğini arttırmakta, hızda ki artış ise azaltmaktadır.

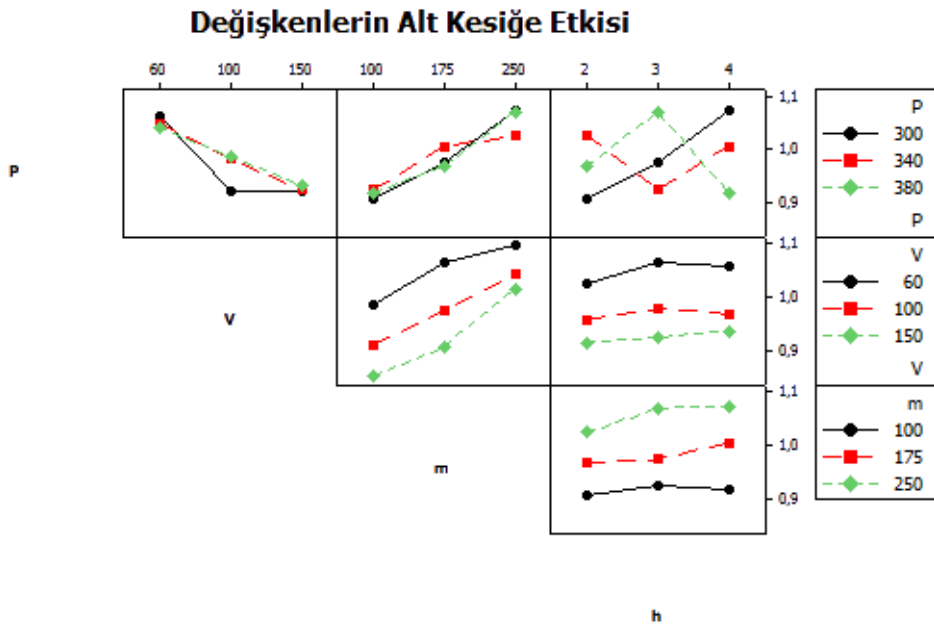


Şekil IV.1 Değişkenlerin Üst Kesik Etkileri

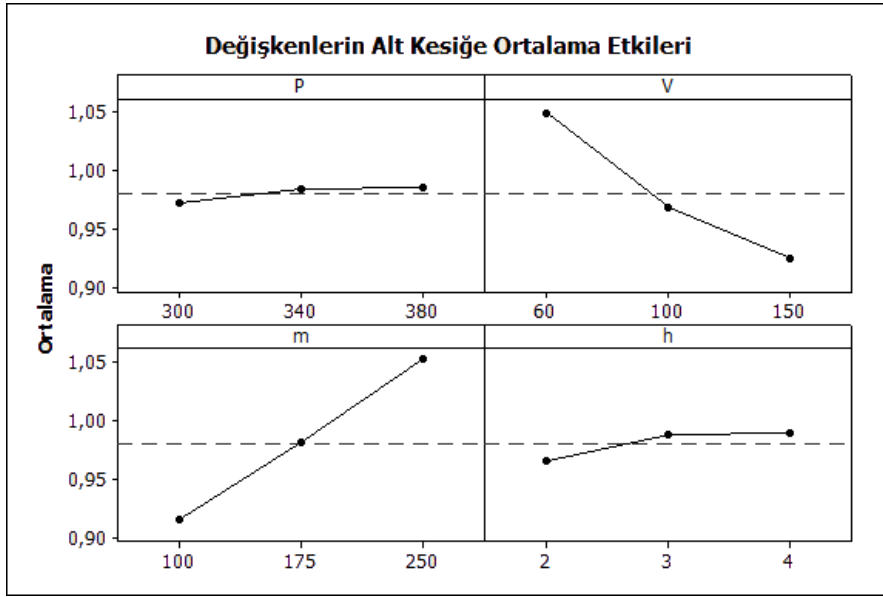


Şekil IV.2 Değişkenlerin Üst Kesik Ortalama Etkileri

Alt kesik genişliğine en önemli etkenler aşındırıcı sarfiyatı ve hızdır. Aşındırıcı sarfiyatı arttıkça alt kesik genişliği artmaktadır. Kesim hızı arttığında alt kesik genişliğinin azaldığı gözlenmiştir (Shih, 2001), (Ay ve ark., 2010). Kesim yüksekliği ve basıncın alt kesik genişliğine istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmasa da, regresyon sonuçlarına göre kesim yüksekliği ve basınç arttıkça alt kesik genişlemektedir.

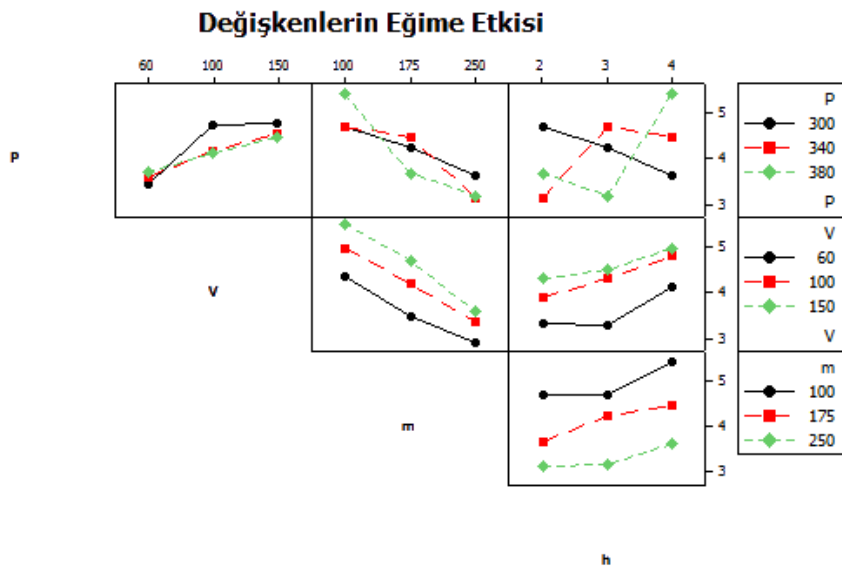


Şekil IV.3 Değişkenlerin Alt Kesik Etkileri

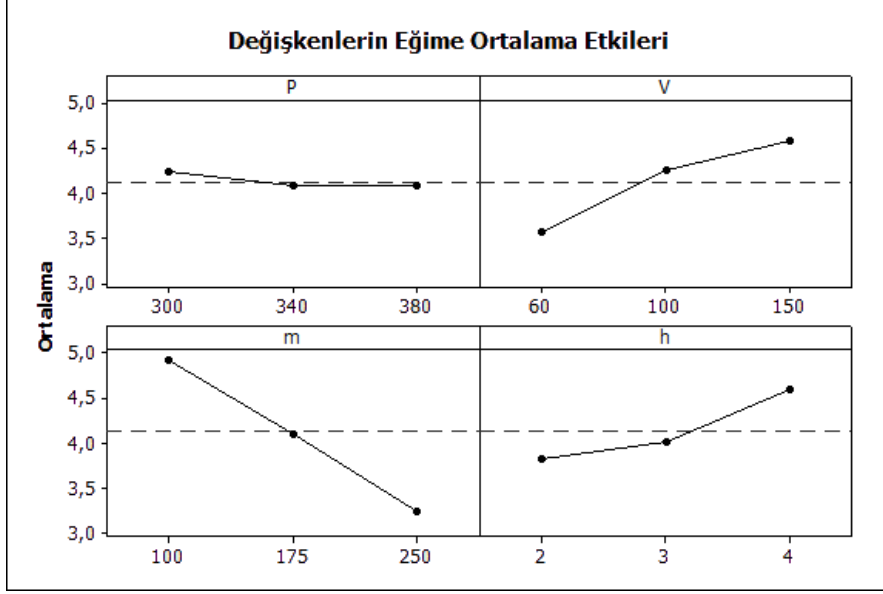


Şekil IV.4 Değişkenlerin Alt Kesişe Ortalama Etkileri

Eğime en önemli etkenler aşındırıcı sarfiyatı ve kesim hızıdır. Aşındırıcı sarfiyatı arttığında eğimin azaldığı gözlenmiştir (Jegaraj ve Babu, 2005), (Shanmugam ve Masood, 2008). Kesim hızında ki artış ise eğimi arttırmıştır (Haşçalık ve ark., 2007), (Shanmugam ve Masood, 2008), (Aydın ve ark., 2010), (Ay ve ark., 2010). Kesim yüksekliği ve basınç istatistiksel olarak anlamlı görülmemekle beraber regresyon sonuçlarına göre basınç arttıkça eğim azalmakta (Shanmugam ve Masood, 2008), kesim yüksekliği arttığında ise artmaktadır (Shanmugam ve Masood, 2008), (Aydın ve ark., 2010).



Şekil IV.5 Değişkenlerin Eğime Etkileri



Şekil IV.6 Değişkenlerin Eğitime Ortalama Etkileri

Yapay sinir ağları ile yapılan çalışmada, farklı nöron girişleri ile eğitilen ağlar MSE değeri 10^{-5} ile eğitildiklerinden, eğitildikleri dizi içerisindeki r^2 değerleri 1'e çok yakın çıkmaktadır ve regresyona göre çok daha başarılı olmaktadır. Ancak eğitime sokulmamış diğer dizi ile test edildiklerinde aynı başarıyı regresyon kadar sergileyememişlerdir. Veriler -1;1 arasında ve ortalamaları 0 ve standart sapmaları -1 olacak şekilde normalleştirildiklerinde; özellikle 5 ve 10 nöron girişli; ağların eğitimi çok daha kolay gerçekleşmiştir. Her üç çalışmada da beklenen MSE değeri bulunduğu anda eğitim kesilmiş ve tekrarlanmamıştır. Aynı nöron sayıları ile yapılacak eğitimler daha iyi veya daha kötü sonuçlar verebilir. Bu sınırlar içerisinde bulunan en yüksek r^2 değerleri 17 veri ile eğitilip 9 veri ile test edilen log-sigmoid girişli ağlarda görülmüş, genel olarak log-sigmoid girişli ağların daha başarılı oldukları gözlenmiştir.

BÖLÜM V

SON DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER

Geleneksel yöntemlere göre çok yeni olan su püskürtümlü kesme tezgâhında, kesik eğiminin düşük olması istenir. Bunun için öncelik sırasına göre, aşındırıcı miktarının artırılması, kesme hızının azaltılması ve kesim yüksekliğinin ise asgari değerde tutulması gerekir. Zaman faktörünün öncelikli olduğu durumlarda hız arttırıldığında aşındırıcı sarfiyatı da arttırılmalıdır. Böylece arttırılan kesme hızının eğime olumsuz etkileri azaltılmış olur. Çalışmada maliyet ve zaman faktörleri göz önüne alınarak, aranılan çalışma niteliklerine uygun değerler ile kesme işlemi gerçekleştirilmelidir.

Yapay sinir ağları, hemen her alanda kullanıma girmiş olmakla beraber iyi bir eğitim için tercih edilecek öğrenme algoritması ve katmanlarda kullanılacak nöron sayısı çok önemlidir. Nöron sayısını arttırmak eğitimin kalitesini bozmakta, ağır eğitildiği diziyi ezberleyerek test verilerine uzak cevap vermesine sebep olmaktadır. Deney girdilerini normalleştirerek çalışmak ise eğitimi kolaylaştırdığı gibi daha iyi sonuçlar vermektedir. Gizli katmanında log-sigmoid fonksiyonu kullanılan ağların, tan-sigmoid fonksiyonu ile eğitilen ağdan genel olarak daha başarılı olduğu gözlenmekle beraber, daha fazla girdi ile eğitilen ağların daha başarılı olduğu da gözlenmiştir.

3'er düzey 4 değişkenli deney tasarımı için L9 dizisinin regresyon sonuçları ile L27 dizisinin regresyon sonuçları karşılaştırıldığında anlamlı farklılıklar görülmemektedir.

KAYNAKLAR

Akçin, N.A.: “Yüksek Basıncılı Su Jetleri ile Yapılan Kesme ve Parçalama Çalışmaları” *Madencilik*, Cilt XXVI, Sayı 2, Haziran, (1987)

Akkurt, A.: “Aşındırıcı Su Jeti Uygulamaları Ve Üretimde Yoğun Kullanıma Sahip Malzemelerin Delinmesi”, *Trakya Üniversitesi J Sci*, 7(2), ISSN 1305-6468 (2006) 161-169

Akkurt, A.: “AISI 1030 Çeliğinin Aşındırıcılı Su Jeti İle Kesilmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Ve Kesme Önü Geometrisinin İncelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt:15, Sayı:1 (2009) 1-11

Akkurt, A.; Kulekci, M.K.; Şeker, U.; Ercan, F.: ” Effect of feed rate on surface roughness in abrasive waterjet cutting applications” *Journal of Materials Processing Technology*, 147, (2004) 389–396

Akpolat, V.: “Osteoporoz Riskinin Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Saptanması” *Dicle Tıp Dergisi*, Cilt: 36, Sayı: 2 (2009) 91-97

Altın A.; Gökkaya H.; Nalbant M.: “İşleme Parametrelerinden Kesme Hızının Inconel718 Süper Alaşımının İşlenebilirliğine Etkisi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 21, Sayı 3, (2006) 581-586

Altun, H.; Eminoğlu, U.; Tezekici, B.S.: “Mlp Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Sürecinin Aktivasyon Fonksiyonu Ve İstatiksel Değişim Gösteren Giriş Verilerine Bağımlılığı”

Arola, D.; Ramulu, M.: “Material removal in abrasive waterjet machining of metals Surface integrity and texture”, *Wear*, Vol. 210, (1997) 50-58

Axinte, D.A.; Srinivasu, D.S.; Kong, M.C.; Butler-Smith P.W.:”Abrasive waterjet cutting of polycrystalline diamond: A preliminary investigation”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49, (2009) 797–803

Ay, M.; Çaydaş, U.; Haşçalık, A.: “Effect of traverse speed on abrasive waterjet machining of age hardened Inconel 718 nickel based superalloy” (2010)

Aydın, G.; Karakurt, İ.; Aydın, K.: "Aşındırıcı Su Jeti İle Kesmede Çalışma Parametrelerinin Granit Kerf Açısına Etkisinin Araştırılması" *Madencilik*, Cilt:49, Sayı:2, Haziran (2010) 17-26

Bechtel Inc. Global Report (2000)

<http://www.bechtel.com/assets/files/PDF/2000GlobalReport.pdf> (31.08.2010)

Can, H.; Özdemir, T.; Arık, A.: “İllerde Gürültü Haritaları Ve Balıkesir Örneği” *TMMOB Makina Mühendisleri Odası 1.Kentiçi Ulaşım ve Trafik Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 21-22 Nisan 2001 Cam Primit, Antalya, Yayın No: E\ 2001\268, ISBN-975-395-448-4 (2001) 76

Canıyılmaz, E.; Kutay, F.: “Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım” *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 18, No 3 (2003) 51-63

Chen, WL.; Geskin, E.S.: “Measurements of the velocity of abrasive waterjet by the use of laser transit anemometer” Editör: Saunders D, 1991 Jet cutting technol. London, *Elsevier Science Publications* (1992) 23–36 (Shanmugam ve ark., 2008)

CT Kesme Teknolojileri Ve Makine Sanayi Ticaret Limited Şirketi
<http://www.c-t.com.tr/sujeti.html> (31.08.2010)

Çaydaş, U. ; Hasçalık, A. : “A study on surface roughness in abrasive waterjet machining process using artificial neural networks and regression analysis method” *Journal Of Materials Processing Technology* 202 (2008) 574–582

Çukurova Üniversitesi

<http://www.mmf.cu.edu.tr/mmb/manufacturing/waterjettr.htm> (31.08.2010)

Demetgül, M.; Yazıcıoğlu, O.: “Geri Yayılım Algoritması Kullanılarak Yapay Sinir Ağı İle Pnömatik Sistemde Arıza Sınıflandırılması” *Teknoloji*, Cilt 9, Sayı 2 (2006) 101-109

DPT.: “Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu (Seramik Kaplama Malzemeleri, Seramik Sağlık Gereçleri, Teknik Seramik)” *Devlet Planlama Teşkilatı Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı* DPT:2552–ÖİK:568 ISBN 975–19–2807–9 Ankara (2001)

<http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/tastopra/oik568.pdf> (31.08.2010)

Duran, K.: “2023 Yılı İçin Nonwoven Tekstiller Konusu Hakkında Değerlendirme” *Vizyon 2023 Teknoloji Öngörüsü Projesi Tekstik Paneli*, Temmuz (2003)

EITobgy, M.; Ng, E-G.; Elbestawi M.A.: “Modelling of Abrasive Waterjet Machining: A New Approach” *CIRP Annals - Manufacturing Technology* Vol: 54, Issue 1, (2005) 285-288

Eker, A.A.: “Süperalaşım” Prof. Dr. Ayşegül Akdoğan EKER *ders sunumu*, (25.12.2008)

http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Super_Alasimler.pdf

(31.08.2010)

Ekici, E.; Işık, B.: "Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemenin Delinmesi Esnasında Oluşan Yüzey Hasarının Deneysel Olarak İncelenmesi" 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye (2009)

Erdem, M.S.; Akmandor, İ.S.: "Uçak Motoru Ve Elektrojen Gruplarındaki Gaz Türbini Teknolojisindeki İlerlemeler, Malzeme, Yüzey Teknolojileri Ve İmalat Süreçlerindeki Gelişmeler (Bölüm 1)", *Mühendis Ve Makina Dergisi*, Sayı 528 (2004)

Erden, A.: "Makine Mühendisliği El Kitabı", *Üretim Ve Tasarım*, Cilt 2, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayın no: 170 2.Baskı, (1996)

Erdoğan, P.; Pekçakar, A.: "Dalgacık Dönüşümü İle EKG Sinyallerinin Özellik Çıkarımı Ve Yapay Sinir Ağları İle Sınıflandırılması" 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye (2009)

Ergür, H.S.: "Aşındırıcı Su Jetinin Teorik Analizi Ve Yapay Sinir Ağı Yöntemiyle Modellenmesi" *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* Cilt:XXII, Sayı:2, (2009)

Ertürk, Ş.N.: "Boyut Analizi ve Benzerlik" *Akışkanlar Mekaniği Ders Notları* 7.Bölüm, İTÜ Gemi İnşaat ve Deniz Bilimleri Fakültesi (2003)
http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/erturk/AKM205/AKM205-CH_7.pdf (30.08.2010)

Fabiân, S.; Hloch, F.: "Effects Of Abrasive Waterjet Process Parameters To Microgeometrical Quality Of Stainless Steel AISI 304" 6th International Multidisciplinary Conference, *Scientific Bulletin Series C*, Volume XIX, Part 1, (2005)

Flow Europe GmbH Waterjet Technology <http://www.floweurope.com>
(31.08.2010)

Geren, N.; Şahin, B.: "Sujeti İle Kesme Teknolojisi Ve Endüstriyel Uygulamaları", *Mühendis Ve Makine Dergisi*, Cilt 36 Sayı 424 (1995) 37–41

Geren, N.; Tunç, T.: "Yapısal Farklılıklar İçeren Su-Jeti Kesme Sistemlerinin En Uygununun Belirlenmesi", *Mühendis Ve Makine Dergisi*, Cilt 42 Sayı 500 (2001) 42–49

Geren, N.; Tunç, T.; “Su Jeti Kesme Sistemlerinde Kullanılan Basınç Arttırıcılarda Gerilme Analizleri ve Tasarım Sınırları”, UMTİK 2000-9. *Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi CD-ROM Bildiri Kitabı*. 13-15 Eylül (2000)

Gökmen, M., Yılmaz, R., Kutlu, M.F., “Kompozit Malzemelerin Aşındırıcı Su Jeti İle İşlenmesi Ve Kesilmesi”, *Metal Dünyası*, Sayı 164, Ocak (2007) 114–121

Grygla, M.S.: “An Investigation Of Methods To Homogeneously Entrain And Suspend Abrasive Particle In A Low Pressure Dental Water Jet” *Master of Science Department of Mechanical Engineering Brigham Young University April (2007) 23*

Gudimetla, P.; Yarlagadda P.K.D.V.: “Finite element analysis of the interaction between an AWJ particle and a polycrystalline alumina ceramic” *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering Vol:23, ISSUE 1, July (2007)*

Hamzaçebi, C.; Kutay, F.: “Taguchi Metodu: Bir Uygulama” *ZKÜ Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi*, Yıl 6, Sayı 3-4, (2003)

Hashish, M.: “Machining *airframe composites with abrasive waterjet*” *Jec Composites Magazine*, No:47 March-April (2009)

Hashish, M.; Steele, D.E.; Bothell, D.H.: “Machining With Super-Pressure (690 Mpa) Waterjets” *Int. J. Math. Tools Manufact.* Vol. 37, No. 4, (1997) 465-479

Haşçalık, A.; Çaydaş, U.; Gürün, H.:” Effect of traverse speed on abrasive waterjet machining of Ti–6Al–4V alloy” *Materials and Design* 28 (2007) 1953–1957

Hiu, H.: “A Study of the Cutting Performance in Abrasive Waterjet Contouring of Alumina Ceramics and Associated Jet Dynamic Characteristics”, *Doctor of Philosophy*, Queensland University of Technology, (2004) 7

Hloch, F.; Fabiân, S.: ” Abrasive Waterjet Process Factors Influence On Stainless Steel AISI 304 Macroeometrical Cutting Quality” 6th International Multidisciplinary Conference, *Scientific Bulletin Series C*, Volume XIX, Part 1, (2005)

Hloch, S.; Fabian, S.; Straka, L.: “Factor Analysis And Mathematical Modelling Of AWJ Cutting” *5th International DAAAM Baltic Conference*, Industrial Engineering-Adding Innovation Capacity Of Labour Force And Entrepreneurs, 20–22 April, University of Technology, 2006, ISBN 9985-894-92-8, Tallinn, Estonia, (2006a) 127-132

Hloch, S.; Hatala, M.; Čep, R.: "Influence And Evaluation Of Selected Factors To Accoustic Sound Pressure At Abrasive Waterjet Cutting Technology" Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Řada strojní. 2006, roč. 52, č. 1, s. 85-91 (2006b)

<http://www.fs.vsb.cz/transactions/2006->

[1/1504_HLOCH_Sergej_HALATA_Michal_CEP_Robert.pdf](#) (31.08.2010)

Hloch, S.; Mullerova, J.; Valíček, J.: "Abrasive Type Influence On Surface Roughness At Abrasive Waterjet Cutting" *Machines Technologies Materials*, Vol. II, č. 11, s. 3-4. ISSN 1313-0226 (2008)

Hoogstrate, A.M.; Van Luttervelt, C.A.: "Opportunities in Abrasive Waterjet Machining" *CIRP Annals - Manufacturing Technology* Volume 46, Issue 2, (1997) 697-714

Hoogstrate, A.M.; Susuzlu, T.; Karpuschewski, B.: "High Performance Cutting with Abrasive Waterjets beyond 400 MPa" *Annals of the CIRP* Vol. 55/1/2006 (2006)

Howells, W.G.: "Super-Water Jetting Applications From 1974 To 1999" *The Proceedings of the 10th American Water Jet Conference*, Houston, August 14-17, (1999) 363-380

Janković, P.; Radovanović, M.: "Correlation Of Cutting Data By Abrasive Water Jet" *Fascicle of Management and Technological Engineering*, Volume VII (XVII), (2008)

Jegaraj, J.J.R.; Babu, N.R.: "A soft computing approach for controlling the quality of cut with abrasive waterjet cutting system experiencing orifice and focusing tube wear" *Journal of Materials Processing Technology*, 185 (2007) 217–227

Jegaraj, J.J.R.; Babu, N.R.: "A strategy for efficient and quality cutting of materials with abrasive waterjets considering the variation in orifice and focusing nozzle diameter" *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45 (2005) 1443–1450

Jurisevic, B.; Junkar, M.; Jadhav, S.; Kleiner, M.; Kuzman, K.: "Incremental sheet metal forming process with a water jet and rigid tool" *In Proceedings Of The 17th International Conference On Waterjetting*, C. Gee (Ed.) (2004) 71-81

Kafalı, M.A.: "Seramik, Yer Ve Duvar Kaplamaları" *Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Araştırma Müdürlüğü, Sektörel Araştırmalar*, ISBN 975-7406-65-1, Ankara, Mayıs (2005)

Karakurt, İ.; Aydın, G.; Aydın, K.: "Aşındırıcı Su Jeti İle Kesmede Kesme Parametrelerinin Granit Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi", *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi*, 31 (2), (2010) 99-100

Keskintürk, T.; Şahin, S.: "Doğrusal Olmayan Regresyon Analizinde Gerçek Değer Kodlamalı Genetik Algoritma" *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* Yıl:8 Sayı:15 Bahar (2009) 167-178

Kıvak T.: "Inconel718'in Delinebilirliğinin Araştırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2007)

Kızır, İ.: "Yapay Sinir Ağları Ve Matlab İle Kullanımı" <http://elohab.freetzi.com/joomla/index.php/makaleler/28-the-mathworks-matlab/77-yapay-snr-alari-ve-matlab-ile-kullanimi.html> (01.10.2010)

Kolahan, F.; Khajavi, A.H: "A Statistical Approach For Predicting And Optimizing Depth Of Cut In AWJ Machining For 6063-T6 Al Alloy" World Academy of Science, *Engineering and Technology* 59 (2009)

Kotan, Ç.; Bayramov, N.Y.; Rzaev, T.M.; Taş, A.; Abbasov, U.: "Diameter and Pressure of the Water-Jet For Liver Resection" *Eastern Journal Medicine* 6 (2), (2001) 43-47

Kovacevic, R.; Mohan, R.; Zhang, Y.M.: "Cutting Force Dynamics as a Tool for Surface Profile Monitoring in AWJ", *Journal of Engineering for Industry*, Vol. 117, (1995) 340-350

Kunaporn, S.; Chillman, A.; Ramulu, M.; Hashish, M.: "Effect of waterjet formation on surface preparation and profiling of aluminum alloy" *Wear* 265 (2008) 176-185

Kuni, A.: "The Design Of High Pressure Water Jet Cutting Machine, Intensifier Unit" *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı (2008)

Küleççi, M.K. Akkurt, A.: "Aşındırıcı Su Jeti İle Kesilerek Elde Edilen Yüzey Kalitesinin Değerlendirilmesi" *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 5 Sayı 2, (2001), 13-24

Küleççi, M.K.: "Processes and apparatus developments in industrial waterjet applications" *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 42 (2002) 1297-1306

Liu, H.: “A Study of the Cutting Performance in Abrasive Waterjet Contouring of Alumina Ceramics and Associated Jet Dynamic Characteristics”, *Doktora Tezi*, School of Mechanical, Manufacturing and Medical engineering Queensland University of Technology, (2004) 13

Louis, H. Pude, F. von Rad, C. Versemann, R. “Abrasive water suspension jet technology - Fundamentals, application and developments” *Journal title Welding In The World*, London, Vol 51, NUMB 9/10, (2007) 11-16

Malm D.: "Abrasive Water-Jet Cuts Metal Without Heat",
<http://www.thefreelibrary.com/Abrasive+water-jet+cuts+metal+without+heat-a03756551> (31.08.2010)

Maniadaki, K.; Kestis, T.; Bilalis, N.; Antoniadis, A.: ” A finite element-based model for pure waterjet process simulation” *Int J Adv Manuf Technol* DOI 10.1007/s00170-005-0274-8 (2007)

Motorcu, A.R.: “Nikel Esaslı Süperalaşımın ve Titanyum Alaşımının İşlenebilirliği, II.Bölüm: Seramik Kesici Takımların Performanslarının Değerlendirilmesi” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt:7, No:2, (2010)1-17

Nguyen, T.; Shanmugam, D.K.; Wang, J.:” Effect of liquid properties on the stability of an abrasive waterjet” *International Journal of Machine Tools and Manufacture* doi:10.1016/j.ijmachtools.2008.01.009 (2008)

OJEU *Official Journal of the European Union*, 29.05.2007, L 136, Chapter 2, Article 3 (2007) 21

Orbanic, H.; Junkar, M.: “Analysis of striation formation mechanism in abrasive water jet cutting” *Wear* 265 (2008) 821–830

Patel, K.J.; Chen, F.L.: “Increasing cut surface quality with various cutting nozzle head oscillations for abrasive aqua jet machining (AAJM)” *Professional Engineering Publishing* Volume 217, Number 7 (2003) 1037-1040

http://www.ballarat.edu.au/ard/itms/publications/researchPapers/Papers_2003/03-21.pdf (30.08.2010)

Resmi Gazete “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği” 2002/49/EC, Sayı:26809, Ek VIII, 7 Mart (2008)

Saraç, T.: “Yapay Sinir Ağları Seminer Projesi” Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Ana Bilim Dalı ANKARA Haziran (2004)

Saykar Metalurji Yüzey İşlem Ürünleri Nak. Tur. San. Tic. Ltd. Şti.
<http://www.saykar.net/garnet.html> (31.08.2010)

Sazlı, M.H.; Tanrikulu, H.: “Saldırı Tespit Sistemlerinde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması” *XII. Türkiye’de İnternet Konferansı 8-10 Kasım 2007 Bildiriler Kitabı*, Ankara (2007) 217-225

Schwieger, K.; Carrero, V.; Rentzsch, R.; Becker, A.; Bishop, N.; Hille, E.; Louis, H.; Morlock, M.; Honl, M.: “Abrasive Water Jet Cutting as a New Procedure for Cutting Cancellous Bone-In Vitro Testing in Comparison with the Oscillating Saw”, *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials* Volume 71B, Issue 2, 15 November (2004) 223-228

Shanmugam, D.K.; Nguyen, T.; Wang, J.: “A study of delamination on graphite/epoxy composites in abrasive waterjet machining” *Composites, Part A*, 39 (2008) 923–929

Shanmugam, D.K.; Masood, S.H.: “An Investigation on Kerf Characteristics in Abrasive Waterjet Cutting of Layered Composites” *Journal of Materials Processing Technology* doi:10.1016/j.jmatprotec.2008.09.001 (2008),

Shih, A.: “Cylindrical Wire Electrical Discharge Machining (EDM) and Temperature Measurement” *Metals and Ceramics Division*, D. R. Johnson Technical Project Manager, Heavy Vehicle Propulsion Materials Program Quarterly Progress Report for October through December (2001)

Shih, A.: “Cylindrical Wire Electrical Discharge Machining (EDM) and Temperature Measurement” *Metals and Ceramics Division*, D. R. Johnson Technical Project Manager, Heavy Vehicle Propulsion Materials Program Quarterly Progress Report for October through March (2002)

Shipway, P.H.; Fowler, G.; Pashby, I.R.: ” Characteristics of the surface of a titanium alloy following milling with abrasive waterjets” *Wear* 258 (2005) 123–132

Somunkıran, İ.; Çelik, H.: “T/M Yöntemiyle Üretilmiş Co Esaslı Co-Cr-Mo Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Cr Oranının Etkisi” *Fırat Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*,19 (2), (2007) 235-241

Sönmez, M.: “Sayısal Analiz Ders Notları” Aksaray Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü (2008)

Srinivasu, D.S.; Babu, N.R.: “A neuro-genetic approach for selection of process parameters in abrasive waterjet cutting considering variation in diameter of focusing nozzle” *Applied Soft Computing* 8 (2008) 809–819

Summers, D.A.: “Waterjetting Tecnology” *Chapman And Hall*, London, England, ISBN 0.419.19660.9 (1995)

Sümer, Y.F.: “Yapay Sinir Ağı Modeli İle İyonosferik Kritik Frekans Tahmini” *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ocak (2004)

Şahinler, S.: “En Küçük Kareler Yöntemi ile Doğrusal Regresyon Modeli Oluşturmanın Temel Prensipleri” *MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 5 (1-2) (2000) 57-73

Tanatmış A.A.: “Uçak Yapılarında Gelişmiş Malzemelerin Kullanımı” *TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Bilim Günleri 5-6-7 Mayıs 1999, Bildiriler Kitabı*, YAYDV No: 221 (1999) 290

Tekin, E.: “İngilizce-Türkçe Metalbilim Ve Gereçbilim Karşılıklar Sözlüğü” *Erdemir Bilim Ve Teknoloji Serisi*, (2006)

http://www.erdemir.com.tr/images/medya/Eng_Tr_metal_Sozlugu.pdf (31.08.2010)

Terzi, S.; Kardeşahin, M.: “Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Esnek Üstyapı Performans Tahmin Modeli Geliştirilmesi” *4. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, (2004) 344-357

The Rolla Daily News “Visiting scholar uses water jets to create art at S&T” Thursday, May 7, (2009)

Töreci Makine Ticaret. <http://www.toreci.com.tr/info/meshconversion.htm> (30.08.2010)

TT Proje ve Sistem Danışmanlık Hizmetleri: “Aşındırıcı Katkılı Su Jeti (ASJ) Kesme Sistemleri” <http://ttconsultant.com/sujeti%20kesme%205.pdf> (30.08.2010)

Tunç, T.: “Yüksek Basınç Teknolojisi Alanında Bir uygulama: Su Jeti (SJ) Kesme Sistemleri” *Otomasyon Dergisi*, Sayı 109 Haziran (2001)

TÜBİTAK MAM Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi “TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü Tarafından Geliştirilen HAMİTABAT Santrali Gaz Türbin Parçaları 27.02.2009 Günü Törenle Teslim Edildi” haberi. (2009)

<http://www.mam.gov.tr/ME/guncel/hamitabat/index.html> (31.08.2010)

Valíček, J.; Hloch, S.; Ohlídal, M.: “Optická Detekce Mikrotopografie Povrchu Vytvořeného Abrazivním Vodním Páprskem” *Acta Metallurgica Slovaca*, 13, 2 (2007) 253 – 261

Valíček, J.; Mullerova, J.; Hloch, S.: “Experimental Study Of Aluminium Surfaces Created By Waterjet With Pressure 0,9 GPa” *Machines Technologies Materials*, International virtual journal for science, technics and innovations for the industry. Vol 2, No. 10-11, ISSN 1313-0226 (2008) 35-37

Varol, R.; Tunay, R.F.: "Bilyalı Dövme İşlemleri Ve Uygulama Örnekleri" *Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi Bildiriler Kitabı*, 02-03 Kasım 2001, Konya, MMO Yayın No:E/2001/279 (2001) 207-212

Wang, J.; Guo, D.M.: “A predictive depth of penetration model for abrasive waterjet cutting of polymer matrix composites” *Journal of Materials Processing Technology* 121 (2002) 390–394

Wang, J.; Zhong, Y.: “Enhancing The Depth Of Cut In Abrasive Waterjet Cutting Of Alumina Nozzle Oscillationceramics By Using Multipass Cutting With” *Machining Science and Technology*, 13:1 (2009) 76-91

Warisawa, S.; Akamatsu, H.: ”Edge Rounding Method by Means of Water Jet for Cylindrical Rollers of Bearing” *Proceedings of The Seventeenth Annual Meeting ASPE* (2003) 519-522

Wiki <http://tr.wikipedia.org/wiki/Alaşım> (31.08.2010)

Xu, S.: “Modelling the Cutting Process and Cutting Performance in Abrasive Waterjet Machining with Controlled Nozzle Oscillation”, *Doctor of Philosophy*, School of Engineering Systems Queensland University of Technology (2005)

Xu, S.; Bell J.: “A modelling study of the cutting capability in abrasive waterjet machining with controlled nozzle oscillation by dimensional analysis” *Int. J. Machine Tools and Manufacture*, accepted for publication, Nov 2005–proofs available on ScienceDirect, (2005)

Yavuz, S.: “Altı Sigma Yaklaşımı Ve Bir Sanayi İşletmesinde Uygulama” *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Erzurum (2006)

Yaz, M.; Çelik, H.: “Cr-Ni’li Paslanmaz Çeliğin Co Esaslı Süper Alaşımlar İle Sertyüzey Kaplanabilirliğinin Araştırılması ”, *Firat Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (2), (2007) 225-233

Yazıcıoğlu O.; Güngör C.; Yazıcıoğlu R.: *Makina Elemanları*, Geliştirilmiş 2. baskı Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, ISBN: 975-6574-43-7 (2005) 25

Yazıcıoğlu, O.; Yalçınkaya S.: “Endüstride Aşındırıcılı Su Jeti Sistemleri”, *Mühendis Makine Dergisi*, Sayı: 522, Temmuz (2003)

Yurtoğlu, H.: “Yapay Sinir Ağları Metodolojisi İle Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği” DPT Uzmanlık Tezleri, DPT Yayın Nr: 2683 Şubat (2005)

<http://ekutup.dpt.gov.tr/ekonomi/tahmin/yurtoglu/ysa..pdf> (01.10.2010)

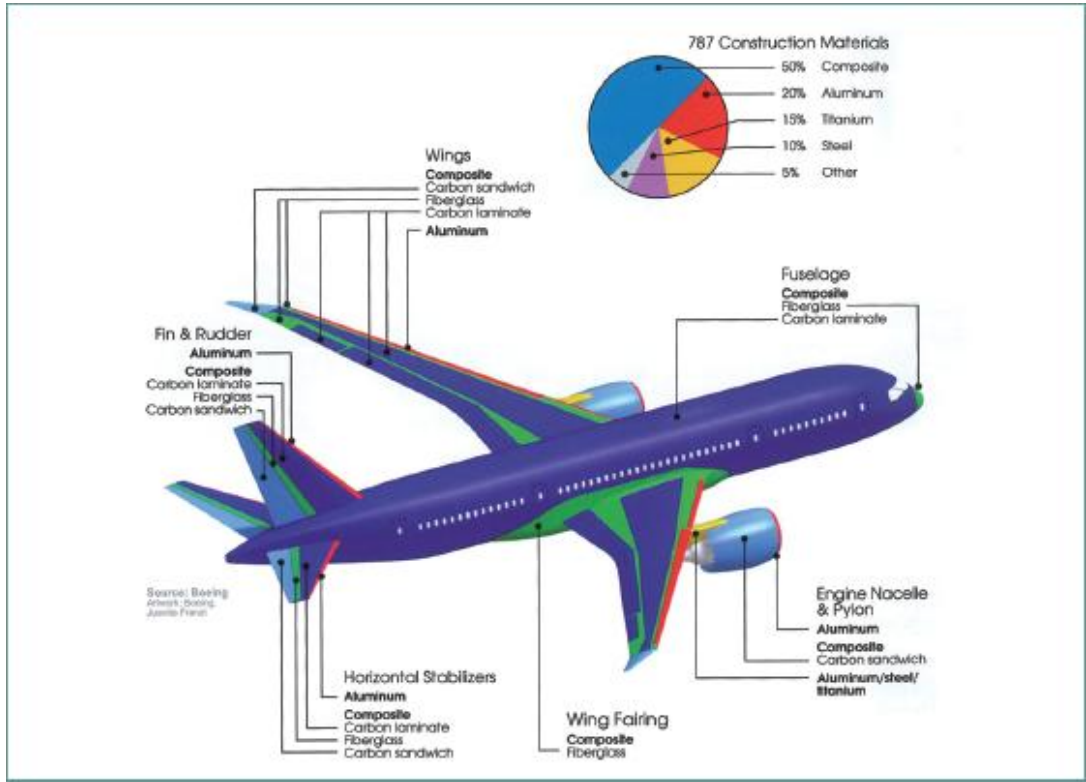
Zhong, Y.: “A Study of the Cutting Performance in Multipass Abrasive Waterjet Machining of Alumina Ceramics with Controlled Nozzle Oscillation” *Master of Engineering School of Mechanical and Manufacturing Engineering The University of New South Wales* (2008)

Zhong, Z. W.; Han, Z. Z.: “Performance Comparison of Four Waterjet Nozzles” *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 18, No.6, (2003) 965-978

EKLER

EK II-Şekil 1

Karma mazemeler havacılık sanayinde büyük öneme sahiptir. Örnek olarak Boeing 787'yi incelediğimizde, bu uçağın %50'sinin karma olduğu görülür. Bu uçağın %20'si alüminyumdan, %15'i titanyumdan, %10'u çelikten ve %5'i diğer malzemelerden oluşmaktadır (Hashish, 2009)



EK II-Tablo 1

SPK ve ASPK ile kesilebilen bazı malzemeler (Geren ve Tunç, 2001)

| SP İle Kesilebilecekler | ASP İle Kesilebilecekler | |
|---|---|--|
| Yumuşak lastik / kauçuk Sünger Folyo gibi çok ince malzemeler Plastik tabanlı halı Kağıt, mukavva kutu ve benzerleri Yumuşak sızdırmazlık contaları Mum Çocuk alt bezleri Yumuşak veya ince ahşap Tüm yumuşak malzemeler ve benzeri malzemeler | Sertleştirilmiş takım çeliği Titanyum Alüminyum Sert lastik Pirinç İnconel Hastalloy Bakır Egzotik malzemeler Yumuşak çelikler Paslanmaz çelikler | Plastik Nylon Grafit Seramiklerin hemen hepsi Karbon fiberi Kompozitler Granit Mermer Taş Sert ve kalın ahşap Cam ve kurşun geçirmez cam |

EK II-Tablo 2

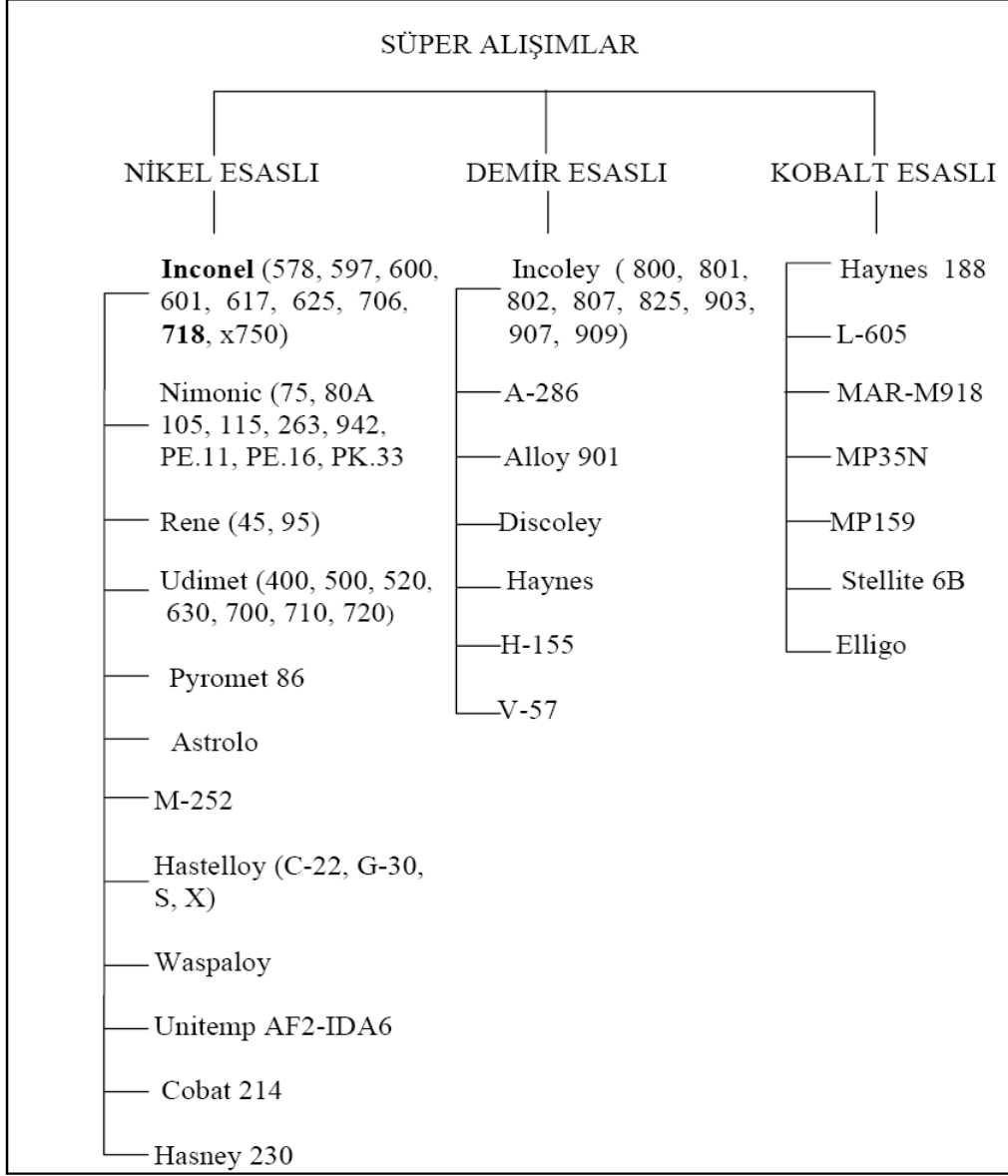
Pistonlu Pompalı (PP), Çift Etkili (ÇE) ve Fazlı-Çift Etkili Basınç Arttırma Tekniklerinin Karşılaştırılması (Geren ve Tunç, 2001)

| Etkili faktörler | Pistonlu pompalı (30hp) | Çift etkili (50 hp) | Fazlı-çift etkili (50 hp) |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Ulaşılabilir basınç | 3000 bar | 3000-7000 bar | 3000-7000 bar |
| Basınç ayar imkanı | Zor | Kolay | Kolay |
| Basınç dalgalanması | Yok | 150-350 bar | Yok |
| Akümülator gereksinmesi | Yok | Var | Yok |
| 3000 bar da çelik kesme hızı* | 120 mm/dak. | 108 mm/dak | 108 mm/dak |
| Maksimum kesme hızı* | 120 mm/dak. | Artan basınçla artıyor | Artan basınçla artıyor |
| Verim | Yüksek (%95) | Düşük (%70) | Düşük (%70) |
| Güç sarfıyatı | Düşük | Yüksek | Yüksek |
| Yüzey kesme kalitesi | Normal | Artan basınçla artıyor | Çift etkiliye göre iyi |
| Su debisi | Yüksek | Düşük | Düşük |
| Aşınan parçaların ömrü | Yüksek | Basınç arttıkça azalıyor | Basınç arttıkça azalıyor |
| Sızdırmazlık eleman ömrü | Normal | Basınç arttıkça azalıyor | Basınç arttıkça azalıyor |
| Bakım gereksinmesi | Düşük | Basınç arttıkça artıyor | Basınç arttıkça artıyor |
| Gürültü | Düşük | Yüksek | Yüksek |
| Yatırım maliyeti | Normal | PP. den yüksek | PP. den daha yüksek |

*450 gr/litre aşındırıcı, 0.35 mm lik lüle kullanımı ve 3000 barlık çalışma basıncı altında.

EK II-Tablo 3

Süper alaşımların genel sınıflandırılması (Kıvak, 2007)



EK II-Tablo 4

3800 bar, 2 mm lüle uzaklığı, 0,38 lüle ve 1,14 ASP lülesi ile tavsiye edilen ilerleme hızları (product information of Berkeley Chemical Research Inc., USA, 2001) (Külekçi, 2002)

| Material | Thickness (mm) | | | |
|-------------|-------------------|--------------------|-----|-----|
| | | Feed rate (mm/min) | | |
| Copper | 12.7 | 475 | 193 | 122 |
| | 38.1 | 132 | 43 | 25 |
| | 76.2 | 58 | 18 | 10 |
| 304 SS | 12.7 | 330 | 132 | 84 |
| | 38.1 | 91 | 30 | 18 |
| | 76.2 | 41 | 13 | 8 |
| Aluminium | 12.7 | 1021 | 414 | 259 |
| | 38.1 | 284 | 97 | 58 |
| | 76.2 | 127 | 38 | 23 |
| Mild steel | 12.7 | 366 | 147 | 94 |
| | 38.1 | 102 | 33 | 20 |
| | 76.2 | 46 | 13 | 8 |
| Titanium | 12.7 | 511 | 208 | 130 |
| | 38.1 | 142 | 48 | 28 |
| | 76.2 | 64 | 20 | 13 |
| Granite | 12.7 | 912 | 208 | 130 |
| | 38.1 | 254 | 48 | 28 |
| | 76.2 | 114 | 20 | 13 |
| Inconel 718 | 12.7 | 292 | 119 | 74 |
| | 38.1 | 81 | 28 | 15 |
| | 76.2 | 36 | 10 | 8 |

Ek III – Tablo 1 HJ3020 SPK Tezgahı Teknik Özellikleri

| | |
|--|--|
| Teknik Özellikler | Hydro-Jet 3020 |
| Çalışma Alanı mm | 3000x2000 |
| Sürücüler | Dişli takım |
| Lineer kızak | Evet |
| Pozisyonlama doğruluğu mm | ±0.05 |
| Tekrar edilebilirlik mm | ±0.05 |
| Maks. Besleme m/dk | 20 |
| Z eksen dikey hareketi mm | 160 |
| Aşındırma/saf su | Evet |
| Kesme deposu kılavuz makineden izole edilmiş | Evet |
| Genel boyutlar (UxGxY) mm | 4360x3250x1850 |
| CNC Ünitesi | GPLUS 450CUT |
| Güç Ünitesi | ECOTRON 404 WWC Yüksek Basıncılı Pompa |
| Ağırlık (su hariç) kg | 2950 |
| Azami çalışma basıncı Mpa | 400 |
| Azami sürekli çalışma basıncı Mpa | 380 |
| Azami akış hızı L/dk | 3,8 |
| Tahrik kapasitesi kW | 37 |
| Güç kaynağı V/Hz | 3x400/50 |

Ek III – Tablo 2 Ölçülen değerler

| Alt Kesik | | | | Bağıl hata | Üst Kesik | | | Bağıl hata |
|-----------|--------|---------|-------|------------|-----------|---------|-------|------------|
| Nr | h | l | l alt | % | h | l | l üst | % |
| 1 | 0,195 | 1,0031 | 0,988 | 0,0133 | 0,35 | 1,26056 | 1,266 | 0,0047 |
| 1 | 0,18 | 0,96933 | | | 0,3475 | 1,25743 | | |
| 1 | 0,19 | 0,99207 | | | 0,365 | 1,27875 | | |
| 2 | 0,23 | 1,07452 | 1,09 | 0,0082 | 0,4 | 1,31757 | 1,303 | 0,0064 |
| 2 | 0,24 | 1,09325 | | | 0,385 | 1,30154 | | |
| 2 | 0,245 | 1,10236 | | | 0,375 | 1,29035 | | |
| 3 | 0,2475 | 1,10685 | 1,104 | 0,0011 | 0,415 | 1,33274 | 1,333 | 0,0032 |
| 3 | 0,2475 | 1,10685 | | | 0,405 | 1,32272 | | |
| 3 | 0,2425 | 1,09783 | | | 0,425 | 1,34239 | | |
| 4 | 0,145 | 0,88159 | 0,895 | 0,0087 | 0,325 | 1,22801 | 1,223 | 0,0023 |
| 4 | 0,15 | 0,89499 | | | 0,315 | 1,21417 | | |
| 4 | 0,155 | 0,90807 | | | 0,325 | 1,22801 | | |
| 5 | 0,175 | 0,9576 | 0,945 | 0,0211 | 0,375 | 1,29035 | 1,274 | 0,0118 |
| 5 | 0,175 | 0,9576 | | | 0,365 | 1,27875 | | |
| 5 | 0,16 | 0,92087 | | | 0,345 | 1,25427 | | |
| 6 | Fire | | | | | | | |
| 7 | 0,12 | 0,80944 | 0,834 | 0,0273 | 0,32 | 1,22115 | 1,214 | 0,0018 |
| 7 | 0,135 | 0,85381 | | | 0,315 | 1,21417 | | |
| 7 | 0,13 | 0,8394 | | | 0,31 | 1,20706 | | |
| 8 | 0,135 | 0,85381 | 0,883 | 0,0337 | 0,32 | 1,22115 | 1,225 | 0,0004 |
| 8 | 0,1525 | 0,90157 | | | 0,3225 | 1,22459 | | |
| 8 | 0,15 | 0,89499 | | | 0,325 | 1,22801 | | |
| 9 | 0,215 | 1,04508 | 1,042 | 0,0015 | 0,4 | 1,31757 | 1,316 | 0,0003 |
| 9 | 0,21 | 1,03489 | | | 0,4 | 1,31757 | | |
| 9 | 0,215 | 1,04508 | | | 0,395 | 1,31233 | | |
| 10 | 0,205 | 1,0245 | 0,988 | 0,0457 | 0,34 | 1,24788 | 1,27 | 0,0159 |
| 10 | 0,18 | 0,96933 | | | 0,36 | 1,27279 | | |
| 10 | 0,18 | 0,96933 | | | 0,375 | 1,29035 | | |

Ek III – Tablo 2 Devamı

| Alt Kesik | | | | Bağıl hata | Üst Kesik | | | Bağıl hata |
|-----------|--------|---------|-------|------------|-----------|---------|-------|------------|
| Nr | h | l | l alt | % | h | l | l üst | % |
| 11 | 0,235 | 1,08397 | 1,084 | 0,0000 | 0,445 | 1,36059 | 1,366 | 0,0031 |
| 11 | 0,235 | 1,08397 | | | 0,465 | 1,37739 | | |
| 11 | 0,235 | 1,08397 | | | 0,445 | 1,36059 | | |
| 12 | 0,2225 | 1,06001 | 1,071 | 0,0153 | 0,365 | 1,27875 | 1,256 | 0,0172 |
| 12 | 0,2225 | 1,06001 | | | 0,33 | 1,23475 | | |
| 12 | 0,24 | 1,09325 | | | 0,345 | 1,25427 | | |
| 13 | 0,15 | 0,89499 | 0,916 | 0,0186 | 0,36 | 1,27279 | 1,256 | 0,0088 |
| 13 | 0,165 | 0,93338 | | | 0,345 | 1,25427 | | |
| 13 | 0,16 | 0,92087 | | | 0,335 | 1,24137 | | |
| 14 | 0,205 | 1,0245 | 1,017 | 0,0218 | 0,4 | 1,31757 | 1,312 | 0,0009 |
| 14 | 0,21 | 1,03489 | | | 0,39 | 1,30698 | | |
| 14 | 0,19 | 0,99207 | | | 0,395 | 1,31233 | | |
| 15 | 0,205 | 1,0245 | 1,016 | 0,0105 | 0,335 | 1,24137 | 1,248 | 0,0015 |
| 15 | 0,205 | 1,0245 | | | 0,345 | 1,25427 | | |
| 15 | 0,1925 | 0,99761 | | | 0,34 | 1,24788 | | |
| 16 | 0,135 | 0,85381 | 0,868 | 0,0289 | 0,315 | 1,21417 | 1,228 | 0,0067 |
| 16 | 0,135 | 0,85381 | | | 0,325 | 1,22801 | | |
| 16 | 0,15 | 0,89499 | | | 0,335 | 1,24137 | | |
| 17 | 0,175 | 0,9576 | 0,914 | 0,0711 | 0,355 | 1,26673 | 1,271 | 0,0055 |
| 17 | 0,15 | 0,89499 | | | 0,37 | 1,2846 | | |
| 17 | 0,1475 | 0,88833 | | | 0,35 | 1,26056 | | |
| 18 | 0,165 | 0,93338 | 0,985 | 0,0914 | 0,33 | 1,23475 | 1,219 | 0,0075 |
| 18 | 0,1975 | 1,00853 | | | 0,315 | 1,21417 | | |
| 18 | 0,2 | 1,0139 | | | 0,31 | 1,20706 | | |
| 19 | 0,17 | 0,94562 | 0,98 | 0,0422 | 0,405 | 1,32272 | 1,333 | 0,0025 |
| 19 | 0,195 | 1,0031 | | | 0,42 | 1,33761 | | |
| 19 | 0,19 | 0,99207 | | | 0,42 | 1,33761 | | |
| 20 | 0,205 | 1,0245 | 1,017 | 0,0016 | 0,335 | 1,24137 | 1,248 | 0,0015 |
| 20 | 0,2 | 1,0139 | | | 0,34 | 1,24788 | | |
| 20 | 0,2 | 1,0139 | | | 0,345 | 1,25427 | | |

Ek III – Tablo 2 Devamı

| Alt Kesik | | | | Bağıl hata | Üst Kesik | | | Bağıl hata |
|-----------|--------|---------|-------|------------|-----------|---------|-------|------------|
| Nr | h | l | l alt | % | h | l | l üst | % |
| 21 | 0,265 | 1,13719 | 1,117 | 0,0195 | 0,385 | 1,30154 | 1,307 | 0,0029 |
| 21 | 0,255 | 1,12009 | | | 0,385 | 1,30154 | | |
| 21 | 0,24 | 1,09325 | | | 0,4 | 1,31757 | | |
| 22 | 0,155 | 0,90807 | 0,921 | 0,0077 | 0,37 | 1,2846 | 1,294 | 0,0026 |
| 22 | 0,16 | 0,92087 | | | 0,385 | 1,30154 | | |
| 22 | 0,165 | 0,93338 | | | 0,38 | 1,29599 | | |
| 23 | 0,1775 | 0,9635 | 0,962 | 0,0005 | 0,315 | 1,21417 | 1,212 | 0,0043 |
| 23 | 0,175 | 0,9576 | | | 0,305 | 1,19983 | | |
| 23 | 0,1775 | 0,9635 | | | 0,32 | 1,22115 | | |
| 24 | 0,23 | 1,07452 | 1,071 | 0,0013 | 0,395 | 1,31233 | 1,305 | 0,0024 |
| 24 | 0,23 | 1,07452 | | | 0,39 | 1,30698 | | |
| 24 | 0,225 | 1,06489 | | | 0,38 | 1,29599 | | |
| 25 | 0,135 | 0,85381 | 0,853 | 0,0423 | 0,35 | 1,26056 | 1,265 | 0,0018 |
| 25 | 0,125 | 0,82462 | | | 0,36 | 1,27279 | | |
| 25 | 0,145 | 0,88159 | | | 0,35 | 1,26056 | | |
| 26 | 0,165 | 0,93338 | 0,923 | 0,0044 | 0,315 | 1,21417 | 1,209 | 0,0025 |
| 26 | 0,16 | 0,92087 | | | 0,315 | 1,21417 | | |
| 26 | 0,1575 | 0,91451 | | | 0,305 | 1,19983 | | |
| 27 | 0,205 | 1,0245 | 1,021 | 0,0016 | 0,355 | 1,26673 | 1,258 | 0,0033 |
| 27 | 0,2 | 1,0139 | | | 0,35 | 1,26056 | | |
| 27 | 0,205 | 1,0245 | | | 0,34 | 1,24788 | | |

Ek III – Tablo 3 Deney Seti Ve Sonuçlar

| (Genişlik*Uzunluk*Kalınlık) 5*15*2 mm ³ Inconel 718 | | | | | | | | | | | |
|--|----------|-----|-----|---|-----|---|---|---|----------|-------|-------|
| Nr | Girişler | | | | L27 | | | | ıktılar | | |
| | P | V | m | h | P | V | m | h | Üst | Alt | Eğim |
| 1 | 300 | 60 | 100 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,266 | 0,988 | 3,967 |
| 2 | 300 | 60 | 175 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1,303 | 1,090 | 3,050 |
| 3 | 300 | 60 | 250 | 4 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1,333 | 1,104 | 3,273 |
| 4 | 300 | 100 | 100 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1,223 | 0,895 | 4,695 |
| 5 | 300 | 100 | 175 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1,274 | 0,945 | 4,703 |
| 6 | 300 | 100 | 250 | 4 | 1 | 2 | 3 | 3 | Fire | Fire | Fire |
| 7 | 300 | 150 | 100 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1,214 | 0,834 | 5,425 |
| 8 | 300 | 150 | 175 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1,225 | 0,883 | 4,874 |
| 9 | 300 | 150 | 250 | 4 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1,316 | 1,042 | 3,921 |
| 10 | 340 | 60 | 100 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1,270 | 0,988 | 4,042 |
| 11 | 340 | 60 | 175 | 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1,366 | 1,084 | 4,036 |
| 12 | 340 | 60 | 250 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1,256 | 1,071 | 2,646 |
| 13 | 340 | 100 | 100 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1,256 | 0,916 | 4,855 |
| 14 | 340 | 100 | 175 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1,312 | 1,017 | 4,220 |
| 15 | 340 | 100 | 250 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1,248 | 1,016 | 3,324 |
| 16 | 340 | 150 | 100 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1,228 | 0,868 | 5,147 |
| 17 | 340 | 150 | 175 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1,271 | 0,914 | 5,100 |
| 18 | 340 | 150 | 250 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1,219 | 0,985 | 3,339 |
| 19 | 380 | 60 | 100 | 4 | 3 | 1 | 1 | 3 | 1,333 | 0,980 | 5,035 |
| 20 | 380 | 60 | 175 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1,248 | 1,017 | 3,297 |
| 21 | 380 | 60 | 250 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1,307 | 1,117 | 2,720 |
| 22 | 380 | 100 | 100 | 4 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1,294 | 0,921 | 5,331 |
| 23 | 380 | 100 | 175 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1,212 | 0,962 | 3,579 |
| 24 | 380 | 100 | 250 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1,305 | 1,071 | 3,345 |
| 25 | 380 | 150 | 100 | 4 | 3 | 3 | 1 | 3 | 1,265 | 0,853 | 5,871 |
| 26 | 380 | 150 | 175 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1,209 | 0,923 | 4,096 |
| 27 | 380 | 150 | 250 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1,258 | 1,021 | 3,397 |

Ek III - Tablo 4 Tek Faktörlü Varyan Analizi Sonuçları

| ANOVA (P) | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------|----------------|----------------|----|-------------|------|------|
| Üst | Between Groups | ,000 | 2 | ,000 | ,001 | ,999 |
| | Within Groups | ,046 | 23 | ,002 | | |
| | Total | ,046 | 25 | | | |
| Alt | Between Groups | ,001 | 2 | ,000 | ,055 | ,947 |
| | Within Groups | ,166 | 23 | ,007 | | |
| | Total | ,167 | 25 | | | |
| Eğim | Between Groups | ,146 | 2 | ,073 | ,083 | ,920 |
| | Within Groups | 20,142 | 23 | ,876 | | |
| | Total | 20,288 | 25 | | | |

Test of Homogeneity of Variances

| | Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|------|------------------|-----|-----|------|
| Üst | ,122 | 2 | 23 | ,886 |
| Alt | ,809 | 2 | 23 | ,458 |
| Eğim | ,643 | 2 | 23 | ,535 |

| ANOVA (V) | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------|----------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| Üst | Between Groups | ,013 | 2 | ,006 | 4,493 | ,023 |
| | Within Groups | ,033 | 23 | ,001 | | |
| | Total | ,046 | 25 | | | |
| Alt | Between Groups | ,071 | 2 | ,036 | 8,592 | ,002 |
| | Within Groups | ,095 | 23 | ,004 | | |
| | Total | ,167 | 25 | | | |
| Eğim | Between Groups | 4,802 | 2 | 2,401 | 3,566 | ,045 |
| | Within Groups | 15,485 | 23 | ,673 | | |
| | Total | 20,288 | 25 | | | |

Test of Homogeneity of Variances

| | Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|------|------------------|-----|-----|------|
| Üst | ,169 | 2 | 23 | ,846 |
| Alt | ,419 | 2 | 23 | ,663 |
| Eğim | ,525 | 2 | 23 | ,599 |

Ek III - Tablo 4 Devamı

| ANOVA (m) | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| Üst | Between Groups | ,002 | 2 | ,001 | ,408 | ,670 |
| | Within Groups | ,044 | 23 | ,002 | | |
| | Total | ,046 | 25 | | | |
| Alt | Between Groups | ,080 | 2 | ,040 | 10,621 | ,001 |
| | Within Groups | ,087 | 23 | ,004 | | |
| | Total | ,167 | 25 | | | |
| Eğim | Between Groups | 12,019 | 2 | 6,009 | 16,715 | ,000 |
| | Within Groups | 8,269 | 23 | ,360 | | |
| | Total | 20,288 | 25 | | | |

Test of Homogeneity of Variances

| | Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|------|------------------|-----|-----|------|
| Üst | ,712 | 2 | 23 | ,501 |
| Alt | 1,594 | 2 | 23 | ,225 |
| Eğim | 1,310 | 2 | 23 | ,289 |

| ANOVA (h) | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| Üst | Between Groups | ,026 | 2 | ,013 | 15,238 | ,000 |
| | Within Groups | ,020 | 23 | ,001 | | |
| | Total | ,046 | 25 | | | |
| Alt | Between Groups | ,003 | 2 | ,002 | ,227 | ,799 |
| | Within Groups | ,163 | 23 | ,007 | | |
| | Total | ,167 | 25 | | | |
| Eğim | Between Groups | 2,746 | 2 | 1,373 | 1,800 | ,188 |
| | Within Groups | 17,542 | 23 | ,763 | | |
| | Total | 20,288 | 25 | | | |

Test of Homogeneity of Variances

| | Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|------|------------------|-----|-----|------|
| Üst | ,496 | 2 | 23 | ,616 |
| Alt | ,618 | 2 | 23 | ,548 |
| Eğim | ,276 | 2 | 23 | ,762 |

Ek III - Tablo 5 İlgileşim Tablosu (Pearson)

Correlations

| | | P | V | m | h | Üst | Alt | Eğim |
|------|---------------------|-------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| P | Pearson Correlation | 1 | -,004 | ,061 | ,061 | ,008 | ,061 | -,074 |
| | Sig. (2-tailed) | | ,983 | ,766 | ,766 | ,968 | ,767 | ,721 |
| | N | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| V | Pearson Correlation | -,004 | 1 | ,004 | ,004 | -,521(**) | -,637(**) | ,470(*) |
| | Sig. (2-tailed) | ,983 | | ,983 | ,983 | ,006 | ,000 | ,016 |
| | N | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| m | Pearson Correlation | ,061 | ,004 | 1 | -,061 | ,184 | ,693(**) | -,770(**) |
| | Sig. (2-tailed) | ,766 | ,983 | | ,766 | ,368 | ,000 | ,000 |
| | N | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| h | Pearson Correlation | ,061 | ,004 | -,061 | 1 | ,754(**) | ,122 | ,353 |
| | Sig. (2-tailed) | ,766 | ,983 | ,766 | | ,000 | ,554 | ,077 |
| | N | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| Üst | Pearson Correlation | ,008 | -,521(**) | ,184 | ,754(**) | 1 | ,643(**) | -,155 |
| | Sig. (2-tailed) | ,968 | ,006 | ,368 | ,000 | | ,000 | ,451 |
| | N | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| Alt | Pearson Correlation | ,061 | -,637(**) | ,693(**) | ,122 | ,643(**) | 1 | -,856(**) |
| | Sig. (2-tailed) | ,767 | ,000 | ,000 | ,554 | ,000 | | ,000 |
| | N | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| Eğim | Pearson Correlation | -,074 | ,470(*) | -,770(**) | ,353 | -,155 | -,856(**) | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | ,721 | ,016 | ,000 | ,077 | ,451 | ,000 | |
| | N | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Ek III - Tablo 6 İlgileşim Tablosu (Sperman's Rho)

Correlations

| | | | P | V | m | h | Üst | Alt | Eğim |
|----------------|------|-------------------------|-------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Spearman's rho | P | Correlation Coefficient | 1,000 | ,000 | ,060 | ,060 | -,025 | ,061 | -,022 |
| | | Sig. (2-tailed) | . | 1,000 | ,771 | ,771 | ,903 | ,769 | ,915 |
| | | N | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| | V | Correlation Coefficient | ,000 | 1,000 | ,000 | ,000 | -,478(*) | -,622(**) | ,512(**) |
| | | Sig. (2-tailed) | 1,000 | . | 1,000 | 1,000 | ,014 | ,001 | ,008 |
| | | N | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| | m | Correlation Coefficient | ,060 | ,000 | 1,000 | -,060 | ,158 | ,688(**) | -,758(**) |
| | | Sig. (2-tailed) | ,771 | 1,000 | . | ,771 | ,441 | ,000 | ,000 |
| | | N | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| | h | Correlation Coefficient | ,060 | ,000 | -,060 | 1,000 | ,791(**) | ,112 | ,332 |
| | | Sig. (2-tailed) | ,771 | 1,000 | ,771 | . | ,000 | ,585 | ,097 |
| | | N | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| | Üst | Correlation Coefficient | -,025 | -,478(*) | ,158 | ,791(**) | 1,000 | ,582(**) | -,127 |
| | | Sig. (2-tailed) | ,903 | ,014 | ,441 | ,000 | . | ,002 | ,538 |
| | | N | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| | Alt | Correlation Coefficient | ,061 | -,622(**) | ,688(**) | ,112 | ,582(**) | 1,000 | -,860(**) |
| | | Sig. (2-tailed) | ,769 | ,001 | ,000 | ,585 | ,002 | . | ,000 |
| | | N | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| | Eğim | Correlation Coefficient | -,022 | ,512(**) | -,758(**) | ,332 | -,127 | -,860(**) | 1,000 |
| | | Sig. (2-tailed) | ,915 | ,008 | ,000 | ,097 | ,538 | ,000 | . |
| | | N | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Ek III - Tablo 7 Doğrusal Regresyon Analizi

$$\text{Üst}_{L27} = 1,21 - 0,000073*P - 0,000588*V + 0,000164*m + 0,0402*h$$

ANOVA(b)

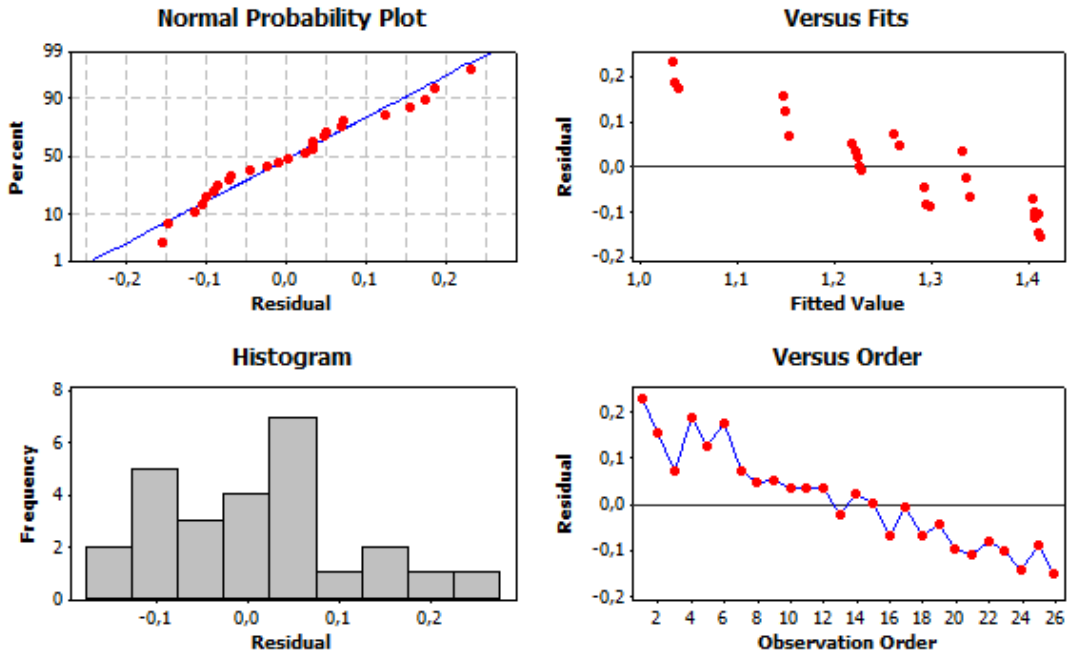
| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|----|-------------|--------|---------|
| 1 | Regression | ,041 | 4 | ,010 | 48,319 | ,000(a) |
| | Residual | ,004 | 21 | ,000 | | |
| | Total | ,046 | 25 | | | |

a Predictors: (Constant), h, V, m, P

b Dependent Variable: Üst

| Predictor | Coef | SE Coef | T | P |
|-------------|-------------|-----------------|-------|-------|
| Constant | 1,20791 | 0,03331 | 36,26 | 0,000 |
| P | -0,00007264 | 0,00008898 | -0,82 | 0,423 |
| V | -0,00058765 | 0,00007632 | -7,70 | 0,000 |
| m | 0,00016422 | 0,00004745 | 3,46 | 0,002 |
| h | 0,040202 | 0,003559 | 11,30 | 0,000 |
| S=0,0145990 | R-Sq=90,2% | R-Sq(adj)=88,3% | | |

Residual Plots for Üst



Ek III - Tablo 7 Devamı

$$\text{Alt}_{L27} = 0,909 + 0,000012 * P - 0,00137 * V + 0,000932 * m + 0,0166 * h$$

ANOVA(b)

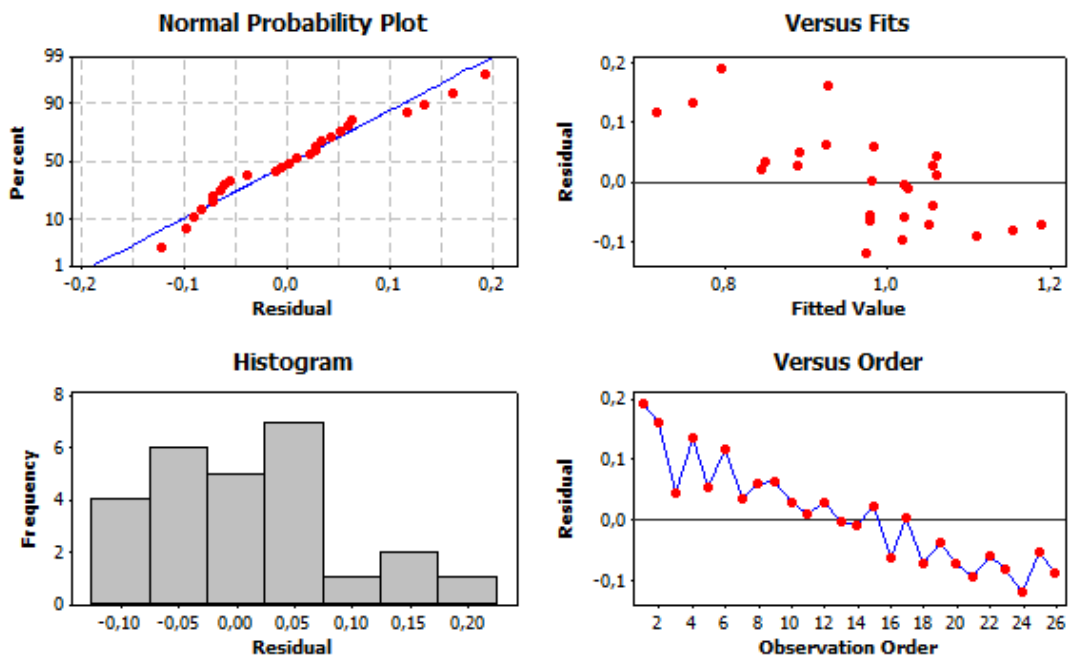
| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|----|-------------|--------|---------|
| 1 | Regression | ,153 | 4 | ,038 | 58,258 | ,000(a) |
| | Residual | ,014 | 21 | ,001 | | |
| | Total | ,167 | 25 | | | |

a Predictors: (Constant), h, V, m, P

b Dependent Variable: Alt

| Predictor | Coef | SE Coef | T | P |
|-------------|------------|-----------------|--------|-------|
| Constant | 0,90870 | 0,05843 | 15,55 | 0,000 |
| P | 0,0000121 | 0,0001561 | 0,08 | 0,939 |
| V | -0,0013668 | 0,0001339 | -10,21 | 0,000 |
| m | 0,00093205 | 0,00008323 | 11,20 | 0,000 |
| h | 0,016592 | 0,006242 | 2,66 | 0,015 |
| S=0,0256043 | R-Sq=91,7% | R-Sq(adj)=90,2% | | |

Residual Plots for Alt



Ek III - Tablo 7 Devamı

$$\text{Eğim}_{1,27} = 4,28 - 0,00121 * P + 0,0111 * V - 0,0109 * m + 0,336 * h$$

ANOVA(b)

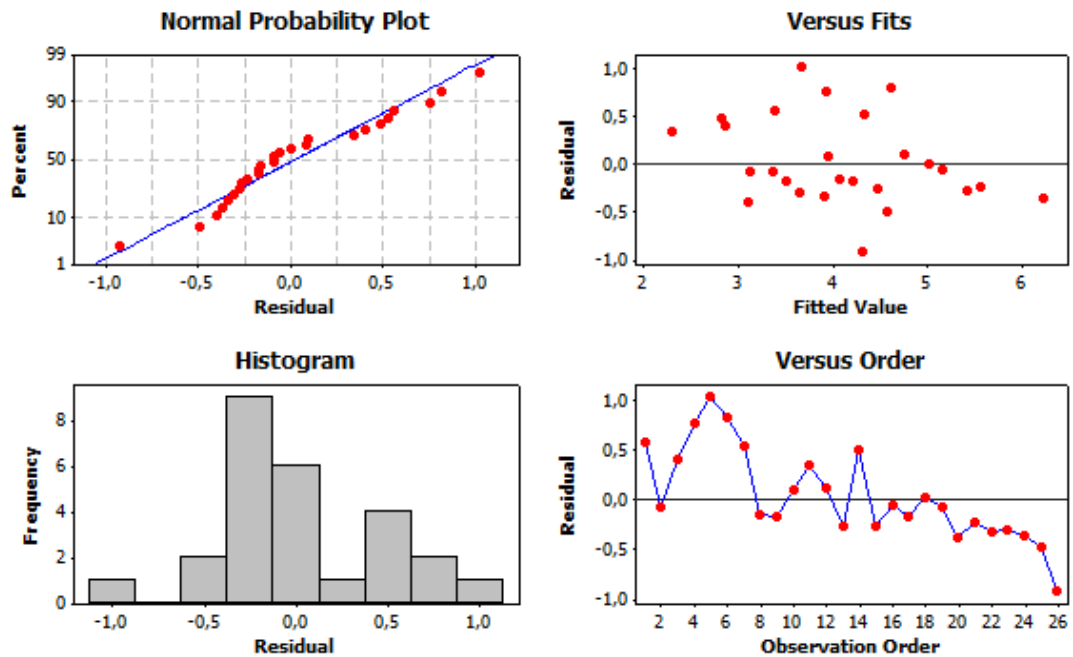
| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|----|-------------|--------|---------|
| 1 | Regression | 18,470 | 4 | 4,618 | 53,356 | ,000(a) |
| | Residual | 1,817 | 21 | ,087 | | |
| | Total | 20,288 | 25 | | | |

a Predictors: (Constant), h, V, m, P

b Dependent Variable: Eğim

| Predictor | Coef | SECoef | T | P |
|------------|------------|-----------|------------|-----------------|
| Constant | 4,2798 | 0,6713 | 6,38 | 0,000 |
| P | -0,001215 | 0,001793 | -0,68 | 0,505 |
| V | 0,011099 | 0,001538 | 7,22 | 0,000 |
| m | -0,0109388 | 0,0009562 | -11,44 | 0,000 |
| h | 0,33630 | 0,07172 | 4,69 | 0,000 |
| S=0,294183 | | | R-Sq=91,0% | R-Sq(adj)=89,3% |

Residual Plots for Eğim

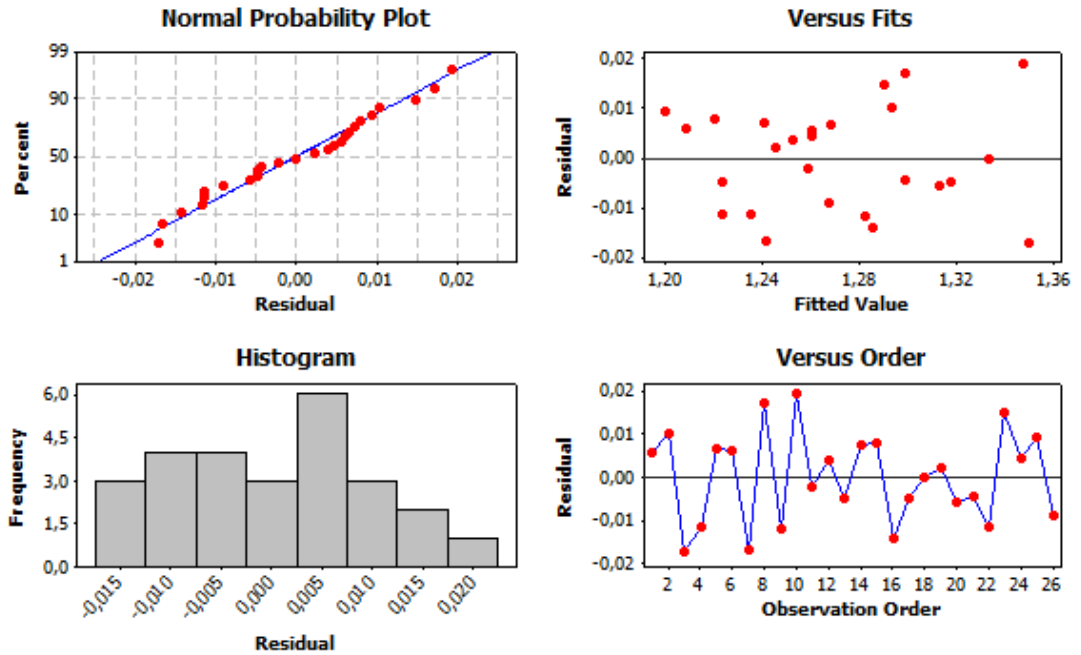


Ek III - Tablo 8 Tam Eşleştirmeli Regresyon Analizi (Üst_{L27})

| Predictor | Coef | SE Coef | T | P |
|----------------|-------------|-----------------|-------|-------|
| Constant | 1,7850 | 0,4833 | 3,69 | 0,003 |
| P | -0,002237 | 0,002687 | -0,83 | 0,421 |
| V | -0,000619 | 0,001132 | -0,55 | 0,595 |
| m | -0,001500 | 0,001056 | -1,42 | 0,181 |
| h | -0,01571 | 0,06725 | -0,23 | 0,819 |
| P ² | 0,00000200 | 0,00000390 | 0,51 | 0,617 |
| V ² | 0,00000107 | 0,00000326 | 0,33 | 0,749 |
| m ² | 0,00000054 | 0,00000132 | 0,41 | 0,687 |
| h ² | 0,008951 | 0,007171 | 1,25 | 0,236 |
| PV | -0,00000040 | 0,00000241 | -0,16 | 0,872 |
| Pm | 0,00000395 | 0,00000236 | 1,67 | 0,120 |
| Ph | 0,0000536 | 0,0001854 | 0,29 | 0,778 |
| Vm | 0,00000137 | 0,00000128 | 1,07 | 0,306 |
| Vh | -0,00009986 | 0,00009630 | -1,04 | 0,320 |
| S=0,0150372 | R-Sq=94,1% | R-Sq(adj)=87,6% | | |

| Analysis of Variance for Üst | | | | | | |
|------------------------------|----|----------|----------|----------|-------|-------|
| Source | DF | SeqSS | AdjSS | AdjMS | F | P |
| Regression | 13 | 0,042955 | 0,042955 | 0,003304 | 14,61 | 0,000 |
| Linear | 4 | 0,041193 | 0,000760 | 0,000190 | 0,84 | 0,525 |
| Square | 4 | 0,000276 | 0,000456 | 0,000114 | 0,50 | 0,734 |
| Interaction | 5 | 0,001486 | 0,001486 | 0,000297 | 1,31 | 0,322 |
| Residual Error | 12 | 0,002713 | 0,002713 | 0,000226 | | |
| Total | 25 | 0,045669 | | | | |

Residual Plots for Üst

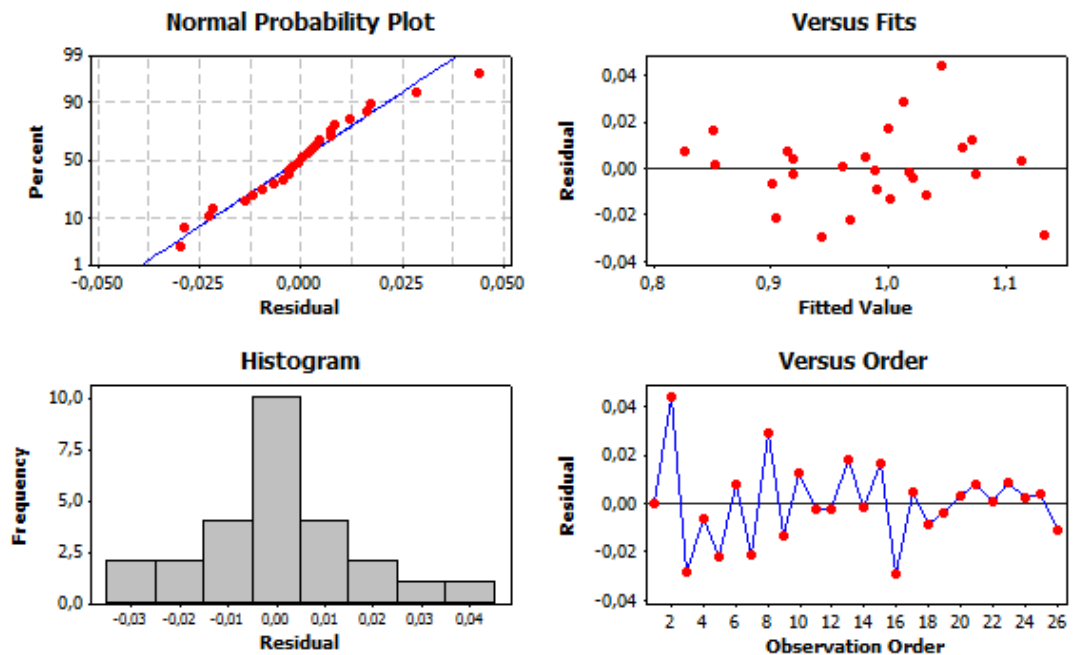


Ek III - Tablo 8 Devamı (Alt_{L27})

| Predictor | Coef | SECoef | T | P |
|----------------|-------------|-----------------|-------|-------|
| Constant | 1,2856 | 0,7710 | 1,67 | 0,121 |
| P | -0,000445 | 0,004287 | -0,10 | 0,919 |
| V | -0,005057 | 0,001806 | -2,80 | 0,016 |
| m | -0,002741 | 0,001685 | -1,63 | 0,130 |
| h | 0,1407 | 0,1073 | 1,31 | 0,214 |
| P ² | -0,00000018 | 0,00000622 | -0,03 | 0,977 |
| V ² | 0,00000755 | 0,00000520 | 1,45 | 0,172 |
| m ² | 0,00000199 | 0,00000210 | 0,95 | 0,363 |
| h ² | 0,00371 | 0,01144 | 0,32 | 0,751 |
| PV | 0,00000464 | 0,00000384 | 1,21 | 0,250 |
| Pm | 0,00000726 | 0,00000377 | 1,93 | 0,078 |
| Ph | -0,0003840 | 0,0002957 | -1,30 | 0,218 |
| Vm | 0,00000386 | 0,00000205 | 1,88 | 0,084 |
| Vh | -0,0000534 | 0,0001536 | -0,35 | 0,734 |
| S=0,0239878 | R-Sq=95,9% | R-Sq(adj)=91,4% | | |

| Analysis of Variance for Alt | | | | | | |
|------------------------------|----|----------|----------|----------|-------|-------|
| Source | DF | SeqSS | AdjSS | AdjMS | F | P |
| Regression | 13 | 0,159634 | 0,159634 | 0,012280 | 21,34 | 0,000 |
| Linear | 4 | 0,152772 | 0,006623 | 0,001656 | 2,88 | 0,070 |
| Square | 4 | 0,001668 | 0,001930 | 0,000482 | 0,84 | 0,527 |
| Interaction | 5 | 0,005194 | 0,005194 | 0,001039 | 1,81 | 0,186 |
| Residual Error | 12 | 0,006905 | 0,006905 | 0,000575 | | |
| Total | 25 | 0,166539 | | | | |

Residual Plots for Alt

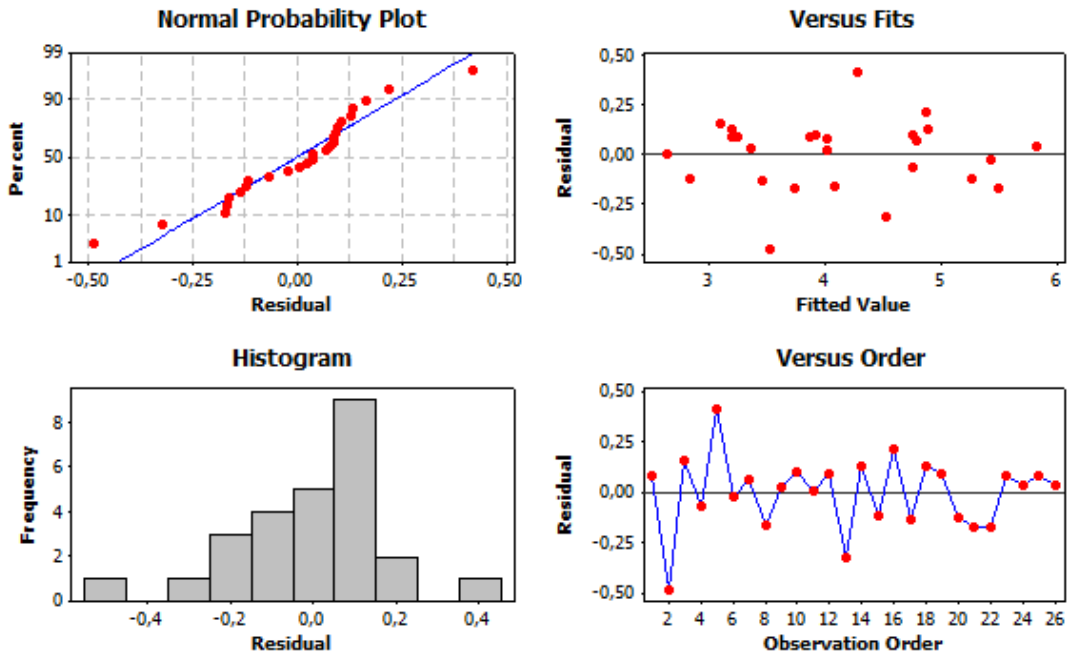


Ek III - Tablo 8 Devamı (Eğim L27)

| Predictor | Coef | SECoef | T | P |
|----------------|-------------|-----------------|-------|-------|
| Constant | 7,107 | 8,383 | 0,85 | 0,413 |
| P | -0,02541 | 0,04661 | -0,55 | 0,596 |
| V | 0,06326 | 0,01964 | 3,22 | 0,007 |
| m | 0,01758 | 0,01832 | 0,96 | 0,356 |
| h | -2,221 | 1,166 | -1,90 | 0,081 |
| P ² | 0,00003099 | 0,00006759 | 0,46 | 0,655 |
| V ² | -0,00009270 | 0,00005658 | -1,64 | 0,127 |
| m ² | -0,00002059 | 0,00002286 | -0,90 | 0,385 |
| h ² | 0,0750 | 0,1244 | 0,60 | 0,558 |
| PV | -0,00007177 | 0,00004176 | -1,72 | 0,111 |
| Pm | -0,00004694 | 0,00004099 | -1,15 | 0,274 |
| Ph | 0,006209 | 0,003215 | 1,93 | 0,077 |
| Vm | -0,00003511 | 0,00002227 | -1,58 | 0,141 |
| Vh | -0,000670 | 0,001670 | -0,40 | 0,696 |
| S=0,260837 | R-Sq=96,0% | R-Sq(adj)=91,6% | | |

| Analysis of Variance for Eğim | | | | | | |
|-------------------------------|----|---------|----------|----------|-------|-------|
| Source | DF | SeqSS | AdjSS | AdjMS | F | P |
| Regression | 13 | 19,4714 | 19,47135 | 1,497796 | 22,01 | 0,000 |
| Linear | 4 | 18,4704 | 1,04139 | 0,260348 | 3,83 | 0,031 |
| Square | 4 | 0,3612 | 0,30407 | 0,076017 | 1,12 | 0,393 |
| Interaction | 5 | 0,6398 | 0,63978 | 0,127956 | 1,88 | 0,172 |
| ResidualError | 12 | 0,8164 | 0,81643 | 0,068036 | | |
| Total | 25 | 20,2878 | | | | |

Residual Plots for Eğim



ÖZGEÇMİŞ

1981’de İstanbul’da doğdu. İlk ve orta öğrenimimi İstanbul’da tamamladı. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tasarım ve Konstrüksiyon Anabilim Dalından 2007’de mezun oldu. Aynı üniversitede yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir.

İbrahim AY