

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞLENMİŞ SAF TİTANYUM-PORSELEN ADEZYON BAĞLANTISI İÇİN
ELEKTRO EROZYONLA İŞLEMEDE (EDM)
İŞLEME PARAMETRELERİNİN TESPİT EDİLMESİ

ASIM MURAT ÖLMEZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 25/07/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman:
Doç.Dr.
H. Selçuk HALKACI



Üye:
Prof.Dr.
Özgür İNAN



Üye:
Yrd.Doç.Dr.
Orhan ENGİN



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İŞLENMİŞ SAF TİTANYUM-PORSELEN ADEZYON BAĞLANTISI İÇİN ELEKTRO EROZYONLA İŞLEMEDE (EDM) İŞLEME PARAMETRELERİNİN TESPİT EDİLMESİ

Asım Murat ÖLMEZ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç.Dr.H. Selçuk HALKACI

2006, 57 Sayfa

Jüri: Prof.Dr. Özgür İNAN

Doç.Dr. H. Selçuk HALKACI

Yrd.Doç.Dr. Orhan ENGİN

Bu çalışmada, dişhekimliğinde uygulanan Ti-Porselen bağlantı sisteminde, Titanyumu pürüzlendirmek için EDM ile işleme yöntemi kullanılması durumunda, adezyon bağlantı kuvvetini en büyük yapacak EDM işleme parametreleri deneysel olarak saptanmıştır. Taguchi yönteminde iki düzeyli ve tek performans kriterli deney tasarımı yapılarak güç, polarite, dielektrik sıvı, kumlama, elektrot cinsi ve ark süresi parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Performans kriteri olarak, ISO 9693 standardında belirtilen koşullarda yapılan 3-Nokta eğme testinden elde edilen kayma gerilmeleri ele alınmıştır. Deneylerde Gr2 endüstriyel işlenmiş saf titanyum ve Vita Titankeramik düşük ısı porseleni kullanılmıştır. İki düzeyli seçilen parametreler için elde edilen ilişkiler incelenerek, çok düzeyli deneylerde kullanılabilecek seviyeler için de önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: EDM, Ti-Porselen bağlantısı, Taguchi yöntemi, 3-Nokta eğme testi, ISO 9693.

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION OF ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING (EDM) PARAMETERS FOR MACHINED PURE TITANIUM-PORCELAIN ADHESION

Asım Murat ÖLMEZ

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc.Prof.Dr.H. Selçuk HALKACI

2006, 57 Pages

Jury: Prof.Dr. Özgür İNAN

Assoc.Prof.Dr.H. Selçuk HALKACI

Assoc.Prof.Dr. Orhan ENGİN

In this study, EDM machining parameters that will cause largest adhesive force were experimentally investigated in a system where Ti-Porcelain connection system is used as dentistry in which titanium asperity condition was achieved with EDM process. In Taguchi method, effects of power, polarity, dielectric fluid, sanding, electrode type and arc parameters were investigated by performing two levels and single criteria test design. In performance criteria, shear stresses obtained in the 3 point bending test condition explained in ISO 9693 Standard was used. In the test, Gr2 industrial pure titanium processed and low heat porcelain Vita Titankeramik was used. The relationship obtained in the two-level parameters was investigated and the possibility of using it in multi level experiments was proposed.

Key Words: EDM, Ti-Porcelain connection, Taguchi method, 3 point bending test

ÖNSÖZ

Bu çalışma ile Dişhekimliği uygulamalarında önemli bir yere sahip protez imalatındaki kaplamalardan bir tür olan, titanyum-porselen bağlantısının iyileştirmesinde kumlamaya alternatif EDM ile yüzey pürüzlendirme işlemi yapılmıştır. EDM ile işleme sırasında istenilen en iyi bağlantıyı sağlayabilmek için de bir çok parametre kullanılmış ve bu parametrelerin düzeylerinin belirlenmesinde ise Taguchi yöntemi uygulanmıştır.

Daha önceki çalışmalarda görülen titanyum-porselen bağlantılarında sapmaların yüksek olması, kontrolsüz bir bağlantı sağlamaktaydı, EDM ile yüzey pürüzlendirme işlemi, kontrollü bir şekilde yapılabilmekte ve bağlantıların kalitesini iyileştirmektedir. Elde edilen sonuçlar bu konuyla ilgili çalışmalara ışık tutmakta ve uygulanması halinde bağlantının iyileştirilmesinin yanında zaman, maliyet ve doğruluk açısından da kolaylıklar sağlayacaktır. Ayrıca Taguchi yöntemi uygulanarak endüstriyel alanlarda da iyileştirilmeler yapılabilir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana yol gösteren danışmanım Doç. Dr. H. Selçuk HALKACI'ya, örneklerin hazırlanmasında yardımcı olan Dr. Aslı ACAR'a, iş yerimde bana destek olan ve gerekli kolaylıkları sağlayan Mustafa AKIN ve Recep AKIN'a, çalışmalarımda yardımcı olan Mak. Müh. Hakan PEKEL'e teşekkür ederim.

Ayrıca her konuda bana destek olan aileme saygılarımı sunar, şükranlarımı iletirim.

Asım Murat ÖLMEZ
Makine Mühendisi

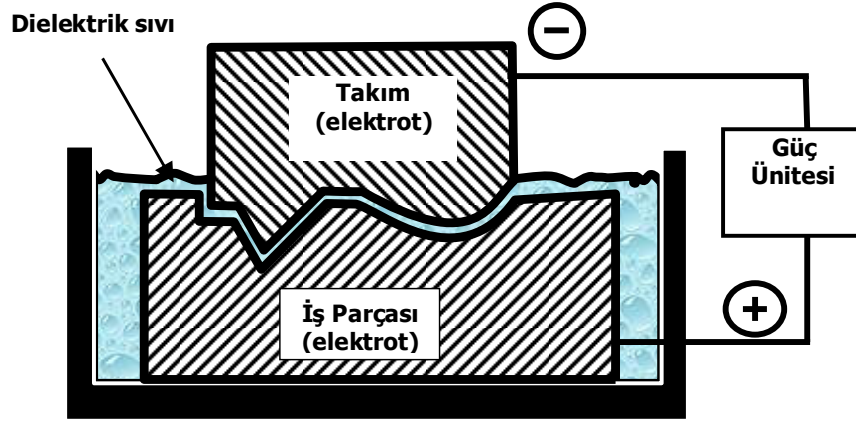
İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
1.1. ELEKTRO EROZYONLA İŞLEMENİN FİZİKSEL PRENSİBİ	2
1.2. EDM DE İŞLEME PARAMETRELERİ	7
1.3. EDM DE PERFORMANS KRİTERLERİ	9
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	11
2.1. TİTANYUMUN BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ	11
2.2. TİTANYUM VE ALAŞIMLARININ EDM DE İŞLENMESİ.....	11
2.3. TİTANYUM-PORSELEN BAĞLANTILARINDA ADEZYON KUVVETİNİN ÖLÇÜLMESİ	12
2.4. EDM’DE İŞLEME PARAMETRELERİNİN TESPİT YÖNTEMLERİ	13
2.4.1. Parametre Seviyelerinin Tümünü Kapsayacak Deney Yapma	14
2.4.2. Deney Tasarımı Metodu Taguchi Yöntemi	14
2.4.3. Tek Kıvılcım Metodu.....	19
2.4.4. Grey Yöntemi	20
3. MATERYAL VE METOT	21
3.1. İŞLEME PARAMETRELERİNİN PERFORMANS KRİTERİNE ETKİLERİ	21
3.2. TİTANYUM-PORSELEN BAĞLANTILARI.....	22
3.2.1. Titanyum-porselen bağlantı sistemine ara yüzey kimyasının etkisi	22
3.2.2. Titanyum-porselen bağlantı sistemine kalıcı gerilmelerin etkileri	23
3.2.3. Titanyum-porselen bağlantı sistemine yüzey yapısının etkisi	23
3.3. 3-NOKTA EĞME TESTİ.....	24
3.4. KUMLAMA.....	25
3.5. TAGUCHİ YÖNTEMİNE GÖRE TEK PERFORMANS KRİTERLİ İKİ SEVİYELİ KESİRLİ DENEY TASARIMI	26
3.5.1. Faktörlerin sınıflandırılması.....	26
3.5.2. Faktörlerin birbiriyle olan etkileşimleri	27
3.5.3. Hesap tablosu seçimi	28
3.5.4. Faktör seviyelerinin belirlenmesi ve kolonlara atanması.....	29
3.5.5. Düzey kombinezonlarının belirlenmesi.....	30
3.6. DENEYLERİN YAPILMASI VE BAĞLAMA KUVVETİNİN HESAPLANMASI	31
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	37
4.1 ETKİLEŞİMLERİN İNCELENMESİ	43
4.2 EN UYGUN PERFORMANS KRİTERİ İÇİN BELİRLENEN FAKTÖR SEVİYELERİ	46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	48

6. KAYNAKLAR	50
EK-1 EŞAD TABLOSU	54
EK-2 L16 DİZAYN MATRİSİ.....	55
EK-3 RASTSALLAŞTIRILMIŞ DENEYLER.....	56

1. GİRİŞ

Elektriksel kıvılcımla aşındırma yöntemi olarak adlandırılan elektro erozyonla işleme (EDM; Electrical Discharge Machining) elektriksel olarak iletken bir iş parçasına yüksek frekanslı elektrik boşalımlarının kontrollü olarak uygulanması ve böylece iş parçasından küçük parçacıkların ergitilerek veya buharlaştırılarak koparılması prensibine dayanan bir ileri imalat yöntemidir. Elektro erozyonla işleme yöntemi günümüz teknolojisinde kalıp imalatında hızla kullanımı artan bir metal işleme yöntemidir. Yüksek mukavemetli, karmaşık geometrili ve sert malzemelerin işlenebilmesi elektro erozyonla işleme yöntemini modern imalat yöntemleri arasında seçkin bir noktaya getirmiştir. Gerilim vurumlarının uygulanması sonucu takım elektrotu ile iş parçası elektrotu arasında elektrik boşalımları oluşur. Şekil 1. 1’de ana hatları ile görülen EDM de iş parçası ve elektrot arası dielektrik sıvıyla doldurulur ve elektrotlar arasında işleme aralığı olarak bilinen 0,01-0,5 mm’lik bir aralık kalması



Şekil 1.1 Elektro erozyon ile işleme yönteminin şematik gösterimi

gerekir. Boşalım gerilimi işleme aralığının büyüklüğüne ve dielektrik sıvının yalıtkanlık direncine bağlıdır. Gerilim vurumunun uygulanmasını takiben elektrot ve iş parçası arasındaki en yakın iki nokta arasında bir kanal iyonlaşır. Oluşan elektrik boşalımı temas ettiği elektrot ve iş parçası yüzeylerinin erimesine ve buharlaşmasına sebep olur. Sonuçta, iş parçasında küçük kraterler oluşacak şekilde

malzemeler yüzeyden kopar ve dielektrik sıvı dolaşımı tarafından ortamdan uzaklaştırılır. Mikro saniye mertebesinde oluşan bu işlemler devam ederek iş parçası elektrotu üzerinde takım elektrotu şeklinin negatifi oluşur.

Günümüzde çok sert, yüksek mukavemetli ve sıcaklığa karşı dayanıklı metal malzemeler kullanılarak karmaşık şekilli ve düşük toleranslı makine ve kalıp parçaları yapılmaktadır. Bu tip parçaların yapımında elektro erozyonla işleme, çeşitli endüstriyel dallarda, genişleyerek kullanılmaktadır. Bu yöntem geleneksel metotlarla işlenemeyen sert malzemelerin kolayca işlenmesinde tercih edilir. Elektro erozyonla işleme diğer işleme metotlarıyla yapılamayan içbükey yüzey şekillendirilmelerini kolayca yapabilmektedir.

EDM, önceleri diğer işleme yöntemlerine yardımcı bir metot olarak düşünülmüştür. Fakat üretici firmalar bu teknolojiyi ileri seviyelere ulaştırmışlar ve günümüzde elektro erozyonla işleme tek başına bir imalat yöntemi olarak kabul görmüştür.

Elektriksel kıvılcım deşarjının aşındırma etkisine ilk referans olarak Priestley'in 1768 yılındaki çalışmaları gösterilebilir. 1889 yılında Paschen yöntemi formüle etmeye çalışmıştır. Lazarenko ve Lazarenko'nun 1943'lerde yaptıkları çalışma ile kıvılcımla aşındırma metodunu kontrol altına alabilmişlerdir (Poyrazoğlu 1994).

Talaş kaldırmadaki olayların daha iyi anlaşılabilmesi için bir kıvılcımın oluşması sırasındaki işlemler detaylıca anlatılacaktır.

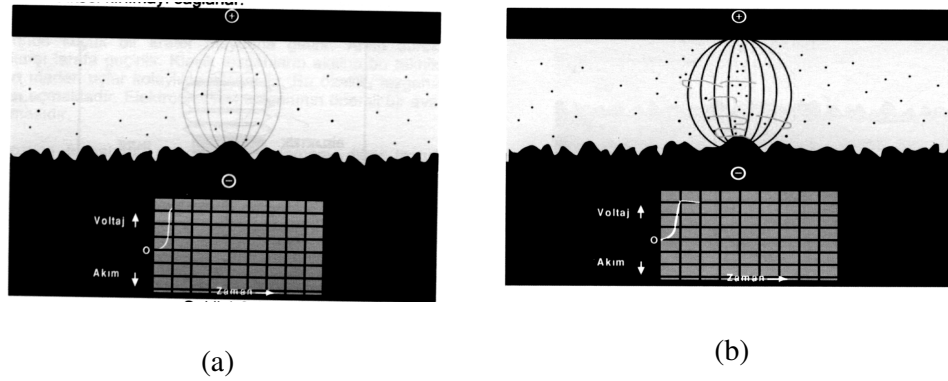
1.1. Elektro Erozyonla İşlemenin Fiziksel Prensibi

Elektro erozyonla işleme yöntemi çalışma prensibi uyarınca bir doğa olayı olan yıldırım oluşumuna benzetilebilir. Yıldırım oluşması sırasındaki zıt kutup taşıyan bulutları bu yöntemde takım ve iş parçası, ortamda bulunan hava veya rüzgâr ise, ortamda ara teması sağlayan dielektrik sıvıyı sembolize eder. Elektroerozyon yönteminde kıvılcım oluşumu işleminin adımları şu şekilde gerçekleşmektedir.

Takım elektrot iş parçası elektrotuna yaklaştırılır. Elektrot ile iş parçası arası dielektrik sıvıyla doludur (Furkan 2000).

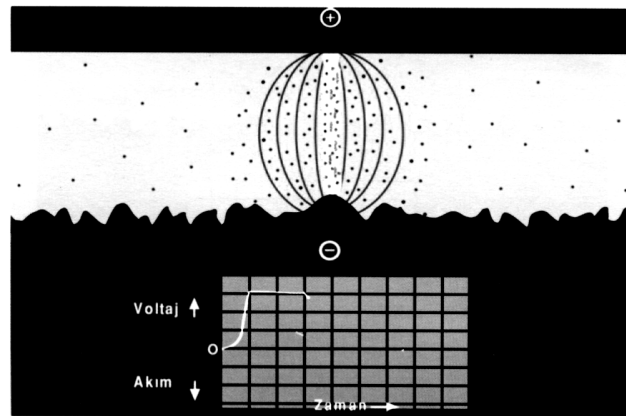
Dielektrik sıvı iyi bir yalıtkan olmalıdır ki yeterli elektriksel potansiyel oluşmadan, iş parçasıyla takım arasında elektriksel akım akmamalıdır. Takım iş parçasına yaklaştırıldıkça elektriksel alan yoğunlaşır. Ancak bu noktada voltaj artmaya başlarken akım hala “0” değerindedir (Şekil 1.2.a).

İyonize parçaların sayısı artar, dielektrik sıvının yalıtkan özelliği kuvvetli elektriksel alanın ortasındaki dar bir kanala doğru azalmaya başlar. Bu noktada voltaj tepe değerine ulaşmıştır ancak akım hala “0” değerindedir (Şekil 1.2.b).



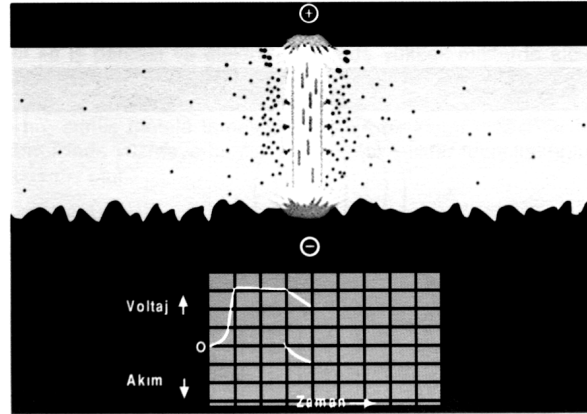
Şekil 1.2 Elektro erozyonla işleme yönteminde malzeme kaldırılması aşamaları

Takımla iş parçası arasında sıvının yalıtımı en aza indiğinde bir akım akmaya başlar ve bu noktada voltaj da düşmeye başlar(Şekil 1.3).



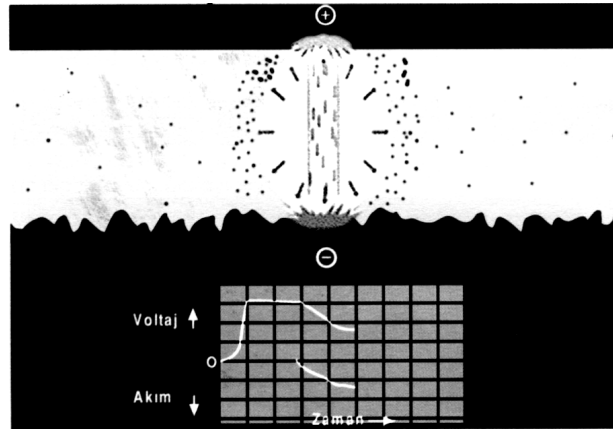
Şekil 1.3 Elektroerozyon yönteminde malzeme kaldırılması aşamaları

Artan akımla beraber bölgedeki ısı da artar. Yüksek ısı, iş parçasının ve takımın bir kısmını buharlaştırır, şekillendirme başlamıştır. Takımla iş parçası arasında bir boşalma kanalı meydana gelir. Bu süreçte voltaj düşüşü devam eder (Şekil 1.4).



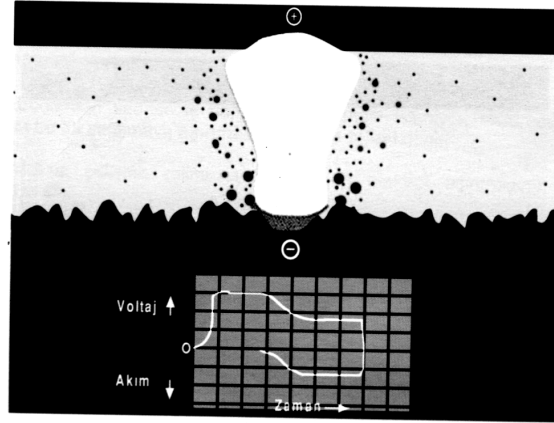
Şekil 1.4 Elektroerozyon yönteminde malzeme kaldırılması aşamaları

Boşalma sırasında akım yükselmeye voltaj ise düşmeye devam eder. Boşalmanın aktif olduğu sürenin sonuna doğru akım ve voltaj sabitlenir. Boşalma kanalı, buharlaşmış metal ve dielektrik sıvıdan oluşmuş çok sıcak bir plazma ile buradan geçen güçlü bir akımdan meydana gelir (Şekil 1.5).



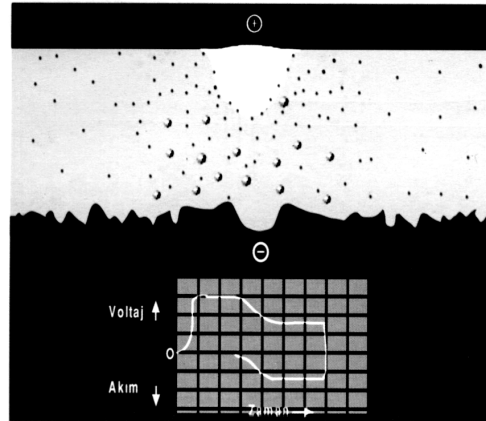
Şekil 1.5 Elektroerozyon yönteminde malzeme kaldırılması aşamaları

Bir sonraki aşamada akım boşalmasının devre dışı olduğu zaman başlar. Akım ve voltaj sıfıra düşer, ısı hızla azalır, iş parçasından kopartılan erimiş metal parçacıkları ve buhar kabarcıkları çöker (Şekil 1.6).



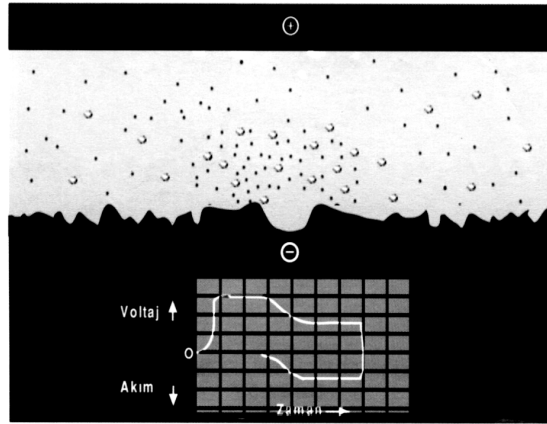
Şekil 1.6 Elektroerozyon yönteminde malzeme kaldırılması aşamaları

Temiz dielektrik sıvının yoğunluğu artar ve iş parçasının yüzeyindeki talaşlar yıkanarak buradan uzaklaştırılır. İşlem süreci olarak bu aşamada halen akım devre dışıdır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7 Elektroerozyon yönteminde malzeme kaldırılması aşamaları

Takımdan ve iş parçasından koparılan malzeme parçacıkları, dielektrik sıvının içerisine dağılırlar. Kalan buhar kabarcıkları ise yüzeye doğru yükselir. Eğer arkın devre dışı kaldığı süre yetersiz olursa talaşlar toplanarak yeni bir kıvılcım oluşturabilirler ve bu takıma ve iş parçasına zarar verebilir. Bu aşama çevrimin sonu olup ardından yeni bir çevrim ve ark oluşumu süreci başlar (Şekil 1.8).



Şekil 1.8 Elektroerozyon yönteminde malzeme kaldırılması aşamaları

Elektro erozyonla işlemenin dezavantajları

- İş parçasından talaş kaldırma miktarı azdır.
- İşlenen metal malzemeler iletken olmalıdır.

Elektro erozyonla işlemenin tercih nedenleri

- Elektriksel iletkenliğe sahip herhangi bir malzeme sertliği dikkate alınmadan işlenebilir. Özellikle aşırı sert dokuya sahip ve geleneksel yollarla işlenmeyen ve sertleştirilmiş karbür malzemelerin işleminde çok değerlidir.
- İşlem, sertleştirilmiş durumda yapılabilir. Bu sebeple sertleştirilme işlemi dolayısı ile meydana gelen deformasyon problemi çözülebilir.
- İş parçası üzerinde kalmış kılavuz ve matkaplar kolaylıkla çıkarılabilir.

- İş parçası ve malzeme çifti arasında kesme kuvveti olmadığından iş parçası içerisinde gerilmeler olmaz.
- Pek çok işler için ikinci bir son işlemi gerektirmez.
- Herhangi bir kesme kuvvetine ihtiyacı yoktur.

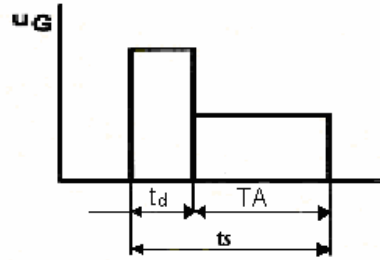
Bu üstünlükleri elde etmek için belirli parametreler dâhilinde işlemin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

1.2. EDM de İşleme Parametreleri

Elektroerozyon'la işlemede iş parçasının istenen kalitede üretilebilmesi ve işlem zamanının kısaltılabilmesi işleme parametrelerinin seçilmesine bağlıdır. Çok sayıdaki bu parametrelerin seçilmesi işlemeyi doğrudan etkiler dolayısıyla iyi anlaşılması gerekir. Aşağıda işleme parametreleri detaylıca anlatılacaktır.

Vurum Süresi t_s : İş parçası ve takım elektrot arasında uygulanan voltaj süresidir (Şekil 1.9). Bu süre t_d ; gecikme süresi ve TA ; deşarj süresi olarak iki kısımdan oluşur. Vurum süresi t_s tezgâh tarafından kontrol edilebilen bir parametredir.

Gecikme Süresi t_d : Voltajın boşluğa uygulanması ile deşarjın ateşlemesi arasında geçen zaman aralığı (Şekil. 1.9). Bu süre de kontrol altında tutulamaz.

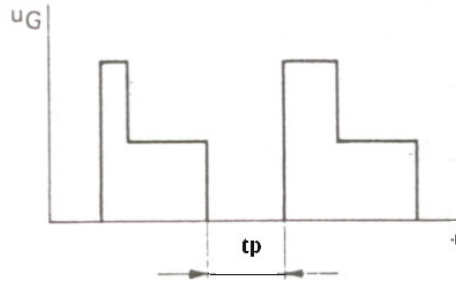


Şekil 1.9 Vurum Süresi

Deşarj süresi TA : Boşluktan akımın geçtiği süredir.

$$t_s = t_a + t_d$$

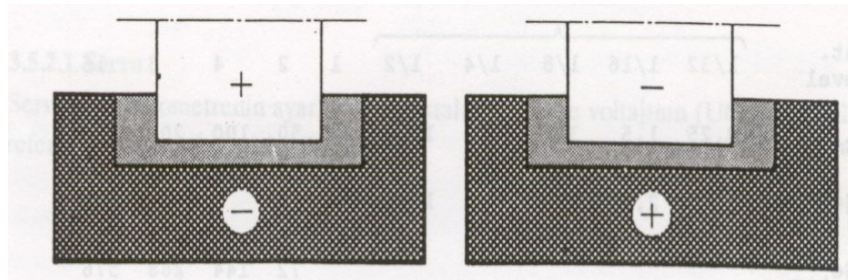
Bekleme Süresi (t_p ; Pause Time): Ardışık vurumlar arasındaki süredir. Bu süre soğuma ve talaşların temizlenmesi için gereklidir (Şekil 1.10) ve ayarlanabilir.



Şekil 1.10 Bekleme Süresi

Dielektrik Sıvı: İçerisinde elektriksel kıvılcım deşarjlarının olduğu iletken olmayan sıvıdır. Elektroerozyon'la işlemede EDM yağı, gazyağı, deiyonize su gibi farklı dielektrik sıvılar kullanılmaktadır.

Polarite: Elektroda bağlı voltaj kutbudur. İş parçası veya takım elektrotun pozitif veya negatif kutuplara bağlanması da prosesi etkiler. (Şekil 1.11)



Şekil 1.11 Kutup Pozisyonu

Güç Seviyesi: Güç seviyesi arttıkça yüzey pürüzlülüğü artarken birim zamanda talaş kaldırma miktarı da artmaktadır. K_w cinsinden ifade edilen bir değerdir esasen güç seviyesi değiştirilerek tepe akımı ayarlanmaktadır.

Çalışma Süresi, Geri Çekme Süresi: Düzenli çalışma için elektrot ile iş parçası arasındaki koparılan talaşın uzaklaştırılması gereklidir. Bunu sağlamak için periyodik olarak çalışmaya ara verilerek elektrot iş parçasından makro düzeyde uzaklaştırılır ve yaklaştırılır. Bu arada dielektrik sıvı pompalanarak temizleme yapılır.

Servo: Elektro erozyon işleminin devam edebilmesi için elektrotlar arası mesafenin ayarlanan bir değerde tutulması gerekir. Bu mesafe gözle veya ölçü aletleri ile kontrol edilemeyecek kadar küçük seviyelerde seyretmektedir. Bundan dolayı bu aralığın kontrolü servo kontrol denilen mekanizma ile yapılmaktadır. Aralığın gerçek değeri sürekli ölçülerek ayarlanan aralık değeriyle karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucuna göre servo mekanizması, gerçek değeri ayarlanan değere yaklaştıracak şekilde elektrotu hareket ettirir.

Temizleme: Dielektrik sıvı elektrotlar arasına püskürtülerek, emilerek veya titreşimle gönderilebilir.

1.3. EDM de Performans Kriterleri

İş parçaları üretilirken üretimin hızlı olması, elektrotun az aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün düşük tutulması istenir. Bu istekler performans kriterleri olarak adlandırılır ve aşağıda açıklanacaktır.

Talaş Kaldırma Miktarı (MRR; Material Removal Rate): İş parçasından birim zamanda kaldırılan talaş hacmi veya kütlesidir. İşlemin hızlı olması için yüksek tutulması gerekir.

Takım Aşınma Miktarı (EWR; Electrode Wear Rate): Birim zamanda takımındaki aşınma hacmidir.

Takım Aşınma Oranı (TWR; Tool Wear Ratio): Elektrot aşınmasının iş parçası talaş kaldırma miktarına oranıdır

$$TWR = EWR / MRR * 100$$

Yüzey Pürüzlülüğü / Surface Roughness Ra: Kivılcımla aşındırılmış yüzeyin pürüzlülüğüdür. Genellikle küçük olması istenir. Ancak bu durumda talaş kaldırma miktarı düşer.

Performans kriterleri birbirlerini etkilerler. Üretilen iş parçasına göre optimum değerlerin elde edilmesi için işleme parametrelerinin seçilmesi gerekir.

Diş hekimliğinde son yıllarda protez materyali olarak eskiden beri kullanılan CrNi, CrCo, yerine ağız sağlığı açısından titanyumun kullanılması yaygınlaşmaktadır. Ancak titanyum oksitlenme ve mekanik dayanım açısından CrNi, CrCo'a göre üstünlükleri olmasına rağmen, işlenebilirliği ve pürüzlendirilmesi açısından da önemli kısıtlamalara sahiptir.

Bu nedenle literatürde titanyum ve alaşımları hakkında çalışmalar devam etmektedir. Selçuk Üniversitesinde titanyum malzemelerle seramik malzemelerin bağlantıları üzerine yapılan çalışmalar 1999 yılından beri devam etmektedir. Çeşitli işleme yöntemlerinin titanyum ve porselen adezyon bağlantılarına etkisi ile ilgili bir çalışma (İnan ve ark. 2005) sonuçlandırılarak yayımlanmıştır. Söz konusu çalışmada EDM parametrelerinin seçimi literatürdeki araştırmalarla sınırlı tutularak belirlenmiştir. Bu durumda EDM ile pürüzlendirmenin geleneksel kumlama yöntemine göre fazla bir avantajı görülememiş, dolayısıyla EDM ile pürüzlendirme işleminin daha derinlemesine araştırılması gereği ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada Ti-porselen bağlantılarında, titanyumu pürüzlendirmede kullanılan EDM işleme parametreleri iki düzeyli deneyler yapılarak etkili ve etkisiz parametreler saptanmış ve etkili parametrelerin etki düzeyleri belirlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Titanyumun Biyolojik Özellikleri

Titanyum mükemmel biyouyumluluğu ile tanınır. Bu özelliği titanyum yüzeylere doku cevabının çok uygun oluşu ve titanyuma alerjik reaksiyonların olmayışı gözlemlerine dayandırılır. Bu uyumluluk klinik tecrübelerle ilave olarak birçok merhem ve kozmetik ürününün yapımında esas malzeme olarak titanyum oksit kullanılması ile de gösterilmiştir (Pohler 2000)

Saf titanyum veya alaşımlarıyla (Ti6Al4V ve Ti13Nb13Zr) kontakta olan dokuların reaksiyonu oldukça ılımlıdır ve kemik ile de uyumluluk sağlarlar.

Hem saf titanyum hem de Ti6Al4V alaşımının oksit dereceleri ve pH seviyelerinin tüm genişliğince mükemmel korozyon direncine sahiptir. Bununla birlikte titanyum pasif halde bile inert değildir. Titanyum iyon salınımı titanyum oksidin kimyasal çözünmesinden kaynaklanır. Buna rağmen düşük çözünme oranı ve titanyum çözünme ürünlerinin kimyasal inertliği kemiğin iyileşmesine ve titanyumla osseointegre olmasına olanak sağlar (O'Brien 1997).

2.2. Titanyum ve Alaşımlarının EDM de İşlenmesi

Titanyum mıknatıslanmaması, ergime sıcaklığının çok yüksek olması, seçilecek elektrotla bağlı olarak üzerinde titanyum oksit veya titanyum karbür tabakası oluşması, dielektrik sıvı yüzeyinde tortu oluşması gibi özellikleri sebebiyle EDM de işlenmesi oldukça zor bir malzemedir. Bu nedenle öncelikle EDM de titanyum işlemeye yönelik literatür taraması yapılarak aşağıda özetlenmiştir.

Saf titanyumun EDM de işlenmesinde dielektrik sıvı olarak saf su kullanılmasının hem titanyum oksit oluşumu için iyi sonuçlar verdiğini hem de yüzeyde oluşacak tortuyu ortadan kaldırmak için üre karışımının uygun olacağını

belirtmektedir (Yan ve ark. 2004) Ayrıca yüzeydeki nitrojen oluşumunu da kalitatif olarak değerlendirmişlerdir.

Titanyumun işlenmesinde dielektrik sıvı olarak genellikle saf su kullanılmaktadır. Erden ve Temel (1978), bakır elektrot ve çelik iş parçası ile yaptıkları deneysel çalışmada dielektrik sıvı olarak saf su, çeşme suyu, tuzlu ve gliserinli suyun işleme hızı ve yüzey pürüzlülüğü açısından gazyağına göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

LEE ve LI (2001) ve Hocheng ve ark. (1997), yaptıkları çalışmalarında boşalım akımı arttırıldığında elektrot aşınma hızı arttığını gözlemlemişlerdir. Bunun sebebi, boşalım akımının artışı ile artan boşalım enerjisinin iş parçası ve elektrot yüzeyinden daha fazla malzeme eritmesi ve buharlaştırmasıdır.

Jilani ve Pandey (1984) dielektrik sıvı olarak saf su, çeşme suyu ve bu ikisinin karışımını bakır ve pirinç elektrotlar kullanarak çeşitli değerlerde boşalım akımı ve vurum süresi aralıklarında incelemişlerdir. Saf su ve çeşme suyu kullanıldığında bakır elektrot pirinç elektrottan daha düşük R_{maks} (maksimum tepelik yükseklik pürüzlülüğü) değerleri vermiştir. $R_{maks} = 40-60 \mu m$ aralığı için çeşme suyunun gazyağına ve saf suya göre daha yüksek işleme hızları verdiği bulunmuştur. Her iki tip elektrot ve akım koşullarında vurum süresi arttığında R_{maks} değerleri artmıştır.

Özgedik ve Coğun'un (2003) yaptığı çalışmada; elektrot aşınma hızı, artan ark süresi ile önce artmış, ancak ark süresi aralığında (50-100 μs) tüm dielektrik uygulama koşulları için artan ark süresi ile azalmıştır.

2.3. Titanyum-porselen bağlantılarında adezyon kuvvetinin ölçülmesi

Hammad ve Talic'e (1996) ve Sadeq ve ark. (2003) göre sayısız test yöntemi mevcut olmasına rağmen metal-porselen sisteminin bağlanma dayanıklılığını doğru ölçmek için universal olarak kabul edilmiş bir dizayn yoktur. Bagby ve ark. (1990), Yılmaz ve Dinçer (1999)'de çalışmalarında bağlantı dayanıklılık testleri, uygulanan gerilim direnci ve artık gerilmeleri ölçmeye ait metotları belirtmişlerdir. Bir metal-

porselen bağlantı testi nicel, tekrarlanabilir ve uygulaması kolay olmalıdır (Lenz ve ark 1995, Pröbster ve ark 1996).

Güvenilir test dizaynları, minimal deneysel değişkenler ve metal-porselen ara yüzeyinde çok az kalıcı gerilme olanlardır. Ancak, metal ve porselenin ısı genleşme katsayıları arasındaki fark nedeniyle ara yüzeyde kalıcı gerilmeler kaçınılmazdır.

Metal alt yapı ve porselenlerin elastikiyet modülündeki farklılıklar da test sonuçlarının yorumlanmasını zorlaştırır. Bu problemler farklı metal porselen sistemlerinin doğrudan karşılaştırılmasını imkansızlaştırır (Chung ve ark 1997).

Metal-porselen bağlantısının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan test yöntemleri şunlardır:

1. 3-nokta eğme testi (ISO 9693;1999)
2. 4-nokta eğme testi (Dérand ve Herø 1992, Dérand 1995, Wang ve ark 1998, Wang ve ark 1999)
3. Makaslama testi (Stannard ve ark 1990, Bondioli ve Bottino 2004).
4. SEM/EDS Si k α x-ray (scanning electron microscopy/enerji dispersive x-ray spectroscopy analysis of the characteristic x-ray of silicon) ile kombine edilmiş biaxial flexural, sabit strain testi (Sadeq ve ark 2003, Lee ve ark 2004).

2.4. EDM’de İşleme Parametrelerinin Tespit Yöntemleri

EDM de performans kriterlerini değiştirmek için işleme parametrelerinin seçilmesi gerekir. Yukarıda da belirtildiği gibi birçok işleme parametresi değiştirilerek hedeflenen performans kriterlerine ulaşılabilir. İşleme parametrelerinin deneme yanılma metoduyla bulunması veya sadece tecrübeye dayalı olarak seçilmeleri oldukça zor ve sıhhatli bir çözüm değildir. Bu nedenle daha kısa zamanda

daha güvenilir seçimler yapabilmek için aşağıda açıklanacak parametre tespit yöntemleri kullanılmaktadır.

2.4.1. Parametre Seviyelerinin Tümünü Kapsayacak Deney Yapma

Hedeflenen performans kriterlerinin elde edilmesi için kullanılabilecek yöntemlerden en basiti prosesi etkileyecek tüm parametreleri ele alıp, her bir parametre seviyesini tek tek sabit tutup diğer parametrelerin teker teker değiştirilmesi ile yapılacak deneylerde ilgilenilen işleme kriterinin ölçülmesi ile sonuca varılmaya çalışılır. Örneğin prosesi etkileyeceği düşünülen ve kullanılan tezgaha ait beş güç seviyesi, on ark süresi, on bekleme süresi, iki farklı kutuplama, üç farklı dielektrik sıvı cinsi olsa diğer işleme parametrelerinin prosesi etkilemeyeceği kabul edilse bile $5 \times 10 \times 10 \times 2 \times 3 = 3000$ farklı deney yapılması gerekir. Bu deneylerin en az üç tekrarlı yapılacağı da düşünülürse bu yöntemin çok pratik olmayacağı ortaya çıkar. Kaldı ki sayılan bu işleme parametrelerine ilave edilebilecek ve prosesi ikinci dereceden de olsa etkileyebilecek diğer parametreler de göz ardı edilemez.

2.4.2. Deney Tasarımı Metodu Taguchi Yöntemi

Deney tasarımı, üretim prosesinin iyileştirilmesi için mühendislik dünyasında önemli bir araçtır. Bu sayede, proses veriminde iyileşme, varyanslarda azalma ve istenilen değere daha yakın üretim yapma olasılığı artar.

Deney tasarımı ilk olarak, 1920'li yıllarda, istatistik biliminin kurucularından kabul edilen İngiliz İstatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında yapılan araştırmalarda kullanılmış (Şirvancı 1997) ve aynı bilim adamı tarafından geliştirilmiştir. Ayrıca, Fisher, deney verilerinin analizi için klasik bir yöntem olan ANOVA (varyans analizi) yöntemini de geliştirmiştir. Bu yöntem kısa süre içinde Amerika'da benimsenmiş ve uygulanmıştır. Bu yöntemin; Amerika'da, tarım

sektöründe, yaygın bir şekilde kullanılmasıyla Amerikan tarım sektörü o yıllarda hızlı bir gelişme kaydetmiştir. Bu çalışma Amerika'nın tarım alanında lider konumuna gelmesinde büyük bir katkı sağlamıştır.

Tarım alanında, deney tasarımı; çeşitli gübre ve dozlarının, iklim koşulları ve sulama düzeylerinin çeşitli ürünlerde etkilerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Deney tasarımı daha sonra kimya ve ilaç sektörlerinde de uygulanmıştır. Fakat, imalat sektöründeki uygulamaları 1970'lere kadar son derece kısıtlı kalmıştır. Deney tasarımı o günlerde Japonya'da Profesör Geniçi Taguchi önderliğinde geniş ve etkili bir şekilde kullanılmaktaydı. Taguchi deney tasarımına büyük yenilikler getirmiş adeta deney tasarımını tekrar dizayn etmiştir. Deney tasarımının imalat sektöründe de kolayca uygulanabilmesi için yeni düzenlemeler getirmiştir. Amerika'da deney tasarımının imalat sektöründe uygulamaları, ancak 1980'lerin başında Amerikalıların Japon mucizesini araştırırken deney tasarımını yeniden keşfetmeleriyle başlamıştır (Şirvancı 1997).

Taguchi Yöntemi: Genellikle bir ürüne etki eden çok sayıda değişken (parametre) mevcuttur. Bu değişkenlerin optimum düzeyini bulmak ise oldukça zor olacaktır. Çünkü bu çok sayıda değişkenin kendi aralarında da etkileşimleri (bir değişkenin yanıt değişkenine olan etkisi, diğer bir değişkenin hangi seviyede olduğuna bağlı ise bu iki değişken arasında etkileşim vardır denir) olacaktır ve bu da problemi daha da zorlaştıracaktır. Kontrol edilebilen ve edilemeyen değişkenlerin, ürünün kalitesine etkilerinin birlikte belirlenebildiği en etkin yöntem deney tasarımı yöntemidir (Şirvancı 1997). Deney tasarımı sayesinde, çok sayıda değişkenin ürüne olan etkisinin araştırılması daha az maliyetle ve daha kısa sürede yapılacaktır.

Taguchi metodu, üründe ve proseste, değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu seçerek, ürün ve prosesteki değişkenliği en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım metodudur (Canıyılmaz 2003). Bu metot; ürünlerin kalitesinin iyileşmesinde etkili olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkanını vermektedir (Canıyılmaz 2003).

Taguchi’ye göre tek performans kriterli iki düzeyli deney tasarımı:

Performans kriteri diğer bir deyişle kalite değişkeni; ürünün kalite özelliklerini temsil eden ölçülebilir (sayısal ya da nicel) bir büyüklüğü ifade eder (Şirvancı 1997). Bunun için faktör düzeyleri, performans kriterinin istenilen hale getirilebilmesi için uygun olarak seçilmeye çalışılır.

Seviye diğer bir deyişle düzey; deney faktörlerinin sahip olduğu konum aralıklarına verilen isimdir.

Taguchi metodu yalnızca iki düzeye sahip deneyler için kullanılabilir (Şirvancı 1997). Eğer performans kriteri ve seviyeler çok çeşitlilik gösteriyorsa, o zaman diğer metotların kullanılması, daha iyi sonuçlar alınması açısından gereklidir. Taguchi metodu tekli işleme parametrelerinin dizaynı da daha çok tercih edildiğini belirtmişlerdir (Mortgomery 1991).

Deneye etki eden faktörlerin tüm kombinezon denemelerinin de yapıldığı deneylere **tam eşlendirmeli deneyler** denir (Şirvancı 1997). Örneğin deneyde A, B ve C olan üç faktör varsa, bunların etkisini ortaya çıkarabilmek için tam eşlendirmeli olarak $a.b.c = 2 \times 2 \times 2 = 8$ kombinezonu oluşur ve bu sayıda deney yapılması gerekir. Bu kombinezonun tüm elamanları; “-” alt değeri belirtmek ve “+” üst değeri belirtmek üzere; (+,+,+), (+,+,-), (+,-,+), (+,-,-), (-,+,+), (-,+,-), (-,-,+), (-,-,-) şeklinde gösterilebilir. Kombinezonun 8 elemanı olduğu için bu tür deneylere L8 deneyleri denmektedir. Aynı şekilde 4 faktörlü tam eşlendirmeli ve iki düzeyli deneylere de 16 kombinezonu olduğu için L16 deneyleri denmektedir. Faktör sayısının daha fazla olduğu durumlarda kesirli iki düzeyli deneyler kullanılabilir.

Tam eşlendirmeli deneylerde, kombinezonların tümü kullanılır. Her birinden en az bir gözlem alınır. Tekrar sayısı r birden fazla ise, her kombinezon r sayısı kadar tekrarlanır ve o sayıda gözlem alınır. Bütün kombinezonların uygulanmadığı, ancak kombinezonların belli bir bölümünün uygulandığı deneylere **kesirli deneyler** denir (Şirvancı, M., 1997).

L16 DİZAYNI: Bu dizaynda faktör sayısı en az dördür. L16 matrisinin 15 kolonu vardır; dolayısıyla, 15 etki birbirinden bağımsız olarak hesap edilebilmektedir.

$$n=2^k 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16 \text{ ve } n-1=15$$

L16 dizaynında, hesap edilebilen 15 etkiden yalnızca 4'ü ana etki, diğerleri etkileşimdir. Faktör sayısı arttıkça, bu fark etkileşimleri sürekli büyüyecektir.

Faktör sayısı 7 olsa idi;

$N=2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 128$ 'dir. Bu durumda $n=128-1=127$ farklı etki hesap edilebilir. Bu etkileşimlerin 7'si ana, 120 tanesi ise etkileşimdir.

Özet olarak böyle bir deneyde, toplam maliyetin büyük bölümünün etkileşimler için harcandığı açıktır. Yedi faktörlü deneyde, 120 etkileşimin 99'u ikili etkileşimdir. Bunların ihmal edilmesi ile deneyin boyutunu küçültmek ve böylece, deneyin maliyetinde önemli derecede ekonomiklik sağlamak mümkündür.

Kesirli deneyleri kullanmaktaki amaç, ikili ve daha yüksek etkileşimli deneyleri ihmal ederek, deneyleri daha ucuza mal etmektir. Kesirli deneyler, tam eşlendirme için gereken gözlem sayısı n'nin belli bir oranını içerir. Örneğin, 7 faktörlü ve $n=128$ gözlem gerektiren deney, kesirli deney olarak tasarımlanırsa, 1/2 kesiri için $n=64$, 1/4 için $n=32$, 1/8 için $n=16$, aşırı durumda, 1/16 için $n=8$ gözlem gerektirir. Bu kesirli deneylerin her birinde, $n-1$ sayıda etki hesap edilebilir.

Bu çalışmada kesirli iki düzeyli deneyler tasarlanacaktır. Maliyet engelinin aşılmasında büyük ölçüde yardımcı olmaktadır. Deney tasarımı uygulaması için temel basamaklar (Şirvancı 1997).

1. **Kalite değişkeninin tanımı:** Bunun için öncelikle deney sonunda çıktı olarak ölçülecek ve ürünün kalite özelliklerini temsil eden kalite değişkeni veya değişkenlerini tanımlamak gerekir. Kalite değişkenlerinin ölçülebilir (sayısal ya da nicel) olması gerekir. Ürünün boya veya yüzey parlaklığı gibi kozmetik ya da nitel özelliklerini temsil eden değişkenler için, birkaç kişilik bir jüri oluşturarak ürünün puanlanması önerilir.
2. **Etkili faktörler:** Kalite değişken (ler) ini etkilemesi muhtemel tüm faktörlerin bir listesi çıkarılır. Bu listenin tam ve doğru olarak oluşturulabilmesi için, ürüne ve sürece ilişkin bir iş akış çizelgesi

hazırlanması ve ilgili kişi ve bölümlerin görüşlerinin alınması çok yararlı olur.

3. **Faktörlerin sınıflandırılması:** Faktörlerden hangilerinin deneyde inceleneceğine karar verilir. Deneyin içeriği faktörlerin kontrol edilebilir, yani değerleri değiştirilebilir olması gerekir. Kontrol edilebilen faktörlerin değerleri birbirlerinden bağımsız olarak değiştirilebilmelidir. Deneye dâhil edilemeyen faktörlerin de neden dâhil edilemediklerini belirtmek gerekir.
4. **Faktörlerin birbiriyle olan etkileşimleri:** Seçilen faktörlerin hangilerinin arasında etkileşimlerin olası olduğuna ve deneyde inceleneceğine, takım olarak karar verilmesi gereklidir.
5. **Hesap tablosu seçimi:** Deneye dâhil edilen faktör ve incelenecek etkileşim sayısına bakarak, L8 veya L16 gibi bir deney dizaynı seçilmesi gerekir. Faktör sayısı dizayn matrisinin oluşturulmasında kriterdir. Eğer $k=4$ 'den büyük ise L16 dizayn matrisi seçilir, aksi halde L8 dizayn matrisi seçilir.
6. **Uygun faktör değerleri:** Her faktör için düzey değerlerinin belirlenmesi gerekir. Burada alt ve üst düzey arasındaki aralık çok küçük olursa, faktörün etkisi görülmeyebilir. Aralık çok büyük olursa, faktör deneye hâkim duruma gelir ve diğer faktörlerin etkilerinin saptanması güçleşebilir. Deneye dâhil edilmeyen faktörlerin değerleri, deney sırasında sabit kalacaktır.
7. **Faktörlerin kolonlara atanması:** Faktörler Taguchinin önerdiği ve farklı parametre etkileşimlerinin kolonlara atanmasında kullanılan ve EK-1'de verilen Eşad tablolarından yararlanılarak, L8 veya L16 dizayn matrisinin kolonlarına atanmalıdır.
8. **Düzy kombinezonlarının belirlenmesi:** Faktörlerin atandığı dizayn matrisini kullanarak, uygulanacak faktör düzy kombinezonlarının belirlenir ve reçete tablosu düzenlenir.
9. **Deneyin uygulama sırasının rastsallaştırılması:** Bir rastsallaştırma yöntemi (torbadan sayı çekme gibi) aracılığı ile deneyin uygulama sırasını, mümkün olduğu kadar rastsallaştırılması gereklidir.

- 10. Deneye ait uygulama planı (personel, zaman, ölçme yöntemi):** Deneyin uygulama planının (personel seçimi, zaman, ölçme yöntemi gibi) yapılması gereklidir.
- 11. Kalite değişkenin hesaplanması:** Deneyi uygulayarak kalite değişkeni Y'nin değerleri hesaplanır (ISO 9693).
- 12. Hesap tablolarının doldurulması:** Hesap tabloları doldurulur ve etki değerleri hesaplanır.
- 13. Normal olasılık grafiğinin çizilmesi:** Normal olasılık grafiği (NOG) oluşturulur ve hangi etkilerin istatistiksel açıdan önemli olduğuna karar verilir.
- 14. Varsa ilgili etkileşimlere ait grafikler:** Eğer normal olasılık grafiğinde önemli etkileşimler bulunursa, etkileşim grafikleri çizilerek bunlar yorumlanır.
- 15. Optimal ürün ve proses düzeylerinin belirlenmesi:** Önemli etki ve etkileşimlere bağlı olarak, en uygun ürün ve proses düzeyleri belirlenir. Kalite değişkeni Y'nin beklenen değeri hesaplanır.
- 16. Optimal düzeyleri kullanarak sonuçların doğrulanması için yeni deneyin yapılması:** En son belirlenen düzeyleri baz alarak deneyler yapılır ve sonuçlar kontrol edilir.

2.4.3. Tek Kıvılcım Metodu

Bu metot da işleme parametrelerinin, performans kriterleriyle olan ilişkilerini belirlemek için kullanılır. İlk olarak Mukoyama tarafından kullanılan bu yöntemde, enerji ile krater büyüklüğü arasındaki ilişkileri bulmak için deney yapılmıştır. Tek kıvılcım ile talaş kaldırma miktarının sürekli kıvılcıma nazaran daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Vurum sayısının kontrolü ateşleme sinyalleri ile belirlenmektedir. Krater büyüklüğü SEM yöntemi ile ölçülmektedir. Tek kıvılcım metodu teorik ve pratik olarak incelenir ve sonuçlar karşılaştırılır.

Talaş kaldırma modeli krater formunun büyüklüğü incelenerek belirlenmektedir. Kraterlerin büyüklüğü ergime noktası üzerinde ısıtılan malzemedeki ısı geçişlerine de bağlıdır. Bu nedenle teorik analiz yapmak için aşağıdaki varsayımlarla yapılmıştır.

- Isı geçişi dar bir bölgede gerçekleşmektedir.
- Yüzey yalıtılmış ve bütün elektrik enerjisi işlenecek parçaya aktarılmıştır.
- Radyasyon, iletim ve faz değişimleri de ihmal edilmiştir.

2.4.4. Grey Yöntemi

Taguçi Metodu deneylerin analizi ve tasarımında kullanılır. Bu yöntem hem zaman açısından hem de düşük maliyetler açısından tercih edilen en yaygın yöntemlerden biridir. Fakat Taguçi metodu tek seviyeli deneylerin tasarımında işleme parametrelerinin dizaynının da daha çok tercih edilmektedir. Çoklu işleme parametreleri tekli olanlara nazaran daha karmaşıktır. Bunun için orthogonal array ile grey ilişkilendirme ismi verilen grey yöntemi kullanılmaktadır.

Bu metod; 1982 yılında Deng tarafından, şüpheli bilgiler, ilişkileri zayıf olan parametreler için geliştirilmiştir. Bu yöntem çoklu işleme parametrelerinin etkilerini çözümlmek için geliştirilmiştir.

Temelde klasik performans kriterlerinin tasarımı karmaşıktır ve kullanışlı değildir (Fisher 1925). İşleme parametrelerinin çok oluşu deney sayısının da artmasına neden olur, böylece çözüm zorlaşır. Fakat bu sorun özel bir tasarım olan grey yöntemi ile deney sayısını azaltarak çözülür.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada amaca ulaşmak için birbirlerini tamamlayan üç farklı metottan söz edilebilir. Bunlar, EDM işleme parametrelerinin performans kriterlerine etkilerinin belirlenmesi, titanyum-porselen bağlantılarının ölçülmesi ve istenen performans kriterini sağlayacak parametrelerin seçilmesi başlıkları altında aşağıda detaylıca incelenecektir.

3.1. İşleme Parametrelerinin Performans Kriterine Etkileri

Bu çalışmada Ti-porselen bağlantısındaki bağlantı kuvveti tek performans kriteri olarak ele alınmıştır. Elektrot aşınması, talaş kaldırma miktarı ve yüzey pürüzlülüğü gibi performans kriterleri üzerinde durulmamıştır. Çünkü öncelikle Ti-porselen bağlantısındaki adezyon kuvvetini en iyi yapan parametreler saptanmak istenmiştir. Bu performans kriterini etkileyecek EDM parametreleri güç seviyesi, ark süresi, dielektrik sıvı, polarite ve elektrot cinsi olarak sıralanabilir. Bu parametrelerin etkili olma nedenleri şöyle sıralanabilir.

- Güç ve ark süresi yüzey pürüzlülüğünü etkiledikleri için bağlantı kuvvetini etkileyebilirler
- Titanyumu EDM’de işlemede dielektrik sıvı olarak gazyağı ve saf su kullanılmaktadır. Gazyağı içerisindeki hidrokarbonlar işlenen yüzeyde titanyum karbür oluştururlar. Saf su ise titanyum oksit oluşmasına neden olur. Bu da bağlantı kuvvetini etkileyebilir.
- Polarite genellikle pozitif olarak alınmaktadır. Elektrot aşınmasının istenmediği durumlarda negatif olarak seçilmektedir. İlerideki çalışmalara da ışık tutması açısından polarite de parametre olarak ele alınmıştır.
- EDM’de genellikle elektrot olarak bakır ve grafit kullanılmaktadır. Grafitin yüzeyde titanyum karbür oluşturacağı dolayısıyla bağlantıyı etkileyeceği düşünülmektedir.

- Kumlama işlemi esasen EDM ile ilgili bir parametre değildir. Ancak yazarların daha önceki çalışmalarında bu işlemin de bağlantı kuvvetini etkilediği görülmüştür (İnan ve ark. 2005). Dolayısıyla kumlama da bir parametre olarak ele alınmıştır.

Elektroerozyonla işleme yönteminde doğrudan etkili bir işleme parametresi de bekleme süresidir. Ancak bu parametre yüzey pürüzlülüğünü etkilemediği için (Halkacı ve ark. 2002) etkili olmayacağı düşünülmüştür ve üretici firmanın diğer parametrelere bağlı olarak önerdiği değerlerde tutulmuştur. Ayrıca üretilecek iş parçasının şekline de bağlı olarak değişebilen ikinci dereceden etkili olabilecek parametrelerden servo, hassasiyet, ark koruma, yıkama, di elektrik sıvı basıncı çalışma ve geri çekme süresi sabit tutulmuştur.

3.2. Titanyum-Porselen Bağlantıları

Protetik dişhekimliğinde uygulamalar için titanyum teknolojisini geliştirme çabaları metalik yapının preoksidasyonunun metal ve porselen arasında güçlü bağlantı için gerekli olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte titanyum-porselen sistemi için yüksek bağlantı dayanımı, yüksek vakum altında porselenin fırınlanması ile elde edilebilir. Ayrıca, konvansiyonel metal-porselen bağlantısı gerekli reaksiyonları sağlamak için yüksek ısı gerektirirken, titanyum-porselen bağlantısının başarısı, düşük ısılar kullanılarak reaksiyonun geciktirilmesi ile sağlanır. Günümüzde uygun titanyum-porselen sistemleri mevcut olmasına rağmen, titanyum-porselen bağlantısı ile ilgili problemler halen tam olarak çözülmüş değildir (Acar 2005).

Metal-porselen bağlantı dayanıklılığını 3 temel faktör belirler: Ara yüzeylerin kimyasal yapısı, ara yüzeylerin morfolojileri, mekanik gerilmeler (Acar 2005). Bu etkiler aşağıda açıklanacaktır.

3.2.1. Titanyum-porselen bağlantı sistemine ara yüzey kimyasının etkisi

Dental porselen-metal bağlantısı genellikle, farklı materyaller arasında kimyasal reaksiyon oluşması muhtemel sıcaklıklarda olur. Bu sebeple porselen ve metalin uyumlu ısıl genleşme katsayılarına ek olarak, mikro yapılarının ve reaksiyon

alanlarının kompozisyonlarının bilinmesi metal-porselen sistemlerinin en iyi şekilde kullanımı ve bunların üretimi için büyük önem taşır (Acar 2005).

SiO₂-esaslı dental porselenler ve ticari saf titanyum, 720-750 °C'lik pişirme sıcaklığında belirli sürede temastadır. Titanyumdan oksit tabakaları ayrılır ve takibinde titanyum içinde elementlerin çözünmesi meydana gelir. Oluşan kimyasal reaksiyonlar sistemin termodinamik sıcaklık-kompozisyon grafikleri ile yakından ilişkilidir. α -titanyum içinde oksijenin maksimum çözünebilirliği 700 °C' nin üstünde yaklaşık % 33'tür, fakat Si'un çözünebilirliği %1'den daha azdır (Acar 2005). Bu nedenle titanyum karbür ve titanyum oksit bileşiklerinin bağlantı kuvvetini etkiledikleri düşünülerek EDM parametreleri buna göre belirlenmiştir.

3.2.2. Titanyum-porselen bağlantı sistemine kalıcı gerilmelerin etkileri

Porselenlerin cam geçiş ısısından (Tg), oda ısısına soğuması esnasında oluşan kalıcı gerilmeler metal ve porselen arasındaki ısı büzülme farklılıklarına, porselenlerin cam geçiş sıcaklığına, örneklerin geometrisine ve kullanılan materyallerin elastiklik modülerine bağlıdır. Soğuma oranı ve fırınlama sayısı gibi değişkenler de etkilidir. Ancak, bazı konvansiyonel metal-porselen çalışmalarında, tekrarlayan fırınlamaların makaslama bağlantı dayanıklılığına anlamlı bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir. Isıl gerilmelerin büyüklüğünü belirtmek ve seviyelerini değerlendirmek için, bu gerilmelerin olduğu sıcaklık değerlerinin bilinmesi gerekir. Üst sıcaklık için makul bir alternatif opak veya dentinin Tg değeridir. Bu sıcaklıkların üstünde porselendeki gerilme neredeyse sıfırdır (Acar 2005).

3.2.3. Titanyum-porselen bağlantı sistemine yüzey yapısının etkisi

Titanyum yüzeyinin morfolojisi bağlantıların mekanik bütünlüğünü etkiler. Porselenler yapısal olarak kumlanmış yüzeye elektroliz edilmiş yüzeyden daha iyi bağlanır. Kumlanmış örneklerle ilgili olarak, hem metalin mikroskobik kilitlenmesi hem de gerilme vektörlerinin ara yüzeyde dağılımı, bağlantıların mekanik dayanıklılığını artırır. Ek olarak, kumlanmış örneklerin yüzey yapısı, bağlantıların dayanıklılığını arttıran devamlı ve düzgün reaksiyon tabakalarının oluşumunu önleyebilir. Yüksek paladyum içeren alaşımlarda, kumlamanın ardından

oksidasyonun, metalografik parlatmanın ardından yapılan oksidasyondan daha farklı bir oksit yapısı oluşturduğu rapor edilmiştir. Bu, metal-porselen bağlantılarının dayanıklılığını etkileyebilir. Konvansiyonel metal alaşımları için metal oksitlerinin alaşıma yapışmasının; en çok pürüzlü alaşım yüzeyleri olmak üzere, metalin yüzey özelliklerine bağlı olduğu bulunmuştur (Acar 2005).

Bu nedenle yüzey pürüzlülüğünü etkileyen EDM parametreleri ile kumlama da bir parametre olarak ele alınmıştır.

3.3. 3-Nokta Eğme Testi

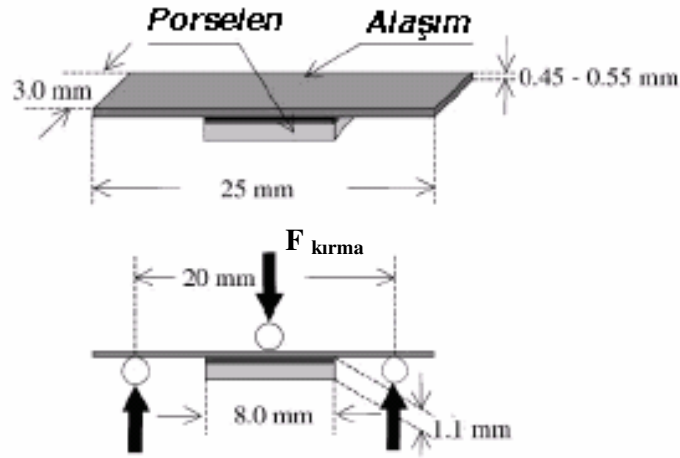
Bu çalışmada kullanılan ve ISO 9693:1999 Standardı ile belirlenen 3-Nokta Eğme Testi dişhekimliği materyallerindeki bağlantı kuvvetini belirlemek için sıkça kullanılan bir test metodudur (McCabe 1999).

3-nokta eğme testi örneklerinde gerilme dağılımı sonlu eleman metotları ile analiz edilmiş (Lenz ve ark 1995) ve metodun iyi olduğu bildirilmiştir. Bu metot alaşım ve seramiğin elastisite modülünün bir fonksiyonu olarak metal-porselen ara yüzeyindeki ortalama makaslama bağlantı dayanıklılığını hesaplar. Metot, metal alt yapı ve seramiğin boyutlarını da hesaba katar (Acar 2005).

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi 0.5 ± 0.05 mm kalınlığında 3 ± 0.1 mm genişliğinde ve 25 ± 1 mm uzunluğunda işlenmiş ve porselen kaplanmış titanyum malzeme destek noktaları arası mesafe 20 mm olarak ayarlandıktan sonra örneklerin tam ortasından olacak şekilde kuvvet uygulanır. Porselenin metalden ayrıldığı andaki kayma gerilmesi değeri hesaplanır.

Metal-porselen bağlantı kuvveti değeri (τ_b), her örnekten tespit edilen porselenin maksimum kırılma kuvveti (F) ile kullanılan metal örneğin kalınlığı (d_M) ve elastisite modülüne (E_M) göre hesaplanan k sabitinin (k) çarpımı ile saptanır ve metal-porselen kopma dayanıklılığının 25 MPa’dan fazla olmalıdır (ISO 9693:1999).

$$\tau_b = k \times F \text{ (N/ mm}^{-2}\text{)}$$



Şekil 3.1 3-Nokta eğme testi

3.4. Kumlama

Kumlama işlemi yüzey enerjisini ve ıslanabilirliği etkileyen fizikokimyasal değişiklikler olarak tanımlanabilir. Titanyum alaşımlarının kumlanması sadece titanyum yüzeyindeki düzensizlikleri değil aynı zamanda titanyum yüzeyinde oluşan oksit filmleri de kaldırdığından bağlantı dayanıklılığını etkileyebilir. Alümina parçacıkları ile dental alaşımların kumlanması genellikle alaşım yüzeylerini temizlemek için ve mikroretansiyonu ve yüzey alanını arttırmak için kullanılır. Kumlama metal oksit veya debrisin kaldırılması ve bağlanmayı geliştirmek için kullanılan bir teknik olmasına rağmen, kumlamanın neden olduğu kontaminasyon ve distorsiyon dezavantaj olabilir (Acar 2005).

Alümina parçacıklarının mevcudiyeti yerel çatlamaya neden olarak veya olası gerilme yığılma noktaları gibi davranarak, porselenin metale mekanik bağlanmasını zayıflatabilir (Papadopoulos ve ark 1999). Kumlama prosedürleri titanyum yüzeyinde alüminanın artışına neden olmanın yanı sıra titanyumun hacim kaybına da yol açar.

Restorasyonların distorsiyonunu azaltmak için küçük alümina partikülleri, düşük hava basıncı ve kısa kumlama periyodu ile kumlama önerilmiştir. Alümina

parçacık boyutu arttıkça titanyum yüzeyinin kontaminasyonunun azaldığı, yüzey pürüzlülüğünün arttığı bildirilmiştir (Papadopoulos ve ark 1999).

3.5. Taguchi yöntemine göre tek performans kriterli iki seviyeli kesirli deney tasarımı

Daha önce belirtildiği gibi Ti-porselen bağlantı kuvvetini etkileyen bir çok EDM işleme parametresi vardır. Bu parametrelerden güç, ark süresi ve kumlama da çok düzeyli parametrelerdir. Ayrıca bağlantı kuvveti performans kriterine ek olarak elektrot aşınması ve iş parçası talaş kaldırma miktarı gibi performans kriterleri de irdelenebilir. Ancak literatürde, zaman ve maliyet açısından, çok performans kriterli ve çok düzeyli deneylerin yapılmasından önce iki düzeyli deneylerin yapılması önerilmektedir (Ross 1996). Böylece önce etkili olan parametreler saptanır daha sonra bu parametrelere ait çoklu düzeyler ele alınabilir. Bu çalışmada da bu nedenle Taguchi'nin iki düzeyli tek performans kriterli deney tasarımı uygulanmıştır.

Bu deneyde kalite değişkeni olarak da tanımlanan performans kriteri Ti-porselen bağlantı kuvvetidir. Üç nokta deneyinden elde edilen kayma gerilmesi ölçülerek, bu değeri en büyük yapan parametreler saptanacaktır. Dolayısıyla deney **en büyük en iyi** sınıfına giren deney türündedir.

3.5.1. Faktörlerin sınıflandırılması

İşleme parametrelerinin performans kriterine etkileri başlığı altında açıklandığı gibi, deneyde performans kriterini etkileyebilecek tüm faktörler Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Kullanılan tezgahta ark süresi için 10 seviye, güç için 5 seviye bulunmaktadır. Diğer faktörler iki seviyelidir.

Bekleme süresi yüzey pürüzlülüğünü etkilemediği için (Halkacı ve Erden 2002), çalışma süresi, elektrotun geri çekme süresi gibi makro düzeyde önemli olan faktörlerin, önceki çalışmalar göz önüne alınarak deney için etkili olmadıklarına karar verildi.

Çizelge 3.1 Etkili olabilecek tüm faktörler ve faktör düzeyleri

	Faktör adı	Faktör seviyeleri	Açıklama
A	Polarite	+, -	
B	Güç	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16	5 Seviye
C	Ark Süresi	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	10 Seviye
D	Kumlama	Var, Yok	Alümina parçacıkları
E	Dielektrik	Saf su, Gazyağı	
F	Elektrot Cinsi	Grafit, Bakır	

Ayrıca kullanılan dielektrik sıvının basıncı, debisi ve ortam sıcaklığı çok hassas olarak kontrol edilemediğinden, bu faktörler deneyde kontrol edilemeyen faktörler sınıfında değerlendirilmiştir.

3.5.2. Faktörlerin birbiriyle olan etkileşimleri

EDM le işlenmiş saf titanyum malzemenin yüzey pürüzlülüğünün ve topografyasının bağlantı kuvveti için önemli bir etkiye sahip olduğu öngörülmektedir. Ancak güç, ark süresi ve kumlama yüzey pürüzlülüğünü etkiledikleri için bu faktörler arasında bir etkileşim bulunabilir.

Ayrıca numune yüzeyinde oluşan titanyum bileşikleri de bağlantı kuvvetini etkilemektedir. Hem dielektrik sıvı olarak gazyağı hem de elektrot olarak grafit kullanıldığında yüzeyde titanyum karbür oluşmaktadır. Bu nedenle E ve F faktörlerinin de birbirlerini etkileme ihtimali vardır.

Bu etkileşimlerin ortaya çıkarılabilmesi için, faktör isimleri ve etkileşimi belirleyen Eşadlar, EK 1’de verilen tablo kullanılarak, Çizelge 3.2’deki gibi seçilmiştir.

Çizelge 3.2 Faktörler arası etkileşimler

Faktör Temsili	Etkileşim Adı
BC	Güç, Ark süresi etkileşimi
BD	Kumlama, Güç etkileşimi
CD	Kumlama, Ark süresi etkileşimi
BCD	Kumlama, Güç ve Ark süresi etkileşimi
EF	Dielektrik sıvı, Elektrot cinsi

3.5.3. Hesap tablosu seçimi

Bu deneyin tam eşlendirmeli yapılması durumunda;

Ana faktör sayısı $K=6$,

n : Gözlem sayısı (Toplam faktör düzey sayısının çarpımları) olmak üzere

$n=2 \times 5 \times 10 \times 2 \times 2 \times 2 = 800$ adet deney yapılması gerekmektedir.

Fakat iki seviyeli kesirli deneyler uygulandığında, her faktöre ait en uygun iki düzey alt ve üst düzey olarak seçilir; $n=2^k=2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 64$ gözlem bulunur. Faktör sayısı 6 olduğu için L16 dizayn matrisi kullanılmalıdır. 1/4 kesri kullanıldığında; $n = 64/4 = 16$ adet gözlem gerekir. Bunun için EK 2’de verilen L16 dizayn matrisi kullanılmıştır. $n-1 = 16-1=15$ olduğu için bu deney tasarımı ile toplam 15 adet etki değeri hesaplanabilir.

$N = \text{Gözlem Sayısı} \times \text{Tekrar Sayısı}$

$N = 16 \times 4 = 64$ adet deney yapılacaktır.

Deneyde 6 ana faktörün yanında birbirleri ile etkileşimli olacağına karar verilen 4 tanesi ikili etkileşim, 1 tanesi de üçlü etkileşim olmak üzere toplam 11 adet incelenmesi gereken etki ortaya çıkmıştır. $15-11=5$ kalan etkiler de deneye etkileşimli olmayan faktörlerin hesap değeri veya deneye ait hatalardır.

3.5.4. Faktör seviyelerinin belirlenmesi ve kolonlara atanması

Çok düzeyli faktörlerde alt ve üst düzeylerin seçilmesi önemlidir. Çünkü faktörler arasındaki aralığın çok küçük olması, faktörlerin etkisini göstermeyebilir. Aralık çok büyük olursa da, faktör deneye hâkim duruma gelir ve diğer faktörlerin etkilerinin saptanması güçleşir. Her faktör için seçilen alt ve üst düzey değerleri Çizelge 3.3'deki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 3.3 Faktörler ve seçilen faktör düzeyleri

Faktör Temsili	Faktör Adı	Alt Düzey	Üst Düzey
A	Polarite	+	-
B	Güç	1/8	1/2
C	Ark süresi	3	7
D	Kumlama	Var	Yok
E	Dielektrik sıvı	Saf Su	Gazyağı
F	Elektrot cinsi	Grafit	Bakır

L16 dizayn matrisine göre kolon sayısı 15'dir, bunlardan 6 tanesi ana faktördür, geriye kalan 9 tanesi ise, eşad tablosuna göre etkileşimleri ortaya çıkartacak şekilde kolonlara atanmıştır (Çizelge 3.4). Ancak dizayn tablosundaki iki adet ikili etkileşim (CD ve EF) aynı kolona rastladığından, bunların etkileşimlerini ayrı ayrı görebilmek için EF etkileşimi, anlamlı olmayan eşadlar bulunan 5. kolona atanmıştır.

Çizelge 3.4 Etki ve etkileşimlerin kolonlara atanması

Kolon No	Faktör ve etkileşimler	
1	A	Polarite
2	B	Güç
3	C	Ark süresi
4	D	Kumlama
5	EF	Dielektrik sıvı, Elektrot etkileşimi,
6	AC, BE	
7	AD, BF	
8	BC, AE	Güç, Ark süresi etkileşimi
9	BD, AF	Kumlama, Güç etkileşimi
10	CD	Güç, Ark süresi etkileşimi
11	E	Dielektrik sıvı
12	F	Elektrot cinsi
13	ACD	
14	BCD	Kumlama, Güç ve Ark süresi etkileşimi,
15	CF, DE	

3.5.5. Düzey kombinezonlarının belirlenmesi

Deneyi uygulamadan önce reçete tablosu Çizelge 3.5’de oluşturuldu. Bu çizelge her gözlem için faktörlerin ayarlanacağı değerleri ve uygulama sırasını vermektedir.

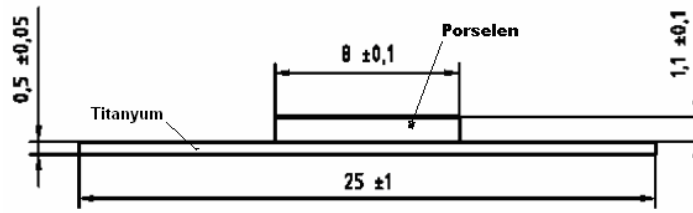
Deney sırasında kontrol edilemeyen faktörlerin performans kriterine etkilerini homojenleştirmek etmek için deneylerin rastsallaştırılması gerekir. Bu nedenle 4 tekrarlı yapılan $16 \times 4 = 64$ adet deney Microsoft Excel’de EK-3’deki gibi rastlaştırılmıştır.

Çizelge 3.5 Deneyler için reçete tablosu

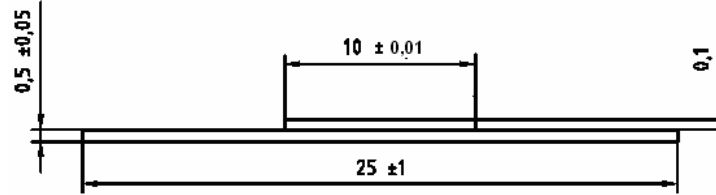
Deney Sıra No	A Polarite	B Güç	C Ark süresi	D Kumlama	E Dielektrik sıvı	F Elektrot cinsi
1	+	1/8	3	Var	Su	Grafit
2	+	1/8	3	Yok	Su	Bakır
3	+	1/8	7	Var	Gazyağı	Grafit
4	+	1/8	7	Yok	Gazyağı	Bakır
5	+	1/2	3	Var	Gazyağı	Bakır
6	+	1/2	3	Yok	Gazyağı	Grafit
7	+	1/2	7	Var	Su	Bakır
8	+	1/2	7	Yok	Su	Grafit
9	-	1/8	3	Var	Gazyağı	Bakır
10	-	1/8	3	Yok	Gazyağı	Grafit
11	-	1/8	7	Var	Su	Bakır
12	-	1/8	7	Yok	Su	Grafit
13	-	1/2	3	Var	Su	Grafit
14	-	1/2	3	Yok	Su	Bakır
15	-	1/2	7	Var	Gazyağı	Grafit
16	-	1/2	7	Yok	Gazyağı	Bakır

3.6. Deneylerin Yapılması ve Bağlama Kuvvetinin Hesaplanması

Deney numunesi Şekil.3.2’de görüldüğü gibi ISO 9693 standardına uygun olarak gerekli toleranslarda üretilmesi gerekmektedir. 1 mm kalınlığında plaka halinde temin edilen saflık derecesi Grade 2 olan endüstriyel saf titanyum $45\pm 0,02 \times 3\pm 0,02 \times 1$ mm boyutlarında CNC kontrollü lazer sac işleme tezgahında kesildi. Sonra CNC kontrollü freze tezgahında Şekil 3.3’deki boyutlarda işlendi. Orta kısımdaki 0.1 mm kalınlığındaki 10 mm lik kısım gerekli parametreler kullanılarak EDM le işlendi.



Şekil.3.2 Deney numunesi ölçüleri (ISO 9693)



Şekil 3.3 EDM tezgahında işleme için hazırlanmış numune

EDM deneylerinde iki farklı dielektrik sıvı kullanıldığı için sıvıların birbirleriyle karışmaması, parça değiştirme zamanlarını kısaltmak ve dielektrik sıvıyı her deneyde değiştirebilmek için Şekil 3.4'deki gibi bir EDM havuzu tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu havuz AISI 304 kalite paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Dolayısıyla havuzda herhangi bir kir veya pas tabakası oluşmamakta ve sıvı konsantrasyonu bozulmamaktadır. Bu havuzda bir defada 6 lt lik dielektrik sıvı bir deney için kullanılabilir. Gerekirse uzun deneyler için devridaim de yapılabilir.



Şekil 3.4 Tasarlanan EDM havuzu

Deneyde % 98 saflıkta elektrolize bakır ve grafit elektrotlar kullanıldı. Örnek tezgah üzerindeki yerine sabitlendikten sonra, elektrot-örnek arasındaki mesafe ~0.5 mm olarak ayarlandı. Dielektrik sıvıda ilave edildikten sonra, belirlenen işleme parametreleri ile talaş kaldırma işlemi, S.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği EDM laboratuvarında Şekil 3.5’de görülen EDM Tezgahı kullanılarak işlendi.



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan elektro erozyon tezgahı

EDM ile işlenen örnekler ultrasonik temizleyicide aseton içinde 5 dk bekletildikten sonra distile su ile yıkanarak hava ile kurutuldu. Kumlama grubuna ait olan numuneler S.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi laboratuvarında 125 µm alüminyum oksit ile kumlandı.

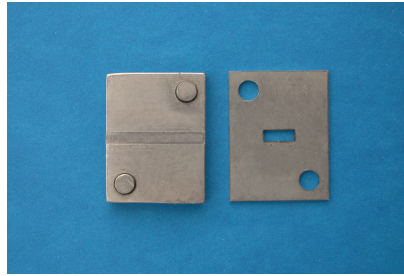
Titanyum örnekler için deneylerde diş hekimlerinin önerdiği ısı genleşme katsayısı $8.4-8.9 \times 10^{-6} K^{-1}$ (25-400°C) olan düşük ısı porseleni Vita Titankeramik porselen kullanıldı. Vita Titankeramik (Şekil 3.6) porselen uygulanacak örneklerden kumlama grubuna ait örnekler üretici firma önerisine uyularak 125 µm alüminyum oksit ile kumlandı. Yüzey işlemlerinden sonra 5 dk beklendi, oksidasyon fırınlaması yapılmadı. Uygun fırça kullanılarak, düzenli darbeler ile temizlenmiş yüzeye toz bonder opak likit ile karıştırılarak uygulandı, firma önerilerine uygun olarak fırınladı. Bonder fırınlamadan sonra parlak ve homojen bir yüzey görünümüne sahipti. Opak uygulaması 2 farklı fırınlamada yapıldı. 1. opak fırınlaması % 70

örtüm, 2. opak fırınlaması % 100 örtüm sağladı. Fırınlanmış opak yüzeyi parlak bir görünüme sahipti.



Şekil 3.6 Vita Titankeramik

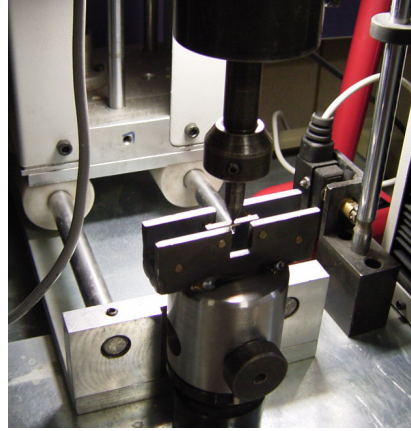
Porselenin Şekil 3.2'deki gibi $8\pm0.1 \times 3\pm0.1 \times 1.1\pm0.1$ mm boyutlarında kaplanması için Şekil 3.7'de görülen kalıplar kullanılmıştır.



Şekil 3.7 Porselen kısmın hazırlanmasında kullanılan metal kalıp

Tüm örneklerin dentin fırınlamaları tamamlandıktan sonra elmas frezle hafif düzeltmeler yapıldı, standart ölçüye getirildi.

Porselen fırınlama işlemleri tamamlanan örnekler metal-porselen bağlantı dayanıklılığının saptanması için 3-nokta eğme testi uygulandı. Bu testte Şekil 3.1'de görülen $F_{kıırma}$ kuvveti 0.5 mm/dk. hızda uygulanmıştır. Kuvveti uygulama ve ölçme için özel olarak hazırlanan yükleme düzeneği (Şekil 3.8) bağlanan ve Şekil 3.9'da görülen universal basma-koparma-çekme test cihazı kullanıldı.



Şekil 3.8 Nokta deneylerinde kullanılan düzenek



Şekil 3.9 Üç nokta deneylerinde kullanılan test cihazı

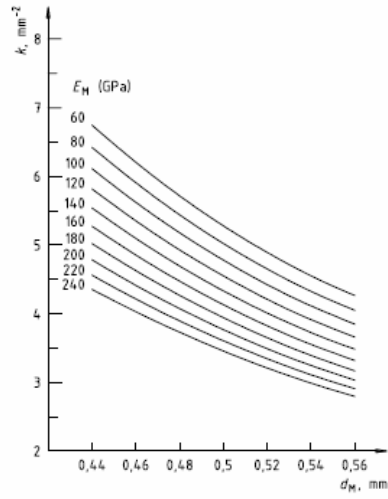
Taguchi yönteminde performans kriteri olarak belirlenen ve bu çalışmada “bağlantı kuvveti” olarak adlandırılan değerler esasen kayma gerilmesidir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır. $\tau_b = k \times F_{kırama}$

k katsayısı Titanyumun çekme elastikiyet modülü (E_m) ve sac kalınlığına (d_m) bağlı olarak Şekil 3.10’daki grafikten alınabildiği gibi aşağıdaki bağıntıdan da hesaplanabilir.

$$k = [(1,695 \times 10^{-5} \times E_m^2) - (1,521 \times 10^{-2} E_m) + (6,131)] \quad (d_m=0.5\text{mm için})$$

$$E_m = 102 \text{ GPa (ASTM 2, Grade 2 endüstriyel saf Ti için)}$$

$$k = 4,768725 \text{ mm}^{-2} \text{ dir.}$$



Şekil 3.10 k katsayısı, elastikiyet modülü ve sac kalınlığı diyagramı.

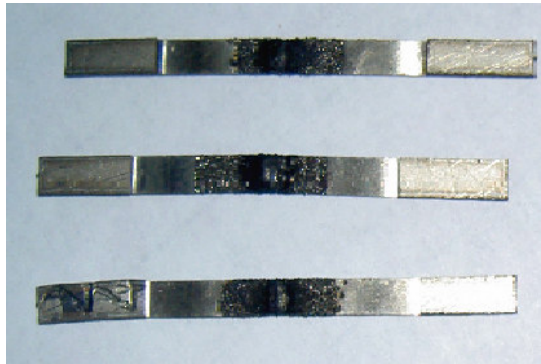
4. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

EDM le işlenen 16 deney grubunun 12 tanesinde numuneler uygun sürelerde ve hassasiyette işlenebilmiştir. Ancak dört gruba ait işlemler pratik olarak kabul edilemeyecek düzeydedir. Başarısız sayılan bu gruplardan, 1. gruba ait deneylerde seçilen grafit elektrotla işleme sırasında elektrot 0.35 mm aşındığı halde titanyum malzeme yüzeyinden ancak 0.01 mm' lik talaş kaldırma gerçekleşmiştir ve ISO: 9693 standardında belirtilen malzeme kalınlığına inilememiştir. Dolayısıyla bu işleme parametreleri ile pratik olarak titanyumun pürüzlendirilmesi mümkün olmamaktadır. 13., 15. ve 16. gruba ait deneylerde ise titanyum malzemenin yüzeyinde paralel işleme gerçekleşmemiştir. Bu gruplara ait işleme parametreleri

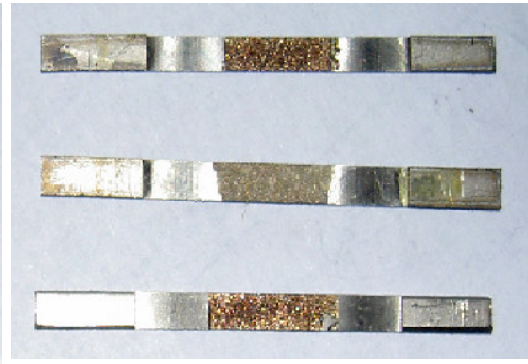
Çizelge 4.1 Titanyumun pratik olarak işlenmesinin gerçekleşemeyeceği işleme parametreleri başarısız deneyler olarak adlandırılmıştır

Grup NO	A Polarite	B Güç	C Ark süresi	D Kumlama	E Dielektrik sıvı	F Elektrot cinsi
1	+	1/8	3	Var	Su	Grafit
13	-	1/2	3	Var	Su	Grafit
15	-	1/2	7	Var	Gazyağı	Grafit
16	-	1/2	7	Yok	Gazyağı	Bakır

Çizelge 4.1'de verilmiştir ve Şekil 4.1.a'da gösterilmiştir. Bu dört gruba ait bağlantı kuvveti değerleri tablolarda sıfır olarak alınmıştır. Ayrıca İşlenen deney numuneleri de Şekil 4.1.b' de görülmektedir.



Şekil 4.1.a Başarısız deney numuneleri



Şekil 4.1.b İşlenen deney numuneleri

Deneysel çalışmalarda elde edilen verilerden bazılarının verilerin tümü göz önüne alındığında anlamsız yerlerde olması ile sık sık karşılaşılır. Bu nedenle deneyi yapan kişi bu şüpheli veriler hakkında karar vermek durumundadır. Eğer beklenmedik değerlere sahip bu noktalar büyük bir deneysel yanlışlık sonucu oluşmuşsa bu değerler atılabilir. Ancak bu sapmalar yeni bir fiziksel olguyu işaret ediyorsa operasyon şartlarını değiştirmek gerekir. Beklenen seyirleri takip etmeyen bu verileri elemek için Chauvenet kriteri kullanılır (Genceli 1995, Holman 1978). Bu kriterin uygulanması için deneyler en az üç tekrarlı olmalıdır.

Bağlantı kuvveti (τ_b) değeri, aynı parametreye sahip deney gruplarının ortalama ve standart sapmaları ile Chauvenet kriteri uygulanmış ve uygulanmamış değerleri Çizelge 4.2’te verilmiştir. Standart sapmalar, Chauvenet kriteri uygulanır ise 1.60, uygulanmaz ise 2.61 gibi önceki çalışmalara göre (Acar 2005) oldukça düşük düzeylerde çıkmıştır. Bu nedenle dört tekrarlı deneylerin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

Chauvenet kriteri uygulanarak elde edilen ortalamalar Çizelge 4.3’ye yerleştirildikten sonra, kolonların etki değerleri bulunarak sıralama yapıp Çizelge 4.4 elde edilmiştir.

Etkiler ve etkileşimler sıra numarasıyla adlandırılmışlardır. Çizelge 4.4’deki noktalar buradaki sıra numarası ile etki değerleri apsiste, etki sırası da ordinatta yer alacak şekilde normal olasılık grafiğine Şekil 4.2’deki gibi işlendi. Normal olasılık grafiğinde, sıfıra yakın olan toplam noktalardan yaklaşık yarısının kullanımı ile en uygun şekilde geçecek bir doğru çizildi. Nokta, çizgiden ne kadar uzaksa etki seviyesi de o kadar yüksektir. Sıfıra yakın olan noktaların performans kriterine etkileri yok demektir. Ayrıca doğrunun solunda kalan noktaların düşük seviyeleri ve sağında kalan noktaların da yüksek seviyeleri performans kriterini iyi yönde etkiler.

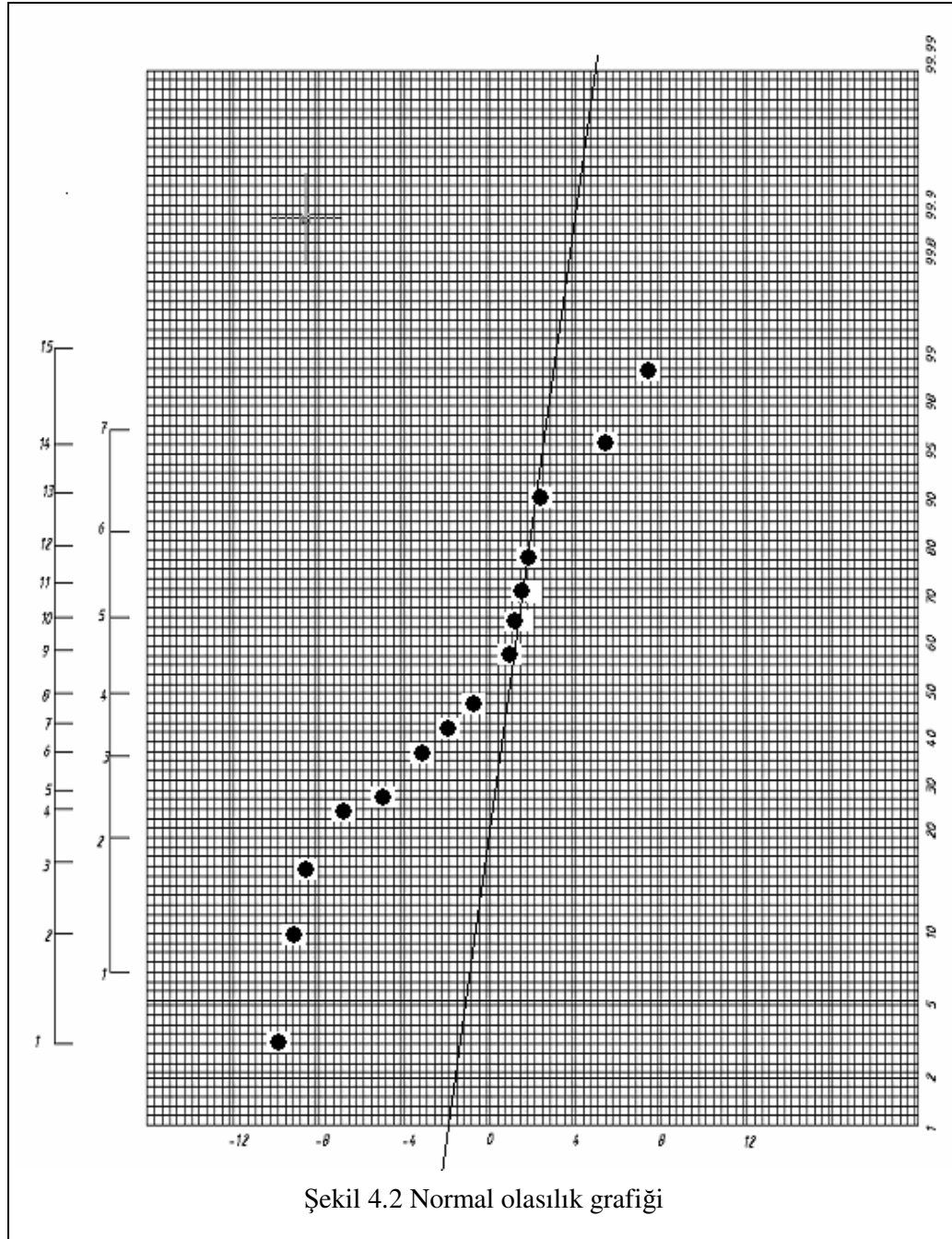
Sonuç olarak 1-8 noktalarının alt düzeyleri ve 14,15 noktalarının da üst düzeyleri seçilmelidir. Daha açık bir deyişle, polarite için +, güç için 1/8, dielektrik sıvı olarak saf su, elektrot olarak bakır seçilmesi ve kumlamanın da yapılmaması performans kriterini en iyi yapar.

Çizelge 4.3 Uygulanmış L16 dizayn matrisi

		Polarite A		Güç B		Ark süresi C		Kumlama D		Dielektrik sıvı, Elektrot etkileşimi EF		AC BE		AD BF		Güç, Ark süresi etkileşimi BC AE		Kumlama, Güç etkileşimi BD AF		Güç, Ark süresi etkileşimi CD		Dielektrik sıvı E		Elektrot cinsi F		ACD		Kumlama, Güç ve Ark süresi etkileşimi BCD		CF DE			
STANDART	GÖZLEM	+	-	1/8	1/2	3,00	7,00	Var	Yok												Saf Su	Gazyağı	Grafit	Bakır									
SIRA	DEĞERİ	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00
1	0	0,00		0,00		0,00		0,00			0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00			0,00	
2	24,56	24,56		24,56		24,56			24,56		24,56		24,56	24,56		24,56	24,56		24,56		24,56			24,56		24,56		24,56		24,56	24,56		
3	28,87	28,87		28,87			28,87	28,87			28,87	28,87		28,87	28,87			28,87	28,87			28,87	28,87				28,87		28,87		28,87		
4	19,03	19,03		19,03			19,03		19,03		19,03	19,03		19,03		19,03		19,03			19,03			19,03	19,03		19,03	19,03		19,03			19,03
5	20,58	20,58			20,58	20,58		20,58		20,58			20,58		20,58	20,58		20,58			20,58			20,58	20,58	20,58				20,58	20,58		
6	12,88	12,88			12,88	12,88			12,88	12,88			12,88	12,88		12,88			12,88	12,88			12,88	12,88			12,88	12,88			12,88		
7	24,00	24,00			24,00		24,00	24,00		24,00		24,00		24,00		24,00	24,00		24,00		24,00			24,00		24,00	24,00				24,00		
8	24,50	24,50			24,50		24,50		24,50	24,50		24,50		24,50		24,50		24,50		24,50	24,50			24,50		24,50				24,50	24,50		
9	28,18		28,18	28,18		28,18		28,18		28,18		28,18		28,18		28,18		28,18		28,18		28,18		28,18		28,18		28,18		28,18		28,18	
10	22,34		22,34	22,34		22,34			22,34	22,34		22,34			22,34		22,34	22,34		22,34			22,34	22,34			22,34				22,34		22,34
11	21,51		21,51	21,51			21,51	21,51		21,51			21,51	21,51		21,51			21,51	21,51		21,51			21,51	21,51				21,51		21,51	
12	24,33		24,33	24,33			24,33		24,33	24,33			24,33		24,33	24,33		24,33			24,33	24,33			24,33			24,33	24,33		24,33		
13	0		0,00		0,00	0,00		0,00			0,00	0,00		0,00		0,00				0,00	0,00			0,00		0,00			0,00		0,00		
14	25,86		25,86		25,86	25,86			25,86		25,86	25,86		25,86	25,86			25,86	25,86		25,86			25,86	25,86				25,86		25,86		
15	0		0,00		0,00		0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00		0,00				0,00	0,00		0,00			0,00		0,00			
16	0		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00			
TOPLAM		154,4	122,2	168,8	107,8	134,4	142,2	123,1	153,5	178,3	98,3	172,8	103,9	130,6	146,0	153,0	123,6	134,8	141,8	160,0	116,6	144,8	131,9	112,9	163,7	133,8	142,8	134,3	142,3	176,9	99,8		
SAYI	16	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	
ORTALAMA	17,29	19,30	15,28	21,10	13,48	16,80	17,78	15,39	19,19	22,29	12,29	21,60	12,98	16,33	18,25	19,13	15,45	16,85	17,72	20,00	14,58	18,09	16,48	14,11	20,46	16,73	17,85	16,78	17,79	22,11	12,47		
ETKİ		-4,02		-7,63		0,98		3,79		-10,00		-8,62		1,92		-3,68		0,87		-5,42		-1,61		6,35		1,13		1,01		-9,64			
SIRA		6		4		10		14		1		3		13		7		9		5		8		15		12		11		2			

Çizelge 4.4 Etki Değeri Sıralaması

Etki Sıra No	Etki Değeri	Etki ve Etkileşimler
1	-10,0004	Dielektrik sıvı, Elektrot etkileşimi; EF
2	-9,6398	CF, DE
3	-8,6155	AC, BE
4	-7,6260	Güç B
5	-5,4244	Kumlama, Ark süresi etkileşimi; CD
6	-4,0226	Polarite A
7	-3,6828	Güç, Ark süresi etkileşimi; BC, AE
8	-1,6104	Dielektrik sıvı E
9	0,8683	Kumlama, Güç etkileşimi; BD, AF
10	0,9796	Ark süresi C
11	1,0084	Kumlama, Güç ve Ark süresi etkileşimi; BCD
12	1,1266	ACD
13	1,9164	AD, BF
14	3,7941	Kumlama D
15	6,3504	Elektrot cinsi F



4.1 Etkileşimlerin İncelenmesi

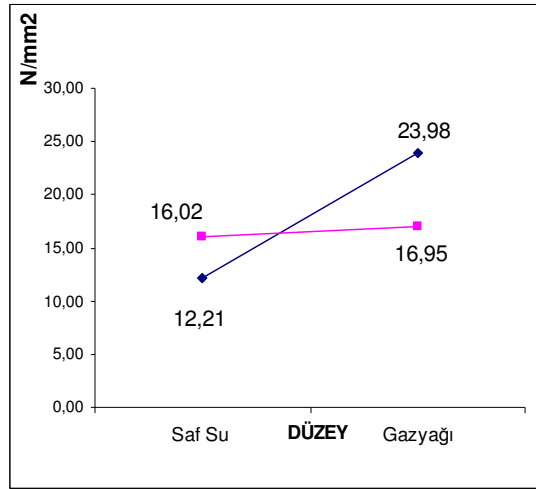
EDM le işlemede önemli bir parametre olan ark süresi bu çalışmada etkisiz bir faktör olarak bulunmuştur. Ancak hem bu konuda hem de daha sonra yapılabilecek çok seviyeli deneysel çalışmaları yönlendirme açısından daha doğru yargılara varabilmek için, aralarında etkileşimli olacağı düşünülen parametrelerin de incelenmesi gerekir. NOG grafiğinden EF, CD, BC etkileşimlerinin olduğu ancak BCD, BD etkileşimlerinin olmadığı sonucu çıkmaktadır. Etkili olan etkileşimler aşağıda detaylıca incelenecek ve böylece ark süresi parametre düzeyi de belirlenebilecektir.

Normal Olasılık Grafiğinde; Dielektrik sıvı, elektrot etkileşimi (EF), Kumlama, Ark süresi etkileşimi (CD) ve Güç, Ark süresi etkileşimi (BC) etkili bulunmuştur. Bu etkileşimler çizelgeler ve grafikler halinde aşağıda verilmiştir.

EF etkileşimini bulabilmek için Çizelge 4.3’de verilen uygulanmış L16 dizayn matrisindeki E ve F kolonlarının değer bulunan ortak satırlarına ait ortalamalar Çizelge 4.5’de ki gibi hesaplanır. Daha iyi yorumlayabilmek için bu değerler Şekil 4.3’de grafik olarak gösterilmiştir. E1F1, E2F1, E2F2 değerlerinde istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark yoktur. E1F2 kombinasyon ortalaması diğerlerinden önemli ölçüde büyüktür. Dolayısıyla bağlantı kuvvetini artırabilmek için E=1(dielektrik sıvı = Saf su), F = 2 (elektrot cinsi=bakır) kombinasyonunu kurmak gerekmektedir.

Çizelge 4.5 Dielektrik sıvı, elektrot cinsi Etkileşimi

Dielektrik sıvı (E)	Elektrot cinsi (F)	
	Grafit (1.Seviye)	Bakır (2.Seviye)
Saf Su (1.Seviye)	$(0+24,5+24,33+0)/4$ 12,21	$(24,56+24+21,51+25,86)/4$ 23,98
Gazyağı (2.Seviye)	$(28,87+12,88+22,34+0)/4$ 16,02	$(19,03+20,58+28,18+0)$ 16,95



Şekil 4.3 Dielektrik sıvı, elektrot cinsi etkileşim grafiği

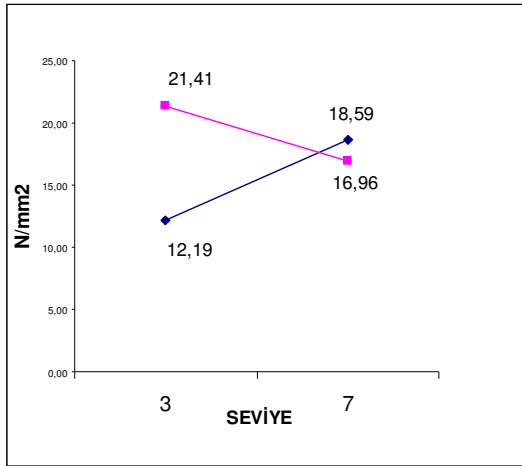
Dielektrik sıvı olarak gazyağı kullanılacak olursa elektrot cinsinin kontrolüne gerek yoktur. Fakat saf suyun kullanılması performans kriterini iyileştirecektir. Performans kriteri en büyük en iyi olduğu için saf suyun kullanılması tercih edilecektir. Saf suyun kullanılması halinde elektrot cinsi olarak bakır kullanılacaktır.

CD etkileşimi için de Çizelge 4.6 ve Şekil 4.4'den yararlanılarak, C1D2 diğerlerinden büyük olduğu için C=1 (Ark Süresi=3) ve D=2 (Kumlama=yok) kombinezonunu kullanmak gerektiği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca yüksek ark sürelerinde kumlama yapmanın daha iyi olacağı sonucu da çıkartılabilir.

Çizelge 4.6 Ark süresi, kumlama etkileşimi

Ark Süresi (C)	Kumlama (D)	
	Var (1.Seviye)	Yok (2.Seviye)
3 (1.Seviye)	$(0+20,58+28,18+0)/4$ <u>12,19</u>	$(24,56+12,88+22,34+25,86)/4$ <u>21,41</u>
7 (1.Seviye)	$(28,87+24+21,51+0)/4$ <u>18,59</u>	$(19,03+24,50+24,33+0)/4$ <u>16,96</u>

İki düzeyli deneyler yapıldığı için burada çok düzeyli deneylere yön verebilecek bir sonuç ta ortaya çıkmaktadır. Şöyle ki, her ne kadar ark süresi etkili bir parametre olarak ortaya çıkmasa da, kumlama ile olan etkileşiminden dolayı düşük ark sürelerinde kumlama yapmadan burada elde edilen bağlama kuvvetinden



Şekil 4.4 Ark süresi, kumlama etkileşimi etkileşim grafiği

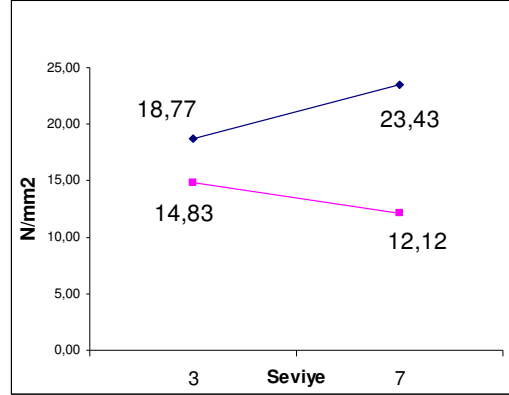
daha iyi bağlama kuvvetleri elde edilebilir. Yine yüksek ark sürelerinde kumlama yapmak daha faydalı olabilir.

BC etkileşimi için Çizelge 4.7 ve Şekil 4.5’den doğrular paralel çıkmadığı için etkileşimlerin önemli olduğu ve dikkate alınması gerektiği söylenebilir.

B1C2 büyük olduğu için çok seviyeli deneylerde güç azaldıkça ark süresinin artırılması gerektiği ortaya çıkar. Bu da etkileşimlerin incelenmesinden önce kararlaştırılan faktör seviyelerinin yeniden sorgulanmasını gerektirir.

Çizelge 4.7 Güç, ark süresi etkileşimi

Güç,(B)	Ark Süresi, (C)	
	3 (1.Seviye)	7 (2.Seviye)
1/ 8 (1.Seviye)	$(0+24,56+28,18+22,34)/4$ <u>18,77</u>	$(28,87+19,03+21,51+24,33)/4$ <u>23,43</u>
1/ 2 (2.Seviye)	$(20,58+12,88+0+25,86)/4$ <u>14,83</u>	$(20,58+24,50+0+0)/4$ <u>12,12</u>



Şekil 4.5 Güç, ark süresi etkileşim grafiği

4.2 En Uygun Performans Kriteri İçin Belirlenen Faktör Seviyeleri

Etkileşim grafiklerinin yorumlanmasından önce performans kriterini en büyük yapan parametreler Çizelge 4.8'deki birinci öneri satırındaki gibi belirlendi. Düşük güçlerde yüksek ark sürelerinin seçilmesi gerektiği yorumuna dayanarak çizelgedeki ikinci önerinin de incelenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. 1. Öneri daha önce yapılan deneyler arasında olmasına rağmen ikinci öneriye ait deneyler yapılmamıştır. Bu nedenle bu öneriler için bağlama kuvvetleri yeniden hesaplanmıştır.

$$Y_{1.öneri} = Y_{ort} + [(1/2)(+)(-)(EF)] * [(1/2)(-)(-)(BC)] * [(1/2)(-)(+)(CD)] * [(1/2)(-)(D)] * [(1/2)(+)(F)] * [(1/2)(-)(B)] * [(1/2)(-)(E)] * [(1/2)(-)(A)]$$

$$Y_{1.öneri} = 17,26 + [(1/2)(+)(-)(-10)] * [(1/2)(-)(-)(-3,68)] * [(1/2)(-)(+)(5,42)] * [(1/2)(-)(3,79)] * [(1/2)(+)(6,35)] * [(1/2)(-)(-7,63)] * [(1/2)(-)(-1,61)] * [(1/2)(-)(-4,02)]$$

Çizelge 4.8 Belirlenen parametreler

	Polarite	Güç	Ark süresi	Kumlama	Dielektrik sıvı	Elektrot cinsi
1.öneri	+	1/8	3	Yok	Saf su	Bakır
2.öneri	+	1/8	7	Var	Saf su	Bakır

$$Y_{1.\text{öneri}} = 34,86 \text{ N/mm}^2$$

Yapılan deneylerde bu değer 24.56 olarak bulunmuştur. Bunun nedeni Y değeri hesaplanırken sadece etkili parametrelerin kullanılmasının yanı sıra başarısız olan deneylerdeki sıfır değerlerinin olmasıdır.

Benzer hesaplamalar yapılarak 2.öneri için $Y_{2.\text{öneri}} = 34,75 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Değerler birbirlerine çok yakın olduğu için hangisinin daha iyi olduğunu belirlemek üzere 2.Öneriye ait parametrelerle yeni deneyler yapılmış ve performans kriteri 23.17 N/mm^2 olarak bulunmuştur.

Ayrıca etkileşimlerin incelenmesi sonunda EDM tezgahında bulunan en düşük güç seviyesi kullanılarak performans kriteri için daha iyi sonuçların da

Çizelge 4.9 Gücün düşürülmesi ile daha iyi bağlama kuvvetleri elde edilebilir

	Polarite	Güç	Ark süresi	Kumlama	Dielektrik sıvı	Elektrot cinsi	Deney Sonuçları
1.Öneri gücün düşürülmesi	+	1/16	3	Yok	Saf su	Bakır	26.67
2.Öneri gücün düşürülmesi	+	1/16	7	Var	Saf su	Bakır	25.37

alınabileceği düşünülerek Çizelge 4.9'deki ilave deneyler yapılmıştır. Yine beklendiği gibi daha yüksek bağlantı kuvvetleri bulunmuştur. Bu değerlerin birbirlerine yakın olması nedeni ile kumlama yapmaksızın ark süresinin daha düşük seviyelerinde (2,1 gibi), kumlama yapılarak ta ark süresinin daha yüksek değerlerinde (8-10 gibi) çok seviyeli deneylerin de yapılması gerekir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Dişhekimliğinde uygulanan Ti-Porselen bağlantı sisteminde, titanyumu pürüzlendirmek için EDM ile işleme yöntemi kullanılması durumunda, adezyon bağlantı kuvvetini en büyük yapacak EDM işleme parametreleri deneysel olarak saptanmıştır.

Parametrelerin tamamı için tam eşlendirmeli deney yapılması durumunda 800 adet olan deney sayısı Taguchi yönteminde 1/4 kesirli deneyler tasarlanarak 16 farklı deney yapılarak, deneylerdeki etkili parametreler ve etki düzeyleri belirlenmiştir. Dört tekrarlı olarak yapılan deneylerle, Bağlantı kuvvetlerinin standart sapmaları oldukça düşük çıktığı için tekrar sayısının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

EDM işleme parametrelerinden güç, polarite, dielektrik sıvı, kumlama, ve elektrot cinsi parametrelerinin bağlama kuvveti üzerinde etkili olduğu, ark süresinin ise etkisiz olduğu sonucuna varılmıştır. Bunlar daha açıkça şöyle ifade edilebilir.

- Negatif polarite kesinlikle önerilmemektedir ve + polarite kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Tam eşlendirmeli 800 farklı deney düşünülürse bu yargı ile 400 adet deneyi yapmaya gerek kalmamıştır.
- Güç seviyesi mutlaka 1/8 veya daha az olmalıdır. Yani 1/8 güç seviyesi üzerindeki güçleri denemeye gerek kalmamıştır. Dolayısıyla tam eşlendirmeli deneylerden 240 adet deneyi daha yapmaya gerek kalmamıştır.
- Dielektrik sıvı olarak sadece saf suyun kullanılmasının uygun olduğu sonucu çıkmıştır. Yine deney sayısı 80 adet daha düşmüştür. Aynı mantıkla grafit elektrot yerine sadece bakır elektrot kullanılması ile de deney sayısı 40 adet daha düşmüştür.

Parametrelerin birbirleri ile etkileşimleri incelenerek de aşağıdaki yargılara varılmıştır.

- Her ne kadar ark süresi kendi başına etkili değilse de kumlama ve ark süresi etkileşimli olduğu için küçük güçlerde ark süresi artırılırken kumlama yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Kumlama olmaması

durumunda da güç azalırken ark süresinin düşürülmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Esasen bu da anlamlı bir sonuçtur. Çünkü ark süresi büyürken yüzey pürüzlülüğü artmakta ancak kumlama sırasında ikinci dereceden yüzey pürüzlülüklerinin olabileceği düşünülmektedir. Bu yargıların doğruluğu işlenen yüzeylerden alınan enine kesitlerdeki SEM fotoğrafları ile görülebilir.

- Yüzeyde oluşacak kimyasal bileşikler bağlantı kuvvetini etkilemektedir. Grafit elektrot ve gazyağı dielektrik, titanyum karbürleri oluştururken, bakır elektrot ve saf su dielektrik titanyum oksitleri oluşturmaktadır. Titanyum oksitler bağlantı kuvvetini artırırken karbürler azaltmaktadır. Bu sonuçları destekleyen etkileşimler bulunmuştur. Yani hem bakır elektrot hem de saf su dielektrik kullanılması gerekir.

Bu etkileşimlerden yararlanılarak Taguchi'nin önerdiği doğrulama deneyleri de yapılmış ve bağlantı kuvvetinin arttığı görülmüştür.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, etkili olan parametreler ve etkileşimler kullanılarak, çok performans kriterli ve çok düzeyli deneyler tasarlanıp, bağlantı kuvvetinin daha da artırılabilmesi düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Acar A. 2005. Döküm yoluyla elde edilen titanyuma farklı yüzey işlemleri uygulandıktan sonra 3 tip titanyum porseleni ile bağlantısının değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bagby, M., Marshall SJ., Marshall Jr GW., 1990. Metal ceramic compatibility. A review of the literature, J Prosthet Dent, 63, 21-25.
- Canıyılmaz, E. 2003. Taguchi metodunda varyans analizine alternatif bir yaklaşım. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 18(3): 51-63.
- Chung, H.G.P., Swain, M.W., Mori, T. 1997. Evaluation of the strain energy release rate for the fracture of titanium-porcelain interfacial bonding, Biomaterials. 18, 1553-1557.
- Deng, J. 1982. Control problems of grey systems, Systems and Control Letters. 5 ,288-294,
- Devor, R. E., Chang, T. and Sutherland, J. W. 1992. Statistical Quality Design And Control, Macmillan Publishing Company, New York.
- Erden, A. , Temel, D. 1978. Investigation on the Use of Water as a Dielectric Liquid in EDM, Journal of Pure and Applied Sciences, METU, 437-440.
- Fisher, R.A. 1925. Statistical Methods for Research Worker. Oliver & Boyd, London.
- Furkan 1999. Elektro Erezyon ile İşleme. Furkan Mühendislik.
- Genceli, O.F. 1995 Ölçme tekniği. Birsen yayınevi, İstanbul.
- Halkaci, H. S. ve Erden, A. 2002. Experimental Investigation Of Surface Roughness In Electric Discharge Machining (EDM). 6th Biennial Conference On Engineering Systems Design and Analysis.

- Hammad, I.A., Talic, Y.F. 1996. Designs of bond strength tests for metal-ceramic complexes: review of the literature, J Prosthet Dent, Jun (6), 75, 602-608.
- Hocheng, H., Lei, W.T., Hsu, H.S. 1997. Preliminary Study of Material Removal in Electrical Discharge Machining of SiC/Al, Journal of Materials Processing Technology, 63, 813-818,
- Holman, J.P. 1978. Experimental Methods for Engineers. Mc Graw-Hill Inc.
- Inan, Ö., Acar, A. and Halkacı S. 2005. Effects of sandblasting and EDM on ceramic adherence to cast and machined commercially pure titanium, IADR 2005, 83th meeting of International Association of Dental Research, September 14-17, Amsterdam, Holland.
- Jilani, T.S., Pandey, P.C. 1984. Experimental Investigation into the Performance of Water as Dielectric in EDM, International Journal of Machining and Tool Design Research, 24, 31-43.
- Keskin, Y. 2001. EDM’de yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin tespiti için deney tasarımı, Yüksek lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü , Konya.
- Lee, S., H., Li, X.P. 2001. Study of the Effect of Machining Parameters on the Machining Characteristics in Electrical Discharge Machining of Tungsten Carbide, Journal of Material Processing Technology, 115, 344-358.
- Lenz, J., Schwarz, S., Schwichkerath, H., Sperner F., Schafer, A. 1995. Bond strength of metal-ceramic systems in the three-point flexure test, J Applied Biomater, 6, 55-64.
- McCabe, J.F. 1999. Dişhekimliği maddeler bilgisi, İ.Ü. Basımevi ve Film Merkezi İstanbul.

- Montgomery, D.C. 1991. Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, New York.
- O'Brien WJ (1997) Dental Materials and Their Selection, 2nd ed, Ed by WJ O'Brien Quintessence Pub Co Inc, Carol Stream, Illinois.
- Özgedik, A., Coğun, C. 2003. Elektroerozyon ile İşlemede Elektrot ÖnYüzey Aşınmasının Deneysel İncelenmesi, Mühendis ve Makina, Haziran, 521.
- Papadopoulos, T. Tsetsekou, A. Eliades, G. 1999. Effect of aluminium oxide sandblasting on cast commercially pure titanium surfaces, Eur J Prosthodont Restor Dent, Mar, 7(1), 15-21.
- Pohler, E.M. 2000. Unalloyed titanium for implants in bone surgery, Injury Int J Care Injured, 31, 7-13.
- Poyrazoğlu, O. 1994. Elektroerozyon - EDM Tekniği, Tekev Yayınları, Ankara.
- Pröbster, L., Maiwald, U., Weber, H. 1996. Three-point bending strength of ceramics fused to cast titanium, Eur J Oral Sci, 104, 313-319.
- Ross, P. J. 1996 Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Desing. McGraw-Hill, Singapore.
- Sadeq, A., Cai, Z., Woody, R.D., Miller, A.W. 2003. Effects of interfacial variables on ceramic adherence to cast and machined commercially pure titanium. J Prosthet Dent, 90, 10-17.
- Şirvancı, M. 1997. Kalite İçin Deney Tasarımı – Taguçi Yaklaşımı, Literatür Yayınevi, İstanbul.
- Yan, B., Tsai, H., Huang, F. 2005. The effect in EDM of a dielectric of a urea solution in water on modifying the surface of titanium, International Journal of Machine Tools & Manufacture V.45, 194–200.

Yılmaz, H. Dinçer, C. 1999. Comparison of the bond compatibility of titanium and an NiCr alloy to dental porcelain, J Dent, 27, 215-222.

ISO 9693:1999 (Dentale restaurative Metallkeramiksysteme), Deutsche Fassung EN ISO 9693:2000.

EK-1 EŞAD TABLOSU

FAKTÖR SAYISI	KOLON NO														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD	ABCD
5	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	AB	AC	AD	BC	BD	CD	DE	CE	BE	AE	<u>E</u>
6	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	AB	AC	AD	BC	BD	CD	<u>E</u>	<u>F</u>	ACD	BCD	CF
					CE	BE	BF	AE	AF	EF					DE
					DF										
7	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	AB	AC	AD	AE	AF	AG	<u>E</u>	<u>F</u>	<u>G</u>	BCD	BG
					CE	BE	BF	BC	BD	CD					CF
					DF	DG	CG	FG	EG	EF					DE
8	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	AB	AC	AD	AE	AF	AG	<u>E</u>	<u>F</u>	<u>G</u>	<u>H</u>	AH
					CE	BE	BF	BC	BD	CD					BG
					DF	DG	CG	DH	CH	EF					CF
					GH	FH	EH	FG	EG	BH					DE
9	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	AB	AC	AD	AE	AF	AG	<u>E</u>	<u>F</u>	<u>G</u>	<u>H</u>	<u>I</u>
	HI	GI	FI	EI	CE	BE	BF	BD	BD	CD	DI	CI	BI	AI	AH
					DF	DG	CG	DH	CH	EF					BG
					GH	FH	EH	FG	EG	BH					CF,DE
10	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	AB	AC	AD	AE	AF	AG	<u>E</u>	<u>F</u>	<u>G</u>	<u>H</u>	<u>I</u>
	BJ	AJ	EJ	EI	AB	BE	BF	BC	BD	BH	CJ	CI	BI	AI	AH
	HI	GI	FI	FJ	CE	DG	CG	DH	CH	CD	DI	DJ	HJ	GJ	BG
					DF	FH	EH	FG	EG	EF					CF
					GH										DE
11	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	AB	AC	AD	AE	AF	AG	<u>E</u>	<u>F</u>	<u>G</u>	<u>H</u>	<u>I</u>
	BJ	AJ	AK	EI	AB	AC	BF	BC	BD	BH	BK	CI	BI	AI	AH
	CK	EK	EJ	FJ	CE	BE	CG	DH	CH	CD	CJ	DJ	DK	FK	BG
	HI	GI	FI	GK	DF	DG	EH	FG	EG	EF	DI	HK	HJ	GJ	CF
					GH	FH		JK	IK	IJ					DE

EK-2 L16 DİZAYN MATRİSİ

[illegible]

EK-3 RASTSALLAŞTIRILMIŞ DENEYLER

Sıra no	deney no	A Polarite	B Güç	C Ark süresi	D Kumlama	E Dielektrik sıvı	F Elektrot cinsi
1	16	-	1/2	7	Yok	Gazyağı	Bakır
2	4	+	1/8	7	Yok	Gazyağı	Bakır
3	10	-	1/8	3	Yok	Gazyağı	Grafit
4	3	+	1/8	7	Var	Gazyağı	Grafit
5	11	-	1/8	7	Var	Su	Bakır
6	7	+	1/2	7	Var	Su	Bakır
7	10	-	1/8	3	Yok	Gazyağı	Grafit
8	1	+	1/8	3	Var	Su	Grafit
9	5	+	1/2	3	Var	Gazyağı	Bakır
10	11	-	1/8	7	Var	Su	Bakır
11	8	+	1/2	7	Yok	Su	Grafit
12	10	-	1/8	3	Yok	Gazyağı	Grafit
13	13	-	1/2	3	Var	Su	Grafit
14	11	-	1/8	7	Var	Su	Bakır
15	4	+	1/8	7	Yok	Gazyağı	Bakır
16	12	-	1/8	7	Yok	Su	Grafit
17	9	-	1/8	3	Var	Gazyağı	Bakır
18	9	-	1/8	3	Var	Gazyağı	Bakır
19	6	+	1/2	3	Yok	Gazyağı	Grafit
20	14	-	1/2	3	Yok	Su	Bakır
21	11	-	1/8	7	Var	Su	Bakır
22	3	+	1/8	7	Var	Gazyağı	Grafit
23	13	-	1/2	3	Var	Su	Grafit
24	15	-	1/2	7	Var	Gazyağı	Grafit
25	16	-	1/2	7	Yok	Gazyağı	Bakır
26	3	+	1/8	7	Var	Gazyağı	Grafit
27	15	-	1/2	7	Var	Gazyağı	Grafit
28	12	-	1/8	7	Yok	Su	Grafit
29	9	-	1/8	3	Var	Gazyağı	Bakır
30	4	+	1/8	7	Yok	Gazyağı	Bakır
31	3	+	1/8	7	Var	Gazyağı	Grafit
32	12	-	1/8	7	Yok	Su	Grafit
33	4	+	1/8	7	Yok	Gazyağı	Bakır
34	1	+	1/8	3	Var	Su	Grafit
35	15	-	1/2	7	Var	Gazyağı	Grafit
36	2	+	1/8	3	Yok	Su	Bakır
37	6	+	1/2	3	Yok	Gazyağı	Grafit
38	1	+	1/8	3	Var	Su	Grafit
39	7	+	1/2	7	Var	Su	Bakır
40	9	-	1/8	3	Var	Gazyağı	Bakır

EK-3 RASTSALLAŞTIRILMIŞ DENEYLER

41	2	+	1/8	3	Yok	Su	Bakır
42	8	+	1/2	7	Yok	Su	Grafit
43	6	+	1/2	3	Yok	Gazyağı	Grafit
44	13	-	1/2	3	Var	Su	Grafit
45	15	-	1/2	7	Var	Gazyağı	Grafit
46	5	+	1/2	3	Var	Gazyağı	Bakır
47	12	-	1/8	7	Yok	Su	Grafit
48	7	+	1/2	7	Var	Su	Bakır
49	16	-	1/2	7	Yok	Gazyağı	Bakır
50	5	+	1/2	3	Var	Gazyağı	Bakır
51	2	+	1/8	3	Yok	Su	Bakır
52	7	+	1/2	7	Var	Su	Bakır
53	14	-	1/2	3	Yok	Su	Bakır
54	2	+	1/8	3	Yok	Su	Bakır
55	1	+	1/8	3	Var	Su	Grafit
56	5	+	1/2	3	Var	Gazyağı	Bakır
57	13	-	1/2	3	Var	Su	Grafit
58	14	-	1/2	3	Yok	Su	Bakır
59	8	+	1/2	7	Yok	Su	Grafit
60	14	-	1/2	3	Yok	Su	Bakır
61	6	+	1/2	3	Yok	Gazyağı	Grafit
62	10	-	1/8	3	Yok	Gazyağı	Grafit
63	8	+	1/2	7	Yok	Su	Grafit
64	16	-	1/2	7	Yok	Gazyağı	Bakır