ORTODONTİK TELLERİN KOROZYON DAVRANIŞININ KLASİK DENEY TASARIM YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Kasım Baynal*
Yrd. Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü,
Umuttepe Yerleşkesi, Kocaeli
kbaynal@yahoo.com

Gözde Sultan Altuğ
Gedik Üniversitesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
Kartal Yerleşkesi, İstanbul
gozde.altug@gedik.edu.tr

H. İbrahim Ünal
Yrd. Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
Umuttepe Yerleşkesi, Kocaeli
hunal@kocaeli.edu.tr

ÖZET

Çene ortopedisini yakından tanımlayacak ve bu konuyla yakın ilgili ilk deyim olarak nitelendirilebilecek "Orthodontia" teriminin kullanılması XIX. yüzyılın ilk yarılarında rastlanan bir olaydır. Ortodontik tedavide diş üzerine yay, tel veya özel lastiklerle bir kuvvet uygulanarak kuvvetin yönünde bir hareket oluşturulur. Paslanmaz çelik, titanyum alaşımları ve kobalt-krom alaşımları, ortodontik uygulamalarında en yaygın kullanılabilen alaşım sistemleridir. Her bir alaşım sistemi için mekanik özelliklerin yanında özellikle korozyona karşı dirençli olmaları bir avantaj sunmaktadır. Ortodontik tel kullanımının söz konusu olduğu uygulamalarda tükürük salgısı, flor içerikli diş macunları, asit içerikli yiyecek ve içeceklere karşı korozyon direncinin yüksek olması daima istenen bir durumdur.

Bu çalışmada, klasik deney tasarım metoduyla ortodontik uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılan NiTi, β-Ti ve FeCrNi alaşımlarının flor ve asit katkılı Fusuyama çözeltisi içerisinde 14 ve 28 günlük etkileşimleri sonrasındaki korozyon davranışları analiz edilmiştir. Varyans analizi ve hipotez testleri ile parametreler arası etkileşim irdelenmiş ve grafiklerle de ifade edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deney tasarımı, ortodontik teller, korozyon

Determination of Corrosion Behaviour of Orthodontic Wires with Classical Experimental Design Methods

ABSTRACT

The term of "Orthodontia" which is the first statement to identify orthodontics is used in19 th Century. Orthodontics is the study of dentistry that is concerned with the treatment of improper bites, and crooked teeth. Orthodontic treatment can help fix your teeth and set them in the right place. After a course of active orthodontic treatment, patients will typically wear retainers, which maintain the teeth in their improved positions while surrounding bone reforms around them. Stainless steel, titanium alloys and cobalt-chromium alloys are widely used orthodontic applications. In addition to high mechanical properties, their corrosion resistance is very important for each alloy system.

The aim of this study is to investigate the influence of artificial saliva solution (Fusuyama solution) after a period of the time (14-28 days) on metallic wires (NiTi, β-Ti and Fe-Cr-Ni based orthodontic wires) widely used in orthodontic applications and to determine corrosion behaviour with classical experimental design methods.

Keywords: Experimental design, orthodontic wires, corrosion

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 29.02.2012
Kabul tarihi : 10.07.2012

Baynal, K., Altuğ, G. S., Ünal, H. İ. 2012. "Ortodontik Tellerin Korozyon Davranışının Klasik Deney Tasarım Yöntemi ile Belirlenmesi," TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 629, s. 48-54

1. GİRİŞ

Paslanmaz çelik, titanyum alaşımları ve kobalt-krom alaşımları, ortodontik uygulamalarında en yaygın kullanılabilen alaşım sistemleridir. Her bir alaşım sistemi için mekanik özelliklerin yanında özellikle korozyona karşı dirençli olmaları bir avantaj sunmaktadır. Ortodontik tel kullanımının söz konusu olduğu uygulamalarda ise tükürük salgısı, flor içerikli diş macunları, asit içerikli yiyecek ve içeceklere karşı korozyon direncinin yüksek olması daima istenen bir durumdur [1-5]. Asidik içecekler ve yiyecekler içerdikleri sodyum klorür iyonları nedeniyle korosif bir ortamın oluşmasına kaynak teşkil eder. Tüm bunlar söz konusu iken ortodontik telin korozyonu kaçınılmaz olacaktır [6-7].

Genel olarak metalik biyomalzemeden yayılan metal iyonları insan sağlığı için zararlıdır. İyonların yayılımı dokularda istenmeyen reaksiyonların oluşmasına neden olabilir. Alaşımdaki bu iyon yayılma davranışı korozyon oranına karşılık gelmektedir. Nikel esaslı ortodontik tellerde nikelin ana metalden serbestleşmesi halinde alerjiye neden olabilen ve toksitesi yüksek bileşenler oluşabilmektedir. Schiff ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda üç tip ortodontik destek malzemesi (paslanmaz çelik, kobalt-krom alaşımı ve titanyum) üzerine çeşitli katkı (örneğin; flor) içerikli tükürük çözeltilerinin etkisi araştırılmış olup; belirli bir oranda flor içerikli çözeltinin paslanmaz çelik ve titanyum esaslı malzemelerde önemli derecede korozyon oluşumuna neden olduğu ortaya konulmuştur. Çözelti içerisinde yer alan florun metal ile olan etkileşiminde yüzey aşınmalarına neden olduğu benzer birçok çalışmada da belirtilmiştir [8-10]. Titanyum ve titanyum alaşımlarının ise korozyon direnci, TiO_2 olarak tanımlanan yüzeyindeki pasif filmin varlığından kaynaklanmaktadır. Termodinamik olarak kararlı olan oksit film matriksi korumakta ve iyi bir korozyon direnciyle mükemmel bir biyouyumluluk sağlamaktadır [11].

2. DENEY TASARIMI

Deney, deney birimine (insan, deney hayvanı, vasatlar, preparatlar, cansız varlıklar vb.) evrendeki doğal yaşamdan farklı olarak bir etkide bulunarak bir ya da birkaç faktörün değişik seviyelerdeki etkilerini ortaya koyma; bir olaya maruz bırakma ya da ondan koruma vb. biçimlerde düzenlenmiş olan yapay ortam çalışmalardır [12-20]. Endüstriyel uygulamalar, ekonomik ve zaman kısıtları dikkate alınarak en iyi uygulama şartlarının sağlanması ile en verimli düzeyin elde edileceği kombinasyonları gerektirir. Bu uygulamalarda, prosese etki eden faktörlerin bazıları kontrol edilebilirken bazıları edilemez. Bu aşamada deney tasarımı devreye girer ve proses çıktısının optimum seviyesinin tespitinde deney sayısını azaltarak prosesi etkileyen faktörlerden kritik olanları ve bunların proses çıktısına olan etkilerini tespit eder. Deney tasarımı sisteme yaklaşımda bulunurken istatistiksel yaklaşımları kullanır[17]. Böylece faktörlerin çıktı üzerindeki etkilerini belirlemek ve varyasyon yaratan faktörlere karşı önlemler almak, tasarım aşamasında gerçekleştirilmiş olunur [16].

Deney tasarım ve analiz aşamalarında istatistik yaklaşımını kullanabilmek için, üzerinde çalışılacak konunun açıkça ifade edilmesi ve anlaşılması, verilerin toplanma şekli ve bu verilerin nasıl analiz edileceğinin belirlenmesi gerekmektedir [12]. Verilerin doğru bir şekilde hesaplanabilmesi ve yorumlanabilmesi için MINITAB gibi birçok program kullanılmaktadır. İncelenen değişkenlerin istatistiksel dağılımlarına (Normal, Binom, Poisson vb.) ve değişim genişliğine bakarak deneyi yeterli sayıda deney birimi üzerinde yapmak gerekir [16]. Deney tasarımı yaparken her bir deney için tekrar sayısının fazla olması, değişkenler arasındaki ilişkiyi tespit etmek için daha belirgin sonuçlar vermekte, güven aralığı daraltılmakta ve buna bağlı olarak da aralık kestiriminin kesinliği artmaktadır [19]. Fakat deney koşulları kaynak temini, maliyet, dışa bağımlılık gibi nedenlerle sınırlanabilmektedir. En ideali her bir deney grubu için en az üç tekrar yapmaktır [16-20].

2.1 Faktöriyel Düzenler ve Varyans Analizi

Deney düzenlenirken incelenen değişkene (olay, durum) etki eden faktörlerin (faktör değişkenler, etmenler) evrendeki etki düzeylerini doğru saptamak gerekir. Deney içinde bu değişkenlerin farklı gruplarda ya da farklı zamanlarda hangi seviyelerde kontrol altına alınacağı, hangisinin etkisinin sabit tutulacağı doğru olarak belirlenmelidir. Değişik deneme türlerinde ve farklı faktör sayısı ve seviyelerinde hangi tür bir uygulama yapmak gerektiği deneme planlaması ve deney tasarımları kuralları göz önüne alınarak kararlaştırılır [14].

Faktöriyel düzenler, birbirleriyle etkileşim içinde olabilecek en az iki faktörün ve bu faktörlerin en az ikişer seviyelerinin (etki düzeyleri, dozları vb.) birlikte ele alınarak denendiği deneme düzenleridir. Bağımsız değişkene etki ettiği düşünülen en az iki faktör alınır ve bu faktörlerin her birinin en az iki etki seviyesi dikkate alınarak denemeler kurulur. Faktöriyel düzenler çok sayıda faktörün çok sayıda düzeyi dikkate alınarak yapılabilir [13-14].

Deneyde kullanılan faktörlerin sayısı ‘k’, yapılan gözlem sayısı ‘n’, tekrar sayısı ‘r’ harfleriyle simgelenmektedir. Faktörler ve kalite değişkenleri alfabenin büyük harfleriyle gösterilmektedir. 2^k ve 3^k faktöriyel tasarımları mevcuttur [19-22].

Varyans analizi (ANOVA), test edilen parça gruplarının ortalama performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için kullanılan istatistik temelli bir metottur. Deneysel tasarım temelde varyans analizine dayanmaktadır. Bu metot 1930’lu yıllarda Fisher tarafından geliştirildiği için isminin baş harfinden dolayı F testi de denmektedir [19]. Varyans analizinde, deneysel tasarımın bütün noktalarında (çeşitli faktörlerin

çeşitli seviyelerinin kombinasyonlarında) değişkenliğin aynı olduğu varsayılmaktadır [18-22]. Deney tasarımında istatistiksel analizin en önemli safhası varyans analizi tablosunun oluşturulmasıdır. Varyans analizi tablosunda yer alan istatistikleri teorik olarak hesaplamak zordur; bunun için de çaba gerektirir. Tablonun oluşturulmasında zor olan kısımlarından birisi, kareler ortalamalarının beklenen değerlerini bulunduran sütundaki hesaplamalardır. Bununla ilgili olarak tablonun hazırlanmasını kolaylaştıran pratik kurallar ve fomüller geliştirilmiştir [14-22]. Ayrıca günümüzde bu hesaplamaları yapan modülü barındıran SPSS, MINITAB vb. gibi yazılımlar geliştirilmiştir. Varyans analizi hesaplamaları genellikle bu yazılımlar yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

Varyans analizinde gerekli hesaplamaları pratik olarak yapmak için geliştirilen formüller aşağıda toplu olarak verilmiştir.

KT_x, ilgili faktör veya etkileşimin kareler toplamını ve KO_x ise ilgili faktör veya etkileşimin kareler ortalamasını ifade etmektedir [21].

$$F_A = \frac{KO_A}{KO_{Hata}}$$

Burada $F_{A;A}$ faktörüne ait F değerini, F_{tablo} (= F_{kritik})= F (α,v_1,v_e) ise kritik F değerini göstermektedir. α;anlamlılık düzeyini, v_1; faktörün serbestlik derecesini v_e ise hata serbestlik derecesini ifade etmektedir. Hesaplanan F değeri ile F_{tablo} değeri karşılaştırılarak "ilgili faktör/etkileşimin sonuç (yanıt değişkeni) üzerinde etkisi yoktur" hipotezi kararlaştırılır. Eğer F < F_{tablo} ise kurulan hipotez kabul edilir; aksi takdirde hipotez ret edilir ve karşıt hipotez kabul edilir. Deneysel çalışmayla ilgili kurulan bütün hipotezler, bu çerçevede kararlaştırılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Malzeme ve Yöntem

Deneylerde kullanılan ortodontik teller, literatürde ismi sıkça geçen ve ortodontistler tarafından sıkça kullanılan malzemelerden seçilmiştir. Seçilen 18–8 krom-nikel paslanmaz çelik, nikel-titanyum alaşımı, β-titanyum alaşımı ve kobalt-krom-nikel alaşımı tellerin kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Teller yapay tükürük çözeltilerine (Tablo 2), 22°C - 37°C sıcaklıklar arasında daldırılarak bırakılmış, her 7 günde bir 0.0001 hassasiyette ağırlık ölçümleri alınarak toplam 28 gün süreyle korozyona tabi tutulmuş ve ağırlık kaybı yöntemiyle korozyon hızları belirlenmiştir [15]. Ardından tarama elektron mikroskobuyla makro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiş ve korozyon hasarları tespit edilmiştir. Gözlemlenen korozyon bölgelerinin yüzey sertlik değerlerindeki değişim mikrosertlik ölçümüyle incelenmiştir.

$$KT_{Genel} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c}\sum_{l=1}^{n} Y_{ijkl}^2 - \frac{T_{....}^2}{abcn}$$

$$KT_A = \sum_{i=1}^{a} \frac{T_{i...}^2}{bcn} - \frac{T_{....}^2}{abcn}$$

$$KT_B = \sum_{j=1}^{b} \frac{T_{.j..}^2}{acn} - \frac{T_{....}^2}{abcn}$$

$$KT_C = \sum_{k=1}^{c} \frac{T_{..k.}^2}{abn} - \frac{T_{....}^2}{abcn}$$

$$KT_{AB} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} \frac{T_{ij..}^2}{cn} - \frac{T_{....}^2}{abcn} - KT_A - KT_B$$

$$KT_{AC} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{c} \frac{T_{i.k.}^2}{bn} - \frac{T_{....}^2}{abcn} - KT_A - KT_C$$

$$KT_{ABC} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} \frac{T_{ijk.}^2}{n} - \frac{T_{....}^2}{abcn} - KT_A - KT_B - KT_C - KT_{AB} - KT_{AC} - KT_{BC}$$

$$KO_A = KT_A/(a-1)$$

$$KO_B = KT_B/(b-1)$$

$$KO_{AB} = KT_{AB}/(a-1)(b-1)$$

$$KO_C = KT_C/(c-1)$$

$$KO_{AC} = KT_{AC}/(a-1)(c-1)$$

$$KO_{BC} = KT_{BC}/(b-1)(c-1)$$

$$KO_{ABC} = KT_{ABC}/(a-1)(b-1)(c-1)$$

Tablo 1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Ortodontik Tellerin Kimyasal Kompozisyonu

Alaşım	Kimyasal kompozisyon Element / %-ağırlık
NiTi alloy	Ni/55 Ti/45
β-Ti	Ti/78 Mo/11.5 Zr/6 Sn/4.5
FeCrNi	Fe/70 Cr/20 Ni/10

Tablo 2. Yapay Tükürük Çözeltilerinin Bileşimi ve pH Değerleri

1 g/L NaF katkılı modifiye edilmiş Fusuyama Çözeltisi (diş macunu etkili ağız ortamı)	1.7 % H_3PO_4 katkılı modifiye edilmiş Fusuyama Çözeltisi (asidik besin etkili ağız ortamı)
KCl (0.4g/L)	KCl (0.4g/L)
NaCl (0.4 g/L)	NaCl (0.4 g/L)
$NaH_2PO_4.2H_2O$ (0.69 g/L)	$NaH_2PO_4.2H_2O$ (0.69 g/L)
$CaCl_2.2H_2O$ (0.906 g/L)	$CaCl_2.2H_2O$ (0.906 g/L)
$Na_2S.9H_2O$ (0.005 g/L)	$Na_2S.9H_2O$ (0.005 g/L)
+ NaF (1 g/L)	+ 1.7 % H_3PO_4
pH 4.8	pH 2.5

3.1.1 Yüzey Karakterizasyonu

F^- ve PO_4^{3-} katkılı tükürük çözeltileri içerisine daldırılan β-Ti esaslı ortodontik tellerin yüzeylerine ait SEM mikrograflarından örnekler Şekil 1'de verilmiştir. Gerek flor gerekse de asit katkısıyla çözeltinin metal yüzeyine olan etkisi tipik aşınma tarzında olup yüzeyde belirgin oyuklanmalar söz konusudur. Çözelti içinde bekletme süresine bağlı olarak yüzeyde oluşan çukurcuk korozyonu miktarları giderek artmıştır.

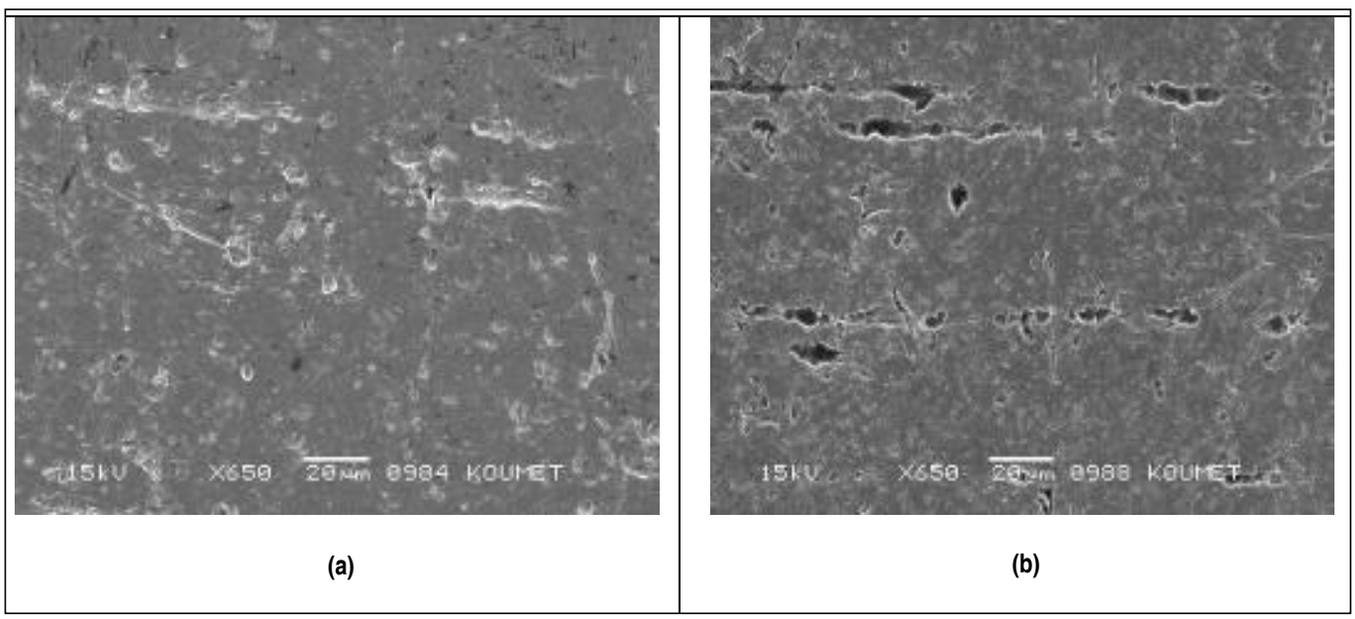
3.2 Deney Tasarımı

Çalışmada 3^k çok faktörlü deney tasarımı kullanılmıştır. Diş teli türü 1. faktör, çözelti türü 2. faktör ve çözelti içinde bekleme süresi (gün) ise 3. faktör olarak seçilmiştir (Tablo 3). Diş teli türü, çözelti türü, bekleme süresi, çözelti türü-bekleme süresi etkileşimi, diş teli türü- çözelti türü etkileşimi, diş teli türü-bekleme süresi etkileşimi ve diş teli türü-çözelti türü-bekleme süresi etkileşimlerinin her birisi için Serbestlik Derecesi (sd), Kareler Toplamı (KT) ve Kareler Ortalaması (KO) değerleri hesaplanmış ve sonuçlar varyans analizi tablosunda gösterilmiştir (Tablo 4). Daha sonra F oranları bulunarak hipotez testleri yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Bu çalışmadaki faktör ve etkileşimlerine ilişkisi model denklemi

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + I_j + Ç_k + GI_{ij} + GÇ_{ik} + IÇ_{jk} + GÇI_{ijk} + \varepsilon_{(m)ijk}$$

olarak ifade edilebilir [21-22]. Burada; μ genel ortalamayı, G_i bekleme süresi etkisini, Ij diş teli türünün etkisini, $Ç_k$ çözelti türü etkisini, GI_{ij} bekleme süresi-diş teli etkileşiminin etkisini, $GÇ_{ik}$ bekleme süresi-çözelti türü etkileşiminin etkisini, $IÇ_{jk}$ diş teli tütü-çözelti türü etkileşiminin etkisini, $GÇI_{ijk}$ bekleme süresi-diş teli türü-çözelti türü etkileşiminin etkisini ve $\varepsilon_{(m)ijk}$ da hata değişkenini ifade etmektedir.



Şekil 1. (a) F^- Katkılı Tükürük Çözeltisinde Bekletilen β-Ti Alaşımının Yüzeyine ait; (b) PO_4^{3-} Katkılı Tükürük Çözeltisinde Bekletilen β-Ti Alaşımının Yüzeyine Ait SEM Mikroyapı

Tablo 3. Ağırlık Kaybı Verilerinin Deney Tasarım Modeline Uygun Olarak Düzenlenmesi

	Bekleme Süresi (Gün), G_i									
	0			14			28			
	Diş Teli Türü, I_j									T..k
Çözelti Türü, Çk	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Modifiyeli Fusuyama	88	25.7	7.7	88	25.7	7.7	88	25.7	7.7	1065.3
	87.3	17.3	9.1	87.3	17.3	9.1	87.3	17.3	9.1	
	88	25.3	6.7	88	25.3	6.7	88	25.3	6.7	
Modifiyeli Fusuyama+NaF	87.9	18.7	7.8	87.8	18	7.7	87.8	17.6	7.4	1038.0
	87.4	28.8	7.2	87.3	28.1	6.9	87.2	27.6	6.7	
	87.9	18.2	4.8	87.9	17.5	4.6	87.8	17.1	4.3	
Modifiyeli Fusuyama+H3PO4	87.3	17.6	5.6	87.2	17.5	5.6	87.2	17.4	5.6	1078.2
	88.6	29.9	8.1	88.5	29.7	8.1	88.6	29.6	8.1	
	88.2	29.8	4.9	88.2	29.6	4.9	88.2	29.5	4.7	
Ti..	790.6	211.3	61.9	790.2	208.7	61.3	790.1	207.1	60.3	3181.5

Tablo 4. Çalışmanın Varyans Analizi Tablosu

Kaynak	Sd	KT	KO	F
G_i	2	0.740	0.370	0.029
I_j	2	99041.210	49520.605	3845.424
$Ç_k$	2	31.207	15.603	1.219
GI_{ij}	4	0.421	0.105	0.008
$GÇ_{ik}$	4	0.837	0.209	0.016
$IÇ_{jk}$	4	71.360	17.840	1.394
$GÇI_{ijk}$	8	0.452	0.057	0.004
$\varepsilon_{(m)ijk}$	54	690.963	12.796	
Genel	80	99837.190		

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Söz konusu faktörler ve etkileşimlerinin etkisinin istatistiksel anlamda önemli olup olmadığını belirlemek için hipotez testleri uygulanmıştır. Hipotez, örneklenen kitle parametresi hakkında bir varsayımdır. Genellikle hipotez, kitlenin bir ya da daha çok parametresine bir değer verilmesinden oluşur. Bir hipotez testi, hipotezin kabul ya da reddedilmesine ilişkin bir karardır. Hipotez testleri, n sayıda gözlemden hesaplanan örneklem istatistiklerine dayandığından verilen karar her zaman hata içerebilir. Bunun için de dikkatli olunmalıdır.

Çalışmadaki faktör ve etkileşimlerine ilişkin hipotezler ortaya konmuş ve bunlarla ilgili kararlar aşağıda verilmiştir:

• $H_{1:}$ $G_i = 0$, "Bütün i'ler için korozyon üzerinde gün etkisi yoktur."

Tablo 4'teki verilerden F= 0.370/12.796=0.029 olarak hesaplanır. F tablosundan da ilgili serbestlik dereceleri için $F_{kritik}=F_{2,54,\ \alpha=0.05}= 3.10$ bulunur ve α=0.05 için $F< F_{kitik}$ olduğu için H_1 hipotezi reddedilemez.

• H_2: $I_j = 0$, " Bütün j'ler için korozyon üzerinde tel türünün etkisi yoktur."

Tablo 4'teki verilerden F=49520.605/12.796=3845.424 bulunur. Bu hipotez için de serbestlik dereceleri aynı olduğundan F_{kritik} değerleri de aynıdır ($F_{2,54,\ \alpha=0.05}$=3.10). Buna göre α=0.05 anlamlılık düzeyi için $F> F_{kitik}$ olduğundan H_2 hipotezi reddedilir.

• H_3: $Ç_k= 0$, "Bütün k'lar için korozyon üzerinde çözelti türünün etkisi yoktur."

Yine Tablo 4'teki verilerden F= 15.603/12.796 = 1.219 olarak hesaplanır ve α=0.05 için $F< F_{kitik}$ olduğundan H_3 hipotezi reddedilemez.

H_4: $GI_{ij} = 0$, "Bütün i ve j'ler için korozyon üzerinde GI etkileşim etkisi yoktur."

İkili etkileşimler için F'nin hesaplanmasında payın serbestlik dereceleri 4 olduğundan F_{kritik} değerleri değişmektedir. Buna göre yaklaşık $F_{kritik}=F_{4,54,\alpha=0.05}$=2.60 olduğundan ve F=0.105/12.796=0.008 olarak hesaplandığından α=0.05 için $F< F_{kitik}$ olduğundan H_4 hipotezi reddedilemez.

• H_5: $GÇ_{ik} = 0$, "Bütün i ve k'lar için korozyon üzerinde GÇ etkileşim etkisi yoktur."

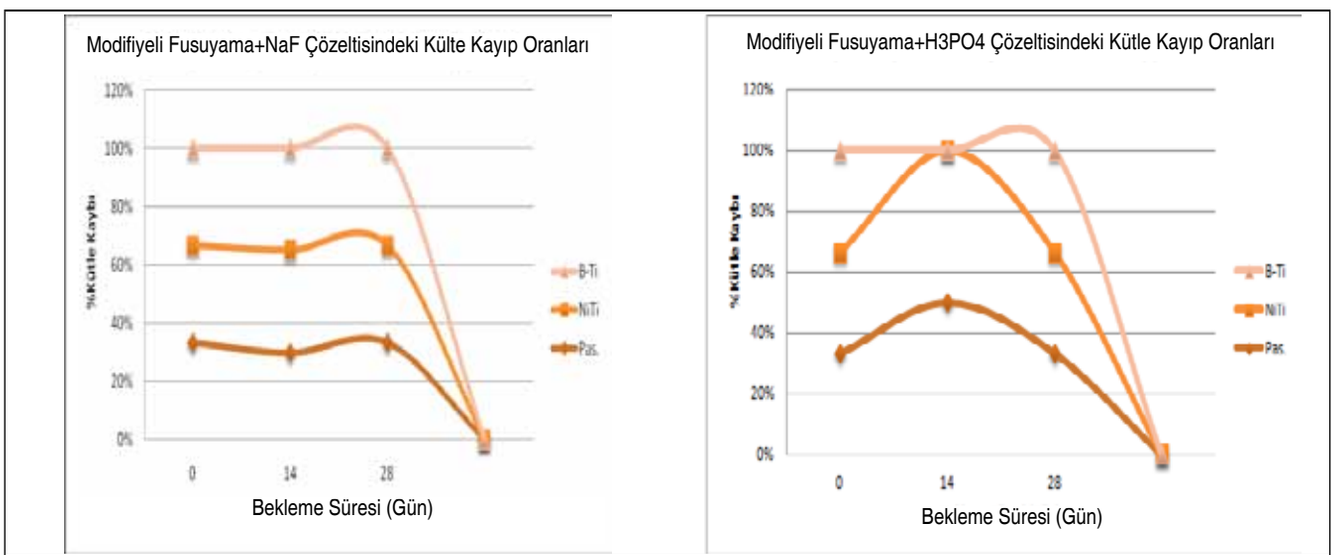
Tablo 4'teki verilerden F= 0.209 / 12.796=0.016 olarak bulunduğundan önemsizdir. Bu değer de α=0.05 için $F< F_{kitik}$ olduğundan H_5 hipotezi reddedilemez.

• H_6: $IÇ_{jk} = 0$, "Bütün j ve k'lar için korozyon üzerinde IÇ etkileşim etkisi yoktur."

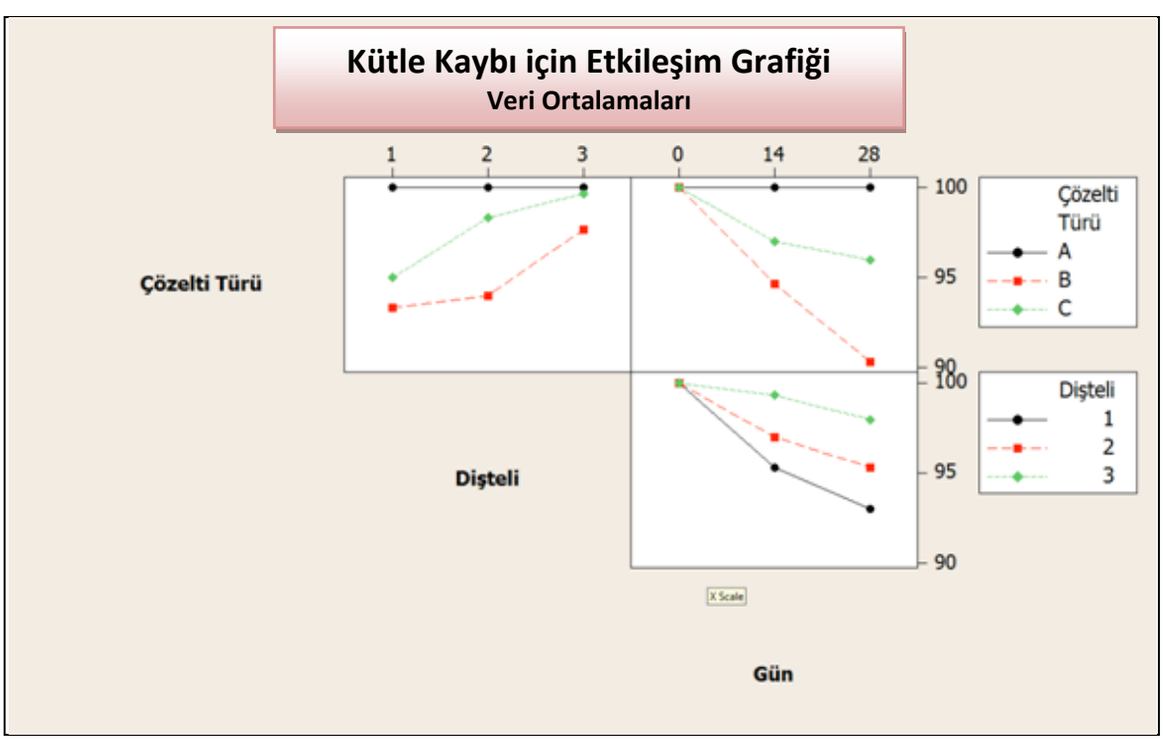
Yine Tablo 4'ten F= 17.840 / 12.796 = 1.394 olarak hesaplanmıştır. Burada da α=0.05 için $F< F_{kitik}$ olduğundan H_6 hipotezi reddedilemez.

• H_7: $GÇI_{ijk} = 0$ "Bütün i, j ve k'lar için korozyon üzerinde GÇI etkileşim etkisi yoktur."

Üçlü etkileşim için F'nin hesaplanmasında payın serbestlik dereceleri 8 olduğundan F_{kritik} değerleri değişmektedir. Buna göre yaklaşık $F_{kritik}=F_{8,54,\alpha=0.05}=2.10$ olduğundan ve F= 0.057/12.796=0.004<1 çıktığından üçlü etkileşimin etkisi de



Şekil 2. Kütle Kaybının Bekleme Süresiyle İlişkisi



Şekil 3. Çözelti Türü, Diş Teli ve Gün Etkileşim Grafiği

önemsizdir ve α=0.05 için $F < F_{kitik}$ olduğundan H_7 hipotezi reddedilemez.

Şekil 2'de 0, 14 ve 28. günlerde diş tellerinde meydana gelen kütlece kaybın % si olarak ifade edilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi en fazla kütle kaybı β-Titanyum Alaşımı telde ortaya çıktığı görülmektedir.

Çözelti Türleri A- modifiye edilmiş tükürük çözeltisi; B-asit içeren modifiye edilmiş tükürük çözeltisi ve C-flor içeren modifiye edilmiş çözeltisidir. Çözelti türü ve diş teli etkileşiminde en fazla kütle kaybının ve dolayısıyla korozyon miktarının B çözeltisinde gerçekleştiği görülmektedir. Bunlar da bulguları desteklemektedir.

5. SONUÇLAR

Hipotez testleri sonucunda; H_2 hipotezi α=0.05, H_6 hipotezi α=0.25 anlamlılık düzeyi için reddedilerek korozyon üzerinde tel türü (I) ve çözelti-tel türü (IÇ) etkileşiminin etkili olduğu görülmektedir. MINITAB programıyla elde edilen etkileşim eğrileriyle, en fazla ağırlık kaybının asit içeren modifiyeli fusuyama çözeltisinde ve β-Titanyum Alaşımı telde gerçekleştiği ifade edilmiştir (Şekil 3 ve Şekil 4). Tellerin yüzeyinde artan zamanla birlikte çukurcuk korozyonu meydana gelmiştir. Bu durum yüzeyde çözeltiyle olan kimyasal etkileşimin bir sonucu olarak metalik çözünmelerin gerçekleştiğini göstermektedir. Tedavi sırasında yemek artıkları bu yüzeylere daha kolay tutunmakta ve diş eti hastalıklarına sebep olabilmektedir. NaF katkılı modifiyeli Fusuyama çözeltisinde ise, içerisindeki flor iyonlarının, hidrojenin içyapıya atomsal olarak yayınması ve titanyum ile birleşip titanyum hidrür çökeltisi oluşturması doğrultusunda hidrojen gevrekliğinin artmasına neden olmasıyla söz konusu durum meydana gelebilmektedir. Ortodontik tedavi süreleri göz önüne alınarak çözelti içerisinde tellerin daha uzun süre korozyon ortamına maruz bırakılmasıyla daha belirgin sonuçlar elde etmek mümkündür.

KAYNAKÇA

1. **House, K., Sernetz, F., Dymock, D., Sandly, J. R., Ireland, A. J.** 2008, "Corrosion of Orthodontic Appliances-Should We Care?," American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 133 (4), 584-592.
2. **Al-Mayouf, A. M., Al-Swayih, A. A., Al-Mobarak, N. A., Al-Jabab, A. S.** 2002. "Corrosion Behavior of New Titanium Alloy for Dental Implant Applications," Saudi Dental Journal, 14 (3), 118-125.
3. **Widu, F., Drescher, D., Junker, R., Bourauel, C.** 1999. "Corrosion and Biocompatibility of Orthodontic Wires," J Mater Sci Mater Med., 10, 275–281.
4. **Raman, V., Tamilselvi, S., Nanjundan, S., Rajendran, N.** 2005. "Electrochemical Behaviour of Titanium and Titanium Alloy in Artificial Saliva," Trends Biomater. Artif. Organs, 18 (2), 137-140.
5. **Iijima, M., Endo, K., Ohno, H., Yonekura, Y., Mizoguchi, I.** 2001. "Corrosion Behavior and Surface Structure of Orthodontic Ni-Ti Alloy Wires," Dent Mater J., 20 (1), 103-113.
6. **Schiff, N., Dalard, F., Lissac, M., Morgon, L., Grosgogeat, B.** 2005. "Corrosion Resistance on Three Orthodontic Brackets a Comparative Study of Three Flouride Mouth Washes," Eur. I. Orthod., 27, 541-549.
7. **Toumelin–Chemla, F., Rouelle, F., Burdairon, G.** 1996. "Corrosive Properties of Fluoride Containing Odontologic Gels Against Titanium," J. Dent., 24, 109-115.
8. **Ziębowicz, A., Walke, W., Barucha-Kępka, A., Kiel M.** 2008. "Corrosion Behaviour of Metallic Biomaterials Used as Orthodontic Wires, Journal of Achievements in Materialsand Manufacturing Engineering," 27 (2), 151-154.
9. **Gursoy, S., Acar, A., Sesen, C.** 2005. "Comparison of Metal Release From A New and Recycled Bracket-Archwire Combinations," Angle Orthodontics, 75, 92-94.
10. **Schiff, N., Grosgogeat, B., Lissac, M., Dalard, F.** 2005. "Titanium Alloys Orthodontics Wires: Electrochemical Study in Fluoride Dental Rinses," European Cells and Materials, 9 (1), 45-47.
11. **Wang, O.Y., Zheng, Y.F.** 2008. "The Electrochemical Behaviour and Surface Analysis of Ti50Ni47.2Co2.8 Alloy for Ortodontic Use," Dental Materials 24, 1207-1211.
12. **Can, M.** 2007. "İstatistiksel Süreç Kontrolünde Deney Tasarımlı Süreç Optimizasyonu," Selçuk Üniversitesi, İstatistik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
13. **Şirvancı, M.** 1996. "Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı," Literatür Yayıncılık.
14. **Özdamar, K.** "Deneyler Ünite 4," Anadolu Üniversitesi Yayınları.
15. **Küçükyıldırım, B.O.** 2006. "Ortodontik Tellerin Farklı Ortamlardaki Korozyon Davranışlarının İncelenmesi," Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
16. Design and Analysis of Experiments, Tropical Animal Feeding: A Manual for Research Workers, Chapter 8, 155-180.
17. **Kasman, Ş.** 2009. "Lazer Mikro İşleme Parametrelerinin Yüzey Kalitesine Etkisinin Deney Tasarım Yöntemiyle Belirlenmesi," 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük.
18. **Canıyılmaz, E., Kutay, F.** 2003. "Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım," Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 18, No 3, 51-63.
19. **Taylan, D.** 2009. "Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması," Süleyman Demirel Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
20. **Gökçe, B., Taşgetiren, S.** 2009. "Kalite İçin Deney Tasarımı" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 6, No: 1, (71-83).
21. **Hicks, C. R.** 2009. "Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler," 2. Baskıdan Çeviri, Gazi Kitabevi, Ankara.
22. **Montgomery, D.C.** 2004. "Design and Analysis of Experiments, Seventh Edition," Wiley, NY.W