

Editör
Dr. Öğr. Üyesi Taner AKARSU

SAĞLIK BİLİMLERİNDE ÖNCÜ VE ÇAĞDAŞ ÇALIŞMALAR

SAĞLIK BİLİMLERİNDE ÖNCÜ VE ÇAĞDAŞ ÇALIŞMALAR

Editör:

Dr. Öğr. Üyesi Taner AKARSU



Sağlık Bilimlerinde Öncü ve Çağdaş Çalışmalar
Editör: Dr. Öğr. Üyesi Taner AKARSU

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek
Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design
Yayın Tarihi: **Haziran 2023**
Yayıncı Sertifika No: 49837
ISBN: 978-625-6945-80-7

© Duvar Yayınları
853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir
Tel: 0 232 484 88 68

www.duvaryayinlari.com
duvarkitabevi@gmail.com

23. Bölüm **443**
Polifenollerin Metabolizması ve Toksisitesi
Emine OKUMUŞ, Mehmet Ali TEMİZ

24. Bölüm **471**
Kemiğin Malign Tümörleri
Erkan AKGÜN

25. Bölüm **495**
Laboratuvardan Sofraya Etik Bir Sorunsal: İn-Vitro Et
Esra ÇELİK, Aşkın YAŞAR

26. Bölüm **521**
Palyatif Bakım ve Palyatif Bakım Hemşireliği
Şükran ÖZKAHRAMANKOÇ, Sıdıka ERSOY, Fatma Gül TURAN

27. Bölüm **537**
Literatürde Hemşirelik Öğrencilerinde Çelişik Duygulu
Cinsiyetçilik Ölçen Çalışmalar: Sistematik Derleme
Gamze DALAY, Birgül ÖZKAN

28. Bölüm **559**
Medikal Alanda Kullanılan Co-Cr Alaşımın Biyo ve Mekanik Özellikleri
Gökçe KOÇ, Şakir ALTINSOY

29. Bölüm **571**
Subkutan Düşük Molekül Ağırlıklı Heparin Enjeksiyonunda
Ağrı, Ekimoz ve Hematomu Azaltmada Kullanılan
Nonfarmakolojik Yöntemlerin İncelenmesi
Hafize GÜLLÜ, Ebru EREK KAZAN

28. Bölüm

Medikal Alanda Kullanılan Co-Cr Alaşımın Biyo ve Mekanik Özellikleri

Gökçe KOÇ[1]

Şakir ALTINSOY[2]

[1] Öğr.Gör., Yeniyüzyıl Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği gokce.koc@yeniyuzyil.edu.tr

[2] Dr. Öğr.Üyesi, Yeniyüzyıl Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği sakir.altinsoy@yeniyuzyil.edu.tr.

ÖZET

Canlı dokuya implante edilen, organ ve dokuların işlevlerini kısmen veya tümden karşılayan biyomalzemeler, biyouyumluluk, iyi mekanik özelliğe sahip olma, toksik oluşturmama ve korozyona karşı direnç gösterme, biyomalzeme üretiminde ve uygulanmasında üstünde durulan en önemli özelliklerdir. Bu özellikler dikkate alınarak incelendiğinde kristal yapıları ve çok güçlü metalik bağları sayesinde üstün mekanik özelliklere sahip olan metal ve alaşımlarının ortopedi ve dişçilik alanında kullanımı oldukça yaygındır. Metal alaşımlar arasında CoCr alaşımları, mükemmel mekanik özellikleri ve biyouyumlulukları sayesinde implant üretiminde kullanılmaktadır. Co-Cr alaşımlarının biyouyumluluğunu ve uygulama alanlarına göre istenen mekanik özelliklerini arttırmak amacı ile Co-Cr alaşımlarına, çeşitli elementler eklenerek medikal alanda kullanım yelpazesini genişletecek çalışmalar yapılmaktadır.

1. GİRİŞ

Paslanmaz çelik, kobalt bazlı alaşımlar ve titanyum alaşımlarından oluşan metalik biyomalzemeler, biyouyumlulukları, iyi mekanik özellikleri ve mükemmel korozyon dirençleri nedeniyle diş alaşımları, ortodontik tel ve ortopedik protez imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır (Abbass vd., 2014). Metaller, biyomedikal yük taşıma uygulamaları için gerekli olan yüksek mukavemet ve kırılma direncine sahiptir. Metallerin saf halde, tek başına sağlayamadığı bazı özellikler nedeniyle, kullanımları nadirdir. Bundan dolayı, diğer alaşım elementlerinin katkısıyla beklenen özellikleri sağlayabildiği için, alaşımların kullanımı daha yaygın ve uygundur. Ticari metalik malzemelerin çoğu, alaşım halindedir. Mühendislik alaşımları, dökme demirler ve çelikler, aliminyum alaşımları, magnezyum alaşımları, titanyum alaşımları, nikel alaşımları, çinko alaşımları ve bakır alaşımlarını içerir. Günümüz ekonomisinde hekimlerin kullandıkları malzemeler konusunda bilinçli olmaları zorunludur. Dişçilik prosedürlerinde yarı değerli ve değersiz baz alaşımlar için oluşan ardışık talep, bu alaşımların fiyatlarında önemli artışlara neden olmuştur. Kıymetsiz metallerin artan maliyetleri ile, diş laboratuvarları için minimum maliyetle restorasyonlar üretmek için yeni metal alaşımları ile kombinasyon halinde yeniden kullanılması ekonomik olarak tavsiye edilmektedir. Biyomedikal uygulamalarda kullanılan kobalt yüksek erime sıcaklıklarına sahip alaşımlardır. Bu alaşımların kombinasyonu sırasında atomik kafes yapısında bu sıcaklılardan kaynaklı yüzey merkezli kübik (YMK) yapı ile hegzagonal sıkı paket (HSP) yapı arasında dönüşümler gerçekleşmektedir. Kobalt, γ-fazından (yüksek sıcaklık, 690K, YMK yapısı) ε-fazına (düşük sıcaklıklı HSP yapısı) allotropik bir dönüşümle karşılaşır. Bu dönüşüm termal histerezis ile (kesme baskındır); dolayısıyla martensitik dönüşüm olarak kabul edilir. Dönüşüm sıcaklığı/ısısı, alaşım yapan elementlerinin eklenmesiyle kontrol edilebilir.

Biyomedikal uygulamalarda kullanılan alaşımlardan istenen temel özellik biyouyumluluk göstermeleridir. Biyouyumlu özelliği ile bilinen Co-Cr bazlı metalik alaşımlar, korozyona, sıcaklığa ve iyi aşınma direncine karşı yüksek etkiye sahiptirler. Genellikle döküm yöntemiyle elde edilen Co-Cr esaslı alaşımlar ilk olarak tıp alanında diş implantı olarak kullanılmıştır. Akabinde vücut ortamında gerçekleştirilen birçok mekanik ve dinamik test, Co-Cr bazlı alaşımların biyouyumlu olduğunu ve biyoimplant olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Co-Cr esaslı alaşımların Krom (Cr) ilavesi ile mukavemeti artırılmakta, Molibden (Mo) ilavesi ile ince taneli bir yapı elde edilmekte ve bu da mekanik özelliklerini iyileştirmektedir.

Kobalt alaşımları, medikal alanında ilk olarak 1929 yılında, döküm yöntemiyle diş implantı üretiminde kullanılmıştır. O zamandan beri, kısmi

protez dökümleri için altın baz alaşımlarına bir alternatif materyal olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kobalt krom alaşımları çok daha güçlü, çok daha serttirler ve nispeten yüksek elastik modüllerine ve düşük maliyete ek olarak düşük yoğunluğa sahiptir. (Khalaf vd., 2018) Geleneksel yöntemler ile üretilen başlıca Co-Cr bazlı alaşımlar: Co-Cr-Ga-Nb, Co-Cr-Ni-Mo, Co-28Cr-6Mo-0.7Mn-0.5Si-0.5C, Co-Cr Mo, Co-Cr-Ni-Mo, Co-Ni-Cr-Mo-W-Fe, Co-Cr-W-Ni, Ni- Cr-Si-Mo şeklinde verilebilir (Aygül vd., 2019). Ağırlıkça %20'den fazla krom içeren Co-Cr alaşımları, esas olarak krom oksitten oluşan pasivasyon tabakası oluşumu nedeniyle yüksek korozyon direncine sahiptir.

Kobalt bazlı alaşımlar, özellikle ortopedik implantlarda, implant bileşenlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kobalt bazlı alaşımların iki tipi en yaygın kullanılan implant materyalleridir (yüksek ve düşük karbonlu Cr-Mo alaşımı). Her iki alaşımda % 28 Cr ve % 5'lik Mo ile kobalt oluşumuna sahip olmasına rağmen, aralarında bulunan fark birinin diğerinden daha yüksek bir karbon içeriğine sahip olmasıdır.

Kobalt bazlı alaşımların in vivo ortamda korozyon direnci, paslanmaz çeliklerden daha iyidir ve Kobalt alaşımları ağır olmalarına rağmen, aşınma dirençleri yüksektir. Co-Cr-Mo alaşımının biyouyumluluğu, Co ve Mo oksitlerinden bazı küçük katkılarla ince bir pasif krom oksit tabakası tarafından elde edilen mükemmel korozyon malzemesinin direnci ile yakından ilgilidir. Co-Cr-Mo alaşımları implante edildikten ve vücut ortamına maruz kaldıktan sonra zamanla aşınma eğilimi göstererek, Co, Cr ve Mo iyonlarını vücut sıvılarına (serum, idrar, vb.) salar. Ayrıca Co-Cr bazlı alaşımlardan üretilen implant bileşenlerinin vücut sıvılarında yüksek Co ve Cr konsantrasyonları ürettiği rapor edilmiştir. Zamanla metal iyonlarının seviyesi klinik olarak önemli olabilir (Abbass vd., 2014; Santos vd., 2010).

Biyometal alaşımlarda metallerin mikroyapı ve tane boyutunun kullanım amacı üzerinde önemli etkileri olduğu belirtilmiştir. Metal ve alaşımlarını üretmede; karmaşık bileşen üretimi, hafif parça imkânı, malzemenin verimli kullanımı, kişiye uygun tasarım, düşük maliyet, üretilebilirlik, geniş tasarım imkânı ve tekrarını sağlayan yöntem kuşkusuz en iyi yöntemdir. Bu çalışmada Co-Cr alaşımlarının mekanik, fiziksel, biyo, işlenebilirliği ve uygulamaları hakkında kapsamlı bilgilere yer verilmiştir.

2. KİMYASAL BİLEŞENLERİ

Biyomedikal uygulamalar için CoCr alaşımları, yüksek korozyon direnci ve mukavemet sergileyen Co-Cr veya Co-Ni-Cr 'dan oluşur. Biyomedikal uygulamalar için yaygın olarak kullanılan alaşımlar şunlardır:

1. Döküm veya (T/M) Co-Cr-Mo (F75 veya Stellite 21).
2. Dövülmüş Co -Cr -W- Ni (F90 veya Stellite 25).
3. Co -Ni -Cr-Mo -Ti (F562 veya MP35N).

Tıbbi uygulamaların tüm Co-Cr alaşımları karbondur (C=ağırlıkça %0,25), CoCr alaşımlarının kimyasal bileşimleri Tablo 1'de listelenmiştir.

Tablo 1: CoCr alaşımlarının kimyasal bileşimi (Shi, 2005)

Alaşım	ASTM	Co	Cr	Mo	W	Ni	Fe	Si	Mn
Co-Cr-Mo (Döküm veya TM)	F75	Kalan	27-30	5-7	-	2,75	0,75	1	1
Co-Cr-W-Ni (Dövme)	F90	Kalan	19-21	-	14-16	Max. 3	Max. 3	0,4	1-2
Co-Ni-Cr-Mo (Dövme)	F562	Kalan	19-21	9-10,5	-	Max. 1	Max. 1	Max. 0,15	Max. 0,15

3.FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Kobalt bazlı alaşımlar iki tane muhtemel kristal yapıya sahiptir: Düşük ısılarda (417 derecenin altında) hegzagonal sıkı paket (HSP) ve yüksek ısılarda (417 derecenin üstünde) yüzey merkezli kübik yapı (YMK) yapıya sahiptir. Buna ilaveten, kalça yüzey yenileme eklemi uygulamasında, çoğu kobalt bazlı alaşım yarı kararlı bir (YMK) matris yapısı gösterir, çünkü bu alaşımların üretildiği termal işlemler nispeten hızlı soğutmayı ve bir HSP yapısının oluşumunu engellemeyi içerir. Bunun nedeni, oda sıcaklığında YMK 'ten, HSP'ye kinetik dönüşümün çok yavaş olmasıdır. (Crook, 1990). Bu dönüşümün meydana gelme hızı, alaşım elementleri ve spesifik ısıl işlem gibi faktörlere bağlıdır. Krom ve Tungsten elementleri eklendiğinde, bu dönüşüm oranını arttırır. Ancak, ne zaman Nikel ve Karbon elementleri gibi FCC stabilizatörleri eklenirse, bu dönüşüm oranını yavaşlatır (Kauser, 2007).

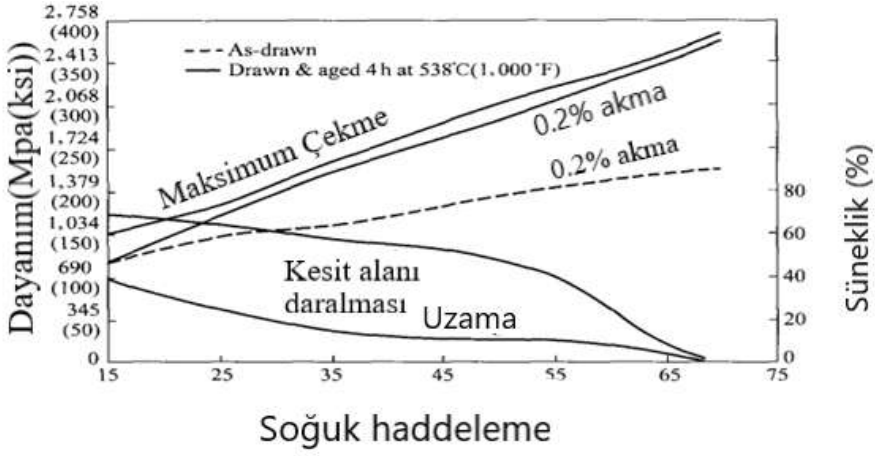
4.MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Genel olarak, Co-Cr alaşımı, süneklikleri biraz daha zayıf olmalarına rağmen paslanmaz çeliğe göre daha yüksek Young modülüne ve mukavemete sahiptir. Co-Cr alaşımları diğer alaşımlardan daha iyi aşınma direncine sahiptir. Metalik malzemelerin aşınma direnci sertliğe bağlıdır, ki bu durum akma ve çekme kuvvet ile artmaktadır. Co-Cr alaşımlarının yüksek aşınma direnci, Tablo 2'de ki gibi değerleriyle gösterilebilir.

Co-Cr alaşımlarının mekanik özellikleri işleme koşullarına bağlıdır. F75'in sıcak dövme versiyonu olan F799, döküm muadiline göre geliştirilmiş süneklilik ile birlikte çok daha yüksek akma ve çekme mukavemetine sahiptir. Soğuk uygulama, Tablo 2'de gösterildiği gibi F90'ı etkili bir şekilde güçlendirir. Şekil (1)'de gösterildiği gibi çok fazlı alaşım F562'yi güçlendirmek için soğuk uygulama ve eskitme tek başına soğuk uygulamadan daha etkilidir (Al Deen, 2021; Nasab vd., 2010; Odahara vd., 2008; Shi, 2005) Biyomedikal implantlar için kobalt bazlı alaşımların mekanik özellikleri Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2: Co bazlı alaşımlarının mekanik özellikleri (Shi, 2005).

Alaşım	İşlem	ASTM	Elastisite Modülü (GPA)	Akma Dayanımı (MPA)	Çekme Dayanımı (MPA)	Süneklik (%Uzama)
Co-Cr-Mo	Döküm	F75	248	450	655	8
Co-Cr-Mo	Dövme	F799	-	827	1172	12
Co-Cr-W-Ni	Dövme	F90	242	379	896	-
Co-Cr-W-Ni	Dövme %44 soğuk işleme	F90	-	1,606	1896	-
Co-Ni-Cr-Mo	Tavlama	F562	228	241-448	793-1000	50
Co-Ni-Cr-Mo	Soğuk işleme ve yaşlandırma	F562	-	1,586	1793	8



Şekil 1: Co-Ni-Cr-Mo F562 alaşımının mekanik özellikleri (Al Deen, 2021).

5. KOROZYON DİRENCİ

Malzemelerin bir insan vücuduna implantasyondan önce, in vitro olarak test edilmesi önemlidir. İmplantasyondan sonra metalin maruz kalacağı doğal ortamı mümkün olduğu kadar yakın bir değere sahip olması arzu edilir. Korozyon, metal atomlarının oksitlendiği ve bir çözeltiye salındığı elektrokimyasal bir süreçtir (Kauser, 2007). İnsan vücudu biyometaller için oldukça korozif bir ortamdır. Örneğin, ortopedik implant malzemelerinden gelen metalik iyonlar, elektrokimyasal korozyon veya kimyasal çözünme, aşınma ve sürtünme korozyonu gibi mekanik olarak hızlandırılmış elektrokimyasal süreçlerle vücuda salınır. Bu nedenle insan vücudunda korozyon dayanımı iyi olmayan bir malzeme kullanılması, malzemenin zayıflaması ve korozyon ürünlerinin hücrelere zarar vermesi ile sonuçlanmaktadır. Korozyonun tıbbi metalik malzemeler için ciddi bir sorun olduğu konusunda genel bir fikir birliği vardır (Hsu vd., 2005; Santos vd., 2010).

Co-bazlı alaşımların en temel özelliği yapısındaki yüksek krom oranı sayesinde sahip olduğu klor ortamındaki yüksek korozyon direncidir. Yüzeyde oluşan krom oksit tabakası (genelde Cr_2O_3) Co-bazlı alaşımların temel korozyon direncini sağlayan öğedir. Ayrıca Mo, Si ve W metallerinin alaşımın yapısına eklenerek aşınma ve korozyon özelliklerinin de iyileştirildiği bilinmektedir.

Co-Cr alaşımlarının yüzeyindeki pasif tabaka, in vivo ortamlarda daha fazla korozyonu önleyen mükemmel korozyon direnci sağlar. Molibden, hidroksil grupları gibi düşük yüzdeli oksitler oluştururken, kobalt ve krom kompleks oksitler oluşturur (2,5 nm kalınlık) (Al Deen, 2021; Hanawa vd., 2001).

6. BİYOUYUMLULUK

İnsan vücudunda kullanılan tıbbi implant alanı, çeşitli tribolojik yönleriyle büyüyen bir alandır. Bu uygulama sektörü, gerekli işlevini yerine getiremeyen bir yüzeyin, ağrılı ve bazen yaşamı tehdit eden sonuçları nedeniyle sıkı kalite gereksinimlerinin hakim olduğu kendine özgü özelliklere sahiptir. Vücut implantlarının reddi, implante edilen materyalin zayıf biyouyumluluğundan kaynaklanır. Biyo uyumluluk en açık şekilde vücudun malzemeyi kabul edebilme kabiliyeti şeklinde tanımlanmaktadır. Biyouyumluluk, uygulanan malzemenin etkileşim halindeki doku ve organlara istenilen tepkiyi verebilme yeteneğidir. Biyomalzemelerde uyumluluk yapısal ve yüzeysel biyouyumluluk olarak iki türde gerçekleşir. Yapısal biyouyumluluk, etkileşimli doku ve organlarına, mekaniksel davranışına uyumu olarak tanımlanırken; yüzeysel biyouyumluluk fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan etkileşimli dokuya uygunluk olarak tanımlanmaktadır (Gümüşderelioğlu, 2002). Metalik biyomalzemeler, dokulara göre pH değeri 1 ila 9 arasında değişen vücut akışkanları ile sürekli olarak veya zaman zaman temas

halindedir. Biyomalzemelerden; biyouyumluluk (vücut ile uyuşabilirlik), iyi mekanik özellikler korozyona dayanım, üstün sürtünme ve aşınma dayanımı göstermesi arzu edilmektedir. Ayrıca, alerjik reaksiyonlara neden olmamaları, zehirli ürünler salgılamamaları, kolay şekillendirilebilir olmaları ve sterilizasyon işlemlerinde, özelliklerini bozmamaları da büyük önem arz etmektedir. Biyo malzemelerin, üstün mekanik özelliklere ve biyouyumluluğa sahip olmaları gerektiğinden, kullanım yerlerine göre uygun özellikleri taşıması açısından seçimleri büyük önem arz etmektedir (Güven, 2014). CoCr alaşımının biyouyumluluğu, bir pasif oksit filminin kendisinden/anlık yapımına atfedilen korozyona karşı yüksek radyasyonla yakından bağlantılıdır. Bu oksit filmin bütünlüğü, alaşım vücuda implante edilir edilmez alaşımın kimyasal ve mekanik stabilitesi ile güçlü bir şekilde ilişkilidir (Santos vd., 2010).

7. UYGULAMA ALANI

Genel olarak bu alaşımların uygulamaları şu şekildedir: Co-28Cr-6Mo alaşımı yapay eklemlerin Stem, top ve çanaklarında, sabitleme vidalarında, kemik plakaları eklem değiştirmelerinde (kalça, diz, omuz) ve fiksasyon cihazlarında kullanılır. Co-20Cr-15W- 10Ni alaşımı fiksasyon tellerinde, Damar stentlerinde ve kalp kapakçıklarında kullanılmaktadır. Co-35Ni-20Cr-10Mo alaşımı kurşun iletken teller, yaylar, stileler, kateterler ortopedik kablolar ve kardiyovasküler stentlerde kullanılır. 40Co-20Cr- 16Fe-15Ni-7Mo alaşımı ark tellerinde, yaylarda, kurşun iletken tellerde, cerrahi klipslerde, balonla genişleyebilen stentlerde (tavlanmış) ve kendiliğinden genişleyen stentlerde (yaşlandırılmış) kullanılmaktadır (Shi, 2005).

8. SONUÇLAR

Kristal yapıları ve çok güçlü metalik bağları sayesinde üstün mekanik özelliklere sahip olan metal ve alaşımları biyomedikal alanda kullanılmaktadır. Bu açıdan, biyomalzemenin dayanım mukavemeti, yorulması, yüzey korozyonu, dokulara karşı alerjik reaksiyon özellikleri ve biyolojik uyumluluğu tercih edilecek alaşım açısından oldukça önemlidir. Co-Cr alaşımları incelendiği zaman, yüksek aşınma, korozyon dirençleri ve yük taşıma kabiliyetleri sayesinde biyomedikal alanda oldukça tercih edilen malzemelerdir. Özellikle kalça ve eklem implantlarında mekanik açıdan üstün özelliklere sahip olmasına rağmen biyolojik olarak implante edildiği bölge ile yüksek bir uyumluluk göstermez ve biyoinert olarak lanse edilir.(Gomez M ,1977). Günümüzde kobalt-krom alaşımlarının yüzeylerinin kendisini çevreleyen doku ile biyolojik yönden daha uyumlu yani biyoaktif hale getirmek için birçok çalışma yapılmaktadır.

KAYNAKÇA

Abbass, M. K., Ajeel, S. A., & Wadullah, H. M. (2014). Study of Corrosion Resistance of Co-Cr-Mo Surgical Implants Alloy in Artificial Saliva. *Engineering and Technology Journal*, *33*(10), 2331-2339.

Al Deen, H. H. J. (2021). Using of CoCr Alloys In Biomedical Applications. *The Iraqi Journal For Mechanical and Materials Engineering*, *21*(4), 320-328.

Aygül, E., Yalçınkaya, S., & Şahin, Y. (2019). Biyomedikal Uygulamalarda Kullanılan Co-Cr-W ve Co-Cr-Mo Metal Alaşımlarının Eklemeli İmalat Yöntemi ile Üretilmesi. *Mühendislik ve Multidisipliner Yaklaşımlar*, 30-41.

Crook, P. (1990). *Metals handbook. Nonferrous alloys and special-purpose materials*.

Gümüşderelioğlu, M. (2002). Yeni Ufuklara: Biyomalzemeler. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi Eki, Ankara*.

Güven, Ş. (2014). Biyouyumluluk ve biyomalzemelerin seçimi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, *2*(3), 303-311.

Hanawa, T., Hiromoto, S., & Asami, K. (2001). Characterization of the surface oxide film of a Co–Cr–Mo alloy after being located in quasi-biological environments using XPS. *Applied Surface Science*, *183*(1-2), 68-75.

Hsu, R. W.-W., Yang, C.-C., Huang, C.-A., & Chen, Y.-S. (2005). Electrochemical corrosion studies on Co–Cr–Mo implant alloy in biological solutions. *Materials chemistry and physics*, *93*(2-3), 531-538.

Kauser, F. (2007). *Corrosion of CoCrMo alloys for biomedical applications*. PhD Thesis, University of Birmingham.

Khalaf, Dr. H. M., AL-Ameer, Dr. S. S., & Alsaady, Dr. A. A. (2018). The effect of recasting on the Fatigue resistance of Co-Cr alloys. *Mustansiria Dental Journal*, *5*(2), 205-212. https://doi.org/10.32828/mdj.v5i2.529

Nasab, M. B., Hassan, M. R., & Sahari, B. B. (2010). Metallic biomaterials of knee and hip-a review. *Trends Biomater. Artif. Organs*, *24*(1), 69-82.

Odahara, T., Matsumoto, H., & Chiba, A. (2008). Mechanical properties of biomedical Co-33Cr-5Mo-0.3 N alloy at elevated temperatures. *Materials transactions*, *49*(9), 1963-1969.

Santos, C. B., Haubold, L., Holeczek, H., Becker, M., & Metzner, M. (2010). Wear–corrosion resistance of DLC/CoCrMo system for medical implants with different surface finishing. *Tribology letters*, *37*, 251-259.

Shi, D. (2005). *Introduction to biomaterials*. World Scientific.

Yan, Y., Neville, A., & Dowson, D. (2007). Tribo-corrosion properties of cobalt-based medical implant alloys in simulated biological environments. *Wear*, *263*(7-12), 1105-1111.

Gomez M., Mancha, H., Salinas, A., Rodriguez J.L., Escobedo, J., Castro M., (1997), Relationship between microstructure and ductility of investment cast ASTM F-75 implant alloy, Journal of Biomedical Materials Research 34 157–163.