

CoCrMo Alaşımı Üzerine TaN Esaslı İnce Film Kaplamaların Yüzey Özelliklerinin İncelenilmesi

Erkan BAHÇE^{1*}, Ali Kemal ASLAN², Neşe ÇAKIR¹, Mehmet Sami GÜLER³

¹ İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

² Munzur Üniversitesi, Tunceli MYO, Tunceli, Türkiye

³ Ordu Üniversitesi, TBMYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ordu, Türkiye

Geliş Tarihi: 08.05.2019

Kabul Tarihi: 12.09.2019

*Sorumlu Yazar: erkan.bahce@inonu.edu.tr

Öz

CoCrMo alaşımı, yüksek darbe ve yorulma dayanımı gibi özellikleri sayesinde ortopedik implant malzemesi olarak yaygın kullanılmaktadır. Bu alaşım yüksek korozyon dayanımı göstermesine rağmen düşük aşınma dayanımına sahiptir. Yapay eklem implant malzemesi olarak kullanıldığında, korozif vücut sıvısı nedeniyle düşük sürtünme özelliği ve düşük korozyon direnci göstermekte olup kısa sürelerde aşınmalara maruz kalmaktadırlar. Bu nedenle, CoCrMo alaşım yüzeyine korozyonu ve aşınma direncini geliştirmek için yüzey kaplama işlemi yapılmaktadır. Bu çalışmada CoCrMo alaşımının yüzeyinin tribolojik özelliklerini geliştirmek için kapalı alanda dengersiz magnetron püskürtme işlemi ile çok katmanlı kaplanmıştır. Kaplama mimarisi Cr/CrN/CrCN/TaN dizilimine sahip olup tabaka sayısı iki, dört ve sekizdir. Kaplamaların tribolojik özelliklerini karakterize etmek için disk üzerinde pin aşınma testi, sertlik ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmıştır. Sonuçlar, alaşımın tribolojik özelliklerinin önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Tabaka sayısının artması ile örneklerin aşınma dayanımı, sertliği ve yüzey kalitesinin arttığı gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyomalzeme, CoCrMo alaşımı, Kaplama, Fiziksel Buhar Biriktirme, İnce Film, Triboloji.

Investigation of the Surface Properties TaN Based Thin Film Coatings on the CoCrMo Alloy

Abstract

CoCrMo alloy is widely used as orthopedic implant material thanks to its properties like high impact and fatigue strength. This alloy has high corrosion strength but low wear strength. When it is used as an artificial joint implant material it subjects to both wear and corrosion because of the aggressive body fluid in terms of corrosion. Therefore, the surface coating process is applied to CoCrMo alloys to improve the corrosion and wear strength together. In this study, in order to improve the tribological properties of CoCrMo alloy, its surface was multilayer coated via close field unbalanced magnetron sputtering process. Coating architecture was of Cr/CrN/CrCN/TaN and the number of the layers were two, four and eight. Pin-on-disk wear test, hardness and surface roughness measurements were performed to characterize the tribological properties of the coatings. Results showed that as a result of coating process tribological properties of the alloy were improved significantly. It is observed that with increasing number of layer, wear strength, hardness and surface quality of the samples improved.

Keywords: Biomaterial, CoCrMo alloy, Coating, Physical Vapor Deposition, Thin Film, Tribology.

1. Giriş

CoCrMo alaşımı metalik biyomalzemeler sahip oldukları yüksek elastisite modülü, yüksek çekme dayanımı, yüksek aşınma ve korozyon dayanımı gibi iyi mekanik özellikleriyle beraber biyouyumlulukları nedeniyle diz ve kalça implantlarında femur bileşen olarak kullanılmaktadır (Geetha ve ark., 2009; Chen ve ark., 2015; Agarwal ve ark., 2015; güven, 2014). Bu alaşımlar, belirtilen olumlu özelliklerine rağmen, in-vivo ortamda kullanımlarında düşük sürtünme özelliği ve düşük korozyon direnci göstermekte olup in-vitro koşullarda öngörülenden daha kısa sürelerde aşınmalara maruz kalmaktadırlar (Martinez-Nogues, 2016). Söz konusu olan Metal-poietilen bileşenlerden oluşan bir eklem implantı olduğunda meydana gelen metal ve polietilen aşınma debrisleri implant yüzeyleri arasında üçüncü gövde görevi görerek gerek poietilen bileşenin, gerekse metal bileşenin hızlandırılmış aşınmasına neden olmaktadır (Affatato ve ark., 2013). Bunlara ilaveten alaşımdan vücut sıvısı içerisine salınan metal iyonları çok çeşitli alerjik, toksik etkilere neden olabilmektedir. Gerek metal iyon salınımları gerekse aşınma ürünlerinin kemik implant birleşim bölgelerinde birikmesi sonucunda implant fiksasyonunu yitirmekte ve erken revizyon operasyonu gerekmektedir (Wang ve ark., 2010). Bu olumsuzlukları önleyerek CoCrMo alaşımı implantların kullanım ömürlerinin artırılması amacıyla, alaşım yüzeyi sert seramik filmler ile kaplama çalışmaları yapılmaktadır (Gottman ve ark., 2011). Sert seramik kaplamalar biyomedikal alanda eklem replasmanlarının yüzeylerinin kaplanması uygulamalarında; vücut sıvısının oldukça korozif ortamına karşı yüksek biyo inertlikleri, biyouyumlulukları, yüksek sertlik ve elastisite modülü, düşük sürtünme katsayıları ve yüksek ıslanabilirlik özellikleri nedeniyle tercih edilmektedirler (McIntire ve ark., 2015). Seramik kaplamaların tek tabakalı uygulamaları mevcut iken son zamanlarda yapılan çalışmalarda çok tabakalı kaplamalar sağladıkları daha üstün tribolojik özelliklerinden dolayı tercih edilmektedirler (Glewicz ve ark., 2014). Çok tabakalı kaplama uygulamalarında ilk tabaka olarak yumuşak altlık malzemesinden sert seramik kaplamaya geçişte dereceli bir geçiş elde etmek ve kaplama adhezyonunun artırılması amacıyla genellikle sertlik ve elastisite modülü düşük olan bir bileşen seçilir. Daha sonra tekrar eden ara tabakalar kullanılarak iç yapıda meydana gelen çatlakların ilerlemesi engellenir, ayrıca üst yüzeydeki gerilmeler azaltılır (Holmberg ve ark., 2009). Farklı özelliklere sahip kaplama tabakalarının kullanımıyla da yüzeyde birbirinden farklı türde mekanik özelliklerin geliştirilmesi sağlanabilmektedir. Çok tabakalı kaplama uygulamalarında tek tabakalı kaplamalara kıyasla artırılmış sertlik, elastisite modülü, aşınma, korozyon, yorulma dayanımı özellikleriyle beraber metal iyon salınımı seviyelerini de belirgin biçimde düşürüldüğü geçmişte yapılan çalışmalarda görülmüştür (Wen, 2015; Griesser, 2016).

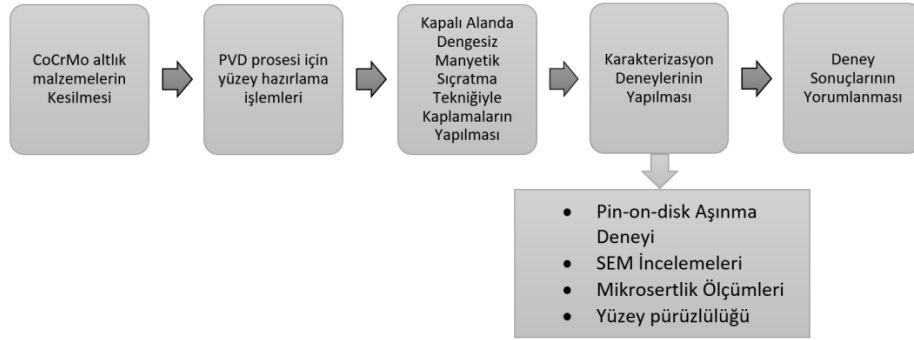
CoCrMo alaşımı implant malzemelerinin yüzey özelliklerinin modifikasyonu amaçlı yapılan çalışmalar incelendiğinde TiN, Elmas benzeri karbon (DLC), alümina (Al₂O₃), Zirkonya (ZrO₂),

Zirkonya güçlendirilmiş alümina, alümina güçlendirilmiş Zirkonya, Silikon nitrür (Si₃N₄), bununla beraber Zirkonyum Nitrür (ZrN), titanyum–niyobyum-nitrür (TiNbN), Cr-N, Mo-N, Nb-N ve W-N gibi çok çeşitli seramik kaplamalar yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmalarda kaplanmamış CoCrMo alaşımına kıyasla artırılmış tribokorozif ve mekanik özellikler elde edilmiştir. Ancak bu alanda implant yüzeylerinin kaplanmasında uygulamada kullanılan kaplamalar genellikle elmas benzeri karbon (DLC) ve Ti esaslı seramik kaplamalar üzerine yoğunlaştığı görülmüştür. DLC esaslı yapılan kaplamalarda çeşitli yöntemlerle CoCrMo altlık malzeme üzerine biriktirilen filmlerin aşım yüzeyinin sertliğini ve aşınma dayanımını belirgin biçimde artırdığı görülmüştür (Zhang ve ark., 2014; Di ve ark., 2015). Yine yapılan başarılı kaplamalarla aşımın korozyon direncinin artırıldığı ve metal iyon salınımı seviyelerinin düşürüldüğü görülmüştür (Zhang ve ark., 2014; Liu ve ark., 2017). Benzer şekilde Ti esaslı seramik kaplamalarla yapılan çalışmalarda da artırılmış aşınma ve korozyon dayanımı, düşürülmüş metal iyon salınımı seviyeleri tespit edilmiştir (Canto ve ark., 2017; Alemon ve ark., 2015; Chen ve ark., 2014).

Gerek DLC kaplamalarda gerekse TiN kaplamalarda elde edilen başarılı sonuçlara rağmen, bu bileşenlerin in-vivo uygulamalarında CoCrMo alaşımına zayıf adhezyonundan, kaplama esnasında meydana gelen iğne deliği gibi kusurların varlığından in-vivo uygulamalarda öngörülenden erken başarısızlığa uğradıkları yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Gottman ve ark., 2011; Lapaj ve ark., 2015, Van ve ark., 2015; Hauest ve ark., 2013). CoCrMo alaşımına farklı bir kaplama mimarisinde yapılacak olan çoklu tabakalı kaplama ile elde edilecek daha yüksek adhezyona sahip, aşınma ve korozyon dayanımı daha yüksek farklı bir kaplama mimarisinin bu açığı kapatabileceği düşünülmektedir. Bu amaçla, bu çalışmada kaplamaların altlık malzemeye adhezyonun artırılması amacıyla ilk önce Cr tabakası ardından, CrN/CrCN ikili tabakası ve en üst tabaka olarak sahip olduğu yüksek biyouyumluluk, sertlik, elastisite modülü, düşük sürtünme katsayıları ve korozyon direnci nedeniyle TaN kaplaması seçilmiştir. Aşım yüzeyi Cr/(CrN/CrCN)/TaN kaplama mimarisiyle kaplanarak, kaplamanın tribolojik özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

ASTM F-75 CoCrMo alaşımının yüzeyinin çoklu tabakalar ile kaplanması sonucu tribolojik ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesinin hedeflendiği bu çalışmanın akış şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışmanın akış şeması.

2.1. Materyal

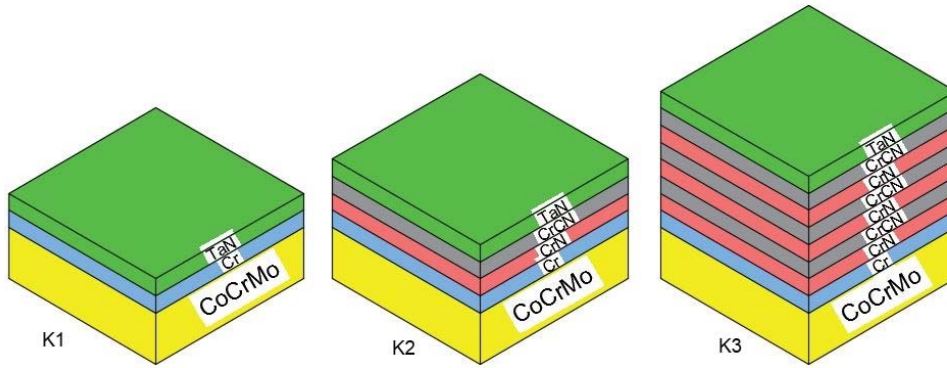
Bu çalışmada, aşağıda Tablo 1’de mekanik özellikleri verilen, diz ve kalça implantlarında yaygın kullanım alanına sahip olan ASTM F-75 CoCrMo alaşımı altlık malzeme olarak kullanılmıştır. 20x20x2 mm boyutlarındaki altlık malzemeler gerçek diz implantı tibial bileşenden lazer kesim yöntemiyle kesilerek elde edilmiştir.

Tablo 1. Altlık malzemenin mekanik özellikleri.

Mekanik Özellik	Değer
Çekme Dayanımı(MPa)	655
Akma Dayanımı (MPa)	450
Uzama (%)	8
Yorulma Dayanımı(MPa)	310
Sertlik (GPa)	8.31

Alaşımın yüzey kaplama bileşenleri olarak; yüzeyi kaplanan altlık malzeme ile kaplama arasında yüksek adhezyon sağlayabilmek için ilk tabaka olarak Cr ince film biriktirilmiştir (Warcholinski ve ark.,2011). Tekrar eden ara tabaka periyodu olarak ise CrN/CrCN periyodu; yüzey kaplama uygulamalarında, iyi adhezyon özelliklerine sahip oldukları, kaplama tabakalarında çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynadıkları ve ara tabaka olarak kullanımlarında en üst tabaka da düşük sürtünme katsayıları sağladıkları için seçilmiştir (Warcholinski ve ark.,2011; Lamastra ve ark., 2006; Elangovan ve ark., 2010). Yapay eklem uygulamalarında karşıt bileşenle temasta olacak ve aşınmaya ve korozyona maruz kalacak olan en üst yüzey kaplaması olarak biyouyumluluğu, yüksek sertlik ve elastisite modülü, yüksek korozyon ve aşınma direncinden kaynaklı TaN seramik film tabakası seçilmiştir. Seçilen bileşenlerin CoCrMo alaşımı üzerinde kaplamasının hem düz yüzeyler üzerinde hem de diz implantı femoral bileşeni yüzeyinde kaplaması karşıt malzeme olarak ultra yüksek yoğunluklu polietilen bileşen seçilerek ANSYS programında statik yük analizleri gerçekleştirilmiştir.

Analizlerde elde edilen artırılmış yüzey özellikleri dikkate alınarak kaplama mimarisi seçilmiştir. Alaşım yüzeyinin tribolojik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla iki, dört ve sekiz tabakalı kaplamalar kapalı alanda dengesiz manyetik sıçratma tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sırasıyla K1, K2 ve K3 olarak isimlendirilmiştir. Deneylerde uygulanan kaplama mimarileri aşağıda Şekil 2’de kodlarıyla verilmiştir.



Şekil 2. Deneylerde uygulanan kaplama mimarileri.

2.2. Metot

ASTM F-75 CoCrMo alaşımı oldukça sert bir malzeme olduğundan, altlık malzemeler kaplama işlemine uygun hale getirmek için lazer kesim yöntemiyle 20x20x2 mm boyutlarında kesilmiştir. Fiziksel buhar biriktirme prosesinde altlık malzemelerin yüzey pürüzlülükleri oldukça düşük değerlerde istendiğinden, yüzey parlatma işlemleri 120’lik SiC zımparayla başlatılmış, daha sonra sırasıyla 240, 400, 600, 1000, 1200 ve 2000’lik SiC zımparalar ile devam edilerek numunelerin yüzeyleri parlatılmıştır. Ardından sırasıyla 0.3 μ ve 0.6 μ elmas süspansiyonlarında çuha ile parlatılmıştır. Metalografik işlemleri tamamlanan numuneler 15 dakika ultrasonik banyoda asetonda bekletildikten sonra bol su ile yıkanmış ve son olarak 10 dakika etil alkolde bekletilerek tüm yüzeyler kaplamaya hazır hale getirilmiştir.

Yüzey kaplama işlemleri Erzurum Atatürk Üniversitesinde bulunan Kapalı Alanda Dengesiz Manyetik Sıçratma (CFUBMS) cihazı (Teer Coatings) ile yapılmıştır. Dört adet hedefi olan cihazın hedeflerinden birisine Ta, birisine Cr yüklenilmiş diğer iki hedef boş bırakılarak kaplamalar gerçekleştirilmiştir. Tablo 2’de kaplama parametreleri verilmiştir.

Tablo 2. Kaplama parametreleri

Yapılan İşlem	Bias Voltajı (V)	Hedef Akımı (A)	Çalışma Basıncı (Pa)	Kaplama süresi (dk)
İyon Temizleme	-800	4	0.33	25
Cr Ara Tabaka Kaplama	-150	4	0.33	3
CrCN Tabaka Kaplama	-150	4	0.33	15
CrN Tabaka Kaplama	-100	4	0.33	15
TaN Tabaka Kaplama	-100	4	0.33	600

Yapılan yüzey kaplamalarının aşınma dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla pin-on-disk cihazı kullanılarak kuru ortamda aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde alümina top karşıt malzeme olarak kullanılmış olup, 0.1 m/s kayma hızı, 1N'luk yükleme ile 60 Hz frekans parametreleriyle 30 metre kayma mesafesinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin aşınma dayanımında önemli kriterler olan yüzeyin mikrosertlik ve pürüzlülük ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik ölçümlerinde her bir numune yüzeyinden farklı noktalardan 5 ayrı ölçüm yapılarak daha sonra bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Ölçümler 25 gf kuvvet altında 15 saniye süre ile uygulanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ise 0.01-0.04 µm ölçüm hassasiyetine sahip yüzey pürüzlülüğü test cihazı (TIME TR 200) kullanılarak 0.8 mm uzunluğunda kısa adımlar seçilerek, her bir numuneden 5 farklı noktadan ölçümler alınıp daha sonra bunların aritmetik ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir. Kaplamaların aşınma karakterizasyonu için, aşınmış yüzeyler üzerinde SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışmalar

3.1. Yüzey Pürüzlülüğü ve Mikrosertlik Sonuçları

Deneylerde elde edilen sertlik değerleri Tablo 3.' de verilmiştir. Kaplanmamış CoCrMo alaşımının sertlik değeri 8.31 GPa olarak ölçülmüş iken yüzeyi Cr/TaN ile kaplanan numunede mikrosertlik değeri 22 GPa olarak ölçülmüştür. Yapılan iki tabakalı kaplamanın etkisiyle yüzeyin mikrosertlik değeri yaklaşık 3 kat arttığı tespit edilmiştir. CrN/CrCN ara tabaka periyoduna sahip K2 ve K3 numunelerinde ise bu değer sırasıyla 31 ve 58 GPa olarak ölçülmüş olup, bu ara tabakaların kullanımıyla mikrosertlik değerlerinin belirgin biçimde arttığı görülmüştür. Özellikle sekiz tabakalı kaplama mimarisine sahip K3 numunesinde sertlik değerinin kaplanmamış alaşım yüzeyine oranla 7

kattan daha fazla arttığı tespit edilmiştir. Artan tabaka sayısına bağlı olarak sertlik değerinin arttığı görülmüştür ve bu sonuçlar literatür ile uyumludur (Warcholinski ve ark.,2011; Lee ve ark., 2006).

Tablo 3. Deneylerde elde edilen mikrosertlik değerleri.

Numune	Kaplanmamış CoCrMo	K1	K2	K3
Mikrosertlik Değeri (GPa)	8.31	22	31	58

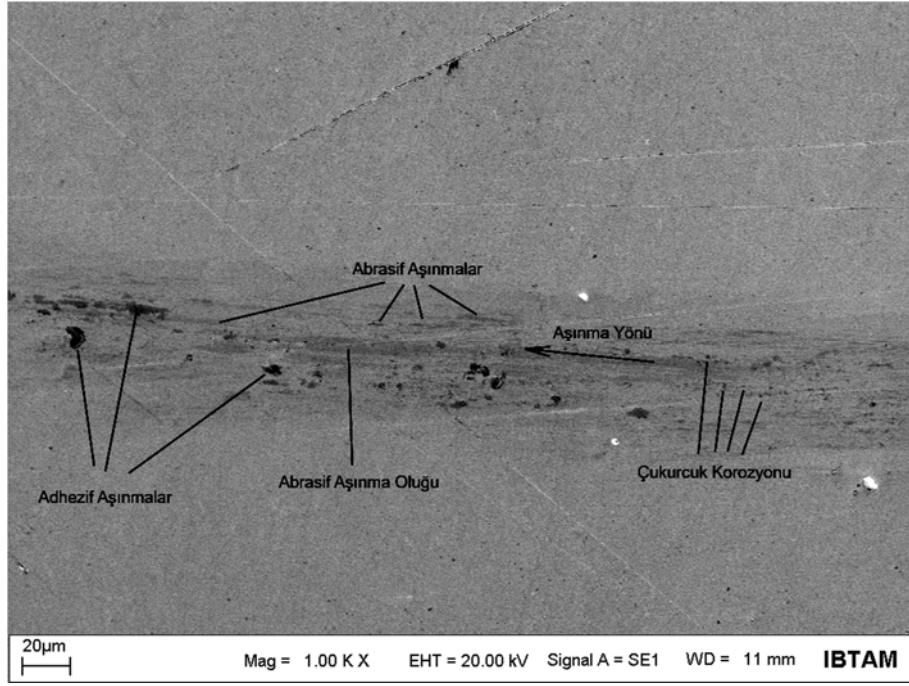
Tablo 4. Yüzey pürüzlülüğü değerleri.

Numune	CoCrMo	K1	K2	K3
Yüzey Pürüzlülüğü Ra (μm)	0.068	0.050	0.029	0.022

Yüzey pürüzlülük ölçümleri sonucunda elde edilen değerler Tablo 4. ' de verilmiştir. Kaplama işlemleri öncesinde yüzeyi kaplanmış numunelerle aynı işlemlerden geçirilmiş kaplanmamış alaşımın yüzey pürüzlülük değeri 0.068 μm olarak hesaplanmıştır. Bu değer yüzeyi kaplanmış K1, K2, K3 numunelerinde ise sırasıyla 0.050 μm , 0.029 μm ve 0.022 μm olarak ölçülmüştür. Alaşım yüzeyinin kapalı alanda dengesiz manyetik sıçratma tekniğiyle Cr/CrN/CrCN/TaN kaplama mimarisinde seramik bileşenlerle kaplanmasıyla yüzey pürüzlülüğü 3 kat düşürülmüştür.

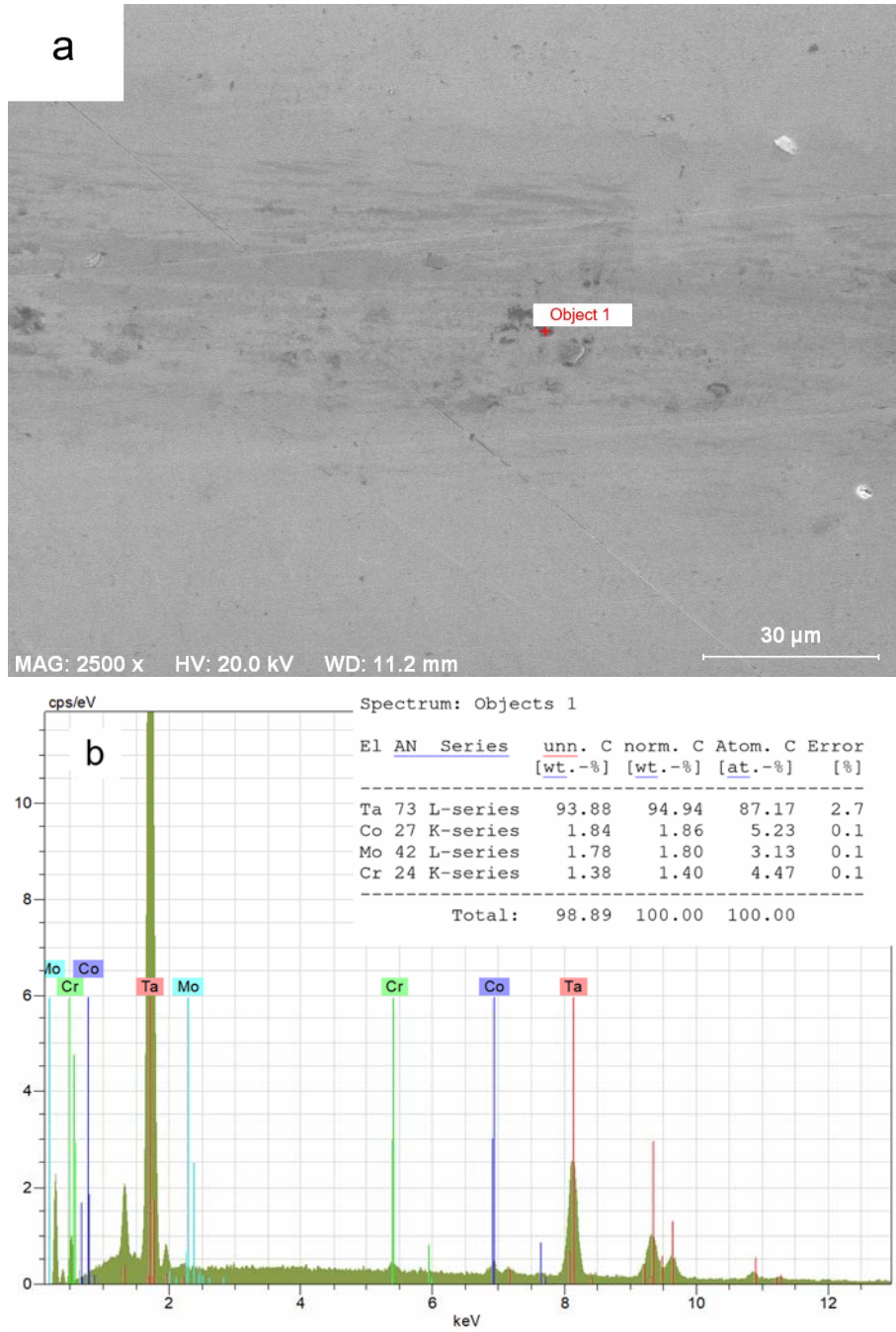
3.2. Aşınma Deneyi Sonuçları

Aşağıda Şekil 3'te K1 kaplamasının aşınma yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde aşınmaların genellikle abrasif karakterde olduğu, az miktarda adhezif aşınmaların da meydana geldiği görülmektedir. Deneylerin kuru ortamda yapılması nedeniyle sürtünen yüzeyler arasında meydana gelen oksitlenmeye bağlı olarak da çukurcuk korozyonunun meydana geldiği düşünülmektedir. Görüntülerde gerek aşınmış yüzeylerde gerekse aşınmamış yüzeylerde görülen keskin çiziklerin yüzey parlatma işlemleri esnasında oluşan çizikler olduğu düşünülmektedir.

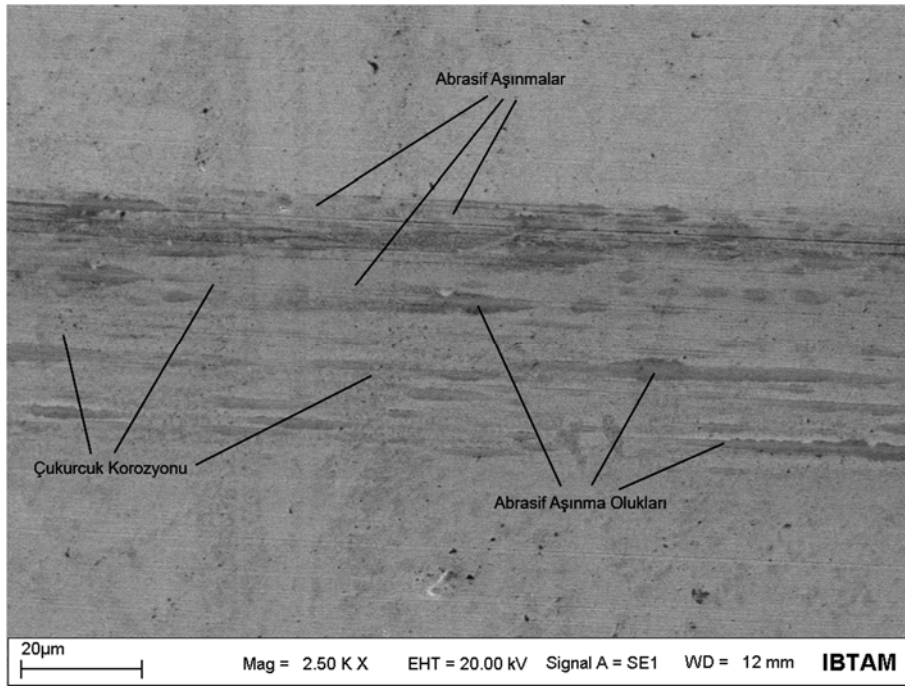


Şekil 3. K1 numunesinin aşınmış yüzey SEM görüntüsü.

Şekil 4-a'da verilen Cr/TaN kaplama mimarisine sahip bu numunenin aşınmış yüzeyinde koyu görümlü çukur şeklinde 1 numaralı bölgeden EDS alınmıştır. EDS alınan nokta ve sonuçları Şekil 4-b'de verilmiştir. Analiz sonucunda spektrum alınan noktada ağırlıkça %94.94 oranında Tantal, %1.86 oranında Co, %1.8 oranında Mo, 1.4 oranında Cr olduğu belirlenmiştir. Kaplama mimarisi gözönüne alındığında TaN tabakasının tam olarak aşınması durumunda hemen altındaki tabaka Cr tabakasıdır. Bu durumda spektrum alınan bölgedeki adhezif aşınma noktasında tabakanın tamamen kalkmadığı analiz sonucunda çıkan yüksek Tantal oranına bakılarak söylenebilir. Bu noktada spektrum sonucunda çok düşük düzeylerde neden Co, Cr ve Mo elementlerinin var olduğu ise biriktirilen film tabakasının inceliği ile açıklanabilir.

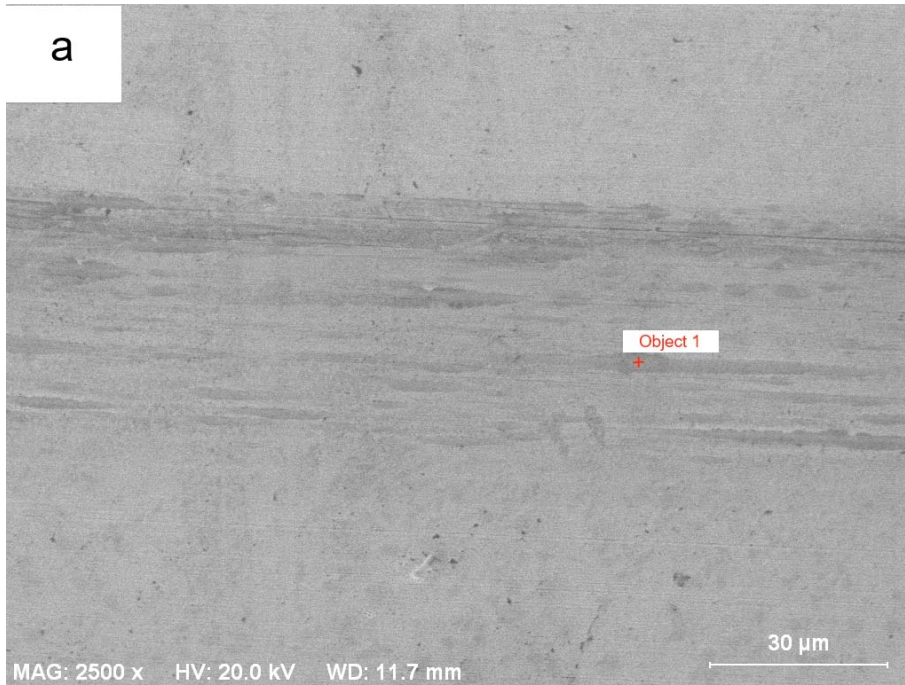


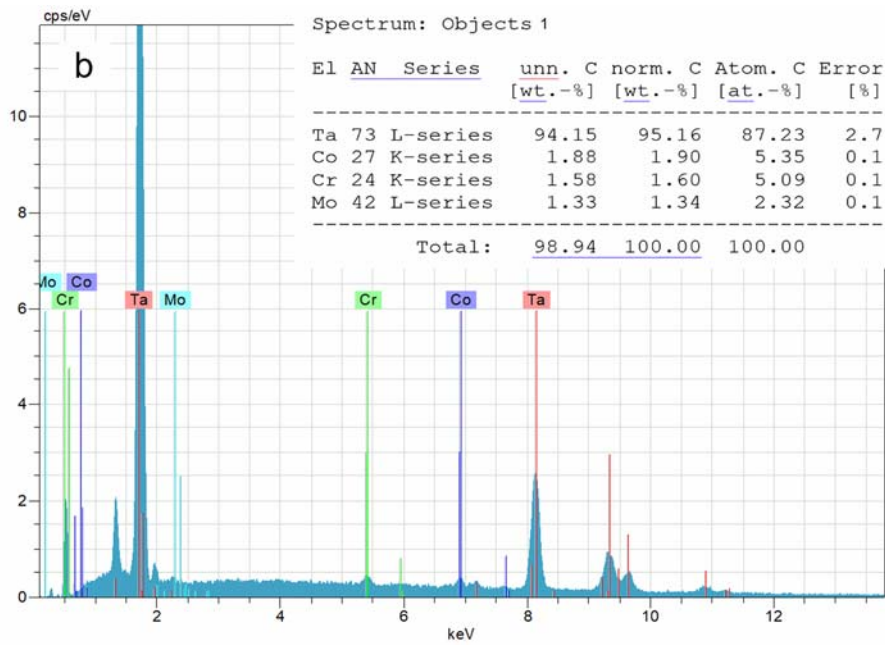
Şekil 4. K1 kaplaması aşınma yüzeyi görüntüsü (a) ve bu yüzeyden alınan bölgenin noktasal EDS analizi (b).



Şekil 5. K2 numunesinin aşınmış yüzey SEM görüntüsü.

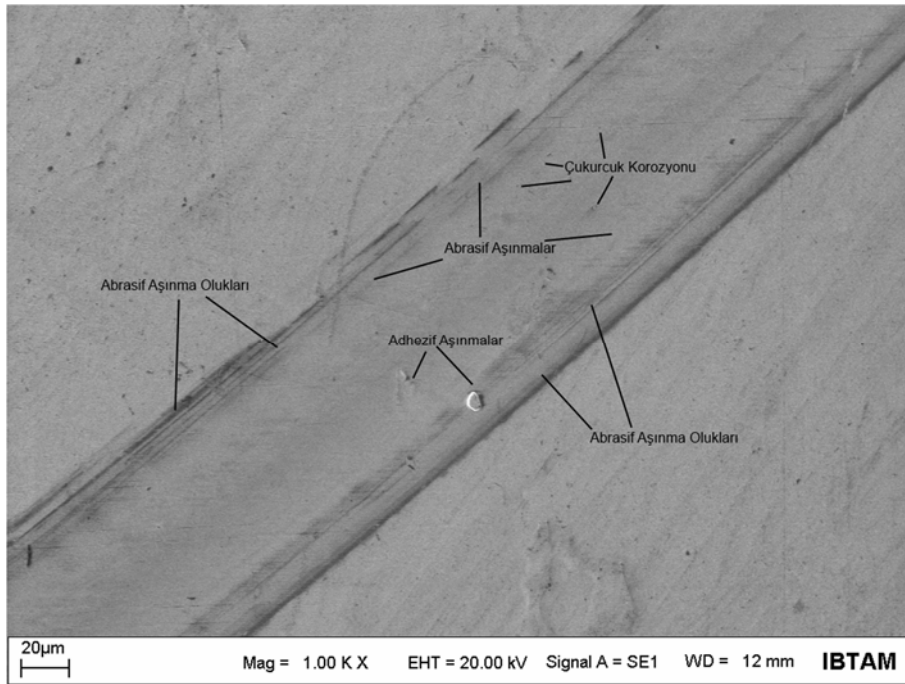
Şekil 5'te K2 numunesinin aşınma hattından alınmış SEM görüntüsü verilmiştir. 4 tabakalı kaplama mimarisine sahip bu numunedeki aşınmanın karakteri neredeyse tamamen abrasif aşınmadır. Bu numunenin aşınma hattında da yine noktasal çukurcuk korozyonu izlerine rastlanılmıştır.





Şekil 6. K2 kaplaması aşınma yüzeyi görüntüsü (a) ve bu yüzeyden alınan bölgenin noktasal EDS analizi (b).

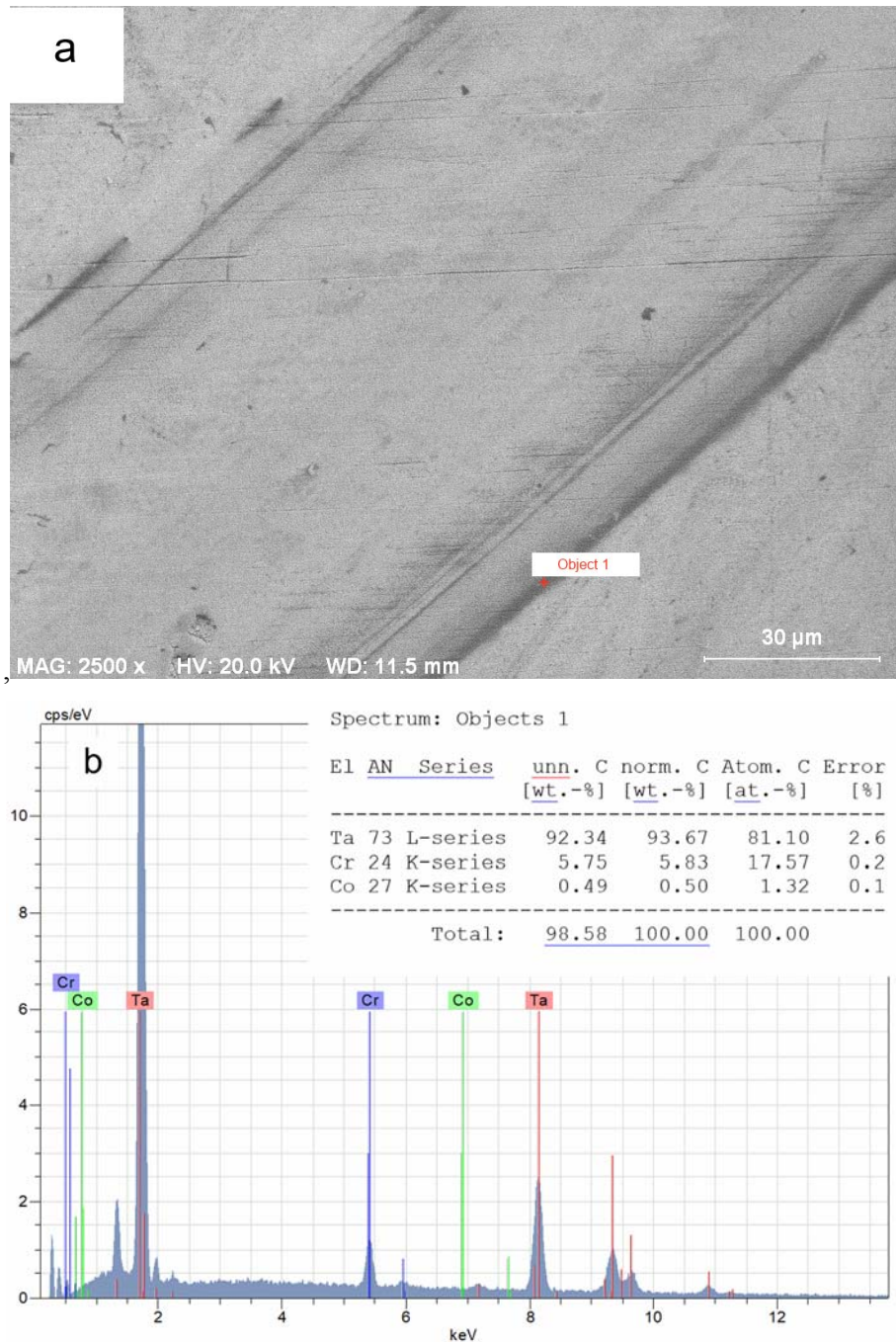
K2 numunesine yapılan noktasal EDS analizi sonuçları ise Şekil 6'da verilmiştir. Bu kaplamada analiz edilen bölge abrasif aşınma oluşu içerisindeki bir noktadan alınmıştır. Sonuçlar incelendiğinde K1 kaplamasına benzer olarak yüksek oranda Ta ve çok düşük oranlarda Co, Cr, Mo elementleri elde edilmiştir. Bu kaplamada da aşınma deneyi sonrasında da spektrum alınan noktada altlık malzemeye ulaşamadığı tespit edilmiştir.



Şekil 7. K3 numunesinin aşınmış yüzey SEM görüntüsü.

3 adet CrN/CrCN periyotu ara tabakasına sahip 8 tabakalı K3 numunesinin aşınma SEM görüntüsü Şekil 7'de verilmiş olup, görüntüler incelendiğinde bu kaplamanın aşınma karakterinde

abrasif aşınmanın daha yoğun olduğu, aşınma hattının kenarlarında abrasif aşınma oluklarının varlığı açıkça görülebilmektedir. Bu kaplama tabakasında diğerlerinden farklı olarak bir bölgede yoğunlaşmış kohezif aşınma görülmüştür. Şekil 8'de ise kaplamanın aşınma yüzeyinde yapılan noktasal EDS analizi verilmiştir. Analiz abrasif aşınma oluşu içinde kalan koyu renkli bir noktadan alınmıştır. Bu analizden de yine, kaplamanın en üst tabakasında aşınmanın meydana geldiği, hemen altındaki tabakaya ulaşamadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 8. K3 kaplaması aşınma yüzeyi görüntüsü (a) ve bu yüzeyden alınan bölgenin noktasal EDS analizi (b).

Tüm aşınma deneyi sonuçları elde edilen sürtünme katsayıları Tablo 5'te verilmiş olup, en düşük sürtünme katsayısının 8 tabakalı kaplamada elde edildiği görülmüştür. Bu açıdan bakıldığında

CrN/CrCN ara tabakalarının kullanımıyla aynı kaplama parametreleriyle yapılan kaplamalarda üst yüzeyde daha düşük sürtünme katsayıları elde edilmiştir ve bu sonuç literatür ile uyumludur (Warcholinski ve ark.,2011; Lamastra ve ark., 2006; Elangovan ve ark., 2010). Bu sonucun ortaya çıkmasında artan toplam kaplama kalınlığının etkisi olduğuda düşünülebilir ancak 4 tabakalı K2 ve 8 tabakalı K3 kaplamalarının sürtünme katsayıları arasında çok az fark olması bu kalınlığın etkisini tali konuma düşürdüğü söylenebilir. Kaplamaların tümünde aşınmaların abrasif karakterde olduğu görülmüş olup, yüksek sertlik ve düşük sürtünme katsayılarına sahip iki malzeme arasındaki sürtünmenin doğasına uygun karakterdedir. K1 kaplamasında mevcut olan ve diğer iki kaplamada görülmeyen adhezif kaplama; iki tabakalı K1 kaplamasının diğer iki kaplamaya göre daha düşük sertliğe ve daha yüksek sürtünme katsayılarına sahip olmasıyla açıklanabilir. Tüm kaplamaların aşınma bölgelerinde görülen çukurcuk korozyonunun kuru sürtünme pin-on-disk testinde havadaki oksijenin sürtünme ara yüzeylerine sızmasıyla meydana gelmiş olduğu söylenebilir.

Tablo 5. Aşınma deneyleri sonucu elde edilen sürtünme katsayısı değerleri.

Numune	K1	K2	K3
Sürtünme Katsayısı	0.185	0.152	0.149

4. Sonuçlar

Bu çalışmada implant malzemesi olarak kullanılan CoCrMo altlık malzeme üzerine fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden (FBB) kapalı alanda dengesiz manyetik sıçratma tekniği ile Cr/CrN/CrCN/TaN ince film kaplamaları farklı tabaka sayılarında çoklu tabakalı olarak başarıyla biriktirilmiştir. Mikrosertlik ve yüzey pürüzlülüğü deneylerinin sonuçları incelendiğinde kaplama yapılmış yüzeylerin kaplanmamış alaşım yüzeyine göre mikrosertliklerinin belirgin biçimde arttığı, yüzey pürüzlülük değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Aşınma deneylerinin sonucunda da yine kaplanmamış numuneye kıyasla oldukça düşük sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Yüzeyi kaplanmış tüm numunelerde aşınmaların abrasif karakterde olduğu, çok düşük oranda adhezif aşınmaların görüldüğü tespit edilmiştir. Artırılmış mikrosertlik, düşürülmüş pürüzlülük ve sürtünme katsayıları değerlerinin elde edilmesine bağlı olarak, alaşım yüzeyinin çoklu tabakalı kaplanmasının alaşımın tribolojik ve mekanik özelliklerini geliştirdiği anlaşılmaktadır. Çok tabakalı kaplamalar kendi arasında i incelendiğinde ise ara tabaka içermeyen Cr/TaN kaplamanın, CrN/CrCN ara tabaka periyotu içeren dört ve sekiz tabakalı kaplamalara göre daha düşük tribolojik özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Aynı parametrelerle yapılan kaplamalarda tabaka sayısının dörtten sekize çıkarılmasıyla özellikle mikrosertlik değeri olmak üzere sürtünme katsayısı ve yüzey pürüzlülüğü değerleri

açısından daha iyi tribolojik özellikler elde edildiği görülmüştür. Yapılan kaplamaların yapay eklem uygulamalarında kullanılabilirliği açısından kaplamalara simüle edilmiş vücut sıvısı içinde biyo uyumluluk ve korozyon dayanımı ölçümlerinin yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmayı İBAP ID975 numaralı proje kapsamında destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimine teşekkür ederiz. Ayrıca yüzey kaplama işlemlerinin gerçekleştirilmesinde laboratuvarlarını açarak bizlere yardımcı olan Prof. Dr. İhsan Efeoğlu'na teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- Geetha ,M., Singh, A.K., Asokamani R., Gogia, A.K., (2009). Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants – A review, *Progress in Materials Science*, Vol. 54, 397–425.
- Chen, Q., Chen, P., Pang, X., Hu, Y., Zhang ,Y., (2015). Adrenomedullin Up-regulates the Expression of Vascular Endothelial Growth Factor in Epithelial Ovarian Carcinoma Cells via JNK/AP-1 Pathway *Int J Gynecol Cancer*, Vol. 25, 1-6.
- Agarwal, R., Garcia, A. J.,(2015). Biomaterial strategies for engineering implants for enhanced 2 osseointegration and bone repai, *Advanced Drug Delivery Reviews*, Vol. 94, 53-62.
- Güven, Ş.Y.(2014). Biyouyumluluk ve biyomalzemelerin seçimi”, Suleyman Demirel University Journal of Engineering Sciences and Design, *Suleyman Demirel University Journal of Engineering Sciences and Design*, Vol. 2(3), 303-311,
- Martinez-Nogues, V., Nesbitt , J.M., Wood , R.J.K., Cook, R.B,(2016). Nano-scale wear characterization of CoCrMo biomedical alloys, *Tribology International*, Vol. 93, 563-572.
- Affatato, S., & Grillini, L. (2013). Topography in bio-tribocorrosion. *Bio-Tribocorrosion in Biomaterials and Medical Implants*, 1–22a, UK: Woodhead Publishing Limited.
- Gottman I., Gutmanas E.Y., Hunter G. 2011. “Wear-Resistant Ceramic Films and Coatings”, *Comprehensive Biomaterials*, 1, Pages 127-155.
- Wang, Q., Zhang, L., Dong, J., (2010). Effects of Plasma Nitriding on Microstructure and Tribological Properties of CoCrMo Alloy Implant Material , *Journal of Bionic Engineering*, Vol. 7, 337-344.
- McEntire, B. J., Bal, B.S., Rahaman, M.N., Chevalier, J., Pezzotti ,G.,(2015). Ceramics and ceramic coatings in orthopaedics, *Journal of the European Ceramic Society*,35, 4327-4369.
- Glewicz, A., Warcholinski, B., (2014). Tribological Properties of CrCN/CrN multilayer coatings, *Tribology International*,80,34-40.
- Holmberg, K., Matthews, A.,(2009). *COATINGS TRIBOLOGY Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering (2. Baskı)*. UK: Elsevier.
- Wen,C., (2015). *Surface Coating and Modification of Metallic Biomaterials (1. Baskı)*. UK: Woodhead Publishing.
- Griesser, H.J., (2016). *Thin Film Coatings for Biomaterials and Biomedical Applications. (1.Baskı)*. UK: Woodhead Publishing.
- Zhang, T.F., Liu, B., Wu, B.J., Liu J., Sun, H., Leng, Y.X., Huang, X.,(2014). The stability of DLC film on nitrided CoCrMo alloy in phosphate buffer solution, *Applied Surface Science*, 308, 100–105.
- Di T., Mingjiang, D., Wenbin, F., L Songsheng, I., Chunbei, W., Mingchun, Z. ,(2015). Performance of CoCrMo Alloy with Me-Doped DLC Coatings Prepared by a Magnetron Sputtering Method, *Rare Metal Materials and Engineering*,44(12), 2982-2986.
- Liu ,C., Zhou, Z., Li, K.Y.,(2017). Improved corrosion resistance of CoCrMo alloy with self-passivation ability facilitated by carbon ion implantation, *Electrochimica Acta*, 241, 331–340.

- Canto, C.E., Andrade ,E., Rocha, M.F., Alemon, B., Flores, M.,(2017). Adhesive and tribocorrosive behaviour of TiAlPtN/TiAlN/TiAl multilayers sputtered coatings over CoCrMo, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 406 (Part A), 32-37.
- Alemón ,B., Flores, M., Ramírez, W., Huegel, J.C., Broitman, E. ,(2015). Tribo corrosion behavior and ions release of CoCrMo alloy coated with a TiAlVCN/CNx multilayer in simulated body fluid plus bovine serum albumin, *TribologyInternational*, 81, 159-168.
- Chen, S., Wu, B.H., Xie D., Jiang ,F., Liu, J., Sun, H.L., Zhu, S., Bai, B., Leng ,Y.X., Huang ,N., Sun, H. (2014). The adhesion and corrosion resistance of Ti–O films on CoCrMo alloy fabricated by high power pulsed magnetron sputtering (HPPMS), *Surface & Coatings Technology*, 252, 8–14.
- Lapaj, L., Wendland ,J., Markuszewski ,J., Mroz ,A., Wisniewski, T. (2015). Retrieval analysis of titanium nitride (TiN) coated prosthetic femoral heads articulating with polyethylene, *journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 55, 127–139.
- Van Hove, R.P., Sierevelt, I.N., van Royen ,B.J., Nolte ,P.A. (2015). Titanium-Nitride Coating of Orthopaedic Implants: A Review of the Literature, *BioMed Research International*, Article ID 485975, 9 pages.
- Hauert R., Thorwarth K., Thorwarth G., (2013). An overview on diamond-like carbon coatings in medical applications, *Surface & Coatings Technology*, 233, 119–130.
- Warcholinski B., Glewicz A. ,(2011). The Properties of Multilayer CrCN/CrN Coatings Dependent on Their Architecture, *Plasma Process. Polym.* 8, 333–339.
- Lamastra, F.R. Leonardi, F., Montanari R., Casadei F., Valente T., Gusmano G.,(2006). X-ray residual stress analysis on CrN/Cr/CrN multilayer PVD coatings deposited on different steel substrates , *Surface & Coatings Technology*, 200, 6172–6175.
- Elangovan, T., Kuppusami, P., Thirumurugesan, R., Ganesan ,V., Mohandas, E., Mangalaraj, D.,(2010). Nanostructured CrN thin films prepared by reactive pulsed DC magnetron sputtering, *Materials Science and Engineering B*, 167, 17–25.
- Lee, J.W., Tien, S.K., Kuo ,Y.C.,(2006). The effects of pulse frequency and substrate bias to the mechanical properties of CrN coatings deposited by pulsed DC magnetron sputtering *Thin Solid Films* 494 2006: pp. 161 – 167.