
MALZEME VE METALURJİ MÜHENDİSLİĞİ DEĞERLENDİRMELERİ

Editör: Doç.Dr.Tayfun SOYSAL

Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Değerlendirmeleri

Editör

Doç.Dr. Tayfun SOYSAL

yaz
yayınları

2025

**Malzeme ve Metalurji Mühendisliği
Değerlendirmeleri**

Editör: Doç.Dr. Tayfun SOYSAL

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-5596-79-6

Ekim 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Biyomedikal Uygulamalar İçin Biyobozunur Magnezyum Alaşımlarının Geliştirilmesi	1
<i>Halil EREN</i>	
ABS Yüzeylerde Gümüş Kaplama Parametrelerinin Optimizasyonu	16
<i>Ramazan KATIRCI, Taha OĞUZ, Hilal ÇELİK</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

BİYOMEDİKAL UYGULAMALAR İÇİN BİYOBOZUNUR MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ GELİŞTİRİLMESİ

Halil EREN¹

1. GİRİŞ

Biyomalzemeler insan kemik dokusundaki iyileştirmeler için oldukça büyük öneme sahiptirler. Birçok ortopedik alanda sıklıkla kullanılırlar. Kemik tedavisi ve değişimi gibi benzer ortopedik operasyonlara gereksinim duyan insan sayısının gün geçtikçe artması bu alanda kullanılan ya da kullanılabilecek malzemelerin geliştirilmesiyle alakalı çalışmaları da beraberinde arttırmıştır (Mert vd., 2013). Otograft kemik, allograft kemik ve yapay sentezlenmiş malzemeler kemik tedavisinde kullanılan başlıca malzemelerdir. Bu malzemeler kemik tedavisinde kullanılmasına rağmen kaynakları sınırlıdır ve ikinci ameliyatlar hastaların ağrılarını arttırmaktadır (Fellah vd., 2008). Bu olumsuzluklar göz önüne alındığında kemik doku malzemelerinin geliştirilmesi veya yeni malzemeler üretilmesi önem kazanmıştır.

Klinik gereksinimlere ve bozunma performanslarına göre kemik tedavisinde kullanılan biyomalzemeler genel olarak biyoinert ve biyobozunur olarak iki gruba ayrılır. Biyoinert malzemeler kemik doku tedavilerinde uzun yıllardır kullanılmaktadır (Mano vd., 2004). Biyoinert kemik implant malzemeleri kemiklerin sabitlenmesi işlemlerinde oldukça başarılı olmuşlardır. Ancak, tedavideki başarılarının yanı sıra bazı

¹ Öğretim Görevlisi Dr., Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çerkeş Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, halileren@karatekin.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4224-683X.

problemleri de beraberinde getirmişlerdir. Örnek olarak; implantlar kullanıldıkları bölgelerde zamanla gevşemeye neden olabilirler ve implantlardan kaynaklı bazı alerjik durumlar da ortaya çıkabilmektedir (İncesu, 2019). Kalıcı kemik implant malzemeleri vücutta herhangi bir problem gerçekleştirmezse ve işlevini yitirse dahi vücutta kalmaya devam eder. İkinci bir ameliyat ile vücuttan çıkarılabilirler. Ancak, bu durumda da ikinci ameliyatın maliyeti, hastaya vereceği ağrı ve acı yükleri artmakla beraber endişe ve zaman gibi stres ve kayıplara da sebebiyet vermektedir (Tan vd., 2013; Witte vd., 2007). Bu nedenlerden dolayı günümüzde biyomalzeme araştırmacıları, doğal doku ile birleşerek ve sonrasında görevini tamamlayıp ikinci ameliyat olmaksızın vücutta bozunarak atılan biyobozunur malzemelere yönelmişlerdir. Çubuklar, iğneler, plakalar, tırnaklar, vidalar, dikiş iplikleri ve sabitleyiciler gibi biyobozunabilir implant malzemelerin geliştirilmesi günümüzde devam etmektedir (Mert vd., 2013).

2. BİYOBOZUNUR MALZEMELER

Biyobozunur polimerler, seramikler ve magnezyum alaşımları yaygın olarak çalışılan üç temel biyobozunur malzemelerdir. Biyobozunur polimer malzemeler kemik implantlarında ve doku mühendisliği alanlarında öncelikli malzemelerdir. Doğal ve sentetik olarak iki gruba ayrılan bu malzemelerde, doğal biyobozunur polimerlerin uygulama alanları iticilik, bozunma hızının bilinmemesi ve mekanik özelliklerinin düşük olması sebepleriyle belirli bir sınırdan kalmıştır. Sentetik biyobozunur polimer malzemeler ise, dikkatli tasarım, bozunma hızının kontrol edilebilmesi, biyoyumluluk gibi özellikleri nedeniyle doğal polimerlerden daha üstündürler ve uzun yıllardır cerrahi ameliyatlarda kullanılmaktadır (Pietrzak vd., 1997; Lou vd., 2008). Biyobozunur seramik malzemelerin fiziksel

karakteristikleri, kimyasal kompozisyonları ve kristal yapıları biyolojik davranışlarında oldukça önemlidir. Biyobozunur seramiklerin, kemiklerin hemen her çeşidinin yeniden onarımında, yeni kemik implantlarının üretiminde, diş implant malzemelerinde, diş ve kemik dolgularında kullanımı uygundur. Bazı biyobozunur seramik malzemeler iyi bir biyouyumluluk özelliğine sahip olmasına rağmen vücut içerisindeki bozunma hızı ve mekanik özellikleri düşüktür ve bu nedenle kullanımı sınırlı kalmaktadır (Hulbert vd., 1987). Magnezyum bazlı metaller ise medikal uygulamalarda kullanım için oldukça ilgi çekmektedir. Bunun başlıca nedenleri; vücut içerisinde kolay bir şekilde korozyona uğrayabilmesi, insan vücudunda en fazla bulunan elementin magnezyum olması, magnezyumun % 65 gibi büyük bir miktarının kemik ve dişlerde geri kalan kısmının organlar ile vücut sıvısı arasında dağılması, magnezyumun birçok metabolik faaliyete katılması, minerallerin vücutta günlük alım miktarları göz önüne alındığında magnezyuma izin verilen miktarın kendisine en yakın olan çinkoya kıyasla 20 kat daha fazla olması ve magnezyum korozyona uğradığında açığa çıkan bileşenlerin biyogüvenli ve vücuttan kolayca atılması şeklinde açıklanabilir (Mert vd., 2013; İncesu, 2019; Black, 2005). Bunlara ek olarak, polimer ve seramik biyobozunur implant malzemelere nazaran magnezyum biyobozunur malzemeler daha iyi mekanik özelliklere sahiptirler ve titanyum, paslanmaz çelik ve kobalt esaslı alaşımlara göre kemik dokusuna en uygun elastikiyet modülüne sahiptirler (Staiger vd., 2006). Katkı elementleri olarak kullanılabilecek elementlerin günlük alım miktarları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Minerallerin günlük ve sağlıklı alım miktarları (Black, 2005).

Mineral	Günlük Miktar	
Fosfor (P)	800 mg	Tavsiye edilen günlük alım miktarı
Kalsiyum (Ca)	800 mg	
Magnezyum (Mg)	310 mg	
Çinko (Zn)	15 mg	
Demir (Fe)	10 mg	
İyot (I)	150 µg	
Selenyum (Se)	60 µg	
Kalay (Sn)	3 mg	
Flor (F)	4 mg	Sağlık açısından yeterli gereksinim miktarı
Mangan (Mn)	5 mg	
Bakır (Cu)	3 mg	
Molibden (Mo)	250 µg	
Krom (Cr)	200 µg	

3. BİYOBOZUNUR MALZEME OLARAK: MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARI

Magnezyum elementi ortopedi alanında kemik, diş vb. uzuvlara destek malzemesi kullanımında biyouyumluluk sağlayabilmektedirler. Ancak bu malzemelerin korozyon hızlarının oldukça yüksek olması sonucunda iyileşme süreci tamamlanmadan malzemelerin hızlı bozunmaları ve kullanım alanındaki özelliklerini yitirmesi oldukça büyük bir problem olarak bilinmektedir (Gu vd., 2009). Magnezyum metali oldukça düşük mekanik özelliklere sahip olması nedeniyle destekleyici implant olarak kullanılabilmesi bir diğer problemdir. Magnezyum metalinin biyobozunabilir bir malzeme olarak tercih edilmesi için korozyon direncinin ve mekanik özelliklerinin artırılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra korozyon hızının azaltılmasıyla beraber bunun kontrollü bir şekilde gerçekleşmesi de önemlidir.

Mühendislik alanları için geliştirilmiş olan bazı ticari magnezyum alaşımları bir miktar da olsa daha iyi mekanik özelliklere ve korozyon dirençlerine sahip oldukları için

başlangıçta klinik çalışmaları için biyobozunur magnezyum malzemeler olarak uygun görülmüşlerdir. AZ91, AZ31, LAE442 ve WE43 gibi ticari magnezyum alaşımlarında ve saf magnezyumda deriye olumsuz bir etki ve zarar görülmemiştir (Guo vd., 2011). Ancak yine de medikal uygulamalar için geliştirilmemiş olan ticari magnezyum alaşımlarının kullanımı insan vücudunda bazı potansiyel sorunlar göstermiştir. Örneğin, AZ91'den salınan alüminyum iyonları, inorganik fosfat ile birleşerek fosfat eksikliğine neden olur. Yapılan araştırmalar Alzheimer hastalığı ile beyinde artmış alüminyum yoğunluğu arasında bir bağlantının olabileceği izlenimini vermektedir. Bazı nadir toprak elementlerinin insan vücuduna girmesinden sonra yoğun bir karaciğer hasarının meydana geldiği de saptanmıştır (Witte, 2008; Hort, 2010). Tüm bunlardan dolayı geçmiş yıllardan bu yana Mg-Ca, Mg-Zn, Mg-RE ve Mg-Mn gibi alaşım sistemlerinin geliştirilmesi ve biyomedikal alanlardaki kullanımına yönlendirilmesi sağlanmaktadır.

Buna ek olarak Mg metaline katkı ilavesi ile elde edilen alaşımların da korozyon ürünleri toksik etkiye sahip olmamalıdır ve kullanıldığı alanda malzemeleri saran dokular tarafından basit şekilde emilmeli ve vücuttan atılabilir halde olmalıdırlar (Poinern vd., 2012). Elementler kendi aralarında insan vücuduna verdikleri etkilere göre toksik, alerjik ve besleyici elementler olarak üç gruba ayrılırlar (Gu vd., 2009; Nakamura, 1997). Ayrıca vücuda yararı ya da zararı tespit edilmemiş elementler de diğer elementler başlığı altında toplanabilir.

- 1- Toksik Etkili Elementler: Be, Cd, Ba, Pb, Th
- 2- Alerjik Etkili Elementler: Co, Al, V, Ni, Cr, La, Ce, Pr, Cu
- 3- Besleyici Etkili Elementler: Mn, Sn, Ca, Zn, Sr
- 4- Diğer Elementler: REE, Ag, Li, Zr

Toksik ve alerjik elementler biyomalzeme alanında biyobozunur olarak kullanılamayacağından dolayı, üçüncü nesil biyomalzemelerden istenen korozyon ve mekanik özelliklerinin sadece besleyici katkı elementleriyle üretilen alaşımlamalarla sağlanabileceği anlaşılmaktadır. Alaşımlama için bu elementlerin Mg içerisindeki çözünürlükleri de alaşımlama oranlarının belirlenmesi için son derece önemlidir. Bundan dolayı besleyici elementlerin Mg içerisindeki maksimum çözünürlükleri Tablo 2’te verilmiştir.

Tablo 2. Besleyici elementlerin Mg içerisindeki maksimum çözünürlük sınırları (Radha ve Sreekanth, 2017).

Element	Maksimum Çözünürlük Sınırı (%ağ.)
Sr	0,11
Ca	1,34
Mn	2,2
Zn	6,2
Sn	14,5
Y	11,4
Ag	8,5
Zr	0,58
Li	6,5

4. BİYOBOZUNUR MALZEMELER ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Zhao vd. yaptıkları çalışmada; Kemik-implant ile ilişkili enfeksiyon tedavisi için artan antibakteriyel implant talebini karşılamak ve ikincil cerrahinin olumsuz etkilerinden kaçınmak için, pH duyarlılığı ve iyonla ilişkili antibakteriyel özelliklere sahip bozunur bir ortam oluşturulmuştur. Mg-1Zn alaşımına eklenen az miktarda Sn ’nin, dış katman film oluşumundaki Sn katılımına atfedilebilen biyo korozyon oranını azalttığı, in vivo implantasyondan sonra biyo korozyon oranını ve hidrojen evrim oranını önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Asidik bakteriyel mikro-ortamdaki bozunmaya yatkın olan Mg alaşımlarının; Mg,

Zn ve Sn 'yi serbest bırakarak, uygun şekilde alkalin ve antibakteriyel koşullar üreterek bozunduğunu belirlemişlerdir. Mg-1Zn-0.5Sn bileşimli numunelerin, başlangıçtaki hücre yapışmasını ve proliferasyonunu arttırmak için yararlı olduğu bulunmuştur, bu da biyoyumluluk ve biyogüvenliğin artırılması ile sonuçlanmıştır. Bu alaşımın biyoyumluluğu, hayvanların sağlıklı davranışı ve karaciğer, dalak ve böbreklerde akut veya kronik toksisite bulunmamasıyla doğrulanmıştır. Sonuç olarak, Mg-1Zn-0.5Sn'nin biyolojik sistemler için güvenli olduğunu ve biyomedikal uygulamalarda etkili kullanımını sağladığını göstermişlerdir (Zhao vd., 2020).

Ghanbari vd. yaptıkları çalışmada; simüle edilmiş vücut sıvısında biyobozunur Mg – 5Zn – 1Y– (0-1) Ca alaşımlarının aşınma davranışı araştırılmıştır. Aşınma testi, ortam sıcaklığında 10, 20 ve 40 N 'luk üç farklı yük altında disk üzerinde bir pim sistemi kullanılarak yapılmış ve tüm konfigürasyon simüle vücut sıvısına maruz kalır. Her alaşımın hacimsel aşınma oranı ve sürtünme katsayısı belirlenir. Ca içermeyen alaşımın, α -Mg ve Mg_3YZn_6 intermetalik fazını içerdiği ve Ca ilavesi yapılan alaşımın ise başka bir intermetalik olan $Ca_2Mg_6Zn_3$ 'ü ürettiği görülmüştür. Sonuçlar, farklı Ca içeriği ve korozyon ürünlerinin mevcudiyeti bakımından, simüle edilmiş vücut sıvısının alaşımlar üzerindeki etkisinden dolayı farklı aşınma mekanizmalarının ve oranlarının ve sürtünme katsayılarının elde edildiğini göstermektedir. Mikroskobik çalışmalar, aşınmanın tüm yüklerde tüm alaşımlarda baskın aşınma mekanizması olduğunu ortaya koymaktadır. Artan Ca içeriği aşınma direnci bozulmasına neden olurken aşınma yükünü artırır, alaşımların aşınma oranını ve sürtünme katsayısını azaltır. Mg-5Zn-1Y-1Ca alaşımının aşınma oranı ve sürtünme katsayısının sonuçları, intermetalik $Ca_2Mg_6Zn_3$ parçacıklarının oluşumundan kaynaklanan daha fazla korozyon nedeniyle diğer alaşımlara kıyasla daha fazla kararsızlık gösterir.

Sonuç olarak, Ca içermeyen alaşım, özellikle daha yüksek aşınma yükünde en iyi aşınma direncini sağlar (Ghanbari vd., 2020).

Munir vd. yaptıkları çalışmada; farklı konsantrasyonlarda skandiyum (Sc), yani Mg-0.6Zr-0.5Sr-xSc ($x = 0.5, 1, 2, 3$ wt.%) ilavesiyle Mg bazlı alaşımların mikroyapısını, mekanik özelliklerini, korozyon davranışını ve biyoyumluluğunu sistematik olarak araştırmaktadır. Sonuçlar, stronsiyum (Sr) içeren Mg alaşımlarında yüksek Sc konsantrasyonunun, tane sınırları boyunca intermetalik fazları bastırarak mikro yapılarını değiştirebileceğini ve Mg alaşımlarının yüzeylerinde kimyasal olarak kararlı Sc oksit katmanları oluşturarak korozyon direncini geliştirebileceğini göstermiştir. Sitotoksite değerlendirmesi, Sc içeren Mg alaşımlarının insan osteoblast benzeri SaOS₂ hücrelerinin canlılığını önemli ölçüde değiştirmediğini gösterdi. Sonuç olarak bu çalışma, Mg alaşımlarını aynı anda daha yüksek mukavemet ve daha yavaş degradasyona sahip olarak ayarlamak için Sc 'un bir alaşım elemanı olarak kullanılmasının avantajlarını vurgulamaktadır (Munir vd., 2020).

Liu vd. yaptıkları çalışmada; dökülebilir Mg – 1.8Zn – 0.4Zr – 1.74Gd – x Y ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25$ %) biyolojik olarak parçalanabilir magnezyum alaşımlarının mikroyapısını, mekanik özelliklerini, korozyon davranışını araştırmıştır. Sonuçlar, alaşımların esas olarak α -Mg matris (Mg, Zn)₃(Gd, Y) fazı, Mg₃Zn₃ (Gd, Y)₂ fazı ve Mg₁₂Zn (Gd, Y) fazından oluştuğunu göstermiştir. Ağırlıkça % 0-1.25 Y ilavesinin, alaşımların 111.5 ila 57.3 μ m arasında önemli tane incelmeye yol açtığı bulunmuştur. Orta miktarda Y, mukavemetin artmasıyla sonuçlandığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, Y içeriği ağırlıkça % 0.5 'i aştığında dayanım ve uzama azaldığı görülmüştür. Ağırlıkça % 0.5 Y ile korozyon oranı ve korozyon akımı yoğunluğu sırasıyla 0.721 ± 0.042 mm/y ve 4.76 Ma/cm idi, bu da incelenen diğer alaşımlardan daha düşük olduğunu göstermiştir. Test edilen tüm örnekler arasında Mg –

1.8Zn – 0.4Zr – 1.74Gd – 0.5Y alaşımı, orta derecede korozyon oranına ve mekanik özelliklere sahip olduğu, bunun da biyolojik olarak parçalanabilir Mg – Zn – Zr – Gd-Y alaşımlarının gelecekteki optimizasyonu için umut verici olduğu görülmüştür (Liu vd., 2020).

Xia vd. yaptıkları çalışmada; üçlü Mg- (ağırlıkça% 3.5, 6.5) Li- (ağırlıkça% 0.2, 0.5, 1.0) Ca alaşımlarını geliştirmiştir. Mekanik dayanımlarını, korozyon davranışlarını ve sito uyumluluklarını incelemiştir. Bu alaşımların saf Mg 'den daha iyi mekanik mukavemet gösterdiği ve uygun korozyon direnci sergilediği görülmüştür. Ayrıca, en iyi in vitro performansa sahip Mg-3.5Li-0.5Ca alaşımları, 2 ve 8 hafta boyunca farelerin femurlarına intramedüller implante etmişlerdir. In vivo sonuçlar Mg-3.5Li-0.5Ca alaşımlı çubuklar etrafındaki kortikal kemik kalınlığında herhangi bir yan etkiye neden olmadan önemli bir artış olduğunu belirlemiştir. P-katenin 'in Western lekeleme ve immüno floresan boyaması, Mg-3.5Li-0.5Ca alaşım ekstraktlarının, insan kemik iliği kaynaklı mezenkimal kök hücrelerinin (hBMMSC'ler) kanonik Wnt / p-katenin yolu boyunca osteojenik farklılaşmasını indüklediğini göstermiştir. Çalışmalarının, Mg-3.5Li-0.5Ca alaşımlarının kemik implant uygulamasının kolaylaştırılması için aday olarak çok umut vaat ettiği gösterilmektedir (Xia vd., 2019).

Cho vd. yaptıkları çalışmada; Hank'in çözeltisindeki biyolojik olarak parçalanabilen Mg-4Zn-0.5Ca-xMn alaşımlarının (x = 0, % 0.4, % 0.8 ağırlıkça) korozyon özellikleri araştırmıştır. Elektrokimyasal ölçümlere göre, alaşımların korozyon direncini Mn ilavesiyle etkili bir şekilde geliştirmişlerdir. Ek olarak, yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskobu (HR-TEM) ve ikincil iyon kütle spektrometresi uçuş süresi (ToF-SIMS) ile aşınmış yüzey analizi yapılarak korozyon ürününün derinliğinin Mn ilavesi ile azaldığını ortaya koymuşlardır. Mikroyapısal değişimlerin

korozyon özellikleri üzerinde çok az etkisinin olduğunu ve Mn oksit filminin klorür iyonlarının penetrasyonuna karşı yardımcı bir bariyer görevi gördüğünü belirlemiştir (Cho vd., 2017).

Li vd. yaptıkları çalışmada; biyobozunur magnezyum (Mg) alaışımının mekanik özelliklerini ve korozyon direncini daha da iyileştirmek için, Mg-Zn-Zr-Sr (MZZS) alaışımının, inert gazın koruması altında vakum içinde ve 8 mm boyutlarındaki çubuk malzeme ile eritildiği görüldü. Daha sonra sıcak ekstrüzyon işlemiyle çap elde edildi. Kalıntı Sr ve Zr ilavesinin mikroyapı ve as-cast Mg-Zn-Sr (MZS) ve Mg-Zn-Zr alaışımının (MZZ) kristalleşmesi üzerindeki sinerjistik etkisi XRD ve SEM-EDS ile analiz edilmiştir. Ekstrüde edilmiş MZS, MZZ ve MZZS alaışımının mekanik özellikleri ve korozyon davranışı, sırasıyla elektronik universal ve daldırma testi ile test edildi. Döküm halinde MZZS alaışımında bulunan tanecikler, önemli ölçüde rafine edilmiş ve ortalama tanecik büyüklüğü (19.6 mikron) döküm halindeki MZS ve MZZ alaışımının sadece üçte biriydi. Mg-3.2Zn-0.8Zr-0.3Sr alaışımı için 322.363 ± 4.547 MPa akma dayanımı (YTS) ve 376.400 ± 7.526 MPa nihai çekme dayanımı (UTS) elde edildi; bu değerler aynı ekstrüzyon oranına ve ekstrüzyon işlemine sahip diğer iki tip alaşımdan çok daha yüksekti. İn vitro daldırma testlerine göre, MZZ alaışımının korozyon hızı, Sr ilave edildikten sonra 4.07 ± 0.71 mm/y 'den 5.357 ± 0.75 mm/y 'ye yükselmiştir. Ayrıca, in vitro sitotoksikite testi, MZZS alaışımının iyi sito-uyumluluğa sahip olduğunu göstermiştir ve dolayısıyla hücrenin çoğalmasına yardımcı olabileceği tespit edilmiştir (Li vd., 2017).

5. SONUÇ

Gelişmiş ülkeler ile karşılaştırıldığında gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye hızla gelişen tıbbi teknolojiyi tüketen bir ülke konumundadır. Bu durumu tersine çevirebilmek yani tıbbi

teknolojiyi tüketen değil üreten konumuna gelebilmesi için yeni ileri teknoloji ürünlerin geliştirilip pazara sunulması kaçınılmaz bir gerçekliktir. Tıbbi Cihaz ve Tıbbi Malzeme Çalışma Grubu Raporunda tıbbi cihaz ve malzeme sektöründe gelişmesi beklenen teknolojiler belirtilmiştir. Biyouyumluluk teknolojileri bu beklentiler içerisinde yer alan önemli çalışma sahalarından biridir. Kardiyovasküler stentler, kalp pilleri, göz lensleri ve implantların biyo uyumluluk teknolojileri arasında yer aldığı söylenebilmektedir. Aynı raporda gelişme beklenen kritik tıbbi malzemeler arasında biyobozunur yenileyici biyomalzemeler özellikle vurgulanmıştır.

Sonuç olarak, biyobozunur magnezyum alaşımlarına katkı elementleri ilave edilerek, mekanik yeterlilikleri ve insan vücuduna zararlı olup olmayacağı araştırılarak geliştirilmektedir. Yapılan literatür araştırmalarının da ışığında, ilave edilen katkı elementlerinin oluşturacağı intermetalik fazların neden olacağı korozyon etkileri ve mekanik özellikler üzerine olan etkileri dikkate alınarak optimum özellik gösteren malzemelerin biyouyumlulukları da araştırılmaktadır. Yine haddeleme ile tane boyutlarında meydana gelecek değişimlerin mekanik özelliklere ve biyobozunabilirlik özellikleri üzerine olan etkileri ortaya konulmaktadır. In vitro ortamda yapay vücut sıvısı çözeltisi kullanılarak biyobozunabilir magnezyum alaşımlarının korozyon hızının zaman bağlı olarak incelenmesi, kemik iyileşme süresiyle orantılı olarak stabil bir hızda bozunmanın meydana gelip gelmediği tespit edilebilmektedir. Tüm bunlara magnezyum alaşımlarının biyobozunur bir malzeme olarak tasarlanması ve geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

KAYNAKÇA

- Black, J. (2005). *Biological Performance of Materials: Fundamentals of Biocompatibility 4th ed.* Crc Press.
- Cho, D. H., Lee, B. W., Park, J. Y., Cho, K. M. ve Park, I. M. (2017). Effect of Mn addition on corrosion properties of biodegradable Mg-4Zn-0.5 Ca-xMn alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 695, 1166-1174.
- Fellah, B. H., Gauthier, O., Weiss, P., Chappard, D. ve Layrolle, P. (2008). Osteogenicity of biphasic calcium phosphate ceramics and bone autograft in a goat model. *Biomaterials*, 29(9), 1177-1188.
- Ghanbari, A., Jafari, H. ve Ashenai Ghasemi, F. (2020). Wear behavior of biodegradable Mg-5Zn-1Y-(0-1) Ca magnesium alloy in simulated body fluid. *Metals and Materials International*, 26(3), 395-407.
- Gu, X., Zheng, Y., Cheng, Y., Zhong, S. and Xi, T. (2009). In vitro corrosion and biocompatibility of binary magnesium alloys. *Biomaterials*, 30(4), 484-498.
- Guo, M., Cao, L., Lu, P., Liu, Y. and Xu, X. (2011). Anticorrosion and cytocompatibility behavior of MAO/PLLA modified magnesium alloy WE42. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 22(7), 1735-1740.
- Hort, N., Huang, Y. D., Fechner, D., Störmer, M., Blawert, C., Witte, F., ... ve Feyerabend, F. (2010). Magnesium alloys as implant materials—Principles of property design for Mg-RE alloys. *Acta biomaterialia*, 6(5), 1714-1725.
- Hulbert, S. F., Bokros, J. C., Hench, L. L., Wilson, J. ve Heimke, G. (1987). *Ceramics in clinical applications: past, present and future*. In: *High Tech Ceramics*, (ss. 189-213). Amsterdam, Elsevier.

- İncesu, A. (2019). *Biyomedikal uygulamalar için biyobozunur Mg-Zn-Ca ve Mg-Zn-Ca-Mn alaşımlarının tasarımı ve üretimi*. (Doktora Tezi). Yök-Tez. (541384)
- Li, Z., Chen, M., Li, W., Zheng, H., You, C., Liu, D. ve Jin, F. (2017). The synergistic effect of trace Sr and Zr on the microstructure and properties of a biodegradable Mg-Zn-Zr-Sr alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 702, 290-302.
- Liu, Y., Wen, J., He, J. ve Li, H. (2020). Enhanced mechanical properties and corrosion resistance of biodegradable Mg-Zn-Zr-Gd alloy by Y microalloying. *Journal of Materials Science*, 55(4), 1813-1825.
- Lou, C. W., Yao, C. H., Chen, Y. S., Hsieh, T. C., Lin, J. H. ve Hsing, W. H. (2008). Manufacturing and properties of PLA absorbable surgical suture. *Textile Research Journal*, 78(11), 958-965.
- Mano, J. F., Sousa, R. A., Boesel, L. F., Neves, N. M. ve Reis, R. L. (2004). Bioinert, biodegradable and injectable polymeric matrix composites for hard tissue replacement: state of the art and recent developments. *Composites Science and Technology*, 64(6), 789-817.
- Mert, F., Gürün, H., Karaağaç, İ. ve Uluer, O. (2013). Kemik tedavilerinde kullanılan biyobozunur implant malzemeler. *1. International Symposium on Plastic and Rubber Technologies and Exhibition*, 71-77.
- Munir, K., Lin, J., Wen, C., Wright, P. F. ve Li, Y. (2020). Mechanical, corrosion, and biocompatibility properties of Mg-Zr-Sr-Sc alloys for biodegradable implant applications. *Acta biomaterialia*, 102, 493-507.
- Nakamura, Y., Tsumura, Y., Tonogai, Y., Shibata, T. ve Ito, Y. (1997). Differences in behavior among the chlorides of

- seven rare earth elements administered intravenously to rats. *Toxicological Sciences*, 37(2), 106-116.
- Pietrzak, W. S., Sarver, D. R. ve Verstynen, M. L. (1997). Bioabsorbable polymer science for the practicing surgeon. *Journal of Craniofacial Surgery*, 8(2), 87-91.
- Poinern, G. E. J., Brundavanam, S. ve Fawcett, D. (2012). Biomedical magnesium alloys: a review of material properties, surface modifications and potential as a biodegradable orthopaedic implant. *American Journal of Biomedical Engineering*, 2(6), 218-240.
- Radha, R. ve Sreekanth, D. (2017). Insight of magnesium alloys and composites for orthopedic implant applications—a review. *Journal of magnesium and alloys*, 5(3), 286-312.
- Staiger, M. P., Pietak, A. M., Huadmai, J. ve Dias, G. (2006). Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: a review. *Biomaterials*, 27(9), 1728-1734.
- Tan, L., Yu, X., Wan, P. ve Yang, K. (2013). Biodegradable materials for bone repairs: a review. *Journal of Materials Science and Technology*, 29(6), 503-513.
- Witte, F., Abeln, I., Switzer, E., Kaese, V., Meyer-Lindenberg, A. ve Windhagen, H. (2008). Evaluation of the skin sensitizing potential of biodegradable magnesium alloys. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 86(4), 1041-1047.
- Witte, F., Ulrich, H., Rudert, M. ve Willbold, E. (2007). Biodegradable magnesium scaffolds: Part 1: appropriate inflammatory response. *Journal of biomedical materials research Part A*, 81(3), 748-756.

- Xia, D., Liu, Y., Wang, S., Zeng, R. C., Liu, Y., Zheng, Y. ve Zhou, Y. (2019). In vitro and in vivo investigation on biodegradable Mg-Li-Ca alloys for bone implant application. *Science China Materials*, 62(2), 256-272.
- Zhao, W., Wang, J., Weiyang, J., Qiao, B., Wang, Y., Li, Y. ve Jiang, D. (2020). A novel biodegradable Mg-1Zn-0.5 Sn alloy: Mechanical properties, corrosion behavior, biocompatibility, and antibacterial activity. *Journal of Magnesium and Alloys*, 8(2), 374-386.

ABS YÜZEYLERDE GÜMÜŞ KAPLAMA PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Ramazan KATIRCI¹

Taha OĞUZ²

Hilal ÇELİK³

1. GİRİŞ

Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS), akrilonitril, bütadien ve stiren monomerlerinden oluşan, mühendislik uygulamaları için son derece uyumlu bir termoplastik polimerdir. ABS, hafif yapısı, yüksek darbe dayanımı, kimyasal dayanıklılığı, düşük maliyeti ve kolay işlenebilirliği nedeniyle çok çeşitli endüstriyel ve ticari uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Hu vd., 2012). Özellikle elektronik cihazlardan otomotiv parçalarına kadar birçok alanda, ürünlerin dayanıklılığı ve estetik özelliklerini artırmak için tercih edilmektedir (Ziábka vd., 2020). ABS'nin dayanıklılığı ve mekanik özelliklerinin yanı sıra kolay şekillenebilirliği de onu üretimde esnek ve kullanışlı bir malzeme haline getirmektedir (Barani vd., 2014).

ABS'nin en yaygın kullanım alanları arasında otomotiv endüstrisi, elektronik cihaz üretimi, dekoratif ürünler ve medikal cihazlar yer almaktadır. Otomotiv sektöründe ABS, araç iç

¹ Prof. Dr., Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Sivas/ Türkiye, ramazankatirci@sivas.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2448-011X.

² Arş. Gör., Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sivas/ Türkiye, taha.oguz@sivas.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4447-645X.

³ Arş. Gör., Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Sivas/ Türkiye, hilalcelik@sivas.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5428-3411.

parçaları, bağlantı elemanları ve hava kanalları gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır (Ziábka vd., 2018). Elektronik endüstrisinde ise televizyon kasaları, bilgisayar muhafazaları ve akıllı cihaz gövdeleri gibi ürünlerde kullanılmaktadır (Drelich vd., 2017; Youssefi ve Motamedi, 2019). Dekoratif amaçlarla ise ABS, metalik görünümler sağlamak için krom veya gümüş kaplama gibi işlemlere tabi tutulmaktadır. Bu kaplamalar, ABS'ye hem estetik hem de işlevsel özellikler kazandırarak daha geniş kullanım alanları sunmaktadır (Ehdaie vd., 2014).

Medikal alanda, ABS yüzeylerin gümüş kaplanması özel bir öneme sahiptir. Gümüş, biyouyumluluğu ve yüksek elektrik iletkenliği nedeniyle tıbbi cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle Elektrokardiyografi (EKG) cihazlarında kullanılan elektrotlar, gümüş kaplamanın sağladığı üstün iletkenlik özellikleriyle hassas biyomedikal ölçümlerin yapılmasına olanak tanır (Christophe vd., 2018). ABS tabanlı EKG elektrotları, hafifliği ve düşük maliyeti bir araya getirerek hem ekonomik hem de performans açısından etkili bir çözüm sunmaktadır. Ancak kaplama işleminin optimize edilmesi, bu tür tıbbi cihazların güvenilirliğini ve dayanıklılığını artırmak için kritik öneme sahiptir (Chang vd., 2012).

Kaplama kalitesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar arasında ABS'yi aşındırmak için uygulanan yöntem (Katırcı ve Oğuz, 2024b), kimyasal aşındırma yapılmışsa kullanılan aşındırıcı türü, Kaplama prosesinde uygulanan işlem adımları, çözelti sıcaklığı ve pH'ı gibi birçok faktör vardır (An vd., 2012; Han vd., 2018; Katırcı ve Oğuz, 2024a). Bununla birlikte, gümüş konsantrasyonu, kaplamanın elektriksel özelliklerini ve yüzey homojenliğini etkileyebilmektedir. Bu parametrelerin her birinin dikkatle optimize edilmesi, kaplama kalitesini artırmak için önemlidir (Zhao vd., 2012).

ABS yüzeylerde gümüş kaplama işleminin optimize edilmesi, yalnızca kaplamanın estetik ve mekanik özelliklerini geliştirmekle kalmaz; aynı zamanda ürünlerin elektriksel ve biyomedikal performanslarını da artırır (Sun vd., 2019). Özellikle medikal cihazlar için, kaplama işleminin standartlaştırılması ve iyileştirilmesi, ürün güvenilirliğini artırırken üretim maliyetlerini de düşürür (Chafidz vd., 2023). Kaplama sırasında kullanılan parametrelerin belirlenmesi ve optimize edilmesi, endüstriyel üretimde kalite kontrol süreçlerini iyileştirerek yüksek performanslı ürünlerin daha düşük maliyetle üretilmesini mümkün kılar.

Bu çalışmada EKG cihazlarında kullanılmak üzere ABS plastikleri gümüş kaplama için Sırasıyla uygulanan işlem adımlarından (Ethanol, Aşındırma, MBS (metabisülfıt), Kalay çözeltisi, Paladyum çözeltisi, %20 TF karışım, Gümüş kaplama) gümüş kaplama aşamasındaki Gümüş çözeltisi konsantrasyonu, pH'ı ve sıcaklığı kaplama kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu parametrelerin optimize edilmesi yoluyla daha kaliteli, işlevsel ve estetik kaplamaların elde edilebileceği ABS yüzey kaplamalarının optimizasyonu konusunda daha iyi bir anlayış geliştirmeyi ve bu bilgiyi endüstriyel ve medikal uygulamalarda kullanmayı amaçlamaktadır.

2. ÇALIŞMANIN İÇERİĞİ

DeneySEL süreç, farklı kimyasal çözeltilerle kaplama öncesi yüzey hazırlığı ve kaplama uygulamasını içeren yedi aşamadan oluşmaktadır.

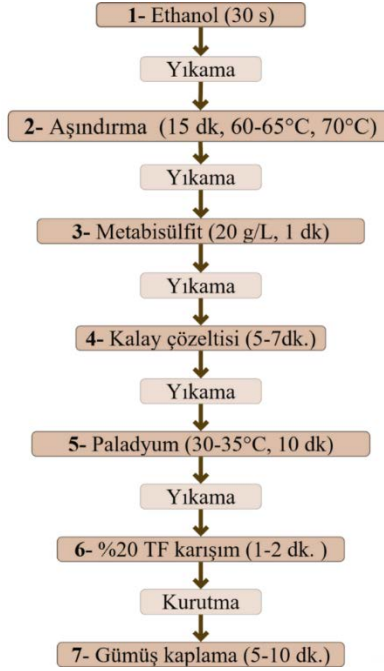
1. Ethanol ile Temizleme: Numuneler, 30 saniye süreyle etanol çözeltisinde bekletilerek yüzey temizliği sağlanmıştır. Bu aşama, yüzeydeki kalıntıları ve kirleri gidermek amacıyla uygulanmıştır. İşlem sonrası

numuneler su ile yıkanmış ve yüzey, sonraki aşamalara uygun hale getirilmiştir.

2. Aşındırma: 350 g/L kromik asit ve 350 g/L sülfürik asit çözeltisinde, numuneler 15 dakika süreyle 60-65°C sıcaklık aralığında tutulmuştur. Bu aşamadan sonra yıkama işlemi uygulanmıştır. Bu aşama, yüzeyin pürüzlülüğünü artırarak kaplama işleminin daha etkili ve sağlam bir şekilde yapılmasını sağlar.
3. MBS İşlemi: Numuneler, 20 g/L MBS çözeltisinde 1 dakika süreyle bekletilmiş ve ardından su ile yıkanmıştır. Bu işlem, yüzeyde metal iyonlarının tutulmasını kolaylaştırmak için uygulanmıştır.
4. Kalay Çözeltisi: Numuneler, kalay çözeltisinde 5-7 dakika bekletilmiş ve yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalaylama işlemi, yüzeye uygun bir ön tabaka oluşturarak kaplamanın daha homojen olmasını sağlar ve gümüş iyonlarının daha iyi tutulmasını sağlamaktadır.
5. Paladyum İşlemi: Numuneler, 30-35°C sıcaklıktaki paladyum çözeltisinde 10 dakika süreyle bekletilmiş ve ardından saf su ile yıkanmıştır. Paladyum kaplama, yüzeyde katalitik bir tabaka oluşturarak sonraki kaplama aşamalarında metal iyonlarının kimyasal olarak daha kararlı bir şekilde bağlanmasını sağlar.
6. TF Karışımı: Numuneler, %20 TF (Trietanolamin [TEA] + %20 formaldehit) karışımında 1-2 dakika süreyle bekletilmiş ve ardından kurutulmuştur.

Gümüş Kaplama: Son aşamada, numuneler farklı pH değerlerine sahip gümüş çözeltilerinde 5-10 dakika süreyle kaplanmıştır. Gümüş kaplama işlemi, kaplama çözeltisinin pH değerine, konsantrasyonuna ve sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Bu aşama, elde edilen kaplamanın renk, kalınlık ve

homojenlik gibi özelliklerinin kontrol edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca İşlem sırasında her bir adımdan sonra yıkama, gerekliyse kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Aşağıda, Şekil 1'de bu adımlar şematize edilmiştir.



Şekil 1. DeneySEL süreç ve işlem adımları.

2.1. Farklı pH Seviyelerinin Gümüş Kaplamaya Etkisi

Gümüş kaplama işlemi sırasında farklı pH seviyelerinin etkisini değerlendirmek amacıyla gümüş çözeltileri hazırlanmıştır. ABS plastik elektrotların yüzeyleri, Şekil 1'de belirtilen işlem adımları uygulanarak aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır:

Aşındırılmış küçük parçalar sırasıyla 5 dakika kalay banyosuna, 10 dakika paladyum banyosuna ve ardından %20 TF çözeltisinde 1 dakika bekletildikten sonra kurutma işlemine tabi

tutulmuştur. Hazırlanan yüzeyler, farklı pH değerlerine sahip gümüş çözeltilerinde 5 dakika süreyle kaplanmıştır. Ardından kaplama sonuçları değerlendirilmiştir.

pH 1: Bu koşullarda kaplama oluşmamıştır.

pH 2: Yüzeyde hafif bir kaplama gözlemlenmiş ancak bu kaplama homojen olmamıştır.

pH 3: Kaplama gri renkte, zayıf fakat homojen bir kaplama olarak gözlemlenmiştir.

pH 4: Daha koyu gri ve homojen bir kaplama elde edilmiştir.

pH 4.5: Yüzeyin bazı bölgelerinde daha az yoğun kaplama gözlemlenmiş ve homojenlik sağlanamamıştır.

pH 5: Kaplama oluşmuş ancak kaplamanın rengi daha açık bir ton olarak gözlemlenmiştir.

pH 5.5: Kaplama oluşmuş ancak renk, önceki denemelere kıyasla daha açık tonda kalmıştır.

pH 6: Bu deneyde gayet başarılı ve homojen bir kaplama elde edilmiştir.

pH 6.5: Açık gri renkte, homojen bir kaplama elde edilmiştir.

pH 7: İyi ve homojen bir kaplama elde edilmiştir.

pH 7.5: Homojen, siyah renkte ve oldukça iyi bir kaplama elde edilmiştir.

Not: pH 8 'e kadar gümüş çözeltisinde bir değişiklik görülmemiştir.

pH 8: Gümüş çözeltisinde, yüzeyde hafif sarılık ve bulanıklık olmasına rağmen homojen siyah, dolgun bir kaplama elde edilmiştir.

pH 8.5: Gümüş çözeltisi Sarımsı ve bulanıklık olmasına rağmen homojen ve dolgun kaplama oluşmuştur.

pH 9: Gümüş çözeltisi Sarımsı ve bulanıklık olmasına rağmen homojen, siyah ve daha dolgun bir kaplama elde edilmiştir.

pH 9.5: Gümüş çözeltisinde çökme gözlemlenmiştir kaplama yapılmış ancak kaplama homojen olmamış ve zayıf bir sonuç elde edilmiştir.

pH 10: Gümüş çözeltisinde çökme gözlemlenmiştir kaplama yapılmış ancak kaplama homojen olmamış ve zayıf bir sonuç elde edilmiştir.

pH 10.5: Gümüş çözeltisinde çökme ve açık kahverengi renk oluşumu meydana gelmiş, kaplama yapılmış, ancak kaplama yer yer oluşmamış ve zayıf bir kaplama gözlemlenmiştir.

pH 11: Gümüş çözeltisinde çökme ve açık kahverengi renk oluşumu meydana gelmiş, kaplama yapılmış, ancak kısmi ve zayıf bir kaplama gözlemlenmiştir.

Bu sonuçlar daha kolay karşılaştırma yapılabilmesi için özet şeklinde Tablo 1'e aktarılmıştır.

Tablo 1. Çözelti durumu ve kaplama sonuçları

pH	Sonuç	Çözelti Durumu
1	Kaplama oluşmamış.	Çözelti stabil
2	Hafif, homojen olmayan kaplama.	Çözelti stabil
3	Zayıf, homojen gri kaplama.	Çözelti stabil
4	Koyu gri, homojen kaplama.	Çözelti stabil
4,5	Kısmi, homojen olmayan kaplama.	Çözelti stabil
5	Açık tonlu kaplama.	Çözelti stabil
5,5	Daha açık tonlu kaplama.	Çözelti stabil
6	Başarılı, homojen kaplama.	Çözelti stabil
6,5	Açık gri, homojen kaplama.	Çözelti stabil
7	İyi, homojen kaplama.	Çözelti stabil
7,5	Homojen, siyah kaplama.	Çözelti stabil
8	Dolgun, siyah kaplama.	Çözelti hafif bulanık
8,5	Homojen, dolgun kaplama.	Çözelti hafif bulanık
9	Siyah, dolgun kaplama.	Çözelti hafif bulanık
9,5	Zayıf, homojen olmayan kaplama.	Çökme gözlemlenmiş
10	Zayıf, homojen olmayan kaplama.	Çökme gözlemlenmiş
10,5	Yer yer eksik, zayıf kaplama.	Çökme ve renk değişimi
11	Kısmi, zayıf kaplama.	Çökme ve renk değişimi

Tablo 1, pH seviyesinin kaplama özellikleri üzerindeki etkisini göstermektedir. Özellikle pH 6-8 aralığında homojen, başarılı ve kaliteli kaplama sonuçları elde edilirken, pH 9.5 ve üzerindeki koşullarda çözelti stabilitesindeki bozulma ve çökme, kaplama kalitesini olumsuz yönde etkilemiştir. Bu nedenle, optimum kaplama kalitesi ve homojenlik için pH 6-8 aralığı ideal bir çalışma aralığı olarak değerlendirilmiştir.

Farklı pH seviyelerinde kaplanan ABS elektrotların kaplama kalınlığı, pH değerine bağlı olarak değişim göstermiştir. Bu kalınlık ölçümleri, MAXXI 5 model X-ray floresans (XRF) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ancak pH 1, 9.5, 10, 10.5 ve 11 değerlerindeki çözeltilerle yapılan kaplama çalışmalarında kayda değer bir sonuç elde edilmediği için kalınlık ölçümleri yapılmamıştır.

Tablo 2. Kaplaması gerçekleşen yüzeylerin kalınlık değerleri

pH	Kaplama Kalınlığı (Mikron)
2	0,023
3	0,051
4	0,06
4,5	0,04
5	0,038
5,5	0,039
6	0,029
6,5	0,049
7	0,036
7,5	0,07
8	0,019
8,5	0,043
9	0,05

Tablo 2, pH seviyesine bağlı olarak ölçülen mikron kalınlık değerlerini sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, pH 7.5 seviyesinde kaplama kalınlığının maksimum değere ulaştığını göstermektedir.

Bu veriler, kaplama kalitesinin optimum mikron kalınlığına ulaşması için pH 6-7.5 aralığının ideal olduğunu göstermektedir.

2.2. En İyi Kaplamaların Olduğu pH Değerlerinin Farklı Sıcaklıklarda Kaplama Üzerine Etkisi

Farklı pH değerlerinde (3, 4, 6, 7.5 ve 9) gümüş kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi, farklı sıcaklıklarda (40°C ve 55°C) uygulanarak sıcaklığın kaplama özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu değerlendirmede, kaplama kalınlıkları, homojenlik durumu ve gözlemlenen kaplama özelliklerine odaklanılmıştır.

pH 3, 40°C: Açık gri kaplama oluştu.

pH 3, 55°C: Açık gri kaplama oluştu.

pH 4, 40°C: Açık gri kaplama oluştu.

pH 4, 55°C: Açık gri kaplama oluştu.

pH 6, 40°C: Açık gri kaplama oluştu.

pH 6, 55°C: Açık gri kaplama oluştu.

pH 7,5, 40°C: Açık gri kaplama oluştu.

pH 7,5, 55°C: Açık gri kaplama oluştu.

pH 9, 40°C: Açık gri fakat homojen olmayan kaplama oluştu.

pH 9,5, 40°C: Kaplama gerçekleşmedi.

Parçaların kaplama kalınlık değerleri ölçülmüş ve sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Farklı pH ve Sıcaklıklarda Kaplama Kalınlıkları

pH Değeri	40°C (Mikron)	55°C (Mikron)
pH 3	0,059	0,045
pH 4	0,069	0,041
pH 6	0,092	0,083
pH 7,5	0,065	0,050
pH 9	0,061	Kaplama yok

Yapılan ölçümler sonucunda, farklı pH ve sıcaklık şartlarının kaplama üzerine etkileri değerlendirilmiştir. 40°C ve 55°C sıcaklıklarında yapılan gözlemler, daha yüksek sıcaklığın kaplama kalitesine olumlu bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Açık gri kaplama çoğu durumda elde edilmiş, ancak pH 9 ve 9,5 gibi yüksek pH değerlerinde kaplama ya homojen olmamış ya da hiç oluşmamıştır. Sonuç olarak, yüksek sıcaklığın kaplama kalitesine olumlu bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, kaplama işlemleri için daha düşük sıcaklıkların tercih edilmesi uygun görülmüştür.

2.3. Farklı pH ve Konsantrasyonlarda Gümüş Nitrat çözeltisinin Kaplama Kalitesine Etkisi

Oda sıcaklığında farklı gümüş nitrat konsantrasyonlarının (0,1 g/L, 0,3 g/L, 0,5 g/L, 1 g/L, 5 g/L ve 10 g/L) ve pH değerlerinin (4, 6,8, 7, 7.5 ve 8) gümüş kaplama kalitesine etkileri incelenmiştir.

1. Aşınılmış, kalaylı ve paladyumlu parçalar %20 TF içinde 1 dk bekletildi, kurutuldu ve pH 4'te 0,1 g/L gümüş çözeltisinde 5 dk kaplama yapıldı. Sonuç: Kaplama zayıf, homojen değil.
2. pH 4'te 0,3 g/L gümüş çözeltisinde kaplandı. Sonuç: Kaplama zayıf, homojen değil.
3. pH 4'te 0,5 g/L gümüş çözeltisinde kaplandı. Sonuç: Kaplama iyi, homojen.
4. pH 4'te 1 g/L gümüş çözeltisinde kaplandı. Sonuç: Kaplama çok iyi, homojen.
5. pH 4'te 5 g/L gümüş çözeltisinde kaplandı. Sonuç: Kaplama homojen değil, yarısı beyaz gümüş kaplandı.
6. pH 4'te 10 g/L gümüş çözeltisinde kaplandı. Sonuç: Gri kaplama, homojen değil.

7. pH 8,0'da 0,1 g/L gümüş çözeltisinde kaplama yapıldı.
Sonuç: Kaplama iyi.
8. pH 7,5'te 0,3 g/L gümüş çözeltisinde kaplama yapıldı.
Sonuç: Kaplama iyi, fakat az matlık var.
9. pH 7,5'te 0,5 g/L gümüş nitrat çözeltisinde kaplama yapıldı. Sonuç: Kaplama durumu iyi.
10. pH 7'de 1 g/L gümüş çözeltisinde kaplama yapıldı.
Sonuç: Kaplama iyi.
11. pH 6,8'de 5 g/L gümüş çözeltisinde kaplama yapıldı.
Sonuç: Kaplama homojen değil.
12. pH 6,8'de 10 g/L gümüş çözeltisinde kaplama yapıldı.
Sonuç: Kaplama homojen değil.

Bu sonuçlar Tablo 4'te özetlenmiştir.

**Tablo 4. Farklı pH ve Gümüş Nitrat Konsantrasyonlarının
Kaplama Durumu Üzerindeki Etkileri**

Deney No	pH Değeri	Gümüş Nitrat Konsantrasyonu (g/L)	Kaplama Durumu
1	4	0,1	Kaplama zayıf, homojen değil.
2	4	0,3	Kaplama zayıf, homojen değil.
3	4	0,5	Kaplama iyi, homojen.
4	4	1	Kaplama çok iyi, homojen.
5	4	5	Kaplama homojen değil, yarısi beyaz gümüş kaplandı.
6	4	10	Gri kaplama, homojen değil.
7	8,0	0,1	Kaplama iyi.
8	7,5	0,3	Kaplama iyi, fakat az matlık var.
9	7,5	0,5	Kaplama durumu iyi.
10	7	1	Kaplama iyi.
11	6,8	5	Kaplama homojen değil.
12	6,8	10	Kaplama homojen değil.

Ayrıca Deneylerde elde edilen kaplama kalınlık değerleri tablo. 5' te verilmiştir.

Tabo 5. Farklı pH ve gümüş nitrat konsantrasyonlarının kaplama kalınlık değerleri

pH	Konsantrasyon (g/L)	Kaplama Kalınlığı (Mikron)
pH 4	0.1	0.04
pH 4	0.3	0.032
pH 4	0.5	0.043
pH 4	1	0.054
pH 4	5	0.09
pH 4	10	0.045
pH 8	0.1	0.045
pH 7.5	0.3	0.056
pH 7.5	0.5	0.094
pH 7	1	0.054
pH 6.8	5	0.134
pH 6.8	10	0.036

Elde edilen verilere göre 1 g/L'ye kadar olan konsantrasyonlarda kaplamanın daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, çalışmalar için standart gümüş nitrat konsantrasyonu olarak 1 g/L tercih edilmiştir. Asidik ve bazik ortamların konsantrasyona etkisi gözlemlenmiş ve daha düşük konsantrasyonlarda homojen kaplama elde edilmesinin daha olası olduğu tespit edilmiştir.

2.4. Optimize Edilmiş Parametrelerle Kaplama Kalınlığı Artırma Çalışmaları

Önceki bölümlerde gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, ABS yüzeylerde gümüş kaplama işlemi için optimum pH aralığı, sıcaklık ve gümüş nitrat konsantrasyonu belirlenmiştir. Bu optimize edilmiş parametreler temel alınarak, bu aşamada kaplama kalınlığını artırmaya yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde, yüzey hazırlığı tamamlanan ABS numuneleri, %20 TF çözeltisinden geçirilmiş ve yüzeyden fazla çözelti uzaklaştırılmıştır. Numuneler deney düzeneğine yerleştirilmiş ve yüzeyleri tamamen kaplayacak şekilde 370 ml,

20 g/L amonyaklı gümüş nitrat çözeltisi ilave edilmiştir. Sistem 1 saat süreyle döndürülerek karıştırılmış ve bu sürenin sonunda 0,4 mikron kalınlığında bir kaplama elde edilmiştir.

DeneySEL süreç aşağıdaki adımlarla ilerlemiştir:

- 1 saat sonunda sistemden 10 ml çözelti örneği alınarak gümüş analizi için ayrılmıştır (1. Numune).
- Sisteme 50 ml %20 TF çözeltisi ilave edilerek 1 saat daha karıştırılmış ve kaplama kalınlığı 0,87 mikrona ulaşmıştır. İkinci saat sonunda 10 ml çözelti örneği alınarak (2. Numune) analiz için ayrılmıştır.
- Yeniden 50 ml %20 TF çözeltisi ilavesi yapılarak 1 saat daha karıştırılmış ve kaplama kalınlığı 1,2 mikrona yükselmiştir. Üçüncü analiz örneği (3. Numune) alınmıştır.
- Numuneler sistem içinde bir gece bekletilmiş ve ertesi gün yapılan ölçümlerde kaplama kalınlığı 1,5 mikrona ulaşmıştır. Sabah alınan 4. Numune analiz için ayrılmıştır.

Not: 1. ve 2. numunelerde hafif çökelme gözlemlenirken, 3. ve 4. numunelerde çözelti oldukça şeffaf bulunmuştur.

Deney sonunda tankta 430 ml çözelti kalmıştır. Tanktan alınan 25 ml çözelti, küçük bir beherdeki paladyum kaplı parçalar üzerine dökülerek, üzerine %20 TF çözeltisinden üç aşamada toplam 60 ml eklenmiş, ancak her defasında kaplama oluşmadığı gözlenmiştir. Bu sonuç, tanktaki gümüş iyonlarının tamamen tüketildiğini göstermektedir.

Bu çalışmada sonucunda, 20 g/L gümüş nitrat çözeltisi kullanılarak 1,5-2 mikron kalınlığında homojen kaplamalar elde edilmiş ve gümüş tüketimi en verimli şekilde gerçekleştirilmiştir.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, ABS yüzeylerin gümüş kaplama işlemleri sırasında pH, sıcaklık ve gümüş nitrat konsantrasyonu gibi parametrelerin kaplama kalitesi üzerindeki etkileri sistematik olarak incelenmiş ve optimize edilmiştir. Ayrıca, optimize edilen parametreler doğrultusunda kaplama kalınlığını artırmaya yönelik ek deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Farklı pH seviyelerinde yapılan kaplama deneyleri, kaplama kalitesinin pH değişimlerine duyarlı olduğunu göstermiştir. pH 6-8 aralığında homojen, estetik ve kaliteli kaplamalar elde edilmiştir. Özellikle pH 7.5 ve 8 seviyelerinde siyah, dolgun ve homojen kaplamalar gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, pH 9.5 ve üzerindeki seviyelerde çözelti stabilitesinde bozulmalar meydana gelmiş ve kaplama homojenliği azalmıştır.

Farklı pH seviyelerinde 40°C ve 55°C sıcaklıklarda yapılan kaplama deneylerinde sıcaklığın kaplama kalitesi üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Ancak pH 9 ve üzeri seviyelerde her iki sıcaklıkta da kaplama homojenliğinin düştüğü tespit edilmiştir.

Gümüş nitrat konsantrasyonu, kaplama kalitesini etkileyen önemli bir faktör olarak öne çıkmıştır. 1 g/L konsantrasyonu, optimum kaplama homojenliğini sağlamıştır. Düşük konsantrasyonlarda zayıf ve homojen olmayan kaplamalar elde edilmiştir.

Optimize edilen parametrelerin uygulanmasının ardından gerçekleştirilen kaplama kalınlığı artırma çalışmaları, başarılı sonuçlar vermiştir. 20 g/L gümüş nitrat çözeltisi kullanılarak yaklaşık 1,5-2 mikron kalınlığında homojen kaplamalar elde edilmiştir.

Bu sonuçlar, ABS yüzeylerin gümüş kaplama süreçlerinde optimum parametrelerin belirlenmesi ve kontrolü ile hem kaplama kalitesinin hem de kaplama kalınlığının istenen seviyelere çıkarılabileceğini göstermektedir. Elde edilen bilgiler, üretim süreçlerinde daha işlevsel ve dayanıklı ürünlerin elde edilmesine katkı sağlanması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

- An, C., Wang, J., Wang, S., Zhang, Q., Yang, M., Zhan, J. 2012. "Converting AgCl Nanocubes to Silver Nanowires Through a Glycerol-Mediated Solution Route". *Crystengcomm*, 14(18), 5886.
- Barani, H., Montazer, M., Braun, H., Dutschk, V. 2014. "Stability of Colloidal Silver Nanoparticles Trapped in Lipid Bilayer: Effect of Lecithin Concentration and Applied Temperature". *Iet Nanobiotechnology*, 8(4), 282-289.
- Chafidz, A., Hidayat, P., Maulana, S., Ramadhan, E. H., Prasetiawan, H., Kaavessina, M., Hendrawati, N. 2023. "Biosynthesis of Silver Nano/Micro-Particles Using <i>Sambiloto</i> (<i>Andrographis paniculata</i>) Leaves Extract: Effect of AgNO₃ Solution Concentrations". *Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials*, 35, 33-38.
- Chang, H. J., Tsai, M., Hwang, W., Wu, J. T., Hsu, S. L. C., Chou, H. H. 2012. "Application of Silver Nitrate Solution and Inkjet Printing in the Fabrication of Microstructural Patterns on Glass Substrates". *The Journal of Physical Chemistry C*, 116(7), 4612-4620.
- Christophe, J., Guilbert, G., Rayee, Q., Poelman, M., Olivier, M., Buess-Herman, C. 2018. "Cyanide-Free Silver Electrochemical Deposition on Copper and Nickel". *Journal of the Electrochemical Society*, 165(14), D676-D680.
- Drelich, A. J., Miller, J., Donofrio, R., Drelich, J. 2017. "Novel Durable Antimicrobial Ceramic With Embedded Copper Sub-Microparticles for a Steady-State Release of Copper Ions". *Materials*, 10(7), 775.

- Ehdaie, B., Krause, C. F., Smith, J. A. 2014. "Porous Ceramic Tablet Embedded With Silver Nanopatches for Low-Cost Point-of-Use Water Purification". *Environmental Science & Technology*, 48(23), 13901-13908.
- Han, X., Wang, G., He, J., Guan, J., He, Y. 2018. "Influence of Temperature on the Surface Property of ABS Resin in KMnO_4 Etching Solution". *Surface and Interface Analysis*.
- Hu, M., Gao, J., Yang, D., Li, K., Shan, G., Yang, S.-J., Li, R. K. 2012. "Flexible Transparent PES/Silver Nanowires/Pet Sandwich-Structured Film for High-Efficiency Electromagnetic Interference Shielding". *Langmuir*, 28(18), 7101-7106.
- Katırcı, R., Oğuz, T. 2024a. "ABS Plastik Yüzeylerde Metalik Kaplama Ön İşlemlerin Optimizasyonu".
- Katırcı, R., Oğuz, T. 2024b. "ABS Tabanlı EKG Elektrotların Üretiminde Gümüş Kaplama Sürecinin İyileştirilmesi".
- Sun, Z., Zhou, Y., Li, W., Chen, S., You, S., Ma, J. 2019. "Preparation of Silver-Plated Para-Aramid Fiber by Employing Low-Temperature Oxygen Plasma Treatment and Dopamine Functionalization". *Coatings*, 9(10), 599.
- Youssefi, M., Motamedi, F. 2019. "An Electrically Conductive Hybrid Polyaniline/Silver-Coated Polyester Fabric for Smart Applications". *Journal of Industrial Textiles*, 50(5), 754-769.
- Zhao, W., Li, L. H., Hu, X. W., Mo, L. X. 2012. "Investigation on Post Treatment of Nano-Size Silver Conductive Film". *Applied Mechanics and Materials*, 262, 470-474.
- Ziábka, M., Dziadek, M., Menaszek, E. 2018. "Biocompatibility of Poly(acrylonitrile-Butadiene-Styrene)

Nanocomposites Modified With Silver Nanoparticles".
Polymers, 10(11), 1257.

Ziábka, M., Dziadek, M., Pielichowska, K. 2020. "Surface and Structural Properties of Medical Acrylonitrile Butadiene Styrene Modified With Silver Nanoparticles". Polymers, 12(1), 197.

MALZEME VE METALURJİ MÜHENDİSLİĞİ

DEĞERLENDİRMELERİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com