

GİRİŞ

Kaynak metalurjisi, metallerin birleştirilmesi sırasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimleri inceleyen ve kaynaklı birleşimlerin mekanik özelliklerini, mikro yapılarını ve servis performanslarını geliştirilmesini amaçlayan metalurji alt bilim dalıdır. Kaynak işlemleri sırasında malzeme, lokal olarak ergitilir veya plastik deformasyona uğratılır; bu süreç metalin ısı tesiri altında kalan bölgelerinde (ITAB) önemli yapısal değişimlere yol açar.

Kaynak bölgesinde faz dönüşümleri, tane büyümesi, çökeltme davranışları, segregasyon ve artık gerilmeler gibi mikro yapı özellikleri detaylı biçimde değerlendirilir. Bu değişimlerin kontrolü, kaynak dikisinin dayanıklılığı, sünekliği, yorulma ömrü ve çatlak direnci açısından etkileri gözlemlenir. Farklı alaşımların kaynaklanabilirlik özellikleri; kimyasal bileşim, termal iletkenlik, genleşme katsayısı ve ergime sıcaklığı gibi malzeme parametrelerine bağlı olarak değişkenlik gösterir.

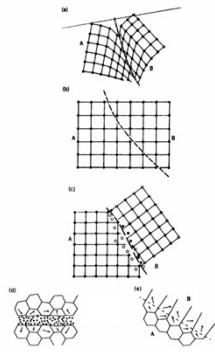
Modern endüstriyel uygulamalarda kaynak işlemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sektörlerde kullanılan malzemelerin kaynaklanabilirlik özelliklerinin doğru analiz edilmesi, kaynak bölgesindeki muhtemel kusurların önlenmesi için zorunludur. Bu bağlamda, kaynak metalurjisinin temel prensiplerini bilmek ve kaynaklanabilirliğin detaylı metalurjik analizlerle belirlenmesi, uygun dolgu metali ve kaynak parametreleri seçilmesi gerekir. Böylece hem kaynak dikisinin hem de ısı tesiri altındaki bölgenin servis süresince gerekli mekanik özellikleri koruması sağlanır.

Kaynak

Kaynak, aynı temel tip veya sınıftaki malzemelerin bir araya getirildiği, ısı ve basıncın veya ikisinin birleşik etkisi altında birincil (ve bazen ikincil) kimyasal bağların oluşturulması yoluyla birleşiminin ve parçaların arasında çeşitli yollarla sürekliliğin sağlandığı bir işlemdir.

Metalik sürekliliği elde etmek için üç farklı mekanizma vardır: (a) yeniden kristalleşme olmaksızın ya da (b) yeniden kristalleşmeyle birlikte gerçekleşen katı faz plastik deformasyonu, (c) difüzyon ve (d,e) erime-katılaşma. Bunlar yandaki şekilde şematik olarak gösterilmiştir.

Bu üç mekanizma, her kaynak işleminde metalurjik sürekliliğin kurulmasına ayrı ayrı veya kombinasyonlar halinde yer alır. Bazen deformasyona bazen erime ve katılaşmaya dayanırlar ve neredeyse her zaman difüzyonu tek başına veya diğer mekanizmalarla birlikte bulunarak gerinim, yeniden kristalleşme veya epitaksiyel büyüme yoluyla orijinal bir arayüz boyunca ortak bir tane yapısı oluştururlar.



Şekil 1 Süreklilik Mekanizmaları

Kaynak Metalurjisi

Füzyon Bölgesi

Tamamen erimiş ve yeniden katılaşmış olan kaynağın çekirdek bölgesini temsil eder. Bu bölgede baz metal ve eğer kullanılmışsa dolgu metali bir araya gelerek katılaşma sürecini geçirir. Katılaşma biçimleri (düzlemsel, hücresel, dendritik) sıcaklık gradyanının katılaşma hızına bölümüne bağlı olarak belirlenir. Bu oranı yüksekse düzlemsel, düşüğe dendritik yapılar oluşur. Füzyon bölgesinde katılaşma sırasında mikrosegregasyon ve makrosegregasyon gelişir. Mikrosegregasyon dendrit kolları arası kompozisyon farklılıkları yaratırken, makrosegregasyon daha geniş çaplı bileşim düzensizlikleri doğurabilir. Bu bölge kaynak sırasında sıvı metal havuzu içindeki metal akışı, yüzey gerilimi farkları ve yoğunluk gradyanları gibi sıvı hal davranışlarından etkilenir. Bu nedenle kaynak dikisi mukavemet, süneklik ve korozyon dayanımı açısından heterojen özellikler gösterir. Katılaşma çatlakları, özellikle düşük sıcaklıkta süneklik aralığı dar olan alaşımlarda bu bölgede gelişebilir.

Kısmi Erimiş Bölge

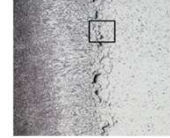
Füzyon bölgesi ile gerçek ısıdan etkilenen bölge arasında yer alır ve burada lokal sıvılaşma meydana gelir. Kaynağın termal çevriminde, alaşımın likidüs ve solidus sıcaklıkları arasındaki kalan bu bölgede tane sınırlarında ve bazı partikül ve matris arayüzlerinde ergime başlar. Tane sınırı ergimesi, tane sınırlarında alaşım elementi veya safsızlık zenginleşmesinin lokal erime sıcaklığını düşürmesiyle ortaya çıkar. Yapısal sıvılaşma ise, metal matrisindeki bir ikincil faz parçacığının matrisle reaksiyona girerek düşük sıcaklıkta ergiyen bir ara faz oluşturmaktır. Bu mekanizma kaynak sırasında yüksek ısıtma hızlarında görülür ve sıvı fazın tane sınırlarına nüfuz etmesiyle sıcak yıtılma riski doğurabilir. KEB'nin genişliği, kaynak ısı, soğuma hızı ve alaşımın segregasyon davranışı ile doğrudan ilişkilidir.

Isı Tesiri Altındaki Bölge

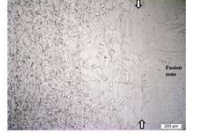
Mikroyapısal dönüşümlerin yalnızca katı fazda gerçekleştiği bölgedir; burada erime yoktur. Termal çevrimin şiddetine göre farklı alt bölgelere ayrılır. Geniş taneli ısıdan etkilenen bölgede tane büyümesi, ince taneli ısıdan etkilenen bölgede yeniden kristalleşme, ara kritik ısıdan etkilenen bölgesinde ise kısmi faz dönüşümleri görülür. Çeliklerde östenit fazının dönüşümü, alüminyum alaşımlarında çökeltme sertleşmesi fazlarının çözünmesi veya aşırı yaşlanması tipik reaksiyonlardır. ITAB'da yerel gerilmeler, artık gerilmeler ve yeni fazların oluşumu mekanik özellikleri önemli ölçüde değiştirir. Yüksek sıcaklık nedeniyle gevrek martenzit oluşumu, tane büyümesi sonucu süneklik kaybı ve düşük sıcaklıkta sünek kırılma eğilimi gibi istenmeyen durumlar gelişebilir.



Şekil 2 Füzyon Bölgesi



Şekil 3 Kısmi Erimiş Bölge



Şekil 4 Isı Tesiri Altındaki Bölge

Kaynaklanabilirlik

Metalik malzemeden oluşan bir bileşen, uygun bir kaynak prosedürü kullanılarak kaynakla metalik süreklilik elde edilebildiğinde, belirli bir işlemle kaynaklanabilir olarak kabul edilir. Kaynaklanabilirliği olumsuz etkileyen en önemli kusurlar ise çatlaklardır. Çatlaklar ise kaynaklı parçaların sürekliliğini bozarak servis ömrünü kısaltır.

1. Sıcak Çatlaklar: Kaynak banyosu soğuyup katılaşırken, katılaşma aralığının sonlarına doğru taneler arasında kalan sıvı filmlerin, malzemenin büzülme gerilmelerine dayanamayarak yırılması sonucu oluşan çatlaklardır.

a) Kaynak Katılaşma Çatlaması: Bu çatlaklar füzyon bölgesinde, katılaşmanın tamamlanma aşamasında gelişir. Katılaşma sırasında tane sınırları boyunca sıvı filmlerin varlığı, bu sıcaklık aralığında yitirilen süneklik plastik deformasyonların yoğunlaşmasına ve nihayetinde çatlak başlatıcılarının oluşmasına neden olur. Bu çatlak türü özellikle yüksek katkı elementli alaşımlarda görülür. Kaynak banyosu tasarımı, alaşım kompozisyonu ve kaynak parametreleri bu çatlak türünün oluşumuna doğrudan etki eder.

b) Sıvılaşma Çatlaması: Kısmi erimiş bölgede ortaya çıkan bu çatlak tipi, tane sınırlarında bölgesel sıvılaşma ile ilişkilidir. Bu durum, düşük ergime noktalı fazların çözünmesi veya eriyen ikinci faz partikülleri ile matris arasındaki reaksiyonlardan kaynaklanır. Yüksek gerilme birikimi ve sıvı film oluşumu sonucu çatlak başlar ve büyür.

Çok geçişli kaynaklarda, daha önce katılaşmış kaynak metalinin yeniden ısıtılmasıyla meydana gelir. Bu durumda göç etmiş tane sınırları veya kaynak metalindeki segregasyon bölgeleri lokal olarak sıvılaşabilir. Sıvılaşan bu bölgeler kaynak sonrası gerilmeler nedeniyle çatlaklar. Bu tür çatlak genellikle onarım kaynağı gibi çok ısıl çevrim geçirmiş birleşimlerde gözlenir.

2. Katı Hal Çatlakları: Malzeme katı haldeyken, belirli koşulların bir araya gelmesiyle (gerilme, hassas mikro yapı) oluşan çatlaklardır. Sıcak çatlakların aksine, genellikle gecikmeli olarak ortaya çıkarlar, yani kaynaktan saatler hatta günler sonra bile oluşabilirler.

a) Süneklik Düşüşü Çatlaması: Özellikle östenitik paslanmaz çelikler ve nikel bazlı alaşımlarda görülen bu çatlak tipi, malzemenin sünekliğinde keskin bir düşüş gösterdiği sıcaklık aralığında oluşur. Tane sınırlarında ayrılmış elementler sünekliği azaltır. Çok geçişli kaynaklarda, yeniden ısıtma ile aktifleşen bu çatlaklar taneler arasında ilerler.

b) Yeniden Isıtma Çatlaması: Kaynak sonrası gerilim giderme veya yüksek sıcaklık işlemleri sırasında oluşur. Bu çatlaklar, özellikle nikel bazlı alaşımlarda, tane sınırlarında çökeltilerin oluşması veya faz dönüşümleri sonucu oluşan gevrek bölgelerde başlar.

c) Gerilme Yaşlanma Çatlaması: Plastik deformasyon görmüş ve martenzitli yapı içeren düşük alaşumlu çeliklerde, difüzyonla köken karbürler nedeniyle dayanıklılık kaybına bağlı olarak gelişir. Özellikle kaynak sonrası bekleme esnasında aktive olur.

d) Lameller Çatlama: Kuvvetlerin hadde yönüne dik uygulandığı çok kalın plakalı çeliklerde meydana gelir. Sülfidik inklüzyonlar nedeniyle zayıflamış ara yüzeyler boyunca ilerler. Özellikle köşe kaynaklarında yaygındır.

e) Bakır Kirliliği Çatlaması: Bakırın sıvı halde tane sınırlarına sızmasıyla ortaya çıkan bu çatlak tipi sıvı metal gevrekleşmesinin bir sonucudur. Özellikle bakırdan yapılmış kaynak fişürleri ile temasta ortaya çıkar.

3. Hidrojen Kaynaklı Çatlama: Hidrojenin kaynak metali veya ITAB içinde difüze olması sonucu oda sıcaklığında ya da kaynak sonrası belirli bir bekleme süresi sonunda oluşan çatlaklardır. Soğuk çatlak veya gecikmiş çatlak olarak da adlandırılır. Bu çatlak türü için üç koşulun çok zamanlı varlığı gereklidir: yüksek hidrojen içeriği, sert ve gevrek bir mikro yapı ve yüksek kalıntı gerilme. Özellikle yüksek mukavemetli çeliklerde büyük problem oluşturmaktadır. Çatlaklar çoğunlukla ITAB içinde veya füzyon hattında başlar ve taneler arasında gözlemlenir. Difüzyonla hareket eden hidrojen, çekirdeklenmiş mikro boşlukları genişleterek çatlak ilerlemesine neden olur. Bu nedenle, ön ısıtma, kontrollü soğuma ve düşük hidrojenli kaynak sarf malzemeleri hidrojen kaynaklı çatlama riskini azaltmak için kritik öneme sahiptir.

Sonuç

Kaynak metalurjisi, kaynaklı birleştirmelerin güvenilirliği ve performansı açısından temel bir disiplindir. Bu çalışma, kaynak işlemi sırasında metalik malzemelerde meydana gelen karmaşık metalurjik değişimleri ve bu değişimlerin kaynaklanabilirlik üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde incelemiştir. Kaynak işlemi, malzemenin lokal olarak ergitilmesi veya plastik deformasyona uğratılmasıyla metalik sürekliliği sağlarken, aynı zamanda füzyon bölgesi, kısmi erimiş bölge ve ısı tesiri altındaki bölge gibi kendine özgü mikro yapısal özellikler taşıyan bölgeler oluşturur. Kaynak metalinin alaşımı ve kaynak bölgelerinin belirli şartlar altında oluşturdukları çatlaklar sürekliliği ve dolayısıyla kaynaklanabilirliği olumsuz etkilemektedir. Bir kaynak işleminde bu durumlar göz önünde bulundurularak oluşturulan kaynak parametreleri sürekliliği sağlayarak istenilen servis ömrünün tamamlanmasını sağlar.

Kaynaklar

1. SINDO KOU, (2003) Welding Metallurgy, Wiley Interscience
2. KENNETH EASTERLING, (1992) Introduction to the Physical Metallurgy of Welding, Butterworth Heinemann
3. ROBERT W. MESSLER, (1999) Principles of Welding Processes Physics Chemistry and Metallurgy, Wiley VCH
4. JOHN C. LIPPOLD, (2014) Welding Metallurgy and Weldability, Wiley



GEMİ SANAYİSİNDE KULLANILAN ALÜMİNYUM LEVHALARIN TEL ARK EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ, MEKANİK VE KOROZYON DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ



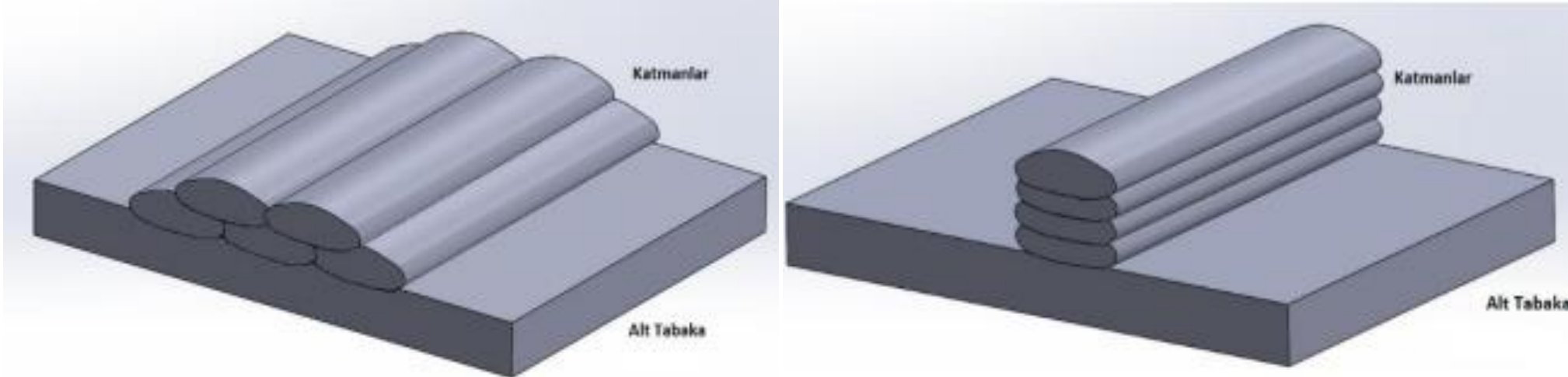
Abdullah Serdar Sağıroğlu, Yahya Bozkurt
Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Giriş

Tel Ark Eklemeli İmalat (TAEİ) işlemi, metal esaslı malzemelerin yaygın olarak ark kaynak (MIG/MAG) tekniğine dayalı gerçekleştirildiği bir eklemeli imalat tekniğidir. Bu teknikte malzeme biriktirmek için ısı kaynağı olarak elektrik arkı, malzeme hammaddesi için ise metal esaslı teller kullanılır. Geleneksel üretim yöntemlerinin aksine, TAEİ yönteminde; malzemenin katman katman biriktirilmesi daha hızlı üretimi sağlar hem de çok daha az malzeme israfı olacağından imalat maliyetini de azaltır. Ayrıca, TAEİ yöntemi ile imal edilen parçalar geleneksel imalat yöntemleriyle üretilen parçalara göre kayda değer bir şekilde daha yüksek mekanik özellikler gösterebilmektedir. TAEİ yöntemi, gemi sanayisinde birçok avantaja sahiptir. Gemi endüstrisindeki önemli kriterlerin başında tartışmasız parçaların hafif olması gelmektedir. TAEİ yöntemi şüphesiz ki gözenekli ve hafif parçaların imal edilebilirliğini kolaylaştırmaktadır.

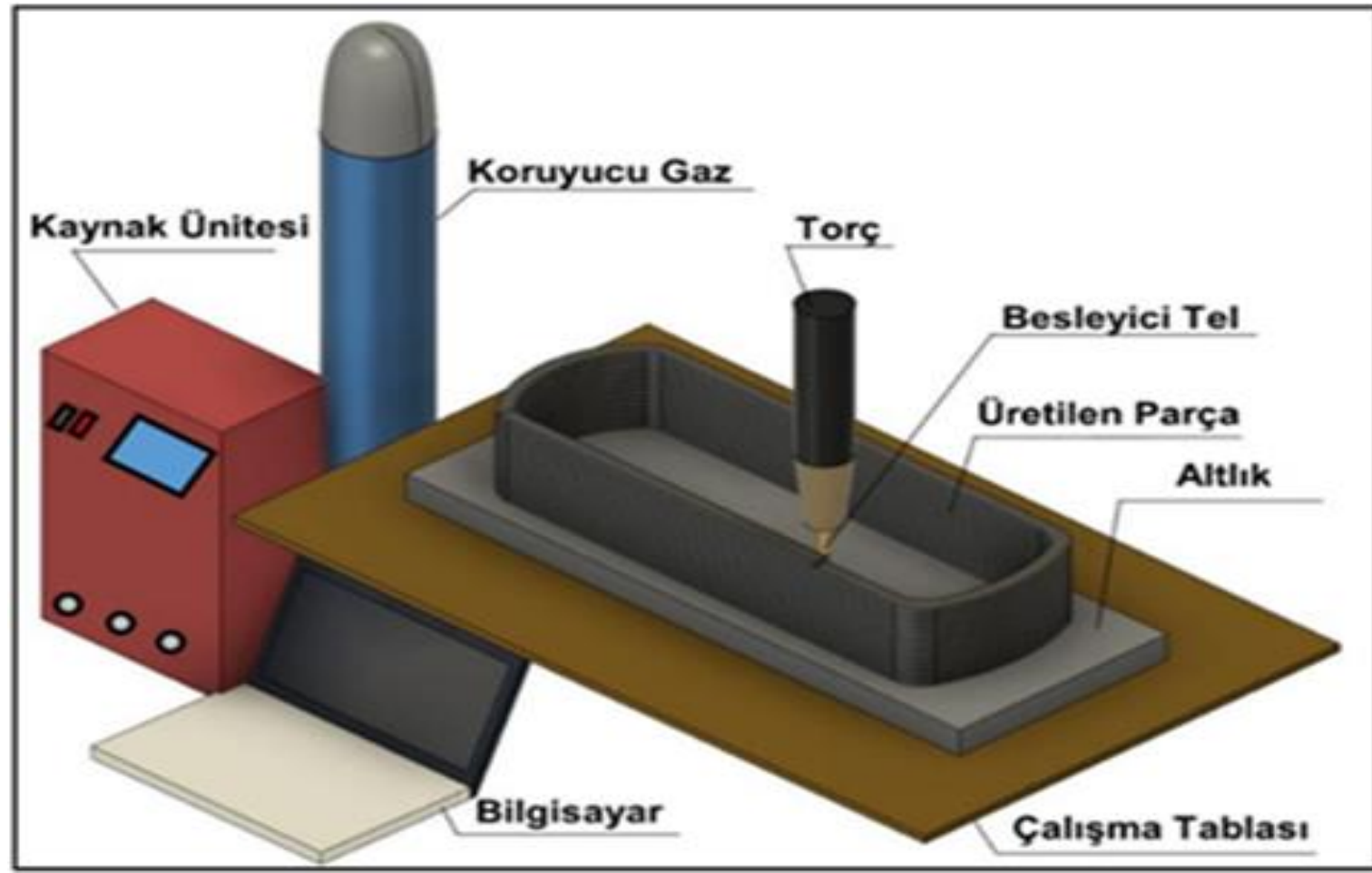
Malzeme ve Yöntem

Gemicilik sanayisinde; hafifliği, deniz suyu ve kimyasalların sebep verebileceği korozyonun önüne geçilebilmesi ve yüksek kaynak kabiliyetleri sebebiyle alüminyum ve alaşımları kullanılmaktadır. Ayrıca mevcut teknolojilerle parçaların imal edilebilirliği zor olduğundan bu parçaların üretimi esnasında yaşanan sorunlar Eklemeli İmalat (Eİ) yöntemleri ile çözülmüştür. Eİ yöntemlerindeki katmanların oluşturulması Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Eklemeli imalat katmanlarının oluşturulması

TAEİ yönteminin süreci, bir kaynak makinesinin başlık kısmından bir torç ile kaynak teli elektrik arkı aracılığıyla eritilir ve bu sıvı metal, şekillendirilen yüzeye katmanlar halinde eklenir. Her katman bir öncekinin üstüne eklenir ve işlem bu şekilde devam eder. Bu işlem, katmanlar birleştirilip nihai parça elde edilene kadar devam eder. MIG/MAG yöntemiyle TAEİ işleminin süreci Şekil 2’de gösterilmektedir.



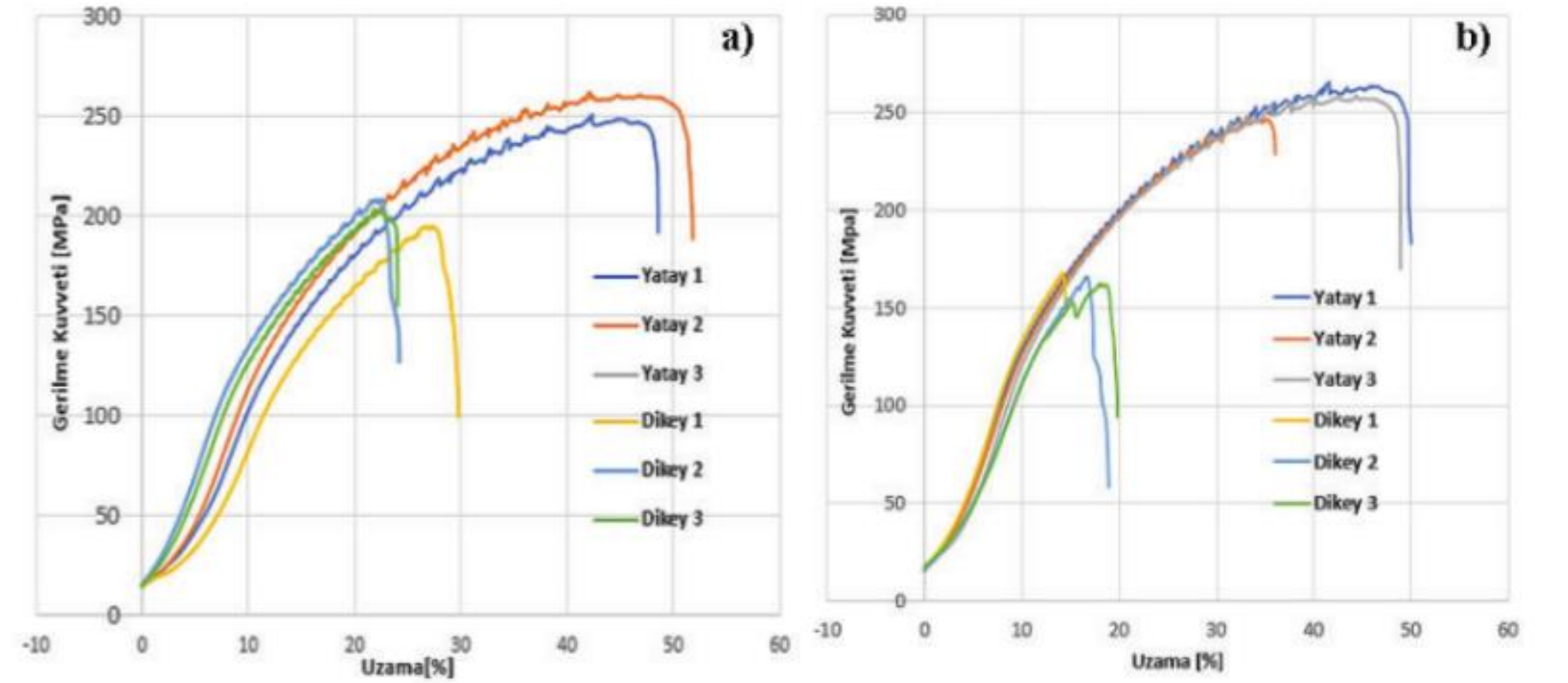
Şekil 2. MIG/MAG uygulamasıyla TAEİ işleminin şematik gösterimi

TAEİ bazlı ürünlerin mekanik ve metalurjik özellikleri çok iyidir ve gemicilik mühendisliği için uygundur. TAEİ, diğer geleneksel işlemlerle basit ve küçük alüminyum bileşenlerin daha az üretim maliyeti nedeniyle karmaşık ve büyük boyutlu alüminyum bileşenleri için avantajlıdır. Ayrıca, alüminyum ve alaşımlarının birleştirilmesinde en çok tercih edilen kaynak yöntemi TIG ve MIG kaynak yöntemleridir. MIG-TAEİ işleminde, metal damlacık transferi ve elektrik arkı imal edilen malzemenin kalitesini etkileyen ana faktörlerdir

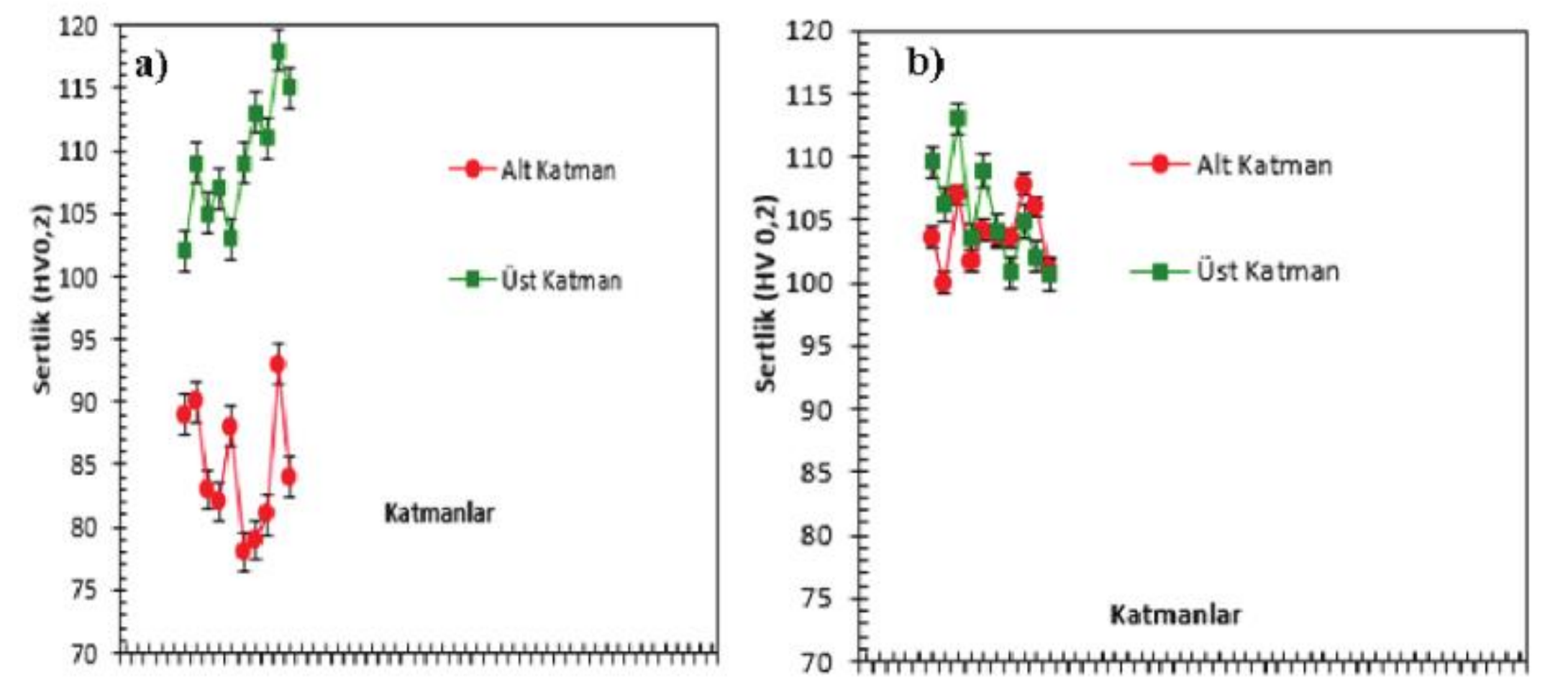
DeneySEL Çalışmalar

Literatüre baktığımız zaman, TAEİ yöntemleri hakkında önceden yapılmış olan çalışmalarda çeşitli türden malzemelerle parçaların üretimi için birçok uygulama gerçekleştirilmiştir. Alüminyum ve MIG esaslı TAEİ çalışmalarına bakacak olursak Luo ve arkadaşları TAEİ yöntemiyle çöktürülmüş Al-ER4043 malzemesi üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirmiş ve alüminyum ve alaşımları için MIG tabanlı TAEİ işleminin en uygun olduğu sonucuna varmıştır. Wagas’ın arkadaşlarıyla birlikte, MIG kaynağını kullandıkları TAEİ yöntemi ile imal ettikleri parçaların sunduğu mekanik özellikleri incelemişlerdir. Üretim esnasında; hammadde telin besleme hızı, voltaj, arkın boyu ve kaynağın ilerleme hızı gibi pek çok kaynak parametrelerini dikkatle kontrol etmişlerdir.

Yakın tarihte üniversitemizde yapılan TIG esaslı TAEİ çalışmasına baktığımız zaman ise tel besleme hızı dakikada 0,7 metre, hareket hızı dakikada 320 mm, koruyucu gaz olarak %99,99 Argon gazı, koruyucu gaz akış hızı dakikada 12 litre olarak ark’ın yüksekliğinin 5 mm ve voltajının ise 14-18 Volt olacak şekilde bu parametrelere sahip bir çalışma incelenmiştir. Çalışmada, 90 ve 105 Amperlik iki deneyin sonuçları karşılaştırılmış ve mekanik özelliklerin hemen hemen aynı olduğu sonucuna varılmıştır. Çekme testi sonuçları Şekil 3’de ve Vickers mikrosertlik testlerinin sonuçları da Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 3. Çekme testlerinin sonuç grafiği



Şekil 4. Vickers mikrosertlik testlerinin sonuç grafiği

Kaynakça

- Y. Luo, J. Li, J. Xu, L. Zhu, J. Han, C. Zhang Influence of pulsed arc on the metal droplet deposited by projected transfer mode in wire-arc additive manufacturing J. Mater. Process. Technol., 259 (2018), pp. 353-360
- Williams, S. W., Martina, F., Addison, A. C., Ding, J., Pardal, G. and Colegrove, P., “Wire+Arc Additive Manufacturing”, Materials Science and Technology, Vol. 32, Issue 7, Pages 641-647, 2016
- Ji, L., Lu, J., Liu, C., Jing, C., Fan, H. and Ma, S., “Microstructure and Mechanical Properties of 304L Steel Fabricated by Arc Additive Manufacturing”, MATEC Web of Conferences, Vol. 128, 03006, 2017.
- Wagas, A.; Xiansheng, Q.; Jiangtao, X.; Chaoran, Y.; Fan, L: Impact Toughness of Components Made By GMAW Based Additive Manufacturing” , Procedia Structural Integrity, 13 (2018) 2065-2070.
- Investigation of the Mechanical Properties of Aluminum Alloys Produced by Wire Arc Additive Manufacturing Method Karayel, Elif . Marmara Üniversitesi (Turkey) ProQuest Dissertations Publishing, 2022. 30348745.

Ti Katkılı Yeni Nesil Dolgu Elektrotları ile AA5083 ve AA6015 Alüminyum Alaşımlarının TIG Kaynağı ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Ayşe Gönül KARACA, Elif Berra ÇELİK, Gizem DOĞAN, Zeynep Nur YAMAN, Semih ÖZBEY

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye
TÜBİTAK NO: 1919B012327770

Amaç: Bu çalışmanın amacı, AA5083 ve AA6015 alüminyum alaşımlarının TIG kaynağında kullanılmak üzere döküm yöntemiyle üretilen dolgu elektrotlarının kaynak performansını incelemektir. Elektrotlara farklı oranlarda titanyum (Ti) eklenerek bu değişimin mekanik özelliklere ve kaynak kalitesine etkisi değerlendirilmiştir. Böylece hem dökümle elektrot üretiminin uygulanabilirliği hem de optimum Ti oranının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Giriş

Alüminyum alaşımları; hafiflik, yüksek özgül dayanım ve korozyon direnci gibi özellikleri nedeniyle otomotiv, havacılık ve savunma sanayii başta olmak üzere birçok alanda çelik malzemelere alternatif olarak kullanılmaktadır. Özellikle 5xxx ve 6xxx serisi alaşımlar, otomotivde yapısal parçalarda sıklıkla tercih edilmekte ancak bu iki seri alaşımın birlikte kaynatılmasında uygun dolgu metali seçimi kritik önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, AA5083 ve AA6015 alüminyum alaşımlarının TIG kaynağıyla birleştirilmesinde kullanılmak üzere, sabit Mn–Zn–Si içeriğine sahip ve farklı oranlarda (%0, %0.5, %1.0, %1.5) titanyum (Ti) içeren dolgu elektrotları döküm yöntemiyle laboratuvar ortamında üretilmiştir. Elektrotlar, kaynak işlemi için uygun forma getirilmiş ve TIG kaynağı ile birleştirme yapılmıştır. Kaynak sonrası numuneler metalografik olarak hazırlanarak SEM, optik mikroskop ve mikrosertlik testleriyle incelenmiştir. Çalışma sonucunda, Ti ilavesinin kaynak bölgesinde tane boyutu, mikroyapı homojenliği ve sertlik dağılımı üzerinde belirgin etkiler yarattığı görülmüş, dökümle dolgu elektrotu üretiminin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan ana malzemeler, otomotiv ve savunma sanayinde yaygın olarak tercih edilen AA5083 ve AA6015 alüminyum alaşımlarıdır. Her iki alaşım da farklı mekanik ve kimyasal özelliklere sahip olup bu özellikler yeni nesil dolgu elektrotlarının kaynak karakteristiklerine olan etkisini değerlendirmek amacıyla birlikte kullanılmıştır. AA5083, yüksek korozyon direnci ve dayanıklılığı ile denizcilik ve havacılık sektörlerinde, AA6015 ise özellikle otomotiv sektöründe kullanılır ve ısıl işlemle sertleştirilebilen bir alaşımdır. Bu çalışmada, bu alaşımlar TIG kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş, dolgu elektrotları ise saf alüminyum matrisi üzerine %10 Mn, %10 Si, %20 Zn ve titanyum (Ti) ile zenginleştirilmiştir. Elektrotlar, %0, %0.5, %1 ve %1.5 oranlarında titanyum (Ti) ilavesi ile üretilmiş ve farklı kimyasal bileşimlerin kaynak performansına etkisi incelenmiştir.

Dolgu elektrotları üretimi, hammadde temininden ergitmeye, alaşımlamadan kalıba döküme kadar çeşitli aşamalardan geçmiştir. Tüm malzemeler, yüksek saflıkta ticari hammaddelerden seçilmiştir ve döküm işlemi sırasında homojen mikroyapı elde edilmesi hedeflenmiştir. İndüksiyon fırınları kullanılarak yapılan döküm işleminin ardından elektrotlar torna tezgahında istenilen çapta şekillendirilmiştir. Kaynak işlemi, sabit parametrelerle TIG kaynağı yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve doğru akım (DCEN) ile argon gazı kullanılmıştır. Kaynak işlemi sonrasında numunelerde Mikro-Vickers sertlik testi, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) gibi yöntemlerle mikroyapı ve mekanik özellikler değerlendirilmiştir. Bu testler, dolgu elektrotlarının performansını, kaynak bölgesindeki sertlik profillerini ve mikro yapısal farklılıkları incelemek amacıyla yapılmıştır.

Tüm bu süreçlerin ardından elde edilen veriler, yeni nesil dolgu elektrotlarının ticari Alf-4047 elektrotlarıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve kaynak performansındaki iyileştirmeler ile sınırlamalar belirlenmiştir.

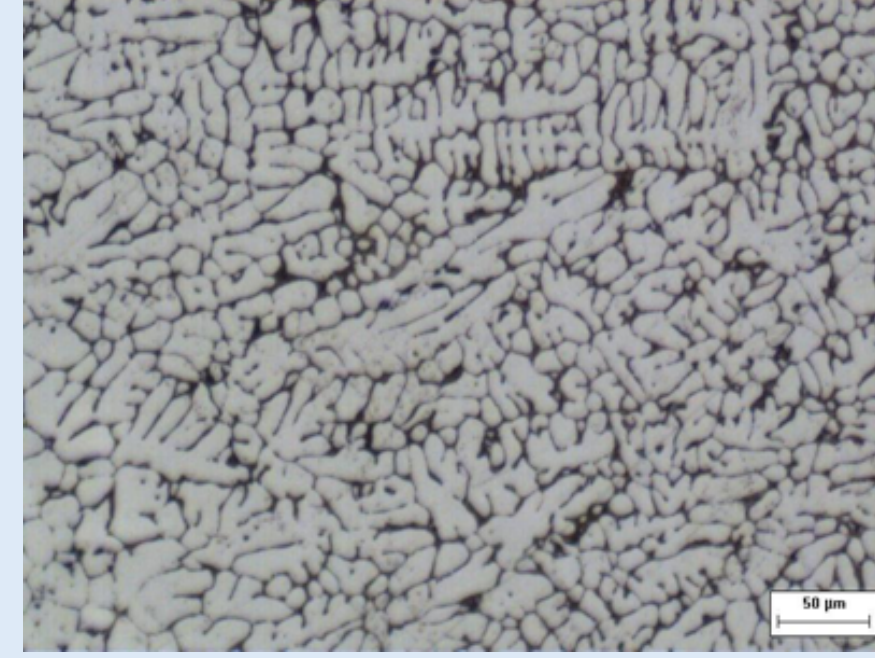
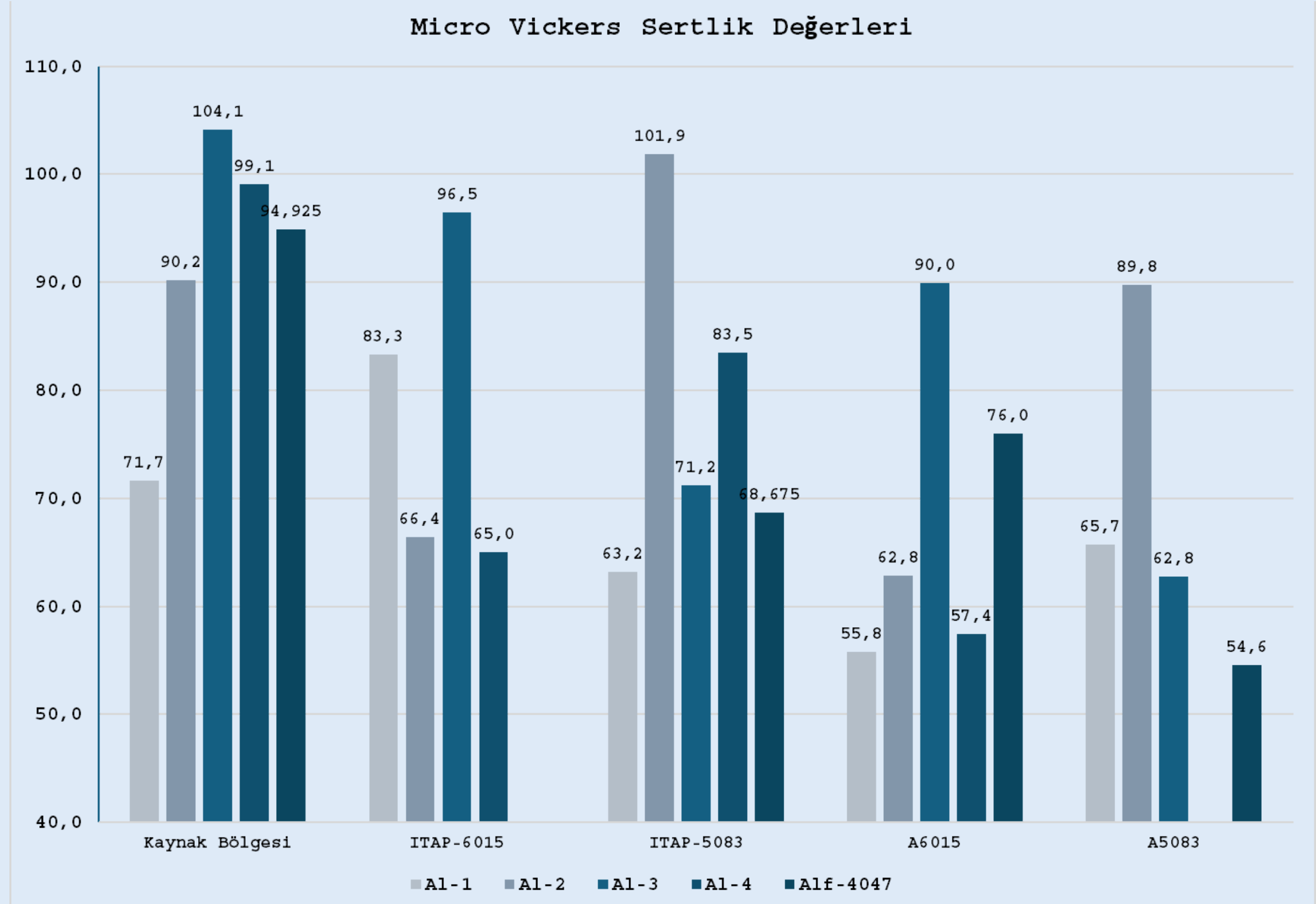
Tablo 1. Uygulanan kaynak parametreleri.

Kaynak Parametreleri	
Parametre	Değer
Akım Türü (polarite)	Doğru Akım (DCEN)
Akım Şiddeti	100-120 A
Gerilim	14-16 V
Elektrot çapı	2.4 mm
Akış Hızı (yaklaşık)	3–4 mm/s
Koruyucu Gaz	Argon (Ar) – %99.99 safiyet
Gaz Debisi	12–15 L/dk
Ark Uzunluğu	~2 mm
Kaynak Pozisyonu	Yatay (PA – 1G)

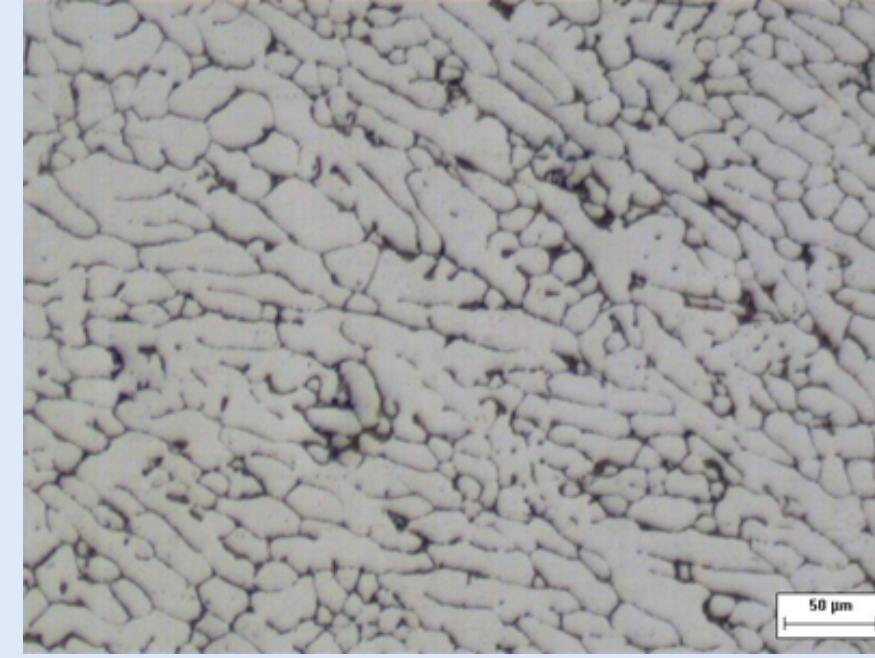
Bulgular

Numunelere yapılan testler sonrası sonuçlar kıyaslamalı grafikler halinde incelenmiştir. Kullanılan;

- Al-1** terimi %10 Mn, %20 Zn, %10 Si, %60 Al (Ti katkısı yok) alaşımını,
- Al-2** :%10 Mn, %20 Zn, %10 Si, %0.5 Ti, %59.5 Al alaşımını,
- Al-3** :%10 Mn, %20 Zn, %10 Si, %1.0 Ti, %59.0 Al alaşımını,
- Al-4** :%10 Mn, %20 Zn, %10 Si, %1.5 Ti, %58.5 Al alaşımını ifade etmektedir.



Alf-4047 ile oluşturulan ITAB mikroyapısı, yönelmiş ve iri dendritlerden oluşmuştur. Bu, düşük çekirdeklenme yoğunluğu nedeniyle dendritlerin ısı akışı yönünde serbestçe büyüdüğünü göstermektedir.



Al-3 elektrodu ile elde edilen yapı ise eşkesenli ve daha ince dendritik taneler içermektedir. Bu durum, %1 Ti katkısının sıvı fazda TiAl₃ intermetalikleri oluşturarak çekirdeklenmeyi artırdığını ve dendrit büyümesini baskıladığını göstermektedir.

Şekil 1. AA6015 ITAB bölgesine ait mikroyapı görüntüleri (x100 büyütme): (a) Alf-4047 elektrodu ile kaynak sonrası oluşan mikroyapı; (b) Al-3 elektrodu ile kaynak sonrası oluşan mikroyapı.

Sonuç

Al-1, Al-2, Al-3 ve Al-4 numuneleri karşılaştırıldığında, en iyi mikro yapı ve sertlik özellikleri Al-3 elektrodu ile elde edilmiştir. Bu bulgu, optimum Ti oranının %1 olduğunu göstermiştir (Al-3). Bu nedenle Al-3 elektrodu, ticari Alf-4047 ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Karşılaştırma sonucunda;

- ITAB bölgesinde ortalama sertlik değerleri 50-60 HV iken Kaynak bölgesinde 90-110 HV arasında çıktığı tespit edilmiştir.
- Al-3, kaynak bölgesinde 104,1 HV ile en yüksek sertliği sağlamıştır.
- ITAB bölgelerinde 20–30 HV daha yüksek sertlik gözlenmiştir.
- Ti katkısı, TiAl₃ fazları ile çekirdeklenmeyi artırmış, dendrit büyümesini baskılamıştır.
- Zn ve Mn, çökeltme ve katı çözelti sertleşmesini desteklemiştir.
- EDS analizleri, Al–Mg matris fazı ve Zn/Mn zengin çökeltilerle uyumlu sonuçlar sunmuştur.

Kaynaklar:

- Kou, S. (2003). Welding Metallurgy (2nd ed.). John Wiley & Sons.
Zhang, Y., Zhang, H., & Zhou, J. (2019). Microstructure and mechanical properties of AA6015 aluminum alloy TIG welds. Materials Research Express, 6(9), 0965b7.
Zhang, H. et al., “Mechanical behavior of AA6015 aluminum alloy sheets,” Materials Science and Engineering A, 2016.



LME Bakır Fiyatlarının Google Trends Arama Verileri ve Petrol Fiyatlarının İstatistiksel ve Ekonometrik Analizi

Bartu Akdoğan

[Mikail Başıyigit](#), Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İstanbul, Türkiye

Giriş

Bakırın küresel fiyatları, Dünya çapında geçerlilik gören Londra Metal Borsası(London Metal Exchange, LME) gibi uluslararası ticaret merkezlerinde belirlenir. Londra Metal Borsası, dünya genelinde metal fiyatlarının ve stoklarının referans noktası olarak kabul edilir. Aynı zamanda bu piyasada oluşan fiyatlar; ekonomik beklentiler, arz-talep dengeleri ve yatırımcı eğilimlerini şekillendirir.

Son yıllarda Google Trends gibi dijital veri kaynakları da ekonomik ve sosyal analizlerde sıkça tercih edilmektedir. Bu platform, dünyadaki toplumların belli bir konuya veya sözcüğe olan ilgisini zaman içindeki tarayıcıda arama davranışını ölçer. Basit bir araç gibi görünse de özellikle piyasalardaki beklentileri ve kriz sinyallerini tespit etmede ciddi ölçüde yardımcı olabilir. Bu çalışmada da Bakır madeninin Google Trends üzerindeki arama hacmiyle piyasa fiyatları arasında bir ilişki olup olmadığı ve aynı zamanda kullanım alanları ile de ilişkili olup olmadığı incelenecektir.

Literatür

Google Trends’in bilgi değerinin serilerin öngörülebilirliğindeki öneminin analizi, literatürde giderek önem kazanmaktadır. Altın, paladyum, platin ve gümüş gibi makroekonomik değerlerin (değişkenlerin) tahmin edilebilirliğinde Google Trends’ de yer alan bilgilerden yararlanılmaktadır. Yatırımcılara gerçek zamanlı bilgi sunan ve böylece yatırım kararlarının alınmasını kolaylaştıran Google Trends büyük verilerin mevcudiyeti ile güçlenmiştir. Artık herhangi bir potansiyel yatırımcının herhangi bir yatırım kararı almadan önce çevrimiçi bilgi araması standart bir uygulama haline gelmiştir. Google arama motorunun yatırım kararlarının alınmasında çevrimiçi olarak sunduğu bilgilerin önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Bu nedenle, aranan değişkenlerin davranışı Google arama motorunun önemli rol oynadığı internet ortamında mevcut bilgilerin yoğunluğundan etkilenmektedir (Salisu vd., 2020).

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada LME (Londra Metal Borsası) bakır fiyatlarının belirleyicilerini analiz etmek amacıyla çok yönlü bir veri analizi yaklaşımı benimsenmiştir. Çalışmada kullanılan veri setleri; Londra Metal Borsası’ndan temin edilen aylık bakır fiyatları, Google Trends üzerinden elde edilen “bakır” anahtar kelimesine yönelik arama ilgisi ve ABD Enerji Bilgi İdaresi’nden alınan ham petrol fiyatlarını kapsamaktadır. Tüm veriler aylık düzeyde toplanmış olup 2014–2024 dönemini kapsamaktadır.

Öncelikle verilerin bütünleştirilmesi ve karşılaştırılabilir hale getirilmesi amacıyla tüm tarihsel bilgiler ‘YearMonth’ (Yıl Ay) formatına çevrilmiş, veriler zaman ekseninde hizalanarak birleştirilmiştir. Veri ön işleme sürecinde eksik değerler kontrol edilerek gerekli temizlik işlemleri yapılmıştır. Ardından aylık verilerden yıllık ortalamalar oluşturularak, analizler yıl bazında daha istikrarlı ve karşılaştırılabilir hale getirilmiştir.

İstatistiksel analizler kapsamında:

Korelasyon Analizi ile LME bakır fiyatlarının hem Google Trends verileri hem de petrol fiyatlarıyla ilişkisi ölçülmüştür.

Zaman Serisi Analizi, LME fiyatlarının yıllar içindeki eğilimlerini ve yapısal bileşenlerini (trend, mevsimsellik, düzensizlik) incelemek için kullanılmıştır. Hem aylık hem de yıllık bazlı analizlerle serinin uzun vadeli eğilimleri ortaya konmuştur.

Regresyon Analizi (OLS), LME bakır fiyatlarını açıklamak için çoklu doğrusal regresyon yöntemiyle uygulanmıştır. Bağımlı değişken olarak bakır fiyatı, bağımsız değişkenler olarak ise "Google Trends" ve "petrol fiyatı" dahil edilmiştir.

Ek olarak, **tahminleme uygulamaları** da gerçekleştirilmiş ve modelin başarı düzeyi, tahmin hataları ile görsel olarak desteklenerek değerlendirilmiştir.

Veriler öncelikle Microsoft Excel ortamında temin edilmiş. Veri temizleme, veri filtreleme ve veriyi analiz için uygun hale getirme aşamalarının tamamlanması için SQL ortamına aktarılmıştır. Ardından veriler analize hazır hale getirildikten sonra ise Python yazılım dili ve Python Kütüphaneleri (Python Frameworks) kullanılarak analiz edilmiştir.

Analizlerin tamamı Python programlama dili ile gerçekleştirilmiş olup, veri işleme, istatistiksel analiz, modelleme ve görselleştirme süreçlerinde çeşitli açık kaynaklı kütüphaneler kullanılmıştır. Özellikle veri bilimi ve zaman serisi analizlerinde yaygın olarak tercih edilen aşağıdaki kütüphaneler etkin şekilde kullanılmıştır:

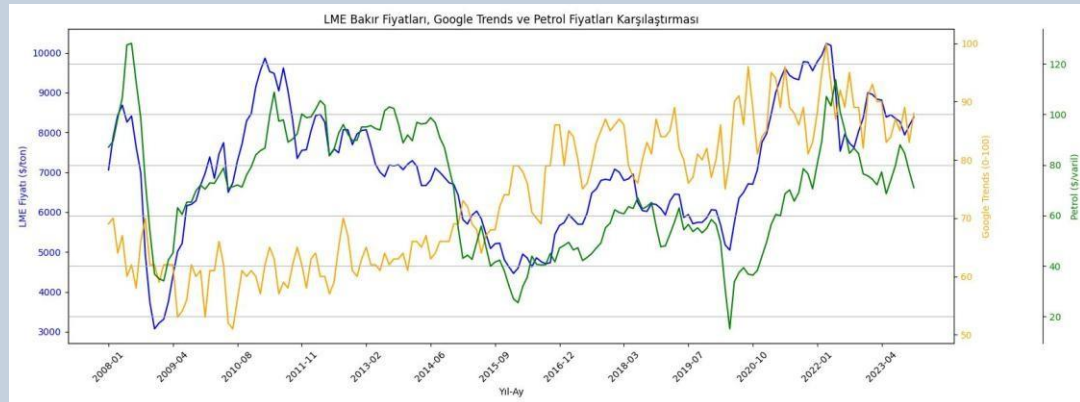
pandas: Yapısal verilerin işlenmesi ve dönüştürülmesi amacıyla kullanılmıştır. Farklı kaynaklardan gelen CSV formatındaki bakır fiyatı, petrol fiyatı ve Google Trends verileri pandas ile DataFrame formatına aktarılmış; tarihsel veriler zaman serisi haline getirilmiş ve eksik değer kontrolleri bu yapı üzerinden sağlanmıştır. Ayrıca yıllık ortalamaların hesaplanması gibi gruplama işlemleri de bu kütüphane aracılığıyla yapılmıştır.

matplotlib: Grafiksel analizlerin görselleştirilmesinde temel araç olarak kullanılmıştır. Hem zaman serisi çizimleri (line plot), hem de çok eksenli grafikler (örneğin: LME fiyatları, petrol ve Google Trends’in aynı anda gösterildiği çoklu y eksenli grafikler) matplotlib ile hazırlanmıştır. Görsel açıklık ve sunum estetiği açısından renk kodları, eksen etiketleri ve başlıklar özenle düzenlenmiştir.

statsmodels: Ekonometrik ve istatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesinde kullanılmıştır. Özellikle çoklu doğrusal regresyon modellerinin oluşturulması, Granger nedensellik testlerinin uygulanması ve zaman serisi bileşenlerinin ayrıştırılması bu kütüphane aracılığıyla yapılmıştır. OLS() fonksiyonu ile elde edilen model çıktıları, değişkenlerin katsayıları, p-değerleri, R-kare gibi istatistiksel ölçümler ayrıntılı şekilde yorumlanmıştır.

Sonuçlar ve Tartışma

Zaman serisi analizine göre, LME bakır fiyatlarında yıllar içinde belirgin bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Mevsimsel etkiler sınırlı kalırken, yıllık otokorelasyon, geçmiş yılların fiyatlarının bir sonraki yılları etkileyebileceğini göstermektedir. Korelasyon analizinde, bakır fiyatları ile Google Trends ilgisi arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki ($r \approx 0.63$), petrol fiyatları ile ise daha güçlü bir ilişki ($r \approx 0.80$) bulunmuştur. Bu da, toplumsal ilgi ve enerji maliyetlerinin bakır fiyatlarını etkileyebileceğini göstermektedir. Çoklu regresyon analizi sonuçlarına göre: Google Trends: +54 \$/ton ($p < 0.001$) Petrol fiyatı: +54.6 \$/ton ($p < 0.001$) Modelin açıklayıcılığı %64 olup istatistiksel olarak anlamlıdır. Çalışmanın önemli bir aşaması da, LME bakır fiyatlarının gelecek eğilimlerini tahmin etmeye yönelik olarak yapılan regresyon tabanlı modellemelerdir. Bu doğrultuda, Google Trends verisi ve ham petrol fiyatları, bakır fiyatlarını öngörmeye açıklayıcı değişken olarak değerlendirilmiştir. Veri seti uygun şekilde eğitim ve test olarak ayrılmış; geçmiş verilerden öğrenilen ilişkiler kullanılarak, sonraki dönemlerdeki bakır fiyatlarının tahmin edilmesi sağlanmıştır. Bu süreçte, Python’ un scikit-learn kütüphanesinden yararlanılarak çoklu doğrusal regresyon modeli kurulmuş, modelin çıktıları hem nicel göstergelerle hem de grafiksel olarak değerlendirilmiştir.

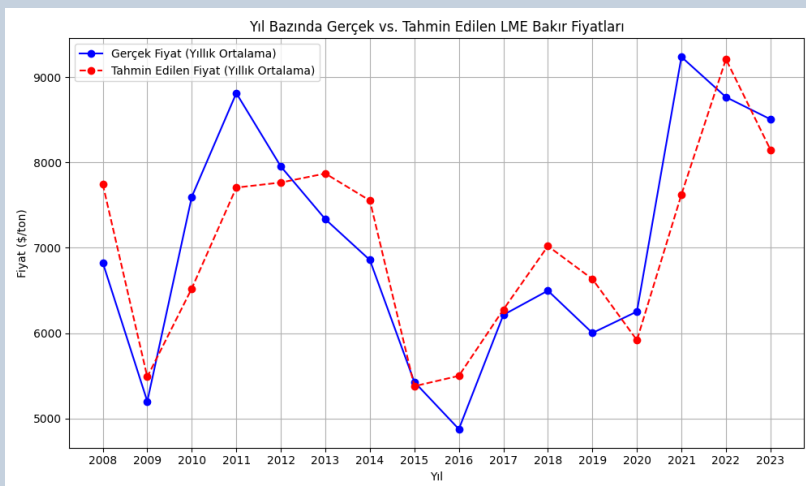


Şekil 1. LME Bakır – Google Trends – Petrol Fiyatları Karşılaştırmalı Grafik

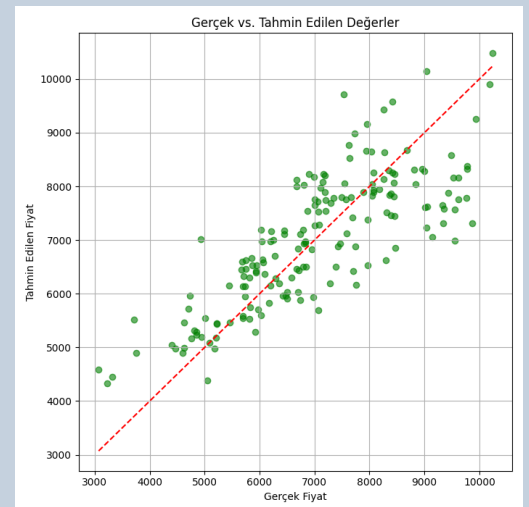
Regresyon Analizi Sonuçları

Değişken	Katsayı (coef)	t değeri	P> t	Açıklama
Trend	54.1273	8.781	0.0	Google Trends arama ilgisi arttıkça, bakır fiyatı artıyor. Anlamlı.
Oil Price	54.6162	17.199	0.0	Petrol fiyatı arttıkça, bakır fiyatı da artıyor. Çok anlamlı.

Şekil 2. Regresyon Analiz Sonuçları



Şekil 3. Yıllık Ortalama Gerçek ve Tahmin Edilen Fiyatların Karşılaştırması



Şekil 4. Gerçek vs. Tahmin Edilen Fiyatlar – Nokta Grafiği

Sonuç

Bu çalışmada, LME (Londra Metal Borsası) bakır fiyatları ile Google Trends verisi ve ham petrol fiyatları arasındaki ilişkiler çok yönlü istatistiksel ve ekonometrik yöntemlerle incelenmiştir. Amaç, hem bu üç değişkenin birbiriyle olan etkileşimlerini ortaya koymak hem de bakır fiyatlarının tahmin edilebilirliğini artırmak olmuştur. Elde edilen bulgular, hem piyasa dinamiklerini hem de dijital veri kaynaklarının ekonomik analizlerdeki katkı potansiyelini ortaya koyması açısından dikkat çekicidir.

LME bakır fiyatlarının uzun vadede yukarı yönlü bir eğilim sergilediği tespit edilmiştir. Mevsimsel bileşenin etkisi oldukça sınırlı olup, fiyatlardaki değişimlerin daha çok ekonomik büyüme, enerji fiyatları ve küresel talep gibi makroekonomik faktörlerle bağlantılı olduğu anlaşılmaktadır.

Korelasyon analizleri, bakır fiyatları ile Google Trends ilgisi arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, özellikle yatırımcı ilgisi, ekonomik beklentiler ve toplumsal farkındalık gibi faktörlerin dijital arama hacmine yansımaları ve bunun da piyasa fiyatlarıyla senkronize şekilde hareket ettiğini göstermektedir. Daha da önemlisi, bakır fiyatları ile ham petrol fiyatları arasında tespit edilen güçlü korelasyon ($r \approx 0.80$), enerji maliyetlerinin emtia fiyatları üzerindeki belirleyici rolünü desteklemektedir. Zira bakır üretimi ve taşınması gibi süreçlerin enerjiye olan bağımlılığı, bu iki değişken arasındaki ilişkiyi makul kılmaktadır.

Grafiksel analizler ise modelin tahmin başarılarını görsel olarak desteklemiştir. Gerçek fiyatlar ile tahmin edilen değerler arasındaki yakınlık, kurulan modelin pratikte de geçerliliğini koruduğunu göstermektedir. Aynı şekilde tahmin hatalarının normal dağılıma yakın bir yapı göstermesi, modelin sistematik bir sapma üretmediğini ortaya koymaktadır.

Referanslar

- Chen, Y., Rogoff, K. S., & Rossi, B. (2010). Can exchange rates forecast commodity prices? Quarterly Journal of Economics, 125(3), 1145–1194.
- Preis, T., Moat, H. S., & Stanley, H. E. (2013). Quantifying trading behavior in financial markets using Google Trends. Scientific Reports, 3, 1684.
- Sadorsky, P. (2004). The empirical relationship between energy futures prices and exchange rates. Energy Economics, 26(3), 253–266.
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2012). Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers. International Journal of Forecasting, 28(1), 57–66.
- (Python Docs.) <https://docs.python.org/3/faq/general.html>
- Yürük, M. F. & Kaya, Z. (2022). Google Trends “Altın” aramaları ile altın fiyatları arasındaki ilişkinin analizi. Gaziantep University Journal of Social Sciences, 21(3), 1425–1438.

Başar BİLGİ, Taha ÖZKAN, Süleyman Serdar PAZARLIOĞLU

Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü 34854 Maltepe-İstanbul

basarbilgi@marun.edu.tr, tahaozkan21@marun.edu.tr

ÖZET

Yüzey sertleştirme, malzeme dayanımını artırmak amacıyla sıkça tercih edilen bir yöntemdir. Bu çalışmada, AISI 1020 çeliği üzerine TIG kaynağıyla yüzey alaşımlama uygulanmıştır. Ferro Bor (FeB) tozlarına %1, %2,5 ve %5 oranlarında vanadyum karbür (VC) eklenerek 100A, 110A ve 120A akımlarda işlem gerçekleştirilmiştir. Elde edilen en yüksek sertlik değeri 817±171 HV (FeB-2.5VC, 120A), en düşük sertlik değeri ise 526±124 HV (FeB-1VC, 100A) olarak bulunmuştur. Ham çelik sertliği olan 174±8 HV ile karşılaştırıldığında, yüzey sertliğinde önemli artışlar sağlanmıştır. Bu sonuçlar, FeB-VC alaşımlarının yüzey sertleştirmede etkili olduğunu göstermektedir.

GİRİŞ

Metalik malzemeler zamanla aşınma, korozyon ve oksidasyon gibi etkilerle işlevini yitirir. Bu problemleri önlemek amacıyla yüzey sertleştirme işlemleri uygulanır. Geleneksel yüzey kaplama yöntemleri yüksek maliyetli ve bazı yapısal sorunlara neden olabilirken, TIG (Tungsten Inert Gas) yüzey alaşımlama, düşük maliyetli ve etkili bir alternatif olarak öne çıkar. Bu yöntemde, yüzeye serpiştirilen toz karışımları TIG arkı ile ergitilir ve altlıkla birleşerek sert, ince taneli bir mikroyapı oluşturur. Bu yapı sayesinde malzemenin aşınma, korozyon ve oksidasyon direnci önemli ölçüde artar. Bu çalışmada AISI 1020 çeliği yüzeyine ferro bor (FeB) ve vanadyum karbür (VC) içeren toz karışımları (%1, %2,5, %5 VC) 100A, 110A ve 120A akımlarda uygulanarak yüzey alaşımlama gerçekleştirilmiştir. İşlem sonrası yapılan optik mikroskop, XRD analizleri ve sertlik testleri, yüzey özelliklerinin belirgin şekilde iyileştğini göstermiştir.

DENEYSEL İŞLEMLER

Bu çalışmada, AISI 1020 çeliği altlık malzemesi olarak kullanılmış ve yüzeyine farklı oranlarda FeB + VC toz karışımlarıyla TIG yüzey alaşımlama işlemi uygulanmıştır.

Altlık Malzeme: AISI 1020 çeliği (60x30x5 mm)

Tablo 1. Altlık malzemesi olarak kullanılan 1020 çeliğinin kimyasal bileşimi

Altlık Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Fe
AISI 1020	0,11	0,03	0,56	0,007	0,005	0,07	0,03	Kalan

Tablo 2. Kullanılan saf demir ve ferro alaşımların kimyasal bileşimleri

	B (%)	Al (%)	Si (%)	P (%)	C (%)	S (%)	Fe
Fe-B	19.72	0.06	0.46	0.034	0.25	0.005	Kalan

Tablo 3. TIG yüzey alaşımlamada kullanılan karışımlar ve kimyasal bileşimleri

Karışımlar	FeB(%ağırlıkça)	VC(%ağırlıkça)
Karışım 1	99	1
Karışım 2	97,5	2,5
Karışım 3	95	5

Karışımlar 4 saat boyunca Turbula karıştırıcıda homojenize edilmiştir.

Tablo 4. Tiğ yüzey alaşımlamada kullanılan işlem parametreleri

Parametre	Değer
Elektrot	W-2 pct ThO ₂
Elektrot çapı	2 mm
Kaynak açısı	70°
Voltaj	20 V
Akım	100 A 110 A 120 A
Isı girdisi	1.20 kJ/mm 1.32 kJ/mm 1.44 kJ/mm
Koruyucu gaz	Ar (%99.9 saflıkta)
Koruyucu gaz akış debisi	3 l/dakika
Kaynak hızı	60 mm/dak.

Optik Mikroskop ile mikroyapı incelenmiştir. XRD Analizi (Philips X'Pert) ile faz yapısı 10°–90° 2θ aralığında analiz edilmiştir. Sertlik Ölçümleri:200 g yük altında, 10 saniye boyunca Future Tech FM-300 mikrosertlik cihazıyla ölçülmüştür. Sadece alaşımlama bölgesi ve ara geçiş bölgesi ölçülmüştür. Numuneler Toz Metalurjisi Laboratuvarı'nda kesilerek hazırlanmıştır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada TIG yüzey alaşımlama yöntemi ile FeB-VC toz karışımları kullanılarak AISI 1020 çeliğinin yüzey özellikleri iyileştirilmiştir. Farklı VC oranlarında (%1, %2.5, %5) ve akım değerlerinde (100A, 110A, 120A) yapılan işlemler sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

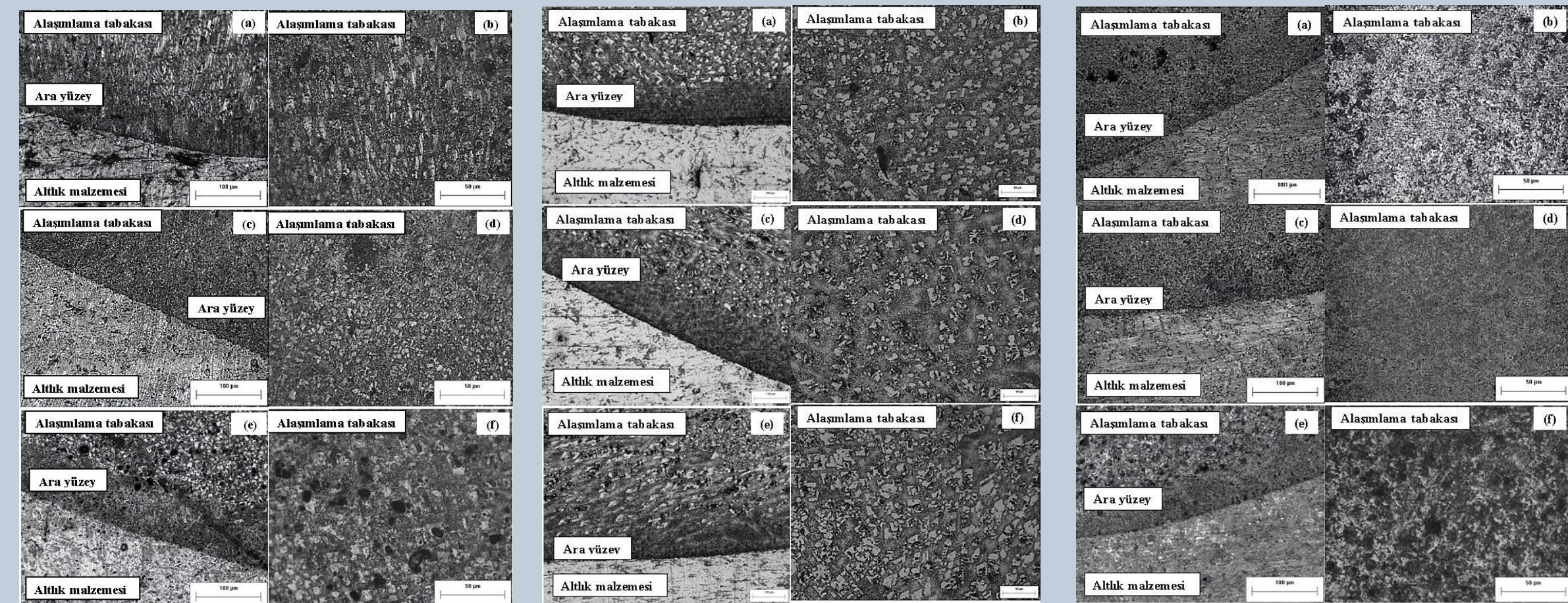
Mikroyapı Gözlemleri: Artan VC oranı ve akım şiddetiyle, mikroyapıda eş boyutlu ince taneler artmış, ancak %5 VC oranında gözenekli yapılar gözlenmiştir. Bu durum, VC'nin yüksek ergime sıcaklığı nedeniyle kaynak banyosunda tam çözünememesiyle ilişkilidir.

Faz Oluşumları (XRD Analizi): FeB, Fe₂B, Fe₂₃B₆, α-Fe, V₂C, V₃B₂ fazları tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değerine ulaşan FeB-2.5VC örneğinde V₃B₂ fazı baskın olup, bu faz sertlik artışında önemli rol oynamıştır.

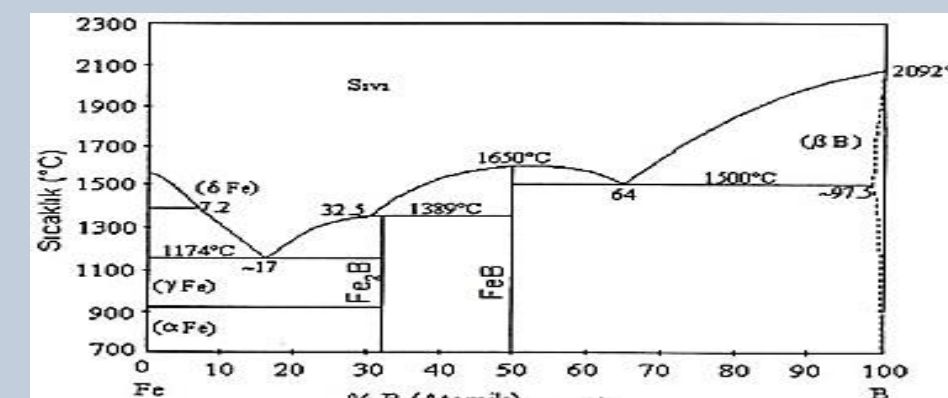
Sertlik Değerleri: En yüksek ortalama sertlik FeB-2.5VC, 110A akımda 810 HV, En düşük sertlik FeB-1VC, 100A akımda 298 HV olarak ölçülmüştür. Referans AISI 1020 çeliği sertliği: ~174 HV

Katılma ve Soğuma Hızı: Yüksek ısı girdisi ve VC'nin ısı absorpsiyonu, hızlı katılma ve teşvik ederek ince mikroyapı ve yüksek sertlik sağlamıştır.

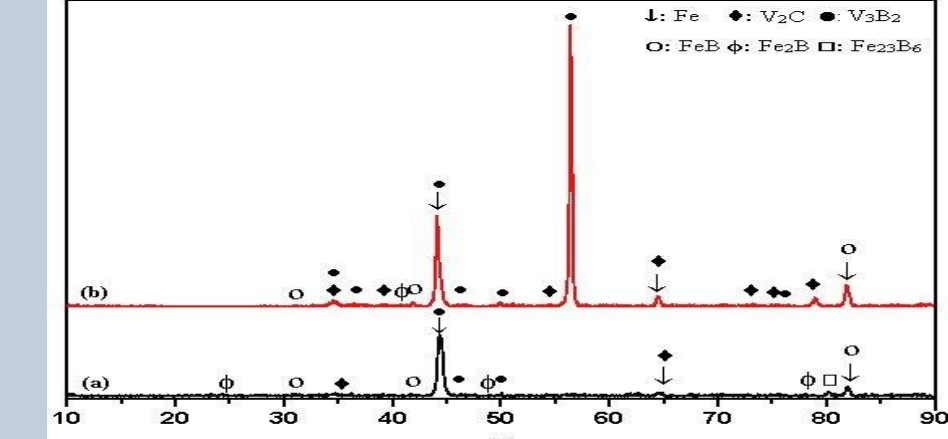
FeB-VC tozlarıyla yapılan TIG yüzey alaşımlama, AISI 1020 çeliğinin sertlik ve aşınma direncini önemli ölçüde artırmış, özellikle %2.5 VC içeren alaşımlar optimum performans göstermiştir.



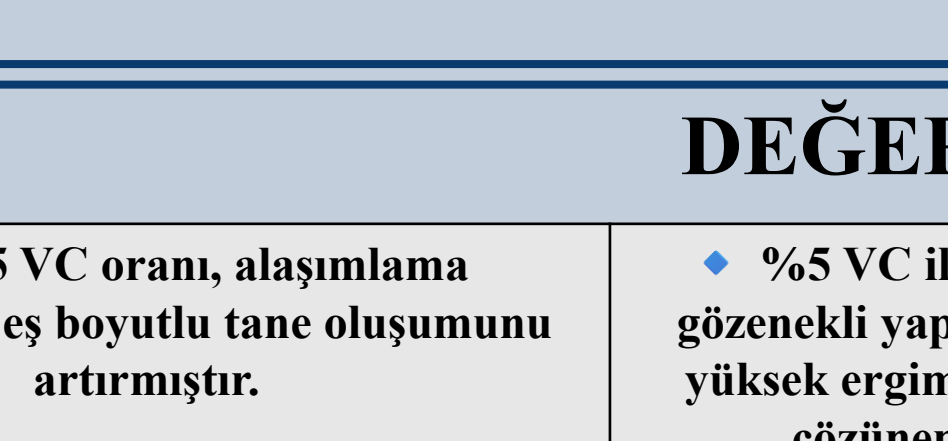
Şekil 1. (a) 100A, (c) 110A ve (e) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-1VC alaşımlarının alaşımlama tabakası-ara yüzey-altlık malzemesi bölgelerine, (b) 100 A, (d) 110A ve (f) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-1VC alaşımlarının alaşımlama tabakasına ait optik mikroyapı görüntüleri



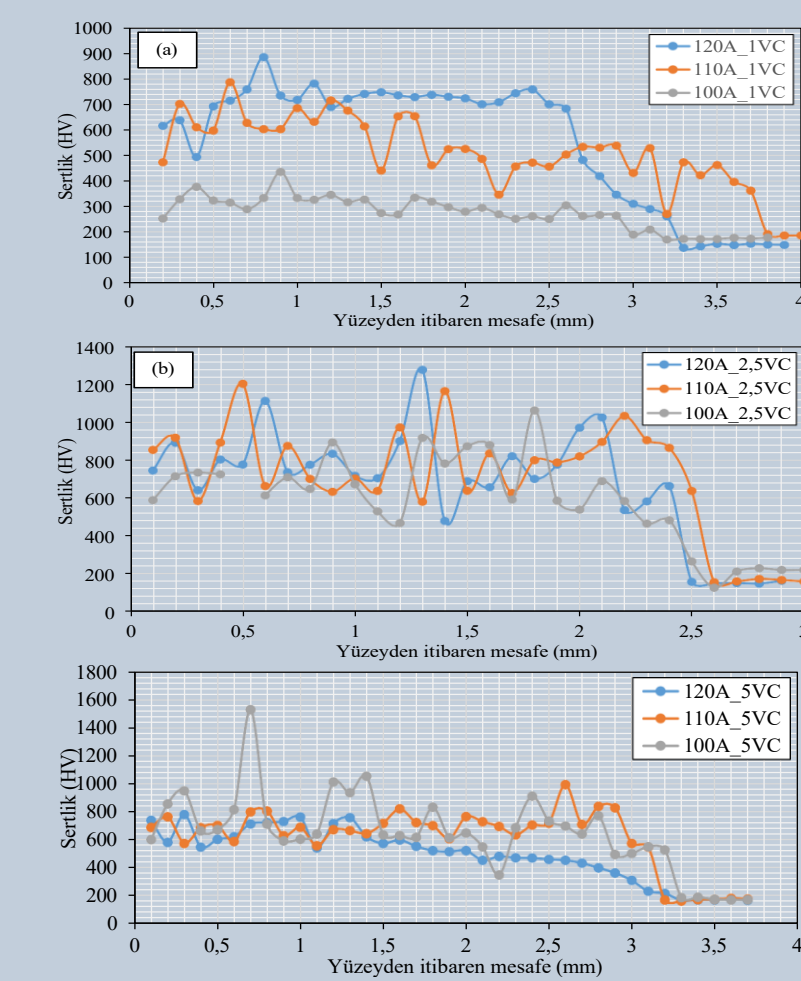
Şekil 2. (a) 100A, (c) 110A ve (e) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-2.5VC alaşımlarının alaşımlama tabakası-ara yüzey-altlık malzemesi bölgelerine, (b) 100 A, (d) 110A ve (f) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-2.5VC alaşımlarının alaşımlama tabakasına ait optik mikroyapı görüntüleri



Şekil 3. (a) 100A, (c) 110A ve (e) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-5VC alaşımlarının alaşımlama tabakası-ara yüzey-altlık malzemesi bölgelerine, (b) 100 A, (d) 110A ve (f) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-5VC alaşımlarının alaşımlama tabakasına ait optik mikroyapı görüntüleri



Şekil 4. 100 Amper (b) 110 Amper akımda gerçekleştirilmiş olan FeB-1VC ve FeB-2.5VC alaşımlama tabakalarına ait XRD analizleri



Şekil 5. (a) FeB-1VC (b) FeB-2.5VC ve (c) FeB-5VC alaşımlama tabakalarının 100,110 ve 120 A'c göre sertlik dağılımları

DEĞERLENDİRME

♦ %2.5 VC oranı, alaşımlama tabakasında eş boyutlu tane oluşumunu artırmıştır.	♦ %5 VC ilavesinde, bazı bölgelerde gözenekli yapı oluşmuştur; bu, VC'nin yüksek ergime sıcaklığı nedeniyle tam çözünememesiyle ilişkilidir.	♦ En düşük sertlik değeri: FeB-1VC / 100A akımda → 298 HV
♦ En yüksek sertlik değeri: FeB-2.5VC / 110A akımda → 810 HV	♦ XRD analizlerinde, FeB-2.5VC kompozitinde V ₂ C, V ₃ B ₂ , FeB, Fe ₂ B, Fe ₂₃ B ₆ fazları tespit edilmiştir	♦ Sertliği artıran V ₃ B ₂ ve V ₂ C fazları, yüksek sıcaklıkta karbon ve bor atomlarının vanadyum ile reaksiyonu sonucu oluşmuştur
♦ Fe ₂₃ B ₆ fazı, hızlı soğuma koşullarında metastabil olarak oluşmuş; sertliğe daha sınırlı katkı sağlamıştır.	♦ VC parçacıkları, ısıyı absorbe ederek katılma hızını artırmış ve ince mikroyapı oluşumunu teşvik etmiştir.	♦ FeB-VC kompozitleri genel olarak AISI 1020 çeliğine kıyasla sertlikte önemli artış sağlamıştır.

Kaynaklar

1. Abakay, E. ve ark. (2014). Acta Physica Polonica A, 125(2), 251–253.
2. Kılınc, B. (2018). TIG yöntemiyle çelik yüzeyinde Fe-M-B esash alaşımlar ve özellikleri. Yüksek Lisans Tezi.
3. Ulutan, M. ve ark. (2009). ESOGÜ Müh. Mim. Fak. Dergisi, 12(11).

DDS ve BTDA BAZLI BİSMALİİMİDE KAPLAMALARIN YÜKSEK SICAKLIK VE AŞINMAYA KARŞI DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi EMRE AKIN
BENGİSU BAYIROĞLU

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

ÖZET: Bu çalışmada, DDS (4,4'-diaminodifenil sülfon) ve BTDA (3,3',4,4'-benzofenon tetrakarboksilik dianhidrit) bazlı bismaleimid (BMI) kaplamaların yüksek sıcaklık ve aşınma dayanımı üzerine etkisi araştırılmıştır. Sentez sürecinde maleik anhidrit (MA) ile DDS'nin reaksiyonu sonucu MA-DDS-MA yapısı elde edilmiş, bu yapı asetik anhidrit ve sodyum asetat kullanılarak halkalaştırılmış ve MI-DDS-MI yapısı oluşturulmuştur. Aynı şekilde BTDA içeren ana reçine hazırlanarak BMI sistemleri sentezlenmiştir. Kaplamaların yapısal karakterizasyonu FTIR spektroskopisi ile gerçekleştirilmiş, termal davranışları ise DSC analizleriyle incelenmiştir. Ayrıca aşınma direnci, çözücü dayanımı, yüzey sertliği ve yapışma performansı gibi mekanik özellikler; Taber aşınma, MEK rubbing, kalem sertlik ve cross-cut testleri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, uygun sentez ve saflaştırma koşulları sağlandığında BMI kaplamaların hem termal hem de mekanik olarak üstün performans sergilediğini göstermiştir. Bu durum, ilgili sistemlerin yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda etkin bir kaplama malzemesi olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Giriş

Yüksek sıcaklık ve aşındırıcı koşullarda kullanılmak üzere geliştirilen polimerik kaplamalar, havacılık, otomotiv, elektronik ve savunma sanayii gibi birçok alanda kritik öneme sahiptir. Bu tür uygulamalarda, polimerin yalnızca yüksek ısıl dayanım göstermesi değil, aynı zamanda iyi bir mekanik performans ve kimyasal stabilite sunması da beklenir.

Bu bağlamda, bismaleimid (BMI) esaslı reçineler, sahip oldukları aromatik yapı, yüksek çapraz bağlanma kapasitesi ve imid halkası içeren yapıları sayesinde son derece dayanıklı kaplama sistemleri sunar. Ancak BMI reçinelerin özellikleri, kullanılan kürleme ajanı, sentez süreci ve moleküler yapıdaki fonksiyonel gruplar gibi faktörlerden büyük ölçüde etkilenmektedir.

Bu çalışmada, DDS (4,4'-diaminodifenil sülfon) ve BTDA (3,3',4,4'-benzofenon tetrakarboksilik dianhidrit) bazlı BMI kaplamaların sentezi gerçekleştirilmiş; farklı kimyasal modifikasyonlar ve saflaştırma süreçlerinin malzeme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca elde edilen kaplama örneklerinin termal ve mekanik performansları detaylı testlerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

DeneySEL Çalışma

Kürleştirici Ajan Sentezi (MA-DDS-MA)

Kürleştirici ajan olarak kullanılacak olan MA-DDS-MA yapısı, maleik anhidrit (MA) ile 4,4'-diaminodifenil sülfon (DDS) bileşiğinin uygun oranlarda reaktif ortamda karıştırılması ile elde edilmiştir. Bu aşamada kullanılan çözücü dimetilformamid (DMF) olup, DDS'nin çözünmesini takiben MA ilavesiyle reaksiyon gerçekleştirilmiştir.

Halkalaşma ve Saflaştırma

Elde edilen MA-DDS-MA yapısı, aromatik halka içeren bir imid yapı kazanması amacıyla asetik anhidrit ve sodyum asetat varlığında 90–100 °C sıcaklıkta 3–5 saat arasında ısıtılmış ve MI-DDS-MI yapısına dönüştürülmüştür. Bu işlem, kaplamanın ısıl kararlılığını artırmak için kritik bir adımdır.

Ana Reçine Sentezi (BTDA Tabanlı Yapı)

BTDA, DDS ve MA kullanılarak ana reçine sentezlenmiştir. DDS önce DMF içinde çözündürülmüş, ardından MA ve BTDA karıştırılarak 70 °C'de 2 saat karıştırılmıştır. Böylece farklı zincir yapılarına sahip BMI prepolymerleri elde edilmiştir.

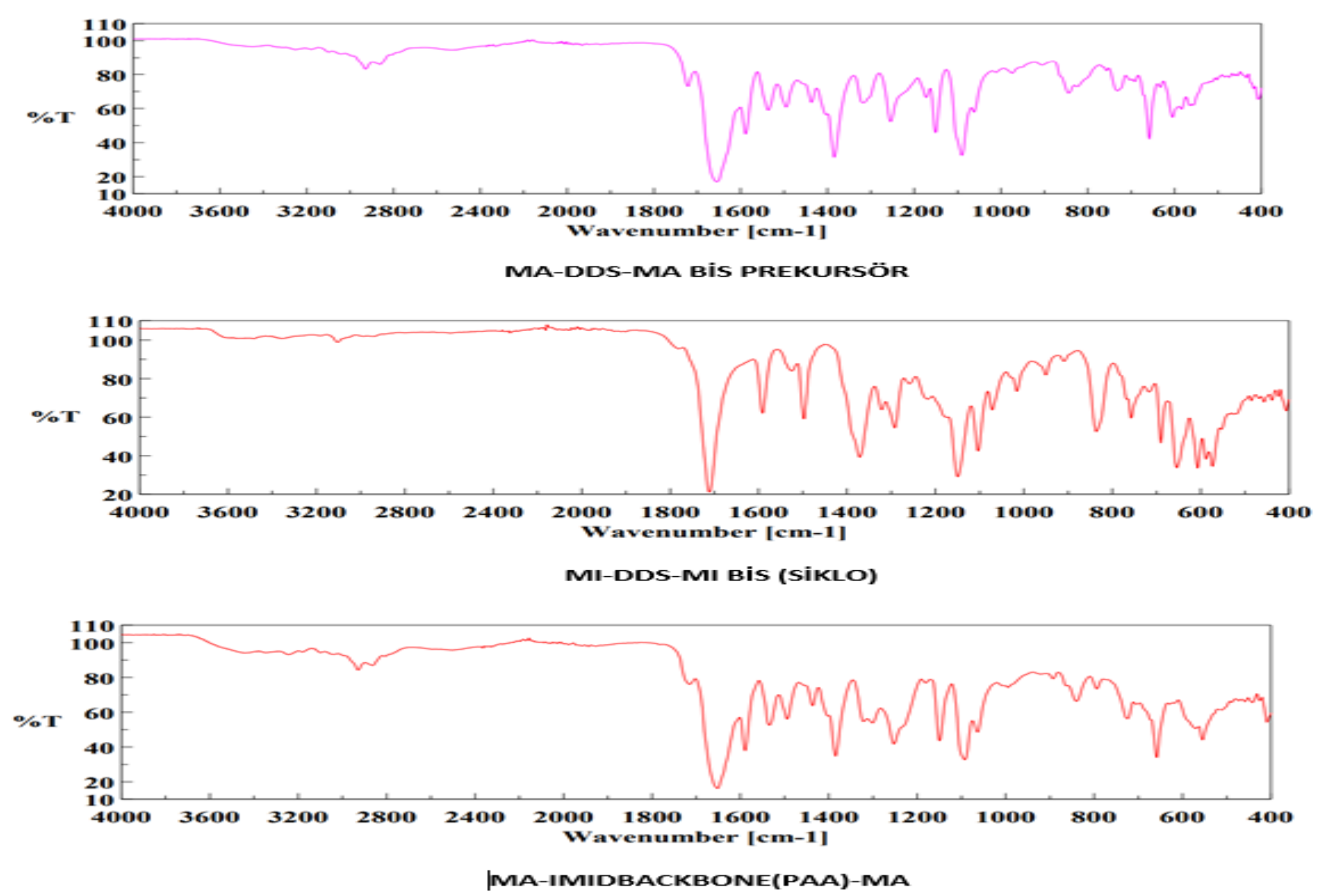
Kaplama ve Kürleme

Elde edilen kürleştirici ajan ve ana reçine karıştırılarak metal yüzeylere uygulanmış ve belirli sıcaklık-süre kombinasyonlarında kürlenmiştir. Bu sayede uygulama sonrası termal ve mekanik özellikler için test edilebilir kaplamalar elde edilmiştir.

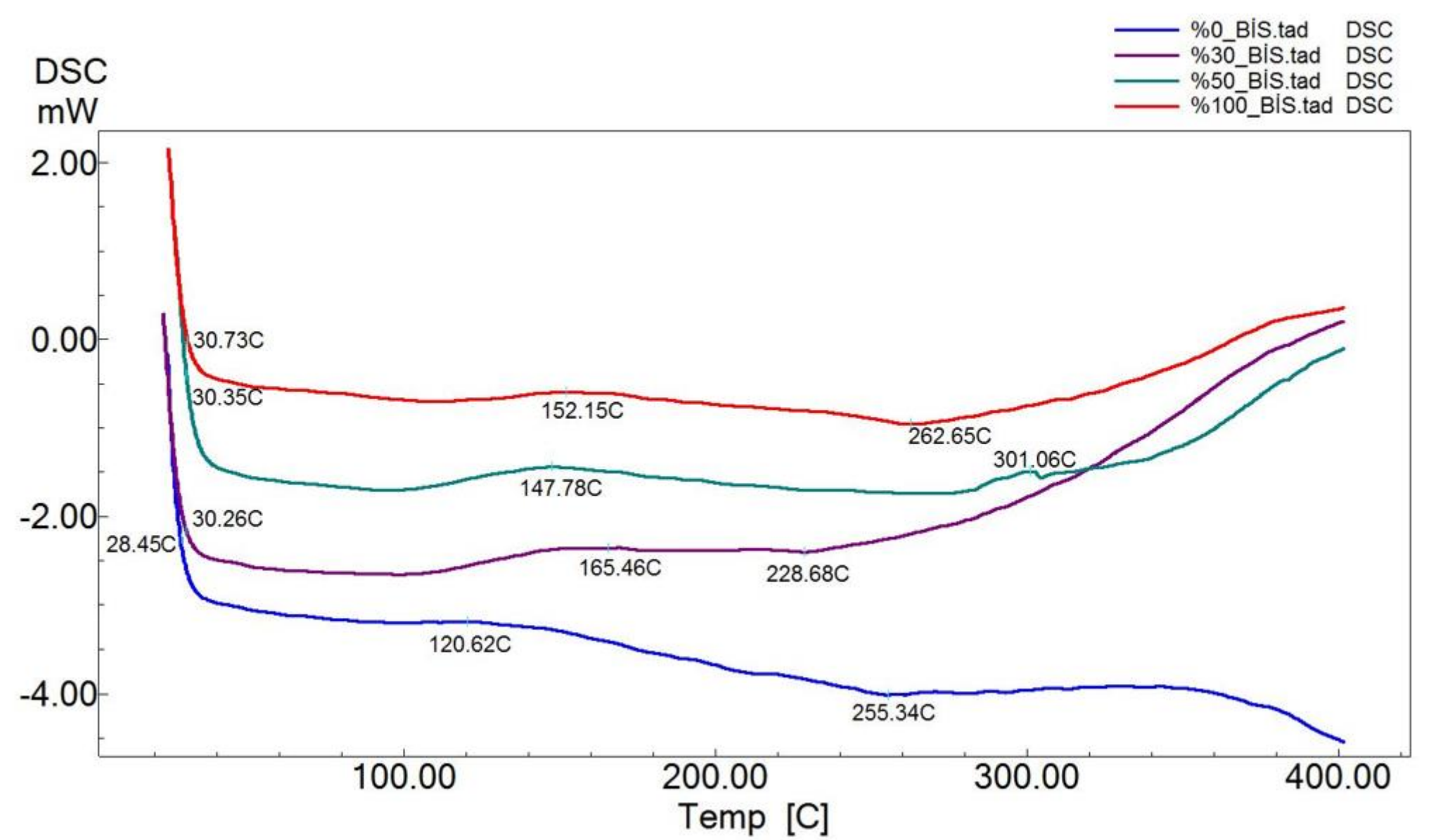
Kaynaklar

- [1] Keskin, B. (2009). *Maleik anhidrit kopolimerinin parasetamol ile kimyasal tepkimesi* (Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya). Selçuk Üniversitesi Açık Erişim Sistemi.
- [2] Güçlü, H. (1996). *Aromatik poliimid ve poliamidler* (Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). POLEN - İTÜ Açık Arşiv.
- [3] Grill, A. (1999). Diamond-like carbon: State of the art. *Diamond and Related Materials*, 8(2–5), 428–434.
- [4] Li, L., Zhang, Y., & Wang, H. (2021). Influence of functional group modification on thermal stability of high-performance polymers. *Polymer Degradation and Stability*, 183, 109442.
- [5] Bülbül, F. (2014). Sert ve yumuşak kaplamalar. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), 32–41.

FTIR VERİLERİ



DSC VERİLERİ



Sonuç

Bu çalışmada, DDS ve BTDA bazlı bismaleimid kaplamaların yüksek sıcaklık ve aşınma dayanımını artırmaya yönelik sentez süreçleri ve test analizleri gerçekleştirilmiştir. Maleik anhidrit ile elde edilen MA-DDS-MA yapısının halkalaşma reaksiyonu sonucu MI-DDS-MI yapısına dönüşmesi başarılı bir şekilde sağlanmıştır. Sentez sonrası kaplamaların FTIR ve DSC analizleri, halkalaşma ve imidleşme reaksiyonlarının gerçekleştiğini doğrulamıştır. Kaplamalara uygulanan Taber aşınma, MEK rubbing, kalem sertlik ve cross-cut testleri sonucunda, modifiye edilmiş BMI kaplamaların hem mekanik hem de kimyasal açıdan üstün özellikler sergilediği gözlemlenmiştir. Özellikle halkalı yapıların kazandırılması, kaplamaların oksidatif kararlılığını ve solvent direncini belirgin ölçüde artırmıştır.

ELEKTROEĞİRME YÖNTEMİ İLE ANTİBİYOFİLM ÖZELLİKLİ YAMALARIN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Berkant Adalı, Sümeyye Cesur

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye
Berkantadali@marun.edu.tr

Giriş

Bakteriyel biyofilmler, kronik enfeksiyonlara yol açan ve geleneksel antibiyotik tedavilerine karşı yüksek direnç gösteren karmaşık topluluklardır. Özellikle yara enfeksiyonları ve tıbbi cihaz yüzeylerinde biyofilm oluşumunu önleyecek yenilikçi tedavi yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın amacı; elektroegirme yöntemiyle, biyoyumlu PCL/PLA polimerik bir matris içerisine Gentamisin Sülfat ve Kafeik Asidin yüklenmesiyle oluşturulan, sinerjistik etki göstererek biyofilm gelişimini etkin bir şekilde engelleyen fonksiyonel bir yama üretmektir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

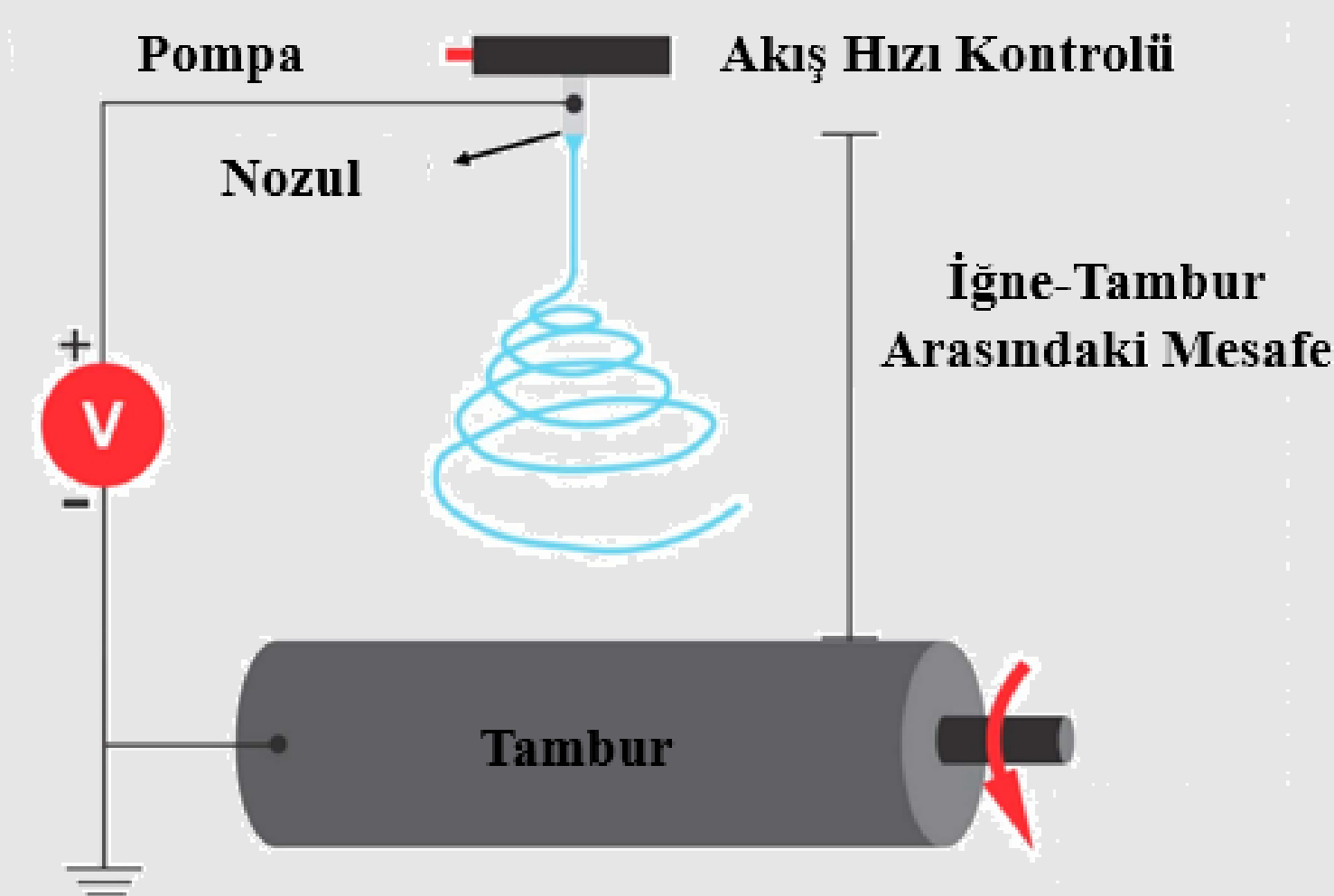
Bu çalışmada polimer matrisi olarak biyobozunur ve biyoyumlu olan Poli(ϵ -kaprolakton) (PCL) ve Poli(laktik asit) (PLA) kullanılmıştır. Geniş spektrumlu bir antibiyotik olan Gentamisin sülfat, bakteri kolonizasyonunu ve gelişimini engellemek üzere birincil antibakteriyel etken madde olarak kullanılmıştır. Kafeik asit hem antioksidan hem de bakteri iletişimini (quorum sensing) bozduğundan ve Gentamisin sülfat ile biyofilm oluşumuna karşı sinerjik etki göstermesinden dolayı bu çalışmaya dahil edilmiştir.

Tablo 1. Hazırlanan solüsyonların kompozisyonları

	PLA (mL)	PCL (mL)	Gentamisin sülfat (w/v)	Kafeik asit (w/v)
PLA/PCL	% 75	% 25	0	0
PLA/PCL/GEN	% 75	% 25	% 0.5	0
PLA/PCL/CA	% 75	% 25	0	% 0.25
PLA/PCL/CA/GEN	% 75	% 25	% 0.5	% 0.25

Yöntem

Antibiyofilmler, elektroegirme yöntemi kullanılarak üretilmiştir. İlk olarak PCL, PLA polimerleri ve içerisinde etken madde olan gruplara etken madde ilave edilerek Diklorometan (DCM) çözücüsü içerisinde çözündürülmüştür. Solüsyonlar hacimce %75 PLA %25 PCL olacak şekilde hazırlanmıştır. Etken madde içeren gruplara 50 mg Gentamisin sülfat, 25 mg Kafeik asit ilave edilmiştir. 4 farklı solüsyon grubu oluşturulmuştur Tablo 1'de 4 farklı solüsyon grubunun kompozisyonu verilmiştir. Elektroegirme yöntemi için bu çözelti bir şırınga pompası aracılığıyla sabit bir akış hızında (1.5 mL/h) metal iğne (no: 22) ucuna beslenmiştir. İğne ucu ile topraklanmış toplayıcı tambur arasına uygulanan yüksek elektrik alanla (26 kV) birlikte polimer jeti halinde tambur üzerine toplanmıştır. Tambur üzerinde yüksek yüzey alanına sahip ve gözenekli nanofiber yapıya yamalar elde edilmiştir. Şekil 1'de elektroegirme yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.

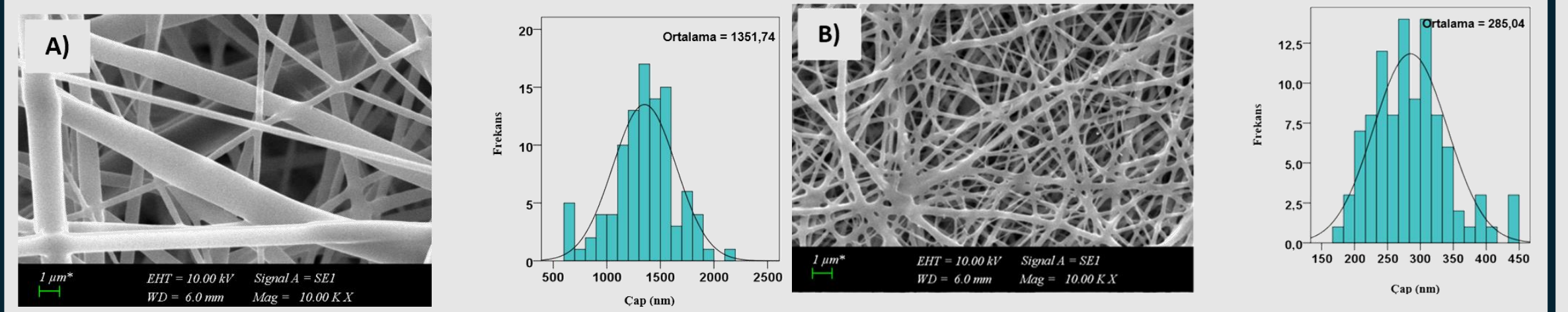


Şekil 1. Elektroegirme yöntemi

Sonuçlar ve Tartışma

Morfolojik Analiz

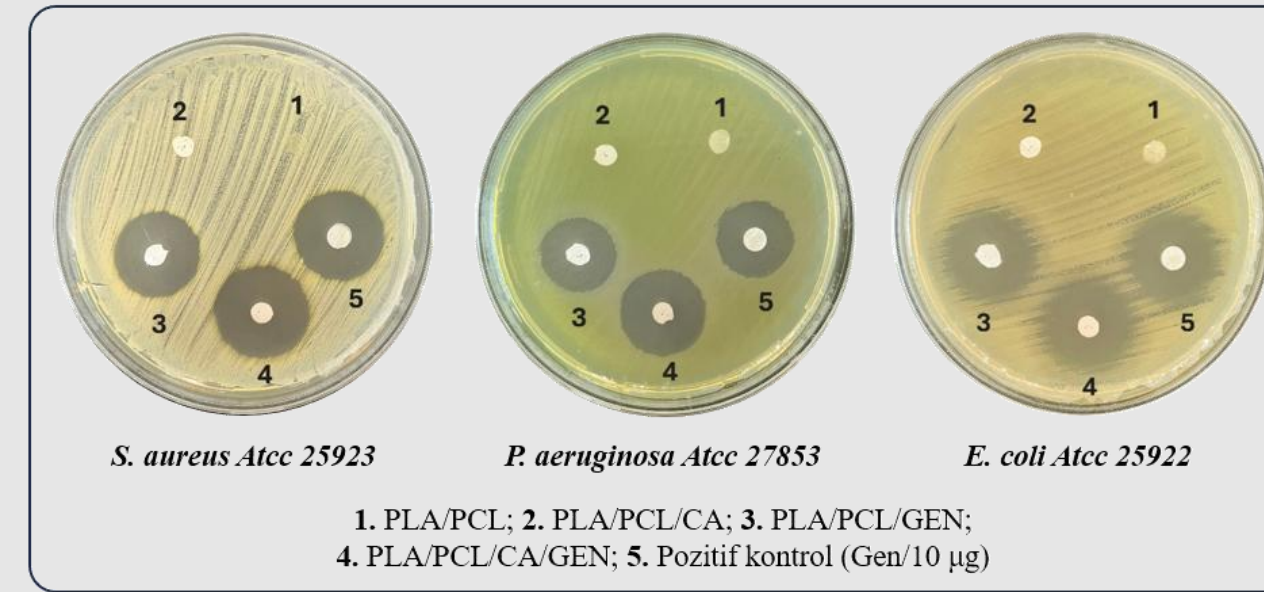
Şekil 2'de SEM görüntüleri ve çap histogram grafiği gösterilmiştir. Kafeik asidin eklenmesiyle beraber fiber çaplarında dramatik bir düşüş gerçekleşmiştir. Literatürde, polimer çözeltisine fenolik bileşikler gibi küçük moleküllerin eklenmesinin çözeltinin iletkenliğini artırarak daha ince liflerin oluşmasına yol açtığı gösterilmiştir.



Şekil 2. PCL/PLA ve PCL/PLA/CA nanofiber gruplarının SEM görüntüleri

Antibakteriyel Aktivite Deneyi

İnhibisyon alanlarına bakıldığında Kafeik asidin ve Gentamisin sülfatın sinerjik etki oluşturarak antimikrobiyal aktiviteyi arttırdığı gözlemlenmiştir. Şekil 3'te Antibakteriyel deney düzeneği gösterilmiştir. Tablo 2'de inhibisyon çapları gösterilmiştir.



Şekil 3. Antibakteriyel deney düzeneği

Tablo 2. İnhibisyon çapları

	İnhibisyon Alanı (Çap [mm])		
	S. Aureus	P. aeruginosa	E. Coli
1. PLA/PCL	0	0	0
2. PLA/PCL/CA	0	0	0
3. PLA/PCL/GEN	19,5	16,6	19,6
4. PLA/PCL/CA/GEN	21	19,6	20
5. Pozitif Kontrol	20,5	17	20

Tablo 2. İnhibisyon yüzdeleri

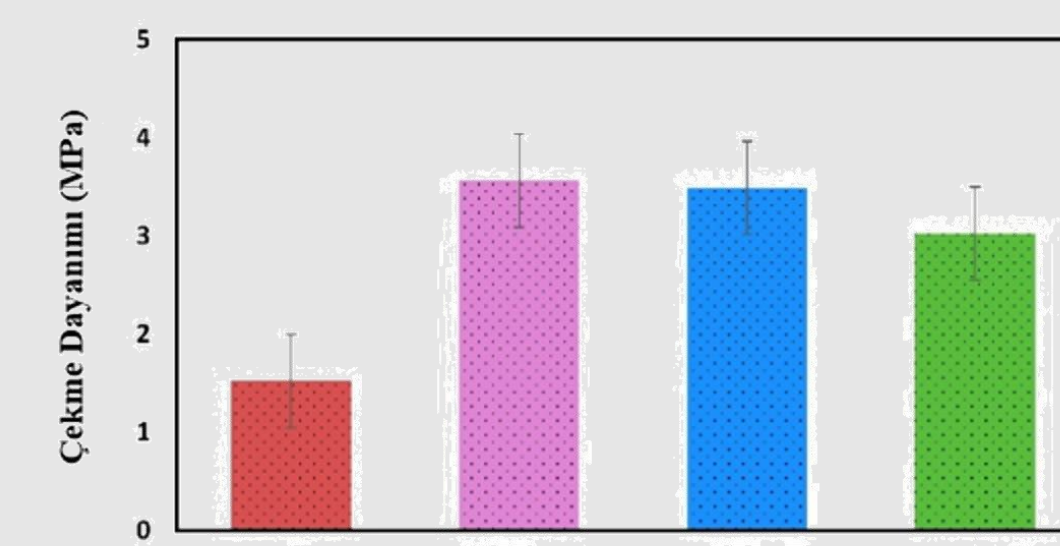
	ORTALAMA	İNHİBİSYON
Kontrol P. aeruginosa	1,35	
PLA/PCL	1,335	-
PLA/PCL/CA	1,18	%12
PLA/PCL/GEN	0,009	%99
PLA/PCL/CA/GEN	0,012	%99

Biyofilm Deneyi

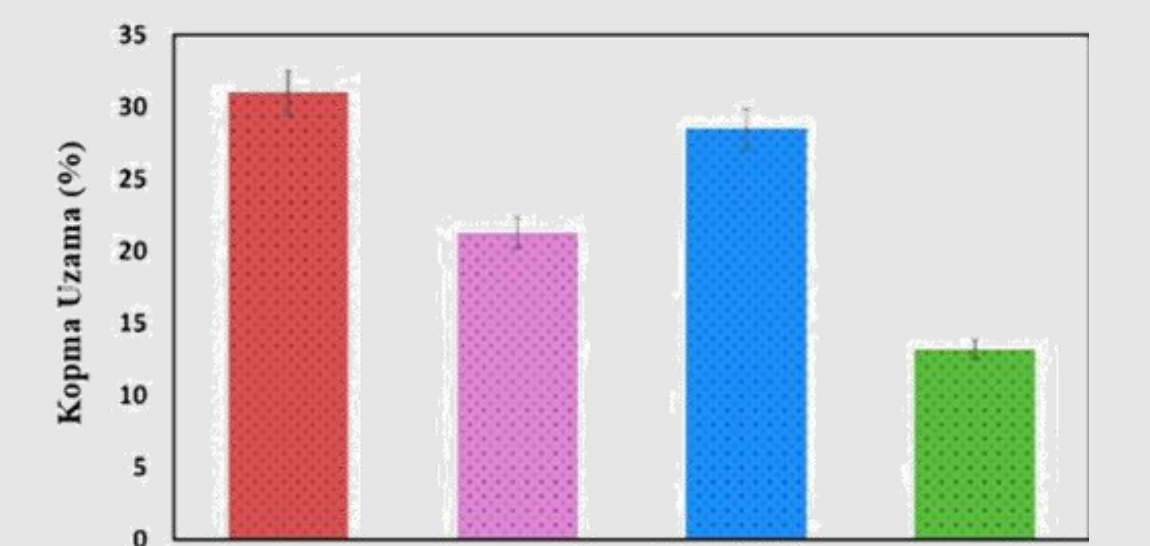
Tablo 2'de OD değerleri ve inhibisyon yüzdeleri gösterilmiştir.

Çekme Dayanım Testi

Saf nanofiber grubunun 1.52 MPa ile en düşük çekme dayanımına sahip olduğu hesaplanmıştır. Kafeik asidin eklenmesiyle beraber çekme dayanımı 3.56 MPa çıkarak dramatik bir artış göstermektedir.



Şekil 4. Fiber gruplarının çekme dayanımları



Şekil 5. Fiber gruplarının kopma uzamaları

Sonuç

- SEM görüntüleri incelendiğinde saf nanofiber grubun boncuksuz homojen bir morfolojide ve ortalama nanofiber çapının 1351 nm olduğu gösterilmiştir. Kafeik asidin eklenmesiyle beraber nanofiber yapısı yayılmış ve ortalama nanofiber çapı 285 nm gerilediği gösterilmiştir. Etken maddelerin eklenmesiyle beraber nanofiber çaplarında azalma gerçekleşmiştir.
- Antibakteriyel aktivite deneyinde, Gentamisin sülfat içeren nanofiber grubunda antibakteriyel etki gözlemlenmiştir. İnhibisyon alanlarına bakılarak Gentamisin sülfat ve Kafeik asidin sinerjik etli göstererek antibakteriyel aktiviteyi arttırdığı söylenebilir.
- Biyofilm deneyinde, Kafeik asit içeren grup %12, Gentamisin sülfat içeren grup %99, Kafeik asit ve Gentamisin sülfat içeren grup %99 oranlarında *P. aeruginosa* biyofilm oluşumunu inhibe etmiştir.
- PLA/PCL grubunun çekme dayanımı 1.52 MPa, PLA/PCL/CA çekme dayanımı 3.56 MPa olarak bulunmuştur. Etken maddeler çekme dayanımı arttırmıştır.



Alfa-Trikalsiyum Fosfat (α -TCP) Seramikleri

Berna SAVAŞKURT, Süleyman Serdar PAZARLIOĞLU

¹Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü 34854 Maltepe-İstanbul



GİRİŞ

Kalsiyum fosfat seramikler (CaP), insan vücudundaki doğal kemik dokusunun inorganik bileşimine büyük ölçüde benzerlik göstermeleri nedeniyle biyomedikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle ortopedik implantlar, kemik dolgu malzemeleri ve doku mühendisliği iskelelerinde bu malzemelere sıkça başvurulmaktadır. CaP seramikler biyouyumluluk, biyobozunurluk ve osteokondüktif özellikleri ile dikkat çekerken, farklı fazlarda bulunabilmeleri de uygulama çeşitliliğini artırmaktadır.

Bu seramikler arasında yer alan **alfa-trikalsiyum fosfat (α -TCP)**, yüksek çözünürlük oranı sayesinde kemik rejenerasyon süreçlerinde önemli rol oynar. α -TCP, fizyolojik koşullar altında hidroksiapatite dönüşme eğilimindedir. Bu dönüşüm, implant bölgesinde yeni kemik oluşumunu destekleyerek biyolojik entegrasyonu kolaylaştırır. Aynı zamanda, α -TCP'nin sentez ve işleme yöntemleri, son ürünün mikroyapısal ve mekanik özelliklerini doğrudan etkileyerek klinik başarısını belirler.

Bu bağlamda, çalışmamızda α -TCP'nin laboratuvar ölçeğinde sentezi, faz saflığı, yoğunluk gibi temel özelliklerinin incelenmesi ve ileri karakterizasyon teknikleri ile yapısal ve morfolojik analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, α -TCP'nin biyomedikal amaçlı kullanım potansiyelini değerlendirmek açısından önemli ipuçları sunmaktadır.

ALFA-TRİKALSİYUM FOSFAT (α -TCP)

Alfa-trikalsiyum fosfat (α -TCP), biyolojik uyumluluğu, biyobozunabilirliği ve kemik oluşumunu destekleyen osteokondüktif özellikleri sayesinde kemik onarımı ve doku mühendisliğinde sıklıkla tercih edilen bir kalsiyum fosfat seramiğidir. Kimyasal formülü α -Ca₃(PO₄)₂ olan bu faz, genellikle β -TCP'nin 1125 °C üzeri sıcaklıklarda ısıtılmasıyla elde edilir ve vücut ortamında zamanla çözünerek hidroksiapatite (HA) dönüşür. Bu özellik, α -TCP'yi kemik yenilenmesini destekleyen etkili bir geçici iskele materyali hâline getirir.

Sentez süreci çoğunlukla katı hâl reaksiyonlarına dayanır ve kullanılan hammaddeler (örneğin CaCO₃ ve CaHPO₄) önce kalsine edilir, ardından sinterleme işlemine tabi tutulur. Hedeflenen α fazının korunması için hızlı soğutma önemlidir. Elde edilen α -TCP, uygun öğütme yöntemleriyle mikron veya nano boyutlu tozlara dönüştürülür; bu tozların partikül boyutu, gözeneklilik, yüzey alanı ve dağılımı hem mekanik hem de biyolojik performans üzerinde doğrudan etkili olur.

Mekanik açıdan α -TCP kırılgandır ve doğal kemiğe kıyasla basma dayanımı düşüktür. Ancak bu zayıf yönler, partikül boyutunun ayarlanması, uygun sinterleme koşulları ve polimer katkılı kompozit sistemlerle kısmen giderilebilir. Özellikle yük taşıyan bölgelerdeki uygulamaları sınırlı olsa da, yapısal destekten çok biyolojik etkileşime odaklanan uygulamalarda oldukça başarılıdır.

Biyolojik testler, α -TCP'nin kemik hücreleriyle yüksek düzeyde etkileşim gösterdiğini ortaya koymuştur. İnsan mezenkimal kök hücreleri ve osteoblastlarla yapılan çalışmalarda hücre canlılığı, yapışması, çoğalması ve kemik hücrelerine dönüşümü (osteojenik farklılaşma) desteklediği saptanmıştır. Ayrıca alkalın fosfataz aktivitesindeki artış ve osteojenik genlerin uyarılması, α -TCP'nin kemik oluşturan hücreleri aktive etme potansiyelini gösterir.

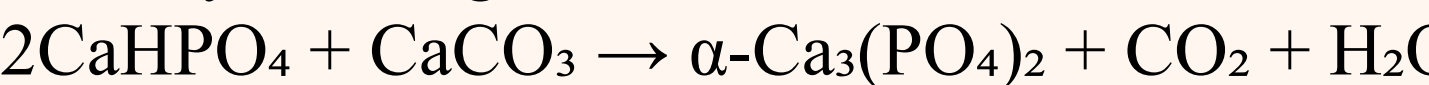
α -TCP'nin biyobozunma hızı, pH, iyonik çevre, partikül boyutu ve gözeneklilik gibi parametrelere bağlıdır. Vücut içinde çözünüp HA'ya dönüşerek kemik dokusuyla uyumlu bir yapı oluşturur. Bu özelliği sayesinde doğal kemik iyileşmesini destekleyen geçici bir yapı sunar. Klinik ve prelinik uygulamalarda α -TCP; diş hekimliğinde, ortopedide ve travmatolojide kemik dolgu materyali olarak kullanılır. Hayvan çalışmaları, kemik iyileşmesini hızlandırdığını ve bağışıklık sistemiyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Ayrıca enjeksiyonla uygulanabilir formülasyonlara dönüştürülebilmesi, cerrahi işlemleri kolaylaştırmakta ve hasta konforunu artırmaktadır. Sonuç olarak, α -TCP; yüksek biyolojik uyumu, kontrollü biyobozunması ve ilaç taşıma kapasitesi sayesinde hem kemik rejenerasyonu hem de farmasötik uygulamalarda önemli bir biyomalzeme olarak öne çıkmaktadır. Gelecekte nanoteknoloji, yüzey mühendisliği ve kompozit yapılarla desteklenen yeni tasarımlar sayesinde uygulama alanlarının daha da genişlemesi beklenmektedir.

SENTEZ ÖRNEKLERİ

Isıl Dönüşüm (Termal Dekompozisyon)

Temel prensip: Kalsiyum ve fosfat içeren tuzların yüksek sıcaklıklarda ısıtılmasıyla α -TCP oluşur. Bu yöntem en yaygın kullanılan tekniktir.

Reaksiyon örneği:



Reaktanlar: Kalsiyum hidrojen fosfat (CaHPO₄), kalsiyum karbonat (CaCO₃) veya kalsiyum oksit (CaO).

Isıtma sıcaklığı: 1200–1450 °C. Soğutma işlemi hızlı yapılmazsa α -TCP kolayca β -TCP'ye dönüşebilir. Ürün genellikle seramik formdadır, parçacık boyutu büyük olabilir.

Avantaj: Basit ekipmanla uygulanabilir.

Dezavantaj: Yüksek sıcaklık nedeniyle enerji maliyeti yüksektir; ürün aglomere olabilir.

Islak Kimya (Çöktürme Yöntemi)

Temel prensip: Çözelti fazında Ca²⁺ ve PO₄³⁻ iyonlarının kontrollü pH ve sıcaklık altında çöktürülmesi.

pH genellikle 7–10 arasında tutulur. Çöktürme sonrası elde edilen amorf veya kalsiyum fosfat jeli, kurutulup 900–1200 °C'de kalsine edilir Oluşan faz; ısıtma süresi ve oranına göre α -TCP'ye dönüşür.

Avantaj: Homojen dağılımlı ve daha küçük partiküller elde edilebilir. Daha düşük sıcaklıkta öncü elde edilebilir.

Dezavantaj: Kalsinasyon şartları hassastır. Faz kontrolü önemlidir.

Sol-Gel Yöntemi

Temel prensip: Metal alkoksitler (örneğin Ca(OC₂H₅)₂) veya tuzlar (Ca(NO₃)₂, H₃PO₄) kullanılarak, moleküler seviyede karıştırılıp jel haline getirilir. Sonrasında kurutma ve ısıtma ile α -TCP elde edilir.

Aşamalar: Sol (sıvı fazda homojen karışım), Gel (katı-sıvı ağ yapısı), Kurutma Kalsinasyon (ısıtma)

Avantaj: Atomik düzeyde karışım ve yüksek saflık. Daha düşük sıcaklıkta kalsinasyon mümkündür.

Dezavantaj: Karmaşık kimyasal ön işlemler gerekebilir. Üretim süresi uzundur.

Hidrotermal Yöntem

Temel prensip: Basıncılı reaktörlerde (otoklav) çözeltideki iyonlar yüksek sıcaklık ve basınç altında kontrollü olarak kristalleşir.

Sıcaklık: Genellikle 150–250 °C

Basınç: 1–10 Mpa

Süre: 6–72 saat

pH ve reaktif oranı faz oluşumunu belirler (genellikle HA, β -TCP elde edilir; ancak özel koşullarda α -TCP de sentezlenebilir)

Avantaj: Kristal morfolojisi kontrolü yüksektir. Yüzey özellikleri biyouyumluluk . açısından avantajlı olabilir.

Dezavantaj: Özel ekipman (otoklav) gerektirir. Sentez süresi uzundur.

SONUÇ

Bu çalışmada, biyouyumlu ve biyobozunur özellikleriyle öne çıkan **alfa-trikalsiyum fosfat (α -TCP)** üzerine odaklanılmıştır. α -TCP'nin sentez yöntemleri detaylı şekilde araştırılmış ve özellikle ıslak kimya temelli çöktürme yöntemi ile elde edilme potansiyeli değerlendirilmiştir. Yapılan incelemeler, sentez koşullarının (pH, sıcaklık, başlangıç reaktan oranları gibi) ürün fazı ve kristalinliği üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. α -TCP'nin kemik doku mühendisliği ve dental uygulamalardaki kullanımını destekleyecek yüksek saflıkta ve kontrollü yapılar elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

1. Dorozhkin, S. V. (2010). *Calcium orthophosphates: Applications in nature, biology, and medicine*. **Progress in Biomaterials**, **5**(3), 1–22.

Ishikawa, K., & Asaoka, K. (1995). *Reactivity of α -tricalcium phosphate with different crystallinities*. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, **6**(9), 528–532.

LeGeros, R. Z. (2002). *Properties of osteoconductive biomaterials: calcium phosphates*. **Clinical Orthopaedics and Related Research**, **395**, 81–98.

FARKLI SÜRELERDE SİNERLENEN M2 TAKIM ÇELİĞİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Beyza SÖNMEZ, Ece FELEK, Batuhan SORUŞBAY, Hamit Özkan GÜLSOY

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

beyza.sonmez@marun.edu.tr – ecefelek@gmail.com

Amaç

Bu çalışmada, toz metalürjisi ile üretilen M2 takım çeliğinin sabit sıcaklıkta farklı sinterleme sürelerindeki mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmiştir. Toz metalürjisi ile üretilen takım çeliklerinde yüksek yoğunlukta parçalar sıvı faz sinterleme mekanizması ile elde edilirken, sinterleme sıcaklığı ve süresinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerinde büyük etkisi vardır. Bu bağlamda, sabit sıcaklıkta (1325 °C) farklı sinterleme sürelerinin (30, 40, 50 ve 60dk) malzemenin mikroyapı-mekanik özellik ilişkisi üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve optimum parametrelerin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Giriş

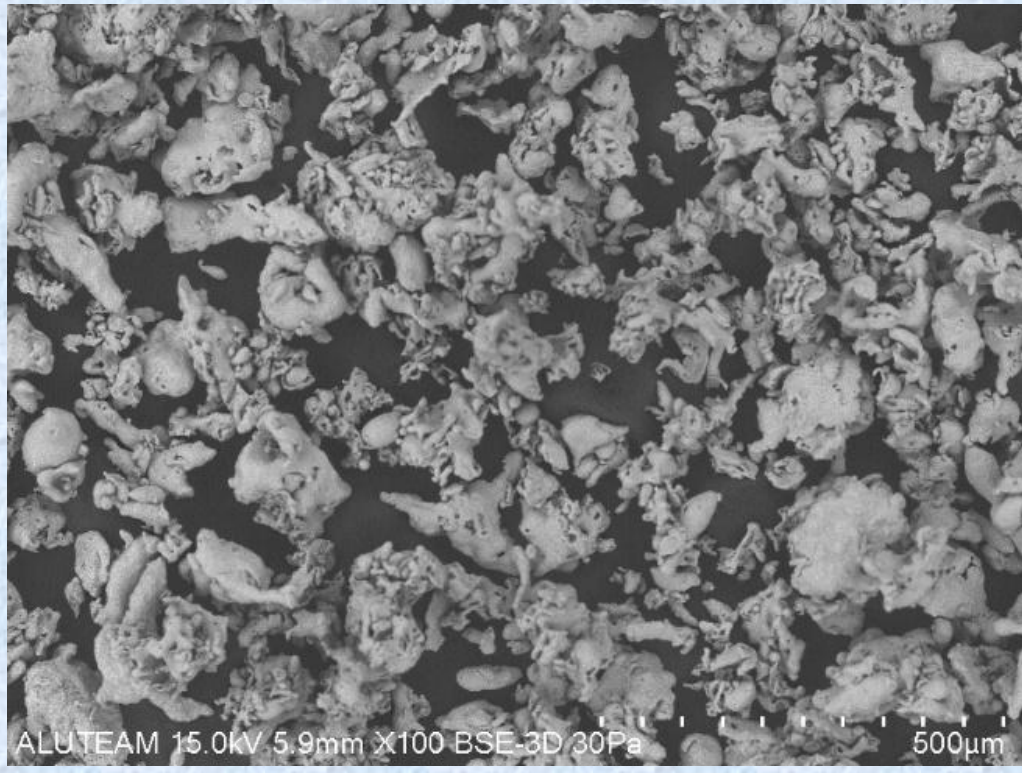
M2 yüksek hız çeliği, sahip olduğu yüksek sertlik, aşınma direnci ve sıcaklık dayanımı gibi üstün özellikleri sayesinde özellikle kesici takımların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür malzemelerin üretiminde toz metalürjisi yöntemi, homojen yapı sağlama, karmaşık geometriler elde etme ve malzeme israfını azaltma gibi avantajlar sunmaktadır. Sinterleme süreci ise bu yöntemin en kritik aşamalarından biridir ve uygulanacak sıcaklık ile süre, nihai ürünün mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerinde doğrudan etkilidir. Sinterleme sıcaklığının düşük olması sıvı faz oluşumunu engelleyip istenilen yoğunluk ve mekanik özelliklerin sağlanamamasına neden olurken, yüksek olması sıvı faz miktarını artırıp tane irileşmesiyle mekanik özelliklerin düşmesine sebep olmaktadır. Sinterleme süresinin kısa tutulması yetersiz difüzyondan dolayı düşük yoğunluklu parçalara, gereğinden uzun tutulması ise aşırı difüzyondan dolayı tane irileşmesiyle mekanik özelliklerde azalmaya sebep olmaktadır.

DeneySEL Çalışma

Bu çalışmada kullanılacak olan M2 tozlarının kimyasal bileşimi ve SEM görüntüsü sırasıyla Tablo 1 ve Şekil 1’de verilmiştir. Numuneler, düzensiz M2 tozlarının ağırlıkça %1 oranında çinko sterat (yağlayıcı) ile karıştırılmasıyla elde edilen toz karışımından hazırlanacaktır. Hazırlanan toz karışımı turbula karıştırıcıda 1 saat süreyle karıştırılarak homojen hale getirildikten sonra 20mm iç çaplı kalıpta tek eksenli pres kullanılarak 400 MPa basınç altında preslenmiştir. Preslenen numuneler, N₂+%5H₂ gazlarından oluşan koruyucu atmosfer altında 1325 °C sıcaklığında 30, 40, 50 ve 60 dakika sinterlenmiştir. Numunelerin bağlı yoğunlukları Arşimet prensibi ile hesaplanmıştır. Numuneler zımpara ve parlatma aşamalarının ardından %3 Nital çözeltisi ile dağlanıp optik mikroskop, SEM, XRD, Rockwell-C sertlik testi ile karakterize edilmiştir.

Tablo 1. M2 tozunun kimyasal bileşimi

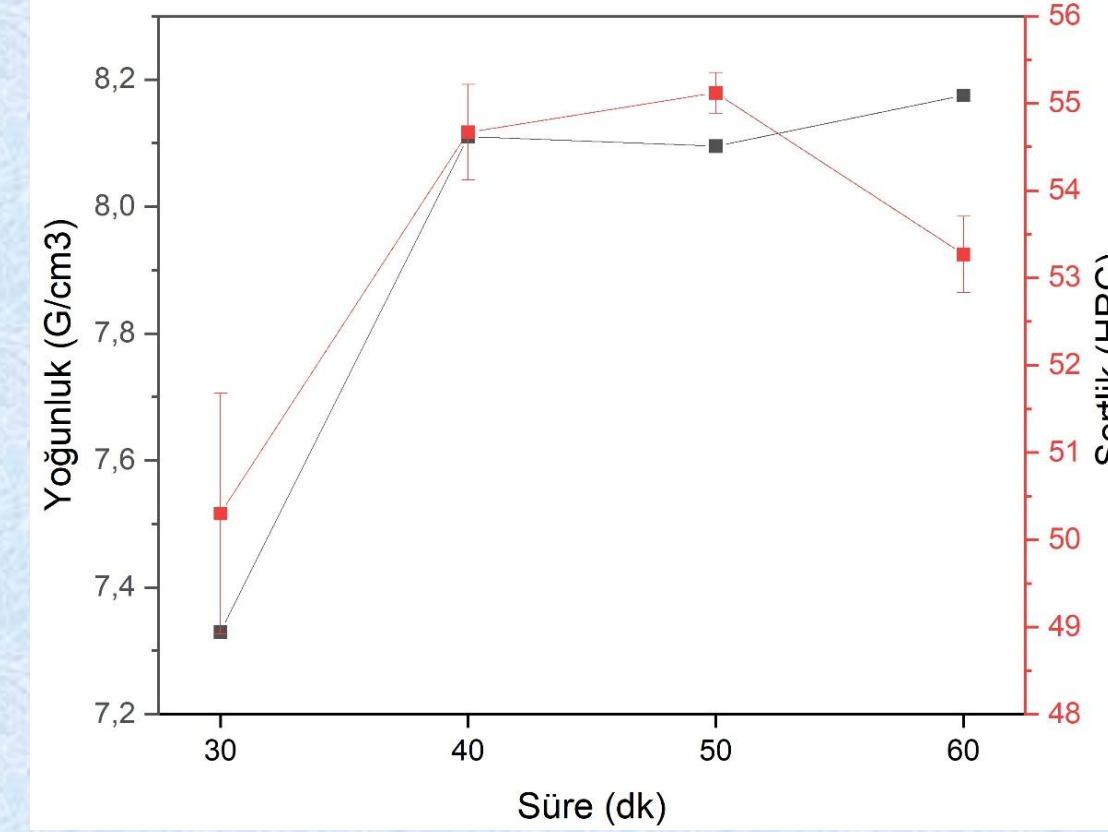
Element	Fe	C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	W	V
%ağ.	Kalan	0.78-1.05	3.75-4.50	0.3	4.5-5.5	0.2-0.45	0.15-0.40	5.50-6.75	1.75-2.20



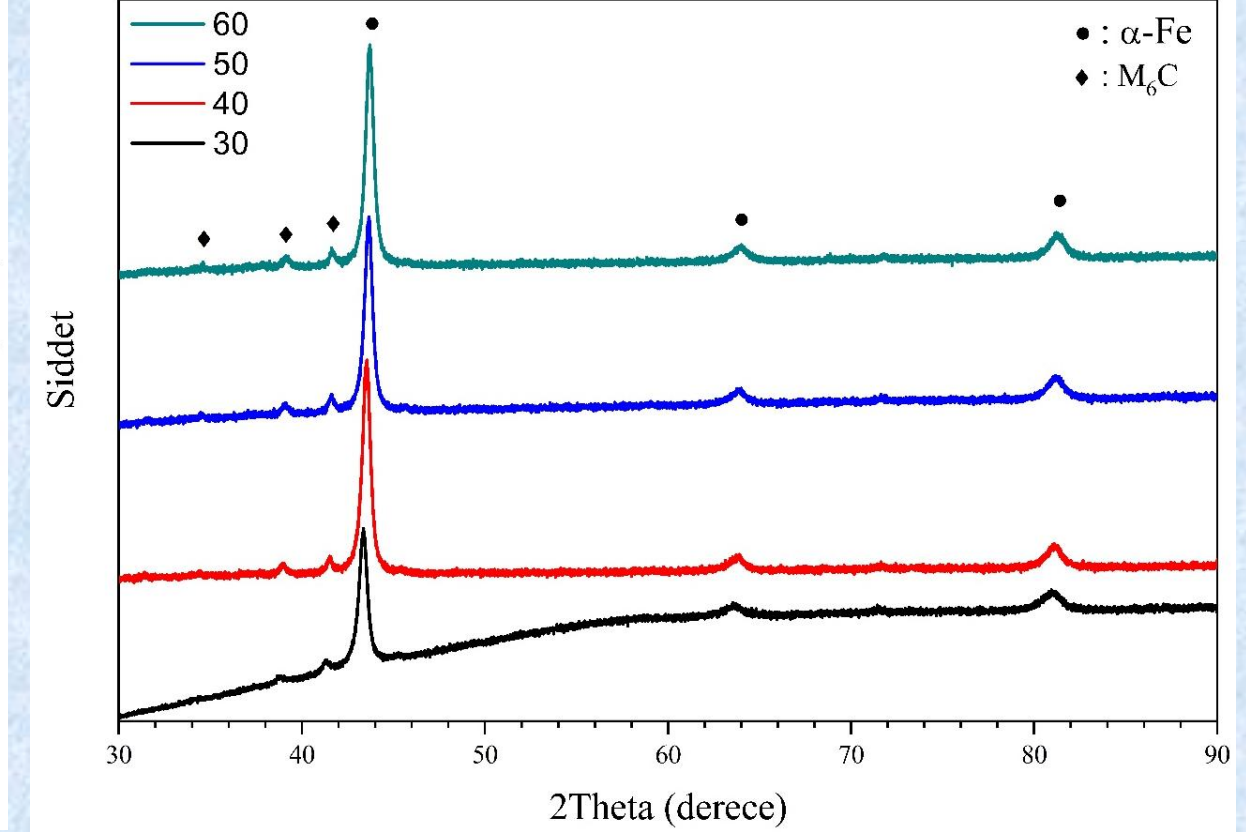
Şekil 1. M2 tozunun SEM görüntüsü

Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Numunelerin yoğunluk ve sertlik değerleri Şekil 2’de verilmiştir. 30 dakika sinterlenen numunelerin yoğunluk ve sertliği yetersiz sinterleme süresi nedeniyle ~7,32 g/cm³ (%89.2 bağlı yoğunluk), 50 HRC ölçülmüştür. Sürenin uzatılmasıyla birlikte 40 dakika sonrasında yeterli difüzyonla numuneler tam yoğunluğa yaklaşmış ve sertlik değerleri artmıştır. Sürenin uzatılmasıyla birlikte 60 dakikada sertlikte düşüş gözlenmiştir. Numunelerin XRD desenleri Şekil 3’te verilmiş olup mikroyapı Fe ve M₆C fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir.

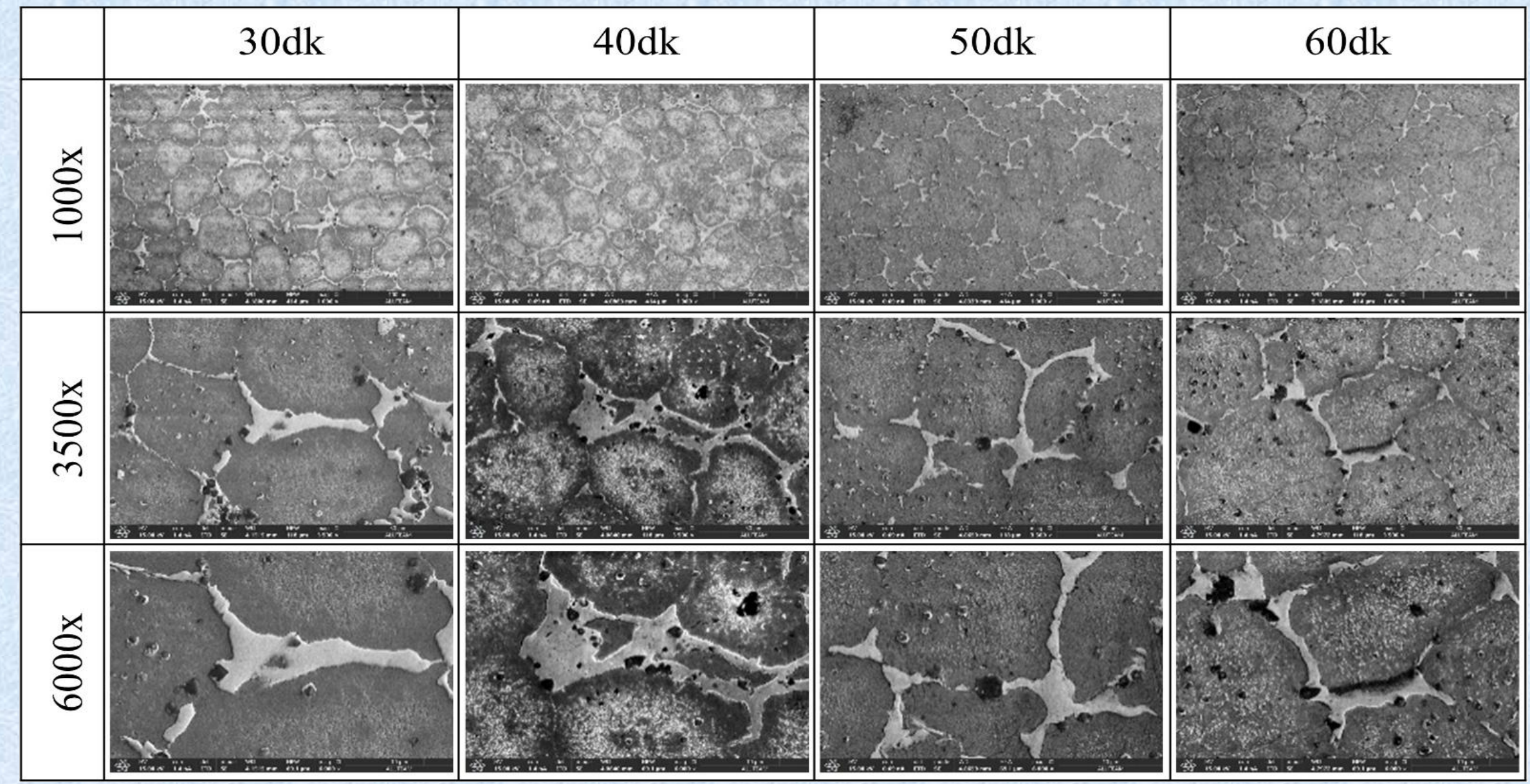


Şekil 2. Farklı sürelerde sinterlenen numunelerin yoğunluk ve sertlik değerleri.



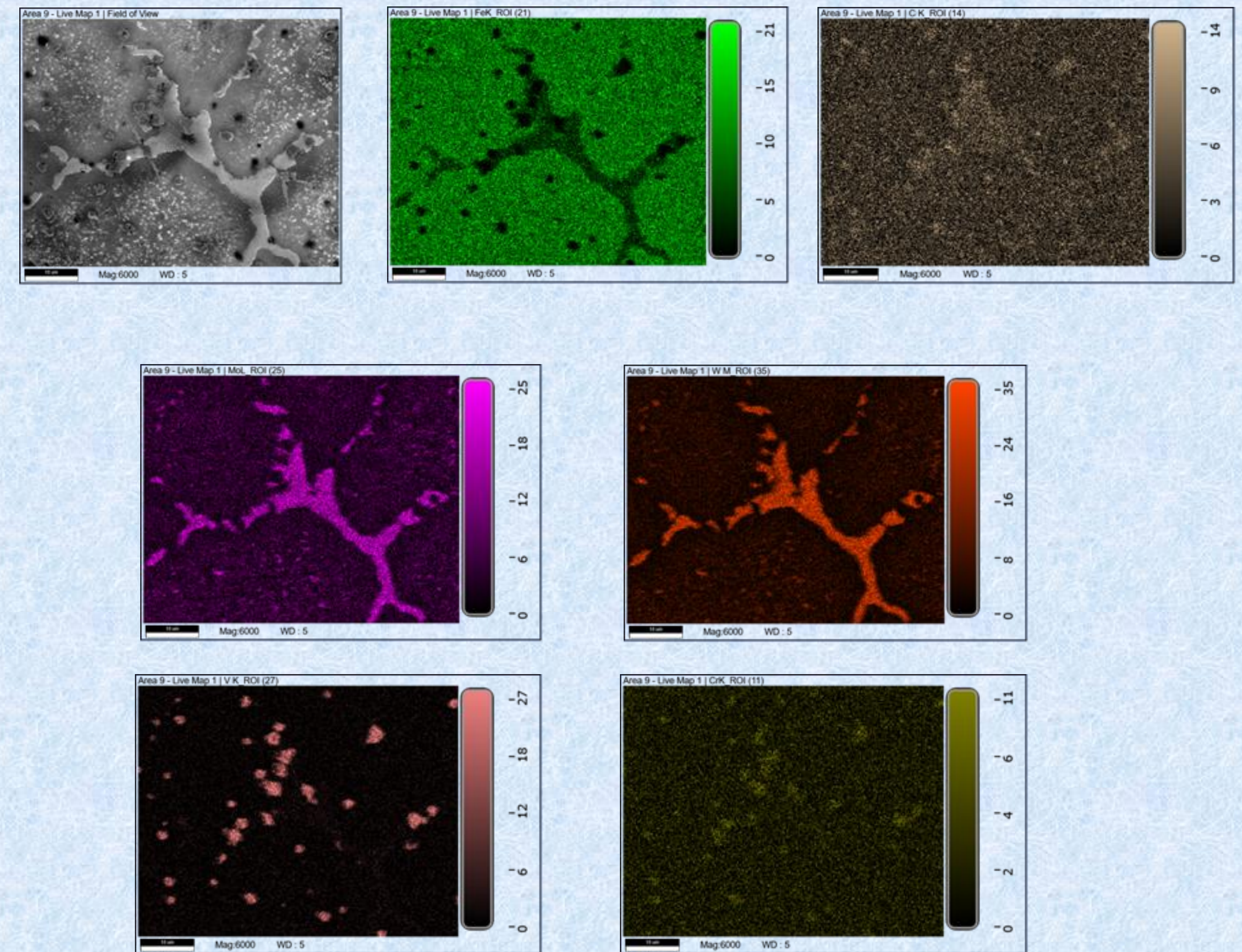
Şekil 3. Farklı sürelerde sinterlenen numunelerin XRD desenleri.

Numunelerin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri Şekil 4’te verilmiştir. Karbürler ferrit matrisin içinde homojen şekilde dağılırken, tane sınırlarında sıvı fazın varlığını gösteren karbür filmi oluşmuştur. Karbürler renklerine göre beyaz ve siyah olarak ayrılmaktadır. Sinterleme süresinin artışıyla beraber karbürlerde küreselleşme meydana gelmiştir.



Şekil 4. Farklı sürelerde sinterlenen numunelerin SEM görüntüleri.

Şekil 5’te 60 dakika sürede sinterlenmiş numunenin elemental haritası verilmiştir. Tane sınırlarındaki sıvı faz (M₆C) Fe, Mo ve W elementlerinden oluşurken, beyaz renkteki küçük ikincil karbürler Mo ve W içermektedir. Siyah renkteki karbürler ise vanadyumdan oluşan MC’dir.



Şekil 5. 60 dakika sürede sinterlenmiş numunenin elemental haritası.

Sonuçlar ve Bulgular

Bu çalışmada M2 takım çeliği 1325 °C sıcaklığında 30, 40, 50 ve 60 dakika sürelerde sinterlenmiştir. Sinterlenen numunelerde 30 dakikada yetersiz süre nedeniyle tam yoğunluğa ulaşamamışken sürenin artmasıyla 40 dakikadan sonra numuneler neredeyse tam yoğunluğa ulaşmıştır. Sertlik değeri 30 dakikada yüksek porozite miktarı nedeniyle düşük iken, sürenin artmasıyla sertlik önce artmış daha sonra tane irileşmesi nedeniyle 60 dakikada sertlik azalarak 40 ve 50 dakikanın altına inmiştir. Bu nedenle optimum sinterleme süresi 50 dakika sinterlenen numunelerde elde edilmiştir.

KOMPOZİT SPOİLER ÜRETİMİ

Cemre Durukan BAŞ

Danışman: Doç. Dr. Yalçın Boztoprak

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

GİRİŞ

Spoiler, otomobillerde hem estetik hem de işlevsel amaçlarla kullanılan aerodinamik bir kaporta parçasıdır. Genellikle aracın arka kısmında yer alan spoiler, yüksek hızlarda aracın yol tutuşunu iyileştirmek ve hava direncini azaltmak amacıyla tasarlanır. Spoilerlar; fiberglass, karbonfiber, plastik, poliüretan ve ihtiyaca göre çeşitli metaller gibi farklı malzemelerden, çeşitli üretim yöntemleriyle imal edilebilir. Bu çalışmada ise el yatırma yöntemi kullanılarak fiberglass kalıplama ve üretim teknikleri uygulanmıştır.

Materyal ve Yöntem

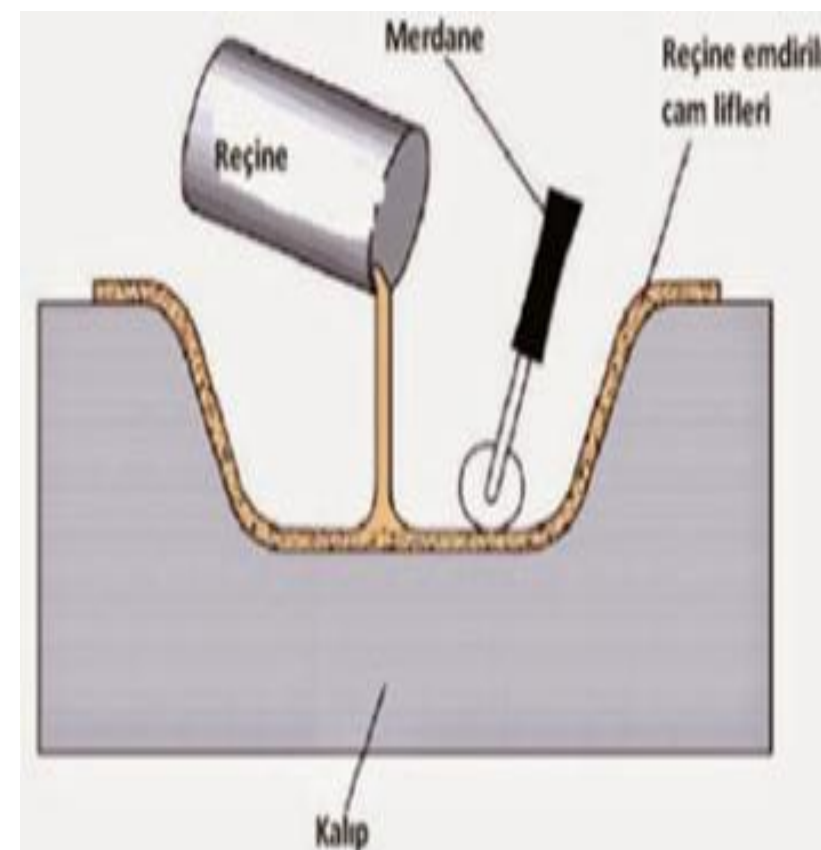
Materyal

Bu çalışmada model üretimi için sprey poliüretan kullanılmış ve ince detayların oluşturulması amacıyla fiber macunu uygulanmıştır. Hem kalıp hem de ürün malzemesi olarak keçe tipi cam elyafı ile CE92 tipi polyester reçine tercih edilmiştir. Reçine katalizörü olarak MEK-P kullanılmış ve karışım oranlarının hassas şekilde ayarlanabilmesi için hassas terazi ile ölçüm yapılmıştır. Reçinenin düzgün uygulanması için farklı boyutlarda rulo ve fırçalar kullanılırken, elyaf yüzeyinde hava kalmaması amacıyla ragle ile baskı uygulanmıştır. Kalıp ayırıcı olarak Vicky cila, gerekli yüzeylere uygulanmış ve yüzey kalitesini artırmak için jelcoat tabakası sürülmüştür. Son aşamada, yüzey pürüzsüzlüğü sağlamak amacıyla 80, 120, 180, 220 numara zımparalar ve 320 numara sünger zımpara kullanılmıştır.



Yöntem

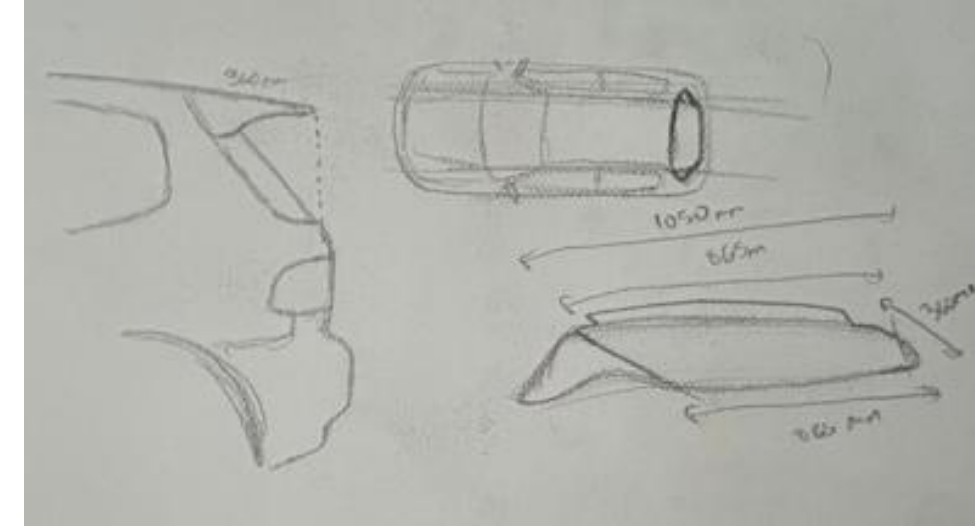
Spoilerin üretileceği otomobile uygun tasarım yapılmış, ardından bu tasarım, aracın üzerinden kalıp alınarak önceden çizilip kesilmiş kartonlar üzerine sprey poliüretan sıkılarak üç boyutlu bir form oluşturulmuştur. Oluşturulan form, istenilen şekli elde etmek üzere kesilmiştir. Modelin yüzey kalitesini artırmak amacıyla birkaç kat fiber macunu uygulanmış ve zımparalama işlemi yapılmıştır. Model üzerinden kalıp çıkarılabilmesi için sırasıyla kalıp ayırıcı, jelcoat, cam elyaf ve reçine katmanları kullanılmıştır. Bu süreç sonucunda, modelin birebir ölçülerinde bir dış kalıp üretilmiştir.



Üretilen kalıbın iç yüzeyine tekrar kalıp ayırıcı uygulanmış ve detayların korunması için jelcoat sürülmüştür. Daha sonra cam elyaf, hava boşluğu bırakılmadan dikkatlice yatırılmış ve üzerine, katalizörü MEK-P ile 100:1 oranında karıştırılmış reçine yedirilmiştir. İkinci katmanda ise, bir önceki katmana dik olacak şekilde cam elyaf kesilip yerleştirilmiş ve üzerine son kat reçine uygulanmıştır. Kür süresi tamamlandıktan sonra parça kalıptan çıkarılmış, zımparalama işlemleri yapılarak araç üzerinde kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, hatchback bir otomobil için performans odaklı ve şehir içi kullanım koşullarına uygun bir spoiler tasarımı gerçekleştirilmiş, üretim süreci ise el yatırma yöntemi ile başarıyla tamamlanmıştır. Tasarım aşamasında hem estetik hem de aerodinamik işlevsellik ön planda tutulmuş, çeşitli çizimler ve tasarım örnekleri temel alınarak manuel modelleme süreci yürütülmüştür. Kullanılan yöntemler, düşük maliyetli ve pratik olmaları nedeniyle tercih edilmiş; prototipleme ve küçük ölçekli üretim için ideal bir çözüm sunmuştur.



SONUÇ

Bu çalışmada, el yatırma yöntemi kullanılarak otomobil spoiler üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. El yatırma yöntemi, düşük maliyetli ve karmaşık şekillerde üretim imkânı sağlayan, esnek bir üretim tekniği olarak öne çıkmaktadır. Spoiler üretiminde kalıp ve malzeme seçimine bağlı olarak yüksek yüzey kalitesi ve dayanıklılık elde edilmiştir. Ayrıca, bu yöntem siparişe özel tasarım yapabilme esnekliği sunması nedeniyle, müşterinin taleplerine uygun özgün ve fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Üretilen spoiler, hafif yapısı sayesinde aracın performansına olumlu katkıda bulunurken, araca estetik bir görünüm de sağlamaktadır. Projede elde edilen bulgular, el yatırma yönteminin seri üretime uygun olmadığı ancak spoiler ve siparişe dayalı özel modifiye parçaları, özellikle küçük ve orta ölçekli üretimlerde etkin bir teknik olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, özel olarak tasarlanan spoilerin üretimi ekonomik bir çözüm sunularak üretilmiş, hayal gücünden üretime geçilmiştir.



Kaynaklar

- https://www.spoilerburada.com/arac-spoileri-nedir-arac-spoileri-ne-ise-yarar?utm
- https://www.arabam.com/blog/genel/spoiler-veya-kanat-nedir-ne-ise-yarar/?utm
- https://www.makrokompozit.com/el-yatirmasi/

ORGANİK ATIK DOLGULU KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ceyda Sueda UZUNYOL, Merve GÜNEŞ, Nurşah Elif NALBAT
Doç. Dr. İlyas KARTAL
Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

GİRİŞ

Plastik malzemeler, günümüzde hayatın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Ancak istenen özellikleri sağlamak amacıyla genellikle dolgu ve takviye maddeleriyle birlikte kompozit yapı halinde kullanılmaktadırlar. Polimerik kompozitlerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi, bu malzemelerin kullanım alanlarını ve önemini artırmıştır. Artan çevre bilinciyle birlikte, atıkların dolgu malzemesi olarak değerlendirilmesi hem çevre dostu hem de ekonomik çözümler sunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan dolgu malzemelerinin Türkiye'deki yıllık atık miktarları; yaklaşık 150 bin ton ceviz kabuğu, 300 bin ton zeytin çekirdeği ve 50 bin ton jüt elyaf atığı şeklindedir. Bu doğrultuda, söz konusu yaygın atıkların doymamış polyester matrisli kompozitlerde kullanım potansiyeli araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, genel amaçlı ortoftalik yapıda, orta reaktiviteli bir polyester reçine kullanılmıştır. Düşük hacimsel çekme, yüksek mekanik dayanım ve iyi elyaf ıslatma özelliğine sahiptir. İçeriğinde kobalt hızlandırıcı bulunur. Sertleştirici olarak reçineye %1,5 oranında Metil Etil Keton Peroksit (MEKP) eklenmiştir. MEKP, reçinenin sıvıdan katıya geçişini sağlayan ve çapraz bağlanma reaksiyonunu başlatan bir organik peroksittir.



Şekil 1. Genel Amaçlı Polyester Reçine



Şekil 2. Metil Etil Keton Peroksit

Kompozit numuneler; ceviz kabuğu + polyester, zeytin çekirdeği + polyester, jüt elyaf + polyester reçinesi kombinasyonudur.

- Ceviz kabuğu ve zeytin çekirdeği öğütülerek, belirli oranlarda (%5, 10, 15, 20) polyester reçineye eklenmiş ve her oranda ayrı kompozit numuneler hazırlanmıştır. Ceviz kabuğu parçacıkları 1-400 mikron aralığında seçilmiş, iri taneler kullanılmamıştır. Numuneler, teflon kalıpta açık döküm yöntemiyle üretilmiştir.

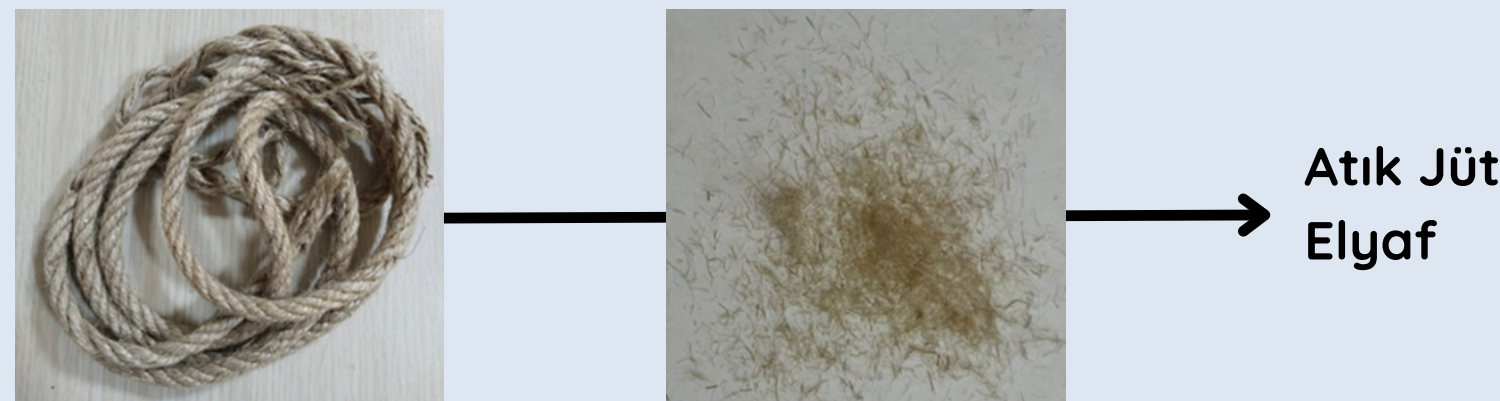


Şekil 3. Ceviz Kabuğu Görselleri



Şekil 4. Zeytin Çekirdeği Görselleri

- Atık jüt elyaf 2 mm boyutunda kesilerek polyester reçinesine %1, 2 ve 3 oranlarında eklenmiş, her oranda ayrı kompozit numuneler hazırlanmıştır. Teflon kalıpta açık döküm yöntemi kullanılmıştır. Doymum oranı %3 olarak belirlenmiş, %4 oranında ıslatma sorunu nedeniyle numune elde edilememiştir.



Şekil 5. Jüt Elyaf Görselleri

Numuneler ağırlıkça %1.5 oranında sertleştirici katılarak hazırlanmıştır.



a) Ceviz Kabuğu

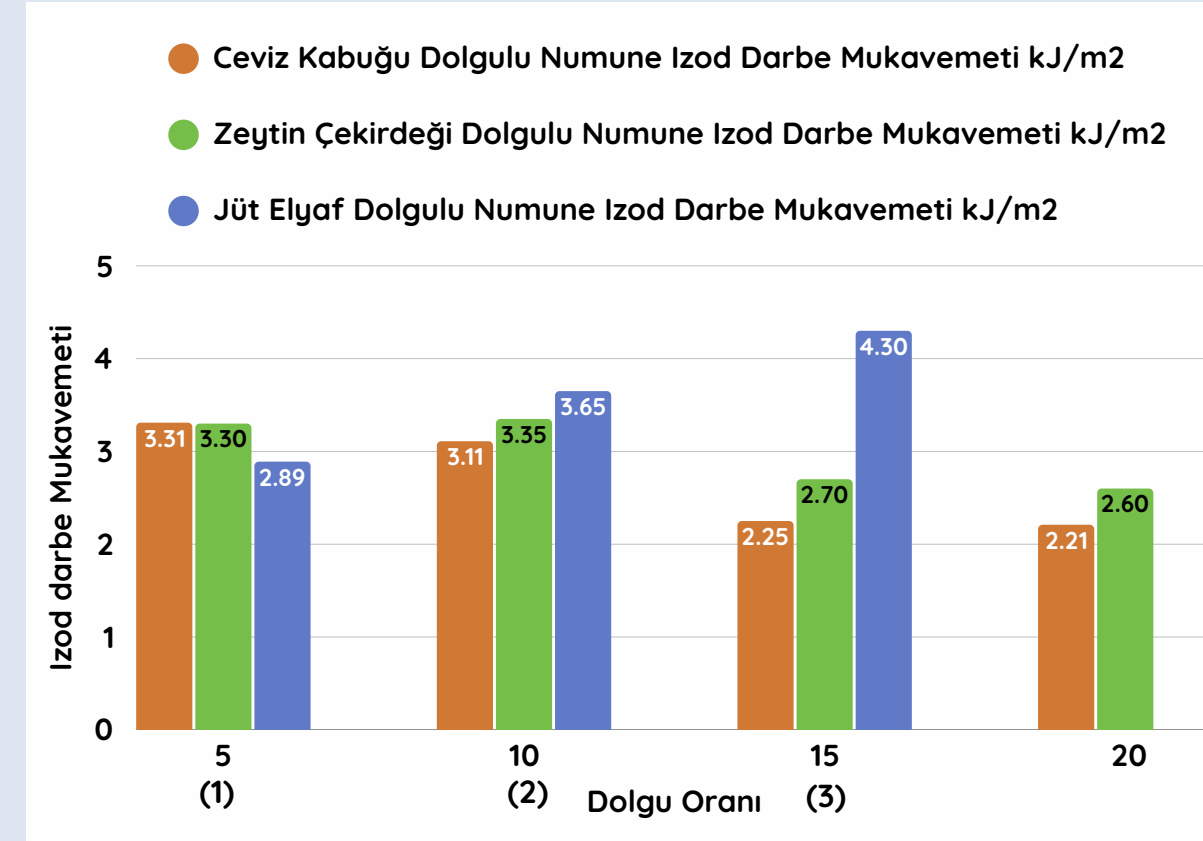
b) Zeytin Çekirdeği



c) Jüt Elyaf

Şekil 6. Kompozit Numuneler

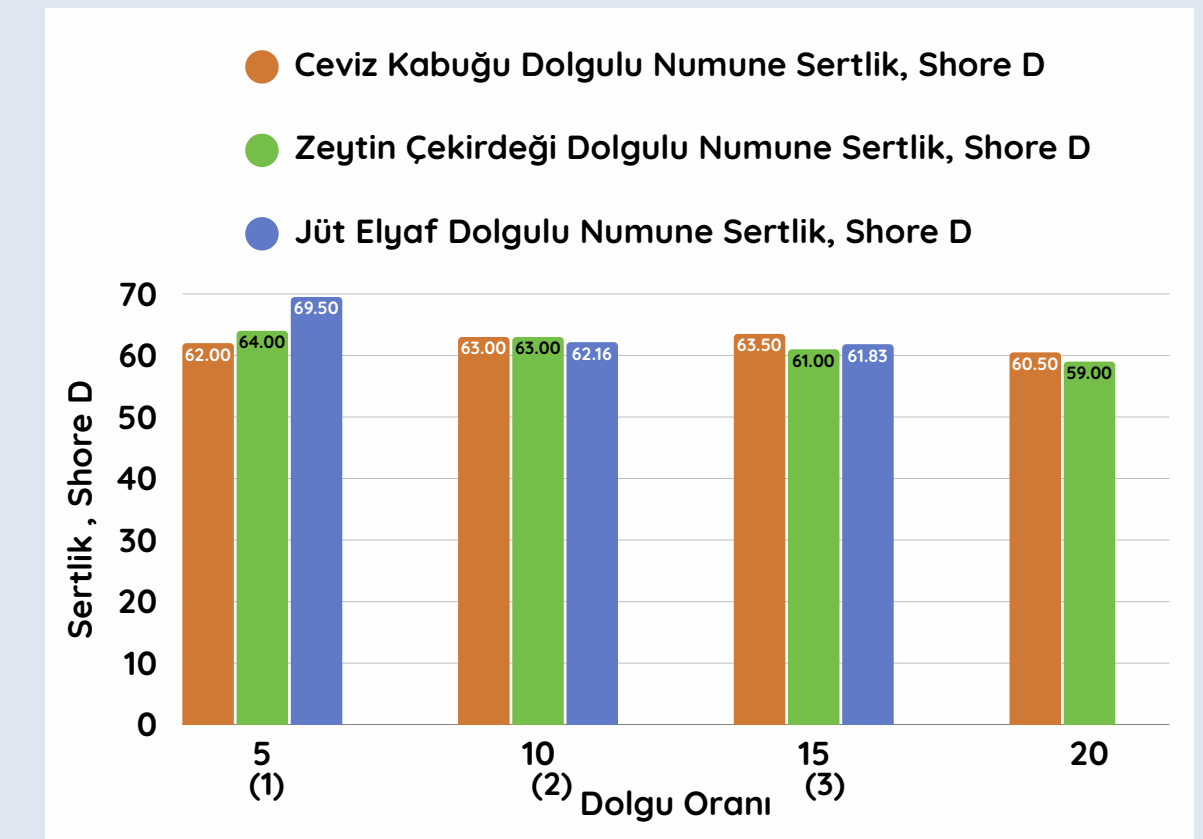
KARAKTERİZASYON



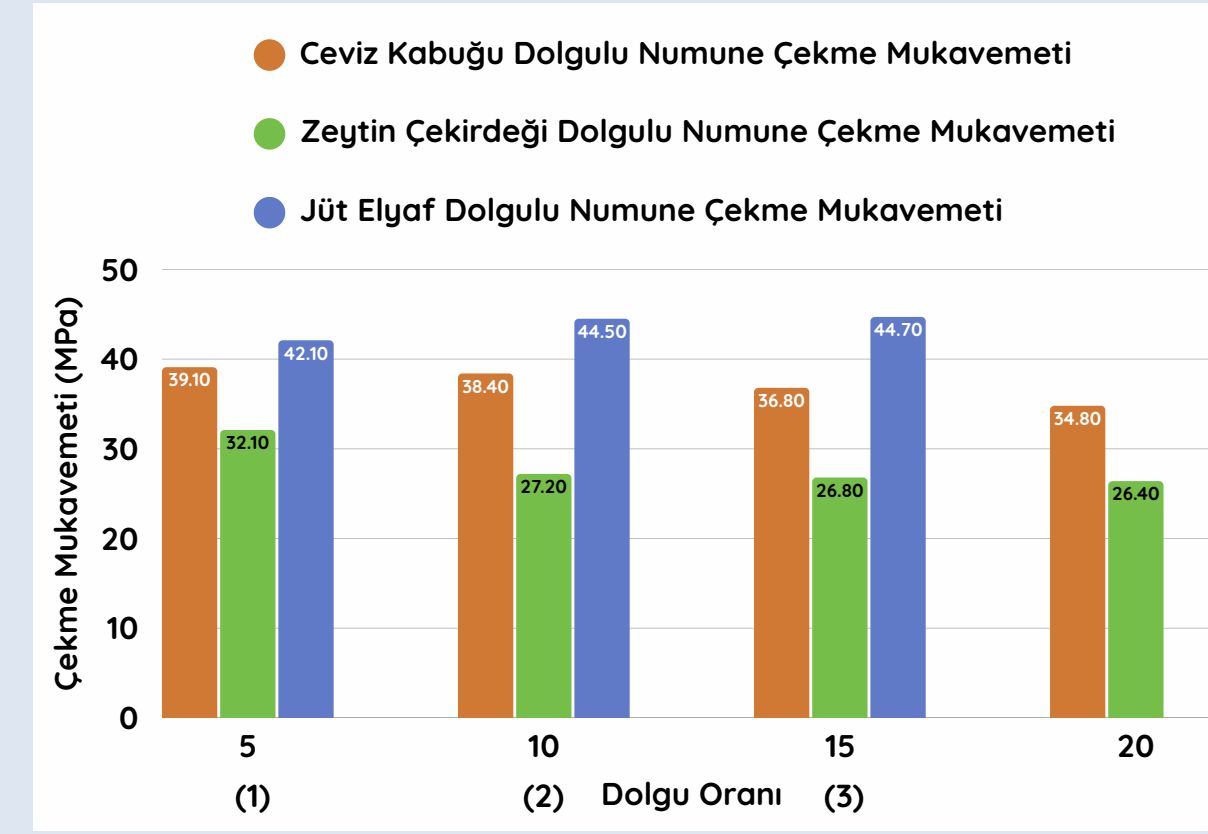
Şekil 7. Numunelerin Izod darbe mukavemeti özellikleri

Ceviz kabuğu ve zeytin çekirdeği dolgulu kompozitlerde dolgu oranı arttıkça darbe mukavemeti azalmış; zeytin çekirdeğinde bu düşüş %10'dan sonra belirginleşmiştir. Jüt elyaf katkısında ise dolgu oranı arttıkça darbe mukavemeti artmıştır.

Ceviz kabuğu dolgulu kompozit için; en büyük sertlik değeri dolgu oranı %15 olduğunda gözlemlenmiştir. Zeytin çekirdeği dolgulu kompozit ve jüt elyaf dolgulu kompozit için; dolgu oranı arttıkça sertlik değerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

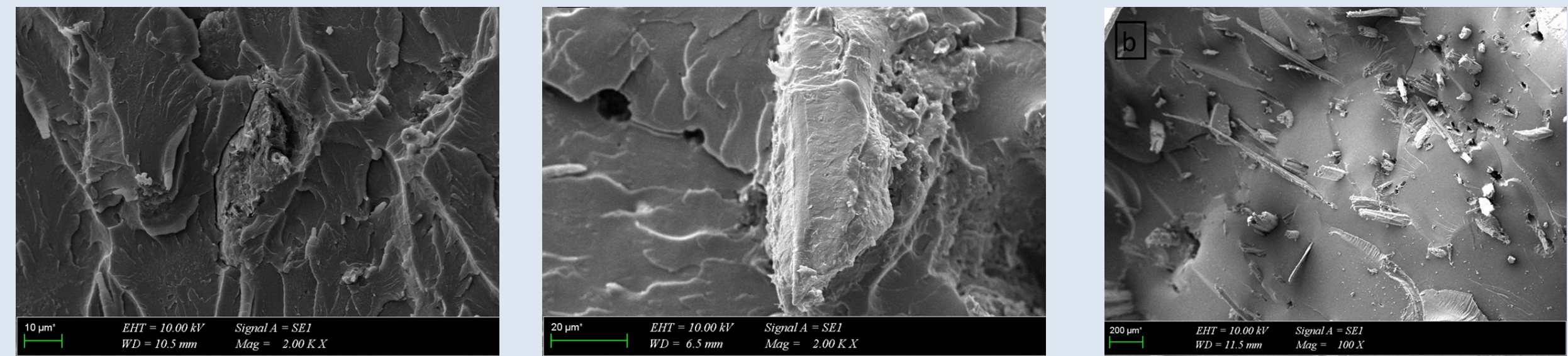


Şekil 8. Numunelerin sertlik özellikleri



Şekil 9. Numunelerin çekme mukavemeti özellikleri

Ceviz kabuğu dolgulu kompozit ve zeytin çekirdeği dolgulu kompozit için; dolgu oranı arttıkça çekme mukavemetlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Jüt elyaf dolgulu kompozit için; dolgu oranı arttıkça çekme mukavemetinin de arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 10.a) %10 ceviz kabuğu dolgulu numunenin kırık yüzey SEM görüntüsü

Şekil 10.b) %10 zeytin çekirdeği dolgulu numunenin kırık yüzey SEM görüntüsü

Şekil 10.c) %1 jüt elyaf dolgulu numunenin kırık yüzey SEM görüntüsü

Resimlerden de anlaşılabileceği üzere, dolgu maddeleri ile matris fazı arasında görece iyi bir yapışma olduğu söylenebilir. Şekil 10.a ve 10.b'de partiküllerin görünen boyutları yaklaşık 70 mikron civarındadır ve çevresinde boşluk olmaması, iyi bir ara yüzey bağına işaret etmektedir. Şekil 10.c'de ise yaklaşık 600 mikronluk daha büyük bir partikül görülmekte olup, parçacığın bir kısmının matris içine gömülü olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, büyük partiküllerin de matris içinde yeterince tutulabildiğini ve yapışmanın genel olarak iyi olduğunu göstermektedir.

TARTIŞMA

Bu çalışmada doğal dolgu ve elyafların, polyester esaslı kompozitlerde kullanımı incelenmiştir. Ceviz kabuğu, zeytin çekirdeği ve jüt elyaf gibi atık malzemelerin kullanımıyla hem malzeme maliyeti azaltılmış hem de çevre dostu çözümler elde edilmiştir. Ceviz kabuğu için %20, jüt elyaf için ise %3 oranında üst kullanım sınırı belirlenmiştir. Mekanik özelliklerde çekme, darbe ve sertlik açısından kısmi iyileşmeler gözlemlenmiştir. Zeytin çekirdeğinin doğal yağı sayesinde kalıp ayırıcılığı ihtiyaç duyulmamış ve renklendirici etkisi de gözlemlenmiştir. Doğal dolgu ve elyafların kullanımı, sürdürülebilir ve ekonomik yeşil kompozit üretimine katkı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Güneş, M., & Kartal, İ. (2024, Mayıs 31-Haziran 2). Investigation of mechanical properties of olive pit filled polyester based composites. International Symposium on Current Developments in Science, Technology and Social Sciences, Hakkâri, Türkiye.
- Uzunyol, C. S., & Kartal, İ. (2024, Mayıs 31-Haziran 2). Investigation of mechanical properties of walnut shell filled polyester based composites. International Symposium on Current Developments in Science, Technology and Social Sciences, Hakkâri, Türkiye.
- Nalbat, N. E., & Kartal, İ. (2024, July 26-28). Investigation of mechanical properties of jute fiber reinforced polyester based composites. 10th International European Congress on Advanced Studies in Basic Sciences, Amsterdam, Netherlands.

1. GİRİŞ

Elektrik ve ulaşım endüstrileri gibi çeşitli endüstriyel alanlarda yüksek elektrik iletkenliği, yüksek ısı iletkenliği ve iyi korozyon direnci sundukları için Al ve Cu ikilisi bu alanda yaygın olarak kullanılan metallerdir.

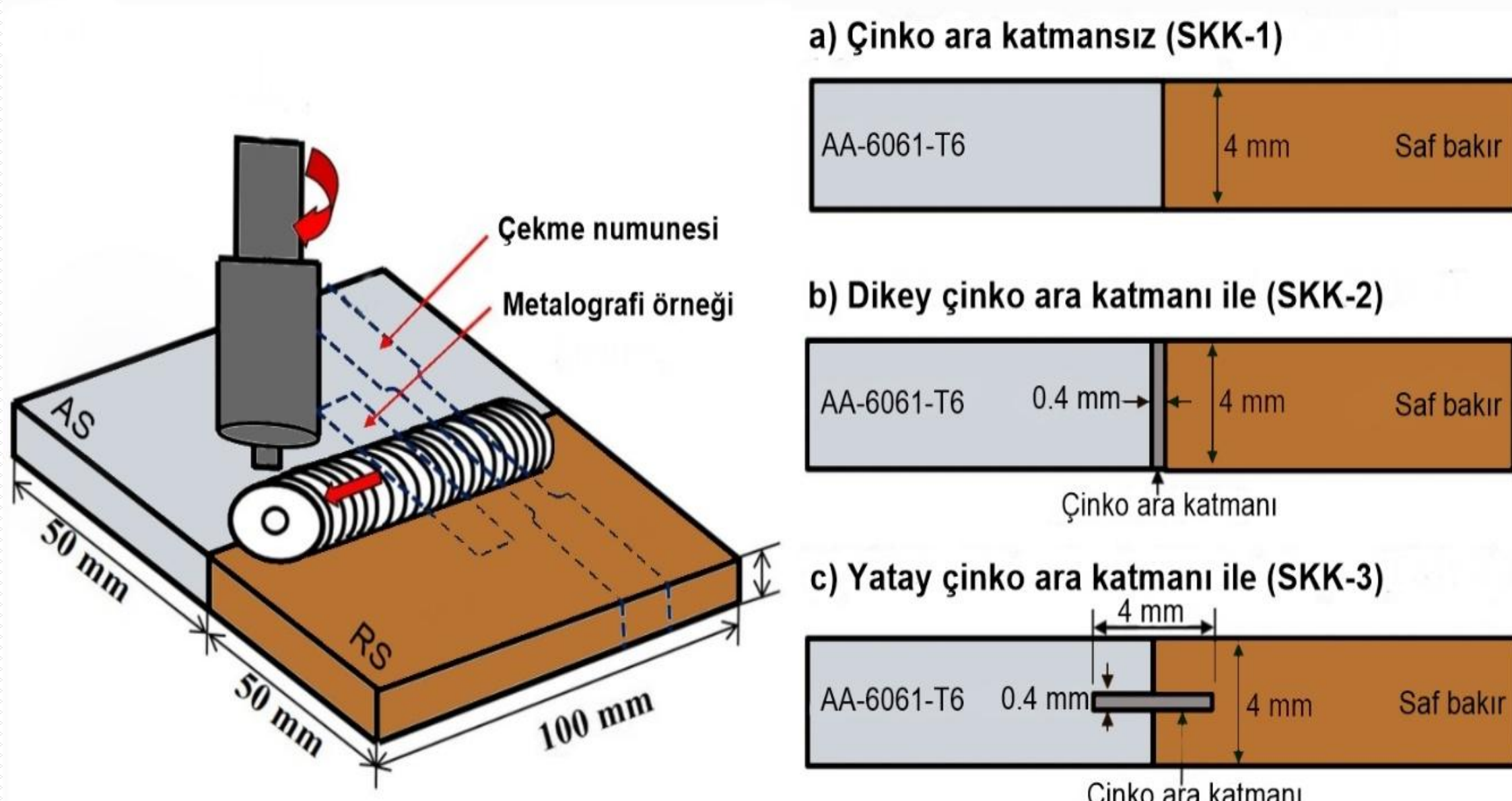
Al ve Cu alaşımları arasındaki füzyon (ergitmeli) kaynağındaki yüksek sıcaklık, çok sayıda kırılmalı Al-Cu intermetalik bileşikler oluşturmaktadır [1]. Ayrıca, bu ergitmeli kaynakların ısı tesiri altındaki bölgesinde (ITAB), gözenekler, katılma çatlaması, buharlaşma nedeniyle kayıplar ve yüksek kalıntı gerilmeleri gibi dezavantajlara sahiptir [2]. Bu metaller arasında mükemmel bir birleştirme işleminin geliştirilmesi, Al ve Cu alaşımlarının özelliklerinin iyi bir kombinasyonunu elde etmek için belirleyici bir gerekliliktir. Bu nedenle, Al ve Cu'nun birleştirilmesi için alternatif bir teknoloji olarak SKK gibi katı hal kaynak yöntemleri ilgi çekici olmuştur [3]. Al-Cu'nun başarılı SKK'sında kırılmalı intermetalik bileşiklerin büyük bir kısmı önlenmesine rağmen, Al_2Cu , Al_4Cu_9 , $AlCu$, Al_2Cu_3 ve Al_3Cu_4 gibi kütsel kırılmalı intermetalik bileşiklerin varlığı göz ardı edilemez. Kaynak dikişindeki gevrek kırılma bu intermetalik bileşiklerden kaynaklanmaktadır [3].

SKK, gözeneklilik ve çatlama gibi geleneksel füzyon (ergitme) kaynağıyla ilgili zorlukların üstesinden gelmek için 1991 yılında İngiltere'de The Welding Institute (TWI) tarafından geliştirilmiştir [4]. Bu kusurlar, sırasıyla gaz sıkışması ve intermetalik bileşiklerin oluşumundan kaynaklanmaktadır [5,6]. SKK gibi katı hal kaynak yöntemlerinde, bu kaynak kusurlarını azaltan veya ortadan kaldıran düşük ısı girdisi elde edilmektedir.

2. MATERYAL & METOT

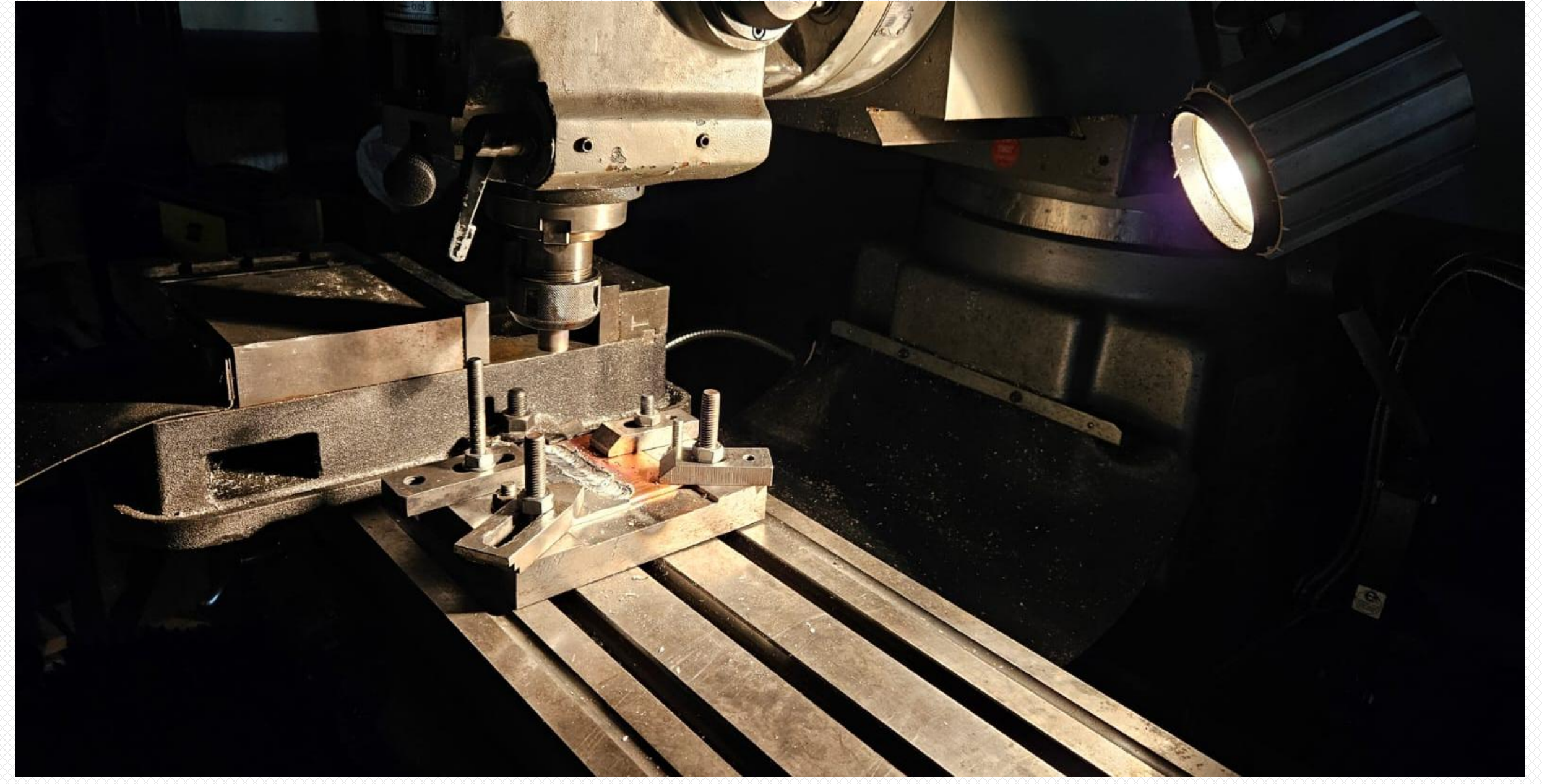
Bu çalışmada, AA 6061-T6 ve saf bakır alaşımlarının SKK'sında yatay biçimde yerleştirilmiş Zn ara katman kullanılmıştır.

100×50×4 mm boyutlarında ticari olarak temin edilebilen AA 6061-T6 ve bakır alaşımlı levhaların alın pozisyonunda kaynak işlemi gerçekleştirilecektir. Bu çalışmada üç farklı SKK işlemi gerçekleştirilecektir. Bunlar Şekil 1'de gösterildiği gibi ara katmansız Al-Cu SKK işlemi (SKK-1). Dikey yerleştirilmiş Zn ara katmanına (SKK-2) sahip Al-Cu alaşımlarının SKK işlemi. Son olarak da 0.4 mm kalınlığa sahip Zn ara katmanının, Şekil 1'de gösterildiği gibi yatay bir biçimde Al ve Cu levhaları arasına sıkıştırıldığı üçüncü SKK işlemidir (SKK-3). Bu durumda (SKK-3), Zn ara katmanı, Şekil 1'de gösterildiği gibi plakaların orta bölgesinde yatay olarak oluğa yerleştirilecektir. 0,4×2×100 mm boyutlarında oluk her bir alaşım levhasının yüzeyinde tel erezyon ile kesilerek hazırlanmıştır.



Şekil 1. SKK şematik diyagramı, a) Zn ara katmanı olmayan SKK işlemi, b) Dikey Zn ara katmanı ile SKK işlemi ve d) Yatay Zn ara katman düzenlemesi ile SKK işlemi.

Kaynak işleminden önce iş parçasının yüzeyi temizlenmiş ve çalışma tablasına sabitlenmiştir. Daha sonra nümerik kontrollü freze makinesi ve kaynak takımı kullanılarak, numunelerin uzunlamasına yönü boyunca bir dizi kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Dönme hızı 1040 rpm, kaynak ilerleme hızı ise 45 mm/dak olarak belirlenmiştir. Kaynak işlemi sırasında, 0,2 mm omuz daldırma derinliği ve 2° takım eğim açısı uygulanmıştır.



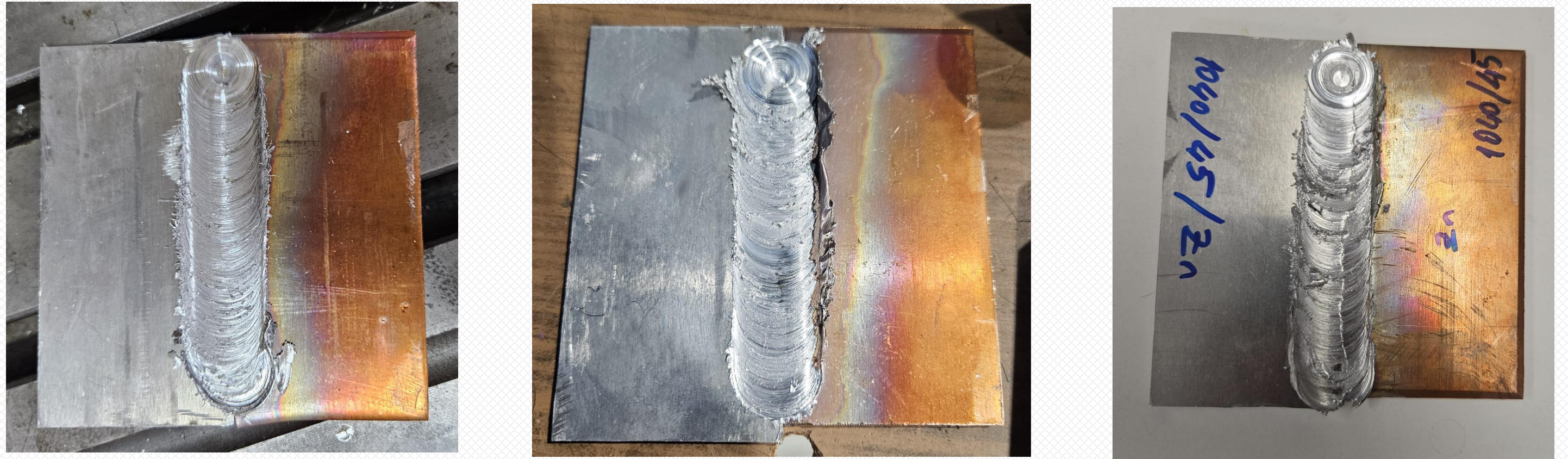
Şekil 2. Dikey frezede Alüminyum ve bakır levhaların SKK işlemi.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

4 mm kalınlığındaki alüminyum ve bakır levhalar, sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yöntemiyle birleştirilmiş ve kaynak yüzeyinde takım omzunun temasıyla yay şeklinde izler oluşmuştur. Omuz kısmı levhaya ne kadar gömülürse, kenarlarda o kadar çapak meydana gelmiş, bu da ek temizlik gerektirmiştir.

Kaynak sonunda, karıştırıcı ucun çıkarıldığı noktada genellikle bir delik oluşur; bu delik TIG kaynağıyla kapatılabilir veya yeni nesil ayarlanabilir takımlarla önlenir.

Ayrıca kaynak sırasında bazı bölgelerde alüminyum ve bakıra özgü renkler korunmuş, bazı bölgelerde ise yüksek sıcaklık nedeniyle renk değişimi gözlemlenmiştir. Kaynak sonunda artan sıcaklık ve plastik deformasyon nedeniyle ilerleme yönünde malzemede hafif öteleme meydana gelmiştir.



Şekil 3. Alüminyum ve bakır SKK kaynağı örnekleri.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

- Alüminyum ve bakır levhaların birleştirildiği bölgelerde ulaşılan maksimum sıcaklık, takımın dönme hızına bağlı olarak değişmiş ve hız arttıkça sıcaklık da artmıştır.
- KM (karıştırma merkezi) bölgesinde ölçülen sıcaklık, ergitme kaynak yöntemlerine göre daha düşük çıkmış, bu da çinko buharlaşması riskini ortadan kaldırarak mekanik ve kimyasal özelliklerin korunmasını sağlamıştır.
- Hatalı parametre seçimi durumlarında boşluk, şerit çapak ve eksik birleşme gibi kaynak kusurları oluşmuştur.

5. KAYNAKÇA

- [1] YAN, Shenghong; SHI, Yan. Influence of Ni interlayer on microstructure and mechanical properties of laser welded joint of Al/Cu bimetal. Journal of Manufacturing Processes, 2020, 59: 343-354.
- [2] CELİK, Sare; ÇAKIR, Recep. Effect of friction stir welding parameters on the mechanical and microstructure properties of the Al-Cu butt joint. Metals, 2016, 6,6: 133.
- [3] XUE, P., et al. Enhanced mechanical properties of friction stir welded dissimilar Al-Cu joint by intermetallic compounds. Materials science and engineering: A, 2010, 527,21-22: 5723-5727.
- [4] Thomas, W.M.; Nicholas, E.D.; Needham, J.C.; Murch, M.G.; TempleSmith, P.; Dawes, C.J. International Patent Application No. PCT/GB92/02203 and GB Patent Application No. 9125978.8, 6 December 1991.
- [5] BOUCHERIT, A.; AVETTAND-FENOËL, M.-N.; TAILLARD, Roland. Effect of a Zn interlayer on dissimilar FSSW of Al and Cu. Materials & Design, 2017, 124: 87-99.
- [6] DEWANGAN, Satya Kumar, et al. Effect of vertical and horizontal zinc interlayer on material flow, microstructure, and mechanical properties of dissimilar FSW of Al 7075 and Mg AZ31 alloys. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2023, 126,9: 4453-4474.

ATIK KAHVE TELVESİ DOLGULU VİNİLESTER ESASLI KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Dudunur ÖZDAMAR, İlyas KARTAL

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Özet

Bu çalışmada vinilester matrisli kompozit üretiminde atık kahve telvesinin kullanılabilirliği incelenmiştir. Kompozit karışımlarına farklı oranlarda kahve telvesi ilave edilmiştir. Standartlara göre hazırlanan numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Test sonuçları oranlara göre ayrıca değerlendirilmiş ve grafik olarak verilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda karışımlarda dolgu olarak kullanılacak atık kahve telvesinin optimum oranı tespit edilmiştir.

Giriş

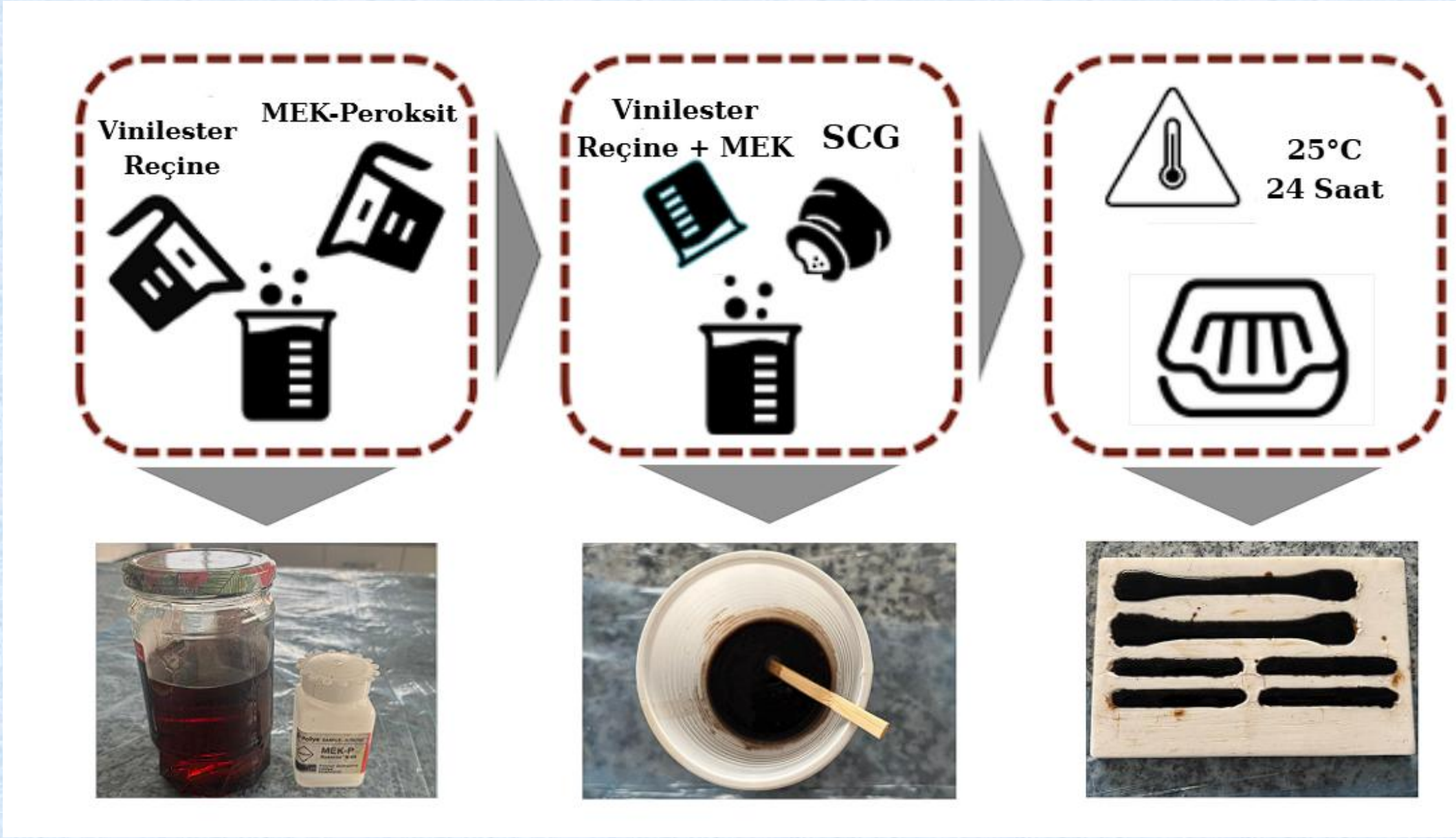
Son yıllarda kahve tüketiminde önemli bir artış yaşanmakta, bu da ciddi miktarda kahve telvesi atığı oluşmasına yol açmaktadır [1]. Türkiye’de kişi başına yıllık kahve tüketimi 2011’de 350 g iken, 2021’de 1,1 kg’a ulaşmıştır [2]. Uluslararası Kahve Örgütü (ICO) verilerine göre, 2024 yılı itibarıyla dünya genelinde yılda yaklaşık 15 milyon ton kullanılmış kahve telvesi oluşmaktadır [3]. Bu organik atık çevre kirliliğine sebep olmakta ve geri dönüştürülmesi gereken önemli bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Daha önceki çalışmalarda, kahve telvesinin polipropilen ve epoksi gibi farklı matrislerde dolgu maddesi olarak kullanımı ve mekanik özellikler üzerindeki olumlu etkileri detaylı şekilde incelenmiş ve önemli iyileşmeler raporlanmıştır [4], [5]. Bu çalışmada ise kahve telvesinin vinilester esaslı kompozitlerde dolgu maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

DeneySEL Çalışma

Deneylerde atık kahve telvesinin numuneler üzerindeki değişimini incelemek adına içerisinde atık kahve telvesi kullanılmayan referans numune için saf vinilester reçinesi üretilmiştir. Diğer numuneler için atık kahve telvesi oranları ağırlıkça %10, %20 ve %30 ve % 40 atık kahve telvesi eklenerek hazırlanmış ve dolgu doyum oranı %40 olarak belirlenmiştir. Böylece referans numune de değerlendirildiğinde 5 adet numune üzerinden deneyler gerçekleştirilmiştir.

Atık Kahve Telvesi Oranı, % ağırlıkça	Vinilester Oranı	Sertleştirici Oranı
%0	100	1
%10	100	1
%20	100	1
%30	100	1
%40	100	1

Şekil 1. Kompozit numunelerin içeriği

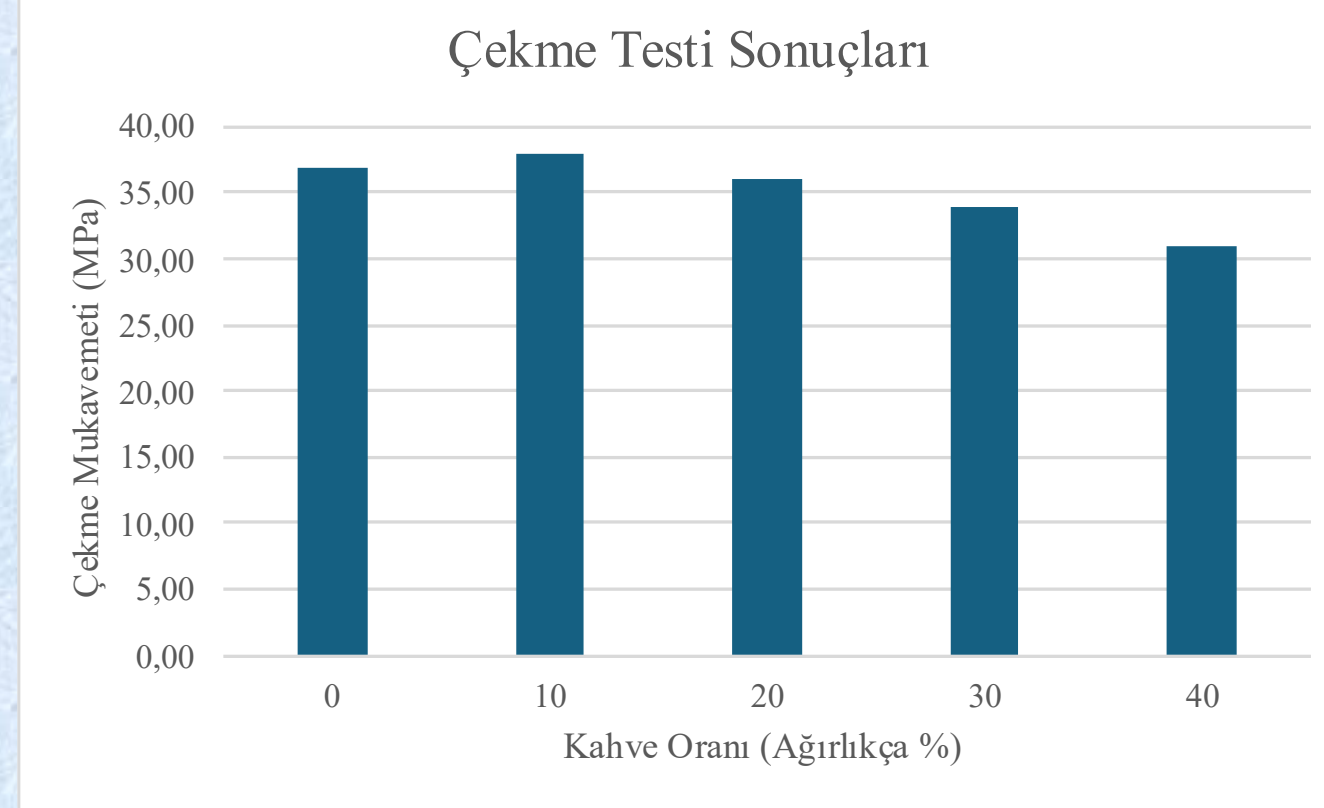


Şekil 2. Kompozit numunelerin prosesi

Hazırlanan test numuneleri sertlik, çekme, eğilme ve izod darbe testlerine tabii tutulmuştur.

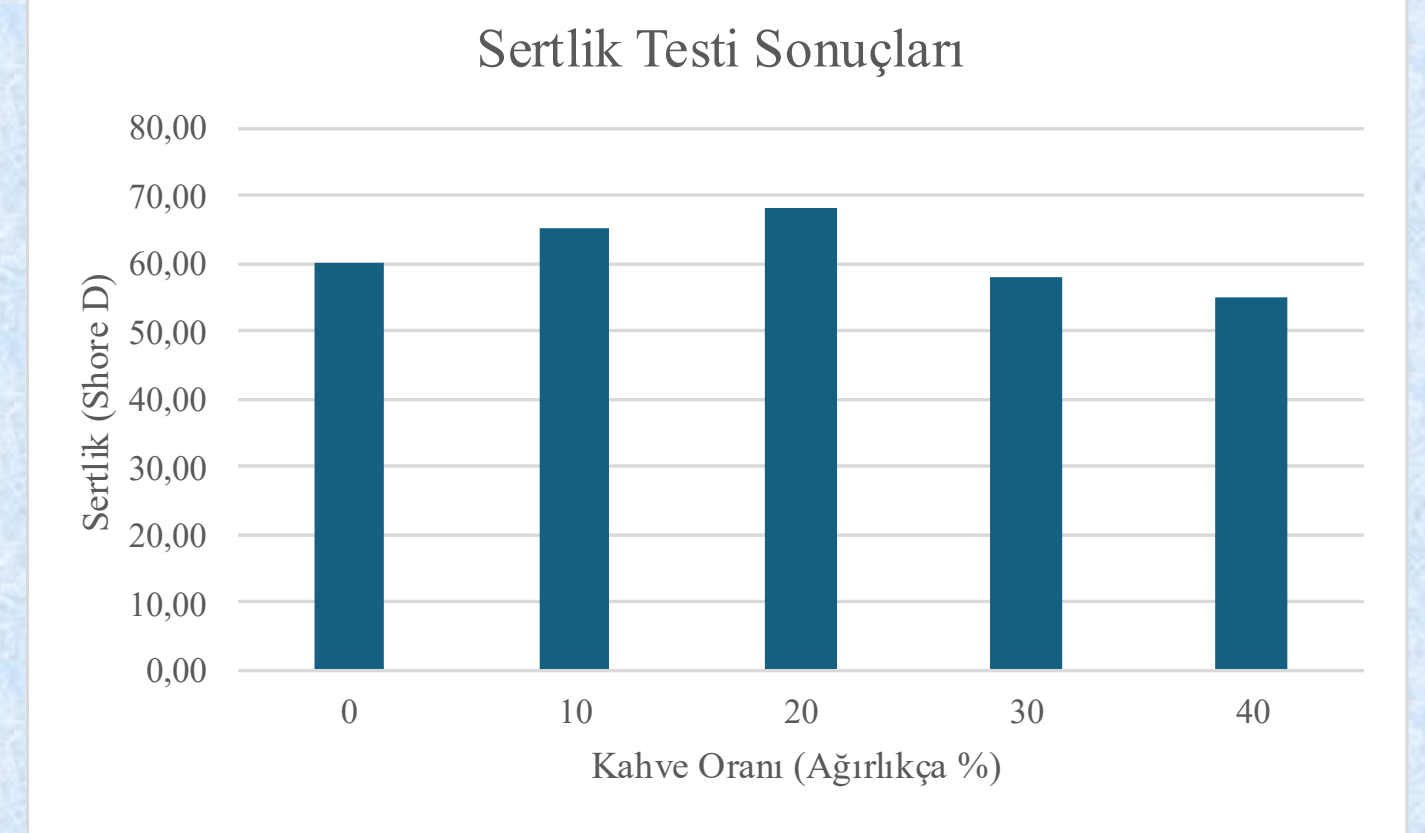
Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Numunelere yapılan testler sonrası sonuçlar kıyaslamalı grafikler halinde incelenmiştir. Atık kahve telvesi oranlarının etkileri tespit edilmiştir.

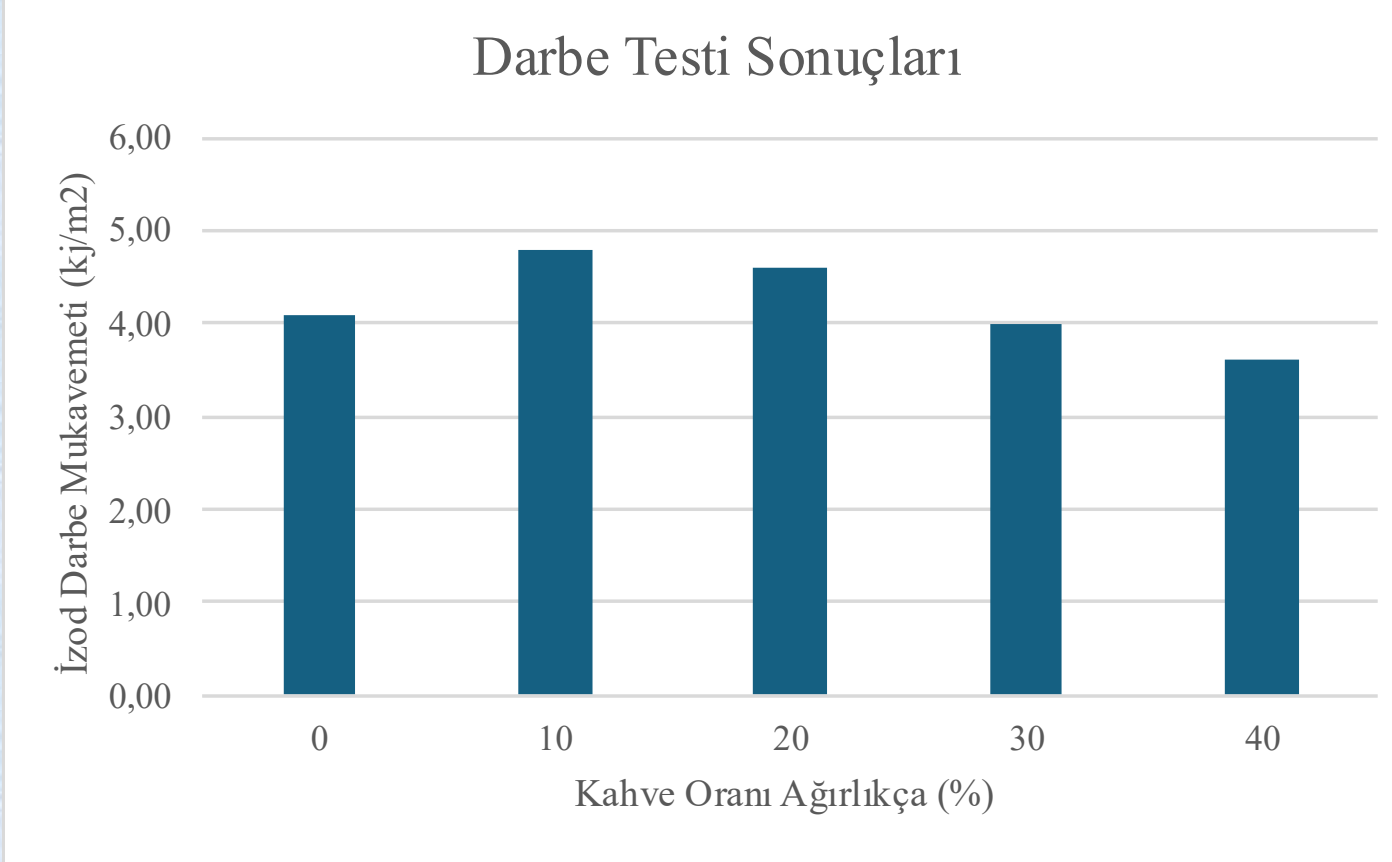


Şekil 3. Atık kahve dolgusu oranına göre çekme testi sonuçları

Sertlik değerleri incelendiğinde, katkı maddesi ilavesinin düşük oranlarda pozitif bir etki yarattığı, ancak katkı miktarının artmasıyla birlikte bu etkinin azaldığı tespit edilmiştir. %10 katkı oranında en yüksek sertlik değeri elde edilmiş ve en uygun oranının olduğu belirlenmiştir.

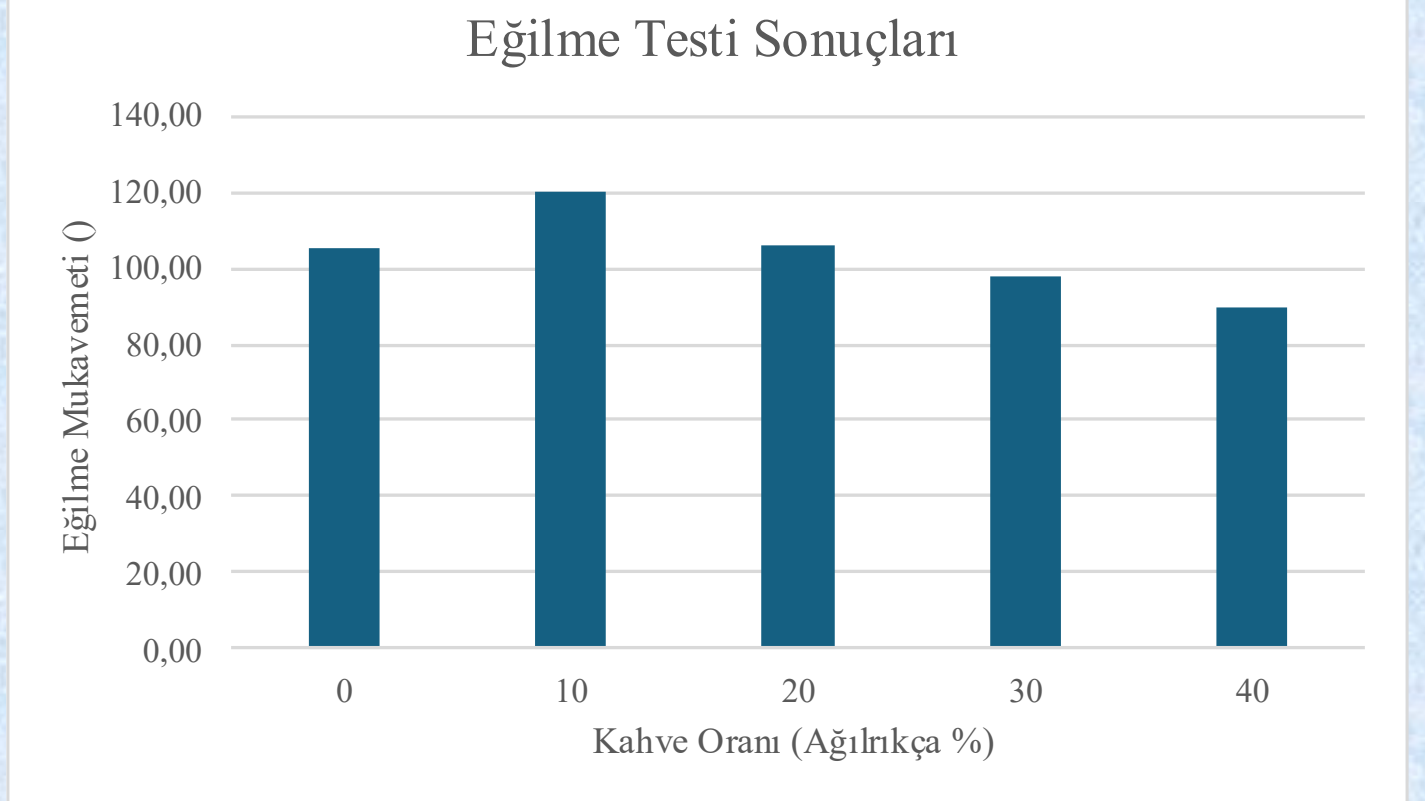


Şekil 4. Atık kahve dolgusu oranına göre sertlik testi sonuçları



Şekil 5. Atık kahve dolgusu oranına göre darbe testi sonuçları

Eğilme testi sonuçları incelendiğinde, atık kahve telvesi ilavesinin belirli bir orana kadar eğilme mukavemetini artırdığı, ancak bu oranın üzerinde mekanik dayanımda azalma görüldüğü tespit edilmiştir. %10 katkı oranında en yüksek eğilme mukavemeti elde edilmiştir. Daha yüksek oranlarda ise bu değerler düşüş göstermiştir.



Şekil 6. Atık kahve dolgusu oranına göre eğilme testi sonuçları

Sonuç

DeneySEL çalışmalar, atık kahve telvesinin vinilester matrisli kompozitlerde %10 oranında kullanımının üretim maliyetlerinde önemli bir azalma sağladığını ve mekanik performansta iyileşmeler oluşturduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, atık kahvenin katma değerli bir hammadde olarak değerlendirilmesinin hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından potansiyel taşıdığını göstermektedir.

Kaynaklar

- [1] S. I. Mussatto and J. A. Teixeira, "Coffee industry residues as a valuable source of bioactive compounds," *Food Bioprocess Technology*, vol. 3, no. 5, pp. 765–772, Oct. 2010.
- [2] Helgi Library, "Coffee Consumption Per Capita in Turkey," 2021. <https://www.helgilibrary.com/indicators/coffee-consumption-per-capita/turkey>
- [3] International Coffee Organization (ICO), "Global coffee waste and circular economy opportunities," 2020. <https://www.ico.org/documents/cy2023-24/icc-128-12e-global-coffee-waste.pdf>
- [4] T. Boğa and E. Dertli, "Kullanılmış kahve telvesinin polipropilen matrisli biyokompozitlerde mekanik özellikler üzerine etkisi," *European Journal of Science and Technology*, no. 31, pp. 114–120, Dec. 2021.
- [5] Ş. M. Can, "Epoksi matrisli kompozitlerde kullanılmış kahve telvesi dolgusunun mekanik ve termal özelliklere etkisi," M.S. thesis, Bursa Teknik Univ., Bursa, Turkey, 2023.



KAHVE ATIĞI VE POLİLAKTİK ASİT (PLA) BİRLEŞİMİYLE OLUŞAN BİYOKOMPOZİTİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

EKİN GELHASAN, SARE NUR NERSE, SERRA KURAL

Prof. Dr. Münir Taşdemir

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye



AMAÇ

Bu projede, yenilenebilir bir kaynak olan kahve atığı kullanılarak PLA tabanlı çevre dostu biyokompozitler üretilmiştir. Hem maliyetleri düşüren hem de plastik atıkların çevreye olan etkisini azaltan bir çözüm geliştirilmiştir. Elde edilen malzemenin, ambalajdan otomotive kadar geniş bir yelpazede sürdürülebilir alternatif olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

GİRİŞ

Polimerler, moleküler yapılarındaki tekrar eden birimlerin zincir oluşturmasıyla meydana gelen, hafif, dayanıklı ve şekillendirilebilir yapıları sayesinde günümüzde birçok endüstride yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Düşük maliyet, kimyasal direnç ve işleme kolaylığı gibi avantajları ile geleneksel malzemelere güçlü bir alternatif sunmaktadırlar. Ancak çoğu geleneksel polimerin fosil yakıt bazlı olması ve doğada yüzyıllarca çözünmeden kalması, ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle, biyobozunur yapıya sahip çevre dostu polimerlerin geliştirilmesi ve doğal katkı maddeleriyle birleştirilerek sürdürülebilir kompozit malzemeler üretilmesi önem kazanmaktadır.

Biyoplastikler arasında yer alan Polilaktik Asit (PLA), yenilenebilir kaynaklardan (örneğin mısır nişastası, şeker kamışı) elde edilen, biyobozunur bir alifatik polimerdir. PLA, yüksek mekanik özellikleri, iyi işlenebilirliği ve kompostlanabilir doğasıyla özellikle ambalaj, tıp ve 3D baskı gibi çeşitli alanlarda yaygın kullanım bulmaktadır. Ancak, saf PLA'nın kırılgan yapısı ve düşük darbe direnci gibi bazı sınırlamaları bulunmaktadır.

Bu çalışma, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen yenilikçi bir yaklaşım sunmak amacıyla, espresso kahve atığı gibi organik içerikli bir atığın Polilaktik Asit (PLA) ile birleştirilmesiyle oluşturulan biyokompozitin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemektedir. Dünya genelinde kahve tüketiminin yaygınlaşmasıyla birlikte yılda milyonlarca ton kahve atığı oluşmakta ve bu atıkların çoğu doğrudan çöp olarak atılmaktadır. Oysa kahve atığı; selüloz, lignin, protein ve fenolik bileşikler açısından zengin içeriğe sahip olup, bu özellikleri sayesinde polimer matrislerde dolgu malzemesi olarak değerlendirilebilecek önemli bir biyokütle kaynağıdır. Kolay erişilebilirliği, düşük maliyeti ve organik doğası sayesinde kahve atığı, hem atık azaltımı hem de malzeme performansının iyileştirilmesi açısından umut vadeden bir katkı maddesidir.

Bu proje kapsamında, kahve atığı farklı oranlarda (%0, %5, %10 ve %15) PLA matrisi ile karıştırılmış, ekstrüzyon yöntemi ile homojenleştirilmiş ve ardından enjeksiyon kalıplama ile test numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen numuneler üzerinde mekanik, fiziksel, termal ve morfolojik testler uygulanmıştır.

Bu çalışma, kahve atığının hem bir atık yönetimi çözümü olarak yeniden değerlendirilmesi hem de PLA gibi biyopolimerlerin işlevselliğini artıracak bir katkı maddesi olarak kullanımının mümkün olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle, geri dönüştürülebilir doğal atıkların yüksek katma değerli mühendislik malzemelerine dönüştürülmesi adına önemli bir adımdır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Gruplar	PLA	Kahve Atığı
1	100	-
2	95	5
3	90	10
4	85	15

Şekil.1 PLA-Kahve Atığı Formülasyonu

Çalışmada, farklı oranlarda kahve atığı içeren dört kompozit formülasyonu hazırlanmıştır. Referans grup %100 PLA içerirken, diğer gruplarda kahve atığı içeriği %5, %10 ve %15 olacak şekilde artırılmıştır. Bu tasarım, kahve atığı oranının kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisini sistematik olarak değerlendirmeye olanak sağlamıştır.

Kompozit numuneler, PLA ve kahve atığı belirli oranlarda karıştırılarak ekstrüzyon yöntemiyle granül hale getirilmiş, ardından enjeksiyon kalıplama ile şekillendirilmiştir. Görselde, her biri farklı testlere yönelik olarak hazırlanmış çekme, eğilme, çentik darbe, MFI (eriyik akış indeksi) ve nem içeriği test numuneleri yer almaktadır. Bu testlerle biyokompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir.

Mekanik testler:

- Çekme testi (ASTM D638)
- Darbe (Izod) testi (ASTM D256, çentikli)
- Sertlik testi

Fiziksel testler:

- Yoğunluk testi
- Erime Akış İndeksi (MFI)
- Nem miktarı tayini
- Elek analizi

Termal özellik testleri:

- Isıl Çarpılma Sıcaklığı (HDT)
- Vicat Yumuşama Sıcaklığı

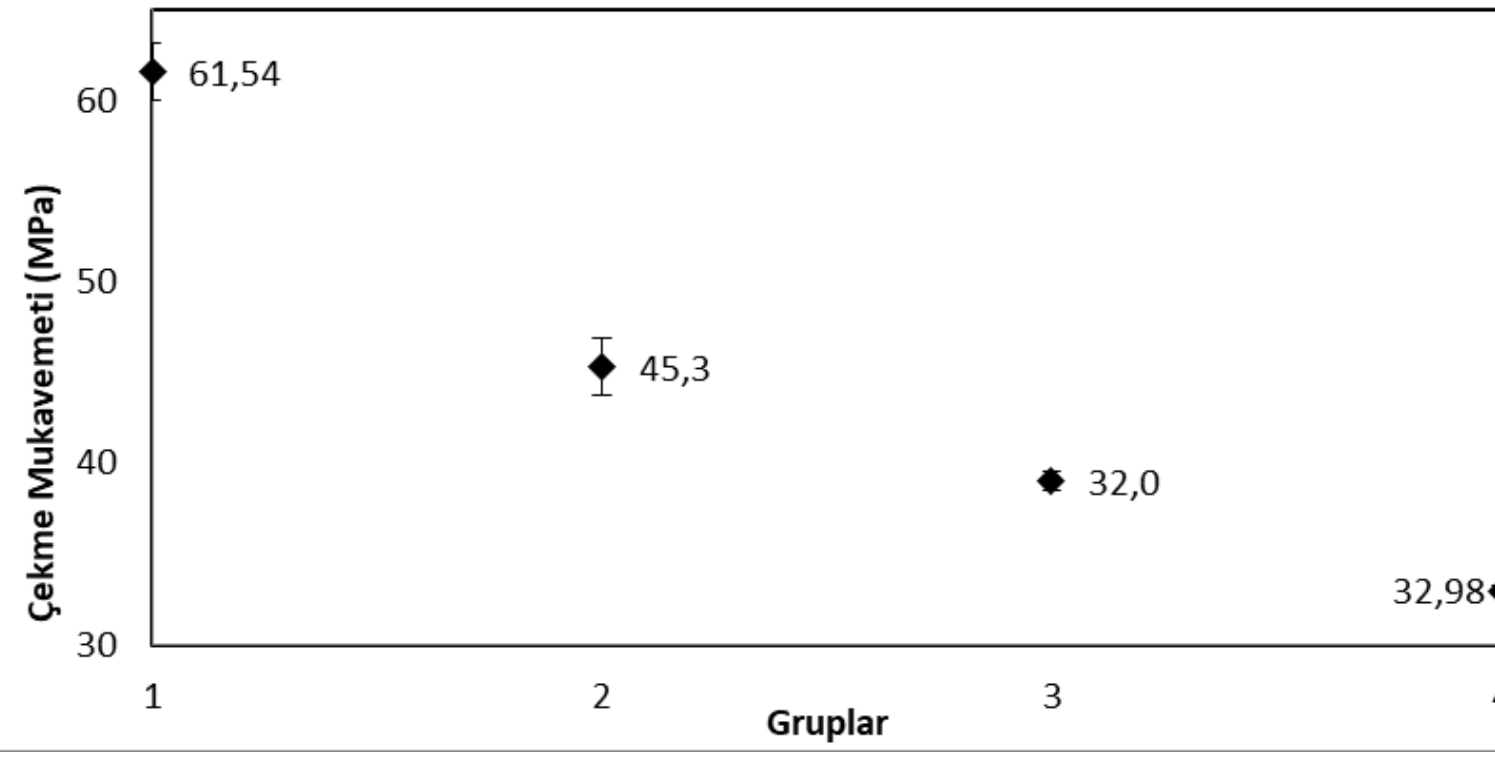
Morfolojik analiz:

- SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)

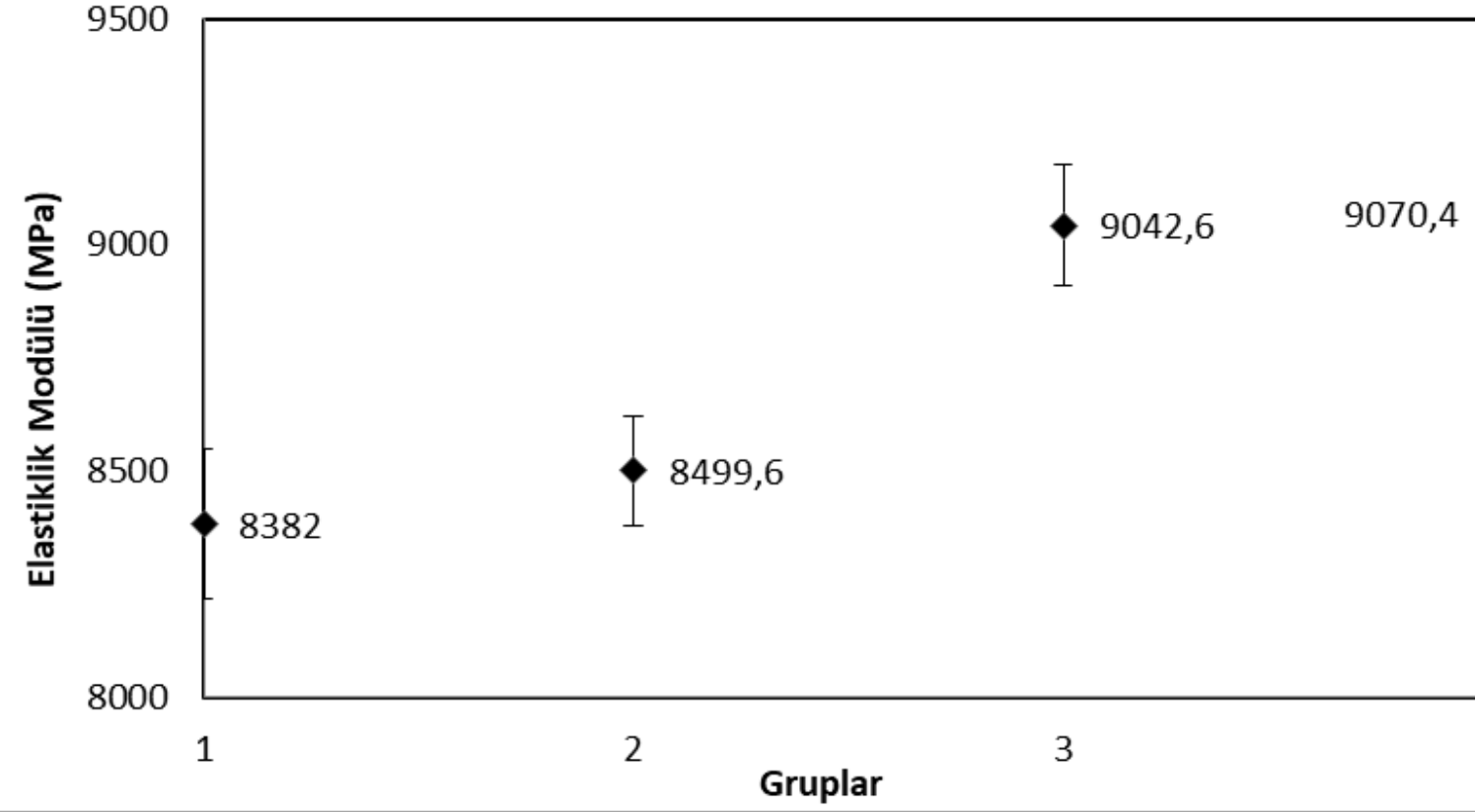
Yüksek organik içerikli kahve atığı, biyobozunur bir matris olan PLA ile birleştirilerek fonksiyonel biyokompozitler elde edilmiştir. Bu yaklaşım, atık biyokütlenin katma değerli ürünlere dönüştürülmesini sağlarken, çevresel etkileri azaltan, geri dönüştürülebilir ve sürdürülebilir malzeme çözümleri sunmaktadır.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

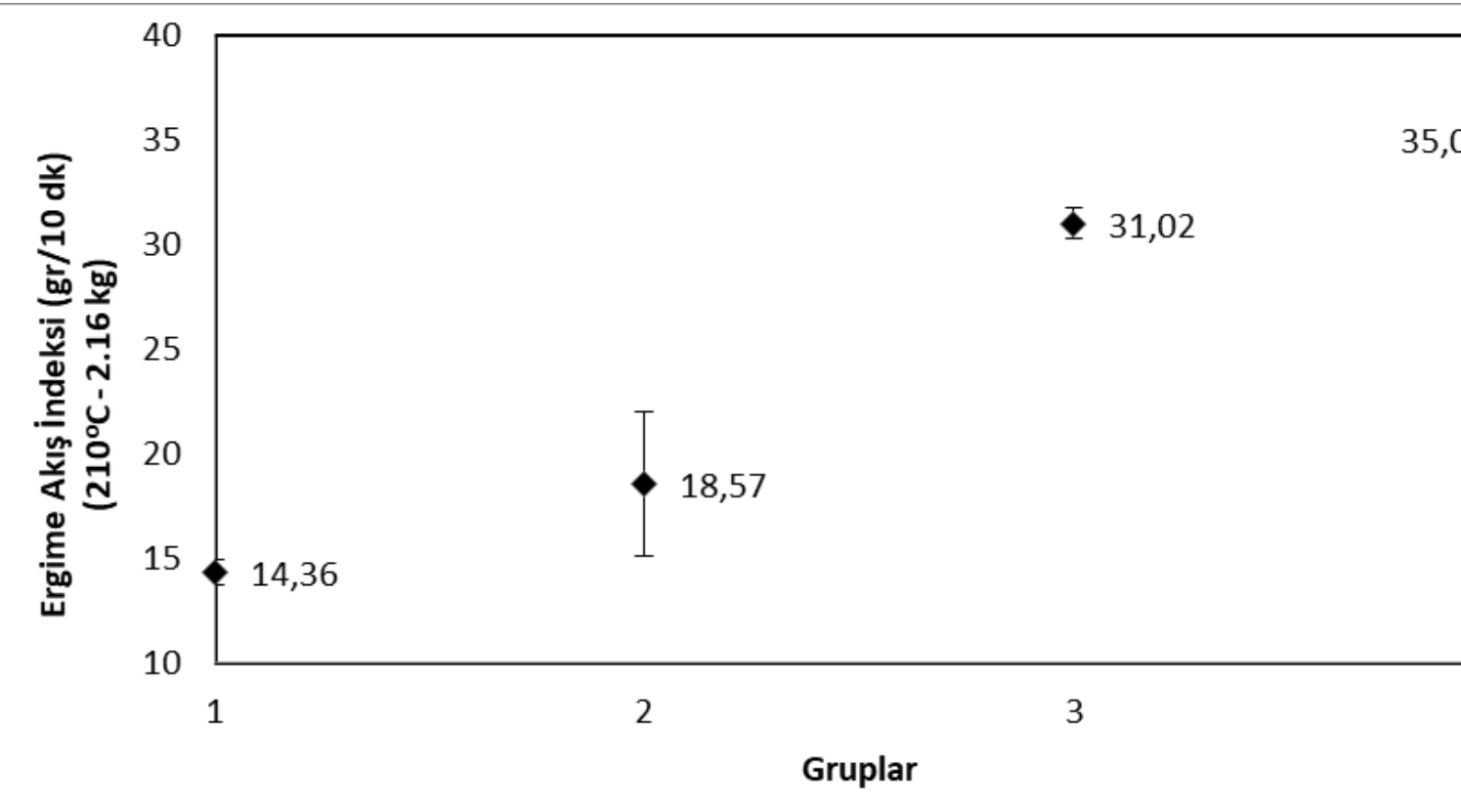
Numuneler yapılan testler sonucu grafikler üzerinden incelenmiştir. PLA miktarının değişimine göre malzeme davranışları aşağıdaki gibidir:



Şekil.4 Çekme mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil.5 Elastiklik modülü değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil.6 Erime akış indeksi değerlerinin grafiksel gösterimi

Elde edilen veriler sonucunda en düşük çekme mukavemet değeri %15 kahve atığı ilave edilmiş PLA'ya aittir. En yüksek çekme mukavemet değeri ise %100 PLA grubuna aittir. .Sonuç olarak grafik ve tablolara bakıldığında kahve atığı oranı arttıkça çekme mukavemeti değerlerinin azalış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Elde edilen veriler sonucunda en düşük elastiklik modülü değeri %100 PLA'ya aittir. En yüksek elastiklik modülü değeri ise %15 kahve atığı eklenmiş olan gruba aittir. Sonuç olarak Polilaktik asit içerisine eklenen kahve atığı miktarı arttıkça elastiklik modülü değerini arttırdığı gözlemlenmiştir.

Gerçekleştirilen ölçümlere göre kahve atığı ilave oranının artması ile erime akış indeksi değerlerinin arttığı Şekil 6'da açıkça görülmektedir. En düşük erime akış indeksi değeri saf PLA'ya ait olan 1. Grupta ölçülmüştür. En yüksek erime akış indeksi değeri ise %15 kahve atığı ilaveli gruba aittir. Sonuç olarak kahve atığı ilavesi karışımın erime akış indeksi değerini arttırmıştır.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, PLA (Ingeo™ Biopolymer 3052D) ve kahve atığı kullanılarak, uyumlaştırıcı katkı içermeyen çevre dostu biyokompozitler üretilmiş ve kapsamlı mekanik, fiziksel ve termal testler uygulanmıştır. Artan kahve atığı oranı çekme, eğilme ve darbe dayanımını azaltırken, rijitlikte artış sağlamıştır. Fiziksel ve termal sonuçlar, yoğunlukta azalma ve MFI, HDT, Vicat sıcaklığı ile nem oranında artış göstermiştir. SEM analizleri, kahve atığının matris içinde homojen dağıldığını ortaya koymuştur. Bu biyokompozitler, estetik ve düşük yapısal yük gerektiren kısa ömürlü uygulamalarda sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır.



Şekil.2 Test Numuneleri



Şekil.3 Sürdürülebilir Döngü

Bakır Elementli Matrisin İçerisine Hidroksiapatit Mineralinin İlave Edilerek Malzemenin Çeşitli Etkilerinin İncelenmesi

Erdem Karamustafa, Süleyman Serdar Pazarlıoğlu

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye
erdemkaramustafa@marun.edu.tr

Amaç: Yapılan çalışmada bakır (Cu) matrisli kompozit karışımlarına hidroksiapatit (HA) mineralinin ilave edilerek, farklı HA oranlarının kompozit malzemenin yapısal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma sonucunda, biyouyumlu ve seramik esaslı bir malzeme olan hidroksiapatitin metal matris içine katılmasıyla, özellikle biyomedikal uygulamalar için uygun, geliştirilmiş özelliklere sahip yeni nesil kompozitlerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Aynı zamanda HA'nın katkılanmasıyla malzemenin sertliği, mukavemetini ve korozyon direncini artırılması, böylece fonksiyonel özelliklerinin iyileştirilmesi ve katma değerli bir ürün geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Özet

Bu çalışmada bakır (Cu) matrisi içerisine eklenen hidroksiapatitin (HA) kullanılabilirliği incelenmiştir. Bakır (Cu) matrisi içerisine ağırlıkça farklı oranlarda hidroksiapatit (HA) ilave edilmiştir ve hazırlanan numuneler saf bakır numunesiyle karşılaştırılmıştır. Hazırlanan numunelerin mekanik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Test sonuçları yüzde ağırlıkça HA oranlarına göre ayrıca değerlendirilmiş ve grafik olarak verilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda kompozit malzeme için uygun olan ağırlıkça HA oranı saptanmıştır.

Giriş

Metalik malzemeler, mühendislik uygulamalarında yaygın kullanıma sahip olmalarına rağmen zaman içerisinde maruz kaldıkları aşınma, korozyon ve termal etkiler nedeniyle performanslarını kaybedebilirler. Bu nedenle malzemelerin kullanım ömürlerini uzatmak ve fonksiyonel özelliklerini geliştirmek amacıyla çeşitli yöntemlerle kompozit üretimi ve yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler arasında, metal matrisli kompozitlerin geliştirilmesi, mekanik ve yapısal özelliklerin iyileştirilmesi için etkili bir çözüm olarak ön plana çıkmaktadır.

Son yıllarda biyomedikal uygulamalarda kullanım potansiyeli yüksek olan bakır (Cu) bazlı kompozitler, üstün elektrik ve ısı iletkenliği, iyi şekillendirilebilirlik ve yüksek korozyon direnci gibi avantajları nedeniyle yoğun ilgi görmektedir. Bu bağlamda, seramik esaslı biyouyumlu bir malzeme olan hidroksiapatit (HA), bakır matrisine katkılanarak yeni nesil metal-seramik hibrit kompozitlerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. HA'nın bakır matrisi içerisine eklenmesi ile numuneler üzerinde yapılan DTS testleri, SEM analizi, optik mikroskop, sertlik testleri ile ideal Cu-HA ağırlıkça oranını vermektedir.

DeneySEL Çalışma

Deneylerde bakır-hidroksiapatit kompozitinin farklı yüzde ağırlıklarda karışmasını incelemek adına saf bakır referans numunesi üretilmiştir. Matrisin içerisine ağırlıkça %0,5, %1, %2,5, %5 ve %10 hidroksiapatit (HA) ilave edilerek üç boyutlu sallayıcı karıştırıcı yardımıyla tozlar hazırlandı. Hazırlanan tozlar hidrolik pres ile sıkıştırıldı. Sıkıştırılmış tozlardan farklı oranlardaki kompozitler için 6'şar adet numune hazırlandı. Bu hazırlanan numuneler çeşitli testlere sokuldu.

	Ca (%)	O (%)	P (%)	H (%)
HA	39,68	41,35	18,50	0.19

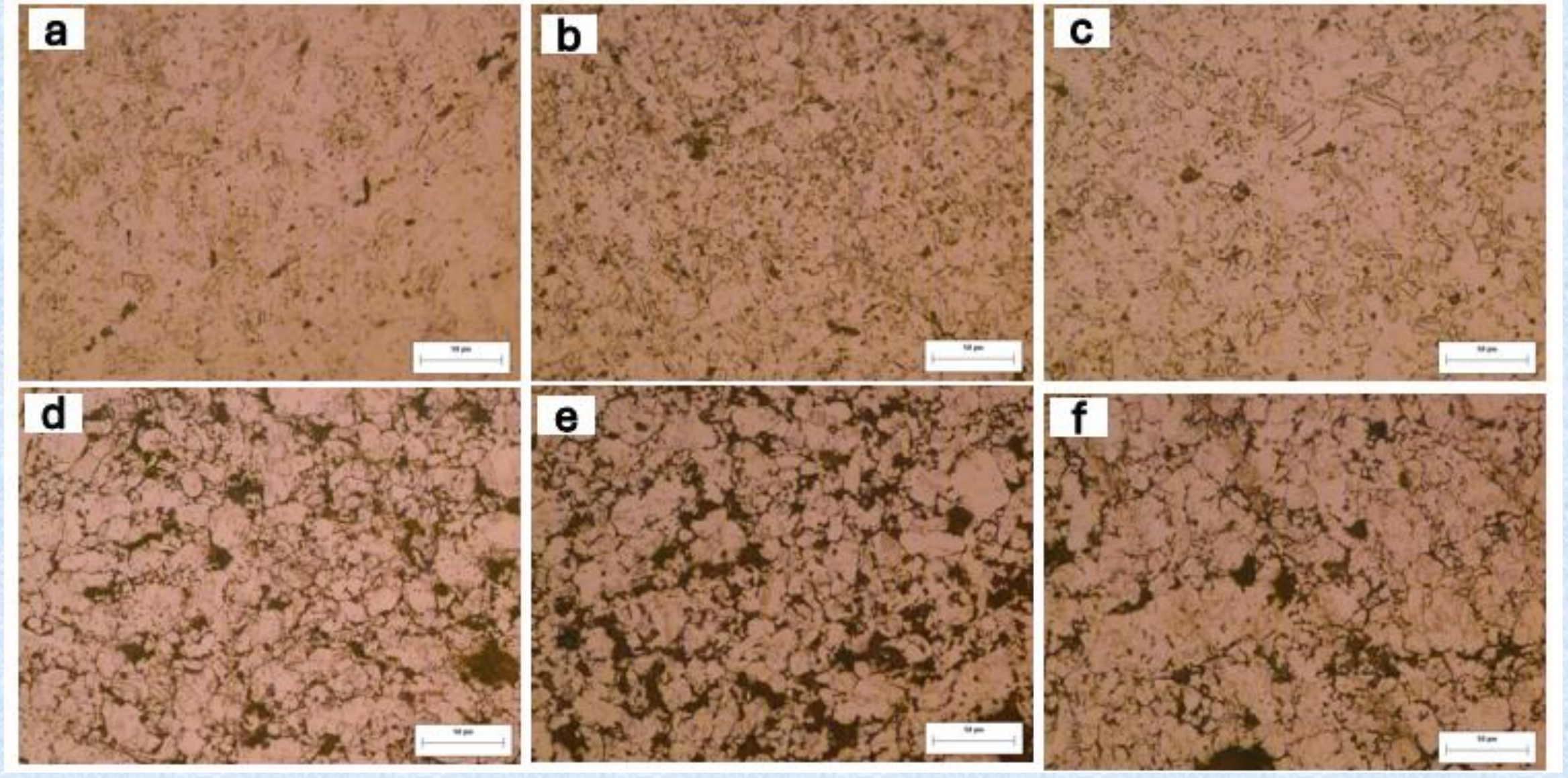
Tablo 1. HA wt% elementel bileşimi

Numuneler	Cu(%ağırlıkça)	HA(%ağırlıkça)
Numune 1	100	0
Numune 2	99,5	0,5
Numune 3	99	1
Numune 4	97,5	2,5
Numune 5	95	5
Numune 6	90	10

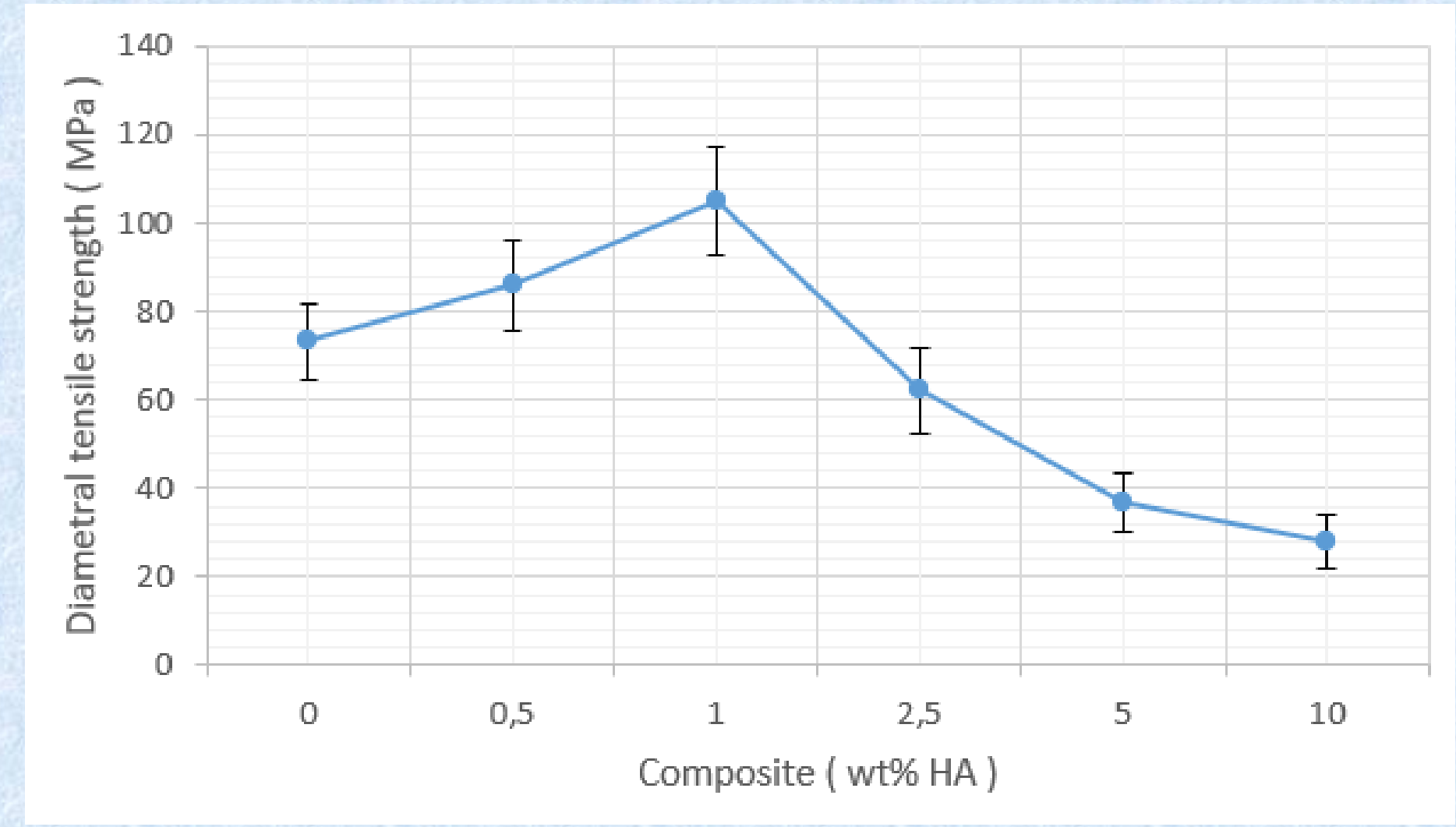
Tablo 2. Numunelerin wt% Cu ve HA tablosu

Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Numunelere yapılan testler sonrası sonuçlar kıyaslamalı grafikler halinde incelenmiştir. Kompozit içerisindeki Cu ve HA ağırlıkça oranlarının etkileri tespit edilmiştir.

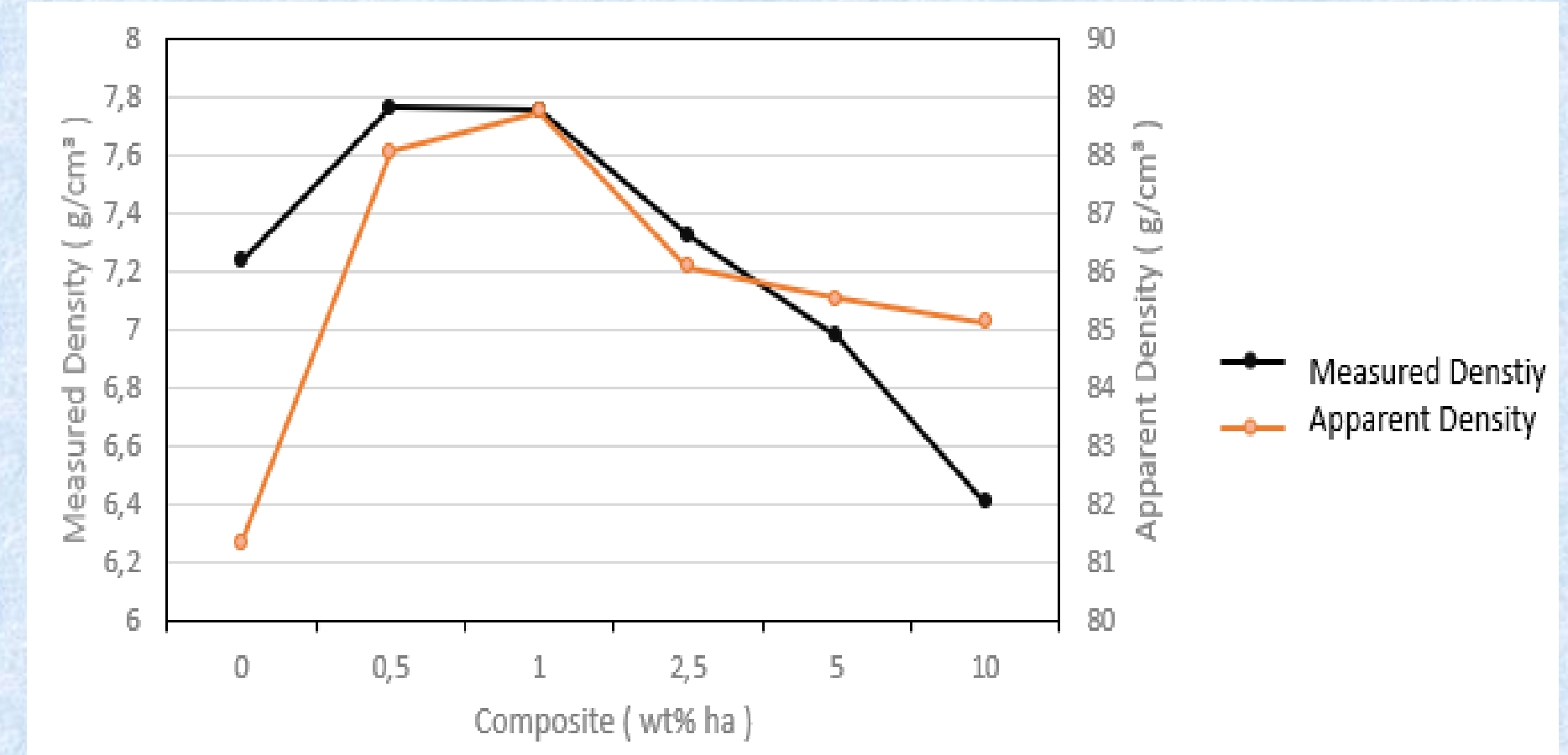


Şekil 1. a) %0 HA, b) %0,5 HA, c) %1 HA, d) %2,5 HA, e) %5 HA, f) %10 HA numunelerine ait mikroyapı görüntüleri



Şekil 2. Kompozitin belirli ağırlıkça yüzdelerde DTS grafiği

DTS testi sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde kompozit içerisindeki bakır matris içerisindeki hidroksiapatit ağırlıkça oranı %1 olanın dayanımı daha yüksektir.



Şekil 3. Kompozitin belirli ağırlıkça yüzdelerde yoğunluk ve kısmi yoğunluk grafiği

Kaynakça

- [1] Tutut Ummul Habibah¹; Dharanishi V. Amlani²; Melina Brizuela³, 2022: Hydroxyapatite Dental Material, ¹ University of Manchester, ² MAHARASHTRA UNIVERSITY OF HEALTH SCIENCES, ³ International University Of Catalunya (UIC)
- [2] Celebi Efe, G., Altınsoy, I., Ipek, M., Zeytin, S., Bindal, C., Effects of SiC Particle Size on Properties of Cu-SiC Metal Matrix Composites, Acta Physica Polonica A, 121, 251-253, 2012.
- [3] Barmouz, M., Givi, M. K. B., Seyfi, J., On the role of processing parameters in producing Cu/SiC metal matrix composites via friction stir processing: investigating microstructure, microhardness, wear and tensile behaviour, Materials Characterization, 62, 108-117, 2011.
- [4] Sadiasa A, Franco RA, Seo HS, Lee BT. Hydroxyapatite delivery to dentine tubules using carboxymethyl cellulose dental hydrogel for treatment of dentine hypersensitivity. Journal of Biomedical Science and Engineering. 2013;2013.
- [5] Skwarek E, Janusz W, Sternik D. Adsorption of citrate ions on hydroxyapatite synthesized by various methods. J Radioanal Nucl Chem. 2014;299:2027-36.



Motor sporlarında Kullanılan Araçların Motor Hava Giriş Borularının Tel Ark Eklemeli İmalat (TAEİ) Yöntemiyle Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Erhan DEMİR, Samet ERGÜDEN, Prof. Dr. Yahya BOZKURT

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye



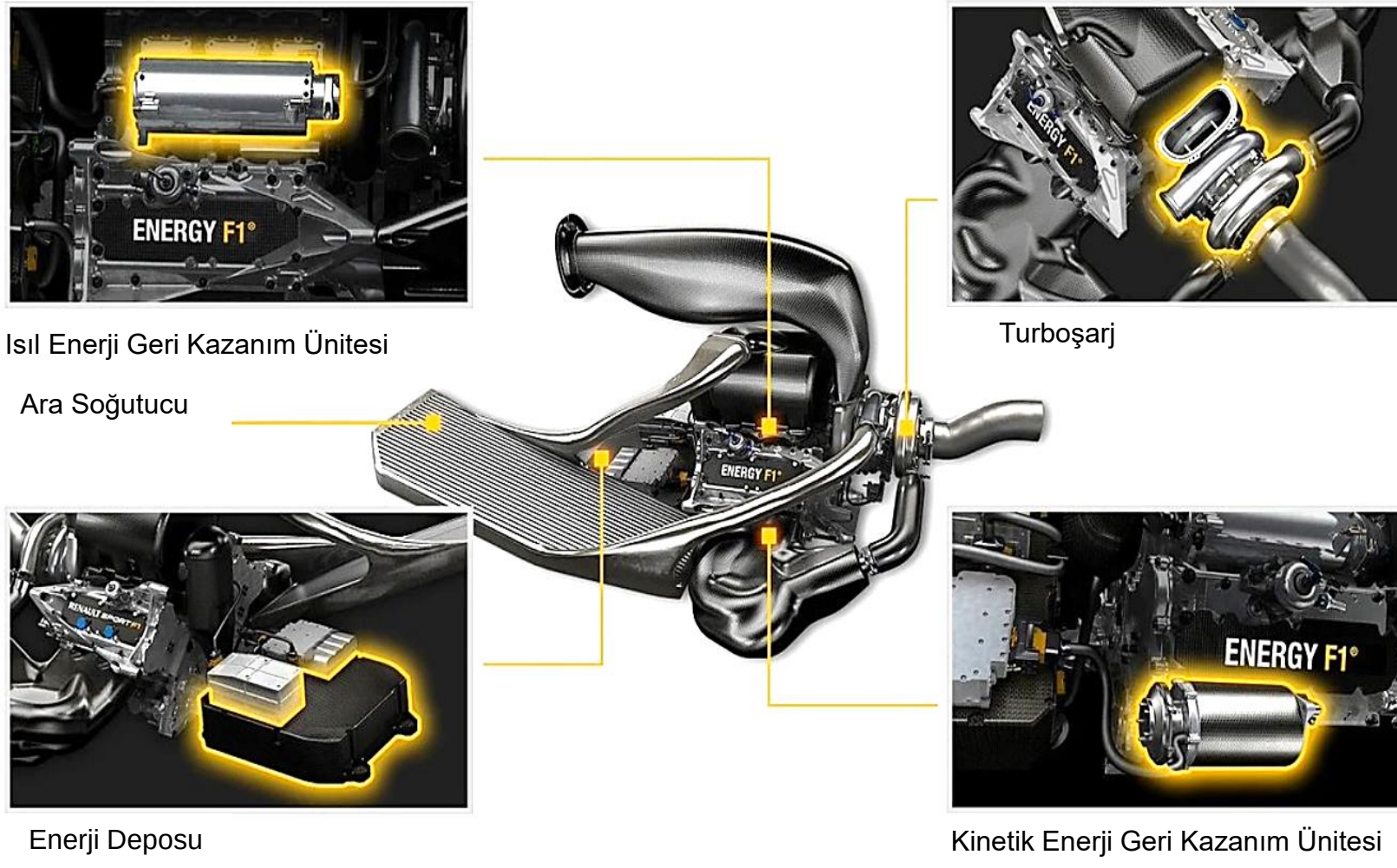
Özet

Bu çalışmada, Formula 1 araçlarının motor hava giriş borularının Tel Ark Eklemeli İmalat (TAEİ) yöntemiyle AA5356 alüminyum tel kullanılarak üretilmesi amaçlanmıştır. MIG kaynağı ile üretilen parçalar, çekme testi ve mikroyapı analizi ile değerlendirilmiştir. TAEİ, hızlı ve malzeme tasarruflu üretim imkânı sunarak motorsporları için uygun bir yöntem olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, parçaların yapısal bütünlüğünü koruduğunu ve üretim sonrası uygulanan tornalama işleminin yüzey kalitesini iyileştirdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, gözeneklilik ve ikincil faz dağılımı gibi mikroyapısal özelliklerin, mekanik performans üzerinde belirleyici olduğu gözlemlenmiştir.

Giriş

Motor sporları, yüksek performans ve ileri mühendislik çözümleri gerektiren dinamik bir alandır. Bu alanda kullanılan malzemelerin hem hafif hem de dayanıklı olması büyük önem taşımaktadır. Alüminyum alaşımları, düşük yoğunlukları, yüksek korozyon direnci ve iyi ısıl iletkenlikleri sayesinde Formula 1 araçlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel imalat yöntemleri, karmaşık geometrilere sahip parçaların üretiminde sınırlı kalabilirken, Tel Ark Eklemeli İmalat (TAEİ) yöntemi bu sınırları aşmakta ve özgün tasarımların hızlı üretimini mümkün kılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, AA5356 alüminyum tel kullanılarak motor hava giriş borularının TAEİ yöntemiyle üretilmesi hedeflenmiştir. Böylece hem üretim sürecinin verimliliği hem de elde edilen parçaların yapısal özellikleri değerlendirilecektir.

Şekil 1 de gösterildiği gibi Formula 1 araçlarında kullanılan alüminyum parçaların TAEİ yöntemiyle üretilmiş örnekleri gösterilmektedir. Formula 1 gibi yüksek performans gerektiren uygulamalarda, TAEİ; hafiflik, ısı dayanımı ve karmaşık geometri gerektiren parçaların üretiminde önemli avantajlar sağlar. Geleneksel yöntemlerle üretimi zor olan bu parçalar, TAEİ ile hızlı, verimli ve ekonomik şekilde üretilmektedir.



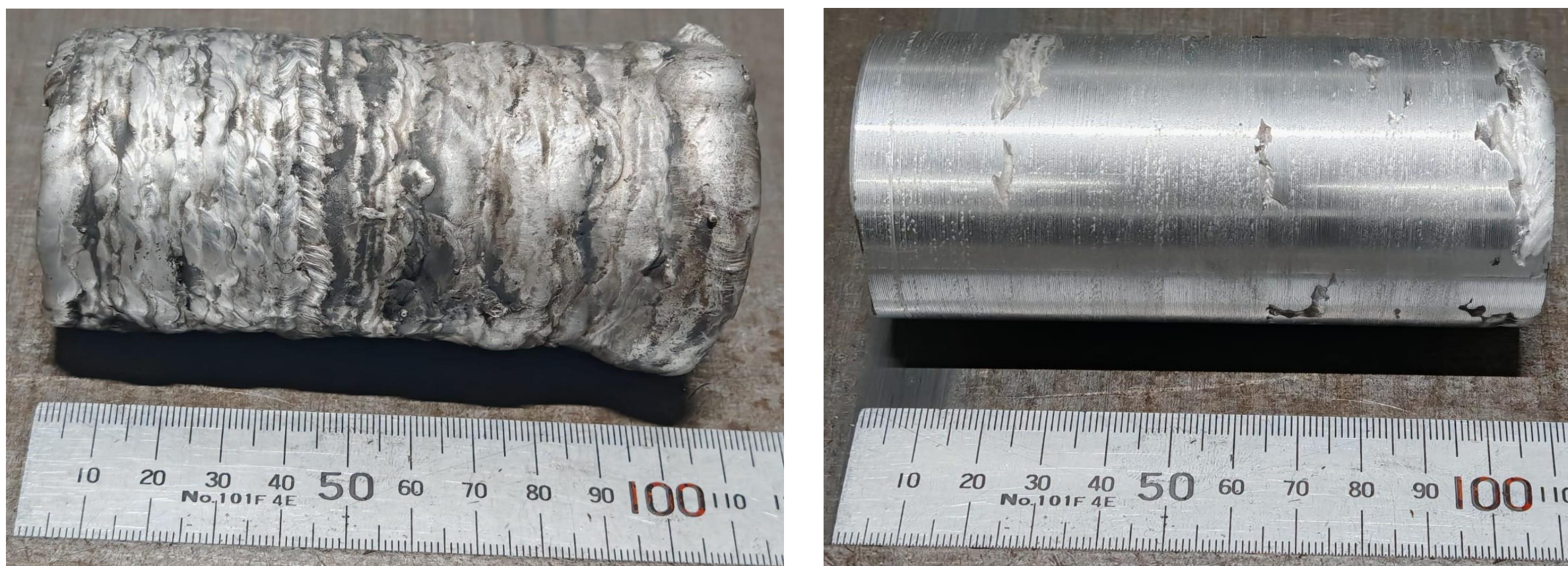
Şekil 1. Formula 1 araçlarında kullanılan TAEİ ile üretilen alüminyum parçalar

DeneySEL Çalışma

Çalışmada, 1.2 mm çapında AA5356 alüminyum tel kullanılarak, 48 mm çapında yapı çeliğinden imal edilmiş bir boru kalıp üzerine MIG kaynağı yöntemiyle Tel Ark Eklemeli İmalat (TAEİ) uygulanmıştır. Üretilen boru 100 mm boyunda, iç çapı 48 mm, dış çapı 60 mm boyutlarındadır. Üretim sonrası, dış yüzeyin düzgünlüğünü sağlamak amacıyla tornalama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen numune üzerinden, çekme testi standardına uygun çekme çubukları çıkarılmıştır. Ayrıca, mikroyapı analizi için parçanın hem X hem de Y eksenlerinden kesitler alınarak soğuk bakelite alınmış ve mikroskop altında farklı büyütmelerde mikroyapısal incelemeler yapılmıştır. Bu adımlar, TAEİ yöntemiyle üretilen parçanın mekanik ve yapısal özelliklerinin değerlendirilmesini sağlamıştır.

Şekil 2 de gösterildiği gibi alüminyumdan Tel Ark Eklemeli İmalat (TAEİ) yöntemi ile üretilen borunun, ilk üretim sonrası yüzey işlemesi yapılmamış hali ile tornalama işlemi sonrasında düzgünleştirilmiş son hali karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 2. Parçanın üretilmiş ve tornalanmış hali

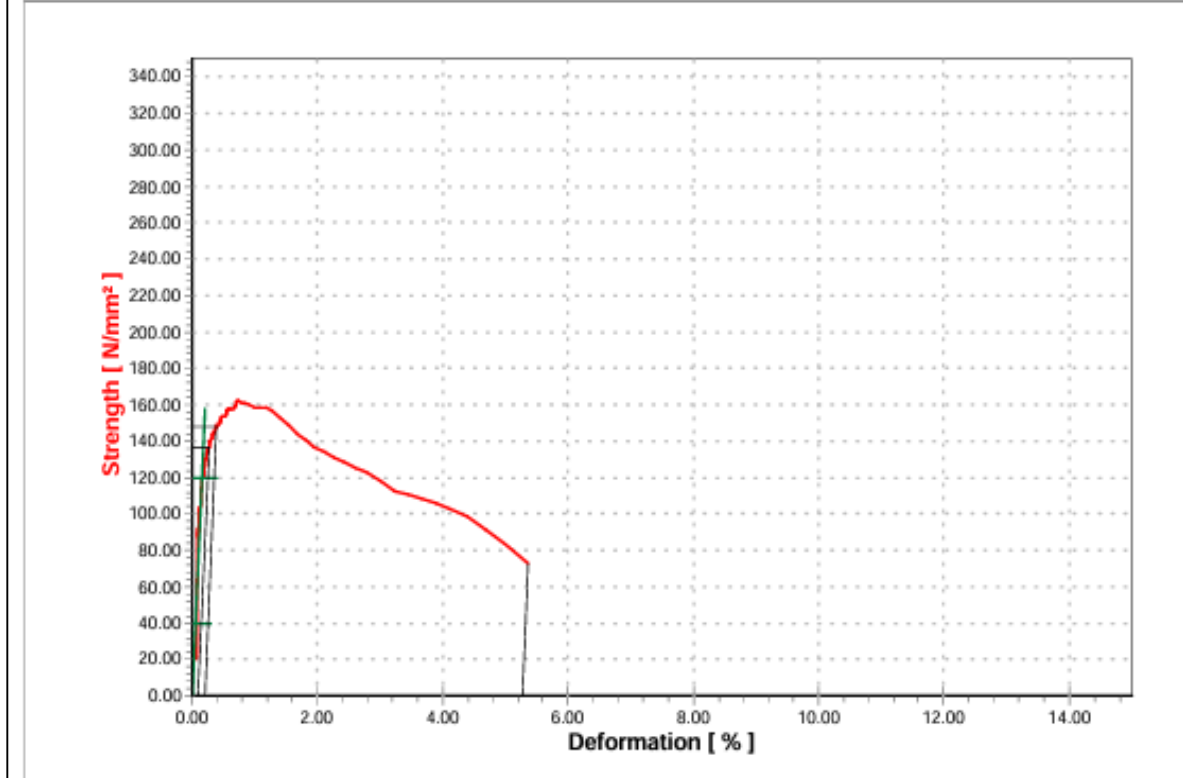
Sonuçlar ve Tartışma

TAEİ yöntemiyle üretilen AA5356 alüminyum boru üzerinde gerçekleştirilen çekme testi, numunenin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesini sağlamıştır (Şekil 3). Şekil 3 de gösterildiği gibi uygulanan test sonucunda, akma dayanımı, çekme dayanımı ve süneklik açısından literatürde raporlanan değerlerle benzer mekanik performans elde edilmiştir. Bu da üretim sürecinin kontrollü şekilde uygulandığını ve malzemenin yapısal açıdan yeterli olduğunu göstermektedir.

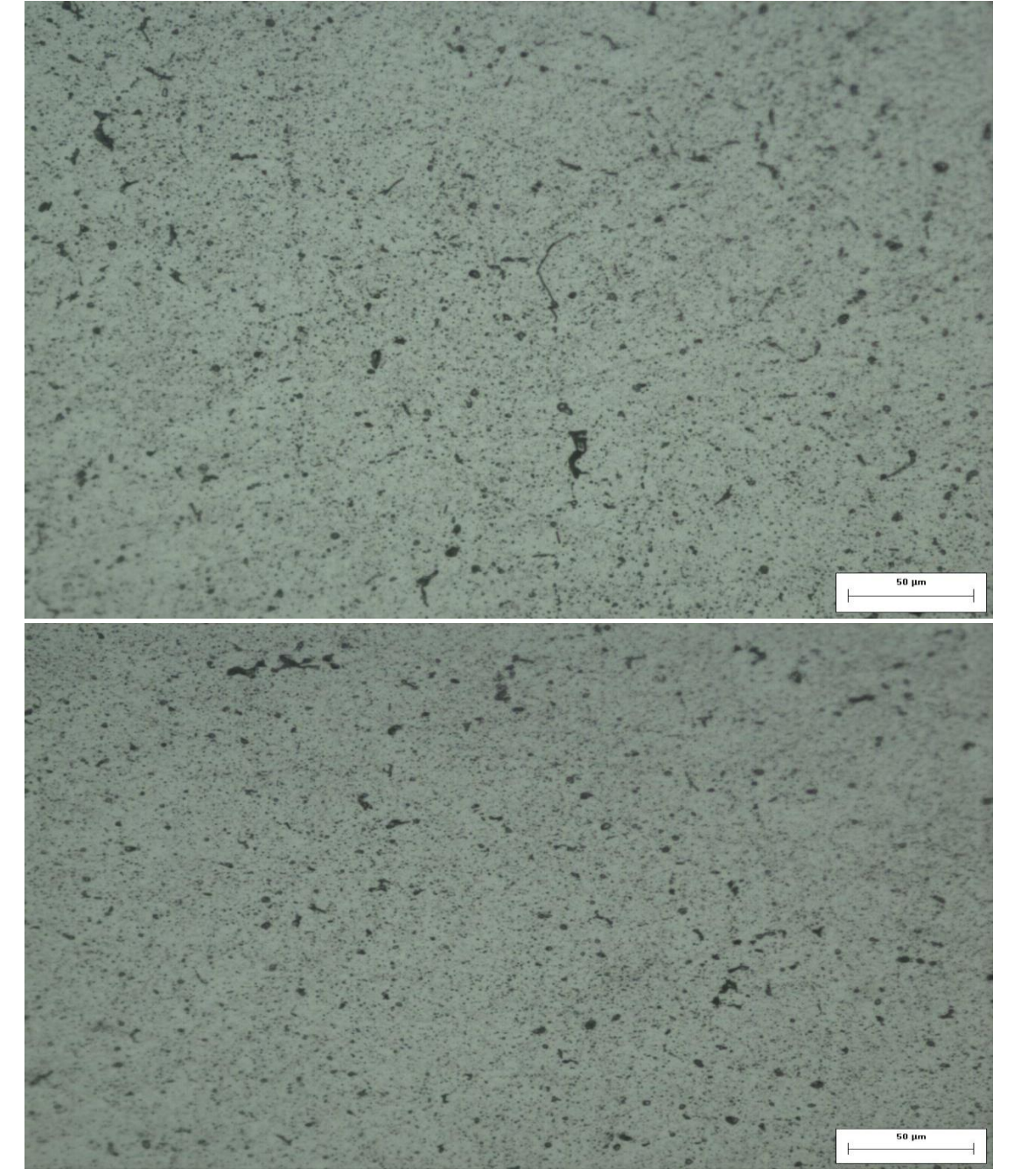
Şekil 4 te gösterildiği gibi mikroyapı analizleri, alüminyum matrisin homojen şekilde oluştuğunu ve ikincil faz çöktillerinin çoğunlukla ince ve dağılmış morfolojide bulunduğunu göstermiştir. Bu çöktiller mukavemet açısından faydalı olabilirken, yoğunlaştığı bölgelerde gevreklik riskini artırabilir. Görüntülerde gözlemlenen düzensiz koyu alanlar, az miktarda gözeneklilik (porozite) bulunduğuna işaret etmektedir (Şekil 4). Bu durum, özellikle yorulma ömrü ve süneklik gibi özelliklerde performans sınırlayıcı etki yaratabilir.

Yine şekil 4 te gösterildiği gibi X ve Y eksenlerine göre alınan kesitlerde belirgin bir mikroyapısal farklılık gözlemlenmemiştir. Bu, üretim yönüne bağlı belirgin bir makroskopik anizotropi olmadığını düşündürmektedir. Ancak daha net bir yorum için farklı yönlerde çekme ve sertlik gibi mekanik testlerle değerlendirme yapılması önerilmektedir.

Description	Result	Description	Result
Width x Thickness	10.00 x 5.00 mm	Load at Rp1	F _{P1} 6.85 kN
Startsection	S ₀ 50.00 mm ²	Rm/Rp2	1.10
E-Modulus	E 81.81 GPa		
Upper Yield Point	R _{0.01} 0 MPa		
Lower Yield Point	R _{0.02} 0 MPa		
0.20% Yield Point	R _p 148 MPa		
Tensile strength	R _m 163 MPa		
Gauge length L0	mm 25.00 mm		
Length-A5 after failure	mm 26.79 mm		
Elongation	A5 7.2 %		
Striction	Z --- %		
Load max	F _m 8.13 kN		
%0.10 Yield Point	R _{p0.1} 137 MPa		



Şekil 3. Çekme testi değerleri ve grafiği



Şekil 4. X ve Y yönündeki mikroyapı görüntüleri

Sonuç

Bu çalışmada, motorsporlarında yani Formula 1 araçlarında kullanılan alüminyum boruların Tel Ark Eklemeli İmalat (TAEİ) yöntemi ile üretililebilirliği değerlendirilmiştir. AA5356 alüminyum tel kullanılarak MIG kaynağı ile başarıyla üretilen borular üzerinde gerçekleştirilen mekanik testler ve mikroyapı analizleri, yöntemin uygulanabilirliğini ortaya koymuştur.

Mikroyapı genel olarak homojen olup, ikincil faz çöktilleri malzemenin mekanik özelliklerine katkı sağlamıştır. Az miktarda tespit edilen gözenekliliğin azaltılması için üretim parametrelerinin optimize edilmesi önerilmektedir.

Sonuçlar, TAEİ yöntemiyle üretilen alüminyum parçaların motorsporları gibi yüksek performans gerektiren alanlarda kullanılabileceğini göstermektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarla daha yüksek mekanik özelliklere sahip parçaların üretimi mümkün olabilecektir.

Kaynaklar

- Wagas, A.; Xiansheng, Q.; Jiangtao, X.; Chaoran, Y.; Fan, L. (2018). *Impact Toughness of Components Made By GMAW Based Additive Manufacturing*, Procedia Structural Integrity, 13, 2065–2070.
- Karayel, E. *Tel Ark Eklemeli İmalat Yöntemiyle Üretilen Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversetesi.
- Newey, A. (2024). *Bir Araba Nasıl Yapılır*, Fihrist Kitabevi, Nisan 2024.
- Renault Group. *Chrono #115 Episode 10: The Turbocharging Saga*. Erişim: <https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/chrono-115-episode-10-the-turbocharging-saga/>
- Gokhale, S.N. et al. *Influence of Welding Parameters on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminium Alloys*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology.

YARA İYİLEŞTİRME UYGULAMALARINDA 3D BASKILI KARBOKSİMETİLSELÜLOZ, PEKTİN VE JELATİN BAZLI BİYOİSKELELERİN KULLANIMI

Furkan İNCE, Doç. Dr. Sümeyye CESUR

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye



Teknoloji Fakültesi

Amaç: Bu çalışmada, jelatin ve pektin içeren 3D baskıya uygun hidrojel iskeleler geliştirilmesi ve düşük oranlarda eklenen karboksimetil selüloz (CMC)'nin yapı stabilitesi ve yara iyileşmesi potansiyeli üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. CMC içeren ve içermeyen formülasyonlar karşılaştırılarak, baskı kabiliyeti ve biyouyumluluğu artırılmış optimal iskele yapısının belirlenmesi hedeflenmektedir.

Özet

Yara iyileşmesi sürecinde, biyouyumlu, yapısal olarak kararlı ve nemli ortam sağlayabilen biyomalzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, jelatin ve pektin kullanılarak 3B yazıcıyla basılabilir hidrojel iskeleler geliştirilmiştir. Saf grubun yanı sıra, iskelelerin yapısal bütünlüğü üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla iki farklı gruba düşük miktarlarda karboksimetil selüloz (CMC) (0,05 g ve 0,1 g) eklenmiştir. Hazırlanan formülasyonlar görsel homojenlik, baskı kabiliyeti ve ekstrüzyon sırasındaki akış davranışı açısından değerlendirilmiştir. CMC eklenmesinin, hidrojel yapılarının bütünlüğünü artırdığı gözlemlenmiş ve bu katkının yara iyileşmesine yönelik biyo-mürekkep geliştirme çalışmalarında fayda sağlayabileceği düşünülmüştür.

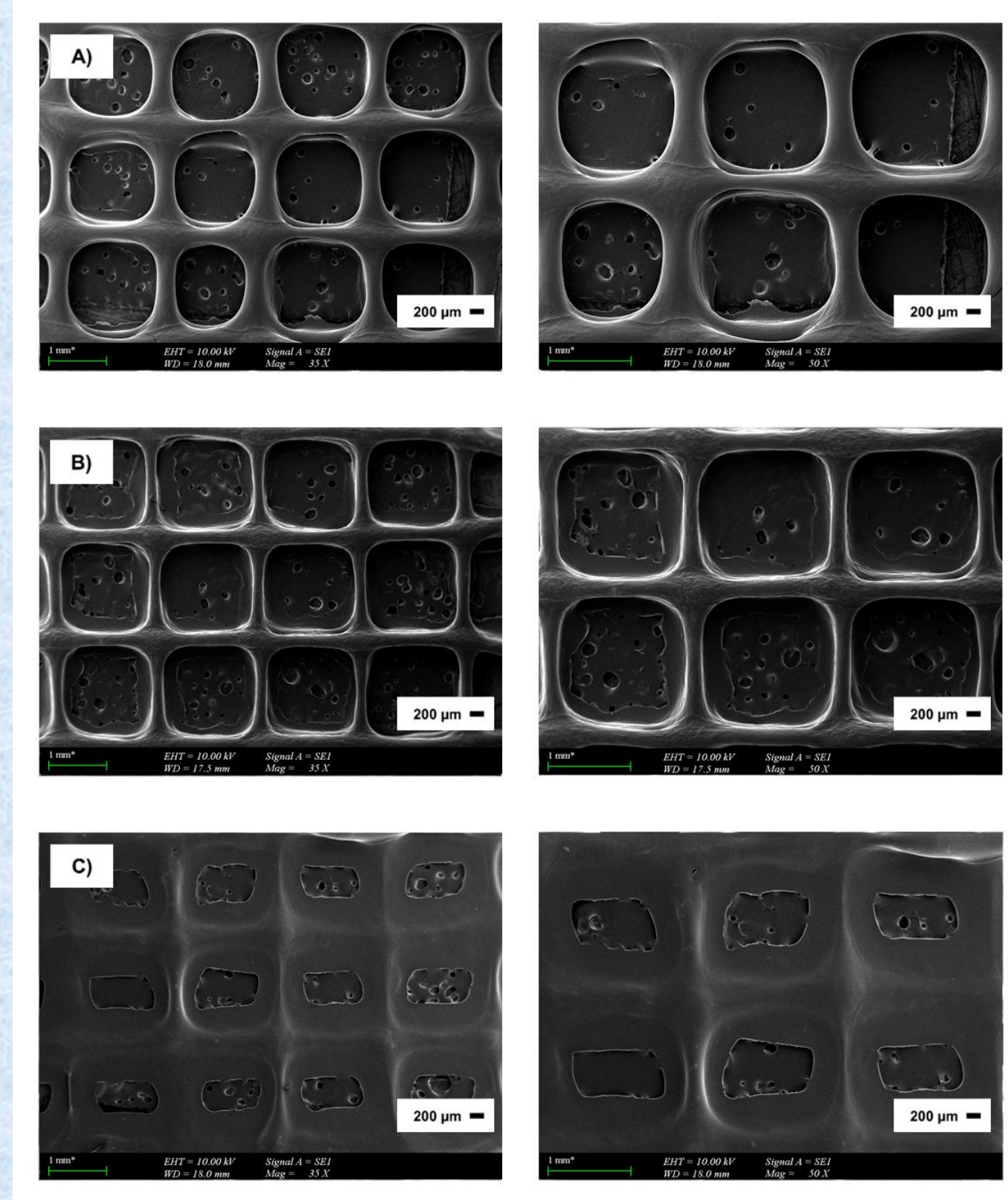
Giriş

Bu programda, biyomalzeme olarak kullanılan üç doğal polimerin – Pektin (PEK), Jelatin (JEL) ve Karboksimetil Selüloz (CMC) özellikleri sunulmuştur. Her biri için kısa açıklamalar, temel özellikler ve kaynaklar verilmiş, görsel test sonuçları ile desteklenmiştir.

Yara iyileşmesi, özellikle kronik ve açık yaralarda ciddi bir klinik sorun teşkil etmektedir. Diyabet ve vasküler hastalıkların artması, iyileşmeyen yaraların sayısını artırarak sağlık sistemleri üzerinde büyük bir yük oluşturmaktadır. Geleneksel yara pansumanları iyileşme için yeterli ortam sağlayamazken, bu durum gelişmiş biyomalzemeler ve 3D biyobaskı gibi teknolojilerin geliştirilmesini teşvik etmiştir. 3D biyobaskı, doğal doku yapısını taklit eden özelleştirilebilir yapılar oluşturma kabiliyetiyle doku mühendisliğinde önemli bir araç haline gelmiştir. Bu bağlamda, pektin, jelatin ve karboksimetil selüloz (CMC) içeren yeni bir kompozit hidrojel, yara bakımında kullanılmak üzere tasarlanmıştır

Tablo 1. Biyoiskelelerin hazırlanmasında kullanılan içerikler

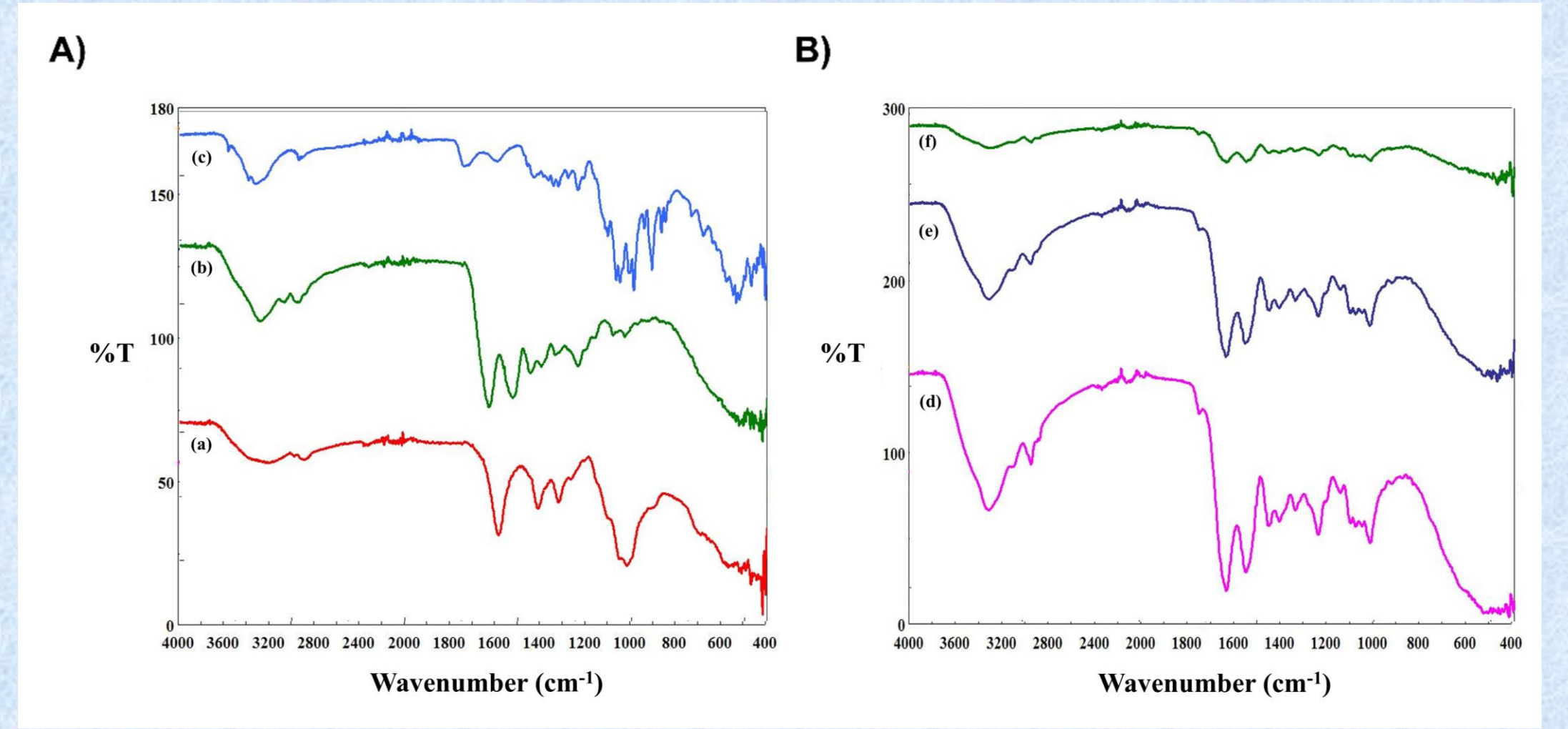
3B İskeleler	Jelatin (JEL) (wt%)	Pektin (PEK) (wt%)	Karboksimetilselüloz (CMC) (wt%)
JEL/PEK	1,5	0,8	0
JEL/PEK/CMC(0,05)	1,5	0,8	0,05
JEL/PEK/CMC(0,1)	1,5	0,8	0,1



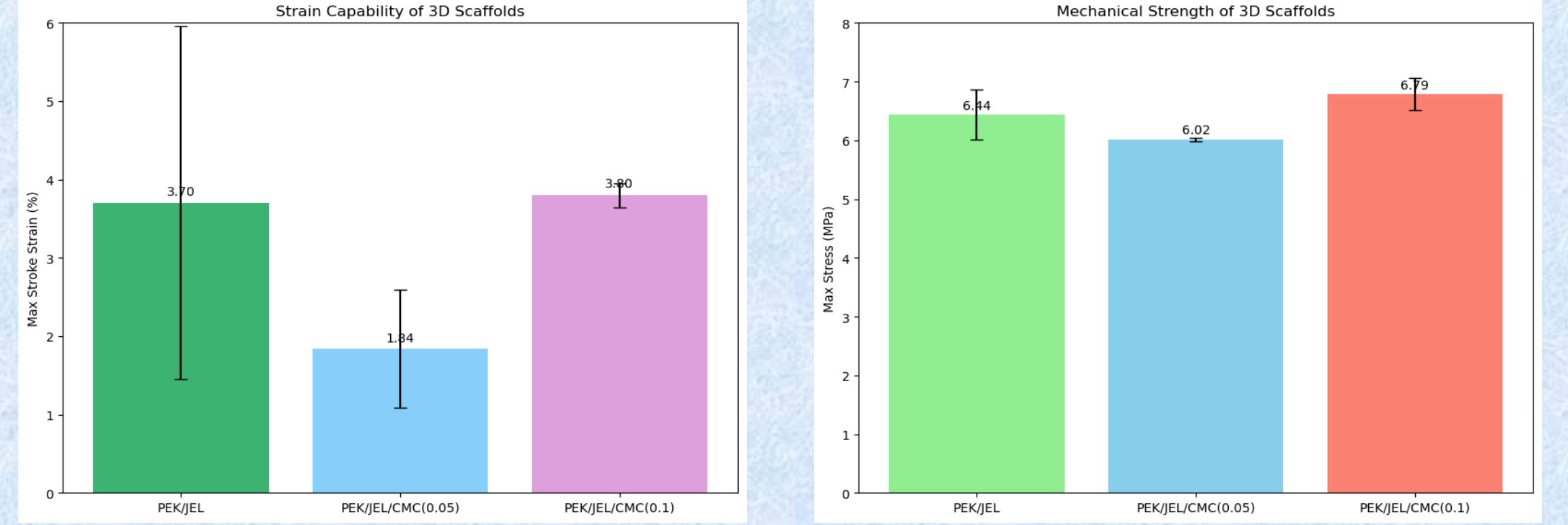
Şekil 1. Test numunelerinin SEM görüntüleri.

Saf pektin ve jelatin karışımından elde edilen yapılar homojen bir gözenek dağılımı göstermektedir. Gözenekler dairesel yapıda, düzenli ve yüksek yoğunluktadır. Bu yapı, hücre tutunması ve besin difüzyonu açısından avantaj sağlamaktadır. Düşük miktarda CMC (0,05g) ilavesiyle gözenek yapısı hâlâ korunmakla birlikte, gözenekler daha belirgin hale gelmiştir. Hafif düzensizlikler ve bazı gözenek içi partikül kümelenmeleri gözlemlenmiştir.

CMC'nin yapısal stabiliteye katkısı bu örnekte belirgin şekilde hissedilmektedir. CMC (0,1g) oranının artırılması, gözeneklerin şeklini değiştirerek daha eliptik ve düzensiz yapılara neden olmuştur. Gözenek sayısında azalma gözlemlenirken, içyapıda CMC kaynaklı kütsel yoğunlaşmalar dikkat çekmektedir. Bu durum, mekanik dayanımı artırabilirken, hücre infiltrasyonu açısından sınırlayıcı olabilir.

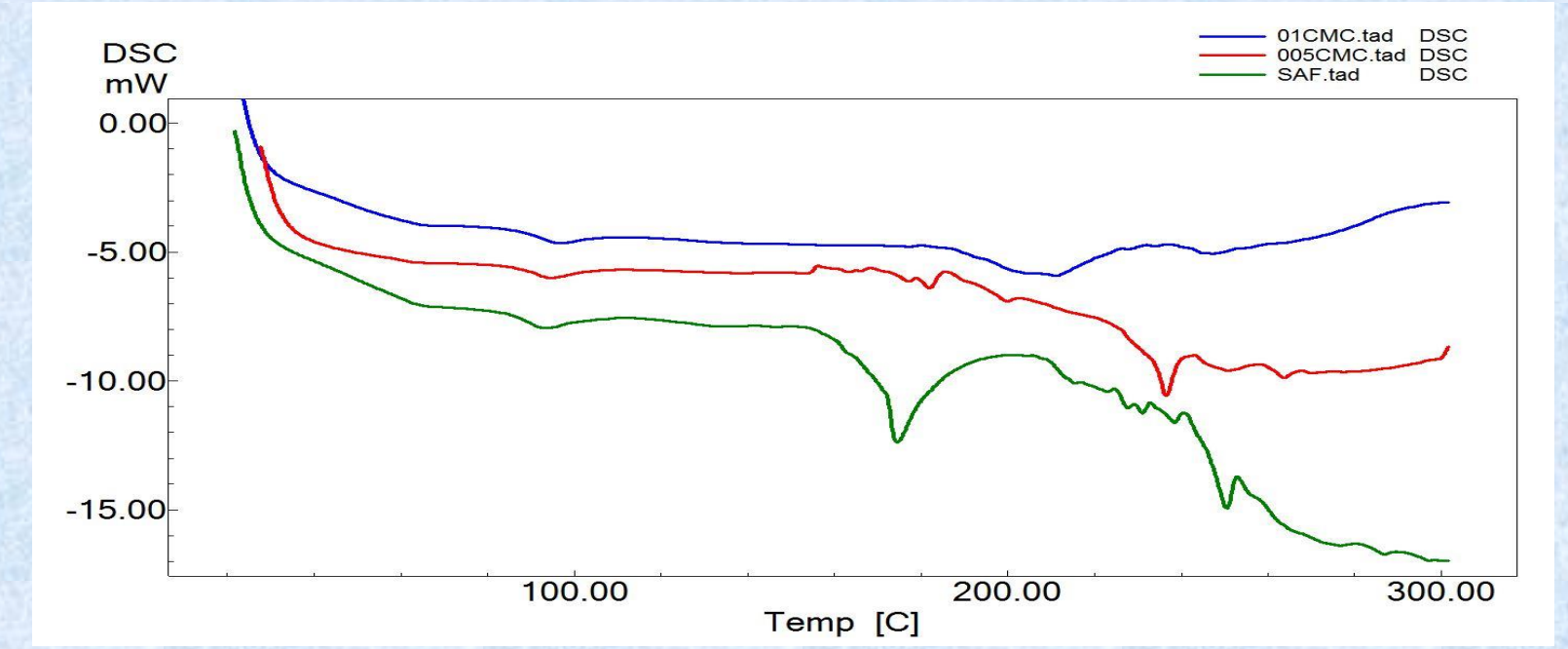


Şekil 2. Hammadde ve 3D basımdan çıkan ürünlerin FTIR sonuçları



Şekil 3. Hammadde ve 3D basımdan çıkan ürünlerin Çekme Testi Sonuçları

PEK/JEL grubu en yüksek elastikiyeti (%3.70) gösterirken, CMC'nin 0.05 g eklenmesiyle elastikiyet önemli ölçüde azalmıştır (%1.84). Ancak CMC miktarı 0.1 g'a çıkarıldığında elastikiyet tekrar artarak %3.80'e ulaşmıştır. Mekanik dayanım açısından ise PEK/JEL/CMC(0.1) grubu 6.79 MPa ile en yüksek mukavemeti göstermiştir. Sonuç olarak, 0.1 g CMC takviyesi hem elastikiyet hem de dayanımı artırarak en dengeli yapıyı sunmuştur.



Şekil 4. Hammadde ve 3D basımdan çıkan ürünlerin DSC Sonuçları

Sonuç

Bu çalışmada geliştirilen Pektin/Jelatin ve CMC içeren kompozit yapılar DSC, FTIR, çekme ve SEM analizleriyle değerlendirilmiştir. SEM görüntülerinde, CMC miktarının artışıyla gözenek yapısında belirgin bir düzenlenme ve yoğunlaşma gözlemlenmiştir. Çekme test sonuçları, 0.1 g CMC içeren örneğin hem elastikiyet hem de mekanik dayanım açısından en başarılı yapı olduğunu göstermiştir. DSC analizi, termal geçişlerin kararlı olduğunu ortaya koyarken; FTIR analizleri ise polimer bileşenler arasında kimyasal etkileşimlerin başarılı şekilde gerçekleştiğini doğrulamıştır. Genel olarak, CMC ilavesinin yapı özellikleri üzerinde optimize edici etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- Frontiers in Materials. (2022). Advantages of CMC-based sponges in wound dressings with emphasis on water retention capabilities. Frontiers in Materials. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.944274>
- Glycoconjugate Journal. (2024). Pectin as a natural inhibitor of galectin-3: Implications for inflammation and cell proliferation. Glycoconjugate Journal. <https://doi.org/10.1007/s10719-024-10152-z>
- Polymers. (2023). Progress in PVA-based hydrogels: Biocompatibility and tunable mechanical properties for biomedical applications. Polymers, 16(19), Article 2755. <https://doi.org/10.3390/polym16192755>
- Schultz, G. S., & Mozingo, D. W. (2016). Challenges in wound healing: The need for moisture and biocompatibility in advanced treatments. Advances in Wound Care, 5(3), 93-102. <https://doi.org/10.1007/s13671-016-0162-5>
- Boateng, J. S., Matthews, K. H., Stevens, H. N. E., & Eccleston, G. M. (2008). Wound healing dressings and drug delivery systems: A review. Journal of Pharmaceutical Sciences, 97(8), 2892-2923. <https://doi.org/10.1002/jps.21210>
- Liu, L., Fishman, M. L., Kost, J., & Hicks, K. B. (2003). Pectin-based systems for colon specific drug delivery via oral route. Biomaterials, 24(19), 3333-3343. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(03\)00213-0](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(03)00213-0)
- Peppas, N. A., Hilt, J. Z., Khademhosseini, A., & Langer, R. (2006). Hydrogels in biology and medicine: From molecular principles to bionanotechnology. Advanced Materials, 18(11), 1345-1360. <https://doi.org/10.1002/adma.200501612>



Düşük Yoğunluk ve Yüksek Termal Stabilité Sağlayan PP/BN Polimer Kompozit Köpüklerin Geliştirilmesi

İpek Demir, Tuğba Balal, Elif Deniz Bayrak
Prof. Dr. Münir Taşdemir

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 2025

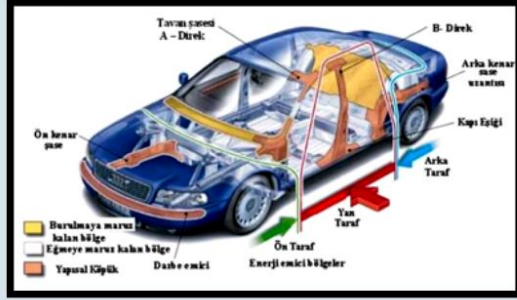


GİRİŞ

Günümüzde sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve çevresel etkiyi azaltma hedefleri, ileri malzeme teknolojilerinde öncelik kazanmaktadır. Bu bağlamda, hafif ve yüksek performanslı malzemelere ihtiyaç artmaktadır. Polimer köpükler, düşük yoğunluk, darbe emilimi, ısı ve ses yalıtımı gibi avantajları sayesinde otomotiv, havacılık, inşaat ve ambalaj sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

Bu çalışmada, kimyasal köpürtücü ajan (KKA) kullanılarak polipropilen (PP) ve bor nitrit (BN) içeren düşük yoğunluklu, yüksek termal kararlılığa sahip kompozit köpükler enjeksiyon yöntemiyle üretilmiştir. Farklı KKA oranlarında hazırlanan PP/BN karışımlarından elde edilen numunelerin mekanik (çekme, darbe, sertlik), fiziksel (yoğunluk, hücre yapısı) ve termal (HDT, Vicat, MFI) özellikleri analiz edilmiştir. Ayrıca mikroyapı, SEM görüntüleriyle değerlendirilmiştir.

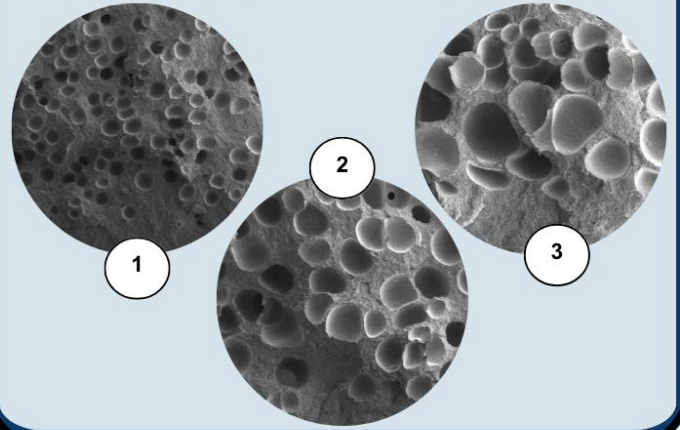
Sonuçlar, PP/BN kompozit köpüklerin hem fonksiyonel hem de çevresel açıdan sürdürülebilir mühendislik malzemeleri olarak kullanılabileceğini göstermektedir [2].



Sonuçlar ve Tartışma

Saf PP (Grup 1) numunesinde elastiklik modülü 1228 MPa iken, %3 BN katkılı Grup 2'de bu değer 1430 MPa'ya çıkarak BN'nin rijitlik artırıcı etkisi ortaya konmuştur. Ancak, kimyasal köpürtücü ajan kullanımıyla köpük yapı kazandırılan numunelerde elastiklik modülü belirgin şekilde düşmüştür; Grup 3, 4 ve 5'te sırasıyla 1100, 1048 ve 848 MPa olarak ölçülmüş, Grup 5'te saf PP'ye göre yaklaşık %30 azalma görülmüştür. Benzer şekilde, darbe mukavemeti ve sertlik değerleri de BN katkısında artarken köpük yapıda düşüş göstermiştir. Örneğin, darbe mukavemeti saf PP'de 61 kJ/m² iken, köpük numunelerde 22 kJ/m²'ye kadar gerilemiştir. Sertlikte de köpürtücü ajan kullanımına bağlı azalma izlenmiştir. Yoğunluk değerleri BN katkısıyla artarken, köpük yapılar nedeniyle azalmış, MFI değerleri ise BN ilavesiyle yükselip köpük yapı ile azalma eğilimi göstermiştir. Isıl çarpılma ve Vicat yumuşama sıcaklıkları BN katkısıyla artarken, köpürtücü ajan ilavesiyle düşmüştür.

SEM analizleri, köpürtücü ajan miktarının artışıyla hücre boyutlarının büyüdüğünü, gözenek dağılımının homojenleştiğini ve hücrelerin daha düzgün yapıda olduğunu göstermiştir. Ancak artan gözeneklilik mekanik özelliklerde azalmaya yol açmaktadır. Bu bulgular, BN'nin mekanik ve termal özellikleri iyileştirici etkisini desteklerken, köpürtücü ajanların gözenekli yapıyı artırarak sertlik, elastiklik ve darbe dayanımını olumsuz etkilediğini göstermektedir.

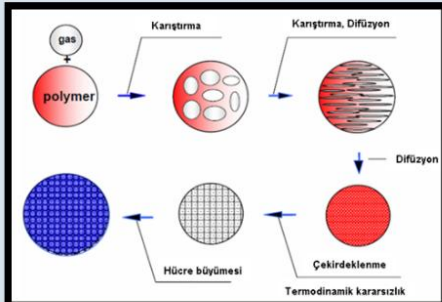


Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, polipropilen (PP) esaslı ve bor nitrit (BN) katkılı polimer kompozitlerin mekanik, fiziksel, termal ve morfolojik özellikleri sistematik olarak incelenmiştir. Mekanik testlerde, 50 mm/dk hızda yapılan çekme testleriyle kopma mukavemeti, elastiklik modülü, çekme dayanımı ve kopma anındaki uzama ölçülmüş; BN katkısının etkisi saf PP ile karşılaştırılmıştır.

Yoğunluk ölçümleriyle köpük yapısındaki boşluk oranı ve yapısal özellikler değerlendirilmiştir. SEM analizlerinde, kırılma yüzeyleri altın kaplama sonrası incelenerek BN partiküllerinin dağılımı, ara yüzey bağları, gözenek yapısı ve hücre homojenliği gözlenmiştir. Böylece köpükleme işlemi ve katkının mikro yapı üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Termal analizlerde DSC ile erime sıcaklıkları, kristallenme ve cam geçiş sıcaklıkları incelenmiş; BN katkısının kristal yapıyı etkileyip termal kararlılığı artırdığı tespit edilmiştir. TGA ile kompozitlerin ısıya dayanımı ve bozunma sıcaklıkları belirlenmiş, BN katkısının termal stabiliteyi iyileştirdiği görülmüştür. Köpük yapının hücre morfolojisi ve boyutsal kararlılığı incelenmiş, katkı oranları ile ilişkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, BN miktarının artmasıyla PP matrisin mekanik dayanımı, termal stabilitesi ve yapısal homojenliğinin belirgin şekilde iyileştiğini göstermiştir. Bu bulgular, BN katkılı PP kompozitlerin yapısal uygulamalarda etkin şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.



SONUÇ

Bu çalışmada, PP/BN kompozit köpükler kimyasal köpürtücü ajan (KKA) kullanılarak enjeksiyon yöntemiyle başarıyla üretilmiştir. Elde edilen bulgular, BN katkısının termal dayanımı (HDT, Vicat) ve darbe direncini artırdığını; KKA miktarının ise yoğunluğu düşürerek gözenekli yapının gelişimini sağladığını göstermiştir. Özellikle %4 KKA içeren numuneler, hem mekanik hem de termal performans açısından optimum özellikler sunmuştur. SEM analizleri, homojen gözenek dağılımı ve BN'nin yapısal katkısını doğrulamıştır. Sonuç olarak, geliştirilen PP/BN köpükler, hafif ve dayanıklı yapılarıyla birçok endüstriyel uygulama için uygun bir alternatif olarak değerlendirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] W. Cheewawuttipong, D. Fuoka, S. Tanoue, H. Uematsu, ve Y. Iemoto, "Thermal and Mechanical Properties of Polypropylene/Boron Nitride Composites", Energy Procedia, c. 34, ss. 808-817, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.06.817.
- [2] Salih Hakan YETGİN, "OTOMOTİV SEKTÖRÜ İÇİN POLİMER KÖPÜK MALZEME ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU", SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, 2012. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://core.ac.uk/reader/417575410>

Melamin İçeren Rijit Köpüklerin Üretimi

İrem ÜLKÜ , Sena EKER, Prof. Dr. Mustafa ÇAKIR



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Özet: Uzay araçlarında roket yakıt tanklarında kullanılmak üzere geliştirdiğimiz maleimid köpükler, yüksek rijitlik, ısıl dayanım ve mukavemet gibi özellikleriyle savunma sanayisinde önemli bir yere sahip olma potansiyeline sahiptir. Bu malzemelerin, uzay araçlarının performansını artırmak ve güvenilirliğini sağlamak için kritik bir işlev üstlenmesi hedeflenmektedir. Melaminin hafif, rijit ve kimyasal dirence sahip mekanik özelliklerini imid formuna dönüştürerek daha da geliştirmeyi planlıyoruz. Böylece, ülkemizin savunma sanayisine katkıda bulunarak teknolojik bağımsızlığımızı artırmayı amaçlıyoruz.

Giriş

Havacılık ve savunma sanayii gibi ileri teknoloji alanlarında, yüksek sıcaklıklara dayanıklı, rijit ve hafif kompozit malzemelere olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu tür uygulamalarda kullanılan yapı malzemelerinden, hem yüksek ısıl kararlılığa sahip olması hem de ağırlık/performans oranını optimize etmesi beklenmektedir.

Bu doğrultuda, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında yürütülen bu çalışmada, melamin esaslı, yüksek aromatik içeriğe ve çapraz bağlanma yoğunluğuna sahip, düşük yoğunluklu rijit bir köpük yapısının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Melaminin düşük maliyeti, yüksek termal dayanımı ve kompozit sistemlere kolay entegrasyonu sayesinde, proje çıktısının sektörel uygulanabilirliğinin yüksek olacağı öngörülmektedir.

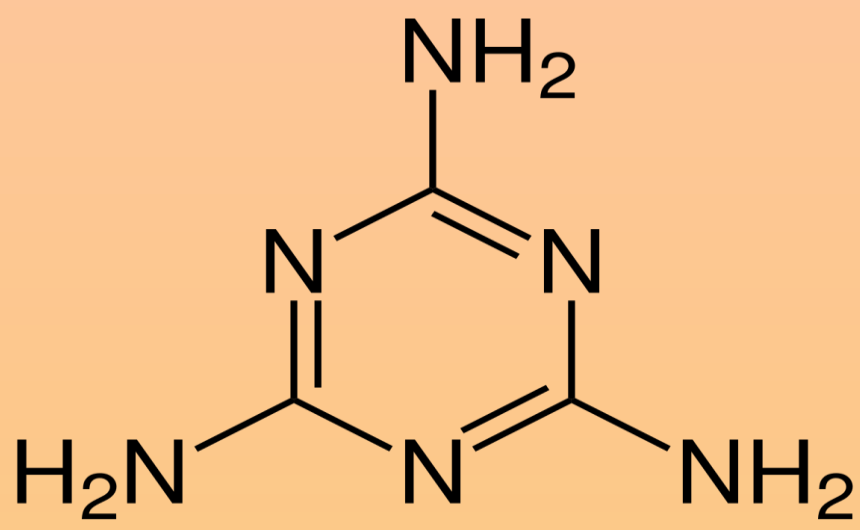
Geleneksel alüminyum bal peteği yapılar, özellikle iç yapının sonradan şekil değiştirmesi veya boşaltılması gereken uygulamalarda yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, proje kapsamında geliştirilecek yüksek sıcaklığa dayanıklı, kendinden destekli ve rijit köpük yapılar, bu tür sınırlamaları ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır.



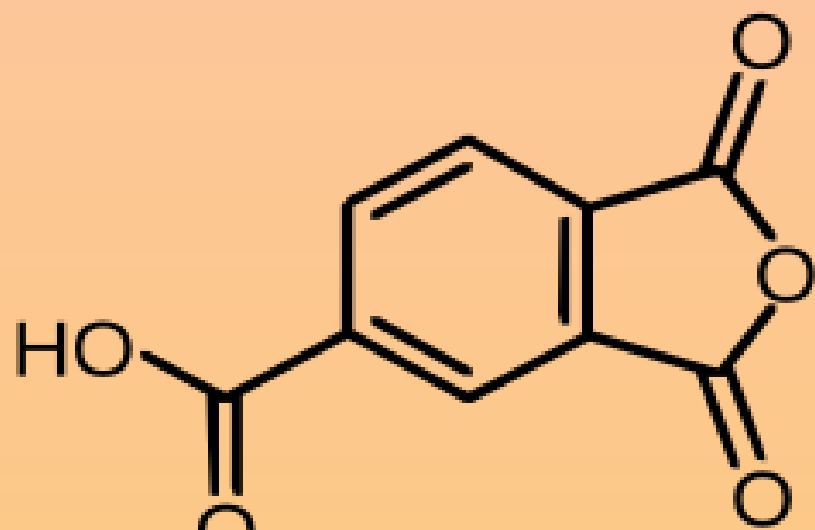
DeneySEL Çalışma

Polimerik köpük sentezinde melamin ($C_3H_6N_6$), trimellitik anhidrid ($C_9H_4O_5$) ve HDI trimer [$(C_7H_{10}N_2O_2)_3$] esas alınarak, yüksek çapraz bağ yoğunluğuna sahip bir yapı hedeflenmiştir. İlk aşamada, melaminin sahip olduğu üç amino grubu ile trimellitik anhidridin anhidrid fonksiyonları arasında gerçekleşen reaksiyon sonucu prepolimer yapı hazırlanmıştır. Bu karışım, çözücü olarak kullanılan toluen (C_7H_8) içinde manyetik karıştırıcı yardımıyla, ısı uygulanmaksızın reaksiyona bırakılmıştır.

Prepolimerin ardından, köpük yapısının hücresel yapısını düzenlemek ve işlenebilirliğini artırmak amacıyla çeşitli katkı maddeleri içeren bir ikinci bileşen hazırlanmıştır. Bu bileşenler arasında tri(etilen)diamin (TEDA, $C_6H_{12}N_2$), dibenzoilmetan kalay (T12, $C_{15}H_{14}O_2Sn$), trietilamin (TEA, $N(CH_2CH_3)_3$), polidimetilsiloksan (PDMS, $-[Si(CH_3)_2-O]n-$), polietilen glikol 600 (PEG-600, $HO-(CH_2CH_2O)_n-H$) ve su (H_2O) yer almaktadır. Bu katkılar, özellikle gözenek homojenliği, köpürme davranışı ve viskozite kontrolü açısından önemli rol oynamaktadır.



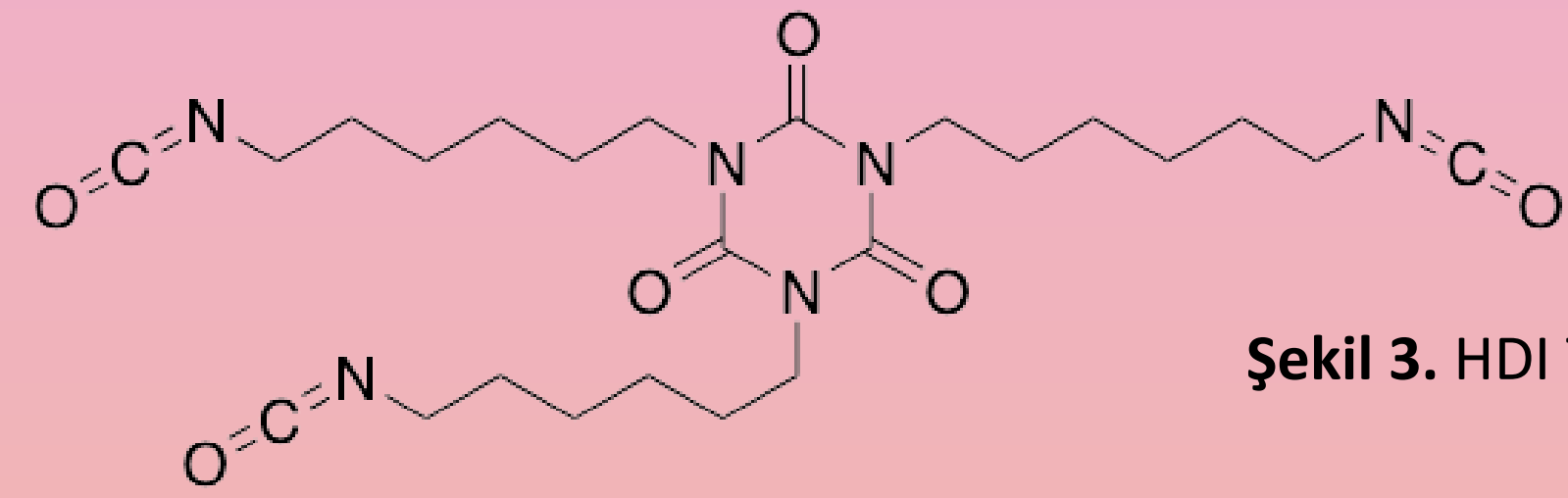
Şekil 1. Melamin Kimyasal Yapısı



Şekil 2. Trimellitik anhidrid Kimyasal Yapısı

Hazırlanan bu ikinci komponent, prepolimer karışımının üzerine eklenmiş ve homojen bir dağılım sağlanana kadar karıştırılmıştır. Köpük sisteminin mekanik dayanımı ve çapraz bağ yoğunluğu, HDI trimer (heksametilen diizosiyanurat trimeri) eklenerek artırılmıştır.

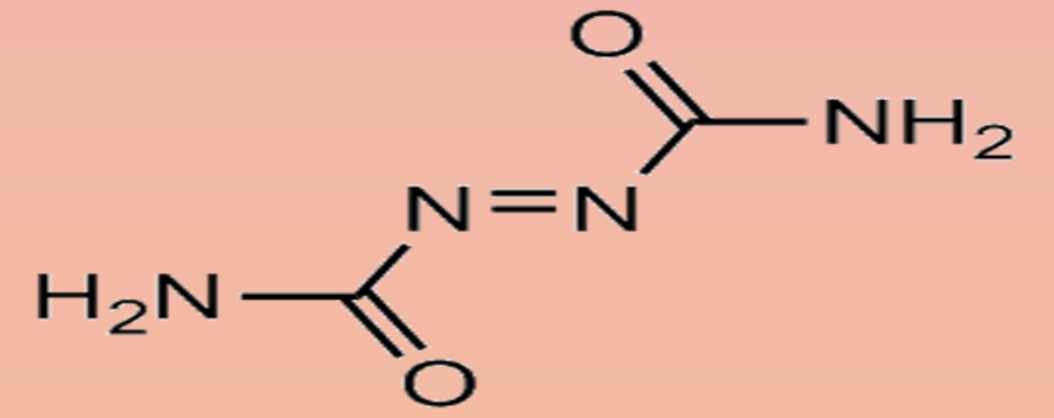
HDI trimer(Şekil 3), izosiyanat grupları sayesinde melaminin amino gruplarıyla üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturur. Bu sayede elde edilen polimer matrisin ısıl dayanımı ve kimyasal stabilitesi güçlendirilmiştir.



Şekil 3. HDI Trimer Kimyasal Yapısı

Karışımın son aşamasında, kimyasal köpürme ajanı olarak azodikarbonamid (ADC, $C_2H_4O_2N_4$) ilave edilmiştir. Bu bileşik, kontrollü ısıtma koşullarında parçalanarak azot gazı (N_2) üretmekte ve köpük yapının gözenekli hale gelmesini sağlamaktadır. ADC ilavesinden sonra sistem kalıba dökülmüş ve kademeli sıcaklık artışına tabi tutulmuştur.

Şekil 4. Azodikarbonamid Kimyasal Yapısı



Fırınlama işlemi dört aşamalı bir sıcaklık programıyla gerçekleştirilmiştir. Böylece reaksiyonun ilerlemesi ve köpüğün sabitlenmesi sağlanmıştır. Fırınlama işlemi sonrasında elde edilen köpük homojen ve yoğun bir hücresel yapıya sahip olmuş, gözle görülür düzeyde hacim artışı ve düzgün gözenek dağılımı gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Elde Edilen Köpüğün Yüzey Morfolojisi

Sonuçlar ve Değerlendirmeler

TÜBİTAK projesi kapsamında yürütülen çalışmanın deneysel üretim süreci tamamlanmıştır. Ancak, projede planlanan test ve karakterizasyon aşamalarına henüz geçilmemiştir. Ölçüm ve analizler, TÜBİTAK proje takvimine uygun olarak ilerleyen süreçte gerçekleştirilerek malzeme özellikleri detaylı biçimde değerlendirilecektir.

Sonuç

Elde edilen köpük, homojen gözenek dağılımı ve yüksek şişme oranı ile başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. Kimyasal köpürtücü olan azodikarbonamidin kontrollü ayrışması sonucu gelişen mikro gözenek yapısı, katkı sisteminin dengeli tasarımı sayesinde çökme veya deformasyon göstermemiştir. Melamin, TMA ve HDI trimer gibi trifonksiyonel reaktiflerin bir araya getirilmesiyle oluşan yüksek çapraz bağ yoğunluğu, köpüğe yüksek ısıl kararlılık ve boyutsal stabilite kazandırmıştır. Bu çalışma ile melamin-TMA-HDI esaslı, düşük yoğunluklu ancak yüksek ısıl kararlılığa sahip rijit bir polimerik köpük sentezlenmiş; bu sistemin malzeme bilimi ve ileri teknoloji uygulamalarındaki potansiyeli deneysel olarak ortaya konmuştur.

Kaynaklar

- [1] B. Zajec, M. Žumer, N. Purgar, M. Kavšek, Mihelič, Nemanič, ‘Synthesis and characterization of melamine–formaldehyde rigid foams for vacuum thermal insulation’, Şubat 2014, Uygulanan Enerji, Cilt 114, Sayfa 320-326.
- [2] Yetgin S. H., Ünal H., ‘Polimer Esaslı Köpük Malzemeler’, Aralık 2008, Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, 54187.
- [3] Guo, M. C., Heuzey, M. C., Carreau, P.J., “Cell structure and dynamic properties of injection molded polypropylene foams”, July 2007, Polymer Engineering and Science, 47, (7), 1070–1081.
- [4] Aydoğan B., Usta N., ‘Kabaran Alev Geciktirici İlaveli Esnek Poliüretan Köpük Malzemelerin Yanma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi’, April 2018, 14th International Combustion Symposium (INCOS2018) 25-27.
- [5] ‘Highly heat-resistant and mechanically strong co-crosslinked polyimide/bismaleimide rigid foams with superior thermal insulation and flame resistance’, Sheng X., Yun S., Wang S., Gao Y., Zuo X., Miao X., Si X., Qin J. A., Ma Z., Zhang G., August 2023, Materials Today Physics, Volume 36, 101-154.

Ti-6Al-4V Alaşımının Borlanması Elektrokrom Nikel Kaplamanın Bor Tabakası Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Mehmet Emin Meriç, Gülşah Turan, Erkan Yiğit Şen, Batuhan Soruşbay, H. Özkan Gülsoy
Marmara Üniversitesi teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü 34854 Maltepe-İstanbul

GİRİŞ

Ti-6Al-4V alaşımı; yüksek korozyon direnci, ısı dayanımı, özgül mukavemeti ve biyouyumluluğu sayesinde başta biyomalzeme, havacılık ve uzay olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadır. Ancak yüksek sürtünme katsayısı ve yetersiz yüzey özellikleri nedeniyle hareketli parçalarda sınırlı performans gösterir. Aşınma, koruyucu oksit tabakasını bozarak korozyona neden olur. Bu nedenle yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi gerekir. Nikel kaplama, korozyon ve aşınma direncini artırmak; borlama ise yüzey sertliği ve aşınma direncini geliştirmek amacıyla uygulanır.

Bu çalışmada, Ti-6Al-4V alaşımı iki aşamalı olacak şekilde önce elektro biriktirme yöntemiyle nikel, daha sonra borlama ile bor kaplanacaktır. Titanyuma yapılan nikel ilavesinin ötektik sıcaklığını düşürdüğü ve sıvı faz oluşturabileceği göz önüne alınarak nikel kaplamanın borlama sırasında sıvı faz oluşturması ve difüzyon hızını arttırması amaçlanmaktadır. Bu nedenle borlama sıcaklığı sabit tutularak farklı elektro nikel kaplama parametreleri optimum elektro nikel parametreleri tespit edilecektir.

METARYEL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, SLM yöntemiyle üretilmiş Ti-6Al-4V alaşımı kullanılmıştır. Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal bileşimi.

Al	C	H	Fe	O	N	V	Ti
5,5-6,5	<0,08	<0,015	<0,3	<0,2	<0,05	3,5-4,5	Kalan

NUMUNE HAZIRLAMA

SLM yöntemiyle üretilmiş numune $12 \times 12 \times 5$ mm ölçülerinde kesilmiştir. Kesme işleminin ardından, yüzey hazırlığı aşamasına geçilmiş ve numune sırasıyla 180, 320, 500, 800, 1200 ve 2500 kum numaralı silisyum karbür (SiC) zımparalar kullanılarak zımparalanmıştır. Bu işlemle, yüzeydeki düzensizliklerin giderilmesi ve pürüzlülüğü düşük bir yüzey elde edilmesi amaçlanmıştır.

NİKEL KAPLAMA

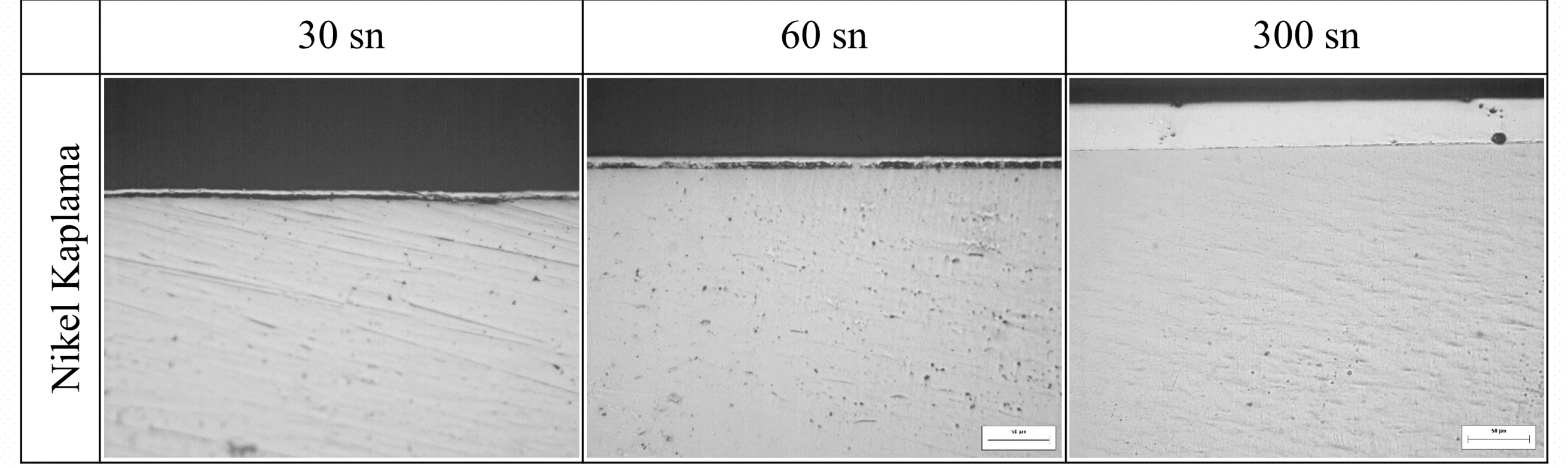
Ti-6Al-4V alaşımı üzerine uygulanacak nikel kaplama işlemi, ilk olarak çözelti hazırlığıyla başlatılmıştır. Literatür taramaları ve yüzey kaplama gereklilikleri göz önüne alınarak, yüksek yapışma kabiliyeti, düzgün yüzey dağılımı ve homojen bir kaplama elde etmek amacıyla Nikel Sülfat (NiSO_4) esaslı bir elektrolit çözeltisi tercih edilmiştir. Bu çözeltiye ayrıca, iletkenliği artırmak amacıyla Nikel Klorür (NiCl_2) ve pH dengesini sağlamak için Borik Asit (H_3BO_3) eklenmiştir. Elektrolit çözeltisi, 200 ml distile su içerisinde 48 g NiSO_4 , 6 g NiCl_2 ve 6 g H_3BO_3 olacak şekilde 1 M konsantrasyonda hazırlanmış ve manyetik karıştırıcı yardımıyla 48°C sıcaklıkta homojen hale getirilmiştir. Tüm bileşenlerin çözünmesiyle birlikte karışım, kaplama işlemi için hazır hale getirilmiştir.

BORLAMA

Nikel kaplamanın ardından numuneler mikroskobik olarak incelenmiş ve kaplama uygun bulununca borlama işlemine geçilmiştir. Borlama için Protherm marka tüp fırın kullanılmıştır. Kaplama yapılmamış, 30, 60 ve 300 saniye nikel kaplanmış numuneler, her yüzeyi amorf bor ile kaplanarak fırına yerleştirilmiştir. Ortama argon gazı verilmiş ve fırın, oda sıcaklığından 1100°C ’ye kadar $10^\circ\text{C}/\text{dk}$ hızla ısıtılmıştır. 1100°C ’de 8 saat bekletilen numuneler, aynı hızla soğutulmuş ve oda sıcaklığına ulaşıldığında fırından çıkarılmıştır.

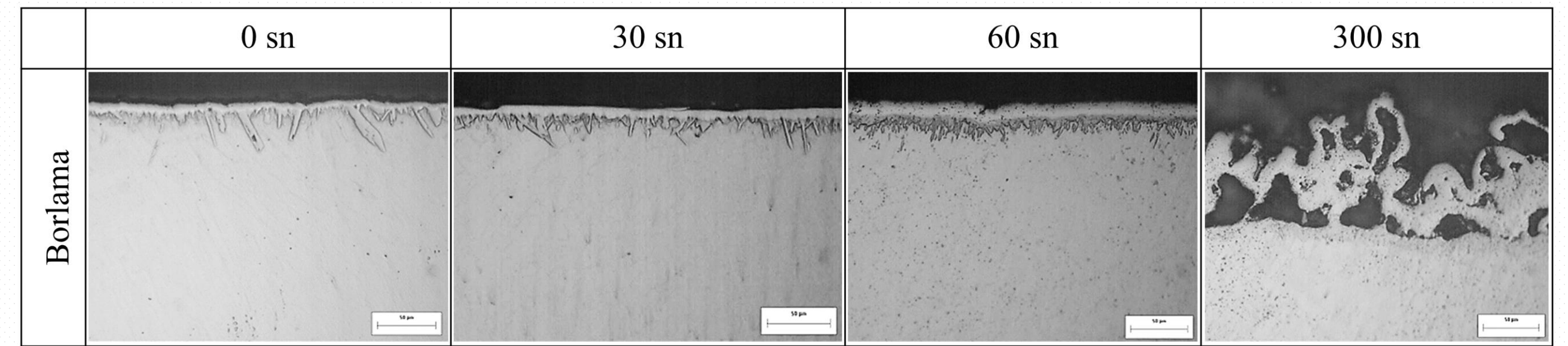
DENEYSEL SONUÇLAR

Farklı sürelerde nikel kaplanan numunelerin optik kesit görüntüleri Şekil 1’de verilmiştir. Nikel kaplama sonucunda sürenin artışıyla kalınlığı artan sırasıyla yaklaşık 3, 7 ve $36\ \mu\text{m}$ kalınlıklarında homojen ve sürekli bir nikel tabakası oluşmuştur.

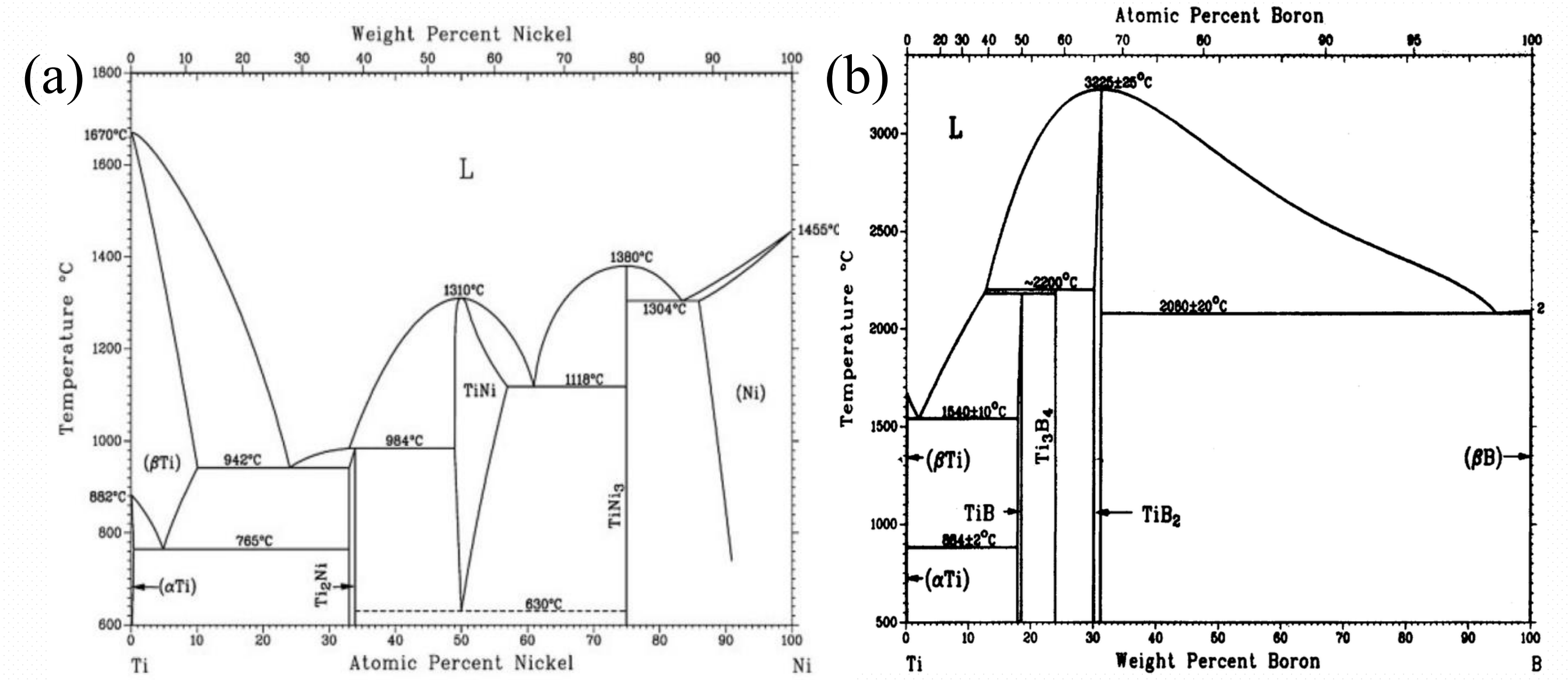


Şekil 1. Farklı sürelerde nikel kaplanmış numunelerin kesit görüntüleri.

Farklı sürelerde nikel kaplanan numunelerin borlama sonrası kesit görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir. Nikel kaplamasız borlanan numunede titanyum alaşımlarının borlanması sonrası görülen tipik iki tabakalı ($\text{TiB}_2 + \text{TiB}$) kaplama oluşmuştur. Nikel kaplama süresinin artmasıyla birlikte bor tabaka (TiB_2) kalınlığı sırasıyla yaklaşık olarak 7,7, 7,9, 18,6 ve $137,6\ \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. 30 saniyelik nikel kaplama sonucunda oluşan bor tabakası kalınlığında ciddi bir değişim gözlenmezken, TiB iğne ve çubuklarının genişlikleri azalmış ve sıklaşmışlardır. Nikel kaplama süresinin 60 saniyeye arttırılmasıyla bor tabakası kalınlığında kayda değer bir artış görülmüş ve TiB’ler daha da sıklaşarak neredeyse sürekli bir hale gelmişlerdir. Sürenin daha da arttırılmasıyla birlikte poroziteler içeren kalın ama süngerimsi bir tabaka oluşmuştur. Nikel kaplama süresinin 300 saniyeye çıkmasıyla birlikte nikel tabakasının kalınlığının fazla oluşu borlama sıcaklığında (1100°C) Ti-6Al-4V/Ni/B arayüzeyde nikelin ağırlıkça oranının yükselmesine neden olmuş ve Ti-Ni sıvı faz miktarını (Şekil 3) arttırmıştır.



Şekil 2. Farklı sürelerde nikel kaplama ardından borlanmış numunelerin kesit görüntüleri.



Şekil 3. (a) Ti-Ni, (b) Ti-B faz diyagramları.

SONUÇLAR

Artan elektrobiriktirme süresiyle birlikte, borlama sonrasında oluşan borür tabakasının kalınlığının da belirgin şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Özellikle 30 ve 60 saniye süreyle nikel kaplanan numunelerin yüzeylerinde homojen bir yapı oluşmuş olup herhangi bir çatlak veya yapısal bozulma tespit edilmemiştir. Buna karşın, 300 saniye süreyle nikel kaplanan numunenin yüzeyinde ise belirgin bir şekilde gözenekli, süngerimsi bir yapı olduğu dikkat çekmektedir. Bu durumun, artan nikel oranı ile birlikte 1100°C ’deki borlama sıcaklığında sıvı faz miktarının aşırı artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Fazla miktarda sıvı faz oluşumu, yapı üzerinde düzensizliklere ve gözenekli morfolojilere yol açarak malzemenin mekanik bütünlüğünü olumsuz yönde etkileyebilecek bir ortam yaratmıştır.

GİRİŞ

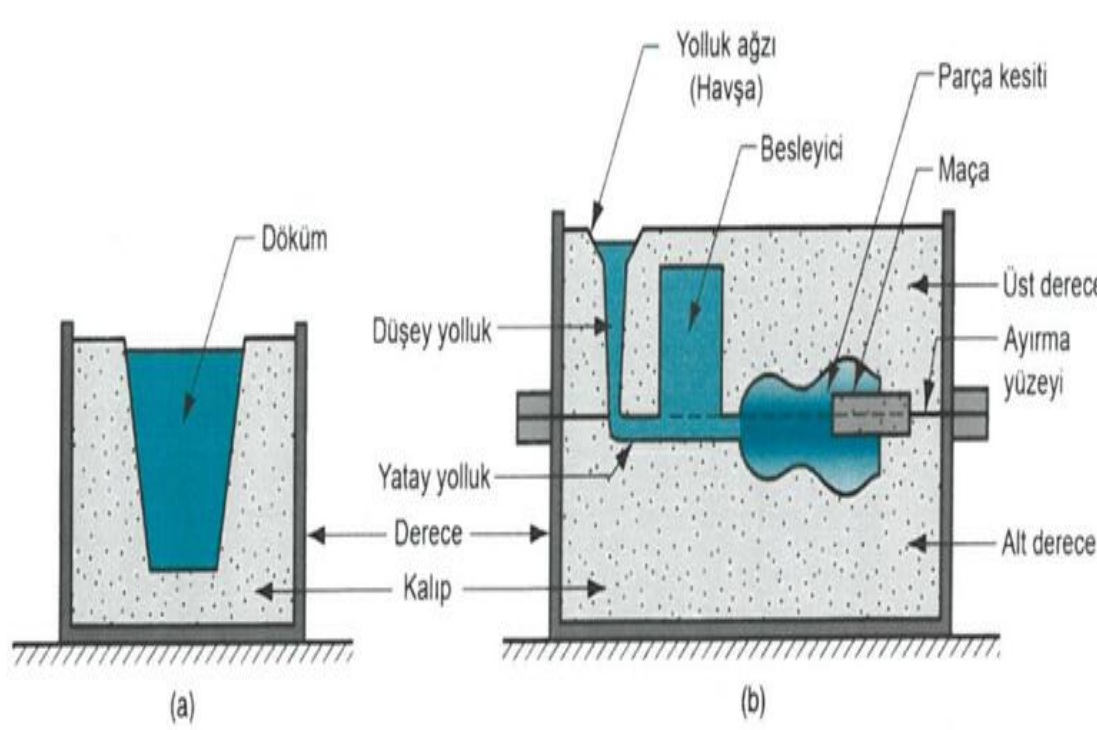
Döküm, metallerin yüksek sıcaklıklarda ergitilerek bir kalıba dökülmesi ve ardından katılaşmasıyla şekillendirilmesini sağlayan en eski ve en yaygın üretim yöntemlerinden biridir. M.Ö. 4000’li yıllardan günümüze kadar uzanan bu yöntem, teknolojinin ilerlemesiyle birlikte farklı malzeme türleri ve daha hassas tekniklerle geliştirilmiştir. Endüstriyel üretimde karmaşık şekilli, büyük hacimli ya da yüksek mukavemet gerektiren parçaların üretiminde döküm önemli rol oynamaktadır. Özellikle otomotiv, havacılık, savunma, enerji ve makine sanayisinde, döküm yöntemleri ekonomikliği ve çeşitliliği sayesinde tercih edilmektedir.

Dökümün avantajları arasında karmaşık geometriye sahip parçaların üretilmesi, seri üretime uygunluk, malzeme israfının az olması ve düşük maliyet yer alırken; bazı dezavantajları ise gözenek oluşumu, çatlama, iç gerilmeler ve kalite kontrol zorluklarıdır. Yine de uygun yöntem seçimi ve kontrollü üretimle bu dezavantajlar minimuma indirilebilmektedir. Bu çalışmada, geleneksel ve modern döküm yöntemleri detaylı şekilde incelenmiş, kullanılan malzemeler, kalıplama teknikleri, kusurlar ve kalite kontrol yöntemleriyle birlikte endüstriyel uygulama alanları değerlendirilmiştir.

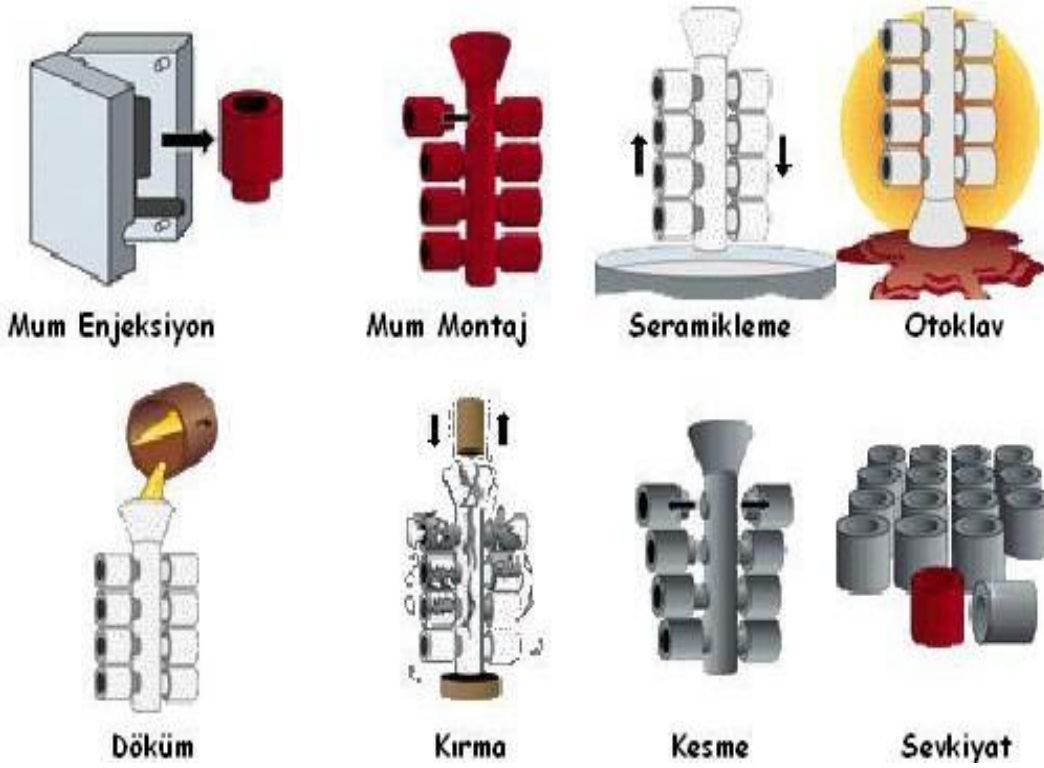
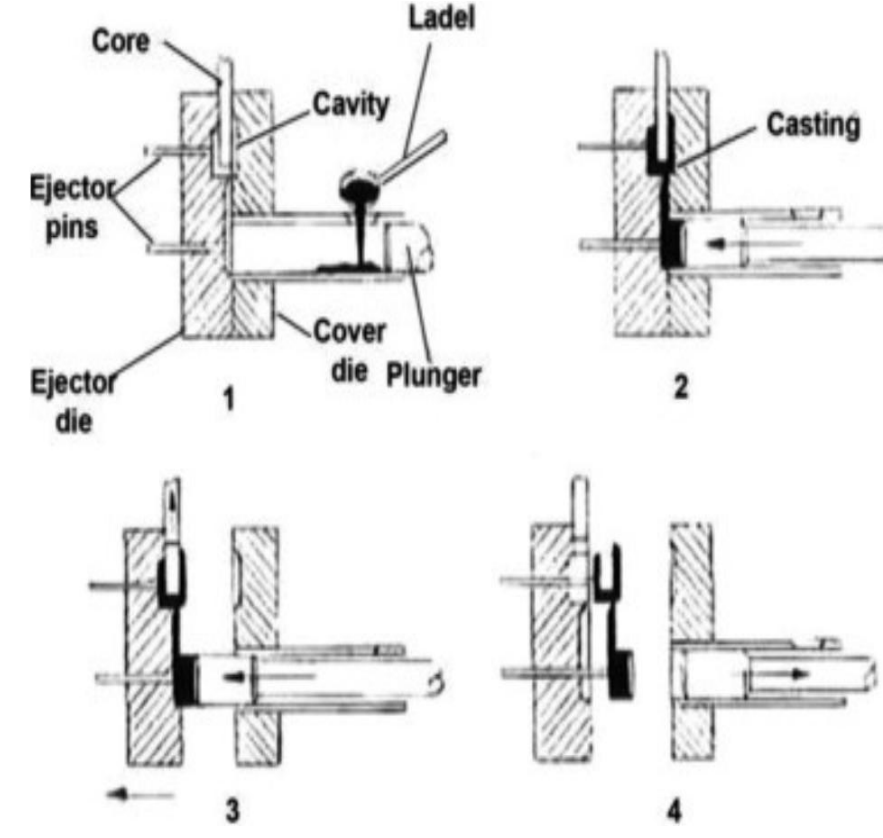
Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada döküm yöntemlerinin teknik ve uygulamalı yönleri araştırılmış; başta kum döküm, basınçlı döküm, kokil döküm, hassas döküm ve kabuk döküm olmak üzere temel yöntemler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kullanılan döküm malzemeleri arasında demir, çelik, alüminyum ve magnezyum gibi metaller ile bunların alaşımları yer almaktadır. Metalin ergitilmesi, akışkanlık özellikleri ve döküm öncesi hazırlık süreçleri teorik olarak analiz edilmiştir.

Ayrıca kalıp malzemeleri (kum, seramik, metal kalıplar) ve kalıp tasarımı (besleyici sistemler, havalandırma, taşma boşlukları) gibi yapısal unsurlar değerlendirilmiş; her döküm yönteminde kalıp gereksinimleri ve üretim tekniğine etkileri araştırılmıştır. Modern tekniklerden sürekli döküm, 3D baskı destekli döküm ve toz metalurjisi dökümü gibi gelişmiş yöntemler de ayrıca ele alınmıştır.



-Kum Kalıba Döküm: (a) Açık Kalıp, (b) Kapalı Kalıp-



Sonuçlar ve Tartışma

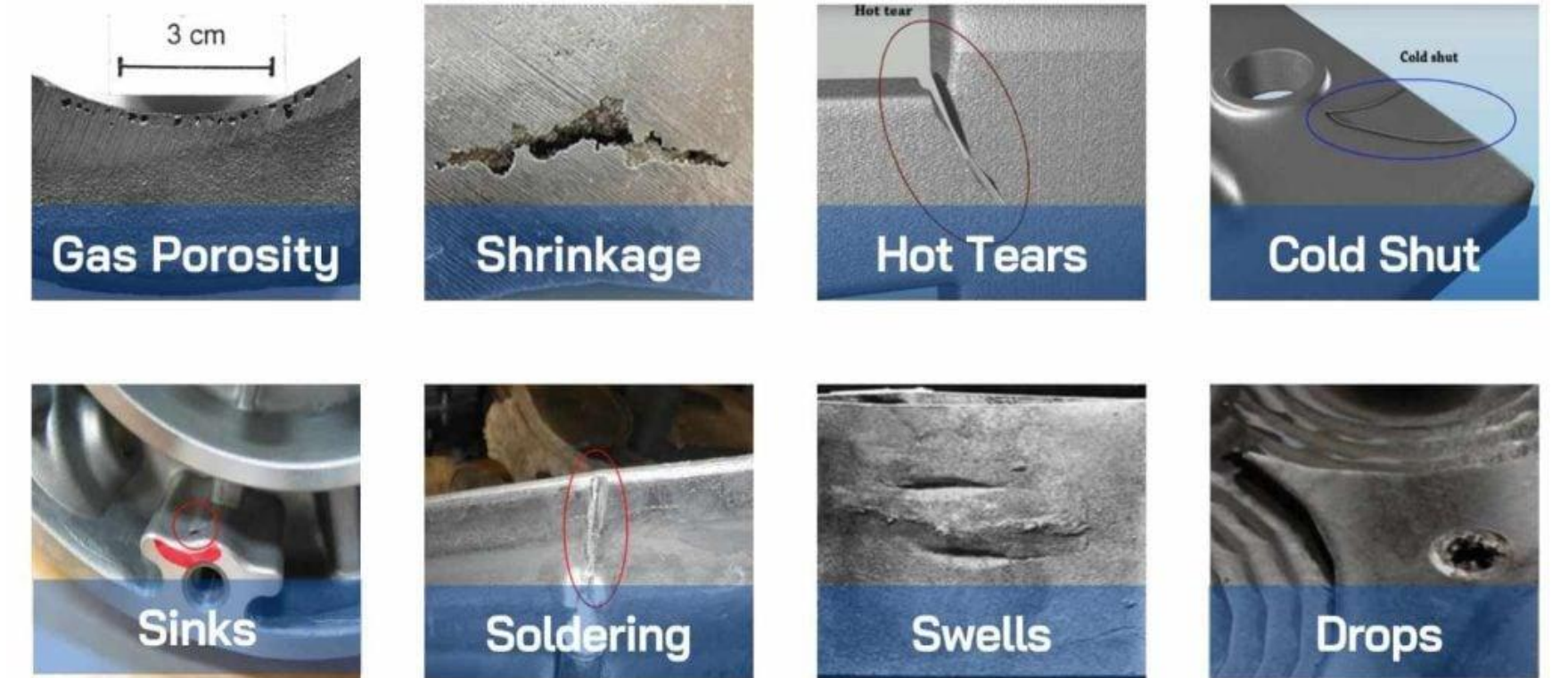
İnceleme sonucunda her döküm yönteminin belirli avantajlara ve sınırlamalara sahip olduğu görülmüştür. Kum döküm, düşük maliyetli ve büyük parçalar için uygundur ancak yüzey kalitesi düşüktür. Basınçlı döküm, hassas ve seri üretime uygundur fakat karmaşık sistemler ve yüksek yatırım gerektirir. Hassas döküm, yüksek detay ve ince yüzey istenen parçalarda öne çıkarken, kokil döküm daha yüksek üretim hızına olanak tanır.

Döküm sırasında karşılaşılan kusurlar –örneğin gaz boşlukları, büzülme, kalıpta soğuma farklılıkları– hem mikroyapı hem de mekanik özellikler üzerinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle, uygun kalıp tasarımı, ergitme ve döküm sıcaklığı kontrolü, havalandırma sistemlerinin verimliliği kritik rol oynamaktadır.

Kalite kontrol için geleneksel görsel inceleme yöntemlerine ek olarak, ultrasonik testler, radyografi (röntgen) ve penetrant muayene gibi tahribatsız testler kullanılmaktadır. Bu yöntemler, üretim sürecinin sürekliliğini sağlamak ve son ürünün güvenilirliğini arttırmak açısından büyük önem taşır.

	Maliyet	Yüzey Kalitesi	Hız	Karmaşıklık
Kum Döküm	Düşük	Orta	Orta	İyi
Basınçlı Döküm	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta
Hassas Döküm	Orta	Çok Yüksek	Düşük	Çok iyi

Die Casting Defects



SONUÇ

Döküm yöntemleri, metal şekillendirme teknolojileri içerisinde hem tarihsel hem de endüstriyel olarak önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, geleneksel döküm teknikleri ile modern uygulamalar arasındaki farklar ortaya konmuş; döküm malzemeleri, kalıp sistemleri, mikroyapı oluşumu ve kalite kontrol süreçleri ile bütünsel bir değerlendirme yapılmıştır.

Döküm sürecinde kullanılan yöntem ve malzeme seçiminin, üretilen parçanın türüne, dayanım beklentisine ve üretim hacmine göre dikkatle belirlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Gelecekte dijital üretim teknolojilerinin (örneğin 3D yazıcı destekli kalıplar) döküm süreçlerinde daha aktif rol oynayacağı, üretimde hassasiyet ve esnekliğin artacağı öngörülmektedir.

Kaynakça

- Campbell, J. (2015). Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Techniques and Design. Butterworth-Heinemann.
- Şahin, Y. (2020). Döküm Teknolojisi ve Uygulamaları. Nobel Yayıncılık, Ankara.
- ASM International. (2002). Casting. Volume 15 of ASM Handbook Series.



AISI 1020 ÇELİĞİNİN YÜZEYİNDE FEB-MoC KOMPOZİTİNİN OLUŞTURULMASI VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ



Mustafa Arif ALTAY, Batuhan KOÇ, Süleyman Serdar PAZARLIOĞLU

Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü 34854 Maltepe-İstanbul

marif21@marun.edu.tr, bkoc21@marun.edu.tr

ÖZET

Yüzey sertleştirme, malzeme dayanımını artırmak amacıyla sıkça tercih edilen bir yöntemdir. Bu çalışmada, AISI 1020 çeliği üzerine TIG kaynağıyla yüzey alaşımlama uygulanmıştır. Ferro Bor (FeB) tozlarına %1, %2,5 ve %5 oranlarında molibden karbür (MoC) eklenerek 100A, 110A ve 120A akımlarda işlem gerçekleştirilmiştir. Elde edilen en yüksek sertlik değeri 1563±248 HV (FeB-2.5MoC, 120A), en düşük sertlik değeri ise 349±44 HV (FeB-1MoC, 100A) olarak bulunmuştur. Ham çelik sertliği olan 174±8 HV ile karşılaştırıldığında, yüzey sertliğinde önemli artışlar sağlanmıştır. Bu sonuçlar, FeB-MoC alaşımlarının yüzey sertleştirmede etkili olduğunu göstermektedir.

GİRİŞ

Metalik malzemeler zamanla aşınma, korozyon ve oksidasyon gibi etkilerle işlevini yitirir. Bu problemleri önlemek amacıyla yüzey sertleştirme işlemleri uygulanır. Geleneksel yüzey kaplama yöntemleri yüksek maliyetli ve bazı yapısal sorunlara neden olabilirken, TIG (Tungsten Inert Gas) yüzey alaşımlama, düşük maliyetli ve etkili bir alternatif olarak öne çıkar. Bu yöntemde, yüzeye serpiştirilen toz karışımları TIG arkı ile ergitilir ve altlıkla birleşerek sert, ince taneli bir mikroyapı oluşturur. Bu yapı sayesinde malzemenin aşınma, korozyon ve oksidasyon direnci önemli ölçüde artar. Bu çalışmada AISI 1020 çeliği yüzeyine ferro bor (FeB) ve Moibden karbür (MoC) içeren toz karışımları (%1, %2,5, %5 VC) 100A, 110A ve 120A akımlarda uygulanarak yüzey alaşımlama gerçekleştirilmiştir. İşlem sonrası yapılan optik mikroskop, XRD analizleri ve sertlik testleri, yüzey özelliklerinin belirgin şekilde iyileştiğini göstermiştir.

DENEYSEL İŞLEMLER

Bu çalışmada, AISI 1020 çeliği altlık malzemesi olarak kullanılmış ve yüzeyine farklı oranlarda FeB + MoC toz karışımlarıyla TIG yüzey alaşımlama işlemi uygulanmıştır.

Altlık Malzeme: AISI 1020 çeliği (60x30x5 mm)

Tablo 1. Altlık malzemesi olarak kullanılan 1020 çeliğinin kimyasal bileşimi

Altlık Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Fe
AISI 1020	0,11	0,03	0,56	0,007	0,005	0,07	0,03	Kalan

Tablo 2. Kullanılan saf demir ve ferro alaşımların kimyasal bileşimleri

	B (%)	Al (%)	Si (%)	P (%)	C (%)	S (%)	Fe
Fe-B	19.72	0.06	0.46	0.034	0.25	0.005	Kalan

Tablo 3. TIG yüzey alaşımlamada kullanılan karışımlar ve kimyasal bileşimleri

GRUP 1	FeB (%ağırlıkça)	MoC (%ağırlıkça)
Karışım 1	99	1
Karışım 2	97,5	2,5
Karışım 3	95	5

Karışımlar 4 saat boyunca Turbula karıştırıcıda homojenize edilmiştir.

Tablo 4. TIG yüzey alaşımlamada kullanılan işlem parametreleri

Parametre	Değer		
Elektrot	W-2 pct ThO ₂		
Elektrot çapı	2 mm		
Kaynak açısı	70°		
Voltaj	20 V		
Akım	100 A	110 A	120 A
Isı girdisi	1.20 kJ/mm	1.32 kJ/mm	1.44 kJ/mm
Koruyucu gaz	Ar (%99.9 saflıkta)		
Koruyucu gaz akış debisi	3 l/dakika		
Kaynak hızı	60 mm/dak.		

Optik Mikroskop ile mikroyapı incelenmiştir. XRD Analizi (Philips X'Pert) ile faz yapısı 10°–90° 2θ aralığında analiz edilmiştir. Sertlik Ölçümleri:200 g yük altında, 10 saniye boyunca Future Tech FM-300 mikrosertlik cihazıyla ölçülmüştür. Sadece alaşımlama bölgesi ve ara geçiş bölgesi ölçülmüştür. Numuneler Toz Metalurjisi Laboratuvarı'nda kesilerek hazırlanmıştır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada TIG yüzey alaşımlama yöntemi ile FeB-MoC toz karışımları kullanılarak AISI 1020 çeliğinin yüzey özellikleri iyileştirilmiştir. Farklı MoC oranlarında (%1, %2.5, %5) ve akım değerlerinde (100A, 110A, 120A) yapılan işlemler sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

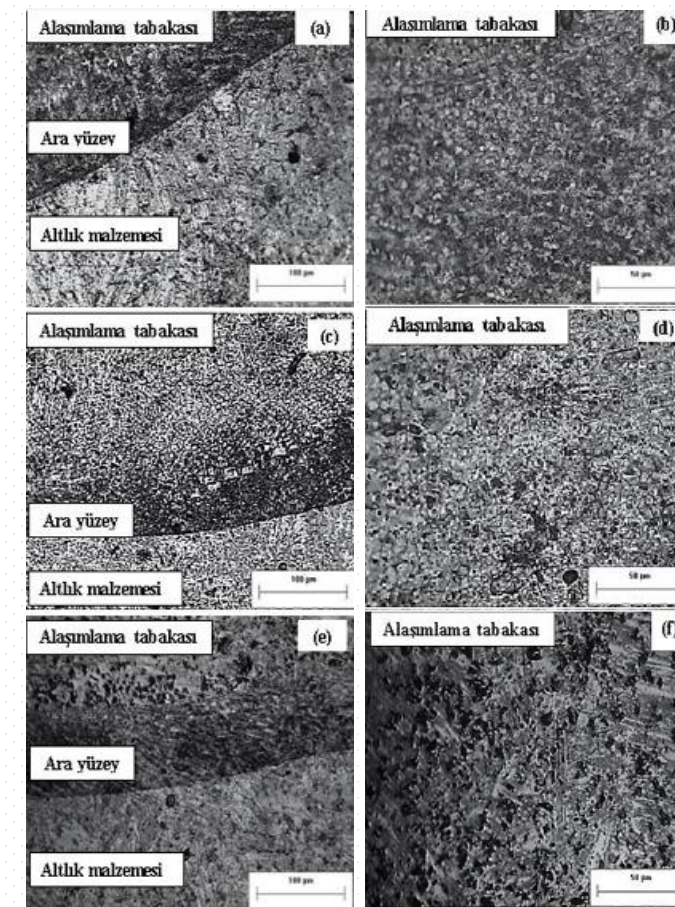
Mikroyapı Gözlemleri: Artan MoC oranı ve akım değerleriyle birlikte mikroyapıda tanelerin şekli değişmiş; beyaz, kübik yapılar yerini siyah ve küremsi yapılara bırakmıştır. Bu durum, MoC'nin yüksek ergime sıcaklığı (2577°C) nedeniyle kaynak banyosunda tam çözülmemesiyle ilişkilidir.

Faz Oluşumları (XRD Analizi): Alaşımlama tabakasında FeB, Fe₂B, Fe₂₃B₆, α-Fe, MoB₂ ve Fe₂Mo₄C fazları tespit edilmiştir. Fe₂Mo₄C fazı, yüksek sertlik sağlarken, MoB₂ fazı da yüzey özelliklerini geliştiren plaka şeklinde kristalleşen karbür fazı olarak öne çıkmıştır. Bu fazlar denge dışı soğuma nedeniyle ortaya çıkmıştır.

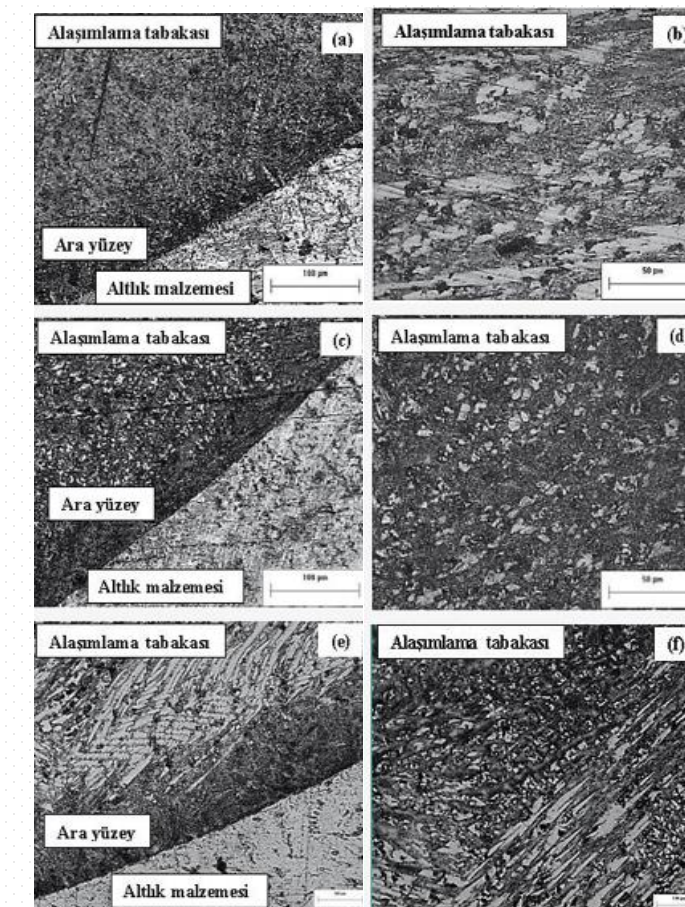
Sertlik Değerleri: En yüksek ortalama sertlik değeri FeB-1MoC bileşiminde 100A akımda 1563±248 HV, en düşük ise yine aynı bileşimde 349±44 HV olarak ölçülmüştür. Referans AISI 1020 çeliği ~174 HV'dir. 2.5MoC ve 5MoC içeren örneklerde sırasıyla 1427 HV ve 1474 HV gibi yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Ancak ara yüzey bölgelerindeki sertlik, MoC oranı arttıkça azalmış ve bunun sebebi katılaşma hızının düşmesi olarak değerlendirilmiştir.

Katılaşma ve Soğuma Hızı: MoC'nin yüksek ergime sıcaklığı nedeniyle kaynak banyosunda tam çözünememesi, hızlı ve homojen katılaşmayı zorlaştırmıştır. Bu nedenle artan MoC oranlarında katılaşma daha yavaş gerçekleşmiş, bu da ara yüzeyde faz geçişleri ve tanelerin morfolojik dönüşümüne neden olmuştur. Buna rağmen, oluşan sert fazlar yüzey sertliğinde genel bir artış sağlamıştır.

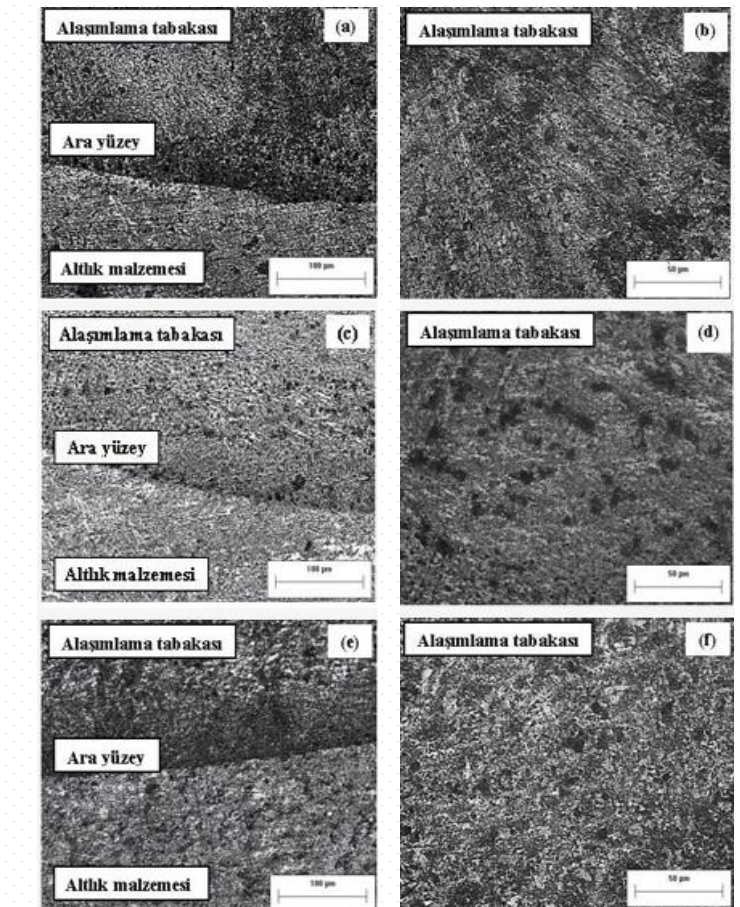
Genel Sonuç: FeB-MoC ile yapılan TIG yüzey alaşımlama işlemi, AISI 1020 çeliğinin yüzey sertliğini ve aşınma direncini ciddi şekilde artırmıştır. Özellikle Fe₂Mo₄C ve MoB₂ gibi sert fazların oluşumu sayesinde mekanik özelliklerde iyileşme sağlanmıştır.



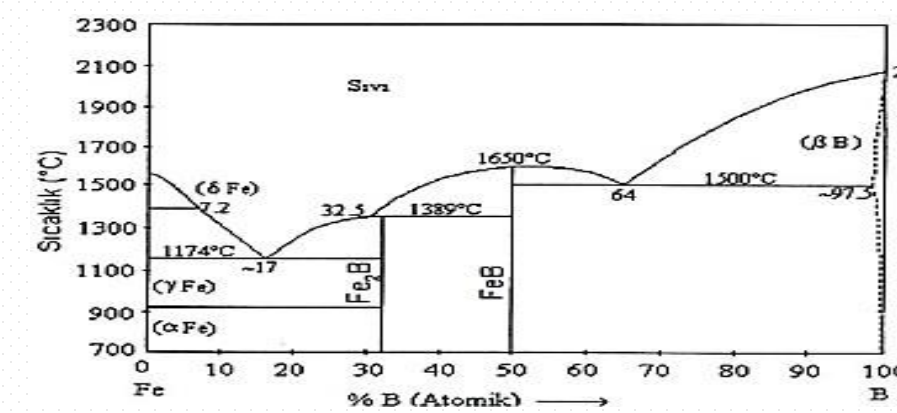
Şekil 1. (a) 100A, (c) 110A ve (e) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-1MoC alaışımının alaşımlama tabakası-ara yüzey-altlık malzemesi bölgelerine, (b) 100 A, (d) 110A ve (f) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-1MoC alaışımının alaşımlama tabakasına ait optik mikroyapı görüntüler



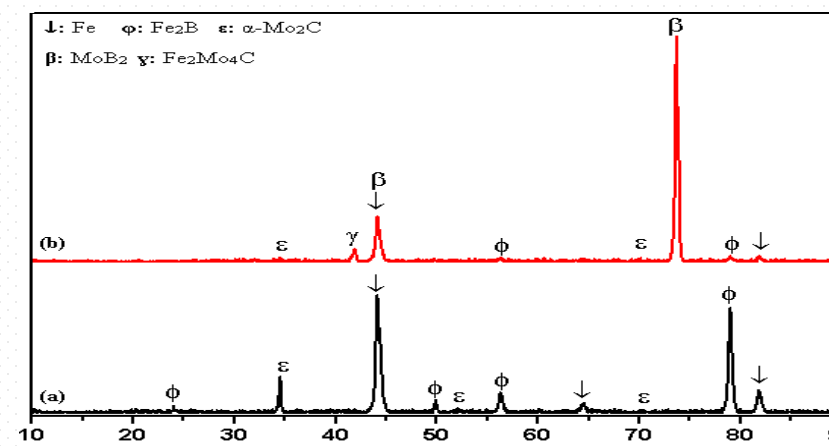
Şekil 2. (a) 100A, (c) 110A ve (e) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-2.5MoC alaışımının alaşımlama tabakası-ara yüzey-altlık malzemesi bölgelerine, (b) 100 A, (d) 110A ve (f) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-2.5MoC alaışımının alaşımlama tabakasına ait optik mikroyapı görüntüleri



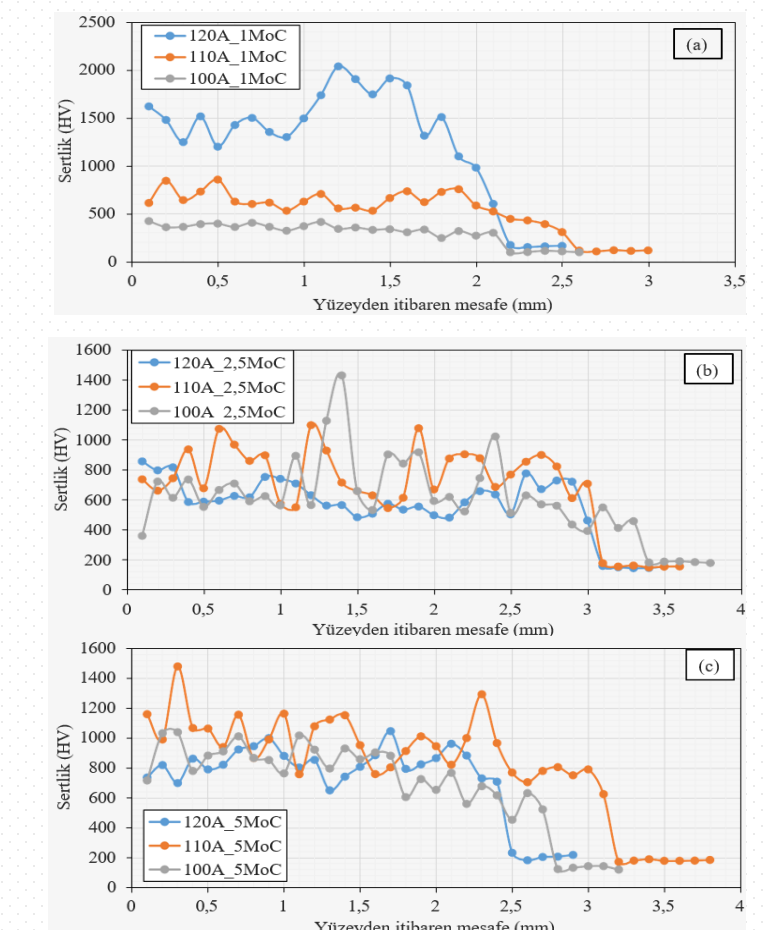
Şekil 3. (a) 100A, (c) 110A ve (e) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-5MoC alaışımının alaşımlama tabakası-ara yüzey-altlık malzemesi bölgelerine, (b) 100 A, (d) 110A ve (f) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-5MoC alaışımının alaşımlama tabakasına ait optik mikroyapı görüntüle



Şekil 4. Demir-bor ikili faz diyagramı



Şekil 5. (a) 100 Amperde çekilmiş olan FeB 1MoC (b) 120 Amperde çekilmiş olan FeB- 1MoC kimyasal bileşimindeki alaşımlama tabakalarına ait XRD analizleri



Şekil 6. (a) Fe-B-%1VC (b) Fe-B-%2.5VC ve (c) Fe-B-%5VC alaşımlama tabakalarının 100,110 ve 120 A'c göre sertlik dağılımları

DEĞERLENDİRME

◆ MoC oranı, alaşımlama tabakasında daha yoğun ve düzgün faz oluşumunu desteklemiştir.	◆ %5 MoC ilavesinde, düşük çözünürlük ve faz ayrışmaları nedeniyle yapı düzensizleşmiş, sertlikte düşüş gözlenmiştir.	◆ En düşük sertlik değeri: FeB-1MoC / 120A akımda → 349 HV
◆ En yüksek sertlik değeri: FeB-1MoC / 100A akımda → 1563 HV	◆ XRD analizlerinde, FeB, Fe ₂ B, Fe ₂₃ B ₆ , α-Fe, Fe ₂ Mo ₄ C ve MoB ₂ fazları tespit edilmiştir.	◆ Sertliği artıran Fe ₂ Mo ₄ C fazı, yüzeyde kararlı bir yapının oluşmasına katkı sağlamıştır.
◆ Fe ₂ Mo ₄ C ve MoB ₂ gibi sert ve karmaşık fazlar, yüzey sertliğine önemli katkı sağlamıştır.	◆ MoC parçacıkları, yüksek ısı absorpsiyonu sayesinde katılaşma hızını düşürmüş, bu da bazı bölgelerde iri taneli yapıların oluşmasına neden olmuştur.	◆ FeB-MoC kompozitleri, AISI 1020 çeliğine kıyasla yüzey sertliğini yaklaşık 9 kata kadar artırmıştır.

Kaynaklar

- Fang, Z.Z., Sohn, H.Y. (2001). Kinetics of molybdenum carbide formation from MoO₃ and carbon black. Metallurgical and Materials Transactions B, 32(3), 473–481.
- Kılınç, B. (2018). TIG yöntemiyle çelik yüzeyinde Fe-M-B esaslı alaşımlar ve özellikleri. Yüksek Lisans Tezi.
- Choi, B.W., Lee, J.W., & Kang, S.H. (2006). Effect of Boron and Molybdenum Carbide on Mechanical Properties of Coated Layer by Laser Surface Alloying. Surface and Coatings Technology, 200(7), 2351–2356.

AA1080 Alüminyumda Pb ve Cu Katkılarının Mikroyapı ve İşlenebilirlik Performansına Etkisi

Necip Acar, Mehmet Berke Bölükbaş, Recep Tayyip Çetin, Semih Özbey
Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

Özet

Alüminyum ve alaşımları, hafiflik, görece yüksek dayanım, korozyon direnci, dökülebilirlik ve maliyet avantajları sayesinde otomotiv, havacılık ve makine gibi birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum döküm yöntemi, metalin ergitilerek kalıba dökülüp katılaştırılmasıyla çeşitli geometrilere parça üretimine olanak sağlar. Döküm alaşımlarında mekanik özellikleri artırmak amacıyla katı eriyik sertleşmesi ve ikincil faz oluşumu gibi mekanizmalar devreye girer. Katı eriyikte, atomlar ana kafes yapısında çözünerek yerel gerilimler oluşturur; ikincil fazlar ise farklı kristal yapılar oluşturarak dislokasyon hareketini sınırlar. Bu çalışmada, AA1080 alüminyum matrisine %1, %2 ve %3 oranlarında Pb ve Cu ilavesi yapılmış; katkıların mikroyapı, sertlik ve işlenebilirlik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Numuneler indüksiyon ocağında ergitilerek silindirik kalıplara dökülmüş, ardından metalografik analiz, Vickers mikrosertlik testi ve CNC tornalama işlemleri uygulanmıştır. Sonuçlar, Cu katkısının sertliği artırarak kırılma talaş yapısına, Pb katkısının ise sünek talaş oluşumuna ve daha iyi işlenebilirliğe yol açtığını göstermektedir.[1]

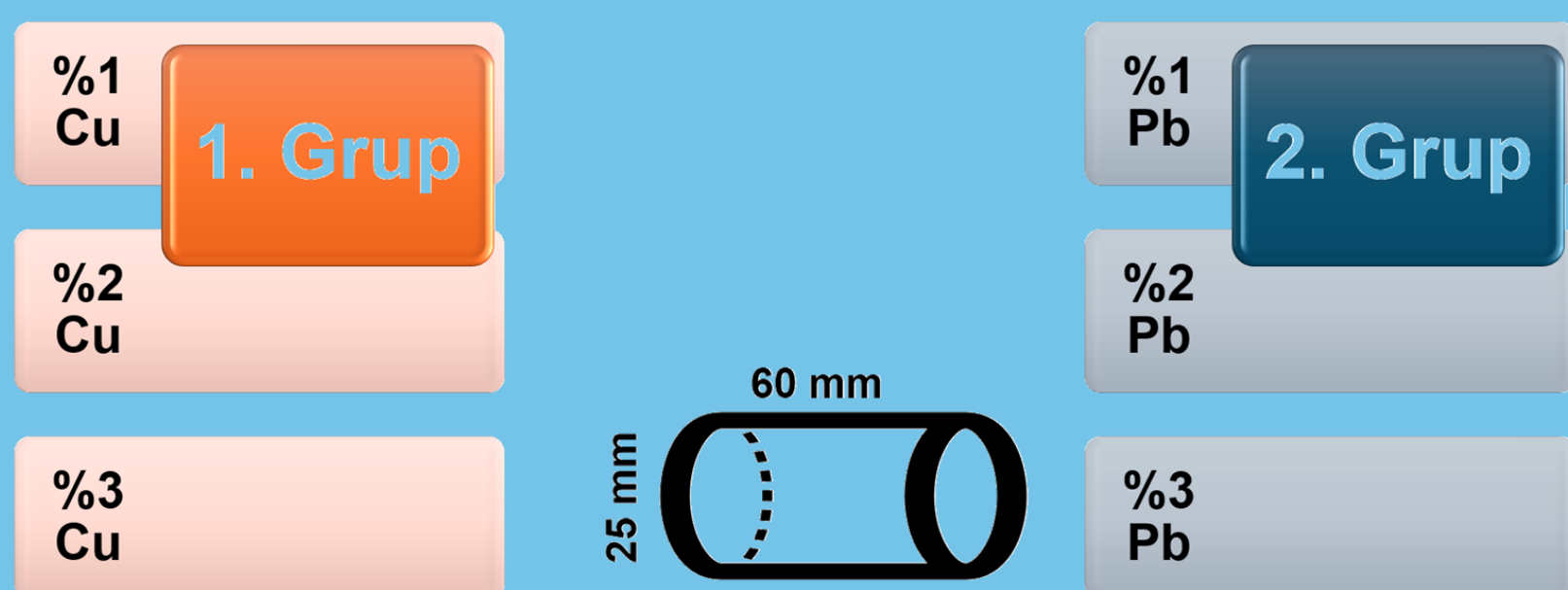
Materyal ve Yöntem

Materyal

Bu çalışmada ana matris malzeme olarak ticari saflıkta AA1080 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. İşlenebilirlik özelliklerini karşılaştırmak amacıyla alüminyum matrisine yüksek saflıkta kurşun (Pb) ve bakır (Cu) katkıları eklenmiştir. Katkı oranları deneysel tasarım doğrultusunda ağırlıkça %1, %2 ve %3 olarak belirlenmiş numune grupları şekil 1’de gösterilmiştir. Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri, XRF cihazı ile analiz edilerek doğrulanmıştır. Mikroyapı ve mekanik testler için gerekli donanımlar arasında optik mikroskop, Vickers mikrosertlik cihazı ve CNC torna kullanılmıştır. Bu cihazlarla yapılacak analizler ve testler, alaşım katkılarının mikroyapı ve işlenebilirlik üzerindeki etkilerini ortaya koymak üzere planlanmıştır.

Yöntem

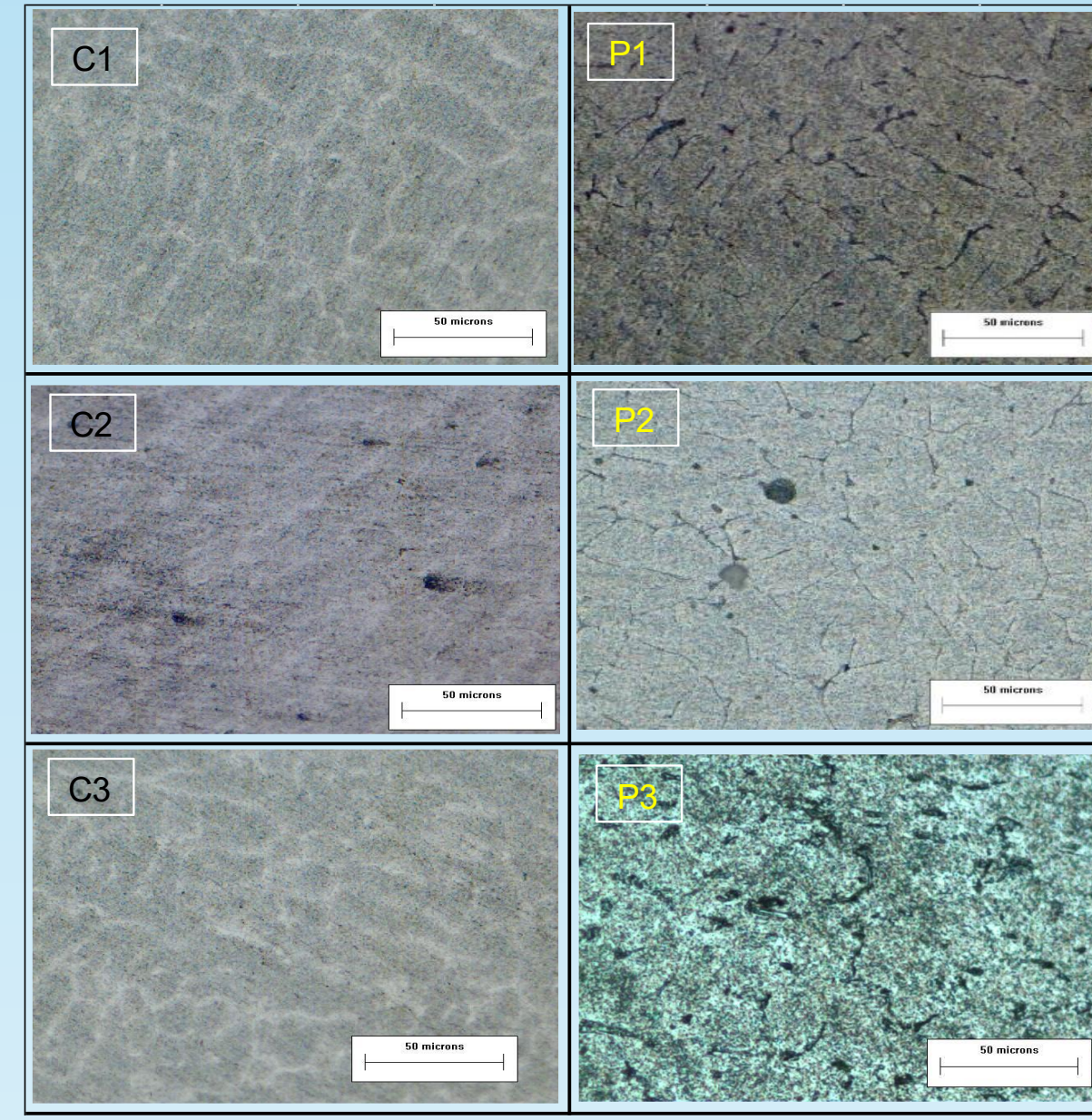
Öncelikle, her bir alaşım kompozisyonu için hassas terazide tartım yapılmış ve Al matris ile Pb/Cu katkıları belirlenen oranlarda hazırlanmıştır. Ergitme süreci indüksiyon ocağında, grafit pota içinde 700 °C’ye kadar ısıtma ve homojen karıştırma adımları izlenerek gerçekleştirilmiştir. Ergitilen alaşım, önceden ısıtılmış silindirik metal kalıplara dökülerek numuneler elde edilmiştir. Döküm sonrası numuneler metalografik inceleme için 25 mm çap ve 3 mm kalınlıkta diskler halinde kesilmiş, zımpara işlemi yapılmıştır. Ardından alümina süspansiyonla parlatma işlemi ve Keller reaktifli ile kısa süreli dağlama uygulanmıştır. Mikroyapı değerlendirmesi optik mikroskopta dendritik yapı ve faz dağılımı incelenerek yapılmıştır. Mekanik özellikler açısından Vickers mikrosertlik testleri gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik çalışmaları ise CNC torna tezgahında kuru kesme şartlarında yürütülmüş ve talaş karakteri görsel olarak incelenmiştir. Elde edilen veriler, alaşım katkılarının sertlik, mikroyapı, yüzey kalitesi ve talaş kırılma davranışı üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.



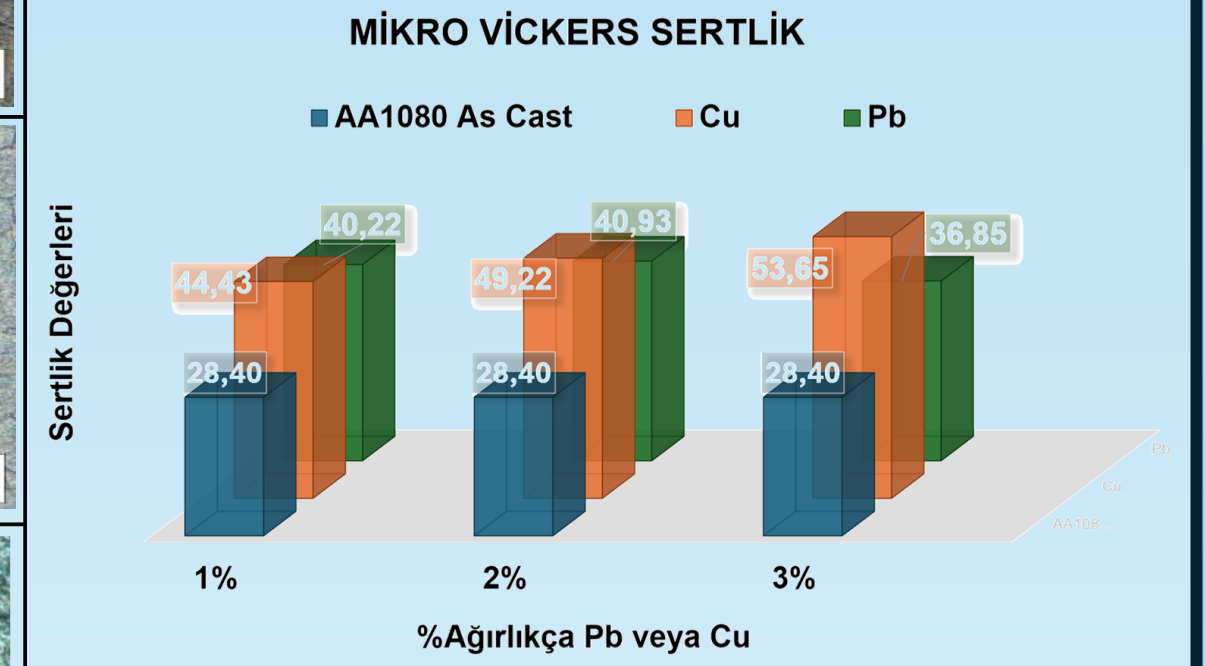
Şekil 1. Hazırlanan alaşımların kompozisyonları

Sonuçlar ve Tartışma

Optik mikroskopta 100× büyütme ile bakıldığında, Cu katkılı örneklerde dendrit yapısı koloniyel bir görünüm kazanmış ve ikincil kollardaki mesafe belirgin şekilde daralmıştır; bu durum, Al₂Cu fazlarının çökerek sertlik artışına katkıda bulunduğunu göstermektedir. Pb katkılı örneklerde ise tane sınırlarında siyah nokta görünümünde Pb partikülleri izlenmiş; katkı oranı yükseldikçe bu partiküller daha yoğun hale gelmiştir. Bu partiküller matrisin sünekliğini artırıp sertlikte görece bir azalmaya neden olmaktadır. Şekil 2’deki mikroyapı görüntüleri ve şekil 3’teki sertlik test sonuçları bu bulguları destekleyerek, Cu katkısının sertliği yükselttiğini, Pb katkısının ise süneklik ve işlenebilirliği iyileştirdiğini doğrulamaktadır.[2,3,4]



Şekil 2. Optik Mikroskop ile 100x Büyütme



Şekil 3. Sertlik Test Sonuçları

Sonuç

Deneysel bulgular, AA1080 matrisine eklenen Cu katkısının mikrosertlik değerlerini belirgin biçimde artırırken talaşlı imalatta kırılma, kısa talaş karakteri ve artan yüzey pürüzlülüğü ile işlenebilirlik zorlukları yarattığını; buna karşın Pb katkısının daha düşük sertlik sunmasına rağmen sünek talaş oluşumunu destekleyerek işlenebilirliği iyileştirdiğini ortaya koymuştur. Mikroyapı analizlerinde Cu eklemeli örneklerde ince SDAS aralığı ve interdendritik Al₂Cu fazları, Pb eklemeli örneklerde ise tane sınırlarında dağılan Pb parçacıkları gözlenmiştir. Bu sonuçlar, otomotiv ve makine parçalarında işlenebilirlik öncelikli durumlarda Pb katkılı alaşımların avantaj sağladığını, yüksek sertlik gerektiren uygulamalarda ise Cu katkısının kullanımının ancak kesme parametrelerinin dikkatli optimizasyonu ile mümkün olabileceğini göstermektedir.

Kaynakça

- 1) "Why Work with Aluminum 4047?". Lynch Metals, Inc. 23 January 2019. Retrieved 25 June 2019
- 2) Häusler, Ines; Schwarze, Christian; Bilal, Muhammad; Ramirez, Daniela; Hetaba, Walid; Kamachali, Reza; Skrotzki, Birgit (2017). "Al-4Cu-1Li-0.25Mn'de Yaş Sertleştirme Sırasında T1 ve θ' Fazının Çökmesi: Mikroyapısal Araştırma ve Faz-Alan Simülasyonu". Malzemeler . 10 (2): 117. doi : 10.3390/ma10020117 . PMC 5459132 . PMID 28772481 .
- 3) George E. Totten, D. Scott MacKenzie: Alüminyum El Kitabı – 1. Grup: Fiziksel Metalurji ve İşlemler. Marcel Dekker, New York/Basel 2003, S. 141–143
- 4) Aluminium-Taschenbuch – Band 1. 16. Auflage, Aluminium-Verlag, Düsseldorf 2002, S. 114 f.

Metal Tozu Dolgulu Polyester Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

ÖZET

Bu çalışmada, taşlama işlemi sırasında elde edilen atık metal tozlarının polyester reçineye ilave edilerek dolgu malzemesi olarak kullanımı incelenmiştir. Doymamış polyester reçinesi, bu kompozit malzemede matris malzemesi olarak seçilmiştir. Dolgu malzemesi olarak ise taşlama işlemi sonrasında atık olarak ortaya çıkan metal tozları kullanılmıştır. Metal tozu dolgu oranı ağırlıkça %1, %2, %3, %4 ve %5 olacak şekilde belirlenmesinin ardından, polyester reçinesinin sertleşmesini sağlamak amacıyla reçineye %1,5 oranında sertleştirici ilave edilmiştir. Numune hazırlama sürecinde teflon açık kalıba döküm ile elde edilen numunelere; sertlik testi, Izod darbe testi ve çekme testi gibi mekanik testler uygulanmış, kırık yüzeyler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir.

Çalışmanın sonucunda, metal tozu dolgusunun belli bir orana kadar kompozit malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirdiğini fakat bu orandan itibaren bir düşüş görüldüğü tespit edilmiş, bu tür malzemelerin geniş yelpazeli bir kullanım potansiyeline sahip olduğu öngörülmüştür. Üstün özellikler göstermesi sebebiyle %2 dolgu oranında olan numune grubunun ideal dolgu grubu olduğunda karar kılınmıştır.

GİRİŞ

Kompozit malzemeler, farklı malzemelerin birleşimiyle elde edilen, her bir bileşenin özelliklerinden faydalanarak üstün performans sergileyen malzemelerdir. Bu malzemeler, düşük ağırlıkları, yüksek dayanıklılıkları ve korozyona karşı dirençleri ile özellikle havacılık, otomotiv, inşaat ve spor endüstrilerinde büyük bir öneme sahiptir, enerji verimliliğini artırma, maliyetleri düşürme ve çevresel etkiyi azaltma gibi avantajlar sunarak sürdürülebilir teknolojilere katkıda bulunurlar. Kompozit malzemeler, gelecekteki mühendislik uygulamaları ve inovasyonlar için kritik bir rol oynamaktadır. (Kartal vd., 2023)

Sürdürülebilirliğin ve hammadde yönetiminin her geçen gün önem arz etmesi ile atık hammadde kullanımının gitgide değer kazanmasıyla, üretim için geri dönüştürülmüş malzemeleri kullanmak sürdürülebilir modernleşmenin anahtarlarından biri olarak görülmektedir. (Girge vd., 2021; Peczek vd., 2024)

Bu çalışmada gerçekleştirilen atık metal tozlarının kompozitlerde kullanımı, üretim atığı olan bu tozların kazandırılması ile çevresel ve performansa dayalı faydalar sunar.

MALZEMELER VE YÖNTEM



Şekil 1. Test numuneleri

Numunelerde matris malzeme olarak polyester reçine kullanılmıştır. Metil eton keton peroksit (MEK-P) doymamış polyesterleri oda sıcaklığında kürlmek için kullanılan sertleştiricidir. Oda sıcaklığında yapılan sertleştirme işlemi zaman ve maliyet avantajı sağlamaktadır. Dolgu malzemesi olarak ise taşlama işleminin ardından atık olarak ortamda bulunan metal tozları kullanılmıştır.

Tablo 1. Bileşenler ve malzemeler

Malzeme Türleri	Kullanılan Malzemeler
Matris	Polyester reçine
Sertleştirici	Metil Etil Keton Peroksit (MEK-P)
Dolgu	Taşlama sonrası elde edilen metal tozları



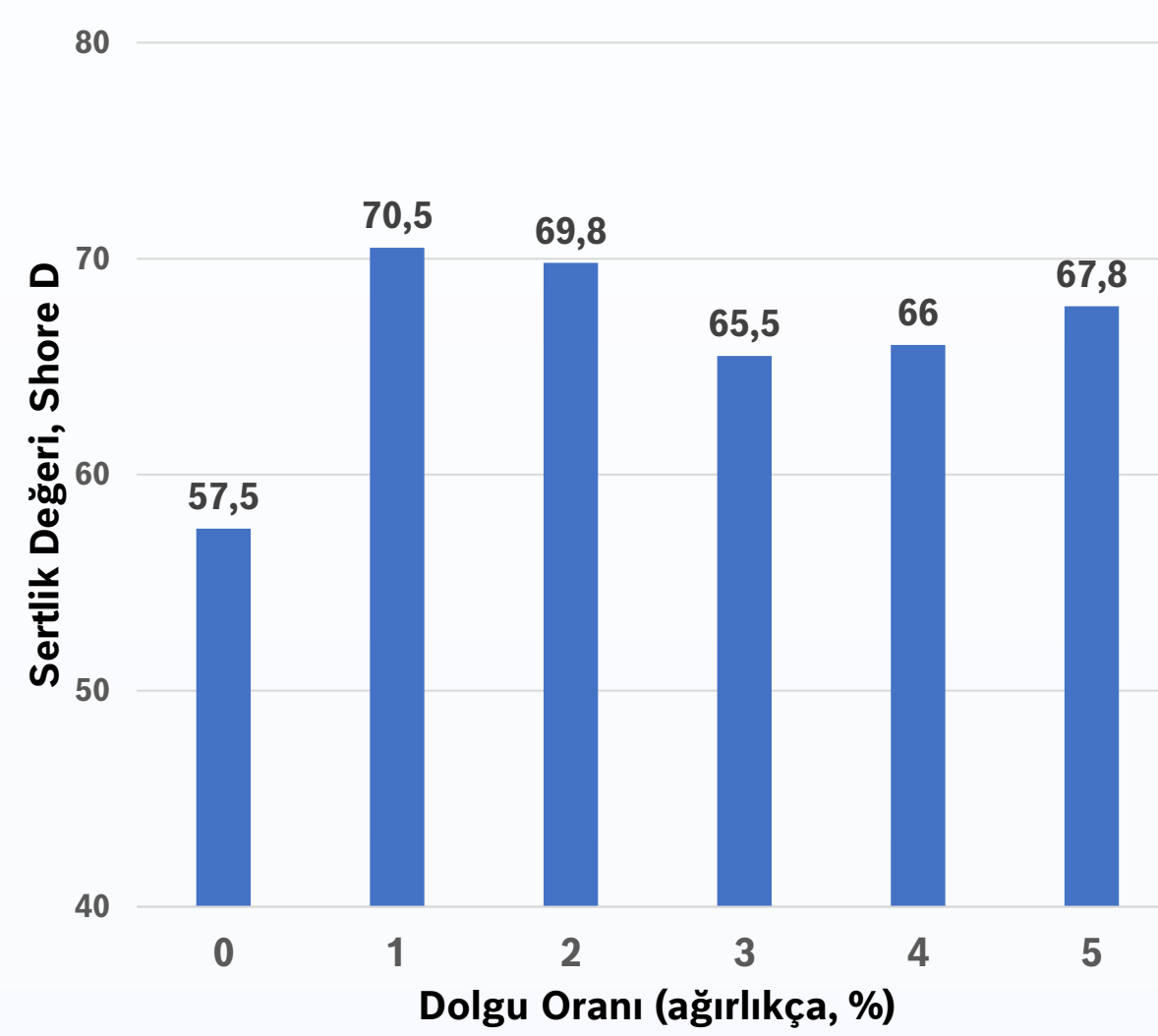
Şekil 2, 3 ve 4. Atık metal tozları, polyester reçine ve sertleştirici

BULGULAR VE TARTIŞMA

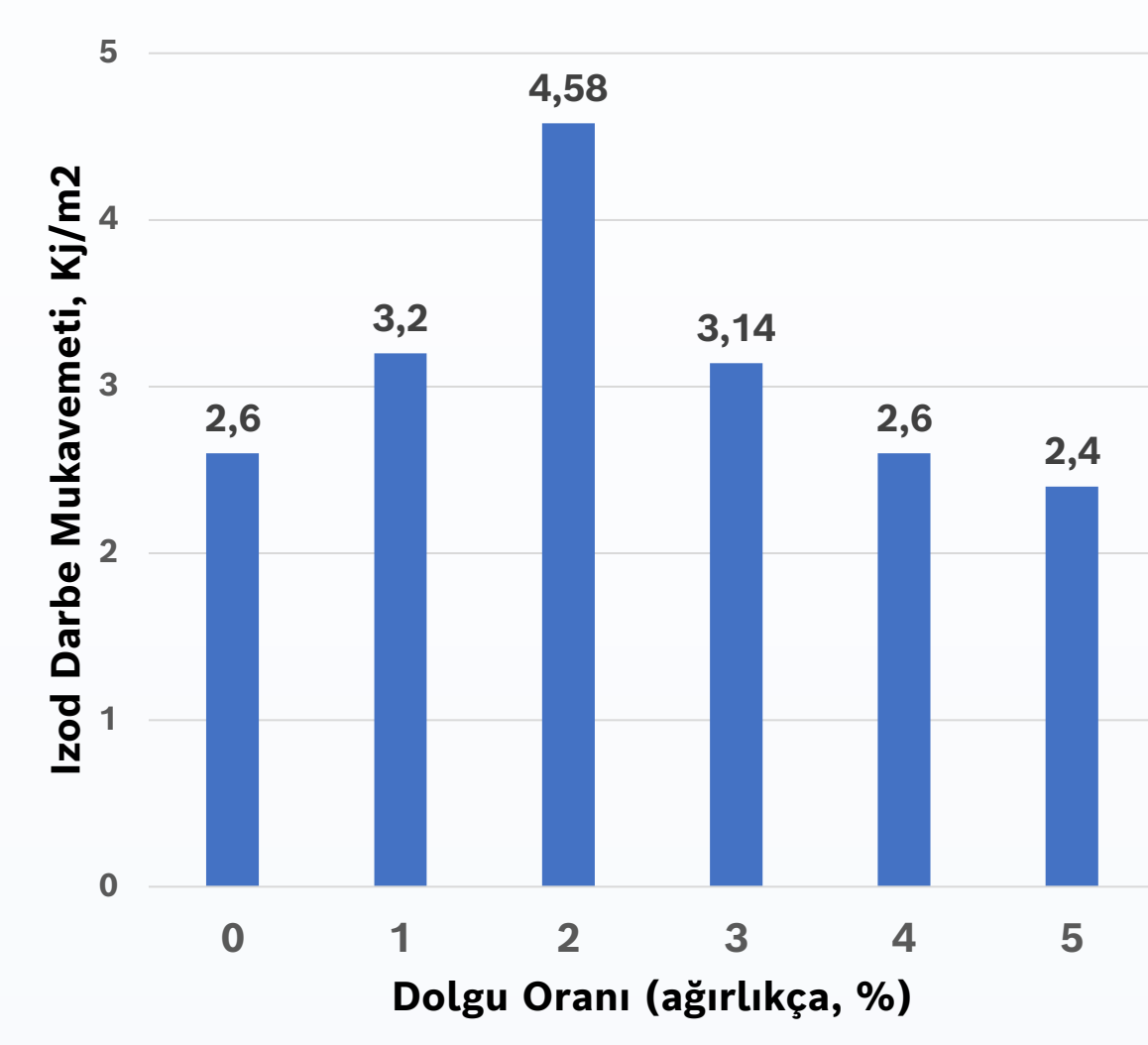
Kompozitlerde dolgu oranı artışı çekme dayanımını önce artırıp sonra düşürmektedir; elastisite modülleri tüm oranlarda saf polyestere göre yüksektir. %2 en ideal dolgu oranı olarak görülmektedir. Artan dolgu oranı, zayıf bağlanma nedeniyle daha düşük kırılma yüküne yol açıyor olabilir (Kartal vd., 2019).

Tablo 2. Mekanik test sonuçları

Dolgu Oranı (%)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	% Uzama
0	38.2	5450	0.54
1	39.8	5520	0.32
2	40.1	5550	0.32
3	37.6	5480	0.3
4	34.2	5610	0.3
5	32.4	5650	0.31



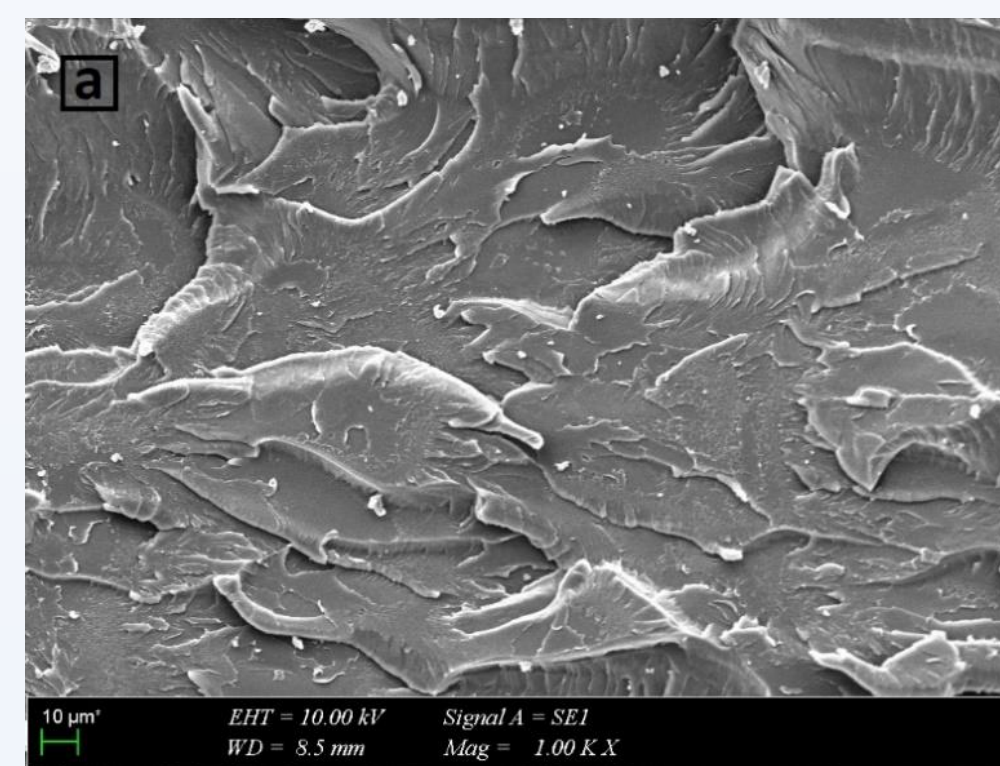
Şekil 5. Numunelere göre sertlik değerleri



Şekil 6. Numunelere göre Izod darbe mukavemeti değerleri

Şekil 5'e göre, dolgu oranı arttıkça sertlik önce artıp (%1-2'de %80 artış) sonra düşüyor (%3 sonrası). Bu, matris-metal zayıf etkileşiminden kaynaklanabilir, mekanik özellikleri olumsuz etkiler (Abdulkareem vd., 2019).

Şekil 6'daki Izod darbe mukavemeti, dolgu arttıkça yükseliyor ancak %3'ten sonra düşüş gösteriyor. Bu düşüş sertlik verileriyle uyumlu olup, belirli dolgu sonrası dayanımın azaldığını destekler (Fu vd., 2008).



Şekil 7. Saf polyester numune (a) ve Dolgu oranı %2 olan numunenin (b) SEM görüntüleri.

Şekil 7'deki SEM görüntülerine göre, saf polyester numunesi (a) gevrek kırılma sergilerken, (b) partiküllerin matris içinde homojen dağıldığı, topaklanma veya üretim hatası olmadığı görülmektedir. Bu durum, darbe dayanımı, sertlik ve çekme dayanımındaki üstün verilerle uyumludur.

SONUÇLAR

Taşlama ile elde edilen metal tozları, polyester matrisin mekanik özelliklerini dolgu malzemesi olarak iyileştirmiştir. %1-%2 dolgu oranlarında en iyi performans sağlanırken, daha yüksek oranlarda arayüz uyumsuzluğu nedeniyle özellikler azalmıştır. Bu yöntem, malzeme kalitesini artırıp endüstriyel atıkları değerlendirmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdulkareem, S. A. et al. (2019). Metalik dolgu maddelerinin polistirenin sertliğine etkisi. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 640(1).
- Bhattacharya, S. K. (1996). *Metal Filled Polymers* (ss. 165–199). Marcel Dekker.
- Fu, S. Y. et al. (2008). Parçacık boyutu ve yüklemenin mekanik özelliklere etkisi. *Compos. Part B: Eng.*, 39(6), 933–961.
- Girge, A. et al. (2021). Endüstriyel atık dolgulu polimer kompozitler: Derleme. *Mater. Today: Proc.*, 47, 2852–2863.
- Kartal, İ. et al. (2019). Talaş dolgulu vinilester kompozitlerin mekanik özellikleri. *Avrupa Bilim ve Tekn. Derg.*, 16, 723–728.
- Kaya, N. Ş., & Kartal, İ. (2025). Metal tozu dolgulu polyester matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. 4. Uluslararası Modern Bilimsel Araştırmalar Kongresi – Çok Disiplinli Araştırma ve Eğitim İçin Küresel Beklentiler, 295–301. ISBN: 979-8-89695-061-5.
- Peczek, E. et al. (2024). Poliüretanlarda geri dönüştürülmüş atık kullanımı. *Materials*, 17(5), 1013.



MARMARA ÜNİVERSİTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

DP980 ve H420LAD Kalitelerinin Kaynaklanabilirliği

PROJE YAZARI: Nur Sena GÖKALP

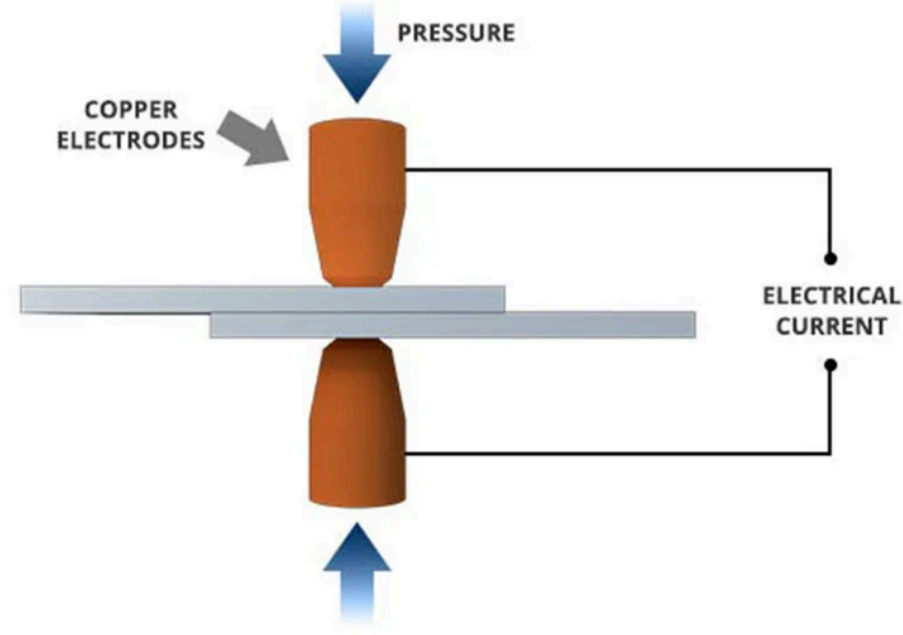
DANIŞMAN: Dr.Öğr.Üyesi Erman FERİK

GİRİŞ

Bu çalışmada, DP980 ve H420LAD yüksek mukavemetli çeliklerin direnç punta kaynağı yöntemiyle birleştirilmesi üzerine deneysel incelemeler yapılmıştır. Kaynak işlemlerinde 7, 8, 9, 10 ve 11 kA akım seviyeleri ile 10, 15, 20 ve 25 periyot kaynak süreleri kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, 11 kA akımda tüm periyotlarda kaynak çekirdeğinde patlamalar ve yapısal bozulmalar meydana gelmiş, bu da aşırı ısıl girdinin kaynak kalitesine zarar verdiğini göstermiştir. En iyi kaynak kalitesi ve mekanik özellikler ise 10 kA akım ve 25 periyot süre parametrelerinde elde edilmiştir. Bu koşullarda kaynak çekirdeği homojen, kararlı ve kusursuz bir yapıya sahip olmuş, çekme dayanımı ve sertlik dağılımı dengeli bulunmuştur. Çekme testleri, sertlik ölçümleri, mikroyapı analizleri ve SEM görüntülemeleri bu sonuçları desteklemiştir. Sonuç olarak, farklı mekanik ve ısıl özelliklere sahip yüksek dayanımlı çeliklerin birlikte kaynaklanmasında uygun parametrelerin seçilmesi, kaynak kalitesi ve performansı açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, endüstriyel uygulamalarda ideal kaynak parametrelerinin belirlenmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, benzer çeliklerin kaynak süreçlerinde optimizasyon çalışmalarına temel oluşturabilir. Ayrıca, kaynaklı bağlantıların dayanıklılığının artırılması ve üretim verimliliğinin yükseltilmesi açısından yol gösterici niteliktedir.

PUNTA KAYNAK

Punta kaynağı, elektrik akımı ve basınçla metal levhaları birleştiren hızlı ve verimli bir yöntemdir. Genellikle otomotiv sektöründe kullanılır. Metal ilavesi gerektirmez, güvenilir ve dayanıklı kaynaklar sağlar, deformasyon ve elektrik çarpma riski düşüktür.



Punta Kaynak Şematik Gösterimi



Numune Görselleri

DP980

DP980, çift fazlı yapıya sahip iletir yüksek dayanımlı bir çeliktir ve ferrit ile martensit fazlarının birleşimi sayesinde hem yüksek mukavemet hem de iyi şekillenebilirlik sunar. Yüksek çekme ve akma dayanımı, iyi darbe emilimi ve dayanıklılığı ile dikkat çeker. Genellikle otomotiv sektöründe çarpışma güvenliği sağlayan yapısal parçalarda (örneğin kapı takviyeleri, darbe çubukları ve şasi elemanları) kullanılır. Kaynak edilebilirliği orta seviyededir ve doğru kaynak parametreleriyle sorunsuz birleştirilebilir. Bu özellikleri sayesinde hem hafiflik hem de dayanım gerektiren uygulamalarda tercih edilir.

H420LAD

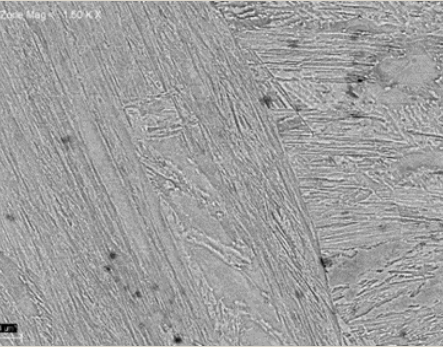
H420LAD, düşük alaşımlı yüksek dayanımlı (HSLA) bir çeliktir ve yüksek akma dayanımı ile iyi şekillendirme kabiliyeti sunar. Çekme dayanımı yüksek olmasına rağmen süneklik özelliğini korur, bu da onu çeşitli soğuk şekillendirme işlemleri için uygun kılar. Genellikle otomotiv endüstrisinde şasi parçaları, takviye elemanları ve taşıyıcı yapılar gibi dayanım gerektiren bileşenlerde kullanılır. Hem mukavemet hem de hafiflik sağladığı için araç ağırlığını azaltarak yakıt verimliliğine katkı sağlar.



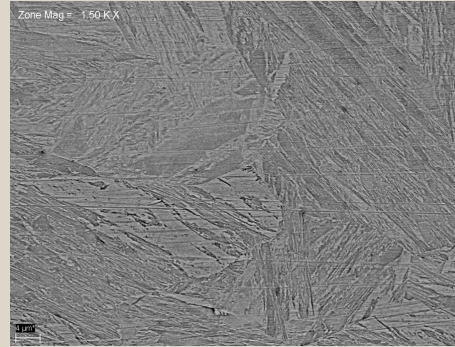
10 Periyot 7kA Kaynak Görseli



25 Periyot 10kA Kaynak Görseli



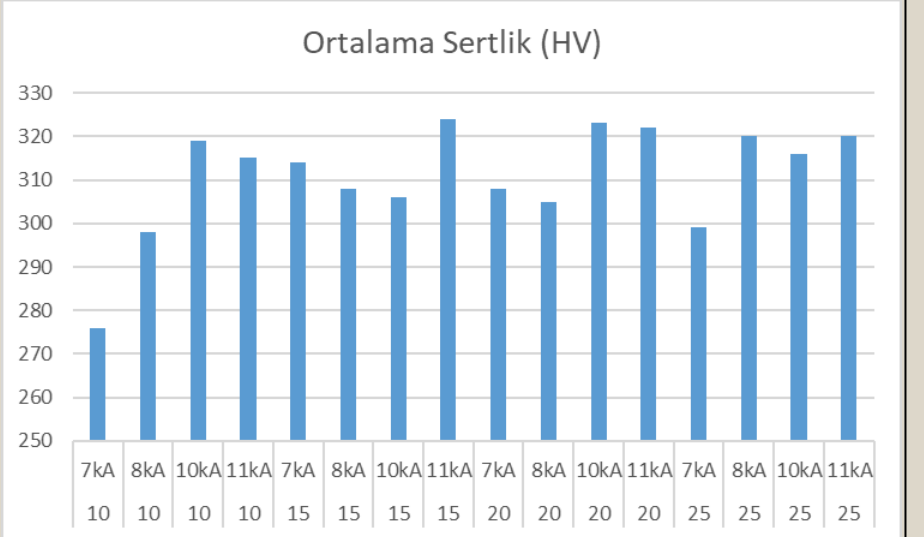
25 Periyot 10kA SEM Görseli



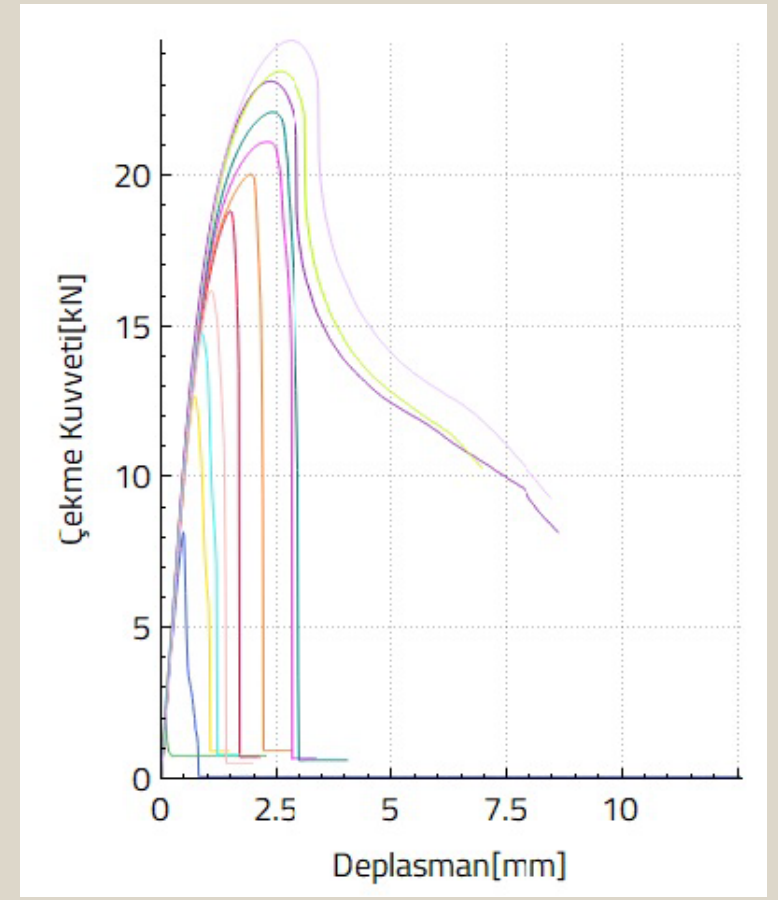
10 Periyot 10kA SEM Görseli

YAPILAN TESTLER

Numunelere çekme testi, sertlik ölçümü, mikroyapı analizi ve SEM görüntülemesi uygulanmıştır. Çekme testi ile kaynaklı birleşmenin mekanik dayanımı, kopma yükü ve uzama miktarı ölçülmüştür. Sertlik testi kaynak bölgesi, ısıdan etkilenmiş bölge (HAZ) ve ana malzemedeki sertlik dağılımını incelemiştir. Mikroyapı analizi optik mikroskopla yapılarak tane yapısı ve faz dönüşümleri gözlemlenmiştir. SEM görüntüleri ise kaynak bölgesindeki mikroyapısal detaylar ve olası çatlak veya boşluklar gibi kusurların tespiti için kullanılmıştır. Bu testler, kaynak kalitesi ve birleşmenin yapısal bütünlüğü hakkında önemli bilgiler sunmuştur.



Sertlik Testi Sonuçları



Çekme Testi Sonuçları

SONUÇLAR

Bu çalışmada, direnç nokta kaynağı yöntemiyle farklı akım ve süre kombinasyonlarında kaynaklı numuneler üretilmiş ve mikroyapı analizi, sertlik testi, çekme testi ile SEM görüntülemeleri yapılmıştır. En yüksek mekanik dayanım 25 periyot ve 10 kA parametrelerinde elde edilirken, en düşük dayanım 10 periyot ve 7 kA'da görülmüştür. 11 kA akımda ise aşırı ısıl giriş nedeniyle kaynak bölgesinde patlamalar yaşanmış ve kaynak kalitesi olumsuz etkilenmiştir. Çalışma, kaynak kalitesini artırmak için doğru parametre seçiminin önemini ortaya koymaktadır.

REFERANSLAR

<https://metazenith.com/ja-vn/blogs/steel-properties/dp980-steel-properties-and-key-applications>.
<https://www.ssab.com/en/brands-and-products/ssab-domex/product-offer/420lad>.
<https://www.ssab.com/en/brands-and-products/ssab-domex/product-offer/420lad>.
<https://www.tatasteleurope.com>.

YARA İYİLEŞTİRME UYGULAMALARI İÇİN 3B BASKILI POLİKAPROLAKTON-SODYUM ALJİNAT-HİYALÜRONİK ASİT YÜKLÜ İSKELELER

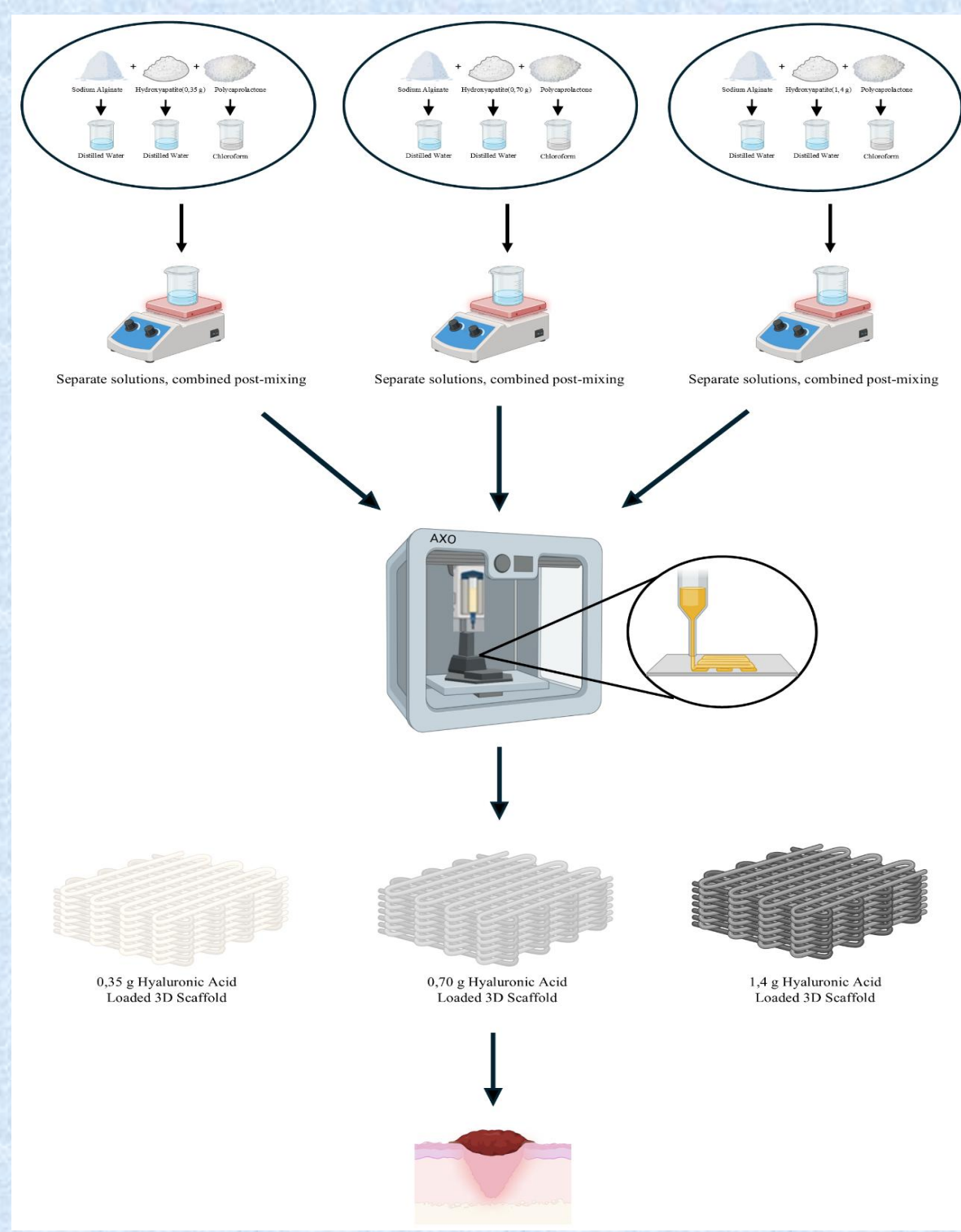
Oğulcan YÜKSEKDANACI, Eray ALTAN, Oğuzhan GÜNDÜZ

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Projenin amacı, yara iyileşmesinin biyolojik, mekanik ve yapısal gereksinimlerini bir arada karşılayacak, üç boyutlu baskı teknolojisi ile hiyalüronik asit (HA), sodyum aljinat (SA) ve polikaprolakton (PCL) içeren kompozit iskeletler geliştirmektir; bu iskeletler nem dengesini koruyarak dokuların kurumasını ve yara izi oluşumunu önler, yüksek gözeneklilikle oksijen geçirgenliğini artırır, PCL matrisi sayesinde kontrollü bozunma ile iyileşme tamamlandığında mekanik desteği kademeli olarak geri çeker, esnek ve dayanıklı yapısıyla hareketli bölgelerde bile formunu korur, HA'nın hidrofilik özellikleriyle hücre yapışması ve proliferasyonunu destekler, ekstraselüler matrisi andıran biyomimetik bir mikroçevre sunar ve ilaç veya büyüme faktörlerinin kontrollü salınma imkânı vererek enfeksiyon riskini azaltır; bu çok işlevli platform, kesikler, sıyrıklar, yırtılmalar ve yanıklar gibi akut yaralar ile diyabetik ayak ülserleri, bası yaraları ve venöz yetmezlik ülserleri gibi kronik yara tiplerinde etkin bir yara örtüsü ve doku mühendisliği çözümü sunar.

GİRİŞ

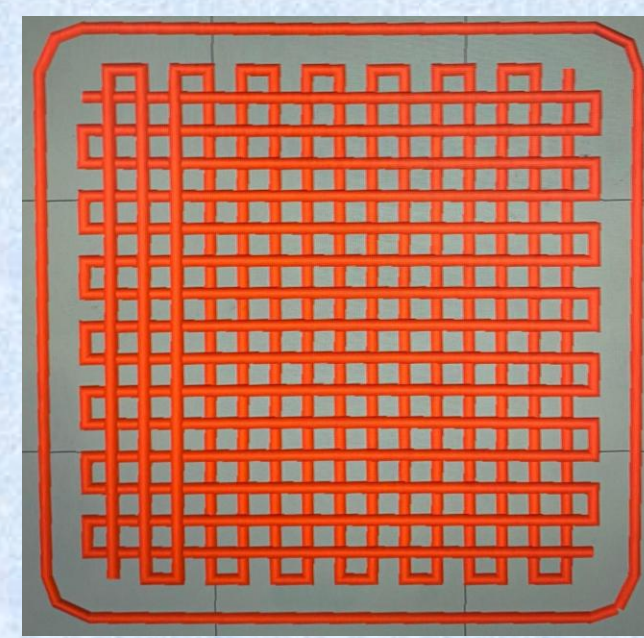
Yara iyileşmesi; nem dengesi, hücresel aktivite ve mekanik desteğin bir arada sağlanmasını gerektiren karmaşık bir süreçtir. Geleneksel yara örtüleri bu ihtiyaçları karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada, biyoyoumlu ve biyobozunur PCL, SA ve HA polimerlerinden oluşan 3B baskılı iskeleler tasarlanmış ve üretim parametreleri optimize edilmiştir. Elde edilen yapılar; nem tutma, oksijen geçirgenliği ve kontrollü bozunma gibi yara iyileşmesi için kritik özellikler göstermiştir. HA hücre çoğalmasını desteklerken, SA nem dengesini sağlar, PCL ise mekanik dayanıklılık kazandırır. Bu kombinasyon, kişiselleştirilebilir ve etkili yara bakım platformları için güçlü bir aday sunmaktadır.



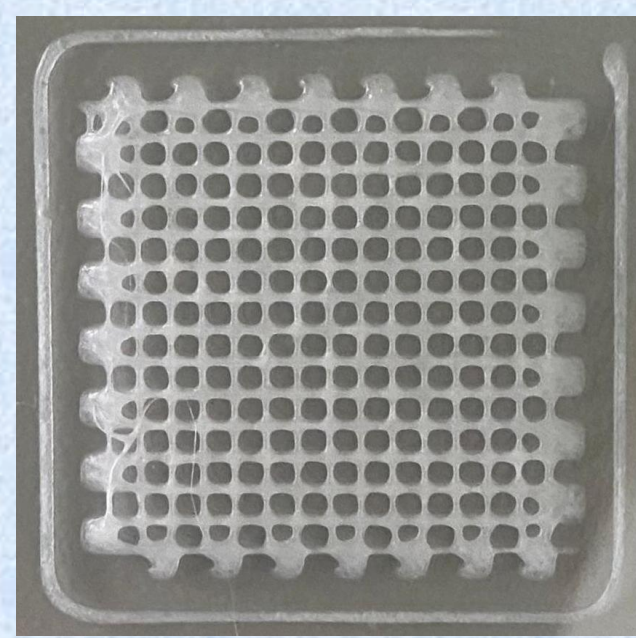
Şekil 1. Çözelti hazırlama süreci şematik gösterimi.

Tablo 1. 3 Boyutlu Baskılı İskelelerin Hazırlanmasında Kullanılan İçerikler

3B İskeleler	PCL İçeriği (% w/v)	SA İçeriği (% w/v)	HA İçeriği (% w/v)	Çözücüler (Kloroform/DW/D W ml cinsinden)
PCL/SA	4	0.25	0	8/1
PCL/SA/HA(0.35)	4	0.25	0.35	8/1/1
PCL/SA/HA(0.7)	4	0.25	0.7	8/1/1
PCL/SA/HA(1.4)	4	0.25	1.4	8/1/1



Şekil 2. 3B biyoyazıcıda basım için tasarlanmış PCL-SA-HA görüntüsü.



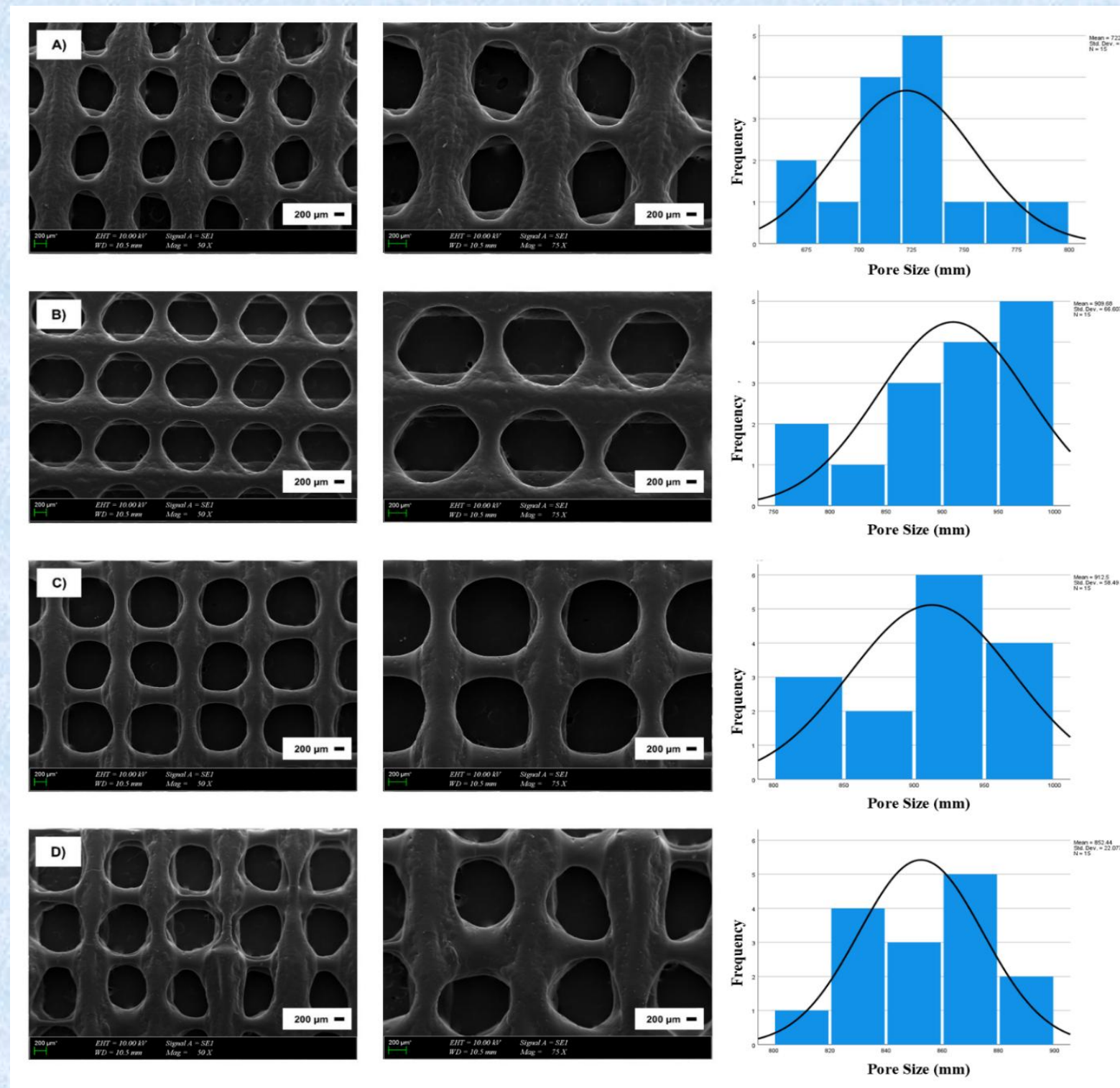
Şekil 3. 3B biyoyazıcı ile basımı gerçekleştirilmiş PCL-SA-HA iskele.

Materyal ve Yöntem

PCL, SA ve HA polimerlerinden hazırlanan çözeltiler, 3B baskıya uygun hâle getirilmiş ve SolidWorks ile tasarlanan iskeleler AXO-A3 biyoyazıcı ile üretilmiştir. Yapılar Taramalı Elektron Mikroskobu, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre analizleriyle morfolojik, kimyasal ve termal olarak karakterize edilmiş; mekanik özellikler çekme testleriyle değerlendirilmiştir. Hücre biyoyoumluluğu Hücre Canlılığı Testi, Taramalı Elektron Mikroskobu ve floresan mikroskopi kullanılarak test edilmiş, Nükleer DNA Boyası ve faloidin boyamaları ile hücre morfolojisi izlenmiştir. L929 fibroblast hücrelerinin iskele yüzeyine başarılı şekilde tutunduğu ve çoğaldığı gözlemlenmiş, iskelelerin yara iyileşmesi için biyoyoumlu ve işlevsel olduğu doğrulanmıştır.

Sonuçlar ve Tartışma

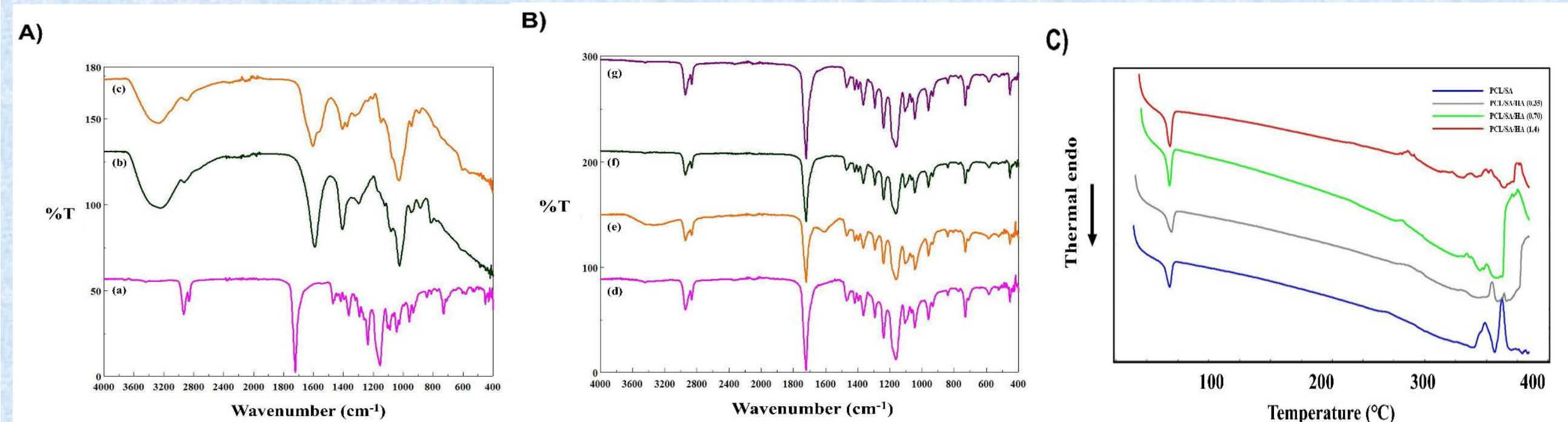
3B yazdırılmış PCL/SA/HA iskelelerin yüzey morfolojisi Taramalı Elektron Mikroskobu ile incelenmiş ve elde edilen görüntüler Şekil 4'te sunulmuştur. Saf PCL iskele (Şekil 4A), 724 µm civarında ortalama gözenek boyutu ve düzgün yüzeyiyle doku entegrasyonu için uygun bir yapı sergilemiştir. 0,35 g HA eklenmesiyle gözenek boyutu 916 µm'ye ulaşmış, yüzey daha homojen hâle gelmiş ve gözeneklilik artmıştır (Şekil 4B). 0,70 g HA içeren iskelede (Şekil 4C) gözenek boyutu korunmuş ancak yüzeyde düzensizlikler ve mikroçöktüntüler gözlemlenmiştir; bu durum artan viskoziteyle ilişkilidir. 1,4 g HA içeren örnekte (Şekil 4D) ise gözenek deformasyonları, düzensiz yüzey yapısı ve boyut düşüşü (855 µm) gözlemlenmiştir. Sonuçlar, HA konsantrasyonunun yüzey özelliklerini ve gözenek yapısını önemli ölçüde etkileyerek iskelelerin biyomedikal performansını doğrudan etkileyebileceğini göstermektedir.



Şekil 4. İskelelerin Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri ve gözenek boyutu histogramı; PCL/SA, PCL/SA/HA(0.35), PCL/SA/HA(0.70) ve PCL/SA/HA(1.4).

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi analiz sonuçlarına göre, polimerler arasında artan HA miktarıyla birlikte daha güçlü hidrojen bağları oluşmuş; bu durum 3400 cm⁻¹'deki O-H genişlemesi ve 1700 cm⁻¹'deki C=O bantlarının (1600 ve 1410 cm⁻¹) belirginleşmesiyle doğrulanmıştır (Şekil 5A-B). Bu değişimler, HA'nın PCL-SA matrisine kimyasal olarak entegre olduğunu göstermektedir.

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre analizleri, HA konsantrasyonunun termal özellikler üzerinde önemli etkiler yarattığını ortaya koymuştur (Şekil 5C). Düşük HA oranlarında (0,35-0,70 g) erime sıcaklığı düşerken, 1,4 g HA içeren iskelelerde erime sıcaklığı 389,88 °C'ye çıkarak termal dayanımın arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, orta HA seviyelerinin esneklik, yüksek seviyeler ise ısı direnci gerektiren biyomedikal uygulamalar için uygun olduğunu göstermektedir.

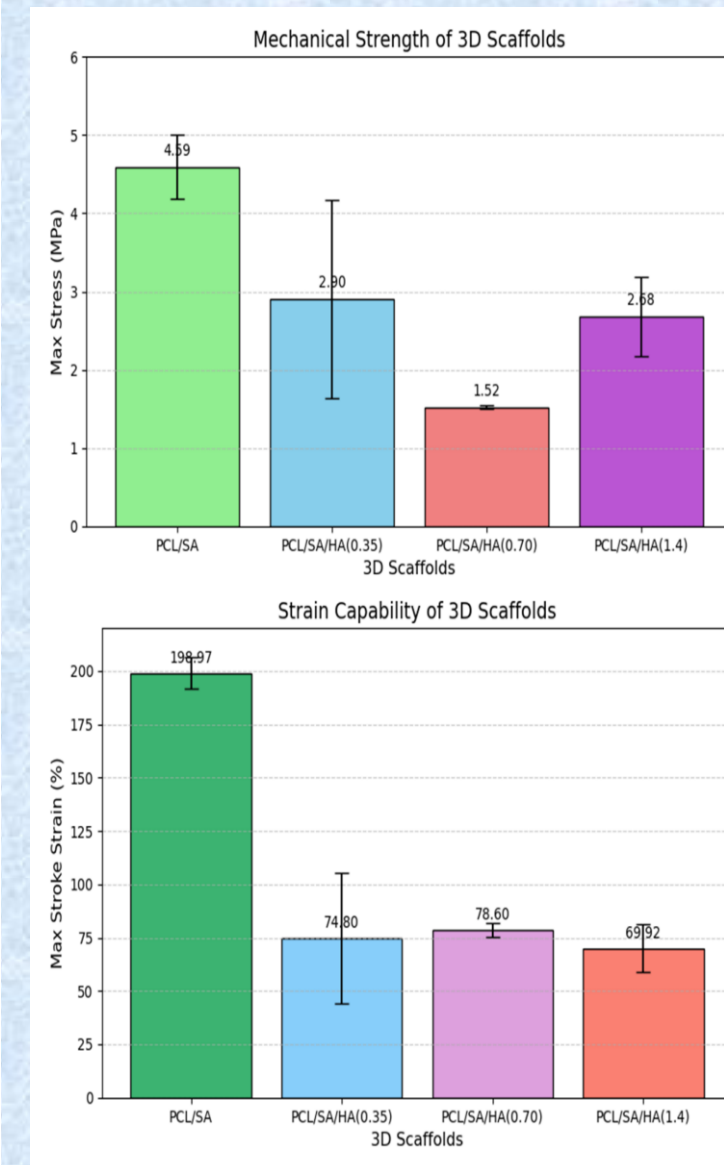


Şekil 5. (a) PCL, (b) SA, (c) HA, (d) PCL/SA, (e) PCL/SA/HA(0.35), (f) PCL/SA/HA(0.70), (g) PCL/SA/HA(1.4), (h) iskelelerin (A ve B) Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi spektrumları, PCL/SA, PCL/SA/HA(0.35), PCL/SA/HA(0.70) ve PCL/SA/HA(1.4) iskelelerinin Diferansiyel Taramalı Kalorimetre termogramları (C).

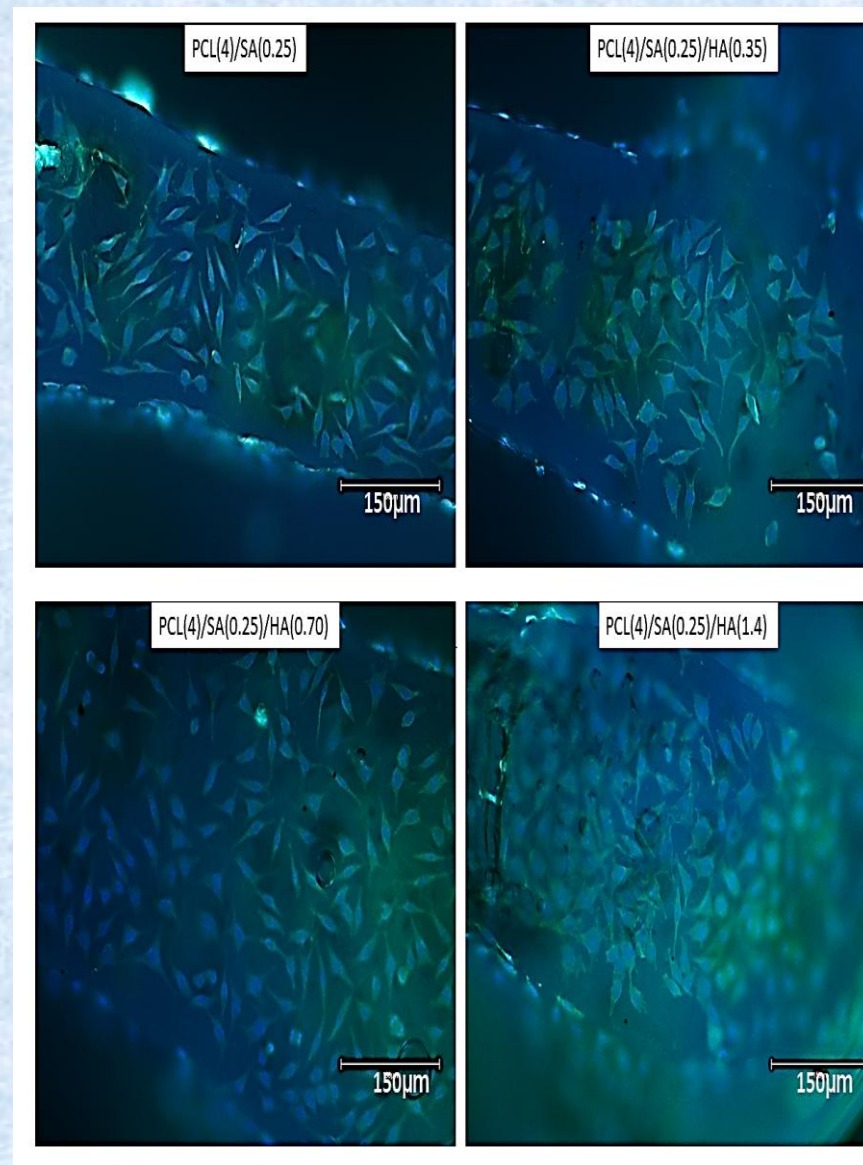
Şekil 6'da görüldüğü üzere HA miktarının iskelelerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Saf PCL/SA iskele en yüksek esnekliği sergilerken, 1,4 g HA içeren iskele en yüksek mekanik dayanımı ancak en düşük uzamayı göstermiştir. 0,35-0,70 g HA içeren iskeleler ise hem yeterli elastisiteyi hem de dayanım sağlayarak esneklik ve mekanik sağlamlık arasında ideal bir denge sunmuştur. Bu nedenle, orta düzey HA konsantrasyonları, doku hareketine uyum ve yapısal destek gerektiren yara örtüsü uygulamaları için en uygun seçeneklerdir.

Hücre Canlılığı Testi analizleri, HA konsantrasyonunun hücre canlılığı üzerinde belirleyici etkisi olduğunu göstermiştir (Şekil 7). Özellikle 0,70 g HA içeren PCL/SA/HA iskeleleri, en yüksek hücre canlılığı ve çoğalmaları sağlamıştır. Bu durum, HA'nın CD44 reseptörleriyle etkileşimi ve hidrofilik yapısıyla hücre yapışmasını artırmasına bağlanmıştır. Ancak, 1,4 g HA gibi yüksek konsantrasyonlarda canlılık azalmış; artan su tutulumuna bağlı hidrojel benzeri yapı, hücre göçünü ve besin geçişini kısıtlamıştır.

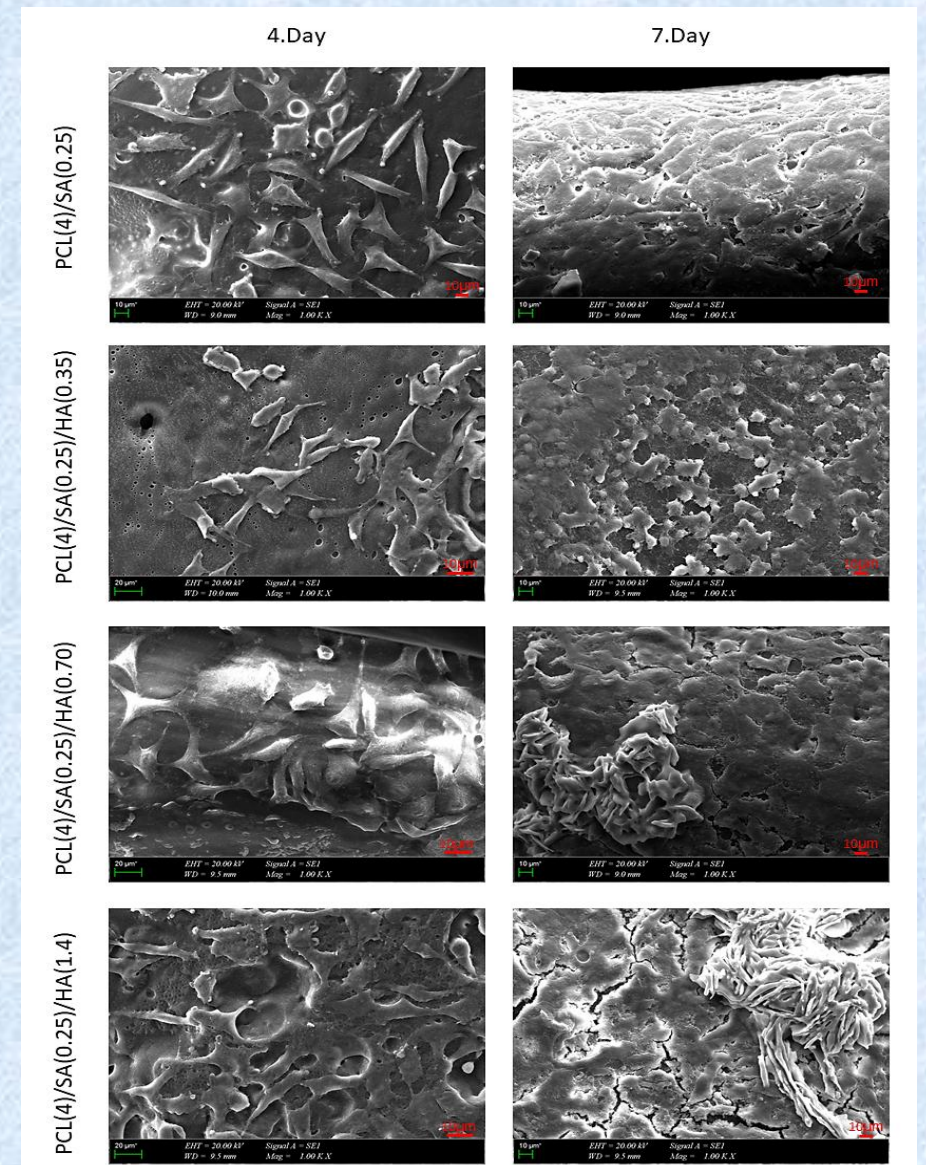
Taramalı Elektron Mikroskobu analizleri (Şekil 8), 4. günde tüm iskelelerde düzgün hücre tutunması gözlemlendiğini, 7. günde ise yüksek HA içeriğine sahip gruplarda hücre kümelenmesi olduğunu göstermiştir. Bu kümelenmeler, hidrojel ortamının hücre hareketini sınırlamasıyla açıklanmıştır. Ayrıca, 4. günde yapılan Nükleer DNA Boyası ve Aktin Filamenti Boyası boyamalarıyla elde edilen floresan mikroskop görüntüleri (Şekil 7), hücrelerin yayılmış morfolojisini ve canlılığını doğrulamıştır. Bu bulgular, HA'nın uygun konsantrasyonlarda iskele-hücre etkileşimini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.



Şekil 6. 3B iskelelerin Mekanik Dayanıklılığı ve 3B İskelelerin Gerilim Kapasitesi.



Şekil 7. İskelelerin Floresan Mikroskobu görüntüleri. Tüm görüntüler x20 büyütme ile çekilmiştir.



Şekil 8. İskelelerdeki L929 hücre hatlarının hücre bağlanma görüntüleri.

SONUÇ

Mevcut çalışma, potansiyel biyomedikal kullanımı için 3 boyutlu yazdırılmış PCL-SA-HA yara pansuman iskelelerinin başarılı bir şekilde üretilmesini ve karakterizasyonunu göstermiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi, Diferansiyel Taramalı Kalorimetre ve çekme testleri, HA konsantrasyonunun değiştirilmesinin iskelelerin yapısal, termal ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Düşük ila orta düzeyde HA içeriği esnekliği iyileştirip gözenekliliği korurken, daha yüksek konsantrasyonlar termal stabiliteyi ve mekanik mukavemeti artırmıştır. Bu ayarlanabilir özellikler, PCL-SA-HA iskelelerinin özellikle kronik veya karmaşık yaralar için uyarlabilir yara iyileştirme malzemeleri olarak kullanımını desteklemektedir. Genel olarak, bulgular HA ile modifiye edilmiş iskelelerin regeneratif tıp için özelleştirilebilir ve biyoyoumlu platformlar olarak potansiyelini vurgulamaktadır ve klinik çeviri için daha fazla in vitro (laboratuvar ortamında) ve in vivo (canlı organizma içinde) değerlendirmeyi gerektirmektedir. Gelecekteki çalışmalar, iskelelerin ilgili hücre hatlarıyla in vitro biyoyoumluluğunu değerlendirmeye ve yara iyileşme verimliliğini, bozunma davranışını ve olası bağırsıklık tepkilerini değerlendirmek için in vivo deneyler yürütmeye odaklanmalıdır. Antimikrobiyal peptitler veya büyüme faktörleri gibi biyoaktif ajanların dahil edilmesi, iskelelerin terapötik potansiyelini daha da artırabilir. Ek olarak, baskı parametrelerinin optimize edilmesi ve çapraz bağlama stratejilerinin araştırılması, mekanik performansı ve uzun vadeli stabiliteyi iyileştirebilir ve ileri yara bakımında klinik uygulamalar için yolu açabilir.

Kaynaklar

- [1] K.J.B. Kus, E.S. Ruiz, Wound Dressings – A Practical Review, Curr Dermatol Rep 9 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13671-020-00319-w>.
- [2] K. Shanno, P. Mangala, T.S. Shanmugarajan, B. Bhyan, M.G. Shinde, B.Y. Rane, S.S. Ali, M. Kumar, P. Kumar, 3D-Printed Polyurethane Scaffolds for Bone Tissue Engineering: Techniques and Emerging Applications, Regenerative Engineering and Translational Medicine 2025 (2025) 1–23. <https://doi.org/10.1007/S40883-024-00381-X>.
- [3] J. Yoon, H. Han, J. Jang, Nanomaterials-incorporated hydrogels for 3D bioprinting technology, Nano Conver 10 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40580-023-00402-5>.
- [4] N. Raina, R. Pahwa, J.K. Khosla, P.N. Gupta, M. Gupta, Polycaprolactone-based materials in wound healing applications, Polymer Bulletin 79 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03865-w>.
- [5] Y. Song, Q. Hu, S. Liu, Y. Wang, H. Zhang, J. Chen, G. Yao, Electrospinning/3D printing drug-loaded antibacterial polycaprolactone nanofiber/sodium alginate-gelatin hydrogel bilayer scaffold for skin wound repair, Int J Biol Macromol 275 (2024) 129705. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.129705>.
- [6] S.Y. Kim, K. Muthuramalingam, H.J. Lee, Effects of fragmented polycaprolactone electrospun nanofiber in a hyaluronic acid hydrogel on fibroblasts, Tissue Cell 91 (2024) 102582. <https://doi.org/10.1016/J.TICE.2024.102582>.
- [7] Y. Jiang, Y. Hou, J. Fang, W. Liu, Y. Zhao, T. Huang, J. Cui, Y. Yang, Z. Zhou, Preparation and characterization of PVA/SA/HA composite hydrogels for wound dressing, International Journal of Polymer Analysis and Characterization 24 (2019) 132–141. <https://doi.org/10.1080/1023666X.2018.1558567>;WGROUP:STRING-PUBLICATION.
- [8] M. Milojević, G. Harih, B. Vihar, J. Vajda, L. Gradišnik, T. Zidarić, K. Stana Kleinschek, U. Maver, T. Maver, Hybrid 3D printing of advanced hydrogel-based wound dressings with tailorable properties, Pharmaceutics 13 (2021). <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13040564>.
- [9] S. Alven, B.A. Aderibigbe, Hyaluronic acid-based scaffolds as potential bioactive wound dressings, Polymers (Basel) 13 (2021). <https://doi.org/10.3390/polym13132102>.

Osman Miraç Köroğlu, Dr. Öğr. Üyesi Erman Ferik
Marmara Üniversitesi ,Teknoloji Fakültesi, İstanbul, Türkiye

GİRİŞ

Toz metalurjisi, metalik veya seramik malzemelerin toz formunda işlenerek nihai ürüne dönüştürülmesini sağlayan bir üretim teknolojisidir. Bu yöntem, geleneksel üretim tekniklerinden farklı olarak, daha az enerjiyle, daha az hammadde kullanılarak parça üretimine imkân tanır. Parçalar, belirli bir şekil ve boyutta tozların sıkıştırılması (kompaktlama) ve ardından yüksek sıcaklıkta sinterlenmesi yoluyla üretilir.

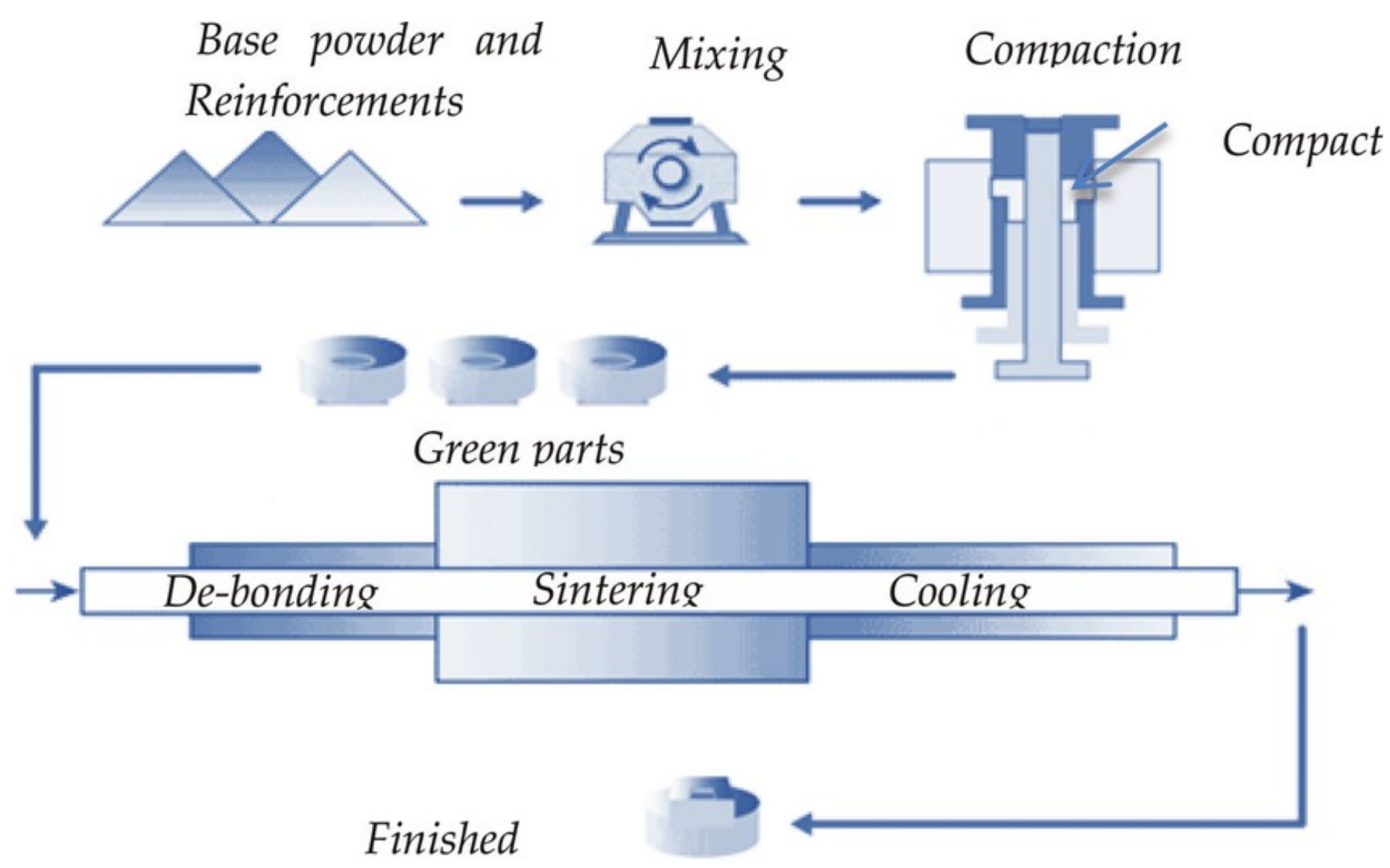
Toz metalurjisinin başlıca avantajları arasında yüksek ölçüsel hassasiyet, karmaşık geometrilili parça üretimi, minimum talaşlı işleme gereksinimi ve malzeme israfının azaltılması sayılabilir. Bu nedenle sürdürülebilir üretim açısından önemli bir alternatiftir. Ayrıca, bu yöntemle tek bir işlemde birden fazla malzeme veya faz içeren çok fonksiyonlu parçalar üretilebilmektedir.

Materyal ve Yöntem

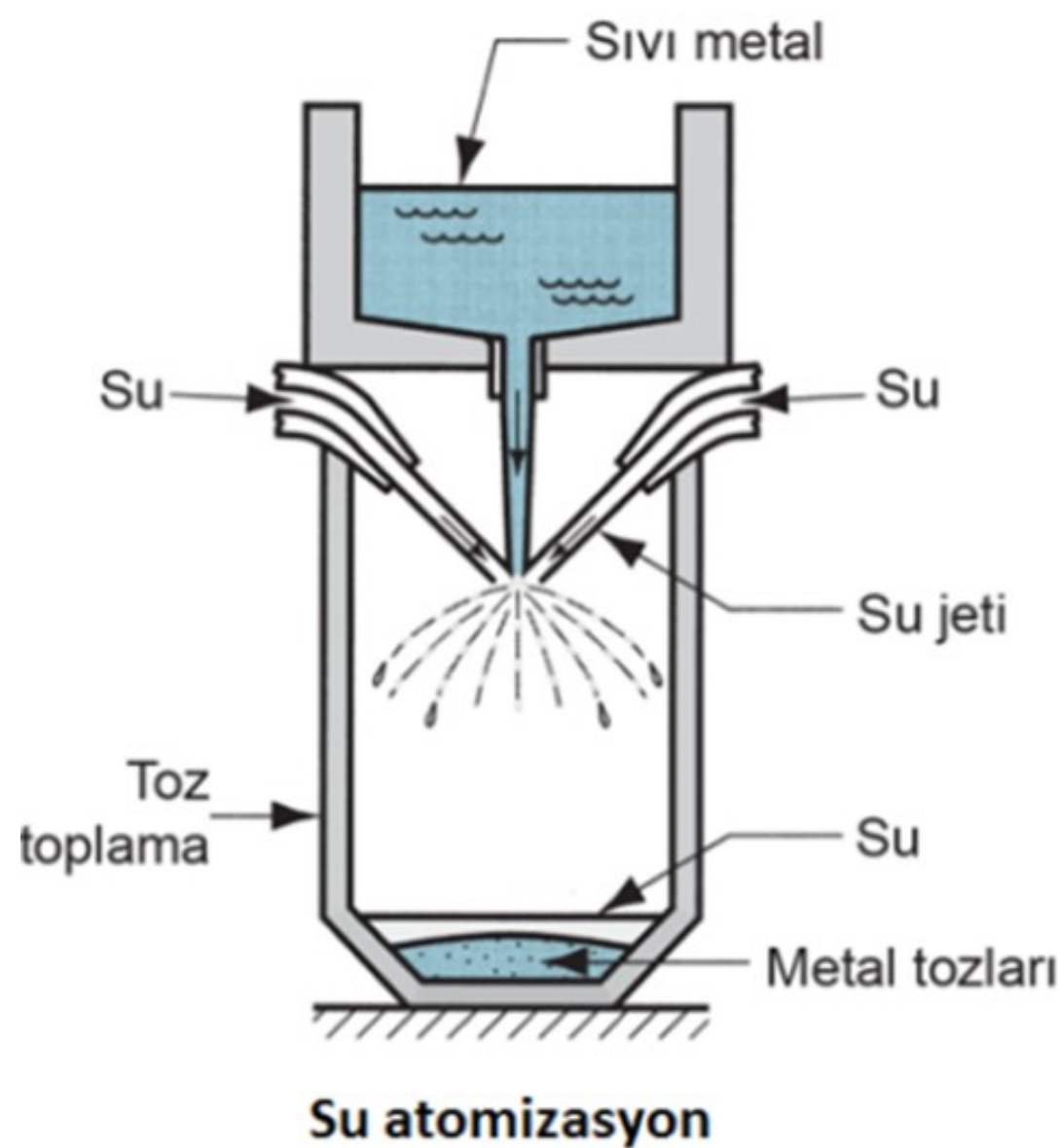
Bu çalışma, toz metalurjisi üzerine yapılan kapsamlı bir literatür araştırmasına dayanmaktadır. İncelemede, öncelikle metal ve seramik tozlarının üretim yöntemleri detaylandırılmıştır. Bu yöntemler arasında gaz atomizasyonu, su atomizasyonu, öğütme, elektroliz ve karbonil yöntemi gibi teknikler yer almaktadır. Her yöntemin toz morfolojisi, saflığı ve uygulama alanları üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Devamında, kompaktlama (toz sıkıştırma) işlemleri incelenmiş; tek eksenli presleme, soğuk izostatik presleme (CIP) ve sıcak izostatik presleme (HIP) gibi yöntemlerin çalışma prensipleri, avantajları ve sınırlılıkları ele alınmıştır. Sinterleme süreci ise farklı atmosfer ve sıcaklık koşulları altında analiz edilmiştir. Özellikle mikrodalga sinterleme, vakum sinterleme ve atmosfer kontrollü sinterleme gibi modern tekniklere odaklanılmıştır. Bu tekniklerin enerji verimliliği ve mikroyapı üzerindeki etkileri tartışılmıştır.

Son olarak, üretilen parçaların değerlendirilmesinde kullanılan karakterizasyon yöntemleri (XRD – X-ışını difraksiyonu, SEM – Taramalı Elektron Mikroskobu, TGA – Termogravimetrik Analiz) açıklanmış ve bu yöntemlerin malzeme yapısı üzerindeki yorumlayıcı rolüne değinilmiştir.



Şekil 1: Toz Metalurjisi Üretim Aşamaları



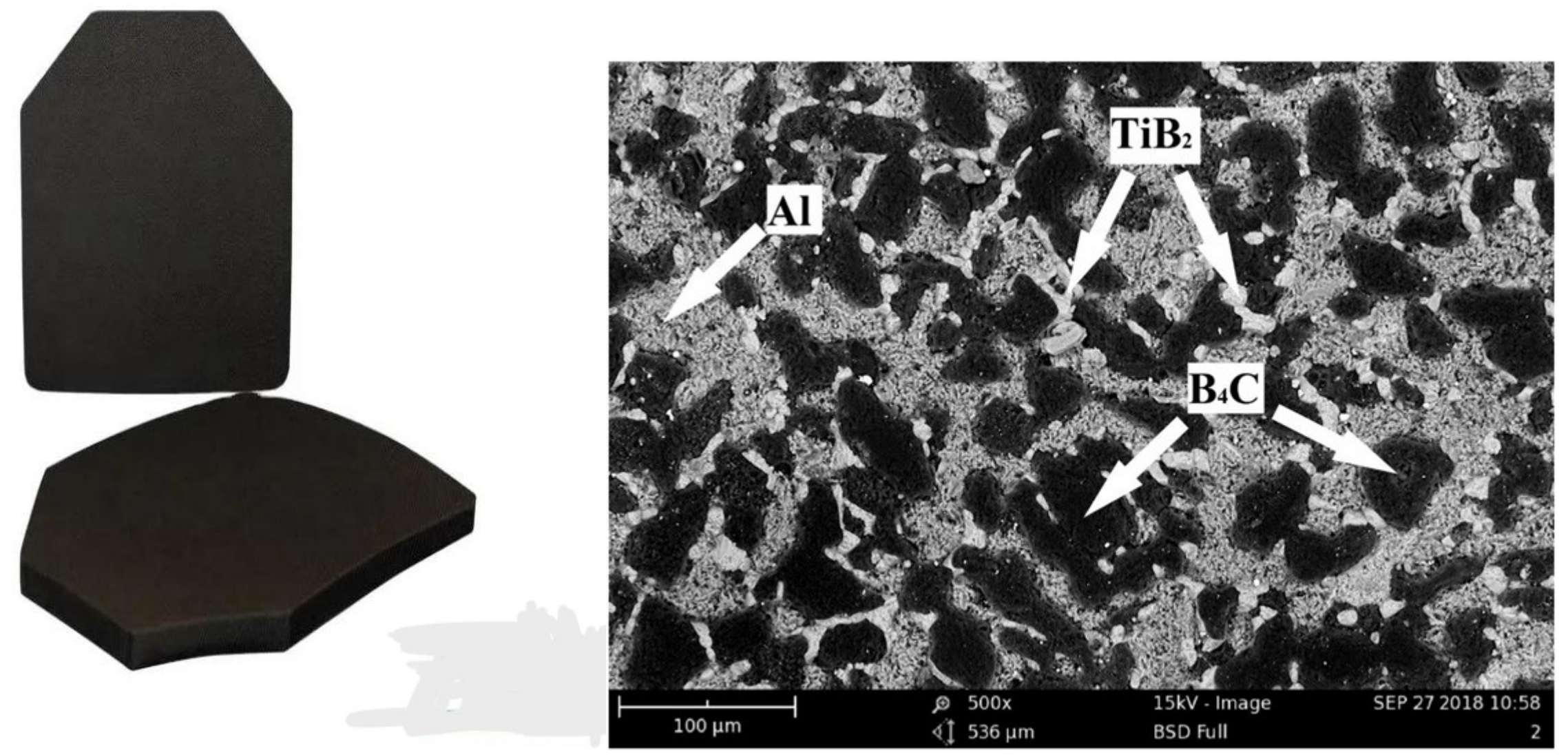
Şekil 2: Su Atomizasyon yöntemi

Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan araştırmalar sonucunda toz metalurjisinin geleneksel imalat yöntemlerine göre birçok avantaj sunduğu görülmüştür. Özellikle malzeme israfının minimize edilmesi, kompleks geometrilili parçaların üretilebilmesi ve çok fazlı yapıların tek adımda elde edilebilmesi, bu yöntemi endüstriyel anlamda oldukça cazip hale getirmektedir.

Kompaktlama ve sinterleme parametrelerinin doğru seçilmesi, ürün kalitesini doğrudan etkileyen en önemli faktörlerdendir. Bu parametrelerin optimize edilmesiyle, hem yüksek yoğunlukta hem de homojen mikro yapıya sahip ürünler elde edilebilmektedir. Ayrıca, mikrodalga ve sıcak izostatik presleme gibi ileri teknikler ile daha kısa sürede daha az enerji kullanılarak üretim yapılabilmektedir.

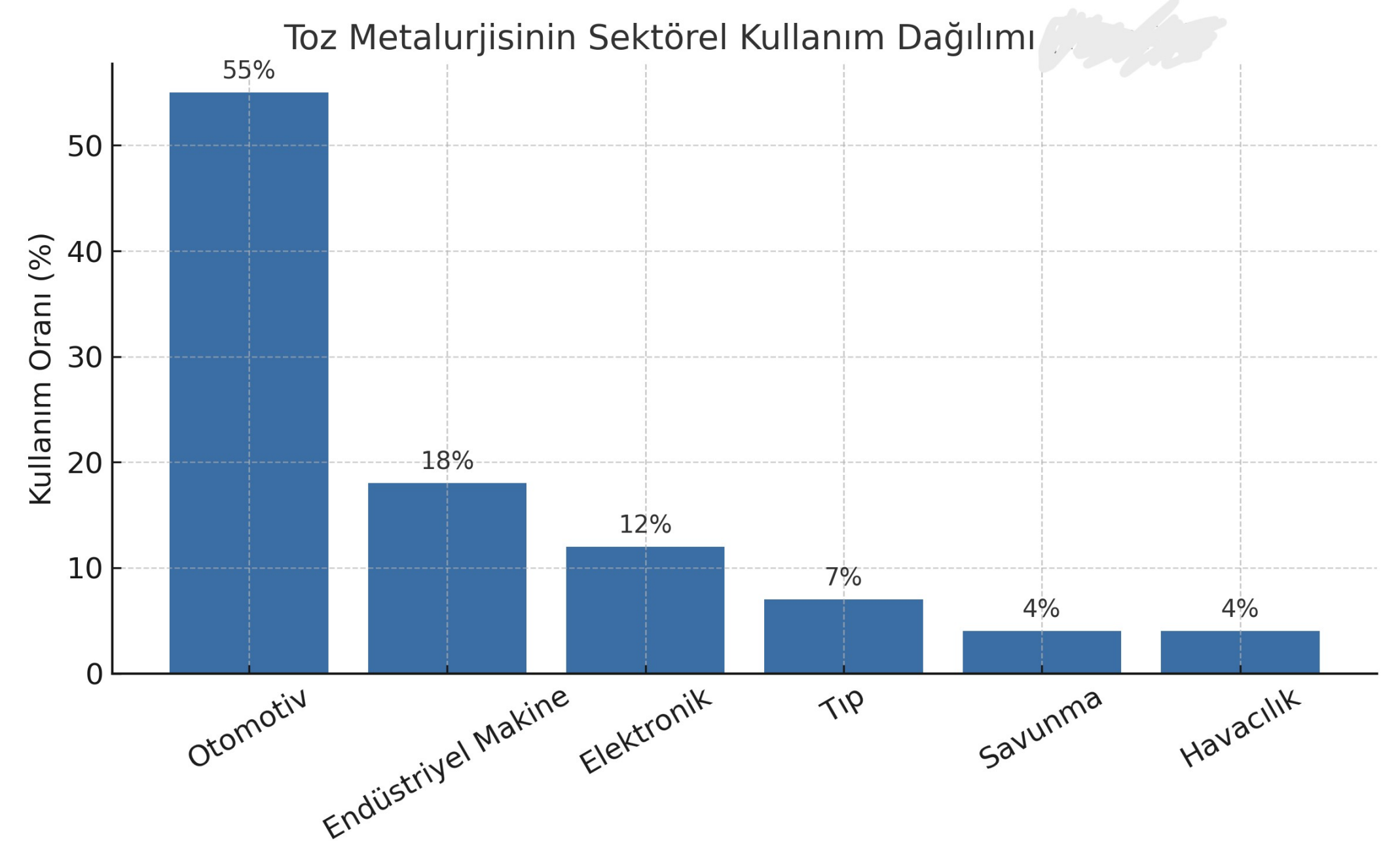
Karakterizasyon analizleri sonucunda toz morfolojisinin ve saflığının, nihai mekanik özellikler üzerinde belirleyici rol oynadığı anlaşılmıştır. Özellikle XRD ve SEM sonuçları, sinterleme sonrası faz dönüşümleri ve gözeneklilik durumu hakkında detaylı bilgiler sunmuştur.



Şekil 3: Zırh plakası ve Mikroyapı resmi

Sonuç

- Toz Mikrodalga sinterleme, HIP ve CAD destekli simülasyonlar sayesinde, otomotiv, havacılık, tıp ve savunma sanayii gibi alanlarda yaygın şekilde kullanılmaktadır.
- Nihai ürün metalurjisi, geleneksel üretim yöntemlerine göre malzeme verimliliği, enerji tasarrufu ve hassasiyet açısından önemli avantajlar sunar.
- kalitesi, kullanılan tozların morfolojisi, boyutu ve kimyasal bileşimi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle karakterizasyon teknikleri, kalite kontrolün temelidir.
- İleri teknolojilerle birlikte toz metalurjisinin; 3D yazıcılar, nanomalzemeler ve çok fazlı kompozitler gibi alanlarda daha da yaygınlaşması beklenmektedir.
- Karbon emisyonunu azaltan, yerli üretimi teşvik eden ve çevre dostu yönüyle bu yöntem, Türkiye için stratejik fırsatlar sunmaktadır.
- Gelecekteki çalışmalar; yerli toz üretim kapasitesini arttırmaya ve yeni nesil kompozit malzemeler geliştirmeye odaklanmalıdır.



Şekil 4: Toz Metalurjisi Sektörel Kullanım Oranları

Asetilsalisilik Asit ve K Vitamini Yüklü PCL Temelli Biyobozunur Stent Üretimi



Ömer Faruk Saraç, Şimal Çeltikci

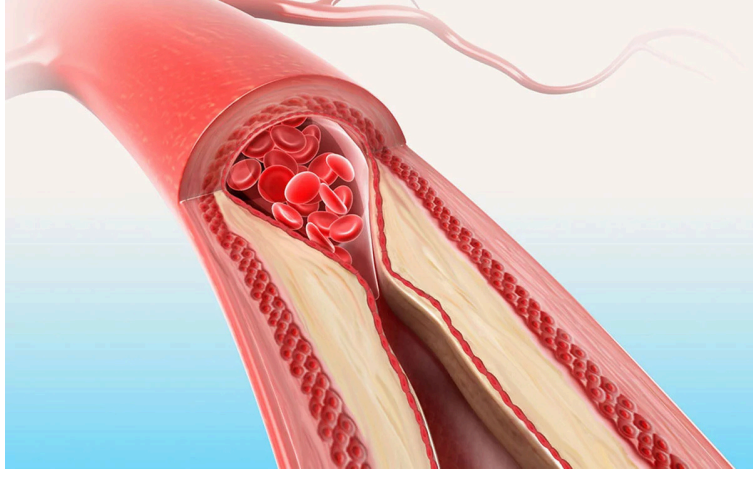
Eray Altan, Şevval Güneş, İsmail Ateş, Canan Doğan, Ayşe Ceren Çalıkoğlu Koyuncu



Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

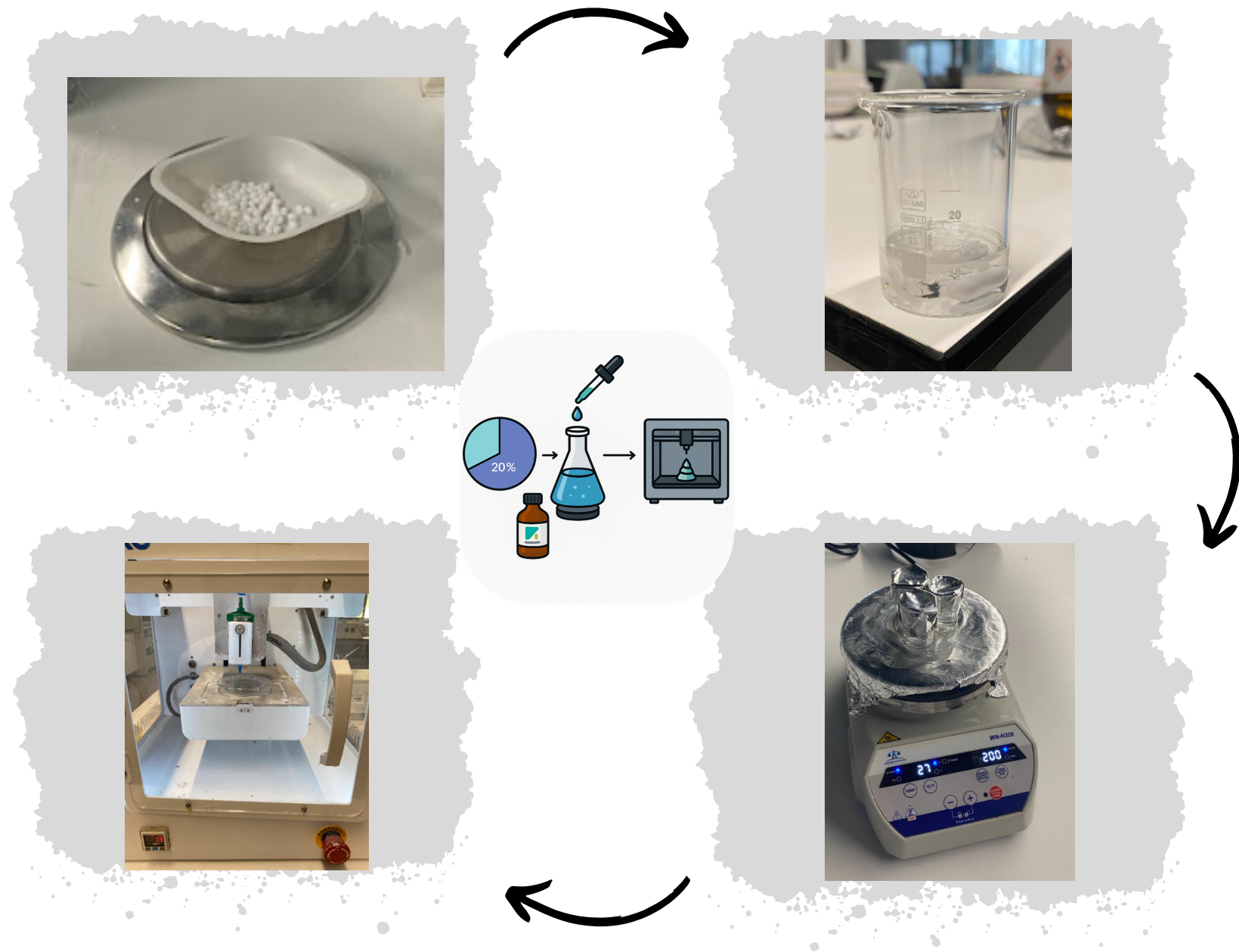
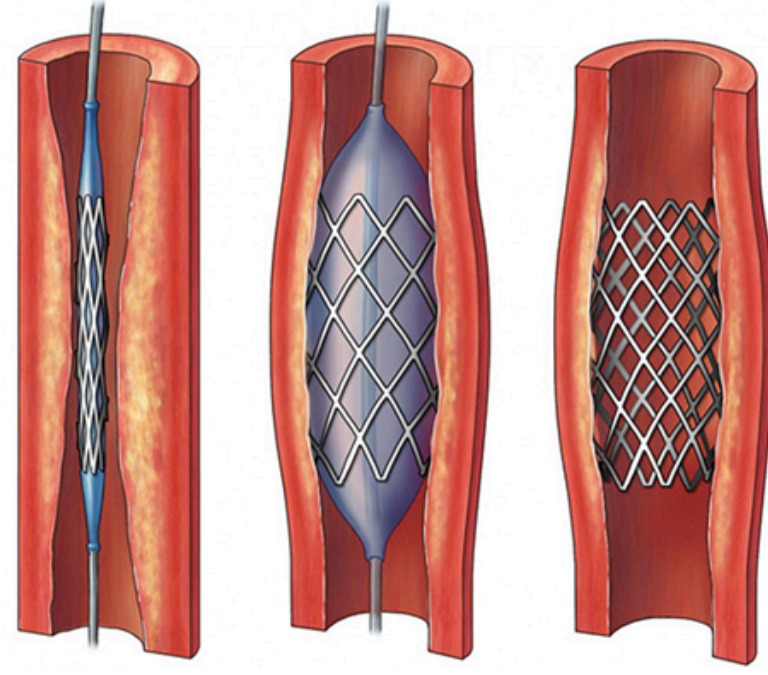
GİRİŞ

Damar tıkanıklıkları, dolaşım sistemi rahatsızlıkları arasında ölümcül sonuçlara yol açan başlıca sağlık sorunlarından biridir. Mevcut tedaviler arasında yer alan metal stentler, doku uyumsuzluğu ve kalıcı yapıları nedeniyle uzun vadeli riskler taşımaktadır. Bu nedenle biyobozunur ve ilaç salımı yapabilen stent sistemleri giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, PCL (polikaprolakton) bazlı, ASA (aspirin) ve K vitamini yüklü bir stent tasarımı geliştirilmiştir. ASA'nın antitrombotik etkisi, K vitamininin pıhtılaştırıcı özelliği ile dengelenerek, kontrollü ve güvenli ilaç salımı hedeflenmiştir. 3B yazıcı ile üretilen stentler, çeşitli mekanik, kimyasal, biyolojik ve termal testlerle değerlendirilmiştir. Bu tez, biyomalzeme temelli, ilaç salımı yapabilen ve zamanla vücutta çözünebilen yenilikçi bir stent sistemiyle, damar hastalıklarına yönelik alternatif bir tedavi yaklaşımı sunmayı amaçlamaktadır.



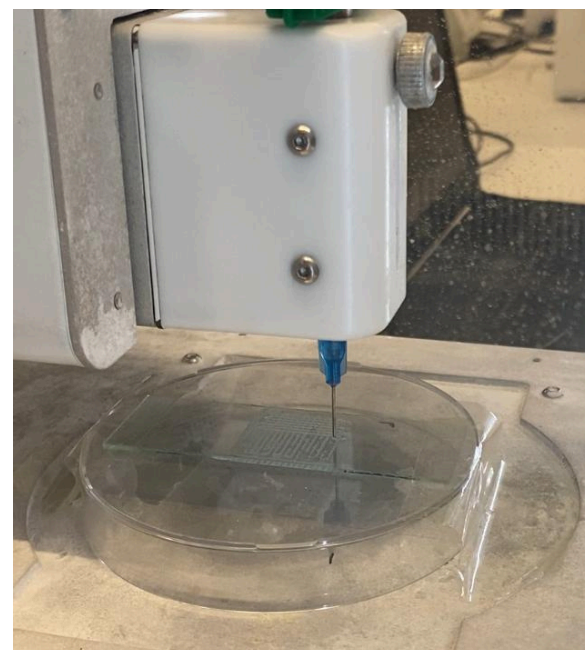
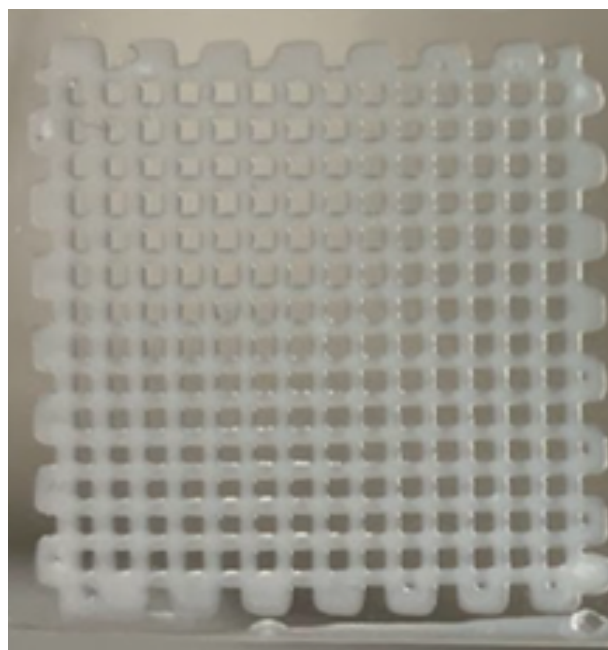
MATERYAL ve METOT

- Polikaprolakton (PCL)
- Kloroform
- K Vitamini
- Asetil Salisilik Asit (ASA)

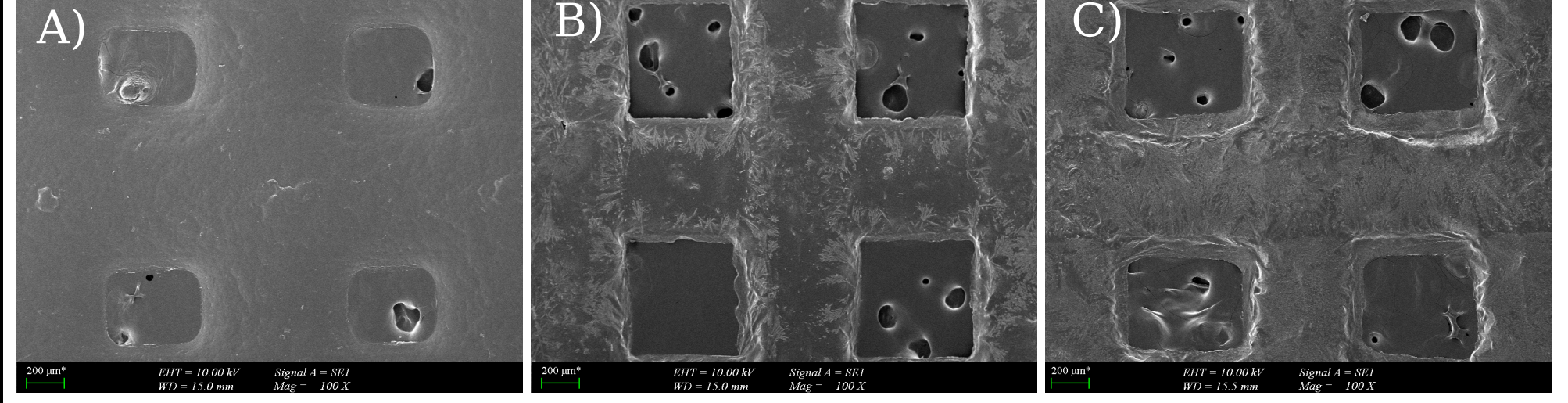


Tablo 1: Solüsyon Grupları

İskeleler	PCL içeriği (%)	ASA içeriği (gram)	K vitamini
PCL	%20	-	-
PCL/ASA	%20	0,18	-
PCL/ASAX2	%20	0,36	-
PCL/ASA/K VİT	%20	0,18	400 MİKRON
PCL/ASAX2/K VİT	%20	0,36	400 MİKRON



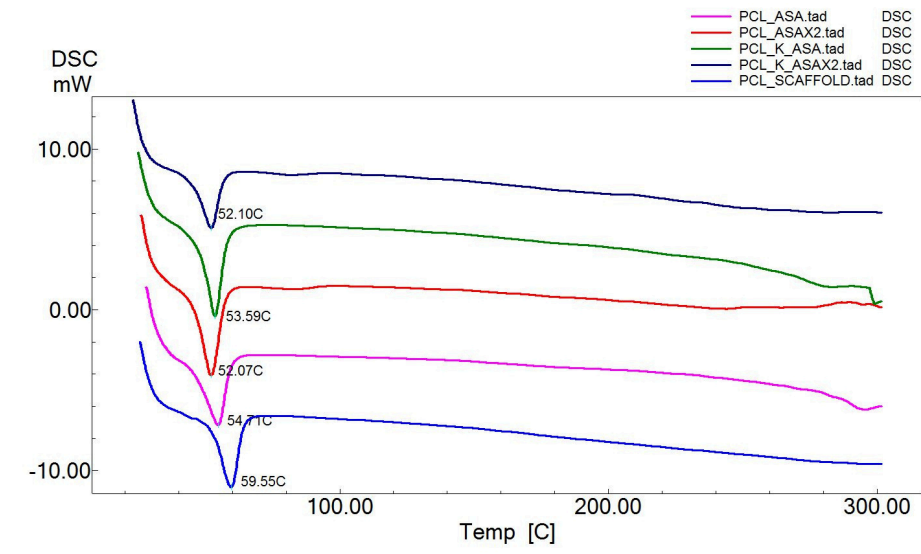
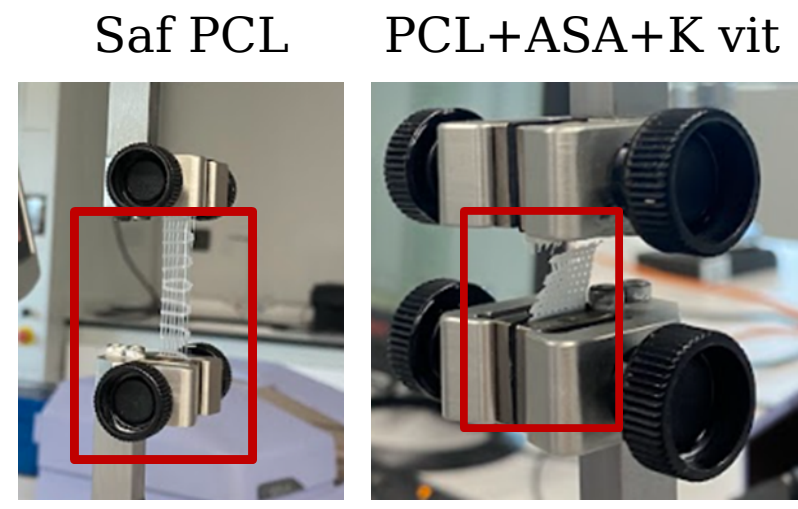
BULGULAR ve TARTIŞMA



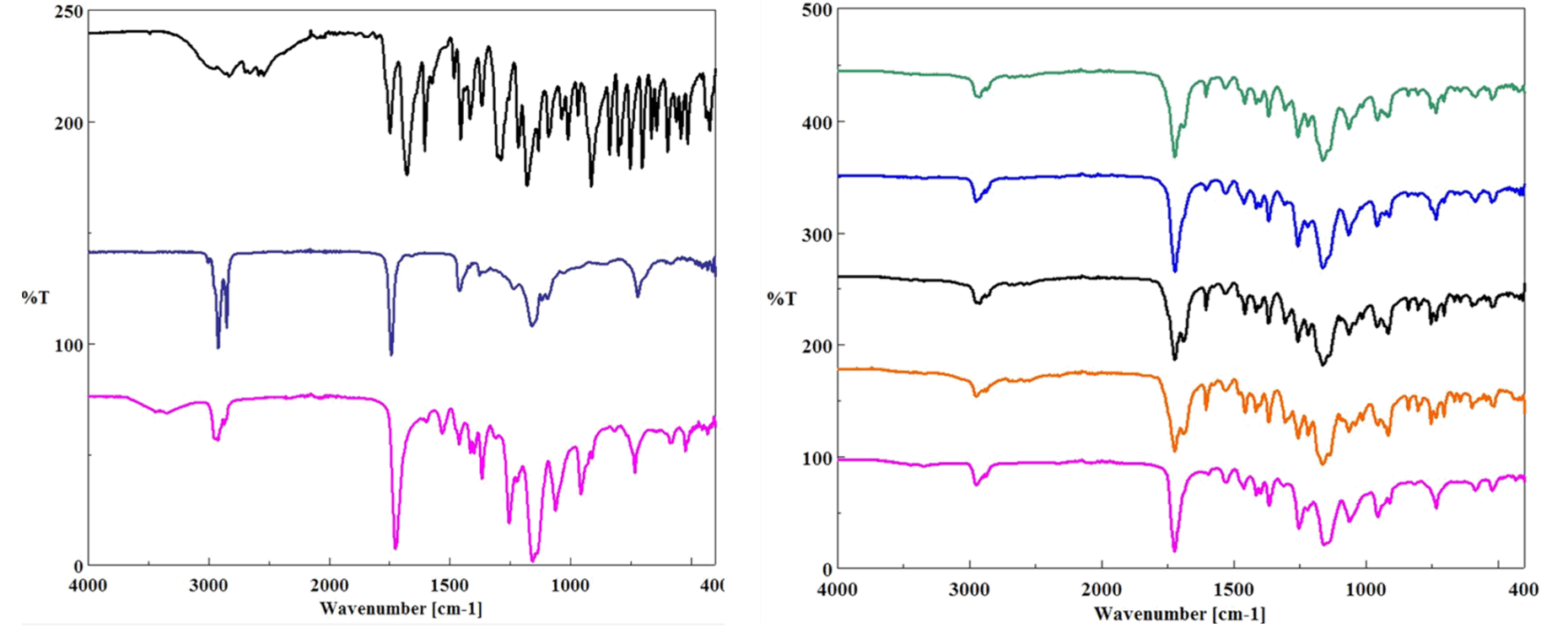
İskele SEM Görüntüleri: A) PCL B) PCL + ASA C) PCL + ASA + VİTAMİN K

Tablo 2: Çekme Testi Sonuçları

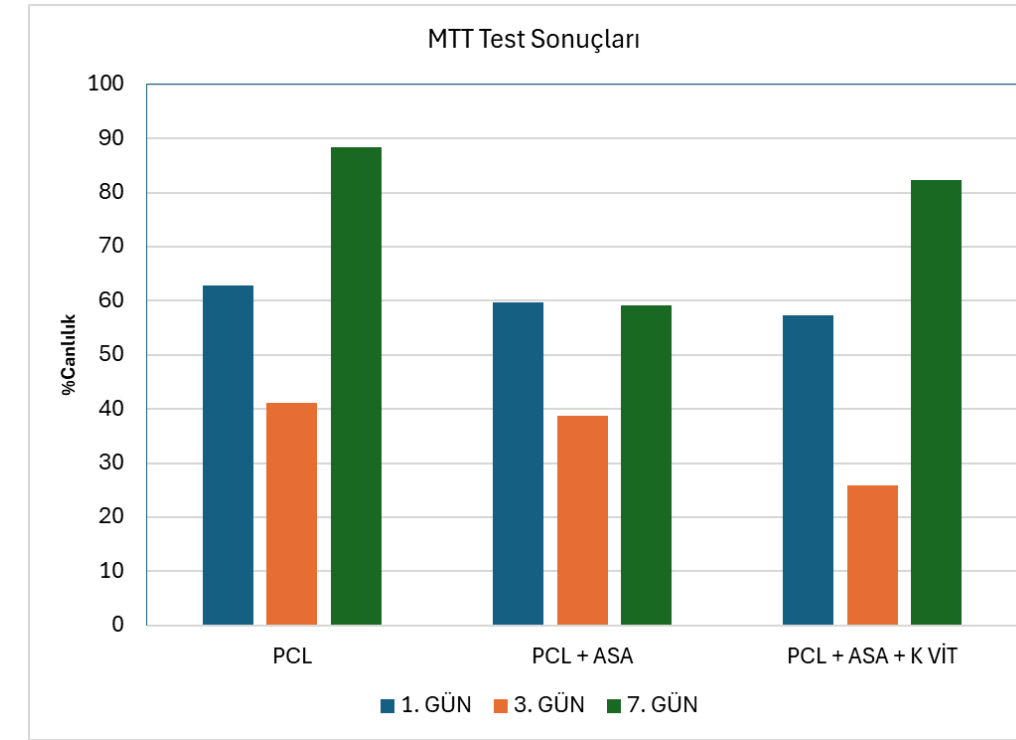
İskelet Grubu	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Anındaki Gerinim (%)
PCL	6,60 ± 0,67	365,33 ± 102,29
PCL + ASA	3,07 ± 0,69	33,58 ± 19,13
PCL + ASA2	3,15 ± 0,38	8,25 ± 4,49
PCL + ASA_K Vit	2,21 ± 1,01	38,31 ± 61,35
PCL + ASA2_K Vit	1,73 ± 0,09	95,06 ± 47,11



Grafik 1: DSC test sonuçları



Grafik 2: FT-IR test sonuçları



Grafik 3: MTT test sonuçları

SONUÇLAR

Bu çalışmada, PCL bazlı, ASA ve K vitamini yüklü biyobozunur stent yapıları geliştirilmiş ve çok yönlü karakterizasyon testlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen bulgular, stentin mekanik olarak yeterli dayanımı sağladığını, ilaç salımının kontrollü bir şekilde gerçekleştiğini ve hücre canlılığı üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığını göstermektedir. ASA'nın antitrombotik etkisinin, K vitamini ile dengelenerek güvenli bir ilaç salımı elde edilecek olması, bu tasarımın klinik uyumluluğunu artıran önemli bir yenilik olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, bu malzemenin potansiyel stent uygulamaları için biyomedikal açıdan umut verici bir aday olduğunu ortaya koymaktadır. Geliştirilen sistemin, gelecekteki yenilikçi tedavi yaklaşımlarına ilham vereceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Justin Zhao et al., Development of three-dimensionally printed vascular stents of bioresorbable poly(L-lactide-co-caprolactone), J Biomed Mater Res B. 2023. PubMed
2. Del Gaudio, C. et al., Aspirin-loaded electrospun poly(ε-caprolactone) tubular scaffolds, J Mater Sci Mater Med. 2013. PubMed
3. Mills D. et al., Use of 3D Printing for the Development of Biodegradable Antiplatelet Materials for Cardiovascular Applications, MDPI Pharmaceutics 2022. MDPI
4. MDPI Materials ek çalışma, Fabrication and Characterization of Bioresorbable Drug-coated Porous Scaffolds, 2021. MDPI Materials

Lamine Kompozitlerin Nanofiber Mat ile Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu

Amaç: Yapılan çalışmada özellikle havacılıkta yapısal eleman olarak kullanılan epoksi matrisli karbon ve cam fiber lamine kompozitlerin, elektroğirme yönteminin farklı metotlarıyla üretilmiş poliüretan ve naylon 6,6 nanofiberlerin birleştirilmesi ile lamine kompozit yapının mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede kırılma tokluğunu arttırmak ve epoksi matrisli cam fiberlerin mekanik özelliklerini koruyup, delaminasyon ihtimalini azaltarak bakım maliyetlerinin düşürmek hedeflenmiştir.

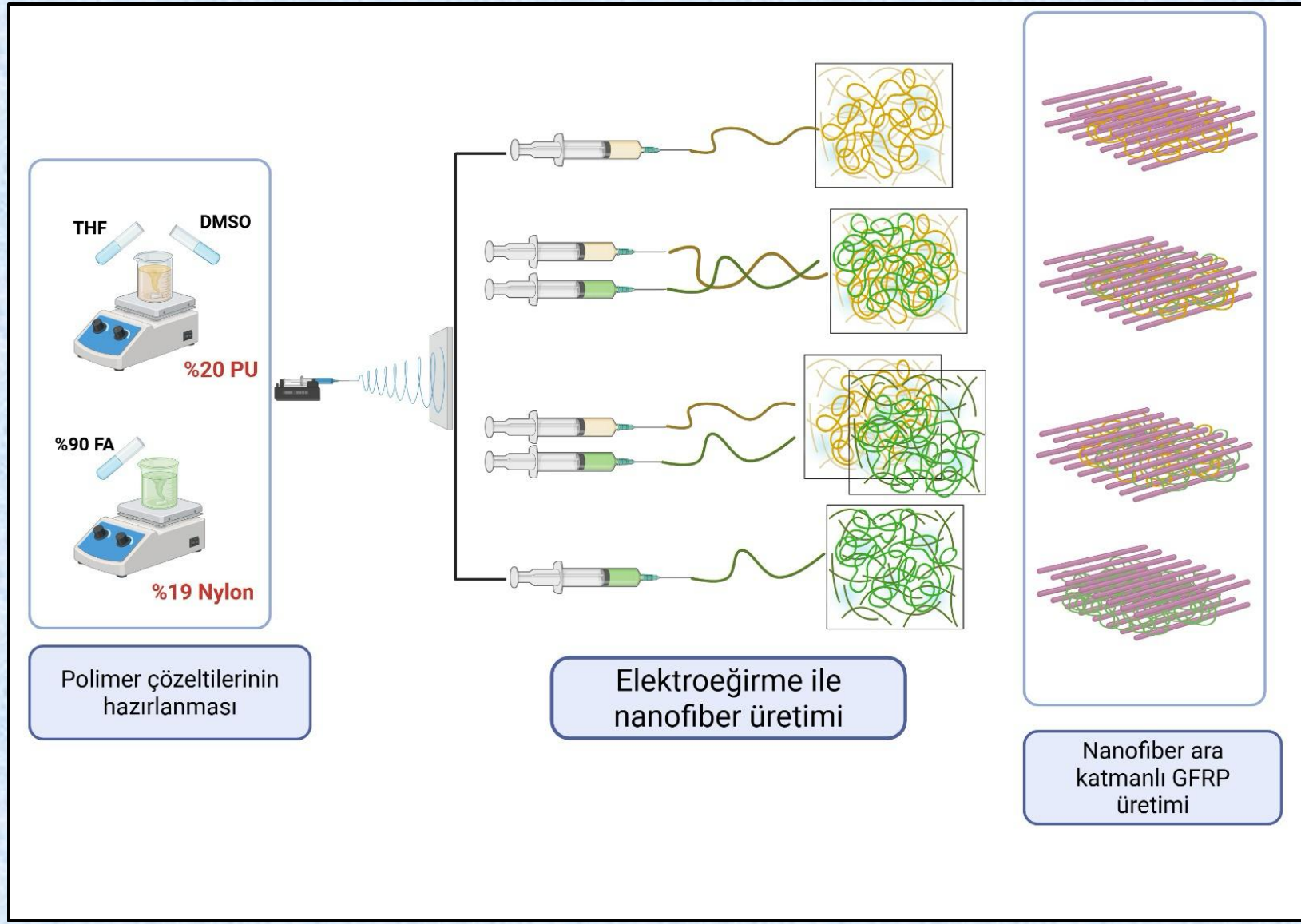
1. Özet

Bu çalışmada öncelikle epoksi matrisli cam fiberlere eklenecek nanofiberler optimize edilerek üretilmiş ve karakterize edilmiştir. Ardından cam fiber kumaş katlar, farklı adet ve türlerde nanofiber PU ve Naylon 66 ile birlikte kür edilerek mekanik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Standartlara göre hazırlanan numunelerin mekanik özellikleri çekme testi ve kırık morfolojileri SEM ile incelenmiştir. Nanofiber takviyenin lamine kompozit yapıya olan etkileri tespit edilmiştir.

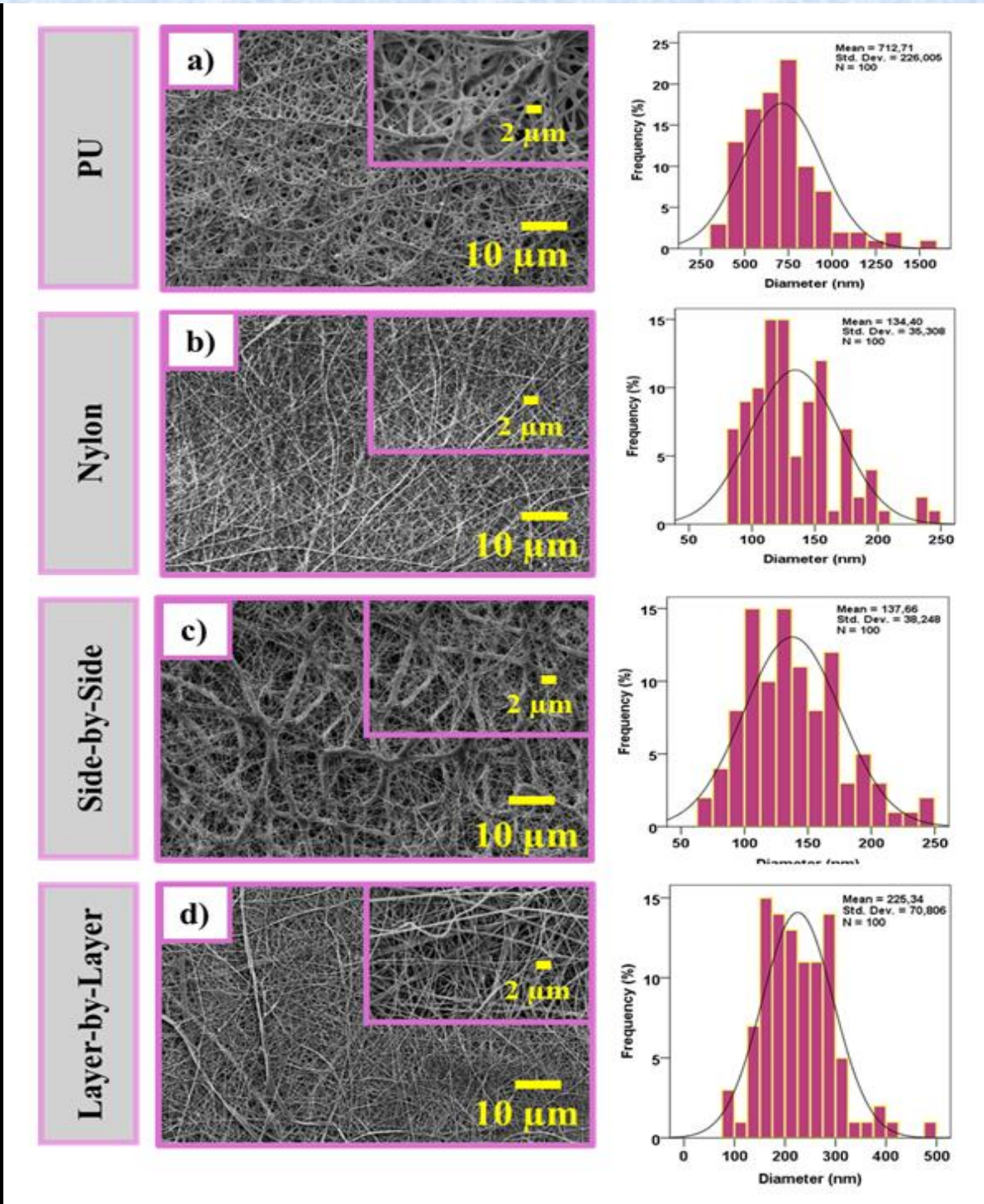
2. Giriş

Havacılıkta düşük özgül ağırlık ve yüksek mekanik özelliklerden dolayı lamine kompozitler sıklıkla kullanılmaktadır ancak katlararası oluşan gerilme delaminasyona sebep olmakta ve çatlak mekanizmalarını harekete geçirmektedir. Fiber matris etkileşimini nanofiber mat kullanarak arttırmak ve delaminasyon ihtimalini düşürmek bakım maliyetlerini azaltacaktır.

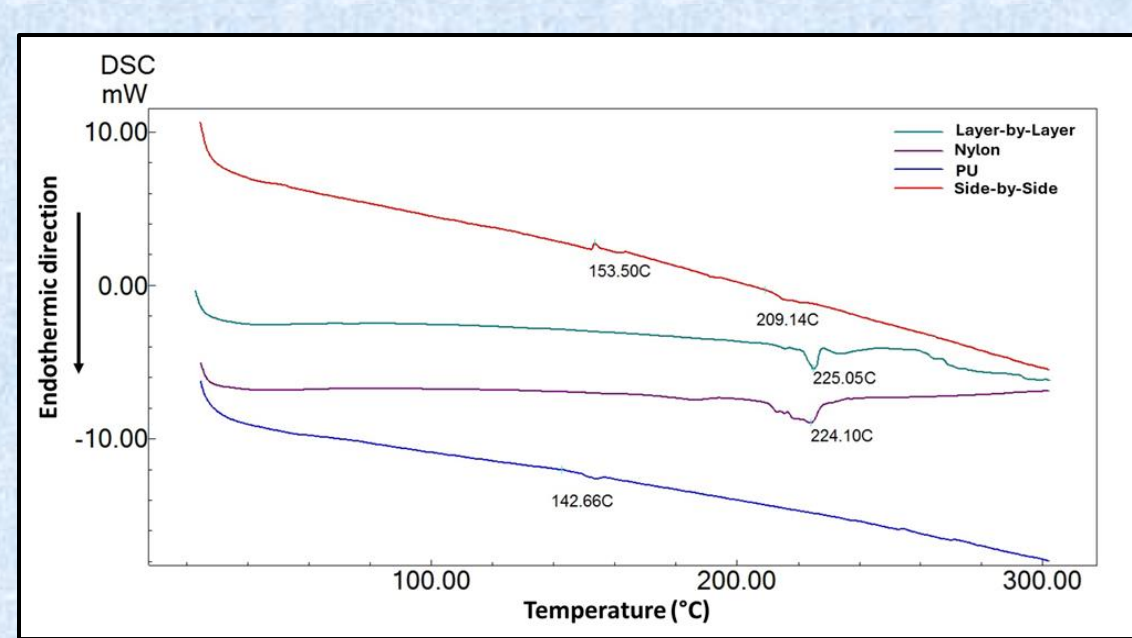
3. Materyal Ve Yöntem



4. Sonuçlar ve Değerlendirmeler



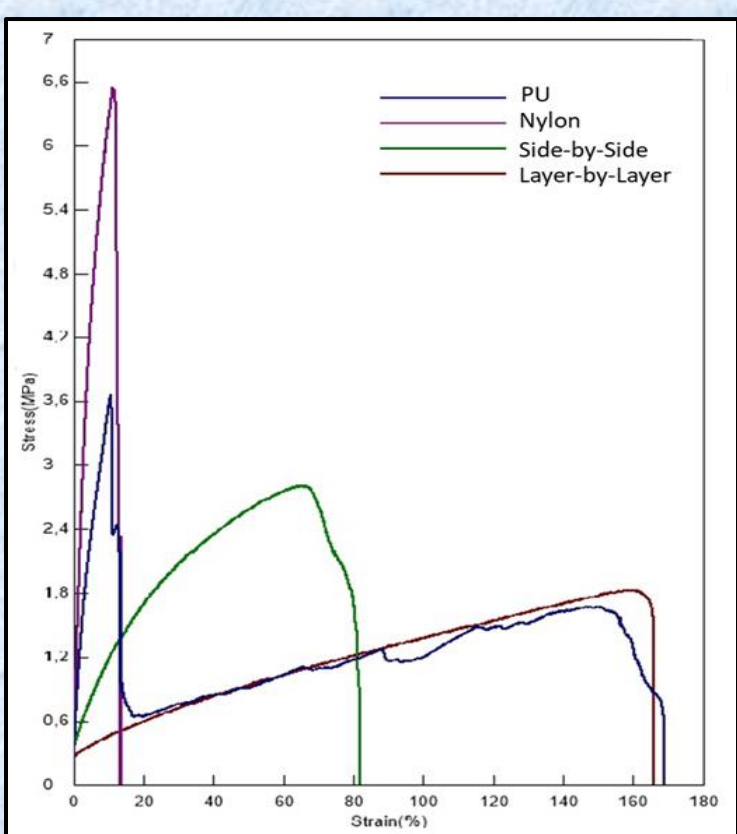
Şekil 1. Elektroğirme Yöntemiyle Üretilen Nanofiberlerin Morfolojik Karakterizasyonu



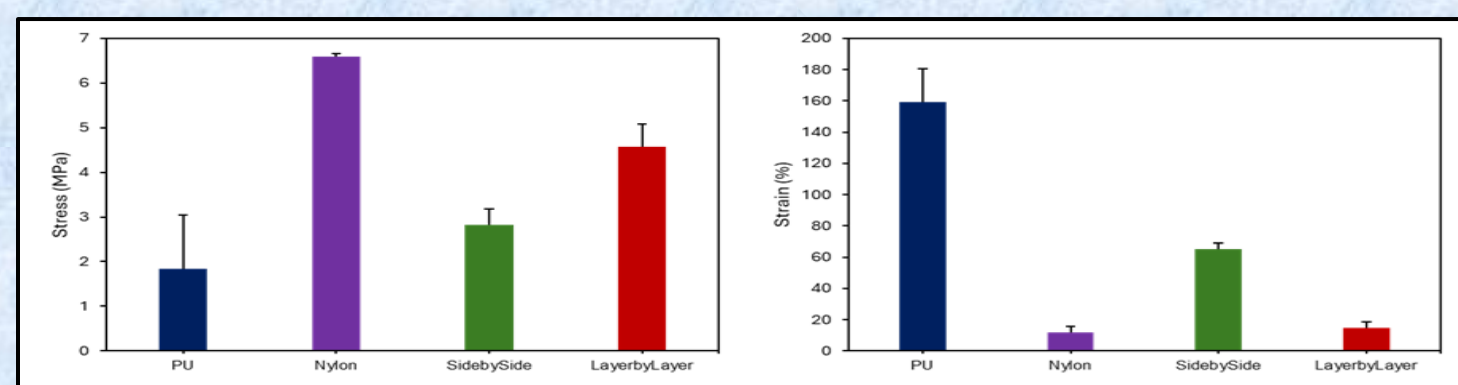
Şekil 2. Nanofiberlerin DSC Analizi

Nylon 142.66 °C'de, PU 224.10 °C'de belirgin erime pikleri sergilemiştir. LbL yapı, 209.14 °C ve 225.05 °C'de çift pik göstererek çok fazlı bir yapı oluşumunu ortaya koymuştur. SbS yapı ise 153.50 °C'de geniş bir erime piki göstermiştir; bu durum, fazlar arası mikroyapısal uyumsuzluğa bağlı olarak kristalitenin azaldığını gösteriyor. Sonuç olarak, PU ve LbL yapılar daha yüksek termal stabilite sunarken, Nylon ve SbS yapısı daha düşük kristallenme ve kararlılık göstermektedir.

SEM analizlerine göre, tüm gruplarda fiberler boncuksuz, kesintisiz ve düzgün bir yapıda elde edilmiştir.



Şekil 3. Nanofiberlerin gerilme-gerinim diyagramı

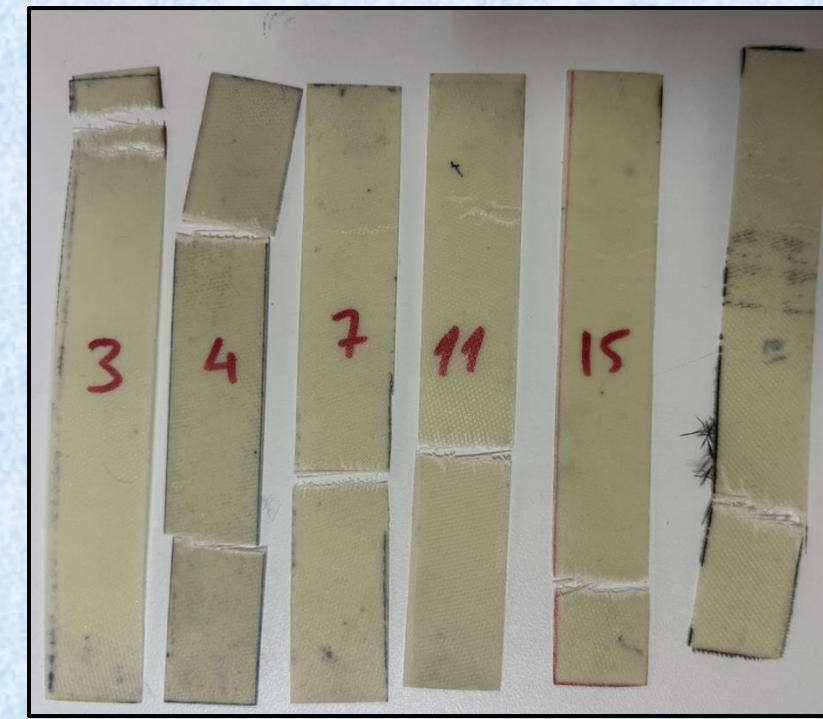


Şekil 4. Nanofiberlerin çekme dayanımı

Naylon, yüksek kristalliliğiyle en yüksek çekme dayanımını (~6.6 MPa), PU ise elastik yapısıyla en yüksek gerinimi (~160%) göstermiştir. Side-by-Side yapı, fazlar arası zayıf etkileşim nedeniyle orta düzeyde mukavemet (~2.8 MPa) ve gerinim (~65%) sunmuştur. Layer-by-Layer yapı ise düzenli tabaka yapısıyla daha yüksek dayanım (~4.7 MPa) sağlamış, ancak gerinim sınırı kalmıştır (~15%).



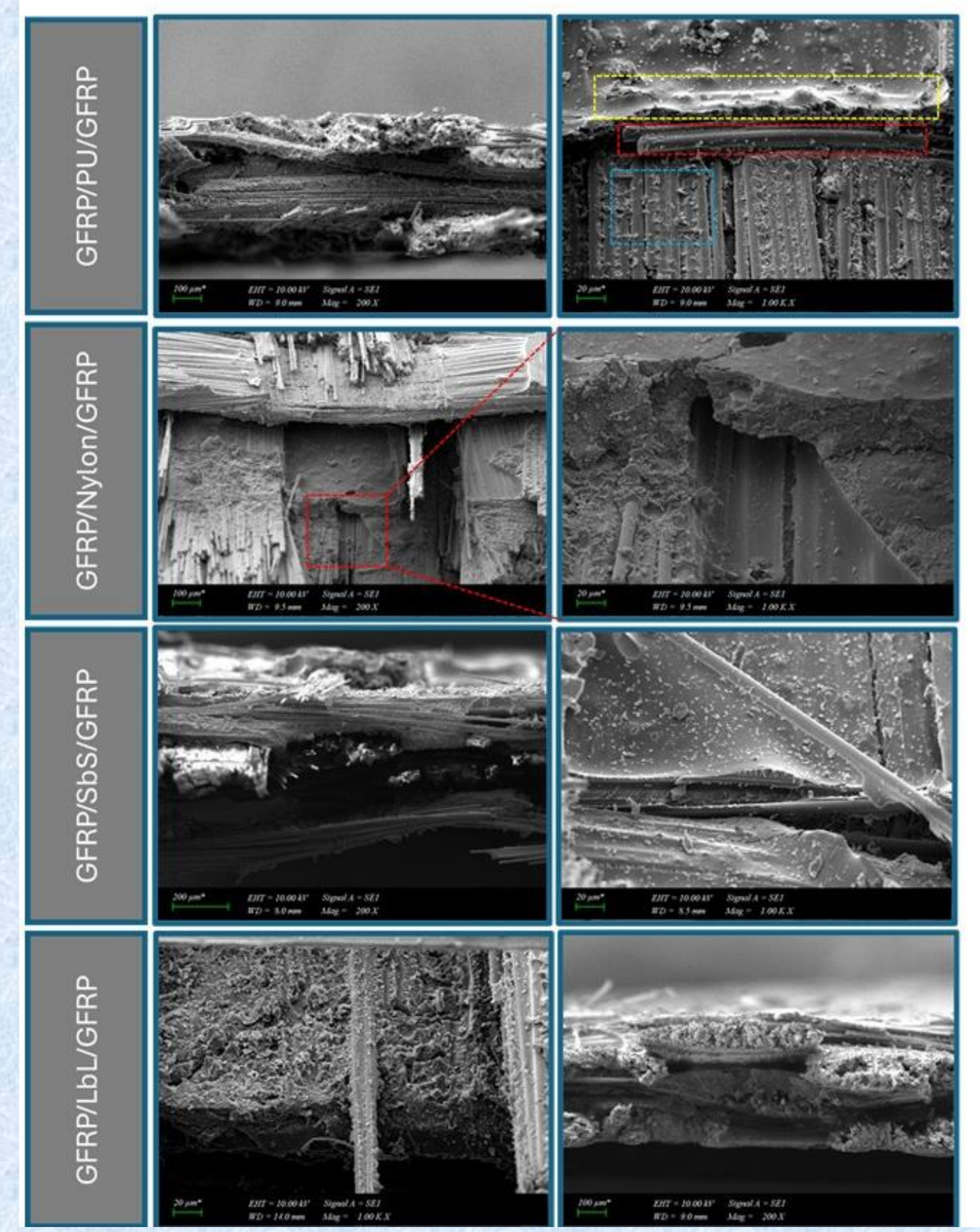
Şekil 5. Lamine kompozitlerin üretim aşaması



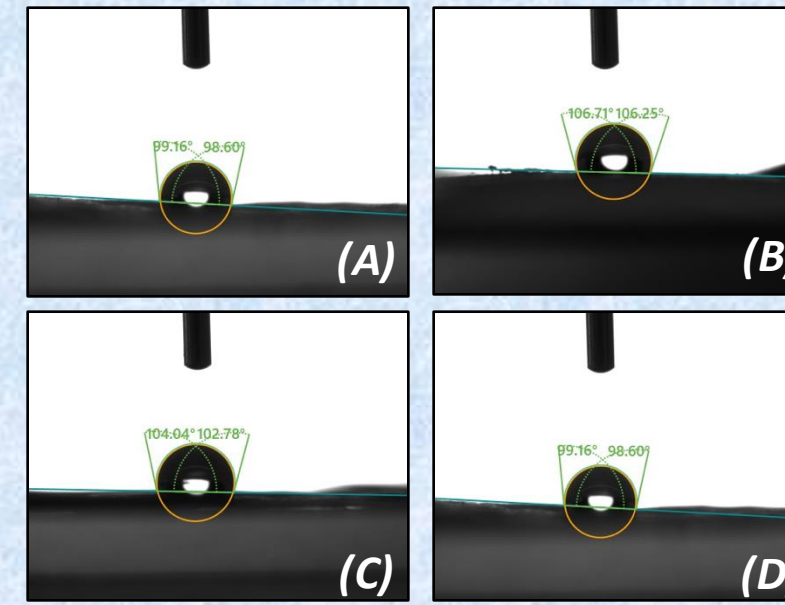
Şekil 6. Lamine kompozitlerin kırılma sonrası

Özellikle PU ve LbL içeren yapılar, GFRP ara yüzüne iyi tutunma ve daha fazla plastik deformasyon işaretleri göstermektedir.

Bu durum, yapının enerji soğurma kapasitesine katkı sağlamaktadır. Buna karşılık SbS ve Naylon ara katmanları daha gevrek kırılma izleri sunmakta olup, lif-matris ayrımının daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Nanofiber temas açısı ölçümleri (A) PU (B) SbS (C) LbL (D) Nylon



Şekil 7. Lamine kompozitlerin çekme sonrası kırık yüzeyleri

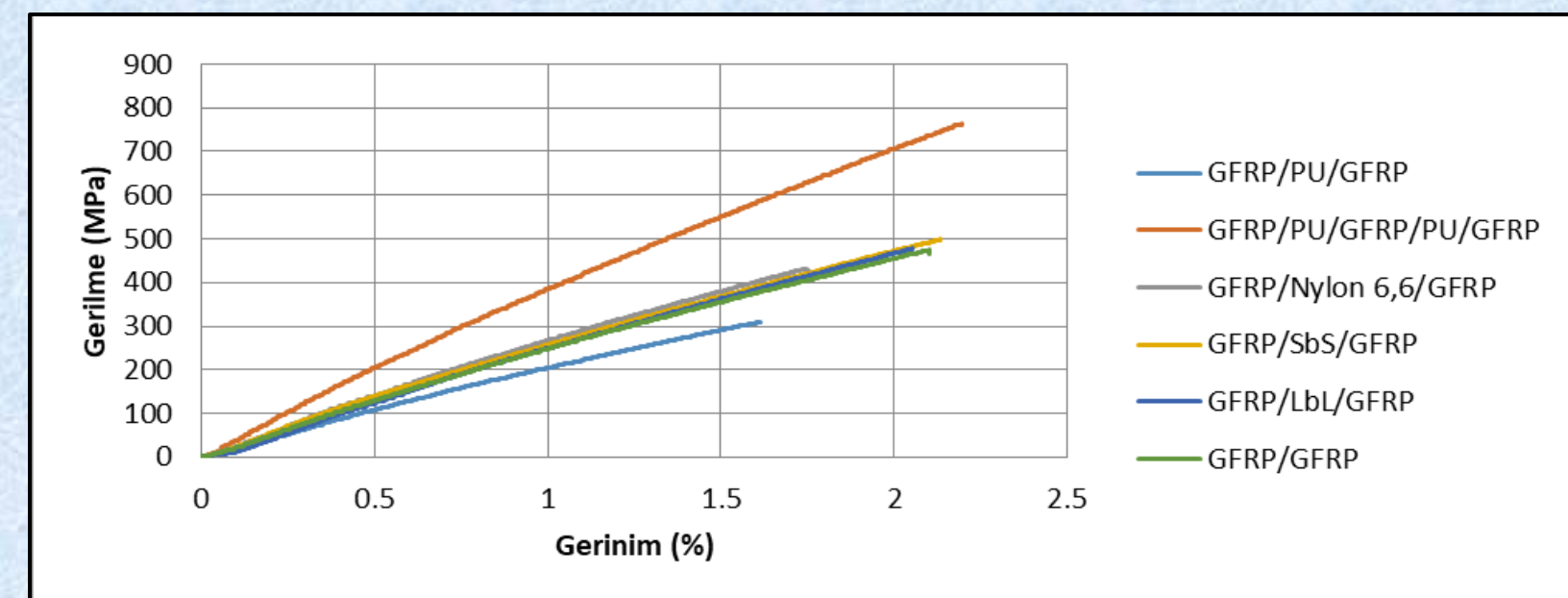
Yüksek temas açısı, hidrofobiklik gösterir; bu da matris-fiber etkileşimi hakkında bir çıkarımda bulunulmasını sağlar.

$$PU \approx \text{Naylon} < \text{LbL} < \text{SbS}$$

En hidrofobik olan SbS nanofiberin matris-arayüz etkileşimleri açısından zayıf olacağı çıkarımı yapılabilir ancak bu sınırlı bir çıkarımdır ve interlaminar shear test – ILSS uygulaması gereklidir.

Tablo 1. Lamine kompozitlerin mekanik test sonuçları

Lamine Yapı	Maks. Gerinim (%)	Maks. Gerilme (MPa)	Young Modülü (GPa)	Süneklik Değerlendirmesi
GFRP/GFRP	1,3	400	30,8	Düşük (Gevrek yapı)
GFRP/Nylon/GFRP	1,6	450	28,1	Orta düzey
GFRP/SbS/GFRP	1,8	470	26,1	Orta-sünek
GFRP/LbL/GFRP	2,2	500	22,7	Yüksek (En sünek yapı)



Şekil 8. Lamine kompozitlerin gerilme-gerinim diyagramı

5. Sonuç

LbL nanofiber mat, naylon ve poliüretanın dengeli birleşimi ile hem mukavemet hem de enerji soğurma kapasitesini en fazla artıran takviye olmuştur.

Sonuç olarak, PU ve özellikle LbL nanofiber matların kullanımı, GFRP lamine kompozitlerde kırılma tokluğunu arttırarak bakım maliyetlerini düşürecek şekilde **delaminasyon direncini ve sünek davranışı** önemli ölçüde iyileştirmiştir; kırılma gerçekleşmeden önce oluşacak şekil değişiminin bakım sırasında fark edilmesi, felaket senaryolarını engelleyecektir. Gelecek çalışmalarda nanofiber katman kalınlığının ve yerleşim sırasının optimize edilmesiyle dayanım-ağırlık oranının geliştirilmesi üzerine çalışılabilir.

Seçilmiş Kaynaklar

- [1] Esenoğlu, G., Barisik, M., Tanoğlu, M., Yeke, M., Türkoğlu, C., İplikçi, H., ... & İriş, M. E. (2022). Improving adhesive behavior of fiber reinforced composites by incorporating electrospun Polyamide-6, 6 nanofibers in joining region. *Journal of Composite Materials*, 56(29), 4449-4459.
- [2] Yılmaz, M., & Ekrem, M. (2021, June). Low-Velocity Impact Resistance of Nylon 6.6 Nanofiber-Reinforced Epoxy Adhesives Used in Aircrafts. In *International Symposium on Aviation Technology, MRO, and Operations* (pp. 7-16). Cham: Springer International Publishing
- [3] Palazzetti, R., & Zucchelli, A. J. C. S. (2017). Electrospun nanofibers as reinforcement for composite laminates materials—a review. *Composite Structures*, 182, 711-727.

GİRİŞ

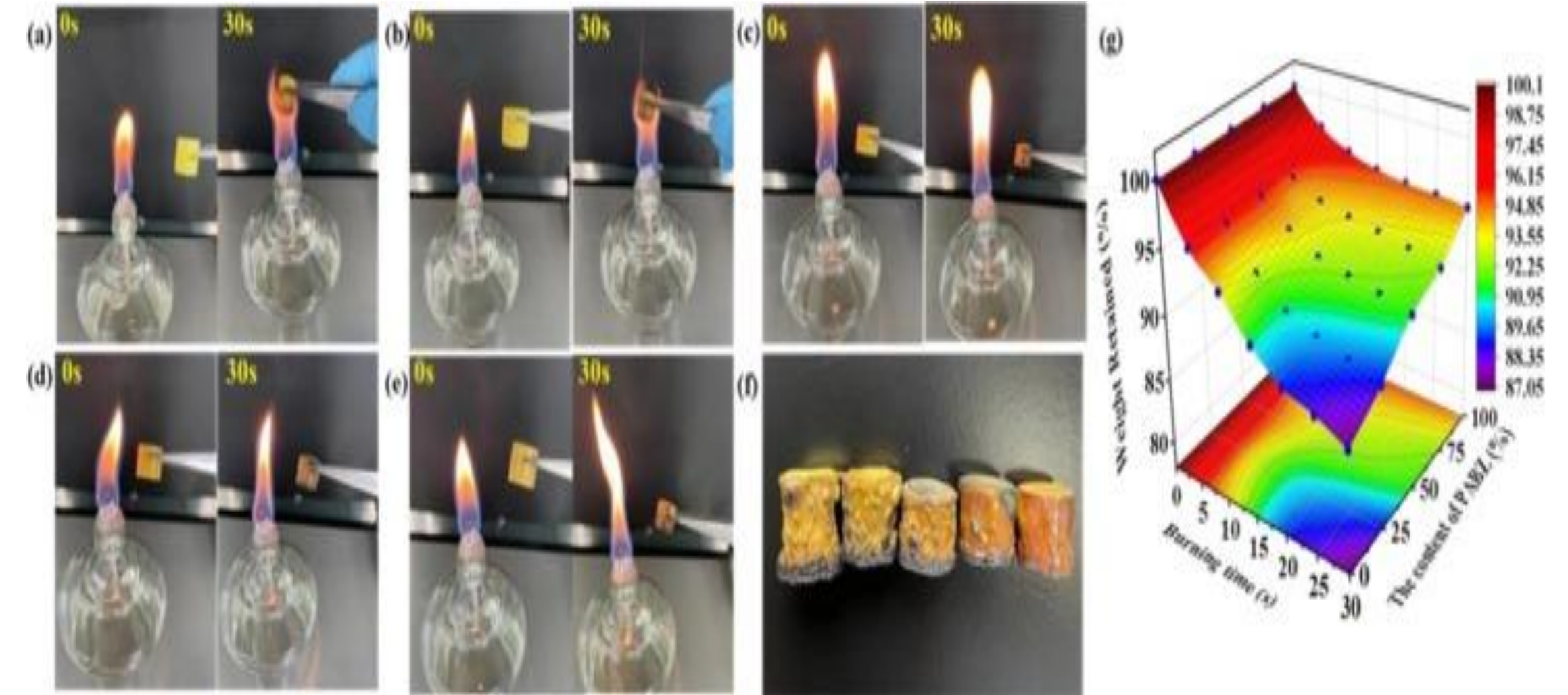
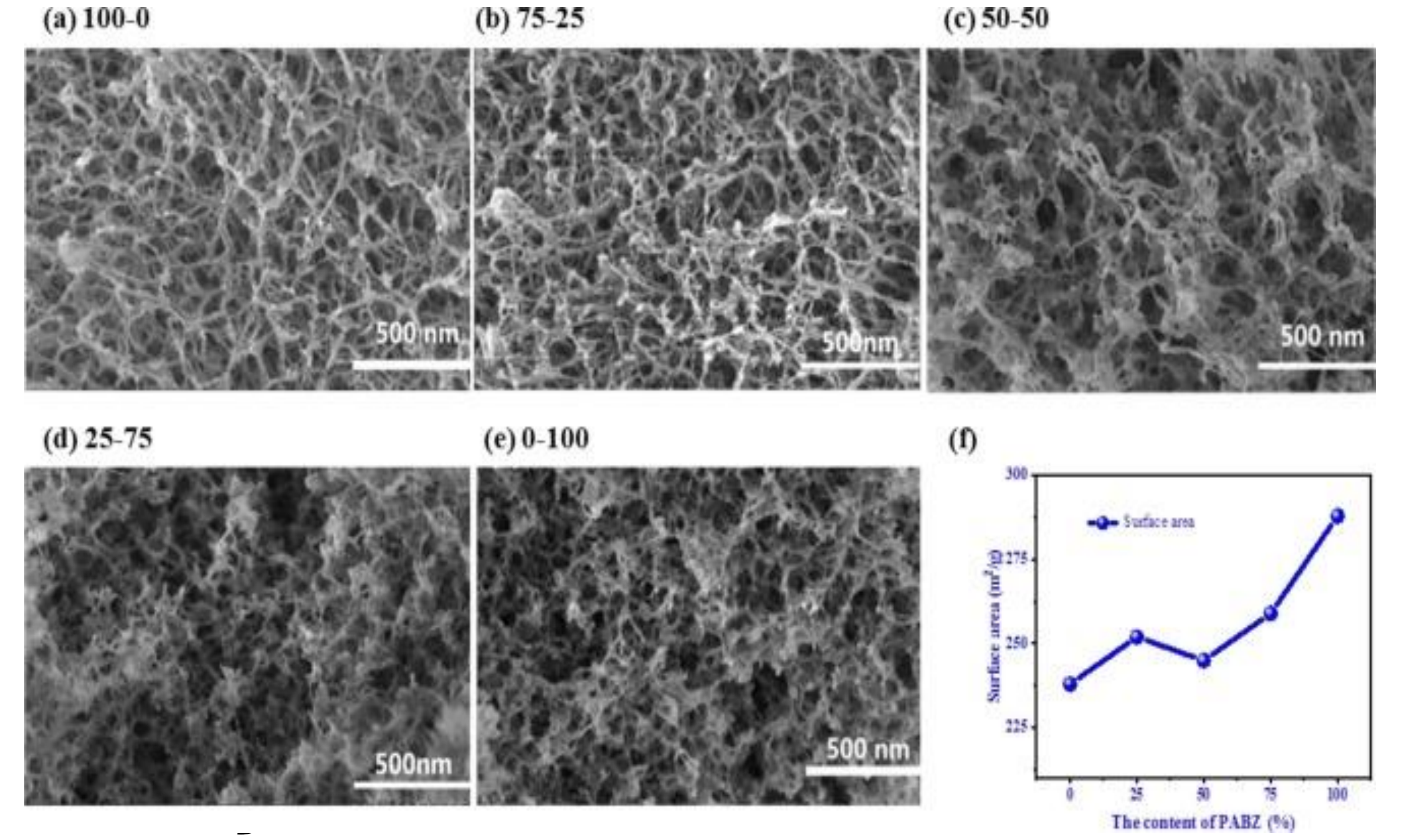
Teknolojideki hızlı ilerlemeler ve büyüyen havacılık uygulamalarıyla birlikte, etkili düşük ağırlıklı ve ısı yalıtımı sağlayan malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Aerojeller, ultra hafif olmalarıyla bilinirler ve 2 ila 50 nm aralığında nano gözeneklere sahip, oldukça gözenekli malzemelerdir. Ancak, higroskopik yapıları ve kırılgenlikleri nedeniyle aerojeller ticari olarak günlük hayatta kullanılamazlar. Poliimid aerojeller, yüksek sıcaklıklarda ve mükemmel mekanik özellikleri nedeniyle uçak motorunun yalıtımı amacıyla yaygın olarak kullanılırlar. Biz bu çalışmada diamin ve dianhidrit reaksiyonu sonucu olan poliamik asiti imidizasyon'a tabii tutup daha sonra Poliimid Aerojel elde edip, bu aerojelin alev dayanıklılığı ve yüzey gözenekliliğini incelemiş olacağız.

Materyal ve Yöntem

Burada kullanacağımız malzemeler TAPB (1,3,5- tris(aminofenil) benzene), PABZ (P-Aminobenzyleamine, ODA(4,4- oxydianiline), Asetik anhidrit ve piridin ve N,N-dimetilasetamit kullanıyoruz. N,N-dimetilasetamit vakum damıtma ile saflaştırıldı ve kullanılmadan önce 4Å moleküler elekler üzerinde saklandı. Genel olarak, belirli bir polimerizasyon derecesine sahip PI öncülleri sentezlendi, ardından bir çapraz bağlayıcı madde eklendi ve kimyasal imidizasyon için asetik anhidrit ve piridin eklendi. Bu çalışmada, PI omurgasındaki tekrarlanan birimlerin formüle edilen sayısı 30 du (n=30) ve reaksiyonun toplam katı içeriği %10 ağırlıktı. Kullanılan diaminler ODA ve PABZ veya ikisinin bir karışımıydı. Bir azot girişi ve mekanik bir karıştırıcı ile donatılmış üç ağızlı yuvarlak tabanlı bir şişe (100ml), PABZ (0.7385g, 3.293mmol) ve ODA (0.6594g, 3.293mmol) ve 25g DMAC ile soğuk su banyosuna yükledi. Daha sonra BPDA(2.0025g, 6.806mmol) yavaşça ve partiler halinde eklendi. Çözelti, homojen poliamik asit oluşturmak için oda sıcaklığında 12 saat karıştırıldı. Daha sonra, 5g DMAC de TAPB'nin (0.0514g, 0.15mmol) bir çözeltisi, poliamik asidi çapraz bağlamak ve üç boyutlu bir yapı oluşturmak için sürekli karıştırılarak eklendi. Dehidratör olarak asetik anhidrit (BPDA ya 8:1 M oranında) ve katalizör olarak piridin (BPDA ya 8:1 M oranında) karışımı viskoz çözeltiye eklendi. Daha sonra homojen çözelti, sırasıyla monolitler ve filmler oluşturmak için 2cm çapında silindirik kalıplara ve bir döküm kalıba döküldü. Yaklaşık 10 dakika veya daha kısa sürede ıslak jeller oluştu ve ardından kalıplarda 24 saat bekletildi. Bekletmenin ardından ıslak jeller asetonda %75 DMAC çözeltisine çıkarıldı ve bir gece bekletildi. Kısa süre sonra çözücü 24 saatlik aralıklarla asetonda %50 DMAC ile, ardından asetonda %25 DMAC ile ve son olarak %100 aseton ile değiştirildi. Aseton ıslak jellerden 35°C de 9MPa da CO2 kurutma ile kurutuldu.

Sonuçlar ve Tartışma

Sentez kısmından sonra karakterizasyon kısmına geçiyoruz. Karakterizasyon için kullandığımız yöntemler FTIR, DSC, TGA, BET analizi ve alev dayanıklılık testleridir.



SONUÇ

Biz bu araştırmada üretilen numunenin alev dayanıklılığını ölçmek için onu aleve tabii tutarak, onun yanmadığını ve alvein söndüğünü gördük ve ayrıca BET analizinden elde edilen bilgiler doğrultusunda yüzey gözenekliliğin fazla olduğuna vardık bu durum özellikle ses ve ısı yalıtımı için aerojeli ideal hale getirir.

Kaynak

- 1.Mechanical strong polyimide aerogels containing benzamidazole groups with excellent flame retardant, thermal insulation and high service temperature
2. Cross-linked polyimide Aerogels with excellent thermal and mechanical properties.

Selvinaz Deniz KOCA

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, 34854, İstanbul, Türkiye

Danışman: Doç.Dr. Elif UZUN KART

ÖZET

Bu deneyde soğuk haddelemeye tabi tutulan oksijensiz bakır (OF) ve elektrolitik bakır (ETP) filmaşınların tavlama sırasında meydana gelen toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi davranışları incelenmiştir. Tavlama işleminden sonra teller “tavlama öncesi” ve “tavlama sonrası” olmak üzere sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan gruplar mekanik, elektriksel ve mikroyapısal olarak incelenmiştir. Deney sonunda elde edilen değerler OF ve ETP kıyaslanacak şekilde yorumlanmıştır.

GİRİŞ

Bakır ve bakır alaşımları, yüksek elektrik ve ısı iletkenlikleri, korozyon dirençleri ve kolay şekillendirilebilir yapıları sayesinde tarih boyunca birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmıştır. Bu malzemeler, özellikle tel üretimi gibi hassas şekillendirme işlemleri için önemli avantajlar sunar.

Tel çekme işlemi, büyük çaplı filmaşınların haddelerden geçirilerek daha ince çaplardaki teller hâline getirilmesidir. Bu işlem sırasında malzemede plastik deformasyon meydana gelir ve kristal yapıda bozulmalar oluşabilir. Bu bozulmaları gidermek ve malzemenin iletkenliğini yeniden artırmak amacıyla tavlama işlemi uygulanır.

Tavlama, deformasyon sonucu biriken iç gerilimleri gidererek yeniden kristalleşme sürecini başlatır. Bu süreç; toparlanma, yeniden kristalleşme ve (istenmeyen) tane büyümesi olmak üzere üç aşamada ilerler. Tavlama sayesinde tel, eski kristal yapısını kısmen geri kazanır ve daha sünek hâle gelir.

Bu çalışmada, farklı deformasyon oranlarına maruz kalmış OF ve ETP bakır tellerin tavlama işlemi sonrası mikroyapısal ve mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Deneysel çalışmalarda contirod ve outokumpu döküm tesisinden alınan 8 mm’lik ETP ve OF filmaşın kullanılmıştır.



Şekil 1. ETP filmaşın



Şekil 2. OF filmaşın

Deneysel çalışmalar kapsamında malzemelere çekme testi ve direnç testi yapılmıştır. Çekme testi, Zwick Çekme Makinesi’nde test hızı 100 mm/dk alınarak, ASTM - 49 standardı esas alınarak, 22,4°C’de gerçekleştirilmiştir. Direnç testi, Hioki Direnç Köprüsü’nde test ortam sıcaklığı 22,4 °C olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Giriş malzemesi (0.numune), ilk çıkış malzemesi (10.numune) ve tavlama için seçilen numunelerin mikroyapı incelemesi Zeiss Mikroskop’da gerçekleştirilmiştir. Numuneler, zımparalanıp, parlatılmıştır. %30 derişime sahip sülfürik asit çözeltisinde 2-3 dakika dağlanmıştır.

ETP ve OF teller 570 °C’de 12 saat Braun - Angott fırınında rampa ısıtma hızı 17 °C/dk olacak şekilde tavlannmıştır.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Tablo 1. Tavlama öncesi ETP tellerin mekanik test sonuçları

ETP	Çap (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	Direnç (mΩ)	Kesit Alanı (mm ²)	Özdirenç (mΩ.mm)	Gerçek Deformasyon (ln(A ₀ /A ₂))
0	7,85	75,57	274,90	40,40	0,35	48,40		0,040
1	7,51	99,02	305,82	21,60	0,38	44,30	0,0170475	0,089
2	6,20	275,00			0,57	30,19	0,0172562	0,472
3	5,20			2,80	0,81	21,24	0,0172298	0,824
4	4,38	385,00	415,67	2,87	1,11	15,07		1,167
5	3,89	406,21	423,00	2,96	1,45	11,89	0,0172707	1,404
6	3,40	421,49	432,21	2,32	1,91	9,08	0,0173635	1,673
7	3,24	433,54	437,66	2,10	2,10	8,25	0,0172751	1,770
8	2,72	436,57	442,97	2,10	3,01	5,81		2,120
9	2,22	454,79	461,65	1,89	4,50	3,87	0,0174133	2,526
10	1,82	459,45	467,45	1,75	6,66	2,60	0,0173343	2,923

Tablo 2. Tavlama sonrası ETP tellerin mekanik test sonuçları

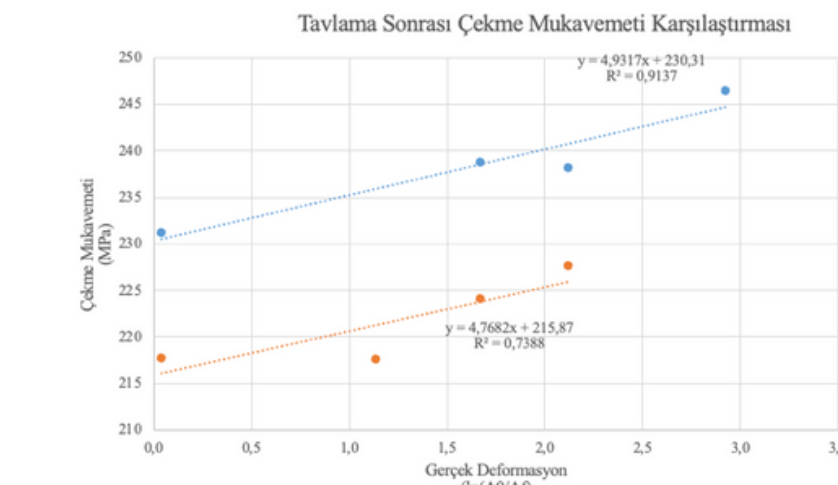
	ETP	Çap (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	Direnç (mΩ)	Kesit Alanı (mm ²)	Özdirenç (mΩ.mm)	Gerçek Deformasyon (ln(A ₀ /A ₂))
570 derece 12 saat tavlannmış ETP	0	7,85	75,57	231,14	40,40	0,35	48,37	0,0167373	0,040
	2	6,20			41,00	0,56	30,18	0,0168982	0,472
	6	3,40	69,58	238,75	40,00	1,86	9,07	0,0169151	1,673
	8	2,72	65,37	238,18	39,00	2,93	5,81	0,0170051	2,120
	10	1,82	81,47	246,48	39,00	6,46	2,60	0,0167975	2,923

Tablo 3. Tavlama öncesi OF tellerin mekanik test sonuçları

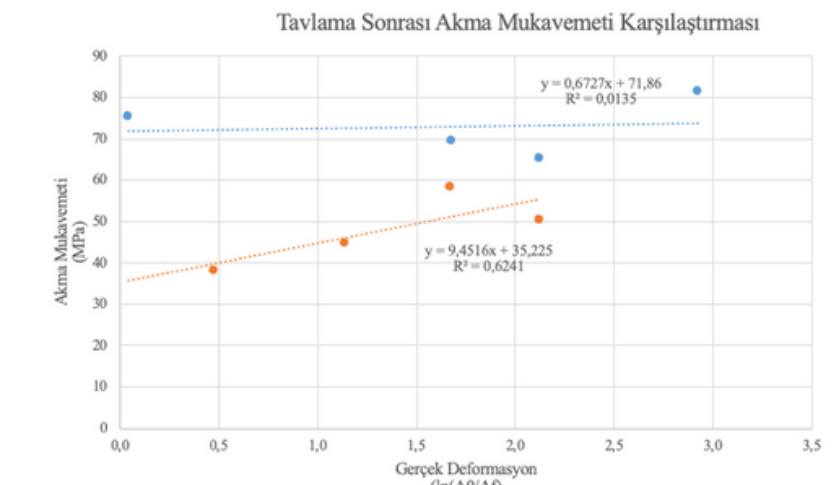
OF	Çap (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	Direnç (mΩ)	Kesit Alanı (mm ²)	Özdirenç (mΩ.mm)	Gerçek Deformasyon (ln(A ₀ /A ₂))
0	7,92	91,81	217,73	33,00	0,35	49,24	0,0172341	0,040
1	7,54	62,06	257,61	10,24	0,39	44,63	0,0171909	0,098
2	6,20				0,57	30,18	0,0172754	0,490
3	5,24	314,20			0,82	21,55		0,827
4	4,45	352,73	363,03	2,73	1,12	15,51	0,0173340	1,155
5	3,91	370,13	380,56	2,40	1,46	11,98		1,414
6	3,41	390,88	398,92	2,00	1,91	9,11	0,0173629	1,687
7	3,23	400,13	405,48	1,93	2,11	8,21	0,0173168	1,792
8	2,72	407,17	409,80	1,68	2,99	5,82	0,0173977	2,136
9	2,22	428,22	429,27	1,55	4,50	3,86	0,0173674	2,546
10	1,82	437,63	440,96	1,45	6,71	2,59	0,0173983	2,943

Tablo 4. Tavlama sonrası OF tellerin mekanik test sonuçları

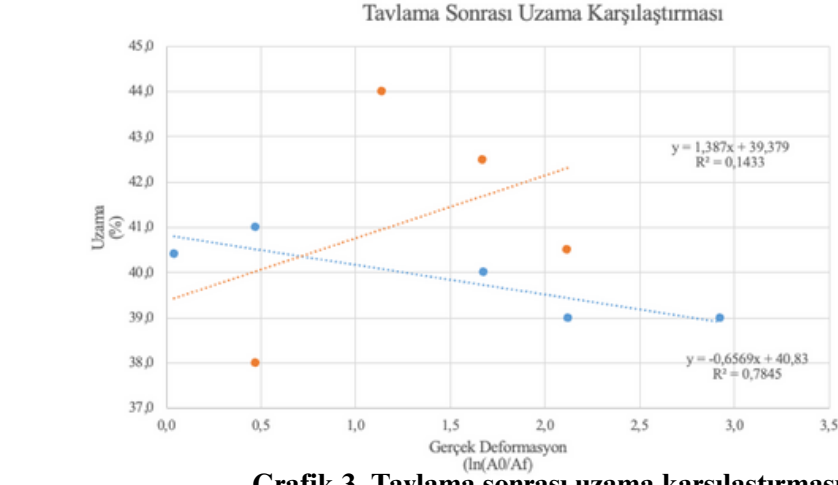
	OF	Çap (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	Direnç (mΩ)	Kesit Alanı (mm ²)	Özdirenç (mΩ.mm)	Gerçek Deformasyon (ln(A ₀ /A ₂))
570 derece 12 saat tavlannmış OF	0	7,85		217,73		0,35	48,37	0,0169308	0,040
	2	6,20	38,32		38,00	0,56	30,18	0,0169586	0,472
	4	4,45	44,91	217,61	44,00	1,10	15,51	0,0169990	1,137
	6	3,41	58,35	224,13	42,50	1,87	9,11	0,0170577	1,669
	8	2,72	50,33	227,67	40,50	2,90	5,82	0,0168905	2,118



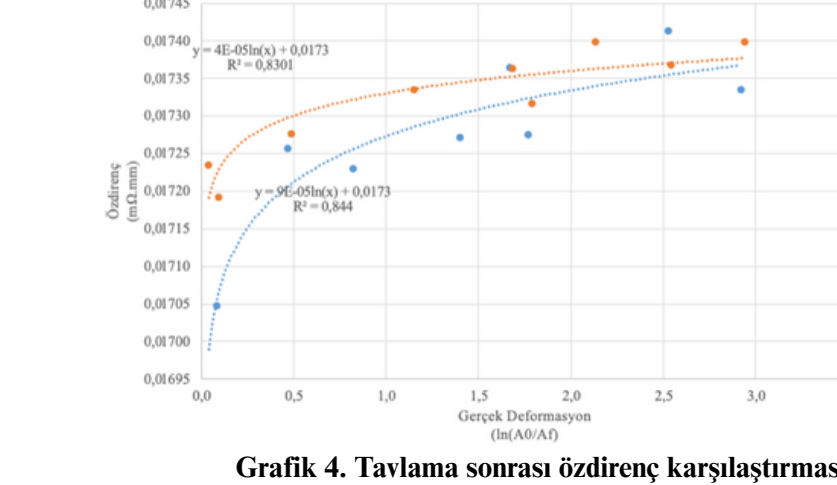
Grafik 1. Tavlama sonrası çekme mukavemeti karşılaştırması



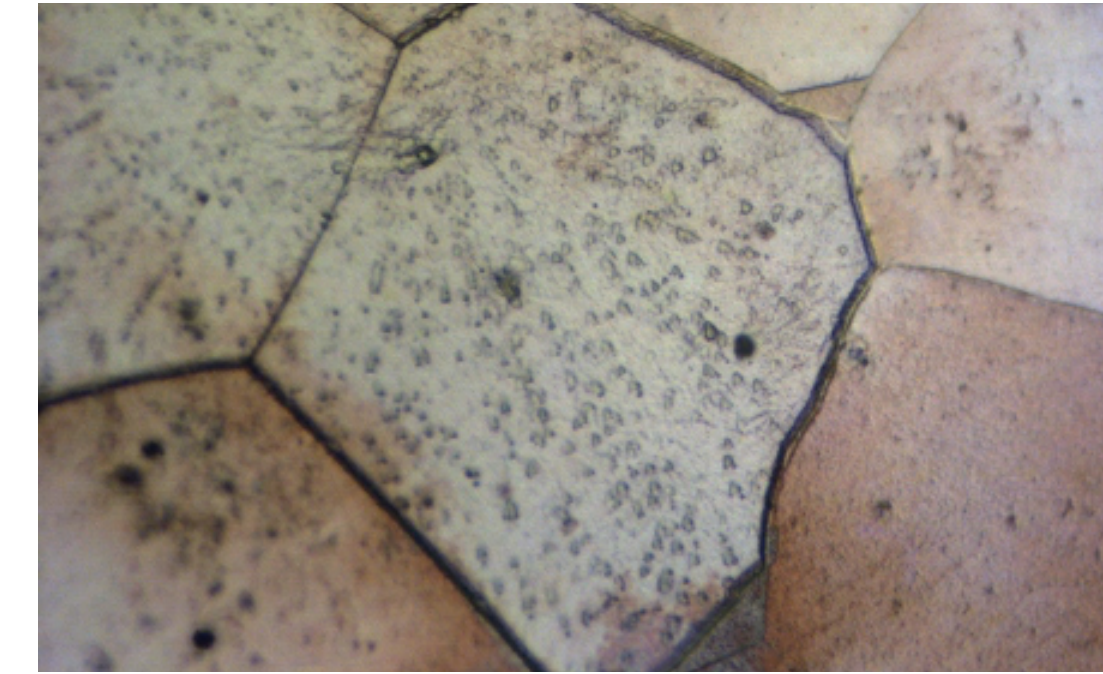
Grafik 2. Tavlama sonrası akma mukavemeti karşılaştırması



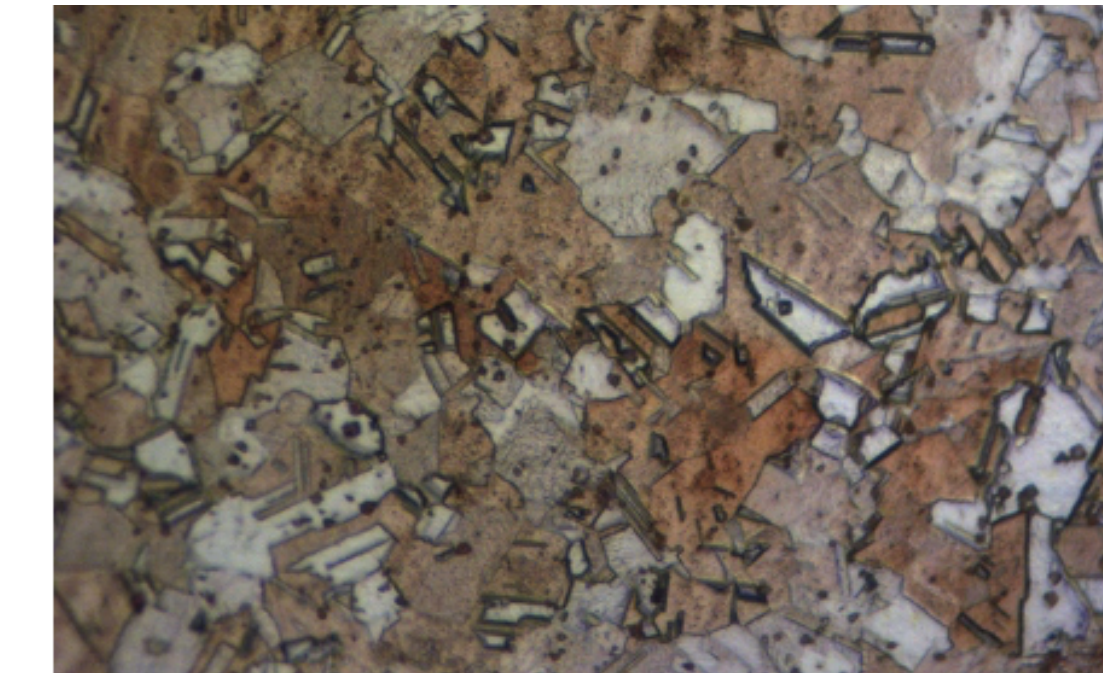
Grafik 3. Tavlama sonrası uzama karşılaştırması



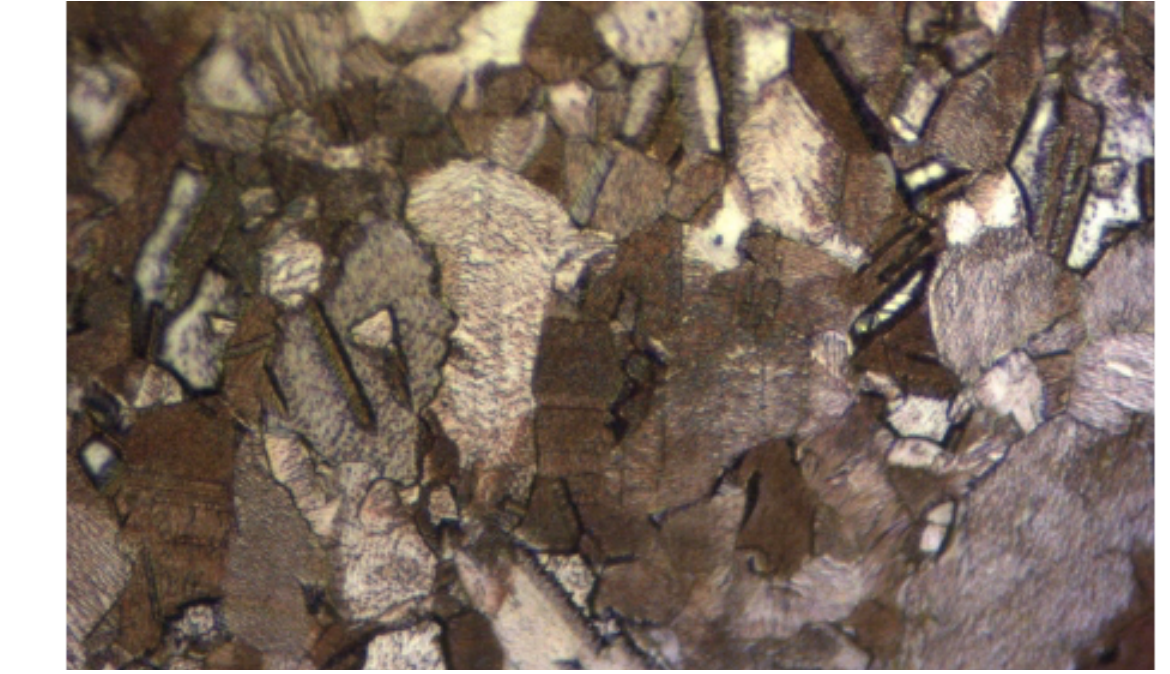
Grafik 4. Tavlama sonrası özdeş karşılaştırması



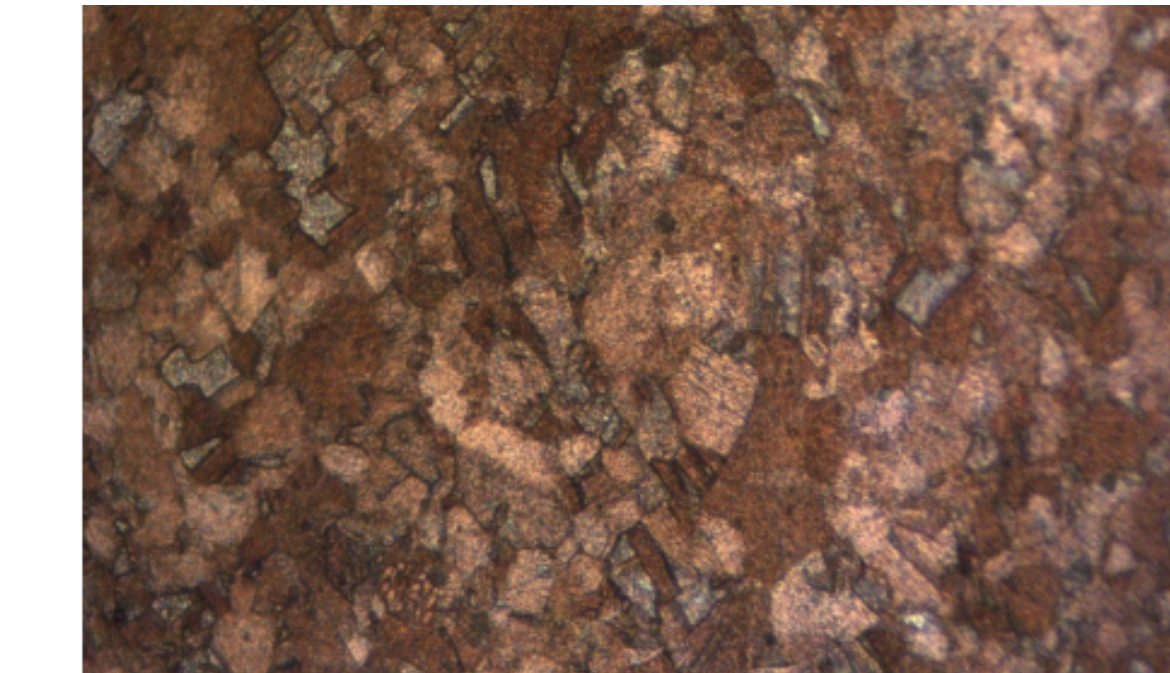
Şekil 3. Tavlama ve deformasyon öncesi 8 mm’lik OF bakırın 500x büyütmede mikroskop görüntüsü



Şekil 5. Tavlama ve deformasyon öncesi 8 mm’lik ETP bakırın 500x büyütmede mikroskop görüntüsü



Şekil 4. Tavlama ve deformasyon sonrası 1,82 mm’lik OF bakırın 500x büyütmede mikroskop görüntüsü



Şekil 6. Tavlama ve deformasyon sonrası 1,82 mm’lik ETP bakırın 500x büyütmede mikroskop görüntüsü

DEĞERLENDİRME

Yapılan mekanik testler, soğuk deformasyonla birlikte akma mukavemetinin ETP bakırda 6 kat, OF bakırda 5 kat arttığını göstermiştir. ETP bakır, içeriğindeki oksijen nedeniyle dislokasyon hareketine karşı daha dirençli olup, (OF bakıra kıyasla 2 kat) daha yüksek mukavemet sunmuştur [1],[2]. Tavlama sonrası, her iki malzemede de dislokasyon yoğunluğu azalmış; bu da mukavemetin düşmesine (ETP bakırda 5 kat, OF bakırda 2 kat), sünekliğin (ETP bakırda 22 kat, OF bakırda 27 kat) ve iletkenliğin artmasına (ETP ve OF bakır için 0,95 kat) neden olmuştur [3]. OF bakır, daha yüksek saflığı (2-3 ppm oksijen miktarı) sayesinde tavlamaya daha iyi tepki vermiştir. Elektriksel testlerde, deformasyonla özdeşin arttığı, tavlama ile tekrar azaldığı gözlemlenmiştir [5].

Mikroyapı analizleri, OF bakırda tavlama sonrası homojen ve eş eksenli taneler oluştuğunu; ETP bakırda ise oksijenin sınır hareketini engellemesi nedeniyle kristalleşmenin sınırlı kaldığını ortaya koymuştur. Genel olarak, OF bakır sünekliği ve iletkenliğiyle öne çıkarken; ETP bakır, mekanik dayanım açısından daha avantajlı bulunmuştur. Tavlama işlemi her iki malzeme için de yapıyı iyileştirici etki göstermiştir [4].

KAYNAKÇA

- Jiang, Y., Gu, R. C., Peterlechner, M., Liu, Y. W., Wang, J. T., & Wilde, G. (2021). Impurity effect on recrystallization and grain growth in severe plastically deformed copper. *Materials Science and Engineering: A*, 824, 141786.
- Yang, F., Dong, L., Cai, L., Wang, L., Xie, Z., & Fang, F. (2021). Effect of cold drawing strain on the microstructure, mechanical properties and electrical conductivity of low-oxygen copper wires. *Materials Science and Engineering: A*, 818, 141348.
- Liu, Y., & Cai, S. (2019). Recrystallization-induced transition from brittle to ductile fracture in severe plastic deformed copper. *Materials Science and Engineering: A*, 755, 116–127.
- Malin, A. S., & Hatherly, M. (1979). Microstructure of cold-rolled copper. *Metal Science*, 13(8), 463–472.
- Akbaş, C. (2011). Saf Bakırın Soğuk Deformasyon ve Yeniden Kristalleşme Davranışının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi [Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

DÖRT FONKSİYONEL EPOKSİ AKRİLAT REÇİNE SENTEZİ VE SLA UYGULAMALARI

Semih KURU, Prof. Dr. Mustafa ÇAKIR

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü 34854 Maltepe-İstanbul

semihkuru06@gmail.com

ÖZET

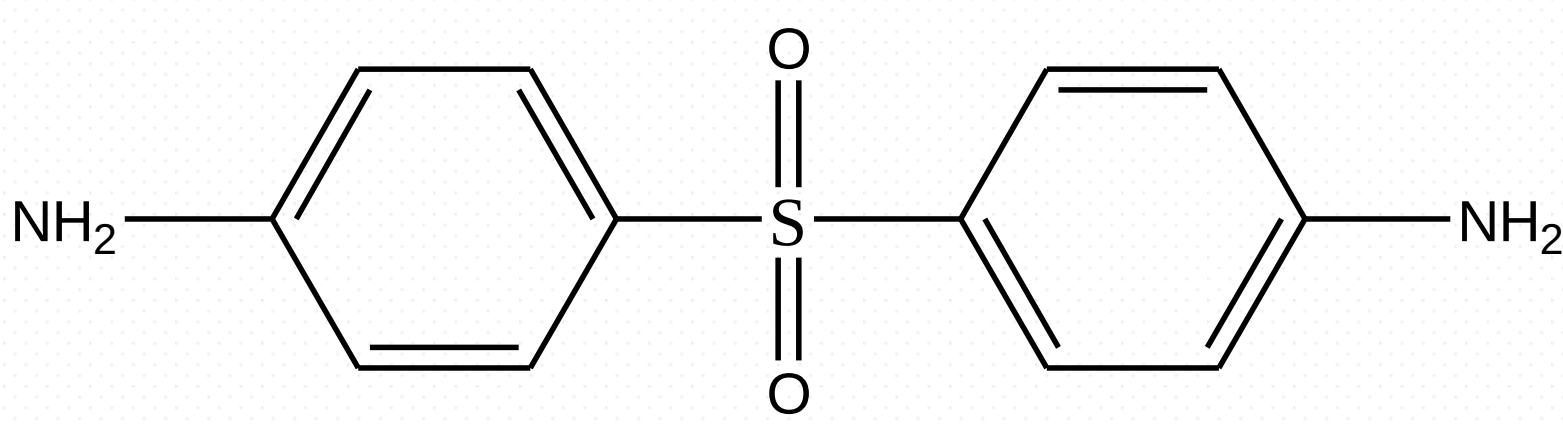
Bu proje, SLA (stereolitografi) teknolojisi için yüksek performanslı epoksi akrilat reçineler geliştirmeyi hedeflemektedir. Geleneksel bifonksiyonel reçinelerin sınırlı mekanik ve termal dayanıklılıklarını aşmak amacıyla, dört fonksiyonel gruba sahip epoksi akrilat reçineleri sentezlenecektir. Bu reçineler fotobaşlatıcı ile optimize edildikten sonra SLA cihazında basılacak ve mekanik, termal ve kimyasal direnç özellikleri değerlendirilecektir. Proje, yerli SLA reçine üretimine katkı sağlayarak endüstriyel uygulamalara yenilikçi çözümler sunmayı amaçlamaktadır. Proje TÜBİTAK 2209-A kapsamında desteklenmektedir.

GİRİŞ

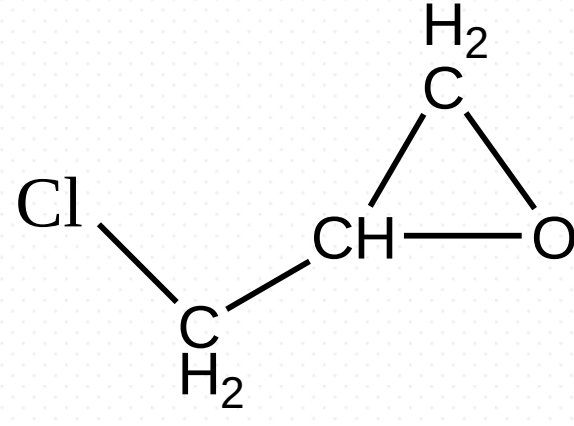
Epoksi reçineler, endüstriyel alanlarda yaygın kullanılan, güçlü yapılı, yüksek kimyasal dirençli ve iyi mekanik özelliklere sahip malzemelerdir. Ancak, geleneksel 2-fonksiyonel epoksi reçineler sınırlı çapraz bağlama kapasitesi nedeniyle termal ve mekanik özelliklerde yetersiz kalabilir. Bu çalışmada, dört fonksiyonel epoksi akrilat reçineler geliştirilerek bu sınırlamalar aşılabacak ve SLA (stereolitografi) gibi ileri üretim tekniklerinde daha yüksek performanslı fotopolimerler elde edilmesi amaçlanmaktadır. SLA teknolojisi, yüksek çözünürlük ve hassasiyetle 3D baskı yapma olanağı sunsa da, mevcut reçinelerin sınırlı performansı daha güçlü, esnek ve dayanıklı malzemelere olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu proje, SLA uygulamalarına uyarlanmış yüksek fonksiyonel reçinelerle otomotiv, havacılık, elektronik ve medikal gibi sektörlere yenilikçi çözümler sunmayı hedeflemektedir.

METOT

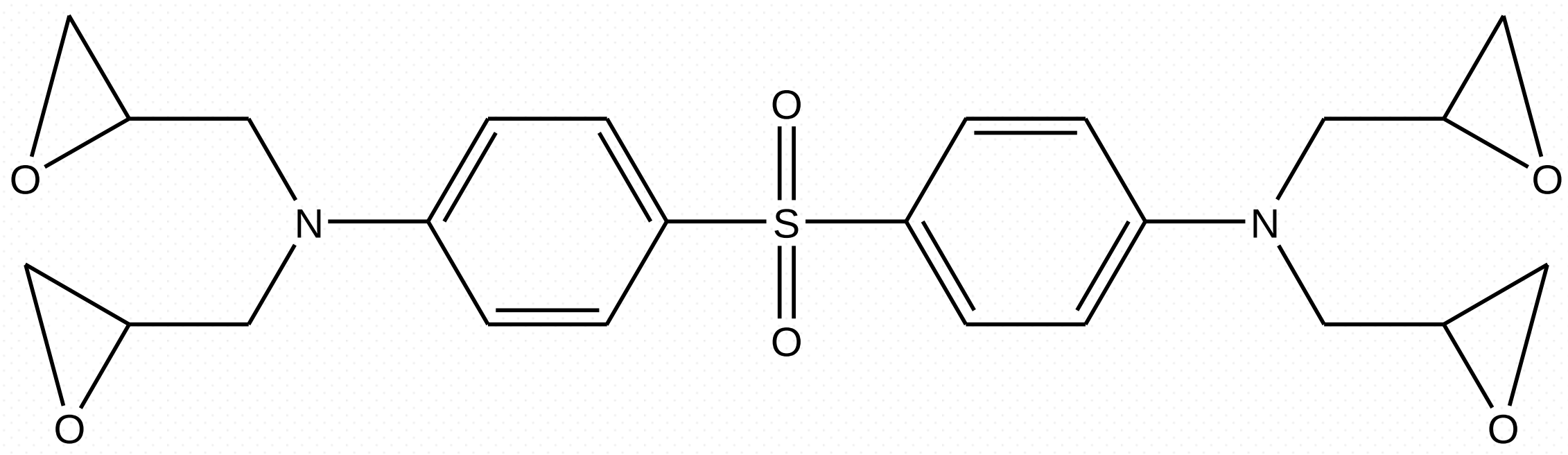
Üç boyutlu (3D) stereolitografi (SLA) uygulamalarında kullanılmak üzere, diaminodifenil sülfon ($C_{12}H_{12}N_2O_2S$) ve epiklorohidrin (C_3H_5ClO) reaksiyonu temel alınarak epoksi sentezi gerçekleştirilmiş ve ardından bu yapı UV kürlemesine duyarlı hale getirilmiştir. Sentez sürecinin ilk aşamasında, diaminodifenil sülfon ve epiklorohidrin kullanılarak epoksi reçine sentezi hedeflenmiştir. Bu reaksiyon, etanol (C_2H_6O) çözücüsü içinde, trifenilfosfin ($C_{18}H_{15}P$) katalizörü varlığında, 1 gün boyunca 60 C°'de reaksiyona sokularak kontrollü koşullar altında yürütülmüştür. Reaksiyon tamamlandıktan sonra oluşan tuz ve su, filtreleme işlemiyle sistemden uzaklaştırılmıştır.



Şekil 1. Diaminodifenil Sülfan

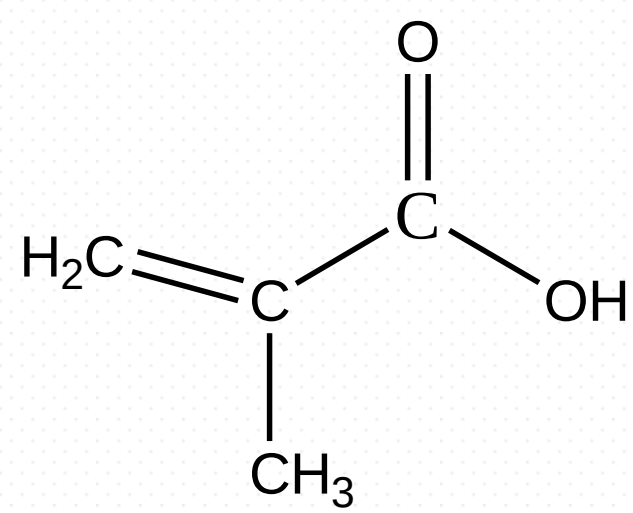


Şekil 2. Epiklorohidrin

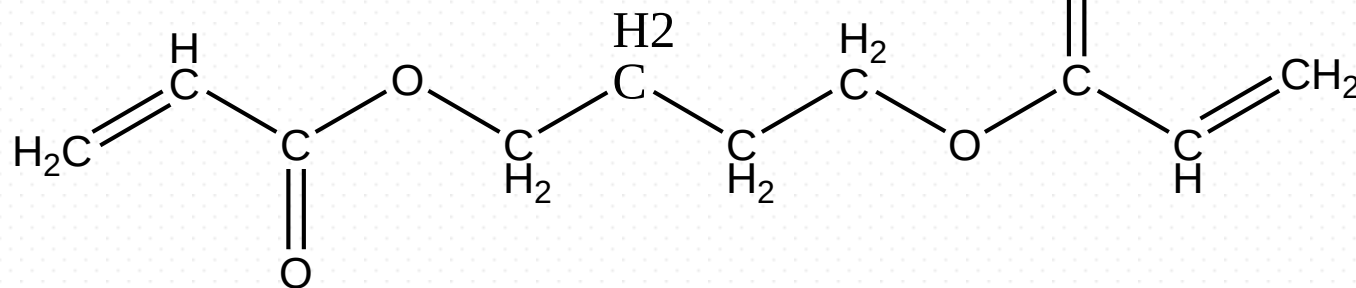


Şekil 3. Dört Fonksiyonel Epoksi

Epoksi sentezini takiben, elde edilen reçineye UV kürlemesi özelliği kazandırmak amacıyla bir akrilleme işlemi uygulanmıştır. Bu modifikasyon aşamasında, metakrilik asit ($C_4H_6O_2$) ve bütandiol diakrilat ($C_{10}H_{14}O_4$) bileşikleri kullanılmıştır. Metakrilik asit, epoksi yapısına UV ışığı altında polimerleşebilen akrilat gruplarını kazandırırken, bütandiol diakrilat ise çapraz bağlama yoğunluğunu artırarak kürlenmiş yapının mekanik dayanımına katkı sağlamıştır. Akrilleme işlemi 1 saat boyunca 40°C° sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sırasında, oluşan çift bağların açılmasını önlemek amacıyla metil hidrokinon ($C_7H_8O_2$) ilavesi yapılmıştır. Akrilleme işlemi, reçinenin fotoduyarlılığını ve dolayısıyla SLA gibi fotopolimerizasyon tabanlı üretim tekniklerinde kullanılabilirliğini doğrudan etkilemektedir.



Şekil 4. Metakrilik Asit



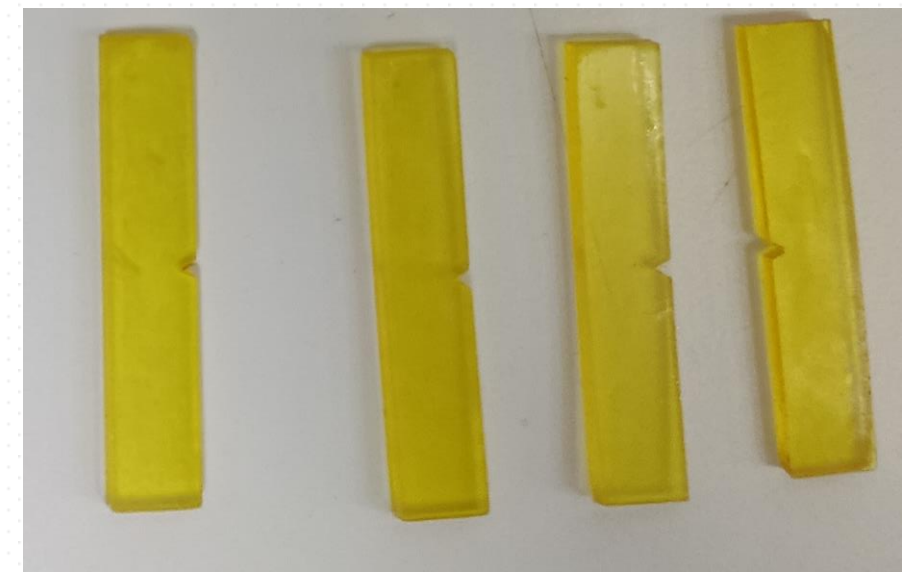
Şekil 5. Bütandiol Diakrilat

Fotobaşlatıcı eklemekten önce, fazla miktarda bulunan etanol ve metakrilik asit, buharlaştırıcı (evaporatör) yardımıyla sistemden uzaklaştırılmıştır. Son aşamada, akrilat gruplarının UV ışığı altında verimli bir şekilde reaksiyona girmesini sağlamak ve reçineyi tamamen fotoduyarlı hale getirmek için uygun bir fotobaşlatıcı ilavesi yapılmıştır. Fotobaşlatıcı, UV ışığını absorbe ederek serbest radikaller üreten ve bu radikallerin akrilat gruplarının polimerizasyonunu başlatmasını sağlayan kritik bir bileşendir. Bu sayede, reçine UV ışığına maruz kaldığında hızla kürlenerek istenilen katı 3D yapıyı oluşturma yeteneği kazanmıştır.

Karşılaştırma amacıyla piyasada bulunan iki, üç ve dört fonksiyonel epoksiler sentezlenen epoksi ile aynı koşullarda akrillenerek ve fotobaşlatıcı ile modifiye edilerek numuneler elde edildi.

TEST SONUÇLARI

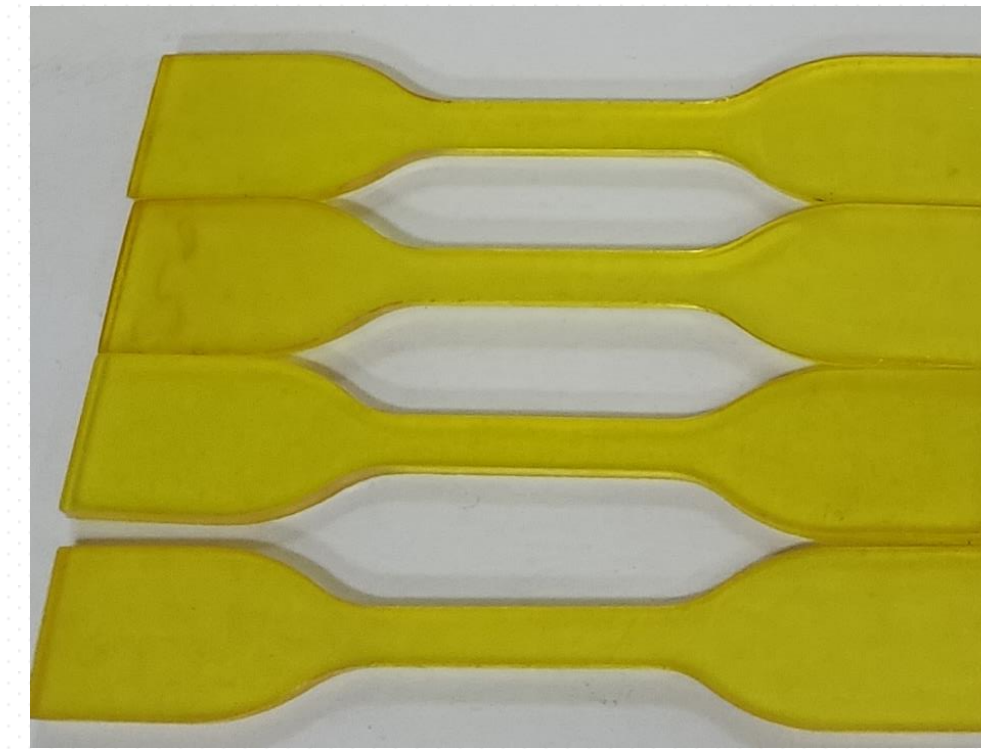
Dört fonksiyonel epoksi başarılı şekilde sentezlendi. Sentezlenen epoksiye akrilleme ve fotobaşlatıcı ilavesi tamamlanarak 3 boyutlu SLA yazıcıda çekme ve darbe testleri için numune baskısı alındı. Ayrıca FT-IR, DSC, TGA ve sertlik deneyleri için de numuneler hazırlandı. Testler henüz gerçekleştirilmedi. Karşılaştırma amacıyla piyasa ürünlerinin numuneleri de başarılı şekilde hazırlandı.



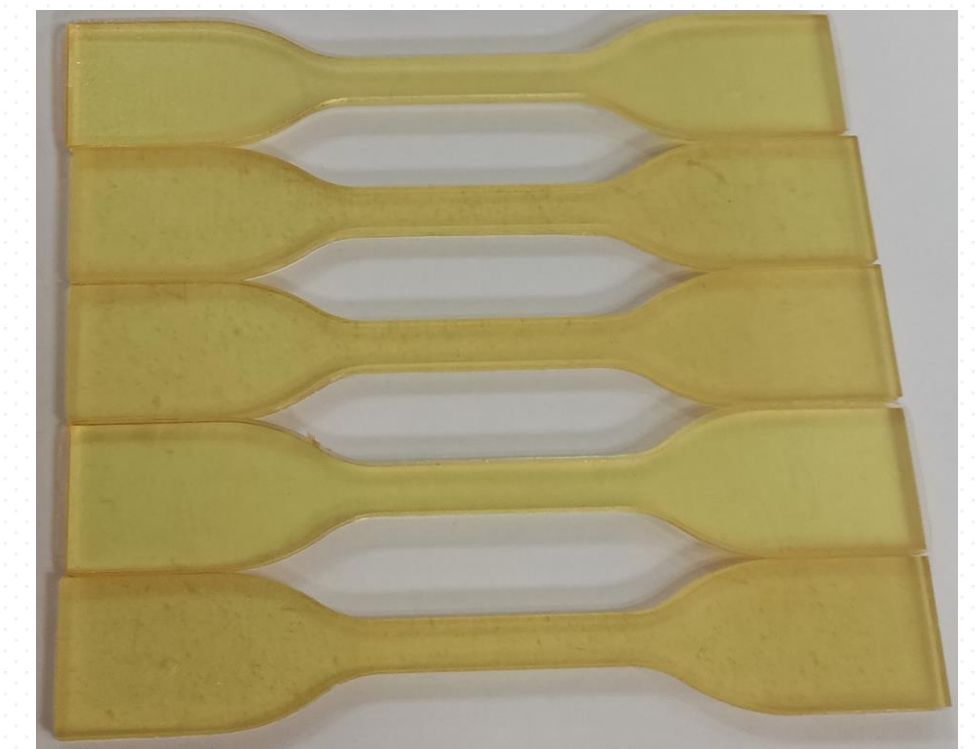
Şekil 6. Dört Fonksiyonel Epoksi Çentikli Darbe Numunesi



Şekil 7. Üç Fonksiyonel Sigma Aldrich Epoksi Çekme Numunesi



Şekil 8. Dört Fonksiyonel Epoksi Çekme Numunesi



Şekil 9. İki Fonksiyonel BASF Epoksi Çekme Numunesi

DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, dört fonksiyonel epoksi akrilat reçinelerinin sentezi ve 3D SLA uygulamalarına optimizasyonu ile önemli katkılar sağlamayı hedeflemektedir. Sentezlenen dört fonksiyonel epoksi reçinenin, ticari eşdeğer Sigma Aldrich reçinesine göre daha düşük viskoziteye ve daha yüksek akrillenme/UV kürleme performansına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, SLA baskılarda daha iyi akışkanlık ve verimli polimerizasyon sağlayacaktır. Artan çapraz bağ yoğunluğu sayesinde, geliştirilen reçinelerin mevcut 2-fonksiyonel epoksi reçinelerinden daha yüksek mekanik dayanım, termal stabilite ve kimyasal direnç sergilemesi beklenmektedir. (Not: Testler henüz tamamlanmamış olup, bu beklentiler önceki literatür ve gözlemlere dayanmaktadır.)Projenin sonuçları, SLA teknolojisinde kullanılan fotopolimer reçinelerin performans sınırlarını zorlayarak daha karmaşık ve işlevsel parçaların üretimine olanak tanıyacaktır. Bu yüksek performanslı reçineler, otomotiv, havacılık, elektronik ve medikal gibi sektörlere yenilikçi ve yerli bir alternatif sunmayı amaçlamaktadır. Bilimsel makale yayını ve olası bir start-up firması oluşumu, projenin hem akademik hem de ekonomik yaygın etkilerini yansıtabacaktır. İlerleyen dönemde gerçekleştirilecek detaylı testler, daha kapsamlı değerlendirmeler için temel oluşturacaktır.

Kaynaklar

1. Liu, T., Zhang, L., Chen, R., Wang, L., Han, B., Meng, Y., & Li, X. (2017). Nitrogen-free tetrafunctional epoxy and its DDS-cured high-performance matrix for aerospace applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 56(27), 7708-7719.
2. Yu, M., Feng, B., Xie, W., Fang, L., Li, H., Liu, L., ... & Hu, H. (2015). The modification of a tetrafunctional epoxy and its curing reaction. *Materials*, 8(6), 3671-3684.
3. Mohtadizadeh, F., Zohuriaan-Mehr, M. J., Hadavand, B. S., & Dehghan, A. (2015). Tetra-functional epoxy-acrylate as crosslinker for UV curable resins: Synthesis, spectral, and thermo-mechanical studies. *Progress in Organic Coatings*, 89, 231-239.

Giriş

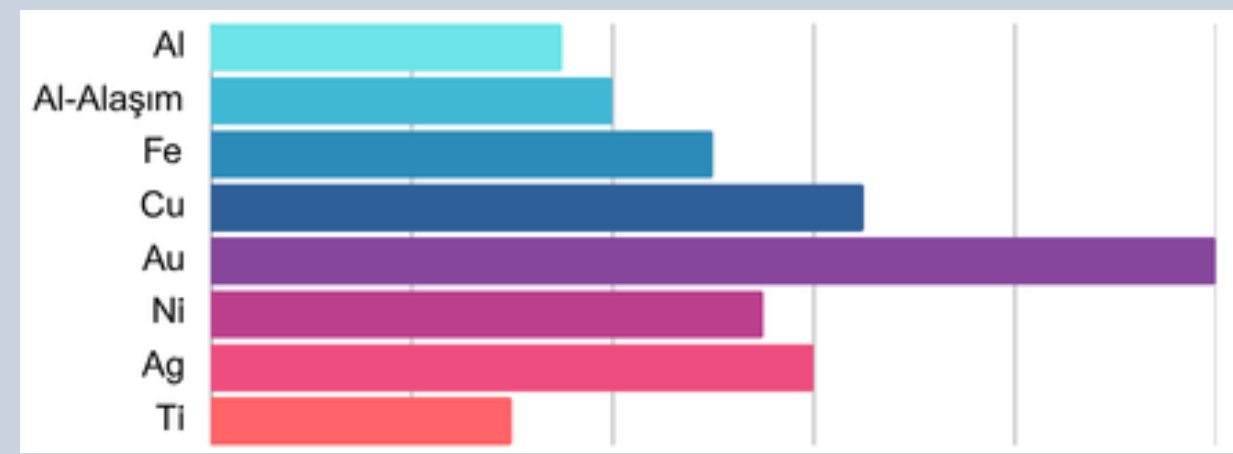
Kaynak teknolojisi, metal materyallerin kalıcı olarak birleştirilmesini sağlayan ve otomotiv, gemi yapımı, inşaat, enerji gibi birçok sektörde hayati öneme sahip kritik bir üretim sürecidir. Bu çalışmada, ergitme ve basınçlı kaynak yöntemlerinin (MIG, TIG, SAW, RSW, FSW, FW) farklı metaller üzerindeki etkileri mikroyapı, mekanik performans ve HAZ (Isıdan Etkilenen Bölge) açısından ele alınmıştır. Amaç, her malzeme–proses kombinasyonunun avantajlarını, sınırlamalarını ve sanayideki uygulanabilirliğini net olarak ortaya koymaktır.



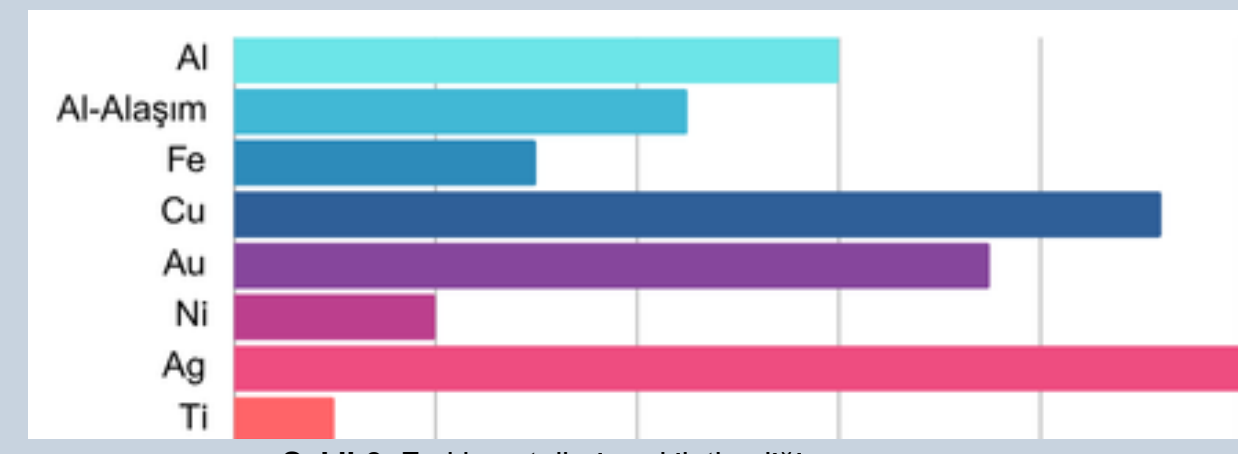
Şekil-1. Kaynak sürecinde seçim görseli.

Materyal ve Yöntem

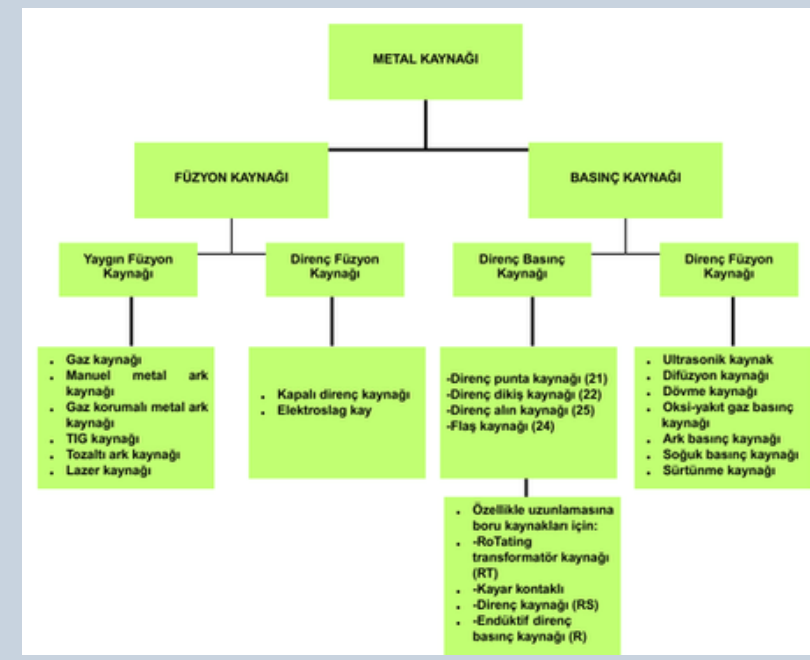
Bu çalışmada farklı metal gruplarına uygulanan kaynak yöntemlerinin etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kullanılan malzemeler arasında EN AW-5083 alüminyum alaşımı, bakır ve bakır-nikel alaşımları, S235JR yapısal çeliği, 13CrMo4-5 ve 15MnMoV4-5 alaşımlı çelikler ile gri ve küresel grafitli dökme demirler yer almaktadır.



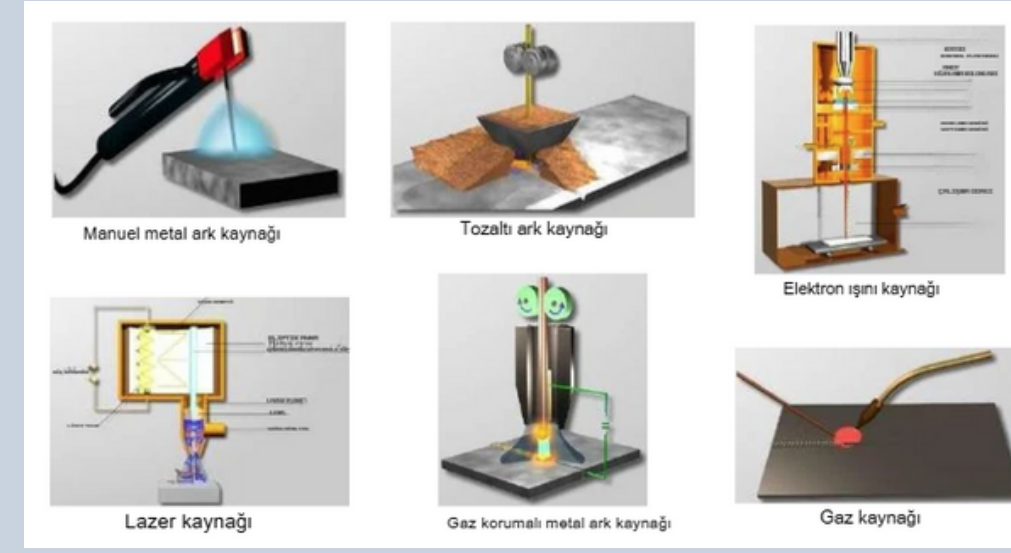
Şekil-2. Farklı metallerin özgül yoğunlukları .



Şekil-3. Farklı metallerin ısı iletkenliği.



Şekil-4. Kaynak yöntemleri şeması.

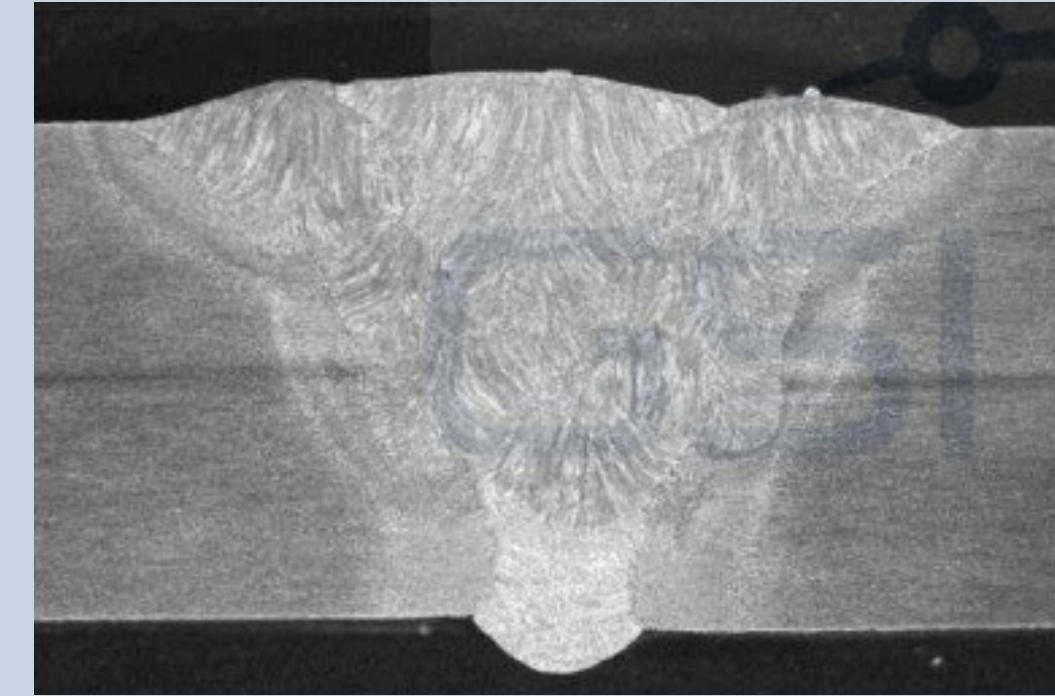


Şekil-5. Bazı kaynak yöntemlerinin temsili.

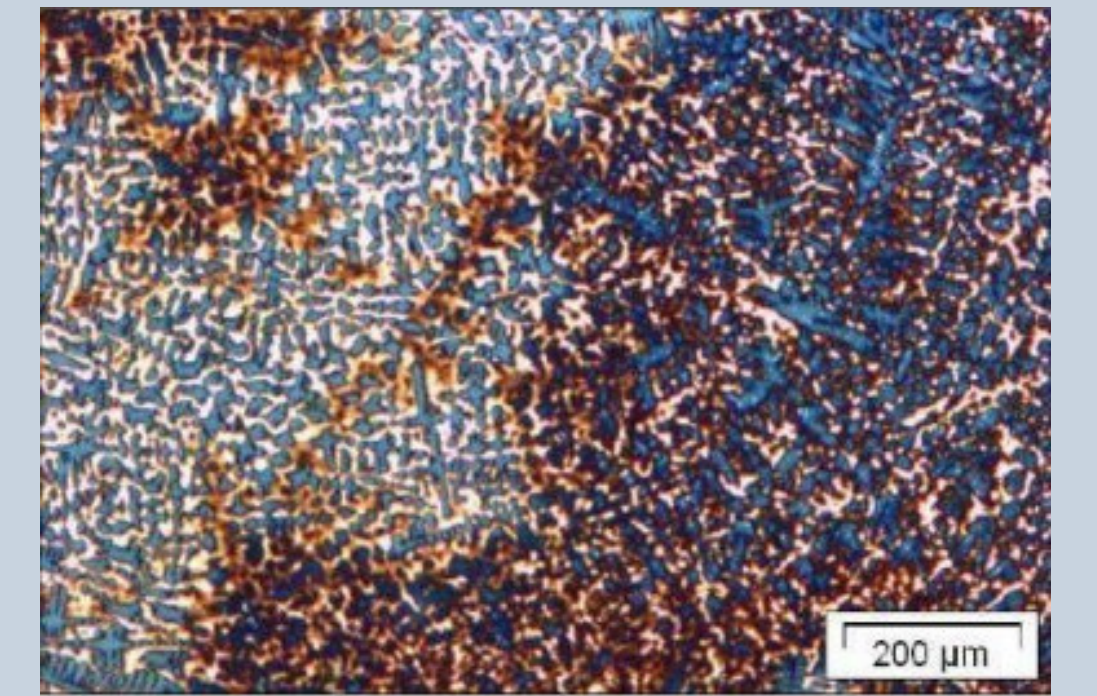
Kaynak yöntemleri olarak; MIG/MAG (131/135), TIG (141), SAW (12) gibi ergitme kaynakları ile RSW (21/22), FW (24) ve FSW gibi basınçlı kaynak yöntemleri uygulanmıştır. Her bir malzeme–proses eşleşmesinde kaynak dikişi mikroyapısı, HAZ yapısı ve mekanik test sonuçları analiz edilerek performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Sonuçlar ve Tartışma

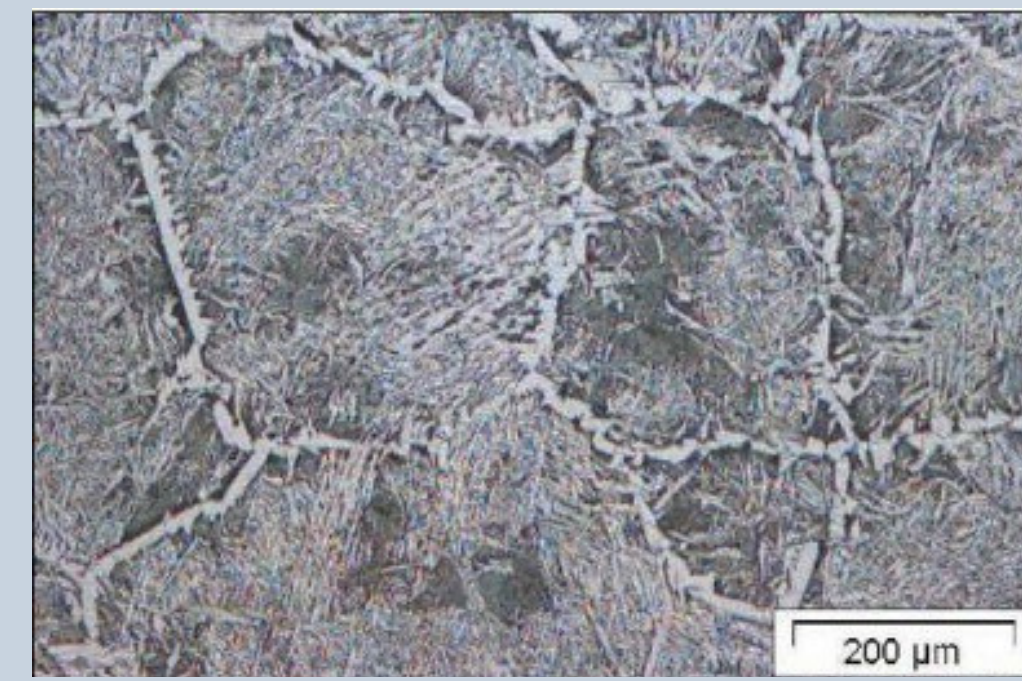
Farklı malzeme gruplarına uygulanan kaynak yöntemleri, özellikle ısıdan etkilenen bölge (HAZ) genişliği, kaynak dikişi kalitesi ve elde edilen mekanik özellikler açısından titizlikle karşılaştırılmıştır. Alüminyum alaşımları üzerinde yapılan TIG ve MIG uygulamalarında, TIG kaynağının düşük ısı girdisi sayesinde dar bir HAZ elde edilirken, MIG’de yüksek ergitme oranı zaman zaman yüzey porozitesi riskine yol açmıştır. S235JR yapı çeliğinde ise hem füzyon (MIG/MAG, TIG, SAW) hem de direnç kaynak yöntemleri (RSW) başarıyla uygulanmış; özellikle SAW ile derin nüfuziyet ve homojen dendritik yapı, RSW ile de tutarlı nokta bağlantıları sayesinde yüksek çekme dayanımı sağlanmıştır. Alaşımlı çelikler (ör. 13CrMo4-5, 15MnMoV4-5) üzerinde flaş kaynağı verimli birleştirme imkânı sunmuş, ancak ön ısıtmanın ihmal durumunda artan gerilme birikimi kaynak metalinde çatlama riskini yükseltmiştir. Bakır bazlı alaşımlarda, MIG kaynağı üstün nüfuziyet performansı sergilemiş; bununla birlikte gaz koruma sisteminin doğru ayarlanmaması durumunda oksidasyon ve gözeneklilik sorunları ortaya çıkmıştır. Dökme demir malzemelerde ise geleneksel füzyon prosesleri çatlak oluşumunu tetiklerken, sürtünme karıştırma kaynağı (FSW) çatlaksız eklem ve minimize edilmiş HAZ avantajıyla daha başarılı sonuçlar vermiştir. Tüm bu bulgular, malzeme-proses eşleşmesinin kritik önemini; ısı girdisi, soğuma hızı ve ön/son ısıtma gibi parametrelerin optimize edilmesinin ise hem kaynak dikişi kalitesini hem de bileşenin uzun-dönem dayanımını doğrudan etkilediğini göstermektedir.



Şekil-6. İnce taneli yapısal çelikten çok geçişli kaynaklı bir bağlantıdan makro kesit.



Şekil-7. Östenitik CrNi çeliği X2CrNiMo17-12-2'nin kaynak metalinde dendritik mikroyapı.



Şekil-8. Alaşımsız bir yapı çeliği olan S235JR'nin HAZ bölgesinde iri tanelimikroyapı.

SONUÇ

- Her kaynak yöntemi malzemenin fiziksel özelliklerine göre avantaj ve dezavantajlar sunmaktadır.
- Alüminyumda MIG ve TIG, çelikte SAW ve RSW, dökme demirde FSW öne çıkmaktadır.
- Yüksek alaşımlı çeliklerde ön ısıtma yapılmadığında mikroyapısal bozulmalar ve çatlama gözlenmiştir.
- Kaynak başarısı sadece yöntemle değil, uygun malzeme seçimi ve ısı işlem yönetimi ile sağlanabilir.

KAYNAKÇA

<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/friction-stir-welding-147>
Deutsches Institut für Normung. (2015). DIN EN 14610 – Metal kaynak işlemlerinin tanımları. Beuth Verlag GmbH
DVS / EWF. DVS/EWF 3309 – Avrupa Yapıştırıcı Mühendisi Eğitimi Rehberi..

KIRMIZI ÇAMURUN METALURJİK KOK İLE İNDİRGENME SÜRECİNDE DEMİR FAZLARININ DÖNÜŞÜMÜNÜN İNCELENMESİ

Ali Rıza ATAR, Ümit KILINÇ
Danışman: Doç. Dr. Elif UZUN KART

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

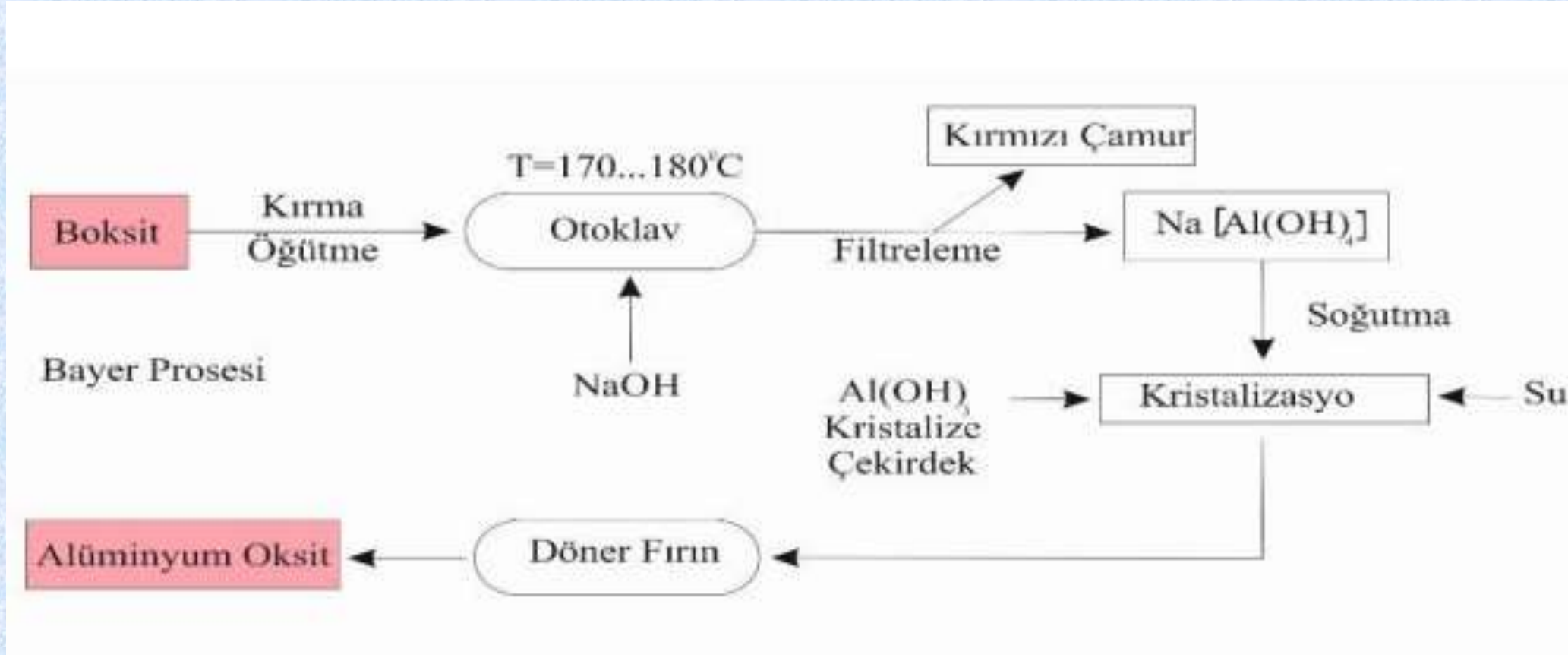
Amaç: Yapılan bu tez çalışmasında; boksit mineralinden ham alüminyum metali üretimi sürecinde yüksek miktarda açığa çıkan kırmızı çamur atığının geri kazanımı kapsamında kullanılan metalurjik kok ile indirgenmesi sürecinde oluşan demir fazlarının dönüşümünü incelenmiştir. Çalışmada hali hazırda var olan kırmızı çamurun değerlendirilmesi sağlanmakta aynı zamanda ekonomik değeri olan demir gibi metallerin geri kazanımı hedeflenmektedir. Tez, sürdürülebilir atık yönetimine katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Özet

Bu tez çalışmasında, boksit cevherinden ham metal alüminyum üretiminin atık ürünü olan kırmızı çamurdan demirin geri kazanımı amaçlanmıştır. Demir- çelik üretiminde dünya sıralamasında 8. sırada olan Türkiye için; demir rezervlerinin kullanımının yanı sıra yeraltından çıkarma, tane boyu küçültme ve zenginleştirme işlemlerine ihtiyaç duymadan mikronize boyutlarda hali hazırda atık olarak çıkan kırmızı çamur gibi ikincil kaynakların değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Çalışmada, hematit içeren kırmızı çamur, farklı oranlarda metalurjik kok (%95-99 C) ile 950–1200 °C arasında kavrularak indirgenmiştir. Elde edilen ürünler renk analizi ve manyetik ayrıştırma ile incelenmiştir.

Giriş

Bu tez çalışmasında, alüminyum üretiminin yan ürünü olan kırmızı çamurun çevresel etkileri, bileşimi ve geri kazanım potansiyeli incelenmektedir. Özellikle, kırmızı çamurdaki hematit (Fe_2O_3) fazının manyetite (Fe_3O_4) indirgenmesiyle demirin geri kazanımı hedeflenmiştir. Boksit cevheri, alüminyumun başlıca hammaddesidir ve genellikle demir oksit, alüminyum oksit, silika ve titanyum dioksit gibi mineraller içerir. Bu cevher, **Bayer Prosesi** (Şekil 1.) adı verilen yöntemle işlenerek alümina (Al_2O_3) elde edilir.

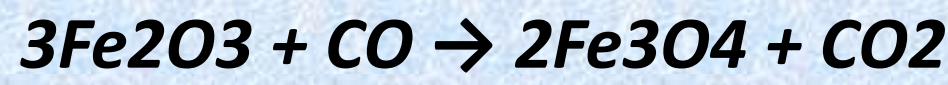


Şekil.1 Bayer Proses

Kırmızı çamur, %10-30 arasında demir içermesi nedeniyle kırmızı renktedir ve önemli bir atık sorunu teşkil eder. Ancak içerdiği değerli metaller sayesinde geri kazanım açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

Kırmızı çamur içinde bulunan **hematit** (Fe_2O_3) indirgenme işlemleriyle sırasıyla **manyetit** (Fe_3O_4), **wustit** (FeO) ve en son **pik demir** (Fe) hâline dönüşebilir.

1. Hematit (Fe^{3+}) → Manyetit ($Fe^{2+} + Fe^{3+}$)



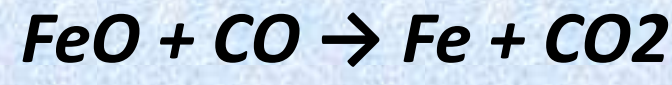
◦ Hematit, demirin en yüksek oksidasyon basamağında olduğu için ışığı güçlü emer ve genellikle kırmızımsı kahverengi görünür.

2. Manyetit ($Fe^{2+} + Fe^{3+}$) → Wustit (Fe^{2+})



◦ Hematitten manyetite geçişte Fe^{3+} 'lerin bir kısmı Fe^{2+} 'ye indirgenir, bu da renk emilimini genişletir ve malzemeyi koyulaştırır.

3. Wustit (Fe^{2+}) → Pik Demir (Fe^0)



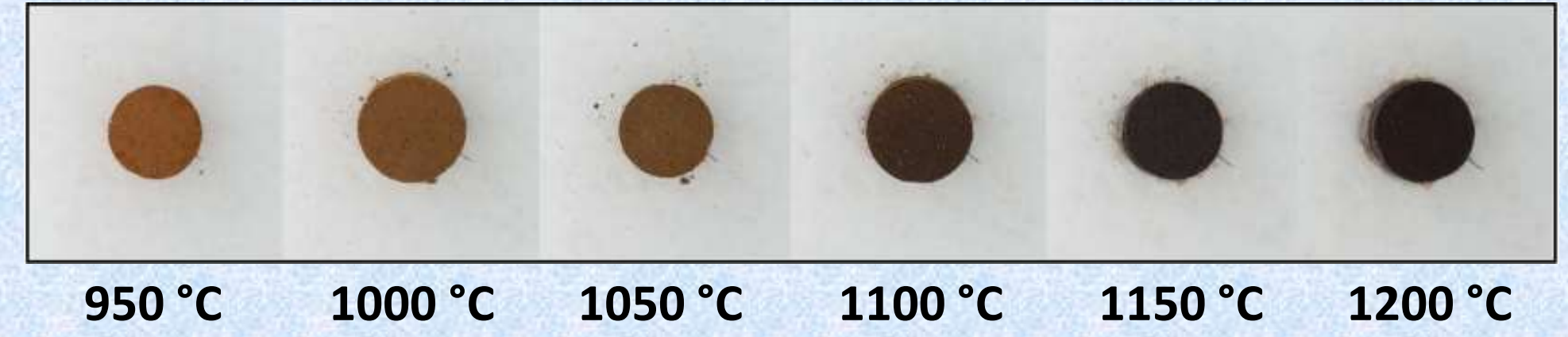
◦ Wustit daha az opaktır ve ışığı hematit ve manyetite göre daha fazla yansıtır, dolayısıyla RGB bileşenleri biraz yükselir.

DeneySEL Çalışmalar

Bu tez çalışmasında, kırmızı çamur numunelerine **%0, %10, %20 ve %30** oranlarında metalurjik kok ilave edilerek, her biri **950 °C, 1000 °C, 1050 °C, 1100 °C, 1150 °C** ve **1200 °C** sıcaklıklarda kavrurma işlemi uygulanmıştır. Her kok oranı için tüm sıcaklık kombinasyonları değerlendirilmiş olup, deneyler bir adet 1,5 gramlık ve üç adet 1 gramlık pelet numune ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler, istenen sıcaklığa ulaştıktan sonra 3 saat süreyle kavrulmuş ve her saatin sonunda fırına yaklaşık 10 saniyelik atmosferik hava girişi sağlanarak kontrollü bir oksidasyon ortamı oluşturulmuştur. Çalışmada; bu parametrelerin hematit fazının dönüşümüne etkisi incelenmiştir. Bu etkiler sonucu incelenen dönüşümler bir sonraki paragrafta belirtilmiştir.

ELEMENT	ORAN	ELEMENT	ORAN
Al	9.70 %	Na	2.79 %
Ca	16.80 %	S	0.08 %
Fe	14.70 %	Ti	1.60 %
Mg	0.13 %	Zn	27 ppm

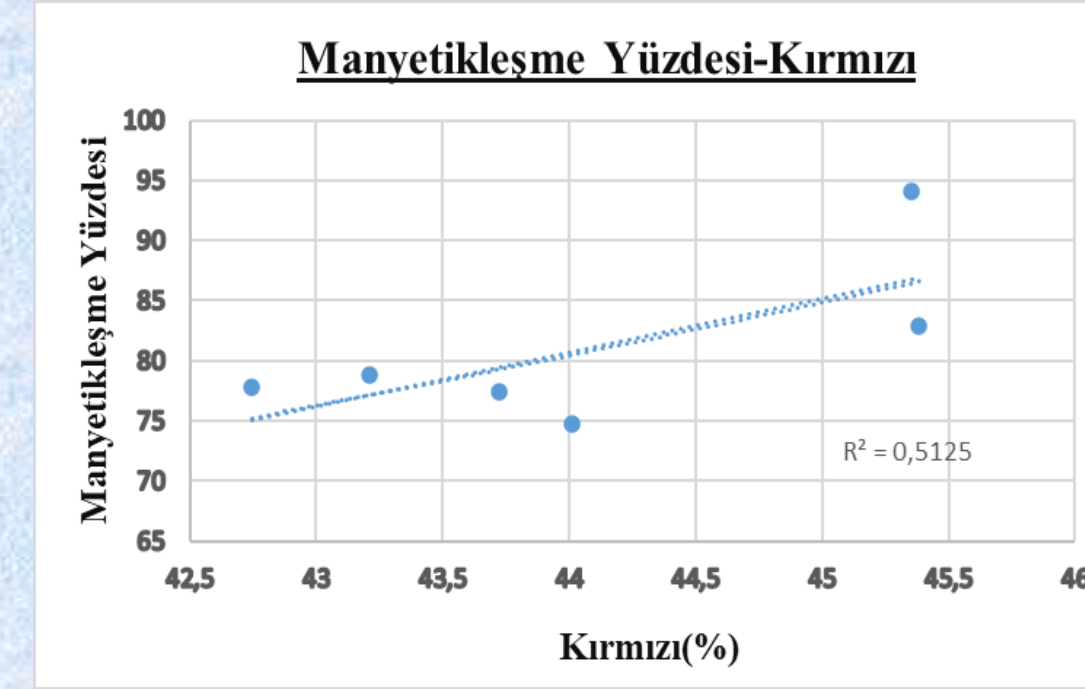
Tablo.1 Kırmızı çamur elementsel içeriği.



Şekil.2 Kavrulmuş Kırmızı Çamur Numuneleri (C+%20)

Sonuçlar ve Değerlendirmeler

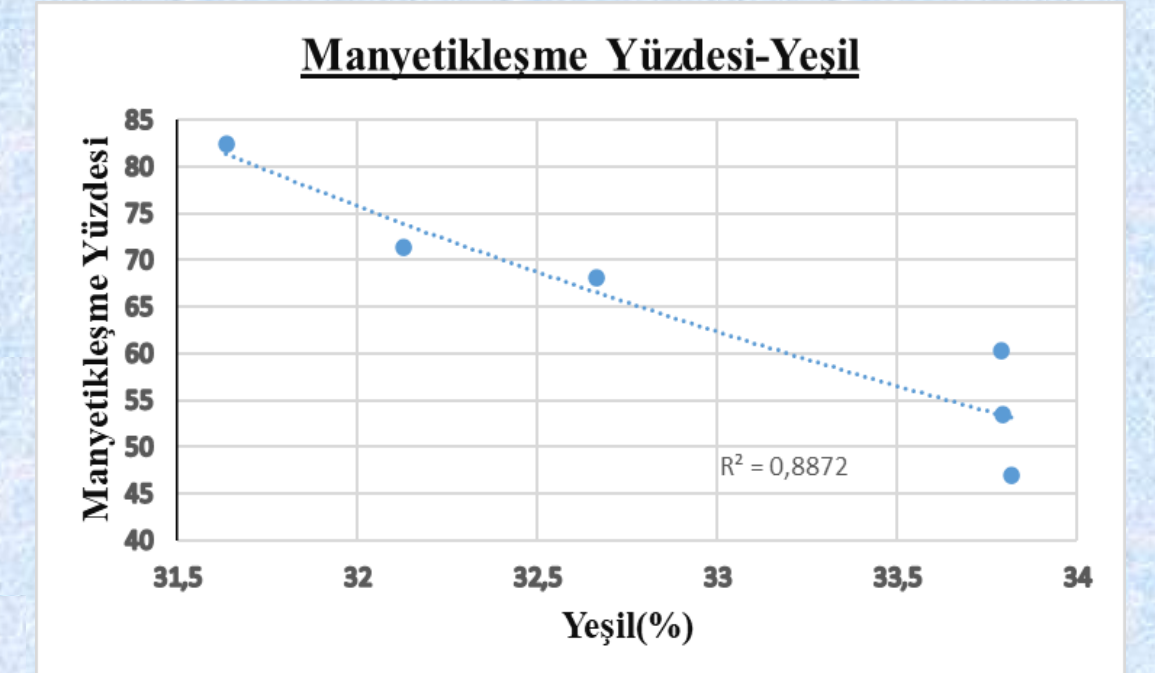
Numunelere yapılan testler sonrası sonuçlar grafikler halinde incelenmiştir. Demir oksitlerin indirgenmesi sırasında kimyasal yapılarındaki değişim optik renk dolayısıyla RGB değerlerine yansımaktadır.



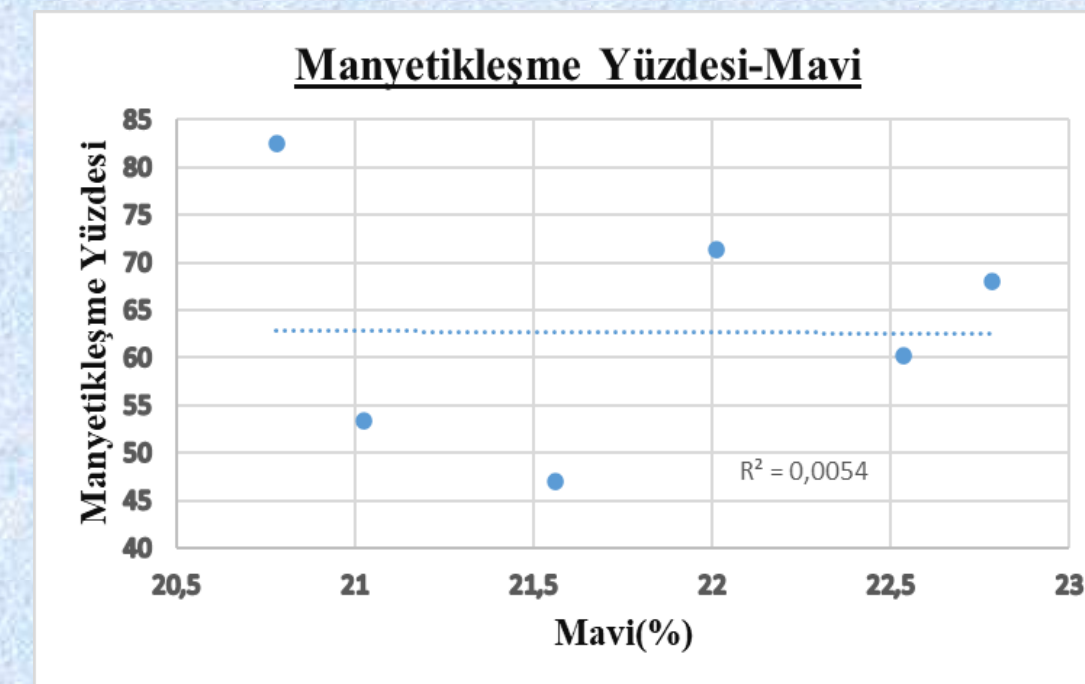
Sonuçlar manyetikleşme yüzdesi ile kırmızı (R) renk yüzdesi arasında pozitif korelasyon $r=0,73$ olduğunu göstermektedir.

Şekil 3. Manyetikleşme Yüzdesi-Kırmızı

Yeşil renk ile manyetikleşme arasında çok güçlü bir negatif korelasyon gözlenmiştir ($r=-0,94$). çok güçlü ve negatif ($R^2 = 0,8872$. Yeşil (G) değeri azaldıkça manyetikleşme artıyor.



Şekil 4. Manyetikleşme Yüzdesi- Yeşil



Şekil 5. Manyetikleşme Yüzdesi- Mavi

Mavi (B) değeriyle manyetikleşme arasında korelasyon yok. Bu da beklenen bir durum çünkü hematit ve manyetitin her ikisi de mavi tonları çok düşük yansıtır. Mavi değeri her iki fazda da düşük kalmaktadır.

Sonuç

Genel anlamda deneyler incelendiğinde; optimum durumun C+%20 olduğu görülmüştür. 1100 °C ve daha yüksek sıcaklıklarda kırmızı çamurun manyetikleşmesinde önemli bir artış gözlemlenmiştir. Sıcaklıkta değişen manyetik özellikler güçlü neodyum mıknatıslarla incelenmiştir. Yapılan incelemede; yüksek sıcaklıklarda C+%0' da bile bir manyetik dönüşüm gözlenmiştir. Kırmızı çamur ilerleyen zamanlarda demir için alternatif bir kaynak olarak ülkemizin demir ihtiyacının bir kısmının giderilmesinde rol oynayabilir. Ayrıca yüksek hacimli bir atığın ülke ekonomisine kazandırılması da söz konusu olabilir.

Kaynaklar

- [1] Alüminyum Nasıl Üretilir? (2019, 05 17). 01 10, 2019 tarihinde Malzeme Bilimi: <https://malzemebilimi.net/aluminyum-nasil-uretilir.html> adresinden alındı
- [2] Li, G., Liu, M., Rao, M., Jiang, T., Zhuang, J., & Zhang, Y. (2014). Stepwise extraction of valuable components from red mud based on reductive roasting with sodium salts. Journal of Hazardous Materials, 280, 774–780.
- [3] W.M. Mayes, I.T. Burke, H.I. Gomez, Á.D. Anton, M.Molnár, V. Feigl, É. Ujaczki, J. Sustainable Metall., 2(2016) 332-343.
- [4] Zhang, R.; Zheng, S.; Ma, S.; Zhang, Y. Recovery of alumina and alkali in Bayer red mud by the formation of andradite-grossular hydrogarnet in hydrothermal process. J. Hazard. Mater. 2011, 189, 827–835.
- [5] PARAMGURU, R., K., RATH, P., C., MISRA, V., N., "Trends In Red Mud Utilization- A Review", Taylor and Francis, Mineral Processing and Extractive Metal, Rev.26:1-29, 2005.
- [6] EMRULLAHOĞLU, Ö.F., ATEŞOK, G., KARA, M., DEMİRALP, S., "Seydişehir Kırmızı Çamurunun Değerlendirilmesi Olanaklarının Araştırılması", 7.Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, Cilt 1, Ankara, 1993.
- [7] M Archambo & S.K. Kawatra (2020): Red Mud: Fundamentals and New Avenues for Utilization, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, DOI: 10.1080/08827508.2020.1781109

DOĞAL DOLGU KULLANILARAK POLİMER KOMPOZİT ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Doç. Dr. İlyas KARTAL, Zeynep SAYIN, Ayşe Serra URAL, Dilara AĞCA
Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, çevresel sürdürülebilirliği desteklemek ve tarımsal atıkların katma değerli ürünlere dönüştürülmesini sağlamak amacıyla; çay posası, badem kabuğu ve yumurta kabuğu gibi üç farklı biyolojik kökenli atığın, doymamış polyester matrisli kompozit malzemelerde dolgu olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Atıklar, uygun ön işlemlerden geçirilerek %5, %10, %15 ve %20 oranlarında polyester reçineye ilave edilmiştir. Teflon kalıplara dökülen numuneler üzerinde çekme, sertlik, Izod darbe testleri ve kırık yüzeylerde SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Selüloz esaslı olan çay ve badem kabuklarına ayrıca su emme testleri uygulanmıştır. Yumurta kabuğunun yüksek kalsiyum karbonat içeriği düşük oranlarda pozitif katkı sağlarken, yüksek dolgu oranlarında mekanik özelliklerde düşüş gözlenmiştir. Çay ve badem kabuğu katkılı kompozitlerde ise belirli bir dolgu oranına kadar mekanik özelliklerde artış saptanmıştır. Sonuçlar, bu üç tarımsal atığın uygun oranlarda kullanıldığında çevre dostu ve ekonomik kompozit üretimi için potansiyel dolgu malzemeleri olduğunu ortaya koymuştur.

Giriş

Kompozit malzemeler, farklı özelliklere sahip en az iki bileşenin bir araya getirilmesiyle üretilen, hafiflik, yüksek mukavemet, darbe dayanımı ve düşük maliyet gibi avantajlar sunan mühendislik malzemeleridir. Geleneksel kompozitlerde genellikle sentetik ve inorganik dolgu maddeleri kullanılsa da, günümüzde çevresel kaygılar ve sürdürülebilir üretim arayışları doğrultusunda doğal ve biyolojik kökenli atıkların kompozitlerde dolgu malzemesi olarak kullanımı önem kazanmıştır. Bu kapsamda tarımsal ve hayvansal atıkların değerlendirilmesi, hem atık yönetimi hem de çevre dostu ürünlerin geliştirilmesi açısından dikkat çekici bir alan haline gelmiştir.

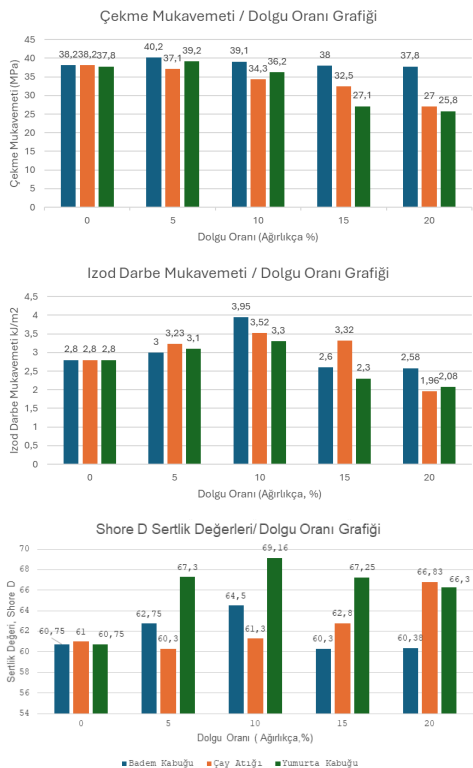
Bu çalışmada, çay posası, badem kabuğu ve yumurta kabuğu gibi ülkemizde bol miktarda ortaya çıkan tarımsal ve hayvansal atıkların, doymamış polyester matrisli kompozitlerde dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Dünya genelinde yıllık 4 milyon ton badem üretilirken, Türkiye’de bu rakam 200 bin tondur. Badem kabuğu, meyve ağırlığının yaklaşık %50’sini oluşturur; bu da dünyada 2 milyon ton, Türkiye’de ise 100 bin ton badem kabuğu atığına denk gelir. Dünya çapında çay tüketimi 7,1 milyon ton, Türkiye’de ise 1,2 milyon ton seviyelerindedir. Yumurta üretimi dünyada 87 milyon ton, Türkiye’de ise 1,3 milyon ton olup, yumurtanın yaklaşık %10’u kabuk yapısından oluşur. Buna göre Türkiye’de üretilen yumurtadan elde edilen yumurta kabuğu atığı yaklaşık 130 bin ton civarındadır.

Deneysel Çalışma

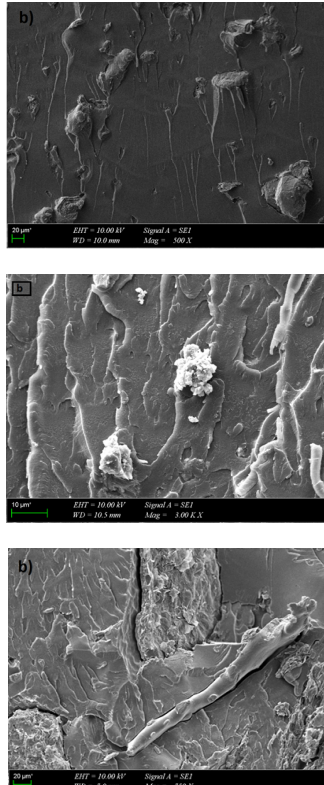
Çalışmada, genel amaçlı kompozit uygulamaları için uygun viskoziteye sahip polyester reçine kullanılmıştır. Reçinede kobalt naftalat hızlandırıcı hazır olarak bulunmakta, sertleştirici olarak metiletilketon peroksit (MEK-peroksit) tercih edilmiştir. Dolgu malzemeleri olarak yumurta kabuğu, evsel atık çay posası ve badem kabuğu tozları kullanılmıştır. Yumurta kabukları temizlenip kurutulduktan sonra havanda dövülmüş ve mekanik olarak öğütülmüştür. Evsel atık çay posası ve badem kabuğu da uygun boyutlarda öğütülmüştür. Öğütülen dolgu malzemeleri ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında polyester reçineye ilave edilmiştir. Dolgu doyum oranı tüm malzemeler için %20 olarak belirlenmiştir. Polyester reçinenin sertleşmesi için %1,2 oranında MEK-peroksit kullanılmıştır. Karışımlar Teflon kalıplara dökülerek açık döküm yöntemi ile numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler ISO 527 standardına uygun olarak çekme testi, Izod darbe testi ve Shore D sertlik testi ile mekanik açıdan değerlendirilmiştir. Ayrıca kırık yüzeylerin morfolojisi SEM analizi ile incelenmiştir.



Sonuç



Badem kabuğu katkılı kompozitlerde %10 dolgu oranında çekme mukavemeti %2 oranında artarken, darbe mukavemeti %40 oranında yükselmiş, sertlik %6 oranında iyileşmiştir. SEM görüntüleri, polyester matrisiyle iyi bir ara yüzey oluştuğunu göstermiştir. Çay atığı dolgulu kompozitlerde ise %10 dolgu oranında çekme mukavemetinde %10 düşüş tespit edilmesine rağmen darbe mukavemeti %25 oranında artmış, sertlik değişmemiştir. Ayrıca, çay atıkları renksiz reçineye doğal bir renk vermiştir ve ara yüzey uyumunun iyi olduğu gözlenmiştir. Yumurta kabuğu dolgulu kompozitlerde düşük dolgu oranlarında (%5-10) malzemenin rijitliği ve sertliği artarken, yüksek dolgu oranlarında (%15 ve üzeri) mekanik dayanımda azalma ve ara yüzey bağının zayıfladığı belirlenmiştir.



Tartışma

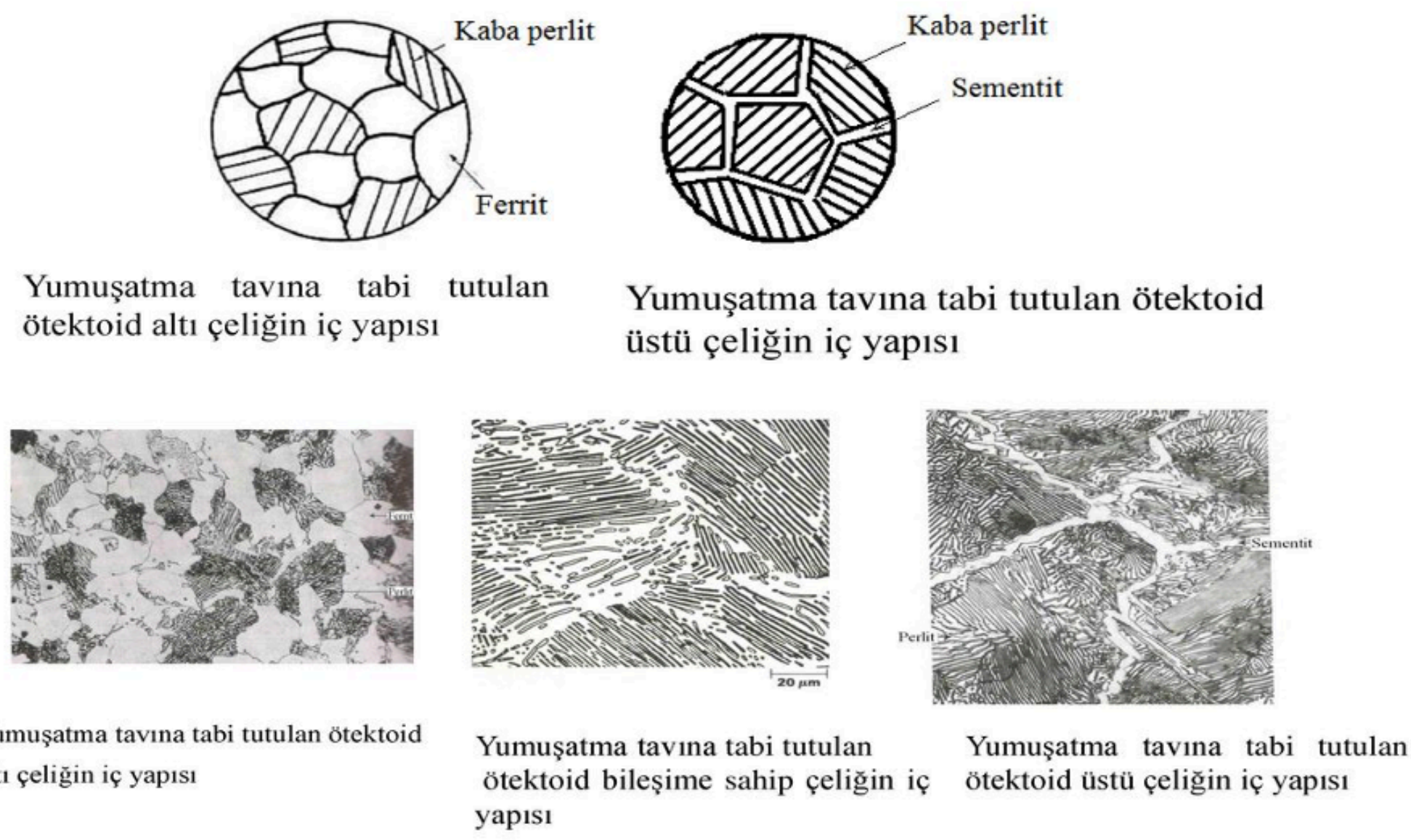
Sonuç olarak, üç biyolojik atığın da dolgu malzemesi olarak kompozitlerde kullanılabileceği, en dengeli mekanik performansın genellikle %10 dolgu oranında elde edildiği tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, bu tür atıkların çevresel sürdürülebilirliği destekleyen, ekonomik ve çevre dostu kompozit üretiminde önemli bir potansiyel taşıdığını ortaya koymuştur. Gelecekte partikül boyutu kontrolü, yüzey modifikasyonu ve matrisle uyumu artırıcı yöntemlerle daha üstün performansa sahip yeşil kompozitlerin geliştirilmesi mümkündür. Bu sayede hem atık yönetimi desteklenebilir hem de otomotiv, yapı ve günlük kullanım sektörlerinde sürdürülebilir malzeme çözümleri yaygınlaştırılabilir.

Kaynaklar

Ural, A. S., & Kartal, I. (2024, Ağustos 16-18). Badem kabuğu dolgulu polimer kompozitlerin üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Karadeniz 16. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, Bartın.
Sayın, Z., & Kartal, I. (2024, Ağustos 16-18). Evsel çay atığı dolgulu polimer kompozitlerin üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Karadeniz 16. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, Bartın.
Ağca, D., & Kartal, I. (2025, Mayıs 24-25). Yumurta kabuğu dolgulu polyester esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. 5. Uluslararası Karadeniz Bilimsel Araştırmalar ve Inovasyon Kongresi, Trabzon.

Giriş

Bu çalışmada, farklı çelik alaşımlarına uygulanan ısıl işlem parametrelerinin mekanik dayanım ve mikro yapısal evrim üzerindeki etkileri sistematik olarak değerlendirilerek, malzeme performansını endüstriyel uygulamalarda optimize etmeye yönelik kapsamlı veri elde etmek amaçlanmaktadır. Ayrıca enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik kriterleri göz önünde bulundurularak, sanayi standartlarına uygun ısıl işlem stratejileri önerilecektir.



Materyal ve Yöntemler

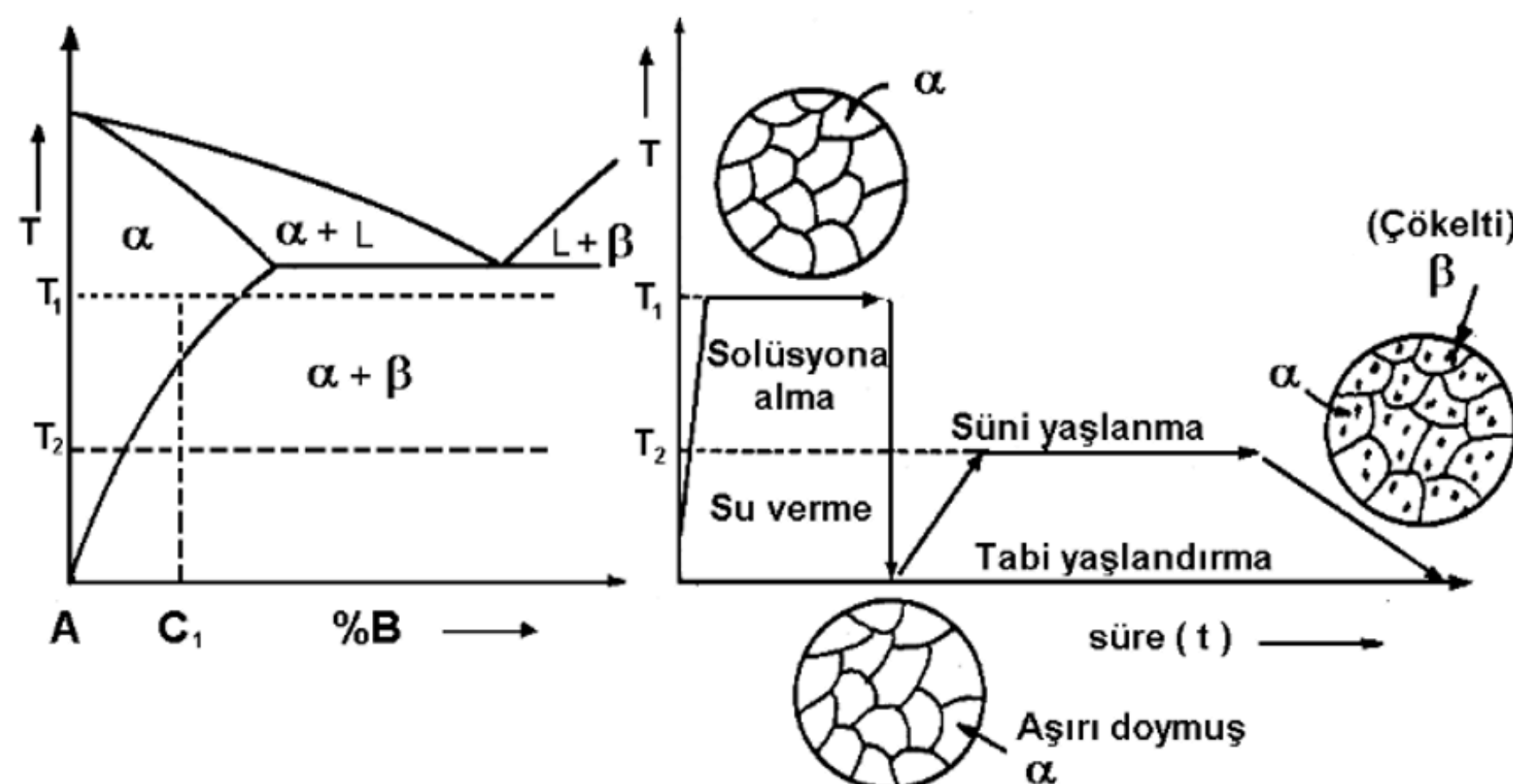
Tavlama (Annealing): Malzeme belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılır, uzun süre tutulur ve fırında veya kontrollü ortamda yavaşça soğutulur; iç gerilmeler giderilir, tane yapısı yumuşar ve işlenebilirlik artar.

Normalize Etme (Normalizing): Çelik, östenit bölgesine ısıtıldıktan sonra hava soğutmasına bırakılır; daha ince, homojen bir tane yapısı ve iyileştirilmiş mekanik özellikler elde edilir.

Sertleştirme (Quenching): Östenit sıcaklığından sonra su, yağ veya hava gibi ortamda hızlı soğutma yapılır; martenzitik yapı oluşur ve sertlik maksimuma çıkar.

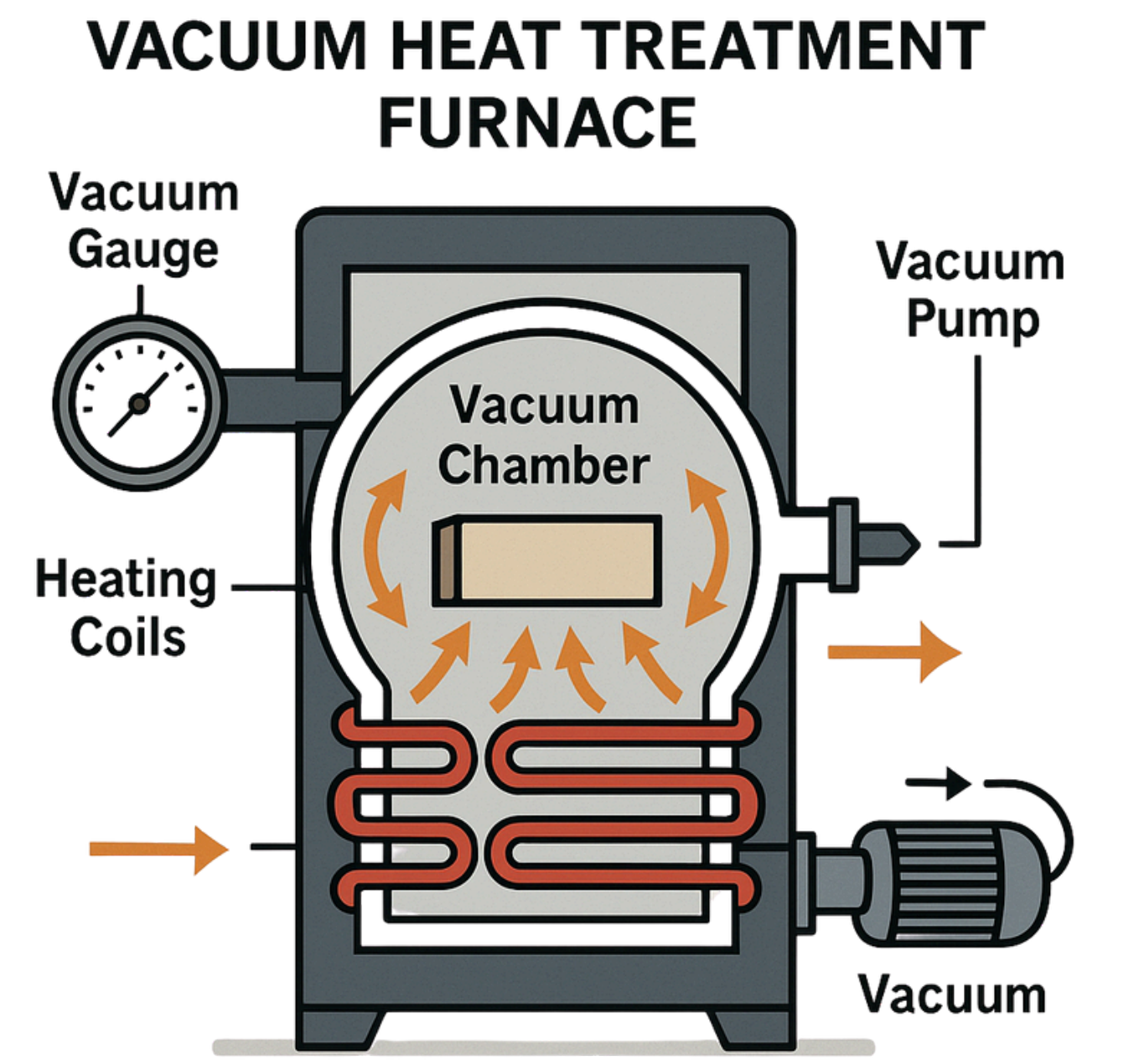
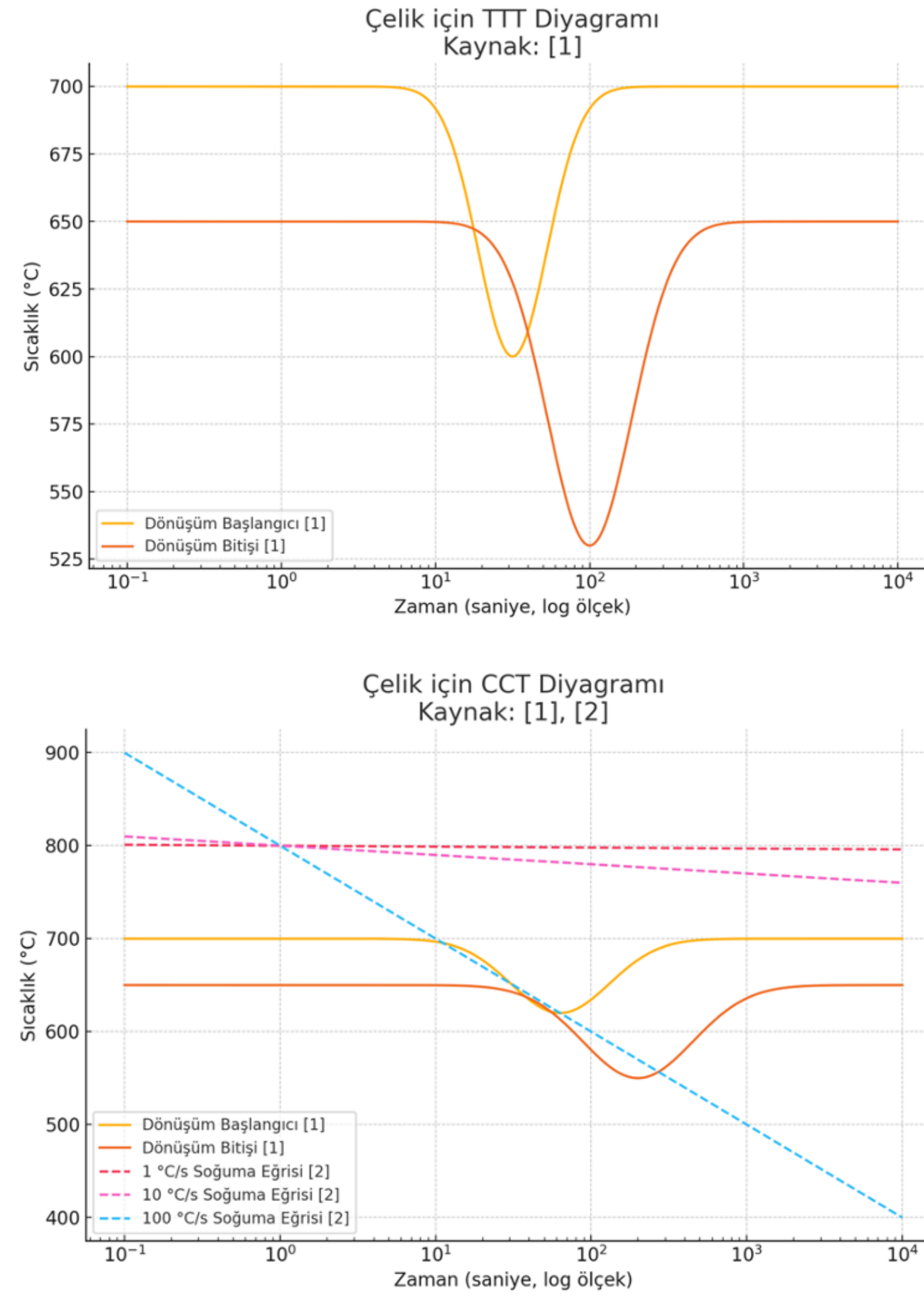
Temperleme (Tempering): Sertleştirme sonrasında çelik, martenzitin kırılabilirliğini azaltmak için tavlama sıcaklığının altında (150–700 °C) ısıtılır ve tutulur; tokluk artırılır.

Gerilim Giderme (Stress Relieving): Malzeme normal çalışma veya kaynak sonrası 450–650 °C aralığında tutulup yavaşça soğutulularak iç gerilmeler azaltılır, boyutsal stabilite sağlanır.



Sonuç ve Tartışma

TTT/CCT Analizleri: Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm (TTT) ve Sürekli Soğuma (CCT) diyagramları, kritik dönüşüm hızlarının ve faz oluşum zamanlarının belirlenmesinde yol gösterici yapılardır. “Burun” bölgesi, martenzit dönüşümünü tetikleyen minimum soğuma hızını gösterir.



Yeni Nesil Teknolojiler: Lazer, endüksiyon, vakumlu ve mikro ısıl işlem yöntemleri, klasik fırınlara kıyasla deformasyonu minimize eder, yüzey sertliğini hassas kontrol imkânı sunar ve enerji verimliliğini artırır.

Ekipman ve Sistemler: Atmosferik, kontrollü-atmosfer, vakum, endüksiyon ve tuz banyosu fırınları ile sıcaklık/atmosfer kontrol sistemleri ve otomatik yükleme-taşıma donanımları, proses homojenliği ve üretim verimliliği açısından kritik rol oynar.

Endüstriyel Uygulamalar: Karbon, alaşımlı ve paslanmaz çeliklerin ısıl işlemlerindeki farklılıkları; takım çelikleri, soğuk iş çelikleri ve paslanmaz sınıfların spesifik ısıl döngüleri; malzeme seçimi ve işlem parametrelerinin mekanik performansa etkileri detaylıca incelenmiştir.

Enerji ve Çevresel Sürdürülebilirlik: Atık ısı geri kazanımı, baca gazı ön ısıtma, endüksiyonla lokal işlem ve yenilenebilir enerji entegrasyonu gibi stratejiler, %10–50’ye varan enerji tasarrufu ve karbon emisyonu azalımı sağlar.

Genel Sonuç

Çeliklerde ısıl işlemlerin başarısı, uygun sıcaklık, tutma süresi ve soğutma hızı parametrelerinin doğru seçilmesi; vakum, endüksiyon ve kontrollü atmosfer gibi gelişmiş fırın sistemleri ile sıkı proses kontrolünün eş zamanlı uygulanmasına bağlıdır. Yeni nesil lokal ısıl işlem yöntemleri ve gerçek-zamanlı izleme teknikleri, mekanik performansı artırırken enerji tüketimini ve çevresel etkileri önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Bu sayede, endüstriyel ölçekte hem maliyet-etkin hem de sürdürülebilir ısıl işlem süreçleri geliştirilebilir.