

## 3D PRINTER TEKNOLOJİSİ İLE HAVACILIK SEKTÖRÜNE YÖNELİK MALZEME VE PROTOTİP GELİŞTİRİLMESİ

Güneş Zaralioğlu<sup>1</sup>, Doç. Dr. Özgür Demircan<sup>2</sup>  
ve Dr. Tolga İnal<sup>3</sup>  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi<sup>1,2</sup>, Samsun  
Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş.<sup>3</sup>, Ankara

Melisa Gündoğdu<sup>4</sup>, Kıymet Yoldemir<sup>5</sup>,  
İrem Darı<sup>6</sup> ve Buse Bakılan<sup>7</sup>  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi<sup>4,5,6,7</sup>, Samsun

### ÖZET

*Bu çalışmamızın amacı, modern üretim yöntemlerinin ve gelişmiş teknolojilerin kullanımıyla ülkemizde yerli havacılık sektöründeki uygulamalarına katkıda bulunabilmektir. Bu çalışmada uçaklarda bulunan pilotun ve uçakların güvenliği için hayati öneme sahip olan uçak parçalarının tasarımı bilgisayar destekli çizim programları ile gerçekleştirilecektir. Uçak parçasının tasarımın netleşmesi ile termoplastik polimer çeşidi olan polilaktik asit (PLA) ve akrilonitril bütadien stiren (ABS) filamentinin geliştirilmesi için filamentlerin yüzeyine hegzagonal bor nitrit/ grafen nano plakalar eklenmesi ve kaplanması yapılacaktır. Kaplanmış filamentlerden üretilen test numunelerine çekme, eğme, darbe ve ısı dayanım testleri yapılarak hangi oranda kaplamanın en ideal sonuç verdiği tespit edilecektir. Bu sayede istenilen ısı, mekanik özelliklere sahip filamentlere sahip olunacak ve ardından 3D yazıcı ile uçak parçası prototip üretimi yapılacaktır. Çalışmada ticari olarak satılan içerisinde mikron büyüklükte karbon elyaf ve Naylon 6 polimeri bulunan diğer bir filament çeşidi ile de prototip üretilecek ve yapılan prototip üretim sonrası ürünlere ısı ve mekanik testler uygulanacak ve raporlandırılacaktır. Bu süreç ise nihai ürün elde edilene kadar devam edecektir.*

### GİRİŞ

Üç boyutlu yazıcılarda üretim yaparken hammadde olarak polilaktik asit (PLA), akrilonitril butadin stiren (ABS), naylon ve reçine gibi birçok malzeme kullanılabilir. Fused deposition modelling (FDM) teknolojisinde üç boyutlu yazıcının çalışma prensibi oldukça basittir: Nozzle adı verilen uçta plastik eritilerek dökülür ve tıpkı bir bina inşa eder gibi obje katman katman oluşturulur. Eritilerek dökülen bu plastik malzeme filament olarak adlandırılır.

3D yazıcı filament türlerinden en çok tercih edilenler ABS ve PLA'dır (Şekil 1). Burada eritilerek akışkanlık özelliği kazandırılan hammadde istenilen çapta (genellikle 1.7 mm ya da 3 mm) çıkartılarak üç boyutlu yazıcıda kullanıma hazır bir film şerit haline getirilmektedir.

<sup>1</sup> Öğr., Metalurji ve Malzeme Müh. Böl, E-posta: ilarazg@gmail.com

<sup>2</sup> Doç. Dr., Metalurji ve Malzeme Müh. Böl, E-posta: odemircan79@googlemail.com

<sup>3</sup> Dr., Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş. , E-posta: tinal@tai.com.tr

<sup>4</sup> Öğr., Metalurji ve Malzeme Müh. Böl, E-posta: melisagnd629@gmail.com

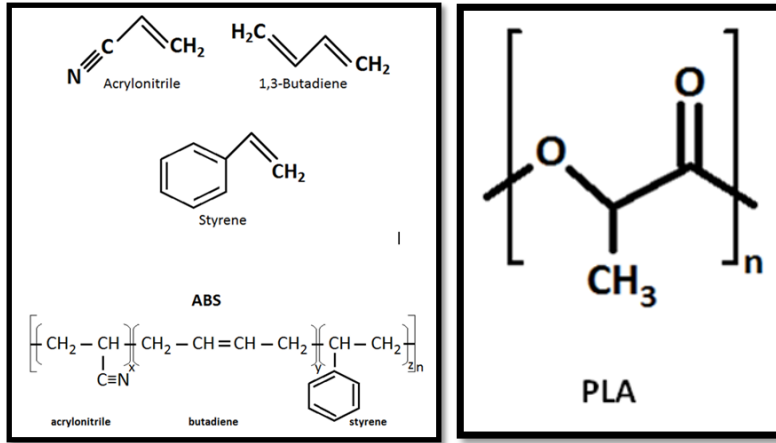
<sup>5</sup> Öğr., Metalurji ve Malzeme Müh. Böl, E-posta: yoldemirkiymet@gmail.com

<sup>6</sup> Öğr., Metalurji ve Malzeme Müh. Böl, E-posta: darirem@gmail.com

<sup>7</sup> Öğr., Metalurji ve Malzeme Müh. Böl, E-posta: busebkl55@gmail.com

ABS malzemenin camsı geçiş sıcaklığı (T<sub>g</sub>)'si 100 °C dir. PLA polimerleri camsı geçiş sıcaklığı (T<sub>g</sub>) si 60-65 °C, erime sıcaklığı 130-180 °C ve gerilme modülü 2,7–16 GPa'dır [Lunt, J. 1998-Middleton, J.C. and Tipton A.J., 2000].

PLA ve ABS'nin kimyasal yapıları aşağıda gösterilmiştir. ABS malzeme polibütadien içinde stiren ve akrilonitrilin polimerizasyonu ile elde edilen bir kopolimerdir. İçerdiği madde oranları 15% - 35% arası akrilonitril, 5% - 30% arası butadien ve 40% - 60% arası stiren olarak değişiklik gösterebilir. Sonuç olarak, polistiren ve akrilonitrilin kısa zincirleri ile polibütadienin uzun zincirlerinin çapraz bağlanmasıdır. Komşu zincirlerden nitril grupları, kutupsal olarak diğer zincirleri çekip bağlayarak, saf polistirenden daha dayanıklı olan, ABS'yi oluştururlar. Polilaktik asit (PLA) omurga formülü (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>)<sub>n</sub> ya da [-C(CH<sub>3</sub>)HC(=O)O-]<sub>n</sub> olan, su kaybı ile laktik asit C(CH<sub>3</sub>)(OH)HCOOH yoğunlaştırmasıyla elde edilmiştir. Ayrıca temel tekrarlayan birimin döngüsel dimeri olan laktit [-C(CH<sub>3</sub>)HC(=O)O-]<sub>2</sub> 'in halka açma polimerizasyonu ile de hazırlanabilir.

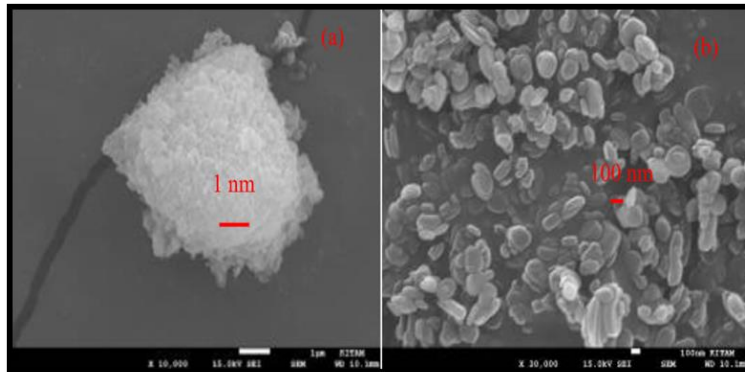


Şekil 1: ABS (soldaki görüntü) ve PLA'nın (sağdaki görüntü) kimyasal yapıları

Bu çalışmada grafenle birlikte yapısal olarak grafene çok benzeyen nano boyutlu plakalı yapıya sahip olan hegzagonal bor nano parçacıkları (Şekil 2) kullanılacaktır. Bor nitür (BN) üstün kimyasal, elektriksel ve ısıl özelliklere sahip bir bileşik olup hegzagonal (h-BN), würtitik (w-BN) ve kübik (c-BN) bor nitür yapılarına rastlanmaktadır. Bor Nitür'ün kristalin yapısı karbona benzemektedir. Bu nedenle hegzagonal bor nitür genellikle beyaz grafit veya beyaz karbon olarak isimlendirilir [Aydın, H. 2018].

HBN, tabakalar arası bağları zayıf olduğundan, düzensiz tabakalaşma çok kolay olur. Birbirine paralel veya dik yönde gelişi güzel dizilmiş olan bu tabakalar arasında boşluklar oluşur. Oluşan boşluklar ise, kullanım sırasında malzemenin ısıl şok direncini artırır. Gözenekli yapısı, düşük elastisite modülü, yüksek ısıl iletkenliği ve ısıl genleşme özellikleri nedeniyle, sıcak preslenmiş BN'ün ısıl şok dayanımı çok iyidir [Aydın, H. 2018].

Aşağıdaki görselde hegzagonal bor nano parçacıklarının SEM görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 2: Hegzagonal bor nitür nano parçacıklarının SEM görüntüsü (sol ve sağdaki görüntüler)

Karbonun bal peteği örgülü yapıları olan grafen, grafit, karbon nanotüp ve fulleren sp<sup>2</sup> melezleşmesinin ürünüken elmas ise sp<sup>3</sup> melezleşmesi ve dört-yüzlü ağ örgüsü ile öncekilerden farklı bir kategoride değerlendirilir. Grafen, iki boyutlu planar yapıların çok ender örneklerinden birisidir. Karbon atomları 1s ve 2p orbitallerinin birleşimi ile 120 derece açılı sp<sup>2</sup> melezleşmesi yaparken boşta kalan pz orbitalleri de grafen malzemesine sıradışı özellikler kazandırmaktadır [Haubner, R., Wilhelm, M., Weissenbacher, R., and Lux, B., 2002].

Grafen, tüm grafitik karbon formlarının temel yapı taşıdır. Kısa bir süre sonra grafenin, gaz geçirimsizliği ile birlikte yüksek seviyelerde sertlik ve güç ve termal iletkenlik gibi başka ilginç ve heyecan verici fiziksel özelliklere sahip olabileceği anlaşıldığından, malzeme üzerine yapılan araştırmalar önemli ölçüde genişlemiştir. Grafenin bu özellikleri anlaşılınca, nanotüpler veya nanokillerle güçlendirilmiş nanokompozitler alanında olduğu gibi grafen nanokompozitlere yönelik çalışmalarda oldukça önem kazanmıştır [Çakar, F. 2021].

Üç boyutlu baskı, diğer adıyla katmanlı imalat ASTM standardında geleneksel üretim metodolojileri ve kalıplaşmış imalat yöntemleri yerine 3D model verilerinden parçalar oluşturmak için katman üzerine katman oluşturarak materyallerin birleştirilmesi sürecidir. Katmanlı imalat, bir ürünün hem üretim süresini hem de maliyetini düşürmek için oldukça mükemmel bir potansiyele sahiptir [Erdemir, F. and Eldem. C. 2019]. Aşağıda Şekil 3'te örnek uçak parçası görselleri yer almaktadır.



Şekil 3: Uçak parçası sistemi örnekleri

## YÖNTEM

### **Bor veya Grafen Kaplanmış 3D Yazıcı Filamentlerinin Elde Edilmesi**

#### Bor veya grafen nanoparçacıklar (HBN ve GNP) ile etanol solüsyonunun hazırlanması

Belirlenen farklı miktarlarda bor ve grafen nanoparçacıklar (HBN ve GNP) (ağırlıkça % 0; 1; 2; 3) etanol ilave edilerek bir saat boyunca 500 dev/dk mekanik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Sonrasında, karışım bir saat süreyle 20 kHz frekansta uçlu sonikatörde karıştırılmıştır.

#### 3D yazıcı filamentlerin bor veya grafen nanoparçacıklarla kaplanması

Elde edilen bor/etanol karışımı bir kaba aktarılıp kabın içerisine ABS ve PLA 3D yazıcı filamentler daldırılmıştır. Etanol buharlaştıktan sonra farklı oranlarda bor veya grafen kaplanmış 3D yazıcı filamentleri elde edilmiştir (Şekil 4) ve 3D yazıcıya hazırlanmış olan filamentler takılacaktır.



Şekil 4: Borla kaplanmış filamentler

## UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

### **3D Yazıcı Kullanılarak Hedef Ürün Prototipi İmalatı**

#### OMÜ malzeme laboratuvarında bulunan 3D yazıcı ile prototip üretimi

Creality Ender 5 Plus 3D Yazıcı ile uçak parçasının tasarımın üretilmesi yapılmıştır.

#### OMÜ Teknoparkta Bulunan 3D Yazıcı ile Prototip Üretimi

OMÜ Teknoparkta bulunan Markforged marka 3D yazıcıda naylon 6 (PA6) ve mikron büyüklükte kısa karbon elyaflardan oluşan filament kullanılmaktadır.

### **3D Yazıcı Kullanılarak Test Numunesi İmalatı ve Test Numunelerinin Fiziksel, Termal ve Mekanik (çekme ve üç nokta eğme) Karakterizasyonları**

ISO 527-2 type -1A standardında çekme testleri, ISO 178 standardında ise üç nokta eğme testleri ve darbe testleri için ise standart ölçülerde numuneler hazırlanacaktır. Hazırlanan numuneler OMÜ KİTAM Merkez Laboratuvarında bulunan INSTRON 5982 100 KN marka cihaz kullanılarak çekme ve eğme testlerine tabii tutulacaktır. Hazırlanan numunelerin termal ağırlık analizleri (TGA) OMÜ KİTAM Merkez Laboratuvarında bulunan SDTQ600 cihazı ile yapılacaktır.

Gereken gereksinimlerin karşılanmaması durumunda;

OMÜ Teknoparkta bulunan Markforged marka 3D yazıcıda naylon 6 (PA 6) ve mikron büyüklükte kısa karbon elyaflardan oluşan filament kullanılmaktadır. Projede ticari olarak satılan ve içerisinde karbon elyaf ve Naylon 6 polimeri bulunan diğer bir filament çeşidi ile de uçak parçası prototipi üretilecek ve aynı testlere tabii tutulacaktır.

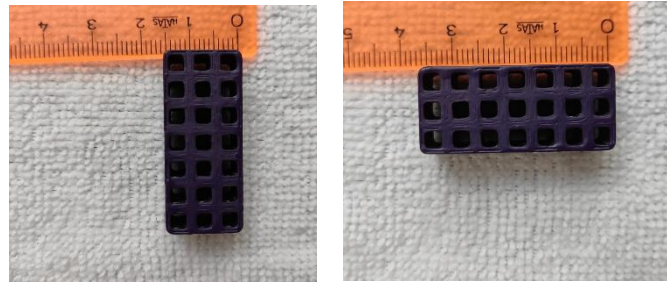
## SONUÇ

HBN ve grafen katkılı numunelerde mukavemet ve modülüs artışı beklenmektedir.

ISO 527-2type-1A ve ISO 178 standartlarında sırasıyla çekme ve üç nokta eğme testlerine uygun numunelerin özel çizim programında tasarlanıp 3D yazıcıları ile üretilmiştir (Şekil 5). Uçak parçasının küçük bir profili 3D yazıcı ile üretilmiştir (Şekil 6).



Şekil 5: Çekme testi numunesi (sol), üç nokta eğme testi numunesi (sağ)



Şekil 6: Uçak parçası (küçük profil)

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TUSAŞ Litf Up ve TÜBİTAK 2209-B (Başvuru No:1139B412101673) programlarıyla 3D Printer Teknolojisi ile Havacılık Sektörüne Yönelik Chaff Magazine Geliştirilmesi başlıklı projelerle desteklenmiştir.

### Kaynaklar

- [1] Lunt, J. 1998. Polymer Degradation and Stability, Volume 59, Issues 1–3, 3 January 1998, Pages 145-152
- [2] Middleton, J.C. and Tipton A.J., 2000. Biomaterials Volume 21, Issue 23, 1 December 2000, Pages 2335-2346
- [3] Aydın, H. 2018. Science and Eng. J of Fırat Univ. 30(2), 269-275, 2018
- [4] Haubner, R., Wilhelm, M., Weissenbacher, R., and Lux, B., 2002 “Boron Nitrides- Properties, Synthesis and Applications”. In: Jansen, M. (ed). High Performance Non- Oxide CeramicsII. 15. Springer Verlag, Berlin, 2002.
- [5] Çakar, F., 2021 “ Grafden Bazlı Polimer Kompozitler ve Bunların Uygulamaları”
- [6] Erdemir, F., and Eldem. C. 2019. POLİTEKNİK DERGİSİ JOURNAL of POLYTECHNIC Ergonomic Analysis of Working Postures in a Foundry Workshop by Digital Human Modeling Based REBA Method 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)