

ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

3B YAZICILAR İÇİN SÜREKLİ TAKVİYELİ FİLAMENT ÜRETİMİNE UYGUN KALIP TASARIMI

SUITABLE MOLD DESIGN FOR CONTINUOUS
REINFORCED FILAMENT PRODUCTION FOR 3D
PRINTERS

Yazarlar (Authors): Mohamad Diaa Taleb , Özkan Öz , Fatih Huzeyfe Öztürk 




Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Taleb M. D., Öz Ö., Öztürk F. H., "3B Yazıcılar İçin Sürekli Takviyeli Filament Üretimine Uygun Kalıp Tasarımı" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 8(2): 277-286, (2024).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1490399

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

3B YAZICILAR İÇİN SÜREKLİ TAKVİYELİ FİLAMENT ÜRETİMİNE UYGUN KALIP TASARIMI

Mohamad Daa Taleb , Özkan Öz , Fatih Huzeyfe Öztürk 

Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Türkiye

* Sorumlu Yazar: ooz@karabuk.edu.tr

(Geliş/Received: 28.05.2024; Düzeltme/Revised: 18.07.2024; Kabul/Accepted: 12.08.2024)

ÖZ

Üç boyutlu (3B) yazdırma teknolojisi sahip olduğu esnek imalat kabiliyetlerinden dolayı, günümüzde farklı endüstri alanlarında alternatif imalat metodu olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, geleneksel imalat yöntemlerinden farklı olarak, parçalar katmanlar halinde üretilmektedir. Geleneksel imalat yöntemleri ile üretimi oldukça zor olan karmaşık geometrilere sahip parçalar 3B yazıcılar ile üretilebilmektedir. Bu imalat yönteminde karşılaşılan en büyük dezavantaj son ürün mekanik özelliklerinin polimer kalıplama yöntemleri ile karşılaştırıldığında düşük olmasıdır. Ancak, sürekli veya süreksiz fiber takviyeli filamentlerin geliştirilmesi ile son ürün mekanik özelliklerinin belirgin oranda iyileştirilmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, sürekli takviye elemanı ile güçlendirilmiş termoplastik matrisli filament üretiminde kullanılacak kalıp tasarımı ve üretimi amaçlanmıştır. Takviye ve matris elemanları olarak sırasıyla, tel ve Polilaktik Asit (PLA) tercih edilmiştir. Çalışmanın deneysel kısmında, tel takviyeli kompozit filament kullanılarak yazdırılan çekme test numunelerinin dayanımları ile saf PLA filament kullanılarak yazdırılan numune dayanımları karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, yazdırmanın kompozit filament ile yapılması durumunda parça dayanımının belirgin şekilde iyileştirilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: 3B Yazdırma, Sürekli Metal Takviyeli Filament, Kompozit Malzemeler, Mekanik Özellikler.

SUITABLE MOLD DESIGN FOR CONTINUOUS REINFORCED FILAMENT PRODUCTION FOR 3D PRINTERS

ABSTRACT

Three-dimensional (3D) printing technology is now being used as an alternative manufacturing method in various industries due to its flexible manufacturing capabilities. Unlike traditional manufacturing methods, 3D printing builds parts in layers. Parts with complex geometry that are difficult to produce with traditional manufacturing methods can be produced with 3D printers. The main disadvantage of this manufacturing method is that the mechanical properties of the final product are low compared to polymer molding techniques. However, by developing continuous or discontinuous fiber reinforced filaments, it is possible to significantly improve the mechanical properties of the final product. The objective of this study is to design and fabricate mold that can be used to produce thermoplastic matrix filament reinforced with continuous reinforcing elements. Wire and polylactic acid (PLA) were preferred as reinforcement and matrix elements, respectively. In the experimental part of the study, the strength of tensile test specimens printed with wire-reinforced composite filament was compared with the strength of specimens printed with pure PLA filament. The experimental results showed that part strength can be significantly improved when printing with composite filament.

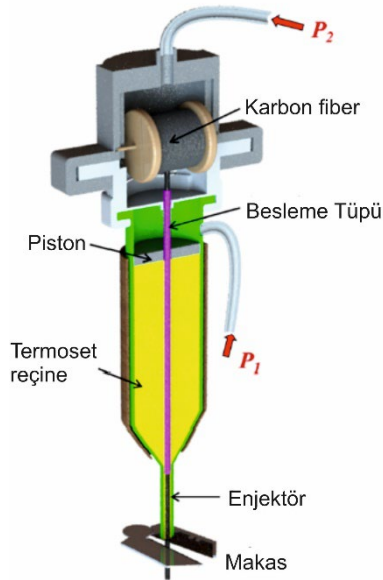
Keywords: 3D Printing, Continuous Metal Reinforced Filament, Composite Materials, Mechanical Properties.

1. GİRİŞ

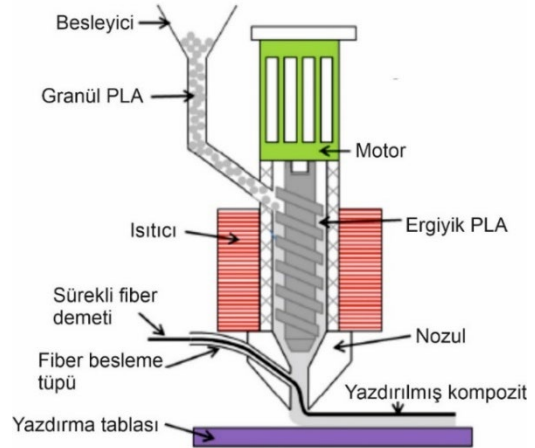
Eklemeli imalat yöntemlerinden olan termoplastiklerin 3B yazıcılar kullanılarak imal edilmesi araştırmacıların en fazla ilgi duyduğu ve gelişimine devam eden güncel üretim metodudur. Bu yöntemde, geleneksel imalat yöntemlerinden farklı olarak, parçalar katmanlar halinde üretilmektedir. Katmanlı üretim karmaşık geometriye sahip parçaların üretiminde malzeme sarfiyatını ve imalat süresini önemli oranda düşürmektedir [1]. Ancak, bu yöntemin en büyük dezavantajı plastik kalıplama yöntemleri ile karşılaştırıldığında son ürün mekanik özelliklerinin düşük olmasıdır. Katmanlar arası arayüzey etkileşimi, yapı içerisindeki boşluklar ve uygun olmayan yazdırma parametreleri (yazdırma hızı, yazdırma sıcaklığı vb.) yazdırılan parçaların mekanik özelliklerinde meydana gelen düşüşlerin başlıca nedenleridir [2,3]. Günümüzde yazdırma parametreleri ve prosesin iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar son ürün kalitesinin belirgin şekilde artmasına katkıda bulunmuş ve plastik kalıplama yöntemleri ile üretilen ürünler ile rekabet edebilir seviyeye getirmiştir [4]. Ayrıca, sürekli veya süreksiz fiber takviyeli kompozit parçaların yazdırılması amacıyla geliştirilen tasarımlar son ürün mekanik özelliklerinin

geliştirilmesine olanak sağlamıştır [5–8]. Farklı takviye elemanları ile güçlendirilen polimerler, kompozitlerin yoğun olarak tercih edildiği havacılık, otomotiv ve denizcilik sanayilerinde temel malzeme grupları arasında önemli bir yere sahiptir. Bunun en önemli nedeni, düşük ağırlık-yüksek dayanım oranına sahip olmalarıdır [9,10]. Günümüzde, polimer kompozitlerin üretiminin yetişmiş elemana ihtiyaç duyması ve çok aşamalı bir üretim sürecini barındırması nedeniyle yüksek maliyetlidir. Enjeksiyonlu kalıplama, basınçlı kalıplama ve reçine enjeksiyonlu kalıplama yöntemlerinin uygulanabilmesi bu alanlarda yetişmiş teknik elemanlara ihtiyaç duymaktadır [11]. 3B yazdırma teknolojisinin kompozit parça üretimine uyarlanması kompozit ürün maliyetlerini düşürebilir ve endüstriyel uygulama alanlarını arttırabilir. Şekil 1’de termoplastik kompozit üretiminde 3B yazıcıların avantajlarından faydalanabilmek amacıyla araştırmacılar tarafından geliştirilen farklı tasarımlar gösterilmektedir.

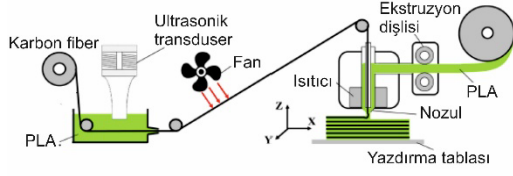
Şekil 1’de gösterilen tasarımları uygulayan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar aşağıda tartışılmıştır.



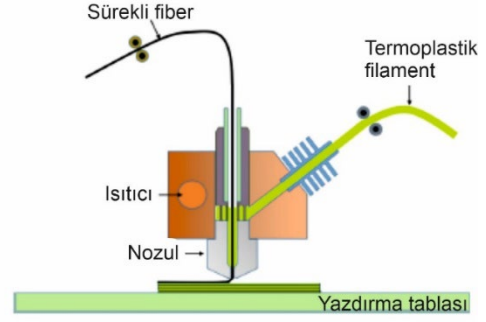
(a) Doğrudan mürekkepli yazdırma şırınga tasarımı [12]



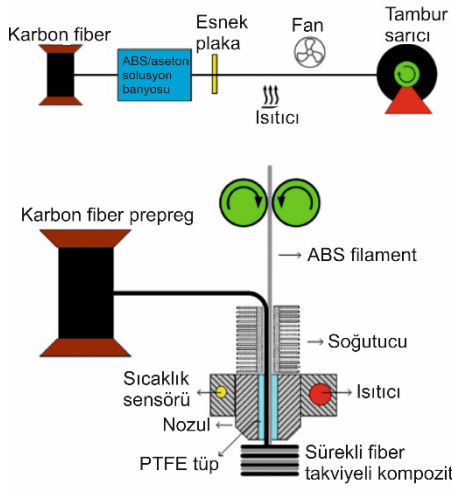
(b) Ekstrüderle kompozit parça yazdırma tasarımı [13]



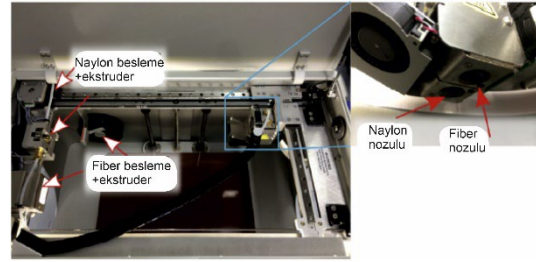
(c) Ultrasonik transduser destekli fiber ön empenye hazırlama ve yazıcı tasarımı [14]



(d) Sürekli fiberin yerinde empenye edildiği 3B yazıcı tasarımı [15]



(e) Fiber ön empenye hazırlama ve yazdırma entegre yazıcı tasarımı [16]



(f) MarkOne yazıcı nozul detay görüntüsü [17]

Şekil 1. Sürekli fiber takviyeli parça yazdırma sistemleri.

He vd. [12], çalışmalarında Şekil 1.a'da gösterilen fiber besleme tüpü ve fiberin içerisinden geçirildiği termoset reçine (mürekkep) ile doldurulmuş enjektörden meydana gelen tasarımı kullanmışlardır. Kompozit parçanın yazdırılması amacıyla içerisinde termoset reçine bulunan enjektöre fiber demeti besleme tüpü yardımıyla iletilmektedir. Tasarlanan yazıcıda reçinenin ilerletilmesi P1 piston basıncı ile sağlanmaktadır. P2 basıncı ise fiber besleme tüpü ucundaki basıncı dengeleyerek termoset reçinenin boru içerisine akışını engellemek için uygulanmaktadır. P1 basıncı altında çalışan enjektör içerisindeki fiber demeti kesme gerilimi ile yazdırma tablasına iletilerek kompozit parça yazdırılmaktadır. Önerilen bu tasarım hem termal olarak hem de UV ile kürlenebilen reçinelerin kullanımına uygundur. Termal olarak kürlenebilen reçineler ile yazdırılan kompozitlerin, tüm yazdırma yönlerinde doğrudan kalıplanmış numunelerin

mekanik özelliklerine yakın değerler elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Pappas vd. [13], çalışmalarında ekstrüder prensibi ile kompozit parça yazdırılması amacıyla Şekil 1.b'de gösterilen 3B yazıcıyı tasarlanmıştır. Bu tasarımda besleme hunisinden vida içerisine iletilen granül formundaki polimer ergitilerek, vida ucuna bağlı fiber besleme tüpünden iletilen fiber demetinin eriyik polimer ile kaplanması sağlanmaktadır. Çalışmalarında eriyik polimer ile kaplanan fiberin tabla üzerine yazdırılması ile parçanın imalatı gerçekleştirilir. Nozul eğim açısının artırılması ile akışın daha rahat sağlandığını, elyaf kırılmalarının azaldığını ve bunlara bağlı olarak mekanik özelliklerinin arttığını belirtmişlerdir. Ancak, bu durumun yazdırma basıncını düşürdüğünü ve boşluk oluşumunu arttırdığını vurgulamışlardır.

Qiao vd. [14], Şekil 1.c'de detayları gösterilen bütünleşmiş sistemi kullanarak kompozit parça yazdırmışlardır. Bu tasarımda fiber, çözündürülmüş reçine içerisinden geçirilirken kullanılan transdüserin oluşturduğu kaviteye etkisi ile fiber demetinin reçine ile etkili şekilde kaplanması sağlanmıştır. Sistemin devamında fiber üzerindeki diklorometan çözücü sıcak hava altında buharlaştırılarak uzaklaştırılmıştır. Bu sistemde elde edilen emprenye edilmiş fiber demeti 3B yazıcıda kullanılmak üzere makarada sarılarak biriktirilmiştir. Kullanılan 3B yazıcının yazdırma kafası iki adet koaksiyel nozuldan oluşmaktadır. Emprenye edilmiş fiber demeti ve PLA filament yazdırma nozulunun alt kısmında karıştırılarak tablaya yapışması sağlanmıştır. Yapışmanın gerçekleşmesi ile fiberin sürekli olarak iletilmesi çekme kuvveti ile sağlanmaktadır. Yazdırılan parçalardan elde edilen sonuçlar, eğilme mukavemeti, eğilme modülü, çekme mukavemeti ve elastisite modülünün ultrasonik genliğinin artmasıyla arttığını, ancak ultrasonik işlem hızının artmasıyla azaldığını göstermiştir. Kompozit malzemelerin çekme ve bükülme mukavemetlerinin işlenmemiş malzemeye kıyasla sırasıyla, %34 ve %29 oranında arttığı bulunmuştur.

Zhang vd. [15], fiberin ve eriyik polimerin nozul ucuna aynı anda beslendiği Şekil 1.d'de gösterilen tasarımı kullanmışlardır. Eriyik polimer, nozul ile entegre edilmiş yarıklar yoluyla fiberlerin üzerine polimer ile kaplanmaktadır. Polimer kaplı fiber yazdırılarak kompozit parça üretimini gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar, daha ince yazdırma kalınlığının daha büyük baskı kuvveti oluşturduğunu ve boşluk oluşumunu en aza indirdiğini ve buna bağlı olarak kompozit parçaların mekanik özelliklerini ve yüzey kalitesini iyileştirdiğini göstermiştir. Yazdırma işlem parametrelerini optimize ederken boyut doğruluğu ile mekanik özellikler arasında denge kurulması gerektiğini açıklamışlardır.

Mosleh vd. [16], Şekil 1.e'de gösterilen tasarımlarında polimer matris ile fiber arayüz etkileşimini geliştirmek için sürekli fiberi aseton içinde çözündürülen ABS çözeltisi içerisinden geçirmişlerdir. Saf ABS ve kompozit parçaların mekanik özelliklerinin karşılaştırılması için numunelere çekme ve eğilme testleri uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar, kompozitlerin eğilme ve çekme

mukavemetinin, ABS numunelere göre arttığını gösterdi. Fiberlerin ABS çözeltisi içinden geçirilmesi ve düşük yazdırma hızının kompozit numune dayanım artışında önemli parametreler olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, fiberlerin çözelti ile kaplanması kompozit parçaların yazdırılmasını kolaylaştırdığını belirtmişlerdir.

Blok vd. [17], çalışmalarında kompozit parça yazdırılmasında ise ticari olarak üretilen MarkOne 3B yazıcıyı kullanmışlardır (Şekil 1-f). MarkOne 3B yazıcıda iki farklı nozul yardımıyla naylon matrise gömülü sürekli karbon fiber parça yazdırılabilmektedir. Kapalı kaynak kodlu yazılım kullanılan bu yazıcıda yazdırma parametrelerinin kullanıcı tarafından belirlenmesine izin verilmemektedir. Çalışmada kısa fiberler kullanılarak yazdırılan kompozit parça mekanik özellikleri MarkOne 3B yazıcı ile yazdırılan kompozit parça mekanik özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Kısa fiberli kompozit parçaların yazdırılmasında açık kaynak kodlu 3B yazıcı kullanmışlardır. Sürekli fiber ile yazdırılan parçalarda dayanım ve rijitlik sırasıyla, 986 MPa ve 64 GPa olarak elde edilirken, kısa fiberle güçlendirilmiş naylon baskılı parçalarda bu değerler belirgin şekilde düşerek sırasıyla, 33 MPa ve 1.9 GPa olarak elde edilmiştir. Yazarlar, sürekli fiber yazıcının en büyük dezavantajının, fiberin yerleştirilmesi üzerindeki sınırlı kontrol ve daha karmaşık şekilleri yazdırırken meydana gelen parça içindeki boşluklar olarak sıralamıştır.

Yukarıda belirtilen sistemler, fiberin emprenye ile ön hazırlığının yapıldığı, nozul içerisinde fiber ve matrisin eş zamanlı karıştırıldığı veya fiber ve matrisin farklı nozullardan iletilerek kompozit parça yazdırma işlemi için tasarlanan yazıcı sistemleridir. Bu çalışmada literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak, sürekli fiber takviye elemanına sahip filament üretimi amaçlanmıştır. Sürekli fiber takviyesinin filament yapısına eklenmesi amacıyla kalıp tasarlanmış ve üretilmiştir. PLA matrisli filament takviye elemanı olarak kolay şekil alabilen 0.25 mm çapa sahip pirinç tel kullanılmıştır. Üretilen kompozit filament ile çekme test numuneleri yazdırılarak kompozit parça dayanımları belirlenmiş ve saf PLA ile üretilen parça dayanımları ile karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Malzemeler

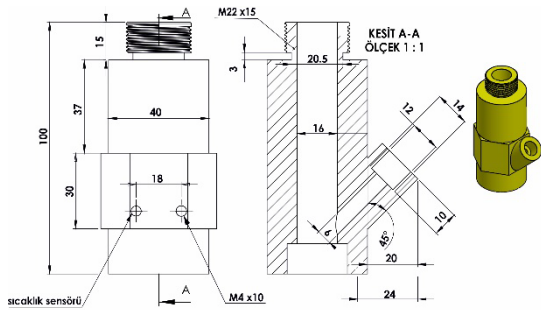
Kompozit filament üretiminde sürekli takviye malzemesi olarak 1040 MPa çekme dayanımına sahip pirinç tel ile PLA kullanılmıştır. Pirinç tel nispeten yumuşak, kolay şekil değiştirebilir ve iyi mekanik özelliklere sahip olduğu için seçilmiştir. PLA'nın fiziksel özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. PLA fiziksel özellikleri [18].

Özellik	Değer
Elastisite modülü	3500 MPa
Çekme dayanımı	50 MPa
Kopmada uzama yüzdesi	≤ 5%
Ergime sıcaklığı	175°C
Camsı geçiş sıcaklığı	60°C

2.2. Kompozit Filament Üretim Kalıbı

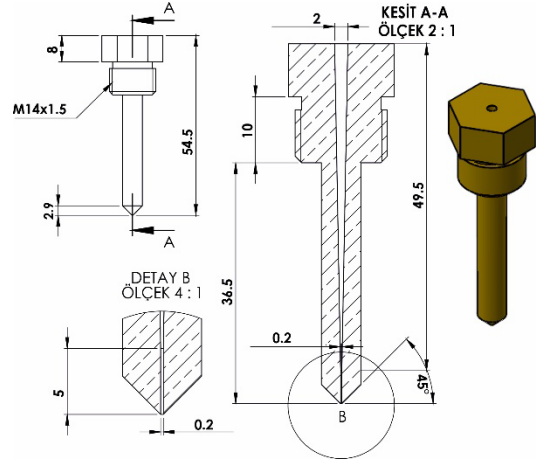
Şekil 2'de sürekli tel takviyeli kompozit filament üretimi amacıyla tasarlanan kalıbın detay resimleri ve ölçüleri gösterilmektedir. Kalıbın ölçülendirilmesinde ve tasarımında tek vidalı ekstrüder ile uyumlu çalışması amaçlanmıştır. Kalıp gövdesi, eriyik termoplastik matrisin ilerletildiği gövde, takviye elemanın sürüldüğü yolluk ve kompozit filamentin şekillendirildiği nozul kısımlarından oluşmaktadır.



Şekil 2. Kalıp ölçüleri.

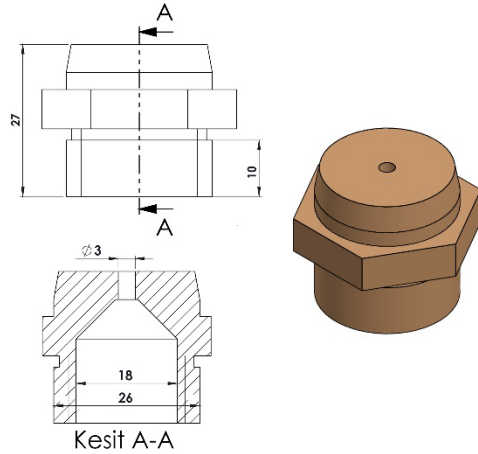
Şekil 3, kalıp yolluğu detay resmini göstermektedir. Takviye elemanının matris içerisine ilerletilmesi için tasarlanan yolluğun filament kesit merkezinde hassas şekilde konumlanabilmesi için vida adımı ile hareket ettirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, yolluğun gövde içerisine açılı şekilde yerleştirilmesi ile yolluğun içerisine eriyik polimer akışının engellemesi amaçlanmıştır. Eriyik polimer ile takviye elemanının gövde içerisnde teması başladığı anda takviye elemanı ile polimer matris arasında oluşan kesme kuvveti ile kesintisiz şekilde nozul içerisnde herhangi bir

iticiye ihtiyaç duyulmadan takviye elemanı ilerleyebilmektedir.



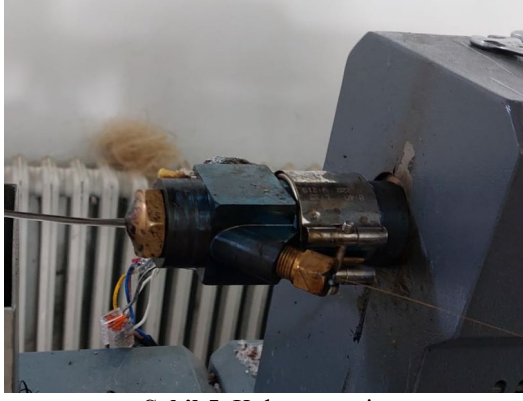
Şekil 3. Takviye elemanı giriş yolluğu ve ölçüleri.

Şekil 4, kalıbın çıkış ucuna bağlı filament çıkış nozulunu göstermektedir. Nozul kalıp gövdesi içerisnde birleştirilen matris ve takviye elemanının filament formunda çekilmesini sağlamaktadır. Kalıbın ısıtılmasından önce, tel yolluktan ve nozuldan geçirilmektedir. Başlangıçta telin geçirilmesi için kalıptan ayrılan nozul, kalıp ucuna tekrar bağlanarak kalıbın kovan ısısına ulaşması beklenmektedir.



Şekil 4. Kalıp nozul ölçüleri.

Şekil 5, üretimi yapılan kalıbın tek vidalı ekstrüdere bağlantısını göstermektedir. Kalıp tek vidalı ekstrüderin vida sonuna konumlandırılmıştır. Eriyik termoplastik ekstrüder içerisnde kalıp gövdesine iletilmektedir. Kalıp gövdesi içerisine önceden konumlanan tel, eriyik polimer ile temas ettiği anda matris ile kaplanmakta ve kesme kuvveti vasıtası ile nozul dışına herhangi itici kullanılmadan sürülmektedir.



Şekil 5. Kalıp montajı.

2.3. Kompozit Filament Üretimi

Kompozit filament üretiminde matris olarak kullanılan PLA, hidrofilik yapıda olduğundan, neminin giderilerek kurutulması amacıyla 24 saat boyunca, 60°C sıcaklıktaki etüv içerisinde bekletilmiştir. Nem giderme işlemi yapılan granül formdaki PLA, 200°C sıcaklığa ayarlanan ekstrüder kovana içerisine besleme hunisi vasıtasıyla dökülmüş ve eriyik formda kalıp nozulundan çıkması beklenmiştir. Kalıp nozulundan çıkan eriyik PLA teli sürüklemeye başladı anda, ekstrüderin sarma ünitesindeki filament makarasına bağlanarak sarım işlemine başlanmıştır. Sarım işleminde, filament çapı 1.75 mm olacak şekilde sarım hızı kademeli olarak artırılmıştır. Şekil 6, sarım işlemi tamamlanmış ve 3B yazıcıda kullanıma hazır filament makarasını göstermektedir. Kompozit filament ortam koşullarından etkilenmemesi için yazdırılma işlemine kadar etüv fırın içerisinde bekletilmiştir.



Şekil 6. Filament makarası.

Şekil 7'de telin PLA matrisli filament içerisindeki konumlanması gösterilmektedir. Vida adımı ile hareket ettirilen yolluk tasarımının, teli filament kesiti ortasında konumlandırılabilirdiği Şekil 7'de net olarak görülmektedir.

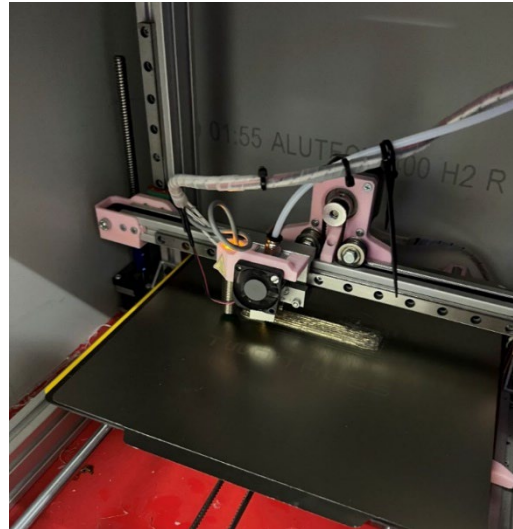
2.4. Test Numunelerinin Yazdırılması ve Hazırlanması

Üretilen kompozit filamentlerin yazdırılmasında açık kaynak kodlu 3B yazıcı kullanılmıştır. Yazıcı tablası tek yönde (y eksenini doğrultusu), yazdırma nozulu iki yönde (x ve z eksen doğrultuları) harekete sahiptir. Tablo 2 kompozit filament ve PLA filament ile üretilen parçaların yazdırma parametrelerini göstermektedir. Çekme test numuneleri ASTM D3039/D3039M-00 standardı ile uyumlu 200x15x1,2 mm ölçülerinde yazdırılmıştır. Bütün numunelerde yazdırma yönü yük yönüne paralel olacak şekilde seçilmiştir. Yazdırma işlemi süresince, 1.2 mm çapa sahip nozul kullanılmış ve yazdırma hızı ile filament besleme hızı eşitlenmiştir.

Tablo 2. Yazdırma parametreleri

Parametre	Değer
Yazdırma hızı (mm/s)	50
Katman yüksekliği (mm)	0.6
Yazdırma sıcaklığı (°C)	200
Nozul çapı (mm)	1.2
Yazdırma deseni	Doğrusal
Doluluk oranı	100%

Şekil 8 kompozit numunelerin 3B yazıcı ile yazdırılmasını göstermektedir.



Şekil 8. Numunelerin yazdırılması.

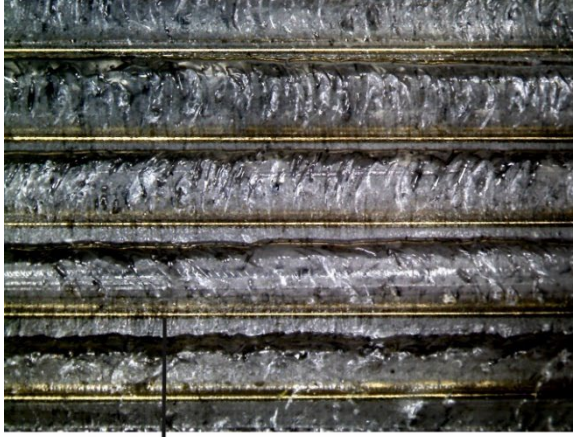


(a) Filament uzunluđu dođrultusunda tel konumu.



(b) Filament kesitinde tel konumu.

Şekil 7. Kompozit filament içinde telin konumlanması.



Tel



Yazdırma yönünün değiştii kenarlarda telin bükülmesi

Şekil 9. Yazdırılan Numune içerisinde tel detay görüntüleri.

Şekil 9'da yazdırılan katmanların doğrultusunda tel detay görüntüleri gösterilmektedir. Şekil 9 incelendiğinde, tel takviyesinin katmanların içerisinde numune uzunluğu boyunca hatasız şekilde konumlandığı görülmektedir. Ayrıca, katmanların yön değiştirdiği numune uç kısımlarında telde herhangi bir deformasyon ya da kopma meydana gelmemesi kullanılan yazdırma parametrelerinin (*yazdırma ve besleme hızı*) uygun olarak seçildiğini göstermektedir.

Şekil 10'da çekme testi için hazırlanan numuneler gösterilmektedir. Numunelerin çekme test cihazı çenesi tarafından tutulan uç kısımlarına tablalar yapıştırılmış ve kürlenmesi beklenmiştir.



Şekil 10. Çekme test numuneleri.

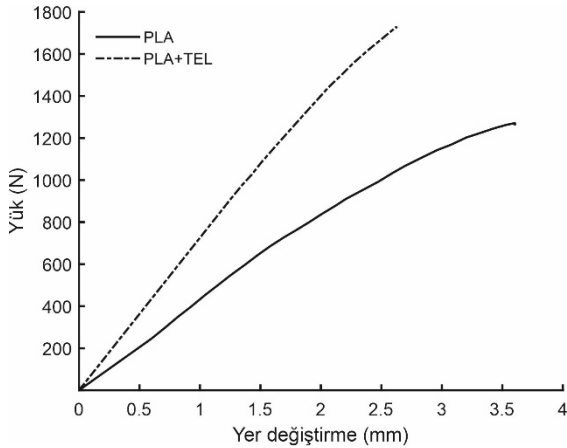
Çekme testlerinde Shimadzu marka elektromekanik 50 kN çekme test cihazı kullanılmıştır (Şekil 11). 2 mm/dk sabit çene hızında numuneler hasara uğrayana kadar yük uygulanmıştır. Deneyler süresince yük-yer değiştirme eğrileri kaydedilerek hasar yükleri belirlenmiştir. Numunelerin ulaştığı pik yük değerleri hasar yükü olarak kabul edilmiştir.



Şekil 11. Çekme test cihazı.

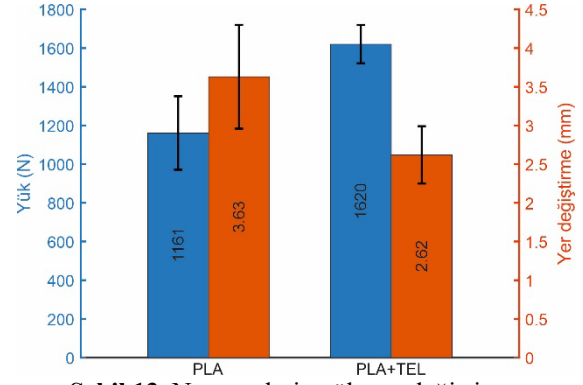
3. DENEYSEL SONUÇLAR

Şekil 12, kompozit ve PLA numune yük yer-değiştirme eğrilerini göstermektedir. Şekil 12 incelendiğinde, tel takviyeli kompozit numunenin saf PLA numuneye göre daha yüksek hasar yükü değerine ulaştığı görülmektedir. Ayrıca, kompozit filament kullanılması durumunda parça rijitliğini de önemli ölçüde artığı gözlemlenmiştir.



Şekil 12. Numunelerin yük-yer değiştirme eğrileri.

Şekil 13 numunelerin hasar yükü ve maksimum yer değiştirme değerlerini göstermektedir. Kompozit filament kullanımı parça hasar yükünü %39.53 oranında arttırmış ve rijitlik artışına bağlı olarak yer değiştirme değerini %27.82 oranında düşürmüştür.



Şekil 13. Numunelerin yük-yer değiştirme diyagramı.

Parça yazdırılmasında sürekli fiberin kullanıldığı önceki çalışmalarda da benzer dayanım artışlarına ulaşılmıştır. Heidari-Rarani vd. [10], sürekli karbon fiber takviyeli PLA'nın çekme ve eğilme dayanımlarının saf PLA'ya göre sırasıyla, %35 ve %108'e kadar arttırdığını belirtmişlerdir. İbrahim vd. [19], kompozit parça yazdırma işlemi için filament ve takviye elemanın nozul içerisine iletiildiği çift girişli tasarımlarında tel takviyeli PLA matrisli kompozit yazdırmışlardır. Tel takviyesi olarak nikel krom ve bakır kullanmışlardır. Nikel krom ve bakır tel kullanılan kompozit parçaların dayanımındaki artışın PLA parçaya göre sırasıyla, %9 ve %30 oranlarında olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmalar sürekli fiber kullanımının dayanım değerlerini belirgin şekilde geliştirdiğini göstermektedir. Düzenli fiber yönlenmesi dayanım artışının temel sebebidir. Ayrıca, fiber ve matris arasında arayüzey etkileşiminin yüksek olması matris fiber yük transferini önemli oranda artırır. Bu çalışmada tel için özel bir yüzey hazırlama işlemi yapılmamasına rağmen, PLA ve takviye elemanlarının yazıcı içerisinde karıştırıldıkları yukarıdaki çalışmalara göre dayanım değerlerinin daha fazla geliştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Kalıp yardımı ile kompozit filament üretiminin dayanımda sağladığı avantajlar ile beraber kullanım kolaylığı açısından literatürde yapılan çalışmalara göre önemli avantajlar sağladığının vurgulanması önemlidir. Üretilen filamentin yazdırılmasında herhangi bir açık kaynak kodlu yazıcının kullanımında sınır olmaması ve özel tasarımı yüksek maliyetli yazıcılara ihtiyaç duyulmaması bu yöntemin üstünlüğü olarak belirtilebilir.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmanın temel amacı sürekli takviye elemanı kullanılarak kompozit filament üretiminde kullanılacak kalıp tasarımı ve üretiminin yapılmasıdır. Elde edilen sonuçlar, tasarlanan kalıbın sürekli takviyeli filament üretim kabiliyetine sahip olduğunu göstermiştir. Kompozit filament üretim sürecinde kullanılan tel takviye elemanının 1.75 mm çapa sahip filament kesitinin orta noktasında konumlanması sağlanmış ve makara sarımı süresince telin konumunun değişmediği belirlenmiştir. Kalıp yardımıyla başarılı şekilde üretilen kompozit filamentin yazdırılması çalışmanın numune üretim aşamasını içermektedir. Bu aşamada yazdırma işlemi çekme test numuneleri için tekrarlanmış ve üretimin hatasız bir şekilde gerçekleştirilebildiği görülmüştür. Çalışmanın son aşamasında üretilen numuneler çekme yükü altında test edilmiş ve kompozit filamentin hasar yükünün önemli oranda arttırdığı belirlenmiştir. Yazdırılacak parçaların geometrisi bu çalışmanın sınırlarını belirlemektedir. Hazırlanan kompozit filament kesintili olarak yazdırılan karmaşık numunelerin üretilmesi için uygun olmamakla beraber kesintisiz yazdırmanın mümkün olduğu levha veya silindirik parça imalatında başarılı bir şekilde uygulanabilir. Kesintili üretim yapılabilmesi filamentin belli aşamalarda kesilmesi ile mümkün olabilir. İlerleyen çalışmalarda filamentin kesilmesi için tasarlanacak eklentilerin kullanılması ile farklı geometrilerin yazdırılması mümkün olacaktır. Ayrıca, tasarlanan ekstrüzyon kalıbında, farklı takviye elemanları kullanılarak kompozit filament çeşitliliğinin artırılması mümkündür. Son olarak bu kalıp yardımıyla üretilen filamentler kırılarak enjeksiyon kalıplama sistemlerinde hammadde olarak da kullanılabilir. Bu sayede belirlenen karışım oranları garanti edilmiş granül elde edilmesine olanak sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Anaç, N., Koçar, O., and Altuok, C., “Investigation of The Weldability of PLA Plus Sheets with Different Infill Ratios by Friction Stir Welding”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, Vol. 12, No. 1, Pages. 282–296 (2024).

2. Temiz, A., “The effect of build orientation on the mechanical properties of a variety of polymer AM-created triply periodic minimal surface structures”, J

Braz. Soc. Mech. Sci. Eng., Vol. 46, No. 2, Pages. 121, 2024.

3. Öz, Ö. and Öztürk, F. H., “Yazdırma Açısının 3B Yazıcıda Üretilen PLA Numunenin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Metodu ile İncelenmesi”, Politeknik Dergisi, Cilt. 26, Sayı. 2, Sayfa. 529–540, 2023.

4. Rouf, S., Malik, A., Singh, N., Raina, A., Naveed, N., Siddiqui, M. I. H., and Haq, M. I. U., “Additive manufacturing technologies: Industrial and medical applications”, Sustainable Operations and Computers, Vol. 3, Pages. 258–274, 2022.

5. Zhuo, P., Li, S., Ashcroft, I. A., and Jones, A. I., “Material extrusion additive manufacturing of continuous fibre reinforced polymer matrix composites: A review and outlook”, Composites Part B: Engineering, Vol. 224, Pages. 109143, 2021.

6. Öz, Ö., Öztürk, F. H., and Güleç, C., “Effect of fiber content and plasticizer on mechanical and joint properties of carbon fiber powder reinforced PLA manufactured by 3D printing process”, Journal of Adhesion Science and Technology, Vol. 37, No. 15, Pages. 2208–2231, 2023.

7. Sezer, H., Eren, O., Börklü, H., and Özdemir, V., “Karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin ergiyik biriktirme yöntemi ile eklemeli imalatı: fiber oranı ve yazdırma parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi”, Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture of Gazi University, Cilt. 34, Sayı. 2, 2019.

8. Parmaksız, F., Anaç, N., Koçar, O., and Erdogan, B., “Investigation of mechanical properties and thermal conductivity coefficients of 3D printer materials”, Int. Adv. Res. Eng. J., Vol. 7, No. 3, Pages. 146–156 (2023).

9. Mortazavian, S. and Fatemi, A., “Fatigue behavior and modeling of short fiber reinforced polymer composites: A literature review”, International Journal of Fatigue, Vol. 70, Pages. 297–321, 2015.

10. Heidari-Rarani, M., Rafiee-Afarani, M., and Zahedi, A. M., “Mechanical characterization of FDM 3D printing of continuous carbon fiber reinforced PLA composites”, Composites Part B: Engineering, Vol. 175, Pages. 107147, 2019.

11. Rajak, D. K., Wagh, P. H., and Linul, E., “Manufacturing Technologies of Carbon/Glass Fiber-Reinforced Polymer Composites and Their Properties: A Review”, Polymers, Vol. 13, No. 21, Pages. 3721, 2021.

12. He, X., Ding, Y., Lei, Z., Welch, S., Zhang, W., Dunn, M., and Yu, K., "3D printing of continuous fiber-reinforced thermoset composites", *Additive Manufacturing*, Vol. 40, Pages. 101921, 2021.
13. Pappas, J. M., Thakur, A. R., Leu, M. C., and Dong, X., "A parametric study and characterization of additively manufactured continuous carbon fiber reinforced composites for high-speed 3D printing", *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 113, No. 7, Pages. 2137–2151, 2021.
14. Qiao, J., Li, Y., and Li, L., "Ultrasound-assisted 3D printing of continuous fiber-reinforced thermoplastic (FRTP) composites", *Additive Manufacturing*, Vol. 30, Pages. 100926, 2019.
15. Zhang, Z., Long, Y., Yang, Z., Fu, K., and Li, Y., "An investigation into printing pressure of 3D printed continuous carbon fiber reinforced composites", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 162, Pages. 107162, 2022.
16. Mosleh, N., Rezadoust, A. M., and Dariushi, S., "Determining process-window for manufacturing of continuous carbon fiber-reinforced composite Using 3D-printing", *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 36, No. 4, Pages. 409–418, 2021.
17. Blok, L. G., Longana, M. L., Yu, H., and Woods, B. K. S., "An investigation into 3D printing of fibre reinforced thermoplastic composites", *Additive Manufacturing*, Vol. 22, Pages. 176–186, 2018.
18. Luminy® "Product Data Sheet L175", <https://www.totalenergies-corbion.com/media/cushodia/pds-luminy-l175-190507.pdf>, April 20, 2024.
19. Ibrahim, Y., Melenka, G. W., and Kempers, R., "Fabrication and tensile testing of 3D printed continuous wire polymer composites", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 24, No. 7, Pages. 1131–1141, 2018.