

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>

## PARÇALI OLARAK ÜRETİLEN 3 BOYUTLU YAZICI ÇIKTILARINDA KULLANILAN BAĞLANTI TİPLERİNİN MEKANİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

### THE STRENGTH OF THE CONNECTION TYPES USED IN 3-DIMENSIONAL PRINTER PARTS PRODUCED PARTIALLY

**Yazarlar (Authors):** Talip Çelik<sup>ID\*</sup>, İbrahim Mutlu<sup>ID</sup>, Arif Özkan<sup>ID</sup>

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Çelik T., Mutlu İ., Özkan A., "Parçalı Olarak Üretilen 3 Boyutlu Yazıcı Çıktılarında Kullanılan Bağlantı Tiplerinin Mekanik Açısından Değerlendirilmesi" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 6(1): 137-142, (2022).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1050431

Araştırma Makale/ Research Article

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

# PARÇALI OLARAK ÜRETİLEN 3 BOYUTLU YAZICI ÇIKTILARINDA KULLANILAN BAĞLANTI TİPLERİNİN MEKANİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Talip Çelik<sup>a</sup>, İbrahim Mutlu<sup>a</sup>, Arif Özkan<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

\* Sorumlu Yazar: [celiktlp@gmail.com](mailto:celiktlp@gmail.com)

(Geliş/Received: 29.12.2021; Düzeltme/Revised: 04.04.2022; Kabul/Accepted: 29.04.2022)

## ÖZ

Üç boyutlu (3B) yazıcı teknolojisi, günümüzde sıklıkla tercih edilmeye başlayan, önemli ve popüler teknolojidir. Bu teknoloji gelecekte üretimin farklı alanlarında kullanılabilir olması ile tasarımdaki kısıtlılıklar tamamen ortadan kalkacaktır. Bununla birlikte, 3B yazıcı teknolojisi sınırlı yapı hacmine sahiptir. Bu sebeple, oluşturulan hacim parçalı tasarlanır ve bu parçalar gövdeyi oluşturmak için birbirine bağlanır. Hacimce büyük bir modelin 3B yazıcılardan çıktısını alırken bölümlendirilmiş parçaların bağlantısı çeşitli bağlantı tipleri ile yapılabilir. Bu çalışmanın amacı, 3B yazıcı ile imal edilen parçalı bir üründe kullanılan bağlantı tiplerinin mukavemet açısından değerlendirmek ve en uygun bağlantı tipini belirlemektir. Bu çalışmada, parçaları birbirine bağlamak için dört farklı bağlantı tipi oluşturulmuştur. Bu bağlantı tiplerinin mukavemetini değerlendirmek için standart çekme numunesi tasarımı yapılmış ve bu tasarım ortadan ikiye ayrılarak üretilmiştir. İki parça olarak üretilen çekme numunesi japon yapıştırıcısı (siyanoakrilat), pim, kaynak ve hem kaynak hem de yapıştırıcı (siyanoakrilat) ile birbirine bağlanmıştır. Çekme numunesinin parçalanmamış tek parçalı hali referans numune olarak üretilmiştir. Her grup için yedişer adet üretilen parçalar, universal çekme test cihazı ile çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi sonunda, maksimum çekme kuvveti ve yer değiştirme değerleri elde edilmiş ve bu değerlere göre gerilme, gerinim ve elastik modülleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, 3B kalem kullanılarak yapılan kaynaktaki en yüksek gerilme ve elastik modül değerleri hesaplanmıştır. Pim ile birbirine bağlanan parçaların en düşük mukavemete sahip olduğu belirlenmiştir. Referans model ile karşılaştırıldığında, tüm bağlantı tipleri parça mukavemetinde minimum %37 azalmaya yol açmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, mukavemeti en iyi sağlayan bağlantı tipi 3B yazıcı kalemi kullanılarak yapılan kaynak bağlantı tipidir.

**Anahtar Kelimeler:** 3 Boyutlu Yazıcı, Bağlantı Tipleri, 3 Boyutlu kalem, Dayanım.

## THE STRENGTH OF THE CONNECTION TYPES USED IN 3-DIMENSIONAL PRINTER PARTS PRODUCED PARTIALLY

### ABSTRACT

Three-dimensional (3D) printer technology is an important and popular technology that is frequently preferred today. As this technology can be used in different areas of production in the future, the limitations in design will be eliminated. However, 3D printing technology has disadvantages such as limited build volume. For this reason, the created volume is designed in parts and these parts are connected to each other to form the body. When printing a large model from 3D printers, the connection of segmented parts can be made with various connection types. The aim of this study is to evaluate the connection types used in a pieced product manufactured with a 3D printer in terms of strength and to determine the most suitable connection type. In this study, four different connection types were created to connect the parts together. A standard tensile sample design was made to evaluate the strength of the connection types and this design was produced by dividing it into two. The tensile specimen produced in two parts is bonded together with super glue (cyanoacrylate), pin, weld and both weld and adhesive

(cyanoacrylate). The unbroken one-piece form of the tensile specimen was produced as a reference specimen. Seven pieces produced for each group were subjected to a tensile test with a universal tensile testing device. When the tensile tests were ended, the maximum tensile force and displacement values were obtained and the stress and elastic modulus were calculated according to these values. As a result of this study, the welding made using a 3D pen has the maximum elastic modulus and stress values. It has been determined that the lowest strength was obtained in the parts connected with the pin. Compared to the reference model, all connection types resulted in a minimum 37% reduction in component strength. According to the results obtained, the connection type that provides the best strength is the welding connection type made using a 3D printer pen.

**Keywords:** 3D Printer, Connection Types, 3D Pen, Strength.

## 1. GİRİŞ

Eklmeli imalat günümüz teknolojisinde önemli bir yer tutmaktadır ve son zamanlarda giderek popülerliği artmaktadır. Özellikle prototip imalat için hem maliyet hem de tasarım geliştirmede önemli avantajlar sunmaktadır. Eklmeli imalat farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin kendi içerisinde farklı avantajları bulunmaktadır.

En sık kullanılan ve maliyet yönünden en ucuz olan 3 Boyutlu (3B) imalat yöntemi Erişik Yığıma Yöntemidir (FDM) [1]. Bu yöntemde yazıcı malzemesi filament olarak kullanılır. Genellikle akrilonitril bütadien stiren (ABS) ve polilaktik asit (PLA) türü malzemeler bu yöntemle 3B yazıcıda basılabilmektedir. Bu yöntemin düşük mekanik dayanımı, yeterli toleransa sahip olmaması, yüzey kalitesinin kötü olması ve üretilen parçaların limitlerinin olması dezavantajlarıdır [2]. Bu sebepten dolayı imalat teknolojisi bu sorunları aşma üzerine çalışmalara yönelmiştir [3,4,5]. Bu çalışmada, belirtilen sorunlar içerisinde yer alan sınırlı büyüklükteki imalat sorununu geliştirmek için üretim yöntemlerinin mekanik dayanımı üzerine çalışılmıştır.

Yazıcıdan elde edilen parça boyutları yazıcı boyutlarına bağlı olarak üretilmektedir. 3B yazıcının kapasitesinden daha büyük tasarımları imal etmek için parçalı tasarım yapılmakta ve bu parçalar farklı yöntemler ile birleştirilmektedir [6], [7], [8]. 3B parçaları birleştirme yöntemleri olarak kaynak, yapıştırıcı, civata-somun bağlantıları kullanma ve tasarımsal geçme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden en sık tercih edileni ise yapıştırıcı kullanılmasıdır [9]. Yapıştırıcı olarak genellikle sikronat olarak bilinen japon yapıştırıcı kullanılmaktadır. Bu yöntemde parçalar arası kuvvet aktarımında

kuvvetler eşit dağılır ve bu sebepten dolayı gerilme yığılması oluşmaz. Ayrıca, farklı malzemelerden üretilmiş parçalar birbiri ile yapıştırılabilir. Bazı özel uygulamalarda, elektrik ve termal yalıtımı iyi sağladığı görülmüştür [6]. Bu yöntemde yapıştırıcı uygulanacak yüzeyler önceden iyi temizlenmiş ve hazırlanmış olmalıdır. Ayrıca, çevreye zararlı kimyasal yapıştırıcı kullanılması bu yöntemin diğer dezavantajıdır [10]. Yapıştırıcı kullanma ve kaynak yöntemlerinde, parçalar sonradan ayrılamaz. Bu sebepten dolayı modüler tasarımlarda bu birleştirme yöntemleri tercih edilmez. 3B yazıcı parçalarını kaynak yöntemi kullanarak birleştirme prensibinde ısıdan faydalanılmaktadır. İki parça birbiri ile sürtünme vasıtasıyla ısı ortaya çıkartılır ve bu ısı ile termoplastik malzemeler birbiri içerisine girerek birleşir. Dışarıdan ısıtma yöntemi ile de birleştirme yapılabilir. Bu birleştirme yönteminin en büyük dezavantajı termoplastik malzemelerde kullanılabilir olmasıdır [2]. Civata-somun bağlantısı kullanılmasının en büyük avantajı farklı malzemeleri birleştirilebilir olmasıdır. Bunun yanında civata için delik açılması parçalarda gerilme yığılmasına ve dolayısı ile mukavemetinin zayıflamasına sebep olur. Bu birleştirme yöntemlerinin tasarımı ve dayanımı sistem mukavemeti ile direkt ilgili olduğu için bağlantı bölgesindeki mukavemet çok önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, belirlenen farklı birleştirme yöntemlerinin (yapıştırıcı, kaynak, yapıştırıcı-kaynak ve pim) mekanik dayanımları araştırılmıştır. İki farklı parça olarak tasarlanan standart çekme numunesi bu bahsedilen yöntemler kullanılarak birleştirilmiştir. Bu numuneler üniversal çekme test cihazında teste tabi tutulmuştur. Bu çalışmanın kısmi sonuçları

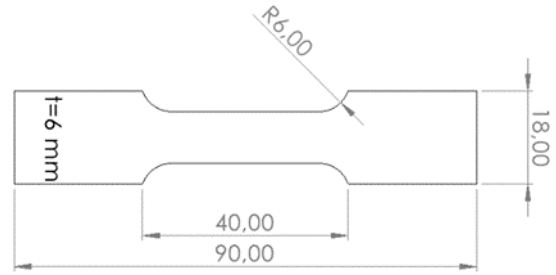
Uluslararası Marmara Bilim Kongresi'nde (IMASCON) sunulmuştur.

## 2. MATERYAL VE METOT

Çalışma kapsamında Şekil 1'de ölçüleri verilen standart çekme numunesi tasarlanmıştır. Çekme numunesi boyutları polimer malzemeler için belirtilen ASTM D638 standardına göre belirlenmiştir [6]. Bu numune tek parça halinde ve simetrik olarak eşit iki parçalı olarak imal edilmiştir. Numuneler Esun marka standart PLA filament ile 3B yazıcı kullanılarak toplamda 35 adet üretilmiştir. Kullanılan 3B yazıcı Ultimaker 2+ (Hollanda menşeli) cihazdır. Buna göre mevcut ayarlarında belirtilen %30 dolulukta ve filament doğrultusu 45° olacak şekilde numuneler üretilmiştir. Numunelerin çıktısı alınırken kullanılan malzemeye göre tabla sıcaklığı 90 °C ve filament ergime sıcaklığı ise 220 °C olacak şekilde ayarlamalar yapılmıştır [2]. PLA malzemesi ile üretilen parçalar Şekil 2'de gösterildiği gibi farklı yöntemlerle birleştirilmiştir. Şekil 2A'da görüldüğü gibi numuneler PLA filamentinden elde edilen pim ile birleştirilecek şekilde zigzaglı olarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretilen iki farklı parça zigzaglı kesimlerinden üst üste oturtularak 1.75 mm çaplı pim ile birleştirilmiştir. Şekil 2B'de enine kesilmiş parçalar, kesimlerin yapıldığı düz yüzeylerden 3B kalem ile birleştirilmiştir. Bunun yanında Şekil 2C'de özel plastik yapıştırıcısı (EMS FORCE805 Japon yapıştırıcı) kullanılmıştır. Yapıştırıcının içeriğinde sirokronat bulunmaktadır. Ayrıca, parçaları birleştirmek için hem yapıştırıcı hem de 3B kalem ile kaynak yöntemi de kullanılmıştır. Bu birleştirmede öncelikle yapıştırıcı ile parçalar bağlanmış daha sonra bağlantı kenarlarından 3B kalem ile kaynak yapılmıştır. Şekil 2D'de sağlam tam parça haline getirilmiş numuneler (referans numune) gösterilmektedir. Her bir birleştirme yönteminden 7 numune oluşturulmuştur.

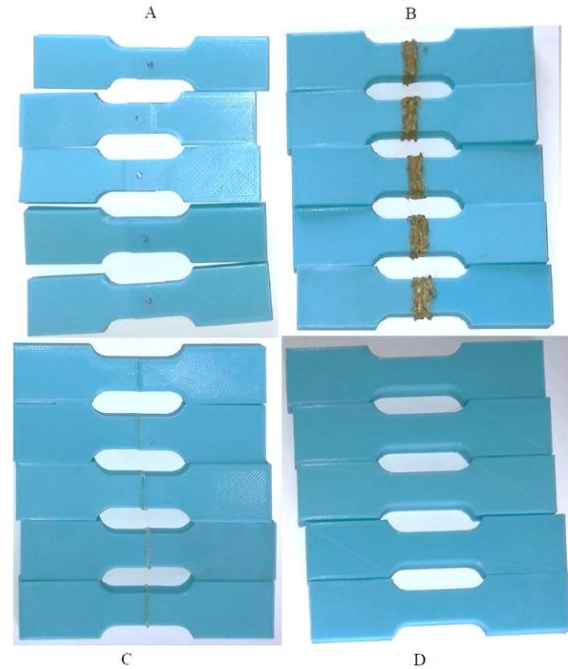
Birleştirme uygulamaları yaparken standart presedürler uygulanmıştır. Yapıştırıcı işlemlerinden önce birleştirme yüzeyleri temizlenmiş ve aynı miktarda yapıştırıcı ile birleştirilmesi sağlanmıştır. 3B kalem ile birleştirmede öncelikle sıcak kalem ucu ile birleştirme bölgesinde zigzag hareketleri ile malzemelerin birbirine geçmesi sağlanmıştır. Daha sonra PLA malzemesi birleştirme bölgesine akıtılarak birleşme sağlanmıştır. Hem

yapıştırıcı hem de 3B kalem uygulamasında öncelikle yapıştırma işlemi yapılmış daha sonra 3B kalem ile birleştirme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Pim ile bağlantıda ise 1.75 mm çapına sahip PLA filament kullanılmıştır. Pimin çıkmasını önlemek için uç kısımlardan ısı vasıtası ile bombe oluşturulmuştur.



Şekil 1. Numune boyutları. Birimler mm'dir.

Birleştirme aşamalarından sonra numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. 20 kN kapasiteli universal çekme cihazı çenelerine Şekil 3'te gösterildiği gibi numuneler yerleştirilmiştir. Test hızı ASTM D638 standardına göre 18 mm/dak olarak belirlenmiştir [6]. Numuneler hasara uğrayıncaya kadar kuvvet uygulanmış ve numuneler kırılınca test sonlandırılmıştır.



Şekil 2. Farklı yöntemlerle birleştirilen parçalar (A: pimli bağlantı, B: PLA 3B kalem ile kaynak, C: yapıştırıcı, D: referans numune)

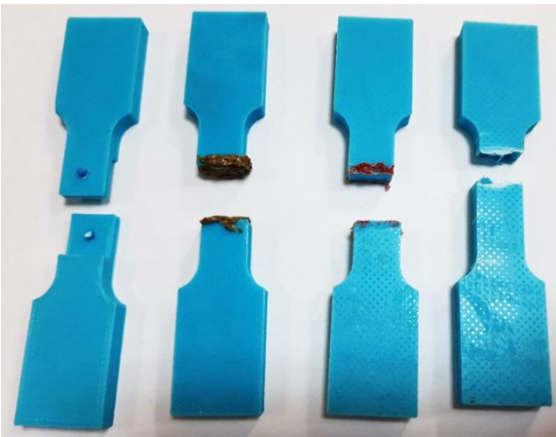


Şekil 3. Çekme testinde numunenin çenelere bağlanmış hali ve test uygulanması

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çekme testi sonunda numuneler Şekil 4'te gösterildiği gibi hasara uğramışlardır. Numunelerin bağlantı bölgelerinin olduğu orta bölgelerinde hasar meydana gelmiştir. Bu sonuç, parçaların en kritik bölgelerinin birleştirme yöntemleri olduğunu göstermektedir.

Çekme testi sonucu elde edilen değerler Çizelge 1'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre maksimum yük 3B kalem yöntemiyle birlikte yapıştırıcı kullanılan numunelerde elde edilmiştir. Maksimum yük ortalama 653 N olarak bulunmuştur. Referans numunede bu değer ortalama 961 N'dur. Sadece yapıştırıcı kullanımında kuvvet değeri 282 N'a kadar düşmektedir. Sadece 3B kalem kullanımında ise 574 N maksimum yük ile yapıştırıcı kullanımından daha yüksek dayanım elde edilmiştir. En düşük maksimum kuvvet ise ortalama 135 N ile pimli bağlantıda bulunmuştur.



Şekil 4. Numunelerin hasara uğramış halleri (sırasıyla; pimli bağlantı, 3B kalem ile kaynak, yapıştırıcı, referans numune)

Deformasyon sonuçlarına göre ise en yüksek uzama ortalama 1.94 mm ile referans numunede elde edilmiştir. En düşük deformasyon ise 0.38

mm ile yapıştırıcı kullanımında oluşmuştur. 3B kalem kullanımı ve yapıştırıcı ile birlikte 3B kalem kullanımında hemen hemen aynı deformasyon değeri bulunmuştur. Sadece yapıştırıcı kullanımında numunenin mukavemeti yapıştırıcıya bağlıdır. Ayrıca sadece yapıştırıcı kullanımında test sonucunda elde edilen verilere göre düşük deformasyonda parça hasara uğramıştır. Yani yapışma bölgelerinden parçalar hızlı bir şekilde ayrılmıştır. Bunun yanında 3B kalem ile kaynak yönteminde, parça mukavemeti kaynağın yapılışına bağlıdır. İyi bir şekilde parçaların birbirine girmesi sağlandığında yüksek mukavemet değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca, PLA malzemesi ile kaynak yapıldığından deformasyon miktarı da kaynak bölgesindeki esnek malzemeye bağlı olarak artmıştır. 3B kalem ile kaynak tekniğine ek olarak yapıştırıcı eklemek uzama miktarı açısından önemli bir değişiklik yapmamıştır. Çünkü, buradaki uzama miktarı sadece yapıştırıcının kullanıldığında elde edilen uzama miktarından çok daha yüksektir. Bu sebepten dolayı 3B kalem ile kaynak ve bu yönteme ek olarak yapıştırıcı eklemek uzama miktarında önemli bir fark oluşturmamıştır.

Numunelerin dayanımı açısından maksimum ortalama gerilmeleri de hesaplanmıştır. Ortalama çekme gerilmesi, etki eden kuvvetin birim alana bölünmesi ile elde edilmiştir. Maksimum dayanım 16 MPa ile referans numunede bulunmuştur. Bu değere en yakın değer ise 10.88 MPa ile yapıştırıcı+3B kalem ile kaynak yönteminde hesaplanmıştır. Kaynak yapılması kesit alanını arttırmış bu nedenle dayanım artmıştır. En düşük dayanım ise pimli bağlantıda çıkmıştır. Pimli bağlantıda, pim kesme gerilmesine zorlandığı için bu yöntemde dayanım direk olarak pim mukavemetine bağlıdır. Bağlantı yöntemlerin rijitliklerini değerlendirmek açısından numunelerin elastiklik modülleri de hesaplanmıştır. Bu bakımdan sadece yapıştırıcı kullanımında maksimum elastik modülü bulunmuştur. Referans numunede elastiklik modülü diğer yöntemlere göre, pim ile bağlantı hariç, daha düşük çıkmıştır.

Sonuçlar arasında anlamlı fark olup olmadığını anlamak için istatistik analizi yapılmıştır. İstatistik analizi için SPSS V.21 (Chicago, USA) programı kullanılmıştır. Kruskal-Wallis testi sonucunda numunelerden elde edilen

deformasyon ve kuvvet değerleri arasında anlamlı bir fark olduğu bulunmuştur ( $p < 0.05$ ).

Literatürde tanımlanmış farklı kaynak türleri mevcuttur. Bunlar; sürtünme karıştırma kaynağı (friction stir welding), sürtünme döndürme kaynağı (friction spin welding), mikrodalga kaynağı ve ultrasonic kaynaktır [9], [11], [12]. Bu çalışmada literatürden farklı olarak son zamanlarda kullanılmaya başlayan 3B yazıcı kalemleri ile kaynak yöntemi de kullanılmıştır. Bu yöntemde yüksek sıcaklıktaki kalem ucu ile birleştirme bölgelerinde zig-zag hareketi yapılmış ve bu sayede malzemelerin birbiri içine girmesi sağlanmıştır. Bunun yanında kalemde akıtılan PLA malzemesi ile de birleştirme bölgesi fazladan birleşme sağlanarak mukavemeti artırılmıştır. Literatürde yer almayan bu yöntem sayesinde diğer birleştirme yöntemlerine göre iyi derecede birleştirme mukavemeti sağlanmıştır. Bu yöntem ile; yapıştırma yöntemine göre yaklaşık %56, pimli bağlantıya göre ise %76 daha mukavemetli bağlantı sağlanmıştır. Ayrıca referans model ile karşılaştırıldığında, tüm

bağlantı tipleri parça mukavemetinde minimum %37 azalmaya yol açmıştır.

3B yazıcı parçalarını birleştirmek için vida-civata-somun bağlantıları sıklıkla kullanılmaktadır [2]. Bu bağlantıların en büyük avantajı farklı malzemeler birbiri ile bağlanabilmektedir ve istenildiği zaman parçalar birbirinden ayrılabilir [10]. Diğer önemli bir avantajı ise yüzeyleri hazırlamak gerekmemektedir. Ayrıca, vida-civata-somun bağlantılarında termal bir gereksinim duyulmaz [13]. Bu bağlantıların en büyük dezavantajı delikler sebebiyle gerilme yığılmalarına yol açmalarıdır [9, 14, 15]. Bu çalışmada farklı parçalar vida yerine pim ile bağlanmıştır. Kullanılan pim bağlantısında metal kullanılmamıştır. Bunun yerine kendi malzemesinden olan filamentten elde edilmiş pim kullanılmıştır. Bu sebepten dolayı pimli bağlantıda düşük mukavemet elde edilmiştir. Bu bağlantı tipinde metal civata-somun bağlantısı kullanımı durumunda daha yüksek dayanım beklenebilir.

**Çizelge 1.** Farklı sabitleme türlerine göre elde edilen sonuçlar

	<b>Maksimum yük (N)</b>	<b>Deformasyon (mm)</b>	<b>Maksimum Gerilme (MPa)</b>	<b>Elastik Modülü (MPa)</b>
<b>Referans Numune</b>	961.16±95	1.94±0.33	16.02±1.2	259.28±63
<b>Yapıştırıcı</b>	282.80±75	0.38±0.15	4.13±0.48	342.48±73
<b>3B kalem ile kaynak</b>	574.25±64	1.00±0.32	9.57±0.43	305.02±45
<b>Yapıştırıcı+3B kalem</b>	653.32±40	1.07±0.41	10.88±2.1	328.70±78
<b>Pim ile bağlantı</b>	135.50±36	1.25±0.48	2.25±0.25	56.95±11

#### 4. SONUÇ

Çalışma kapsamında 3B yazıcı ile elde edilen parçaların farklı birleştirme yöntemleri kullanılarak mukavemet değerlendirmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

- En uygun birleştirme yöntemi karma yöntem olan 3B kalemle kaynak ile birlikte yapıştırıcı kullanılmasıdır. Bu sonuca göre sadece tek bir yöntem değil, farklı yöntemlerin birleştirilmesi ile bağlantı mukavemetinin artacağı görülmüştür.

- Sadece yapıştırıcı kullanımında parça mukavemeti yaklaşık %75 azalmaktadır. Bundan dolayı yapıştırıcı ile parçalar

birleştiriliyorsa yüksek kuvvetler uygulanmaması gerekmektedir.

- Birleştirme yöntemlerinde en zayıf noktalar bağlantı bölgeleridir. Bu sebepten dolayı, 3B yazıcılardan yekpare parça elde edilmesi mukavemet açısından fayda sağlayacaktır.

#### KAYNAKLAR

1. Singh, R. and Singh, S., "Fused deposition modelling based rapid patterns for investment casting applications: a review", Rapid Prototyping Journal, Vol. 22, Issue 1, Pages 123-143, 2016.
2. Tiwary, V.K., P., A. and Malik, V.R., "An overview on joining/welding as post-processing

technique to circumvent the build volume limitation of an FDM-3D printer", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 27, Issue 4, Pages 808-821, 2021.

3. Meraz Trejo, E., Jimenez, X., Billah, K.M.M., Seppala, J., Wicker, R. and Espalin, D., "Compressive deformation analysis of large area pellet-fed material extrusion 3D printed parts in relation to in situ thermal imaging", *Additive Manufacturing*, Vol. 33, Pages 1-9, 2020.

4. Spaggiari, A. and Denti, F., "Mechanical strength of adhesively bonded joints using polymeric additive manufacturing", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, Vol. 235, Issue 10 Pages 1-9, 2019.

5. Nycz, A., Kishore, V., Lindahl, J., Duty, C., Carnal, C. And Kunc, V., "Controlling substrate temperature with infrared heating to improve mechanical properties of largescale printed parts", *Additive Manufacturing*, Vol. 33, Pages 101068, 2020.

6. Dugbenoo, E., Arif, M.F., Wardle, B.L. and Kumar, S., "Enhanced bonding via additive manufacturing-enabled surface tailoring of 3D printed continuous-fiber composites", *Advanced Engineering Materials*, Vol. 20, Issue 12, Pages 1-9, 2018.

7. Leicht, H., Orf, L., Hesselbach, J., Vudugula, H., Kraus, E., Baudrit, B., Hochrein, T. and Bastian, M., "Adhesive bonding of 3D-printed plastic components", *The Journal of Adhesion*, Vol. 96 Issue 1/4, Pages 48-63, 2020.

8. Yap, Y.L., Toh, W., Koneru, R., Lin, R., Chan, K.I., Guang, H., Chan, W.Y.B., Teong, S.S., Zheng, G. and Ng, T.Y., "Evaluation of structural epoxy and cyanoacrylate adhesives on jointed 3D printed polymeric materials", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 100, Pages 102602, 2020.

9. Kah, P., Suoranta, R., Martikainen, J. and Magnus, C., "Techniques for joining dissimilar materials: metals and polymers", *Reviews on Advanced Materials Science*, Vol. 36 Issue 2, Pages 152-164, 2014.

10. Bhudolia, S.K., Gohel, G. Leong, K.F. and Islam, A., "Advances in ultrasonic welding of thermoplastic composites: a review", Vol. 13, Issue 6, Pages 1284, 2020.

11. Malik, V. and Kailas, S.V., "Understanding the effect of tool geometrical aspects on intensity of mixing and void formation in friction stir process",

*Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, Vol. 235, Issue 4, Pages 1-14, 2020.

12. Lambiase, F., Paoletti, A., Grossi, V. and Di Ilio, A., "Analysis of loads, temperatures and welds morphology in FSW of polycarbonate", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 266, Pages 639-650, 2019.

13. Inaniwa, S., Kurabe, Y., Miyashita, Y. and Hori, H., "Application of friction stir welding for several plastic materials" *Proceedings of the 1st International Joint Symposium on Joining and Welding*, Woodhead Publishing Limited, Vol. 2, 2013.

14. Garcia, R. and Prabhakar, P., "Bond interface design for single lap joints using polymeric additive manufacturing", *Composite Structures*, Vol. 176, Pages 547-555, 2017.

15. Huang, Y., Meng, X., Wang, Y., Xie, Y. and Zhou, L., "Joining of aluminum alloy and polymer via friction stir lap welding", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 257, Pages 148-154, 2018.