



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>

## KATMANLI İMALATLA ÜRETİLEN PARÇALARIN BİRLEŞTİRİLMESİNDE YAPIŞTIRMA BAĞLANTI DAYANIMININ İNCELENMESİ

### EVALUATION OF JOINT STRENGTH IN THE ADHESIVE BONDING OF PARTS PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING

**Yazarlar (Authors):** Nergizhan Anaç<sup>ID\*</sup>, Oğuz Koçar<sup>ID</sup>, Baki Hazer<sup>ID</sup>




**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Anaç N., Koçar O., Hazer B., "Katmanlı İmalatla Üretilen Parçaların Birleştirilmesinde Yapıştırma Bağlantı Dayanımının İncelenmesi" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 6(3): 449-458, (2022).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1170450

Araştırma Makale/ Research Article

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

# KATMANLI İMALATLA ÜRETİLEN PARÇALARIN BİRLEŞTİRİLMESİNDE YAPIŞTIRMA BAĞLANTI DAYANIMININ İNCELENMESİ

Nergizhan Anaç<sup>a</sup> , Oğuz Koçar<sup>a</sup> , Baki Hazer<sup>b</sup> 

<sup>a</sup>Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Türkiye

<sup>b</sup>Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Uçak Gövde ve Motor Bakımı, Kapadokya Üniversitesi, Türkiye

\*Sorumlu Yazar: [nergizhan.kavak@beun.edu.tr](mailto:nergizhan.kavak@beun.edu.tr)

(Received: 03.09.2022; Revised: 09.10.2022; Accepted: 10.12.2022)

## ÖZ

Son yıllarda üç boyutlu (3B) yazıcı teknolojileri, bu teknolojilerde kullanılan baskı materyalleri ve yazılımları giderek yaygınlaşmaya başlamıştır. Üretilen parçaların boyutlarındaki sınırlılık sebebiyle 3B yazıcı ile üretilen parçaların birleştirilmesi konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, diğer birleştirme yöntemlerinden daha ekonomik ve pratik olmasından dolayı yapıştırma tekniği öne çıkmaktadır. Fakat 3B yazıcı ile üretilen parçaların düşük yüzey enerjilerine sahip olmalarından dolayı ekstra yüzey işlemleri yapılmadan birleştirilmeleri zordur. Yapıştırma işleminin etkili olabilmesi için yapıştırıcı tipi, yüzeyin hazırlanması, yapıştırma kalınlığı ve yapıştırma işlemi boyunca uygulanan basıncın optimizasyonu gereklidir. Bu çalışmada 3B yazıcı ile Polilaktik Asit (PLA Plus) filament ile üretilen farklı doluluk oranlarındaki parçalar (%20 ve %100) JB Kwick Weld yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiştir. Yapıştırma bağlantılarında sıkıştırma için yaygın olarak kullanılan metal klips uygulaması ve tasarım/imalatı yapılan bir kalıp kullanılmıştır. Yapıştırma yüzeyinin hazırlanmasında mekanik aşındırma yöntemi (240 SiC ve 600 SiC zımparalama) tercih edilmiştir. Yapıştırma işlemi sonrasında bağlantı mekanik özellikleri çekme testi ile belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda doluluk oranının artmasıyla, parçanın mukavemet değerinde artış olduğu görülmüştür. Yüzey hazırlık işlemlerinin ve baskı/basınç tipi seçiminin bağlantı mukavemetini doğrudan etkilediği görülmüştür. En yüksek bağlantı dayanımı, %100 doluluk oranında da 240 SiC zımpara yüzey hazırlığı ve metal klips uygulaması kullanıldığında elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Katmanlı İmalat, Ergiyik Biriktirme Yöntemi (EBY), Yapıştırma, Tekli Bindirme Bağlantısı, PLA Plus.

## EVALUATION OF JOINT STRENGTH IN THE ADHESIVE BONDING OF PARTS PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING

### ABSTRACT

In recent years, 3D printer technologies, printing materials and software used in these technologies have become increasingly widespread. Due to the limitations in the dimensions of the produced parts, studies are being carried out to joining the parts produced with a 3D printer. In these studies, the adhesive bonding technique stands out because it is more economical and practical than other joining methods. However, since the parts produced with the printer have low surface energies, it is difficult to joining them without extra surface treatment. For the bonding process to be effective, it is necessary to optimize the adhesive type, surface preparation, bonding thickness and pressure applied throughout the bonding process. In this study, parts with different infill rate (20% and 100%) produced from PLA Plus filament with a 3D printer were joined using JB Kwick Weld adhesive. A widely used metal clip application and a design/manufactured mold were used for clamping in the adhesive joints. Mechanical abrasion method (240 SiC and 600 SiC paper sanding) was preferred in the preparation of the bonding surface. After the

bonding process, the mechanical properties of the joint were determined by the tensile test. As a result of the experimental studies, it was observed that the strength value of the part increased with the increase in the infill rate. It has been observed that the surface preparation processes and the choice of press/pressure type directly affect the bonding strength. The highest mechanical strength was obtained when 240 SiC sandpaper surface preparation and metal clip application were used at %100 infill ratios.

**Keywords:** Additive Manufacturing, Fused Deposition Modeling (FDM), Adhesive Bonding, Single Lap Joint, PLA Plus.

## 1.GİRİŞ

İmalat yöntemleriyle üretilen malzemelerin birleştirilmesi için kullanılan teknikler mekanik birleştirme, kaynak, lehim ve yapıştırma. Geleneksel yöntemlerden ayrılan katmanlı imalat yenilikçi bir teknolojidir, bu teknolojiye gelişmeye açık yönler bulunmaktadır [1]. Bu yönlerden biri olan 3B yazıcı kullanılarak katmanlı imalat yöntemiyle üretilen parçaların birleştirilmesi konusunda, yapıştırma işlemi diğer birleştirme yöntemlerine kıyasla daha uygundur. Buna rağmen plastik malzemelerin yapıştırılması malzemenin yüzey enerjisinin düşük olması sebebiyle kolay değildir. Plastik malzemelerin yapıştırılmasında yüzey ön hazırlığının yapılması ve uygun yapıştırıcı malzemenin seçilmesi önemlidir [2].

Katmanlı imalatta ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren), PLA (Polilaktik Asit), PETG (Polietilen Tereftalat Glikol), PC (Polikarbonat), karbon fiber ve kompozit gibi polimer esaslı malzemeler kullanılır. Yaygın olarak kullanılan termoplastiklerden biri olan PLA, kolay işlenebilirliğe sahip, biyolojik bazlı ve biyolojik olarak parçalanabilen bir polimerdir [3]. Belirli koşullar altında PLA altı ay içinde biyolojik bozulma belirtileri göstermektedir. Parçaların yapıştırma tekniği ile birleştirilmesi, katmanlı imalat (eriyik biriktirme yöntemi) tekniğinde üretilen parça boyutlarındaki sınırlamayı ortadan kaldırmak için bir çözümdür [4]. Literatürde incelendiğinde katmanlı imalat yönteminde kullanılan malzemelerin yapıştırılması üzerine çeşitli çalışmalar olduğu görülmüştür. Bu çalışmalarda hem katmanlı imalat üretiminde kullanılan baskı parametrelerinin [5-7] hem de yapıştırma işlemindeki yapıştırma parametrelerinin değişimi (malzeme, yüzey hazırlıkları, yapıştırma kalınlıkları, basınç tipi) [8-10] söz konusudur. Kısaca, uygulama; birçok işlem parametresinin kombinasyonunu içerdiğinden

katmanlı imalat ürünlerinin yapıştırma ile birleştirilmesi etkilenmektedir.

Khosravani vd. yapmış oldukları çalışmalarında [11], 3B baskı parametrelerinin ve yapıştırıcı kalınlığının yapıştırıcı ile birleştirilmiş PLA bağlantılarının performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Numuneler, baskı parametrelerinin bağlantıların mekanik davranışı üzerindeki etkisini belirlemek için farklı baskı koşulları (tarama yönü, tarama genişliği, katman kalınlığı) altında üretilmiş ve yapıştırıcı kalınlığının 3B baskılı bağlantıların yapısal bütünlüğü üzerindeki etkisini araştırmak için üç farklı yapıştırıcı kalınlığında (0,2 mm, 0,3 mm ve 0,4 mm) kullanılmıştır. Atakan ve Apalak [12] PLA için yapıştırma tekniğinin uygulanabilirliğini ve yüklenme hızının 3B baskılı PLA yapıştırıcı tek bindirmeli bağlantıların çekme, üç nokta eğilme altında mukavemeti üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Franziska Bürenhaus vd. [13], yapıştırma mukavemetine katmanlı imalatla üretilen parçaların yüzey durumlarının, yapıştırıcı tipinin ve yapışma alanının tasarımının etkisini incelemişlerdir. Deneyler altı farklı yapıştırma bölgesi tasarımı (parmak, eğik bağlantı, alın, dil oluk, t-soyulma ve bindirme bağlantısı), farklı yapıştırıcılar (akrilat reçine, poliüretan yapıştırıcı ve çeşitli epoksi reçineler) ve yüzey hazırlamada mekanik pürüzlendirme ile plazma teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada tüm yapıştırma bağlantılarında kullanılan yapıştırıcıların hepsinin etken maddelerine göre farklı bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Bu yapıştırıcılar içinde özellikle iki bileşenli epoksi reçinenin herhangi bir ön işlem gerektirmeden ve yüzey tasarımına ihtiyaç duymadan etkili bir yapıştırma yaptığını tespit etmişlerdir. Ayrıca mekanik pürüzlendirme ve plazma tekniklerinin her ikisinin de bağlantı mukavemetini olumlu etkilediği belirlenmiştir. Frascioa vd. [14], iki farklı PLA filament ve Teroson PU9225

yapıştırıcı kullanarak üç farklı birleştirme tekniği (kaynak, yapıştırma ve kaynaklı yapıştırma) kullanarak bağlantı performanslarını karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak hibrit kaynaklı yapıştırma işleminde, yüzeyin özel işlemlerle hazırlanması sayesinde birleştirme performansının iyileştiği vurgulanmıştır. Ayrıca düşük yüzey enerjisinin termoplastik malzemelerde bağlantı performansını doğrudan etkilediği ve hibrit birleştirme yönteminin performansını etkilediğini belirtilmiştir. Diğer bir çalışmada [15], katmanlı imalat yöntemi ile üretilen farklı renklere sahip PLA malzemelerin çekme dayanımları ve ara yüzey yapışma performansları incelenmiştir. Sonuç olarak, yatay yapıştırma performansının dikey yapıştırma performansına göre üstün olduğu tespit edilmiştir.

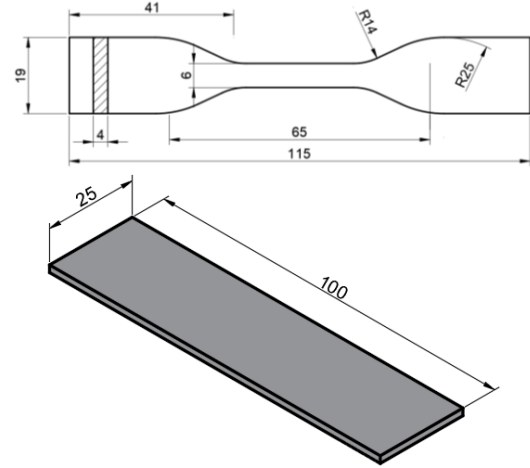
Bu çalışmanın amacı, katmanlı imalat yöntemiyle üretilmiş PLA Plus malzemenin yapıştırıcı ile birleştirmesinde, parça doluluk oranının, parça yüzey hazırlığının ve uygulama baskı/basınç tipindeki değişimin bağlantı dayanımına etkilerini incelemektir. Katmanlı imalat baskı parametrelerinden iki farklı parça doluluk oranı (20% ve 100%) ve yapıştırma parametrelerinden iki farklı mekanik yüzey hazırlığı (240 SiC ve 600 SiC) ile 2 farklı basınç tipi (kalıp ve metal klips) kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, katmanlı imalatla üretilen parçaların yapıştırıcıyla birleştirilmesinde işlem parametrelerinin etkisinin (yüzey hazırlığı, basınç tipi) anlaşılmasında ve işlem için uygun şartların belirlenmesinde literatüre katkıda bulunmaktadır.

## 2.MATERYAL - METOT

### 2.1.Numunelerin Hazırlanması

Yapılan çalışmada, 1,75 mm çapında ESUN marka PLA Plus filament (Çizelge 1) kullanılmıştır. PLA Plus, PLA filamentinin güçlendirilmiş halidir. PLA plusda PLA'nın nem emilimi ve kırılma gibi zayıf yönleri iyileştirilmiştir. Ayrıca tokluk ve katmanların birbirine yapışma özelliği PLA'dan daha iyidir. Numunelerin üretilmesinde katmanlı imalat tekniği ile çalışan Anycubic marka yazıcı kullanılmıştır. Parçaların baskı parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir. Numunelerin hazırlanması için gerekli çizimler "Solidworks" programında hazırlanarak "stl" formatına çevrilmiştir. Sonra "Cura" programına

aktararak işlem parametreleri girilmiştir. İlk önce PLA Plus malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için %20 ve %100 doluluk oranlarında ASTM D608-10 [16] standartlarına uygun ölçülerde numuneler (Şekil 1.a), sonra yapıştırma bağlantıları için 25x100x1,5 mm plakalar (Şekil 1.b) üretilmiştir.



Şekil 1. a) Çekme test numunesi, b) Yapıştırılan parçaların boyutları (mm).

Çizelge 1. PLA Plus malzemesinin teknik özellikleri [17].

Mekanik Özellikler	PLA Plus
Filament Çapı (mm)	1,75
Renk	Siyah
Çekme Dayanımı (MPa)	63
Kopma Uzaması (%)	20
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1,23

### 2.2.Yapıştırma Parametreleri

Şekil 2'de tekli bindirme bağlantısının görünüşü verilmiştir [18, 19]. Katmanlı imalat yöntemiyle üretilen parçaların yapıştırma performansını incelemek için parçaların iki çeşit doluluk oranı (20% ve 100%), farklı yüzey hazırlıkları (240 SiC ve 600 SiC) ve farklı sıkıştırma teknikleri (kalıp ve klips) kullanılarak yapıştırma gerçekleştirilmiştir. Belirlenen parametrelere göre deney tasarımı Çizelge 4'de verilmiştir. 3B yazıcıdan elde edilen plakalardan yapıştırma bağlantıları oluşturabilmek için ilk olarak yüzey hazırlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapıştırıcının temas edeceği yüzeylerin pürüzlendirilmesi için mekanik aşındırma yöntemi 240 SiC ve 600 SiC zımparalar kullanılmıştır. Zımparalama işlemi sırasıyla yapıştırma bölgesinde parça eksenine

dik ve yatay olarak gerçekleştirilmiştir. Zımparalama işlemi yapıştırma yüzeyinin hepsini kapsayacak şekilde yapılmıştır. Zımparalama sonrası parça yüzeyleri basınçlı hava ile temizlenmiştir. Zımparalama işlemi sonrasında Mahr Marsurf PS 10 taşınabilir yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı kullanılarak 5 tekrarlı ölçüm yapılarak aritmetik ortalamaları alınmıştır. Yapılan ölçümler sonucu TS EN ISO 21920-2 standardına uygun olarak [20] Ra değerleri hesaplanmıştır.

Yapıştırılan numuneler bindirme bölgesinde, iki farklı sıkıştırma tipi ile basınç uygulamasına maruz bırakılmıştır. Aynı ortam şartlarında, yapıştırıcı üreticisinin tavsiyesine uygun şekilde kürtleme işleme gerçekleştirilmiştir. Yapıştırıcı kürlendikten sonra (24 saat) basınç ortadan kaldırılmış ve bağlantı bindirme bölgesi üzerinden yapıştırıcı kalınlıkları kumpasla ölçülmüştür. Birleştirmelerde JB Kwick Weld marka iki bileşenli epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır. Kullanılan yapıştırıcının özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Yapıştırma bağlantılarında yapıştırma kalınlığını ayarlamak için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Yapıştırıcı kalınlığının kontrolü için yaygın olarak kullanılan yöntemler yapıştırıcı içerisine mikro cam boncuklar eklemek, tel kullanımı, şerit/bant veya basınç uygulamasıdır [22-25].

Çizelge 2. Malzemenin baskı parametreleri.

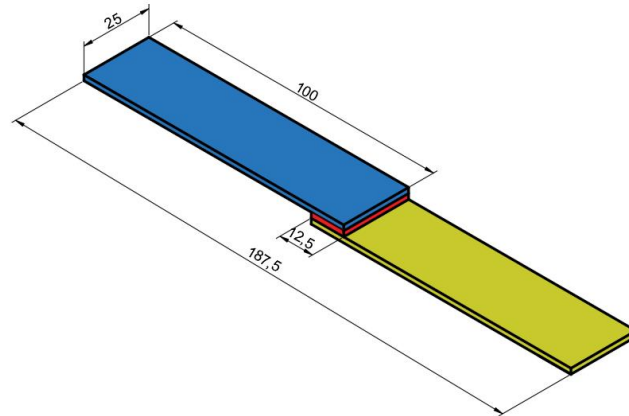
<b>Doluluk Oranı (%)</b>	20	100
<b>Katman Kalınlığı (mm)</b>		0,2
<b>Nozül Sıcaklığı (°C)</b>		210
<b>Tabla Sıcaklığı (°C)</b>		55
<b>Basma Hızı (mm/dk)</b>		50

Çizelge 3. JB Kwick Weld marka yapıştırıcının özellikleri [21].

<b>Sabitlenme zamanı (dakika)</b>	6
<b>Kürleme zamanı (saat) 22 (°C)</b>	4-6
<b>Çekme mukavemeti (MPa)</b>	14,5
<b>Sıcaklık direnci (°C)</b>	150
<b>Karışım oranı</b>	1:1

Çizelge 4. Yapıştırma deney tasarımı.

No	Malzeme	Yapıştırıcı	Doluluk oranı (%)	Yüzey hazırlama	Sıkıştırma Tipi
1	PLA Plus	JB Kwick Weld	20	240 SiC	Kalıp
2				240 SiC	Klips
3				600 SiC	Kalıp
4				600 SiC	Klips
5			100	240 SiC	Kalıp
6				240 SiC	Klips
7				600 SiC	Kalıp
8				600 SiC	Klips



Şekil 2. Tekli bindirme bağlantı görünümü (ölçüler mm’dir).

Yapılan çalışmada yapıştırma kalınlığının kontrolü için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Kalıpta sıkıştırma basıncının uygulandığı deney numunelerinde yapıştırıcının homojen

dağılımını sağlamak ve yapıştırma kalınlıklarını sabit tutmak için eşit kütlelere sahip beş ağırlık (800 gr), cıvata ve yay yardımıyla tek eksen üzerinde boşluklu geçme metodu kullanılarak

çelik iskelet üzerine yan yana olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.a). Aparat beş adet bağlantı numunesi için özel olarak tasarlanmıştır. Her bir bölmeye bir yapıştırma bağlantı numunesi yerleştirilmiştir. Tekli bindirmeli bağlantılarının her biri için yapıştırma bindirme bölgesi üzerinde gelecek şekilde 800 gramlık bir ağırlık uygulaması gerçekleştirilmiştir. İkinci yöntem olarak, metal klipsler kullanılarak bağlantı üstüne basınç uygulanmıştır (Şekil 3.b). Bu, yapıştırma bağlantılarında basınç ayarlamak için yaygın olarak kullanılan bir uygulamadır [26].

### 2.3. Çekme Testi

Yazıcıda üretilen numunelerin çekme testleri Kapadokya Üniversitesi'nde, 5 KN kapasiteli WDW-5 model universal çekme cihazında (Şekil 4), çekme hızı 1 mm/dk ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Tüm çekme testleri beş tekrarlı olarak yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Katmanlı imalatta doluluk oranı arttıkça, malzemenin mukavemetinin arttığı bilinmektedir [8]. Ölçülen test verileri bunu desteklemektedir. Bu bilgiyle aynı doğrultuda %100 doluluk oranına sahip malzemenin ortalama çekme dayanımı (30,73 MPa), %20

doluluk oranı olan malzemenin ortalama çekme dayanımına (18,23 MPa) kıyasla daha yüksek bulunmuştur.

Yüzde 100 doluluk oranına sahip 240 SiC zımparalama ile kalıp kullanılarak yapılan (kalıpta sıkıştırılan) bağlantı numunelerinin ortalama kayma gerilmesi, metal klips kullanılarak yapılan bağlantılara kıyasla daha düşük çıkarken; aynı doluluk oranında 600 SiC zımparalama yapılan bağlantı numuneleri için bu durum tam tersi sonuç vermiştir (Şekil 5).

240 SiC ve 600 SiC zımparalama deney parametrelerine göre yüzey hazırlığı yapılan farklı doluluk oranlarına sahip fakat aynı sıkıştırma yönteminin kullanıldığı (kalıp-kalıp, metal klips-metal klips) bağlantıların ortalama kayma gerilmesi değerlerinin birbirine yakın bulunduğu görülmektedir (Şekil 5 ve Şekil 6).

%20 doluluk oranına sahip 240 SiC zımparalama ile kalıp kullanılarak yapılan bağlantı numunelerinin kayma gerilmesi, metal klips kullanılarak yapılan bağlantılara kıyasla daha düşük çıkarken; aynı doluluk oranında 600 SiC zımparalama yapılan bağlantı numuneleri için yüksek değer vermiştir (Şekil 5 ve Şekil 6).



a)



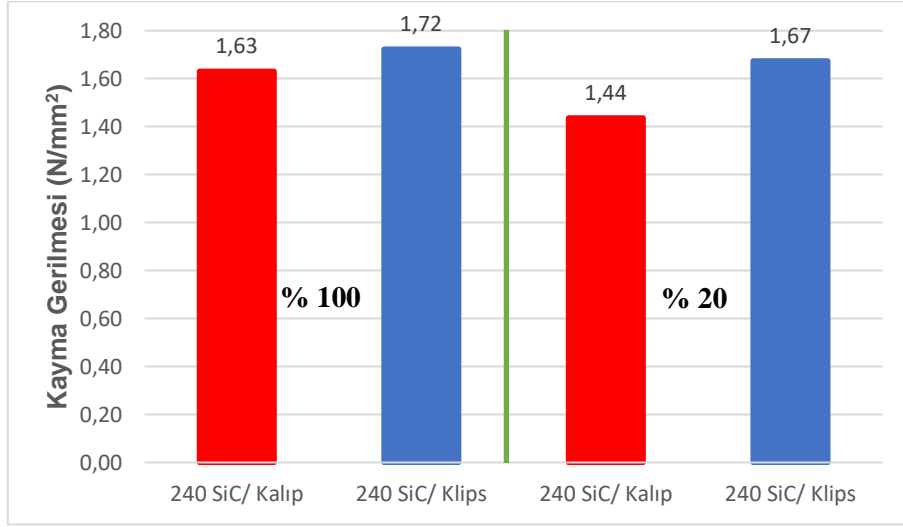
b)

Şekil 3. a) Kalıpta bağlantı b) Metal klipsli bağlantı.

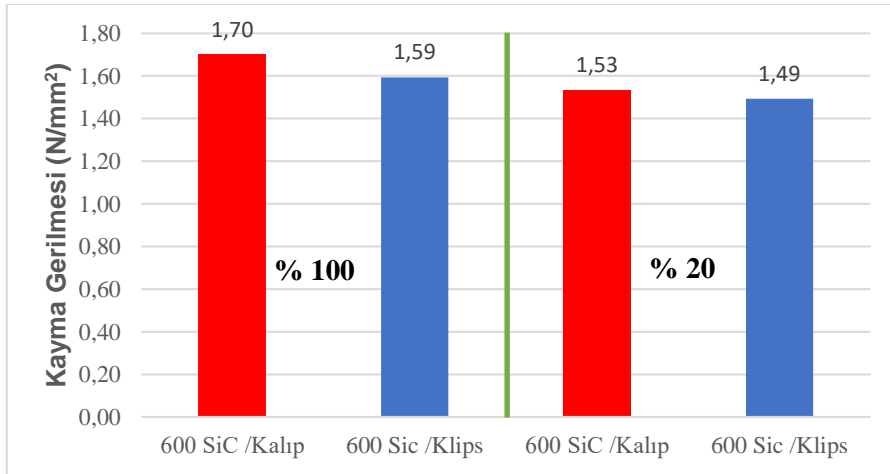




Şekil 4. Çekme est Cihazı.



Şekil 5. 240 SiC yüzey hazırlığı için kayma gerilmesi sonuçları.



Şekil 6. 600 SiC yüzey hazırlığı için kayma gerilmesi sonuçları.

240 SiC yüzey hazırlama sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük ölçüm değeri  $R_a=0,77 \mu\text{m}$ , 600 SiC yüzey hazırlama sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük ölçüm değeri ise  $R_a=0,29 \mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Yasmina vd. [27] yapmış oldukları çalışmada yapıştırıcının, yüzey pürüzlendirmesi sonrasında oluşan girinti ve çıkıntılara yeteri kadar ulaşmamasının ve yapıştırıcı içerisinde kalan hava boşluklarından kaynaklı nüfuziyet eksikliklerinin bağlantı mukavemetini düşüreceğini belirtmiştir. Bakkal ve arkadaşları [28] ise belli bir pürüzlülük değerine kadar bağlantı mukavemetinin artacağını fakat bir eşik noktası aşıldıktan sonra mukavemetin düşeceğini ifade etmişlerdir. Bu görüşlerle aynı doğrultuda, yapılan çalışmada ortaya çıkan sonuçların ışığında 240 SiC ile zımparalama sonunda elde edilen yüzeydeki pürüzlülüğün, yapıştırıcının mekanik kilitlenmesini sağlamada daha iyi olduğu söylenebilir.

Şekil 7'de bağlantı kopma yüzeylerinden örnek görünüm gösterilmiştir. Şekil 7.a'da %20 doluluk oranına sahip, 240 SiC ile zımparalanmış ve kalıp ile sıkıştırılmış numunelerin en düşük kayma gerilmesine sahip olan bir örnek verilmiştir. Burada kopma yüzeylerinde kalan yapıştırıcı kalıntıları görülmektedir. Yapışma bölgelerinde yüzey ile yapıştırıcı arasında istenilen nüfuziyet oluşmamıştır. Bu durumun yüzey hazırlamadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 7.b'de numunede ise her iki yüzeyde yapıştırıcı kalıntısı bulunmaktadır. Kopma, yapıştırıcı içerisinden gerçekleşmiştir. Yapıştırıcı ile birleştirilen parçaların çekme testi sonrasında üç tip hasar ile karşılaşmaktadır. Bu hasar tipleri yapışma (arayüz) hatası, kohezyon (yapıştırıcı) hatası ve ana malzemede oluşan hasardır [29-31]. Yapıştırılan malzemelerde yapıştırma mekanizması tam olarak açıklanamamakla birlikte, yapıştırıcılar ve yapıştırma prosedürlerine ilişkin uygulamaların bilinmesi işlem performansını artırmak için gerekmektedir [10].

Kalıpla yapılan yapıştırma bağlantılarında yapıştırma kalınlığı yaklaşık 0,2 mm, klipsle yapılan yapıştırma kalınlığı yaklaşık 0,1 mm olarak ölçülmüştür.

En yüksek ortalama kayma gerilmesi % 100 doluluk oranına sahip 240 SiC zımparalama ve

klips için 1,72 MPa iken, %20 doluluk oranı 240 SiC zımparalama ve klips için en yüksek kayma gerilmesi değeri 1,67 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 5 ve Şekil 6).

Şekil 5 ve Şekil 6 birlikte incelendiğinde, 240 SiC yüzey hazırlama sonrası bağlantıların klipsle sıkıştırılması mukavemeti arttırırken, 600 SiC yüzey hazırlama için de bağlantılarda kalıp kullanılması mukavemeti arttırmıştır. Baskı/basınç tipi deney parametresinin bağlantı mukavemetini etkilediği aşikardır.

%100 ve %20 doluluk oranlı parçalarda yapıştırma bağlantısı oluşturmak için 240 SiC zımpara ile yüzey hazırlaması yapılacaksa basınç tipi metal klips tercih edilirken, 600 SiC zımparalama yapılacaksa basınç tipi seçimi kalıp olmalıdır. Yapıştırıcı bağlantılarında basıncı ayarlamak için kullanılan metal klipsler, uygulaması ve temin edilmesi kolay aparatlardır. Bununla birlikte, tasarlanan ve imal edilen kalıp ise bu çalışmaya özel kullanılmıştır. Yazarlar tüm bu veriler ışığında %100 ve %20 doluluk oranlarında malzeme için, 240 SiC zımpara ile yüzey hazırlığını ve metal klips kullanımını bağlantı mukavemetini olumlu yönde etkilemesi sebebiyle tavsiye etmektedirler.

#### 4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, PLA Plus filament malzeme ve katmanlı imalat yöntemiyle üretilen parçaların doluluk oranlarının (%20 ve %100), yüzey hazırlama işlemlerinin (240 SiC ve 600 SiC) ve farklı basınç tekniklerinin (klips ve kalıp) bağlantı mukavemetine etkileri araştırılmıştır. Deneyler sonucunda parçaların doluluk oranlarına bağlı mukavemet değerleri ve yapıştırma bağlantı dayanımları (kayma gerilmesi) değerlerine göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Literatürde de belirtildiği gibi parça doluluk oranının artmasıyla mukavemet değeri artmaktadır.
- Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 240 SiC ile zımparalama da  $0,77 \mu\text{m}$ , 600 SiC ile zımparalama da ise  $0,29 \mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir.
- %100 ve %20 doluluk oranlarında 240 SiC yüzey hazırlamada metal klips ile yapılan bağlantılar daha mukavemetli çıkarken, 600 SiC yüzey hazırlamada ise kalıp ile yapılan



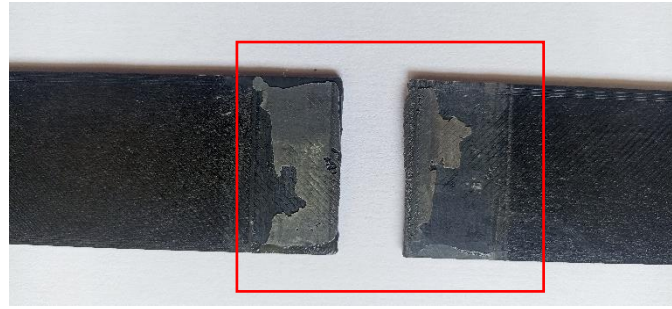
bağlantılarda kayma gerilmesi daha yüksek çıkmıştır.

- %100 ve %20 doluluk oranında en yüksek bağlantı mukavemeti (sırasıyla 1,72 MPa ve 1,67 MPa) 240 SiC yüzey hazırlığı ve klips kullanıldığında elde edilmiştir. Bu durum 240 SiC ile yapılan pürüzlendirme işleminde yeterli girinti ve çıkıntılara ulaşıldığı ve 600 SiC'e göre yapıştırıcının PLA Plus ile daha iyi bir bağlanma gerçekleştirdiğini göstermektedir.

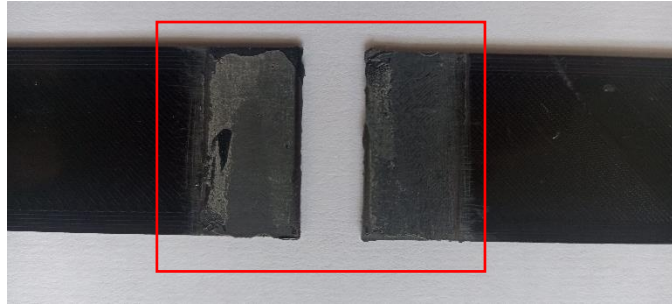
Sonuçlar değerlendirildiğinde yapıştırma bağlantılarında basınç tipinin önemli olduğu

görülmüştür. Ayrıca farklı yüzey hazırlıklarına uygun basınç tipi seçilmesinin bağlantı mukavemetini etkilediği belirlenmiştir.

Sonraki çalışmalarda 3d yazıcıda üretilen parçalar herhangi bir yüzey işlemi uygulanmadan (basıldığı gibi) yapıştırılarak çekme testleri sonucunda bağlantı dayanımları incelenebilir. Diğer bir öneri olarak farklı filament malzemeleri kullanılarak bu çalışma benzer şartlarda tekrarlanabilir.



a) %20 Doluluk Oranı- 240SiC-Kalıp, En düşük kayma gerilmesi



b) %100 Doluluk Oranı- 240SiC-Klips, En yüksek kayma gerilmesi

Şekil 7. Yapıştırma bağlantılarının kopma yüzeyinden örnek görüntüler

## KAYNAKLAR

1. Üretim Geleceğinde Gelişen Teknolojiler Katmanlı İmalat Teknolojileri, <https://www.ttg.org.tr/tur/images/publications/609a329348a78.pdf>, Haziran 06, 2021.

2. Şekercioğlu, T., and Kaner, S., "Plastiklerin Yapıştırılmasında Yüzey Hazırlama Yöntemlerinin İncelenmesi", Mühendis ve Makine, Cilt 55, Sayı 648, Sayfa 37-43, 2014.

3. Tábi, T., Sajo, I. E., Szabó, F., Luyt, A. S., Kovács, J. G., "Crystalline structure of annealed polylactic acid and its relation to processing", Express Polymer Letters, Vol. 4, Issue 10, Pages 659-668, 2010.

4. Özenç, M., Tezel, T., and Kovan, V., "Investigation into impact properties of adhesively bonded 3D printed polymers", International Journal of Adhesion and Adhesives, Vol. 118, Pages 103222, 2022.

5. Bilgin, M., "Abs Esaslı Numunelerin 3d Yazıcı İle Üretmesinde İşlem Parametrelerinin Optimizasyonu", Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, Sayfa 236-249, 2022.

6. Bekar, K., Çiftçi, U., and Özkan, A. Özkan, "Çok boyutlu yazıcılardan baskısı farklı parametrelerle alınan numunelerin malzeme seçiminin deneysel analizi". Gümüşhane

Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 11, Sayı 3, Sayfa 663-674, 2021.

7. Evlen, H., Güşçin, E., and Yılmaz, E., "3 Boyutlu Yazıcı Tasarımı Ve Yazdırma Doluluk Oranının Mekanik Özellikler Üzerine Etkisinin İncelenmesi", Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi, Cilt 2, Sayı 1, Sayfa 23-31, 2018.

8. Polat, N., Nergizhan, A., and Faruk, M., "Eklemeli İmalat İle Üretilen Pla Parçaların Yapıştırılmasında Yapıştırma Parametrelerinin Mekanik Dayanımına Etkisinin İncelenmesi", Politeknik Dergisi, 2021.

9. Aydın, M.D., Ş. Temiz, And A. Özel, "Yapıştırma Bağlantılarının Dayanımı Üzerine Kürleşme Basıncının Etkisi", 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, Sayfa 470, İstanbul, 2007.

10. Gürsel, A., and Yıldız, S., "Yapıştırıcı Birleştirmelerde Bağlantı Mukavemetini Etkileyen Faktörler: Yüzey Morfolojisi ve Yüzey Enerjisi", Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt 9, Sayı 2, Sayfa 987-996, 2021.

11. Khosravani, M. R., Soltani, P., Weinberg, K., Reinicke, T., "Structural integrity of adhesively bonded 3D-printed joints", Polymer Testing, Vol. 100, Pages 107262, 2021.

12. Atahan, M.G., and Apalak, M.K., "Loading-rate effect on tensile and bending strength of 3D-printed polylactic acid adhesively bonded joints", Journal of Adhesion Science and Technology, Vol. 36, Issue 3, Pages 317-344, 2022.

13. Bürenhaus, F., Moritzer, E., and Hirsch, A., "Adhesive bonding of FDM-manufactured parts made of ULTEM 9085 considering surface treatment, surface structure, and joint design", Welding in the World, Vol. 63, Issue 6, Pages 1819-1832, 2019.

14. Frascio, M., Marques, E., Carbas, R., Reis, M., Monti, Avalle, M., Silva L.F.M., "Feasibility study on hybrid weld-bonded joints using additive manufacturing and conductive thermoplastic filament", Journal of Advanced Joining Processes, Vol. 3, Pages 100046, 2021.

15. Andó, M., Biroş, M., and Jeganmohan, S., "Surface bonding of additive manufactured parts from multi-colored PLA materials", Measurement, Vol. 169, Pages 108583, 2021.

16. Ekrem, M., "Hekzagonal Bor Nitrür Nanoplate-Nano Ag/Epoksi Kompozitler: Üretimi,

Mekanik ve Termal Özellikleri", El-Cezeri, Cilt 6, Sayı 3, Sayfa 585-593, 2019.

17. Esun PLA+ Properties. 2022, <https://www.esun3d.com/pla-pro-product/>, 08, Temmuz, 2022.

18. Özkan, Ö., and Halil, Ö., "Hibrit Yapıştırma-Düzeninin Bindirme Bağlantı Mukavemetine Etkileri", Mühendis ve Makina, Cilt 57, Sayı 679, Sayfa 63-72, 2016.

19. Kavak, N., "The Application of The Mixed-Adhesive Technique with Metal Powder Filled Adhesive Karışık Yapıştırma Tekniğinde Metal Toz Katkılı Yapıştırıcı Uygulaması", 7 th International Advanced Technologies Symposium, Sayfa 431, İstanbul, 2013.

20. Kurşun, K., Güven, F., and Ersoy, H., "Utilizing Piezo Acoustic Sensors for the Identification of Surface Roughness and Textures" Sensors, Vol. 22, Issue 12, Pages 4381, 2022.

21. Weld, J.-B. Kwikweld™ Twin Tube, <https://www.jbweld.com/product/kwikweld-twin-tube>, 26 08 2022.

22. Bardis, J.D., "Effects of surface preparation on the long-term durability of adhesively bonded composite joints", PhD Thesis, University of California, Santa Barbara, 2002.

23. Da Silva, L.F., Dillard, D., Blackman, B.R.K., Adams, R.D., "Testing adhesive joints: best practices", John Wiley & Sons, 2012.

24. Garcia, R., and Prabhakar, P., "Bond interface design for single lap joints using polymeric additive manufacturing", Composite Structures, Vol. 176, Issue 15, Pages 547-555, 2017.

25. Fan, Y., Liu, Z., Zhao, G., Liu, J., Liu, Y., Shangguan, L., "Influence of Hydrothermal Aging under Two Typical Adhesives on the Failure of BFRP Single Lap Joint", Polymers, Vol. 14, Issue 9, Pages 1721, 2022.

26. Sarı, M., "Havacılık ve Uzay Sanayiinde Kullanılan Al2024-t3 Malzemeleri İçin Sio2 Nanopartikül İlaveli Yapıştırıcıların Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan University, Konya, . 2017.

27. Boutar, Y., Naïmi, S., Mezlini, S., Silva, L.F.M., Hamdaoui, M., Ali, M.B.S., "Effect of adhesive thickness and surface roughness on the shear strength of aluminium one-component polyurethane adhesive single-lap joints for automotive applications", Journal of Adhesion

science and Technology, Vol. 30, Issue 17, Pages 1913-1929, 2016.

28. Bakkal, M., Osmanođlu. H., and Bodur, M.S., "Metal/kompozit hibrit bağlantılarda yzey işlemlerinin ara yzey dayanımına etkisi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,. Cilt 37, Sayı 2, Pages 1033-1046, 2022.

29. Türkiye İstatistik Kurumu,. "Yapıştırıcılar-Başlıca kusurların gösterilmesi 10365", <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standart>, Aralık 04, 2001.

30. Hart-Smith, L., "Effects of flaws and porosity on strength of adhesive-bonded joints. in *Proc. 29th SAMPE Annual Symposium and Technical Conf.* 1984.

31. Gursel, A., Mohamad, A., and Mohd Nazerib, M., "Adhesion mechanism and failure modes in adhesively bonded joints", Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojisi Konferansı, and Technology, Sayfa 148, Ankara, 2019.

32. Evlen, H., Gülçin, E., and Yılmaz, E., "Açık ve kapalı sistemlerde doluluk oranının parça mukavemetine etkisinin incelenmesi", Politeknik Dergisi, Cilt. 21, Sayı 3, Sayfa 651-662, 2018.

33. Evlen, H., Özdemir, M.A., and Çalışkan, A., "Doluluk oranlarının PLA ve PET malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkileri", Politeknik Dergisi,. Cilt 22, Sayı 4, Sayfa 1031-1037, 2019.