



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 05.01.2024
Kabul Tarihi : 15.02.2024

Received Date : 05.01.2024
Accepted Date : 15.02.2024

3B YAZICIDA ABS VE PLA MALZEME İLE ÜRETİLMİŞ LEVHALARLA OLUŞTURULAN TEK TESİRLİ YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF SINGLE LAP JOINTS CREATED WITH PLATES PRODUCED IN 3D PRINTER WITH ABS AND PLA MATERIAL

Muhammed Safa KAMER^{1*} (ORCID: 0000-0003-3852-1031)
Şemsettin TEMİZ² (ORCID: 0000-0002-6737-3720)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye
² İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Muhammed Safa KAMER, msafakamer@ksu.edu.tr

ÖZET

3 boyutlu (3B) yazdırılmış malzemelerin yapıştırma davranışlarının araştırılması, bu ürünlerin kullanım alanlarının genişletilebilmesi açısından önemlidir. Yapıştırma davranışlarının araştırılmasında kullanılan yöntemlerden biri tek tesirli yapıştırma bağlantılı test yöntemidir. Bu çalışmada, 3B yazıcı ile ABS ve PLA filamentler kullanılarak 3,2 mm kalınlığında, 100x25 mm boyutlarında polimer levhalar üretilmiştir. Üretilen levhaların 25x25 mm'lik kısımları üst üste gelecek şekilde yerleştirilmiş olup, aralarına iki farklı yapıştırıcı (Araldite 2011, Araldite 2015-1) uygulanarak tek tesirli yapıştırma bağlantıları oluşturulmuştur. Bu şekilde hazırlanan tek tesirli yapıştırma bağlantılı test numunelerinin kütle, sertlik ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Test numunelerine 1 mm/dk hızla çekme testi uygulanmıştır. 3B yazdırılmış ABS ve PLA levhaların farklı epoksi yapıştırıcılar kullanılarak yapıştırılmasıyla oluşturulan tek tesirli yapıştırma bağlantılarının çekme testi davranışları araştırılmıştır. Çalışma sonucunda PLA malzeme ile üretilen test numunelerinde fırınlama işlemi sırasında polimer test levhasının kalınlığında yaklaşık olarak % 1,8'lik bir artış olduğu belirlenmiştir. Araldite 2011 epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan ABS test numunelerinde adeziv tip kopmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Araldite 2011 epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan ABS test numunelerinin en düşük çekme dayanımına sahip numune olduğu, Araldite 2015-1 epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan ABS test numunelerinin ise en yüksek kopma uzamasına sahip numune olduğu belirlenmiştir. Tüm parametreler arasında en yüksek çekme dayanımının PLA test numunelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ABS, PLA, Araldite 2011, Araldite 2015-1, tek tesirli yapıştırma bağlantısı

ABSTRACT

Investigating the bonding behavior of 3 dimensional (3D) printed materials is important to expand the usage areas of these products. One of the methods used to investigate adhesion behavior is the single lap joint test method. In this study, polymer plates with a thickness of 3.2 mm and dimensions of 100x25 mm were produced using ABS and PLA filaments with a 3D printer. 25x25 mm sections of the produced boards were placed overlapping each other, and single lap joint connections were created by applying two different adhesives (Araldite 2011, Araldite 2015-1) between them. The mass, hardness and surface roughness values of the single lap joint test samples prepared in this way were measured. A tensile test was applied to the test samples at a speed of 1 mm/min. Tensile test behaviors of single lap joints formed by bonding 3D printed ABS and PLA plates using different epoxy adhesives were investigated. As a result of the study, it was determined that there was an approximately 1.8 % increase in the thickness of the polymer test plate during the firing process in the test samples produced with PLA material. It was determined that adhesive type failure occurred in ABS test samples bonded with Araldite 2011 epoxy adhesive. It

ToCite: KAMER, M. S., & TEMİZ, Ş., (2024). 3B YAZICIDA ABS VE PLA MALZEME İLE ÜRETİLMİŞ LEVHALARLA OLUŞTURULAN TEK TESİRLİ YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ ARAŞTIRILMASI. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(2), 579-588.

was determined that the ABS test samples bonded with Araldite 2011 epoxy adhesive had the lowest tensile strength, while the ABS test samples bonded with Araldite 2015-1 epoxy adhesive had the highest elongation at break. It was determined that the highest tensile strength among all parameters was in PLA test samples.

Keywords: ABS, PLA, Araldite 2011, Araldite 2015-1, single lap joint

GİRİŞ

Erimiş yığın modelleme (EYM) yöntemiyle çalışan 3B yazıcılarda ABS ve PLA filamentler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu filamentlerle üretilen malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve iyileştirilmesi amacıyla birçok çalışma yapılmıştır (Doğan ve Kamer, 2023; Kopar ve Yıldız, 2023; Tunçel ve Tutar, 2023; Kamer vd., 2022a; Kamer vd., 2022b; Aydın vd., 2019). 3B yazdırılmış malzemelerin yapıştırma davranışlarının araştırılması, bu ürünlerin kullanım alanlarının daha da genişletilebilmesi açısından önemlidir. Yapıştırma davranışlarının araştırılmasında kullanılan yöntemlerden biri tek tesirli yapıştırma bağlantılı test yöntemidir. Literatürde tek tesirli yapıştırma bağlantılı test yöntemiyle birçok çalışma yapılmış olup, bunlardan bir kısmı aşağıda verilmiştir.

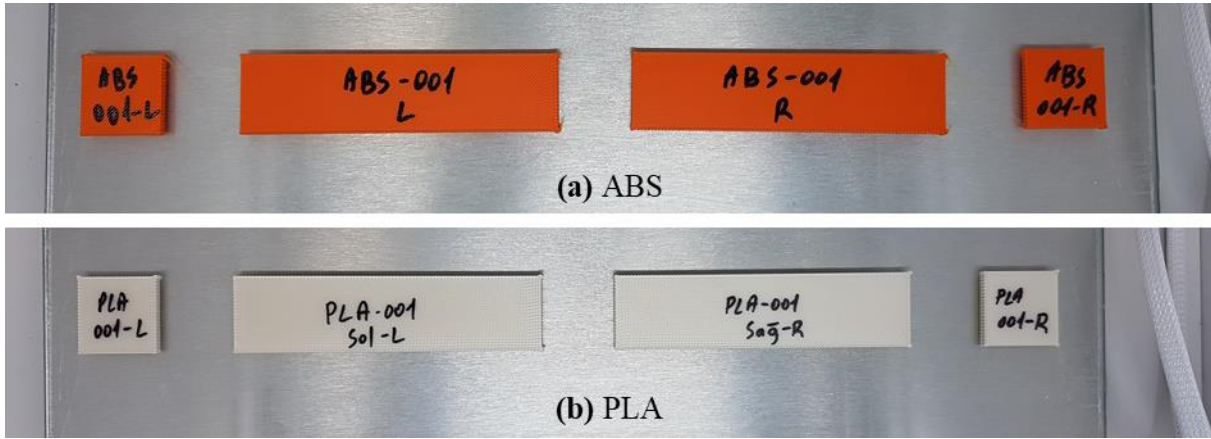
Aydın vd. (2007), yapıştırıcının kürlenmesi sırasında uyguladıkları farklı basınçların, basınca duyarlı esnek bir yapıştırıcı ile hazırladıkları tek tesirli yapıştırma bağlantılarının çekme dayanımı üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneysel olarak elde ettikleri sonuçları, sayısal analiz sonuçlarıyla kıyaslamışlardır. Çalışmaları sonucunda, yüksek sıcaklıkta kürlenme işlemi sırasında uygulanan basıncın bir sonucu olarak meydana gelen artık termal gerilimlerin, yapıştırıcıyla birleştirilmiş bağlantıların mekanik davranışını doğru bir şekilde simüle etmek için dikkate alınması gerektiğini ortaya koymuşlardır. Çalık ve Akpınar (2019), AA2024-T3 alüminyum levhaları, Araldite 2015 iki bileşenli epoksi yapıştırıcı ile yapıştırarak tek tesirli yapıştırma bağlantılı test numuneleri üretmişlerdir. Ürettikleri test numunelerine iki farklı çekme test cihazında çekme testlerine tabi tutmuşlardır. Her iki çekme test cihazında çekme tablası ilerlemesi ve videolu ekstansometre kullanarak iki farklı yöntemle test etmişler ve toplamda dört farklı durum için kuvvet – yer değiştirme eğrileri elde etmişlerdir. Deneysel olarak elde ettikleri grafikleri, gerçekleştirdikleri sayısal analiz sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda her iki test cihazında da çekme tablası ilerlemesi ve videolu ekstansometre kullanarak elde edilen kuvvet – yer değiştirme grafiklerinde önemli farklılıklar olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca her iki test cihazında videolu ekstansometre ile yapılan testlerden elde edilen grafiklerin hem birbiri arasında hem de sayısal analizlerden elde edilen grafiklerle uyumlu olduğunu belirlemişlerdir. Saraç vd. (2019), nano- Al_2O_3 , nano- TiO_2 ve nano- Al_2O_3 partikülleri çeşitli oranlarda epoksi yapıştırıcıya ilave ederek katkılı ve katkısız epoksi yapıştırıcı tek tesirli yapıştırma bağlantıları oluşturmuşlardır. Ayrıca farklı bindirme uzunluklarının (20, 25, 30, 50 ve 70 mm) tek tesirli yapıştırma bağlantılarının kesme dayanımı üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında AISI 304 paslanmaz çelik levhaları DP460 epoksi yapıştırıcı kullanarak katkılı ve katkısız halde test numuneleri üretmişlerdir. Çalışmaları sonucunda nanopartikül katkılı test numunelerinde ortalama hasar yükünün arttığını, nano- Al_2O_3 partiküllerinin yapıştırma bağlantılarının kopma mukavemetini arttırmada en etkili nanopartikül olduğunu ve maksimum kopma mukavemeti artış oranının 20 mm bindirme uzunluğunda olduğunu belirlemişlerdir. Turan ve Barut (2021), tek yön cam fiberlerle takviye edilmiş yapıştırıcılar kullanarak ürettikleri tek tesirli yapıştırma bağlantılarının hasar davranışlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Kompozit levhaların tek tesirli bağlantılar ile birleştirilmesinde epoksi yapıştırıcı emdirilmiş fiberler kullanmışlardır. İki kompozit levha arasında yapıştırıcı emdirilmiş fiber tabakaların kullanılmasıyla bağlantının güçlendirilmesini amaçlamışlardır. Ayrıca fiber takviye açısının etkisini araştırmak için 0° , 15° , 30° ve 45° fiber takviye açıları kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda yapıştırıcıların takviye edilmesinin hasar yüklerini % 7'ye varan oranlarda arttırabildiğini ortaya koymuşlardır. Erklığ ve Abood Al-dulaimi (2022), tek tesirli yapıştırma bağlantılarında arıtma çamuru külü (AÇK) takviyesinin etkisini araştırmışlardır. Mikron boyutundaki AÇK partiküllerini ağırlıkça % 0, % 5, % 10, % 15, % 20 ve % 25 oranlarında epoksi yapıştırıcıya ekleyerek, 2 mm kalınlığındaki 10 katlı cam elyaf/epoksi levhaları birbirine yapıştırmışlardır. Ayrıca üç farklı yapıştırma kalınlığının (0,3; 0,5 ve 0,7 mm) yapıştırma bölgesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda, optimum yapıştırma kalınlığının 0,5 mm olduğunu, ağırlıkça % 20 AÇK partikül katkılı test numunelerine ait kayma mukavemet değerlerinin saf epoksili numunelere göre % 35 artış gösterdiğini belirlemişlerdir. Gültekin ve Yazıcı (2022), hegzagonal bor nitrür (hBN) ve hegzagonal bor karbür (hB4C) nanopartiküllerinin yapıştırma bağlantıları üzerine etkisini araştırmışlardır. Nanopartikülleri farklı viskozite değerine sahip iki farklı epoksi yapıştırıcı içerisine (Araldite 2011 ve MGS-LR285), ağırlıkça % 0,5, % 1, % 2 ve % 3 oranlarında katarak yeni nanokompozit yapıştırıcılar üretmişlerdir. Geliştirdikleri nanokompozit yapıştırıcıları ve ürettikleri düz dokuma karbon fiber kompozitleri kullanarak tek tesirli yapıştırma bağlantıları üretmişlerdir. Yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerini ASTM D1002 standardına göre yapılan çekme testi ile

belirlemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, hBN ve hB4C nanopartikülleri ile birleştirilmiş bağlantıların hasar yükünde önemli artış sağlandığını belirlemişlerdir.

Bu çalışmada, 3B yazıcı ile ABS ve PLA filamentler kullanılarak 3,2 mm kalınlığında, 100x25 mm boyutlarında polimer levhalar üretilmiştir. Üretilen levhaların 25x25 mm'lik kısımları üst üste gelecek şekilde yerleştirilmiş olup, aralarına iki farklı yapıştırıcı uygulanarak tek tesirli yapıştırma bağlantıları oluşturulmuştur. Yapıştırma bağlantılarının oluşturulmasında Araldite 2011 ve Araldite 2015-1 iki bileşenli epoksi yapıştırıcılar kullanılmıştır. Test numuneleri yapıştırıcı uygulandıktan sonra 1 gün boyunca oda sıcaklığında 0,5 MPa basınç altında mekanik preste bekletilmiştir. Sonrasında 80 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle fırınlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan tek tesirli yapıştırma bağlantılı test numunelerinin kütle, sertlik ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Test numunelerine 1 mm/dk hızla çekme testi uygulanmıştır. 3B yazdırılmış ABS ve PLA levhaların farklı epoksi yapıştırıcılar kullanılarak yapıştırılmasıyla oluşturulan tek tesirli yapıştırma bağlantılarının çekme testi davranışları araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, 2,85 mm çapında Ultimaker ABS Turuncu (Ultimaker-ABS-TDS-v5.00, 2022) ve Ultimaker PLA İnci Beyazı (Ultimaker-PLA-TDS-v5.00, 2022) filamentler kullanılarak Ultimaker S5 3B yazıcı (Ultimaker S5 Product data sheet, 2019) ile polimer levhalar üretilmiştir (Şekil 1). Her bir test numunesi için 3,2 mm kalınlığında, 25x25 mm boyutlarında iki adet ara levha ve 3,2 mm kalınlığında, 100x25 mm boyutlarında iki adet test levhası üretilmiştir. 3B yazıcı ile polimer levha üretiminde kullanılan parametreler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. 3B Yazıcı İle Üretilmiş ABS Ve PLA Levha Görüntüleri

Tablo 1. 3B Yazıcı İle ABS Ve PLA Levha Üretiminde Kullanılan Parametreler

3B Yazıcı	Ultimaker S5	
CAM Programı	Cura v4.8.0	
Malzeme	Ultimaker ABS turuncu	Ultimaker PLA inci beyazı
Filament Çapı	2,85 mm	
Filament Yoğunluğu	1,10 g/cm ³	1,24 g/cm ³
Camsı Geçiş Sıcaklığı	100,5 °C	59,1 °C
Nozul Sıcaklığı	240 °C	210 °C
Tabla Sıcaklığı	85 °C	60 °C
Yazdırma Hızı	60 mm/s	
Boşta Gezme Hızı	120 mm/s	
Nozul Çapı	0,4 mm	
Katman Yüksekliği	0,2 mm	
Hat Genişliği	0,4 mm	
Duvar Kalınlığı	0 mm	
Dolgu Yoğunluğu	% 100	
Dolgu Deseni	Zig Zag	

Üretilen polimer levhaların boyutları, kütleleri, sertlikleri ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Polimer levhaların kütlelerinin ölçülmesinde 0,01 g hassasiyete sahip KERN PLS 6200-2A hassas terazi kullanılmıştır. Polimer levhaların sertlik değerlerinin ölçülmesinde MITECH MH210 portatif sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri polimer levhaların üst ve alt yüzeylerinden Shore D probu ile yapılmış olup, her levhanın beş farklı

bölgesinden ölçümler alınarak ortalama değerler belirlenmiştir. Polimer levhaların yüzey pürüzlülüğü değerleri JENOPTIK Hommel-Etamic W5 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile Tablo 2’de belirtilen parametreler kullanılarak ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri polimer levhaların üst ve alt yüzeylerinden çekme testi doğrultusuna paralel (Şekil 2) olarak yapılmış olup, her levhanın üç farklı bölgesinden ölçümler alınarak ortalama değerler belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde literatürde çoğunlukla kullanılan aritmetik ortalama pürüzlülük (R_a) değerleri dikkate alınmıştır (Guo vd., 2021; Taufik ve Jain, 2020).

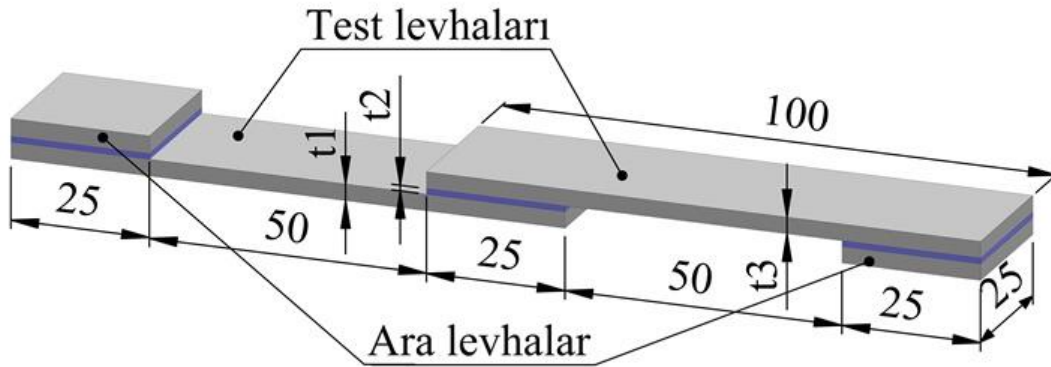
Tablo 2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Parametreleri

Ölçüm uzunluğu (lt)	4,8 mm
Ölçüm hızı (vt)	0,5 mm/s
Dalga boyu (lc)	0,8 mm



Şekil 2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

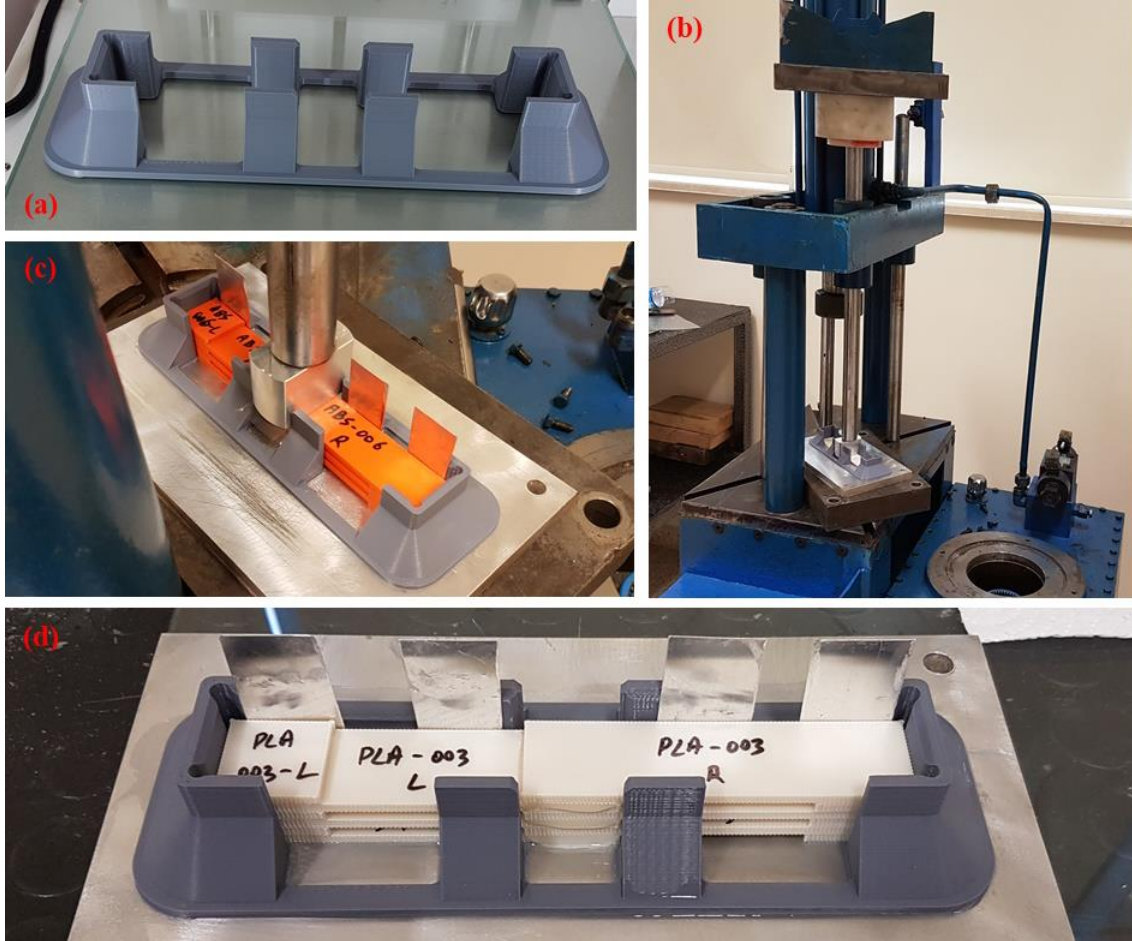
3B yazıcıda ABS ve PLA filamentlerle üretilen test levhaları ve ara levhalar kullanılarak tek tesirli yapıştırma bağlantısı test numuneleri üretilmiştir. Üretilen test numunelerinin boyutları Şekil 3’de gösterilmiştir (Çalık ve Akpınar, 2019). Ara levhalar ve test levhalarının tümünün üst yüzeyleri üste gelecek şekilde yapıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece test levhalarının birbirine yapıştırıldığı tek tesirli yapıştırma bölgesinde alttaki test levhasının üst yüzeyi, üstteki test levhasının alt yüzeyine yapıştırılmıştır. Ara levhaların test levhalarına yapıştırılmasında Henkel Pattex marka çift taraflı bant kullanılmıştır. Test levhalarının birbirine yapıştırılmasında Araldite 2011 (Araldite 2011, 2021) ve Araldite 2015-1 (Araldite 2015-1, 2021) olmak üzere iki farklı iki bileşenli epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır. Test levhalarının birbirine yapıştırılmasında kullanılan iki bileşenli epoksi yapıştırıcıların özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Test Numunesi Boyutları

Tablo 3. Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarında Kullanılan Yapıştırıcı Özellikleri

Yapıştırıcı Özellikleri	Araldite 2011	Araldite 2015-1
	İki Bileşenli Epoksi Yapıştırıcı	İki Bileşenli Epoksi Yapıştırıcı
Çekme Dayanımı	24 MPa	31 MPa
Elastisite Modülü	1,9 GPa	1,6 GPa
Kopmadaki Uzama	% 9	% 4
Uygulama Süresi (Oda sıcaklığında)	100 dk	45 dk
Kürleşme Süresi	7 sa	4 sa
Sürekli Çalışma Sıcaklığı	Maks. 90 °C	Maks. 100 °C

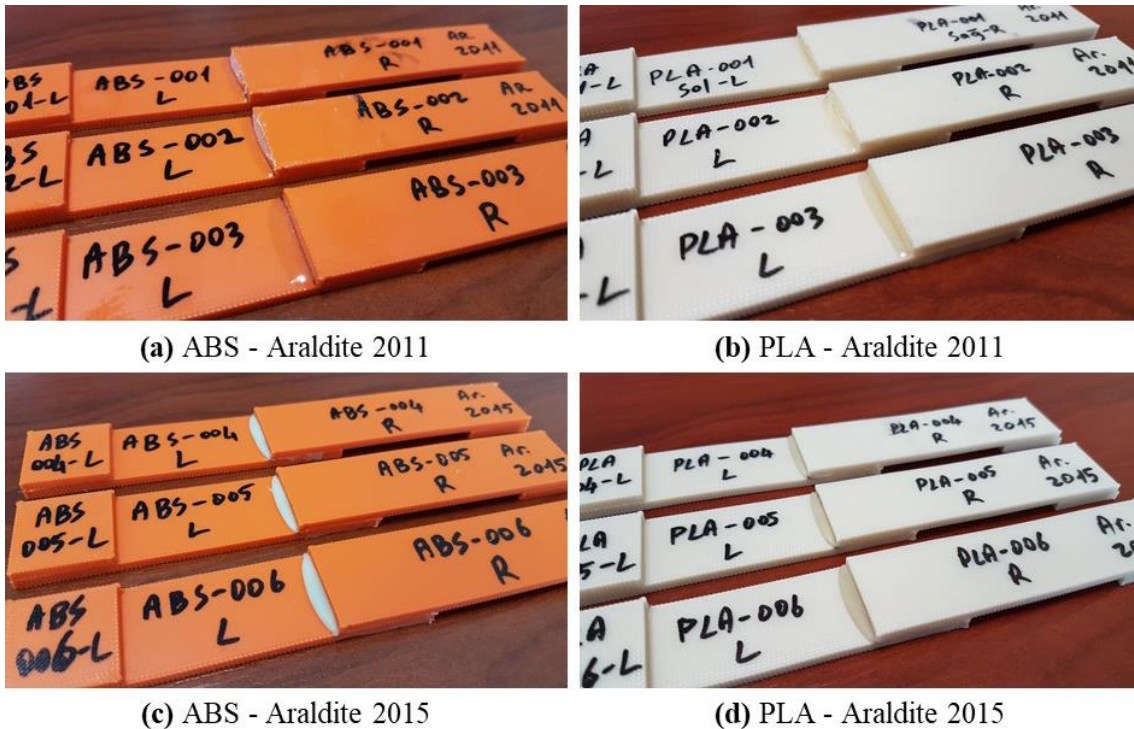
**Şekil 4.** Test Numunesi Hazırlama Görüntüleri **a.** Kalıp **b.** Pres **c.** Test Numunelerinin Presleme Sırasındaki Görüntüsü **d.** Test Numunelerinin Presleme Sonrasındaki Görüntüsü

Tek tesirli yapıştırma bağlantılı test numunelerinin kolayca yapıştırılarak, test numunesi ölçülerine getirilebilmesi amacıyla bir kalıp tasarımı yapılmış olup, 3B yazıcı ile PLA malzeme kullanılarak üretilmiştir (Şekil 4a). Epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılacak olan test levhaları yapıştırma öncesinde üzerindeki yapıştırmayı engelleyebilecek parmak izi, toz, kir vb. kalıntılardan arındırılması amacıyla deterjanlı su ile yıkanarak durulanmış ve kurumaya bırakılmıştır. Yıkama işleminden yapıştırma işlemi sonrasına kadar test levhalarına çıplak elle dokunulmamıştır. Hazırlanan kalıp, 15 mm kalınlığındaki bir alüminyum levha üzerine yerleştirilmiş olup, kalıp içerisindeki enine boşlukların giderilmesi için dört adet 1 mm kalınlığında alüminyum levha kullanılmıştır. Her test numunesinin alttaki test levhası üzerine yapıştırma bölgesi genişliğinde iki bileşenli epoksi yapıştırıcı sürülerek kalıba yerleştirilmiş olup, sonrasında üzerine üst test levhası yerleştirilmiştir. Bu şekilde her bir yapıştırma işleminde üç adet test numunesi üretilecek şekilde test levhaları kalıp içerisine sırayla üst üste gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Son olarak yapıştırma bölgesinde homojen basınç dağılımının sağlanabilmesi amacıyla üst kısma bir alüminyum blok yerleştirilmiştir. Yapıştırma işlemine başlamadan önce yapıştırma kalıplama işleminde kullanılan kalıp, alüminyum levhalar ve alüminyum bloğun yapıştırıcı ile temas edebilecek tüm yüzeylerine bir kat Polivaks kalıp ayırıcı sıvı PVA (Kalıp Ayırıcı Sıvı PVA, 2022) sürülerek en az 30 dakika kurumaya bırakılmış olup, sonrasında yapıştırma işlemlerine başlanmıştır. Yapıştırma işleminde her bir test numunesi arasına kalıp ayırıcı jelatin film yerleştirilmiştir. Bu şekilde hazırlanan

test numuneleri ve kalıp seti Şekil 4b’de gösterilen mekanik prese yerleştirilmiş olup, mekanik preste test numunelerinin yapıştırma bölgesi üzerine yerleştirilen alüminyum blok üzerine yapıştırma bölgesinde 0,5 MPa basınç oluşturacak şekilde kütleler yerleştirilmiştir. Bu şekilde test numuneleri oda sıcaklığında bir gün boyunca mekanik preste bekletilmiş olup (Şekil 4c), sonrasında presten çıkarılmışlardır (Şekil 4d). 0,5 MPa kürleştirme basıncı literatürdeki benzer çalışmalar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir (Aydın vd., 2007; Temiz vd., 2004). Mekanik presten çıkarılan test numuneleri kalıptan ve birbirlerinden ayrılarak, fırınlama işleminde boyutsal deformasyonların engellenmesi için iki cam plaka arasına yerleştirilmişlerdir. Bu şekilde fırına yerleştirilen test numuneleri epoksi yapıştırıcının kürleşme işleminin hızlandırılması amacıyla 80 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle fırınlanmıştır. 1 saat süre sonrasında fırın otomatik olarak kapanmış olup, fırın içerisindeki sıcaklık oda sıcaklığına düşene kadar test numunelerinin fırın içerisinde soğuması beklenmiştir. Fırınlama işleminde sonra test numunelerinin kütleleri ve yapıştırma bölgelerinin kalınlıkları ölçülmüştür. Son olarak tüm test numunelerine çekme testi uygulanmıştır. Çekme testleri Zwick/Roell Z100 çekme test cihazıyla, 1 mm/dk hızda yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

3B yazdırılmış ABS ve PLA levhaların Araldite 2011 ve Araldite 2015-1 iki bileşenli epoksi yapıştırıcılar kullanılarak yapıştırılmasıyla oluşturulan dört farklı parametredeki tek tesirli yapıştırma bağlantılı test numunelerinde her parametre için üçer adet üretilmiş olup, test numunelerinin yapıştırma ve fırınlama işleminden sonraki görüntüleri Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Test Numunesi Görüntüleri

Üretilen test numunelerinin ölçümlerden elde edilen kütle, sertlik, aritmetik ortalama pürüzlülük ve kalınlık değerleri Tablo 4’de verilmiştir. Tabloda test numunelerinin yapıştırma öncesi ve fırınlama sonrasına ait kütle değerleri verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde her bir parametre için üretilen test numunesi kütle değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu nedenle test numunesi üretimi sırasında 3B yazdırma işleminde ve yapıştırma işleminde herhangi bir düzensizliğin meydana gelmediği söylenebilir. Fırınlama işlemi sonrasında ABS malzeme ile üretilen test numunelerinde % 0,09~0,13 arasında, PLA malzeme ile üretilen test numunelerinde ise % 0,20~0,36 arasında kütle kaybı meydana gelmiştir. Tabloda test numunelerinin üst ve alt yüzey sertlik değerleri verilmiştir. ABS malzeme ile üretilen test numunelerinin sertlik değerleri incelendiğinde tüm numunelerin üst ve alt yüzey sertlik değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. PLA malzeme ile üretilen test numunelerinde ise alt yüzey sertlik değerlerinin, üst yüzey sertlik değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tabloda test numunelerinin üst ve alt yüzey aritmetik ortalama pürüzlülük değerleri verilmiştir. Tüm test numunelerinde alt yüzey pürüzlülük değerlerinin üst yüzey pürüzlülük değerlerinden yaklaşık olarak 1,7 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. İlk katmanın yazdırılması sırasında bazı düzensizlikler söz konusu olabilmektedir. Bunlardan ikisi cam tabla kalibrasyon

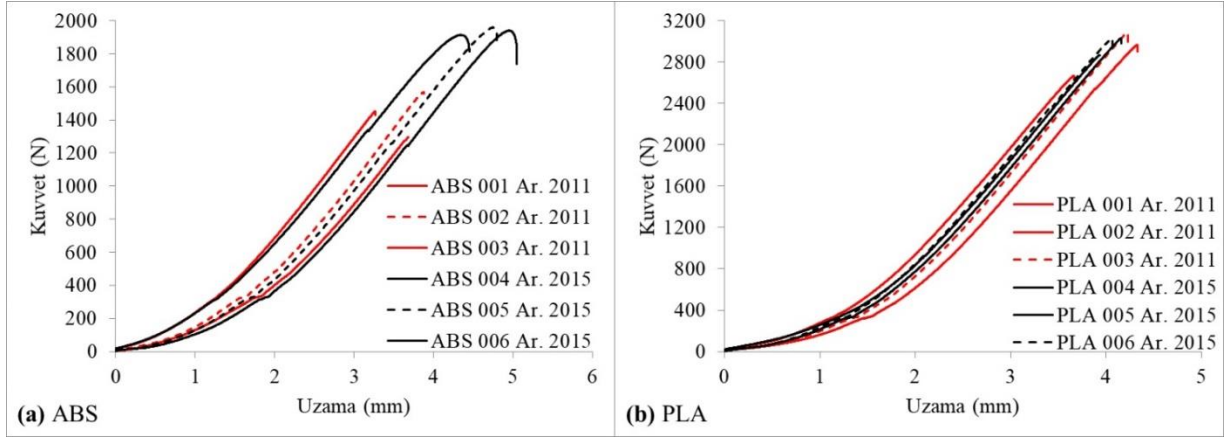
hataları ve cam tabla yüzeyi üzerindeki yapıştırıcı kalıntıları vb. nedeniyle oluşabilecek düzlemsellik bozukluklarıdır. 3B yazdırma işlemlerinde 0,4 mm hat genişliği kullanılmış olup, malzemelerin üst yüzeylerinde bu hat genişliği genel olarak korunurken, alt yüzeylerde bir hat yazdırılırken nozuldan çıkan malzemenin yanlara da bir miktar taşarak önceki ve sonraki hatlar üzerinde de bir miktar malzeme yığılmış olduğu tespit edilmiştir. Bunun neticesinde alt yüzey hat genişliklerinde azalmaların ve düzensizliklerin olduğu gözle görülebilmektedir. Bu nedenle malzemelerin alt yüzey pürüzlülük değerlerinde artış görülürken, alt yüzeylerdeki bu pürüzlülük artışının yine bu yüzeylerin sertlik değerlerinde bir miktar azalmaya neden olduğu söylenebilir. Tabloda test numunelerinin yapıştırma bölgelerinin, yapıştırma öncesi ve fırınlama sonrası kalınlık değerleri verilmiştir. ABS malzeme ile üretilen test numunelerinin kalınlık değerleri incelendiğinde yapıştırma ve fırınlama işlemleri sonrasında yapıştırma bölgesinde yaklaşık 0,09~0,11 mm kalınlığında epoksi yapıştırıcının kaldığı söylenebilir. PLA malzeme ile üretilen test numunelerinde fırınlama işlemi sırasında camsı geçiş sıcaklığının üzerine çıkıldığından sadece polimer test levhasının kalınlığında yaklaşık olarak % 1,8'lik bir artış olduğu belirlenmiştir. Bu durum göz önüne alındığında PLA malzeme ile üretilen test numunelerinin yapıştırma bölgesinde yapıştırma ve fırınlama işlemleri sonrasında yaklaşık 0,06~0,13 mm kalınlığında epoksi yapıştırıcının kaldığı söylenebilir.

Tablo 4. Test Numuneleri Ölçüm Verileri

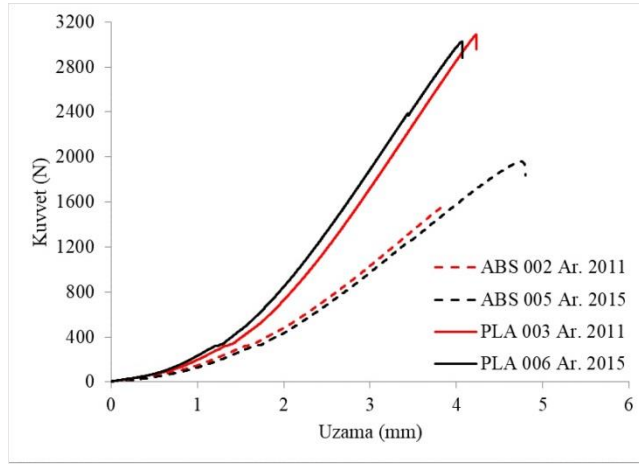
Test Numunesi Kodu	Kütle (g)		Sertlik Shore D (HS)		Aritmetik ortalama pürüzlülük R_a (μm)		Kalınlık (mm)	
	Yapıştırma öncesi	Fırınlama sonrası	Üst	Alt	Üst	Alt	Yapıştırma öncesi t1+t3	Fırınlama sonrası t1+t2+t3
ABS 001 Ar. 2011	21,89	22,23	67,2	66,1	5,705	9,954	6,14	6,23
ABS 002 Ar. 2011	21,79	22,19	66,8	65,8	6,038	10,186	6,10	6,19
ABS 003 Ar. 2011	21,78	22,15	66,9	65,4	5,536	9,418	6,10	6,21
ABS 004 Ar. 2015	21,80	22,32	68,0	65,9	5,455	8,962	6,10	6,20
ABS 005 Ar. 2015	21,74	22,23	66,8	66,8	5,757	9,359	6,10	6,20
ABS 006 Ar. 2015	21,70	22,25	67,3	66,4	5,916	9,605	6,07	6,16
PLA 001 Ar. 2011	24,88	25,15	69,7	65,2	5,383	10,211	6,43	6,65
PLA 002 Ar. 2011	24,87	25,11	71,7	64,0	5,556	9,637	6,42	6,60
PLA 003 Ar. 2011	24,81	25,04	70,6	65,4	6,121	10,569	6,38	6,62
PLA 004 Ar. 2015	24,67	25,11	69,1	65,9	5,149	9,111	6,34	6,54
PLA 005 Ar. 2015	24,67	25,11	68,2	66,0	5,409	9,736	6,36	6,58
PLA 006 Ar. 2015	24,75	25,26	70,0	66,2	5,380	8,940	6,38	6,61

Tüm tek tesirli yapıştırma bağlantılı test numunelerinin çekme testlerinde elde edilen kuvvet – uzama eğrileri Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekildeki eğriler incelendiğinde her dört parametreye ait üçer eğrinin kendi içinde birbirine yakın ve tutarlı eğriler oldukları görülmektedir. Bunlar arasından her bir parametre için ortalama sayılabilecek eğriler seçilmiş olup, Şekil 7'de bu eğriler bir arada gösterilmiştir. Şekilde verilen eğrilerde çekme dayanımları ABS 002 Ar. 2011 test numunesinde 1566 N, ABS 005 Ar. 2015 test numunesinde 1958 N, PLA 003 Ar. 2011 test numunesinde 3085 N ve PLA 006 Ar. 2015 test numunesinde 3027 N olarak ölçülmüştür. Şekil incelendiğinde Araldite 2011 epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan ABS test numunesinin en düşük çekme dayanımına sahip numune olduğu, Araldite 2015-1 epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan ABS test numunesinin ise en yüksek kopma uzamasına sahip numune olduğu belirlenmiştir. Her iki epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan PLA test numunelerinin eğrilerinin neredeyse çakışık olduğu, tüm parametreler arasında en yüksek çekme dayanımının PLA test numunelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Tüm tek tesirli yapıştırma bağlantılı test numunelerinin çekme testi sonrasındaki kopmuş görüntüleri Şekil 8'de gösterilmiştir. Araldite 2011 epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan ABS test numunelerinin tümünün yapıştırma yüzeylerinden ayrıldığı, daha detaylı incelendiğinde yapıştırıcının yüzeye tutunmakta zorlandığı, adeziv tip kopmanın meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 8a). Diğer üç parametre ile yapıştırılan test numunelerinin tamamının yapıştırma bölgelerinden kopmadığı, test numunelerinin çekme kesit alanından kopmaların gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 8b, 8c, 8d).



Şekil 6. Çekme Testi Kuvvet – Uzama Eğrileri



Şekil 7. ABS ve PLA Test Numuneleri Karşılaştırma Grafiği



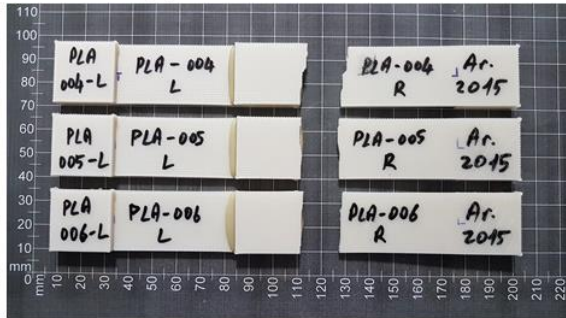
(a) ABS - Araldite 2011



(b) PLA - Araldite 2011



(c) ABS - Araldite 2015



(d) PLA - Araldite 2015

Şekil 8. Çekme Testi Sonrası Kopmuş Numunelerin Görüntüleri

SONUÇLAR

Bu çalışmada, 3B yazıcı ile ABS ve PLA filamentler kullanılarak üretilen levhaların, aralarına Araldite 2011 ve Araldite 2015-1 iki bileşenli epoksi yapıştırıcıların uygulanmasıyla tek tesirli yapıştırma bağlantılı test numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan tek tesirli yapıştırma bağlantılı test numunelerinin çekme testi davranışları incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Fırınlama işlemi sonrasında ABS malzeme ile üretilen test numunelerinde % 0,09~0,13 arasında, PLA malzeme ile üretilen test numunelerinde ise % 0,20~0,36 arasında kütle kaybının meydana geldiği belirlenmiştir.
- PLA malzeme ile üretilen test numunelerinde fırınlama işlemi sırasında polimer test levhasının kalınlığında yaklaşık olarak % 1,8'lik bir artış olduğu belirlenmiştir.
- Araldite 2011 iki bileşenli epoksi yapıştırıcı uygulanan ABS test numunelerinde yaklaşık 1566 N, PLA test numunelerinde ise yaklaşık 3085 N çekme dayanımı değerleri ölçülmüştür.
- Araldite 2015 iki bileşenli epoksi yapıştırıcı uygulanan ABS test numunelerinde yaklaşık 1958 N, PLA test numunelerinde ise yaklaşık 3027 N çekme dayanımı değerleri ölçülmüştür.
- Araldite 2011 epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan ABS test numunelerinin tümünün yapıştırma yüzeylerinden ayrıldığı, adeziv tip kopmanın meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Araldite 2011 epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan ABS test numunelerinin en düşük çekme dayanımına sahip numune olduğu, Araldite 2015-1 epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan ABS test numunelerinin ise en yüksek kopma uzamasına sahip numune olduğu belirlenmiştir.
- Tüm parametreler arasında en yüksek çekme dayanımının PLA test numunelerinde olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Araldite 2011. (2021). <https://www.huntsman.com/products/araldite2000/araldite-2011> 20.11.2023 tarihinde erişildi.
- Araldite 2015-1. (2021). <https://www.huntsman.com/products/araldite2000/araldite-2015-1> 20.11.2023 tarihinde erişildi.
- Aydın, M., Yıldırım F., & Canti E. (2019). Investigation of the processing performance of PLA filament in different printing parameters. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 3 (2), 102-115.
- Aydın, M. D., Temiz, Ş., & Özel, A. (2007). Effect of curing pressure on the strength of adhesively bonded joints. *Journal of Adhesion*, 83 (6), 553-571. <https://doi.org/10.1080/00218460701453536>
- Çalık, A., & Akpınar, S. (2019). Effect of extensometer usage on obtaining the force-displacement curve of the adhesively single lap joint. *European Mechanical Science*, 3 (4), 142-146. <https://doi.org/10.26701/ems.646610>
- Doğan, O., & Kamer, M. S. (2023). Farklı üretim parametreleri kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen test numunelerinin sürünme davranışlarının deneysel olarak incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38 (3), 1839-1848. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1122973>
- Erkliğ, A., & Abood Al-dulaimi, O. A. (2022). The effect of sewage sludge ash reinforced adhesive on tensile strength of single-lap joint. *The International Journal of Energy & Engineering Sciences*, 7 (1), 27-39.
- Guo, C., Liu, X., & Liu, G. (2021). Surface finishing of FDM-fabricated amorphous polyetheretherketone and its carbon-fiber-reinforced composite by dry milling. *Polymers*, 13, 2175. <https://doi.org/10.3390/polym13132175>
- Gültekin, K., & Yazıcı, M. E. (2022). Fonksiyonelleştirilmiş bor nanopartiküllerinin yapıştırıcıyla birleştirilmiş tek tesirli kompozit bağlantılar üzerinde etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37 (1), 175-191. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.847462>
- Kalıp Ayırıcı Sıvı PVA. (2022). <https://www.kompozitshop.com/kalip-ayirici-sivi-pva> 01.12.2022 tarihinde erişildi.
- Kamer, M. S., Temiz, Ş., Yaykaşlı, H., Kaya, A., & Akay, O. (2022a). 3B yazıcıda farklı yazdırma hızlarında ABS ve PLA malzeme ile üretilen çekme test numunelerinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37 (3), 1197-1212. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.961981>
- Kamer, M. S., Temiz, Ş., Yaykaşlı, H., Kaya, A., & Akay, O. (2022b). Effect of printed speed on FDM 3D-printed PLA samples produced using different two printers. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 6 (3), 438-448. <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1088805>

Kopar, M., & Yıldız, A. R. (2023). Experimental investigation of mechanical properties of PLA, ABS, and PETG 3-d printing materials using fused deposition modeling technique. *Materials Testing*, 65 (12), 1795-1804. <https://doi.org/10.1515/mt-2023-0202>

Saraç, İ., Adin, H., & Temiz, Ş. (2019). Investigation of the effect of use of Nano-Al₂O₃, Nano-TiO₂ and Nano-SiO₂ powders on strength of single lap joints bonded with epoxy adhesive. *Composites Part B: Engineering*, 166, 472-482. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.02.007>

Taufik, M., & Jain, P. K. (2020). Thermally assisted finishing of fused deposition modelling build part using a novel CNC tool. *Journal of Manufacturing Processes*, 59, 266-278. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.09.060>

Temiz, Ş., Özel, A., & Aydın, M. D. (2004). A study on durability of joints bonded with pressure-sensitive adhesives. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 18 (10), 1187-1198. <https://doi.org/10.1163/1568561041581289>

Tunçel, O., & Tutar, M. (2023). EYM ile üretilen YMK yapıları numunelerde kenar genişliğinin basma dayanımı üzerine etkisinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 38 (3), 851-858. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1377804>

Turan, K., & Barut, S. (2021). Fiber Takviyeli Yapıştırıcıların Kullanıldığı Tek Tesirli Yapışma Bağlantılarında Hasar Analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12 (2), 257-262. <https://doi.org/10.24012/dumf.853260>

Ultimaker-ABS-TDS-v5.00. (2022). <https://ultimaker.my.salesforce.com/sfc/p/#j0000000HOnW/a/5b000004UWOb/mqEDmbBEqiM6dfNicGFkHQEgcV9T8W762bqwplt4bxo> 08.11.2023 tarihinde erişildi.

Ultimaker-PLA-TDS-v5.00. (2022). <https://ultimaker.my.salesforce.com/sfc/p/#j0000000HOnW/a/5b000004UiRV/lt4XCkl0KOSLfPMcyG06mKKbES33WnYiFrMsG8bFGhw> 08.11.2023 tarihinde erişildi.

Ultimaker S5 Product data sheet. (2019). <https://cdn.webshopapp.com/shops/24440/files/300070983/ultimaker-s5-product-data-sheet-en-trideus.pdf> 09.11.2023 tarihinde erişildi.