



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>

YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARINDA DOLGU MALZEMELERİNİN BAĞLANTI MUKAVEMETİNE ETKİSİ

EFFECT OF FILLING MATERIALS ON JOINT
STRENGTH IN BONDED JOINTS

Yazarlar (Authors): Oğuz Koçar , Nergizhan Anaç , Baki Hazer 

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Koçar O., Anaç N., Hazer B., “Yapıştırma Bağlantılarında Dolgu Malzemelerinin Bağlantı Mukavemetine Etkisi” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 7(2): 220-232, (2023).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1275235

Araştırma Makale/ Research Article

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

YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARINDA DOLGU MALZEMELERİNİN BAĞLANTI MUKAVEMETİNE ETKİSİ

Oğuz Koçar^a, Nergizhan Anaç^{a*}, Baki Hazer^{b,c}

^a Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, TÜRKİYE

^b Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü, Kapadokya Üniversitesi, TÜRKİYE

^c Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar: nergizhan.kavak@beun.edu.tr

(Received: 01.04.23; Revised: 13.06.23; Accepted: 03.08.23)

ÖZ

Yapıştırma; iki veya daha fazla parçanın birleştirilmesinde vida, perçin gibi mekanik eleman ihtiyacı olmadan, yapıştırıcı kullanılarak gerçekleştirilen bir işlemdir. Yapıştırma bağlantılarında çoğunlukla mukavemetin yüksek olması istenir ve bu beklenti yapıştırıcı malzeme seçimini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bağlantıların mekanik dayanımlarının artması için yapıştırıcıya dolgu maddeleri eklenebilmektedir. Bazı üreticiler ticari yapıştırıcılarının formüllerine gümüş, bakır, çelik, titanyum, alüminyum, bronz gibi metal veya alümina oksit gibi seramik esaslı partiküller eklemiştir. Bununla birlikte; dolgu maddeleri eklenerek yapıştırıcıların güçlendirilmesi konusu, gelişen yeni teknolojik malzemeler sayesinde araştırmacıların çalışmalarına devam ettiği bir alandır. Bu çalışmada 3B yazıcı ile PLA Plus filamentten üretilen farklı doluluk oranlarındaki parçalar (%20 ve %100) 2 farklı ticari (Araldite 2015, Loctite 9466) ve 2 farklı ticari olmayan yapıştırıcı (PVC esaslı ve PS-Th esaslı yapıştırıcı) kullanılarak birleştirilmiştir. Bu yapıştırıcılar içerisine ağırlıkça %5 oranında iki farklı dolgu malzemesi (44~100 µm yumuşak lehim tozu, 45 µm fındık kabuğu tozu) ilave edilmiştir. Yapıştırma işlemi sonrasında bağlantıların mekanik özellikleri incelenmiştir. %100 dolu bağlantılarda Loctite 9466 yapıştırıcı içine %5 lehim ve fındık kabuğu tozu katkısı, bağlantı mukavemet değerini arttırmıştır. %20 dolu bağlantılarda ise yapıştırıcıya dolgu malzemesi eklenmesinin mukavemeti olumsuz etkilediği görülmüştür. Yapıştırılan parçaların doluluk oranları, yapıştırıcı malzemenin sade veya katkı eklenerek kullanılması gibi değişkenlerin bağlantı mukavemetini oldukça etkilediği anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Eklemeli imalat, 3B baskı, Yapıştırma işlemi, Katkılı yapıştırıcı, Tekli bindirme bağlantısı.

EFFECT OF FILLING MATERIALS ON JOINT STRENGTH IN BONDED JOINTS

ABSTRACT

Adhesive bonding is a process of using adhesive to join two or more parts without needing mechanical fasteners, such as screws and rivets. Adhesive joints are desired for high strength, and this expectation is one of the most critical factors affecting the choice of adhesive. Fillers can be added to the adhesive to increase the mechanical strength of the joints. Some manufacturers have added metal-based particles such as silver, copper, steel, titanium, titanium, aluminum, and bronze or ceramic-based particles such as alumina oxide to the formulas of their commercial adhesives. However, strengthening adhesives by adding fillers is an area where researchers continue to work thanks to new technological materials.

In this study, parts with different filling ratios (20% and 100%) produced from PLA Plus filament with a 3D printer were joined using two different commercial adhesives (Araldite 2015, Loctite 9466) and two different non-commercial adhesives (PVC-based and PS-Th-based adhesive). Two different fillers (44~100 µm soft solder powder and 45 µm hazelnut shell powder) were added to these adhesives at a

rate of 5 wt%. The mechanical properties of the joints were examined after the adhesive bonding process. Solder and hazelnut shell powder (5%) additive in Loctite 9466 adhesive increased the joint strength value in infill ratio 100% joints. In the case of 20% infill ratio joints, it was observed that the addition of filler material to the adhesive negatively affected the strength. It is understood that variables such as the filling ratios of the bonded parts, and the use of the adhesive material plain or with additives affect the joint strength considerably.

Keywords: Additive Manufacturing, 3D Printing, Adhesive Bonding, Filled Adhesive, Single Lap Joint.

1. GİRİŞ

Yapıştırma; malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Yapıştırma işleminde ilk girdi; yapıştırıcı ve yapıştırılacak malzemelerdir. Yapıştırma işlemi; bu girdilerin yanı sıra yüzey hazırlama işlemlerinden, çalışma şartlarından ve uygulayıcının yetkinliğinden etkilenir. İnsanoğlu geçmişten günümüze kadarki süre zarfında, doğal kaynaklardan elde edilen yapıştırıcılardan laboratuvarında üretilen yapay yapıştırıcı formüllere geçiş yapmıştır. Bununla birlikte, teknolojinin ilerlemesiyle yeni malzeme ihtiyacının artması, bu malzemelerin birleştirilmesi için yeni nesil yapıştırıcıların geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Örneğin, endüstride çok kullanılan epoksi yapıştırıcıların tokluğu ve çatlak ilerlemesine direnci yüksek değildir [1-3]. Bu nedenle epoksi yapıştırıcıların yapısal ve fonksiyonel malzeme olarak uygulamaları kısıtlanmaktadır. Üreticiler bu tarz sorunları yapıştırıcının kimyasını değiştirerek aşmaya çalışmaktadır. Yapıştırma bağlantılarının performansını (dayanımını) artırmak ve kullanım alanlarını genişletmek için araştırmalar halen devam etmekle birlikte bazı uygulamalar da [4] bulunmaktadır. Bu uygulamalardan biri, yapıştırıcı içerisine çeşitli dolgu maddelerinin eklenmesidir. Bu yaklaşım, aynı zamanda maliyeti azaltma avantajı da sağlamaktadır. Dolgu maddeleri olarak genellikle uçucu olmayan, yapışkan olmayan ve yapıştırıcılarda çözünmeyen lignoselülozik veya inorganik parçacıklar kullanılır [5]. Dolgu malzemeleri, kimyasal yapılarına göre organik veya inorganik maddeler olmak üzere ikiye ayrılır [6-7] İnorganik dolgu maddeleri olarak silikon, kalsiyum, kaolin, talk, vb. sayılabilir. Nanoselüloz, organik ve doğal bir takviye maddesidir. Pirinç kabuğu, hindistancevizi kültü, odun unu, jüt, hindistan cevizi elyafı, kenevir, sisal, muz, bambu and palm çekirdeği kabuğu kullanılan diğer organik dolgu malzemeleridir [8-10].

Yapıştırıcılara katılan dolgu malzemelerine, cam/karbon fiberler [11-13], polimer [14-16], metal/seramik tozları [17-20] örnek olarak verilebilir. Yapıştırıcıya ilave edilen dolgu maddesinin türü, miktarı ve boyutu, yapıştırıcının özelliklerini (yoğunluk, sertlik, çekme, basma ve kayma gerilmesini) etkiler [21-25]. Bu etkileşim, bazen dolgu maddesi ile yapıştırıcı arasındaki kimyasal bağın oluşmasıyla bazen de dolgu maddesinin kapladığı hacim sayesinde olabilmektedir [26]. Literatür incelendiğinde, dolgu maddesi kullanımındaki genel eğilimin, nano ve mikro boyutta tozlar veya fiberler/lifler yönünde olduğu görülmektedir [27-31]. Nano tozların veya nano liflerin yüzey özellikleri (boyut ve şekil), içinde buldukları yapının temel özelliklerini değiştirmede etkilidir [4, 19]. Nano toz ve liflerin yüzey/hacim oranlarının yüksek olması eklendiği yapıya daha yüksek mekanik, manyetik, termal ve elektriksel özellikler kazandırabilmektedir. Nanoliflerin boyutlarının küçük olması yüzünden yapısal kusurları daha az olduğu için mekanik özellikleri çok daha iyidir [32].

Parçacık boyutunun mekanik özellikler üzerindeki etkisinin oldukça fazla olduğu bilinmektedir [33-34]. Mikro ölçekli parçacıkların, nano ölçekli muadili ile değiştirilmesinin yüksek katılık ve akma mukavemeti sağladığı görülmüştür [35]. Polimerlerde bulunan mikro boyutlu parçalar çatlak başlangıç noktası olabilir ve stres konsantrasyonlarını indükleyebilir [36]. Nanoparçacık kullanımı, yapıştırma bölgesinde ince yapıştırma kalınlığına olanak sağlar [37]. Bu nedenler, mikro yerine nano boyutlu parçacıkların tercih edilir olmasını sağlamıştır. Fakat nano dolgu malzemesinin üretilmesi ve kullanılması hem zahmetli hem de maliyetli bir süreçtir. Nano tozların yapıştırma bağlantılarının mekanik özellikleri geliştirilmesi

mümkün olsa da uygulamanın dikkat istemesi, işlemi zorlaştırmaktadır. Ayrıca nano tozların epoksi matriste dağılımında homojenliğin sağlanması, mikro boyuttaki tozlara kıyasla çok daha zordur [38] ve topaklanma (agregasyon/aglomerasyon) problemleri daha fazladır [39]. Topaklanma durumu, üstün ve gelişmiş özelliklerin elde edilmesini, dolayısıyla nanoyapılı malzemelerin çeşitli uygulamalarda kullanılmasını engeller. Ayrıca nanokompozitlerde, yapının özelliklerini bozan birçok kusur ve istenmeyen gerilme konsantrasyonu üretebilir [40].

Metal malzemelerin yapıştırılması işleminde, yapıştırıcılara eklenen metal veya organik katkıların (mikro veya nano) bağlantının yapıştırma mukavemetini artırdığı bilinmektedir [41-43]. Mikro boyutta tozların dolgu malzemesi olarak yapıştırıcıya eklenmesi, nano tozlara göre daha basittir. Mikro tozların maliyeti uygun, üretilmesi ve temini kolaydır. Yeşil ekonomi, yeşil kimya ve sürdürülebilir ekonomi odağında, özellikle, atık malzemelerden veya yan ürünlerinden oluşan doğal dolgu malzemeleri geliştirme eğilimi artmıştır [44]. Bu eğilim, doğal dolgu malzemelerinin mikro toz olarak kullanılmasını destekleyecek yöndedir. Kaynakların kullanımında israfın azaltılması ve sürdürülebilir üretim kavramı 4. Sanayi devrimi olarak da adlandırılan Endüstri 4.0'la birlikte oldukça önemli hale gelmiştir. Üretim sektöründe eklemeli imalat veya katmanlı imalat adı verilen yenilikçi bir yöntem kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem; üretimde atık miktarının azalmasının yanı sıra, sürdürülebilir malzemelerin kullanımına olanak sağlamasıyla karbon ayak izlerinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır [45]. Ayrıca, ağırlık ve enerji tasarrufu gibi teknolojik faydaları da bulunmaktadır.

Bu yöntem sayesinde, geleneksel yöntemlerle üretilmede zorluk yaşanan parçaların üretilmesi sağlanmıştır. Yöntemin popülaritesini arttıran araçlardan biri 3B yazıcıdır. 3B yazıcılar, Endüstri 4.0 konseptinin uygulanmasında hayati bir rol oynamaktadır [46]. 3B yazıcılarda kullanılan ana malzeme, termoplastik filamentlerdir. Plastik malzemeler çevre sorunu olarak nitelendirilseler de hala çeşitli sanayi dallarında ve gündelik yaşantımızda vazgeçilmezdir. Yazıcılarda üretim gerçekleştirilmesinin maliyet ve zaman açısından

avantajları bulunmasına rağmen, üretilen parçalardaki boyutlar yazıcının tabla boyutları yüzünden sınırlıdır. Sanayide, üretilen parçaların birleştirilmesiyle ana parçanın oluşturulması gereken pek çok durum vardır. Bu nedenle büyük boyutlu parçalar için, küçük parçaların birbirine monte edilmesi yöntemi benimsenmektedir. Termoplastik malzemelerin birleştirilmesinde, parça görünümüne (estetik olarak) zarar vermeyecek hem pratik hem de hızlı bir teknik kullanılması gereklidir. Geleneksel birleştirme yöntemlerinden olan yapıştırma işlemi, 3B yazıcılarda üretilen parçalarda kullanmak için uygulanabilir yöntemlerden biri olarak ön plana çıkmaktadır. 3B yazıcıdan çıkan parçaların yapıştırılması hakkında bazı çalışmalar vardır. Plastik malzemelerin yapıştırılması konusunda ise, toz katkılı yapıştırıcıların bağlantı dayanımına etkilerinin incelendiği bir çalışma yoktur. Bu çalışmada, 3B yazıcıda basılan parçaların birleştirilmesinde kullanılan yapıştırıcıların toz katkısı ile güçlendirilmesi yöntemi üzerinde çalışılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, eklemeli imalat yöntemiyle üretilmiş plastik esaslı malzemelerin yapıştırıcı ile birleştirilmesi işleminde, malzeme doluluk oranı ve yapıştırıcı çeşidine (katkısız/sade ve katkılı yapıştırıcı) bağlı olarak oluşturulan bağlantıların dayanımını incelemektir. Eklemeli imalat baskı parametrelerinden, iki farklı malzeme doluluk oranı (%20 ve %100) ve yapıştırma parametrelerinden, iki farklı ticari (Araldite 2015, Loctite 9466) ve iki farklı ticari olmayan yapıştırıcı (PVC ve PS-Th esaslı yapıştırıcı), mekanik yüzey hazırlama (240 SiC) ile metal klips kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, 3B yazıcı ile üretilen malzemelerin yapıştırıcıyla birleştirilmesinde önemli parametrelerden biri olan yapıştırıcı çeşidi ile yapıştırıcıya eklenen dolgu malzemesi etkisinin anlaşılmasında ve işlem için uygun şartların belirlenmesinde literatüre katkıda bulunacaktır.

2. DENEYSEL PROSEDÜR

2.1. Numunelerin Hazırlanması

Yapılan çalışmada dört farklı yapıştırıcı (PS-Th ve PVC esaslı, Araldite 2015, Loctite 9466), iki farklı doluluk oranında (% 20 ve %100) PLA Plus plakalar kullanılmıştır. Yapıştırıcı içine 5% lehim ve fındık kabuğu tozu katılmış ve tozların yapıştırma dayanımına etkileri incelenmiştir. PLA Plus filamentin (1.75 mm

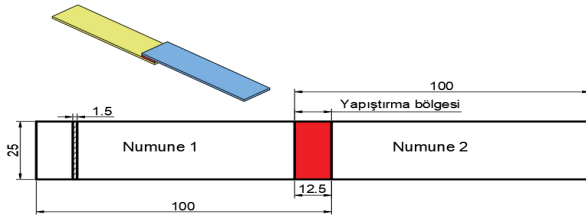
çapında ESUN marka) mekanik özellikleri Çizelge 1’de, numunelerin hazırlanmasında kullanılan baskı parametreleri Çizelge 2’de verilmiştir. Numunelerin üretilmesinde Ender S-1 3B yazıcı kullanılmıştır. Deneylerde PLA Plus malzemenin mekanik özelliklerinin belirlemek için %20 ve %100 doluluk oranlarında ASTM D608-10 [47] standartlarına uygun çekme test numuneleri, sonra yapıştırma bağlantıları için 25*100*1.5 mm plakalar (Şekil 1) hazırlanmıştır.

Çizelge 1. PLA Plus malzemesinin teknik özellikleri [48].

| Mekanik Özellikler | PLA Plus |
|-------------------------------|----------|
| Filament Çapı (mm) | 1.75 |
| Renk | Siyah |
| Çekme Dayanımı (MPa) | 63 |
| Kopma Uzaması (%) | 20 |
| Yoğunluk (g/cm ³) | 1.23 |
| Erime Noktası (°C) | 205-225 |

Çizelge 2. 3B yazıcı baskı parametreleri.

| Doluluk Oranı | Katman Kalınlığı | Nozul Sıcaklığı | Tabla Sıcaklığı | Basma Hızı |
|---------------|------------------|-----------------|-----------------|------------|
| 20% | | | | |
| 100% | 0.2 mm | 210 °C | 55 °C | 50 mm/s |



Şekil 1. Tekli bindirme bağlantısı ölçüleri.

2.2. Yapıştırıcı özellikleri

Çalışmada iki farklı ticari yapıştırıcı (Araldite 2015 ve Loctite 9466) ve iki farklı ticari olmayan (PVC esaslı ve PS-Th esaslı) laboratuvar ortamında üretilen yapıştırıcı olmak üzere dört yapıştırıcı kullanılmıştır. Araldite 2015; çok amaçlı, iki bileşenli, oda sıcaklığında kürlen, yüksek mukavemetli, korozyon direnci yüksek bir epoksi yapıştırıcıdır [49-50]. Loctite 9466 güçlendirilmiş bir 2K-Epoksi yapıştırıcı olup, uzun çalışma süresi ve yüksek yapışma mukavemeti sağlayan epoksi bazlı bir yapıştırıcıdır [51-53]. Metal, seramik ve

plastikler olmak üzere birçok uygulama alanına sahiptir. Çizelge 3’te Araldite 2015 ve Loctite 9466 yapıştırıcıların mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3. Araldite 2015 ve Loctite 9466 mekanik özellikleri

| | Araldite 2015 [54] | Loctite 9466 [55] |
|----------------------------|--------------------|-------------------|
| Elastisite modülü (MPa) | 1850 | 1718 |
| Çekme gerilmesi (MPa) | 21.6 | 32 |
| Poisson oranı | 0.33 | 0.33 |
| Çekme akma gerilmesi (MPa) | 12.6 | - |
| Uzama % | 4.2 | 3 |
| Shore D sertlik | - | 60 |

PS-Th (polistiren) ve PVC (polivinil klorür) esaslı yapıştırıcılar, sırasıyla Toluen ve Tetrahidrofur (THF) çözücüler kullanılarak hazırlanmıştır. Polistiren ile PVC’nin mekanik özellikleri ve çözelti içindeki ağırlıkça oranları Çizelge 4’te verilmiştir.

PVC kütlelerinin %57’si klordan oluşan bir termoplastik malzemedir. PVC, dayanıklılığı ve ekonomik olması nedeniyle en çok kullanılan plastik malzemelerden birisidir [56-57]. Polistiren araştırmalarda yaygın olarak kullanılan ve üretim ölçeği yıllık birkaç milyon tonu bulan plastiklerdendir [58-59]. Kullanım alanlarının başında kaplar, kapaklar, şişeler, tepsiler, bardaklar ve tek kullanımlık çatal, bıçak takımı gelmektedir [60]. Termoplastik bir polimer olan polistiren oda sıcaklığında katı (camsı) haldedir ancak camsı geçiş sıcaklığı olan yaklaşık 100 °C’ nin üzerinde ısıtıldığında akar. Soğutulduğunda tekrar sertleşir. Bu sıcaklık davranışı ekstrüzyon (straforda olduğu gibi) ve ayrıca kalıplama ve vakumla şekillendirme için kullanılır, çünkü ince detaylı kalıplara dökülebilir.

Çözücülerden THF, çok çeşitli polar ve polar olmayan bileşenleri çözen heterosiklik organik ve polar aprotik bir çözücüdür [61]. THF’nin uçucu karakterinden dolayı, hazırlanan yapıştırıcı uygulandıktan sonra kolayca uçabilmekte ve bağlantı bölgesinde diğer maddeler kalmaktadır [62]. PVC, THF çözücünde iyi çözünür ve yapıştırıcı uygulandıktan sonra hızlı uçucu olarak yapışma işlemini tamamlar. PS-Th deki Toluen çözücü,

yapışma sürecinde THF den daha geç buharlaşır ve yapışma biraz daha geç tamamlanır.

Çizelge 4. PS-Th ve PVC yapıştırıcıların mekanik özellikleri.

| | Çekme gerilmesi (MPa) | Uzama | Çözücü | Ağırlık (gr) | Moleküler Ağırlık | | |
|-------|-----------------------|-------|--------|--------------|-------------------|----------|------|
| | | | | | Mn (kDa) | Mw (kPa) | PDI |
| PS-Th | 13.09 | 10.5 | Toluen | 15/85 | 120 | 201 | 1.67 |
| PVC | 40.36 | 14.12 | THF | 10/90 | 84 | 174 | 2.07 |

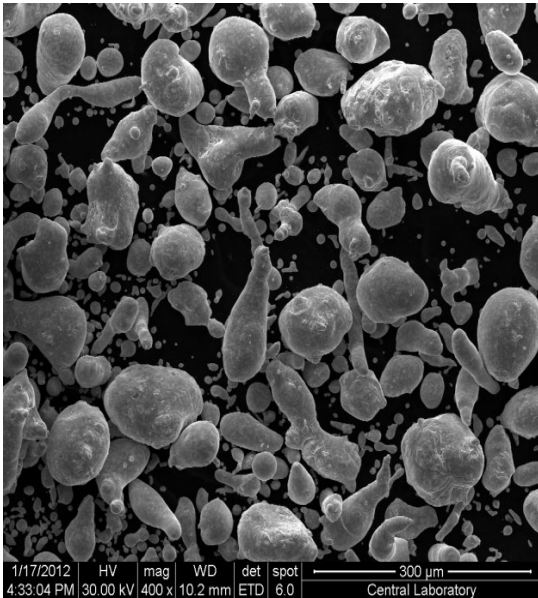
2.3 Dolgu Malzemeleri

Yapıştırıcılara eklenen yumuşak lehim tozu, 44-100 µm boyutlarında ve 63Sn37Pb-ötektik malzemedir. %63 kalay ve %37 kurşundan oluşan ve erime noktası 183°C olan bir alaşımdır. Şekil 2 (a)'da lehim tozu SEM görüntüsü ve (b)'de EDX analizi bulunmaktadır. Yumuşak lehim tozunun şeklinin yuvarlağa yakın fakat düzensiz olduğu, tozun kurşun ve kalay elementlerinden oluştuğu görülmektedir.

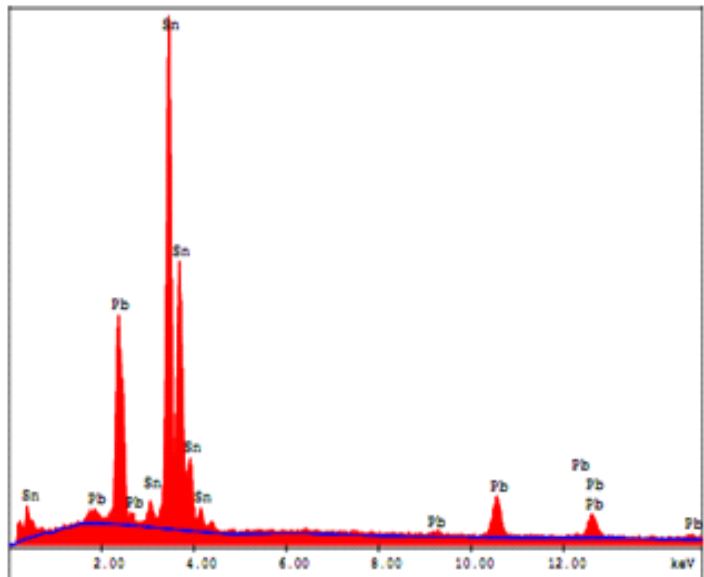
Fındık kabuğu tozu, fındık kabuklarından elde edilmiştir. Fındık kabukları, fırında kurutulduktan sonra halkalı değirmende öğütülmüş ve elek sarsma makinasında elenerek, boyutu 45 µm olan tozlar ayrılmıştır.

Yapılan çalışmada, fındık kabuğu tozu ve lehim tozu ağırlıkça %5 oranında yapıştırıcıya eklenmiştir. Deneylede eklenen tozların boyut farklılıklarından kaynaklanabilecek problemleri ortadan kaldırabilmek için mümkün mertebe yakın boyutlarda tozlar kullanmaya özen gösterilmiştir. Lehim tozunun yoğunluğu 7.31 g/cm³ ve fındık kabuğu tozunun yoğunluğu 0,7240 g/cm³'tür.

Fındık kabuğu tozunun kırılğan yapısından dolayı farklı geometrilere sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3.a). Fındık kabuğu tozlarının element analizlerinde (Şekil 3.b), karbon ve oksijen elementlerinin olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.'te fındık kabuğu tozu FTIR analizi sonuçları verilmiştir.

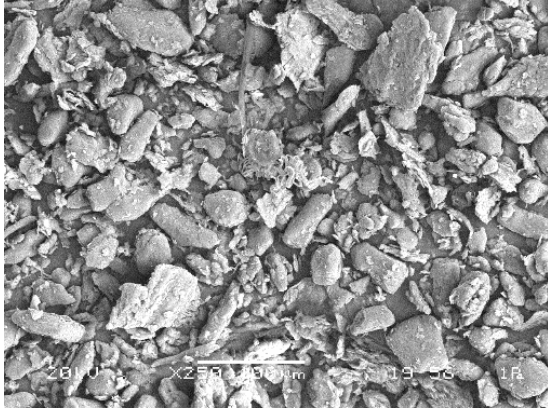


a

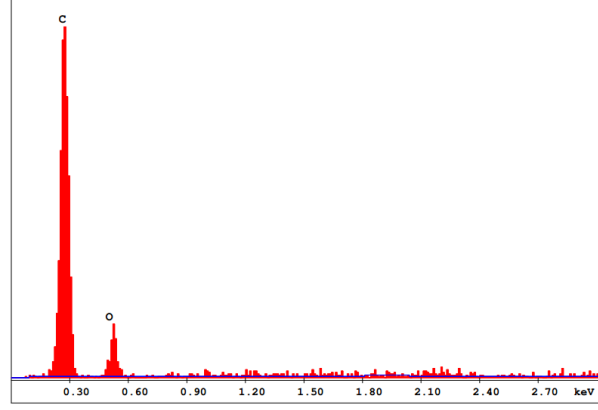


b

Şekil 2. Yumuşak lehim tozunun (a) SEM görüntüsü, (b) EDX analiz.



a

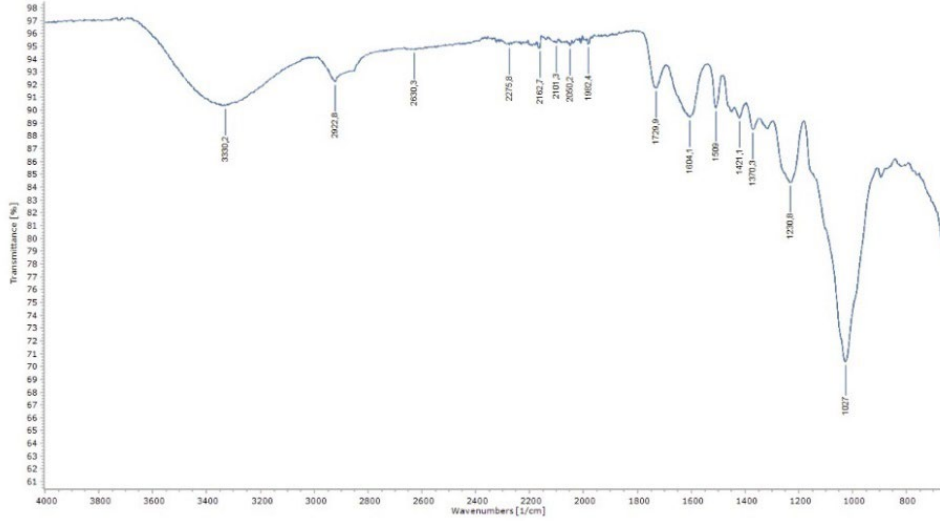


b

Şekil 3. Fındık kabuğu tozunun (a) SEM görüntüsü, (b) EDX analiz.

Fındık organik yapıdadır, -OH ve -CH grupları gözlenir (3330 cm^{-1} OH ve 2923 cm^{-1} CH). Aynı şekilde organik yapılarda da $1604'$ lerde alken

grupları (C=C), $1231'$ lerde amin grupları ve $1027'$ lerde alifatik CO grupları görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Fındık kabuğu tozu FTIR analizi.

2.4. Yapıştırma Parametreleri

Şekil 1'de tekli bindirme bağlantısının görünüşü verilmiştir. Eriyik biriktirme yöntemiyle üretilen parçaların yapıştırma performansını incelemek için parçaların doluluk oranı (%20 ve %100), yüzey hazırlığı için 240 SiC zımpara kullanılarak yapıştırma gerçekleştirilmiştir. Belirlenen parametrelere göre deney tasarımı Çizelge 5'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 zımpara kullanılmıştır. Zımparalama işlemi sırasında yapıştırma bölgesinde parça eksenine dik ve yatay olarak gerçekleştirilmiştir. Zımparalama işlemi yapıştırma yüzeyinin hepsini kapsayacak şekilde yapılmıştır. Yapıştırılan numuneler bindirme bölgesinde, metal kağıt klips sıkıştırma tipi ile basınç uygulamasına maruz bırakılmıştır. Aynı ortam şartlarında, yapıştırıcı üreticisinin tavsiyesine uygun şekilde kürlenme işleme gerçekleştirilmiştir. Yapıştırıcı kürlendikten sonra (24 saat) basınç ortadan kaldırılmış ve bağlantılar oluşturulmuştur.

Çizelge 5. Deneysel tasarımı

| No | Malzeme | Yapıştırıcı | Doluluk oranı | Katkı Maddesi | Katkı oranı % | Yüzey hazırlama | Sıkıştırma tipi |
|----|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | PS-Th | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | %20 | Sade | | | |
| 5 | | PVC | | | %0 | | |
| 6 | PLA Plus | | | Fındık | | 240 SiC | Klips |
| 7 | | | %100 | | %5 | | |
| 8 | | Araldite 2015 | | Lehim | | | |
| 9 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | Loctite 9466 | | | | | |
| 12 | | | | | | | |

2.5. Çekme testi

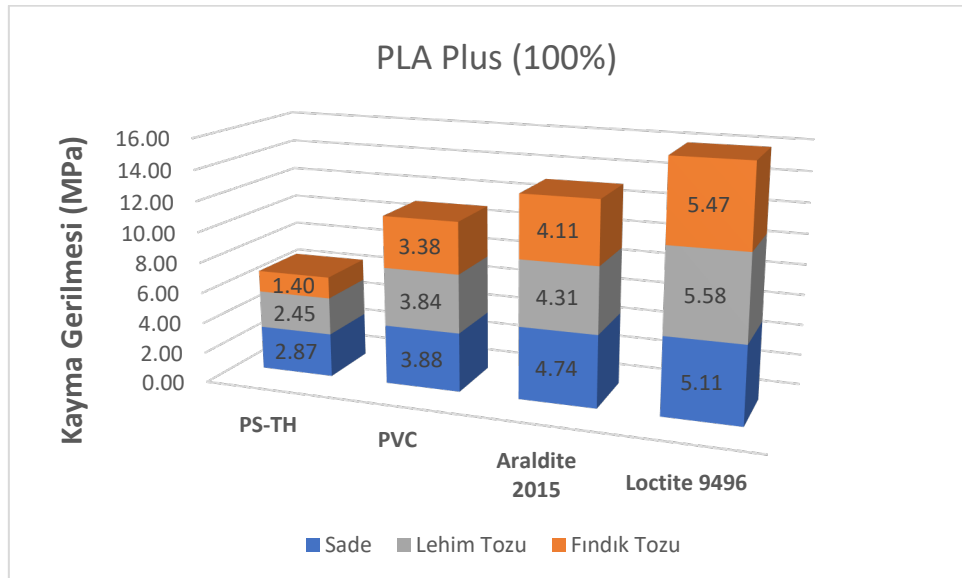
Yapıştırma bağlantısının mukavemetini belirlemek için çekme testleri, 5 KN kapasiteli WDW-5 model universal çekme cihazında, çekme hızı 1 mm/dk olarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Tüm deneyler beş tekrarlı olarak yapılmış, sonuçların ortalaması alınmıştır.

3.BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1.Yapıştırma bağlantı mukavemetlerinin değerlendirilmesi

%100 doluluk oranında basılan parçalarla yapılan yapıştırma bağlantıları her durumda, %20 doluluk oranında basılan parçalarla yapılan yapıştırma bağlantılarından daha mukavemetli çıkmıştır. 3B yazıcılarda basılan parçaların doluluk oranı arttıkça, malzemenin mukavemetinin arttığı anlaşılmaktadır. Şekil 5.'den görüldüğü üzere en yüksek çekme mukavemetini lehim tozu katkılı Loctite 9466

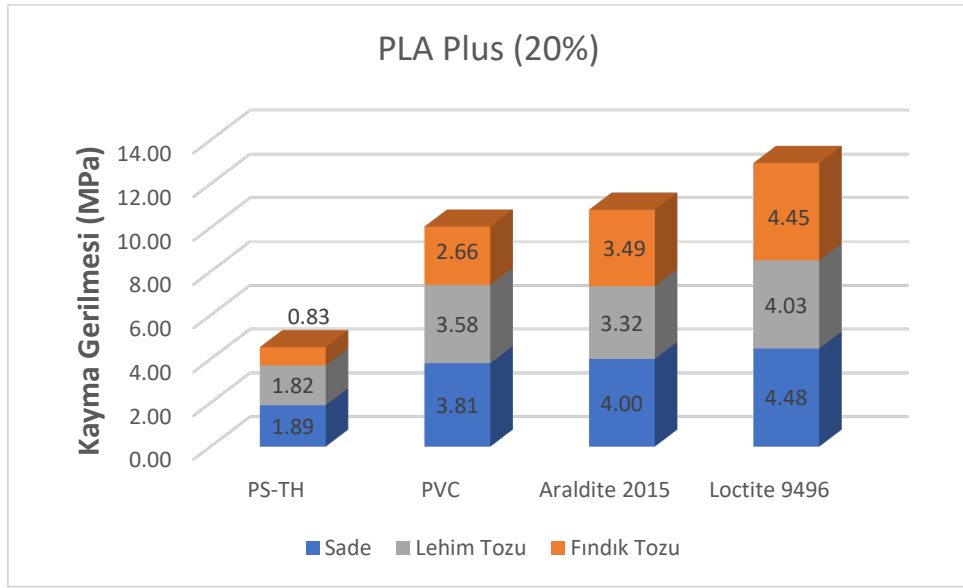
yapıştırıcı sağlamış olup, lehim tozunun sertliğinin yüksek olması sayesinde bağlantı mukavemetinde avantaj yakalanmıştır. Buna rağmen, Loctite 9466'e eklenen fındık kabuğu tozunun kırılabilirliği yüzünden mukavemet artışı lehim tozuyla elde edilene kıyasla biraz daha azdır. PS-Th, PVC ve Araldite 2015 yapıştırıcıların %5 fındık veya lehim tozu eklenmesiyle elde edilen mukavemet değerleri, sade hallerine kıyasla düşük çıkmıştır (Şekil 5). Loctite 9466'da ise %5 fındık veya %5 lehim tozu eklenmesi ile sade Loctite 9466'ya göre mukavemet yükselmiştir. %100 dolu parçalarda yapıştırma mukavemeti sade veya katkılı yapıştırıcıya bağlı olarak değerlendirildiğinde sıralama PS-Th<PVC<Araldite2015<Loctite 9466 olarak bulunmuştur. Şekil 6.'da ise görüldüğü üzere en yüksek çekme mukavemetini sade Loctite 9466 yapıştırıcı sağlamıştır.



Şekil 5. %100 doluluk oranına sahip bağlantılarda ortalama kayma gerilmeleri.

Şekil 6'da PS-Th, PVC, Araldite2015 ve Loctite 9466 yapıştırıcıların %5 fındık veya lehim tozu eklenmesiyle elde edilen mukavemet değerleri, sade olanlara kıyasla düşüktür. Bununla birlikte Araldite 2015 ve Loctite 9466 yapıştırıcılarda %5 lehim tozu eklenmesi ile oluşan mukavemetteki düşüş, %5 fındık kabuğu tozu eklenmesinden daha fazladır. PS-Th ve PVC yapıştırıcılarda %5 lehim tozu eklenmesi ile oluşan mukavemetteki düşüş, %5 fındık kabuğu tozu eklenmesinden daha azdır. %20

dolu parçalarda yapıştırma mukavemeti sade ve %5 fındık kabuğu tozu katkılı yapıştırıcıya bağlı olarak değerlendirildiğinde sıralama PS-Th<PVC<Araldite2015<Loctite 9466 olarak bulunmuştur. Lehim tozu katkısı eklendiğinde, PVC esaslı yapıştırıcı bağlantı mukavemeti lehim tozu katkılı Araldite2015'in bağlantı mukavemetinden bir miktar yüksek çıkmıştır. Şekil 5.ve Şekil 6.'da, en düşük bağlantı mukavemetini PS-Th Toluen çözücülü yapıştırıcının sağladığı görülmektedir



Şekil 6. %20 doluluk oranına sahip bağlantılarda ortalama kayma gerilmeleri

Araldite 2015 yapıştırıcı tiksotropik viskoziteye, Loctite 9466 yapıştırıcı ise orta seviye viskoziteye sahiptir. Dolgu maddeleri, yapıştırıcıların reolojik davranışını etkilemektedir [63]. Lehim tozunun içeriği, boyutu ve şeklide reolojiyi önemli ölçüde değiştirir [64]. Dolayısıyla, deneylerde kullanılan yapıştırıcıların reolojik davranışları birbirinden farklıdır.

Şekil 6.'da sade ve katkılı yapıştırma bağlantılarının tümünde mukavemet, %100 doluluk oranındaki eş bağlantılara kıyasla düşük çıkmıştır. Parça doluluk oranı azaldığında, yapıştırıcı içine eklenen toz cinsine bağlı olmaksızın bağlantı mukavemeti olumsuz etkilenmiştir.

%100 doluluk oranlarında üretilen parçalar, geleneksel yöntemlerle üretilen parça özelliklerine daha yakın olduğundan bu kıyaslamayla mekanik özellikleri değerlendirmek daha anlamlıdır. Doluluk oranı

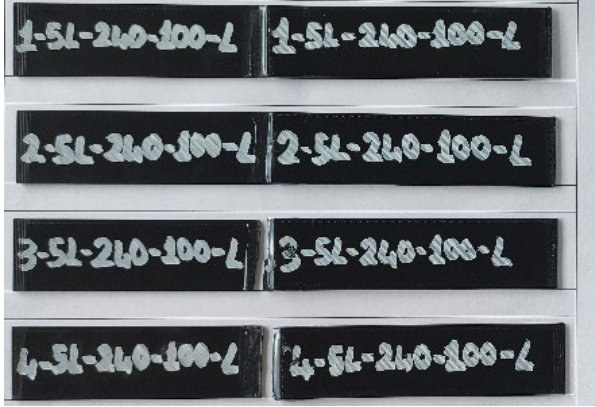
azaltılmış malzemeler için referans alınabilecek çalışma sonuçları sınırlıdır.

Yapıştırma bağlantıları için dolgu malzemesi seçiminde, bağlantı mukavemetleri kadar üretim maliyetleri de dikkate alınmalıdır. Atık malzemelerin geri dönüştürülerek değerlendirilebileceği kullanım alanlarından biri, dolgu malzemeleri kategorisi olabilir. Bu çalışmada kullanılan lehim tozu, hem üretilmesindeki zorluk hem de yüksek maliyet açısından fındık kabuğu tozundan ayrılır. %100 dolu parçalarda en yüksek mukavemeti sağlayan Loctite 9466'ya lehim tozu ve fındık kabuğu tozu eklenmesiyle elde edilen sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır. Bunun gibi durumlarda, yapıştırma bağlantısının kullanılacağı yerdeki çalışma şartları göz önüne alınarak uygun dolgu malzemesi seçilmesi maliyeti azaltacaktır.

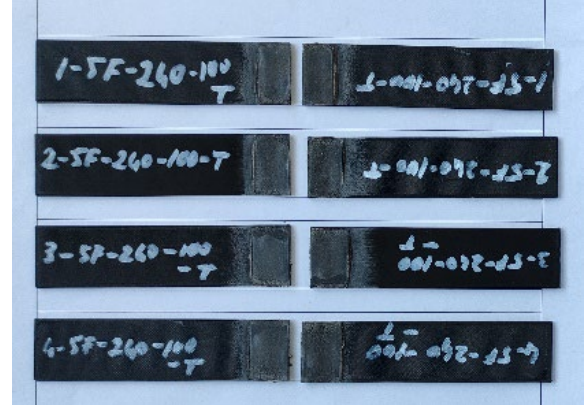
3.2. Kopma yüzeylerinin değerlendirilmesi

Çekme testi sonrası yapıştırıcı bağlantıların kopma yüzeylerinin görüntüleri alınarak hasar türleri incelenmiştir. Şekil 7’de %100 dolu

parçalarla yapılan en yüksek ve en düşük mukavemete sahip yapıştırma bağlantılarının kopma yüzeyleri gösterilmiştir.

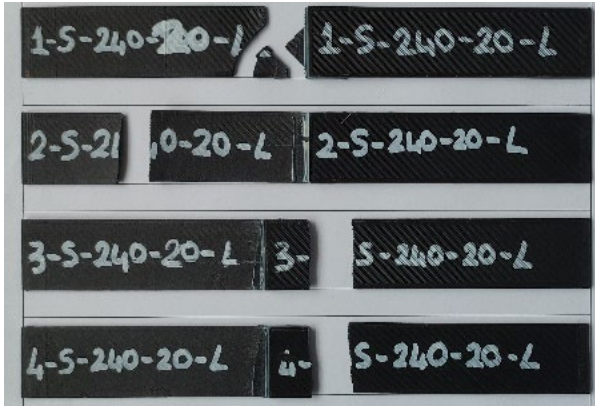


%5 lehim tozu katkılı Loctite 9466 (yüksek mukavemet)

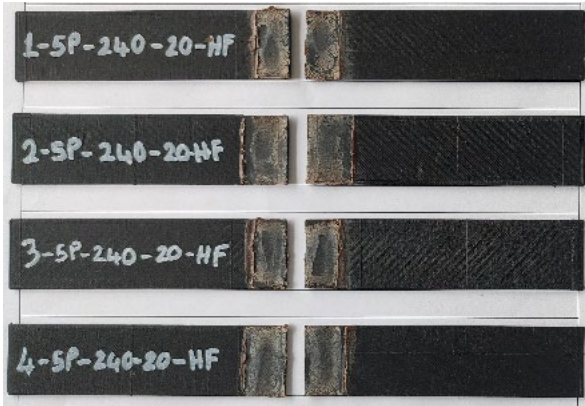


%5 fındık kabuğu tozu katkılı PS-Th (düşük mukavemet)

Şekil 7. %100 dolu parçalarda bağlantı kopma yüzeyleri



a) Sade Loctite 9466



b) %5 fındık kabuğu tozu katkılı PVC

Şekil 8. %20 dolu parçalarda bağlantı kopma yüzeyleri

%5 lehim tozu katkılı Loctite 9466 bağlantılarında kopma, yapışma bölgesinin sınırında ana malzemede gerçekleşmiştir. Tabaka kusuru adı verilen bu durum, yapıştırıcının mukavemeti parça mukavemetinden fazla ise meydana gelmektedir. Yapıştırıcı içine eklenen lehim tozunun şeklinin düzensiz olması, yapıştırıcıya tutunması için pozitif etki olmuştur.

Şekil 8 a)’da %20 dolu parçalar için en yüksek dayanıma sahip sade Loctite 9466 kullanılan bağlantılardaki tabaka kusuru görülmektedir. Şekil 8 b)’de ise %5 fındık kabuğu tozu katkılı PVC esaslı THF çözücü yapıştırıcıda karışık hasar (yapışma ve kohezyon hatası) olan numuneler verilmiştir. Şekil 7 ve Şekil 8’deki numune örneklerinden fındık kabuğu tozu

eklenmesiyle yapıştırıcı formülünün şeffaf olan rengini kahverengine, lehim tozu eklenmesiyle ise metalik gri renge dönüştürdüğü görülmektedir.

4. SONUÇLAR

- 3B yazıcıda üretilen parçalarda doluluk oranı azaldığında, parça mukavemeti azalmaktadır.
- Yapıştırma bağlantılarında en yüksek dayanımı Loctite 9466 yapıştırıcı, en düşük dayanımı ise PS-Th yapıştırıcı göstermiştir.
- Eklemeli imalatla üretilen parçalar değerlendirilirken, geleneksel yöntemlerle üretilen parçalar referans alınmaktadır. Bu nedenle 3B yazıcılarla üretilen parçalarda yapılan işlemlerin doluluk oranları dikkate alınarak yorumlanması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

- %100 doluluk için Loctite 9466 yapıştırıcı içine %5 lehim ve fındık kabuğu tozu katkısı, deneylerde tüm yapıştırıcılara kıyasla daha yüksek mukavemet sağlamıştır.
- %20 doluluk oranındaki parçalarla yapılan yapıştırma işleminde, yapıştırıcıya dolgu malzemesi eklemenin mukavemeti olumsuz etkilediği görülmüştür.
- Yapıştırıcı dolgu malzemesi seçiminde, mukavemetin yanı sıra maliyette göz önüne alınması toplam maliyeti azaltmak için önemlidir. Organik, atık malzemelerin katma değer yaratacak yapıştırıcı veya kompozit dolgu malzemeleri olarak kullanılmaları desteklenmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kapadokya Üniversitesi Araştırmaları tarafından desteklenmiştir. (#KÜN.2020-BAGP-001).

KAYNAKLAR

- 1.Ghosh, P. and Nukala, S., "Properties of adhesive joint of inorganic nano-filler composite adhesive", *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, Vol. 15, Pages 68-74, 2008.
- 2.Barbosa, A., Silva, L.F.M., Abenojar, J. Figueiredo, M. and Öchsner, A., "Toughness of a brittle epoxy resin reinforced with micro cork particles: Effect of size, amount and surface treatment", *Composites Part B: Engineering*, Vol. 114, Pages 299-310, 2017.
- 3.Martuscelli, E., Musto, P. and Ragosta, G., "Advanced routes for polymer toughening", Pages 43-46, Arco Felice, Italy, 1996.
- 4.Mahrtdt, E., Pinki, S., Schmidberger, C., Herwijwn H.W.G. Veigel S. and Altmutter W.G., "Effect of addition of microfibrillated cellulose to urea-formaldehyde on selected adhesive characteristics and distribution in particle board", *Cellulose*, Vol. 23, Pages 571-580, 2016.
- 5.Mirski, R., Kawalerczyk, J., Dziurka, D., Wieruszewski, M. and Trocinski, A., "Effects of using bark particles with various dimensions as a filler for urea-formaldehyde resin in plywood", *BioResources*, Vol. 15, Issue 1, Pages 1692-1701, 2020.
- 6.Liu, J., Mo, J., Xie, E., Fang, J., Hou, Z. and Gan, W., "Utilization of carbon black from Mao bamboo as reinforcing agent for melamine urea formaldehyde resin wood adhesive", *Industrial Crops and Products*, Vol. 187, Pages 115373, 2022.
- 7.Xanthos, M., "Functional Fillers for Plastics: Second, Updated and Enlarged", Pages 19-42, Elsevier Inc, Waltham, 2005.
- 8.Njoku, R., Okon, A. and Ikpaki, T., "Effects of variation of particle size and weight fraction on the tensile strength and modulus of periwinkle shell reinforced polyester composite", *Nigerian journal of technology*, Vol. 30, Issue 2, Pages 87-93, 2011.
- 9.Vishwas, M., Vinyas, M. and Puneeth, K., "Influence of areca nut nanofiller on mechanical and tribological properties of coir fibre reinforced epoxy based polymer composite", *Scientia Iranica*, Vol. 27, Issue 4, Pages 1972-1981, 2020.
- 10.Alves, C., Ferrao, P.M.C., Silva, A.J., Reis, L.G., Freitas, M., Rodrigues, L.B. and Alves, D.E., "Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites", *Journal of cleaner production*, Vol. 18, Issue 4, Pages 313-327, 2010.
- 11.Kumar, P., Singh, R.K. and Kumar, R., Joining similar and dissimilar materials with GFRP. *International journal of adhesion and adhesives*, Vol. 27, Issue 1, Pages 68-76, 2007.
- 12.Yoon, S.H., Kim B.C., Lee, K.H. and Lee, D.G., "Improvement of the adhesive fracture toughness of bonded aluminum joints using e-glass fibers at cryogenic temperature", *Journal of adhesion science and technology*, Vol. 24, Issue 2, Pages 429-444, 2010.
- 13.Zhang, H., Zhang, Z. and Friedrich, K., "Effect of fiber length on the wear resistance of short carbon fiber reinforced epoxy composites", *Composites science and technology*, Vol. 67, Issue 2, Pages 222-230, 2007.
- 14.Park, S.W., Kim, B.C. and Lee, D.G., "Tensile strength of joints bonded with a nano-particle-reinforced adhesive", *Journal of Adhesion Science and Technology*, Vol. 23, Issue 1, Pages 95-113, 2009.
- 15.Zakiah, A., Ansell, M.P., Smedley, D. and Tahir P.M., "The Effect of Long Term Loading on Epoxy-Based Adhesive Reinforced with Nano-Particles for In Situ Timber Bonding", *Advanced Materials Research*, Vol. 545, Pages 111-118, 2012.
- 16.Bagheri, R., Marouf, B. and Pearson, R., "Rubber-toughened epoxies: a critical review. *Journal of Macromolecular Science®*", Part C: *Polymer Reviews*, Vol. 49, Issue 3, Pages 201-225, 2009.
- 17.Kilik, R. and Davies, R., "Mechanical properties of adhesive filled with metal powders. *International*

Journal of Adhesion and Adhesives", Vol. 9, Issue 4, Pages 224-228.

18.Zhai, L., Ling, G. and Wang, Y., "Effect of nano-Al₂O₃ on adhesion strength of epoxy adhesive and steel", International journal of adhesion and adhesives, Vol. 28, Issue 1, Pages 23-28, 2008.

19.Ozçifci, A., Kara, M.E. and Kaymakci, A., "Impact of PF and MUF adhesives modified with TiO₂ and SiO₂ on the adhesion strength", Wood Research, Vol. 63, Issue 1, Pages 75-84, 2018.

20.Diharjo, K., Afandi, R., Purwanto, A., Suharty, N.S., Jihad, B.H., Nasiri, S.J.A., Firdaus, Y. and Tjahjana, A.D.D.P., "Adhesive nanosilica/aluminium powder—Epoxy for joint application on composite car body of electrical vehicle", Joint International Conference on Rural Information & Communication Technology and Electric-Vehicle Technology (rICT & ICeV-T), Pages 1-5, Bandung, Indonesia, 2013.

21.Sanghvi, M.R., Tambare, O.H. and More, A.P., "Performance of various fillers in adhesives applications: a review", Polymer Bulletin, Vol. 79, Issue 12, Pages 10491-10553, 2022.

22.Hýsek, Š., Sedivka, P., Böhm, M., Schönfelder, O. and Beran, R., "Influence of using recycled polyurethane particles as a filler on properties of polyurethane adhesives for gluing of wood", BioResources, Vol. 13, Issue 2, Pages 2592-2601, 2018.

23.Amdouni, N., Sautereau, H. and Gerard, J., "Epoxy composites based on glass beads. II. Mechanical properties", Journal of applied polymer science, Vol. 46, Pages 1723-1735, 1992.

24.Radford, K., "The mechanical properties of an epoxy resin with a second phase dispersion", Journal of Materials Science, Vol. 6, Pages 1286-1291, 1971.

25.Spanoudakis, J. and Young, R., "Crack propagation in a glass particle-filled epoxy resin: Part 1 Effect of particle volume fraction and size", Journal of Materials Science, Vol. 19, Pages 473-486, 1984.

26.Harper, C.A., Modern plastics handbook, Chapter 1 Thermoplastics (Fillers), McGraw-Hill Education, 2000.

27.Shunmugasundaram, M., Kumar, A.P., Baig, M.A.A., and Kasu, Y., "Investigation on the effect of nano fillers on tensile property of neem fiber composite fabricated by vacuum infused molding technique", IOP Conference Series: Materials

Science and Engineering, IOP Publishing, Pages 1057, 2021.

28.Johnsen, B., Kinloch, A.J., Mohammed, R.D., Taylor, A.C. and Sprenger, S., "Toughening mechanisms of nanoparticle-modified epoxy polymers", Polymer, Vol. 48, Issue 2, Pages 530-541, 2007.

29.Oksman, K., Skrifvars, M. and Selin, J.-F., "Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites", Composites science and technology, Vol. 63, Issue , Pages 1317-1324, 2003.

30.Barbosa, A., Silva, L.F.M., Banea, M.D. and Öchsner, A., "Methods to increase the toughness of structural adhesives with micro particles: An overview with focus on cork particles", Materials Science & Engineering Technology, Vol. 47, Pages 4, Pages 307-325, 2016.

31.Hamza, T.A., Rosenstiel, S.F., Elhosary, M.M. and Ibraheem, R.M., "The effect of fiber reinforcement on the fracture toughness and flexural strength of provisional restorative resins", The Journal of prosthetic dentistry, Vol. 91, Issue 3, Pages 258-264, 2004.

32.Greiner, A. and Wendorff, J.H., "Electrospinning: a fascinating method for the preparation of ultrathin fibers", Angewandte Chemie International Edition, Vol. 46, Issue 30, Pages 5670-5703, 2007.

33.Fu, S.-Y., Feng, X.-Q., Lauke, B. and Mai, Y.W., "Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate-polymer composites", Composites Part B: Engineering, Vol. 39, Issue 6, Pages 933-961, 2008.

34.Cho, J., Joshi, M. and Sun, C., "Effect of inclusion size on mechanical properties of polymeric composites with micro and nano particles", Composites Science and Technology, Vol. 66, Issue 13, Pages 1941-1952, 2006.

35.Sumita, M., Shizuma, T., Miyasaka, K. and Ishikawa, K., "Effect of reducible properties of temperature, rate of strain, and filler content on the tensile yield stress of nylon 6 composites filled with ultrafine particles", Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics, Vol. 22, Issue 4, Pages 601-618, 1983.

36.Kim, B.C. and Park, S.W., "Fracture toughness of the nano-particle reinforced epoxy composite", Composite structures, Vol. 86, Issue 3, Pages 69-77, 2008.

- 37.Jojibabu, P., Zhang, Y. and Prusty, B.G., "A review of research advances in epoxy-based nanocomposites as adhesive materials", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 96, Pages 102454, 2020.
- 38.Rudawska, A. and Frigione, M., "Cold-cured bisphenolic epoxy adhesive filled with low amounts of CaCO₃: Effect of the filler on the durability to aqueous environments", *Materials*, Vol. 14, Issue 6, Pages 1324, 2021.
- 39.Zare, Y., "Study of nanoparticles aggregation/agglomeration in polymer particulate nanocomposites by mechanical properties", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 84, Pages 158-164, 2016.
- 40.Zare, Y., Garmabi, H. and Sharif, F., "Optimization of mechanical properties of PP/Nanoclay/CaCO₃ ternary nanocomposite using response surface methodology", *Journal of applied polymer science*, Vol. 122, Issue 5, Pages 3188-3200, 2011.
- 41.Kahraman, R., Sunar, M. and Yilbas, B., "Influence of adhesive thickness and filler content on the mechanical performance of aluminum single-lap joints bonded with aluminum powder filled epoxy adhesive", *Journal of materials processing technology*, Vol. 205, Issue 1-3, Pages 183-189, 2008.
- 42.Anaç, N. and Doğan, Z., "The Effect of Organic Fillers on the Mechanical Strength of the Joint in the Adhesive Bonding. Processes", Vol. 11, Issue 2, Pages 406, 2023.
- 43.Kavak, N. and Altan, E., "A new hybrid bonding technique: Adhesive-soft soldered joints", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, Vol. 228, Issue 2, Pages 137-143, 2014.
- 44.Sztorch, B., Brząkałski, D., Pakuła, D., Frydrych, M., Špitalský, Z. and Przekop, R.E., "Natural and Synthetic Polymer Fillers for Applications in 3D Printing—FDM Technology Area", *Solids*, Vol. 3, Issue 3, Pages 508-548, 2022.
- 45.Singh, G., Dondapati, R.S. and Singh, L.P., "Biomaterials Printing for Sustainability, in Sustainability for 3D Printing", Springer, Pages 15-28, 2021.
- 46.Malik, A., Haq, M.I.U., Raina, A. and Gupta, K., "3D printing towards implementing Industry 4.0: sustainability aspects, barriers and challenges. *Industrial Robot: the international journal of robotics research and application*", Vol. 49, Issue 3, Pages 491-511, 2022.
- 47.Ekrem, M., "Hekzagonal Bor Nitrür Nanoplate-Nano Ag/Epoksi Kompozitler: Üretimi, Mekanik ve Termal Özellikleri", *El-Cezeri, Cilt*, 6, Sayı 3, Pages 585-593, 2019.
- 48.Esun, "Esun PLA+ Properties", <https://www.esun3d.com/pla-pro-product/>, 2 Ocak 2020.
- 49.Bordes, M., Davies, P., Cognard, J-Y., Sohier, L., Moynot, V.S., and Galy, J., "Prediction of long term strength of adhesively bonded steel/epoxy joints in sea water", *International journal of adhesion and adhesives*, Vol. 29, Issue 6, Pages 595-608, 2009.
- 50.Souza, J.P. and Reis, J.M., "Thermal behavior of DGEBA (Diglycidyl Ether of Bisphenol A) adhesives and its influence on the strength of joints", *Applied Adhesion Science*, Vol. 1, Issue 1, Pages 1-10, 2013.
- 51.Frascio, M., Mandolino, C., Moroni, F., Jilich, M., Lagazzo, A., Pizzorni, M., Bergonzi, L., Morano, C., Alfano, M., Avalle, M., "Appraisal of surface preparation in adhesive bonding of additive manufactured substrates", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 106, Pages 102802, 2021.
- 52.Khosravani, M.R., Soltani, P., Weinberg, K. and Reinicke, T., "Structural integrity of adhesively bonded 3D-printed joints", *Polymer Testing*, Vol. 100, Pages 107262, 2021.
- 53.Soykök, İ.F., " İç Basınca Maruz Olarak Çalışan Darbe Hasarlı Cam Elyaf / Epoksi Kompozit Tüplerin Yama Onarım Analizi" [Patch Repair Analysis of Impact Damaged Glass Fiber/Epoxy Composite Tubes Operating Under Internal Pressure] [article in Turkish], *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*. Cilt 25, Sayı 73, Pages 107-120, 2023.
- 54.Huntsman, "Araldite 2015 Adhesive", <https://docs.rs-online.com/47fc/A700000006492752.pdf>, 06 Ekim 2015.
- 55.Henkel, "Loctite EA 9466", https://www.henkel-adhesives.com/tr/en/product/structural-adhesives/loctite_ea_9466.html, 20 August 2019.
- 56.Akovali, G., "Plastic materials: polyvinyl chloride (PVC), in Toxicity of building materials", Elsevier, Pages 23-53, 2012.

- 57.Ahmad, T. and Guria, C., "Progress in the modification of polyvinyl chloride (PVC) membranes: A performance review for wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*", Vol. 45, Pages 102466, 2022.
- 58.Maul, J., Frushour, B.G., Kontoff, J.R., Eichenauer, H., Ott, K.H. and Schade, C., "Polystyrene and styrene copolymers. *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*, Vol. 29, Pages 475-522, 2007.
- 59.Günaydın, O., Demir, A., Atahan, A., Yardım, T. and Yücedağ, İ., "Evaluation of novel thiophene branched polystyrene as insulator layer in organic electronic device", *Journal of Molecular Structure*, Vol. 1185, Pages 121-127, 2019.
- 60.Raheem, D., "Application of plastics and paper as food packaging materials-An overview", *Emirates Journal of Food and Agriculture*,: Vol. 15, Issue 3, Pages, 177-188, 2013.
- 61.Fontes, S.T., Fabrício A.O., Lima G.S., Bueno, M., Schneider, L.F.J., Piva, E., "Tetrahydrofuran as alternative solvent in dental adhesive systems", *Dental Materials*, Vol. 25, Issue 12, Pages 1503-1508, 2009.
- 62.Ikeda, T., Munck, J.D., Shirai, K., Hikita, K., Inoue, S., Sano, H., Lambrechts, P. and Meerbeek, B.V., "Effect of evaporation of primer components on ultimate tensile strengths of primer-adhesive mixture", *Dental Materials*, Vol. 21, Issue 11, Pages 1051-1058, 2005.
- 63.Liu, F., Yu, W., Wang, Y., Shang, R., Zheng, Q., "Curing kinetics and thixotropic properties of epoxy resin composites with different kinds of fillers", *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 18, Pages 2125-2139, 2022.
- 64.Dusek, M., Zou, L., and Hunt, C., "Rheology testing of solder pastes and conductive adhesives used in stencil printing", *Matc(A)*102, 2002.