

# Görüntü Korelasyon Tekniği Kullanılarak ABS 3B Baskıların Kayma Modülü Analizi

Üç boyutlu (3B) baskıların kullanım alanları arttıkça, bu baskıların özelliklerini ve bu özellikleri etkileyen faktörleri anlamak çok önem taşımaktadır. 3B yazdırılan parçaların malzeme özellikleri, bunları yazdırmak için kullanılan ham malzemelerin özellikleriyle eşdeğer değildir. 3B baskının doğası gereği farklı mikro yapısı ve baskı yönleri parçaların anizotropisine neden olur. Bu makale, kesme özelliklerinin anizotropisini belirlemek için Akrilonitril Bütadien Stiren 3B baskılı parçaların mekanik karakterizasyonu için deneysel teknikleri ve sonuçları sunmaktadır. Fiber oryantasyonunun üç boyutlu basılmış parçaların mekanik özellikleri üzerindeki etkisi,  $\pm 45^\circ$  derece yatay ve dikey olarak basılan numunelerle incelenmiştir. Numunelerin tam alan gerinimini ölçmek için Dijital Görüntü Korelasyon Hesaplama yönteminden yararlanılırken evrensel bir test makinesinde yüklemeye tabi tutulmuştur. İnceleme sonuçlarında yatay numuneler dikey numunelere göre %30 daha yüksek kesme mukavemeti göstermiştir.

*Anahtar Kelimeler: Dijital Görüntü Korelasyon Hesaplama, Mekanik Karakterizasyon, 3B baskı, ABS Gerinim*

## Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 04 Aralık 2022

Kabul: 18 Nisan 2023

\*Sorumlu Yazar: Masoud LATIFINAVID

Email: mlatifinavid@thk.edu.tr

DOI:

<https://doi.org/10.56193/matim.1214523>

*Atf şekli/How to cite: Latifinavid M., Görüntü Korelasyon Tekniği Kullanılarak ABS 3B Baskıların Kayma Modülü Analizi. Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2023; 21(1): 22-32.*

## GİRİŞ

Eklemeli imalat (Eİ) bir birleştirme süreci olarak tanımlanır. Bu süreçte talaşlı imalatın aksine üç boyutlu model (3B) verilerinden nesnelere yapmak için genellikle malzemeler katman katman eklenir. Eİ teknolojisi geleneksel yöntemlerle üretilmeyen ve karmaşık geometrilere sahip olan çok çeşitli prototiplerin üretimini mümkün kılar (Alimardani ve ark. 2007; Yakovlev ve ark. 2005) Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, Eİ tasarım-üretim döngüsünü kısaltabilir ve böylece üretim maliyetini düşürerek, rekabet gücünü artırabilir (Hague ve ark. 2003; Hague ve ark. 2003). Ayrıca, modelleme ve tasarım (Sugavanewaran ve ark. 2014) süreçlerindeki gelişmeler sayesinde, Eİ teknolojileri son yıllarda daha çeşitli alanlarda uygulanmıştır. Bu alanların en önemlileri havacılık, otomotiv ve tıp sektörüdür (Antoniw ve ark. 2013; Zeng ve ark. 2013). Eİ teknolojisi özetle fotopolimer sıvı kullanarak (West ve ark. 2001) stereo-litografi (SLA), plastik filamentlerden ergiyik yığıma modellemeyi (FDM) (Dudek 2013), plastik laminasyonlardan laminatlı nesne üretimini (LOM) (Park ve ark. 2000) ve plastik tozlardan seçici lazerli

sinterlemeyi (Kruth ve ark. 2003) kapsamaktadır. Bu teknikler arasında, FDM düşük maliyeti, minimum atık ve malzeme değişimi kolaylığıyla saf plastik parçaların imal edilmesi için en yaygın kullanılan yöntemdir (Noorani 2006).

FDM baskılı parçaların mekanik özellikleri, yazdırma parametreleri (Dey ve ark. 2019), inşa ve doldurma açısı önemli ölçüde etkilenir (Ahn ve diğerleri 2003, 2002). İnşa ve doldurma aşısındaki açıların Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) ve Polikarbont'ın (PC) akma ve nihai çekme mukavemetleri, elastisite modülü ve tokluğu üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Cantrell ve ark. 2017). Sunulan sonuçlar, belirtilen malzeme özelliklerinde önemli bir anizotropi göstermiştir.

Literatürde 3B baskılı parçaların kesme özellikleri de araştırılmış, ancak çoğunda tek eksenli çekme testleri ile elde edilen elastik modülü ve Poisson oranı kesme özelliklerini belirlemek için kullanılmıştır (Ahn ve ark. 2002; Ahn ve ark. 2003). Bu yaklaşımın temelinde, malzemenin izotropik

özelliklere sahip olduğu varsayılır. Doğru kesme modülü ölçümleri elde etmek için, numuneye, normal gerilmelerin en aza indirildiği, saf ve tekdüze kesme gerilimi altında yük uygulanmalıdır.

ASTM 5379 ve ASTM 7078 standartları, kompozit malzemelerin saf ve tekdüze kesme yükü altında kesme özelliklerini belirlemek için özel olarak geliştirilmiş, iyi bilinen doğrudan kesme testi yöntemleridir (ASTM International 2012 ASTM D5379/D5379M-12; ASTM International 2012 ASTM D7078/D7078M-05). Iosipescu test yöntemi kullanılarak kesme gerilim-gerinim davranışının karakterizasyonu, kesme gerilim ve kesme geriniminin kopma meydana gelene kadar tüm yük geçişinin (değerlerinin) ölçülmesini gerektirir.

Hesaplama ve ölçüm tekniklerinin gelişmesiyle birlikte, duyuca geri beslemesi kullanarak Eİ ve nano-partiküllerin özellikle kompozit malzeme davranışı üzerindeki etkileri inceleyen araştırmalar yaygın olmuştur (Zareie ve ark. 2011; Pol ve ark. 2013; Zareie, Azizi ve ark. 2009). Bu yöntemlere ek olarak optik ve görüntü işleme yöntemleri ile birçok yapısal parametre tespit edilebilmektedir. Özellikle, Dijital Görüntü Korelasyonu (DGK) tekniği ile tam alan izleme, yüzey gerinim dağılımını doğru bir şekilde ölçebilmektedir. DGK metodu kullanılarak deformasyon mekanizmasını incelemek için yüzey yer değiştirmesi ve gerinimi ölçülebilir. Güvenilir gerinim alanını elde etmek için yerel en küçük kareler uydurma yöntemi kullanımı ve alan sınırı, delik alanı ve çatlak alanı gibi durumların incelemesi Bing ve ark. tarafından gerçekleştirilmiştir (Bing ve ark. 2007). Yapay delaminasyonun neden olduğu gerinim tekilliği ve proses hatası DGK izleme yoluyla Devivier tarafından tespit edilmiştir (C Devivier ve ark. 2010; Cédric Devivier, Pierron, and Wisnom 2012). Bazı araştırmalarda deformasyon yoluyla malzeme performansını incelemek için DGK kullanılmıştır. Jorge ve ark. korelasyon hesaplama yazılımı yardımıyla çatlak büyüme davranışını incelemiştir (Abanto-Bueno ve ark. 2002). Laurin ve ark. hasarlı kompozit yapıları çekme ve basma yükleri altında DGK tam alan ölçümlerini kullanarak incelemiştir (Laurin ve ark. 2012). Caminero, kompoziti izlemek, açık delikli laminatlar, ardından yapışkanla bağlanmış yama onarımlarının hasar ve performansını araştırmak için DGK kullanmıştır (Caminero ve ark. 2013).

Bu çalışmada görüntü işleme tekniği kullanılarak, ABS 3B baskıların kayma modülü analizi yapılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, gerinim pulu gibi mekanik duyuca kullanmadan üç boyutlu baskı parçalarda, üretim parametrelerinin kayma modülü üzerinde etkisini incelemektir. İncelenen üretim parametreleri inşa ve doldurma aşısıdır.

## YÖNTEM

### Test Numunelerinin Üretimi

Numuneler FDM yöntemi kullanarak, ASTM D5379 standartlarına uygun üretilmiştir. Malzeme olarak ABS filament (1.75 mm çapında) kullanılmıştır. Test numunelerinin tasarımı SolidWorks yazılımıyla yapılmıştır. Kesme testi için tasarlanan test numunelerin boyutları Şekil 1'de gösterilmiştir. Numune geometrisi Stereolitografi dosyası (STL) haline getirilmiş ve "Z-Suite" adında, 3B dilimleme yazılımına aktarılmış ve orada baskı parametreleri girilmiştir. Numuneler Zortrax M 200 yazıcısıyla üretilmiştir.

Baskı parametreleri tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Numunelerin baskı parametreleri

Baskı hızı	35 mm/s
Katman yüksekliği tüm katmanlar için	0.19 mm
Doldurma yoğunluğu	%100
Yatak ve başlık sıcaklığı	80 °C
Başlık sıcaklığı	275 °C

Fiber oryantasyonunun üç boyutlu basılmış parçaların mekanik özellikleri üzerindeki etkisi, Şekil 2'de gösterildiği gibi, farklı baskı doğrultusundaki numunelerle incelenmiştir.

### Dijital Görüntü Korelasyon Analizi Sistemi

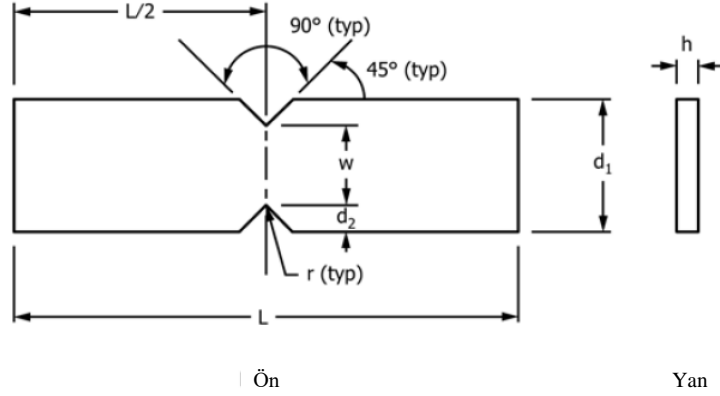
Bu çalışmada DGK analizi GOM yazılımı (GOM Correlate Professional 2017, Braunschweig, Germany) ile gerçekleştirilmiştir. Öncelikle üretilen numuneler (Şekil 3-a) beyaz renk spreyle boyanmış (Şekil 3-b). Ardından siyah spreyle boyanmış (Şekil 3-c). Bu siyah işaretler GOM yazılımı kullanılarak bir stokastik desen şeklinde uygulanmıştır. Bu stokastik desen sayesinde yazılım yüzey algılamasını ve gerekli değişkenleri ölçmeyi sağlamıştır. Deseni oluşturan beyaz boya ile siyah markerler arasındaki kontrast, GOM yazılımının algılayabileceği kadar büyüklüktedir.

Deney sırasında yüksek çözünürlüklü görüntü kaydı için IP kamera düzeneği kurulmuştur. Bu düzenek bir SONY marka FCB-EV 7520A model kamera ve bağlantı ekipmanından oluşmaktadır (Şekil 4). Bu kamera yüksek başarılı 1/2.8-tip Exmor R CMOS duyuca kullanarak Full HD (1920 x 1080) görüntü sağlamaktadır. Kamera manuel ve otomatik odaklanma özelliğine ve 30 X optik zoom ve 12 X dijital zoom kabiliyetine sahiptir. Bu kameradan görüntü almak için bir LVDS kablo ve bir

görüntü aktarıcı kartı kullanılmıştır. Bu kartın görevi yüksek görüntü frekansında gelen kareleri RJ45 bağlantısı ile IP üzerinden RTSP protokolü ile bilgisayara aktarmaktır. Bu görüntüler H264 sıkıştırma yöntemi ile kodlanıp aktarılmıştır.

Visca-Pelco-D protokolü kullanılmıştır. Bu protokol ile net görüntü elde etmek için gerekli zoom ve odaklama komutları kameraya gönderilmiş kesme deneyi sırasında alınan görüntüler saniyede 50 kare olarak kayıt edilmiştir.

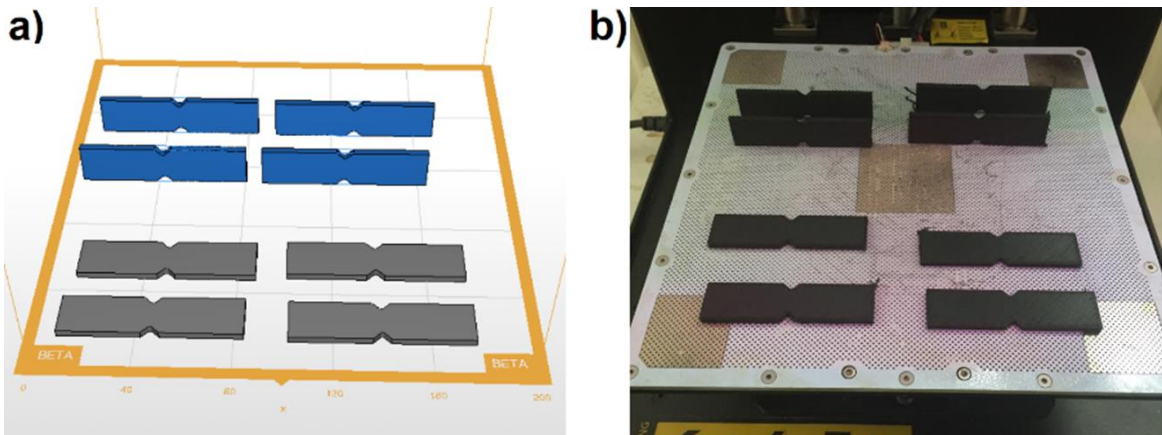
Deney sırasında kameraya bilgisayardan komut göndermek için RS485 seri iletişim portu ve



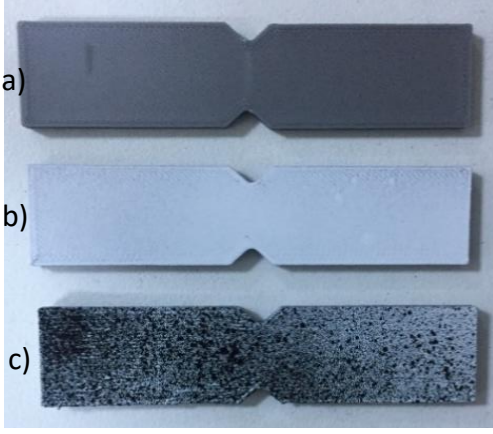
Nominal Numune Ölçüleri

$d_1$	= 19 mm [0.75 in.]
$d_2$	= 3.8 mm [0.15 in.]
$h$	= gerektiği kadar
$L$	= 76 mm [3.0 in.]
$r$	= 1.3 mm [0.05 in.]
$w$	= 11.4 mm [0.45 in.]

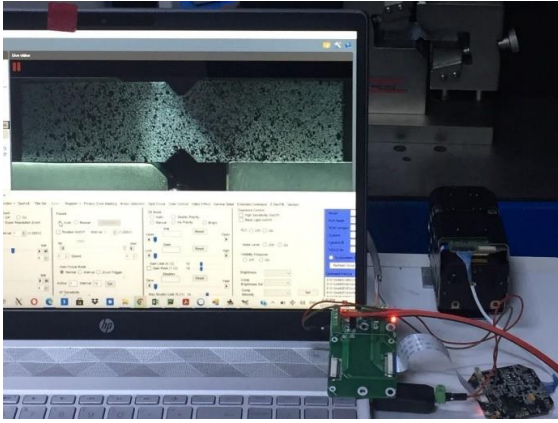
Şekil. 1. V çentikli test çubuğu şematiği (ASTM International, 2012.ASTM D5379/D5379M-12-Standard)



Şekil.2. ASTM D638 standardına uygun numunelerinin hazırlanması a) Z-Suite yazılımında parçaların tabla üzerinde yerleşimi ve basım işlemi için hazırlanması; b) basılmış numuneler



Şekil 3. Dijital Görüntü Korelasyon Analizi için numuneler üç aşamada hazırlanmıştır. (a) Üretilen Numune – (b) Beyaz sprey ile boyanmış numune – (c) Siyah işaretler eklenmiş numune



Şekil 4 Görüntü alma düzeneği

### Mekanik Karakterizasyon

Numunelerin kalınlığı 3 mm'dir. Testler ASTM D5379M-12 standardına uygun bir fikstür 'de (Şekil 5) gerçekleştirilmiştir. Bu fikstür geniş kapsamlı çekme testi makinesine bağlanmıştır (Şekil 6). Test numuneleri yüklenirken aşağıdaki prosedür izlenmiştir:

- Önce, her tutucunun çenesi numunenin tutucuya kolayca girebileceği kadar gevşetilmiştir. Ardından tutucuların dikey pozisyonunda yaklaşık olarak hizalanması için oynar başlık ayarlanmıştır.
- Numuneler iki tutucuya da gevşek olarak yerleştirilmiş ve numunenin düz sırtı fikstürün arka duvarına yaslanmıştır. Numune hizalama aracıyla numunenin v-çıkıntısını fikstürün ortasına hizalamak için Şekil 3'te gösterildiği gibi numune yukarı çekilmiştir.
- Numune ortalanmış şekilde tutulurken, sol tarafta kalan çene (alt tutucu) numuneyi sabitlemek için hafifçe sıkılmıştır. Ardından test cihazının kafası, üst tutucunun üst yüzeyi ile sağ taraftaki çenenin üst yüzeyi birbirine dokunana kadar oynatılmıştır.

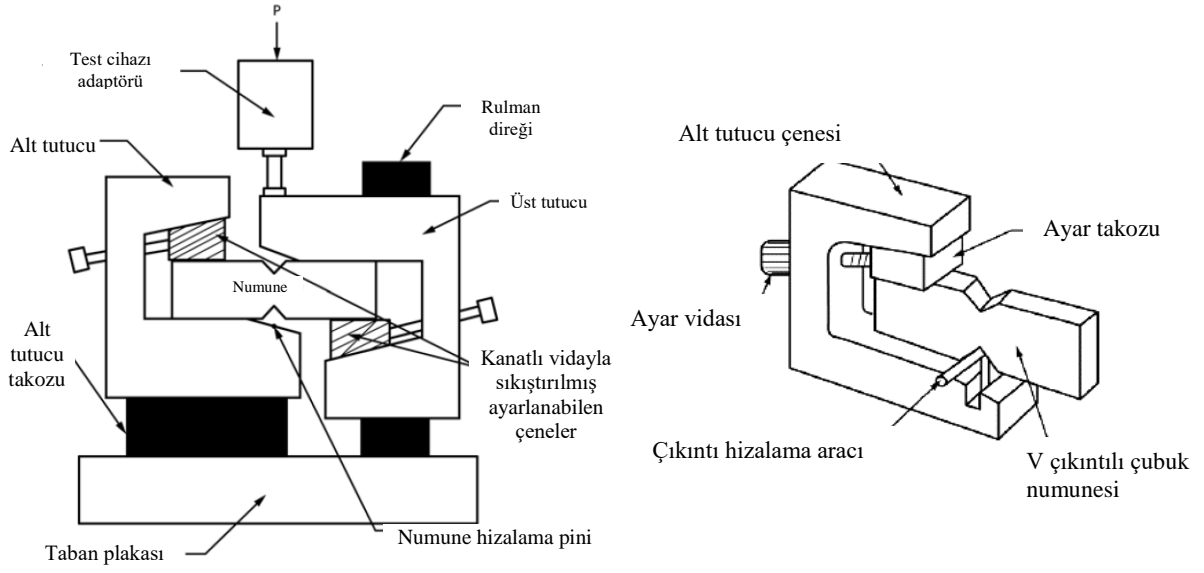
Bundan sonra sağ taraftaki çene de hafifçe sıkılmıştır.

Testler 1 mm/dk sabit çene başlık hızıyla yapılmıştır. Test esnasında yük ve yer değiştirme verileri kaydedilmiştir. Bu veriler yük-yer değiştirme grafiklerini çizdirmek ve kayma gerilimini bulmak için kullanılmıştır.

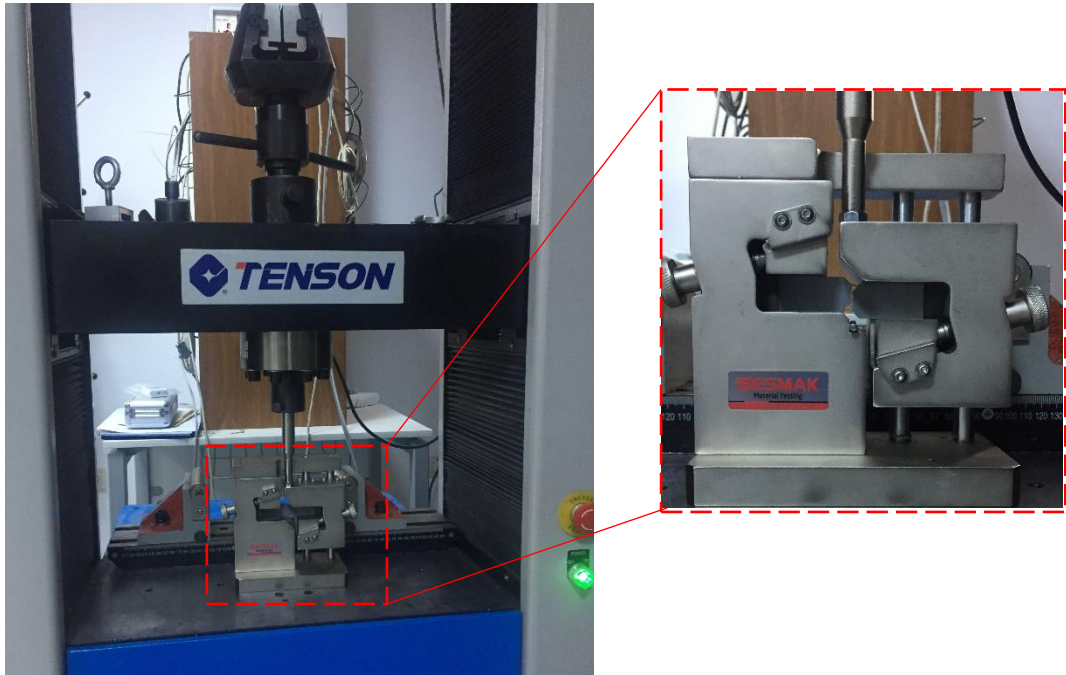
### Dijital Görüntü Korelasyon Hesaplama

DGK kayma ve gerilimi temassız olarak hassas optik ölçümleme yöntemidir. Deformasyondan önceki ve sonraki nesne yüzeyinin iki görüntüsü kayıt edilir. Nesne deformasyon alanının ölçümü, nesne yüzeyinde rastgele dağılmış noktaların deformasyonundan önce ve sonra olasılıksal korelasyona dayalı olarak gerçekleştirilir. Daha önce belirtildiği gibi bu noktalar, manuel sprey boya ile oluşturulur veya nesne yüzeyinde bulunan doğal dokular kullanılır. Alan deformasyonu meydana geldiğinde, noktalar birlikte hareket ederler. Koordinat orijinlerinin deformasyonunu incelemek için deformasyon öncesi ve sonrasını resimleri karşılaştırılır. Karakteristik noktalar deformasyonla birlikte değişir. Deformasyon öncesi ve sonrası nesne yüzey alanının sayısal korelasyonu hesaplanabilir ve daha sonra, alanın yer değiştirmesini değerlendirmek için en yüksek benzerlik değerine sahip merkezi nokta koordinatı döndürülür. Örneğin bir referans görüntüden  $N$  sayıda referans noktasının seçildiğini varsayalım. Referans görüntü,  $(2m+1) \times (2m+1)$  boyutunda  $N$  noktası ortalanmış bölgelere bölünür, burada  $m$ , alt kümenin uzunluk birimidir. Bu  $N$  bölgelerine referans alt küme denir. Benzer şekilde, deformasyon görüntüsü, boyutu  $(m+1) \times (m+1)$  olan  $N$  noktası merkezli bölgelere bölünür. Bu  $N$  bölgelerine hedef alt küme denir. Referans alt küme hedef alt kümeden daha büyük olduğundan, deformasyon çok açık olmadığı sürece, referans alt kümede ve hedef alt kümede 'neredeyse özdeş' bir bölge bulunabilir. Bu iki bölge arasındaki benzerlik derecesinin en yüksek olduğu anlamına gelir (Şekil 7).

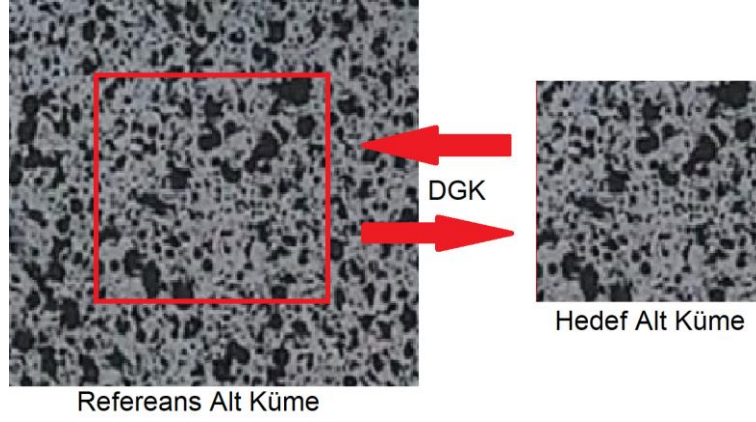
Referans noktalarının sayısı hesaplama hassasiyetini ve süreç yükünü belirler. Ne kadar çok referans noktası varsa, o kadar fazla deformasyon detayı yansıtılabilir. Tek korelasyon hesaplamasının başarı oranı, referans alt kümesinin boyutuna bağlıdır. Referans alt küme ne kadar büyükse, benzer bölgeleri bulma olasılığı o kadar yüksek olur, Şekil 7. Elde edilen görüntüler, her testten sonra GOM yazılımında işlenmiştir. DGK analizlerinde aşağıdaki parametreler kullanılmıştır: grit boyutları (grid size), 57– 83 piksel; and grit örtüşme (grid overlapping), 11 piksel. Sonuç olarak, incelenen yüzeyde yer değiştirmelerin ve şekil değiştirmelerin dağılımları elde edilmiştir.



Şekil 5. V çıkıntılı çubuk için test fişstürü a) şematik, b) Numunenin fişstüre hizalanma şematığı (ASTM International, 2012. ASTM D5379/D5379M-12-Standard)



Şekil.6. Kayma testi düzeneği



Şekil. 7. Referans alt küme ve hedef alt küme arasındaki en yüksek benzerlik oranı

### Kesme Elastisite Modülü Hesaplama

Bu aşamada öncelikle kesme gerilimi ( $\tau$ ) ve kırılmadaki kesme direnci ( $\tau_u$ ) Denklem 1 ve Denklem 2'yi kullanarak hesaplanmıştır.

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (1)$$

$$\tau_u = \frac{P_u}{A} \quad (2)$$

Bu denklemlerde,  $A$  kesit alanı,  $P$  kesme kuvveti ve  $P_u$ , kırılma kuvveti veya %5 mühendislik kesme gerinimine tekabül eden kesme kuvvetidir. ASTM D 5379 standardına göre kesme Gerinimi ( $\gamma$ ) ve kırılma gerinimini ( $\gamma_u$ ) hesaplamak için Denklem 3 ve 4 kullanılmıştır (ASTM International 2012. ASTM D5379/D5379M-12). Denklem 3'te

$$\gamma = |\epsilon_{+45}| + |\epsilon_{-45}| \quad (3)$$

$$\gamma_u = \text{minimum} \left\{ \begin{array}{l} \%5 \\ \gamma \text{ Nihai kuvvetteki hesaplanan gerinim} \end{array} \right. \quad (4)$$

ASTM D 5379 standardına göre Denklem 4'te kesme mukavemetini temsil etmeyen sonuçların raporlanmasından kaçınmak için %5 mühendislik kayma gerinimi dahilinde nihai kırılma meydana geldiyse maksimum ölçülen kuvvetteki gerinim dikkate alınır. Aksi takdirde yani %5 mühendislik kayma gerinimi dahilinde nihai kırılma meydana gelmezse, bu %5'lik değere tekabül eden gerinim dikkate alınır (ASTM International, 2012. ASTM D5379/D5379M-12).

Burada  $\epsilon_{+45}$  ve  $\epsilon_{-45}$ , yük eksenlerine göre +45° ve -45°'de tanımlanan ölçme aracının (gauge) kayıt ettiği gerinim değerleridir. GOM yazılımında -45° yönü x eksen, +45° yönü y eksen olarak

tanımlanmış ve bu eksenlerde gerinim ölçme aracı tanımlanmıştır. Her eksen için ölçme aracı üzerinde üç nokta tanımlanmıştır. Bu noktaların ortalama gerinim değerleri deney süreci boyunca yazılımsal olarak hesaplanmış ve kayıt edilmiştir (Şekil 8).

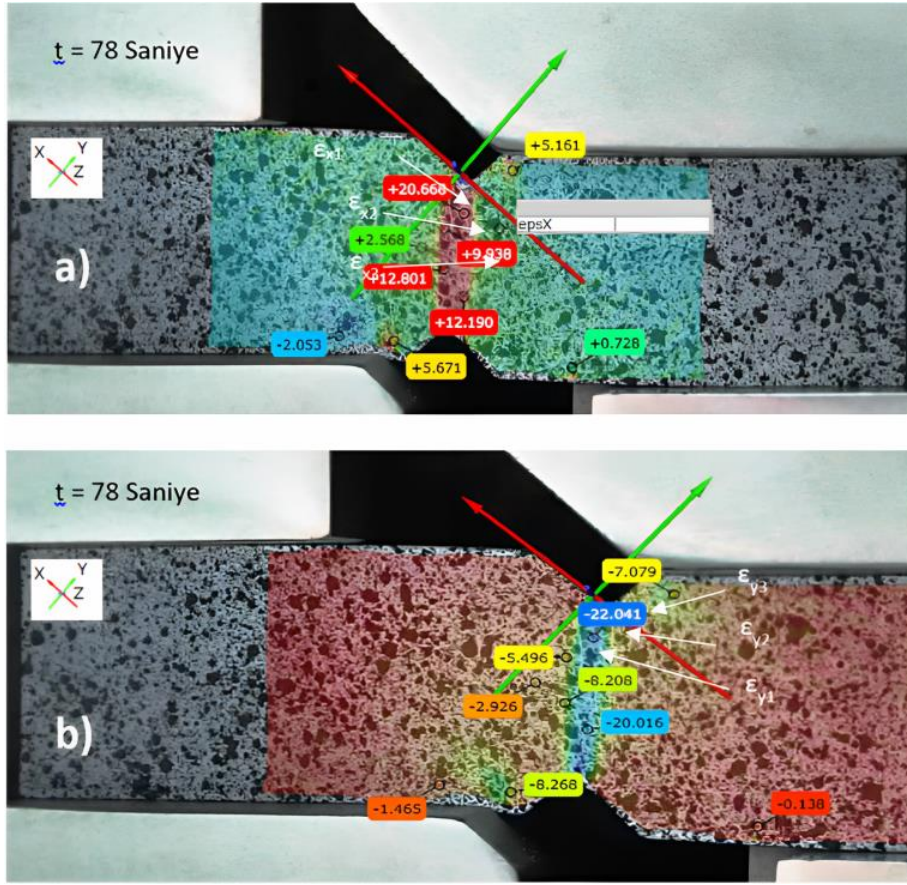
Son olarak Kesme Elastisite Modülü ( $G$ ) Denklem 6 kullanılarak hesaplandı.

$$G = \frac{\Delta\tau}{\Delta\gamma} \quad (6)$$

Kesme Gerinimini hesaplamak için denklem 3'te belirtildiği gibi  $\epsilon_{+45}$  ve  $\epsilon_{-45}$  değerlerine ihtiyaç vardır. Bu değerleri hesaplamak için X ve Y eksenlerine paralel olarak üç referans nokta tanımlanmıştır (Şekil 8). Bu referans noktalarının gerinim değerlerinin ortalaması Dijital Görüntü Korelasyon yöntemi ve GOM yazılımını kullanarak hesaplanmıştır. X eksenine paralel olan değerlerin gerinim ortalaması  $\epsilon_{-45}$  ve Y eksenine paralel olan değerlerin gerinim ortalaması  $\epsilon_{+45}$  olarak kullanıldı.

### SONUÇ

Şekil.9. Kesme test Şekil 9'da sunulmuştur. Bu sonuçlar yatay ve dikey olarak basılan numunelerin kuvvet-yer değiştirme eğrileri olarak verilmiştir. Yatay ve dikey basılan numunelerin maksimum dayanımı sırasıyla 1.45 ve 1.16 kN çıkmıştır. Şekil.10. Yatay ve dikey baskıları için Gerilim-Gerinim Diagramı verilmektedir. Şekil 10'daki graflar DGK yazılımında ayrı olarak sabit frekansta %15 hareketli ortalama kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yüzden saçılım diyagramı formunda gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre ABS yatay basılan numuneler için ortalama kesme dayanımı 34.8±4 MPa olarak hesaplanmıştır. Dikey numuneler için ise ortalama kesme dayanımı 26.8±2 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar üç başarılı testin sonuçlarının ortalaması olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8. Kesme gerinimi hesaplama (a) x-ekseni, and (b) y-ekseni

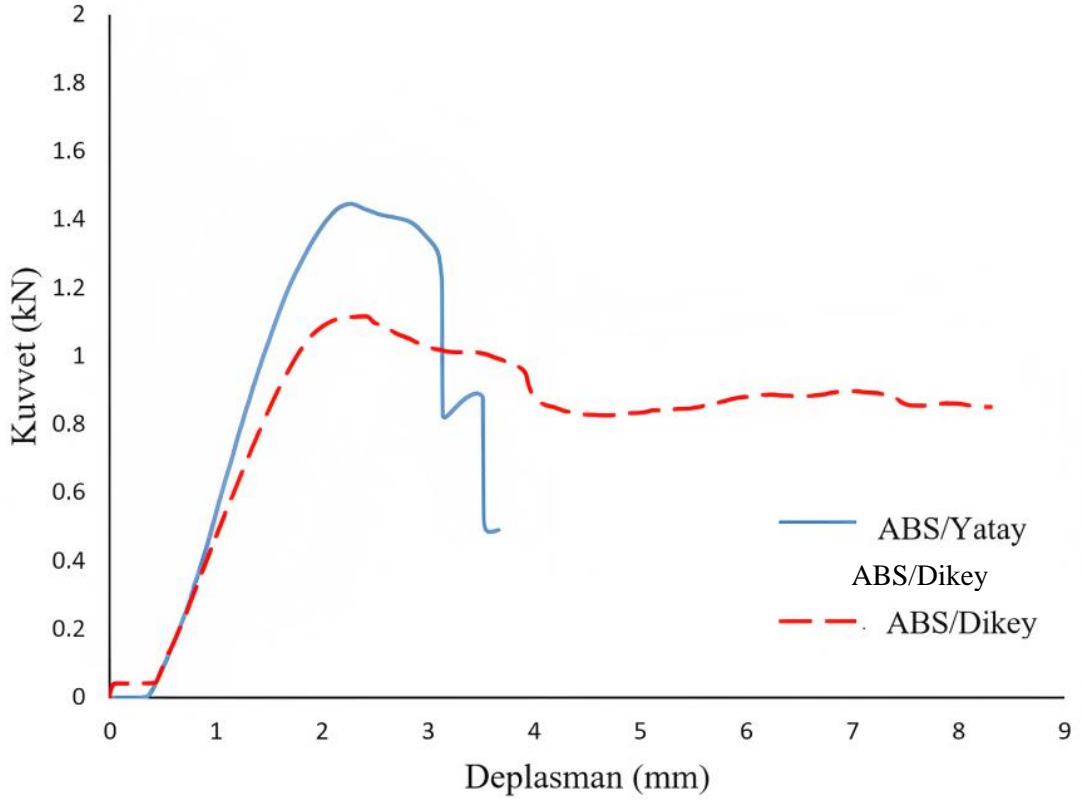
Üç başarılı testin ortalama Kesme Elastisite Modülü yatay ve dikey basılan numuneler için sırayla  $940 \pm 80$  MPa ve  $1300 \pm 100$  MPa olarak denklem 6'da belirtildiği gibi hesaplanmıştır. Yatay ve dikey basılan örnek numunelerin X ve Y yönündeki gerinim dağılım oranları sırayla Şekil 12 ve Şekil 13'te verilmektedir.

Yatay ve dikey basılan numunelerin gerinim dağılımlarındaki değer farklarına rağmen genel dağılım şeması her iki formda benzerdir. Numunelerin nihai kesme mukavemetini karşılaştırırken, net bir eğilim ortaya çıkmıştır. Yatay numuneler dikey numunelere göre % 30 daha yüksek kesme mukavemeti göstermiştir. Bu sonuçların nedeni, üç boyutlu baskı katmanları arasındaki yapışma yüzeyinin düşük mukavemeti ve bu nedenle çekilen alanlarda delaminasyon oluşmasıdır. Başka bir deyişle yatay baskılarda yük daha çok polimeri etkiliyor ve kırılma polimer örgülerinin çekilmesi ve kırılması sonucunda meydana geliyor (Şekil 11-a). Ama dikey baskılarda polimer örgülerinin kırılmasından önce delaminasyon meydana gelebilir ve bu nedenle erken kırılma ve daha az kesme mukavemeti gözlemlenmiştir (Şekil 11-b).

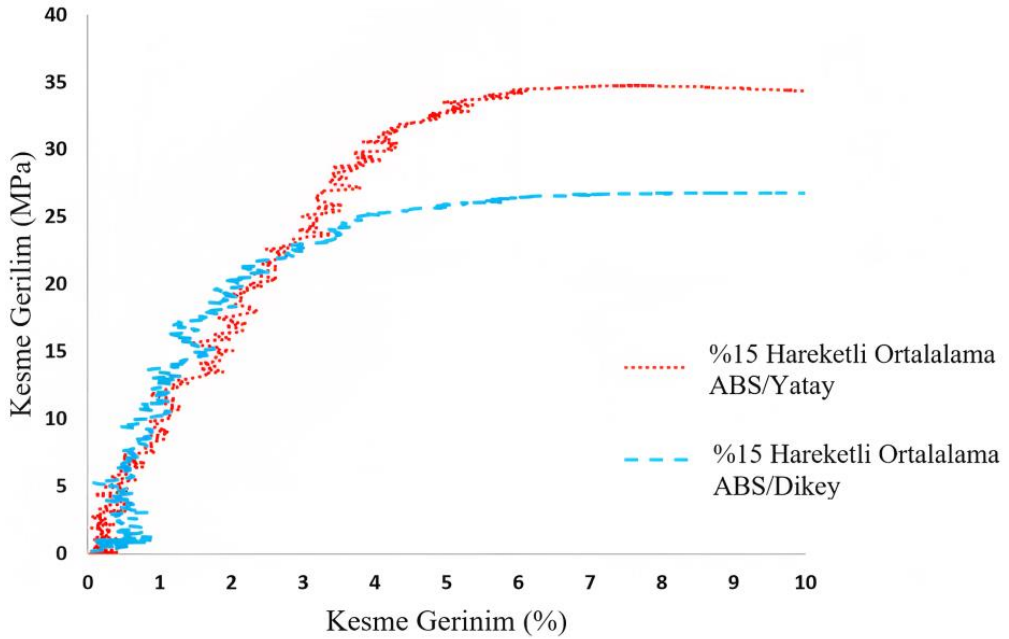
## DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada FDM baskılı ABS parçaların kesme özellikleri baskı yönleri açısından incelenmiştir. Kesme yüklemesi altındaki numuneler üzerindeki tam alan gerilimini ölçmek için 2 boyutlu DGK tekniği kullanılmıştır. Kesme testi sonuçları, ABS dikey baskılara kıyasla ABS yatay baskı dayanımlarının önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Numunelerin inşa yönüne bağlı olarak kesme özelliklerinde gözle görülür bir anizotropi gözlemlenmiştir. Biriktirilen katmanlar arasındaki yapışma yüzeyinin düşük mukavemeti nedeniyle dikey basılan numunelerde daha düşük kesme dayanımı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, ABS 3B baskılarda yatay olarak basılan numunelerde elde edilen üstün mekanik özellikler, 3B baskı teknolojisinde daha yüksek kesme mukavemeti elde etmek için doğru baskı yönü seçimi önemini göstermektedir. Ayrıca bu çalışma DGK Hesaplama yönteminin gerinim analizinde uygulanabilirliğini ve etkisini göstermektedir.

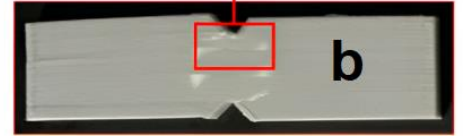
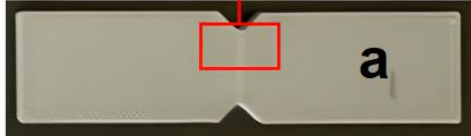
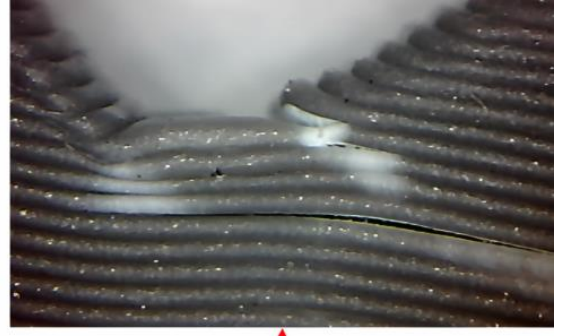
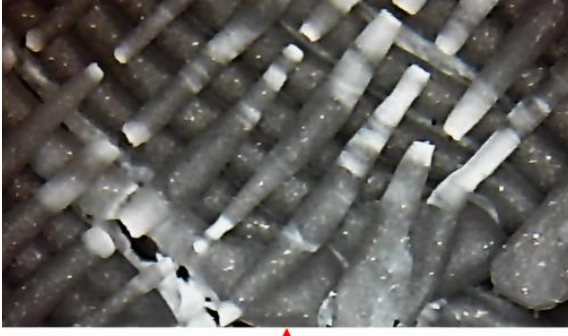


Şekil.9. Kesme testlerinden elde edilen yük-yer değıştirme grafiği

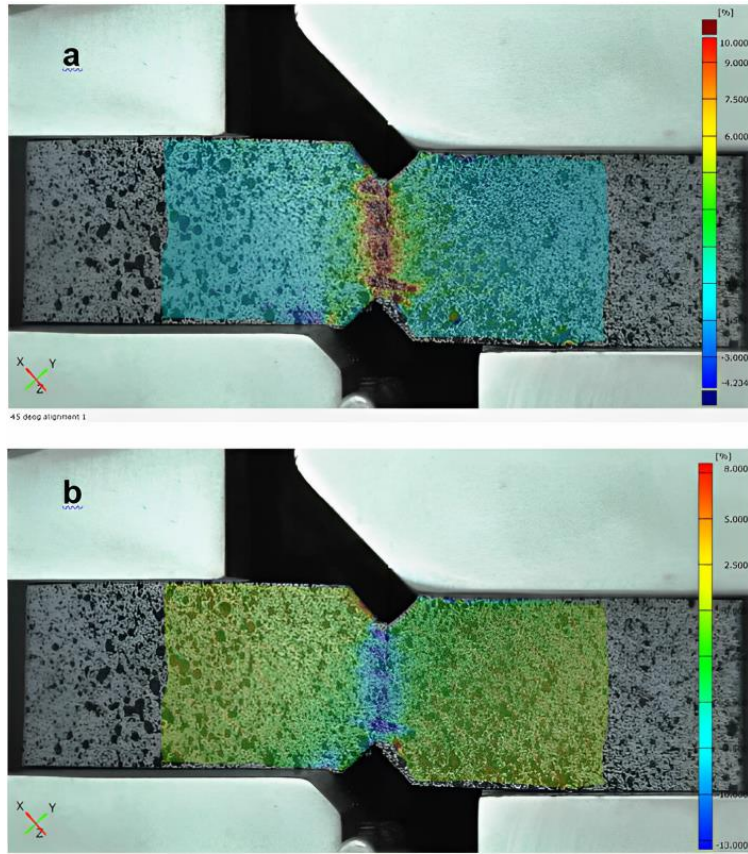


Şekil.10. Yatay ve dikey baskıları için Gerilim-Gerinim Diagramı %15 hareketli ortalama kullanarak hesaplanmıştır. Kırmızı yatay baskı ve mavi dikey baskı sonuçlarıdır.

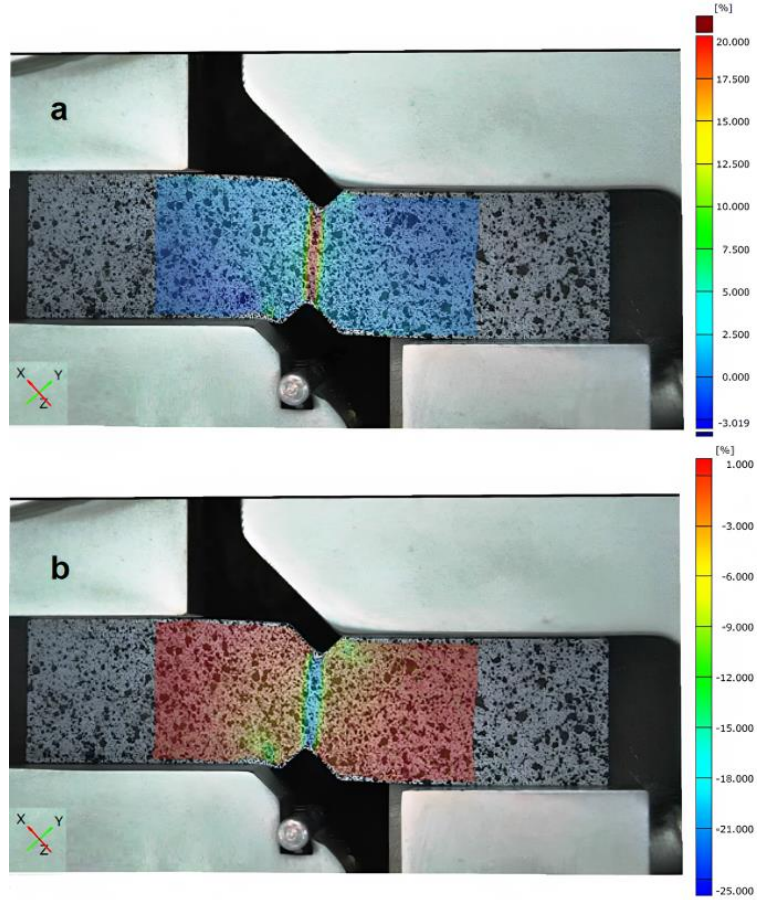




Şekil.11. Yatay ve dikey baskıların kırılma davranışı, (a)Yatay baskı, (b) Dikey baskı



Şekil.12. Dikey basılan örnek numunede gerinim dağılım oranı, (a)  $\epsilon_x$ , (b)  $\epsilon_y$



Şekil. 13. Yatay basılan örnek numunede gerininin dağılım oranı, (a)  $\epsilon_x$ , (b)  $\epsilon_y$

### SHEAR MODULUS ANALYSIS OF ABS 3D PRINTS USING IMAGE CORRELATION TECHNIQUE

As the application areas of three-dimensional (3D) printing increase, it is very important to understand the characteristics of these prints and the factors affecting these features. The material properties of 3D-printed parts are not equivalent to the properties of the raw materials used to print them. Due to the nature of 3D printing, different microstructures and printing directions cause anisotropy in parts. This study presents experimental techniques and results for the mechanical characterization of Acrylonitrile Butadiene Styrene 3D-printed parts to determine the anisotropy of shear properties. The effect of fiber orientation on the mechanical properties of 3D printed parts was investigated with samples printed horizontally and vertically at  $\pm 45^\circ$ . The samples were investigated under load using a universal testing machine while using the Digital Image Correlation Calculation method to measure the full field strain. In the test results, horizontal samples showed 30% higher shear strength than vertical samples.

**Keywords:** Digital Image Correlation Calculation, Mechanical Characterization, 3D Printing, ABS Strain

### KAYNAKÇA

1. Abanto-Bueno, J. and Lambros, J., 2002. Investigation of crack growth in functionally graded materials using digital image correlation. *Engineering Fracture Mechanics*, 69(14-16), pp.1695-1711.
2. Ahn, S.H., Baek, C., Lee, S. and Ahn, I.S., 2003. Anisotropic tensile failure model of rapid prototyping parts-fused deposition modeling (FDM). *International Journal of Modern Physics B*, 17(08n09), pp.1510-1516.
3. Ahn, S.H., Montero, M., Odell, D., Roundy, S. and Wright, P.K., 2002. Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS. *Rapid prototyping journal*.
4. Alimardani, M., Toyserkani, E. and Huissoon, J.P., 2007. Three-dimensional numerical approach for geometrical prediction of multilayer laser solid freeform fabrication process. *Journal of laser applications*, 19(1), pp.14-25.
5. Antoni, S., McCarthy, N., Pacey, E., Parkin, B. and Shelton, P., 2013. *Additive manufacturing: opportunities and constraints*. Royal Academy of Engineering, 1st edition, London.

6. ASTM International, 2012. ASTM D5379/D5379M-12-Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by the V-Notched Beam Method.
7. ASTM International, 2012. ASTM D7078/D7078M-05-Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by the V-Notched Beam Method.
8. Azizi, A., Dourali, L., Zareie, S. and Rad, F.P., 2009, December. Control of vibration suppression of an smart beam by pizeoelectric elements. In 2009 Second International Conference on Environmental and Computer Science (pp. 165-169). IEEE.
9. Caminero, M.A., Lopez-Pedrosa, M., Pinna, C. and Soutis, C., 2013. Damage monitoring and analysis of composite laminates with an open hole and adhesively bonded repairs using digital image correlation. *Composites Part B: Engineering*, 53, pp.76-91.
10. Cantrell, J.T., Rohde, S., Damiani, D., Gurnani, R., DiSandro, L., Anton, J., Young, A., Jerez, A., Steinbach, D., Kroese, C. and Ifju, P.G., 2017. Experimental characterization of the mechanical properties of 3D-printed ABS and polycarbonate parts. *Rapid Prototyping Journal*, 23(4), pp.811-824.
11. Devivier, C., Thompson, D., Pierron, F. and Wisnom, M.R., 2010. Correlation between full-field measurements and numerical simulation results for multiple delamination composite specimens in bending. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 24, pp. 109-114). Trans Tech Publications Ltd.
12. Devivier, C., Pierron, F. and Wisnom, M.R., 2012. Damage detection in composite materials using deflectometry, a full-field slope measurement technique. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(10), pp.1650-1666.
13. Dey, A. and Yodo, N., 2019. A systematic survey of FDM process parameter optimization and their influence on part characteristics. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 3(3), p.64.
14. Dudek, P.F.D.M., 2013. FDM 3D printing technology in manufacturing composite elements. *Archives of metallurgy and materials*, 58(4), pp.1415-1418.
15. Hague, R., Campbell, I. and Dickens, P., 2003. Implications on design of rapid manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 217(1), pp.25-30.
16. Hague, R., Mansour, S. and Saleh, N., 2003. Design opportunities with rapid manufacturing. *Assembly Automation*, 23(4), pp.346-356.
17. Bing, P. and Huimin, X., 2007. Full-field strain measurement based on least-square fitting of local displacement for digital image correlation method. *Acta Optica Sinica*, 27(11), p.1980.
18. Kruth, J.P., Wang, X., Laoui, T. and Froyen, L., 2003. Lasers and materials in selective laser sintering. *Assembly Automation*, 23(4), pp.357-371.
19. Laurin, F., Charrier, J.S., Lévêque, D., Maire, J.F., Mavel, A. and Nuñez, P., 2012. Determination of the properties of composite materials thanks to digital image correlation measurements. *Procedia IUTAM*, 4, pp.106-115.
20. Noorani, R., 2006. *Rapid prototyping: principles and applications*. John Wiley & Sons.
21. Park, J., Tari, M.J. and Hahn, H.T., 2000. Characterization of the laminated object manufacturing (LOM) process. *Rapid Prototyping Journal*.
22. Pol, M.H., Zabihollah, A., Zareie, S. and Liaghat, G., 2013. EFFECTS OF NANO-PARTICLES CONCENTRATION ON DYNAMIC RESPONSE OF LAMINATED NANOCOMPOSITE BEAM. *Mechanics*, 19(1), pp.53-57.
23. Sugavaneswaran, M. and Arumaikkannu, G., 2014. Modelling for randomly oriented multi material additive manufacturing component and its fabrication. *Materials & Design* (1980-2015), 54, pp.779-785.
24. West, A.P., Sambu, S.P. and Rosen, D.W., 2001. A process planning method for improving build performance in stereolithography. *Computer-Aided Design*, 33(1), pp.65-79.
25. Yakovlev, A., Trunova, E., Grevey, D., Pilloz, M. and Smurov, I., 2005. Laser-assisted direct manufacturing of functionally graded 3D objects. *Surface and Coatings Technology*, 190(1), pp.15-24.
26. Zareie, S., Zabihollah, A. and Azizi, A., 2011, April. Buckling control of morphing composite airfoil structure using multi-stable laminate by piezoelectric sensors/actuators. In *Behavior and Mechanics of Multifunctional Materials and Composites 2011* (Vol. 7978, pp. 495-500). SPIE.
27. Zeng, W., Guo, Y., Jiang, K., Yu, Z., Liu, Y., Shen, Y., Deng, J. and Wang, P., 2013. Laser intensity effect on mechanical properties of wood-plastic composite parts fabricated by selective laser sintering. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 26(1), pp.125-136.