

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>

STEREOLİTHOGRAFİ EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİYLE FARKLI DOLULUK ORANLARINDA ÜRETİLEN NUMUNELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF SAMPLES PRODUCED AT DIFFERENT FILLING RATIOS BY STEREOLITHOGRAPHY ADDITIVE MANUFACTURING METHOD

Yazarlar (Authors): Salih Rahmi Turan^a, Osman Ulkir^b*, Melih Kuncan^a,
Abdulkadir Buldu^a

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Turan S.R.,
Ulkir O., Kuncan M., Buldu A., "Stereolithografi Eklemeli İmalat Yöntemiyle Farklı Doluluk
Oranlarında Üretilen Numunelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" *Int. J. of 3D
Printing Tech. Dig. Ind.*, 6(3): 399-407, (2022).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1138450

Araştırma Makale/ Research Article

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

STEREOLİTHOGRAFİ EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİYLE FARKLI DOLULUK ORANLARINDA ÜRETİLEN NUMUNELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Salih Rahmi Turan^a, Osman Ulkir^b*, Melih Kuncan^a, Abdulkadir Buldu^a

^aSiirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE
^bMuş Alparslan Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: o.ulkir@alparslan.edu.tr

(Received: 30.06.2022; Revised: 31.07.2022; Accepted: 28.11.2022)

ÖZ

Eklemeli üretim (EÜ), yalnızca prototip oluşturma konusunda değil, aynı zamanda nihai tasarımlara basılı parçaların dahil edilmesinin kolaylığı nedeniyle de endüstride bir değişimi yönlendiriyor. Stereolithografi (SLA), 3B yazıcı teknolojisi kullanılarak karmaşık parçaların hızlı üretilbildiği ve platform üzerinde dikey olarak çalışan bir eklemeli üretim teknolojisidir. Bu teknikte akışkan reçine, lazer ışını ile 3B parçalar kullanılarak katman katman işlenerek model elde edilmektedir. Diğer üretim tekniklerinden farklı olarak model şeffaf ve dayanıklı bir yapıdadır. SLA ile üretim yapan 3B yazıcılarla üretilen parçaların mekanik özelliklerinin bilinmesi, parçaların verimli çalışması ve üretim tekniğinin kullanımının yaygınlaşması açısından önemlidir. Bu çalışmada, Flashforge Foto 6.0 3B yazıcı ile Anycubic UV reçine malzeme kullanarak farklı doluluk oranına sahip 15 adet çekme ve 15 adet basma olmak üzere toplamda 30 adet numune üretilmiştir. Doluluk oranının mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, %25, %50 ve %100 doluluk oranının, SLA tabanlı 3B yazıcı ile üretilen çekme ve basma numunelerinin mekanik özellikleri üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan doluluk oranları arasından en yüksek çekme ve basma mukavemetinin “%100” doluluk oranında olduğu belirlenmiştir. Bu değerler sırasıyla 10.095 MPa ve 10.098 MPa’dır. Ortalama çekme ve basma mukavemeti değerlerinin doluluk oranı arttıkça yükseldiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Stereolithografi, 3B Yazıcı, Çekme Testi, Basma Testi, Doluluk Oranı.

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF SAMPLES PRODUCED AT DIFFERENT FILLING RATIOS BY STEREOLITHOGRAPHY ADDITIVE MANUFACTURING METHOD

ABSTRACT

Additive manufacturing (AM) is driving a change in the industry, not only in prototyping, but also because of the ease of incorporating printed parts into final designs. Stereolithography (SLA) is an additive manufacturing technology that can quickly produce complex parts using 3D printer technology and runs vertically on the platform. In this technique, a model is obtained by processing the fluid resin layer by layer using 3D parts with a laser beam. Unlike other production techniques, the model is transparent and durable. Knowing the mechanical properties of the parts produced with 3D printers that produce with SLA is important for the efficient operation of the parts and the widespread use of the production technique. In this study, a total of 30 samples, 15 tensile and 15 compression, with different filling ratios, were produced using Flashforge Photo 6.0 3D printer and Anycubic UV resin material. The effects of filling ratio on mechanical properties were investigated. As a result, it has been determined that 25%, 50% and 100% filling rates have an effect on the mechanical properties of the tensile and compression samples produced with SLA-based 3D printer. It was determined that the highest tensile and compression strength among the filling ratios used was “100%” filling ratio. These values are 10.095

MPa and 10.098 MPa, respectively. It has been observed that the average tensile and compressive strength values increase as the filling ratio increases.

Keywords: Stereolithography, 3D Printer, Tensile Test, Compression Test, Fill Ratio.

1. GİRİŞ

3B baskı veya eklemeli üretim (EÜ), dijital bir dosyadan 3B katı nesnelere üretim sürecidir. 3B basılı bir nesnenin oluşumu, eklemeli yöntemler kullanılarak elde edilir [1]. Bir ekleme işleminde, nesnenin tamamı üretilene kadar ardışık malzeme katmanları yerleştirilerek bir nesne oluşturulur [2]. Bu katmanlardan bütünü, son nesnenin ince dilimlenmiş yatay bir kesiti olarak ortaya çıkmaktadır. Eklemeli üretimin en büyük avantajı karmaşık geometriye sahip parçaların hızlı üretiminin mümkün olmasıdır [3]. Hızlı prototipleme süreci, CAD yazılımı kullanılarak bir 3B tasarım oluşturularak başlar. Tasarım dosyası, STL dosyası gibi 3B yazıcı yazılımı tarafından okunabilen bir dosyaya dönüştürülür. 3B yazıcı, STL dosyasının tasarımını okuyacak ve dilimleme katmanlarını yapacaktır. Katman katman malzeme bir ürün yapmak için otomatik olarak oluşturulur ve birleştirilir. Baskı işleminde nozul, X eksen ve Y eksen yönünde hareket edecektir. Platform, STL dosyasındaki ürün tasarım verilerine göre Z eksen yönünde hareket edecektir [4].

EÜ yöntemleri, kullanılan malzeme çeşidine ve yöntemine göre farklı süreçleri içermektedir [5]. Yaygın olarak kullanılan EÜ yöntemleri arasında dijital ışık işleme (DLP), stereolithografi (SLA), seçici lazer eritme (SLM), eriyik yağma modelleme (FDM) ve doğrudan metal lazer sinterleme/ergitme (DMLS/M) teknolojileri yer almaktadır [6-11]. Bu teknikler kullanılarak üretilen parçaların mekanik davranışları, karbon fiber, polimer ve partikül takviyeli malzemeler kullanılarak iyileştirilmiştir. EÜ kullanılarak özelliklerin uyarlanmasına odaklanan ve mekanik veya kırılma performansı için bir avantaj olarak malzeme anizotropisinin kullanımını araştıran çalışmalar yapılmıştır [12-14].

SLA, lazer tabanlı ilk baskı teknolojilerinden biridir. Bu yöntemde 3B nesnelere, sıvı reçinenin foto-polimerizasyon mekanizmasıyla gözetim altında katılaştırılması yoluyla üretilir [15,16]. SLA, farklı türde üretim parçaları, tıbbi modeller, modeller, bilgisayar donanımı ve biyo malzemeler yapmak için kullanılır. SLA

tekniklerinin bir dizi benzersiz özelliği vardır [17]. İnce çözünürlüğü [18] karmaşık yapıların oluşturulmasına izin verir. Baskı işlemi sırasında, ısıtma minimumdur ve dolayısıyla ilaçların termal bozulması önlenir [19]. Bu nedenle SLA, termo-labil ilaçlar için özellikle yararlıdır [20]. SLA'nın çözünürlüğü ve doğruluğu diğer tekniklerden üstündür [21,22]. Malzemenin bütünlüğü, SLA'da bir dizi faktör göz önünde bulundurularak sıkı bir şekilde kontrol edilir. SLA, FDM ve seçici lazer sinterlemeden (SLS) daha hızlıdır [23]. SLA yönteminin birçok avantajı olmasına rağmen, çoğu makale, muhtemelen hızlı gelişimi ve maliyeti nedeniyle desteklenen FDM parçalarının mekanik özelliklerine odaklanmaktadır. FDM'nin dezavantajlarından biri, yüzey doğruluğunun olmaması ve iç boşlukların varlığıdır [24]. Bunun nedeni, FDM'nin üretim sürecinin, bu boyuttaki lazer seti nedeniyle SLA durumunda çok daha düşük olan meme çapının fiziksel sınırına sahip olmasıdır. SLA'nın da bazı sınırlamaları vardır. Bir dizi foto çapraz bağlanabilir polimerin sınırlı olması, SLA'nın temel dezavantajıdır. SLA'nın diğer dezavantajı ise pahalı olmasıdır.

EÜ malzemelerinin mekanik performansı ile ilgili olarak, Chacon vd. [25] PLA malzemesinin mekanik performansında katman yüksekliği, besleme hızı veya yönlendirme gibi farklı FDM üretim parametrelerinin etkisini inceledi. Uzun ve Erdoğan [26], 3B yazıcı ile takviyesiz, bakır ve karbon fiber takviyeli PLA kompozitler üretmişlerdir. Ayrıca numunelere çekme testi ve üç nokta eğme testi uygulanarak mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Kamer vd. [27] FDM tabanlı 3B yazıcı ile ABS ve PLA malzeme kullanarak farklı renklerde ve dolgu desenlerde çekme test numuneleri üretmişlerdir. Garzon-Hernandez vd. [28] benzer bir FDM yöntemi kullanarak, kullanılan termoplastik için yapısal bir modelleme öneren mekanik performanstaki katman sayısının etkisine odaklandı. Özsoy vd. [29] FDM 3D baskı yöntemi ile PLA ve ABS malzemeleri içeren çekme, basma ve eğilme test numuneleri test standartlarına uygun olarak üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Li vd. [30] basılı

örneklerin mekanik davranışında malzeme baskı yöneliminin bağımlılığına odaklandı. Yazarlar, yarı statik rejim altında SLA reçineleri üzerinde çekme ve basma testi gerçekleştirmiştir. Aktitiz vd. [31] yaptıkları çalışmada, SLA cihazı kullanarak 3B polimer

parçalar basılmış, ikincil kütleme süresinin polimer yapıların mekanik ve termal özelliklerine etkisini incelemek için farklı sürelerde UV ikincil kütleme işlemi uygulamıştır. Hossain vd. [32] DLP işlemiyle elde edilen basılı bir malzemenin davranışını

Tablo 1. UV sıvı reçinenin özellikleri

Ana Malzeme	Reçine	Viskozite	150-200 mpa.s
Miktar	500ml/1L	Büzülme	3.72-4.24%
Kür Dalga Boyu	405 nm	Katı Yoğunluğu	1.05-1.25g/cm ³
RAF Ömrü	1 yıl	Çekme Mukavemeti	36-52 Mpa

incelemiş, düşük gerinim oranlarında viskoelastik yapısal davranışa odaklanmıştır. Miedzinska [33], SLA malzemelerinin gerinim hızı bağımlılığını incelemek için ham SLA reçinesinin yarı statik ve dinamik sıkıştırma testlerini gerçekleştirdi.

Bu çalışmada, Flashforge Foto 6.0 3B yazıcı ile Anycubic UV reçine malzeme kullanarak farklı doluluk oranına sahip çekme ve basma test numuneleri üretilmiştir. Doluluk oranının %25, %50 ve %100 olmasına göre parçaların mekanik özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Üretim parametreleri 0.04 mm katman kalınlığı, ışıklandırma süresi 90 s, zaman aşımı 0.5 s, alt ışıklandırma süresi 120 s ve baskı hızı 1.80 mm/sn olarak seçilmiştir. Deneysel çalışmalarda toplamda 15 çekme ve 15 basma testi yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

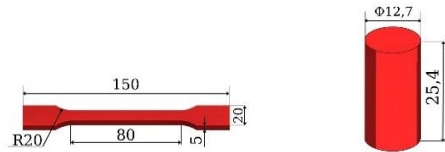
Çekme ve basma deneyleri için üretilen numunelerin malzemesi olarak UV sıvı reçine kullanılmıştır. Bu malzemenin genel özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında deney numunelerin üretiminde Flashforge Foto 6.0 3B yazıcı kullanılmıştır.



Şekil 1. Üretimde kullanılan 3B yazıcı

Çekme ve basma test numunelerinin boyutlandırılmasında sırasıyla ISO 527:1993 ve ISO 604:2002 standardı kullanılmıştır.

Bu standart kapsamında Şekil 2 ölçülerinde 5mm kalınlığa sahip çekme numunesi ve 15 mm çapında basma numunesi tasarlanmıştır. 3B parçaların tasarımı SolidWorks yazılımı ile gerçekleştirilirken; dilimle işlemiyle parçaların G-kodların oluşturulması ve basıma hazır hale getirilmesi Flashforge yazıcının kendi yazılımı olan Chitobox ile gerçekleştirilmiştir. CAD yazılımda 3B tasarlanan numuneler STL formatına dönüştürülerek yazıcının yazılımına aktarılır. Burada belirlenen üretim parametreleriyle (Tablo 2) ve doluluk oranlarıyla parçaların G-kodları oluşturulur ve üretim sürecine geçilir. Numunelerin dolgu desen tipi olarak hexagon seçilmiştir. Bu desende yapıların duvar kalınlığı 6 mm olarak seçilmiş ve homojen olarak dağılım yapılmıştır.

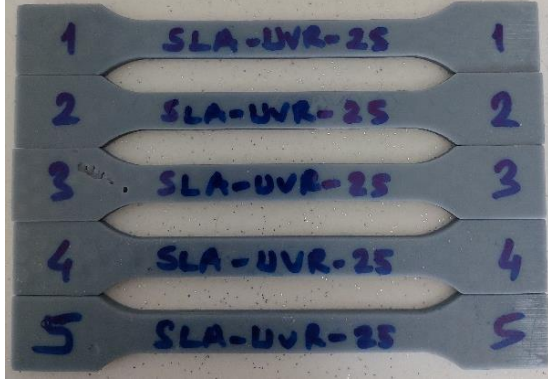


(a) Çekme numunesi (b) Basma numunesi
Şekil 2. Test numunelerin boyutları (mm)

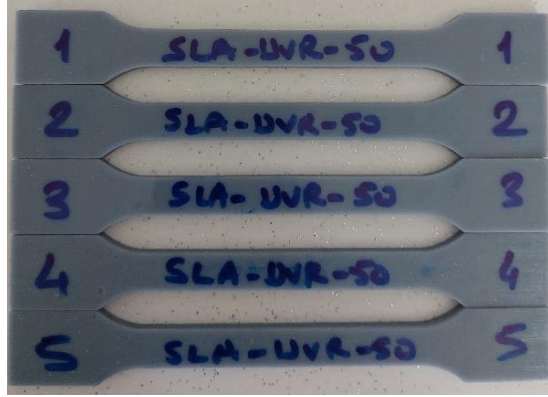
Test numunelerinin üretiminden önce 3B yazıcının manuel olarak kalibrasyon ayarları yapılmıştır. Yazıcının haznesine belirli miktarda Anycubic reçine dökülmüştür ve parçaların üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı doluluk oranlarında üretilen malzemelerin görüntüleri Şekil 3 ve Şekil 4’de gösterilmiştir. Deneysel çalışmalar 50 kN kapasiteli bir test cihazında (AG-X, Shimadzu) yapılmıştır. Cihaz, ISO 7500/1, ASTM E4, DIN51221 standartlarına göre 50kN ile 50N aralığında ± 0.1 hassasiyetli okuma aralığına sahiptir. Test hızı aralığı ise 0.0005mm/dk-1000mm/dk dir. Deneysel çalışmalar 1 mm/s’lik bir çekme ve basma hızında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. SLA eklemeli üretim parametreleri.

Malzeme	Anycubic UV reçine	Dolgu Deseni	Hexagon
Katman Kalınlığı	0.04 mm	Doluluk Oranı	%25-%50-%100
Taban Katman Sayısı	30	Yükselme Hızı	1.8 mm/s
Geçiş Katman Sayısı	20	Taban Işıklama Süresi	120 s



(a) %25 doluluk oranlı çekme numunesi



(b) %50 doluluk oranlı çekme numunesi



(c) %100 doluluk oranlı çekme numunesi

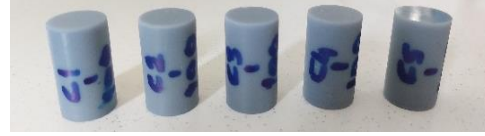
Şekil 3. Çekme test numuneleri



(a) %25 doluluk oranlı basma numunesi



(b) %50 doluluk oranlı basma numunesi



(c) %100 doluluk oranlı basma numunesi

Şekil 4. Basma test numuneleri

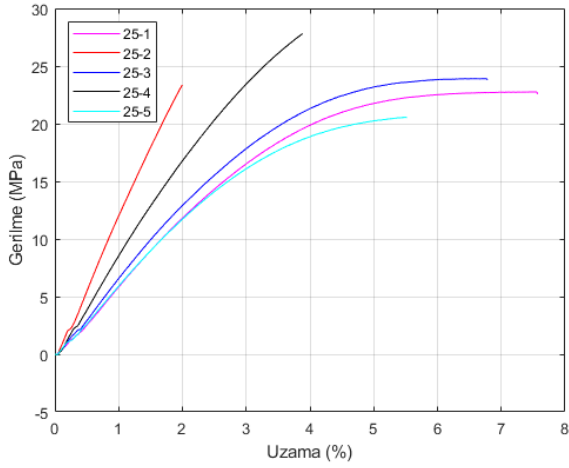
3. DENEYSEL BULGULAR

SLA yöntemiyle üretilen mekanik test numunelerinden; çekme deney numune grubu 'Ç', basma deney numune grubu ise 'B' harfi ile isimlendirilmiştir (Tablo 3 ve Tablo 4). Farklı doluluk oranıyla üretilen çekme ve basma test numunelerinin sonuçları, her bir deney grubu için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Sonuçlar hem grafiksel hem de tablo halinde verilmiştir.

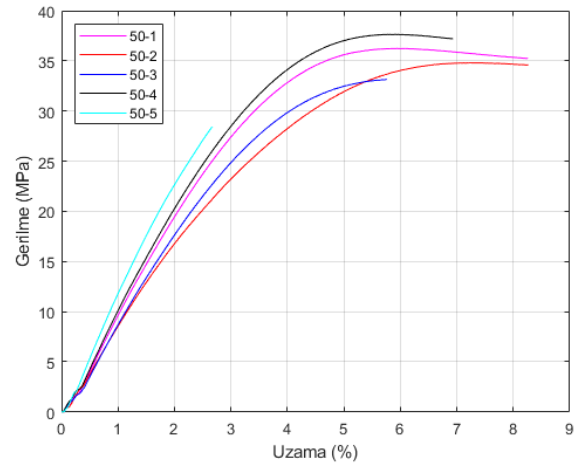
Çekme deneyleri neticesinde el edilen mukavemet test sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Doluluk oranının artmasıyla çekme mukavemet değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, 3B üretim sürecinde doluluk oranıyla boşlukların hücre boyutu değişmemekle birlikte daha fazla malzeme kullanarak doluluk oranının yükselmesini ve bu da yüksek mukavemet sağlamaktadır. Çekme deneyi sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 5'de verilmiştir. Sonuçlara göre %25, %50 ve %100 doluluk oranlarında ortalama uzama miktarları sırasıyla 4.119 mm, 5.095 mm ve 6.383 mm olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3. Ultraviyole sıvı reçine malzemenin çekme testi deneysel sonuçları.

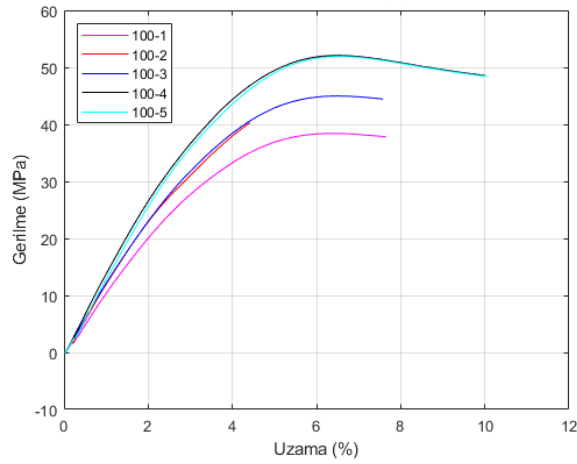
UVR-25	Gerilm e (MPa)	Yüzde Uzama (%)	Uzama (mm)	UVR-50	Gerilme (MPa)	Yüzde Uzama (%)	Uzama (mm)	UVR-100	Gerilm e (MPa)	Yüzde Uzama (%)	Uzama (mm)
Ç1	22.769	7.545	6.034	Ç1	34.721	8.327	6.661	Ç1	39.854	4.473	3.578
Ç2	23.234	2.033	1.623	Ç2	36.192	8.345	6.676	Ç2	37.229	7.672	6.137
Ç3	23.786	6.783	5.426	Ç3	33.142	5.795	4.636	Ç3	44.971	7.608	6.086
Ç4	27.872	3.883	3.106	Ç4	37.192	6.983	5.586	Ç4	50.985	10.051	8.042
Ç5	20.573	5.508	4.406	Ç5	28.354	2.728	2.182	Ç5	51.911	10.095	8.076
Ortalam a	23.646	5.150	4.119	Ortalam a	33.920	6.435	5.095	Ortalam a	44.990	7.979	6.383



(a) %25 doluluk oranlı çekme numunesi sonuçları



(b) %50 doluluk oranlı çekme numunesi sonuçları



(c) %100 doluluk oranlı çekme numunesi sonuçları

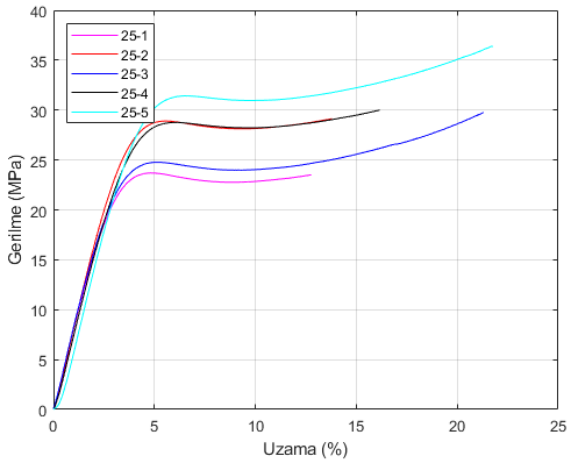
Şekil 5. Farklı doluluk oranıyla üretilmiş numuneler için çekme deneylerinin gerilme-yüzde uzaması sonuçları

Basma deneyleri neticesinde elde edilen sonuçlar Tablo 4’de gösterilmiştir. Tablo 4’deki sonuçlardan da anlaşıldığı gibi doluluk oranının artmasıyla ortalama basma mukavemeti ve yüzde uzama miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, malzemenin moleküler yapısı sabit kalmakla birlikte ağırlığının artması neticesinde yüksek basma kuvveti gerektirmesidir.

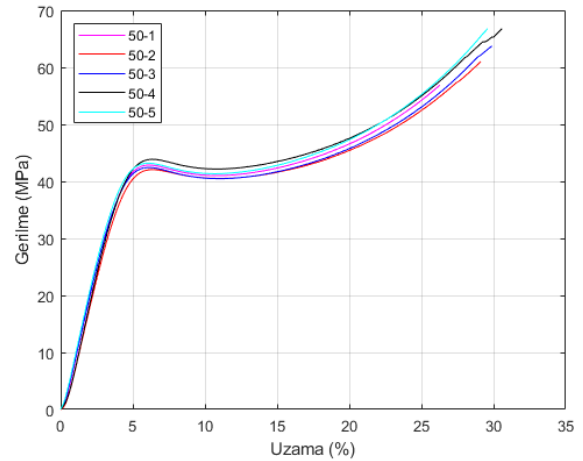
Doluluk oranının artmasıyla, basma deneyleri sonucunda numunelerin boyuna kesitte yayılmadığı ve kısaldığı gözlemlenmiştir. Çekme deneyi sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 6’da verilmiştir. Sonuçlara göre %25, %50 ve %100 doluluk oranlarında ortalama uzama miktarları sırasıyla 4.451 mm, 7.412 mm ve 9.923 mm olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4. Ultraviyole sıvı reçine malzemenin basma testi deneysel sonuçları

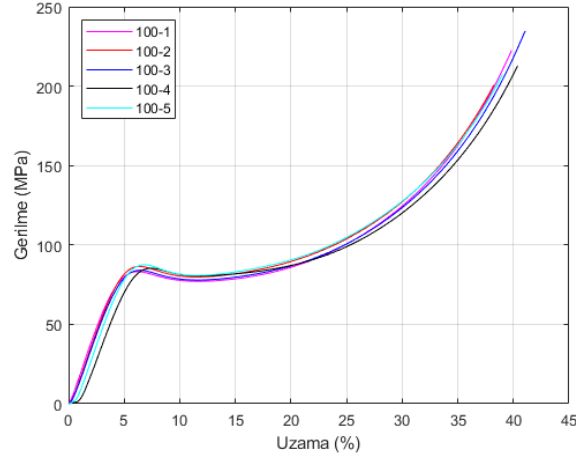
UVR-25	Gerilme (MPa)	Yüzde Uzama (%)	Uzama (mm)	UVR-50	Gerilme (MPa)	Yüzde Uzama (%)	Uzama (mm)	UVR-100	Gerilme (MPa)	Yüzde Uzama (%)	Uzama (mm)
B1	23.45 7	12.81 5	3.203	B1	56.682	29.19 3	7.298	B1	222.5 4	39.83 7	9.959
B2	22.32 4	17.04 5	4.261	B2	60.991	29.11 2	7.278	B2	200.2 3	38.21 4	9.553
B3	29.65 3	21.19 8	5.299	B3	63.673	29.90 1	7.475	B3	234.6 5	41.12 5	10.28
B4	29.97 5	16.24 5	4.061	B4	66.793	30.58 5	7.645	B4	212.8 7	40.39 5	10.09
B5	36.35 8	21.72 7	5.431	B5	66.427	29.45 6	7.364	B5	206.3 2	38.93 7	9.734
Ortalama	28.35 3	17.80 6	4.451	Ortalama	62.913	29.64 9	7.412	Ortalama	215.3 1	39.70	9.923



(a) %25 doluluk oranlı basma numunesi sonuçları



(b) %50 doluluk oranlı basma numunesi sonuçları



(c) %100 doluluk oranlı basma numunesi sonuçları

Şekil 6. Farklı doluluk oranıyla üretilmiş numuneler için basma deneylerinin gerilme-yüzde uzaması sonuçları.

Mevcut çalışmalar incelendiğinde; Martín-Montal vd. [34] çalışmalarında reçine malzemelerin kullanımını genişletmek için dikkate alınması gereken belirli yönleri açıklığa kavuşturmak için SLA ile basılan malzemeleri incelemek ve karakterize etmek için deneysel bir metodoloji çerçevesi önermiştir. Bu amaçla farklı gerinim hızlarında çekme ve basma testleri yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre çekme ve basma dayanımları sırasıyla 35 MPa ve 30 MPa'dır. Linares vd. [35] çalışmalarında biyomedikal cihazların hidrostatik yüksek basınçlı sterilizasyonunun fizibilitesini tahmin etmek için ticari 3B yazıcılar tarafından üretilen örneklerin mekanik özelliklerini değerlendirdi. Sterilizasyon olmadan SLA ile işlenmiş çekme testi numuneleri, 76.17 MPa'lık bir çekme dayanımı gösterirken, yüksek basınçlı sterilizasyon yöntemi, bu malzeme üzerinde 77.23 MPa'lık bir çekme dayanımı sergilemiştir. Sterilizasyon olmadan SLA ile işlenmiş basma numuneleri, 99.18 MPa bir basma dayanımı gösterirken, sterilizasyon yöntemi ise bu malzeme üzerinde 35.37 MPa basma dayanımı sergilemiştir. Yaptığımız çalışmada elde edilen sonuçlar literatürle benzerlik göstermektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Flashforge Foto 6.0 3B yazıcı ile Anycubic UV reçine malzeme kullanarak farklı doluluk oranına sahip 15 adet çekme ve 15 adet basma olmak üzere toplamda 30 adet test numuneleri üretilmiştir. Böylelikle doluluk oranı parametresinin çekme ve basma numuneleri üzerindeki mekanik özelliklere etkileri araştırılmıştır. Numunelerin üretiminde SLA yöntemi kullanılmıştır. Diğer üretim

tekniklerinden farklı olarak model şeffaf ve dayanıklı bir yapıdadır. SLA ile üretim yapan 3B yazıcılarla üretilen parçaların mekanik özelliklerinin bilinmesi, parçaların verimli çalışması ve üretim tekniğinin kullanımının yaygınlaşması açısından önemlidir. Deneysel sonuçlardan elde edilen bulgulara göre, doluluk oranının numuneler üzerinde önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Çekme deneylerinde %100 doluluk oranında 51.911 MPa gerilme ve 10.095 yüzde uzama elde edilirken %25 doluluk oranında ise 20.573 MPa gerilme ve 5.508 yüzde uzama elde edilmiştir. Basma deneyleri de aynı biçimde mekanik davranış sergilemiştir. Sonuç olarak, ortalama çekme ve basma mukavemeti değerlerinin doluluk oranı arttıkça yükseldiği gözlemlenmiştir. Bir sonraki çalışmalarda, dolgu deseni yapısı, reçine rengi ve yüzey kalitesi gibi farklı parametrelerin de numuneler üzerindeki etkisi incelenebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Siirt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2021-SİUMÜH-49 numaralı proje olarak desteklenmektedir. Bu çalışma Siirt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İşaret İşleme Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Bu makalenin yazarları, destekleri için İşaret İşleme Laboratuvar çalışanlarına teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Huang, J., Ware, H. O. T., Hai, R., Shao, G., Sun, C., "Conformal geometry and multimaterial additive manufacturing through freeform transformation of building layers", *Advanced Materials*, Vol. 33, Issue 11, Pages 1-8, 2021.

2. Nguyen, N. A., Barnes, S. H., Bowland, C. C., Meek, K. M., Littrell, K. C., Keum, J. K., Naskar, A. K., "A path for lignin valorization via additive manufacturing of high-performance sustainable composites with enhanced 3D printability", *Science Advances*, Vol. 4, Issue 12, Pages 1-15, 2018.
3. Zhang, P., Yu, Y., Chen, B., Wang, W., Wei, S., Rao, W., Wang, Q., "Fast fabrication of double-layer printed circuits using bismuth-based low-melting alloy beads", *Journal of Materials Chemistry C*, Vol. 8, Issue 24, Pages 8028-8035, 2020.
4. Kowsari, K., Akbari, S., Wang, D., Fang, N. X., Ge, Q., "High-efficiency high-resolution multimaterial fabrication for digital light processing-based three-dimensional printing", *3D Printing and Additive Manufacturing*, Vol. 5, Issue 3, 2018.
5. Han, D., Lee, H., "Recent advances in multi-material additive manufacturing: Methods and applications", *Current Opinion in Chemical Engineering*, Vol. 28, Issue 2, Pages 158-166, 2020.
6. Borlaf, M., Szubra, N., Serra-Capdevila, A., Kubiak, W. W., Graule, T., "Fabrication of ZrO₂ and ATZ materials via UV-LCM-DLP additive manufacturing technology", *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 40, Issue 4, Pages 1574-1581, 2020.
7. Yılmaz, G. Ü. R., "Bilgisayarlı tomografi verilerinden anatomik ayak kemik yapısının ultraviyole ledli 3 boyutlu yazıcı ile üretimi", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Sayı 22, Sayfa 128-133, 2021.
8. Padmakumar, M., "Additive manufacturing of tungsten carbide hardmetal parts by selective laser melting (SLM), selective laser sintering (SLS) and binder jet 3D printing (BJ3DP) techniques", *Lasers Manuf. Mater. Process*, Vol. 7, Issue 3, 2020.
9. Metel, A. S., Stebulyanin, M. M., Fedorov, S. V., Okunkova, A. A., "Power density distribution for laser additive manufacturing (SLM): potential", *Fundamentals and Advanced Applications. Technologies*, Vol. 7, Issue 1, Pages 1-8, 2018.
10. Lee, C. H., Padzil, F. N. B. M., Lee, S. H., Ainun, Z. M. A. A., Abdullah, L. C., "Potential for natural fiber reinforcement in PLA polymer filaments for fused deposition modeling (FDM) additive manufacturing: A review", *Polymers*, Vol. 13, Issue 9, Pages 1-12, 2021.
11. Walczak, M., Szala, M., "Effect of shot peening on the surface properties, corrosion and wear performance of 17-4PH steel produced by DMLS additive manufacturing", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol. 21, Issue 4, 2021.
12. Caminero, M. A., Chacón, J. M., García-Moreno, I., Reverte, J. M., "Interlaminar bonding performance of 3D printed continuous fibre reinforced thermoplastic composites using fused deposition modelling", *Polymer Testing*, Vol. 68, Issue 5, Pages 415-423, 2018.
13. Hu, X., Yang, Z., Kang, S., Jiang, M., Zhou, Z., Gou, J., He, J., "Cellulose hydrogel skeleton by extrusion 3D printing of solution", *Nanotechnology Reviews*, Vol. 9, Issue 1, Pages 345-353, 2020.
14. Chacón, J. M., Caminero, M. A., Núñez, P. J., García-Plaza, E., García-Moreno, I., Reverte, J. M., "Additive manufacturing of continuous fibre reinforced thermoplastic composites using fused deposition modelling: effect of process parameters on mechanical properties", *Composites Science and Technology*, Vol. 181, Issue 2, Pages 1-18, 2019.
15. Chia, H. N., Wu, B. M., "Recent advances in 3D printing of biomaterials", *Journal of Biological Engineering*, Vol. 9, Issue 1, Pages 1-14, 2015.
16. Huang, B., Wu, B., Han, L., Lu, Z., Zhou, W., "Preparation of a novel cationic photosensitive resin (3D-SLR01) for stereolithography 3D printing and determination of its some properties", *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, Vol. 34, Issue 4, Pages 761-768, 2019.
17. Curti, C., Kirby, D. J., Russell, C. A., "Stereolithography apparatus evolution: enhancing throughput and efficiency of pharmaceutical formulation development", *Pharmaceutics*, Vol. 13, Issue 5, Pages 616-630, 2021.
18. Lim, S. H., Kathuria, H., Amir, M. H. B., Zhang, X., Duong, H. T., Ho, P. C. L., Kang, L., "High resolution photopolymer for 3D printing of personalised microneedle for transdermal delivery of anti-wrinkle small peptide", *Journal of Controlled Release*, Vol. 329, Pages 907-918, 2021.
19. Goyanes, A., Buanz, A. B., Hatton, G. B., Gaisford, S., Basit, A. W., "3D printing of modified-release aminosaliclylate (4-ASA and 5-ASA) tablets", *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, Vol. 89, 2015.
20. Konta, A. A., García-Piña, M., Serrano, D. R., "Personalised 3D printed medicines: which techniques and polymers are more successful?", *Bioengineering*, Vol. 4, Issue 4, 2017.
21. Melchels, F. P., Feijen, J., Grijpma, D. W. , "A review on stereolithography and its applications in

biomedical engineering”, *Biomaterials*, Vol. 31, Issue 24, Pages 6121-6130, 2010.

22. Gardan, J., “Additive manufacturing technologies: state of the art and trends”, *Additive Manufacturing Handbook*, Pages 149-168, CRC Press, 2017.

23. Vitale, A., Cabral, J. T., “Frontal conversion and uniformity in 3D printing by photopolymerisation”, *Materials*, Vol. 9, Issue 760, 2016.

24. Garzon-Hernandez, S., Garcia-Gonzalez, D., Jérusalem, A., Arias, A., “Design of FDM 3D printed polymers: An experimental-modelling methodology for the prediction of mechanical properties”, *Materials & Design*, Vol. 188, Issue 3, Pages 1-15, 2020.

25. Chacón, J. M., Caminero, M. A., García-Plaza, E., Núñez, P. J., “Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection”, *Materials & Design*, Vol. 124, Pages 143-157, 2017.

26. Mahir, U., Erdogdu, Y. E., “Eriyik yığıma modellemesi ile üretimde takviyesiz ve takviyeli PLA kullanımının mekanik özelliklere etkisinin araştırılması”, *Journal of the Institute of Science and Technology*, Vol. 10, Issue 4, Pages 2800-2808, 2020.

27. Kamer, M. S., Temiz, Ş., Yaykaşlı, H., Ahmet, K., “3 Boyutlu yazıcı ile farklı renklerde ve farklı dolgu desenlerinde üretilen çekme test numunelerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, Vol. 26, Issue 3, Pages 829-848, 2021.

28. Garzon-Hernandez, S., Arias, A., Garcia-Gonzalez, D., “A continuum constitutive model for FDM 3D printed thermoplastics”, *Composites Part B: Engineering*, Vol. 201, Pages 1-16, 2020.

29. Özsoy, K., Erçetin, A., Çevik, Z. A., “Comparison of Mechanical Properties of PLA and ABS Based Structures Produced by Fused Deposition Modelling Additive Manufacturing”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Sayı 27, Sayfa 802-809, 2021.

30. Li, S., Yuan, S., Zhu, J., Wang, C., Li, J., Zhang, W., “Additive manufacturing-driven design optimization: Building direction and structural topology”, *Additive Manufacturing*, Vol. 36, 2020.

31. Aktitiz, İ., Aydın, K., Topcu, A., “Stereolitografi (SLA) Tekniği ile Basılan 3 Boyutlu Polimer Yapılarda İkincil Kürleme Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Vol. 35, Issue 4, Pages 949-958, 2020.

32. Hossain, M., Navaratne, R., Perić, D., “3D printed elastomeric polyurethane: Viscoelastic experimental characterizations and constitutive modelling with nonlinear viscosity functions”, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, Vol. 126, Issue 4, Pages 1-12, 2020.

33. Miedzińska, D., Gieleta, R., Małek, E., “Experimental study of strength properties of SLA resins under low and high strain rates”, *Mechanics of Materials*, Vol. 141, Issue 2, Pages 1-18, 2020.

34. Martín-Montal, J., Pernas-Sánchez, J., Varas, D., “Experimental characterization framework for SLA additive manufacturing materials”, *Polymers*, Vol. 13, Issue 7, 2021.

35. Linares-Alvelais, J. A. R., Figueroa-Cavazos, J. O., Chuck-Hernandez, C., Siller, H. R., Rodríguez, C. A., Martínez-López, J. I., “Hydrostatic high-pressure post-processing of specimens fabricated by DLP, SLA, and FDM: An alternative for the sterilization of polymer-based biomedical devices”, *Materials*, Vol. 11, Issue 12, Pages 2540, 2018.