



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>

ERGİYİK BİRİKTİRME YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN PVA NUMUNELERİN BASMA DAYANIMININ BULANIK MANTIKLA TAHMİNİ

PREDICTION OF COMPRESSIVE STRENGTH OF PVA
SAMPLES PRODUCED BY FUSED DEPOSITION
MODELING USING FUZZY LOGIC

Yazarlar (Authors): Ebru Kuruoğlan , Osman Saltık , Koray Özsoy 

Bu makaleye řu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kuruoğlan E., Saltık O., Özsoy K., "Ergiyik Biriktirme Yöntemiyle Üretilen PVA Numunelerin Basma Dayanımının Bulanık Mantıkla Tahmini" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 8(3): 399-406, (2024).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1548680

Araştırma Makale/ Research Article

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

ERGİYİK BİRİKTİRME YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN PVA NUMUNELERİN BASMA DAYANIMININ BULANIK MANTIKLA TAHMİNİ

Ebru Kuruoğlan^a, Osman Saltık^b*, Koray Özsoy^b

^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE
^b Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta OSB MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: osmansaltik@isparta.edu.tr

(Geliş/Received: 11.09.24; Düzeltme/Revised: 09.11.24; Kabul/Accepted: 09.12.24)

ÖZ

Bu çalışmada, Polivinil Alkol (PVA) malzemesi kullanılarak farklı işleme parametrelerine sahip numuneler üretilmiş ve basma dayanımları incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, PVA malzemesi kullanılarak üretilen numunelerin basma dayanımının, nozul sıcaklığı, baskı hızı ve doluluk oranı gibi işleme parametrelerine bağlı olarak bulanık mantık modelleme yöntemiyle tahmin edilmesidir. Sonuçlara göre, basma dayanımı büyük ölçüde doluluk oranına bağlıdır; doluluk oranı arttıkça basma dayanımı artmıştır. Ancak baskı hızının artışı basma dayanımını azaltmıştır. Nozul sıcaklığı ise basma dayanımını kısmen azaltmıştır. Çalışmanın en önemli katkılarından biri, bulanık mantık modelleme yöntemi kullanılarak deneysel verilerin tahmin edilmesidir. Çalışmada geliştirilen bulanık mantık modeli, nozul sıcaklığı, baskı hızı ve doluluk oranı gibi parametreler ile basma dayanımı arasındaki ilişkiyi başarılı bir şekilde modellemiş ve gerçek deneysel verilere yakın tahmin etmiştir. Bu modelin, geleneksel tahmin yöntemlerine kıyasla daha yüksek doğruluk ve tutarlılık sağladığı ortaya konmuştur. Özellikle, PVA malzemeli numunelerin farklı işleme parametreleri altında gösterdiği basma dayanımını başarılı bir şekilde tahmin edilmesinde etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, çalışmada bulanık mantık modellerinin, deneysel verilerin tahmin edilmesinde etkili ve güvenilir bir yöntem olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular, PVA malzemeli numunelerin farklı işleme parametrelerine bağlı olarak basma dayanımının tahminlenmesine yönelik önemli bilgiler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Polivinil Alkol (PVA), Ergiyik Biriktirme Modelleme (EBM), Basma Dayanımı, Bulanık Mantık, Tahminleme.

PREDICTION OF COMPRESSIVE STRENGTH OF PVA SAMPLES PRODUCED BY FUSED DEPOSITION MODELING USING FUZZY LOGIC

ABSTRACT

In this study, samples with varying processing parameters were produced using Polyvinyl Alcohol (PVA) material, and their compressive strengths were investigated. The aim of this study is to estimate the compressive strength of samples produced with PVA material using a fuzzy logic modeling method, depending on processing parameters such as nozzle temperature, printing speed, and filling ratio. According to the results, the compressive strength is highly dependent on the filling rate; as the filling rate increases, the compressive strength also increases. However, the compressive strength decreases with an increase in printing speed. The nozzle temperature partially decreased the compressive strength. One of the most important contributions of this study is the prediction of experimental data using the fuzzy logic modeling method. The fuzzy logic model developed in this study successfully modeled the relationship between parameters such as nozzle temperature, printing speed, and filling ratio with compressive strength, predicting values close to the real experimental data. This model was shown to provide higher accuracy and consistency compared to traditional prediction methods. It was

demonstrated to be an effective approach for successfully predicting the compressive strength of PVA specimens under different processing parameters. The study shows that fuzzy logic models can be used as an effective and reliable method for predicting experimental data. The findings provide important information for predicting the compressive strength of PVA specimens under various processing parameters.

Keywords: Polivinil Alkol (PVA), Fused Deposition Modelling (FDM), Compressive strength, Fuzzy Logic, Prediction.

1. GİRİŞ

EBM teknolojisinde kullanılan malzemeler, geleneksel imalat süreçlerinde test edilmiş termoplastiklerdir. Temel EBM termoplastik malzemeler arasında Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS), Polilaktik Asit (PLA), Polikarbonat (PC), PC/ABS karışımı, epoksi, epoksi reçineler, poliamid (nylon), Polivinil Alkol (PVA), termoset ve termoplastik poliüretan yer almaktadır [1]. Literatürde, özellikle PLA ve ABS gibi termoplastik malzemelerin mekanik özelliklerinin kapsamlı bir şekilde incelendiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır. [2-4]. PVA; genellikle PLA ve ABS filamentlerle birlikte destek yapıların üretiminde ve destek yapıların parçalardan uzaklaştırma işlemlerinde kullanılır. Endüstriyel olarak üretilen suda çözünebilen bir polimerdir [5]. Son yıllarda, PVA çoğunlukla dişçilik, ilaç taşıyıcı, kontak lensler ve yapay organlar olmak üzere biyo-yazıcı gibi medikal alanındaki uygulamalarda kendine yer edinmiştir [6-7].

Bulanık mantık kavramını ilk olarak 1965 yılında Zadeh ortaya atmıştır. Zadeh'in 'bulanık küme' kavramı, klasik sistem kuramının matematiksel yöntemlerinin karmaşık ve insan faktörünü içeren sistemlerde yetersiz kalması sonucunda geliştirilmiştir [8].

Bulanık mantık, standart sayısal sistemlerde kullanılan sıfır ve bir seviyeleri yerine üyelik fonksiyonlarını kullanarak daha hassas sonuçlar üretebilir. [9] Mamo vd., çalışmasında, EBM yöntemiyle dört süreç değişkeni belirleyerek ABS malzeme kullanarak, numuneler üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Ardından, giriş ve çıkış parametrelerine dayalı bulanık mantık tabanlı bir tahmin modeli geliştirilmiştir. Sonuçlar, önerilen modelin deneysel verilerle iyi bir uyum gösterdiğini ortaya koymuştur [10]. Peng vd., çalışmalarında katman kalınlığı, dolum hızı, ekstrüzyon hızı ve hat genişliğinin imalat süresi ve boyutlar

üzerindeki etkilerini hem deneysel hem de bulanık mantık ile incelemiştir. Sonuçlar, bu yaklaşımın FDM sürecinin doğruluğunu ve verimliliğini artırabileceğini göstermiştir [11].

Ng vd., çalışmalarında, EBM 3D baskı tekniği kullanarak içi boş PLA numuneleri için optimum PVA destek parametre ayarlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Deneyler sonucunda, en iyi PVA destek ayarlarının destek malzemesi kullanımı, baskı süresi ve maliyeti azalttığı gözlemlenmiştir [12]. Moradi vd., çalışmalarında, EBM yöntemiyle PVA malzemeli 3D baskı yöntemini araştırmışlar ve girdi parametreleri olarak dolgu oranı (%10-50) ile tarama deseni parametrelerini seçmişlerdir. Çalışmada çıktı olarak modül, kopma uzaması ve ağırlık ölçülmüştür. Sonuçlar, optimum numuneler için öngörülen ve gerçek yanıtların %15'in altında bir tutarsızlığa sahip olduğunu ve bunun deneyler için kabul edilebilir olduğunu göstermiştir [13].

Bu çalışmada, nozul sıcaklığı, baskı hızı ve doluluk oranı gibi önemli imalat parametreleri girdi olarak alınarak ve PVA filament malzemesi kullanılarak EBM yöntemiyle basma numuneleri imal edilmiştir. Deney tasarımı (DOE) için Taguchi yöntemi kullanılmıştır ve bu deneyde çıktı olarak modül ile basma dayanımı ölçülmüştür. Bulanık mantık, her bir yanıt için gerekli olan hedeflere ulaşmak amacıyla üç girdi parametresini optimize edecek şekilde düzenlenmiştir. PVA numuneleri için basma dayanımının bulanık mantıkla tahmini, bu çalışmada ilk kez ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, bu girdi parametrelerinin üretilen numunelerin basma dayanımı üzerindeki etkisini değerlendirmektir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmada, açık kaynak kodlu ve 400x300x350 mm imalat hacme sahip ZAXE Z3 marka/model EBM tipi yazıcı kullanılarak PVA malzeme ile,

basma numuneleri üretilmiştir. Çizelge 1'de PVA filamentin teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1. PVA filamentin teknik özellikleri [14]

Filament Adı	PVA
Baskı Sıcaklığı (°C)	180-230
Yoğunluk (g/cm ³)	1,25
Çekme Dayanımı (MPa)	22
Kopma uzaması (%)	360

Bulanık mantığın temelini, üyelik fonksiyonlarıyla belirlenen bulanık küme kavramı oluşturmaktadır. Bulanık küme içindeki her bir öğeye, 0 ile 1 arasında değişen ve üyelik fonksiyonu tarafından belirlenen bir üyelik değeri atanır. Çalışmada, genelleştirilmiş gbell üyelik fonksiyonunun a, b ve c parametrelerinin yer aldığı Denklem (1) kullanılarak bulanık mantık işlemleri gerçekleştirilmiştir [15]. Burada x: giriş değeri veya bağımsız değişken, a: fonksiyonun genişliğini kontrol eden parametre, b: fonksiyonun eğimini veya şeklini kontrol eden parametre, c: fonksiyonun merkezini veya zirvesini belirleyen parametrelerdir.

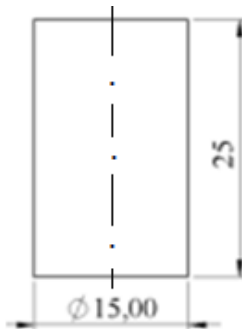
$$G_{bell}(x, a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (1)$$

2.2. Yöntem

Çalışma yöntem bölümü basma numunelerin standart tasarımı ve EBM cihazı ile imalatı, basma deneyi, bulanık mantık modelleme kısımlarını kapsar.

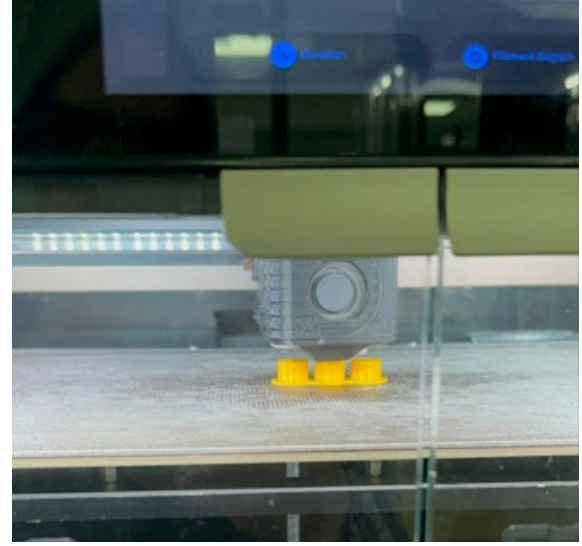
2.2.1. Basma Numunesi Tasarımı ve İmalatı

Şekil 1, EBM ile üretilen parçaların ISO 604:2002 standardına göre basma testi için test numunelerinin şekil ve boyutları verilmiştir [16].



Şekil 1. Basma numunesi (mm)

Şekil 2'de gösterildiği gibi EBM ile nozul sıcaklığı (200, 220° C), baskı hızı (30-60-80-100 mm/sn), doluluk oranı (%30-50-70-100) ile 16 farklı parametre ile basma numuneleri (Şekil 3) imal edilmiştir.



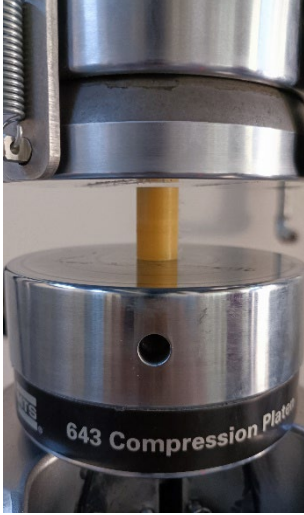
Şekil 2. EBM basma numunesi imalatı



Şekil 3. EBM basma numuneleri

2.2.2. Basma Deneyi

Basma testi, 10 kN kuvvet sensör kapasitesine sahip bir test makinesinde (AGS-X, Shimadzu Co., Kyoto, Japonya) Şekil 4'te gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Test sırasında numuneler, biri sabit diğeri hareketli olmak üzere iki aparat arasında sıkıştırmak suretiyle basma dayanımları MPa cinsinden ölçülmüştür. Test hızı ASTM D695 standardı referans alınarak 1,3 mm/s olarak uygulanmıştır. Deneysel hataları en aza indirmek amacıyla her koşul için üç numune test edilmiş ve elde edilen basma dayanımı değerlerinin ortalaması alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

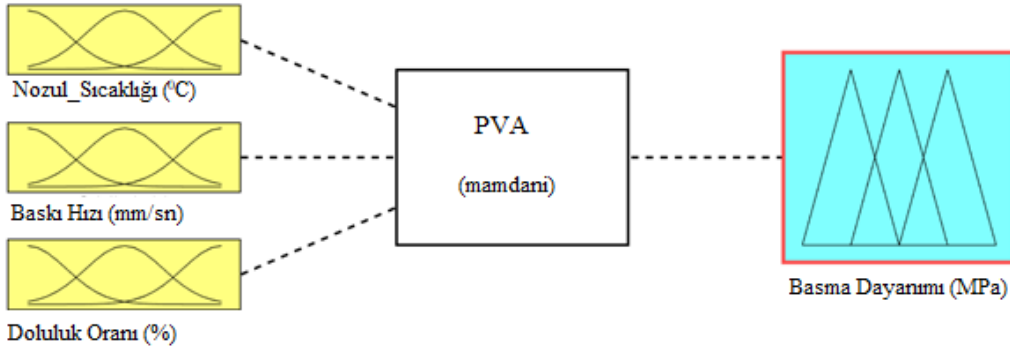


Şekil 4. Basma deneyi

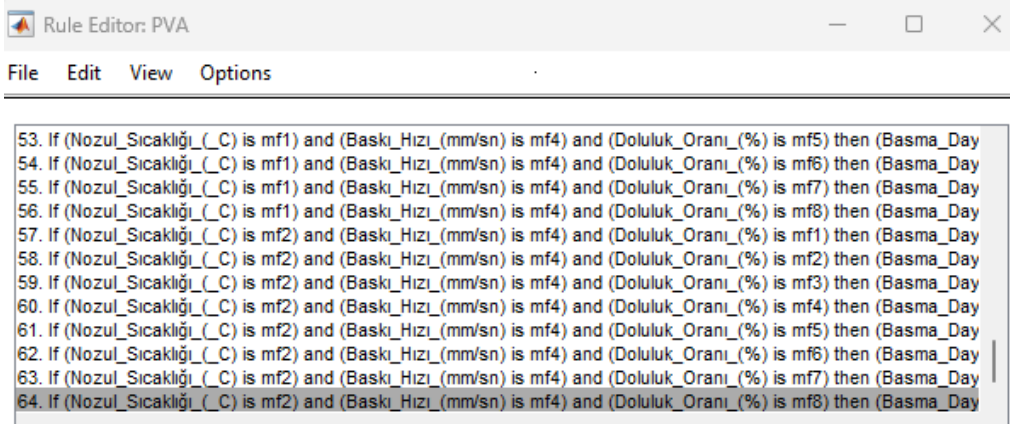
2.2.3. Bulanık Mantık Modelleme

Şekil 5'te gösterildiği üzere, PVA malzemesi ile gerçekleştirilen basma deneyi sonuçlarına

dayanarak yapılan analizlerde, nozul sıcaklığı, baskı hızı ve doluluk oranı gibi parametrelerin, yani giriş değişkenlerinin basma dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda, giriş değişkenleri olan nozul sıcaklığı, baskı hızı ve doluluk oranı ile çıkış değişkeni olarak basma dayanımı arasında bir ilişki kurulmuş ve bu ilişkiyi modellemek amacıyla bulanık mantık kullanılmıştır. Bu modelleme sürecinde gbell üyelik fonksiyonları tercih edilmiş ve sistemin davranışını tanımlamak için bir dizi kural tabanı oluşturulmuştur. Özellikle, PVA malzemesinin kullanıldığı deneylerden elde edilen verilere dayalı olarak, söz konusu sistemin farklı koşullarda nasıl çalışacağını simüle etmek için nozul sıcaklığı, baskı hızı ve doluluk oranı parametrelerine bağlı olarak geliştirilen modelde toplamda 64 farklı kuralın uygulandığı bir bulanık mantık kural tabanı oluşturulmuştur.



(a)



(b)

Şekil 5. Bulanık mantık model a) Üyelik fonksiyonu, b) Kural tabanı

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. PVA Numuneleri Basma Deneyi Sonuçları

EBM yöntemiyle imal edilen basma numunelerine uygulanan basma testi sonuçları analiz edilmiştir. Bu analizlerde, her bir deney koşulu için nozul sıcaklığı, baskı hızı ve doluluk

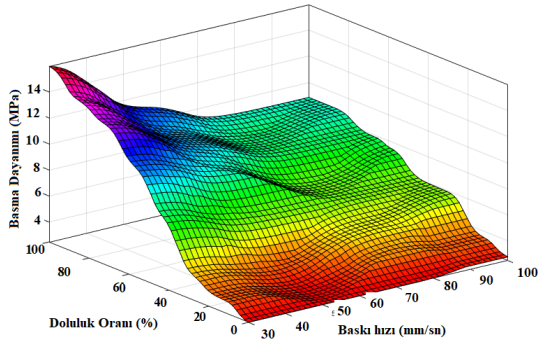
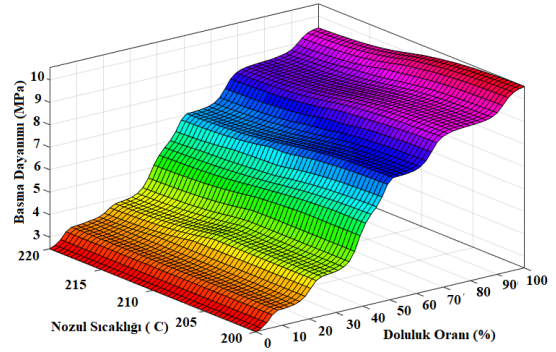
oranı parametreleri ile, üç adet numune üzerinde ayrı ayrı testler gerçekleştirilmiştir. Her bir parametre kombinasyonu için elde edilen basma dayanımı sonuçları, bu üç numune üzerinden yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Deney sonuçları detaylı bir şekilde Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Basma deneyi sonuçları

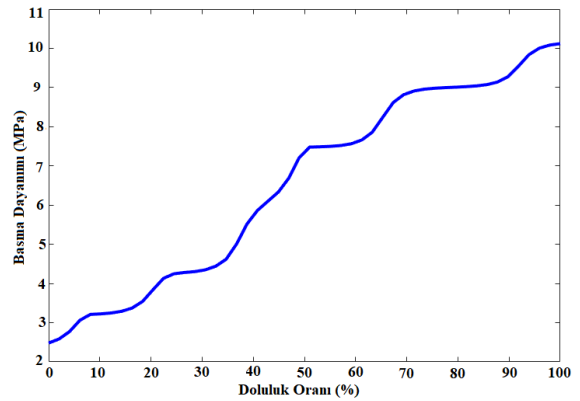
No	Baskı Hızı (mm/sn)	Doluluk Oranı (%)	Nozul Sıcaklığı (°C)	Ortalama Basma Dayanımı (MPa)
1	30	30	200	2,39
2	30	50	200	5,33
3	30	70	220	11,77
4	30	100	220	17,23
5	60	30	200	1,82
6	60	50	200	3,55
7	60	70	220	10,07
8	60	100	220	12,14
9	80	30	220	2,17
10	80	50	220	5,90
11	80	70	200	7,60
12	80	100	200	10,34
13	100	30	220	2,63
14	100	50	220	5,10
15	100	70	200	8,40
16	100	100	200	10,28

3.2. PVA Numuneleri Bulanık Mantık Sonuçları

PVA malzemeli numunelerin basma deneylerin sonuçlarına dayalı olarak oluşturulan bulanık mantık modelin çıktıları detaylı bir şekilde sunulmuştur. Nozul sıcaklığı, baskı hızı ve doluluk oranı gibi önemli parametrelerin basma dayanımı üzerindeki etkileri analiz edilerek, bulanık mantık tabanlı bir yaklaşımla elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Baskı hızı, nozul sıcaklığı ve doluluk oranı ile basma dayanımı ilişki 3B yüzey grafikleri Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

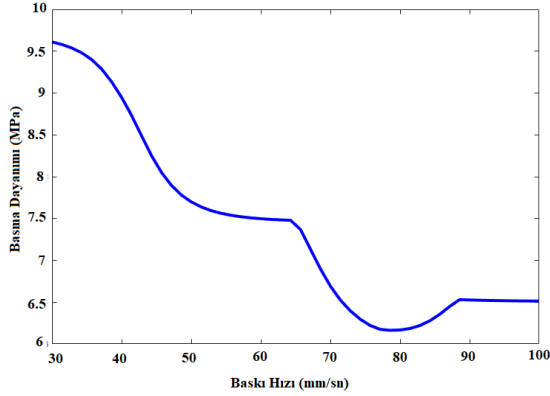
**Şekil 6.** Baskı hızı, doluluk oranı ile basma dayanımı ilişkisi**Şekil 7.** Nozul sıcaklığı, doluluk oranı ile basma dayanımı ilişkisi

PVA malzemeli numunelerin doluluk oranı ve basma dayanımı arasındaki değişim Şekil 8'de sunulmuştur. PVA malzemeli numunelerin basma dayanımı değerlerini doluluk oranı arttıkça arttığını gözlemleyebiliriz. Bunun sebebi; doluluk oranı arttıkça, parça içindeki boşluklar azalır ve daha fazla malzeme kullanılır. Ayrıca daha yüksek doluluk oranı ile baskı sırasında katmanlar arasındaki bağlanma iyileşir ve parça içindeki yük dağılımı homojen hale gelmektedir. Doluluk oranı arttıkça parça içindeki destek yapısı da güçlenir. Sonuç olarak PVA malzemeli numunelerde basma dayanımının doluluk oranına ciddi olarak bağlı olduğu anlamına gelmektedir.

**Şekil 8.** Doluluk oranı basma dayanımı ilişkisi

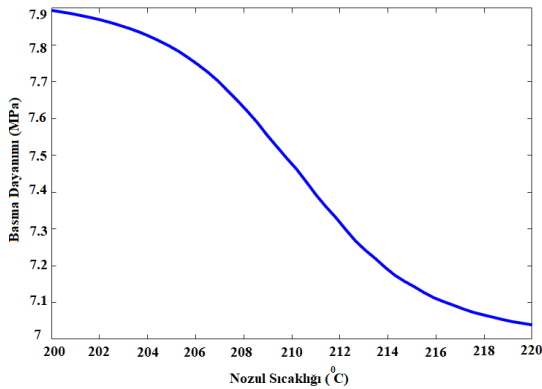
Baskı hızı ve basma dayanımı arasındaki değişim Şekil 9'da sunulmuştur. PVA malzemeli numunelerin basma dayanımı değerlerini baskı hızı arttıkça azaldığını gözlemleyebiliriz. Baskı hızı arttığında, filament malzeme daha hızlı şekilde katmanlar üzerine bırakılır ve bu durumda katmanlar arasında yeterli sıcaklıkta ve sürede bağlanma gerçekleşmez. Böylece katmanlar arası bağ zayıf olur. Ayrıca yetersiz soğuma süresi, yüzey kalitesindeki bozulmalar ve malzeme çekmesi gibi faktörler, EBM ile üretilen PVA malzemeli

parçaların basma dayanımının düşmesine neden olmuştur.



Şekil 9. Baskı hızı basma dayanımı ilişkisi

PVA malzemeli numunelerin nozul sıcaklığı ile basma dayanımı arasındaki değişim Şekil 10'da gösterilmiştir. Basma dayanımı değerlerini nozul sıcaklığı ile kısmen azaldığımızı gözlemleyebiliriz. EBM'de nozul sıcaklığı arttığında, malzemenin akışkanlığı, katmanlar arası yapışma, termal bozulma ve iç gerilimler gibi faktörler nedeniyle basma dayanımı düşer.



Şekil 10. Nozul sıcaklığı ile basma dayanımı ilişkisi

Şekil 11'de PVA malzemeden yapılan basma numunelerin basma dayanımı, farklı işleme parametrelerinin etkisi altında tahmin edilmiştir. Bu parametreler arasında nozul sıcaklığı, baskı hızı ve doluluk oranları yer almaktadır. Her bir parametre, belirli veri giriş değerlerine göre farklı kombinasyonlar halinde kullanılmış ve numunelerin basma dayanımı performansı üzerinde nasıl bir etki oluşturduğu incelenmiştir. Sonuç olarak, çalışmada bulanık mantık modelleme ile farklı giriş parametre kombinasyonlarının, basma dayanımını tahmin etmede önemli bir rol oynadığı gösterilmiştir.



Şekil 11. Bulanık mantık modelleme tahmini

PVA malzemeli EBM yöntemiyle elde edilen 3B baskı parçaların literatür çalışmaları incelendiğinde, Ilieva et al., [17] çalışmasında, kısmen hidrolize edilmiş, sorbitol ile plastikleştirilmiş polivinil alkol (PVA) filamentler, özellikle parasetamol gibi model ilaçlar için uygun bulunmuş ve karakterizasyon analizleriyle salım profilleri değerlendirilmiştir. Angjellari vd., [18] çalışmalarında elmas nanogranülleri dolgu maddesi olarak kullanılan PVA bazlı nanokompozitlerin 3B baskıda kullanımını araştırarak yenilikçi PVA-DND mürekkepler geliştirdiler. Çalışma, bu nanokompozitlerin başarılı bir şekilde basılabilir olduğunu ve farklı alanlarda geniş uygulama potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur. PVA'dan yapılan 3 boyutlu yazdırılmış numunelerin mekanik özelliklerini araştırmak ve yazıcı parametreleri ile mekanik özellikler arasında bir korelasyon kurmak için çeşitli çalışmalar yürütülmüştür [19–21].

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, PVA filament malzemesi kullanılarak farklı işleme parametreleriyle imal edilen basma numuneleri üzerinde kapsamlı bir basma deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler, numunelerin mekanik özelliklerini anlamak ve bu özellikleri tahmin edebilecek modeller geliştirmek amacıyla analiz edilmiştir. Bu bağlamda, deneysel sonuçların değerlendirilmesinde bulanık mantık modelleme yöntemi kullanılmış ve elde edilen verilerin doğruluğu ile tutarlılığı üzerine odaklanılmıştır.

Elde edilen basma deneyi sonuçlarına göre, PVA malzemesiyle üretilen numunelerin basma dayanımının büyük ölçüde doluluk oranına bağlı olduğu bulunmuştur. Doluluk oranı arttıkça numunelerin basma dayanımının belirgin bir şekilde iyileştiği gözlemlenmiştir.

Bununla birlikte, baskı hızının artmasıyla birlikte numunelerin basma dayanımının azaldığı tespit edilmiştir, bu da daha hızlı baskı süreçlerinin numunenin yapısal dayanıklılığı üzerinde olumsuz bir etki yaratabileceğini göstermektedir. Ayrıca, nozul sıcaklığının artışıyla numunelerin basma dayanımında kısmi bir azalma gözlemlenmiştir, ancak bu etki doluluk oranı ve baskı hızındaki değişiklikler kadar belirgin olmamıştır.

Çalışmanın genel amacı, deneysel verilerin yüksek doğruluk ve tutarlılıkla tahmin edilebilmesini sağlayacak alternatif modelleme yaklaşımlarını incelemek olmuştur. Bu çerçevede, bulanık mantık tabanlı modelleme yöntemlerinin, deneysel verilerin tahmin edilmesinde etkili ve güvenilir bir yöntem olarak kullanılabilirliği sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan analizler, bulanık mantık modellerinin, özellikle değişken parametrelerin etkisi altında bulunan malzeme özelliklerinin tahmin edilmesinde önemli bir rol oynadığını ortaya koymuş ve bu modellerin, geleneksel tahmin yöntemlerine kıyasla üstün performans sergileyebileceğini göstermiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

TEŞEKKÜR

Çalışmaya katkı sağlayan YETEM test ve analiz merkezine teşekkür ediyoruz.

KAYNAKLAR

- Duman B., Özsoy K. “Üç Boyutlu (3B) Baskı Teknolojileri”, Sayfa 222, Gece Kitapevi, Ankara, 2018.
- 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*, Vol. 27, Pages 802-809, 2021.
- Rodríguez-Panes, A., Claver, J., & Camacho, A. M. “The influence of manufacturing parameters on the mechanical behaviour of PLA and ABS pieces manufactured by FDM: A comparative analysis”, *Materials*, Vol. 11, Issue 8, Pages 1333, 2018.
- Algarni, M., & Ghazali, S. “Comparative study of the sensitivity of PLA, ABS, PEEK, and PETG’s mechanical properties to FDM printing process parameters. *Crystals*, Vol. 11, Issue 8, Pages 995, 2021.

- Kebeci, S., Öztürk, F. H., Temiz, A. “PVA Destek Malzemeli Çift Kafa 3 Boyutlu Yazıcı Tasarımı Ve Prototipi”, 4 th International Congress On 3d Printing (Additive Manufacturing) Technologies And Digital Industry, Sayfa 654-657, 2019.
- Zhang, C., Yuan, X., Wiu.L., Han, Y., Sheng, J. “Study on Morphology of Electrospun Poly (Vinyl Alcohol) Mats”, *European Polymer Journal*, Vol. 41 Pages 423- 432, 2005.
- Angjellari M., Tamburri E., Montaina L., Natali M., Passeri D., Rossi M., Terranova M.L., Beyond the concepts of nanocomposite and 3D printing: PVA and nanodiamonds for layer-by-layer additive manufacturing. *Materials & Design*, Vol. 119, Pages 12-21, 2017.
- Kıyak, E., Kahvecioğlu, A. Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Cilt 1, Sayı 2, Sayfa 63-72, 2003.
- Işık, Y., Kehya, M., Kayabaşı, A. Araç Sınıflandırılmalı Trafik Hız Sınırı Ceza Sisteminin Bulanık Mantık Temelli Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, Cilt 5, Sayı 1, Sayfa 115-126, 2023.
- H.B. Mamo, A.D. Tura, A. Johnson Santhosh, N. Ashok, and D. Kamalakara Rao, Modeling and Analysis of Flexural Strength with Fuzzy Logic Technique for a Fused Deposition Modeling ABS Components, *Mater. Today Proc.*, Vol. 57, Pages 768–774, 2022.
- Peng, A. Xiao, X. Yue, R. Process parameter optimization for fused deposition modeling using response surface methodology combined with fuzzy inference system. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 73, Pages 87–100, 2014.
- Ng, N. Y. Z., Haq, R. A., Marwah, O. M. F., Ho, F. H., & Adzila, S. Optimization of polyvinyl alcohol (PVA) support parameters for fused deposition modelling (FDM) by using design of experiments (DOE). *Materials Today: Proceedings*, Vol. 57, Pages 1226-1234, 2022.
- Moradi, M., Karamimoghadam, M., Meiabadi, S., Casalino, G., Ghaleeh, M., Baby, B., ... & Khodadad, D. Mathematical modelling of fused deposition modeling (FDM) 3D printing of poly vinyl alcohol parts through statistical design of experiments approach. *Mathematics*, Vol. 11, Issue 13, Pages 3022, 2023.

14. Esun, 2024, https://www.esun3d.com/pva-product/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw_sq2BhCUARIsAIVqmQuY2OAI6kHPSVVz9dBp94SXHSTjM6accvRZMV64rupJq7tSB39J6D8aAhlaEALw_wcB, August 31, 2024.
15. Sadollah, A. Which Membership Function is Appropriate in Fuzzy System?. Open Access Peer Reviewed.,Pages 2-6, 2018.
16. Basma Testi, ISO 604:2002: Plastics – Determination of Compressive Properties, 2002.
17. Ilieva, S., Georgieva, D., Petkova, V., & Dimitrov, M., “Study and Characterization of Polyvinyl Alcohol-Based Formulations for 3D Printlets Obtained via Fused Deposition Modeling.”, *Pharmaceutics*, Vol. 15, Issue 7, Pages 1867, 2023.
18. Angjellari, M., Tamburri, E., Montaina, L., Natali, M., Passeri, D., Rossi, M., Terranova, M.L. “Beyond the concepts of nanocomposite and 3D printing: PVA and nanodiamonds for layer-by-layer additive manufacturing.” *Mater. Des.* Vol. 119, Pages 12–21, 2017.
19. Stammen, J.A.; Williams, S.; Ku, D.N.; Guldberg, R.E. “Mechanical properties of a novel PVA hydrogel in shear and unconfined compression.”, *Biomaterials*, Vol. 22, Pages 799–806, 2001.
20. Hema, M., Selvasekerapandian, S., Hirankumar, G., Sakunthala, A., Arunkumar, D., Nithya, H. “Structural and thermal studies of PVA: NH4I.”, *Journal Phys. Chem. Solids*, Vol. 70, Pages 1098–1103, 2009.
21. Noushini, A., Samali, B., Vessalas, K. “Effect of polyvinyl alcohol (PVA) fibre on dynamic and material properties of fibre reinforced concrete.”, *Constr. Build. Mater.*, Vol. 49, Pages 374–383, 2013.