Fabrication and Characterization of Porosity-Gradient Polylactic Acid/20 wt.% Bredigite Composite Scaffolds via Fused Deposition Modeling for Bone Tissue Engineering

Somayeh Mohammadi[1], Hamid Reza Rezaie[2*], Jafar Javadpour[1], Mahshid Kharaziha[2] and Ali Reza Khavandi[1]

1- Department of Materials and Metallurgical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
2- Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
* Corresponding author, Email: hrezaie@iust.ac.ir

ABSTRACT

Introduction and Objectives: This study aims to investigate the synergistic effects of Bredigite particles and structural parameters on the physical and mechanical properties of composite scaffolds. Designing optimized architectures with gradient porosity for bone defect regeneration remains a critical challenge in materials and biocomposite engineering.

Materials and Methods: Pure polylactic acid (PLA) and composite scaffolds containing 20 wt.% Bredigite were fabricated using a 3D bioplotter via a direct-feeding Fused Deposition Modeling method without pre-fabricated filaments. The scaffolds were characterized using scanning electron microscopy, elemental mapping, and Fourier-transform infrared spectroscopy. Furthermore, the mechanical properties were evaluated through experimental compression testing. Numerical finite element analysis was performed using Abaqus software to analyze the mechanical behavior and stress distribution within the gradient porous structure.

Results: Both experimental and simulation findings revealed a structural gradient with a pore size ranging from 100 to 900 μm and a uniform distribution of Bredigite. A good agreement was observed between the experimental data and the Abaqus finite element analysis. Scaffolds with gradient porosity and Bredigite incorporation exhibited significant improvements in mechanical properties, achieving a Young's modulus of 5.5 GPa and a compressive strength of 172 MPa. Additionally, the inclusion of 20 wt.% Bredigite decreased the contact angle by 38° and accelerated the weight loss rate of the PLA matrix.

Conclusion: The results demonstrate that integrating bio-active Bredigite into a gradient-pore structure provides a superior balance of physical and mechanical properties. These composite scaffolds represent a suitable alternative for bone repair and orthopedic applications.

Keywords: Bredigite, Polylactic acid, Biocomposite, Gradient porosity, 3D printing, Mechanical properties.

نسخه پیش از انتشار

ساخت و مشخصه‌یابی داربست‌های کامپوزیتی پلی‌لاکتیک اسید/۲۰ درصد وزنی بریدیجیت با گرادیان تخلخل به روش مدل‌سازی رسوب ذوبی برای مهندسی بافت استخوان

سمیه محمدی[۱]، حمیدرضا رضایی[۲*]، جعفر جوادپور[۱]، مهشید خرازیها[۲] و علیرضا خاوندی[۱]

۱- دانشکده مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه علم و صنعت نارمک، تهران، ایران

۲- دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

[*] نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: hrezaie@iust.ac.ir

نسخه پیش از انتشار

چکیده

مقدمه و اهداف: این تحقیق با هدف بررسی تأثیر همزمان ذرات بریدیجیت و پارامترهای ساختاری بر خواص فیزیکی و مکانیکی داربست‌های کامپوزیتی انجام شده است. طراحی ساختارهای بهینه با گرادیان تخلخل برای بازسازی نقص‌های استخوانی بزرگ، همچنان یک چالش اساسی در حوزه مهندسی مواد و بیوکامپوزیت‌ها محسوب می‌شود.

مواد و روش‌ها: داربست‌های پلی‌لاکتیک اسید (PLA) خالص و کامپوزیتی حاوی ۲۰ درصد وزنی بریدیجیت، با دستگاه پرینتر به روش مدل‌سازی رسوب ذوبی و تغذیه مستقیم پودری ساخته شدند. ارزیابی‌های ساختاری و فازی با میکروسکوپ الکترونی روبشی، نقشه‌برداری عنصری و طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ انجام شد. خواص مکانیکی از طریق آزمون فشار تجربی ارزیابی گردید. همچنین جهت تحلیل رفتار مکانیکی و توزیع تنش در ساختار متخلخل گرادیانی، شبیه‌سازی عددی المان محدود استاتیکی با نرم‌افزار آباکوس صورت گرفت.

یافته‌ها: نتایج تجربی و شبیه‌سازی نشان داد که داربست‌ها دارای ساختاری با گرادیان اندازه منافذ بین ۱۰۰ تا ۹۰۰ میکرومتر همراه با توزیع یکنواخت فاز بریدیجیت هستند. انطباق مطلوبی میان نتایج تجربی آزمون فشار و آنالیز المان محدود مشاهده شد؛ به‌طوری‌که استفاده از فاز بریدیجیت و اعمال گرادیان تخلخل، بهبود چشمگیری در مدول یانگ تا حدود ۵/۵ گیگاپاسکال و استحکام فشاری تا حدود ۱۷۲ مگاپاسگال ایجاد کرد. همچنین، افزودن ۲۰ درصد بریدیجیت باعث کاهش زاویه تماس به میزان ۳۸ درجه و افزایش نرخ کاهش وزن ماتریس پلی‌لاکتیک اسید شد.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان می‌دهد تلفیق فاز زیست‌فعال بریدیجیت در ساختاری با اندازه منافذ گرادیانی، هماهنگی مطلوبی میان خواص مکانیکی و فیزیکی ایجاد می‌کند. این داربست‌های کامپوزیتی گزینه مناسبی برای تجهیزات ارتوپدی و ترمیم نواقص استخوانی هستند.

واژه‌های کلیدی: بریدیجیت، پلی‌لاکتیک اسید، کامپوزیت زیستی، گرادیان تخلخل، پرینت سه‌بعدی، خواص مکانیکی.