Science Popularization

Bioplastics and Their Role in the Circular Economy

Mehrnaz Shirmohammadi[1,*], Farahnaz Kianersi[1]

Article Info

Article type:
Popularization of Science

Article history:
Receive Date
17 August 2025
Revise Date
11 September 2025
Accept Date
20 September 2025
Available online:
21 December 2025

Keywords:
Bioplastics, Circular Economy, Biodegradable polymers

Bioplastics, as a sustainable alternative to conventional plastics, play a pivotal role in the circular economy. Derived from bio-based sources such as corn, sugarcane, or cellulose, or being biodegradable, these materials contribute to reducing plastic pollution and conserving resources by decreasing reliance on fossil fuels and mitigating greenhouse gas emissions. Bioplastics are classified into three main categories: fossil-based biodegradable, bio-based non-biodegradable, and bio-based/biodegradable. They are utilized in medical applications (e.g., sutures and tissue scaffolds), pharmaceuticals (tablet fillers), and tissue engineering (bone and cardiac regeneration). Characteristics such as biocompatibility, non-toxicity, and renewability make them an ideal choice for sustainable applications. However, challenges including high production costs, insufficient recycling infrastructure, and competition with food resources limit their widespread adoption. The circular economy facilitates the reuse and composting of bioplastics through mechanical, chemical, and biological recycling. This study emphasizes the role of bioplastics in waste reduction and the achievement of sustainable development, particularly in the healthcare industry, and proposes solutions to overcome existing challenges.

Cite this article: shirmohammadi M., Kianersi F. (2025). 'Bioplastics and their role in the circular economy', Science Cultivation, 15 (2), 198-206.

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Ph.D., Tel/Fax:(9861)36573115, E-mail: m.shirmohammadi@areeo.ac.ir
[1] South of Iran Aquaculture Research Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

بیوپلاستیک‌ها و نقش آنها در اقتصاد چرخشی

مهرناز شیرمحمدی*[1]، فرحناز کیان ارثی[1]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت
۲۶ مرداد ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۲۰ شهریور ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۲۹ شهریور ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:
بیوپلاستیک، اقتصاد چرخشی، پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر

چکیده

بیوپلاستیک‌ها به‌عنوان جایگزینی پایدار برای پلاستیک‌های سنتی، نقشی کلیدی در اقتصاد چرخشی ایفا می‌کنند. این مواد که از منابع زیست‌پایه مانند ذرت، نیشکر یا سلولز تولید می‌شوند یا زیست‌تخریب‌پذیر هستند، با کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، به کاهش آلودگی پلاستیکی و حفظ منابع کمک می‌کنند. بیوپلاستیک‌ها در سه دسته اصلی شامل زیست‌تخریب‌پذیر مبتنی بر فسیل، زیست‌پایه غیر زیست‌تخریب‌پذیر و زیست‌پایه/زیست‌تخریب‌پذیر طبقه‌بندی می‌شوند. این مواد در پزشکی (مانند بخیه و داربست‌های بافتی)، داروسازی (پرکننده‌های قرص) و مهندسی بافت (بازسازی استخوان و قلب) کاربرد دارند. ویژگی‌هایی مانند زیست‌سازگاری، غیرسمی بودن و تجدیدپذیری، آن‌ها را به گزینه‌ای ایده‌آل برای کاربردهای پایدار تبدیل کرده است. بااین‌حال، چالش‌هایی مانند هزینه‌های بالای تولید، کمبود زیرساخت‌های بازیافت و رقابت با منابع غذایی، پذیرش گسترده آن‌ها را محدود می‌کند. اقتصاد چرخشی با بازیافت مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بیوپلاستیک‌ها، امکان استفاده مجدد و تبدیل به کمپوست را فراهم می‌کند. این تحقیق بر نقش بیوپلاستیک‌ها در کاهش زباله و دستیابی به توسعه پایدار به‌ویژه در صنعت مراقبت‌های بهداشتی تمرکز دارد و راه‌حل‌هایی برای غلبه بر چالش‌های موجود پیشنهاد می‌دهد.

استناد: شیرمحمدی مهرناز, کیان ارثی فرحناز. (۱۴۰۴). 'بیوپلاستیک‌ها و نقش آنها در اقتصاد چرخشی ', نشاء علم، ۱۵ (۲)، ۱۹۸-۲۰۶.

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: دکتری تخصصی ، تلفن/نمابر: ۳۶۵۷۳۱۱۵ (۹۸۶۱)، آدرس الکترونیکی: m.shirmohammadi@areeo.ac.ir

[1] پژوهشکده آبزی‌پروری آب‌های جنوب کشور، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

مقدمه

پلاستیک‌ها که در گذشته به دلیل دوام، انعطاف‌پذیری و کاربردهای متنوعشان در صنایع مختلف مورد تحسین قرار می‌گرفتند، امروزه به نمادی از بحران زیست‌محیطی جهانی تبدیل شده‌اند. این مواد مصنوعی که عمدتاً از مشتقات نفت و گاز طبیعی همچنین منابع فسیلی غیر قابل تجدید، تولید می‌شوند، حجم عظیمی از زباله‌های پایدار را در محیط زیست رها می‌کنند و منجر به آلودگی گسترده می‌گردند [۱]. آلودگی پلاستیکی، با تجمع میکروپلاستیک‌ها در اقیانوس‌ها، خاک‌ها و حتی زنجیره غذایی، اکوسیستم‌های دریایی و زمینی را تهدید می‌کند و مشکلات جدی مانند مرگ حیات-وحش، اختلال در تعادل زیستی و ورود مواد سمی به بدن انسان را به همراه دارد [۲]. با افزایش تولید سالانه میلیون‌ها تن پلاستیک، وابستگی به سوخت‌های فسیلی نه تنها منابع محدود زمین را تخلیه می‌کند، بلکه انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشدید کرده و به تغییرات آب و هوایی دامن می‌زند [۱]. این وضعیت نگران‌کننده، ضرورت گذار از پلاستیک‌های سنتی به گزینه‌های پایدارتر را برجسته می‌سازد و جوامع جهانی را به‌سوی نوآوری‌های سبز سوق می‌دهد. در پاسخ به این چالش، بیوپلاستیک‌ها[1] به‌عنوان جایگزینی نویدبخش و سازگار با محیط زیست ظهور کرده‌اند. بیوپلاستیک‌ها خانواده‌ای متنوع از مواد پلیمری هستند که با ویژگی‌های زیستی تجدیدپذیر یا زیست‌تخریب‌پذیری مشخص می‌شوند. طبق تعریف استاندارد، یک ماده برای واجد شرایط بودن به‌عنوان بیوپلاستیک باید یا زیست‌پایه[2] باشد، یا زیست‌تخریب‌پذیر[3]، یا هر دو ویژگی را دارا باشد [۳]. اصطلاح زیست‌پایه به موادی اشاره دارد که از منابع گیاهی مانند ذرت، نیشکر یا سلولز مشتق شده‌اند، درحالی‌که زیست‌تخریب‌پذیر به قابلیت تجزیه طبیعی این مواد از طریق فعالیت میکروبی، بدون نیاز به افزودنی‌های مصنوعی، دلالت دارد [۴]. این فرایند تجزیه منجر به تولید محصولات بی‌ضرر مانند دی‌اکسیدکربن، آب و کمپوست می‌شود [۳]. بااین‌حال، طبقه‌بندی بیوپلاستیک‌ها پیچیده است، زیرا مواد زیست‌پایه لزوماً زیست‌تخریب‌پذیر نیستند و بالعکس. برای مثال، یک پلیمر می‌تواند صددرصد زیست‌پایه باشد؛ اما به دلیل ساختار شیمیایی خود، در محیط تجزیه نشود [۴]. این تفاوت‌های ظریف، درک دقیق بیوپلاستیک‌ها را برای ذی‌نفعان صنعتی و مصرف‌کنندگان ضروری می‌سازد .بیوپلاستیک‌ها را می‌توان بر اساس منشأ و ویژگی‌هایشان به سه دسته اصلی طبقه‌بندی کرد [۵]. دسته اول شامل پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر مبتنی بر فسیل است که به طور طبیعی در محیط تجزیه می‌شوند. پلی‌استرهایی مانند پلی‌کاپرولاکتون[4]، پلی‌بوتیلن سوکسینات[5]، پلی‌بوتیلن آدیپات-کو-ترفتالات[6] و پلی‌گلیکولیک اسید[7] در این گروه قرار می‌گیرند، جایی که پیوندهای استری آن‌ها را ناپایدار و مناسب برای تجزیه میکروبی می‌کند. دسته دوم، پلاستیک‌های زیست‌پایه اما غیر زیست‌تخریب‌پذیر، شامل موادی مانند پلی‌اتیلن[8]، پلی‌وینیل کلراید[9]، پلی‌اتیلن ترفتالات[10]، پلی‌آمیدها[11] و پلی‌اورتان‌ها[12] است. این مواد از نظر شیمیایی مشابه پلاستیک‌های فسیلی هستند، اما ردپای کربن کمتری دارند؛ زیرا در فرایند سوزاندن، دی‌اکسیدکربن اضافی آزاد نمی‌کنند. دسته سوم، پلاستیک‌های زیست‌پایه و زیست‌تخریب‌پذیر، از پلیمرهای طبیعی مانند پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها، پپیدهای گیاهی یا پلی‌هیدروکسی‌بوتیرات[13] تولیدشده توسط میکروارگانیسم‌ها مشتق می‌شوند. مواد کمپوست‌پذیری مانند پلی‌لاکتیک اسید[14]، پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات‌ها[15]، پلی‌بوتیلن سوکسینات و مخلوط‌های نشاسته نیز در این دسته جای می‌گیرند [۵]. این طبقه‌بندی نشان‌دهنده تنوع بیوپلاستیک‌ها و پتانسیل آن‌ها برای کاربردهای مختلف است. بر اساس ماده استفاده شده در ساخت بیوپلاستیک‌ها نوعی دیگر از دسته‌بندی وجود دارد که در جدول ۱ ارائه شد.

[1] Bioplastics
[2] Biobased
[3] Biodegradable
[4] Polycaprolactone (PCL)
[5] Polybutylene Succinate (PBS)
[6] Polybutylene Adipate-co-Terephthalate (PBAT)
[7] Polyglycolic Acid (PGA)
[8] Polyethylene (PE)
[9] Polyvinyl Chloride (PVC)
[10] Polyethylene Terephthalate (PET)
[11] Polyamides (PA)
[12] Polyurethanes (PUR)
[13] Poly hydroxybutyrate
[14] Polylactic acid (PLA)
[15] Polyhydroxyalkanaoates (PHA)

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https://www.sciencecultivation.ir

جدول ۱: دسته‌بندی بیوپلاستیک‌ها بر پایه مواد اولیه [۶]

دسته‌بندی	توضیحات	نمونه‌ها
بیوپلاستیک‌های مبتنی بر نشاسته	پلیمرهای حاوی نشاسته طبیعی یا اصلاح‌شده، شامل مخلوط‌ها و پلیمرهای تخمیری، حدود ۵۰٪ بازار جهانی	**نشاسته-ترموپلاستیک**
بیوپلاستیک‌های مبتنی بر سلولز	مشتق از استرها یا مشتقات سلولز، حاوی گلوکز با پیوند β(1,4)، نیازمند تجزیه میکروبی	**استات سلولز، متیل سلولز**
پلی‌استرهای آلیفاتیک	مقاوم‌تر در برابر تخریب هیدرولیتیک	**PLA ،PHA**
بیوپلاستیک‌های مبتنی بر پروتئین	مشتق از شیر، گلوتن گندم یا پروتئین‌ها	**بیوپلاستیک‌های کازئین**
بیوپلاستیک‌های مبتنی بر لیگنین	پلیمرهای حاصل از محصول جانبی سلولز، با اهمیت در پالایشگاه‌های زیستی	**مخلوط‌های لیگنین-PHA**
بیوپلاستیک‌های مبتنی بر کیتین	بیوپلیمرهای N-استیل-D-گلوکوزامین با پیوند β(1,4)، استخراج‌شده از پوسته سخت‌پوستان.	**کیتوزان**

اهمیت بیوپلاستیک‌ها در پتانسیل آن‌ها برای کاهش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از پلاستیک‌های معمولی نهفته است [۷]. تولید پلاستیک‌های مبتنی بر نفت به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، انباشت زباله و وابستگی به سوخت‌های فسیلی دامن می‌زند [۸]. بیوپلاستیک‌ها با جایگزینی این مواد، می‌توانند ردپای کربن را به طور قابل‌توجهی کاهش دهند و به اقتصاد چرخشی کمک کنند [۸]. علاوه‌بر مزایای زیست‌محیطی مانند کاهش آلودگی پلاستیکی، بهره‌برداری از ضایعات و تجدیدپذیری سریع، این مواد مزایای اقتصادی نیز ارائه می‌دهند، از جمله ایجاد شغل در اقتصاد سبز و تحریک نوآوری در بخش‌هایی مانند بسته‌بندی، کشاورزی و کالاهای مصرفی [۷]. بااین‌حال، چالش‌هایی مانند رقابت با منابع غذایی، پیچیدگی استخراج و نیاز به استانداردهای بازیافت وجود دارد که بدون حل آن‌ها، بیوپلاستیک‌ها ممکن است چالش‌های جدیدی ایجاد کنند [۳]. در نهایت، این مواد با قابلیت ادغام در سیستم‌های چند چرخه‌ای، مانند تبدیل به کمپوست پس از استفاده، به تعادل چرخه کربن کمک می‌کنند و می‌توانند سالانه تا ۲۰ میلیون تن پلاستیک را از اقیانوس‌ها دور نگه دارند [۸].

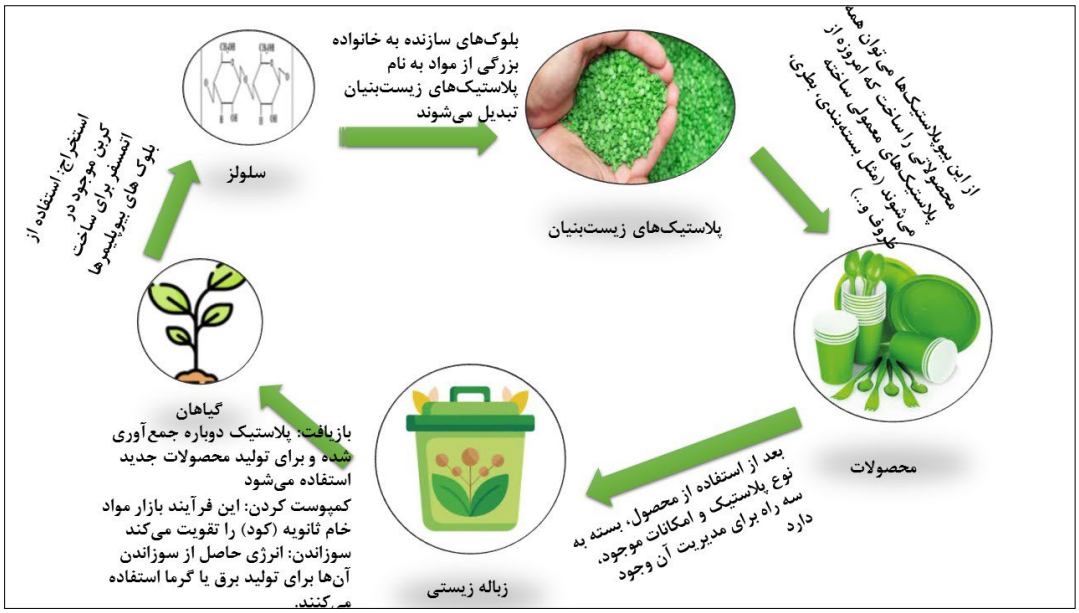
تاریخچه بیوپلاستیک‌ها به هزاران سال پیش بازمی‌گردد، جایی‌که فرهنگ‌های باستانی مانند مایاها و آزتک‌ها از لاستیک طبیعی و لاتکس برای ساخت ظروف و لباس‌های ضدآب استفاده می‌کردند [۹]. بااین‌حال، تولید مدرن بیوپلاستیک‌ها در قرن نوزدهم آغاز شد؛ در سال ۱۸۶۲، الکساندر پارکس اولین بیوپلاستیک دست‌ساز به نام پارکسین [1] را از سلولز تولید کرد. پیشرفت‌های بعدی در قرن بیستم رخ داد، و در سال ۱۹۸۳، شرکت بیوپلیمرهای مارلبورو اولین محصولات تجاری مانند بیوپول [2] را عرضه کرد. اخیراً، در سال ۲۰۱۸، پروژه‌هایی برای تولید بیوپلاستیک از میوه‌ها آزمایش شد [۹]. اگرچه تحقیقات بیش از یک قرن قدمت دارد، اما تولید گسترده هنوز در مراحل اولیه است و نیاز به پیشرفت‌های فناوری برای غلبه بر محدودیت‌ها دارد. این سیر تاریخی نشان‌دهنده تکامل بیوپلاستیک‌ها از کاربردهای سنتی به نوآوری‌های پایدار مدرن است. هدف این مقاله ارائه نمای کلی از بیوپلاستیک‌ها، شامل تعاریف، انواع و کاربردها با تمرکز بر نقش آن‌ها در اقتصاد چرخشی است. همچنین چالش‌ها و راه‌حل‌های پذیرش بیوپلاستیک‌ها بررسی شده و نتیجه‌گیری در مورد پتانسیل آن‌ها در توسعه پایدار ارائه می‌شود.

بیوپلاستیک‌ها و پذیرش آنها در اقتصاد چرخشی [3]

اقتصاد چرخشی رویکردی پایدار است که با هدف حذف زباله و تقویت استفاده مجدد از منابع از طریق جریان‌های چرخشی مواد طراحی شده است [۱۰]. این مدل با جداسازی رشد اقتصادی از تخریب محیط‌زیست، به توسعه پایدار کمک می‌کند و انعطاف‌پذیری بلندمدت، فرصت‌های اقتصادی و بهبود کیفیت محیط‌زیست را فراهم می‌سازد [۱۱]. بیوپلاستیک‌ها، به‌عنوان مواد

[1] Parkesine
[2] Biopol
[3] Circular economy

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی



زیست‌پایه یا زیست‌تخریب‌پذیر، نقش کلیدی در این اقتصاد ایفا می‌کنند، زیرا امکان بازیافت، کمپوست‌سازی و استفاده از منابع

شکل ۱: چرخه زیست‌محیطی بیوپلاستیک‌ها در اقتصاد چرخشی [۱۴]

تجدیدپذیر را فراهم می‌کنند [۱۲]. این مواد، با کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، به ایجاد یک سیستم حلقه بسته کمک می‌کنند که در آن زیست‌توده به مواد اولیه و سپس به انرژی یا کمپوست تبدیل می‌شود [۱۳]. شکل ۱ یک حلقه بسته از فرایند توسعه زیست پلاستیک‌ها را از رشد زیست‌توده تا بازیابی زیست‌توده دیگر نشان می‌دهد که هیچ زباله‌ای تولید نمی‌شود.

مدیریت پسماند بیوپلاستیک‌ها از طریق بازیافت یکی از ارکان اصلی اقتصاد چرخشی است. بازیافت مکانیکی، با ذوب مجدد زباله‌های پلاستیکی برای تولید گرانول یا محصولات نهایی مانند بطری‌ها، و بازیافت شیمیایی، از طریق فرایندهایی مانند پیرولیز برای بازیابی مونومرها یا مواد باارزش، امکان استفاده مجدد از بیوپلاستیک‌ها را فراهم می‌کند [۱۵]. بازیافت بیولوژیکی نیز، به‌ویژه برای بیوپلاستیک‌های مبتنی بر جلبک، از فرایندهای هوازی (کمپوست‌سازی) یا بی‌هوازی (تخمیر) برای تبدیل کربن به گاز یا مواد مغذی استفاده می‌کند [۱۴]. اگرچه این روش‌ها از هدررفت منابع جلوگیری می‌کنند، اما هزینه‌های بالای بازیافت و پیچیدگی فرایندها همچنان چالش‌هایی برای گسترش آن هستند [۱۶]. کمپوست‌سازی، به‌عنوان روشی دیگر، بیوپلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر مانند پلی‌لاکتیک اسید را به کمپوست غنی از کربن و مواد مغذی تبدیل می‌کند [۱۷]. این فرایند، به‌ویژه در سیستم‌های هوازی، با تجزیه میکروبی به دی‌اکسیدکربن، آب و مواد گیاهی منجر می‌شود [۱۴]. با این حال، کمپوست‌سازی خانگی به دلیل انتشار کنترل‌نشده دی‌اکسیدکربن و زمان طولانی تجزیه (چندین ماه) محدودیت‌هایی دارد [۱۸]. علاوه بر این، بسیاری از بیوپلاستیک‌ها در شرایط دفن زباله، به‌ویژه در محیط‌های غنی از اکسیژن، تجزیه نمی‌شوند و ممکن است متان، گازی با پتانسیل گرمایش جهانی ۱۵ برابر بیشتر از دی‌اکسیدکربن، تولید کنند [۱۹]. پیچیدگی شرایط کمپوست‌سازی، از جمله نیاز به رطوبت، تهویه و pH مناسب، کاربرد گسترده این روش را محدود کرده است [۱۹].

بیوپلاستیک‌ها با تسهیل بازیافت و کمپوست‌سازی، مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه‌ای را از طریق طراحی زیست‌محیطی و هم‌زیستی صنعتی ایجاد می‌کنند [۱۰]. این مواد با استفاده از ضایعات غذایی و بقایای کشاورزی، مانند آنچه در مطالعه Silvia و همکاران ۲۰۲۱ نشان داده شده، امکان تولید غیرمستقیم بیوپلاستیک‌ها و بازیابی انرژی از طریق هضم بی‌هوازی را فراهم می‌کنند. این فرایند حلقه بسته که در آن زیست‌توده به مواد و سپس به انرژی یا کمپوست تبدیل می‌شود، زباله را به حداقل می‌رساند [۱۴]. با این حال، چالش‌هایی مانند هزینه‌های بازیافت، پیچیدگی

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

کمپوست‌سازی و نیاز به زیرساخت‌های مناسب باید برطرف شوند تا بیوپلاستیک‌ها به طور کامل به اهداف اقتصاد چرخشی، از جمله کاهش آلودگی و دستیابی به توسعه پایدار، کمک کنند [۱۴].

کاربرد بیوپلاستیک‌ها در بخش پزشکی

بیوپلاستیک‌ها به دلیل ویژگی‌هایی مانند غیرسمی بودن، زیست‌سازگاری، تجدیدپذیری و زیست‌تخریب‌پذیری، در صنایع مختلف از جمله پزشکی کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند. این مواد به‌عنوان جایگزینی پایدار برای پلاستیک‌های سنتی، تقاضای جهانی را در حوزه‌هایی مانند بسته‌بندی، کشاورزی و نساجی افزایش داده‌اند و انتظار می‌رود کاربردشان در مراقبت‌های بهداشتی نیز گسترش یابد [۲۰].

در پزشکی، پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات‌ها برای تولید تجهیزات بالینی مانند بخیه و استنت‌های قلبی پیشنهاد شده‌اند، درحالی‌که پلی‌لاکتیک اسید بیشتر در بسته‌بندی استفاده می‌شود [۲۱]. بیوپلاستیک‌های مبتنی بر سلولز در داربست‌های بازسازی استخوان، سیستم‌های گردش خون مصنوعی، جایگزین‌های موقت پوست، غشاهای دیالیز کلیوی و سیستم‌های رهایش کنترل‌شده دارو کاربرد دارند [۲۲]. این پلیمرها با جذب آب، محیطی مرطوب برای بهبود زخم‌های مزمن فراهم می‌کنند [۲۳] و می‌توانند در پانکراس مصنوعی و جداسازی ایمنی پیوند جزایر لانگرهانس استفاده شوند [۲۲]. همچنین، در ارتوپدی و سیستم‌های دارورسانی کنترل‌شده نقش دارند [۲۴]. کامپوزیت‌های نشاسته و سلولز به دلیل زیست‌تخریب‌پذیری، برای سیمان استخوان و دارورسانی مناسب‌اند [۲۵]. سلولز، کیتین و کیتوزان از پلیمرهای طبیعی کلیدی در تولید بیوپلاستیک‌های زیست‌پزشکی هستند [۲۲]. کیتوزان با خواص ضدمیکروبی، به دلیل گروه آمین با بار مثبت، به غشاهای میکروارگانیسم‌ها متصل شده و آن‌ها را مختل می‌کند [۲۶]. بیوپلاستیک‌هایی مانند هیدروکسی بوتیرات متیل استر[1] و مونومرهای هیدروکسی آپاتیت[2] مشتق شده از پلی هیدروکسی آلکانوات باکتریایی، با محافظت از میتوکندری‌ها و فعال‌سازی کانال‌های کلسیم، می‌توانند در بهبود حافظه و مقابله با بیماری‌هایی مانند آلزایمر مؤثر باشند [۲۷]. زیست‌تخریب‌پذیری و پایداری بیوپلاستیک‌ها، آن‌ها را به گزینه‌ای ایده‌آل برای مراقبت‌های بهداشتی تبدیل کرده است [۲۲].

کاربرد بیوپلاستیک‌ها در داروسازی

بیوپلاستیک‌ها به دلیل زیست‌سازگاری و بی‌ضرر بودن هنگام تجزیه در محیط‌زیست، در داروسازی به‌عنوان مواد چندمنظوره کاربرد دارند. سلولز، به دلیل فراوانی و ویژگی‌های منحصربه‌فرد، یکی از اصلی‌ترین مواد اولیه در تولید بیوپلاستیک‌هاست. این پلیمر با توجه به اندازه، شکل و میزان تبلور در کاربردهای مختلف استفاده می‌شود [۲۸]. سلولز به‌عنوان پرکننده در قرص‌ها و کپسول‌ها به دلیل سازگاری، بی‌اثری دارویی و عدم هضم توسط آنزیم‌های گوارشی، برتری دارد و هیچ تحریکی در مخاط معده و مری ایجاد نمی‌کند. مشتقات سلولز و اترهای آن به‌عنوان پرکننده‌هایی با هزینه کم، دسترسی گسترده و سازگاری زیست‌محیطی استفاده می‌شوند [۲۸]. سلولز میکروکریستالی[3]، با نام تجاری Avicel ، یکی از پرکاربردترین چسب‌ها در فشرده‌سازی مستقیم است. این فرایند ساده و کارآمد، با ویژگی‌های اتصال قوی MCC ، چگالی کم، مساحت سطح بالا و رطوبت‌پذیری مناسب، خروجی ثابتی تولید می‌کند [۲۹]. مطالعه‌ای نشان داد که این چسب-های فشرده استخراج‌شده از *Saccharum officinarum* خواص مکانیکی قرص‌های پاراستامول را بهبود می‌بخشد [۲۹]. نانوکریستال‌های سلولز[4] به‌عنوان نانومواد پیشرفته در دارورسانی کاربرد دارند. این مواد به دلیل زیست‌سازگاری، قابلیت بازیافت، اثرات نوروتوکسیک کم و ضریب انبساط حرارتی پایین، برای انتقال داروهای آب‌دوست مناسب‌اند. با وجود محدودیت‌هایی مانند ظرفیت بارگذاری کم و آب‌دوستی، اصلاح CNCها با موادی مانند راراساپونین‌ها[5] از بامبو، آب‌گریزی آن‌ها را افزایش داده و امکان استفاده در حلال‌های غیرقطبی مانند تتراهیدروفوران را فراهم می‌کند. این ویژگی CNC-RS را برای حامل‌های داروی آب‌گریز مناسب کرده و به دلیل استفاده از مواد آلی، برای سلامت انسان و محیط زیست بی‌ضرر است [۳۰].

[1] Hydroxybutyrate methyl ester (HBME)
[2] Hydroxyapatite (HA)
[3] Microcrystalline cellulose (MCC)
[4] Cellulose nanocrystals (CNC)
[5] Rarasaponins (RS)

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

کاربرد بیوپلاستیک‌ها در مهندسی بافت

مهندسی بافت با هدف بازسازی یا بهبود عملکرد بافت‌های آسیب‌دیده از طریق داربست‌های زیست‌سازگار عمل می‌کند. انتخاب مواد مناسب برای داربست‌ها چالش اصلی این حوزه است. بیوپلاستیک‌ها مانند آلژینات، کلاژن، کیتین، کیتوزان و سلولز به دلیل زیست‌تخریب‌پذیری و دسترسی زیستی بالا، گزینه‌های ایده‌آلی هستند [۳۱]. سلولز، پلیمری از زیرواحدهای گلوکز، به دلیل خواص شیمیایی و مکانیکی قابل تنظیم و هزینه کم، در مهندسی بافت کاربرد دارد، اما محدودیت‌هایی مانند استحکام مکانیکی ضعیف و تجزیه سریع دارد. پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها با سمیت کم و انعطاف‌پذیری مکانیکی، برای بازسازی بافت مناسب‌اند [۳۲]. کیتوزان با بار مثبت سطحی، اتصال سلولی را تقویت کرده و با گلیکوزآمینوگلیکان‌ها و پروتئوگلیکان‌ها تعامل می‌کند. مطالعه اخیر نشان داد که داربست‌های کیتوزان نفوذپذیر برای تمایز سلول‌های بنیادی مزانشیمی به استخوان مناسب‌اند [۳۳]. برای ناهنجاری‌های استخوانی-غضروفی، پلی-۳-هیدروکسی‌بوتیرات-کو-۳- هیدروکسی والریک اسید[1] با کلاژن و فسفات کلسیم استحکام مکانیکی بالایی فراهم می‌کند [۳۴]. داربست‌های متخلخل پلی-۳-هیدروکسی بوتیرات-کو-۳-هیدروکسی هگزانوات[2] نیز برای رشد کندروسیت‌های غضروفی استفاده شده‌اند [۳۵]. در مهندسی بافت قلب، پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها با زنجیره متوسط با ترکیب فاکتورهای رشد اندوتلیال عروقی، چسبندگی و بقای سلولی را بهبود می‌دهند [۳۶]. این مواد در ساخت دریچه‌های قلبی و جایگزین‌های عملکردی کاربرد دارند [۳۶]. همچنین، پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها و هیدروکسی بوتیرات-کو-۴-هیدروکسی بوتیرات[3] برای پانسمان زخم و بهبود بافت پوست با استحکام بالا استفاده می‌شوند [۲۷]. در ترمیم اعصاب، لوله‌های پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها با ویژگی‌های مکانیکی قابل تنظیم، پتانسیل بالایی دارند [۲۷].

چالش‌ها و راه‌حل‌های مرتبط با پذیرش بیوپلاستیک‌ها

بیوپلاستیک‌ها به‌عنوان جایگزینی پایدار برای پلاستیک‌های مرسوم مطرح شده‌اند، اما پذیرش گسترده آن‌ها با چالش‌های متعددی مواجه است که نیازمند راه‌حل‌های ساختاری است. در بخش اقتصادی، یکی از اصلی‌ترین موانع هزینه‌های بالای تولید و کیفیت پایین‌تر نسبت به پلاستیک‌های نفتی است که ناشی از فرایندهای پیچیده و مواد اولیه گران‌قیمت است و رقابت با محصولات سنتی را دشوار می‌کند. راه‌حل این مشکل، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین و بهینه‌سازی فرایندهای صنعتی برای کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت است [۳۷]. چالش دیگر، کمبود فرایندپذیری با فناوری‌های رایج و عدم آگاهی کافی در تولید انبوه است که تولید در مقیاس بزرگ را محدود می‌کند؛ توسعه آموزش‌های تخصصی، ارتقای مهارت‌های فنی و استانداردسازی فرایندها می‌تواند این مانع را برطرف سازد. در حوزه زیرساختی، کوچکی بازار، فقدان چارچوب‌های مشخص تولید و نبود زیرساخت‌های کارآمد مدیریت پسماند از عوامل بازدارنده است؛ ایجاد زیرساخت‌های مناسب بازیافت و تشویق سرمایه‌گذاری در زنجیره تأمین می‌تواند این محدودیت‌ها را کاهش دهد [۳۸]. از منظر منابع، رقابت با صنایع غذایی برای مواد اولیه به دلیل استفاده از محصولات کشاورزی قابل‌مصرف، نگرانی دیگری است؛ بهره‌گیری از ضایعات کشاورزی و بقایای غیرخوراکی به‌عنوان راهکاری پایدار پیشنهاد می‌شود. در بعد زیست‌محیطی، ریسک انتشار گازهای گلخانه‌ای در چرخه بازیافت یا نشت مواد مطرح است که با طراحی سیستم‌های بسته بازیافت و نظارت دقیق قابل کنترل است [۴]. همچنین، کمبود زیرساخت‌های هضم بیولوژیکی و عدم اطمینان از اثربخشی کمپوست‌سازی در شرایط متنوع چالش‌برانگیز است؛ توسعه زیرساخت‌های محلی کمپوست‌سازی و پژوهش‌های کاربردی برای تطبیق فرایندها با شرایط محیطی می‌تواند به مدیریت پایدار کمک کند [۴].

علاوه‌برآن، چالش‌های عمیق‌تری وجود دارد که ریشه در جنبه‌های علمی و سیاستی دارند. کمبود مطالعات قابل‌مقایسه ارزیابی چرخه عمر[4] به دلیل استفاده از روش‌شناسی‌ها، واحدهای مرجع و داده‌های متفاوت، به‌ویژه نادیده گرفتن فاز پایان عمر[5] و نتیجه‌گیری نادرست درباره حذف گازهای گلخانه‌ای، یک مشکل اساسی است؛ طراحی مطالعات قابل مقایسه و جامع می‌تواند این نقص را برطرف کند [۳۸]. چالش دیگر، مسائل مرتبط با استانداردها و

[1] Poly-(3-hydroxybutyric acid-co-3-hydroxyvaleric acid) (PHBV)
[2] Poly- (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) (PHBHHx)
[3] Hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate (PHB4HB)
[4] Life cycle assessment (ACV)
[5] End-of-life (EOL)

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

مقررات است که شامل عدم توسعه استانداردهای زیست‌تخریب‌پذیری در شرایط کنترل‌نشده، تنوع شرایط کمپوست‌سازی خانگی، و خطر انتشار گازهای گلخانه‌ای است؛ همچنین، کمبود تکرارپذیری در مطالعات آکادمیک و ناتوانی استانداردها در پوشش تنوع محیط‌های طبیعی، گمراهی مصرف‌کنندگان را به دنبال دارد که با تدوین استانداردها و گواهینامه‌های هماهنگ قابل بهبود است [۳۷]. چالش بعدی، استفاده از زمین و آب است که به رقابت با کشاورزی و مصرف قابل‌توجه آب شیرین مربوط می‌شود؛ استفاده بهینه از منابع غیررقابتی و تحلیل ردپای آب در ارزیابی چرخه عمر می‌تواند این مسئله را مدیریت کند [۳۹]. آخرین چالش، مسائل سیستم دفع پسماند شامل توزیع ناهمگن تأسیسات کمپوست‌سازی، هزینه‌های حمل‌ونقل اضافی، و آلودگی جریان‌های بازیافت است؛ بازسازی زیرساخت‌ها و آموزش مصرف‌کنندگان برای دفع صحیح می‌تواند راهگشا باشد [۳۸].

نتیجه‌گیری

بیوپلاستیک‌ها با ویژگی‌های زیست‌تخریب‌پذیری و زیست‌پایه بودن، راه‌حلی نویدبخش برای کاهش آلودگی پلاستیکی و وابستگی به سوخت‌های فسیلی ارائه می‌دهند. این مواد با ادغام در اقتصاد چرخشی، از طریق بازیافت، کمپوست‌سازی و استفاده از منابع تجدیدپذیر، به حداقل‌سازی زباله و حفظ تعادل کربن کمک می‌کنند. کاربردهای گسترده آن‌ها در پزشکی، داروسازی و مهندسی بافت، از جمله تولید بخیه، داربست‌های بافتی و سیستم‌های دارورسانی، نشان‌دهنده پتانسیل بالای بیوپلاستیک‌ها در توسعه پایدار است. بااین‌حال، چالش‌هایی مانند هزینه‌های تولید بالا، کمبود زیرساخت‌های بازیافت و رقابت با منابع غذایی، موانع اصلی پذیرش گسترده آن‌ها هستند. برای آینده، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین برای کاهش هزینه‌ها، توسعه زیرساخت‌های بازیافت و کمپوست‌سازی محلی، و استفاده از ضایعات کشاورزی به‌عنوان مواد اولیه غیررقابتی پیشنهاد می‌شود. تدوین استانداردهای جهانی زیست‌تخریب‌پذیری، آموزش مصرف‌کنندگان و انجام مطالعات جامع چرخه عمر نیز ضروری است. این اقدامات می‌توانند پذیرش بیوپلاستیک‌ها را تسریع کرده و به ایجاد اقتصاد چرخشی پایدار و کاهش اثرات زیست‌محیطی پلاستیک‌های سنتی کمک کنند.

این مقاله توسط هوش مصنوعی نوشته نشده است و کل مقاله و یا جزیی از آن قبلاً منتشر نشده است.

فهرست منابع

[1]. MacLeod, M., Arp, H. P. H., Tekman, M. B., and Jahnke, A. (2021). The global threat from plastic pollution, Science, Vol. 373, NO. 6550, 61-65.

[2]. Schmaltz, E., Melvin, E. C., Diana, Z., Gunady, E. F., Rittschof, D., Somarelli, J. A., Virdin, J., and Dunphy-Daly, M. M. (2020). Plastic pollution solutions: emerging technologies to prevent and collect marine plastic pollution, Environment International, Vol. 144, 106067.

[3]. Stanley, J., Culliton, D., Jovani-Sancho, A. J., and Neves, A. C. (2025). The journey of plastics: historical development, environmental challenges, and the emergence of bioplastics for single-use products, Eng, Vol. 6, NO. 1, 17.

[4]. Kouchakinejad, R., Lotfi, Z., and Golzary, A. (2024). Exploring Azolla as a sustainable feedstock for eco-friendly bioplastics: A review, Heliyon, Vol. 10, NO. 20, e39252.

[5]. Ross, G., Ross, S., and Tighe, B. J. (2017). Bioplastics: new routes, new products, In: Gilbert, M. (Ed.), Brydson's Plastics Materials, 8th Edition, Butterworth-Heinemann, 631-652.

[6]. Khatebasreh, M., and Jafarabadi, H. K. (2024). Microplastics: A Boon or a Bane?, Journal of Environmental Health and Sustainable Development. [Note: Details like volume and page are often added later for online-first articles]

[7]. Atiwesh, G., Mikhael, A., Parrish, C. C., Banoub, J., and Le, T. A. T. (2021). Environmental impact of bioplastic use: A review, Heliyon, Vol. 7, NO. 9, e07918.

[8]. Rosenboom, J. G., Langer, R., and Traverso, G. (2022). Bioplastics for a circular economy, Nature Reviews Materials, Vol. 7, NO. 2, 117-137.

[9]. Costa, A., Encarnação, T., Tavares, R., Todo Bom, T., and Mateus, A. (2023). Bioplastics: innovation for green transition, Polymers, Vol. 15, NO. 3, 517.

[10]. Spierling, S., Venkatachalam, V., Behnsen, H., Herrmann, C., and Endres, H. J. (2019). Bioplastics and circular economy—performance indicators to identify optimal pathways, Progress in Life Cycle Assessment, Vol. 16, 147–154.

[11]. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., and Hultink, E. J. (2017). The circular economy–a new sustainability paradigm?, Journal of Cleaner Production, Vol. 143, 757–768.

[12]. Confente, I., Scarpi, D., and Russo, I. (2020). Marketing a new generation of bio-plastics products for a circular economy: the role of green self-identity, self-congruity, and perceived value, Journal of Business Research, Vol. 112, 431–439.

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

nanoparticle treated cotton fabric, Cellulose, Vol. 28, NO. 9, 5895-5910.
[25]. Sharma, S., Sudhakara, P., Singh, J., Ilyas, R. A., Asyraf, M. R. M., and Razman, M. R. (2021). Critical review of biodegradable and bioactive polymer composites for bone tissue engineering and drug delivery applications, Polymers, Vol. 13, NO. 16, 2623.
[26]. Atay, H. Y. (2019). Antibacterial activity of chitosan-based systems, in Functional Chitosan: Drug Delivery and Biomedical Applications, Springer, 457-489.
[27]. Chen, G. Q. (2010). Biofunctionalization of polymers and their applications, in Biofunctionalization of Polymers and their Applications, Springer, Vol. 125, 29-45.
[28]. Shokri, J., and Adibkia, K. (2013). Application of cellulose and cellulose derivatives in pharmaceutical industries, in Cellulose: Medical, Pharmaceutical and Electronic Applications, IntechOpen.
[29]. Mousavipazhouh, H., Azadfallah, M., and Jouybari, I. R. (2018). Encapsulation of precipitated calcium carbonate fillers using carboxymethyl cellulose/polyaluminium chloride: preparation and its influence on mechanical and optical properties of paper, Materials and Corrosion, Vol. 20, NO. 4, 703-714.
[30]. Carvalho, R. S., Nelson, D., Kelderman, H., and Wise, R. (2003). Guided bone regeneration to repair an osseous defect, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Vol. 123, NO. 4, 455-467.
[31]. Courtenay, J. C., Sharma, R. I., and Scott, J. L. (2018). Recent advances in modified cellulose for tissue culture applications, Molecules, Vol. 23, NO. 3, 654.
[32]. Brigham, C. J., and Sinskey, A. J. (2012). Applications of polyhydroxyalkanoates in the medical industry, International Journal of Biotechnology for Wellness Industries, Vol. 1, NO. 1, 52-60.
[33]. Costa-Pinto, A. R., Correlo, V. M., Sol, P. C., Bhattacharya, M., Charbord, P., Delorme, B., Reis, R. L., and Neves, N. M. (2009). Osteogenic differentiation of human bone marrow mesenchymal stem cells seeded on melt based chitosan scaffolds for bone tissue engineering applications, Biomacromolecules, Vol. 10, NO. 8, 2067-2073.
[34]. Köse, G. T., Korkusuz, F., Korkusuz, P., and Hasirci, V. (2004). In vivo tissue engineering of bone using poly (3-hydroxybutyric acid-co-3-hydroxyvaleric acid) and collagen scaffolds, Tissue Engineering, Vol. 10, NO. 7-8, 1234-1250.
[35]. Deng, Y., Zhao, K., Zhang, X. F., Hu, P., and Chen, G. Q. (2002). Study on the three-dimensional proliferation of rabbit articular cartilage-derived chondrocytes on polyhydroxyalkanoate scaffolds, Biomaterials, Vol. 23, NO. 20, 4049-4056.
[13]. Fernandes, J. L., Sousa-Filho, J. M. D., and Viana, F. L. E. (2021). Sustainable business models in a challenging context: the amana katu case, Revista de Administração Contemporânea, Vol. 25, NO. 3, e200205.
[14]. Senosha, M. P., Matheri, A. N., and Mohamed, B. (2025). Review on application of sustainability, circular and digital economy on bioplastics production, Circular Economy and Sustainability, Vol. 5, NO. 2, 1269-1289.
[15]. Payne, J., Mckeown, P., and Jones, M. D. (2019). A circular economy approach to plastic waste, Polymer Degradation and Stability, Vol. 165, 170–181.
[16]. Li, D., Huang, X., Wang, Q., Yuan, Y., Yan, Z., Li, Z., Huang, Y., and Liu, X. (2016). Kinetics of methane production and hydrolysis in anaerobic digestion of corn stover, Energy, Vol. 102, 1–9.
[17]. Sun, Z., Chen, T., Liu, X., Hong, M., and Luo, J. (2015). Plastic transition to switch nonlinear optical properties showing the record high contrast in a single-component molecular crystal, Journal of the American Chemical Society, Vol. 137, NO. 50, 15660–15663.
[18]. Abraham, A., Park, H., Choi, O., and Sang, B. I. (2020). Anaerobic co-digestion of bioplastics as a sustainable mode of waste management with improved energy production-a review, Bioresource Technology, Vol. 322, 124537.
[19]. Calabro, P. S., and Grosso, M. (2018). Bioplastics and waste management, Waste Management, Vol. 78, 800–801.
[20]. Degli Esposti, M., Morselli, D., Fava, F., Bertin, L., Cavani, F., Viaggi, D., and Fabbri, P. (2021). The role of biotechnology in the transition from plastics to bioplastics: an opportunity to reconnect global growth with sustainability, FEBS Open Bio, Vol. 11, NO. 4, 967-983.
[21]. Philip, S., Keshavarz, T., and Roy, I. (2007). Polyhydroxyalkanoates: biodegradable polymers with a range of applications, Journal of Chemical Technology & Biotechnology, Vol. 82, NO. 3, 233-247.
[22]. Ullah, H., Wahid, F., Santos, H. A., and Khan, T. (2016). Advances in biomedical and pharmaceutical applications of functional bacterial cellulose-based nanocomposites, Carbohydrate Polymers, Vol. 150, 330-352.
[23]. Kamoun, E. A., Kenawy, E. R. S., and Chen, X. (2017). A review on polymeric hydrogel membranes for wound dressing applications: PVA-based hydrogel dressings, Journal of Advanced Research, Vol. 8, NO. 3, 217-233.
[24]. Andra, S., Balu, S. K., Jeevanandam, J., Muthalagu, M., and Danquah, M. K. (2021). Surface cationization of cellulose to enhance durable antibacterial finish in phytosynthesized silver

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

[36]. Wu, Q., Wang, Y., and Chen, G. Q. (2009). Medical application of microbial biopolyesters polyhydroxyalkanoates, Artificial Cells, Blood Substitutes, and Biotechnology, Vol. 37, NO. 1, 1-12.
[37]. Thakur, S., Chaudhary, J., Sharma, B., Verma, A., Tamulevicius, S., and Thakur, V. K. (2018). Sustainability of bioplastics: Opportunities and challenges, Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, Vol. 13, 68-75.
[38]. Di Bartolo, A., Infurna, G., and Dintcheva, N. T. (2021). A review of bioplastics and their adoption in the circular economy, Polymers, Vol. 13, NO. 8, 1229.
[39]. Korol, J., Hejna, A., Burchart-Korol, D., Chmielnicki, B., and Wypiór, K. (2019). Water footprint assessment of selected polymers, polymer blends, composites, and biocomposites for industrial application, Polymers, Vol. 11, NO. 11, 1791.

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir