



# اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی

۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵ هتل المپیک - تهران



## بهره‌وری از ضایعات ساقه مسطح (*Opuntia ficus-indica*) در تولید هیدروکلونیدهای طبیعی و کاربردهای آن در صنایع غذایی

ریحانه البرزی اوانکی<sup>۱</sup>

۱-دانشجو کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی گرایش زیست‌فناوری مواد غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان

r.alborzi@ag.iut.ac.ir

### چکیده

شماره مقاله EFAB015831223

افزایش تقاضا برای هیدروکلونیدهای طبیعی در صنایع غذایی، دارویی و زیستی، توجه به منابع گیاهی کم‌هزینه و پایدار را گسترش داده است. در این میان، ساقه های مسطح (کلادودهای *Opuntia ficus-indica*) به‌عنوان زیست‌توده‌ای حاصل از هرس و پسماندهای کشاورزی، به دلیل غنای بالا در موسیلاژ، پلی‌ساکاریدها و فیبرهای غذایی، منبعی ارزشمند برای تولید هیدروکلونیدهای طبیعی محسوب می‌شوند. این ساختارهای گیاهی علاوه بر ترکیبات ساختاری، حاوی ترکیبات زیست فعال نظیر پلی‌فنول‌ها و فلاونوئیدها بوده و قابلیت ایجاد ویژگی‌های عملکردی مهمی از جمله افزایش ویسکوزیته، امولسیون‌سازی، ژل‌سازی و پایداری در سامانه‌های غذایی را دارند. توسعه روش‌های نوین استخراج مانند استخراج به کمک فراصوت و مایکروویو نیز موجب بهبود بازده، حفظ ساختار زیستی و ارتقای کیفیت موسیلاژ استخراج شده شده است. همچنین، بررسی‌ها نشان می‌دهد ضایعات کلادود علاوه بر کاربردهای غذایی، قابلیت استفاده در حوزه‌های زیست‌محیطی مانند جاذب‌های زیستی برای حذف آلاینده‌ها و بازیافت عناصر غذایی را نیز دارند. در مجموع، کلادودهای *Opuntia ficus-indica* به‌عنوان یک زیست‌توده پایدار، تجدیدپذیر و چندمنظوره، نقش مهمی در توسعه محصولات زیست‌پایه و تحقق رویکرد اقتصاد چرخشی ایفا می‌کنند. با این حال، برای تجاری‌سازی گسترده این منابع، بهینه‌سازی فرایندهای استخراج و ارزیابی جامع اقتصادی - زیست‌محیطی همچنان ضروری است. کلید واژه‌ها: *Opuntia ficus-indica*، ساقه مسطح، موسیلاژ، هیدروکلونید طبیعی، پلی‌ساکارید، ضایعات کشاورزی، اقتصاد چرخشی، استخراج سبز، فراصوت، مایکروویو، کاربردهای غذایی، ارزش‌افزایی زیست‌توده.

### مقدمه

نیاز روزافزون صنایع مختلف به هیدروکلونیدهای طبیعی، به‌ویژه در حوزه‌های غذایی، دارویی و شیمیایی، موجب تمرکز بر منابع گیاهی پایدار و کم‌هزینه شده است. در این میان، گیاه *Opuntia ficus-indica* به‌عنوان گونه‌ای مقاوم به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، از پتانسیل اقتصادی و صنعتی بالایی برخوردار است. کلادودهای این گیاه که عمدتاً به‌عنوان ضایعات هرس در مناطق تولیدی مانند نواحی مدیترانه‌ای ایجاد می‌شوند، سرشار از فیبر غذایی، پلی‌ساکاریدها، موسیلاژ و ترکیبات فنولی با ارزش عملکردی بالا هستند. موسیلاژ استخراج شده از آن به‌عنوان یک هتروپلی‌ساکارید با وزن مولکولی بالا، دارای ویژگی‌هایی نظیر ویسکوزیته مناسب، خاصیت امولسیون‌کنندگی و ژل‌شوندگی است و در کاربردهایی مانند غلظت‌دهی، پایداری‌سازی، تولید فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی و افزایش ماندگاری محصولات غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین بهره‌گیری از روش‌های استخراج کارآمد با مصرف انرژی کمتر، امکان استفاده پایدارتر از این زیست‌توده را فراهم می‌سازد. در مجموع، کلادودهای آپونتیا در چارچوب اقتصاد چرخشی، منبعی ارزشمند برای تبدیل ضایعات کشاورزی به محصولات با ارزش افزوده بالا محسوب می‌شوند، هرچند ارزیابی جامع پتانسیل آن‌ها همچنان محدود است.

### نتیجه گیری

کلادودهای *Opuntia ficus-indica* به‌عنوان زیست‌توده‌ای در دسترس و کم‌هزینه، منبعی ارزشمند برای تولید هیدروکلونیدهای طبیعی مانند موسیلاژ و پکتین بوده و به‌دلیل غنای پلی‌ساکاریدی و ترکیبات زیست‌فعال، دارای قابلیت‌های عملکردی مهمی از جمله ژل‌سازی، امولسیون‌سازی و پایداری‌سازی در سامانه‌های غذایی هستند. بهره‌گیری از روش‌های نوین استخراج مانند استخراج به کمک فراصوت و مایکروویو موجب افزایش بازده و بهبود ویژگی‌های عملکردی این ترکیبات شده و مسیر کاربرد صنعتی آن‌ها را تسهیل کرده است. موسیلاژ حاصل قابلیت جایگزینی با هیدروکلونیدهای سنتزی را در محصولات غذایی زیست‌پایه و عملکردی دارد. همچنین ضایعات کلادود امکان استفاده در کاربردهای محیط‌زیستی مانند جاذب‌های زیستی را فراهم می‌کنند. در مجموع، این زیست‌توده نقش مهمی در توسعه پایدار و اقتصاد چرخشی دارد، هرچند بهینه‌سازی فرایندها و ارزیابی‌های جامع‌تر همچنان مورد نیاز است.

### منابع اصلی

- 1.Silvia Procacci1, E.B.-Q., Giovambattista Platamone3, Oliviero Maccioni1, Vania Lo Vecchio3, Vincenzo Morreale3, Chiara Alisi4, Roberto Balducci1, Loretta Bacchetta1, Opuntia ficus-indica Pruning Waste Recycling: Recovery and Characterization of Mucilage from Cladodes. Natural Resources, 2021.
- 2.Rodrigues, C., et al., Opuntia spp.: An Overview of the Bioactive Profile and Food Applications of This Versatile Crop Adapted to Arid Lands. Foods, 2023. 12(7): p. 1465.
- 3.Salehi, E., et al., Opuntia ficus-indica Mucilage, in Emerging Natural Hydrocolloids. 2019. p. 425-449.
- 3.Mukai, Y.O., J.O. Adeyemi, and O.A. Fawole, Towards Sustainable Biopolymer Innovation: A Review of Opuntia ficus-indica Mucilage. Processes, 2025. 13(12): p. 3837.
- 10.Hu, X., et al., Ultrasonic-assisted hot water extraction of polysaccharides from opuntia dillenii: process optimization, derivatization, physicochemical properties and biological activities. Microchemical Journal, 2026. 223: p. 117336.
- 4.Mannai, F., et al., Comparative study of conventional and combined ultrasound-assisted methods on the quality of mucilage extracted from Opuntia ficus-indica cladodes. Industrial Crops and Products, 2024. 214: p. 118566.
- 5.Felkai-Haddache, L., et al., Microwave optimization of mucilage extraction from Opuntia ficus indica Cladodes. International Journal of Biological Macromolecules, 2016. 84: p. 24-30.

### منابع

*Opuntia ficus-indica* از مهم‌ترین کاکتوس‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است که به‌دلیل سازگاری بالا با تنش‌های محیطی و متابولیسم CAM در بسیاری از کشورها کشت می‌شود. در طی عملیات زراعی و فراوری، حجم قابل‌توجهی از کلادودها (ساقه‌های مسطح) به‌عنوان ضایعات تولید می‌شود که با وجود ماهیت پسماند، منبعی غنی از پلی‌ساکاریدها، فیبر غذایی، پکتین و ترکیبات زیست‌فعال مانند پلی‌فنول‌ها و فلاونوئیدها هستند. مهم‌ترین جزء عملکردی این زیست‌توده، موسیلاژ با ماهیت هیدروکلونیدی است که به‌دلیل خواص رئولوژیکی مناسب، ظرفیت بالای جذب آب و توانایی تشکیل ژل، در صنایع غذایی به‌عنوان پایدارکننده، غلظت‌دهنده، امولسیفایر و جایگزین چربی کاربرد دارد. استخراج این ترکیب با روش‌های متداول و فناوری‌های استخراج کمکی نوین نظیر فراصوت (UAE) و مایکروویو (MAE) انجام می‌شود که موجب بهبود بازده و ویژگی‌های عملکردی آن می‌گردد. موسیلاژ حاصل در توسعه محصولات غذایی عملکردی، فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی زیست‌پایه، امولسیون‌ها و فرمولاسیون‌های کم‌چرب مورد استفاده قرار می‌گیرد و در عین حال، بقایای کلادود پس از استخراج نیز قابلیت بهره‌برداری در تولید بیوپلیمرها و جاذب‌های زیستی را دارند؛ از این رو این زیست‌توده در چارچوب اقتصاد چرخشی، یک منبع پایدار برای ارزش‌افزایی و مدیریت بهینه پسماندهای کشاورزی محسوب می‌شود.