Kermanshah University of Medical Sciences

عنوان:
بررسی مکانیزم‌های رهایش مونوترپن‌ها از نانوحامل‌ها: ارزیابی مدل‌های سینیتیکی

شماره طرح:
4040873

نام و نام خانوادگی:
دکتر سرور صادق

مرکز تحقیقات داروررسانی نانو

مونوترپن‌ها از مهم‌ترین اجزای فعال اسانس‌های گیاهی هستند که در سال‌های اخیر به دلیل خواص ضدالتهابی، ضدباکتریایی، آنتی‌اکسیدانی و اثرات درمانی گسترده، توجه بسیاری از پژوهشگران و صنایع دارویی، غذایی و آرایشی را به خود جلب کرده‌اند. با وجود این مزایا، کاربرد عملی آن‌ها همواره با چالش‌هایی همراه بوده است؛ زیرا این ترکیبات فرّارند، در آب به‌خوبی حل نمی‌شوند و در برابر عوامل محیطی مانند نور، حرارت و اکسیداسیون ناپایدارند. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که غلظت مؤثر آن‌ها به‌سرعت کاهش یافته و در بسیاری از موارد امکان فرموله‌کردن دقیق و کنترل‌شده آن‌ها وجود نداشته باشد. با پیشرفت فناوری نانو، استفاده از نانوحامل‌ها به‌عنوان راهکاری امیدبخش برای افزایش پایداری، کاهش تبخیر، بهبود قابلیت انتقال و کنترل رهایش مونوترپن‌ها مطرح شده است. نانوحامل‌ها با ایجاد یک سد فیزیکی مناسب، می‌توانند سرعت رهایش را کاهش دهند، از تخریب زودهنگام جلوگیری کنند و فراهمی زیستی ترکیبات فعال را به‌طور قابل توجهی افزایش دهند. اما مهم‌ترین پرسش در این حوزه آن است که رفتار رهایش مونوترپن‌ها درون این نانوساختارها دقیقاً چگونه رخ می‌دهد، چه عواملی آن را کنترل می‌کنند و کدام مدل ریاضی می‌تواند این فرآیند را بهتر توصیف کند. مطالعه حاضر با همین رویکرد انجام شد تا با مقایسه هشت مدل پراستفاده سینتیکی—شامل مدل‌های صفر مرتبه، اولین مرتبه، هیگوشی، هیکسون–کراول، ریشه دوم جرم، ریشه سوم جرم، ویبول و کورس‌مایر–پپاس—به یک جمع‌بندی معتبر، کاربردی و قابل تعمیم برای تحلیل مکانیزم رهایش مونوترپن‌ها دست یابد. داده‌های تجربی حاصل از انواع نانوحامل‌های چربی‌پایه، پلیمری و نانوساختارهای ترکیبی، بر اساس شاخص‌های مختلف برازش شامل ضریب همبستگی، درصد خطا و خطای نرمالیزه بررسی شدند. برای حل مشکل تکیه‌کردن بر یک شاخص مجزا، شاخص نوآورانه‌ای با عنوان «Unified Release Fit Index» طراحی شد که با ادغام چند معیار ارزیابی، امکان انتخاب دقیق‌تر و سازگارتر مدل‌ها را فراهم می‌کند. تحلیل نهایی نشان داد که مدل ویبول در اغلب نانوحامل‌ها، بهترین عملکرد را در پیش‌بینی رفتار رهایش نشان می‌دهد و به دلیل انعطاف‌پذیری بالای ریاضی، قابلیت توصیف سیستم‌های پیچیده و چندمرحله‌ای را نیز دارد. مدل‌های کورس‌مایر–پپاس و هیگوشی نیز برای سیستم‌هایی که رهایش بر پایه نفوذ کنترل می‌شود بسیار قابل اعتمادند و در نانوساختارهای هیدروفیل مانند کیتوسان و دکسترین عملکرد مناسبی دارند. یافته‌های این طرح نشان می‌دهد که مدل‌سازی سینتیکی نه تنها ابزاری برای تحلیل داده‌هاست، بلکه نقش راهبردی در طراحی و توسعه فرمولاسیون‌های نوین دارد. هنگامی که یک مدل ریاضی قادر باشد رفتار رهایش یک ترکیب فعال را با دقت مناسب پیش‌بینی کند، می‌توان تغییرات ساختاری نانوحامل، میزان بارگذاری یا شرایط فرایندی را با قطعیت بیشتری تنظیم کرد و به محصولاتی با اثربخشی بالاتر دست یافت. بر اساس نتایج، مدل ویبول به دلیل توانایی توصیف رفتارهای غیرخطی و چندفازی، بهترین گزینه برای سیستم‌هایی است که رهایش به‌صورت ترکیبی و تحت اثر نفوذ، فرسایش یا برهم‌کنش‌های فیزیکی–شیمیایی رخ می‌دهد. این ویژگی به‌خصوص در نانوحامل‌های لیپیدی و پلیمری که ساختارهای منظم و نامنظم را توأمان دارند، اهمیت پیدا می‌کند. از سوی دیگر، مدل‌های هیگوشی و کورس‌مایر–پپاس همچنان ابزارهای ارزشمند و قابل اتکا برای فهم سازوکار رهایش در ماتریس‌های هیدروفیل هستند و می‌توانند اطلاعات مفیدی درباره نقش نفوذ، تورم یا انحلال ماتریس ارائه دهند.