Journal of Marine Medicine
Winter 2026, Volume 7, Issue 4 (Special Issue: Policy Brief)
Pages: 40-46
10.30491/7.4.40

Development of Nanodrugs to Combat Treatment-Resistant Hospital-Acquired Infections

Hamidreza Javadi [1], Mohammad Tayebpour [1], Mohammad Hassan Darvishi [1 *]

[1] *Nanobiotechnology Research Center, New Health Technologies Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

Received: 20 December 2025 **Accepted:** 24 January 2026

Abstract

Treatment-resistant healthcare-associated infections (HAIs) represent a growing and multifaceted threat that poses serious challenges to global public health. The increasing prevalence of antimicrobial resistance (AMR) has not only reduced the effectiveness of existing antibiotics but has also created an urgent need for novel therapeutic strategies in clinical and hospital settings. In this context, medical nanotechnology, owing to its ability to engineer materials at the atomic and molecular scale, has emerged as a promising and transformative technology across various therapeutic domains. The potential of nanomedicines -either through targeted drug delivery systems or by introducing antimicrobial agents with novel mechanisms of action- plays a pivotal role in addressing this critical challenge. One of the most important reasons for the failure of conventional antibiotics in healthcare-associated infections is their inability to effectively combat protective bacterial biofilms. Nanoparticles, due to their capacity to penetrate biofilm structures and eradicate bacteria through physical and non-specific mechanisms of action, can bypass bacterial genetic resistance and provide a durable and sustainable therapeutic platform. This article reviews the most common treatment-resistant healthcare-associated infections, examines nanotechnology-based strategies to combat antimicrobial resistance, and proposes approaches for the development, regulation, and clinical implementation of nanomedicines in the management of HAIs.

Keywords: Nanomedicines, Healthcare-associated infections (HAIs), Antimicrobial resistance (AMR)

[*]**Corresponding author:** Mohammad Hassan Darvishi, **Email**: darvishi@alumnus.tums.ac.ir
Address: Nanobiotechnology Research Center, New Health Technologies Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

مجله طب دریا
دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴ (ویژه نامه خلاصه سیاستی)
صفحات: ۴۶-۴۰
10.30491/7.4.40

توسعه نانوداروها جهت مقابله با عفونت‌های بیمارستانی مقاوم به درمان

حمیدرضا جوادی [۱]، محمد طایب پور [۱]، محمد حسن درویشی [۱*]

[۱] مرکز تحقیقات نانوبیوتکنولوژی، پژوهشکده فناوریهای نوین سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۱۱/۰۴

چکیده

عفونتهای بیمارستانی مقاوم به درمان (HAIs - Infections Associated-Healthcare) به عنوان یک تهدید چند وجهی و رو به افزایش، سلامت عمومی جهانی را به طور جدی به چالش می کشند. افزایش مقاومت ضد میکروبی (AMR - Resistance Antimicrobial) نه تنها کارایی آنتی بیوتیکهای موجود را کاهش داده است، بلکه نیاز مبرمی به استراتژیهای درمانی نوین را در محیطهای بالینی و بیمارستانی ایجاد کرده است. در این میان، نانوتکنولوژی پزشکی به دلیل توانایی در مهندسی مواد در مقیاس اتمی و مولکولی، به عنوان یک فناوری نوظهور در حیطه های مختلف درمانی ظاهر شده است. پتانسیل نانوداروها، چه از طریق تحویل هدفمند دارو و چه از طریق ایجاد عوامل ضدمیکروبی با مکانیسمهای عمل جدید، نقشی محوری در این مبارزه ایفا میکند. یکی ازمهم ترین دلایل شکست آنتی‌بیوتیک‌های سنتی، ناشی از ناتوانی آن‌ها در مقابله با بیوفیلم‌های محافظتی باکتری‌ها در عفونت‌های بیمارستانی (HAIs) است. نانوذرات، به دلیل توانایی در نفوذ به ساختار بیوفیلم‌ها و همچنین از بین بردن باکتری‌ها از طریق مکانیزم‌های فیزیکی و غیراختصاصی میتوانند از مقاومت ژنتیکی باکتری‌ها عبور کرده و یک پلتفرم درمانی پایدار و با دوام را ارائه می‌دهند. این مطالعه به بررسی عفونتهای شایع بیمارستانی مقاوم به درمان، راهکارهای مبتنی بر نانوتکنولوژی برای مقابله با مقاومت میکروبی و ارایه راهبردهایی جهت توسعه، تنظیم گری و استفاده نانوداروها در مدیریت HAIs می پردازد.

کلیدواژه‌ها: نانوداروها، عفونت های بیمارستانی مقاوم به درمان (HAIs)، مقاومت ضد میکروبی (AMR)

*نویسنده مسئول: **محمد حسن درویشی**. پست الکترونیک: darvishi@alumnus.tums.ac.ir
آدرس: مرکز تحقیقات نانوبیوتکنولوژی، پژوهشکده فناوریهای نوین سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران.

مقدمه

عفونت‌های بیمارستانی (Hospital-Acquired Infections یا HAIs) به عنوان یک تهدید رو به افزایش، از مهم‌ترین چالش‌های سیستم‌های بهداشتی در سراسر جهان به شمار می‌روند. این عفونت‌ها به‌طور معمول در بیماران بستری در بیمارستان‌ها، به‌ویژه بیماران با ضعف سیستم ایمنی، افراد سالمند و بیماران تحت عمل‌های جراحی ایجاد می‌شوند. براساس داده‌های سازمان جهانی بهداشت (WHO)، حدود ۷ تا ۱۰ درصد از بیماران بستری در کشورهای درحال‌توسعه دچار نوعی از عفونت بیمارستانی می‌شوند. افزایش مقاومت ضد میکروبی (Antimicrobial Resistance – AMR) نه تنها کارایی آنتی بیوتیکهای موجود را کاهش داده است، بلکه نیاز مبرمی به استراتژیهای درمانی نوین را در محیطهای بالینی و بیمارستانی ایجاد کرده است. AMR اکنون به عنوان یکی از علل اصلی مرگ و میر در سراسر جهان شناخته می‌شود. در سال ۲۰۱۹، مقاومت ضدمیکروبی باکتریایی مستقیماً به ۱٫۲۷ میلیون مرگ در سطح جهانی مرتبط بود (۱). برآورد می‌شود که AMR تا سال ۲۰۵۰ به طور بالقوه سالانه منجر به مرگ ۱۰ میلیون نفر در سراسر جهان خواهد شد (۲). جدیدترین گزارش سازمان بهداشت جهانی (GLASS 2025)، که بر اساس داده‌های بیش از ۲۳ میلیون عفونت تهیه شده است، سطح مقاومت را به طور نگران‌کننده‌ای بالا ارزیابی می‌کند بطوریکه تقریباً از هر شش مورد عفونت باکتریایی تأیید شده در سراسر جهان، یک مورد توسط باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک ایجاد شده است. این نسبت در عفونت‌های دستگاه ادراری (UTIs) به طور چشمگیری افزایش می‌یابد، به طوری که در تقریباً ۱ مورد از هر ۳ مورد عفونت، باکتری‌های مقاوم دخیل هستند (۳). وضعیت AMR در ایران، مشابه وضعیت نگران کننده جهانی می باشد بطوریکه در سال ۲۰۲۱، حدود ۶۹۳۰ مرگ در ایران مستقیماً به مقاومت آنتی‌بیوتیکی باکتریایی نسبت داده شده و ۲۵۴۰۰ مرگ نیز با این پدیده مرتبط بوده‌اند (۴). نرخ بروز عفونت‌های مرتبط با HAIs در بخش‌های مراقبت ویژه (ICU) ایران تا ۲۲٪ گزارش شده است (۵). این عفونت‌ها اغلب توسط پاتوژن هایی نظیر آسینتوباکتر بائومانی مقاوم به کارباپنم (CRAB) و کلبسیلا پنومونیه ایجاد می‌شوند که مقاومت چند دارویی در آن‌ها در بیمارستان‌های ایران در سطوح هشداردهنده‌ای قرار دارد (۵). داده‌های ایالات متحده نشان می‌دهد که عفونت‌های مرتبط با HAIs شایع‌ترین عوارض مراقبت‌های بیمارستانی بوده و در میان ده عامل اصلی مرگ‌ومیر قرار می‌گیرند (۶). مرکز اروپایی کنترل و پیشگیری از بیماری‌ها گزارش می‌دهد که روزانه حدود ۸۰،۰۰۰ بیمار (معادل یک نفر از هر ۱۸ بیمار بستری) در مراکز درمانی اروپا به عفونت‌های مرتبط با HAIs مبتلا می‌شوند. مرگ‌ومیر مستقیم ناشی از عفونت‌های بیمارستانی سالانه به حدود ۳۷،۰۰۰ مورد در اتحادیه اروپا می‌رسد و در صورت احتساب مرگ‌ومیر غیرمستقیم، این رقم به طور بالقوه می‌تواند تا ۱۱۰،۰۰۰ مورد افزایش یابد (۶). مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۴ در مجله لنست منتشر شد نشان می‌دهد که AMR سالانه باعث مرگ بیش از یک میلیون نفرمی‌شود و باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشریشیا کولی* از عوامل اصلی در این زمینه هستند (۷،۸). یک مطالعه اخیر نشان داد که AMR در سال ۲۰۱۹ باعث مرگ‌های بیشتری نسبت به هر بیماری عفونی دیگری شده و از میزان مرگ‌ومیر ناشی از ویروس نقص ایمنی انسانی (HIV) و مالاریا پیشی گرفته است (۷). تخمین زده می‌شود که مقاومت ضد میکروبی به طور بالقوه می‌تواند تا سال ۲۰۵۰ سبب ۱۰ میلیون مرگ سالانه شود. پیامدهای اقتصادی این بحران قابل توجه است، به‌طوری که هزینه‌های مراقبت‌های سلامت مرتبط با مقاومت ضد میکروبی در اروپا سالانه بیش از ۹ میلیارد یورو برآورد می‌شود، در حالی که برآوردها در ایالات متحده نشان می‌دهد این بحران ۲۰ میلیارد دلار تأثیر بر بخش سلامت و حدود ۳۵ میلیارد دلار زیان بهره‌وری را به همراه دارد (۶،۷).

شایع ترین پاتوژن‌های مقاوم به درمان

عفونت‌های بیمارستانی عمدتاً توسط باکتری‌های فرصت‌طلب ایجاد می‌شوند. شایع‌ترین عوامل ایجادکننده عفونت‌های بیمارستانی مقاوم شامل: استافیلوکوکوس اورئوس مقاوم به متی‌سیلین (MRSA)، انتروکوکوس مقاوم به وانکومایسین (VRE)، سودوموناس آئروژینوزا و آسینتوباکتر باومانی مقاوم به چند دارو (MDR) و کلبسیلا پنومونیه‌ی تولیدکننده کارباپنم‌آز (KPC) می باشند. ویژگی‌های مشترک این پاتوژن‌ها عبارت‌اند از: قدرت بالای انتقال ژن مقاومت از طریق پلاسمید، بقاء طولانی در محیط‌های خشک و مقاوم در برابر ضدعفونی‌کننده‌ها، توانایی تشکیل بیوفیلم که حفاظت مکانیکی در برابر داروها ایجاد می‌کند و مقاومت چندگانه و ترکیبی که درمان استاندارد آنتی‌بیوتیکی را تقریباً ناممکن می‌سازد. در جدول-۱ شایعترین پاتوژن‌های عفونت‌های بیمارستانی و مهم‌ترین ویژگی‌های آنها ذکر شده است.

جدول-۱. شایع ترین پاتوژن‌های عفونت‌های بیمارستانی

پاتوژن	محل شایع عفونت	نوع مقاومت‌های کلیدی	ویژگی‌های اختصاصی
Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*	زخم‌های جراحی، پوست، جریان خون	مقاومت به تمام بتالاکتام‌ها (به‌جز وانکومایسین)	تشکیل بیوفیلم، انتقال سریع بین بیماران
Vancomycin-resistant *Enterococcus faecalis/faecium*	مجاری ادراری، زخم‌ها، خون	مقاومت به وانکومایسین و اغلب آنتی‌بیوتیک‌های گلیکوپپتیدی	بقاء بالا روی سطوح خشک و تجهیزات بیمارستانی

ESBL-producing Enterobacteriaceae	مجاری ادراری، ریه، زخم‌ها	تولید آنزیم‌های β-lactamase گسترده که اکثر بتالاکتام‌ها را غیرفعال می‌کند	انتقال پلاسمیدی بسیار سریع بین گونه‌ها
Carbapenem-resistant Enterobacteriaceae (CRE).	خون، مجاری ادراری، ریه	مقاومت به قوی‌ترین آنتی‌بیوتیک‌های بتالاکتام (کارباپنم‌ها)	مرگ‌ومیر بالا، گسترش سریع جهانی
Pseudomonas aeruginosa (MDR)	ریه بیماران ICU، زخم سوختگی، عفونت‌های چشمی	مقاومت چندگانه به آمینوگلیکوزیدها، فلوروکینولون‌ها، کارباپنم‌ها	تشکیل بیوفیلم ضخیم، نفوذ پایین دارو
Acinetobacter baumannii (MDR/XDR)	سطوح بیمارستانی، زخم، مسیر تنفسی	مقاومت گسترده به تقریباً همه کلاس‌های دارو، به‌ویژه β-lactam و aminoglycoside	بقاء طولانی بر سطوح خشک، قابلیت بالای دریافت ژن‌های مقاومت
Clostridioides difficile (hypervirulent strains)	روده بزرگ	مقاومت نسبی به فلوروکینولون‌ها و کلرامفنیکل	تولید سموم A و B، عامل اصلی کولیت پس از مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها

نتایج

راهکارهای مبتنی بر نانوتکنولوژی برای مقابله با مقاومت میکروبی

درمان‌های رایج به دلایل متعددی نظیر: مصرف بی‌رویه آنتی‌بیوتیک‌ها در بیمارستان‌ها، انتقال پاتوژن های مقاوم به درمان بین بیماران از طریق تجهیزات یا کارکنان، عدم توسعه کافی داروهای ضدباکتریایی جدید و محدودیت آنتی‌بیوتیک‌ها در نفوذ به بیوفیلم کارایی لازم را ندارند. بنابراین با توجه به شیوع جهانی مقاومت میکروبی و وضعیت نگران کننده مراکز درمانی، اتخاذ یک رویکرد فناورانه نوین برای احیای اثربخشی درمان‌های ضدمیکروبی ضروری است. سیستمهای دارورسانی سنتی کنترل بسیار محدودی بر روی زمان، مکان و سرعت آزاد سازی دارو دارند، علاوه بر این غلظت دارو مرتبا در خون دارای نوساناتی به صورت دره و پیک می باشد و ممکن است از محدوده درمانی فراتر برود و کارایی کمتر و عوارض جانبی بیشتر را موجب گردد. با سیستمهای دارورسانی نوین (Novel Drug Delivery Systems) قادر خواهیم بود سه بخش سرعت، زمان و مکان آزاد سازی دارو را بطور نسبی کنترل نماییم. بیش از دو دهه است که محققین با استفاده از نانوتکنولوژی به بهبود تکنیک های دارورسانی که باعث کاهش سمیت و افزایش کارایی داروها می شود دست پیدا کرده‌اند. دارورسانی نوین موفقیت‌های چشمگیر خود را مدیون نانوذراتی است که دارای ویژگیهایی نظیر: ظرفیت بالا برای حمل دارو، سطح فعال بسیار وسیع برای واکنش، کوچکی مناسب برای عبور ازسطوح خونی، قابلیت تجمع دربافت هدف و سمیت پایین می باشد. در حال حاضر، نانوداروهای متعددی در فاز توسعه برای HAIs مقاوم به درمان هستند. نانوداروهایی که در این زمینه طراحی می‌شوند، عموماً بر اساس ساختار شیمیایی و مکانیزم عمل به چند دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

نانوذرات معدنی (Inorganic Nanoparticles)

این دسته شامل فلزات و اکسیدهای فلزی است که ذاتاً دارای خاصیت ضد میکروبی قوی هستند و می‌توانند به عنوان ماده فعال یا حامل دارو عمل کنند. این نانوذرات می‌توانند در پوشش سطوح بیمارستانی، پانسمان‌های زخم، و تجهیزات پزشکی به کار روند.

الف) نانوذرات نقره (Ag NPs): برای نانوپوشش‌های سطوح بیمارستانی و کاتترها جهت جلوگیری از چسبندگی اولیه پاتوژن‌ها کاربرد دارند. این نانوذرات، یون‌های Ag آزاد می‌کند که بر روی طیف وسیعی از باکتری‌ها، از جمله MRSA، سودوموناس آئروژینوزا و قارچ‌ها عمل می نمایند. این یون‌ها به سه طریق عمل می‌کنند: اختلال در عملکرد غشاء سلولی و افزایش نفوذپذیری آنها، آسیب به ساختارهای DNA و RNA باکتریایی و تداخل با زنجیره انتقال الکترون و تولید استرس اکسیداتیو (ROS).

ب) نانوذرات اکسید روی (ZnO NPs): این نانوذرات با تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) که به لیپیدها، پروتئین‌ها و DNA آسیب می‌زند عمل می‌نمایند. همچنین یون‌های Zn می‌توانند از عملکرد آنزیم‌های حیاتی باکتری جلوگیری کنند. مزیت ویژه آنها سمیت کمتر نسبت به نانوذرات نقره برای سلول‌های پستانداران در غلظت‌های مؤثر ضدباکتری می باشد.

ج) نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (TiO2 NPs): بر روی طیف گسترده‌ای از میکروارگانیسم‌ها، به‌ویژه در محیط‌های آبی اثر می گذارد همچنین به عنوان ضدعفونی‌کننده محیط اثر دارد. نانوذرات TiO2 هنگامی که توسط فوتون‌های نوری فعال می‌شوند، الکترون‌هایی آزاد می‌کنند که با مولکول‌های آب و اکسیژن واکنش داده و رادیکال‌های هیدروکسیل تولید می‌کنند. این رادیکال‌ها بسیار واکنش‌پذیر بوده و فوراً غشاهای باکتریایی و اجزای داخلی سلول را تخریب می‌کنند.استفاده از این نانوذرات برای استریل نمودن تجهیزات پزشکی یا در سیستم‌های تصفیه هوا/آب بیمارستانی کاربرد دارند.

نانوذرات لیپیدی/ پلیمری

این نانوحامل‌ها اغلب برای کپسوله‌سازی و رهایش کنترل‌شده آنتی‌بیوتیک‌های موجود (مانند وانکومایسین، سیپروفلوکساسین یا

آمینوگلیکوزیدها) استفاده می‌شوند.

الف) نانوذرات لیپیدی (Liposomes و Solid Lipid Nanoparticles - SLN): وزیکول‌هایی با یک لایه دوگانه لیپیدی که دارو را در هسته آبدوست یا لایه لیپیدی خود جای می‌دهند. لیپوزوم‌ها می‌توانند نفوذ آنتی‌بیوتیک را در دیواره سلولی ضخیم باکتری‌های گرم منفی نظیر *Pseudomonas* تسهیل کنند و همچنین در برابر آنزیم‌های تجزیه‌کننده محافظت ایجاد نمایند.

ب) نانوذرات پلیمری زیست‌تخریب‌پذیر: از مهمترین این پلیمرها PLGA میباشد که یک پلیمر رایج برای رهایش طولانی‌مدت دارو می باشد. این نانوذرات می‌توانند با دوز پایین، غلظت مؤثری از دارو را برای مدت طولانی در محل عفونت حفظ کنند.کیتوزان هم یک پلی‌ساکارید طبیعی با بار مثبت قوی می باشد که به دلیل بار مثبت به غشاء باکتری‌های گرم منفی (که بار منفی دارند) جذب شده و باعث اختلال فیزیکی در ساختار غشاء می‌شود. کیتوزان به تنهایی خاصیت ضدباکتری دارد و در فرم نانو می‌تواند حامل داروهای دیگر نیز باشد.

نانوداروهای ترکیبی یا چندکارکردی (Hybrid/Multifunctional Nanodrugs)

در این رویکرد از دو عامل درمانی بطور همزمان استفاده میشود و هدف آن غلبه همزمان بر چند مانع است.

الف) ترکیب آنتی‌بیوتیک با نانومواد فلزی: مزیت این استراتژی اثر هم‌افزایی (Synergistic Effect) نانوذره و آنتی بیوتیک می باشد بطوریکه نانوذره فلزی غشاء را تخریب می‌کند و آنتی‌بیوتیک کپسوله‌شده به راحتی وارد شده و عمل خود را انجام می‌دهد. این ترکیب می‌تواند بر سویه‌هایی که مقاومت دارویی را از طریق کاهش نفوذ کسب کرده‌اند غلبه کند (نظیر نانوذرات نقره/ وانکومایسین یا نانوذرات ZnO حاوی تتراسایکلین).

ب) سیستم‌های پاسخ‌گو به محرک (Stimuli-Responsive Systems): این نانوذرات طوری طراحی شده‌اند که در شرایط خاص محیطی ناشی از عفونت فعال شوند:

- **حساس به pH:** محیط اطراف عفونت‌های فعال معمولاً کمی اسیدی‌تر است؛ نانوحامل‌های pH–حساس، دارو را تنها در این محیط آزاد می‌کنند.
- **حساس به آنزیم:** برای مقابله با ESBL ها، نانوذراتی طراحی شده‌اند که فقط در حضور آنزیم‌های بتالاکتاماز، پوشش خود را رها کرده و دارو را آزاد کنند در نتیجه دارو بطور عمده در محل عفونت در بدن رها می شود.

نانومواد پپتیدی (Peptide-Based Nanomaterials)

نپپتیدهای ضد میکروبی قطعات پروتئینی کوچک هستند که مستقیماً غشاء باکتری را هدف قرار می‌دهند و باعث سوراخ شدن آن می‌شوند. وقتی این پپتیدها در نانوحامل های لیپیدی یا پلیمری بارگذاری می شوند، پایداری آن‌ها افزایش می یابد و در نتیجه احتمال رسیدن آنها به غشای باکتریایی و اثربخشی آن‌ها افزایش می‌یابد. مزیت این روش این است که یک رویکرد غیر آنتی‌بیوتیکی است؛ پپتیدها با تخریب فیزیکی غشاء عمل می‌کنند، بنابراین احتمال ایجاد مقاومت در برابر آن‌ها بسیار پایین‌تر از آنتی‌بیوتیک‌های سنتی است.

نانومواد انتقال دهنده قطعات ژنی

نانومواد عمدتا لیپید یا پلیمری برای انتقال قطعات ژنی نظیر CRISPR-Cas به سلول‌های باکتری استفاده می‌شوند. هدف اینکار این است که یا در فعالیت ژن‌های مقاومت تداخل نماید (CRISPR-Interference) و یا ژن‌های حساسیت به آنتی‌بیوتیک‌های قدیمی را به باکتری منتقل کند. این پیشرفته‌ترین رویکرد است که به جای کشتن باکتری، سعی در معکوس کردن مقاومت دارد. پاتوژن هدف این روش نیز هر باکتری مقاومی است که مکانیسم‌های مقاومت پلاسمیدی دارند (نظیر *K. pneumoniae* KPC). بنابراین همانطور که اشاره شد نانوداروها می توانند طیف وسیعی از رویکردهای درمانی از فیزیکی (نانوذرات فلزی) تا بیوشیمیایی (حامل‌های دارویی) و ژنتیکی (CRISPR) را پوشش دهند. هر چند بیشتر نانوداروهای مطرح شده برای مقابله با HAIs مقاوم به درمان در مرحله تحقیق و توسعه (کارآزمایی بالینی فاز I و II) قرار دارند اما چندین محصول تجاری شده برای مقابله با عفونت های قارچی و باکتریایی ساخته شده و در کشورهای مختلف از جمله ایران با گرفتن مجوزهای لازم به بازار دارویی اضافه شده اند. در جدول –۲ به بخشی از این نانوداروها اشاره شده است.

جدول–۲. بخشی از نانوداروهای تجاری شده علیه عفونت های باکتریایی و قارچی

برند	دارو	پاتوژن هدف	فرمولاسیون نانویی	روش استفاده	سازنده
Arikayce®	آنتی‌بیوتیک آمیکاسین	مایکوباکتریوم	نانولیپوزوم	استنشاقی	آمریکا
Sina Ampholish	آمفوتریسین B	عفونت قارچی	نانولیپوزوم	موضعی	ایران
Abelcet ®	آمفوتریسین B	عفونت قارچی	نانولیپوزوم	وریدی	آمریکا
AmBisome®	آمفوتریسین B	عفونت قارچی	نانولیپوزوم	وریدی	آمریکا

سیاست‌گذاری

برای تبدیل نانوداروها به یک راه حل عملی در مدیریت HAIs، باید یک چارچوب سیاستی جامع تدوین شود که مشتمل بر ۴ حوزه باشد.

تسهیل مقررات و تسریع تأییدیه‌ها (Regulatory Streamlining)

بزرگترین چالش برای داروها و نانوداروها، فرآیندهای طولانی اخذ مجوز است. تدوین دستورالعمل‌های واقع بینانه و هماهنگ با دستورالعمل های مراکز معتبر بین اللملی در هر سه حوزه تولید، استفاده و پایش نانوداروها به رشدو توسعه نانوداروها کمک شایانی می نماید. به‌ویژه برای ترکیبات نانو–دارویی با پتانسیل ضدعفونی بالا و اثبات‌شده علیه پاتوژن‌های MDR، رویکرد تسهیل کنندگی ضرورت دارد. همچمین تدوین دستورالعمل‌های ایمنی نانومواد و راه‌اندازی آزمایشگاه مرجع نانوسمیّت بسیار کمک کننده می باشد. از طرف دیگر استانداردسازی تست‌های عملکردی که شامل الزام استفاده از مدل‌های *In Vitro* و *In Vivo* که تقلیدکننده شرایط عفونت‌های بیمارستانی (مانند محیط بیوفیلم) باشند به جای تست‌های استاندارد قدیمی لازم می باشد.

حمایت از تحقیق و توسعه نانوآنتی بیوتیک ها

سیاستها باید تحقیق و توسعه را به سمت استفاده از نانوتکنولوژی برای تقویت اثربخشی داروهای فعلی و همچنین ابداع داروهای جدید هدایت کنند. برای تبدیل موفقیت‌های آزمایشگاهی به محصولات قابل استفاده ضروری است این سرمایه گذاریها شامل: تخصیص بودجه برای تولید در مقیاس های آزمایشگاهی و پایلوت (Pilot Production) محصولات، برقراری ارتباط با صنایع دارویی کشور جهت اخذ مجوزها و تولید انبوه محصولات نانوداروی با کیفیت و تمرکز بر بومی‌سازی دانش تولید نانوذرات فلزی و پلیمری با کیفیت دارویی (Pharmaceutical Grade) میباشند. الویت های سرمایه گذاری باید با تأکید بر تحقیقات کاربردی در عفونت‌های بومی باشد از جمله اولویت‌دهی به پروژه‌های تحقیقاتی که بر روی سویه‌های غالب MDR در بیمارستان‌های داخلی تمرکز دارند و یا حمایت مالی از همکاری‌های بین‌دانشگاهی و بیمارستانی برای جمع‌آوری نمونه‌های بالینی و اعتبارسنجی نانوداروها باشد.

اجرای بالینی و پایش

موفقیت نهایی بکارگیری نانومواد جهت مدیریت HAIs به پذیرش این تکنولوژی‌ها در محیط بالینی بستگی دارد. لذا بکارگیری نانومواد در محیط درمان باید مبتنی بر دستورالعمل های اختصاصی و معتبر سازی شده باشد. بدین منظور موارد ذیل پیشنهاد می شود:

- اجرای پروژه‌های آزمایشی هدفمند Targeted Pilot Studies
- اجرای کارآزمایی‌های بالینی فاز I/II سریع: تخصیص منابع بیمارستانی و بودجه برای اجرای سریع کارآزمایی‌های اولیه بالینی برای نانوداروهای امیدوارکننده
- همکاری با بیمارستان‌های مرجع برای اجرای پروتکل‌های استاندارد پایش اثربخشی و عوارض جانبی

آموزش و آگاهی‌بخشی

- آموزش کادر درمان در خصوص اهمیت استفاده منطقی از آنتی‌بیوتیک و معرفی جایگزین‌های فناورانه
- تدوین محتوای آموزشی برای دانشجویان پزشکی و داروسازی با محوریت کاربرد نانو در مقابله با مقاومت میکروبی.

نتیجه‌گیری و بحث

عفونت‌های مرتبط با مراقبت‌های سلامت (HAIs) یکی از پایدارترین چالش‌ها در ارائه مراقبت‌های درمانی نوین به شمار می‌روند که میلیون‌ها بیمار در سراسر جهان را تحت تأثیر قرار داده و بار بالینی و اقتصادی قابل توجهی بر سیستم‌های بهداشتی تحمیل می‌کنند. افزایش روزافزون مقاومت میکروبی تهدیدی جدی برای سلامت جهانی است و توسعه داروهای سنتی به تنهایی پاسخ‌گو نیست. ظهور AMR، مدیریت عفونت را پیچیده‌تر کرده و نیاز فوری به راهبردهای درمانی و پیشگیرانه نوآورانه ایجاد نموده است. فناوری نانو می‌تواند افقی نوین برای بازگرداندن اثربخشی درمان‌های ضدباکتریایی باشد. در ایران نیز، ظرفیت علمی بسیار مناسبی در حوزه نانوفناوری پزشکی وجود دارد، اما نیازمند یک سیاست ملی هماهنگ و پایدار است که از پژوهش بنیادی تا تجاری‌سازی را پوشش دهد. برای تبدیل فناوری نانوداروها به یک راه حل عملی، باید یک چارچوب سیاستی جامع و اجرایی تدوین شود. از طرف دیگر و همسو با تعهدات جهانی به تقویت زیرساخت‌های داده محور پرداخته شود. بدین منظور، سیاست‌های داخلی باید با تعهدات جهانی برای مهار AMR، که در بیانیه سیاسی مجمع عمومی سازمان ملل متحد تأیید شده، همسو باشند. کشور باید تا سال ۲۰۳۰ زیرساخت‌های خود را برای ارائه داده‌های نظارتی با کیفیت بالا در مورد مقاومت دارویی (AMR) و مصرف دارو (AMU) به سیستم GLASS سازمان بهداشت جهانی تکمیل کند. رسیدن به این اهداف نیازمند تخصیص بودجه به پژوهش و تامین تجهیزات آزمایشگاهی و نیروی انسانی متخصص است (۳).

تشکر و قدردانی: از همه اساتیدی که در غنای مطالب حاضر یاری‌رسان بودند، نهایت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

نقش نویسندگان: همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تایید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می پذیرند.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می کنند که هیچ گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Murray CJ, Ikuta KS, Sharara F, Swetschinski L, Aguilar GR, Gray A, et al. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. Lancet. 2022;399(10325): 629-55.
2. World Health Organization. Global antimicrobial resistance and use surveillance system (GLASS) report 2025. Geneva: World Health Organization; 2025.
3. Institute for Health Metrics and Evaluation. The burden of antimicrobial resistance (AMR) in Iran (Islamic Republic of). In: Global burden of bacterial antimicrobial resistance 2019. Seattle: IHME; 2022.
4. Rimaz S, Tajzadeh P, Bahrami M, Nooghabi M, Eshrati B, Effati S, et al. Epidemiological features, antimicrobial resistance profile and clinical outcomes of healthcare-associated infections in Islamic Republic of Iran. East Mediterr Health J. 2023;29(9):696-704.
5. Murphy F, Tchetchik A, Furxhi I. Reduction of health care-associated infections (HAIs) with antimicrobial inorganic nanoparticles incorporated in medical textiles: an economic assessment. Nanomaterials. 2020;10(5):999.
6. Lessa FC, Sievert DM. Antibiotic resistance: a global problem and the need to do more. Clin Infect Dis. 2023;77(Suppl 1):S1-3.
7. Kariuki S. Global burden of antimicrobial resistance and forecasts to 2050. Lancet. 2024; 404 (10459):1172-3.