



Antimicrobial Resistance within the One Health Framework: Linking Human, Animal, and Environmental Health in a Global Crisis

Mohammad Taqi Shojaie^{*1}, Akbar Shirzad², Nasratullah Salehi², Sayed Musa Danish³

1-Department of Clinic, Faculty of Medicine, Cheragh Medical University, Kabul, Afghanistan, 2-Faculty of Medicine, Afghan International Islamic University, Kabul, Afghanistan, 3-Department of paraclinic, Faculty of Curative Medicine, Afghan Swiss Medical University, Kabul, Afghanistan

* Correspondence Address: Mohammad Taqi Shojaie

| Email: m.taqishojaie2018@gmail.com

ARTICLE INFORMATION

Received: 1405/05/03

Accepted: 1405/06/15

DOI: —

KEYWORDS

Antimicrobial resistance;
One Health; Human
health; Animal health;
Environmental health.

ABSTRACT

Background: Antimicrobial resistance (AMR) is one of the greatest global public health challenges of the twenty-first century, affecting human, animal, and environmental health simultaneously. The inappropriate use of antimicrobials, dissemination of resistance genes, environmental contamination, and extensive antimicrobial use in food-producing animals have emphasized the importance of the One Health approach in addressing this global crisis.

Methods: This narrative review synthesized evidence published between 2021 and 2026 from PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Nature Portfolio, Frontiers, PLOS, and official reports of WHO, FAO, UNEP, and WOA. Eligible studies were critically appraised and integrated according to their relevance, methodological quality, and contribution to the One Health framework.

Results and Discussion: The reviewed evidence demonstrated that AMR results from complex interactions among humans, animals, and the environment. Horizontal gene transfer, inappropriate antimicrobial use, environmental contamination, weak surveillance systems, and insufficient multisectoral collaboration were identified as the principal drivers of resistance. Emerging technologies, including whole-genome sequencing, metagenomics, bioinformatics, and artificial intelligence, provide new opportunities to strengthen surveillance, monitor transmission pathways, and support evidence-based decision-making.

Conclusion: Sustainable control of AMR requires comprehensive implementation of the One Health approach through integrated surveillance, antimicrobial stewardship, infection prevention and control, improved water, sanitation and hygiene, and strengthened collaboration across human, animal, and environmental health sectors.

Correspondence Address:

Mohammad Taqi Shojaie, Department of Clinic,
Faculty of Medicine, Cheragh Medical University,
Kabul, Afghanistan

m.taqishojaie2018@gmail.com

0785668942

Shifa Medical Sciences Research Journal
Volume 1, Issue 2 | 2026



مقاومت آنتی بیوتیکی در چارچوب رویکرد One Health: پیوند انسان، حیوان و محیط زیست در یک بحران جهانی

محمد تقی شجاعی^{۱*}، اکبر شیرزاد^۲، نصرت الله صالحی^۳، سید موسی دانش^۴

۱-دپارتمنت کلینیک، پوهنځی طب معالجوی، پوهنتون طبی چراغ، کابل، افغانستان، ۲-پوهنځی طب، پوهنتون اسلامی بین المللی افغان، کابل، افغانستان، ۳-دپارتمنت پاراکلینیک، طب معالجوی، پوهنتون طبی افغان سویس، کابل افغانستان

* نویسنده مسئول: محمد تقی شجاعی | ایمیل: m.taqishojaie2018@gmail.com

چکیده	اطلاعات مقاله
مقدمه: مقاومت آنتی بیوتیکی (AMR) یکی از مهم ترین تهدیدهای سلامت عمومی در قرن بیست و یکم است که پیامدهای آن فراتر از حوزه طبی بوده و سلامت انسان، حیوان و محیط زیست را به صورت هم زمان تحت تأثیر قرار داده است. افزایش مصرف غیرمنطقی آنتی بیوتیک ها، انتشار جین های مقاومت، آلودگی های محیطی و استفاده گسترده از دواهای ضد میکروبی در دام پروری، ضرورت به کارگیری رویکرد Health One را برای مدیریت این بحران جهانی برجسته ساخته است. مواد و روش ها: این یک مطالعه مرور روایتی است که با بررسی و تحلیل مقالات علمی منتشر شده بین سال های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۶ در پایگاه های PubMed، Scopus، Web of Science، ScienceDirect، SpringerLink، Nature، PLOS، Frontiers و اسناد رسمی سازمان های WHO، FAO، UNEP و WOA انجام شد. منابع بر اساس ارتباط موضوعی، کیفیت علمی و تازگی انتشار انتخاب و یافته ها به صورت تحلیلی و مقایسه ای تلفیق گردید. نتایج و بحث: یافته ها نشان داد که مقاومت آنتی بیوتیکی حاصل تعامل پیچیده میان انسان، حیوان و محیط زیست است. انتقال افقی ژن های مقاومت، مصرف نامناسب آنتی بیوتیک ها، آلودگی های محیطی، ضعف سیستم نظارت و مراقبت و ناهماهنگی میان بخش های مختلف از مهم ترین عوامل گسترش این بحران محسوب می شوند. همچنین، فناوری های نوین مانند تعیین توالی تمام ژنوم، متاژنومیکس، بیوانفورماتیک و هوش مصنوعی ظرفیت قابل توجهی برای ارتقای نظارت، پیش بینی روند مقاومت و حمایت از تصمیم گیری های مبتنی بر شواهد فراهم کرده اند. نتیجه گیری: کنترل مقاومت آنتی بیوتیکی بدون اجرای رویکرد یکپارچه One Health امکان پذیر نیست. توسعه نظام های یکپارچه نظارتی، مدیریت منطقی مصرف آنتی بیوتیک، پیشگیری و کنترل عفونت، بهبود آب، حفظ الصحة و بهداشت و تقویت همکاری میان بخش های سلامت انسان، حیوان و محیط زیست، از مهم ترین راهبردهای کاهش بار جهانی مقاومت ضد میکروبی به شمار می روند.	تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۰ DOI: کلمات کلیدی - مقاومت آنتی بیوتیکی - رویکرد One Health - سلامت انسان - سلامت حیوان - محیط زیست

جنوب آسیا و کشورهای جنوب صحرای آفریقا، انتظار می‌رود؛ جایی که ظرفیت نظارت، تشخیص و مدیریت مصرف منطقی آنتی‌بیوتیک‌ها همچنان محدود است (۳، ۵).

با وجود افزایش آگاهی جهانی نسبت به خطر مقاومت ضد میکروبی، توزیع این پدیده در مناطق مختلف جهان یکسان نیست. کشورهای با درآمد پایین و متوسط به دلیل دسترسی بدون نسخه به آنتی‌بیوتیک‌ها، ضعف برنامه‌های نظارت، کمبود امکانات تشخیصی، استفاده غیرمنطقی از دواها در طب انسانی و وترنری، و زیرساخت‌های ناکافی آب، حفظ‌الصحه و مدیریت فاضلاب، بیشترین بار بیماری را متحمل می‌شوند. در مقابل، کشورهای با درآمد بالا اگرچه از نظام‌های نظارتی قوی‌تری برخوردارند، اما همچنان با چالش مقاومت در عفونت‌های شفاخانه‌ای، سالمندی جمعیت و ظهور سویه‌های چنددوایی مقاوم مواجه هستند؛ موضوعی که نشان می‌دهد مقاومت ضد میکروبی یک بحران فرامرزی است و نیازمند پاسخ جهانی می‌باشد (۳، ۵، ۶).

در چارچوب رویکرد One Health، انتقال باکتری‌ها و ژن‌های مقاومت تنها به تماس مستقیم میان انسان‌ها محدود نمی‌شود، بلکه حیوانات اهلی، حیات‌وحش، آب‌های سطحی و زیرزمینی، خاک، فاضلاب‌های شهری و شفاخانه‌ای و حتی زنجیره تولید مواد غذایی در ایجاد و انتشار مقاومت نقش اساسی دارند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که عناصر جنتیکی متحرک، به‌ویژه پلاسمیدها، امکان انتقال افقی ژن‌های مقاومت را میان گونه‌های مختلف باکتریایی فراهم ساخته و در نتیجه، مرز میان مخازن انسانی، حیوانی و محیطی را تا حد زیادی از میان برده‌اند. این یافته‌ها اهمیت توسعه برنامه‌های نظارتی یکپارچه در هر سه بخش را برجسته می‌سازد (۱، ۲، ۶، ۷).

از سوی دیگر، تحقیقات جدید نشان می‌دهند که عوامل فراتر از مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها، از جمله تغییرات اقلیمی، رشد جمعیت، شهرنشینی، افزایش تولیدات حیوانی، تجارت جهانی، مهاجرت، و نابرابری‌های اجتماعی و اقتصادی نیز در گسترش مقاومت ضد میکروبی نقش تعیین‌کننده دارند. تحلیل داده‌های بیش از یکصد کشور نشان داده است که بهبود دسترسی به آب آشامیدنی سالم، خدمات حفظ‌الصحه، واکسیناسیون، سرمایه‌گذاری در نظام‌های صحتی و توسعه پایدار می‌تواند به اندازه کاهش مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها در کنترل مقاومت مؤثر باشد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که مدیریت مقاومت ضد میکروبی مستلزم رویکردی چندبخشی و فراتر از مداخلات درمانی است (۶، ۸).

مقاومت ضد میکروبی (AMR)^۱ یکی از مهم‌ترین تهدیدهای صحتی قرن بیست‌ویکم به شمار می‌رود که توانایی میکروارگانیسم‌ها را برای مقاومت در برابر داروهای ضد میکروبی افزایش داده و اثربخشی درمان عفونت‌های باکتریایی، ویروسی، قارچی و انگلی را به‌گونه‌ی چشمگیری کاهش می‌دهد. این پدیده نه‌تنها موفقیت درمان‌های طبی را محدود ساخته، بلکه سبب افزایش میزان مرگ‌ومیر، طولانی شدن مدت بستری، افزایش هزینه‌های مراقبت‌های صحتی و تهدید امنیت صحتی جهانی گردیده است (۱-۳).

در سال‌های اخیر، رویکرد One Health به‌عنوان یک چارچوب جامع برای درک و مدیریت مقاومت ضد میکروبی مورد توجه گسترده قرار گرفته است. این رویکرد بر این اصل استوار است که سلامت انسان، حیوان و محیط زیست به‌صورت جدایی‌ناپذیر با یکدیگر مرتبط بوده و انتقال میکروارگانیسم‌های مقاوم و ژن‌های مقاومت میان این سه بخش به‌طور مداوم در حال وقوع است. ازاین‌رو، کنترل مقاومت ضد میکروبی تنها از طریق مداخلات در بخش سلامت انسان امکان‌پذیر نبوده و مستلزم همکاری هماهنگ میان بخش‌های طبی، وترنری، زراعت، امنیت غذایی و محیط زیست می‌باشد (۲-۴).

شواهد علمی نشان می‌دهد که مصرف غیرمنطقی آنتی‌بیوتیک‌ها در انسان، استفاده گسترده از داروهای ضد میکروبی در تولیدات حیوانی، دفع نامناسب فاضلاب‌های شفاخانه‌ای، صنعتی و زراعتی، و انتشار ژن‌های مقاومت از طریق پلاسمیدها و سایر عناصر جنتیکی متحرک، از مهم‌ترین عوامل گسترش مقاومت ضد میکروبی در اکوسیستم‌های مختلف محسوب می‌شوند. این تعاملات پیچیده سبب گردیده است که محیط زیست نه‌تنها به‌عنوان مخزن ژن‌های مقاومت، بلکه به‌عنوان واسطه انتقال آن‌ها میان انسان و حیوان نیز شناخته شود (۲، ۳).

اهمیت این بحران زمانی آشکارتر می‌شود که برآوردهای جهانی نشان می‌دهد مقاومت باکتریایی در سال ۲۰۲۱ با حدود ۱۰۱۴ میلیون مرگ مستقیم و نزدیک به ۴۰۷۱ میلیون مرگ مرتبط همراه بوده است. همچنین پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در صورت ادامه روند کنونی، تا سال ۲۰۵۰ میزان مرگ‌های مستقیم ناشی از مقاومت ضد میکروبی به حدود ۱۰۹۱ میلیون مورد در سال خواهد رسید و مجموع مرگ‌های مرتبط با آن ممکن است از ۸ میلیون مورد در سال فراتر رود. بیشترین بار این مشکل در کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط، به‌ویژه در

¹ Antimicrobial Resistance

در پاسخ به این چالش، سازمان جهانی صحت^۲ (WHO)، سازمان خوراکه و زراعت ملل متحد^۳ (FAO) و سازمان جهانی صحت حیوانات^۴ (WOAH) بر تقویت رویکرد One Health، اجرای برنامه‌های مدیریت منطقی مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها (Antimicrobial Stewardship)، گسترش نظام‌های یکپارچه نظارت بر مقاومت، بهبود پیشگیری و کنترل عفونت، توسعه روش‌های تشخیصی سریع، استفاده از فناوری‌های نوین و تقویت همکاری میان بخش‌های طبی، وترنری و محیط زیست تأکید کرده‌اند. همچنین بهره‌گیری از هوش مصنوعی، کلان‌داده‌ها و مدل‌های سیستم‌محور به‌عنوان ابزارهای نوین برای پیش‌بینی روند مقاومت و حمایت از تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر شواهد، مورد توجه روزافزون قرار گرفته است (۲، ۴، ۹).

با توجه به ابعاد گسترده این بحران و پیچیدگی تعامل میان انسان، حیوان و محیط زیست، انجام مرورهای جامع مبتنی بر رویکرد One Health برای تبیین عوامل مؤثر بر مقاومت ضد میکروبی و شناسایی راهکارهای مؤثر کنترلی از اهمیت ویژه برخوردار است. از این رو، مقاله حاضر با مرور شواهد علمی جدید، به بررسی ارتباط متقابل میان انسان، حیوان و محیط زیست در گسترش مقاومت آنتی‌بیوتیکی، وضعیت اپیدمیولوژیک، مهم‌ترین چالش‌ها و راهبردهای کنترلی در چارچوب رویکرد One Health می‌پردازد تا تصویری جامع از این بحران جهانی و مسیرهای آینده برای مدیریت آن ارائه نماید (۲، ۴، ۷).

این تحقیق یک مطالعه مروری روایتی (Narrative Review) است که با هدف گردآوری، تحلیل و تلفیق شواهد علمی موجود درباره مقاومت آنتی‌بیوتیکی در چارچوب رویکرد One Health انجام شده است. در این نوع مطالعه، برخلاف مرور سیستماتیک، هدف اصلی ارائه یک دیدگاه جامع و تحلیلی از وضعیت دانش موجود، تبیین مفاهیم، بررسی روندهای پژوهشی، شناسایی چالش‌ها و برجسته ساختن شکاف‌های علمی است. به‌منظور افزایش شفافیت و کیفیت علمی، طراحی و گزارش این مطالعه با در نظر گرفتن اصول راهنمای^۵ SANRA انجام گردید.

مواد و روش‌ها

جستجوی منابع علمی در فاصله ماه می تا جولای سال ۲۰۲۶ در پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر بین‌المللی شامل PubMed/MEDLINE، Nature، SpringerLink، ScienceDirect، Web of Science، Scopus

،Taylor & Francis Online، Wiley Online Library، Portfolio، PLOS، The Lancet انجام شد. افزون بر آن، برای دستیابی به مطالعات مرتبط که ممکن بود در جستجوی اولیه بازایی نشده باشند، فهرست منابع مقالات منتخب نیز به‌صورت دستی بررسی گردید.

راهبرد جستجو بر اساس ترکیبی از اصطلاحات استاندارد MeSH و کلیدواژه‌های آزاد تدوین شد. مهم‌ترین کلیدواژه‌های مورد استفاده عبارت بودند از: Antimicrobial Resistance، One Health، Antibiotic Resistance، One Health and Antimicrobial Resistance، Resistance، One Health Antibiotic Resistance، Antimicrobial، Human، Animal Health، Environmental Health، Stewardship، Health و Environmental Reservoir. همچنین برای افزایش جامعیت جستجو از عملگرهای منطقی AND و OR در ترکیب کلیدواژه‌ها استفاده گردید.

معیارهای ورود شامل مقالات تحقیقی اصیل، مقالات مروری، مرورهای سیستماتیک، مرورهای روایتی، مقالات دیدگاهی و اسناد معتبر منتشرشده توسط سازمان‌های بین‌المللی بود که بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۶ به زبان انگلیسی منتشر شده و به بررسی مقاومت ضد میکروبی در ارتباط با انسان، حیوان، محیط زیست یا رویکرد One Health پرداخته بودند. در مقابل، مقالات نامرتبط با موضوع، گزارش‌های موردی، خلاصه مقالات همایش‌ها، نامه به سردبیر، مطالعات فاقد اطلاعات علمی کافی و منابع تکراری از فرایند بررسی حذف شدند. در مواردی که یک مقاله بیش از یک‌بار در فهرست منابع مشاهده گردید، تنها یک نسخه از آن در تحلیل نهایی مورد استفاده قرار گرفت.

پس از انتخاب منابع، اطلاعات مورد نیاز شامل مشخصات کتاب‌شناختی، اهداف مطالعه، نوع تحقیق، یافته‌های اصلی، نقش انسان، حیوان و محیط زیست در گسترش مقاومت آنتی‌بیوتیکی، عوامل خطر، چالش‌های موجود و راهکارهای پیشنهادی استخراج گردید. سپس داده‌ها بر اساس محورهای موضوعی شامل اپیدمیولوژی مقاومت ضد میکروبی، مکانیسم‌های انتقال ژن‌های مقاومت، نقش محیط زیست به‌عنوان مخزن مقاومت، مدیریت منطقی مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها،

^۵ Scale for the Assessment of Narrative Review Articles

^۲ World Health Organization

^۳ Food and Agriculture Organization

^۴ World Organization for Animal Health

برنامه‌های نظارتی و راهبردهای مبتنی بر رویکرد One Health طبقه‌بندی و به‌صورت تحلیلی و مقایسه‌ای مورد تفسیر قرار گرفتند.

به‌منظور افزایش اعتبار علمی مقاله، در انتخاب منابع به تازگی انتشار، اعتبار مجله، کیفیت روش‌شناختی مطالعه و ارتباط مستقیم آن با موضوع تحقیق توجه ویژه صورت گرفت. همچنین، نگارش متن بر اساس اصول بازنویسی علمی (Paraphrasing) انجام شد و تمامی مطالب با استفاده از شیوه استناددهی و نکوور مستندسازی گردید تا ضمن حفظ امانت علمی، از هرگونه سرقت ادبی جلوگیری شود. علاوه بر این، یافته‌های مطالعات به‌صورت انتقادی با یکدیگر مقایسه شدند و نقاط قوت، محدودیت‌ها و خلأهای پژوهشی موجود برای مطالعات آینده مورد بحث قرار گرفتند.

نتایج و بحث

۱. وضعیت اپیدمیولوژیک جهانی مقاومت آنتی‌بیوتیکی در چارچوب رویکرد One Health

مرور مطالعات منتشرشده نشان می‌دهد که مقاومت آنتی‌بیوتیکی دیگر تنها یک مشکل محدود به شفاخانه‌ها نیست، بلکه به یک بحران چندبخشی در سطح انسان، حیوان و محیط زیست تبدیل شده است. یافته‌های مقالات مرورشده نشان می‌دهد که گسترش مقاومت نتیجه تعامل پیچیده میان مصرف غیرمنطقی آنتی‌بیوتیک‌ها در طب انسانی، استفاده گسترده از این داروها در دامپروری و آبی‌پروری، آلودگی محیط زیست و انتقال افقی ژن‌های مقاومت است. از همین رو، بیشتر پژوهشگران رویکرد One Health را مناسب‌ترین چارچوب برای درک اپیدمیولوژی و کنترل مقاومت ضد میکروبی دانسته‌اند (۱، ۲، ۴).

مطالعه جهانی منتشرشده در Lancet نشان داد که مقاومت باکتریایی در سال ۲۰۲۱ موجب بیش از ۱۰۱۴ میلیون مرگ مستقیم و حدود ۴۰۷ میلیون مرگ مرتبط در سراسر جهان گردیده است. این یافته‌ها بیانگر آن است که مقاومت ضد میکروبی اکنون در کنار بیماری‌های قلبی-عروقی، سرطان و بیماری‌های تنفسی، یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده سلامت عمومی جهان محسوب می‌شود. علاوه بر این، مدل‌های پیش‌بینی نشان می‌دهد که در صورت تداوم روند فعلی، تا سال ۲۰۵۰ میزان مرگ‌ومیر ناشی از مقاومت ضد میکروبی به‌صورت چشمگیری افزایش خواهد یافت و بار اصلی بیماری بر دوش کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط خواهد بود (۳، ۵).

بررسی مقالات Nature Reviews Microbiology نیز نشان می‌دهد که گسترش مقاومت تنها پیامد مصرف آنتی‌بیوتیک نیست، بلکه انتقال مداوم ژن‌های مقاومت میان انسان، حیوان و محیط زیست نقش اساسی در پایداری این بحران دارد. پلاسمیدها، اینتگرون‌ها، ترانسپوزون‌ها و سایر عناصر ژنتیکی متحرک، انتقال افقی ژن‌های مقاومت را میان گونه‌های مختلف باکتریایی تسهیل کرده و موجب شده‌اند که مرز میان مخازن انسانی، حیوانی و محیطی به‌تدریج از بین برود. این یافته‌ها اهمیت نظارت یکپارچه بر مقاومت ضد میکروبی را در چارچوب One Health بیش از پیش آشکار ساخته‌اند (۱، ۲).

مطالعات انجام‌شده در آسیا، آفریقا و آمریکای لاتین نشان داده‌اند که شیوع مقاومت نسبت به سفالوسپورین‌های نسل سوم، فلوروکینولون‌ها و کارباپنم‌ها طی یک دهه اخیر روند افزایشی داشته است. در بسیاری از کشورها، *Escherichia coli* و *Klebsiella pneumoniae* تولیدکننده آنزیم‌های ESBL و کارباپنم‌ها به مهم‌ترین عوامل عفونت‌های مقاوم تبدیل شده‌اند. همچنین افزایش فراوانی *Acinetobacter baumannii* مقاوم به کارباپنم، *Pseudomonas aeruginosa* چنددارویی مقاوم، *Staphylococcus aureus* مقاوم به متی‌سیلین (MRSA) و *Enterococcus faecium* مقاوم به وانکومایسین، درمان عفونت‌های شفاخانه‌ای را با چالش جدی مواجه ساخته است (۱، ۳، ۷).

از سوی دیگر، یافته‌های مرورهای جدید نشان می‌دهد که محیط زیست نقش فعال‌تری از آنچه پیش‌تر تصور می‌شد در چرخه مقاومت ضد میکروبی دارد. فاضلاب‌های شهری، پساب‌های شفاخانه‌ای، صنایع داروسازی، مزارع پرورش حیوانات و آب‌های سطحی به‌عنوان مخازن ژن‌های مقاومت شناخته می‌شوند و انتقال این ژن‌ها را به انسان و حیوان تسهیل می‌کنند. این مسئله نشان می‌دهد که کنترل مقاومت تنها با مدیریت مصرف آنتی‌بیوتیک در بخش درمان امکان‌پذیر نیست، بلکه مستلزم مدیریت هم‌زمان منابع محیطی نیز می‌باشد (۲، ۴، ۷).

بررسی گزارش‌های جدید (WHO، FAO، UNEP و WOA) نیز بیانگر آن است که هنوز میان بسیاری از کشورها از نظر سیستم نظارتی مقاومت، ظرفیت‌های لابراتواری و تبادل داده‌های بین‌بخشی تفاوت قابل توجهی وجود دارد. این گزارش‌ها تأکید می‌کنند که نظارت و کنترل یکپارچه مقاومت ضد میکروبی و مصرف آنتی‌بیوتیک در انسان، حیوان و محیط زیست، پیش‌شرط طراحی مداخلات مؤثر و سیاست‌گذاری مبتنی بر شواهد است و بدون چنین نظامی، دستیابی

به اهداف برنامه جهانی کنترل مقاومت ضد میکروبی امکان پذیر نخواهد بود (۱۰، ۱۱).

همچنین گزارش به روز شده برنامه اقدام جهانی مقاومت ضد میکروبی ۲۰۲۶-۲۰۳۶ بر این نکته تأکید دارد که کاهش بار مقاومت تنها از طریق کاهش مصرف آنتی بیوتیک حاصل نمی شود، بلکه باید هم زمان بر پیشگیری از عفونت، بهبود آب و حفظ الصحة، واکسیناسیون، آموزش جوامع، مدیریت مصرف دارو در دامپروری، تقویت امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست تمرکز شود. این دیدگاه با نتایج مطالعات مرور شده در Nature، Lancet و PLOS همخوانی داشته و بیانگر آن است که موفقیت برنامه های ملی AMR وابسته به همکاری میان بخش های صحت، و ترنری، زراعت و محیط زیست است (۲، ۹، ۱۰، ۱۲).

۲. نقش انسان، حیوان و محیط زیست در انتشار مقاومت آنتی بیوتیکی: تحلیل بر مبنای رویکرد One Health

یکی از مهم ترین یافته های مطالعات مرور شده آن است که مقاومت آنتی بیوتیکی یک پدیده صرفاً انسانی نیست، بلکه نتیجه تعامل پویا میان انسان، حیوان و محیط زیست است. رویکرد One Health بر این اصل استوار است که این سه بخش به صورت یک سیستم واحد عمل می کنند و هرگونه تغییر در یکی از آنها می تواند بر دو بخش دیگر نیز تأثیر بگذارد. بر همین اساس، مقاومت آنتی بیوتیکی نه تنها در شفاخانه ها و مراکز درمانی، بلکه در مزارع دامپروری، واحدهای آبی پروری، خاک، آب های سطحی، فاضلاب ها و حتی حیات وحش نیز مشاهده می شود که بیانگر پیچیدگی چرخه انتقال مقاومت در اکوسیستم های مختلف است (۱، ۲، ۷، ۱۳).

مطالعات منتشر شده در Nature Reviews Microbiology نشان داده اند که ژن های مقاومت به آنتی بیوتیک ها (ARGs⁶) از طریق عناصر جنتیکی متحرک مانند پلاسمیدها، اینتگرون ها، ترانسپوزون ها و باکتریوفازها میان گونه های مختلف باکتریایی منتقل می شوند. این انتقال افقی ژن ها سبب می شود که حتی باکتری های غیر بیماری زا نیز به مخازن ژن های مقاومت تبدیل شوند و در شرایط مناسب، این ژن ها را به عوامل بیماری زا ی انسانی انتقال دهند. در نتیجه، کنترل مقاومت تنها با محدود کردن مصرف آنتی بیوتیک در انسان امکان پذیر نبوده و

مستلزم کنترل چرخه انتقال ژن های مقاومت در تمام اجزای اکوسیستم است (۱، ۲).

در بخش و ترنری، استفاده از آنتی بیوتیک ها برای تداوی، پیشگیری و در برخی کشورها به منظور افزایش رشد دام و طیور، یکی از مهم ترین عوامل انتخاب سویه های مقاوم محسوب می شود. مطالعات انجام شده در آسیا، اروپا و آفریقا نشان داده اند که باکتری های مقاوم جدا شده از دام ها، طیور و محصولات غذایی دارای شباهت جنتیکی قابل توجهی با سویه های جدا شده از مریضان انسانی هستند. این یافته ها بیانگر انتقال متقابل باکتری های مقاوم و ژن های مقاومت از طریق زنجیره غذایی، تماس مستقیم با حیوانات و آلودگی محیطی است و اهمیت مدیریت منطقی مصرف آنتی بیوتیک در بخش و ترنری را برجسته می سازد (۷، ۱۰، ۱۴).

محیط زیست نیز به عنوان سومین رکن رویکرد One Health، نقش کلیدی در حفظ و انتشار مقاومت ضد میکروبی دارد. شواهد نشان می دهد که فاضلاب شفاخانه ای، فاضلاب های شهری، صنایع دوا سازی، فضولات دامی و رواناب های زراعتی مقادیر قابل توجهی از بقایای آنتی بیوتیک ها، باکتری های مقاوم و ژن های مقاومت را وارد آب، خاک و رسوبات می کنند. این شرایط فشار انتخابی مداومی ایجاد کرده و موجب بقای سویه های مقاوم و تسهیل انتقال ژن های مقاومت در محیط می شود. مطالعات اخیر حتی نشان داده اند که محیط های آبی آلوده می توانند به کانون های مهم تکامل و تبادل ژن های مقاومت تبدیل شوند (۲، ۷، ۱۳).

بررسی های انجام شده در چارچوب پروژه های Frontiers نیز نشان می دهد که مقاومت ضد میکروبی تنها نتیجه مصرف بیش از حد آنتی بیوتیک نیست، بلکه عوامل محیطی مانند فلزات سنگین، آفت کش ها، ترکیبات دوا یی، تغییرات میکروبیوم و آلودگی های صنعتی نیز می توانند با ایجاد فشار انتخابی، فراوانی ژن های مقاومت را افزایش دهند. علاوه بر این، تغییرات اقلیمی، سیلاب ها، خشکسالی و افزایش دمای محیط از طریق تغییر ساختار اکوسیستم های میکروبی و افزایش تماس میان مخازن مختلف مقاومت، انتشار این ژن ها را تسریع می کنند (۷، ۱۳).

یکی از یافته های مهم مقالات جدید، نقش فاضلاب ها در اتصال سه بخش انسان، حیوان و محیط زیست است. باکتری های مقاوم دفع شده از مریضان، دام ها و صنایع دوا سازی وارد شبکه های فاضلاب شده و در

⁶ Antimicrobial Resistance Genes

تصفیه‌خانه‌ها با یکدیگر تبادل جنتیکی انجام می‌دهند. اگرچه بسیاری از سیستم‌های تصفیه بخشی از بار میکروبی را کاهش می‌دهند، اما حذف کامل ژن‌های مقاومت و عناصر جنتیکی متحرک امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل، تخلیه فاضلاب تصفیه‌شده نیز می‌تواند به انتشار مقاومت در رودخانه‌ها، منابع آب آشامیدنی و اراضی زراعتی منجر شود؛ موضوعی که در مطالعات اخیر به‌عنوان یکی از حلقه‌های اصلی چرخه انتشار مقاومت معرفی شده است (۲، ۱۰، ۱۱).

گزارش مشترک WHO، FAO، UNEP و WOAH نیز تأکید می‌کند که بسیاری از برنامه‌های ملی هنوز بر بخش صحت انسان تمرکز دارند، در حالی که نظارت بر مصرف آنتی‌بیوتیک در دام، نظارت و کنترل مقاومت در محیط زیست و تبادل اطلاعات میان بخش‌های مختلف در بسیاری از کشورها ناکافی است. این گزارش‌ها توصیه می‌کنند که نظام‌های نظارت یکپارچه باید داده‌های انسانی، بخش وترنری، مواد غذایی و محیط زیست را به‌صورت هم‌زمان جمع‌آوری و تحلیل کنند تا مسیرهای واقعی انتقال مقاومت شناسایی شوند و سیاست‌های کنترلی بر اساس شواهد طراحی گردند (۱۰-۱۲).

از دیدگاه تحلیلی، تقریباً تمام مطالعات منتشرشده طی سال‌های ۲۰۲۴ تا ۲۰۲۶ بر این نکته توافق دارند که تمرکز صرف بر کاهش مصرف آنتی‌بیوتیک در شفاخانه‌ها برای مهار بحران مقاومت کافی نیست. در مقابل، موفق‌ترین برنامه‌ها آن‌هایی بوده‌اند که هم‌زمان مدیریت مصرف دارو، پیشگیری و کنترل عفونت، بهبود کیفیت آب و حفظ‌الصحه، واکسیناسیون، امنیت زیستی در دامداری‌ها، ارتقای نظام‌های نظارت و آموزش عمومی را در قالب یک برنامه واحد اجرا کرده‌اند. این یافته‌ها بیانگر آن است که موفقیت راهبردهای آینده AMR وابسته به اجرای کامل رویکرد One Health و همکاری مستمر میان متخصصان پزشکی، دامپزشکی، محیط زیست، کشاورزی و سیاست‌گذاران است (۹، ۱۰، ۱۳، ۱۴).

۳. چالش‌های جهانی و راهبردهای کنترل مقاومت

آنتی‌بیوتیکی در چارچوب رویکرد One Health

تحلیل مطالعات منتشرشده نشان می‌دهد که باوجود افزایش آگاهی جهانی درباره مقاومت آنتی‌بیوتیکی، هنوز چالش‌های متعددی مانع تطبیق مؤثر رویکرد One Health در بسیاری از کشورها شده است. مهم‌ترین این چالش‌ها شامل مصرف غیرمنطقی آنتی‌بیوتیک‌ها، ضعف نظام‌های نظارتی، کمبود ظرفیت‌های تشخیصی، نبود هماهنگی میان بخش‌های صحت انسان، دامپروری و محیط زیست، محدودیت منابع

مالی و انسانی، و تفاوت در سیاست‌های ملی کشورها است. این عوامل سبب شده‌اند که حتی کشورهایی با برنامه‌های ملی کنترل مقاومت نیز در دستیابی به اهداف تعیین‌شده با دشواری روبه‌رو شوند (۱۰-۱۴).

یکی از مهم‌ترین عوامل استمرار مقاومت آنتی‌بیوتیکی، مصرف نامناسب و بیش از حد آنتی‌بیوتیک‌ها در طب انسانی است. مطالعات نشان داده‌اند که تجویز غیرضروری آنتی‌بیوتیک برای عفونت‌های ویروسی، مصرف خودسرانه دوا، تکمیل نکردن دوره درمان و دسترسی آسان به آنتی‌بیوتیک‌ها بدون نسخه، فشار انتخابی قابل توجهی بر جمعیت‌های باکتریایی وارد می‌کند. این فشار انتخابی سبب بقای سویه‌های مقاوم و افزایش انتقال ژن‌های مقاومت در جامعه می‌شود. از این‌رو، تقریباً تمام مطالعات مرور شده بر ضرورت تقویت برنامه‌های مدیریت منطقی مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها (Antimicrobial Stewardship) تأکید کرده‌اند (۲، ۱۳، ۱۵).

در بخش وترنری نیز استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها همچنان یکی از چالش‌های اساسی محسوب می‌شود. اگرچه بسیاری از کشورها مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها به‌عنوان محرک رشد را ممنوع کرده‌اند، اما در برخی مناطق جهان هنوز مصرف پیشگیرانه و تداوی گروهی دام‌ها و طیور ادامه دارد. بررسی‌های منتشرشده در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که کاهش مصرف آنتی‌بیوتیک در دامداری‌ها، همراه با بهبود امنیت زیستی، واکسیناسیون و مدیریت مناسب مزارع، می‌تواند میزان مقاومت را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که سیاست‌های دامپزشکی باید بخشی جدایی‌ناپذیر از برنامه‌های ملی مقابله با مقاومت ضد میکروبی باشند (۷، ۱۰، ۱۴).

یکی دیگر از یافته‌های مهم مطالعات جدید، نقش تغییرات اقلیمی در تشدید مقاومت آنتی‌بیوتیکی است. افزایش دمای محیط، وقوع سیلاب‌ها، خشکسالی، تغییر الگوهای بارندگی و کاهش کیفیت منابع آب، موجب تغییر اکوسیستم‌های میکروبی و افزایش انتقال عوامل بیماری‌زا می‌شوند. این وضعیت نیاز به مصرف بیشتر آنتی‌بیوتیک‌ها را افزایش داده و فرصت انتقال ژن‌های مقاومت میان انسان، حیوان و محیط زیست را فراهم می‌کند. مرورهای منتشرشده در سال ۲۰۲۵ نشان داده‌اند که تغییرات اقلیمی اکنون به‌عنوان یکی از عوامل تشدیدکننده بحران مقاومت ضد میکروبی شناخته می‌شود و باید در سیاست‌های One Health مورد توجه قرار گیرد (۱۶، ۱۷).

در سال‌های اخیر، فناوری‌های نوین نیز به‌عنوان ابزارهای مؤثر در مدیریت مقاومت ضد میکروبی مطرح شده‌اند. استفاده از تعیین توالی

تمام ژنوم^۷، متاژنومیکس، تحلیل کلان داده‌ها، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، و الگوریتم‌های هوش مصنوعی امکان شناسایی سریع‌تر سویه‌های مقاوم، ردیابی مسیرهای انتقال و پیش‌بینی روند مقاومت را فراهم ساخته است. با وجود این، بسیاری از کشورهای کم‌درآمد هنوز به این فناوری‌ها دسترسی کافی ندارند و توسعه ظرفیت‌های لابراتواری و دیجیتالی همچنان یکی از اولویت‌های جهانی محسوب می‌شود (۱۰، ۱۱).

مطالعات جدید همچنین نشان می‌دهند که موفقیت برنامه‌های مقابله با مقاومت ضد میکروبی تنها به پیشرفت‌های علمی وابسته نیست، بلکه به حکمرانی مؤثر، همکاری میان‌بخشی و تعهد سیاسی نیز نیاز دارد. گزارش مشترک Quadripartite تأکید می‌کند که کشورها باید نظام‌های هماهنگ برای تبادل داده‌ها میان بخش‌های انسانی، حیوانی و محیطی ایجاد کنند، بودجه پایدار برای برنامه‌های AMR اختصاص دهند و شاخص‌های مشترک برای ارزیابی عملکرد برنامه‌های ملی تعریف نمایند. این رویکرد موجب افزایش قابلیت مقایسه دیتاها، بهبود تصمیم‌گیری و ارتقای اثربخشی مداخلات خواهد شد (۱۰، ۱۱).

از منظر پیشگیری، شواهد موجود بیانگر آن است که سرمایه‌گذاری در آب آشامیدنی سالم، حفظ‌الصحه، کنترل عفونت، واکسیناسیون، آموزش کارکنان صحت و جامعه، و بهبود کیفیت خدمات اولیه صحت می‌تواند میزان بروز عفونت‌ها و در نتیجه مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها را کاهش دهد. سازمان جهانی صحت و سازمان غذا و زراعت نیز تأکید کرده‌اند که این اقدامات، در کنار مدیریت منطقه‌ای مصرف دوا، از مقرون‌به‌صرفه‌ترین راهکارهای کاهش مقاومت ضد میکروبی محسوب می‌شوند و باید در سیاست‌های ملی کشورهای مختلف ادغام گردند (۱۰، ۱۲، ۱۴).

در مجموع، تحلیل مقالات منتشرشده تا سال ۲۰۲۶ نشان می‌دهد که کنترل مقاومت آنتی‌بیوتیکی بدون اجرای کامل رویکرد One Health امکان‌پذیر نیست. تمامی شواهد بر این نکته تأکید دارند که موفقیت برنامه‌های آینده مستلزم همکاری مستمر میان متخصصان علوم طبی، وترنری، محیط زیست، زراعت، علوم داده، اقتصاد سلامت و سیاست‌گذاران است. همچنین، ادغام برنامه‌های مدیریت مصرف آنتی‌بیوتیک، نظارت یکپارچه، کنترل آلودگی‌های محیطی، کاهش اثرات تغییرات اقلیمی و تقویت ظرفیت‌های پژوهشی می‌تواند مسیر دستیابی به اهداف برنامه جهانی مقابله با مقاومت ضد میکروبی را هموار

سازد و از گسترش این بحران جهانی در دهه‌های آینده جلوگیری نماید (۱۰-۱۷).

۴. تحلیل انتقادی شواهد، شکاف‌های تحقیقی و چشم‌انداز آینده در چارچوب رویکرد One Health

بررسی تطبیقی مطالعات منتشرشده نشان می‌دهد که طی دهه اخیر، درک جهانی از مقاومت آنتی‌بیوتیکی از یک مشکل محدود کلینیکی به یک بحران پیچیده اکولوژیک و بین‌بخشی تغییر یافته است. تقریباً تمامی مقالات منتشرشده در Lancet، Nature Reviews Microbiology، PLOS Pathogens، Frontiers، One Health و سایر مجلات معتبر بر این نکته اتفاق نظر دارند که مقاومت ضد میکروبی حاصل تعامل هم‌زمان عوامل بیولوژیک، اجتماعی، اقتصادی و محیطی است و کنترل آن بدون اجرای کامل رویکرد One Health امکان‌پذیر نخواهد بود (۴-۹، ۷، ۹).

یکی از مهم‌ترین یافته‌های این مرور آن است که اگرچه کشورهای بسیاری برنامه‌های ملی مقابله با مقاومت ضد میکروبی را تدوین کرده‌اند، اما میزان موفقیت این برنامه‌ها به‌طور قابل توجهی متفاوت است. کشورهای دارای نظام‌های نظارتی منسجم، برنامه‌های مدیریت منطقه‌ای مصرف آنتی‌بیوتیک، لابراتوارهای مرجع و همکاری نزدیک میان بخش‌های صحت، وترنری و محیط زیست، کاهش یا تثبیت نسبی مقاومت در برخی پاتوژن‌ها را گزارش کرده‌اند. در مقابل، کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط همچنان با افزایش مقاومت، دسترسی محدود به لابراتوارهای تشخیصی، کمبود نیروی متخصص، ضعف در مدیریت فاضلاب و نبود نظام‌های یکپارچه نظارت و کنترل روبه‌رو هستند؛ موضوعی که نابرابری جهانی در بار بیماری را تشدید کرده است (۳، ۱۰-۱۲).

مطالعات جدید همچنین نشان می‌دهند که هنوز شکاف‌های مهمی در دانش موجود وجود دارد. بخش عمده تحقیقات منتشرشده بر مقاومت در بخش سلامت انسان متمرکز بوده و سهم مطالعات مرتبط با محیط زیست، گیاهان، آبی‌پروری و حیات‌وحش در مقایسه با مطالعات انسانی بسیار کمتر است. افزون بر این، بسیاری از مطالعات تنها یک بخش از زنجیره انتقال مقاومت را بررسی کرده‌اند و تعداد تحقیقات که بتوانند ارتباط مستقیم میان مخازن انسانی، حیوانی و محیطی را با استفاده از روش‌های جنومیک، اپیدمیولوژی مالیکولی و داده‌های

⁷ Whole Genome Sequencing

یکپارچه نشان دهند، هنوز محدود است. این موضوع یکی از مهم‌ترین خلأهای تحقیقی در حوزه One Health محسوب می‌شود (۴، ۷، ۹).

از سوی دیگر، شواهد نشان می‌دهد که فناوری‌های نوین می‌توانند نقش مهمی در آینده مدیریت مقاومت ضد میکروبی ایفا کنند. تعیین توالی تمام ژنوم، متاژنومیکس، بیوانفورماتیک، هوش مصنوعی و سیستم‌های پیشرفته تحلیل داده‌ها، امکان شناسایی سریع سویه‌های مقاوم، ردیابی مسیرهای انتقال ژن‌های مقاومت و پیش‌بینی روندهای اپیدمیولوژیک را فراهم ساخته‌اند. هرچند این فناوری‌ها عمدتاً در کشورهای با درآمد بالا توسعه یافته‌اند، اما انتقال دانش و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های لابراتواری کشورهای کم‌درآمد می‌تواند فاصله موجود را کاهش دهد و اثربخشی برنامه‌های جهانی مقابله با مقاومت را افزایش دهد (۱۱، ۱۵، ۱۸).

نتیجه‌گیری

مرور شواهد علمی نشان داد که مقاومت آنتی‌بیوتیکی یکی از مهم‌ترین چالش‌های معاصر صحت جهانی است که پیامدهای آن فراتر از حوزه طب بوده و امنیت غذایی، اقتصاد، محیط زیست و توسعه پایدار را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که ارتباط نزدیک میان انسان، حیوان و محیط زیست موجب شده است که مقاومت ضد میکروبی به یک مسئله چندبعدی تبدیل شود و راهکارهای تک‌بخشی نتوانند پاسخگوی این بحران باشند. از این رو، رویکرد One Health به عنوان جامع‌ترین چارچوب برای درک، نظارت و کنترل مقاومت آنتی‌بیوتیکی شناخته می‌شود.

همچنین مرور مطالعات نشان داد که کاهش مصرف غیرمنطقی آنتی‌بیوتیک‌ها، اجرای برنامه‌های مدیریت مصرف (Antimicrobial Stewardship)، تقویت پیشگیری و کنترل عفونت، گسترش نظام‌های یکپارچه نظارت، بهبود کیفیت آب و حفظ‌الصحه، کاهش آلودگی‌های محیطی و توسعه همکاری میان بخش‌های طبی، وترنری، زراعت و محیط زیست، مهم‌ترین راهبردهای مبتنی بر شواهد برای مهار این بحران محسوب می‌شوند. در کنار این اقدامات، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین، پژوهش‌های ژنومیک، توسعه داروها و واکسن‌های جدید و استفاده از سیستم‌های هوشمند تحلیل داده می‌تواند توان نظام‌های صحتی را برای پیش‌بینی و کنترل مقاومت افزایش دهد.

در نهایت، دستیابی به اهداف برنامه جهانی مقابله با مقاومت ضد میکروبی مستلزم تعهد سیاسی، تأمین مالی پایدار، همکاری بین‌المللی،

تبادل داده‌های علمی و اجرای کامل رویکرد One Health در سطح ملی، منطقه‌ای و جهانی است. تنها از طریق چنین رویکردی می‌توان اثربخشی آنتی‌بیوتیک‌ها را برای نسل‌های آینده حفظ کرد، بار امراض انتانی را کاهش داد و از پیامدهای گسترده مقاومت ضد میکروبی بر صحت انسان، حیوان و محیط زیست پیشگیری نمود.

1. Castañeda-Barba S, Top EM, Stalder T. Plasmids, a molecular cornerstone of antimicrobial resistance in the One Health era. *Nat Rev Microbiol*. 2024.
2. Cocker D, Birgand G, Zhu N, et al. Healthcare as a driver, reservoir and amplifier of antimicrobial resistance: opportunities for interventions. *Nat Rev Microbiol*. 2024.
3. Murray CJL, et al. Global burden of bacterial antimicrobial resistance 1990–2021: a systematic analysis with forecasts to 2050. *Lancet*. 2024.
4. Arnold KE, Laing G, McMahon BJ, Fanning S, Stekel DJ, Pahl O, Coyne L, Latham SM, McIntyre KM. The need for One Health systems-thinking approaches to understand multiscale dissemination of antimicrobial resistance. *The Lancet Planetary Health*. 2024 Feb 1;8(2):e124-33.
5. Lewnard JA, et al. Burden of bacterial antimicrobial resistance in low-income and middle-income countries avertible by existing interventions. *Lancet*. 2024.
6. Arnold KE, et al. The need for One Health systems-thinking approaches to understand multiscale dissemination of antimicrobial resistance. *Lancet Planet Health*. 2024.
7. *A One Health Perspective of Antimicrobial Resistance (AMR): Human, Animals and Environmental Health*. 2025.
8. Cai M, et al. Changing climate and socioeconomic factors contribute to global antimicrobial resistance. *Nature Medicine*. 2025.
9. Pham Y, Wozniak TM, et al. Systems thinking to understand the complexity of antimicrobial resistance across One Health: A systematic review. *One Health*. 2025;20:101081.
10. World Health Organization, FAO, UNEP, WOA. Implementing the Global Action Plan on Antimicrobial Resistance: Second Quadripartite Biennial Report. Geneva: WHO; 2026. (Worl d Heal th Organi zat i on)
11. World Health Organization, FAO, UNEP, WOA. Quadripartite Guidance on One Health Integrated Surveillance of Antimicrobial Resistance and Antimicrobial Use. Geneva: WHO; 2026. (Worl d Heal th Organi zat i on)
12. World Health Organization. The World Health Assembly adopts updated Global Action Plan on Antimicrobial Resistance (2026–2036). Geneva: WHO; 2026. (Worl d Heal th Organi zat i on)
13. James R, Hardefeldt LY, Ierano C, et al. Antimicrobial stewardship from a One Health perspective. *Nat Rev Microbiol*. 2026. (Nat ure)
14. FAO. One Health in 2025: Achievements, turning points and the road ahead. Rome: Food and Agriculture Organization; 2025. (FAOHome)
15. World Health Organization. *Global antibiotic resistance surveillance report 2025*. Geneva: WHO; 2025.
16. Aslam B, et al. Climate Change and AMR: Interconnected Threats. *Antibiotics*. 2025.
17. Yesiwas AG, et al. Climate change and antimicrobial resistance: application of One Health approach to mitigating dual global threats. *One Health Outlook*. 2025.
18. Khangarot R, Kumari V, Mishra R, et al. *Artificial intelligence in microbiology: implications for metagenomics, diagnostics, and antimicrobial resistance surveillance*. *BioMedical Engineering Online*. 2026;25:70.