

Policy Brief: Integrated Management of Antibiotic Residues in the Food Chain; Challenges, Solutions, and Implementation Priorities

Pourya Gholizadeh*^{1,2}, Mohsen Arzanlou^{2,3}

1-Digestive Disease Research Center, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran.

2-Zoonoses Research Center, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran.

3-Department of Microbiology, School of Medicine, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran

* *Corresponding author.* Tel/Fax: +984533258762, E-mail: poorya.gholizadeh@gmail.com

Received: Feb 17, 2026

Accepted: Mar 17, 2026

ABSTRACT

Background & objectives: This study aims to investigate the challenges, opportunities, and policy solutions related to managing antibiotic residues and antimicrobial resistance in the food chain, emphasizing the One Health framework.

Methods: This study is based on the findings of a comprehensive narrative review. The literature search included English and Persian databases, such as PubMed, Web of Science, Scopus, Embase, Google Scholar, Magiran, and SID, conducted up to December 2025. Key terms included antibiotic residues, food-producing animals, pharmacokinetics, antimicrobial resistance, mitigation strategies, and One Health.

Results: The literature review indicates that while high-income countries have successfully decreased violation rates to below one percent through stringent regulatory frameworks, low- and middle-income countries face significant challenges, with residue prevalence reaching up to 40% in some products. Key barriers to effective management include species-specific pharmacokinetic complexities, environmental conditions, and socio-economic constraints. Furthermore, areas such as environmental monitoring, intersectoral coordination, and the involvement of smallholder farmers remain inadequate.

Conclusion: Policy recommendations prioritize a combined approach that strengthens regulatory frameworks, promotes best practices at the farm level, and adopts the One Health approach. Key measures include empowering farmers through educational programs and economic incentives, investing in surveillance and rapid diagnostic infrastructure, and encouraging intersectoral collaboration. Effective implementation requires targeted budgeting, inter-organizational cooperation, and establishing systematic monitoring and evaluation frameworks with specific indicators, such as the percentage of samples exceeding maximum residue limits and the proportion of antibiotic sales accompanied by veterinary prescriptions.

Keywords: Antibiotic Residues; Food-Producing Animals; Antimicrobial Resistance; One Health; Policy Making

خلاصه سیاستی: مدیریت یکپارچه باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی در زنجیره غذایی؛ چالش‌ها، راهکارها و اولویت‌های اجرایی

پوریا قلی زاده^{۱،۲*}، محسن ارزنلو^{۳،۲}

۱. مرکز تحقیقات بیماری‌های گوارش، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران

۲. مرکز تحقیقات زئونوز، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران

۳. گروه میکروب‌شناسی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران

* نویسنده مسئول. تلفکس: ۰۴۵۳۳۲۵۸۷۶۲ ایمیل: poorya.gholizadeh@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: هدف از این مطالعه، بررسی چالش‌ها، فرصت‌ها و راهکارهای سیاستی مرتبط با مدیریت باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی و مقاومت ضد میکروبی در زنجیره غذایی با تأکید بر چارچوب مفهوم «یک سلامت» می‌باشد. **روش کار:** این مطالعه بر اساس یافته‌های یک مرور روایی جامع تدوین شده است. مرور منابع با جستجو در پایگاه‌های داده انگلیسی و فارسی زبان شامل PubMed، Web of Science، Scopus، Embase، Google Scholar، Magiran و SID تا دسامبر ۲۰۲۵ انجام شد. کلیدواژه‌های مورد استفاده شامل باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی، دام‌های مولد غذا، فارماکو کینتیک، مقاومت ضد میکروبی، راهبردهای کاهش خطر، و یک سلامت بودند.

یافته‌ها: مرور منابع و مطالعات میدانی به‌طور مداوم نشان می‌دهد که اگرچه کشورهای با درآمد بالا با بهره‌گیری از چارچوب‌های نظارتی سختگیرانه نرخ استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها را به زیر یک درصد رسانده‌اند، اما کشورهای با درآمد پایین و متوسط با چالش‌های جدی از جمله شیوع باقیمانده‌ها تا ۴۰ درصد در برخی محصولات مواجه هستند. عواملی مانند پیچیدگی‌های فارماکو کینتیک وابسته به گونه دامی، شرایط محیطی و محدودیت‌های اقتصادی-اجتماعی از موانع اصلی مدیریت مؤثر هستند. حوزه‌هایی مانند پایش محیطی، هماهنگی بین‌بخشی و مشارکت کشاورزان خرده‌پا به‌طور مداوم در وضعیت نامناسبی قرار دارند.

نتیجه‌گیری: توصیه‌های سیاستی بر اولویت اجرای ترکیبی تقویت چارچوب‌های نظارتی، ترویج شیوه‌های بهینه در سطح مزرعه و رویکرد یک سلامت تأکید دارد. توانمندسازی کشاورزان از طریق برنامه‌های آموزشی و مشوق‌های اقتصادی، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های پایش و تشخیص سریع، و توسعه همکاری‌های بین‌بخشی از الزامات کلیدی هستند. اجرای مؤثر این راهکارها نیازمند بودجه‌ریزی هدفمند، همکاری بین‌سازمانی، و ایجاد چارچوب‌های نظام‌مند پایش و ارزیابی با شاخص‌های مشخص نظیر درصد نمونه‌های دارای باقیمانده بالای حد مجاز و درصد فروش آنتی‌بیوتیک با نسخه دامپزشکی است.

واژه‌های کلیدی: باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی، دام‌های مولد غذا، مقاومت ضد میکروبی، یک سلامت، سیاست‌گذاری

پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۶

دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۸

وجود فواید در پیشگیری و درمان بیماری‌های دامی، پیامدهایی نظیر ماندگاری باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی در فرآورده‌های دامی و تسریع مقاومت ضد میکروبی

مقدمه
بیش از ۷۰ درصد از آنتی‌بیوتیک‌های تولیدشده در جهان در دامپروری تجویز می‌شود که این امر با

روش کار

این مطالعه بر اساس نتایج یک مرور روایی جامع از شواهد علمی موجود تدوین شده است. مرور منابع با جستجو در پایگاه‌های داده انگلیسی و فارسی شامل Embase، Scopus، Web of Science، PubMed، Magiran، Google Scholar و SID تا دسامبر ۲۰۲۵ انجام شد. استرانی جستجو از کلیدواژه‌هایی مانند «باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی»، «دام‌های مولد غذا»، «فارماکوکینتیک»، «مقاومت ضد میکروبی»، «راهبردهای کاهش خطر»، «یک سلامت»، «پایش باقیمانده»، «چارچوب‌های نظارتی» و معادل‌های MeSH آنها با استفاده از عملگرهای «AND» و «OR» بهره گرفته است. جستجوهای جامع نیز در پایگاه‌های داده فارسی با استفاده از کلیدواژه‌های مرتبط انجام شد. فهرست منابع مقالات منتخب نیز برای اطمینان از جامعیت جستجو بررسی گردید. معیارهای ورود شامل تحقیقات اصیل، مرورهای سیستماتیک و متاآنالیز با کیفیت بالا و رهنمودهای نهادی از سازمان‌های معتبر بین‌المللی نظیر سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان خواربار و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO)، سازمان جهانی بهداشت دام (WOAH/OIE)، و کمیسیون Codex Alimentarius بود. معیارهای خروج نیز شامل مقالات دیدگاهی، سرمقاله‌ها، چکیده‌های کنفرانس‌ها، موارد غیرداوری شده، و مطالعات فاقد داده‌های کمی بود. یافته‌های حاصل از مطالعات مرتبط با ابعاد مختلف باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی شامل شیوع، عوامل فارماکوکینتیک مؤثر بر ماندگاری، پیامدهای سلامت عمومی، و راهبردهای مداخله، تحلیل، ترکیب و گزارش شدند.

یافته‌ها

مفهوم رویکردهای یکپارچه برای مدیریت باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی و مقاومت ضد میکروبی در زنجیره غذایی که توسط سازمان بهداشت جهانی و فائو مورد تأکید قرار گرفته، بر ضرورت راهبردهای

(AMR)^۱ را به دنبال داشته است (۱). پیش‌بینی می‌شود مصرف جهانی آنتی‌بیوتیک در دامپروری تا سال ۲۰۳۰، ۶۷ درصد افزایش یابد که عمدتاً ناشی از تقاضا در آسیا، آفریقا و آمریکای جنوبی است (۲). شیوع باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی تفاوت چشمگیری بین مناطق دارد؛ کشورهای با درآمد بالا با بهره‌گیری از چارچوب‌های نظارتی سختگیرانه نرخ تخلف را به زیر ۱ درصد رسانده‌اند (۳)، در حالی که کشورهای با درآمد پایین و متوسط با کمبود ظرفیت آزمایشگاهی و نظارت مؤثر مواجه هستند، به طوری که در شرق آفریقا ۴۰ درصد از نمونه‌های طیور حاوی باقیمانده‌های تتراسایکلین بوده است (۴).

فرآیندهای فارماکوکینتیک شامل جذب، توزیع، متابولیسم و دفع داروها تحت تأثیر ویژگی‌های دارو، گونه دامی، عفونت‌های هم‌زمان و شرایط محیطی قرار دارد و دوره‌های پرهیز از مصرف را تعیین می‌کند (۵). بحرانی‌ترین پیامد بلندمدت، نقش باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی در مقاومت ضد میکروبی است؛ حتی مقادیر اندک می‌تواند فشار انتخابی بر باکتری‌ها اعمال کرده و انتقال ژن‌های مقاومت را تسهیل کند (۶). علاوه بر این، باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی باعث واکنش‌های آلرژیک، اختلال در میکروبیوم روده و بیماری‌های گوارشی می‌شوند. از نظر اقتصادی، عدم انطباق با حدود مجاز باقیمانده آنتی‌بیوتیکی منجر به رد محموله‌های صادراتی و زیان‌های قابل توجه می‌گردد، در حالی که برچسب‌هایی مانند بدون آنتی‌بیوتیک یا ارگانیک ارزش افزوده ایجاد می‌کنند. شکاف‌های نظارتی بین کشورها، فروش آزاد آنتی‌بیوتیک و ضعف سیستم‌های پایش، اجرای راهکارهای مؤثر را با چالش مواجه ساخته است. این مطالعه به بررسی چالش‌ها، راهکارها و اولویت‌های اجرایی در مدیریت یکپارچه باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی در زنجیره غذایی می‌پردازد.

¹ Antimicrobial Resistance

بیمارستانی معادل ۶۹۳ میلیارد دلار در سطح جهان مرتبط بوده که ۲۰۷ میلیارد دلار آن با واکسن در سال ۲۰۱۹ قابل پیشگیری بود. زیان‌های ناشی از کاهش بهره‌وری نیروی کار حدود ۱۹۴ میلیارد دلار برآورد شده که ۷۶ میلیارد دلار آن با واکسن قابل جلوگیری است. پیامدهای اقتصادی مقاومت ضد میکروبی می‌تواند منجر به کاهش بین ۱ تا ۳/۴ تریلیون دلار از تولید ناخالص داخلی^۳ (GDP) جهانی تا سال ۲۰۵۰ شود (۱۰). مقاومت ضد میکروبی می‌تواند منجر به کاهش ۱۱ درصدی تولیدات دامی در کشورهای کم‌درآمد تا اواسط قرن ۲۱ شود. این کاهش تولید در کشورهای با درآمد بالا حدود ۲ درصد برآورد شده است (۱۱).

در سطح پایش، روش HPLC-MS/MS اگرچه حساسیت بالاتری دارد، اما هزینه آن تقریباً دو برابر روش زیست‌سنجی است (۱۲). تحلیل روند ۴۰ ساله نشان می‌دهد قیمت واقعی آزمایش‌ها حداقل ۴ برابر کاهش یافته است. روش‌های غربالگری میکروبی برای تشخیص آنتی‌بیوتیک‌های گروه B (شامل داروهای پرمصرف دامپزشکی مانند تتراسایکلین‌ها و سولفونامیدها) با هزینه ۳۰ تا ۵۰ یورو به ازای هر نمونه قابل انجام است (۱۳). در زمینه تشخیص سریع، مطالعه هیگینس^۴ و همکاران (۱۴) در کنیا نشان داد که فناوری‌های غربالگری مانند GPHF-Minilab و NIR بالاترین بازگشت سرمایه (۲۱ دلار به ازای هر دلار سرمایه‌گذاری) را دارند، در حالی که HPLC با ۳ دلار کمترین بازگشت سرمایه را داشت.

مطالعه سی^۵ و همکاران (۱۵) در چین نشان داد که سیستم ردیابی مواد غذایی مصرف آنتی‌بیوتیک را ۰/۸۰ یوان به ازای هر کیلوگرم کاهش می‌دهد. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از این موفقیت به ترتیب ناشی از تقویت انگیزه‌های مرتبط با

جامع برای مقابله با تهدیدات سلامت عمومی ناشی از مصرف گسترده آنتی‌بیوتیک‌ها در دام‌های مولد غذا صحت می‌گذارد (۱). چارچوب «یک سلامت»^۱ با برجسته‌سازی پیوستگی سلامت انسان، دام و محیط زیست، مستلزم اقدام هماهنگ از طریق نظارت قانونی، مداخلات در سطح مزرعه، سیستم‌های پایش و همکاری بین‌بخشی برای تضمین ایمنی مواد غذایی و حفظ کارایی آنتی‌بیوتیک‌ها برای نسل‌های آینده است. مطالعه‌ای در شانگهای نشان داد که ۲۸/۶ درصد از گوشت، ۱۰/۶ درصد از شیر و ۵۲/۱ درصد از محصولات آبرزی حاوی باقیمانده آنتی‌بیوتیکی بودند که محصولات آبرزی حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد از واریانس مواجهه انسانی را به خود اختصاص دادند (۷). مدیریت موفق نیازمند رویکردهای جامع یکپارچه‌ساز چارچوب‌های نظارتی، مداخلات مزرعه‌ای، نوآوری‌های فناورانه و همکاری بین‌بخشی است. تجربه موفق سیستم «کارت زرد» دانمارک مصرف آنتی‌بیوتیک دامی را طی دو دهه بیش از ۵۰ درصد کاهش و نرخ تخلف را به نزدیک صفر رسانده است (۸)، در حالی که بسیاری از کشورهای با درآمد پایین و متوسط همچنان با ظرفیت‌های ناکافی آزمایشگاهی و بازارهای بدون نظارت مواجه هستند. چالش‌های اصلی شامل شکاف‌های نظارتی و اجرایی، ظرفیت محدود پایش و آزمایشگاهی، کمبود داده‌های فارماکوکینتیک متناسب با بافت محلی، نادیده گرفته شدن بعد محیطی، موانع اقتصادی-اجتماعی برای تبعیت کشاورزان خرده‌پا، و هماهنگی ناکافی بین‌بخشی است. گزینه‌های سیاستی مدیریت باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی بر اساس معیارهای اثربخشی، امکان‌سنجی و تأثیر در جدول ۱ مقایسه شده است.

از منظر اقتصادی، مقاومت ضد میکروبی پیامدهای مالی قابل توجهی دارد. بر اساس مطالعه نیلور^۲ و همکاران (۹)، مقاومت آنتی‌بیوتیکی با میانه هزینه‌های

³ Gross Domestic Product

⁴ Higgins

⁵ Si

¹ One Health

² Naylor

حفظ شهرت اجتماعی (۲۴/۲۲٪)، افزایش شفافیت و پاسخگویی در قبال باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی (۲۱/۸۴٪) و بهبود استانداردهای ایمنی زیستی (۱۰/۸۷٪) بوده است. برنامه بار جهانی بیماری‌های دامی (GBADs) نیز رویکردی نظام‌مند برای برآورد زیان‌های اقتصادی ناشی از مقاومت ضد میکروبی در سطح دامداری ارائه می‌دهد.

بر اساس شواهد موجود، پنج گزینه سیاستی اصلی قابل شناسایی است: ۱) تقویت چارچوب‌های نظارتی و اجرای مقررات با تعیین حداکثر حد مجاز باقیمانده آنتی‌بیوتیک هماهنگ با Codex، الزام به نسخه دامپزشکی، ایجاد سیستم ردیابی و ممنوعیت استفاده بعنوان محرک‌های رشد؛ ۲) سرمایه‌گذاری در پایش و تشخیص سریع با ایجاد شبکه‌های آزمایشگاهی و به‌کارگیری ابزارهای نوین که نمونه‌برداری ریسک‌محور می‌تواند ۱۷ درصد صرفه‌جویی هزینه ایجاد کند؛ ۳) ترویج شیوه‌های بهینه در سطح مزرعه از طریق امنیت زیستی، آموزش، واکسیناسیون، جایگزین‌ها و برچسب‌های ممتاز؛ ۴) استقرار

فناوری‌های دامپروری دقیق شامل پایش لحظه‌ای و مدل‌سازی فارماکوکینتیک مبتنی بر فیزیولوژی (PBPK)؛ ۵) اجرای رویکرد یک سلامت و همکاری بین‌بخشی با ایجاد پلتفرم‌های ملی و پایش محیطی. جدول ۲ بسته سیاستی یکپارچه برای مقابله با مسئله باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی را نشان می‌دهد.

راهکار اصلی توصیه‌شده ترکیب سه گزینه تقویت چارچوب‌های نظارتی، ترویج شیوه‌های بهینه در سطح مزرعه و اجرای رویکرد یک سلامت با اولویت‌بندی اجرای تدریجی است. این راهکار یکپارچه مسئله را از قانون‌گذاری تا اجرا در سطح مزرعه و پایش محیطی پوشش می‌دهد و مدیریت جامع باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی را در عین حفظ کارایی آنتی‌بیوتیک‌ها برای نسل‌های آینده تضمین می‌کند. اجرای موفق نیازمند تعهد سیاسی پایدار، تخصیص بودجه کافی، هماهنگی بین‌بخشی، مشارکت کشاورزان از طریق آموزش و مشوق‌ها، و گزارش‌دهی شفاف نتایج پایش است.

جدول ۱. مقایسه گزینه‌های سیاستی مدیریت باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی بر اساس معیارهای اثربخشی، امکان‌سنجی و تأثیر

رتبه	گزینه سیاستی	اثربخشی در کاهش باقیمانده‌ها	امکان‌سنجی اجرا در LMICs	هزینه- اثربخشی	تأثیر بر عدالت در سلامت	وضعیت نسبی
۱	تقویت چارچوب‌های نظارتی و اجرای مقررات	بسیار بالا (کاهش نرخ تخلف به زیر ۱٪ در اتحادیه اروپا)	متوسط (چالش‌های جدی در LMICs)	بالا (منافع بلندمدت بیشتر از هزینه‌ها)	بالا (حفاظت از مصرف‌کنندگان آسیب‌پذیر)	مطلوب‌ترین
۲	ترویج شیوه‌های بهینه در سطح مزرعه	بالا (کاهش مصرف آنتی‌بیوتیک تا ۵۰٪)	متوسط-بالا (نیاز به آموزش و تعاونی‌ها)	بالا (سرمایه‌گذاری نسبتاً کم با منافع چندگانه)	بسیار بالا (توانمندسازی کشاورزان خرده‌پا)	بسیار مطلوب
۳	رویکرد یک سلامت و همکاری بین‌بخشی	بالا (مدیریت جامع و شناسایی مسیرهای محیطی)	متوسط (نیاز به اراده سیاسی قوی)	بسیار بالا (هزینه نسبتاً کم با منافع بلندمدت)	بالا (کاهش نابرابری‌های محیطی)	مطلوب
۴	سرمایه‌گذاری در پایش و تشخیص سریع	بالا (شناسایی زودهنگام تخلفات)	متوسط-پایین (نیاز به تجهیزات گرانقیمت)	متوسط (هزینه اولیه بالا، منافع بلندمدت)	بالا (شفافیت و دسترسی به اطلاعات)	نسبتاً مطلوب
۵	فناوری‌های نوین و دامپروری دقیق	بسیار بالا (بهینه‌سازی مصرف تا ۵۰٪)	پایین (مناسب برای کشورهای با درآمد بالا)	پایین (سرمایه‌گذاری اولیه بسیار بالا)	پایین (خطر افزایش شکاف فناوری)	کمترین مطلوبیت

جدول ۲. بسته سیاستی یکپارچه برای مقابله با مسئله باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی

اولویت	افق زمانی	گزینه سیاستی	اقدامات کلیدی
اول	کوتاه‌مدت (۶ ماه تا ۱ سال)	تقویت چارچوب‌های نظارتی	ممنوعیت فروش آزاد آنتی‌بیوتیک، بازنگری MRL ها، جریمه‌های بازدارنده، سیستم ردیابی
دوم	میان‌مدت (۱ تا ۳ سال)	سرمایه‌گذاری در پایش و تشخیص سریع	آموزش کشاورزان، امنیت زیستی، واکسیناسیون، مشوق‌های اقتصادی، برچسب‌های ممتاز
سوم	بلندمدت (۳ تا ۵ سال)	فناوری‌های نوین	تجهیز آزمایشگاه‌ها، شبکه‌های منطقه‌ای، ابزارهای تشخیص سریع، گزارش‌دهی شفاف
		رویکرد یک سلامت	پلتفرم ملی همکاری بین‌بخشی، پایش محیطی، همکاری منطقه‌ای
		فناوری‌های نوین	دامپروری دقیق، مدل‌سازی PBPK، حسگرهای لحظه‌ای، سیستم‌های هشدار زودهنگام

* MRL: Maximum residue limits. PBPK: Physiologically based pharmacokinetic

بحث و ملاحظات اجرایی

مدیریت باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی در زنجیره غذایی به دلیل ابعاد گسترده و پیچیدگی‌های فنی، اقتصادی و اجتماعی، نیازمند رویکردی جامع و هماهنگ است که صرفاً با مداخلات تک‌بخشی قابل تحقق نمی‌باشد. اجرای موفق سیاست‌های کاهش باقیمانده‌ها مستلزم طراحی و استقرار برنامه‌ای منسجم است که در آن تمامی ذی‌نفعان از سیاست‌گذاران و نهادهای نظارتی گرفته تا کشاورزان و مصرف‌کنندگان، نقش مشخصی ایفا کنند (۱۵). در این راستا، بهره‌گیری از چارچوب «یک سلامت» به عنوان رویکردی یکپارچه‌ساز، امکان هماهنگی بین بخش‌های کشاورزی، بهداشت و محیط زیست را فراهم آورده و زمینه را برای اجرای مؤثر مداخلات در سطوح مختلف فراهم می‌کند (۱۶). در ادامه، ملاحظات اجرایی و اقدامات عملی مورد نیاز برای پیاده‌سازی گزینه‌های سیاستی اولویت‌دار شامل تقویت چارچوب‌های نظارتی، توانمندسازی کشاورزان، توسعه زیرساخت‌های پایش و تشخیص، و استقرار سیستم‌های هماهنگ بین‌بخشی تشریح می‌گردد.

اولویت‌بندی گزینه‌های سیاستی بحرانی

تمرکز فوری بر اجرای ترکیبی سه گانه یعنی تقویت چارچوب‌های نظارتی، ترویج شیوه‌های بهینه در مزرعه و رویکرد یک سلامت به عنوان کارآمدترین راهکار برای مدیریت باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی

ضروری است. این اولویت‌بندی بر اساس اثربخشی بالا در کاهش نرخ تخلف (تجربه اتحادیه اروپا با نرخ زیر یک درصد) و هماهنگی با چارچوب «یک سلامت» صورت گرفته است (۸). تقویت نظارت، بستر قانونی الزام آور فراهم می‌کند؛ شیوه‌های بهینه در مزرعه، ضمانت اجرایی را تضمین می‌نماید؛ و رویکرد یک سلامت با پایش محیطی، چرخه مدیریت مقاومت ضد میکروبی را تکمیل می‌کند.

توانمندسازی کشاورزان و افزایش مشارکت آنان

- ایجاد فرصت‌های آموزشی و مشوق‌های اقتصادی برای کشاورزان متعهد به دوره‌های پرهیز، از جمله اعطای برچسب «بدون آنتی‌بیوتیک»، «ارگانیک» و دسترسی به بازارهای ممتاز.

- تشکیل تعاونی‌های کشاورزی برای خرید گروهی واکسن و جایگزین‌ها، دسترسی به خدمات دامپزشکی و بازاریابی محصولات سالم.

- برگزاری دوره‌های آموزشی عملی با همکاری سازمان‌های مرتبط و برنامه‌های مشترک بین‌نسلی برای انتقال دانش.

توسعه برنامه‌های آموزشی و ترویجی

طراحی دوره‌های کوتاه‌مدت و کم‌هزینه متناسب با سطح سواد کشاورزان، آموزش کارکنان مراکز خدمات، بهره‌گیری از دامپزشکان با تجربه به عنوان مربی، و توسعه بسته‌های آموزشی در زمینه امنیت

هماهنگی بین‌بخشی

ایجاد کارگروه مشترک بین وزارت جهاد کشاورزی، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و سازمان محیط زیست در چارچوب «یک سلامت» و همکاری منطقه‌ای برای هماهنگ‌سازی استانداردها.

پایش و ارزیابی

اجرای سالانه «شاخص ملی مدیریت باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی» شامل معیارهایی مانند درصد نمونه‌های دارای باقیمانده بالای MRL، درصد فروش آنتی‌بیوتیک با نسخه و تعداد آزمایشگاه‌های مجهز.

نتیجه‌گیری

اگرچه کشورهای با درآمد بالا در مدیریت باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی پیشرفت داشته‌اند، اما وضعیت در کشورهای با درآمد پایین و متوسط همچنان ناکافی است و شکاف عمیق در پایش و اجرای مقررات به بحران جهانی مقاومت ضد میکروبی دامن می‌زند. ماندگاری باقیمانده‌ها تحت تأثیر عوامل فارماکو کینتیک، مدیریت کشاورزی و شرایط اقتصادی-اجتماعی است. راهبردهای نوظهور مانند دامپروری دقیق، پروبیوتیک‌ها و تشخیص سریع، پتانسیل قابل توجهی دارند اما موفقیت آنها به سازگاری محلی و تبعیت کشاورزان وابسته است. در نهایت، ایمن‌سازی مواد غذایی یک تعهد جهانی جمعی است که مستلزم علم یکپارچه، سیاست‌های عادلانه و همکاری پایدار بین بخش‌های دامپزشکی، سلامت عمومی و محیط زیست می‌باشد.

تضاد منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافع با یکدیگر ندارند.

زیستی، واکسیناسیون و جایگزین‌های آنتی‌بیوتیک. حمایت از ایجاد باشگاه‌های کشاورزی برای تبادل دانش.

بهره‌گیری از فناوری

- توسعه اپلیکیشن‌های هوشمند برای ثبت نسخه‌های دامپزشکی، هشدار دوره‌های پرهیز، گزارش تخلفات و دسترسی به محتوای آموزشی.

- ارتقای سواد دیجیتال دامپزشکان و کشاورزان به عنوان عامل کلیدی در مدیریت صحیح دارویی و کاهش خطر باقیمانده‌ها.

توسعه و بازطراحی زیرساخت‌های نظارتی و پایشی

- اصلاح قوانین با الزام به نسخه دامپزشکی، ممنوعیت فروش آزاد و جریمه‌های بازدارنده.

- تجهیز آزمایشگاه‌های مرجع به دستگاه‌های HPLC-MS/MS و به‌کارگیری ابزارهای تشخیص سریع در کشتارگاه‌ها و مراکز جمع‌آوری شیر.

- بودجه‌ریزی هدفمند با تخصیص حداقل ۲۰ درصد اعتبارات دامپزشکی به پایش باقیمانده‌ها.

ارتقای خدمات بهداشتی، دامپزشکی و محیط زیستی

- گسترش خدمات جامع دامپزشکی در مناطق روستایی، ایجاد مراکز روزانه خدمات، استقرار کلینیک‌های سیار، و توسعه سامانه ملی پایش الکترونیکی مصرف آنتی‌بیوتیک.

- ادغام پایش محیطی خاک و آب در برنامه‌های ملی با همکاری سازمان حفاظت محیط زیست.

فرهنگ‌سازی و آموزش عمومی

گنجاندن مفاهیم مقاومت ضد میکروبی در کتب درسی و رسانه ملی، و سازماندهی کمپین‌های آگاهی‌بخشی عمومی درباره باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی.

References

- 1- Albernaz-Gonçalves R, Olmos Antillón G, Hötzel MJ. Waiting for markets to change me—High-stakeholders' views of antibiotic use and antibiotic resistance in pig production in Brazil. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022;9:980546.
- 2- Mulchandani R, Wang Y, Gilbert M, Van Boeckel TP. Global trends in antimicrobial use in food-producing animals: 2020 to 2030. *PLOS Global Public Health*. 2023;3(2):e0001305.

- 3- Teufel J, López Hernández V, Greiter A, Kampffmeyer N, Hilbert I, Eckerstorfer M, et al. Strategies for traceability to prevent unauthorised GMOs (including NGTs) in the EU: State of the art and possible alternative approaches. *Foods*. 2024;13(3):369.
- 4- Ulomi WJ, Mgaya FX, Kimera Z, Matee MI. Determination of Sulphonamides and Tetracycline Residues in Liver Tissues of Broiler Chicken Sold in Kinondoni and Ilala Municipalities, Dar es Salaam, Tanzania. *Antibiotics*. 2022;11(9):1222.
- 5- Bolleddula J, Brady K, Bruin G, Lee A, Martin JA, Walles M, et al. Absorption, distribution, metabolism, and excretion of therapeutic proteins: current industry practices and future perspectives. *Drug Metabolism and Disposition*. 2022;50(6):837-45.
- 6- Lima T, Domingues S, Da Silva GJ. Manure as a potential hotspot for antibiotic resistance dissemination by horizontal gene transfer events. *Veterinary sciences*. 2020;7(3):110.
- 7- Wang H, Ren L, Yu X, Hu J, Chen Y, He G, et al. Antibiotic residues in meat, milk and aquatic products in Shanghai and human exposure assessment. *Food Control*. 2017;80:217-25.
- 8- O'Neill L, Rodrigues da Costa M, Leonard F, Gibbons J, Calderon Diaz JA, McCutcheon G, et al. Does the use of different indicators to benchmark antimicrobial use affect farm ranking? *Frontiers in Veterinary Science*. 2020;7:558793.
- 9- Naylor NR, Hasso-Agopsowicz M, Kim C, Ma Y, Frost I, Abbas K, et al. The global economic burden of antibiotic-resistant infections and the potential impact of bacterial vaccines: a modelling study. *BMJ Global Health*. 2025;10.(1)
- 10- Acosta A, Roland-Holst D, Nicolli F, Tirkaso W, Rocha JS, Song J. A One Health framework to assess the economic returns on investment in livestock antimicrobial stewardship. *One Health*. 2025;21:101188.
- 11- Martins SB, Afonso JS, Fastl C, Huntington B, Rushton J. The burden of antimicrobial resistance in livestock: A framework to estimate its impact within the Global Burden of Animal Diseases programme. *One Health*. 2024;19:100917.
- 12- Alban L, Rugbjerg H, Petersen JV, Nielsen LR. Comparison of risk-based versus random sampling in the monitoring of antimicrobial residues in Danish finishing pigs. *Preventive veterinary medicine*. 2016;128:87-94.
- 13- De Brabander H, Vanden Bussche J, Vanhaecke L, Verbeke W. The economics of residue analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2011;30(7):1088-94.
- 14- Higgins CR, Kobia B, Ozawa S. Comparing the return on investment of technologies to detect substandard and falsified amoxicillin: A Kenya case study. *Plos one*. 2023;18(1):e0268661.
- 15- Si R, Liu X, Pan S, Lu Q, Liu M. Assessing the inhibitory effect and intervention mechanism of food traceability system on reducing hog farmers' overuse of animal antibiotics in China. *Food Policy*. 2024;124:102619.
- 16- Zhou N, Cheng Z, Zhang X, Lv C, Guo C, Liu H, et al. Global antimicrobial resistance: a system-wide comprehensive investigation using the Global One Health Index. *Infectious diseases of poverty*. 2022;11(1):92.