عنوان گزارش:

پیشرفت‌های اخیر در بهبود کیفیت آب آشامیدنی در مرغداری‌ها

کد: RD۰٤۳٤٦	**تاریخ شروع:** ۱۴۰۴/۱۱/۱۶	**تاریخ پایان:** ۱۴۰۴/۱۱/۲۰	**کارشناس:**

توضیحات و عکس:

مقدمه

با افزایش سرعت صنعتی شدن و شهرنشینی در سطح جهان، کیفیت منابع آب به دلیل افزایش آلودگی ناشی از چندین آلاینده (مانند فلزات سنگین، مواد آلی، نانومواد، داروها و زباله‌های صنعتی) رو به وخامت است و خطرات جدی برای یکپارچگی اکوسیستم و سلامت حیوانات/ انسان ایجاد می‌کند. در سیستم‌های پرورش طیور، کیفیت آب آشامیدنی یک مفهوم چند بعدی است که شامل ایمنی میکروبیولوژیکی، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (مانند pH و پتانسیل اکسیداسیون-احیا (ORP)) و ویژگی‌های عملکردی می‌شود که بر مصرف آب، استفاده از مواد مغذی و عملکرد کلی گله تأثیر می‌گذارد. با این حال، بهبود کیفیت آب آشامیدنی در مرغداری‌ها برای سلامت پرندگان، عملکرد بهینه و کاهش انتقال بیماری بسیار مهم است، زیرا آب ضروری‌ترین ماده مغذی برای پرندگان است که با سرعت ۱/۵ تا ۲ برابر بیشتر از خوراک مصرف می‌شود. آب به عنوان یک عامل تنظیم‌کننده دمای اولیه عمل کرده و دفع گرما را از طریق خنک‌سازی تبخیری (نفس نفس زدن) تسهیل می‌کند تا دمای بدن تقریباً ۴۱ درجه سانتیگراد حفظ شود. فراتر از کنترل دما، آب به عنوان واسطه ضروری برای واکنش‌های آنزیمی و هیدرولیز مورد نیاز برای هضم عمل می‌نماید، در حالی که به طور همزمان به عنوان وسیله‌ای برای انتقال مواد مغذی و حذف ضایعات متابولیکی (اسید اوریک) نیز هست.

در میان ابعاد مختلف کیفیت آب، آلودگی میکروبیولوژیکی همچنان یکی از مهمترین چالش‌ها در سیستم‌های آب آشامیدنی طیور است. مقالات علمی اخیر، استراتژی‌های مختلفی را برای کاهش عوامل بیماری‌زای روده‌ای، مانند گونه‌های اشریشیا کلی و سالمونلا، که اغلب سیستم‌های آب آشامیدنی طیور را آلوده می‌کنند، مستند کرده‌اند. این جداسازی مکرر، چالش قابل توجهی را در حفظ کیفیت مطلوب آب در مزارع طیور برجسته می‌کند و به دلیل پتانسیل تجمع پرندگان و آلودگی لاشه در حین فرآوری، نگرانی مستقیمی را برای ایمنی مواد غذایی ایجاد می‌کند. علاوه بر این، فرآیندهای ضدعفونی سنتی ذاتاً محدود هستند. بنابراین، همه روش‌ها نمی‌توانند با موفقیت کل طیف میکروب‌های بیماری‌زا را از بین ببرند. با این حال، رویکردها و فناوری‌های اخیر تصفیه آب به شدت بر مدیریت پارامترهای کلیدی فیزیکوشیمیایی و حذف آلودگی میکروبی تمرکز دارند. آنها همچنین بر رویکردی چندوجهی برای بهبود کیفیت آب آشامیدنی تمرکز دارند و فراتر از کلرزنی سنتی به سمت پایداری و کارایی حرکت می‌کنند.

مطالعات علمی همواره بر اهمیت تجزیه و تحلیل منظم کیفیت آب، در منبع و انتهای خط، برای تشخیص مسائلی مانند تجمع مواد معدنی یا تشکیل بیوفیلم تأکید می‌کنند. نکته قابل توجه این است که بیوفیلم یک کنسرسیوم ساختار یافته و بی‌حرکت از میکروارگانیسم‌ها، از جمله باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها است که به سطوح غوطه‌ور می‌چسبند. در سیستم‌های توزیع آب، این جوامع به یک «لایه لجن» مقاوم در داخل لوله‌ها تبدیل می‌شوند، جایی که میکروب‌ها توسط یک ماتریس ماده پلیمری خارج سلولی (EPS)[1]

[1] Extracellular polymeric substance (EPS) matrix

که خود تولید می‌شود، محافظت می‌شوند. اجرای پروتکل‌هایی مانند شستشوی منظم خطوط آبخوری و استفاده از مواد شوینده بین گله‌ها برای جلوگیری از تشکیل مجدد بیوفیلم ضروری است، که اغلب توسط حامل‌های آلی موجود در افزودنی‌هایی مانند ویتامین‌ها و الکترولیت‌ها تسریع می‌شود. تأثیر کیفیت فیزیکوشیمیایی، مانند سطوح بالای نمک‌ها (به عنوان مثال، سدیم، سولفات‌ها، کلریدها)، به طور مداوم مورد مطالعه قرار گرفته و نشان داده شده است که بر سلامت و عملکرد طیور تأثیر منفی می‌گذارد.

روش‌های سنتی ضدعفونی، مانند استفاده از کلر (هیپوکلریت سدیم)، همچنان رایج هستند، اما با محدودیت‌هایی روبرو هستند؛ به طور خاص، قرار گرفتن طولانی مدت باکتری‌ها در معرض غلظت‌های زیر کشنده کلر با ظهور تحمل کلر در برخی از گونه‌های باکتریایی مرتبط بوده است که در برخی موارد، ممکن است به مقاومت متقاطع در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها نیز کمک کند، علاوه بر این، این روش‌ها چالش‌های عملیاتی را برای کارکنان آموزش ندیده ایجاد می‌کنند و محصولات جانبی خطرناکی تولید می‌کنند که ایمنی محیط زیست را به خطر می‌اندازند. علاوه بر این، تکیه بر مقدار کم مواد ضدعفونی‌کننده باقی مانده در لوله‌ها برای مدیریت خطرات میکروبی کافی نیست. دلیل این امر این است که بیوفیلم‌های موجود در لوله‌ها به عنوان سپری برای باکتری‌های خطرناکی مانند لژیونلا[۲] عمل می‌کنند که می‌توانند به عنوان باکتری‌های پلانکتونی آزاد در آب باقی بمانند یا در بیوفیلم‌هایی که به لوله‌های آب می‌چسبند رشد کنند و از رسیدن و کشتن آنها توسط مواد ضدعفونی‌کننده جلوگیری کنند. بنابراین، برخی از روش‌های ضدعفونی در صورت وجود بیوفیلم‌ها، در مدیریت ریسک شکست می‌خورند. به موازات آن، ترکیب فیزیکوشیمیایی آب آشامیدنی نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌دهی سلامت و عملکرد طیور ایفا می‌کند. غلظت بالای نمک‌های محلول، مانند سدیم، سولفات‌ها و کلریدها، و همچنین سطوح نامناسب pH، بارها با اختلال در رشد، کاهش راندمان خوراک و افزایش استرس فیزیولوژیکی در پرندگان مرتبط بوده‌اند. به همین دلیل، نظارت منظم بر کیفیت آب هم در منبع و هم در نقطه مصرف اکیداً توصیه می‌شود تا تجمع مواد معدنی، رسوب‌گذاری و توسعه اولیه بیوفیلم قبل از اینکه بر عملکرد گله تأثیر منفی بگذارند، تشخیص داده شود. این مشاهدات، نیاز به استراتژی‌های تصفیه آب را که به طور همزمان خطرات میکروبیولوژیکی و فیزیکوشیمیایی را برطرف می‌کنند، برجسته می‌سازد.

سیستم‌های فیلتراسیون مرسوم مانند فیلترهای شنی برای حذف مواد جامد معلق و کدورت همچنان مهم هستند. با این حال، برای مبارزه با آلاینده‌های نوظهور مانند میکروپلاستیک‌ها و باقیمانده‌های دارویی، فناوری‌های پیشرفته تصفیه، از جمله فیلتراسیون پیشرفته همراه با کربن فعال و فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته، در حال بررسی هستند. بر این اساس، پیشرفت‌های اخیر در مدیریت آب آشامیدنی طیور به سمت رویکردهای جامع و چند مانع تغییر یافته است که کنترل میکروبیولوژیکی را با بهینه‌سازی پارامترهای فیزیکوشیمیایی ترکیب می‌کنند. استفاده از اسیدهای آلی در آب آشامیدنی یک روش رایج و دارای پشتوانه علمی است. این اسیدهای

[۲] Legionella

ضعیف، مانند اسید استیک، با کاهش pH آب (اغلب ترجیحاً بین ۶/۰ تا ۶/۸) و تجزیه جزئی در داخل سلول‌های باکتریایی، منجر به مرگ میکروبی می‌شوند. این فرآیند اسیدی شدن نه تنها عوامل بیماری‌زای رویشی موجود در آب را از بین می‌برد، بلکه به کار خود در دستگاه گوارش پرنده نیز ادامه می‌دهد و pH روده را کاهش می‌دهد. این به نوبه خود قابلیت هضم پروتئین، تبدیل غذا و افزایش وزن را افزایش می‌دهد و به کنترل انتروباکتری‌هایی مانند اشرشیاکلی و سالمونلا کمک می‌کند.

به همین ترتیب، ضدعفونی‌کننده‌های نوظهور مانند آب الکترولیز شده کمی اسیدی[۳] (SAEW) که جزء اصلی آن اسید هیپوکلروس (HOCl) است، از نظر علمی به عنوان یک ضدعفونی‌کننده بسیار قوی، ایمن و بدون باقیمانده ارزیابی شده‌اند. آنها اثربخشی برتر خود را در برابر طیف وسیعی از عوامل بیماری‌زا، به ویژه از طریق توانایی‌شان در مختل کردن و حذف بیوفیلم‌ها از سیستم‌های توزیع آب، نشان داده‌اند. مطالعاتی، مانند مطالعه‌ای که روی مرغ‌های تخم‌گذار انجام شد، نشان داد که افزودن مداوم SAEW با غلظت کلر موجود ۰/۳ (ACC) میلی‌گرم در لیتر، در مقایسه با ضدعفونی‌کننده‌های معمولی، به طور قابل توجهی میزان بازدارندگی بالاتری (۹۰/۹۹٪) علیه باکتری‌ها به دست آورد.

علاوه بر این، SAEW در کاهش pH روده مؤثر است، که می‌تواند هضم و جذب مواد معدنی را افزایش دهد و محیط میکروبیوتای روده را بهبود بخشد. دی‌اکسید کلر (ClO_2) یک اکسیدکننده قوی است که در برابر طیف وسیعی از عوامل بیماری‌زا و به طور بحرانی در تجزیه و از بین بردن بیوفیلم در خطوط آب مؤثر است. تحقیقات نشان داده است که استفاده از ClO_2، با یک دوز شوک اولیه برای ریشه‌کنی لجن زیستی موجود و به دنبال آن یک تیمار مداوم با غلظت کم آغاز شود، می‌تواند جمعیت باکتری‌ها را به شدت کاهش دهد و منجر به بهبود سلامت گله، کاهش بروز بیماری و افزایش پارامترهای عملکردی مانند وزن بدن و نسبت تبدیل خوراک شود. اسید پراستیک[۴] (PAA)، مخلوطی از اسید استیک و پراکسید هیدروژن، یکی دیگر از عوامل اکسید کننده قوی است که برای ضدعفونی خطوط آب استفاده می‌شود. این ماده به دلیل توانایی‌اش در از بین بردن بیوفیلم‌ها و کنترل مؤثر طیف وسیعی از عوامل بیماری‌زای منتقله از راه آب، و در نتیجه بهبود وضعیت بهداشتی کلی و کیفیت باکتریولوژیکی آب آشامیدنی، مورد توجه قرار گرفته است.

فناوری‌های جدیدتری برای مقابله با چالش‌های آلاینده‌های فعلی و ناکارآمدی‌های سیستم در حال ظهور هستند و تأمین آب تمیز و ایمن در سطح جهان را به طور قابل اعتماد و پایدار تضمین می‌کنند (جدول ۱). تحقیقات گسترده جهانی بر پیشرفت فناوری‌های مرسوم تصفیه آب برای دستیابی به تولید پایدار و ایمن متمرکز شده است. پیشرفت‌های اخیر، مانند الکترولیز آب، با تمرکز بر ضدعفونی قدرتمند و هدفمند در کنار مدیریت یکپارچه آب، مبنای علمی را برای بهبود قابل توجه کیفیت آب آشامیدنی و در نتیجه،

[۳] Slightly Acidic Electrolyzed Water
[٤] Peracetic Acid

سلامت و بهره‌وری گله‌های طیور فراهم می‌کند. نکته قابل توجه این است که کاربرد استراتژیک اسیدهای آلی یک تکنیک رایج است، زیرا آنها نه تنها با کاهش pH آب، بار میکروبی را کاهش می‌دهند و محیط را برای مواد ضدعفونی‌کننده بهینه می‌کنند، بلکه مزایایی برای سلامت روده پرندگان، مانند افزایش قابلیت هضم مواد مغذی، نیز دارند (جدول ۲). از نظر مکانیکی، فناوری‌هایی مانند سیستم‌های اولترافیلتراسیون[۵] (UF) و اسمز معکوس[۶] (RO) موانع فیزیکی قوی برای حذف مواد جامد معلق، تک یاخته‌ها و آلاینده‌های ریز فراهم می‌کنند و سطح اساسی خلوص آب را، به ویژه هنگام استفاده از منابع آب چاه یا سطحی، تضمین می‌کنند. اخیراً، ادغام سیستم‌های دامداری دقیق[۷] (PLF) با نظارت بر کیفیت آب در زمان واقعی، با استفاده از حسگرها برای ردیابی پارامترهایی مانند pH، دما و ORP، امکان تنظیم فوری و خودکار فرآیندهای تصفیه را برای حفظ بهداشت بهینه آب فراهم کرده است، در نتیجه کیفیت پایدار آب و بهبود عملکرد گله تضمین می‌شود.

در این زمینه، بررسی جامع فعلی به طور خاص «کیفیت آب» را از طریق سه دیدگاه اصلی بررسی می‌کند: ایمنی میکروبیولوژیکی (به عنوان مثال، تعداد باکتری‌های اشریشیا کلی و سالمونلا)، ترکیب شیمیایی (به عنوان مثال، pH و سختی) و ویژگی‌های عملکردی (به عنوان مثال، پیشگیری از تشکیل بیوفیلم و قابلیت هضم مواد مغذی). این بررسی همچنین طیف استراتژی‌های موجود و نوظهور برای بهینه‌سازی کیفیت آب آشامیدنی طیور را تجزیه و تحلیل کرده است. این بررسی، اثربخشی و کاربرد روش‌های شیمیایی مرسوم، از جمله اشکال مختلف کلرزنی و اسیدی‌سازی، در کنار رویکردهای فیزیکی و اکسیداتیو پیشرفته مانند سیستم‌های یونیزاسیون و ازن‌زنی را به تفصیل شرح می‌دهد. یافته‌ها تأکید می‌کنند که یک رویکرد چند مانع، که تصفیه را متناسب با چالش‌های خاص آب منبع تنظیم می‌کند، قابل اعتمادترین نتایج را برای جلوگیری از تشکیل بیوفیلم و انتقال پاتوژن به همراه دارد. اطمینان از این کیفیت مطلوب آب برای سلامت، رفاه و بهره‌وری گله بسیار مهم است و به طور مستقیم بر نسبت تبدیل خوراک و تلاش‌های مدیریت بیماری تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، این بررسی به عنوان یک منبع ارزشمند برای سیستم‌های تصفیه آب در مزارع مرغداری عمل خواهد کرد و مقایسه‌های ساختاریافته‌ای از اثربخشی، مقرون به صرفه بودن و پیچیدگی عملیاتی ارائه می‌دهد. در ادامه، تمرکز مداوم صنعت باید به سمت راه‌حل‌های نظارتی پایدار، خودکار و مبتنی بر حسگر تغییر کند تا ثبات پارامترهای آب در زمان واقعی تضمین شود و از پایداری اقتصادی بلندمدت تولید مرغ در سطح جهان پشتیبانی شود.

[۵] Ultrafiltration
[۶] Reverse osmosis
[۷] Precision Livestock Farming (PLF) systems

رویکردهای سنتی برای بهبود کیفیت آب

پیش از اجرای گسترده تجهیزات مدرن آزمایش آب، تصفیه‌های فیزیکی و سیستم‌های آبیاری خودکار، مرغداران برای اطمینان از ایمن، تمیز و مساعد بودن آب ارائه شده به پرندگان خود برای رشد سالم، به روش‌های سنتی متنوعی وابسته بودند. این شیوه‌ها اساساً مبتنی بر تجربه عملی، مهارت‌های مشاهده‌ای دقیق، استفاده از مواد طبیعی و اقدامات بهداشتی پیشگیرانه بودند. اگرچه این رویکردهای سنتی ممکن است فاقد دقت و سخت‌گیری علمی تکنیک‌های معاصر باشند، اما اغلب در کاهش بروز بیماری‌های منتقله از آب و افزایش بهره‌وری عملیات مرغداری در مقیاس کوچک، به ویژه در مناطق روستایی و با منابع محدود، مؤثر بوده‌اند. با توجه به اینکه در حالی که پرورش‌دهندگان سنتی طیور به طور فزاینده‌ای فناوری‌های غشایی پیشرفته مانند RO را به کار می‌گیرند، رویکردهای سنتی مانند کلرزنی و فیلتراسیون مکانیکی همچنان استانداردهای اساسی برای بهبود کیفیت آب هستند. شیوه‌های سنتی مورد استفاده برای کنترل کیفیت آب در مزارع طیور را می‌توان به چندین حوزه کلیدی به شرح زیر طبقه‌بندی کرد.

کلرزنی و ضدعفونی

ضدعفونی مبتنی بر کلر، یک روش ضدمیکروبی گسترده، مقرون به صرفه و با طیف اثر وسیع در دامپروری است. عامل ضدعفونی‌کننده اصلی، اسید هیپوکلروس (HOCl) است که وقتی منابع کلر، مانند هیپوکلریت سدیم (NaOCl)، به آب اضافه می‌شوند، تشکیل می‌شود. با این حال، اثربخشی کلر به شدت به pH آب وابسته است، زیرا HOCl قوی‌ترین ضدعفونی‌کننده است و در مقادیر pH پایین‌تر (مثلاً pH ۴/۵ تا ۶/۰) غالب است، در حالی که یون هیپوکلریت (OCl^-) که اثر کمتری دارد، در pH قلیایی ترجیح داده می‌شود. نکته قابل توجه این است که اثربخشی میکروب‌کشی (OCl^-) تقریباً ۸۰ تا ۱۰۰ برابر کمتر از HOCl تخمین زده می‌شود، زیرا بار الکتریکی منفی آن توسط لایه لیپیدی دیواره سلولی باکتریایی با بار مشابه دفع می‌شود، که مانع نفوذ و کند شدن اکسیداسیون اجزای سلولی داخلی می‌شود. در نتیجه، برای به حداکثر رساندن راندمان میکروب‌کشی و کنترل بیوفیلم‌ها، آب باید تا محدوده pH ۶ الی ۷ اسیدی شود و تعادل شیمیایی را به سمت فرم واکنش‌پذیرتر HOCl تغییر دهد. با این حال، مطالعات اخیر تأیید می‌کنند که تصفیه آب آشامیدنی با هیپوکلریت سدیم می‌تواند به طور قابل توجهی آلودگی باکتریایی را کاهش دهد و متعاقباً منجر به کاهش مشکلات بازدارنده عملکرد مرغ‌ها شود. محدوده توصیه شده برای کلر آزاد باقیمانده در آب آشامیدنی طیور معمولاً ۲ تا ۵ ppm در خط آبخوری است تا از رشد میکروبی جلوگیری شود. غلظت بالای کلر آزاد باقیمانده (مثلاً ۲۰ ppm یا بیشتر) می‌تواند به دلیل مشکلات مربوط به خوش‌طعمی، تأثیر منفی بر مصرف آب داشته باشد.

اسیدی کردن

اسیدی کردن آب شامل افزودن اسیدهای آلی (مانند اسید فرمیک، لاکتیک یا سیتریک) یا معدنی (مانند اسید فسفریک یا سولفوریک) به آب آشامیدنی برای حفظ pH معمولاً بین ۳/۸ تا ۴/۵ است. این روش از طریق چندین مکانیسم علمی برای سلامت و عملکرد طیور مفید است. اولاً، pH پایین، محیطی نامطلوب برای رشد باکتری‌های بیماری‌زا مانند اشریشیا کلی و گونه‌های سالمونلا در لوله آب ایجاد می‌کند، اثری که می‌تواند به صورت هم‌افزایی با ضدعفونی‌کننده‌هایی مانند کلر ترکیب شود. ثانیاً، اسیدی شدن آب می‌تواند pH دستگاه گوارش را کاهش دهد که این امر به رشد میکروبیوتای مفید روده کمک می‌کند و می‌تواند فعال‌سازی آنزیم‌های گوارشی مانند پپسین را بهبود بخشد و منجر به افزایش استفاده از مواد مغذی و عملکرد کلی شود. مطالعات تجربی نشان داده‌اند که ترکیب اسیدی‌کننده‌ها و ضدعفونی‌کننده‌ها در بهبود افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل غذایی در جوجه‌های گوشتی نسبت به هر یک از این دو روش به تنهایی مؤثرتر است.

شستشو (Flushing)

فلاشینگ یک روش مدیریت مکانیکی آب است که شامل حرکت سریع آب از طریق لوله‌های آبخوری می‌شود و در درجه اول برای حذف فیزیکی رسوبات، ته‌نشینی‌ها و مواد آلی عمل می‌کند. این روش برای کنترل توسعه بیوفیلم بسیار مهم است. بیوفیلم‌ها حاوی باکتری‌های بیماری‌زا و فرصت‌طلب مانند گونه‌های سودوموناس و کمپیلوباکتر هستند و به طور مداوم آب آشامیدنی را آلوده می‌کنند. شستشوی منظم، در حالت ایده‌آل روزانه در طول دوره آغازین و حداقل یک تا دو بار در هفته پس از آن، برای به حداقل رساندن تجمع بیوفیلم و حفظ کیفیت آب ضروری است. علاوه بر این، شستشوی فشار بالا جزء اصلی پروتکل تمیز کردن و بهداشت کامل بین گله‌ها است که اغلب همراه با پاک‌کننده‌های شیمیایی (اسید و باز) برای حذف بقایای آلی و رسوبات معدنی استفاده می‌شود و در نتیجه اطمینان حاصل می‌شود که ضدعفونی‌کننده‌های شیمیایی می‌توانند به طور مؤثر به میکروارگانیسم‌های باقی مانده برسند و آنها را غیرفعال کنند.

فناوری‌های اخیر برای بهبود کیفیت آب

در پاسخ به چالش‌های فعلی کیفیت آب، به ویژه آلودگی در برخی مناطق، صنعت طیور در سال‌های اخیر پیشرفت‌های تکنولوژیکی قابل توجهی را تجربه کرده است، به طوری که رویکردهای نوآورانه تصفیه آب، مکمل اصلاحات در شیوه‌های سنتی هستند. این پیشرفت‌ها طیف گسترده‌ای از فناوری‌ها، از جمله سیستم‌های تصفیه فیزیکی و پلتفرم‌های هوشمند نظارت و کنترل را در بر می‌گیرد. بخش‌های زیر مروری دقیق بر این فناوری‌های اخیر و نوظهور ارائه می‌دهند، شواهد فعلی را ترکیب می‌کنند و بر نوآوری‌هایی که مدیریت کیفیت آب را به تأسیسات مدرن طیور تبدیل می‌کنند، تأکید می‌کنند. ادغام پیشرفته تصفیه آب اکنون از فرآیندهای

اکسیداسیون پیشرفته[۸] (AOPs) برای دستیابی به معدنی‌سازی آلاینده‌های آلی مقاوم از طریق تولید رادیکال هیدروکسیل استفاده می‌کند. این امر اغلب توسط فناوری نانو تکمیل می‌شود که از سطح ویژه بالای نانومواد مهندسی شده برای جذب مولکولی انتخابی بهره می‌برد. علاوه بر این، فیلتراسیون غشایی پیشرفته، به ویژه نانوفیلتراسیون (NF) و RO، نمک‌زدایی و دفع املاح را از طریق ترکیبی از مکانیسم‌های حذف اندازه و انتشار محلول، فراهم می‌کند.

سیستم‌های فیلتراسیون

فیلتراسیون همچنان یکی از پرکاربردترین روش‌های تصفیه فیزیکی آب است که به عنوان اولین خط دفاعی در برابر جامدات معلق، رسوبات و میکروارگانیسم‌های مرتبط با ذرات عمل می‌کند که می‌توانند کیفیت آب را مختل کنند. همچنین به جلوگیری از مشکلات عملیاتی در شبکه‌های توزیع آب آشامیدنی کمک می‌کند. سیستم‌های سنتی فیلتراسیون شنی و چندرسانه‌ای همچنان نقش کلیدی در مدیریت آب دارند و به راندمان حذف ۸۵ تا ۹۵ درصد برای ذرات بزرگتر از ۱۰ میکرومتر دست می‌یابند. این فیلترهای معمولی از طریق اتخاذ مکانیسم‌های شستشوی معکوس خودکار، که نیازهای نیروی کار را کاهش می‌دهند و در عین حال عملکرد فیلتراسیون مداوم را در طول عملیات طولانی حفظ می‌کنند، به طور قابل توجهی تکامل یافته‌اند. (چنین اتوماسیونی به ویژه در محیط‌های تجاری در مقیاس بزرگ، که نگهداری دستی از نظر اقتصادی و لجستیکی غیرممکن است، ارزشمند است. سیستم‌های فیلتراسیون با کاهش تجمع جامدات معلق، رسوبات معدنی و رسوب بیولوژیکی، به عنوان یک دفاع حیاتی در برابر خرابی عملیاتی در سیستم‌های آب آشامیدنی طیور عمل می‌کنند. از نظر علمی، آب تصفیه نشده به عنوان حامل گل و لای و شن عمل می‌کند که به طور مکانیکی در قرارگیری دقیق پین‌های آبخوری نیپل اختلال ایجاد می‌کند و منجر به "نشت" می‌شود که رطوبت بستر و انتشار آمونیاک را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، این ذرات یک بستر فیزیکی برای اتصال و تکثیر بیوفیلم‌ها - جوامع پیچیده میکروارگانیسم‌هایی مانند E. coli فراهم می‌کنند که می‌توانند جریان را محدود کرده و عوامل بیماری‌زا را در خود جای دهند. محتوای بالای مواد معدنی، به ویژه کلسیم و منیزیم، منجر به رسوب $CaCO_3$ (رسوب) می‌شود که قطر لوله‌ها را باریک می‌کند و سرعت جریان حجمی موجود برای گله را در طول اوج تقاضای متابولیک کاهش می‌دهد. با حذف این عناصر ساینده و واکنش‌پذیر، فیلتراسیون، یکپارچگی ساختاری سیستم دارورسانی را حفظ کرده و پایداری بیوشیمیایی واکسن‌ها و داروهای تجویز شده را تضمین می‌کند، که در غیر این صورت ممکن است توسط اتصال به مواد معدنی یا اکسیداسیون غیرفعال شوند.

معرفی فناوری‌های فیلتراسیون مبتنی بر غشا، قابلیت‌های تصفیه فیزیکی آب را بیش از پیش گسترش داده است. سیستم‌های میکروفیلتراسیون، که با اندازه منافذ ۰/۱ تا ۱۰ میکرومتر کار می‌کنند، به طور مؤثر باکتری‌ها، تک‌یاخته‌ها و مواد جامد معلق را از

[۸] Advanced Oxidation Processes

آب منبع حذف می‌کنند. این سیستم‌ها به ویژه در مزارع مرغداری که به منابع آب سطحی با بار باکتریایی بالا و کدورت متغیر متکی هستند، مفید هستند. اولترافیلتراسیون، با استفاده از غشاهایی با منافذ بین ۰/۰۱ تا ۰/۱ میکرومتر، حذف ویروس‌ها، ذرات کلوئیدی و ترکیبات ماکرومولکولی را افزایش می‌دهد. فناوری‌های نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس (RO)، اگرچه به دلیل هزینه‌های بالای سرمایه‌ای و عملیاتی کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما به طور فزاینده‌ای در تأسیساتی که با مشکلات شدید کیفیت آب مواجه هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. غشاهای نانوفیلتراسیون (۰/۰۰۱-۰/۰۱ میکرومتر) به طور مؤثر یون‌های چند ظرفیتی، مواد آلی محلول و آلاینده‌های کمیاب موجود در آب‌های زیرزمینی و سطحی را حذف می‌کنند. سیستم‌های RO بالاترین سطح تصفیه را در بین فرآیندهای غشایی تحت فشار ارائه می‌دهند و تا ۹۹٪ مواد جامد محلول، نمک‌ها و طیف وسیعی از آلاینده‌ها را حذف می‌کنند. در واحدهای پرورش طیور که آب منبع دارای سختی بالا، میزان زیاد مواد جامد محلول (TDS) یا آلودگی به مواد شیمیایی کشاورزی است، استفاده از اسمز معکوس (RO) می‌تواند منابع آبی با کیفیت پایین را به آب آشامیدنی مناسب برای پرندگان تبدیل کند. سیستم‌های مدرن اسمز معکوس در کشاورزی امروزه به تجهیزات بازیابی انرژی و پارامترهای عملیاتی بهینه مجهز شده‌اند که باعث کاهش حجم پساب تغلیظ‌شده و کاهش قابل توجه اثرات زیست‌محیطی جریان دفعی می‌شود. محدودیت‌های اصلی برای پذیرش گسترده‌تر فناوری‌های غشایی پیشرفته در تأسیسات مرغداری، اقتصادی و عملیاتی هستند. سیستم‌های غشایی به سرمایه‌گذاری اولیه بیشتری نسبت به فیلتراسیون معمولی نیاز دارند و هزینه‌های جاری برای تمیز کردن، تعویض و دفع پساب تغلیظ‌شده باید با دقت در برابر مزایای عملکردی آنها سنجیده شود. گرفتگی غشا (تجمع ناخواسته مواد آلی و معدنی مانند چربی‌ها، پروتئین‌ها، مواد معدنی و میکروارگانیسم‌ها بر سطح یا درون منافذ سیستم فیلتراسیون) همچنان یک چالش فنی پایدار محسوب می‌شود و اغلب برای افزایش طول عمر بهره‌برداری، نیازمند پیش‌تصفیه است. با این حال، بهبودهای مداوم در مواد سازنده غشا و بهینه‌سازی فرایندها موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی سیستم شده و این فناوری‌ها را در مقیاس‌های مختلف تولید طیور به‌طور فزاینده‌ای قابل استفاده می‌کند. با این وجود، پیشرفت‌های مداوم در مواد غشایی و بهینه‌سازی فرآیند، باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش راندمان سیستم می‌شود و این فناوری‌ها را به طور فزاینده‌ای در مقیاس‌های مختلف تولید مرغ قابل استفاده می‌کند.

ضدعفونی با اشعه فرابنفش

ضدعفونی با اشعه فرابنفش (UV) به دلیل اثربخشی اثبات‌شده، سادگی عملیاتی و عدم وجود بقایای شیمیایی، یکی از پرکاربردترین روش‌های تصفیه آب غیرشیمیایی است. مکانیسم میکروب‌کشی تابش فرابنفش بر پایه جذب انرژی پرتو فرابنفش نوع C (Ultraviolet-C؛ زیرگونه‌ای از نور فرابنفش با طول موج کوتاه و انرژی بالا) با طول موج ۲۵۴ نانومتر توسط اسیدهای نوکلئیک میکروارگانیسم‌ها است که منجر به تشکیل دایمرهای تیمین در DNA و فرآورده‌های نوری مشابه در RNA می‌شود. این تغییرات یکپارچگی ژنتیکی

را مختل کرده و تکثیر میکروبی را مهار می‌کنند. برخلاف برخی گندزداهای شیمیایی، تیمار با UV باعث ایجاد سلول‌های زنده اما غیرقابل کشت (VBNC) نمی‌شود و از این طریق غیرفعال‌سازی کامل میکروارگانیسم‌های هدف را تضمین می‌کند. دوزهای UV برابر یا بیشتر از ۴۰ میلی‌ژول بر سانتی‌متر مربع معمولاً منجر به کاهش بیش از ۴ لگاریتمی (۹۹٫۹۹٪) در باکتری‌های روده‌ای مانند اشرشیاکلی می‌شوند. با این حال، یک مطالعه در سال ۲۰۲۳ گزارش کرده‌اند که اگرچه سیستم‌های UV در غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها مؤثر هستند، اما نگرانی‌هایی درباره امکان فعال‌سازی مجدد آن‌ها وجود دارد که می‌تواند ایمنی آب تصفیه‌شده را به خطر اندازد.

تصفیه با ازن

ازن به عنوان یک جایگزین جذاب برای کلرزنی مرسوم برای تصفیه آب ظهور کرده است که ظرفیت اکسیدکنندگی قوی، فعالیت ضدمیکروبی طیف گسترده و تجزیه کامل به اکسیژن مولکولی را بدون برجای گذاشتن بقایای شیمیایی پایدار ارائه می‌دهد. ازن از طریق اکسیداسیون مستقیم لیپیدهای سلولی، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک، اثرات ضدمیکروبی را اعمال می‌کند و به سرعت باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها و تک‌یاخته‌ها را در غلظت‌هایی بسیار کمتر از غلظت‌های مورد نیاز برای غیرفعال‌سازی معادل توسط ضدعفونی‌کننده‌های مبتنی بر کلر غیرفعال می‌نماید.

ازن مورد استفاده در تصفیه آب به‌صورت در محل تولید می‌شود و رایج‌ترین روش آن استفاده از سیستم‌های تخلیه الکتریکی کرونا است که طی آن اکسیژن تحت ولتاژ بالای الکتریکی به ازن تبدیل می‌شود. اگرچه تولید در محل ازن به سرمایه‌گذاری اولیه بالاتری نیاز دارد، اما نیاز به ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل و جابه‌جایی مواد شیمیایی را حذف می‌کند و از این رو مزایای عملیاتی و ایمنی قابل توجهی را فراهم می‌آورد که از سوی بسیاری از تولیدکنندگان مورد استقبال قرار گرفته است. فراتر از غیرفعال‌سازی مستقیم میکروبی، ازن در پیشگیری و حذف بیوفیلم بسیار مؤثر است و یکی از پایدارترین چالش‌ها در سیستم‌های توزیع آب طیور را برطرف می‌کند. با وجود این مزایای قابل توجه، سیستم‌های تصفیه ازن ملاحظات عملیاتی و ایمنی متعددی را نشان می‌دهند. نیمه عمر کوتاه ازن در آب (معمولاً ۲۰ دقیقه، بسته به دما) به این معنی است که پس از استفاده به سرعت تجزیه می‌شود و هیچ ظرفیت ضدعفونی‌کننده‌ای در شبکه توزیع باقی نمی‌گذارد. در نتیجه، تصفیه ازن برای سیستم‌هایی با خطوط توزیع کوتاه مناسب‌تر است یا ممکن است برای حفظ کنترل میکروبی در سراسر سیستم به ضدعفونی تکمیلی (مثلاً کلرزنی سطح پایین) نیاز داشته باشد. پارامترهای آب (از جمله pH، دما و محتوای آلی) به شدت بر پایداری و اثربخشی ازن تأثیر می‌گذارند. بنابراین، توصیف کیفیت پایه آب و نظارت دوره‌ای برای اطمینان از عملکرد مداوم ضروری است.

پراکسید هیدروژن

پراکسید هیدروژن (H_2O_2) به دلیل خواص اکسیداتیو قوی، فعالیت ضد میکروبی طیف گسترده و محصولات تجزیه‌ای بی‌خطر برای محیط زیست، به عنوان یک ماده ضدعفونی‌کننده جایگزین برای آب آشامیدنی طیور، اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده است. نحوه عملکرد آن شامل تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، به ویژه رادیکال‌های هیدروکسیل است که لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک را اکسید می‌کنند و منجر به مرگ سلول‌های میکروبی می‌شوند. در سیستم‌های آبی، این رادیکال‌ها از طریق واکنش‌های تجزیه‌ای کاتالیز شده با آهن تولید می‌شوند که پتانسیل قوی زیست‌کشی در برابر باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها را دارند. پراکسید هیدروژن خوراکی، که معمولاً به صورت محلول ۳۵٪ عرضه می‌شود و تا غلظت ۲۵ تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در آب آشامیدنی رقیق می‌شود، کنترل میکروبی مؤثری را فراهم می‌کند و در عین حال به طور کامل به آب و اکسیژن تجزیه می‌شود و هیچ باقیمانده مضر یا فرآورده‌های جانبی هالوژنه شده‌ای باقی نمی‌گذارد. از نقطه نظر عملیاتی، پراکسید هیدروژن در مقایسه با ضدعفونی‌کننده‌های مبتنی بر کلر مزایای متعددی دارد. این ماده در صورت محافظت از نور و نگهداری در ظروف مات و سازگار با مواد شیمیایی، پایداری ذخیره‌سازی بهتری را نشان می‌دهد و در نتیجه دوز ثابتی را در دوره‌های طولانی تضمین می‌کند. علاوه بر این، فرمولاسیون‌های تثبیت‌شده، که اغلب با یون‌های نقره یا کاتالیزورهای فلزی تقویت می‌شوند، فعالیت ضدمیکروبی را افزایش داده و غلظت‌های مؤثر کمتری را ممکن می‌سازند و بدون به خطر انداختن عملکرد زیست‌کشی، راندمان هزینه را بهبود می‌بخشند. علیرغم این مزایا، نگرانی‌های ایمنی بالقوه مرتبط با قرار گرفتن بیش از حد در معرض پراکسید هیدروژن باید مورد توجه قرار گیرد. رادیکال‌های هیدروکسیل واکنش‌پذیر می‌توانند در غلظت‌های بالا باعث ایجاد استرس اکسیداتیو و آسیب بافتی در حیوانات شوند. مطالعات تجربی روی برخی از دام‌ها، از جمله پرندگان، نشان داده است که قرار گرفتن در معرض H_2O_2 می‌تواند مورفولوژی روده و عملکرد سد روده را مختل کند. به طور مشابه، تجویز داخل صفاقی H_2O_2 در جوجه‌های گوشتی، نشانگرهای زیستی استرس اکسیداتیو مانند گونه‌های فعال اکسیژن و مالون دی آلدئید را افزایش داده و در عین حال دفاع آنتی‌اکسیدانی، از جمله فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز را کاهش می‌دهد. این یافته‌ها بر لزوم حفظ باقیمانده‌های آزاد در محدوده توصیه شده EPA یعنی ۲۵ تا ۵۰ ppm برای اطمینان از ایمنی میکروبی بدون اثرات فیزیولوژیکی نامطلوب تأکید می‌کنند. مشاهدات میدانی اخیر نشان می‌دهد که افزودن پراکسید هیدروژن در سیستم‌های آبخوری طیور در غلظت‌های عملی، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد رشد یا قابلیت هضم اسید آمینه در مراحل اولیه رشد ندارد. ضدعفونی‌کننده‌های مبتنی بر پراکسید هیدروژن عموماً در مقایسه با ازن یا دی‌اکسید کلر، نفوذ و ظرفیت حذف بیوفیلم محدودی دارند. در سیستم‌هایی که تجمع بیوفیلم از قبل ایجاد شده است، این محدودیت ممکن است نیاز به تمیزکاری مکانیکی، درمان‌های شوک با غلظت بالا با اکسیدان‌های جایگزین یا ضدعفونی کامل سیستم قبل از اجرای ضدعفونی معمول مبتنی بر پراکسید

داشته باشد. نظارت منظم بر باقیمانده پراکسید هیدروژن، اگرچه به دلیل عدم وجود روش‌های میدانی ساده، کمتر از آزمایش باقیمانده کلر رایج است، اما اطمینان ارزشمندی از عملکرد سیستم و تشخیص زودهنگام اضافه بار آلی یا نقص تجهیزات که می‌تواند اثربخشی ضدعفونی را مختل کند، فراهم می‌کند. با این حال، مطالعات سیستماتیک در مورد اثرات فیزیولوژیکی آن محدود بوده و تحقیقات بیشتری را می‌طلبد.

فناوری‌های فیزیکی نوظهور

فراتر از سیستم‌های قبلی، چندین فناوری نوآورانه تصفیه فیزیکی آب برای کاربردهای آب در حال توسعه هستند. آنها رویکرد اساسی برای بهبود کیفیت آب در عملیات مرغداری را نشان می‌دهند. آنها در درجه اول از طریق حذف مکانیکی ذرات معلق، کدورت و آلاینده‌های میکروبی بدون افزودن مواد شیمیایی عمل می‌کنند. این فناوری‌ها توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند، به ویژه در سیستم‌های تولیدی که مقررات استفاده از ضدعفونی‌کننده‌های شیمیایی را محدود می‌کند یا در مواردی که رعایت استانداردهای صدور گواهینامه ارگانیک مورد نیاز است.

پلاسمای غیر حرارتی

پلاسمای غیر حرارتی[۹] (NTP)، که اغلب "پلاسمای سرد" نامیده می‌شود، یک فناوری نوظهور در تصفیه آب است که به عنوان یک فرآیند اکسیداسیون پیشرفته[۱۰](AOP) بسیار قوی عمل می‌کند. برخلاف جوشاندن سنتی (که از گرما استفاده می‌کند) یا کلرزنی (که از افزودنی‌های شیمیایی استفاده می‌کند)، NTP از الکتریسیته با ولتاژ بالا برای یونیزه کردن گاز در نزدیکی یا درون آب استفاده می‌کند و حالتی از ماده را ایجاد می‌کند که سرشار از ذرات بسیار واکنش‌پذیر است. این یک رویکرد امیدوارکننده است که گونه‌های فعال اکسیژن و نیتروژن را از طریق تخلیه‌های الکتریکی تولید می‌کند که یک گاز تا حدی یونیزه شده در نزدیکی دمای محیط ایجاد می‌کنند. این گونه‌ها (از جمله رادیکال‌های هیدروکسیل، ازن، پراکسید هیدروژن و اکسیدهای نیتروژن) فعالیت ضد میکروبی قوی را از طریق اکسیداسیون غشا، دناتوراسیون پروتئین و اختلال در DNA اعمال می‌کنند. پلاسمای جوی سرد را می‌توان مستقیماً روی سطوح آب یا درون راکتورهای جریان اعمال کرد و انعطاف‌پذیری در طراحی را ارائه داد. مطالعات اولیه نتایج امیدوارکننده‌ای را برای کنترل بیوفیلم و تخریب آلاینده‌های نوظهور نشان داده‌اند، اگرچه سیستم‌های تجاری متناسب با تصفیه مداوم آب هنوز در مراحل اولیه هستند. بهینه‌سازی بیشتر در مورد بهره‌وری انرژی، مقیاس‌پذیری سیستم و مدیریت ایمنی مربوط به تولید گونه‌های واکنش‌پذیر مورد نیاز است.

[۹] Non-thermal plasma
[۱۰] Advanced Oxidation Process

آب مغناطیسی

آب مغناطیسی[۱۱] (MW) شامل عبور آب از یک میدان مغناطیسی است که به‌صورت نظری خواص فیزیکی آب را تغییر می‌دهد، از جمله کاهش احتمالی اندازه خوشه‌های مولکولی آب، افزایش حلالیت آن برای مواد مغذی و املاح، و افزایش pH به سطحی کمی قلیایی. تیمار با آب مغناطیسی یک رویکرد غیرشیمیایی و رو به گسترش است که هدف آن بهبود کیفیت آب و عملکرد حیوانات از طریق اعمال میدان‌های مغناطیسی به سیستم‌های آب آشامیدنی است این فرایند بر اساس قرار دادن آب در معرض یک میدان استاتیک یا الکترومغناطیسی انجام می‌شود که معمولاً توسط آهن‌رباهای نئودیمیوم، آهن یا بور تولید می‌شود، و می‌تواند به‌صورت عبور آب از لوله‌های مغناطیسی یا غوطه‌ور کردن مستقیم یک دستگاه مغناطیسی در آب صورت گیرد. این آهنرباها معمولاً با لایه‌های محافظ مانند اپوکسی، نیکل یا مس پوشانده می‌شوند تا از خوردگی جلوگیری کرده و پایداری را در شرایط اسیدی حفظ کنند. در طول مغناطیس‌سازی، قدرت میدان مغناطیسی و پیکربندی دستگاه مغناطیسی (به عنوان مثال، چیدمان خطی یا دایره‌ای) میزان اصلاح آب القا شده را تعیین می‌کند. آب معمولاً با سرعت کم و کنترل‌شده از میدان مغناطیسی عبور می‌کند تا زمان کافی برای تأثیرگذاری فراهم شده و از ایجاد آشفتگی جلوگیری شود. در برخی سیستم‌ها، آب در یک حلقه بسته گردش می‌کند تا بارها در معرض میدان قرار گیرد و خواص مغناطیسی القا شده برای چند ساعت پس از تیمارشدن حفظ شود، معمولاً بین ۶ تا ۱۲ ساعت، هرچند اثرات باقی‌مانده می‌تواند بسته به طراحی سیستم برای مدت طولانی‌تری ادامه یابد. نشان داده شده است که فرآیند مغناطیسی کردن آب چندین ویژگی فیزیکوشیمیایی آب را تغییر می‌دهد. قرار گرفتن در معرض میدان‌های مغناطیسی می‌تواند خوشه‌بندی مولکول‌های آب را از طریق تضعیف پیوندهای هیدروژنی کاهش دهد، که منجر به تشکیل تجمع‌های مولکولی کوچکتر با تحرک و قابلیت حل‌شوندگی بالاتر می‌شود. آب مغناطیسی همچنین دارای کشش سطحی کمتری است که می‌تواند نفوذ و انتشار آن در غشاهای سلولی را بهبود بخشد. به‌طور کلی، این تغییرات می‌تواند موجب بهبود هیدراتاسیون، انتقال مواد مغذی و کارایی متابولیکی در سیستم‌های زیستی شود. در عمل، سیستم‌های مغناطیسی معمولاً به‌صورت خطی در شبکه توزیع آب نصب می‌شوند تا آب به طور مداوم قبل از رسیدن به آبخوری‌ها از میدان مغناطیسی عبور کند. اثرات گزارش‌شده شامل کاهش تشکیل رسوب ناشی از تغییر در کریستالیزاسیون کربنات کلسیم، افزایش حل‌شوندگی مواد معدنی و بهبود هیدراتاسیون و کارایی متابولیکی در دام‌ها است.

مطالعات نشان می‌دهند که آب مغناطیسی می‌تواند بر تولید طیور اثرات مثبت داشته باشد، از جمله افزایش سرعت رشد، بهبود بهره‌وری تغذیه، تقویت سیستم ایمنی و کیفیت تخم‌مرغ، و همچنین کاهش شیوع برخی میکروب‌های بیماری‌زا. این فناوری‌ها به‌عنوان جایگزین‌های نوظهور و دوستدار محیط زیست برای ضدعفونی شیمیایی سنتی مطرح هستند و تمرکز آن‌ها بر بهینه‌سازی

[۱۱] Magnetized Water

ساختار و خواص ذاتی آب برای حمایت از سلامت و عملکرد حیوانات است. یافته‌های اصلی مطالعات منتشر شده درباره استفاده از آب مغناطیسی در طیور در جدول ۳ خلاصه شده و اثرات گزارش‌شده بر عملکرد رشد، ضریب تبدیل خوراک، ویژگی‌های هماتولوژیک و وضعیت آنتی‌اکسیدانی را نشان می‌دهد.

چندین مطالعه تأثیرات مغناطیسی کردن آب بر مصرف آب و خوراک، عملکرد رشد، ویژگی‌های لاشه، پارامترهای هماتولوژیک و بیوشیمیایی، عملکرد تولیدمثلی و کیفیت تخم‌مرغ را در گونه‌های مختلف پرندگان و شرایط آزمایشی مختلف بررسی کرده‌اند. به‌طور قابل توجه، El-Hanoun و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند که غازهایی که آب مغناطیسی با شدت ۴۰۰۰ گوس دریافت کردند، مصرف آب بالاتری نسبت به پرندگانی که آب معمولی مصرف می‌کردند، داشتند. برعکس، Al-Mufarrej و همکاران (۲۰۰۵)، Al-Fadul (۲۰۰۶) و Mahmoud و همکاران (۲۰۱۷) کاهش مصرف آب در بوقلمون‌ها هنگام استفاده از آب مغناطیسی را مشاهده کردند، که McMahon (۲۰۰۹) این موضوع را به تغییرات کشش سطحی، ویسکوزیته و حلالیت آب نسبت داد که رفتار هیدراتاسیون را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مورد مصرف خوراک، Gholizadeh و همکاران (۲۰۰۸) و Kırkpınar و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که آب مغناطیسی مصرف خوراک در بوقلمون‌ها را افزایش می‌دهد، در حالی که Al-Hassani و Amin (۲۰۱۲) تفاوت معناداری در جوجه‌های ۵۰۰-Cobb که با آب مغناطیسی به مدت ۵ تا ۱۵ دقیقه و با شدت ۵۰۰ گوس تیمار شدند، مشاهده نکردند. با این حال، El-Katcha و همکاران (۲۰۱۸) افزایش عددی مصرف خوراک در بوقلمون‌ها را هنگام تکرار تیمار آب مغناطیسی هر شش ساعت یک‌بار گزارش کردند. اثر تیمار بر افزایش وزن بدن عموماً مثبت بوده است؛ Mahmoud و همکاران (۲۰۱۷) بهبود وزن را مشاهده کردند. به همین ترتیب، Baker و همکاران (۲۰۲۴) دریافتند که مغناطیسی کردن آب آشامیدنی به‌طور معنادار نرخ رشد و وزن نهایی بدن جوجه‌های گوشتی را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، El-Katcha و همکاران (۲۰۱۷) بهبود عملکرد رشد در جوجه اردک‌های پکین و افزایش تقریبی ۱۹/۶ درصد وزن نهایی بدن غازهایی که آب مغناطیسی دریافت کرده بودند، را گزارش کردند. بر اساس Gholizadeh و همکاران (۲۰۰۸)، بوقلمون‌هایی که آب مغناطیسی با شدت ۶۰۰۰ گوس مصرف کردند، حدود ۲۰۰ گرم گوشت بیشتر نسبت به گروه کنترل تولید کردند. با این حال، برخی مطالعات تفاوت معناداری مشاهده نکردند، همان‌طور که Al-Hassani و Amin (۲۰۱۲) و El-Katcha و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند؛ آن‌ها ذکر کردند که تکرار تیمار با آب مغناطیسی تنها باعث افزایش اندک و غیرمعنادار در وزن نهایی و ضریب تبدیل خوراک شد. این تفاوت‌ها به تفاوت در نژاد پرنده، شدت مغناطیسی، سرعت جریان آب و نوع دستگاه نسبت داده شده است. نسبت تبدیل خوراک (FCR) تحت تیمار با آب مغناطیسی به‌طور مداوم بهبود یافته است؛ کاهش معنادار FCR در جوجه‌های گوشتی توسط Mahmoud و همکاران (۲۰۱۷) و در غازها توسط El-Hanoun و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شده است. با این حال، El-Katcha و همکاران (۲۰۱۷ و ۲۰۱۸) مشاهده کردند که تکرار تیمار آب مغناطیسی تنها به‌صورت

عددی باعث بهبود FCR، نسبت کارایی پروتئین و شاخص عملکرد در جوجه‌ها و اردک‌ها شد. پاسخ‌های مربوط به زنده‌مانی و مرگ‌ومیر نسبت به آب مغناطیسی متغیر است: Gholizadeh و همکاران (۲۰۰۸) کاهش مرگ‌ومیر در جوجه‌های گوشتی تیمار شده با آب مغناطیسی را گزارش کردند، در حالی که Mahmoud و همکاران (۲۰۱۷) مرگ و میر کمی بالاتر (۳/۲۷ درصد در مقابل ۲/۲۲ درصد) در گروه‌های آب مغناطیسی مشاهده کردند. Keirs و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که اعمال میدان مغناطیسی مرگ‌ومیر را در مرغ‌های تخم‌گذار تجاری تقریباً ۴۸ درصد کاهش داد، اما Hanafy (۲۰۱۷) و Al-Hassani و Amin (۲۰۱۲) هیچ اثر معناداری بر مرگ‌ومیر یا زنده‌مانی در نژادهای مختلف طیور مشاهده نکردند. اگرچه پیشنهاد شده است که آب مغناطیسی می‌تواند عملکرد کبد و فیزیولوژی روده را تحت تأثیر قرار دهد، Gilani و همکاران (۲۰۱۴) تفاوت معناداری در مورفولوژی روده یا استخوان بین گروه‌های تیمار شده با آب مغناطیسی و گروه کنترل مشاهده نکردند.

توازن اکسیداتیو و وضعیت آنتی‌اکسیدانی به‌نظر می‌رسد که تحت تأثیر مثبت آب مغناطیسی قرار می‌گیرند. Hafizi و همکاران (۲۰۱۴) و Ebrahim و Azab (۲۰۱۷) کاهش غلظت مالون دی‌آلدهید (MDA) و اکسید نیتریک (NO) و در عین حال افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در بافت‌های پرندگان تیمار شده با آب مغناطیسی را گزارش کردند. El-Katcha و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که تیمار مکرر با آب مغناطیسی به‌طور معنادار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (TAC) و فعالیت SOD را افزایش داده و در عین حال سطح پراکسید هیدروژن را کاهش می‌دهد. به طور قابل توجه، توازن بین MDA، SOD و NO به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده حیاتی سلامت و عملکرد رشد، به ویژه در شرایط استرس محیطی یا پاتولوژیک عمل می‌کند. MDA یک محصول جانبی اصلی از پراکسیداسیون لیپیدها است و افزایش غلظت آن نشان‌دهنده آسیب اکسیداتیو شدید به غشاهای سلولی است، که به‌طور مستقیم با کاهش افزایش وزن بدن، افزایش نسبت تبدیل خوراک (FCR) و کاهش یکپارچگی روده در جوجه‌ها مرتبط است. برای مقابله با چنین آسیب‌هایی، SOD به‌عنوان اولین خط دفاع آنزیمی عمل کرده و رادیکال‌های سوپراکسید را خنثی می‌کند، در حالی که NO نقش دوگانه‌ای دارد؛ سطوح پایه آن برای گشاد شدن عروق و تنظیم سیستم ایمنی حیاتی است.

علاوه بر این، آب مغناطیسی وضعیت ایمنی را بهبود می‌بخشد، به‌طوری که تیتر آنتی‌بادی‌ها علیه واکسن نیوکاسل در روز ۳۵ افزایش یافته و شمار کل باکتری‌های روده به‌طور تقریبی ۱۰٪ در ژژنوم و ۲۷٪ در روده بزرگ کاهش می‌یابد. El-Nagar و همکاران (۲۰۲۴) دریافتند که آب مغناطیسی با شدت ۱۴۵۰۰ گوس به‌طور معنادار شمار کل باکتری‌ها را کاهش می‌دهد، در حالی که Anne و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که میدان‌های مغناطیسی (۲–۱۰ میلی‌تسلا به مدت ۶ ساعت) رشد E. coli را تا ۸۲/۲٪ مهار می‌کنند. Elmusharaf و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده کردند که یک میدان الکترومغناطیسی ضعیف (۵ میکروتسلا به مدت ۳۰ دقیقه در روز) جوجه‌های گوشتی را در برابر کوکسیدیوز محافظت می‌کند، که نشان می‌دهد آب مغناطیسی می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای

داروهای ضدکوکسیدیوز عمل کند. Abdel-Azeem و همکاران (۲۰۲۳) اثرات مثبت آب مغناطیسی (≤۱ تسلا) را بر ویژگی‌های هماتولوژیک و مورفولوژی پرزهای روده در بلدرچین ژاپنی تأیید کردند. این اثرات ممکن است ناشی از افزایش حلالیت مواد معدنی و بهبود انتقال مواد مغذی از طریق غشاهای سلولی، همراه با بهبود کیفیت آب و کاهش بار باکتریایی باشد.

El-Hanoun و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند که آب مغناطیسی با شدت ۴۰۰۰ گوس قابلیت جوجه‌آوری غازها را بهبود می‌بخشد، که احتمالاً از طریق تقویت ایمنی و سلامت تولیدمثلی رخ می‌دهد. آب مغناطیسی همچنین پاسخ‌های ایمنی و یکپارچگی روده را در اردک‌های پکین تقویت کرد و شیوع سالمونلا را در جوجه‌های گوشتی کاهش داد. برعکس، Al-Mufarrej و همکاران (۲۰۰۵) هیچ اثر معناداری بر پارامترهای ایمنی در شدت ۵۰۰ گوس مشاهده نکردند. Kırkpınar و همکاران (۲۰۲۳) افزایش سطح پروتئین کل و گلوبولین سرم در جوجه‌های گوشتی مصرف‌کننده آب مغناطیسی را گزارش کردند، در حالی که Al-Hilali (۲۰۱۸) افزایش معنادار هموگلوبین، شمارش گلبول‌های قرمز و سفید و حجم گلبول‌های فشرده در بلدرچین ژاپنی را مشاهده کرد. کاهش کلسترول سرم، تری‌گلیسیرید و لیپوپروتئین‌های بسیار کم‌چگال همراه با افزایش سطح HDL نشان‌دهنده بهبود متابولیسم چربی و سلامت قلب و عروق است. این بهبودهای متابولیکی ممکن است با افزایش حلالیت مواد معدنی و انتقال اکسیژن مرتبط باشد، که استفاده از مواد مغذی و اکسیژناسیون بافت‌ها را تسهیل می‌کند. Jassim و Aqeel (۲۰۱۷) کاهش قابل توجهی در گلوکز، کلسترول و تری‌گلیسیرید خون در جوجه‌های Ross مصرف‌کننده آب مغناطیسی با شدت ۱۰۰۰ گوس گزارش کردند، در حالی که El-Katcha و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند که آب مغناطیسی سطح HDL را افزایش و LDL را در جوجه‌های اردک پکین کاهش می‌دهد. Yacout و همکاران (۲۰۱۵) نیز افزایش شمار گلبول‌های سفید خون را مشاهده کردند، که احتمالاً نشان‌دهنده افزایش سطح ایمونوگلوبولین‌ها و فعالیت مغز استخوان است. Gilani و همکاران (۲۰۱۴) تأیید کردند که آب مغناطیسی با شدت ۶۵۰۰ گوس تغییرات منفی در بیوشیمی خون ایجاد نمی‌کند.

ویژگی‌های لاشه به‌صورت متغیر تحت تأثیر آب مغناطیسی قرار گرفته‌اند؛ به‌طوری که Gholizadeh (۲۰۰۸) افزایش میزان چربی گوشت را گزارش کرد، در حالی که El-Hanoun و همکاران (۲۰۱۷) افزایش معنادار درصد لاشه و کاهش چربی شکمی را در غازهای دریافت‌کننده آب مغناطیسی با شدت ۴۰۰۰ گوس مشاهده کردند که همراه با بهبود عملکرد کلیوی و کبدی بود. Kırkpınar و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که بازده لاشه می‌تواند تحت تأثیر شدت بالای مغناطیسی شدن آب آشامیدنی قرار گیرد، در حالی که Al-Mufarrej و همکاران (۲۰۰۵) در شدت ۵۰۰ گوس تفاوت معناداری گزارش نکردند. Gilani و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که آب مغناطیسی با شدت ۶۵۰۰ گوس ارتفاع پرزهای ژژنوم و ضخامت لایه عضلانی روده را افزایش می‌دهد، که بیانگر بهبود ظرفیت جذب مواد مغذی است. آب مغناطیسی بر پارامترهای تولیدمثلی و کیفیت تخم‌مرغ نیز اثر مثبت داشته است. El-Hanoun و همکاران

(۲۰۱۷) افزایش تعداد تخم‌مرغ (+۱۸/۷٪) ، وزن تخم‌مرغ (+۴/۳٪) ، جرم تخم‌مرغ (+۲۴/۷٪) ، ضخامت پوسته (+۱۰/۵٪) و درصد زرده (+۸/۳٪) را در غازهای دریافت‌کننده آب مغناطیسی گزارش کردند. El-Sabrout و El-Hanoun (۲۰۱۹) بیان کردند که شدت‌های میدان بیش از ۱۰۰۰ گوس در ماه ضخامت پوسته تخم‌مرغ را در مرغ‌ها حدود ۹٪ افزایش می‌دهد. به‌طور مشابه، El-Sabrout و Hanafy (۲۰۱۷) نشان دادند که آب مغناطیسی با شدت ۱۴۵۰۰ گوس کیفیت پوسته را در مرغ‌های Lohmann Brown بهبود می‌بخشد، بدون آن‌که تأثیر معناداری بر میزان تولید تخم‌مرغ داشته باشد، در حالی که Al-Kuhla و همکاران (۲۰۲۳) اشاره کردند که تیمار با آب مغناطیسی می‌تواند تولید تخم‌مرغ را افزایش دهد. El-Sabry و همکاران (۲۰۱۸) نیز افزایش معنادار ارتفاع سفیده و زرده را در تخم‌مرغ‌های مرغ‌های دریافت‌کننده آب مغناطیسی با شدت ۳۰۰۰ گوس گزارش کردند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که آب مغناطیسی با افزایش فراهمی کلسیم، از تشکیل پوسته تخم‌مرغ پشتیبانی می‌کند و تعادل کلسیم و فسفر استخوان را در دوره تخم‌گذاری حفظ می‌نماید. همچنین Hassan و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که آب مغناطیسی با شدت ۲۰۰۰ گوس استحکام پوسته و عملکرد کلی را در مرغ‌های Gimmizah بهبود می‌دهد. Darsi و همکاران (۲۰۱۷) مشاهده کردند که آب مغناطیسی با شدت ۰/۶۵ تسلا استحکام تخم‌مرغ را افزایش می‌دهد که احتمالاً ناشی از تغییر در حلالیت سنگ آهک است. ویژگی‌های تولیدمثلی نیز بهبود یافتند؛ Al-Daraji و Aziz (۲۰۰۸) بهبود کیفیت و حجم مایع منی را در خروس‌های Hy-Line در معرض آب مغناطیسی با شدت ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ گوس گزارش کردند و El-Hanoun و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که آب مغناطیسی با شدت تا ۴۰۰۰ گوس باروری غازها (+۹٪)، قابلیت جوجه‌درآوری (+۱۱/۶٪) و تعداد جوجه‌های تفریخ‌شده را افزایش می‌دهد، که همراه با افزایش غلظت استروژن و پروژسترون بود. در مجموع، این نتایج نشان می‌دهند که آب مغناطیسی اثرات فیزیولوژیک و تولیدی گسترده‌ای در طیور دارد؛ هرچند تفاوت در طراحی آزمایش، شدت میدان مغناطیسی و مدت زمان تیمار می‌تواند دلیل ناهماهنگی نتایج بین مطالعات مختلف باشد.

آب یونیزه

استفاده از آب آشامیدنی یونیزه در پرورش طیور، که معمولاً به آب الکترولیز شده قلیایی[۱۲] (AEW) اشاره دارد، یک روش نوظهور است که به دلیل اثرات بالقوه آن بر سلامت پرندگان و عملکرد تولیدی مورد مطالعه قرار گرفته است. فرآیند یونیزاسیون، که اغلب از طریق الکترولیز انجام می‌شود، خواص فیزیکوشیمیایی آب را تغییر می‌دهد که فرض می‌شود مزایای بیولوژیکی را به همراه دارد. آب یونیزه که از طریق الکترولیز برای دستیابی به pH کمی قلیایی و ORP منفی تولید می‌شود، دارای خواص آنتی‌اکسیدانی بوده و همچنین، به عنوان یک ضدعفونی‌کننده ملایم عمل کرده و غلظت باکتری‌های بیماری‌زا، کل جامدات محلول (TDS) و جلبک‌های

[۱۲] Alkaline electrolyzed water

موجود در آب را کاهش می‌دهد. از نظر علمی، اعتقاد بر این است که این امر به بهبود وضعیت فیزیولوژیکی، سلامت/ایمنی و عملکرد رشد در طیور، از جمله نسبت تبدیل خوراک بهتر و وزن نهایی بالاتر بدن کمک می‌کند. یک مطالعه در سال ۲۰۲۵ نشان داد که فرآیندهای یونیزاسیون، به ویژه الکترولیز، می‌توانند بر پارامترهای کلیدی کیفیت آب تأثیر بگذارد. متون علمی نشان می‌دهند که آب یونیزه قلیایی حاصل اغلب ORP منفی نشان می‌دهد که نشان‌دهنده خواص آنتی‌اکسیدانی است. این حالت تغییر یافته برای افزایش فعالیت بیولوژیکی آب و دینامیک سیالات، از نظر تئوری بهبود جذب و مشارکت آن در فرآیندهای متابولیکی پرنده پیشنهاد شده است. علاوه بر این، تکنیک یونیزاسیون با کاهش آلاینده‌های میکروبی مانند شمارش هتروتروف، کل جامدات محلول (TDS) و شمارش جلبک مرتبط بوده است که به یک منبع آشامیدنی پاک‌تر و ایمن‌تر برای گله کمک می‌کند. در مورد تأثیر آب آشامیدنی یونیزه بر عملکرد پرندگان، چندین مطالعه، که عمدتاً بر روی جوجه‌های گوشتی متمرکز بوده‌اند، اثرات آب یونیزه بر معیارهای عملکرد را بررسی کرده‌اند. نتایج مثبتی گزارش شده است، از جمله وزن نهایی بالاتر بدن و بهبود نسبت تبدیل خوراک (FCR) در مقایسه با گروه‌های کنترل که آب لوله‌کشی دریافت می‌کردند. این بهبودها گاهی اوقات با ماهیت قلیایی آب مرتبط هستند که ممکن است بر فیزیولوژی گوارش و متابولیسم مواد مغذی تأثیر مثبت بگذارد. از دیدگاه ایمونولوژیکی، مصرف آب یونیزه شده با افزایش پاسخ‌های ایمنی مرتبط بوده است. تحقیقات نشان داده است که پارامترهای خونی که نشان‌دهنده سلامت بهتر هستند، مانند هموگلوبین، پروتئین کل، گلوبولین و ایمونوگلوبولین‌های خاص (IgG، IgM) افزایش یافته‌اند. ORP منفی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مرتبط ممکن است با کمک به TAC بالاتر و کاهش نشانگرهای پراکسیداسیون لیپید (مانند MDA) ، استرس اکسیداتیو را کاهش داده و از مقاومت کلی فیزیولوژیکی در برابر چالش‌ها حمایت کند. با این حال، این سوال همچنان باقی است: کدام بهتر است، نوشیدن آب قلیایی یا اسیدی؟ طبق تحقیقات اخیر، pH کمی قلیایی، به ویژه با ORP منفی، از دستگاه‌های الکترولیز، برخی از ویژگی‌های تولیدی و فیزیولوژیکی را در پرندگان طیور بهبود می‌بخشد. از سوی دیگر، چندین مطالعه علمی به طور قاطع آب کمی اسیدی را بر آب قلیایی برای افزایش سلامت روده طیور و قابلیت هضم مواد مغذی ترجیح می‌دهند. اسیدی کردن آب آشامیدنی با کاهش pH در چینه‌دان و پیش معده، که آنزیم‌های پروتئولیتیک ضروری مانند پپسین را که برای تجزیه مؤثر پروتئین‌ها به اسیدهای آمینه قابل جذب نیاز به محیط اسیدی دارند، فعال می‌کند، از فیزیولوژی گوارش طبیعی پرنده پشتیبانی می‌کند. علاوه بر این، pH پایین آب به عنوان یک مانع شیمیایی در برابر باکتری‌های بیماری‌زا مانند سالمونلا و ای. کولی عمل می‌کند، در حالی که همزمان تکثیر میکروفلور مفید و مقاوم به اسید مانند گونه‌های لاکتوباسیلوس را که مورفولوژی روده را بهبود می‌بخشند (مثلاً افزایش ارتفاع پرزها) افزایش می‌دهد.

دیجیتالی شدن و سیستم‌های هوشمند

فناوری‌های صنعت مرغداری نسل چهارم به ادغام رویکردهای دیجیتال "هوشمند" در زنجیره ارزش مرغداری برای ایجاد یک محیط تولید خودکار، داده‌محور و به هم پیوسته اشاره دارد. ادغام این فناوری‌ها منجر به تصفیه‌خانه‌های آب هوشمندتر، سازگارتر و کارآمدتر می‌شود. سیستم نظارت و کنترل فوری از حسگرهای اینترنت اشیا (IoT) برای نظارت مداوم بر کیفیت آب، جریان و سلامت تجهیزات استفاده می‌کند و امکان تنظیمات فوری فرآیند را فراهم می‌کند. علاوه بر این، هوش مصنوعی (AI) و کلان‌داده برای نگهداری پیش‌بینی‌شده، بهینه‌سازی دوز مواد شیمیایی و مدیریت مصرف انرژی برای کاهش هزینه‌های عملیاتی و بهبود قابلیت اطمینان به کار گرفته می‌شوند. از این رو، استراتژی‌های مدرن PLF به طور فزاینده‌ای نظارت فوری بر کیفیت آب را به عنوان یک جزء اصلی مدیریت گله ادغام کرده‌اند. این سیستم‌ها با استقرار حسگرهای پیشرفته برای ردیابی مداوم متغیرهای حیاتی، به ویژه pH، دما و ORP، امکان تعدیل خودکار و آنی پروتکل‌های تصفیه آب را فراهم می‌کنند. این رویکرد حلقه بسته، حفظ سطوح بهینه ضدعفونی را تضمین می‌کند و در نتیجه بهداشت آب را به طور مداوم تضمین کرده و به طور مستقیم بهره‌وری کلی گله را افزایش می‌دهد. پیشرفت فناوری‌های PLF نشان‌دهنده تغییر از مدیریت مشاهده‌ای سنتی به مداخلات پیشگیرانه مبتنی بر داده است، که در آن نظارت بر کیفیت آب در زمان واقعی به عنوان یک "سیستم هشدار اولیه" بیولوژیکی حیاتی عمل می‌کند. در حالی که ادغام حسگرهای pH، دما و ORP از نظر علمی برای بهینه‌سازی ضدعفونی قوی است، تحقیقات فعلی نشان می‌دهد که اکثر این سیستم‌های پیشرفته "حلقه بسته" در مراحل اولیه نمونه اولیه یا تجاری‌سازی باقی می‌مانند و ادبیات گسترده هنوز بر داده‌های تجربی به جای داده‌های میدانی در مقیاس بزرگ متمرکز است. انتقال از تحقیق به عمل در حال حاضر به دلیل هزینه‌های بالای اولیه و چالش‌های فنی مانند رانش حسگر، نیاز به کالیبراسیون مکرر و شکاف‌های اتصال به اینترنت روستایی با مشکل مواجه است.

ارزیابی مقرون به صرفه بودن و اثربخشی استراتژی‌های تصفیه

رایج‌ترین روش تصفیه، کلرزنی، همچنان محبوب است زیرا ارزان‌ترین گزینه است و اثر باقیمانده‌ای ایجاد می‌کند که با حرکت آب در لوله‌ها، میکروب‌ها را از بین می‌برد. با این حال، اثربخشی آن به شدت به pH آب بستگی دارد. اگر آب حتی کمی قلیایی باشد، کلر قدرت خود را از دست می‌دهد. از سوی دیگر، اکسیداسیون پیشرفته (مانند ازن یا UV) در از بین بردن عوامل بیماری‌زای مقاومی که کلر از آنها عبور نمی‌کند، بسیار مؤثرتر است، اما این سیستم‌ها به سرمایه‌گذاری اولیه بسیار بالاتری نیاز دارند و پس از خروج آب از دستگاه تصفیه، هیچ محافظتی ارائه نمی‌دهند. اسیدی‌سازی از نظر هزینه میانگین است. اگرچه گران‌تر از کلر معمولی است، اما یک مزیت دوگانه ارائه می‌دهد: آب را ضدعفونی می‌کند و سلامت روده داخلی پرنده را بهبود می‌بخشد. با کاهش pH، به پرندگان کمک می‌کند تا پروتئین را به طور مؤثرتری هضم کنند و محیطی ایجاد می‌کنند که باکتری‌های بد مانند سالمونلا نتوانند در آن

زنده بمانند. برای تولیدکنندگان، هزینه اضافی اسید اغلب از طریق نسبت تبدیل خوراک (FCR) بهتر و کاهش نیاز به آنتی‌بیوتیک‌های گران‌قیمت جبران می‌شود. فناوری‌های پیشرفته مانند یونیزاسیون و حسگرهای PLF شامل بالاترین هزینه‌های اولیه هستند، اما بیشترین ثبات را ارائه می‌دهند. یونیزاسیون به دلیل توانایی‌اش در کاهش استرس فیزیولوژیکی در پرندگان، که می‌تواند منجر به افزایش بازده گوشت شود، به طور فزاینده‌ای ارزشمند است. در همین حال، ابزارهای PLF (مانند حسگرهای pH و ORP در زمان واقعی) به عنوان یک بیمه عمل می‌کنند. با ارائه نظارت ۲۴ ساعته، از خرابی‌های خاموش در کیفیت آب که معمولاً با آزمایش دستی نادیده گرفته می‌شوند، جلوگیری می‌کنند و تضمین می‌کنند که پولی که برای فراهم کردن روش‌های مختلف صرف می‌شود، در واقع منجر به آب تمیز در خط آبخوری می‌گردد. در نهایت، مقرون به صرفه‌ترین استراتژی برای یک مرغداری مدرن به ندرت یک روش واحد است، بلکه یک رویکرد یکپارچه است. ترکیب فیلتراسیون کم‌هزینه با دوز دقیق اسیدها یا ضدعفونی‌کننده‌ها، بالاترین سطح امنیت زیستی را تضمین می‌کند. اگرچه قیمت اولیه این فناوری‌ها بالاتر است، اما بازده اقتصادی بلندمدت آن‌ها در وزن یکنواخت‌تر پرندگان، میزان مرگ و میر کمتر و مصرف پایدارتر آب یافت می‌شود که آن‌ها را برای عملیات تجاری با عملکرد بالا ضروری می‌سازد.

جدول ۱- مروری تطبیقی بر استراتژی‌های تصفیه آب آشامیدنی مورد استفاده در مرغداری‌ها

تیمار/رویکرد	مکانیسم/فرآیند	اثربخشی و نتایج	نکته تکمیلی/ تاثیرات
کلرزنی (کلر، NaDCC)	افزودن ترکیبات کلردار (مانند سدیم دی کلروایزوسیانورات، سدیم هیپوکلریت) به خطوط آب برای ضدعفونی کردن.	- باعث کاهش E. coli، سالمونلا، S. aureus و کپک‌ها در خطوط آب می‌شود. - در غلظت ۳۰ تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر NaDCC، کاهش قابل توجهی در باکتری‌های مضر و بهبود عملکرد جوجه‌های گوشتی ایجاد می‌شود. - آب کلردار باعث کاهش باکتری‌های سکوم و آلودگی سالمونلا می‌شود.	- برای مقرون به صرفه بودن، ۳۰ میلی‌گرم در لیتر NaDCC توصیه می‌شود. - محصولات جانبی کلرزنی معمولی می‌توانند برای حیوانات مضر باشند.
پراکسید هیدروژن (H_2O_2)	ضدعفونی‌کننده اکسیداتیو؛ به آب و اکسیژن تجزیه می‌شود،	- باقی‌مانده‌های تا ۱۰۰ ppm برای پرندگان بی‌خطر هستند.	- هیچ تأثیر منفی بر عملکرد پرندگان سحرخیز ندارد.

	مناسب برای مواد آلی بالا.	- افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل غذایی بهبود یافته. - افزایش قابلیت هضم اسید آمینه. - اثر ضدمیکروبی سریع.	- برای تصفیه آب با محتوای بالای مواد آلی استفاده می‌شود.
ضدعفونی‌کننده‌های بر پایه پراسید (PAB)	استفاده از اسید پراستیک و ترکیبات مرتبط برای بهداشت خطوط آب	- اثربخشی برتر در برابر سالمونلا، اشریشیا کلی و باسیلوس (اشکال پلانکتونی و بیوفیلم) در مقایسه با ضدعفونی‌کننده‌های مبتنی بر پراکسید و هیپوکلریت. - حذف بیوفیلم‌ها در سطح MIC در کشت‌های مخلوط گونه‌ها.	- برای کنترل عوامل بیماری‌زا قبل از برداشت و ایمنی مواد غذایی توصیه می‌شود.
آب الکترولیز شده (EW/SAEW/ NEW)	الکترولیز، آبی با خواص ضد میکروبی (pH کمی اسیدی یا خنثی، کلر موجود) تولید می‌کند.	- تا ۳٪ NEW (۱۲ میلی‌گرم کلر در لیتر) کیفیت آب را بهبود بخشید، E. coli را کاهش داد و میزان مرگ و میر را پایین آورد. - SAEW (۰/۳ میلی‌گرم در لیتر ACC) میزان مهار ۹۹/۹٪ را نشان داد که نسبت به روش‌های مرسوم برتری دارد. - بهبود ضریب تبدیل غذایی، افزایش وزن روزانه و کاهش نسبت افزایش خوراک. - هیچ اثر نامطلوبی بر کیفیت تخم مرغ/گوشت یا سلامت پرنده ندارد.	- SAEW بدون باقیمانده، با مصرف انرژی بهینه و دارای اثر ضد میکروبی پایدار است. - برای مدیریت روزانه توصیه می‌شود.

شستشوی فیزیکی	برای شستشوی خطوط لوله از آب یا هوای پرفشار استفاده می‌شود.	- راحت و سریع، اما باید مرتباً تکرار شود. - هزینه‌های بالای تاسیسات، نیروی کار و حذف کم بیوفیلم.	- اغلب برای نتایج بهتر با ضدعفونی‌کننده‌های شیمیایی ترکیب می‌شود.
ترکیبی شیمیایی و مکانیکی	تصفیه شیمیایی (ClO_2، اسید پراستیک) به علاوه مکانیکی (پمپ هوای فشار بالا).	- تعداد باکتری‌های هوازی مزوفیل را به زیر حد قابل قبول کاهش نداد. - کاهش قابل توجهی در تعداد باکتری‌های انتروباکتریاسه یا سودوموناسه مشاهده نشد. - پیمانکاران متخصص مؤثرتر از کشاورزان هستند.	- نظارت منظم و درمان مداوم بسیار مهم است.
یونیزاسیون/الکترولیز آب	میدان الکتریکی یا الکترولیز، شیمی آب (pH، ORP، محتوای مواد معدنی) را تغییر می‌دهد.	- آب یونیزه (ORP منفی، TDS پایین) افزایش مصرف آب، وزن بدن، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش آسیب DNA. - افزایش بیان هورمون رشد و IGF-۱	- برای بهبود بهره‌وری و سلامت توصیه می‌شود.
آب کمی اسیدی الکترولیز شده	افزودن مداوم به خطوط آب (۰/۳ میلی‌گرم در لیتر ACC).	- میزان بازدارندگی بالاتر (۹۹/۹ درصد) و اثر پایدار در مقایسه با روش‌های مرسوم. - بهبود وزن تخم‌مرغ، رنگ زرده، میزان دفع مدفوع طبیعی و کاهش مصرف آب. - عدم تأثیر منفی بر کیفیت پوسته تخم‌مرغ.	- آماده‌سازی آسان، بدون باقیمانده، کم‌مصرف. - برای استفاده روزانه توصیه می‌شود.
کیفیت آب نظارت و مدیریت	آزمایش و تنظیم منظم پارامترهای آب (pH، TDS، مواد معدنی، بار میکروبی).	- برای حفظ سلامت پرندگان، صلاحیت ایمنی و بهره‌وری ضروری است. - کیفیت پایین آب می‌تواند بیماری را تشدید کند	- نظارت و مدیریت هدفمند ضروری است. - آب تمیز از اثربخشی واکسن و سلامت گله پشتیبانی می‌کند.

		و اثربخشی واکسن را کاهش دهد. - آلودگی میکروبی در طول سیستم توزیع، به ویژه در فصول گرم، افزایش می‌یابد.	
تصفیه پیشرفته فاضلاب	فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته، تالاب‌های مصنوعی و فیلتراسیون غشایی.	- طراحی شده برای کاهش باقیمانده آنتی‌بیوتیک‌ها و ARGها در فاضلاب مرغداری. - مؤثرتر از روش‌های مرسوم برای کاهش ARG.	- برای حفاظت از محیط زیست و کنترل مقاومت دارویی (AMR) مهم است.
ذخیره آب و استفاده مجدد	جمع‌آوری آب باران، بازیافت آب و سیستم‌های خودکار.	- وابستگی به آب شیرین، اثرات زیست‌محیطی و هزینه‌های عملیاتی را کاهش می‌دهد. - سیستم‌های مدرن، مصرف آب در تولید طیور را کاهش داده‌اند.	- از پایداری در پرورش طیور حمایت می‌کند.

NaDCC: سدیم دی کلروایزوسیانورات؛ TDS: کل جامدات محلول؛ ORP: پتانسیل اکسیداسیون-احیا؛ MIC: حداقل غلظت بازدارندگی؛ SAEW: آب الکترولیز شده کمی اسیدی؛ NEW: آب الکترولیز شده خنثی؛ AMR: مقاومت ضد میکروبی؛ ARG: ژن مقاومت آنتی بیوتیکی.

جدول ۲- خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده در مورد اثرات اسیدهای آلی در آب آشامیدنی طیور.

گونه	دوز یا غلظت	اثرات مفید گزارش شده
Broiler, Ross 308, 1-42 days	OAB, 2 ml/L	Bp
Broiler, Ross 308, 1-42 days	OAB, 480 mmol/L	Cc
Broiler, Ross 308, 1-35 days	OAB, 0.2 ml/L	SC
Broiler, Arbor Acres, 1-42 days	OAB, 2%	WI,
Broiler, Arbor Acres, 1-42 days	OAB, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20%	BW, DWG, WI
Broiler, Arbor Acres, 1-42 days	HMTB, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20%	BW, DWG, WI
Broiler, ISA JA57, 1-42 days	Fa, 2 and 3%	FI, CY
Broiler, ISA JA57, 1-42 days	Ba, 2 and 3%	FI, CY
Laying hens, Isa Brown, 20-48	OAB, 1 ml/L	EcC, BW, Eq
Broiler, Arbor Acres, 1-35 days	Fa, 1%	WG, WI
Broiler, Arbor Acres, 1-35 days	La, 1%	WG, WI
Broiler, Arbor Acres, 1-35 days	Pa, 1%	WG, WI
Broiler, Arbor Acres, 1-35 days	Ca, 1%	WG
Broiler, Arbor Acres, 1-35 days	OAB, 1%	WG, WI
Broiler, Cobb 500, 1–35 days	Fa, 1 ml/L	SC
Broiler, Lohmann, 1-49 days	Acv, 10, 20, 30 ml/L	Ci
Broiler, Cobb 500, 1–35 days	OAB, 4 ml/L	BW, BSAA
Broiler, Cobb 500, 1–35 days	Aa, Nr	BW
Broiler, Ross 308, 1-42 days	OAB, 0.35 ml/L	FI, DWG, EcC,
Broiler, Hubbard, 22-42 days	OAB, 0.5, 1, 1.5 and 2 ml/L	BW, FCR, CY, EcC, SC
Broiler, Ross 308, 1-42 days	OAB, 0.5%	FI, FCR, Sr, Bp
Laying hens, Hy-Line W-98, 68-76 weeks	Fa, 0.5, 1 and 1.5 ml/L	Ep, EW, FCR, Eq
Broiler, Ross 308, 1-42 days	Ha, 150, 300 and 450 ppm	DWG, FI, Mc, Mmc
Egg-type chicken, 2-21 days	Ma, 0.05, 0.10, 0.15%	EcC
Broiler, Ross, 1-56 days	Ma, 0.05, 0.10, 0.15%	EcC

۱ OAB: ترکیب اسید آلی؛ OIAB: ترکیب اسید آلی و معدنی؛ Fa: اسید فرمیک؛ BA: اسید بوتیریک؛ PA: اسید پروپیونیک؛ Acv: سرکه سیب؛ Ha: اسید هیومیک؛ Ma: اسید مالیک؛ La: اسید لاکتیک؛ Ca: اسید سیتریک؛ Aa: اسید استیک؛ Sa: اسید سالیسیلیک؛ Ta: اسید تارتاریک؛ ۲ :HMTB-هیدروکسی-۴-متیل تیوبوتیریک اسید؛ ۲ BW: وزن بدن؛ FCR: ضریب تبدیل غذایی؛ CY: بازده لاشه؛ EcC: تعداد E. coli، SC: تعداد سالمونلا؛ BSAA: فعالیت آنتی اکسیدانی سرم خون؛ Bp: پارامترهای خون؛ Cc: تعداد کمپیلوباکتر؛ FI: مصرف خوراک؛ Ci: آلودگی به کوکسیدیوز؛ Sr: میزان بقا؛ DWG: افزایش وزن روزانه؛ Mc: رنگ گوشت؛ Mmc: ترکیب مواد معدنی گوشت؛ WI: مصرف آب؛ WG: افزایش وزن؛ Ep: تولید تخم مرغ؛ EW: وزن تخم مرغ؛ Eq: کیفیت تخم مرغ.

جدول ۳- خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده در مورد اثرات آب مغناطیسی بر گونه‌های طیور.

گونه	قدرت میدان مغناطیسی	اثرات مفید گزارش شده
Broiler	10000 G	Lq, Aq
Laying hens	1000 G	Ue, Ss, St, Eq, ECC
Laying hens	1500 G	Ue, Ss, St, Eq, ECC
Laying hens	2000 G	Ue, Ss, St, Eq, ECC
Broiler	13,200 G	EcC, BW, FCR
Japanese Quail	500 G	Bp
Japanese Quail	1000 G	Bp
Broiler	NR	BW, FCR, Bp
Laying hens	2000 G	EW, FCR, BW, Eq, Bp
Laying hens	3000 G	EW, FCR, BW, Eq, Bp
Egyptian male geese	4000 G	Bp, AI, SQ
Egyptian female geese	4000 G	BW, Ep, FCR, WI, Ef; H, Eq, Cp
Egyptian male geese	4000 G	Bp, AI, SQ
Egyptian female geese	4000 G	BW, Ep, FCR, WI, Ef; H, Eq, Cp
Pekin ducks	NR	Bp
Broiler	NR	BW, FI
Broiler	1000 G	Bp
Broiler	500 G	BW, FI, CY,
Broiler	5000 G	BW, Ci
Broiler	500 G	WI

۱ Lq: کیفیت بستر؛ Aq: کیفیت هوا؛ St: ضخامت پوسته؛ Bp: پارامترهای خون؛ Ep: تولید تخم مرغ؛ Ef: باروری تخم مرغ؛ H: قابلیت جوجه درآوری؛ Cp: عملکرد جوجه ها، M: مرگ و میر؛ BW: وزن بدن، FCR: ضریب تبدیل غذایی؛ CY: بازده لاشه؛ EcC: تعداد باکتری E. coli، Ci: آلودگی به کوکسیدیوز؛ EW: وزن تخم مرغ؛ Ue: درصد تخم مرغ نامطلوب؛ Ss: استحکام پوسته؛ ECC: ترکیب شیمیایی تخم مرغ؛ AI: شاخص های آنتی اکسیدانی؛ SQ: کیفیت مایع منی؛ NR: گزارش نشده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

- بهبود کیفیت آب آشامیدنی طیور زمانی بیشترین اثربخشی را دارد که از ترکیب هم‌افزای چند روش تصفیه به‌جای اتکا به یک فناوری واحد استفاده شود.
- فیلتراسیون فیزیکی با حذف مواد جامد معلق، بیوفیلم و کاهش بار میکروبی، زمینه را برای افزایش کارایی مراحل بعدی ضدعفونی شیمیایی مانند کلر تثبیت‌شده یا اسید پراستیک فراهم می‌کند.
- کاهش بار آلی آب موجب کاهش مصرف ضدعفونی‌کننده‌ها و افزایش پایداری اثر میکروب‌کشی در سیستم توزیع آب می‌شود.
- استفاده کنترل‌شده از اسیدی‌کننده‌ها باعث تنظیم pH آب، بهبود تعادل میکروبی روده و مهار رشد عوامل بیماری‌زایی نظیر سالمونلا و اشرشیاکلی می‌گردد.
- تنظیم pH و کاهش املاح فعال، خطر رسوب‌گذاری معدنی در خطوط آب‌رسانی و آبخوری‌ها را کاهش می‌دهد.
- ترکیب حذف فیزیکی آلاینده‌ها با اصلاحات شیمیایی–زیستی، منجر به کاهش آلودگی مجدد آب و بهبود پایدار سلامت روده می‌شود.
- به‌کارگیری فناوری‌های نوین نظیر آب الکترولیز شده، مغناطیسی‌سازی و یونیزاسیون می‌تواند با تغییر خواص فیزیکوشیمیایی آب، اثرات زیستی فراتر از آب آشامیدنی معمول ایجاد کند.

- با توجه به راهبردهای جدید در تصفیه آب آشامیدنی مرغداری‌ها پیشنهاد می‌شود قبل از هر سرمایه‌گذاری در تصفیه‌خانه آب، آنالیز کامل منبع آب و انتهای خط (TDS، سختی، آهن، منگنز، نیترات، بار میکروبی، pH) هر مزرعه یا واحد انجام شود.
- پیشنهاد می‌شود حداقل در سال دو پایش (تابستان و زمستان) انجام شود.
- پیشنهاد می‌شود داده‌های پایش در مرکز جمع آوری داده‌ها در زنجیره طیور در دسترس باشد.
- پیشنهاد می‌شود از سیستم های پیشرفته تر در مزارع با حساسیت بیشتر مانند پرورش مرغ مادر استفاده گردد.

منابع:

El-Sabrout, K., Buonaiuto, G., Cavallini, D., & Mishra, B. (۲۰۲٦). Recent advancements to improve drinking water quality in poultry farms. Poultry Science, ۱۰٦٥۲۳.

Abdel-Azeem, A.S., Tantawy, S.S.H., Hassan, H.A., Abdel-Latif, A.M., Elzayat, M.Y.F., Abdel-Azim, A.M., ۲۰۲۳. Effect of magnetized water on blood indices and histomorphometric parameters of intestinal sections of Japanese quail. Anim. Biotechnol. ۳٤ (٤), ۱۳۳۱-۱۳٤۱.

Abdelshafy, A.M., Hu, Q., Luo, Z., Ban, Z., Li, L., ۲۰۲٤. Hydrogen peroxide from traditional sanitizer to promising disinfection agent in food industry. Food Rev. Inter. ٤۰ (۲), ٦٥۸-٦۹۰.

Adil, S., Banday, M.T., Sheikh, I.U., Khan, A.A., Baba, I.A., Zaffer, B., ۲۰۲۰. Effect of water acidification and sanitation on performance, gut microbial population and carcass characteristics of broiler chicken. J. World Poult. Res. ۱۰ (۲), ۳۹۱-۳۹٦.

Adomako, K., Kwadwo, T., Benni, D., Kwaning, J., Asante, N., Nyaaba, A., Abdulai, S., Appoh, S., ۲۰۲٤. Effect of different sources of drinking water on the growth performance, carcass characteristics, and hematological indices of broiler chickens. Ghan. J. Anim. Sci. ۱٥ (۱), ٤٤-٥۲.

Ahmed, N.H., El-Hamed, N., ۲۰۲۰. Impact of magnetic water treatment technology on water parameters, growth performance and blood parameters of the Nile Tilapia (Oreochromis niloticus). Egypt. J. Aquat. Biol. Fish. ۲٤, ٦٤٥-٦٥٥.

Akhila, P.P., Sunooj, K.V., Aaliya, B., Navaf, M., Sudheesh, C., Sabu, S., Sasidharan, A., Mir, S.A., George, J., Mousavi Khaneghah, A., ۲۰۲۱. Application of electromagnetic radiations for decontamination of fungi and mycotoxins in food products: a comprehensive review. Trends Food Sci. Technol. ۱۱٤, ۳۹۹-٤۰۹.

Ali, A.M., Elagrb, H.M., Hamoud, M.M., Gamal, A.M., Mousa, M.R., Nasr, S.A.E., ElShater, M.A.H., Laban, S.F., Zahran, O.K., Ali, M.M., ۲۰۲۰. Effect of acidified drinking water by organic acids on broiler performance and gut health. Adv. Anim. Vet. Sci. ۸ (۱۲), ۱۳۰۱-۱۳۰۹.

Al-Kuhla, A.A., ۲۰۲۳. The effect of magnetized water on growth and quality improvement of poultry. J. Glob. Innov. Agric. Sci. ۱۱, ٦۰۷-٦۱۰.

Al-Mutairi, H.M.S., Hussein, E.O.S., Jar El Nabi, A.R., Swelum, A.A., Abd El-Hack, M.E., Taha, A.E., Al-Mufarrej, S.I., ۲۰۲۰. Does the consumption of acidified drinking water affect growth performance and lymphoid organs of broilers? Sustainability ۱۲ (۸), ۳۰۹۳.

Aminudin, M., Amalina, F., Ab Hamid, M., Sulaiman, S., Azfa, N., Razak, A.S., ٢٠٢٦. Environmental and public health risks of antibiotic resistance gene pollution in poultry systems: sustainability impact, transmission pathways, and mitigation strategies. Microbe, ١٠٠٦٥٨. (In press)

Arce-Menocal, J., Roa-Flores, M., Lopez-Coello, C., Avila-Gonzalez, E., Herrera-Camacho, J., Cortes-Cuevas, A., ٢٠٢١. Use of organic acids in water and its effect on productive performance in broiler chicks. Abanico Veterinario ١٠, ١-١٧.

Ayach, J., El Malit, W., Duma, L., Laleve, J., Al Ajami, M., Hamad, H., Hijazi, A., ٢٠٢٤. Comparing conventional and advanced approaches for heavy metal removal in wastewater treatment: an in-depth review emphasizing filter-based strategies. Polymers ١٦ (١٤), ١٩٥٩.

Azmi, L.S., Jabit, N., Ismail, S., Ku Ishak, K.E.H., Abdullah, T.K., ٢٠٢٥. Membrane filtration technologies for sustainable industrial wastewater treatment: a review of heavy metal removal. Desalin. Water Treat. ٣٢٣, ١٠١٣٢١.

Baker, A.T., Ojo, O.I., Dinka, M.O., Rwanga, S., ٢٠٢٤. Impact of magnetised water on Nigeria broiler chicken performance and growth rate. J. Digital Food Energy Water Syst. ٥ (٢), ٤٣-٥٥.

Barjasteh, A., Dehghani, Z., Lamichhane, P., Kaushik, N., Choi, E.H., Kaushik, N.K., ٢٠٢١. Recent progress in applications of non-thermal plasma for water purification, bio-sterilization, and decontamination. Appl. Sci. ١١ (٨), ٣٣٧٢.

Bist, R.B., Bist, K., Poudel, S., Subedi, D., Yang, X., Paneru, B., Mani, S., Wang, D., Chai, L., ٢٠٢٤. Sustainable poultry farming practices: a critical review of current strategies and future prospects. Poult. Sci. ١٠٣ (١٢), ١٠٤٢٩٥.

Biswas, B.K., Hoque, M.R., Raut, R., Tabler, T., Taylor-Bowden, T., Nahashon, S., Maharjan, P., ٢٠٢٥. Applied research note: understanding varying levels of hydrogen peroxide residuals in poultry drinking water in early broiler growth performance. J. Appl. Poult. Res. ٣٤ (٤), ١٠٠٥٧٧.

Boas, D.M., Júnior, W.L., Nascimento, J.C., Leite, C.C., Matos, J.R., Paz, F., Sant'Ana, A.S., Guimarães, A.G., ٢٠٢٥. Incidence of Escherichia coli in drinking water: a comparative study of indoor and outdoor sources over four years across Bahia, Brazil. Hygiene Environ. Health Adv. (In press, volume not specified)

Bouassi, T., Libanio, D., Mesa, M.D., Oke, O.E., Gil, A.H., Tona, K., Ameyapoh, Y., ۲۰۲۰. Supplementation with liquid whey and ACIDAL® ML in drinking water affect gut pH and microflora and productive performance in laying hens. Br. Poult. Sci. ٦۲, ۱۳۸-۱٤٦.

Cescon, A., Jiang, J.Q., ۲۰۲۰. Filtration process and alternative filter media material in water treatment. Water ۱۲, ۳۳۷۷.

Chen, Z., Xing, T., Li, J., Zhang, L., Jiang, Y., Gao, F., ۲۰۲۱. Hydrogen peroxide-induced oxidative stress impairs redox status and damages aerobic metabolism of breast muscle in broilers. Poult. Sci. ۱۰۰ (۲), ۹۱۸-۹۲٥.

Chowdhury, M.A.H., Reem, C.S.A., Ashrafoudulla, M., Rahman, M.A., Shalla, S., Jie-Won Ha, A., Ha, S.D., ۲۰۲٥. Role of advanced cleaning and sanitation techniques in biofilm prevention on dairy equipment. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. ۲٤ (۳), e۷۰۱۷٦.

Chukwudi, P., Umegukowe, P.I., Ihek, N.E., Amaefule, B.C., ۲۰۲٥. The effects of organic acids on broiler chicken nutrition: a review. Anim. Res. One Health. ۳, ٤۳-٥۳.

de Rezende, H.C., de Lima, M., Santos, L.D., ۲۰۲۳. Peracetic acid application as an antimicrobial and its residual (HEDP): a holistic approach on the technological characteristics of chicken meat. Poult. Sci. ۱۰۲ (۱۰), ۱۰۳۰۰۳.

Desbruslais, A., Wealleans, A.L., ۲۰۲۲. Oxidation in poultry feed: impact on the bird and the efficacy of dietary antioxidant mitigation strategies. Poultry ۱, ۲٤٦-۲۷۷.

Ebrahimi, N.A., Nobakht, A., Inci, H., Palangi, V., Suplata, M., Lackner, M., ۲۰۲٤. Drinking water quality management for broiler performance and carcass characteristics. World ٥, ۹٥۲-۹٦۱.

Edet, U.O., Joseph, A., Bassey, D., Bassey, I.N., Belha, G.P., Mihm, E., Ogar, A.Y., ۲۰۲٤. Risk assessment and origin of metals in chicken meat and its organs from a commercial poultry farm in Akwa Ibom state, Nigeria. Heliyon ۱۰ (۱۷), e۳٦۹٤۱.

Ejiohuo, O., Onyekaa, H., Akinsemolu, A., Nwabor, O.F., Siyanbola, K.F., Tamasiga, P., Al-Sharify, Z.T., ۲۰۲٥. Ensuring water purity: mitigating environmental risks and safeguarding human health. Water Biol. Secur. ٤, ۱۰۰۳٤۱.

Elhenawy, S., Khraisheh, M., AlMomani, F., Al-Ghouti, M., Selvaraj, R., Al-Muhtaseb, A., ۲۰۲٤. Emerging nanomaterials for drinking water purification: a new era of water treatment technology. Nanomaterials ۱٤ (۲۱), ۱۷۰۷.

El-Nagar, S.H., Abdallah, R., Abou Asa, S., Elmadawy, M.A., Abouelenien, F., Elsaiady, N.R., Shukry, M., Abd El-Maksoud, E.M., ٢٠٢٤. The effects of improved water quality with zeolite addition and/or water magnetization on broiler performance, meat quality, and immunity. Alex. J. Vet. Sci. ٨٢, ٨٤-١٠٠.

El-Sabrout, K., El-Hanoun, A.M., ٢٠١٩. Does magnetised drinking water influence poultry's health and production? World Poult. Sci. J. ٧٥, ٤١١-٤١٦. (Note: ٢٠١٩ is slightly before ٢٠٢٠, but included as it's a key review)

Erdei-Tombor, P., Kiskó, G., Taczman-Brückner, A., ٢٠٢٤. Biofilm formation in water distribution systems. Processes ١٢, ٢٨٠.

Ezzat, H.N., Hussein, M.A., Shihab, I.M., Al-Qazzaz, M.F., ٢٠٢٣. Effect of drinking ionized water on histological changes, bacteria count, and some hematological parameters of Japanese quail. Iraqi J. Agric. Sci. ٥٤ (٢), ٤٦٤-٤٧١.

Farooq, M., Ghaffar, A., Perera, A.S., Cork, S., Niu, Y.D., Checkley, S., Abdul-Careem, M.F., ٢٠٢٦. Influence of drinking water quality on immune responses to viral vaccines in layer chickens. Vet. Immunol. Immunopathol. ٢٩١, ١١١٠٣٥.

Farooq, M., Khan, U., Adnan, M., Younas, W., Qureshi, N.B., Yasir, Q.M., Cai, Q., Chiu, M., ٢٠٢٥. Global decline of aquatic and terrestrial insects driven by climate change and anthropogenic impacts: the interaction of multiple stressors and disruption of niche conservationism. Biol. Conserv. ٣٠٨, ١١١١٨١.

Ferreira, T.S., Ravetti, R., Rubio, M.S., Alves, L.B.R., Saraiva, M.M.S., Benevides, V.P., Lima, T.S., Lima, B.N., Almeida, A.M., Berchieri Jr, A., ٢٠٢٢. Inclusion of organic acids in the drinking water and feed for the control of Salmonella Heidelberg in Broilers. Braz. J. Poult. Sci. ٢٤, eRBCA.

Galgano, S., Conway, L., Maggio, F.D., Farthing, K., Dalby, N., Fellows, A., Houdijk, J.G.M., ٢٠٢٣. Precursor-derived in-water peracetic acid impacts on broiler performance, gut microbiota, and antimicrobial resistance genes. Poult. Sci. ١٠٢ (٢), ١٠٢٣٦٨.

Yang et al., ٢٠٢٣. Effects and mechanisms of non-thermal plasma-mediated ROS and its applications in animal husbandry and biomedicine. Int. J. Mol. Sci. ٢٤ (٢١), ١٥٨٨٩.

Yaqub, M., Woo, C.H., Lee, W., ٢٠٢١. Optimization of hypochlorous acid generation by HCl electrolysis through response surface methodology and artificial neural networks. J. Environ. Chem. Eng. ٩, ١٠٥٨٢٦.

Youssef, E., ٢٠٢٥. Advancements in magnetized water technology: enhancing crop yields, drought tolerance, and environmental sustainability: a review. Egypt. J. Agron. ٤٧ (٣), ٦٥٥-٦٦٢.

Yue, C., Yuya, H., Zhihuan, L., Zimo, W., Jianying, F., ٢٠٢٤. Study on the disinfection effect of chlorine dioxide disinfectant ($ClO^{٢}$) on dental unit waterlines and its in vitro safety evaluation. BMC Oral Health ٢٤ (١), ٦٤٨.

Yusuf, K.O., Akande, O.S., Baiyeri, M.R., ٢٠٢٢. Effect of drinking magnetized water on offensive odour from poultry droppings of broiler chicken. Environ. Res. Eng. Manag. ٧٨ (٣), ١١٩-١٢٨.

Zhang, B., Du, L., Yu, T., Zhang, K., Zhao, R., Yang, C., Song, X., ٢٠٢٥. Impact of drinking water supplemented with complex acidifiers on production performance, egg quality, physiological and biochemical indicators, and microbial flora of BIAN chickens. Life ١٥ (١١), ١٧٠٠.

Zhang, H., Guo, Y., Wang, Z., Wang, Y., Chen, B., Du, P., Zhang, X., Huang, Y., Li, P., Michiels, J., Chen, W., ٢٠٢٢. Acidification of drinking water improved tibia mass of broilers through the alterations of intestinal barrier and microbiota. Anim. Biosci. ٣٥ (٦), ٩٠٢-٩١٥.

Zhong, Y., Ma, T., Fu, Z., Chen, A., Yu, J., Huang, Y., Fu, J., ٢٠٢٣. Effects of hydrogen peroxide-induced oxidative stress on intestinal morphology, redox status, and related molecules in squabs. Animals ١٣ (٤), ٧٤٩.

Zou, Q., Meng, W., Wang, C., Wang, T., Liu, X., Li, D., ٢٠٢٣. Sodium dichloroisocyanurate: improving broiler health by reducing harmful microbial levels in the waterline. Front. Vet. Sci. ١٠, ١٢٣٤٩٤٩.