



## تأثیر مکمل هیدروکسی کلرید روی بر فراسنجه‌های فشارخون ریوی، ذخیره‌ی عنصر روی و استحکام استخوان در جوجه‌های گوشتی در شرایط پرورش ارتفاع بالا

امیر پرورش<sup>۱</sup>؛ بهنام احمدی پور<sup>۲\*</sup>؛ سمیرا عباس‌زاده<sup>۳</sup>؛ علی افشار بکش‌لو<sup>۴</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گرایش تغذیه طیور، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد- ایران.
۲. گروه علوم دامی، گرایش تغذیه طیور، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد- ایران.
۳. دانش‌آموخته دکتری گرایش تغذیه طیور، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد- ایران.
۴. گروه علوم دامی، آموزشگاه کشاورزی شهید باهنر، پاکدشت، تهران- ایران.

پذیرش: ۲۸ مردادماه ۱۴۰۴

دریافت: ۱۹ خردادماه ۱۴۰۴

### چکیده

هدف این مطالعه، ارزیابی تأثیر سطوح مختلف هیدروکسی کلرید روی (HCZ) بر فراسنجه‌های مرتبط با فشارخون ریوی، ذخیره عنصر روی و استحکام استخوان درشت‌نی جوجه‌های گوشتی در شرایط محیطی با ارتفاع بالا از سطح دریا (۲۱۰۰ متر) بوده است. در این پژوهش از ۲۰۰ قطعه جوجه‌خروس سویه راس ۳۰۸ از سن ۲۳ تا ۴۲ روزگی برای اجرای یک طرح کاملاً تصادفی در قالب ۴ تیمار و ۵ تکرار استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل جیره پایه و ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم HCZ در هر کیلوگرم خوراک پایه بود که به جیره شاهد افزوده شد. مصرف HCZ باعث کاهش نسبت RV به TV، افزایش غلظت نیتریک اکساید، کاهش هماتوکریت و نسبت هتروفیل به لنفوسیت گردید ( $P < 0/05$ ). همچنین افزایش ذخیره‌ی عنصر روی در ماهیچه سینه، کبد و استخوان درشت‌نی مشاهده گردید ( $P < 0/05$ )، افزایش ضربه شکست استخوان بیانگر افزایش استحکام استخوان درشت‌نی بود ( $P < 0/05$ ). به‌طورکلی نتایج نشان داد مصرف ۷۵ میلی‌گرم HCZ باعث بهبود پاسخ‌های فیزیولوژیک و ایمنی، افزایش ذخیره عنصر روی در بافت استخوان، سینه و کبد، بهبود فراسنجه‌های مربوط به رشد و استحکام استخوان درشت‌نی و عملکرد قلبی ریوی جوجه‌های گوشتی تحت شرایط هیپوکسی گردید؛ بنابراین سطح ۷۵ میلی‌گرم HCZ جهت مصرف در سطح مزارع پرورشی قابل‌توصیه است.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بالا، استحکام استخوان، فشارخون ریوی، هیدروکسی کلرید روی

### مقدمه

گله‌های مرغ گوشتی را بیش‌ازپیش برجسته می‌سازد (۳۳). یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیریتی و فیزیولوژیک در مناطق با ارتفاع بالا، بروز سندرم فشارخون ریوی (Pulmonary Hypertension Syndrome) یا آسیت است. قرارگرفتن طولانی‌مدت جوجه‌های گوشتی در محیط‌های هیپوکسیک (کاهش فشار اکسیژن) باعث انقباض عروق ریوی می‌شود که این امر منجر به افزایش فشارخون شریان ریوی، تحریک بازسازی شریان ریوی، هیپرتروفی بطن راست و در نهایت آسیت می‌گردد. نشان داده شده است که سازوکارهای

رشد فزاینده جمعیت جهان که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ از مرز ۹/۷ میلیارد نفر عبور کند (۸)، به طور مستقیم تقاضا برای منابع غذایی پایدار و پروتئینی را افزایش داده است. صنعت طیور، به‌ویژه پرورش مرغ گوشتی، به دلیل سرعت رشد بالا، راندمان تبدیل خوراک مطلوب و قابلیت تولید انبوه، به‌عنوان یکی از مؤثرترین و اقتصادی‌ترین روش‌ها برای تأمین پروتئین حیوانی شناخته می‌شود (۳۳). این امر، لزوم توجه دقیق به‌تمامی جنبه‌های تغذیه و مدیریت در





در دهه‌ی اخیر، هیدروکسی کلرید روی (HCZ) با فرمول شیمیایی  $(Zn_5(OH)_8Cl_2H_2O)$  به‌عنوان یک منبع نوظهور روی، توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است (۱). ساختار شیمیایی HCZ از طریق پیوندهای کووالانسی، یک ارتباط شیمیایی مستحکم‌تری ایجاد می‌کند (۱۴). این ساختار کریستالی منحصربه‌فرد، منجر به کاهش حلالیت HCZ در آب شده و پتانسیل واکنش‌های آنتاگونیستی در خوراک و قسمت‌های فوقانی دستگاه گوارش را به حداقل می‌رساند (۱۶، ۳۸). پایداری و کارایی HCZ در محیط‌های با pH متفاوت، یکی از ویژگی‌های بارز آن است (۱۹). این خاصیت موجب می‌شود که روی به‌صورت تدریجی در طول دستگاه گوارش آزاد شود. علاوه بر این، HCZ به میزان قابل‌توجهی کمتر از سولفات روی با عوامل تغذیه‌ای مانند فیتات واکنش می‌دهد (۱۷). باوجود مزایای ساختاری HCZ در افزایش پایداری و ابقای روی، میزان اثربخشی و تعیین دوز بهینه آن در شرایط استرس شدید محیطی، مانند هیپوکسی ناشی از ارتفاع بالا که عامل اصلی بروز آسیت است، به‌وضوح مورد ارزیابی قرار نگرفته و فاقد سوابق تحقیق کافی است. به‌طور خاص، ابهاماتی در خصوص تأثیر سطوح مختلف HCZ بر شاخص‌های کلیدی فشارخون ریوی و همچنین ارتباط آن با ذخیره‌ی عنصر روی در اندام‌های ذخیره‌ای و استحکام استخوان در شرایط استرس اکسیداتیو ناشی از ارتفاع بالا وجود دارد. این شکاف دانشی، نیاز به یک مطالعه هدفمند برای بهینه‌سازی تغذیه در مناطق با ارتفاع بالا از سطح دریا را توجیه می‌کند.

باتوجه به مزایای این ماده معدنی (Zn)، انتظار می‌رود افزودن سطوح بهینه هیدروکسی کلرید روی به جیره، منجر به کاهش استرس اکسیداتیو، تعدیل شدت فشارخون ریوی و بهبود ذخیره‌ی عنصر روی در بافت‌های جوجه‌های گوشتی پرورشی در ارتفاع بالا گردد.

هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی تأثیر سطوح ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره هیدروکسی کلرید روی بر فراسنجه‌های مرتبط با سندرم آسیت و عملکردی در

متفاوتی از مرگ سلولی مانند آپوپتوز و اتوفازی در فرایند پاتوفیزیولوژیک فشارخون ریوی نقش اساسی دارند. علاوه بر این، هیپوکسی منجر به استرس اکسیداتیو در سلول‌ها می‌شود و مقادیر زیادی از رادیکال‌های آزاد (ROS) تولید می‌کند که نه‌تنها در تنظیم تکثیر و تمایز سلولی نقش دارند، بلکه ممکن است مرگ برنامه‌ریزی‌شده سلولی را نیز تحریک کند (۶).

امروزه برای تغذیه جوجه‌های گوشتی، جیره‌هایی طراحی می‌شوند که حاوی بیش از ۳۳ ماده مغذی ضروری شامل انرژی، اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و مواد معدنی پرنیاز و کم‌نیاز هستند (۳). در بین تمام مواد معدنی کم‌نیاز، عنصر روی (Zn) جایگاه ویژه‌ای دارد (۳۵). Zn به‌عنوان یک عنصر حیاتی، جزء اصلی تعداد قابل‌توجهی از آنزیم‌هاست که مسئول کاتالیز واکنش‌های ضروری در هضم، متابولیسم و پاسخ‌های ایمنی است (۲۴، ۲۵). این ریزمغذی برای فعالیت آنزیم‌های دخیل در تجزیه پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و همچنین در سنتز اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها کاملاً ضروری است (۳۴). روی همچنین به‌عنوان یک کوفاکتور برای آنزیم‌های مهم دخیل در عملکرد صحیح سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی عمل کرده و از سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت می‌کند (۱۸). این عنصر بخش ضروری آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی است (۲۴). از آنجایی که بدن نمی‌تواند مقدار زیادی از روی را ذخیره کند، لازم است که این عنصر به‌طور منظم از طریق غذا تأمین شود (۳۱). باتوجه به نقش مستقیم روی در تعدیل استرس اکسیداتیو، مصرف سطح بهینه آن می‌تواند در تعدیل فرایند فیزیولوژیک فشارخون ریوی مؤثر واقع گردد (۲۴). باتوجه به اینکه جیره‌های خوراکی متداول بر پایه ذرت و کنجاله سویا، اغلب مقادیر ناکافی از روی را تأمین می‌کنند و زیست‌فراهمی آن به‌شدت کاهش می‌یابد (۳۷)، افزودن مقادیر بیشتری از این عنصر فراتر از سطوح توصیه شده توسط شورای ملی تحقیقات (NRC) (۲۱)، به یک رویه استاندارد تبدیل شده است.



آزاد (Ad libitum) در اختیار پرندگان قرار گرفت. انرژی قابل متابولیسم جیره ۳۱۰۰ کیلوکالری/کیلوگرم و پروتئین خام ۱۸ درصد تنظیم شد، در طول دوره از برنامه نوری ۲۰ ساعت روشنایی و ۴ ساعت تاریکی استفاده شد.

تیمارهای آزمایشی مورداستفاده در این پژوهش شامل: (۱) جیره شاهد حاوی ۱۲۰ میلی‌گرم/کیلوگرم Zn، سطح توصیه شده برای سویه از منابع خوراک جیره و مکمل معدنی که به صورت سولفات روی (۲) جیره شاهد + ۲۵ میلی‌گرم هیدروکسی کلراید روی در هر کیلوگرم جیره، (۳) جیره شاهد + ۵۰ میلی‌گرم هیدروکسی کلراید روی در هر کیلوگرم جیره، (۴) جیره شاهد + ۷۵ میلی‌گرم هیدروکسی کلراید روی در هر کیلوگرم جیره با خلوص ۵۵ درصد، محصول از شرکت دانش‌بنیان ایمن نانو فام زنجان تهیه گردید.

در پایان دوره (۴۲ روزگی)، پس ۴ ساعت گرسنگی وزن‌کشی صورت گرفت، سپس از هر واحد آزمایشی (تکرار) یک قطعه پرنده که وزن آن نزدیک‌ترین مقدار به میانگین وزنی آن تکرار داشت، جهت خون‌گیری انتخاب شد. از ورید بال هر پرنده، ۳ میلی‌لیتر خون به روش استاندارد و بدون استفاده از داروی ضدانعقاد، جمع‌آوری گردید. نمونه‌های خون به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه با سانتریفیوژ مدل (مدل HB705) سانتریفیوژ شدند. سرم به دست آمده برای تعیین فاکتورهای سرمی در دمای ۲۰- نگهداری شد.

جهت اندازه‌گیری غلظت نیتریک اکساید (NO) سرم از روش Behrooz و همکاران (۴) استفاده شد. همچنین، غلظت آسپاراتات آمینوترانسفراز (AST) در سرم با دستگاه اتوانالایزر (BT 3000، ایتالیا) با استفاده از کیت‌های شرکت پارس آزمون (ایران) اندازه‌گیری گردید. پس از خون‌گیری از ورید بال، پرندگان با بریدن رگ‌های گردنی (ذبح شرعی) کشتار شدند. لاشه‌ها وزن‌کشی شده و عملیات خارج کردن امعاواحشا صورت گرفت. وزن قلب، طحال و بورس فابریسیوس به وسیله ترازویی بادقت ۰/۰۱ گرم (AND ژاپن مدل HT120) اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی اجزاء لاشه از روش توصیه‌شده در منابع علمی استفاده شد (۱۳).

جوجه‌های گوشتی در شرایط محیطی با ارتفاع بالا از سطح دریا است. این ارزیابی‌ها به طور خاص شامل موارد زیر هستند:

- ۱- ارزیابی شدت فشارخون ریوی: تعیین شاخص آسیت و به طور عملیاتی اندازه‌گیری نسبت وزن بطن راست به کل بطن (RV/TV).

- ۲- ارزیابی وضعیت روی بدن: تعیین میزان ذخیره‌ی عنصر روی در بافت‌های کبد، عضله سینه و استخوان درشت‌نی.
- ۳- ارزیابی سلامت اسکلتی: اندازه‌گیری استحکام شکست (Breaking Strength) و محتوای خاکستر استخوان درشت‌نی.

## مواد و روش کار

این پژوهش در ایستگاه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد، واقع در ارتفاع ۲۱۰۰ متر از سطح دریا اجرا شد. شرایط محیطی سالن پرورش شامل بستر خاکاره چوب با ضخامت ۷ سانتی‌متر و با قابلیت تهویه مکانیکی متناوب بود. در طول دوره پرورش، دمای سالن بر اساس توصیه سویه؛ در هفته اول پرورش  $32 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد، هفته دوم  $30 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد، هفته سوم  $28 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد، هفته چهارم  $25 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد و هفته پنجم و ششم  $21 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد و رطوبت از روز اول تا ۲۲ روزگی ۵۵ درصد و از ۲۳ تا ۴۲ روزگی ۴۵ درصد تنظیم و کنترل گردید.

تعداد ۲۰۰ قطعه جوجه‌خروس گوشتی یک‌روزه سویه راس ۳۰۸ که از شرکت کیمیا جوجه آمل تهیه شده بودند، در ابتدای دوره مورد ارزیابی قرار گرفتند. میانگین وزن اولیه جوجه‌ها  $39 \pm 1$  گرم بود. جوجه‌ها به صورت کاملاً تصادفی در ۲۰ واحد آزمایشی (تکرار) توزیع شدند. برای اطمینان از تصادفی بودن، ابتدا وزن هر جوجه ثبت و سپس با استفاده از نرم‌افزار تخصصی (Randbetween در اکسل)، واحدهای آزمایشی (پن‌ها) به صورت تصادفی به چهار تیمار اصلی اختصاص یافتند، به طوری که هر تیمار دارای ۵ تکرار و هر تکرار شامل ۱۰ قطعه جوجه بود. جیره‌ها بر پایه ذرت و کنجاله سویا مطابق با نیازهای توصیه‌شده سویه راس با کمک نرم‌افزار UFFDA برای دوره ۲۳ تا ۴۲ روزگی تهیه و به طور





ترازویی (AND ژاپن مدل HT120) با دقت ۰/۰۱ گرم ثبت شد. سنجش قدرت شکست (Breaking Strength)، با استفاده از نیروسنج دیجیتال (۲۶) انجام شد. داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار اکسل ویرایش اولیه شده و تجزیه و تحلیل آماری آن‌ها در چارچوب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و ۵ تکرار در هر تیمار صورت گرفت. مدل آماری مورد استفاده (GLM) به گونه‌ای تنظیم شد که اثر تیمار جیره‌ای به عنوان منبع اصلی تغییرات در نظر گرفته شود و اثر تکرار (Replication) نیز به عنوان یک عامل تصادفی در مدل لحاظ گردید تا واریانس‌های غیر مرتبط حذف شوند. تجزیه و تحلیل آماری توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۱/۹ انجام شد. جهت مقایسه میانگین تیمارها در صورت وجود تفاوت معنی‌دار ( $P < 0.05$ )، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

### نتایج

تأثیر مصرف سه سطح هیدروکسی کلراید روی بر بازدهی وزن اندام‌های ایمنی و قلبی در جوجه‌های گوشتی در جدول ۱ ارائه شده است.

به منظور تحلیل خاکستر و مقدار ابقای روی (Zn) در بافت‌ها، از هر تکرار به طور تصادفی یک قطعه پرنده انتخاب شد. بافت سینه، کبد و استخوان درشت‌نی پای راست برداشت و پس از شماره‌زنی، نمونه‌ها در آن (مدل UN55 شرکت Memert) به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک شدند. سپس برای تعیین درصد خاکستر، نمونه‌ها به مدت شش ساعت در کوره با دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شدند. میزان ذخیره‌ی عنصر روی در هر بافت با استفاده از دستگاه (ICP-OES Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy) بر اساس استاندارد آماده‌سازی نمونه‌های مورد نیاز آن (۲۷) ارزیابی شد.

جهت سنجش ویژگی‌های استخوان درشت‌نی، استخوان درشت‌نی پای چپ هر پرنده جدا گردید. سپس استخوان‌ها بعد از برچسب و شماره زنی به مدت ۱۰ دقیقه در داخل آب جوش ( $100^{\circ}\text{C}$ ) قرار داده شد. بعد از سرد شدن در دمای اتاق، گوشت اطراف استخوان‌ها با دست پاک و کشکک نیز جدا شد. استخوان‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خشک شدند. برای سنجش مورفومتریک، طول و عرض (قطر دیافیز) استخوان با کولیس دیجیتال (مدل P150) و وزن آن با

جدول ۱- مقایسه تأثیرات سطوح مختلف هیدروکسی کلراید روی بر وزن قلب، طحال و بورس فابرسیوس جوجه‌های گوشتی در ۴۲ روزگی

P-value*	SEM**	سطوح هیدروکسی روی در جیره (میلی گرم در کیلوگرم)				فراسنجه
		۷۵	۵۰	۲۵	شاهد (۰)	
۰/۰۱۰۲	۰/۰۸۰	۰/۱۳۷ <sup>a</sup>	۰/۱۳۴ <sup>ab</sup>	۰/۱۱۷ <sup>bc</sup>	۰/۱۰۷ <sup>c</sup>	بازدهی وزن طحال به لاشه (/)
۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۸	۰/۳۵۷ <sup>a</sup>	۰/۳۴۱ <sup>a</sup>	۰/۳۲۹ <sup>a</sup>	۰/۲۸۳ <sup>b</sup>	بازدهی وزن بورس به لاشه (/)
۰/۵۲۹۸	۰/۰۲۶	۰/۶۶۵	۰/۶۳۴	۰/۶۵۳	۰/۶۹۲	بازدهی وزن قلب به لاشه (/)
۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۳۶ <sup>b</sup>	۰/۰۶۷ <sup>b</sup>	۰/۰۶۸ <sup>b</sup>	۰/۰۹۵ <sup>a</sup>	بازدهی وزن بطن راست به لاشه (/)
۰/۱۳۳۷	۰/۰۱۳	۰/۴۱۶	۰/۴۳۵	۰/۴۴۹	۰/۴۷۴	بازدهی وزن بطن‌ها به لاشه (/)
۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۷	۰/۱۸۲ <sup>b</sup>	۰/۱۸۳ <sup>b</sup>	۰/۱۸۹ <sup>b</sup>	۰/۲۲۴ <sup>a</sup>	وزن بطن راست به وزن بطن‌ها (/)

تیمار ۱: جیره شاهد، تیمار ۲: جیره شاهد + ۲۵ میلی‌گرم هیدروکسی کلراید روی، تیمار ۳: جیره شاهد + ۵۰ میلی‌گرم هیدروکسی کلراید روی، تیمار ۴: جیره شاهد + ۷۵ میلی‌گرم هیدروکسی کلراید روی.

\*در هر ردیف میانگین‌های با حروف نامشابه، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار دارند ( $P < 0.05$ ).

\*\*SEM: Standard Error of Mean (اشتباه معیار میانگین)

مربوط به سطح ۷۵ میلی گرم بود که نشان دهنده کاهش نسبی غلظت خون است. میزان نیتریک اکساید (NO) نسبت به گروه شاهد افزایش معنی دار پیدا کرد و بیشترین میزان آن با مصرف سطوح ۵۰ و ۷۵ میلی گرم مشاهده شد ( $P < 0.05$ ). این افزایش می تواند نشان دهنده بهبود عملکرد عروق و انبساط عروق باشد. همچنین، نسبت هتروفیل به لنفوسیت با مصرف HCZ کاهش معنی داری نشان داد ( $P < 0.05$ )، به طوری که کمترین مقدار آن با مصرف سطح ۷۵ میلی گرم بود. این کاهش نشان دهنده کاهش سطح استرس مزمن در پرندگان بوده است. علاوه بر این، آنزیم آسپارات آمینوترانسفراز (AST) نیز با مصرف هر سه سطح HCZ نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی داری نشان داد ( $P < 0.05$ ) که این وضعیت حاکی از اثر آن بر محافظت از سلامت سلول های کبدی بوده است.

درصد بازدهی وزن بورس فابرسیوس و طحال در هر سه سطح تیمار شده نسبت به گروه شاهد افزایش معنی داری نشان داد ( $P < 0.05$ ) که این امر می تواند نشان دهنده تقویت پاسخ ایمنی پرندگان تحت شرایط استرس ارتفاع باشد. باین حال، تفاوت معنی داری در درصد بازدهی وزن قلب به وزن لاشه بین تیمارها مشاهده نشد. لازم به ذکر است که درصد وزن بطن راست به کل بطن ها با مصرف هر سه سطح HCZ کاهش داشت و کمترین مقدار آن با تغذیه سطح ۷۵ میلی گرم مشاهده شد ( $P < 0.05$ ). این وضعیت نشان دهنده بهبود وضعیت ریلکسیشن (Relaxation) و کاهش فشار بر بطن راست است.

تأثیر مصرف سطوح مختلف هیدروکسی کلراید روی بر فراسنجه های خونی و سرمی در جدول ۲ آمده است. با مصرف سطوح مختلف HCZ، درصد هماتوکریت کاهش معنی داری یافت ( $P < 0.05$ ). کمترین میزان هماتوکریت

جدول ۲- مقایسه اثر سطوح مختلف هیدروکسی کلراید روی بر روی فراسنجه های خونی و سرمی جوجه های گوشتی در ۴۲ روزگی

P-value*	SEM**	سطوح هیدروکسی کلراید روی در جیره (میلی گرم در کیلوگرم)				فراسنجه
		۷۵	۵۰	۲۵	شاهد (۰)	
۰/۰۰۳۷	۲/۴۱	۳۳/۸ <sup>b</sup>	۳۸ <sup>b</sup>	۳۷/۴ <sup>b</sup>	۴۸/۴ <sup>a</sup>	هماتوکریت (/)
۰/۰۰۰۱	۰/۰۴۴	۲/۵۴ <sup>a</sup>	۲/۵۲ <sup>a</sup>	۲/۲۷ <sup>b</sup>	۱/۹۰ <sup>c</sup>	نیتریک اکساید (μmol/L)
۰/۰۰۰۱	۰/۹۰	۲۳/۴۰ <sup>b</sup>	۲۴ <sup>b</sup>	۲۵/۴۰ <sup>b</sup>	۳۱ <sup>a</sup>	هتروفیل (/)
۰/۰۰۰۱	۱/۳۸	۷۷/۶۰ <sup>a</sup>	۷۵/۲۰ <sup>ab</sup>	۷۳/۲۰ <sup>b</sup>	۶۱/۲۰ <sup>c</sup>	لنفوسیت (/)
۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۳	۰/۳۰۲ <sup>b</sup>	۰/۳۲۰ <sup>b</sup>	۰/۳۴۶ <sup>b</sup>	۰/۵۰۷ <sup>a</sup>	نسبت هتروفیل به لنفوسیت
۰/۰۰۱۴	۹/۹۷	۲۷۲/۸۰ <sup>b</sup>	۲۸۱/۲۰ <sup>b</sup>	۲۹۰ <sup>b</sup>	۳۳۷/۸۰ <sup>a</sup>	AST (U/L)

تیمار ۱: جیره شاهد، تیمار ۲: جیره شاهد + ۲۵ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلراید روی، تیمار ۳: جیره شاهد + ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلراید روی، تیمار ۴: جیره شاهد + ۷۵ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلراید روی  
\*در هر ردیف میانگین های با حروف نامشابه، از لحاظ آماری اختلاف معنی دار دارند ( $P < 0.05$ ).  
\*\*SEM: Standard Error of Mean (اشتباه معیار میانگین)

سطوح HCZ در جیره، میزان ذخیره روی در هر سه بافت نیز افزایش می یابد ( $P < 0.05$ )؛ بیشترین میزان ذخیره با مصرف بالاترین سطح HCZ مشاهده شد. باین حال، تفاوت بین دو گروه مصرف کننده ۲۵ و ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم از لحاظ آماری معنی دار نبود.

نتایج جدول ۳ نشان می دهد که با افزایش سطح مصرف هیدروکسی روی، ذخیره این عنصر در بافت کبد، سینه و استخوان نسبت به گروه شاهد افزایش معنی دار داشته است ( $P < 0.05$ ). این یافته تأیید کننده افزایش جذب و توزیع کارآمد روی در بافت های هدف است. با افزایش

جدول ۳- مقایسه تأثیر سطوح هیدروکسی روی بر ذخیره‌ی عنصر روی در بافت کبد، سینه و استخوان جوجه گوشتی در سن ۴۲ روزگی

P-value*	SEM**	سطوح هیدروکسی کلراید روی در جیره (میلی گرم در کیلوگرم)				بافت هدف (mg/kg)
		شاهد (۰)	۲۵	۵۰	۷۵	
۰/۰۰۰۱	۳/۱۳	۶۱/۵۲ <sup>c</sup>	۷۲/۷۹ <sup>b</sup>	۷۸/۲۴ <sup>b</sup>	۹۹/۰۰ <sup>a</sup>	کبد
۰/۰۰۱۲	۱/۷۴	۲۶/۰۳ <sup>c</sup>	۳۲/۹۴ <sup>b</sup>	۳۳/۰۰ <sup>b</sup>	۳۸/۵۸ <sup>a</sup>	سینه
۰/۰۰۰۶	۵/۴۸	۱۳۳/۹۱ <sup>c</sup>	۱۵۲/۳۸ <sup>b</sup>	۱۶۶/۶۲ <sup>ab</sup>	۱۷۳/۲۶ <sup>a</sup>	استخوان

تیمار ۱: جیره شاهد، تیمار ۲: جیره شاهد + ۲۵ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلراید روی، تیمار ۳: جیره شاهد + ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلراید روی، تیمار ۴: جیره شاهد + ۷۵ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلراید روی.

\*در هر ردیف میانگین‌های با حروف نامشابه، از لحاظ آماری اختلاف معنی دار دارند ( $P < 0.05$ ).

\*\*SEM: Standard Error of Mean (اشتباه معیار میانگین)

همان‌گونه که در شکل شماره ۱ قابل مشاهده است، روند ذخیره روی در استخوان ران (محور چپ) و انرژی شکست استخوان (محور راست) با افزایش سطح HCZ در جیره، یک‌روند صعودی و هماهنگ را نشان می‌دهند. با افزایش سطح HCZ از ۰ به ۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم، غلظت روی در استخوان ران از ۱۳۳/۹۱ به ۱۷۳/۲۶ میلی گرم بر کیلوگرم افزایش یافت که این افزایش در جذب عنصر مستقیماً با افزایش انرژی لازم برای شکستن استخوان از ۱/۸۶ به ۲/۶۴  $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$  همراه بوده است. این همبستگی قوی نشان می‌دهد که غنی‌سازی بافت استخوان با Zn، به واسطه نمونه خوراکی HCZ، عامل اصلی بهبود پارامترهای بیومکانیکی استخوان بوده است.

داده‌های جدول ۴ نشان می‌دهد که افزودن HCZ می‌تواند مقاومت استخوان را در برابر شکست بهبود بخشد. گروه شاهد کمترین میزان انرژی شکست را داشت و با افزودن HCZ این مقدار افزایش چشمگیری نشان داد، به طوری که بیشترین مقدار انرژی مورد نیاز شکست استخوان در سطح ۷۵ میلی گرم مشاهده گردید ( $P < 0.05$ ) که نشان دهنده تقویت ساختار بیومکانیکی استخوان است. هر چند تفاوت بین گروه شاهد و سطح ۲۵ میلی گرم از لحاظ آماری معنی دار نبود. تغییرات سختی ضربه بین گروه‌های مختلف معنی دار نبود. در مورد قطر استخوان درشت‌نی، با افزایش سطح هیدروکسی روی افزایش مشاهده شد، هر چند این تفاوت از نظر آماری معنی دار نبود.

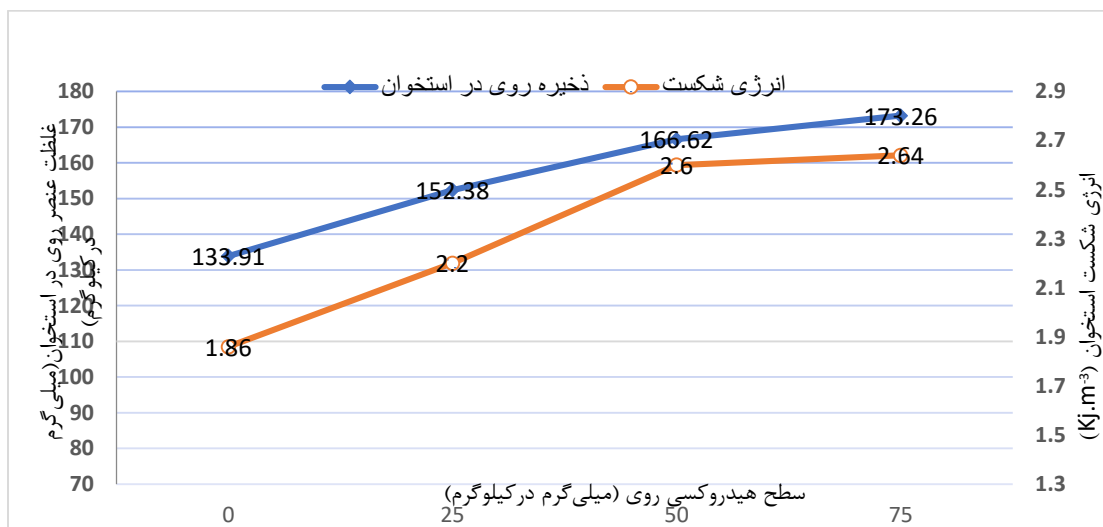
جدول ۴- مقایسه تأثیر سطوح هیدروکسی روی بر ضربه شکست استخوان درشت‌نی جوجه‌های گوشتی در سن ۴۲ روزگی

P-value*	SEM**	سطوح هیدروکسی کلراید روی در جیره (میلی گرم در کیلوگرم)				فراسنجه‌ها
		شاهد (۰)	۲۵	۵۰	۷۵	
۰/۰۰۰۷	۰/۱۱۶	۱/۸۶ <sup>b</sup>	۲/۲۰ <sup>b</sup>	۲/۶۰ <sup>a</sup>	۲/۶۴ <sup>a</sup>	انرژی شکست ( $\text{Kj}\cdot\text{m}^{-3}$ )
۰/۴۰۳۲	۰/۰۰۳	۰/۰۳۲	۰/۰۲۸	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	سختی ضربه (N/mm)
۰/۸۱۶۵	۰/۳۵۸	۹/۷۲	۱۰/۰۶	۱۰/۱۰	۱۰/۱۷	قطر استخوان (mm)

تیمار ۱: جیره شاهد، تیمار ۲: جیره شاهد + ۲۵ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلراید روی، تیمار ۳: جیره شاهد + ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلراید روی، تیمار ۴: جیره شاهد + ۷۵ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلراید روی.

\*در هر ردیف میانگین‌های با حروف نامشابه، از لحاظ آماری اختلاف معنی دار دارند ( $P < 0.05$ ).

\*\*SEM: Standard Error of Mean (اشتباه معیار میانگین)



شکل ۱- رابطه سطح روی در جیره با غلظت آن در استخوان و انرژی شکست

## بحث

بطن‌ها (RV/TV) است. اگر این نسبت از ۲۵ درصد فراتر رود، به منزله درگیری جوجه‌ها با عارضه فشارخون ریوی تلقی می‌شود (۱۲). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که افزودن هیدروکسی کلراید روی (HCZ) به جیره غذایی، منجر به کاهش قابل توجه این نسبت می‌گردد.

این کاهش در نسبت وزن قلب به وزن لاشه و همچنین نسبت RV/TV در پرنده‌گانی که HCZ دریافت کرده‌اند، به طور مؤثری مزایای سلامتی این منبع از روی را تأیید می‌کند. مطالعات حاکی از آن است که جوجه‌های مبتلا به فشارخون ریوی، دارای سطوح بالاتری از هماتوکریت در مقایسه با جوجه‌های سالم هستند (۹). در پژوهش حاضر با مصرف هیدروکسی کلراید روی مقدار هماتوکریت کاهش نشان داد. می‌توان چنین استدلال کرد که روی با افزایش قدرت اتصال اکسیژن به هموگلوبین و کاهش فرایند اریتروپوئز، سطح هماتوکریت را کاهش می‌دهد. روی در فرایند اریتروپوئز به‌عنوان یک کاتالیزور و یون تنظیم‌کننده عمل می‌کند، به طوری که بر سنتز هموگلوبین و رشد سلول‌های اریتروئید تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، عنصر روی به‌عنوان یک عامل مهم تمایز اریتروئیدی در نظر گرفته می‌شود که بلوغ گلبول‌های قرمز را تسریع می‌کند؛ بنابراین این سازوکارها به طور جمعی به تعدیل سطوح هماتوکریت در حضور روی کمک می‌کنند (۱۰). این یافته‌ها بر نقش حمایتی HCZ در بهبود عملکرد قلبی-عروقی و تنظیم شاخص‌های خونی تأکید دارند. آسپارات آمینوترانسفراز (AST) یک آنزیم است که در قسمت‌های مختلف بدن،

این مطالعه باهدف ارزیابی تأثیر سطوح مختلف هیدروکسی کلراید روی (HCZ) بر پارامترهای فشارخون ریوی، ذخیره روی و استحکام استخوان در جوجه‌های گوشتی پرورشی در محیط‌های هیپوکسیک (ارتفاع بالا) انجام شد. نتایج اصلی این پژوهش نشان داد که مکمل‌دهی با HCZ منجر به بهبود قابل توجه در پارامترهای قلبی-ریوی، از جمله کاهش نسبت وزن بطن راست به کل بطن‌ها (RV/TV) و افزایش نیتریک اکساید گردید. به‌علاوه، سطوح مختلف HCZ به طور معنی‌داری ذخیره روی را در بافت‌های حیاتی مانند کبد، عضله سینه و استخوان افزایش داد و استحکام استخوان درشت‌نی را بهبود بخشید.

مطالعات متعددی که به بررسی سطوح مختلف هیدروکسی کلراید روی پرداخته‌اند، نشانگر بهبود قابل توجهی در بازده لاشه، پاسخ ایمنی و استحکام استخوان در پرنده‌گانی هستند که با HCZ تغذیه شده‌اند (۲۲، ۲۳). به‌ویژه، جایگزینی سولفات روی با HCZ در دوز ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، منجر به کاهش نرخ مرگ‌ومیر و افزایش چشمگیر ذخیره‌سازی عنصر روی در کبد جوجه‌های گوشتی گردید (۵). این یافته‌ها بر مزایای HCZ به‌عنوان یک منبع روی کارآمد با قابلیت زیست‌فراهمی بالاتر، به‌ویژه در بهبود شاخص‌های کلیدی سلامتی و تولیدی، تأکید دارند.

یکی از معیارهای کلیدی برای تشخیص فشارخون ریوی در جوجه‌های گوشتی، نسبت وزن بطن راست به کل





سطح HCZ در جیره غذایی، غلظت نیتریک اکساید در سرم افزایش یافته است؛ بنابراین، این افزایش غلظت نیتریک اکساید سرمی می‌تواند یکی از دلایل اصلی کاهش هایپرتروفی بطن راست و نسبت RV/TV در این جوجه‌ها باشد.

هم سو با نتایج حاضر، بررسی‌ها نشان داد با افزایش سطح روی در خوراک، ذخیره این عنصر در اندام‌های مختلف از جمله بافت سینه و استخوان افزایش یافت. بیشترین میزان روی در خاکستر عضله سینه در جیره آغازین با ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک ثبت گردید. این اثر بر سلامت کلی و عملکرد جوجه‌های گوشتی بسیار مؤثر است. همچنین سطوح بالاتر روی می‌تواند غلظت آن را در کبد بدون تأثیر منفی بر سایر مواد معدنی افزایش دهد (۳۸). افزایش رسوب روی در استخوان درشت‌نی به بهبود معدنی‌سازی و تراکم و استحکام استخوان کمک می‌کند (۲۹). تفاوت سطوح بهینه وابسته به نوع منبع و شرایط آزمایشی ممکن است تغییر کند.

افزایش سطح هیدروکسی کلرید روی (HCZ) منجر به افزایش چشمگیر در انرژی شکست استخوان درشت‌نی شد که نشان‌دهنده بهبود مستقیم مقاومت استخوان در برابر نیروهای مکانیکی تحت شرایط هیپوکسی است (۲۹). این افزایش در انرژی شکست که معیاری از ظرفیت استخوان برای جذب نیرو پیش از شکست است، به احتمال زیاد ناشی از بهبود در فرایندهای کلیدی وابسته به روی در متابولیسم استخوانی است. همان‌طور که مشخص است، کمبود روی با مهار تجمع کلسیم و فسفر از طریق کاهش سنتز و فعالیت پروتئین‌های ماتریکس و کلاژن، کلسیفیکاسیون ماتریکس خارج سلولی را در استئوبلاست‌ها مختل می‌کند (۲)؛ بنابراین، تأمین HCZ در این مطالعه، احتمالاً با بهبود فراهمی زیستی و جذب روی، فرایندهای زیستی مرتبط با رسوب مواد معدنی را تقویت کرده و منجر به تشکیل ساختار معدنی مؤثرتری در ماتریکس استخوانی شده است. روی به‌عنوان یک عنصر ضروری، نقش کلیدی در تشکیل ماتریکس استخوانی و بهبود ساختار کریستالی هیدروکسی آپاتیت (جزء معدنی اصلی) ایفا می‌کند (۲). این بهبود ساختاری مستقیماً بر خواص مکانیکی نظیر انرژی شکست

به‌خصوص در کبد، قلب، ماهیچه‌های اسکلتی، کلیه‌ها و مغز یافت می‌شود. وقتی سطح AST در خون بالا می‌رود، معمولاً نشان‌دهنده آسیب یا التهاب در اندام‌هایی است که این آنزیم در آن‌ها وجود دارد. شایع‌ترین علت بالا رفتن AST، آسیب کبدی است. بررسی‌ها نشان داد که سطوح سرمی ALT و AST، در جوجه‌های گوشتی درگیر با فشارخون ریوی افزایش می‌یابد (۷). مصرف هیدروکسی کلرید روی و کاهش این آنزیم حاکی از کاهش التهاب یا آسیب در بدن جوجه‌های گوشتی تحت شرایط هیپوکسی بوده است. افزایش میانگین وزن طحال در جوجه‌های گوشتی، نشان‌دهنده پتانسیل بالاتر این پرندگان در مقاومت و رویارویی با بیماری‌ها و تنش‌های محیطی است؛ بنابراین، پرندگانی که از وزن طحال بیشتری برخوردارند، توانایی بهتری در مقابله با عوامل بیماری‌زا و تنش‌ها از خود نشان می‌دهند. براین اساس، با مشاهده افزایش وزن در بورس فابرسیوس و طحال جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با هیدروکسی کلرید روی (HCZ)، می‌توان نتیجه گرفت که این ترکیب، باعث تقویت پاسخ ایمنی و بهبود مقاومت پرندگان در شرایط هایپوکسی (کمبود اکسیژن) شده است. این اثر به دلیل نقش حیاتی روی به‌عنوان کوفاکتور در بسیاری از آنزیم‌های مؤثر در دفاع علیه پاتوژن‌ها است (۲۴). نسبت هتروفیل به لنفوسیت به‌عنوان یک شاخص فیزیولوژیکی قابل‌اعتماد، برای ارزیابی پاسخ به استرس در پرندگان شناخته شده است. در جوجه‌های تحت استرس، تعداد هتروفیل‌ها معمولاً افزایش می‌یابد درحالی‌که تعداد لنفوسیت‌ها کاهش و نسبت H/L بالاتری ایجاد می‌شود (۲۰). کاهش این نسبت در جوجه‌های گوشتی که از هیدروکسی کلراید روی (HCZ) تغذیه می‌کنند، نشان‌دهنده سطح ایمنی بالاتر و مقاومت بهتر آن‌ها در برابر عوامل استرس‌زا بوده است. ازسوی دیگر، نیتریک اکساید (NO) نقش مهمی در کاهش مقاومت عروقی ریوی ایفا می‌کند؛ این ماده با اتساع عروق و کاهش واکنش آن‌ها به عوامل منقبض‌کننده وابسته به اندوتلیوم مانند ترومبوکسان A2 و اندوتلین ۱، به بهبود جریان خون ریوی کمک می‌کند (۳۰). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که غلظت نیتریک اکساید در جوجه‌های مبتلا به فشارخون ریوی کاهش می‌یابد (۱۱). در این پژوهش، مشاهده شد که با افزایش



بررسی مرتبط بوده‌اند. این امر می‌تواند حاکی از فراهمی زیستی (Bioavailability) بالاتر روی از منبع HCZ نسبت به منبع سولفات روی در شرایط استرس ارتفاع باشد (۳۲).

از نظر فیزیولوژیک، بهبود در عملکرد قلبی-ریوی و کاهش شاخص آسیت (که متناسب با کاهش فشارخون ریوی است) مشاهده شد و این اثر به احتمال قوی به دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش استرس اکسیداتیو ناشی از HCZ نسبت به گروه کنترل است (۱۰). با این وجود، لازم به ذکر است که برخی از پارامترهای مورفومتریک استخوان، مانند قطر و طول استخوان درشت‌نی، تحت تأثیر تیمارهای HCZ به طور معنی‌داری تغییر نکردند. این امر نشان می‌دهد که تأثیر HCZ در این مطالعه بیشتر بر کیفیت (استحکام شکست) و کمیت جذب (غلظت روی در بافت) متمرکز بوده است تا بر رشد ابعادی استخوان. محدودیت اصلی این مطالعه، دوره زمانی کوتاه آزمایش (معمولاً تا سن کشتار) بود که ممکن است اثرات بلندمدت HCZ بر سلامت اسکلتی و عملکرد قلبی-ریوی را به طور کامل آشکار نکرده باشد. همچنین، عدم مشاهده معنی‌داری آماری در برخی فراسنجه‌ها (مانند قطر استخوان) نیازمند بررسی‌های عمیق‌تری است.

### قدردانی و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مساعدت‌های مالی دانشگاه شهرکرد تقدیر و تشکر نمایند.

### تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌نمایند که در این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافی ندارند.

### منابع

1. Afshar Bakeshlo A, Ahmadipour B, Khajali F, Pirany N. Investigating the effect of different sources and levels of zinc on the immune performance and antioxidant capacity of laying hens. *Iran J Clinic Sci.* 2024;17(2):81-90.
2. Alcantara EH, Lomeda RAR, Feldmann J, Nixon GF, Beattie JH, Kwun IS. Zinc deprivation inhibits extracellular matrix

تأثیر می‌گذارد؛ به طوری که مصرف روی با افزایش معدنی شدن و یکپارچگی ساختاری، استحکام استخوان و در نتیجه کاهش اختلالات حرکتی را بهبود می‌بخشد (۳۲).

در مقابل، تغییرات سختی ضربه بین گروه‌های مختلف، هرچند دارای روند افزایشی بود، اما از نظر آماری معنی‌دار نشد. سختی ضربه ارتباط تنگاتنگی با کیفیت ساختاری ماتریکس استخوانی (شامل آرایش کلاژن و تخلخل) دارد تا صرفاً تراکم مواد معدنی. این یافته خاص بیانگر آن است که در محدوده دوزهای HCZ مورد استفاده و در دوره پرورشی این مطالعه، تأثیر مکمل بر بهبود سازماندهی کلاژن و تخلخل به اندازه‌ای نبوده که تغییرات آماری معناداری در سختی ضربه ایجاد کند، یا ممکن است برای مشاهده این تغییرات به دوزهای بالاتر یا زمان طولانی‌تری نیاز باشد. تنظیم دقیق سطح مکمل روی با توجه به مرحله رشد و شرایط محیطی (هیپوکسی) برای بهینه‌سازی سلامت استخوان حیاتی است، زیرا سطوح بیش از حد می‌تواند عوارض جانبی به همراه داشته باشد (۱۵).

همچنین، قطر استخوان درشت‌نی نیز با افزایش سطح HCZ افزایش یافت، اما این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نگردید. قطر استخوان شاخصی از رشد فیزیکی و توسعه ابعاد اسکلتی است (۲۲). از آنجاکه رشد فیزیکی یک فرایند کندتر نسبت به تغییرات ترکیب شیمیایی یا استحکام است، عدم معنی‌داری آماری ممکن است نشان‌دهنده این باشد که دوره آزمایش (۲۳ تا ۴۲ روزگی) برای بروز تغییرات فیزیکی محسوس در ابعاد استخوان، به اندازه کافی طولانی نبوده است (۲۲). به طور کلی، روی نقش اساسی در فعالیت آنزیم‌های مرتبط با تشکیل استخوان (مانند آلکالین فسفاتاز) و تحریک استئوبلاست‌ها دارد (۳۶)، و افزایش فعالیت فسفاتاز قلیایی می‌تواند به کاهش شیوع مسائل حرکتی مانند لنگش کمک کند (۲۸).

نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر نشان می‌دهد که افزودن سطوح ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم هیدروکسی کلرید روی (HCZ) به جیره پایه جوجه‌های گوشتی پرورشی در شرایط ارتفاع بالا از سطح دریا، پتانسیل بهبود فراسنجه‌های مورد ارزیابی را دارد.

به طور مشخص، سطوح ذکر شده HCZ به طور قابل توجهی با افزایش استحکام شکست استخوان درشت‌نی و همچنین افزایش ذخایر عنصر روی در بافت‌های مورد





- on the lungs of broilers with ascites syndrome. *Animal*. 2023;13(1):175.
10. Hanson ZD, Mirshahidi H, Brothers J, Mirshahidi S, Pham B, Samaeekia R, et al. Hemoglobin response to zinc supplementation in patients with zinc deficiency and chronic anemia. *Blood*. 2023;142:5222.
  11. Hassanpour H, Yazdani A, Khabir Soreshjani K, Asgharzadeh S. Evaluation of endothelial and inducible nitric oxide synthase genes expression in the heart of broiler chickens with experimental pulmonary hypertension. *Br Poult Sci*. 2009;50(6):725-732.
  12. Izadinia M, Nobakht M, Khajali F, Faraji M, Zamani F, Qujeq D, et al. Pulmonary hypertension and ascites as affected by dietary protein source in broiler chickens reared in cool temperature at high altitudes. *Anim Feed Sci Technol*. 2010;155(2-4):194-200.
  13. Khajali F, Tahmasebi M, Hasanpour H, Akbari MA, Qujeeq D, Wideman RF. Effects of supplementation of canola meal-based diets with arginine on performance, plasma nitric oxide, and carcass characteristics of broiler chickens grown at high altitude. *Poult Sci*. 2011;90:2287-2294.
  14. Leisure NJ, Jackson CC, Huang M, Moore TB, Steward FA. Micronutrient supplement [United States Patent US 8.No]. 20130064963; 2014.
  15. Lima L, Moraes T, Morais L, de Amorim M, Veríssimo T, Dos Santos J, et al. Effect of zinc level and the thermal environment on the zootechnical performance and tibia-breaking strength of Japanese quails. *Front Vet Sci*. 2025;11:1467487.
  16. Liu ZH, Lu L, Wang RL, Lei HL, Li SF, Zhang LY, et al. Effects of supplemental zinc source and level on antioxidant ability and fat metabolism-related enzymes of broilers. *Poult Sci*. 2015;94(11):2686-2694.
  - calcification through decreased synthesis of matrix proteins in osteoblasts. *Mol Nutr Food Res*. 2011;55(10):1552-1560.
  3. Aviagen, 2022. Aviagen Group Ross 308 Broiler: Nutrition Specifications. Available online: [https://eu.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/Ross\\_Broiler/RossBroilerNutritionSpecs2019-EN.pdf](https://eu.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/RossBroilerNutritionSpecs2019-EN.pdf)
  4. Behrooj N, Khajali F, Hassanpour H. Feeding reduced-protein diets to broilers subjected to hypobaric hypoxia is associated with the development of pulmonary hypertension syndrome. *Br Poult Sci*. 2012;53:658-664.
  5. Chawalitjinda O, Songserm O, Pongmanee K, Ruangpanit Y. Effect of zinc hydroxychloride supplementation on growth performance and zinc deposition in broiler chickens. *J Mahanakorn Vet Med*. 2021;16(1):11-21.
  6. Chen J, Jiang C, Hu X, Zhang Y, Gao X, Guo X, Liu P. Mechanism of pulmonary arterial vascular cell dysfunction in pulmonary hypertension in broiler chickens. *Avian Pathology*. 2025;54(5):548-559. doi:10.1080/03079457.2025.2480802.
  7. Fathi M, Zarrinkavyani K, Biranvand Z, Al Abd MA. Effect of Phloretin on Antioxidant Status, Inflammatory Cytokines, Blood and Biochemical Indices, Cecal Microbial Load, and Growth Performance in Broiler Chickens Subjected to Pulmonary Arterial Hypertension. *Poult Sci*. 2025;105265.
  8. Ghosh A, Kumar A, Biswas G. Exponential population growth and global food security: challenges and alternatives. In: *Bioremediation of emerging contaminants from soils*. 2024:1-20.
  9. Guo D, Zhang J, Han Y, Cui L, Wang H, Wang K, et al. Transcriptomic study



25. Perez V, Shanmugasundaram R, Sifri M, Parr TM, Selvaraj RK. Effects of hydroxychloride and sulfate form of zinc and manganese supplementation on superoxide dismutase activity and immune responses post lipopolysaccharide challenge in poultry fed marginally lower doses of zinc and manganese. *Poult Sci*. 2017;96(12):4200-4207.
26. Rowland JR, Harms RH, Wilson HR, Ross IJ, Fry JL. Breaking strength of chick bones as an indication of dietary calcium and phosphorus adequacy. *Proc Soc Exp Biol Med*. 1967;126(2):399-401.
27. Sadr V, Nguyen HTT, Pineda L, Han Y, Toghyani M. Synergistic Effects of Hydroxychloride and Organic Zinc on Performance, Carcass Characteristics, Liver and Tibia Mineral Profiles of Broiler Chickens. *Biol Trace Elem Res*. 2024;1-10.
28. Santos LFJ, Gonçalves AM, Neira LM, Nakagi VS, Macari M, Laurentiz AC, Pizauro JM. Effects of Supplementation of Zinc, Manganese, or Copper and Different Phytase Levels in Serum and Bone Acid and Alkaline Phosphatases of Broiler Chicks. *Braz J Poult Sci*. 2023;25(02):eRBCA-2022.
29. Shelton JL, Southern LL. Interactive Effect of Zinc, Copper and Manganese in Diets for Broilers. *Int J Poult Sci*. 2007;6:466-9.
30. Sim JY. Nitric oxide and pulmonary hypertension. *Korean J Anesthesiol*. 2010;58(1):4-14.
31. Stiles LI, Ferrao K, Mehta KJ. Role of zinc in health and disease. *Clin Exp Med*. 2024;24(1):38.
32. Štofániková J, Šály J, Molnár L, Sesztáková E, Vrabec V. The mechanical properties of broiler chicken bones affected by different dietary zinc levels. *Afr J Biotechnol*. 2012;11(20):4681-6.
33. Szöllösi L, Béres E, Szűcs I. Effects of modern technology on broiler chicken
17. Lu L, Wang RL, Zhang ZJ, Steward FA, Luo X, Liu B. Effect of dietary supplementation with copper sulfate or tribasic copper chloride on the growth performance, liver copper concentration of broilers fed in floor pens, and stabilities of vitamin E and phytase in feed. *Biol Trace Elem Res*. 2010;138:181-9.
18. Marreiro DD, Cruz KJ, Morais JB, Beserra JB, Severo JS, De Oliveira AR. Zinc and oxidative stress: current mechanisms. *Antioxidants (Basel)*. 2017;6(2):24.
19. Miles RD, O'Keefe SF, Henry PR, Ammerman CB, Luo XG. The effect of dietary supplementation with copper sulfate or tribasic copper chloride on broiler performance, relative copper bioavailability, and dietary prooxidant activity. *Poult Sci*. 1998;77:416-25.
20. Moreno J, Merino S, Martínez J, Sanz J, Arriero E. Heterophil/lymphocyte ratios and heat-shock protein levels are related to growth in nestling birds. *Ecoscience*. 2002;9(4):434-439.
21. National Research Council. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev ed. Washington, DC: Natl Acad Press; 1994.
22. Nguyen HT, Morgan N, Roberts JR, Wu SB, Swick RA, Toghyani M. Zinc hydroxychloride supplementation improves tibia bone development and intestinal health of broiler chickens. *Poult Sci*. 2021;100(8):101254.
23. Olukosi OA, van Kuijk S, Han Y. Copper and zinc sources and levels of zinc inclusion influence growth performance, tissue trace mineral content, and carcass yield of broiler chickens. *Poult Sci*. 2018;97(11):3891-3898.
24. Park SY, Birkhold SG, Kubena LF, Nisbet DJ, Ricke SC. Review on the role of dietary Zinc in poultry nutrition, immunity and reproduction. *Biol Trace Elem Res*. 2004;101:147-163.





- tetrabasic form relative to ZnO. *Anim Feed Sci Technol.* 2007; 135(1-2):75-85 26.
38. Zhang Y, Xie L, Ding X, Wang Y, Xu Y, Li D, et al. Mechanisms underlying the protective effect of maternal zinc (ZnSO<sub>4</sub> or Zn-Gly) against heat stress-induced oxidative stress in chicken embryo. *Antioxid.* 2022; 11(9): 1699.
34. Tomaszewska E, Muszynski S, Dobrowolski P, Kwiecien M, Winiarska-Mieczan A, Swietlicka I, Wawrzyniak A. Effect of zinc level and source (zinc oxide vs. zinc glycine) on bone mechanical and geometric parameters, and histomorphology in male Ross 308 broiler chicken. *Rev Bras Cienc Avic.* 2017;19:159-70.
35. Wenqiang M, Haihua N, Feng J, Wang Y, Feng Ji. Effects of Zinc glycine chelate on oxidative Stress, content of trace elements and intestinal morphology in broilers. *Biol Trace Elem Res.* 2010;142:564-6.
36. Yamaguchi M. Role of zinc in bone metabolism and preventive effect on bone disorder. *Biomed Res Trace Elem.* 2007;18(4):346-66.
37. Zhang B, Guo Y. Beneficial effects of tetrabasic zinc chloride for weanling piglets and the bioavailability of zinc in performance and economic indicators—a Hungarian case study. *Ital. J. Anim. Sci.* 2021;20(1):188-194.



## Effect of Zinc Hydroxychloride Supplementation on Pulmonary Hypertension Parameters, Zinc Retention, and Bone Strength in Broiler Chickens Under High-Altitude Rearing Conditions

Amir Parvaresh<sup>1</sup>; Behnam Ahmadipour<sup>2\*</sup>; Samira Abaszadeh<sup>3</sup>;  
Ali Afshar Bakeshlo<sup>4</sup>

1. MSc. Graduated Student, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord- Iran.
2. Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord- Iran.
3. Ph.D. Graduated Student, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord- Iran.
4. Department of Animal Sciences, Shahid Bahonar Agriculture School, Pakdasht, Tehran- Iran.

### Summary

*Received:* 26 September 2025

*Accepted:* 26 October 2025

This study aimed to evaluate the effect of different levels of zinc hydroxychloride (HCZ) on pulmonary hypertension-related parameters, zinc element storage, and tibia bone strength in broiler chickens under high-altitude environmental conditions (2100m). In this research, 200 Ross 308 male broiler chicks from 23 to 42 days of age were used for a completely randomized design in 4 treatments and 5 replicates. The experimental treatments included a basal diet and 25, 50, and 75 mg of HCZ per kg of basal feed, which were added to the control diet. HCZ consumption led to a decrease in the RV to TV ratio, an increase in nitric oxide concentration, a decrease in hematocrit, and a decrease in the heterophil to lymphocyte ratio ( $P<0.05$ ). As the retention of zinc in breast muscle, liver, and tibia bone increased ( $P<0.05$ ), the increased bone fracture force indicated an increase in tibia bone strength ( $P<0.05$ ). Overall, the results showed that consuming 75 mg of HCZ improved physiological and immune responses, increased zinc storage in bone tissue, breast, and liver, improved growth parameters and tibia bone strength, and cardiopulmonary performance of broiler chickens under hypoxic conditions. Therefore, a level of 75 mg HCZ is recommended for use in poultry farms.

**Keywords:** High altitude, Bone strength, Pulmonary hypertension, Zinc hydroxychloride

\* Corresponding Author [behnam.ahmadipour@gmail.com](mailto:behnam.ahmadipour@gmail.com)

