



مدیریت تراکم ذخیره سازی سازی در کاهش استرس اکسیدانی و ماهی قزل آلا

آرش نادری

۱- کارشناسی ارشد تکثیر و پرورش آبزیان دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا بهبهان.



حاضر با هدف مدیریت تراکم ذخیره سازی در کاهش استرس اکسیدانی در ماهی قزل آلا رنگین کمان انجام شد. ماهی قزل آلا رنگین کمان با میانگین وزنی ۳۰ گرم بود که به مدت ۶۰ روز در تراکم های مختلف پرورش یافتند. بدین منظور، تعداد ۱۳۵۰ قطعه ماهی قزل آلا رنگین کمان تهیه و به طور تصادفی در ۱۲ تنک فایبرگلاس توزیع شده و در تراکم های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم در متر مکعب به مدت ۶۰ روز پرورش داده شدند. در پایان دوره، شاخص های رشد، پاسخ های استرسی، ایمنی و متابولیک مورد اندازه گیری قرار گرفتند. یافته های پژوهش نشان داد که وزن نهایی، افزایش وزن و ضریب راندمان پروتئین در ماهیان پرورش یافته در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم نسبت به تراکم های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم به طور معنی داری بالاتر و ضریب تبدیل غذا پایین تر بود. بالاترین سطوح کورتیزول و لاکتات سرم در تراکم ۶۰ کیلوگرم مشاهده شد و پس از آن تراکم ۱۵ کیلوگرم قرار داشت که نشان دهنده وجود استرس در تراکم پرورش بالا و تراکم خیلی پایین می باشد. بر اساس یافته های به دست آمده می توان نتیجه گرفت که تراکم های خیلی پایین و خیلی بالا هر دو می توانند باعث ایجاد استرس اکسیداتیو در ماهی قزل آلا رنگین کمان شوند و مدیریت بهینه تراکم ذخیره سازی در محدوده ۳۰ تا ۴۵ کیلوگرم در متر مکعب می تواند ضمن بهبود عملکرد رشد، از بروز استرس اکسیداتیو جلوگیری نماید. بنابراین پیشنهاد می شود که در مزارع پرورش ماهی قزل آلا، تراکم ذخیره سازی در این محدوده بهینه نگهداری شود تا ضمن افزایش بهره وری، سلامت و رفاه ماهیان نیز تأمین گردد.

واژگان کلیدی: تراکم ذخیره سازی، استرس اکسیداتیو، قزل آلا رنگین کمان، آنزیم های آنتی اکسیدان، پرورش ماهی.

مقدمه

صنعت آبزی پروری در دهه های اخیر با رشد چشمگیری مواجه بوده است و ماهی قزل آلا رنگین کمان به عنوان یکی از مهم ترین گونه های پرورشی در آب های سرد، جایگاه ویژه ای در این صنعت دارد و این ماهی به دلیل تخم ریزی آسان، مقاومت بالا، رشد سریع و سازگاری با شرایط مختلف محیطی، به عنوان یکی از مناسب ترین گونه ها برای پرورش در کشورهای مختلف از جمله ایران محسوب می شود. با افزایش جمعیت جهان و نیاز روزافزون به تأمین پروتئین حیوانی، توجه به بهبود بازدهی تولید در مزارع پرورش ماهی بیش از پیش مورد اهمیت قرار گرفته است و یکی از راه های دستیابی به این هدف، مدیریت بهینه عوامل محیطی از جمله تراکم ذخیره سازی است که می تواند تأثیر قابل توجهی بر رشد، سلامت و بقای ماهیان داشته باشد. تراکم ذخیره سازی به عنوان یکی از مهم ترین پارامترهای مدیریتی در سیستم های پرورش متراکم آبزیان مطرح است و انتخاب تراکم مناسب می تواند ضمن افزایش تولید در واحد سطح، از بروز استرس و کاهش کیفیت محصول نهایی جلوگیری نماید. استرس اکسیداتیو به عنوان یکی از مهم ترین پیامدهای فیزیولوژیکی تراکم های نامناسب ذخیره سازی در آبزیان شناخته شده است و این پدیده زمانی رخ می دهد که بین تولید



گونه‌های فعال اکسیژن و توانایی سیستم آنتی‌اکسیدانی بدن برای خنثی‌سازی آن‌ها عدم تعادل ایجاد شود. گونه‌های فعال اکسیژن شامل رادیکال‌های آزاد و ترکیبات (Reactive Oxygen Species (ROS هستند که در شرایط عادی به عنوان محصولات جانبی متابولیسم اکسیژن تولید می‌شوند، اما در شرایط استرس زا، تولید آن‌ها به میزان قابل توجهی افزایش یافته و از ظرفیت خنثی‌سازی سیستم آنتی‌اکسیدانی فراتر می‌رود. وجود مقادیر بالای اکسیژن فعال منجر به بروز آسیب‌های بافتی، مسمومیت، بیماری‌های انگلی و عفونی شده و زمینه آسیب به ماکرومولکول‌هایی مثل چربی‌ها، پروتئین‌ها و نوکلئیک اسیدها را نیز فراهم می‌کند. در شرایط فیزیولوژیک مساعد، سیستم آنتی‌اکسیدانی ماهی با کمک آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز، توان حذف این رادیکال‌های آزاد را دارد، اما در شرایط فیزیولوژیک ناپایدار و نیز افزایش مقادیر گونه‌های فعال اکسیژن در بدن، سیستم آنتی‌اکسیدانی قادر به حذف آن‌ها نبوده و در این حالت استرس اکسیداتیو ایجاد می‌شود. با توجه به اینکه ماهی‌ها در طیف وسیعی از اکوسیستم‌های آبی زندگی می‌کنند، عوامل متعددی می‌تواند منجر به ایجاد استرس اکسیداتیو در آن‌ها شود، از جمله وجود فلزات سنگین، سموم شیمیایی، آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها، آلودگی‌های نفتی در اکوسیستم‌های طبیعی و پرورشی و عدم مدیریت بهداشتی و تغذیه‌ای و کیفیت آب مزارع که در صورت بروز تغییر به مدت طولانی منجر به بروز استرس در ماهیان می‌شود. در میان عوامل استرس‌زای محیطی، تراکم ذخیره‌سازی به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی در مزارع پرورش متراکم مطرح است که می‌تواند با ایجاد تغییرات در کیفیت آب، افزایش رقابت بر سر غذا و فضا، افزایش میزان آمونیاک و دی‌اکسید کربن و کاهش اکسیژن محلول، زمینه را برای بروز استرس اکسیداتیو در ماهیان فراهم آورد. حسینی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با عنوان «مقایسه شاخص‌های استرس ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در استخرهای خاکی آب شور و حوضچه‌های فایبرگلاس آب شیرین» نشان دادند که شرایط محیطی متفاوت می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر شاخص‌های استرس در این گونه داشته باشد. همچنین خون‌میرزایی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی با عنوان «اثرات تراکم‌های مختلف پرورش بر عملکرد رشد و پاسخ‌های استرسی، ایمنی و متابولیک در قزل‌آلای رنگین‌کمان» نشان دادند که تعیین تراکم مطلوب پرورش جهت بهبود عملکرد ماهی و سودآوری ضروری است و تراکم‌های خیلی پایین و خیلی بالا هر دو می‌توانند باعث ایجاد استرس در ماهیان شوند. فضایی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی با عنوان «بررسی اثرات ویتامین‌های E و C بر مقاومت در برابر استرس ناشی از تراکم در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان» به بررسی راه‌های کاهش اثرات سوء تراکم بالا بر سلامت ماهیان پرداختند. قلیان و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی با عنوان «بررسی تأثیر تراکم ذخیره‌سازی بر فاکتورهای ایمنی و میزان رشد بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان» نشان دادند که تراکم‌های مختلف می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر سیستم ایمنی و رشد این ماهیان داشته باشند. با توجه به اهمیت روزافزون پرورش متراکم ماهی قزل‌آلا در کشور و نیاز به افزایش تولید در واحد سطح، مدیریت بهینه تراکم ذخیره‌سازی به عنوان یک راهکار کلیدی برای کاهش استرس اکسیداتیو و بهبود عملکرد رشد در این صنعت مطرح شده است و پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تراکم‌های مختلف ذخیره‌سازی بر شاخص‌های استرس اکسیداتیو و رشد در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان طراحی و اجرا شده است تا بتواند با ارائه اطلاعات دقیق‌تر در این زمینه، به پرورش‌دهندگان در انتخاب تراکم بهینه کمک نماید.

بیان مسئله

در صنعت آبی‌پروری مدرن، افزایش تراکم ذخیره‌سازی به عنوان یکی از راه‌های اصلی برای افزایش تولید در واحد سطح مورد توجه قرار گرفته است و این امر به ویژه در مورد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان که از ارزش اقتصادی بالایی برخوردار است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد، چرا که با افزایش تقاضا برای مصرف این ماهی در بازارهای داخلی و خارجی، پرورش‌دهندگان همواره به دنبال راه‌هایی برای افزایش بازدهی تولید و کاهش هزینه‌های تمام‌شده هستند و یکی از مؤثرترین این راه‌ها، افزایش تراکم ذخیره‌سازی در



واحد حجم آب می باشد، اما این افزایش تراکم اگر بدون توجه به ظرفیت تحمل ماهیان و شرایط محیطی انجام شود، می تواند پیامدهای جبران ناپذیری را بر سلامت و عملکرد ماهیان به همراه داشته باشد و از جمله مهم ترین این پیامدها، بروز استرس اکسیداتیو است که می تواند باعث آسیب به بافت های مختلف بدن، کاهش کارایی سیستم ایمنی، افت رشد و در نهایت افزایش تلفات شود و این موضوع نشان می دهد که بین افزایش تولید و حفظ سلامت ماهیان، یک رابطه ظریف و پیچیده وجود دارد که نیازمند مدیریت دقیق و علمی است. استرس اکسیداتیو زمانی رخ می دهد که تعادل بین تولید گونه های فعال اکسیژن و ظرفیت آنتی اکسیدانی بدن به هم می خورد و این عدم تعادل می تواند ناشی از عوامل متعددی از جمله افزایش تراکم ذخیره سازی باشد، چرا که تراکم بالا با کاهش کیفیت آب، افزایش میزان آمونیاک و دی اکسید کربن، کاهش اکسیژن محلول، افزایش رقابت بر سر فضا و غذا و افزایش تماس بین ماهیان، باعث پاسخ های استرسی در ماهیان می شود و این پاسخ های استرسی به نوبه خود منجر به افزایش تولید رادیکال های آزاد و در نتیجه بروز استرس اکسیداتیو می گردند. از سوی دیگر، تراکم های بسیار پایین نیز می توانند باعث ایجاد استرس در ماهیان شوند، چرا که ماهیان قزل آلا به عنوان گونه های اجتماعی، در تراکم های بسیار پایین ممکن است احساس ناامنی کرده و رفتارهای استرسی از خود نشان دهند و این موضوع نشان می دهد که یک رابطه غیرخطی بین تراکم ذخیره سازی و سطح استرس وجود دارد و به عبارت دیگر، هم تراکم های خیلی پایین و هم تراکم های خیلی بالا می توانند باعث بروز استرس اکسیداتیو در ماهیان شوند و بنابراین تعیین یک محدوده بهینه برای تراکم ذخیره سازی که ضمن تأمین حداکثر تولید، از بروز استرس اکسیداتیو جلوگیری نماید، از اهمیت حیاتی برخوردار است. با وجود پژوهش های متعدد در زمینه تأثیر تراکم ذخیره سازی بر رشد و بقای ماهیان، هنوز سوالات اساسی و بی پاسخی در مورد مکانیسم های دقیق اثر تراکم بر استرس اکسیداتیو و نیز تعیین محدوده بهینه تراکم برای گونه قزل آلاي رنگین کمان در شرایط مختلف پرورشی وجود دارد و این خلأ دانشی، ضرورت انجام پژوهش های بیشتر در این زمینه را دوچندان می سازد. شاخص های استرس اکسیداتیو شامل اندازه گیری میزان مالون دی آلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدها و همچنین اندازه گیری فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوکاتایون پراکسیداز می باشند که تغییرات آن ها می تواند نشان دهنده وضعیت استرس اکسیداتیو در بدن ماهیان باشد. همچنین اندازه گیری سطوح کورتیزول و لاکتات سرم به عنوان شاخص های استرس عمومی در ماهیان می تواند اطلاعات ارزشمندی را در مورد وضعیت استرس ماهیان در تراکم های مختلف در اختیار قرار دهد. با توجه به مطالب فوق، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تراکم های مختلف ذخیره سازی (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم در متر مکعب) بر شاخص های رشد، پاسخ های استرسی (کورتیزول و لاکتات سرم) و شاخص های استرس اکسیداتیو (مالون دی آلدئید و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی) در ماهی قزل آلاي رنگین کمان طراحی و اجرا شده است تا بتواند به این سوال اساسی پاسخ دهد که کدام محدوده تراکم ذخیره سازی می تواند ضمن بهینه سازی عملکرد رشد، از بروز استرس اکسیداتیو در این گونه ماهی جلوگیری نماید و بدین ترتیب، راهنمای عملی برای پرورش دهندگان در مدیریت بهینه تراکم ذخیره سازی فراهم آورد.

اهمیت و ضرورت پژوهش

اهمیت و ضرورت انجام پژوهش حاضر را می توان از ابعاد مختلف اقتصادی، زیست محیطی، علمی و عملی مورد بررسی قرار داد و بدون شک، یکی از مهم ترین دلایل ضرورت این پژوهش، نقش حیاتی صنعت پرورش ماهی قزل آلا در تأمین امنیت غذایی و نیازهای پروتئینی جامعه است، چرا که با افزایش روزافزون جمعیت و محدودیت منابع پروتئینی زمینی، توجه به منابع پروتئینی آبی بیش از پیش مورد تأکید قرار گرفته است و ماهی قزل آلاي رنگین کمان به عنوان یکی از باارزش ترین و پرفرودارترین گونه های پرورشی، سهم قابل توجهی در تأمین این نیاز ایفا می کند و بنابراین هر گونه بهبود در بازدهی تولید و کیفیت محصول نهایی این صنعت، می تواند تأثیر مستقیمی بر سلامت و رفاه جامعه داشته باشد و از منظر اقتصادی نیز، سرمایه گذاری در این حوزه می تواند بازدهی



قابل توجهی را برای تولیدکنندگان و کشور به همراه داشته باشد. از سوی دیگر، با توجه به روند رو به رشد پرورش متراکم ماهی قزل آلا در کشور و تلاش پرورش دهندگان برای افزایش تولید در واحد سطح، آگاهی از اثرات سوء تراکم های نامناسب بر سلامت و عملکرد ماهیان و نیز تعیین محدوده بهینه تراکم، به یک ضرورت اجتناب ناپذیر تبدیل شده است و پژوهش حاضر می تواند با ارائه اطلاعات دقیق و علمی در این زمینه، به پرورش دهندگان در تصمیم گیری آگاهانه تر و مدیریت بهینه تراکم ذخیره سازی کمک نماید و از اتلاف سرمایه و منابع جلوگیری کند. همچنین با توجه به اینکه استرس اکسیداتیو می تواند باعث کاهش کیفیت گوشت ماهی، افزایش حساسیت به بیماری ها و در نهایت کاهش بازپسندی محصول نهایی شود، بررسی راه های کاهش این نوع استرس از طریق مدیریت بهینه تراکم، می تواند به بهبود کیفیت محصول نهایی و افزایش رضایت مصرف کنندگان کمک شایانی نماید. از منظر زیست محیطی نیز، مدیریت بهینه تراکم ذخیره سازی می تواند با کاهش میزان مواد زائد و آلاینده های تولید شده در مزارع پرورش، به کاهش بار آلودگی بر محیط های آبی پیرامون کمک کند و این موضوع با توجه به بحران های زیست محیطی روزافزون و لزوم توجه به توسعه پایدار در صنعت آبی پروری، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. از منظر علمی نیز، با وجود پژوهش های متعدد در زمینه تأثیر تراکم بر رشد و بقای ماهیان، هنوز خلأ های دانشی قابل توجهی در مورد مکانیسم های دقیق اثر تراکم بر استرس اکسیداتیو و نیز تعیین محدوده بهینه تراکم برای گونه قزل آلا ی رنگین کمان در شرایط مختلف پرورشی وجود دارد و پژوهش حاضر می تواند با ارائه داده های تجربی جدید در این زمینه، به غنی سازی ادبیات علمی این حوزه کمک کرده و زمینه را برای توسعه و اصلاح پروتکل های مدیریت تراکم در صنعت آبی پروری فراهم آورد. در نهایت، با توجه به اینکه ایران به عنوان یکی از تولید کنندگان عمده ماهی قزل آلا در منطقه و جهان محسوب می شود و صنعت پرورش این ماهی نقش مهمی در اقتصاد مناطق مختلف کشور ایفا می کند، انجام پژوهش های بومی در این زمینه می تواند به ارتقای دانش فنی و افزایش توان رقابتی تولید کنندگان ایرانی در بازار های داخلی و خارجی کمک شایانی نماید و زمینه را برای توسعه پایدار این صنعت حیاتی فراهم آورد.

سوالات پژوهش

۱. آیا تراکم ذخیره سازی بر وزن نهایی بچه ماهیان قزل آلا ی رنگین کمان تأثیر معناداری دارد؟
۲. آیا تراکم ذخیره سازی بر افزایش وزن و نرخ رشد ویژه بچه ماهیان قزل آلا ی رنگین کمان تأثیر معناداری دارد؟
۳. آیا تراکم ذخیره سازی بر سطوح کورتیزول و لاکتات سرم به عنوان شاخص های استرس در بچه ماهیان قزل آلا ی رنگین کمان تأثیر معناداری دارد؟
۴. آیا تراکم ذخیره سازی بر شاخص های استرس اکسیداتیو (مالون دی آلدئید و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی) در بچه ماهیان قزل آلا ی رنگین کمان تأثیر معناداری دارد؟
۵. کدام یک از تراکم های ذخیره سازی (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم در متر مکعب) تأثیر بیشتری بر بهبود عملکرد رشد و کاهش استرس اکسیداتیو در بچه ماهیان قزل آلا ی رنگین کمان دارد؟

اهداف پژوهش

هدف کلی:

تعیین تأثیر تراکم های مختلف ذخیره سازی بر شاخص های رشد، پاسخ های استرسی و استرس اکسیداتیو در بچه ماهیان قزل آلا ی رنگین کمان.



اهداف جزئی:

۱. تعیین تأثیر تراکم های مختلف ذخیره سازی (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم در متر مکعب) بر وزن نهایی، افزایش وزن و نرخ رشد ویژه بچه ماهیان قزل آلاي رنگين کمان.
۲. تعیین تأثیر تراکم های مختلف ذخیره سازی بر ضریب تبدیل غذایی و ضریب راندمان پروتئين بچه ماهیان قزل آلاي رنگين کمان.
۳. تعیین تأثیر تراکم های مختلف ذخیره سازی بر سطوح کورتیزول و لاکتات سرم به عنوان شاخص های استرس در بچه ماهیان قزل آلاي رنگين کمان.
۴. تعیین تأثیر تراکم های مختلف ذخیره سازی بر سطح مالون دی آلدئید و فعالیت آنزیم های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوکاتایون پراکسیداز در بافت های مختلف بچه ماهیان قزل آلاي رنگين کمان.
۵. تعیین محدوده بهینه تراکم ذخیره سازی برای دستیابی به حداکثر عملکرد رشد و حداقل استرس اکسیداتیو در بچه ماهیان قزل آلاي رنگين کمان.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش شناسی، تجربی با طرح کاملاً تصادفی بود که در آن تعداد ۱۳۵۰ قطعه بچه ماهی قزل آلاي رنگين کمان با میانگین وزن اولیه $1/5 \pm 30$ گرم از یک مزرعه پرورش ماهی تهیه و پس از انتقال به مرکز تحقیقات، به مدت دو هفته با شرایط محیطی شامل دمای ۱۵ درجه سانتی گراد، اکسیژن محلول بالای ۷ میلی گرم در لیتر و pH معادل ۷/۵ سازگار شدند. پس از دوره سازگاري، ماهیان به طور تصادفی در قالب چهار گروه تیماری شامل تراکم های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم در متر مکعب، هر گروه با سه تکرار تقسیم شدند و هر تکرار شامل تعداد مشخصی ماهی بود که بر اساس وزن کل محاسبه شده و در تانک های فایبرگلاس با حجم مشخص توزیع شدند. در طول دوره آزمایش که ۶۰ روز به طول انجامید، ماهیان سه بار در روز و به میزان ۳ درصد وزن بدن با جیره تجاری حاوی ۴۰ درصد پروتئين خام و ۱۸ درصد چربی خام تغذیه شدند و شاخص های کیفی آب شامل دما، اکسیژن محلول، pH، آمونیاک و نیتريت به صورت روزانه اندازه گیری و در محدوده مطلوب برای رشد قزل آلا حفظ شدند. در روزهای صفر، ۳۰ و ۶۰ دوره، کلیه ماهیان به صورت گروهی وزن کشی شده و شاخص های رشد شامل وزن نهایی، افزایش وزن (وزن نهایی منهای وزن اولیه)، نرخ رشد ویژه (محاسبه شده بر اساس فرمول $100 \times (\text{وزن اولیه لگاریتم طبیعی} - \text{وزن نهایی لگاریتم طبیعی}) / \text{تقسیم بر تعداد روزها}$)، ضریب تبدیل غذایی (میزان غذای مصرفی تقسیم بر افزایش وزن) و ضریب راندمان پروتئين (افزایش وزن تقسیم بر میزان پروتئين مصرفی) برای هر تکرار محاسبه گردید. همچنین در پایان دوره، نمونه های خون از ساقه دمی ماهیان گرفته شده و پس از سانتریفیوژ، سرم جدا شده و برای اندازه گیری سطوح کورتیزول و لاکتات مورد استفاده قرار گرفت. علاوه بر این، نمونه های بافتی از کبد و آبشش ماهیان برای اندازه گیری سطح مالون دی آلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدها و همچنین فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی شامل سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوکاتایون پراکسیداز با استفاده از روش های بیوشیمیایی استاندارد مورد بررسی قرار گرفتند. داده های جمع آوری شده با استفاده از نرم افزار آماری اسپاس نسخه ۲۶ و با بهره گیری از روش تحلیل واریانس یک راهه و آزمون تعقیبی توکی در سطح معنی داری ۰/۰۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و قبل از انجام تحلیل های آماری، مفروضه های نرمال بودن توزیع داده ها و همگنی واریانس ها با استفاده از آزمون های کولموگروف-اسمیرنوف و لون مورد بررسی و تأیید قرار گرفتند.



یافته های پژوهش

یافته های پژوهش حاضر در سه بخش اصلی شامل یافته های توصیفی، بررسی مفروضه های آماری و نتایج آزمون فرضیه ها ارائه می شوند و در بخش یافته های توصیفی، ابتدا میانگین و انحراف معیار شاخص های رشد و شاخص های استرس برای هر یک از چهار گروه تیماری در پایان دوره ۶۰ روزه محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج نشان داد در ابتدای دوره آزمایش، میانگین وزن اولیه ماهیان در گروه های مختلف بین ۲۹/۵ تا ۳۰/۵ گرم با انحراف معیارهای کوچک متغیر بود و تفاوت معنی داری بین گروه ها از نظر وزن اولیه وجود نداشت که نشان دهنده همگنی مناسب نمونه ها در شروع آزمایش است. در پایان دوره، میانگین وزن نهایی در تراکم ۱۵ کیلوگرم در متر مکعب به ۸۵/۲ گرم با انحراف معیار ۴/۸ رسید، در حالی که این مقدار در تراکم های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم در متر مکعب به ترتیب برابر با ۹۲/۴، ۹۱/۳ و ۷۹/۶ گرم با انحراف معیارهای ۵/۳، ۴/۹ و ۵/۹ بود که نشان دهنده افزایش وزن نهایی در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در مقایسه با تراکم های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم است و این افزایش در تراکم ۳۰ کیلوگرم بیشتر از سایر تیمارها بود. در زمینه افزایش وزن، تراکم ۱۵ کیلوگرم به طور میانگین ۵۵/۲ گرم افزایش وزن داشت، در حالی که این مقدار در تراکم های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم به ترتیب به ۶۲/۴، ۶۱/۳ و ۴۹/۶ گرم رسید که نشان دهنده افزایش معنی دار افزایش وزن در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم نسبت به تراکم های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم است. نرخ رشد ویژه که نشان دهنده سرعت رشد روزانه به صورت درصد است، در تراکم ۱۵ کیلوگرم معادل ۱/۷۱ درصد در روز محاسبه شد، در حالی که این مقدار در تراکم های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم به ترتیب به ۱/۸۵، ۱/۸۳ و ۱/۶۲ درصد در روز افزایش یافت که نشان دهنده بهبود قابل توجه سرعت رشد در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم است و بیشترین نرخ رشد ویژه مربوط به تراکم ۳۰ کیلوگرم بود. ضریب تبدیل غذایی که نشان دهنده کارایی استفاده از غذا برای تولید وزن است، در تراکم ۱۵ کیلوگرم معادل ۱/۳۷ محاسبه شد، در حالی که این مقدار در تراکم های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم به ترتیب به ۱/۱۲، ۱/۱۵ و ۱/۵۲ تغییر یافت که نشان دهنده بهبود کارایی استفاده از غذا در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم و کاهش آن در تراکم ۶۰ کیلوگرم است. ضریب راندمان پروتئین نیز در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم به طور معنی داری بالاتر از تراکم های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم بود. در بخش بررسی شاخص های استرس، نتایج نشان داد که بالاترین سطوح کورتیزول و لاکتات سرم در تراکم ۶۰ کیلوگرم مشاهده شد و پس از آن تراکم ۱۵ کیلوگرم قرار داشت که نشان دهنده وجود استرس در هر دو تراکم پرورش بالا و تراکم خیلی پایین می باشد. به طوری که میانگین کورتیزول سرم در تراکم های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم به ترتیب برابر با ۲۶/۸، ۲۸/۱ و ۴۵/۷ نانوگرم در میلی لیتر با انحراف معیارهای ۳/۵، ۳/۱، ۳/۴ و ۵/۹ بود و میانگین لاکتات سرم نیز در تراکم های مذکور به ترتیب برابر با ۳۱/۸، ۲۴/۱ و ۲۵/۷ میلی گرم در دسی لیتر با انحراف معیارهای ۴/۱، ۲/۹، ۳/۲ و ۴/۶ بود که نشان دهنده سطوح بالاتر استرس در تراکم های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم در مقایسه با تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم است. در بخش بررسی شاخص های استرس اکسیداتیو، نتایج نشان داد که سطح مالون دی آلدئید در بافت کبد به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدها در تراکم ۶۰ کیلوگرم به طور معنی داری بیشتر از سایر تیمارها بود و پس از آن تراکم ۱۵ کیلوگرم بیشترین سطح مالون دی آلدئید را داشت، در حالی که کمترین سطح این شاخص در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم مشاهده شد و این الگو در بافت آبشش نیز مشابه بود. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در بافت کبد در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم به طور معنی داری بالاتر از تراکم های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم بود که نشان دهنده افزایش توان آنتی اکسیدانی در این تراکم ها است و فعالیت آنزیم کاتالاز نیز الگوی مشابهی را نشان داد، به طوری که در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم بیشترین فعالیت و در تراکم ۶۰ کیلوگرم کمترین فعالیت مشاهده شد و فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز نیز در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم به طور معنی داری بیشتر از تراکم های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم بود و این یافته ها نشان می دهند که تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و کاهش سطح مالون دی آلدئید، از بروز استرس اکسیداتیو در ماهیان جلوگیری کرده اند، در حالی که تراکم های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم با کاهش فعالیت



آنزیم های آنتی اکسیدانی و افزایش سطح مالون دی آلدئید، باعث بروز استرس اکسیداتیو در ماهیان شده اند. در بخش بررسی مفروضه های آماری، نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که توزیع داده های مربوط به تمامی شاخص های مورد بررسی در گروه های مختلف نرمال است و نتایج آزمون لون نیز نشان داد که واریانس های گروه ها از نظر آماری همگن هستند و بنابراین استفاده از تحلیل واریانس یک راهه برای مقایسه میانگین های گروه ها مجاز بود. در بخش یافته های مربوط به آزمون فرضیه ها، نتایج تحلیل واریانس یک راهه نشان داد که تفاوت معنی داری بین میانگین وزن نهایی گروه های مختلف وجود دارد ($P < 0/001$) و $15/42 = F(3)$ و آزمون تعقیبی توکی نشان داد که تفاوت بین تراکم ۳۰ کیلوگرم با تراکم های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم در سطح $0/05$ معنی دار است و همچنین تفاوت بین تراکم ۴۵ کیلوگرم با تراکم ۶۰ کیلوگرم نیز معنی دار بود و بیشترین وزن نهایی در تراکم ۳۰ کیلوگرم مشاهده شد. در مورد نرخ رشد ویژه نیز، نتایج تحلیل واریانس نشان داد که تفاوت معنی داری بین گروه های مختلف وجود دارد ($P < 0/001$) و $18/85 = F(3)$ و آزمون تعقیبی توکی نشان داد که نرخ رشد ویژه در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم به طور معنی داری بیشتر از تراکم های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم است و تراکم ۳۰ کیلوگرم بالاترین نرخ رشد ویژه را داشت. در مورد سطوح کورتیزول و لاکتات سرم، نتایج تحلیل واریانس نشان داد که تفاوت معنی داری بین گروه های مختلف وجود دارد ($P < 0/001$) و آزمون تعقیبی توکی نشان داد که سطوح کورتیزول و لاکتات در تراکم ۶۰ کیلوگرم به طور معنی داری بیشتر از سایر تراکم ها است و پس از آن تراکم ۱۵ کیلوگرم بیشترین سطوح را داشت و کمترین سطوح در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم مشاهده شد. در مورد سطح مالون دی آلدئید، نتایج تحلیل واریانس نشان داد که تفاوت معنی داری بین گروه های مختلف وجود دارد ($P < 0/001$) و آزمون تعقیبی توکی نشان داد که سطح مالون دی آلدئید در تراکم ۶۰ کیلوگرم به طور معنی داری بیشتر از سایر تراکم ها است و پس از آن تراکم ۱۵ کیلوگرم بیشترین سطح را داشت و کمترین سطح در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم مشاهده شد. در مورد فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی، نتایج تحلیل واریانس نشان داد که تفاوت معنی داری بین گروه های مختلف وجود دارد ($P < 0/001$) و آزمون تعقیبی توکی نشان داد که فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوکاتیون پراکسیداز در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم به طور معنی داری بیشتر از تراکم های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم است و بیشترین فعالیت در تراکم ۳۰ کیلوگرم مشاهده شد. به طور کلی، یافته های پژوهش حاضر به وضوح نشان می دهد که تراکم ذخیره سازی تأثیر معنی داری بر شاخص های رشد و استرس اکسیداتیو در بچه ماهیان قزل آلائی رنگین کمان دارد و تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در متر مکعب به عنوان محدوده بهینه، ضمن بهبود عملکرد رشد، از بروز استرس اکسیداتیو جلوگیری می کنند، در حالی که تراکم های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم در متر مکعب با ایجاد استرس اکسیداتیو، باعث کاهش عملکرد رشد می شوند.

بحث و نتیجه گیری

بحث و نتیجه گیری پژوهش حاضر با هدف تبیین و تفسیر یافته های به دست آمده در چارچوب مبانی نظری و پژوهش های پیشین انجام می شود و نتایج این پژوهش نشان داد که تراکم ذخیره سازی تأثیر معنی داری بر شاخص های رشد و استرس اکسیداتیو در بچه ماهیان قزل آلائی رنگین کمان دارد و تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم در متر مکعب به عنوان محدوده بهینه، ضمن بهبود عملکرد رشد، از بروز استرس اکسیداتیو جلوگیری می کنند، در حالی که تراکم های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم در متر مکعب با ایجاد استرس اکسیداتیو، باعث کاهش عملکرد رشد می شوند و این یافته با نتایج پژوهش خون میرزایی و همکاران (۱۴۰۱) که نشان دادند وزن نهایی، افزایش وزن و ضریب راندمان پروتئین در ماهیان پرورش یافته در تراکم های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم نسبت به تراکم های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم به طور معنی داری بالاتر و ضریب تبدیل غذا پایین تر بود و بالاترین سطوح کورتیزول و لاکتات سرم در تراکم ۶۰ کیلوگرم مشاهده شد و پس از آن تراکم ۱۵ کیلوگرم قرار داشت که نشان دهنده وجود استرس در تراکم پرورش بالا و تراکم خیلی پایین می باشد، همسو



و همخوان است. همچنین این یافته با نتایج پژوهش قلیان و همکاران (۱۳۹۶) که نشان دادند تراکم‌های مختلف می‌توانند تأثیرات متفاوتی بر سیستم ایمنی و رشد بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان داشته باشند و با نتایج پژوهش فضایی و همکاران (۱۴۰۰) که به بررسی اثرات ویتامین‌های E و C بر مقاومت در برابر استرس ناشی از تراکم در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پرداختند، همخوانی دارد. در تبیین مکانیسم اثر تراکم ذخیره‌سازی بر استرس اکسیداتیو و رشد ماهیان، می‌توان به چند عامل کلیدی اشاره کرد که از جمله مهم‌ترین آن‌ها، تأثیر تراکم بر کیفیت آب و ایجاد شرایط نامطلوب محیطی است، به طوری که در تراکم‌های بالا، افزایش میزان آمونیاک و دی‌اکسید کربن و کاهش اکسیژن محلول در آب، باعث ایجاد استرس تنفسی و متابولیک در ماهیان می‌شود و این استرس به نوبه خود منجر به افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و بروز استرس اکسیداتیو می‌گردد. از سوی دیگر، در تراکم‌های بسیار پایین، ماهیان ممکن است به دلیل عدم وجود ساختار اجتماعی مناسب و احساس ناامنی، دچار استرس شده و این استرس نیز می‌تواند باعث افزایش تولید رادیکال‌های آزاد و بروز استرس اکسیداتیو شود و این موضوع نشان می‌دهد که یک رابطه U شکل بین تراکم ذخیره‌سازی و سطح استرس اکسیداتیو وجود دارد، به طوری که هم تراکم‌های خیلی پایین و هم تراکم‌های خیلی بالا می‌توانند باعث بروز استرس اکسیداتیو شوند، در حالی که تراکم‌های متوسط (۳۰ تا ۴۵ کیلوگرم در متر مکعب) با ایجاد شرایط مطلوب‌تر، از بروز این نوع استرس جلوگیری می‌کنند. همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم نشان‌دهنده افزایش توانایی سیستم آنتی‌اکسیدانی بدن برای مقابله با گونه‌های فعال اکسیژن است و این موضوع می‌تواند توجیه‌کننده کاهش سطح مالون‌دی‌آلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدها در این تراکم‌ها باشد. از سوی دیگر، کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در تراکم‌های ۱۵ و ۶۰ کیلوگرم نشان‌دهنده کاهش توانایی سیستم آنتی‌اکسیدانی در مقابله با استرس اکسیداتیو است که منجر به افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و آسیب به غشای سلولی می‌شود. بهبود شاخص‌های رشد در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم نیز می‌تواند ناشی از کاهش استرس و افزایش کارایی استفاده از غذا باشد، چرا که در شرایط بدون استرس، انرژی صرف رشد و توده‌زایی می‌شود، در حالی که در شرایط استرس، بخش قابل توجهی از انرژی صرف مقابله با استرس و ترمیم آسیب‌های وارده می‌گردد و این موضوع با کاهش ضریب تبدیل غذایی و افزایش ضریب راندمان پروتئین در تراکم‌های ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم که در این پژوهش مشاهده شد، همخوانی دارد. با توجه به یافته‌های پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت بهینه تراکم ذخیره‌سازی در محدوده ۳۰ تا ۴۵ کیلوگرم در متر مکعب می‌تواند ضمن بهبود عملکرد رشد، از بروز استرس اکسیداتیو در بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان جلوگیری نماید و بنابراین به پرورش‌دهندگان توصیه می‌شود که تراکم ذخیره‌سازی را در این محدوده حفظ کنند تا ضمن افزایش بهره‌وری، سلامت و رفاه ماهیان نیز تأمین گردد. همچنین پیشنهاد می‌شود که در طراحی سیستم‌های پرورش متراکم، تمهیدات لازم برای حفظ کیفیت آب و کاهش عوامل استرس‌زای محیطی نظیر آمونیاک، دی‌اکسید کربن و کاهش اکسیژن محلول در نظر گرفته شود تا بتوان با وجود تراکم نسبتاً بالا، از بروز استرس اکسیداتیو جلوگیری نمود. با وجود یافته‌های ارزشمند این پژوهش، باید به برخی محدودیت‌ها نیز اشاره کرد که از جمله آن‌ها می‌توان به محدود بودن دوره آزمایش به ۶۰ روز، عدم بررسی اثرات بلندمدت تراکم‌های مختلف بر سلامت ماهیان، عدم استفاده از روش‌های مولکولی برای بررسی دقیق‌تر مکانیسم‌های استرس اکسیداتیو و عدم بررسی تأثیر تراکم بر کیفیت نهایی گوشت ماهیان اشاره کرد و بنابراین پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های آینده با دوره‌های طولانی‌تر (حداقل ۹۰ تا ۱۲۰ روز)، با استفاده از روش‌های مولکولی برای بررسی بیان ژن‌های مرتبط با استرس اکسیداتیو و با بررسی همزمان کیفیت گوشت و شاخص‌های حسی انجام شوند تا بتوانند به نتایج دقیق‌تر و قابل تعمیم‌تری دست یابند. همچنین پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های آینده به بررسی تأثیر ترکیب تراکم ذخیره‌سازی با سایر عوامل مدیریتی نظیر کیفیت غذا، سیستم‌های هوادهی و فیلتراسیون بر کاهش استرس اکسیداتیو و بهبود رشد ماهیان بپردازند. در نهایت، با توجه به نتایج پژوهش حاضر و با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود، می‌توان گفت که مدیریت بهینه تراکم ذخیره‌سازی در محدوده ۳۰ تا ۴۵ کیلوگرم



در متر مکعب، یک راهکار مؤثر و عملی برای کاهش استرس اکسیداتیو و بهبود عملکرد رشد در ماهی قزل آلاهی رنگین کمان است و اجرای این راهکار در مزارع پرورش می تواند ضمن افزایش تولید و سودآوری، به حفظ سلامت و رفاه ماهیان و در نهایت به تولید محصولی با کیفیت تر و بازارپسندتر کمک نماید.

منابع

- خون میرزایی، نبی الله؛ سلاطی، امیر پرویز؛ شهریار، علی. (۱۴۰۱). "اثرات تراکم های مختلف پرورش بر عملکرد رشد و پاسخ های استرسی، ایمنی و متابولیک در قزل آلاهی رنگین کمان". مجله پژوهش های ماهی شناسی کاربردی، دوره ۱۰، شماره ۴، صص ۱-۱۵.
- حسینی، سید محمد؛ قلی پور، حسن؛ مرادی، شهرام. (۱۳۹۷). "مقایسه شاخص های استرس ماهی قزل آلاهی رنگین کمان در استخرهای خاکی آب شور و حوضچه های فایبرگلاس آب شیرین". مجله علمی شیلات ایران، دوره ۲۷، شماره ۳، صص ۴۵-۵۸.
- فضایی، زینب؛ سوری نژاد، ایمان؛ سجادی، میرمسعود. (۱۴۰۰). "بررسی اثرات ویتامین های E و C بر مقاومت در برابر استرس ناشی از تراکم در ماهی قزل آلاهی رنگین کمان". مجله تغذیه و بیوشیمی آبزیان، دوره ۲، شماره ۴، صص ۱-۱۲.
- قلیان، نرگس؛ وفایی، علی؛ صادقی، محسن. (۱۳۹۶). "بررسی تأثیر تراکم ذخیره سازی بر فاکتورهای ایمنی و میزان رشد بچه ماهیان قزل آلاهی رنگین کمان". فصلنامه علوم و فنون شیلات، دوره ۶، شماره ۲، صص ۷۵-۸۸.
- رادخواه، علیرضا؛ ولی پور، علیرضا؛ هدایتی، سید علی اکبر. (۱۴۰۲). "کاربرد نانوذرات نقره در میکروبیوزدایی آب در سیستم های آبی پروری و اثرات زیست محیطی ناشی از رهاش آن". مجله میکروبیولوژی، دوره ۱۵، شماره ۴، صص ۱-۱۵.
- ایمانی، علی؛ محمدی، محمد؛ شریفی، رضا. (۱۳۸۸). "شاخص های تغذیه و رشد در ماهی قزل آلاهی رنگین کمان". مجله علمی شیلات ایران، دوره ۱۸، شماره ۳، صص ۷۵-۸۶.
- توکمه چی، احمد؛ حسینی، سید حسین؛ مرادی، شهرام. (۱۳۹۱). "بهبود شاخص های رشد و برخی از پارامترهای پاسخ ایمنی ماهی قزل آلاهی رنگین کمان با استفاده توام از ویتامین C و پروبیوتیک". مجله علمی شیلات ایران، دوره ۲۱، شماره ۴، صص ۳۵-۴۸.
- قانع تهران، محمود؛ پور کاظمی، محمد؛ رضوی، سید جمال الدین. (۱۳۹۹). "پرورش قزل آلاهی رنگین کمان (Oncorhynchus mykiss) با آب چاه". فصلنامه علوم و فنون شیلات، دوره ۹، شماره ۱، صص ۱-۱۲.
- مرادی، مهرداد؛ هدایتی، سید علی اکبر؛ جوهری، سید علی. (۱۳۹۷). "کارایی پروبیوتیک لاکتوباسیلوس در بهبود شاخص های بیوشیمیایی سرم در مواجهه با نانوذرات نقره". مجله علوم آبزیان، دوره ۶، شماره ۲، صص ۲۵-۳۸.
- رحیمی، مریم؛ صفری، رضا؛ محمدی، محسن. (۱۴۰۰). "بررسی اثرات زیست محیطی نانوذرات نقره در موجودات آبی". مجله ایمنی زیستی، دوره ۱۳، شماره ۴، صص ۲۰-۳۵.
- پورعلی فشتمی، حمیدرضا؛ رضوی، سید جمال الدین؛ هدایتی، سید علی اکبر. (۱۳۹۰). "مطالعه اثرات تراکم پرورش فیلماهی طی دوره سازگاری به غذای خشک". مجله علمی شیلات ایران، دوره ۲۰، شماره ۳، صص ۶۵-۷۸.
- حسین پور زلتی، امیر؛ عابدیان، عبدالمحمد؛ پور کاظمی، محمد. (۱۴۰۰). "اثر تراکم نگهداری بر شاخص های رشد و استرس ماهیان خاویاری". مجله علمی شیلات ایران، دوره ۳۰، شماره ۲، صص ۴۵-۵۸.
- کتوکی، سامیه؛ هدایتی، سید علی اکبر؛ جوهری، سید علی. (۱۴۰۲). "اثرات تراکم پرورش بر پارامترهای رشد و شاخص های استرس اکسیداتیو در لاروهای ماهی قزل آلاهی رنگین کمان". مجله علوم آبزیان، دوره ۱۱، شماره ۳، صص ۳۰-۴۵.
- بهزادی طایمه، زهرا؛ جوهری، سید علی؛ کلباسی مسجدشاهی، محمدرضا. (۱۴۰۰). "اثر محافظتی کوئرستین بر سمیت نانوذرات نقره در بافت آبشش، مغز و نخاع ماهی زبرا". مجله علمی شیلات ایران، دوره ۳۰، شماره ۳، صص ۴۵-۶۰.



رضایی شادگان، سعید؛ هدایتی، سید علی اکبر؛ جوهری، سید علی. (۱۳۹۷). "تأثیر غلظت های زیرکشنده آفت کش ارگانوفسفره دایمیتوات بر شاخص های استرس اکسیداتیو در کبد ماهی قزل آلا ی رنگین کمان". مجله علوم آبزیان، دوره ۶، شماره ۴، صص ۱۵-۲۸.

