



University of Tehran

Interactive Effect of Stocking Density with Feeding Frequency on Growth and Nutritional Indices of Juvenile Beluga Sturgeon (*Huso huso*)

Bahram Falahatkar^{1*} | Mehdi Rahmati²

1. Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran. Email: falahatkar@guilan.ac.ir

2. Dr. Yousefpour National Center for Stock Enhancement and Conservation of Caspian Sea Sturgeons and Perch Genetic Resources, Siahsak, Guilan, Iran. Email: mehdi_rahmaty@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 10 July 2025
Revised: 06 August 2026
Accepted: 05 September 2026
Published online: 23 September 2026

Keywords:
Sturgeon,
Rearing,
Feeding frequency,
Stocking density,
Growth performance,
Feed conversion ratio.

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of two key management factors, namely stocking density and feeding frequency, on juvenile farmed beluga sturgeon (*Huso huso*) over an 8-week period. For this purpose, four treatments were designated, each with three replicates: low density with 2 feeding frequencies per day, low density with 3 feeding frequencies per day, high density with 2 feeding frequencies per day, and high density with 3 feeding frequencies per day. In the low-density treatments, 10 fish (mean weight: 120.3 ± 23.2 g) were stocked per circular concrete tank (approximate volume: 800 L), whereas in the high-density treatments, 20 fish of the same initial weight were introduced per tank. Throughout the rearing period, weight gain was significantly higher in the low-density groups compared with the high-density groups, irrespective of feeding frequency ($P < 0.05$). However, total length did not differ significantly among treatments ($P > 0.05$). Moreover, other growth indices, including weight gain, body weight increase, specific growth rate, and daily growth rate, were significantly greater in the low-density treatments than in the high-density treatments ($P < 0.05$). Survival rate exceeded 96% across all treatments, with no significant differences among groups ($P > 0.05$). Regarding nutritional indices, including feed intake per fish, feed conversion ratio, and voluntary feed intake, no significant differences were observed among the treatments ($P > 0.05$). The results of this study indicate that stocking density, irrespective of feeding frequency, significantly influences growth performance, and that increasing feeding frequency cannot compensate for the adverse effects of high stocking density. Therefore, it appears that an optimal combination of stocking density and feeding frequency, tailored to each rearing stage, can positively enhance growth performance and improve nutritional conditions in farmed beluga sturgeon.

Cite this article: Falahatkar, B., Rahmati, M. (2026). Interactive effect of stocking density with feeding frequency on growth and nutritional indices of juvenile beluga sturgeon (*Huso huso*). *Journal of Fisheries*, 79 (3), 227-238. DOI: <http://orcid.org/0000-0002-7594-2807>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://orcid.org/10.22059/jfisheries.2026.108951>



دانشگاه تهران

شیلات، مجله منابع طبیعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۷۸۰۹-۲۴۲۳

سایت نشریه: <https://jfisheries.ut.ac.ir>

اثر متقابل تراکم و دفعات تغذیه بر شاخص‌های رشد و تغذیه‌ای فیل ماهیان (*Huso huso*) جوان پرورشی

بهرام فلاحتکار^{۱*} | مهدی رحمتی^۲

۱. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، گیلان، ایران، رایانامه: falahatkar@guilan.ac.ir

۲. مرکز ملی بازسازی و حفاظت از ذخایر ژنتیکی تاسماهیان و سوف دریای خزر شادروان دکتر یوسف‌پور، سیاهکل، گیلان، ایران، رایانامه: mehdi_rahmaty@yahoo.com

چکیده

اطلاعات مقاله

این مطالعه با هدف بررسی اثر دو شاخص مهم در مدیریت پرورش شامل تراکم و تعداد دفعات غذادهی روی فیل ماهیان (*Huso huso*) جوان پرورشی به مدت ۸ هفته انجام شد. برای این منظور، چهار تیمار شامل تراکم پایین با ۲ وعده غذادهی در روز، تراکم پایین با ۳ وعده غذادهی در روز، تراکم بالا با ۲ وعده غذادهی در روز، و تراکم بالا با ۳ وعده غذادهی در روز، هر کدام با ۳ تکرار در نظر گرفته شد. در تراکم پایین، ۱۰ عدد و در تراکم بالا ۲۰ عدد ماهی با وزن میانگین $23/2 \pm 12/3$ g در هر مخزن بتونی گرد با حجم تقریبی ۸۰۰ لیتر معرفی شد. در طی دوره پرورش، وزن ماهیان در تراکم پایین بیشتر از تراکم بالا و مستقل از تعداد دفعات غذادهی افزایش یافت ($P < 0/05$). اما طول کل تغییری بین تیمارها نشان نداد ($P > 0/05$). همچنین در سایر شاخص‌های رشد شامل میزان افزایش وزن، درصد افزایش وزن بدن، نرخ رشد ویژه و نرخ رشد روزانه در تیمارهای تراکم پایین به طور معنی‌داری بیشتر از تراکم بالا بود ($P < 0/05$). نرخ بقا در کلیه تیمارها بالای ۹۶ درصد بود و اختلافی بین تیمارها نشان نداد ($P > 0/05$). در شاخص‌های تغذیه‌ای شامل مقدار غذای مصرفی به ازای هر ماهی، ضریب تبدیل غذایی و میزان تغذیه اختیاری تفاوتی بین تیمارها مشاهده نشد. نتایج این تحقیق نشان داد تراکم ذخیره‌سازی فارغ از تعداد دفعات غذادهی می‌تواند روی شاخص‌های رشد اثرگذار باشد و تعداد دفعات غذادهی بیشتر نمی‌تواند اثرات منفی تراکم بالا را جبران کند. بنابراین به نظر می‌رسد تعیین ترکیب بهینه‌ای از تراکم و تعداد دفعات غذادهی در هر مرحله از پرورش می‌تواند نقش مثبتی بر افزایش عملکرد رشد و بهبود شاخص‌های تغذیه‌ای فیل ماهی پرورشی داشته باشد.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه:

ماهیان خاویاری،

پرورش،

تعداد وعده غذادهی،

تراکم ذخیره‌سازی،

عملکرد رشد،

ضریب تبدیل غذایی.

استناد: فلاحتکار، بهرام، رحمتی، مهدی (۱۴۰۵). اثر متقابل تراکم و دفعات تغذیه بر شاخص‌های رشد و تغذیه‌ای فیل ماهیان (*Huso huso*) جوان پرورشی. نشریه شیلات، مجله

DOI: <http://orcid.org/10.22059/jfisheries>

منابع طبیعی ایران، ۷۹ (۳)، ۲۳۸-۲۳۷. 2026.108951.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان. بهرام فلاحتکار* | مهدی رحمت

DOI: <http://orcid.org/0000-0002-7594-2807>



۱. مقدمه

افزایش تقاضای جهانی برای محصولات آبی و محدودیت منابع دریایی موجب شده است که توسعه آبی‌پروری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راهکارهای تأمین پروتئین حیوانی در جهان مطرح شود (FAO, 2026). در این بین، توسعه روز افزون آبی‌پروری و حرکت به سمت سیستم‌های متراکم و فوق‌متراکم، مستلزم بهینه‌سازی شاخص‌های پرورشی به‌منظور دستیابی به حداکثر تولید با حداقل هزینه و کمترین میزان استرس برای آبزیان است. در این میان، بهینه‌سازی شرایط مدیریتی در سیستم‌های پرورش، از جمله تراکم ذخیره‌سازی و برنامه‌های غذایی، نقش اساسی در افزایش کارایی تولید و حفظ سلامت ماهیان ایفا می‌کند. تراکم ذخیره‌سازی یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی در آبی‌پروری است که می‌تواند بر رشد، رفتار تغذیه‌ای، کیفیت آب و شاخص‌های فیزیولوژیک ماهیان تأثیر مستقیم بگذارد. به‌عنوان مثال، افزایش بیش از حد تراکم می‌تواند منجر به رقابت شدید برای غذا و فضا، افزایش استرس، کاهش رشد و افزایش حساسیت به بیماری‌ها شود (Ellis et al., 2002).

یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی در پرورش متراکم ماهیان، تعیین تراکم ذخیره‌سازی بهینه است. تراکم مستقیماً بر کیفیت آب، رفتار، میزان مصرف غذا، رشد، بقا و شاخص‌های فیزیولوژیک ماهی تأثیر می‌گذارد (Li et al., 2021; Mugwanya et al., 2022; Holhorea et al., 2023). ماهیان خاویاری به‌دلیل ماهیت کفزی بودن، وابستگی شدیدی به بستر محیط پرورش دارند و افزایش تراکم بیش از حد مجاز، منجر به کاهش فضای فیزیکی، افزایش برخوردها و در نتیجه بروز استرس‌های مزمن می‌شود (Rafatnezhad et al., 2008). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که تراکم نامناسب در بسیاری از گونه‌های پرورشی موجب کاهش نرخ رشد ویژه، افزایش ضریب تبدیل غذایی و بروز تغییرات فیزیولوژیک مرتبط با استرس می‌شود. برای مثال، در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) افزایش تراکم ذخیره‌سازی باعث افزایش سطح کورتیزول خون و کاهش کارایی رشد می‌شود (North et al., 2006). همچنین در گونه‌های گرمابی مانند تیلاپیا (*Oreochromis niloticus*)، تراکم بالا موجب کاهش مصرف غذا و افزایش رفتارهای رقابتی می‌شود (Azaza et al., 2013; Emam et al., 2025). برخی مطالعات نشان داده‌اند که تراکم بالا از طریق کاهش اکسیژن محلول و افزایش متابولیت‌های سمی مانند آمونیاک، باعث سرکوب سیستم ایمنی و کاهش رشد می‌شود، بطوری‌که در فیل‌ماهی (*Huso huso*) و تاس‌ماهی سبیری (*Acipenser baerii*)، تراکم‌های غیرمتعارف منجر به کاهش راندمان هضم و جذب و افت مشهود وزن نهایی شده است (Rafatnezhad and Falahatkar, 2011; Hassanaliipour et al., 2013; Long et al., 2019). در تاسماهی روسی (*Acipenser gueldenstaedtii*) و تاسماهی سبیری نیز مشخص شده است که تراکم بالا می‌تواند موجب کاهش رشد، افزایش استرس فیزیولوژیک و تغییر در شاخص‌های خونی و متابولیک شود (Cao et al., 2014; Naghibi et al., 2025).

علاوه بر تراکم، تعداد دفعات غذایی نیز یکی از عوامل مهم در مدیریت تغذیه ماهیان محسوب می‌شود. برنامه مناسب غذایی می‌تواند باعث افزایش کارایی استفاده از غذا، بهبود رشد و کاهش هدررفت خوراک شود. تعداد دفعات غذایی تعیین‌کننده زمان ماندگاری غذا در دستگاه گوارش، میزان ترشح آنزیم‌های گوارشی و راندمان جذب مواد مغذی است. غذاهای کمتر از حد نیاز، منجر به گرسنگی، افزایش اختلاف سبوز در گله (رشد ناهمگون) و بروز رفتارهای تهاجمی می‌شود؛ در حالی که غذاهای بیش از حد، علاوه بر هدررفت سرمایه، موجب افت شدید کیفیت آب و افزایش ضریب تبدیل غذایی می‌گردد (Jafari et al., 2019; Falahatkar and Roosta, 2022).

تحقیقات نشان داده است که افزایش تعداد دفعات غذایی در بسیاری از گونه‌های ماهیان باعث افزایش رشد و بهبود ضریب تبدیل غذایی می‌شود، زیرا ماهیان قادرند غذا را در مقادیر کمتر اما با کارایی بیشتر مصرف کنند (Jobling, 1994). در گونه‌های خاویاری نیز برنامه مناسب غذایی می‌تواند نقش مهمی در بهبود رشد و کاهش استرس داشته باشد. برای مثال، در مطالعات انجام شده روی تاسماهی سفید (*Acipenser transmontanus*) گزارش شده است که افزایش دفعات غذایی تا سطح معین می‌تواند منجر به افزایش رشد و بهبود شاخص‌های تغذیه‌ای شود (Hung et al., 1993). همچنین در برخی تحقیقات مشخص شده است که توزیع مناسب غذا در طول روز می‌تواند رقابت بین ماهیان را کاهش داده و باعث یکنواختی بیشتر در اندازه ماهیان شود (Ribeiro et al., 2015; Hu et al., 2020).

با توجه به موارد ذکر شده، اثرات تراکم و دفعات غذادهی عموماً به صورت مستقل بررسی شده است، این درحالی است که در بسیاری از سیستم‌های پرورشی این دو عامل به طور همزمان بر عملکرد ماهیان می‌توانند تأثیرگذار باشند. تراکم بالا می‌تواند رقابت برای غذا را افزایش دهد و در چنین شرایطی افزایش دفعات غذادهی ممکن است تا حدی اثرات منفی تراکم را کاهش دهد. از سوی دیگر، در تراکم‌های پایین ممکن است افزایش بیش از حد دفعات غذادهی منجر به اتلاف غذا و کاهش کیفیت آب شود. در میان گونه‌های پرورشی، ماهیان خاویاری به دلیل ارزش اقتصادی بالای گوشت و خاویار، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند، به طوری که با کاهش ذخایر طبیعی این ماهیان، توجه به صنعت آبی‌پروری در برخی کشورها بسیار افزایش یافته است و عمده نیاز بازار به محصولات این ماهیان از طریق پرورش تامین می‌گردد (Bronzi et al., 2019). با این حال، لازم است نیازمندی‌های خاص گونه‌های مختلف در شرایط پرورشی مدنظر قرار گیرد. بنابراین مدیریت دقیق عوامل پرورشی برای دستیابی به عملکرد مطلوب ضروری است. یکی از گونه‌های مهم در این خانواده فیل ماهی است که به دلایلی از جمله سرعت رشد بالا، تراکم پذیر بودن، ارزش خاویاری تولیدی بالا، مقاومت به استرس و بیماری‌ها و قابلیت تکثیر در محیط اسارت مورد توجه بسیاری از پرورش دهندگان قرار گرفته است (Falahatkar and Poursaeid, 2014).

بررسی اثرات متقابل تراکم و دفعات غذادهی بر رشد، کارایی تغذیه و شاخص‌های فیزیولوژیک ماهیان، به ویژه در گونه‌های با ارزش اقتصادی مانند ماهیان خاویاری، از اهمیت زیادی برخوردار است چراکه شناخت این روابط می‌تواند به توسعه برنامه‌های مدیریتی کارآمدتر در سیستم‌های پرورش کمک کرده و منجر به افزایش بهره‌وری و پایداری در صنعت آبی‌پروری شود. با توجه به اهمیت بهینه‌سازی شرایط نگهداری و پرورش ماهیان، درک مناسب و تعیین اثر متقابل برخی از شاخص‌های مهم نظیر تراکم و تعداد وعده‌های غذادهی از عوامل مهم در دستیابی به تولید بالاتر و سودآوری بیشتر است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف امکان بهینه‌سازی میزان تراکم و دفعات غذادهی و ارزیابی اثر آنها بر عملکرد رشد و شاخص‌های تغذیه‌ای فیل ماهیان جوان انجام گردید.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. ماهی و شرایط پرورش

در این پژوهش که به مدت ۸ هفته انجام پذیرفت و از ماه‌های فروردین تا خرداد در مرکز ملی بازسازی و حفاظت از ذخایر ژنتیکی تاسماهیان و سوف دریای خزر شادروان دکتر یوسف‌پور انجام شد. فیل ماهیان جوان تطابق یافته با شرایط آزمایشی و جیره مورد استفاده، با وزن متوسط $23/2 \pm 120/3$ g و طول کل $32/8 \pm 2/2$ cm در مخازن گرد بتونی با حجم آبیگری ۸۰۰ لیتر و دبی آب $2/7 \pm 13/1$ لیتر در دقیقه که از آب رودخانه خراود تامین می‌شد توزیع گردیدند. در طول دوره پرورش ۸ هفته‌ای، میانگین دمای آب، میزان اکسیژن محلول و pH به ترتیب برابر با $22/3 \pm 2/2$ °C، $8/9 \pm 1/2$ میلی گرم در لیتر و $7/5 \pm 0/8$ بود. ضمناً ماهیان در یک فضای مسقف تحت دوره نوری طبیعی (۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی) مورد پرورش قرار گرفتند.

۲-۲. طراحی آزمایش

در قالب یک طرح فاکتوریل، چهار تیمار شامل دو تراکم پایین و بالا که در هر کدام ۲ و یا ۳ وعده غذادهی به ماهیان انجام می‌شد در نظر گرفته شد. در تیمارهای با تراکم پایین ۱۰ عدد و در تیمارهای با تراکم بالا ۲۰ عدد ماهی در هر مخزن ریخته شد. زیست‌توده ماهی در تیمار تراکم پایین برابر ۱/۵ کیلوگرم در مترمکعب و برای تراکم بالا ۳ کیلوگرم در مترمکعب محاسبه شد. برای هر تیمار نیز سه تکرار و مجموعاً ۱۲ مخزن برای این تحقیق در نظر گرفته شد. ساعات غذادهی برای تیمارهای تغذیه‌ای ۲ وعده‌ای ۹ و ۲۱ و برای تیمارهای ۳ وعده‌ای ۹، ۱۵ و ۲۱ بود. خوراک مورد استفاده از کارخانه خوراک دام و آبزیان مازندران (ساری، ایران) بصورت اکسترو با اندازه ۳ میلی‌متر و شامل ۴۷ درصد پروتئین خام، ۱۵ درصد چربی خام، کمتر از ۲ درصد الیاف، کمتر از ۱۰ درصد خاکستر، کمتر از ۱۰ درصد رطوبت و ۴۵۰۰ کیلو کالری / کیلوگرم انرژی قابل هضم بود. تغذیه ماهیان در حد سیری و با مشاهده رفتار تغذیه و قطع مصرف غذا انجام می‌شد. هر روز در ساعت ۸ صبح نیز حدود ۲۵ درصد آب مخازن سیفون شده تا مدفوع و غذاهای خورده نشده احتمالی از آن خارج شود.

۳-۲. اندازه‌گیری شاخص‌های رشد و تغذیه

هر دو هفته یکبار وزن و طول ماهیان با ترازوی دیجیتالی با دقت یک گرم و خط‌کش بیومتری با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. قبل از زیست‌سنجی، ماهیان با عصاره پودر گل میخک به میزان ۳۰۰ میلی گرم در لیتر بیهوش می‌شدند (Falahatkar et al., 2019). در انتهای دوره پرورش، شاخص‌های رشد و تغذیه از طریق روابط زیر مورد محاسبه و سنجش قرار گرفتند (Falahatkar, 2014):

$$100 \times [\text{طول کل}^3 (\text{سانتی متر}) / \text{وزن ماهی (گرم)}] = \text{شاخص وضعیت}$$

$$\text{وزن اولیه (گرم)} - \text{وزن نهایی (گرم)} = \text{افزایش وزن (گرم)}$$

$$100 \times [\text{وزن اولیه (گرم)} / \text{وزن اولیه (گرم)} - \text{وزن نهایی (گرم)}] = \text{درصد افزایش وزن}$$

$$100 \times [\text{طول دوره پرورش (روز)} / \text{وزن اولیه (گرم)} - \text{Ln} (\text{وزن نهایی (گرم)})] = \text{نرخ رشد ویژه (درصد/روز)}$$

$$100 \times [\text{طول دوره پرورش (روز)} / \text{وزن اولیه (گرم)} - \text{وزن نهایی (گرم)}] = \text{نرخ رشد روزانه (گرم/روز)}$$

$$\text{افزایش وزن (گرم)} / \text{غذای مصرف شده (گرم)} = \text{ضریب تبدیل غذایی}$$

$$\text{تعداد ماهی هر مخزن} / \text{مقدار کل غذای مصرفی هر مخزن} = \text{مقدار خوراک مصرفی (گرم/ماهی)}$$

$$100 \times [\text{بیوماس اولیه} + \text{بیوماس نهایی} / 2] \times \text{تعداد روزهای پرورش} / \text{وزن غذای مصرفی (گرم)} = \text{میزان تغذیه اختیاری (درصد/روز)}$$

$$100 \times [\text{تعداد ماهیان در ابتدای دوره} / \text{تعداد ماهیان در انتهای دوره}] = \text{درصد بقا}$$

۴-۲. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

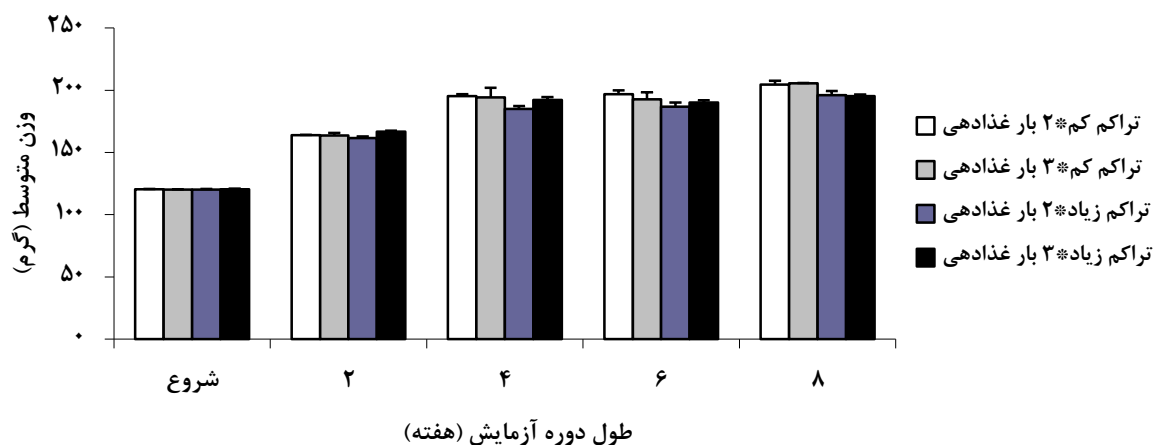
در ابتدا از داده‌های درصدی ArcSine گرفته شد و سپس نرمال بودن آنها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov و همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون Levene مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه، بر اساس طرح آزمایش فوق که شامل دو متغیر تراکم و تعداد دفعات غذایی بود از تجزیه واریانس دوطرفه (Two-way ANOVA) از طریق General Linear Model برای مقایسه بین تیمارها استفاده شد. همچنین آزمون Tukey به عنوان آزمون Post-hoc و سطح معنی‌داری ($P < 0.05$) برای مقایسه اختلافات در نظر گرفته شد. کلیه مراحل آزمون آماری از طریق نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ (IBM, Armonk, USA) و ارائه داده‌ها در متن و شکل‌ها به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار انجام پذیرفت.

۳. نتایج

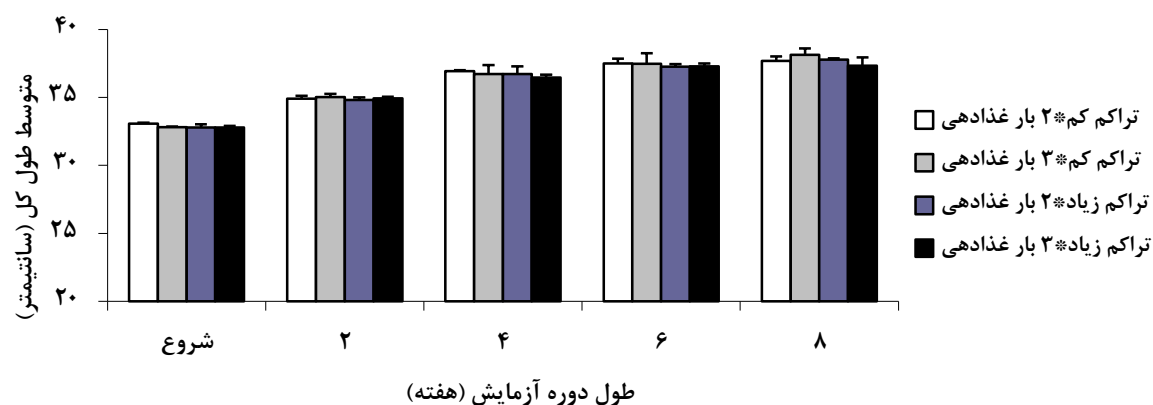
در طول دوره پرورش ۸ هفته‌ای، ماهیان از وزن تقریبی ۱۲۰ گرم به ۱۹۵ تا ۲۰۵ گرم در تیمارهای مختلف رسیدند که در طول این دوره در هفته دوم، ششم و هشتم بین تیمارهای تراکم پایین و بالا اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۱، $P < 0.05$). به طوری که در هفته دوم و ششم کمترین وزن ماهی در تیمار تراکم بالا با دو بار غذایی ثبت گردید. درخصوص طول کل اختلافی بین تیمارها در این مدت مشاهده نگردید ($P < 0.05$).

نتایج آماری مقایسه بین تیمارها نشان داد تراکم بر وزن نهایی، افزایش وزن، درصد افزایش وزن بدن، نرخ رشد ویژه و نرخ رشد روزانه دارای اثر معنی‌داری بود ($P < 0.05$). به طوری که بالاترین این شاخص‌ها در تراکم کم و خصوصاً با ۳ وعده غذایی مشاهده شد. این درحالی است که دفعات غذایی و اثر متقابل این دو متغیر روی شاخص‌های ذکر شده معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). همچنین تراکم و تعداد دفعات غذایی تاثیر معنی‌داری بر طول کل، شاخص وضعیت و درصد بقا نداشت ($P < 0.05$).

در مطالعه حاضر و با توجه به تحلیل آماری داده‌ها، تراکم، تعداد دفعات غذایی و اثر متقابل آنها روی شاخص‌های تغذیه‌ای شامل مقدار غذای مصرفی (شکل ۳)، ضریب تبدیل غذایی (شکل ۴) و مقدار تغذیه اختیاری (شکل ۵) اثر معنی‌داری نداشت ($P < 0.05$).



شکل ۱- نمودار روند تغییرات وزنی فیل ماهیان (*Huso huso*) جوان پرورشی نگهداری شده تحت دو تراکم کم و زیاد و تغذیه شده با ۲ یا ۳ وعده غذایی در روز طی ۸ هفته پرورش (میانگین $\pm$ انحراف معیار).

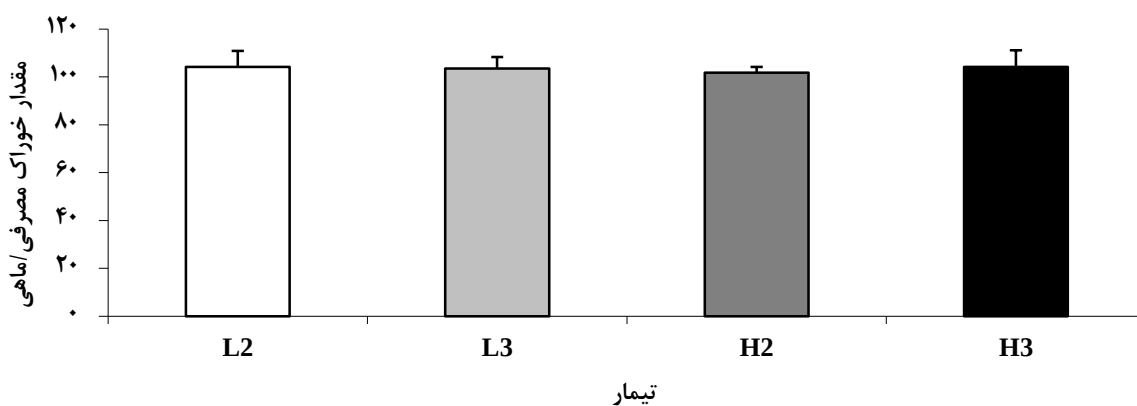


شکل ۲- نمودار روند تغییرات طولی فیل ماهیان (*Huso huso*) جوان پرورشی نگهداری شده تحت دو تراکم کم و زیاد و تغذیه شده با ۲ یا ۳ وعده غذایی در روز طی ۸ هفته پرورش (میانگین $\pm$ انحراف معیار).

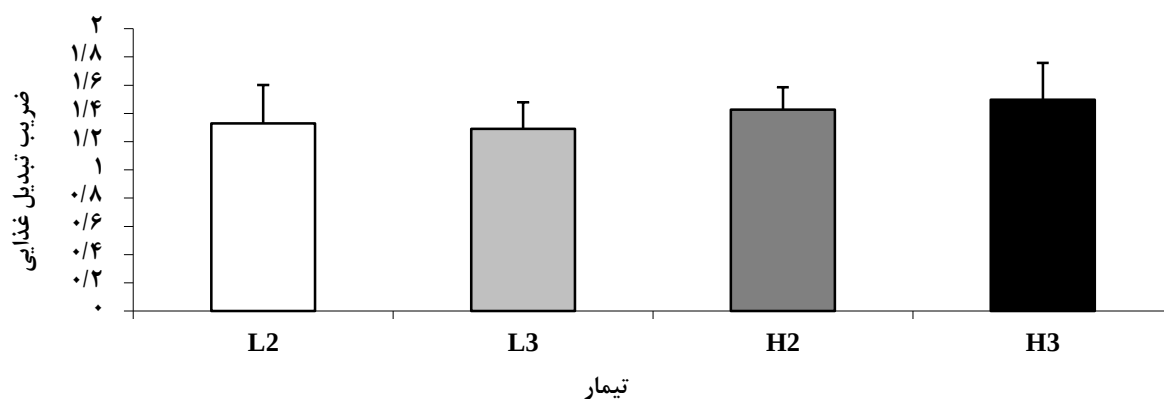
جدول ۱- شاخص‌های رشد فیل ماهیان (*Huso huso*) جوان نگهداری شده پس از ۸ هفته نگهداری در تیمارهای تراکم پایین و بالا با دفعات غذایی متفاوت (میانگین $\pm$ انحراف معیار).

تراکم	دفعات غذایی	وزن ابتدایی (g)	طول کل اولیه (cm)	وزن انتهای نهایی (g)	طول کل انتهای نهایی (cm)	شاخص وضعیت	افزایش وزن (g)	درصد افزایش وزن بدن	نرخ رشد ویژه (%/day)	نرخ رشد روزانه (g/day)	نرخ بقا (%)
پایین	۲	۱۲۰/۲۳±۳/۱	۳۳/۲±۱/۴	۲۰۴/۵۰±۶ ^a	۳۷/۳±۷/۱	۰/۰±۳۵/۰۱	۸۴/۳±۳ ^a	۲±۷۰/۴ ^a	۱/۰±۱/۰ ^a	۱/۰±۷/۱ ^a	۹۶/۵±۷/۸
	۳	۱۲۰/۲۲±۲/۹	۳۲/۲±۸/۴	۲۰۵/۳۹±۵/۹ ^a	۳۸/۲±۱/۵	۰/۰±۳۵/۰۱	۸۵/۰±۴/۵ ^a	۰±۷۱/۴ ^a	۱/۰±۱/۰ ^a	۱/۰±۷/۱ ^a	۹۶/۵±۷/۸
بالا	۲	۱۲۰/۲۲±۲/۴	۳۲/۲±۸/۲	۱۹۶/۴۱±۲/۴ ^b	۳۷/۲±۸/۶	۰/۰±۳۵/۰۱	۳±۷۶/۶ ^b	۶۳/۳±۳/۳ ^b	۰±۱/۰ ^b	۱/۰±۶/۱ ^b	۹۶/۲±۷/۸
	۳	۱۲۰/۲۴±۵/۷	۳۲/۲±۸/۲	۱۹۵/۴۴±۴/۴ ^b	۳۷/۳±۳/۲	۰/۰±۳۳/۰۱	۷۴/۰±۹/۸ ^b	۶۱/۰±۲/۵ ^b	۰±۱/۰ ^b	۱/۰±۵/۰ ^b	۹۶/۵±۷/۸
Two-way ANOVA											
تراکم		۰/۶۸۳	۰/۰۹۴	۰/۰۰۰	۰/۱۸۸	۰/۳۹۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰
دفعات غذایی		۰/۶۲۵	۰/۱۳۶	۰/۹۱۱	۰/۹۶۲	۰/۲۶۸	۰/۹۷۰	۰/۹۹۵	۰/۹۸۹	۰/۹۷۰	۱/۰۰۰
تراکم×دفعات غذایی		۰/۲۷۰	۰/۱۵۰	۰/۵۰۶	۰/۱۱۰	۰/۱۸۹	۰/۴۲۷	۰/۳۸۵	۰/۳۹۱	۰/۴۲۷	۱/۰۰۰

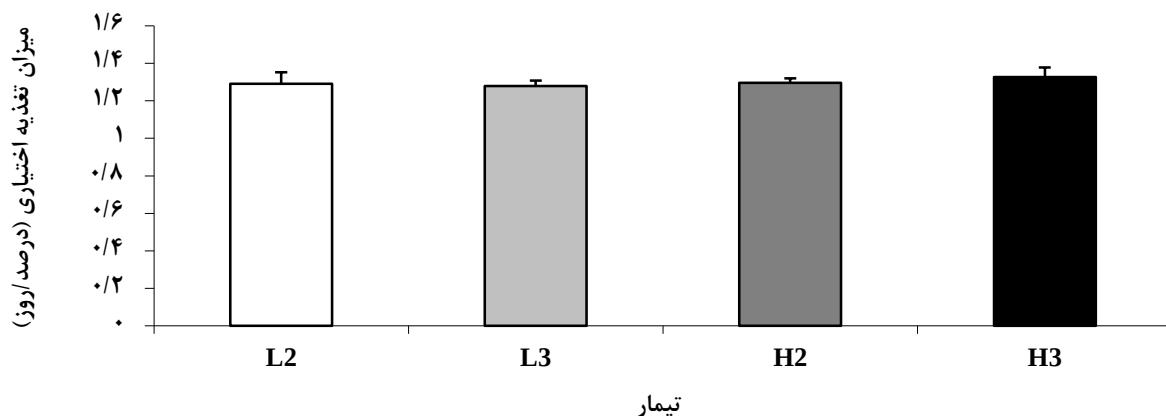
حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف می‌باشد ($P<0.05$).



شکل ۳- نمودار مقدار خوراک مصرفی به ازای هر فیل ماهی (*Huso huso*) نگهداری شده تحت دو تراکم کم و زیاد و تغذیه شده با ۲ یا ۳ وعده غذایی در روز طی ۸ هفته پرورش (میانگین $\pm$ انحراف معیار). L2: تراکم کم و ۲ بار غذایی؛ L3: تراکم کم و ۳ بار غذایی؛ H2: تراکم زیاد و ۲ بار غذایی؛ H3: تراکم زیاد و ۳ بار غذایی.



شکل ۴- نمودار ضریب تبدیل غذایی فیل ماهیان (*Huso huso*) نگهداری شده تحت دو تراکم کم و زیاد و تغذیه شده با ۲ یا ۳ وعده غذایی در روز طی ۸ هفته پرورش (میانگین $\pm$ انحراف معیار). L2: تراکم کم و ۲ بار غذایی؛ L3: تراکم کم و ۳ بار غذایی؛ H2: تراکم زیاد و ۲ بار غذایی؛ H3: تراکم زیاد و ۳ بار غذایی.



شکل ۵- نمودار میزان تغذیه اختیاری فیل ماهیان (*Huso huso*) نگهداری شده تحت دو تراکم کم و زیاد و تغذیه شده با ۲ یا ۳ وعده غذایی در روز طی ۸ هفته

پرورش (میانگین $\pm$ انحراف معیار). L2: تراکم کم و ۲ بار غذادهی؛ L3: تراکم کم و ۳ بار غذادهی؛ H2: تراکم زیاد و ۲ بار غذادهی؛ H3: تراکم زیاد و ۳ بار غذادهی.

۴. بحث و نتیجه‌گیری نهایی

مطالعه حاضر با هدف تعیین اثر متقابل تراکم و دفعات غذادهی بر عملکرد رشد فیل ماهی انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر تراکم تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد فیل ماهیان جوان دارد، به‌طوری که تیمار تراکم کمتر منجر به افزایش وزن نهایی، درصد افزایش وزن بدن، نرخ رشد ویژه و نرخ رشد روزانه به‌طور معنی‌داری نسبت به تراکم بالا گردید. در مقابل، تعداد دفعات غذادهی (دو در برابر سه وعده در روز) و اثر متقابل تراکم $\times$ دفعات غذادهی هیچ تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای رشد نداشتند. همچنین، طول کل نهایی، شاخص وضعیت و درصد بقا تحت تأثیر هیچ‌یک از تیمارها قرار نگرفت. از سوی دیگر، شاخص‌های تغذیه‌ای شامل مقدار غذای مصرفی، ضریب تبدیل غذایی و میزان تغذیه اختیاری نیز تفاوت معنی‌داری بین تیمارها نشان ندادند. عدم تغییر معنی‌دار طول کل نهایی و شاخص وضعیت در تیمارهای مختلف تحقیق حاضر نشان می‌دهد که تغییرات وزن مشاهده شده عمدتاً ناشی از تفاوت در رشد توده بدنی (احتمالاً بافت عضله و چربی) بوده و نه الگوی رشد طولی. شاخص وضعیت نسبتاً یکسان (حدود ۰/۳۵) در همه تیمارها حاکی از وضعیت تغذیه‌ای و فیزیولوژیک مشابه ماهیان در پایان آزمایش است. بقای بالای ۹۶ درصد در همه تیمارها نشانگر این است که تراکم‌های اعمال شده (حتی در سطح بالا) از آستانه کشنده یا تلفات‌زای بحرانی برای فیل ماهیان جوان فراتر نرفته است، که با ماهیت نسبتاً مقاوم این گونه در برابر تراکم‌های متوسط سازگار است. اصولاً پاسخ ماهیان خاویاری به تغییرات تراکم و دفعات غذادهی، تابعی از مکانیسم‌های تطابقی و عوامل رخ داده در محیط پرورشی به واسطه این دو عامل است. نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که تراکم یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد تولید و وضعیت فیزیولوژیک ماهیان است. افزایش تراکم معمولاً با افزایش رقابت برای منابع، کاهش کیفیت آب و افزایش سطح استرس همراه است که می‌تواند رشد و کارایی تغذیه‌ای ماهیان را تحت تأثیر قرار دهد (Ellis et al., 2002; Song et al., 2026). افزایش تراکم فراتر از ظرفیت تحمل محیط، منجر به فعال‌سازی محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-بافت اینترنال در ماهیان شده و با ترشح هورمون کورتیزول و متعاقب آن افزایش گلوکز خون، ماهی را در فاز استرس قرار می‌دهد. مطالعات روی فیل ماهی نشان داده است که در تراکم‌های بالا، علاوه بر کاهش شاخص‌های رشد، تغییرات منفی در شاخص‌های خونی رخ می‌دهد که نشان‌دهنده ضعف در سیستم فیزیولوژیک ماهی است (Rafatnezhad et al., 2008). تراکم بالا همچنین با اثرات فیزیولوژیک منفی می‌تواند منجر به پاسخ‌های استرسی مزمن شده و برای مقابله با آن، بدن می‌بایست منابع انرژی مورد نیاز خود را از طریق گلوکوکورتیزون و گلیکوژنولیز تامین نماید (Falahatkar et al., 2009). به همین دلیل کاهش رشد یکی از پیامدهای منفی تراکم‌های بالا تلقی می‌گردد. در تاسماهی سیبری افزایش تراکم منجر به کاهش رشد و افزایش رفتارهای رقابتی می‌شود (Hassanalipour et al., 2013; Aidos et al., 2024). همچنین تحقیقات انجام شده روی تاسماهی سفید نشان داده است که تراکم‌های بالا می‌تواند باعث کاهش مصرف غذا و افزایش استرس فیزیولوژیک شود (Crossman et al., 2025). در این شرایط، انرژی به‌دست‌آمده از جیره، به جای صرف شدن برای رشد (آنابولیسم)، صرف مقابله با شرایط نامساعد محیطی (کاتابولیسم) می‌شود.

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که افزایش تراکم ذخیره‌سازی به‌طور معنی‌داری باعث کاهش شاخص‌های رشد فیل ماهیان جوان شد. این نتایج با مطالعات پیشین روی فیل ماهی و دیگر گونه‌های خاویاری همسو است Rafatnezhad و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر تراکم‌های مختلف ۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ کیلوگرم بر متر مربع را بر شاخص‌های رشد فیل ماهی جوان به مدت ۸ هفته بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که پارامترهای رشد از جمله وزن نهایی، افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تراکم قرار گرفتند. همچنین Yooneszadeh Feshalami و همکاران (۲۰۱۸) در یک دوره ۲۲۸ روزه روی فیل ماهی و شیپ (*Acipenser nudiventris*) نشان دادند که در ۶۰ روز اول دوره پرورش، عملکرد رشد و مصرف خوراک در هر دو گونه با افزایش تراکم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ هرچند در مراحل بعدی، الگوی پاسخ به تراکم در دو گونه متفاوت بود و ماهیان توانایی سازگاری با تراکم‌های بالاتر را نشان دادند. در مطالعه‌ای دیگر، Ahmadi و همکاران (۲۰۱۹) روی فیل ماهی جوان با وزن اولیه ۲۵ گرم، اثر تراکم‌های مختلف ۱، ۱/۵ و ۲ کیلوگرم بر متر مربع و سطوح مختلف غذادهی ۱، ۲ و ۳ درصد وزن بدن در روز را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بهترین عملکرد رشد در تراکم ۱ کیلوگرم بر متر مربع و غذادهی ۳ درصد وزن بدن در

روز مشاهده شد. در مجموع، کاهش رشد در تراکم‌های بالا را می‌توان به عواملی مانند کاهش کیفیت آب، افزایش رقابت بر سر غذا و فضا و القای پاسخ استرس مزمن نسبت داد (Rafatnezhad et al., 2008).

در کنار تراکم، تعداد دفعات غذایی نیز عامل مهمی در بهینه‌سازی عملکرد رشد و کارایی مصرف غذا در ماهیان است. Jobling (۱۹۹۴) بیان کرد که افزایش دفعات غذایی در بسیاری از گونه‌ها باعث بهبود رشد و کاهش پارامترهای متابولیک مرتبط با مصرف غذا می‌شود. این موضوع به این دلیل است که دستگاه گوارش ماهیان در بسیاری از گونه‌ها توانایی هضم مقادیر زیاد غذا در یک وعده را ندارد و توزیع غذا در وعده‌های متعدد می‌تواند کارایی هضم و جذب را افزایش دهد. در مطالعه حاضر، علیرغم اینکه افزایش دفعات غذایی از ۲ به ۳ بار در روز باعث افزایش جزئی در شاخص‌های رشد شد، اما این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. این یافته با نتایج برخی مطالعات پیشین روی فیل ماهی همسو است Falahatkar و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای روی فیل ماهی جوان با میانگین وزن ۱۴۴ گرم تحت شرایط زمستانی (دمای زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۱۰ هفته، اثر سه وعده غذایی (۱، ۲ و ۳ بار در روز) را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در وزن نهایی، افزایش وزن، شاخص وضعیت، نرخ رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی بین تیمارهای مختلف وجود نداشت. همچنین در مطالعه Mohseni و همکاران (۲۰۰۴) روی فیل ماهی جوان، افزایش دفعات غذایی از ۳ به ۵ و ۸ بار در روز منجر به افزایش نرخ رشد، درصد افزایش وزن و نرخ رشد ویژه شد، اما این اختلافات معنی‌دار نبود. در مقابل، در مطالعه Mohseni و همکاران (۲۰۰۶) روی فیل ماهی یک ساله با وزن اولیه ۹۰۰ گرم، افزایش دفعات غذایی از ۳ به ۴ و ۵ بار در روز منجر به تفاوت معنی‌داری در پارامترهای رشد شد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که اثر دفعات غذایی بر رشد ممکن است به وزن اولیه ماهیان وابسته باشد؛ به گونه‌ای که ماهیان با وزن کمتر نیاز به دفعات غذایی بیشتری دارند، در حالی که با افزایش وزن و تکامل دستگاه گوارش، دفعات غذایی کمتری برای دستیابی به حداکثر رشد مورد نیاز است. ولی میزان ترشح آمونیاک نسبت به وزن و میزان غذای مصرفی افزایش می‌یابد (Rafiee et al., 2006).

در مطالعه حاضر ضریب تبدیل غذایی تفاوت معنی‌دار نداشت، اما کاهش وزن نهایی در تراکم بالا بدون تغییر در مصرف خوراک بیانگر آن است که افزایش تراکم احتمالاً هزینه‌های متابولیک مرتبط با استرس (مانند افزایش کورتیزول و مصرف انرژی برای پاسخ به استرس) را بالا برده است (Barton, 2002). عدم تغییر در ضریب تبدیل غذایی در مطالعه حاضر ممکن است به دلیل محدوده تعداد کم تراکم‌های آزمایش شده یا مدت کوتاه دوره پرورش (۸ هفته) نسبت به برخی مطالعات پیشین باشد. افزایش تعداد دفعات غذایی تا یک آستانه مشخص، باعث بهبود فعالیت آنزیم‌های گوارشی نظیر پروتئازها و لیپازها در روده ماهیان خاویاری می‌شود که این امر به کاهش ضریب تبدیل غذایی کمک می‌کند (Guan et al., 2022). با این حال، افزایش بیش از حد دفعات غذایی، فرصت کافی برای هضم و جذب را از دستگاه گوارش سلب کرده و سرعت تخلیه معده را به شدت بالا می‌برد که نتیجه آن دفع مواد مغذی هضم‌نشده است. تحقیقات نشان می‌دهد که ماهیان خاویاری در سنین پایین‌تر به دفعات غذایی بیشتری (مثلاً ۴ الی ۶ بار در روز) نیاز دارند تا حداکثر رشد خود را حفظ کنند، اما با افزایش وزن، این نیاز به ۲ الی ۳ بار در روز تقلیل می‌یابد. مطالعات انجام شده روی تاسماهی روسی و تاسماهی سبیری نشان داده است که افزایش دفعات غذایی می‌تواند رشد را افزایش داده و ضریب تبدیل غذایی را بهبود بخشد. علاوه بر این، توزیع غذا در وعده‌های متعدد می‌تواند رقابت بین ماهیان را کاهش داده و موجب یکنواختی بیشتر در اندازه جمعیت شود (Riberio and Qin, 2015).

در این تحقیق، عدم وجود اثر متقابل معنادار نشان می‌دهد که تأثیر تراکم و دفعات غذایی بر رشد مستقل از یکدیگر بوده است؛ به عبارت دیگر، افزایش دفعات غذایی نتوانسته اثر منفی تراکم بالا را جبران کند و همچنین در تراکم پایین نیز اثر مثبتی به همراه نداشته است. تقابل دو عامل تراکم و دفعات غذایی، یکی از پیچیده‌ترین بخش‌های مدیریت پرورش است. در شرایط تراکم بالا، رقابت غذایی به عنوان یک عامل استرس‌زا ثانویه عمل می‌کند. هنگامی که غذایی در دفعات کم اما با حجم بالا انجام شود، ماهیان بزرگ‌تر و تهاجمی‌تر (غالب) غذا را مصرف کرده و ماهیان کوچک‌تر دچار سوءتغذیه می‌شوند که این امر باعث افزایش ضریب تغییرات وزن در گله می‌شود. در این حالت، افزایش دفعات غذایی می‌تواند به عنوان یک استراتژی مدیریتی برای تعدیل اثرات منفی تراکم بالا عمل کند. با پخش کردن جیره روزانه در دفعات بیشتر، پراکنش غذا در محیط استخر بهبود یافته و فرصت تغذیه برای تمامی افراد گله فراهم می‌شود. این استراتژی نه تنها باعث یکدست شدن سایز گله می‌شود، بلکه میزان استرس

ناشی از رقابت را کاهش داده و سطح کورتیزول خون را تعدیل می‌کند. با این حال، در مطالعه حاضر اثر متقابل معنی‌داری بین تراکم و دفعات غذادهی بر شاخص‌های رشد مشاهده نشد. به عبارت دیگر، تأثیر دفعات غذادهی بر رشد در تراکم پایین و بالا مشابه بود و هیچ یک از ترکیب‌های تیماری برتری معنی‌داری نسبت به سایرین نداشت. آنچه در پرورش نوین اهمیت مضاعفی پیدا کرده است، درک تقابل میان تراکم و دفعات غذادهی است. این دو عامل به صورت مجزا عمل نمی‌کنند بلکه در یک سیستم پویا بر یکدیگر اثر می‌گذارند، به گونه‌ای که در تراکم‌های بالا، رقابت برای غذا به شدت افزایش می‌یابد و ماهیان غالب، سهم بیشتری از غذا را دریافت می‌کنند. در چنین شرایطی، افزایش بهینه دفعات غذادهی می‌تواند فرصت دسترسی به غذا را برای ماهیان مغلوب و کوچک‌تر فراهم کرده و اثرات منفی ناشی از تراکم بالا را تا حدودی خنثی نماید. عدم وجود اثر متقابل در مطالعه حاضر نشان می‌دهد که اثرات منفی تراکم بالا بر رشد با افزایش دفعات غذادهی از ۲ به ۳ بار در روز جبران نمی‌شود. این یافته از نظر مدیریت پرورشی حائز اهمیت است و نشان می‌دهد که در تراکم‌های بالا، افزایش دفعات غذادهی به تنهایی راهکار مؤثری برای بهبود عملکرد رشد نیست. احتمالاً عواملی مانند، میزان تعویض آب، کیفیت آب ورودی، فضای فیزیکی و استرس ناشی از تراکم نقش غالب‌تری در محدودیت رشد در تراکم‌های بالا ایفا می‌کنند. لازم به ذکر است که تراکم بالای در نظر گرفته شده در تحقیق حاضر نسبت به تراکم‌های معمول در شرایط پرورشی پایین‌تر بوده و در مطالعات آتی می‌بایست نسبت به افزایش تراکم و اثرات آن بر رشد و شاخص‌های مرتبط اقدام نمود.

بر اساس یافته‌های حاضر، برای پرورش فیل ماهیان جوان در محدوده وزنی ۱۲۰-۲۰۰ گرم، استفاده از تراکم کمتر ذخیره‌سازی و دو وعده غذادهی در روز کافی بوده و افزایش تعداد وعده به سه بار اثر مثبت مشخصی بر رشد نداشت. همچنین تراکم بالا اگرچه تلفات چندانی ایجاد نکرد، اما رشد را به میزان قابل توجهی کاهش داد. لذا در طراحی سیستم‌های پرورش متراکم این گونه، کنترل تراکم می‌تواند از اولویت بیشتری نسبت به افزایش دفعات غذادهی برخوردار باشد. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد که تعیین ترکیب بهینه‌ای از تراکم و دفعات غذادهی می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد رشد، افزایش کارایی تغذیه و حفظ سلامت ماهیان داشته باشد. این موضوع به ویژه در پرورش ماهیان خاویاری که دارای ارزش اقتصادی بالا و حساسیت زیاد به شرایط محیطی هستند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. بنابراین انجام مطالعات بیشتر برای تعیین سطوح بهینه این دو عامل در شرایط مختلف پرورشی ضروری به نظر می‌رسد. همچنین بررسی تغییرات فیزیولوژیک نظیر شاخص‌های خونشناسی، تغییرات بیوشیمیایی خون و تغییرات آنزیم‌های گوارشی می‌تواند در مطالعات آتی مدنظر قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از همکاری مدیریت و پرسنل مرکز ملی بازسازی و حفاظت از ذخایر ژنتیکی تاسماهیان و سوف دریای خزر شادروان دکتر یوسف‌پور بخاطر همکاری در اجرای این پروژه و کلیه عزیزانی که در زیست‌سنجی‌ها یاری‌رسان ما بودند کمال تشکر را داریم. همچنین از مجموعه اداره کل شیلات استان گیلان و معاونت پژوهشی دانشگاه گیلان نیز قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

References

- Ahmadi, Z., Akrami, R., Kharkan Ghamsari, M., 2019. Effect of stocking density and feeding rate on growth, hematological parameters and water quality in rearing of juvenile Beluga (*Huso huso*). *Journal of Applied Ichthyological Research*, 6(3), 115-128.
- Aidos, L., Cafiso, A., Serra, V., Vasconi, M., Bertotto, D., Bazzocchi, C., Radaelli, G., Di Giancamillo, A., 2020. How different stocking densities affect growth and stress status of *Acipenser baerii* early stage larvae. *Animals*, 10(8), 1289. DOI: 10.3390/ani10081289.

- Azaza, M.S., Assad, A., Maghrbi, W., El-Cafsi, M., 2013. The effects of rearing density on growth, size heterogeneity and inter-individual variation of feed intake in monosex male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Animal*, 7(11), 1865-1874. DOI: 10.1017/S1751731113001087.
- Barton, B.A., 2002. Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, 42(3), 517-525. DOI: 10.1093/icb/42.3.517.
- Bronzi, P., Chebanov, M., Michaels, J.T., Wei, Q., Rosenthal, H., Gessner, J., 2019. Sturgeon meat and caviar production: Global update 2017. *Journal of Applied Ichthyology*, 35(1), 257-266. DOI: 10.1111/jai.13870.
- Cao, Y., Li, E.C., Chen, L.Q., Long, L.N., Cui, C., Du, Z.Y., Sun, S.M., Li, M., 2014. Effects of stocking density on growth, physiological and immune responses in juvenile Russian sturgeon. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 38(5), 968-974. DOI: 10.7541/2014.143. (In Chinese with English abstract)
- Crossman, J.A., Korman, J., McLellan, J.G., Miller, A.L., Howell, M.D., 2025. High densities of hatchery-origin white sturgeon suppress somatic growth rates of an endangered wild population. *Ecological Applications*, 35(4), e70042. DOI: 10.1002/eap.70042.
- Ellis, T., North, B., Scott, A.P., Bromage, N.R., Porter, M., Gadd, D., 2002. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 61(3), 493-531. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2002.tb00889.x.
- Emam, W., Lambert, H., Brown, C., 2025. The welfare of farmed Nile tilapia: a review. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1567984. DOI: 10.3389/fvets.2025.1567984.
- Falahatkar, B., Poursaeid, S., Shakoorian, M., Barton, B.A., 2009. Responses to handling and confinement stressors in juvenile great sturgeon *Huso huso*. *Journal of Fish Biology*, 75(4), 784-796. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2009.02324.x.
- Falahatkar, B., 2014. *Feeding and feed formulation in aquatic organisms*. Tehran: Institute of Technical and Vocational Higher Education. 334 p. (In Persian)
- Falahatkar, B., Poursaeid, S., 2014. Effects of feeding frequency on growth performance and body composition of juvenile beluga sturgeon (*Huso huso*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 13(2), 406-418.
- Falahatkar, B., Efatpanah, I., Meknatkhah, B., 2019. A comparative study of feeding methods: effect on the growth, behaviour and biochemical performance of juvenile Beluga sturgeon (*Huso huso* Linnaeus, 1758). *Journal of Applied Ichthyology*, 35, 283-288. DOI: 10.1111/jai.13813.
- Falahatkar, B., Roosta, Z., 2022. The feeding/fasting strategy, size heterogeneity, and stocking density impact on body performance and cannibalism rate of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) larvae. *Journal of Applied Ichthyology*, 38, 487-492. DOI: 10.1111/jai.14352.
- FAO, 2026. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2026: Blue Transformation: turning vision into impact*. Rome: FAO. DOI: 10.4060/cd8357en.
- Guan, M., Zhang, D., Sun, X., Shu, D., Rao, J., Tang, D., 2022. Effect of feeding frequency on growth performance, feed transit and digestive enzyme activity of *Acipenser dabryanus* juveniles. *Aquaculture Research*, 53(17), 5996-6005. DOI: 10.1111/are.16056.
- Hasanalipour, A., Eagderi, S., Poorbagher, H., Bahmani, M., 2013. Effects of stocking density on blood cortisol, glucose and cholesterol levels of immature Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13(1), 27-32. DOI: 10.4194/1303-2712-v13_1_04.
- Holhorea, P.G., Naya-Català, F., Belenguer, Á., Caldach-Giner, J.A., Pérez-Sánchez, J., 2023. Understanding how high stocking densities and concurrent limited oxygen availability drive social cohesion and adaptive features in regulatory growth, antioxidant defense and lipid metabolism in farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Frontiers in Physiology*, 14, 1272267. DOI: 10.3389/fphys.2023.1272267.
- Hu, Y., Xiao, K., Yang, J., Liu, X., Wang, B., Zeng, Q., Du, H., 2020. Effects of feeding frequency on juvenile Chinese sturgeon *Acipenser sinensis*. *Scientific Reports*, 10, 17399. DOI: 10.1038/s41598-020-74120-x.
- Hung, S.S.O., Lutes, P.B., Shqueir, A.A., Conte, F.S., 1993. Effect of feeding rate and water temperature on growth of juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Aquaculture*, 115(3-4), 297-303. DOI: 10.1016/0044-8486(93)90144-N.

- Jafari, N., Falahatkar, B., Sajjadi, M.M., 2019. The effect of feeding strategies and body weight on growth performance and hematological parameters of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt 1869): Preliminary results. *Journal of Applied Ichthyology*, 35, 289-295. DOI: 10.1111/jai.13824.
- Jobling, M., 1994. *Fish Bioenergetics*. 1st ed. London: Chapman & Hall.
- Li, L., Shen, Y., Yang, W., Xu, X., Li, J., 2021. Effect of different stocking densities on fish growth performance: A meta-analysis. *Aquaculture*, 544, 737152. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737152.
- Long, L., Zhang, H., Ni, Q., Liu, H., Wu, F., Wang, X., 2019. Effects of stocking density on growth, stress, and immune responses of juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in a recirculating aquaculture system. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 219, 25-34. DOI: 10.1016/j.cbpc.2019.02.002.
- Mohseni, M., Pourkazemi, M., Bahmani, M., Pourali, H., Kazemi, R., Salehpour, M., 2004. Effects of feeding frequency on growth in hatchery reared beluga sturgeon (*Huso huso*). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 13(3), 145-158. (In Persian)
- Mohseni, M., Pourkazemi, M., Bahmani, M., Falahatkar, B., Pourali, H.R., Salehpour, M., 2006. Effects of feeding rate and frequency on growth performance of yearling great sturgeon, *Huso huso*. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(Suppl. 1), 278-282. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2006.00762.x.
- Mugwanya, M., Dawood, M.A.O., Kimera, F., Sewilam, H., 2022. A review on recirculating aquaculture system: influence of stocking density on fish and crustacean behavior, growth performance, and immunity. *Annals of Animal Science*, 22(3), 873-884. DOI: 10.2478/aoas-2022-0016.
- Naghbi, M., Sajjadi, M., Mohseni, M., Falahatkar, B., 2025. Effect of dietary tryptophan on growth performance, survival and hematological indices of juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) at different stocking densities. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 34(4), 1-17. (In Persian)
- North, B.P., Turnbull, J.F., Ellis, T., Porter, M.J., Migaud, H., Bron, J., Bromage, N.R., 2006. The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 255(1-4), 466-479. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2005.12.013.
- Rafatnezhad, S., Falahatkar, B., 2011. Nitrogenous compounds and oxygen concentration as the key density dependent factors to optimize growth of beluga, *Huso huso* (Actinopterygii: Acipenseriformes: Acipenseridae), in circular fiberglass tanks. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 41(4), 285-291. DOI: 10.3750/AIP2011.41.4.06.
- Rafatnezhad, S., Falahatkar, B., Tolouei Gilani, M.H., 2008. Effects of stocking density on haematological parameters, growth and fin erosion of great sturgeon (*Huso huso*) juveniles. *Aquaculture Research*, 39, 1506-1513. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2008.02020.x.
- Rafiee, Gh. R., Saad, Ch. R., Kamarudin, M.S., Ismail, M.R., Alavi, S.M.H., 2006. Estimation of ammonia excretion rate during a period of Tilapia, *Oreochromis niloticus*, culture,, Iranian Journal of Fishery Sciences, 6(1), 69-82. DOI: 10.1001.1.15622916.2006.6.1.6.3
- Ribeiro, F.F., Qin, J.G., 2015. Dynamics of intracohort cannibalism and size heterogeneity in juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) at different stocking densities and feeding frequencies. *Aquaculture*, 444, 55-61. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.03.029.
- Song, W., Jiang, Q., He, Y., Ma, B., Yu, T., Zhao, J., 2026. Crowding-induced physiological stress, not aggression, makes high stocking density more worthy of attention in aquaculture. *Aquaculture*, 616, 743700. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2026.743700.
- Yooneszadeh Feshalami, M., Torfi Mozanzadeh, M., Amiri, F., Saheb Mortezaivazadeh, S., Gisbert, E., 2018. Optimal stocking density for beluga, *Huso huso*, and ship sturgeon, *Acipenser nudiiventris* during the grow-out phase. *Journal of Applied Ichthyology*, 35(1), 303-306. DOI: 10.1111/jai.13821.