مقاله علمی – پژوهشی:

تاثیر افزودن مکمل بتائین به جیره غذایی ماهی آزاد دریای خزر (*Salmo caspius*) و اثرات آن بر عملکرد رشد، ترکیب بدن، شاخص‌های بیوشیمیایی سرم خون و قابلیت هضم

محمود محسنی[1*]، سلطنت نجارلشگری[2]، یونس گل علیپور[2]، محمد اسماعیل راست روان[2]

*mahmoudmohseni73@gmail.com

۱- انستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

۲-مرکز تحقیقات ماهیان سردآبی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تنکابن، ایران.

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۰

چکیده

تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر مکمل بتائین در جیره محتوی پروتئین گیاهی بر روند رشد، ترکیب لاشه، آنزیم های کبدی و قابلیت هضم ماهی آزاد دریای خزر (*Salmo caspius*) طراحی و اجرا گردید. تعداد ۱۸۰ عدد ماهی (۹/۷±۰/۵۹ گرم) در ۱۲ مخزن ۳۰۰ لیتری با یکی از ۴ جیره آزمایشی (نمونه شاهد مبتنی بر پودر ماهی، جیره پایه با پروتئین گیاهی، جیره‌های سوم و چهارم شامل جیره پایه هر یک به تفکیک محتوی ۱/۴ و ۲/۸ درصد بتائین)، به مدت ۱۱ هفته تغذیه شدند. وزن کسب شده، شاخص رشد ویژه، نسبت بازده پروتئین ماهیان تغذیه شده با جیره پایه (بدون مکمل بتائین)، به طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) از ماهیان تغذیه شده با سایر تیمارها پائین‌تر بود. کمترین میزان پروتئین و بیشترین مقدار چربی لاشه در ماهیان تغذیه شده با جیره پایه ثبت گردید (p<۰/۰۵). براساس نتایج مطالعه حاضر، فعالیت آنزیم‌های کبدی ماهیان تغذیه شده با جیره شاهد، همچنین جیره پایه مکمل شده با ۱/۴و ۲/۸ درصد بتائین به طور معنی‌داری از ماهیان تغذیه شده با جیره پایه بالاتر بود (p<۰/۰۵). قابلیت هضم ظاهری پروتئین در نمونه شاهد به طور معنی‌داری نسبت به ماهیان تغذیه شده با جیره پایه و جیره پایه مکمل شده با ۱/۴ درصد بتائین بالاتر بود (p<۰/۰۵). مشاهده روند کلی بهبود شاخص‌های مورد بررسی همزمان با افزایش سطوح بتائین در جیره‌های غذایی محتوی پروتئین گیاهی (با صرفه اقتصادی بالا)، نشان داد که استفاده از جیره غذایی دارای ۲/۸ درصد بتائین، منجر به بهبود جذب (خوش خوراکی) و مصرف غذا و دستیابی به بیشینه رشد، ترکیب بهینه لاشه، بهبود آنزیم‌های کبدی و قابلیت هضم در بچه ماهی آزاد پرورشی خواهد شد.

لغات کلیدی: بتائین، رشد، کارایی غذا، قابلیت هضم، ماهی آزاد دریای خزر (*Salmo caspius*)

*نویسنده مسئول

[Downloaded from isfj.ir on 2026-02-04]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1400.30.3.2.1]

مقدمه

کیفیت و کمیت جیره از مواردی است که می‌تواند در سرعت رشد، افزایش تولید و قیمت تمام شده حائز اهمیت باشد (محسنی و همکاران، ۱۳۹۸a). پودر ماهی به دلیل دارا بودن ترکیبی از اسیدهای آمینه مورد نیاز و قابلیت هضم بالای آن، به عنوان منبع اصلی پروتئین برای تهیه غذای ماهیان گوشتخوار مطرح است. پودر ماهی حاصل از ماهیان فاسد نشده، منبع خوبی از کلسیم به میزان ۷ – ۲/۷ درصد، فسفر به میزان ۳/۸ – ۱/۹ درصد، آهن، روی و سایر عناصر کمیاب و نیز ویتامین‌هایی نظیر: کولین، بیوتین، اسیدپانتوتنیک، نیاسین، B12 و تمامی اسیدهای آمینه ضروری می‌باشد (Zhou *et al.*, 2003). تولید گسترده آبزیان پرورشی مخصوصاً قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*)، ماهی آزاد اطلس (*Salmo salar*)، تاسماهیان و میگوهای پرورشی که مصرف بالای پودر ماهی (حدود ۳۵ درصد تولید جهانی پودر ماهی) در جیره غذایی آنها (Tacon and Metaian, 2008) قرار دارد، فشار زیادی را بر ذخایر طبیعی تأمین کننده پودر و روغن ماهی ایجاد کرده است. در هر صورت افزایش تقاضا، قیمت بالا و دسترسی غیرقابل اطمینان در آینده به پودر ماهی، نیاز به جایگزینی کلی یا جزئی پودر و روغن ماهی در جیره غذایی آبزیان، اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در این راستا، محققان در اندیشه یافتن جایگزین‌های مناسب و کم هزینه‌تری برای پودر ماهی از جمله منابع پروتئینی گیاهی (Eid *et al.*, 2008; Hardy, 2010)، به منظور کاهش میزان مصرف آرد ماهی با تاکید بر تولید خوراک با کیفیت و کارآمد در آبزیان بوده‌اند و هستند (Khaksar and Golian, 2009). پروتئین‌های گیاهی به رغم دارا بودن مزیت‌های فراوان، به دلیل وجود مواد ضد تغذیه‌ای مانند تانن، لکتین، اسید فایتیک و ... در سوخت و ساز موجودات تک معده‌ای به صوص آبزیان ایجاد مشکل می‌نمایند یا بسیار کمتر برای گونه‌های پرورشی مطبوع می‌باشند (Kaushik *et al.*, 2004). در مقایسه با سایر منابع پروتئین گیاهی، کنجاله سویا به دلیل داشتن مقدار بالای پروتئین با اسید آمینه نسبتاً متعادل، قابلیت هضم بالا و قیمت مناسب، در جیره غذایی آبزیان مورد استفاده قرار می‌گیرد. حد بهینه انواع آرد سویای فراوری شده در گونه قزل‌آلای رنگین کمان و ماهی آزاد اطلس ۱۱-۳۲٪ و کنجاله سویا ۲۰-۱۵٪ اعلام گردید (Hevroy *et al.*, 2005).

بتائین یا بتافین به نام‌های تری متیل گلیسین، N تری میتیل گلیسین، گلیسین بتائین، گلیکول بتائین 1-carboxy- N, N, N- trine thyelemethanasminium ترکیبی مهم در مسیرهای متابولیک آمینواسیدهای سولفوره، آمینواسید اشتقاقی غیرسمی و طبیعی محلول در آب است که ترکیبات آن در آب پخش می شوند (Polat and Beklevik, 1999) و سبب تحریک گیرنده‌های بویایی و چشایی، کاهش زمان ماندن غذا در آب و در نتیجه سبب کاهش آلودگی آب، ترمیم آسیب‌های کبدی، جلوگیری از تجمع چربی (Kasper *et al.*, 2002)، بهبود کارایی کبد (Loguercio *et al.*, 2007)، تنظیم فشار اسمزی و تسهیل متابولیسم چربی‌ها (Loguercio *et al.*, 2007) و نیز محرک رشد (Rumsey, 2001) در ماهی می‌گردد. این خاصیت منحصربه رد بتائین ناشی از ساختمان دو قطبی و فعالیت شیمیایی گروه‌های متیل آن می‌باشد که می‌تواند در واکنش‌های آنزیمی فعال باشد. بتائین به صورت انفرادی یا در ترکیب با سایر مکمل‌ها در گونه‌های تجاری آبزیان از جمله Hughes (۱۹۹۳) در ماهی آزاد چینوک (*Oncorhynchus tshawytscha*)، Hevroy و همکاران (۲۰۰۵) در ماهی آزاد اقیانوس اطلس، نیرومند و همکاران (۱۳۹۰) در ماهی قزل‌آلای رنگین کمان، سوداگر و همکاران (۱۳۸۳) و محسنی و همکاران (۱۳۹۵) در خصوص گونه فیل‌ماهی (*Huso huso*)، مورد استفاده قرار گرفته است. آنان حد بهینه بتائین را به میزان ۲-۰/۵ درصد بیان نمودند.

پرورش ماهی آزاد دریای خزر (*S. caspius*) صنعت به نسبت جدیدی در ایران به‌شمار می‌آید و اطلاعات در مورد مدیریت مناسب پرورش و تغذیه این گونه بسیار محدود است. در حال حاضر، منبع جامعی دربارهٔ کمیت بتائین در جیره غذایی ماهی آزاد دریای خزر در کشور وجود ندارد و مقادیر اضافه شده آن به جیره غذایی این گونه‌ها بر اساس منابع ارائه شده در سایر گونه‌های سردآبی است درحالی‌که

[Downloaded from isfj.ir on 2026-02-04]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1400.30.3.2.1]

کمبود بتائین در جیره غذایی منجر به کاهش روند رشد و افزایش بیش از حد آن در جیره غذایی، هزینه تولید غذا را افزایش می‌دهد. مطالعه حاضر به منظور اندازه‌گیری و ارزیابی تاثیر مکمل بتائین در جیره غذایی حاوی منابع گیاهی کاربردی[1] بر روند رشد، ترکیب لاشه، برخی از فراسنجه‌های بیوشیمیایی سرم خون و قابلیت هضم مواد مغذی ماهی آزاد دریای خزر (*S. caspius*) طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش کار

جیره‌های غذایی و نحوه تهیه آن

چهار جیره آزمایشی به تفکیک شامل نمونه شاهد مبتنی بر پودر ماهی، جیره پایه با پروتئین گیاهی، جیره‌های سوم و چهارم شامل جیره پایه هر یک به تفکیک محتوی ۱/۴ و ۲/۸ درصد بتائین[2] (به صورت کاملاً پودری)، فرموله (جدول ۱) و مورد بررسی قرار گرفت (محسنی و همکاران، ۱۳۹۸). در این راستا ابتدا مواد خشک قبل از ترکیب با مواد مرطوب با استفاده از آسیاب (شرکت دامیکور تهران – ایران) به قطر ۲۰۰ میکرون شکسته شدند. مواد ریز مغذی از قبیل ویتامین ها، مواد معدنی و ال- کارنتین با پودر گندم به مدت ۱۵ دقیقه با استفاده از دستگاه هم‌زن دو زبانه (ری بونی، شرکت گرما الکتریک– آمل)، کاملاً با یکدیگر مخلوط شدند. سپس دوباره مخلوط حاصل به سایر ترکیبات افزوده و به مدت ۱۰ دقیقه دیگر با یکدیگر مخلوط شدند. محصول حاصل با استفاده از دستگاه پلت‌زن (ساخت کشور چین، نمایندگی شرکت گرما الکتریک) با توجه به اندازه دهان ماهی به قطر ۲ میلی‌متر پلت شدند. سپس پلت‌ها با استفاده از خشک‌کن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۸ ساعت تا رطوبت تقریبی ۱۰ درصد خشک، شماره گذاری و در محفظه‌های عاری از هوا بسته‌بندی و تا زمان مصرف در دمای منفی ۱۸ درجه سانتی گراد نگهداری شدند (Mohseni *et al.*, 2011).

[1] Practical plant protein based diet
[2] Biochem GmbH - Germany

تهیه ماهیان و نحوه پرورش

تعداد ۱۸۰ عدد بچه ماهی آزاد دریای خزر با وزن متوسط ۹/۷±۰/۵۹ گرم (میانگین± انحراف معیار) به طور تصادفی در ۱۲ مخزن فایبرگلاس ۳۰۰ لیتری (قطر ۷۰ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر و حجم مفید آب ۲۲۰ لیتر) در فضای سرپوشیده مجهز به سیستم هوادهی، تخلیه آب مرکزی و شیرهای تنظیم آب (به صورت فواره‌ای) با دبی آب ۰/۱۵ لیتر در ثانیه (آب چاه عمیق) در مرکز تحقیقات ماهیان سردآبی کشور-تنکابن در شرایط یکسان پرورشی به مدت ۱۱ هفته با جیره‌های مذکور تغذیه شدند. هر یک از جیره‌ها به ماهیان یک تیمار با ۳ تکرار داده شد. مقدار غذای روزانه تا حد سیری و بر اساس اشتها به ماهیان موجود در مخازن پرورشی محاسبه گردید (Hardy, 2010). به منظور کاهش استرس، ۱۲ ساعت قبل و بعد از زیست‌سنجی، غذادهی ماهیان قطع گردید. جهت زیست‌سنجی، ماهیان با محلول ۲۰۰ppm پودر گل میخک بیهوش شدند. میانگین دمای آب در طول دوره پرورش ۱۴/۳±۰/۹ درجه سانتی‌گراد و اکسیژن محلول ۷/۷±۰/۳۹ میلی‌گرم در لیتر، آمونیاک ۰/۰۱۵ میلی‌گرم در لیتر و pH ۷/۷±۰/۱۸ در نوسان بود.

آنالیز اجزا، جیره غذایی و ترکیب بدن ماهی آزاد دریای خزر

آنالیز تقریبی ترکیبات، مواد اولیه و جیره‌های آزمایشی (پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر)، بر اساس روش‌های استاندارد AOAC (۱۹۹۵) انجام شد. پس از ۱۲ ساعت قطع غذادهی به منظور اطمینان از تخلیه محتویات شکمی ماهیان در پایان دوره پرورش، از هر تکرار ۳ قطعه ماهی به طور تصادفی برداشت و جهت تجزیه لاشه (بدون محتویات شکمی) به آزمایشگاه منتقل گردید.

برای اندازه‌گیری رطوبت، نمونه جیره‌ها و ماهی به مدت ۶ ساعت و تا رسیدن به یک وزن ثابت، در ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. پروتئین با برآورد نیتروژن کل (N×۶/۲۵) با استفاده از روش کجلدال، چربی با روش سوکسله با استفاده از حلال کلروفروم با نقطه جوش ۶۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶-۴ ساعت، میزان انرژی

[Downloaded from isfj.ir on 2026-02-04]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1400.30.3.2.1]

موجود در ترکیبات غذایی به‌وسیله بمب کالریمتر و خاکستر با سوزاندن در کوره الکتریکی در حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹ ساعت، اندازه‌گیری شدند.

جدول۱: ترکیب غذایی جیره‌های آزمایشی برای تغذیه ماهی آزاد دریای خزر

Table 1: Ingredients of experimental diets for feeding of *Salmo caspius*

اجزاء غذایی	نمونه شاهد	جیره پایه	جیره پایه + ۱/۴ درصد بتائین	جیره پایه + ۲/۸ درصد بتائین
	(گرم بر کیلوگرم ماده خشک)			
آرد ماهی	۵۹	۳۰	۳۰	۳۰
کنجاله سویا	۰	۲۲	۲۲	۲۲
لستین سویا	۳	۳	۳	۳
گلوتن ذرت	۱۰	۱۵	۱۵	۱۵
پودر گوشت	۳	۳	۳	۳
آرد گندم	۸/۳۵	۶	۶	۶
مکمل ویتامینی[1]	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
مکمل معدنی[2]	۱	۱	۱	۱
دی کلسیم فسفات	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶
بنتونیت	۱	۱	۱	۱
دی ال- متیونین	۰/۱۲	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵
ال لایزین- هیدروکلراید	۰/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲
روغن ذرت	۴	۴/۵	۴/۵	۴/۵
روغن ماهی	۴	۴/۵	۴/۵	۴/۵
بتائین	۰	۰	۱/۴	۲/۸
سلولز	۵	۴/۳۵	۴/۹۵	۳/۵۵
جمع کل	**۱۰۰**	**۱۰۰**	**۱۰۰**	**۱۰۰**
	آنالیز تقریبی جیره های آزمایشی (درصد)			
تجزیه تقریبی (درصد)	**جیره شاهد**	**جیره پایه**	**جیره پایه + ۱/۴ درصد بتائین**	**جیره پایه + ۲/۸ درصد بتائین**
رطوبت	۹/۳	۱۰	۹/۱	۹/۴
پروتئین خام	۴۷/۳	۴۷/۲	۴۷/۴	۴۷/۳
چربی خام	۱۴/۹	۱۴/۵	۱۴/۶	۱۴/۶
انرژی خام (مگاژول درکیلوگرم)	۱۹/۸	۱۹/۶	۱۹/۷	۱۹/۸

[1] **مکمل ویتامینی (برحسب IU یا میلی‌گرم در کیلوگرم):** د- ال- آلفا توکوفرول استات ۶۰ IU . یو، د- ال – کولکلسیفرول ۳۰۰۰ IU . تیامین ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، ریبوفلاوین ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، پیرودوکسین ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، ویتامین B12 ۰/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، نیکوتینیک اسید ۱۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، اسیدفولیک ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، اسیداسکوربیک ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، اینوسیتول ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، بیوتین ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، کلسیم پنتوتئات ۵۰ میلی‌گرم.

[2] **مکمل معدنی (بر حسب میلی‌گرم یا گرم در کیلوگرم):** کربنات کلسیم ۴۰ درصد ۲/۱۵ گرم در کیلوگرم، اکسید منیزیوم ۱/۲۴ گرم در کیلوگرم، سیترات فریک ۰/۲ گرم در کیلوگرم، یدید پتاسیم ۰/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم، سولفات روی ۰/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم، سولفات مس ۰/۳ گرم در کیلوگرم، سولفات منگنز ۰/۳ گرم در کیلوگرم، کلسیم فسفات دو ظرفیتی ۵ گرم در کیلوگرم، سولفات کبالت ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم، سلنیت سدیم ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم، کلرید پتاسیم ۰/۹ گرم در کیلوگرم، کلرید سدیم ۰/۴ گرم.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-02-04]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1400.30.3.2.1]

تعیین شاخص‌های رشد و کبدی

وزن کسب شده، شاخص رشد ویژه، ضریب تبدیل غذایی، ضریب چاقی، نسبت بازده پروتئین و شاخص کبدی با استفاده از روابط ذیل برای ماهی‌های هر تانک محاسبه شد (Otubusin *et al.*, 2009).

تعیین مقادیر آنزیم‌های کبدی سرم

به منظور بررسی آنزیم‌های کبدی، ۱۸ ساعت پس از قطع غذادهی از هر تیمار، ۶ عدد ماهی (۲ عدد ماهی از هر تکرار، مجموعاً ۲۴ نمونه) به صورت تصادفی صید و از ساقه دمی با استفاده از سرنگ ۲ سی‌سی خونگیری به‌عمل آمد. سپس ۰/۵ سی‌سی خون به داخل تیوب‌های اپندورف آغشته به ماده ضد انعقاد هپارین (۰/۰۱ میلی‌لیتر به ازاء ۰/۵ سی‌سی خون) و ۱/۵ سی‌سی باقیمانده به داخل تیوب‌های اپندورف غیرهپارینه شماره‌گذاری شده جهت انجام مطالعات سرولوژی منتقل گردید. آنزیم‌های کبدی شامل لاکتات دهیدروژناز (LDH[1])، آلانین آمینوترانسفراز (ALT[2]) و آسپارتات آمینوترانسفراز (AST[3]) به روش رنگ‌سنجی کینتیک و آنزیم آلکالین فسفاتاز (ALP[4]) به روش آنزیماتیک کینتیک سنجش شدند (Borges *et al.*, 2004).

تعیین قابلیت هضم

برای تعیین میزان هضم پذیری جیره‌های غذایی از Cho و همکاران (۱۹۸۲) استفاده شد. تعداد ۱۰-۸ عدد از ماهیان هر تیمار داخل یک عدد آکواریوم شیشه‌ای ۱۶۰ لیتری قرار داده شدند. تغذیه ماهیان با جیره غذایی حاوی ۱ درصد اکسید کروم (Cr_2O_5) به میزان ۲ درصد وزن بدن به مدت ۲۰ روز دیگر ادامه یافت. پس از پایان زمان غذادهی در هر روز، غذای مصرف نشده یا از دسترس ماهی خارج شده، از کف آکواریوم شیشه‌ای جمع‌آوری تا با مدفوع ماهی تداخل پیدا نکند. پس از گذشت ۱۵ ساعت پس از غذادهی، مدفوع به طور کامل که در کف آکواریوم انباشته شده بود، به‌وسیله سیفون جمع‌آوری گردید و در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. نمونه‌های مدفوع جمع آوری شده مربوط به هر تیمار با یکدیگر مخلوط و ۳ تکرار تهیه شد. نمونه مدفوع ماهیان برای تعیین میزان مواد مغذی و اکسید کروم در تیوپ‌های سرپوشیده به آزمایشگاه ارسال شد. میزان اکسیدکروم در جیره و مدفوع پس از تهیه ۱۵ میلی‌لیتر محلول هضم (سدیم مولیبدات، اسیدپرکلریک و اسیدسولفوریک) و هضم یک گرم نمونه آن در دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Schimadzu, Kyoto, Japan UV-Vis, 2100,) در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج، تهران) اندازه‌گیری شد. قابلیت هضم ظاهری (ADC) مواد مغذی (پروتئین و چربی) و انرژی موجود در جیره‌های آزمایشی از رابطه ذیل به‌دست آمد (Cho *et al.*, 1982).

$$ADC = [1-(F/D \times Dcr / Fcr)]$$

F= درصد مواد مغذی (پروتئین، چربی و یا انرژی) موجود در مدفوع، D = درصد مواد مغذی (پروتئین و چربی) در جیره، Dcr= درصد اکسیدکروم در جیره، Fcr= درصد اکسیدکروم در مدفوع

روش تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

به منظور بررسی توزیع نرمال داده‌ها در گروه‌ها و تکرارها جهت تشکیل تیمارها از آزمون Shapiro-Wilk استفاده شد. سپس دادها در صورت نرمال بودن به منظور مقایسه آماری بین گروه‌ها در تیمارها با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یکطرفه (One-Way ANOVA) مورد سنجش قرار گرفتند. پس از انجام آزمون Homogeneity of Test of Variances جهت مقایسه گروه‌ها با یکدیگر از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. کلیه آنالیزهای آماری با نرم‌افزار SPSS (version 20, Chicago, IL, USA) صورت گرفت.

[1] LDH: Lactate Dehydrogenase
[2] ALT: Alanine Aminotransferase
[3] AST: Aspartate Aminotransferase
[4] ALP: Alkaline Phosphatase

[Downloaded from isfj.ir on 2026-02-04]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1400.30.3.2.1]

نتایج

شاخص‌های رشد

وزن نهایی بدن (گرم)، وزن کسب شده و شاخص رشد ویژه ماهیان تغذیه شده با نمونه شاهد و جیره‌های پایه مکمل شده با ۱/۴و ۲/۸ درصد بتائین در انتهای دوره پرورش به طور معنی‌داری ($p<$ ۰/۰۵) از ماهیان تغذیه شده با جیره پایه (بدون مکمل بتائین) بالاتر بود (جدول ۲). ضریب تبدیل غذا ماهیان تغذیه شده با جیره پایه به طور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارها بود. متوسط شاخص کبدی ماهیان تغذیه شده با نمونه شاهد و تیمار غذایی محتوی جیره پایه و ۲/۸ درصد بتائین به طور معنی‌داری بالاتر از ماهیان تغذیه شده با سایر تیمارها بود.

جدول ۲: شاخص‌های رشد، تغذیه‌ایی و شاخص کبدی در بچه ماهی آزاد دریای خزر تغذیه شده با تیمارهای مختلف غذایی

Table 2: Growth performance comparison of *Salmo caspius*, fed differnet experimental diet.

شاخص‌ها	جیره‌های آزمایشی			
	نمونه شاهد	جیره پایه	جیره پایه + ۱/۴ درصد بتائین	جیره پایه + ۲/۸ درصد بتائین
وزن اولیه (گرم)	۹/۰±۷۲/۱۲	۹/۰±۵۹/۱۶	۹/۰±۶۱/۱۲	۹/۰±۶۵/۱۴
وزن نهایی (گرم)	۴۰/۲±۸/۶۰^{a}	۳۱/۲±۱/۲۰^{b}	۳۷/۲±۶/۱۰^{a}	۳۸/۳±۱/۴۰^{a}
وزن کسب شده (درصد)	۳۱۹/۲۲±۹/۷^{a}	۲۲۴/۱۹±۵/۵^{b}	۲۹۱/۲۳±۲/۸^{a}	۲۹۵/۳۵±۵/۴^{a}
شاخص رشد ویژه (درصد در روز)	۲/۰±۰۵/۰۸^{a}	۱/۰±۶۸/۰۹^{b}	۱/۰±۹۵/۰۹^{a}	۱/۰±۹۶/۱۳^{a}
ضریب تبدیل غذا	۱/۰±۰۳/۰۹^{b}	۱/۰±۵۲/۱۷^{a}	۱/۰±۱۳/۱۴^{b}	۱/۰±۱۵/۱۵^{b}
نسبت بازده پروتئین	۲/۰±۱۸/۱۹^{a}	۱/۰±۵۴/۱۷^{b}	۲/۰±۰۶/۲۶^{a}	۲/۰±۲۳/۱۶^{a}
شاخص کبدی (درصد)	۱/۰±۲۵/۱۹^{b}	۱/۰±۴۷/۱۷^{a}	۱/۰±۳۹/۲۶^{b}	۱/۰±۳۲/۱۶^{b}

در هر ستون میانگین‌هایی که فاقد حرف مشترک می‌باشند، نسبت به هم دارای اختلاف معنی‌دار آماری هستند ($p<$۰/۰۵).

ترکیبات بدن

کمترین میزان پروتئین لاشه متعلق به ماهیان تغذیه شده با جیره پایه بود که به طور معنی‌داری نسبت به پروتئین لاشه ماهیان تغذیه شده با سایر تیمارها پائین‌تر بود ($p<$۰/۰۵). داده‌های ارائه شده بیانگر تاثیر معنی‌دار سطوح مختلف بتائین جیره بر مقادیر چربی لاشه بود (جدول ۳) به‌طوری‌که با افزودن بتائین به جیره غذایی ماهیان، میزان چربی به طور معنی‌داری کاهش یافت. هیچ‌گونه اختلاف معنی‌دار آماری در میزان خاکستر مشاهده نشد، به استثناء ماهیان تغذیه شده با جیره شاهد که به طور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارها بود ($p<$۰/۰۵).

جدول ۳. ترکیب بیوشیمیایی لاشه ماهیان تغذیه شده با سطوح مختلف بتائین در پایان دوره پرورش (گرم در کیلوگرم وزن تر) در پایان دوره پرورش

Table 3: Whole fish proximate composition (%) in *Salmo caspius*, fed the diets containing different levels of betaine

شاخص‌ها (درصد)	جیره‌های آزمایشی			
	نمونه شاهد	جیره پایه	جیره پایه + ۱/۴ درصد بتائین	جیره پایه + ۲/۸ درصد بتائین
پروتئین	۱۸/۰±۲/۳۳^{a}	۱۷/۰±۳/۳۷^{b}	۱۷/۰±۸/۴۲^{a}	۱۸/۰±۱/۱۸^{a}
چربی	۷/۰±۲۱/۱۳^{b}	۷/۰±۵۹/۱۵^{a}	۷/۰±۱۸/۰۹^{b}	۷/۰±۱۶/۱۱^{b}
خاکستر	۳/۰±۱۶/۲۳^{a}	۲/۰±۶۱/۰۷^{b}	۲/۰±۴۵/۰۹^{b}	۲/۰±۴۳/۱۵^{b}
رطوبت	۷۶/۰±۱/۳۸	۷۶/۰±۵/۲۳	۷۶/۰±۴/۵۰	۷۶/۰±۳/۲۹

در هر ستون میانگین‌هایی که فاقد حرف مشترک می‌باشند، نسبت به هم دارای اختلاف معنی‌دار آماری هستند (p<۰/۰۵).

[Downloaded from isfj.ir on 2026-02-04]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1400.30.3.2.1]

تاثیر سطوح مختلف بتائین بر آنزیم های کبدی

نتایج حاصله، اختلاف معنی‌داری را در میزان فعالیت آنزیم‌های کبدی خون در تیمارهای مورد بررسی (جدول ۴) مشاهده شد. مقادیر متوسط آلانین آمینوترانسفراز و آسپارتات آمینوترانسفراز در ماهیان تغذیه شده با جیره پایه به طور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارها بود ($p<۰/۰۵$). میزان آلکالین فسفاتاز و لاکتات دهیدروژناز در ماهیان تغذیه شده با نمونه شاهد و جیره‌های پایه مکمل شده با ۲/۸ درصد بتائین به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) از ماهیان تغذیه شده با جیره پایه (بدون مکمل بتائین) پایین‌تر بود.

جدول ۴: میانگین مقادیر آنزیم‌های کبدی سرم خون در بچه آزاد ماهیان تغذیه شده با سطوح مختلف مکمل بتائین

Table 4: Serum biochemical parameters of Caspian trout, fed the diets containing different levels of betaine

شاخص‌ها	جیره‌های آزمایشی			
	نمونه شاهد	جیره پایه	جیره پایه + ۱/۴ درصد بتائین	جیره پایه + ۲/۸ درصد بتائین
آلانین آمینوترانسفراز (واحد در لیتر)	۹/۰±۸۶/۵۴^{b}	۱۴/۲۴ ± ۰/۹۸^{a}	۱۱/۰۱ ± ۰/۷۴^{b}	۹/۹۶ ± ۰/۶۶^{b}
آسپارتات آمینوترانسفراز (واحد در لیتر)	۶۴۷/۳ ± ۹/۳۲^{b}	۷۲۲/۴ ± ۸/۷۱^{a}	۶۵۱/۳±۵/۸۸^{b}	۶۴۸/۸±۸/۹۳^{b}
آلکالین فسفاتاز (واحد در لیتر)	۴۵۹/۵۸±۸/۶^{b}	۵۷۸/۲۵±۲/۶^{a}	۴۸۷/۳۰±۲/۶^{ab}	۴۷۳/۶۶±۶/۱^{b}
لاکتات دهیدروژناز (واحد در لیتر)	۹۸۴/۸±۶/۸۹^{b}	۱۰۴۹/۳۴±۳/۸^{a}	۹۹۸/۱۲±۷/۹^{ab}	۹۸۵/۱۸±۶/۳^{b}

تاثیر جیره‌های آزمایشی بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی

بیشترین میزان ماده خشک در ماهیان تغذیه شده با نمونه شاهد و با تفاوتی معنی‌دار نسبت به جیره پایه مشاهده شد ($p<۰/۰۵$). قابلیت هضم ظاهری پروتئین در تیمار شاهد به طور معنی‌داری نسبت به ماهیان تغذیه شده با جیره پایه و جیره پایه مکمل شده با ۱/۴ درصد بتائین بالاتر بود ($p<۰/۰۵$). اختلاف معنی‌دار آماری در قابلیت هضم ظاهری چربی در تیمارهای مورد بررسی مشاهده نشد (جدول ۵)، به استثناء ماهیان تغذیه شده با جیره پایه که به طور معنی‌داری از سایر تیمارها پائین‌تر بود ($p<۰/۰۵$).

جدول ۵: قابلیت هضم ماهیان تغذیه شده با جیره های محتوی سطوح مختلف بتائین (گرم در کیلوگرم وزن تر)

Table 5: Apparent digestibility coefficients (%) fed the diets containing different levels of betaine

شاخص‌ها (درصد)	جیره‌های آزمایشی			
	نمونه شاهد	جیره پایه	جیره پایه + ۱/۴ درصد بتائین	جیره پایه + ۲/۸ درصد بتائین
ماده خشک	۸۴/۰±۴/۸۷^{a}	۸۱/۰±۹/۵۹^{b}	۸۳/۰±۶/۷۰^{ab}	۸۳/۰±۳/۵۳^{ab}
پروتئین	۹۳/۰±۹/۴۰^{a}	۹۱/۰±۲/۷۳^{b}	۹۱/۰±۹/۷۴^{b}	۹۲/۰±۷/۹۱^{ab}
چربی	۹۷/۰±۷/۳۱^{a}	۹۵/۰±۸/۲۸^{b}	۹۷/۰±۲/۴۱^{a}	۹۷/۰±۵/۳۵^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی که فاقد حرف مشترک می‌باشند، نسبت به هم دارای اختلاف معنی‌دار آماری هستند ($p<۰/۰۵$).

بحث

در مطالعه حاضر، روند رشد و کارایی غذا ماهیان تغذیه شده با جیره پایه به طور معنی‌داری از ماهیان تغذیه شده با نمونه‌های شاهد، جیره‌های غنی شده با بتائین پائین‌تر بود. هر چند که بررسی حاضر میزان فاکتورهای ضدتغذیه‌ای کنجاله سویای مورد استفاده آزمایش نگردید، ولی از دلایل احتمالی کاهش پارامترهای رشد می‌توان به

[Downloaded from isfj.ir on 2026-02-04]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1400.30.3.2.1]

بی‌اشتهایی و کاهش میزان تغذیه در اثر افزایش سطح پروتئین گیاهی در جیره پایه اشاره نمود.
شاخص‌های رشد و کارایی غذا به پذیرفته شدن غذا از طرف ماهی و جذب آن بستگی دارد. این فاکتور نیز خود وابسته به خوش‌خوراکی غذا و افزایش غذاگیری است (محسنی و همکاران، ۱۳۹۸). خوش طعمی غذا بر اساس پپتیدها و آمینواسیدهای آزاد تعیین می‌گردد، بدین صورت که غذاهای دارای پپتیدهای کوچک مزه تلخ کمتری در مقایسه با غذاهایی با پپتیدهای بزرگ دارند (Cho *et al.*, 2008). افزودن مقادیر بهینه جاذب‌ها به جیره‌های حاوی آرد سویا می‌تواند راه حلی برای رفع این مشکل باشد که مزه تلخ سویا را کاهش دهد و آمینواسیدهای آزاد جاذب را آزاد نمایند (Ma *et al.*, 2013). بر اساس نتایج تحقیق، آنان استفاده از جایگزین‌های گیاهی در وزن‌های بالای ۷۰ گرم بدون تاثیر منفی در عملکرد رشد آزادماهیان امکان پذیر است. نتایج تحقیقات Kraugerud و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد، جیره غذایی محتوی بالای ۴۰ درصد کنجاله سویا باعث کاهش رشد چشمگیر در ماهی آزاد اقیانوس اطلس شد. البته برخی از مطالعات امکان جایگزینی ۷۰ و ۱۰۰ درصدی آرد ماهی با پروتئین گیاهی بدون تاثیر منفی یا تاثیر بسیار ناچیز در عمکرد رشد در جیره غذایی ماهی قزل آلای رنگین کمان جوان پرورشی بود (Slawski *et al.*, 2011) که با نتایج مطالعه حاضر مغایرت داشت.
در مطالعه حاضر، وزن نهایی بدن (گرم)، وزن کسب شده و شاخص رشد ویژه ماهیان تغذیه شده با جیره محتوی ۲/۸ درصد بتائین به طور معنی‌داری از ماهیان تغذیه شده با جیره پایه بالاتر بود. این خود بیانگر آن است که افزودن بتائین به عنوان یک محرک تغذیه‌ای به جیره غذایی حاوی پروتئین گیاهی برخلاف افزایش تاثیر فاکتورهای ضد تغذیه‌ای در این سایز، تمایل به افزایش مصرف مواد غذایی در نتیجه کارایی و بهبود عملکرد رشد در ماهی آزاد دریای خزر را سبب خواهد شد. احتمالاً ترکیب مذکور سبب تحریک سیستم بویایی می‌گردد. در نتیجه، افزایش خوش خوراکی و غذاگیری سبب بهبود کارایی رشد می‌گردد. با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان بیان نمود، غنی‌سازی جیره غذایی با سطح بهینه بتائین، برای تمایل مصرف کافی مواد غذایی و رشد ماهی آزاد دریای خزر در جیره غذایی حاوی پروتئین گیاهی ضروری می‌باشد. نتایج پژوهش Nussler و Thompson (۱۹۹۲) حاکی از آن بود، محرک‌های ایمنی و غذایی سبب افزایش سوخت و ساز بدن نیز می‌شوند که بدین ترتیب میزان جذب غذا و کارآیی آن افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات Virtanen و همکاران (۱۹۹۸) با استفاده از ۱/۵-۱٪ بتائین در جیره قزل آلای منجر به افزایش ۱۲ درصدی شاخص رشد ویژه (SGR) و کاهش ۶۰٪ مرگ و میر ماهیان در آب شور گردید. همچنین تاثیر بتائین در افزایش روند رشد، بهبود سیستم ایمنی، کاهش مرگ و میر در برابر استرس شوری و دما در بچه فیل‌ماهی (سوداگر و همکاران، ۱۳۸۳؛ محسنی و همکاران، ۱۳۹۵)، میگوی سفید هندی (اسدی و همکاران، ۱۳۸۹) و ماهی قزل‌آلا (نیرومند و همکاران، ۱۳۹۰) به اثبات رسیده است.
داده‌های ارائه شده بیانگر تاثیر معنی‌دار سطوح مختلف بتائین جیره بر مقادیر پروتئین، چربی و رطوبت لاشه بود. با افزودن بتائین به جیره غذایی ماهیان، میزان پروتئین به طور معنی‌داری افزایش و در مقابل چربی لاشه به طور معنی‌داری کاهش یافت. وجود بتائین در جیره غذایی ماهیان از فعالیت پمپ سدیم-پتاسیم، که تعادل اسمزی را با صرف انرژی زیاد سلول ها حفظ می‌کند، می‌کاهد و این انرژی صرفه جویی شده را می‌تواند در جهت تولید در بدن استفاده نماید و در نتیجه ساخت پروتئین و رشد را در سلول‌ها تحریک کند (Moeckel *et al.*, 2002).
همچنین بتائین به طور مستقیم با نقش دهندگی متیل (وظیفه اصلی متابولیک و فیزیولوژیک) به عنوان یک لیپوتروپیک عمل می کند و سبب جلوگیری از تجمع چربی در کبد می شود (Kasper *et al.*, 2002). بنابراین، در ساخت موادی نظیر متیونین، اسیدآمینه گلایسین و کارنیتین که باعث پروتئین سازی، رشد و همچنین اکسیداسیون چربی‌ها و عدم تجمع آنها در بدن می‌شوند، نقش دارد (Polat and Beklevik, 1999; Eklund *et al.*, 2005) که سبب افزایش نسبت ماهیچه به چربی در بدن می‌شود. این خاصیت در دامپروری و آبزی پروری

[Downloaded from isfj.ir on 2026-02-04]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1400.30.3.2.1]

بسیار مطلوب است و سبب افزایش کیفیت لاشه و بالا رفتن نسبت گوشت به چربی می‌گردد، ضمن اینکه در طیور چربی‌های محوطه شکمی ضایعات محسوب می‌شوند. در آبزیان نیز چربی‌های این ناحیه در تغذیه انسانی هیچ استفاده‌ای ندارد. این خاصیت بتائین سبب پیشگیری یا بهبود سندروم کبد چرب و سایر بیماری‌ها و آسیب‌های کبدی ناشی از افزایش چربی کبدی می‌شود و درصد چربی لاشه و عضله را کاهش می‌دهد (Kasper *et al.*, 2002).

در مطالعه حاضر مکمل بتائین به طور معنی‌داری باعث کاهش سطوح آنزیم‌های ALT و AST در سرم ماهی آزاد گردید. آنزیم‌های کبدی مذکور به عنوان شاخص فعالیت کبدی محسوب می‌شوند و تغییر در میزان فعالیت و ترشح آنها می‌تواند متاثر از فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب، تراکم، شرایط پرورشی، نوع جیره مصرفی، سن، جنس و وضعیت سلامت ماهیان باشد (Racicot *et al.*, 1975). آلکالین فسفاتاز یکی از مطمئن‌ترین نشانه‌های حیاتی هپاتیک جهت ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای و سلامتی در ماهی می‌باشد (Mozanzadeh *et al.*, 2015). در مطالعه حاضر، مقادیر آلکالین فسفاتاز با مقادیر متوسط مکمل بتائین جیره غذایی ارتباط معکوس داشت. در مطالعه Xu و همکاران (۲۰۱۲) افزایش آنزیم آلکالین فسفاتاز در ماهی خاویاری آمور (*Acipenser schrenckii*) را ناشی از استرس‌ها (استرس شوری)، سموم محیطی و بیماری‌های عفونی بیان نمودند.

در مطالعه حاضر، هیچ‌گونه اختلاف معنی‌دار آماری در قابلیت هضم ظاهری پروتئین در نمونه شاهد و ماهیان تغذیه شده با جیره غذایی محتوی پروتئین گیاهی مکمل شده با ۲/۸ درصد بتائین مشاهده نشد. همچنین اختلاف معنی‌دار آماری در متوسط قابلیت هضم چربی به استثناء ماهیان تغذیه شده با جیره پایه که به طور معنی‌داری از سایر تیمارها پائین‌تر بود، مشاهده نشد. از عوامل کاهش هضم‌پذیری وجود فیبر در منابع پروتیین گیاهی می‌باشد (Gul *et al.*, 2007). فیبر خام با عبور دادن سریع‌تر مواد غذایی در روده، شانس هضم‌پذیری غذا را کاهش می‌دهد و سبب اتلاف درونی نیتروژن در بدن می‌شود (Liang, 2000). میزان بالای فیبر و کربوهیدرات در منابع پروتئین گیاهی سبب کاهش میزان هضم‌پذیری غذا می‌گردد و با توجه به جذب پائین آن به‌وسیله آزادماهیان تاثیرات نامطلوبی در رشد خواهد داشت (Krogdahl *et al.*, 2004; Gatlin *et al.*, 2007). میزان هضم در ماهیان، دارای محدوده ۹۵-۷۵ درصد برای پروتئین و ۹۵-۸۵ درصد برای چربی می‌باشد (NRC, 1993). بنابراین، می‌توان اذعان نمود تمام جیره‌های غذایی در مطالعه حاضر، دارای ارزش غذایی بالایی بوده اند و به‌خوبی هضم شدند.

بتائین به‌شدت در آب محلول است. بنابراین، ترکیب قابل انتشاری است که می‌تواند پیاز بویایی ماهیان را تحریک نماید. مطالعه حاضر نشان داد، بتائین یک محرک غذایی موثر است که می‌تواند باعث بهبود جذب (خوش خوراکی) و مصرف جیره‌های غذایی حاوی پروتئین گیاهی با صرفه اقتصادی بالا در غذای ماهی آزاد دریای خزر شود. در شرایط طبیعی جهت حفظ حالت پایدار فیزیولوژیک و متابولیسم بدن ماهی (به عنوان دهنده متیل فوق‌العاده قوی جهت جایگزین کولین کلراید)، سبب ارتقاء سیستم ایمنی بدن و افزایش روند رشد خواهد شد. بنابراین، با بالا رفتن مقاومت ماهی در برابر شرایط استرس‌زای محیطی، می‌توان در مدت زمان مشابه تعداد بیشتری ماهی را در واحد سطح پرورش داد و بدین ترتیب، هزینه‌های تولید را کاهش داد. مشاهده روند کلی بهبود شاخص‌های مورد بررسی همزمان با افزایش سطوح بتائین در جیره‌های غذایی محتوی پروتئین گیاهی (با صرفه اقتصادی بالا) نشان داد که استفاده از جیره غذایی محتوی ۲/۸ درصد بتائین، منجر به بهبود جذب (خوش خوراکی)، مصرف غذا، دستیابی به بیشینه رشد، ترکیب بهینه لاشه، پاسخ‌های ایمنی و قابلیت هضم در بچه ماهی آزاد پرورشی خواهد شد.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر با حمایت مالی مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور در مرکز تحقیقات ماهیان سردآبی کشور با عنوان "بهینه سازی و تولید غذای ماهی آزاد دریای خزر (*S. caspius*)" با شماره مصوب: ۹۷۰۶۰۰-۰۱۱-۱۲-

[Downloaded from isfj.ir on 2026-02-04]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1400.30.3.2.1]

۰-۳۲ طراحی و اجرا گردید. از کلیه همکارانی که در اجرای این پروژه دست یاری دادند و با کمک‌ها و زحمات بیدریغ خود در شرایط سخت بزرگترین پشتیبان ما بودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

اسدی، م.، آذری تاکامی، ق.، سجادی، م.م.، معزی، م. و نیرومند، م.، ۱۳۸۹. اثر روتیفر غنی شده با بتایین و غذای کنسانتره حاوی بتایین روی رشد، بازماندگی و مقاومت به استرس در لاروهای میگوی سفید هندی (*Fenneropenaeus indicus*). مجله علمی شیلات ایران، ۱۹(۳): ۱-۱۰.
DOI:10.22092/ISFJ.2017.109951

سوداگر، م.، آذری تاکامی، ق.، پاتوماریف، س.آ.، محمودزاده، ه.، عابدیان، ع. و حسینی، س.ع.، ۱۳۸۳. بررسی اثرات سطوح مختلف بتائین و متیونین بعنوان جاذب غذایی بر شاخص های رشد و بازماندگی فیلماهی جوان. مجله علمی شیلات ایران، شماره ۲: ۴۱-۵۰.

محسنی، م.، پورکاظمی، م.، سید حسنی، م. ح. و پورعلی، ح.، ۱۳۹۵. تاثیر سطوح مختلف بتائین جیره غذایی بر رشد، ترکیب لاشه و برخی فراسنجه های خون شناسی و بیوشیمیایی سرم خون بچه فیل‌ماهی پرورشی. نشریه پژوهش های ماهی شناسی کاربردی، ۴ (۳): ۷۰-۶۵.

محسنی، م.، پورکاظمی، م.، کرمی نسب، م. و راست روان، م.ا.، ۱۳۹۸. بررسی اثرات سطوح مختلف پروتئین جیره غذایی بر میزان رشد، ترکیب شیمیایی بدن و قابلیت هضم مواد مغذی در بچه ماهی آزاد دریای خزر (*Salmo caspius*). مجله علمی شیلات ایران. ۲۸ (۲): ۱۷۸-۱۶۵.
DOI: 10.22092/ISFJ.2019.119190

محسنی، م.، یزدانی، م.ع.، پورعلی، ح.ر.، کاظمی، ر.، پوردهقانی، م.، حلاجیان، ع.، جلیل‌پور، ج.، علیپور، ع.ر.، دادگر، ش. و طاعتی، ر.، ۱۳۹۸a. گزارش نهایی پروژه بهینه سازی جیره غذایی با هدف افزایش شاخص‌های رشد، بهبود کارایی تغذیه و ارتقای سیستم ایمنی تاسماهیان پرورشی (فاز اول: فیلماهی و تاسماهی سیبری). موسسه تحقیقات بین المللی ماهیان تاسماهیان دریای خزر. ۱۸۴ صفحه.

نیرومند، م.، سجادی، م.م.، یحیوی، م. و اسدی، م.، ۱۳۹۰. تاثیر سطوح مختلف بتایین جیره بر فاکتورهای رشد، بازماندگی، ترکیب شیمیایی بدن و مقاومت بچه ماهی قزل آلا رنگین کمان در تحت تنش های محیطی. مجله علمی شیلات ایران. ۲۰ (۱): ۱۴۶- ۱۳۵.
DOI: 10.22092/ISFJ.2017.109982

AOAC, 1995. 16th edn. Official Methods of Analysis of the Association of official Analytical chemist, Vol. I, Washington, DC, USA, 1234 pp. DOI: 10.1099/ijs.0.02372-0;

Borges, A., Scotti, L.V., Siqueira, D.R., Jurinitz, D.F. and Wassermann, G.F., 2004. Hematologic and serum biochemical values for jundiá (*Rhamdia quelen*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 30, 21-25. DOI:10.1007/s10695-004-5000-1.

Cho, S.J., Juillerat, M.A. and Lee, C.H., 2008. Identification of LDL-receptor transcription stimulatingpeptides from soybean hydrolysate in human hepatocytes. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 56 (12): 4372–4376. DOI: 10.3136/fstr.26.797

Eid, A.E., Elfattah, B.A. and Mohamed, K., 2008. Effect of fishmeal substitution by plant protein sources on growth performance and body composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) Fingerlings. Arabian Aquaculture Society, 3: 58-79. DOI::10.7324/JABB.2016

[Downloaded from isfj.ir on 2026-02-04]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1400.30.3.2.1]

Eklund, M., Bauer, E., Wanata, J. and Mosenthin, R., 2005. Potential of nutritional and after social stress in pigs. Physiology and Behaviour, 85: 469-478.

Gatlin, D.M., Barrows, F.T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T.G., Hardy, R.W., Herman, E., Hu G., Krogdahl, A., Nelson, R., Overturf, K., Rust, M., Sealy, W., Skonberg, D., Souza, E.J., Stone, E.D., Wilson, R. and Wurtele, E., 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review. Aquaculture Research, 38: 551–579.

Gul, Y., Salim, M. and Rabbani B. 2007. Evaluation of apparent digestibility coefficients of different dietary protein levels with and without fish meal for Labeo rohita. Pakistan Veterinary Journal, 27: 121-125. DOI:10.1016/S0044-8486(00)00499-3.

Hardy, R.W., 2010. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. Aquaculture Research Institute, 41: 770-776.

Hevroy, E.M., Espe, M., Waagbo, R., Sandness, K., Rund, M. and Hemer, G.I., 2005. Nutrition utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed increased level of fish protein hydrolysate during a period of fast growth. Aquaculture Nutrition, 11: 301–313. DOI: 10.22034/AEJ.2020

Hughes, S.G., 1993. Single-feeding response of chinook salmon fry to potential feed intake modifiers. Progressive Fish-Culturist, 55: 40- 42. DOI:10.1577/1548-8640(1993)055<0040:SFROCS>2.3.CO;2.

Kasper, C.S., White, M.R. and Brown, P.B. 2002. Betaine can replace choline in diets for juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Journal of Aquatics, 205: 119-126. DOI:: 10.1126/science.aab3916.

Kaushik, S.J., Covès, D., Dutto, G. and Blanc, D., 2004. Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, Dicentrarchus labrax. Aquaculture, 230: 391-404.

Khaksar, V. and Golian, A., 2009. Comparison of ileal digestible versus total amino acid feed formulation on broiler performance. Journal of Animal Veterinary Advances. 8:1308- 1311. DOI:: 10.3382/ps.2009-00234

Kraugerud, O.F., Penn, M., Storebakken, T., Refstie, S., Krogdahl, Å. and Svihus, B., 2007. Nutrient digestibilities and gut function in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with cellulose or non-starch polysaccharides from soy. Aquaculture, 273: 96–107.

Krogdahl, A., Sundby, A. and Olli, J.J., 2004. Atlantic salmon (Salmo salar) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) digest and metabolize nutrients differently. Effect of water salinity and dietary starch level. Aquaculture, 229:335-360.

Liang, D., 2000. Effect of supplementation on the nutritive value of canola meal for broiler chickens. Thesis, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-02-04]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1400.30.3.2.1]

Loguercio, C., Federico, A., Trappoliere, M., Tuccillo, C., de Sio, I., Di Leva, B., Niosi, M., D'Auria, M.V., Capasso, R. and Del Vecchio, B.C., 2007. The effect of a silybinvitamin E-phospholipid complex on nonalcoholic fatty liver disease: a pilot study. Digestive Diseases and Science, 52: 2387-2395. doi.org/10.1093

Ma, Y.S., Wang, L.T., Sun, X.H., Ma, B.C., Zhang, J.W., Gao, F.Q. and Liu, C.L., 2013. Study on hydrolysis conditions of flavourzyme in soybean polypeptide alcalase hydrolysate. Advance Maternal Research, 652: 435–43.

Moeckel, G.W., Shadman, R., Fogel, J.M. and Sadrzadeh, S.M.H., 2002. Organic osmolytes betaine, sorbitol and inositol are potent inhibitors of erythrocyte membrane ATPase. Lifestock Science, 71: 2413-2433. DOI: 10.22059/jvr.2018.136397.2383.

Mohseni, M., Hassani, M.H., Pourali, F.H., Pourkazemi, M. and Bai, S.C., 2011. The optimum dietary carbohydrate/lipid ratio can spare protein in growing beluga, *Huso huso*. Journal of Applied Icthyology, 27: 737-742.

Mozanzadeh, M., Marammazi, J., Yaghoubi, M., Yavari, V., Agh, N. and Gisbert, E., 2015. Somatic and physiological responses to cyclic fasting and re-feeding periods in sobaity sea bream (*Sparidentex hasta*, Valenciennes 1830). Aquaculture Nutrition. DOI:10. 1111/anu.12379.

NRC, 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Research Council, National Academy Press. Washington D.C. 114 pp.

Nussler, A.K. and Thompson, A.W., 1992. Immunomodulatory agents in the laboratory and clinic. Journal of Parasitology, 105: 5-23. DOI:10.1017/S0007114500000210

Otubusin S.O., Ogunleye F.O. and Agbebi O.T. 2009. Feeding trials using local protein sources to replace fishmeal in pelleted feeds in catfish (*Clarias gariepinus* Burchell 1822) culture. European Journal of Scientific Research, 31(1): 142-147.

Polat, A. and Beklevik, G., 1999. The importance of betaine and some attractive substances as fish feed additives, In: Feed Manufacturing in the Mediterranean Regiaon: Recent Advances in Research and Technology Zaragoza (Brufu, J. and Tacon, A.eds), CIHEAM, IAMZ, Spain. 217-220. DOI:10.1186/s10194-016- 0639-4.

Racicot, J.G., Gaudet, M. and Leray, C., 1975. Blood and liver enzymes in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) with emphasis on their diagnostic use: study of CCl4 toxicity and a case of Aeromonas infection. Journal of Fish Biology, 7: 825-835. DOI::10.1016/j.aquaculture.2010.02.007

Rumsey, G.L., 2001. Choline-betaine requirements of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture, 95: 107-116. DOI: 10.1046/j.1365-2761.2001.00314.x 40.

Slawski, H., Adem, H., Tressel, R-P., Wysujack, K., Koops, U. and Schulz, C., 2011. Replacement of fish meal with

[Downloaded from isfj.ir on 2026-02-04]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1400.30.3.2.1]

rapeseed protein concentrate in diets fed to common carp (*Cyprinus carpio* L.). Israeli Journal Aquaculture Bamidgeh 63:6. IIC: 63.2011.605. DOI::10.1002/food.19950390104.

Tacon, G.J. and Metian, M., 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. Aquaculture, 285: 146-158.

Virtanen, E., Junial, M. and Soivio, A., 1989. Effect of food containing betaine Amino acid additive on the osmotic adaptation of young Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquacuiture, 83:109-122.

Xu, Q., Wang, C., Zhao, Z. and Luo, L., 2012. Effects of Replacement of Fish Meal by Soy Protein Isolate on the Growth, Digestive Enzyme Activity and Serum Biochemical Parameters for Juvenile Amur Sturgeon (*Acipenser schrenckii*). Asian-Australasian journal of animal sciences, 25: 1588.

Zhou, J.M., Liang, Y.M., and Gu, D., 2003. Experiment report of substituting protein feed of solvent- extracted cottonseed for soybean meal to feed milking cows. China Dairy Cattle, 2: 26-27.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-02-04]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1400.30.3.2.1]

Effects of Betaine supplementation in plant protein based diets on on growth, carcass compositions, haematological- biochemical parameters and apparent digestibility coefficient in *Salmo caspius*

Mohseni M.[1*]; Najarlashgari S.[2]; Golalipour Y.[2]; Rastravan M.E.[2]

*mahmoudmohseni73@gmail.com

1-International Sturgeon Research Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

2-Iranian Fisheries Science Research Institute, Cold-water Fishes Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tonekabon, Iran.

Absrtact

A feeding trial was conducted to examine the effects of dietary supplementation of betaine on growth, nutrient utilization, carcass compositions and haematological- biochemical parameters in *Salmo caspius* fed a plant-protein based diet. 180 fish with average weight of 9.7±0.59 g were fed the plant-protein basal diet, the basal diet with 1.4 & 2.8% betaine supplementation, or a fishmeal-based diet (control) for 11 wk. Weight gain, specific growth rate and protein efficiency ratio were significantly higher in fish fed the betaine-supplemented diet (1.4 & 2.8%) as well as control diet than in fish fed the basal diet. The lowest and highest whole body protein and lipid concentrations were significantly found in the fish fed by basal diet. Based on the results of this study, the levels of liver enzymes were significantly higher in fish fed the betaine-supplemented diet (1.4 & 2.8%) as well as control diet than in fish fed the basal diet. The value of apparent digestibility of crude protein in diet-fed fish a fishmeal-based (control) were significantly higher than fish fed plant-protein basal diet and the basal diet with 1.4% betaine supplementation ($p<0.05$). Based on the results of this study, could be said that increased levels of 2.8% of betaine is an effective feeding stimulant that can be enhanced the palatability and intake of plant-protein based diets for *Salmo caspius*, improved growth performance, feed utilization and apparent digestibility coefficient.

Keywords: Betaine, Growth, feed utilization, apparent digestibility coefficient, *Salmo caspius*

*Corresponding author

[Downloaded from isfj.ir on 2026-02-04]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1400.30.3.2.1]