

## اثرات سطوح مختلف اکسیژن بر رشد و ترکیب عضله در دو گروه وزنی از فیل ماهیان (*Huso huso*) پرورشی

فروزان باقرزاده لاکانی<sup>۱\*</sup>، مسعود ستاری<sup>۱</sup>، محمد علی یزدانی ساداتی<sup>۲</sup>، رضوان اله کاظمی<sup>۲</sup>، انوشیروان جعفرزاده<sup>۳</sup>

۱. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان

۲. انستیتو تحقیقات بین المللی ماهیان خاویاری دکتر دادمان

۳. اداره کل دامپزشکی استان گیلان

### چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی اثر غلظت اکسیژن آب بر شاخص‌های رشد و ترکیب عضله در دو گروه وزنی فیل ماهیان پرورشی (*Huso huso*) (وزن اولیه  $280/9 \pm 49/2$  و  $1217/9 \pm 138/1$  گرم) بود. تیمارهای اکسیژن شامل هیپوکسی ( $2-3$  mg/l)، نورموکسی ( $5-6$  mg/l) و هیپرآکسی ( $9-10$  mg/l) به وسیله تنظیم آب ورودی و تزریق اکسیژن خالص برای تیمار هیپرآکسی، تنظیم شد. ماهیان به مدت یک هفته با تانک‌های آزمایش سازگار شده سپس به صورت تصادفی در ۹ تانک در هر گروه وزنی توزیع (برای گروه وزنی بالا ۳ ماهی و برای گروه وزنی پایین ۶ ماهی در هر تانک) و به مدت ۸ هفته در این شرایط نگهداری شدند. در پایان آزمایش پارامترهای رشد مورد بررسی قرار گرفت. اختلاف معنی‌داری در  $SGR$  و  $FI$ ،  $BWI$ ،  $WG$ ،  $Wt$  در هر دو گروه وزنی و  $CF$  در گروه وزنی بالا و  $FL$  در گروه وزنی پایین مشاهده شد ( $P < 0/05$ ). آنالیز ترکیب تقریبی عضله اختلاف معنی‌داری در گروه وزنی پایین نشان نداد ( $P > 0/05$ ) اما در گروه وزنی بالا در میزان رطوبت و چربی عضله در تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ( $P < 0/05$ ). نتایج این مطالعه نشان داد که سطح بالای اکسیژن اثر مستقیمی روی رشد فیل ماهی دارد، بنابراین به کارگیری آن برای فیل ماهی توصیه می‌گردد.

واژگان کلیدی: اکسیژن، *Huso huso*، رشد، ترکیب عضله، هیپوکسی

\*نویسنده مسؤل، پست الکترونیک: f.bagherzadeh.l@gmail.com

## ۱. مقدمه

اکسیژن محلول مهمترین پارامتر کیفی آب در آبی- پروری است و تولید موفق ماهی به مدیریت خوب اکسیژن بستگی دارد (Timmons *et al.*, 2001; Mallya, 2007). غلظت‌های اکسیژن محلول بسیار پایین منجر به اثرات نامطلوب جدی بر سلامتی ماهی می‌شود که می‌توان به بی‌اشتهایی، استرس تنفسی، کمبود اکسیژن بافتی، بی‌قراری و در نهایت مرگ اشاره کرد (عبدا... مشائی، ۱۳۷۹). زمانی که اکسیژن محلول به وضعیت اشباع نزدیکتر باشد، سلامتی و موقعیت فیزیولوژیک، بهترین خواهد بود و زمانیکه اکسیژن محلول کمتر از این مقدار باشد، ممکن است با افزایش استرس، کاهش فعالیت شنا و کاهش مصونیت در برابر بیماری‌ها، رشد ماهیان به شدت کاهش یابد (Wedemeyer, 1996)، همچنین تنفس و فعالیت تغذیه‌ای نیز کاهش می‌یابد. میزان اکسیژن پایین‌تر از یک حد بحرانی سبب کاهش مصرف غذا در ماهیان می‌گردد (Jobling, 1994). زمانی که میزان اکسیژن محلول پایین است، ماهی قادر نخواهد بود که غذای مصرفی را جذب کند (Tom, 1998)، بنابراین کاهش اکسیژن محلول در دسترس فاکتور اصلی برای تعیین مصرف غذا است (Mallya, 2007). نکته قابل توجه این است که با کاهش نرخ رشد، امکان بروز بیماری افزایش می‌یابد (Tom, 1998).

هیپوکسی پدیده‌ای است که در محیط‌های آبی رخ می‌دهد و در حالت کلی یک سیستم آبی با غلظت اکسیژن کم بین ۱ الی ۳۰ درصد اشباع هیپوکسی نامیده می‌شود. اکثر ماهیان نمی‌توانند در محیط با اکسیژن کمتر از ۳۰ درصد اشباع زندگی کنند (اعدلیان، ۱۳۸۸). از سوی دیگر هیپوکسی عموماً به عنوان اکسیژن محلول<sup>۱</sup> کمتر از  $2/8 \text{ mg O}_2/\text{L}$  (مساوی  $2 \text{ mL O}_2/\text{L}$  یا  $91/4 \text{ mM}$ ) نیز بیان می‌گردد (Diaz and Rosenberg, 1995). کمبود اکسیژن یا هیپوکسی حتی برای مدت کوتاه می‌تواند برای

ماهیان مضر یا کشنده باشد (Terova *et al.*, 2008). از سوی دیگر هیپراکسی موقعیتی از آب است که مقدار خیلی بالایی از اکسیژن را نگهداری کند. در این حالت، آب به این شکل توصیف می‌شود که اکسیژن محلول بالاتر از ۱۰۰ درصد دارد. این درصد می‌تواند ۳۰۰-۱۴۰ درصد باشد. در استخرها مقادیر بیش از ۱۲۵ درصد حالت اشباع توصیه نمی‌شود و ۳۰۰ درصد اشباع کشنده است. هوادهی با اکسیژن خالص به منظور حفظ مقادیر اکسیژن محلول آب در حد فوق اشباع باعث افزایش ظرفیت حمل<sup>۲</sup> توسط آب می‌شود که ظرفیت تولید استخر را نیز افزایش می‌دهد. بنابراین می‌توان مقدار توده زنده ماهی را بدون نیاز به توسعه مزرعه پرورش ماهی یا افزایش مقدار مصرف آب بالا برد (عبدالله مشائی، ۱۳۷۹).

مطالعات گوناگونی در راستای بررسی اثر اکسیژن محلول بر روی گونه‌های مختلف ماهیان خاویاری صورت گرفته است که از جمله می‌توان به جذب اکسیژن و انتقال آن در طول مواجهه با هیپوکسی (Burggeren and Randall, 1978)، اثر هیپوکسی بر متابولیسم ماهی خاویاری (Rueret *et al.*, 1978)، اثر جیره در پاسخ به هیپوکسی (Randallet *et al.*, 1992)، واکنش‌های تنفسی به هیپوکسی محیطی (Nonnotte *et al.*, 1993)، اثرات تنفسی و گردش خون در استرس هیپوکسی (Maxime *et al.*, 1995)، نرخ مصرف اکسیژن (Thomas and Piedrahita, 1997) و اثر هیپوکسی روی آپوپتوزیز سیستم عصبی مرکزی (Luet *et al.*, 2005) اشاره کرد. با این وجود تا کنون مطالعه مقایسه‌ای روی سطوح مختلف اکسیژن در ماهیان خاویاری و بررسی اثرات آن بر فیزیولوژی آن-ها صورت نگرفته است. از آن جا که صید و بهره‌برداری از ماهیان خاویاری در جهان با کاهش شدیدی مواجه گردیده است، رویکرد جدید توسعه پرورش این ماهیان به عنوان گزینه‌ای مناسب حتی در کشورهایی که از داشتن این ماهیان به طور

1. Dissolved Oxygen

2. Carrying capacity

Brett, 1979; Boyd, 1982; Jobling, 1995; )  
 (Buentello *et al.*, 2000)، دبی آب ورودی در تمام  
 تانک‌ها به صورت یکسان تنظیم شد که با قطع  
 هوادهی در تیمار اکسیژن پایین، تنظیم هوادهی در  
 تیمار اکسیژن متوسط و حداکثر هوادهی بعلاوه  
 تزریق اکسیژن خالص در تیمار اکسیژن بالا همراه  
 بود. مقدار اکسیژن، تنظیم و در طول دوره با کنترل  
 مداوم روزانه (در ساعات ۸، ۱۱، ۱۳، ۱۶، ۲۰ و ۲۴) با  
 استفاده از دستگاه اکسی‌متر (OXi323-B/SET) در  
 محدوده مورد نظر حفظ گردید. ماهیان به مدت ۸  
 هفته در این شرایط، نگهداری و تغذیه شدند. مقدار  
 غذادهی در طول دوره پرورشی بر اساس وزن و درجه  
 حرارت آب ۲-۱ درصد بیوماس بود که روزانه در سه  
 نوبت (۸، ۱۶ و ۲۴) به ماهیان داده شد. هر روز مقدار  
 غذای محاسبه شده هر تانک، وزن شد و در ظرف‌های  
 مخصوص غذادهی قرار داده شد. شایان ذکر است که  
 ۲۴ ساعت قبل از هر بیومتری، غذادهی به ماهیان  
 قطع می‌گردید. پس از هر بیومتری، بیوماس (زیتوده)  
 هر تانک و مقدار جدید غذادهی محاسبه شد.  
 غذادهی به صورت دستی صورت گرفت. غذا به خوبی  
 در حاشیه تانک پخش شد تا شرایط درشت‌سالاری  
 در بین ماهیان پیش نیاید و هدر رفت غذایی به  
 حداقل ممکن خود برسد. در طول دوره، کف تانک  
 سیفون شد و مقدار هدر رفت غذا محاسبه و ثبت  
 گردید. زیست‌سنجی ماهیان شامل وزن نهایی (Wt)  
 و طول چنگالی (FL) کلیه ماهیان هر دو هفته یکبار  
 و در پایان آزمایش انجام گرفت و شاخص‌های رشد  
 مورد محاسبه قرار گرفتند. این شاخص‌ها شامل وزن  
 نهایی (WG) (Ronyai and Peteri, 1990)، مصرف  
 غذا (FI)، ضریب تبدیل غذایی (FCR)  
 (Thorarensen *et al.*, 2010)، نرخ رشدویژه (SGR)  
 ((Qinghui *et al.*, 2004)، ضریب کارایی پروتئین  
 (PER) (Ricker, 1979)، ضریب چاقی (CF) (Hung  
 and Deng, 2002)، درصد افزایش وزن بدن (BWI)  
 (Wang *et al.*, 2003) و بقای ماهیان بود.

طبیعی بهره‌مند نیستند، مورد توجه بسیار قرار گرفته  
 است (برادران نویری، ۱۳۸۸)، از این رو با توجه به  
 اهمیت پرورشی فیل ماهی و اثر قابل توجه اکسیژن  
 به عنوان یک عامل محیطی روی رشد ماهیان،  
 پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر هیپوکسی،  
 نورموکسی و هیپراکسی بر روی رشد و ترکیب عضله  
 فیل ماهیان پرورشی انجام شد.

## ۲. مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در بخش تکثیر و پرورش انستیتو  
 تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری دکتر دادمان از  
 تاریخ ۲۸ مهر ماه تا ۲۴ آذر ماه ۱۳۸۸ (به مدت ۵۶  
 روز) انجام شد. اندازه‌گیری ترکیب عضله ماهیان نیز  
 در آزمایشگاه اداره کل دامپزشکی رشت صورت  
 گرفت. جهت انجام این آزمایش از طرح کاملاً تصادفی  
 استفاده شد. برای این منظور ۲۷ ماهی با میانگین  
 وزنی  $138/1 \pm 1217/9$  (به عنوان گروه وزنی بالا) و  
 ۵۴ ماهی با میانگین وزنی  $49/2 \pm 280$  (به عنوان  
 گروه وزنی پایین) تهیه شد. قبل از شروع آزمایش  
 ماهیان به مدت ۱ هفته با شرایط مخازن سازگار  
 شدند. پس از دوره سازگاری ماهیان به طور کاملاً  
 تصادفی در ۱۸ تانک فایبرگلاس نیم تنی قرار داده  
 شدند. حجم تانک‌ها ۵۰۰ لیتر و حجم آب ۳۰۰ لیتر  
 و دبی آب ورودی ۳ لیتر در دقیقه (۲ لیتر آب  
 رودخانه و ۱ لیتر آب چاه) بود. ماهیان در دو گروه  
 وزنی به تعداد ۶ عدد در هر تانک برای گروه وزنی  
 پایین (با تراکم  $1685/3 \pm 55/3$  گرم) و ۳ عدد در هر  
 تانک برای گروه وزنی بالا (با تراکم  $322/1 \pm$   
 $3653/7$ ) در تانک‌ها توزیع شدند. سیستم پرورشی  
 در یک مکان سرپوشیده قرار داشت. دمای آب  
 $18 \pm 0/7$ ،  $pH=6/4$  و نیتريت  $1 \text{ mg/l} \pm 0/02$  و  
 آمونوم  $0 \text{ ppm} \pm 0/01$  بود.

نوردهی به صورت ۱۸ ساعت روشنایی و ۶ ساعت  
 تاریکی بود. جهت تنظیم تیمارهای اکسیژن،  
 هیپوکسی به مقدار  $3-2 \text{ mg/l}$ ، نورموکسی به مقدار  
 $5-6 \text{ mg/l}$  و هیپراکسی به مقدار  $9-10 \text{ mg/l}$  بود

CF و Wt، W0، SGR و FI، BWI و در گروه وزنی بالا W0، Wt و CF اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ( $P < 0.05$ ). شش هفته پس از شروع آزمایش، در گروه وزنی پایین در W0، WG، FL و FI و در گروه وزنی بالا در Wt، WG، BWI، FI، SGR و CF اختلاف معنی‌دار وجود داشت ( $P < 0.05$ ). نتایج چهارمین بیومتری، هشت هفته پس از شروع آزمایش، نشان داد که در گروه وزنی پایین W0، WG، BWI، FL، FI و SGR و در گروه وزنی بالا W0، Wt، WG، BWI، FI و SGR دارای اختلاف معنی‌دار در میان تیمارها می‌باشند ( $P < 0.05$ ). بازماندگی در همه تیمارها در کل دوره پرورش ۱۰۰٪ بود.

بعد از ۵۶ روز پرورش، همه فاکتورهای رشد در مقایسه با ابتدای دوره مورد ارزیابی قرار گرفت. در گروه وزنی پایین، اختلاف معنی‌داری میان Wt، WG، BWI، FL، FI و SGR مشاهده شد ( $P < 0.05$ ) و در گروه وزنی بالا فاکتورهای Wt، WG، BWI، FL، FI و SGR دارای اختلاف معنی‌دار بودند ( $P < 0.05$ ) (جدول ۱ و ۲). با توجه به نمودارهای ۱ و ۲ روند افزایش وزن ماهیان در تیمارهای اکسیژنی متفاوت اختلاف معنی‌دار قابل توجهی داشته و در هر دو گروه وزنی کمترین میزان وزن متوسط ماهی در تیمار هیپوکسی و بیشترین میزان آن تیمار هیپراکسی مشاهده شد.

لازم به ذکر است که این اختلاف در گروه وزنی بالا چشمگیر بود بطوری که اختلاف وزن متوسط ماهیان تیمارهای هیپوکسی و هیپراکسی در پایان دوره پرورش به ۴۴۸/۵۵ گرم رسید و در گروه وزنی پایین این اختلاف ۱۲۵/۲۲ بود.

با توجه به نمودارهای ۳ و ۴، تیمارهای مختلف اکسیژن اختلاف معنی‌داری را در HSI ایجاد نکردند ( $P > 0.05$ ). نتایج آنالیز جیره در جدول ۳ و نتایج آنالیز بافت عضله ۳ ماهی از هر گروه وزنی در ابتدای آزمایش در جدول ۴ ذکر شده است. نتایج آنالیز بافت عضله در انتهای دوره پرورش در گروه وزنی پایین، در

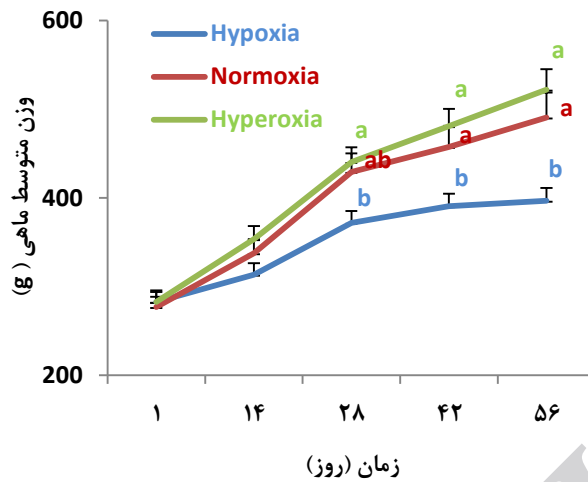
در پایان آزمایش ۳ ماهی از هر تیمار به صورت تصادفی صید شده و شاخص کبدی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. مقداری از جیره غذایی جهت آنالیز ترکیبات بیوشیمیایی شامل پروتئین خام، چربی خام، فیبر، خاکستر، کربوهیدرات، رطوبت و انرژی خام (به روش بمب کالریمتر) استفاده شد. در انتهای تحقیق، جهت بررسی اثر سطوح مختلف اکسیژن روی کیفیت عضله ماهی (ماده خشک، پروتئین، چربی، خاکستر و رطوبت)، یک ماهی از هر تانک (۶ ماهی از هر تیمار) انتخاب و مقدار کمی از عضله آن‌ها (قسمت بین پلاک استخوانی پشتی و پهلوئی سمت راست و چپ بدن) جدا گردید و ترکیب شیمیایی آن مورد بررسی قرار گرفت. جهت اندازه‌گیری پروتئین از دستگاه کج‌دال (Buchl - سوئیس)، چربی از دستگاه سوکسله (Buchl 810 - سوئیس)، خاکستر از کوره الکتریکی ( $550^{\circ}\text{C}$ ) و رطوبت از آن  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  - (Memmert آلمان) استفاده گردید. ثبت کلیه داده‌های جمع‌آوری شده در هر مرحله و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Microsoft Office Excel, 2007 انجام شد. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS 13 استفاده شد. پس از کنترل همگنی واریانس و نرمال بودن داده‌ها به وسیله آزمون Kolmogorov-Smirnov، نتایج هر گروه وزنی به وسیله آزمون واریانس یک طرفه One-Way ANOVA محاسبه شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Tukey در سطح احتمال ۹۵ درصد صورت گرفت و تغییر میانگین داده‌ها به صورت  $\text{Mean} \pm \text{SE}$  نشان داده شد.

### ۳. نتایج

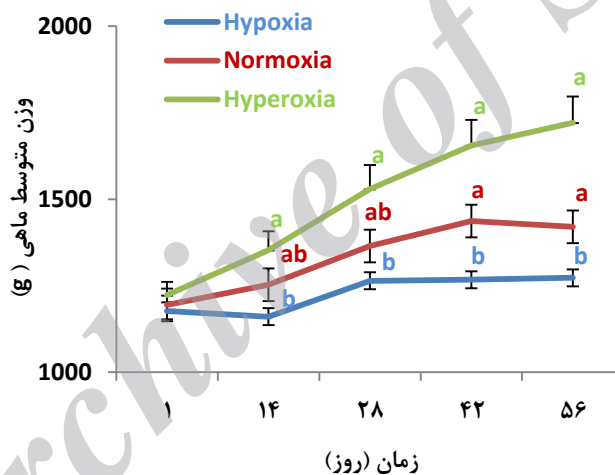
دو هفته پس از شروع آزمایش، در گروه وزنی پایین در WG، BWI و SGR و در گروه وزنی بالا در Wt، WG، BWI، FI و SGR اختلاف معنی‌دار در میان تیمارها مشاهده شد ( $P < 0.05$ ). چهار هفته پس از شروع آزمایش، در گروه وزنی پایین در WG، Wt،

چربی عضله در تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ( $P > 0.05$ ) (جدول ۵).

هیچ یک از پارامترها اختلاف معنی‌داری نشان نداد اما در گروه وزنی بالا در میزان رطوبت و



نمودار ۱. اثر تیمارهای اکسیژن بر روند کلی رشد (میانگین  $\pm$  SE) در گروه وزنی پایین فیل ماهیان پرورشی در کل دوره پرورش (داده‌هایی که با حروف غیر مشابه مشخص شده اند دارای اختلاف معنی‌دار آماری ( $P < 0.05$ ) با یکدیگر هستند).



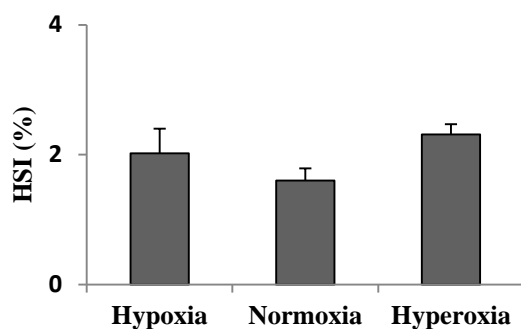
نمودار ۲. اثر تیمارهای اکسیژن بر روند کلی رشد (میانگین  $\pm$  SE) در گروه وزنی بالای فیل ماهیان پرورشی در کل دوره پرورش (داده‌هایی که با حروف غیر مشابه مشخص شده اند دارای اختلاف معنی‌دار آماری ( $P < 0.05$ ) با یکدیگر هستند).

جدول ۱. اثر تیمارهای اکسیژن بر شاخص‌های رشد (میانگین  $\pm$  SE) فیل ماهیان پرورشی در کل دوره پرورش - گروه وزنی پایین

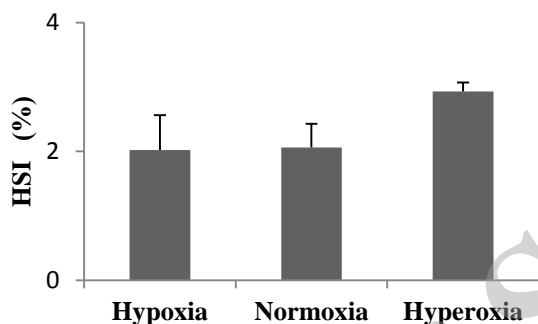
تیما	W0(g)	Wt (g)	WG (g)	BWI (%)	FL (cm)	FI(g)	FCR	SGR (%day <sup>-1</sup> )	CF	بقا (%)
Hypoxia	289/9 $\pm$ 12/8	396/8 $\pm$ 14/7 <sub>b</sub>	113/9 $\pm$ 8/5 <sub>b</sub>	41/7 $\pm$ 3/6 <sub>b</sub>	40/2 $\pm$ 0/6 <sub>b</sub>	100/4/7 $\pm$ 10/0 <sub>b</sub>	1/5 $\pm$ 0/2	0/61 $\pm$ 0/05 <sup>b</sup>	0/61 $\pm$ 0/02	100
Normoxia	276/9 $\pm$ 11/6	490/6 $\pm$ 28/4 <sub>a</sub>	213/7 $\pm$ 19/5 <sub>a</sub>	76 $\pm$ 5/9 <sub>a</sub>	42/6 $\pm$ 0/8 <sub>a</sub>	1493/8 $\pm$ 18/9 <sub>a</sub>	1/2 $\pm$ 0/1	0/99 $\pm$ 0/06 <sup>a</sup>	0/65 $\pm$ 0/05	100
Hyperoxia	282/9 $\pm$ 11/0	522 $\pm$ 23/3 <sup>a</sup>	239/1 $\pm$ 17/3 <sub>a</sub>	85/5 $\pm$ 6/3 <sub>a</sub>	42/2 $\pm$ 0/4 <sub>ab</sub>	1541/8 $\pm$ 70/1 <sub>a</sub>	1/1 $\pm$ 0/2	1/09 $\pm$ 0/06 <sup>a</sup>	0/69 $\pm$ 0/02	100

جدول ۲. اثر تیمارهای اکسیژن بر شاخص‌های رشد (میانگین  $\pm$  SE) فیل ماهیان پرورشی در کل دوره پرورش - گروه وزنی بالا

تیما	W0(g)	Wt (g)	WG (g)	BWI (%)	FL (cm)	FI(g)	FCR	SGR(%day <sup>-1</sup> )	CF	بقا
Hypoxia	1177/2 $\pm$ 129/3	1272/8 $\pm$ 165/5 <sup>b</sup>	95/6 $\pm$ 33/2 <sup>b</sup>	8/2 $\pm$ 2/8 <sup>c</sup>	58/8 $\pm$ 2/2	634/1 $\pm$ 44/3 <sup>c</sup>	4/3 $\pm$ 2/2	0/14 $\pm$ 0/14 <sup>c</sup>	0/62 $\pm$ 0/03 <sup>b</sup>	100
Normoxia	1194/7 $\pm$ 154/2	1420/2 $\pm$ 201/7 <sup>b</sup>	225/6 $\pm$ 34/3 <sup>b</sup>	19 $\pm$ 2/9 <sup>b</sup>	59/9 $\pm$ 2/9	1695/7 $\pm$ 68/9 <sup>b</sup>	2/8 $\pm$ 0/7	0/31 $\pm$ 0/13 <sup>b</sup>	0/66 $\pm$ 0/01 <sup>b</sup>	100
Hyperoxia	1292/9 $\pm$ 113/9	1721/4 $\pm$ 227/4 <sup>a</sup>	428/6 $\pm$ 46/5 <sup>a</sup>	32/9 $\pm$ 3/3 <sup>a</sup>	59/3 $\pm$ 3/7	2203/9 $\pm$ 145/5 <sup>a</sup>	1/8 $\pm$ 0/3	0/50 $\pm$ 0/50 <sup>a</sup>	0/84 $\pm$ 0/08 <sup>a</sup>	100



نمودار ۳. اثر تیمارهای اکسیژن بر HSI (میانگین  $\pm$  SE) فیل ماهیان پرورشی در گروه وزنی پایین



نمودار ۴. اثر تیمارهای اکسیژن بر HSI (میانگین  $\pm$  SE) فیل ماهیان پرورشی در گروه وزنی بالا

جدول ۳. تجزیه تقریبی جیره غذایی (درصد وزن خشک)

پروتئین خام (%)	۴۴/۸
چربی خام (%)	۱۸/۹
فیبر (%)	۱/۱۷
خاکستر (%)	۱۰/۲۸
کربوهیدرات (%)	۱۸/۳۵
رطوبت (%)	۷/۳۱
انرژی (Kcal/g)	۳/۳۷

جدول ۴. ترکیب تقریبی عضله (%) در ابتدای دوره پرورش (میانگین  $\pm$  SE) در دو گروه وزنی بالا و پایین

گروه وزنی	رطوبت	پروتئین	چربی	خاکستر
پایین	۸۵/۷ $\pm$ ۱	۱۰/۵ $\pm$ ۲/۴	۱/۶ $\pm$ ۰/۱	۱ $\pm$ ۰/۱
بالا	۷۹/۵ $\pm$ ۰/۴	۱۴ $\pm$ ۰/۲	۲/۳ $\pm$ ۰/۳	۱/۱ $\pm$ ۰/۲

جدول ۵. ترکیب تقریبی عضله (/) در انتهای دوره پرورش (میانگین  $\pm$  SE) در دو گروه وزنی بالا و پایین

گروه وزنی	تیمار	رطوبت	پروتئین	چربی	خاکستر
پایین	Hypoxia	۷۶/۵۳ $\pm$ ۱/۵۶	۱۵/۷۵ $\pm$ ۰/۲۰	۴/۷۵ $\pm$ ۱/۴۷	۱/۶۱ $\pm$ ۰/۰۲
	Normoxia	۷۶/۶۲ $\pm$ ۰/۳۲	۱۴/۲۲ $\pm$ ۰/۱۸	۳/۹۵ $\pm$ ۰/۵۲	۱/۴۸ $\pm$ ۰/۱۷
	Hyperoxia	۷۵/۲۴ $\pm$ ۰/۳۰	۱۶/۸۶ $\pm$ ۰/۲۰	۴/۶۸ $\pm$ ۰/۱۹	۱/۲۹ $\pm$ ۰/۰۴
بالا	Hypoxia	۷۸/۹۹ $\pm$ ۰/۷۷ <sup>a</sup>	۱۶/۷۸ $\pm$ ۰/۲۳	۱/۷۶ $\pm$ ۰/۵۲ <sup>b</sup>	۱/۰۵ $\pm$ ۰/۱۴
	Normoxia	۷۷/۱۲ $\pm$ ۰/۷۴ <sup>ab</sup>	۱۶/۱۶ $\pm$ ۰/۹۲	۳/۰۸ $\pm$ ۰/۴۳ <sup>ab</sup>	۱/۱۵ $\pm$ ۰/۰۱
	Hyperoxia	۷۵/۳۷ $\pm$ ۰/۲۶ <sup>b</sup>	۱۶/۷۴ $\pm$ ۰/۱۶	۴/۶۷ $\pm$ ۰/۱۸ <sup>a</sup>	۱/۲۵ $\pm$ ۰/۰۱

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

در بررسی حاضر روند افزایش وزن ماهیان در تیمارهای اکسیژنی متفاوت طی ۵۶ روز پرورش اختلاف معنی دار قابل توجهی داشته و بیشترین میزان آن در تیمار هیپراکسی مشاهده شد و هر دو گروه وزنی در درصد افزایش وزن اختلاف معنی دار داشتند. در گروه وزنی پایین تیمارهای هیپراکسی و نورموکسی به ترتیب ۸۵/۵ و ۷۶٪ افزایش وزن داشتند در حالیکه بالاترین درصد افزایش وزن در گروه وزنی بالا در تیمار هیپراکسی و به میزان ۳۲/۹٪ بود. نیاز اکسیژن به ازای واحد وزن بدن ماهی به صورت معنی داری با افزایش وزن فردی، کاهش می یابد (Tom, 1998). از سوی دیگر ظرفیت جذب اکسیژن به ازای هر واحد وزن بدن در ماهیان بزرگ، کمتر از ماهیان کوچک است، چون ناحیه سطحی آبشش به صورت آلومتریک به وزن بدن بستگی دارد و بنابراین حداکثر مصرف غذا به ازای واحد وزن بدن در ماهیان بزرگ، کمتر از ماهیان کوچک است که این مساله سبب رشد نسبی پایین تر در ماهیان بزرگ نسبت به ماهیان کوچک می شود (Tran-Duy *et al.*, 2008). این امر می تواند توجیه کننده اختلاف در درصد افزایش وزن در دو گروه وزنی در بررسی حاضر باشد. این نتیجه مشابه نتایج مطالعه Tran-Duy و همکاران (2008) می باشد که دو گروه وزنی از ماهی تیلاپیا را در معرض دو سطح اکسیژن محلول قرار دادند و رشد ماهیان در سطح بالای اکسیژن به صورت معنی داری از گروه اکسیژن پایین، بیشتر بود به علاوه

رشد ماهیان کوچک به صورت معنی داری بالاتر از ماهیان بزرگ بود. شواهد دیگری نیز وجود دارد که هیپراکسی ملایم ممکن است رشد ماهیان را بهبود بخشد (Foss *et al.*, 2003; Dabrowski *et al.*, 2004; Hosfeld *et al.*, 2008) که از آن جمله می توان به رشد ماهی آزاد اقیانوس اطلس و هالیبوت اقیانوس اطلس اشاره کرد که با افزایش اشباعیت اکسیژن تا ۱۰۰٪ افزایش یافت (Mallya, 2007). Person-Le Ruyet و همکاران (2002) نیز Turbot را در شرایط اکسیژن اشباع پرورش دادند و هیچ اثر منفی روی رشد مشاهده نکردند. در حالیکه سایر مطالعات در یافتن هرگونه بهبود در رشد در مقایسه با نورموکسی ناموفق بودند (Caldwell and Hinshaw, 1994; Person-Le Ruyet *et al.*, 2002). در بررسی حاضر، در دو گروه وزنی پایین تیمار هیپوکسی به صورت معنی داری WG پایین تری نسبت به دو تیمار دیگر داشت اما در گروه وزنی بالا، تیمار هیپراکسی به صورت معنی داری WG بالاتری از دو تیمار دیگر داشت. علت این امر می تواند کاهش تمایل مصرف غذا در شرایط اکسیژنی پایین و متعاقب آن رشد کمتر ماهیان در این شرایط باشد. Andrews و Matsuda (1975) نیز نشان دادند که افزایش وزن نهایی در گربه ماهی کانالی نگهداری شده در ۲۶°C و ۶۰٪ اشباعیت هوا، کاهش می یابد. در مطالعه Pichavant و همکاران (۲۰۰۱)، افزایش توده بدنی در Turbot و باس دریایی نگهداری شده در شرایط کمبود اکسیژن و غذادهی در حد سیری، به صورت



Turbot (Herrman *et al.*, 1962). بچه ماهیان (Pichavant *et al.*, 2000; 2001) و باس دریایی (Thetmeyer *et al.*, 1999) اشاره داشت. در مطالعه حاضر که پس از پایان دوره پرورش در گروه وزنی پایین اختلاف معنی‌داری در CF ماهیان مشاهده نشد اما در گروه وزنی بالا اختلاف میان تیمارها معنی دار بوده و تیمار هیپراکسی، ضریب چاقی بالاتری نسبت به دو تیمار دیگر داشته است و این مشابه نتیجه Thetmeyer و همکاران (1999) می‌باشد که ماهیان مواجه شده با هیپوکسی نسبت به شاهد، ضریب چاقی پایین‌تری داشتند. در بررسی حاضر در هر دو گروه وزنی، تیمار هیپوکسی پایین‌ترین میزان SGR (میزان رشد ویژه) را داشت. در مطالعه Thorarensen و همکاران (۲۰۱۰) روی بچه ماهی هالیبوت اقیانوس اطلس (*Hippoglossus hippoglossus* L.) نیز میزان رشد ویژه در کمترین میزان اکسیژن به صورت معنی‌داری پایین‌تر از گروه‌های دیگر بود و نتایج مطالعه Mallya (2007) نیز نشان داد که نرخ رشد ویژه در ۱۰۰٪ اشباعیت بالاترین میزان را داشت که این نتایج نیز تأیید کننده نتیجه بررسی حاضر می‌باشند. در بررسی حاضر در هر دو گروه وزنی تیمار هیپوکسی بالاترین و تیمار هیپراکسی پایین‌ترین میزان FCR را داشتند. علت احتمالی این مسأله این است که ماهیان در شرایط هیپوکسی برای سازگاری با شرایط اکسیژن پایین، فعالیت خود را کاهش داده و تمایلی به مصرف غذا ندارند و این مسأله سبب افزایش هدر رفت غذایی شده و FCR افزایش خواهد یافت. اما در شرایط هیپراکسی، از آن جا که فعالیت ماهی زیاد بوده و دریافت غذا به خوبی انجام می‌شود، هدر رفت غذا کاهش یافته و هضم و جذب خوب غذا که نتیجه کافی بودن میزان اکسیژن می‌باشد، سبب افزایش وزن کسب شده و کاهش FCR می‌گردد. نتایج این بررسی مشابه نتایج مطالعه Tsadik و Kutty (1987) روی ماهی تیلاپیای نیل می‌باشد که هنگامی که اکسیژن کاهش یافت، ضریب تبدیل غذا از ۱/۴۵ به ۶/۷۵

معنی داری کمتر از گروه اکسیژن نرمال بود، همچنین در مطالعه Buentello و همکاران (2000) کمترین میزان WG نیز در تیمار اکسیژن ۳۰٪ اشباعیت هوا و کمترین دما مشاهده شد که این نتایج نیز مشابه نتایج بررسی حاضر می‌باشند. مطالعات متعددی برای بررسی ارتباط بین اشباعیت اکسیژن و مصرف غذای ماهی انجام شده است. در این راستا تلاش‌هایی صورت گرفته است که سطوح اکسیژن محلول که سبب می‌شود مصرف غذا و رشد تحت تأثیر قرار بگیرد، تعیین شود (Hogendoorn *et al.*, 1983; Cui and Wootton, 1988). در سطوح ثابت سایر فاکتورها، افزایش اکسیژن محلول تا برخی سطوح محدود کننده، مصرف غذا را افزایش می‌دهد (Cuenso *et al.*, 1985). شواهد موجود نشان می‌دهد که سطوح محدود کننده اکسیژن محلول برای مصرف غذا معمولاً بین ۷۰-۵۰٪ اشباعیت است و برای آزاد ماهیان بالاتر از این میزان قرار دارد (Jobling, 1995). این نتایج نیز تأیید کننده نتایج بررسی حاضر می‌باشد زیرا در شرایط اکسیژن کمتر از ۳۰٪ (تیمار هیپوکسی) که بر اساس محدوده تعیین شده در مطالعات فوق، در محدوده محدود کننده مصرف غذا قرار دارد، میزان تمایل ماهی به مصرف غذا کاهش و میزان هدر رفت غذا افزایش یافته و متعاقب آن رشد ماهی تحت تأثیر قرار گرفت. از سوی دیگر در آزمایش Buentello و همکاران (2000) روی گربه ماهی کانالی مشخص شد که نرخ رشد به شدت به میزان مصرف غذا وابسته است. در بررسی حاضر در هر دو گروه وزنی در تیمار هیپوکسی به صورت معنی‌داری میزان مصرف غذا کاهش یافت. علت این امر می‌تواند کاهش فعالیت و تحرک ماهی در شرایط هیپوکسی و متعاقب آن کاهش مصرف غذا در این شرایط باشد. مشابه این نتیجه، در مطالعات روی گونه‌های مختلف ماهی، محققین اعلام داشتند که میزان FI با کاهش اکسیژن محیطی کاهش می‌یابد که از جمله می‌توان به تیلاپیای نیل (Tsadik and Kutty, 1987)، بچه ماهی آزاد کوهو (*Oncorhynchus kisutch*)

مختلف اکسیژن بر تحرک ماهیان و مصرف انرژی یا سکون آن‌ها باشد که این امر بر محتوای چربی و رطوبت عضله اثر گذار می‌باشد. در این بررسی نیز در تحرک ماهیان تفاوت مشاهده شد به صورتیکه ماهیان تیمار هیپوکسی به جهت کاهش متابولیسم و کاهش نیاز به اکسیژن و استفاده از حداقل اکسیژن موجود در محیط، ساکن بوده یا نهایتاً تحرک اندکی داشتند، اما ماهیان تیمار هیپراکسی بسیار فعال بودند. با توجه به نتایج پرورش ماهیان در شرایط اکسیژنی مختلف، افزایش اکسیژن سبب کاهش میزان ضریب تبدیل غذایی و افزایش مصرف غذا و افزایش در میزان وزن نهایی و نرخ رشد ویژه شده و ماهیان از نظر وضعیت فیزیولوژیک در شرایط مطلوبی بودند. بنابراین زمانی که میزان اکسیژن نزدیک اشباع یا حتی اندکی فوق اشباع است نرخ رشد افزایش و میزان ضریب تبدیل غذا کاهش یافته و روی هم رفته درصد افزایش وزن و تولید ماهی افزایش می‌یابد. این نتایج بیانگر این مسأله است که اگرچه افزایش میزان اکسیژن محلول در آب و بهینه‌سازی شرایط اکسیژن همراه با افزایش هزینه اولیه خواهد بود، اما در پایان دوره پرورش، این هزینه با استحصال ماهیان با وزن بالاتر و کاهش در هزینه غذای مصرفی در کل دوره جبران گشته و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه خواهد بود و به عنوان نتیجه کلی اعلام می‌گردد که هیپراکسی ملایم، اثر مطلوب بر رشد فیل ماهیان داشته و به کارگیری سطوح بالای اکسیژن در شرایط پرورش این ماهیان توصیه می‌گردد.

#### منابع

اعدلیان، ن. ۱۳۸۸. اثر هیپوکسی بر ساختار آبشش ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان.  
برادران نویری، ش.، بهمنی، م.، حسینی، م.ر.، عبدالهی، ح.، حلاجیان، ع.، درویشی، ص.، فارابی، م. و. و چکمه دوز، ف.، ۱۳۸۸. تولید ماهی بستر (فیل ماهی ماده × استرلیاد نر) و مقایسه رشد آن‌ها با

رسید. بنابراین زمانی که میزان اکسیژن نزدیک اشباع یا حتی اندکی فوق اشباع است نرخ رشد افزایش و میزان ضریب تبدیل غذا کاهش یافته و روی هم رفته تولید ماهی افزایش می‌یابد (Mallya, 2007) اما هنگامی که میزان اکسیژن پایین‌تر از یک حد بحرانی باشد سبب کاهش ضریب تبدیل غذا در ماهیان می‌گردد (Jobling, 1994). پاسخ‌های فیزیولوژیک ماهیان به هیپوکسی به گونه، شدت و مدت زمان مواجه شدن بستگی دارد (Jensen et al., 1993) و مرگ و میر ممکن است نتیجه مواجهه با هیپوکسی باشد و تفاوت آن بین گونه‌ها و مراحل زندگی، متفاوت است (Dorfman and Westman, 1970; Burton et al., 1980; Coutant, 1985). در بررسی حاضر در هر دو گروه وزنی بالا و پایین بقای ماهیان ۱۰۰٪ بود. این امر می‌تواند به دلیل توانایی بالای ماهیان خاویاری و خصوصاً فیل ماهی در مقابله با شرایط محیطی نامساعد باشد. در مطالعات Thetmeyer و همکاران (1999) که در آن اثر هیپوکسی ملایم و شرایط نوسان اکسیژن روی رشد ماهی باس دریایی اروپایی بررسی شد و همچنین Buentello و همکاران (2000) که اثر سه رژیم دمای آب و سه اکسیژن محلول در هر دما را روی گربه ماهی کانالی بررسی کردند، تمام ماهیان زنده ماندند که این نتایج مشابه نتیجه بررسی حاضر می‌باشد. نتایج آنالیز بافت عضله در انتهای دوره پرورش در گروه وزنی پایین، در هیچ یک از پارامترها اختلاف معنی داری نشان نداد. اما در گروه وزنی بالا در میزان رطوبت و چربی تیمارها اختلاف معنی داری مشاهده شد و در گروه هیپراکسی به صورت معنی- مشابه با نتیجه به دست آمده از مطالعه Person-Le Ruyet و همکاران (2002) می‌باشد که اثر اکسیژن فوق اشباع (از ۲۲۳-۱۰۰٪ به مدت ۳۰ روز) را در Turbot جوان مطالعه کردند و اعلام داشتند که قرار دادن در معرض اکسیژن بالا سبب رسوب چربی بدن می‌شود. علت احتمالی تفاوت ترکیب تقریبی عضله ماهیان در تیمارهای اکسیژن می‌تواند اثر سطوح

- growth and tissue vitamin concentrations in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 233: 383–392.
- Diaz, R.J., Rosenberg, R. 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanogr. Mar. Biol.* 33: 245–303.
- Dorfman, D., Westman, J. 1970. Responses of some anadromous fishes to varied oxygen concentrations and increased temperatures. *Aquaculture Res.* 31: 401–407.
- Foss, A., Vollen, T., Øiestad, V. 2003. Growth and oxygen consumption in normal and O<sub>2</sub> supersaturated water and interactive effects of O<sub>2</sub> saturation and ammonia on growth in spotted wolffish (*Anarhichas minor* Olafsen). *Aquaculture* 224: 105–116.
- Hermann, R.B., Warren, C.E., Doudoroff, P. 1962. Influence of oxygen concentration on the growth of juvenile coho salmon. *T. Am. Fish Soc.* 91:155–167.
- Hogendoorn, H., Jensen, J.A.J., Koops, W.J., Machiels, M.A.M., van Ewijk, P.H., van Hees, J.P. 1983. Growth and production of the African catfish (*Clarias lazera*) effects of body weight, temperature and feeding level in intensive tank cult. *Aquaculture* 34: 65–285.
- Hosfeld, C.D., Engevik, A., Mollan, T., Lunde, T.M., Waagbø, R., Olsen, A.B., Breck, O., Stefansson, S., Fivelstad, S. 2008. Long-term separate and combined effects of environmental hypercapnia and hyperoxia in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts. *Aquaculture* 280: 146–153.
- Jobling, M. 1994. *Fish Bioenergetics*. Vol. XIV, Chapman and Hall, London, 309p.
- Jobling, M. 1995. *Environmental biology of fishes*. Chapman and Hall, London, pp 1–35.
- Lu, G., Mak, Y.T., Wai, S.M., Kwong, W.H., Fang, M., James, A., Randall, D., Yew, D. T. 2005. Hypoxia-induced differential apoptosis in the central nervous system of the sturgeon (*Acipenser shrenckii*). *Microbiol. Res. Tech.* 68: 258–263.
- Mallya, Y.J. 2007. The effects of dissolved oxygen on fish growth in aquaculture, UNU-Fisheries Training Programme. Final Project, pp 75–92.
- Maxime, V., Nonnotte, G., Peyraud, C., Williot, P., Truchot, J.P. 1995. Circulatory and respiratory effects of a hypoxic stress in the Siberian sturgeon. *Respir. Physiol.* 100: 203–212.
- Nonnotte, G., Maxime, V., Truchot, J. P., Williot, P., Peyraud, C. 1993. Respiratory رشدفیل ماهی شاهد در شرایط ایران. گزارش طرح تحقیقاتی، موسسه تحقیقات شیلات ایران، ۴۷ ص.
- عبدالله مشایی، م. ۱۳۷۹. فیزیولوژی ماهی در سیستم های پرورش متراکم. معاونت تکثیر و پرورش آبزیان، اداره کل آموزش و ترویج، ۳۰۲ ص.
- Andrews, J.Y., Matsuda, Y. 1975. Influence of various culture conditions on the oxygen consumption of channel catfish. *T. Am. Fish Soc.* 104: 322–327.
- Boyd, C.E. 1982. *Water quality management for pond fish culture*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 318p.
- Brett, J.R., Groves, T.D.D. 1979. Physiological energetic. In: Hoar, W.S., Randall, D.J., Brett, J.R. (eds) *Fish Physiology*, Vol. VIII: Academic Press, New York, pp 279–352.
- Buentello, J.A., Gatlin, D.M., Neill, W.H. 2000. Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 182: 339–352.
- Burgern, W.W., Randall, D.J. 1978. Oxygen uptake and transport during hypoxic exposure in the sturgeon *Acipenser transmontanus*, *Respir. Physiol.* 34: 171–183.
- Burton, D.T., Richardson, L.B., Moore, C.J. 1980. Effect of oxygen reduction rate and constant low dissolved oxygen concentrations on two estuarine fish. *T. Am. Fish Soc.* 109: 552–557.
- Caldwell, C.A., Hinshaw, J. 1994. Physiological and haematological responses in rainbow trout subjected to supplemental dissolved oxygen in fish culture. *Aquaculture* 126: 183–193.
- Coutant, C.C. 1985. Striped bass, temperature, and dissolved oxygen: a speculative hypothesis for environmental risk. *T. Am. Fish Soc.* 114: 31–61.
- Cuenco, M.L., Stickney, R.R., Grant, W.E. 1985. Fish bioenergetics and growth in aquaculture ponds: II. Effects of interactions among size, temperature, dissolved oxygen, unionized ammonia and food on growth of individual fish. *Ecol. Model.* 27: 191–206.
- Cui, Y., Wootton, R.J. 1988. Bioenergetics of growth of a cyprinid, *Phoxinus phoxinus* L: the effect of ration and temperature on growth rate and efficiency. *J. Fish Biol.* 33: 763–773.
- Dabrowski, K., Lee, K.J., Guz, L., Verlhac, V., Gabaudan, J. 2004. Effects of dietary ascorbic acid on oxygen stress (hypoxia or hyperoxia),

- Acipenser transmontanus*: Effect of Population Density and Hypoxia. *Aquaculture* 62: 45-52.
- Terova, G., Rimoldi, S., Cora, S., Bernardini, G., Gornati, R., Saroglia, M. 2008. Acute and chronic hypoxia affects HIF-1 $\alpha$  mRNA levels in Sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 279: 150-159.
- Thetmeyer, H., Waller, U., Black, K.D., Inselmann, S., Rosenthal, H. 1999. Growth of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) under hypoxic and oscillating oxygen conditions. *Aquaculture* 174: 355-367.
- Thomas, S.L., Piedrahita, R.H. 1997. Oxygen consumption rates of white sturgeon under commercial culture conditions. *Aquaculture Eng.* 16: 227-237.
- Thorarensen, H., Gustavsson, A., Mallya, Y. 2010. The effect of oxygen saturation on the growth and feed conversion of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture* 309: 96-102.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J. 2001. *Recirculating Aquaculture Systems*. NRAC Publication, Ithaca, 151-154
- Tom, L. 1998. *Nutritional and feeding of fish*. 2nd ed., Kluwer Academic Publishers, p284.
- Tran-Duy, A, Johan W. Schrama, Anne A. van Dam, Johan A.J. Verreth . 2008. Effects of oxygen concentration and body weight on maximum feed intake, growth and hematological parameters of Nile tilapia, (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 275:152-162.
- Wedemeyer, G.A. 1996. *Intensive Culture Systems*. Chapman and Hall, New York, p232.
- responses to progressive ambient hypoxia in the sturgeon, *Acipenser baeri*. *Respir. Physiol.* 91: 71-82.
- Person-Le Ruyet, J., Pichavant, K., Vacher, C., Le Bayon, N., Séverè, A., Boeuf, G. 2002. Effects of O<sub>2</sub> supersaturation on metabolism and growth in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Aquaculture* 205: 373-383.
- Pichavant, K., Person-Le-Ruyet, J., Le Bayon, N., Severe, A., Le Roux, A., Boeuf, G. 2001. Comparative effects of long-term hypoxia on growth, feeding and oxygen consumption in juvenile turbot and European sea bass. *J. Fish Biol.* 59: 875 – 883.
- Pichavant, K., Person-Le-Ruyet, J., Le Bayon, N., Severe, A., Le Roux, A., Quemener, L., Maxime, V., Nonnotte, G., Boeuf, G. 2000. Effects of hypoxia on growth and metabolism of juvenile turbot. *Aquaculture* 188: 103-114.
- Qinghui, A., Kangsen, M., Chunxiao, Z., Wei., Qingyuan, D., Beiping, T., Zhiguo, L. 2004. Effect of dietary vitamin C on growth and immune response of Japanese seabass, *lateolabrax japonicus*. *Aquaculture* 242: 489-500.
- Randall, D.J., McKenzie, D.J., Abrami, G., Bondiolotti, G.P., Natiello, F., Bolis, L., Agradi, E. 1992. Effect of diet on responses to hypoxia in sturgeon (*Acipenser naccarii*). *J. Exp. Biol.* 70: 113-125.
- Ricker, W.E. 1979. Growth rates and models. In: Hoar, W.S., Brett, P.I. (Eds). *Fish Physiology*, Academic press, pp: 667-743.
- Ruer, P., Cech J.R., Doroshov, J.J.S. 1987. *Routine Metabolism of the White Sturgeon*,