

## بررسی اثرات متیل جیوه بر خصوصیات بیوانرژتیک فیل ماهی

• احمد قرایی و • عباس اسماعیلی ساری  
دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، گروه شیلات

• رضا اکرمی  
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آزادشهر، گروه شیلات

• محمد رضا ناظری  
اداره کل شیلات استان گلستان  
تاریخ دریافت: فروردین ماه ۱۳۸۶ تاریخ پذیرش: دی ماه ۱۳۸۶  
Email: agharaei551@gmail.com

### چکیده

مطالعه حاضر در پاییز سال ۱۳۸۵ در کارگاه تکثیر ماهیان خاویاری شهید مرجانی گرگان با هدف بررسی اثرات جیوه آلی بر فاکتورهای بیوانرژتیک (بقاء، رشد، نرخ مصرف غذا، نرخ رشد ویژه و ضریب تبدیل خالص) فیل ماهی انجام پذیرفت. به این منظور بچه فیل ماهیان جوان با میانگین وزنی  $86 \pm 4$  گرم با چهار نوع جیره غذایی حاوی متیل جیوه در چهار گروه تیماری با چهار تکرار شامل: ۱- گروه شاهد با  $0/04$ ، ۲- گروه غلظت پایین با  $0/766$ ، ۳- گروه غلظت متوسط با  $0/8$ ، ۴- گروه غلظت بالا با  $16/22$  میلی گرم در کیلوگرم طی ۷۰ روز تحت تیمار قرار گرفتند. پس از ۴۲ روز کلیه بچه فیل ماهی های مربوط به گروه تیمار با غلظت بالای متیل جیوه تلف شدند. نتایج نشان داد که هیچ اختلاف معنی داری ( $P > 0/05$ ) در نرخ مصرف غذا بین گروه های تیماری طی ۷۰ روز وجود نداشت. هم چنین مقایسه نرخ رشد در طی ۳۵ روز اول بین بچه فیل ماهیان گروه تیمار با غلظت بالا و در طی ۳۵ روز دوم بین بچه فیل ماهیان گروه تیمار با غلظت متوسط با گروه شاهد کاهش معنی داری ( $P < 0/05$ ) را نشان داد. بررسی نرخ رشد ویژه نیز کاهش معنی داری ( $P < 0/05$ ) را بین گروه تیمار با غلظت بالا در طی ۳۵ روز اول و گروه تیمار با غلظت متوسط در طی ۳۵ روز دوم نسبت به گروه شاهد نشان داد.

کلمات کلیدی: متیل جیوه، میزان مصرف غذا، نرخ رشد ویژه، فیل ماهی، دریای خزر

Pajouhesh &amp; Sazandegi No 81 pp: 101 - 106

**Effects of methylmercury on beluga (*Huso huso*) bioenergetics**

By: Gharaei A., Esmaili-Sari A., Department of Fisheries, Faculty of Natural Resource and Marine Science, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran. Akrami R., Azad University of Azadshahr, Department of Fisheries. Nazeri M. R., Golestan Fisheries Organization, Gorgan, Golestan, Iran.

This study carried out in Shahid Marjani farm of Golstan province in autumn 2006. The aim of study was to investigate the effects of organic mercury on beluga (*Huso huso*) bioenergetics. In practice, four treatment groups of beluga juveniles were exposed to four dietary with MeHg: 1- Control group (0.04 mg/kg) 2- Low dose group (0.76 mg/kg) 3- Medium dose group (7.8 mg/kg) 4- High dose group (16.22 mg/kg) during 70 days. After 42 days, all individuals of high treatment died. There were not significant differences ( $p > 0.05$ ) in Food Consumption Rate (FCR) among the treatment groups. By 35 days the high dose treatment group and by 70 days the medium dose treatment group had significantly depressed growth rate when compared to the control group ( $p < 0.05$ ). The high dose group at 35 days and the medium dose group at 70 days had significantly ( $p < 0.05$ ) lower specific growth rate (SGR) compared all other treatment groups.

**Keywords:** Methylmercury, Food Consumption Rate (FCR), Specific Growth Rate (SGR), Beluga (*Huso huso*), Caspian Sea.

**مقدمه**

فلزات سنگین در طبیعت و اثرات آنها بر موجودات زنده در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه محققین قرار گرفته است. جیوه در حالت متیل جیوه (MeHg) از حیث سمیت به مراتب بیش از جیوه معدنی ( $Hg^0, Hg^{2+}$ )، مورد توجه است (۱۶). جیوه معدنی حلالیت کمی در آب دارد و به سرعت جذب ذرات می شود و یا کمپلکس تشکیل داده و در رسوبات ته نشین می شود (۲۴). جیوه معدنی در محیط های آبی در اثر متیله شدن توسط باکتری ها در سطح رسوبات تبدیل به متیل جیوه بسیار سمی می شود و به زنجیره غذایی این محیط منتقل می شود (۴). pH محیط، دما، پتانسیل احیا، قلیائیت و غلظت کربن آلی محلول (DOC)، اکسیژن، سولفات و کلسیم از عواملی هستند که در میزان متیلاسیون جیوه و قابلیت دسترسی به متیل جیوه توسط جانداران مؤثرند (۱۶، ۱۲). متیل جیوه به شدت متحرک، بسیار پایدار و می تواند به راحتی از غشاهای بدن موجودات زنده عبور نماید (۹). این تحرک زیاد جذب و نفوذ سریع متیل جیوه را از بافت های حساس بویژه غشای لپیدی نورون ها فراهم می کند (۲۵). متیل جیوه پس از عبور از غشای سلولی ترجیحا با مولکول های حاوی گروه SH- از قبیل پروتئین ها و آمینو اسیدها متصل شده و سپس می تواند در فاز آبی سلول جابجا شود (۲۷). Handy (۱۵) اثرات پاتولوژیکی شدید در لوله گوارش، غیر فعال شدن آنزیمهای روده و عدم جذب مواد مغذی را پس از تیمار با جیوه در موجودات مختلف گزارش کرد ولی با این وجود اطلاعات کمی در مورد اثرات این آلاینده در ماهی ها در مقایسه با پستانداران و چگونگی اثر آن بر زندگی ماهی ها وجود دارد (۲۵).

دریای خزر بزرگترین بدنه آبی قاره ای در جهان است که توسط کشورهای روسیه، قزاقستان، ترکمنستان، ایران و آذربایجان احاطه شده است (۸). گونه های تجاری ماهیان خاویاری شامل فیل ماهی (*Huso huso*)، تاسماهی روسی (*Acipenser gueldenstaedtii*) و ماهی ازون برون (*A. stellatus*)

که در منطقه شمالی دریای خزر و رودخانه ولگا زندگی می کنند و تاسماهی ایرانی (*A. persicus*) بومی منطقه جنوبی دریای خزر است (۱). میزان صید ماهیان خاویاری در دریای آزوف و خزر که ۹۰ درصد از ذخائر جهانی را در خود جای داده اند در طی سالهای ۱۹۸۵-۱۹۷۰ حدودا ۲۵۰۰۰-۲۴۰۰۰ تن در هر سال بوده است که در سال ۱۹۹۹ به کمتر از ۲۰۰۰ تن رسید. این کاهش صید نتیجه صید بی رویه و تخریب محیط زیست آن ها به دلیل احداث سدها در عرض رودخانه ها و آلودگی آب و رسوبات بواسطه آلاینده هایی است که باعث اختلال در مهاجرت و تولید مثل ماهیان خاویاری می شوند (۸). در این میان آلودگی شیمیایی به نظر می رسد یکی از فاکتورهای قابل توجه اثر گذار بر روی جمعیت ماهیان خاویاری در دریای خزر است. اخیرا تحلیل رفتن بافت ماهیچه و توسعه غیر طبیعی گنادهای ماهیان خاویاری در دریای خزر مورد توجه قرار گرفته است که به دلیل افزایش یافتن میزان آلودگی در این دریاست. بنابراین مطالعات بیشتر جهت آگاهی از اثرات سوء احتمالی مواد مضر بر روی ماهیان خاویاری به عنوان بخشی از برنامه های تجدید ذخائر جمعیت های آنها مورد نیاز است (۱). Houk و Cech (۱۷) اثرات تغذیه ای متیل جیوه را بر روی سیستم بیو انرژتیک بچه ماهیان (*Sacramento Orthodon microlepidous*) (Blackfish) مطالعه کردند. پس از تغذیه بچه ماهیان با چهار رژیم متیل جیوه با غلظت های ۰/۲۱ mg/g به عنوان گروه شاهد، ۰/۵۲ mg/kg به عنوان تیمار با غلظت کم، ۲۲/۲ mg/kg با غلظت متوسط، ۵۵/۵ mg/kg با غلظت بالا برای مدت ۷۰ روز دریافتند که هیچ اختلاف آماری ( $p > 0.05$ ) در مصرف غذا بین گروه ها وجود ندارد. در طی ۳۵ روز در گروه تیمار با غلظت بالای متیل جیوه نرخ رشد در مقایسه با گروه کنترل در سطح ( $p < 0.05$ ) کاهش داشت و در طی ۷۰ روز هر دو گروه تیمار با غلظت میانه و بالای متیل جیوه نرخ رشد کمتری نسبت به دیگر گروه ها داشتند. با مطالعه اثرات متیل جیوه خوراکی بر روی رشد، توسعه گنادی و میزان کورتیزول پلازما با غلظت های ۰/۱ gr Hg/gr food (به عنوان دوز

پلت‌های غذایی تهیه شده در کیسه‌های ۳۰۰ گرمی پلاستیکی با استفاده از دوخت پلاست بسته بندی و در فریزر ۲۰- سانتی گراد تا زمان مصرف نگهداری شدند. پس از تهیه غذا با غلظت‌های مفروض برای تست نهایی میزان جیوه موجود در غذاهای ساخته شده، نمونه برداری به طور تصادفی از پلت‌های غذایی مربوط به هر گروه تیمار انجام شد و با استفاده از دستگاه Mercury Analyzer LECO AMA۲۵۴ دستگاہ ۹۸-۱۰۵ درصد میزان جیوه با سه تکرار در گروه شاهد با ۰/۰۴، غلظت پایین با ۰/۷۶، غلظت متوسط با ۷/۸ و غلظت بالا با ۱۶/۲۲ میلی گرم در کیلوگرم قرائت شد. غذادهی بر اساس درصد وزن بدن، سه وعده در روز انجام گرفت و در روزهای صفر، ۳۵ و ۷۰ بچه ماهیان مورد وزن کشتی قرار گرفتند. برای بدست آوردن وزن خشک بافت گوشتی بچه ماهی ها و کل بدن بچه ماهی ها از دستگاه فریزدرایر ۱۲ لیتری Operon FDU ۸۶۰۶ استفاده گردید. فاکتورهای بقا، وضعیت، نرخ رشد ویژه (SGR)، ضریب تبدیل خالص (GCE)، نرخ مصرف غذا و رشد در طی زمان های ۳۵ و ۷۰ روز با استفاده از فرمول های زیر مورد بررسی قرار گرفتند (۱۰):

$$FCR = C/t \quad (\text{نرخ مصرف غذا})$$

که C: وزن غذای خشک خورده شده  
t: زمان ۳۵ روز است

$$K = \text{weight}/\text{length}^3 \quad (\text{فاکتور وضعیت})$$

$$SGR = 100 (\ln m_2 - \ln m_1) / (t) \quad (\text{نرخ رشد ویژه})$$

که  $m_1$  و  $m_2$ : وزن تر ماهی بر حسب گرم  
t: زمان دوره رشدی (۳۵-۷۰ و ۰-۳۵)

$$GCE = (W_2 - W_1) / (\sum Ci) \quad (100)$$

که  $W_1$  و  $W_2$ : وزن ماهی های خشک شده تحت انجماد  
و  $C_i$ : وزن خشک غذای مصرف شده در طول روزهای (۳۵-۷۰ و ۰-۳۵).  
پس از جمع آوری داده های خام، در ابتدا آزمون نرمالیتی به وسیله آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و ضریب Leven بررسی شد که نرمال بودن آنها به اثبات رسید. برای مقایسه کلی بین تیمارها از آزمون تجزیه واریانس یکطرفه (One Way ANOVA) در سطح ۹۵٪ اطمینان و برای مقایسه میانگین بین تیمارها از آزمون توکی در نرم افزار SPSS ویرایش دهم استفاده شد.

### نتایج

در طول ۷۰ روز دوره تیمار به جز در گروه تیمار با غلظت بالای جیوه، در گروه های دیگر مرگ و میر بسیار کم و غیر معنی دار بود. اما در گروه تیمار با غلظت بالای جیوه به تدریج از روز ۴۰ام مرگ و میر افزایش یافت و تا روز ۴۲ام همه ماهی های این گروه از بین رفتند. در طول دوره تیمار به جز در ماهیان گروه تیمار با غلظت بالا، تغییر رنگ ظاهری در بقیه گروهها مشاهده نشد. در گروه تیمار با غلظت بالا ماهیها کم رنگ تر از بقیه ماهی های دیگر گروه ها بودند و در هنگام مرگ و میر هیچ گونه علائم خارجی بیماری یا خفگی در آنها مشاهده نشد.

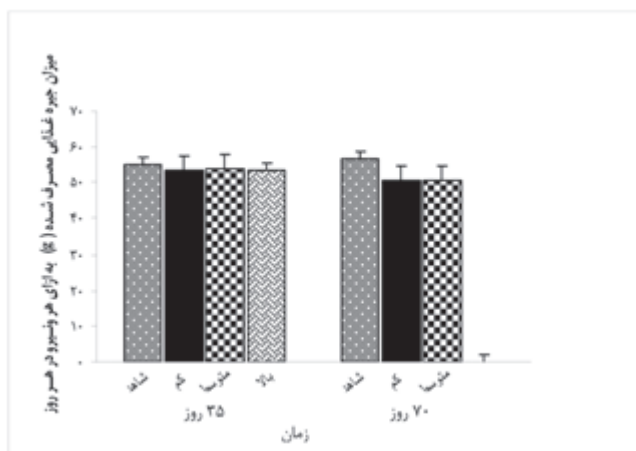
پایین) و  $1 \text{ gr Hg/gr food}$  (به عنوان دوز بالا) در ماهیان جوان سوف ماهی (*Stizostedion vitreum*) در طی مدت ۶ ماه مشخص شد که در ماهیان با وزن میانگین یکسان میزان کورتیزول پلاسما با افزایش متیل جیوه در بدن، افزایشی معنی دار داشته و هم چنین رشد و توسعه گنادی در نرها به طور معنی دار تحت تأثیر قرار گرفته است که این اثرات به صورت کاهش در طول، وزن و شاخص گنادو سوماتیک ظاهر شده است و در ماهیان نر آتروفی بیضه ها در گروه های تحت تیمار با متیل جیوه مشاهده شد. از طرفی نتایج این تحقیق افزایش میزان کورتیزول پلاسما در خون سوف ماهیان جوان تحت تیمار با متیل جیوه خوراکی را نشان داد که در مجموع با توجه به اثرات یاد شده بیان گردید که متیل جیوه ممکن است اثرات بالقوه در تولید مثل ماهیان استخوانی بواسطه اختلال در توسعه و تکوین بیضه ها در ماهیان نر جوان را داشته باشد (۱۴).

این مطالعه با توجه به پایش اخیر دریای خزر و گزارش آلودگی جیوه در فیل ماهی به میزان ۰/۸۱ میلیگرم در کیلوگرم وزن تر بافت ماهیچه آن (۱) جهت بررسی اثرات بیوانرژتیک از قبیل بقا، رشد، نرخ مصرف غذا (FCR)، نرخ رشد ویژه (SGR)، ضریب تبدیل خالص (GCE) و در دوره طولانی مدت (۷۰ روز) تیمار بچه فیل ماهیان جوان با متیل جیوه از طریق خوراکی و بر اساس مدل سازی آلودگی جیوه دریای خزر انجام پذیرفت.

### مواد و روشها

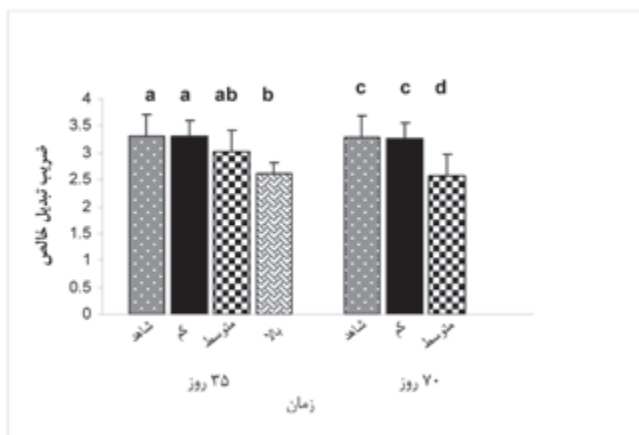
در ابتدا تعداد ۴۰۰ قطعه بچه فیل ماهی جوان با وزن تقریبی  $\pm 4$  گرم از استخر های خاکی به ونیرو های فایبر گلاس منتقل شدند. بچه ماهیان به طور کاملا تصادفی در ۱۶ عدد ونیرو (چهار گروه تیمار و چهار گروه تکرار) و به تعداد ۲۵ قطعه در هر ونیرو تقسیم شدند. برای بررسی و اطمینان از سلامت بچه ماهیان از لحاظ ظاهری و پاتولوژیکی و همچنین سازگاری بچه ماهی ها با محیط جدید به مدت یک ماه با غذای شاهد تغذیه شدند. سعی شد تا کلیه عوامل و شرایط محیطی گروه ها در طول دوره یکسان نگه داشته شود بطوری که جریان آبی معادل ۲ لیتر در دقیقه به ازای هر ونیرو با درجه حرارت  $2 \pm 25$  درجه سانتی گراد بر قرار شد. اکسیژن دهی مناسب با استفاده از سنگ هوا و پمپ هوا در تمامی ونیرو ها مهیا شد و در هر هفته سه بار میزان اکسیژن محلول اندازه گیری شد که معادل ۶-۷ ppm ثبت شد. در تمام طول مدت آزمایش میزان آمونیاک آب ناچیز و غیر قابل اندازه گیری و pH آب نیز بصورت هفته ای اندازه گیری و معادل ۷/۵-۸/۱ ثبت شد. مدت زمان تیمار با متیل جیوه ۷۰ روز و با چهار غلظت مختلف که با غذای بچه ماهیها مخلوط شده بود، صورت پذیرفت. چهار گروه تیمار شامل: گروه تیمار شاهد با صفر، گروه تیمار غلظت پایین با ۰/۸ (معادل با آلودگی جیوه در دریای خزر)، گروه تیمار غلظت متوسط با ۸ و گروه تیمار غلظت بالا با ۱۶ میلیگرم در کیلوگرم در نظر گرفته شد. سپس میزان متیل جیوه پودری خالص با توجه به وزن جیره غذایی و غلظت جیوه مورد نظر توزین و در الکل مطلق کاملاً حل شد. بعد از فراهم آوردن کلیه مواد اولیه جهت ساخت غذا، محلول متیل جیوه تهیه شده را به آبی که قرار بود با جیره غذایی مخلوط شود، اضافه گردید. پلت های تهیه شده در دمای ۳۵ سانتی گراد در دستگاه خشک کن غذا به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. برای جلوگیری از تبخیر شدن متیل جیوه،

گروه تیمار با غلظت متوسط نسبت به گروه شاهد کاهش معنی داری را نشان داد (نمودار ۳).



نمودار ۳: نرخ رشد ویژه (SGR) بچه فیل ماهی ها طی دوره زمانی ۳۵ روز اول و دوم در گروه های مختلف تحت (حروف انگلیسی مختلف سطح اختلاف معنی دار را نشان می دهند).

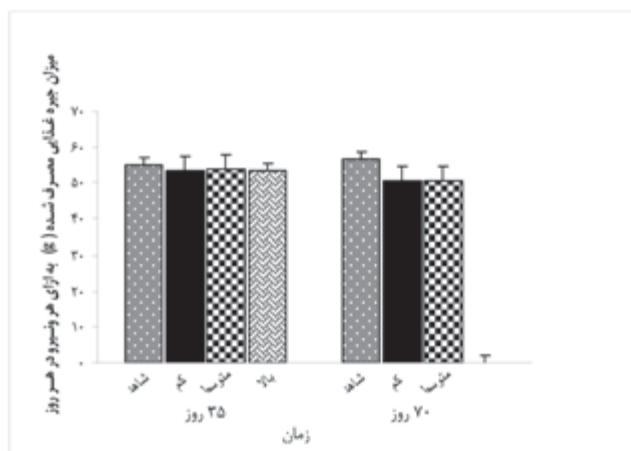
پس از مقایسه نسبت بین وزن تر و خشک کل بدن و بافت گوشتی بچه ماهی های تیمارهای مختلف در طی روزهای ۳۵ و ۷۰ هیچ گونه اختلاف معنی داری بین تیمارها مشاهده نشد. همچنین در مورد GCE کاهش معنی داری بین گروه شاهد و گروه تیمار با غلظت بالا در طی ۳۵ روز اول و گروه تیمار با غلظت متوسط در طی ۳۵ روز دوم مشاهده شد (نمودار ۴).



نمودار ۴: ضریب تبدیل خالص (CGE) در بچه فیل ماهی ها طی مدت ۳۵ و ۷۰ روز در گروه های مختلف تحت تیمار (حروف انگلیسی مختلف سطح اختلاف معنی دار را نشان می دهند).

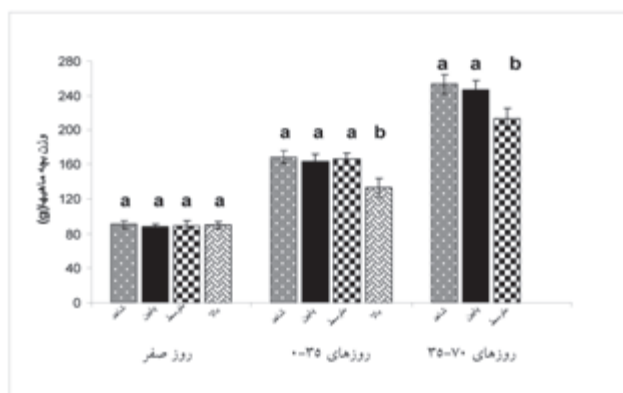
مقایسه فاکتور وضعیت (K) در بین گروه ها در طی ۳۵ و ۷۰ روز هیچگونه اختلاف معنی داری را نشان نداد.

میزان مصرف غذا در طی دو نیمه زمانی ۳۵ روز اول و ۳۵ روز دوم در تمامی گروه های تحت تیمار بجز گروه تیمار با دوز بالا هیچ گونه اختلاف معنی داری نداشت (نمودار ۱) بطوری که از روز ۳۸م اشتهای بچه ماهیان در گروه تیمار با غلظت بالا به شدت کاهش یافت.



نمودار ۱: میزان مصرف غذا در هر ونیرو به ازای هر روز در گروه های مختلف تحت تیمار در ۳۵ و ۷۰ روز

در طی ۳۵ روز اول اختلاف معنی داری در کاهش رشد بچه فیل ماهی ها در گروه تیمار با غلظت بالا نسبت به گروه کنترل مشاهده شد (نمودار ۲). در طی ۳۵ روز دوم به دلیل از بین رفتن بچه ماهیان گروه تیمار با غلظت بالا مقایسات بین دیگر گروه ها انجام شد و گروه تیمار با غلظت متوسط کاهش رشد معنی داری را در مقایسه با گروه کنترل نشان داد (نمودار ۲).



نمودار ۲: وزن بچه فیل ماهی ها طی دوره های زمانی صفر، ۳۵ و ۷۰ روز پس از تیمار در گروه های مختلف (حروف انگلیسی مختلف سطح اختلاف معنی دار را نشان می دهند).

به علاوه در گروه تیمار با غلظت بالا در طی ۳۵ روز اول کاهش معنی داری در SGR نسبت به گروه شاهد و در طی ۳۵ روز دوم نیز

و دیگر فلزات سنگین کمتر می شود که با افزایش طول دوره در معرض قرارگیری این اثرات بارزتر می گردد که نشان دهنده صدمات پاتولوژیکی دستگاه گوارش است. از آنجائی که زمان ماندگاری غذا در دستگاه گوارش فیل ماهی به دلیل داشتن درجه های مارپیچی در روده و زوائد پیلوریک در مقایسه با دیگر ماهیان مورد آزمایش (Sacramento blackfish Rainbow trout) بیشتر است، بنابراین متیل جیوه شانس بیشتری برای ممانعت کردن از انتقال مواد مغذی حیاتی و کنار گذاشتن دیگر عناصر فلزی ضروری در سایت های انتقالی پیدا می کنند. تفاوت معنی دار نرخ رشد بین گروههای تیمار با غلظت پایین و متوسط با غلظت بالا در ۳۵ روز اول احتمالاً به دلیل رشد سریع این گونه و اختصاصات دستگاه گوارشی آنست که باعث جذب سریع متیل جیوه زیاد در طی دوره کوتاه شده است.

نتایج این آزمایش نشان داد که در معرض قرارگیری متیل جیوه از طریق خوراکی می تواند بازدارنده یا کاهش دهنده رشد ماهیان با ایجاد تداخل در جذب مواد مغذی در دستگاه گوارش باشد از آنجا که یک اکوسیستم شبیه به دریای خزر شامل بخش زنده و غیر زنده اش است که در کنش متقابل با همدیگر به عنوان یک سیستم واحد در مسیر جریان انرژی و چرخه مواد هستند. اثرات منفی که ما در بیوانرژتیک فیل ماهی مشاهده کردیم ممکن است با توجه به طول عمر و تغذیه آنها از ماهی های دیگر و قرار گرفتن در حلقه های انتهایی زنجیره غذایی دریای خزر در آینده ای نه چندان دور شاهد اثرات منفی بیشتری هم باشیم. همچنین با توجه به بسته بودن دریای خزر و عدم خروج یا جایجایی آلاینده ها به خارج از آن نیز باعث می شود که اثرات ناشی از مواد آلاینده در این دریاچه سرعت بیشتری بگیرد. نتایج حاصل از این آزمایش می تواند به کمی کردن اثرات ناشی از متیل جیوه بر روی فیل ماهی بومی دریای خزر کمک نماید و بر آگاهی ما در مورد اینکه چطور متیل جیوه بر عملکرد ماهی و تولیدات شیلاتی اثر می گذارد بیافزاید.

### تشکر و قدردانی

از آقایان مهندس قاسمپوری، مهندس امین زاده، مهندس کریم آبادی، مهندس بور، خانم مهندس کرمی و کلیه پرسنل و کارمندان دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی نور به جهت همکاری در اجرای پروژه صمیمانه تشکر می گردد.

### منابع مورد استفاده

- 1- Agusa, T., Kunita, T., Tanabe, S., Pourkazemi, M., Aubrey, D., 2004. Concentration of trace elements in muscle of sturgeons in the Caspian Sea. Mar. Pollut. Bullet. 49:789-80.
- 2- Armstrong, F.A.J., 1979. Effects of mercury compounds on fish. In: Nriagu J.O. (Ed.), The Biogeochemistry of Mercury in the Environment. Elsevier, North Holland, Amsterdam, 123 pp.
- 3- Bache, C., Gutenmann, W., Lisk, D., 1971. Residues of total mercury and methylmercury salts in lake trout as a function of age. Sci. 172:951-952.
- 4- Beijer, K., Jernelöv, A., 1979. Methylation of mercury in

### بحث

در کل دوره آزمایش (۷۰ روز) هیچ گونه مرگ و میر معنی داری در گروه های تحت تیمار در ۳۵ روز اول رخ نداد. ولی تمامی بچه ماهی های گروه تیمار با غلظت بالا در روز ۴۲ از بین رفتند و تغییر رنگ نقره ای روشن در آنها کاملاً مشهود بود. عدم تمایل به گرفتن غذا و همچنین بی حالی و کم تحرکی نیز از عوامل قابل ذکر در این گروه بود. در حالی که در دیگر مطالعات، برخی از محققین تیرگی رنگ پوست را بعد از تیمار با متیل جیوه در قزل آلا ذکر کرده اند (۲۶،۲۰) و برخی به نقره ای شدن پوست ماهی اشاره کرده اند (۱۷). البته گونه ها، غلظت ها و حتی دوره زمانی تیمار در آزمایشات آنها در مقایسه با این آزمایش متفاوت بودند.

بجز در طی ۳۵ روز دوم و در مورد گروه تحت تیمار با غلظت بالا، در بقیه گروه ها و در ۳۵ روز اول و دوم هیچ گونه اختلاف معنی داری در FCR، رفتار تغذیه ای و فیزیولوژیکی در ارتباط با غلظت متیل جیوه در رژیم غذایی آنها دیده نشد. یافته های ما به جز در مورد گروه تیمار با غلظت بالا در ۳۵ روز دوم با تحقیقات Rodgers و Beamish (۲۲) متفاوت است بطوری که آنها با تیمار قزل آلا با متیل جیوه، کاهش اشتها به غذا بطور نسبی در ارتباط با غلظت متیل جیوه را گزارش کردند. ولی نتایج ما با نتایج Houck و Cech (۱۷) در تیمار Sacramento blackfish با متیل جیوه مشابه است. نسبت وزن تر و خشک کل بدن و بافت گوشتی بچه ماهی ها در طی ۳۵ و ۷۰ روز در بین تمامی گروه های تحت تیمار هیچ گونه اختلاف معنی داری را نشان نداد. این نشان می دهد که اختلاف های مشاهده شده در رشد به دلیل افزایش وزن آب بدن نبوده است. هر چند که اختلاف در مصرف غذا بین گروه ها غیر قابل تشخیص بود ولی اختلاف واضحی در کاهش رشد و SGR همراه با افزایش متیل جیوه در رژیم غذایی نمایان بود. در ۳۵ روز اول اختلاف معنی داری در رشد و SGR بچه ماهی ها تحت تیمار با غلظت بالا نسبت به گروه شاهد مشاهده شد، در حالی که در ۷۰ روز علاوه بر اینکه تمامی بچه ماهیها در گروه تیمار با غلظت بالا از بین رفتند، SGR و رشد بچه ماهی ها در گروه تیمار با غلظت متوسط در مقایسه با گروه شاهد اختلاف معنی دار داشت. دلایل توجیهی این اختلاف می تواند این باشد که چون ماهیان جوان انرژی خود را برای رشد و ثبات فیزیولوژیکی اختصاص می دهند. در مواردی که انرژی بیشتری صرف یکی از این موارد شود مانند صدمات شیمیایی که بر اثر در معرض قرارگیری با جیوه ایجاد می شود، این ماهیان باید انرژی خود را بیشتر صرف هموستازی نماید تا رشد (۷). از طرفی منبع انرژی برای جذب فعال قند ها و اسید های آمینه به داخل سلول های جاذب (هدف) توسط شیب  $Na^+/K^+$  ATPase می شود که این شیب توسط Basolateral قرار دارند، پایدار نگه داشته می شود. متیل جیوه با باند شدن با مجرای کانال های یونی وابسته به ولتاژ در غشاهای سلولی بر روی شیب  $Na^+$  که برای انتقال تسهیل شده لازم است اثر می گذارد (۲۳). هم چنین متیل جیوه بازدارنده فعالیت انتقال دهنده های وابسته به  $Na^+$  گلوکز و آمینو اسیدهای لوسین، ایزولوسین و متیونین است (۱۳).

در مطالعات متعددی ثابت شده است که متیل جیوه باعث افزایش آپاتوزیز سلولی، کاهش پروتئین کل، پروتئین های ساختاری و محلول در روده می شود و میزان رشد ماهیان در معرض سطوح تحت کشنده جیوه، مس



Edition lewis, Boca raton, FL. Pp.425-463.

- 17- Houck, A., Cech, J.J. 2004. Effects of dietary methylmercury on juvenile Sacramento blackfish bioenergetics. *Aqu. Toxicol.* 69:107-123.
- 18- Jarvenpää, T., Tillander, M., Miettinen, J., 1970. Methylmercury: half-time of elimination in flounder, pike and eel. *Suom. Kemistil. B* 43:439-442.
- 19- Karpinsky, M.G., 1992. Aspects of the Caspian Sea benthic ecosystem. *Mar. Pollut. Bull.* 14:389-394.
- 20- Matida, Y.H., Kumara, S., Saiga, Y., Nose, T., Yokote, M., Kawatsu, H., 1971. Toxicity of mercury compounds to aquatic organisms and accumulation of the compounds by the organisms. *Bull. Freshwater Fish. Lab. (Tokyo)* 21:197-227.
- 21- Peterle, T., 1991. *Wildlife Toxicology*. Van Nostrand Reinhold, New York, 211 pp.
- 22- Rodgers, D.W., Beamish, F.W.H., 1982. Dynamics of dietary methylmercury in rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Aquat. Toxicol.* 2, 271-290. Ruohotula, M., Miettinen, J.K. 1975. Retention and excretion of 203Hg-Labelled methylmercury in rainbow trout. *Oikos.* 26:385-390.
- 23- Sirois, J., Atchison, W., 1996. Effects of mercurials on ligand- and voltage-gated ion channels: A rev. *Neurotoxicol.* 17 (1):63-84.
- 24- Watras C.J., Huckabee, J.H., 1994. *Mercury Pollution: Integration and Synthesis*. Lewis Publications, Boca Raton, 231 pp.
- 25- Wiener, J.G., Spry, D.J., 1996. Toxicological significance of mercury in freshwater fish. In: Redmon-Norwood A.W. (Ed.), *Environmental Contaminants in Wildlife, Interpreting Tissue Concentrations*, CRC/Lewis Publishers, Boca Raton, Pp. 297-339.
- 26- Wobeser, G., 1975. Acute toxicity of methyl mercury chloride to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fry and fingerlings. *J. Fish. Res. Board Can.* 32:2005-2013.
- 27- World Health Organization (WHO), 1989. *Mercury-Environmental aspects*. WHO, Geneva, Switzerland.

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■

aquatic environment. In: Nriagu J.O. (Ed.), *The Biogeochemistry of Mercury in the Environment*. Elsevier, North Holland, Amsterdam, 146 pp.

- 5- Bloom, N.S., 1992. On the chemical form of mercury in edible fish and marine invertebrate tissue. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49:1010-1017.
- 6- Benes, P., Havlik, B., 1979. Speciation of mercury in natural waters. In: Nriagu, J.O. (Ed.), *The Biogeochemistry of mercury in the environment*. Elsevier, North Holland, Amsterdam, 94 pp.
- 7- Beyers, D., Rice, J., Clements, W., Henry, C., 1999. Estimating physiological cost of chemical exposure: Integrating energetic and stress to quantify toxic effects in fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56:814-822.
- 8- Billard, R., Leconte, G., 2001. Biology and conservation of sturgeon and paddle fish. *Rev. in fish Biol. and Fish.* 10:355-392.
- 9- Boudou, A., Delnomdedieu, M., Georgescauld, D., Ribeyre, F., Saouter, E., 1991. Fundamental roles of biological barriers in mercury accumulation and transfer in freshwater ecosystems. *Wat. Air Soil Pollut.* 56:807-821.
- 10- Busaker, G., Adelman, I., Goolish, E., 1990. Growth. In: Schreck, C.B., Moyle, P.B. (Eds.), *Methods for Fish Biology*. American Fisheries Society, Bethesda, MD, Pp. 363-387.
- 11- Carty, A.J., Malone, S.F., 1979. The chemistry of mercury in biological systems. In: Nriagu, J.O. (Ed.), *The Biogeochemistry of Mercury in the Environment*, Elsevier-North Holland, Amsterdam, Pp. 433-479.
- 12- Choi, M.H., Cech Jr., J.J., Lagunas-Solar, M.C., 1998. Bioavailability of methylmercury to Sacramento blackfish (*Orthodon microlepidotus*): Dissolved organic carbon (DOC) effects. *Environ. Toxicol. Chem.* 17:695-701.
- 13- Farmanfarmanian, A., Pugliese, K., Klimekk, V., Sun, L.Z., Socci, R., Iannaccone, V., 2000. Toxic heavy metal effects on the membrane transport of nutrients across fish intestinal epithelium, *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A. Mol. Integr. Physiol.* 126A:547.
- 14- Friedmann, A. S., Watzin, M. C., Brinck, J. T., Leiter, J. C., 1996. Low levels of dietary methylmercury inhibit growth and gonadal development in juvenile walleye (*Stizostedion vitreum*). *Aqu. Toxicol.* 35: 265-278.
- 15- Handy, R. D., Penrice, W. S., 1993. The influence of high oral doses of mercuric chloride on organ toxicant concentration and histopathology in Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Comp. Biochem. Physiol.* 106C:717-724.
- 16- Heath, A.C., 1995. *Water pollution and fish physiology*, 2nd