



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی"

دوره ششم، شماره دوم، تابستان ۹۷

<http://jair.gonbad.ac.ir>

بررسی اثر غلظت تحت‌کشنده کادمیوم بر میزان بیان ژن سیتوکروم P₄₅₀ (CYP1A) در بافت‌های کبد و آبشش بچه‌ماهی کپور معمولی *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758

صدیقه نمرودی^۱، سهراب بوذرپور^{۲*}، محمد هرسیج^۳، حامد پاک‌نژاد^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زیست دریا، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

^۲استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

^۳استادیار گروه شیلات، دانشکده شیلات، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

^۴استادیار گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی

و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ ارسال: ۹۶/۵/۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۳

چکیده

آلودگی‌های دریایی یکی از معضلات عمده سلامت ماهیان و انسان می‌باشد. یکی از این عناصر آلوده کننده کادمیوم است که نقش بسزایی در ایجاد آلودگی‌های دریایی دارد. لذا در این مطالعه به بررسی اثر سمیت تحت‌کشنده یون کادمیوم بر میزان بیان ژن سیتوکروم P₄₅₀ (ژن حساس به آلودگی) در بافت‌های کبد و آبشش بچه ماهی کپور معمولی (*C. carpio*) در شرایط آزمایشگاه پرداخته شد. پس از فرارگیری بچه‌ماهی کپور معمولی در مجاورت کادمیوم با غلظت (۵۰/۱LC_{۵۰}) نمونه‌گیری در روزهای ۱ و ۷ و ۱۴ از کبد و آبشش انجام شد و میزان بیان ژن P₄₅₀ در این بافت‌ها با روش Real-time-PCR مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد کادمیوم به‌طور معنی‌داری بیان ژن P₄₅₀ در بافت کبد را افزایش داد و بیان ژن P₄₅₀ در آبشش در روز اول و چهاردهم در مواجهه با کادمیوم به‌طور معنی‌داری افزایش داشت. میزان نسبی بیان این ژن در کبد در مواجهه با کادمیوم در مقایسه با آبشش در روز چهاردهم به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. کادمیوم بیان ژن P₄₅₀ را در این بافت‌ها افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: *C. carpio*، نشانگر زیستی، آلودگی‌های دریایی، کلرید کادمیوم

*نویسنده مسئول: so.boozarpour@gmail.com

مقدمه

آبزیان به دلیل جایگاه خاص در رژیم غذایی انسان، از اهمیت بالایی برخوردارند و به همین جهت، حفظ و کنترل کمی و کیفی آن‌ها برای انسان نقش حیاتی دارد. در عصر حاضر با گسترش مراکز صنعتی و شهری در سواحل دریا، تردد کشتی‌ها، حفاری‌ها و تاسیسات استخراج نفت و گاز از حاشیه و بستر دریاها، تولیدات نفتی، سموم کشاورزی و بازگشت پساب‌ها به دریاها از طریق رودخانه‌ها عوامل اصلی آلاینده محیط آبزیان به‌شمار می‌آیند. در ترکیب شیمیایی این پساب‌ها، فلزات سنگین، شاخص‌ترین و خطرناک‌ترین اجزایی هستند که با افزایش غلظت آن‌ها در آب دریا مشکلات غیر قابل جبرانی به محیط زیست آبزیان وارد می‌کنند.

در قانون آب سالم که توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده مطرح شده است، ۱۲۶ اولویت آلاینده آب در ۱۰ گروه دسته‌بندی شده‌اند. از آلاینده‌های گروه فلزات سنگین که سمیت بیشتری دارند می‌توان به کادمیوم، کروم، جیوه، سرب، نیکل، قلع اشاره نمود. برخی از این فلزات از آلاینده‌های مهم آب دریا می‌باشند (Imami Rad *et al.*, 2011). منشاء ورود کادمیوم به اکوسیستم‌های آبی، جاری شدن پساب صنعتی کارخانه‌ها و پساب کشاورزی حاوی کودهای شیمیایی فسفره با میزان کادمیوم بالا در حوضه آبریز رودخانه‌ها می‌باشد. بیشتر کادمیوم ورودی به آب به سرعت جذب مواد معلق در آب می‌شوند و پس از انتشار در اکوسیستم، طعمه آبزیان می‌شود. کادمیوم با ورود به بدن موجودات زنده و تجمع در بافت‌های مختلف باعث بیماری‌های مهلکی می‌گردد (Dinarwand and Zargari, 2012). در خلیج گرگان، غلظت کادمیوم در نمونه‌های آب، ۶۱-۹۷ میکرو گرم برلیتر برآورد شده است (Saghali *et al.*, 2013). باتوجه به قانون ۱۰۵۳ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران حداکثر مقدار مجاز کادمیوم در آب ۰/۰۰۳ میلی‌گرم برلیتر می‌باشد، کادمیوم موجود در آب دریای خزر ۲۰ تا ۳۰ برابر اندازه مجاز است.

ارزیابی میزان سمیت فلزات سنگین در آبزیان می‌تواند در آزمایشگاه و در محیط طبیعی انجام شود. سنجش‌های فیزیکی و شیمیایی فقط اطلاعات محدودی درباره حالت فلز و سطح آلودگی اکوسیستم به ما می‌دهد، در صورتی که مطالعات پایش زیستی اطلاعات بیشتری را در مورد سطح تجمع زیستی و اثرات سمی به‌وجود آمده ناشی از مواد مختلف ارائه می‌کند. برای بررسی وضعیت فیزیولوژیکی جانداران آبی و اثرات ثانویه آلاینده‌ها و نیز به‌منظور ارزیابی سلامتی آن‌ها از نشانگرهای زیستی استفاده می‌شود (Hedayati *et al.*, 2012). نشانگرهای زیستی پارامترهای شناسایی یک اثر در یک ارگانیسم می‌باشند که می‌تواند بیانگر تغییرات فیزیولوژیک، بیوشیمی و بافت‌شناسی حاصل از مواد شیمیایی و آلاینده‌های محیط زیست که در سطح سلولی، جمعیتی و حتی اکوسیستمی ایجاد شده در موجودات باشد.

به عبارتی هر گونه تغییر بیوشیمیایی، ژنتیکی، ایمنی و... که بتواند در یک نمونه بیولوژیک سنجیده شود را می‌توان به‌عنوان نشانگر زیستی معرفی نمود (Fasl-Bahar, 2013).

موجودات زنده در شرایط نامساعد محیطی مکانیسم‌های متعدد سلولی را برای سازش به‌کار می‌گیرند (Sarmadian, 2014). برخی مولکول‌ها قسمتی از مکانیسم دفاعی، ترمیمی و یا سم‌زدایی سلول می‌باشند که از آن جمله می‌توان به متالوتیونین‌ها (Chan, 1995)، پروتئین‌های شوک حرارتی HSP₇₀ (Duffy *et al.*, 1999)، گلوتاتیون S-ترانسفراز (Ahmad *et al.*, 2004)، سوپراکسید دیسموتاز SOD (Pandey *et al.*, 2003)، کاتالاز (Lam, 2009) و آنزیم‌های سیتوکروم P₄₅₀ (Itakura *et al.*, 2005) اشاره کرد. آنزیم‌های سیتوکروم P₄₅₀ بزرگترین خانواده با بیش از ۲۷۰ عضو هستند، که آن‌ها را به‌صورت مخفف CYP₄₅₀ یا CYP نمایش می‌دهند. هر خانواده دارای زیر مجموعه و ایزوفرم‌های متعددی می‌باشد که دارای عملکردهای متنوع می‌باشند (El-garj and Wajidi, 2012). ایزوفرم CYP1A نسبت به سایر ایزوفرم‌های CYP واکنش بیشتری نسبت به آلاینده‌ها دارند (Kroon *et al.*, 2017).

از آنجا که آنزیم‌های سیتوکروم P₄₅₀ نقش مهمی در خنثی‌سازی و دفع مواد سمی در جانداران خصوصاً مهره‌داران ایفا می‌کنند، لذا بیان این ژن در بافت کبد از سایر بافت‌ها بیشتر می‌باشد. با این حال بیان آن در بافت‌های مختلفی از جمله آبشش، کلیه و روده مشاهده شده است (El-garj and Wajidi, 2012). این آنزیم‌ها با ورود آلاینده‌ها به بدن، القاء شده و بدین ترتیب موجب افزایش حلالیت آلاینده‌ها در آب و در نتیجه دفع آن‌ها از بدن می‌شوند (Chraghy *et al.*, 2012) با توجه به اهمیت سمیت کادمیوم در جانوران آبی، در این مطالعه از بیان ژن P₄₅₀ به‌عنوان نشانگر زیستی جهت بررسی اثر کادمیوم در بافت‌های کبد و آبشش بچه ماهی کیپور معمولی استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

تهیه ماهی و تیمارها: از مرکز تحقیقات تکثیر و پرورش ماهی کردکوی تعداد ۱۰۰ قطعه بچه‌ماهی کیپور (*C. carpio*) (۸ تا ۱۰ گرمی) تهیه و جهت سازگاری با محیط آزمایشگاه، به‌مدت دو هفته در آزمایشگاه نگهداری شد. از آنجایی که میزان غلظت LC₅₀ کادمیوم برای بچه کیپور ماهیان $4/64 \text{ mg/l}^{-10}$ گزارش شده است (Mekkawy *et al.*, 2012)، برای تهیه محلول با غلظت (LC₅₀ /۱) به ازای هر لیتر آب ۹۰۰۰ میکروگرم از کلرید کادمیوم [Cd Cl₂(2.5)H₂O] محصول شرکت مرک آلمان، استفاده شد. ۵۰ قطعه بچه‌ماهی در تانک حاوی محلول کادمیوم با غلظت (LC₅₀ /۱) رها سازی شد و ۵۰ قطعه دیگر در تانک شاهد رها سازی شد. ماهیان به‌مدت چهارده روز در معرض کادمیوم قرار گرفتند.

نمونه‌گیری: نمونه‌گیری با سه تکرار در سه تیمار (روزهای ۷، ۱ و ۱۴) انجام شد، ماهی‌ها پس از صید با استفاده از گل میخک بیهوش و کشته شدند و به‌منظور بررسی سطوح بیان ژن P₄₅₀ بافت کبد و آبشش آن‌ها به‌سرعت جدا شده، در ازت مایع و سپس در فریزر -۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. **استخراج RNA:** پس از اتمام کار نمونه‌گیری، استخراج RNA از ۵۰ میلی‌گرم نمونه بافت کبد، آبشش با استفاده از کیت استخراج RNA، Tripure (Roche آلمان) و طبق دستورالعمل شرکت انجام شد. کیفیت RNA با استفاده از ژل آگارز ۱٪ و مشاهده باندهای ۱۸s و ۲۸s مربوط به RNA ریبوزومی و همچنین با استفاده از بررسی نسبت جذب در طول موج ۲۶۰ nm به ۲۸۰ nm توسط دستگاه اسپکترو فوتومتر به‌دست آمد. علاوه براین، غلظت نمونه‌های RNA با سنجش میزان جذب آن در طول موج ۲۶۰ nm تعیین گردید.

ساخت cDNA: برای ساخت رشته اول cDNA براساس روش پیشنهادی شرکت Genet bio از RNA تیمار شده با DNaseI و آغازگر الیگو dT (۲۰-۱۸ الیگو نوکلئوتید) تیمار شده با آب DEPC استفاده شد. پرایمرهای اختصاصی برای تکثیر ژن P₄₅₀ و β -actin (به‌عنوان ژن مرجع) در کپور معمولی توسط نرم‌افزار Gene Runner طراحی شد (جدول ۱) و اختصاصی بودن آن‌ها با استفاده از برنامه Primer-BLAST تأیید گردید.

جدول ۱- مشخصات پرایمرهای مورد استفاده در بررسی اثر غلظت تحت کشنده کادمیوم بر میزان بیان ژن سیتوکروم P₄₅₀ (CYP1A) در بافت‌های کبد و آبشش بچه‌ماهی کپور معمولی (*C. carpio*).

نام ژن تکثیر شونده	شماره دسترسی در NCBI	توالی (۳'-۵')	طول قطعه (bp)
P450	AB048939.1	F 5'-GCT GAG AGA AAA GAT CGG AAT GGA-3' R 5'-AGA CGT ACA GTG AGG AAT GGT GA-3'	۱۳۶
B-actin	M24113.1	F 5'-TCT TGG GTA TGG AGT CTT GCG-3' R 5'-GTC AGC AAT GCC AGG GTA CA-3'	۱۳۷

واکنش Real-time-PCR: سپس واکنش کمی (qPCR) با رنگ فلورسنت Sybergreen برای بررسی بیان ژن P₄₅₀ در تیمارهای روزهای ۱، ۷، ۱۴ در بافت‌های کبد و آبشش با پرایمرهای اختصاصی ژن‌های P₄₅₀ و β -actin در ۲ تکرار تکنیکی انجام گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: داده‌های به‌دست آمده جهت تعیین بیان نسبی ژن P₄₅₀ نسبت به ژن β actin با روش $2^{-\Delta\Delta Ct}$ با استفاده از فرمول‌های ۲ تا ۴ محاسبه گردید.

$$\Delta Ct = Ct \text{ کنترل ژن} - Ct \text{ ژن هدف} \quad (\text{فرمول ۲})$$

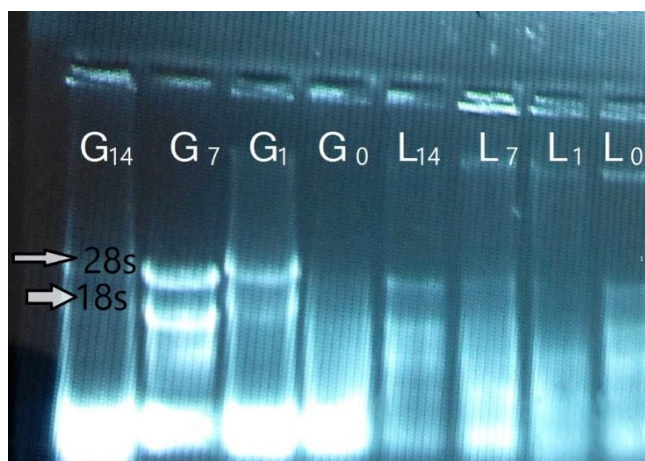
$$\Delta\Delta Ct = \Delta Ct - \Delta Ct \text{ تیمار بدون تیمار} \quad (\text{فرمول ۳})$$

$$\text{Ratio} = 2^{-\Delta\Delta Ct} \quad (\text{فرمول ۴})$$

آنالیز نسبت بیانی در بافت‌های کبد و آبشش در مقایسه با شاهد توسط آزمون T در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از نرم افزار SPSS-15 و همین‌طور به کمک برنامه REST انجام شد. میزان بیان ژن P₄₅₀ در تیمارهای مختلف بافت‌های کبد و آبشش با استفاده از نرم‌افزار Excell-2013 رسم گردید.

نتایج

پس از استخراج کل RNA از بافت‌های کبد و آبشش ماهی‌های کیپور معمولی تیمار شده با (LC ۱/۵۰) کلرید کادمیوم، کیفیت آن با استفاده از الکتروفورز روی ژل آگاروز ۱٪ بررسی و باندهای ۱۸s و ۲۸s مربوط به RNA ریبوزومی مشاهده گردید (شکل ۱)

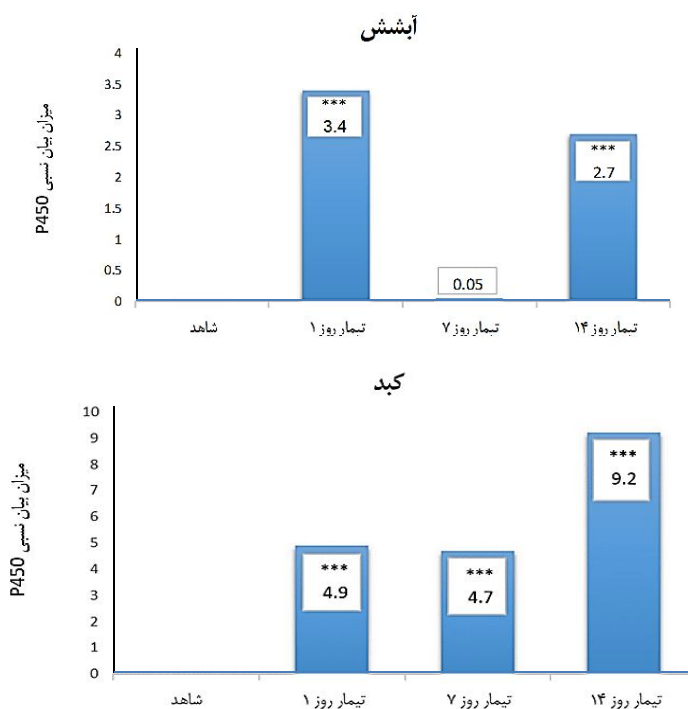


شکل ۱- بررسی کیفیت RNA استخراج شده با الکتروفورز ژل آگاروز ۰/۱. نمونه‌های کبد بچه‌ماهی کیپور معمولی (*C. carpio*)، L₀ (شاهد)، L₁ (روز اول)، L₇ (روز هفتم)، L₁₄ (روز چهاردهم) و نمونه‌های آبشش، G₀ (شاهد)، G₁ (روز اول)، G₇ (روز هفتم)، G₁₄ (روز چهاردهم).

همچنین کیفیت RNA استخراج شده با بررسی نسبت جذب در طول موج ۲۶۰ به ۲۸۰ (OD ۲۶۰/۲۸۰) نشان داد که نمونه‌ها از لحاظ عدم آلودگی پروتئینی در وضعیت مناسبی می‌باشند. میزان جذب RNA در طول موج ۲۶۰ نانومتر به‌طور میانگین حدود ۱/۲۷۰ می‌باشد که بیانگر این است که غلظت RNA در نمونه‌ها حدود ۵۰/۸ ng/μl باشد.

پس از سنتز cDNA به منظور بررسی اختصاصی بودن پرایمرها منحنی ذوب آنها رسم گردید و نتایج بیانگر اختصاصی بودن پرایمرهای مورد استفاده بود به طوری که تنها در منحنی ذوب یک پیک مشاهده گردید. همچنین منحنی استاندارد به منظور کارایی Real-time PCR برای هر یک از ژن‌ها رسم گردید.

آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار Rest و نرم‌افزار SPSS در تمام موارد نتایج مشابهی داشت. نتایج نشان داد که در بافت کبد بیان نسبی ژن P450 پس از مواجهه یک روزه با کادمیوم در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$). این افزایش بیان در روزهای هفتم و چهاردهم نیز مشاهده گردید ($p < 0.05$). در بافت آبشش بیان نسبی ژن P450 در روز اول مواجهه با کادمیوم در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$) ولی در روز هفتم مقدار بیان نسبی نسبت به روز اول کاهش یافت ($p < 0.05$). با این حال با شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p > 0.05$). از سوی دیگر، بیان نسبی P450 در بافت آبشش در روز چهاردهم به طور معنی‌داری افزایش نشان داد ($p < 0.05$) که این افزایش بیان، مشابه روز اول تیمار با کادمیوم در بافت آبشش بود (شکل ۲).



شکل ۲- منحنی افزایش بیان ژن P450 در بافت کبد و آبشش بچه‌ماهی کپور معمولی (*C. carpio*) پس از ۱، ۷، ۱۴ روز مواجهه با کادمیوم.

بحث و نتیجه گیری

توسعه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی راه ورود آلاینده‌های زیادی را به دریاها هموار کرده است که نتیجه آن آلوده شدن آبریان و متعاقب آن انسان می‌باشد. از مهمترین آلاینده‌های وارد شده به آب دریاها، فلزات سنگین بویژه کادمیوم است. برخی از مواد موجود در اندام‌های موجودات زنده طی فرآیندهایی باعث کاتالیز آلاینده‌ها و محلول ساختن مواد بالقوه خطرناک و زائد در آب و در نتیجه دفع آن‌ها می‌شوند یکی از این مواد سیتوکروم P₄₅₀ می‌باشد. این آنزیم مسئول متابولیسم اکسیداتیو ترکیباتی چون پروستاگلاندین‌ها، اسیدهای چرب، متابولیت‌های گیاهی، استروئیدها و همچنین مواد شیمیایی سرطان‌زا و آلاینده‌های زیست‌محیطی است (Norman and Henry, 2014).

مطالعه حاضر افزایش بیان ژن P₄₅₀ را در بافت کبد ماهی کپور معمولی در مواجهه با کادمیوم نشان داد. هاردینگهام و همکاران (Hardingham *et al.*, 1997) بیان نمودند که کادمیوم می‌تواند به‌طور غیرمستقیم با فعال‌سازی پروتئین‌کینازهایی که موجب افزایش بیان ژن‌ها (فسفریلاسیون انواع فاکتورهای رونویسی) می‌شوند اثر خود را اعمال کند، بدین طریق منجر به افزایش بیان ژن P₄₅₀ می‌شوند. در مطالعات متفاوت، گزارش‌های متعددی از القاء یا عدم القاء ایزوفرم CYP1A در حضور آلاینده‌های متفاوت در کبد ماهی ارائه شده است (Deér *et al.*, 1998; Goksøyr and Husøy, 1998; Fisher *et al.*, 2006). وندر ویدن و همکاران (Van der Weiden *et al.*, 1994) امکان القاء ژن P₄₅₀ را در حضور سموم مشخص^۱ در کبد کپور معمولی بررسی کردند و در همه تیمارها بجز تیمارهای PCB₍₁₅₃₎ و OCDD ژن P₄₅₀ را مشاهده کردند.

مشاهده افزایش بیان ژن P₄₅₀ در اولین روز مواجهه با کادمیوم، در مطالعه حاضر می‌تواند به‌علت هجوم مقدار زیادی یون کادمیوم، موجب اختلال در قابلیت نفوذپذیری غشاء سلول‌های بافت‌های در معرض آلودگی (کبد و آبشش) گردد (Lee and Stuebing, 1990). این امر موجب می‌شود یون‌های کادمیوم از طریق کانال‌های کلسیم وارد سیتوزول شده و بدین طریق منجر به افزایش بیان ژن P₄₅₀ شوند.

کاهش میزان آنزیم سیتوکروم در هفتمین روز تیمار در بافت آبشش با کادمیوم می‌تواند ناشی از برقراری تعادل یونی جدید در اثر سازگاری با شرایط باشد (Huang *et al.*, 2014). احتمالاً در طی تیمار ۷ روزه، میزان ورود کلسیم به سلول به‌علت هجوم یون‌های کادمیوم به کانال‌های کلسیمی کاهش می‌یابد، این امر موجب آزاد شدن یون‌های کلسیم از ذخایر سلولی شده، تا میزان یون کلسیم سیتوزولی به حد طبیعی خود برسد، افزایش یون کلسیم به‌طور طبیعی موجب بسته شدن کانال‌های کلسیمی و در نتیجه کاهش ورود کادمیوم و پیرو آن کاهش بیان ژن P₄₅₀ می‌گردد (Ortega *et al.*,)

1. PCB_(118,126,153)، PnCDD، PnCDF، OCDF، OCDD، TCDD، TCDF، HxCDD

(2014). مطالعات مختلف آسیب‌های سلولی مقاطع زمانی مختلف را عامل موثری در کاهش بیان ژن P₄₅₀ می‌داند (Softeland *et al.*, 2010). ولی مطالعات بافت‌شناسی انجام گرفته، آسیب‌های سلولی یکسانی را در روز ۷ و ۱۴ پس از تیمار نشان داده‌اند (Namroodi *et al.*, 2016). لذا این موضوع نمی‌تواند دلیلی بر کاهش بیان در روز هفتم باشد. جاوا و همکاران (Gaoa *et al.*, 2011) در مطالعه‌ای نشان دادند که بیان ژن P₄₅₀ در بافت آبشش ماهی آبنوس تیمار شده با آلاینده‌های PCB₁₂₆ و ایندیگو پس از حدود ۹ تا ۶ ساعت به حداکثر بیان خود می‌رسد. بیان این ژن پس از یک روز تیمار کاهش یافته، به طوری که در روز ۹ مواجهه با آلاینده ایندیگو بیان ژن P₄₅₀ در حد نمونه شاهد گزارش گردید. این مشاهدات هم راستا با نتایج حاصل از مطالعه حاضر می‌باشد و کاهش بیان در آبشش پس از ۷ روز مواجهه با کادمیوم را توجیه می‌کند. کادمیوم بر محتوای آنزیم P₄₅₀، با توانایی تحریک یا مهار ایزوفرم‌های مختلف P₄₅₀ مرتبط است. با توجه به اینکه بیان ایزوفرم‌های متفاوت P₄₅₀ وابسته به غلظت و زمان مواجهه است (Plewka *et al.*, 2004)، کاهش بیان ایزوفرم CYP1A در بافت آبشش پس از ۷ روز تیمار با کادمیوم احتمالاً به علت کاهش غلظت کادمیوم و عدم اثر بر بیان این ایزوفرم در بافت آبشش بوده است. با این حال جاوا و همکاران (Gaoa *et al.*, 2011)، همچنین افزایش بیان ایزوفرم CYP1B1 در بافت آبشش ماهی آبنوس تیمار شده با PCB₁₂₆ را چندین برابر تیمار ۳ ساعته در طول تیمار ۹ روزه گزارش دادند. این امر حاکی از این است که در روز ۷ مواجهه با کادمیوم، ایزوفرم‌های دیگری می‌توانند در مقابله با سمیت کادمیوم اثرگذار باشند.

افزایش بیان مجدد ژن P₄₅₀ در روز چهاردهم در بافت آبشش، احتمالاً به علت کاهش میزان یون کلسیم ذخیره سلولی در طی روزهای ۷ تا ۱۴ است، زیرا کاهش Ca⁺ منجر به باز شدن کانال‌های کلسیمی و در نتیجه افزایش ورود کادمیوم به سلول‌های آبشش می‌باشد، که می‌تواند منجر به افزایش بیان مجدد ایزوفرم CYP1A P₄₅₀ گردد. صفری و همکاران (Safari *et al.*, 2014) در تحقیقی با بررسی میزان بیان ژن P₄₅₀ در بافت‌های کبد و آبشش تاس‌ماهی ایرانی در معرض کلرید کادمیوم نتایج مشابهی را در غلظت‌های ۴۰۰ میکروگرم در لیتر و ۸۰۰ میکروگرم در لیتر برای بافت آبشش در روزهای ۷ تا ۱۴ گزارش نمودند.

بیان نسبی P₄₅₀ در روز ۱۴ تیمار با کادمیوم به طور معنی‌داری نسبت به روز اول تیمار با آن در بافت کبد افزایش نشان داد. این تفاوت احتمالاً بیانگر این است که میزان کادمیوم در بافت کبد در روز ۱۴ مواجهه، بیشتر از روز اول مواجهه باشد. آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS نشان داد، میزان بیان نسبی ژن P₄₅₀ در کبد ماهی کپور معمولی در مواجهه با کادمیوم در روز چهاردهم به طور معنی‌داری بالاتر از آبشش است. این مشاهده یک بار دیگر نشان می‌دهد که کبد ماهی کپور نقش مؤثرتری در سم‌زدایی دارد.

با توجه به نتایج حاصل به نظر می‌رسد ایزوفرم CYP1A₄₅₀ در بافت کبد ماهی کپور معمولی نشانگر زیستی مناسبی است، با این حال به نظر می‌رسد ایزوفرم‌های دیگری برای بررسی آلودگی در آبشش ماهی کپور معمولی مناسبتر از CYP1A باشند. لذا پیشنهاد می‌گردد که سایر ایزوفرم‌های P₄₅₀ در بافت‌های ماهی کپور نیز برای ارزیابی وجود آلودگی استفاده شود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از گروه زیست‌شناسی و گروه شیلات دانشگاه گنبد کاووس و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، که در به انجام رسیدن این تحقیق همکاری نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- Ahmad I., Pacheco M., Santos M.A. 2004. Enzymatic and nonenzymatic antioxidants as an adaptation to Phagocyte-induced damage in (*Anguilla anguilla*). Following in situ harbor water exposure. *Ecotoxicology and Environment Safety*, 57: 290-302.
- Chan K.M. 1995. Methalothionin: Potential biomarker for monitoring heavy metal Pollution in fish around Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 31: 411-415.
- Chraghy M., Spargham A., Zaboli A. 2012. Cytochrome P₄₅₀ and Its Role in Toxicity. In: *The First National Conference on Environmental Conservation and Planning*, pp:18-18. (In Persian).
- Deér K.A., Banka L., Nemcsók J., Ábrahám M. 1998. Effects of β -naphthoflavone and cadmium on inducibility of CYT P₄₅₀ monooxygenases in fresh water fishes. *Pathophysiology*, 5(1): 95-96.
- Dinarwand K., Zargari M. 2012. Rare elements, cancer and health. *Feyz-Journal of Kashan University of Medical Sciences*, 16(7): 773-774. (In Persian).
- Duffy L.K., Scofield T., Patton M., Bowyer R.T. 1999. Comparative baseline levels of mercury, HSP70 and HSP90 in subsistence fish from the Yukon-Kushkokwim delta region of Alaska. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 124(2): 181-189.
- El-garj F., Wajidi M. 2012. The Cytochrome P_{450s}. *Asia-Pacific Journal of Molecoelar Biology and Biotechnology*, 21(2): 37-41.
- Fasl-Bahar S.h. 2013. Application of biological markers and their types. *Marine Science and Technology Journal*, 70: 24-31. (In Persian).
- Fisher M.A., Mehne C., Means, J.C. Ide C.F. 2006. Induction of CYP1A mRNA in Carp (*Cyprinus carpio*) from the Kalamazoo River Polychlorinated Biphenyl-Contaminated Superfund Site and in a Laboratory Study. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 50: 14-22.

- Gaoa K., Brandta I., Goldstoneb J., Jönssona M. 2011. Cytochrome P₄₅₀ 1A, 1B, and 1C mRNA induction patterns in three-spined stickleback exposed to a transient and a persistent induce. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part C: Toxicology & Pharmacology*, 154(1): 42–55.
- Goksøyr A., Husøy A.M. 1998. Immunochemical approaches to studies of CYP1A localization and induction by xenobiotics in fish. *Fish Ecotoxicology*, 86: 165-202.
- Hardingham GE., Chawla S., Johnson C.M., Bading H., 1997. Distinct Functions of nuclear and cytoplasmic calcium in the control of gene expression. *MRC Laboratory of Molecular Biology*, 357: 260-265.
- Hedayati S.A., Jahanbakhshi AS., Ghadiri Ramasei F. 2012. Aquatic toxicity. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan, Iran. 210 P. (In Persian).
- Huang G.Y., Ying G.G., Liang Y.Q., Liu S.S., Liu U.S. 2014. Expression patterns of metallothionein, cytochrome P₄₅₀1A and vitellogenin in western mosquitofish (*Gambusia affinis*) in response to heavy metals. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 105: 97–102.
- Imami Rad A., Chobkar N., Hosseini Sh. 2011. Environmental pollution and its control strategies with emphasis on new processes. Tehran, University Jihad, Amir Kabir Industrial Complex. Tehra, Iran. 202 P. (In Persian).
- Itakura T., Elkady M., Mitsu R., Kaminishi Y. 2005. Complementary DNA cloning and constitutive expression of cytochrome P₄₅₀ ic1 in the gills of carp (*Cyprinus carpio*). *Environmental Sciences: an International Journal of Environmental Physiology and Toxicology*, 12(2): 111-120.
- Kroon F, Streten C, Harries S. 2017. A protocol for identifying suitable biomarkers to assess fish health: A systematic review. *PLOS ONE*, 12(4): 1-43.
- Lam P. 2009. Use of biomarkers in environmental monitoring. *Ocean & Coastal Management*, 52: 348-354.
- Lee Y.H., Stuebing R.B. 1990. Heavy metal contamination in the river toad, *Bufo Juxtasper* (Inger), near a copper mine in east Malaysia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 45(2): 272–279.
- Mekkawy I.A.A., Mahmoud U.M., Wassif E.T., Naguib M. 2012. Protective Roles of Tomato Paste and Vitamin E on Cadmium-induced Histological and Histochemical Changes of Liver of *Oreochromis niloticus*. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 7: 240-265.
- Namroodi S., Boozar pour S., Harsij M., Kolangi Miandare H. 2016. The effects of sublethal concentrations of cadmium on liver and gill of (*Cyprinus carpio*). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 5(3): 65-78. (In Persian).
- Norman A., Henry H. 2014. Hormones. Academic Press; 3 edition. 430 P.

- Ortega P., Custódio M.R., Zanotto F.P. 2014. Characterization of cadmium plasma membrane transport in gills of a mangrove crab *Ucides cordatus*. *Aquatic Toxicology*, 157: 21-29.
- Pandey S., Parvaz S., Sayeed I., Haque R., Bin-Hafeez B., Raisuddin S. 2003. Biomarker of oxidative stress: a comparative study of river Yamuna fish *Wallage attu*. *The Science of the Total Environmental*, 309: 105-115.
- Plewka A., Plewka D., Nowaczyk G., Brzóska MM., Kamiński M., Moniuszko-Jakoniuk J. 2004. Effects of chronic exposure to cadmium on renal cytochrome P₄₅₀-dependent monooxygenase system in rats. *Archives of Toxicology*, 78(4): 194-200.
- Safari R., Shabany A., Ramazanipour S., Kolangi H. 2014. The effect of sublethal pesticide endosulfan on HSP₇₀ gene expression and gill tissue damage in the Persian sturgeon, (*Acipenser persicus* Borodin, 1897). *Journal of Aquaculture Development*, 9(2): 65-80. (In Persian).
- Saghali M., Baqraf R., Patimar R., Hosseini SA., Baniemam M. 2013. Determination of heavy metal (Cr, Zn, Cd and Pb) concentrations in water, sediment and benthos of the Gorgan Bay (Golestan province, Iran). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 13(2): 449-455.
- Sarmadian S. 2014. Investigation of metallutinin gene expression as a cadmium exposure biomarker in oyster *Crassostrea sp.* MSc thesis, Marine Science and Technology University of Khorramshahr, Faculty of Marine Sciences, Khorramshahr, Iran.
- Softeland L., Holen E., Olsvik P.A. 2010. Toxicological application of primary hepatocyte cellcultures of Atlantic cod (*Gadus morhua*), effects of BNF, PCDD and Cd. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 151: 401-411.
- Van der Weiden M., AVries LP., Fase K., Celander M., Seinen W., Van Den Berg M. 1994. Relative potencies of polychlorinated dibenzo-P-dioxins (PCDDS), dibenzofurans (PCDFS) and biphenyls (PCBS), for cytochrome P₄₅₀ 1A induction in the mirror carp (*Cyprinus carpio*). *Environmental Health Perspectives*, 29(3-4): 163-182.

