

استفاده از ماهی قزل آلا برای سنجش سمیت ناشی از آرسنیک در آب

کازم نادافی^۱ رامین نبی‌زاده^۲ مسعود یونسیان^۲ غلامرضا جاهد^۲ ایوب بیکی^۲

(دریافت ۸۴/۷/۳ پذیرش ۸۵/۴/۱۱)

چکیده

برای ارزیابی اثرات مواد و ترکیبات سمی موجود در آب و فاضلاب، انجام آزمایشهای فیزیکی و شیمیایی به تنهایی کافی نیست و باید آزمایشهای سمیت نیز انجام شود. هدف از انجام آزمایشهای سمیت ممکن است سنجش سمیت کل یا سمیت ناشی از یک ماده سمی معین باشد که این آزمایشها ترجیحاً با استفاده از موجودات زنده بومی آب پذیرنده انجام می‌شود. هدف از این تحقیق تعیین سمیت آرسنیک (As) آب روی ماهی قزل آلا رنگین کمان بومی کشور بود. سمیت حاد آرسنیک به وسیله اندازه‌گیری اثرات مرگ و میر آن روی ماهی قزل آلا رنگین کمان در شرایط استاتیک تعیین شد. در پنج آکواریوم به ابعاد ۲۵×۳۰×۳۰ سانتی‌متر، پنج غلظت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر از محلول تست آرسنیک تهیه و به هر غلظت ده عدد ماهی اضافه شد و یک آکواریوم با شرایط یکسان که فاقد محلول آرسنیک بود به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. مقدار آرسنیک، اکسیژن محلول، دما و pH محلول تست در زمانهای ۲، ۴، ۶، ۸، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت اندازه‌گیری شد. دمای آب آکواریوم از طریق گردش آب در داخل یخچال به صورت غیرتماسی با نمونه‌ها تنظیم می‌شد. مقدار LC₅₀ در زمانهای ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت به ترتیب برابر ۲۸/۱۳، ۲۱/۷۷، ۱۵/۷۸، و ۱۲/۷۲ میلی‌گرم در لیتر تعیین شد و منحنی پروبیت با استفاده از نرم‌افزار هاروارد چارت ایکس ال و منحنی LC₅₀ با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم شد. نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج مطالعات انجام شده توسط بعضی از محققانی که بر روی همین گونه در سایر کشورها مطالعه نموده‌اند، مطابقت دارد.

واژه‌های کلیدی: ماهی قزل آلا، سمیت آرسنیک، آلودگی آب.

Using Rainbow Trout to Measure Arsenic Toxicity in Water

Kazem Naddafi¹, Ramin Nabizadeh²,
Masoud Yonesian², Gholamreza Jahed², Ayoub Beyki³

(Received Sep. 25, 2005 Accepted Jul. 2, 2006)

Abstract

The purpose of this study is to determine arsenic toxicity on rainbow trout. Acute toxicity of arsenic was determined by measuring the lethal effects on rainbow trout in static conditions. Five aquariums of 25×30×30 cm with five concentrations of 5,10,15,20 and 25 mg/L of arsenic were prepared and then ten fishes were added to each concentration. Also one aquarium with similar conditions was considered as a control with no arsenic solution. Hardness, temperature and dissolved oxygen of dilution water were determined by standard methods, and concentration of dissolved oxygen, pH and temperature of solution test in time periods of 2,4,6,8,24,48,72 and 96 hrs were measured. Water temperature of aquarium was regulated by circulation of water in refrigerator through indirect conduction with solution test. LC₅₀ was measured at intervals of 24,48,72 and 96 hrs by SPSS software and respectively showed 28.13,21.77,15.78 and 12.72 mg/L. Probit curve was drawn by Harvard Chart XL software, and LC₅₀ curve was drawn by Excel software.

Keywords: Rainbow Trout, Arsenic Toxicity, Water Pollution.

برای ارزیابی آلودگی آب، زیست آزمونی از جمله آزمونهای لازم است. زیرا آزمایشهای فیزیکی و شیمیایی برای ارزیابی اثرات بالقوه بر حیات آبریان کافی نیست [۱]. زیست آزمونی می‌تواند در ارزیابی تأثیر فرآیندهای تصفیه آب در کاهش سمیت آب نقش بسیار ارزنده‌ای داشته باشد. از جمله مزایای روش زیست آزمونی در ارزیابی سمیت مواد و ترکیبات آلاینده محیط زیست موارد زیر را می‌توان نام برد: ۱- تناسب و هماهنگی با شرایط محیطی مؤثر در حیات آبریان و سایر موجودات زنده؛ ۲- شناسایی اثرات مطلوب و نامطلوب پارامترهای مختلف محیطی نظیر اکسیژن محلول، اسیدیته، درجه حرارت، شوری و کدورت آب؛ ۳- شناسایی تأثیر عوامل محیطی بر روی میزان سمیت مواد آلاینده مختلف؛ ۴- تعیین میزان سمیت مواد و ترکیبات روی گونه‌های مختلف موجودات زنده مورد آزمایش؛ ۵- شناسایی میزان و نوع تصفیه مورد نیاز جهت کنترل مطلوب آلودگی آب یا دیگر منابع پذیرنده و ۶- تعیین حساسیت موجودات زنده آبری نسبت به پسابها و ترکیبات سمی خروجی [۱ و ۲]. هدف از این تحقیق تعیین سمیت آرسنیک روی ماهی قزل آلا تحت شرایط خاص پارامترهای فیزیکی- شیمیایی (جدول ۱) جهت تعیین امکان سنجی و قابل تعمیم بودن در مقیاس واقعی بود.

ماهی به خاطر اهمیت اکولوژیکی و اقتصادی به عنوان یک گونه مناسب در ارزیابی سمیت آبریان مورد توجه است. گونه‌های

بسیار زیادی از ماهی برای مطالعه سمیت استفاده می‌شوند. انتخاب یک گونه برای انجام آزمایش، به هدف آزمایش، در دسترس بودن گونه، سهولت پرورش و سهولت حمل و نقل بستگی دارد [۳ و ۴]. فلزات سنگین اصولاً به دسته یا گروهی از عناصر اطلاق می‌شود که دارای وزن مخصوص بزرگتر از ۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب و یا جرم اتمی بیشتر از ۵۰ باشند [۵]. فلزات سنگین جزء آلاینده‌های پایدار محسوب می‌شوند. این فلزات در بدن موجودات زنده تمایل به تجمع زیستی یا تغلیظ زیستی دارند [۶ و ۷]. پساب صنایعی نظیر متالورژی، ذوب فلزات غیر آهنی، معادن فلزی، آلیاژسازی، شیشه‌سازی، چینی و سرامیک، تولید حشره‌کشهای شیمیایی، تولید علف‌کشها، تولید کودهای شیمیایی و ساخت شوینده‌ها، پالایشگاههای نفت، رنگسازی، تولید محافظت کننده چوب و صنایع تولید محافظت کننده پوست حاوی آرسنیک هستند [۶ و ۸]. از بین مهم‌ترین اختلالات و عوارض آرسنیک می‌توان به سرطانی‌ها^۱، اثر بر سیستم اعصاب مرکزی و محیطی، اثر بر روی پوست، اثر بر روی سیستم خون ساز^۲، اثر بر سیستم قلبی و عروقی^۳، آسیب به کلیه‌ها و تجمع در بافتها اشاره کرد [۶ و ۹].

¹ Carcinogenic

² Hematology Crisia

³ Cardiovascular

جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیایی محلول رقیق سازی

آزمایش	مقدار	واحد	روش
pH	۸	واحد	pH متر
اکسیژن محلول	۶/۸	میلی‌گرم در لیتر	DO متر
هدایت الکتریکی	۴۵۰	mohS/cm	هدایت سنج
سختی کل	۱۶۸/۳	میلی‌گرم در لیتر	تیتراسیون با استفاده از EDTA
سختی غیر کربناته	۲۳/۷۶	میلی‌گرم در لیتر	تیتراسیون با استفاده از EDTA
سختی کربناته	۱۴۴/۵۴	میلی‌گرم در لیتر	محاسبه
قلیائیت کل	۱۱۸	میلی‌گرم در لیتر	تیتراسیون با استفاده از اسید
قلیائیت p	۸	میلی‌گرم در لیتر	تیتراسیون با استفاده از اسید
سولفات	۴۸	میلی‌گرم در لیتر	کدورت سنجی
کلرور	۲۳/۴۹	میلی‌گرم در لیتر	آرژانتومتري
کلسیم	۵۸/۴	میلی‌گرم در لیتر	تیتراسیون با استفاده از EDTA
منیزیم	۵/۸	میلی‌گرم در لیتر	تیتراسیون با استفاده از EDTA
سدیم	۴۴	میلی‌گرم در لیتر	نورسنجی شعله
پتاسیم	۸	میلی‌گرم در لیتر	نورسنجی شعله

آرسنیک به اشکال گوناگون در ترکیبات آلی و معدنی، سمیت‌های مختلف در موجودات آبی ایجاد می‌کند. آرسنیت‌ها و آرسنات‌های محلول به آسانی از طریق دیواره روده و بافت عضلانی جذب می‌شوند. علی‌رغم سمی بودن آرسنیک، به دلیل خواص مطلوب دارویی، از شکل ترکیبات آلی آرسنیک استفاده شده است. در سمیت آرسنات اثر دارد ولی در سمیت آرسنیت اثر ندارد [۱۰]. LC_{50} ۹۶، ساعت آرسنیت سدیم ۱۳/۳۴ میلی‌گرم در لیتر در شرایط استاتیک و LC_{50} ۱۴۴، ساعت تری اکسید آرسنیک ۱۸/۵ میلی‌گرم در لیتر است [۱۱].

بسیاری از ترکیبات آرسنیک به صورت محلول در آب‌اند، که به همین دلیل باعث آلودگی آب می‌شوند. ترکیبات آرسنیک بیشتر به صورت ۳ ظرفیتی و ۵ ظرفیتی در آب شناسایی شده‌اند. مهم‌ترین منشاء آرسنیک در آب فعالیتهای صنعتی و تخلیه فاضلاب به داخل رودخانه‌ها و یا سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد [۱۲ و ۱۳]. برای محاسبه روی ماهی قزل آلا از مدل زمان-غلظت (زف) و مدل زمان غلظت کامل (زهف) استفاده می‌شود [۱۱]. LC_{50} برخی مطالعات نشان داده است که میزان آرسنیک در ماهیهای روغن شمال^۱ و ماهیهای دهان‌گشاد^۲ در آبهای غیر آلوده از میزان استاندارد (۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بالاتر است. بلع آرسنیک به وسیله ماهی قزل آلا رنگین کمانی^۳ در مدت ۶ ساعت، ایجاد میزان بالایی از آرسنیک معدنی را در بافتهای گوناگون ماهی موجب می‌گردد، که این با یک افزایش تدریجی در میزان ترکیبات آرسنیک آلی و یک کاهش یکسان در میزان آرسنیک معدنی همراه می‌باشد [۱۲]. توصیه شده است که در منابع تأمین آب مصرفی عمومی، غلظت آرسنیک از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر تجاوز نکند [۷]. آرسنیک به عنوان یک ماده سمی برای آبزیان شناخته شده است. اشکال مختلف آرسنیک (آلی، غیر آلی، محلول در آب و یا محلول در چربی) تعیین کننده میزان سمیت بیولوژیکی آن است. غلظت آستانه سمیت (LC_{50} ، ۹۶، ساعت) در ارگانسیم‌های دریایی به نوع گونه و مرحله رشد آن بستگی دارد [۱۴].

۲- مواد و روشها

۲-۱- ماده مورد آزمایش

ماده مورد آزمایش آرسنیک است که برای تهیه محلول تست آرسنیک، از محلول ۰/۰۵ مولار آرسنیت سدیم ($NaAsO_2$) استفاده شد. با توجه به جرم مولی آرسنیت سدیم (۱۲۹/۹۲ میلی‌گرم در مول) و جرم مولی آرسنیک (۷۲/۹۲ میلی‌گرم در

مول) برای تهیه غلظتهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر آرسنیک، به ترتیب به میزان ۸/۶۷، ۱۷/۳۴، ۲۶/۰۱، ۳۴/۶۸ و ۴۳/۵۳ میلی‌گرم آرسنیت سدیم در هر لیتر محلول تست اضافه شد.

۲-۲- آبی مورد آزمایش

ماهی قزل آلا رنگین کمان با نام عمومی Rainbow trout و نام علمی *Oncorhynchus mykis* با متوسط وزن ۲ گرم و متوسط طول ۵ سانتی‌متر از مزارع پرورش ماهی قزل آلا واقع در فیروزکوه تهیه و به وسیله دو ظرف پلاستیکی ۳۰ لیتری حاوی آب طبیعی محل پرورش، که دمای آن به وسیله تماس غیر مستقیم با یخ کنترل می‌شد در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه منتقل می‌شد.

۲-۳- آب رقیق سازی

برای تهیه آب رقیق سازی از آب شرب شهر تهران استفاده شد. ابتدا آب شهر با استفاده از تیوسولفیت سدیم ($Na_2S_2O_3$) ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر کلر زدایی و سپس از یک ستون کربن فعال عبور داده می‌شد.

۲-۴- پارامترهای کیفی آب

محلول رقیق سازی قبل از شروع آزمایش با استفاده از روشهای استاندارد آنالیز شد که پارامترهای کیفی آب در جدول ۱ نشان داده شده است.

۲-۵- روش تست

در روش تست استاتیک، مدت زمان آزمایش ۹۶ ساعت، میزان بارگذاری (وزن ماهی به حجم محلول تست) یک گرم در لیتر، دوره روشنایی ۱۴ ساعت و ۱۰ ساعت تاریکی، دمای محلول تست $2 \pm$ ۱۵ درجه سانتی‌گراد و غلظت اکسیژن محلول $1 \pm 6/8$ میلی‌گرم در لیتر بوده و در طی دوره آزمایش تغذیه‌ای صورت نمی‌گرفت. برای شاهد و هر کدام از ۵ غلظت محلول تست، تعداد ۱۰ عدد ماهی قزل آلا رنگین کمان با متوسط وزن ۲ گرم و متوسط طول ۵ سانتی‌متر که همه آنها سالم بودند اضافه می‌گردید. برای کنترل میزان مرگ و میر، یک گروه شاهد که تمام پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آن با ۵ غلظت دیگر یکسان باشد فراهم شده بود. تمام ماهیهای شاهد ۵ غلظت آزمایش بعد از ۲، ۴، ۶، ۸، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت معاینه و تعداد مرگ و میر، دما، اکسیژن محلول و pH اندازه گیری و ثبت می‌گردید. بعد از پایان هر دوره آزمایش، آکواریوم‌ها با محلولهای شوینده شسته شده و با آب رقیق سازی آبکشی می‌شد. عادت دادن ماهیها به شرایط محیط آزمایشگاه، دما، pH و اکسیژن محلول در مخزنی به حجم ۸۰ لیتر انجام می‌شد و ماهیها به مدت

¹ Arctic Cod

² Shorton Sculpins

³ Rainbow Trout

یک هفته در مخزن آدپتاسیون که آب آن به تدریج با آب رقیق سازی تعویض می شد، نگهداری و تغذیه یک روز در میان انجام می شد و ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش تغذیه ماهیها قطع گردید [۱۴، ۱۵ و ۱۶]. در صورتی از ماهیهای مخزن آدپتاسیون برای آزمایش استفاده می شد که میزان مرگ و میر در طی یک هفته حداکثر کمتر از ۵ درصد از آنها باشد. با توجه به میزان بارگذاری (وزن ماهی به حجم محلول تست) و حداقل ارتفاع ۱۵ سانتی متر آب در آزمایش استاتیک، دو عدد آکواریوم با ابعاد ۱۰۵، ۳۰ و ۳۰ سانتی متر به ترتیب طول، عرض و ارتفاع که هر آکواریوم به سه قسمت مساوی تقسیم می شد از جنس شیشه ساخته شد. برای تأمین دمای مناسب (حدود 2 ± 15 درجه سانتی گراد) در محیط آزمایشگاه یک سیستم تنظیم دما با دو مخزن (به ابعاد طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۱۳۵، ۴۰ و ۲۰ سانتی متر) از جنس ورق گالوانیزه برای قرار دادن آکواریوم داخل آن و یک ظرف به حجم ۲۵ لیتر که داخل یخچال قرار داشت ساخته شد. اکسیژن محلول، از طریق یک عدد پمپ هوا برای مخزن آدپتاسیون و دو عدد پمپ هوا برای سایر آکواریومها تأمین می شد.

۲-۶- روش آنالیز آماری

نتایج به دست آمده با استفاده از روش پروبیت در نرم افزار آماری SPSS آنالیز و نمودارهای پروبیت با استفاده از نرم افزار هاروارد چارت ایکس ال^۱ و نمودار LC_{50} با استفاده از نرم افزار اکسل^۲ رسم شد [۱۷].

۳- نتایج و بحث

نتایج آزمایش موقعی قابل قبول تلقی می شود که حداکثر ۱۰ درصد از ماهیها در ظرف شاهد مرده باشند. در این تحقیق هیچ ماهی در آکواریوم گروه شاهد نمرد.

جدول ۲، تعداد موارد مرگ و میر مشاهده شده در غلظتها و زمانهای مختلف را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود در ظرف شاهد و در ظرفی که غلظت آرسنیک در آن ۵ میلی گرم در لیتر بوده است مرگ ماهی مشاهده نشده است و از غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر و بالاتر از آن، در زمانهای ۲۴ ساعت و بالاتر مرگ ماهیها مشاهده شده است. جدول ۳ نتایج تحلیل آماری داده های جدول ۲ را نشان می دهد. براساس نتایج مندرج در جدول ۳ با افزایش زمان تماس با ماده سمی غلظت مؤثر کاهش می یابد و با افزایش درصد احتمال، غلظت مؤثر در هر زمان معین تماس، افزایش می یابد که کاملاً منطقی به نظر می رسد.

احتمال مرگ و میر ماهی قزل آلا در غلظتهای مختلف آرسنیک در زمانهای ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت به ترتیب در شکلهای ۱ تا ۴، رسم شده است. و مقادیر LC_{50} -۲۴ ساعته، LC_{50} -۴۸ ساعته، LC_{50} -۷۲ ساعته و LC_{50} -۹۶ ساعته به ترتیب $28/13$ ، $21/77$ ، $15/78$ و $12/72$ به دست آمده است. LC_{50} -۹۶ ساعته به دست آمده در این تحقیق با مقادیر گزارش شده توسط لیائو و همکاران^۳ در سال ۲۰۰۲، که غلظت $28/68$ میلی گرم در لیتر را در ۹۶ ساعت گزارش می کند، کاملاً مطابقت دارد و نشان می دهد که سمیت حاد آرسنیک برای ماهی قزل آلا گونه بومی ایران با گونه مورد مطالعه توسط لیائو و همکاران تقریباً یکسان است [۱۸].

³ Liao et al.

¹ Harvard Chart XL

² Excel

جدول ۲- اطلاعات به دست آمده از آزمایش سمیت آرسنیک بر روی ماهی قزل آلا

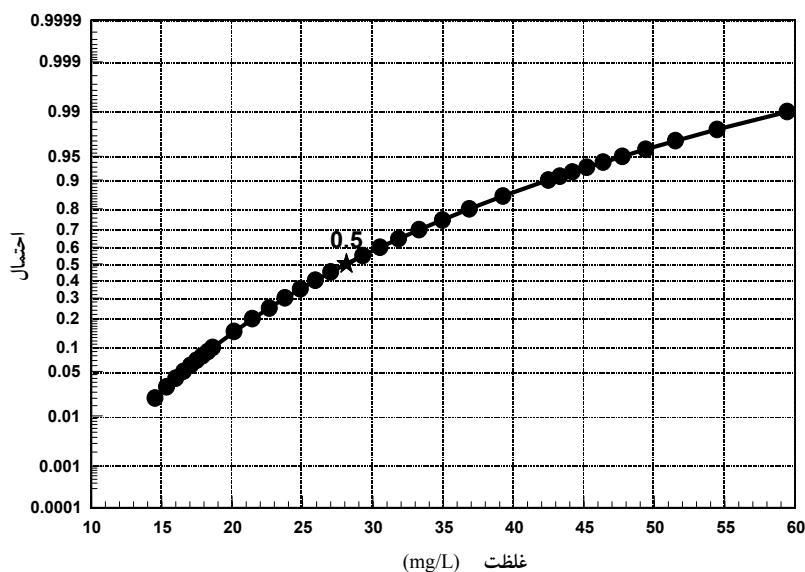
تعداد ماهی محلول تست (میلی گرم در لیتر)	تعداد ماهی مورد آزمایش	تعداد ماهیهای مرده در طی آزمایش						
		۲ ساعت	۴ ساعت	۶ ساعت	۸ ساعت	۲۴ ساعت	۴۸ ساعت	۷۲ ساعت
۲۵	۱۰	۰	۰	۰	۰	۵	۸	۱۰
۲۰	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۸
۱۵	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳
۱۰	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
۵	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

شکل ۵، سمیت آرسنیک را بر روی ماهی قزل آلا نشان می‌دهد. این نمودار خلاصه نتایج ارائه شده در شکل‌های ۱ تا ۴ را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود LC_{50} با افزایش زمان تماس به صورت محسوس کاهش می‌یابد و از ۲۸/۱۳ میلی‌گرم بر لیتر در ۲۴ ساعت به ۱۲/۷۲ میلی‌گرم بر لیتر در ۹۶ ساعت می‌رسد. مقادیر سمیت آرسنیک به دست آمده در این تحقیق روی ماهی قزل آلا ی رنگین کمان، مشابه نتایج تحقیق هیل در سال ۱۹۷۷ (LC_{50} -۲۴) برابری ۱۰/۸ میلی‌گرم در لیتر، پالوسکی و همکاران در سال ۱۹۸۵ (LC_{50} -۹۶) برابری ۲۸ میلی‌گرم در لیتر و جانسون و فاینلی در سال ۱۹۸۰

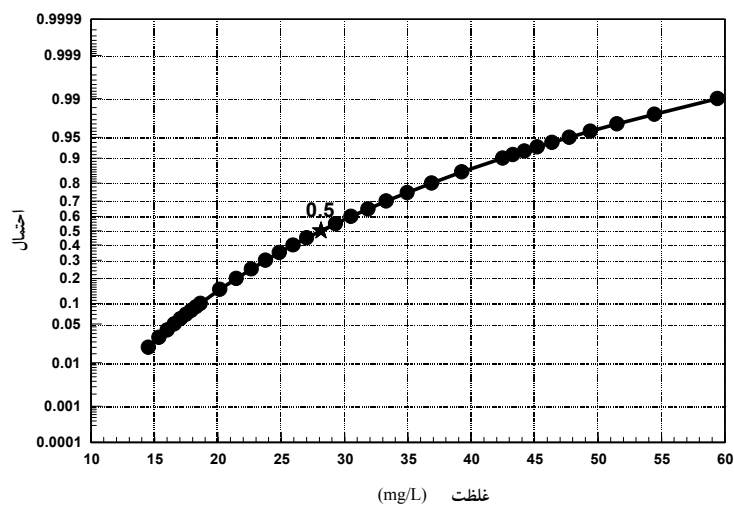
شکل ۵، سمیت آرسنیک را بر روی ماهی قزل آلا نشان می‌دهد. این نمودار خلاصه نتایج ارائه شده در شکل‌های ۱ تا ۴ را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود LC_{50} با افزایش زمان تماس به صورت محسوس کاهش می‌یابد و از ۲۸/۱۳ میلی‌گرم بر لیتر در ۲۴ ساعت به ۱۲/۷۲ میلی‌گرم بر لیتر در ۹۶ ساعت می‌رسد. مقادیر سمیت آرسنیک به دست آمده در این تحقیق روی ماهی قزل آلا ی رنگین کمان، مشابه نتایج تحقیق هیل در سال ۱۹۷۷ (LC_{50} -۲۴) برابری ۱۰/۸ میلی‌گرم در لیتر، پالوسکی و همکاران در سال ۱۹۸۵ (LC_{50} -۹۶) برابری ۲۸ میلی‌گرم در لیتر و جانسون و فاینلی در سال ۱۹۸۰

جدول ۳- نتایج تحلیل آماری داده‌های حاصل از تحقیق

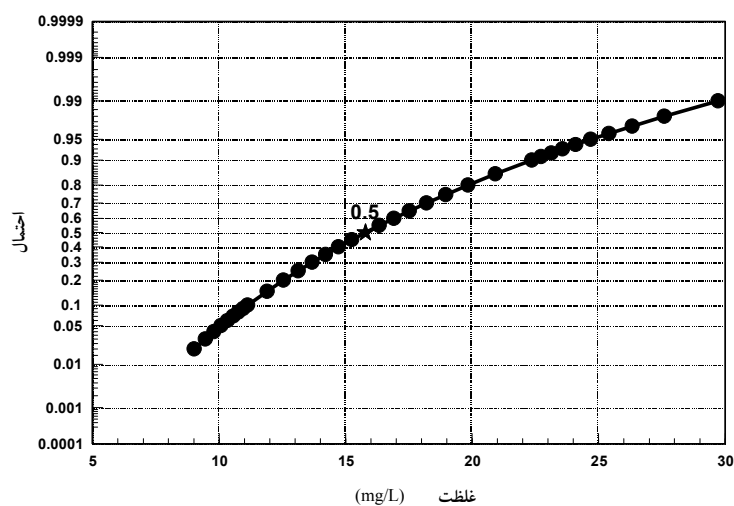
پرویت	غلظت مؤثر (میلی‌گرم در لیتر)			
	۹۶ ساعت	۷۲ ساعت	۴۸ ساعت	۲۴ ساعت
۰/۰۱	۵/۷۰	۸/۳۷۶	۱۳/۵۳	۱۳/۳۱
۰/۰۵	۷/۲۱	۱۰/۰۸	۱۵/۵۵	۱۶/۵۷
۰/۱	۸/۱۷	۱۱/۱۳	۱۶/۷۵	۱۸/۶۳
۰/۳	۱۰/۶۱	۱۳/۶۸	۱۹/۵۶	۲۳/۷۶
۰/۵	۱۲/۷۲	۱۵/۷۸	۲۱/۷۷	۲۸/۱۳
۰/۷	۱۵/۲۵	۱۸/۲۰	۲۴/۲۴	۳۳/۲۹
۰/۹	۱۹/۸۰	۲۲/۳۷	۲۸/۳۰	۴۲/۴۷
۰/۹۵	۲۲/۴۵	۲۴/۶۹	۳۰/۴۹	۴۷/۷۴
۰/۹۹	۲۸/۴۰	۲۹/۷۳	۳۵/۰۵	۵۹/۴۳



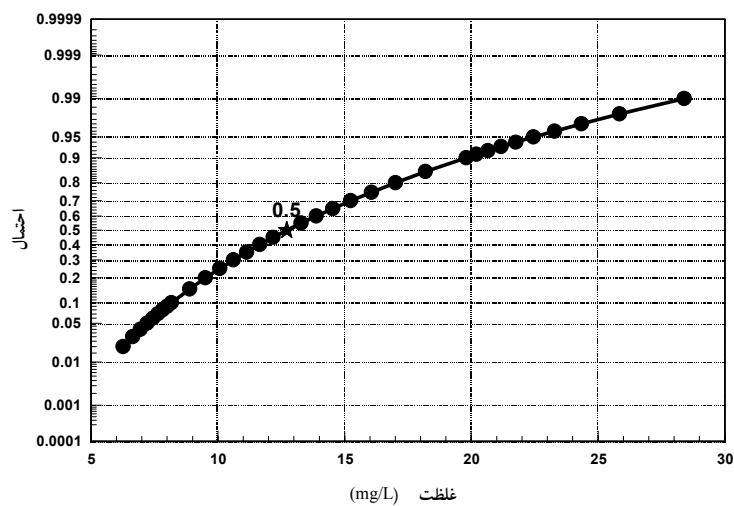
شکل ۱- احتمال مرگ و میر ماهی قزل آلا در غلظت‌های مختلف آرسنیک در مدت زمان ۲۴ ساعت



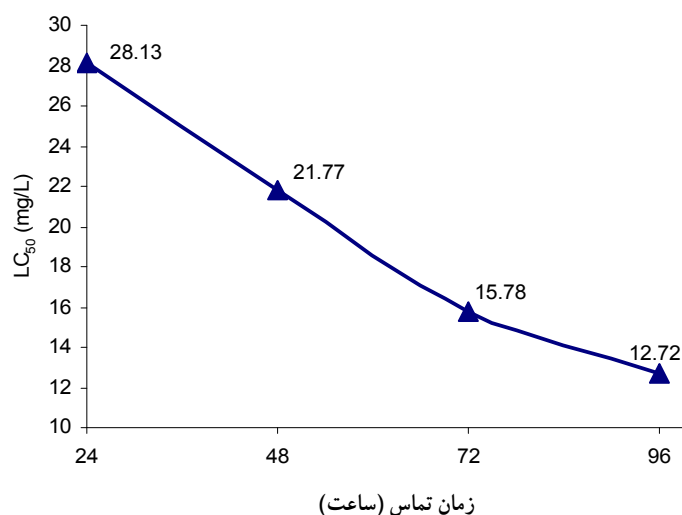
شکل ۲- احتمال مرگ و میر ماهی قزل آلا در غلظتهای مختلف آرسنیک در مدت زمان ۴۸ ساعت



شکل ۳- احتمال مرگ و میر ماهی قزل آلا در غلظتهای مختلف آرسنیک در مدت زمان ۷۲ ساعت



شکل ۴- احتمال مرگ و میر ماهی قزل آلا در غلظتهای مختلف آرسنیک در مدت زمان ۹۶ ساعت



شکل ۵- منحنی تأثیر سمیت آرسنیک روی ماهی قزل آلا

صنعتی حاوی آرسنیک، از ماهی قزل آلا بومی آبهای پذیرنده استفاده شود.

۴- قدردانی

نویسندگان این مقاله از دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی تهران به خاطر حمایت مالی از این تحقیق و فراهم نمودن امکانات لازم تشکر و قدردانی می‌نمایند.

کیفیت آب استفاده نمود. ولی از آنجا که LC₅₀ آرسنیک برای ماهی قزل آلا نسبت به غلظت استاندارد آب آشامیدنی بسیار بالاتر است، نباید برای تعیین سمیت آب آشامیدنی از این روش استفاده شود. هرچند در بسیاری از موارد تفاوت محسوسی بین عکس‌العمل گونه‌های مختلف ماهی قزل آلا موجود نیست، ولی بهتر است برای انجام آزمایشهای زیست‌آزمونی برای بررسی سمیت پسابهای

۵- مراجع

- 1- Clesceria, L. S., Greenberg, A.E., and Eaton, A. D., eds. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, APHA, WEF, AWWA, 20th Ed., Washington, D.C.
- ۲- ندافی، ک.، و همکاران. (۱۳۷۹). "بررسی سمیت فاضلابهای کرم دار با استفاده از دافنیا." *م. انسان و محیط زیست*، ۹، ۳-۱۴.
- 3- OECD. (1992). *Guidelines for testing of chemicals, Section 2: Fish acute toxicity test*.
- 4- Clark, R. B. (2001). *Marine pollution*, 15th Ed., Oxford University Press, London.
- 5-Manc,G. (1987). *Pollution threat of heavy metals in aquatic environments* , 1st Ed., Elsevier Science Publishers, New York.
- 6- US EPA. (2000). *Arsenic occurrence in public drinking water supplies*, EPA-815-R-00-023, Washington DC.
- 7-WHO. (2004). *Guidelines for drinking -water quality*, Vol. 1, 3rd Ed., World Health Organization, Geneva.
- 8-WHO. (2001). *Arsenic in drinking water*, Fact Sheet No. 210, World Health Organization, Geneva.
- 9 - US EPA. (1984). *Ambient water quality criteria for arsenic*, Report No. 20450, Washington DC.
- 10- McGeachy,S.M., and Dixon, D.G. (1989). "The impact of temperature on the acute toxicity of arsenate and arsenite to rainbow trout." *J. Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 17(1), 86-93.
- 11-Canivet.,V.,and Chambon., P. (2001). "Toxicity and bioaccumulation of arsenic and chromium in epigeal and hypogean freshwater macro invertebrates." *J. Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 40 (3), 345-54.

- 12- Chung-Min,L.,and Ming-Chao, L. (2001). "Acute toxicity modeling of rainbow trout and silver sea bream exposed to waterborne metals." *J. Environmental Toxicology*, 16(4), 349-360.
- 13- Sadiq,M. (1992). *Toxic metal chemistry in marine environments*, 1st Ed., CRC, Marcel Dekker,Inc.
- 14- US EPA. (1994). *Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater organisms*, Report No. 600/4-91/002, Washington DC.
- 15- US EPA. (1993). *Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms*, EPA/600/4-90/027F, Washington DC.
- 16- US EPA. (2002). *Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms*, 5th Ed., US Environmental Protection Agency Office of Water , Washington DC .
- 17-Finney, D.J. (1971). *Probit analysis, Chapter3: Estimation of the median effective does, and Chapter 4: Maximum likelihood estimation*, 3rd Ed., Cambridge, London.
- 18- Liao, C.M., et al. (2004). "Organ-specific toxokinetics and dose response of arsenic in tilapia oreochromis in mossambicus." *J. Arch. Environ. Contm. Toxicol.*, 47(4) 502-510.
- 19- Johnson, W.W., and Finley, M.T. (1980) *Handbook of acute toxicity of chemicals to fish and aquatic invertebrates*, 1st Ed., United States Department of the Interior Fish and Wildlife Service/Resource Publication 137, Washington DC.