

بررسی قابلیت تجمع زیستی نانو ذرات نقره در خرچنگ دراز آب شیرین (*Astacus leptodactylus*)

سید علی جوهری^۱، برهان منصوری^۲، لیلا دکانی^۳، صبا اصغری^۳

۱- استادیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

ایمیل: a.johari@uok.ac.ir

۲- کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد تکثیر و پرورش آبزیان، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: افزایش استفاده از نانو ذرات نقره در آینده موجب سرازیر شدن این ماده به محیط زیست خواهد شد و می تواند مشکلات بهداشتی و محیط زیستی برای انسان و دیگر موجودات به همراه داشته باشد. در این راستا استفاده از اندیکاتورهای زیستی به منظور پایش و کنترل محیط زیست ضروری به نظر می رسد. از این رو هدف این پژوهش، بررسی قابلیت میزان تجمع زیستی نانو ذرات نقره در بافت های آبشش، روده و هیاتوپانکراس خرچنگ دراز آب شیرین، به عنوان یک گونه اندیکاتور محیطی، در شرایط آزمایشگاهی می باشد.

روش بررسی: در این مطالعه از ۱۵ عدد خرچنگ دراز آب شیرین نر بالغ *Astacus leptodactylus* صید شده از رودخانه ارس استفاده گردید. خرچنگ ها به مدت ۶ روز در معرض غلظت های ۰، ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی گرم در لیتر نانو ذرات نقره کلوئیدی قرار گرفتند. سپس میزان تجمع فلز نقره در بافت های روده، آبشش و هیاتوپانکراس با استفاده از دستگاه جذب اتمی مورد سنجش قرار گرفت. برای مقایسه میزان تجمع نانو ذرات نقره در بافت ها از آزمون واریانس یک طرفه استفاده گردید.

یافته ها: بنا بر یافته های این مطالعه بالاترین میزان تجمع نقره در بافت آبشش صورت گرفت. همچنین میزان تجمع در دو بافت هیاتوپانکراس و روده وابسته به غلظت نانو ذرات نقره در آب بود، به طوری که در غلظت های پایین میزان تجمع در بافت روده بیشتر از هیاتوپانکراس بوده و در مقابل در غلظت های بالا میزان تجمع در هیاتوپانکراس بیشتر بوده است.

نتیجه گیری: در این مطالعه، میزان تجمع زیستی نقره به فاکتورهای بافت و غلظت نانو ذرات نقره در آب وابسته بود. همچنین با توجه به تجمع بالای نقره در بافت آبشش خرچنگ دراز آب شیرین نسبت به بافت های دیگر، این اندام می تواند به عنوان بافت هدف مناسب معرفی گردد. مطالعات بیشتر به منظور به دست آوردن اطلاعات جامع تر در مورد سازوکار اثر گذاری و تجمع نانو ذرات نقره در بافت های مختلف این جانور آبی ضروری می باشد.

واژه های کلیدی: نانو ذرات نقره، سم شناسی زیستی، تجمع زیستی، خرچنگ دراز آب شیرین

مقدمه

در دهه‌ی اخیر با افزایش رشد جمعیت بشری، افزایش استفاده از نانو مواد در بخش‌های مختلف روند رو به رشد داشته است و در این میان نانو ذرات نقره یکی از پرمصرف‌ترین این نانو مواد بوده است. به طوری که در سال ۲۰۱۱ برآورد شده است که از ۱۳۱۷ محصول تولیدی از نانو مواد، ۳۱۱ محصول دربردارنده نانو ذرات نقره بوده است و در سال ۲۰۱۳ این مقدار به ۳۸۳ محصول رسیده است (۱،۲). نانو ذرات نقره به دلیل داشتن خواص ضد میکروبی در بخش‌های مختلفی از صنایع همچون در بخش پزشکی در پانسمان، دستگاه‌های پیشگیری از بارداری، ابزارهای جراحی و در پروتز استخوان به کار می‌رود (۳-۶). همچنین در زندگی روزمره از نانو ذرات نقره به عنوان ماده‌ی ضد عفونی کننده در لباس شویی‌ها، تصفیه کننده آب و رنگ دیوار استفاده می‌شود (۳،۵). بر اساس گزارش مولر و نواک در سال ۲۰۰۸، سالانه ۵۰۰ تن از نانو ذرات نقره تولید می‌گردد و هر سال نیز بر این میزان افزوده می‌گردد، از این رو خطر بالای ناشی از آلودگی‌های زیست محیطی به وسیله آبشویی این نانو مواد و ورود آن از فاضلاب صنایع به محیط زیست در کمین می‌باشد (۷). بر اساس طبقه بندی‌های صورت گرفته در بعضی از مطالعات در مورد سمیت نانو ذرات نقره بر موجودات آبی، این نانو مواد را در طبقه بندی مواد "سمی" تا "خیلی سمی" قرار داده‌اند که می‌تواند آسیب‌های جدی برای موجودات به همراه داشته باشد (۸). در این راستا، بررسی و مطالعه اثرات احتمالی بر بافت‌های موجودات زنده در محیط‌های آبی، به عنوان مهم‌ترین منبع پذیرنده نانو مواد، می‌تواند به عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل پیش روی استفاده از این نانو مواد در آینده مطرح باشد.

برای کنترل کیفیت منابع آبی و بوم‌سازگان‌های آبی، آزمون‌های ساده سمیت و سنسورهای خاص مواد شیمیایی نمی‌توانند اطلاعات جامع و کافی در مورد اثرات واقعی آلاینده را ارائه دهند، از این رو از موجودات آبی به عنوان اندیکاتورهای زیستی جهت کنترل و پایش محیط‌های آبی از میزان آلودگی محیط و همچنین شاخصی برای سالم بودن خود موجود زنده استفاده می‌گردد (۹). خرچنگ دراز آب شیرین (شاه‌میگوی آب شیرین) به دلیل ویژگی‌هایی همچون داشتن زندگی انفرادی، داشتن تماس مداوم با بستر محیط آبی، رژیم غذایی همه چیزخواری، باروری بالا، طول عمر نسبتاً طولانی، محدوده قلمرویی کم و داشتن اندازه مناسب جهت نمونه‌گیری بافتی، به عنوان یکی از گونه‌های شاخص در محیط‌های آبی معرفی و مورد استفاده قرار گرفته است (۱۰، ۱۱). همچنین خرچنگ دراز آب شیرین در میان سخت پوستان دارای اهمیت تغذیه‌ای و اقتصادی و تجارتي بالایی می‌باشد (۱۲). در این راستا، مطالعاتی در اسپانیا (۱۳)، ترکیه (۱۴)، آمریکا (۱۵) و ایران (۱۶) در رابطه با تجمع فلزات سنگین در بافت‌های مختلف خرچنگ دراز آب شیرین به عنوان شاخص زیستی در محیط‌های آبی انجام شده است؛ اما اطلاعات جامعی از میزان اثرات سمیت و تجمع نانو مواد بر بافت‌های مختلف این نوع آبی در دسترس نمی‌باشد. از این رو هدف این مطالعه بررسی مقدماتی قابلیت تجمع زیستی نانو ذرات نقره در بافت‌های آبشش، روده و هپاتوپانکراس خرچنگ دراز آب شیرین در شرایط آزمایشگاهی می‌باشد.

روش بررسی

در این پژوهش از کلوئید نانو ذرات نقره ساخت شرکت نانونصب پارس با نام تجاری نانوسید L2000 استفاده گردید. مشخصات این کلوئید در مطالعات Asghari و همکاران (۱۷) و Johari و همکاران (۱۸) به طور کامل مورد سنجش قرار گرفته و گزارش شده است. بر اساس نتایج مطالعات مذکور، به طور خلاصه کلوئید مورد استفاده حاوی نانو ذرات نقره با غلظت ۴۰۰۰ میلی گرم در لیتر، میانگین (\pm SD) پتانسیل زتای $53/33 \pm 7/86$ میلی ولت و pH ۲/۴۰، بوده و میانگین قطر نانو ذرات نقره در کلوئید مذکور ۱۶/۶ نانومتر می باشد.

برای انجام این مطالعه خرچنگ‌های بالغ گونه‌ی *Astacus leptodactylus* از رودخانه ارس تهیه شدند و برای سازگاری با شرایط محیط آزمایشگاه به مدت ۶ ماه نگهداری گردیدند و در این مدت با غذای کنستانتی ماهی قزل آلا تغذیه می گردیدند. به منظور پیشگیری از تأثیر جنسیت بر نتایج آزمایش، در این پژوهش فقط از خرچنگ‌های جنس نر استفاده شد. خرچنگ‌ها به مدت ۱۴۴ ساعت (۶ روز) در معرض غلظت‌های ۰، ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی گرم در لیتر نانو ذرات نقره کلوئیدی قرار گرفتند (برای هر غلظت از ۳ خرچنگ استفاده شد). در پایان روز ششم پس از بی هوش کردن خرچنگ‌ها توسط یخ، بافت‌های آبشش، روده و هپاتوپانکراس آن‌ها نمونه برداری شد. بافت‌های مذکور پس از شستشوی ملایم با آب مقطر، ابتدا در دستگاه آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد خشک و سپس توزین گردیدند. به منظور سنجش میزان تجمع نقره در بافت‌های نمونه برداری شده، ابتدا به روش هضم اسیدی، نقره تجمع یافته در بافت‌ها به صورت محلول درآورده شد (۱۹). بدین منظور ابتدا ۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ بر روی ۲۰۰ میلی گرم

نمونه خشک شده در ظروف فالتون ریخته شد؛ سپس به منظور تکمیل عمل هضم، نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت در حمام بن ماری در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. پس از خشک شدن نمونه‌های هضم شده، حجم تمام نمونه‌ها توسط آب مقطر به ۲۵ میلی لیتر رسانده شد. در نهایت میزان نقره در هر نمونه به وسیله دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی (مدل فونیکس ۹۶۱، ساخت شرکت Biotech) و در طول موج ۳۲۸/۱ نانومتر (دارای ۵ مرحله دمایی ۱۹۰۰، ۱۸۰۰، ۶۰۰، ۱۲۰، ۹۰ درجه سانتی گراد) خوانده شد. در این مطالعه مقدار نقره تجمع یافته، بر اساس وزن خشک هر بافت گزارش گردیده است.

آنالیزهای آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۲۰) صورت پذیرفت. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف - سیمیرنوف مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌ها توزیع نرمال داشتند. برای بررسی اختلاف میزان تجمع نانو ذرات نقره در بین بافت‌های روده، آبشش و هپاتوپانکراس از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) استفاده شد.

یافته‌ها

غلظت نانو ذرات نقره در آب و میانگین میزان تجمع یافته در بافت‌های مختلف خرچنگ دراز آب شیرین در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، بالاترین میزان غلظت نانو ذرات نقره در بافت آبشش تجمع یافته است. همچنین نتایج نشان داد که در بافت‌های آبشش و هپاتوپانکراس با افزایش میزان غلظت نانو ذرات نقره در آب، میزان تجمع نانو ذرات نقره نیز روند افزایشی داشته است. همچنین غلظت‌های پایین، میزان تجمع در بافت روده بیشتر از هپاتوپانکراس بوده و در مقابل در غلظت‌های بالا میزان

تجمع نانو ذرات نقره در هیپاتوپانکراس بیشتر بوده است. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که اختلاف معنی داری در میزان تجمع نانو ذرات نقره در بافت های مختلف خرچنگ دراز آب شیرین وجود دارد ($p < 0.05$).

جدول ۱: میانگین غلظت تجمع یافته نقره در بافت های مختلف خرچنگ دراز آب شیرین متعاقب قرارگیری در معرض غلظت های مختلف نانو ذرات نقره.

اندام	غلظت نانو ذره در آب (mg/l)	غلظت نقره در بافت (ppb)
روده	۱	۴۵۳
	۰/۵	۱۳۰۷
	۰/۲۵	۱۴۷۳
	۰/۱	۳۸۰۸
	۰	۷۷
آبشش	۱	۱۵۳۹۵
	۰/۵	۱۲۸۶۴
	۰/۲۵	۱۲۶۵۲
	۰/۱	۵۸۴۴
	۰	۱۱۶
هیپاتوپانکراس	۱	۱۲۷۳۸
	۰/۵	۷۱۷۳
	۰/۲۵	۱۰۰۱
	۰/۱	۸۴۷
	۰	۱۸۷
سطح معنی داری		۰/۰۵*

بحث و نتیجه گیری

بوده است (۱۰). در مقابل یافته های Guner نشان داد که میزان تجمع کادمیوم در دوره های ۷، ۱۴ و ۲۱ روزه مواجهه خرچنگ دراز آب شیرین با کادمیوم، در بافت هیپاتوپانکراس بیشتر از بافت آبشش بوده است (۲۱) و یافته های Kuklina و همکاران نیز نشان داد که میزان تجمع فلزات در هیپاتوپانکراس این گونه بیشتر از بافت آبشش بوده است و نتایج مطالعه اخیر نشان داد که بافت هیپاتوپانکراس می تواند به عنوان بافت هدف در سنجش آلاینده های فلزی در این گونه به کار رود (۲۲). در مطالعه ای دیگر Farlow میزان تجمع زیستی نانو ذرات نقره و یون نقره را در گونه ای از خرچنگ های آب

یافته های این مطالعه نشان داد که بافت آبشش نسبت به روده و هیپاتوپانکراس دارای بالاترین میزان تجمع نانو ذرات نقره بوده است. به نظر می رسد میزان بالاتر تجمع نقره در بافت آبشش نسبت به دیگر بافت های مطالعه شده، به دلیل تماس مستقیم بافت آبشش با محیط آبی و همچنین عملکرد فیزیولوژیک ویژه این بافت در تنفس و تعادل اسمزی می باشد (۲۰). نتایج این مطالعه همسو با یافته های Tunka و همکاران بوده که نشان دادند میزان تجمع فلزات در بافت آبشش خرچنگ دراز آب شیرین بیشتر از بافت هیپاتوپانکراس

و همکاران در طی مطالعه‌ای میزان تجمع زیستی نانو ذرات نقره از محیط آکواریوم به بافت‌های روده و آبشش کپور معمولی را به ترتیب ۴/۸ تا ۵/۵ برابر نسبت به محیط آکواریوم ارائه کردند (۲۴). همچنین در مطالعه‌ای دیگر Ates و همکاران، میزان انتقال زیستی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم را در بافت‌های آبشش و روده بررسی کردند و مشاهده کردند که در غلظت‌های ۱۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر این ماده در محیطی آبی، قابلیت تجمع نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در بافت روده بیشتر از بافت آبشش می‌باشد، باین وجود مقدار تجمع مشاهده شده در آن مطالعه، کمتر از غلظت نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم موجود در آکواریوم گزارش شد (۲۵). در پایان می‌توان نتیجه گرفت که قابلیت انتقال آلاینده‌ها از محیط آبی به بافت موجودات زنده به پارامترهای مختلفی از جمله نوع آلاینده، شرایط محیط آبی، گونه مورد مطالعه و نوع بافت می‌تواند متغیر باشد.

شیرین در لویزانای آمریکا مورد بررسی قرارداد و بیان داشت که میزان تجمع یون نقره بیشتر از نانو ذرات نقره بوده است و میزان تجمع نسبت به گروه کنترل اختلاف معنی‌داری داشت (۲۳). با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر و سایر مطالعات انجام شده در مورد تجمع مواد با پایه فلزی در گونه‌های خرچنگ دراز آب شیرین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که میزان تجمع آلاینده‌ها بسته به نوع گونه، بافت و نوع آلاینده می‌تواند متغیر باشد.

از ویژگی‌های مهم در بحث‌های سم‌شناسی محیطی، قابلیت انتقال آلاینده‌ها در اکوسیستم‌های آبی، از محیطی آبی به بافت موجود زنده می‌باشد. در طی این فرآیند مقداری از آلاینده از محیط توسط بافت آبی جذب و در بدن توزیع می‌گردد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در تمامی غلظت‌ها (به استثناء غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر در بافت روده) قابلیت تجمع زیستی نانو ذرات نقره از محیط آبی به بدن خرچنگ روند رو به افزایش داشته است، به طوری که این افزایش انتقال زیستی در بافت آبشش به ۵۸ برابر بیشتر از غلظت نانو ذرات نقره در آب هم رسیده است. در این راستا، Jang

منابع

- 1- Massarsky A, Trudeau VL, Moon TW. Predicting the environmental impact of nanosilver. *Environ. Toxicol Phar* 2014; 38: 861-873
- 2- Woodrow Wilson Database. at <http://www.nanotechproject.org/cpi/about/analysis/>. 2013; Accessed May 11, 2015.
- 3- Cheng D, Yang J, Zhao Y. Antibacterial materials of silver nanoparticles application in medical appliances and appliances for daily use. *Chin Med Equip J* 2004; 4: 26-32.
- 4- Chen J, Han CM, Lin XW, Tang ZJ, Su SJ. Effect of silver nanoparticle dressing on second degree burn wound, *Zhonghua. Wai. Ke. Za. Zhi* 2006; 44(1): 50-52.
- 5- Muangman P, Chuntrasakul C, Silthram S, Suvanchote S, Benjathanung R, Kittidacha S, Rueksomtawin S. Comparison of efficacy of 1% silver sulfadiazine and Acticoat for treatment of partial-thickness burn wounds. *J Med Assoc Thai* 2006; 89: 953-958.
- 6- Cohen MS, Stern JM, Vanni AJ, Kelley RS, Baumgart E, Field D, Libertino JA, Summerhayes IC. In vitro analysis of a nanocrystalline silver-coated surgical mesh. *Surg Infect* 2007; 8: 397-403.
- 7- Mueller NC, Nowack B. Exposure modeling of engineered nanoparticles in the environment. *Environ Sci Technol* 2007; 42: 4447-4453

- 8- Bondarenko O, Juganson K, Ivask A, Kasemets K, Mortimer M, Kahru A. Toxicity of Ag, CuO and ZnO nanoparticles to selected environmentally relevant test organisms and mammalian cells in vitro: a critical review. Arch Toxicol 2013; 87: 1181-1200
- 9- van der Schalie WH, Shedd TR, Knechtges PL, Widder MW. Using higher organisms in biologically early warning systems for real time toxicity detection. Biosens Bioelectron 2001; 16: 457-465.
- 10- Tunca E, Üçüncü E, Kurtulus B, Ozkanc AD, Atasagun S. Accumulation trends of metals and a metalloid in the freshwater crayfish *Astacus leptodactylus* from Lake Yeniçağa (Turkey). Chem Ecol 2013; 29: 754-769.
- 11- Tunca E, Üçüncü E, Ozkan AD, Ulger ZE, Tekinay T. Tissue distribution and correlation profiles of heavy-metal accumulation in the freshwater Crayfish *Astacus leptodactylus*. Arch Environ Contam Toxicol 2013; 64: 676-691.
- 12- Mohammadi Gh. The comparison of meristic characteristics of subspecies *Astacus leptodactylus leptodactylus* in Anzali wetland and Aras dam habitats. Pajouhesh & Sazandegi 2007; 75: 171-180
- 13- Alcorlo P, Otero M, Crehuet M, Baltanás A, Montes C. The use of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard) as indicator of the bioavailability of heavy metals in environmental monitoring in the River Guadiamar (SW, Spain) Sci Total Environ 2006; 366: 380-390.
- 14- Tunca E, Üçüncü E, Ozkan AD, Ulger ZE, Tekinay T. Tissue distribution and correlation profiles of heavy-metal accumulation in the freshwater Crayfish *Astacus leptodactylus*. Arch Environ Contam Toxicol 2013; 64: 676-691.
- 15- Anderson MB, Reddy P, Preslan JE, Fingerman M, Bollinger J, Jolibois L. et al. Metal accumulation in crayfish, *Procambarus clarkii*, exposed to a petroleum-contaminated Bayou in Louisiana. Ecotoxicol Environ Saf 1997; 37: 267-272.
- 16- Naghshbandi N, Zare S, Heidari R, Razzaghzadeh S. Concentration of heavy metal in different tissues of *Astacus leptodactylus* from Aras Dam of Iran. Pak J Biol Sci 2007; 10: 3956-3959.
- 17- Asghari S, Johari SA, Lee JH, Kim YS, Jeon YB, Choi HJ, Moon MC, Yu IJ. Toxicity of various silver nanoparticles compared to silver ions in *Daphnia magna*. J Nanobiotechnol 2013; 10: 10-14.
- 18- Johari SA, Kalbassi MR, Soltani M, Yu IJ. Toxicity comparison of colloidal silver nanoparticles in various life stages of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Iran J Fish Sci 2013; 12(1): 76-95.
- 19- Salari Joo H, Kalbassi MR, Yu IJ, Lee JH, Johari SA. Bioaccumulation of silver nanoparticles in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Influence of concentration and salinity. Aquat Toxicol 2013; 140 (141): 398-406.
- 20- Heath AG. Water pollution and fish physiology DRS press. Boston, USA, 245 p. 1987
- 21- Guner U. Cadmium bioaccumulation and depuration by freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus*. Ekoloji 2010; 19: 23-28
- 22- Kuklina I, Kouba A, Buli IM, Horká I, Duris Z, Kozák P. Accumulation of heavy metals in crayfish and fish from selected Czech reservoirs. BioMed Res Int 2014; in press
- 23- Farlow JK. Chronic toxicity of nano metallics on red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in laboratory and mesocosm studies. MSc Thesis, Louisiana State University. 2014
- 24- Jang MH, Kim WK, Lee SK, Henry TB, Park JW. Uptake, tissue distribution, and depuration of total silver in common carp (*Cyprinus carpio*) after aqueous exposure to silver nanoparticles. Environ Sci Technol 2014; DOI: 10.1021/es5022813
- 25- Ates M, Demir V, Adiguzel R, Arslan Z. Bioaccumulation, subacute toxicity, and tissue distribution of engineered titanium dioxide nanoparticles in goldfish (*Carassius auratus*). J Nanomater 2013; 25: 1-6.

Original paper

Bioconcentration of silver nanoparticles in narrow-clawed crayfish (*Astacus leptodactylus*)**Seyed Ali Johari¹, Borhan Mansouri², Leila Dekani³, Saba Asghari³**

1-Assistant Professors, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

E-mail: a.johari@uok.ac.ir

2- Student Research Committee, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran.

3- MSc. Student of Aquaculture, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Abstract

Background and Aims: The increasing use of silver nanoparticles (AgNPs) in the future will result in pouring this material into the environment and will cause health and environmental problems to humans and other organisms. In this context, the use of biological indicators is necessary for environmental monitoring and control. The purpose of this study was to evaluate the accumulation capacity of AgNPs in the gills, intestines and hepatopancreas of freshwater crayfish, as an indicator of environment.

Material and Method: In this study, 15 adult male freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus*) were caught from the Aras River (north-west of Iran). Crayfish were exposed to five concentrations of AgNPs colloid (0, 0.1, 0.25, 0.5, and 1 mg/l) for a period of 6 days. The concentration of silver in the intestines, gills and hepatopancreas were measured using Phoenix 986 atomic absorption. The One-Way ANOVA was used to compare the levels of AgNPs in the tissues.

Results: According to the findings of this study the highest accumulation of silver were observed in the gill tissue. Also the accumulation amount in the hepatopancreas and intestinal tissues depends on the concentration of AgNPs in the water, so that at lower concentrations, accumulation in the intestine was higher than the hepatopancreas but in higher concentrations, accumulation in the hepatopancreas was higher than the intestine.

Conclusion: In this study, the silver bioconcentration was dependent on the target tissue and concentration of AgNPs in the water. Also, due to the higher concentration of silver in the gills of freshwater crayfish in comparison with other tissues, this organ can be recommended as a suitable target tissue. More studies are needed to obtain more comprehensive information about the impact mechanism of AgNPs accumulation in different tissues of this aquatic organism.

Keywords: Silver nanoparticles, Aquatic toxicology, Nanotoxicology, Bioconcentration, Crayfish.