

بررسی روند جذب و تعدیل فلز روی با استفاده از سبوس برنج در آب برگشتی سیستم های پرورش نیمه متراکم ماهی قزل آالی رنگین کمان

محمدعلی حسن نتاج^۱، مسعودهدایتی فرد^{۲*}، مهدی یوسفیان^۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۶

تاریخ تصویب: ۹۵/۷/۵

چکیده

این مطالعه با هدف جذب فلز روی با استفاده از سبوس برنج در آب برگشتی سیستم پرورش نیمه متراکم ماهی قزل آالی در استخرهای بتنی استان مازندران انجام شد. زمان نمونه برداری تحقیق ۴ ماه و منبع تامین آب، چاه بود که به میزان ۹۰ درصد آب خروجی، پس از تصفیه به صورت جذب ذرات جامد معلق به وسیله "سیستم مدیا" و حوضچه ترسیب مجددا وارد سیستم شد. فلز روی آب خروجی از شش استخر هشت ضلعی با روش جذب اتمی به روش شعله ای و دستگاه فتومتر اندازه گیری شد.

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، تکثیر و پرورش آبزیان، مرکز تحصیلات تکمیلی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر
 ۲* دانشجویان، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر (نویسنده مسئول: hedayati.m@qaemiau.ac.ir)
 ۳ دانشیار، گروه بیولوژی، دانشگاه پیام نور، ایران
 مقاله حاصل پایان نامه دانشجویی کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر مسعود هدایتی-فرد در دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم شهر می باشد

برای جذب و حذف فلز روی، جاذب طبیعی "سبوس برنج" در ۴ غلظت (شامل صفر "شاهد"، ۱۰، ۱۵، ۲۰ g/lit) و ۵ زمان مختلف (شامل ۵، ۱۵، ۳۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه) بکار گرفته شد. نتایج اندازه گیری فلز روی در آب چاه ($0/11 \pm 0/01$ mg/lit)، آب ورودی ($0/13 \pm 0/02$ mg/lit) و آب خروجی ($0/12 \pm 0/01$ mg/lit) اختلاف معنی داری نشان نداد ($P > 0,05$). در زمانهای ۵ و ۱۵ دقیقه عملاً هیچ جذبی انجام نشد ($P > 0,05$). همچنین نتایج نشان داد که بهترین جذب فلز روی در زمان ۹۰ دقیقه و در مقدار ۱۵ g/lit با $0/28 \pm 0/05$ (یا ۷۰٪) و کمترین آن در مقدار ۲۰ g/lit و زمان ۳۰ دقیقه با $0/07 \pm 0/02$ (یا ۱۷/۵٪) جذب انجام شد ($P > 0,05$). از طرفی افزایش غلظت جاذب اثر معکوس بر میزان جذب داشت. براساس نتایج سبوس برنج به عنوان جاذب طبیعی و ارزان قیمت در تصفیه آب، جذب و حذف فلز سنگین روی در آب برگشتی از مزارع پرورش ماهی قزل آلا مناسب تشخیص داده شد.

واژه های کلیدی: آب برگشتی، سبوس برنج، فلز روی، قزل آلا، رنگین کمان

مقدمه

آب در واقع محیط زیست، محل تغذیه، رشد و تولید مثل ماهی است. آب مناسب از دیدگاه کمی و کیفی برای تولید آبزیان ضروری است. در تعریف آب با کیفیت می توان گفت «آبی که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در محدوده تعیین شده برای گونه مورد نظر مناسب باشد». پایین آمدن کیفیت آب بستگی به میزان فضولات ماهی و مواد دفعی، تراکم و نوع غذای مصرفی دارد (Lawson, 1989). عوامل زیادی در سلامت و بقای ماهی تاثیر دارند. فلزات سنگین، از مهمترین آلاینده های زیست محیطی محسوب می شوند که در اکثر آب ها به میزان کم ولی در پساب حاصل از کارخانه های صنعتی به وفور یافت می شوند. به همین خاطر تلاش هایی صورت میگیرد تا قبل از اینکه پساب وارد چرخه حیات آبزیان شود، تصفیه گردد. فلز روی (Zn) عنصری شیمیایی بوده، دارای عدد اتمی ۳۰ و به رنگ سفید متمایل به آبی است که بر اثر رطوبت هوا تیره رنگ می شود. فلزات سنگین علاوه بر حضور طبیعی، از مسیرهای مختلفی مانند نزولات جوی، تخلیه مواد زاید، فرآیندهای صنعتی، تخلیه فاضلاب های صنایع، شهری و کشاورزی و نیز فرسایش خاک به محیط های آبی وارد می شوند. به دنبال آن این احتمال به وجود می آید که آبزیان از طریق زنجیره غذایی و یا مستقیماً از طریق آب این فلزات را جذب و

در بافت های مختلف بدن ذخیره می نمایند (Khoshnoud et al., (2011); Lawson, (1989). فلزات سنگین اندام هدف خود در موجودات زنده را بر اساس میزان فعالیت متابولیک آن انتخاب می کنند (Filazi et al., (2003) و همین نکته دلیل اصلی تجمع این مواد سمی در اندام هایی همچون کبد، کلیه، گنادها و نهایتاً بافت عضله است. مصرف این آبزیان توسط انسان موجب ورود این مواد به بدن شده و امکان ایجاد سمیت در درجات و شدت های مختلف وجود دارد. در سال های اخیر به دلیل افزایش نگرانی از آثار دراز مدت فلزات سنگین به عنوان آلاینده های زیست محیطی، مطالعات فراوانی پیرامون این آلاینده ها صورت پذیرفته است (Kolangi Miandare et al., 2016; Sfakianakis et al., (2015); Onara et al., (2013).

حد مجاز و مقدار استاندارد حضور فلز سنگین روی در عضله ماهیان در بالاترین مقادیر توسط سازمان بهداشت جهانی^۱ یک گرم در لیتر (gr/l) معرفی شده (WHO, 1985) که توسط بیشتر کشورهای دنیا پذیرفته شده است؛ درحالی که برخی مراجع همانند وزارت کشاورزی، شیلات و غذای بریتانیا^۲ میزان مجاز و قابل قبول آن را ۰/۰۵ gr/l برای عضله ماهیان پیشنهاد نموده اند (Teodorovic et al., (2000).

1 WHO: World Health Organization

2 MAFF: Ministry of Agriculture Fisheries, & Food (UK)

در کشورهای مختلف از جمله ایران و محسوب شدن به عنوان ماده زاید حاصل از فرآیندهای کشاورزی، گزینه‌ای مناسب می‌باشد. وجود ترکیباتی همانند سلولز، لیگنین و سیلیکا در این ماده با جایگاه‌های سطحی قادر به جذب فلزات، استفاده از سبوس برنج را به عنوان یک جاذب طبیعی کم هزینه برای فلزات سنگین تایید می‌نماید. Tarley et al., (1979); Houston, (2004). منابع آبی به عنوان عامل اساسی در آبی‌پروری با محدودیت‌هایی روبرو است؛ خصوصاً در ایران که میزان بارندگی سالانه حدود یک سوم متوسط بارندگی جهان است، استفاده بهینه از این منابع اهمیت ویژه‌ای دارد. از این رو صنعت آبی‌پروری باید به سمت بهره برداری بهینه از منابع آبی گام بردارد. یکی از روش‌های استفاده بهینه از آب در پرورش ماهیان سردآبی به ویژه قزل‌آلای رنگین-کمان^۱، بکارگیری سیستم نیمه متراکم و متراکم آن است (Lawson, 1989); Huet, (1989). ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان نیز در ایران به دلیل طعم و مزه مناسب و مطلوب دارای طرفداران بسیاری می‌باشد، به طوری که در سال ۱۳۹۲ به میزان ۱۴۳ هزار تن تولید گردید که ضمن تامین ۳/۰۷ درصد از کل آزاد ماهیان پرورشی، مقام اول جهان را در زمینه تولید قزل‌آلا در آب شیرین به خود اختصاص داده است (سازمان شیلات ایران، ۱۳۹۲).

برای حذف و جذب فلزات سنگین راه‌های متفاوتی وجود دارد که متداولترین فرآیندهای فیزیکی-شیمیایی تصفیه برای حذف فلز سنگین روی عبارت از تبادل یونی، «ترسیب» یا «رسوب دهی» شیمیایی، اسمز معکوس، الکترودیالیز و استخراج توسط حلال (Dursun et al., 2003) می‌باشند. همچنین برای حذف فلزات سنگین از محیط آب، Repo و همکارانش (۲۰۱۳) خواص عملکردی موادی همچون اسید آمینوپلی‌کربوکسیلیک را پیشنهاد نموده‌اند و آنرا بسیار امیدوارکننده یافته‌اند. از طرفی نقی‌پور و همکاران (۱۳۹۴) نیز گیاه عدسک آبی را برای حذف این فلزات از محیط‌های آبی مناسب تشخیص داده‌اند.

باتوجه به اینکه روش‌های شیمیایی دارای معایب قابل توجهی مانند حذف ناکامل فلزات، نیاز به تجهیزات و سیستم‌های نظارتی با هزینه بالا، نیاز به انرژی با مقادیر زیاد مواد شیمیایی، تولید لجن یا سایر مواد زائد که نیاز به دفع و امحاء دارند، می‌باشند (Aksu et al., 2002)، در سالهای اخیر استفاده موفقیت آمیز از مواد طبیعی کم هزینه مانند خاک اره (Verma et al., 2006)، شلتوک برنج (Tarley et al., 2004) و پوسته بادام زمینی (Brown et al., 2000) برای حذف برخی فلزات سنگین از جمله کروم ۶ ظرفیتی (Cr) توجه محققان را به خود جلب کرده است. سبوس برنج به علت تولید سالیانه بالا

جاذب ارزان قیمت و بومی در کشور مورد بررسی قرار گیرد.

در این مطالعه بررسی جذب و حذف فلز روی از محلول آبی حاصل از مزارع آبی‌پروری توسط سبوس برنج صورت پذیرفت و طی آن اثر پارامترهای مختلف مانند زمان تماس جاذب، تغییرات pH آب و غلظت اولیه روی بر فرآیند جذب آن و نهایتاً بهبود کیفیت به منظور افزایش استحصال ماهیان باکیفیت مناسب و بهداشتی در مزارع پرورش نیمه متراکم ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این بررسی در سال ۱۳۹۲ در مزرعه پرورش ماهی نیمه متراکم قزل‌آلای رنگین‌کمان (مازندران، بابل) با استفاده توأم از آب چاه و آب برگشتی به میزان ۹۰ درصد و به صورت ناپیوسته، با به کارگیری مقادیر مختلف پودر سبوس برنج شامل صفر، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم در لیتر و در زمان‌های تیماردهی ۵، ۱۵، ۳۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه، به همراه یک تیمار شاهد و هرکدام با ۳ تکرار اجرا شد. ابتدا آزمایش‌های معمول کیفیت آب انجام و نهایتاً میزان حضور فلز روی در جریان آب‌های ورودی و خروجی استخرها اندازه‌گیری شد. برای انجام این کار، پودر سبوس برنج از یک کارخانه شالیکوبی در منطقه مورد مطالعه و به میزان مورد نیاز تهیه و پس

چنانچه به قسمت‌های تشکیل دهنده سیستم پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در سیستم نیمه متراکم^۱ که قابلیت تصفیه و استفاده از آب برگشتی را دارد، توجه شود، می‌توان بخش‌های کلی آن را به شرح ذیل طبقه‌بندی کرد: مخازن نگهداری ماهی (استخرهای گرد یا هشت ضلعی)، فیلترها (نظیر فیلترهای زیستی، فیلترهای مکانیکی و فیلترهای از بین برنده میکروارگانیسم‌های مزاحم)، بخش‌های مربوط به تنظیم عوامل شیمیایی آب، پمپ‌های آب و هوا و لوله‌های اتصال دهنده و غیره (Sedgwick, (1990); Huet, (1989).

هدف از پرورش ماهی در این سیستم، افزایش تولید ماهی به بیش از ۱۰ برابر در واحد حجم و سطح، صرفه جویی در شاخص‌های مصرف آب (به میزان ۹۰ درصدی و کاهش حداقل ۱۰ برابری)، زمین (با کاهش تا ۶۰ درصدی)، سرمایه‌گذاری و البته به حداقل رساندن مدت زمان دوره پرورش، در مقایسه با پرورش ماهی در سیستم متداول می‌باشد (Schuster and Stelz, (1998).

با توجه به اینکه تا کنون در ایران و سایر کشورها پژوهشی در مورد کاربرد روش جذب سطحی فلزات سنگین توسط پودر سبوس برنج و مقایسه آن با جاذب‌های متداول موجود در بازار از جمله کربن فعال انجام نشده، به نظر لازم می‌رسد که ظرفیت جذب و امکان کاربرد پودر سبوس برنج در حذف روی از محلول‌های آبی به عنوان یک

با زی توده ماهی ۴۵۰۰ کیلوگرم و با مصرف غذای روزانه ۷۰ کیلوگرم نگهداری شدند. نهایتاً آب خروجی استخرها مورد بررسی قرار گرفت.

جهت یکنواختی غلظت و یکسان سازی میزان روی آب ورودی در هر تیمار و براساس کمترین سطح استاندارد تعریف شده موجود برای فلز روی توسط استاندارد غذایی سازمان ملی امور غذا (NHMRC) و وزارت کشاورزی، شیلات و غذا (MAFF) (Teodorovic et al., 2000) تیمارهای ورودی را با تزریق محلول‌هایی با غلظت مشخص و یکسان، به سطح ۰/۴۰ میلیگرم در لیتر رسانده و سپس بر همین اساس آب ورودی با غلظت‌های مختلفی از سبوس برنج به عنوان تیمارهای تحقیق، تلاقی داده شد. تیماربندی حضور سبوس در آب بر حسب گرم در لیتر (gr/l) و مقادیر روی بر حسب میلی گرم در لیتر (mg/l) محاسبه شدند. غلظت‌ها و زمان‌های مختلف تیماربندی سبوس برنج به عنوان جاذب طبیعی به کار رفته در پژوهش کنونی به شرح (جدول ۱) می باشد.

روی باقیمانده توسط دستگاه جذب اتمی (مدل Thermo M5-) و دستگاه فتومتر (Light Palintest 7000, England) در طول موج ۵۴۰ نانومتر قرائت شد. به منظور جلوگیری از خطا، از هر ۳ تکرار جاری، ۲ تکرار باروش جذب اتمی و تکرار نهایی

از حذف مواد اضافی توسط الک دستی ریز چشمه با قطر ۵۰ میکرون فیلتر شد (Brown et al., 2000). سپس توسط یک ترازوی دیجیتالی (پایا، مدل A-1000, Iran) با دقت یکصدم گرم و به مقدار مورد نیاز توزین شد. به منظور بررسی میزان جذب و تعدیل فلز سنگین روی با جاذب طبیعی سبوس برنج، تعداد ۱۸ نمونه از آب برگشتی مزرعه، در غلظت‌های اولیه‌ی مذکور به صورت تصادفی انتخاب گردید (Yu et al., 2003). به تعداد مورد نیاز ظرف ارلن مایر مدرج (برای هر تیمار یک ارلن مایر) انتخاب و به دقت مورد شستشو قرار گرفت. مقدار ۲۰۰ میلی لیتر محلول آبی نمونه به ارلن مایرها ریخته، سپس pH آنها اندازه گیری شد. محلول و سبوس برنج در شرایط کاملاً طبیعی بدون دخالت شیکر (مخلوط کن) باهم مخلوط شدند. با استفاده از قیف شیشه‌ای و کاغذ صافی واتمن ۰/۴۵ میکرون، ذرات جامد سبوس برنج جدا شدند (Sprynsky et al., 2006). آنگاه به میزان ۱۰ میلی لیتر از محلول صاف شده به لوله‌های آزمایش اضافه شده، بلافاصله برای اندازه گیری مقدار روی باقیمانده در محلول، آزمایش فرآیند جذب انجام شد. در طول دوره انجام پژوهش، ۸۵۰۰۰ قطعه بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با وزن متوسط ۵۳ گرم داخل شش استخر هشت ضلعی با مساحت ۴۱ متر مربع و حجم آبیگری ۸۳ متر مکعب

جدول ۱: تیمارهای بررسی اثر جذب فلز روی توسط سبوس برنج

شماره تیمار	شرح تیمارها	زمان تاثیر (دقیقه)
۱	مقدار ۱۰ گرم درلیتر سبوس برنج	۵
		۱۵
		۳۰
		۹۰
		۱۲۰
۲	مقدار ۱۵ گرم درلیتر سبوس برنج	۵
		۱۵
		۳۰
		۹۰
		۱۲۰
۲	مقدار ۲۰ گرم درلیتر سبوس برنج	۵
		۱۵
		۳۰
		۹۰
		۱۲۰
۴ (شاهد بدون جذب)	بدون اضافه نمودن سبوس برنج	۵
		۱۵
		۳۰
		۹۰
		۱۲۰

توسط دستگاه فتومتر صورت پذیرفت
 Sprynsky et al., (2006). فلز سنگین روی
 در آب ورودی و خروجی هریک از استخرها به
 صورت جداگانه و همچنین فلز روی موجود
 در آب برگشتی مزرعه نیز اندازه گیری شد.
 شرایط فیزیکیوشیمیایی آب استخرها همانند
 فصل، pH، سختی، اکسیژن محلول، CO₂ و
 غیره مورد بررسی قرار گرفت.
 با توجه به تیمار غلظت و زمان متفاوت تاثیر
 سبوس برنج در حذف فلز روی از محلول آبی،
 راندمان جذب و حذف از رابطه زیر استفاده
 گردید (Sprynsky et al., 2006):

$$E = \left(\frac{C - C_f}{C} \right) \times 100 \quad \left(\frac{C - C_f}{C} \right) \times 100$$

E=درصد راندمان جذب یون فلز

C=غلظت اولیه یون فلز در محلول بر حسب میلی گرم در لیتر

C_f=غلظت تعادلی یون فلز در محلول بر حسب میلی گرم در لیتر

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS for Windows 17 انجام گردید. با توجه به نرمال بودن داده‌ها از آزمون های آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA One Way) استفاده شد. همچنین از آزمون تعقیبی دانکن (Duncan) برای تعیین اختلاف بین گروه‌ها در سطح ۹۵ درصد ($P < 0/05$) استفاده گردید. جداول و نمودارها نیز توسط نرم افزار Excel 2007 رسم شدند.

در pH طی مدت نمونه گیری اندازه گیری شدند؛ بطوریکه میانگین دما ۱۵/۶، حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۱۵/۹ و ۱۴/۷ درجه سانتیگراد و میانگین اکسیژن محلول ۷/۱ با حداقل و حداکثر به ترتیب ۶/۸ و ۷/۴ میلیگرم در لیتر، میانگین pH ۷/۲ با حداقل و حداکثر ۷ و ۷/۴ برآورد شدند.

نتایج ارزیابی شاخص‌های کیفی آب طی نمونه برداری (از ۱۳۹۱/۴/۲۸ الی ۱۳۹۱/۸/۲۸)، در (جدول ۲) و نتایج نمونه‌های آب کانال‌های ورودی و خروجی استخرها، در جدول ۳ آمده است.

نتایج

عوامل محیطی شامل دما، اکسیژن محلول

جدول ۲: فاکتورهای کیفی آب چاه در دوره نمونه برداری ناپیوسته، ۱۳۹۱/۴/۲۸ الی

۱۳۹۱/۸/۲۸

ردیف	نام مواد	غلظت mg/l	ردیف	نام مواد	غلظت mg/l
۱	Ph	۷/۳	۸	منیزیم	۱۲ mg/l
۲	قلیائیت تام	۲۱۰	۹	فسفات	۱/۴ mg/l
۳	سختی کل	۲۳۰	۱۰	پتاسیم	۳/۳ mg/l
۴	آهن کل	۰/۲	۱۱	روی	۰/۱۱ mg/l
۵	سولفات	۲۳	۱۲	نیتريت	۱/۳ mg/l
۶	سولفید	۰/۰۶	۱۳	نترات	۰/۰۱ mg/l
۷	کلسیم	۴۵	۱۴	آمونیاک	۰/۰۱ mg/l

جدول ۳: اندازه کیفی آب و فلزروی در کانال های ورودی و خروجی استخرها، در طی نمونه برداری ناپیوسته، ۱۳۹۱/۴/۲۸ الی ۱۳۹۱/۸/۲۸

ردیف	مواد و مکان نمونه برداری	اندازه/واحد mg/l	توضیحات
۱	دمای آب	15.4 ± 0.4 °C	
۲	pH	7.5 ± 0.3	
۳	فلزروی ورودی	14 ± 0.2 mg/l	$0.13 - 0.14$
۴	استخر ۱ خروجی	13 ± 0.2 mg/l	ناشی از خطای قرائت دستگاه
۵	فلزروی ورودی	17 ± 0.1 mg/l	$0.16 - 0.17$
۶	استخر ۲ خروجی	16 ± 0.1 mg/l	ناشی از خطای قرائت
۷	فلزروی ورودی	10 ± 0.1 mg/l	$0.11 - 0.10$
۸	استخر ۳ خروجی	11 ± 0.1 mg/l	ناشی از خطای قرائت
۹	فلزروی ورودی	11 ± 0.1 mg/l	$0.11 - 0.12$
۱۰	استخر ۴ خروجی	12 ± 0.1 mg/l	ناشی از خطای قرائت
۱۱	فلزروی ورودی	13 ± 0.1 mg/l	$0.13 - 0.14$
۱۲	استخر ۵ خروجی	14 ± 0.1 mg/l	ناشی از خطای قرائت
۱۳	فلزروی ورودی	14 ± 0.1 mg/l	$0.13 - 0.14$
۱۴	استخر ۶ خروجی	13 ± 0.1 mg/l	ناشی از خطای قرائت
۱۵	فلز روی چاه	11 ± 0.1 mg/l	

همچنین در (جدول ۴) مشاهده می شود که میزان جرم ماده جاذب با میزان و راندمان جذب، نسبت معکوس دارد؛ بطوریکه در یک زمان ثابت تلاقی سبوس برنج و آب حاوی روی، افزایش غلظت ماده جاذب موجب کاهش جذب روی شده است؛ در زمان ۵ دقیقه تیماردهی، با غلظت ۱۰ gr/lit به میزان ۰/۳۴ میلیگرم فلز روی در آب شناسایی شده در حالیکه در غلظت های ۱۵ و ۲۰ gr/lit میزان

نتایج تاثیر زمان تماس جاذب سبوس برنج بر روی راندمان جذب یون دو ظرفیتی روی در چهار مقدار صفر (به عنوان شاهد)، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ gr/lit در (جدول ۴) نشان داده شده است. در شاخص تاثیر زمان تماس جاذب سبوس برنج بر راندمان جذب یون فلزی روی در زمان ۵ دقیقه تیماردهی، به غیر از تیمار صفر (شاهد)، بین تیمارهای آزمایش اختلافی مشاهده نشد ($P < 0.05$).

این فلز به ۰/۳۷ میلیگرم و بالاترین بازماندگی رسیده بود؛ یعنی جذب کمترین انجام شد و فلز روی بیشتری در آب باقی ماند. کمترین باقیماندگی فلز روی در غلظت ۱۵ gr/lit و تصفیه در این غلظت و زمان مشاهده شد. lit سبوس برنج و در زمانهای ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه تلاقی و به ترتیب با مقادیر ۰/۱۱ و ۰/۱۲ mg/lit حاصل شد. به عبارت دیگر بهترین جذب

جدول ۴: مقایسه شاخص های جذب فلز روی (میانگین و انحراف معیار) در تیمارهای مختلف در مدت نمونه برداری ناپیوسته

زمان (دقیقه)	تیمار ۱۰ g.L	تیمار ۱۵ g.L	تیمار ۲۰ g.L	شاهد بدون سبوس
۵ دقیقه	۰,۱۴ ^a ±۰,۳۴	۰,۰۷ ^b ±۰,۳۷	۰,۱۳ ^a ±۰,۳۷	۰,۰۱ ^a ±۰,۱۳
۱۵ دقیقه	۰,۱۳ ^a ±۰,۲۷	۰,۰۸ ^b ±۰,۳۲	۰,۱۲ ^c ±۰,۳۳	۰,۰۲ ^a ±۰,۱۳
۳۰ دقیقه	۰,۰۲ ^a ±۰,۱۶	۰,۰۴ ^b ±۰,۲۷	۰,۱۱ ^a ±۰,۳۳	۰,۰۱ ^a ±۰,۱۴
۹۰ دقیقه				
۱۲۰ دقیقه				

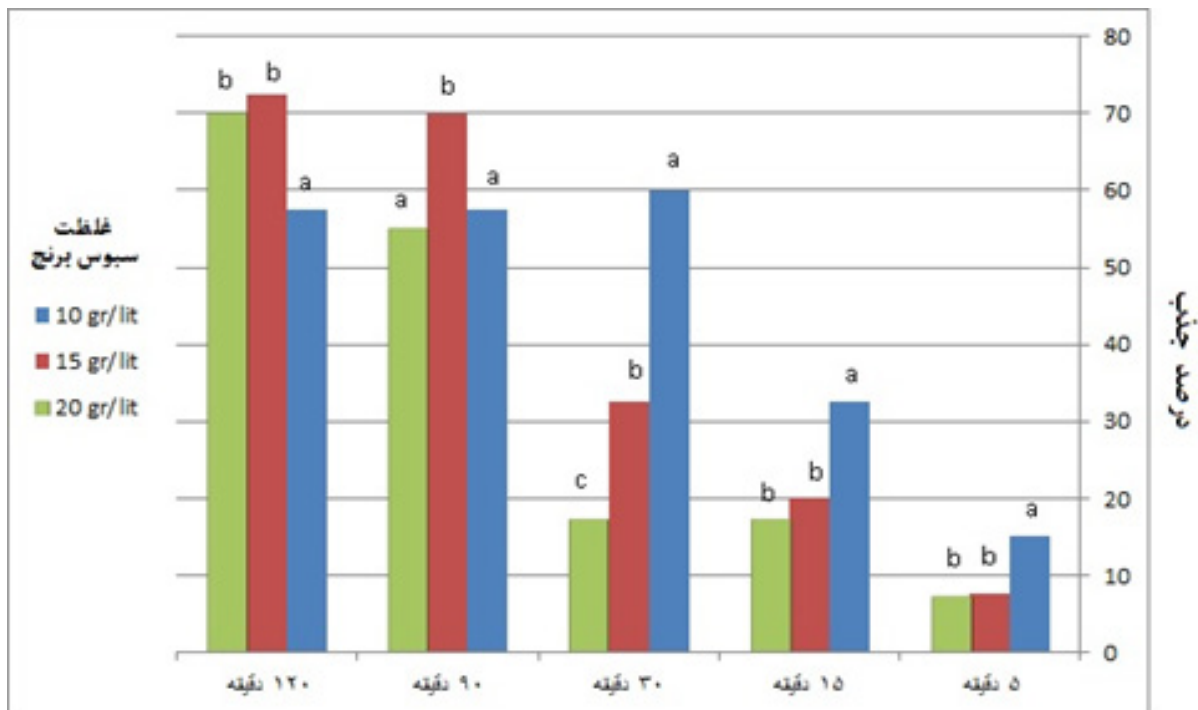
*حروف کوچک مختلف نشاندهنده اختلاف معنی دار در هر ردیف (در زمان ثابت) و حروف بزرگ مختلف نشاندهنده اختلاف معنی داری در هر ستون (در یک غلظت ثابت) می باشد.

بالاتر بودن اعداد (جدول ۴) بیانگر عدم جذب و تصفیه فلز روی در نمونه آب با غلظت جاذب مورد نظر است. برعکس هرچه اعداد میزان جذب پائین تر باشد، بیانگر افزایش میزان جذب روی و در واقع عملکرد مناسب جاذب سبوس برنج است. بر اساس (جدول ۴)، بیشترین میزان جذب در غلظت ۱۰ gr/lit در زمان ۳۰ دقیقه و برای غلظت های ۱۵ و ۲۰ gr/lit ماده جاذب در زمان تلاقی ۱۲۰ دقیقه حاصل شد. مطابق (جدول ۵)، کمترین جذب با ۰/۰۳ میلیگرم در زمان ۵ دقیقه و در غلظت های ۱۵ و ۲۰ گرم سبوس برنج در لیترا (P<۰,۰۵) و بیشترین جذب با ۰/۲۸ میلیگرم در زمان ۹۰ دقیقه و در غلظت ۱۵ گرم در لیترا (P<۰,۰۵) سبوس برنج حاصل شد. زمان و غلظت بالاتر (جذب ۰/۲۹ میلیگرم) تفاوت معنی داری با زمان و غلظت کمتر از آن نداشت (P<۰,۰۵).

جدول ۵: میانگین جذب فلز روی توسط غلظت‌های مختلف سبوس برنج (mg/l)

تیمار ۳	تیمار ۲	تیمار ۱	زمان (دقیقه)
۲۰ gr/lit	۱۵ gr/lit	۱۰ gr/lit	
۰/۰۰±۰/۰۳ ^{bA}	۰/۰۰±۰/۰۳ ^{bA}	۰/۰۱±۰/۰۶ ^{aA}	۵ دقیقه
۰/۰۱±۰/۰۷ ^{bB}	۰/۰۱±۰/۰۸ ^{bB}	۰/۰۳±۰/۱۳ ^{aB}	۱۵ دقیقه
۰/۰۲±۰/۰۷ ^{cB}	۰/۰۲±۰/۱۳ ^{bC}	۰/۰۳±۰/۲۴ ^{aB}	۳۰ دقیقه
۰/۰۲±۰/۲۲ ^{aC}	۰/۰۵±۰/۲۸ ^{bD}	۰/۰۳±۰/۲۳ ^{aB}	۹۰ دقیقه
۰/۰۴±۰/۲۸ ^{bD}	۰/۰۴±۰/۲۸ ^{bD}	۰/۰۲±۰/۲۳ ^{aB}	۱۲۰ دقیقه

*حروف کوچک مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ردیف (در زمان ثابت) و حروف بزرگ مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ستون (در یک غلظت ثابت) می‌باشد.



نمودار ۱: درصد جذب فلز روی توسط غلظت‌های مختلف سبوس برنج
*حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آماری بین غلظت‌های مختلف در هر زمان معین است.
($P < 0.05$).

بحث

ماهی قزل آلاهی رنگین کمان مهمترین ماهی پرورشی کشور و بازارپسندترین آنها است و مهمترین نکته در تکنیک تولید آبن ماهی، حفظ تعادل شیمیایی آب از طریق کنترل کیفیت آن می باشد.

حضور فلزات سنگین در آب و فاضلابهای صنعتی، مشکلی عمده در تخلیه آنها به آبهای سطحی به حساب آمده، سبب آلودگی محیط زیست و به ویژه آبهای سطحی می شود (Wong et al., (2002); Lin and Cheng, (2002). از همین روست که نقش جاذبهای فلزات سنگین چه برای جلوگیری از ورود این آلایندههای پرخطر به محیط و چه از دیدگاه تصفیه و باز-استفاده از آبهای آلوده، اهمیتی دو چندان پیدا می کند.

از معیارهای مهم در انتخاب یک جاذب برای حذف ترکیبات آلی، می توان به قیمت پایین، در دسترس بودن و قدرت مناسب جذب اشاره نمود (Viraraghavan et al., (1998). کمبود منابع آبی و آلوده شدن آب در سیستم، عمده ترین دلایل بهره برداری مجدد از آب در تکنیک نیمه متراکم پرورش ماهیان سردآبی است (Huet et al., (1989).

اثر زمان تماس بر جذب فلز روی

یکی از عوامل تاثیرگذار در کاهش و یا حذف آلایندهگی فلزات سنگین با سبوس برنج، زمان تماس است. با دقت در نتایج حاصله

به ویژه جدولهای ۳ الی ۵ و نیز نمودار ۱، این برداشت حاصل می شود که هرچه زمان تماس بین جاذب و آلاینده بیشتر باشد، درصد و راندمان جذب نیز بالاتر خواهد بود و بالعکس.

مطابق جدول ۴، علیرغم وقوع فرآیند جذب در ۱۵ دقیقه نخست، عملاً تغییرات میزان فلز روی در تیمارها با نمونه شاهد بدون اختلاف بود ($P < 0.05$). در زمان ۳۰ دقیقه، نخستین جذب آنهم در غلظت ۱۰ gr/lit سبوس برنج یعنی کمترین غلظت جاذب و با ۶۰٪ انجام شد. یکی از دلایل عدم جذب، عدم وجود فرصت کافی جهت تبادل یونی بین سبوس برنج با فلز روی بود. در جدولهای ۴ و ۵، در زمان ۱۵ دقیقه تیماردهی، از لحاظ آماری بین مقدار شاهد (بدون سبوس برنج) و تیمار ۱ (یعنی ۱۰ gr/lit) اختلافی وجود ندارد ($P < 0.05$); یعنی عملاً جذب فلز روی در این زمان و با این غلظت انجام نشده است؛ لیکن در مقایسه با مقدارهای ۱۵ و ۲۰ gr/lit اختلاف معنی دار آماری دیده می شود ($P < 0.05$); ضمن آنکه دو غلظت بالاتر روی افزوده (تیمارهای ۲ و ۳) در همین زمان با یکدیگر بدون اختلاف بودند ($P < 0.05$).

از سوی دیگر و در زمان تیماردهی ۳۰ و ۱۲۰ دقیقه، تیمارهای صفر و ۱۰ gr/lit با دو تیمار دیگر اختلاف داشتند ($P < 0.05$) که نشاندهنده عدم جذب روی در غلظت ۱۰ gr/lit می باشد. در زمانهای ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه تیماردهی، محلول آبی عاری از جاذب با

تمامی تیمارهای دارای جاذب سبوس برنج اختلاف داشت ($P < 0.05$) که بیانگر جذب روی با افزودن تمام غلظت‌های جاذب در این زمان‌ها بود.

در بررسی انجام شده توسط شامحمدی حیدری (۱۳۸۹) با استفاده از پوسته شلتوک، خاک اره و ساقه آفتابگردان، در حذف فلز سنگین سرب از پساب فاضلاب صنعتی، زمان تاثیر به ترتیب ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه بود و در مطالعه نامنی و همکارانش (۱۳۸۷) با بکارگیری سبوس برنج در جذب کروم ۶ ظرفیتی از پساب حاصل از فاضلاب صنعتی، زمان تاثیر ۱۲۰ دقیقه پیشنهاد شد؛ ضمن آنکه مقدار سبوس برنج به عنوان جاذب در میزان جذب فلز کروم نقش موثری داشته است. در مطالعه کنونی، در زمان تلاقی ۱۲۰ دقیقه، بیشترین جذب به ترتیب در غلظت ۱۵ gr/lit سبوس برنج با ۷۲/۵ درصد و بیشتر از غلظت‌های ۱۰ gr/lit (با ۵۷٪) و ۲۰ gr/lit سبوس برنج (با ۷۰٪) رخ داد (نمودار ۱)؛ به عبارتی دیگر در یک زمان تلاقی ثابت، افزایش غلظت جاذب سبوس برنج، اثر مستقیمی در میزان جذب فلز سنگین روی ندارد بلکه انتاب بهترین زمان تلاقی مهم است.

تاثیر جرم جاذب سبوس برنج بر راندمان جذب روی

از طرفی غلظت ماده جاذب نیز در افزایش جذب فلز آلاینده از محیط آبی موثر است. عنوان شده است که جهت حذف فلز سرب

از پساب صنعتی با افزایش مقدار جاذب از ۵ به ۷۰ mg/l راندمان جذب افزایش می‌یابد؛ درحالی‌که در پژوهش حاضر این فرآیند برای جذب و حذف فلز روی چنین رفتاری را نشان نداد. با بررسی جدول‌های ۴ و ۵ و نمودار ۱ مشاهده شد که تا ۹۰ دقیقه نخست، میزان جرم ماده جاذب با میزان راندمان جذب، نسبت معکوس دارد؛ یعنی هراندازه جرم جاذب افزایش یابد، مقدار فلز روی در نمونه‌های آب مورد مطالعه بیشتر شده، راندمان جذب کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد با افزایش جرم جاذب، سطح ویژه ازدیاد پیدا نمی‌کند و در نتیجه سهولت جذب کمتر می‌شود. اما در زمان ۱۲۰ دقیقه تلاقی مقادیر جذب در تمام تیمارها افزایش یافت و البته در غلظت ۱۰ gr/lit سبوس برنج به بالاترین میزان جذب یعنی ۲۸ mg/lit برابر با ۷۲٪ رسید (جدول ۵ و نمودار ۱). این در حالیست که در همین غلظت کارآتر (۱۵ gr/lit) بین زمان‌های ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه تفاوت معنی‌داری دیده نشد ($P < 0.05$)؛ همچنین بین غلظت ۱۵ gr/lit در زمان ۹۰ دقیقه با غلظت ۲۰ gr/lit در زمان ۱۲۰ دقیقه نیز تفاوت معنی‌داری دیده نشد ($P < 0.05$) که بیانگر این مطلب است که بالاترین میزان جذب در واقع در همین غلظت ۱۵ gr/lit و در زمان ۹۰ دقیقه رخ داده و افزایش زمان تلاقی تغییری در افزایش آن نداشته است. نتایج نشان داد که افزایش غلظت و جرم ماده جاذب موجب افزایش میزان جذب فلز روی نشده

نمونه آب حاصله اسیدی و پایین‌تر از حد تحمل و زیست ماهیان بود. در زمینه حذف مواد سمی کلره نیز نتایج مشابهی حاصل شده بود (Bousher et al., 1997).

Wong و همکاران (۲۰۰۲) چگونگی جذب فلز سرب (Pb) توسط شلتوک برنج از پساب صنعتی را مورد بررسی قرار داده، نشان دادند که جذب سرب از پساب با افزایش جرم و افزایش زمان تلاقی شلتوک برنج افزایش می‌یابد (نامنی و همکاران، ۱۳۸۷). در بررسی جذب یون‌های فلز سنگین مس دو ظرفیتی (Cu) از محلول‌های آبی توسط پوسته شلتوک، بیان شد که افزایش میزان pH آب و افزایش غلظت یون فلز مس می‌تواند موجب افزایش جذب آن گردد و بالاترین میزان جذب فلز آلاینده در pH برابر با ۷/۲ به دست آمد (Sprynsky et al., 2006).

اصلاح پوسته شلتوک و تخلیص آن نیز می‌تواند در افزایش راندمان جذب موثر باشد؛ به طوریکه Tarley و همکاران (۲۰۰۴) از پوسته شلتوک اصلاح شده به عنوان یک جاذب طبیعی برای فلزات سنگین کادمیم و سرب استفاده نمودند و نشان دادند که پوسته شلتوک الکشده نسبت به پوسته شلتوک خام از ظرفیت جذب بیشتری برای هر دو فلز برخوردار است.

در مطالعه حاضر و در مجموع بر پایه نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد که غلظت بهینه سبوس برنج در جذب و حذف فلز

بلکه بالعکس موجب کاهش فرآیند جذب می‌گردد.

بنابر اظهارات کرمانی و بینا (۱۳۸۷) در مطالعه چگونگی حذف فنل از محلول آبی توسط خاکستر سبوس برنج نیز نشان داده شد که با افزایش غلظت جاذب از ۱ به ۱۰ gr/lit ظرفیت جذب کاهش یافت؛ نتیجه‌ای که در راستای نتایج حاصل از پژوهش کنونی نیز بوده است.

با عنایت به نتایج حاصله از تحقیق کنونی و با توجه به عدم نوسان مخاطره آمیز pH در زمان تیماردهی و تلاقی آب با سبوس برنج، حضور این جاذب طبیعی برای مهمترین شاخص فیزیکیوشیمیایی آب در آبی‌زی پروری، مضر تشخیص داده نشد و pH آب در تمامی تیمارها در حدود ۷/۳ تثبیت شد. در خلال سایر تحقیقات حذف و جذب فلزات سنگین از پساب فاضلاب تاسیسات صنعتی و کارخانه‌ها مشخص شد که تصفیه آب‌های آلوده به فلزات سنگین باعث تقویت آب‌های سطحی و نیمه سطحی مصارف شرب و آبی‌زی پروری می‌گردد (Guo et al., 2002); این نتیجه نیز موافق یافته‌های پژوهش کنونی است. در راستای استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت و در دسترس طبیعی، Guo و همکاران (۲۰۰۲) جذب کروم ۶ ظرفیتی با استفاده از سبوس برنج را مورد مطالعه قرار دادند و زمان موثر ۲ ساعته (۱۲۰ دقیقه) را پیشنهاد نمودند (Viraraghavan et al., 1998)، لیکن pH

روی از آب بازگشتی مزارع پرورش ماهیان سردآبی، غلظت ۱۵ gr/lit و در زمان ۹۰ دقیقه باشد.

نتایج همچنین نشان داد که مابین تیمارهای مورد مطالعه، بین پارامترهای میزان غلظت ماده جاذب و زمان تاثیر و تلاقی، روابط منطقی وجود دارد؛ با این بیان که هرچه زمان تلاقی افزایش یابد، میزان جذب فلز روی توسط سبوس برنج نیز افزایش می یابد.

نتایج

سبوس برنج به عنوان یک جاذب طبیعی مناسب می تواند به منظور حذف و جذب فلز سنگین و آلاینده روی در آب برگشتی سیستم های پرورش نیمه متراکم ماهیان سردآبی مورد استفاده قرارگیرد. همچنین به همین منظور می توان از این جاذب طبیعی بی خطر، در جهت تصفیه و یا تعدیل آلاینده های همچون فلز روی در سایر محلول ها و محیط های آبی نیز استفاده نمود. از طرفی

نتایج ثابت نمود که راندمان حذف فلز روی توسط سبوس برنج، با افزایش زمان تلاقی جاذب با آب آلوده به فلز، افزایش می یابد. با افزایش جرم سبوس برنج، مقدار راندمان جذب فلز روی در آب کاهش یافته در حالیکه افزایش زمان می تواند موجب افزایش فرآیند جذب گردد. با افزودن سبوس برنج به آب برگشتی استخرهای پرورش ماهی، میزان pH آب تغییر قابل ملاحظه ای رانشان نداده، بنابراین موجب تغییر در کیفیت طبیعی آب نمی گردد.

سپاسگزاری

از مدیریت محترم مزرعه پرورش ماهی قزل آلائی مقری (استان مازندران، شهرستان بابل) به سبب در اختیار قرار دادن فضای کامل مزرعه جهت انجام پژوهش حاضر و نیز همکاری پرسنل اداره شیلات شهرستان بابل که تجهیزات فنی لازم را در اختیار نگارندگان قرار دادند، قدردانی می گردد.

منابع

- شامحمدی حیدری، ز.، (۱۳۸۹)، حذف سرب از محلول آبی با استفاده از جاذبهای ارزان قیمت، آب و فاضلاب، شماره ۳، صفحات: ۴۵ تا ۵۰.
- سازمان شیلات ایران، (۱۳۹۲)، سالنامه آماری شیلات ایران، معاونت طرح و برنامه، سازمان شیلات ایران، تهران، ۶۴ص.
- نامنی، م.، علوی مقدم، م.ر.، آرامی، م.، (۱۳۸۷)، مطالعه جذب تعادلی کروم شش ظرفیتی از محلول آبی با استفاده از سبوس برنج، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دهم، شماره ۴ (ویژه نامه)، صفحات ۱۸۴ تا ۱۹۵.
- نقیپور، د.، تقوی، ک.، صداقت حور، ش.، واعظزاده، م.، (۱۳۹۴)، بررسی کارایی عدسک آبی (*Lemna minor*) در حذف فلزات سنگین از محلولهای آبی، اکوبیولوژی تالاب، دوره هفتم، شماره ۱، صفحات ۴۹ تا ۵۶.
- کرمانی، م.، بینا، ب.، (۱۳۸۷)، کاربرد خاکستر سبوس برنج و کربن فعال جهت حذف فنل از محلولهای آبی، دومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست ایران، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، ۳۱ اردیبهشت تا ۱ خرداد ۱۳۸۷، ۱۰ص.
- Abdel-Ghani, N. T. Hefni, M. and EI-Chaghaby, G. A.F., (2007), Removal of Lead from aqueous solution using low cost abundantly available adsorbents, Int. International Journal of Environmental and Technology., 4(1): 67-73.
- Aksu, Z. Gonen, F. and Demircan, Z., (2002), Bio-sorption of chromium (VI) ions by Mowital B30H resin immobilized activated sludge in a packed bed: comparison with granular activated carbon, Process Biochem. 38: 175–186.
- Brown, P. Jefcoat, I.A. Parrish, D., (2000), Evaluation of the adsorptive capacity of peanut hull pellets for heavy metals in solution, Advances in Environmental Research . 4: 19-26.
- Bousher, A. Shen, X. and Edyven, R.G.J., (1997), Removal of colored organic matter by adsorption on to low- cost waste materials. Water Resources, 31(8): 2084- 2092.
- Dursun, A.Y. Uslu, G. Tepe, O., (2003), A comparative investigation on the bioaccumulation of heavy metal ions by growing *Rhizopus arrhizus* and *Aspergillus niger*, Biochemical Engineering Journal. J. 15: 87–92.

- Filazi, A., Baskaya, R. and Kum, C., (2003), Metal concentration in tissues of the Black Sea fish (*Mugil auratus*) from Sinop-Icliman, Turkey. *Human & Experimental Toxicology*. Vol. 22, pp: 85-87.
- Guo, Y. Qi J. Yang, Sh. Yu, K. Wang, Z. Xu, H., (2002), Adsorption of Cr(VI) on micro-and mesoporous rice husk-based active carbon, *Materials Chemistry and Physics* (78): 132–137.
- Houston, D.F., (1972), Rice Bran and Polish. *Rice Chemistry and Technology*, American Association of Cereal Chemists Inc., New York, (146): 272–300.
- Huet, M. (1989), *Textbok of Fish Cultur, Breeding and Cltivation of Fish*, London: Fishing News Books. 465p.
- Khoshnoud, MJ, Mobini, K, Javidni, K, Hosseinkhezri, P, Aeen-Jamshid, K., (2011), Heavy Metals (Zn, Cu, Pb, Cd and Hg) Contents and Fatty Acids Ratios in Two Fish Species (*Scomberomorus commerson* and *Otolithes ruber*) of the Persian Gulf, *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences Summer 2011: 7(3): 191-196*.
- Kolangi Miandare, H., Niknejad, M., Shabani, A., and Safari, R., (2016). Exposure of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) to cadmium results in biochemical, histological and transcriptional alterations, *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 181–182: 1–8.
- Lawson, T. B., (1989), Unpublished data. Department of Biological and Agricultural Engineering, Louisiana State University, Baton Rouge, LA.
- Lin, S.H. Cheng, M.J., (2002), Adsorption of phenol and m-chlorophenol on organobentonites and repeated thermal regeneration, *Waste Management*, 22, pp: 595- 603.
- Onara, D.F., Radu, S., Holostenco, D., and Dana, T., (2013). Heavy metal bio-accumulation in tissues of sturgeon species of the Lower Danube River, Romania, *Scientific Annals of the Danube Delta Institute*, 19: 87-94.
- Repo, E., Warchoł, J.K., Bhatnagar, A., Mudhoo, A., and Sillanpää, M., (2013). Aminopolycarboxylic acid functionalized adsorbents for heavy metals removal from water, *Water Research*, (47) 14: 4812–4832.

- Schuster, C., and Stelz, H., (1998), Reduction in the make-up water in semi-closed, recirculating aquaculture systems, *Aquaculture Engineering*. (3) pp: 167-174.
- Sedgwick, S.D., (1990), *Trout Farming Handbook*, 5th Ed, Fishing News Books Ltd; 160p.
- Sfakianakis, D.G., Renieri, E., Kentouri, M., and Tsatsakis, A.M., 2015. Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review, *Environmental Research*, 137: 246–255.
- Sprynsky M, Duszewski B, Terzyk AP, Namiesnik J., (2006), Study of the selection mechanism of heavy metal (Pb^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+}), *Colloid and Interface Science* 304:21-28.
- Tarley, C.R.T., Ferreira, S.L.G., and Arruda, M.A.Z., (2004), Use of modified rice husks as a natural solid adsorption of Trace metals: Characterization and development of On-line pre-concentration system for cadmium and lead Determination by FASS, *J. Microbiological*, 77: 75-163.
- Teodorovic, I., Djukic, N., Maletin, S., Miljanovic, B. and Jugovac, N., (2000), Metal pollution index: proposal for fresh water monitoring based on trace metal accumulation in fish, *Tiscia*. 32, pp: 55-60.
- Verma, A., Chakraborty, S., Basu, J.K., (2006), Adsorption study of hexavalent chromium using tamarind hull-based adsorbents, *Separation and Purification Technology*
- Viraraghavan, T., De Maria Alfaro, F., (1998), Adsorption of phenol from wastewater by peat, fly ash and bentonite, *Journal of hazardous materials*, 57: 59-70.
- WHO., (1985), Review of potentially harmful substances- cadmium, lead and tin, WHO, Geneva. (Reports and Studies No. 22. MO/ FAO/ UNESCO/ WMO/ WHO/ IAEA/ UN/ UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution).
- Wong, K. K, Lee, C.K., Low, K.S and Haron, M. J., (2002), Removal of Cadmium (II) by Low cost acid modified rice husk from aqueous solution, *Chemosphere*, 50: 23-28.

- Yu, L.J., Shukla, S.S., Dorris, K.L., Shukla, A. and Margrave, J.L., (2003), Adsorption of chromium from aqueous solutions by maple sawdust, *Journal of Hazardous Material*, B100: 53-63.
- Verma, A., Chakraborty, S., Basu, J.K., (2006), Adsorption study of hexavalent chromium using tamarind hull-based adsorbents, *Separation and Purification Technology*. 50: 336-341
- Viraraghavan, T. de Maria Alfaro, F., (1998). Adsorption of phenol from wastewater by peat, fly ash and bentonite, *Journal of hazardous materials*, Vol. 57, pp. 59-70
- Wong, K. K, Lee, C.K., Low, K.S and Haron, M. J. (2002). Removal of Cadmium (II) by Low cost acid modified rice husk from aqueous solution. *Chemosphere*, 50, 23-28
- Yu, L.J., Shukla, S.S., Dorris, K.L., Shukla, A. and Margrave, J.L. (2003) Adsorption of chromium from aqueous solutions by maple sawdust, *Journal of Hazardous Material*, B100 53-63

