



Evaluation of Nitrate Removal from the Water Using *Eichhornia Crassipes*

G. Avatefinezhad¹ and E. Asrari^{2*}

Abstract

Conserving water resources and protecting them from pollution are of high importance in natural cycle of our life. Nitrate, as one of the important resources of water pollution, is a serious threat to aquatic ecosystems and due to its high solubility it is a costly process to extract it from water. Providing a reliable, low cost, and fast method is necessary for eliminating pollution. This study tried to determine the refining potential and capacity of *Eichhornia crassipes* for removing nitrate from water. Factors affecting the nitrate absorption including initial concentration of nitrate, contact time, absorbent mass, pH, and the presence of other competing ions such as sulfate have been studied. The results showed that the best efficiency of nitrate removal of more than 99% occurred in the optimum condition; the retention time of 30 hours, absorbent dose of 3 plants (15 stem) and pH of 6.4. In addition, the efficiency of nitrate removal in the presence of sulfate ions was not reduced. By increasing the initial nitrate concentration, from 30 to 150 mg/L, there was no significant change in the removal efficiency. By increasing absorbent mass the removal time decreased and the efficiency increased from 67.96% to 100%. The process of nitrate absorption followed Langmuir isotherm ($R^2=1$). Finally the results showed that *Eichhornia crassipes* is a promising plant with great functionality which can be used as a refiner for removing nitrate with a simple, efficient and low cost method.

Keywords: Absorbent, *Eichhornia crassipes*, Nitrate, Phytoremediation

Received: April 2, 2016

Accepted: May 17, 2016

بررسی حذف نیترات از محیط آبی در فرایند گیاه پالایی (*Eichhornia crassipes*) توسط سنبل آبی

گلتاب عواطفی نژاد^۱ و الهام اسراری^{۲*}

چکیده

حفظ منابع آبی و حفاظت آنها از آلودگی از درجه اهمیت زیادی در چرخه طبیعی زندگی ما برخوردار است، نیترات به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی آب، تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شود و با توجه به حلالیت بسیار بالای آن، خارج کردن آن از آب فرآیندی بسیار پرهزینه محسوب می‌شود، ارائه یک روش مطمئن که ضمن رفع آلودگی کم هزینه، سریع و آثار جانبی نامطلوب برای سلامت محیط نداشته باشد بسیار ضروری است، هدف از این مطالعه تعیین توان و ظرفیت پالایی سنبل آبی جهت حذف نیترات از محیط آبی می‌باشد عواملی مانند غلظت اولیه نیترات، زمان تماس، جرم جاذب، pH، و حضور سایر یون‌های رقابتی از جمله سولفات روی جذب نیترات، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بهترین راندمان حذف نیترات بیشتر از ۹۹ درصد در شرایط بهینه (زمان ماند ۳۰ ساعت، دوز جاذب سه بوته (۱۵ ساقه) و (pH = ۶/۴) اتفاق افتاد. ضمناً راندمان حذف نیترات در حضور یون‌های سولفات به عنوان مداخله گر کاهش نمی‌یابد. با افزایش غلظت اولیه از ۳۰ (mg/L) به ۱۵۰ نیترات راندمان حذف تغییر می‌کند و با افزایش جرم جاذب راندمان حذف از ۶۷/۹۶ درصد به ۱۰۰ درصد افزایش یافت و زمان ماند کمتری جهت تعادل بدست می‌آید فرآیند جذب نیترات از ایزوترم لانگمویر ($R^2=1$) تبعیت می‌نماید در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که سنبل آبی یک گیاه امیدوارکننده با عملکردهای عظیم به عنوان یک پالایشگر می‌تواند در راه رفع مشکلات زیست محیطی کمک مؤثری باشد.

کلمات کلیدی: نیترات، گیاه پالایی، سنبل آبی، جاذب

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۲/۲۸

1- MSc. Graduate, Civil Engineering- Environment, Department of Engineering, Payame Noor University, Shiraz, Iran.

2- Associate Professor, Department of Engineering, Faculty of Civil Engineering, Payame Noor University, Shiraz, Iran. Email: e_asrari@pnu.ac.ir

*- Corresponding Author

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه پیام نور شیراز.

۲- دانشیار گروه فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

روش‌های تصفیه طبیعی مناسب و ارزان قیمت مثل گیاه‌پالایی مورد بررسی قرار گرفته است گیاه‌پالایی فرآیندی است که طی آن، آلودگی‌ها از طریق تجزیه مستقیم، پالایش غیرمستقیم با حمایت جمعیت‌های میکروبی و جذب از خاک یا آب و تغلیظ در ناحیه ریشه یا بافت گیاه تصفیه می‌شوند (McCutcheon and Schnoor, 2003). گیاه‌پالایی فن‌آوری نسبتاً جدیدی است که علاوه بر محبوبیت عمومی، سازگار با محیط زیست، پایدار و برای کشورهای در حال توسعه بسیار مناسب و صرفه اقتصادی دارد (Hazrat et al., 2013).

نزدیک به ۱۰ سال از کاربرد اولیه فناوری گیاه‌پالایی در دنیا می‌گذرد اما این علم توسعه بسیار سریعی داشته است و امروزه در مورد مواد آلی معدنی و رادیو اکتیو کاربرد دارد. گرچه گیاه‌پالایی یک روش به نسبت جدید است؛ اما کاربرد آن قدمت طولانی دارد. در سال ۱۹۶۲ پژوهش‌هایی با استفاده از گیاهان آبی برای پالایش آب‌های آلوده به مواد پرتوزا در مناطق هسته‌ای روسیه شروع گردید. آنها دریافتند برخی گیاهان رشد یافته در خاک‌های آلوده بدون نشان دادن علائم سمیت قادر به تجمع مقادیر بالای فلزها در بافت‌هایشان هستند (Rahmani et al., 1990). اولین مطالعه به منظور تصفیه پساب، توسط گیاهان شناور آبی سنبلیله و عدسک آبی در سال ۱۹۷۱ به وسیله ناسا صورت گرفت. سپس اولین سیستم بزرگ گیاهان آبی برای تصفیه فاضلاب شهری در سال ۱۹۷۴ در مرکز فضایی جان سی. استنیس متعلق به ناسا، در می‌سی‌سی‌پی ساخته شد (McCutcheon and Schnoor, 2003). گیاه‌پالایی یک تکنیک با صرفه اقتصادی محیط زیستی و علمی است که برای کشورهای در حال توسعه مناسب است و تجارت بازرشی به حساب می‌آید. متأسفانه علی‌رغم این پتانسیل هنوز در برخی از کشورها مانند کشور ما به عنوان یک فناوری استفاده تجاری ندارد. مزایای قابل توجه فن‌آوری گیاه‌پالایی در یک دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است و هم‌اکنون مراحل تجاری شدن خود را طی می‌کند. برای مثال ۳۰ درصد پروژه‌های پژوهشی سازمان محیط زیست آمریکا EPA در سال ۲۰۰۰ اختصاص به پروژه‌های گیاه‌پالایی فلزهای سنگین و مواد رادیواکتیو داشت. هزینه فناوری گیاه‌پالایی در آمریکا برای کنترل منابع آلاینده خطرناک نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای، در خاک، آب‌های سطحی و زیرزمینی و رسوبات در حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد کمتر از سایر روش‌های فیزیکی و شیمیایی است (Morikawa et al., 2003). ولی از جمله مهم‌ترین محدودیت‌های آن، عمق زیاد آلودگی در محیط، شرایط اقلیمی نامساعد گیاه و

آلودگی یکی از مهمترین عواملی است که باعث به هدر رفتن منابع آبی می‌گردد از طرفی محدود بودن منابع آبی، کمبود بارندگی، خطر بحران کم آبی در کشور و اهمیت بازیابی مجدد آب از یک سو و افزایش آلودگی‌ها از سوی دیگر، یافتن راه‌حل‌های زیست محیطی را در جهت حذف این مواد از منابع، ضروری می‌سازد (Dermentzis et al. 2011). افزایش جمعیت، گسترش صنایع، ازدیاد مصرف آب و در نهایت آلودگی رو به رشد منابع آب به دلیل عدم کنترل مسیر پساب خروجی انواع فاضلاب‌ها موجب پایین آمدن کیفیت آب‌ها گشته است، مهار آلودگی منابع مذکور، هزینه‌های بعدی از جمله پالایش و تصفیه، بهداشت درمان و بالاخره هزینه‌های مربوط به حفاظت محیط زیست را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد (Mohseni, 1996). یکی از مشکلات زیست محیطی که امروزه مشاهده می‌شود وجود نیترات در آب‌های زیرزمینی و آب‌هایی هست که در تماس با پساب‌های خانگی و پساب‌های صنایع می‌باشد (Madahi Arefi and Darvish, 1995). نیترات به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی آب، تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شود. مغذی شدن منابع آبی، آلودگی آب‌های زیرزمینی، سمیت برای موجودات و سلامت عموم از جمله اثرات منفی آن شمرده می‌شود. مهم‌ترین پیامد افزایش نیترات در بدن تبدیل آن به نیتريت سمی و بروز عارضه متهموگلوبینیا، کبودی بچه و سیانوز است. سرطان دستگاه گوارش، ایجاد ناهنجاری‌های مادرزادی بر روی جنین، افزایش اندازه غده تیروئید و ایجاد گواتر و افزایش فشار خون، بروز دیابت وابسته به انسولین و کاهش عملکرد فیزیولوژیکی-عصبی از دیگر اثرات این ماده است (Nolan BT, 2001; WHO, 2006). طی تصویب قانون آب آشامیدنی سالم در سال ۱۹۴۷ و اصلاحات آن، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، حداکثر مقدار آلاینده نیترات را $10 \text{ mg/L NO}_3\text{-N}$ و سازمان بهداشت جهانی حد مجاز نیترات در آب شرب را $50 \text{ mg/L NO}_3\text{-N}$ معادل $11/3 \text{ mg/L}$ برحسب نیترات اعلام کرده است (World Health Organization, 2008; Gilchrist et al., 2010). استاندارد تدوین شده ایران نیز مقادیر توصیه شده سازمان بهداشت جهانی را در نظر گرفته است (Falahi et al., 2012). عامل اصلی آلودگی آب ایران به نیترات، مصرف کود اوره و منابع مختلفی نظیر فاضلاب‌های خانگی و شهری، دامداری و پساب کارخانجات و صنایع است (Malakouti, 2002). روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی متداولی در حذف این آلاینده‌ها از منابع آبی وجود دارد، به دلیل هزینه زیاد و کارایی محدود، در سال‌های اخیر

در تحقیقی حذف نیترات با استفاده از نانو جاذب‌های گیاهی نیشکر و نی به ترتیب ۸۷ و ۹۰ درصد صورت گرفت (Ferasati and jafar Zadeh, 2012). در یک بررسی حذف مواد مغذی از پساب تصفیه گیاه فاضلاب شهری با استفاده از سنبل آبی مورد ارزیابی قرار گرفته است مشاهدات گیاه از طریق مقیاس وزن، جذب گیاه و پیشرفت ساقه‌های جدید انجام می‌پذیرد. سنبل آبی به طور مؤثری تقریباً ۴۹ درصد COD، ۸۱ درصد آمونیاک، ۶۷ درصد فسفر و ۹۲ درصد نیترات را حذف می‌نماید (Kuttyan, 2012). حذف نیترات از آب‌های زیرزمینی با استفاده کربن فعال به دست آمده از سبوس برنج، مورد بررسی قرار گرفت. حداکثر میزان حذف نیترات برای کربن فعال به دست آمده از سبوس برنج $5/93 \text{ mg/gr}$ و برای لجن حاصل از صنایع کاغذسازی، کربن فعال تجاری و زغال معمولی، به ترتیب $5/9$ (mg/g) و $79/68$ و $1/42$ نیترات جذب می‌باشد (Shahmoradi et al., 2012).

Lin و همکاران در تصفیه آب زیرزمینی در سیستم وتلند با جریان سطحی با غلظت $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L) ۲۱ تا ۴۷ میزان ۴ تا ۱۱ درصد حذف نیترات به دست آوردند (Lin et al., 2002). بر اساس تحقیقات صورت گرفته توسط Fox و همکاران بر روی سنبل آبی، ۶۰ تا ۸۵ درصد از نیتروژن در مدت یک ماه از محلول اصلاح شده هوگلند^۳ حذف و باعث افزایش تاج پوشش گیاه شده است (Fox et al., 2008). در نیزار مصنوعی ایجاد شده در تصفیه خانه شوش تهران با بارگذاری‌های متفاوت نیتروژن کج‌دال^۴ و کل به ترتیب ۸۶ و ۸۰ درصد حذف صورت گرفته است (Sadeghpour et al., 2000). حذف نیترات از آب با استفاده از ساقه آفتابگردان و ذرت مورد بررسی قرار گرفت، بدین منظور از ساقه خرد شده گیاهان آفتابگردان و ذرت استفاده و پس از اجرای طرح میزان حذف نیترات توسط ذرت و آفتابگردان به ترتیب ۸۴٪ و ۹۱٪ محاسبه شده است (Sedaghat, 2013). طبق بررسی‌های صورت گرفته تاکنون در ایران مطالعه‌ای در این زمینه انجام نشده و تنها مطالعاتی در سطح بسیار محدود در سطح جهان انجام شده است. علاوه بر این روش مورد مطالعه در این تحقیق با روش‌های کار شده در قبل متفاوت بوده، و دارای توجیه اقتصادی می‌باشد، لذا این تحقیق می‌تواند اولین پژوهش در این زمینه جهت تصفیه منابع آلوده و پساب‌ها در کشور ایران باشد. این تحقیق به منظور ارزیابی پتانسیل سنبل آبی در حذف نیترات به مرحله اجرا درآمد.

غلظت‌های بالای آلاینده است (Lebeau et al., 2007). یکی دیگر از موانع اجرای تجاری این فناوری، چگونگی مصرف گیاهان آلوده است. پس از کاهش آلودگی توسط گیاه، مقدار زیادی بیومس خطرناک تولید می‌شود. کمپوست و متراکم کردن، دو روشی است که برای مدیریت بیومس گیاهان آلوده پیشنهاد شده است (Ineel, 2000; Iyer et al., 2002).

سنبل آبی یک بخش مهمی از اکوسیستم‌های آبی می‌باشد، سنبل آبی به آسانی با موفقیت در فاضلاب‌ها استفاده شده و کیفیت فاضلاب را با کاهش مواد آلی و غیرآلی بهبود بخشیده است (Brix, 1993). به آسانی فلزات سنگین آب زهکشی را کاهش می‌دهد. البته برخی از عناصر کمیاب می‌توانند توسط این گیاه تجمع یابند (Ismail et al., 1996). سنبل آبی^۲ گیاهی آبی است که به وسیله دمبرگ‌های تغییر شکل یافته، که به شکل اسفنجی درآمده‌اند، می‌تواند روی سطح آب شناور بماند (Center et al., 1981). استفاده از این گیاه به عنوان یک پالایشگر می‌تواند در راه رفع مشکلات زیست‌محیطی کمک باشد. این گیاه همچنین دارای ارزش زینتی بالایی نیز می‌باشد. E. crassipes بومی مناطق گرمسیری جهان است و از آمازون در برزیل گرفته تا مناطق دیگر از جمله ونزوئلا، قسمت‌هایی از آمریکای جنوبی - مرکزی و جزایر بزرگ کارائیب پراکنده شده است (Edwards and Musil, 1975). سنبل آبی در حذف محسوس مقدار فلزات سنگین کادمیوم، کروم، مس، منگنز، سرب، نیکل و روی از آب شیرین مخصوصاً در غلظت کم مؤثر است (Sultan and Rashed, 2003). در تحقیقی پتانسیل دو گیاه مورد و کاج در انباشت فلز کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که حداکثر مقدار جذب کادمیوم به وسیله گیاه مورد، 1000 mg/kg خاک است (Mosleh Arani et al., 2014). با بررسی کارایی زائادات گیاه کلزا در حذف کادمیوم از محلول‌های آبی راندمان حذف بعد از ۲۴ ساعت ۹۵ درصد بوده است (Asghar Zadeh et al., 2013). در پژوهشی با استفاده از جداسازی مؤثر کادمیم (II) از محلول آبی از طریق پوسته کربنی فندق خشک، مطالعاتی را در زمینه حذف فلزات سنگین از منابع آبی انجام گردید. نتایج نشان داد که پوسته فندق خشک می‌تواند به‌عنوان جاذب مناسبی برای جداسازی کادمیم (II) از فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد (Imamoglu et al., 2015). کاشت درختان تبریزی در سواحل رودخانه‌ای آمریکا و نیز ردیف‌های ساحلی درختان صنوبر میان یک رودخانه و یک مزرعه ذرت در استرالیا که رواناب آن منطقه وارد جریان رودخانه می‌شد، در حذف نیترات، نتایج موفقیت‌آمیزی داشته است (Pivetz, 2001).

۲- روش تحقیق و آزمایش

از خاک یا محیط آبی جذب و آنها را به اندام‌های هوایی ساقه جهت انباشته شدن هدایت می‌کنند. پس از رشد کافی گیاهان و انباشت فلز، اندام‌های بالایی سطح زمین از گیاه برداشت و حذف می‌شود. در نتیجه حذف دائم فلزات امکان‌پذیر می‌شود (Nanda Kumar et al., 1995). در محیط طبیعی حداقل ۴۵ خانواده گیاهی با خاصیت انباشتگی بیش از حد فلزات سنگین شناخته شده‌اند (Baker and Walker, 1989). از گیاهان مختلف علاوه بر حذف عناصر سنگین، به منظور حذف نیترات و فسفر اضافی محیط آبی نیز استفاده می‌شود (Sundaralinga et al., 2014).

در ابتدا به منظور حذف آلودگی از روی سطح، ریشه گیاه چندین بار با آب شهر و آب مقطر شستشو و توسط دستگاه هدایت سنج آب خروجی شستشو اندازه‌گیری شد. جهت اطمینان از تمیز شدن ریشه گیاه، کاملاً آب آن گرفته و از آن برای تهیه دوزهای مختلف جذب استفاده گردید. نمونه‌های آب آلوده به نیترات را با استفاده از استاندارد مرجع نیترات از شرکت Kem Lab بلژیک و آب مقطر رقیق‌سازی گردید (برای تهیه محلول‌های نیترات با غلظت‌های مختلف از دستورالعمل معیار آزمایشگاه آب و فاضلاب استفاده شد). ابتدا مقداری از محلول‌های ساخته شده به عنوان نمونه شاهد استاندارد کنار گذاشته شد. تبخیر محیط بر روی تمامی غلظت‌های استاندارد شاهد مورد بررسی قرار گرفت که معمولاً در بازه زمانی آزمایش تبخیر محسوسی مشاهده نگردید. در نتیجه در غلظت باقی مانده محلول نیترات‌های ساخته شده تغییری حاصل نشد. سپس به دلیل این که از گیاه زنده استفاده شده و مقداری از آب محلول نیز صرف خود گیاه شده است، با استفاده از رابطه ۱ این امر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نیترات باقی مانده در محلول محاسبه گردید. آزمایشات در آزمایشگاه مرجع انجام و حذف نیترات فقط توسط جذب گیاه انجام گردید و عوامل دیگر در حذف نیترات نقشی نداشته است.

$$\rho_i = \frac{m_i}{V} \quad (1)$$

در این معادله ρ_i برابر با mg/L غلظت نیترات و m_i جرم ماده حل شونده بر حسب mg و V برابر با حجم محلول بر حسب لیتر می‌باشد.

pHهای محلول به وسیله اسید کلریدریک ۱ mol/L و سود، ۱ mol/L در pHهای متفاوت آماده شد. اثر متغیرهای ذکر شده با تغییر دادن یکی از آنها و ثابت نگه داشتن بقیه پارامترها مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی تأثیر pH (۱۱/۹، ۹/۳، ۶/۴، ۴/۶، ۲/۳) آزمایشات در یک بشر ۱۰۰۰ mL با غلظت مشخص نیترات ۵۱/۲ mg/L و حجم

گیاه سنبل را اصولاً به سه دسته تقسیم می‌کنند ۱ - سنبل هلندی ۲ - سنبل ولایتی یا پارسی ۳ - سنبل رومی. سنبل استفاده شده در این تحقیق همان سنبل‌های ایرانی (سنبل ولایتی یا پارسی) است که از قدیم در ایران برای ایام نوروز می‌کاشته‌اند و پیازهای آن را غالباً از شمال کشور می‌آورند. مطالعات گیاه پالایی جهت حذف نیترات بر روی انواع دیگر از سنبل‌ها که در نقاط دیگر جهان رشد می‌کنند انجام شده است. ولی مطالعه‌ای بر روی این نوع سنبل ایرانی انجام نشده است. لذا از این گیاه به عنوان جاذب استفاده گردید. از گیاه زنده و با استفاده از فرایند گیاه پالایی به روش پالایش ریشه جهت حذف نیترات در این تحقیق استفاده شده است.

۲-۱- مکانیسم حذف نیترات به وسیله گیاه پالایی

گیاه پالایی بهتر است در مناطق کم عمق آلوده شده به مواد آلی و فلزها به کار برده شود، به طور کلی گیاه در تصفیه‌ی محیط زیست ۶ فرایند اصلی را به کار می‌برد که عبارتند از: گیاه استخراجی، گیاه تبخیری، تثبیت گیاهی و فیتو استیمولیشن یا تجمع در محیط ریزوسفری گیاه به وسیله‌ی فعالیت میکروبی‌های خاک، پالایش ریشه، که صاف کردن آب از توده ریشه‌ها با استفاده از گیاه است. بسته به نوع آلودگی و نوع گیاه پالاینده می‌توان از فن‌آوری گوناگون گیاه‌پالایی برای کاهش فلزهای سنگین (گیاه تثبیتی، پالایش ریشه) و یا برای خروج فلزهای سنگین از منطقه (گیاه استخراجی، گیاه تبخیری) استفاده نمود. هر کدام از این روش‌ها دارای سازوکار خاص خود می‌باشند. روش پالایش ریشه که از نظر مفهومی مشابه گیاه استخراجی است، اما این روش برای تصفیه و پالایش آب آلوده استفاده می‌شود نه خاک آلوده. این روش به منظور تصفیه فاضلاب‌های صنعتی، روان‌آب‌های کشاورزی و رسوبات اسیدهای معدنی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. این فن‌آوری هم به صورت نقطه‌ای و هم غیر نقطه‌ای برای پالایش مناطق آلوده به کار می‌رود. از ریشه‌ها یا بذره‌های گیاه برای جذب یا جذب سطحی آلاینده‌های فلزی از آب‌های سطحی یا زیر زمینی استفاده می‌شود. گیاه یا نهال بذر مورد نظر در منطقه‌ی آلوده رشد کرده و مواد آلاینده را در ریشه خود تغلیظ می‌نماید. ترشحات ریشه و تغییرات pH ناحیه ریزوسفر موجب رسوب این فلزات بر روی سطح ریشه می‌شود. بیشتر پژوهشگران اعتقاد دارند که گیاهان پالاینده باید فلزات را فقط بر روی ریشه‌هایشان تجمع دهند (Bhatt, 1997). (شایان ذکر می‌باشد از روش پالایش ریشه جهت حذف نیترات در این تحقیق استفاده شد). در گیاه پالایی، ریشه‌های استقرار یافته گیاهان، عناصر فلزی را

$$qe = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (4)$$

C_e غلظت تعادلی یون فلزی برحسب qe mg/L مقدار یون جذب شده برحسب q_m mg/L حداکثر ظرفیت جذب یون فلزی برحسب b mg/g ثابت تعادلی جذب لانگمویر برحسب mg/mg است. ضرایب K_F و n و ثابت‌های فروندلیچ به ترتیب شاخص‌های ظرفیت و شدت جذب هستند.

۳- نتایج و تحلیل

در این بخش اثر pH، زمان تماس، جرم جاذب، غلظت اولیه پساب و تأثیر یون مداخله‌گر سولفات بر میزان جذب نیترات با استفاده از سنبل آبی مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

۳-۱- تأثیر pH اولیه پساب بر روی میزان حذف

یکی از پارامترهای مهم در فرآیند جذب، pH اولیه محلول می‌باشد. pH محلول نقش اساسی در تعیین غلظت گونه آنیون موجود در محلول دارد. در این قسمت اثر pH پساب مصنوعی بر روی ظرفیت جذب سنبل آبی در حذف یا کاهش یون نیترات در شرایط ثابت دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، غلظت نیترات ۵۱/۲ mg/L، حجم محلول ۴۰۰ mL و زمان ۲۴ ساعت مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در خصوص تأثیر pH بر راندمان حذف نیترات توسط سنبل آبی محدوده pH بین ۲/۳ تا ۱۱/۹ در نظر گرفته شد. شکل ۱ تغییرات مقدار نیترات جذب شده، به‌عنوان تابعی از pH اولیه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود راندمان حذف در pHهای مختلف متفاوت می‌باشد، درصد حذف نیترات با افزایش میزان pH، افزایش می‌یابد و حداکثر جذب، با نزدیک شدن به pH خنثی اتفاق می‌افتد. بعد از آن با افزایش pH، درصد حذف کاهش می‌یابد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در غلظت مشخص شده برابر با ۵۱/۲ mg/L نیترات بعد از گذشت ۲۴ ساعت در pH=۶/۴ میزان حذف برابر با ۶۶/۱۷ درصد بوده که به بیشترین مقدار خود رسیده است، در pH بهینه، سنبل آبی ظرفیت و قابلیت بیشتری را در جذب نیترات از خود نشان داده و بازدهی جذب به حداکثر خود رسیده است. در توجیه این مسئله می‌توان به بالا بودن سطح ویژه سنبل آبی و افزایش تعداد گروه‌های عاملی در آنها اشاره نمود، (نتایج pH بهینه بر اساس سه بار تکرار بوده که دارای میانگینی برابر با ۶/۴ و انحراف معیار برابر با ۰/۰۵ می‌باشد) از طرفی pH مناسب رشد سنبل آبی نیز در محدوده خنثی می‌باشد. در مقابل pH=۲/۳ و pH=۱۱/۹ حذفی صورت نگرفت، چون با افزایش برهم‌کنش الکتروستاتیک بین بار منفی جاذب و گروه

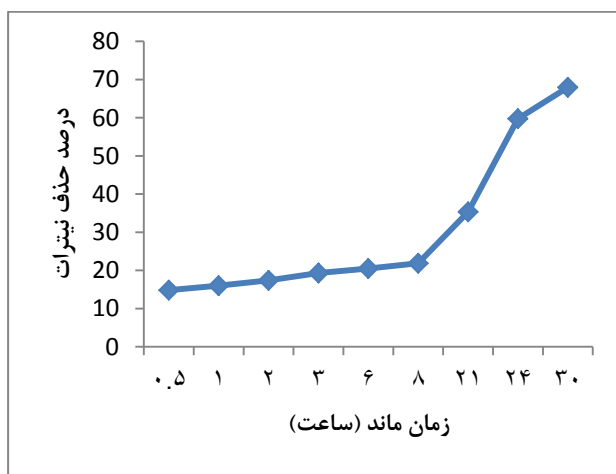
۴۰۰ mL به مدت ۲۴ ساعت انجام گرفت پس از تعیین pH بهینه به منظور بررسی اثر مدت زمان تماس در ۹ سطح برای محلول ساختگی با غلظت مشخص نیترات ۵۱/۲ mg/L و حجم ۴۰۰ mL در pH بهینه آزمایشات انجام گردید پس از تعیین زمان بهینه برای مشخص کردن جرم جاذب بهینه، آزمایش با جرم‌های مختلف سنبل آبی به ترتیب یک بوته دو بوته و سه بوته با غلظت مشخص نیترات برابر با ۵۱/۲ mg/L و حجم ۴۰۰ mL در شرایط بهینه زمان و pH بررسی شد تا جرم جاذب بهینه محاسبه شود جهت تعیین غلظت بهینه استاندارد نیترات آزمایش‌های جذب با غلظت‌های اولیه (mg/L) ۳۱/۷، ۵۱/۲، ۷۱/۲، ۱۰۱/۵، ۱۵۱/۲ نیترات در pH و زمان و جرم جاذب بهینه انجام شدند تا غلظت اولیه بهینه مشخص گردد. جهت بررسی اثر تداخلی یون سولفات بر راندمان حذف، محلول‌های استاندارد با غلظت‌های (mg/L) ۱۰۰، ۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ تهیه گردید و تأثیر آن بر روی غلظت ۵۱/۲ mg/L نیترات در شرایط بهینه (زمان ماند، pH و جرم جاذب) انجام گردید. تمام آزمایشات سه بار تکرار گردید در شرایط آزمایشگاهی قابلیت امکان استفاده از یک بوته در غلظت‌های پایین جهت سه بار تکرار بود ولی در غلظت‌های بالا قابلیت تکرار بوته کاهش پیدا می‌کرد. ولی در پروژه‌های عملی به دلیل رشد گیاه و عملیات فتوسنتز این قابلیت افزایش پیدا خواهد کرد. (در این تحقیق از هر بوته یکبار جهت اطمینان از دقت بالای آزمایشات و حذف خطاهای احتمالی استفاده شد) همه نمونه‌ها در فواصل زمانی معین از کاغذ صافی واتمن ۰/۴۵ μm عبور داده شدند و سپس مقدار نیترات با اسپکتروفوتومتر Dr5۰۰۰ از شرکت HACH آلمان در طول موج ۲۷۵ nm (محدوده UV) اندازه‌گیری شدند و درصد حذف محاسبه و مقدارهای بهینه بدست آمد. داده‌های آزمایش با مدل‌های جذب لانگمویر و فروندلیچ به صورت تابعی از غلظت اولیه نیترات مطابقت داده شدند. برای محاسبه ظرفیت جذب تعادلی جاذب از رابطه (۲) استفاده شد.

$$qe = (C_0 - C_e)V/m \quad (2)$$

در این معادله qe (mg) جرم جذب شده نیترات در یک گرم جاذب، V حجم نمونه‌های آزمایشگاهی تهیه شده در تحقیق می‌باشد C_0 غلظت اولیه نیترات برحسب mg/L بوده و C_e غلظت نیترات باقیمانده برحسب mg/L بعد از جذب آن توسط جاذب سنبل آبی می‌باشد و m نیز جرم جاذب سنبل آبی مورد استفاده برحسب g می‌باشد. (مطالعه ایزوترم جذب در وزن ثابت ۴۰۰ g سنبل آبی انجام گردید). روابط ۳ و ۴ به ترتیب مدل لانگمویر و فروندلیچ را نشان می‌دهد (Heidari et al., 2009).

$$qe = (q_m \cdot b \cdot C_e) / (1 + b \cdot C_e) \quad (3)$$

حذف نیترات می‌باشد بر اساس دلایل زیر ادامه کار متوقف گردید:
 ۱- مقدار نیترات باقی مانده کمتر از حداکثر مجاز استاندارد آب شرب بود
 ۲- زمان تعادل فرایند جذب و همچنین بازدهی جذب به عنوان فراسنج‌های اقتصادی، بیشترین اهمیت را برای توسعه دانش و فن تصفیه‌ی آب بر پایه جاذب‌های طبیعی دارند ۳- نتایج مطالعات گیاه پالایی نشان داده بود که افزایش دوز جاذب نیز می‌تواند درصد حذف را افزایش دهد لذا زمان بهینه ۳۰ ساعت در نظر گرفته شد. (نتایج زمان ماند بهینه بر اساس سه بار تکرار بوده که دارای میانگینی برابر با ۲۹/۷ و انحراف معیار برابر با ۰/۵۷ می‌باشد) نتایج مشابهی توسط Zarei و همکاران ارائه گردیده است (Zarei et al., 2008).

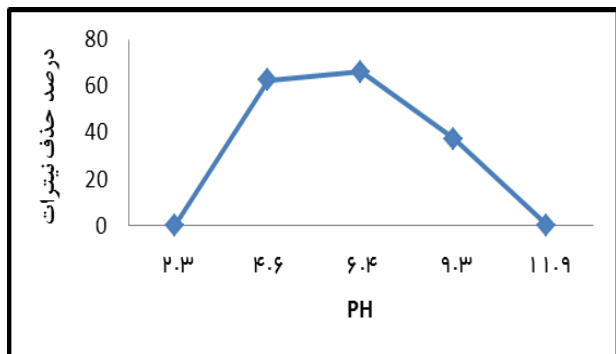


شکل ۲- درصد حذف نیترات بر اساس تغییرات زمان تماس (T=۲۵°C، pH=۶/۴، غلظت نیترات برابر ۵۱/۲ mg/L، حجم محلول برابر ۴۰۰ mL، دوز جاذب یک بوته پنج ساقه ای)

۳-۳- تأثیر دوز جاذب بر روی میزان جذب

شکل ۳ میزان درصد حذف نیترات را برحسب وزن گیاه نشان می‌دهد (در شرایط بهینه زمان و pH). همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش دوز جاذب از یک بوته به سه بوته بازدهی جذب نیترات از ۶۷ درصد به ۱۰۰ درصد افزایش یافته است. با توجه به شکل ۳ در ۳ بوته حداکثر درصد حذف نیترات با غلظت مشخص شده ۵۱/۲ mg/L نیترات برابر با ۱۰۰ گزارش شده است. (نتایج دوز جاذب بهینه بر اساس سه بار تکرار بوده که دارای میانگینی برابر با ۳، انحراف معیار برابر صفر می‌باشد). با افزایش دوز جاذب زمان ماند تعادل به‌عنوان فراسنج‌های اقتصادی نیز کمتر می‌شود، در سه بوته در ۲۴ ساعت میزان ۱۰۰ درصد حذف مشاهده گردید. (جدول ۱ و ۲) علت این پدیده را می‌توان این چنین بیان کرد که با افزایش دوز جاذب

آمونوم با بار مثبت، جذب نیترات توسط جاذب افزایش می‌یابد. به دلیل اینکه بار جاذب در pHهای بالاتر و خیلی پایین خنثی شده و جذب ثابتی به سمت آنیون‌های نیترات با بار منفی داشت، لذا برای pHهای بالا و پایین تغییری در جذب مشاهده نگردید. که با نتایج بدست آمده توسط Hamidi و همکاران و Tehrani و همکاران (Hamidi et al., 2008; Tehrani et al., 2011; Ferasati, jafar Zadeh, 2012).



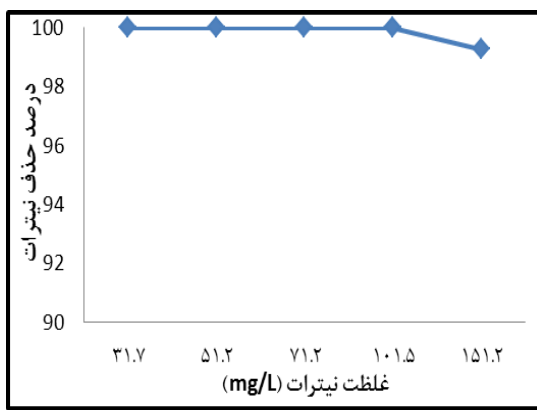
شکل ۱- درصد حذف نیترات بر اساس تغییرات pH در ۲۴ ساعت

(T=۲۵°C، غلظت نیترات برابر ۵۱/۲ mg/L، حجم محلول برابر ۴۰۰ mL، دوز جاذب یک بوته پنج ساقه ای)

۳-۲- تأثیر زمان تماس واکنش بر روی میزان حذف

پس از تعیین pH بهینه، اثر زمان تعادل بر جذب نیترات به وسیله سنبل آبی مورد بررسی قرار گرفت. در این مرحله جرم جاذب برابر با یک بوته (۵ ساقه) غلظت نیترات برابر با ۵۱/۲ mg/L و pH=۶/۴ بهینه شده در مرحله قبل در نظر گرفته شد. زمان ماند از ۰/۵ تا ۳۰ ساعت تغییر داده شد. شکل ۲ تغییرات بازدهی جذب نیترات را با تغییرات زمان تماس به وسیله سنبل آبی و رابطه‌ای مستقیم را بین زمان ماند و درصد حذف نیترات نشان می‌دهد. شکل ۲ رابطه‌ای مستقیم بین زمان ماند و درصد حذف نیترات را نشان می‌دهد. طبق شکل با افزایش زمان ماند درصد حذف در غلظت مشخص شده برابر با ۵۱/۲ mg/L نیترات افزایش می‌یابد. که این در نتیجه افزایش تماس ریشه سنبل آبی با محلول آب نیتراته و افزایش تبادل یون بین سنبل آبی و محلول آب نیتراته می‌باشد (واضح است که سیر صعودی بعد از ۸ ساعت روند سریع‌تری را دنبال می‌نماید در صورتی که قبل از آن روند تدریجی را شاهد بودیم). در پایان این مرحله بیشترین درصد حذف نیترات در pH بهینه ۶/۴ و زمان ماند ۳۰ ساعت اتفاق افتاد. مقدار قرائت نیترات برابر با ۱۶/۴ mg/L معادل ۶۷/۹۶ درصد

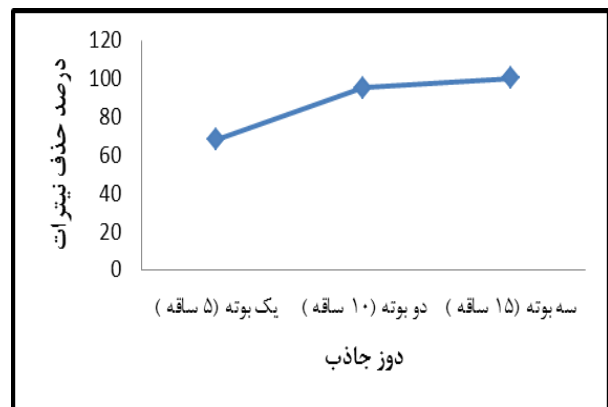
با تغییر غلظت‌های نیترات (mg/L) ۳۱/۷، ۵۱/۲، ۷۱/۲، ۱۰۱/۵، ۱۵۱/۲ و با در نظر گرفتن شرایط بهینه از مراحل قبل (pH=۶/۴) زمان ماند ۳۰ ساعت دوز جاذب برابر با سه بوته (۱۵ ساقه))، ظرفیت جذب در غلظت‌های اولیه متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به جدول ۳ و شکل ۴، با افزایش غلظت اولیه نیترات درصد حذف تغییر محسوسی ندارد و در غلظت‌های (mg/L) ۳۱/۷، ۵۱/۲، ۷۱/۲، ۱۰۱/۵ مقدار حذف برابر با صد درصد می‌باشد. چون با افزایش غلظت به دلیل افزایش تعداد برخورد یون‌های فلزی و جاذب، یون‌ها از محلول حذف می‌گردند که نشان‌دهنده تمایل و توانایی سنبل آبی در انباشت نیترات در ریشه می‌باشد.



شکل ۴- درصد حذف نیترات بر اساس تغییرات غلظت در شرایط بهینه

($T=25^{\circ}\text{C}$ ، $\text{pH}=6/4$ ، حجم محلول برابر ۴۰۰ mL، زمان ماند ۳۰ ساعت، دوز جاذب برابر با سه بوته (پانزده ساقه))

تعداد مکان‌های فعال سطحی در حال رقابت یا یون‌های فلزی نیز افزایش پیدا می‌کند و یون‌های بیشتری از محلول حذف می‌گردد. نتایج نشان داد که تغییر در میزان جاذب، اثر معنی‌داری بر بازدهی حذف داشته یعنی، جذب نیترات با استفاده از جاذب مورد مطالعه به میزان جاذب وابسته است و در نهایت دوز جاذب عامل تأثیرگذار در بازدهی حذف می‌باشد که با نتایج بدست آمده توسط Shahmoradi و همکاران و Ferasati مطابقت دارد (Shahmoradi et al., 2012; Ferasati and jafar Zadeh, 2012).



شکل ۳- تأثیر دوز جاذب در حذف نیترات ($T=25^{\circ}\text{C}$ ، $\text{pH}=6/4$ ، زمان ماند ۳۰ ساعت، غلظت نیترات برابر ۵۱/۲ mg/L، حجم محلول برابر ۴۰۰ mL)

۴-۳- تأثیر غلظت اولیه پساب بر روی میزان جذب

غلظت محلول عامل تأثیرگذار زمان تعادل و بازدهی جذب است. اثر غلظت نیترات اولیه روی جذب یون‌های نیترات با استفاده از جاذب

جدول ۱- تأثیر دوز جاذب در حذف نیترات، غلظت ۵۱/۲mg/L، ۲۴ ساعت

| دوز جاذب | یک بوته (۵ ساقه) | دو بوته (۱۰ ساقه) | سه بوته (۱۵ ساقه) |
|-------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| میزان نیترات قرائت شده (mg/L) | ۲۰/۶۲ | ۶ | ۰ |
| درصد حذف نیترات | ۵۹/۷۳٪ | ۸۸/۲۸٪ | ۱۰۰٪ |

جدول ۲- تأثیر دوز جاذب در حذف نیترات، غلظت ۵۱/۲mg/L، ۳۰ ساعت

| دوز جاذب | یک بوته (۵ ساقه) | دو بوته (۱۰ ساقه) | سه بوته (۱۵ ساقه) |
|-------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| میزان نیترات قرائت شده (mg/L) | ۱۶/۴ | ۲/۴۶ | ۰ |
| درصد حذف نیترات | ۶۷/۹۶٪ | ۹۵/۱۹٪ | ۱۰۰٪ |

جدول ۳- درصد حذف نیترات بر اساس تغییرات غلظت در شرایط بهینه

| | | | | | |
|--------|-------|------|------|------|-------------------------------|
| ۱۵۱/۲ | ۱۰۱/۵ | ۷۱/۲ | ۵۱/۲ | ۳۱/۷ | غلظت نیترات (mg/L) |
| ۱/۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | میزان نیترات قرائت شده (mg/L) |
| ۹۹/۲۷٪ | ۱۰۰٪ | ۱۰۰٪ | ۱۰۰٪ | ۱۰۰٪ | درصد حذف نیترات |

برابر با ۹۹/۹ درصد می‌باشد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت سنبل آبی یون نیترات را در حضور یون سولفات نیز به خوبی جذب می‌نماید.

۳-۶- ایزوترم‌های جذب

روش مناسب برای تعیین قابلیت‌های جاذب، به دست آوردن ایزوترم جذب می‌باشد. منحنی‌های ایزوترم جذب قادرند به صورت کمی رفتار و عملکرد جذب را در مورد جاذب‌های طبیعی برای یک فلز در یک زمان ارزیابی نمایند. یکی دیگر از فرضیه‌های مطرح شده در این تحقیق تبعیت یا عدم تبعیت ایزوترم جذب نیترات توسط سنبل آبی از ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ می‌باشد. با توجه به روابط و محاسبات ذکر شده در قبل، فرایند حذف نیترات با استفاده از سنبل آبی با ضریب همبستگی $R^2=1$ از ایزوترم لانگمویر تبعیت می‌کند. از آنجایی که مدل لانگمویر مربوط به جذب تک لایه‌ای است و فرض می‌کند سطح جاذب دارای مکان‌های با انرژی مساوی است که هر مولکول جذب شونده تنها به یک مکان اختصاص داده می‌شود. بنابراین احتمالاً توزیع یکنواخت سایت‌های فعال سطحی سنبل آبی را بیان می‌کند (شکل ۶ و ۷).

جدول ۴- درصد حذف نیترات، غلظت ۵۱/۲ mg/L بر اساس

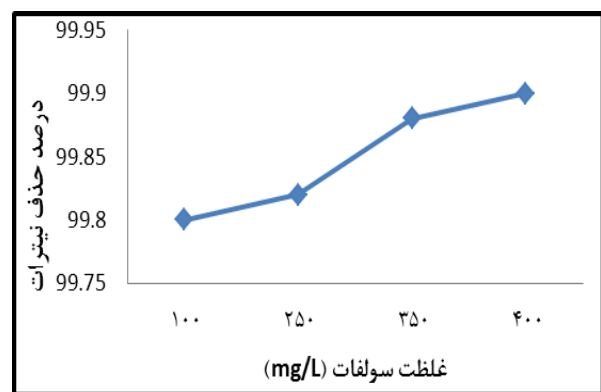
تغییرات غلظت مداخله گرسولفات

| | | | | |
|-------|--------|--------|-------|-------------------------------|
| ۴۰۰ | ۳۵۰ | ۲۵۰ | ۱۰۰ | غلظت سولفات (mg/L) |
| ۰/۰۵ | ۰/۰۶ | ۰/۰۹ | ۰/۱ | میزان نیترات قرائت شده (mg/L) |
| ۹۹/۹٪ | ۹۹/۸۸٪ | ۹۹/۸۲٪ | ۹۹/۸٪ | درصد حذف نیترات |

۴- خلاصه و جمع‌بندی

زمان تعادل فرایند جذب و همچنین بازدهی جذب، بیشترین اهمیت را برای توسعه دانش و فن تصفیه‌ی آب بر پایه جاذب‌های طبیعی دارند. غلظت محلول و ظرفیت جاذب به عنوان دو عامل تأثیرگذار زمان تعادل و بازدهی جذب می‌باشند. در این بررسی قابلیت حذف نیترات با استفاده از سنبل آبی تحت تأثیر پارامترهای عملکردی مانند pH، زمان تماس، جرم جاذب و غلظت اولیه پساب بر میزان جذب نیترات مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

در غلظت نیترات برابر با ۱۵۱/۲ mg/L مقدار حذف برابر با ۹۹/۲۷ درصد می‌باشد (در این غلظت به دلیل اشباع شدن موقعیت‌های جذب راندمان حذف به ۱۰۰ درصد نرسیده است) نتایج مشابهی توسط Shahmoradi و همکاران ارائه گردیده است. (Shahmoradi et al., 2012).



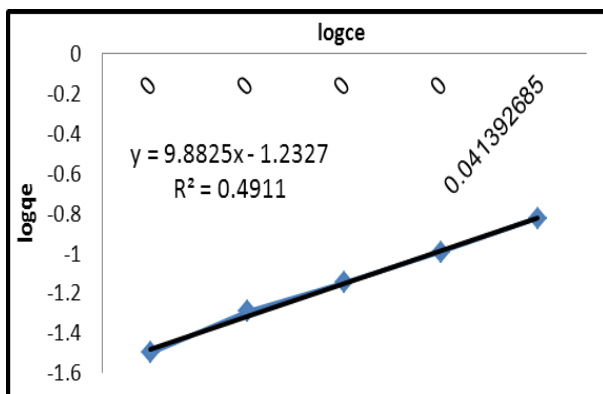
شکل ۵- درصد حذف نیترات، غلظت ۵۱/۲ mg/L بر اساس

تغییرات غلظت مداخله گرسولفات

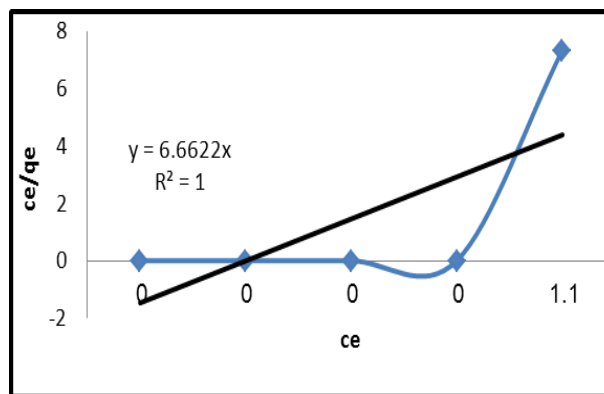
($\text{pH}=6/4$, $T=25^\circ\text{C}$)، غلظت نیترات برابر ۵۱/۲ mg/L، حجم محلول برابر ۴۰۰ mL، زمان ماند ۳۰ ساعت، دوز جاذب برابر با سه بوته (پانزده ساقه))

۳-۵- تأثیر غلظت یون مداخله گرسولفات بر روی میزان جذب

با توجه به نتایج حاصل از مطالعات پیشین و همچنین با توجه به اینکه یکی از فرضیات مطرح شده احتمال اثر تداخلی یون سولفات در روند جذب نیترات می‌باشد نتایج آزمایشات حذف نیترات با استفاده از سنبل آبی در حضور یون‌های سولفات با غلظت‌های (mg/L) ۱۰۰، ۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ در شرایط بهینه مراحل قبل و غلظت نیترات برابر با ۵۱/۲ mg/L مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به جدول ۴ و شکل ۵، راندمان حذف نیترات در حضور یون‌های مذکور کاهش چشمگیری را نشان نمی‌دهد. راندمان حذف غلظت نیترات برابر با ۵۱/۲ mg/L، بدون مداخله گرسولفات برابر با ۱۰۰ درصد بوده که در حضور یون مداخله گرسولفات ۴۰۰ mg/L (بالاترین غلظت آزمایش شده)



شکل ۷- ایزوترم فروندلیچ برای حذف نیترات



شکل ۶- ایزوترم لانگمویر برای حذف نیترات

آبی پتانسیل بالایی در حذف فلزات از محیط دارد، در محیط‌های طبیعی نیز می‌توان بیشترین حذف فلزات را از این گیاه بدست آورد. از آنجا که در ایران بر طبق بررسی‌های انجام شده تاکنون در خصوص توانایی گیاه آبی سنبل برای جذب نیترات مطالعه‌ای صورت نپذیرفته است، لذا این گیاه می‌تواند به‌عنوان جاذب بیولوژیکی نقش بسزایی در حذف فلزات از آب‌های آلوده و پساب ناشی از کارخانجات و کشاورزی ایفا نماید. البته استفاده از این گیاه گیاهان آبی نظیر آن در سیستم‌های فاضلاب در مقیاس علمی نیاز به تحقیقات بیشتری در زمینه ایجاد شرایط مناسب رشد گیاه، نوع فاضلاب و زمان به کارگیری آن دارد. از این گیاه می‌توان در تصفیه قاضلاب‌های شهری و کشاورزی که علاوه بر دارا بودن مواد مغذی دارای مقادیر نسبتاً کمی فلزات هستند بهره جست. از آنجایی که سیستم‌های تصفیه طبیعی نیاز به انرژی و هزینه کمتری دارند، تحقیقات بسیاری در دنیا در راستای توسعه این سیستم‌ها در حال انجام است. با توجه به روند رو به کاهش منابع، استفاده طبیعی و منطقی و به کارگیری سیستم‌هایی در جهت مبارزه با مشکلات آلودگی حائز اهمیت بیشتری می‌گردد. این روش پایدار، ارزان و به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای روش‌های متداول اصلاح، در کشورهای در حال توسعه به سرعت در حال ایجاد است. تکثیر، پرورش و سازگاری این گیاه در آب، بسیار مناسب و نگهداری از آنها بسیار آسان و کم هزینه است. با توجه به فلور گیاهی بالای ایران (در حدود ۷۵۰۰ گونه گیاهی) و اقلیم به نسبت مناسب برای رویش و رشد گیاهان و راندمان به نسبت بالای گیاه پالایی نسبت به هزینه در سایر روش‌های حذف نیترات، می‌توان نتیجه گرفت که گیاه پالایی، فرآیندی مقرون به صرفه، سبز و مورد قبول برای کشور است.

با توجه به نتایج به دست آمده بهترین شرایط برای حذف نیترات به وسیله سنبل آبی به ترتیب $\text{pH}=6/4$ ، زمان ماند ۲۴ ساعت و جرم جاذب سه بوته به دست آمد. نتایج بدست آمده از آزمایش‌های جذب با ایزوترم جذب سطحی لانگمویر مطابقت کامل داشت. با استفاده از ابزار رگرسیون گیری (ضریب همبستگی R^2) در خصوص تأثیر pH بر میزان حذف نیترات و با توجه به مقدار $R^2=0/3$ در این زمینه رابطه معنی‌داری بین درصد حذف نیترات و مقدار pH برقرار نیست. همچنین جهت اثر تغییر زمان بر میزان حذف نیترات می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به مقدار $R^2=0/76$ رابطه تقریباً معنی‌داری بین درصد حذف نیترات و گذشت زمان وجود دارد. یعنی با افزایش زمان تماس درصد جذب افزایش یافته که این در نتیجه افزایش تماس ریشه سنبل آبی با محلول آب نیتراته و افزایش تبادل یون بین سنبل آبی و محلول آب نیتراته می‌باشد. با افزایش جرم جاذب راندمان حذف از $67/96$ درصد به 100 درصد افزایش یافت و زمان ماند کمتری جهت تعادل بدست آمد. بر اساس نتیجه $R^2=0/85$ رابطه معنی‌داری بین افزایش جرم جاذب و درصد حذف نیترات وجود دارد. با افزایش غلظت اولیه نیترات درصد حذف تغییری محسوسی ندارد و رابطه معنی‌داری بین درصد حذف نیترات و غلظت اولیه نیترات وجود ندارد. با افزایش غلظت، به دلیل افزایش تعداد برخورد یون‌های فلزی و جاذب، یون‌ها از محلول حذف می‌گردند و این نشان‌دهنده تمایل و توانایی سنبل آبی در انباشت نیترات در ریشه می‌باشد. همچنین راندمان حذف نیترات در حضور یون‌های سولفات کاهش نمی‌یابد. پس رابطه معنی‌داری بین غلظت یون سولفات و درصد حذف نیترات برقرار نیست. در نهایت سنبل آبی توانایی انباشت نیترات در ریشه در غلظت 151 mg/L را داشت، که نشان دهنده مقاومت گیاه به نیترات می‌باشد. طبق تحقیقات انجام شده در قبل، انباشت فلزات در ریشه‌های گیاه بیشتر از شاخسارها می‌باشد. با توجه به اینکه سنبل

- Fox LJ, Struik PC, Appleton BL, Rule HJ (2008) Nitrogen phytoremediation by water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms). *Water, Air, and Soil Pollution* 194 (1-4):199-207
- Gilchrist M, Winyard PG, Benjamin N (2010) Review; Dietary nitrate – Good or bad? *Nitric Oxide* 22:104–109
- Hameed BH, El-Khaiary MI (2008) Equilibrium, kinetics and mechanism of malachite green adsorption on activated carbon prepared from bamboo by K₂CO₃ activation and subsequent gasification with CO₂. *Journal of Hazardous Materials* 157:344–351
- Hazrat A, Ezzat K, Muhammad Anwar S (2013) Phytoremediation of heavy metals, Concepts and applications. *Chemosphere* 91(7):869–881
- Heidari AH, Younesi Z, Mehraban (2009) Removal of Cd(II), Ni(II), and Pb(II) ions in an aqueous solution by chemically modified nanoporous. *MCM-41*, 1:25-33
- Imamoglu M, Yildiza H, Altundaga H, Turhanb Y (2015) Effective separation of cadmium (II) from aqueous solution through a carbon shell (DHHC). *Journal of Dispersion Science and Technology* 36(2):284-290
- Ineel IL (2000) Idaho national engineering and environmental laboratory. U.S. Department of Energy, Chicago, 289-301
- Ismail AS, Abeal-Sabour RM, Rad W (1996) Water hyacinth as indicator for heavy metal pollution in different selected sites and waterbodies around greater Cairo. *Egypt Journal of Soil Science* 36:343-354
- Iyer PVR, Rao TR, Grover PD (2002) Biomass thermo chemical characterization, Indian Institute of Tech. New Dehli, 165-169
- Kutty SRM (2012) Nutrients removal from municipal wastewater treatment plant effluent using *Eichhornia Crassip*. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 3:13-15
- Lebeau T, Braud A, Je'ze'quel K (2007) Performance of bio-augmentation-assisted phytoextraction applied to metal contaminated soils. *Environmental Pollution* 153 (3):497-522
- Lin Y, Jing S, Wang T, Lee D (2002) Effects of macrophytes and external carbon sources on nitrate removal from groundwater in constructed wetlands. *Environmental Pollut* 119 (3):413-420
- Madahi Arefi h, Darvish M (1995) Optimal utilization of interior water capacity of desertification bearing.

- 1- Methemoglobinemia
- 2- *Eichhornia crassipes*
- 3- Hoagland
- 4- Kjeldahl

۵- مراجع

- Asghar Zadeh F, Amooei A, Ebrahim pour M, Ghaneian M, Faraji H (2013) The study of conala waste efficiency in the removal of cadmium from the aqueous solutions. Sixteenth National Conference of Environmental Health. Tabriz. Tabriz University of Medical Sciences (In Persian)
- Baker AJM, Walker PL (1989) Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. In: Shaw A, eds. *Heavy metal tolerance in plants – Evolutionary aspects*, CRC Press, 155-177
- Bhatt K (1997) Occurrence and distribution of Nitrate and pesticides in Bowdle aquifer, South Dakota (USA). *Environmental Monitoring and Assessment* M. (2005) Nitrates leaching from agricultural land in Hmadan, western Iran. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 110 (3-4): 210-218
- Brix B (1993) Waste water treatment in constricted wetlands: system design, removal process and treatment performance. 9-22. In: Moahiri GA, ed. *Constructed wetlands for water Quality Improvement*. CRC press, Boca Raton
- Center T, Spencer NR (1981) The phenology and growth of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms) in a eutrophic north central Florida lake. *Aquatic Botany* 10:1-32
- Dermentzis KA, Christoforidis, Valsamidou E (2011) Removal of nickel, copper, zinc and chromium from synthetic and industrial wastewater by electrocoagulation. *J. Environmental Sciences* 1 (5):112-119
- Edwards D, Musil CJ (1975) *Eichhornia crassipes* in South Africa. A general review. *Journal of the Limnological Society of South Africa* 1:23-27
- Falahi F, Ayati B, Ganji Doost H (2012) Nitrate removal by the phytoremediation process in experimental scale. *Journal of Water and Wastewater* 1:P 57 (In Persian)
- Ferasati M, Jafar Zadeh S, Boroumand Nasab H (2012) The use of plant nano-absorbent to remove nitrate from aqueous solutions. *The study of Iran Water Resources* (3):45-56 (In Persian)

- wastewater by constructed wetlands. *J. of Environmental Studies* 26 (25):11-22
- Sedaghat H (2013) Nitrate removal from the water using the sunflower and corn stem (stalk). National Institute of Talents, 15-19 (In Persian)
- Shahmoradi M, Amin Zadeh B, Torabian A (2012) The nitrate removal from groundwater using the active carbon obtained from rice barn, the active carbon obtained from food industry sludge, commercial active carbon and natural charcoal. The First National Conference on Ways to Achieve the Sustainable Development. Ministry of Interior, Tehran, 8-14 (In Persian)
- Sultan ME, Rashed MN (2003) Laboratory study on the survival of water hyacinth under several conditions of heavy metal concentration. *Advance Environmental Researches* 7:327-334
- Sundaralingam T, Gnanavelrajah N (2014) Phytoremediation potential of selected plants for Nitrate and Phosphorus from ground water. *International Journal of Phytoremediation* 16 (3):275-284
- Tehrani-Bagha AR, Nikkar H, Mahmoodi NM, Markazi M, Menger FM (2011) The sorption of cationic dyes onto kaolin: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *Desalination* 266:274-280
- WHO (2006) Guidelines for drinking water quality. 3rd ed, Geneva, WHO, 190-191
- World Health Organization (2008) Guidelines for drinking-water quality. 3rd Ed, Incorporating the First and Second Addenda, Volume 1 Recommendations, WHO, Geneva
- Zarei A, Mostafa Poor F, Bazr Afshan A, Sadeghi M (2008) The nitrate removal from the drinking water using the active carbon obtained from pine cones. Eleventh national conference of environmental health. Zahedan. Zahedan University of Medical Sciences, 31-35 (In Persian)
- The Second National Conference and Various Methods of Desertification, 121-127 (In Persian)
- Malakouti MJ (2002) Investigation of the origin and methods of reducing the contaminants of nitrate and cadmium in paddy fields north. Final Report, Soil and Water Research Institute, Tehran, 78-89 (In Persian)
- McCutcheon SC, Schnoor JL (2003) Phytoremediation transformation and control of contaminants. John Wiley and Sons, New York, 33-38
- Mohseni A (1996) Health problems of nitrate in drinking water and health risks associated with nitrate in drinking water. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences* (15):15 (In Persian)
- Morikawa H, Ozgur E (2003) Basic processes in phytoremediation and some applications to air pollution control. *Chemosphere* 52:1553-1558
- Mosleh Arani A, Khosravi M, Azimzadeh, Hosdai Zadeh H, Sepahvand A (2014) The study of *Mytus Communis* and *Pinus britia* in cadmium absorption. *Environmental Studies* 40 (1):28 (In Persian)
- Nanda Kumar PBA, Dushenkov V, Motto H, Raskin I (1995) Phytoremediation: The use of plants to remove heavy metal from soils. *Environmental Science and Technology* 29:1232-1238
- Nolan BT (2001) Relating nitrogen sources and aquifer susceptibility to nitrate in shallow ground waters of the United States. *Ground Water* 39(2):290-299
- Pivetz BE (2001) Phytoremediation of contaminated soil and groundwater at hazardous waste sites. EPA Groundwater Issue, EPA/540/S-01/500, USA
- Rahmani H, Kalbasi M, Hajrasooliah Sh (1990) The plant pollution by the lead of vehicles within the some highways of Iran. *Jornal of Ecology* 26:77-83 (In Persian)
- Sadeghpour H, Torabian A, Mehrdadian N (2000) Nitrogen and hosphrous removal from municipal