

حذف نیترات توسط فرایند گیاه پالایی در مقیاس آزمایشگاهی

فاطمه فلاحی^۱ بیتا آیتی^۲ حسین گنجی دوست^۳

(دریافت ۸۸/۱۲/۱۲ پذیرش ۸۹/۱۱/۲۷)

چکیده

هدف از انجام این تحقیق، پرورش سه گونه مناسب آبی برون آ (نی، بامبو و نخل مرداب) در محیط آزمایشگاهی به روش هیدروپونیک و بررسی توانایی آنها در حذف نیترات از آب بود. به این منظور از سه گلدان با غلظتهای اولیه NO_3^-/N ۲۵ و ۲۰ و ۱۵ میلی گرم در لیتر، یک گلدان حاوی کود کامل امکس و یک گلدان شاهد استفاده شد. طی ۸ ماه تحقیق، تغییرات غلظت و درصد حذف نیترات و نیز میزان رشد، وزن تر و خشک نمونه‌های گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل حاکی از قابلیت بیشتر گیاه نی برای حذف نیترات از آب نسبت به دو گیاه دیگر بود به گونه‌ای که در بالاترین غلظت، میانگین حذف نیترات در نی، بامبو و نخل مرداب به ترتیب ۹۵، ۸۵ و ۷۰ درصد تعیین شد. میان وزن خشک گیاهی و راندمان حذف گونه‌ها رابطه مستقیمی وجود داشت و بیشترین میزان جذب نیترات در ریشه و ریزوم گیاه مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: نیترات، گیاه پالایی، آبی برون آ، نی، بامبو، نخل مرداب

Lab Scale Study of Nitrate Removal By Phytoremediation

Fatemeh Fallahi¹

Bita Ayati²

Hossein Ganjidoust³

(Received March 2, 2010 Accepted Feb. 16, 2011)

Abstract

The purpose of this study was to cultivate three suitable emergent herbaceous species (reed (*Phragmites australis*), bamboo (*Dracaena sanderiana*), and umbrella plant (*Cyperus alternifolius*)) in laboratory scale using hydroponic method and to examine their potential in removing nitrate from contaminated water. Three containers with initial NO_3^-/N concentration of 15, 20, 25 mg/L, one container of perfect omex fertilizer and the last one with plane water and soil were used in this study. The variations of nitrate concentration, its removal rate, and plant growth (dry and wet weight) were all measured during 8 months of the study. The experimental results indicated that reeds had higher ability to remove nitrate as compared to bamboo and umbrella plant. For the highest concentration, reeds, bamboo and umbrella plant absorbed about 95, 85 and 70 percent nitrate, respectively. There was a direct relation between dry weight and removal efficiency and the most amount of nitrate absorption was measured in root and rhizome of the plant.

Keywords: Nitrate, Phyto-Remediation, Emergent Herbaceous, Reed, Bamboo, Umbrella Plant

1. M.Sc. Student of Civil and Env. Eng., Tarbiat Modares University, Tehran
2. Assoc. Prof. of Civil and Env. Eng., Tarbiat Modares Univ., Tehran
(Corresponding Author) (+98 21) 82883328 ayati_bi@modares.ac.ir
3. Prof. of Civil and Env. Eng., Tarbiat Modares University, Tehran

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
(نویسنده مسئول) ۸۲۸۳۳۲۸ (+۹۸ ۲۱) ayati_bi@modares.ac.ir
۳- استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۱- مقدمه

گیاهان شناور آبی (سنبل 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^۸ متعلق به ناسا، در می‌سی‌سی‌پی ساخته شد [۱].

به‌طور کلی این روش نسبت به سایر فناوری‌های رایج هزینه کمتری دارد و دوستدار محیط زیست است. هزینه فناوری گیاه‌پالایی در آمریکا برای کنترل منابع آلاینده خطرناک نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای، در خاک، آبهای سطحی و زیرزمینی و رسوبات در حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد کمتر در صد از سایر روشهای فیزیکی و شیمیایی برآورد شده است [۶]. ولی از جمله مهم‌ترین محدودیتهای آن، عمق زیاد آلودگی در محیط، شرایط اقلیمی نامساعد گیاه و غلظتهای بالای آلاینده است [۷]. 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. اما بهترین روش مصرف، تغییر و تبدیل ترموشیمیایی است که در این روش، بیومس به‌عنوان یک منبع انرژی، مصرف تجاری دارد. تولید گاز نیز یکی دیگر از موارد کنترل بیومس است که از طریق مجموعه‌ای از تغییرات شیمیایی، گازهای احتراقی پاک با راندمان گرمایی بالا تولید می‌شود که می‌توان برای تولید انرژی گرمایی و الکتریکی به‌کار برد و یا فلزات ذخیره شده در گیاهان فاقد ارزش غذایی را می‌توان در اثر فرایند استخراج توسط پیرولیز حذف نمود [۸] و [۹]. تولیدات نهایی پیرولیز، روغن فلوئید و کک است که فلزات سنگین در کک باقی‌مانده و در کوره ذوب استفاده می‌شوند [۱۰].

نیترات به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی آب، تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شود. بوتریفیکاسیون، 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 نیتریت سمی و بروز عارضه متهموگلوبینمیما (کبودی بچه) و سیانوز و در غلظتهای بالاتر، آسفیکسیا (مرگ بافت) 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 [۱۱]. طی تصویب قانون آب آشامیدنی سالم در سال ۱۹۴۷ و اصلاحات آن، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا^۹، حداکثر مقدار آلاینده‌گی نیترات را ۱۰ میلی‌گرم در لیتر NO_3^- -N در نظر گرفته است [۱۲].

روشهای مختلف فیزیکی و شیمیایی به‌منظور پاکسازی محیط زیست از انواع آلاینده‌ها، ابداع و به‌کار گرفته شده‌اند که با توجه به هزینه‌های گزاف آنها تلاش زیادی برای دستیابی به روشهای ارزان‌تر صورت گرفته است. از جمله این فناوری‌ها، گیاه‌پالایی است که طی آن، آلودگی‌ها از طریق تجزیه مستقیم، پالایش غیرمستقیم (با حمایت جمعیتهای میکربی) و جذب از خاک یا آب و تغلیظ در ناحیه ریشه یا بافت گیاه تصفیه می‌شوند [۱]. برای هر نوع خاص از آلاینده‌ها، فرایند گیاه‌پالایی متفاوتی وجود دارد که ممکن است در برگیرنده انواع مختلفی از گیاهان حتی گل‌های تزئینی باشد [۲ و ۳]. به‌طور کلی گیاهان در تصفیه محیط‌زیست شش فرایند اصلی را به‌کار می‌برند که عبارت‌اند از استخراج گیاهی^۱، تثبیت گیاهی^۲، تغییر شکل گیاهی، فیتواستیمولیشن^۳ یا تجمع در محیط ریزوسفری گیاه توسط فعالیت میکرب‌های خاک، تبخیر گیاهی^۴ و ریزوفیلتراسیون^۵ که فیلتر کردن آب از توده ریشه‌ها توسط گیاه است.

نکته قابل ذکر اینکه فرایند ریزوفیلتراسیون از نظر مفهومی مشابه فرایند استخراج گیاهی است اما این روش برای پالایش آبهای زیرزمینی آلوده به‌کار گرفته می‌شود نه خاکهای آلوده. در این فرایند، گیاه به‌روش هیدروپونیک^۶ به‌جای خاک در آب کاشته و آلاینده به‌سطح ریشه یا خود ریشه جذب می‌شود. به‌این صورت که امکان دارد ترکیبات توسط گیاه جذب شوند، و یا در ریشه، عمل ریزوفیلتراسیون و در ساقه‌های جوان عمل بلاستوفیلتراسیون^۷ و یا توسط قارچها، جلبکها و باکتری‌ها جذب زیستی صورت پذیرد. این روش می‌تواند برای پاکسازی مخازن آبهای سطحی آلوده استفاده شود. استفاده از این روش در وتلندها برای تصفیه فاضلاب اجتماعات کوچک، شیرابه مراکز دفن زباله و آبهای سطحی و زیرزمینی، امکان حذف رادیونوکلیوتیدها، ترکیبات آلی، نیترات، آمونیوم، فسفات، پاتوژن‌ها و فلزات سنگین که امکان ورود به چرخه غذایی را دارند، فراهم می‌آورد [۴]. به‌عنوان مثال نتایج آزمایش‌های برکه‌ای کوچک در نزدیکی راکتور چرنوبیل اکراین در تصفیه مواد رادیواکتیو نشان داد که گیاه آفتابگردان طی مدت ۴ تا ۸ هفته در ظرف شناور بر روی برکه، می‌تواند ^{90}Sr و ^{137}Cs را استخراج نماید [۵]. اما اولین مطالعه به‌منظور تصفیه پساب، توسط

¹ Phyto extraction

² Phyto stabilization

³ Phyto stimulation

⁴ Phyto volatilization

⁵ Rhizo filtration

⁶ Hydroponic

⁷ Blastofiltration

⁸ John C. Stennis Space Center

⁹ U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

دادند. میزان حذف توسط سنبل آبی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، ۶۴ درصد، در ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، ۸۰ تا ۸۳ درصد و در غلظتهای بالاتر، صفر و در دو گیاه دیگر بسیار ناچیز گزارش شده است [۱۹].

در تحقیق انجام شده توسط لین و همکاران^۲ در تصفیه آب زیرزمینی در سیستم و تلند با جریان سطحی با غلظت ۲۱ تا ۴۷ میلی‌گرم در لیتر $\text{NO}_3^- \text{N}$ ، میزان ۴ تا ۱۱ درصد حذف، اعلام شده است [۲۰].

بر اساس تحقیقات صورت گرفته توسط فاکس و همکاران^۳ بر روی سنبل آبی، ۶۰ تا ۸۵ درصد از نیتروژن در مدت یک ماه از محلول اصلاح شده هوگلند حذف و باعث افزایش تاج پوشش گیاه شده است [۲۱].

در نیزار مصنوعی ایجاد شده در تصفیه‌خانه شوش تهران با بارگذاری‌های متفاوت نیتروژن کلدال^۴ و کل به ترتیب ۸۶ و ۸۰ درصد حذف صورت گرفته است [۲۲].

در این تحقیق ابتدا گیاهان زیادشونده و کم‌شونده در تالابهای شمال کشور که علاوه بر ذخیره‌سازی آب برای کشاورزی، تغذیه منابع آبهای زیرزمینی و تولید فراورده‌های طبیعی از دیدگاه بوم شناختی دارای ارزشهای ویژه‌ای (زیستگاه پرندگان و حیات وحش و ایجاد منظره‌های زیبا) نیز باشند، مورد بررسی قرار گرفت [۲۳]. سپس با استفاده از فناوری گیاه‌پالایی و فرایند ریزوفیلتراسیون، سه گیاه نی، بامبو و نخل مرداب انتخاب و به منظور حذف نیترات مورد بررسی قرار گرفتند. این سه گیاه در نور کم، سایه و محیط فقط آبی قادر به رشد و ادامه حیات هستند و دارای کاربردهای گوناگونی در ساخت مصالح ساختمانی، تهیه کاغذ و لوازم تزئینی هستند و به‌عنوان خوراک دام مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و کشت آنها به‌روش هیدروپونیک نیز امکان‌پذیر است [۲۴].

۲- مواد و روشها

این مطالعه با هدف استفاده از سه گیاه نی، بامبو و نخل مرداب برای کاهش یا حذف آلاینده نیترات از آب در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. طبقه‌بندی علمی این سه گونه گیاهی در جدول ۱ ارائه شده است [۲۵].

راه‌اندازی سیستم در دو مرحله اساسی صورت گرفت: مرحله اول شامل تکثیر و سازگار نمودن گونه‌های گیاهی و مرحله دوم شامل محلول‌سازی بود. برای تکثیر نمونه‌های نی، از جابه‌جایی

سازمان بهداشت جهانی حد مجاز نیترات در آب شرب را ۱۱/۳ میلی‌گرم در لیتر $\text{NO}_3^- \text{N}$ معادل ۵۰ میلی‌گرم در لیتر برحسب نیترات اعلام کرده است [۱۱]. در ایران نیز استاندارد تدوین شده توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مقادیر توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی را در نظر گرفته است.

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. ازت، گلگاه تولید (افزایش عملکرد) است و کشاورزان را به مصرف کود اوره تشویق می‌کند. عدم رعایت اصول مصرف بهینه کود و نیز عدم توجه به مسائل محیط‌زیست و تداوم مصرف نامتعادل کودها اثرات تخریبی بر جا گذاشته است که از جمله آنها، تجمع نیترات در آبهای زیرزمینی است [۱۳]. در بررسی‌های انجام شده بر روی ۳۱۱ چاه آب در همدان، ۱۱۵ چاه دارای میزان نیترات بالای ۵۰ میلی‌گرم در لیتر $\text{NO}_3^- \text{N}$ بوده‌اند که عامل اصلی آن استفاده از کودهای نیتروژنه در بخش کشاورزی است [۱۴]. بررسی وضعیت نیترات در آب‌های زیرزمینی دو شهر بزرگ تهران و مشهد نیز بسیار نگران‌کننده است. در بخش وسیعی از شرق و جنوب شرقی آبخوان تهران غلظت نیترات بسیار بالا است. همچنین در آبخوان دشت مشهد بر اساس آمار دوره‌ای در ۱۰ سال اخیر افزایش شدیدی در میزان نیترات مشاهده شده است [۱۵ و ۱۶].

لذا طی ۷۰ سال گذشته فرایندهای مختلفی از جمله نیتریفیکاسیون، دنیتریفیکاسیون، نوار هوا، نقطه شکست کلر و تبادل یونی در حذف نیتروژن از آب و فاضلاب به‌کار گرفته شده‌اند. این روشها دارای هزینه بالایی بوده، نیازمند افزودن مواد شیمیایی می‌باشند و یا دارای مشکلات و محدودیتهای اجرایی هستند لذا استفاده از روش گیاه‌پالایی می‌تواند به‌عنوان جایگزینی مناسب برای روشهای مذکور مطرح باشد که اخیراً تحقیقات زیادی به این سمت متمایل شده که در ادامه به چند مورد اشاره می‌شود.

کاشت درختان تبریزی در نوارهای بافری و ردیفهای درختان سواحل رودخانه‌ای در 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 [۱۷ و ۱۸].

ایاسامی و همکاران^۱ قابلیت گیاهان غوطه‌ور در آب شامل سنبل آبی، کاهوی آبی و قدح مریم در حذف نیترات را در ۵ غلظت ۵۰۰، ۴۰۰، ۳۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مورد بررسی قرار

² Lin et al.

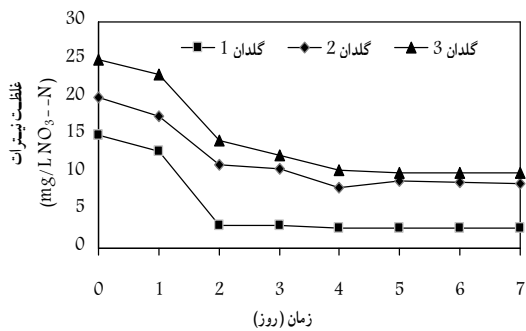
³ Fox et al.

⁴ Kjeldahl

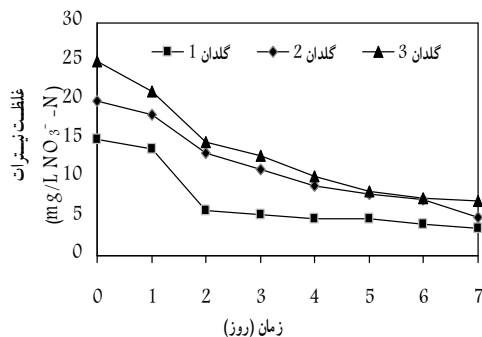
¹ Ayyasamy et al.

جدول ۱- طبقه‌بندی علمی گیاهان مورد آزمایش

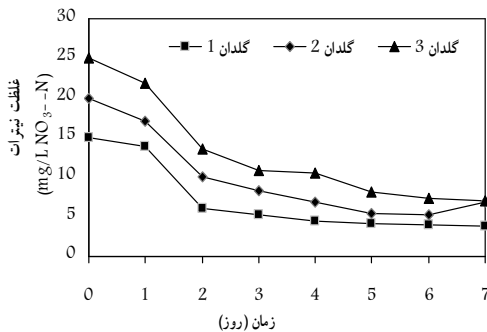
رده بندی علمی			
نام فارسی گیاه	نی	بامبو (لاکی بامبو)	نخل مرداب
شاخه	<i>Plantae</i>	<i>Plantae</i>	<i>Plantae</i>
راسته	<i>Poales</i>	<i>Asparagales</i>	<i>Poales</i>
خانواده	<i>Poaceae</i>	<i>Ruscaceae</i>	<i>Cyperaceae</i>
جنس	<i>Phragmites</i>	<i>Dracaena</i>	<i>Cyperus</i>
گونه	<i>P.australis</i>	<i>D. sanderiana</i>	<i>C. alternifolius</i>
نام ترکیبی	<i>Phragmites australis (Cav.) Trin.ex Steud</i>	<i>Dracaena sanderiana Sander ex Mast</i>	<i>Cyperus alternifolius</i>



شکل ۱- تعیین زمان مناسب برای حذف نیترات در نی



شکل ۲- تعیین زمان مناسب برای حذف نیترات در بامبو



شکل ۳- تعیین زمان مناسب برای حذف نیترات در نخل مرداب

قطعات ریزوم نی موجود در منطقه طالقان و در محیط آبی استفاده شد و نمونه‌های بامبو از گلخانه‌ای در بازار گل تهران تهیه گردید و نخل مرداب نیز توسط قلمه وارونه تکثیر پیدا کرد.

برای محلول‌سازی ابتدا میزان نیترات در چند چاه آب منطقه کولج طالقان (منطقه‌ای بیلاقی در منتهی‌الیه شمال غرب و در فاصله ۱۴۰ کیلومتری تهران) مورد بررسی قرار گرفت.

طی ۸ دوره نمونه‌برداری (ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور ۸۷ و هر دو هفته یکبار) از آب چاه‌های موجود در چهار باغ سیب در طالقان که در زمین آنها چاه آب برای تأمین آشامیدن وجود داشت و برای تولید محصول مناسب‌تر، از کود اوره ۴۶ درصد ازت استفاده می‌کردند، مشخص گردید که میانگین غلظت نیترات در ۳ چاه در حد مجاز استاندارد ۵/۳، ۵/۷ و ۶/۸ میلی‌گرم در لیتر و در یک چاه بیش از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر بود. از آب چاه شماره ۴ با میزان نیترات بیش از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر NO₃-N، با عمل رقیق‌سازی برای تهیه غلظتهای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر NO₃-N برای ادامه آزمایش‌ها استفاده شد.

به‌منظور تعیین زمان ماند مناسب، پس از آماده‌سازی نمونه‌ها و محلول‌های مورد نیاز، گیاهان در سه گلدان با غلظتهای به‌ترتیب ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر NO₃-N به‌مدت ۷ روز آبیاری و هر روز درصد حذف نیترات آنها تعیین شد. مطابق شکل‌های ۱ تا ۳ بیشترین راندمان حذف در کمترین زمان برای نمونه‌های نی، بامبو و نخل مرداب در روز دوم مشاهده گردید. سپس از ۵ گلدان در مقابل نور خورشید و غلظتهای متفاوت از نیترات برای بررسی میزان حذف آن به‌مدت یک ماه (دوره‌های دو روزه) استفاده شد. جدول ۲ مشخصات گلدان‌ها و غلظتهای استفاده شده را نشان می‌دهد.

در هر مرحله پارامترهای کنترلی و اصلی در سیستم مورد بررسی قرار گرفتند. به‌طور روزانه درجه حرارت محیط و pH برای حفظ شرایط محیطی اندازه‌گیری شدند. دمای محیط در مدت انجام آزمایش‌ها در حد مطلوب نیاز گیاهان ۲۳ تا ۲۵ درجه سلسیوس و محدوده pH خنثی با توجه به فیزیولوژی گیاه در دامنه تحمل آنها

جدول ۲- غلظت نیترات در پابلوت‌های آزمایشگاهی

میزان نیترات (mg/L NO ₃ ⁻ -N)	گلدان
۱۵	۱
۲۰	۲
۲۵	۳
حاوی کود کامل (ماکرونوترینت + میکرونوترینت)	۴
حاوی آب چاه طالقان NO ₃ ⁻ -N mg/L ۵/۲ (شاهد)	۵

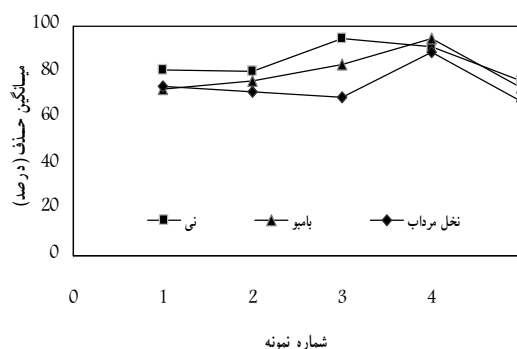
کنترل می‌شدند.

پارامترهای اصلی برای بررسی وضعیت و کارایی سیستم، غلظت اولیه و نهایی نیترات با استفاده از اسپکتروفتومتر DR4000 ساخت شرکت هیچ^۱ مطابق روش ۱۰۰۲۰ و برنامه ۲۵۳۰، میزان جذب نور در اندازه‌گیری میزان نیترات نمونه‌ها (در محدوده ۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر NO₃⁻-N) و راندمان حذف آن در دوره‌های مختلف و نیز تغییرات رشد (رشد طولی، رشد قطری، ازدیاد برگ و ریشه‌ها)، وزن تر و وزن خشک گیاه بودند. برای تعیین وزن خشک نمونه‌ها، قطعات جدا شده گیاه در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. کلیه آزمایش‌ها مطابق با دستورالعمل روشهای استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب صورت گرفت [۲۶].

۳- بحث و نتایج

۳-۱- راندمان حذف نیترات

میانگین حذف نیترات توسط سه گیاه نی، بامبو و نخل مرداب در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- میانگین راندمان حذف نیترات در سه گیاه

طبق نتایج حاصل به کمک فرایند گیاه‌پالایی ریزوفیلتراسیون طی دوره دو روزه در گیاه نی، بامبو و نخل مرداب به ترتیب ۹۵، ۸۵ و ۷۰ درصد نیترات از آب حذف می‌شود. همان‌گونه که

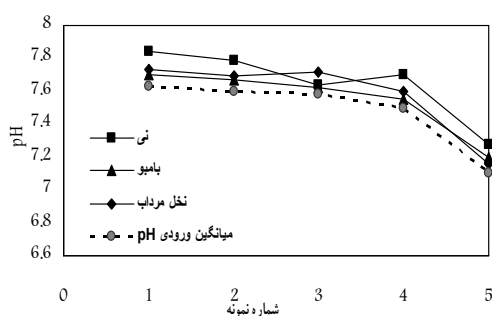
ملاحظه می‌شود گونه‌های نی، پتانسیل خوبی برای حذف نیترات از خود نشان دادند به طوری که با افزایش غلظت نیترات، افزایش میزان حذف مشاهده شد. در گلدان شماره ۳ در دو دوره ششم و هفتم نمونه برداری که حاوی غلظت اولیه ۲۵ میلی‌گرم در لیتر NO₃⁻-N بود، میزان نیترات به صفر رسید و هیچ مقدار آلودگی در آب نمونه‌ها باقی نماند. گلدان نی حاوی ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات نیز دارای بیشترین درصد حذف بود که نشان دهنده مقاومت این گیاه به غلظتهای بالاتر نیترات است. در بامبو نیز روند حذف آلاینده، مشابه نی صورت گرفت با این تفاوت که در گلدان بامبو حاوی مواد مغذی، بیشترین حذف صورت گرفت که نشانگر تأثیر سایر عناصر غذایی بر حذف نیترات در این گیاه بود. در نخل مرداب با افزایش غلظت نیترات، راندمان حذف کمتر شد که بیانگر مقاومت کم این گیاه نسبت به دو گیاه دیگر در غلظتهای بالاتر نیترات است. در تمامی گلدان‌ها، بیشترین میزان حذف در دوره هفتم مشاهده شد که به دلیل سازگاری کامل سه گیاه در طول یک ماه بود و پس از آن میزان حذف به روند ثابتی رسید.

۳-۲- تغییرات رشد در گیاهان

در تمامی گیاهان در گلدان حاوی کود، بیشترین رشد اندام هوایی مشاهده شد. ساقه‌نی‌ها حدود ۳۰ سانتی‌متر در گلدان ۳ رشد داشتند. تغییر رشد در بامبو با برگ‌دهی گیاه ارتباط داشت و حدود ۳ میلی‌متر قطر ساقه آن افزایش یافت. در نخل مرداب نیز حدود ۶۰ سانتی‌متر افزایش ارتفاع مشاهده شد.

۳-۳- تغییرات pH

در هر سه گیاه pH خروجی از pH ثابت ورودی بیشتر بود که به دلیل ویژگی گیاهان و ترشحات قلیایی از ریشه آنها است (شکل ۵).



شکل ۵- میانگین تغییرات pH در سه گیاه

در میان سه گیاه مورد آزمایش، نی به دلیل ترکیبات آلكالوئیدی دی‌متیل‌تریپتی‌آمین زیادی که از ریشه و ریزوم آنها ترشح می‌شود، دارای شیب تغییرات pH خروجی بیشتری نسبت به بامبو و نخل

¹ Hach

مرداب است.

در رابطه با گیاه نی، pH خروجی در گلدان دارای غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر $\text{NO}_3^- \text{-N}$ (با بیشترین درصد حذف) نسبت به گلدان‌های با غلظت ۱۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر $\text{NO}_3^- \text{-N}$ و گلدان حاوی کود، کمتر بود. در بامبو و نخل مرداب تغییر pH ورودی و خروجی با شیب کمی، روند یکنواختی را نشان داد.

حد تحمل آن منجر به افزایش رشد ساقه‌ها، تعداد و سبزیگی بهینه کلروفیل در برگ‌ها و توده ریشه‌ای می‌شود. در جدول ۳ وزن تر، خشک و نیز وزن کل سه گیاه در طول آزمایش‌ها ارائه شده است. شکل ۶ نیز تغییرات وزن خشک سه گیاه را نشان می‌دهد که با افزایش غلظت نیترات در نی و بامبو، افزایش بیومس گیاهی و افزایش درصد حذف مشاهده شد ولی در نخل مرداب، هر دو مورد کاهش یافت.

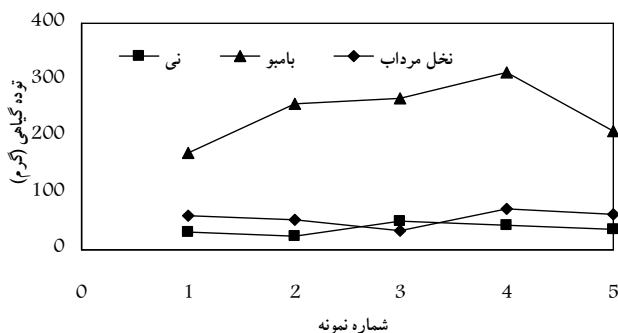
۴-۳- تغییرات بیومس گیاهی

افزایش غلظت نیترات به‌عنوان یک منبع اصلی و مورد نیاز گیاه تا

نتایج حاصل از این مطالعه در جدول ۴ با نتایج سایر محققان مقایسه شده است.

جدول ۳- وزن تر و خشک سه گیاه در هر گلدان (گرم)

مجموع وزن تر گیاهی	اندام زیر آب گیاه (ریشه و ریزوم)		اندام هوایی گیاه (ساقه و برگ)		گلدان‌ها		
	وزن تر	وزن خشک	وزن تر	وزن خشک			
۳۲/۵۲	۴۲/۷۵	۱۷/۹۸	۲۳/۹۹۲	۱۴/۵۳	۱۸/۷۵	۱	گیاه نی
۲۴/۱۸	۳۴/۹۴	۱۲/۵۸	۲۱/۷۱۲	۱۱/۶	۱۳/۲۳	۲	
۴۹/۹۷	۵۷/۴۱	۳۲/۷۷	۳۷/۷۵۳	۱۷/۲	۱۹/۶۶	۳	
۴۳/۴۳	۵۴/۴۴	۲۳/۳۴	۳۱/۲۵۸	۲۰/۰۹	۲۳/۱۸	۴	
۳۵/۶۱	۴۳/۵۴	۲۰/۱۴	۲۵/۴۶	۱۵/۴۷	۱۸/۰۸	۵	
۴۹/۶	۲۴۰/۳	۴۹/۶	۶۰/۱۲	۱۲۱/۰۵	۱۸۰/۱۸	۱	گیاه بامبو
۶۳	۳۲۵/۲۳	۶۳	۷۲	۱۹۳/۸۲	۲۵۳/۲۳	۲	
۶۵/۹	۳۵۱/۵۲	۶۵/۹	۸۰/۱	۲۰۱/۸۷	۲۷۱/۴۲	۳	
۷۰/۲	۴۰۱/۲۲	۷۰/۲	۸۴/۲	۲۴۴/۲	۳۱۷/۰۲	۴	
۶۶/۷	۲۸۳/۹۴	۶۶/۷	۷۸/۶۴۹	۱۴۲/۴۸	۲۰۵/۲۹	۵	
۶۱/۱۲	۸۵/۵۸	۵۲/۰۸	۶۱/۲۳	۹/۰۴	۲۴/۳۵	۱	گیاه نخل مرداب
۵۱/۹۲	۷۷/۴۴	۸/۴۴	۵۶/۰۹	۷/۱۲	۲۱/۳۵	۲	
۳۳/۵۵	۵۸/۴۷	۲۸/۵۴	۴۲/۳۹۲	۵/۰۱	۱۶/۰۹	۳	
۷۱/۶۲	۱۱۲/۷۶	۵۸/۳۲	۷۸	۱۳/۳	۳۴/۷۶	۴	
۶۳/۸۲	۹۰/۳۲	۵۵/۰۶	۶۶/۰۸	۸/۷۶	۲۴/۲۴	۵	



شکل ۶- مقایسه میزان توده گیاهی در سه گیاه

جدول ۴- مقایسه برخی مطالعات صورت گرفته با نتایج تحقیق حاضر

نام محقق	ماده و غلظت استفاده شده	نوع گیاه	پارامتر اندازه گیری شده	نتایج حاصل از آزمایش	مرجع
آیاسامی و همکاران	نیترات در محیط آزمایشگاهی در ۵ غلظت	گیاهان غوطه ور در آب: سنبل آبی، کاهوی آبی و قدح مریم	NO_3^- در ده روز متوالی	حذف توسط سنبل آبی در غلظت ۰.۲۰۰-۳۰۰٪، ۰.۶۴-۱.۰۰٪، ۰.۸۳-۱.۰۰٪ در غلظتهای بالاتر صفر و در دو گیاه دیگر بسیار ناچیز	[۱۹]
باچند ^۱ و هورن ^۲	فاضلاب کشاورزی در سیستم وتلند با جریان سطحی	دم گربه ای، بولراش و چمن	N در دو روز متوالی	دم گربه ای ۵۶۵ mg N m بولراش ۲۶۱ mg N m چمن ۸۳۵ mg N m	[۲۷]
کولمن و همکاران ^۳	فاضلاب حیوانی، در سیستم وتلند با جریان زیر سطحی	تیفالاتیفولیا ^۴ جونکوس ایفاس ^۵ اسکوانولکت وس و یلدوس ^۶	نیتروژن کجلدال، آمونیوم و فسفات، BOD و TSS در طول یک ماه	۶۰٪-۵۰٪ کاهش در نیتروژن کجلدال، آمونیوم و فسفات، ۷۰٪ کاهش BOD و TSS	[۲۸]
داموتا مارکوس و همکاران ^۷	فاضلاب شهری در سیستم وتلند با جریان زیر سطحی افقی	تیفا سویولاتا ^۸ زیزانیوپسیس ^۹ بونارتیس ^۹	$\text{NH}_3\text{-N}$ ، TN ، $\text{NO}_3^- \text{-N}$ در طول هفتاد روز	۵۵/۲ تا ۹۵/۸٪ کاهش در $\text{NH}_3\text{-N}$ ، ۳۹/۶ تا ۵۹/۶٪ افزایش در $\text{NO}_3^- \text{-N}$ تا ۹۰/۴٪ کاهش در TN	[۲۹]
لین و همکاران ^{۱۰}	آب زیرزمینی در سیستم وتلند با جریان سطحی با غلظت $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ۴۷-۲۱	فراگمیتزاسترالیس ^{۱۱} کملیناکمونیس ^{۱۲} پنیسروم پور پورپوروم ^{۱۳}	NO_3^- در یک روز	۱۱٪-۴٪ کاهش $\text{NO}_3^- \text{-N}$: Pep > Phr = Coc	[۲۰]
نتیجه پژوهش حاصل	نیترات از آب منطقه طالقان در سه غلظت ۲۵-۲۰-۱۵ و کود و شاهد. $\text{mg/L NO}_3^- \text{-N}$	گیاهان ریشه دار در آب از طریق کشت هیدروپونیک: نی، بامبو و نخل مرداب	NO_3^- بیومس گیاهی، رشد گیاه (۱۰ دوره دو روز)	در غلظت ۲۵ mg/L نی ۹۵٪، بامبو ۸۵٪، نخل مرداب ۷۰٪ در غلظت ۲۰ mg/L نی ۸۱٪، بامبو ۷۶٪، نخل مرداب ۷۲٪ در غلظت ۱۵ mg/L نی ۸۱٪، بامبو ۷۳٪، نخل مرداب ۷۴٪	-

¹ Bachand

² Horne

³ Coleman et al.

⁴ Typha Latifolia (Tyl)

⁵ Juncus Effus (Jue)

⁶ Schoenoplectus Validus (Shv)

⁷ Damotta Marques et al.

⁸ Typha Subutata (Tyu)

⁹ Zizaniopsis Bonaniensis (Zib)

¹⁰ Lin et al.

¹¹ Phragmites Australis (Phr)

¹² Commelina Communis (Coc)

¹³ Penniserum Purpureum (Pep)

۴- نتیجه‌گیری

گونه نی از گیاهان مورد استفاده در اکثر سیستم‌های وتلندی است که قابلیت آن در تصفیه فاضلاب در غلظتها و بارهای هیدرولیکی متفاوت، بسیار مورد بررسی قرار گرفته و به‌عنوان یکی از بهترین گیاهان موجود در جهان بعد از گونه لویی برای تصفیه مطرح است. بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی به‌روش هیدروپونیک با استفاده از آب زیرزمینی یک منطقه توسط گیاه بامبو و نخل مرداب و بررسی پتانسیل این گیاهان ریشه‌دار برای کاهش و حذف نیترات برای اولین بار در این تحقیق انجام شد.

در نمونه‌های نخل مرداب و بامبو حاوی کود که شامل کل عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بود، بیومس کل بیشتری نسبت به سایر گلدان‌ها ملاحظه شد که این وضعیت بیانگر نقش عنصر محدود کننده در رشد این گیاهان است. ولی در نی‌ها بیشترین بیومس کل در گلدان با غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر $\text{NO}_3^- \text{-N}$ مشاهده شد که نقش اصلی نیترات را در رشد نی نسبت به سایر مواد غذایی در این گیاه نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج به‌دست آمده به کمک فرایند ریزوفیلتراسیون گیاه‌پالایی در مدت ۳۰ روز غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر $\text{NO}_3^- \text{-N}$ حدود ۹۵ درصد توسط نی، حدود ۸۵

درصد توسط بامبو و حدود ۷۰ درصد توسط نخل مرداب حذف شد. در گیاهان بامبو و نخل مرداب در گلدان حاوی کود، بیشترین رشد اندام هوایی و اندام زیر آب مشاهده شد که این امر به دلیل تأمین مواد مورد نیاز گیاه بوده و نشان‌دهنده نقش سایر عناصر به‌عنوان عامل محدود کننده در رشد گیاه است ولی گلدان نی حاوی کود، دارای بیشترین رشد طولی ساقه بود. از نتایج می‌توان این گونه برداشت نمود که در هر گلدان میزان حذف با وزن ریشه گیاهی نیز ارتباط مستقیم دارد و هرچه وزن ریشه‌ها و ریزوم‌های گیاه بیشتر باشد میزان حذف نیترات در آن گلدان بیشتر است.

تکثیر، پرورش و سازگاری این گیاهان 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 گیاه‌پالایی نسبت به هزینه در سایر روشهای حذف نیترات، می‌توان نتیجه گرفت که گیاه‌پالایی، فرایندی مقرون به‌صرفه، سبز و مورد قبول برای کشور است و با افزایش مطالعات در این زمینه می‌توان گامی نوین در راستای خدمت به‌کشور به‌خصوص حل مشکل کم آبی برداشت.

۵- مراجع

- 1- McCutcheon, S.C., and Schnoor, J.L. (2003). *Phytoremediation transformation and control of contaminants*, John Wiley and Sons, New York.
- 2- <<http://www.epa.gov/nrmrl/Irped/rr/introphy.html>> (March, 28, 2008).
- 3- Agharokh, A. (2008). "Evaluation of ornamental flowers and fishes breeding in bushehr urban wastewater using a pilot scale aquaponic system." *J. of Water and Wastewater*, 65, 47-53. (In Persian)
- 4- Yarholi, B., Azimi, A.A., Baghvand, A., Abasi, F., Lyaghat, A., and Asadollah Fardai, Gh. (2010). "Investigation of Cd adsorption and accumulation from contaminated soil different parts of root groups." *J. of Water and Wastewater*, 72, 60-70. (In Persian)
- 5- Hinchman, R., and Cristiana Negri, N. (2002). *Using green plants to clean up contaminated soil, groundwater and wastewater*, Agronne National Laboratory and Applied Natural Sciences Inc., USA.
- 6- Morikawa, H., and Ozgur, E. (2003). "Basic processes in phytoremediation and some applications to air pollution control." *Chemosphere*, 52, 1553-1558.
- 7- Lebeau, T., Braud, A., and Je'ze'quel, K. (2007). "Performance of bio-augmentation-assisted phytoextraction applied to metal contaminated soils." *Environmental Pollution*, 153 (3), 497-522.
- 8- Ineel, I.L., (2000). *Idaho national engineering and environmental laboratory*, U.S. Department of Energy, Chicago.
- 9- Iyer, P.V.R., Rao, T.R., and Grover, P.D. (2002). *Biomass thermo chemical characterization*, Indian Institute of Tech., New Dehli.

- 10- Singh, S.P., and Ghosh, M. (2003). "A comparative study on effect of cadmium, chromium and lead on seed germination of weed and accumulator plant species." *Indian J. of Environment Protection*, 23 (5), 513-518.
- 11- WHO. (2007). *Guideline for drinking water quality background document for development of WHO,WHO/SDE/WSH/O7.01/16*
- 12- <<http://www.EPA.gov/Nitrate Standard.html>> (2007).
- 13- Malakouti, M.J. (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. (In Persian)
- 14- Jalali, M. (2005). "Nitrates leaching from agricultural land in Hmadan, western Iran." *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 110 (3-4), 210-218.
- 15- Vagheei, R., Ganjidoust, H., Azimi, A.A., and Ayati, B. (2010). "Treatment of nitrate-contaminated drinking water using autotrophic denitrification in a hydrogenised biofilter." *J. of Water and Wastewater*, 73, 34-39. (In Persian)
- 16- Vagheei, R., Ganjidoust, H., Ayati, B., and Azimi, A. (2008). "An economic hydrogen and carbon dioxide generator for application to hydrogenotrophic denitrification of drinking water in practical scales." *International Conference on Environment (ICENV2008)*, Penang, Malaysia.
- 17- Pivetz, B.E. (2001). *Phytoremediation of contaminated soil and groundwater at hazardous waste sites*, EPA Groundwater Issue, EPA/540/S-01/500, USA.
- 18- Fahrner, S. (2002) "Groundwater nitrate removal using a bioremediation trench." Honours Thesis, University of Western, Australia.
- 19- Ayyasamy, P.M., Rajakumar, S., Sathishkumar, M., Swaminatan, K., Shanthi, k., Lakshmanaperumalsamy, P., and Lee, S. (2009). "Nitrate removal from synthetic medium and groundwater with aquatic macrophytes." *Desalination*, 242, 286-296.
- 20- Lin, Y., Jing, S., Wang, T., and Lee, D. (2002). "Effects of macrophytes and external carbon sources on nitrate removal from groundwater in constructed wetlands." *Environmental Pollut.*, 119 (3), 413-420.
- 21- Fox, L. J., Struik, P. C., Appleton, B. L., and Rule, H. J. (2008). "Nitrogen phytoremediation by water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)." *Water, Air, and Soil Pollution*, 194 (1-4), 199-207.
- 22- Sadeghpour, H., Torabian, A., and Mehrdadian, N. (2000). "Nitrogen and hosphrous removal from municipal wastewater by constructed wetlands." *J. of Environmental Studies*, 26 (25), 11-22.
- 23- Shokri, M., Safaeian, N., and Safaeian, R. (2006). "Southern coast wetlands of the Caspian sea." *J. of Environmental Studies*, 39 (32), 119-128.
- 24- Taiz, L., and Zeiger, E. (2006). *Plant physiology*, 4th Ed., Sinauer Associates, Massachusetts.
- 25- <<http://www.en.Wikipedia.org/wiki/last edited>> (Nov. 2008).
- 26- AWWA., APHA., WEF. (2005). *Standard method for the examination of water and wastewater*, 21th Ed., American Public Health Association, Washington. DC.
- 27- Bachand, P., and Horne A. (2000). "Denitrification in constructed free-water surface wetlands: Effects of vegetation and temperature." *Ecol. Eng.*, 14 (2), 17-32.
- 28- Coleman, J., Hench, K., Garbutt, K., Sexstone A., Bissonnette, G., and Skousen, J. (2001). "Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetlands." *Water, Air, Soil Pollut.*, 128 (4), 283-295.
- 29- Da, M., Leite G., and Giovannini, S. (2001). "Performance of two macrophyte species in experimental wetlands receiving variable loads of anaerobically treated municipal wastewater." *Water Sci. Technol.*, 44(11), 311-316.