

بررسی کارایی روش گیاه پالایی در کاهش هم زمان نمک و نیترات از آب خام

زهرة یونسی پور ماسوله^۱، کامران لاری^{۲*}، رکسانا موگویی^۳

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران nooshin_y55@yahoo.com
^{۲*} نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران k_lari@iau-tnb.ac.ir
^۳ دانشیار، گروه برنامه ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران r_moogoui@iau-tnb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۱

چکیده

افزایش آلودگی آب و خاک باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی زیادی می شود. از سوی دیگر روش های متفاوت کنترل و تصفیه آلودگی با فناوری های مدرن به وجود آمده است که این روش ها اغلب هزینه های بسیار بالایی دارد؛ به نوعی که گاهی صرفه اقتصادی نخواهد داشت. یکی از روش های مورد استفاده در تصفیه آلودگی های آب و خاک استفاده از گیاهان است که به اصطلاح گیاه پالایی نامیده می شود. شناسایی گیاهان فعال و مهم در این زمینه باعث افزایش کارایی و حفاظت از محیط زیست می شود. هدف از این تحقیق، پرورش دو گونه آبی برون آ (بامبو و نی) در محیط آزمایشگاهی برای بررسی توانایی آن ها در حذف نیترات، نمک و کلر از آب خام بود. برای این منظور یک بار NaCl با غلظت ۲۰۰۰ mg/lit و پتاسیم نیترات با غلظت ۱۰۰۰ mg/lit و یک بار NaCl با غلظت ۱۰۰۰ mg/lit و پتاسیم نیترات با غلظت ۵۰۰ mg/lit درون آب خام ریخته و میزان جذب عناصر با برگ گیاه بامبو و نی و میزان باقی مانده عناصر در آب خام در روز ۱ و ۱۴ سنجیده شد. نتایج حاصل حاکی از قابلیت بیشتر گیاه بامبو برای حذف عناصر در آب خام بود. طوری که در بالاترین غلظت، حذف نیترات، سدیم، پتاسیم و کلر به ترتیب ۴۶/۲۸٪، ۳۲/۶۲٪، ۲۴/۷۳٪ و ۲۷/۹۸٪ بود.

واژه های کلیدی: گیاه پالایی، گیاه بامبو، گیاه نی

۱. مقدمه

نیترژن عنصری ضروری برای ارگانسیم ها، پروتئین ها و نوکلئیک اسیدهاست. به طور طبیعی، نیترژن با توجه به شرایط مختلف اکسیداسیون چندین شکل دارد. در تصفیه فاضلاب، چند نگرانی عمده در خصوص انواع نیترژن،

شامل نیترژن کل، نیترژن کل کج لیدال، آمونیاکی، آلی، نیترات و نیتريت وجود دارد [۱]. به طور طبیعی نیترات در بدن انسان تولید می شود که مقدار آن در حدود ۶۴mg/day است، اما رژیم غذایی، منبع مهم ورود نیترات به بدن انسان است؛ نیترات به طور طبیعی در ساختار مواد غذایی وجود دارد

دیرباز خاصیت گیاه پالایی بامبو^۲ برای رفع آلودگی مس از خاک مشخص شده است و سیستم آنتی اکسیدانی در این گیاه نقش مهمی در کاهش سمیت فلزات سنگین ایفا می کند؛ از ویژگی های این گیاه تولید زیست توده عظیم، تحمل زیاد فلزات و عناصر است [۸]. با توجه به آلودگی برخی آب های خام به عنصر نیتروژن و شوری؛ تخلیه آن ها در زمین های کشاورزی و آب های جاری و تأثیر نامطلوب این عناصر در غنی شدن آب های سطحی و سلامتی بشر، این پژوهش با هدف بررسی اثر گیاهان آبی نی و بامبو بر حذف عنصر نیتروژن و شوری در شرایط آزمایشگاهی انجام شد.

۲. مواد و روش ها

۲-۱. تهیه مواد اولیه

۲-۱-۱. تهیه گیاه بامبو و نی

گیاه بامبو از باغ گیاه شناسی ملی و گیاه نی از منطقه شهریار اطراف تهران خریداری شدند. آماده سازی نمونه ها در دو مرحله اساسی صورت گرفت:

- (۱) تکثیر و سازگار نمودن گونه های گیاهی؛
- (۲) تکثیر نمونه های نی، از جابه جایی قطعات ریزوم نی موجود در منطقه طالقان و در محیط آبی استفاده شد.

گیاهان پس از شستشو با آب شهر، در ۴ محیط گلخانه، به مدت ۳۵ هفته در گلخانه در ظروف ۵ لیتری مسطح حاوی محلول هوگلند در شرایط کنترل شده دما و رطوبت برای تطبیق با محیط کشت، نگهداری شدند تا رشد، تطبیق و تکثیر یافته و آماده کشت آزمایشی شوند؛ در ابتدا به منظور حذف آلودگی از روی سطح ریشه، چندین بار با آب شهر و آب مقطر شستشو و با دستگاه هدایت سنج آب خروجی شستشو اندازه گیری شد. برای اطمینان از تمیز شدن ریشه گیاه، کاملاً آب آن گرفته و برای تهیه دوزهای مختلف جذب استفاده شد [۹].

۲-۱-۲. تهیه محلول نیترات بعد از احیاء

محلول های مورد نیاز اندازه گیری نیترات عبارت اند از:

(الف) استیک اسید: ۲٪ (w/w)

یا به عنوان افزودنی به غذا اضافه می شود؛ طبق تحقیقات، روزانه ۷۵-۱۰۰ mg نیترات از راه رژیم غذایی وارد بدن می شود که عمده ترین آن ها سبزی ها و گوشت آلوده است [۲]. غلظت نیترات در آب آشامیدنی آگرس بیش از ۵۰ میلی گرم در لیتر باشد، در این صورت آب مهم ترین منبع جذب نیترات به حساب می آید، مشکل غلظت بالای نیترات در منابع آب، اغلب در آب های زیرزمینی از جمله آب چاه ها مطرح است؛ تصفیه و استفاده دوباره از فاضلاب در تالاب ها روشی جایگزین، کم هزینه و در عین حال دوستدار محیط زیست است. در بیشتر موارد، درجه شوری در فاضلاب تصفیه شده، به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، افزایش می یابد و ممکن است به محصولاتی که از این طریق آبیاری می شوند، آسیب وارد کند [۳]. روش های مختلف فیزیکی و شیمیایی، به منظور پاک سازی محیط زیست از انواع آلاینده ها، ابداع و به کار گرفته شده اند که با توجه به هزینه های گزاف آن ها، تلاش زیادی برای دست یابی به روش های ارزان تر صورت گرفته است از جمله این فناوری ها؛ گیاه پالایی است؛ گیاه پالایی با استفاده از مهندسی گیاهان سبز شامل گونه های علفی و چوبی برای برداشت مواد آلاینده نیترات از آب و خاک یا کاهش خطر آلاینده های محیط زیست مانند فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو به کار برده می شود [۴]. گزارش ها نشان داده است استفاده از درختچه های آبی مانند نی و لویی برای تصفیه فاضلاب های مختلف در شرایط گوناگون در بسیاری از کشورها از جمله مصر، تایلند و ژاپن مورد استفاده قرار گرفته است [۵]. گزارش ها نشان داده استفاده از گیاه بامبو و نی به ترتیب ۸۵٪ تا ۹۵٪ نیترات را در شرایط آزمایشگاهی حذف کرد [۶]. گیاه نی^۱ می تواند به طور مؤثری مواد مغذی جذب نماید. این گیاه دارای توده بیومس بزرگی در دو ناحیه بالا (برگ) و ناحیه پایین (ساقه و ریشه) است که به عنوان سطح سوبسترا محسوب می شوند. بافت های زیر سطحی گیاه، به طریق افقی و عمودی رشد می کنند و ماتریکس گسترده ای را ایجاد می نمایند که ذرات خاک را به هم متصل کرده و سطوح گسترده ای را برای جذب نوترینت ها (نیتروژن و فسفر) و یونها فراهم می سازند [۷]. از

میلی لیتر از نمونه رقیق شده داخل سل دستگاه اسپکتوفتومتر ریخته و بعد از ۱۰ دقیقه در طول موج ۵۴۰ نانومتر میزان نیترات خوانده و مطابق فرمول فوق برحسب ppm میزان $\text{NO}_3\text{-N}$ گزارش شد.

۲-۳-۳. آزمون پالایش سدیم از محلول

در این بخش گیاهان به مدت ۱۴ روز در معرض جذب سدیم از محلول سدیم کلراید با دو غلظت ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ ppm قرار گرفتند. غلظت سدیم در پساب پس از اتمام مراحل جذب، اندازه گیری و درصدهای پالایش سدیم تعیین شد.

۲-۳-۴. آزمون تجمع سدیم

در پایان هر آزمایش گیاهان از محلول سدیم کلراید خارج و کاملاً با آب مقطر شسته شدند و در اجاق برقی با ۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک شده با استفاده از دستگاه آسیاب به پودر ریزی تبدیل شدند و بدین ترتیب نمونه‌ها برای انجام مراحل بعدی کار آماده شدند. ابتدا ۰/۱ گرم از نمونه آسیاب شده را توزین و درون فالکون ۱۵ میلی‌لیتری قرار دادیم. ۱۰ میلی‌لیتر اسیداستیک گلاسیال ۰/۱ نرمال روی هر یک از نمونه‌ها ریختم و به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه نگهداری کردیم. پس از ۲۴ ساعت نمونه‌ها را به مدت ۲ ساعت درون بن ماری (حمام آب گرم) با دمای حدود ۷۰ تا ۹۰ درجه سانتی گراد قرار دادیم. پس از طی ۲ ساعت نمونه‌ها را از بن ماری خارج کرده و با قیف و کاغذ صافی واتمن ۴۱، صاف نموده، عصاره حاصل را درون فالکون ۱۵ میلی‌لیتری دیگری قرار دادیم. حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه قبل از قرائت، دستگاه فلم فتومتر را روشن نمودیم تا کاملاً گرم شود. فیلتر دستگاه را برحسب نیاز روی عنصر سدیم قرار دادیم، غلظت نمونه‌ها برحسب mg/Kg. از فرمول زیر به دست آمد [۱۱].

$$A = y \times 100/1000 \times 1000/2 \quad (2)$$

y = عدد حاصل از منحنی بر اساس mg/Kg

A = میزان سدیم یا پتاسیم mg g-۱

z = وزن خشک اولیه g

(ب) پودر مخلوط: ۳۷ گرم سیتریک اسید و ۵ گرم سولفات منگنز منوهیدرات و ۲ گرم سولفانیل آمید و ۱ گرم p-n-1 - نفتیل اتیلن دی هیدروکلراید و ۱ گرم پودر روی با هاون چینی کوبیده و با هم مخلوط شدند.

(ج) استاندارد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نیترات $\text{NO}_3\text{-N}$: ۰/۷۲۲ گرم از نیترات پتاسیم در یک لیتر آب حل شد.

(د) سری محلول‌های استاندارد با غلظت ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ گرم در لیتر $\text{NO}_3\text{-N}$: ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ میلی گرم در لیتر (محلول ۴) به بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شد و با استیک اسید ۲٪ (محلول ۱) به حجم رسانده شد.

۲-۲. آزمون‌ها

۲-۲-۱. اندازه‌گیری نیترات گیاه به روش کالری متری

در ابتدا ۰/۱ تا ۰/۵ گرم از پودر گیاه توزین و به ارلن مایر ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شد. میزان ۵۰ میلی‌لیتر از سیتریک اسید ۲٪ به آن افزوده و مدت ۳۰ دقیقه در شیکر دورانی به هم خورده، سپس صاف شدند. برای اطمینان بیشتر عصاره بعد از صافی دوباره از صافی عبور داده شدند. سپس ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره صاف شده ۱۰ میلی‌لیتری از سری محلول‌های استاندارد (محلول ۴) به لوله آزمایش درب‌دار منتقل شدند، سپس ۰/۵ گرم از پودر مخلوط به لوله آزمایش اضافه و به مدت ۳۰ ثانیه به هم‌خورده و محلول رنگی تولید شد، محلول رنگی حاصل را صاف کرده و بعد از ۱۰ دقیقه در طول موج ۵۴۰ نانومتر میزان نیترات خوانده و مطابق فرمول زیر برحسب ppm میزان $\text{NO}_3\text{-N}$ گزارش شد [۱۰].

$$(1) \quad (a - b) \times \frac{50}{w} \times \frac{100}{D.M}$$

a غلظت نیترات در عصاره برحسب میلی گرم در لیتر

b غلظت نیترات در شاهد برحسب میلی گرم در لیتر است.

۲-۲-۲. اندازه‌گیری نیترات آب به روش اسپکتوفتومتری

ابتدا نمونه‌های آب یا پساب از کاغذ صافی عبور داده شد تا ناخالصی‌های موجود که ممکن است برای اندازه‌گیری نیترات به روش اسپکتوفتومتری مزاحمت ایجاد کند، از بین برود. سپس نمونه‌ها برحسب میزان کدورت رقیق شدند. ۱۰

طی ۱۴ روز در نمونه B2 و B3 گیاه بامبو بدون اختلاف معنادار مشاهده شد.

در بررسی میزان نیترات باقی مانده در آب، مطابق نمودار دو کمترین میزان نیترات در آب تیمار B2 و بعد از آن در تیمار N3 دیده شد. میزان حضور نیترات در روزهای اول به جز نمونه‌های شاهد (B1 و N1) بالاتر از حضور نیترات در روز ۱۴ بود. میزان حضور کمتر نیترات در روز ۱۴ در آب نشان‌دهنده عملکرد بهینه گیاهان است، از طرفی کاهش حجم آب و تغلیظ عناصر درون آب را نباید نادیده گرفت (مقدار یکسان نبودن سرعت جذب آب و عناصر را با آوند گیاه نباید نادیده گرفت) در این راستا بیشترین میزان حضور نیترات در آب تیمار N2 و بعد از آن با تفاوت معنادار در تیمار B2 مشاهده شد. کمترین میزان حضور در آب تیمار B3 مشاهده شد. در دو تیمار شاهد گیاه نی و بامبو میزان نیترات در روز ۱ و ۱۴ در حداقل ممکن و بدون تفاوت معنادار بود.

طبق انتظار، تأثیر زمان در گیاه پالایی سدیم از آب، با مرور زمان سبب جذب سدیم گیاه و حذف آن از آب شد. طبق نمودارهای بالا گیاه بامبو در بالاترین تیمار حدود ۴۶/۲۸٪ و گیاه نی حدود ۳۵/۸۰٪ نیترات را حذف کرد؛ همان‌طور که مشخص است در بین گیاه بامبو و نی، گیاه بامبو در حذف نیترات آب مؤثرتر بوده است؛ بامبو، املاح موجود در آب را جذب و به این ترتیب رشد می‌کند. نیترات یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی آب، تهدید جدی برای اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شود. نیترات به دلیل داشتن بار منفی به ندرت جذب ذرات خاک می‌شوند و بیشتر با حرکت توده‌ای آب در داخل خاک جابه‌جا می‌شود. نیتروژن ترکیبی است که گیاهان بدون آن قادر به زندگی نیستند و نیترات یا ترکیبات آمونومی تأمین‌کننده این نیاز هستند. اما آلودگی نیترات زمانی روی می‌دهد که نیترات بیشتر از مقدار جذب شده از سوی گیاهان در خاک حضور داشته باشد. مازاد نیترات می‌تواند به راحتی با بارش باران یا ذوب شدن برف و یخ، آبیاری‌ها و صخره‌ها حرکت کرده و در نهایت به آب‌های زیرزمینی برسد. علاوه بر کودهای شیمیایی صنعتی که پساب آن‌ها نیتروژن بالایی دارد نیز می‌تواند در آلوده

۲-۲-۵. آزمون اندازه‌گیری کلر

میزان کلر کل از HNO_3 خارج شده از خاکستر گیاه یا آب (به نسبت ۱:۵۰ نمونه: آب) به روش تیتراسیون با محلول AgNO_3 در حضور معرف K_2CrO_4 ، تا ظهور اولین تغییر رنگ پایدار ثابت، محاسبه می‌شود.

۲-۲-۶. تجزیه و تحلیل داده‌ها

از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی، استفاده شد. در صورت معنی دار شدن تفاوت بین تیمارها، برای مقایسه میانگین‌های اثر حذف نیترات به وسیله گیاه نی و بامبو بر صفات مورد بررسی از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۰/۰۱ استفاده شده است. آنالیز آماری داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 24 انجام گرفت. تمامی نمودارها با نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ رسم شد. تست نرمال بودن داده‌ها به روش کمولوگروف اسمیرنوف با نرم‌افزار Mini Tab انجام شد؛ تمام داده‌ها نرمال بود.

جدول ۱. تیمارها

تیمار	علامت
شاهد بامبو	B1
NaCl با غلظت ۲۰۰۰ mg/lit و پتاسیم نیترات با غلظت ۱۰۰۰ mg/lit	B2
NaCl با غلظت ۱۰۰۰ mg/lit و پتاسیم نیترات با غلظت ۵۰۰ mg/lit	B3
شاهد نی	N1
NaCl با غلظت ۲۰۰۰ mg/lit و پتاسیم نیترات با غلظت ۱۰۰۰ mg/lit	N2
NaCl با غلظت ۱۰۰۰ mg/lit و پتاسیم نیترات با غلظت ۵۰۰ mg/lit	N3

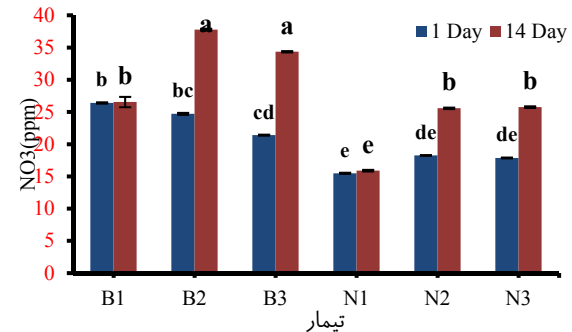
۳. بحث و نتایج

بررسی میزان نیترات در برگ گیاهان، مطابق نمودار یک بیشترین میزان نیترات در برگ درخت بامبو تیمار B2 دیده شد. در سایر تیمارهای این گیاه تفاوتی دیده نشد. کمترین میزان نیترات در برگ گیاه نی در تیمارهای N2 و N3 گیاه نی بدون اختلاف معنادار مشاهده شد. در راستای تأثیر هم‌زمان تیمار و مدت‌زمان بیشترین میزان جذب نیترات

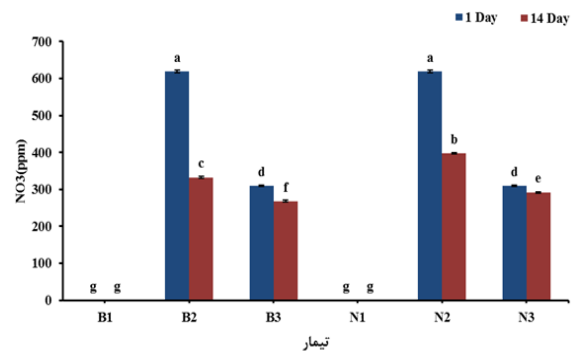
حجم آب و تغلیظ عناصر درون آب را نباید نادیده گرفت (میزان عدم یکسان بودن سرعت جذب آب و عناصر را با آوند گیاه نباید نادیده گرفت) در این راستا بیشترین میزان حضور سدیم در آب تیمار N2 و بعد از آن با تفاوت معنادار در تیمار B2 مشاهده شد. کمترین میزان حضور سدیم در آب مشاهده شد. در دو تیمار شاهد گیاه نی و بامبو میزان سدیم در روز ۱ و ۱۴ در حداقل ممکن و بدون تفاوت معنادار بود.

مطابق انتظار، تأثیر زمان در گیاه پالایی سدیم از آب، با مرور زمان سبب جذب سدیم گیاه و حذف آن از آب شد. مطابق نمودار بالا گیاه بامبو در بالاترین تیمار حدود ۳۲/۶۲٪ و گیاه نی در بالاترین تیمار حدود ۱۶/۷۳٪ سدیم را حذف کرد همان طور که مشخص است در بین گیاه بامبو و نی، گیاه بامبو در حذف سدیم آب مؤثرتر بوده است؛ یون سدیم مطمئن ترین شاخص تعیین تأثیر آب پساب برای آبیاری و ارسال به محیط زیست است. تصفیه و استفاده دوباره از فاضلاب در تالابها روشی جایگزین، کم هزینه و درعین حال دوستدار محیط زیست است. در بیشتر موارد، درجه شوری در فاضلاب تصفیه شده، به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، افزایش می یابد و ممکن است به محصولاتی که از طریق تالابها آبیاری می شوند، آسیب وارد کند. سدیم به دلیل تأثیراتش بر خاک و ریشه گیاهان، یکی از مهم ترین کاتیون هاست. کاتیون های یک ظرفیتی باعث پراکندگی ذرات خاک و از بین رفتن ساختمان آن می شود. اگر حداقل ۱۰٪ میزان آب پساب وارده شده به محیط زیست سدیم باشد، خاک ساختمان خود را از دست داده و نفوذ بر اثر پراکندگی ذرات بیشتر می شود. آثار مخرب سدیم شامل کاهش نفوذ آب به درون خاک، مشکل در جوانه زنی گیاهان، تهویه ناکافی خاک و شیوه بیماری ریشه و گیاهان می شود [۱۴]. طی بررسی شوری زدایی فاضلاب به روش گیاه پالایی با گیاه جار، علت کاهش میزان شوری به تجمع نمکها به خصوص سدیم و پتاسیم در برگها نسبت داده شد [۱۵].

ساختن منابع آب مؤثر باشند [۱۲]. نقش گیاه آبیاری لویی در حذف نیتروژن و فسفر از پساب شهری نشان می دهد که سیستم گیاهی از سیستم بدون گیاه در کاهش غلظت عناصر نیتروژن بیشتر از سایر عناصر بود [۱۳].



نمودار ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار × زمان بر مقدار نیترات برگ گیاه نی و بامبو

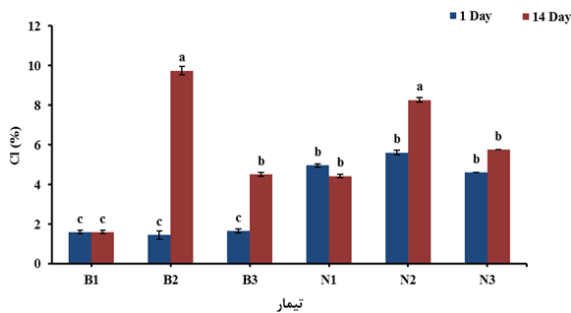


نمودار ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار × زمان بر مقدار نیترات آب مورد استفاده در تحقیق

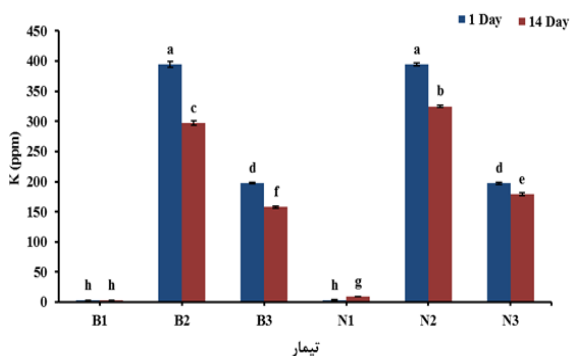
در بررسی میزان سدیم در برگ گیاهان، مطابق نمودار ۳ بیشترین میزان سدیم در برگ درخت نی تیمار N2 و بعد از آن در برگ درخت بامبو و نی تیمار B2، تیمار N1 و تیمار N3 بدون اختلاف معنادار مشاهده شد کمترین میزان سدیم در برگ نمونه B1 (تیمار شاهد) در گیاه بامبو مشاهده شد.

در بررسی میزان سدیم باقی مانده در آب، مطابق نمودار ۴ بیشترین میزان در آب درخت نی با تیمار N2 و بعد از آن در آب درخت بامبو با تیمار B2 با تفاوت معنادار مشاهده شد. کمترین میزان حضور سدیم در آب تیمار B3 گیاه بامبو دیده شد. در هر دو نمونه شاهد گیاه بامبو و گیاه نی حداقل میزان سدیم مشاهده شد. میزان حضور کمتر سدیم در روز ۱۴ در آب نشان دهنده عملکرد بهینه گیاهان است. از طرفی کاهش

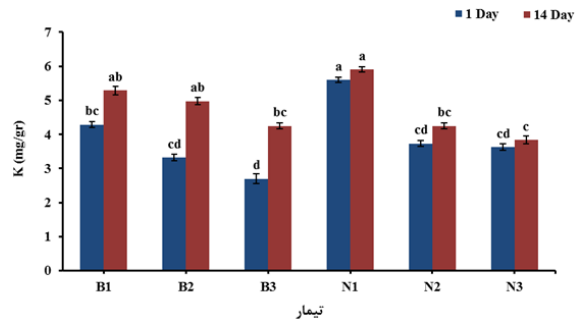
در بالاترین تیمار حدود ۱۷/۶۸٪ پتاسیم را حذف کرد؛ همان طور که مشخص است در بین گیاه بامبو و نی، گیاه بامبو در حذف پتاسیم آب مؤثرتر بوده است؛ استفاده مجدد از فاضلاب روشی جایگزین، کم هزینه و درعین حال دوستانه محیط زیست است و برای آبیاری بسیار پتاسیم به عنوان شاخص برای تحمل گیاهان عالی به شوری است با توجه به اینکه پتاسیم در تنظیم فشار اسمزی سلول گیاهی، افزایش مقاومت گیاه به خشکی، بهبود وضعیت نفوذپذیری غشاء و بهبود روابط سلولی ریشه نقش دارد. با افزایش پتاسیم، کاهش جذب کاتیون سدیم و بهبود شرایط تغذیه ای گیاه را به همراه دارد [۱۶]. طی بررسی حذف فلزات سنگین از محیط های آبی با استفاده از فناوری زیست پالایی معلوم شد، استفاده از فرایندهای زیست پالایی برای تصفیه فاضلاب های حاوی فلزات سنگین، بسیاری از محدودیت های بزرگ سایر روش های فیزیکی و شیمیایی را نداشته و از نظر اقتصادی نیز مطلوب تر است [۱۷].



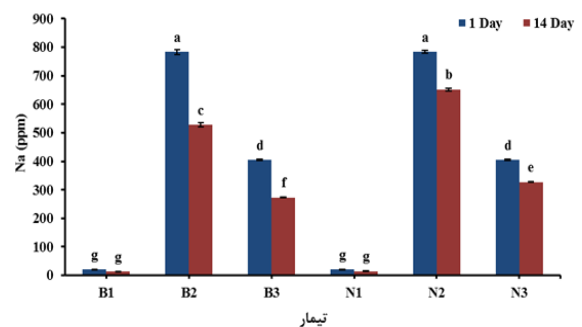
نمودار ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار × زمان بر مقدار کلر برگ گیاه بامبو و نی



نمودار ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار × زمان بر مقدار پتاسیم آب مورد استفاده در تحقیق



نمودار ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار × زمان بر مقدار پتاسیم برگ گیاه بامبو و نی

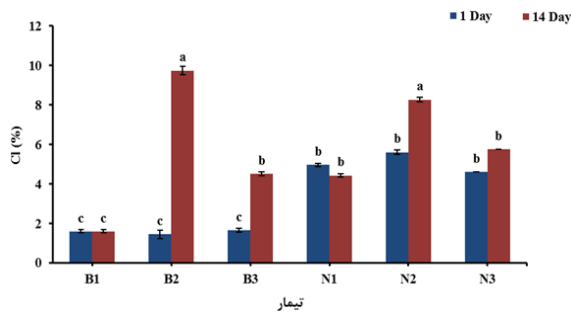


نمودار ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار × زمان بر مقدار سدیم آب مورد استفاده در تحقیق

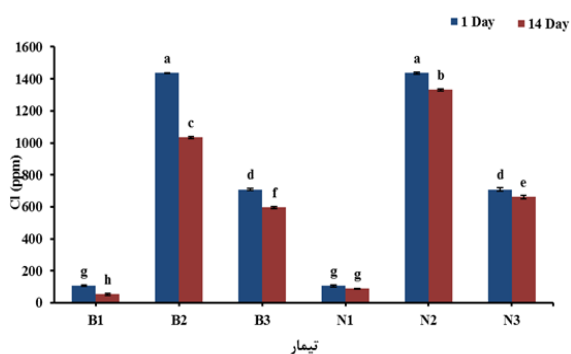
در بررسی میزان پتاسیم در برگ گیاهان، مطابق نمودار ۵ بیشترین میزان پتاسیم در برگ درخت بامبو تیمار B2 و بعد از آن در برگ درخت بامبو و نی تیمار B3، تیمار N2 و N3 بدون اختلاف معنادار مشاهده شد.

در بررسی میزان پتاسیم باقی مانده در آب، مطابق نمودار ۶ بیشترین میزان حضور پتاسیم در روز ۱ در آب نمونه B2 گیاه بامبو و بدون تفاوت معنادار در تیمار N2 گیاه نی مشاهده شد ($p < 0.01$). لازم به یادآوری است که با توجه به کاهش حجم و تغلیظ آب مصرفی بیشترین میزان حضور پتاسیم در آب تیمار N2 و بعد از آن با تفاوت معنادار در تیمار B2 مشاهده شد. کمترین میزان حضور پتاسیم در آب مشاهده شد. در تیمار شاهد بامبو میزان پتاسیم در روز ۱ و ۱۴ در حداقل ممکن ولی در تیمار شاهد گیاه نی در روز ۱۴ میزان حضور پتاسیم در آب افزایش معناداری نشان داد ($p < 0.01$).

مطابق انتظار، تأثیر زمان در گیاه پالایی پتاسیم از آب، با مرور زمان سبب جذب پتاسیم گیاه و حذف آن از آب شد. مطابق نمودار گیاه بامبو در بالاترین تیمار حدود ۲۴/۷۳٪ و گیاه نی



نمودار ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار × زمان بر مقدار کلر برگ گیاه بامبو و نی



نمودار ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار × زمان بر مقدار کلر آب مورد استفاده در تحقیق

۴. نتیجه گیری

دسترسی به غذای سالم و کافی، آب آشامیدنی و هوای پاک از بدیهی ترین حقوق همه انسانهاست، تولید و تأمین این نیازها برای شهروندان، وظیفه ذاتی همه دولت‌هاست. از طرفی حفظ محیط‌زیست در کنار فعالیت‌های تولیدی کشاورزی و صنعتی اهمیت زیادی دارد. رفع آلودگی محیط‌زیست و ایجاد محیط‌زیست پایدار دغدغه اصلی همه انسانهاست. خوشبختانه با استفاده از فناوری زیستی و توانایی‌های موجود در طبیعت میزان صدمه به محیط‌زیست را می‌توان به حداقل رساند. موضوع گیاه‌پالایی یکی از روش‌های مناسب در این راستاست. نتایج این تحقیق در بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی به روش هیدروپونیک با استفاده از آب خام از سوی گیاه بامبو و نی حاکی از قابلیت بیشتر گیاه بامبو برای حذف عناصر در آب خام بود؛ به گونه‌ای که در بالاترین غلظت، حذف نیترات، سدیم و کلر به ترتیب ۴۶/۲۸٪، ۳۲/۶۲٪، ۲۴/۷۳٪ و ۲۷/۹۸٪ بود. روش‌های تصفیه آب آلوده با گیاهان روش‌های مناسبی برای حذف آلاینده‌ها

در بررسی میزان کلر در برگ گیاهان، مطابق نمودار ۷ بیشترین میزان جذب کلر در نمونه B2 گیاه بامبو و بدون تفاوت معنادار در تیمار N2 گیاه نی مشاهده شد. در تیمارهای N1 و N3 در گیاه نی در رده بعدی میزان جذب بدون تفاوت معنادار کلر قرار داشتند (p > 0.01) که میزان جذب آن‌ها در روز ۱ و ۱۴ یکسان بود. میزان جذب روز ۱۴ در نمونه B3 گیاه بامبو نیز تفاوت معناداری با تیمارهای N1 و N3 گیاه نی نشان نداد. در بررسی میزان کلر باقی مانده در آب، مطابق نمودار ۸ بیشترین میزان حضور کلر در روز ۱ در آب نمونه B2 گیاه بامبو و بدون تفاوت معنادار در تیمار N2 گیاه نی مشاهده شد. لازم به یادآوری است که میزان حضور کمتر کلر در روز ۱۴ در آب نشان‌دهنده عملکرد بهینه گیاهان است در این راستا بیشترین میزان حضور کلر در آب تیمار N2 و بعد از آن با تفاوت معنادار در تیمار B2 مشاهده شد. کمترین میزان حضور کلر در آب تیمار B3 مشاهده شد.

مطابق نمودار گیاه بامبو در بالاترین تیمار حدود ۲۷/۹۸٪ و گیاه نی در بالاترین تیمار حدود ۷/۲۷٪ کلر را حذف کرد همان‌طور که مشخص است در بین گیاه بامبو و نی، بامبو در حذف کلر آب مؤثرتر بوده است؛ با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر و استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، اصلاح کیفیت آب اهمیت ویژه‌ای دارد. افزودن کلر به آب آبیاری، با تحریک جذب پتاسیم، به‌طور عمده موجب تحریک تثبیت نیترات می‌شود و با اثر مثبت بر فعالیت آنزیم‌های چرخه‌های تولید انرژی، همراه با افزایش میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای به تحریک رشد، افزایش تولیدات فتوسنتزی و بهبود معنی‌دار شاخص‌های رشد گیاه منجر می‌شود. از طرف دیگر به نظر می‌رسد، افزایش کلر آب آبیاری، ضمن برهم‌زدن تعادل یونی، موجب بروز اثرات سمی آنیون کلر بر متابولیسم گیاه همراه با کاهش تولیدات فتوسنتزی و مصرف انرژی بیشتر برای برقراری تعادل یونی باشد و در نهایت به کاهش سطح رشد و عملکرد بینجامد. پراکسید شدن لیپیدها و آسیب به غشاهای زیستی از جمله غشاهای تیلاکوئیدی از جمله مواردی است که در شرایط تنش شوری حاصل از یون کلر مشاهده می‌شود [۱۸].

[11] Hamada AM, El-Enany AE. Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*. 1994 Jan 1;36(1):75-81.

[12] Frost PC, Stelzer RS, Lamberti GA, Elser J. Ecological stoichiometry of trophic interactions in the benthos: understanding the role of C: N: P ratios in lentic and lotic habitats. *Journal of the North American Benthological Society*. 2002 Dec;21(4):515-28.

[۱۳] صمیمی لقمانی سارا، عباسپور علی، قاسم‌زاده محمد، سمسار هانیه. نقش گیاه آبی لویی در حذف نیتروژن و فسفر از پساب شهری. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۳۹۲؛ ۲۰(۵):۹۹-۱۱۴.

[14] Amin MM, Hashemi H, Bina B, Attar HM, Farrokhzadeh H, Ghasemian M. Pilot-scale studies of combined clarification, filtration, and ultraviolet radiation systems for disinfection of secondary municipal wastewater effluent. *Desalination*. 2010 Sep 30;260(1-3):70-8.

[۱۵] دزواره قربانعلی، گنجی دوست حسین، آیتی بیتا. شوری‌زدایی فاضلاب به روش گیاه‌پالایی. هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران؛ ۱۳۹۲؛ زاهدان، ایران.

[16] Shaikh F, Gul B, Li WQ, Liu XJ, Khan MA. Effect of calcium and light on the germination of *Urochondra setulosa* under different salts. *Journal of Zhejiang University Science B*. 2007 Jan 1;8(1):20-6.

[۱۷] اسلامی اکبر، نعمتی رضا. بررسی حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی با استفاده از فناوری زیست‌پالایی، مطالعه مروری. فصلنامه بهداشت در عرصه. ۱۳۹۳؛ ۲(۳):۳.

[18] Cai XH, Brown C, Adhiya J, Traina SJ, Sayre RT. Growth and heavy metal binding properties of transgenic *Chlamydomonas* expressing a foreign metallothionein gene. *International Journal of Phytoremediation*. 1999 Jan 1;1(1):53-65.

پی‌نوشت

1. *Phragmites australis*
2. *Bambusa Vulgaris*

محسوب می‌شوند که علاوه بر هزینه کم، فناوری ساده و مصرف انرژی پایین در اصلاح و بهبود محیط‌زیست نقش مؤثری دارند و می‌توانند به‌عنوان روش‌های پالایش بیولوژیکی (تانویه) جایگزین روش‌های متداول شوند.

مراجع

- [1] Ting WH, Tan IA, Salleh SF, Wahab NA. Application of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for phytoremediation of ammoniacal nitrogen: A review. *Journal of water process engineering*. 2018 Apr 1; 22:239-49.
- [2] Gilchrist M, Winyard PG, Benjamin N. Dietary nitrate—good or bad? Nitric oxide. 2010 Feb 15;22(2):104-9.
- [3] Shrimali M, Singh KP. New methods of nitrate removal from water. *Environmental pollution*. 2001 May 1;112(3):351-9.
- [4] McCutcheon SC, Schnoor JL. *Phytoremediation: transformation and control of contaminants*. John Wiley & Sons; 2004 Apr 5.
- [5] Tang X, Huang S, Scholz M, Li J. Nutrient removal in pilot-scale constructed wetlands treating eutrophic river water: assessment of plants, intermittent artificial aeration and polyhedron hollow polypropylene balls. *Water, air, and soil pollution*. 2009 Feb 1;197(1-4):61.
- [۶] فلاحی فاطمه، آیتی بیتا، گنجی دوست حسین. حذف نیترات توسط فرایند گیاه‌پالایی در مقیاس آزمایشگاهی. نشریه آب و فاضلاب. ۱۳۹۱؛ ۲۳(۱):۵۷-۶۵.
- [7] Kadlec RH, Wallace S. *Treatment wetlands*. CRC press; 2008 Jul 22.
- [8] Chen J, Shafi M, Li S, Wang Y, Wu J, Ye Z, et al. Copper induced oxidative stresses, antioxidant responses and phytoremediation potential of Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*). *Scientific reports*. 2015 Sep 4; 5:13554.
- [9] Bartucca ML, Mimmo T, Cesco S, Del Buono D. Nitrate removal from polluted water by using a vegetated floating system. *Science of the Total Environment*. 2016 Jan 15; 542:803-8.
- [10] AOCA. *Standard methods for the examination of water & wastewater*. 19th ed. Washington, DC: American Public Health Association; 1995.