Archive of SID

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 29، شماره 4، مهر – آبان 1394، ص. 775-765

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 4, Sept.-Oct. 2015, p. 765-775

توانایی علف چشمه (*Nastutium officinale*) و پونه (*Mentha pulegium*) در جذب نیترات و فسفات مازاد آب

زهرا احمد پور[1]- محمود خرمی وفا[2*]- سعید جلالی هنرمند[3]- کیانوش چقامیرزا[4]- معصومه خان احمدی[5]

تاریخ دریافت: 1392/01/19
تاریخ پذیرش: 1394/07/13

چکیده

پاکسازی آب‌های سطحی آلوده به نیترات و فسفات پیش از انتشار آنها در محیط و ایجاد اوتریفیکاسیون با توجه به اهمیت سلامت آب و با در نظر گرفتن پیامدهای ناشی از نیترات و فسفات ضروری به نظر می‌رسد. از اینرو این پژوهش برای شناسایی توانمندی دو گیاه علف‌چشمه و پونه در پالایش آب‌های آلوده به نیترات و فسفات شامل دو آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در شرایط هیدروپونیک انجام شد. فاکتور اول شامل نوع گیاه (پونه و علف‌چشمه) و فاکتور دوم در آزمایش اول و دوم به ترتیب عبارت از نیترات (50، 100 و 150 میلی‌گرم در لیتر) و فسفات (5، 10 و 15 میلی-گرم در لیتر) بود. دو گیاه از نظر انباشت فسفات در ریشه و اندام‌های هوایی با یکدیگر اختلاف داشتند. با اینحال روند تغییرات شاخص غلظت زیستی فسفر در اندام هوایی بین دو گیاه مشابه بود. به نحوی که افزایش غلظت فسفات در محلول کاهش معنی‌دار این شاخص را در هردو گیاه در پی داشت. علف‌چشمه و پونه غلظت بالایی از نیترات و فسفر را در خود انباشت داده‌اند و انباشت این عناصر در اندام هوایی نسبت به ریشه‌ها بیشتر بود. بطوریکه فاکتور انتقال نیترات در علف‌چشمه و پونه به ترتیب 1/3 و 1/07 و فاکتور انتقال فسفر نیز به ترتیب 1/07 و 0/94 به دست آمد.

واژه های کلیدی: گیاه‌پالایی، اکوسیستم های آبی، آلودگی آب، هیدروپونیک

مقدمه

از آنجا که قابلیت حل شدن کودهای شیمیایی در آب زیاد است، پس از آبیاری زمین، این ترکیبات حل شده و مقداری از آن‌ها با آب مازاد آبیاری از مزارع خارج می‌شوند. بنابراین آب مازاد زمین‌هایی که به آن‌ها کود شیمیایی داده شده محتوی مقدار قابل توجهی نیترات، فسفات و کربنات پتاسیم است. با خروج این آب‌های آلوده از مزارع و پیوستن آن‌ها به آب‌های سطحی مانند رودخانه‌ها و نهرها، آلودگی در محیط انتشار می‌یابد و با ورود مداوم رودخانه‌های آلوده به دریاچه‌ها و دریاها، غلظت این مواد در منابع آب رو به افزایش می‌گذارد. به علت محلول بودن این ترکیبات در آب، آلودگی می‌تواند همراه آب به اعماق نفوذ کند، حتی سبب آلودگی منابع آب زیرزمینی گردد (12). در بررسی‌های انجام شده روی 311 چاه آب در همدان، 115 چاه دارای میزان نیترات بیشتر از 50 میلی‌گرم در لیتر بودند که عامل اصلی آن استفاده از کودهای نیتروژنی در بخش کشاورزی است (10). آلودگی نیتراتی در حوزه قره‌سو در دشت گرگان به پساب‌های کشاورزی و چاه‌های فاضلاب شهر گرگان و ورود آب‌های سطحی آلوده نسبت داده شده است (13).

نیترات و آمونیوم به عنوان دو شکل معدنی و غالب نیتروژن مدت‌هاست که در کانون مباحث مربوط به آلاینده‌های محیط‌زیست و منابع آب قرار گرفته‌اند. در این میان، نیترات به دلایل گوناگونی چون پویایی زیاد و عامل بروز بیماری‌های مرگ‌آوری همچون برخی سرطان‌های دستگاه گوارش و غدد لنفاوی در بزرگسالان و بیماری متهموگلوبینمیا[6] در نوزادان گوی سبقت را از دیگر گونه معدنی نیتروژن یعنی آمونیوم که پویایی کمتری دارد، ربوده است (21). ازاینرو بیشینه غلظت این یون در آب آشامیدنی به وسیله سازمان بهداشت جهانی (WHO) تنها 45 میلی‌گرم بر لیتر اعلام شده است (26).

فسفات‌ها بر اثر نشت از مواد معدنی و یا سنگ‌های معادن در فرآیندهای طبیعی، تجزیه محصولات پاک‌کننده، فاضلاب صنایع و

1، 2، 3 و 4 - به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، استادیاران و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه
(*- نویسنده مسئول: (Email: khoramivafa@razi.ac.ir
5- عضو هیات علمی جهاد دانشگاهی استان کرمانشاه

6- Methemoglobinemia

www.SID.ir

Archive of SID

خانگی وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شوند. غلظت‌های بالای فسفر باعث تسریع در پدیده اتریفیکاسیون در آب‌ها می‌شود که باعث تغییر طعم و بو در آب شده و نیز باعث ایجاد پدیده لایه‌بندی آب‌های سطحی یا رودخانه‌ها می‌گردد که این خود می‌تواند موجب مرگ و میر آبزیان گردیده و آب‌های سطحی را به سمت بی‌هوازی شدن پیش برد. برای به وجود آمدن پدیده شکوفایی جلبکی فقط غلظت 0/005-0/05 میلی‌گرم در لیتر فسفات بر حسب فسفر کافی است. استاندارد فسفات در آب‌های آشامیدنی 0/2 میلی‌گرم در لیتر اعلام شده است (24).

بررسی‌ها نشان داده است که روش استفاده از گیاهان آب دوست فرآیندی مطمئن، کارآمد، اقتصادی و آسان برای پالایش پساب آلوده شهری و روستایی، پساب‌های صنعتی و کشاورزی و دامی است که علاوه بر هزینه کم و مصرف انرژی بسیار پایین و راهبری ساده، باعث رفع آلودگی محیط زیست و بهبود آن شده و از نظر اقتصادی روی طرح‌های مهندسی مرتبط با رفع آلودگی تأثیر بسزایی دارد (27). اخیراً در دنیا بررسی توانایی جذب مواد آلاینده توسط دوکفه‌ای‌ها مورد توجه قرا گرفته است و مطالعات متعددی در زمینه میزان آلاینده‌های تجمع یافته در بافت دوکفه‌ای‌ها انجام گرفته است که به عنوان شاخصی جهت تعیین کیفیت آب و میزان آلاینده‌های موجود در آب به کار می‌رود. به علاوه، مطالعاتی در زمینه تعیین کارایی جلبک‌های سبز تک سلولی و میزان حذف آلاینده‌ها (فسفات و نیترات) توسط این جلبک‌ها نیز انجام شده است (9). در آزمایشی مشاهده شد که در تیمارهای با سرعت کم آب و تراکم پایین گیاه علف‌چشمه بیشترین نیترات و فسفات را جذب می‌کند و در تیمار با سرعت بالای آب و تراکم بالای گیاه علف‌چشمه بیشترین بیوماس و ارتفاع را دارا است (6). در یک بررسی مشخص شد که علف‌چشمه و لوبیا و تاج‌خروس توانایی گیاه‌پالایی بقایای آفتکش‌های فسفره را دارند و باکتری‌های ریزوسفری در این کار به این گیاهان کمک می‌کنند (2).

با توجه به اهمیت سلامت آب و با در نظر گرفتن عوارض ناشی از وجود ترکیباتی چون نیترات و فسفات، در این آزمایش امکان بهره‌گیری از دو گیاه علف‌چشمه و پونه برای حذف یا کاهش نیترات و فسفات مازاد آب در شرایط هیدروپونیک صورت گرفت. علف‌چشمه و پونه به علت ویژگی‌هایی چون سازگاری با بیشتر اقلیم های ایران، نیاز کم به مراقبت و رسیدگی، می‌توانند گیاهانی مناسب برای دستیابی به هدف یاد شده باشند. در صورت اثبات توان بالای این گیاهان در جذب زیستی نیترات و فسفات، می‌توان با ترمیم چرخه نیتروژن و فسفر به سادگی از این دو گیاه به عنوان منابع آلی تامین نیتروژن و فسفر در خاک‌های زراعی بهره جست و از ورود آنها به آب‌های آزاد جلوگیری کرد. این موضوع به‌ویژه در مورد فسفر که چرخه‌ای کم و بیش کند دارد از اهمیت بیشتری برخوردار است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال 1389 در آزمایشگاه گیاهان دارویی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی به صورت هیدروپونیک در شرایط آزمایشگاهی کنترل شده (دمای 25 درجه سانتی‌گراد و 16 ساعت نوردهی) به صورت دو آزمایش جداگانه فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور ها شامل نوع گیاه در دو سطح (پونه و علف‌چشمه) و نیترات (برای آزمایش اول) در سه سطح (50، 100 و 150 میلی‌گرم در لیتر) و فسفات (برای آزمایش دوم) در سه سطح (5، 10 و 15 میلی‌گرم در لیتر) بودند. نهالبذرهای علف‌چشمه و پونه (در حدود 10 تا 15 سانتی‌متر) از منطقه دهستان قلعه‌شاهین از توابع شهرستان سرپل ذهاب (34° ,19′ ,56/11 N و 45 °, 58′, 37/08″ E) جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل و پس از شستشوی ریشه آن‌ها، در گلدان‌های 3 لیتری جای داده شدند. به هر گلدان 2/5 لیتر آب مقطر به همراه محلول‌های غذایی به روش پریانیشنیکووا (Pryanishnikova) اضافه شد (16) (جدول 1).

برای جلوگیری از ورود نور به داخل گلدان و در نتیجه جلوگیری از رشد جلبک دور هر گلدان با فویل آلومینیومی پوشیده شد. پس از سازگار شدن نشاها به شرایط آزمایشگاهی برای افزودن نیترات و فسفات به محیط رشد گیاهان به ترتیب از نمک‌های نیترات پتاسیم (KNO_3) و پتاسیم دی هیدروژن فسفات (KH_2PO_4) بر اساس جدول 2 استفاده گردید.

جدول 1- محلول غذایی مورد استفاده در آزمایش برای تامین مواد غذایی مورد نیاز گیاه بر اساس روش پریانیشنیکووا (16)

Table 1- Food solution used in the experiment to provide the plants nutrition based on Pryanyshnykvva method

نمک‌ها Salts	مقدار مورد استفاده (گرم در لیتر) Amount ($gr.Lit^{-1}$)
نیترات آمونیوم (NH_4NO_3)	0.24
سولفات منیزیم ($MgSO_4$)	0.06
دی‌کلسیم فسفات ($CaHPO_4.2H_2O$)	0.172
کلرید پتاسیم (KCl)	0.15
کلرید آهن ($FeCl_3$)	0.025
سولفات کلسیم ($CaSO_4.2H_2O$)	0.344

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 2- مقدار نمک اضافه شده برای افزودن مقادیر مورد نظر ازنیترات وفسفات به محیط رشد گیاهان (درحجم 2/5 لیتر آب)

Table 2- Amount of salt added to achieve required levels of nitrate and phosphate to the plants growth medium (in volume 2.5 liters of water)

Nitrate			Phosphate		
جرم اتمی m_a (g)	KNO_3 (g)	مقدار نمک برای غلظت ۵،۱۰، 15 (میلی‌گرم) Amount of salt for concentration 5, 10, 15 (mg)	جرم اتمی m_a (g)	KH_2PO_4 (g)	مقدار نمک برای غلظت ۵،۱۰، 15 (میلی‌گرم) Amount of salt for concentration 5, 10, 15 (mg)
62.008	M=101.11 جرم مولی	21, 42, 63	94.99	M=136.09 جرم مولی	53.625, 35.75, 17.875

m_a: The atomic mass, M: Molarity

غلظت نهایی نیترات و فسفات در آب با استفاده از اسپکتروفتومتر به ترتیب در طول موج 410 نانومتر به روش سولفات بروسین و طول موج 690 به روش کلرید قلع ذکر شده در وبگاه روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب، اندازه‌گیری شد[1]. پس از اتمام آزمایش بوته‌های علف‌چشمه و پونه در هر واحد آزمایشی (گلدان) با دقت کامل از آب خارج، سپس هر بوته به دو قسمت ریشه و اندام هوایی تقسیم شد. ریشه‌ها و اندام‌های هوایی به صورت جداگانه درون فویل آلومینیومی قرار داده شدند و به مدت 48 ساعت در دمای 50 درجه سانتی‌گراد درون آون کاملاً خشک گردید. وزن خشک نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی (با دقت 0/001 گرم) اندازه‌گیری، سپس نمونه‌ها آسیاب و در کیسه‌های پلاستیکی برچسب‌دار نگهداری شدند. برای اندازه‌گیری انباشت نیترات و فسفر در گیاه، از هر تکرار به ترتیب 0/4 و 0/3 گرم پودر خشک از اندام هوایی و ریشه علف‌چشمه و پونه مورد استفاده قرار گرفت.

به منظور اندازه‌گیری نیترات گیاه 0/4 گرم از نمونه‌های گیاهی خشک پودر شده در ارلن 50 میلی‌لیتری ریخته شد. سپس 40 میلی-لیتر سولفات آلومینیوم 0/025 ($Al_2(SO_4)_3.16H_2O$) مولار به آن افزوده و نمونه‌ها به مدت 30 دقیقه با 200 دور در دقیقه شیک شد. بعد از صاف کردن، نمونه‌ها برای اندازه‌گیری نیترات آماده شد (11).

1/5 میلی‌لیتر از عصاره در ارلن 50 میلی‌لیتری ریخته و 0/8 میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک (5%) و 17/7 ($C_7H_6O_6S.2H_2O$) میلی‌لیتر سود (NaCl) 2 نرمال به آن اضافه و جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل carry در طول موج 410 نانومتر قرائت شد. قبلاً دستگاه با محلول تهیه شده در غلظت صفر و نمونه‌های استاندارد تهیه شده توسط دستگاه قرائت شد (4).

بعد از هضم نمونه‌های گیاهی با استفاده از اسید سولفوسالیسیلیک و صاف کردن آن‌ها برای تعیین مقدار فسفر نمونه‌های گیاهی مقدار 10 میلی‌لیتر از عصاره‌های گیاهی و محلول علظت صفر (اسید سولفوسالیسیلیک) به بالن ژوژه 50 میلی‌لیتری منتقل و سپس 10 میلی‌لیتر از محلول آمونیوم مولیبدات-وانادات به آن افزوده و به حجم رسانده شد. سپس مقدار جذب این نمونه‌ها در طول موج 470 نانومتر توسط دستگاه اسپکترومتر مدل carry قرائت شد. به این ترتیب مقدار فسفر نمونه‌ها با استفاده از معادله‌ای که از جذب استانداردها در این طول موج توسط اسپکتروفتومتر به دست آمد، تعیین شد[2].

پس از محاسبه انباشت فسفر و نیترات، شاخص‌های فاکتور غلظت زیستی[3] (BCF) (17)، فاکتور انتقال[4] (TF) (18)، شاخص تحمل[5] (TI) (29) نیز بر اساس روابط زیر اندازه‌گیری گردید:

$$BCF = \frac{\text{میزان تجمع فلز در اندام مورد نظر}}{\text{میزان اولیه فلز در بستر کاشت}}$$

$$TF = \frac{\text{غلظت فلز در اندام هوایی}}{\text{غلظت فلز در اندام هوایی}}$$

$$TI = \frac{\text{وزن خشک گیاه در حضور آلاینده}}{\text{وزن خشک شاهد}}$$

برای تجزیه‌های آماری از نرم‌افزارهای آماری MSTATC و EXCEL استفاده گردید و مقایسه میانگین‌ها هم به روش چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج بدست آمده دو گیاه از نظر انباشت فسفات در ریشه اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین سطوح مختلف نیترات و

1- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (https://www.standardmethods.org)

2- Technical handbook of IR Iran Soil and water research institute. 1991. No. 893 and 982.

3- Bioconcentration Factor

4- Translocation Factor

5- Tolerance Index

www.SID.ir

Archive of SID

فسفات بر میزان انباشت آن در ریشه تاثیر معنی‌داری داشت. (جدول 3). در این ارتباط انباشت فسفر در ریشه‌های علف‌چشمه تا سطح 10 میلی‌گرم در لیتر به طور معنی‌دار افزایش یافت و مقدار آن در این غلظت به 4/3 میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید. این در حالی بود که در مورد پونه افزایش غلظت فسفات در محیط، تاثیر معنی‌داری در انباشت آن در ریشه نداشت. همچنین در غلظت‌های 5 و 10 میلی‌گرم در لیتر فسفات، پونه توانایی بیشتری در انباشت فسفر در ریشه‌های خود داشت (جدول 4).

دو گیاه از نظر انباشت فسفر در اندام‌های هوایی نیز رفتارهای متفاوتی داشتند. به نحوی که انباشت فسفر در اندام‌های هوایی علف‌چشمه تا سطح 10 میلی‌گرم در لیتر به طور معنی‌داری افزایش یافت و مقدار آن در این غلظت به 4/4 میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید. در حالیکه انباشت فسفر اندام‌های هوایی پونه تحت تاثیر افزایش غلظت آن (فسفات) در محیط قرار نگرفت. همچنین در غلظت‌های 5 و 15 میلی‌گرم در لیتر فسفات، پونه توانایی بیشتری در انباشت فسفر در اندام‌های هوایی خود نشان داد (جدول 4). گرین و همکاران (8) گزارش کردند که در غلظت‌های بالای فسفر، گیاه یک مکانیسم تنظیم‌کننده دارد که از جذب بیش از حد فسفر جلوگیری می‌کند.

از نظر غلظت زیستی فسفر در ریشه نیز اختلاف معنی‌دار وجود داشت. به طوریکه غلظت زیستی فسفر در ریشه علف‌چشمه و پونه با افزایش غلظت فسفات تا سطح 10 میلی‌گرم در لیتر کاهش داشت و مقدار آن در ریشه علف‌چشمه و پونه به ترتیب به 0/43 و 0/58 میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید. با اینحال روند تغییرات شاخص غلظت زیستی فسفر در اندام هوایی بین دو گیاه مشابه بود.به نحوی که افزایش غلظت فسفات در محلول کاهش معنی‌دار این شاخص را در هردو گیاه در پی داشت (جدول 4).

بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که بین دو گیاه از نظر فاکتور انتقال فسفر بین سطوح مختلف فسفات اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول 3). در این رابطه در تیمار 5 میلی‌گرم در لیتر فسفات، فاکتور انتقال فسفر در علف‌چشمه بیشتر بود (1/3). به عبارت دیگر در این سطح تیماری علف‌چشمه توانایی بیشتری در انتقال فسفر به اندام هوایی داشت. با اینحال با افزایش غلظت فسفات مقدار انتقال فسفر در علف‌چشمه کاهش یافت و در سطح تیماری 15 میلی‌گرم در لیتر به 0/9 رسید ولی در پونه تغییر معنی‌داری نداشت. البته بطور کلی میانگین فاکتور انتقال فسفر در علف‌چشمه بیشتر از پونه بود (به ترتیب 1/07 و 0/94) (جدول 4). از اینرو چون این مقدار در علف چشمه بیشتر از یک بود، علف‌چشمه به عنوان فراانباشتگر فسفر ولی پونه با توجه به مقدار این فاکتور که نزدیک به یک است، انباشتگر فسفر به حساب می‌آید. در ارتباط با انتقال فسفر از ریشه به اندام های هوایی، باس و همکاران (3) گزارش دادند که در گیاه *Tyaha angustata* L. انتقال فسفر به اندام‌های هوایی بیشتر است. همچنین گیاه آبزی *Arundo donax* فسفر را در ریزوم خود ذخیره و سپس به قسمت‌های هوایی انتقال می‌دهد (23). در این رابطه پیشنهاد شده است که گیاهان باید بلافاصله پس از برداشت حذف شوند تا از آبشویی مواد غذایی از ساقه به آب جلوگیری شود (7).

دو گیاه در سطوح مختلف فسفات از نظر شاخص تحمل ریشه نیز با هم اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول 3). هرچند افزایش غلظت فسفات در محلول به افزایش تحمل ریشه هر دو گیاه نسبت به فسفات منجر شد. به گونه‌ای که بیشترین شاخص تحمل ریشه علف‌چشمه (153/8) و پونه (138/9) به فسفات در سطح تیماری 15 میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید (جدول 4).

همچنین نتایج نشان داد که بین دو گیاه از نظر شاخص تحمل اندام هوایی در غلظت‌های 5 و 15 میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌دار وجود داشت. ضمن اینکه با افزایش غلظت فسفات تحمل اندام هوایی دو گیاه افزایش یافت به گونه‌ایکه بیشترین مقدار این شاخص در علف‌چشمه (142/5) و پونه (136/5) در سطح تیماری 15 میلی‌گرم در لیتر به دست آمد (جدول4).

دو گیاه از نظر انباشت نیترات در ریشه‌های خود اختلاف معنی‌داری نشان ندادند و در غلظت‌های مختلف، مقادیر مشابهی از نیترات را در ریشه‌های خود انباشت دادند. افزایش غلظت نیترات تا سطح 100 میلی‌گرم در لیتر بر انباشت آن در ریشه دو گیاه تاثیر معنی‌دار داشت (جدول 7). این یافته‌ها با گزارش رید و هاگمان (19) مطابقت داشت. آن‌ها عنوان کردند که غلظت نیترات در ریشه به مقدار ناچیزی تحت تاثیر افزایش غلظت اولیه نیترات آب قرار گرفت. در آزمایش دیگری، در غلظت 1/25 میلی‌گرم در لیتر در آب و کمتر، غلظت نیتروژن در ریشه افزایش در حالی که با افزایش غلظت اولیه نیتروژن در آب، مقدار نیتروژن در ریشه کاهش یافت (14).

افزایش غلظت نیترات به افزایش معنی‌دار در انباشت آن در اندام هوایی منجر شد. به گونه‌ای که بیشترین مقدار آن در اندام هوایی (108/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم) در غلظت 150 میلی‌گرم در لیتر به دست آمد (جدول 6). این نتیجه با یافته‌های رومئو و همکاران (20) مطابقت داشت. بر اساس نتایج آزمایش آن‌ها در شرایط کشت هیدروپونیک مشخص شد با افزایش غلظت نیتروژن در محیط ریشه، در بافت‌های نی، نیتروژن بیشتری انباشت یافت و به طور معنی‌داری رشد نسبی گیاه را تحت تاثیر قرار گرفت. در یک بررسی دیگر مشخص شد که با افزایش مقدار کود، مقدار نیترات در سبزیجات زیاد می‌شود به گونه‌ای که بیشترین عملکرد و تجمع نیترات در تیمار کودی 200 کیلوگرم در هکتار به دست آمد (1).

www.SID.ir

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفات فسفر

Table 3- Analysis of variance related to phosphorus traits

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	غلظت فسفر در ریشه Phosphorus concentration in roots	غلظت فسفر در اندام هوایی Phosphorus concentration in shoots	غلظت زیستی فسفر در ریشه Phosphorus Bioconcentration in roots	غلظت زیستی فسفر در اندام هوایی Phosphorus Bioconcentration in shoots	فاکتور انتقال فسفر Phosphorus translocation Factor	شاخص تحمل ریشه Tolerance Index of root	شاخص تحمل اندام هوایی Tolerance Index of shoot
گیاه Plant	1	10.27**	5.06 **	0.19**	0.08**	0.08 ns	828.29**	35.51**
فسسفات Phosphate	2	5.35**	0.89*	0.23**	0.42**	0.1*	410.88**	812.91 **
گیاه × فسفات Phosphate×Plant	2	0.36 ns	0.12 ns	0.04 **	0.016 *	0.037 ns	19.57**	14.37 *
خطا Error	12	0.52	0.19	0.006	0.004	0.02	2.17	2.11
ضریب تغییرات (CV%		14.77	9.31	14.33	11.64	13.59	1.06	1.14

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

: non significant and significant (α=1%, 5%) respectively**,*ns,

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل گیاه و فسفر برای خصوصیات مربوط به فسفر

Table 4- Mean comparison of plant × phosphorus interaction for phosphorus traits

گیاه Plants	تیمارهای فسفات (میلی‌گرم بر لیتر) Phosphate treatments (ml.L^{-1})	غلظت فسفر* Phosphorus concentration*		غلظت زیستی فسفر Phosphorus Bioconcentration		فاکتور انتقال فسفر ± ۰/۰۸ Phosphorus Translocation Factor ± 0.08	شاخص تحمل ریشه ± ۰/۸۵ Tolerance Index of root ± 0.85	شاخص تحمل اندام هوایی ± ۰/۸٤ Tolerance Index of shoot± 0.84
		Roots ± 0.4	Shoots ± 0.2	roots± 0.04	shoots± 0.04			
علف چشمه Watercress	5	2.84^{c}	3.6^{c}	0.57^{b}	0.72^{a}	1.3^{a}	134.6^{d}	117.6^{d}
	10	4.3^{b}	4.4^{b}	0.43^{c}	0.44^{cd}	1.1^{ab}	147.8^{b}	126.8^{c}
	15	5.2^{ab}	4.4^{b}	0.34^{c}	0.29^{e}	0.9^{b}	153.8^{a}	142.5^{a}
پونه Pennyroyal	5	4.8^{ab}	4.9^{ab}	0.96^{a}	0.98^{a}	1.01^{b}	125.1^{f}	114.9^{e}
	10	5.8^{a}	5.2^{ab}	0.58^{b}	0.52^{c}	0.9^{b}	131.4^{e}	127.01^{c}
	15	6.2^{a}	5.6^{a}	0.41^{b}	0.37^{de}	0.9^{b}	138.9^{c}	136.5^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌دار ندارند (p≤۰/۰۵). * میلی‌گرم بر کیلوگرم

Means with common letters in each column have not significant different (p≤0.05).
mg/kg*

Archive of SID
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس خصوصیات نیترات در گیاه

Table 5- Analysis of variance nitrate traits

منابع تغییر SOV	df	MS						
		غلظت نیترات در ریشه Nitrate concentration in roots	غلظت نیترات در اندام‌های هوایی Nitrate concentration in shoots	غلظت زیستی نیترات در ریشه Nitrate Bioconcentration in roots	غلظت زیستی نیترات در اندام‌های هوایی Nitrate Bioconcentration in shoots	فاکتور انتقال نیترات Nitrate Translocation Factor	شاخص تحمل ریشه Tolerance Index of root	Tolerance Index of shoot
گیاهPlant	1	614.09*	20.04 ns	0.07*	0.00 ns	0.23*	566.65**	851.76 ns
نیتراتNitrate	2	2122.47**	6077.94**	0.26**	0.09**	0.19*	786.19**	205.1 ns
نیترات × گیاه Nitrate × Plant	2	41.65 ns	31.95 ns	0.00 ns	0.006 ns	0.02 ns	238.67**	863.9 ns
خطاError	12	90.87	48.82	0.012	0.005	0.04	12	346.05
CV%		13.68	8.43	14.44	8.3	16.15	2.72	16.96

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

: non significant and significant (α=1%, 5%) respectively**,*ns,

جدول ٦- مقایسه میانگین خصوصیات نیترات در بخش‌های مختلف گیاهان علف‌چشمه و پونه

Table 6-Mean comparison of characteristics of nitrate in plants different parts of Watercress and Pennyroyal

تیمارهای نیترات (میلی‌گرم بر لیتر) Nitrate treatments ($ml.L^{-1}$)	غلظت نیترات* Nitrate concentration*		غلظت زیستی نیترات در ریشه ± ۰/۰٤ Nitrate Bioconcentration in roots ± 0.04	غلظت زیستی نیترات در اندام‌های هوایی ± ۰/۰۳ Nitrate Bioconcentration in shoots ± 0.03	فاکتور انتقال نیترات ± ۰/۰۸ Nitrate Translocation Factor ± 0.08	شاخص تحمل ریشه± ۱/٤ Tolerance Index of root ± 1.4
	ریشه ± ۳/۸۹* root ± 3.89	اندام هوایی ± ۲/۸۵* shoots± 2.85				
50	49.44 c	47.24 c	0.99 a	0.94 a	0.98 b	114.9 c
100	72.97 b	92.89 b	0.73 b	0.93 a	1.29 a	137.4 a
150	86.62 a	108.5 a	0.58c	0.72 b	1.28 a	129.8 b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌دار ندارند (p≤۰/۰۵). * میلی‌گرم بر کیلوگرم

mg/kg*Means with common letters in each column have not significant different (p≤0.05).

www.SID.ir

Archive of SID

علف‌چشمه و پونه غلظت بـالایی از نیتـرات و فسـفر را در خـود انباشت داده‌اند و انباشت این عناصر در اندام هوایی نسبت به ریشه‌ها بیشتر بود. در این رابطه روئیز و ولاسکو (22) نتایج مشابه‌ای را بدست آوردند. مطابق نتایج آن‌ها نیز میزان نیترات و فسفات در انـدام‌هـای هوایی گیاه نی (*Phragmites australis*) بیشتر بود. یکی از دلایل عنوان شده این است که اندام‌های هوایی دارای مقـدار آب بیشـتر و واکوئل‌های بزرگ‌تری هستند، بنابراین میزان نیترات بیشتری در این قسمت انباشت می‌یابد (28). دلیل دیگر این است کـه در شـدت نـور مناسب، فتوسنتز بیشتر و جذب این آلاینده‌ها بیشتر است (25).

یافته‌های آزمایش مشخص کرد که با افزایش غلظت نیتـرات در محلول، غلظت زیستی آن در ریشه و اندام هوایی به طور معنـی‌داری کاهش یافت. به طوری که کمترین شاخص غلظت زیستی در ریشـه (0/58 میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در اندام هـوایی (0/72 میلـی‌گـرم بـر کیلوگرم) در غلظت 150 میلی‌گرم در لیتر مشـاهده شـد (جـدول 6). افزایش غلظت نیترات در محیط کشت تا سطح 100 میلی‌گرم در لیتر کاهش معنی‌دار غلظت زیستی آن در ریشه دو گیاه را در پی داشت به گونه‌ای غلظت زیستی آن در این سطح تیماری در ریشه علف‌چشمه و پونه به ترتیب 0/7 و 0/8 میلی‌گرم بـر کیلـوگرم وزن خشـک بـود. (جدول 7). جذب نیتروژن و فسفر به وسیله گیاه به دسترسی زیستی این عناصر در محیط ریشه، نسبت مواد غـذایی در محـیط و شـرایط محیطی از جمله دما و اسیدیته بستگی دارد (3). طبق نتایج آزمـایش حاضر مقدار شاخص غلظت زیستی نیترات در ریشه و اندام هوایی در تمامی غلظت‌های این عناصر مشابه بود (جـدول 7). ایـن یافتـه بـا گزارش لو و همکاران (15) که مبنی بر حداقل تفاوت این عناصـر در ریشه و اندام هوایی است، مطابقت داشت.

اگرچه در سطوح مختلف نیترات دو گیاه مقادیر مشـابهی از ایـن یون را به اندام هوایی خود انتقال داده‌اند ولی با افزایش غلظت نیترات از 50 به 100 میلی‌گرم در لیتر فاکتور انتقال نیترات در علف‌چشمه به طور معنی‌دار افزایش یافت و در غلظت 100 میلی‌گرم در لیتر به بالا مقدار آن تغییر معنی‌داری نداشت. این در حالی بود که افزایش غلظت نیترات تاثیری در انتقال آن به اندام هـوایی پونـه نداشـت. میـانگین فاکتور انتقال این عنصر در غلظت‌های مختلف در علف‌چشـمه 1/3 و در پونه 1/07 بود (جدول7). بنابراین می‌توان با توجه به فاکتور انتقال نیترات که در این آزمایش بیشـتر از یـک بـود دو گیـاه را جـزء فـرا انباشتگرهای نیترات دانست. انباشت بیشتر نیترات در اندام هـوایی را می توان به مقدار بیشتر آب در این بافت‌ها نسبت داد که ایـن خـود بیانگر فاکتور انتقال بیشتر نیترات به اندام‌های هوایی است (5 و 16).

با افزایش غلظت نیترات تا سطح 100 میلی‌گرم در لیتـر تحمـل ریشه علف‌چشمه به طور معنی‌دار افزایش (139/4) و در غلظت بالاتر (150 میلی‌گرم در لیتر) کاهش یافت و مقدار آن به 118/4) رسید. این درحالی بود که تحمل ریشه پونه تا سطح 100 میلی‌گرم در لیتـر بـه طور معنی‌دار افزایش یافت (135/4) و در غلظت بالاتر تحمل ریشـه آن افزایش معنی‌داری نداشت. بـه بیـانی دیگـر ریشـه پونـه تحمـل بیشتری نسبت به غلظت‌های بالای نیترات داشت (جدول 7).

نتیجه‌گیری کلی

در جریان این آزمایش مشخص شد که دو گیاه به عنوان پالاینده آلاینده‌های نیترات و فسفات عمل کرده‌اند (فاکتور انتقال نیتـرات در علف‌چشمه 1/3 و در پونه 1/07 و فاکتور انتقال فسفر در علف‌چشمه و پونه به ترتیب 1/07 و 0/94 بود).

جدول 7- مقایسه میانگین اثر متقابل گیاه و نیترات برای اندازه گیری های مربوط به نیترات

Table 7- Mean comparison of plant and nitrate interaction for measurements of nitrate

گیاه Plants	تیمار های نیترات (میلی‌گرم بر لیتر) Nitrate treatments ($ml.L^{-1}$)	غلظت نیترات در ریشه ± 5/5* Nitrate concentration in 5.5± *roots	غلظت زیستی نیترات در ریشه ± 0/04* Nitrate Bioconcentration in 0.04±roots	فاکتور انتقال نیترات ± 0/85 Nitrate Translocation 0.85±Factor	شاخص تحمل ریشه ± 2 Tolerance Index of root 2±
علف‌چشمه Watercress	50	46.01^{d}	0.9^{ab}	1.02^{b}	107.4^{c}
	100	67.5^{bc}	0.7^{cd}	1.4^{a}	139.4^{a}
	150	77.97^{ab}	0.5^{d}	1.4^{a}	118.4^{b}
پونه Pennyroyal	50	52.9^{cd}	1.1^{a}	0.9^{b}	122.4^{b}
	100	78.4^{ab}	0.8^{bc}	1.2^{ab}	135.4^{a}
	150	95.3^{a}	0.6^{cd}	1.1^{ab}	141.1^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌دار ندارند ($p\leq$۰/05)

* میلی‌گرم بر کیلوگرم

Means with common letters in each column have not significant different ($p\leq0.05$)

*mg/kg

www.SID.ir

Archive of SID

به طور کلی با استنباط از یافته‌های آزمایش، رفتار علف‌چشمه و پونه در رابطه با نیترات و فسفات رفتار کاملاً استخراج کننده‌ای بود. بنابراین با توجه به توان بالای این گیاهان در جذب زیستی نیترات و فسفر می‌توان با ترمیم چرخه نیتروژن و فسفر به سادگی از آنها به عنوان منابع آلی تامین نیتروژن و فسفر در خاک‌های زراعی بهره جست و از ورود آنها به آب‌های آزاد جلوگیری کرد. این موضوع به‌ویژه در مورد فسفر که چرخه‌ای کم و بیش کند دارد از اهمیت بیشتری برخوردار است. از اینرو می توان دو نقش اصلی برای علف-چشمه و پونه در اکوسیستم‌های آبی متصور شد: نخست عمل کردن به صورت یک بیوفیلتر و بازگرداندن نیتروژن و فسفر از آب های سطحی یا فاضلاب برای جلوگیری از آبشویی آنها و در نتیجه جلوگیری از انتشار و آلودگی بیشتر محیط و دوم به عنوان یک محصول فرعی قابل فروش و قابل بهره‌برداری برای نمونه به عنوان کود سبز و....

منابع

1- Ahmadi H., Akbarpour V., Dashti F., and Shojaeian A.A. 2010. Effect of different levels of nitrogen fertilizer on yield, nitrate accumulation and several quantitative attributes of five Iranian spinach accessions. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 8(4):468-473.

2- Al-Qurainy F., and Abdel Megeed A. 2009. Phytoremediation and detoxification of two organophosphorous pesticides residues in Riyadh area. World Applied Sciences Journal, 6 (7): 987-998.

3- Bose S., Vedamati J., Rai V., and Ramanathan A.L. 2008. Metal uptake and transport by *Tyaha angustata* L. grown on metal contaminated waste amended soil: Geoderma, 145(1–2): 136–142. 145.

4- Cataldo D.A., Haroon M., Schrader L.E., and Youngs V.L. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitrification of salicylic acid. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 6(1):71-80.

5- Chen W., Luo J.K., and Shen Q.R. 2005. Effect of NH^{+}_{4}_N/NO^{-}_{3}_N ratios on growth and some physiological parameters of *Chinese cabbage* cultivars. Pedosphere, 15(3): 310-320.

6- Dyer DJ. 2006. Effectiveness of aquatic phytoremediation of nutrients (*Nasturtium officinale*), Basil (*Ocimum basilicum*), dill and lettuce (*Lactuca sativa*) from effluent of a flow-through operation. Thesis (M.S.), West Virginia University, 2006.

7- Golterman, H.L. 2004. The Chemistry of Phosphate and Nitrogen Compounds in Sediments. Springer Netherlands Plubishers.

8- Green D.G., Ferguson W.S., and Warder F.G. 1973. Accumulation of Toxic Levels of Phosphorus in the Levels of Phosphorus. Deficient Barley. Ganiadian Journal of Plant Science, 53:241-246.

9- Green R.H., Bailey R.C., Hinch S.G., Metcalfe J.L., and Young V.H. 1989. Use of freshwater mussels (Bivalvia: Unionidae) to monitor the nearshore environment of lakes. Journal of Great Lakes Research, 7(8): 635-644.

10- Jalali M. 2005. Nitrates leaching from agricultural land in Hamadan, Western Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment, 110(3–4): 210–218.

11- Jones J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil test and plant analysis. CRC. Press.

12- Jonoubi R. 1998. Contamination of water supply sources and prevent procedures it. West Azarbaijan rural water and Wastewater Company. Available at http://www.abfar-wazar.ir. (in Persian with English abstract)

13- Kalantari N., and Naseri H. 2001. Study changes of nitrate in Gorgan Qarasou groundwater basin. Fifth Conference of Geological Society of Iran, Tehran, 28-30 August. (in Persian with English abstract)

14- Lu Q. 2009. Evaluation of Aquatic Plants for Phytoremediation of Eutrophic Stormwaters. Thesis (PhD), University of Florida

15- Lu Q., He Z.L., Graetz D.A., Stoffella P.J., and Yang X. 2008. Phytoremediation to remove nutrients and improve eutrophic stormwaters using water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). Environmental Science and Pollution Research, 17(1):84-96.

16- Meychik N.R., Yermakov I.P., Khonarmand S.D., and Nikolaeva Yu.I. 2009. Ion-Exchange Properties of Cell Walls in Chickpea Cultivars with Different Sensitivities to Salinity. Russian Journal of Plant Physiology, 57(5): 620-630.

17- Odjegba V.J., and Fasidi I.O. 2007. Phytoremediation of Heavy Metals by *Eichhornia crassipes*. The Environmentalist, 27(3):349-355.

18- Rabie G.H. 2005. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungus to red kidney and wheat plants tolerance grown in heavy metal-polluted soil, African Journal of Biotechnology, 4(4): 332-345.

19- Reed A.J., and Hageman R.H. 1980. Relationship between nitrate uptake, flux, and reduction and the accumulation of reduced nitrogen in maize (*Zea mays* L.). Plant Physiology, 66:1184-1189.

20- Romero J.A., Brix H., and Comin F.A. 1999. Interative effects of N and P on growth, nutrient allocation and NH_4^- uptake kinetics by *Phragmites australis*. Aquatic Botany, 64:369–380.

www.SID.ir

Archive of SID

21- Roskowski J., Motyka J., and Roskowski K. 2005. Nitrate in water of the vadose and phreatic zones, Crocow Jurassic-Poland. Proceedings of European meeting of the International Association of Hydrogeologists, Wisla, Poland, 4-7 June 2002.
22- Ruiz M., and Velasco J. 2009. Nutrient Bioaccumulation in *Phragmites australis*: Management tool for reduction of pollution in the Mar Menor. Water, Air and Soil Pollution, 205:173–185.
23- Sagehashi M., Kawazoe A., Fujii T., Hu H.Y., and Sakoda A. 2009. Cadmium removal by the hydroponic culture of Giant Reed (*Arundo donax*) and its concentration in the plant. Journal of Water and Environment Technology, 7 (2):143-154.
24- Samadi M.T., Saghi M.H., Ghadiri K., Hadi M., and Beikmohammadi M. 2010. Performance of simple nano zeolite Y and modified nano zeolite Y in phosphor removal from aqueous solutions. Iranian Journal of Health & Environment, 3(1):27-36. (in Persian with English abstract).
25- Smith, E.N. 2007. Watercress (*Nasturtium officinale*) production utilizing Brook Trout (*Salvelinus fontinalis*) flow-through aquaculture effluent. (M.S.), West Virginia University.
26- Sparks, D.L. 2003. Environmental soil chemistry. Academic Press, Elsevier Second Edition.
27- Van Oostrom A.J., and Russell J.M. 1994. Denitrification in Constructed Wastewater Wetlands Receiving High Concentrations of Nitrate. Water Science and Technology, 29(4): 7–14
28- Wang Z.H., and Li S.X. 1996. Relationships between nitrate contents and water, total N as well as total P in different organs of vegetable plants. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2(2):144–152.
29- Wilkins D.A. 1978. The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth. New Phytology, 80: 623–633.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 4, Sept.-Oct. 2015, p. 765-775

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 29، شماره 4، مهر – آبان 1394، ص. 775-765

The Ability of Watercress (*Nasturtium officinale*) and Pennyroyal (*Mentha pulegium*) in Clean up Excess Nitrate and Phosphate of Water

Z. Ahmadpoor[6] - M. Khoramivafa[7]* - S. Jalali Honarmand[3] - K. Cheghamirza[4] - M. Khan Ahmadi[5]

Received: 04-08-2013
Accepted: 10-13-2015

Introduction: There is necessary to clean up the nitrate and phosphate from surface waters before effluence of them to environment and eutrophication formation because of water health importance and considering to nitrate and phosphate consequences. Nitrate and ammonium as the - forms of inorganic and nitrogen have been subjected to the center of issues related to environment pollutants and water resources in a long time. The nitrate is more important than other inorganic nitrogen forms such as ammonium because of various reasons such as high dynamics and causing diseases such as some of digestion system and lymph nodes cancers in adults and methemoglobinemia in infants. Therefore the maximum concentration of this ion in drinking water has been determined as 45 mg.Lit^{-1} by WHO. Regarding the importance of the water health and the complications due to existence of some compounds such as nitrate and phosphate, in this experiment, the possibility of elimination or decreasing excess nitrate and phosphate from water in hydroponic conditions using of two watercress and pennyroyal plants was evaluated. Watercress (*Nasturtium officinale*) and pennyroyal (*Mentha pulegium*) were selected because of some properties such as adaptability with the most climates of Iran amd less requirements care.

Materials and Methods: Two RCD factorial experiments were carried out to evaluate the ability of watercress and pennyroyal to biosorption of nitrate and phosphate from polluted water in hydroponic conditions. First factor was plant species including watercress and pennyroyal. Second factor included nitrate (50, 100, 150 Mg/L) and phosphate (5, 10, 15 Mg/L) in first and second experiment respectively. The final concentrations of nitrate and phosphate in water was measured using spectrophotometer in wavelength of 410 nm and 690 nm by sulphate brucine and chloride methods , respectively, which are mentioned in Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. At the end of the each experiment, watercress and pennyroyal plants were brought out from the pots carefully and their roots and shoots were separated. Roots and shoots were placed in aluminum foil separately and were dried by oven method (50°C and 48 h). The weights of dried samples were measured by a digital balance scale (0.001 gr accuracy). Three accumulation indices including Bio-concentration Factor, Translocation Factor and Tolerance Index were calculated by measuring of nitrate and phosphate accumulation in roots and shoots

Results and Discussion: According to the results, root phosphate accumulation in two plants was different significantly ($p \leq 0.05$). Also, the level values of nitrate and phosphate were resulted to their root accumulation significantly. In this regard, the phosphate accumulation in watercress root changed to 10 mg. Lit^{-1} significantly and reached to 4.3 mg.Kg^{-1} dry weight in this concentration. While for pennyroyal, there was no significant increasing in roots phosphate accumulation when its concentration was increased in medium ($p \leq 0.05$). Although phosphate accumulation was difference between the two plants in root and shoots, there was similar the alteration of phosphor bioconcentration trend. Because increasing of phosphate concentration resulted in significant decreasing of this index. Whilst both of watercress and pennyroyal accumulated high amount of nitrate and phosphate, quantity of accumulation in shoots was higher than of roots. Consequently, nitrate translocation factor was 1.3 in watercress and 1.07 in pennyroyal, and phosphor translocation factor was 1.07 and 0.94 in watercress and pennyroyal respectively.

Conclusions: Results indicated that two plants were pollutants purified of nitrate and phosphate (The nitrate translocation factors were 1.3 and 1.07 in watercress and pennyroyal and the phosphate translocation factors were 1.07 and 094 in watercress and pennyroyal, respectively). Generally, it was found that watercress and pennyroyal have extractive behavior completely about nitrate and phosphate. Because of the high ability of these plants in biosorption of phosphate and nitrate, with recovery of nitrogen and phosphorus cycle, they can be used as organic resources of nitrogen and phosphor supply in agricultural soil and prevent from entrancing them to

6, 2 , 3, 4- M.Sc Graduated, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Respectively
(* - Corresponding Author Email: khoramivafa@razi.ac.ir)
5- Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Kermanshah, Iran

www.SID.ir

Archive of SID

seas. It is more important about phosphate, which has slowly cycle. Therefore two main roles for watercress and pennyroyal in aquatic ecosystems are expected. First, perform as bio-filter and returning the nitrogen and phosphor from surface water or wastewater for preventing the environmental pollution and second as secondary saleable or utilizable crop such as green manure and so on.

Keywords: Aquatic ecosystems, Hydroponic, Phytoremediation, Water pollution

www.SID.ir