

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره دوازده، اسفند ماه ۱۴۰۰ (۲۹-۱۷)

سنجش میزان بور در محیط‌های آبی حاوی *Ruppia* و *Zannichellia palustris* *maritime* با شوری‌های متفاوت

امیر پرنیان^{*۱}

amir.parnian86@gmail.com

مصطفی چرم^۲

نعمت اله جعفرزاده حقیقی فرد^۳

تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۹/۹/۱۸

چکیده

زمینه و هدف: وجود زه‌آب‌های شور و آلوده از مشکلات زیست محیطی مناطق جنوبی ایران است که اغلب به تالاب‌های منطقه می‌ریزد. لذا این پژوهش با هدف پالایش بور از سه محیط آبی با شوری متفاوت توسط دو گیاه آبی بومی تالاب‌های جنوب ایران انجام گرفت. **روش بررسی:** در این پژوهش در سال ۱۳۹۳، طی ۱۲۰ ساعت پالایش آب آبیاری و دو نوع زه آب مختلف آلوده شده به ۴ سطح غلظتی مختلف بور (۱، ۲، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر)، توسط دو گیاه آبی (*Ruppia maritima* L. و *Zannichellia palustris* L.) بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در آب غیرشور گیاهان *Ruppia maritima* و *Zannichellia palustris* بور را به مقدار قابل توجهی جذب و کارایی حذف بور در هر دو گیاه به بیش از ۷۰٪ رسید، همچنین شاخص جذب بور در دو گیاه زانیشلیا و روپیا به ترتیب ۰/۵۱ تا ۸/۱۶ و ۰/۱۸ تا ۸/۱۴ میلی‌گرم در ظرف در بازه‌ی آلودگی مورد مطالعه به دست آمد که این مقادیر در زه آب‌های شور افزایش یافت. شاخص تولید زیست توده گیاهی زانیشلیا با افزایش آلودگی بور کاهش داشت، اما این روند در مورد روپیا مشاهده نشد که نشان از مقاومت بیشتر روپیا به آلودگی بور است.

بحث و نتیجه گیری: کارایی پالایش بور در زانیشلیا بیش از روپیا ولی اثر منفی شوری بر زانیشلیا بیش از روپیا بود. نتایج به دست آمده در این پژوهش توان پالایندگی بور توسط گیاهان زانیشلیا و روپیا در آب‌های شور را تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پالایش بور، زانیشلیا، روپیا، آب‌های شور.

۱- استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۲- استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳- استاد، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

Measurement of boron in aqueous solutions containing *Zannichellia palustris* L. and *Ruppia maritima* L. with different salinity

Amir Parnian^{1*}

amir.parnian86@gmail.com

Mostafa Chorom²

Nematolah Jaafarzadeh³

Admission Date: December 8, 2020

Date Received: April 14, 2020

Abstract

Background and Objective: Existing of brackish and polluted drainage is one of the environmental problems in the southern Iran region, and also many of these drainages move down to the local wetlands. So the aim of this study was B remediation from three aqueous solutions with different salinities, by two native hydrophytes of Iran's southern wetlands.

Material and Methodology: In this study, during 120 hours treatment of waters with distinct salinity that contaminated with four different B levels (1, 2, 5, and 10 mg per liter of water), B remediation by two hydrophytes (*Zannichellia palustris* L. and *Ruppia maritima* L.) were examined.

Findings: The study showed for non-saline water plant uptake a high amount of B and both plant removal efficiency achieved more than 70%. The uptake index of *Z. palustris* and *R. maritima* respectively were 0.51 – 8.16 and 0.18 – 8.14 mg pot⁻¹ but these values increased in the saline waters. Biomass production measurement of *Z. palustris* decreased by increasing B contamination but *R. maritima* was not affected, and it showed the higher B tolerance of *R. maritima*.

Discussion and Conclusion: Totally, *Z. palustris* removed more B than *R. maritima* but the bad effect of salinity on *R. maritima* less than *Z. palustris*. The results approved the ability of both plants for B remediation in saline waters.

Keywords: Boron remediation, *Zannichellia palustris* L., *Ruppia maritima* L., Saline water.

1- Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran. *(Corresponding Author)

2- Professor, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

3- Professor, School of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

مقدمه

زه‌آب‌های کشاورزی اغلب به آب‌های سطحی، دریاها یا حوضچه‌های تبخیر سرازیر می‌شوند. این روش دفع زهاب‌های کشاورزی مشکلات زیادی از جمله افزایش مقدار هدایت الکتریکی، عناصر غذایی، سموم و عناصر کمیاب را بر منابع آب و اکوسیستم‌های آبی به همراه دارد (۱). بور عنصری ضروری برای رشد گیاهان است. به علت نزدیک بودن سطوح مسمومیت و کمبود آن در گیاهان اهمیت بسیاری دارد و زردی نوک برگ‌ها، لکه، فساد و ریزش میوه‌ها علائم سمیت بور است (۲). حد سمیت مقدار بور برای مصرف شرب ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلو گرم است (۳). بور در متابولیسم نیتروژن، مس و کلسیم نقش داشته و نیاز به بور در جیره‌ی غذایی انسان و سایر پستانداران بسیار ناچیز بوده و عملکرد آن به درستی شناخته نشده است (۴). استعمال طولانی مدت آب و غذای آلوده به بور سبب مشکلات قلبی عروقی، انسداد شراین، مشکلات عصبی و تناسلی می‌شود. سمیت بور سبب تغییر در ترکیب خون، اثر بر اعصاب، بدشکلی‌ها فیزیکی و کاهش رشد ذهنی کودکان می‌شود. با مصرف میوه‌های خشک و تازه، سبزیجات و آجیل بور مورد نیاز بدن تأمین می‌شود و اغلب کمبود آن در پستانداران دیده نمی‌شود (۵، ۶).

غلظت بالای سدیم در اغلب آب‌های شور مشاهده شده و بور نیز در آب‌های شور به مقدار فراوان یافت می‌شود (۷-۹). مشکل بور به همراه شوری در برخی زهاب‌های صنعتی، آب‌های متأثر از مناطق ساحلی و زهاب‌های کشاورزی دیده می‌شود (۱۰). آلودگی بور از مشکلات استفاده از آب‌های زیرزمینی، بازچرخ زه‌آب‌های کشاورزی و بازیافت زه‌آب‌های معادن است. برای رفع این مشکل روش‌های متعددی برای حذف بور از محیط‌های آبی معرفی شده است. روش‌های متعددی برای کاهش مقدار بور (۲ و ۱۱) در آب‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

گیاه‌پالایی را می‌توان جهت پالایش عناصر سمی، آلاینده‌های گوناگون و بهبود کیفیت آب‌ها به کار برد (۱۲). گیاه‌پالایی از جمله روش‌های موثر در حفظ کیفیت منابع آب است (۱۳). در

روش گیاه استخراجی^۱ گیاه پس از جذب آلاینده از محیط خارج شده و دفع می‌گردد (۱۴). استان خوزستان دارای تنوع کم نظیر گیاهان آبی بوده و با توجه به نیاز جامعه به روش‌های ارزان پالایش آب‌ها، بررسی توان پالایندگی این گیاهان بسیار پراهمیت است. روپیا (*Ruppia maritima* L.) گیاهی دولپه، آبی و خانواده‌ی *Ruppiaceae* است که به صورت برگ معلق در آبگیرها رشد می‌کند. گیاه یاد شده در خاورمیانه (ایران، ترکیه، عراق و پاکستان) گسترش دارد و نزدیک‌ترین رویشگاه این گیاه به شهر اهواز آبگیرهای نزدیک شهر شوش در جاده‌ی اهواز- اندیمشک است. این گیاه بسیار مقاوم به شوری، دارای گل و دانه بوده و از طریق تکثیر غیر جنسی (قطعه قطعه شدن) قابل تکثیر است (۱۵). علف تالاب شاخی شکل یا زانیشلیا (*Zannichellia palustris* L.) گیاهی تک‌لپه از تیره قاش‌واش‌سانان، خانواده‌ی گوش‌بیبان و مقاوم به شوری است. این گیاه برگ معلق، در آبگیرها و رودهای ایران یافت می‌شود. زانیشلیا دارای ریشه، گل و دانه بوده و از طریق تکثیر غیر جنسی (قطعه قطعه شدن) به آسانی قابل تکثیر است (۱۵).

گیاهان خشکی زی (۱۶) و آبی (۱۷ و ۱۸) برای پالایش بور از محیط‌های آبی استفاده شده‌اند، همچنین بر اساس پژوهش‌های پیشین گیاهان زانیشلیا و روپیا می‌توانند بور (۱۹-۲۱) را در خود تجمع داده و از محیط خارج کنند. در همین راستا این پژوهش با هدف بررسی توان پالایندگی بور توسط گیاهان روپیا و زانیشلیا از محیط‌های آبی طبیعی و در شوری‌ها متفاوت انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این پژوهش در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، در ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی، با ارتفاع متوسط ۲۰ متر از سطح دریانجام شد. طی مراحل

بازه‌ی زمانی اسفندماه ۱۳۹۲ تا تیرماه ۱۳۹۳، از آب‌های آبیاری و زه‌آب‌های مزارع تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز، مزارع حومه‌ی شهر اهواز و یک کشت و صنعت نیشکر پایین دست اهواز (دقبل خزایی) جمع‌آوری شد (جدول ۱). مشخصات کلی این آب‌ها بر اساس روش استاندارد برای آزمایش آب و پساب سازمان سلامت عمومی امریکا اندازه‌گیری و در جدول ۱ به صورت خلاصه آورده شده است (۲۲).

آزمایش شرایط اقلیمی شامل دمای محیط رشد 1 ± 25 درجه‌ی سانتی‌گراد، میانگین رطوبت $25 \pm 55\%$ ، تشعشع کل بین 650 W m^{-2} تا 1100 W m^{-2} و تشعشع خالص بین 400 m^2 تا 1050 W m^2 در تغییر بود.

نمونه برداری آب و زهاب

برای به دست آوردن تخمینی از مقدار بور و سدیم، جهت تهیه غلظت‌های بور برای آزمایشات نهایی پالایش بور و سدیم، نمونه‌هایی از آب آبیاری مورد استفاده و زه‌آب‌های منطقه در

جدول ۱- ویژگی‌های آب‌های پایش شده

Table 1. Monitored waters characteristics

| B (mg l^{-1}) | Na (mg l^{-1}) | HCO_3^- (mg l^{-1}) | EC (dS m^{-1}) | pH | محل نمونه‌برداری |
|-----------------------------|------------------------------|--|------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| ۰/۷ تا ۱/۳۳ | 375 ± 25 | 40 ± 2 | $2/2 \pm 0/2$ | $7/52 \pm 0/32$ | آب روخانه کارون نزدیک پل پنجم |
| ۰/۸ تا ۱/۲۸ | 370 ± 20 | 42 ± 2 | $1/2 \pm 0/2$ | $7/81 \pm 0/40$ | آب کانال آبیاری دانشکده کشاورزی |
| ۳ تا ۴/۵ | 2000 ± 50 | 41 ± 1 | $12/5 \pm 0/3$ | $7/84 \pm 0/23$ | زه‌آب مزرعه دانشگاه چمران |
| ۴ تا ۸ | 3070 ± 60 | 40 ± 1 | $18/5 \pm 0/5$ | $8/25 \pm 0/15$ | زه‌آب مزرعه کوی استادان دانشگاه |
| ۱/۱ تا ۱/۳ | 1300 ± 30 | 54 ± 2 | $6/8 \pm 0/4$ | $7/42 \pm 0/28$ | زه‌آب نیشکر دقبل خزایی |
| ۴/۵ تا ۵/۵ | 3150 ± 40 | 45 ± 3 | $21 \pm 5/4$ | $8/66 \pm 0/20$ | آب گیر روستای علی چعب |

پلاستیکی، ۱ لیتر آب‌های صاف شده با ۳ شوری مختلف ۲/۱ (آب کانال آبیاری دانشگاه شهید چمران اهواز)، ۶/۸ (زه‌آب کشت و صنعت نیشکر دقبل خزایی) و ۱۲/۵ (زه‌آب مزرعه دانشگاه چمران) دسی‌زیمنس بر متر اضافه شد. در آب‌ها با اضافه کردن ۰، ۱، ۵، ۱۰ میلی‌گرم در هر لیتر اسید بوریک (H_3BO_3) سطوح مختلف آلودگی ایجاد شد. ۲۵ گرم از گیاهان پس از شستن با آب دیونیزه به هر یک از ظروف منتقل شد. همچنین برای تعیین میزان جذب ظروف و مقدار رسوب احتمالی بور، ظروفی با غلظت‌های یاد شده و بدون گیاه به عنوان شاهد در نظر گرفته شد (۱۱).

در پایان دوره‌ی ۱۲۰ ساعته تیمار آب‌ها با گیاهان آبی، برای تعیین مقدار بور جذب شده نمونه برداری‌ها انجام شد. ضمناً با در نظر گرفتن تبخیر روزانه، هر روز سطح آب ظروف با آب دیونیزه ثابت نگه داشته و هوادهی نیز بی‌وقفه توسط پمپ‌های هوای کوچک آکواریوم به ظروف انجام گرفت (۱۱).

جمع‌آوری، کشت، تطبیق، تکثیر و آماده‌سازی گیاهان برای حذف بور

گیاهان از نهرهای آبیاری کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز (گیاه زانیشلیا) و آبگیر روستای علی چعب (گیاه رویپا) در جاده‌ی اهواز اندیمشک جمع‌آوری و پس از شستشو با آب شهر، به محیط گلخانه منتقل شدند. گیاهان به مدت ۲ هفته در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز در ظروف ۳۵ لیتری مسطح تحت شرایط کنترل شده دما و رطوبت برای تطبیق با محیط کشت، نگهداری شدند، تا پس از رشد، تطبیق و تکثیر، آماده‌ی کاربرد در پالایش بور و سدیم شوند.

پالایش بور از محیط‌های آبی آلوده شده

بور اغلب در محیط‌های آبی به صورت بوریک اسید یافت می‌شود. در pH‌های بیشتر از pKa اسید بوریک به فرم B(OH)_4^- تبدیل و در غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بور به صورت پلی‌بورات در می‌آید (۲۳-۲۵). به ظروف

آنالیز آب و گیاهان

$$Pr = (FW_2 - FW_1) / \Delta t \quad (2)$$

(Pr) شاخص تولید زیست توده گیاهی، FW_2 و FW_1 وزن تر خالص گیاه (g) در زمان ۱ و ۲ (day)، Δt اختلاف بین زمان ۱ و ۲ است (۱۱).

جهت تعیین وزن خشک گیاهان، نمونه‌های گیاه با آب دیونیزه شست‌شده، و در آون در دمای ۶۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت حرارت داده شدند تا کاملاً خشک و سپس با ترازو توزین شدند (۳۰). نمونه‌های گیاه خشک شده در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد را به طور کامل خرد، ۱ گرم از آن را در بوته‌های چینی ۳۰ میلی‌لیتری ریخته تا دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت و خاکستر حاصل را با ۵ قطره آب تر می‌شود. ۱۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۰/۳۶ نرمال به آن افزوده و به مدت یک ساعت در دمای اتاق نگهداری می‌شود. سپس نمونه را با میله‌ی شیشه‌ای بهم زده و با کاغذ صافی صاف شد. بور موجود در نمونه‌ها با دستگاه رنگ‌سنجی (اسپکتروسکوپی) به کمک azomethine-H قرائت شد (۲۶).

شاخص جذب (Uptake Index) هر عنصر از حاصل‌ضرب مقدار وزن ماده‌ی خشک در غلظت عنصر در اندام قابل برداشت به دست می‌آید (معادله شماره ۳). این شاخص معیاری مناسب برای تعیین پالایش عناصر فلزی بوده و در واقع قوی‌ترین معیار برای تعیین پتانسیل پالایش گیاه می‌باشد (۳۱).

(۳)

شاخص جذب (mg pot^{-1}) = غلظت عنصر در اندام قابل برداشت (mg g^{-1}) * وزن ماده‌ی خشک (g pot^{-1})

آنالیز آماری

این آزمایش به صورت گلخانه‌ای و با ۳ تکرار برای اندازه‌گیری توان پالایندگی شوری و بور توسط دو گیاه آبی انجام شد. آب‌های مورد استفاده دارای شوری‌های مختلف ۲/۱، ۶/۸ و ۱۲/۵ دسی زیمنس بر متر بوده که با افزودن اسید بوریک با غلظت‌های ۱، ۲، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم به هر لیتر از آن‌ها به بور آلوده شدند و قبل از اجرای آزمایش غلظت بور آن‌ها اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از آمار توصیفی برای نمایش مقادیر جذب B و نیز آمار تحلیلی برای

نمونه‌های آب پس از اندازه‌گیری pH و EC و گذراندن از کاغذ صافی واتمن ۴۲، آماده‌سازی و با رنگ‌سنجی (اسپکتروسکوپی) به کمک عامل آزومتین-اچ^۱ و دستگاه اسپکتروفوتومتر^۲ در طول موج ۴۲۰ نانومتر مقدار عنصر بور آن‌ها قرائت شد (۲۶). همچنین مقدار Na^+ به کمک رنگ‌سنجی شعله با دستگاه فلیم فتومتر^۳ و HCO_3^- با روش تیتراسیون و بر اساس روش استاندارد برای آزمایش آب و پساب سازمان سلامت عمومی امریکا (۲۲) اندازه‌گرفته شد. شاخص درصد حذف عناصر از تقسیم اختلاف غلظت کاهش یافته بور در محلول کشت و شاهد بر غلظت اولیه تیمار شده (معادله شماره ۱) به دست آمد (۲۷).

(۱)

% حذف = غلظت اولیه / (غلظت نهایی - غلظت شاهد) * ۱۰۰
عنصر بور جذب شده و همچنین شوری بی شک اثراتی بر گیاهان دارند. عنصر بور در غلظت‌های مناسب برای رشد و نمو گیاهان ضروری است و در غلظت‌های بالا اثراتی در گیاه ایجاد کرده که ممکن است سبب مسمومیت، کاهش رشد و یا حتی مرگ گیاه شود. این اثرات گاهی فیزیولوژیک بوده و نمود مورفولوژیک ندارند. مقدار کلروفیل از مهمترین شاخص‌های بیولوژیک و بیوشیمیایی است که درجه‌ی تنش وارد شده بر گیاه را نشان می‌دهد (۲۸ و ۲۹). بدین منظور روزانه به کمک دستگاه کلروفیل‌متر^۴، مقدار سبزی‌نگی نمونه‌های گیاهی به کمک عدد دستگاه اسپد قرائت شد.

نمونه‌های گیاهی با یک الک برداشته شده و با آب دیونیزه شست‌شده شدند، سپس برای مدت ۲ دقیقه بین ۲ کاغذ خشک‌کن قرار گرفتند. در پایان گیاهان توزین شدند تا وزن تر آن‌ها به دست آید (۱۱) و شاخص تولید زیست توده گیاهی^۵ به روش معادله شماره (۲) محاسبه شد.

- 1- Azomethine-H
- 2- Spectrophotometer- Thermo spectronic, model: GeneSys 6
- 3- Flame photometer- Genway, model: PFP 7
- 4- Chlorophyll meter SPAD-502
- 5- Biomass Production Measurement

دهد. مقدار بور در تمامی موارد کاهش یافته و مقدار کاهش آن در آب‌های تحت تیمار روپیا عموماً بیشتر از آب‌های تحت تیمار زانیشلیا است. شاخص درصد جذب با افزایش غلظت بور آب در هر دو گیاه افزایش داشت، اما به طور کلی مقدار جذب در گیاه زانیشلیا بیشتر از گیاه روپیا بوده است.

تعیین اختلاف معنی‌دار آماری در مقادیر جذب B و غلظت اولیه به وسیله‌ی گیاه، با استفاده از نرم افزار آماری Excel 2010 و SPSS 16 صورت گرفت.

نتایج و بحث

پالایش بور از آب‌های آلوده شده و کارآمدی گیاهان

جداول (۲، ۳ و ۴) تغییرات غلظت بور را پس از طی دوره‌ی ۱۲۰ ساعته‌ی تیمار توسط دو گیاه مورد مطالعه را نشان می‌-

جدول ۲- تغییرات غلظت و جذب بور در آب آبیاری آلوده شده

Table 2. Boron concentration changes and absorption in irrigation water

| ۱۰ | ۵ | ۲ | ۱ | مقدار بور اضافه شده به آبها (mg l^{-1}) |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---|
| ۱۱/۲۰ | ۶/۲۰ | ۲/۲۰ | ۱/۲۰ | غلظت اولیه اندازه‌گیری شده بور در آب آلوده شده (mg l^{-1}) |
| ۳/۰۳ ^a | ۱/۶۲ ^b | ۱/۵۳ ^b | ۱/۰۱ ^c | غلظت نهایی بور در محیط آبی (mg l^{-1}) تحت تیمار گیاه روپیا |
| ۳/۰۳ ^a | ۲/۳۱ ^b | ۱/۲۹ ^c | ۰/۶۹ ^d | غلظت نهایی بور در محیط آبی (mg l^{-1}) تحت تیمار گیاه زانیشلیا |
| ۱۱/۱۲ ^a | ۵/۵۸ ^b | ۲/۱۵ ^c | ۱/۱۸ ^d | غلظت نهایی بور در محیط آبی (mg l^{-1}) بدون تیمار گیاهی |
| ۷۲/۶۷ ^a | ۷۳/۹۳ ^a | ۳۰/۹۱ ^b | ۱۵/۳۵ ^c | درصد حذف بور در محیط آبی تحت تیمار گیاه روپیا |
| ۷۲/۹۱ ^a | ۶۲/۷۳ ^b | ۴۱/۱۹ ^c | ۴۲/۴۳ ^c | درصد حذف بور در محیط آبی تحت تیمار گیاه زانیشلیا |
| ۸/۱۴ ^a | ۴/۵۸ ^b | ۰/۶۸ ^c | ۰/۱۸ ^d | شاخص جذب بور در تیمارهای گیاه روپیا (mg pot^{-1}) |
| ۸/۱۶ ^a | ۳/۸۸ ^b | ۰/۹۱ ^c | ۰/۵۱ ^d | شاخص جذب بور در تیمارهای گیاه زانیشلیا (mg pot^{-1}) |

* حروف لاتین اختلاف آماری در سطح ۵٪ را نشان می‌دهد.

گیاهان عناصر را از طریق اندام‌های جذبی وارد بافت‌های خود می‌کنند (۳۲). شاخص جذب^۱ هر عنصر از حاصل ضرب مقدار وزن ماده‌ی خشک در غلظت عنصر در اندام قابل‌برداشت به دست می‌آید. این شاخص معیاری مناسب برای تعیین پالایش عناصر فلزی بوده و در واقع قوی‌ترین معیار برای تعیین توان پالایش گیاه هست (۳۳). همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، شاخص جذب با افزایش غلظت بور در آب آلوده افزایش داشته است. خلف و زردائویی تناسب افزایش مقدار روی پالایش‌شده را با افزایش غلظت روی در محلول رشد گیاه عدسک آبی متناسب گزارش کردند (۳۴). مارین و اورون هم نتایج مشابهی از افزایش جذب با افزایش غلظت را در پالایش بور به کمک عدسک آبی گزارش کردند (۱۱).

مقادیر غلظت نهایی بور پس از تیمار گیاه پالایی آب آبیاری آلوده شده با هر دو گیاه در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج یاد شده کاهش بیش از ۷۳٪ در گیاه روپیا و بیش از ۷۲ درصدی بور را در گیاه زانیشلیا به ترتیب در سطوح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر آلودگی نشان می‌دهد. بیشترین میزان جذب در سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم بر لیتر بور در ظرف حاوی گیاه روپیا مشاهده شده است؛ شاخص درصد جذب با افزایش غلظت بور آب در هر دو گیاه افزایش یافت، اما به طور کلی مقدار جذب در گیاه زانیشلیا بیشتر از گیاه روپیا بود. علت می‌تواند تفاوت فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاهان باشد و همان طور که اشاره شد هر دو گیاه تفاوت‌هایی از نظر سیستم آوندی (یکی تک لپه و دیگری دولپه است)، تفاوت در شاخص سبزینه‌ای (جدول ۵) شکل برگ و اندازه‌ی برگ‌ها دارند (۱۵).

همان طور که در جدول ۳ قابل مشاهده است؛ هر دو گیاه روپیا و زانیشلیا توانسته‌اند مقدار قابل توجهی از بور زه‌آب آلوده شده کشت و صنعت نیشکر دعبل خزایی را جذب کنند. در تمامی زه آب‌های تیمار شده با هر دو گیاه، با افزایش غلظت اولیه بور مقدار غلظت بور پس از ۱۲۰ ساعت پالایش با گیاهان نیز افزایش داشته است. در حقیقت همبستگی مثبتی بین مقدار بور باقی مانده و مقدار بور اولیه در زه آب‌ها مشاهده می‌شود. این همبستگی مثبت توسط پژوهشگران دیگر در پالایش بور توسط گیاهان آبی مشاهده شده است (۱۱ و ۱۹).

با توجه به جدول ۲ در تمامی تیمارهای گیاهی کارایی پالایش بور طی ۱۲۰ ساعت مناسب توصیف می‌شود. لازم به ذکر است که طبق استاندارد ایران حداکثر مجاز بور موجود در آب‌های دفعی به آب‌های سطحی، ۲ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شده است و با توجه به استاندارد یادشده، تمامی آب‌های آلوده به بور تحت تیمار گیاه روپیا، غیر از آب دارای غلظت بور ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، به استاندارد لازم برای دفع به آب‌های سطحی رسیدند (۳۵). اما آب‌های تحت تیمار زانیشلیا فقط در غلظت‌های اولیه ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر بور به استاندارد لازم برای دفع به آب‌های سطحی رسیدند (۳۵).

جدول ۳- تغییرات غلظت و جذب بور در زه آب نیشکر

Table 3. Boron concentration changes and absorption in sugarcane drainage

| ۱۰ | ۵ | ۲ | ۱ | مقدار بور اضافه شده به زه آب‌ها (mg l^{-1}) |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---|
| ۱۱/۳۰ ^a | ۶/۳۳ ^b | ۲/۳۲ ^c | ۱/۳۳ ^d | غلظت اولیه اندازه‌گیری شده بور در زه آب‌های آلوده شده (mg l^{-1}) |
| ۳/۰۸ ^a | ۲/۰۳ ^b | ۱/۳۹ ^c | ۱/۰۶ ^d | غلظت نهایی بور در محیط آبی آلوده (mg l^{-1}) تحت تیمار گیاه روپیا |
| ۳/۲۰ ^a | ۲/۳۵ ^b | ۱/۵۶ ^c | ۰/۷۰ ^d | غلظت نهایی بور در محیط آبی آلوده (mg l^{-1}) تحت تیمار گیاه زانیشلیا |
| ۷۲/۸۱ ^a | ۶۷/۸۹ ^a | ۴۰/۴۰ ^b | ۲۰/۳۱ ^c | درصد حذف بور در محیط آبی تحت تیمار گیاه روپیا |
| ۷۱/۷۶ ^a | ۶۲/۸۰ ^b | ۳۲/۹۸ ^c | ۴۷/۳۷ ^d | درصد حذف بور در محیط آبی تحت تیمار گیاه زانیشلیا |
| ۸/۲۵ ^a | ۴/۳۰ ^b | ۰/۹۴ ^c | ۰/۲۷ ^d | شاخص جذب بور در تیمارهای گیاه روپیا (mg pot^{-1}) |
| ۸/۱۳ ^a | ۳/۹۸ ^b | ۰/۷۷ ^c | ۰/۶۳ ^d | شاخص جذب بور در تیمارهای گیاه زانیشلیا (mg pot^{-1}) |

* مقادیر تیمارهای شاهد بدون گیاه به علت عدم اختلاف با غلظت‌های اولیه در جدول نیامده است.

** حروف لاتین اختلاف آماری در سطح ۵٪ را نشان می‌دهد.

شاخص جذب بور در زه آب‌های تحت تیمار روپیا، به غیر از غلظت اولیه ۱/۳۳ میلی‌گرم بر لیتر، در تمامی موارد بیشتر از زه آب‌های تحت تیمار زانیشلیا است (جدول ۳). هر چند این تفاوت چندان چشمگیر و قابل ملاحظه نیست، اما می‌تواند ناشی از تفاوت فیزیولوژیک دو گیاه روپیا و زانیشلیا با هم باشد. چرا که یک گیاه تک لپه بوده و دیگری دو لپه است و از نظر نحوه و ساختار انتقال عناصر در درون گیاه با هم تفاوت دارند (۱۵).

با توجه به جدول ۴ قابل مشاهده است که میزان مقدار قابل توجهی از بور زه‌آب مزرعه دانشگاه جذب شده و توسط گیاهان

با مقایسه‌ی جداول (۲ و ۳) می‌توان دریافت که میزان بازده جذب زانیشلیا در زه‌آب اندکی (ناچیز) کاهش یافته است اما تغییر قابل توجهی در توان جذب روپیا صورت نگرفته است. در پژوهش‌های دیگر کاهش توان جذبی عناصر کمیاب با افزایش میزان شوری محیط آبی دیده شده است (۳۶).

شاخص جذب بور با افزایش غلظت اولیه در هر دو تیمار گیاهی افزایش یافته است (جدول ۳). چنین افزایش جذبی، ناشی از افزایش میزان در دسترس عنصر کمیاب می‌باشد. این افزایش در مطالعه‌ی رستمی و همکاران (۳۷) نیز مشاهده شده و قابل پیش‌بینی است.

گزارش شده است. درصد حذف بور و شاخص جذب آن، در زه آب‌های با آلودگی مشابه تحت تیمارهای هر دو گیاه روپیا و زانیشلیا، تفاوت چندانی ندارند. این امر کارایی مناسب اما نسبتاً یکسان هر دو گیاه در پالایش بور توسط این گیاهان آبی را نشان می‌دهد (جدول ۴).

از محیط خارج شده است. در زه آب‌های تیمار شده با هر دو گیاه افزایش غلظت بور باقی مانده در زه آب با افزایش غلظت اولیه بور قابل مشاهده است. در حقیقت همبستگی مثبتی بین غلظت اولیه و غلظت ثانویه بور دیده شده است. این روند در پژوهش‌های دیگر (۲۷ و ۳۸) برای کاهش عناصر کمیاب نیز

جدول ۴- تغییرات غلظت و جذب بور در زه آب مزرعه

Table 4. Boron concentration changes and absorption in farm drainage

| ۱۰ | ۵ | ۲ | ۱ | مقدار بور اضافه شده به زه آب‌ها (mg l^{-1}) |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|
| ۱۴/۲۰ | ۹/۲۰ | ۵/۲۰ | ۴/۲۰ | غلظت اولیه اندازه‌گیری شده بور در زه آب‌های آلوده شده (mg l^{-1}) |
| ۳/۸۲ ^a | ۲/۷۷ ^b | ۲/۳۰ ^c | ۲/۰۸ ^d | غلظت نهایی بور در محیط آبی (mg l^{-1}) تحت تیمار گیاه روپیا |
| ۳/۰۲ ^a | ۲/۹۵ ^a | ۲/۳۸ ^b | ۲/۱۴ ^c | غلظت نهایی بور در محیط آبی (mg l^{-1}) تحت تیمار گیاه زانیشلیا |
| ۷۳/۱۰ ^a | ۶۹/۹۵ ^b | ۵۵/۸۲ ^c | ۵۰/۴۷ ^d | درصد حذف بور در محیط آبی تحت تیمار گیاه روپیا |
| ۷۸/۷۳ ^a | ۶۷/۹۶ ^b | ۵۴/۳۲ ^c | ۴۸/۹۴ ^d | درصد حذف بور در آب تحت تیمار گیاه زانیشلیا |
| ۱۰/۳۸ ^a | ۶/۴۴ ^b | ۲/۹۰ ^c | ۲/۱۲ ^d | شاخص جذب بور در تیمارهای گیاه روپیا (mg pot^{-1}) |
| ۱۱/۱۸ ^a | ۶/۲۵ ^b | ۲/۸۲ ^c | ۲/۰۶ ^d | شاخص جذب بور در تیمارهای گیاه زانیشلیا (mg pot^{-1}) |

*مقادیر تیمارهای شاهد بدون گیاه به علت عدم اختلاف با غلظت‌های اولیه در جدول نیامده است.

** حروف لاتین اختلاف آماری در سطح ۵٪ را نشان می‌دهد.

با توجه به این که دفع آب‌های آلوده‌ها مکان ناپایداری و مسمومیت اکوسیستم‌های آبی را به همراه دارد (۳۹). حداکثر مجاز غلظت بور در سیالات دفعی به آب‌های سطحی، ۲ میلی-گرم بر لیتر تعیین شده است. لذا با نگاهی به جدول ۳، تمامی زه آب‌های آلوده شده به بور، با پایه زه آب خروجی کشت و صنعت دعبل خزائی و تحت تیمار گیاه زانیشلیا، غیر از آب با غلظت اولیه بور ۱۱/۳ میلی‌گرم بر لیتر، به استاندارد لازم برای دفع به آب‌های سطحی رسیده است. اما برای همین موارد و با تیمار گیاه روپیا تنها دو زه آب با غلظت اولیه ۱/۳۳ و ۲/۳۲ میلی‌گرم بر لیتر بور مناسب برای دفع به آب‌های سطحی، با در نظر گرفتن استاندارد ایران تشخیص داده شدند (۳۵). همچنین با توجه به جدول ۴ تنها زه آب تحت تیمار روپیا و با غلظت اولیه ۴/۲ میلی‌گرم بر لیتر بور قابل دفع به آب‌های سطحی است (۳۵).

همان طور که در جدول ۴ قابل مشاهده است، مقدارهای دو شاخص درصد حذف بور و شاخص جذب بور در تمامی تیمارها با افزایش غلظت اولیه آلودگی بور، افزایش داشته است. این افزایش را نه تنها ناشی از افزایش مقدار بور در دسترس گیاهان، بلکه بیشتر می‌تواند ناشی از کم شدن نفوذپذیری انتخابی غشاء سلولی در گیاهان دانست. با کاهش نفوذپذیری انتخابی غشاء سلولی، میزان توانایی کنترل انتخابی سلول بر ورود و خروج عناصر کاهش یافته و امکان ورود و خروج بیشتر عناصر را فراهم می‌کند. در حقیقت ممکن است گیاهان با افزایش غلظت بور در زه آب دچار آسیب‌هایی در غشاء سلولی و نهایتاً کنترل ورود و خروج مواد به خود شده اند. البته ممکن است این افزایش ناشی از مکانیسم ناشناخته‌ی دیگری باشد که شیب حرکت بور به دورن گیاه را با افزایش غلظت بور در محیط افزایش و تمایلی برای حرکت بور به درون گیاهان ایجاد کرده است.

اثرات بور بر شاخص‌های رشد گیاهان

سمیت عناصر سبب کاهش رشد گیاهان می‌شود. این کاهش رشد را می‌توان در کاهش وزن گیاه مشاهده کرد (۳۳) و شاخص تولید زیست توده، شاخصی است که میزان نرخ تولید زیست توده‌ی گیاه را در سطوح مختلف آلودگی مورد سنجش قرار می‌دهد (۱۱). به کمک این شاخص مقدار وزن تر زیست توده‌ی تولید شده توسط گیاهان در محیط رشد، نسبت به

مقدار اولیه‌ی وزن تر زیست توده در طول زمان کشت گیاهان، مورد مقایسه قرار گرفت.

در جدول ۵ شاخص تولید زیست توده‌ی گیاهان زانیشلیا و روپیا برای سطوح مختلف آلودگی بور در آب‌آبیاری واقعی و آلوده شده، در زه‌آب کشت و صنعت دعبل خزائی و زه‌آب مزرعه دانشگاه چمران نشان داده است.

جدول ۵- تولید زیست توده‌ی گیاهان و شاخص کلروفیل

Table 5. Plants biomass production measurement and SPAD

| ۱۱/۲ | ۶/۲ | ۲/۲ | ۱/۲ | غلظت اولیه بور (mg l^{-1}) | |
|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|---|
| ۰/۸۸ ^b | ۱/۰۰ ^{ab} | ۱/۰۲ ^a | ۱/۱۲ ^a | تولید زیست توده گیاهی زانیشلیا (g day^{-1}) | آب‌آبیاری (ds m^{-1} ۷/۱۱) |
| ۰/۷۱ ^a | ۰/۷۲ ^a | ۰/۷۰ ^a | ۰/۷۳ ^a | تولید زیست توده گیاه روپیا (g day^{-1}) | |
| ۸/۱ ^a | ۸/۲ ^a | ۷/۵ ^b | ۸/۱ ^a | شاخص کلروفیلی زانیشلیا | |
| ۲۵/۶ ^a | ۲۵/۶ ^a | ۲۶/۵ ^a | ۲۵/۴ ^a | شاخص کلروفیلی روپیا | |
| ۱۱/۳۰ | ۶/۳۳ | ۲/۳۲ | ۱/۳۳ | غلظت اولیه بور (mg l^{-1}) | |
| ۱/۴۶ ^b | ۱/۴۳ ^{ab} | ۱/۴۶ ^a | ۱/۱۱ ^b | تولید زیست توده گیاهی زانیشلیا (g day^{-1}) | زه‌آب‌نشکر (ds m^{-1} ۶/۵) |
| ۱/۰۱ ^a | ۰/۸۵ ^b | ۰/۹۲ ^{ab} | ۰/۹۹ ^{ab} | تولید زیست توده گیاه روپیا (g day^{-1}) | |
| ۸/۱ ^a | ۷/۹ ^a | ۸/۳ ^a | ۸/۲ ^a | شاخص کلروفیلی زانیشلیا | |
| ۲۵/۳ ^a | ۲۵/۳ ^a | ۲۶/۰ ^a | ۲۵/۱ ^a | شاخص کلروفیلی روپیا | |
| ۱۴/۲ | ۹/۲ | ۵/۲ | ۴/۲ | غلظت اولیه بور (mg l^{-1}) | |
| ۱/۴۰ ^a | ۱/۲۰ ^{ab} | ۱/۳۲ ^a | ۱/۰۹ ^b | تولید زیست توده گیاهی زانیشلیا (g day^{-1}) | زه‌آب مزرعه دانشگاه (ds m^{-1} ۱۲/۵) |
| ۰/۹۳ ^a | ۰/۹۲ ^a | ۰/۹۳ ^a | ۰/۹۵ ^a | تولید زیست توده گیاه روپیا (g day^{-1}) | |
| ۸/۱ ^a | ۸/۰ ^a | ۷/۸ ^a | ۸/۲ ^a | شاخص کلروفیلی زانیشلیا | |
| ۲۵/۵ ^a | ۲۵/۶ ^a | ۲۶/۵ ^a | ۲۵/۳ ^a | شاخص کلروفیلی روپیا | |

* حروف لاتین اختلاف آماری در سطح ۵٪ را نشان می‌دهد.

با توجه به تولید زیست‌توده‌ی کمتر و افزایش شاخص جذب با افزایش مقدار آلودگی می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت گیاه روپیا به آلودگی بور بیشتر از گیاه زانیشلیا است. همچنین عدم تغییر معنی‌دار شاخص تولید زیست‌توده در روپیا نشان‌دهنده‌ی مقاومت بیشتر آن گیاه در برابر تنش بور تا غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر است. در نتایج مارین و ارون (۱۱) و باکوک و همکاران

همان‌طور که در جدول ۵ قابل مشاهده است، در اثر آلودگی بور، در گیاه زانیشلیا با افزایش مقدار آلودگی ماده‌ی تر کمتری تولید، رشد کمتر شده و در نتیجه شاخص تولید زیست‌توده کاهش یافت. این بیانگر اثر منفی بور بر رشد و گیاه زانیشلیا است. اما در گیاه روپیا تغییر معنی‌داری در شاخص زیست‌توده ایجاد نشده است و نشانگر مقاومت بالای این گیاه به بور است.

نتیجه گیری

گیاه پالایی با گیاهان آبی زانیشلیا و روپیا روشی مناسبی برای حذف بور از آب‌های آلوده می‌باشد. طی دوره ۱۲۰ ساعته‌ی کشت، گیاهان کارایی بالایی در پالایش آب آلوده به بور از خود نشان دادند. کارایی حذف بور از آب غیر شور حداکثر ۷۳٪ برای گیاه روپیا و ۷۲٪ برای گیاه زانیشلیا مشاهده شد و مقادیر شاخص جذب برای مقادیر متناظر با درصد‌های حذف یاد شده بیش از ۸ میلی‌گرم در هر ظرف به دست آمد. برای زه‌آب‌های شور از اثر منفی بور بر گیاهان کاسته شد به نحوی که شاخص تولید زیست توده گیاهی تغییرات معنی داری از خود نشان نداد و با نزدیک شدن مقدار تولید ماده تر با شاهد مقدار شاخص در حدود ۱ ثابت ماند این اثر سبب شد تا مقدار جذب بور در هر دو گیاه به بیش از ۱۰ میلی‌گرم در هر ظرف رسیده و گیاه زانیشلیا در زه آب بسیار شور مزرعه دانشگاه توانست بیش از ۷۸٪ بور را از زه آب آلوده شده حذف کند. گیاه زانیشلیا با افزایش غلظت بور نشانه‌های کاهش رشد و مسومیت از خود نشان داد اما گیاه روپیا در بازه‌ی آلودگی مورد آزمون مقاوم‌تر بود و کاهش رشد محسوسی نداشت اما در اغلب موارد گیاه زانیشلیا جذب بور بیشتری از خود نشان داد. هر چند گیاه پالایی بور با گیاهان آبی زانیشلیا و روپیا را در مدت کوتاهی غلظت بور را کاهش نمی‌دهد، اما مقدار قابل توجهی از آن را از محیط آبی حذف و بازیافت می‌کند. این روش با توجه به ازران و کارا بودن، روشی موثر در پالایش آب‌ها و زه آب‌های آلوده خواهد بود و برای پالایش بور از محیط‌های آبی توصیه می‌شود.

References

- Ongley ED. Control of water pollution from agriculture: Food & Agriculture Org.; 1996.
- Wolska J, Bryjak M. Methods for boron removal from aqueous solutions — A review. *Desalination*. 2013;310(0):18-24.
- ISIRI. Drinking water - Physical and chemical specifications. Tehran, Iran: Institute of Standards and Industrial

(۱۹) در پالایش بور به کمک عدسک آبی، پرنیان و همکاران (۳۱) در پالایش نیکل به کمک علف شاخی به کاهش مقدار شاخص زیست توده با افزایش سطح آلودگی اشاره شده است. به عبارت دیگر سمیت بور با افزایش غلظت محلول تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش داشته و سبب کاهش سرعت رشد گیاه زانیشلیا گردیده است، درحالی‌که این افزایش غلظت اثر معنی‌داری بر رشد گیاه روپیا نداشته است.

با توجه به جدول ۵ می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش شوری محیط رشد (جدول ۱) گیاهان اثر آلودگی بور بر رشد گیاهان کاهش یافته است. این امر می‌تواند به علت افزایش مقاومت غشاء گیاهان در اثر فراوان‌تر شدن یون‌های کلسیم و پتاسیم در محلول باشد (۳۳). البته باید در نظر داشت محیط رشد گیاه روپیا که این تغییر در آن مشهود است شباهت بیشتری به دو زه‌آب شور استفاده شده در این پژوهش دارد (جدول ۱)؛ شاید این امر سبب شده تا گیاه رشد بهتری از خود نشان دهد. همان طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، در دو محیط شور مورد بحث تغییرات معناداری در شاخص زیست توده‌ی گیاهان رخ نداده است اما همچنان گیاه زانیشلیا رشد نسبتاً بهتری نسبت به گیاه روپیا از خود نشان داده است.

عنصر بور در غلظت‌های مختلف برای رشد و نمو گیاهان مختلف ضروری یا مضر است. بور جذب شده و همچنین شوری بی شک اثراتی منفی یا مثبت بر روند رشد گیاهان مختلف دارند (۳۳). این اثرات گاهی فیزیولوژیک بوده و نمود مورفولوژیک ندارند. مقدار کلروفیل از مهم‌ترین شاخص‌های بیولوژیکی و بیوشیمیایی است که درجه‌ی تنش وارد شده بر گیاه را نشان می‌دهد (۲۸ و ۲۹). به کمک دستگاه کلروفیل سنج مقدار عدد اسپد^۱ گیاهان اندازه گرفته شد. نتایج جدول ۵ نشان داد که تغییرات معنی‌دار و چشمگیری در مقدار سبزینه‌ی هر دو گیاه با افزایش غلظت بور تا سطح آلودگی ۱۴ میلی‌گرم بر لیتر رخ نداده است.

- Lebensmittelsicherheit. 2010;5(3-4):459-63.
11. Marín CMD-C, Oron G. Boron removal by the duckweed *Lemna gibba*: a potential method for the remediation of boron-polluted waters. *Water research*. 2007;41(20):4579-84.
 12. Schröder P, Navarro-Aviñó J, Azaizeh H, Goldhirsh AG, DiGregorio S, Komives T, et al. Using phytoremediation technologies to upgrade waste water treatment in Europe. *Environmental Science and Pollution Research-International*. 2007;14(7):490-7.
 13. Fox L, Struik P, Appleton B, Rule J. Nitrogen phytoremediation by water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms). *Water, air, and soil pollution*. 2008;194(1-4):199-207.
 14. Kashem MA, Singh BR, Huq SI, Kawai S. Cadmium phytoextraction efficiency of arum (*Colocasia antiquorum*), radish (*Raphanus sativus* L.) and water spinach (*Ipomoea aquatica*) grown in hydroponics. *Water, air, and soil pollution*. 2008;192(1-4):273-9.
 15. Ghahreman A. Flora of IRAN. Tehran: Research Institute of Forests and Rangelands 250p-col illus Pe, En, Fr Icones, Maps Geog. 1997. (In Persian)
 16. Yıldırım K, Kasım GÇ. Phytoremediation potential of poplar and willow species in small scale constructed wetland for boron removal. *Chemosphere*. 2018;194:722-36.
 17. Xia J, Hua T, Xue Y, Zhao L, Sun H, Liu C. *Myriophyllum elatinoides*: A potential candidate for the phytoremediation of water with low level boron contamination. *Journal of Hazardous Materials*. 2021;401:123333.
 18. Türker OC, Baran T. A combination method based on chitosan adsorption and duckweed (*Lemna gibba* L.) Research of Iran; 2010. p. 1-18. (In Persian)
 4. Rainey CJ, Nyquist LA, Christensen RE, Strong PL, Culver BD, Coughlin JR. Daily boron intake from the American diet. *Journal of the American Dietetic Association*. 1999;99(3):335-40.
 5. Şimşek A, Korkmaz D, Velioğlu YS, Ataman OY. Determination of boron in hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties by inductively coupled plasma optical emission spectrometry and spectrophotometry. *Food chemistry*. 2003;83(2):293-6.
 6. Mel'nik L, Butnik I, Goncharuk V. Sorption-membrane removal of boron compounds from natural and waste waters: Ecological and economic aspects. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2008;30(3):167-79.
 7. Wyness A, Parkman R, Neal C. A summary of boron surface water quality data throughout the European Union. *Science of the total environment*. 2003; 314: 255-69.
 8. Badruk M, Kabay N, Demircioglu M, Mordogan H, Ipekoglu U. Removal of boron from wastewater of geothermal power plant by selective ion-exchange resins. I. Batch sorption-elution studies. *Separation science and technology*. 1999; 34(13):2553-69.
 9. Melnyk L, Goncharuk V, Butnyk I, Tsapiuk E. Boron removal from natural and wastewaters using combined sorption/membrane process. *Desalination*. 2005;185(1):147-57.
 10. Loizou E, Kanari PN, Kyriacou G, Aletrari M. Boron determination in a multi element national water monitoring program: the absence of legal limits. *Journal für Verbraucherschutz und*

- International Journal of Environmental Science and Development. 2012;3(4):372.
28. Demiral T, Türkan I. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environmental and Experimental Botany*. 2005;53(3):247-57.
 29. Wang D, Wen F, Xu C, Tang Y, Luo X. The uptake of Cs and Sr from soil to radish (*Raphanus sativus* L.)-potential for phytoextraction and remediation of contaminated soils. *Journal of environmental radioactivity*. 2012;110:78-83.
 30. Parnian A, Chorom M, Jafarzadeh Haghighi Fard N, Dinarvand M. Biological Removal of Cadmium by Aquatic Macrophyte *Lemna Gibba* (A Potential Method for the Phytoremediation of Polluted Water and Wastewater). *JWSS-Isfahan University of Technology*. 2015;18(70):283-94. (In Persian)
 31. Parneyan A, Chorom M, Haghighi-Fard NJ, Dinarvand M. Phytoremediation of nickel from hydroponic system by hydrophyte coontail (*Ceratophyllum demersum* L.). *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*. 2011;2(6):75-85. (In Persian)
 32. Marschner H, Marschner P. Marschner's mineral nutrition of higher plants: Academic press; 2012.
 33. Mengel K, Kosegarten H, Kirkby EA, Appel T. Principles of plant nutrition: Springer Science & Business Media; 2001.
 34. Khellaf N, Zerdaoui M. Phytoaccumulation of zinc by the aquatic plant, *Lemna gibba* L. *Bioresource technology*. 2009;100(23):6137-40.
 35. Supervision IRoIVPFSPa. Environmental criteria of treated waste water and return flow reuse. Tehran, Iran: Islamic Republic of Iran; 2010. p. 1-135. (In Persian)
 - phytoremediation for boron (B) removal from drinking water. *International Journal of Phytoremediation*. 2018;20(2):175-83.
 19. Böcük H, Yakar A, Türker OC. Assessment of *Lemna gibba* L.(duckweed) as a potential ecological indicator for contaminated aquatic ecosystem by boron mine effluent. *Ecological Indicators*. 2013;29:538-48.
 20. Türker OC, Böcük H, Yakar A. The phytoremediation ability of a polyculture constructed wetland to treat boron from mine effluent. *Journal of hazardous materials*. 2013;252:132-41.
 21. Tatar ŞY, Öbek E. Potential of *Lemna gibba* L. and *Lemna minor* L. for accumulation of Boron from secondary effluents. *Ecological Engineering*. 2014;70:332-6.
 22. Apha A. WEF (2005) Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. 2007.
 23. Tu KL, Nghiem LD, Chivas AR. Boron removal by reverse osmosis membranes in seawater desalination applications. *Separation and Purification Technology*. 2010;75(2):87-101.
 24. Kabay N, Güler E, Bryjak M. Boron in seawater and methods for its separation—a review. *Desalination*. 2010;261(3):212-7.
 25. Edzwald JK, Haarhoff J. Seawater pretreatment for reverse osmosis: Chemistry, contaminants, and coagulation. *Water research*. 2011;45(17):5428-40.
 26. Bakirdere S, Örenay S, Korkmaz M. Effect of boron on human health. *Open Mineral Processing Journal*. 2010;3(1):54-9.
 27. Chorom M, Parnian A, Jaafarzadeh N. Nickel removal by the aquatic plant (*Ceratophyllum demersum* L.).

38. Parnian A, Chorom M, Jaafarzadeh N, Dinarvand M. Use of two aquatic macrophytes for the removal of heavy metals from synthetic medium. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 2016.
39. Hill MK. *Understanding environmental pollution*: Cambridge University Press; 2010.
36. Yilmaz DD. Effects of salinity on growth and nickel accumulation capacity of *Lemna gibba* (Lemnaceae). *Journal of hazardous materials*. 2007;147(1-2):74-7.
37. Rostami H, Tabatabaei S, Zaare NF, Hajilou J. Effect of different boron concentrations on some vegetative and physiological characteristics of olive. *Journal of Horticulture Science*. 2013;27(1):18-26.