فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۴۶، پاییز ۹۷

تغییرات غلظت عناصر غذایی آزولا (Azolla caroliniana) در سطوح مختلف آرسنیک و شوری

لیلا غیرتی آرانی[۱]*

95arani@gmail.com

صلاح الدین مرادی[۲]

جعفر صوفیان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۱۶ **تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۵/۲۵**

چکیده

پیشرفت سریع فناوری در دهه های اخیر با وجود مزایای فراوانی که برای بشر داشته، منابع طبیعی و اجزای محیط زیست را در معرض آلاینده های مختلف از جمله فلزات سنگین قرار داده است. به منظور بررسی پتانسیل آزولا، برای جذب آرسنیک و عناصر غذایی از محلول‌آبی با شوری های مختلف یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گل‌خانه به اجرا در آمد. سطوح مختلف آرسنیک عبارت بود از صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ میلی گرم در لیتر آرسنیک که از منبع آرسنات سدیم تأمین و به محلول غذایی اپستین اضافه شد. غلظت نمک عبارت بود از صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی مولار که از منبع کلرور سدیم به محلول غذایی اپستین اضافه گردید. پس از ساخت محلول های غذایی با شوری و غلظت های مختلف آرسنیک، در آن گیاه آبزی آزولا به مدت سی روز پرورش داده شد. نتایج نشان داد که وجود عنصر سنگین آرسنیک و شوری باعث کاهش رشد و حتی باعث مرگ حتمی گیاه در غلظت های بالا شد. گیاه آزولا غلظت های بالایی از عنصر سنگین آرسنیک را در بافت های خود تجمع داد. نتایج نشان داد که شوری باعث کاهش جذب آرسنیک به وسیله آزولا شد. آرسنیک سبب افزایش غلظت کلسیم، سدیم و منگنز و کاهش غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن، روی و مس شد. تیمارهای شوری و تیمارهای اثرات متقابل آرسنیک و شوری سبب افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس شد.

کلمات کلیدی: آزولا، تنش شوری، عناصر، فلزات سنگین.

۱- استادیار گروه کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- استادیار گروه کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور تهران، ایران.

۳-مربی گروه کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور تهران، ایران.

Human & Environment., No. 46, Autumn 2018

Changes in nutrient concentration of Azolla (Azolla caroliniana) at various levels of arsenic and salinity

Leyla Gheyratie Aarani [1*] *(Corresponding Author)*
95arani@gmail.com
Salahedin Moradi [2]
Jafar Sufian [3]

Abstract

Rapid technological advances in recent decades despite the many benefits for human, exposed the natural resources and environmental components to various contaminants such as heavy metals. In order to evaluate the potential of Azolla, to absorb arsenic and nutrient from solution contaning different concentrations of salinity, a factorial experiment with completely randomized design and three replications were conducted in the greenhouse. Different levels of Arsenic were 0, 5, 10, 20, 40, 80 and 160 mg/liter. Arsenic was provided from source of sodium arsenate and was added to the Epestin food solution. The concentrations of NaCl in Epestin nutrient solutions were 0, 10, 20, 40 and 80 mM. Nutrient solutions with different concentration of arsenic and NaCl were used to growth azolla, for a period of 30 days. The result showed that existance of Arsenic heavy metal and salinity decreased the growth rate of azolla and even caused death where their concentrations were high. The azolla accumulated high concentration of arsenic solutions in their tissues. Assessing the effect of salinity on arsenic of the azolla indicated that increase in salinity levels of nutrient solution, decreased arsenic concentration. Arsenic increasing concentrations of calcium, sodium, manganese and decrease nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, iron, zinc and copper. Salinity treatments and mutual effects of arsenic and salinity treatments increased sodium and decreasing concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, zinc, manganese and copper.

Key Words: Azolla, Elements, Salinity Stress, Heavy Metals.

1- Assistance Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Science, Payame Noor University, Tehran, Iran. **(Corresponding Author)*
2- Assistance Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Science, Payame Noor University, Tehran, Iran.
3- Instructor, Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Science, Payame Noor University, Tehran, Iran.

مقدمه

فلزات سنگین از طریق استفاده از لجن فاضلاب، مواد زاید و همچنین در نتیجه فعالیت های صنعتی نظیر رنگ سازی، تولید سیمان، لاستیک سازی، تولید کودهای فسفات، سوخت خودروها و صنایع ذوب فلز وارد خاک و آب می‌شوند (۱). یکی دیگر از منابع ایجاد آلودگی فلزات سنگین فعالیت های معدن کاوی انسان (به خصوص معادن روباز) جهت استخراج فلزات است. با رشد جمعیت و پیشرفت صنایع، این عمل رو به رشد است و به طبع آن محیط زیست به مقدار بیش‌تر تحت تأثیر آلاینده ها به خصوص فلزات سنگین قرار خواهد گرفت. علاوه بر سمیت این فلزات، خاصیت تجمع پذیری آن‌ها در بدن موجودات زنده، اهمیت بهداشتی این فلزات را بیش‌تر نموده است (۲). آلودگی های حاصل از فلزات سنگین از جمله کادمیم، سرب، آرسنیک و جیوه، در محیط زیست به شدت در حال گسترش می باشد و زندگی موجودات زنده را تهدید می کند. آلودگی محیط زیست به آرسنیک به علت سمیت بسیار بالا برای گیاهان، حیوانات و انسان توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. آرسنیک می تواند باعث تشکیل تومورهای بدخیم در پوست، شش و اختلال در سیستم عصبی انسان شود (۳).

روی و همکاران (۲۰۱۲) اثر آرسنیک را بر الگوی جذب عناصر غذایی در تاج خروس مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که جذب پتاسیم و فسفر به وسیله آرسنیک در ریشه و ساقه کاهش یافت اما معنی‌دار نبود. رابطه مثبت و معنی داری بین کلسیم و منیزیم با آرسنیک در تاج خروس وجود داشت (۴).

ژو و همکاران (۲۰۱۲) تجمع زیستی آرسنیک در ماکروفیت آبزی (Ceratophyllum demersum L.) را بررسی کردند. نتایج آن‌ها تجمع معنی دار آرسنیک (۸۶۲ تا ۹۶۳ میکروگرم بر گرم) در شاخه های گیاه هنگامی که در معرض ۱۰ میکرومول آرسنات و آرسنیت قرار گرفته بود را نشان داد (۵). در تحقیقات اوزتورک و همکاران (۲۰۰۷) که بر روی تجمع آرسنیک و پاسخ های بیولوژیکی ترتیزک آبی به آن به عمل آمد، مشخص گردید که ترتیزک آبی آرسنیک را به خوبی در بافت‌های خود ذخیره می‌کند (۶). ساسماز و اوبک (۲۰۰۹) تجمع آرسنیک، اورانیوم و بور در عدسک آبی (Lemena gibba) قرار گرفته در معرض فاضلاب را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در غلظت های بالا، عناصر فوق به ترتیب ۱۳۳ درصد، ۱۲۲ درصد و ۴۰ درصد در این گیاه تجمع یافتند (۷).

نتایج تحقیقات ستنپویسکا و همکاران (۲۰۰۵) در لهستان بر روی جذب Pb (II) و Cd (II) توسط گیاه آزولا (Azolla caroliniana) نشان دادند که غلظت Pb (II) تا ۹۰ درصد و غلظت Cd (II) تا ۲۲ درصد در آب های آلوده پایین آمد ولی رشد آزولا بین ۲۲ تا ۴۷ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (۸).

برای تصفیه پساب ها گیاهان به کار رفته علاوه بر داشتن توان جذب فلزات سنگین باید به شوری نیز مقاوم باشند، چون پساب‌ها دارای مقدار قابل ملاحظه ای املاح محلول هستند. اثرات زیان بار شوری بر رشد گیاه از طریق کاهش فرایندهای اصلی از قبیل فتوسنتز، سنتز پروتئین و متابولیسم انرژی و لپید صورت می‌گیرد (۹). شوری آب می تواند میزان رشد گیاه و ظرفیت جذب فلز را متأثر سازد (۱۰). یافته های لبلبتکت و همکاران (۲۰۰۶) بر روی تأثیر شوری بر رشد و ظرفیت تجمع فلزات سنگین در Spirodela polyrrhiza نشان داد که در سطوح شوری بالا (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار) میزان رشد نسبی کاهش و تجمع فلزات کادمیم و نیکل توسط این گیاه پایین آمد (۱۱).

آزولا (Azolla caroliniana) سرخس آبزی شناور کوچکی از خانواده Salvinaceae است که به طور گسترده ای در شالیزارها، روخانه ها و دریاچه ها یافت می‌شود. این گیاه به همراه سیانوباکتر هم‌زیست خود (آنابنا) به عنوان یکی از سیستم های تثبیت کننده نیتروژن (Nitrogen fixing biofertilizer) در کشاورزی به کار می رود. آزولا در پساب و آب شیرین رشد می کند، تولید زی‌توده بالایی دارد و ظرفیت

قابل ملاحظه‌ای برای جذب عناصر سنگین سمی دارد (۱۲). در این پژوهش تأثیر شوری و آرسنیک بر رشد و جذب عناصر غذایی در گیاه آزولا از محیط های آبی بررسی شد.

مواد و روش ها

به منظور بررسی پتانسیل آزولا، در جذب آرسنیک و عناصر غذایی از محلول غذایی با شوری های مختلف یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گل‌خانه اجرا شد. در این آزمایش سطوح مختلف آرسنیک عبارت بود از صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ میلی گرم در لیتر که از منبع آرسنات سدیم تأمین و به محلول غذایی اپستین اضافه شد تا غلظت‌های ذکر شده حاصل گردد. غلظت نمک محلول غذایی عبارت بود از صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی مولار که از منبع کلرور سدیم تهیه و به محلول غذایی اپستین اضافه گردید. پس از ساخت محلول های غذایی با غلظت های مختلف آرسنیک و شوری در آن‌ها، گیاه آبزی آزولا پرورش داده شد. برای تهیه محلول غذایی اپستین طبق جدول ۱، ابتدا محلول های A، B و C به طور جداگانه به عنوان محلول ذخیره تهیه شدند. محلول A شامل چهار محلول مجزا، محلول B شامل یک محلول مرکب از شش نمک مختلف و محلول C شامل یک محلول مجزا بود که بعد از تهیه این محلول ها، از هر کدام از آن‌ها به اندازه ذکر شده در جدول ۱ برداشته و با هم مخلوط گردید و در نهایت به حجم یک لیتر رسانده شد.

جدول ۱- ترکیب محلول غذایی مورد استفاده در این آزمایش (اپستین ۱۹۷۲: ۱۳)

ترکیب	غلظت محلول ذخیره (گرم در لیتر)	نوع محلول	حجم محلول ذخیره در هر لیتر محلول نهایی (میلی لیتر)
KNO_3	۱۰۱/۱۰	A	۶/۰
$Ca(NO_3)_2\ 4H_2O$	۲۳۶/۱۶	-	۴/۰
$NH_4H_2PO_4$	۱۱۵/۰۸	-	۲/۰
$MgSO_4\ 7H_2O$	۲۴۶/۴۹	-	۱/۰
KCl	۳/۷۲۸	B	-
H_3BO_3	۱/۵۴۶	-	-
$MnSO_4\ H_2O$	۰/۳۳۸	-	-
$ZnSO_4\ 7H_2O$	۰/۵۷۵	-	۱/۰
$CuSO_4\ 5H_2O$	۰/۱۲۵	-	-
H_2MoO_4 (%85 MoO4)	۰/۰۸۱	-	-
Fe-EDTA	۰/۹۲۲	C	۱/۰

پس از انتقال گیاه به داخل ظروف کشت، حجم مشخصی از محلول های غذایی حاوی آرسنیک به ظروف اضافه شد و هر چهار روز یک‌بار آب محیط کشت همه ظرف ها تعویض و آب مقطر و محلول غذایی تازه و حاوی غلظت های مختلف آرسنیک به مدت ۳۰ روز به ظرف های حاوی آزولا آبی اضافه شد. پس از گذشت ۳۰ روز گیاهان هر یک از ظرف ها برداشت و پس از شستشو با آب مقطر و گرفتن آب آزاد آن‌ها، وزن نهایی گیاهان اندازه گیری گردید و سپس در آون در دمای ۵۵ درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت خشک گردید. سپس نمونه های گیاهی تهیه شده آسیاب و بعد از هضم آن‌ها در آزمایشگاه، میزان عناصر اندازه گیری گردید. مقدار عناصر فسفر به روش رنگ سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Hack DR/2000 و پتاسم با دستگاه فیلم فتومتر مدل Corning 410 اندازه گیری شد. عناصر کلسیم، منیزیم و عناصر کم مصرف شامل روی، آهن، منگنز و مس همچنین آرسنیک با کمک دستگاه جذب اتمی مدل Shimdzu, AA-6300

اندازه گیری شد. سرعت رشد نسبی (RGR; Relative Growth Rate) در هر یک از تیمارها به وسیله معادله زیر محاسبه شد (۱۴).

رابطه۱ $$RGR(\%/day) = \frac{[ln(W2) - ln(W1)]}{t} \times 100$$

که در آن W_1 و W_2، به ترتیب وزن تر اولیه و نهایی گیاه و t طول دوره آزمایش است. اطلاعات بدست آمده از آزمایش به کمک نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و جداول تجزیه واریانس داده ها تهیه گردید. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف به کمک آزمون چند دامنه ای دانکن صورت پذیرفت.

نتایج

تأثیر سطوح مختلف آرسنیک بر سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم در آزولا

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی داری ($p< ۰/۰۱$) بین تیمارهای مختلف از لحاظ سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و غلظت سدیم وجود داشت. با افزایش غلظت آرسنیک در محلول غذایی، سرعت رشد نسبی کاهش یافت به طوری که حداکثر رشد نسبی در تیمارهای شاهد یا بدون آرسنیک، ۵ و ۱۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر به ترتیب با میانگین های ۱/۲۸، ۱/۳، ۱/۱۹ درصد در روز و حداقل آن در تیمار حاوی ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر با میانگین ۰/۲ درصد در روز اندازه گیری گردید (جدول ۲). نتایج این تحقیق نشان داد که آرسنیک باعث کاهش سرعت رشد نسبی در همه غلظت ها شد و با افزایش غلظت آرسنیک در محلول غذایی این کاهش شدیدتر بود. مقایسه میانگین داده ها نشان داد که با افزایش غلظت آرسنیک محلول غذایی بر جذب آرسنیک و سدیم توسط گیاه افزوده شد. در تیمارهای ۸۰ و ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر محلول غذایی، غلظت آرسنیک گیاه نسبت به تیمارهای دیگر بسیار بیش‌تر بود. بیش‌ترین غلظت آرسنیک گیاه در تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر محلول غذایی با میانگین ۲۲۳۹ میلی گرم در کیلوگرم بافت خشک مشاهده شد و تیمارهای ۵ و ۱۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر محلول غذایی اختلاف معنی داری با شاهد از لحاظ غلظت آرسنیک گیاه نداشتند (جدول۲).

در مورد سدیم تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر با میانگین ۱۰۱۴ میلی گرم در کیلوگرم دارای بیش‌ترین غظت سدیم بود. تیمارهای شاهد و ۵ میلی گرم آرسنیک در لیتر به ترتیب با میانگین غلظت سدیم ۵۳۹/۱۲ و ۶۰۸/۹۵ میلی گرم در کیلوگرم کم‌ترین میزان سدیم گیاه را به خود اختصاص دادند (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح آرسنیک بر سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم در گیاه آزولا

سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)	سرعت رشد نسبی (درصد در روز)	غلظت آرسنیک (میلی گرم درکیلو گرم)	غلظت سدیم (میلی گرم درکیلو گرم)
۰	۲/۶۹a*	۹۳/۳e	۵۳۹/۱۲d
۵	۲/۲۲b	۱۴۴/۳۹e	۶۰۸/۹۵d
۱۰	۱/۹۲c	۱۶۵/۴۹e	۷۰۹/۵۱c
۲۰	۱/۵۶d	۹۳۰/۷۴d	۷۴۸/۶۲c
۴۰	۱/۲۶e	۱۰۸۰/۶۸c	۷۸۷/۷۲bc
۸۰	۰/۹۲f	۱۵۸۱/۵۹b	۸۴۹/۴۸b
۱۶۰	۰/۵۱g	۲۲۳۹/۱a	۱۰۱۳/۹a

*اعدادی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ مشترک می باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

تأثیر سطوح مختلف شوری بر سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم در آزولا

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر سطوح مختلف شوری محلول غذایی بر شاخص سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم آزولا در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. شوری تأثیر منفی بر رشد گیاه آزولا داشت و با افزایش غلظت شوری محلول غذایی سرعت رشد نسبی گیاه آزولا کاهش یافت. بیش‌ترین مقدار سرعت رشد نسبی در تیمار شاهد یا بدون شوری (با میانگین ۲/۱۱ درصد در روز) و کم‌ترین مقدار از در سطح ۸۰ میلی مولار نمک (۰/۶۵ درصد در روز) بدست آمد (جدول ۳).

با افزایش غلظت شوری محلول غذایی از جذب آرسنیک به وسیله این گیاه کاسته شد. بیش‌ترین غلظت آرسنیک گیاه با میانگین ۱۲۴۵/۵ میلی گرم آرسنیک در کیلوگرم بافت خشک مربوط به تیمار شاهد بود. کم‌ترین غلظت آرسنیک گیاه نیز در تیمار ۸۰ میلی مولار شوری با میانگین ۵۸۰/۷ میلی گرم آرسنیک در کیلوگرم مشاهده شد.

تیمار ۸۰ میلی مولار شوری با میانگین ۱۳۱۱/۲۷ میلی گرم در کیلوگرم دارای بیش‌ترین غلظت سدیم بود. کم‌ترین غلظت سدیم نیز در تیمار شاهد با میانگین ۲۰۸/۱۳ میلی گرم در کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری بر سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم در گیاه آزولا

سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	سرعت رشد نسبی (درصد در روز)	غلظت آرسنیک (میلی گرم درکیلو گرم)	غلظت سدیم (میلی گرم درکیلو گرم)
۰	۱/۸۳a*	۱۲۴۵/۵۳a	۲۰۸/۱۳e
۱۰	۱/۶۵c	۱۰۳۶/۰۹b	۵۲۷/۱۵d
۲۰	۱/۵۷d	۸۶۷/۹۱c	۷۲۸/۶۶c
۴۰	۱/۴۷e	۷۲۳/۵۲d	۹۸۰/۰۶b
۸۰	۱/۳۸f	۵۸۰/۷۲e	۱۳۱۱/۲۷a

*اعدادی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ مشترک می باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

اثر متقابل آرسنیک و شوری بر شاخص سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم آزولا

نتایج بدست آمده نشان داد که اثر متقابل آرسنیک و شوری بر سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم گیاه آزولا در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. بیش‌ترین سرعت رشد نسبی در تیمار بدون شوری و آرسنیک با میانگین ۳/۶۶ درصد در روز و کم‌ترین مقدار در تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر و ۸۰ میلی مولار شوری با میانگین ۰/۲۹ درصد در روز مشاهده شد. بیش‌ترین غلظت آرسنیک بافت های گیاه آزولا در تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر محلول غذایی و بدون شوری با میانگین ۳۱۷۶/۵ میلی گرم آرسنیک در کیلوگرم بافت خشک اندازه گیری شد و کم‌ترین غلظت آرسینک گیاه در تیمار بدون آرسنیک و ۸۰ میلی مولار شوری با میانگین ۴۳/۴۵ میلی گرم آرسنیک در کیلوگرم بافت خشک حاصل شد. حضور شوری و آرسنیک و برهم‌کنش آن‌ها باعث افزایش غلظت سدیم بافت-های گیاه شد. بیش‌ترین غلظت سدیم گیاه در تیمارهای ۸۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر و ۸۰ میل مولار شوری و ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر و ۸۰ میلی مولار شوری به ترتیب با میانگین های ۱۵۵۸/۷ و ۱۶۴۲/۵ میلی گرم در کیلوگرم مشاهده شد. تیمار صفر شوری و آرسنیک با میانگین ۷۸/۲۲ میلی گرم در کیلوگرم دارای کم‌ترین غلظت سدیم گیاه بود (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری بر سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم در گیاه آزولا

سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	سرعت رشد نسبی (درصد در روز)	غلظت آرسنیک (میلی گرم درکیلو گرم)	غلظت سدیم (میلی گرم درکیلو گرم)
۰	۰	a*۳/۶۶	lm۱۴۹/۹۴	۷۸/۲۲s
-	۱۰	b۲/۵۷	lm۱۰۵/۵۱	۴۴۱/۳۵m-p
-	۲۰	c۲/۵۲	lm۹۴/۴۱	۵۳۹/۱۲j-n
-	۴۰	bc۲/۴۲	lm۷۲/۱۹	۷۲۰/۶۸g-j
-	۸۰	bcd۲/۳۱	m۴۳/۴۵	۹۱۶/۲۲e-g
۵	۰	bcd۲/۳	l۲۴۹/۹	۱۴۸/۰۵rs
-	۱۰	bcd۲/۲۵	lm۱۹۲/۹۹	۳۹۹/۴۵n-q
-	۲۰	bcd۲/۲۵	lm۱۱۶/۶۲	۶۲۲/۹۲i-m
-	۴۰	cd۲/۱۶	lm۸۸/۷۵	۷۲۰/۶۸g-j
-	۸۰	cd۲/۱۴	lm۶۶/۶۴	۱۱۵۳/۶۵b-d
۱۰	۰	cd۲/۱۱	l۲۴۹/۹	۲۰۳/۹۲q-s
-	۱۰	cd۲/۱	lm۲۰۵/۴۷	۴۸۳/۲۵l-o
-	۲۰	de۱/۹۶	lm۲۴۹/۹۳	۶۶۴/۸۲h-l
-	۴۰	ef۱/۷۳	lm۱۲۲/۱۷	۹۱۶/۲۲e-g
-	۸۰	e-g۱/۷۱	lm۹۹/۹۶	۱۲۷۹/۳۵bc
۲۰	۰	e-h۱/۶۸	gh۱۲۳۸/۳۹	۲۱۷/۸۹q-s
-	۱۰	e-i۱/۶۳	h۱۱۴۹/۵۴	۴۹۷/۲۲l-o
-	۲۰	f-i۱/۵۶	i۹۳۲/۹۶	۷۰۶/۷۲g-k
-	۴۰	f-i۱/۵۳	jk۷۳۸/۵۹	۹۸۶/۰۵d-f
-	۸۰	g-j۱/۳۸	1k۵۹۴/۲	۱۳۳۵/۲۲b
۴۰	۰	h-j۱/۳۵	i۹۱۰/۷۵	۲۴۵/۸۲p-s
-	۱۰	h-j۱/۳۴	fg۱۳۹۳/۸۹	۴۹۷/۲۲l-o
-	۲۰	ij۱/۳	gh۱۲۳۲/۸۴	۷۹۰/۵۲f-i
-	۴۰	jk۱/۱۶	i۹۷۱/۸۳	۱۱۱۱/۷۵c-e
-	۸۰	jk۱/۱۶	i۹۳۲/۹۶	۱۲۹۳/۳۲b
۸۰	۰	jk۱/۱۴	i۸۷۱/۸۶	۲۴۷/۳۵p-s
-	۱۰	jk۱/۱۲	c۲۲۶۰/۲۱	۵۱۱/۱۸k-o
-	۲۰	kl۰/۸۷	d۱۸۶۵/۹۲	۷۹۰/۵۲f-i

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری بر سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم در گیاه آزولا

سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	سرعت رشد نسبی (درصد در روز)	غلظت آرسنیک (میلی گرم درکیلو گرم)	غلظت سدیم (میلی گرم درکیلو گرم)
-	۴۰	lm۰/۷۹	e۱۶۲۷/۱۳	۱۱۳۹/۶b-d
-	۸۰	lm۰/۶۷	gh۱۲۴۳/۹۵	۱۵۵۸/۶۸a
۱۶۰	۰	l-n۰/۵۹	a۳۱۷۶/۵۱	۳۱۵/۶۵o-r
-	۱۰	l-n۰/۵۸	b۲۴۹۳/۴۵	۸۶۰/۳۵f-h
-	۲۰	l-n۰/۵۷	c۲۱۸۲/۴۶	۹۸۶/۰۵d-f
-	۴۰	mn۰/۵۱	d۱۸۶۵/۹۲	۱۲۶۵/۳۸bc
-	۸۰	n۰/۲۹	ef۱۴۷۷/۱۹	۱۶۴۲/۴۸a

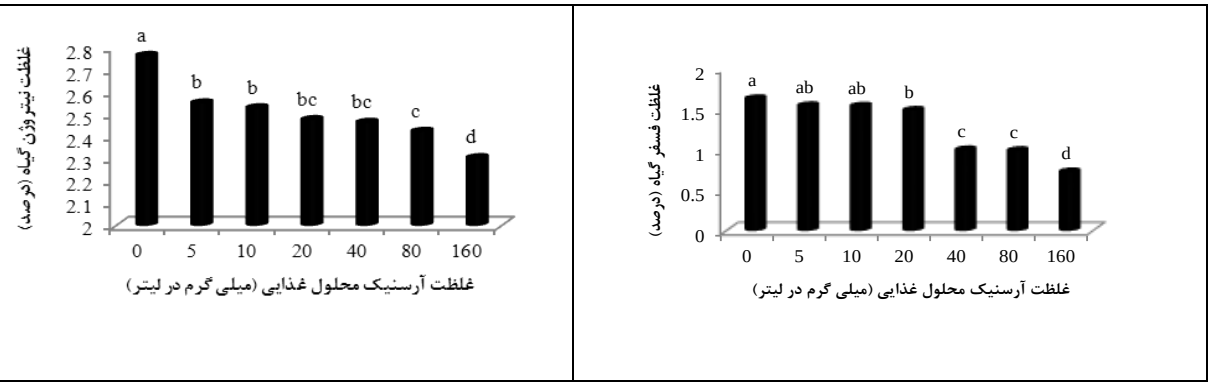
*اعدادی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ مشترک می باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

تأثیر سطوح مختلف آرسنیک بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم گیاه آزولا

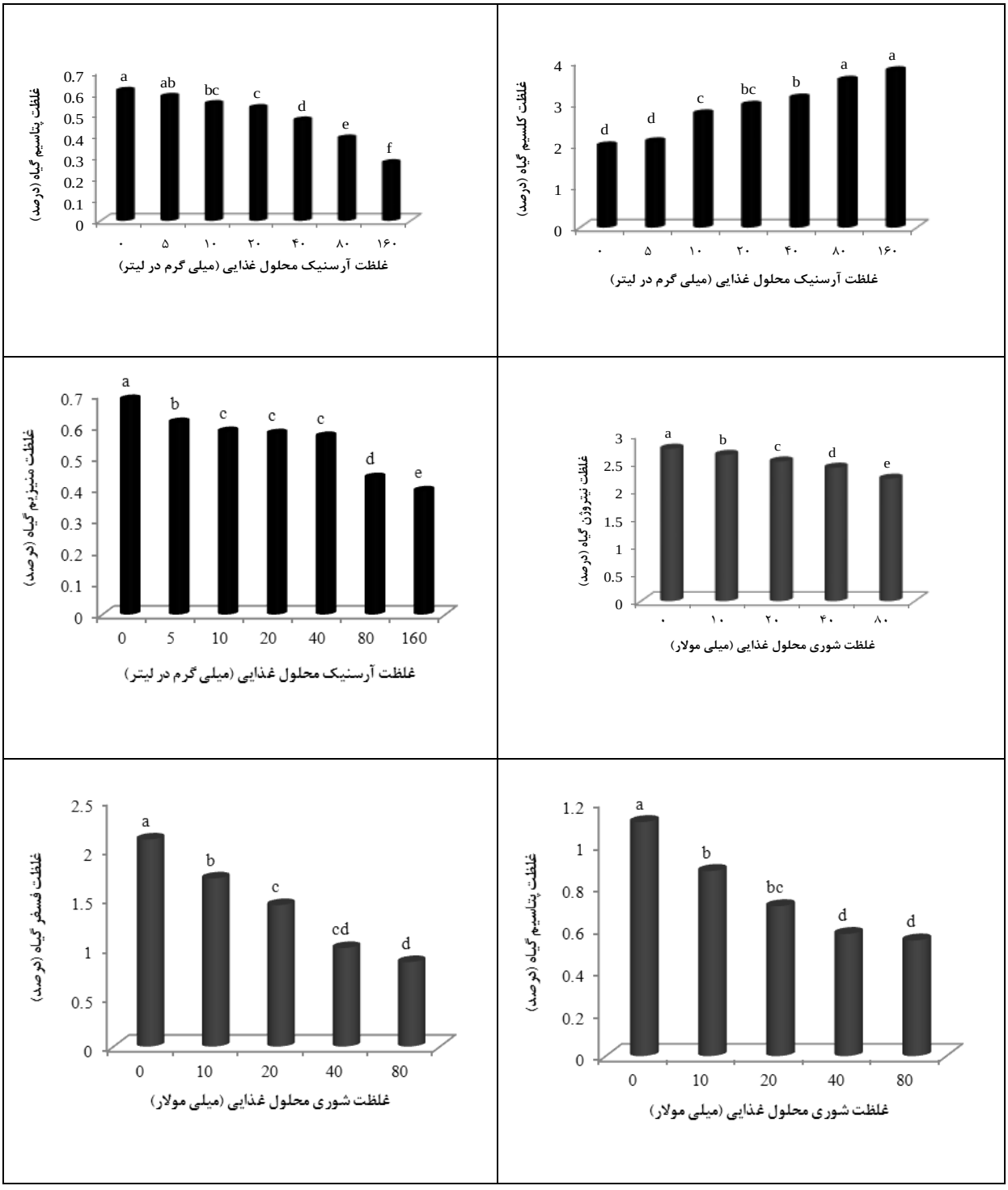
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر سطوح مختلف آرسنیک بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم در سطح احتمال یک درصد و منیزیم در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. بیش‌ترین غلظت نیتروژن فسفر، پتاسیم و منیزیم از تیمار شاهد و کم‌ترین غلظت این عناصر از تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر حاصل گردید. بیش‌ترین غلظت کلسیم گیاه با میانگین ۳/۷۸ درصد مربوط به تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر بود که با تیمار ۸۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر که دارای غلظت میانگین ۳/۵۵ درصد بود از لحاظ آماری اختلاف معنی داری نداشت. کم‌ترین غلظت کلسیم گیاه در تیمار شاهد با غلظت میانگین ۱/۹۷ درصد اندازه گیری شد (شکل ۱).

تأثیر سطوح مختلف شوری بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم گیاه آزولا

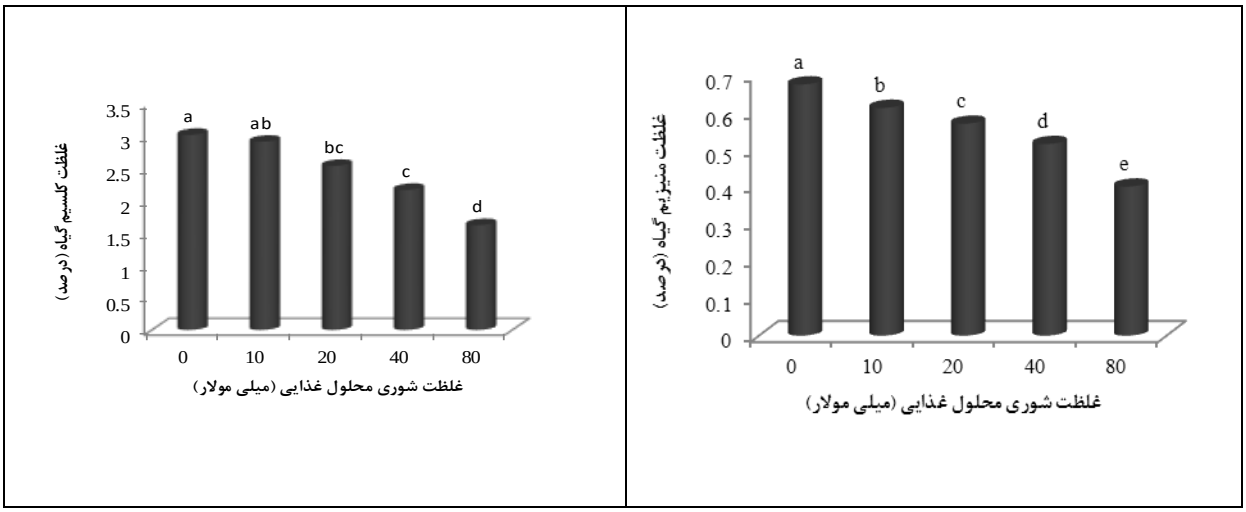
براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها، اثر سطوح مختلف شوری بر غلظت نیتروژن و فسفر بافت های گیاه آزولا در سطح احتمال پنج درصد و بر غلظت پتاسیم، کلسیم و منیزیم در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. بیش‌ترین غلظت این عناصر در تیمار شاهد و کم‌ترین غلظت در تیمار ۸۰ میلی مولار شوری مشاهده شد (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف آرسنیک و شوری بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم گیاه آزولا



ادامه شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف آرسنیک و شوری بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم گیاه آزولا



ادامه شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف آرسنیک و شوری بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم گیاه آزولا

تأثیر سطوح مختلف آرسنیک بر غلظت غلظت آهن، روی، منگنز و مس گیاه آزولا

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که تأثیر سطوح مختلف آرسنیک بر غلظت آهن و روی در سطح احتمال یک درصد و بر غلظت منگنز و مس در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. با افزایش سطح آرسنیک محلول غذایی از شاهد به سطح ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر از مقدار آهن روی و مس بافت های گیاه کاسته شد (جدول ۶).

افزایش غلظت آرسنیک منجر به افزایش جذب منگنز گردید. بیش‌ترین غلظت منگنز با میانگین ۴۹۰/۴ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر مشاهده شد. بین تیمارهای ۵، ۱۰ و ۲۰ همچنین ۴۰ و ۸۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر اختلاف معنی داری مشاهده نشد. تیمار شاهد با غلظت میانگین ۲۴۶/۸ میلی گرم در کیلوگرم کم‌ترین غلظت منگنز را به خود اختصاص داد. افزایش غلظت منگنز گیاه با افزایش غلظت آرسنیک محلول غذایی احتمالاً در پاسخ به کاهش غظت آهن گیاه باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح آرسنیک بر غلظت آهن، روی، منگنز و مس (میلی‌گرم در کیلوگرم) در گیاه آزولا

سطوح آرسنک (میلی گرم در لیتر)	غلظت آهن	غلظت روی	غلظت منگنز	غلظت مس
۰	۵۹۲a*	۸۴/۰۷a	۲۴۶/۸۶d	۷۶/۴۱a
۵	۵۵۷b	۷۴/۷۵b	۲۸۶/۳۸c	۵۰/۴۲b
۱۰	۵۰۲/۹c	۶۳/۷۵c	۳۰۳/۸c	۴۷/۵۳c
۲۰	۵۰۱/۱c	۶۰/۴۲c	۳۱۰c	۴۵/۶۴c
۴۰	۴۹۹/۷c	۵۰d	۳۵۷/۴۲b	۴۳/۵۴d
۸۰	۴۳۹/۶d	۴۵/۷۶de	۳۷۴/۱۸b	۳۴/۲۱e
۱۶۰	۳۱۶/۲۴e	۴۳/۷۶e	۴۹۰/۴a	۳۱/۸۷f

*اعدادی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ مشترک می باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

تأثیر سطوح مختلف شوری بر غلظت آهن، روی، منگنز و مس گیاه آزولا

نتایج نشان داد که اثر شوری بر غلظت آهن گیاه آزولا در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. با افزایش سطح شوری محلول غذایی از شاهد به سطح ۸۰ میلی مولار کلرید سدیم از مقدار آهن روی، منگنز و مس بافت های گیاه کاسته شد (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری بر غلظت آهن، روی، منگنز و مس (میلی‌گرم در کیلوگرم) در گیاه آزولا

سطوح شوری (میلی مولار)	غلظت آهن	غلظت روی	غلظت منگنز	غلظت مس
۰	*a۵۸۷/۵۶	a۲۰۲/۴۲	a۳۶۹	a۵۹/۸
۱۰	b۵۰۸/۴	b۱۶۹/۷	ab۳۶۵/۹	b۵۳
۲۰	c۴۶۸/۷	c۱۴۴/۹۴	b۳۴۰/۳۸	c۴۷/۲
۴۰	d۴۲۷/۲۸	d۱۲۶/۳۳	c۳۱۰/۳۷	d۴۰/۷
۸۰	e۳۶۸/۱۸	e۱۰۳/۳	c۳۰۶/۵	e۳۴/۷۴

*اعدادی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ مشترک می باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

اثر متقابل سطوح مختلف شوری و آرسنیک بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم گیاه آزولا

اثر متقابل سطوح مختلف شوری و آرسنیک بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم بافت های گیاه آزولا در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. سطوح مختلف شوری و آرسنیک اثر معنی داری بر غلظت کلسیم گیاه آزولا نداشت.

بر اساس مقایسه میانگین داده ها، بیش‌ترین غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم گیاه مربوط به تیمار شاهد (بدون شوری و آرسنیک) بود. کم‌ترین مقدار این عناصر در تیمارهای ۸۰ و ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر و ۸۰ میلی مولار کلرید کلسیم مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری و آرسنیک بر غلظت عناصر غذایی پر مصرف (درصد) در گیاه آزولا

سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	منیزیم
۰	۰	۳/۱۲۵a*	۲/۲۳a	۰/۸۵۴a	۰/۹۵a
-	۱۰	۳/۰۵ab	۲/۰۷a-c	۰/۶۸۵cd	۰/۷۷bc
-	۲۰	۲/۸۵bc	۱/۷۷c-f	۰/۶۱d-g	۰/۶۴d
-	۴۰	۲/۵۶d-j	۱/۳۹۳i-k	۰/۵۳۱f-h	۰/۵۶e-i
-	۸۰	۲/۲۲l-o	۰/۶۷op	۰/۳۶۲j-l	۰/۴۸k-o
۵	۰	۲/۷۳c-e	۱/۹۸۸a-d	۰/۸۳۸ab	۰/۸۲b

ادامه جدول ۷- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری و آرسنیک بر غلظت عناصر غذایی پر مصرف (درصد) در گیاه آزولا

سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	منیزیم
-	۱۰	۲/۶۴۳c-g	۱/۹۳۱b-e	۰/۶۵۴c-e	۰/۶۷d
-	۲۰	۲/۵۸۱d-i	۱/۸۰۷b-f	۰/۵۴۷e-h	۰/۵۶e-i
-	۴۰	۲/۴۴f-l	۱/۴۲۸h-k	۰/۵g-i	۰/۵۱i-n
-	۸۰	۲/۳۵i-m	۰/۵۵p	۰/۳۶۲j-l	۰/۴۸j-o
۱۰	۰	۲/۷۸۳cd	۲/۱ab	۰/۸۲۳ab	۰/۷۴c
-	۱۰	۲/۶۷۴c-f	۱/۷۲d-h	۰/۶۵۵c-e	۰/۶۶d
-	۲۰	۲/۵۹۶d-i	۱/۵۵f-j	۰/۵۳۱f-h	۰/۵۹d-h
-	۴۰	۲/۵۱۹e-k	۱/۴۵g-k	۰/۴۷j-i	۰/۵۲h-m
-	۸۰	۲/۰۷o	۰/۸۵no	۰/۲۵۵l-n	۰/۳۷q-s
۲۰	۰	۲/۷۳۶c-e	۱/۸۶b-f	۰/۷۴۶b-c	۰/۶۶d
-	۱۰	۲/۶۱۲c-h	۱/۶۴e-i	۰/۵۶۲e-h	۰/۶۲d-f
-	۲۰	۲/۴۴۱f-l	۱/۳۹i-k	۰/۵۳۱f-h	۰/۵۹d-h
-	۴۰	۲/۳۹۴g-l	۱/۳j-l	۰/۳۹۳i-k	۰/۵۴g-k
-	۸۰	۲/۱۹۲l-o	۱/۲۲kl	۰/۴i-k	۰/۴۳n-q
۴۰	۰	۲/۷۲۱c-e	۱/۷۴۴d-g	۰/۷۱۵cd	۰/۶۳de
-	۱۰	۲/۵۵e-i	۱/۴۲۵h-k	۰/۶۲۳d-f	۰/۶d-g
-	۲۰	۲/۴۱g-l	۱/۱۷k-m	۰/۴۸۵hi	۰/۵۶e-j
-	۴۰	۲/۲۸۵k-o	۰/۴۱p-r	۰/۳۳۱k-m	۰/۵۴g-l
-	۸۰	۲/۱۴۶m-o	۰/۱۸qr	۰/۱۹۳n	۰/۴۹i-o
۸۰	۰	۲/۵۶۵d-j	۱/۴۳h-k	۰/۶۸۵cd	۰/۵۵f-k
-	۱۰	۲/۵۶۴d-j	۱/۳۳i-k	۰/۴۸۵hi	۰/۴۷l-o
-	۲۰	۲/۴۰۱g-l	۱/۱۸kl	۰/۳۴۷k-m	۰/۴۲o-r
-	۴۰	۲/۳۹۴g-l	۰/۸۸m-o	۰/۲۴۸mn	۰/۳۸q-s
-	۸۰	۲/۳۷۹h-m	۰/۱۴۸r	۰/۱۶۲n	۰/۳۴۵rs
۱۶۰	۰	۲/۵۵d-j	۱/۱۳k-n	۰/۳۹۳i-k	۰/۴۶m-p
-	۱۰	۲/۳۴۸i-m	۱/۰۱l-n	۰/۳۳۱k-m	۰/۳۹p-s
-	۲۰	۲/۳۱۷j-n	۰/۸۴۸n-o	۰/۲۷l-n	۰/۳۹p-s
-	۴۰	۲/۲۲۳l-o	۰/۴۶pq	۰/۱۹۳n	۰/۳۷q-s
-	۸۰	۲/۰۸۳no	۰/۱۷r	۰/۱۶۲n	۰/۳۴ls

*اعدادی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ مشترک می باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

اثر متقابل سطوح مختلف شوری و آرسنیک بـر غلظـت آهن، روی، منگنز و مس گیاه آزولا

نتایج نشان داد که اثر شوری و آرسنیک بر غلظت آهن و منگنز در سطح احتمال یک درصد و بر غلظـت روی و مـس در سـطح احتمال پنج درصد معنی داری بود. بیش‌ترین مقادیر آهن، روی و مس در کم‌ترین غلظت هـای آرسـنیک و کلریـد کلسـیم بـه دست آمد و با افزایش آرسنیک و کلرید کلسیم مقادیر این سـه عنصر در گیاه کاهش یافت. تیمار ۱۶۰ میلی گـرم آرسـنیک در لیتر و بدون کلرید کلسـیم بـا میـانگین ۵۷۴/۴ میلـی گـرم در کیلـوگرم دارای بیش‌تـرین غلظـت منگنـز گیـاه بـود. افـزایش آرسنیک محلول غذایی بر غلظت منگنز بافت هـای گیـاه افـزود اما شوری باعث کـاهش غلظـت منگنـز گیـاه گردیـد. کم‌تـرین غلظت منگنز در تیمارهایی حاصل شد که حاوی سطوح بـالایی از کلرید کلسیم بودند. تیمار ۸۰ میلی گرم آرسـنیک در لیتـر و ۸۰ میلی مولار شوری با غلظت ۱۹۵/۲ میلی گـرم در کیلـوگرم دارای کم‌ترین غلظت منگنز گیاه بود. در ایـن تیمـار بـه دلیـل کاهش رشد گیاه و آسیب رسیدن به سلوی های گیـاهی جـذب منگنز نسبت به بقیه تیمارها کم‌تر بود (جدول ۸).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری و آرسنیک بر غلظت عناصر غذایی کم مصرف (میلی گرم در کیلوگرم) در گیاه آزولا

سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	آهن	روی	منگنز	مس
۰	۰	۷۱۰/۵a*	۱۰۱/۶۲a	۲۷۵/۳h-m	۹۶a
-	۱۰	۶۲۱/۷c	۹۲/۱۸a-c	۲۶۸/۶h-m	۸۹/۹۶b
-	۲۰	۵۹۲/۸cd	۸۵/۵۲b-d	۲۳۵/۳j-m	۸۰/۵c
-	۴۰	۵۴۲/۳e-h	۸۰/۵۲c-e	۲۲۶/۴۴lm	۶۳/۳d
-	۸۰	۴۹۲/۸i-l	۶۰/۵۳f-k	۲۲۸/۶k-m	۵۲/۲f-h
۵	۰	۶۶۷/۸b	۹۶/۰۷ab	۳۲۴/۷f-i	۶۶/۶۴d
-	۱۰	۵۶۷/۵d-f	۸۲/۲c-e	۳۱۱/۹g-k	۵۳/۸e-g
-	۲۰	۵۳۱/۷e-i	۷۴/۴۱d-f	۲۸۸g-l	۴۹/۴g-i
-	۴۰	۵۲۰/۱f-j	۵۳/۸۶j-n	۲۵۳/۱i-m	۴۵/۵۳i-k
-	۸۰	۴۹۸/۱h-l	۴۷/۲k-p	۲۵۴/۲i-m	۳۶/۶۵n-q
۱۰	۰	۵۵۵/۹d-g	۷۲/۲d-g	۳۶۹/۱d-g	۵۷/۷e
-	۱۰	۵۳۵/۳e-i	۶۷/۴۱e-i	۲۳۸/۱j-m	۵۴/۹۷ef
-	۲۰	۵۰۳/۶۹h-k	۶۸/۹e-i	۳۲۳f-i	۴۷/۷۶h-j
-	۴۰	۴۸۲j-m	۵۶/۱i-m	۲۷۴/۱۷h-m	۴۰l-o
-	۸۰	۴۳۷/۶m-p	۵۲/۲j-o	۳۱۴/۷g-j	۳۷/۲n-q
۲۰	۰	۵۹۸/۱cd	۷۰/۵۲e-h	۳۳۴/۱e-i	۵۴/۹ef
-	۱۰	۵۴۴/۷e-h	۶۳/۳f-j	۳۰۳/۶g-l	۵۰f-i
-	۲۰	۵۰۶/۷g-k	۵۸/۸۶g-l	۳۶۴/۱d-g	۴۷/۲h-j
-	۴۰	۴۵۲/۸l-n	۵۷/۲h-m	۲۲۶/۴lm	۴۱/۶۵k-n

ادامه جدول ۸- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری و آرسنیک بر غلظت عناصر غذایی کم مصرف (میلی گرم در کیلوگرم) در گیاه آزولا

سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	آهن	روی	منگنز	مس
-	۸۰	۴۰۲/۹op	۵۲/۲j-o	۳۰۱/۹f-i	۳۴/۴p-r
۴۰	۰	۵۷۷/۸c-e	۵۳/۸۶j-n	۳۴۱/۸۸e-h	۵۳/۸۶e-g
-	۱۰	۵۳۰/۳e-j	۵۳/۳j-n	۲۹۹/۷g-l	۴۷/۷۶h-j
-	۲۰	۵۱۴/۵g-j	۵۰/۵۳j-p	۴۱۳/۴۸de	۴۳/۸۷j-l
-	۴۰	۴۶۱/۲k-m	۴۶/۶۴k-p	۳۹۹/۶d-f	۳۸/۳۱m-p
-	۸۰	۴۱۴/۵۶n-p	۴۵/۵۳k-p	۴۱۶/۲۵de	۳۳/۸۷p-s
۸۰	۰	۵۵۳/۹d-g	۵۲/۲j-o	۳۶۳/۵d-g	۴۶/۱i-k
-	۱۰	۴۹۲/۳i-l	۵۰j-p	۴۲۴/۶cd	۳۸/۳m-p
-	۲۰	۴۴۲/۶m-o	۴۶/۱k-p	۴۴۲/۳cd	۳۲/۲۱q-t
-	۴۰	۳۹۲/۳۴pq	۴۲/۷۶m-p	۳۶۲/۴d-g	۲۸/۸۷s-u
-	۸۰	۳۱۷rs	۳۷/۷۶op	۱۹۵/۲m	۲۵/۵۴uv
۱۶۰	۰	۲۹۵/۳۸pq	۵۰/۵۳j-p	۵۷۴/۴a	۴۳/۳۱j-m
-	۱۰	۳۵۴qr	۴۷/۲k-p	۵۳۶/۱۵ab	۳۶/۱o-q
-	۲۰	۳۱۰/۹۷rs	۴۵l-p	۴۹۵/۴۵bc	۲۹/۴۳r-u
-	۴۰	۲۸۰/۱st	۳۸/۸۷n-p	۴۳۰/۴۳cd	۲۷/۲۱t-v
-	۸۰	۲۴۰/۷t	۳۷/۲p	۴۱۵/۵de	۲۳/۳۲v

*اعدادی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ مشترک می باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

بحث

حضور شوری و آرسنیک باعث کاهش رشد و در غلظت های بالا باعث مرگ گیاه شد. تحقیقات نشان می دهد که در گیاهانی که قادر به جذب آرسنیک از آب می باشند، به موازات حذف آرسنیک از آب، غلظت آن در گیاه افزایش می یابد تا جایی که مکانیزم کنترلی جذب بر اثر افزایش غلظت ناگهانی آرسنیک در گیاه از بین رفته و گیاه نشانه هایی از مسمومیت با آرسنیک را نشان داده و این باعث کاهش زی‌توده گیاهی می شود (۱۵). ستنپویسکا و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که گیاه آزولا (Azolla caroliniana) قادر است بیش از ۲۰ درصد غلظت Cd (II) موجود در آب های آلوده را کاهش دهد (۸).

کاهش ظرفیت جذب آرسنیک گیاه آزولا به وسیله شوری محلول غذایی، احتمالاً به دلیل افزایش غلظت کلراید در محلول غذایی و رقابت آن با آرسنات در جذب توسط گیاه است. گزارش شده است که شوری بر ظرفیت جذب فلز تأثیر گذار است (۱۰). وانگ و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که شوری از طریق کاهش جذب پرتوهای فعال در فتوسنتز و کاهش کارآیی پرتوهای خورشیدی باعث کاهش رشد گیاه می شود (۱۶). همچنین تنش شوری از طریق تولید رادیکال های آزاد اکسیژن سبب کاهش عملکرد می شود (۱۷).

کاهش غلظت نیتروژن گیاه احتمالاً به دلیل رقابت یون های نیترات و آرسنات در جذب توسط گیاه می باشد. گزارش شده که آرسنیک جذب همه عناصر غذایی را متأثر می سازد. آرسنیک از طریق رقابت مستقیم و یا تغییر فرایندهای متابولیکی بر جذب عناصر غذایی تأثیر می گذارد (۱۸). لوی و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که آرسنیک باعث کاهش غلظت نیتروژن گیاه شد (۱۸). آرسنیک ممکن است بر جذب و توزیع عناصر غذایی در گیاه از طریق رقابت مستقیم در جذب و یا فرایندهای متابولیکی تأثیر بگذارد (۱۹).

آرسنیک و فسفر هر دو متعلق به گروه پنجم جدول تناوبی عناصر شیمیایی هستند که به دلیل خصوصیات شیمیایی مشابه رفتار مشابهی در خاک و گیاهان دارند. برخلاف آرسنیک، فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه است و معمولاً نقش موثری در رشد و نمو آن دارد. کاهش جذب فسفر شاید به دلیل رقابت و این‌که آرسنات به وسیله سیستم انتقال فسفات جذب می شود باشد (۲۰). آرسنیک و فسفر هنگام جذب از طریق غشاء سلولی با یکدیگر رقابت می کنند (۲۱). جذب آرسنات و فسفات توسط ریشه گیاه به طور معنی داری وابسته به غلظت آن‌ها در محیط است و این احتمال وجود دارد که به دلیل تشابه فیزیکی و شیمیایی آن‌ها، جذب این دو عنصر توسط ناقل مشترکی انجام شود و از این طریق با یکدیگر رقابت می کنند (۲۲).

نتایج تحقیقات روی و همکاران (۲۰۱۲) بر روی گیاه تاج خروس نشان داد که آرسنیک تأثیر منفی بر جذب فسفر و پتاسیم داشت اما این تأثیر معنی دار نبود (۴). لامبی و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که آرسنیک و پتاسیم الگوی توزیع مشابهی در گیاه دارند. که این امر می تواند دلیل مناسبی برای تأثیر منفی آرسنیک بر غلظت پتاسیم در بافت های گیاه باشد (۲۳).

کاهش غلظت منیزیم گیاه احتمالاً به دلیل افزایش غلظت کلسیم گیاه تحت استرس آرسنیک می باشد. گومز و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که افزایش غلظت آرسنیک محلول غذایی باعث کاهش جذب منیزیم شد (۲۴).

گزارش شده که افزایش غلظت آرسنیک محلول غذایی باعث افزایش جذب کلسیم می شود (۲۵). نتایج تحقیقات لوی و همکاران (۲۰۰۸) نیز با نتایج این تحقیق مبنی بر افزایش غلظت کلسیم با افزایش آرسنیک محلول غذایی تطابق داشت. افزایش غلظت کلسیم گیاه احتمالاً به دلیل کاهش غلظت پتاسیم در اثر افزایش غلظت آرسنیک محلول غذایی باشد (۱۸).

افزایش شوری محلول غذایی مانع از جذب نیتروژن توسط گیاه آزولا گردید که این کاهش می تواند نتیجه رقابت یون های سدیم و کلراید به ترتیب با یون های آمونیوم و نیترات باشد (۲۶). افزایش شوری محلول غذایی تأثیر منفی بر جذب فسفر به وسیله آزولا داشت. به نظر می رسد که اثر آنتاگونیستی کلراید با فسفات باعث کاهش جذب این عنصر به وسیله آزولا شده است. مارتینز و لاچلی (۱۹۹۴) دریافتند که شوری از نوع NaClجذب فسفر را در پنبه کاهش داد (۲۷). نشان داده شده که شوری باعث کاهش جریان فسفر در آوند چوبی می گردد. سطوح بالای نمک پویایی فسفر معدنی ذخیره شده در واکوئل ها را کاهش داده و از این طریق سبب کمبود فسفر در گیاه می شود (۲۸).

با افزایش شوری محلول غذایی بر غلظت سدیم در محلول غذایی افزوده شده و احتمالاً در نتیجه رقابت این یون با پتاسیم از میزان پتاسیم جذب شده توسط گیاه کاسته خواهد شد.

یکی از علل کاهش غلظت کلسیم با افزایش شوری می تواند زیادی یون های سدیم در شرایط شور و رقابت آن با یون کلسیم برای جذب باشد. همچنین کاهش کلسیم گیاه در شرایط شور را می توان به کاهش تعرق گیاه نسبت داد (۲۹).

گراتان و گریو (۱۹۹۹) سه دلیل برای کاهش عملکرد محصولات در شرایط شور بیان کردند: ۱- شوری بر فراهمی عناصر غذایی اثر می گذارد، ۲- شوری سبب ایجاد جذب

رقابتی می شود و ۳- شوری بر انتقال یا بخش بندی عنصر غذایی در گیاه تأثیرگذار است (۳۰).

نتایج داده های گومز و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که افزایش سطح آرسنیک محیط رشد باعث کاهش جذب آهن شد (۲۴). آرسنیک در متابولیسم گیاه تداخل ایجاد می کند و رشد گیاه را به دلیل غیر فعال کردن بسیاری از آنزیم ها به وسیله واکنش با گروه های سولفیدریل پروتئین ها کاهش می دهد (۲۲). عناصر کم مصرف با سیستم آنزیم های مختلف در پیوند می باشند که احتمالاً آرسنیک با تأثیر منفی که بر سیستم آنزیمی دارد باعث کاهش غلظت عناصر کم مصرف در گیاه می باشد.

دوران زوازو و همکاران (۲۰۰۵) مشاهده کردند که تحت تنش شوری، غلظت روی در ساقه و ریشه گیاه انبه کاهش یافت (۳۱). نتایج تحقیقات اسکندری و مظفری (۱۳۹۰) مبنی بر کاهش جذب منگنز با افزایش شوری محیط رشد بود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (۳۲). علت کاهش جذب عناصر کم مصرف از جمله مس در شرایط شور می تواند ناشی از جذب بیش‌تر عنصر سدیم باشد (۳۳). کاهش غلظت عناصر در گیاه با افزایش شوری محلول غذایی می‌تواند به دلیل اختلال در جذب و انتقال این عناصر به خاطر افزایش فشار اسمزی محیط ریشه و کاهش رشد گیاه باشد.

نتیجه گیری

حضور شوری و آرسنیک باعث کاهش رشد و در غلظت های بالا باعث مرگ گیاه شد. گیاه آزولا، غلظت های بالایی از آرسنیک را در خود تجمع داده و تجمع گر خوبی برای آرسنیک بود.

افرایش غلظت شوری محلول غذایی باعث کاهش جذب آرسنیک و در نتیجه کاهش غلظت آرسنیک در بافت های گیاه آزولا شد. هر چه غلظت بیوماس در محلول بیش‌تر باشد، میزان جذب مخصوص کم‌تر می شود، چرا که افزایش غلظت زی‌توده باعث تداخل سایت های پیوندی می شود.

افزایش غلظت آرسنیک محلول غذایی باعث کاهش غلظت نیتروژن، پتاسیم، فسفر، منیزیم، آهن، روی، مس و افزایش غلظت کلسیم، منگنز و سدیم در گیاه آزولا شد. آرسنیک از طریق رقابت مستقیم و یا تغییر فرایندهای متابولیکی بر جذب عناصر غذایی تأثیر می گذارد.

افزایش غلظت شوری محلول غذایی باعث کاهش غلظت نیتروژن، پتاسیم، فسفر، منیزیم، آهن، منگنز، روی، مس و افزایش سدیم گیاه آزولا شد. از دلایل کاهش میزان جذب عناصر غذایی توسط گیاهان در محیط های شور، می توان به کاهش رشد گیاه و عدم تعادل تغذیه ای اشاره نمود.

منابع

1) Pal, M., Singh, D. K., Rao, L. S. and Singh, K. P. 2004. Photosynthetic characteristics and activity of antioxidant enzymes in salinity tolerant and sensitive rice cultivars. Indian Journal of Plant Physiology. 9: 407-412.
2) Gupta, V. K., Shrivastava, A. K. and Jain, N. 2001. Biosorption of chromium (VI) from aqueous solutions by green algae Spirogyra species. Water Research. 35: 4079-4085.
3) Oram B, Halsor S, Redmond B. 2011. Water quality. Available at: www.wilkes.edu/Include/waterresearch/PDFs/Waterbooklet070610.pdf.
4) Roy, S. Parveen, Z. and Imamul Huq, S. M. 2012. Effect of Arsenic on the nutrient uptake pattern of Amaranthus. Dhaka University. Journal of Biological Sciences. 21(1): 87-96.
5) Xue, P., Yan C., Sun, G. and Luo, Z. 2012. Arsenic accumulation and speciation in the submerged macrophyte Ceratophyllum demersum. L. Environmental Science and Pollution Research. 19:3969–3976.
6) Ozkutlu, F., Ozturk, L., Erdem, H., McLaughlin, M. and Cakmak, I. 2007. Leaf-applied sodium chloride promotes cadmium accumulation in

durum wheat grain. Plant and soil. 290(1-2): 323-331.

7) Sasmaz, A. and Obek, E. 2009. The accumulation of arsenic, uranium, and boron in Lemna gibba L. exposed to secondary effluents. Ecological Engineering. 35:1564–1567.
8) Stêpniewska, Z., Bennicelli, R.P., Balakhnina, T.I., Szajnocha, K., Banach, A. and Woliñska, A. 2005. Potential of Azolla caroliniana for the removal of Pb and Cd from wastewaters. institute of agrophysics polish academy of sciences. 19: 251-255.
9) Agastian, P., Kingsley., S. J. and Vivekanandan, M. 2000. Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. Photosynthetica, 38: 287-290.
10) Parida K. A. and Das B. A. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: review. Ecotoxicology and Environmental Safety. 60: 324-349.
11) Leblebtect, Z., Akosy, A. and Duman, F. 2006. Influence of salinity on the growth and heavy metal accumulation capacity of Spirodela polyrrhiza. Turkish Journal of Biology. 35: 215-220.
12) Bennicelli R, Stezpniewska Z, Banach A, Szajnocha K, Ostrowski J. 2004. The ability of Azolla caroliniana to remove heavy metals (Hg(II), Cr(III), Cr(VI)) from municipal waste water. Chemosphere. 55:141–146.
13) Epstein Emanuel. 1972. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. New York. John Wiley, pp. 412.
14) Ozturk, F., Duman, F., Leblebici, Z. and Temizgul, R. 2010. Arsenic accumulation and biological responses of watercress (Nasturtium officinale R. Br.) exposed to arsenite. Environmental and Experimental Botany. 69: 167–174.
15) Mkandavire, M. and Dude, E.G. 2005. Accumulation of arsenic in Lemna gibba L. (duckweed) in tailing waters of two abandoned uranium mining sites in Saxony, Germany. Science of the Total Environment. 336, 81-89.
16) Wang, D., Shannon, M. C. and Grieve, C. M. 2001. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soyabean. Field Crops Research. 69: 267-277.
17) Melloni, D. A., Oliva, M. A., Martinez, C. A. and Cambraia, J. 2003. Photosynthesis activity of super oxide dismotase, peroxides and glutathione reductase in Cotton under salt stress. Environmental and Experimental Botany, 49: 69-76.
18) Lui, Q., Hu, C., Tan, Q., Sun, X., Su, J. and Liang, Y. 2008. Effects of As on As uptake, speciation, and nutrient uptake by winter wheat (Triticum aestivum L.) under hydroponic conditions. Journal of Environmental Sciences. 20(3): 326-331.
19) Tu, C. and Ma, Q. 2005. Effects of arsenic on concentration and distribution of nutrients in the fronds of the arsenic hyperaccumulator Pteris vittata L. Environmental Pollution. 135: 333-340.
20) Meharg, A. A. and Macnair, M. R. 1990. An altered phosphate uptake system in arsenate-tolerant Holcus

lanatus L. New Phytologist. 116: 29-35.

21) Chen, T. B., and Wei, C.Y. 2000. Arsenic hyper accumulation in some plant species in South China. Proceedings of International Conference of Soil Remediation, Hangzhou, China. P 194-195.

22) Meharg AA, Hartley-Whitaker J. 2002. Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and nonresistant plant species. New Phytologist 154: 29–43.

23) Lombi, E., Zhao, F. J., Fuhrmann, M., Ma, L.Q. and McGrath, S. P. 2002. Arsenic distribution and speciation in the fronds of the hyperaccumulator Pteris vittata. New Phytologist. 156: 195-203.

24) Gomes, M. P., Duarte, D. M., Miranda, P. L. S., Barreto, L. C., Matheus, M. T. and Garcia, Q. S. 2012. The effects of arsenic on the growth and nutritional status of Anadenanthera peregrine, a Brazilian savanna tree. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 175(3): 466-473.

25) Sridokchan, W., Markich, S. and Visoottiviseth, P. 2005. Arsenic Tolerance, Accumulation and Element Distribution in Twelwe Ferns: a Screening Study. Australasian Journal of Ecotoxicology. 11: 101-110.

26) Ben-Gal, A. and Shani, U. 2003. Water use and yield of tomatoes under limited water and excess boron. Plant and Soil. 256: 179-186.

27) Martinez, V. and Lauchli, A. 1994. Salt-induced inhibition of phosphate uptake in plants of cotton (Gossypium hirsutumL.). New Physiological. 125: 609-614.

28) Navarro, J. M., Botella, M. A., Ceda, A. and Martineze, V. 2001. Phosphorus uptake and translocation in salt-stressed melon plants. Journal of Plant Physioly. 158: 175-181.

۲۹) زعفرانچیزاده مقدم، م. ۱۳۷۳. تاثیر ماده تنظیم کننده کلراید و کلسیم کلراید بر تحمل گندم نسبت به شوری و تغذیه فسفات در مراحل اولیه رشد. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته علوم گیاهی (گرایش فیزیولوژی). دانشکده علوم پایه. دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

30) Grattan, S. R. and Grieve, C. M. 1999. Salinity-mineral nutrients relations in horticultural crops. Scientia Horticulturae. 78: 127-157.

31) Duran Zuazo, V. H., Martinez-Raya, A., Aguilar Ruiz, J. and Franco Tarifa D. 2005. Impact of salinity on macro and micro nutrient uptake in mango (Mangifera indica L. cv. Osteen) with different rootstocks. Spanish Journal of Agriculture Research. 2(1):121-133.

۳۲) اسکندری، س. و مظفری، و. ۱۳۹۰. تأثیر شوری و مس بر جذب عناصر کم مصرف در ریشه نهال های دو رقم پسته تحت شرایط گل‌خانه. اولین کنگره ملی علوم و فناوری های نوین کشاورزی، زنجان، ۲۸۱-۲۷۷.

33) El-Fouly, M., Zeniab, M. and Zeniab, A. S. 2001. Micronutrient spary as a tool to increase tolerance of faba bean and wheat plants to salinity. XIV International Plant Nutrition Colloquium. Hanover, Germany. 422-423.