تأثیر آنتیموان، فسفر و شوری بر عملکرد شاخساره، غلظت برخی عناصر و نفوذپذیری غشاء ریشه ذرت در محیط آبکشت

حوریه برانگیزی[۱*]، مجید افیونی[۱] و بهزاد رضایی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۰/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۵/۱۸)

چکیده

همراه با صنعتی شدن کشورها و افزایش مصرف ترکیبات حاوی آنتیموان، آلودگی به این عنصر در سال‌های اخیر افزایش یافته است. با توجه به اهمیت آنتیموان و تحقیقات بسیار کمی که در باره این عنصر در ایران صورت پذیرفته، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر آنتیموان بر رشد و درصد نفوذپذیری غشاء ریشه (به عنوان شاخص خسارت اکسیداتیو) و غلظت عناصر مختلف در ریشه ذرت شیرین (*Zea mays* L. hybrid Cchase) انجام گرفت. این پژوهش گلخانه‌ای در محیط آبکشت و در قالب بلوک کامل تصادفی و آزمون فاکتوریل با سطوح مختلف آنتیموان، فسفر و شوری انجام گرفت. آنتیموان به صورت $KSb(OH)_6$ در سه سطح (صفر، ۶ و ۱۸ میلی‌گرم در لیتر)، فسفر در دو سطح (صفر و ۳ میلی‌گرم در لیتر) و شوری به صورت کلرید سدیم در سه سطح (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میلی مولار) اعمال شد. پس از برداشت ذرت، وزن تر و خشک شاخساره و درصد نفوذپذیری غشاء ریشه اندازه‌گیری شد. هم‌چنین غلظت عناصر آنتیموان، آهن و روی ریشه اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی، عملکرد وزن تر و خشک شاخساره به طور معنی‌داری کاهش یافت. با افزایش غلظت آنتیموان در هر سطح فسفر، وزن تر شاخساره ذرت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. ریشه‌های گیاهانی که در محلول غذایی حاوی فسفر کمتر رشد کرده بودند، دارای نفوذپذیری بیشتری بودند. همراه با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی، نفوذپذیری غشاء ریشه ابتدا به طور معنی‌داری کاهش و در سطح بالاتر عنصر، دوباره افزایش یافت. نفوذپذیری غشاء ریشه با افزایش سطح شوری در محلول غذایی نیز به طور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش غلظت آنتیموان و هم‌چنین سطح شوری محلول غذایی سبب افزایش غلظت آنتیموان ریشه گیاه ذرت شد. با افزایش غلظت آنتیموان محلول غذایی، کاهش معنی‌داری در غلظت روی در ریشه مشاهده شد، در حالی که غلظت آهن ریشه تغییری نداشت.

واژه‌های کلیدی: آنتیموان، فسفر، شوری، نفوذپذیری غشاء

مقدمه

امروزه به دلیل صنعتی شدن جهان و افزایش فعالیت کارخانجات به منظور پاسخگویی به نیاز جمعیت، آلودگی محیط زیست به عنوان یکی از مسائل بسیار مهم در زندگی انسان مطرح می‌باشد. به دلیل آلودگی‌های به‌وجود آمده، منابع طبیعی تخریب شده و همین امر باعث مشکلات و محدودیت‌هایی برای انسان گردیده است. فرایندهای صنعتی شدن در کشورهای در حال توسعه منجر به ورود عناصری از

۱. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استاد دانشکده شیمی دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h.barangizi@ag.iut.ac.ir

جمله جیوه، سرب، کادمیوم و آنتیموان به زیست‌کره می‌شوند و تهدیدهای زیادی را برای انسان‌ها و به‌ویژه افرادی که در معرض این عناصر قرار دارند در پی دارد (۱).

آنتیموان شبه فلزی است که اغلب در طبیعت به شکل Sb(III) با نام آنتیمونیت (*Antimonite*) و یا Sb(V) با نام آنتیمونیت (*Antimonate*) به ترتیب در حالت کاهش و اکسایش یافت می‌شود. در شرایط اکسیدی، گونه غالب آنتیموان در محلول خاک، Sb(V) است که می‌تواند همانند آنیون‌های فسفات و آرسنات، توسط ذرات خاک تثبیت شود (۵). از آنتیموان در طیف وسیعی از صنایع استفاده می‌شود. مهم‌ترین کاربرد جهانی آنتیموان مصرف آن به عنوان فلز اولیه در تولید انواع باطری‌های معمولی و هیبریدی با سایر آلیاژهای فلزی مانند سرب است. آنتیموان یک عنصر کمیاب (۰/۳-۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در پوسته زمین می‌باشد (۱۸). نش و همکاران (۱۷)، منابع اصلی ورود آنتیموان به محیط را فعالیت‌های انسانی نظیر احتراق سوخت‌های فسیلی، حفر معدن، گداختن فلزات و به ویژه دود ناشی از وسایل نقلیه ذکر کردند.

دود وسایل نقلیه از مهم‌ترین منابع انسانی ورود آنتیموان به محیط است به طوری که در طی دهه اخیر، تراکم ترافیکی بالا بیش از سایر منابع انسانی، افزایش آلودگی به این عنصر را به همراه داشته است (۸). تحقیقات در آلمان نیز نشان داده است که ارتباط نزدیکی بین انتشارات حاصل از وسایل نقلیه با غلظت آنتیموان در خاک وجود دارد. به طوری که با افزایش فاصله از جاده، غلظت این عنصر در خاک و گیاه به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است (۱۰).

ظروف پلاستیکی که برای بسته بندی آب معدنی استفاده می‌شود می‌توانند ماده سمی خطرناک و کشنده به‌نام آنتیموان را از خود آزاد نمایند. مقدار این عنصر با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند و بعد از ۲ تا ۳ ماه به دوبرابر غلظت آن در زمان بسته‌بندی آب می‌رسد (۲۰). شوتیک و همکاران (۲۰) ظروف پلاستیکی حاوی آب را آزمایش کرده و دریافتند که با گذشت زمان آنتیموان به‌طور پیوسته وارد آب می‌شود.

به طور کلی آنتیموان و ترکیبات آن اثر سمی بر حیوانات و انسان دارد (۱۲). در مقایسه با سایر عناصر کمیاب، آنتیموان در خاک به نسبت متحرک است و همین امر، احتمال ورود آن به چرخه غذایی را از طریق جذب گیاه افزایش می‌دهد (۱۴).

آینسورت و همکاران (۶) با اندازه‌گیری غلظت آنتیموان در گیاهان رشد کرده در خاک آلوده به آنتیموان، نشان دادند که جذب آنتیموان از سطح برگ بیشتر از جذب آن از طریق ریشه گیاه صورت می‌گیرد. نتایج یک آزمایش گلدانی نیز نشان داد که بین گیاهان رشد کرده در خاک غیرآلوده تفاوتی با گیاهان رشد کرده در خاک آلوده از لحاظ غلظت آنتیموان وجود نداشت (۶). تشان و همکاران (۲۴) با بررسی میزان جذب آنتیموان توسط گیاه آفتابگردان از محلول غذایی، نشان دادند که جذب این عنصر توسط گیاه به طور معنی‌داری با غلظت آنتیموان محلول غذایی ارتباط مستقیم داشت.

افزایش غلظت آنتیموان در خاک و منابع آب و ورود آن به زنجیره غذایی خطراتی برای سلامت گیاهان، حیوانات و انسان به همراه دارد. آلودگی به آنتیموان از اهمیت خاصی برخوردار است و تحقیقات خاصی در این زمینه در ایران صورت نگرفته است. نقاطی از خاک‌های کشورمان نیز دارای مشکل شوری می‌باشند و شوری به عنوان عامل مؤثر در جذب آنتیموان توسط گیاه عمل می‌کند (۱۹). هم‌چنین شوری موجب تغییرات ساختمانی در ساقه، ریشه و برگ و گیاهان می‌شود. آنتیموان دارای خصوصیات شیمیایی مشابهی با آرسنیک و فسفر است به طوری که به نظر می‌رسد گیاهان این سه عنصر را با سازوکار مشابهی جذب می‌کنند (۱۶). فسفر می‌تواند با آنتیموان حالت آنتاگونیستی ایجاد کرده و بر جذب آنتیموان توسط گیاه تأثیر داشته باشد. تجمع مواد سمی در گیاه سبب ایجاد تنش‌های اکسیداتیو می‌شود. این مواد در غلظت‌های زیاد، بر رشد و عملکرد گیاهان اثرهای منفی بر جای می‌گذارد و سبب آزاد شدن رادیکال‌های اکسیژن فعال نظیر رادیکال هیدروکسیل، سوپراکسید و پراکسید هیدروژن در گیاه شده و بر ساختار غشاء سلولی تأثیر گذاشته و با ایجاد آسیب‌های غشایی سبب اختلال

در فرایندهای مختلف سلولی می‌گردد (۹). این پژوهش با هدف بررسی برهمکنش شوری، آنتیموان و فسفر بر رشد ذرت و نفوذپذیری غشاء ریشه آن (به عنوان یک شاخص تنش اکسیداتیو) در شرایط آبکشت انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش گلخانه‌ای در محیط آبکشت در گلخانه مرکز پژوهشی کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه عامل آنتیموان، فسفر و شوری انجام گرفت. آنتیموان به صورت $KSb(OH)_6$ در سه سطح (صفر، ۶ و ۱۸ میلی‌گرم در لیتر)، فسفر در دو سطح (صفر و ۳ میلی‌گرم در لیتر) و شوری به صورت کلرید سدیم در سه سطح (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میلی مولار)، به محلول غذایی اضافه شد. هر تیمار دارای ۳ تکرار بود و در هر گلدان نیز دو گیاه کاشته شد به طوری که در مجموع، ۵۴ گلدان به‌کار گرفته شد. پس از تعیین ترکیبات مورد نیاز جهت ساخت محلول غذایی پایه و اعمال تیمارها و انجام محاسبات لازم، مراحل سه گانه کاشت، داشت و برداشت صورت گرفت که هر یک از این مراحل به صورت مشروح در ادامه بیان خواهد شد. پس از برداشت گیاه، وزن تر و خشک اندام هوایی و درصد نفوذپذیری غشاء ریشه و غلظت آنتیموان، آهن و روی ریشه اندازه‌گیری شد.

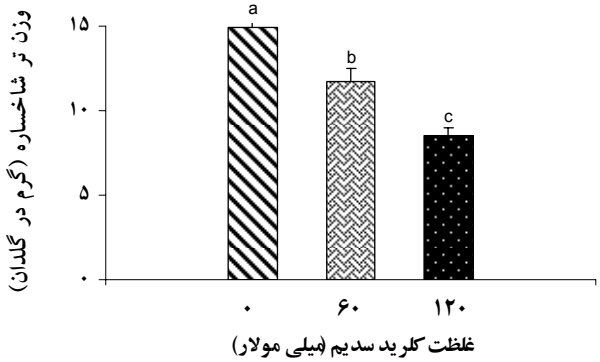
ابتدا بذرهای ذرت در ماسه جوانه زده و بعد از ۱۰ روز به گلدان‌های پلاستیکی ۳۰ لیتری حاوی محلول غذایی هوگلند منتقل شد. محلول غذایی شامل ۰/۴ میلی مولار $Ca(NO_3)_2$، ۰/۲ میلی مولار $MgSO_4$، ۰/۱ میلی مولار KH_2PO_4، ۰/۵ میلی مولار KNO_3، ۰/۰۱ میلی مولار NaFe(III)EDTA، ۰/۰۱ میلی مولار H_3BO_3، ۲ میکرو مولار $MnSO_4$، ۰/۲ میکرو مولار $ZnSO_4$، ۰/۲ میکرومولار $CuSO_4$، ۰/۱ میکرو مولار Na_2MoO_4 و ۰/۰۲ میلی مولار NaCl بود (۲۴). پس از دو هفته، گیاهان به گلدان‌های پلاستیکی ۲ لیتری حاوی محلول‌های غذایی منتقل شدند. برای جلوگیری از تنش حاصل از شوری زیاد، غلظت ۱۲۰ میلی مولار شوری طی مدت یک هفته و به تدریج به محلول اضافه شد. پ–هاش محلول توسط NaOH و اسید نیتریک در حدود ۶ ثابت نگه داشته شد. در طول دوره رشد گیاه مراقبت‌های لازم از جمله مبارزه با آفات و بیماری‌ها انجام شد. هوادهی محلول نیز با استفاده از کمپرسور هوا روزی ۲ مرتبه و هر بار به مدت ۲۰ دقیقه صورت گرفت. در مرحله ۵ برگی، ۲۱ روز پس از انتقال گیاه به محلول غذایی اصلی، بوته‌ها برداشت شدند و پس از شستشو با آب مقطر، ریشه و اندام هوایی از ناحیه طوقه گیاه از یکدیگر جدا شد. صفات رویشی از قبیل وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه اندازه‌گیری شد. بوته‌های گیاه به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک‌کن قرار داده شده و سپس با آسیاب پودر شدند. برای عصاره‌گیری ریشه گیاه، ۰/۵ گرم از نمونه پودر شده گیاه خشک به کروزه چینی ۲۵ میلی‌لیتری منتقل شد. دمای کوره الکتریکی در ۵۵۰ درجه سلسیوس تنظیم شده و نمونه‌ها به مدت حدود ۲ ساعت داخل کوره الکتریکی قرار داده شدند. بعد از خنک شدن کروزه‌ها، ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به نمونه گیاه اضافه شده و روی گرم‌کن به آرامی حرارت داده شد تا زمانی که نیمی از اسید تبخیر شد. سپس محلول تهیه شده از کاغذ صافی عبور داده شده و عصاره صاف شده در بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری جمع‌آوری شد و با آب مقطر، حجم نهایی عصاره به ۲۵ میلی‌لیتر رسید. برای اندازه‌گیری غلظت آهن و روی از دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۳۰۳۰ و برای اندازه‌گیری غلظت آنتیموان نیز از دستگاه جذب اتمی ولی با استفاده از روش Hydride Generation استفاده شد.

نفوذپذیری غشاء ریشه یکی از معیارهای بررسی خسارت اکسیداتیو برخی تنش‌های غیرزیستی و زیستی بر گیاه است. نفوذ پذیری غشاء ریشه پس از برداشت گیاه به‌وسیله روش یان و همکاران (۲۶) اندازه‌گیری شد. بدین صورت که بخشی از بافت ریشه‌ای گیاه مورد نظر را درون ظرف شیشه‌ای مخصوص با فشار اسمزی معکوس، به مدت ۳ ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس قرار داده، سپس قابلیت هدایت الکتریکی محلول

جدول۱. نتایج تجزیه واریانس

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن تر	وزن خشک	غلظت آنتیموان ریشه	درصد نفوذپذیری غشاء ریشه	غلظت آهن ریشه	غلظت روی ریشه
(R) بلوک	۲	۰/۳۶ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۰۸ ns	۱۶/۰۵ ns	۱۹۱۷۴/۶ ns	۱۰۶/۵۰ ns
(a) آنتیموان	۲	۱۸/۷۶**	۰/۰۱۴۳**	۷/۱۹**	۸۰۳/۳۰**	۱۴۳۵۱۱/۰۸ ns	۶۵۵/۷۶**
(b) فسفر	۱	۱۲۲/۸۵**	۱/۰۶۴**	۰/۰۰۰۶ ns	۱۱۷۲/۴۵**	۳۹۹۳۲۷/۲۴*	۲۴۱/۵۱ ns
(c) شوری	۲	۱۸۲/۲۸**	۲/۰۵۸**	۰/۶۵۲**	۱۲۸۶/۹۴**	۱۹۲۹۹۹/۱۳ ns	۲۵۴/۲۴ ns
a × b	۲	۱۸/۹۴**	۰/۲۶۱**	۰/۰۰۷ ns	۳۹۹/۶**	۵۶۳۹۰۹/۷۵**	۱۵۶/۴۴ ns
a × c	۴	۳/۱۴ ns	۰/۰۴۸**	۰/۳۵۲**	۸۸/*	۲۳۷۵۷۴/۲۴*	۶۲۸/۵۰**
b × c	۲	۳۰/۵۹**	۰/۲۶۷**	۰/۰۱۹ ns	۸۳/۱۸*	۸۵۰۴۹/۱۴ ns	۵۲۰/۵۷*
خطا	۳۴	۱/۳۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۷	۲۳/۴۲	۶۲۵۲۷/۶۲	۱۲۰/۶۸

** ، * و ns : به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار



شکل۱. اثر شوری بر وزن تر شاخساره ذرت

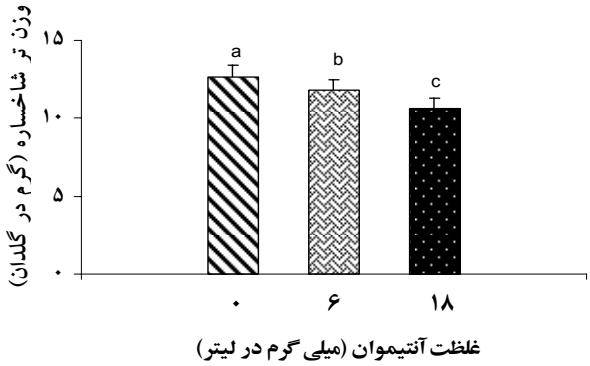
توسط هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. در ادامه، نمونه‌ها به مدت ۲ دقیقه جوشانیده و بعد از سرد شدن در دمای اتاق، قابلیت هدایت الکتریکی آنها دومرتبه اندازه‌گیری شد. درصد الکترولیته محلول طبق فرمول ذکر شده [$EC = ((C_1/C_2)\times 100)$] محاسبه شد. C_1 و C_2 به ترتیب عبارتند از: هدایت الکتریکی محلول قبل و بعد از جوشانیدن (۲۶).

تجزیه واریانس نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح ۵٪ انجام شد و رسم شکل‌ها نیز توسط نرم افزار Excel صورت گرفت.

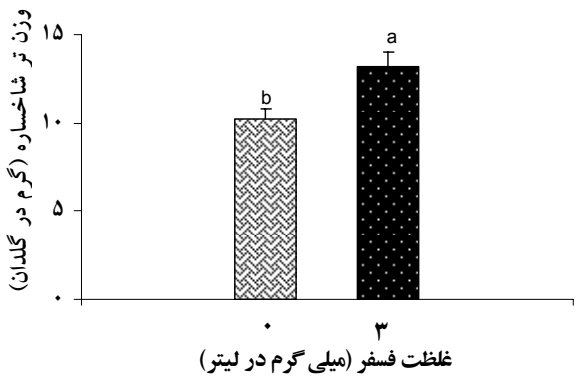
نتایج و بحث

عملکرد وزن تر شاخساره

با افزایش سطح شوری، عملکرد وزن تر شاخساره ذرت کاهش معنی‌داری ($P<0/01$) داشت (جدول۱) به طوری که عملکرد گیاه در سطح ۱۲۰ میلی‌مولار شوری، ۴۲/۸ درصد و در سطح ۶۰ میلی‌مولار شوری ۲۱/۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۱). با افزایش غلظت آنتیموان محلول غذایی، عملکرد وزن تر شاخساره به طور معنی‌داری ($P<0/01$) کاهش یافت (جدول۱). عملکرد وزن تر شاخساره در سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان، ۶/۷ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. این کاهش در سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان تا ۱۶/۱ درصد رسید (شکل ۲). هی و همکاران (۱۴) با بررسی اثر آنتیموان بر ریشه و جوانه برنج بیان کردند که با افزایش غلظت آنتیموان، رشد گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافته است. وزن تر بوته‌های رشد کرده در محلول غذایی حاوی فسفر در مقایسه با بوته‌های رشد کرده در محلول غذایی بدون فسفر بیشتر بود. به طوری که با افزودن ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر به محلول غذایی، عملکرد وزن تر شاخساره ۲۹/۶ درصد افزایش یافت (شکل ۳). نقش



شکل ۲. اثر آنتیموان بر وزن تر شاخساره ذرت



شکل ۳. اثر فسفر بر وزن تر شاخساره ذرت

جدول ۲. اثر متقابل آنتیموان با شوری و با فسفر بر وزن تر شاخساره ذرت

آنتیموان (mgL^{-1})	وزن تر اندام هوایی (گرم در گلدان)						
	فسفر (mgL^{-1})			غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار)			
	۰	۳	میانگین	۰	۶۰	۱۲۰	میانگین
۰	۱۱/۹۴b	۱۳/۴۰a	۱۲/۶۷A	۱۶/۰۶a	۱۱/۹۲a	۱۰/۰۳a	۱۲/۶۷A
۶	۹/۱۲c	۱۴/۴۷a	۱۱/۷۹ B	۱۴/۸۷a	۱۲/۶۰a	۷/۹۱a	۱۱/۷۹ B
۱۸	۹/۵۱c	۱۱/۷۵b	۱۰/۶۳ C	۱۳/۷۳a	۱۰/۵۳ a	۷/۶۳a	۱۰/۶۳ C
	۱۰/۱۹B	۱۳/۲۱ A		۱۴/۸۹A	۱۱/۶۸B	۸/۵۲C	

مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۱٪ معنی‌دار نمی‌باشند. حروف کوچک نشان‌دهنده مقایسه برهمکنش‌ها و حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه عامل‌های اصلی می‌باشند.

عنصر نسبت داده می‌شود (۴). فسفر در گیاه نقش اساسی و مستقیمی در انتقال انرژی ایفا می‌کند. علاوه بر این، فسفات در کربن‌گیری گیاه نیز نقش مهمی دارد. به دلیل نقش این عنصر در انتقال انرژی مورد نیاز رشد، در گیاهانی که در شرایط کمبود فسفر رشد می‌کنند، ابتدا رشد ریشه متوقف شده، سپس رشد اندام هوایی کاهش یافته و بلوغ گیاه به تأخیر می‌افتد (۲).

اثر متقابل آنتیموان و شوری بر وزن تر شاخساره ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نشد، اما اثر متقابل فسفر و آنتیموان بر وزن تر شاخساره ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). در حضور آنتیموان، همراه با افزایش سطح فسفر، وزن تر شاخساره نیز افزایش یافت که دلیل این امر مربوط به اثر مثبت تغذیه فسفر بر رشد و نمو گیاه می‌باشد و با افزایش غلظت آنتیموان، در سطح یکسان فسفر، بوته‌هایی با وزن تر کمتری تولید شد (جدول۲) .

تجزیه داده‌ها نشان داد که اثر متقابل فسفر و شوری بر وزن تر شاخساره ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). بوته‌های رشد کرده در محلول غذایی با سطوح شوری بالا ولی در سطوح فسفر یکسان، دارای وزن تر کمتری نسبت به گیاهان رشد کرده در سطوح کمتر شوری بودند. مقایسه سطوح مختلف شوری و فسفر نشان داد که بوته‌های رشد کرده در تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر و در شرایط غیر شور (بدون کلرید سدیم) بیشترین وزن تر شاخساره را داشتند (جدول ۲). با توجه به اهمیت فسفر در گیاه و نقش آن در بسیاری از ترکیبات مهم سلول‌های گیاهی، ازجمله اسیدهای

جدول ۳. اثر متقابل شوری و فسفر بر وزن خشک شاخساره

آنتیوان (mgL^{-1})	وزن تر اندام هوایی (گرم در گلدان)						
	فسفر (mgL^{-1})		میانگین	غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار)			میانگین
	۰	۳		۰	۶۰	۱۲۰	
۰	۱/۴۰b	۱/۴۴b	۱/۴۲A	۱/۸۵a	۱/۲۶cd	۱/۱۶d	۱/۴۲A
۶	۱/۰۴c	۱/۵۶a	۱/۳۰B	۱/۶۳b	۱/۳۴c	۰/۹۳e	۱/۳۰B
۱۸	۱/۱۱c	۱/۳۹b	۱/۲۵B	۱/۵۸b	۱/۲۱cd	۰/۹۵e	۱/۲۵B
میانگین	۱/۱۸B	۱/۴۶A		۱/۶۹A	۱/۲۷B	۱/۰۱C	

مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۱٪ معنی‌دار نمی‌باشند. حروف کوچک نشان‌دهنده مقایسه برهمکنش‌ها و حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه فاکتورهای اصلی می‌باشند.

نوکلئیک، فسفولیپیدهای غشاء و نوکلئوتیدهایی که در متابولیسم گیاه شرکت دارند، تغذیه فسفر سبب افزایش تحمل گیاهان زراعی در برابر شوری شده است (۳). بر اساس گزارش معینی و فرح‌بخش (۳) کاربرد فسفر، به ویژه در غلظت‌های کم، اثرهای منفی شوری بر آفتابگردان را کاهش داد.

عملکرد وزن خشک شاخساره

افزایش سطح شوری، سبب کاهش معنی‌دار ($P<0/01$) در وزن خشک شاخساره شد و از لحاظ سطوح مختلف شوری بر وزن خشک شاخساره تفاوت معنی‌داری وجود داشته است (جدول۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین وزن خشک شاخساره مربوط به سطح صفر و کمترین آن مربوط به سطح ۱۲۰ میلی‌مولار شوری بود (جدول ۳). عملکرد وزن خشک در سطح ۶۰ میلی‌مولار شوری، ۲۴ درصد و در سطح ۱۲۰ میلی‌مولار شوری، ۳۴ درصد نسبت به صفر کاهش یافت.

وزن خشک شاخساره، با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذائی کاهش معنی‌داری ($P<0/01$) یافت (جدول ۳) و از لحاظ سطوح مختلف آنتیموان بر وزن خشک شاخساره تفاوت معنی‌داری وجود داشته است. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد بیشترین وزن خشک مربوط به سطح صفر و کمترین آن مربوط به سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان بود. کاهش وزن خشک شاخساره در سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان، ۸/۴ درصد و در سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان، ۱۲/۰ درصد بود. وزن خشک گیاهان کشت شده در محلول‌های حاوی فسفر به‌طور معنی‌داری از گیاهان رشد کرده در محلول‌های بدون فسفر بیشتر بود ($P<0/01$)، به طوری که با افزایش غلظت فسفر تا ۳ میلی‌گرم در لیتر، عملکرد وزن خشک ۲۴ درصد افزایش یافت.

در حضور آنتیموان، وزن خشک شاخساره با افزایش شوری به طور معنی‌داری ($P<0/01$) کاهش یافت (جدول ۳). بیشترین وزن خشک مربوط به گیاهان رشد کرده در محلول صفر آنتیموان و شوری و کمترین آن در هر سه سطح آنتیموان، مربوط به سطح ۱۲۰ میلی‌مولار شوری بوده است (جدول ۳).

تجزیه داده‌ها نشان داد که اثر متقابل آنتیموان و فسفر بر وزن خشک شاخساره ذرت، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول۱). بیشترین وزن خشک شاخساره مربوط به سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان و ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر و کمترین آن مربوط به سطح حاوی آنتیموان و فاقد فسفر بوده است (جدول ۳).

اثر متقابل فسفر و شوری بر وزن خشک شاخساره ذرت نشان داد که با افزایش شوری در یک سطح فسفر، وزن خشک گیاه به طور معنی‌داری ($P<0/01$) کاهش یافت. اگرچه وزن خشک گیاه در سطح ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر در کلیه سطوح شوری، بیشتر ازسطح فسفر صفر میلی‌گرم در لیتر بود. مقایسه

جدول ۴. اثر متقابل شوری و فسفر بر وزن تر و خشک شاخساره ذرت

غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار)	وزن خشک شاخساره (گرم در گلدان)			وزن تر شاخساره (گرم در گلدان)		
	فسفر (mgL^{-1})		میانگین	فسفر (mgL^{-1})		میانگین
	۰	۳		۰	۳	
۰	۱/۴۹b	۱/۸۷a	۱/۶۹A	۱۲/۹۹c	۱۶/۷۸a	۱۴/۹۰A
۶۰	۱/۰۴c	۱/۵۰b	۱/۲۷B	۹/۱۱d	۱۴/۲۶b	۱۱/۶۸ B
۱۲۰	۱/۰۱c	۱/۰۱c	۱/۰۱C	۸/۴۷d	۸/۵۸d	۸/۵۲C
میانگین	B۱/۱۸	A۱/۴۶		۱۰/۱۹ B	۱۳/۲۱A	

مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۱٪ معنی‌دار نمی‌باشند. حروف کوچک نشان‌دهنده مقایسه برهمکنش‌ها و حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه فاکتورهای اصلی می‌باشند.

میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن خشک مربوط به گیاهان رشد کرده در محلول غذایی غیرشور حاوی سطح ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر و کمترین آن مربوط به بوته‌های رشد کرده در سطح ۱۲۰ میلی‌مولار شوری در هر دو سطح فسفر بوده است (جدول ۴).

غلظت آنتیموان ریشه

تجزیه آماری نشان داد که با افزایش شوری، غلظت آنتیموان در ریشه گیاه به طور معنی‌داری ($P<0/01$) افزایش یافت (جدول۱). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که بیشترین غلظت آنتیموان ریشه مربوط به سطح ۶۰ میلی‌مولار و کمترین غلظت در ریشه مربوط به سطح صفر شوری بود. غلظت آنتیموان ریشه در سطح ۶۰ میلی‌مولار شوری، ۷۴ درصد و در سطح ۱۲۰ میلی‌مولار شوری، ۵۰ درصد نسبت به سطح صفر شوری افزایش یافت. شوری زیاد می‌تواند قدرت انتخاب غشاء سلول را مختل نموده و ورود آنتیموان به سلول را تسهیل نماید. در نتیجه با افزایش سطح شوری، غلظت آنتیموان ریشه نیز افزایش می‌یابد (۱۹).

افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی، به طور معنی‌داری سبب افزایش غلظت آنتیموان ریشه شد ($P<0/01$). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین غلظت آنتیموان ریشه مربوط به سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان و کمترین آن مربوط به سطح صفر آنتیموان بوده به طوری که غلظت گیاه در تیمار بدون آنتیموان، کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بود. افزایش غلظت آنتیموان از ۶ به ۱۸ میلی‌گرم در لیتر، منجر به ۳۷ درصد افزایش در غلظت آنتیموان ریشه گردید. تشان و همکاران (۲۴) نشان دادند که غلظت آنتیموان در دو گیاه ذرت و آفتابگردان رابطه مستقیمی با غلظت آنتیموان محلول غذایی داشت. با وجود این‌که آنتیموان یک عنصر غیرضروری برای گیاهان است، اما می‌تواند به آسانی توسط گیاه جذب شود (۷) و سطح ۱۰-۵ میلی‌گرم در کیلوگرم آنتیموان در بافت‌های گیاهی سمی گزارش شده است (۱۵). ولی در این پژوهش با اعمال سطوح مشخصی از آنتیموان، غلظت آنتیموان گیاه به حد سمیت نرسیده است.

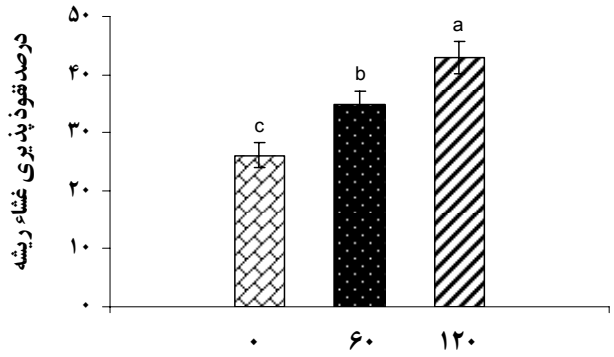
افزایش غلظت فسفر در محلول غذایی، تفاوت معنی‌داری را در غلظت آنتیموان ریشه ایجاد نکرد (جدول۱). اثر متقابل شوری بر آنتیموان و فسفر بر آنتیموان ریشه ذرت، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین غلظت آنتیموان ریشه مربوط به سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان و ۶۰ میلی‌مولار شوری و کمترین آن مربوط به سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان و صفر شوری بوده است (جدول ۵).

بیشترین غلظت آنتیموان، مربوط به سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان و فسفر صفر و کمترین غلظت این عنصر مربوط به

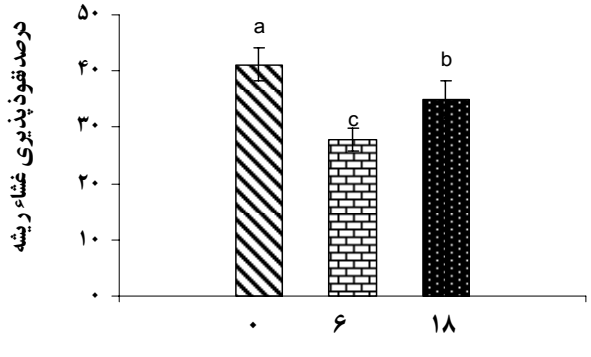
جدول ۵ . اثر متقابل آنتیموان با شوری و با فسفر بر غلظت آنتیموان ریشه

آنتیموان (mgL^{-1})	غلظت آنتیموان ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم گلدان)						
	غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار)			میانگین	فسفر (mgL^{-1})		میانگین
	۰	۶۰	۱۲۰		۰	۳	
۰	nd	nd	nd	-	nd	nd	-
۶	۰/۷۲d	۰/۹۴c	۱/۰۲c	۰/۸۹B	۰/۸۳d	۰/۹۶c	۰/۸۹B
۱۸	۰/۷۷cd	۱/۶۷a	۱/۲۳b	۱/۲۲A	۱/۲۸a	۱/۱۷b	۱/۲۲A
میانگین	۰/۴۹C	۰/۸۷A	۰/۷۵B		۰/۷۰A	۰/۷۱A	

مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۱٪ معنی‌دار نمی‌باشند. حروف کوچک نشان‌دهنده مقایسه برهمکنش‌ها و حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه فاکتورهای اصلی می‌باشند.



شکل۴. اثر شوری بر نفوذپذیری غشاء ریشه ذرت



شکل ۵ . اثر آنتیموان بر نفوذپذیری غشاء ریشه ذرت

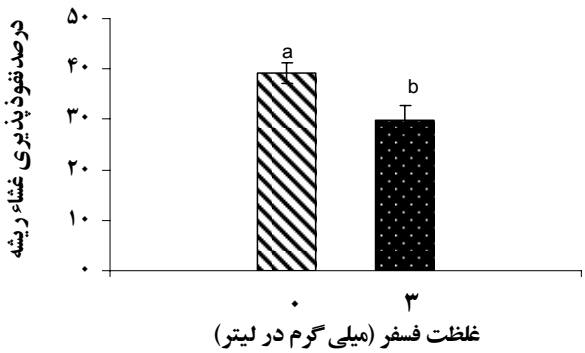
سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان و فسفر صفر بوده است.

اثر متقابل شوری و فسفر بر غلظت آنتیموان ریشه ذرت در سطح احتمال ۱٪، تفاوت معنی‌داری را ایجاد نکرد (جدول۱).

نفوذپذیری غشاء ریشه

افزایش سطح شوری در محلول غذایی، نفوذپذیری غشاء ریشه را نیز به طور معنی‌داری ($P<0/01$) افزایش داد (جدول۱). بیشترین نفوذپذیری غشاء ریشه مربوط به تیمار ۱۲۰ میلی‌مولار شوری و کمترین آن مربوط به سطح شاهد شوری بود به طوری که درصد نفوذپذیری غشاء ریشه در سطح ۶۰ میلی‌مولار شوری ۳۴ درصد و در سطح ۱۲۰ میلی‌مولار شوری ۶۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۴). سوفو و همکاران (۲۱) گزارش کردند که در شرایط تنش، فرایندهای مخرب غشاء فعال شده و منجر به اکسایش لیپیدهای غشاء می شوند. در نتیجه، درصد نفوذپذیری غشاء ریشه در شرایط تنش افزایش می‌یابد. با افزایش شوری، درصد نفوذپذیری غشاء ریشه به علت تنش حاصل از شوری افزایش یافت.

مقایسه میانگین تیمارهای آنتیموان نشان داد که بیشترین نفوذپذیری غشاء ریشه مربوط به سطح صفر و کمترین آن مربوط به سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان بود. درصد نفوذپذیری غشاء ریشه در سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان ۳۲/۵ درصد و در سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان ۱۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۵). با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی، نفوذپذیری غشاء ریشه ابتدا کاهش و دوباره افزایش یافت ($P<0/01$). گزارش‌های آرتتکس



شکل ۶. اثر فسفر بر نفوذپذیری غشاء ریشه ذرت

و همکاران (۹) نشان داد که تجمع مواد سمی در گیاه سبب آزاد شدن رادیکال‌های اکسیژن فعال در گیاه شده و بر ساختار غشاء سلولی تأثیر گذاشته و سبب اختلال در فرایندهای مختلف سلولی می‌گردد.

نتایج این پژوهش نشان داد که آنتیموان می‌تواند در غلظت کم برای گیاه ضروری و در غلظت بالا سمی باشد. بر اساس نتایج این پژوهش، میانگین درصد نفوذپذیری غشاء ریشه در سطح صفر میلی‌گرم در لیتر آنتیموان بیشتر از دو سطح دیگر بود. بر اساس گزارش تشان و همکاران (۲۴)، آنتیموان از لحاظ خصوصیات شیمیایی شبیه به آرسنیک و فسفر است. گیاهان با سازوکار مشابهی این عناصر را جذب می کنند. در نتیجه، در غلظت صفر میلی‌گرم در لیتر آنتیموان نسبت به دو سطح دیگر، گیاه از نظر برخی عناصر دچار کمبود شده و درصد نفوذپدیری غشاء ریشه افزایش می‌یابد. غلظت زیاد آنتیموان نیز برای گیاه سمی است و گروه‌های سولفیدریل و فسفات غشاء را از بین برده و نفوذپذیری را افزایش می‌دهد (۲۲). نفوذپذیری غشاء ریشه در سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر نسبت به سطح صفر آنتیموان کمتر است.

ریشه گیاهانی که در محلول غذایی حاوی فسفر کمتری رشد کرده بودند دارای نفوذپذیری بیشتری بوده و افزایش غلظت فسفر تأثیر معنی‌داری ($P<0/01$) بر درصد نفوذپذیری غشاء ریشه داشت (جدول۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که نفوذپذیری غشاء ریشه در تیمار صفر فسفر ۲۴ درصد بیشتر از تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر بود (شکل ۶). فسفر نیز به دلیل نقش در گروه‌های فسفات غشاء سبب استحکام آن و کاهش درصد نفوذپذیری غشاء ریشه می‌شود.

افزایش شوری در هر سطحی از آنتیموان سبب افزایش درصد نفوذپذیری غشاء ریشه شد ولی افزایش آنتیموان در یک سطح از شوری منجر به کاهش درصد نفوذپذیری شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین درصد نفوذپذیری غشاء ریشه مربوط به تیمار صفر آنتیموان و ۱۲۰میلی‌مولار شوری و کمترین آن مربوط به تیمار ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان و بدون شوری بود (جدول۶). با افزایش سطح شوری در یک سطح معین از آنتیموان درصد نفوذپذیری غشاء ریشه افزایش یافته ولی این افزایش در سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان نسبت به دو سطح دیگر کمتر بود.

همراه با افزایش فسفر محلول غذایی حاوی آنتیموان، درصد نفوذپذیری غشاء ریشه گیاهان کاهش معنی‌داری ($P<0/01$) یافت (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین درصد نفوذپذیری غشاء ریشه مربوط به تیمار صفر آنتیموان و فسفر و کمترین آن مربوط به تیمار ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان و سطح ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر بود (جدول۶). بررسی اثر متقابل آنتیموان و فسفر نشان داد که در سطوح صفر و ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان، با افزایش فسفر، درصد نفوذپذیری غشاء ریشه کاهش یافت. ولی در سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان، به علت اثر منفی آنتیموان، فسفر نتوانسته نقش مثبت خود را ایفا کند و درصد نفوذپذیری غشاء ریشه تغییر معنی‌داری نداشته است.

نفوذپذیری گیاهان رشد کرده در سطح یکسان فسفر، با افزایش شوری افزایش معنی‌داری ($P<0/05$) داشت. افزایش در سطح ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر نسبت به سطح فسفر صفر کمتر بود چون اثر مثبت فسفر توانسته اثر منفی شوری را تا حدودی کاهش دهد. در هر سطح شوری، با افزایش غلظت فسفر، درصد نفوذپذیری غشاء کاهش یافت. مقایسه میانگین‌ها نشان

جدول ۶. اثر متقابل آنتیموان با شوری و فسفر بر نفوذپذیری غشاء ریشه

آنتیموان (mgL^{-1})	نفوذپذیری غشاء ریشه(٪)					
	غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار)			میانگین	فسفر (mgL^{-1})	
	۰	۶۰	۱۲۰		۰	۳	میانگین
۰	۳۴/۹۱d	۴۱/۲۵bc	۴۷/۱۷a	۴۱/۱۱A	۵۰/۳۸a	۳۱/۸۴b	۴۱/۱۱A
۶	۲۱/۶۸e	۲۵/۳۸e	۳۶/۲۲cd	۲۷/۷۶C	۳۲/۶۱b	۲۲/۹۱c	۲۷/۷۶C
۱۸	۲۱/۵۳e	۳۷/۷۴cd	۴۵/۴۶ab	۳۴/۹۱B	۳۴/۷۷b	۳۵/۰۶b	۳۴/۹۲B
میانگین	۲۶/۰۴C	۳۴/۷۹B	۴۲/۹۵A		۳۹/۲۵A	۲۹/۹۴B	

۱- مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح یک درصد معنی‌دار نمی‌باشند. حروف کوچک نشان‌دهنده مقایسه برهمکنش‌ها و حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه عامل‌های اصلی می‌باشد.

جدول ۷. اثر متقابل شوری و فسفر بر غلظت آنتیموان ریشه نفوذپذیری غشاء ریشه

غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار)	نفوذپذیری غشاء ریشه (٪)			غلظت آنتیموان ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم گلدان)		
	فسفر (mgL^{-1})		میانگین	فسفر (mgL^{-1})		میانگین
	۰	۳		۰	۳	
۰	۰/۵۰a	۰/۵۰a	۰/۵۰C	۳۲/۸۷c	۱۹/۲۱d	۲۶/۰۴C
۶۰	۰/۹۰a	۰/۸۴a	۰/۸۷A	۳۹/۴۱b	۳۰/۱۷c	۳۴/۷۹B
۱۲۰	۰/۷۱a	۰/۷۹a	۰/۷۵B	۴۵/۴۸a	۴۰/۴۲b	۴۲/۹۵A
میانگین	۰/۷۰A	۰/۷۱A		۳۹/۲۵A	۲۹/۹۴B	

مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۱٪ معنی‌دار نمی‌باشند. حروف کوچک نشان‌دهنده مقایسه برهمکنش‌ها و حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه فاکتورهای اصلی می‌باشند.

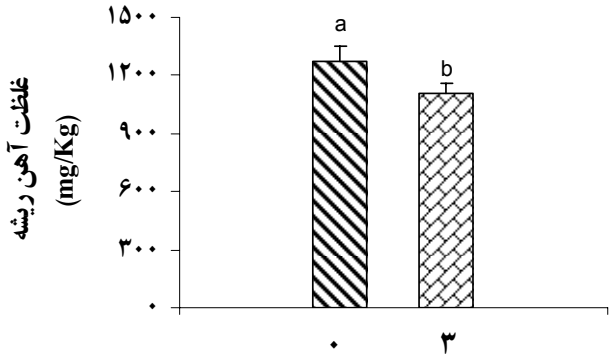
داد بیشترین درصد نفوذپذیری غشاء ریشه مربوط به بوته‌های رشد کرده در محلول بدون فسفر و سطح ۱۲۰ میلی‌مولار شوری و کمترین آن مربوط به سطح ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر و شوری صفر بود (جدول۷).

غلظت آهن ریشه

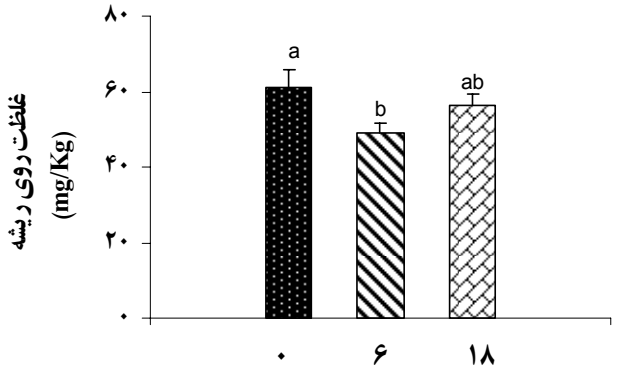
اثر شوری و آنتیموان بر غلظت آهن ریشه ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان دادکه غلظت آهن ریشه، مربوط به سطح صفر فسفر بیشتر از غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر بود (شکل ۷). غلظت آهن در سطح ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر نسبت به سطح فسفر صفر ۱۳٪ کاهش یافته است.

تجزیه داده‌ها نشان داد که اثر متقابل شوری و آنتیموان بر غلظت آهن ریشه ذرت در سطح احتمال ۵٪ و اثر متقابل آنتیموان و فسفر بر غلظت آهن ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. اما، اثر متقابل شوری فسفر بر غلظت آهن ریشه ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نیست (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین غلظت آهن ریشه مربوط به تیمار صفر آنتیموان و ۱۲۰میلی‌مولار شوری و کمترین آن مربوط به سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان و صفر کلرید سدیم بود (جدول ۸).

همان طور که در جدول ۸ نشان داده شده، بیشترین غلظت آهن ریشه مربوط به سطح صفر آنتیموان در فسفر و کمترین آن، مربوط به سطح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان و ۳ میلی‌گرم در لیتر



شکل ۷. اثر فسفر بر غلظت آهن ریشه



شکل ۸ . اثرآنتیموان بر غلظت روی ریشه

جدول ۸. اثر متقابل آنتیموان با شوری و فسفر بر غلظت آهن ریشه

آنتیموان (mgL^{-1})	غلظت آهن ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم)						
	غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار)			میانگین	فسفر (mgL^{-1})		میانگین
	۰	۶۰	۱۲۰		۰	۳	
۰	۱۲۱۹/۹۳a	۱۱۴۹/۳۹a	۱۳۵۰/۵۹a	۱۲۳۹/۹۷A	۱۴۲۲/۱۲a	۱۰۵۷/۸۲cd	۱۲۳۹/۹۷A
۶	۱۳۴۳/۲۸a	۱۱۷۲/۹۳a	۱۲۱۷/۰۹a	۱۲۴۴/۴۳A	۱۱۲۶/۱۶b-d	۱۳۶۲/۷۰ab	۱۲۴۴/۲۰A
۱۸	۷۵۲/۶۷b	۱۱۶۰/۲۶a	۱۳۴۹/۸۶a	۱۰۸۷/۵۹A	۱۲۸۱/۶۹a–d	۸۹۳/۵۰d	۱۰۸۷/۵۹A
میانگین	۱۱۰۵/۲۹B	۱۱۶۰/۸۶AB	۱۳۰۵/۸۵A		۱۲۷۶/۶۶A	۱۱۰۴/۶۷B	۱۲۳۹/۹۷A

۱- مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح یک درصد معنی‌دار نمی‌باشند. حروف کوچک نشان‌دهنده مقایسه برهمکنش‌ها و حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه فاکتورهای اصلی می‌باشد.

فسفر بود. بررسی اثر متقابل آنتیموان و فسفر نشان داد که همراه با افزایش فسفر در محلول غذایی در یک سطح آنتیموان، غلظت و جذب آهن ریشه کاهش یافت ولی در سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان همراه با افزایش فسفر، غلظت و جذب آهن ریشه افزایش یافت. یعنی بین سطوح ۶ میلی‌گرم در لیترآنتیموان و ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر یک هم‌افزایی جهت افزایش جذب و غلظت آهن در ریشه گیاه بود.

غلظت روی ریشه

اثر شوری و فسفر بر غلظت روی ریشه ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نیست (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت روی ریشه مربوط به سطح صفر آنتیموان و کمترین آن، مربوط به سطح ۶ میلی‌گرم در لیتر بوده و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار بود ($P<0/01$) (شکل ۸).

بیشترین غلظت روی ریشه، مربوط به سطوح صفر آنتیموان و شوری و کمترین غلظت عنصر، مربوط به سطوح ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان و صفر شوری بود که این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار است ($P<0/01$) (جدول ۹).

تجزیه داده‌ها نیز نشان داد اثر متقابل آنتیموان و فسفر بر غلظت روی ریشه ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نیست (جدول ۹).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت روی مربوط به تیمار بالاترین سطح فسفر و شوری و کمترین آن، مربوط به سطوح متقابل ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر و صفر شوری بوده

جدول ۹. اثر متقابل آنتیموان با شوری و فسفر بر غلظت روی ریشه

آنتیموان (mgL^{-1})	غلظت روی ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم)						
	غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار)			میانگین	فسفر (mgL^{-1})		میانگین
	۰	۶۰	۱۲۰		۰	۳	
۰	۶۸/۹۲a	۴۸/۲۰d	۶۵/۵۱a	۶۰/۸۷A	۶۱/۲۶a	۶۰/۴۹a	۶۰/۸۷A
۶	۴۵/۲۶d	۵۱/۴۲ bcd	۵۰/۰۴cd	۴۸/۹۱B	۴۳/۵۴a	۵۴/۲۷a	۴۸/۹۱B
۱۸	۴۳/۷۵d	۶۱/۶۶abc	۶۳/۳۶ab	۵۶/۲۶AB	۵۴/۸۹a	۵۷/۶۲a	۵۶/۲۶AB
میانگین	۵۲/۶۴A	۵۳/۷۶A	۵۹/۶۳A		۵۳/۲۳A	۵۷/۴۶A	

مقادیر با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۱٪ معنی‌دار نمی‌باشند. حروف کوچک نشان‌دهنده مقایسه برهمکنش‌ها و حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه فاکتورهای اصلی می‌باشند.

جدول ۱۰. اثر متقابل شوری و فسفر بر غلظت آهن و روی ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم)

غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار)	غلظت آهن ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم)			غلظت روی ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم)		
	فسفر (mgL^{-1})		میانگین	فسفر (mgL^{-1})		میانگین
	۰	۳		۰	۳	
۰	۱۱۲۶/۶۸a	۱۰۸۳/۹۱a	۱۱۰۵/۲۹B	۵۵/۸۶b	۴۹/۴۳b	۵۲/۶۴A
۶۰	۱۲۳۹/۲۳a	۱۰۸۲/۴۸a	۱۱۶۰/۸۶AB	۵۱/۷۳b	۵۵/۷۸b	۵۳/۷۶A
۱۲۰	۱۴۶۴/۰۷a	۱۱۴۷/۶۳a	۱۳۰۵/۸۵A	۵۲/۱۰b	۶۷/۱۸a	۵۹/۶۳A
میانگین	۱۲۷۶/۶۶A	۱۱۰۴/۶۷B		۵۳/۲۳A	۵۷/۴۶A	

است. در سطح صفر فسفر با افزایش شوری تفاوت معنی‌داری در غلظت روی ریشه مشاهده نشد. اما، در سطح ۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر با افزایش غلظت شوری، غلظت روی ریشه نیز افزایش یافت($P<0/05$) (جدول ۱۰).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که آنتیموان منجر به کاهش وزن تر گیاه ذرت شد اما میزان انباشتگی آنتیموان در آن به حد سمیت نرسید. اثر متقابل آنتیموان با فسفر، در غلظت‌های به‌کار رفته در این آزمایش تأثیر مثبتی بر گیاه داشته و باعث افزایش وزن تر شاخساره و کاهش درصد نفوذپذیری غشاء ریشه گیاه شد. غلظت بالای آنتیموان در محیط بر نفوذپذیری غشاء ریشه اثر منفی داشت در حالی که غلظت کم آنتیموان در محلول غذایی باعث کاهش معنی‌دار درصد نفوذپذیری غشاء ریشه شد. بالا رفتن غلظت آنتیموان در محلول غذایی تأثیر معنی‌داری بر غلظت آهن ریشه نداشت در حالی که باعث کاهش غلظت روی و افزایش غلظت آنتیموان ریشه شد. با توجه به اهمیت آنتیموان و تحقیقات کم انجام شده پیرامون این عنصر در ایران پیشنهاد می‌شود که تحقیقات بیشتری در زمینه فرایند جذب و انتقال آنتیموان در گیاه و عوامل موثر بر انباشت آن در اندام‌های خوراکی ذرت به‌عمل آید.

منابع مورد استفاده

۱. رجایی، م. ۱۳۸۵. تأثیر زمان، سطوح و منابع کادمیم و نیکل بر شکل‌های شیمیایی، رشد و جذب این دو عنصر توسط اسفناج. دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۲. سالاردینی، ع. ۱۳۷۶. *حاصلخیزی خاک و کودها*. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

۳. معینی، م . و ع. فرح بخش. ۱۳۸۲. بررسی اثر کاربرد فسفر در شرایط شوری روی آفتابگردان. *مجموعه مقالات هشتمین کنگرهٔ علوم خاک ایران*، رشت.

۴. قولر عطا، م.، ف. رئیسی و ح. نادیان. ۱۳۸۷. اثرات متقابل شوری و فسفر بر رشد، عملکرد و جذب عناصر در شبدر برسیم، پژوهش‌های زراعی ایران ۶ : ۱۱۷-۱۲۶.

5. Adriano, D. C. 2001. Trace elements in terrestrial environments. 2nd Ed., Springer-Verlag, New York.
6. Ainsworth, N., J. A. Cooke and M. S. Johnson. 1990. Distribution of antimony in contaminated grassland: 1. Vegetation and soils. Environ. Pollut. 65: 65-77.
7. Ainsworth, N., J. A. Cooke and M. S. Johnson. 1991. Biological significance of antimony in contaminated grassland. Water, Air and Soil Pollut. 57/58: 193-199.
8. Amereih, S., Th. Meisel., R. Scholger and W. Wegscheider. 2005. Antimony speciation in soil samples along two Austrian motorways by HPLC-ID-ICP-MS. Environ. Monit. 7: 1200-1206.
9. Artetxe, U., J. I. Garcia–Plazaola, A. Hernandez and J. M. Becerril. 2002. Low light grown duckweed plants are more protected against the toxicity induced by Zn and Cd. Plant Physiol. Bioch. 40: 859-863.
10. Dietl, C., W. Reifenhauser and L. Peichl. 1997. Association of antimony with traffic-occurrence in airborne dust, deposition and accumulation in standardized grass cultures. Sci. The Total Environ. 205: 235-244.
11. Elinder, C. G. and L. Friberg. 1986. Antimony. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
12. Filella, M., N. Belzile and Y. W. Chen. 2002. Antimony in the environment: A review focused on nautral waters. I. Occurrence. Earth Sci. Rev. 57: 125-176.
13. Gresch, M. and B. Wettstein. 2002. Antimon-und Bleibelastung bei Schiessanlagen. Fallbeispiel Eschenbach (SG), Semesterarbeit, Zurich, ETH.
14. He, M. and J. Yang. 1999. Effects of different forms of antimony on rice during the period of germination and growth and antimony concentration in rice tissue. Sci. The Total Environ. 243/244: 149-155.
15. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd Ed., CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
16. Lintschinger, J., B. Michalke, S. Schulte-Hostede and P. Schramel. 1998. Studies on speciation of Sb in soil contaminated by industrial activity. Environ. Anal. Chem. 72: 11–25.
17. Nash, M., J. Maskall and S. Hill. 2000. Methodologies for determination of antimony in terrestrial environmental samples. Environ. Monit. 2: 97-109.
18. Rish, M. A. 2004. Antimony. Elements and their compounds in the environment. 2. Auflage: 659-670.
19. Pilarski, J., P. Waller and W. Pickering. 1994. Sorption of antimony species by humic acid. Water, Air and Soil Pollut. 84: 51-59.
20. Shotyk, W., M. Krachler and B. Chen. 2006. Toxic risk in bottled water. Environ. Monit. 8: 288-292.
21. Sofo, A., B. Dichio, C. Xiloyannis, and A. Masia. 2004. Effects of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during rewatering in olive tree. Plant Sci. 106*:* 293-300.
22. Streeter, T. C., Z. Rengel, S. M. Neate, and R. D. Graham. 2001. Zinc fertilization increases tolerance to Rhizocotina Solani in Medicago truncautla. Plant Soil 228: 223-242.
23. Sun, H., S. C. Yan and W. S. Cheng. 2000. Interaction of antimony tartrate with the tripeptide glutathione: Implication for its mode of action. Biochem. 267: 5450–5457.
24. Tschan, M., B. Robinson and R. Schulin. 2008. Antimony uptake by *Zea mays* (L.) and *Helianthus annuus* (L.) from nutrient solution. Environ. Geochem. Health 30: 187-191.
25. Woolsen, E. A., J. H. Axley, and P. C. Kearney. 1973. The chemistry and phytotoxicity of arsenic in soils: Effects of time and phosphorous. Soil Sci. Soc. Am. J. 37: 254-259.
26. Yan, B., Q. Dai, X. Liu, S. Huang and Z. Wang. 1996. Flooding-induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leaves. Plant Soil 179: 261-268.