بررسی جذب، انباشتگی و مقاومت به آنتیموان در گیاه *Tanacetum polycephalum*

ناصر جمالی حاجیانی[۱]، سید مجید قادریان[۱*] و ناصر کریمی[۲]

[۱] **اصفهان، دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی**

[۲] **کرمانشاه، دانشگاه رازی، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی**

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۳

چکیده

آنتیموان از عناصر غیرضروری برای جانداران می‌باشد که دارای اثرات سمی متفاوتی در گیاهان است. با این حال برخی گیاهان می‌توانند با غلبه بر اثرات سمی آنتیموان، آن را جذب و در بافت‌های خود انباشته کنند. یکی از این گیاهان *Tanacetum polycephalum* می‌باشد. در این تحقیق، این گیاه از خاک‌های آلوده به آنتیموان مغانلو زنجان جمع‌آوری گردید که بالاترین مقدار آنتیموان در بخش هوایی این گیاه برابر با ۱۲۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج حاصل از کشت این گیاه در شرایط پرلیت نشان‌داد که با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی وزن خشک ریشه و ساقه کاهش یافت و این کاهش در ریشه شدیدتر بود. مقدار آنتیموان در ریشه و بخش هوایی نیز با افزایش غلظت این عنصر در محیط کشت افزایش یافت. در تیمار ۱۰۰ میلی-گرم در لیتر مقدار عنصر در بخش هوایی برابر با ۱۶۹۷/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، در حالی که مقدار آنتیموان انباشته‌شده در ریشه بیشتر بود. همچنین با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی مقدار کلروفیل a و b کاهش یافت. در تیمارهای بالاتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر نسبت کلروفیل a به b افزایش یافت. همچنین مقدار کاروتنوئیدها و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات-پراکسیداز نیز با افزایش غلظت آنتیموان در این گیاه افزایش یافت. در مجموع با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت گیاه *Tanacetum polycephalum* دارای مقاومت و قابلیت جذب نسبتا بالایی برای آنتیموان می‌باشد و می‌تواند این عنصر را در بخش‌های هوایی خود انباشته‌کند؛ بنابراین می‌تواند برای پاکسازی مناطق آلوده به آنتیموان استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آنتیموان، *Tanacetum polycephalum*، جذب، انباشت

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۱۳۷۹۳۲۴۶۴ ، پست الکترونیکی: ghaderian@sci.ui.ac.ir

مقدمه

آنتیموان شبه فلزی با عدد اتمی ۵۱ است که مهمترین کاربردهای این عنصر در ساختن مواد نیمه رسانا، دیودها و آشکارسازهای مادون قرمز، مواد اطفاء حریق، فشنگ‌های منور، آلیاژها، باطری‌های انباره‌ای، داروهای ضد لیشمانیا و در صنایع پلاستیک‌سازی و سرامیک‌سازی است (۴۰، ۲۸). مقدار این شبه فلز در پوسته زمین در اغلب نقاط بین ۰/۵ تا ۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک خاک متغیر است؛ اما در مناطق متعددی از جهان به دلیل فعالیت‌های معدنی، این عنصر در مقادیری بالاتر از حد طبیعی در خاک یافت می‌شود (۳۶).

آنتیموان یک عنصر غیرضروری برای گیاهان و جانوران است که عملکرد بیولوژیکی شناخته‌شده‌ای ندارد. این عنصر برای انسان و جانوران حالت سمی دارد و در انسان باعث سرطان‌زایی، ناراحتی‌های مزمن تنفسی، برونشیت مزمن، افزایش فشار خون، دردهای شکمی، اسهال و استفراغ، زخم معده، بیماری‌های پوستی، سقط جنین و اختلال در عادت ماهیانه در زنان می‌گردد (۳۶). اثرات سمی آنتیموان در گیاهان کمتر مورد مطالعه قرار گرفته-است؛ ولی مطالعات نشان داده‌است که فرم معدنی آن نسبت به فرم آلی این عنصر سمیت بیشتری دارد (۳۹).

بطور کلی این عنصر باعث کاهش جوانه‌زنی، کاهش تعداد و طول ریشه، کاهش رشد بخش‌های هوایی، ممانعت از سنتز کلروفیل، اثر بر فتوسیستم II و کاهش میزان فتوسنتز می‌گردد (۴۱، ۳۹). به نظر می‌رسد که دلیل اصلی سمیت آنتیموان واکنش با گروه‌های عملکردی تیول پروتئین‌ها باشد و همچنین ممکن است جایگزین فسفر در واکنش‌های بیولوژیکی شود (۴۰).

آنتیموان در مقادیر بالاتر از ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه باعث بروز اثرات سمیت می‌گردد (۲۰). با این حال، در بسیاری از خـــاک‌های آلوده به آنتیموان، جمعیت‌ها و گونه‌هـــای گیاهی مقاوم دیده می‌شود که می‌توانند به خوبی در خاک‌های آلوده به آنتیموان رشد کنند. گروهی از این گیاهان با جذب و انباشت این عنصر در بافت‌های خود، با مکانیسم های خاصی اثر سمیت آن را خنثی می‌کنند (۳۱). برخی از این گونه‌های گیاهی می‌توانند به عنوان بیش‌انباشت‌گر آنتیموان (با جذب و تجمع بیش از mg/Kg ۱۰۰۰) محسوب شوند.

نظر به اینکه کشف و تحقیقات مربوط به گیاهان بیش‌انباشت‌گر آنتیموان به تازگی انجام شده است، یافته‌های کمی درباره مکانیسم‌های سازش گیاهان به غلظت‌های بالای این عنصر و توانایی انباشت آن در بخش‌های مختلف این گیاهان وجود دارد. با توجه به این شرایط، یافتن گیاهان انباشت‌گر آنتیموان با توانایی تکثیر سریع و سازش‌پذیری با شرایط محیطی یکی از مسائل موردتوجه محققان است. از این‌رو، شناسایی گیاهان رشدیافته در مناطق آلوده به آنتیموان و بررسی پتانسیل این گیاهان در جذب این عنصر توسط ریشه و انتقال آن به بخش‌های هوایی از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین شناسایی چنین گیاهانی، زمینه‌ای برای بررسی مکانیسم‌های فیزیولوژیکی جذب و مقاومت به این عنصر در شرایط محیطی و آزمایشگاهی فراهم می‌کند که می‌تواند در تبیین مسائل ناشناخته در این مورد مهم باشد. خاک های منطقه معدنی مغانلو در استان زنجان حاوی مقادیر بالایی آنتیموان می‌باشد. یکی از گیاهانی که می‌تواند در خاک‌های آلوده به آنتیموان این منطقه معدنی به‌خوبی رشد کند و این عنصر را در مقادیر نسبتا بالایی در بافت‌های خود انباشته کند، گیاه *Tanacetum polycephalum* متعلق به خانواده Asteraceae می‌باشد. در این تحقیق مقاومت این گیاه به تنش غلظت‌های مختلف آنتیموان در محیط کشت پرلیت بر اساس اندازه‌گیری وزن خشک گیاه، میزان کلروفیل و کاروتنوئید و میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز مورد بررسی قرار گرفت. همچنین میزان جذب و انباشت آنتیموان در بخش هوایی و ریشه این گیاه، رشد کرده در شرایط طبیعی و کشت آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روشها

معرفی منطقه، جمع‌آوری نمونه‌های گیاهی، خاک و بذر گیاه: منطقه معدنی مغانلو در استان زنجان و در ۴۳ کیلومتری جنوب‌غربی بخش ماه‌نشان در کنار روستای مغانلو واقع شده است. ذخیره آنتیموان این منطقه معدنی بطور تخمینی ۲۶۰۰۰ تن با عیار متوسط ۳۲ درصد برآورد شده‌است. این منطقه علاوه بر آنتیموان از نظر فلدسپات نیز غنی می‌باشد (۱).

تعداد ۱۴ نمونه گیاهی شامل بخش هوایی و ریشه در مرحله گل‌دهی و خاک اطراف ریشه در عمق حدود ۱۵ سانتی‌متری به منظور آنالیز مقدار آنتیموان در گیاه و خاک، در خرداد و تیر ماه ۱۳۹۰ و بذرهای گیاه *T. polycephalum* در تابستان ۱۳۹۰ از نقاط مختلف منطقه معدنی مغانلو جمع‌آوری شد .

کشت گیاه و تیمار: گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۹ سانتیمتر حاوی مخلوطی از پرلیت متوسط و درشت آماده شد. سپس بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم با ۵ درصد کلر فعال برای ۱۰ دقیقه ضدعفونی شد. در هر گلدان تعداد

۱۵ بذر کاشته شد و ۳ تکرار برای هر غلظت در نظر گرفته شد و گلدان‌ها در طرح آماری کاملا تصادفی در اتاقک کشت با دمای متناوب ۱۸ / ۲۵ درجه (شب/روز) و تناوب نوری (۱۶ ساعت نور / ۸ ساعت تاریکی) با نور مصنوعی قرار داده‌شدند. بعد از جوانه‌زنی، گیاهچه‌های حاصل برای مدت ۳۰ روز با محلول غذایی تغییریافته هوگلند با pH حدود ۶ غذادهی شدند. بعد از یک ماه رشد، گیاهان حاصل برای مدت ۳۵ روز با غلظت‌های ۰، ۲، ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان در محلول غذایی ۴۰ درصد هوگلند (برای هر گلدان ۲۰۰ میلی‌لیتر) تغییریافته که با استفاده از نمک آنتیموان پتاسیم تارتارات ($K_2Sb_2(C4H_2O_6)_2$) تهیه شد، تیمار شدند. برای جلوگیری از تغییر غلظت تیمارها، هر ۵ روز یکبار تیمارها جایگزین می‌شد.

تعیین وزن خشک و میزان انباشت فلز در بخش‌های هوایی و ریشه گیاه و تعیین میزان فلز خاک: پس از پایان تیماردهی، گیاهان برداشت‌شده با آب دو بار تقطیر شستشو شدند. سپس نمونه‌های گیاهی درون آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شد. وزن خشک بخش‌های هوایی و ریشه برای هر نمونه اندازه-گیری شد. به منظور اندازه‌گیری آنتیموان در نمونه های گیاهی، ۰/۱ گرم از هر نمونه توزین و به هر نمونه مقدار ۳ میلی‌لیتر نیتریک اسید و ۳ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن اضافه گردید و به مدت ۲۴ ساعت در دمای معمولی قرار داده شد. نمونه ها سپس با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسید و صاف گردید. پس از آن ۲ میلی‌لیتر از محلول حاصل با ۴ میلی‌لیتر یدید پتاسیم ۱۰ درصد و ۴ میلی‌لیتر آسکوربیک‌اسید ۵ درصد رقیق شد و میزان آنتیموان در بافت گیاهی توسط دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی (Shimadzu AA 6300) متصل به دستگاه HVG سنجش گردید (۵). در مورد مقدار آنتیموان کل در نمونه‌های خاک، ۰/۵ گرم از نمونه‌های غربال شده توزین و به هریک ۴ میلی‌لیتر کلریدریک اسید و ۴ میلی‌لیتر نیتریک اسید اضافه شد. برای تعیین مقدار آنتیموان قابل تبادل (در دسترس گیاه) مقدار ۱۰ میلی لیتر نیترات آمونیوم ۱ مولار به ۱۰ گرم خاک غربال شده اضافه گردید و بعد از گذشت ۲ ساعت صاف گردید. در سایر موارد، آماده سازی و آنالیز مشابه نمونه های گیاهی انجام شد (۵). برای اندازه گیری مواد آلی خاک از روش Storer استفاده شد (۳۸). ظرفیت تبادل کاتیونی نیز با روش Bower اندازه گیری شد (۸). برای اندازه گیری pH، به ۴۰ میلی لیتر آب مقطر ۱۰ گرم خاک اضافه گردید و به مدت ۳۰ دقیقه بر روی شیکر قرار داده شد، سپس pH محلول اندازه گیری شد (۵).

اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی: ۰/۱ گرم وزن تر از برگ را با استون ۸۰ درصد روی یخ سائیده و درون بالن ژوژه ۱۰ میلی‌لیتری صاف کرده و با استون ۸۰ درصد به حجم رسانده شد. جذب نمونه ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موجهای ۶۴۵، ۶۶۲ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. سپس مقدار رنگیزه‌ها بر اساس فرمول‌های زیر محاسبه گردید (۲۴):

C_a:کلروفیل a، C_b: کلروفیل b ، C_{x+c}: مقدار کل کاروتنوئیدها

$$C_a = 11.75\ A_{662} - 2.350\ A_{645} \qquad C_b = 18.61\ A_{645} - 3.960\ A_{662} \qquad C_{x+c} = 1000\ A_{470} - 2.270\ C_a - 81.4\ C_b/227$$

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز: پس از گذشت ۲۰ روز از تیمار نمونه‌ها، مقدار ۰/۱ گرم از وزن تر بخش هوایی توزین شد و درون هاون قرار داده شد و ۱/۵ میلی‌لیتر از بافر فسفات حاوی پلی‌وینیل‌پیرولیدین به آن اضافه شد. عصاره‌گیری و نگهداری محلول یکنواخت‌شده بافت‌ها در دمای پایین و بر روی یخ انجام شد. بافت‌های عصاره‌گیری‌شده در دور ۱۰۰۰۰ و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شدند. پس از آن محلول واکنش آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز تهیه و در طول موج ۲۴۰ نانومتر برای آنزیم کاتالاز و ۲۹۰ نانومتر برای آنزیم

آسکوربات‌پراکسیداز بوسیله اسپکتروفتومتر قرائت گردید (۲۲، ۹، ۲).

آنالیز آماری داده‌ها: اعمال تیمارها در آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد و تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزارهای Excel 2010 و SPSS 15 انجام گردید. آنالیز واریانس یک راهه بر روی داده‌های حاصل از تیمارهای مختلف بر وزن خشک و میزان عنصر انباشته‌شده در بخش هوایی و ریشه گیاه و میزان کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها انجام شد. همچنین به منظور تعیین معنی‌دار بودن یا نبودن تفاوت میانگین‌ها در تیمارهای مختلف (P<۰/۰۵) از آزمون Tukey HSD استفاده شد.

نتایج

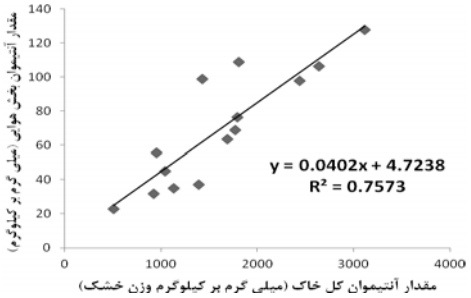
آنالیز خاک و نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری شده: کمترین و بیشترین مقدار آنتیموان کل در بین نمونه‌های خاک بین ۵۰۶ تا ۳۱۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک اندازه گیری شد. سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از منطقه معدنی مغانلو در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک منطقه معدنی مغانلو

مقدار آنتیموان در گیاهان (mg/kg)		ظرفیت تبادل کاتیونی ($Cmol^+$ /kg)		میزان مواد آلی (g/Kg)		pH		مقدار آنتیموان در دسترس گیاه (mg/Kg DW)		مقدار کل آنتیموان (mg/Kg DW)	
میانگین	محدوده	میانگین	محدوده	میانگین	محدوده	میانگین	محدوده	میانگین	محدوده	میانگین	محدوده
۶۹/۶	۲۲/۹-۱۲۷/۸	۷/۱	۴/۴-۱۳/۲	۱۷/۷	۵/۲۵-۳۰/۲۵	۶/۸	۶/۲-۷/۶	۲/۳۱	۰/۴۴-۵/۴۸	۱۵۳۶	۵۰۶-۳۱۱۸

بیشترین مقدار آنتیموان انباشته‌شده در بخش هوایی نمونه های گیاهی جمع آوری شده از منطقه معدنی مغانلو برابر با ۱۲۷/۸ و کمترین مقدار برابر با ۲۲/۹ اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های گیاهی و خاک اطراف ریشه آنها نشان داد که بین مقدار آنتیموان انباشته‌شده در بخش هوایی گیاه و مقدار آنتیموان کل خاک از نظر آماری همبستگی مثبت و معنی داری وجود دارد (r^2=0.76, P<۰/۰۵) (شکل ۱).

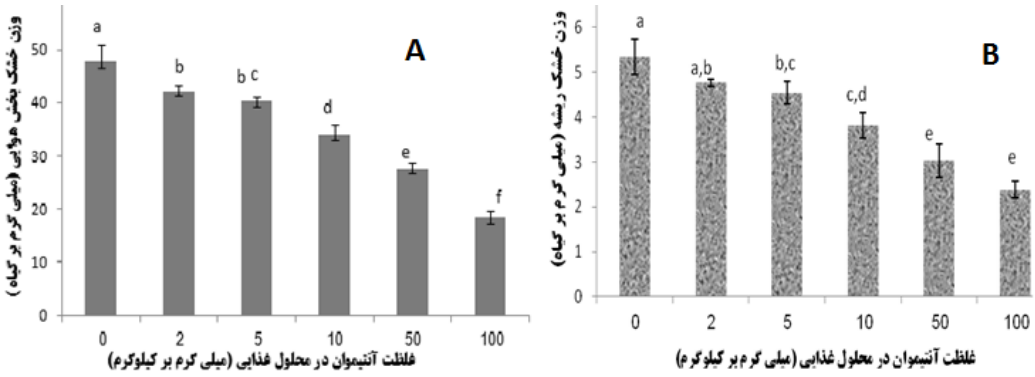
اثر غلظت‌های مختلف آنتیموان بر وزن خشک ریشه و بخش هوایی: با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی وزن خشک بخش هوایی و ریشه کاهش معنی‌داری یافت که از این نظر تمام تیمارهای اعمال‌شده دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد بودند (P<۰/۰۵) (شکل ۲). اختلاف بین تیمار ۲ و ۵ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ولی این اختلاف بین سایر تیمارها معنی‌دار بود.



شکل ۱- غلظت آنتیموان در خاک و بخش هوایی نمونه‌های جمع-آوری شده گیاه *Tanacetum polycephalum*

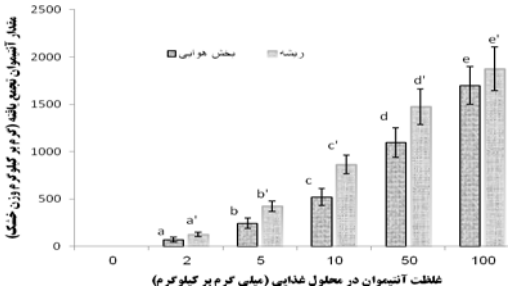
میانگین وزن خشک بخش هوایی در گروه شاهد برابر با ۴۷/۷ میلی‌گرم و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر برابر با ۱۸/۳ میلی‌گرم اندازه‌گیری شد که کاهش ۶۲/۳ درصدی را نشان می‌دهد. در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان، وزن خشک بخش هوایی به میزان ۱۵/۴ درصد کاهش پیدا کرد

(شکل ۲). وزن خشک ریشه در گیاه *T. polycephalum* نیز با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی کاهش معنی‌داری یافت که از این نظر تمام تیمارهای اعمال‌شده بجز غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد بودند (P<۰/۰۵) (شکل۲). میانگین وزن خشک ریشه در گروه شاهد برابر با ۵/۳ میلی‌گرم و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر برابر با ۲/۴ میلی‌گرم اندازه‌گیری شد که کاهش ۸۵ درصدی را نشان می‌دهد. البته در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان، وزن خشک ریشه به میزان ۱۵/۱ درصد کاهش یافت (شکل ۲).



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف آنتیموان بر وزن خشک بخش هوایی (A) و ریشه (B) گیاه *Tanacetum polycephalum* در شرایط کشت پرلیت (میانگین ±SD) . حروف متفاوت بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف از نظر آماری است.

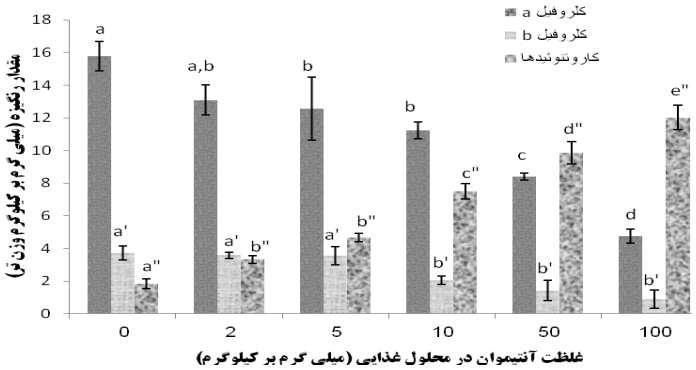
میزان انباشتگی آنتیموان در بخش هوایی و ریشه گیاه در پاسخ به تیمارهای مختلف آنتیموان: با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی میزان عنصر انباشته‌شده در بخش هوایی گیاه *T. polycephalum* افزایش یافت و ازاین‌نظر بین تمام تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (P<۰/۰۵) (شکل ۳). نتایج حاصل وجود یک همبستگی مثبت معنی‌دار را بین مقدار آنتیموان در محلول غذایی و میزان آنتیموان انباشته‌شده در بخش هوایی گیاه نشان می‌دهد (P<۰/۰۵ ، r^2=۰/۹). در ریشه نیز با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی میزان عنصر انباشته‌شده افزایش یافت و از این نظر بین تمام تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (P<۰/۰۵). مقایسه میزان عنصر انباشته‌شده در ریشه و بخش هوایی گیاه *T. polycephalum* نشان می‌دهد که تجمع آنتیموان در تمام تیمارهای داده‌شده، در ریشه بیشتر از ساقه می‌باشد. در کمترین غلظت به‌کاررفته میانگین آنتیموان انباشته‌شده در ریشه برابر با ۱۲۴/۶ و در بخش هوایی برابر با ۶۹/۶۳ میلی‌گرم آنتیموان بر کیلوگرم وزن خشک گیاه است (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میزان عنصر انباشته‌شده تحت تأثیر غلظت‌های مختلف آنتیموان در ریشه و بخش هوایی گیاه *Tanacetum polycephalum* در شرایط کشت پرلیت (میانگین ±SD). حروف متفاوت بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف از نظر آماری است.

اثر غلظت‌های مختلف آنتیموان بر مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها: با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی میزان کلروفیل a در گیاه کاهش معنی‌داری یافت که از این نظر تمام تیمارهای اعمال‌شده به‌جز غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر، دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد بودند (P<۰/۰۵). اختلاف بین تیمار ۲، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان در کاهش میزان کلروفیل a از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. ولی اختلاف بین سایر تیمارها معنی‌دار بود.

میانگین مقدار کلروفیل a در گروه شاهد برابر با ۱۵/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر گیاه و در بالاترین غلظت به‌کاررفته (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) برابر با ۴/۷ میلی‌گرم اندازه‌گیری شد که کاهش ۷۰ درصدی را نشان می‌داد (شکل۴).

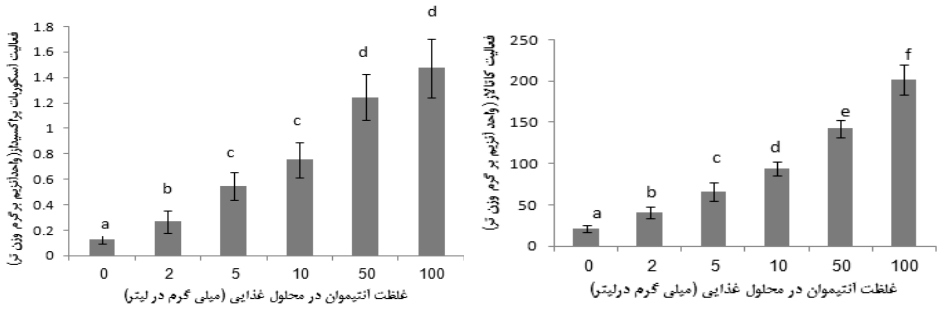


شکل ۴- اثر غلظت‌های مختلف آنتیموان بر مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه *Tanacetum polycephalum* در شرایط کشت پرلیت (میانگین ±SD) حروف متفاوت بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف از نظر آماری است.

همچنین با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی میزان کلروفیل b نیز در گیاه کاهش معنی‌داری یافت که از این نظر تمام تیمارهای اعمال‌شده به‌جز غلظت‌های ۲ و ۵ میلی‌گرم در لیتر، دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد بودند (P<۰/۰۵). میانگین مقدار کلروفیل b در بالاترین غلظت به‌کاررفته کاهش ۷۵/۵ درصدی را نسبت به شاهد نشان می‌داد (شکل ۵). نتایج اثر غلظت‌های مختلف آنتیموان بر مقدار کاروتنوئیدها در گیاه *T. polycephalum* بر خلاف کلروفیل a و b بود. به‌طوری‌که افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی باعث افزایش معنی‌داری در مقدار کاروتنوئیدها در گیاه *T. polycephalum* شد و از این نظر اختلاف معنی‌داری بین تمام تیمارها و شاهد مشاهده شد (P<۰/۰۵). از طرف دیگر اختلاف بین تمام تیمارها نیز معنی‌دار بود. میانگین مقدار کل کاروتنوئیدها در گروه شاهد برابر با ۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر گیاه و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر برابر با ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر گیاه اندازه‌گیری شد که افزایش ۶/۶ برابری را نشان می‌داد (شکل ۴). مقایسه درصد کاهش کلروفیل a و کلروفیل b تحت اثر تیمارهای آنتیموان نشان می‌دهد که در غلظت‌های کم آنتیموان درصد کاهش کلروفیل a بالاتر از کلروفیل b است. برای مثال در تیمار ۵ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان مقدار کلروفیل a به میزان ۲۰/۴ درصد کاهش یافته است؛ در حالی‌که کاهش مقدار کلروفیل b در این تیمار برابر با ۴/۶ درصد است. اما در غلظت‌های بالا کاهش مقدار کلروفیل b شدیدتر از کلروفیل a است (شکل۴).

اثر غلظت‌های مختلف آنتیموان بر میزان فعالیت آنزیم-های کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز: با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی فعالیت هر دو آنزیم کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز در بخش هوایی افزایش یافت و همه تیمارها برای هر دو آنزیم اختلاف معنی‌داری را با شاهد نشان می‌دهند (P<۰/۰۵). در این آزمایش میزان فعالیت برای آنزیم کاتالاز بسیار بیشتر از آنزیم آسکوربات-پراکسیداز است؛ ولی افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی در غلظت‌های پایین فعالیت آنزیم آسکوربات-پراکسیداز را به میزان بیشتری تحریک می‌کند. البته بین فعالیت آسکوربات‌پراکسیداز در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، در حالی‌که میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در این غلظت‌ها به طور

معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها افزایش می‌یابد (P<۰/۰۵) (شکل ۵).



شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف آنتیموان بر میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز در بخش هوایی گیاه *Tanacetum polycephalum* در شرایط کشت پرلیت (میانگین ±SD). حروف متفاوت بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف از نظر آماری است.

بحث

آنتیموان از عناصری است که عملکرد بیولوژیکی شناخته-شده‌ای در گیاهان ندارد و مقادیر بالاتر از ۱۰ میلی‌گرم آنتیموان در کیلوگرم وزن خشک برای گیاهان سمی است (۲۰). در این تحقیق، مقاومت، جذب و انباشتگی آنتیموان در گیاه *T. polycephalum* در شرایط رشد طبیعی در خاک‌های آلوده به آنتیموان و در شرایط آزمایشگاهی و تحت تیمار آنتیموان مورد بررسی قرار گرفت.

مقدار آنتیموان در خاک‌های منطقه معدنی مغانلو بین ۵۰۶ تا ۳۱۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است، در حالیکه غلظت استاندارد آنتیموان در خاک برابر با ۳/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و مقدار قابل تحمل برای گیاهان ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد (۱۱). با این حال، گیاه *T. polycephalum* می‌تواند به خوبی در خاک‌های غنی از آنتیموان در منطقه مغانلو رشد کند و مقدار قابل توجهی از آن را در بافت‌های خود تجمع دهد (۱۲۷/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک). این مقدار در مقایسه با سایر گیاهان عالی در مطالعات انجام شده توسط دیگر محققان قابل توجه می‌باشد. مقدار آنتیموان در گیاهان روئیده شده در یک منطقه معدنی آلوده به آنتیموان در پرتغال در محدوده چند میکروگرم در کیلوگرم تا کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد (۲۹). Casado و همکاران در سال ۲۰۰۷ مقدار آنتیموان را در گیاهان رشدیافته در منطقه معدنی Losacio اسپانیا در محدوده ۰/۰۲ تا ۵/۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کردند؛ بیشترین مقدار مربوط به گیاه *Thymus mastichina* بود. مقدار آنتیموان خاک در این منطقه در محدوده ۶۰ تا ۲۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه گیری شد (۱۰). Qi و همکاران در سال ۲۰۱۱ مطالعه ای بر روی گیاهان منطقه معدنی Xikuangshan در کشور چین با میانگین آنتیموان خاک برابر با ۵۹۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم انجام دادند و حداکثر تجمع آنتیموان را در این منطقه در گیاه *Hippochcaete ramosissima* به میزان ۹۸/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند (۳۰).

مطالعه آزمایشگاهی در مورد گیاه *T. polycephalum* با سیستم کشت پرلیت انجام گردید که نوعی سیستم مشابه هیدروپونیک است؛ زیرا در این شرایط تمام عنصر در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. این روش برای شناسایی سریع گونه‌های مقاوم به فلز و بررسی توانایی گیاه برای انباشتن عنصر در بخش هوایی مناسب می‌باشد. تحقیقات نشان داده‌است که گیاهان بیش‌انباشت‌گر در خاک رفتاری مشابه محیط هیدروپونیک دارند (۲۶).

میزان رشد ریشه یک گیاه به عنوان یکی از شاخص‌های مهم مقاومت گیاه نسبت به غلظت‌های مختلف یک فلز می‌باشد. از آنجا که ریشه به طور ویژه‌ای به حضور فلزات

سمی حساس می‌باشد و اولین اندامی است که در معرض سمیت قرار می‌گیرد، از رشد ریشه به عنوان یکی از مهمترین معیارهای اثرات سمیت فلزات بر گیاهان استفاده شده‌است (۳۲، ۲۷). مقایسه کاهش وزن خشک ریشه و بخش هوایی نشان داد که در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی-گرم در لیتر، وزن خشک در ریشه نسبت به بخش هوایی کاهش بیشتری دارد. یکی از دلایل این است که ریشه در اغلب موارد به میزان بیشتری عنصر سمی را در خود انباشته می‌کند (۳۲) که در این تحقیق نیز این حالت مشاهده شد. البته انباشته‌شدن فلز با جلوگیری از تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها از طویل شدن ریشه ممانعت می‌کند (۱۸).

در تحقیقی نشان داده شده است که غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان باعث کاهش ۸۳ درصدی وزن خشک در گیاه گندم می‌شود (۳۷). همچنین نشان داده‌شده که تیمار ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان به مدت دو هفته باعث کاهش وزن خشک در گیاه *Pteris cretica* به میزان ۵۱/۹ می‌گردد (۱۷). Tschan و همکاران در سال ۲۰۱۰ نشان داد که غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان به مدت یک هفته باعث کاهش وزن خشک بخش هوایی در گیاه *Helianthus annuus* به میزان ۳۲ درصد، در گیاه *Lolium perenne* به میزان ۲۵ درصد و در گیاه *Zea mays* به میزان ۲۱ درصد می‌گردد (۳۹). علاوه براین، تیمار ۵ میلی‌گرم در لیتر به مدت دو هفته باعث کاهش ۳۵ درصدی وزن خشک در گیاه برنج (*Oryza sativa*) شده است (۱۶). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت از این نظر گیاه *T. polycephalum* مقاومت بالایی نسبت به آنتیموان دارد.

کاهش رشد ناشی از سمیت آنتیموان، به دلیل کاهش فتوسنتز و جلوگیری از تولید کلروفیل (۲۷)، کاهش دادن جذب عناصر ضروری مانند کلسیم، روی، آهن و منیزیم (۱۷) اتصال به پروتئین‌ها و دیگر ترکیبات گیاهی و غیرفعال کردن آنها (۴۰) و ممانعت از سنتز متابولیت‌ها ازجمله پروتئین‌های محلول و نشاسته (۲۴) است.

با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی میزان عنصر انباشته‌شده در بخش هوایی گیاه *T. Polycephalum* افزایش یافت. در تحقیقی نشان داده‌شده که تیمار ۱۸ میلی-گرم در لیتر آنتیموان باعث انباشته‌شدن ۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم آنتیموان در بخش هوایی گیاه ذرت و تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر باعث انباشته‌شدن ۷۷ میلی‌گرم آنتیموان بر کیلوگرم در بخش هوایی گیاه آفتابگردان می‌شود (۴۰). در آزمایشی دیگر تیمار ۷۵ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان باعث انباشته‌شدن ۳۳/۲ و ۱۲/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم آنتیموان به ترتیب در بخش‌های هوایی گیاهان چاودار و گندم شده-است (۳۸). Muller و همکاران در سال ۲۰۱۳ در تحقیقی نشان دادند که تیمار ۵ میلی‌گرم در لیتر آنتیموان باعث انباشته‌شدن ۲۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بخش‌های هوایی گیاه *Pteris vittata* می‌گردد. این گیاه بیش‌انباشت‌گر آرسنیک (شبه فلز مشابه آنتیموان) است (۳۲). بنابراین از مقایسه نتایج این تحقیق با سایر تحقیقات مشابه می‌توان گفت که گیاه *T. polycephalum* دارای توان بالایی برای جذب و تجمع آنتیموان در بخش‌های هوایی خود می‌باشد. مقدار آنتیموان انباشته‌شده در ریشه گیاه *T. polycephalum* در تمام تیمارها بالاتر از بخش هوایی بود. مطالعات نشان داده‌است که انتقال آنتیموان از بخش-های زیرزمینی به بخش‌های هوایی به سختی انجام می‌شود. برای مثال در گیاه *Typha latifolia* در شرایطی که مقدار آنتیموان در ریشه برابر با ۱۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، مقدار این عنصر در بخش هوایی گیاه فقط ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۱۹). در گیاهان *Scirpus sylvaticus* و *Phragmites australis* نیز وضعیت مشابهی گزارش شده-است (۱۹). از سوی دیگر وجود رابطه خطی بین غلظت آنتیموان در محلو ل غذایی و میزان آنتیموان انباشت‌شده در گیاه می تواند تأیید کننده این موضوع باشد که ورود و

جذب آنتیموان از مسیرهای غیرانتخابی آپوپلاستی و به صورت غیر فعال نیز انجام می‌شود (۶).

با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی میزان کلروفیل a و کلروفیل b در گیاه کاهش معنی‌داری یافت. در غلظت-های پایین درصد کاهش کلروفیل a بیشتر از کلروفیل b بود. اما در غلظت‌های بالا درصد کاهش کلروفیل b بالاتر بود. این پدیده می‌تواند به این دلیل باشد که در شرایط تنش ملایم مقاومت کلروفیل b در مقابل تخریب بیشتر از کلروفیل a است (۲۳) و تجزیه کلروفیل a در اغلب شرایط تنش‌زا سریع‌تر از کلروفیل b انجام می‌شود (۱۳). از سوی دیگر تغییر در نسبت کلروفیل a به کلروفیل b یک پارامتر مهم است که همواره به‌منظور بررسی تأثیر عوامل مختلف محیطی بر گیاهان در نظر گرفته می‌شود (۱۴). در این تحقیق غلظت‌های ۲ و ۵ میلی‌گرم بر لیتر آنتیموان تغییر معنی‌داری را در نسبت کلروفیل a به کلروفیل b در مقایسه با شاهد ایجاد نکردند. اما غلظت‌های بالاتر باعث بالارفتن نسبت کلروفیل a به کلروفیل b در گیاه *T. Polycephalum* شدند. آزمایش‌های گوناگونی کاهش مقدار کل کلروفیل را در تیمارهای بالای آنتیموان تأیید می‌کنند. این پدیده در مورد گیاه *Zea mays* (۲۷)، گیاه *Triticum aestivum* (۴۰) و گیاه *Fontinalis antipyretica* (۱۲) مشاهده شده-است. Shakya و همکارانش (۲۰۰۸) نشان دادند که فلزات سنگین مس، روی و سرب باعث کاهش مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و نسبت کلروفیل a به b در گیاهان *Thuidium delicatulum* و *Thuidium sparsifolium* می‌شوند (۳۵). آزمایش‌های متعدد دیگری نیز بر روی گیاهان گلرنگ، *Cyperus difformis*، *Chenopodium ambrosiodes*، *Digitaria sanguinolis* و *Lemna polyrrhiza* تأیید می کنند که فلزات سنگین باعث کاهش مقدار کلروفیل a و b و کاهش نسبت کلروفیل a به b می‌گردند (۱۴، ۴). یکی از دلایل کاهش مقدار کلروفیل می‌تواند مربوط به اثر آنتیموان در کاهش جذب منیزیم باشد (۱۹)، همچنین فلزات سنگین موجب تجزیه کلروفیل می‌شوند (۱۳). بر اساس نتایج این تحقیق مشاهده شد که در غلظت‌های بالای آنتیموان، نسبت کلروفیل a به b در گیاه *T. polycephalum* افزایش یافت که نشان‌دهنده مقاومت بالای این گیاه نسبت به آنتیموان است. برخلاف کلروفیل، افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی باعث افزایش مقدار کاروتنوئیدها در گیاه *T. polycephalum* شد. این نتیجه به دلیل نقش حفاظت‌کنندگی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاروتنوئیدهاست. البته افزایش سنتز کاروتنوئیدها طی تنش فلزات سنگین برای غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد تولیدشده در سلول است (۳۳).

یکی دیگر از عواملی که فعالیت آنتی‌اکسیدانی را در گیاهان در شرایط تنش فلزات سنگین بر عهده دارد، سیستم آنزیمی است. کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز از مهمترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برای مقابله با اثرات تخریبی فلزات سنگین هستند (۴۱، ۳۴، ۷، ۳، ۲). در این مطالعه نیز افزایش فعالیت هر دو آنزیم مشاهده شد، ولی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بسیار بالاتر از آسکوربات‌پراکسیداز بود که نشان‌دهنده اهمیت بیشتر این آنزیم در گیاه *T. polycephalum* برای مقابله با اثرات سمی آنتیموان است. در گیاه ذرت نیز افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز همزمان با افزایش غلظت آنتیموان در خاک مشاهده‌شده-است، در حالیکه فعالیت پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز افزایشی را نشان ندادند (۲۷). آزمایشی دیگر نشان داده-است که فعالیت هر دو آنزیم کاتالاز و آسکوربات-پراکسیداز در گیاهان *Cyrtomium fortune* و *Cyclosorus dentatus* با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی افزایش یافته است، ولی در گیاه *Microlepia hancei*، با افزایش غلظت آنتیموان در محلول غذایی، فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش و فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز کاهش یافته‌است (۱۵).

در مجموع با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق در مورد اثر آنتیموان در گیاه *T. polycephalum* و مقایسه آن با

مطالعات انجام شده بر روی سایر گونه‌های گیاهی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که گیاه *T. polycephalum* دارای مقاومت و قابلیت جذب و انباشتگی نسبتا بالا برای آنتیموان می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار آنتیموان در دسترس گیاه در اغلب مناطق معدنی در محدوده پایین‌تری نسبت به تیمارهای اعمال‌شده در این آزمایش قرار دارد؛ بنابر این گیاه *T. polycephalum* می‌تواند به عنوان گیاهی مناسب برای کاستن آلودگی آنتیموان در این مناطق مورد تحقیقات بیشتر قرار گیرد.

منابع

۱. قربانی، منصور. ۱۳۷۴. زمین شناسی ایران – آنتیموان، آرسنیک، جیوه. سازمان زمین شناسی کشور. تهران

۲. کرامت، بتول؛ دریایی، فاطمه و آروین، محمدجواد. ۱۳۹۳. بررسی اثرات متقابل سلنیوم و کادمیوم بر محتوای آلدئیدها، پراکسیدهیدروژن و فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهچه گندم رقم کویر. مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران). جلد ۲۷–شماره ۳. صفحات ۵۰۰–۴۹۰.

۳. قلیچ، سیما؛ زرین‌کمر، فاطمه و نیکنام، وحید. ۱۳۹۴. بررسی میزان انباشتگی سرب و تاثیر آن بر فعالیت آنزیم پراکسیداز، محتوای ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در مرحله جوانه زنی در گیاه یونجه (*Medicago sativa* L.). مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران). دوره ۲۸–شماره ۱. صفحات ۱۷۴–۱۶۴.

۴. نورانی‌آزاد، حمید و کفیل‌زاده، فرشید. ۱۳۹۰. تاثیر سمیت کادمیوم بر رشد، قندهای محلول، رنگیزه‌های فتوسنتزی و برخی آنزیمها در گلرنگ (*Carthamus tinctorious* L.). مجله زیست شناسی ایران. جلد ۲۴–شماره ۶. صفحات ۸۶۷–۸۵۸.

5. Baroni, F., Boscagli, A., Protano, G., and Riccobono, F. 2000. Antimony accumulation in *Achillea ageratum*, *Plantago lanceolata* and *Silene vulgaris* growing in an old Sb-mining area. Environmental Pollution, 109: 347–352.

6. Bell, P. F., McLaughlin, M. J., Cozens, G., Stevens, D. P., Owens, G., and South, H. 2003. Plant uptake of C-14-EDTA, C-14-citrate, and C-14-histidine from chelatorbuffered and conventional hydroponic solutions. Plant and Soil, 253: 311–319.

7. Bizily, L., Pence, N. S., Letham, D. L. D., Pineros, M., Magalhaes, J. V., Hoekenga, O. and Garvin, D. 2000. Mechanisms of metal resistance in plants: aluminum and heavy metals. Plant and Soil, 247: 109–119.

8. Bower, C. A., Reitemeier, R. F. and Fireman M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkalin soils. Soil science, 73: 251-261.

9. Brennan, T. and Frenkel, C. 1977. Involvement of Hydrogen Peroxide in the regulation of senescence in Pear. Plant Physiology, 59: 411–416.

10. Casado, M., Anawar, H. M., Garcia-Sanchez, A. and Santa Regina I. 2007. Antimony and Arsenic Uptake by Plants in an Abandoned Mining Area. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 38: 1255–1275

11. Crommentuijn, T., Polder, M.D. and Plasche, E.J. 1997. Maximum Permissible Concentrations and Negligible Concentrations of Metals, Taking Background Concentrations into Account. National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven, the Netherlands. RIVM Report No. 601 501 001.

12. Diaz, S., Villares, R., Vazquez, M. D., and Carballeira, A. 2013. Physiological Effects of Exposure to Arsenic, Mercury, Antimony and Selenium in the Aquatic Moss *Fontinalis antipyretica* Hedw. Water, Air and Soil Pollution, 224: 1659-1672.

13. Drazkiewicz, M. 1994. Chlorophyllase: occurrence, functions, mechanisms of action, effects of external and internal factors. Phytosynthetica, 30: 321-331.

14. Ewais, E.A. 1997. Effects of cadmium, nickel and lead on growth, chlorophyll content and

سپاسگزاری

این پژوهش تحت حمایت مالی و امکانات معاونت پژوهشی دانشگاه اصفهان انجام شده است؛ بنابراین از مسئولان محترم معاونت پژوهشی و قطب تنش‌های گیاهی دانشگاه اصفهان برای همکاری در انجام این تحقیق بسیار سپاسگزاریم.

proteins of weeds. Biologia Plantarum, 39: 403-410.

15. Feng, R., Chaoyang, W., Shuxin, T., Fengchang, W., and Linsheng, Y. 2009.Antimony accumulation and antioxidative responses in four fern plants. Plant and Soil, 317: 93–101.

16. Feng, R., Chaoyang, W., Shuxin, T., Tang, S., and Fengchang, W. 2011. Detoxification of antimony by selenium and their interaction in paddy rice under hydroponic conditions. Microchemical Journal, 97: 57–61.

17. Feng, R., Wei, C., Tu, S., Ding, Y., Wang, R., and Guo, J. 2013. The uptake and detoxification of antimony by plants: A review. Environmental and Experimental Botany, 96: 28– 34.

18. Fiskesjo, G. 1997. *Alium* test for screening chemicals; evaluation of cytological parameters. In;WangW, Gorsuch JW, Hughes JS (eds) Plants for environmental studies. CRC Lewis Publisher, Boca Raton, New York, pp 307–333

19. Hozhina, E. I., Khramov, A. A., Gerasimov, P. A., and Kumarkov, A. A. 2001. Uptake of heavy metals, arsenic, and antimony by aquatic plants in the vicinity of ore mining and processing industries. Journal of Geochemical Exploration, 74: 153–162.

20. Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 2010. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press: Boca Raton, Florida, USA.

21. Koricheva, J., Roy, S., vranjic, J. A., Haukioja, E., Hughes, P. R. and Hanninen, O. 1997. Antioxidant responses to simulated acid rain and heavy metal deposition in birch seedlings. Environmental Pollution, 95:249–258.

22. Kupper, H., Gotz, B., Mijovilovich, A., Kupper, F. C., and Meyer-Klaucke, W. 2009. Complexation and Toxicity of Copper in Higher Plants: I. Characterization of Copper Accumulation, Speciation, and Toxicity in *Crassula helmsii* as a New Copper Accumulator. Plant Physiology, 151:702-714.

23. Lan, W.Y., Song, S.Q., Wu, H.D., and Wang, D.G., 2009. Effect of soil antimony (III) pollution on the growth and quality of Sweet Mustard. Environmental Science and Technology, 32 (2): 20–23

24. Lichtenthaler, H.K., and Wellburn, A.R. 1985. Determination of Total Carotenoids and Chlorophylls A and B of Leaf in Different Solvents. Biochemical Society Transactions, 11: 591-592.

25. Lombi, E., Zhao, F. J., Dunham, S. J. and McGrayh, S. P. 2000. Cadmium accumulation in population of Thlaspi *caerulescens* and *Thlaspi goesingense*. New Phytologist, 145: 11-20.

26. Muller, K., Daus, B., Mattusch, J., Vetterlein, D., Merbach, I., and Wennrich, R., 2013. Impact of arsenic on uptake and bio-accumulation of antimony by arsenic hyper-accumulator *Pteris vittata*. Environmental Pollutionm 174: 128–133.

27. Pan, X.L., Zhang, D.Y., Chen, X., Bao, A.M., and Li, L.H., 2011. Antimony accumulation, growth performance, antioxidant defense system and photosynthesis of *Zea mays* in response to antimony pollution in soil. Water, Air and Soil Pollution, 215: 517–523.

28. Paoletti, F., Sirini, P., Seifert, H., and Vehlow, J. 2001. Fate of antimony in municipal solid waste incineration. Chemosphere, 42: 533-543.

29. Pratas, J., Prasad, M. N. V., Freitas, H. and Conde, L. 2005. Plants growing in abandoned mines of Portugal are useful for biogeochemical exploration of arsenic, antimony, tungsten and mine reclamation. Journal of Geochemical Exploration, 85: 99–107.

30. Qi, C., Wu, F., Deng, Q., Liu, G., Mo, C., Liu, B., Zhu, J., 2011. Distribution and accumulation of antimony in plants in the super-large Sb deposit areas. China Microchemical Journal, 97: 44–51.

31. Rascio, N. and Navari-Izzo F. 2011. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what make them so interesting? Plant Science, 180: 169-181.

32. Rout, GR, Sanghamitra, S, and Das, P. 2000. Effects of chromium and nickel on germination and growth in tolerant and non-tolerant populations of *Echinochloa colona* (L). Chemosphere, 40: 855–859.

33. Sarma, H. (2011) Metal Hyperaccumulation in Plants: A Review Focusing on Phytoremediation Technology. Journal of Environmental Science and Technology 4: 118-138.

34. Schutzendubel, A., Schwanz, P., Teichmann, T., Gross, K., Langenfeld-Heyse,r R., Godbold, D. L. and Polle, A. 2001. Cadmium-induced changes in antioxidative systems, hydrogen peroxide content, and differentiation in pine (*Pinus sylvestris*) roots. Plant Physiology, 127: 887–898

35. Shakya, K, Chettri, MK, and Sawidis, T. 2008. Impact of heavy metals (copper, zinc, and lead) on the chlorophyll content of some mosses.

Environmental Contamination and Toxicology, 54: 412-421.

36. Shtangeeva, I., Bali, R., and Harris, A. 2011. Bioavailability and toxicity of antimony. Journal of Geochemical Exploration, 110: 40–45.

37. Shtangeeva, I., Steinnes, E., and Lierhagen, S. 2012. Uptake of different forms of antimony by wheat and rye seedlings. Environmental Science and Pollution Research, 19: 502–509.

38. Storer, D. A. 1984. A simple high sample volume ashing procedure for determining soil organic matter. Community of Soil Science and Plant Analysis, 15:759-772.

39. Sun, H., Yan, S.C., and Cheng, W.S. 2000. Interaction of antimony tartrate with the tripeptide glutathione. Implication for its mode of action. European Journal of Biochemistry, 267: 5450-5457.

40. Tschan, M., Robinson, B., and Schulin, R. 2009 Antimony in the soil–plant system, a review. Environmental Chemistry, 6: 106–115.

41. Xiangliang, P., Daoyong, Z., Xi, C., Anming, B. and Lanhai, L. 2011. Antimony Accumulation, Growth Performance, Antioxidant Defense System and Photosynthesis of *Zea mays* in Response to Antimony Pollution in Soil. Water, Air and Soil Pollution, 215:517–523.

Investigation of uptake, accumulation and tolerance of antimony in *Tanacetum polycephalum*

Jamali Hajiani N.[1], Ghaderian S.M.[1] and Karimi N.[2]

[1] **Biology Dept., Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, I.R. of Iran**

[2] **Biology Dept., Faculty of Sciences, Razi University, Kermanshah, I.R. of Iran**

Abstract

Antimony is a non-essential element for organisms. It has different toxic effects on organisms, especially on plants. However, some plants are able to counteract the toxic effects of antimony, uptake and accumulate it in their tissues. *Tanacetum polycephalum* is one of these plants. In this study, we collected plant samples from antimony polluted soils of Moghanlo mining area in Zanjan province, then analyzed samples in laboratory. The results showed that the highest amount of antimony in collected plants were 127.8 mg/KgDW in aerial parts. Also results of our experiment showed that increasing antimony concentration in the nutrient solution, decreased root and shoot dry weight and the decrease was more obvious in roots. Antimony accumulation in roots and shoots increased with increasing antimony concentration in treatments. In antimony concentration of 100 mg/L, antimony content in shoots was 1697.7 mg/KgDW. The amount of accumulated antimony in the roots was more than aerial parts. Also, with increasing antimony concentration in nutrient solution, the content of chlorophyll a and b were decreased. When antimony concentration in nutrient solution was up to 5 mg/L, the ratio of chlorophyll a/b was increased. The amount of carotenoids and catalase and ascorbat peroxidase activities also increased with increasing of antimony concentration in nutrient solution. In conclusion, *Tanacetum polycephalum* has a relatively high tolerance to antimony. It is able to uptake and accumulate antimony in its aerial parts; therefore this plant can be used to remediation of antimony contaminated soils.

Key words: Antimony, *Tanacetum polycephalum*, Uptake, Accumulate