اثر سمیت دو عنصر نیکل و روی بر رشد و انباشت این عناصر در شش گونه از فلور آذربایجان

ناصر کاسبی *[1] و رقیه حاجی بلند [2]

[1] تبریز، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی

[2] تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی، گروه علوم گیاهی

تاریخ دریافت: 86/3/21 تاریخ پذیرش: 87/7/17

چکیده

در این پژوهش، اثر غلظتهای مسموم کننده (تا 100 میکرومول) از دو عنصر نیکل و روی بر رشد و مقدار انباشت این عناصر در چند گونه از فلور آذربایجان در محیط کشت هیدروپونیک بررسی شده است. تعدادی از این گونه ها از عناصر مهم خاکهای غنی از فلزات سنگین در استان و تعدادی نیز از گونه های غائب این خاکها بوده اند. شش گونه بررسی شده شامل کاسنی (*Cichorium intybus* L.)، چاودار کوهی(*Secale montanum* Guss.)، علف باغ (*Dactylis glomerata* L.)، مریم گلی (*Salvia sclarea* L.)، قدومه گلریز (*Alyssum strigosum* Banks.) و سیلن (*Silene compacta* Fisch.) بوده است. با توجه به پاسخ رشدی اندام هوایی و ریشه، چاودار کوهی از گونه های متحمل به نیکل و کاسنی و سیلن از گونه های حساس به نیکل با کاهش رشد معادل90 درصد معرفی شدند. غلظت نیکل در اندام هوائی قدومه گلریز و سیلن تا 2000 میکروگرم در گرم وزن خشک بالغ شد گرچه مقدار آن کمتر از محدوده گونه های بیش انباشت گر نیکل گزارش شده (5000 میکروگرم در گرم)، ولی نشان دهنده پتانسیل بالای انباشت نیکل در این دو گونه است. نتایج این بررسی در مورد عنصر روی نشان داد که چاودار کوهی و مریم گلی از گونه های متحمل به غلظتهای بالای روی بوده و سیلن با کاهش رشدی معادل 80 درصد در اندام هوائی حساس به سمیت این عنصر است. مشابه نیکل، بیشترین انباشتگی روی اندام هوائی در قدومه گلریز و سیلن مشاهده شد (1100 تا 1700 میکروگرم در گرم)، ولی این مقدار با حد بیش انباشت گری روی (10000 میکروگرم در گرم) فاصله زیادی داشت. نتایج این بررسی نشان داد که ارتباطی بین حساسیت به غلظتهای بالای نیکل و روی و مقدار تجمع این عنصر در اندام هوائی یا ریشه وجود ندارد و اجتناب و جذب نزد هر دو گروه گیاهان متحمل و حساس به نیکل و روی یافت می شود.

واژه های کلیدی: سمیت عناصر فلزی سنگین، گونه های اجتناب گر، گونه های انباشت گر، نیکل(Ni)، روی (Zn)

* نویسنده مسئول، تلفن تماس: 09144189863، پست الکترونیک: nkassebi@yahoo.com

مقدمه

در قرن گذشته میزان آلودگی زمین با فلزات سنگین به علت کاربرد کودهای شیمیایی (27)، فعالیت های صنعتی و شهرنشینی (3) افزایش یافته و بهره برداری از معادن باعث تخریب رویشگاهها شده (16) و مشکلات زیست محیطی مهمی را بوجود آورده است. احیای پوشش گیاهی این قبیل خاکها که دارای پسماندهای عناصر فلزی است برای بهره برداری پایدار از زمین وجلوگیری از فرسایش خاک بسیار ضروری است (16). به منظور پالایش این خاکها از گونه هایی که دارای قدرت انباشت کنندگی زیاد و تولید بالای ماده خشک هستند، استفاده می کنند (23). گونه های انباشته گر کاربرد دیگری نیز داشته و آن استفاده

از خاکستر این گیاهان برای استخراج عناصر کمیاب و گران می باشد (15، 4).

خاکهای غنی از فلزات سنگین در برخی مناطق دارای فلور انحصاری بوده و از میان گونه های رشد یافته بر روی این خاکها، گیاهانی با تحمل بالا به عنصر فلزی معین یافت می شوند (14) که دلیل تحمل این عناصر در خاک، اجتناب و ممانعت از مقادیر مسموم کننده عنصر فلزی معین و یا جذب و انباشته گری بدون ظهور مسمومیت بدلیل سازوکارهای داخلی سم زدائی است (24). مقدار نیکل (Ni) در گیاهان متحملی که برروی خاکهای سرپنتین غنی از نیکل، رشد می کنند، 150- 10 میکرو گرم بر گرم وزن خشک و مقدار روی (Zn) در گونه های گیاهی بردباری که بر روی خاکهای کالامین غنی از روی رشد می کنند، 1000-100 میکروگرم بر گرم وزن خشک می باشد (14). بعضی از این گونه ها قادر به انباشت نیکل یا روی بیشتری در اندامهای خود بوده که به بیش انباشته گر(Hyperaccumulator) معروف هستند. بیش انباشته گر نیکل به گونه هایی که بر روی خاکهای غنی از نیکل رشد کرده و بیش از 5000 میکرو گرم بر گرم نیکل در وزن خشک انباشت می کنند، اطلاق می شود، این غلظت در گیاهان غیر انباشته گری که بر روی همان خاکها رشد می کنند، 100 برابر کمتر است. حد بیش انباشته گری برای برخی دیگر از فلزات از جمله روی در حدود 10000 میکرو گرم بر گرم وزن خشک تعریف گردیده است (14).

مطالعه در مورد قدرت انباشته گری بر روی گیاهان رشد یافته در محلول غذایی و در شرایط آزمایشگاهی اندک است (31) و اکثر مطالعات بر روی نمونه های خشک هرباریومی انجام گرفته است (10). مطالعه ترکیب فلورستیک مناطق غنی از نیکل و روی در برخی نقاط دنیا انجام گرفته و گونه های گیاهی که تمایل ویژه ای برای رشد روی این خاکها داشته و یا برعکس از رشد و پراکنش در این مناطق بازداشته شده اند، تعیین گردیده اند (14).

بررسی فلور خاکهای غنی از فلزات سنگین در شمال غرب ایران (1) باعث شناخت پوشش گیاهی رشد یافته بر روی خاکهای غنی از نیکل و روی این منطقه گردید. حضور گونه های خاص بر روی خاکهای این مناطق نشانگر قدرت زیاد تحمل به غلظتهای بالای این دو عنصر بوده، با این حال چنین بررسیهایی در مورد قدرت انباشت این عناصر و اینکه گیاهان فوق متعلق به گونه های انباشته گر یا اجتناب گر می باشند، اطلاعی فراهم نمی کند. تاکنون توانائی تعدادی از گونه ها برای انباشت نیکل، روی و یا هر دو در دیگر نقاط دنیا نشان داده شده است (14). در اواخر قرن نوزدهم *Thlaspi caerulescence* و *Viola calaminaria* اولین گونه های گیاهی بودند که سطح بالایی از فلزات سنگین در برگ آنها گزارش گردید. در سال 1996 گزارش شد که گونه *Thlaspi caerulescence* قادر به تحمل و انباشت روی در اندام هوایی می باشد (22). برای اولین بار در سال 1977 واژه بیش انباشته گر برای گیاهان توسط Brooks و همکاران بکاربرده شد (10). بعد از این تاریخ Jaffre در سال 1980 (20)، Brooks در سال 1987 (12)، Baker و Brooks در سال 1989 (5) و Revees و همکاران در سال 1996(30) گونه های بیش انباشته گر نیکل را معرفی کردند. همچنین Baumann در سال 1885 (6)، Reeves و Brooks در سال 1983 (29) و Wilfried و همکاران در سال 2000 (32) گونه های بیش انباشته گر روی (Zn) را معرفی نمودند.

برای انجام این پژوهش شش گونه از فلور آذربایجان انتخاب شد. این گونه ها از عناصر فلور خاکهای غنی از نیکل، روی و یا هر دو بودند ولی اهمیت متفاوتی از نظر سطح پوشش و بسامد بر روی خاکهای غنی از نیکل و روی داشتند (1). به منظور تشخیص پتانسیل انباشته گری و تحمل این گونه ها، با استفاده از محیط کشت هیدروپونیک و در شرایط آزمایشگاهی رشد، جذب و انباشت این دو عنصر مورد بررسی قرار گرفت.

مواد وروشها

گونه های مورد مطالعه: شش گونه شامل کاسنی (*Cichorium intybus* L.)، چاودارکوهی (*Secale montanum* Guss.)، علف باغ (*Dactylis glomerata* L.)، مریم گلی (*Salvia sclarea* L.)، قدومه گلریز (*Alyssum strigosum* Banks.) وسیلن (*Silene compacta* Fisch.) انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. جمع آوری بذر تعدادی از گونه ها از مناطق غنی از فلز مقدور نشد، لذا جهت رعایت یکنواختی، بذر تمام گونه های بررسی شده از روی خاکهائی که فاقد مقادیر بالای عناصر فلزی سنگین بودند، جمع آوری شدند.

کشت گیاهان و تیمار: ابتدا بذور به صورت سطحی با استفاده از هیپو کلریت سدیم (تجاری) 7 درصد بمدت پنج دقیقه ضدعفونی شده، سپس برروی کاغذ صافی مرطوب در پتری دیش در تاریکی جهت جوانه زنی قرار داده شد. بعد از جوانه زنی، دانه رستها را در روشنایی قرار داده و سپس درمحلول غذایی50 درصد بمدت 7 الی 10 روز پیش کشت شد. برای کشت گیاهان از محیط کشت هوگلند استفاده شد (19). پس از پیش کشت، تیمارهای نیکل و روی بصورت نمک سولفات هر کدام از دو عنصر در 5 غلظت متفاوت شامل 0 ، 25 ، 50 ، 75 و100 میکرومول اعمال و گیاهان در این محیطها در3 یا 4 تکرار مستقل بصورت گلدانهای مجزا رشد داده شدند.

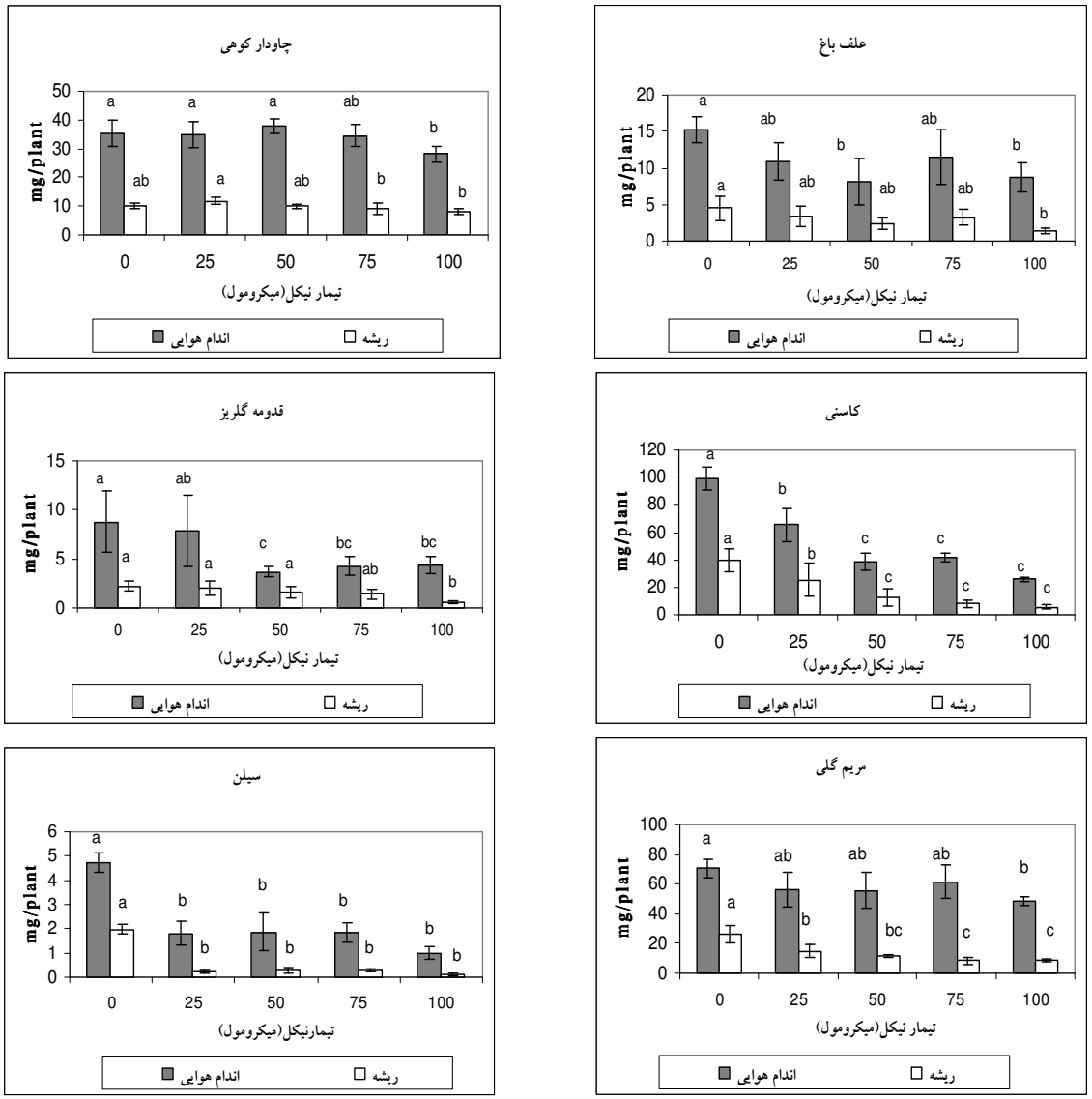
برداشت گیاهان و تجزیه عنصری: یک هفته پس از رشد در محیط تیمار، گیاهان برداشت و ریشه ها بمدت نیم ساعت در محلول غذایی 25 درصد حاوی $CaCl_2$ 5 میلی مول قرار داده شده تا یونهای موجود در فضای آپوپلاستی ریشه به طور کامل شستشو و خارج شود. سپس ریشه ها با آب مقطر شسته و ریشه و اندام هوایی از محل یقه جدا گردید، وزن تر و پس از خشک کردن در آون بمدت 48 ساعت، وزن خشک آنها تعیین شد. نمونه‌های خشک در داخل کروزه های چینی به کوره الکتریکی منتقل و بمدت 12 ساعت در دمای500 درجه سانتی گراد خاکستر گردید. پس از حل کردن خاکستر در اسید کلریدریک 10 درصد، نمونه ها به حجم 25 میلی لیتر رسانده شد. سنجش عناصر در نمونه ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Shimadzu AA 6300) انجام گرفت.

تجزیه آماری داده ها: تجزیه آماری داده ها با استفاده از برنامه آماری SPSS انجام و گروهبندی میانگین تیمارها از طریق آزمون LSD در سطح احتمال 0/05 انجام گرفت.

نتایج

تأثیر سمیت نیکل بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه: رشد ریشه و اندام هوائی چاودار کوهی تحت تأثیر تیمار نیکل کاهش یافت ولی این کاهش منحصراً در بالاترین غلظت نیکل (100 میکرومول) معنی دار بود. در این غلظت از نیکل کاهش رشد ریشه تا 19 درصد و اندام هوائی تا 21 درصد بالغ گردید. در علف باغ نیز رشد ریشه و اندام هوائی تحت تأثیر تیمارهای افزایشی نیکل کاهش نشان داده و بیشترین کاهش رشد در اندام هوایی تحت تأثیر 100 میکرومول نیکل دیده شد که تا 42 درصد بالغ گردید. کاهش رشد ریشه تحت تأثیر تیمار های مختلف نیکل در علف باغ بسیار بیشتر از آن در چاودار کوهی بود و تا 70 درصد رسید. در گونه های کاسنی و مریم گلی، کاهش رشد اندام هوایی در همه تیمار ها دیده شد و مطابق انتظار بیشترین مقدار کاهش مربوط به تیمار 100 میکرومول بود که به ترتیب 74 و 31 در صد در کاسنی و مریم گلی بود. رشد ریشه کاسنی در تیمارهای مختلف نیکل کاهش معنی داری نشان داد که این کاهش در تیمارهای 75 و 100 میکرومول به ترتیب 80 و 86 درصد بود. از تیمار شاهد به سمت تیمار 100 میکرومول، وزن خشک ریشه مریم گلی کاهش معنی داری تا 68 درصد داشت. در گونه قدومه گلریز تحت تأثیر تیمارهای افزایشی نیکل، وزن خشک اندام هوایی کاهش معنی داری

نشان داد که تا 58 درصد رسید. وزن خشک ریشه از تیمار شاهد به سمت تیمار 100 میکرومول کاهش یافت که این کاهش در تیمار 100 میکرومول معنی دار و 73 درصد بوده است. وزن خشک اندام هوایی سیلن نیز در همه تیمار ها کاهش معنی داری نشان داد که بیشترین کاهش با 79 در صد مربوط به تیمار 100 میکرومول نیکل بود. وزن خشک ریشه از تیمار شاهد به سمت تیمار 100 میکرومول کاهش یافت که بیشترین مقدار کاهش با 79 در صد در تیمار 100 میکرو مول مشاهده شد(شکل 1). درصد تغییرات وزن خشک اندام هوایی و ریشه در شش گونه مورد بررسی تحت مسمومیت با 100 میکرومول نیکل در جدول 1 آورده شده است.



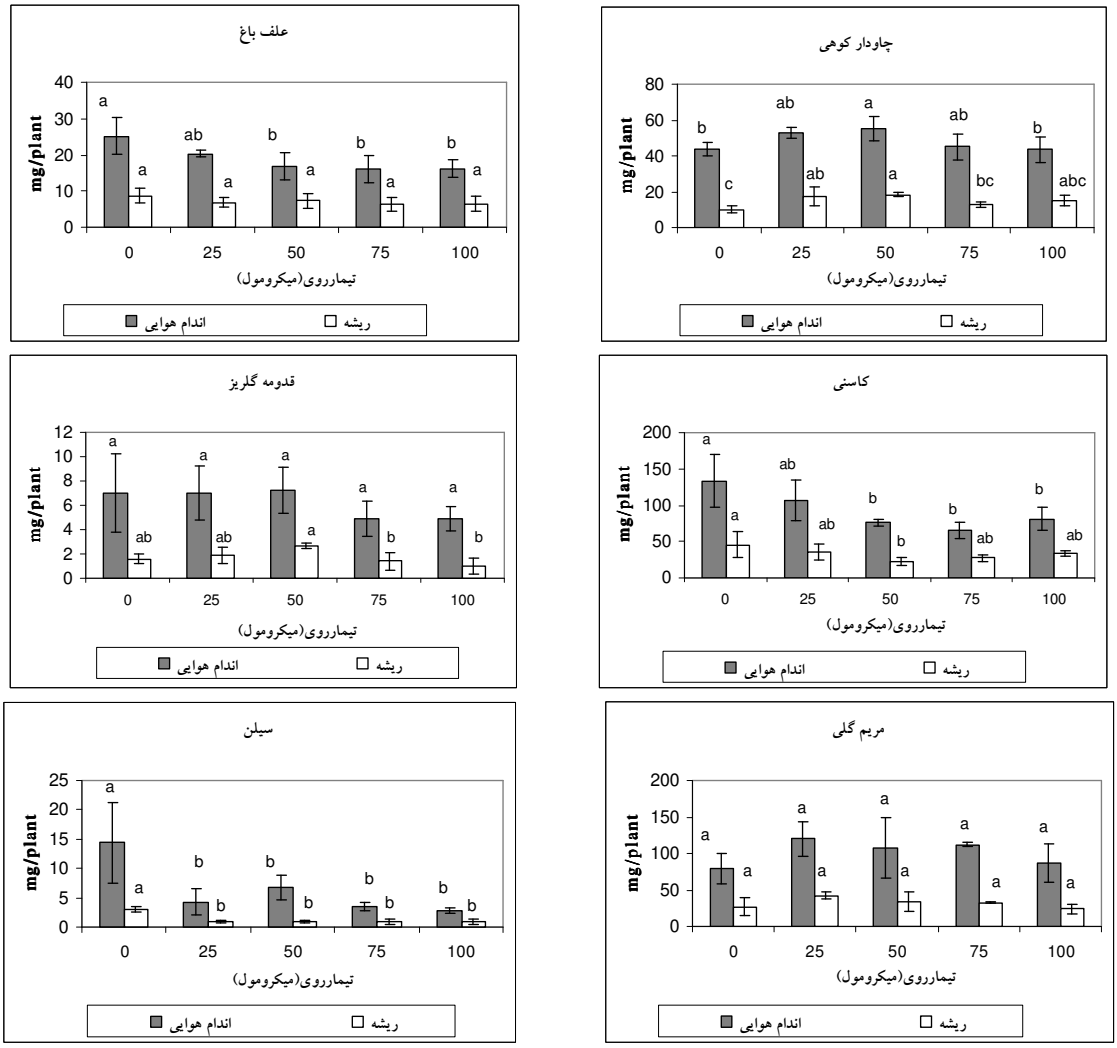
شکل 1- تغییرات وزن خشک اندام هوایی و ریشه شش گونه علف باغ (*Dactylis glomerata*)، چاودار کوهی (*Secale montanum*)، قدومه گلریز (*Alyssum strigosum*)، کاسنی (*Cichorium intybus*)، سیلن (*Silene compacta*) و مریم گلی (*Salvia sclarea*) که تحت تأثیر غلظتهای 25 تا 100 میکرومول نیکل بمدت یک هفته رشد داده شدند. تفاوت بین مقادیر عددی ستونهایی که با حروف یکسانی مشخص شده اند، از نظر آماری معنی دار نبود ($p < 0.05$)

جدول 1- درصد تغییرات رشد تحت سمیت 100 میکرومول نیکل و روی در مقایسه با شاهد در شش گونه علف باغ (*Dactylis glomerata*)، چاودار کوهی (*Secale montanum*)، قدومه گلریز (*Alyssum strigosum*)، کاسنی (*Cichorium intybus*)، سیلن (*Silene compacta*) و مریم گلی (*Salvia sclarea*).

گونه	درصد تغییرات رشد تحت تاثیر سمیت نیکل		درصد تغییرات رشد تحت تاثیر سمیت روی	
	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه
چاودار کوهی	-21	-19	0	+51
علف باغ	-42	-68	-36	-25
کاسنی	-74	-86	-39	-28
قدومه گلریز	-51	-73	-30	-38
مریم گلی	-31	-68	+9	-12
سیلن	-79	-93	-81	-68

جدول 2- غلظت (میکرو گرم در گرم وزن خشک) نیکل و روی در اندام هوایی و ریشه شش گونه از فلور آذربایجان که به مدت 7 روز در محیط کشت هیدروپونیک با غلظتهای متفاوت این دو عنصرتیمار شدند. داده ها شامل میانگین و انحراف استاندارد می باشد.

گونه	تیمار	غلظت نیکل		غلظت روی	
	µM	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه
چاودار کوهی	0	27±5	79±29	88±8	850±740
	25	48±12	2057±96	305±38	1287±499
	50	58±8	1347±88	280±51	1640±270
	75	338±83	882±297	358±17	2060±658
	۱۰۰	565±257	942±69	338±35	1899±301
علف باغ	0	43±18	259±72	165±42	457±71
	25	417±183	1802±733	632±145	2586±990
	50	269±59	1785±114	619±154	3192±1949
	75	308±154	2130±394	709±161	4039±2457
	۱۰۰	513±197	1760±544	548±412	3963±1269
کاسنی	0	16±3	98±18	11±37	71±15
	25	267±4	153±41	72±19	167±61
	50	430±131	253±93	254±22	680±61
	75	353±53	501±113	373±68	803±172
	۱۰۰	554±130	639±193	305±100	755±66
قدومه گلریز	0	327±104	937±316	109±56	586±389
	25	502±98	1272±459	277±79	1166±137
	50	1258±188	2012±576	2142±786	4115±275
	75	2045±321	3671±963	1579±408	3295±400
	۱۰۰	1936±359	6212±1801	1113±563	11300±2401
مریم گلی	0	30±7	107±21	55±22	205±32
	25	29±4	219±39	80±1	200±22
	50	30±14	274±15	63±16	118±10
	75	44±16	468±180	32±1	337±118
	۱۰۰	88±14	487±86	89±32	
سیلن	0	612±185	1251±575	719±417	4633±3822
	25	1173±275	10124±2255	306±273	1987±1274
	50	1182±377	9327±1125	399±192	3321±1560
	75	1292±325	9698±2559	616±265	2368±1090
	۱۰۰	2323±886	15220±5276	1663±1157	5359±1994



شکل 2- تغییرات وزن خشک اندام هوایی و ریشه شش گونه علف باغ (*Dactylis glomerata*)، چاودار کوهی (*Secale montanum*)، قدومه گلریز (*Alyssum strigosum*)، کاسنی (*Cichorium intybus*)، سیلن (*Silene compacta*) و مریم گلی (*Salvia sclarea*) که تحت تأثیر غلظتهای 25 تا 100 میکرومول روی بمدت یک هفته رشد داده شدند. تفاوت بین مقادیر عددی ستونهایی که با حروف یکسانی مشخص شده اند، از نظر آماری معنی دار نبود ($p < 0.05$).

تأثیر سمیت روی بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه: تیمار چاودار کوهی با غلظتهای مختلف روی تا 100 میکرومول تأثیری بر روی کاهش رشد این گیاه نداشت، برعکس تحریک رشد اندام هوائی با افزایش غلظت روی در محیط که در تیمار 50 میکرومول معنی دار بود، مشاهده گردید. وزن خشک ریشه نیز در این گیاه تحت تأثیر تیمارهای مختلف روی افزایش نشان داد که این افزایش در تیمارهای 25 و50 میکرومول به ترتیب 70 و80 درصد و معنی دار بود. در علف باغ و کاسنی، وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر غلظتهای مسموم کننده روی کاهش یافت که به ترتیب 19، 32، 36 و36 درصد در علف باغ و20، 43، 50 و 39 در صد در کاسنی بود که این تغییرات در تیمار های 50 ، 75 و100 میکرومول معنی دار بود. برعکس اندام هوایی، وزن خشک ریشه گیاه علف

باغ نیز تحت تأثیر غلظتهای مختلف روی تغییر نیافت ولی در کاسنی کاهش معنی داری مشاهده شد. در قدومه گلریز، وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر تیمارهای مختلف روی تمایل به کاهش نشان داد و وزن خشک ریشه در تیمار های 75 و100 میکرومول روی کاهش یافت ولی این تغییرات معنی دار نبود. در گونه مریم گلی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه در تیمار های ضعیف روی افزایش غیر معنی داری نشان داد. در سیلن، وزن خشک اندام هوایی و ریشه در همه تیمارهای روی کاهش یافت ولی تفاوتی بین کمترین و بیشترین غلظت روی در محیط بر رشد اندام هوائی و ریشه مشاهده نشد (شکل2).

غلظت نیکل در اندام هوایی و ریشه: با استفاده از غلظتهای مختلف نیکل، غلظت این عنصر در اندام هوایی و ریشه گونه چاودار کوهی و علف باغ افزایش یافت که این افزایش در اندام هوایی چاودار کوهی در تیمارهای 75 و100 ودر ریشه در همه تیمارها معنی دار بود. در علف باغ این افزایش در اندام هوایی و ریشه تحت تأثیر همه تیمارها معنی دار بود، مقدار انباشتگی نیکل در ریشه به مراتب بیشتر از اندام هوایی بود.

جدول 3- سهم نسبی ریشه در انباشت نیکل و روی گونه های مورد بررسی که به مدت 7 روز تیمار داده شده اند. داده ها شامل میانگین و انحراف استاندارد می باشد. داده های هر ستون که با حروف یکسانی مشخص شده اند، از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارند($p<0.05$).

گونه	تیمار(میکرومول)	سهم نسبی ریشه (نیکل)	سهم نسبی ریشه (روی)
چاودار کوهی	0	0/45 ± 0/08 a	0/63 ± 0/18 a
	100	0/35 ± 0/11 a	0/66 ± 0/05 a
علف باغ	0	0/64 ± 0/03 a	0/49 ± 0/05 b
	100	0/37 ± 0/14 b	0/76 ± 0/15 a
کاسنی	0	0/70 ± 0/10 a	0/49 ± 0/28 a
	100	0/20 ± 0/05 b	0/53 ± 0/04 a
قدومه گلریز	0	0/43 ± 0/09 a	0/57 ± 0/09 a
	100	0/36 ± 0/09 a	0/64 ± 0/14 a
مریم گلی	0	0/12 ± 0/08 a	0/57 ± 0/05 a
	100	0/48 ± 0/02 a	0/51 ± 0/06 a
سیلن	0	0/45 ± 0/15 a	0/50 ± 0/1 a
	100	0/46 ± 0/17 a	0/59 ± 0/35 a

در دو گونه کاسنی و قدومه گلریز نیز، با افزایش غلظت نیکل در محلول غذایی، غلظت این عنصر در اندام هوایی و ریشه افزایش یافت. این افزایش در اندام هوایی کاسنی، در همه تیمارها معنی دار و در اندام هوایی قدومه گلریز در تیمارهای 50، 75 و 100 میکرومول معنی دار بود، در ریشه هردو گونه، در تیمارهای 75 و 100 میکرومول معنی دار و ریشه هر دو گونه محل عمده انباشتگی نیکل بود. مشابه آن در مریم گلی و سیلن، غلظت نیکل در اندام هوایی و در تیمارهای 50 و100 میکرومول افزایش یافت که معنی دار بود، و ریشه در این دو گونه نیز نیکل زیادی را انباشته نمود. بالاترین مقدار انباشتگی نیکل در اندام

هوایی و ریشه در سیلن مشاهده شد که به ترتیب تا 2 و 15 میلی گرم در گرم وزن خشک بالغ شد (جدول 2).

با توجه به اینکه با افزایش غلظت عناصر فلزی سنگین در محیط، معمولاً نسبت انتقال عناصر جذب شده به اندام هوایی تغییر می کند ، سهم نسبی ریشه از کل مقدار عنصر جذب شده بوسیله فرمول زیر محاسبه شد (جدول 3).

$$\text{سهم نسبی ریشه} = \frac{\text{مقدار عنصر درریشه } (mg / root)}{\text{مقدار عنصر در اندام هوایی } (mg/ shoot)}$$

داده ها نشان داد که در علف باغ و کاسنی، رشد در غلظتهای مسموم کننده نیکل عامل کاهش سهم نسبی ریشه می باشد و حاکی از ممانعت از انتقال نیکل به اندام هوایی با افزایش عرضه این عنصر به گیاه است. در چهار گونه دیگر مورد بررسی ، سهم نسبی ریشه تفاوت معنی داری بین تیمار شاهد و100 میکرومول نیکل نشان نداد (جدول 3).

غلظت روی در اندام هوایی و ریشه: غلظت روی در اندام هوایی گونه های چاودار کوهی و علف باغ در گیاهان رشد یافته در محیط واجد غلظتهای بالای این عنصر افزایش معنی داری نشان داده و در ریشه این افزایش در تیمارهای 75 و 100 میکرومول معنی دار بود. در کاسنی و قدومه گلریز، افزایش غلظت روی در اندام هوایی و ریشه در تیمارهای 50 ، 75 و100 میکرومول معنی دار بود. در مریم گلی، غلظت روی در اندام هوایی و ریشه تمایل به افزایش نشان داد ولی در هیچکدام از تیمارها این تغییرات معنی دار نبود. در سیلن، غلظت روی در اندام هوایی و ریشه افزایش یافت که در اندام هوایی و در تیمار 100 میکرومول معنی دار بود. در گونه های مورد مطالعه، غلظت روی در ریشه به مراتب بیشتر از اندام هوایی بود (جدول 2).

در علف باغ ، مشابه نیکل سهم نسبی ریشه از کل روی جذب شده در پاسخ به غلظت 100 میکرومول روی در مقایسه با شاهد تغییر کرد ولی بر خلاف نیکل، این مقدار افزایش نشان داد که حاکی از افزایش انتقال روی به اندام هوایی در صورت عرضه مقادیر بالای این عنصر در محیط ریشه است. در دیگر گونه ها این نسبت تغییر معنی داری نشان نداد (جدول 3).

بحث

جمع بندی نتایج نشان می دهد که چاودار کوهی متحمل ترین و کاسنی و سیلن حساس ترین گونه ها به مسمومیت نیکل می باشند. تحمل اندام هوایی به مسمومیت نیکل در علف باغ و مریم گلی از تحمل ریشه بیشتر بود (جدول 1). کاهش رشد ناشی از مسمومیت نیکل، به کاهش فتوسنتز، از بین رفتن فشار تورژسانس و کاهش مقاومت به تنش آبی (7)، القای تنش اکسیداتیو، اثر مخرب روی غشاها و اختلال در عمل آنزیمها (25) نسبت داده شده است. نکته قابل توجه اینکه در این تحقیق قدومه گلریز و سیلن نسبت به غلظتهای مسموم کننده نیکل حساسیت زیادی نشان داده در حالیکه گونه های دیگر قدومه از جمله *Alyssum bertolonii* (11) و سیلن (*Silene vulgaris*) (31) که توسط محققین دیگر بررسی شده اند، تحمل بالایی به عناصر فلزی سنگین از جمله نیکل از خود نشان داده است. گونه های دیگری از جنس قدومه و سیلن در منطقه غنی از نیکل حضور قابل توجهی نداشت در حالیکه در مناطق مجاور عاری از نیکل و یا غنی از عناصر فلزی دیگر پراکنش آنها قابل توجه بود (2). تفاوت در تحمل نیکل بین گونه های قدومه و سیلن و گونه های گزارش شده در منابع را می توان به تفاوتهای بین گونه ای نسبت داد. تفاوتهای قابل توجه بین گونه های مختلف یک جنس (22) حتی اکوتیپ های یک گونه (28) از نظر قدرت تحمل عناصر فلزی سنگین گزارش شده است.

جمع بندی پاسخ اندام هوایی و ریشه به غلظتهای مسموم کننده روی در شش گونه مورد بررسی نشان می دهد که چاودار کوهی و مریم گلی با کمترین کاهش رشد در پاسخ به غلظتهای بالای روی، متحمل ترین گونه ها و سیلن

حساس ترین گونه به مسمومیت این عنصر می باشد (جدول 1) که در حضور غلظتهای بسیار پایین روی (25 میکرومول) که برای بسیاری از گونه ها مسموم کننده محسوب نمی شود (24) کاهش رشد قابل توجهی نشان داده است. کاهش رشد تحت تأثیر غلظتهای بالای روی را به القای کمبود آهن و منیزیم (24)، پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی (26) اختلال در جذب یونها و ممانعت از کانالهای یونی (33) و القای تنش اکسیداتیو (17، 8) نسبت داده اند. گونه ها و جنسهای مورد مطالعه در این پژوهش توسط محققین دیگر بررسی نشده اند ولی گزارشهایی در مورد گونه ای از سیلن بنام *Silene vulgaris* منتشر شده است که بر خلاف نتایج تحقیق حاضر در مورد*Silene compacta* ، غلظتهای بسیار بالای روی در محیط را تحمل می نماید (9). این تفاوتها را مانند آنچه در مورد نیکل مشاهده شد می توان به تنوع بین گونه ای در تحمل عناصر فلزی سنگین نسبت داد که در مورد گونه های دیگر (22) و عناصر فلزی سنگین غیر از روی گزارش شده است (29). بدیهی است به منظور بررسی دقیق تر بایستی هر دو گونه *S. vulgaris* و *S. compacta* را همزمان و در شرایط تیماری یکسان کاشته و تفاوت در تحمل آنها را بررسی نمود. در صورت اثبات این تفاوت، این دو گونه می توانند بعنوان مدلهایی برای بررسی تفاوت بین گونه ای در تحمل روی بکار روند. تفاوتهای بین گونه ای در تحمل عناصر را عمدتاً به تفاوت در سازوکارهای جذب، کدبندی و نیز غیر فعال سازی عناصر در سیتوپلاسم نسبت داده اند (24).

پاسخهای گیاهان به غلظتهای بالای عناصر فلزی سنگین به دو دسته اجتناب و جذب قابل تقسیم است. یکی از مهمترین دلایل حساسیت گیاهان به غلظتهای بالای عناصر فلزی سنگین در محیط، جذب و انباشتگی این عناصر در حد مسموم کننده می باشد (24).در بین گونه های مورد مطالعه، سیلن و قدومه گلریز پتانسیل بالایی برای انباشت نیکل در اندام هوایی نشان دادند. هر چند بررسی حاضر در محیط کشت هیدروپونیک انجام شده است ولی می توان پیش بینی نمود که در صورت رشد این گیاهان بر روی خاکهای غنی از نیکل، همچنان مقادیر بالایی از این عنصر در اندام هوایی این گونه ها انباشته شوند زیرا تفاوت بین انباشتگی عناصر بین گیاهان رشد یافته در محیط هیدروپونیک و خاک مربوط به جذب سطحی یونها در فضای آپوپلاسمی و لذا مربوط به ریشه می باشد و مکانیسم تنظیم انتقال عناصر در مرحله بارگیری چوب عمدتاً منشا درونی دارد (24).

قدومه گلریز و سیلن در این بررسی بالغ بر 2000 میکرو گرم در گرم وزن خشک اندام هوایی نیکل انباشته نمودند. طبق گزارشات گونه دیگری از قدومه بنام *Alyssum bertolonii* تا 10000 میکروگرم در گرم وزن خشک اندام هوایی، نیکل انباشت می کند (11). گونه هایی از تیره میخک بنام *Minuartia laricifolia* و *M. vera* که به ترتیب2700 و 1400 میکروگرم در گرم وزن خشک و همچنین سه گونه از جنس *Arenaria* (تیره میخک) که بین2400-2300 میکروگرم در گرم وزن خشک نیکل در بافت خود انباشت می کنند، نیز گزارش شده است (14).

بنابراین در این پژوهش ارتباطی بین حساسیت به نیکل و تجمع این عنصر در گیاه دیده نشد به طوری که در بین دو گونه کاسنی و سیلن که بیشترین حساسیت را به غلظتهای بالای نیکل نشان داده بودند، تنها سیلن مقدار زیادی نیکل در اندام هوائی انباشته نمود و برعکس غلظت نیکل اندام هوایی در چاودار کوهی و کاسنی در یک محدوده قرار داشت در حالی که تفاوت قابل توجهی از نظر تحمل این عنصر از خود نشان دادند.

مشابه نیکل، قدومه گلریز و سیلن بیشترین پتانسیل انباشته گری روی را در اندام هوایی از خود نشان دادند. مقدار انباشتگی روی در ریشه ها نیز در این دو گونه بیشتر از سایر گونه ها بود. با این حال به دلیل استفاده از محیط هیدروپونیک و علی رغم شستشوی ریشه ها، مقدار

انباشتگی در اندام اخیر به گیاهان رشد یافته در خاک قابل تعمیم نمی باشد.

مقدار انباشتگی روی برای گونه های متحمل که بر روی خاکهای غنی از این عنصر رشد یافته اند، 1000 میکرو گرم در گرم وزن خشک گزارش شده ولی برای گونه های بیش انباشته گر 10000 میکرو گرم در گرم وزن خشک تعیین گردیده است (14). لذا در بررسی حاضر که حداکثر انباشتگی این عنصر 1100 تا 1700 میکرو گرم در گرم وزن خشک می باشد، گونه ای بعنوان بیش انباشته گر روی تشخیص داده نشد ولی می توان گونه های قدومه گلریز و سیلن را بعنوان گونه جذب کننده معرفی نمود. در گونه های جنس کیسه چوپان (*Thlaspi*) از تیره شب بو، بیش انباشته گری روی در اندام هوایی تا 40000 میکروگرم در گرم وزن خشک گزارش شده است (13).

بنابراین در مورد عنصر روی نیز گونه قدومه گلریز حساسیت کمتر و سیلن حساسیت بیشتری به غلظتهای بالای روی نشان داده، هر دو مقادیر یکسان و بالایی از این دو عنصر را در اندام هوایی خود انباشته کردند. گیاهان جذب کننده و انباشته گرهایی که تحمل بالایی به غلظتهای این عناصر در پیکر خود نشان می دهند، عمدتاً با سازوکارهایی از آسیبهای آن جلوگیری می نمایند. تشکیل پیوند نیکل با اسید آمینه ها و اسید های آلی و محبوس شدن روی در واکوئل ها از سازوکارهای مقابله با غلظتهای مسموم کننده این عناصر در گونه های متحمل می باشد (24). فقدان چنین سازوکارهایی عامل حساسیت عده ای از گونه های جذب کننده بوده، به طوری که تفاوت بین دو گونه چاودار کوهی و علف باغ در مورد تحمل روی به تفاوت در انباشتگی عوامل همبند کننده در این دو گیاه نسبت داده شده است (18).

انباشتگی عناصر در گیاهان بستگی زیادی به فراهمی آنها در محیط دارد. از جمله عوامل مؤثر بر فراهمی عناصر در خاک غیر از غلظت آنها می توان به pH، مقدار مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک اشاره کرد (24). لذا در این بررسی برای قابل مقایسه نمودن شرایط کشت هیدروپونیک با خاک، حداکثر غلظت نیکل و روی در محیط هیدروپونیک 100 میکرومول در نظر گرفته شده که از نظر فراهمی برای گیاهان در محدوده مقادیر موجود در خاکهای غنی از نیکل و روی شمال غرب کشور است (1).

در مجموع با توجه به داده های رشدی و انباشت عناصر می توان اظهار نمود که گونه های چاودار کوهی و مریم گلی از گونه های بردبار و اجتناب گر نیکل و روی، قدومه گلریز بردبار جذب کننده این دو عنصر،کاسنی و سیلن از گونه های حساس و جذب کننده نیکل و سیلن از گونه های حساس و جذب کننده روی می باشد. در این بررسی گونه های قدومه گلریز و سیلن پتانسیل بالایی برای انباشت روی و خصوصاً نیکل در اندام هوایی نشان داده ولی مقدار انباشتگی این دو عنصر در برگها برای اطلاق نام گونه بیش انباشته گر به آنها کافی نبود. حد بحرانی سمیت نیکل برای گونه های زراعی 120-60 میکروگرم در گرم وزن خشک و برای سمیت روی 300-100 میکروگرم در گرم وزن خشک تعیین شده است (24). هر چند حد بحرانی تحمل کمبود و سمیت در گونه های وحشی بیش از گونه های زراعی است، با این حال با اطمینان می توان گیاه مریم گلی را که در حضور غلظتهای مسموم کننده نیکل و روی حداکثر 90 میکروگرم در گرم نیکل و روی را در برگهای خود انباشته می نماید، یک گونه اجتناب گر حقیقی معرفی نمود که به دلیل ممانعت از جذب و انتقال این دو عنصر از مسمومیت خود جلوگیری می کند.

برای بررسی دقیق تر این گونه ها لازم است تجزیه عنصری برای گیاهان رشد یافته در محیط طبیعی صورت گیرد و نمونه های گیاهی رشد یافته بر روی خاکهای غنی از این عناصر و گیاهان مناطق غیر غنی مجاور تجزیه شود. در صورت وجود تفاوت بین این دو گروه از نظر انباشت عناصر، کاشت این گونه ها در شرایط یکسان آزمایشگاهی

احتمالاً منجر به شناسایی اکوتیپ ها یا جمعیتهای متفاوت از نظر تحمل و انباشته گری عناصر خواهد شد. چنین بررسیهایی در مورد مس برای گونه *Elsholtzia argyi* انجام گرفته است (21).

تشکر و قدردانی: از آقایان مهندس احمد رزبان حقیقی بخاطر همکاری درآنالیز آماری داده ها و سید یحیی صالحی به دلیل همکاری در سنجش نمونه ها با دستگاه جذب اتمی تشکر و قدر دانی می گردد.

منابع

1. حاجی بلند، رقیه، منافی، میر حبیب، موید، محسن و حسن حکمت شعار. 1385. شناسائی فلور خاکهای غنی از فلزات سنگین در نقاطی از آذربایجان و بررسی گونه های شاخص در کشت مایع. گزارش نهائی فاز های اول تا سوم طرح تحقیقاتی، مدیریت امور پژوهشی دانشگاه تبریز.

2. کاسبی، ناصر، حاجی بلند، رقیه و یونس عصری.1380. مطالعه فیتوسوسیولوژیک مناطق غنی از فلزات سنگین در نقاطی از آذربایجان و بررسی فیزیولوژیک تعدادی از گونه های شاخص. پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.

3. Alexander, M,1994, Biodegradation and bioremediation. Academic Press,USA, pp:293

4. Anderson , C.W.N., Brooks, R.R., Chiarucci, A., LaCoste, C.J., Leblanc, M., Robinson, B.H., Simcock, R. and Stewart, R.B.,1999, Phytomining for nickel, thallium and gold. J. Geochem. Exploration, 67: 407-415.

5. Baker, A.J.M., Brooks, R.R., 1989, Terrestrial higher plants which hyperaccumulate chemical elements-a review of their distribution. ecology and phytochemistry , Biorecovery.1,81-126.

6. Baumann, A., 1885, Das Verhalten von Zinksalzen gegen Pflanzen und in Boden. Landwirt. Vers. Stn.31, 1-53.

7. Bishnoi, N.R., Sheroran, I.S. and Randhir, S., 1993, Influence of cadmium and nickel on photosynthesis and water relations in wheat leaves of different insertion level. Photosynthetica, 28: 473-479.

8. Boominathan R. and Doran, P.M., 2002, Ni-induced oxidative stress in roots of the Ni hyperaccumulator *Alyssum bertolonii*. New Phytol, 156: 205-215.

9. Bringezu, K., Lichtenberger, O., Leopold, I. and Neumann, D., 1999, Heavy metal tolerance of *Silene vulgaris*. J. Plant Physiol.154:536-546.

10. Brooks, R.R., Lee, J., Reeves, R.D. and Jaffré, T., 1977. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. J. Geochem. Exploration, 7: 49-57.

11. Brooks, R.R., Shaw, S. and Asensi Marfil, A., 1981.The chemical form and physiological function of nickel in some Iberian *Alyssum* species. Physiol. Plant, 51: 167-170.

12. Brooks, R.R., 1987, Serpentine and its Vegetation- a Multidisciplinary Approach. Dioscorides Press, Portland. OR, 454 pp.

13. Brooks, R.R., Dun, C.E. and Hall, G.E.M., 1995, Biological systems in mineral exploration and processing. Ellis Horwood, Hemel Hempstead.

14. Brooks, R.R., 1998, Geobotany and hyperaccumulators. In: R. R. Brooks (ed.), Plants that hyperaccumulate heavy metals. pp. 1-14. CAB International, U.S.A.

15. Brooks, R.R. and Robinson, B.H., 1998a, The potential use of hyperaccumulators and other plants for phytomining. In: R. R. Brooks (ed.), Plants that hyperaccumulate heavy metals. CAB International, U.S.A.

16. Brooks, R.R. Chiarucci, A. and Jaffré, T., 1998b, Revegetation and stabilization of mine dumps and other degraded Terrain. In: R. R. Brooks (ed.), Plants that hyperaccumulate heavy metals. pp: 1-14. CAB International, U.S.A.

17. Cuypers, A., Vangronsveld, J. and Clijsters, H., 1999, The chemical behaviour of heavy metals plays a prominent role in the induction of oxidative stress. Free Rad. Res, 31: 39-43.

18. Hajiboland, R., Niknam, V., Ebrahim-Zadeh, H. and Mozafari, A., 2006, Uptake, transport and chelation of Cu and Zn at toxic levels in tolerant and sensitive species from North West of Iran. J. Sci. I.R. Iran. 17: 203-214.

19. Hoagland, D.R. and Arnon, D.I., 1950, The water culture method for growing plants without soil. California Agric. Exp. Sta. Circular 347, Berkeley, CA.

20. Jaffre, T.1980. Etude Ecologique du Peuplement Vegetal des Sols Derives des Roches

Ultrabasiques en Nouvelle Calodonie.Orstom, Paris, 273 pp.

21. Jiang, L.Y., Yang, X.E., Shi, W.Y., Ye, Z.Q. and He, Z.L., 2004, Copper uptake and tolerance in two contrasting ecotypes of *Elsholtzia argyi*. J Plant Nutr, 27: 2067-2083.

22. Lasat, M.M., Baker, A.J.M. and Kochian, L.V., 1996, Physiological characterization of roots Zn^{2+} absorption and translocation to shoot in Zn hyperaccumulator and nonaccumulator species of *Thlaspi*. Plant Physiol, 112: 1715-1722.

23. Mc Grath, S.P. and Zhao, F.J., 2003, Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. Current Opinion in Biotechnology, 14: 1-6.

24. Marschner, H., 1995, Mineral Nutrition of Higher Plants.2nd Edition, Academic Press.

25. Moya, J.L., Ros, R., Picazo, I., 1993, Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carboxylate distribution in rice plants. Photosynthesis Research 36: 75-80.

26. Panda, S.K. and Choudhury, S., 2005, Changes in nitrate reductase activity and oxidative stress response in the moss *Polytrichom commune* subjected to chromium, copper and zinc phytotoxicity. Braz. J. Plant Physiol, 17: 191-197.

27. Raven, K.P. and Loeppert, R.H., 1997, Trace element composition of fertilizers and soil amendments. J. Environ. Qual, 26: 551-557.

28. Reeves, R.D., Baker, A.J.M., 1984, Studies on metal uptake by plants from serpentine and non – serpentine populations of *Thlaspi goesingense* (Cruciferae). New phytol, 98: 191 – 204.

29. Reeves, R.D., Brooks, R.R.,1983, European species of *Thlaspi* L. (Cruciferae) as indicators of nickel and zinc. J. Geo chem. Explor, 18: 275 – 283.

30. Reeves, R.D., Baker, A.J.M., Borhidi, A., Berezain, R., 1996, Nickel-accumulating plants from the ancient serpentine soils of cuba. New phytol. 133,217-224.

31. Sharma, S.S., Schat, H., Vooijs, R. and Van Heer warden, L.M., 1999, Combination toxicology of cooper, zinc, and cadmium in binary mixtures: Concentration-dependent antagonistic, nonadditive, and synergistic effects on root growth in *Silene vulgaris.* Environ. Toxicol. Chem, 18: 348 – 355.

32. Wilfried, H.O. Ernst, Hans, J.M. Nelissen, Wilma, M. Ten Bookum., 2000, Combination toxicology of metal-enriched soils: Physiological responses of a Zn- and Cd-resistant ecotype of *Silene vulgaris* on polymetallic soils.Environmental and Experimental Botany. 43: 55-71.

33. Yang, H.M., Zhang, X.Y. and Wang, G.X., 2004, Effects of heavy metals on stomatal movements in broad bean leaves. Russ. J. Plant Physiol, 51: 464-468.

Effect of toxic concentrations of Ni and Zn on growth and accumulation of these metals on six species from flora of Azarbijan

Kasebi N.[1] and Hajiboland R.[2]

[1] **Research center of Agricultural and Natural Resources, E. Azerbaijan, Tabriz, I.R. of IRAN**

[2]**Plant Science Department, University of Tabriz, Tabriz, I.R. of IRAN**

Abstract

The effect of toxic concentrations of Ni and Zn (up to 100µM) on growth and metal accumulation was studied in some species from flora of Azerbaijan (Northwest of Iran) in a hydroponic experiment. Plant species including *Cichorium intybus*, *Secale montanum*, *Dactylis glomerata*, *Salvia sclarea*, *Alyssum strigosum* and *Silene compacta* are either from important elements of heavy-metal rich soils of Azerbaijan or are excluded from these areas. Growth data of shoot and root showed that *Secale montanum* is an extreme tolerant species to toxic concentrations of Ni, but *Cichorium intybus* and *Silene compacta* are highly susceptible species with growth inhibition of up to 90%. Shoot concentration of Ni in *Alyssum strigosum* and *Silene compacta* reached up to 2 mg g^{-1} DW being lower than the standard value of Ni-hyperaccumulation, but indicating a high accumulating potential for Ni in these species. Growth of *Secale montanum* and *Salvia sclarea* was not inhibited by Zn concentration of 100 µM in the medium, in contrast *Silene compacta* was the most susceptible species for Zn with 80% reduction of shoot growth. Similar with Ni, *Alyssum strigosum* and *Silene compacta* showed the highest accumulation of Zn in leaves (up to 1.1-1.7 mg g^{-1} DW), however, this amount was much lower than critical value for Zn hyperaccumulators (10 mg g^{-1} DW). In this work, no relationship was found between growth response of plants and heavy metal accumulation in leaves, so that, exclusion and inclusion were observed in both tolerant and susceptible species to Ni and Zn.

Keywords: Heavy metal toxicity, excluder species, accumulator species, nickel, zinc