

استفاده از روش اکتشافات بیوژئوشیمیایی به منظور پی جویی کانه‌زایی مس، سرب و روی در محدوده مسجدداغی جلغا (آذربایجان شرقی)

فرونش فرجندی^{۱*} و حسن باستانی^۲

^۱ دانشجوی دکتری، گروه اکتشافات ژئوشیمیایی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ایران

^۲ کارشناس، گروه اکتشافات ژئوشیمیایی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۲۱

چکیده

هدف این پژوهش بررسی گیاهان بومی در محدوده ناهنجاری مس و طلای مسجدداغی، معرفی گونه‌های مناسب ابرنباشت‌گر و معرف برای عناصر مس، سرب و روی و نیز یافتن الگویی مناسب به منظور تعمیم در منطقه آذربایجان شرقی است. محدوده مسجدداغی در برکه جلغا، شامل فلش‌های ائوسن، آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت، ریوداسیت، آگلومرای الیگوسن و نهشته‌های کواترنری است. مطالعات پیشین، کانی‌سازی مس پورفیری را در آن گزارش کرده است. با توجه به گوناگونی پوشش گیاهی در این منطقه، محدوده بالا به منظور یافتن گیاهان معرف کانی‌سازی مس، سرب و روی مورد مطالعه قرار گرفت. در این بررسی، میانگین مقادیر فلزات (برحسب ppm) و میانگین ضریب جذب زیست‌شناختی (بیولوژیکی) عبارتند از: برای *Stachys inflata*: Cu 14.8- 1.10، Cd 0.13- 1.18، Zn 57.4- 2.50، Re 0.033- 4.4، Pb 5.67- 0.52، Pb 5.801- 0.12، Cu 22.06- 0.19، Cd 0.373- 1.40، Zn 21.8- 0.83 و Re 0.089- 53. برای *Salvia sp.*: Cu 11.04- 0.46، Cd 0.047- 0.55، Zn 70.43- 3.42 و Re 0.091- 19. برای *Moltkia coerulea*: Cu 24.6- 0.78، Cd 0.15- 5، Pb 0.513- 0.04، Zn 35.51- 0.48 و Re 0.197- 97. این پژوهش نشان می‌دهد که گیاهان با توانایی بالا در جذب عناصر ما را در یافتن اطلاعاتی ارزشمند درباره منابع پنهان و شناسایی مناطق پتانسیل‌دار جدید معدنی توانا خواهند کرد. در این پژوهش برای بیشتر عناصر مورد بررسی، گیاهان نام‌برده دارای میانگین ضریب جذب زیست‌شناختی بیشتر و یا نزدیک به معیار ابرنباشت‌گری (< 1) هستند. بیشتر ابرنباشت‌گرها به *Stachys inflata* و معرف‌ها به *Stachys inflata*، *Artemisia sp.* و *Salvia sp.* تعلق دارند.

کلیدواژه‌ها: اکتشافات بیوژئوشیمیایی، ابرنباشت‌گر، معرف، ضریب جذب زیست‌شناختی (بیولوژیکی)، مسجدداغی، ایران

E-mail: Farjandi@gsi.ir

*نویسنده مسئول: فرنوش فرجندی

۱- مقدمه

به صورت یک سازوکار قدرتمند نمونه‌برداری رفتار می‌کند و از حجم عظیمی از خاک مرطوب، محلول‌ها را برای نمونه‌برداری برمی‌گزیند. بنابراین گیاهان در محل رشد خود دو وظیفه مهم را در محیط انجام می‌دهند: انحلال و جذب فلزات و دیگر مواد تشکیل‌دهنده خاک. از آنجایی که گیاهان می‌توانند فلزات و دیگر مواد معدنی و غیرآلی را در اندام‌هایشان تمرکز دهند، به عنوان ابزاری سودمند در اکتشافات بیوژئوشیمیایی منابع زیرزمینی کم‌ژرفا به کار می‌روند (Sasmaz et al., 2006).

توانایی گیاه در جذب عناصر شیمیایی به وسیله نسبت غلظت عنصر در گیاه به غلظت عنصر در خاک ارزیابی و ضریب جذب زیست‌شناختی (Biological Absorption Coefficient (BAC)) نامیده می‌شود (Brooks et al., 1995) که عبارت است از: $BAC = C_p / C_s$ و در آن C_p مقدار عنصر در خاکستر گیاه و C_s مقدار همان عنصر در خاک است (Kovalevsky, 1995). مقدار BAC از ۰/۰۰۰۱ تا ۱۰ تغییر می‌کند (Brooks et al., 1995). اگر مقدار BAC برپایه وزن خشک نمونه گیاه محاسبه شود، مقدار آن برای بیشتر عناصر کوچک‌تر از واحد خواهد بود (جدول ۳).

توانایی جذب گیاهان بسیار متغیر است. گیاهانی که مقادیر زیادی از فلزات را جذب می‌کنند، گیاهان ابرنباشت‌گر (Hyperaccumulator) نامیده می‌شوند. معیارهای گیاهان ابرنباشت‌گر به این صورت تعریف می‌شود: یک ابرنباشت‌گر باید دست کم ۱ ppm (0.0001%) از Au، ۱۰۰ ppm (0.01% وزن خشک) از As، Cd و برخی عناصر دیگر؛ ۱۰۰۰ ppm (0.1% وزن خشک) از Ni، Cr، Cu، Co و Pb و ۱۰,۰۰۰ ppm (1% وزن خشک) از Mn و Zn را در بافت‌هایش انباشت کند (Hemmati Ahoei, 2006; Kovalesky, 1987; Reeves et al., 2000). توانایی ذخیره فلزات سنگین در اندام‌های بالایی ۱۰ تا ۵۰۰ برابر گیاهان عادی ($BAC > 1$) است (Ensley, 2000; Lasat, 2002; Fayiga, 2004).

محدوده انتخاب‌شده برای مطالعه حاضر، در منطقه اکتشافی مسجدداغی در برکه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جلغا با مختصات جغرافیایی "۳۵' ۵۵" ۴۵° تا "۲۵' ۵۷" ۴۵° طول خاوری و "۰۱' ۵۲' ۳۸" تا "۰۳' ۵۳' ۳۸" عرض شمالی است. ابعاد این محدوده ۲/۴×۱/۲ کیلومتر و مساحتی نزدیک به ۳ کیلومتر مربع است (شکل ۱). مسجدداغی در شمال باختر ایران، در کوه‌های البرز باختری واقع شده و از نظر تقسیمات کشوری در استان آذربایجان شرقی قرار دارد.

از سال ۱۳۷۷ تاکنون مطالعات بسیاری در محدوده مسجدداغی توسط اداره کل معادن و فلزات آذربایجان شرقی (۱۳۷۷)، مهرپرتو و محمدی (۱۳۷۹)، محمدی (۱۳۸۳) و اکبرپور (۱۳۸۴) در زمینه پی‌جویی‌های معدنی و اکتشافات مقدماتی و تفصیلی، به‌ویژه طلا در پهنه ارسباران و نیز کانی‌سازی طلا و مس در محدوده مسجدداغی جلغا صورت گرفته است. مطالعات پیشین در این محدوده نشان از کانی‌زایی طلا، مس، سرب و روی دارد. نتایج حاصل از مطالعات پیشین به شرح زیر است: کانسار مسجدداغی از نوع مس پورفیری همراه با رگه‌های مس - طلا است که رگه‌های طلا دار (۱۰ رگه) آن اپی‌ترمال و از نوع سولفید بالا است (محمدی، ۱۳۸۳ و اکبرپور، ۱۳۸۴). این معدن در موقعیت جغرافیایی "۱۰' ۵۶" ۴۶° طول خاوری و "۳۰' ۵۲' ۳۸" عرض شمالی قرار دارد. منشأ کانسار آذرین و کانی‌های همبود آن شامل کالکوپریت، باریت، مالاکیت، آزوریت، گالن و طلا است. بالاترین عیار طلا مربوط به رگه اصلی با روند خاوری-باختری و در حدود ۴۰ گرم بر تن، عیار متوسط طلای این کانسار ۲/۵ گرم بر تن و ذخیره آن یک تن است. بالاترین عیار مس ۲٪، متوسط عیار مس ۰/۴٪ و ذخیره بیش از ۱۰۰ میلیون تن گزارش شده است (محمدی، ۱۳۸۳).

در سراسر دنیا گیاهان خاصی شناخته شده‌اند که روی خاک‌های غنی از فلزات می‌رویند (Baker, 1981; Baker & Brooks, 1989; Krämer, 2010). ریشه گیاهان

کمینه دما در این منطقه به ترتیب به ۴۰ و ۱۵- درجه سانتی‌گراد می‌رسد. متوسط مقدار بارندگی در منطقه، حدود ۲۷۸ میلی‌متر در سال است (نجفی، ۱۳۸۱).

۲-۳. پوشش گیاهی

پوشش گیاهی در دو سوی رودخانه ارس در ساحل‌های ایران و آذربایجان (نخجوان) به نسبت گوناگون و شامل نی‌زار، بوت‌ه‌زار و در برخی مناطق درختچه‌های گز است (برگرفته از سایت دانشگاه آزاد اسلامی بین‌المللی واحد جلفا). برپایه مطالعات سیستماتیک انجام شده حاضر توسط زارع و سلمکی از دانشگاه تهران، پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه بیشتر شامل گیاهانی مانند فریون (*Euphorbia myrsinites*)، ماستونک بلوچی (*Torilis stocksiana*)، آدمک (*Biebersteinia multifida*)، پیرگیا (*Senecio glaucus*)، درمنه (*Artemisia sp.*)، کلاه میرحسن (*Acantholimon sp.*)، ترتیزک صحرایی (*Lepidium vesicarium*)، خانوادهٔ اسفناج (*Chenopodiaceae*)، بابونه (*Anthemis odontostephana*)، مریم‌گلی (*Salvia sp.*)، علف‌هفت‌بند (*Pteropyrum sp.*)، اسپند (*Peganum harmala*)، روناس (*Cruciata sp.*)، پیاز (*Allium umbilicatum*)، اولیله (*Stachys inflata*)، گل‌گاوزبان لاجوردی (*Moltkia coerulea*)، هزارخار (*Cousinia sp.*)، گون (*Astragalus sp.*)، دیو‌خار مینایی (*Lysium depressum*)، پونه‌آسی‌آذری (*Nepeta meyeri*) و خارشترخزری (*Alhaji pseudoalhaji*) است.

۳- روش مطالعه

۳-۱. نمونه‌برداری

در این پژوهش برپایه مناطق ناهنجار معرفی شده توسط اکبرپور (۱۳۸۴) و بهره‌گیری بهینه از دانسته‌های موجود (مطالعات اکتشاف ژئوشیمیایی پیشین، داده‌های پوشش گیاهی، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی)، شبکه نمونه‌برداری با فواصل ۲۰۰ m × ۲۰۰ m (Dunn, 2007) طراحی شد (شکل ۱). این طراحی در محدوده مسجداغی با کانی‌زایی شناخته‌شده مس و طلا با سامانه پورفیری، به‌راحتی قابل اجرا است.

در این پژوهش نمونه‌برداری از دو بخش خاک و گیاه انجام شد. نمونه‌های خاک و گیاه طی یک دوره عملیات صحرایی در خرداد ۱۳۸۸ از منطقه مورد مطالعه برداشت شدند. دست کم دو نمونه مجزا از هر گونه گیاه در محل نمونه‌برداری برداشت شد؛ یک نمونه بیوزئوشیمی و یک نمونه ژئوبوتانی. برای تعیین ضریب جذب زیست‌شناختی (BAC) نمونه‌برداری از خاک نیز انجام شد.

در این پروژه ۳۱ ایستگاه نمونه‌برداری شامل بر یک نمونه خاک و چندین نمونه ژئوبوتانی و بیوزئوشیمیایی در هر ایستگاه طراحی و اجرا و در مجموع ۳۱ نمونه خاک، ۱۱۹ نمونه ژئوبوتانی و ۱۱۹ نمونه بیوزئوشیمی از محدوده مسجداغی برداشت شد.

- **نمونه‌های گیاه:** نمونه‌های گیاهی از همان محل‌های تعیین شده برای نمونه‌برداری خاک در محدوده مورد مطالعه برداشت شدند. انتخاب گیاهان، محدود به آنهایی بوده است که به‌سرعت قابل شناسایی بودند و به‌صورت فراوان در منطقه مورد بررسی پراکندگی داشتند (Smith, 1984; Dunn, 1995; Ernst, 1996). تراکم نمونه‌برداری یک نمونه در هر ۰/۳ کیلومتر مربع است، اما بسته به شرایط حاکم، در مناطق با تراکم پوشش گیاهی کم و شیب زیاد زمین، تراکم نمونه‌ها کمتر و در مناطق با پوشش گیاهی گوناگون و پر تراکم و سنگ بستر همگن‌تر، تراکم نمونه‌ها بیشتر شده است.

در این پژوهش در مورد گیاهان فصلی، شاخ، برگ و ریشه (کل گیاه) و در مورد درختچه‌ها و بوته‌های دایمی، شاخ و برگ گیاه نمونه‌برداری شد. از آنجایی که مقدار ماده مغذی در برگ‌های رو به آفتاب و برگ‌های در سایه متفاوت است (Salisbury & Arose, 1978; Brooks et al., 1995)، برای کاهش این اثر از همه

Baker (1981) گیاهان را برپایه غلظت فلز موجود در بافت‌هایشان نسبت به خاک به سه گروه تقسیم کرده است: ۱- گیاهان اجتناب‌گر (Excluder) که ضریب جذب زیست‌شناختی (بیولوژیک) (BAC) خیلی کمی دارند، ۲- گیاهان معرف (Indicator) که در محدوده گسترده‌ای از مقدار فلز محلول، دارای ضریب جذب زیست‌شناختی به نسبت ثابتی هستند و ۳- گیاهان ابرناشت‌گر که ضریب جذب زیست‌شناختی (BAC) خیلی بالا یا سازوکار جذب فعال حتی برای فلزات غیرضروری دارند (Baker, 1981).

گوناگونی گونه‌های گیاهی به دلیل اثرگذاری روی BAC و توده زنده (Biomass) نقش مهمی در این دسته‌بندی دارد (Yeh et al., 2009). گیاهان ابرناشت‌گر و اجتناب‌گر به‌منظور پی‌جویی‌های بیوزئوشیمیایی، احیای محدوده‌های معدنی و سنگ معدن بیواکولوژی Phytomining بسیار مورد توجه و دارای اهمیت هستند (Sheoran et al., 2009; Jiménez et al., 2011). Perelman (1966) نیز گیاهان را بر پایه مقدار BAC به پنج گروه تقسیم می‌کند: ۱- جذب شدید (BAC: 10-100) ۲- جذب قوی (BAC: 1-10) ۳- جذب متوسط (BAC: 0.1-1) ۴- جذب ضعیف (BAC: 0.01-0.1) ۵- جذب خیلی ضعیف (BAC: 0.001-0.01). تجزیه‌های بیوزئوشیمیایی نشان می‌دهد که غنی‌شدگی شاخصی از Zn و Cd، Pb در بافت‌های انواع گیاهانی که در محدوده دگرسانی و کلاهک آهنی Gossan می‌رویند، وجود دارد (Lottermoser et al., 2008).

هدف این پژوهش بررسی گیاهان بومی در محدوده ناهنجاری مس و طلا مسجداغی، معرفی گونه‌های مناسب ابرناشت‌گر و معرف مس، سرب و روی و نیز یافتن الگویی به‌منظور تعمیم در منطقه آذربایجان شرقی است.

۲- محدوده مورد مطالعه

۲-۱. زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در پهنه زمین‌ساختی البرز باختری- آذربایجان (Eftekhar Nezhad, 1975) و پهنه اهر- ارسباران قرار دارد. تحت تأثیر رخداد پیرنه توده‌های آذرین در رسوبات فلیشی ائوسن نفوذ کرده‌اند و به‌سبب شدت حرکات در زمان میوسن، صفحه آذربایجان دچار شکستگی شده (Eftekhar Nezhad, 1975) و امکان خروج ماگما را فراهم آورده است (شکل ۱).

پهنه اهر- ارسباران که جزو کمربند آلپ- هیمالیاست و در پهنه ساختاری البرز- آذربایجان قرار دارد، دارای فعالیت‌های گسترده آتشفشانی سنوزویک و کوآترنری است که این فعالیت آتشفشانی حاصل فرورانش و در واقع یک پدیده تکتونوماگمایی است که در حاشیه قاره رخ داده است. موقعیت تکتونوماگمایی ایران آن را در قلمرو مناطق پتانسیل‌دار برای کانی‌سازی طلای گرمایی قرار می‌دهد. فعالیت‌های ماگمایی کمانی و پشت کمانی که در بیشتر نقاط دنیا به‌عنوان پتانسیل‌های مهم طلا معرفی شده‌اند، در ایران نیز گسترش زیادی داشته‌اند. توده‌های گرانیتویدی نوع I در این کمان‌های ماگمایی به درون ردیف‌های ستر سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ترشیری (بیشتر ائوسن) نفوذ کرده و سبب دگرسانی گسترده و تشکیل کانسارهای مس پورفیری شده است که فعالیت‌های پایانی این توده‌های گرانیتویدی به تشکیل کانی‌سازی طلا از نوع رگ‌های انجامیده است.

مهم‌ترین واحد سنگ‌شناسی محدوده مورد مطالعه سنگ‌های آتشفشانی و نیمه ژرف به سن ائوسن - اولیگوسن است که با مرز گسلی، به وسیله رسوبات فلیش در برگرفته شده است. رسوبات فلیش از رخساره‌های مهم ائوسن در این ناحیه، گسترش زیادی دارند و تناوبی از ماسه‌سنگ، سنگ آهک، شیل و سیلتستون همراه با لایه‌هایی از کنگلومرا هستند (اکبرپور و محمدی، ۱۳۸۲).

۲-۲. آب و هوا

از نظر آب و هوایی محدوده مسجداغی جزو مناطق نیمه‌خشک است و بیشینه و

مسجدداغی در جدول ۲ آورده شده و در شکل ۳ به صورت نمودار مقایسه شده است. تصاویری از گیاهان مورد مطالعه نیز در شکل ۴ آورده شده است.

۴-۱. مس (Cu)

بالاترین مقدار مس در منطقه در *Artemisia sp.* از تیره آفتابگردان Asteraceae (۴۲ ppm، ۷۷) و نیز *Sterigmostemum sulphureum* از تیره شب بو Brassicaceae (۳۶ ppm) گزارش می‌شود.

میانگین BAC در *Stachys inflata* و *Salvia sp.* وابسته به تیره Lamiaceae به ترتیب معادل ۱/۱۰ و ۰/۴۶، در *Moltkia coerulea* از تیره Boraginaceae "۰/۸۸"، در *Alhaji pseudoalhaji* و *Astragalus sp.* از تیره Fabaceae "۰/۳۳" و "۰/۲۱"، در *Artemisia sp.* از تیره Asteraceae "۰/۲۱"، بیان شده در جدول ۳ است. برپایه دسته‌بندی Perelman، مس در *Stachys inflata* از تیره Lamiaceae جذب قوی و در جنس *Salvia sp.* از همان تیره، در *Moltkia coerulea* از تیره Boraginaceae، در *Alhaji pseudoalhaji* و *Astragalus sp.* از تیره Fabaceae، و در *Artemisia sp.* از تیره Asteraceae، جذب متوسط نشان می‌دهد.

باتوجه به نتایج به دست آمده (شکل ۵) *Stachys inflata* که به طور محلی فراوان و نیز دارای میانگین ضریب جذب $1 <$ است، به عنوان ابرناباشت‌گر مس معرفی می‌شود *Alhaji pseudoalhaji*، *Moltkia coerulea*، *Artemisia sp.*، *Astragalus sp.* و *Salvia sp.* نیز که در منطقه به فراوانی دیده می‌شوند و میانگین ضریب جذب زیست‌شناختی کمتر از واحد دارند، می‌توانند به عنوان واسط گیاهی معرف مناسب برای ردیابی مس در لایه‌های زیرین در منطقه معرفی شوند.

۴-۲. کادمیوم (Cd)

بیشترین غلظت کادمیوم در تیره‌های آفتاب‌گردان Asteraceae و شب بو Brassicaceae و به ترتیب ۲ ppm و ۱/۴۶ است. بالاترین مقدار (۲ ppm) در *Crepis sp.* از تیره آفتابگردان Asteraceae است.

میانگین BAC در *Moltkia coerulea* از تیره Boraginaceae "۵" در Brassicaceae و *Lepidium Vesicarium* و *Sterigmostemum sulphureum* از تیره به ترتیب "۲/۱۱" و "۱/۵۷"، در تیره Chenopodiaceae "۲/۰۹"، در *Crepis sp.*، *Artemisia sp.* و *Senecio glaucus* از تیره Asteraceae "۱/۹۸"، "۱/۵۶" و "۱/۴۰" و در تیره Rubiaceae "۱/۵۵" است (جدول ۳).

برپایه رده‌بندی Perelman (1966) کادمیوم در *Moltkia coerulea* از تیره Boraginaceae، در *Lepidium vesicarium* و *Sterigmostemum sulphureum* از تیره Brassicaceae، در تیره Chenopodiaceae، در *Crepis sp.*، در *Artemisia sp.* و *Senecio glaucus* از تیره Asteraceae، در تیره Rubiaceae، در *Stachys inflata* از تیره Lamiaceae، در *Peganum harmala* از تیره Zygophyllaceae، در *Nepeta meyeri* از تیره Lamiaceae و در *Torilis stocksiana* از تیره Apiaceae به طور قوی جذب می‌شود. البته به دلیل بالا بودن مقدار زمینه کادمیوم در گیاهان، تمامی جنس و گونه‌های شناسایی شده دارای میانگین جذب متوسط کادمیوم هستند. با توجه به این که عنصر کادمیوم جزو عناصر ضروری برای گیاهان نیست، بالا بودن مقدار زمینه آن در گیاهان می‌تواند نشانگر بالا بودن مقدار روی (Zn) در سراسر منطقه مورد مطالعه و لایه‌های زیرین خاک باشد (Dunn, 2007). گیاهان *Moltkia coerulea*، *Lepidium vesicarium*، *Torilis stocksiana*، *Nepeta meyeri*، *Peganum harmala*، *Stachys inflata*، *Artemisia sp.*، *Crepis sp.*، *Senecio glaucus*، *Sterigmostemum sp.*، *Chenopodiaceae* و *Rubiaceae* می‌توانند به عنوان گیاهان ابرناباشت‌گر کادمیوم در منطقه معرفی شوند (شکل ۶).

۴-۳. مولیبدن (Mo)

بیشترین مقادیر مولیبدن در *Astragalus sp.* از تیره نخود (۱۸/۴ ppm) Fabaceae

جهت‌های گیاه نمونه‌برداری شد تا ارزیابی صحیحی از شیمی کل گیاه (در مورد گیاهان بزرگ) به دست آید. نمونه‌های مشابه در ایستگاه‌های مختلف برداشت شد تا تغییرات ژئوشیمیایی گیاهان در مناطق مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

برای جلوگیری از کپک‌زدگی، نمونه‌های برداشت‌شده در پاکت‌های کاغذی کرافت قرار داده شدند. برای کاهش حجم و رسیدن به وزن پایدار، نمونه‌ها در دمای ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. از خشک کردن در دمای بالاتر از ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت طولانی (بیشتر از ۴۸ ساعت) باید جلوگیری کرد، چون به از دست دادن مقدار قابل توجهی از وزن کل نمونه و مواد فرار و یا به سوختن نمونه می‌انجامد. به عکس، دماهای زیر ۷۰ درجه سانتی‌گراد فعالیت متابولیکی و رشد کپک‌ها را که می‌توانند مقادیر عناصر موجود در نمونه را تغییر دهند، متوقف نخواهد کرد، به ویژه اگر نمونه‌ها مرطوب باشند (Mac Naeidhe, 1995).

نمونه‌های ژئوبوتانی به منظور مطالعات تاکسونومیک و سیستماتیک به گروه گیاه‌شناسی دانشگاه تهران و نمونه‌های گیاه نیز پس از خشک کردن برای تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه ALS کانادا فرستاده شد که با استفاده از روش هضم (Aqua regia) به روش ICP/MS و توسط دستگاه PerkinElmer Elan 9000 ICP/MS اندازه‌گیری شدند.

– **نمونه‌های خاک:** از آنجایی که سطح خاک معمولاً تحت تأثیر عوامل طبیعی (حمل، جا به جایی و آلودگی سطحی) قرار دارد، نمونه‌های خاک از ژرفای ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متری (بسته به ژرفای ریشه‌های گیاه) و از همان محل نمونه‌های گیاهی برداشت شدند. تراکم نمونه‌برداری یک نمونه در هر ۰/۰۹ کیلومتر مربع است، اما بسته به شرایط حاکم، در مناطقی با پوشش گیاهی کم تراکم و شیب زیاد زمین، تراکم نمونه‌ها کمتر و در مناطق با پوشش گیاهی گوناگون و پر تراکم و سنگ بستر همگن‌تر، تراکم نمونه‌ها بیشتر شده است. نمونه‌های خاک نیز پس از خشک شدن به آزمایشگاه ALS، کانادا فرستاده و به طور کامل، با استفاده از روش هضم (Aqua regia) تجزیه شدند. عناصر به روش تجزیه‌ای ICP/MS و توسط دستگاه‌های PerkinElmer Elan 9000 ICP/MS اندازه‌گیری شدند.

نتایج به دست آمده از نمونه‌های تکراری گیاه نشان‌دهنده خطای زیر ۱۰ درصد برای عناصر Cu و Pb، Re، Zn و زیر ۱۵ درصد برای عناصر Mo و Cd و برای نمونه‌های خاک خطای کمتر از ۵ درصد برای Cd، Cu، Pb، Re، Zn و زیر ۱۰ درصد برای Mo است. نتایج Blank انتخابی و نمونه‌های کنترل کیفی آزمایشگاهی خطای آزمایشگاهی را زیر ۵ درصد نشان می‌دهد.

۴- بحث

از بیشتر گیاهان موجود در محدوده مورد مطالعه نمونه‌گیری شد. روی هم رفته ۱۱۹ نمونه گیاهی از ۳۱ ایستگاه نمونه‌برداری برداشت شد. نتایج حاصل از شناسایی سیستماتیک گیاهان نمونه‌برداری شده، ۱۵ تیره (Family) را معرفی می‌کند:

Alliaceae, Apiaceae, Asteraceae, Boraginaceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Geraniaceae, Lamiaceae, Plumbaginaceae, Polygonaceae, Rubiaceae, Solanaceae, Zygophyllaceae. فهرست نمونه‌های مسجدداغی همراه با مشخصات گیاهی آنها در جدول ۱ آورده شده است. شکل ۲، نمودار فراوانی گیاهان مختلف نمونه‌برداری شده در محدوده مسجدداغی را به خوبی نشان می‌دهد. همان گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود، Astreaceae فراوان‌ترین تیره از نمونه‌های برداشت شده است. پس از آن تیره‌های Brassicaceae، Plumbaginaceae و Apiacea، Polygonaceae، Lamiaceae، Chenopodiaceae به ترتیب فراوان‌ترین گیاهان در این محدوده هستند. مقدار بیشینه و کمینه فلزات همراه با مشخصات آماری آنها در گیاه و خاک، در ایستگاه‌های مختلف در محدوده

فراتر از جذب شدید را نشان می‌دهند. از این میان با توجه به فراوانی و پراکندگی متفاوت موارد نام برده، تیره *Artemisia sp.*, *Nepeta meyeri*, *Chenopodiaceae*، *Moltkia coerulea* و *Torilis stocksiana* که در منطقه به فراوانی دیده می‌شوند، می‌توانند ابرانباشت‌گر خوبی برای رنیوم باشند.

۴-۶. روی (Zn)

بالاترین مقدار روی در نمونه‌ها، در تیره‌های آفتابگردان (*Asteraceae* ۱۰۲ ppm) و شب بو (*Brassicaceae* ۹۲/۲ ppm) وجود دارد. بی‌هنجاری‌های بیوزئوشیمیایی Zn تقریباً هیچ‌گونه تطابقی با ناهنجاری‌های روی در خاک محل رویش گیاهان ندارد. به‌طور عادی مقدار Zn در گیاهان از دیگر عناصر و یا مقدار Zn در خاک بالاتر است. این غنی‌شدگی بخشی به علت آن است که Zn یک عنصر ضروری است و بنابراین حتی اگر هیچ‌گونه کانی‌سازی Zn در لایه‌های زیرین وجود نداشته‌باشد، در غلظت‌های متوسط در گیاهان یافت می‌شود. بنابراین Zn به‌وسیله واسط گیاه قابل ردیابی در منطقه نیست و برای ردیابی آن در منطقه می‌توان از عنصر کادمیوم بهره جست (Dunn, 2007).

میانگین جذب زیست‌شناختی Zn که یک ماده مغذی کمیاب (Trace nutrient) ولی در غلظت‌های بالاتر کاملاً سمی نیز است، در *Moltkia coerulea* از تیره *Boraginaceae* "۹/۶۵"، در *Alhaji pseudoalhajini* از تیره *Fabaceae* "۴/۰۳"، در *Salvia sp.* و *Stachys inflata* از تیره *Lamiaceae* "۳/۴۲" و "۲/۵۰" است (شکل ۱۰). به نظر می‌رسد که این مقادیر بالا ممکن است با غلظت‌های بالای Zn در لایه‌های زیرین مرتبط باشد. Zn در همه گونه‌های بیان شده، جذب شدید (Intensive absorption) نشان می‌دهد.

گونه‌های *Stachys inflata*، *Moltkia coerulea*، *Alhaji pseudoalhaji* و *Salvia sp.* به‌عنوان ابرانباشت‌گر Zn در منطقه معرفی می‌شوند.

گونه‌های *Peganum harmala*، *Astragalus sp.* و *Lepidium vesicarium* به‌ترتیب با میانگین ضریب جذب زیست‌شناختی "۰/۹۹"، "۰/۸۳" و "۰/۸۳" (نزدیک به یک) و فراوانی مناسب در منطقه، معرف‌های خوبی برای Zn در محدوده هستند.

۵- نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان می‌دهد که توانایی انباشت فلزات گیاهان *Stachys inflata*، *Artemisia sp.*، *Astragalus sp.*، *Salvia sp.* و *Moltkia coerulea* در اکتشافات بیوزئوشیمیایی کانه‌زایی‌های پنهان (Cu, Mo, Pb & Zn) مفید است و می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، زیرا این گیاهان بومی و دارای پراکندگی گسترده‌ای در منطقه هستند و نیز فلزات بیان‌شده را چندین برابر بیشتر از خاک در خود انباشته می‌کنند (شکل ۱۱).

بنابراین *Stachys inflata* به‌طور ویژه برای اکتشاف کانی‌سازی‌های *Artemisia sp.*، *Cd* و *Cu*، *Zn*، *Mo*، *Pb* و *Cd*، *Re*، *Cu*، *Zn*، *Mo*، *Pb* برای *Salvia sp.* و *Mo* و *Cu*، *Zn*، *Mo*، *Pb*، *Re*، *Zn*، *Cu*، *Mo*، *Pb* و *Zn* می‌توانند مفید باشند (جدول ۴).

همچنین *Torilis stocksiana*، *Nepeta meyeri* و *Chenopodiaceae* به‌طور ویژه برای پی‌جویی *Re* و *Cd* مناسب هستند که این عناصر خود به‌ترتیب معرف *Mo* و *Zn* هستند.

با توجه به این که *Re* یکی از عناصر ردیاب برای کانسارهای نوع مس-مولیبدن پورفیری است که عناصر *W*، *Te*، *Sb*، *As*، *Au*، *Zn*، *Pb*، *Ag*، *Mo*، *Cu*، *Re*، *K*، *Rb*، *Mn* در آنها دیده می‌شود، گیاهان معرفی‌شده می‌توانند راهنمای مناسبی برای شناسایی کانسارهای نوع مس پورفیری در منطقه آذربایجان باشند.

گونه‌های *Lepidium vesicarium*، *Senecio glaucus*، *Crepis sp.*

و *Senecio glaucus* (پیر گیاه رایج، پیام بهار، زردپولی، زرد تی‌تی) از تیره آفتابگردان *Asteraceae* (۱۶/۷ ppm) دیده می‌شود.

میانگین BAC در *Astragalus sp.* از تیره *Fabaceae* "۱/۹۲" (البته این مقدار مربوط به میانگین است در حالی که BAC برای یکی از نمونه‌های همین جنس "۶/۵" است)، در *Stachys inflata* و *Salvia sp.* از تیره *Lamiaceae* به‌ترتیب "۰/۷۳" و "۰/۶۲" و در *Moltkia coerulea* از تیره *Boraginaceae* "۰/۵۲" (جدول ۳) است. بر پایه رده‌بندی Perelman مولیبدن در *Astragalus sp.* جذب قوی و در *Stachys inflata*، *Moltkia coerulea* و *Salvia sp.* جذب متوسط نشان می‌دهد (Perelman, 1966).

Astragalus sp. که به‌طور محلی فراوان است و دارای میانگین ضریب جذب زیست‌شناختی بزرگ‌تر از واحد است به‌عنوان ابرانباشت‌گر مولیبدن معرفی می‌شود (شکل ۷). *Moltkia coerulea*، *Stachys inflata* و *Salvia sp.* نیز می‌توانند گیاهان مناسبی به‌عنوان واسط گیاهی معرف برای ردیابی مولیبدن در منطقه معرفی شوند.

۴-۴. سرب (Pb)

در جنس *Artemisia sp.* از تیره آفتابگردان (*Asteraceae* ۱۸/۴۵ ppm) و در جنس *Acantholimon sp.* از تیره کلاه میرحسن (*Plumbaginaceae* ۱۳/۳ ppm) بالاترین مقدار سرب دیده شده است.

میانگین BAC در *Stachys inflata* و *Salvia sp.* از تیره *Lamiaceae* "۰/۵۲" و "۰/۱۹"، در *Acantholimon sp.* از تیره *Plumbaginaceae* "۰/۱۶" و در *Artemisia sp.* از تیره *Asteraceae* "۰/۱۲" (جدول ۳) است. بر پایه رده‌بندی Perelman سرب در *Stachys inflata*، *Salvia sp.* و *Acantholimon sp.* جذب متوسط نشان می‌دهد.

باتوجه به این که میانگین ضریب بیوزئوشیمیایی (شکل ۸) در گیاهان نام‌برده کمتر از واحد است، بنابراین هیچ کدام ابرانباشت‌گر نیستند، ولی می‌توان *Stachys inflata*، *Artemisia sp.*، *Acantholimon sp.* و *Salvia sp.* را که در منطقه به فراوانی دیده می‌شوند، به‌عنوان واسط گیاهی معرف بیوزئوشیمیایی سرب در منطقه مطرح کرد. نتایج اکتشافات بیوزئوشیمیایی در محدوده کانسار چندفلزی Uzunzhal در قزاقستان مرکزی نیز *Artemisia sp.* را به‌عنوان معرف سرب بیان کرده است (Solovov, 1987).

۴-۵. رنیوم (Re)

رنیوم موجود در مولیبدنیتی که در کانسارهای مس پورفیری یافت می‌شود به علت توانایی انحلال زیاد در آب، هاله ثانویه وسیعی را تشکیل می‌دهد. در واقع پتانسیل این عنصر به‌عنوان معرف مس و مولیبدن پورفیری بالاست (حسنی‌پاک، ۱۳۶۲). رنیوم موجود در خاک معمولاً چندین برابر کم‌تر از رنیوم موجود در بافت‌های گیاهی است (Dunn, 2007).

بیشترین مقادیر رنیوم در این مطالعه، در گونه *Torilis stocksiana* (ماسونک بلوچی) از تیره جعفری (*Apiaceae* ۱۵۲۰ ppb)، در *Nepeta meyeri* (پونه آسای آذری) از تیره نعناع (*Lamiaceae* ۱۱۴۰ ppb)، در *Artemisia sp.* از تیره *Asteraceae* (۱۰۵۵ ppb) و گونه‌هایی از تیره اسفناج *Chenopodiaceae* (۱۰۳۵ ppb) یافت شده است.

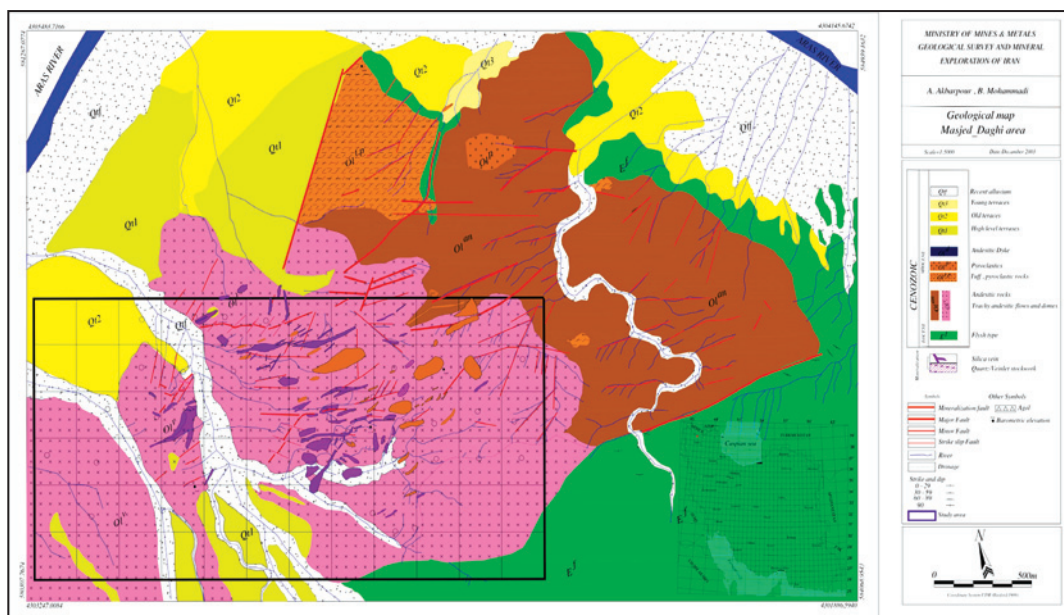
همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، با توجه به جذب بسیار بالای رنیوم توسط گیاهان، مقادیر BAC روی هم‌رفته، در همه نمونه‌های منطقه بسیار بالا (کمترین میانگین ۲/۹) است. بالاترین مقدار میانگین BAC در *Nepeta meyeri* از تیره *Lamiaceae* "۵۹۳"، در *Torilis stocksiana* از تیره *Apiaceae* "۴۲۷"، در *Moltkia coerulea* از تیره *Boraginaceae* "۱۱۶"، در تیره *Chenopodiaceae* "۱۰۸" و در *Artemisia sp.* از تیره *Asteraceae* "۹۷" است (شکل ۹).

بر پایه رده‌بندی Perelman (1966) همه موارد بیان شده به جز *Artemisia sp.* که در گروه جذب شدید (Intensive absorption) قرار دارد،

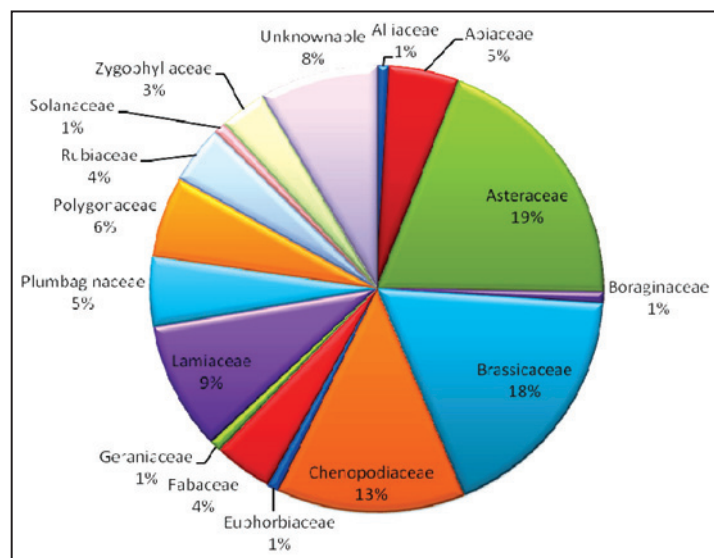
سپاسگزاری

با سپاس از معاونت اکتشاف و مدیریت خدمات اکتشاف سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور آقایان مهندس ناصر عابدیان و مهندس ابراهیم شاهین که بستر مناسبی را برای انجام این پژوهش فراهم آوردند. از دکتر شاهین زارع و دکتر یاسمن سلمکی از گروه زیست‌شناسی دانشگاه تهران که شناسایی سیستماتیک گیاهان مورد مطالعه را با دقت و ویژه‌ای انجام دادند، سپاسگزاری می‌شود و در پایان سپاسگزاری ویژه خود را به مهندس سارا سلیمانی به‌خاطر ویرایش و راهنمایی در تهیه مقاله حاضر تقدیم می‌داریم.

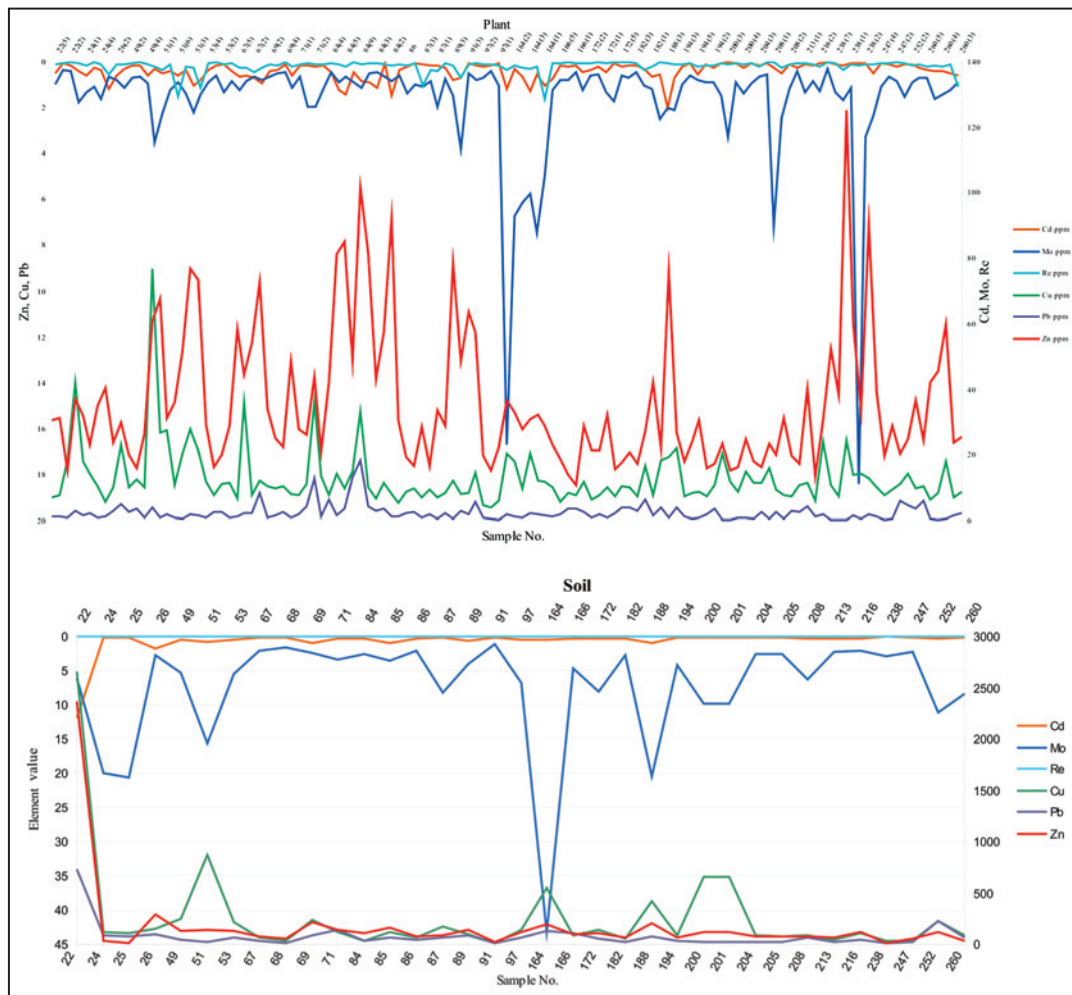
Sterigmostemum sulphureum و *Peganum harmala* و تیره Rubiaceae برای پی‌جویی Cd معرفی می‌شود (این عنصر به دلیل شباهت ساختار شیمیایی، ردیاب بسیار خوبی برای Zn به‌شمار می‌رود). همچنین نتایج به‌دست آمده همخوانی خوبی را با محل ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی حاصل از مطالعات پیشین نشان می‌دهد. نتایج مربوط به انباشت Cu در *Stachys inflata* با نتایج حفاری‌های بسیار و توده‌های پورفیری در منطقه همخوانی خوبی دارد. پیشنهاد می‌شود که این روش برای کانسار مس سونگون و کانسارهای دیگر مس-مولیبدن، مس و مس-مولیبدن-طلای پورفیری نیز اجرا و نتایج آن بررسی شود.



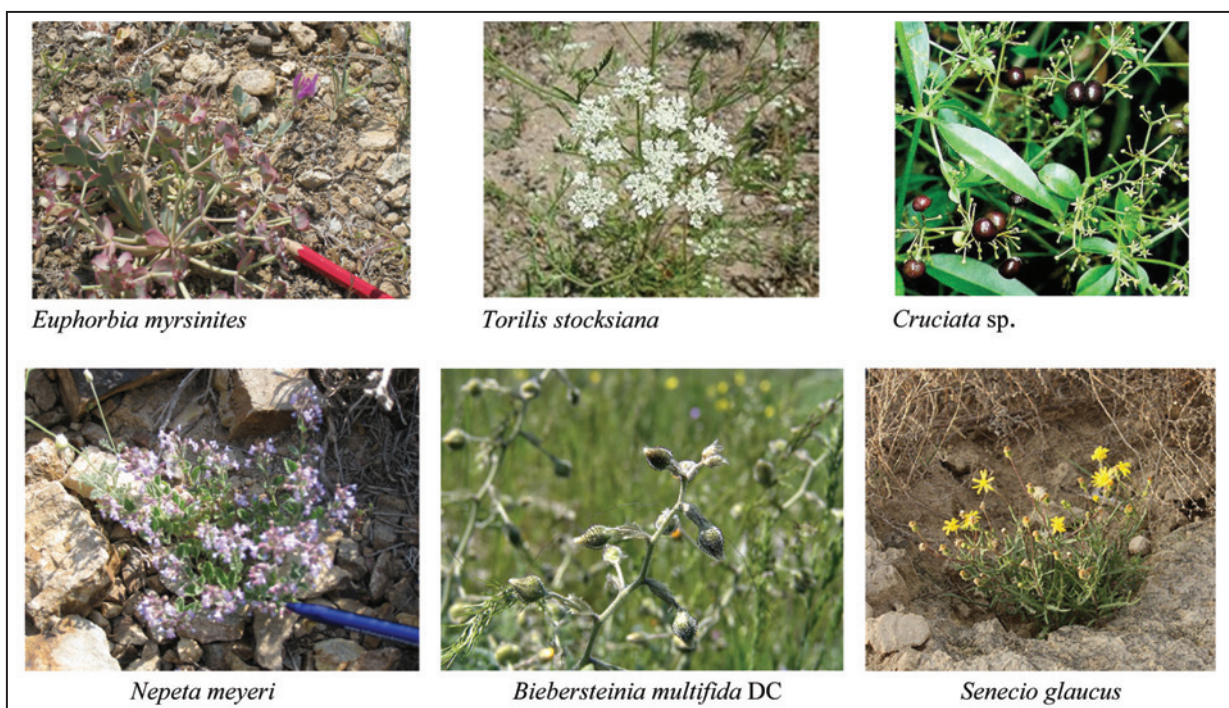
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی مسجدداغی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ (اکبرپور و محمدی، ۱۳۸۲) و موقعیت نمونه‌های برداشت شده در بررسی حاضر



شکل ۲- نمودار فراوانی تیره‌های نمونه‌های برداشت شده از محدوده مسجدداغی



شکل ۳- نمودار مقایسه عناصر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک و گیاه در محدوده مورد مطالعه



شکل ۴- تصاویر گیاهان مورد مطالعه در محدوده مسجد داغی



Lysium depressum Stocks



Tragopogon sp.



Crepis sp.



Lepidium vesicarium L.



Peganum harmala



Cousinia sp.



Moltkia coerulea



Allium (sect. Scorodon) umbilicatum



Astragalus sp.



Alhaji pseudoalhaji



Salvia sp.



Dorema sp.



Stachys inflata



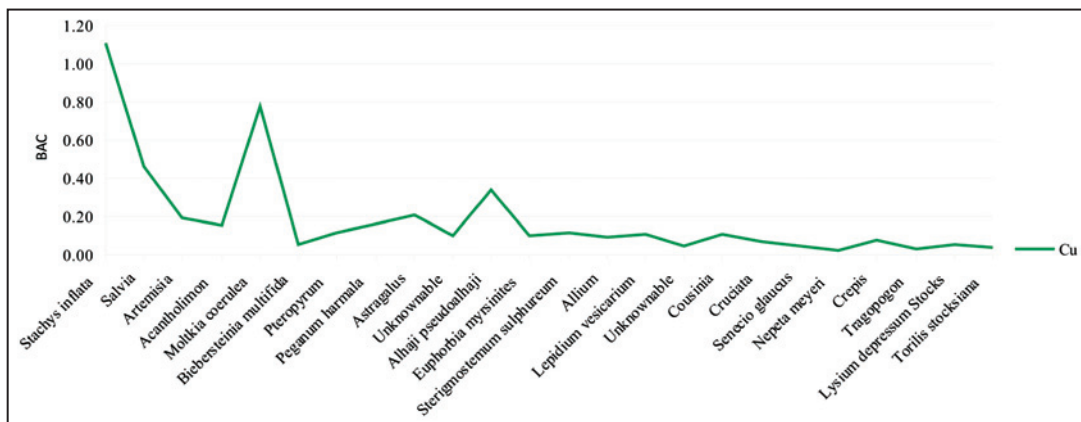
Artemisia sp.



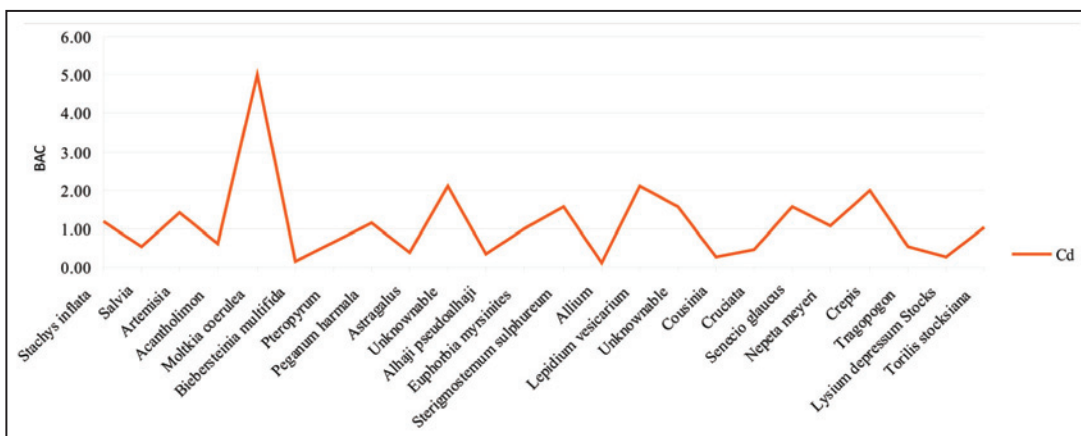
Acantholimon sp.



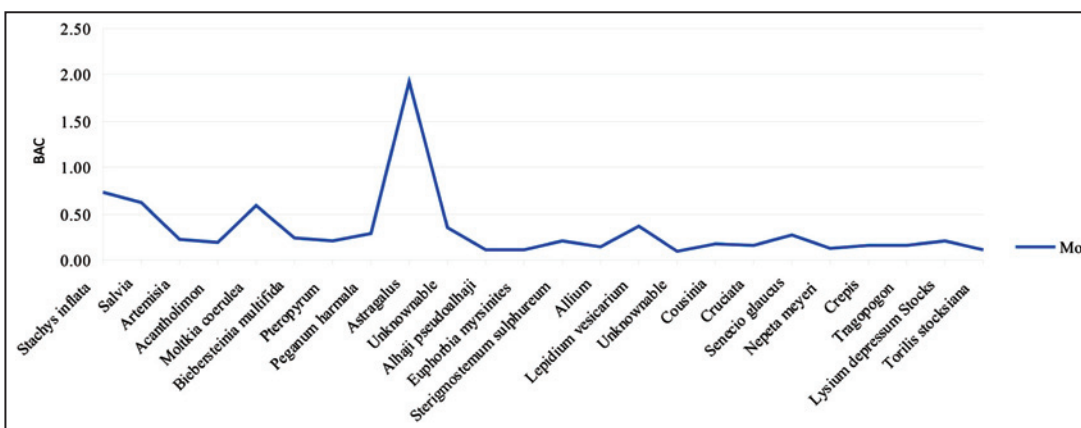
Pteropyrum sp.



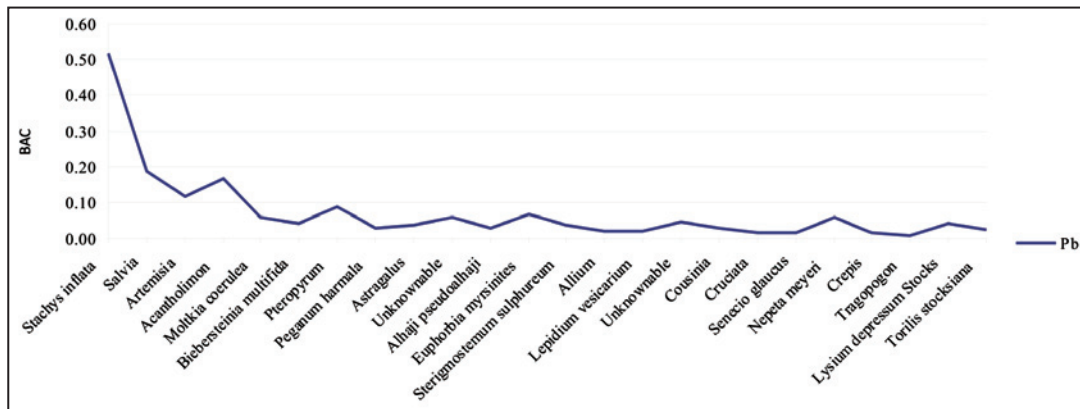
شکل ۵- مقایسه میانگین ضریب جذب زیست‌شناختی Cu در گیاهان محدوده مورد مطالعه



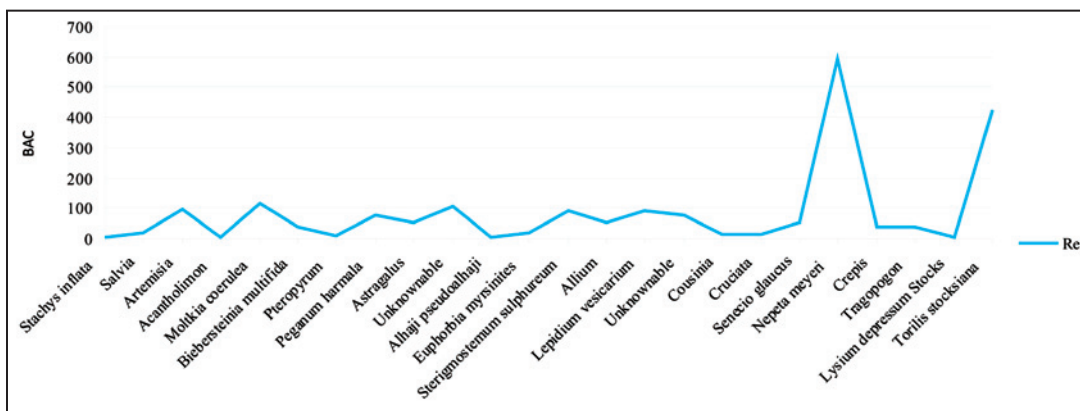
شکل ۶- مقایسه میانگین ضریب جذب زیست‌شناختی Cd در گیاهان محدوده مورد مطالعه



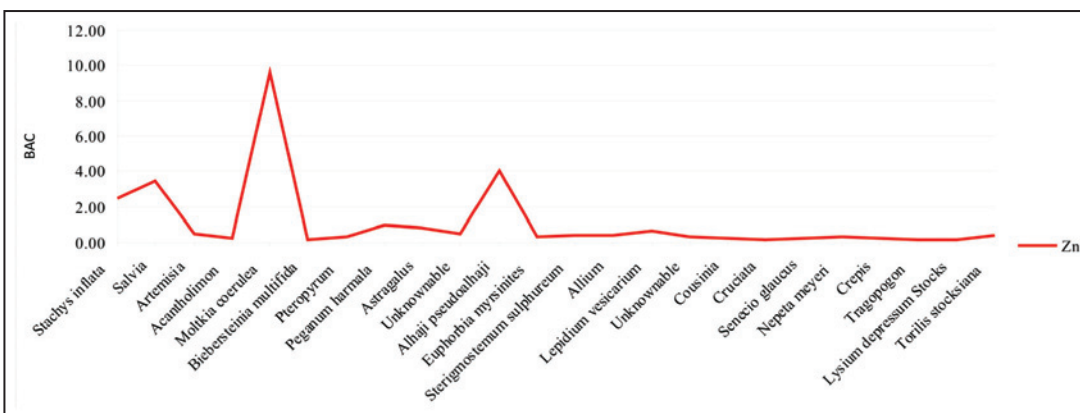
شکل ۷- مقایسه میانگین ضریب جذب زیست‌شناختی Mo در گیاهان محدوده مورد مطالعه



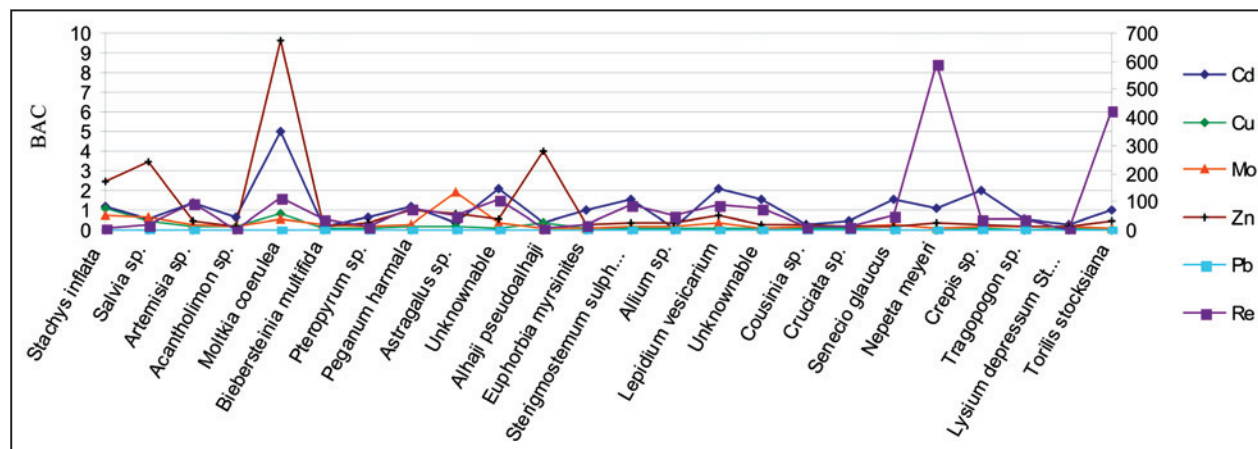
شکل ۸ - مقایسه میانگین ضریب جذب زیست‌شناختی Pb در گیاهان محدوده مورد مطالعه



شکل ۹ - مقایسه میانگین ضریب جذب زیست‌شناختی Re در گیاهان محدوده مورد مطالعه



شکل ۱۰ - مقایسه میانگین ضریب جذب زیست‌شناختی Zn در گیاهان محدوده مورد مطالعه



شکل ۱۱ - مقایسه میانگین ضریب جذب زیست‌شناختی فلزات مختلف در گیاهان محدوده مورد مطالعه (نمودار Re بر حسب محور دوم سمت راست رسم شده است).

جدول ۱ - فهرست نمونه‌های مسجداغی همراه با مشخصات گیاهی آنها

Samp No.	Elevation(m)	Abundance	Sample organ	PH	Growth form	Scientific name	Family
84(1)	1320	abundant	twig & foliage	7.1	perennial herb	Acantholimon sp.	Plumbaginaceae
84(2)	1320	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Lepidium vesicarium L.	Brassicaceae
84(3)	1320	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Unknownable	Chenopodiaceae
84(4)	1320	partly abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Pteropryum sp.	Polygonaceae
84(5)	1320	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae
84(6)	1320	outspread	twig & foliage	7.1	Shurub	Anthemis odontostephana Boiss.	Asteraceae
84(7)	1320	partly abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Salvia sp.	Lamiaceae
84(8)	1320	partly abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Dorema sp.	Apiaceae
84(9)	1320	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Artemisia sp.	Asteraceae
84(10)	1320	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Euphorbia c.f. myrsinites L.	Euphorbiaceae
85	1198	abundant	twig & foliage	7.8	Shurub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae
86	1171	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Unknownable	Chenopodiaceae
87(1)	1331	abundant	twig & foliage	7.4	Shurub	Lepidium vesicarium L.	Brassicaceae
87(2)	1331	abundant	twig & foliage	7.4	Shurub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae
87(3)	1331	abundant	twig & foliage	7.4	Shurub	Unknownable	Chenopodiaceae
87(4)	1331	partly abundant	twig & foliage	7.4	Shurub	Pteropryum sp.	Polygonaceae
67(1)	1184	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae
67(2)	1184	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Unknownable	Chenopodiaceae
67(3)	1184	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Artemisia sp.	Asteraceae
67(4)	1184	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Nepeta meyeri Benth.	Lamiaceae
67(5)	1184	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Lepidium vesicarium L.	Brassicaceae
49(1)	1236	abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Artemisia sp.	Asteraceae
49(2)	1236	abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Unknownable	Chenopodiaceae
49(3)	1236	abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Acantholimon sp.	Plumbaginaceae
49(4)	1236	abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae
49(5)	1236	abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Unknownable	Unknownable
22(1)	1215	abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	.Stachys inflata Benth.	Lamiaceae
22(2)	1215	abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Acantholimon sp.	Plumbaginaceae
22(3)	1215	abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	.Stachys inflata Benth.	Lamiaceae
22(4)	1215	abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Euphorbia myrsinites L.	Euphorbiaceae
22(5)	1215	abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae
24(1)	928	partly abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Unknownable	Chenopodiaceae
24(2)	928	partly abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Artemisia sp.	Asteraceae
24(3)	928	partly abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Pteropryum sp.	Polygonaceae

Samp No.	Elevation(m)	Abundance	Sample organ	PH	Growth form	Scientific name	Family
24(4)	928	abundant	twig & foliage	7.1	Shrub	Torilis stocksiana (Boiss.) Drude	Apiaceae
26(1)	850	abundant	twig & foliage	7.7	Shrub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae
26(2)	850	abundant	twig & foliage	7.7	Shrub	Unknownable	Chenopodiaceae
53(1)	922	abundant	twig & foliage	7.6	Shrub	Pteropryum sp.	Polygonaceae
53(2)	922	partly abundant	twig & foliage	7.6	perennial herb	Biebersteinia multifida DC.	Geraniaceae
53(3)	922	partly abundant	twig & foliage	7.6	Shrub	Senecio glaucus L.	Asteraceae
53(4)	922	partly abundant	twig & foliage	7.6	Shrub	Anthemis odontostephana Boiss.	Asteraceae
51(1)	940	intermediate	twig & foliage	7	Shrub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae
51(2)	940	intermediate	twig & foliage	7	Shrub	Artemisia sp.	Asteraceae
51(3)	940	intermediate	twig & foliage	7	Shrub	Unknownable	Chenopodiaceae
51(4)	940	intermediate	twig & foliage	7	Shrub	Unknownable	Rubiaceae
51(5)	940	intermediate	twig & foliage	7	Shrub	Anthemis odontostephana Boiss.	Asteraceae
51(6)	940	intermediate	twig & foliage	7	Shrub	Torilis stocksiana (Boiss.) Drude	Apiaceae
51(7)	940	intermediate	twig & foliage	7	Shrub	Nepeta meyeri Benth.	Lamiaceae
69(1)	854	abundant in alteration wall	twig & foliage	7.7	Shrub	Lepidium vesicarium L.	Brassicaceae
69(2)	854	abundant	twig & foliage	7.7	Shrub	Anthemis odontostephana Boiss.	Asteraceae
69(3)	854	abundant	twig & foliage	7.7	Shrub	Torilis stocksiana (Boiss.) Drude	Apiaceae
69(4)	854	abundant	twig & foliage	7.7	Shrub	Acantholimon sp.	Plumbaginaceae
97(1)	843	partly abundant	twig & foliage	7.8	Shrub	Peganum harmala L.	Zygophyllaceae
97(2)	843	partly abundant	twig & foliage	7.8	Shrub	Unknownable	Rubiaceae
97(3)	843	partly abundant	twig & foliage	7.8	Shrub	Unknownable	Chenopodiaceae
91(1)	835	outspread	twig & foliage	7.1	Shrub		Apiaceae
91(2)	835	outspread	twig & foliage	7.1	Shrub	.Stachys inflata Benth.	Lamiaceae
91(3)	835	outspread	twig & foliage	7.1	Shrub	Salvia sp.	Lamiaceae
71(1)	881	outspread	twig & foliage	7.1	Shrub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae
71(2)	881	outspread	twig & foliage	7.1	Shrub	Artemisia sp.	Asteraceae
71(3)	881	outspread	twig & foliage	7.1	Shrub	Pteropryum sp.	Polygonaceae
71(4)	881	outspread	twig & foliage	7.1	Shrub	Anthemis odontostephana Boiss.	Asteraceae
89(1)	815	abundant	twig & foliage	7.2	Shrub	Pteropryum sp.	Polygonaceae
89(2)	815	abundant	twig & foliage	7.2	Shrub	Unknownable	Chenopodiaceae
89(3)	815	abundant	twig & foliage	7.2	Shrub	Lepidium vesicarium L.	Brassicaceae
164(1)	720	abundant	twig & foliage	7.7	Shrub	Unknownable	Unknownable
164(2)	720	outspread	twig & foliage	7.7	Shrub	Tragopogon sp.	Asteraceae
164(3)	720	abundant	twig & foliage	7.7	Shrub	Crepis sp.	Asteraceae
164(4)	720	partly abundant	twig & foliage	7.7	Shrub	Nepeta meyeri Benth.	Lamiaceae
164(5)	720	partly abundant	twig & foliage	7.7	Shrub	Senecio glaucus L.	Asteraceae
164(6)	720	partly abundant	twig & foliage	7.7	Shrub	Torilis stocksiana (Boiss.) Drude	Apiaceae
182(1)	715	abundant	twig & foliage	7.8	Shrub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae
182(2)	715	abundant	twig & foliage	7.8	Shrub	Artemisia sp.	Asteraceae
182(3)	715	abundant	twig & foliage	7.8	Shrub	Unknownable	Unknownable
208(1)	710	abundant	twig & foliage	7.5	Shrub	Unknownable	Chenopodiaceae
208(2)	710	abundant	twig & foliage	7.5	Shrub	Artemisia sp.	Asteraceae
208(3)	710	abundant	twig & foliage	7.5	Shrub	Unknownable	Unknownable
172(1)	747	partly abundant	twig & foliage	7.8	Shrub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae
172(2)	747	partly abundant	twig & foliage	7.8	Shrub	Unknownable	Rubiaceae
172(3)	747	partly abundant	twig & foliage	7.8	Shrub	Acantholimon sp.	Plumbaginaceae
172(4)	747	partly abundant	twig & foliage	7.8	Shrub	Lysium depressum Stocks	Solanaceae
172(5)	747	partly abundant	twig & foliage	7.8	Shrub	Unknownable	Chenopodiaceae
166(1)	732	abundant	twig & foliage	7.5	Shrub	Artemisia sp.	Asteraceae
166(2)	732	abundant	twig & foliage	7.5	Shrub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae
166(3)	732	abundant	twig & foliage	7.5	Shrub	Crepis sp.	Asteraceae
166(4)	732	abundant	twig & foliage	7.5	Shrub	Unknownable	Unknownable
166(5)	732	outspread	twig & foliage	7.5	Shrub	Cruciata sp.	Rubiaceae
200(1)	706	abundant	twig & foliage	7.6	Shrub	Cousinia sp.	Asteraceae
200(2)	706	abundant	twig & foliage	7.6	Shrub	Euphorbia myrsinites L.	Euphorbiaceae

ادامه جدول ۱

Samp No.	Elevation(m)	Abundance	Sample organ	PH	Growth form	Scientific name	Family
200(3)	706	abundant	twig & foliage	7.6	Shurub	Astragalus (sect. Onobrychioidei)	Fabaceae
200(4)	706	abundant	twig & foliage	7.6	Shurub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae
204(1)	695	abundant	twig & foliage	7.6	Shurub	Astragalus (sect. Onobrychioidei)	Fabaceae
204(2)	695	abundant	twig & foliage	7.6	Shurub	Cousinia sp.	Asteraceae
204(3)	695	partly abundant	twig & foliage	7.6	Shurub	Artemisia sp.	Asteraceae
216(1)	693	abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Unknownable	Chenopodiaceae
216(2)	693	abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Unknownable	Unknownable
213(1)	684	abundant	twig & foliage	7.7	perennial herb	Unknownable	Unknownable
213(2)	684	abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Artemisia sp.	Asteraceae
194(1)	668	abundant	twig & foliage	7.6	Shurub	Unknownable	Chenopodiaceae
194(3)	668	abundant	twig & foliage	7.6	Shurub	Peganum harmala L.	Zygophyllaceae
194(4)	668	outspread	twig & foliage	7.6	Shurub	Allium (sect. Scorodon) umbilicatum Boiss.	Alliaceae
194(5)	668	partly abundant	twig & foliage	7.6	Shurub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae
238(1)	685	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Unknownable	Unknownable
238(2)	685	partly abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Salvia sp.	Lamiaceae
238(3)	685	outspread	twig & foliage	7.1	Shurub	Astragalus (sect. Onobrychioidei)	Fabaceae
238(4)	685	outspread	twig & foliage	7.1	Shurub	Moltkia coerulea (Willd.) Lehm.	Boraginaceae
238(5)	685	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Unknownable	Chenopodiaceae
238(6)	685	outspread	twig & foliage	7.1	Shurub	Alhaji pseudoalhaji (M. Bieb.) Decv.	Fabaceae
238(7)	685	outspread	twig & foliage		Shurub	Peganum harmala L.	Zygophyllaceae
247(1)	700	abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Unknownable	Unknownable
247(2)	700	abundant	twig & foliage	7.7	perennial herb	Acantholimon sp.	Plumbaginaceae
247(3)	700	partly abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Peganum harmala L.	Zygophyllaceae
247(4)	700	partly abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Astragalus (sect. Onobrychioidei)	Fabaceae
188(1)	717	partly abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Artemisia sp.	Asteraceae
188(2)	717	partly abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Unknownable	Chenopodiaceae
188(3)	717	outspread	twig & foliage	7.7	Shurub	Crepis sp.	Asteraceae
252(1)	724	partly abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Artemisia sp.	Asteraceae
252(2)	724	partly abundant	twig & foliage	7.7	Shurub	Unknownable	Unknownable
260(1)	704	partly abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Lepidium vesicarium L.	Brassicaceae
260(2)	704	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Unknownable	Rubiaceae
260(3)	704	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Artemisia sp.	Asteraceae
260(4)	704	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Anthemis odontostephana Boiss.	Asteraceae
260(5)	704	abundant	twig & foliage	7.1	Shurub	Sterigmostemum sulphureum (Banks & Soland.) Bornm.	Brassicaceae

جدول ۲- مشخصات آماری عناصر در نمونه‌های خاک و گیاه در محدوده مورد مطالعه

plant Element	N Valid	Method	Unit	Lower limit	Upper limmit	Twig & leaves							
						Min.	Max.	Mean	Med.	Std.	Var.	Skew.	Kurt.
Cd	119	ICP-MS/ ME-VEG41	ppm	0.01	2000	0.01	2	0.38	0.25	0.359	0.1286	1.734	3.623
Cu	119	ICP-MS/ ME-VEG41	ppm	0.01	10000	4.22	77	13.1	10.45	9.036	81.653	3.824	21.58
Mo	119	ICP-MS/ ME-VEG41	ppm	0.01	10000	0.31	18.4	1.66	0.96	2.479	6.1431	4.947	28.43
Pb	119	ICP-MS/ ME-VEG41	ppm	0.01	10000	0.25	18.45	2.51	1.9	2.554	6.5246	3.489	16.36
Re	119	ICP-MS/ ME-VEG41	ppm	0.001		0.001	1.605	0.17	0.093	0.261	0.0683	3.767	15.64
Zn	119	ICP-MS/ ME-VEG41	ppm	0.1	10000	10.8	125.5	36	29.1	21.46	460.47	1.622	2.671

soil Element	N Valid	Method	Unit	Lower limit	Upper limmit	Min.	Max.	Mean	Med.	Std.	Var.	Skew.	Kurt.
Cu	35	ICP-MS/ ME-MS41	ppm	0.2	10000	13.4	2660	253	104.5	465.2	216441	4.398	22.03
Mo	35	ICP-MS/ ME-MS41	ppm	0.05	10000	1.07	43.2	7.36	4.24	8.265	68.307	2.831	9.897
Pb	35	ICP-MS/ ME-MS41	ppm	0.2	10000	8.4	733	76.8	59	122.6	15030	4.793	25.61
Re	35	ICP-MS/ ME-MS41	ppm	0.001	50	0.001	0.017	0	0.002	0.004	2E-05	2.316	5.386
Zn	35	ICP-MS/ ME-MS41	ppm	2	10000	8	2370	168	105	387.9	150471	5.691	33.16

Med = median, Skew = skewness, Var = variance, Kurt = kurtosis

جدول ۳- میانگین ضریب جذب زیست‌شناختی (BAC) خاک- گیاه برای گیاهان مختلف محدوده مورد مطالعه

Scientific name	Family	Cd	Cu	Mo	Pb	Re	Zn
<i>Nepeta meyeri</i>	Lamiaceae	1.05	0.02	0.13	0.06	593	0.36
<i>Torilis stocksiana</i>	Apiaceae	1.04	0.04	0.12	0.02	427	0.44
<i>Moltkia coerulea</i>	Boraginaceae	5.00	0.78	0.59	0.06	116	9.65
Unknownable	Chenopodiaceae	2.09	0.10	0.35	0.06	108	0.50
<i>Artemisia</i> sp.	Asteraceae	1.40	0.19	0.23	0.12	97	0.48
<i>Sterigmostemum sulphureum</i>	Brassicaceae	1.57	0.11	0.20	0.04	92	0.40
<i>Lepidium vesicarium</i>	Brassicaceae	2.11	0.11	0.36	0.02	90	0.68
Unknownable	Rubiaceae	1.55	0.05	0.10	0.05	78	0.32
<i>Peganum harmala</i>	Zygophyllaceae	1.15	0.16	0.28	0.03	76	0.99
<i>Astragalus</i> sp.	Fabaceae	0.37	0.21	1.92	0.04	53	0.83
<i>Allium</i> sp.	Alliaceae	0.13	0.09	0.14	0.02	52	0.39
<i>Senecio glaucus</i>	Asteraceae	1.56	0.04	0.27	0.02	51	0.21
<i>Biebersteinia multifida</i>	Geraniaceae	0.15	0.05	0.24	0.04	41	0.15
<i>Crepis</i> sp.	Asteraceae	1.98	0.07	0.17	0.02	40	0.27
<i>Tragopogon</i> sp.	Asteraceae	0.54	0.03	0.16	0.01	40	0.17
<i>Euphorbia myrsinites</i>	Euphorbiaceae	0.97	0.10	0.11	0.07	20	0.31
<i>Salvia</i> sp.	Lamiaceae	0.55	0.46	0.62	0.19	19	3.42
<i>Cousinia</i> sp.	Asteraceae	0.28	0.11	0.18	0.03	15	0.25
<i>Crucata</i> sp.	Rubiaceae	0.44	0.07	0.16	0.02	14	0.18
<i>Pteropyrum</i> sp.	Polygonaceae	0.66	0.12	0.21	0.09	11	0.32
<i>Alhaji pseudoalhaji</i>	Fabaceae	0.33	0.34	0.11	0.03	5.3	4.03
<i>Stachys inflata</i>	Lamiaceae	1.18	1.10	0.73	0.52	4.4	2.50
<i>Lysium depressum</i>	Solanaceae	0.27	0.06	0.21	0.04	3	0.15
<i>Acantholimon</i> sp.	Plumbaginaceae	0.59	0.15	0.19	0.16	2.9	0.22

جدول ۴- ایران‌باشت‌گرها و معرف‌ها برای گیاهان مختلف محدوده مورد مطالعه

Plant	Hyperaccumulator	Indicator
<i>Stachys inflata</i>	Cd, Cu, Zn	Mo, Pb
Chenopodiaceae	Cd, Re	-
<i>Sterigmostemum sulphureum</i>	Cd	-
<i>Lepidium vesicarium</i>	Cd	Zn
<i>Artemisia</i> sp.	Cd, Re	Cu, Pb
<i>Crepis</i> sp.	Cd	-
<i>Senecio glaucus</i>	Cd	-
Rubiaceae	Cd	-
<i>Astragalus</i> sp.	Mo	Cu, Zn
<i>Nepeta meyeri</i>	Cd, Re	-
<i>Salvia</i> sp.	Zn	Cu, Mo, Pb
<i>Peganum harmala</i>	Cd	Zn
<i>Torilis stocksiana</i>	Cd, Re	-
<i>Moltkia coerulea</i>	Re, Zn	Cu, Mo
<i>Alhaji pseudoalhaji</i>	Zn	Cu

کتابنگاری

اکبرپور، ا.، ۱۳۸۴- زمین‌شناسی اقتصادی منطقه کیمکی با نگرش ویژه بر کانی‌سازی طلا و مس (مسجدداغی جلغا) آذربایجان شرقی، پایان‌نامه دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ص ۱۶۸.

اکبرپور، ا. و محمدی، ب.، ۱۳۸۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ مسجدداغی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

حسینی‌پاک، ع. ا.، ۱۳۶۲- اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، مرکز نشر دانشگاهی، ص ۶۰۰.

سایت دانشگاه آزاد اسلامی بین‌المللی واحد جلغا (<http://www.iau.ac.ir/pages.aspx?id=337>)

محمدی، ب.، ۱۳۸۳- اکتشاف نیمه‌تفصیلی طلا- مس و مولیبدن پورفیری در منطقه مسجدداغی (طارم- ارسباران)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نجفی، ع. ا.، ۱۳۸۱- مقدمه‌ای بر جغرافیای طبیعی ایران، نشر سازمان جغرافیایی، ص ۱۴۲.

References

- 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.
- Baker, A. J. M., 1981- Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals. *J. Plant Nutr.* 3, 643.
- Brooks, R. R., Dunn, C. E. & Hall, G. E. M., (Editors), 1995- *Biological Systems in Mineral Exploration and Processing*. Ellis Horwood, London, 538.
- Dunn, C. E., 1995- Introduction to biogeochemical prospecting. In: R.R. Brooks, C.E. Dunn and G.E.M. Hall (Editors), *Biological systems in mineral exploration and processing*. Ellis Horwood, London, 233-242.
- Dunn, C. E., 2007- *Biogeochemistry in mineral exploration*. Elsevier, Amsterdam, 462.
- Eftekhari Nezhad, J., 1975- Brief history and structural development of Azarbaijan, GSI, Internal report, No. 8.
- Ensley, B. D., 2000- Rationale for use of phytoremediation. In : Raskin, I., Ensley, B.D. (Eds.), *Phytoremediation of toxic metals: Using Plants to Clean up the Environment*. John Wiley and Sons, 31-32.
- Ernst, W. H., 1996- Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils by plants. *Applied Geochemistry*, 11: 163-167.
- Fayiga, A. O., Mal, Q., Cao, X. & Rathinasabapathi, B., 2004 - Effects of heavy metals on growth and arsenic accumulation in the arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. *Environ. Poll.* 132, 289.
- Hemmati Ahoei, H. R., 2006- Bio and Pedogeochemical investigations in southern Australia: Implications for mineral exploration and environmental assessment. Ph.D. thesis, The University of Wollongong (School of earth and environmental sciences), 431.
- Jiménez, M. N., Bacchetta, G., Casti, M., Navarro, F. B., Lallena, A. M. & Fernández- Ondoño, E., 2011- Potential use in phytoremediation of three plant species growing on contaminated mine-tailing soils in Sardinia. *Ecol. Eng.* 37, 392–398.
- Kovalevsky, A. L., 1987- *Biogeochemical Exploration for Mineral Deposits*. VNU Science Press, Utrecht, 224.
- Kovalevsky, A. L., 1995- Barrier-free biogeochemical prospecting. In: Brooks RR, Dunn CE, Hall GEM (eds) *Biological systems in mineral exploration and processing*. Ellis Horwood, London, pp 283–300
- Krämer, U., 2010- Metal hyperaccumulation in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61, 517–534.
- Lasat, M. M., 2002- Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms. *J. Environ. Qual.* 31, 109.
- Lottermoser, B. G., Ashley, P. M. & Munksgaard, N. C., 2008- Biogeochemistry of Pb-Zn gossans, northwest Queensland, Australia: implications for mineral exploration and mine site rehabilitation. *Applied Geochemistry*, 23 (4). pp. 723-742.
- Mac Naeidhe, F., 1995- Procedures and precautions used in sampling techniques and analysis of trace elements in plant matrices. *The science of the total environment*, 176: 25-31.
- Perel'man, A. I., 1966- *Landscape Geochemistry* (Translation No.676, Geol.Surv.of Canada, 1972) Vysshaya Shkola, Moscow, 388.
- Reeves, R. D. & Baker, A. J. M., 2000- Metal-accumulating plants. In: Raskin, I. and Ensley, B.D. (Eds.) *Phytoremediation of Toxic Metals -Using Plants to Clean Up the Environment*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 193–230.
- Salisbury, F. B. & Arose, C. W., 1978- *Plant physiology*. Wadsworth, Belmont, Calif., 436.
- Sasmaz, A., Sagioglu, A. & Sen, Ö., 2006- Hyperaccumulator Plants of the Keban Mining District and Their Possible Impact on the Environment, *Polish J. Environ. Stud.* 15(2): 317-325.
- Sheoran, V., Sheoran, A. S. & Poonia, P., 2009- Phytomining: a review. *Min. Eng.* 22, 1007–1019.
- Smith, B. H., 1984 - Biogeochemistry. *Mineral Exploration vol 3, Exploration Geochemistry*, paper presented to a post – graduate course in Mineral Exploration. The WA School of Mines and Wait-Aid Ltd., 163-172.
- Solovov, A. P., 1987- *Geochemical prospecting*. English translation, Mir publishers, Moscow, 287.
- Yeh, K. C., Liang, H. M., Lin, T. H. & Chiou, J. M., 2009- Model Evaluation of the Phytoextraction Potential of Heavy Metal Hyperaccumulators and Non-hyperaccumulators. *Environmental Pollution* 157: 1945-1952.