



Lorestan University

Online ISSN: 2717-2325

Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas

journal homepage: <http://www.gsma.lu.ac.ir>

Research Paper

Analyzing the rate of concentration and pollution of heavy metals of sediments (case study: Gelian catchment in North Khorasan province)

Mohammad Motamedi Rad ^{a*}, Shahram Bahrami ^b

^a Assistant Professor, Department of Humanities and Social Sciences, Faculty of Humanities Sciences, Farhangian University, Tehran, Iran.

^b Associate Professor, Department of Natural Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 3 January 2022;

Accepted: 31 January 2022

Available online 1 September 2022

Keywords:

Concentration and pollution, , heavy metals, Enrichment, Ecological risk index, Gelian catchment.

ABSTRACT

Heavy metal pollution is one of the major environmental problems in human societies that endanger the health of society. Heavy metals are of great ecological importance due to their high stability in the environment and entering the food cycle. The present study investigated the contamination of sediments in the Gelian catchment area with heavy elements (As (Arsenic), Cd (Cadmium), Co (Cobalt), Cr (Chrome), Cu (Copper), Fe (Iron), Mo (Molibden), Ni (Nickel), Pb (Lead), V (Vanadium) and Al (Aluminum)). For this purpose, 58 sediment samples were collected from the area and analyzed by ICP-MS. To measure pollution, indicators such as enrichment factor, contamination factor, modified contamination degree, pollution load index and ecological risk index were used. Based on the enrichment index and contamination factor, lead and cadmium have created little enrichment in the area, which has led to moderate pollution in the area, and the other elements are without enrichment. modified contamination degree and pollution load index showed that the area does not have any specific pollution with heavy elements, which is confirmed by the ecological risk index, which indicates that the ecological risk in the area is low. According to the lithology of the region, there are two sources of sandstone and Limestone in the distribution of heavy elements in sediments.

1. Introduction

Pollution with heavy metals is one of the major environmental problems in human societies, which endangers the health of people in the society. Although the risk of soil pollution is not less than other pollutions, but since this pollution is not tangible, less attention has been paid to it. On the other hand, due to the importance of sediment pollution and its transfer to plants, animals and humans and its effect on health, the lack of study of sediment pollution in the Gelian basin, as well as the basin being a target area for tourism and as a result the effect on the health of residents and tourists, this watershed was selected

to investigate and evaluate the concentration and pollution of heavy elements.

2. Methodology

In order to investigate the concentration of heavy elements in the sediments of Galian basin, 58 sediment samples (from the surface to a depth of 10 cm) were collected and subjected to ICP-MS analysis. Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) is a type of mass spectrometry that is effective for evaluating and identifying metals and some non-metals up to concentrations as small as 2ppq1015. This method consists of a sample introduction system, an inductively coupled plasma source to produce ions

*Corresponding Author.

Email Addresses: m.motamedirad@cfu.ac.ir (M. Motamedi Rad), sh_Bahrami@sbu.ac.ir (SH. Bahrami).

To cite this article:

Motamedi Rad, M., Bahrami.Sh (2022), Analyzing the rate of concentration and pollution of heavy metals of sediments (case study: Gelian catchment in North Khorasan province). Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas, 3(10), 57-81

Doi:10.52547/gsma.3.2.57

of the substance or substances under investigation, a common plasma-vacuum interface, and a mass spectrometer consisting of an ion concentrator and an ion separator and detector system. Then the concentration of 11 heavy elements from 58 test samples including As (arsenic), Cd (cadmium), Co (cobalt), Cr (Chrome), Cu (copper), Fe (iron), Mo (Molibden), Ni (nickel), Pb (lead), V (vanadium) and Al (aluminum) were investigated. Also, interpolation using the IDW method has been used to determine the area of possible contamination. In this research, indicators such as enrichment factor, contamination factor, modified contamination degree, pollution load index and ecological risk index were used to measure pollution.

3. Results

The results of calculating the enrichment factor (EF) indicate that the elements Lead, Cadmium, Chrome, Arsenic, Nickel, Cobalt and Vanadium are slightly enriched in the region, so that Lead and Cadmium with an average of 2.92 and 2.53 are more enrichment compared to the reference elements. Copper, Molibden and iron are classified as non-enriched elements. The results of the contamination factor (CF) showed that lead and Cadmium elements have moderate contamination with an average contamination factor of 1.18 and 1, and the rest of the elements are without contamination. The results obtained from the investigation of the contamination factor are aimed at confirming the enrichment factor. The results of calculating modified contamination degree index (MCD) and pollution load index (PLI) showed that the sediment samples in the studied basin do not show any specific pollution. The results showed that the coefficient of ecological risk potential of Arsenic, Cadmium, Cobalt, Chrom, Copper, Molibden, Nickel, Lead and Vanadium elements is less than 40, which indicates low risk potential. Based on the results of Er, the value of ecological risk index of Gelian watershed was obtained. Considering that the average of the above coefficient is equal to 58.16, which according to Hakanson's classification, the ecological risk status of sediments in the studied area is low in heavy elements.

4. Discussion

The examination of heavy elements in the sediments of the region showed that Lead and Cadmium are more enriched than other elements in the region, so that this has led to moderate pollution determined by the contamination factor in the sediments of the region. Since the enrichment factor for the studied elements is less than 10, therefore, the origin of Lead, Cadmium, Chrom, Arsenic, Nickel, Cobalt, Vanadium, Copper, Molibden and Iron elements is in the lithogenic area due to weathering and erosion of the units. Based on the results of Pearson's coefficient and principal component analysis, there are two origins in the distribution of heavy elements in the sediments of the study area. Since the studied area is located in the Aladagh-Binalud geo-structural zone and the lithology of the area consists of sedimentary formations such as sandstone and conglomerates of the Shurije formation and limestones of the Mazdooran and Tirgan formations and marl with an interlayer of clayey limestone of the Sarcheshme formation, and based on the distribution of the concentration of heavy elements in sandstone sediments and calcareous and dolomite units (Kabata-Pendias, 2001), the origin of Chrom, Nickel, Molibden and Iron elements can be attributed to the sandstones of Shaurije formation, and the origin of aluminum and iron elements. , Cobalt, Vanadium, Lead, Copper, Cadmium and Arsenic in the region can be attributed to calcareous deposits.

5. Conclusion

The drawing of statistical diagrams shows the existence of two origins in the distribution of elements in the sediments of the region. The origin of Chrom, Nickel, Iron and Molibden elements is from the sandstones of Shaurije formation, and the origin of aluminum, Cobalt, Vanadium, Lead, Copper, Cadmium and Arsenic elements is related to the limestone sediments. According to the enrichment index, Lead and Cadmium are slightly enriched in the region and the rest of the elements are without enrichment. Although the effect of human factors on the amount of contamination of sediments with heavy elements cannot be ignored, but according to the

investigations and calculations and evaluations made by the pollution indicators, the effect of human factors in the studied basin is less. And according to Rey et al.'s (2009) theory, the origin of the studied elements is in the lithogenic area, which was created by the weathering and erosion of the rock units of the area. According to the enrichment zoning map, the enrichment of Lead and Cadmium elements was higher in downstream part of the basin than in other places, which is directly related to the texture of fine-grained

sediments. The results of examining the contamination factor also show moderate Lead and Cadmium pollution. The modified contamination degree index and the pollution load factor showed that the sediments of the area do not show any specific pollution. The results of ecological risk potential evaluation and ecological risk index showed that the ecological risk potential coefficient of the studied elements have low risk potential in the region. Therefore, the ecological risk index of Gelian watershed is low.



دانشگاه لرستان

شاپای الکترونیکی: ۲۳۲۵-۲۷۱۷

فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی

<http://www.gsma.lu.ac.ir>



مقاله پژوهشی

تحلیل میزان غلظت و آلودگی عناصر سنگین رسوبات (مطالعه موردی: حوضه گلیان استان خراسان شمالی)

محمد معتمدی راد^{۱*}، شهرام بهرامی^۲

^{۱*} استادیار گروه علوم انسانی و اجتماعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.

^۲ دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳	آلودگی با فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است که سلامتی افراد جامعه را به خطر می اندازد. فلزات سنگین به دلیل پایداری بالا در محیط و ورود به چرخه غذایی از اهمیت بوم شناختی زیادی برخوردار هستند. پژوهش حاضر به بررسی آلودگی رسوبات حوضه آبریز گلیان به عناصر سنگین (آرسنیک، کادمیوم، کبالت، کروم، مس، کروم، مس، آهن، مولیبدن، نیکل، سرب، وانادیوم و آلومینیوم) پرداخته شده است. برای این منظور ۵۸ نمونه رسوب از منطقه برداشت و مورد آنالیز ICP-MS قرار گرفت. برای سنجش آلودگی از شاخص هایی نظیر فاکتور غنی شدگی، ضریب آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده، ضریب بار آلودگی و شاخص ریسک اکولوژیک استفاده گردید. بر اساس شاخص غنی شدگی و درجه آلودگی، سرب و کادمیوم غنی شدگی اندکی در منطقه ایجاد کرده که منجر به آلودگی متوسطی در منطقه شده است و سایر عناصر بدون غنی شدگی است. شاخص درجه آلودگی اصلاح شده و ضریب بار آلودگی نشان داد منطقه آلودگی خاصی به عناصر سنگین ندارد که این امر توسط شاخص ریسک اکولوژیک که بیانگر آن است که ریسک اکولوژیک در منطقه کم است تایید شده است. با توجه به لیتولوژی منطقه دو منشأ ماسه سنگی و آهکی در توزیع عناصر سنگین در رسوبات وجود دارد.
واژگان کلیدی: غلظت و آلودگی، عناصر سنگین، غنی شدگی، شاخص ریسک اکولوژیک، حوضه آبریز گلیان.	

۱. مقدمه

فلزات سنگین به دلیل تأثیر سوء این مواد سمی بر ارگانسیم-

های زنده، تبدیل به مسئله ای جهانی شده است

(MacFarlane & Burchett, 2000).

مهمترین آلاینده های خاک شامل فلزات سنگین،

بارش اسیدی و مواد آلی است. از این بین، فلزات سنگین

در سالیان اخیر به دلیل خصوصیات آلودگی شان در خاک

بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. فلزات سنگین فلزاتی با وزن

اتمی بالا می باشند که تجمع آنها در موجودات زنده و به

تخریب و آلودگی محیط زیست، ثمره جوامع صنعتی و

یکی از پیامدهای صنعتی شدن اجتماعات بشری است. به

طور کلی، هر نوع تغییر در ویژگی های اجزای تشکیل دهنده

محیط، به طوری که عملکرد طبیعی و تعادل زیستی آنها

مختل شود و به طور مستقیم یا غیر مستقیم منافع و حیات

موجودات زنده را به مخاطره اندازد، آلودگی محیط زیست

گفته می شود (Dabiri, 1996). آلودگی محیط زیست به

* نویسنده مسئول

پست الکترونیک نویسندگان: m.motamedirad@cfu.ac.ir (م. معتمدی راد)، sh_Bahrami@sbu.ac.ir (ش. بهرامی).

نحوه استنادی به مقاله: معتمدی راد، محمد، بهرامی، شهرام (۱۴۰۱). تحلیل میزان غلظت و آلودگی عناصر سنگین رسوبات (مطالعه موردی: حوضه گلیان در استان

خراسان شمالی) فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی. سال سوم، شماره ۲ (۱۰)، صص ۵۷-۸۱.



Doi:10.52547/gsma.3.2.57

زیست ایالات متحده به عنوان آلاینده‌های اصلی زیست بوم ذکر شده‌اند (Rodrigues et al, 2013). نگرانی عمده در مورد فلزات سنگین به علت منابع گسترده انتشار آن‌ها، سمیت و پایداری آن‌ها است. بعضی از فلزات سنگین مثل آرسنیک، کادمیوم، سرب و کروم بسیار سمی بوده و باعث آسیب جدی به سلامت گیاهان، جانوران و انسان می‌شوند (Kabirifard et al, 2012; Dahrazma et al, 2014; Sharma; Li et al, 2007; Gu et al, 2005; Nasralla, 1984; Sammers, 1977; et al, 2007). می‌توان گفت فلزات سنگین به دلیل پایداری بالا در محیط و تجمع در مجموعه مخازن طبیعی و در نهایت ورود به چرخه غذایی از اهمیت بوم شناختی زیادی برخوردار هستند. رسوبات به عنوان یکی از مخازن نهایی طبیعی، می‌توانند فلزات سنگین را به محیط تخلیه کنند (Loska & Wiechula, 2003). گرچه این عناصر سنگین به طور طبیعی در خاک وجود دارد اما در اثر فعالیت‌های انسانی هم به خاک افزوده می‌شوند. در حقیقت، فعالیت‌های انسانی ممکن است منجر به تجمع بیشتر فلزات سنگین در خاک شود (Yalcin et al, 2007).

نقش فعالیت‌های انسانی در تولید فلزات سنگین را می‌توان در فعالیت‌های صنعتی، پساب‌های کشاورزی، فعالیت‌های معدنی، فاضلاب شهری و روستایی، پسماندهای جامد صنعتی و خانگی جستجو کرد (Ghadimi, 2020). با توجه به اهمیت موضوع و تاثیر بر سلامتی، تعیین میزان این فلزات در محیط‌های خاکی مورد توجه بسیاری از محققین و پژوهشگران قرار گرفته است: (Chaoyang et al (2009 تغییرات فضایی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه شویکوشان، استان هونانچین، را با استفاده از تجزیه و تحلیل چند متغیره و آمار زمین مورد بررسی قرار دادند. تعداد ۱۰۶ نمونه خاک در منطقه ای به مساحت حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع جمع آوری شد. غلظت کل Cu, Zn, Pb, Cd, As و

ویژه بدن انسان باعث بروز بیماری‌های مختلفی می‌گردد. فلزات سنگین بر اثر فعالیت‌های مختلفی می‌توانند در محیط انتشار یابند. این عناصر با غلظت‌های پایین باعث آلودگی خاک می‌شوند (Razzazi Borujeni, 2009). این عناصر به صورت طبیعی در خاک حضور دارند و برخی از این عناصر مانند آهن، روی، مس و منگنز، نقشی بسیار مهم در فعالیت‌های زیستی و حاصلخیزی خاک ایفا می‌کنند. وجود برخی از عناصر سنگین برای زنجیره‌های غذایی و موجودات زنده ضروری می‌باشد، اما افزایش برخی از این عناصر مثل کادمیوم، سرب و جیوه در خاک حتی به مقادیر بسیار کم اثراتی زیانبار به دنبال دارد (Ahdy & Khaled, 2009).

آلودگی با فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است که سلامتی افراد جامعه را به خطر می‌اندازد. فلزات سنگین منبع خطر حیاتی برای اکوسیستم‌های آبی است (Yan et al, 2019). بیشتر ترکیبات فلزات سنگین سنگین تر از آب هستند و به راحتی توسط ذرات غیر طبیعی پذیرفته می‌شوند و در نتیجه اغلب رسوب می‌کنند پس از تخلیه به بدنه‌های آبی وارد رسوب می‌شود (Deng et al, 2019). در صورت حضور در آب و خاک، این عناصر می‌توانند وارد گیاهان شده و خود را به چرخه و هرم غذایی منتهی به انسان برسانند که در این حالت بیماری‌های ناشی از آنها در موجودات زنده بروز می‌کند (بهبهانی‌نیا و فراهانی، ۱۳۹۵). عناصر سنگین دارای جرم مخصوص بیش از ۵/۵ گرم در سانتی‌متر مکعب (Alloway, 1990) و یا وزن اتمی بیش از ۲۰۰ واحد اتمی می‌باشند (Reilly et al, 2002). عناصر سنگینی همچون Pb, Cd, Zn, Ni, As, Be, B, Se, Hg و برخی دیگر از عناصر به دلیل تشکیل ترکیباتی با پایداری بالا، تغییرناپذیری و سمیت زیاد توسط آژانس حفاظت محیط

هستند. نتایج حاصل از همبستگی و تحلیل عاملی نیز نشان داد که اکسید هیدروکسیدهای آهن و منزیوم، مواد آلی و ذرات ریز مسئول غلظت بالای فلزات سنگین هستند. در مطالعه‌ای که [Kadhun et al \(2016\)](#) به بررسی غلظت فلزات سنگین کادمیوم، کروم و قلع در رسوبات سطحی رودخانه لنگات مالزی پرداختند. سنجش شاخص‌های زمین انباشت مولر، ضریب غنی‌شدگی، شاخص بار آلودگی و ضریب آلودگی نشان داد رسوبات منطقه دارای غنی‌شدگی شدید نسبت به قلع و غنی‌شدگی متوسط نسبت به کادمیوم است. [Gurumoorti and Venkatachalapathy \(2016\)](#) به ارزیابی غلظت فلزات آهن روی در رسوبات سطحی در طول ساحل کانیاکوماری^۱ در هند پرداختند. در این پژوهش از شاخص‌های فاکتور غنی‌شدگی، شاخص مولر، شاخص بار آلودگی و شاخص خطر محیط زیستی استفاده شد با توجه به مقادیر شاخص بار آلودگی و شاخص تجمع زیستی، رسوبات ساحلی منطقه با آهن، مس، سرب و روی آلوده نبود در حالی که برای کادمیوم آلودگی کم تا متوسط در رسوبات منطقه گزارش شد. [Aguilar Pesantes et al \(2019\)](#) در جنوب پونس انریکز آلودگی رسوبات رودخانه به فلزات سنگین را در ۹ عنصر Cd, Sb, Sr, Hg, Ni, Zn, Pb و Cu با استفاده از شاخص‌هایی نظیر فاکتور غنی‌شدگی، ضریب آلودگی، شاخص زمین انباشتگی و ضریب بار آلودگی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از تمامی شاخص‌ها نشان داد که غلظت فلزات سنگین در رسوبات حوضه مورد مطالعه زیاد است.

[Elsagh et al \(2021\)](#) به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین (جیوه) در رسوبات ساحلی بندرعباس، خلیج فارس، پرداخته و از شاخص‌های ضریب غنی‌سازی، شاخص انباشتگی زمین، فاکتور آلودگی و شاخص خطر سمیت

Cr با استفاده از طیف سنجی جرمی پلاسمایی جفت القایی (ICP-MS) اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که ذرات ریز ناپایدار هوا و ذرات معلق در هوا بیشترین سهم را در آلودگی آرسنیک، کادمیوم، سرب، روی و مس داشته در حالی که کادمیوم و مس نیز ممکن است از تخلیه فاضلاب از کارخانه‌های ذوب و شستشو ناشی شود. [Skrbic et al \(2010\)](#) آلودگی خاک مناطق شمال صربستان منطقه نووی و بخشی از بوسنی و هرزگوین را بررسی کردند و اشاره نمودند که آلودگی خاک به نیکل و کروم حاصل فعالیت‌های انسانی و کشاورزی می‌باشد. همچنین نشان دادند که کاهش معناداری از محتوای عناصر به ویژه در مورد عناصری چون سرب، نیکل و کروم با افزایش فاصله از لبه جاده بر حسب استانداردهای موجود وجود دارد. [Li et al \(2015\)](#)، به بررسی غلظت فلزات سنگین و تعیین ریسک اکولوژیک در رسوبات سطحی جنگل مانگرو فویان در خلیج شنژن در جنوب چین پرداختند و نتایج بررسی آنها نشان داد روی بیشترین غلظت و کادمیوم کمتر این غلظت را دارد. همچنین شاخص زمین انباشت مولر و ریسک بالقوه اکولوژیک نشان داد غلظت همه فلزات بررسی شده در منطقه زیاد است.

[Nethaji et al \(2016\)](#) در ارزیابی ژئوشیمیایی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی ولر و مصب کولرون، سواحل جنوب شرقی هند از شاخص‌های آلودگی مانند شاخص بار آلودگی، فاکتور آلودگی، ضریب غنی‌شدگی و شاخص زمین انباشتگی استفاده نمودند. نتایج حاصل از مقادیر بار آلودگی نشان داد که منطقه مورد مطالعه آلوده به تمام فلزات سنگین می‌باشد. همچنین مقادیر محاسبه شده فاکتور آلودگی و شاخص زمین انباشتگی روند کاهشی را نشان داده و اذعان کردند عناصر مس، نیکل و سرب به دلیل منابع انسانی در هر دو مصب دارای آلودگی

¹ - Kanyakumari

استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد که میزان آلودگی ناشی از جیوه در رسوبات، شدید بوده و منشا حضور جیوه در منطقه آنتروپوژنیک می‌باشد. (Khorshidi et al (2021) در پژوهشی با هدف شناسایی منابع بالقوه آلودگی فلزات سنگین در یک شهرک صنعتی واقع در شمال غرب ایران، عناصری از نمونه‌های ژئوشیمیایی جمع آوری شده از افق خاک سطحی منطقه مورد مطالعه شامل کروم، نیکل، کبالت، مس، وانادیم، روی، منگنز و سرب را با استفاده از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل داده‌های ترکیبی (CODA) مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. بدین منظور نقشه‌های توزیع فضایی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه، با تکنیک فراکتال غلظت (C-A) برای شناسایی نقاط بالقوه آلودگی فلزات سنگین در منطقه طبقه‌بندی شدند. به دنبال آن از روش خوشه‌بندی K-means برای طبقه‌بندی نمونه‌ها به کلاس‌های مجزا استفاده شد. روش ترکیبی فوق به سه منبع انسانی که آلودگی فلزات سنگین را به منطقه تخلیه می‌کنند شامل کارخانه‌های چرم، آجرپزی، و بزرگراه‌ها اشاره کردند و در نهایت نتایج حاصل از شاخص‌های آلودگی، یعنی شاخص زمین‌انباشتگی، شاخص بار آلودگی و خطر بالقوه شاخص ریسک اکولوژیکی، نشان داد که سطوح بالای نیکل، کروم و کبالت می‌تواند موانع جدی برای کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه ایجاد کند. در ایران نیز مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته است که به مواردی اشاره می‌گردد:

Musavi et al (2021) توزیع مکانی مس، کروم، آنتیموان و آرسنیک را در خاکهای سطحی استان همدان با استفاده روشهای زمین آماری مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که عناصر مورد مطالعه عمدتاً دارای منشأ زمین‌زاد بودند. (Zein Al Dini et al (2016) به بررسی پتانسیل آلودگی عناصر کادمیم، سرب و نیکل در خاک

سطحی پایین دست انباشتگاه زباله کرمانشاه بر اساس معیارهای ارزیابی آلودگی زمین‌انباشتگی و فاکتور آلودگی نتیجه گرفتند که بیشتر نمونه‌ها نسبت به Ni و Cd در سطح بدون آلودگی تا آلودگی متوسط و نسبت به Pb در سطح متوسط تا زیاد قرار دارند. مقادیر محاسبه شده برای فاکتور آلودگی بیانگر آن است که خاکهای منطقه آلودگی متوسطی به Ni و Cd و آلودگی بسیار زیادی به Pb دارند. خاکهای منطقه تحت تأثیر شیرابه زباله نسبت به Cd، Pb و Ni آلوده شده‌اند و شدت این آلودگی در مورد عنصر Pb بیشتر است. (Motamedirad et al (2018) به ارزیابی میزان آلودگی ناشی از عناصر سنگین در رسوبات حوضه کارستی روئین با استفاده از شاخص‌های آلودگی نظیر فاکتور غنی‌شدگی، ضریب آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده، ضریب بار آلودگی و شاخص زمین‌انباشتگی پرداختند و نتیجه گرفتند که یازده عنصر مطالعاتی گرچه دارای مقادیر متفاوتی هستند ولی همگی در طبقه بدون آلودگی قرار گرفته‌اند و لذا منطقه مورد مطالعه از نظر غلظت عناصر سنگین دارای آلودگی قابل توجهی نمی‌باشد. (MirBagheri et al (2019) در بررسی آلودگی خاک و رسوبات بادی به برخی از فلزات سنگین در دشت شهرکرد با استفاده از شاخصهای زمین‌انباشتگی، فاکتور آلودگی و فاکتور غنی‌شدگی نشان دادند که غلظت فلزات سنگین در نمونه خاکها و رسوبات، پایین‌تر از حد مجاز در دیگر کشورهاست. شاخص زمین‌انباشتگی نشان داد رسوبات در محدوده غیر آلوده قرار داشتند. بر اساس فاکتور آلودگی کلیه رسوبات در کلاس آلودگی کم طبقه‌بندی شد ولی فاکتور غنی‌شدگی نشان داد که در برخی اراضی غنی‌شدگی حداقل و متوسط وجود داشتند. (NorouziFard et al (2019) در مقاله‌ای تحت عنوان برآورد سمیت و خطر بوم‌شناختی عناصر سمی با استفاده از شاخص‌های زیستی در رسوبات

نمونه‌ها در کلاس آلودگی بسیار زیاد قرار گرفت. مقادیر بالای فاکتور آلودگی مس، سرب و روی در حاشیه شهر و فاکتور آلودگی آرسنیک در بستر دریاچه مشاهده شد. تجزیه و تحلیل نقشه‌های فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی با نقشه کاربری اراضی و زمین‌شناسی، نشان داد که مس، سرب و روی بیشتر تحت تأثیر فعالیتهای انسانی و آرسنیک متأثر از مواد مادری در منطقه است. اگر چه میزان خطر آلودگی خاک کمتر از دیگر آلودگی‌ها نیست، اما از آن جایی که این آلودگی ملموس نیست کمتر به آن توجه شده است. از طرفی به دلیل اهمیت آلودگی رسوبات و انتقال آن به گیاهان، حیوانات و انسانها و تأثیر آن در سلامتی، عدم مطالعه آلودگی رسوبات در حوضه گلپایه و همچنین قرار گرفتن حوضه به عنوان منطقه هدف گردشگری و در نتیجه تأثیر بر سلامت ساکنین و گردشگران، این حوضه آبخیز جهت بررسی و ارزیابی میزان غلظت و آلودگی عناصر سنگین انتخاب گردید.

۲. روش تحقیق

ابتدا مرز حوضه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار google Earth و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ گلپایه و شیروان تعیین شد. خطوط منحنی میزان و آبراه‌ها با استفاده از نرم افزار Arc GIS رقومی گردید و اطلاعات توپوگرافی مانند سطوح ارتفاعی و شیب توپوگرافی استخراج گردید. جهت استخراج اطلاعات زمین‌شناسی منطقه از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه استفاده گردید. همچنین برای تعیین پهنه آلودگی احتمالی از درونیابی به روش IDW استفاده شده است. در روش فوق برآورد براساس مقادیر نقاط نزدیک به نقطه برآورد که بنا بر عکس فاصله وزندهی می‌شوند، انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر، به نقاط نزدیک به نقطه برآورد وزن بیشتری نسبت به نقاط دورتر داده می‌شود. این روش برخلاف روش کریجینگ از فرضیات مربوط به

ساحلی شمال خلیج فارس در استان هرمزگان نتیجه گرفتند که شاخص‌های مختلف با مؤلفه‌ها و حساسیت‌های متفاوت، حاکی از وضعیت خطر اکولوژیکی کم و پتانسیل کم تا متوسط در ایجاد اثرات بیولوژیکی برای زیست‌مندان خلیج فارس است که با کمتر بودن میانگین غلظت‌ها از حد پیشینه استانداردهای کیفی رسوبات همخوانی دارد. Mokaram & Negahban (2020) در ارزیابی ریسک اکولوژیکی رسوبات در عناصر سنگین جاده حاشیه فسا-داراب در محیط GIS با استفاده از شاخص محاسبه مولر و فاکتور آلودگی، شاخص ریسک تکنولوژیکی، شاخص بار آلودگی و پهنه-بندی به روش کریجینگ نشان دادند که روی نیکل و سرب در جنوب منطقه، کادمیوم در شمال و مس در بخش‌هایی از شمال مرکز و جنوب بیشترین مقدار را داشتند. Ghadimi (2020) در مقاله‌ای تحت عنوان ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب میقان با استفاده از شاخص‌های آلایندگی نتیجه گرفتند که ضریب آلودگی و درجه آلودگی در تمام نمونه‌ها برای مس و کروم متوسط و برای سایر عناصر کم بود؛ همچنین شاخص‌هایی مانند ضریب ریسک اکولوژیکی، ضریب غنی‌شدگی و ضریب زمین-انباشت برای تمام نمونه‌ها درجه کم را نشان دادند. شاخص‌های مرکب نظیر مجموع درجه آلودگی، پتانسیل ریسک اکولوژیکی و شاخص نمره برای مجموع عناصر گویای درجه کم آلودگی بود. فاضلاب شهری، پساب صنایع و کشاورزی مهم‌ترین منشأ ورود فلزات سنگین به تالاب میقان محسوب می‌شوند. Ghadimi et al (2020) در پژوهشی با عنوان ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات دریاچه و خاک‌های سطحی بخش شرقی شهرستان ارومیه با استفاده از شاخص‌های آلودگی نتیجه گرفتند که بر اساس محاسبه فاکتور آلودگی مس، آهن، روی و سرب در کلاس آلودگی کم و متوسط و آرسنیک در ۵/۶۵ درصد

از یک تمرکز کننده یون و یک سامانه جداساز و آشکار ساز یونهاست. سپس غلظت ۱۱ عنصر سنگین از ۵۸ نمونه آزمایش شامل As (آرسنیک)، Cd (کادمیوم)، Co (کبالت)، Cr (کروم)، Cu (مس)، Fe (آهن)، Mo (مولیبدن)، Ni (نیکل)، Pb (سرب)، V (وانادیم) و Al (آلومینیوم) مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی آلودگی عناصر سنگین از قبیل فاکتور غنی‌شدگی، ضریب آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده، شاخص نمره، شاخص خطر سمیت، ضریب بار آلودگی، شاخص زمین انباشتگی، شاخص ریسک اکولوژیک و ... وجود دارد که در این پژوهش برای سنجش آلودگی از شاخص‌هایی نظیر فاکتور غنی‌شدگی، ضریب آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده، ضریب بار آلودگی و شاخص ریسک اکولوژیک استفاده گردید که در ادامه به ارزیابی ژئوشیمیایی بر اساس شاخص‌های فوق اشاره می‌شود.

شاخص‌های ژئوشیمیایی مورد مطالعه

شاخص غنی‌شدگی^۱ (EF) - یکی از روش‌های متداول برای تعیین منشا آلاینده‌ها و بیانگر میزان تاثیر عامل خارجی بر رسوبات منطقه می‌باشد (PoorKhabaz et al, 2016). به عبارتی می‌توان گفت این روش، روش مناسبی جهت تعیین منشاء لیتوژنیک و آنتروپوژنیک آلودگی‌ها است (آدامو و همکاران، ۲۰۰۵). بر اساس این فاکتور می‌توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید. در این پژوهش عنصر آلومینیوم به عنوان عنصر مبنا انتخاب شده است. معمولاً آلومینیوم به عنوان فلز مبنا شناخته می‌شود (Geravand et al, 2012) که تاثیر هم‌بیشی و ناسازگار با فلزات بررسی شده دارد (Lu et al, 2003; Teng & Huang, 2002 Bowen, 1979). ضریب غنی

ارتباط مکانی بین داده‌ها پیروی نمی‌کند (واریوگرام ندارد) و تنها بر این فرض متکی است که نقاط نزدیکتر به نقطه برآورد، شباهت بیشتری به آن نقاط دورتر دارند. قابل ذکر است این روش مهم‌ترین و گسترده‌ترین روش درون‌یابی است که بر پایه مدل‌ها و روابط آماری پایه‌ریزی شده است. لایه رستری تولید شده از این روش، سطحی بسیار دقیق را نمایش می‌دهد. به منظور بررسی ارتباط عناصر با یکدیگر از ضریب همبستگی پیرسون و نمودار تحلیل مولفه اصلی استفاده می‌گردد. ضریب پیرسون مبتنی بر کوواریانس دو متغیر و انحراف معیارهای آنها می‌باشد (Joreskog, 1994). از نمودار تحلیل مولفه اصلی به منظور کاهش پیچیدگی تحلیل متغیرها و تفسیر بهتر اطلاعات استفاده می‌شود (Noori et al, 2010). روش فوق بر پایه ماتریکس همبستگی بین متغیرها استوار است (Miller & Miller, 2000).

در ادامه به بررسی و ارزیابی میزان آلودگی رسوبات به عناصر سنگین در حوضه مطالعاتی پرداخته شده است. به منظور ارزیابی شاخص‌های فوق از شیل جهانی یا میانگین عناصر در پوسته زمین و یا از مقدار غلظت زمینه عناصر منطقه استفاده می‌شود (Blaser et al, 2000; Ye et al, 2011). در محاسبه شاخص‌های فوق از شیل جهانی استفاده شده است. جهت بررسی میزان غلظت عناصر سنگین در رسوبات حوضه گلیان ۵۸ نمونه رسوب (از سطح تا عمق ۱۰ سانتیمتری) منطقه برداشت و مورد آنالیز ICP-MS قرار گرفته است. طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS) نوعی طیف‌سنجی جرمی است که برای ارزیابی و شناسایی فلزها و برخی نافلزها تا غلظت‌هایی به اندکی بخش در ۱۰۱۵ppmq^۲ کارایی دارد. این روش متشکل از یک سامانه ورود نمونه، یک چشمه پلاسمای جفت‌شده القایی برای تولید یون‌های ماده یا مواد مورد بررسی، یک مرز مشترک پلازما با خلاء و یک طیف‌سنج جرمی متشکل

^۱ Enrichment factor

غلظت عنصر در محیط مبنا (پوسته زمین)، C_{ref2} غلظت عنصر مبنا (AI) در محیط مبنا (پوسته زمین) می‌باشد. [Chen et al \(2007\)](#) هفت طبقه را برای شدت میزان فاکتور غنی‌شدگی نشان دادند (جدول ۱).

شدگی طبق رابطه ۱ محاسبه می‌گردد ([Loska et al, 1995](#)).

$$EF = \frac{\frac{C_{x1}}{C_{ref1}} \text{ sample}}{\frac{C_{x2}}{C_{ref2}} \text{ background}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه EF، فاکتور غنی‌شدگی، C_{x1} غلظت عنصر مورد بررسی، C_{ref1} غلظت عنصر مبنا (AI)، C_{x2}

جدول ۱. طبقه‌بندی فاکتور غنی‌شدگی

شدت غنی‌شدگی	بدون غنی‌شدگی	اندک	متوسط	نسبتاً شدید	شدید	خیلی شدید	بی‌نهایت شدید
فاکتور غنی‌شدگی EF	کمتر از ۱	بین ۱ تا ۳	بین ۳ تا ۵	بین ۵ تا ۱۰	بین ۱۰ تا ۲۵	بین ۲۵ تا ۵۰	بیشتر از ۵۰

[Chen et al, 2007](#)

همان عنصر در نمونه زمینه به دست می‌آید ([Adomako et al, 2008; Abraham and Parker, 2008](#)). در این رابطه، CF نشان دهنده ضریب آلودگی و C_{sample} غلظت عنصر مورد بررسی و $C_{background}$ غلظت عنصر در شیل جهانی می‌باشد. جدول ۲ طبقه‌بندی ضریب آلودگی بر اساس مطالعات [Hakanson \(1980\)](#) را نشان می‌دهد.

$$CF = \frac{C_{sample}}{C_{background}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

ضریب آلودگی (CF) و درجه آلودگی اصلاح شده (mCd): به منظور بیان آلودگی محیط نسبت به عنصری خاص، می‌توان از ضریب آلودگی (CF) استفاده کرد ([Abraham and Parker, 2008](#)). از این شاخص در بررسی وضعیت آلودگی منابع آبی به آلاینده‌های مختلف و در نهایت شناسایی پتانسیل خطر اکولوژیکی منبع مورد مطالعه استفاده می‌شود ([Ali Beigi et al, 2017](#)). این فاکتور از تقسیم کردن غلظت عنصر در نمونه برداشت شده به غلظت

جدول ۲. طبقه‌بندی ضریب آلودگی

CF	کمتر از ۱	بین ۱ تا ۳	بین ۳ تا ۶	بیش از ۶
مقدار آلودگی رسوب	پایین	متوسط	قابل توجه	بالا

منبع: [Hakanson, 1980](#)

درجه آلودگی (mCd) اصلاح شده بر اساس رابطه ۳ محاسبه گردید ([Abraham 2005](#)). جدول ۳ رده‌بندی درجه آلودگی اصلاح شده را نشان می‌دهد.

$$mCd = - \Sigma Cf / n \quad (\text{رابطه ۳})$$

n تعداد عناصر آنالیز شده و Cf ضریب آلودگی می‌باشد.

جدول ۳. رده‌بندی درجه آلودگی اصلاح شده

درجه آلودگی	mCd
بدون آلودگی تا آلودگی کم	$1/5 > mCd$
درجه آلودگی کم	$1/5 < mCd \leq 2$
درجه آلودگی متوسط	$2 < mCd \leq 4$
درجه آلودگی بالا	$4 < mCd \leq 8$
درجه آلودگی خیلی بالا	$8 < mCd \leq 16$

درجه آلودگی شدت بالا	$16 \text{ mCd} \leq 32$
درجه آلودگی بی نهایت	$32 < \text{mCd}$

Abraham & Parker, 2008

شاخص ریسک اکولوژیک (RI) - شاخص ریسک اکولوژیک (RI) اولین بار توسط هاکنسون در سال ۱۹۸۰ به منظور ارزیابی ریسک آلودگی رسوبات و خاک به وسیله فلزات سنگین استفاده گردید (Siahati Ardakani et al, 2016). برای محاسبه این شاخص ابتدا ضریب آلودگی (CF) را که توسط رابطه ۲ که در قبل نمایش داده شده است محاسبه می‌گردد. سپس از طریق رابطه (۵) مقدار Er محاسبه می‌گردد. در این رابطه Er مقدار ریسک اکولوژیک هر یک از عناصر و Tr میزان سمیت پیشنهاد شده از سوی هاکنسون می‌باشد. سپس از طریق رابطه (۶) شاخص ریسک اکولوژیک (RI) محاسبه می‌گردد.

$$ER = TR.CF \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$RI = \sum_{i=1}^m ER \quad (\text{رابطه ۶})$$

ضریب سمیت (Tr) عناصر کبالت، مس، نیکل و سرب برابر با ۵ و عناصر آرسنیک، کادمیوم، کروم و وانادیوم به ترتیب برابر با ۱۰، ۳۰، ۲، ۲ بیان شده است. جدول ۴ طبقه بندی پتانسیل ریسک اکولوژیک (Er) و شاخص ریسک اکولوژیک (RI) را نشان می‌دهد.

جدول ۴. طبقه بندی پتانسیل ریسک اکولوژیک (Er) و شاخص ریسک اکولوژیک (RI)

مقدار	کم	متوسط	قابل ملاحظه	زیاد	خیلی زیاد
RI	کمتر از ۱۵۰	۱۵۰-۳۰۰	۳۰۰-۶۰۰	بیشتر از ۶۰۰	
Er	کمتر از ۴۰	۴۰-۸۰	۸۰-۱۶۰	۱۶۰-۳۲۰	بیشتر از ۳۲۰

(Yan et al, 2019 ؛Chen et al,2018 ؛ Hkanson,1980)

کیلومتر بوده و در محدوده " ۱۹ ° ۰۴ ' ۳۷ تا " ۰۵ ' ۱۷ ° ۳۷ درجه عرض شمالی و " ۱۲ ' ۴۵ ° ۵۷ تا " ۱۲ ' ۵۸ ° ۵۷ درجه طول شرقی واقع شده و شامل روستاهای گلیان، حصار پهلوانلو، گرماب، برزلی، اسطرخی، بلقان سفلی، بلقان علیا و ایرانلو می‌باشد. این حوضه از جنوب به دامنه‌های شمالی کوه‌های آلاداغ و شاه جهان، از غرب به کوه حلقه سنگ و کوه برنجی، از شرق به کوه سروشته و از شمال به

ضریب بار آلودگی (PLI) - شاخص بار آلودگی از دیگر پارامترهای مهم در ارزیابی و تخمین شدت آلودگی خاک به شمار می‌رود. شاخص بار آلودگی برای مجموعه‌ای از فلزات آلاینده به صورت میانگین هندسی غلظت تمامی فلزات مورد نظر محاسبه می‌شود (وفابخش و خرقانی، ۲۰۰۰). این شاخص بر اساس ضریب غلظت هر عنصر در خاک محاسبه می‌شود و با تقسیم غلظت هر عنصر در خاک به غلظت آن در نمونه مرجع (cf) به دست می‌آید. اگر غلظت PLI به عدد یک نزدیک باشد، نشان دهنده نزدیک بودن غلظت به مقدار زمینه است. در حالی که PLI بالاتر از یک، آلودگی خاک را نشان می‌دهد (et al, 2007; Adomako et al, 2008, Shayestefar et al, 2013; Mapanda). ضریب بار آلودگی با استفاده از رابطه ۴ به دست می‌آید (Mapanda et al, 2007).

(رابطه ۴)

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 * CF_2 * \dots * CF_n}$$

۲. ۱. محدوده مورد مطالعه

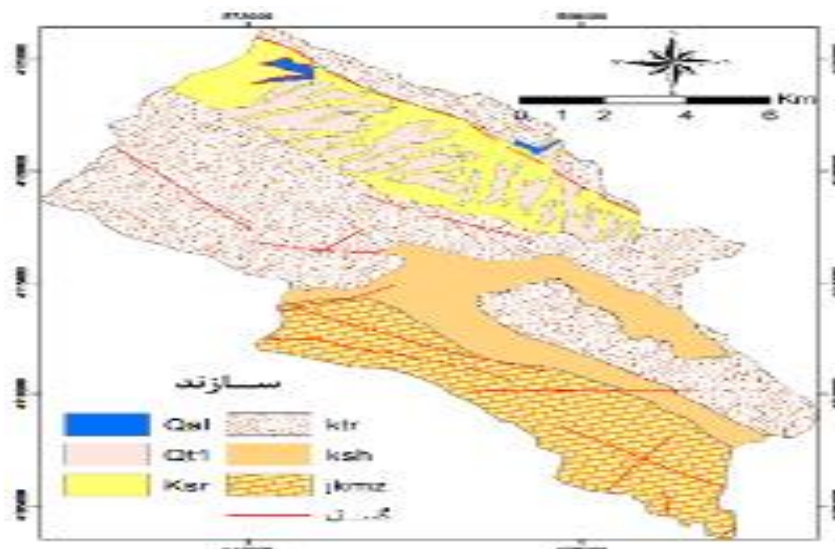
حوضه آبخیز گلیان در استان خراسان شمالی و در نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ بجنورد (افشار حرب، ۱۳۶۵)، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ شیروان (جعفریان و هفت لنگ، ۱۳۸۳) و در ورقه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ گلیان و شیروان (سازمان جغرافیایی، ۱۳۶۱) قرار دارد. مساحت و محیط این حوضه به ترتیب ۱۸۵/۳۵ کیلومتر مربع و ۷۲/۱۵

این حوضه به لحاظ زمین ساخت کلان و تکتونیک بخشی از زون زمین‌ساختی آلاداغ- بینالود است که دارای چین خوردگی، گسلش و بهم ریختگی شدیدی است و گسل تراسی یا معکوس بزرگ زاویه در آنها زیاد دیده می‌شود. در حوضه گلپان تعداد ۶ واحد چینه سنگی و رسوبات کواترنری رخنمون یافته‌اند که شامل: سازند مزدوران (۲۰/۲۷ درصد)، سازند سرچشمه (۱۱/۹۵ درصد)، سازند شوربچه (۱۳/۹۲ درصد)، سازند تیرگان (۴۵/۶۰ درصد)، رسوبات بستر رودخانه و مسیل‌ها (۰/۱۲ درصد) می‌باشند. کاربری اراضی حوضه مورد نظر شامل زراعت دیم (۴۸/۷۷ درصد)، اراضی مرتعی کم تراکم (۴۲/۲۱ درصد)، اراضی مرتعی نیمه متراکم (۳/۴۸ درصد) و کشاورزی آبی (۵/۵۳ درصد) می‌باشد. شکل ۱ موقعیت و شکل ۲ زمین‌شناسی و شکل ۳ کاربری اراضی حوضه آبخیز گلپان را در استان خراسان شمالی نشان می‌دهد.

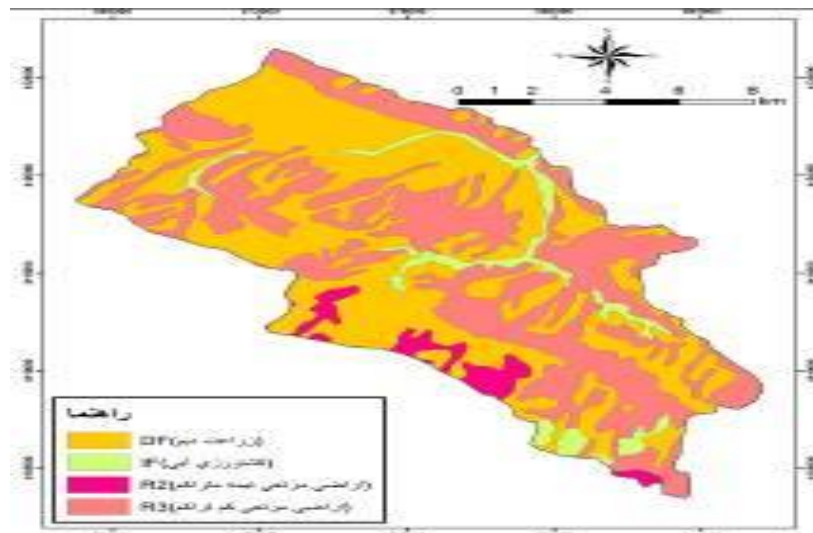
شهر شیروان و شیرکوه منتهی می‌شود. حوضه آبریز رودخانه اترک در منتهی‌الیه شمال شرقی ایران از قوچان تا دریای خزر گسترش دارد و مساحت آن در داخل کشور حدود ۲۷۴۸۰ کیلومتر مربع است. رودخانه اصلی که آب این حوضه آبخیز را زهکشی می‌کند، رودخانه گلپان است که یکی از شاخه‌های فرعی رودخانه اترک می‌باشد و از کوه‌های آلاداغ و شاه جهان سرچشمه گرفته و از قسمت جنوبی شهر شیروان وارد رودخانه اترک می‌شود. سرچشمه این رودخانه از کوه‌های اسطرخی، شاه‌جهان و برزلی می‌باشد که رشته اسطرخی و گلپان دارای آب همیشگی است. اکثر آب رودخانه در فصول کشت در بخش‌های بالادستی به دلیل مصارف کشاورزی به رودخانه اترک نمی‌رسد. حوضه گلپان از طریق شهرستان‌های شیروان و اسفراین قابل دسترسی است، از جنوب شهر شیروان از مسیر روستاهای موجود از پایین دست تا بالا دست رودخانه می‌توان حرکت کرد و یا از شهرستان اسفراین مسیر روستاهای اردغان، سرخ قلعه به حوضه مورد مطالعه می‌توان دسترسی داشت.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز گلپان، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز گلیان، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱



شکل ۲۴. نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز گلیان، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱

۳. یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های رسوبی حوضه آبریز مورد مطالعه در جدول ۵ نشان داده شده است. بررسی میانگین غلظت عنصر سنگین در رسوبات حوضه آبریز گلیان نشان داد، غلظت عناصر آرسنیک، کادمیوم، کبالت، کروم، مس،

آهن، مولیبدن، نیکل، سرب، وانادیوم و آلومینیوم کمتر از شیل جهانی است. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه متشکل از واحدهای سنگی رسوبی می‌باشد، لذا میزان غلظت عناصر سنگین در سنگهای رسوبی در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۵. میزان غلظت عناصر سنگین در رسوبات حوضه آبریز و میزان غلظت آن در شیل جهانی بر حسب ppm

Sample	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	V	Al
M1	۸	۰/۲۹	۸	۶۷	۱۲	۱۷۲۷۹	۰/۷۷	۳۰	۲۴	۵۵	۳۵۹۴۱
M2	۷	۰/۲۷	۸	۶۹	۱۱	۱۷۶۲۸	۱/۱۸	۲۲	۲۴	۵۹	۲۸۹۷۰
M3	۱۳	۰/۴۸	۱۴	۸۵	۲۳	۲۹۲۴۸	۰/۷۶	۶۰	۲۹	۹۵	۵۳۱۱۷
M4	۸/۳	۰/۲۶	۸	۶۸	۱۶	۱۸۲۳۷	۰/۷۷	۳۱	۳۰	۶۱	۳۵۵۶۴
M5	۷/۱	۰/۲۷	۹	۷۱	۱۲	۱۹۱۱۶	۰/۷۳	۳۲	۲۳	۵۹	۳۵۷۹۱

M6	۸/۵	۰/۴۴	10	63	17	21503	۰/۷۴	44	26	74	43010
M7	۱۰/۶	۰/۳	12	104	21	27532	۰/۷۶	58	27	85	51208
M8	۷/۸	۰/۲۹	9	52	92	17008	۰/۷۱	57	20	52	33181
M9	۷/۸	۰/۲۸	6	63	10	13725	۰/۷۷	22	23	39	20705
M10	۱۲/۵	۰/۳	13	90	25	28459	۰/۸۳	62	30	88	53219
M11	۱۰/۱	۰/۲۹	12	79	20	27383	۰/۸۲	51	26	86	51577
M12	۷/۵	۰/۲۷	8	51	11	14979	۰/۷۶	25	21	46	29877
M13	۱۱/۵	۰/۳۸	9	62	20	19653	۰/۷۶	38	30	64	38479
M14	۷/۴	۰/۲۹	7	55	11	14852	۰/۷۵	30	26	48	28748
M15	11	۰/۳	13	84	24	28280	۰/۷۷	60	25	90	53993
M16	۷/۸	۰/۲۸	8	69	13	16459	۰/۸۵	34	30	53	31096
M17	۱۲/۱	۰/۴۴	10	56	17	22971	۰/۷۸	39	28	73	43082
M18	۷/۸	۰/۲۸	6	54	7	12353	۰/۷۲	16	20	36	19182
M19	۱۱/۴	۰/۲۸	13	106	24	28539	۰/۸	58	31	90	53680
M20	۱۰/۱	۰/۴	12	80	19	25037	۰/۷۵	53	27	80	49379
M21	۷/۷	۰/۲۸	7	51	11	16357	۰/۸	27	24	48	29717
M22	۷/۷	۰/۲۵	5	65	10	12554	۰/۸۵	18	18	28	14236
M23	۱۱/۷	۰/۲۸	11	78	20	25466	۰/۷۲	53	29	80	48623
M24	۸/۵	۰/۳	9	58	16	21710	۰/۷۶	37	24	68	39631
M25	۷/۱	۰/۲۹	4	46	8	9880	۱/۰۴	17	15	32	17918
M26	۷/۳	۰/۲۹	5	51	9	12735	۰/۹	22	19	41	24283
M27	۷/۱	۰/۲۷	5	57	7	10014	۱/۳۱	19	17	27	14749
M28	7	۰/۲۹	11	748	17	16900	۲/۰۴	251	24	46	27924
M29	۱۰/۲	۰/۳	11	83	23	24986	۰/۷۴	62	23	79	50221
M30	۷/۹	۰/۲۸	11	80	17	22485	۰/۷۵	54	27	72	44649
M31	۸/۲	۰/۲۸	10	80	17	22017	۰/۷۲	53	29	70	43213
M32	7	۰/۲۷	4	36	6	7488	۱/۲۸	12	15	22	11625
M33	۷/۴	۰/۲۸	6	59	9	12652	۰/۸۱	31	17	38	24383
M34	۸/۲	۰/۲۹	8	65	14	16759	۰/۷۷	41	27	53	33393
M35	۹/۸	۰/۲۹	9	150	14	16768	۱/۳۵	57	23	55	33271
M36	۷/۶	۰/۲۷	7	53	11	14523	۰/۷۲	33	23	48	28798
M37	۹/۴	۰/۴۵	7	49	13	14945	۱/۳۸	30	24	49	28722
M38	۸/۳	۰/۳	8	54	15	15859	۰/۷۳	31	27	49	29401
M39	۸/۴	۰/۳	9	99	15	19649	۰/۸۲	48	27	63	39314
M40	۷/۸	۰/۳	8	56	12	15005	۰/۷۳	35	24	49	29612
M41	۸/۲	۰/۳	7	52	12	14177	۰/۷۱	29	21	47	29780
M42	۹/۵	۰/۲۸	9	59	15	17725	۰/۷۲	41	18	58	35519
M43	۹/۶	۰/۲۷	10	65	16	18942	۰/۷۲	44	22	60	37808
M44	۸/۲	۰/۳	7	63	12	14266	۱/۲۲	34	23	46	27251
M45	۸/۳	۰/۲۹	9	72	18	18986	۰/۷۵	40	22	61	37483

M46	۶/۹	۰/۲۷	6	59	10	12679	۰/۸۲	26	17	38	22271
M47	۸/۴	۰/۲۹	8	79	13	15809	۰/۸۸	44	23	49	30608
M48	8	۰/۲۹	12	720	19	19547	۲/۸۶	299	21	56	32897
M49	۶/۹	۰/۳	10	51	14	18957	۰/۸	30	20	57	36215
M50	۸/۱	۰/۳	7	51	12	15118	۰/۶۷	28	26	48	29638
M51	8	۰/۳	9	61	14	18105	۰/۷۹	41	24	58	35609
M52	۸/۱	۰/۳	8	143	13	16220	۰/۸۶	53	20	51	31336
M53	۷/۹	۰/۲۸	7	62	12	14205	۰/۷۶	32	21	44	26590
M54	8	۰/۳	9	62	17	19668	۰/۷۹	41	23	63	39989
M55	۷/۲	۰/۲۸	8	51	12	14465	۰/۸۷	30	21	46	28883
M56	۸/۵	۰/۲۹	11	72	18	22348	۰/۸	47	26	71	43742
M57	۱۰/۸	0.3	12	88	23	27022	۰/۷۸	56	26	88	51559
M58	۱۰/۳	۰/۳	11	78	19	24608	۰/۷۹	50	26	78	49035
Mean	۸/۶۶	۰/۳	۸/۷۹	۹۱/۹۶	۱۶/۱۷	18480	۰/۸۸	۴۶/۸۶	۲۳/۷۲	۵۸/۰۸	34994
شیل جهانی	13	۰/۳	19	100	45	47200	۲/۶	68	20	130	80000

Turekian & Wedepohl, 1961

جدول ۶. محدوده عناصر مختلف در ماسه سنگ‌ها و رسوبات کربناته (Kabata-Pendias & Pendias, 2001)

عناصر	Al	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	V
نوع سنگ	(%)	ppm	ppm	ppm	ppm	(%)	ppm	ppm	ppm	ppm
ماسه سنگ	۲/۵-۴/۳	۱-۱/۲	۰/۳-۱۰	۲۰-۴۰	۵-۳۰	۱-۳	۰/۲-۰/۸	۵-۲۰	۵-۱۰	۱۰-۶۰
آهک، دولومیت	۰/۴۳-۱/۳	۱-۲/۴	۰/۱-۳	۵-۱۶	۲-۱۰	۰/۴-۱	۰/۱۶-۰/۴	۷-۲۰	۳-۱۰	۱۰-۴۵

Kabata-Pendias & Pendias, 2001

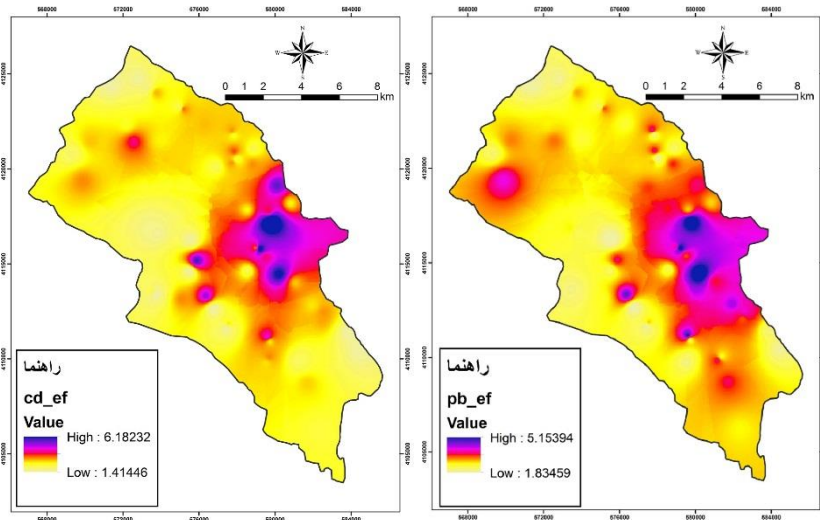
آهن در زمره عناصر بدون غنی شدگی قرار گرفته است (جدول ۷). نقشه پهنه‌بندی غنی شدگی که با استفاده از درون-یابی به روش IDW ترسیم شده است، نشان می‌دهد عناصر سرب و کادمیوم در سمت خروجی حوضه و در محدوده روستاهای بلقان سفلی و گرماب بالا می‌باشد (شکل ۴).

نتایج حاصل از محاسبه فاکتور غنی شدگی حاکی از آن است که عناصر سرب، کادمیوم، کروم، آرسنیک، نیکل، کبالت و وانادیوم غنی شدگی اندکی در منطقه دارند به نحوی که سرب و کادمیوم با میانگین ۲,۹۲ و ۲,۵۳ نسبت به عناصر اشاره شده غنی شدگی بیشتری دارد. مس، مولیبدن و

جدول ۷. فاکتور غنی شدگی و ضریب آلودگی عناصر در رسوبات حوضه آبریز

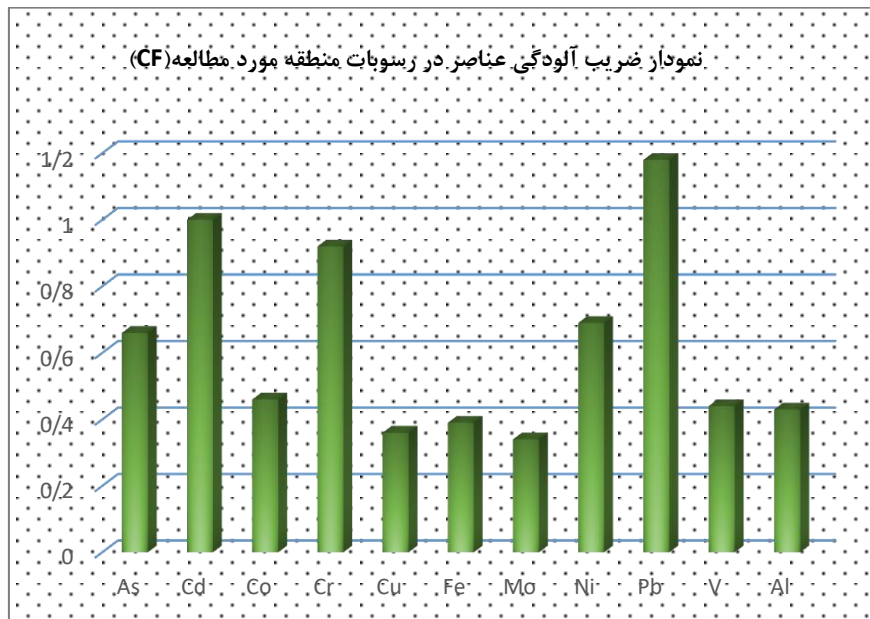
SAMPLE	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	V	Al
EF	۱/۶۴	۲/۵۳	۱/۰۸	۲/۲۹	۰/۸۳	۰/۹۱	۰/۹۱	۱/۶۲	۲/۹۲	۱/۰۳	1
CF	۰/۶۶	1	۰/۴۶	۰/۹۲	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۶۹	۱/۱۸	۰/۴۴	۰/۴۳

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی فاکتور غنی‌شدگی سرب و کادمیوم در حوضه آبریز گلیان، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱

نتایج حاصل از بررسی ضریب آلودگی (CF) نشان داد، عناصر سرب و کادمیوم با میانگین ضریب آلودگی ۱٫۱۸ و ۱ تصدیق شاخص غنی‌شدگی است (جدول ۷ و شکل ۵). آلودگی متوسطی داشته و باقی عناصر بدون آلودگی می‌باشند. نتایج حاصل از بررسی ضریب آلودگی (CF) نشان داد، عناصر سرب و کادمیوم با میانگین ضریب آلودگی ۱٫۱۸ و ۱ تصدیق شاخص غنی‌شدگی است (جدول ۷ و شکل ۵).



شکل ۵. نمودار ضریب آلودگی عناصر در رسوبات حوضه آبریز منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱

نتایج حاصل از محاسبه شاخص درجه آلودگی اصلاح شده (MCD) و ضریب بار آلودگی (PLI) نشان داد نمونه‌های رسوب در حوضه مورد مطالعه آلودگی خاصی را نشان نمی‌دهند (جدول ۸).

جدول ۸. نتایج حاصل از بررسی ضریب بار آلودگی (PLI) و درجه آلودگی اصلاح شده (MCD) در رسوبات حوضه

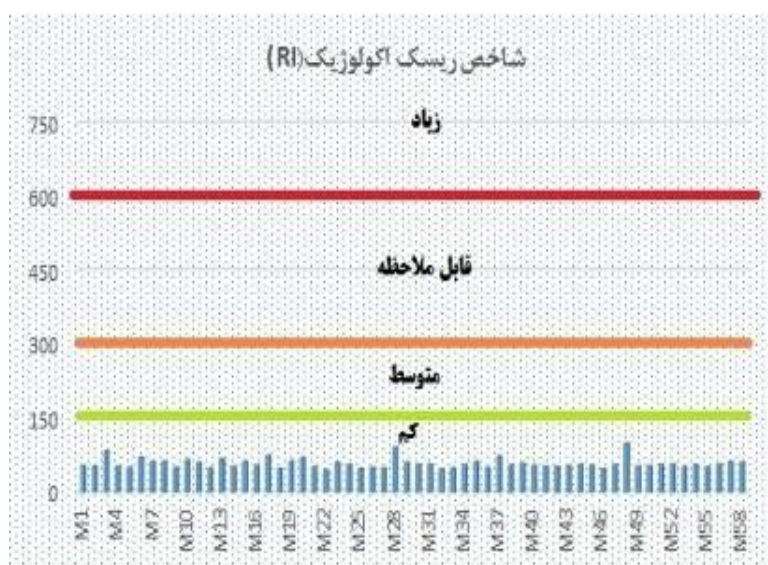
Sample	PLI	MCD	Sample	PLI	MCD	Sample	PLI	MCD
M1	۰/۵	۰/۵۶	M21	۰/۴۶	۰/۵۱	M41	۰/۴۵	۰/۵۱
M2	۰/۴۹	۰/۵۴	M22	۰/۳۶	۰/۴۳	M42	۰/۵۲	۰/۵۶
M3	۰/۷۷	۰/۸۵	M23	۰/۶۶	۰/۷۲	M43	۰/۵۵	۰/۵۹
M4	۰/۵۳	۰/۵۹	M24	۰/۵۵	۰/۶	M44	۰/۴۹	۰/۵۵

M5	۰/۵۱	۰/۵۵	M25	۰/۳۴	۰/۴	M45	۰/۵۵	۰/۵۹
M6	۰/۶۱	۰/۶۸	M26	۰/۴	۰/۴۶	M46	۰/۴	۰/۴۵
M7	۰/۷	۰/۷۶	M27	۰/۳۵	۰/۴۲	M47	۰/۵۲	۰/۵۸
M8	۰/۶۱	۰/۷۲	M28	۰/۸۳	۱/۴۹	M48	۰/۹۳	۱/۵
M9	۰/۴۱	۰/۴۸	M29	۰/۶۷	۰/۷۱	M49	۰/۵	۰/۵۴
M10	۰/۷۴	۰/۸	M30	۰/۶۱	۰/۶۷	M50	۰/۴۶	۰/۵۳
M11	۰/۶۷	۰/۷۱	M31	۰/۶۱	۰/۶۷	M51	۰/۵۳	۰/۵۸
M12	۰/۴۴	۰/۴۹	M32	۰/۲۹	۰/۳۷	M52	۰/۵۵	۰/۶۴
M13	۰/۶	۰/۶۸	M33	۰/۴۱	۰/۴۶	M53	۰/۴۵	۰/۵۱
M14	۰/۴۶	۰/۵۲	M34	۰/۵۲	۰/۵۸	M54	۰/۵۵	۰/۵۹
M15	۰/۷۱	۰/۷۵	M35	۰/۶۲	۰/۷	M55	۰/۴۶	۰/۵
M16	۰/۵۱	۰/۵۸	M36	۰/۴۵	۰/۵۱	M56	۰/۶۱	۰/۶۵
M17	۰/۶۲	۰/۷	M37	۰/۵۲	۰/۶	M57	۰/۷	۰/۷۴
M18	۰/۳۷	۰/۴۴	M38	۰/۴۹	۰/۵۵	M58	۰/۶۵	۰/۷
M19	۰/۷۴	۰/۸	M39	۰/۵۹	۰/۶۶			
M20	۰/۶۸	۰/۷۴	M40	۰/۴۸	۰/۵۴			

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱

اساس نتایج حاصل از E_r مقدار شاخص ریسک اکولوژیک حوضه آبریز گلیان بدست آمد. با توجه به اینکه میانگین ضریب فوق برابر ۵۸/۱۶ بدست آمده که بر اساس طبقه‌بندی هاگانسون وضعیت ریسک اکولوژیک رسوبات منطقه مورد مطالعه به عناصر سنگین کم می‌باشد (شکل ۶).

نتایج حاصل از ارزیابی پتانسیل ریسک اکولوژیک و شاخص ریسک اکولوژیک در منطقه مورد مطالعه در جدول ۹ نشان داده شده است. نتایج حاصله نشان داد ضریب پتانسیل ریسک اکولوژیک عناصر آرسنیک، کادمیوم، کبالت، کروم، مس، مولیبدن، نیکل، سرب و وانادیوم کمتر از ۴۰ بوده که بیانگر کم بودن پتانسیل ریسک می‌باشد. بر



شکل ۶. نمودار شاخص ریسک اکولوژیک (RI) فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه (محور افقی: کد نقاط

نمونه برداری و محور عمودی: مقادیر شاخص RI)، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱

جدول ۹. شاخص ریسک اکولوژیک ارزیابی شده برای رسوبات منطقه مورد مطالعه

Sample	Er_As	Er_Cd	Er_Co	Er_Cr	Er_Cu	Er_Mo	Er_Ni	Er_Pb	Er_V	RI
Mean	۶/۶۶	۳۰/۱۵	۲/۳۱	۱/۸۳	۱/۷۹	۵/۱۳	۳/۴۴	۵/۹۳	۰/۸۹	۵۸/۱۶

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱

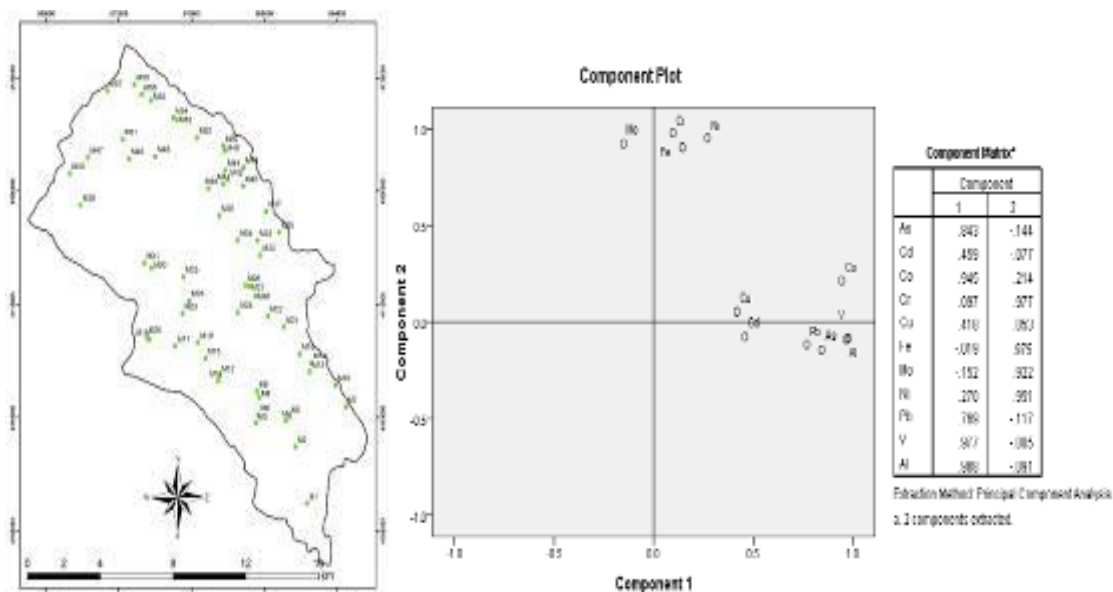
طرفی کادمیوم با آرسنیک (۰/۵۱۵) و سرب (۰/۳۹۹) و همچنین مس با وانادیوم (۰/۳۴۴) و آلومینیوم (۰/۳۶۶) همبستگی ضعیفی برقرار کرده است. این امر نشان از منشاء مشترک عناصر آلومینیوم، کبالت، وانادیوم، سرب و آرسنیک دارد (جدول ۱۰). همچنین نمودار تحلیل مولفه اصلی نیز نشان داد در مولفه اول آرسنیک، کبالت، سرب، وانادیوم و آلومینیوم قرار گرفته است که با هم همبستگی قوی برقرار کرده است و با کادمیوم و مس همبستگی ضعیفی دارد. در مولفه دوم عناصر کروم، نیکل، آهن و مولیبدن قرار دارد که با یکدیگر همبستگی قوی ایجاد کرده است (شکل ۷).

نتایج حاصل از ضریب پیرسون نشان داد عنصر کروم با نیکل (۰/۹۶۹) و مولیبدن (۰/۸۳۹) همبستگی قوی برقرار کرده است و آهن با کروم (۰/۷۹۳)، نیکل (۰/۶۴۰) و مولیبدن (۰/۶۷۶) همبستگی دارد. از طرفی نیکل با مولیبدن (۰/۷۹۰) همبستگی دارد. این همبستگی نشان از منشاء مشترک عناصر فوق می باشد. از طرفی آلومینیوم با عناصر کبالت (۰/۹۲۵)، سرب (۰/۷۰۷)، وانادیوم (۰/۹۸۸) و آرسنیک (۰/۷۹۶) همبستگی قوی برقرار کرده است. وانادیوم نیز با آرسنیک (۰/۷۹۳)، کبالت (۰/۹۲۵) و سرب (۰/۷۲۴) همبستگی قوی دارد. همچنین سرب با آرسنیک (۰/۶۰۴) و کبالت (۰/۶۴۴) همبستگی برقرار کرده است. از

جدول ۱۰. مقادیر ضریب همبستگی بین میزان غلظت عناصر مورد استفاده در حوضه مطالعاتی

As		Cd		Co		Cr		Cu		Fe		Mo		Ni		Pb		V		Al	
As	1																				
Cd	۰/۵۱۵	1																			
Co	۰/۷	۰/۳۱۹	1																		
Cr	-۰/۰۶	-۰/۰۴۳	۰/۲۹۷	1																	
Cu	۰/۲۶	۰/۱۰۷	۰/۴	۰/۰۴۷	1																
Fe	۰/۰۷۳	۰/۳۳	۰/۳۴۴	۰/۷۹۳	۰/۳۵۸	1															
Mo	-۰/۱۸۳	-۰/۰۱۷	۰/۰۲۱	۰/۸۳۹	-۰/۰۸۲	۰/۶۷۶	1														
Ni	۰/۰۷۴	۰/۰۲	۰/۴۶	۰/۹۶۹	۰/۱۸۴	۰/۶۴۰	۰/۷۹	1													
Pb	۰/۶۰۴	۰/۳۹۹	۰/۶۴۴	۰/۰۰۷	۰/۱۶۷	۰/۵۰۲	-۰/۲۱۹	۰/۱	1												
V	۰/۷۹۳	۰/۳۷۸	۰/۹۲۵	۰/۰۰۵	۰/۳۴۴	۰/۴۸۸	-۰/۲۲	۰/۱۷۷	۰/۷۲۴	1											
Al	۰/۷۹۶	۰/۳۴۱	۰/۹۲۵	۰/۰۰۱	۰/۳۶۶	۰/۳۷۶	-۰/۲۵۲	۰/۱۸۱	۰/۷۰۷	۰/۹۸۸	1										

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱



شکل ۷. نمودار تحلیل مولفه اصلی عناصر سنگین و موقعیت نقاط نمونه برداری شده در حوضه مطالعاتی؛ منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱

آمده است. با توجه به اینکه غلظت عناصر سنگین با بافت رسوبات ارتباط تنگاتنگی داشته بدین نحو که در رسوبات دانه ریز بیشترین غلظت را دارد (Kabata-Pendias, 2001) و از آنجا که تمرکز رسوبات دانه ریز در سمت خروجی حوضه بالاتر می‌باشد لذا غنی‌شدگی عناصر سرب و کادمیوم در ناحیه فوق توجیه پذیر می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از ضریب پیرسون و تحلیل مولفه اصلی دو منشاء در توزیع عناصر سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه وجود دارد.

می‌توان گفت مجموعه سنگی در منطقه مورد مطالعه، گستره‌ای از سازندهای رسوبی مزدوران، سرچشمه، سازند شوربجه، سازند تیرگان و پادگانه‌های آبرفتی و رسوبات بستر رودخانه می‌باشد که مربوط به زون زمین‌ساختی آلاداغ-بینالود است. ترسیم نمودارهای آماری نشان از وجود دو منشاء در توزیع عناصر در رسوبات منطقه دارد. منشاء عناصر کروم، نیکل، آهن و مولیبدن ماسه سنگ‌های سازند شوربجه بوده و منشاء عناصر آلومینیوم، کبالت، وانادیوم، سرب، مس، کادمیوم و آرسنیک مربوط به رسوبات آهکی می‌باشد. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه

۴. بحث و نتیجه‌گیری

جهت بررسی میزان غلظت عناصر سنگین در رسوبات ۵۸ نمونه رسوب مورد بررسی قرار گرفت که برای سنجش آلودگی از شاخص‌هایی نظیر فاکتور غنی‌شدگی، ضریب آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده، ضریب بار آلودگی و شاخص ریسک اکولوژیک استفاده گردید. بررسی عناصر سنگین در رسوبات منطقه نشان داد، سرب و کادمیوم که بر اساس تقسیم بندی [Chen \(2007\)](#) در محدوده غنی‌شدگی اندک قرار گرفته است، نسبت به سایر عناصر غنی‌شدگی بیشتری در منطقه دارد به نحوی که این امر منجر به آلودگی متوسطی که توسط شاخص ضریب آلودگی تعیین شده است، در رسوبات منطقه گردیده است. با توجه به نظریه [Rey and et al \(2009\)](#) اگر غنی‌شدگی عناصر کمتر از ۱۰ باشد بیانگر منشاء لیتوژنیک و بیشتر از ۱۰ بیانگر منشاء آنتروپوژنیک است و از آنجا که شاخص غنی‌شدگی برای عناصر مورد مطالعه کمتر از ۱۰ بدست آمده است، لذا منشاء عناصر سرب، کادمیوم، کروم، آرسنیک، نیکل، کبالت، وانادیوم، مس، مولیبدن و آهن در منطقه لیتوژنیک بوده که بر اثر هوازدگی و فرسایش واحدهای سنگی منطقه به وجود

رسوبات منطقه آلودگی خاصی را نشان نمی‌دهند. نتایج حاصل از ارزیابی پتانسیل ریسک اکولوژیک و شاخص ریسک اکولوژیک نشان داد ضریب پتانسیل ریسک اکولوژیک عناصر مورد مطالعه پتانسیل ریسک کم در منطقه دارند. لذا شاخص ریسک اکولوژیک حوضه آبریز گلیان کم می‌باشد. مطالعات **میر باقری و همکاران (۱۳۹۸)** در بررسی آلودگی خاک و رسوبات بادی به برخی از فلزات سنگین در دشت شهر کرد و **قدیمی (۱۳۹۹)** در ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب میقان با استفاده از شاخصهای مختلف سنجش آلودگی نیز مانند حوضه مورد مطالعه گویای آلودگی کم در حوضه‌های مورد مطالعه بودند. قابل ذکر است کادمیوم از جمله فلزاتی است که دسترسی زستی بالایی داشته و عمدتاً در داخل رسوبات به همراه فازهای غیر باقی مانده یافت می‌شود.

۵. فهرست منابع

- Abraham, G.M.S. and Parker, R.J., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand, *Environ Monit Assess* 136, p. 227-238.
- Abraham, G.M.S., 2005. Holocene sediments of Tamaki Estuary, Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand. Abraham, Ghada M. S. Identifier: <http://hdl.handle.net/2292/1419>. Issue Date: 2005. Reference: Thesis (PhD--Geology)--University of Auckland.
- Adamo, P., Arenzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G. and Stanzione, D., 2005. Distribution and partition of heavy metal in surface and sub-surface sediments of Naplescity Por, *Chemosphere*, v. 61, p. 800-809
- Adomako, D., Nyarko, B., Dampare, B., Serfor-Armah, Y., Osae, S., Fianko, J. and
- متشکل از واحدهای سنگی رسوبی می‌باشد، همچنین بر طبق جدول ۶ که محدوده عناصر مختلف در ماسه سنگ‌ها و رسوبات کریناته (**Kabata-Pendias, 2001**) را مشخص نموده است، میزان غلظت بسیاری از عناصر سنگین حوضه مورد مطالعه از قبیل وانادیوم، مولیبدن، آهن، کبالت و آلومینیوم در محدوده ذکر شده می‌باشد. قابل ذکر است بر اساس شاخص غنی شدگی، سرب و کادمیوم غنی شدگی اندکی در منطقه ایجاد کرده و باقی عناصر بدون غنی شدگی هستند. گر چه نمی‌توان تاثیر عوامل انسانی را در میزان آلودگی رسوبات به عناصر سنگین نادیده گرفت ولی با توجه به بررسی‌ها و محاسبات و ارزیابی‌های به عمل آمده به وسیله شاخص‌های آلودگی، تاثیر عوامل انسانی در حوضه مورد مطالعه کمتر بوده و بر اساس نظریه **Rey and et al (2009)** منشاء عناصر مورد مطالعه در منطقه لیتوژنیک بوده که بر اثر هوازدگی و فرسایش واحدهای سنگی منطقه به وجود آمده است. مطالعات **صلواتی نیک و همکاران (۱۳۹۹)** در بررسی زیست محیطی پراکنش آلودگی فلزات سنگین در خاکهای منطقه ششتمد در شمال شرق ایران و همچنین **علی بیگی و همکاران (۱۳۹۶)** در بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی تالاب چغاخور با استفاده از شاخص‌های غنی شدگی، زمین انباشتگی، ضریب آلودگی و شاخص بار آلودگی مویید این مطلب است که آلودگی فلزات سنگین در مناطق مورد مطالعه، همانند حوضه گلیان زمین زاد و عمدتاً ناشی از سازندهای زمین شناسی می‌باشند. بر اساس نقشه پهنه‌بندی غنی شدگی، غنی شدگی عناصر سرب و کادمیوم در سمت خروجی حوضه بیشتر از سایر نقاط بوده است که ارتباط مستقیم با بافت رسوبات دانه ریز دارد. نتایج حاصل از بررسی ضریب آلودگی نیز نشان از آلودگی متوسط سرب و کادمیوم دارد. شاخص درجه آلودگی اصلاح شده و ضریب بار آلودگی نشان داد

- Bowen, H.J.M., 1979- Environmental Chemistry of the Elements, Academic Press, New York, 1979. (In: Bradli, H. B., (2005), Heavy Metals in the Environment, Elsevier Ltd, Vol, 6)
- Chaoyang, W., Cheng, W. and Linsheng, Y., 2009. Characterizing spatial distribution and sources of heavy metals in the soils from mining-smelting activities in Shuikoushan, Hunan Province, China. *Journal of Environmental Sciences*, v. 21, p. 1230-1236.
- Chen, C., Kao, C., Chen, F. and Dong, D., 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan, *Chemosphere*, v. 66, p. 1431-1440
- Chen, Y., Jiang, X., Wang, Y., Zhuang, D., 2018. Spatial characteristics of heavy metal pollution and the potential ecological risk of a typical mining area: a case study in china. *Process Saf. Environ. Prot.* 113, 204–219
- Dabiri, M.1996. Environmental pollution, first edition, Etihad publishing, Iran. (in Persian).
- Dahrazma, B., Azarpaykan, A & Sayyarreh, A.2014. Evaluation of heavy metals pollution in abandoned lead area soil, Rooy Ai Ghale Si, south east of Takab, engineering geology and environment, year 24th, No.94, Pp.129-138. (in Persian).
- Deng, G., Yang, W., Zhou, G., Li, Y., Liu, S., 2014. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Shenzhen river, south china. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 21 (18), 594–600.
- Elsagh, A., Jalilian, H.R., Ghaderi Aslshabestari, M.R.,2021., Evaluation of heavy metal pollution in coastal sediments of Bandar Abbas, the Persian Gulf, Iran: Mercury pollution and environmental
- Akaho, H., 2008. Determination of toxic elements in (waters and sediments from River Subin in the) Ashanti Region of Ghana, *Environmental Monitoring Assessment* 141, p. 165- 175.
- Aguilar Pesantes, A., Peña Carpio, E., Vitvar, T., María Mahamud López, M., & MenéndezAguado, J.M., 2019. A Multi-Index Analysis Approach to Heavy Metal Pollution Assessment in River Sediments in the Ponce Enríquez Area, Ecuador *Water*. 11(3):590.
- Ahdy, H.H., and Khaled, A. 2009. Heavy metals contamination in sediments of the western part of Egyptian Mediterranean Sea. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4): 3330-3336.
- Ali Beigi, H., Mirzai, R ., Zamani A., & Mahmoodi, R.2017 Checking density of heavy metals in surface sediment of Choghakhor lagoon, career 43, No.1, Pp.149-161 (in Persian).
- Alloway, B.J. 1990. Heavy Metals in Soil. John Wiley & Sons, INC., New York.
- Al-Rousan, S., Al-Taani, A. and Rashdan, M., 2016. Effects of pollution on the geochemical properties of marine sediments across the fringing reef of Aqaba, Red Sea, *Marine Pollution Bulletin*, In Press, p. 1-9.
- Behbahani, A., & Farahani, M.2016. Checking source of natural resources pollution due to Arsenic in Hashtrood city east Azerbaijan province , science and technology of environment, 18th career, special issue No.2, Pp.469-475. (in Persian).
- Blaser P., Zimmermann S., Luster J., Shotyk W., 2000,"Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils, As, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn, in Swiss forest soils", *Sci. Total Environ.* 249 , 257-280.

- Kabirifard, H., Sheikhejad, E & Masumi, M. 2012. Assessment of the amount of heavy metals pollution {iron, zinc, lead and nickel} in surface waters, cultivated soil and veggie in Pishva City, marine science and technology research magazine, Pp.1-12. (in Persian).
- Kadhun, S.A. ,Ishak, M.Y. ,Zulkifli, S.Z. ,Hashim, R., 2016., Evaluation of the status and distributions of heavy metal pollution in surface sediments of the Langat River Basin in Selangor Malaysia. *Mar Pollut Bull*; 101:391-6.
- Khorshidi, N., Parsa, M., .Lentz, D R., Sobhanverdi, J., 2021., Identification of heavy metal pollution sources and its associated risk assessment in an industrial town using the K-means clustering technique., *Applied Geochemistry* Volume 135, December 2021, 105113
- Li R, Li R, Chai M, Shen X, Xu H, Qiu G. ۲۰۱۵., Heavy metal contamination and ecological risk in Futian mangrove forest sediment in Shenzhen Bay, South China. *Marine pollution bulletin.*; 101(1):448-56
- Li, M.S., Luo, Y.P. and Su, Z.Y., 2007. Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mine land in Guangxi, South China, *Environmental Pollution*, v. 147, p. 168-175.
- Loska, K. and D. Wiechula. 2003. Application of principal component analysis for the estimation of source heavy metal contamination in surface sediments from Rybnik Reservoir. *Chemosphere* 51: 723–733
- Loska, K., Chebual, J., Pleczar, J., Wiechla, D. and Kwapulinski, J., 1995. Use of environment and contamination factors together with geoaccumulation indexes to elevate the content of Cd, Cu and Ni in the geochemical indices, *Marine Pollution Bulletin.*, Volume 167, 112314: 1-8
- Geravand, M., Ghasemi, H & Hafezi Moghaddas, N 2012. Geochemical and environmental evaluation of heavy metals in soils from Gogan's schist rocks, *journal of earth sciences*, year 22nd, No.86, Pp.35-46. (in Persian).
- Ghadimi, F. 2020. Evaluation of heavy metals pollution in sediments of Mighan lagoon using pollution indexes, stratigraphy and sedimentology research in 36th year, consecutive No.8, first number, Pp.19-37. (in Persian).
- Gu, J.G., Lin, Q.Q., Hu, R., Zhuge, Y.P. and Zhou, Q.X., 2005. Translation behavior of heavy metals in soil-plant system - a case study of Qingchengzi Pb-Zn mine in Liaoning province, *Journal of Agro-Environment Science*, v. 4, p.634-637.
- Gurumoorthi, k., Venkatachalapathy, R., 2016., Spatial and Seasonal Trend of Trace Metals and Ecological Risk Assessment along Kanyakumari Coastal Sediments, *Southern India. Pollut*; 2(1): 267-87
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach, *Water Research*, v. 14, p. 975-1001.
- Jafarian and Haftlang .2004. Geology map 1:100000 Shirvan, ministry of industries and mines, geology organization and mineral discoveries in Iran. (in Persian).
- Joreskog, k, 1994, On the Estimation of Polychoric Correlations and their Asymptotic Covariance Matrix. *GPsychometrika*. Vol. 59 (3). Pp. 381-389
- Davis, J.C., 1986.
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias, 2001, Trace elements in soils and plants: CRC Press, Boca Raton, 413 p.

- Zanganeh, Mohammad Ali. 2017. Assessment of the Heavy- Metal Pollution in Sediments of the Royin Karstic Basin. *Earth Science Research*, 9(36), 146-166. (in Persian).
- Musavi, E., Safanian, A.R., Mirghaffari, N., & KhodaKarami, L. 2011. Checking spatial distribution in some of heavy metals in Hamedan province soils, *soil research (soil and water sciences)*, 25(4A), Pp. 323-336. (in Persian).
- Musavi, S.P., Mokhtari, M.A. A., Khosravi, Y. Rafiee, A., & Hosseinzadeh, R. 2018. Checking environmental water way sediments pollution due to heavy metals in Zarshooran-Aghdarreh (North of Takab). *Water and soil sciences (Agricultural Science and Technology and Natural Resources)*, 22(2), Pp.127-141. (in Persian).
- Nasralla, M.M., 1984. Lead in Jaddah urban dust, *Environment Pollution Series B, Chemical and Physical*, v. 8(2), p. 133-141.
- Nethaji, S., Kalaivanan, R., Viswam, A. and Jayaprakash, M., 2016. Geochemical assessment of heavy metals pollution in surface sediments of Vellar and Coleroon estuaries, southeast coast of India, *Marine Pollution Bulletin*, In Press, p. 1-11.
- Noori R., Sabahi M.S., Karbassi A.R., Baghvand A., TaatiZadeh H., 2010, "Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set", *Desalination*, 260 (1-3) 129-36.
- NorouziFard, P., Mortazavi, S., Asad, S., & HasanZadeh, N. 2017. Estimation of toxicity and ecological danger of toxic elements using biological indexes in coastal sediments in the north of the Persian Gulf in Hormozgan Province, volume 9, NO.2, Pp.46-60. (in Persian).
- Rybink water reservoir in Poland" *Water, Air and Soil pollution*, v. 93, p. 347-365.
- Lu, Y., Z. Gong, and G. Zhang. (2003). The Chemical Speciation of Heavy Metals of Urban Soil in NanJing: *Envir. Chem*, 22: 132-138
- MacFarlane, G. R. and M. D. Burchett. 2000. Cellular distribution of Cu, Pb and Zn in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.). *Aquatic Botany* 68(1): 45-59.
- Mapanda, F., Mangwayana, E.N., Nyamangara, J., Giller, K.E. (2007). Uptake of heavy metals by vegetables irrigated using wastewater and the subsequent risks in Harare, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 32: 1399-1405.
- Mehri Yari, F., Pirkharati, H., Farhadi, K., SultanAlinejad, N., & Naghsafkan, F. 2020. Evaluation of heavy metals pollution in sediment of the bed lake and surface soils of eastern part of Urumia City using pollution indexes, *journal of soil and water sciences*, year 24th, NO.1, Pp.121-132. (in Persian).
- Miller, N., Miller, C., 2000, *Statistics and chemometrics for analytical chemistry*, Pearson Education, Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 288.
- MirBagheri, S., Naderi, M., Salehi, M.H., & Jahangard, M. 2019. Checking soil pollution and wind sediments to some of heavy metals in Shahr-Kord plain, *Journal of water and soil sciences (agricultural sciences and technology and natural resources)* year 23, 3rd number (in Persian).
- Mokaram, M & Negahban, S. 2020. Evaluation of ecological heavy elements risk in roadside sediments in GIS environment, *geography and environmental hazards*, No.33, Pp.17-43. (in Persian).
- Motamedi Rad, Mohammad, Goli Mokhtari, Leila, Bahrami, Shahram, and Asadi

- Shayestefar, M.R., & Rezai, A. 2013. Checking environmental behaviors and Study of distribution of heavy elements in the soils of Sarcheshmeh copper mine in Kerman, engineering of mine magazine(8)18, Pp.13-21. (in Persian).
- Siahati Ardakani, Gh. R., mirsanjari, M.M., Azimzadeh, H.R & Salagi, E. 2016 Evaluation of ecological heavy metals risk in surface soil around the main industries in Ardakan city, Tolooe Behdasht, 17(6(Mosalsal72), Pp. 95-110. (in Persian).
- Skrbic, B. and Mladenovic, N., 2010. Chemometric interpretation of heavy metal patterns in soils worldwide, chemosphere, v. 80, p. 1360-1369.
- Sommers, L.E., 1977. Chemical composition of sewage sludge and analysis their potential use as fertilizer, Journal of Environmental Quality, v. 6, p. 225-231.
- Teng, Y., Huang, and J. Lon. (2002). Studies on soil enzymatic activities in areas contaminated by tailings from Pb, Zn, and Ag mine. China Environ Sci, 22: 551-555
- Turekian, K. K., and Wedepohl, K. H., 1961 "Distribution of the elements in some major units of the earth's crust", Bulletin of Geological Society of America. 72 ,175-92
- Vafabakhsh, K. and Kharghany, K., 2000. Effects of treated Municipal wastewater on quality and yield of cucumber and carrot, Agricultural resource recycling Symp, Isfahan, Khorasgan Azad University, Agricultural College, Iran
- Yalcin, M.G., Battaloglu, R., and Ilhan, S. 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. Environmental Geology, 53(2): 399-415.
- Yan, F., Liu, C.L., Wei, B.W., 2019. Evaluation of heavy metal pollution in the sediment of Poyang Lake based on
- PoorKhabaz, H.R., Javanmardi, S., Yousefnia, H., Asalemi, M., Macroni, S & Aghdar, H. 2016. Enviromental evaluation of heavy metals in the soils pollution around Behbahan cement factory, geography and environmental planning, year 27, consecutive 63, No.3, Pp.87-105. (in Persian).
- Qishlag, A., Moore, F. and Forghani, G., 2007. Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran, Environmental Monitring Assessment 149, p. 254-262.
- Razzazi Borujeni, Kh. 2009. Checking resources of soil and water pollution by heavy metals in Hashtroud city with attitude for Arsenic and its environmental effects, Masters thesis, faculty of basic sciences, Tehran Teaching University, Pp 292. (in Persian).
- Reilly, C., Bphil, B.S.. and Faifst, P.D. 2002. Metal Contamination of Food, its Significance for Food Qalty and Human Health. 3rd ed., Blackwell Science Ltd., Osney Mead, Oxford, UK.
- Rey, R., Fierros, D., Barral, M., 2009, Normalization strategies for river bed sediments: a graphical approach. Microchemical Journal 91.2, 253-265.
- Rodrigues, S.M., Cruz, N., Coelho, C., Henriques, B., Carvalho, L., Duarte, A.C., and Römken, P.F. 2013. Risk assessment for Cd, Cu, Pb and Zn in urban soils: Chemical availability as the central concept. Environmental Pollution, 183: 234-242.
- Sharma, R.K., Agrawal, M. and Marshall, F., 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India, Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 66, p. 258-266.

stochastic geo-accumulation model (SGM).
Sci. Total Environ.659 (1), 1–6.

Yan, F., Qian, ., Chen, Y., Zhao, L., Xiao. X.,
۲۰۱۹. Stochastic potential ecological risk
model for heavy metal contamination in
sediment., Ecological Indicators., Volume
102, Pages 246-251

Ye C., Li S., Zhang Y., Zhang Q., 2011,
"Assessing soil heavy metal pollution in the
water-level-fluctuation zone of the Three
Gorges Reservoir, China", Journal Hazard.
191, 366-372.

Zein Al Dini, Z., Karami, M., Fatemi
Ghomshe, A., Shekari, P. & Hamed, F.
2016 Checking Cadmium elements
pollution potential, lead and Nickel in the
downstream soil of Kermanshah waste
accumulation due to pollution evaluation
criterion, agricultural engineering (scientific
Journal of agriculture), volume 93, No.2,
Pp. 55-68.(in Persian).

