

Land use suitability assessment of the Zanjan's landfill site, using hydrogeological data and geoelectrical surveys

Masoud Saatsaz^{1*}, Mahboubeh Sabzietivand¹, Abdolreza Ghods¹

1- Geophysics Department, Earth Sciences Faculty, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran.

Keywords: Aquifer, Double ring permeability tests, Geophysical surveys, Groundwater vulnerability, Landfill site, Zanjan

1- Introduction

The proper site selection and evaluation of land-use suitability (the process of determining a particular parcel's capability for specific use) for waste disposal is one of the most basic requirements for urban development. The environmental evaluation of the waste disposal site is a complex process conducted by considering several factors or criteria simultaneously. Various criteria including geomorphological, geological, hydrological, environmental, economic, and social ones are investigated, in proper evaluation, and effort is made to reduce the anomalies by presenting the results to the experts and executors. This study aim is to assess the suitability of the existing waste landfill and offer the most suitable areas in the Zanjan Plain, Iran (Fig. 1). In the Zanjan city, 313 tons of municipal solid waste with different compositions are daily entering the biological cycle concerning the high population growth rate and physical development of the city (Zanjan Municipality, 2014). This amount is (16.6%) higher than the average per capita of Iran. The waste disposal site in Zanjan is a subsurface and shallow reservoir. Any seepage caused by natural processes (faults and fractures, infiltration of rainwater or snowmelt) or artificial processes (the activities of humans) in the reservoir can result in significant damages. The chemical and water microbial contamination resources, the decline of growth in the plants, introduction of toxic elements into the soil, soil salinization, and the disruption in the life of aquatic and soil biota are some of the examples. The epidemic of contagious deceases, soil erosion, desertification, the decline in the income of farmers due to the reduced fertility of the plants, and finally, the migration and unemployment of the residents in the contaminated areas are the side effects of contamination process.

2-Methodology

In this study, the DRASTIC method has been used to estimate the aquifer vulnerability, the double- ring permeability method (ASTM, 2003) has been used to estimate the leachate infiltration, and geoelectrical surveys have been used to measure the extension and depth of the leachate infiltration. In this study, the DRASTIC method has been used to estimate the aquifer vulnerability, the double- ring permeability method (ASTM, 2003) has been used to estimate the leachate infiltration, and geoelectrical surveys have been used to measure the extension and depth of the leachate infiltration. Totally four main criteria of the DRASTIC model, infiltration (precipitation), depth to the water table, slope, hydraulic conductivity (based on the coefficient of transmissibility), and a chemical quality criterion of electrical conductivity were used to determine the aquifer vulnerability. Based on the suggested DRASTIC model (Aller et al., 1985; Aller, 1987), the weights of five, four, three, and one, were selected for the parameters of depth to the water table and chemical quality, precipitation recharge, hydraulic conductivity, and slope, respectively. The coordinates of the model framework

*Corresponding author: saatsaz@iasbs.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2019.29297.1972

Received 2019-04-27

Accepted 2019-10-19

were defined between the longitude $48^{\circ} 12' E - 48^{\circ} 28' E$ and the latitudes of $36^{\circ} 39' N - 38^{\circ} 55'$, due to the lack of sufficient data to cover the whole plain and to increase the accuracy of the DRASTIC model.

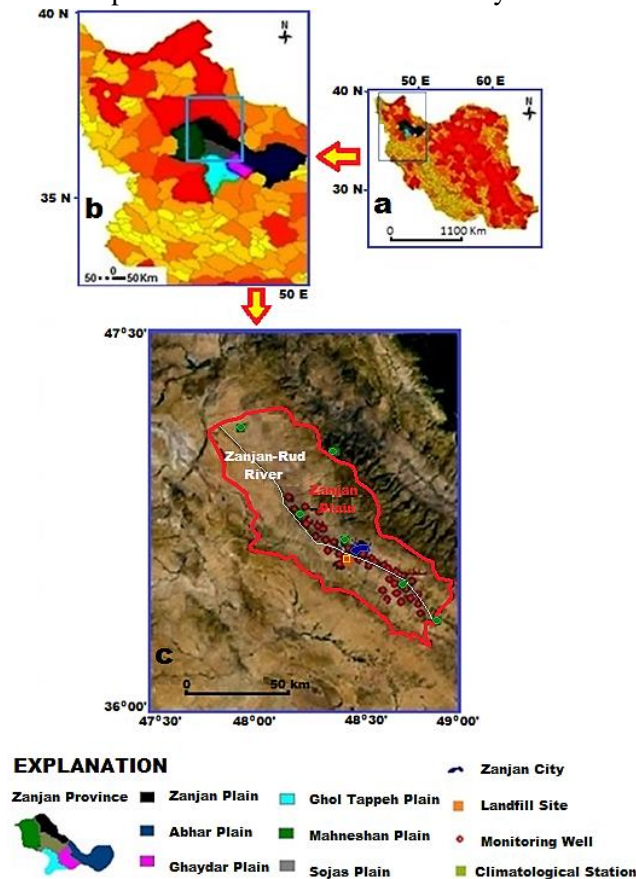


Fig. 1. The geographical location of the landfill site, (a) The geographical location of the Zanjan Province in Iran, (b) Zanjan Province and its plains in NW Iran, and (c) The geographical location of the landfill, climatological stations, and monitoring wells.

In this study, the double-ring tests were carried out to estimate the leachate infiltration rate in three points with undisturbed soil, assuming an equal velocity for contaminant and water movement. To determine the depth, direction, and extension of the leachate plume, geoelectrical surveys were carried out all over the dumpsite through Vertical Electrical Sounding (VES) method using the Schlumberger array with a maximum spread length of 460 m along ten NW-SE lines. Among geoelectrical arrangements, the Schlumberger array was preferred over other configurations because of its high-quality resolution in-depth, greater penetration depth, simplicity, and rapidity for the field operation.

3-Results and discussion

The integrity of the criteria in the final map of the DRASTIC model indicates the medium range of aquifer vulnerability in the waste disposal site. Very low, low, moderate, high, and very high groundwater vulnerability zones cover around 18.53, 27.72, 18.83, 28.72, and 6.2% of the study area, respectively (Fig. 2). Based on the results of permeability tests, the final infiltration velocity is low, showing the characteristic of a porous medium with a medium sorting, in which the finer particles (silt and clay) are placed between the coarser particles of gravel and sand. The geoelectrical surveys indicate that concerning the depth of 55 m for the leachate concentration and the minimum depth of 86 m for the water table, the leachate plume has not significantly damaged the aquifer. The plume pattern shows leachate migrates towards the northeast, backward to the nearest village. Considering the calculated groundwater depth where low permeable media and arid climate (with low precipitation and high evaporation) is available, it can be concluded that groundwater might not be contaminated at least in the next five years.

4-Conclusion

The landfill site suitability in the Zanjan Plain has been evaluated based on its vulnerability to pollution, the rate of the soil infiltration, and the leachate plume's position. The aquifer vulnerability results show that the landfill is situated in a moderate vulnerability class. The deepwater table level increases the leachate travel time and self-purification of the unsaturated zone. The vulnerable criterion in the waste disposal site is the low slope of the topography that provides sufficient time for the leachate's seepage. While the slope is an inappropriate criterion from the hydrogeological view, the low slope reduces the inflow of surface runoff into the rivers from a hydrological point of view. However, the presence of clay and silt particles leads to a reduction in the leachate plume's infiltration velocity. The electrical sounding shows that a minimum distance of 31m is available between the leachate plume and the groundwater table. The best sections for waste disposal are located in the western and northwestern boundaries of the plain, while the most inappropriate locations are in the plain's eastern and central parts.

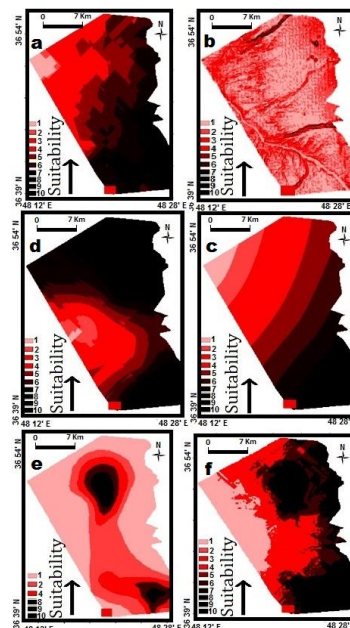


Fig. 2. The final raster maps showing the rate of the aquifer vulnerability based on the simplified DRASTIC method, (a) The depth to groundwater map, (b) The topography map, (c) The electrical conductivity map, (d) The rainfall map, (e) The transmissivity map, and (f) The final suitability map (the landfill site location is shown by the red rectangle; light curves show a low degree of the suitability (high vulnerability and dark curves show a high degree of the suitability).

References

- Aller, L., 1985. DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. In Robert, S., Kerr (ed). Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., Hackett, G., 1985. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. Environmental Protection Agency Report, NWWA/EPA Series EPA-600/2-87-035.
- ASTM, D., 2003. Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer. American Society for Testing and Materials, 10.
- Municipality of Zanjan, 2014. Zanjan waste management. Administrative Office, Internal report. (In Persian).

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Saatsaz, M., Sabzietivand, M., Ghods, A., 2020. Land use suitability assessment of the Zanjan's landfill site, using hydrogeological data and geoelectrical surveys. *Adv. Appl. Geol.* 10(1), 31-46.

DOI: 10.22055/AAG.2019.29297.1972

url: https://aag.scu.ac.ir/article_15075.html?lang=en

ارزیابی تناسب کاربری زمین در جایگاه دفن پسماند شهر زنجان با بهره‌گیری از داده‌های هیدروژئولوژیکی و پیمایش‌های ژئوالکتریکی

مسعود ساعت‌ساز*

پژوهشکده تغییر اقلیم و گرمایش زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه، زنجان، ایران

محبوبه سبزی‌اتیوند

گروه ژئوفیزیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه، زنجان، ایران

عبدالرضا قدس

گروه ژئوفیزیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۷

*saatsaz@iasbs.ac.ir

چکیده

در این پژوهش، مطالعات هواشناسی، زمین‌شناسی، آب‌شناسی و ژئوفیزیک برای ارزیابی زیست‌محیطی جایگاه انباشت پسماند در ۱۳ کیلومتری جنوب‌باختر شهر زنجان انجام پذیرفته است. رسیدن به هدف، دربرگیرنده توسعه یک مدل در سامانه اطلاعات مکانی، بررسی‌های مقاومت‌سنجی ژئوالکتریک و اندازه‌گیری نرخ نفوذ با بهره‌گیری نفوذسنج حلقه مضاعف در جایگاه دفن پسماند است. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلودگی نشان داد که محل دفن در گستره میانه آسیب‌پذیری جای دارد. آزمون‌های نفوذپذیری حلقه مضاعف تأکید می‌نمایند که جایگاه دفن یک جایگاه قابل‌قبول است که به نسبت، نرخ کم نفوذپذیری را نشان می‌دهد. در این پژوهش، با بهره‌گیری از ۱۰ سونداژ الکتریکی قائم با آرایه شلومبرژه، نشان داده شده است که اندازه مقاومت الکتریکی نهشته‌ها در جایگاه دفن از ۲۰ تا ۳۵ اهم‌متر برای انباشت پسماندهای تازه یا مرطوب و از ۱۲۰ تا ۲۰۰ اهم‌متر برای انباشت‌های خشک و قدیمی نوسان دارد. زیانه آلودگی شیرابه پهنایی کم و بیش برابر یک کیلومتر داشته و تا عمقی در حدود ۵۵ متری گسترش یافته است. الگوی جریان زیانه نشان می‌دهد که مهاجرت شیرابه سوی شمال‌خاور است. با نگرش به ژرفای سطح ایستایی برآورد شده در بیش از ۸۶ متر از سطح زمین و سرعت نفوذ محاسبه شده برابر ۱/۹۵ میلی‌متر در ساعت، چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که حداقل تا سال ۱۴۰۴ زیانه آلودگی به سطح آب‌برزمینی خواهد رسید.

کلمات کلیدی: آبخوان، آزمون نفوذپذیری حلقه مضاعف، پیمایش‌های ژئوفیزیک، آسیب‌پذیری آب زیرزمینی، جایگاه دفن پسماند، زنجان

مقدمه

مکان‌یابی بر مبنای سامانه اطلاعات مکانی، به طرز گسترده‌ای در مدیریت شهری، علوم نظامی، جغرافیا، محیط‌زیست و زمین‌شناسی مورد استفاده قرار گرفت.

در منابع، نمونه‌های بی‌شمار در زمینه مکان‌یابی و ارزیابی تناسب زمین جایگاه دفن پسماند با استفاده از معیارهای محیطی می‌توان یافت. از نمونه‌های انجام گرفته در سال‌های پیشین می‌توان به کار (Yadav, 2013)، (Manoiu et al., 2013) و (Alanbari et al., 2014) اشاره کرد. در پژوهش (Yadav, 2013)، برای ارزیابی تناسب کاربری زمین، از معیارهای زمین‌شناسی (جنس سازندها)، ژرفا تا سطح ایستایی، شیب زمین، هدایت هیدرولیکی، کاربری زمین و الگوی زهکشی بهره‌گیری شده است (Manoiu et al., 2013) با بهره‌گیری از معیارهای همچون شیب، بارندگی، بافت خاک و خطرپذیری لرزه‌ای به بررسی تناسب کاربری زمین برای فرایند دفن پسماند در ایالت پراهوا (Prahova) رومانی پرداخته و چنین نتیجه‌گیری کردند که برای فرایند دفن به ترتیب تنها ۱۱ و ۳/۴ درصد از منطقه مورد پژوهش مناسب و بسیار مناسب است. Alanbari et al. (2013) با در نظر گرفتن ۱۴ معیار و با نگرش به میزان تولید پسماند در

مکان‌یابی درست و ارزیابی تناسب کاربری زمین (فرآیند تعیین قابلیت یک قطعه زمین مشخص برای تخصیص یک کاربری معین) برای انباشت پسماند، یکی از زیربنایی‌ترین نیازها برای گسترش شهری است. ارزیابی زیست‌محیطی مکان دفن پسماند فرآیند پیچیده‌ای است که انجام آن با در نظر گرفتن همزمان چندین عامل یا معیار انجام می‌گیرد. در یک ارزیابی درست، معیارهای مختلف همچون معیارهای ژئومورفولوژی، آب‌شناسی، زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی بررسی و با ارائه نتایج به کارشناسان و مجریان برای کم‌کردن ناهنجاری‌ها تلاش می‌شود.

در سال ۱۹۴۷ میلادی، برای نخستین بار به شیوه علمی، فرایند مکان‌یابی بوسیله آکادمی نیروی هوایی ایالات متحده (United States Air Force Academy) برای پروژه‌های امنیتی در ایالات متحده آمریکا اجرا شد (United States Air Force Academy, 2014). در سال ۱۹۶۸، سامانه اطلاعات مکانی با مقاله‌ای با عنوان سامانه اطلاعات مکانی برای طرح-ریزی‌های منطقه‌ای (A Geographic Information System for Regional Planning) بوسیله Roger Tomlinson، به دنیا معرفی شد (ESRI, 2012). پس از دهه ۱۹۸۰ میلادی، با گسترش علوم رایانه‌ای،

متغیر است. کار مدفون سازی با خاک بوسیله لودر و بولدوزر، بدون در نظر گرفتن استانداردهای بایسته انجام می‌گیرد. لودرها کار پخش پسماندها و بولدوزرها کار متراکم نمودن پسماندها را دارند (Municipality of Zanjan, 2014). به سبب نامساعد بودن شرایط آب و هوایی، گاهی این کار به تاخیر می‌افتد. بوی نامطبوع و زنده پسماند، پراکندگی پسماندهای سبک مانند پلاستیک، کاغذ و نفوذ شیرابه به داخل زمین، بیشترین چالش دیده شده است. میانگین سرانه تولید پسماند در شهر زنجان ۷۷۰ گرم در روز است (Municipality of Zanjan, 2006). سرانه تولید پسماند در کشورهای کم درآمد ۴۰۰ تا ۹۰۰ گرم، کشورهای با درآمد متوسط ۵۰۰ تا ۱۱۰۰ گرم و کشورهای با درآمد بالا ۱۱۰۰ تا ۵۰۰۰ گرم، در تهران ۸۰۰ گرم و برای کل ایران متوسط ۶۶۰ گرم برآورد شده است (Municipality of Tehran, 2015). براساس آمارهای سرشماری سال ۱۳۹۰، جمعیت این شهر ۴۸۶،۴۹۵ هزار نفر بوده و از دیدگاه جمعیت نوزدهمین شهر کشور است. این شهر دارای رشد جمعیتی برابر ۱/۵ درصد بوده و پیش‌بینی می‌شود جمعیت این شهر در سال ۱۳۹۴ بیش از ۵۲۰،۰۰۰ هزار نفر شود (Statistical Center of Iran؛ Municipality of Zanjan, 2014). با نگرش به رشد جمعیت پیش‌بینی می‌شود برای سال ۱۳۹۴، میانگین تولید پسماند در شهر زنجان کم‌وبیش روزانه ۴۰۰ تن باشد. این میزان برابر تولید ۱۴۶،۰۰۰ تن پسماند در سال است، که ۱۶/۶ درصد بیشتر از میانگین تولید سالانه در ایران است.

اقلیم منطقه مورد مطالعه

شرایط اقلیمی یکی از نخستین ویژگی‌هایی هستند که باید در بررسی تناسب کاربری جایگاه دفن پسماند مورد بررسی قرار گیرد (Huaser, 2008). این عناصر می‌توانند پتانسیل جایگاه دفن برای تولید، گسترش یا پاک‌سازی آلودگی را تحت تأثیر خود قرار دهند (Shroff, 1999). بر پایه داده‌های هواشناسی Iran Meteorological Organization, Zanjan Administration (2014)، میانگین بارندگی و دمای سالیانه در ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک زنجان (شکل ۲) در طی دوره مشاهداتی ۴۴ ساله (۱۳۴۸ تا ۱۳۹۲)، ۲۹۵/۵ میلی‌متر و ۱۰/۷ درجه سانتی‌گراد است. در این دوره آماری، بیشترین بارندگی ماهانه در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و اسفند و کم‌ترین بارندگی ماهانه در تیرماه، مرداد و شهریور دیده می‌شود. بر این پایه، پس از فصل بهار، به ترتیب زمستان، پاییز و تابستان بارش کمتری را دریافت می‌نمایند. میانگین تعداد روزهای بارانی و برفی در زنجان به ترتیب ۷۷ و ۳۲ روز است (Haydari et al., 2012). در این پژوهش، با استفاده از روش ضریب خشکی دومارتن (De Martonne, 1926) و اقلیم‌نمای آمبرژه (Emberger, 1955) اقلیم منطقه بررسی شد. اقلیم منطقه بر اساس ضریب خشکی، در روش دومارتن نیمه خشک و بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه، ارتفاعات سرد نیمه‌خشک برآورد شد.

زمین‌شناسی و آب‌شناسی منطقه

مطالعات زمین‌شناسی و آب‌شناسی یکی از مهم‌ترین موضوعات در محل دفن پسماند است. جنس، سن، بافت و ساختار زمین‌شناسی منطقه دربرآورد میزان ذخیره، انتقال و خودپالایی جایگاه کارساز است. از سویی از این داده‌ها برای برآورد خطرات احتمالی نشت در اثر عملکرد گسل‌ها و فعالیت‌های لرزه-

منطقه الهاشمیه عراق چنین نتیجه‌گیری کردند که مناطق با تناسب کاربری مناسب می‌تواند بیش از پنج سال برای انباشت پسماند جوابگو باشد. در شهر زنجان با نگرش به بالا بودن نرخ رشد جمعیت و گسترش فیزیکی شهر، روزانه کم‌وبیش ۳۱۳ تن پسماند شهری با ترکیبات گوناگون وارد چرخه زیستی می‌شود (Municipality of Zanjan, 2014). این میزان، از میانگین سرانه ایران ۱۶/۶ درصد بیشتر است. جایگاه دفن پسماند در زنجان، مخزنی زیرسطحی و کم‌ژرفا است. در این مخزن هرگونه نشت در اثر فرآیندهای طبیعی (گسل‌ها و شکستگی‌ها، نشت بر اثر نفوذ آب باران یا ذوب برف) یا مصنوعی (فعالیت انسان‌ها) می‌تواند سبب زیان فراوان شود. برای نمونه می‌توان به آلودگی شیمیایی و میکروبی منابع آبی، کاهش رشد گیاهان در اثر ورود عناصر سمی به خاک، شور شدن خاک و اختلال در زیست موجودات خاکی - آبی اشاره کرد. فراگیر شدن بیماری‌های واگیردار، فرسایش خاک، بیابان‌زایی، کاهش درآمد کشاورزان در اثر کاهش باروری گیاهان و در پایان کوچ و بیکاری ساکنین مناطق آلوده شده، از پیامدهای جانبی فرآیند آلودگی هستند. این آسیب‌های محتمل می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیر اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی بر پیکره سامانه شهری وارد کنند. از این‌رو، ارزیابی جایگاه‌کنونی دفن پسماند از دیدگاه زمین‌شناسی، آب‌شناسی و زیست‌محیطی می‌تواند در برآورد یا کاهش خسارات احتمالی کاربرد فراوان داشته باشد.

منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

شهر زنجان مرکز استان زنجان است. این شهر، به دلیل جایگاه ویژه در منطقه و استان از رشد فزاینده‌ای برخوردار بوده و از بزرگ‌ترین شهرهای شمال‌باختر ایران است. این شهر با گستره‌ای بیش از ۸۱ کیلومترمربع در دره زنجان رود (از شاخه‌های قزل‌اوزن) در مسیر بزرگراه تهران به تبریز جای دارد (شکل ۱). جایگاه جغرافیایی شهر زنجان منطبق بر ۴۸ درجه و ۱۴ دقیقه و ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه طول خاوری از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه و ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی (زون ۳۹ شمالی در سیستم مختصات UTM، WGS 1984) است. بلندای میانگین این شهر زنجان از تراز دریا ۱۶۳۳ متر است (Amayesh Consulting Engineers, 2004).

جایگاه کنونی انباشت پسماند در زنجان، در ۱۳ کیلومتری جنوب‌باختری این شهر واقع در جاده اصلی زنجان-بیجار و جاده فرعی مسیر شرکت روی زنجان است. نزدیک‌ترین روستا به جایگاه، روستای مهترچای در دو کیلومتری جنوب‌باختری است. مختصات جغرافیایی مکان دفن منطبق بر ۴۸ درجه و ۱۹ دقیقه و ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول خاوری از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه و ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی است (شکل ۱). این منطقه گستره‌ای بیش از ۵۰ هکتار دارد و سرتاسر بوسیله یک دیوار توری به بلندای ۲/۵ متر محافظت می‌شود. پسماندها پس از جمع‌آوری، بوسیله ماشین‌های غیرمکانیزه حمل و در محل به روش خاک‌چال سطحی دفن می‌شوند. با نگرش به روش جمع‌آوری سنتی، پسماندهای تفکیک نشده و بیشتر در برگریخته پسماندهای خانگی و تجاری گاهی درآمیخته با پسماندهای پزشکی مراکز درمانی کوچک هستند. بازدیدهای میدانی نشان می‌دهند ترکیبات پسماندها از درجه غیرخطرناک تا خطرناک بیمارستانی

ای یا امکان پذیری و میزان هزینه در فعالیت‌های پیشگیرانه مانند احداث سدهای زیرزمینی بهره جست.

مدل هم‌پوشانی شاخص وزن دار دراستیک

چهارچوب مدل دراستیک برآورد آسیب‌پذیری یک آبخوان در برابر یک آلاینده است (Zaporozec, 2002). شیرابه ناشی از پسماندها توانایی بالایی برای آلودگی منابع آب زیرزمینی دارد. در پارهای پژوهش‌ها تا ۲۰۰ نوع ترکیب آلی مختلف در شیرابه‌ها دیده شده است (Slack et al., 2005; Choi and Lee, 2006). بسته به ترکیب و غلظت شیرابه، توانایی بیماری‌زایی شیرابه تا ۳۷ برابر فاضلاب خانگی گزارش شده است (Jabbari, 2015). حجم نهایی شیرابه تولید شده به شرایط مکانی و زمانی دفن پسماند، حجم و نوع پسماند، توانایی خود پالایی خاک، توپوگرافی و شرایط اقلیمی منطقه بستگی دارد. میزان شیرابه تولیدی در مناطق پرباران با تبخیر کم، بیشتر از مناطق کم‌باران با تبخیر زیاد است (Shroff, 1999). نرخ تولید شیرابه در مناطق کم‌باران کمتر از ۱۵۰ تا ۲۰۰ لیتر به ازای هر تن پسماند است. این مقدار در مناطق پرباران به نسبت افزایش بارندگی بیشتر می‌شود (Agamuthu, 2001). در بعضی گزارشات غیررسمی در ایران، در مناطق پربارانی همچون گیلان، میزان تولید شیرابه از پسماند تا ۵۰۰ لیتر به ازای هر تن گزارش شده است (Iran Economy Online, 2013). به صورت میانگین درصدحجمی رطوبت در پسماندهای شهری ایران ۶۰ درصد برآورد شده است (Yazdan Dad and Sadegh, 2000). به ازای تولید روزانه ۴۰۰ تن پسماند در زنجان و با نگرش به اقلیم (میانگین سالانه بارندگی و دما) و ماهیت پسماند پیش‌بینی می‌شود روزانه کم و بیش ۵۰ مترمکعب شیرابه وارد محیط شود.

آسیب‌پذیری آبخوان در جایگاه دفن وابسته به ماهیت پسماند و میزان تولید شیرابه، پارامترهای اقلیمی (میزان بارندگی و تغذیه سطحی)، پارامترهای زمین‌شناسی (جنس آبخوان در بخش اشباع و غیر اشباع)، پارامترهای مورفولوژیکی (شیب زمین) و پارامترهای هیدروژئولوژیکی (ژرفای سطح ایستایی و هدایت هیدرولیکی آبخوان) است. در سال ۱۹۸۵، برای تعیین آسیب‌پذیری آبخوان‌ها نسبت به آلاینده‌های سطحی، Aller et al. (1985) روش دراستیک را به سازمان محیط‌زیست ایالات متحده پیشنهاد دادند. پژوهش‌های بی‌شماری در زمینه کاربرد مدل دراستیک در برآورد آسیب‌پذیری آبخوان‌ها در جایگاه دفن پسماندها وجود دارد. از جمله پژوهش‌ها می‌توان به کارهای (Neshat et al., 2014), (Bafkan et al., 2013), (Shrazi et al., 2012), (Wen et al., 2011), (Saatsaz et al., 2008) و (Jamareh et al., 2007) اشاره کرد.

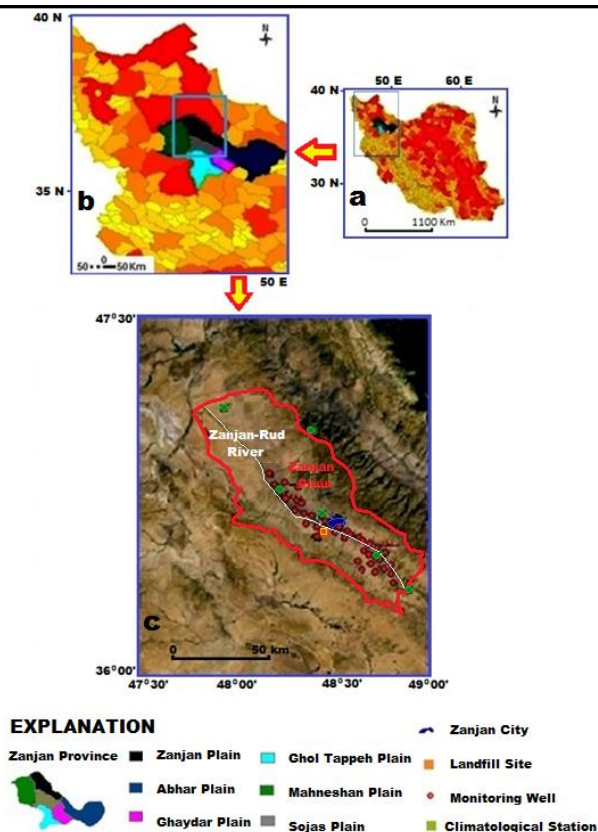
واژه دراستیک در زبان انگلیسی از پیوند هفت سرواژه از پارامترهای آب و هواشناسی، ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی به دست آمده است. در روش دراستیک، هر یک از پارامترهای یادشده دارای یک وزن ویژه خود است (جدول ۱). این وزن‌ها بر پایه اهمیت نسبی و مدل‌های تجربی به پارامترها داده شده‌اند. بنا به دید کارشناسی در پژوهش‌های مختلف، نوع پارامترها و وزن‌های داده شده می‌تواند تغییر کند. برای نمونه، تأثیر بخش غیراشباع در آبخوان‌های سطحی در جایی که سطح ایستایی نزدیک سطح زمین (کمتر از چند متر) است، می‌تواند نادیده گرفته شود یا با وزن کم به کار برده شود.

از دیدگاه زمین‌شناسی، منطقه مورد بررسی در پهنه البرز باختری (البرز-آذربایجان)، بر روی رسوبات کواترنری دشت زنجان جای دارد. از نظر ریخت-شناسی، منطقه دربرگیرنده دو بخش مرتفع کوهستانی؛ یکی در شمال خاوری (کوه‌های طارم) و دیگری در جنوب آن (کوه‌های سلطانیه) است. بین این دو پهنه ارتفاعی، دشت کشیده زنجان، گسترش دارد (Geological Survey of Iran, 2005). این ارتفاعات از نظر زمین‌شناسی در برگیرنده سازندهای پرکامبرین و دوران‌های اول و دوم بوده که در دوران سوم بالا آمده‌اند (Abdi, 2000).

منطقه مورد بررسی با نگرش به جای‌گیری روی کمربند شمالی لرزه‌خیزی ایران و نیز به سبب وجود گسله‌های زیاد مانند گسله سلطانیه، گسله شمال زنجان، گسله تهم، گسله ارمغان‌خانه - سهرین، گسله زنجان‌رود و گسله کردکندی و لرزه‌خیزی تاریخی (برای نمونه زلزله سال ۱۳۶۹ طارم) یکی از مناطق با خطر لرزه‌خیزی بالا بیان شده است (Road, Housing & Urban Development Research Center, 2005; Jafari, 2014). برجسته‌ترین گسله منطقه، گسله راندگی سلطانیه است. گسله سلطانیه یک گسله پی‌سنگی ژرف و کهن است که تکاپوی آن پس از پالئوژوئیک آغاز شده ولی اوج تکاپوی آن پس از ائوسن بوده است. افزون بر آن، یک سری گسله‌های طولی کوتاه‌تر هم‌راستا با گسله اصلی سلطانیه در جنوب‌باختر آن دیده می‌شود که آن‌ها نیز بیشتر سازوکار راندگی به‌سوی شمال‌خاور دارند (Geological Survey of Iran, 2005). مهم‌ترین گسله‌های عرضی منطقه با نام اختصاری F1 تا F6 به ترتیب در دهستان‌های ریحان، قارختلو، قزوات، آزادعلیا، محسن آباد و بیاتلار جای دارند (Ghorbani, 2004). به هر روی، مناطق دربردارنده گسله‌ها، برای جایگاه دفن نامناسب هستند زیرا این ساختارهای زمین‌شناسی سبب جایجایی آسان شیرابه و آلوده‌شدن آب‌های زیرزمینی می‌شوند. حریم گسل‌ها نسبت به جایگاه دفن کمینه ۲۰۰ متر است (Moeinaddini et al., 2010). بر پایه پژوهش‌های (Sobouti et al., 2013) نزدیک‌ترین گسله فرعی به جایگاه دفن در دو کیلومتری جنوب‌باختر آن است. از این رو می‌توان تأثیر کم این گسله را بر ساخت جایگاه دفن انتظار داشت.

روش کار

در این پژوهش برای برآورد آسیب‌پذیری آبخوان از روش دراستیک (Aller et al., 1985) برای برآورد نفوذ شیرابه از روش نفوذپذیری استوانه مضاعف و برای برآورد گسترش و ژرفای نفوذ شیرابه از پیمایش‌های ژئوالکتریکی بهره‌گیری شده است. گزینش این روش‌ها برپایه مقبولیت، سرعت و متناسب بودن اجرای این روش‌ها با داده‌های موجود و بهره‌گیری از داده‌های ژئوفیزیکی برای درک بهتر مسئله بوده است. در اجرای پژوهش، نبود دسترسی کامل به داده‌های منابع آب دشت زنجان از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو بود. از این میان می‌توان به دسترس نبودن لاگ‌چاه‌های حفاری شده، نبود داده‌های هیدروشمیایی نیترات و داده‌های آزمون پمپاژ و ضرایب هیدرودینامیک اشاره کرد. به هر حال در این پژوهش تلاش شده بین داده‌های موجود و پیچیدگی مدل‌ها یک پیوند منطقی ایجاد شود، تا دید مناسبی از مکان دفن بدست آید.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی جایگاه دفن پسماند شهری، (a) جایگاه استان زنجان در ایران، (b) گستره استان و دشت‌های آن در شمال‌باختر ایران و (c) موقعیت محل دفن پسماند، ایستگاه‌های هواشناسی و چاه‌های نمونه برداری کیفیت شیمیایی در گستره دشت.

Fig. 1. The geographical location of the landfill site, (a) The geographical location of the Zanzan Province in Iran, (b) Zanzan Province and its plains in NW Iran, and (c) The geographical location of the landfill, climatological stations, and monitoring wells.

جدول ۱- وزن پارامترهای مختلف در روش دراستیک (Aller et al., 1985).

Table 1. The weight of the DRASTC parameters (Aller et al., 1987).

Parameter	Weight
Depth to groundwater	5
Recharge	4
Aquifer media	1
Soil media	2
Topography	1
Impact of vadose zone	5
Hydraulic conductivity	3

Civita and De-Regibus,) ISIS مدل (Civita, 1994) SINTACS (1995) و مدل EPIK (Doerfliger et al., 1999) اشاره کرد. برای رتبه‌بندی، در این پژوهش تلاش شده‌است از بخش‌بندی ده‌گانه در کران بین بیشینه و کمینه یک معیار بکارگیری شود. برای نمونه عمق بین ۳۰ تا ۸۰ متر را به ده بخش برابر تقسیم و به هر یک، رتبه‌ای هم‌سنگ داده شده‌است. در روش دراستیک میزان نهایی آسیب‌پذیری یک منطقه نسبت به آلاینده‌ی یک نمایه عددی، نسبی و بدون بعد است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

(رابطه ۱)

$$(DrDw) + (RrRw) + (ArAw) + (SrSw) + (TrTw) + (IrIw) + (CrCw) = \text{نمایه دراستیک}$$

افزون بر وزن، هر یک از پارامترها دارای یک رتبه‌بندی هستند. برای نمونه پارامتر عمق تا سطح آب زیرزمینی به فراخور ژرفای سطح ایستایی می‌تواند رتبه‌های مختلف بخود گیرد. برای نمونه (Aller et al., 1987) برای ژرفای صفر تا ۱/۵ متر بالاترین رتبه آسیب‌پذیری، برابر رتبه ده و برای ژرفای بیشتر از ۳۰/۴ متر، کمترین رتبه، برابر رتبه یک را در نظر گرفته‌است. درجات دیگر (عماق بین ۱/۵ متر تا ۳۰/۴ متر) بین رتبه کمینه و بیشینه رده‌بندی شده‌اند. در مدل پیشنهاد شده برای تعیین رتبه آسیب‌پذیری یک آبخوان عمیق، با سطوح ایستایی بیش از ۳۰/۴ متر یک کاستی دیده می‌شود. در این حالت، تمام آبخوان رتبه یک را به خود می‌گیرد. از این‌رو پژوهشگران تلاش نموده‌اند، مدل‌هایی همانند دراستیک، با رتبه‌بندی‌های متفاوت یا با معیارهای مختلف پیشنهاد کنند. از این میان می‌توان به مدل GOD (Foster, 1987)، مدل

مطالعات پایه شرکت آب منطقه‌ای زنجان برداشت شده‌اند. پس از درون‌یابی، نقشه شطرنجی تهیه و در نهایت در ده کلاس رده بندی شد (شکل ۲c). برای تهیه نقشه شطرنجی بارندگی، از داده‌های ماهانه بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک و هواشناسی پیرامون شهر زنجان در یک دوره مشاهداتی ۴۴ ساله (۱۳۴۸ تا ۱۳۹۲) بکارگیری شد (جدول ۲). نخست میانگین بارندگی ماهانه در طول دوره آماری برای هر یک از ایستگاه‌ها برآورد شد. سپس ماهی که میانگین بارندگی در طول سال را به خود اختصاص می‌داد بعنوان ماه شاخص تعیین شد. در طول سال، میانگین ماهیانه بارندگی در این ایستگاه‌ها در ماه اردیبهشت است از این رو میانگین داده‌های بارندگی این ماه در ایستگاه‌های مختلف درون‌یابی و به ده رده بخش‌بندی شد (شکل ۲d). در این پژوهش با نگرش به اینکه ضریب قابلیت انتقال آبخوان همزمان دربرگیرنده ویژگی هدایت هیدرولیکی و ضخامت آبخوان است، بجای نقشه شطرنجی هم‌هدایت هیدرولیکی، نقشه شطرنجی هم قابلیت انتقال تهیه شده است (شکل ۲e). برای پردازش این نقشه، از داده‌های هم‌قابلیت انتقال دشت گزارش شده بوسیله شرکت آب منطقه‌ای زنجان استفاده شد (شرکت آب منطقه‌ای زنجان، ۱۳۹۲). این مقادیر با بهره‌گیری از داده‌های آزمون‌های پمپاژ و قانون دارسی و نقشه هم ضخامت آبرفت بدست آمده از پردازش داده‌های ژئوفیزیک زیر سطحی بدست آمده‌اند.

برای پردازش نقشه نهایی از بسته نرم‌افزاری **Spatial Analyst/Raster Calculator** استفاده شد. ابتدا رتبه هر سلول در وزن آن سلول ضرب و سپس حاصل ضرب رتبه در وزن برای تمام پارامترها با هم جمع شد:

(رابطه ۲)

$$= (DrDw + (RrRw) + (TrTw) + (CrCw) + (ECrECw)$$

در رابطه بالا حرف **D** بیانگر عمق آب زیرزمینی تا سطح زمین، **T** بیانگر پستی بلندی، **EC** بیانگر پارامتر کیفی هدایت الکتریکی، **C** بیانگر قابلیت انتقال آبخوان و **R** بیانگر تغذیه بارندگی است. حرف **r** بیانگر رتبه و حرف **w** بیانگر وزن پارامتر است.

نقشه شطرنجی پایانی، روی هم رفته ۴۹۴۳۲ سلول به اندازه ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر دارد. در این نقشه ۱۸/۵۳ درصد مساحت کل منطقه مدل دارای کمترین آسیب‌پذیری بوده و مناسب‌ترین منطقه برای دفن پسماند در آینده است. مناطق مناسب ۲۷/۷۲ درصد مساحت کل را دربر دارند. ۱۸/۸۳ درصد مساحت کل را مناطق کم و بیش مناسب و ۲۸/۷۲ درصد مساحت کل را مناطق آسیب‌پذیر تشکیل می‌دهند. مساحت مناطق بسیار آسیب‌پذیر برابر ۶/۲ درصد مساحت مدل است. در بهترین حالت، مقادیر نمایه آسیب‌پذیری برای ۵ معیار با وزن ۵، ۴، ۳ و ۱ باید برابر ۱۸ باشد. در بدترین حالت، این اندازه برابر ۱۸۰ خواهد بود. در نقشه آسیب‌پذیری نهایی، اگر کران موجود به ۵ دسته، از بسیار مناسب تا نامناسب تقسیم شود، مناطق با بالاترین و پایین‌ترین شمارگان نمایه آسیب‌پذیری به ترتیب نامناسب‌ترین و مطلوب‌ترین جایگاه‌ها برای دفن پسماند هستند. همانطور که در شکل ۲f دیده می‌شود، محل کنونی دفن پسماند با نمایه آسیب‌پذیری برابر ۱۰۸، جایگاهی میانه از نگاه آسیب‌پذیری به آبخوان دارد.

در رابطه بالا، حرف **D** بیانگر عمق آب زیرزمینی تا سطح زمین، **R** تغذیه، **A** جنس آبخوان، **S** جنس خاک، **T** پستی و بلندی، **I** تأثیر منطقه غیراشباع و **C** بیانگر هدایت هیدرولیکی آبخوان است. حرف **r** بیانگر رتبه و حرف **w** بیانگر وزن پارامتر است. در مدل پیشنهادی توسط **Aller et al. (1985)** مقادیر نمایه آسیب‌پذیری کمینه ۲۳ و بیشینه ۲۳۰ است. در دیگر مدل‌ها، با نگرش به نوع و تعداد پارامترها و شیوه رتبه‌بندی، این شمارگان متفاوت است. در مدل دراستیک، هر چه اندازه نمایه آسیب‌پذیری بالاتر باشد، آبخوان نسبت به نفوذ آلاینده آسیب‌پذیرتر است. بیشتر پژوهشگران کران موجود بین کمینه و بیشینه نمایه را به چهار یا پنج قسمت بخش می‌کنند که به ترتیب بیانگر آسیب‌پذیری کم، میانه، زیاد و خیلی زیاد است. مقادیر خیلی زیاد، بیانگر آسیب‌پذیرترین نقاط یک آبخوان برای گسترش آلودگی هستند.

در این پژوهش برای تعیین آسیب‌پذیری آبخوان، روی هم رفته از چهار معیار اصلی مدل دراستیک، نفوذ (بارندگی)، عمق تا سطح ایستابی، پستی و بلندی‌ها (شیب)، هدایت هیدرولیکی (بر مبنای ضریب قابلیت انتقال) و یک معیار کیفیت شیمیایی هدایت الکتریکی استفاده شد. بر پایه مدل پیشنهادی دراستیک (**Aller et al., 1985**) وزن پارامتر عمق تا سطح ایستابی و پارامتر کیفیت شیمیایی پنج، پارامتر تغذیه بارندگی چهار، هدایت هیدرولیکی سه و وزن پارامتر شیب برابر یک انتخاب شد. به علت نبود داده‌های کافی برای پوشش تمام دشت و برای افزایش درستی مدل دراستیک، چهارچوب مدل در مختصات بین ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه و ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه و ۳۸ درجه و ۵۵ دقیقه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ تعریف شد.

برای تهیه لایه عمق تا سطح ایستابی، از میانگین داده‌های سطح آب‌چاه مشاهده‌ای مربوط دوره زمانی مهر ۱۳۸۶ تا شهریور ۱۳۹۱ استفاده شد. نخست داده‌ها با محیط سامانه اطلاعات مکانی همخوان و سپس وارد نرم‌افزار **ArcMap** از سیستم نرم‌افزاری **ArcGIS** نسخه ۹/۲ (**ESRI, 2006**) شدند. برای تهیه نقشه هم‌عمق ایستابی در این نرم‌افزار، فرایند درون‌یابی با بهره‌گیری از بسته نرم‌افزاری **Spatial Analyst Interpolation Menu** انجام پذیرفت. با دسته‌بندی ده‌گانه نقشه هم‌عمق، نقشه طبقه‌بندی شده این معیار فراهم شد (شکل ۳a).

نقشه هم‌شیب با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی کشور تهیه شده‌است. برای تهیه نقشه هم‌شیب از نقشه رقومی ارتفاع، از بسته نرم‌افزاری **Spatial Analyst/ Surface Analysis** **Extension/ Slope command** در نرم‌افزار **ArcMap** استفاده شده‌است.

در پایان، نقشه شطرنجی (رستر) هم شیب در ده رده طبقه‌بندی شد (شکل ۲b). نقشه هم هدایت الکتریکی همانند نقشه هم عمق تا سطح ایستابی تهیه شده‌است، با این تفاوت که داده‌های هدایت الکتریکی آبخوان ارزش سلول شطرنجی نقشه را نشان می‌دهند. برای تهیه لایه کیفیت شیمیایی هدایت الکتریکی از داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی در ۳۵ چاه نمونه‌برداری در بازه زمانی ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ استفاده شد (شکل ۱c). این داده‌ها بوسیله دفتر

جدول ۲ - مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی و میزان بارندگی ماهیانه منطقه مورد مطالعه (اردیبهشت).

Table 2. The location of the climatological stations and their average monthly rainfall in April.

Station	Longitude	Latitude	Rainfall (mm)
Soltaniyeh	E 48° 47' 24"	N 36° 26' 15"	55.8
Khair Abad	E 48° 45' 43"	N 36° 31' 53"	53.9
Zanjan	E 48° 31' 18"	N 36° 39' 35"	55.8
Airport	E 48° 22' 16"	N 36° 46' 17"	52.9
Nikpay	E 48° 11' 09"	N 36° 50' 57"	50.5
FilekHase	E 48° 21' 11"	N 37° 04' 15"	48
Armaghan Khaneh	E 48° 22' 00"	N 36° 58' 00"	52.3

برآورد سرعت نفوذ شیرابه در محل دفن پسماند

با ظرفیت نهایی نفوذ کمتر از ۱/۲۵ میلی‌متر در ساعت تقسیم‌بندی می‌شوند (Alizadeh, 2001). با نگرش به اندازه میانگین ظرفیت نهایی که برابر با ۰/۰۳۳ میلی‌متر بر دقیقه (۱/۹۵ میلی‌متر در ساعت) است، خاک جایگاه دفن در گروه هیدرولوژیک C جای دارد. از این رو باید انتظار داشت که نفوذپذیری خاک نسبت به شیرابه پسماند کم بوده و از این دیدگاه آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلاینده‌ها کم باشد.

برداشت‌های ژئوالکتریکی در محل دفن پسماند

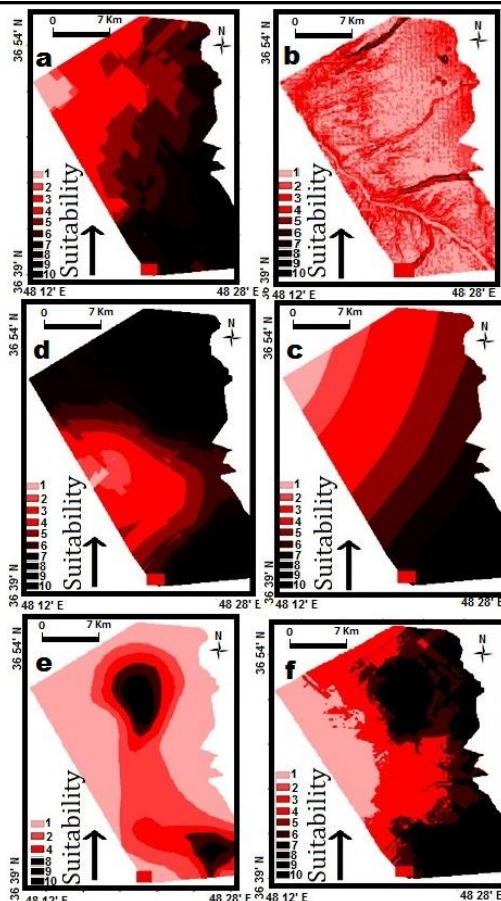
روش مقاومت‌سنجی یکی از روش‌های قدیمی ژئوفیزیکی برای شناسایی تغییرات مقاومت ویژه لایه‌های زمین است. هدف از مطالعه ژئوالکتریکی، برآورد پخش زیرسطحی مقاومت با اندازه‌گیری بر روی سطح است که از این اندازه‌گیری‌ها، اندازه مقاومت لایه‌های زیرسطحی برآورد می‌شود. بررسی مقاومت‌ویژه تصویری از چگونگی زیرسطحی ارائه می‌دهد. در واقع تغییرات مقاومت‌ویژه وابسته به پارامترهای زمین‌شناسی، آرایش دانه‌ها، محتوی آب، تخلخل، درجه اشباع شدگی آب در سنگ، املاح موجود در سنگ، درجه حرارت، ساخت و بافت سنگ‌ها دارد (Loke and Dahlin, 2002).

در جایگاه دفن پسماند، وجود شیرابه‌ها در گذر زمان باعث ایجاد مقاومت-ویژه پایین و شارژ پذیری بالا می‌شود. از اینرو، با آگاهی از این ویژگی می‌توان ژرفا، جهت و هم‌چنین گسترش آلودگی را برآورد کرد. از یک سو، از آنجا که رسوبات جایگاه دفن در آب‌رفت‌های عهدحاضر است که در مقاطع بدون لایه-بندی بوده و تغییر چندانی در بافت، آرایش و دانه‌بندی آن‌ها دیده نمی‌شد و از سویی از آن‌جا که برداشت‌ها در یک بازه زمانی مشخص با شرایط اقلیمی یکسان انجام گرفته می‌توان تغییر مقاومت ویژه رسوبات را کم و بیش به وجود شیرابه پیوند داد.

فرآیند ورود آب از سطح زمین به درون خاک در محیط متخلخل را نفوذ می‌گویند. نفوذپذیری، میزان سهولت و روانی نفوذ آب به درون خاک ۱۰۰٪ اشباع است (Poehls and Smith, 2009). نفوذپذیری به ویژگی‌های فیزیکی خاک (بافت، تخلخل، اندازه دانه‌ها، آرایش دانه‌ها، گردش‌دگی و جورشدگی) و درجه اشباع خاک بستگی دارد. در آغاز، سرعت نفوذ آب در خاک بعلاوه اشباع نبودن خاک زیاد بوده و با گذشت زمان کاهش می‌یابد تا به اندازه ثابتی برسد. زمانی که سرعت نفوذ ثابت می‌شود نفوذپذیری خاک برابر ظرفیت نفوذ خاک در حالت اشباع می‌شود (Hiscock, 2005). اندازه سرعت نفوذ هیچ‌گاه به صفر نخواهد رسید بلکه در زمان بی‌نهایت به اندازه ثابتی خواهد رسید.

روش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب در خاک وجود دارد که رایج‌ترین آن‌ها روش استوانه مضاعف (ASTM, 2003) است. در این پژوهش، با فرض یکسان بودن سرعت حرکت آلاینده و آب، این روش برای برآورد نفوذ شیرابه به درون خاک بکار گرفته شده است. این آزمون‌ها در جایگاه انباشت پسماند در سه نقطه با خاک دست‌نخورده انجام گرفت. آزمون‌ها تا ثابت ماندن اندازه نفوذ ادامه یافت. استوانه کوچک دارای قطر ۳۰ و استوانه بزرگ دارای قطر ۶۰ سانتی‌متر است. میانگین نفوذ نهایی در سه آزمون ۰/۰۳۳ میلی-متر در دقیقه برآورد شده است (جدول ۳).

بر پایه پیشنهاد سازمان حفاظت خاک آمریکا در حوضه‌های آبریز، خاک‌ها از دید ظرفیت نفوذ نهایی به ۴ دسته هیدرولوژیک گروه هیدرولوژیک A با ظرفیت نهایی نفوذ بیش از ۷/۵ میلی‌متر در ساعت، گروه هیدرولوژیک B با ظرفیت نهایی نفوذ بین ۳/۸ تا ۷/۵ میلی‌متر در ساعت، گروه هیدرولوژیک C با ظرفیت نهایی نفوذ بین ۱،۲۵ تا ۳،۸ میلی‌متر در ساعت و گروه هیدرولوژیک D



شکل ۲- نقشه‌های شطرنجی و رتبه‌بندی شده در برآورد میزان آسیب‌پذیری آبخوان به روش دراستیک مختصر شده، (a) نقشه عمق تا سطح ایستابی، (b) نقشه توپوگرافی، (c) نقشه هدایت الکتریکی، (d) نقشه نفوذ بارندگی، (e) نقشه قابلیت انتقال و (f) نقشه نهایی (محل کنونی دفع پسماند در چهارگوش قرمز رنگ است). منحنی‌های روشن نمایه کم و منحنی‌های تیره نمایه بالا آسیب‌پذیری (نامناسب بودن) را نشان می‌دهند.

Fig. 2. The final raster map showing the rate of the aquifer vulnerability based on the simplified DRASTIC method, (a) The depth to groundwater map, (b) The topography map, (c) The electrical conductivity map, (d) The rainfall map, (e) The transmissivity map, (f) The final suitability map (the landfill site location is shown by the red rectangle). Light curves show low degree of the suitability (high vulnerability and dark curves show a high degree of the suitability).

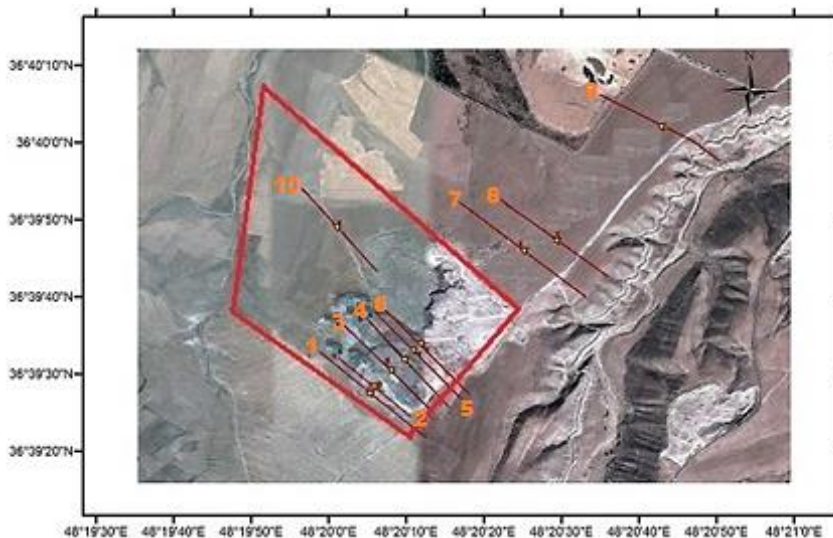
جدول ۳ - میانگین داده‌های آزمایش نفوذسنج استوانه مضاعف در جایگاه دفن پسماند.

Table 3. Averaged double ring permeability test results in the landfill site.

Time (min)	Cummulative Infiltration (mm)	Time interval (min)	Change in the depth (mm)	Cummulative Infiltration per area(mm ³ /mm ²)	Infiltration per area(mm ³ /mm ²)	Cumulative discharge(mm ³ /min)	Discharge rate(mm ³ /min)	Infiltration rate (mm/min)
0.5	0	0	-	-	-	-	-	-
1.33	1	0.83	1	706	706	531	851.2	1.2
2.33	3	1	2	2119	1413	909	935	1.2
5	4	1.17	1	2826	706	565	603	0.85
10	6	5	2	4239	1413	423	282.6	0.4
18.53	11	14.53	5	7777	2532	419	243	0.34
40	13	21.47	2	9184	1413	229	65.8	0.09
95	16	45.5	4	11304	2826	118	62.1	0.08
140	18	45	2	12017	1413	90	31.4	0.04
184	20	44	2	14030	1413	77	32.11	0.04
226	23	42	2	16249	1413	72	33.6	0.04
250	24	24	1	16956	706	67	29.4	0.039
265	28.5	15.5	1.5	20135	1059	75	68.3	0.039
280	29	15	0.5	20488	353	73	23.5	0.033

گرفته شده برای داده برداری SYSCAL Pro ساخت کشور فرانسه و شرکت IRIS Instrument در سال ۲۰۰۶ است (IRIS Instrument, 2014).

در گستره مطالعاتی تعداد ۱۰ مقطع عرضی با آرایه‌ی سونداژ الکتریکی قائم شلومبرژه برداشت شده است (شکل ۳ و جدول ۴). این مقاطع پس از بازدید از جایگاه دفن و با توجه به آرایش برداشت تعیین شدند. دستگاه بکار



شکل ۳ - عکس هوایی از پروفیل‌های ژئوالکتریکی در محل دفن پسماند زنجان (منبع اولیه عکس Google Earth). دایره کوچک زرد بیانگر مرکز نقاط برداشت، خطوط قرمز تیره بیانگر بازه برداشت و چهارگوش قرمز بیانگر محل دفن پسماند است.

Fig. 3. An Aerial photograph showing the position of geoelectrical profiles (Base map from Google Earth). The yellow circles show the center of the profile, the red lines show the profile length, and the red polygon shows the landfill site.

جدول ۴- مختصات جغرافیایی و ارتفاع نقاط در مرکز پروفیل‌های ژئوالکتریکی.

Table 4. The geographical coordination and elevation of the geoelectrical profile centers.

Profile number	Longitude	Latitude	Elevation(m)
1	48°20'04"	36°39'27"	1690
2	48°20'06"	36°39'28"	1689
3	48°20'07"	36°39'31"	1686
4	48°20'09"	36°39'32"	1681
5	48°20'11"	36°39'33"	1677
6	48°20'12"	36°39'34"	1676
7	48°20'48"	36°39'47"	1673
8	48°20'54"	36°39'27"	1670
9	48°21'24"	36°39'45"	1659
10	48°20'22"	36°39'59"	1663

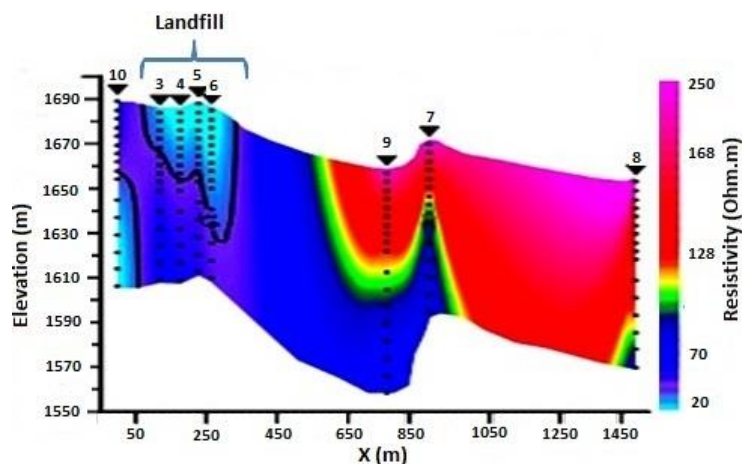
دفن پسماند قرار دارد، می‌توان گفت که پایین بودن اندازه مقاومت در ارتباط با وجود شیرابه است. در این برداشت مقاومت ویژه تا ژرفای ۲۲ متری بسیار پایین و کمتر از ۲۰ اهم‌متر است. چهار نقطه‌ی ۳، ۴، ۵ و ۶ در محل دفن پسماند برداشت شده است. این نقاط کم و بیش روند یکسانی نشان می‌دهند. در این برداشت‌ها جریان تا ژرفای ۸۶ متری نفوذ کرده است. نتایج وارون‌سازی در این نقاط نشان می‌دهد که به علت وجود شیرابه، مقدار مقاومت ویژه در لایه‌های مرطوب بالایی بسیار پایین بوده و در لایه‌های میانی اندازه مقاومت بسیار بیشتر شده که بیانگر خشک بودن لایه‌ها است. نقاط ۷، ۸ و ۹ بیرون از گستره‌ی دفن پسماند برداشت شده‌اند. در این نقاط در کل اندازه مقاومت بالا است. این پدیده نشان‌دهنده این است که شیرابه تا کنون وارد این منطقه نشده است. راه نیافتن شیرابه‌ها به این مکان بدین معنی نیست که شیرابه هرگز

در این پژوهش، برای پردازش داده‌های برداشت شده از نرم‌افزار Res1Dinv (Landviser, 2012) استفاده شده است. این نرم افزار با بهره‌گیری از داده‌های برداشت شده، یک مدل یک بعدی مقاومت ویژه را محاسبه می‌کند. در مدل‌سازی وارون یک بعدی انجام گرفته در نرم افزار Res1Dinv تعداد لایه‌ها، ضخامت و مقاومت ویژه الکتریکی آن‌ها نمایان می‌شود. گسترش طولی مقاطع از ۲۶۳ متر تا ۴۶۰ متر متغیر و در نتیجه عمق نفوذ جریان متغیر بوده است (شکل‌های ۳ تا ۵). در نخستین برداشت، جریان تا ژرفای تقریباً ۱۱۵ متری زمین نفوذ کرده و میزان مقاومت ویژه از سطح تا این عمق کاهش یافته است. عملیات وارون‌سازی برداشت دوم نشان می‌دهد که میزان ژرفای نفوذ کم و بیش برابر ۵۵ متر بوده و اندازه مقاومت در این نقطه از ۹/۴۷ تا ۵۱/۴۵ اهم‌متر تغییر می‌کند. از آنجایی که این نقطه بر روی مخزن

و ۶ است. در نقشه مقاومت ویژه الکتریکی محل دفن زباله با مقاومت ویژه الکتریکی کمتر از $35 \Omega.m$ شناخته شده است. در شکل ۵ این منطقه با منحنی بسته پر رنگی نشان داده شده است. این منطقه دارای شارژپذیری بالای $9/5 \text{ Mv/V}$ است (شکل ۵). این گستره دارای بیشترین شدت آلودگی است که تا عمق ۵۵ متری، این شدت بالا، به خوبی نمایان است. در ژرفای بیش از ۵۵ متر، این آلودگی در مقطع شارژپذیری به خوبی دیده می شود ولی تا عمق ۸۵ متری با شدت میانه و سپس کمتر دیده می شود.

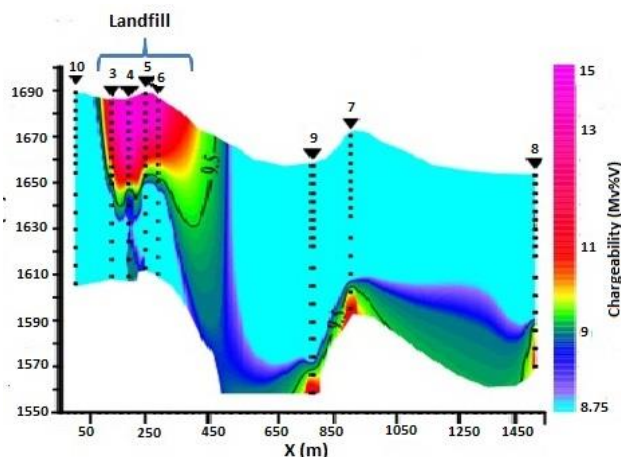
به این منطقه نفوذ نمی کند. به هر حال، چون شیب زمین از سمت مخزن به سمت خارج محدوده است، در طی چند سال آینده امکان نفوذ شیرابه به ترازهای پایین و برخورد به سطح آب زیرزمینی هست. مقطع شماره ۱۰ در زمین های دست نخورده شمال باختر مخزن برداشت شده که روندی همچون مقاطع برداشت ۷، ۸ و ۹ را نشان می دهد. برآوردها در این مقطع نشان می دهد که تاکنون شیرابه در راستای افقی حرکت جانبی قابل توجهی نداشته و در حال حاضر، مناطق آلوده بیشتر در منطقه ی زیر مخزن پسماند است.

مقاطع عرضی مقاومت ویژه الکتریکی و شارژپذیری (شکل های ۴ و ۵) نشان می دهد که جایگاه اصلی انباشت پسماند منطبق بر سونداژهای ۳ و ۴ و ۵



شکل ۴- مقطع عرضی مقاومت الکتریکی نقاط برداشت در محل دفن پسماند (محور افقی بیانگر طول مسیر برداشت، محور عمودی سمت راست مقاومت ویژه بر حسب اهم متر و محور عمودی سمت چپ ارتفاع نقاط برداشت بر حسب متر است).

Fig. 4. A cross-section showing the specific resistivity distribution at the landfill site. The horizontal axis shows the length of the survey, the vertical axis (right) shows the electrical resistivity values (ohm.m), and the vertical axis (left) shows the elevation of the profile centers.



شکل ۵- مقطع عرضی شارژپذیری نقاط برداشت در محل دفن پسماند (محور افقی بیانگر طول مسیر برداشت، محور عمودی سمت راست شارژپذیری بر حسب $\text{Mv}\%V$ و محور عمودی سمت چپ ارتفاع نقاط برداشت بر حسب متر است).

Fig 5. A cross-section showing the chargeability distribution at the landfill site. The horizontal axis shows the length of the survey, the vertical axis (right) shows the chargeability values ($\text{Mv}\%V$), and the vertical axis (left) shows the elevation of the profile center.

است. رسوبات از دیدگاه زمین آب شناسی، آبخوان آزاد در دشت زنجان دربر گیرنده گراول و ذرات سیلت و رس است. با اینکه رسوبات ناهمگن بوده ولی هیچگونه لایه بندی در آنها دیده نمی شود و نهشته های آبرفتی بدون تغییر آرایش در بافت و دانه بندی هستند. این ویژگی در جای جای محل دفن سبب- ساز یکسانی در میانگین نسبی خصوصیات فیزیکی نهشته ها مانند تخلخل،

یافته ها و بحث

در این پژوهش، برای ارزیابی تناسب کاربری زمین، جایگاه دفن پسماند شهر زنجان با بهره گیری از معیارهای گوناگون محیط زیستی، جغرافیایی، آب و هواشناسی، زمین شناسی و زمین شناسی آب مورد بررسی قرار گرفت. جایگاه دفن پسماند در باختر دشت زنجان در سازندهای ناهمگن آبرفتی دوران حاضر

همبستگی کامل هست. در این پژوهش، اندازه کمینه مقاومت ویژه هم سو با وجود پسماندهای مرطوب یا پسماندهای تازه دفن شده است. مقادیر بیشینه با رسوبات زمینه در برگیرنده پسماندها یا پسماندهای خشک و قدیمی هم سویی دارد.

پیمایش های ژئوالکتریک نشان می دهد که با نگرش به عمق ۵۵ متری برای تمرکز شیرابه و حداقل عمق ۸۶ متری برای سطح ایستایی، هنوز زبانه تمرکز آلودگی آسیب چندانی به آبخوان وارد نکرده است. تلفیق نتایج نفوذپذیری حلقه مضاعف و ژئوالکتریک نشان می دهد که در یک سرعت نفوذ برآورد شده برابر ۱/۹۵ میلی متر در در روزها با بارش برف و باران مؤثر (زمانی که رطوبت خاک از ظرفیت اشباع بیشتر است و فرایند نفوذ عمقی صورت می گیرد) زبانه آلودگی می تواند در چنین روزهایی کم و بیش پنج سانتی متر به سمت پائین و در ژرفا جابجا شود. به شرط ثابت بودن نوسانات سطح ایستایی و برابر بودن سرعت نفوذ شیرابه و آب و با نگرش به حداقل فاصله ۳۱ متری بین محل تمرکز آلودگی و سطح ایستایی و با در نظر گرفتن روزهای بارانی و برفی مؤثر برابر ۱۱۰ روز در سال (Haydari et al., 2012) حداقل تا سال ۱۴۰۴ برای رسیدن محل تمرکز آلودگی به سطح ایستایی زمان است. به هر روی، با توجه پدیده خودپالایی خاک، اقلیم خشک شهر زنجان و پائین آمدن تراز آب زیرزمینی نباید انتظار داشت که تا پنج سال آینده شیرابه ها برای آبخوان دشت خطر جدی ایجاد نماید.

جهت گسترش جانبی آلودگی به سمت شمال شرق (شهر زنجان) است. شکل گسترش عمقی آلاینده ها سهمی شکل بوده و پهنای آن از سطح زمین به عمق کاهش می یابد. از آنجا که شیرابه ها هنوز در محیط غیراشباع هستند و سرعت جابجایی جانبی بسیار کمی دارند تهدید چندانی برای شهر بشمار نمی آیند. از سویی، از آنجا که روستای مهرچای، نزدیک ترین محل مسکونی به جایگاه دفن پسماند، در فاصله دو کیلومتری جنوب باختری جایگاه است می توان گفت که مسیر حرکت جانبی شیرابه ها در سوی مخالف روستا بوده و از این رو آسیب زیست محیطی کمتری به منابع آب و خاک روستا وارد می شود.

نتیجه گیری

در جایگاه دفن پسماند شهر زنجان، وجود ذرات ریز و درشت در نهشته های آبرفتی سبب ساز کاهش جوشدگی شده که سرانجام کاهش تخلخل و نفوذپذیری رسوبات جایگاه دفن را به همراه داشته است. آزمون های نفوذسنجی بوسیله نفوذسنج استوانه مضاعف بر کم بودن نفوذپذیری منطقه تأکید دارد. منطقه بر پایه داده های آب و هواشناسی و رده بندی های اقلیمی، اقلیم نیمه خشک دارد. تغذیه کم آبخوان همگام با برداشت زیاد، عمیق بودن سطح ایستایی را سبب ساز شده و آسیب پذیری آبخوان را کاهش داده است. بر پایه برداشت های ژئوالکتریک نمایان شد که بیشترین تمرکز شیرابه در سطح و همسو با جایگاه انباشت پسماندهای تازه است. شیرابه پسماندهای قدیمی از سطح تا ژرفای کم و بیش ۵۵ متری گسترش قائم و جانبی دارند. جابجایی جانبی شیرابه در جهت عکس جایگیری نزدیک ترین روستا است. با نگرش به کمینه ژرفای سطح ایستایی برابر ۸۶ متر و سرعت نفوذ برابر ۱/۹۵ میلی متر در روز و به شرط ثابت بودن تراز سطح ایستایی برآورد می شود حداقل تا سال ۱۴۰۴ زبانه شیرابه به آبخوان نرسد.

بر پایه نقشه آسیب پذیری آبخوان، گستره مناطق بسیار مناسب برای انباشت پسماند در آینده ۲۷/۷۲ درصد مساحت کل منطقه مورد بررسی است. مناطق مناسب، مناطق آسیب پذیر و مناطق بسیار آسیب پذیر به ترتیب ۱۸/۸۳ درصد، ۲۸/۷۲ درصد و ۶/۲ درصد مساحت کل را در بر می گیرند. بهترین

نسبت یوکی، نفوذپذیری و رسانایی ذاتی می شود. با در نظر گرفتن حریم ۲۰۰ متر برای فاصله گسله از جایگاه دفن و نگرش به اینکه نزدیک ترین گسله به جایگاه دفن پسماند در فاصله ۲ کیلومتری جنوب باختر جایگاه است می توان انتظار داشت که عملکرد این گسله در تغییر ساخت نهشته ها کم باشد. به هر روی، در این پژوهش و پژوهش های همانند (Dahlin, 1993; Nobes, 1996; Aaltonen, 1998)، نبود تغییرات ناگهانی در ویژگی های اندازه گیری شده محیط به نبود عوامل داخلی و خارجی ناهنجارکننده و نوفه ساز (شکستگی ها، حفرات انحلالی یا عملکرد عوامل انسان ساز مثل خطوط نیرو و...) و یکسانی در بافت و ساخت محیط پیوند داده شده است.

بر پایه نتایج آزمایشات نفوذپذیری، سرعت نهایی نفوذ اندازه کمی داشته و ویژگی یک محیط متخلخل با جوشدگی میانه را نشان می دهد که در این محیط، ذرات کوچک تر (سیلت و رس) در بین ذرات درشت تر گراولی و ماسه ای جای دارند. افزون بر این، وجود ذرات رس و سیلت بینابینی از یک سو باعث کاهش سرعت نفوذ شیرابه شده و از سوی دیگر، به سبب داشتن سطح تماس بالا و بار الکتریکی، سبب پالایش طبیعی مواد آلاینده می شود.

عمیق بودن نسبی جایگاه سطح ایستایی در دشت و تا حد زیاد در محل دفن پسماند (بیش از ۸۶ متری از سطح زمین)، سبب افزایش زمان حرکت آلاینده به سمت سطح ایستایی آبخوان و خودپالایی محیط می شود. معیار آسیب پذیر در محل دفن پسماند، شیب کم توپوگرافی است. هر چند در بیشتر دشت ها، شیب کم توپوگرافی هنجار است، ولی به هر حال، شیب کم توپوگرافی زمان کافی برای نشست شیرابه به درون زمین را فراهم می کند. با اینکه شیب از دیدگاه هیدرولوژیکی نامناسب است، از دیدگاه هیدرولوژیکی شیب کم سبب کاهش ورود رواناب های سطحی به رودخانه ها و کانال های مجاور محل دفن شده و خطر رخداد سیلاب را کاهش می دهد. این ویژگی نفوذ شیرابه به آبراهه های سطحی را کم کرده و می تواند خطر آلودگی منابع سطحی را کمینه کند.

یکپارچگی معیارهای شیب، کیفیت شیمیایی، بارندگی، قابلیت انتقال و عمق سطح ایستایی در مدل دراستیک مختصر شده، بیانگر میانه بودن آسیب پذیری آبخوان، در محل دفن پسماند است. در این مدل، بعضی معیارها مانند جنس آبخوان در محیط اشباع و غیراشباع وارد نشده است. در فصول گرم، از یک سو با نگرش به اقلیم خشک و کاهش ریزش های جوی در منطقه و از سوی دیگر با بالا رفتن عمق سطح ایستایی در نتیجه کاهش تغذیه و افزایش برداشت، می توان پیش بینی کرد که که آب های سطحی، توانایی کمتری برای رسیدن به سطح ایستایی دارند. در فصول خشک، آب موجود در پسماندهای کم عمق یا آب موجود در بخش آب و خاک (منطقه تهویه)، بر اثر نیروی مؤئینه بالا آمده و بعد از تبخیر، نمک خود را در لایه سطحی خاک بر جای می گذارد. افزایش شوری خاک، باعث کاهش نفوذپذیری می شود. در فصول تر، نفوذ بیشتر است چرا که از سویی جایگاه دفن پسماند در معرض بارندگی های پیوسته و پر شدت، یا تغذیه فراوان ناشی از ذوب برفها قرار گرفته و از سوی دیگر به سبب کاهش دما، فرایند تبخیر بروی رطوبت موجود در پسماندها تر تأثیر کمی دارد. برآوردهای همانند بوسیله Scott et al., (1999) گزارش شده است.

مطالعات ژئوالکتریک با آرایه ی سونداژ الکتریکی قائم شلومبرژه، بیانگر کارایی این روش برای برآورد تمرکز، عمق و گسترش آلودگی است. به هر حال، چنانچه داده های سطح آب و کیفیت آب چاه مشاهداتی یا لاگ چینه شناسی چاه های اکتشافی در دسترس بود، تفاسیر بیشتر و دقیق تر از داده های مطالعات ژئوالکتریک شدنی بود. نتایج این پژوهش همانند پژوهش های دیگر (Seitz et al., 1972; Whiteley and Jewell, 1992; Senos Matias et al., 1994) نشان می دهد که بین نفوذ شیرابه و کاهش مقاومت الکتریکی

- ۳- مناطق آسیب پذیر دشت، پیوسته مورد پایش باشد.
- ۴- با نگرش به مهاجرت شیرابه به سمت سطح ایستابی آبخوان، در هر ۳ سال یکبار نیاز است، جایگاه دفن پسماند با پیمایش های ژئوفیزیکی بررسی شود تا داده های دقیق از جایگاه سطح ایستابی و تمرکز، سرعت انتقال و گسترش شیرابه بدست آید.
- ۵- برای بدست آوردن دیدگاهی روشن تر در جایگاه دفن، دیگر پژوهش های ژئوفیزیکی همچون ژئوالکتریک با آرائه های دیگر یا پژوهش های لرزه ای و الکترومغناطیسی انجام گیرد.
- ۶- برای هم سنجی کارایی روش های دیگر در ارزیابی آسیب پذیری، انجام روش های مکان یابی به روش شبکه عصبی و سلسله مراتبی پیشنهاد می شود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان از مهندس بیوک شامی مدیر عامل سازمان بازیافت و مدیریت پسماند شهرداری زنجان برای همکاری در اجرای پژوهش تشکر می نماید.

بخش ها برای دفن پسماند در کرانه باختری و شمال باختری دشت و نامناسب ترین در شرق و بخش های مرکزی دشت (کرانه زنجان رود) جای دارند. در مدل بدست آمده کاهش ژرفای سطح ایستابی و افزایش شوری آب (بر پایه هدایت الکتریکی) از برجسته ترین دلایل افزایش آسیب پذیری هستند. جایگاه کنونی دشت، آسیب پذیری میانه دارد. با نگرش به گستره زیاد جایگاه برای انباشت پسماند در آینده و اجرایی نبودن جابجایی جایگاه دفن به دلیل ارزش بالای زمین در دیگر مناطق مطلوب و جایگیری این مناطق بوسیله کاربری های دیگر (کشاورزی و صنعتی)، همگام با پایش پیوسته در جایگاه، می توان از این جایگاه حداقل تا پیش از سال ۱۴۰۴ بهره جست.

در پایان، پیشنهادات زیر برای کارهای پژوهشی یا مدیریتی آینده ارائه می شود:

- ۱- پیشنهاد می شود پیش از پخش پسماندها، جایگاه دفن با لایه های نفوذناپذیر و متراکم رسی به ضخامت چند سانتی متر عایق شود.
- ۲- برای بررسی کمی و کیفی آب در جایگاه انباشت پسماند، چاه مشاهداتی حفر و بدون پمپاژ، پیوسته نمونه برداری و سنجش عمق در آن انجام گیرد.

منابع

- Aaltonen, J., 1998. The use of current resistivity methods in landfill investigations- A case study on glaciated terrans. TRITA-AMI report. Stockholm, Sweden. p. 37.
- Abdi, P., Hasanlo, M. R., 2003. Investigation of geological characteristics of quaternary alluvial alluvium in Zanjan province in order to find a preliminary location for the implementation of aquifer management projects. Retrieved from https://www.civilica.com/Paper-CWM03-CWM03_054.html.
- Agamuthu, P., 2001. Solid waste: principles and management: with Malaysian case studies. Ph.D. Thesis. Institute of Biological Sciences, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Alanbari, M. A., Al-Ansari, N., Jasim, H. K., 2014. GIS and Multicriteria Decision Analysis for Landfill Site Selection in Al-Hashimiyah Qadaa. Natural Science 6, 282-304.
- Alizadeh, A., 2001. Applied Hydrology Principles, Asatan Ghods Razavi Pub, Iran.
- Aller, L., 1985. DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. In Robert, S., Kerr (ed). Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R. J., Hackett, G., 1987. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. Environmental Protection Agency Report, NWWA/EPA Series EPA-600/2-87-035.
- Amayesh Consulting Engineers, 2004. A review on the development plan of Zanjan. First Volume: Statistics, Information and Preliminary Survey. Amayesh Consulting Engineers Reports, Tehran, Iran. (In Persian).
- ASTM, D., 2003. Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer. American Society for Testing and Materials 10.
- Choi, K.I., Lee. D. H., 2006. PCDD/DF in leachates from Korean MSW landfills. Chemosphere 63, 1353-1360.
- Civita, M., 1994. Le carte della vulnerabilita` degli acquiferi all'inquinamento. Teoria & practica (Aquifer vulnerability maps to pollution). Pitarora Ed., Bologna, Italy. (In Italian).
- Civita, M., De-Regibus, C., 1995. Sperimentazione di alcune metodologie per la valutazione della vulnerabilita` degli acquiferi. Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora Ed, Bologna, Italy. (In Italian).
- Dahlin, T., 1993. On the Automation of 2D Resistivity Surveying for Engineering and Environmental Applications. Ph.D Thesis. Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University, p. 187.
- De Martonne, E., 1926. A new feature climate: The index of aridity. La Meteorologie, pp. 449-458.
- Doerfliger, N., Jeannin, P. Y., Zwahlen, F., 1999. Water vulnerability assessment in karst environments: A new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). Environmental Geology 39, 165-76.
- Emberger, L., 1955. Une classification biogéographique des climats. Recueil Trav. Lab. Annales Botanici Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae of Université de Montpellier 7, 3-43.
- ESRI, 2006. ARCGIS v.9.2. User's Manual. Environmental Systems Research Institute Inc.
- ESRI, 2012. The 50th Anniversary of GIS. Retrieved From: <http://www.esri.com/news/arcnews/fall12articles/the-fiftieth-anniversary-of-gis.html>.

- Foster, S.D.D., 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: Duijvenbooden, W., Van Waegeningh, H.G (eds) TNO Committee on Hydrological Research, The Hague. Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, Proceedings and Information 38, 69–86.
- Geological survey of Iran (GSI), 2005. Zanjan Geological map. Scale at 1:100000, series Sheet No. 5663.
- Ghorbani, K., 2004. Structural study of Soltanieh pressure fault and its mechanism in Chorzeq-Binder area (southwest of Zanjan). M. ScThesis, Shahid Beheshti University, Iran. (In Persian).
- Haydari, M.H., Pour Mhammedi, M.R., Jamali, F., Lotfi, F., 2012. Evaluation Human Bioclimatic Zoning of Zanjan and its Role in Housing Design. Scientific Research Quarterly of New Attitudes in Human Geography 4(2), 83-101. (In Persian).
- Hiscock, K.M., 2005. Hydrogeology, principal and practice. Blackwell Publishing, UK. p. 405.
- Huaser, V.L., 2008. Evapotranspiration Covers for Landfills and Waste Sites. CRC Press, USA.
- Iran Economy Online, 2013. Reasons for leachate infestation in Gilan nature, especially in Astaneh Ashrafieh. Retrieved from <https://www.eghtesadonline.com>
- Iran Meteorological Organization, Zanjan Administration 2014. Annual climatological reports. Retrieved from www.zanjanmet.ir.
- IRIS Instruments, 2014. Automatic Resistivity meter for imaging. Retrieved from <http://www.iris-instruments.com/Product/Brochure/syscal.html/>.
- Jabbari, V., 2015. Transformation of waste into compost: maintaining health and the environment. Retrieved from pasmand.qazvin.ir.
- Jafari, G.H., 2014. Investigating the Role of Faults in the Morphology of the Northern Plains Zanjanrood. Geography and Environmental Planning, 64(4), 35-48. (In Persian).
- Jamrah, A., Al-Futaisi, A., Rajmohan, N., Al-Yaroubi, S., 2007. Assessment of groundwater vulnerability in the coastal region of Oman using DRASTIC index method in GIS environment. Environmental Monitor Assesment 147(1–3), 125–138, doi: 10.1007/s10661-007-0104-6.
- Landviser, L.C.C., 2012. 1D Vertical Electrical Sounding (VES) with LandMapper Procedure. Retrieved from <http://www.landviser.net/content/1d-vertical-electrical-sounding-ves-landmapper-procedure>.
- Loke, M. H., Dahlin, T., 2002. A comparison of the Gauss-Newton andquasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. Journal of Applied Geophysics 49, 149-162.
- Manoiu, V., Fontanine, I., Costache, R., Pravalie, R., Mitof, I., 2013. Using GIS Techniques for Assessing Waste Landfill Placement Suitability. Case Study: Prohova County, Romania. Geographia Technica 08, 47-56.
- Moeinaddini, M., Khorasani, N., Danehkar, A., Darvishsefat, A. A., Zienalyan, M., 2010. Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). Waste Management 30, 912–920.
- Municipality of Tehran, 2015. Municipal solid wastegeneration and management in Iran. Municipality of Tehran. (In Persian).
- Municipality of Zanjan, 2006. Municipal solid waste analysis in Zanjan. Research Office, Internal report. (In Persian).
- Municipality of Zanjan, 2014. Zanjan waste management. Administrative Office, Internal report. (In Persian).
- Neshat, A., Pradhan, B., Dadras, M., 2014. Groundwater vulnerability assessment using an improved DRASTIC method in GIS. Resources, Conservation and Recycling 86, 74-86.
- Nobes, D.C., 1996. Troubed Water: Environmental Applications of Electrical and Electromagnetic Methods. Groundwater 18, 46-55.
- Poehls, D. J., Smith. G. J., 2009. Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology. Elsevier's Science & Technology. CA, USA.
- Road, Housing & Urban Development Research Center, 2005. The Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings (Standard 2800 -Fourth Edition). Ministry of Housing and Urban Development, Islamic Republic of Iran. (In Persian).
- Saatsaz, M., Sulaiman, W.N.A., Eslamian, S., 2011. GIS DRASTIC model for groundwater vulnerability estimation of Astaneh-Kouchesfahan Plain, Northern Iran. International Journal of Water (IJW), Inderscience Publication Co. International Journal of Water (IJW), 6 (1/2).
- Scott, W.J., Sellmann. P.V., Hunter. J.A., 1990. Geophysics in the study of permafrost, in Geotechnical andEnvironmental Geophysics. Society of Exploration Geophysics, Tulsa, pp. 355–384.
- Seitz, H.R., Wallace, A.T., Williams, R.E., 1972. Investigation of a landfill in granite-loess terrain. Groundwater 10, 35-41.
- Senos Matias, M., Marques da Silva, M., Ferreira, P., Ramalho, E., 1994. A geophysical and hydrogeological study of aquifers contamination by a landfill. Journal of Applied Geophysics. 32 (2–3) pp: 155-162.
- Shirazi, S.M., Imran, H.M., Akib, Sh., 2012. GIS-based DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment. Journal of Risk Research 15, 8.
- Shroff, V.S., 1999. An investigation of leachate production from MSW landfills in semi-arid climates. University of Calgary, Alberta, Canada.
- Slack, J.R., Gronow, J.R., Voulvoulis, N., 2005. Household hazardous waste in municipal landfills: contaminants inleachate. Science of the Total Environment 337, 119–137.
- Sobouti, F., Ghods, A. R., Shabaniyan, E., 2013. A study on seismicity and seismic hazard for Zanjan state and Tarom

- region, Academic report to Zanjan Governor. Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Iran: Zanjan. (In Persian).
- Statistical Center of Iran, 2011. Report of the 2011 census of housing and population of Iran. Tehran: Iran Statistical Center (In Persian).
- United States Air Force Academy, 2014. The Air Force Academy Becomes a Reality. Retrieved from <http://www.nps.gov/nr/twhp/wwwlps/lessons/114airforce/114facts3.htm>.
- Wen, X., Wu, J., Si, J., 2008. A GIS-based DRASTIC model for assessing shallow groundwater vulnerability in the Zhangye Basin, northwestern China', *Environmental Geology* 57, 1435–1442, doi: 10.1007/s00254-008-1421-y.
- Whiteley, R.J., Jewell, C., 1992. Geophysical techniques in contaminated lands assessment? Do they deliver? *Exploration Geophysics* 23(4), 557 - 565.
- Yadav, S.K., 2013. GIS Based Approach for Site Selection in Waste Management. *International Journal of Environmental Engineering and Management* 4, 507-514.
- Yazdan Dad, H., Sadagh, Z., 2000. Investigation of leachate treatment methods in landfills in Mashhad. First National Congress on Waste Management, Gilan Province, Iran. (In Persian).
- Zaporozec, A., 2002. Groundwater contamination inventory- a methodological guide. UNESCO, IHP-VI, series on groundwater, No.2, Paris, France.