پایش تغییرات کیفی آب و خاک در مدفن زباله‌های شهری با استفاده از مطالعات ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی (مطالعه موردی: گندک دماوند)

عباس صفری[۱]، امید توسلی[۲*]، خلیل رضایی[۳] و سید حمید لاجوردی[۴]

۱. دانشجوی دکتری ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
۲. دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳. دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۴. استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۰ تاریخ **پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۲/۲۷

چکیده

مدیریت پسماند یکی از نیازهای اصلی هر جامعه بوده، که بسته به میزان تولید و ترکیب آن، دارای گزینه‌های مختلفی از جمله استفاده از دفن زباله است، که ویژگی‌های ساختگاه اولین و مهم‌ترین گام در انتخاب محل این مدفن زباله‌ها می‌باشد و مستلزم ارزیابی‌های متعدد و مستمر آن‌ها بویژه مطالعات پایش آلودگی آب و خاک است. در این مقاله، مطالعات ژئوالکتریکی و ژئوشیمی جهت این پایش‌ها در محدوده اراضی محل دپوی زباله در شهر دماوند مشتمل بر ۲۴ سونداژ ژئوالکتریکی قائم با آرایه شلومبرگر در قالب ۴ پروفیل در طی سه دوره زمانی انجام پذیرفت. همچنین تعداد ۳ نمونه آب و ۵ نمونه خاک و یک نمونه شیرابه نیز در طی دو دوره زمانی برداشت شده و برای آنالیز به آزمایشگاه ارسال شدند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند که خاک در محل تجمع و دفن زباله‌ها تا عمق دو متری آلوده شده و این آلودگی بسمت جنوب در حال گسترش می‌باشد، اما وجود یک لایه سیمانته شده مانع از نفوذ شیرابه به اعماق پایین‌ترگردیده و بدلیل سطح ایستابی نسبتاً عمیق، آب زیرزمینی نیز دچار آلودگی های فعلی و آتی نخواهد شد. همچنین زیاد بودن عمق سفره آب زیرزمینی، ضخامت ناحیه غیراشباع خاک، مدت زمان کوتاه دفن مواد، بارندگی کم و تبخیر تقریباً زیاد نیز باعث کاهش شیرابه تولیدی گردیده و pH آن در فصل خشک، قلیایی و در فصل مرطوب اسیدی شده است. در این محدوده در حال حاضر مقادیر EC، TDS و سایر ترکیبات یونی و فلزی، پایین‌تر از حد مجاز استانداردها بوده و هیچ‌گونه آسیب زیست‌محیطی به دنبال نخواهند داشت.

کلمات کلیدی: پایش کیفی، مدفن زباله، آلودگی محیط‌زیست، مطالعات ژئوفیزیکی، مطالعات ژئوشیمیایی.

مقدمه

این روزها نحوه مدیریت پسماندهای جامد و احداث مدفن زباله‌های نابجا و غیر استاندارد در بسیاری از نقاط ایران و جهان، به یک مسئله و معضل زیست‌محیطی تبدیل شده‌اند. مدیریت پسماند یکی از نیازهای اصلی هر جامعه بوده که بسته به میزان تولید و ترکیب آن، گزینه‌های مختلفی برای مدیریت آن وجود دارد (Rastikerdar, 2020). به صورتی که کشورهای مختلف به روش‌های گوناگون و با توجه به میزان توسعه، راهکارهای مختلفی را برای نحوه انباشت، دفن، نابودسازی و یا بازیافت زباله بکار گرفته‌اند. یکی از این روش‌ها دفن زباله‌ها در مدفن (لندفیل) می‌باشد، که با توجه به

* نویسنده مسئول Omid.Tavasoli@iau.ac.ir

DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.1.1014642

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

ویژگی‌های ساختگاه در انتخاب محل مدفن زباله‌ها، اولین و مهم‌ترین گام در مدیریت پسماندها و دفن زباله‌ها است و مستلزم ارزیابی‌های متعدد و مستمر می‌باشد (Jafari et al.,2017). این ارزیابی‌ها شامل مباحث اقتصادی، زمین‌شناسی، زیست‌محیطی، بهداشتی و اجتماعی می‌شوند. پایش محل مدفن زباله‌ها در طی زمان نیز از دیگر موارد علمی اما ضروری و مهمی است، که در بسیاری از کشورها در دستورکار قرار گرفته است. با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی، مورفولوژیکی و زمین‌شناسی هر منطقه، زباله‌ها به عنوان اصلی‌ترین عنصر تشکیل‌دهنده در مدفن زباله‌ها دارای عملکرد پیچیده‌ای می‌باشند. در نتیجه هرگونه فعالیت در این رابطه یک پیشرفت و توسعه محسوب می‌گردد (Rotich et al. 2006; Chiemchaisri et al. 2007).

آلودگی آب و خاک ناشی از نشت شیرابه در محل دفن زباله نیز به عنوان یکی از تهدیدهای جدی محیط‌زیست و از جمله منابع آب زیرزمینی تلقی می‌شود. یکی از مشکلات زیست‌محیطی دفن زباله‌ها، غلبه بر حجم بالای شیرابهٔ زباله‌هاست، که به طور همزمان یا پس از دفن در اثر رطوبت اولیهٔ زباله و نفوذ بارندگی در محل دفن به وجود می‌آید. ارزیابی میزان نفوذ شیرابه در مدفن‌ها با در نظر گرفتن فاکتورهایی همچون شرایط جوی، ویژگی‌های زمین‌شناسی و داده‌های مربوط به محل دفن زباله از جنبه‌های قابل توجه، جهت کنترل و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی آن می‌باشد. شناخت و پایش این مناطق برای ارزیابی و بررسی آلوده بودن یا نبودن، نحوه انتقال و همچنین جلوگیری از انتشار آلودگی احتمالی برای مهندسان و مدیران شهری امر بسیار مهمی به شمار می‌رود (Khoshravesh et al., 2020, Yazdani and Mansourian, 2019, Shakeri and Yousefi, 2018, Ouhadi et al., 2021).

آزمایش‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی از جمله آزمایش‌های غیرمستقیم و غیرمخرب صحرایی می‌باشند، که بوسیله آن‌ها می‌توان منطقه وسیعی را با هزینه نسبتاً پایینی مورد مطالعه قرار داد. پارامترهایی نظیر عمق سنگ بستر، ناپیوستگی در لایه‌ها، تغییر بافت خاک، سطح آب زیرزمینی، وجود یا عدم وجود شیرابه‌ها و پسآبها در لایه‌های خاک نیز از دیگر نتایج مطالعات ژئوفیزیکی می‌باشند (Islami et al., 2018 and 2020, Nakhai et al., 2012). تغییر ترکیب شیمیایی آب و خاک را می‌توان بوسیله آزمایش‌های مستقیم و غیر مستقیم اثبات، ردیابی و رفتار سنجی نمود. آزمایش‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی بر این اساس انتخاب همیشگی و پای ثابت اینگونه تحقیقات بوده مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Negi et al. 2018).

هدف از این پژوهش، بررسی میزان تغییرات لایه‌های زیرسطحی خاک ناشی از تغییر نفوذ و مکان احتمالی شیرابه، شناسایی مناطق آلوده خاک و آب زیرزمینی و جهت حرکت و انتشار شیرابه‌ها به مناطق اطراف، و در کل ارزیابی خطر آلودگی در محل مدفن زباله‌ها با مطالعه موردی مدفن زباله گندک شهر دماوند است.

معرفی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

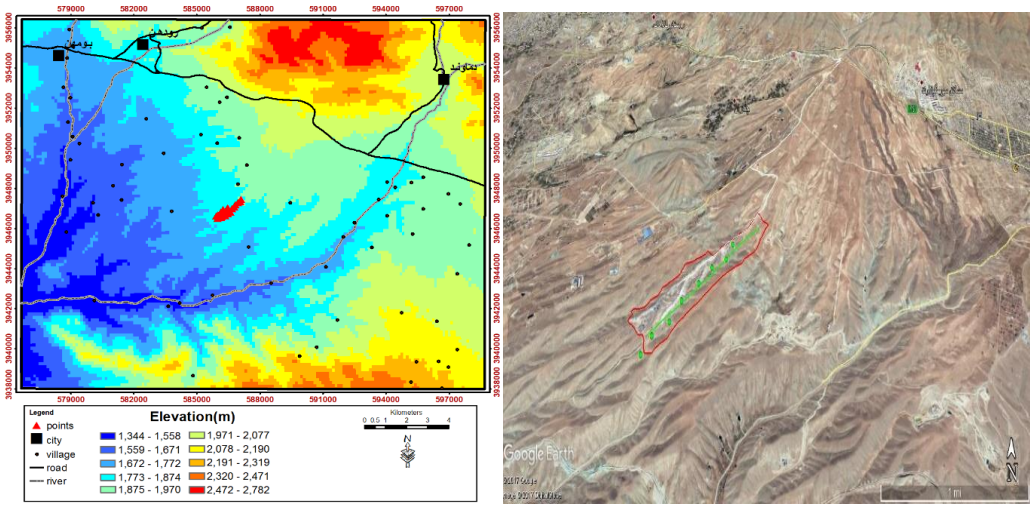
محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، اراضی محل دپوی زباله در شرق استان تهران واقع در جنوب غرب شهر دماوند و جنوب بزرگراه تهران-دماوند قرار گرفته است (شکل۱). محدوده دپوی زباله مساحتی در حدود ۱۱۰ هکتار را در برگرفته و از دیدگاه اقلیمی، دمای سالانه منطقه بین ۵ درجه زیر صفر تا ۴۰ درجه نوسان دارد. شرایط آب و هوایی منطقه تقریباً معتدل و نیمه مرطوب و دارای بارش‌های متوسط و نامنظم است. از منظر مورفولوژی نیز محدوده دارای توپوگرافی ناهموار و شیب‌دار بوده و ارتفاعات منطقه اغلب بصورت تپه‌های کم ارتفاع و کوتاه در جنوب کوه‌های بلند شمالی البرز مرکزی می‌باشد. این محدوده بر روی یکی از دره‌های کوچک متعدد شمالی جنوبی قرار داشته و اختلاف

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

ارتفاع نقطه بالادستی ابتدا و پایین دستی انتهای آن حدود ۸۰ تا ۹۰ متر می‌باشد (شکل۲). بطوری که این دره، سیل زا نبوده و نمی‌تواند جریان‌های آبراهه‌ای بزرگی تولید کند. با توجه به شکل ۳ می‌توان مشاهده نمود که بین نقاط محدوده دپو، اختلاف تراز ارتفاعی بین ۸۰ متر وجود دارد، که باعث انتقال سریع جریانات سطحی و سیالات به نقاط پایین دست خواهد شد. البته در لایه‌های سطحی زمین، نوع و کیفیت خاک و رسوبات نقش مهم‌تری در این زمینه داشته و می‌تواند باعث افزایش یا کاهش سرعت این انتقال گردد.

از دیدگاه زمین‌شناسی، بر اساس مشاهدات صحرائی و نیز اطلاعات حاصل از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ شرق تهران و گزارش‌های منتشر شده درباره زمین‌شناسی منطقه (شکل۴)، چند واحد زمین‌شناسی و چینه‌شناسی در منطقه رخنمون دارند: ۱- سازند کرج شامل توف، ماسه سنگ، شیل، آهک ائوسن، ۲- ولکانیک‌ها و آذرآواری‌های ائوسن، ۳- کنگلومرای پلیوسن، ۴- واحدهای تفکیک نشده کرتاسه، ۵- واحدهای کواترنر: آبرفت‌های قدیمی و جوان، تراس‌های آبرفتی، مخروط افکنه‌ها و دشت‌های کواترنر بصورت تفکیک نشده نیز در منطقه دیده می‌شوند. در بازدیدهای میدانی هم وجود رخنمون‌هایی از سه نوع سنگ کف توفی، کنگلومرایی(در بالادست) و مارن و ماسه‌سنگی (بویژه در پایین دست محدوده) رؤیت شد. از دیدگاه تکتونیکی منطقه بسیار فعال و لرزه‌خیز می‌باشد و احتمالاً از نظر آب زیرزمینی، می‌تواند شکستگی‌هایی را برای گذر آب زیرزمینی و یا سیالات ناشی از شیرابه و پساب زباله‌ها ایجاد کند. البته گسل و شکستگی تکتونیکی مشخصی با روند شمال غربی جنوب شرقی در شمال دره مورد مطالعه دیده می‌شود، که این امر دارای اهمیت بسزایی در طراحی، ساخت و مدیریت مدفن زباله‌ها می‌باشد.



شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه

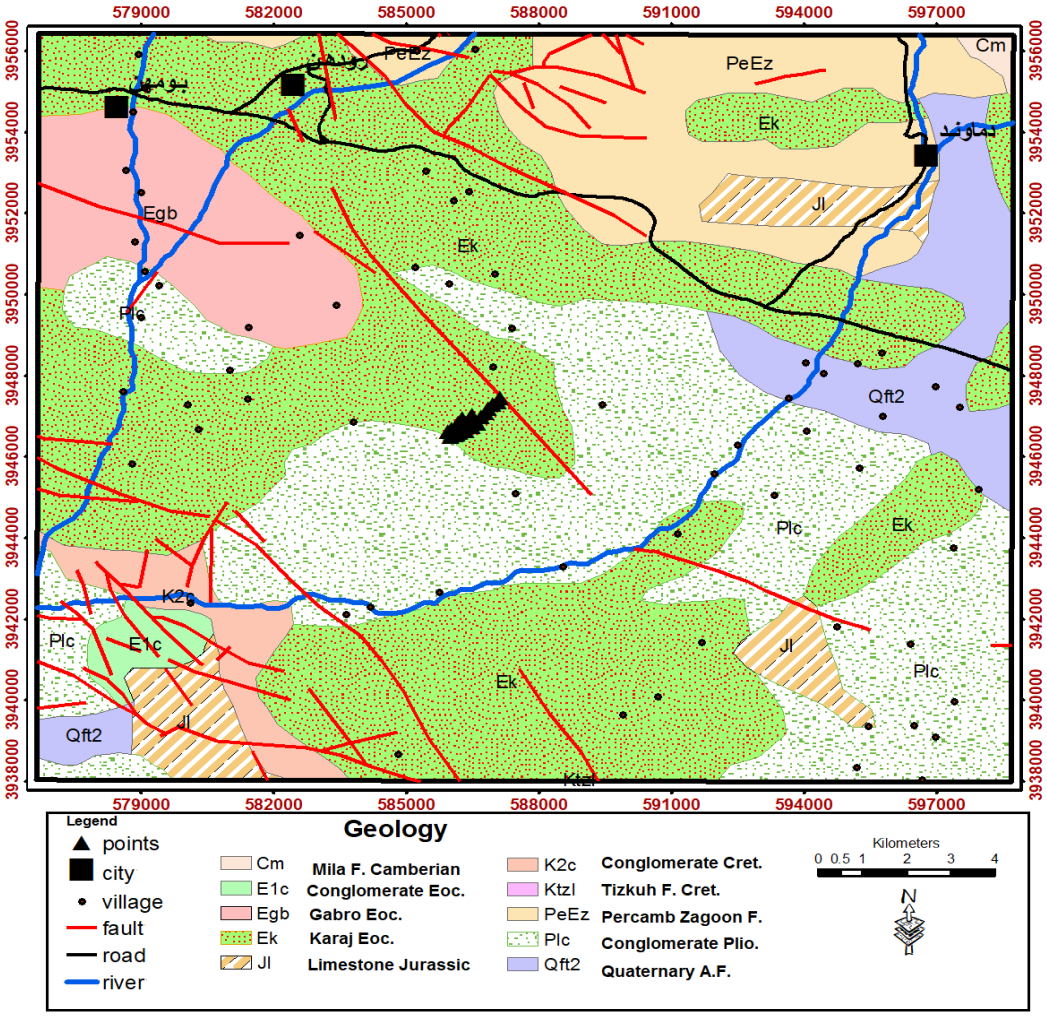
Fig.1. Satellite image and topography of the study area

با توجه به رخنمون‌ها، شیب توپوگرافی منطقه و تفسیر اولیه برخی برداشت‌های ژئوفیزیکی، نقاط برداشت مطالعات ژئوفیزیکی اغلب بر روی آبرفت‌های مخلوط و جور نشده درشت، ریز و متوسط دانه با ضخامت بین ۷۰ تا ۱۵۰ متر قرار دارند. عمق سنگ کف متنوع و متغیر منطقه در نقاط مختلف بین ۲۰ تا ۱۶۰ متر متغیر می‌باشد. همچنین سه نوع سنگ کف توفی-ولکانیکی، کنگلومرایی و مارن و ماسه‌سنگی با مقاومت الکتریکی زیاد تا نسبتاً کم در مطالعات ژئوفیزیک اکتشاف شده و جهت حرکت آب‌های زیرزمینی در بالادست تا حد زیادی منطبق با جریان‌ها و شیب سطحی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

و از شمال شرق به جنوب غرب در راستای دره است. البته نزدیکی به تراز ارتفاعی بالا، وضعیت ارتفاعات بالادست، کیفیت سنگ کف و کم بودن بارشها پتانسیل آب زیرزمینی در خود محدوده را تا حدود زیادی کاهش میدهد. عمق سطح ایستابی منطقه ۶۵ متر بوده و به سمت جنوب دشت ضخامت خاکهای با دانهبندی ریز و متوسط زیادتر میشوند (شکل ۱و۴). همچنین در کف درهها و در مسیر رودخانه، دارای آبرفتهای ضخیمتری از نظر حفظ و نگهداری یا انتقال آب زیرزمینی میباشد.



شکل ۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه زمینشناسی

Fig.2. Location of the study area on the geological map

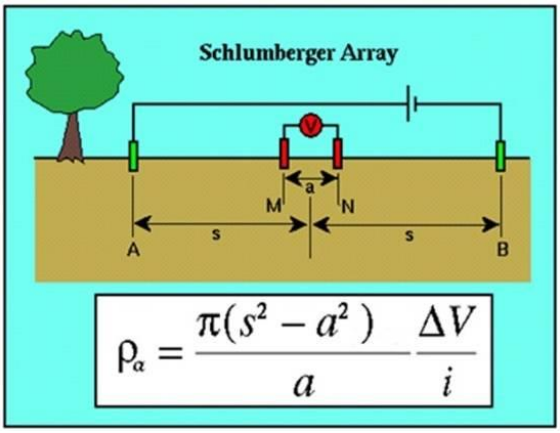
روش انجام مطالعات

مطالعات ژئوالکتریکی

یکی از روشهای مرسوم در مطالعات ژئوالکتریکی، روش سونداژ الکتریکی قائم میباشد، که در آن با افزایش طول الکترودهای جریان اعماق بیشتری مورد مطالعه قرار میگیرد. آرایشهای الکترودی گوناگونی در این روش مورد استفاده قرار گرفته، از رایجترین آنها میتوان به آرایهٔ شلومبرژه اشاره نمود (شکل۳)، که ویژگی بارز آن طول خیلی کمتر الکترودهای اندازهگیر MN نسبت به طول الکترودهای جریان AB میباشد (Tsourlos, et al., 1990; Kelly and Stanislaw, 1993; Ayers, 1990). بدین منظور در این مطالعه ۱۰۰ سونداژ شلومبرژه در سال ۱۳۹۸، ۳۲

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

سونداژ در سال ۱۳۹۹ و ۲۴ سونداژ در سال ۱۴۰۰ با طول خط جریان ۱۰۰۰ متر و عمق کاوش حدود ۲۵۰ متر برداشت شده‌اند، که برای این تحقیق فقط ۲۴ سونداژ مشترک در هر سه سال مورد استفاده قرار گرفته است. اهداف مشخص در این مطالعه شامل تفکیک لایه‌ها با توجه به مقاومت الکتریکی آن‌ها، تعیین دانه‌بندی خاک‌ها و رسوبات زیرسطحی و زون‌های دارای نفوذپذیری بالا، تعیین ضخامت آبرفت، سنگ خرد شده و واریزه‌ها در گستره مورد مطالعه و تعیین سطح آب زیرزمینی احتمالی، تعیین شیب لایه‌ها و شکل ساختمانی آن‌ها در صورت امکان، تعیین موقعیت گسل‌های احتمالی و زون خرد شده آن‌ها و تعیین آبگذرهای احتمالی ما بین توده‌های سنگی، یافتن و معرفی نقاطی با پتانسیل بالای وجود، نگهداری و یا انتقال آب‌های زیرزمینی می‌باشند.



شکل ۳. نحوه اندازه‌گیری مقاومت ویژه ظاهری زمین در آرایه شلومبرژه (Ayers,1990)

Fig.3. the measurement of the apparent specific resistance of the earth in the Schlumberger array (Ayers, 1990)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]



شکل۴. تصاویری از ژئومورفولوژی و برداشت سونداژ در منطقه
Fig.4. Pictures of geomorphology and sampling results in the area

مطالعات ژئوشیمیایی

هدف از این بخش از مطالعه، بررسی روند توسعه آلودگی فلزات سنگین در آب و خاک‌های اطراف سایت دفن زباله گندک دماوند می‌باشد. بدین منظور تعداد ۱۵ نمونه خاک سطحی از محل دفن زباله و برخی نمونه‌های داخل گمانه‌ها (۳۰ نمونه) جمع آوری شده و در نهایت به دلایل اقتصادی تنها ۵ نمونه خاک، ۱ نمونه شیرابه و ۳ نمونه آب سطحی در طی دو دوره زمانی مطابق با استانداردهای سازمان محیط‌زیست، از آن‌ها انتخاب شدند سپس نمونه‌های خاک پس از آماده‌سازی جهت اندازه‌گیری ۳۵ عنصر توسط دستگاهICP-OES، آنالیز شدند و از بین عناصر آنالیز شده، موارد مهم جدا شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نمونه شیرابه از گودال در محل دفن، برداشت شده و در شرایط بدون اکسیژن به آزمایشگاه منتقل گردیده و در دمای چهار درجه سلسیوس نگهداری شد. در آزمایشگاه پارامترهایی نظیر اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، اکسیژن خواهی شیمیایی، کل جامدات محلول، کل جامدات معلق، نیتروژن نیتراتی، نیتروژن آمونیاکی، فسفات، کلراید و pH به همراه غلظت فلزاتی نظیر کادمیوم، کبالت، کروم، مس، آهن، جیوه، منگنز، نیکل، نیکل، سرب و روی در شیرابه اندازه‌گیری گردیده‌اند. تمامی آزمایش‌ها بر اساس کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام شد (APHA,1992). مطالعات صحرایی مرحله دوم در بهمن ماه سال۱۴۰۰ به منظور برداشت نمونه‌های آب، شیرابه و خاک انجام گرفت. نمونه‌برداری و مطالعه ژئوشیمیایی عناصر خاک ابزاری به صرفه ،کاربردی و مناسب برای تولید نقشه‌های ژئوشیمیایی از محیط‌های سطحی زمین و نیز ارائه راه کارهای

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

پـیش گیرنده در حل آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌باشند. برای تحلیل داده‌ها از ضریب غنی‌شدگی استفاده شده است. در این مطالعات دو عنصر سرب و کادمیم به عنوان بهنجارکننده بطور جداگانه انتخاب و مقادیر بر اساس آن‌ها محاسبه شدند. اما بدیهی است تعداد بسیار کم نمونه‌ها امکان صحت سنجی کاملی را نداده است. اگر چه بررسی نتایج فلزات سنگین انتخابی نشان می‌دهد که ضریب تغییرات غلظت پایین است و آلودگی مشاهده نمی‌شود.

بحث و تفسیر داده‌ها و نتایج

مطالعات ژئوالکتریکی منطقه

همانگونه که در نقشه موقعیت سونداژها (شکل۵) و جدول (۱) دیده می‌شود، مطالعات ژئوالکتریکی مرحله سوم شامل ۲۴ سونداژ در قالب ۴ پروفیل انجام شده، که تقریباً تمامی آن‌ها در جهت شمال شرقی جنوب غربی در مسافتی حدود ۱۰۰۰ متر صورت پذیرفته است. همان‌طور که قبلاً ذکر شده بود، تعداد ۲۴ سونداژ در نزدیکی محل برداشت سونداژهای سال ۱۳۹۹ و ۷ سونداژ در محل سونداژهای سال ۱۳۹۸ واقع شده‌اند، تا قابلیت مقایسه بین وضعیت زیرسطحی محل سونداژ در طی سه سال از دیدگاه ویژگی‌های خاک‌شناسی و هیدروژئولوژیکی وجود داشته باشد.

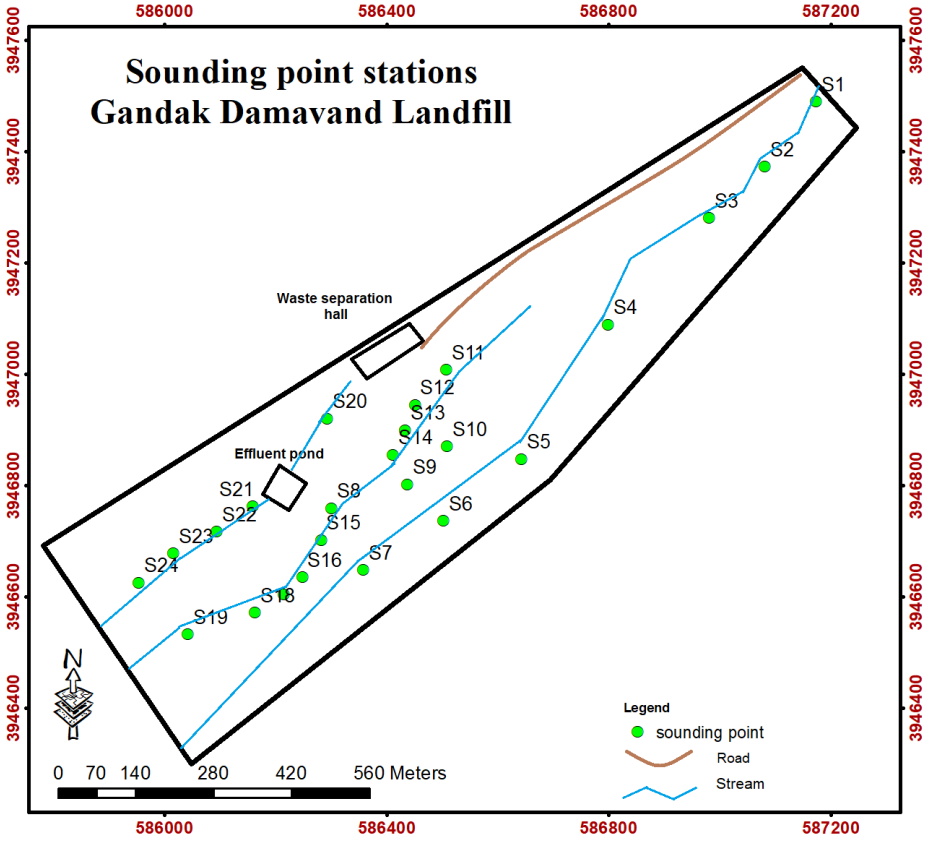
جدول ۱: مشخصات پروفیل‌ها و سونداژهای هر پروفیل

Table 1: The properties of profiles and boreholes of each profile

شماره پروفیل	تعداد سونداژ	جهت جغرافیایی	نام سونداژها
P1	۷	NE-SW	S1,S2,S3,S4,S5,S6,S7
P2	۸	NE-SW	S10,S9,S8,S15,S16,S17,S18,S19
P3	۱۰	NE-SW	S11,S12,S13,S14,S9,S8,S15,S16,S17,S18
P4	۵	NE-SW	S20,S21,S22,S23,S24

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]



شکل۵. نقشه موقعیت جغرافیایی سونداژهای ۴ پروفیل

Fig.5. Map of the geographical location of boreholes in the four profiles

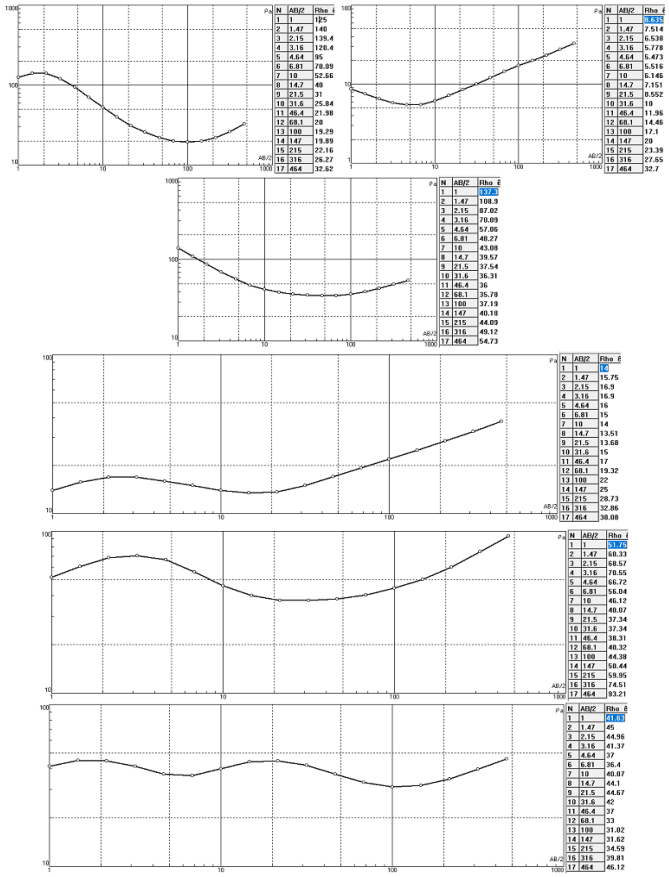
در این منطقه، منحنی‌های سونداژ تقریباً دارای دو نوع تیپ و روال مشابه هستند، که تفاوت کم آن‌ها در چگونگی تغییرات مقاومت الکتریکی در اعماق کم و میانی و همچنین شیب پائین رفتن اوایل یا بالا رفتن انتهای منحنی‌ها می‌باشد. تیپ‌ها اغلب از نوع نزولی-صعودی بوده و تیپ ترکیبی با یک لایه نازک پر مقاومت میانی هم دیده می‌شود. لازم به ذکر است در محدوده برداشت سونداژها، گسل یا گسستگی‌های الکتریکی مهم لیتولوژیکی وجود ندارد. همچنین عمق رسیدن به سنگ کف متفاوت بوده و در برخی نقاط یک لایه سیمانی شده آبرفتی نزدیک سطح وجود دارد و سنگ کف کنگلومرایی یا توفی با مقاومت الکتریکی نسبتاً بالاتر در همه سونداژها مشترک می‌باشد. در منطقه پایین دست نیز لایه میانی زمین به دلیل سیمانی شدن مقاومت الکتریکی بالاتری دارد. عمق آب زیرزمینی بالا و حدود ۶۵ متر پیش‌بینی می‌شود و در برخی نقاط در عمق‌های تا ۳ متر از سطح زمین افت مقاومت کمی وجود دارد، که ممکن است ناشی از تجمع و نفوذ شیرابه و پساب باشد(شکل ۶).

شبه مقطع ژئوالکتریکی

شبه مقاطع ژئوالکتریکی پروفیل‌ها پس از ملایم‌سازی منحنی‌های سونداژ صحرایی مربوط به هر پروفیل از ترسیم خطوط کنتور مربوط به مقادیر الکتریکی ظاهری نسبت به تمام (AB/2)های اندازه‌گیری شده بدست می‌آید که توزیع مقاومت الکتریکی ظاهری را در طول پروفیل بر اساس عمق و طول الکترودهای جریان (AB) نشان می‌دهد. شبه مقاطع ژئوالکتریکی قبل از تفسیر منحنی‌ها، و فقط با در نظر گرفتن اعداد صحرایی ملایم‌شده ترسیم می‌شوند و مقاومت‌های ظاهری هر عمق تحت تأثیر مقاومت و ضخامت لایه‌های اطراف به‌ویژه لایه‌های سطحی قرار دارد، اما

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

می‌توان مقدار نسبی مقاومت ظاهری را در سوندژها و پروفیل‌های مختلف با همدیگر مقایسه کرد. تغییرات مقاومت الکتریکی ظاهری در طول پروفیل اول تا چهارم مطالعه شده در این منطقه و نسبت به عمق تقریبی در شکل(۷) آورده شده است.



شکل۶. شش نمونه از منحنی‌های سونداژ در ۴ پروفیل

Fig.6. Six samples of boreholes curves in four profiles

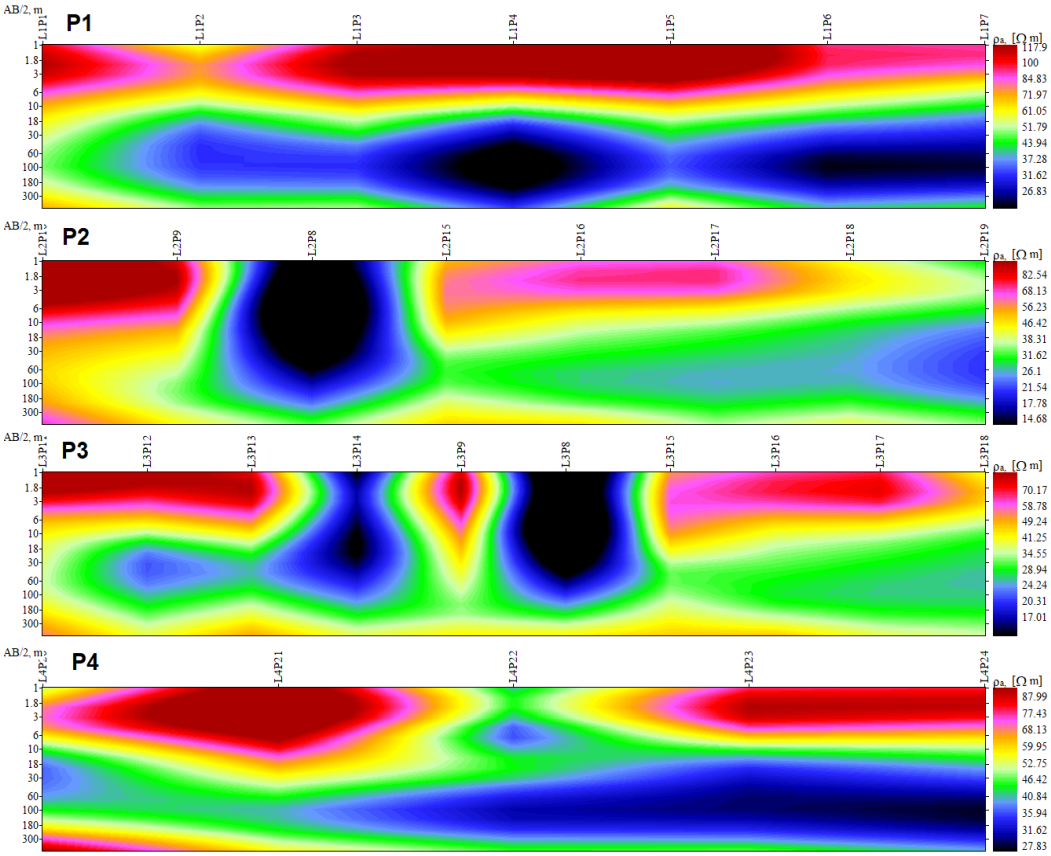
۴ پروفیل در امتداد هم و در راستای شمال شرقی جنوب غربی واقع هستند. خطوط برداشت به دلیل عوارض سطحی در سه دره مجزا اما در نزدیکی دپوی زباله‌ها برداشت شده‌اند تا بتوان مسیر حرکت احتمالی سیالات شیرابه زیرسطحی را با دقت بیشتری ردیابی نمود. با توجه به شکل ۷ در پروفیل اول در نهشته‌های سطحی در محدوده اغلب سوندژها مقاومت الکتریکی بالا را با ضخامت‌های متغیر مشاهده می‌کنیم (خاک درشت دانه و متراکم و سیمانی شده) که البته حداکثر عمق آن برابر۳ متر است. پس از آن در عمق ۳۰ تا ۱۰۰ متر در کل خط برداشت به جز سونداژ اول، به رسوبات ریز دانه خشک و سپس کمی مرطوب می‌رسیم. در دو نقطه در وسط و انتهای خط برداشت یک زون بسیار کم مقاومت وجود دارد که ممکن است این افت شدید مقاومت ناشی از وجود آب زیرزمینی لب‌شور باشد. در عمق زیاد خط برداشت سنگ کف مجدداً مقاومت الکتریکی کمی بالاتری یافته و عمق برخورد به آن نیز متفاوت است. در خط برداشت دوم، شرایط تفاوت زیادی داشته و در محل سونداژ هشتم، یک زون با مقاومت الکتریکی خیلی کم در نزدیک سطح دیده می‌شود که قطعاً با نفوذ شیرابه‌های سطحی در ارتباط است. این زون در برداشت‌های بعدی نیز باید مد نظر گیرد. در پروفیل سوم نیز دو ناپیوستگی مقاومت الکتریکی دیده می‌شود که دو محدوده خیلی کم مقاومت در محل سوندژهای ۱۴ و ۸ را از هم جدا کرده است. در این پروفیل سنگ کف مقاومت بالاتری داشته و احتمالاً کنگلومرا، مارن

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

و ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی را دارد. معمولاً یون سولفات، کلرید و مواد آلی می‌توانند افت شدیدی در مقاومت الکتریکی ایجاد کنند. این اتفاق در محل سوندژهای ۸ و۱۴ افتاده است.

در خط برداشت چهارم، به غیر از نقطه ۲۲، یک زون پر مقاومت در سطح زمین دیده می‌شود. در نقطه ۲۲ این خط نیز می‌توان احتمالاً شواهد نفوذ شیرابه آلوده را مشاهده نمود. در عمق میانی محدوده یک زون کم مقاومت تقسیم می‌شود که ناشی از تنوع رسوبات آبرفتی احتمالاً آبدار می‌باشد. در این چهار خط برداشت عمق سنگ کف خشک تغییرمی کند. جنس سنگ کف ابتدا و انتهای چهار پروفیل اغلب یکسان به نظر نمی‌رسد و احتمالاً دو نوع سنگ کف دیده می‌شود.



شکل۷. شبه مقطع ژئوالکتریکی در پروفیل اول تا چهارم

Fig.7. Geoelectric quasi-section in the first to fourth profiles

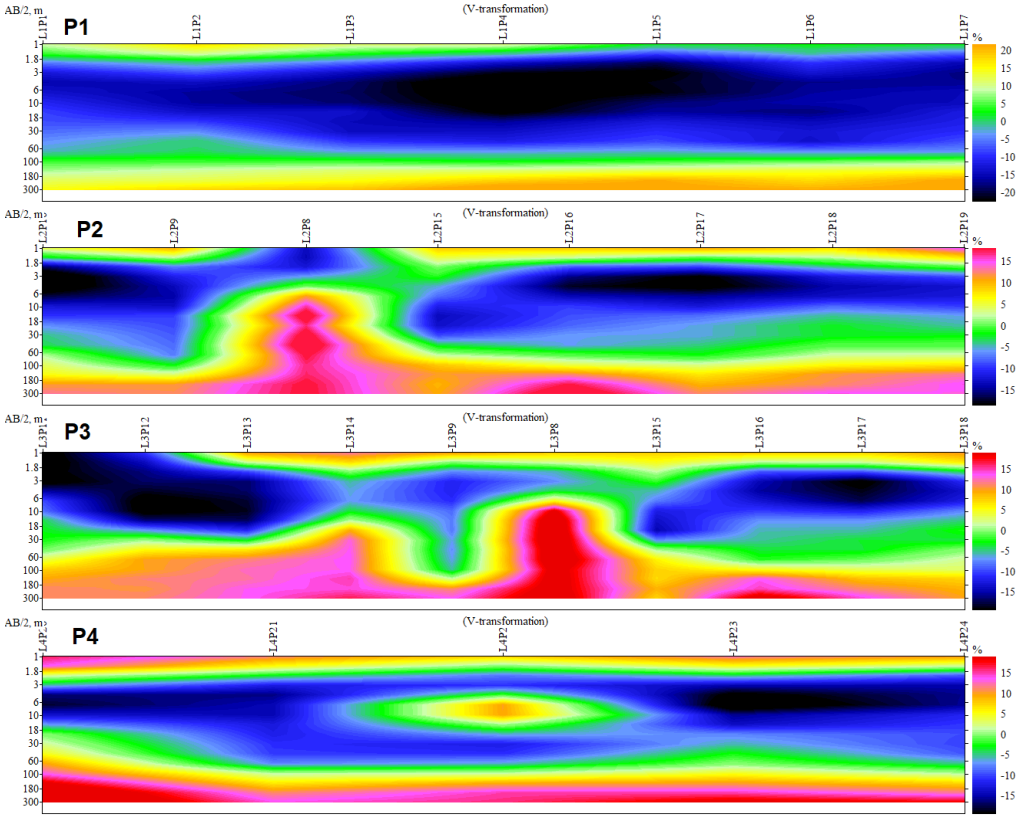
گرادیان عمقی مقاومت الکتریکی(Vertical transformation of apparent resistivity)

گرادیان تغییرات عمقی مقاومت الکتریکی بیانگر نسبت تغییرات مقدار مقاومت الکتریکی به عمق (AB/2) است که روند تغییرات و میزان و علامت آن را که در واقع دیفرانسیل تابع مقاومت الکتریکی ظاهری نسبت به عمق است، نشان می‌دهد. چنین نموداری با تفکیک لایه‌های افقی زمین در تصمیم نهائی برای مکان‌یابی نقاط مورد نظر با توجه به هدف پروژه حائز اهمیت می‌باشد. میزان تغییرات مقاومت الکتریکی نسبت به عمق در شکل۸ شرح داده شده است.

در چهار خط برداشت اول تا چهارم در منطقه تقریباً سه زون با گرادیان بالا، متوسط و پائین تقریباً نامنظم لایه‌ای تا لنزی دیده می‌شود. سه زون دارای گرادیان بسیار بالا در میانه خط دوم و ابتدای خط ۴ نمود مشخصی دارند که

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

می‌توانند برای هدف نفوذ شیرابه‌های زباله مدنظر قرار گیرند. در پروفیل اول در محل سونداژ ۴تا۶ نسبت تغییرات چشمگیراست. اما بطور کلی یک لایه با گرادیان متوسط و با ضخامت کم در بین لایه‌ای با گرادیان پایین در اعماق کم تا زیاد قرار دارد. عمق برخورد به لایه زیرین متفاوت بوده و توپوگرافی همواری در سنگ کف دیده نمی‌شود(شکل۸). در خط دوم دو زون دارای گرادیان بالا بصورت لنزی خیلی مشهود هستند. همچنین ضخامت زون دارای گرادیان پایین نسبت به خط اول کمتر شده و به سطح زمین محدود شده است. خط سوم تا حدودی شبیه پروفیل اول بوده و سه زون لایه‌ای نا منظم را نشان می‌دهد. در خط چهارم برداشت در نقطه اول یک لنز دارای گرادیان بالا به چشم می‌خورد که احتمالاً با نشت شیرابه‌ها ارتباط داشته باشد.



شکل۸. گرادیان عمودی مقاومت الکتریکی در پروفیل اول تا چهارم

Fig.8.Vertical gradient of electrical resistance in the first to fourth profiles

مقاطع ژئوالکتریکی

پس از ملایم سازی منحنی‌های صحرائی و پردازش این منحنی‌ها با در نظر گرفتن اصول تئوری برگردان 1-D (One dimensional inversion) توزیع مقاومت الکتریکی نسبت به عمق بدست می‌آید که بر اساس آن می‌توان مقطعی را تهیه نمود که محور عمودی آن عمق و محور افقی محل استقرار نقاط سونداژ است. مقاطع ژئوالکتریکی با استفاده از برگردان جمعی پروفیل و با لحاظ نمودن حداکثر ۵٪ خطا تهیه شده که در آن لایه‌های مختلفی قابل تشخیص می‌باشد. اساس این کار در واقع مینیمم سازی تابع خطا (Error function minimization) می‌باشد. با در نظر گرفتن اطلاعات جانبی از این مقطع پایه می‌توان مقطع زمین‌شناسی تهیه نمود. همان‌گونه که

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

مشاهده می‌گردد با توجه به اعداد مقاومت الکتریکی ویژه در اغلب سونداژهای منطقه، مقاومت الکتریکی لایه میانی کمتر از لایه سطحی و عمیق می‌باشد که چنین حالتی کمک بسزائی در تجزیه و تحلیل زمین‌شناسی خواهد نمود.

در این مطالعه اطلاعات سطح وجود سطح ایستابی احتمالی حدود ۴۰ تا ۷۰ متر و رگه‌های منقطع مرطوب احتمالی تا عمق حداکثر حدود۱۶۰متر در خطوط برداشت لحاظ گردیده است. دامنه اعداد پروفیل ثابت نبوده و روند تغییرات نسبت به عمق نیز یکنواخت و یکسان نیست. موقعیت زمینی ارتفاعات و بررسی مقاطع بدست آمده نشان می‌دهد که لایه آبدار ضخیمی در همه منطقه وجود ندارد و رگه‌های مرطوب دارای مقیاس وسیعی از تغییرات مقاومت الکتریکی و همچنین عمق و گسترش جغرافیائی متغیر است. لایه دارای مقاومت متوسط تقریباً در اغلب سونداژها دیده می‌شود که بین ۳۰ تا ۱۴۰ متر ضخامت دارد. در شکل ۹ مقاطع ژئوالکتریکی خام بدست آمده از پردازش داده‌های ژئوالکتریکی نشان داده شده است که افزایش نسبی مقاومت الکتریکی در محل برخی سونداژها در لایه عمیق و کاهش نسبی مقاومت در لایه عمق متوسط تفکیک شده و تفاوت در مقاومت سنگ کف حائز اهمیت می‌باشد. کاهش شدید نسبی مقاومت الکتریکی مخصوصاً در سطح محل برخی سونداژها در پروفیل بی ارتباط با تغییر رطوبت و وجود مواد آلاینده پساب‌ها نباشد. اما از طرف دیگر در همه نقاط پروفیل‌ها سنگ کف بالا آمده و می‌تواند بصورت یک سد عمل نموده و آب جاری زیرسطحی را به دام اندازد که گاهی در پروفیل‌ها ضخامت زیادی دارد (عمق سنگ کف بین ۹۰تا۱۵۰متر متغیر است).

تکرار لایه‌ها با حالتی بعضاً شیب‌دار در زیر خاک سطحی از موارد مشهود در پروفیل‌های ۱تا۴ است. لایه با مقاومت خیلی کم در سونداژهای ۴، ۶، ۷، ۸ و ۱۴ با ضخامتی زیادتر نمود دارد و می‌تواند از نظر دارا بودن لایه سیال و پساب آبدار احتمالی قابل بررسی باشد. معمولاً رسوبات درشت دانه و تقریباً ضخیم پتانسیل حرکت سیال بالایی داشته و می‌توانند برای بهره‌برداری یا حفظ و انتقال سیالات و آب‌های زیرسطحی مدنظر قرار گیرند(Mepaiyeda et al., 2019). اما در منطقه مورد مطالعه سیمان شدگی بالایی نشان می‌دهند که در حفاری‌های ۴ گمانه دستی و یک گمانه ژئوتکنیکی ۴۰ متری در مطالعات قبلی نیز این استحکام و چسبندگی به‌خوبی مشهود است. در خط سوم به‌خوبی افزایش مقاومت الکتریکی در مقایسه با سایر پروفیل‌ها دیده می‌شود. تنها در نزدیک سطح در دو نقطه۸ و۱۴ به دلیل نشت احتمالی شیرابه‌ها مقاومت خیلی پایین است. در خط برداشت چهارم کاهش شدید مقاومت الکتریکی دیده نمی‌شود (شکل۹). در تطابق توپوگرافی منطقه و محل استقرار سونداژها و پروفیل‌ها می‌توان دید که مقاومت در نزدیک سطح کف دره‌ها افت بیشتری نشان می‌دهد و روی بلندی‌ها کمتر افت مقاومت داریم. این امر هم ناشی از سیمان شدگی ذرات رسوب و هم شیب هیدرولیک سیالات سطحی است(Koda et al., 2017).

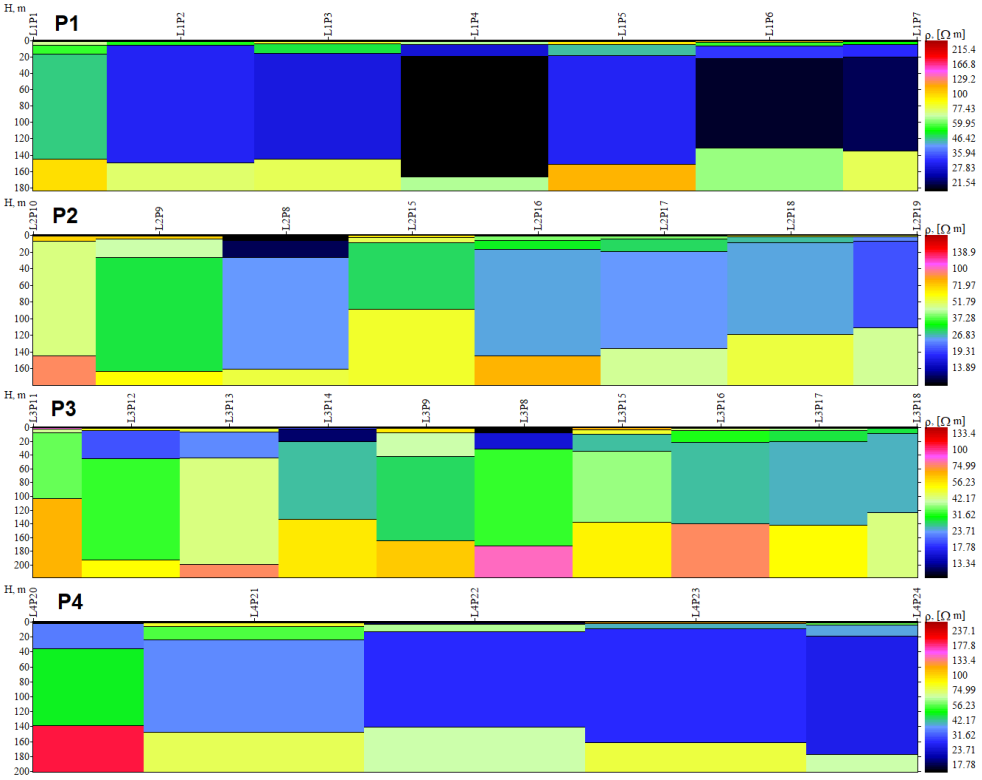
مقطع زمین‌شناسی

معمولاً مقطع زمین‌شناسی پس از تفسیر ژئوالکتریکی منحنی‌های سونداژ پروفیل و با در نظرگرفتن وضعیت زمین‌شناسی منطقه، اعداد مقاومت تفسیر شده، روند تغییرات مقاومت الکتریکی در طول عمق، تغییرات توپوگرافی در طول پروفیل، شیب سطح ایستابی، لحاظ کردن عوامل تکتونیکی، اطلاعات صحرایی شامل اطلاعات لاگ چاه‌های موجود، سطح آب در چاه‌های حفرشده، کیفیت و دبی آب در چاه‌های موجود، نقشه‌های زمین‌شناسی و پیزومترهای موجود در سطح دشت‌ها و همچنین مطالعات صحرائی در منطقه بدست می‌آید. در این منطقه لایه سطحی متشکل از خاک سطحی و آبرفت‌های درشت تا ریز دانه و خشک منطقه با پوشش گیاهی کم بوده که نسبت به لایه‌های زیرین

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

دارای مقاومت الکتریکی تقریباً بالاتری در پروفیل‌ها می‌باشد. اختلاط رسوبات جور نشده درشت، متوسط و ریز به‌خوبی مشهود است که به دلیل سنگ کف کنگلومرایی و ولکانیک و توفی در بالا دست و مارنی پایین دست ارتفاعات امری بدیهی بنظر می‌رسد.



شکل۹. مقطع ژئوالکتریکی در پروفیل‌های اول تا چهارم

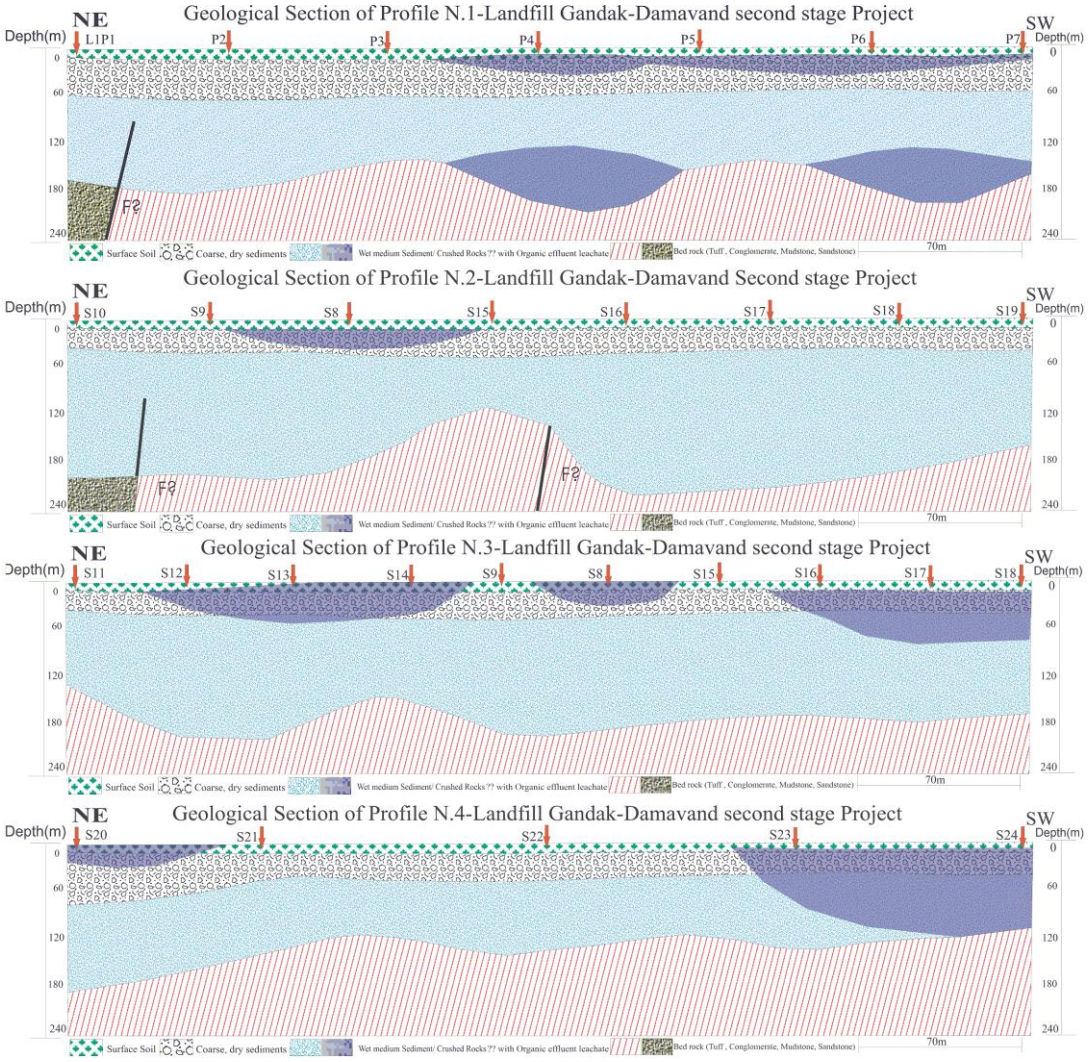
Fig.9. Geoelectrical section in the first to fourth profiles

در پروفیل‌ها پس از رسوبات کم عمق خشک و متراکم و بهم چسبیده به رسوبات متوسط دانه خشک و سپس رسوبات متوسط دانه مرطوب و سپس به سنگ کف متراکم و خردشده کمی سخت برخورد می‌شود. برای پروفیل اول تا چهارم محدوده مورد مطالعه نیز مقطع تا عمق ۲۴۰متر تهیه گردیده شده است(شکل۱۰) که در آن‌ها تغییرات لایه‌بندی نشان داده شده است. با توجه به آن‌ها می‌توان استنباط نمود که در این محدوده سه گسل احتمالی وجود دارد. در ابتدای پروفیل اول، در ابتدا و وسط خط برداشت دوم احتمال وجود گسل در اعماق زیاد وجود دارد. همچنین در یازده سونداژ در خطوط برداشت شواهد افت مقاومت ناشی از نفوذ احتمالی شیرابه دیده می‌شود. در خط اول سوندازهای ۴تا ۷، سونداژ ۸ در خط دوم، سوندازهای ۱۲و۱۳،۱۴۱۶،۱۷،۱۸ در خط سوم، سوندازهای ۲۰،۲۳ و ۲۴ در خط برداشت چهارم در اعماق خیلی کم و سطح زمین این افت مقاومت دیده می‌شود. این معرفی در شناسایی محل عبور سیالات احتمالی مهم می‌باشد. توپوگرافی سنگ کف نیز متغیر و ناهموار بوده حجم قابل استفاده در خاک‌برداری و حفاری را نشان می‌دهد. در نقاط فوق‌الذکر ضخامت بالای رسوبات متوسط و یا سنگ خرد شده و احتمالاً مرطوب را نشان می‌دهد. گسل می‌تواند در امر انتقال آب‌های زیرزمینی و یا پساب و شیرابه‌ها و تخریب زیرساخت محل دپو و دفن زباله‌ها نقش مهمی داشته باشد (Bayowa et al., 2015; Fazelnejad et al., 2017; George, 2006). نقشه‌های هم مقاومت ترسیم شده برای اعماق نیم تا ۲۵۰ متر (شکل۱۱) نیز نشان می‌دهند که مقادیر مقاومتی خیلی کم و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

مرتبط با نفوذ پساب تنها در قسمت‌های مرکزی و آن هم تا عمق حدود ۳ متر دیده می‌شوند. اعماق پایین‌تر مقادیر مقاومتی خیلی کم نشان نمی‌دهند. در یک جمع‌بندی می‌توان گفت اولاً محدوده مرکزی و جنوب دپو زباله به دلیل نفوذ شیرابه تا عمق ۵ متری متفاوت بوده و مقادیر مقاومت الکتریکی آنجا کمتر از سایر نقاط است. ثانیاً تراکم و سیمانی شدن زیاد در نزدیک سطح زمین در اغلب نقاط باعث عدم پخش شدید سیالات آلاینده شده است(Genelle et al., 2012; Harjito et al., 2017). اما از عمق حدود ۵ متری رطوبت خاک افزایش یافته و از میزان تراکم و استحکام آن کاسته می‌شود. این امر به گسترش زیاد شیرابه‌ها کمک می‌کند. ثالثاً سطح آب زیرزمینی بالا نبوده و عمقی حدود ۵۰ تا ۶۰ متر دارد. بنابراین احتمالاً زمان زیادی خواهد برد تا آلاینده‌ها به آب زیرزمینی برسند که شاید از عمر دپو بیشتر باشد.



شکل ۱۰. مقطع زمین‌شناسی در امتداد پروفیل اول تا چهارم

Fig.10. Geological section along the first to fourth profile

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

بررسی سونداژهای مقایسه‌ای

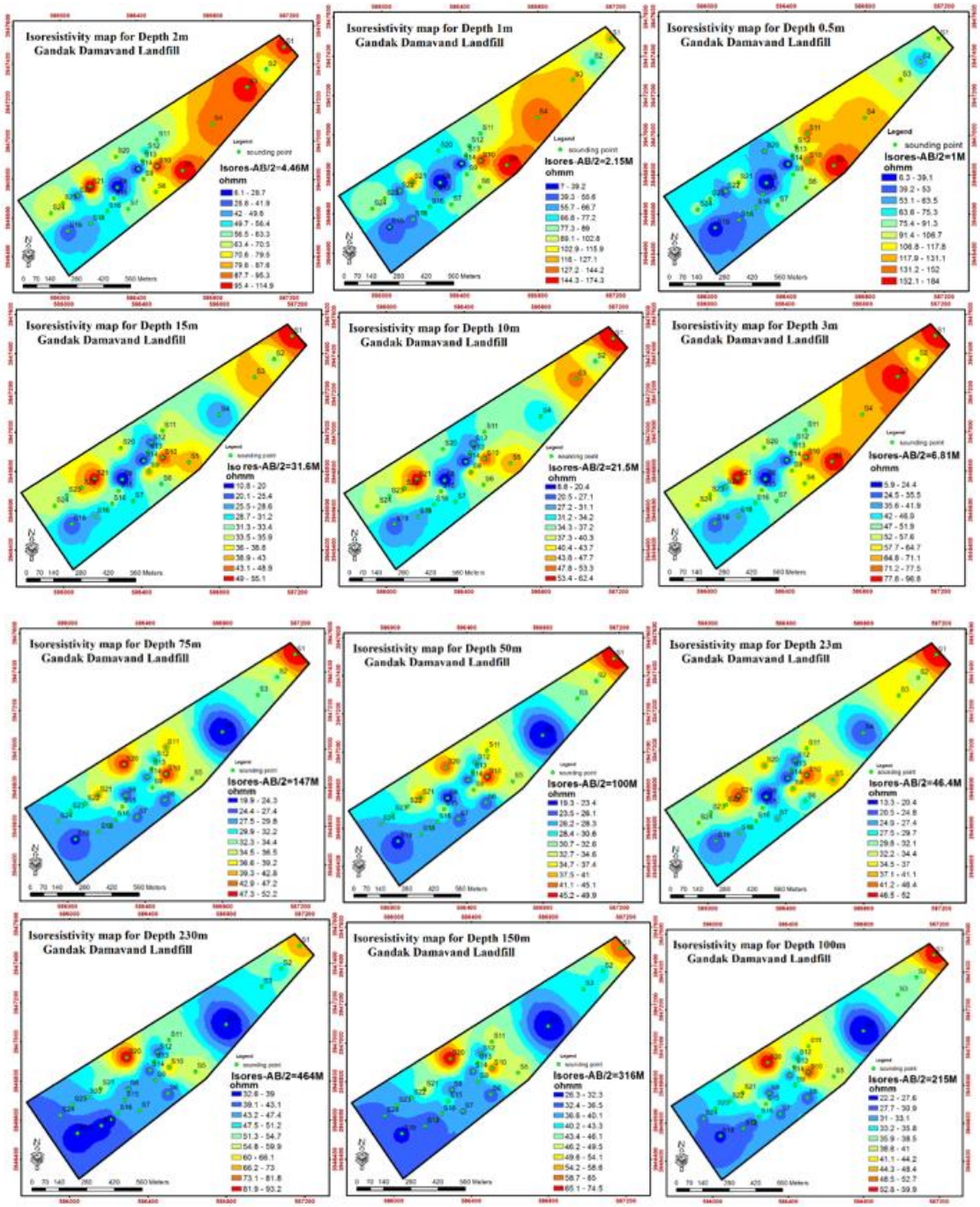
در انتهای پردازش و تفسیر با توجه به اینکه در سال ۱۳۹۸ تعداد ۱۰۰ سونداژ و در اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۰ تعداد ۳۲ سونداژ، در این محدوده و زمین‌های اطراف برداشت شده بود و در این مطالعه ۸ نقطه مجدداً با فاصله‌ای خیلی کم مجدداً سونداژهای این دو مرحله نیز به‌نوعی تکرار شده‌اند، بنابراین شاید بتوان با مقایسه مقادیر برداشت شده در سه دوره زمانی با فاصله دو سال و نیم، به تغییراتی پی برد (جدول۲ و شکل۱۲). نام‌گذاری سونداژهای قدیمی، میانی و جدید با حروف O,M,N به رنگ‌های آبی، سبز و قرمز می‌باشد. از روی این مقایسه می‌توان فهمید که به دلیل تفاوت در رطوبت و دمای سطحی زمین در فصل سرد مقاومت کاهش یافته اما بعد از عمق ۵ متری مقاومت مشابه قبل بوده و تغییری ندارد(شکل۱۲). در حالی که در برخی دیگر از سونداژها افت مقاومت سطحی در فصل گرم مشهود است که باید با کاهش رطوبت مقاومت افزایش می‌یافت اما احتمالاً به دلیل نفوذ شیرابه آلوده مقاومت افت نموده است(فاضل نژاد و همکاران،۱۳۹۶). این امر نشان می‌دهد که با پایش مقادیر مقاومت در نقاط ثابت در دوره‌های زمانی مختلف تغییرات محتوای سیالات خاک را بویژه در اعماق کم و سطحی خاک می‌توان ردیابی نمود(Hine, 2005; Meju, 2020). در مطالعات سال۱۳۹۸ نشان داده شد که از نظر پارامترهای هیدرولیکی و فاکتور سازندی منطقه مورد مطالعه دپوی دماوند مقدار m ۱/۵ و مقدار n برابر ۲ برآورد می‌گردد و تخلخل کمتر ۰/۶ است (ماسه‌ای):. در منطقه گندک دماوند مقاومت زون اشباع ۳۵ اهم‌متر،مقاومت خاک غیر اشباع ۵۰ اهم‌متر و مقاومت آب ۹۰ اهم‌متر بوده است. فاکتور سازندی برای منطقه مورد مطالعه ۰/۳۸ محاسبه شده است. به نظر می‌رسد به دلیل لایه سیمانی شده در عمق حدود ۳ تا ۵ متری امکان نفوذ شیرابه به اعماق کم شده و در عوض در سطح و نزدیک سطح زمین در فصول پر بارش این شیرابه پخش می‌شود (Dumon et al., 2018; Jacome et al., 2020). این امر خوشبختانه به عدم آلودگی آب زیرزمینی در زمان کوتاه منجر خواهد شد.

مطالعات ژئوشیمیایی

با توجه به اینکه در دو ماه خرداد و بهمن از محل دفن پسماندهای شهری نمونه‌برداری انجام شده (کم باران یا خشک و پربارش و مرطوب)، می‌توان مقایسه خوبی را برای دو وضعیت مختلف اقلیمی داشت. pH در فصل خشک قلیایی بوده و در فصل مرطوب اسیدی شده است. طبیعتاً در فصول خشک تجزیه بیولوژیکی کاهش یافته و گاهی متوقف می‌شود. با افزایش فرایند انحلال، شیرابه اسیدی‌تر می‌شود. EC و TDS نیز در فصل تابستان نسبت به زمستان بیشتر هستند. چون با افزایش آب و بارش، املاح رقیق‌تر می‌شوند (Khanlari et al., 2013). میزان دو پارامتر BOD و COD در فصل تابستان کمتر از تابستان است. با وجود آب بیشتر رشد باکتری‌ها و میزان واکنش‌ها افزایش یافته و ترکیب شیرابه‌ها تغییر می‌کند و تجزیه بیولوژیکی پسماندها سریع‌تر می‌شود. افزایش میکروارگانیسم‌ها و املاح محلول در آب و میزان تقاضای اکسیژن با افزایش تجزیه شیرابه‌ها، زیادتر می‌شود و نسبت این دو پارامتر در مدفن زباله‌ها بین ۰/۱ تا ۰/۵ متغیر است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]



شکل ۱۱. نقشه‌های هم مقاومت الکتریکی مربوط به اعماق ۰/۵ تا ۲۵۰متر

Fig.11. Electrical resistivity maps related to depths of 0.5 to 250 meters

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

جدول۲. مقادیر مقاومت الکتریکی در ۸ سونداژ منطبق بر هم در فاصله سه برداشت

Table 2. Electrical resistance values in 8 matching boreholes at the interval of three samplings

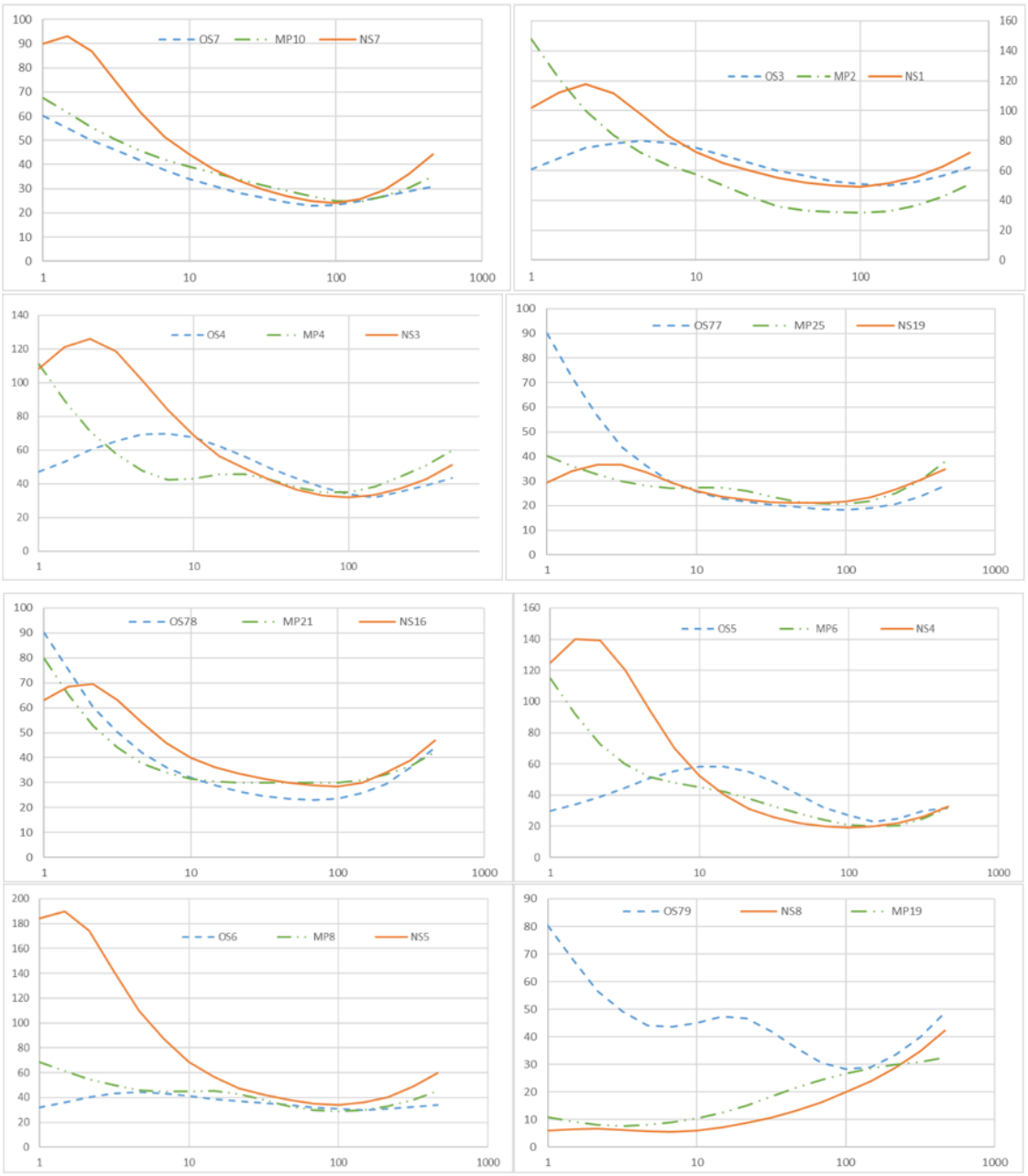
AB/2	1	1.47	2.15	3.16	4.64	6.81	10	14.7	21.5	31.6	46.4	68.1	100	147	215	316	464
OS3	60.86	68	75	78	80	78.6	75	70	65	59.95	56.45	53	50.8	50	52.37	56.46	62.04
MP2	147.9	121.5	100	83.77	72	63.38	57.51	49.89	42.65	36	33.07	32.1	31.86	32.81	36.38	42.33	51
NS1	102	112.3	117.6	111.4	97.71	83	72.29	64.88	59.59	55.16	52	50	49	51.45	55.59	62.42	71.73
OS4	47.12	53	60	65.12	69.16	69.69	67.62	62.25	56.02	48.93	43.05	38	33.59	32	35.41	39	43.5
MP4	111.3	89.13	71.34	57.99	48	42.17	43	45.74	45.74	42.33	38	35	35	38.31	44	50.71	59.8
NS3	108	121.3	126.1	118.5	101.6	83.72	68.48	56.45	49.12	42.09	36.34	33	31.87	33.38	37.19	42.74	51.06
OS5	30	34	38.86	44.48	50.91	55.44	58.27	58.27	55	48.44	40	32	27.05	23	25	29.64	32.1
MP6	114.8	91.91	72.44	60	51.68	48	45.01	42.01	37.73	32.61	28	24	21	19.8	20.57	25	32
NS4	125	140	139.4	120.4	95	70.09	52.66	40	31	25.84	21.98	20	19.29	19.89	22.16	26.27	32.62
OS6	32	36	40	43.19	44.3	43	41	38.76	37.07	35.46	33.91	32	31	30	31	32.5	34
MP8	68.68	61.23	54.44	50	46	44.65	45	45.27	42.57	38	33	29.95	29	29.84	33	38	45.07
NS5	184.1	189.9	174.4	141.6	109.7	87	68.48	56.45	47.63	42	38	35	34.16	35.78	40.18	48.74	59.59
OS7	60	55	50	46.02	41.57	37.55	34.13	31.22	28.38	26.3	24.21	23	23.3	25	27	29	31
MP10	67.61	61.66	55.19	50.12	45.58	41.99	39.2	36.63	33.98	31.41	29.06	27	25	24.74	26.85	30.36	35
NS7	90	93.21	86.88	74.04	61.5	51.42	44.1	37.83	33.5	29.85	27	25	24.02	25.77	29.47	36	44.1
OS77	90	72.12	56.64	43.85	36	29.45	25.73	23	21.7	20.35	19.5	18.56	18.3	19	20.5	23.63	28
MP25	40.14	35.99	32.72	30	27.97	27	27.41	27.41	26	23.59	21.74	20.73	20.59	22	25	30.07	38
NS19	29.29	33.93	36.63	36.63	33.5	29.47	26.1	23.71	22.39	21.41	21	21	21.68	23.41	26.44	30.43	34.81
OS78	90	75.26	60.38	50.19	42	36	32	29	26.48	24.66	23.46	23	23.63	25.73	29.45	36	44
MP21	79.87	65.11	52.71	44.15	37.75	34	31.52	30.56	30	30	30	30	30	31	33.17	36.74	42.39
NS16	63.1	68.57	69.45	63.1	54.12	46	40.07	36	33.5	31.62	30	28.91	28.29	29.86	33.95	39	47
OS79	80.23	68.13	56.64	49.13	44.16	43.54	45	47.42	46.75	42	36	30.52	28.22	29	33.47	40	48.78
NS8	6.005	6.5	6.661	6.278	5.822	5.602	5.916	7.068	8.66	10.7	13.22	16.2	19.85	23.92	28.81	34.71	42.17
MP19	10.91	9.284	8.168	7.711	8	8.9	10.38	12.6	15.11	18.39	21.65	24.38	26.66	28.5	29.97	30.93	32.58

نگاهی به جداول نتایج آنالیز نشان می‌دهد مقدار برخی عناصر در دو دوره نمونه‌برداری تغییر زیادی نکرده است اما بعضی عناصر در دو فصل متفاوت مقادیر مختلفی دارند. برای مثال عناصری مثل کبالت، منیزیم، سرب و مس میزان بسیار کمی داشته و تقریباً ثابت مانده‌اند. اما آهن و کادمیم در فصل کم باران میزان کمی دارند و در فصل پربارش افزایش می‌یابند. نیکل رفتاری معکوس دارد. میزان انحلال و قابلیت تحرک ذاتی عناصر در کنار شرایط محیطی نظیر میزان اسیدیته و اکسیداسیون احیای محیط در این رفتار دخالت دارند. نتایج تجزیه شیرابه نشان داد که بار آلی شیرابه منطقه مشابه زباله‌های شهری جامد در سایر نقاط جهان بالاست(Mor, et al., 2018). اگرچه غلظت فلزات سنگین در منطقه خیلی بالا نیست و فعلاً مشکل و نگرانی به بار نمی‌آورند. البته احتمالاً در مواد زائد این فلزات سنگین کم نیستند اما در مطالعات متعدد در مدفن زباله‌ها در بحث تعادل‌های فلزات سنگین دوصدم درصد از آن‌ها بعد از سی سال آبشویی می‌شوند.

لذا مقادیر نشان داده شده در آنالیزها اعداد بالا و قابل توجهی نیستند و جای نگرانی ندارند. جذب و رسوب دو مکانیزم مهم غیر متحرک کردن فلزات و کاهش غلظت آن‌ها در شیرابه‌ها هستند. بطور کلی بار آلی شیرابه مدفن زباله‌ها در کشورهای در حال توسعه بیشتر از کشورهای صنعتی و پیشرفته است. در مقابل کاتیون‌هایی نظیر آهن و منگنز در شیرابه‌های کشورهای صنعتی بیش از کشورهای در حال توسعه است. میزان ترکیبات معدنی شیرابه مورد آنالیز در حد معمول و مطلوبی است اما بار آلی زیادی در خود دارد. در صورتی که غلظت فلزات سنگین و مضر آن بالا نرود، حتی می‌تواند نوعی کود مایع محسوب گردد. اگر EC بالا برود منجر به شور شدن خاک‌ها شده و منجر به ایجاد تنش آبی و محدودیت جذب آب و مواد مغذی خواهد شد. افزایش میزان سدیم خاک نیز باعث تخریب ساختمان آن خواهد شد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]



شکل ۱۲. نمودارهای منحنی۸ سونداژ در نقاط منطبق بر هم در فاصله سه برداشت

Fig. 12. Curve diagrams of 8 soundings at points that coincide with each other at a distance of three samplings

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

جدول۳. نتایج آنالیز شیمیایی شیرابه محل دفن پسماندهای شهری گندک دماوند و دو استاندارد برای مقایسه

Table 3. The results of the chemical analysis of the leachate of the Gandak Damavand municipal waste landfill in comparison to two standards

ردیف	پارامتر		واحد	خشک	دارای بارش	استاندارد آبیاری و کشاورزی۲۰۱۱	استاندارد آمریکا شیرابه۱۹۹۵
۱		pH	-	۸/۰۱	۶/۵۳	۶/۵ تا ۷/۵	–
۲		EC	(ds.m-1)	۴۶/۳۹۰	۲۳/۱۶۷		
۳	پارامترهای عمومی	BOD	ppm	۱۳۶۵	۱۸۸۸		
۴		COD	ppm	۲۸۲۰	۴۸۳۲		
۵		TDS	ppm	۲۸۶۶۸	۱۳۲۲۵		
۶		Cu	ppm	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۲	۱۰۰
۷		Fe	ppm	۰/۰۹	۱۱		
۸		Mn	ppm	۷/۲	۷/۱۰		
۹	فلزات سنگین	Co	ppm	۱۱	۶		
۱۰		Ni	ppm	۳۸	۰/۵۱	۰/۲	–
۱۱		Cd	ppm	۱	۱۳	۰/۰۰۵	۰/۵
۱۲		Zn	ppm	۸۹	۷۳	۰/۲	۵۰۰
۱۳		Pb	ppm	۰.۱۴	۰.۳۶	۰/۰۰۵	۵

*واحد بر حسب ppm(pH و Ts بدون واحد هستند) * استانداردها از(Rafiean et al., 2017)

جدول۴: برخی پارامترهای دیگر شیرابه مدفن زباله گندک در دو فصل مختلف نمونه‌برداری

Table 4: Some other parameters of Gandak landfill leachate in two different sampling seasons

پارامتر	فصل خشک	فصل مرطوب
(mg/l)TSS	۲۳۷۱	–
ازت کل(٪)	۱۷/۷۶	۱۱/۱۵
نیترات(mg/l)	۲۲۵/۸۷	۲۰۶/۰۸
آمونیوم(mg/l)	۱۸۹/۰۸	۱۲۶۹/۸۹
پتاسیم(mg/l)	۵۴۱/۶۷	۲۱۶/۵۷
سدیم(mg/l)	۲۶۶/۳۳	۹۷/۹۶
کلسیم(meq/l)	۱۲۸/۳۳	۶۲/۶۷
منیزیم(meq/l)	۱۴۱/۶۷	۴۲/۵۳
سولفات(meq/l)	۴۰/۸۳	۱۰
کلر(meq/l)	۳۷۱/۶۷	۱۱۰/۶۷
کربنات(meq/l)	۰	۰
بی‌کربنات(meq/l)	۶۰۰	۱۱۶/۲۳

جدول۵. مقایسه میزان پارامترهای فیزیکی-شیمیایی نمونه‌های آب بررسی شده با استانداردهای صنعت آب ایران

Table 5. Comparison of the number of physical-chemical parameters of the examined water samples with the standards of the Iranian water industry

ترکیبات	فصل مرطوب	فصل خشک	حداکثر مطلوب	حداکثر مجاز
اسیدیته	۷/۷۱	۷/۸	۶/۵–۸/۵	۶/۵–۹/۰
کدورت(برحسب نفلومتری)	۱	–	≤۱	≤۵
اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی(میلی‌گرم بر لیتر)	۰	۰	۰	۰
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی(میلی‌گرم بر لیتر)	۰	۰	۰	۰
هدایت الکتریکی(میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)	۴۱۱	۴۱۵	۱۵۰۰	۲۰۰۰
کل جامدات محلول(میلی‌گرم بر لیتر)	۱۹۸/۳	۱۹۸/۳	۱۰۰۰	۱۵۰۰
قلیائیت کل(میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم)	۱۷۹/۵۴	۱۷۹/۶	*	؟
سختی کل(میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم)	۲۰۹/۴۷	۲۰۹/۵	۲۰۰	۵۰۰
کلسیم(میلی‌گرم بر لیتر)	۶۳/۸۴	۶۴	۳۰۰	*

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

منیزیم(میلی‌گرم بر لیتر)	۱۱/۹۶	۱۱/۹۸	۳۰	*
سولفات(میلی‌گرم بر لیتر)	۳۱	۳۰	۲۵۰	۴۰۰
فسفات(میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱	۰/۲
نیترات(میلی‌گرم بر لیتر)	۱۷/۹	۱۷/۲۳	*	۵۰
کلراید(میلی‌گرم بر لیتر)	۸/۵۶	۸/۵۶	۲۵۰	۴۰۰
فلوراید(میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۵۰	۱/۵۰
سدیم(میلی‌گرم بر لیتر)	۴/۹۰	۳/۸۰	۲۰۰	۲۵۰
پتاسیم(میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۵	۰/۵	*	۱۲

*استانداردی تعریف نشده است.

در محل دفن زباله بخاطر تولید گاز دی اکسید کربن و اسیدهای چرب موجود در شیرابه، عمدتاً موجب کاهش میزان اسیدیته می‌شوند. اما اگر اسیدیته بالای ۷ باشد، شیرابه بر منابع آبی تأثیری نخواهد گذاشت. در این محدوده در حال حاضر مقادیر EC,TDS و سایر ترکیبات یونی و فلزی پایین‌تر از حد مجاز استانداردها بوده و فعلاً آسیب زیست‌محیطی به دنبال نخواهند داشت. میزان سختی کل و کلسیم آب ناشی از وجود سازندهای کربناته در زمین‌شناسی منطقه بوده و در منطقه گندک در بالادست شهر دماوند این سازندهای آهکی رخنمون گسترده‌ای دارند. البته وجود نخاله‌های ساختمانی حاوی آهک و مرمر هم در منطقه به راحتی دیده می‌شود که قطعاً در این رابطه تأثیر خواهد داشت. در مورد آنیون‌های سولفات، فسفات، نیترات، کلراید، فلوراید همگی پایین‌تر از حد مطلوب قرار دارند و هنوز مشکلی ایجاد نکرده‌اند. البته تنها نیترات بر خلاف فلزات سنگین غلظت بالایی نشان می‌دهد و به راحتی می‌تواند به علت عدم جذب سطحی آبشویی شود و وارد آبخوان شود. اما همان‌طور که قبلاً ذکر شد به دلیل بارش نه چندان زیاد و عمیق بودن آبخوان، بعید بنظر می‌رسد که مشکل‌ساز گردد. میزان غلظت سدیم کمتر از حد مطلوب و غلظت پتاسیم نیز کمتر از حد مجاز بوده است. اما بخاطر تفاوت در میزان بارش و تبخیر تفاوت ناچیزی در میزان سدیم در دو فصل خشک و مرطوب دیده می‌شود.

بر اساس نتایج عناصر موجود در خاک محدوده مدفن زباله گندک، میزان عناصر کبالت، مس و مولیبدن در ایستگاه اول، چهارم و پنجم که فاصله چند متری با زباله‌ها داشته بیشترین مقادیر را دارا هستند. این تأثیر احتمالاً ناشی از ورود شیرابه به این خاک‌ها می‌باشد. معمولاً در بارش‌های شدید، شیرابه رقیق شده اما سرعت حرکت بیشتری می‌یابد. با توجه به نبود پوشش برای زباله‌های دفع شده و بارش زیاد در فصول سرد منطقه، پیوسته در این ماه‌ها شیرابه تولید می‌شود و تقریباً در محیط جاری و رها می‌شود. اما در طی سالیان اخیر و با کاهش میزان بارش‌ها این میزان تولید شیرابه و پخش آن در محیط نیز کاهش یافته است. البته احتمالاً بخشی از تمرکز فلزات سنگین در خاک‌های مورد مطالعه نیز منشأ طبیعی و زمین‌شناسی دارد و عمدتاً از شیل، مارن، توف و آهک‌های توفی منطقه حاصل شده‌اند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

جدول۶. نتایج غلظت فلزات سنگین(ppm) موجود در خاک منطقه و pHآن‌ها

Table 6. The results of the concentration of heavy metals (ppm) in the soil of the region and their pH

شماره نمونه	Co	Cu	Zn	As	Mo	Cr	Ni	Cd	pH
حد تشخیص	۱	۱	۱	۰/۵	۰/۵	۱	۱	۰/۱	–
غلظت پوسته‌ای	۱۷/۳	۲۸	۶۷	۴/۸	۱/۱	۹۲	۴۷	۰/۰۹	–
S-1	۱۶	۴۳	۹۲	۱۰/۳	۰/۸۹	۶۸	۴۱	۰/۲۶	۸/۲۵
S-2	۱۰	۳۱	۹۹	۶/۷	۰/۶۵	۶۱	۳۵	۰/۲۴	۸/۳۰
S-3	۱۳	۳۳	۸۴	۹/۶	۰/۶۶	۶۸	۴۳	۰/۲۵	۷/۶۶
S-4	۱۶	۳۳	۹۸	۱۱/۶	۰/۶۸	۷۹	۴۷	۰/۲۳	۷/۸۵
S-5	۱۶	۳۴	۹۳	۱۲/۶	۰/۷۷	۸۰	۴۸	۰/۲۴	۸/۳۷
Ave	۱۴/۶۷	۳۲/۴۱	۸۸	۹/۴۶	۰/۷۴	۷۲/۴۱	۴۳	۵/۲۵	۸/۰۳
Max	۱۶	۴۳	۹۹	۱۲/۶	۰/۸۹	۸۰	۴۸	۰/۲۸	۸/۵۰
min	۱۰	۲۷	۷۷	۶/۷	۰/۶۵	۶۱	۳۵	۰/۲۳	۷/۳۵
SD	۱/۷۷	۳/۸۹	۷/۰۶	۱/۵۶	۰/۰۷	۵/۶۹	۴/۵۷	۰/۰۱	۰/۴۰

فلزاتی نظیر کروم، روی و آرسنیک نیز از مبنای اغلب استانداردهای بین‌المللی زیر حد آلودگی هستند. از نظر اسیدیته هم نمونه‌های خاک منطقه بین ۷/۳۵ تا ۸/۵ در نوسان بوده و در واقع کمی قلیایی هستند که ناشی از ترکیب شیمیایی سنگ‌های مادر منطقه بوده‌اند. از نظر پاراژنز احتمالاً عناصر کبالت، نیکل، آرسنیک و کروم دارای منشأ مشابهی هستند. همچنین مولیبدن و کادمیوم نیز احتمالاً منشأ مشابهی دارند. مس و روی نیز می‌توانند هم از مدفن زباله و هم از توف‌های منطقه سرچشمه گرفته باشند.

نمونه‌های خاک از نظر تعداد نسبت به دوره قبل نمونه‌برداری محدودتر شده بودند، لذا تلاش شد تا نمونه‌هایی که ظاهراً فاصله بسیار کمی تا زباله‌ها داشته و آلوده‌تر بنظر می‌رسند برداشت شوند. از این‌رو نمونه‌های دور از مرکز زباله‌ها و نیز نمونه‌های اعماق بیشتر گمانه‌های حفاری شده در مرحله قبل حذف شدند. بررسی نمونه‌های خاک آنالیز شده در مقایسه با استانداردهای آلودگی نشان می‌دهد که میانگین غلظت عناصر کبالت، روی، مس، آرسنیک و نیکل متوسط تا نسبتاً بالا بوده و آلودگی انسان‌زاد با رده متوسط تا کمی بالا دارند.

از نظر غنی‌شدگی و شاخص‌های مربوطه، می‌بایست تنها کادمیوم و آرسنیک را در مطالعات آتی بیشتر مدنظر قرار داد (بالاتر از ۱/۵). اگرچه هیچ‌کدام از فلزات در خاک‌های منطقه تهی شدگی نشان نمی‌دهند. البته برخی فلزات هم تنها در فاصله نزدیک زباله‌ها غنی‌شدگی نشان می‌دهند و با افزایش فاصله از میزان آن‌ها کاسته می‌شود. در کل آنومالی واضح و مهمی در نمونه‌های اخذ شده قابل اثبات نیست و شاید اغلب فلزات منشأ زمین‌شناسی داشته باشند، اما نمی‌توان منشأ انسان‌زاد را نیز رد کرد. برای مثال وجود لامپ‌های فلورسانت، باطری، قوطی اسپری رنگ و آفت‌کش‌ها باعث افزایش روی و نیکل در شیرابه و خاک میزبان آن خواهند شد که در منطقه گندک نیز دیده می‌شوند. به دلیل شرایط توپوگرافیکی محدوده، حرکت شیرابه از آبراهه‌های موجود پیروی کرده و در مسیرهای مشخصی به سمت جنوب هدایت می‌شود. جهت وزش باد غالب در منطقه نیز در پخش مواد به سمت جنوب و جنوب شرق کمک می‌کند. اما با تعداد محدودی نمونه و عدم پراکنش جغرافیایی مطلوب نمی‌توان در این زمینه اظهار نظر درستی نمود. نتایج اولیه بدست آمده نشان داد که میانگین غلظت کبالت، کادمیوم، روی، مس، آرسنیک و نیکل در برخی نمونه‌ها نسبت به استاندارد بالاتر بوده است. خاک‌های مورد مطالعه از نظر آلودگی انسان‌زاد در رده متوسط قرار دارند. فاکتور بار آلودگی نشان می‌دهد که نمونه محل مدفن زباله بیشترین مقدار آلودگی را دارا می‌باشند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات ژئوالکتریک نشان می‌دهد به دلیل وجود لایه سیمانی شده در عمق حدود ۳ تا ۵ متری امکان نفوذ شیرابه به اعماق کم شده و در عوض در سطح و نزدیک سطح زمین در فصول پر بارش این شیرابه پخش می‌شود. این امر خوشبختانه به عدم آلودگی آب زیرزمینی در زمان کوتاه منجر خواهد شد. به دلیل تفاوت در رطوبت و دمای سطحی زمین در فصل سرد مقاومت کاهش یافته اما بعد از عمق ۵ متری مقاومت مشابه قبل بوده و تغییری ندارد. در حالی که در برخی دیگر از سونداژها افت مقاومت سطحی در فصل گرم مشهود است که باید با کاهش رطوبت مقاومت افزایش می‌یافت اما احتمالاً به دلیل نفوذ شیرابه آلوده مقاومت افت نموده است. جهت انتشار این آلودگی ناچیز به سمت جنوب می‌باشد. سطح آب زیرزمینی بالا نبوده و عمقی حدود ۵۰ تا ۶۰ متر دارد. بنابراین احتمالاً زمان زیادی خواهد برد تا آلاینده‌ها به آب زیرزمینی برسند که شاید از عمر دپو بیشتر باشد. زیاد بودن عمق سفره آب زیرزمینی، ضخامت ناحیه غیراشباع خاک بیش از ۵۰ متر، سابقه نسبتاً کوتاه دفن مواد، بارندگی کم و تبخیر تقریباً زیاد نیز باعث کاهش شیرابه تولیدی خواهد شد. این امر نشان می‌دهد که با پایش مقادیر مقاومت در نقاط ثابت در دوره‌های زمانی مختلف تغییرات محتوای سیالات خاک را بویژه در اعماق کم و سطحی خاک می‌توان ردیابی نمود.

در شیرابه، pH در فصل خشک قلیایی بوده و در فصل مرطوب اسیدی شده است. طبیعتاً در فصول خشک تجزیه بیولوژیکی کاهش یافته و گاهی متوقف می‌شود. EC و TDS نیز در فصل تابستان نسبت به زمستان بیشتر هستند. میزان دو پارامتر BOD و COD در فصل تابستان کمتر از زمستان است. مقدار برخی عناصر در دو دوره نمونه‌برداری تغییر زیادی نکرده است اما بعضی عناصر در دو فصل متفاوت مقادیر مختلفی دارند. برای مثال عناصری مثل کبالت، منیزیم، سرب و مس میزان بسیار کمی داشته و تقریباً ثابت مانده‌اند. اما آهن و کادمیم در فصل کم باران میزان کمی دارند و در فصل پربارش افزایش می‌یابند. نیکل رفتاری معکوس دارد. بر اساس نتایج عناصر موجود در خاک محدوده مدفن زباله گندک، میزان عناصر کبالت، مس و مولیبدن در ایستگاه اول، چهارم و پنجم که فاصله چند متری با زباله‌ها داشته بیشترین مقادیر را دارا هستند. این تأثیر احتمالاً ناشی از ورود شیرابه به این خاک‌ها می‌باشد. در این محدوده در حال حاضر مقادیر EC,TDS و سایر ترکیبات یونی و فلزی پایین‌تر از حد مجاز استانداردها بوده و فعلاً آسیب زیست‌محیطی به دنبال نخواهند داشت. از نظر غنی‌شدگی و شاخص‌های مربوطه، می‌بایست تنها کادمیوم و آرسنیک را در مطالعات آتی بیشتر مدنظر قرار داد (بالاتر از ۱/۵). از دیدگاه مدیریتی می‌بایست در این منطقه دقت بیشتری در نحوه تفکیک زباله‌ها و مکان این تفکیک به عمل آید. در دراز مدت باید به فکر نقاط جایگزین و یا استفاده از دستگاه‌های امحاء زباله بود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

منابع

APHA, AWWA, WEF., 1992. Standards or examination of water and wastewater, 19th Ed. American public health association, Washington DC, USA.

Ayers, J. F., 1990. Conjunctive use of Geophysical and Geological Data in the study of an Alluvial Aquifer. Ground water. V. 27, no. 5, pp. 625-632.

Bayowa G.O., Falebita D.E., Adegboyesga R.O., 2015. Surface DC resistivity survey of contamination Beneath Ido-Osun dumpsite, southwestern Nigeria, GEOFÍSICA INTERNACIONAL, VOL.54, NO.4: p. 343-352

Chiemchaisri, C., Juanga, J. P., & Visvanathan, C., 2007. Municipal solid waste management in Thailand and disposal emission inventory. Environment Monitoring Assessment, 13-20, 135.

Dumon G., Robert T., Nguyen F., 2018. Electrical resistivity tomography and distributed temperature sensing monitoring to assess the efficiency of horizontal recirculation drains on retrofit bioreactor landfills, GEOPHYSICS, VOL.83, NO.2: p. B13-B23

Fazelnejad N., Mirzaei R., Heidary Soreshjani R., 2017. Application of electre model in locating of municipal solid waste landfill (case study: the city of Khoramabad). Iraninan Journal of Research in Environmental Healthing, spring 2017, 3(1):56-66.

Fazelnejad, N., Mirzaei, R., & Heidari, R. 2017. Application of Electre model in locating of municipal solid waste landfill (case study: the city of Khorramabad). Journal of Research in Environmental Health, 3(1), 56-66.

Genelle F., Sirieix C., Naudet V., Riss J., Naessens F., Rénié S., Dubéarnes B., Bégassat P., Trillaud S., Dabas M., 2012. Geophysical methods applied to characterize landfill covers with Geocomposite, Geo-Frontiers: p. 1-11

George A., 2006. Development of Geoelectrical Techniques for Investigation and Monitoring of Landfills, California University, School of Earth, Ocean and Planetary Science, 224 pages.

Harjito H., Suntoro S., Gunawan T., Maskuri M., 2017. Underground Leachate Distribution Based on Electrical Resistivity Tomography in Piyungan Landfill, Bantul, INDONISIAN JOURNAL OF GEOGRAPHY, VOL. 50, NO.1: p. 34-40

Hine K., 2005. Improving landfill monitoring programs with the aid of geoelectrical - imaging techniques and geographical information systems, CHALMERS UNIVERSITYOF TECHNOLOGY, Department of Civil and Environmental Engineering, p. i-34.

Islami, N., Irianti, M., Fakhruddin F., Azhar, A., Nor M., 2020. Application of geoelectrical resistivity method for the assessment of shallow aquifer duality in landfill areas, Environ. Monit. Asses. , 2020, 192-606, 1-16.

Islami, N., Taib, S., Yusoff. I., Ghani, A.A., 2018. Integrated geoelectrical resistivity and hydrogeochemical methods for delineation and mapping heavy metal zone in aquifer system, Environmental Earth Sciences, 77(10), 383.

Jacome M., Costanzo-Alvarez V., Aldana M., Patraskovic P., Drielsma C., Galatro D., Cristina Amon C., 2020. A methodology to characterize a sanitary landfill combining, through a numerical approach, a geoelectrical survey with methane point-source concentrations, Environmental Technology and Innovation, VO.21: p. 1-15

Jafari, K., Mazloumi Bajestani, A., Hafezi Moghaddas, N., Ghazi, A., 2017. Landfill Siting for Municipal Waste: A case Study in Ardebil, Journal of Engineering Geology, V.11, N.3, P.103-132.

Kelly, W. E. and Stanislaw, M., 1993. Applied geophysics in hyrogeological and engineering practice, Elsevier, Amesterdam.

Khanlari, G., Taleb Beidokhti, A., Momeni, A., & Ahmadi, H. 2013. The effect of leachate of Hamedan landfill site on ground water. Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology, 5(Number 3 & 4), 81-92.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

Khoshravesh, M., Norooz Valashedi, R., Helali, J., & Raeini-Sarjaz, M., 2021. Tracing and Simulation of Leachate Penetration Transfer at Downstream of Landfill Using Special Electrical Resistivity Tomography Method. Irrigation and Water Engineering, 12(2), 449-463.

Koda E., Tkaczyk A., Lech M., Osiński P., 2017. Application of Electrical Resistivity Data Sets for the Evaluation of the Pollution Concentration Level within Landfill Subsoil, Applied Science, 7, 262: p. 1-13

Meju M. A., 2020. Geoelectrical investigation of old/abandoned, covered landfill sites in urban areas: model development with a genetic diagnosis approach, Journal of Applied Geophysics, VOL.44: p. 115-150.

Mepaiyeda S., Madi K., Gwavava O., Baiyegunhi C., Sigabi L., 2019. Contaminant Delineation of a Landfill Site Using Electrical Resistivity and Induced Polarization Methods in Alice, Eastern Cape, South Africa, International Journal of Geoscience, VOL.2019, ARTICLE ID. 5057832, 13 pages

Mor, S., Negi, P., & Khaiwal, R. 2018. Assessment of groundwater pollution by landfills in India using leachate pollution index and estimation of error. Environmental nanotechnology, monitoring & management, 10, 467-476.

Nakhaei, M., Nassery, H., & Amiri, V., 2012. Contaminant Transport Modeling due to Leachate Leaking of Rasht waste disposal site. Advanced Applied Geology, 2(1), 69-82.

Negi, P., Mor, S., & Ravindra, K. (2018). Impact of landfill leachate on the groundwater quality in three cities of North India and health risk assessment. Environment, Development and Sustainability, 22, 1455–1474.

Ouhadi, V. R., Qarelou, Z., and Naderi, F., 2021. Impact of pH Variations of Kaolinite upon Some of its Geotechnical and Geo- Environmental Properties, Journal of Civil and Environmental Engineering, Volume 51.3, Issue 104, P. 11-17.

Rafiean, A. H., Haddad, A., Kheirkhahan, M., & Rezazadeh Eidgahee, D., 2017. Evaluation of Laboratory, Geo-Environmental and In-Situ Site Investigation Methods for Municipal Solid Waste Landfills. Journal of Environmental Science Studies, 2(3), 464-475.

Rastikerdar A., 2020. Calculation of Ecological Indexes of Waste Management Scenarios in Sirjan City with the Life Cycle Assessment Approach. Journal of Engineering Geology; 14 (2) :309-328.

Rotich, K. H., Zhao, Y., & Dong, J., 2006. Municipal solid waste management challenges in developing countries – Kenyan case study. Waste Management, 26(1), 92–100.

Shakeri A, Yousefi F., 2018. Source and health risk assessment of potentially toxic elements in the unengineered landfills soil of Kermanshah Province. Journal of Engineering Geology; 12 (1):63-84.

Tsourlos, P. I., Szymanski, J. E., and Tsokas, G. N., 1990. The effect of terrain topography on commonly used resistivity arrays. GEOPHYSICS, V 64, NO. 5, PP1357-1362.

Yazdani, V., & Mansourian, H., 2019. The assessment vulnerability of Qazvin-plain aquifer, sensitivity analysis removing parameters by using GIS. Irrigation and Water Engineering, 10(2), 127-145.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

Monitoring Quality Changes in Water and Soil at Urban Waste Landfills with Geophysical and Geochemical Analysis (Case Study: Gandak Damavand Landfill)

Abbas Safari[1], Omid Tavasoli[2*], Khalil Rezaei[3], Seyed Hamid Lajourdi[4]

1. Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Arak, Iran
2 .Associate Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3 .Associate Professor, Department of Geology, Kharazmi University, Tehran, Iran
4. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Arak, Iran

Received: 09 Feb 2023 Accepted: 17 May 2023

Abstract

Waste management is a cornerstone of societal needs. The volume and composition of waste dictate the available disposal options, with landfill being a primary method. The selection of landfill sites is critically dependent on site characteristics and requires thorough and ongoing evaluation, particularly in the areas of water and soil contamination. This study started with geoelectrical and geochemical investigations in the vicinity of the landfill in the city of Damavand. It included 24 geoelectric soundings using the Schlumberger array, organized into 4 profiles covering three intervals. In parallel, three water samples, five soil samples and one leachate sample from two intervals were collected for laboratory analysis. Analyses revealed soil contamination at the waste accumulation site to a depth of two meters with a southerly extent. In particular, a cementitious layer prevents leachate from penetrating deeper into the soil. This, together with a very deep groundwater table, ensures that groundwater contamination is currently and in the foreseeable future prevented. Additional factors such as the depth of the groundwater table, the thickness of the unsaturated zone, the short life of the landfill, reduced rainfall and increased evaporation limit the volume of leachate. The pH of the leachate tends to be alkaline during dry periods and acidic during wet periods. Currently, parameters such as EC, TDS and various ionic and metallic concentrations remain within acceptable limits, ensuring minimal environmental impact..

Keywords: Quality Monitoring, Waste Landfill, Environmental Pollution, Geophysical Investigations, Geochemical Investigations.

Introduction

In recent years, solid waste management and the establishment of substandard landfills have emerged as pressing environmental issues in many regions of Iran and around the world. Effective waste management is a basic requirement for any community. Depending on the volume and composition of the waste, a variety of management strategies are available. As a result, nations have adopted different approaches to collecting, burying, incinerating or recycling waste, depending on their level of development. Landfilling remains a dominant method. The selection of an optimal site, influenced by its characteristics, is the critical first step in waste management and disposal and requires comprehensive assessments. Such assessments include economic, geological, environmental, health and social dimensions. Long-term monitoring of landfills is an equally important scientific consideration that is a priority in many countries. Due to the unique climatic, topographical and geological conditions of each region,

*Corresponding Author: Omid.Tavasoli@iau.ac.ir
DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.1.1014642

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

the wastes that make up landfills exhibit complex behavior. Therefore, all related activities are considered progressive and expansive. This research endeavors to investigate changes in the subsurface soil strata due to variations in leachate infiltration and likely locations, locate areas of soil and groundwater contamination, determine the movement path of leachate and its influence on adjacent zones, and holistically assess the contamination risk at the Gandak landfill site in Damavand, Iran.

Materials and Methods

The subsequent phase of fieldwork was carried out for the purpose of water, leachate and soil sampling. The use of soil elemental geochemistry for sampling provides an economical and effective means of producing geochemical maps that detail the Earth's surface environment. Such tools are also useful in suggesting precautionary measures against environmental contamination. The enrichment factor method was used for data analysis. Lead and cadmium were used as reference elements for normalisation and derived values were then calculated based on their benchmarks. It is important to note that the limited scope of the sampling does not allow a comprehensive verification of the results. However, the resulting analyses of the selected heavy metals show a minimal coefficient of variation in concentration, indicating an absence of apparent contamination. A common technique used in geoelectric surveys is the vertical electrical sounding method. This method penetrates deeper layers by extending the length of the current electrodes. A variety of electrode configurations are used in this technique. For the purposes of this study, only 24 consistent soundings from each of the three years mentioned above were used. The other objective of this study is to track the progression of heavy metal contamination in soil and water in the vicinity of the landfill. To this end, 15 surface soil samples were collected from the vicinity of the landfill, supplemented by samples from the internal mounds. After preparation, the soil samples underwent comprehensive analysis for 35 elements using the ICP-OES instrument. t. After analysis, key elements were identified for further investigation. A sample of the leachate, taken from a pit within the landfill, was safely transported to the laboratory under anaerobic conditions and then stored at 4°C. Laboratory analyses measured parameters such as Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Dissolved Solids (TDS), Total Suspended Solids (TSS), Nitric Nitrogen, Ammoniacal Nitrogen, Phosphate, Chloride and pH. In addition, metal concentrations were determined in accordance with recognized standards for water and wastewater analysis.

Results and Discussion

The data presented provide a comprehensive understanding of the geochemical parameters of the Gandak landfill leachate in two different seasons. The composition of the leachate varies between seasons, with certain parameters becoming more concentrated during the dry season due to reduced water content. It's important to monitor elements such as Cd, which is significantly higher than the standard during the rainy season. Comparing the composition of the leachate with regional and international standards provides valuable insights into its potential environmental impact. In addition, the water samples appear to meet most Iranian water industry standards, suggesting that the water quality is relatively good. Regular monitoring and comparison with standards ensure environmental safety and can guide strategies for effective management and treatment of landfill leachate. The leachate and soil of the Gandak landfill show considerable variation in their geochemical parameters between seasons. The regional geology, particularly the presence of limestone and marble, influences the characteristics of the water and soil. Although the parameters are currently within acceptable

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]

standards, continuous monitoring is essential, especially given the ever-present risk of leachate contamination in the environment due to high rainfall and lack of waste cover. Proper landfill management can help minimize potential environmental threats. The soil at the Gondak landfill shows signs of moderate anthropogenic contamination. While many metals appear to be derived from the geological characteristics of the area, human activities, particularly waste disposal practices, undoubtedly contribute to metal concentrations. Continued monitoring and an expanded, systematic sampling approach in future studies are essential for a holistic understanding of the extent and sources of contamination.

Conclusions

Data from geoelectrical surveys indicate the presence of a cemented layer at a depth of approximately 3 to 5 meters, which acts as a barrier and limits leachate infiltration to shallow depths. As a result, leachate remains largely at or near the surface during wet seasons, which is encouraging for the protection of underground water sources in the short term. With the onset of colder seasons, the resistance in the soil tends to decrease due to fluctuations in surface temperature and moisture. However, above 5 meters, the resistance seems to stabilize. Some observations suggest a curious dip in surface resistivity during warmer periods. Although a decrease in moisture typically increases resistance, the infiltration of contaminated leachate may be the cause of the anomalous decrease. Preliminary observations suggest that the spread of this minor contamination is southwards. The groundwater table, at a depth of around 50 to 60 meters, may act as a buffer against direct contamination. Considering the considerable depth of the groundwater, the extensive unsaturated zone, the relatively short history of the landfill, the limited rainfall and the higher evaporation rates, the production of leachate appears to be limited. The monitoring of resistivity at pre-determined points over defined time intervals would be instrumental in tracking variations in soil fluid content, particularly in the superficial layers.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1014642]