



Research Article

OPEN ACCESS

Kharazmi Journal of Earth Sciences

Journal homepage <https://gnf.khu.ac.ir>

Land subsidence potential in the Tahlab plain and the relationship between domestic wastewater and collapse in sewage wells in the Rig-Malek city, southeast of Zahedan

Reza Jahanshahi^{1*}, Ebrahim Gamshadzei Mahboub², Hamid Reza Soloki³, Mehdi Azhdary Moghaddam⁴

1. School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

3. Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

4. Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

Article info

Article history

Received: 27 December 2024

Accepted: 18 January 2024

Keywords:

Soil permeability, Liquid limit, Collapsible, Land subsidence.



Abstract

The Tehlab plain is located in the Hamoun Mashkil catchment in the south of Mirjavah region and along the Iran-Pakistan border. In most of the rural areas of this plain, especially in the northern parts of the plain along the border of Iran and Pakistan, the effects of land subsidence in the form of cracks and fissures in buildings as well as collapse in sewage wells were observed. In order to evaluate these land subsidences, the Tehlab plain was first zoned in terms of subsidence risk. Based on the land subsidence risk zoning map, it can be seen that most of the areas of the Tahlab plain have a low risk of subsidence, except for the northern region, where there are many exploitation wells in this area. To study the collapse in sewage wells and its relationship with soil type in the northern regions of the plain, the collapsibility of soil samples was investigated. According to Jennings and Knight criteria in the oedometer device in the laboratory in the saturated state, the coefficient of collapsible of soil samples was measured between 0.21 to 7.3, which showed that the soil samples were collapsible in this area. Finally, to investigate the occurrence of collapse in sewage wells in the northern of the plain, an in-situ permeability test (ring) test was performed at different depths of a dug well. This test showed that a soil layer with high permeability rate (9.24 cm/hr) was located between low permeability layers. These low permeability layers caused an increasing the water level in the sewage wells. Moreover, the liquid limit of most surface soil samples was less than 30%. Therefore, the soil permeability and liquid limit were the most important factors controlling collapse in the sewage wells.

Introduction

Land subsidence is a natural hazard that often occurs vertically and may be observed over a period of several years. Land subsidence occurs under several conditions, including subsidence due to land displacement and overexploitation of groundwater. One of the mechanisms of land subsidence is collapse and this is one of the most common hazardous processes in loess soils. Collapsed soils experience a significant decrease in volume when saturated. This volume change can be caused by the application of additional loads. Structures built on such soils will be subject to significant settlement when the soil is saturated. This moisture may

be caused by various factors and sources such as broken water pipes, leakage from sewage pipes and leakage from water tanks or rising groundwater levels. Currently, in most cities and villages of Iran, wastewater is disposed of through sewage wells. In the east of Sistan and Baluchestan province, the Tahlab plain is located, and is extensively used for agriculture. In addition, it is observed that in villages, especially the city of Rig-Malek located in the plain, in residential areas close to sewage wells, collapse of the ground surface and cracking of building walls due to subsidence occur, causing many problems for the residents of this area. Most of these sewage wells are

DOI <http://doi.org/10.22034/KJES.2024.10.2.107681>

*Corresponding author: Reza Jahanshahi; E-mail: rezajahanshahi@ut.ac.ir

How to cite this article: Jahanshahi, R., Gamshadzei Mahboub, E., Soloki, H. R., Azhdary Moghaddam, M., 2024. Land subsidence potential in the Tahlab plain and the relationship between domestic wastewater and collapse in sewage wells in the Rig-Malek city, southeast of Zahedan. Kharazmi Journal of Earth Sciences 10(2), 397- 420. <http://doi.org/10.22034/KJES.2024.10.2.107681>



BY NC

located in high-traffic areas; in houses and streets, and given the dangers that these collapses can pose to the residents of the area and buildings, it is necessary to conduct a study on this matter and investigate the cause of these sudden collapses and to suggest ways to prevent these collapses. Therefore, this study aims to investigate land subsidence and its relationship with groundwater withdrawal and wastewater disposal from sewage wells in the Tahlab Plain and Rig-Malek city.

Materials and Methods

In order to investigate the risk of subsidence in the Tahlab plain, statistical data such as: hydrogeological information, map information such as; Tahlab plain topographic map, Tahlab watershed geological map, elevation map and fault and land use map in shape file format and studies conducted in the study area were collected from the Sistan and Baluchestan Regional Water Joint Stock Company to be used in preparing information layers effective on subsidence and assessing the risk of subsidence in the Tahlab plain. In addition, boreholes were drilled in the city of Rig-Malek as a field and laboratory study to determine the cause of land subsidence and the formation of cracks and fissures in residential buildings.. In this regard, the soils of the region were sampled at different depths of the wells to conduct soil mechanics tests. In addition, the infiltration rate of water into different soil layers was determined using a cylinder test.

Results and Discussion

After combining the layers in the GIS software, a land subsidence vulnerability index was obtained for the Tahlab plain. Based on the land subsidence risk zoning map, it is observed that most areas of the plain have a low subsidence risk, with the exception of the northern region, where the discharge of exploitation wells is high. For this purpose and to assess the land subsidence risk in relation to the discharge of exploitation wells, it was observed that the drop in the water table between 2009 and 2015 was insignificant and the land subsidence risk was low.

Based on the soil collapse data in terms of the Clevenger criterion, it is observed that the urban surface soil in the four study wells initially has a dry density of less than 1.30 g/cm^3 and is collapsible according to the Clevenger criterion. At a depth of 2 m in all the drilled wells, there is a significant change in the dry density and the dry density increases to 1.49 g/cm^3 , which is an average collapse potential based on the Clevenger criterion. Finally, at a depth of 4 m in all the drilled wells, the dry density decreases to less than 1.30 g/cm^3 and the collapse potential increases. Therefore, settlement in buildings and the formation of cracks and crevices in them can be due to the presence of collapsible soils in the city of Rig-Malek.

As the effluent to the sewage wells in the study area increases, the water level in these wells rises due to the low permeability of the soil located at a depth of 4 m. Then, the soils located at the middle depth of the wells with high permeability cause horizontal water transfer to the adjacent areas. The increase in water input to the well or the presence of adjacent sewage wells as well as the horizontal change in the soil in terms of permeability causes the water level in the wells to rise again. The rise in the water level causes the soils located at the middle depth of the wells to be saturated with water and due to the lack of adhesion and particle size, the particles fall to the bottom of the well when exposed to water, causing internal erosion between the upper and lower layers. Subsequently, with the increase in the water input, the water level rises. At this stage, the slope created by internal erosion and the low liquid limit of the surface soils cause the surface soils to flow with 20% moisture absorption, leading to the sudden collapse of the well.

Conclusions

This study finds that the Tahlab Plain has a low risk of subsidence in terms of groundwater withdrawal in most areas. However, the land subsidence in the north of the Tahlab Plain is due to the presence of collapsible soils in this area. The surface soils in this area are capable of withstanding additional loads in dry

conditions. However, the presence of collapsible surface soils in the north of the Tahlab plain is the most important factor in causing cracks and gaps in buildings. The soil layer located at a depth of 2 meters in the study area, with high permeability and low soil cohesion, has caused internal erosion in the sewage wells and the low liquid limit of collapsible soils causes sudden subsidence of the sewage wells. The rise in the water level in the sewage wells is also due to the presence of soils with very low permeability at a depth of 4 meters from the ground surface.. Based on the results of this study on the causes of collapses of wells, it is possible to propose solutions to prevent further collapses in the area, including:

- To prevent the decrease in the water table of the aquifer in this area, border runoff should be controlled and used for artificial recharge of the border aquifer.
- Avoid using gardens in the residential areas located in the study area.
- Prevent water infiltration from gardens and sewage wells by using plastic or tarring the lateral edges of gardens and sewage wells into the collapsible loess layers located in the area of the foundations of buildings that are potentially collapsible.
- To prevent collapses in sewage wells in the study area, internal erosion of the sand layer by means of a

lime shield or a concrete wall or culverts around the walls of sewage wells can be used.

References

Castellazzi, P., Domínguez, N., Martel, R., Calderhead, A., Normand, J., Gárfias, J., Rivera, R., 2016. Land subsidence in major cities of Central Mexico: Interpreting InSAR-derived landsubside mapping with hydrogeological data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 47, 102–111.





Fijani, E., Zarei P., 2024. Evaluation of land subsidence potential in Humand-Absard aquifer using remote sensing methods and its relationship with groundwater abstraction. *Hydrogeology* 9(1), 1-15. (in Persian).

Khaloei, F., Elmizadeh, H., 2023. Monitoring the Subsidence of Kazerun Plain Using SENTINEL Images and Radar Interferometric Technique (DInSAR). *Journal of Engineering Geology* 17(2), 169-186.

Lashkaripour, G., Ghafouri, M., Rezaei, H., Taghavi, S.A., 2013. Mechanism of collapse of Golestan loess. First National Conference of Geotechnical Engineering of Iran, University of Mohaghegh Ardabili. (in Persian).

Wang, j., Ma, y., Guo, Q., Chu, D., 2017. Influence of Pressure and Water Content on Loess Collapsibility of the Xixian New Area in Shaanxi Province, China. *Earth Sci. Res. J* 21(4), 197-202.

CRedit authorship contribution statement

 Reza Jahanshahi	Conceptualization, Methodology Software, Validation, Formal analysis Investigation, Resources, Data Curation, Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing, Supervision, Project administration, Funding acquisition
 Ebrahim Gamshadzahi Mahboub	Conceptualization, Methodology Software, Validation, Formal analysis Investigation, Resources, Data Curation
 Hamid Reza Soloki	Conceptualization, Methodology, Software, Validation, Formal analysis, Investigation, Resources, Data Curation, Writing - Original Draft, Supervision, Project administration Funding acquisition
 Mehdi Azhdary Moghaddam	Data Curation Supervision



Research Article

OPEN ACCESS

Kharazmi Journal of Earth Sciences

Journal homepage <https://gnf.khu.ac.ir>



پتانسیل فرونشست زمین در دشت تهاب و ارتباط دفع پساب خانگی با رومبندگی چاه‌های فاضلاب شهر ریگ ملک، جنوب شرق زاهدان

رضا جهانشاهی*^۱، ابراهیم گمشادزهی محبوب^۲، حمیدرضا سلوکی^۳، مهدی اژدری مقدم^۴

۱. دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۳. گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۴. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله	دشت تهاب در حوضه‌ی آبریز هامون ماشکیل در جنوب منطقه میرجاوه و در طول نوار مرزی ایران و پاکستان واقع گردیده است. در بیشتر نواحی روستایی این دشت بویژه مناطق شمالی آن در امتداد مرز ایران و پاکستان آثار فرونشست بصورت ترک و شکاف در ساختمان‌ها و چاه‌های جذبی به وفور مشاهده می‌گردد. به منظور ارزیابی این فرونشست‌ها، در ابتدا دشت تهاب از نظر ریسک فرونشست، پهنه‌بندی گردید. بر پایه نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست مشاهده می‌شود که اکثر مناطق دشت تهاب از خطر فرونشست کمی برخوردار هست به استثنای منطقه شمال دشت تهاب که در این منطقه دبی چاه‌های بهره‌برداری زیاد می‌باشد. برای بررسی دلایل فرونشست زمین و رابطه آن با جنس خاک در مناطق شمالی دشت تهاب، پتانسیل رومبندگی نمونه‌های خاک ارزیابی گردید. نمونه‌برداری خاک از اعماق مختلف چهار چاهک مطالعاتی انجام گردید. ضریب رومبندگی نمونه‌های خاک بر طبق معیار جنینگز و نایت در دستگاه ادنومتر در آزمایشگاه در حالت اشباع بین ۰/۲۱ تا ۷/۳ اندازه‌گیری گردید که نشان داد خاک این منطقه رومبند است. در انتها برای بررسی وقوع ریزش ناگهانی در چاه‌های جذبی در مناطق شمالی دشت آزمایش نفوذپذیری به روش استوانه تک در اعماق مختلف یکی از چاهک‌ها صورت گرفت که نشان داد یک لایه نفوذپذیر با نرخ نفوذپذیری ۹/۲۴ سانتی‌متر در ساعت در بین دولایه با نفوذپذیری کم قرار دارد که باعث افزایش سطح آب در چاه‌های جذبی می‌گردد و متعاقب آن حد روانی اکثر نمونه‌های خاک سطحی شهر ریگ ملک کمتر از ۳۰ درصد اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که میزان نفوذپذیری خاک به همراه حد روانی تاثیر مستقیمی بر ریزش چاه‌های جذبی دارند.
واژه‌های کلیدی	روانای، رومبندگی، فرونشست زمین.

است. رومبندگی یکی از رایج‌ترین فرایندهای مخاطره‌آمیز در خاک‌های لسی محسوب می‌شود. خاک‌های رومبند، در هنگام اشباع شدن، با کاهش حجم شدیدی مواجه می‌شوند. این تغییر حجم می‌تواند ناشی از اعمال بار اضافی باشد. سازه‌هایی که بر روی چنین خاک‌هایی احداث می‌شوند؛ در صورت اشباع شدن خاک، تحت نشست زیاد قرار می‌گیرند. این رطوبت ممکن است ناشی از عوامل و منابع مختلف نظیر شکست لوله‌های آبرسانی، نشست از لوله‌های فاضلاب، نشست از

فرونشست زمین یکی از مخاطرات طبیعی است که اغلب به صورت عمودی اتفاق افتاده و در مدت زمان چندین سال ممکن است مشاهده شود (Scott, 1979). فرونشست زمین تحت شرایط متعددی روی می‌دهد که از جمله آن‌ها می‌توان به فرونشست در اثر جابه‌جایی زمین و بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی اشاره کرد (Omidvar, 2011). یکی از مکانیزم‌های فرونشست زمین، رمبش

DOI <http://doi.org/10.22034/KJES.2024.10.2.107681>

*نویسنده مسئول: رضا جهانشاهی rezajahanshahi@ut.ac.ir

استناد به این مقاله: رضا جهانشاهی، گمشادزهی محبوب، سلوکی، ح. ر. اژدری مقدم، م. (۱۴۰۳). پتانسیل فرونشست زمین در دشت تهاب و ارتباط دفع پساب خانگی با رومبندگی چاه‌های فاضلاب شهر ریگ ملک، جنوب شرق زاهدان. *مجله علوم زمین خوارزمی*. جلد ۱۰، شماره ۲، صفحه ۳۹۷ تا ۴۲۰.

<http://doi.org/10.22034/KJES.2024.10.2.107681>



مخازن آب و یا بالا آمدن سطح آب زیرزمینی باشد (Jehring, 2006). در رابطه با فرونشست زمین تحقیقات زیادی در ایران و جهان صورت گرفته است. بیشتر این تحقیقات در رابطه با فرونشست زمین در اثر برداشت بی رویه‌ی آب زیرزمینی و تعیین مقدار افت آبخوان بوده است که می‌توان به فیجانی و زارعی (Fijani and Zarei, 2024)، خالویی و علمیزاده (Khaloei and Elmizadeh, 2023)، منتظریون و اصلانی (Montazerian and Aslani, 2019)، رجبی و خوش اخلاق (Rajabi and Khoshakhlagh, 2015)، طاهری و همکاران (Taheri et al., 2017)، بهنیافر و همکاران (Behniafar et al., 2010)، رنجبر و جعفری (Ranjbar and Jafari, 2009)، ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2008)، ژو و همکاران (Zhu et al., 2015)، هو و همکاران (Hu et al., 2002)، کارمیناتی و مارتینلی (Carminati and Martinelli, 2002) و کاستلازی و همکاران (Castellazzi et al., 2016) اشاره نمود. در حالیکه در بسیاری از موارد فقط برداشت از آب زیرزمینی عامل فرونشست نمی‌باشد. به عنوان مثال لشکری پور و همکاران (Lashkaripour et al., 2013) مکانیسم رمبش لس‌های استان گلستان در ارتباط با فرونشست زمین را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند در لس‌ها پتانسیل رمبندگی بالا است. نگوین (Nguyen, 2016) نشان داد مهم‌ترین عوامل فرونشست زمین در شهر هوشی‌مین در ویتنام شامل: الف- ساختارهای زمین‌شناسی: خاک‌های سطحی این منطقه سست بوده و گسترش ساختمان‌سازی باعث فرونشست زمین گردیده است. ب- عدم مدیریت: در بسیاری از نقاط سیستم فاضلاب قدیمی و نفوذ آب باعث فرونشست گردیده است. ج- استخراج آب‌های زیرزمینی: حدود یک میلیون متر مکعب آب هر ساله استخراج شده است و کاهش سطح آب زیرزمینی باعث فرونشست شده است و د- عدم مدیریت صحیح تاسیسات زیرزمینی، بوده است. براساس استایروس (Stairos, 2001) در دشت تسالونیکه در جنوب یونان دیده شد که عوامل موثر بر فرونشست دشت شامل:

الف- تحکیم رسوبات بر اثر اکسیداسیون خاک‌های زغالی در منطقه وادوز، ب- تراکم رسوبات دشت و ج- بی‌ثباتی لایه‌های میانی بر اثر تحکیم لایه‌های پایینی رسوبات این دشت می‌باشد. وانگ و همکاران (Wang et al, 2017) در دشت ژیزیان در چین متوجه شدند دو عامل درصد رطوبت و فشار، رابطه مستقیمی در افزایش رمبندگی خاک دارند. در بعضی نمونه‌ها با درصد رطوبت ثابت، با افزایش میزان فشار، رمبندگی آنها افزایش می‌یافت و بالعکس. تفرشی و همکاران (Tafreshi et al., 2021) به ارزیابی ریسک فرونشست در دشت ورامین در ایران پرداختند. آنها در تحقیق خود ۱۴ عامل موثر در فرونشست را ضخامت آبخوان، عمق سنگ کف، دبی چاه‌های بهره‌برداری، نفوذپذیری، آبدهی ویژه، کاهش سطح ایستابی، جنس خاک، شیب زمین، ارتفاع، فرسایش، بارش سالانه، فاصله از گسل، واحدهای زمین‌شناسی و کاربری اراضی دانستند.

در حال حاضر در اغلب شهرها و روستاهای ایران دفع فاضلاب توسط چاه‌های جذبی صورت می‌گیرد. در شرق استان سیستان و بلوچستان دشت تهاب واقع شده است که در آن، کشاورزی وسیعی انجام می‌شود. در روستاها و بخصوص شهر ریگ ملک که در این دشت واقع است، در نواحی مسکونی نزدیک به چاه‌های جذبی فاضلاب، فرونشست و ریزش ناگهانی در سطح زمین (شکل ۱) و ترک خوردگی دیوار ساختمان‌ها در اثر نشست (شکل ۲)، مشکلات زیادی برای ساکنین ایجاد کرده است. بیشتر چاه‌های جذبی در مکان‌های پرتدد، در خانه‌ها و خیابان‌ها واقع شده‌اند و با توجه به خطراتی که ریزش آنها می‌تواند برای ساکنین منطقه و ساختمان‌ها داشته باشد، ضرورت دارد مطالعه‌ای در این باره صورت گرفته و علت ریزش‌های ناگهانی بررسی و راه‌های جلوگیری از آن پیشنهاد شود. از این رو در این تحقیق به بررسی فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب زیرزمینی و دفع پساب چاه‌های جذبی در دشت تهاب و شهر ریگ ملک، اهتمام گردیده است.



شکل ۱- فرونشست سطح زمین در بالای چاه‌های جذبی در منطقه مورد مطالعه

Fig.1. Ground surface collapse in septic wells in the study area



شکل ۲- ترک خوردگی و شکاف در دیواره‌های ساختمان‌ها در اثر فرونشست، در مناطق مسکونی دشت تهلاب

Fig. 2. Cracks and gaps in the walls of buildings due to subsidence in residential areas of the Tahlab plain

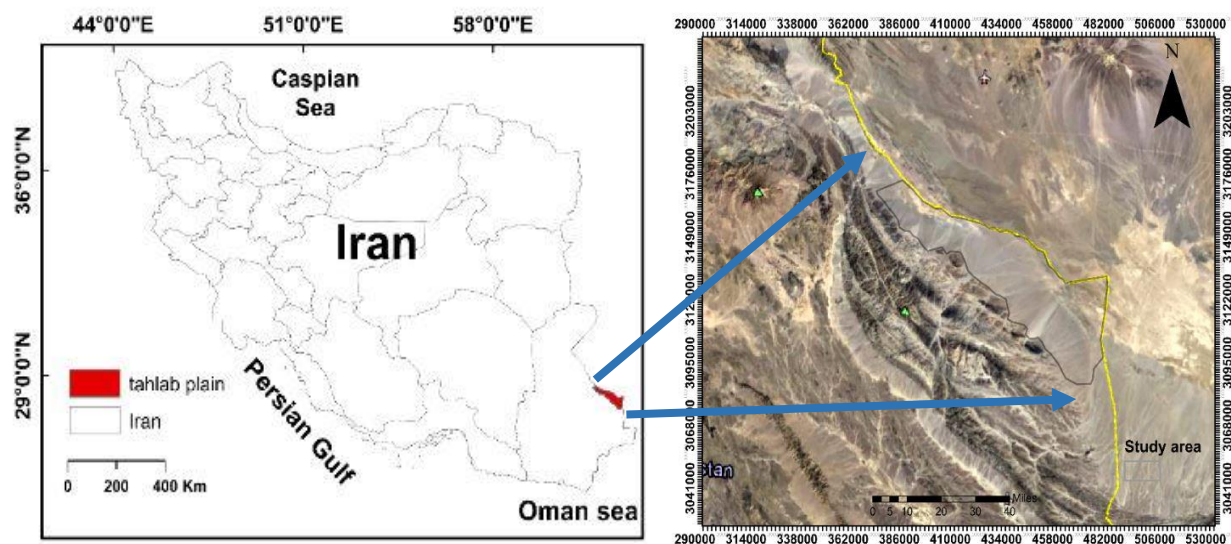
مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

محدوده‌ی دشت تهلاب در حوضه‌ی آبریز تهلاب (زیرمجموعه حوضه‌ی هامون ماشکیل) بین طول $61^{\circ}25'$ و $62^{\circ}45'$ شرقی و عرض $28^{\circ}00'$ و $29^{\circ}00'$ شمالی در طول نوار مرزی ایران و پاکستان قرار گرفته است (شکل ۳). قسمت شرقی دشت توسط ارتفاعات مرزی پاکستان و دامنه غربی آن را ارتفاعات شرقی تفتان محدود می‌سازد. امتداد دشت شمال غربی- جنوب شرقی و خط مرزی ایران و پاکستان در امتداد رودخانه تهلاب قرار گرفته است. طول دشت ۱۶۵ کیلومتر است و عرض آن از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. مساحت محدوده حوضه‌ی آبریز ۸۳۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که ۴۶۲۰ کیلومتر مربع آن را دشت و مابقی را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. شیب عمومی دشت در امتداد طولی در حدود ۱/۳ درصد از شمال به جنوب و در امتداد عرضی ۳ درصد از غرب به شرق به طرف رودخانه تهلاب می‌باشد. حداکثر ارتفاع در این منطقه ۱۶۸۲ متر از سطح دریا می‌باشد که در ارتفاعات شمال غربی منطقه واقع شده است. ارتفاع متوسط دشت ۷۵۰ متر می‌باشد. محدوده‌ی تهلاب از نظر موقعیت زمین‌شناسی در حد فاصل دو قسمت چین خورده در امتداد شمال غربی- جنوب شرقی واقع گردیده است (شکل ۴). حاشیه قسمت‌های شمالی منطقه در نزدیک لادیز از رسوبات کنگلومرایبی تشکیل شده است. اکثر رسوبات این دشت را رخساره‌های فلیش (تناوب مارن، شیل و ماسه سنگ) تشکیل می‌دهند. سن این سازندها اکثراً پالئوسن تا ائوسن و در قسمت‌های میانی رخساره‌های فلیش الیگوسن نیز ملاحظه می‌گردد.

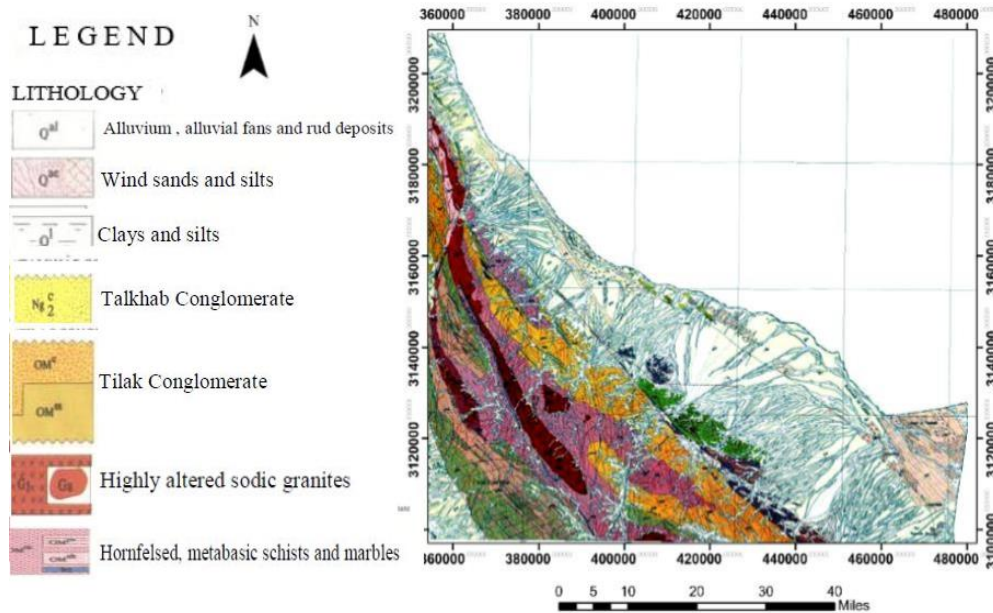
سطح ساختمان اصلی دشت تهلاب توسط رسوبات آبرفتی دوران چهارم پوشیده شده است. رسوبات آبرفتی تقریباً یکنواخت بوده و شامل تناوبی از مواد شنی، رسی و ماسه‌ای هستند. در حاشیه غربی دشت تهلاب به واسطه ورود سیلاب‌های نسبتاً زیاد، مخروط

افکنه‌های آبرفتی نسبتاً وسیعی دیده می‌شود که تناوب رسوبگذاری رودخانه‌ای در آنها کاملاً مشخص است. جنس مواد متشکله آبرفتی اغلب آذرین و ماسه‌سنگی حاصل از فرسایش و تخریب تشکیلات حاشیه دشت است. رسوبات انباشته شده در دشت حاصل فعالیت رواناب‌های ورودی به دشت تهلاب است و رواناب اصلی از ضلع شمال غربی در دشت جریان یافته است. لذا روند اصلی رسوبگذاری از ضلع شمال غربی و در طول دشت تا خروجی دشت (جنوب شرقی) است. ضخامت آبرفت در ضلع ورودی حداکثر حدود ۴۵۰ متر و در دهانه خروجی ضخامت آبرفت حدود ۵۰ متر است. در قسمت میانی این دشت بر اثر بالا بودن سطح آب‌زیرزمینی و تبخیر شدید یک پوشش نمکی و رس سطح رسوبات را پوشانده است. مطابق آمار ارائه شده منابع آب‌زیرزمینی در این محدوده شامل ۲۰۸ حلقه چاه (۳۹ حلقه عمیق و ۱۶۹ نیمه عمیق) می‌باشد. میزان کل تخلیه از منابع آب زیرزمینی این دشت برابر با ۵۲/۵۹ میلیون مترمکعب می‌باشد که از این مقدار، ۸۲ درصد برداشت‌ها را مختص بخش کشاورزی و ۱۸ درصد مختص بخش شرب است. سطح آب زیرزمینی در این آبخوان بسیار متفاوت است به طوری که در چاه‌های پیژومتری از ۱۰ متر تا ۹۵ متر بوده و متوسط آن حدود ۳۰ متر برآورد گردیده است. منبع اصلی تغذیه این سفره رودخانه سیانجان است که از دامنه شرقی تفتان سرچشمه می‌گیرد. همچنین رودخانه گزو که از ارتفاعات جنوبی تفتان و ارتفاعات حاشیه جنوبی دشت پشتکوه سرچشمه گرفته، پس از عبور از تنگه گزو وارد دشت تهلاب می‌شود. سیلاب‌هایی که از ارتفاعات حاشیه شرقی دشت در خاک پاکستان وارد دشت می‌شوند نیز به صورت جزئی سفره را تغذیه می‌کند. مطابق شکل جهت جریان آب زیرزمینی در دشت از شمال غرب به سمت جنوب شرق بوده و به وضوح خروج بخشی از آب زیرزمینی از ایران به سمت پاکستان را نشان می‌دهد. همچنین به طور متوسط افت سطح ایستابی در دشت رخ داده است (شکل ۶).



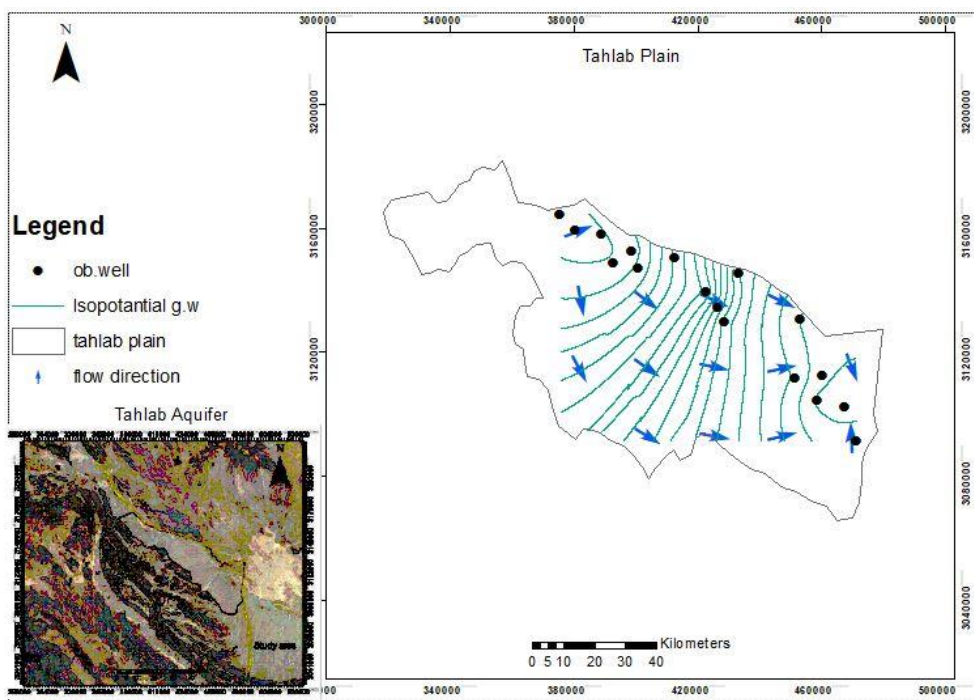
شکل ۳- موقعیت جغرافیایی دشت تهلاب در شرق استان سیستان و بلوچستان

Fig. 3. Geographical location of the Tahlab plain in the east of Sistan and Baluchestan province



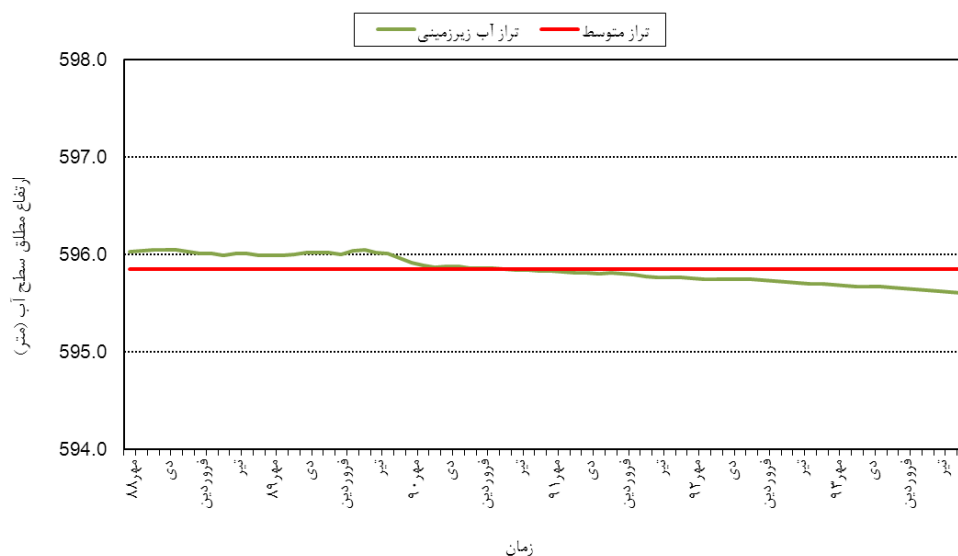
شکل ۴- نقشه زمین شناسی حوضه آبریز تهلاب

Fig. 4. Geology map of the Tahlab catchment area



شکل ۵- جهت جریان آب زیرزمینی در دشت تهلاب

Fig. 5. Groundwater flow direction in the Tahlab plain



شکل ۶- هیدروگراف معرف دشت

Fig. 6. Water table hydrograph of the plain

نقشه‌ها از قبیل نقشه‌ی توپوگرافی دشت تهلاب، نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز تهلاب، نقشه‌ی راقمی ارتفاعی و نقشه‌ی گسل‌ها و کاربری اراضی با فرمت شیپ فایل از شرکت سهامی آب منطقه‌ای

روش کار و یافته‌ها

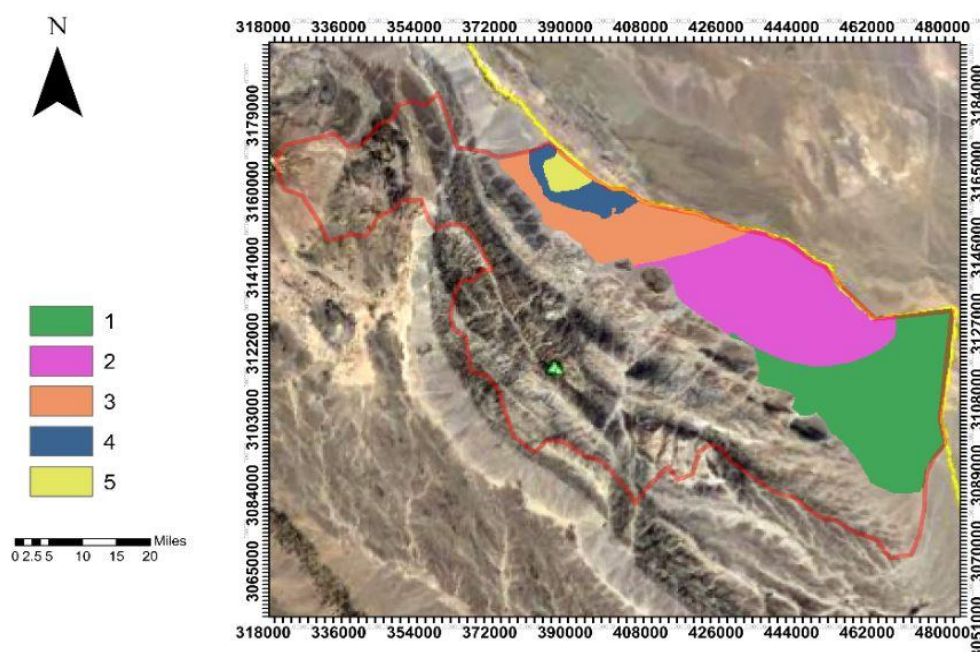
به منظور بررسی خطر فرونشست در محدوده‌ی دشت تهلاب، گزارشات مطالعاتی، داده‌های آماری اطلاعات هیدروژئولوژی، اطلاعات

عامل بر اساس میزان اهمیت در وقوع فرونشست، براساس طاهری و همکاران (Taheri et al., 2017) یک وزن از ۷ تا ۱ اختصاص داده شده است. بدین منظور به موثرترین عامل در فرونشست وزن ۷ و کم اهمیت‌ترین عامل وزن ۱ اختصاص داده شده است. همچنین هر عامل به دسته‌هایی تقسیم شده که به هر دسته نیز بر اساس میزان تاثیرش در وقوع فرونشست، رتبه‌هایی تعلق گرفته است. به این معنی که هرچه تاثیر آن دسته بر وقوع فرونشست بیشتر باشد رتبه بیشتری به آن اختصاص می‌یابد و هر چه تاثیر آن در فرونشست کمتر باشد رتبه کمتری به آن تعلق می‌گیرد. سپس نقشه‌های رستری مربوط به هر یک از عوامل فوق در محیط نرم افزار آرک‌جی‌آی‌اس تهیه گردید و کلاس‌بندی شدند (اشکال ۷ تا ۱۱). در نهایت ۵ لایه‌ی کلاس‌بندی شده موثر در فرونشست، بر اساس وزن هر کلاس در محیط نرم افزار تلفیق شدند (Taheri et al., 2017) و در نهایت شاخص آسیب پذیری دشت تهرلاب نسبت به وقوع فرونشست به روش فازی، در قالب یک نقشه در شکل ۱۲ تعیین گردید.

سیستان و بلوچستان جمع‌آوری گردید تا در تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی موثر بر فرونشست و ارزیابی خطر فرونشست در دشت تهرلاب مورد استفاده قرار گیرند. همچنین برای تعیین علت فرونشست زمین و ایجاد درز و شکاف در ساختمان‌های مسکونی، در قالب مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی اقدام به حفر چاهک‌هایی در شهر ریگ ملک شده است. در این راستا از خاک‌های منطقه در عمق‌های مختلف چاهک‌ها، جهت انجام آزمایشات مکانیک خاک نمونه‌برداری شده است. همچنین با استفاده از انجام آزمایش استوانه تک، نرخ نفوذ آب به لایه‌های مختلف خاک انجام شده است. در ادامه به نحوه انجام مطالعات پهنه‌بندی، صحرایی و آزمایشگاهی پرداخته شده است:

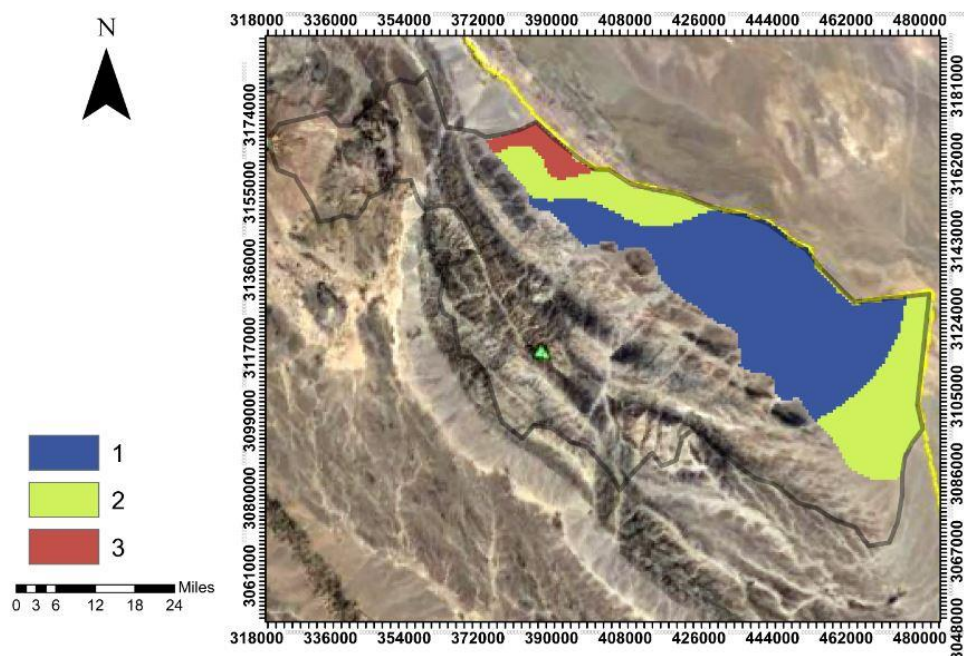
الف) مطالعات پهنه‌بندی

در راستای ارزیابی پتانسیل فرونشست در دشت مرزی تهرلاب ۵ عامل موثر در فرونشست زمین شامل دبی چاه‌های بهره‌برداری، درصد ضخامت خاک رس در لاگ‌های حفاری، کاربری اراضی، شیب سطح زمین و فاصله از گسل مورد بررسی قرار گرفتند. به هر یک از این ۵



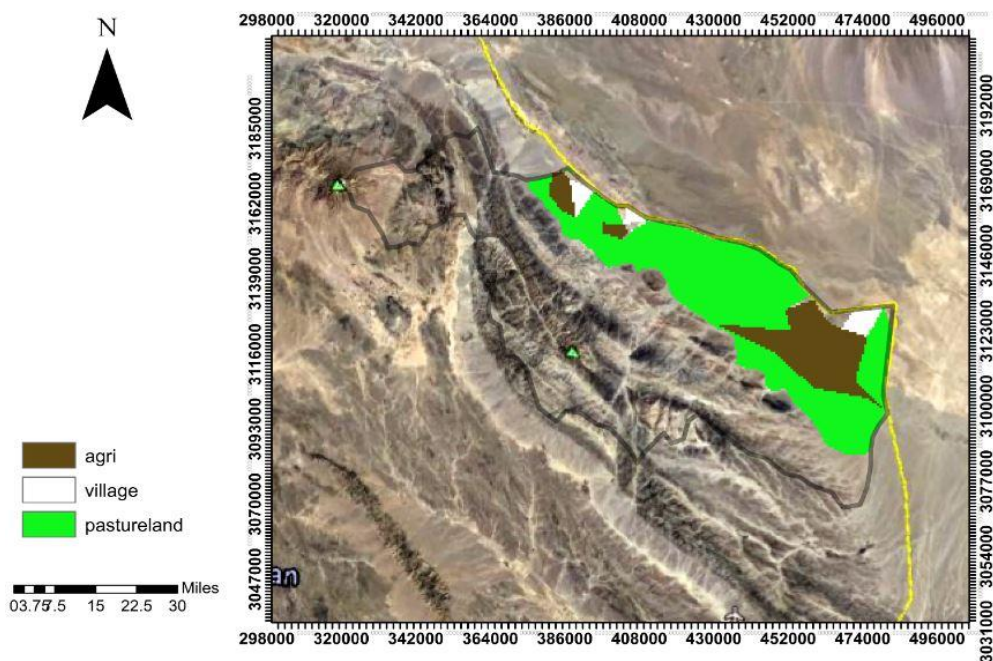
شکل ۷- لایه‌ی کلاس‌بندی شده دبی چاه‌های بهره‌برداری

Fig. 7. Classified layer related to well flow rate



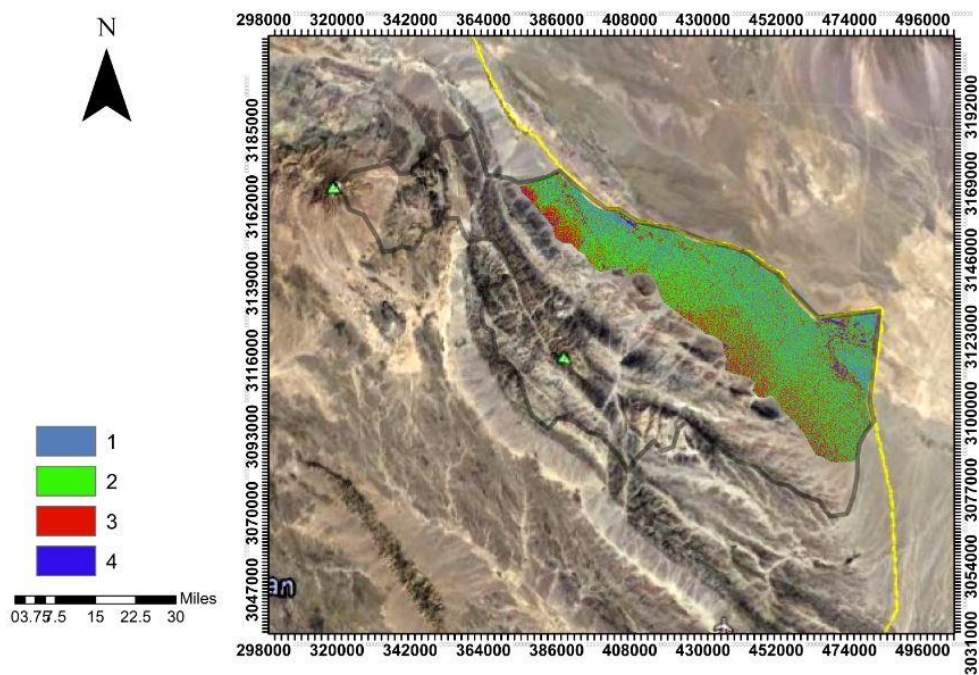
شکل ۸- لایه‌ی کلاس‌بندی شده ضخامت خاک رس در لاگ‌های حفاری

Fig. 8. Classified layer related to clay soil



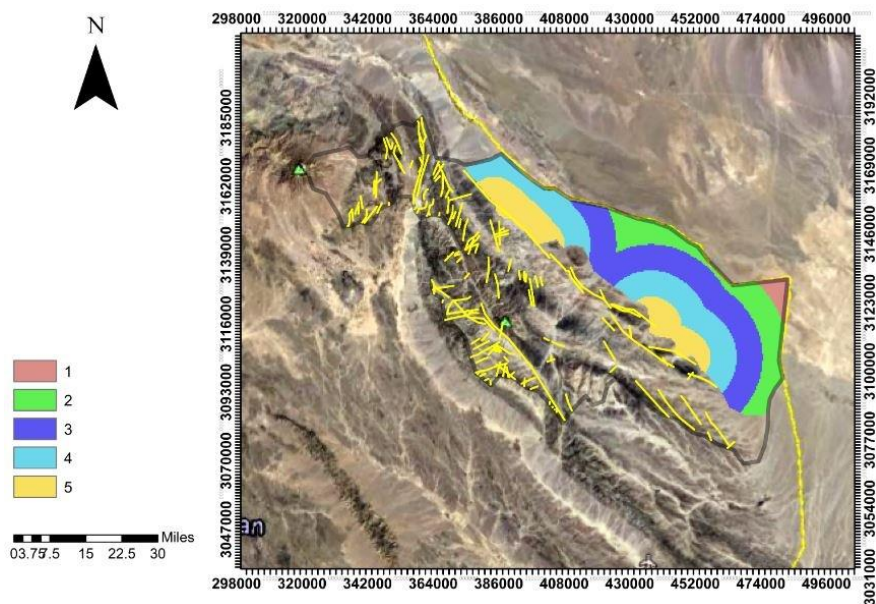
شکل ۹- لایه‌ی اطلاعاتی کاربری اراضی

Fig. 9. Classified layer related to land use



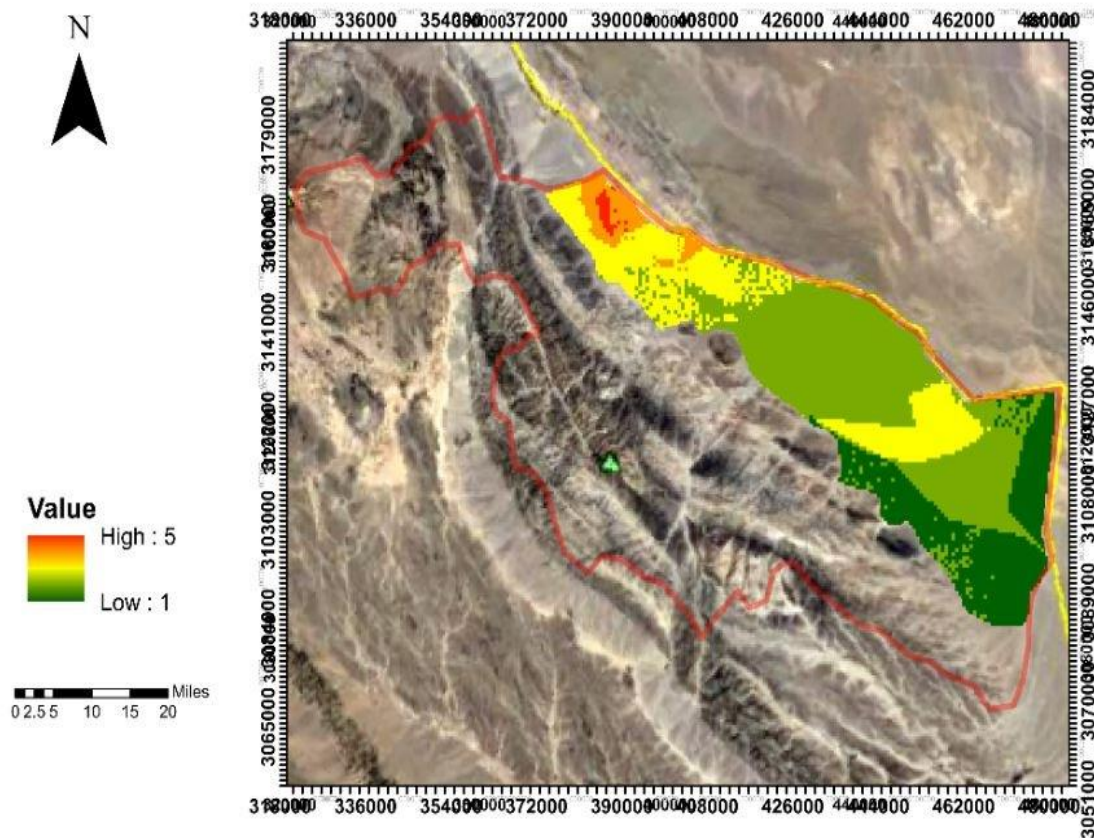
شکل ۱۰- لایه‌ی کلاس‌بندی شده شیب سطح زمین

Fig. 10. Classified layer related to slope of the ground surface



شکل ۱۱- لایه‌ی کلاس‌بندی شده فاصله از گسل‌ها

Fig. 11. Classified layer related to distance from faults



شکل ۱۲- شاخص آسیب‌پذیری فرونشست در منطقه مورد مطالعه

Fig. 12. Subsidence vulnerability index in the study area

اندازه‌گیری قطر و ارتفاع آن به دست آمد. سپس این رینگ در خاک کوبیده شد تا کاملاً در خاک نفوذ کند و درون آن پر از خاک دست نخورده محدوده مورد مطالعه گردد. سپس خاک درون رینگ خارج و توزین گردید و بر حجم استوانه تقسیم شد. در نهایت مقدار چگالی خشک خاک‌های مورد مطالعه با این روش، به دست آمد (جدول ۱). بر اساس این معیار خاک‌های محدوده مورد مطالعه مستعد رمبندگی بر اساس معیار کلونجر هستند.

ب) مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

برای تعیین علت فرونشست زمین و ایجاد درز و شکاف در ساختمان‌ها، در نواحی شهری و روستایی واقع در بخش شمالی دشت تهاب (مناطق با پتانسیل بالای فرونشست در شکل ۱۲) و ارتباط آن با رمبندگی خاک، ۴ حلقه چاهک در شهر ریگ ملک حفر گردید. برای تعیین چگالی خشک خاک‌های محدوده مورد مطالعه و ارتباط آن با پدیده رمبندگی خاک از نظر معیار کلونجر، از ابزار رینگ برجا استفاده گردید (شکل ۱۳). برای این منظور حجم رینگ با



شکل ۱۳- اندازه‌گیری چگالی خشک برجای خاک با استفاده از رینگ

Fig. 13. In-situ soil dry density estimation using a ring

Table. 1. Estimated value of in-situ soil dry density

جدول ۱- مقادیر محاسبه شده چگالی خشک برجای خاک

محل	عمق (متر)	چگالی خشک خاک (گرم بر سانتی‌متر)	پتانسیل رطوبت‌دگی بر مبنای معیار کلونجر
چاهک ۱	0	1.22	رطوبت‌دگی کم
	2	1.14	رطوبت‌دگی کم
	4	1.25	رطوبت‌دگی کم
چاهک ۲	0	1.21	رطوبت‌دگی کم
	2	1.43	رطوبت‌دگی کم
	4	1.28	رطوبت‌دگی کم
چاهک ۳	0	1.23	رطوبت‌دگی کم
	2	1.42	رطوبت‌دگی کم
	4	1.27	رطوبت‌دگی کم
چاهک ۴	0	1.20	رطوبت‌دگی کم
	2	1.47	رطوبت‌دگی کم
	4	1.25	رطوبت‌دگی کم

دستگاه ادنومتر بوسیله ابزار کولیس اندازه‌گیری گردید و به عنوان ارتفاع نمونه قبل از غرقاب کردن در نظر گرفته شد. در نهایت، نمونه در دستگاه ادنومتر از آب اشباع گردید و تغییر حجم نمونه بوسیله گیج دستگاه ادنومتر اندازه‌گیری شد (شکل ۱۴ و جدول ۲).

جهت بررسی رطوبت‌دگی خاک‌های مورد مطالعه بر اساس معیار جنینگز و نایت، در آزمایشگاه پتانسیل رطوبت‌دگی نمونه‌ها در وضعیت اشباع، در دستگاه ادنومتر اندازه‌گیری گردید. در این آزمایش نمونه‌ها تحت بارگذاری تا یک مقدار از تنش قرار گرفتند. سپس که مقدار کرنش به صفر نزدیک شد در این هنگام میزان ارتفاع نمونه در رینگ



شکل ۱۴- تعیین ضریب رمبندگی خاک بر اساس معیار جنینگز و نایت در دستگاه ادئومتر

Fig. 14. Collapse coefficient of soil according to the Jennings and Knight criteria in an Oedometer device

جدول ۲- مقادیر محاسبه شده ضریب رمبندگی خاک‌های محدوده مورد مطالعه بر مبنای معیار جنینگز و نایت

Table. 2. Estimated value of soil collapse coefficient according to the Jennings and Knight criteria

محل	عمق (متر)	ضریب رمبش بر مبنای معیار جنینگز و نایت
چاهک ۱	0	5.2
	2	0.42
	4	1.31
چاهک ۲	0	3.15
	2	0.21
	4	1.05
چاهک ۳	0	6.3
	2	0.15
	4	5.26
چاهک ۴	0	2
	2	0.5
	4	6.8

زمین‌شناسی مهندسی منتقل شد. این آزمایش به روش استاندارد ای‌اس‌تی‌ام - دی ۴۳۱۸ (ASTM D4318, 2010) انجام گردید.

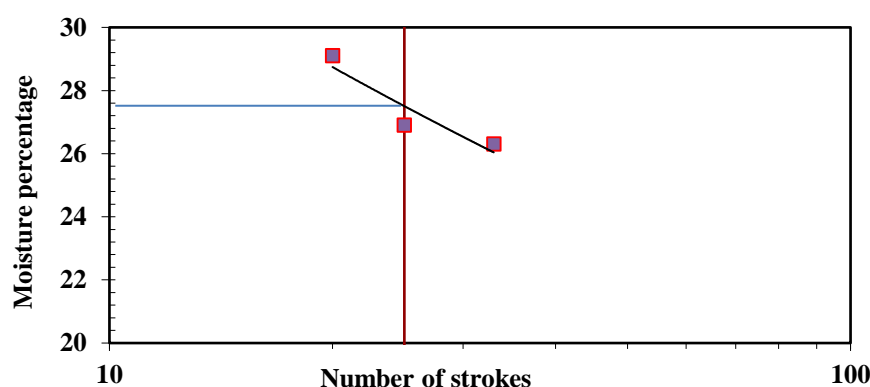
نمونه‌های خاک برداشت شده از چهار حلقه چاهک در راستای بررسی حدود اثربرگ نمونه‌های خاک و تعیین حد روانی به آزمایشگاه

شکل ۱۵ قرار داده شدند. در نهایت این مقادیر درصد رطوبت بوسیله یک خط جریان به یکدیگر وصل گردیدند که در ۲۵ ضربه استاندارد برای تعیین حد روانی آزمایش فوق ۲۷/۵ به دست آمد. سپس برای تعیین شاخص پلاستیسیته و نوع خاک استفاده شد. شاخص پلاستیسیته برابر با ۵/۱ اندازه‌گیری گردید که بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید، در گروه ML قرار می‌گیرد.

برای انجام آزمایش تعیین حدود آتربرگ، خاک‌های مورد مطالعه از الک شماره ۴۰ عبور داده شدند. سپس مقداری آب به آنها اضافه گردید. خاک مرطوب شده در دستگاه کاساگرانده قرار داده شد و مقدار حد روانی آن در سه مرحله با میزان رطوبت مختلف ارزیابی گردید (در جدول ۳ نمونه چاهک ۱). به عنوان مثال مقادیر درصد رطوبت آزمایش حد روانی مربوط به چاهک شماره ۱ بر روی نمودار جدول ۳- آزمایش حد روانی خاک‌های عمق ۲ متر چاهک ۱

Table. 3. Liquid limit of soils in depth of 2 m in well 1

شماره نمونه		نوع آزمایش
3	2	شماره ظرف
16	25	تعداد ضربات
29.72	29.83	وزن ظرف
32.76	24.16	وزن نمونه تر
25.39	19.06	وزن نمونه خشک
7.37	5.1	وزن آب نمونه
29.1	26.7	درصد رطوبت (%)



شکل ۱۵- تعیین حد روانی نمونه خاک چاهک ۱

Fig. 15. Determination of liquid limit of soils in well 1

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، خاک‌های محدوده مورد مطالعه در تمام چاهک‌ها مطابق معیار گیبس و بارا در گروه خاک‌های رمنده قرار می‌گیرد. از عمق ۲ متر به پایین در تمام چاهک‌ها تغییر قابل توجه‌ای در نوع خاک اتفاق افتاد است. این نوع خاک در دستگاه کاساگرانده خاصیت خمیری شدن و چسبندگی را از خود نشان نداد و به اختصار NP می‌نامند.

جدول ۴- رمبندگی خاک‌های مورد مطالعه بر اساس معیار گیبس و بارا

Table. 4. Soil collapse of in the studied samples according to Gibbs and Barra criteria

محل	عمق (متر)	چگالی خشک خاک (gr/cm)	حد روانی	جنس خاک	پتانسیل رمبش
چاهک ۱	0	1.22	27.5	ML	رمبنده
	2	1.14	N.P	SP	N.P
چاهک ۲	4	1.25	30	ML	رمبنده
	0	1.21	21	ML	رمبنده
چاهک ۳	2	1.43	N.P	SP	N.P
	4	1.28	25	ML	رمبنده
چاهک ۴	0	1.32	31.7	ML	رمبنده
	2	1.42	N.P	SP	N.P
چاهک ۴	4	1.27	30	ML	رمبنده
	0	1.20	26	ML	رمبنده
چاهک ۴	2	1.47	N.P	SP	N.P
	4	1.25	24	ML	رمبنده

متر چاهک، به میزان ۹/۲۴ سانتی‌متر بر ساعت و در گروه متوسط طبقه‌بندی می‌شود. در نهایت نرخ نفوذ پایه آب در خاک، در عمق ۴ متر چاهک، به میزان ۰/۱۴ سانتی متر بر ساعت اندازه‌گیری گردید و در گروه خیلی آهسته طبقه بندی شد.

با استفاده از اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب به خاک با روش استوانه تک، و معادلات نفوذ کوستیاکف میزان سرعت نفوذ پایه در اعماق مختلف چاهک ۲ (شکل ۱۶) محاسبه شد (جدول ۵). نرخ نفوذ پایه آب در سطح زمین به میزان ۰/۲۱ سانتی‌متر بر ساعت اندازه‌گیری گردید و در گروه خیلی آهسته طبقه‌بندی شد. این نرخ در عمق ۲



شکل ۱۶- آزمایش اندازه‌گیری نرخ نفوذپذیری با استفاده از استوانه تک در سطح زمین چاهک شماره ۲

Fig. 16. Measurement of the infiltration rate using ring on the ground surface of well 2

جدول ۵- سرعت نفوذ پایه در اعماق مختلف خاک چاهک شماره ۲ بر اساس سانتی‌متر بر ساعت

Table. 5. Estimated infiltration rate (in cm/hr) in various depth of well 2

عمق	نرخ نفوذ پایه آب (سانتی‌متر بر ساعت)
0	0.21
2	9.24
4	0.14

بیشتر از ۵۰ ضربه دستگاه DCP صورت گرفت و بر اساس مقاومت بالای خاک این آزمایش از درجه اعتبار ساقط است .

اما در عمق ۲ متر مربوط به چاهک در ابتدا بدون ایجاد هیچ گونه ضربه دستگاه CP، نفوذ قابل توجه‌ای (۴۰ میلی‌متر) صورت گرفت که نشان‌دهنده‌ی سست بودن خاک می‌باشد (جدول ۶). سپس به جهت سست بودن این خاک‌ها نفوذ کمتر شد که به علت اصطکاک خاک‌های ریزشی در طول میله دستگاه DCP اتفاق افتاد که در سایر خاک‌های چسبیده این اصطکاک به وسیله نوک مخروطی دستگاه DCP حذف می‌گردد. مقدار نفوذ ۳۵۰ میلی‌متر دستگاه DCP در عمق ۲ متر چاهک در ۳۱ ضربه دستگاه اندازه‌گیری گردید (جدول ۶). در انتها شاخص DPI برای این عمق به مقدار ۱۱ میلی‌متر به ازای هر ضربه اندازه‌گیری گردید. لذا بر اساس محمدی (Mohammadi, 2008) خاک موجود در این عمق متراکم می‌باشد. در عمق ۴ متری نیز، این آزمایش انجام شد و به علت مقاومت بالای خاک، مقدار نفوذ در بیشتر از ۵۰ ضربه دستگاه DCP بدست آمد. لذا این آزمایش در عمق ۴ متری از درجه اعتبار ساقط است. جدول ۷ شاخص نفوذ بوسیله دستگاه DCP را در اعماق مختلف چاهک شماره ۲ نشان می‌دهد.

از آزمایش نفوذسنج مخروطی دینامیکی (DCP) برای اندازه‌گیری برجا و سریع مقاومت خاک استفاده گردید. این آزمایش در سطح زمین و اعماق ۲ متر و ۴ متر مربوط به چاهک شماره ۲ انجام شد. این وسیله دارای یک چکش به وزن ۸ کیلوگرم است که از ارتفاع ۵۷۵ میلی‌متر سقوط می‌کند و میزان نفوذ میله این دستگاه در خاک (نتیجه رها شدن چکش دستگاه) مقاومت خاک را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از انجام آزمایش با کاوشگر DCP به روش‌های مختلفی ارائه می‌شود که یکی از این روش‌ها تعیین شاخص DPI است (Embacher, 2006). جهت اندازه‌گیری شاخص DPI لازم است که تعداد ضربات بوسیله دستگاه DCP برای نفوذ ۳۵۰ میلی‌متر شمارش گردد. چنانچه در کمتر از ۵۰ ضربه دستگاه DCP، نفوذ ۳۵۰ میلی‌متر میله دستگاه در خاک صورت گرفت، نتایج آزمایش DCP قابل قبول است. چنانچه این مقدار نفوذ در بیشتر از ۵۰ ضربه دستگاه DCP صورت گیرد نشان‌دهنده مقاومت بالای خاک و آزمایش غیر قابل قبول و از درجه اعتبار ساقط است.

در نقاط سطحی و قبل از ۲ متر مربوط به چاهک، این آزمایش صورت گرفت. به علت مقاومت بالای خاک، مقدار نفوذ بسیار اندک اندازه‌گیری گردید. بر اساس استاندارد شاخص DPI که میزان نفوذ ۳۵۰ میلی‌متر دستگاه DCP 50 ضربه است این مقدار نفوذ در

جدول ۶- نتایج آزمایش DCP در عمق ۲ متر چاهک شماره ۲

Table. 6. Results of DCP test in the depth of 2 m in well 2

تعداد ضربه دستگاه DCP	میزان نفوذ (میلی متر)
0	40
2	50
5	100
10	150
15	200
20	250
25	300
31	350

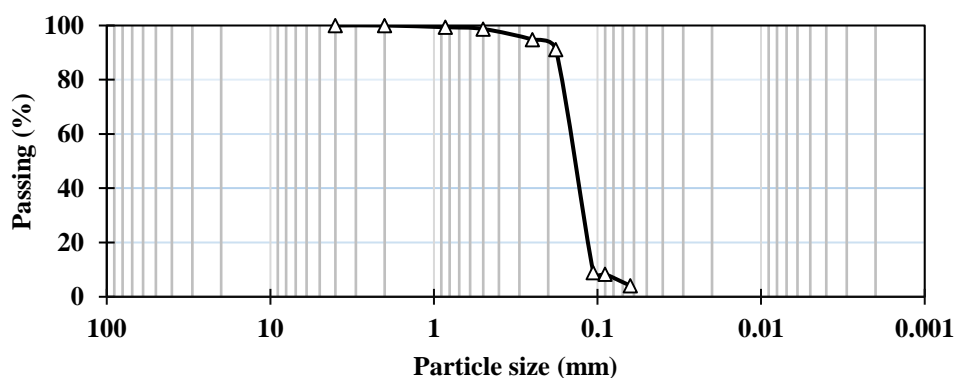
جدول ۷- اندازه گیری شاخص DPI (mm/blow) در چاهک شماره ۲

Table. 7. Measured DPI index (in mm/blow) in well 2

عمق	DPI
0	غیر قابل اندازه گیری
2	11
4	غیر قابل اندازه گیری

الک در برابر قطر ذرات ترسیم شد (شکل ۱۷). بر پایه شاخص CU مشاهده می شود که توزیع ذرات یکنواخت بوده و در رده نمونه های با درجه بندی ضعیف قرار دارند و لذا در گروه ماسه ریز تا متوسط یا SP سیستم یونیفاید قرار می گیرند.

جهت آزمایش دانه بندی، نمونه های خاک اعماق ۲ متر چاهک ۲ (با نمونه های خاک سطحی و عمق ۴ متر خصوصیات متفاوتی دارد)، در آزمایشگاه رسوب شناسی، از الک های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۵، ۶۰، ۸۰، ۱۴۰، ۱۷۰ و ۲۳۰ مش عبور داده شدند و منحنی درصد عبوری از هر



شکل ۱۷- منحنی دانه بندی خاک در عمق ۲ متر چاهک ۲

Fig. 17. Soil gradation curve in the depth of 2 m of well 2

مفهومی از ریزش های ناگهانی چاهها و تحلیل کلی پتانسیل وقوع فرونشست در منطقه مورد مطالعه مورد بحث قرار گرفته است.

الف) بررسی رمبندگی خاک

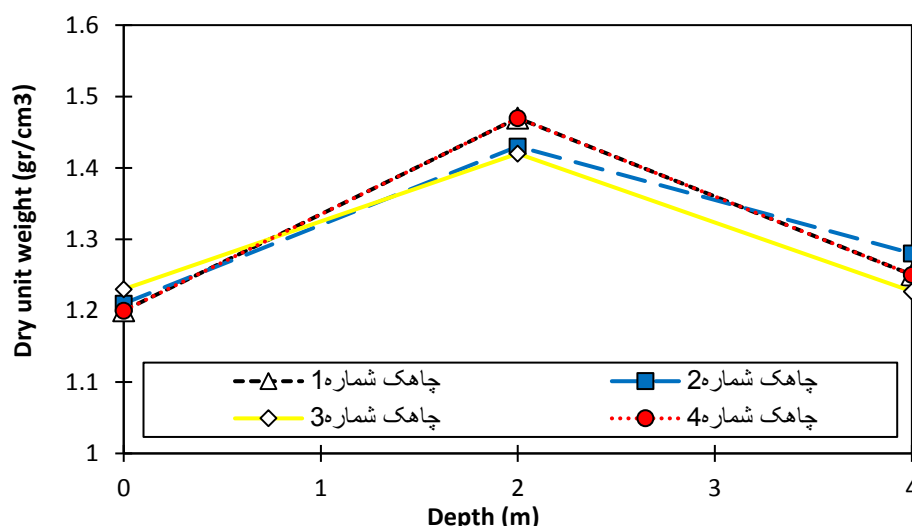
بحث

نتایج به دست آمده این تحقیق در چهار بخش شامل: بررسی رمبندگی خاک، بررسی ریزش های ناگهانی چاه های جذبی، ارائه مدل

معيار كلونجر

بر پایه داده‌های رمبندگی خاک از نظر معیار کلونجر مشاهده می‌گردد که خاک سطح شهر در ۴ چاهک مطالعاتی، در ابتدا از چگالی خشک کمتر از $1/30$ گرم بر سانتی متر مکعب برخوردار و از نظر معیار کلونجر رمبند هستند. در عمق ۲ متر در تمام چاهک‌های مطالعاتی حفر شده در میزان چگالی خشک تغییر قابل ملاحظه صورت می‌گیرد و چگالی خشک به میزان $1/49$ گرم بر سانتی‌متر

مکعب افزایش می‌یابد که بر پایه معیار کلونجر پتانسیل رمبش متوسط است. در نهایت در عمق ۴ متر در تمام چاهک‌های مطالعاتی حفر شده میزان چگالی خشک به میزان کمتر از $1/30$ گرم بر سانتی‌متر مکعب کاهش می‌یابد و پتانسیل رمبش افزایش می‌یابد (شکل ۱۸). لذا نشست در ساختمان‌ها و ایجاد درز و شکاف در آنها می‌تواند به علت وجود خاک‌های رمبند در سطح شهر ریگ ملک باشد.



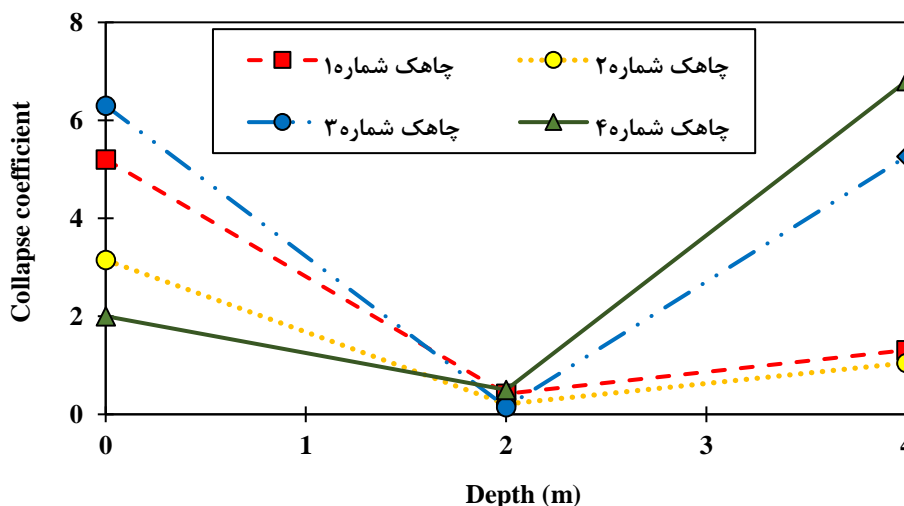
شکل ۱۸- رمبندگی خاک منطقه مورد نظر از نظر معیار کلونجر در اعماق مختلف چاهک‌ها

Fig. 18. Value of soil collapse according to Clevenger criteria for various depth of wells

معيار جنينگز و نایت

بر پایه داده‌های ضریب رمبندگی خاک از نظر معیار جنینگز از ۴ چاهک مطالعاتی، مشاهده می‌گردد که خاک سطح شهر در ابتدا از ضریب رمبندگی بالایی برخوردار هستند. سپس در عمق ۲ متر ضریب رمبندگی پایین و دوباره از عمق ۴ متر ضریب رمبندگی خاک افزایش زیادی می‌یابد. نشست سازه‌ها در سطح شهر می‌تواند به علت وجود خاک‌های با ضریب رمبندگی بالا باشد (شکل ۱۹). این خاک‌ها

در شرایط خشک در دستگاه ادئومتر تحمل بارگذاری را تا یک مقدار از تنش داشتند ولی در اثر اشباع شدن بدون افزایش تنش این خاک فرو ریخت و نشست قابل توجهی از خود نشان داد. در واقع خاک‌های با ضریب رمبندگی بالا در شرایط خشک توانایی تحمل بارهای سنگین را دارند ولی در شرایط اشباع شدن و قرار گرفتن در معرض رطوبت به راحتی فرو می‌ریزند.



شکل ۱۹- ضریب رمبندگی خاک منطقه مورد نظر از نظر معیار جنینگز و نایت در اعماق مختلف چاهک‌ها

Fig. 19. Soil collapse coefficient according to Jennings and Knight criteria for various depth of wells

زمین ناچیز است ولی در عمق ۲ متر افزایش ناگهانی زیادی در نرخ نفوذ آب صورت می‌گیرد و در نهایت در عمق ۴ متر نفوذپذیری خاک تا حدودی به میزان اولیه خود بر می‌گردد (شکل ۲۰).

آزمایش حدود روانی خاک

بر پایه داده‌های حد روانی خاک در چاهک ۲ مشاهده می‌گردد (شکل ۲۱) که حد روانی خاک در سطح چاهک در حدود ۲۰ درصد می‌باشد. سپس در عمق ۲ متر، خاک مورد نظر به علت سست بودن و عدم چسبندگی قابل اندازه‌گیری از نظر حد روانی نبود. در نهایت در عمق ۴ متر حد روانی خاک تا ۳۰٪ افزایش می‌یابد.

مقاومت تراکمی خاک

بر پایه داده‌های آزمایش DCP می‌توان دریافت که خاک‌های واقع در سطح و عمق ۴ متر در شرایط خشک از مقاومت بالایی برخوردار هستند و بوسیله دستگاه DCP به علت تراکم زیاد قابل اندازه‌گیری نبودند اما خاک موجود در عمق ۲ متر در اوایل آزمایش سست و ریزشی اندازه‌گیری گردید.

معیار گیبس و بارا

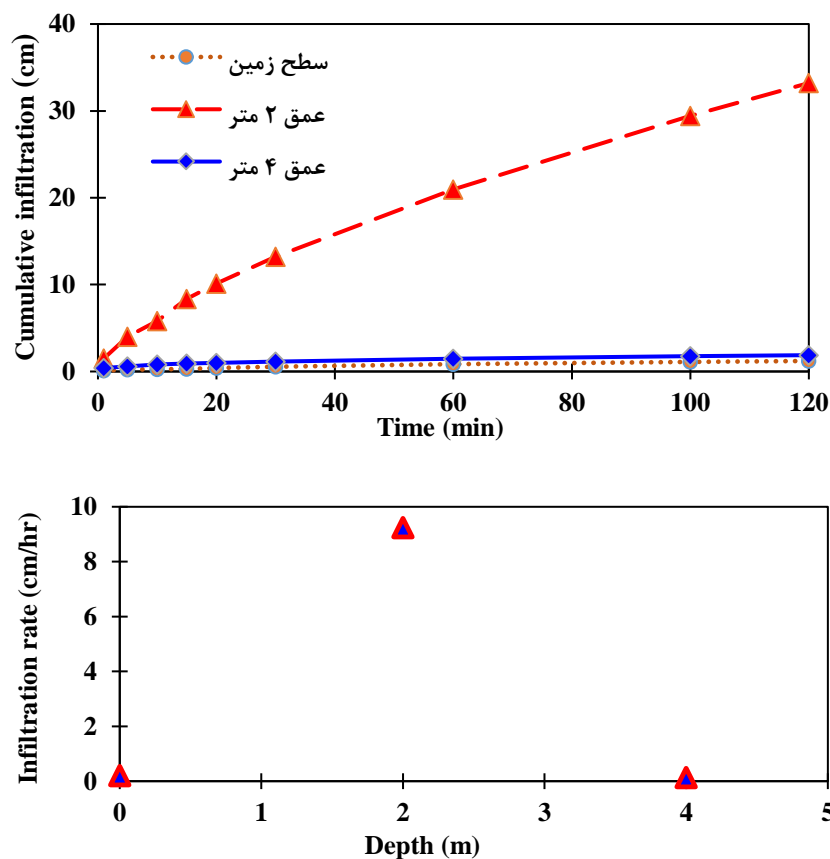
بر پایه داده‌های چگالی خشک خاک و حد روانی خاک‌های سطح شهر ریگ ملک از نظر معیار گیبس و بارا در گروه خاک‌های رمبند قرار می‌گیرند.

ب) بررسی ریزش‌های ناگهانی چاه‌های جذبی

برای پی بردن به ریزش‌های ناگهانی چاه‌های جذبی در محدوده مورد مطالعه و ارتباط آن با نفوذ پذیری و حد روانی خاک، داده‌های به دست آمده آزمایش نفوذپذیری، حد روانی و هم چنین مقاومت خاک در چاهک شماره ۲، هر کدام جداگانه مورد تجزیه قرار گرفتند.

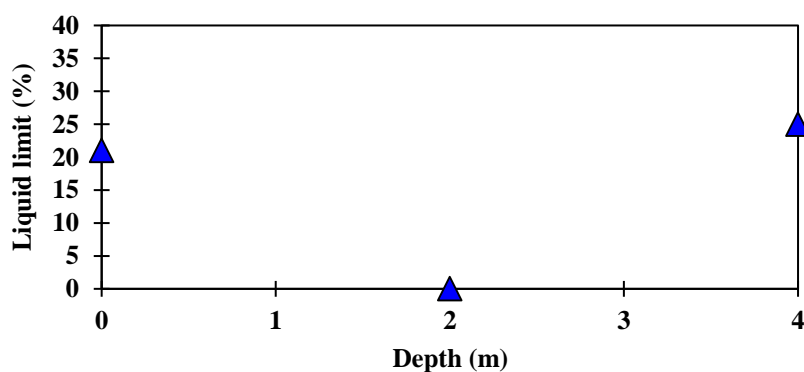
آزمایش نفوذ پذیری خاک

بر پایه داده‌های نرخ نفوذ تجمعی آزمایش استوانه تک در چاهک شماره ۲، مشاهده می‌گردد که یک لایه‌ی خاک با نفوذپذیری بالا در عمق ۲ متر در بین دولایه با نفوذ پذیری خیلی پایین در چاهک شماره ۲ قرار گرفته است (شکل ۱۳). هم چنین بر اساس نرخ نفوذ پایه آب در چاهک مشاهده می‌گردد که نرخ نفوذ پایه آب در سطح



شکل ۲۰- نفوذ تجمعی و نرخ نفوذ پایه آب به خاک در اعماق مختلف چاهک ۲

Fig. 20. Cumulative infiltration and infiltration rate of water in the various depth of well 2



شکل ۲۱- حد روانی نمونه‌های خاک در اعماق مختلف در چاهک ۲

Fig. 21. Liquid limit of soil for various depth of well 2

این چاه‌های جذبی افزایش می‌یابد. سپس خاک‌های واقع در عمق میانی چاهک‌ها به دلیل نفوذپذیری بالا باعث انتقال افقی آب به مناطق مجاور می‌گردد. افزایش آب ورودی به چاه و یا وجود چاه‌های

(ج) ارائه مدل مفهومی ریزش ناگهانی چاه‌های جذبی با افزایش پساب به چاه‌های جذبی در منطقه مورد مطالعه، به علت نرخ نفوذپذیری پایین خاک واقع در عمق ۴ متر، سطح آب در

برخوردار می‌باشد. به هر حال فرونشست‌های واقع در شمال دشت تهراب به علت وجود خاک‌های رمبنده است. در این منطقه خاک‌های سطحی موجود در شرایط خشک، توانایی تحمل بارهای اضافی را دارد. اما وجود خاک‌های سطحی رمبنده در شمال دشت تهراب مهم‌ترین عامل در ایجاد ترک و شکاف در ساختمان‌ها می‌باشد. وجود لایه‌ی خاک با نفوذپذیری بالا و چسبندگی خاک پایین در عمق دو متر در محدوده مورد مطالعه باعث فرسایش داخلی در چاه‌های جذبی شده است. حد روانی کم خاک‌های رمبنده باعث فرونشست ناگهانی چاه‌های جذبی در محدوده مورد مطالعه می‌گردد و علت افزایش سطح آب در چاه‌های جذبی منطقه نیز به دلیل وجود خاک‌های با نفوذپذیری بسیار پایین در عمق ۴ متری از سطح زمین می‌باشد. براساس نتایج این پژوهش در خصوص علت‌یابی ریزش‌های ناگهانی چاه‌ها، می‌توان جهت جلوگیری از فرونشست بیشتر در منطقه، راهکارهایی را پیشنهاد داد که عبارتند از:

- جهت جلوگیری از کاهش سطح ایستابی آبخوان در این منطقه، باید رواناب‌های مرزی کنترل گردد و از آنها برای تغذیه مصنوعی آبخوان مرزی استفاده شود.

- عدم استفاده از باغچه در حیاط خانه‌های واقع در محدوده مطالعاتی.

- جلوگیری از نفوذ آب از باغچه و چاه‌های جذبی، بوسیله پلاستیک و یا قیراندود کردن حاشیه جانبی باغچه‌ها و چاه‌های جذبی به لایه‌های لسی رمبنده واقع در محدوده پی ساختمان‌ها که بالقوه رمبنده هستند.

- جهت جلوگیری از وقوع فرونشست در چاه‌های جذبی منطقه مورد مطالعه، می‌توان از فرسایش داخلی لایه ماسه‌ای بوسیله حفاظ آهکی یا از دیوار بتنی و یا کول‌گذاری در اطراف دیواره چاه‌های جذبی و فاضلاب استفاده کرد.

جذبی مجاور و همچنین تغییر افقی خاک از نقطه‌نظر نفوذپذیری باعث افزایش دوباره سطح آب در چاه‌ها می‌گردد. افزایش دوباره سطح آب باعث می‌شود خاک‌های واقع در عمق میانی چاهک‌ها از آب اشباع گردد و بعلافت عدم چسبندگی و اندازه ذرات، ذرات در مواجهه با آب به ته چاه ریزش کنند و باعث فرسایش داخلی بین لایه بالایی و پایینی گردد. در ادامه با افزایش آب ورودی، سطح آب افزایش می‌یابد. در این مرحله شیبی که بر اثر فرسایش داخلی ایجاد گردیده است و حد روانی پایین خاک‌های سطحی، باعث می‌شود خاک‌های سطحی با ۲۰ درصد جذب رطوبت روان گردند و باعث ریزش ناگهانی چاه گردد. البته بایستی اشاره کرد این رخداد در زمین‌های کشاورزی یا مناطق بدون سکونت در منطقه به دلیل عدم وجود ایجاد فضای خالی زیرزمینی مانند چاه‌های جذبی، نفوذ آب برگشتی و یا بارش به لایه خاک‌های روبنده، رومبندگی در سطح زمین ایجاد نخواهد شد.

د) تحلیل کلی پتانسیل وقوع فرونشست در منطقه مورد مطالعه

بعد از تلفیق لایه‌ها در محیط نرم افزار GIS شاخص آسیب‌پذیری فرونشست برای دشت تهراب بدست آمد (شکل ۱۲). بر پایه نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست مشاهده می‌شود که اکثر مناطق دشت تهراب از خطر فرونشست کمی برخوردار هست به استثنای منطقه شمال دشت تهراب که در این منطقه دبی چاه‌های بهره‌برداری زیاد می‌باشد. برای این منظور و ارزیابی خطر فرونشست در ارتباط با دبی چاه‌های بهره‌برداری مشاهده گردید که افت سطح ایستابی فاصله سال‌های ۹۴-۱۳۸۸ ناچیز است و خطر فرونشست کم می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مشخص شد که بطور کلی در دشت تهراب از نظر برداشت آب زیرزمینی در بیشتر مناطق، از خطر فرونشست پایینی

References

- ASTM D4318., 2010. Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. Annual Book of ASTM Standards, Section 4, (04.08), Soil and Rock; Building Stones. ASTM International, West Conshohocken.
- Behniafar, A., Ghanbarzadeh, H., Eshraghi, Ali., 2010. Investigation of effective factors in Mashhad plain subsidence and its geomorphic consequences. *Zagros Landscape Geographic Quarterly* 2(5), 131-146. (in Persian).
- Carminati, E., Martinelli, G., 2002. Subsidence rates in the Po Plain, northern Italy: the relative impact of natural and anthropogenic causation. *Engineering Geology* 66, 241–255.
- Castellazzi, P., Domínguez, N., Martel, R., Calderhead, A., Normand, J., Gárfias, J., Rivera, R., 2016. Land subsidence in major cities of Central Mexico: Interpreting InSAR-derived landsubside mapping with hydrogeological data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 47, 102–111.
- Embacher, R., 2006. Duration of Spring-Thaw Recovery for Aggregate-Surfaced Roads. TRB Annual Meeting. American Engineering Testing, Inc. 1967(1), 27-35.
- Fijani, E., Zarei P., 2024. Evaluation of land subsidence potential in Humand-Absard aquifer using remote sensing methods and its relationship with groundwater abstraction. *Hydrogeology* 9(1), 1-15. (in Persian).
- Hu, R. I., Wang, S.J., Lee, S.F., Li, M.L., 2002. Characteristics and trends of land subsidence in Tanggu, Tianjin, China. *Bull Eng Geol Env* 61(3), 213–225.
- Jehring, S., 2006. Engineering geology problems in loess deposits. <http://www.geo.tufreiberg.de/oberseminar/os06-07/susann-jehring.pdf>.
- Khaloei, F., Elmizadeh, H., 2023. Monitoring the Subsidence of Kazerun Plain Using SENTINEL Images and Radar Interferometric Technique (DInSAR). *Journal of Engineering Geology* 17(2), 169-186.
- Lashkaripour, G., Ghafouri, M., Rezaei, H., Taghavi, S.A., 2013. Mechanism of collapse of Golestan loess. First National Conference of Geotechnical Engineering of Iran, University of Mohaghegh Ardabili. (in Persian).
- Mohammadi, S.D., 2008. Development of the application of DCP dynamic probe to determine engineering parameters of sandy soils. Doctoral thesis, Tarbiat Modares University. (in Persian).
- Nguyen, Q.T., 2016. The Main Causes of Land Subsidence in Ho Chi Minh City. Sustainable Development of Civil, Urban and Transportation Engineering Conference, *Procedia Engineering* 142, 333 - 340.
- Omidvar, K., 2011. Natural hazards. Yazd University. Yazd. (in Persian).
- Rajabi, Al., Khoshakhlagh, A., 2015. Study of land subsidence in Qom plain due to exploitation of groundwater resources. Tehran, Water Engineering Conference and Exhibition. (in Persian).
- Ranjbar, M., Jafari, N., 2009. Investigation of effective factors in land subsidence of Eshtehard plain. *Scientific Research Journal of the Iranian Geographical Society* 6(18-19), 155-166. (in Persian).
- Scott, R.F., 1979. Subsidence-revaluation and prediction of subsidence. Ed.By Saxema, S.K., Proc. Cnof, ASCE, Gainesville, 1-25.
- Stairos, C., 2001. Subsidence of Thessaloniki (northern Greece) coastal plain, 1960-1999. *Engineering Geology* 61, 243-256.
- Tafreshi, G, Nakhaei, M., lak, R., 2021. Land subsidence risk assessment using GIS fuzzy logic spatial modeling in Varamin aquifer, Iran. *GeoJournal* 86(38), 1203-1223.
- Taheri, Z., Nadiri, A., Barzegari, Q., 2017. Study of subsidence in Shabestar Plain using GIS. The Second National Conference of Iranian Hydrology, Shahrekord University. (in Persian).
- Wang, j., Ma, y., Guo, Q., Chu, D., 2017. Influence of Pressure and Water Content on Loess Collapsibility of the Xixian New Area in Shaanxi Province, China. *Earth Sci. Res. J* 21(4), 197-202.
- Zhang, Y., Xue, Y.Q., Wu, J.C., Yu, J., Wei, Z.X., Li, Q.F., 2008. Land subsidence and earth fissures due to groundwater withdrawal in the Southern Yangtse Delta, China. *Environ Geol* 55(4), 751–762.
- Zhu, L., Gong, H., Li, X., Wang, R., Chen, B., Dai, Z., Teatini, P., 2015. Land subsidence due to groundwater withdrawal in the northern Beijing plain. *China Engineering Geology* 193, 243–255.