

## Original Research Paper

# Geological investigation and subsurface sediments classification in the Isfahan plain

Nargess Nosouhian<sup>1\*</sup>, and Bahram Nadi<sup>2</sup><sup>1</sup>Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran<sup>2</sup>Civil Engineering Department, Islamic Azad University, Najafabad Branch, Isfahan, Iran

## ARTICLE INFO

*Article history:*

Received: 2024 October 29

Accepted: 2025 February 11

Available online: 2025 July 22

*Keywords:*

Sedimentary zone

Isfahan

Zayandeh-Rud river

Alluvial plain

Quaternary

## ABSTRACT

The Isfahan plain is located in the Sanandaj-Sirjan zone with geographical coordinates of 545000 to 581000 and 3606000 to 3627000. Subsurface sedimentary sequence in this plain is divided into 4 main zones and 6 subzones. Zone A is the rock outcrops and bedrock sequence in this plain. Zone B consists of alluvial fan deposits including a variety of talus cones (B1), coarse-grained to fine-grained (B2), and mud-flow (B3) sediments. Zone C consists of fine-grained playa deposits with pedogenic limestones, formed in depressed areas outside the Zayandeh-Rud alluvial plain. Zone D is the Zayandeh-Rud alluvial plain, divided into upper fine-grained (D1), middle coarse-grained (D2), and lower fine-grained (D3) units. Fine-grained sediments were deposited in calm and stagnant conditions, and coarse-grained sequences were deposited by river's flood currents. The flatness of plain, widening of bed, and uplift of bedrock in the eastern part of river's path led to the river's exit from main path in the Isfahan plain. Presence of coarse-grained fluvial deposits with high roundness and sphericity in an upward-diminishing sequence in the central, northern, and northeastern areas of the Isfahan plain indicates the existence of an abandoned channel of the Zayandeh-Rud river to the northeastern parts of this plain.

## 1. Introduction

Landscape formation and evolution during different geological time is the result of tectonic activities along with hydrological process and climatic changes, which control the rate of erosion and deposition processes (Bull, 2009). Examination of these evidences from the geological and soil science viewpoint determines sedimentary environment and reconstructing of land evolution path.


Isfahan plain has been established on young alluvial deposits. The different of sedimentary sequences and soil development processes in the Isfahan plain is due to the diversity in tectonic conditions, landforms, sedimentary environment and climatic conditions. Despite the economic, political, social, agricultural and environmental importance of the Zayandeh-Rud river


\* Corresponding author: Nargess Nosouhian; E-mail: Email: nosouhian@gmail.com

**Citation:**

Nosouhian, N., and Nadi, B., 2025. Geological investigation and subsurface sediments classification in the Isfahan plain. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 35(2), 136, 65-84. <https://doi.org/10.22071/gsj.2025.485697.2163>.

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/gsj.2025.485697.2163

 dor: 20.1001.1.10237429.1404.35.2.4.7



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

and its adjacent lands in the Isfahan plain limited studies have been conducted on land evolution as well as the Quaternary era investigation in this area, which can be pointed to Jaafarian (1986), Ramesht (1992), Khademi et al. (1997), Ayoubi (2002), Farashi and Ajalloeian (2012), Ghaiumi Mohammadi (2011), Mohammadi et al. (2020). Formation of Zayandeh-Rud valley and river terraces with soil science viewpoint was studied by Tomanian (2007), which is the basis of further soil science researches in this basin (Ghaiumi Mohammadi, 2011, Havaee et al., 2018).

The research method and previous studies results in the Zayandeh-Rud river basin and Isfahan plain are descriptive, experimental and documentary, etc. Based on the qualitative separation of different land surface units, several geological maps of the Isfahan city have been prepared (Abdollahi et al., 2014).

The most important goals of the current research are investigation of subsurface development, based on the data obtained from exploratory boreholes in different depths and parts of Isfahan plain, and conversion of the geographical and geological descriptive information into the geological profiles. Considering the geological surveys importance in the primary studies of construction projects, the surface dispersion and subsurface development of deposits, classification of alluvial soils, separation of sedimentary environment, and detection of boundary between different sedimentary units in the Isfahan plain has been discussed, and the geological zonation for this plain has been presented in this manuscript.

The main structural units of Iran are Zagros Thrust zone (High-Zagros belt), Sanandaj-Sirjan, Urumieh-Dokhtar magmatic assemblage (UDMA), Central-East Iranian microcontinent (CEIM), Alborz, Kopeh Dag, Eastern Iran, and Makran (Ghasemi and Talbot, 2006; Fig. 1). The study area (Isfahan plain) is situated in the Sanandaj-Sirjan zone (Fig. 1-A). Based on ellipse WGS84 and geographic coordinate system UTM, the study area is located between 545000 to 581000 eastern longitude and 3606000 to 3627000 in northern latitude (Fig. 1-B).

Lithological units in the Isfahan plain composed of Jurassic shale, sandstone, and Upper Cretaceous limestone (Fig. 2). The Quaternary sediments in the Isfahan plain are formed by two major parts including alluvial fan deposits and river's alluvium. Alluvial fan deposits are the result of elevation erosion around the Isfahan city. River's alluvium, such as terraces and plains, have been created due to active tectonics and climatic changes along the Zayandeh-Rud river. Bedrocks below the alluvial units of the Isfahan plain mainly consist of Jurassic shale with dark and olive gray color (Shemshak Formation, Fig. 2).

## 2. Research methodology

In order to carry out this research, Isfahan geology maps (Abdollahi et al., 2014) and previous geological and soil science reports of the

study area were studied. In addition, the geographical location of excavation site, relationships, field characteristics, depth and thickness of different rock/soil units have been identified during field investigations in construction projects and carrying out numerous projects of geotechnical studies and land stabilization in the Isfahan city. Geotechnical studies include about 494 boreholes with a total drilling length of more than 7000 meters and field observations of 942 pit walls in the Isfahan plain (Fig. 2). Excavations were done by continuous coring in soil and rock layers that drilling technique mainly was carried out using both single-tube method for excavation in alluvium layers and double-tube method for rock layers. In order to complete data, geotechnical data of the Isfahan metro lines and deep wells were used (Technical and Soil Mechanics Laboratory Co., 2020, 2024; Zamin Fan Avaran Consulting En Co., 2006, 2017; Azmounch Foulad Consulting En Co., 2017a, b; Arvin Ajand Consulting En Co., 2022, 2024). The boreholes distribution covers almost the entire study area (Fig. 2). According to this study, the geological sections, bedrock depth, classifications of soil/rock units, and geological zonation map of the Isfahan plain is presented.

## 3. Results and discussions

Subsurface sediments in the Isfahan plain are divided into 4 main geological zones, based on the sedimentary environment types, parent materials, formation processes, sedimentary sequences and physical characteristics of alluvium and rock in exploratory boreholes.

**-Unit A:** This unit includes rock outcrops and mountainous landforms around the Isfahan city. They are mostly formed by Upper Cretaceous limestone overlaying Shemshak Formation (Jurassic shale and sandstone). The lithological examination of samples obtained from drilling in the bedrock indicates that the shale sequence is more than the sandstone in the study area (Fig. 3).

**-Unit B:** Alluvial fan deposits are formed due to erosion in the mountainous landforms around the Isfahan city. Investigating the sedimentation process in this unit shows that this unit can be divided into 3 parts, which include talus cones (B1), alluvial fan (B2) and mud sediments (B3) (Fig. 5). Unit B1, B2 and B3 are formed at the top of the alluvial fan and on the steep slopes of mountainous (B1), in the middle (B2) and end (B3) part of the alluvial fan, respectively. This unit mainly consists of rubble, angular gravel and sand with variable abundance in the B1 and B2, and silt and clay layers association with gyss in the B3.

**-Unit C:** This unit includes fine-grained playa deposits (Fig. 6). It is mainly composed of clay and silt with pedogenic calcium carbonate accumulations (hard lime grains). The formation of this unit was not affected by the flow of the Zayandeh-Rud river. It has been deposited by the seasonal and intermittent rivers which originated from the mountains in the northwest of Isfahan.

**-Unit D:** This unit is classified as the alluvial plain sediments of the Zayandeh-Rud river, which has been deposited during the river turbulent and calm period. Based on the data obtained from the exploratory boreholes in the Isfahan city, the subsurface sedimentary sequence in this unit includes the upper fine-grained layer (D1), the middle coarse-grained layer (D2), and the lower fine-grained layer (D3). The coarse-grained river sediments are composed of gravel and sand with high sphericity and roundness (Fig. 7).

Geological zonation map of subsurface sediments in the Isfahan plain is prepared based on the surface and subsurface geological studies and the influence of geomorphological parameters, topography, land slope and data obtained from exploratory boreholes (Fig. 13). The integration of this map association with the bedrock contours shows that the bedrock layer at the north side of the Zayandeh-Rud river extend to a greater depth compare with southern side of this river (Fig. 14). The rock layer outcrop in unit A can be seen at southern, eastern and western part of the Isfahan plain. The bedrock depth reaches to more than 273m at northeast of Isfahan plain around the Habibabad city in unit C.

Zayandeh-Rud river flows from the west-east direction in the Isfahan city. The thickness of the river sediments, which are mainly gravel and sand with high sphericity and roundness, decreases from the west to the east of the river channel (Fig. 10).

The most complete geological section of the Isfahan plain in the direction from south to north covers the entire sedimentary-structural area of the case study and shows that the diversity of the sedimentary environment and sequence decreases from south to north in the study area (Fig. 8).

Fine-grained sediments were deposited in calm and stagnant conditions, and coarse-grained sequences were deposited by river's flood currents in the alluvial plain sediments of the Zayandeh-Rud river. The flatness of plain, widening of bed, and uplift of bedrock in the eastern part of river's path led to the river's exit from main path in the Isfahan plain. Presence of coarse-grained fluvial deposits with high roundness and sphericity in an upward-diminishing sequence in the central, northern, and northeastern areas of the Isfahan plain indicates the existence of an abandoned channel of the Zayandeh-Rud river to the northeastern parts of this plain (Figs. 11, 13). Based on the change of the river's direction from north to south and the direction of the dominant Zayandeh-Rud flow from the west to the east in this area, the sediments in the northern part are older than the southern part and the western part are older than the eastern part in the Isfahan plain.

#### 4. Conclusion

The subsurface deposits in the Isfahan plain are divided into 4 main zones and 6 subzones based on the differentiation of the sedimentary environment. Zone A consists of the rock outcrops, mountainous landforms, and bedrock sequences in the Isfahan plain. Study of

exploratory boreholes data indicates that the depth of the bedrock and consequently the thickness of alluvium in the Isfahan plain increases from south to north and from east to west. Zone B includes alluvial fan deposits and is divided into three subunits: talus cones (B1), coarse-grained to fine-grained (B2), and mud-flow (B3). Unit B1 consists of coarse-grained sandy sediments with boulders, the coarse-grained components in these angular sediments are unrounded and unsorted. The sediments of this unit were formed at the top of alluvial fans by erosion of rocks and their movement by gravity. Unit B2 consists of sand and gravel with silt and clay as pore fillers. The coarse grains in these samples are mostly angular, poorly sorted, and lack roundness, and these deposits are located in the middle part of the alluvial fan and in foothill terrain. Unit B3 is fine-grained silty and clay sediments with sand that formed at the end part of alluvial fans. Zone C consists of fine-grained playa deposits with pedogenic calcium carbonate accumulations (hard lime grains). This unit occur in depressed and basin-shaped areas outside the alluvial plain of the Zayandeh-Rud river in the final parts of the Isfahan plain and towards the Borkhar plain. The formation of a calcic horizon in the subsurface sequence of deposits is one of the prominent features in this zone. Zone D constitutes the alluvial plain sediments of the Zayandeh-Rud river, and the subsurface sedimentary sequence in this zone includes the upper fine-grained layer (D1), the middle coarse-grained layer (D2), and the lower fine-grained layer (D3). The existing fine-grained sediments were created by the Zayandeh-Rud river flows through sedimentation in calm and marshy environmental conditions. Coarse-grained fluvial sediments (D2) with high roundness, high sphericity, and flattening indicate the impact of flood and overflow flows of the Zayandeh-Rud river, and sediments in the current and active bed of the Zayandeh-Rud river are also included in this unit. Study of the changes in elevation and slope codes in the alluvial plain of the Zayandeh-Rud river and up to the beginning of the Borkhar plain indicates the presence of a natural river ridge physiography. The presence of a ridge on the banks of the Zayandeh-Rud river also indicates the occurrence of flood and inundation periods in this river. Studying the sequence of subsurface deposits in the northeastern part of the Isfahan plain indicates the presence of lenses or thin clay layers with irregular distribution among the sequence of coarse-grained fluvial sediments (D2), and the existence of these clay interlayers can be attributed to the meandering movements of the Zayandeh-Rud river in this section. Investigating of the subsurface expansion and development of fluvial sand and gravel sediments (D2) with high roundness and sphericity outside the current course of the Zayandeh-Rud river to the north (before the Borkhar plain) and northeast of the Isfahan plain confirms the existence of an abandoned course of the Zayandeh-Rud river in the northeastern part of this plain and up to the vicinity of Isfahan Shahid Beheshti airport.

# ارزیابی زمین‌شناسی و طبقه‌بندی رسوبات زیرسطحی در گستره دشت اصفهان

نرگس نصوحیان<sup>۱\*</sup> و بهرام نادی<sup>۲</sup><sup>۱</sup> گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران<sup>۲</sup> دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان، ایران

## چکیده

دشت اصفهان در پهنه سندج- سیرجان با مختصات جغرافیایی ۵۴۵۰۰۰ تا ۵۸۱۰۰۰ و ۳۶۰۶۰۰۰ تا ۳۶۲۷۰۰۰ قرار دارد. توالی رسوبی زیرسطحی در این دشت به ۴ پهنه اصلی و ۶ زیرپهنه تفکیک می‌شود. پهنه A، رخنمون‌های سنگی و توالی سنگ بستر در این دشت است. پهنه B شامل نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای است که تنوعی از رسوبات واریزه‌ای (B1)، رسوبات درشت‌دانه تا ریزدانه دامنه‌ای (B2) و رسوبات گلی خرده‌دار (B3) را دربر می‌گیرد. پهنه C متشکل از نهشته‌های ریزدانه پلایایی همراه با آهک‌های پدوژنیک بوده که در زمین‌های فروافتاده، خارج از دشت آبرفتی زاینده‌رود ایجاد شده است. پهنه D، دشت آبرفتی رودخانه زاینده‌رود است که به واحدهای ریزدانه بالایی (D1)، درشت‌دانه میانی (D2) و ریزدانه زیرین (D3) تفکیک می‌شود. رسوبات ریزدانه در شرایط آرام و ماندابی و توالی درشت‌دانه به واسطه جریانات سیلابی رودخانه رسوب‌گذاری نموده است. مسطح بودن دشت، عریض شدن بستر و بالا آمدگی سنگ بستر در بخش خاوری مسیر رودخانه به خروج رودخانه از مسیر اصلی در دشت اصفهان انجامیده که وجود نهشته‌های درشت‌دانه رودخانه‌ای با گردشدگی و کرویت بالا و در توالی ریزشونده به سمت بالا در زمین‌های مرکزی، شمالی و شمال‌خاوری دشت اصفهان گویای وجود کانال متروک رودخانه زاینده‌رود تا بخش‌های شمال‌خاوری این دشت است.

## اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:

پهنه رسوبی

اصفهان

رودخانه زاینده‌رود

دشت آبرفتی

کواترنر

## ۱- پیش‌نوشتار

(1997)، ایوبی (۱۳۸۱)، قیومی محمدی (۱۳۹۰) و همکاران (Mohammadi et al., 2020) اشاره نمود. بررسی رخساره‌ها و فرایندهای رسوب‌گذاری نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای بخش پایینی حوضه رودخانه زاینده‌رود در جنوب خاور اصفهان (پاکزاد و امینی، ۱۳۸۸)، بررسی محدودده اصفهان از نظر نوع محیط رسوبی (سلطانی کوپایی، ۱۳۸۲)، بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی آبرفت‌های خاور شهر اصفهان (Farashi and Ajalloeian, 2012) و طبقه‌بندی زمین‌شناسی آبرفت‌های جنوب اصفهان (محمدی، ۱۳۹۹) از جمله مطالعات صورت گرفته بر مبنای پهنه‌بندی رسوبات و بررسی ویژگی‌های رسوب‌شناسی آن‌ها در این حوضه می‌باشد. چگونگی تکوین زمین‌ها در این حوضه از دیدگاه خاک‌شناسی توسط تومانیان (۱۳۸۵) بررسی گردیده است که این بررسی به‌عنوان پایه پژوهش‌های خاک‌شناسی بعدی در این حوضه قلمداد می‌شود (قیومی محمدی، ۱۳۹۰؛ هوایی و همکاران، ۱۳۹۷).

تشکیل و تکامل زمین‌ها طی دوره‌های مختلف زمین‌شناسی در نتیجه تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی همراه با فرایندهای آب‌ساختی و تغییرات اقلیمی است که این فرایندها کنترل‌کننده چرخه‌های مختلف فرسایش و رسوب‌گذاری هستند (Bull, 2009). دشت اصفهان بر روی رسوبات آبرفتی متعلق به دوران‌های سوم و چهارم زمین‌شناسی قرار گرفته است. تنوع توالی‌های رسوبی و تفاوت فرایندهای تکامل خاک در این دشت به سبب تنوع در شرایط زمین‌ساختی، شکل زمین‌ها، محیط رسوبی و شرایط اقلیمی آن است. با وجود اهمیت اقتصادی، سیاسی، اجتماعی، کشاورزی و زیست محیطی رودخانه زاینده‌رود و زمین‌های مجاور آن در دشت اصفهان، مطالعات محدودی پیرامون تاریخچه تکامل زمین‌های در این حوضه و نیز تحولات دوران کواترنر در این منطقه صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات جعفریان (۱۳۶۵)، رامشت (۱۳۷۱)، خادمی و همکاران (Khademi et al.,

\* نویسنده مسئول: نرگس نصوحیان؛ E-mail: nosouhian@gmail.com

## ماخذنگاری:

نصوحیان، ن. و نادی، ب.، ۱۴۰۴، ارزیابی زمین‌شناسی و طبقه‌بندی رسوبات زیرسطحی در گستره دشت اصفهان. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۵(۲)، ۶۵-۸۴. <https://doi.org/10.22071/gsj.2025.485697.2163>

doi: 10.22071/gsj.2025.485697.2163

doi: 20.1001.1.10237429.1404.35.2.4.7

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.

This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

زمین‌شناسی ایران جزئی از پهنه سندج- سیرجان به‌شمار می‌رود (شکل ۱-ا). منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌ساختی در یک بخش پرتکاپوی زمین‌ساختی ایران قرار دارد. تاثیر گسل‌های پی‌سنگی به ایجاد ساختارهای فرازمین (هورست) و فروزمین (گرابن) در پوسته قاره‌ای به‌ویژه در پهنه سندج- سیرجان و ایران مرکزی انجامیده است که بارها این گسل‌ها دچار باز فعالیت شده‌اند و دشت اصفهان در مرکز یکی از این فروزمین‌ها واقع شده است (Tadayon et al., 2022; Nadimi and Konon, 2012). روند بیشتر گسل‌ها در این منطقه شمال‌باختری- جنوب‌خاوری و موازی با روند کوهزایی زاگرس بوده و شیب بیشتر آن‌ها به سمت شمال‌خاور می‌باشد. تاثیر این سیستم گسلی به ایجاد دشت‌های بزرگ ساختمانی شامل دشت نجف‌آباد، دشت مبارکه، دشت مهبیار، دشت برخوار، دشت سگری و دشت اصفهان انجامیده است.

دشت اصفهان در بخش‌هایی از ۴ نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ شامل برگه‌های اصفهان، جنوب اصفهان، فلاورجان و خمینی شهر به کد 6355 III قرار دارد (عبداللهی و همکاران، ۱۳۹۳). موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در سیستم UTM، شامل عرض جغرافیایی ۵۴۵۰۰۰ تا ۵۸۱۰۰۰ و طول جغرافیایی ۳۶۰۶۰۰۰ تا ۳۶۲۷۰۰۰ بوده که این مختصات جغرافیایی تمامی وسعت زمین در گستره دشت اصفهان را شامل می‌شود (شکل ۱-ب). دشت اصفهان از جنوب توسط ارتفاعات صفا، از خاور به وسیله ارتفاعات خوراسگان و دشت سگری، از باختر و جنوب‌باختری به وسیله دشت نجف‌آباد محدود می‌شود. حد شمالی دشت اصفهان در تلاقی با دشت برخوار است که تعیین مرز آن‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد. گسل‌های اصلی شناسایی شده در گستره شهر اصفهان، گسل دهق با روند شمال‌باختری- جنوب‌خاوری با سیستم امتدادلغز راست‌گرد (Nadimi and Konon, 2012) و گسل صفا با روند شمال‌خاوری- جنوب‌باختری با سیستم امتدادلغز چپ‌گرد (Sohrabi et al., 2015) می‌باشد.

توالی واحدهای سنگ‌چینه‌ای رخنمون‌یافته در دشت اصفهان متشکل از شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک، کنگلومرا و ماسه‌سنگ کرتاسه‌زیرین، واحدهای کربناته کرتاسه‌زیرین و بالایی و نیز رسوبات آبرفتی کواترنری می‌باشد (شکل ۲). آبرفت‌های کواترنری موجود در دشت اصفهان محصول رسوب‌گذاری در محیط‌های رسوبی متفاوت مخروط‌افکنه‌ای و رودخانه‌ای هستند و رودخانه زاینده‌رود به‌عنوان مهم‌ترین منبع تغذیه‌کننده آبخوان، نقش مهمی در تشکیل و تکامل زمین‌ها در این دشت دارد. بررسی افق خاک در توالی‌های مختلف دشت اصفهان گویای آن است که رژیم‌های حرارتی، رطوبتی و تنوع رده خاک‌ها در این دشت، تحت تاثیر شرایط اقلیمی و زمین‌ریخت‌شناسی منطقه تغییر می‌نماید، به‌گونه‌ای که رشته کوه زاگرس و ارتفاعات کرکس در حوضه آبریز زاینده‌رود نقش تعیین‌کننده‌ای در نوسانات دما و رطوبت در این دشت داشته‌اند. براساس معیارهای طبقه‌بندی خاک آمریکا (Soil survey staff, 2010)، رژیم حرارتی خاک در دشت اصفهان ترمیک و رژیم رطوبتی آن «خشک» (aridic) است. بررسی گوناگونی خاک‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک که دارای بارندگی سالیانه کم و تبخیر بالا است، چیره‌بودن رده خاک از نوع «خاک خشک» (Aridisols) را نشان می‌دهد که این خاک‌ها دست‌کم دارای یکی از افق‌های آریلیک، کلسیک، پترو کلسیک، ژیبسیک، پتروژیبسیک یا سالیک می‌باشند.

## ۲- روش پژوهش

برای جمع‌آوری مستندات و اطلاعات لازم پیرامون موضوع پهنه‌بندی زمین در دشت اصفهان، انجام مطالعات زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و بررسی‌های ژئوتکنیکی ضرورت داشت. در این راستا، به بررسی منابع مختلف شامل پایان‌نامه‌ها، مقاله‌ها، نقشه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای و گزارش‌های منتشرشده در ارتباط با موضوع پژوهش و دشت اصفهان پرداخته شد. افزون بر آن، طی بررسی‌های میدانی در حین اجرای پروژه‌های عمرانی و انجام پروژه‌های متعدد مطالعات ژئوتکنیک و پایدارسازی زمین در شهر اصفهان، موقعیت جغرافیایی محل‌های حفاری، روابط واحدهای مختلف

به باور بسیاری از پژوهشگران، فعالیت‌های زمین‌ساختی چند میلیون سال گذشته در سرآب و پایاب حوضه زاینده‌رود شامل رخداد تحولات زمین‌ساختی در پهنه زمین‌ساختی زاگرس چین‌خورده (جعفریان، ۱۳۶۵)، پارگی دریاچه قدیمی پلاسجان در محل فعلی دریاچه سد زاینده‌رود (قیومی‌محمدی، ۱۳۹۰)، فرونشست دریاچه گاوخونی (رامشت، ۱۳۷۱) همراه با تغییرات اقلیمی دوران چهارم زمین‌شناسی عوامل اصلی شکل‌گیری زمین‌ها در مقیاس ناحیه‌ای در دشت اصفهان است. بررسی زمین‌شناسی این دشت نشان می‌دهد که شکل زمین‌ها، نوع محیط‌رسوبی و فیزیوگرافی رودخانه زاینده‌رود از تاثیرگذارترین عوامل در پیدایش رسوبات مختلف از نظر جایگاه مکانی، توالی رسوبی و سن نهشته‌ها هستند. دشت اصفهان از دیدگاه توپوگرافی و بر مبنای شکل زمین‌ها و بررسی لایه‌های رسوبی سطحی قابل تقسیم به ۵ واحد می‌باشد که شامل کوه، تپه، کوهپایه، دشت و رودخانه است (عبداللهی و همکاران، ۱۳۹۳). بررسی کلی شکل زمین‌ها در دشت اصفهان نشان‌دهنده آن است که شیب کلی زمین در گستره دشت از جنوب به سمت شمال است. به‌گونه‌ای که بررسی نقشه‌های توپوگرافی و مقایسه آن با شکل زمین‌ها گویای وجود بیشترین ارتفاع در بخش جنوب‌باختری شهر اصفهان و در مناطق پایکوهی صفا با رقم ارتفاعی ۱۶۳۰ متر و کمترین آن در بخش شمالی شهر اصفهان و در ابتدای دشت برخوار با رقم ارتفاعی ۱۵۶۶ متر می‌باشد. رقم ارتفاعی ثبت‌شده گویای محدودبودن تغییرات ارتفاع در کل دشت اصفهان است. بنابراین توسعه شهر اصفهان عمدتاً در اراضی نسبتاً هموار و مسطح دشت آبرفتی رودخانه زاینده‌رود صورت گرفته است.

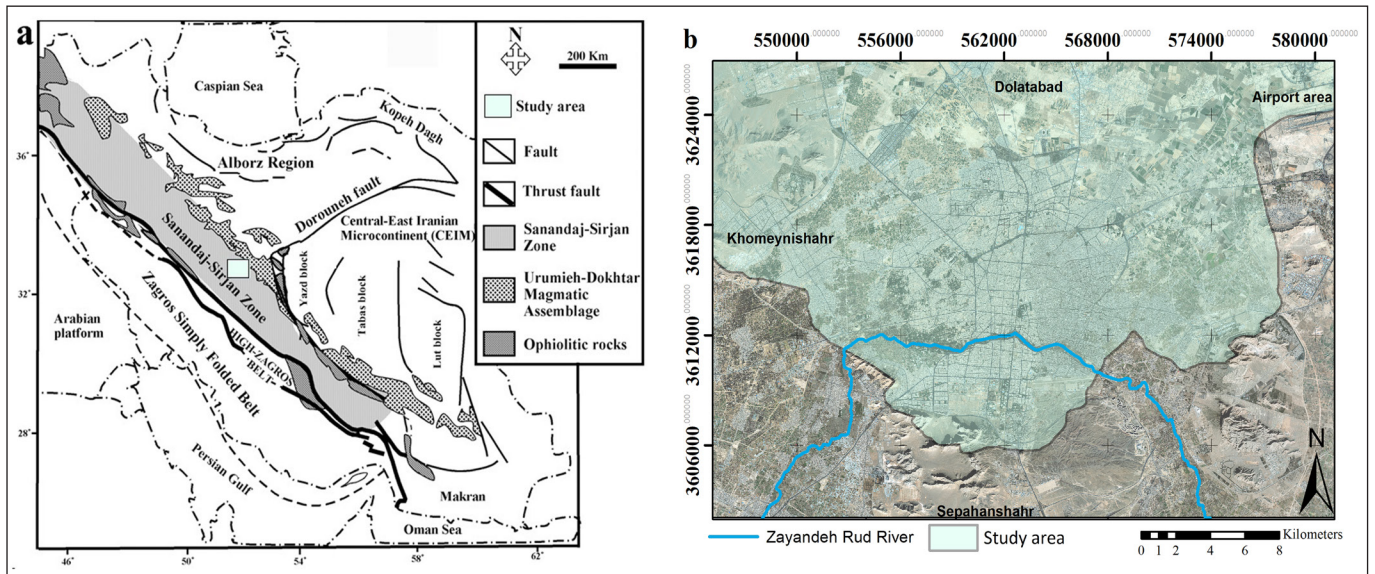
رودخانه زاینده‌رود، در مسیر فعلی خود در دشت اصفهان از باختر به خاور حوضه جریان دارد. مهم‌ترین ویژگی‌های این رودخانه پیش از ورود به دشت اصفهان، جهت حرکت شمالی- جنوبی و سیستم پيچان‌رودی (مئاندری) آن می‌باشد که موجب فرسایش دره زاینده‌رود در شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک گردیده است. بیشترین پيچان‌رود در مسیر رودخانه در روستای چم یوسف علی تا سده لنجان گزارش شده است (قیومی‌محمدی، ۱۳۹۰). رودخانه در محل ورود به شهر اصفهان در کوه دنبه با چرخشی ۹۰ درجه از راستای شمالی- جنوبی، جهت باختری- خاوری می‌یابد. در این راستا، انحنا در مسیر رودخانه به کمینه مقدار رسیده و پيچان‌رودسازی رودخانه به‌شدت کاهش می‌یابد.

روش پژوهش و نتایج حاصل از مطالعات پیشین در حوضه آبی زاینده‌رود و دشت اصفهان به‌طور عمده توصیفی، تجربی و اسنادی بوده و نقشه‌های مختلف زمین‌شناسی شهر اصفهان نیز برپایه تفکیک واحدهای مختلف سطحی و به‌صورت کیفی تهیه گردیده است (عبداللهی و همکاران، ۱۳۹۳). مهم‌ترین هدف پژوهش حاضر، بررسی توسعه نهشته‌های زیرسطحی بر مبنای داده‌های حاصل از گمانه‌های اکتشافی در ژرفا و زمین‌های مختلف دشت اصفهان و تبدیل اطلاعات توصیفی جغرافیایی و زمین‌شناسی موجود در این منطقه به نیمرخ‌های زمین‌شناسی است. با توجه به اهمیت بررسی‌های زمین‌شناسی در مطالعات اولیه پروژه‌های عمرانی، در این مقاله به بررسی پراکنندگی سطحی و توسعه زیرسطحی نهشته‌ها، طبقه‌بندی نوع آبرفت‌ها، طبقه‌بندی محیط رسوبی و مشخص‌نمودن مرز بین واحدهای مختلف رسوبی در گستره دشت اصفهان پرداخته و پهنه‌بندی زمین‌شناسی برای این دشت ارائه گردیده است.

وضعیت پیچیده ساختمانی- رسوبی فعلی ایران گویای این واقعیت است که بخش‌های مختلف پوسته در طول زمان ویژگی‌های زمین‌شناسی متفاوتی نسبت به یکدیگر پیدا نموده و قابل تفکیک به واحدهای مختلف شامل کمر بند چین‌خورده و رورانده زاگرس، پهنه سندج- سیرجان، کمر بند ماگمایی ارومیه- دختر، خرد قاره خاور- ایران مرکزی، کوه‌های البرز، کپه‌داغ، رشته کوه‌های خاور ایران و مکران می‌باشد (Ghasemi and Talbot, 2006). استان اصفهان با گستره حدود ۱۰۷۰۰۰ کیلومتر مربع در ۴ پهنه زمین‌ساختی ایران قرار دارد که از باختر به خاور شامل پهنه زاگرس، سندج- سیرجان، ارومیه دختر و خردقاره خاور- ایران مرکزی می‌باشد. منطقه مورد مطالعه محدوده دشت اصفهان است که این منطقه در تقسیمات

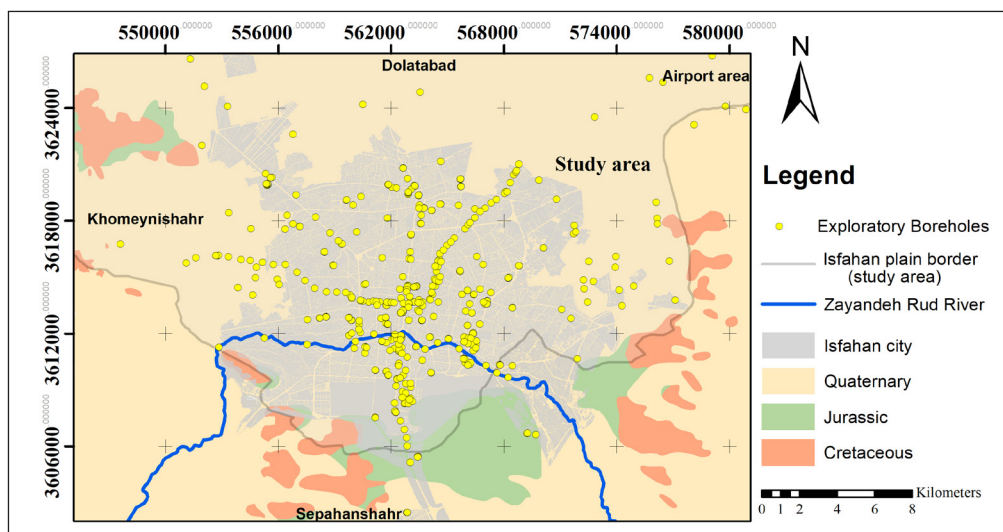
گردیده است (شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان اصفهان، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۳؛ شرکت مهندسی مشاور زمین فن آوران، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶؛ آزمون فولاد، ۱۳۹۶؛ آروین آژند ۱۴۰۱ و ۱۴۰۳). با توجه به تنوع سطحی و گسترش زیرسطحی واحدهای سنگ و آبرفت در دشت اصفهان، گمانه‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند که کل منطقه مورد مطالعه را پوشش دهد (شکل ۲). با توجه به وسعت منطقه و تنوع لیتولوژی‌های موجود و به جهت بررسی ژرفی و جانبی نهشته‌های زیرسطحی، نیرخ‌های زمین‌شناسی با راستاهای مختلف در دشت اصفهان رسم شد.

سنگ و خاک، ویژگی‌های صحرایی، نحوه رخنمون، ژرفا و ستبرای واحدها و سایر ویژگی‌های زمین‌شناسی آن‌ها تعیین شد. داده‌های فوق شامل حدود ۴۹۴ گمانه حفاری شده با مجموع طول حفاری بیش از ۷۰۰۰ متر و مشاهدات میدانی ۹۴۲ دیواره گود در شهر اصفهان است. حفاری‌ها عمدتاً به روش مغزه‌گیری ممتد در لایه‌های خاک و سنگ انجام شده است (شکل ۲). افزون بر این، در این مطالعه از اطلاعات پیمایش گمانه‌ها در مسیر متروی اصفهان، داده‌های حاصل از حفاری در ساختمان‌های پروژه‌های شهری و نیز اطلاعات مربوط به برخی چاه‌های ژرف استفاده



شکل ۱- (a) موقعیت محدوده مورد مطالعه در نقشه زمین‌شناسی ایران (Ghasemi and Talbot, 2006)، (b) تصویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه.

Figure 1- a) Location of the study area in the geological map of Iran (Ghasemi and Talbot, 2006), b) Satellite image of the study area.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی دشت اصفهان همراه با جانمایی موقعیت گمانه‌های اکتشافی (واحدهای سنگ‌شناسی برگرفته از عبداللهی و همکاران، ۱۳۹۳).

Figure 2. Geological map of the Isfahan plain with location of exploratory boreholes (lithological units are from Abdollahi et al., 2014).

### ۳- داده‌ها و اطلاعات و بحث

#### ۳-۱- پهنه‌بندی رسوبات زیرسطحی در گستره دشت اصفهان

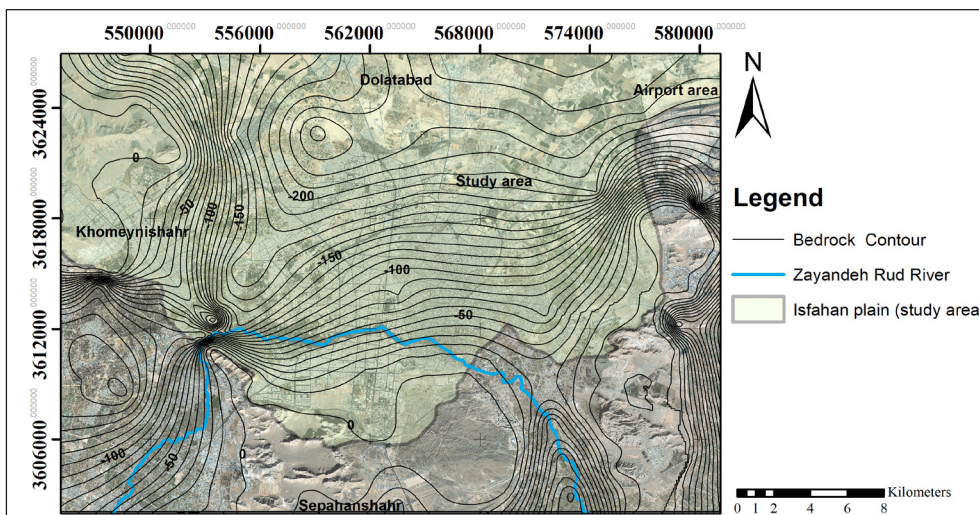
نهشته‌های زیرسطحی در گستره دشت اصفهان براساس نوع محیط رسوبی، مواد مادری، فرایند تشکیل، توالی رسوبی و ویژگی‌های فیزیکی آبرفت و سنگ در گمانه‌های اکتشافی و تا ژرفای ۳۰ متری از سطح زمین، به ۴ پهنه اصلی زمین‌شناسی تقسیم می‌گردد.

**واحد A:** این واحد، رخنمون‌های سنگی و شکل زمین‌های کوهستانی را در اطراف شهر اصفهان شامل می‌شود. سنگ آهک‌های صخره‌ساز کرتاسه زیرین، ارتفاعات کوه‌های صفا در جنوب، کوه‌های دینه و آتشفشان در باختر، ارتفاعات اطراف ترمینال صفا و جاده بهارستان به طرف خاور، ارتفاعات کوه سیدمحمد و کوه‌های شمالی دانشگاه صنعتی در شمال‌باختری و ارتفاعات انرژی اتمی و کوه زینل در خاور و شمال‌خاور را تشکیل می‌دهند (شکل ۲). این واحدهای آهکی با یک دگرشیبی زاویه‌دار بر روی توالی ستبری از رسوبات فیلیشی شامل شیل و ماسه سنگ‌های ژوراسیک که معادل با نهشته‌های سری شمشک در ایران مرکزی است، قرار دارند (شکل ۳). کوه صفا کامل‌ترین سکنس رسوبی ژوراسیک- کرتاسه در دشت اصفهان است. سنگ بستر در دشت اصفهان در دامنه کوه صفا، در بخش جنوبی و یاختری شهر اصفهان رخنمون داشته و به سمت شمال، خاور و شمال‌باختری محدوده شهر با

شیب زیاد در زیر واحدهای آبرفتی دشت قرار می‌گیرد (شکل ۲). داده‌های حاصل از حفاری گمانه‌های اکتشافی نشان می‌دهند که ژرفای سنگ بستر در سمت جنوبی رودخانه زاینده‌رود کمتر از سمت شمالی آن است، به گونه‌ای که به سمت شمال دشت اصفهان و ابتدای دشت برخوار، سنگ بستر در ژرفای بیش از ۲۵۰ متری از سطح زمین قرار می‌گیرد. بررسی نقشه توپوگرافی سنگ بستر در دشت اصفهان- برخوار (Fatolahzadeh et al., 2022) نیز گویای آن است که بیشترین ژرفای استقرار سنگ بستر در منطقه حبیب‌آباد واقع در شمال‌خاوری دشت اصفهان و در تراز ۲۷۳ متر از سطح زمین است (شکل ۴). بررسی سنگ‌شناسی نمونه‌های حاصل از حفاری در سنگ بستر دشت اصفهان گویای فراوانی بیشتر توالی سنگ شیل نسبت به ماسه‌سنگ است. شیل‌های موجود به رنگ خاکستری تیره تا زیتونی‌رنگ بوده و شاخص کیفیت سنگ (RQD) بستر شیلی در بخش‌های مختلف این دشت متغیر است. بررسی مغزه‌های حاصل از حفاری سنگ بستر در محدوده مورد مطالعه و بررسی شاخص کیفیت سنگ‌ها (Deere, 1989) گویای آن است که میزان هوازدگی در گستره وسیعی از سنگ‌های کاملاً هوازده با شاخص کیفیت سنگ (RQD) کمتر از ۲۵٪ و رده مقاومت کلی توده سنگ بسیار ضعیف تا سنگ‌های فاقد هوازدگی با شاخص کیفیت سنگ (RQD) بیش از ۹۱٪ و رده مقاومت کلی توده سنگ عالی، طبقه‌بندی می‌شوند.



شکل ۳- (a) ریزش سنگ شیل در امتداد درزه در دیواره گود، جنوب شهر اصفهان، (b) نمونه حاصل از گمانه اکتشافی در سنگ بستر در خیابان مسرور. Figure 3- a) Shale rock falling along the joints in the pit wall, south of the Isfahan city (unit A), b) Samples from the exploratory borehole in the bedrock from the Masroor street.



شکل ۴- نقشه توپوگرافی سنگ بستر در دشت اصفهان- برخوار (منحنی‌های هم تراز برگرفته از Fatolahzadeh et al., 2022). Figure 4. Topographical map of bedrock Layer in the Isfahan-Borkhar Plain (contours from Fatolahzadeh et al., 2022).

آن‌ها در سیستم یونیفاید بر اساس استاندارد ASTM D2487، گویای قرارگیری آن‌ها در گروه GM و GC است. این نوع از آبرفت‌ها در دامنه‌های کوه‌های صفه، دنبه و سیدمحمد قابل مشاهده هستند (شکل ۵).

– **واحد B2؛ آبرفت‌های بادبزنی:** این آبرفت‌ها، بخش گسترده‌ای از نهشته‌های سطحی و زیرسطحی را در مناطق کوهپایه‌ای و در بخش میانی مخروط‌افکنه‌ها تشکیل می‌دهند. رسوبات این پهنه، محصول فرسایش ارتفاعات اطراف اصفهان بوده و سنگ بستر را در بخش دامنه‌ای و کم‌شیب می‌پوشاند (شکل ۵). این نهشته‌ها حاوی شن و ماسه به‌همراه قلوه‌سنگ بوده و سیلت و رس نیز به‌عنوان پرکننده منافذ با درصد‌های مختلف در این رسوبات حضور دارد. انجام آزمون دانه‌بندی (استاندارد ASTM D422) در نهشته‌های زیرسطحی و طبقه‌بندی آن‌ها در سیستم یونیفاید بر اساس استاندارد ASTM D2487، نشان‌دهنده آن است که رسوبات این پهنه در دو گروه شامل رسوبات درشت‌دانه همراه با ۵ تا ۱۲ درصد ریزدانه (استاندارد ASTM D422) GP-GM، GP-GC، GW-GM، درشت‌دانه همراه با ۵ تا ۱۲ درصد ریزدانه (استاندارد ASTM D422) GW-GC، SP-SM، SP-SC، SW-SM، SW-SC تا ۵۰ درصد ریزدانه GM، GC، SM، SC قرار دارند. دانه‌های درشت موجود در این نهشته‌ها اغلب زاویه‌دار، با گردشگی ضعیف و فاقد جورشدگی می‌باشند. با توجه به ارتفاعات آهکی اطراف اصفهان، جنس ذرات تشکیل‌دهنده این رسوبات به‌طور عمده آهکی و گاه شیلی است. بررسی گمانه‌های اکتشافی نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از ارتفاعات و قرار گرفتن در رقوم ارتفاعی پایین‌تر، محدوده گسترش و ستبرای نهشته‌های زیرسطحی مخروط‌افکنه‌ای افزایش می‌یابد. این نهشته‌ها در دامنه کوه صفه به سمت شمال توسط رسوبات آبرفتی رودخانه‌ای جایگزین گردیده و مرز دو محیط رسوبی مخروط‌افکنه‌ای و رودخانه‌ای تدریجی و در ژرفاهای مختلف متفاوت است. بخش انتهایی رسوبات درشت آبرفتی زاینده‌رود در شمال دشت اصفهان به قاعده مخروط‌افکنه ایجاد شده توسط ارتفاعات شمال‌باختری شهر اصفهان می‌رسد.

– **واحد B1؛ رسوبات واریزه‌ای:** رسوبات واریزه‌ای، به‌طور عمده در زمین‌های کوهستانی و به ندرت در واحد کوهپایه‌ای در دشت اصفهان قرار گرفته‌اند. رسوبات این واحد به‌عنوان نخستین واحد فیزیوگرافی در راس مخروط‌افکنه، به‌واسطه فرسایش فیزیکی سنگ‌ها و حرکت آن‌ها توسط نیروی ثقل تشکیل شده است. به‌دلیل شرایط تشکیل این رسوبات و عدم حمل آن‌ها، ذرات سازنده این نهشته‌ها بیشتر درشت‌دانه و زاویه‌دار بوده و فاقد هرگونه لایه‌بندی و ساختار رسوبی منظم در بررسی‌های صحرائی هستند. جنس دانه‌های درشت این رسوبات به‌طور عمده آهکی و به ندرت شیل و ماسه‌سنگ است و این دانه‌ها فاقد گردشگی و جورشدگی هستند. رسوب چیره این پهنه، خاک‌های شنی دارای تخته‌سنگ‌ها (بولدر) و قلوه‌سنگ‌های فراوان است. انجام آزمون دانه‌بندی در این رسوبات به روش ASTM D422 و طبقه‌بندی

خرده‌دار در قاعده آن قرار می‌گیرد (شکل ۵).



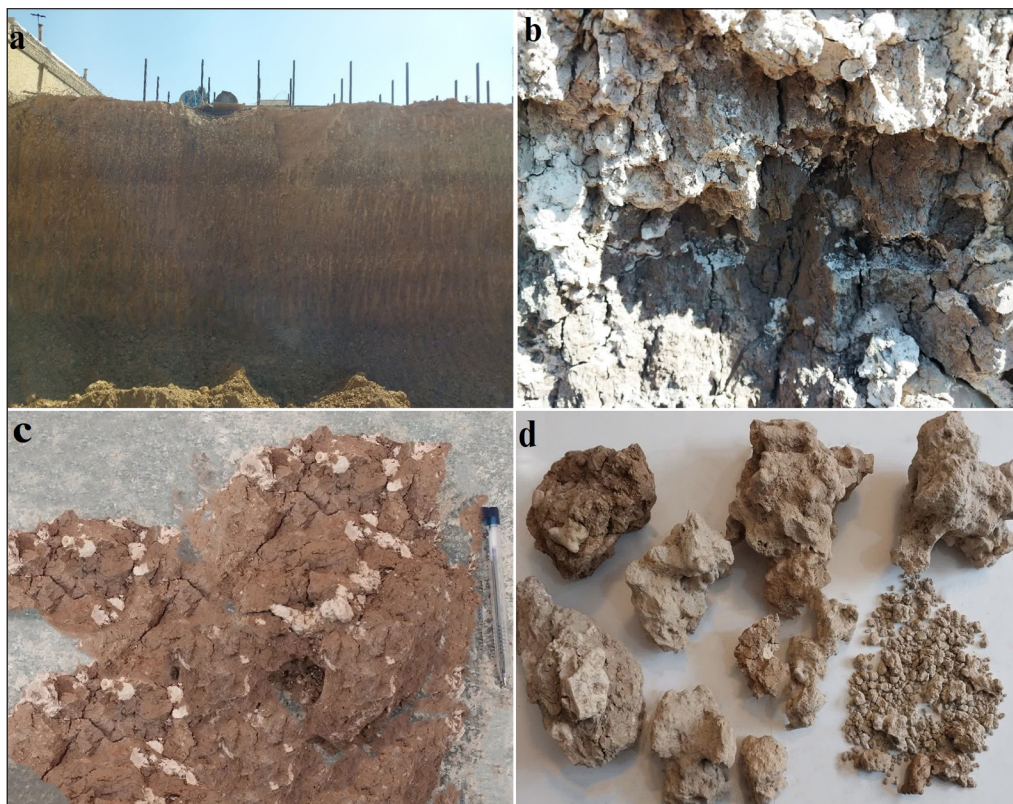
شکل ۵- a) پایداری دیواره گود در رسوبات مخروط‌افکنه در بلوار شفق، b) نهشته‌های زیرسطحی حاصل از گمانه اکتشافی در رسوبات مخروط‌افکنه‌ای (واحدهای B1 و B2) در اطراف ترمینال صفه، c) نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای (واحدهای B2 و B3) در خیابان سید عظیم همراه با بلورهای گچی، d) نهشته‌های مخروط‌افکنه فاقد گردشگی و جورشدگی (واحد B2) از خیابان امیریه.

Figure 5- a) Stability of pit wall in alluvial fan sediments of the Shafaq Boulevard, b) Subsurface sediments from exploratory borehole in alluvial fan deposits (unit B1 and B2) around the Sofah terminal, c) Alluvial fan sediments (unit B2 and B3) from Seyed-Azim street with gypsum soil, d) Alluvial fan sediments without rounding and sorting in the coarse-grained sediments (unit B2) from the Amirieh Street.

و ماسه نیز با فراوانی کم و به صورت عدسی شکل و بین لایه‌ای در این افق وجود دارد. انجام آزمون دانه‌بندی (ASTM D422) در این رسوبات و طبقه‌بندی نوع خاک‌ها بر مبنای سیستم یونیفاید (ASTM D2487) گویای آن است که این رسوبات در گروه CL, CH, ML, MH قرار می‌گیرند. تعیین حدود اتربرگ در این نمونه‌ها با روش استاندارد ASTM D4318، نشان‌دهنده بالابودن محتوی خمیری آن‌ها است. به نظر می‌رسد که حضور کرنات کلسیم به صورت درشت‌دانه، ریزدانه و بین‌دانه‌ای موجب افزایش محتوی خمیری (ASTM D4318) و تحکیم ساختمان خاک در این پهنه شده است (شکل b-۶). افزون بر رسوبات پلايایی، در بخش‌های شمال و شمال‌باختر محدوده مورد مطالعه به‌ویژه در دولت‌آباد، نهشته‌های ریزدانه موجود دارای رنگ روشن و حاوی مقادیر بالایی از بلورهای گچ و نمک هستند. رسوبات ریزدانه حاوی آهک پدوژنیک یا سخت‌دانه‌های آهکی با ستبرای بیش از ۴۰ متر، در گمانه‌های اکتشافی در بخشی از خیابان‌های امام خمینی، شاهپور جدید، حبیب‌آباد و دشت برخوار قابل ردیابی است (شکل ۶). این رسوبات در بررسی‌های زیرسطحی از نظر لایه‌بندی، دانه‌بندی و زمین‌شناسی تنوعی نداشته اما از نظر خاک‌شناسی افزون بر تاکسونومی معمول در خاک‌ها، دارای افق‌های شاخص کلسیک و گاه پتروکلسیک می‌باشند. تشکیل افق کلسیک در این خاک‌ها، به‌عنوان بخشی از فرایند تکامل خاک، نیازمند رخداد فرایندهای خاک‌سازی مانند فرایندهای شستشو، مهاجرت آهک و قلیایی شدن خاک بوده که به عقیده برخی محققین این قبیل فرایندهای خاک‌سازی در بازه زمانی ۱/۰۰۰ تا ۷۰/۰۰۰ سال در افق خاک رخ می‌دهد (Targulian and Krasilnikov, 2007).

— **واحد B3: رسوبات گلی مخروط افکنه:** این نهشته‌ها توسط جریان‌های گلی خرده‌دار در قاعده مخروط افکنه‌ها و بخش کم‌شیب دامنه‌ها بر جای گذاشته می‌شود. رسوبات ریزدانه سیلتی و رسی همراه با عدسی‌هایی از شن و ماسه دامنه‌ای، عمده رسوبات موجود در این واحد را تشکیل می‌دهند. بررسی توالی زیرسطحی این نهشته‌ها با انجام آزمون دانه‌بندی (ASTM D422) و طبقه‌بندی نوع خاک بر مبنای سیستم یونیفاید (ASTM D2487) در آن‌ها نشان‌دهنده قرارگیری این نمونه‌ها در گروه CL, CH, ML, MH است. انجام آزمون تعیین حدود اتربرگ در این خاک‌های ریزدانه تحت استاندارد ASTM D4318 گویای خاصیت خمیری متوسط تا بالای آن‌ها است. همچنین حضور گچ در ژرفاهای سطحی و کرنات کلسیم پدوژنیک در نهشته‌های زیرسطحی در این واحد قابل مشاهده است. این واحد به‌طور عمده در آبرفت‌های بادبزنی (fan) قدیمی سپاهان‌شهر در دامنه جنوبی کوه صفا و نیز ارتفاعات شمال‌باختری شهر اصفهان قابل بررسی است (شکل c-۵).

— **واحد C:** این پهنه از نظر شکل زمین‌ها در مناطق فروافتاده و لگنی شکل در خارج از دشت آبرفتی رودخانه زاینده‌رود و به سمت دشت برخوار قرار دارد. رسوب‌گذاری در این بخش با وجود قرارگیری در حوضه آبریز زاینده‌رود، تحت تاثیر جریان رودخانه زاینده‌رود نبوده و به نظر می‌رسد که متاثر از جریان‌های فصلی، متناوب و متوالی است که از کوه‌های شمال اصفهان به‌ویژه رشته کوه کرکس سرچشمه گرفته و در زیرحوضه آبی خشک‌رود و دستکن در این منطقه قرار گرفته است (تومانیان، ۱۳۸۵). این واحد شامل نهشته‌های ریزدانه پلايایی است و از نظر دانه‌بندی به‌طور عمده از رس و سیلت همراه با سخت‌دانه‌های آهکی تشکیل شده است (شکل ۶). شن



شکل ۶- a, b) رسوبات ریزدانه پلايایی همراه با سخت‌دانه‌های آهکی در دیواره گود در خیابان شاهپور، c, d) تشکیل کرنات کلسیم پدوژنیک و سخت‌دانه‌های آهکی با شکل‌های مختلف در حاشیه جنوبی پلایا در خیابان امیرکبیر.

Figure 6- a, b) Fine-grained playa sediments with hard calcareous grains in the pit wall from the Shahpour street, c, d) Formation of pedogenic calcium carbonate and hard calcareous grains (dolls) with various shapes on the southern edge of the playa from the Amirkabir street.

محدودی (کمتر از ۳۰ متر)، را دربر می‌گیرد. از دیدگاه دیگر، این پهنه را می‌توان حوضه آبرگیر رودخانه زاینده‌رود در دشت اصفهان دانست که متشکل از آبرفت‌های قدیمی و جدید این رودخانه می‌باشد. در بررسی پتروژنز، دشت آبرفتی رودخانه‌ها را محصول فعالیت رودخانه در دوره‌های تخریب، فرسایش و رسوب گذاری می‌دانند، به گونه‌ای که در زمان وقوع طغیان در رودخانه‌ها، با توجه به افزایش دبی آب و شیب سنگ بستر، نیروی خالص آب مثبت گردیده و پدیده‌های تخریب و فرسایش ایجاد می‌شود (احمدی و سلطانی، ۱۳۷۵). مواد حمل شده توسط رودخانه با منفی شدن نیروی خالص رودخانه ته‌نشست و دشت آبرفتی رودخانه ایجاد می‌شود. بر مبنای داده‌های حاصل از گمانه‌های اکتشافی در دشت اصفهان، توالی رسوبی زیرسطحی در این پهنه شامل لایه ریزدانه بالایی (D1)، درشت‌دانه میانی (D2) و لایه ریزدانه زیرین (D3) می‌باشد (شکل ۷). رسوبات درشت‌دانه میانی موجود در این توالی افزون بر قابلیت گذردهی بالای انتقال آب زاینده‌رود به دشت اصفهان به صورت جریان زیرسطحی با ایجاد شرایط زه‌کشی در دشت آبرفتی رودخانه‌ای، سبب افزایش حاصل خیزی خاک در این پهنه شده‌اند.

بررسی دیواره‌های گود و داده‌های حاصل از گمانه‌های اکتشافی در حاشیه جنوبی این پهنه به‌ویژه در خیابان شاهپور جدید و انتهای خیابان امام خمینی نشان می‌دهد که کربنات کلسیم پدوژنیک و یا سخت‌دانه‌های آهکی به‌صورت درشت‌دانه و ریزدانه با ابعاد متفاوت (بزرگ‌تر از ۵۰ سانتی‌متر تا کوچک‌تر از یک سانتی‌متر) و به اشکال مختلف عروسکی، ناموزون، صفحه‌ای، ساچمه‌ای و رگه‌ای به رنگ سفید تا کرم، با سختی بسیار بالا، گاه به‌صورت موضعی و یا لایه‌ای در افق خاک در این واحد دیده می‌شوند (شکل ۶). برداشت بی‌رویه رسوبات ریزدانه پلائیای در بخش شمالی دشت اصفهان و ابتدای دشت برخوار، توسط کوره‌های آجرپزی در مناطق برخوار، دولت‌آباد، حبیب‌آباد و آذربهرام و جایگزینی خاک دستی به‌عنوان پرکننده که متشکل از رسوبات ریزدانه رسی همراه با نخاله‌های ساختمانی است، پتانسیل بسیار زیادی جهت نشست زمین به‌سبب وجود خاک دستی در این مناطق را ایجاد نموده است.

– **واحد D:** این پهنه به‌عنوان رسوبات دشت آبرفتی رودخانه زاینده‌رود طبقه‌بندی گردیده و زمین‌های نسبتاً هموار و مسطح در دشت اصفهان با تغییرات ارتفاعی



شکل ۷- a) رسوبات ریزدانه بالایی دشت آبرفتی رودخانه زاینده‌رود همراه با دو لایه تیره رنگ در آن، در دیواره گود خیابان عبدالرزاق (واحد D1)، b) رخنمون رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای دارای گردشگی و جهت‌یافتگی در دیواره گود در خیابان بیشه حبیب (واحد D2)، c) رسوبات ریزدانه بالایی (واحد D1)، d) نهشته‌های درشت‌دانه رودخانه‌ای (واحد D2)، e) مرز رسوبات درشت‌دانه میانی و رس زیرین، f) رسوبات ریزدانه زیرین (واحد D3).

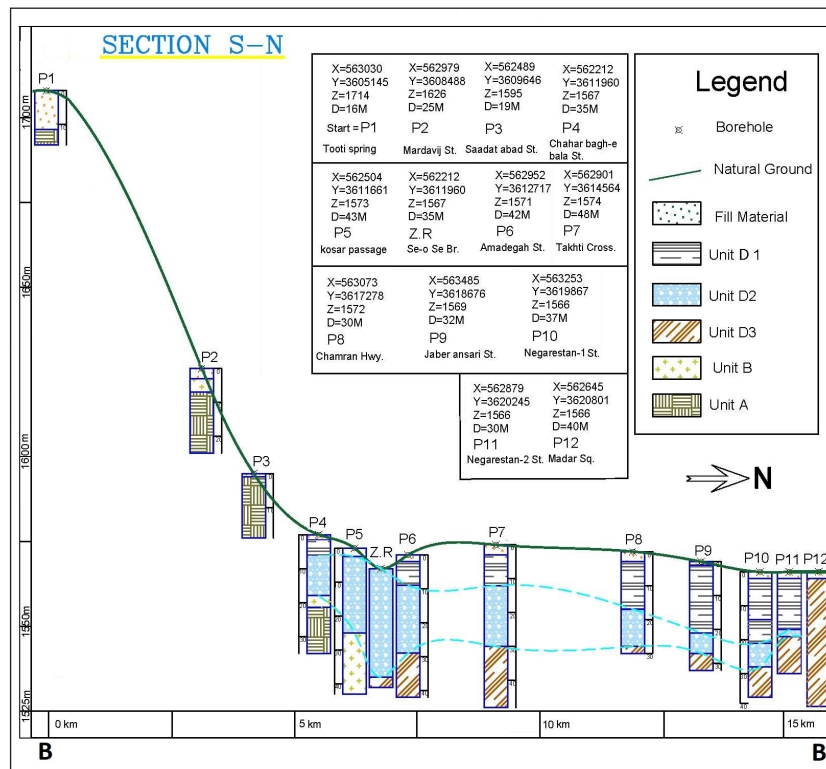
Figure 7- a) Upper fine-grained layer of the Zayandeh-Rud alluvial plain along with two dark colored layers in it, in the pit wall from the Abdul Razzaq street (unit D1), b) Middle coarse-grained river sediments with high sphericity and roundness grains in the pit wall from the Bishe-habib street (unit D2), c) Upper fine-grained sediment (unit D1), d) Middle coarse-grained river sediments (unit D2), e) Middle coarse-grained (unit D2) and lower fine-grained (unit D3) river sediments boundary, f) Lower fine-grained river sediments (unit D3).

دارای فراوانی بیشتری در این نهشته‌ها است. این رسوبات، از نظر توالی رسوبی، در زیر خاک دستی بوده و در بخش‌های گسترده‌ای از دشت اصفهان بر روی لایه درشت‌دانه رودخانه‌ای قرار دارد. بررسی محیط رسوبی تشکیل این واحد گویای آن است که رسوبات ریزدانه موجود به‌واسطه رسوب‌گذاری جریان‌های نهایی رودخانه زاینده‌رود و در شرایط محیطی آرام و ماندابی ایجاد شده است. این نهشته‌ها از نظر شکل زمین‌ها، مناطق پست و هموار دشت آبرفتی رودخانه را می‌پوشانند (شکل ۸). در بررسی مقاطع زمین‌شناسی و داده‌های حاصل از پیمایش گمانه‌ها، گسترش این

– **واحد D1:** رسوبات ریزدانه بالایی: این نهشته‌ها، دشت آبرفتی رودخانه زاینده‌رود را تشکیل می‌دهند (شکل‌های ۷-a, b). این واحد به‌طور عمده از رس و سیلت و به صورت فرعی شن و ماسه رودخانه‌ای تشکیل شده است که دانه‌بندی نمونه‌های حاصل از گمانه‌های اکتشافی در این واحد تحت استاندارد ASTM D422 و طبقه‌بندی آن‌ها به روش یونیفاید (ASTM D2487)، نشان‌دهنده وجود رسوبات از نوع CL, CH, ML, MH می‌باشد. بررسی حدود اتربرگ به روش استاندارد ASTM D4318 در این واحد نشان می‌دهد که رس با خاصیت خمیری پایین تا متوسط

رسوبات در دشت آبرفتی واقع در بخش جنوبی رودخانه و در خیابان‌های چهارباغ بالا (P4, P5) دارای ستبرای متغیر ۷ تا ۱۰ متر بوده که به سمت میدان آزادی

(P2, P3) با تغییر محیط رسوبی و گسترش آبرفت دامنه‌ای، رسوبات آبرفتی رودخانه‌ای حذف می‌گردد (شکل ۸).



شکل ۸- بررسی تنوع نهشته‌های زیرسطحی در لوگ گمانه‌های اکتشافی در راستای جنوب به شمال در دشت اصفهان.

Figure 8. Study of subsurface deposit diversity in exploration borehole logs along the south to the north in the Isfahan plain.

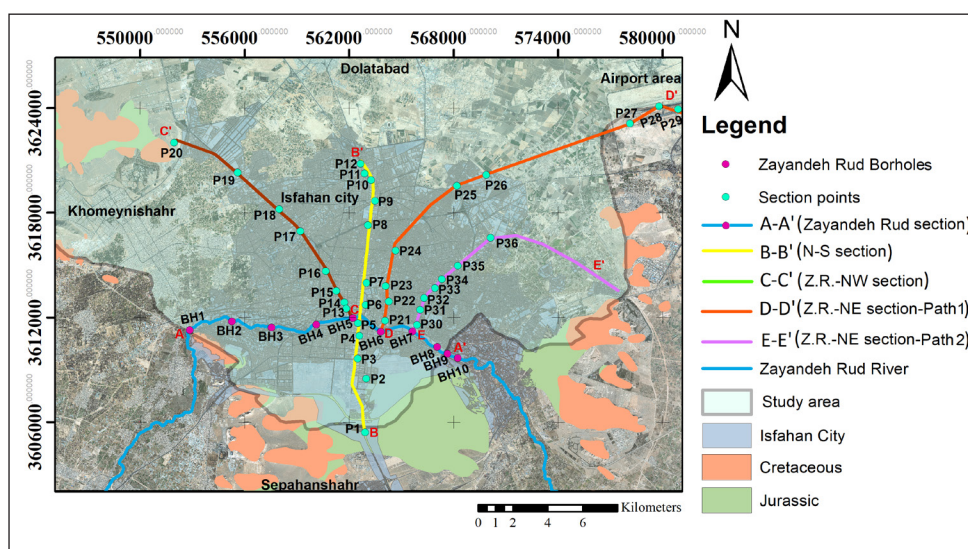
در بخش شمالی رودخانه زاینده‌رود، رسوبات ریزدانه بالایی دارای بیشترین ستبرای بوده، به گونه‌ای که با فاصله از کانال رودخانه به سمت بخش‌های مرکزی شهر (P6 to P9) ستبرای رسوبات ریزدانه بالایی در گستره ۷ تا بیش از ۱۵ متر متغیر بوده و بیشترین ستبرای رسوبات ریزدانه بالایی با ستبرای بیش از ۲۰ متر در بخش شمالی شهر اصفهان (P12, P11) است (شکل ۸). بررسی توالی‌های زیرسطحی به‌ویژه مشاهدات میدانی دیواره گودها، گویای حضور دو لایه به رنگ قهوه‌ای تیره و به ستبرای حدود ۵۰ سانتی متر در ژرفاهای حدود ۳ تا ۴ متری و ۵ تا ۶ متری از سطح زمین در این واحد (D1) می‌باشد که در خیابان‌های یزرگمهر، هشت بهشت، احمدآباد، عسگریه، عبدالرزاق و حکیم نظامی قابل ردیابی است (شکل‌های a, c, v). وجود این دو لایه تیره‌رنگ را می‌توان گویای تغییرات اقلیمی کوتاه مدت و رخداد شرایط آب و هوایی مرطوب‌تر در بازه زمانی تشکیل این واحد دانست (قیومی محمدی، ۱۳۹۰).

واحد D2؛ رسوبات درشت‌دانه میانی: این رسوبات تحت عنوان شن و ماسه رودخانه‌ای بوده و از نظر دانه‌بندی حاوی گراول، شن و ماسه همراه با مقادیر کم سیلت و رس می‌باشند. انجام آزمون دانه‌بندی به روش استاندارد ASTM D422 در نهشته‌های زیرسطحی حاصل از گمانه‌های اکتشافی و طبقه‌بندی آن‌ها در سیستم یونیفاید بر اساس استاندارد ASTM D2487، نشان‌دهنده آن است که این رسوبات در گروه، GW، GW-GC، GW-GM، GP، GP-GC، GP-GM، GM، SW-SM، SM، SP-SM دسته‌بندی می‌شوند. بررسی محیط رسوبی این نهشته‌ها نشان‌دهنده تاثیر جریان‌های سیلابی و طغیانی رودخانه زاینده‌رود بوده و رسوبات موجود در بستر

زاینده‌رود گسترش چندانی ندارد، چنانچه در بخشی از خیابان‌های چهار باغ بالا (P4)، نظر و در بخشی از کوچه آسیاب، ستبرای این لایه بسیار کم بوده و رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای به‌طور مستقیم بر روی رسوبات آبرفت دامنه‌ای (واحد B2) قرار گرفته‌اند (شکل ۸). این واحد در سمت شمال و باختر دشت اصفهان دارای گسترش زیادی است، به‌گونه‌ای که در بخش مرکزی شهر اصفهان (P6 to P12) این رسوبات در زیر رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای و از ژرفای حدود ۲۳ متری و پایین‌تر قرار گرفته‌اند (شکل ۸). در گمانه‌های ژرف حفاری‌شده توسط شرکت آب منطقه‌ای، رسوبات ریزدانه زیرین تا ژرفای حدود ۲۵۰ متر نیز گزارش شده است.

برای شناسایی روند تغییرات ژرفایی و جانبی توالی‌های رسوبی در گستره دشت اصفهان، بررسی تنوع و ستبرای لایه‌های زیرسطحی و تعیین محدوده ۴ پهنه اصلی و ۶ زیرواحد شناسایی شده در محدوده مورد مطالعه و چگونگی تغییر بافت خاک و سنگ در فاصله بین گمانه‌های اکتشافی، مقاطع عرضی مختلف در راستاهای باختر به خاور (در کانال رودخانه)، جنوب به شمال، بستر رودخانه زاینده‌رود به سمت ارتفاعات شمال‌باختری و بستر رودخانه زاینده‌رود به سمت شمال‌خاوری رسم گردیده است. موقعیت جغرافیایی، طرح (پلان) جانمایی نقاط حفر گمانه‌های اکتشافی در راستای مقاطع مختلف زمین‌شناسی براساس سیستم UTM در شکل ۹ ارائه شده است.

وحید، باغ دریاچه، پروین، ابوالحسن و چهارراه عسگریه مشخص می‌کند. همچنین عدسی‌های ماسه‌ای به‌صورت هم‌بعد و یکنواخت با دانه‌بندی (ASTM D422) SW و SP، بدون سیمان‌شدگی و دارای پتانسیل ریزش بالا در این پهنه وجود دارند. **واحد D3؛** رسوبات ریزدانه تحتانی: رسوبات این واحد، خاک‌های ریزدانه رس و سیلت با مقادیر ناچیز شن و ماسه بوده که انجام آزمون دانه‌بندی در این خاک‌ها تحت استاندارد ASTM D422 و طبقه‌بندی آن‌ها در سیستم یونیفاید به روش استاندارد ASTM D2487، گویای قرارگیری رسوبات این واحد در گروه CL, CH, MH می‌باشد (شکل‌های V-c, f). تعیین حدود اتربرگ در این رسوبات ریزدانه تحت استاندارد ASTM D4318، خاصیت خمیری متوسط تا بالایی را برای آن‌ها نشان می‌دهد. رسوبات موجود در این واحد به‌طور عمده در شرایط اشباع قرار دارند. از نظر توالی رسوبی، این واحد بیشتر در زیر رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای و بر روی رسوبات آبرفت دامنه‌ای و سنگ بستر قرار گرفته است. وجود سخت‌دانه‌های آهکی در حد شن و به‌صورت دایره‌های شکل (ندول) را می‌توان در مغزه‌های حفاری لایه رس زیرین در میدان قدس (ژرفای ۳۲ متر)، خیابان کهندژ (ژرفای ۲۰ متر) و خیابان میرزاظاهر (ژرفای ۲۸ متر) مشاهده نمود. در بررسی داده‌های حاصل از پیمایش گمانه‌ها، لایه رس تحتانی در حواشی مسیر فعلی رودخانه و به سمت جنوب



شکل ۹- موقعیت مقاطع زمین‌شناسی و گمانه‌های اکتشافی در جهات مختلف شهر اصفهان.

Figure 9. Location of geological cross-sections and exploratory boreholes in different directions of the Isfahan city.

اصفهان در کانال نکوآباد (BH1) و کمترین آن در محل تصفیه‌خانه جنوب اصفهان (BH10) بوده که به‌ترتیب ۱۵۸۶ و ۱۵۵۶ متر از سطح زمین می‌باشد. وجود اختلاف ارتفاع ۳۰ متری در طول مسیر ۱۷/۸ کیلومتری رودخانه در شهر اصفهان نشان‌دهنده شیب آرام زاینده‌رود در این شهر است. برای بررسی ستبرای آبرفت، توالی رسوبات و موقعیت سنگ بستر در مسیر فعلی جریان رودخانه زاینده‌رود در شهر اصفهان، برخی گمانه‌های اکتشافی به طول ۴۰ متر و گاه تا رسیدن به سنگ بستر ادامه یافته است (شکل ۸-a). همان‌گونه که در نیمرخ زمین‌شناسی کانال فعلی رودخانه زاینده‌رود مشخص است (شکل ۱۰-b)، ستبرای رسوبات از ورودی رودخانه در باختر به سمت خروجی فعلی رودخانه در سمت خاور کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای که در گمانه‌های اول (BH1) و چهارم (BH4) حفر شده در راستای A-A'، شن و

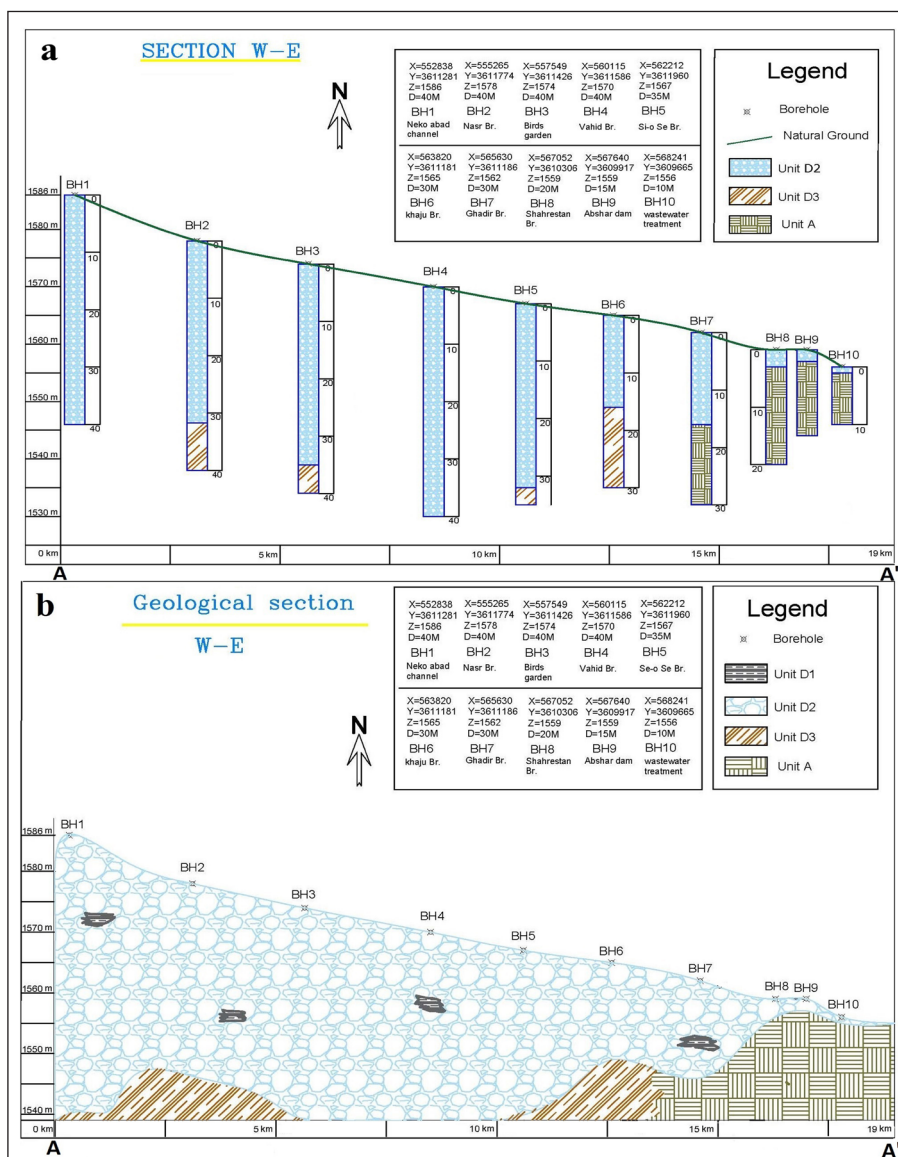
### ۳-۲- بررسی نهشته‌های رسوبی زیرسطحی موجود در بستر رودخانه زاینده‌رود در دشت اصفهان

مقطع زمین‌شناسی باختر به خاور در دشت اصفهان (A-A') بر مبنای اطلاعات استخراج‌شده از گمانه‌های اکتشافی حفر شده در بستر رودخانه زاینده‌رود رسم گردیده است (شکل ۱۰). جهت حفاری این گمانه‌ها نقطه آغاز و پایان نقشه‌برداری به‌ترتیب در بالادست چاه‌های فلمن در باختر و در محل تخلیه پساب تصفیه‌خانه جنوب، در انتهای جاده ساحلی جنوب رودخانه در خاور دشت اصفهان به طول ۱۷/۸ کیلومتر است. بررسی ارتفاع زمین در نیمرخ زمین‌شناسی موجود در راستای A-A' نشان‌دهنده آن است که در راستای مسیر رودخانه و از باختر به خاور رقوم ارتفاعی کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای که بیشترین ارتفاع زمین در ورودی رودخانه به شهر

می‌توان رخداد یک چین‌خوردگی یا بالاآمدگی در سنگ بستر را در این منطقه در نظر گرفت. مطالعات کانی‌شناسی سنگ بستر در این مقطع زمین‌شناسی نشان می‌دهد که این نمونه‌ها به‌طور عمده شیل‌های خاکستری تا سیاه رنگ متأثر از رخداد دگرگونی‌های خفیف بوده اما شرایط دگرگونی به‌گونه‌ای گسترش نیافته است که به ایجاد شیست در سنگ بستر بیانجامد.

فضیله و همکاران (Fazileh et al., 2020) به وجود گسلی با راستای شمال‌باختری- جنوب‌خاوری در انتهای خاوری رودخانه زاینده‌رود در شهر اصفهان در محدوده شمال پل شهرستان تا شمال باختر میدان عتیق اشاره دارد. تاثیر این گسل به بیرون‌زدگی توالی شیل و ایجاد تغییرات شیب و ژرفای سنگ بستر در این منطقه انجامیده است. با توجه به موارد گفته شده، وجود بالاآمدگی سنگ بستر در انتهای خاوری رودخانه زاینده‌رود در دشت اصفهان را می‌توان به‌واسطه تاثیر نیروهای زمین‌ساختی با شدت و فشار تنش کم در نظر گرفت.

ماسه خوب و یا بد دانه‌بندی شده دارای ستبرای بیش از ۴۰ متر می‌باشد (شکل ۱۰). استفاده از نقشه توپوگرافی سنگ بستر نشان‌دهنده قرارگیری سنگ بستر در ژرفای حدود ۸۰ متری از سطح زمین در این مناطق است (شکل ۴). بررسی ستبرای آبرفت در بخش جنوب‌خاوری مسیر رودخانه و در فاصله ۱۴/۵ کیلومتری از محل ورود رودخانه به شهر اصفهان در محل پل بزرگمهر به سمت پل غدیر (BH7)، پل شهرستان (BH8)، سد آبشار (BH9) و تصفیه‌خانه جنوب اصفهان (BH10)، به‌ترتیب ۱۶ متر، ۳ متر، ۲ متر و ۱ متر از سطح طبیعی زمین می‌باشد (شکل ۱۰). براین اساس می‌توان شیب سنگ بستر را از باختر به خاور در نظر گرفت، به‌گونه‌ای که در محل خروجی فعلی رودخانه در خاور شهر اصفهان، رودخانه بر روی سنگ بستر شیل و ماسه‌سنگ ژوراسیک جریان دارد (شکل ۱۰). با خروج رودخانه از شهر اصفهان و در حوالی بیمارستان قلب شهید چمران، ژرفای سنگ بستر مجدداً افزایش یافته و به دنبال آن، ستبرای رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای (واحد D2) نیز افزایش می‌یابد. بنابراین



شکل ۱۰- نیمرخ زمین‌شناسی آبرفت‌های بستر رودخانه زاینده‌رود با امتداد باختر- خاور (A-A') در شهر اصفهان.

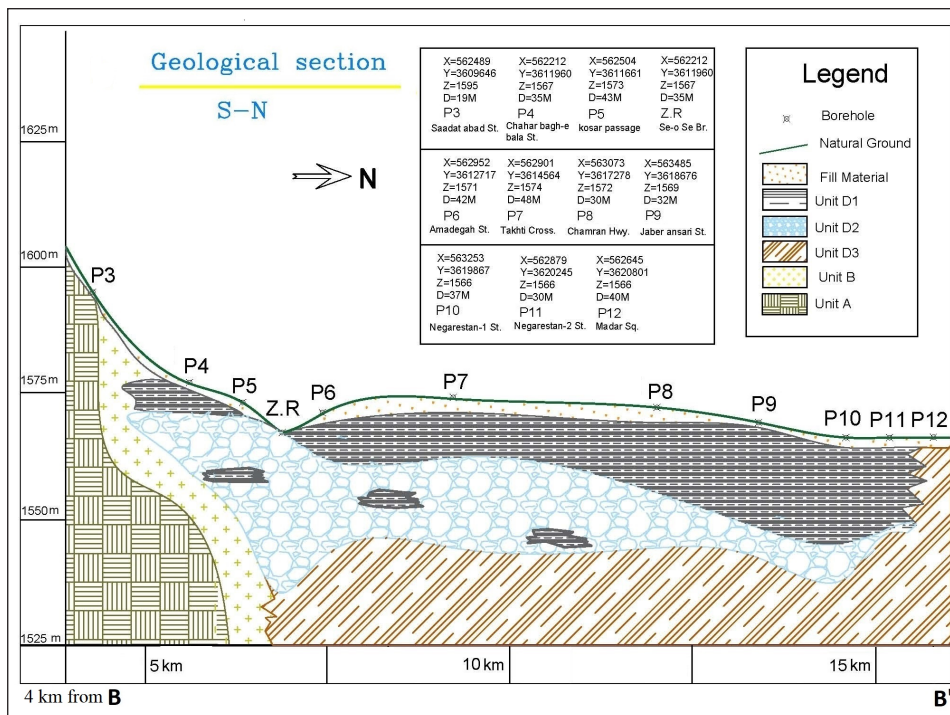
Figure 10. Geological cross-section of the Zayandeh-Rud river alluvial deposits along the west-east direction (A-A') in the Isfahan city.

اصفهان (راستای B-B') نشان می‌دهد که در محیط پایکوهی و مخروط افکنه‌ای کوه صفه (P2)، تنوعی از رسوبات واریزه‌ای و رسوبات درشت‌دانه تا ریزدانه دامنه‌ای همراه با بین لایه‌هایی از خاک‌های رسی و گچی (واحد B)، بر روی توالی عمدتاً شیلی سنگ بستر (واحد A) قرار دارند (شکل ۱۱). دانه‌های درشت موجود در این رسوبات زاویه‌دار، با گردشگی ضعیف و فاقد جورشدگی هستند. ستبرای این واحد در نزدیکی ارتفاعات صفه و مناطق پایکوهی کم (3، 2، P1) و به سمت زمین‌های با رقوم ارتفاعی پایین‌تر (P65) افزایش می‌یابد (شکل ۱۱). رسوبات پادگانه (تراس) آبرفتی رودخانه زاینده‌رود (P4) با کد ارتفاعی ۱۵۶۷ متر و امتداد خاور و باختر آن، با حضور نهشته‌های درشت‌دانه رودخانه‌ای و رس بالایی (واحد D) بر روی رسوبات آبرفت دامنه‌ای (واحد B) واقع شده‌اند که مرز تماس بین دو محیط رسوبی مخروط افکنه‌ای و رودخانه‌ای در بخش جنوبی شهر اصفهان تدریجی و در ژرفاهای مختلف متفاوت است (شکل ۱۱). افزون بر ارتفاعات جنوبی شهر اصفهان، رسوب‌گذاری در دشت اصفهان متأثر از مخروط افکنه حاصل از ارتفاعات شمال باختری این شهر شامل کوه‌های سید محمد و دانشگاه صنعتی نیز می‌باشد. بررسی تغییر کدهای ارتفاعی گویای آن است که از بستر رودخانه (BH5) به سمت ارتفاعات شمال باختری (راستای C-C')، رقوم ارتفاعی و شیب زمین افزایشی است، به طوری که کمترین و بیشترین رقوم ارتفاعی به ترتیب در بستر رودخانه ۱۵۶۷ متر و در محدوده دانشگاه صنعتی ۱۶۲۷ متر می‌باشد (شکل ۱۲). بررسی توالی زیرسطحی موجود (راستای C-C') نشان‌دهنده آن است که رسوبات درشت‌دانه دامنه‌ای (واحد B) شامل شن و ماسه رس‌دار و یالای‌دار به صورت تیز گوشه با گردشگی و جورشدگی ضعیف در فاصله حدود ۱۵ کیلومتری از بستر رودخانه زاینده‌رود (P20) و با مرز تماس تدریجی با توالی دشت آبرفتی این رودخانه قرار گرفته‌اند (شکل ۱۲).

با استناد به داده‌های حفاری و نیم‌رخ زمین‌شناسی موجود (شکل ۱۰)، ستبرای رسوبات رودخانه‌ای که عمدتاً شن و ماسه دارای کرویت و گردشگی متوسط تا بالا است از باختر به سمت خاور کانال رودخانه کاهش می‌یابد که ستبرای لایه‌های حاوی این نهشته‌های درشت‌دانه، نشان‌دهنده طول مدت زمان عبور جریان آب پر حجم رودخانه‌ای و یا سیلابی از این مسیر است. کاهش ناگهانی ستبرای رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای در قسمت جنوب‌خاوری مسیر رودخانه پس از پل بزرگمهر به سمت پل غدیر و تا انتهای مسیر فعلی رودخانه زاینده‌رود در دشت اصفهان رخ داده است که نشان‌دهنده بالا آمدگی سنگ بستر در این منطقه می‌باشد. افزون بر آن، وجود بقایایی از توسعه زیرسطحی رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای در بخش‌های شمالی شهر اصفهان در خارج از مسیر فعلی جریان رودخانه نشان می‌دهد که خروجی آب و مسیر قدیمی رودخانه در شهر اصفهان را می‌توان در بخش‌های شمالی شهر و خارج از کانال فعلی رودخانه زاینده‌رود پیگیری نمود. با توجه به این که رودخانه زاینده‌رود در دشت اصفهان از باختر به خاور و در خارج از کانال اصلی رودخانه به سمت شمال و شمال‌خاوری جریان داشته است، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که سن نهشته‌های موجود در دشت آبرفتی رودخانه‌ای در بخش شمالی نسبت به جنوبی و باختری نسبت به خاوری بیشتر است.

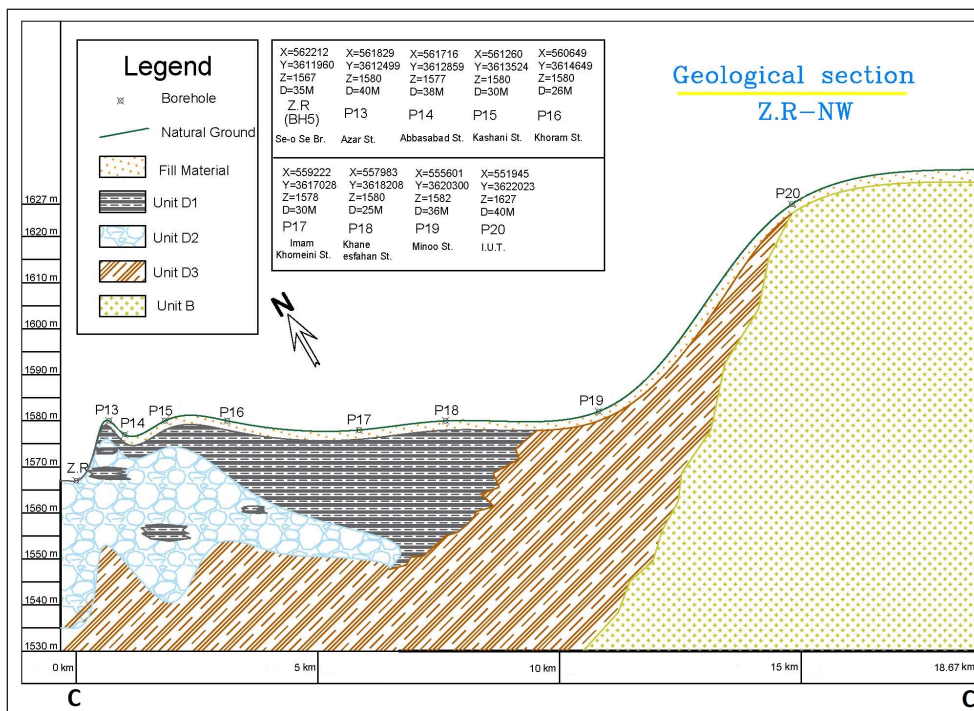
### ۳-۳- بررسی نهشته‌های رسوبی مخروط افکنه‌ای در گستره دشت اصفهان

بررسی‌های زمین‌شناسی نشان‌دهنده آن است که نهشته‌های مخروط افکنه‌ای ایجاد شده به واسطه ارتفاعات جنوبی (کوه صفه) و شمال باختری (کوه سید محمد و دانشگاه صنعتی) دشت اصفهان، نقش اساسی در تشکیل و تکوین واحدهای رسوبی در این حوضه داشته است. بررسی تنوع زیرسطحی واحدهای رسوبی در جنوب شهر



شکل ۱۱- مقطع زمین‌شناسی واحدهای رسوبی موجود در راستای جنوب-شمال (B-B') در دشت اصفهان.

Figure 11. Geological section of sedimentary units along the south-north direction (B-B') in the Isfahan plain.



شکل ۱۲- نیمرخ زمین‌شناسی آبرفت‌ها از بستر رودخانه زاینده‌رود به سمت شمال‌باختری (C-C') دشت اصفهان.

Figure 12. Geological cross-section of alluvium from the Zayandeh-Rud river to the northwestern direction (C-C') of the Isfahan plain.

رسوب‌گذاری رودخانه از حوالی بستر فعلی رودخانه زاینده‌رود (P6) به سمت شمال شهر اصفهان، در دشت آبرفتی نسبتاً مسطح و هموار صورت گرفته است که تنوع نهشته‌های موجود شامل رس‌زیرین (واحد D3)، رسوبات درشت‌دانه میانی (واحد D2) و رس‌بالایی (واحد D1) است (شکل‌های ۸ و ۱۱). ستبرای رسوبات درشت‌دانه میانی (واحد D2) از بستر رودخانه زاینده‌رود (BH6) به سمت شمال دشت اصفهان کاهش یافته است و آخرین بقایای لایه درشت‌دانه با ترکیب شن لای‌دار در فاصله حدود ۸/۵ کیلومتری از بستر فعلی رودخانه، در انتهای دشت اصفهان و ابتدای دشت برخوردار وجود داشته و پس از آن، تنها رسوبات ریزدانه رسی (P12) گسترش یافته‌اند (شکل ۱۱). بررسی شیوه گسترش دشت آبرفتی رودخانه زاینده‌رود (واحد D) به سمت شمال‌باختری شهر اصفهان گویای آن است که با دور شدن از بستر رودخانه (BH5) و تا فاصله حدود ۶ کیلومتری (P17) از آن به سمت شمال‌باختری، واحدهای سه‌گانه دشت آبرفتی رودخانه‌ای (واحد D) نهشته شده است (شکل ۱۲). بیشترین ستبرای لایه درشت‌دانه رودخانه‌ای (واحد D2) در این راستا (C-C') در بستر فعلی رودخانه زاینده‌رود (BH5) بوده و آخرین بقایای رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای که نشان‌دهنده کانال رودخانه و یا بستر متروک رودخانه زاینده‌رود است به صورت زبانه‌ای و تا اواسط خیابان امام خمینی (P17) و تا پیش از خانه اصفهان (P18) قابل ردیابی است و پس از آن، تنها رسوبات ریزدانه رسی (P18, 19) چیره هستند (شکل ۱۲). بررسی دشت آبرفتی و مسیر متروک رودخانه زاینده‌رود در بخش شمال‌خاوری شهر اصفهان به واسطه وجود لایه درشت‌دانه رودخانه‌ای (واحد D2) نشان می‌دهد که این لایه از بستر فعلی رودخانه در محدوده پل خواجه (BH6) به سمت بخش‌های مرکزی و شمال‌خاوری شهر (P21 to P26) و تا زمین‌های فرودگاه شهید بهشتی اصفهان (P27 to P29) با ستبراهای متغییر و در ژرفاهای مختلف وجود دارد (راستای D-D', شکل ۱۳-a). چنین روند مشابهی در رسوب‌گذاری را می‌توان در نیمرخ زمین‌شناسی E-E' (شکل ۱۳-b) نیز مشاهده نمود که ردیابی رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای (واحد D2) در کل این پروفیل از بستر رودخانه در محل پل غدیر (BH7) به سمت پل تمدن (P30)

مطالعات سن‌یابی انجام‌شده به روش کربن ۱۴ در ژرفای حدود ۳ متری افق خاک سپاهان‌شهر (واحد B) گویای آن است که این رسوبات دارای سنی برابر ۱۰۸۰۰ سال هستند (ایوبی، ۱۳۸۱). این درحالی است که سن سنجی رسوبات ریزدانه‌بالایی (واحد D1) دشت آبرفتی رودخانه زاینده‌رود به روش ترمولومینسانس در ژرفای ۱۲ متری اطشاران سن ۷۱۰۰ سال، در ژرفای ۲/۴ متری جلال‌آباد سن ۳۶۵۰ سال و در ژرفای ۲/۸ متری هویه درجه سن ۲۶۸۰ سال را مشخص می‌نماید (قیومی‌محمدی، ۱۳۹۰). دشت آبرفتی رودخانه زاینده‌رود (واحد D) بر روی رسوبات مخروط‌افکنه‌ای گسترش یافته است. بنابراین، با توجه به توالی زیرسطحی رسوبات (شکل‌های ۱۱ و ۱۲)، تعیین سن این نهشته‌ها و وجود مرز تماس تدریجی دو محیط رسوبی مخروط‌افکنه‌ای و رودخانه‌ای چنین برداشت می‌شود که رودخانه زاینده‌رود با ورود به دشت اصفهان در بین مخروط‌افکنه‌های قدیمی ارتفاعات جنوبی (کوه صغه) و شمال‌باختری (کوه سیدمحمد و دانشگاه صنعتی اصفهان) این دشت بسترسازی نموده و با رسوب‌گذاری بار معلق و محلول همراه خود، توالی رسوبی دشت آبرفتی رودخانه (واحد D) را در این حوضه ایجاد کرده است.

### ۳-۴- بررسی ساختار آبرفتی رودخانه زاینده‌رود در گستره دشت اصفهان

ردیابی رسوبات زیرسطحی درشت‌دانه رودخانه‌ای (واحد D2) شامل شن و ماسه خوب یا بد دانه‌بندی‌شده با کرویت و گردشدگی متوسط تا بالا در بخش شمال و شمال‌خاوری دشت اصفهان، افزون بر این که از شواهد انکارناپذیر ساختار آبرفتی رودخانه زاینده‌رود هستند، از عوامل مهم ارزیابی مسیرهای عبور جریان‌ات قدیمی این رودخانه در دشت اصفهان نیز به‌شمار می‌روند (شکل ۱۳). بررسی توالی رسوبات زیرسطحی نشان دهنده آن است که ستبرای رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای در پادگانه آبرفتی رودخانه (P4) از جنوب شهر اصفهان به سمت کانال فعلی رودخانه زاینده‌رود افزایش یافته و در این مسیر در محدوده سی و سه پل به بیشترین ستبرای حدود ۳۲ متر می‌رسد (شکل ۱۱).

و تا خاتون‌آباد در ژرفا و با ستبراهای متغیر امکان‌پذیر است. توالی رسوبی زیرسطحی موجود (D-D' و E-E')، افزون بر این که نشان‌دهنده وجود لایه درشت‌دانه رودخانه‌ای با ستبرای کمتر نسبت به کانال فعلی رودخانه در بخش شمال‌خاوری شهر اصفهان است، به وجود عدسی‌ها و یا نازک لایه‌های رسی با پراکندگی نامنظم در بین توالی رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای (واحد D2) نیز اشاره دارد. میان لایه‌های رسی موجود با ستبرای متغیری از ۱ تا ۷ متر، دارای ترکیبی مشابه با لایه رس بالایی (واحد D1) بوده و فاقد افق‌های شاخص تکامل خاک هستند. تشکیل این میان لایه‌های رسی را می‌توان به حرکت‌های پیچان‌رودی رودخانه زاینده‌رود نسبت داد.

بررسی توپوگرافی زمین در کرانه رودخانه زاینده‌رود نشان می‌دهد که رقوم ارتفاعی و شیب زمین از بستر رودخانه تا فاصله حدود ۲ کیلومتری از آن در تمامی مقاطع زمین‌شناسی افزایشی بوده (m) BH6<sub>Z.R</sub>=1565, P22=1576, D-D'; (m) BH5<sub>Z.R</sub>=1567, P7=1574 و C-C'; (m) BH7<sub>Z.R</sub>=1562, P32=1573 و E-E'; و در راستای شمال‌خاوری تا فرودگاه شهید بهشتی (m) P29<sub>(D-D)</sub>=1540 و خاتون‌آباد (m) P36<sub>(E-E)</sub>=1559 کاهشی است. نحوه تغییر کدهای ارتفاعی و شیب زمین در دشت آبرفتی زاینده‌رود گویای وجود فیزیوگرافی پشته طبیعی رودخانه‌ای است. ایجاد پشته در کنار بستر رودخانه‌ها، محصول دوره‌های سیلابی است که افزایش آب‌دهی (دبی) به خروج آب از کانال رودخانه انجامیده است (هنرجو، ۱۳۷۱). بنابراین وجود پشته طبیعی در اطراف کانال رودخانه زاینده‌رود نشان‌دهنده وقوع دوره‌های سیلابی در این رودخانه است که رخداد طغیان به افزایش گستره بستر رودخانه، کاهش سرعت جریان و پیرو آن، کاهش توان حمل رسوبات انجامیده است. در این حالت، شن و ماسه به‌صورت پشته در دو طرف کانال رودخانه رسوب‌گذاری نموده و پس از پایان طغیان، رودخانه به کانال اصلی باز می‌گردد.

Geological section Z.R-NE Path 1

X=563820	X=564054	X=564271	X=564099	X=564669
Y=3611181	Y=3611813	Y=3612915	Y=3613803	Y=3615631
Z=1565	Z=1573	Z=1576	Z=1573	Z=1567
D=30M	D=25M	D=40M	D=18M	D=38M
Z.R (BH6)	P21	P22	P23	P24
Khaju Br.	Shohadaye Khajoo St.	Neshat St.	Hafez St.	Ghods Sq.

Legend

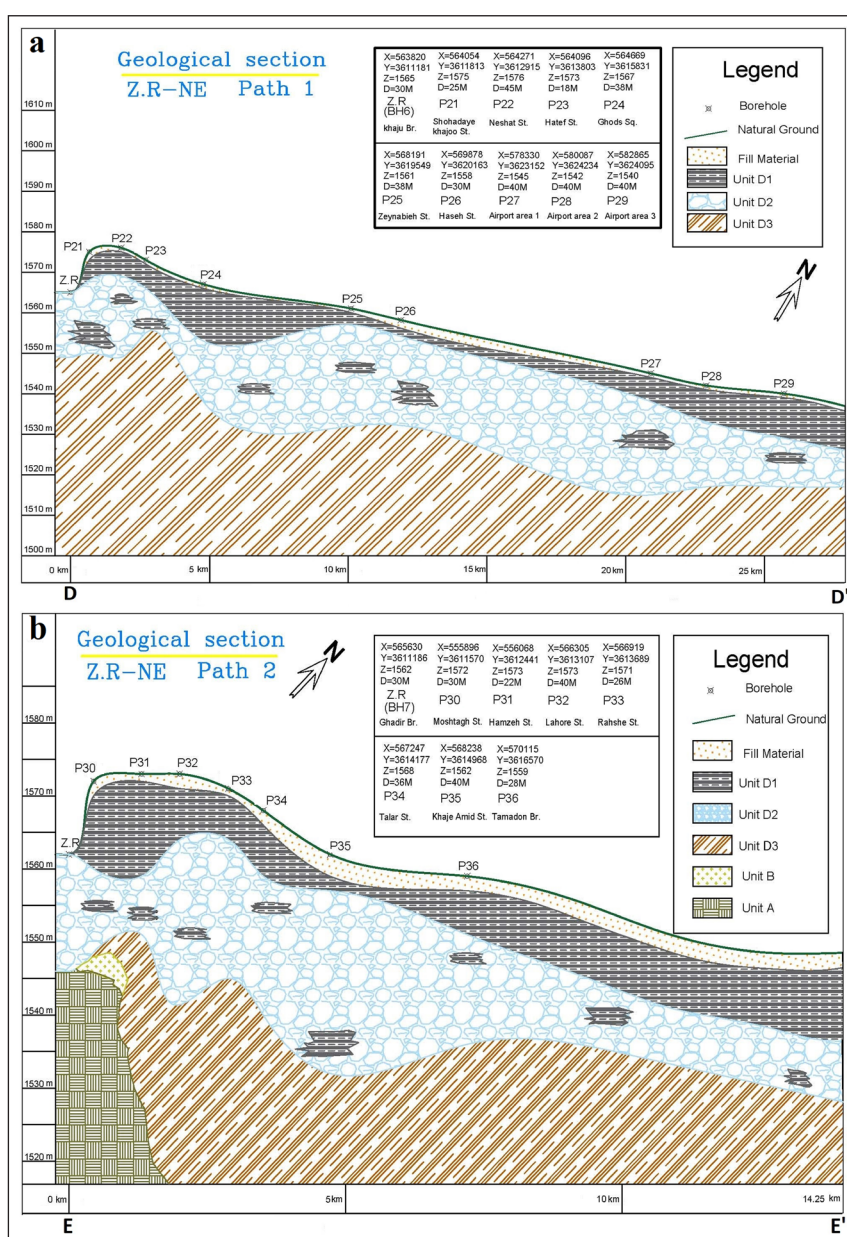
- Borehole
- Natural Ground
- Fill Material
- Unit D1
- Unit D2
- Unit D3

Geological section Z.R-NE Path 2

X=565630	X=555896	X=556068	X=566305	X=566919
Y=3611186	Y=3611570	Y=3612441	Y=3613107	Y=3613689
Z=1562	Z=1572	Z=1573	Z=1573	Z=1571
D=30M	D=30M	D=20M	D=40M	D=20M
Z.R (BH7)	P30	P31	P32	P33
Ghadir Br.	Moshlagh St.	Hamzeh St.	Lahore St.	Rahshe St.

Legend

- Borehole
- Natural Ground
- Fill Material
- Unit D1
- Unit D2
- Unit D3
- Unit B
- Unit A



شکل ۱۳- نیمرخ زمین‌شناسی آبرفت‌ها در مسیرهای دوگانه از بستر رودخانه زاینده‌رود به سمت شمال‌خاوری (D-D' و E-E') دشت اصفهان.

Figure 13. Geological cross-section of alluvium in two paths from the Zayandeh-Rud river to the northeastern direction (D-D', E-E') in the Isfahan plain.

### ۳-۵- بررسی تغییرات فیزیوگرافی رودخانه زاینده‌رود در گستره دشت اصفهان

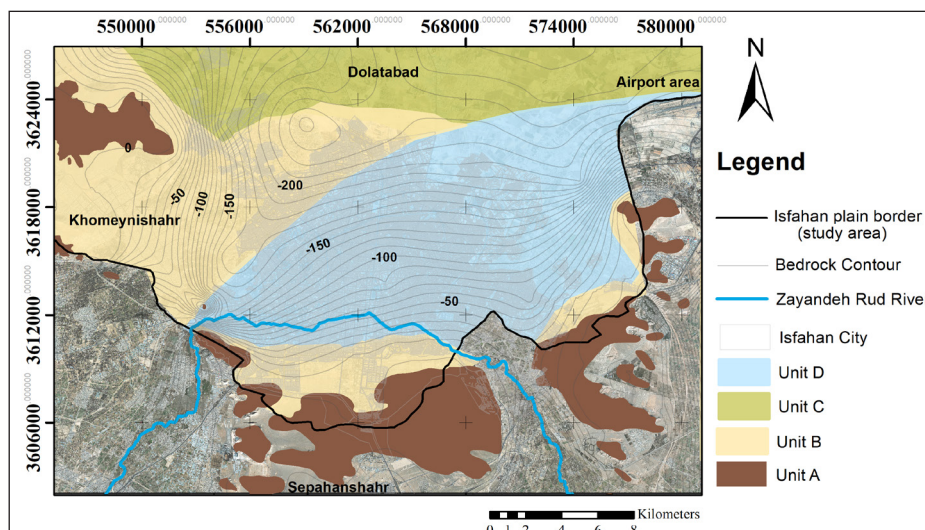
فرضیه‌های مختلفی در مورد تغییر مسیرهای اصلی رودخانه زاینده‌رود در کل حوضه آبی این رودخانه مطرح شده است (جعفریان ۱۳۶۵، رامشت، ۱۳۷۱؛ هنرجو، ۱۳۷۱؛ تومانیان، ۱۳۸۵؛ قیومی محمدی، ۱۳۹۰). سلطانی کویایی (۱۳۸۲) براساس بررسی‌های رسوب‌شناسی بیان می‌دارد که رودخانه زاینده‌رود پس از ورود به محدوده شهر اصفهان و در خاور اصفهان به دو شاخه شمالی و جنوبی تقسیم گردیده است. این در حالی است که گسترش زیرسطحی توالی رسوبی رودخانه‌ای و بررسی نیمرخ‌های زمین‌شناسی ارائه شده در این پژوهش نشان‌دهنده وجود گستره لایه شنی تقریباً متمادی در زمین‌های مرکزی، شمالی (تا پیش از دشت برخوار) و شمال‌خاوری در ژرفاهای مختلف در کل گستره دشت اصفهان می‌باشد (شکل‌های ۱۱ و ۱۳) و وجود شاخه شمالی و جنوبی رودخانه زاینده‌رود را تایید نمی‌نماید.

بررسی چگونگی گسترش رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای (واحد D2) در دشت اصفهان در پژوهش حاضر، گویای تغییرات عرض و مسیر رودخانه در ژرفاها و بخش‌های مختلف شهر است. با استناد به پیشینه مطالعاتی منطقه و بررسی نهشته‌های زیرسطحی نیمرخ‌های زمین‌شناسی دشت اصفهان (شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳)، چنین برداشت می‌شود که رودخانه زاینده‌رود به صورت یک جریان اصلی با آب‌دهی زیاد و سیلابی وارد کانال رودخانه در مسیر فعلی در شهر اصفهان شده است. وجود ستبرای زیاد رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای با گردشگی و کرویت بالا از ورودی رودخانه به شهر اصفهان (BH1) تا حوالی پل بزرگمهر (BH7)، گویای مدت زمان طولانی عبور جریان آب سیلابی رودخانه‌ای از این مسیر است (شکل ۱۰). کاهش ناگهانی ستبرای این نهشته‌های درشت‌دانه در قسمت جنوب‌خاوری (BH7) و تا انتهای مسیر فعلی (BH10) رودخانه زاینده‌رود در شهر اصفهان از یک طرف و وجود بقایایی از توسعه زیرسطحی رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای در قسمت شمال و شمال‌خاوری دشت اصفهان (شکل‌های ۱۱، ۱۳) از طرف دیگر، افزون بر تایید بالاآمدگی سنگ بستر به واسطه چین‌خوردگی و یا تحت تاثیر گسل شمال‌باختری- جنوب‌خاوری موجود در انتهای خاوری رودخانه زاینده‌رود، نشان‌دهنده وجود مسیر متروک رودخانه در بخش‌های شمال و شمال‌خاوری شهر و خارج از کانال فعلی رودخانه زاینده‌رود می‌باشد. افزایش رطوبت محیط و رخداد دوره‌های پربارش در بخش مرکزی ایران طی دوران کواترن (رامشت، ۱۳۷۱)، به ایجاد جریانات سیلابی

و طغیانی در رودخانه زاینده‌رود و افزایش بار رسوبی این رودخانه انجامیده است. بنابراین جریان سیلابی و طغیانی رودخانه پس از ورود به دشت اصفهان به واسطه مسطح‌بودن دشت، عریض شدن ناگهانی بستر، کاهش شیب و بالاآمدگی سنگ بستر در انتهای خاوری رودخانه زاینده‌رود، از بستر اصلی رودخانه خارج گردیده و در بخش شمال و شمال‌خاوری دشت اصفهان جریان یافته است که وجود نهشته‌های شن و ماسه رودخانه‌ای در توالی‌های ریزشونده به سمت بالا گویای وجود کانال متروک رودخانه زاینده‌رود تا قسمت‌های جنوبی زمین‌های فرودگاه شهید بهشتی اصفهان می‌باشد (شکل‌های ۱۱ و ۱۳).

### ۳-۶- نقشه زمین‌شناسی طبقه‌بندی پهنه‌های رسوبی در گستره دشت اصفهان

ارائه نقشه زمین‌شناسی طبقه‌بندی واحدهای سنگ و آبرفت در محدوده دشت اصفهان براساس مطالعات زمین‌شناسی و بر مبنای تاثیر پارامترهای زمین‌ریخت‌شناسی، توپوگرافی، شیب زمین و داده‌های حاصل از حفاری گمانه‌های اکتشافی انجام شده است (شکل ۱۴). مطالعه گسترش زیرسطحی رسوبات حاصل از گمانه‌های اکتشافی در شهر اصفهان شامل بررسی تعداد، جنس، ستبرای و رده‌بندی لایه‌های مختلف سنگ و آبرفت و نیز ارزیابی شکل ظاهری دانه‌ها شامل گردشگی، جورشدگی و کرویت آن‌ها به منظور تفکیک محیط رسوبی در گستره دشت طی پژوهش حاضر انجام گرفته است. بر این اساس، نهشته‌های زیرسطحی موجود در دشت اصفهان تا ژرفای ۳۰ متری از سطح زمین، به ۴ واحد اصلی و ۶ زیرواحد تقسیم گردیده‌اند که شامل واحدهای A، B(B1, B2, B3)، C و D(D1, D2, D3) می‌باشد (شکل ۱۴). مرزهای رسم شده در این نقشه موقعیت واحدهای رسوبی یاد شده نسبت به یکدیگر و محل تغییر پهنه‌های رسوبی را نشان می‌دهد که براساس مطالعات زمین‌شناسی، بررسی‌های صحرایی، مشاهدات میدانی، بررسی داده‌های حاصل از گمانه‌های اکتشافی در ساختگاه پروژه‌های عمرانی، بررسی دیواره‌های گود، بررسی روند مادی‌ها و قنات‌ها در شهر اصفهان رسم شده است (شکل ۱۴). تلفیق نتایج حاصل از طبقه‌بندی زمین‌شناسی توالی سنگ و آبرفت در گستره دشت اصفهان با منحنی‌های هم‌تراز سنگ بستر (Fatolahzadeh et al., 2022)، گویای آن است که ژرفای سنگ بستر از جنوب به سمت شمال دشت اصفهان افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که واحد A کمترین و واحد C بیشترین ژرفای قرارگیری سنگ بستر را دارا می‌باشد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- نقشه زمین‌شناسی طبقه‌بندی پهنه‌های رسوبی در گستره دشت اصفهان.

Figure 14. Geological map of sedimentary zones classification in the Isfahan Plain.

#### ۴- نتیجه‌گیری

نهشته‌های زیرسطحی موجود در دشت اصفهان بر مبنای تمایز محیط رسوبی به ۴ پهنه اصلی و ۶ زیرپهنه تفکیک می‌شود. پهنه A، متشکل از رخنمون‌های سنگی، شکل زمین‌های کوهستانی و توالی سنگ بستر در دشت اصفهان است. بررسی داده‌های حاصل از گمانه‌های اکتشافی نشان‌دهنده آن است که ژرفای سنگ بستر و پیرو آن ستبرای آبرفت در دشت اصفهان از جنوب به شمال و از خاور به باختر افزایش می‌یابد. پهنه B دربرگیرنده نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای است و به ۳ زیرواحد رسوبات واریزه‌ای (B1)، آبرفت‌های بادبزنی (B2) و رسوبات گلی خرده‌دار (B3) تقسیم‌بندی می‌شود. واحد B1 متشکل از رسوبات درشت‌دانه شنی همراه با تخته‌سنگ است که اجزای درشت‌دانه موجود در این رسوبات زاویه‌دار، فاقد گردشدگی و جورشدگی می‌باشد. رسوبات این واحد در راس مخروط‌افکنه‌ها و به واسطه فرسایش سنگ‌ها و حرکت آن‌ها توسط نیروی ثقل ایجاد شده است. واحد B2 شامل شن و ماسه به‌همراه قلوه‌سنگ بوده و سیلت و رس به‌عنوان پرکننده منافذ می‌باشد. دانه‌های درشت موجود در این نمونه‌ها بیشتر زاویه‌دار، با جورشدگی ضعیف و فاقد گردشدگی بوده و این نهشته‌ها در بخش میانی مخروط‌افکنه و در زمین‌های کوهپایه‌ای قرار دارد. واحد B3، رسوبات ریزدانه سیلتی و رسی همراه با عدسی‌هایی از شن و ماسه دامنه‌ای است که در قاعده مخروط‌افکنه‌ها و در بخش کم‌شیب دامنه‌ها تشکیل شده است. پهنه C شامل نهشته‌های ریزدانه پلایایی همراه با سخت‌دانه‌های آهکی است که در مناطق فروافتاده و لگنی شکل در خارج از دشت آبرفتی رودخانه زاینده‌رود در بخش‌های انتهایی دشت اصفهان و به سمت دشت برخوار می‌باشد. تشکیل افق کلسیک در توالی زیرسطحی نهشته‌ها، از ویژگی‌های

شاخص در این پهنه می‌باشد. پهنه D، رسوبات دشت آبرفتی رودخانه زاینده‌رود را تشکیل می‌دهد که توالی رسوبی زیرسطحی در این پهنه شامل لایه ریزدانه بالایی (D1)، درشت‌دانه میانی (D2) و لایه ریزدانه زیرین (D3) می‌باشد. رسوبات ریزدانه موجود به‌واسطه رسوب‌گذاری در شرایط محیطی آرام و ماندابی، توسط جریان‌ات رودخانه زاینده‌رود ایجاد گردیده است. رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای (D2) با گردشدگی زیاد، کرویت بالا و پخش‌شدگی گویای تاثیر جریان‌های سیلابی و طغیانی رودخانه زاینده‌رود بوده و رسوبات موجود در بستر فعلی و فعال رودخانه زاینده‌رود نیز در این واحد قرار می‌گیرد. بررسی چگونگی تغییر کدهای ارتفاعی و شیب زمین در دشت آبرفتی رودخانه زاینده‌رود و تا ابتدای دشت برخوار گویای وجود فیزیوگرافی پشته طبیعی رودخانه‌ای است که وجود پشته در کرانه رودخانه زاینده‌رود نیز به رخداد دوره‌های سیلابی و طغیانی در این رودخانه اشاره دارد. بررسی توالی نهشته‌های زیرسطحی موجود در بخش شمال‌خاوری دشت اصفهان نشان‌دهنده وجود عدسی‌ها و یا نازک لایه‌های رسی با پراکندگی نامنظم در بین توالی رسوبات درشت‌دانه رودخانه‌ای (D2) است که وجود این میان لایه‌های رسی را می‌توان به حرکت‌های پیچان‌رودی رودخانه زاینده‌رود در این بخش نسبت داد. بررسی چگونگی گسترش و توسعه زیرسطحی رسوبات شن و ماسه رودخانه‌ای (D2) با گردشدگی و کرویت بالا در خارج از مسیر فعلی رودخانه زاینده‌رود به سمت شمال (تا پیش از دشت برخوار) و شمال‌خاوری دشت اصفهان گویای وجود مسیر متروک رودخانه زاینده‌رود در بخش شمال‌خاوری این دشت و تا نزدیکی فرودگاه شهید بهشتی اصفهان است.

#### کتابکاری

- احمدی، ح. و سلطانی، س.، ۱۳۷۵، بررسی پادگانه‌های آبرفتی زاینده‌رود، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۹، ص ۲۵-۳۳.
- ایوبی، ش.، ۱۳۸۱، شواهد پدوژنیک تغییرات اقلیم در دوره کوتاه‌تر به‌جا مانده در خاک‌های قدیمی اصفهان و امام قیص، پایان‌نامه دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۳۰۱ ص.
- پاکزاد، ح.، امینی، ع.، ۱۳۸۸، رخساره‌ها و فرایندهای رسوبگذاری نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای بخش پایینی حوضه رودخانه زاینده‌رود، جنوب شرق اصفهان، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی دانشگاه اصفهان، شماره ۳۶، ص ۱۱۳-۱۳۲.
- تومانیان، ن.، ۱۳۸۵، چگونگی تکوین اراضی، تنوع خاک‌ها و نقشه‌برداری کمی بعضی از خصوصیات پدوژنیک در بخشی از ایران مرکزی، پایان‌نامه دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۷۰ ص.
- جعفریان، م.، ۱۳۶۵، جغرافیای گذشته و مراحل مختلف تکوین دره زاینده‌رود، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، شماره ۱، ص ۱۵-۳۱.
- داودی، ا.، شبانیان بروجنی، ن. و داودیان دهکردی، ع.، ۱۳۹۴، تحلیل ویژگی‌های رسوب‌شناسی پادگانه‌های آبرفتی رودخانه زاینده‌رود و تعیین منشأ آن‌ها، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۵، ص ۶۷-۸۴.
- رامشت، م.ح.، ۱۳۷۱، رودخانه زاینده‌رود و تاثیر آن بر سیمای فضایی اصفهان، پایان‌نامه دکتری، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۹۷ ص.
- سلطانی کوپائی، س.، ۱۳۸۲، بررسی محدوده اصفهان از نظر نوع محیط رسوبی و تغییرات مسیر زاینده‌رود در آن، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۵۶، ص ۳۵۱-۳۶۴.
- شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان اصفهان، ۱۳۹۹، نتایج آزمایش‌های انجام‌شده در پروژه عوامل پروازی فرودگاه اصفهان، ۷۸ ص.
- شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان اصفهان، ۱۴۰۳، احداث بیمارستان ۵۰۰ تختخوابی ۲۵ آبان شهر اصفهان، ۹۹ ص.
- شرکت مهندسین مشاور آروین آژند، ۱۴۰۱، مطالعات ژئوتکنیک مجتمع تالار، ۱۱۲ ص.
- شرکت مهندسین مشاور آروین آژند، ۱۴۰۳، مطالعات ژئوتکنیک مجتمع تجاری-خدماتی میدان قدس، ۱۲۰ ص.
- شرکت مهندسین مشاور آروین آژند، ۱۳۹۶، عملیات ژئوتکنیک مرحله تکمیلی خط ۲ قطار شهری اصفهان، ایستگاه خرازی، ۱۲۱ ص.
- شرکت مهندسین مشاور زمین فن آوران، ۱۳۸۵، گزارش شرایط ژئوتکنیکی ایستگاه‌های سی و سه پل تا ایستگاه آزادی طرح خط ۱ قطار شهری اصفهان، ۳۰ ص.
- شرکت مهندسین مشاور زمین فن آوران، ۱۳۹۶، گزارش نهائی مطالعات ژئوتکنیکی و نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی و صحرایی طرح خط ۳ قطار شهری اصفهان، ۱۱۵ ص.
- عبداللهی، م.ر.، جعفریان، م.ب.، گودرزی، غ.، پیرهادی، غ.ر.، پرتوآذر، ه.، ۱۳۹۳، الف- نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰ اصفهان (III NE-6355)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۶۴ ص.
- قیومی محمدی، ح.، ۱۳۹۰، بررسی فرآیندهای ریخت‌زا و خاکساز پدیدآورنده تحولات طبیعی و مدنی زاینده‌رود در کوتاه‌تر، پایان‌نامه دکتری، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان، ۳۹۷ ص.
- محمدی، م.، ۱۳۹۹، طبقه‌بندی زمین‌شناسی مهندسی آبرفت‌های جنوب اصفهان با تاکید بر عوامل زمین‌شناسی و آزمایش‌های برجا، پایان‌نامه دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، ۱۶۸ ص.
- هنرجو، ن.، ۱۳۷۱، مقایسه چگونگی تحول و تکامل و بررسی کانی‌های رسی در خاک‌های تراس‌های آبرفتی رودخانه زاینده‌رود اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸ ص.
- هوایی، ش.، کمالی، ا.، تومانیان، ن.، و مصدقی، م.ر.، ۱۳۹۷، ارزیابی تراس‌های مسیر کنونی رودخانه زاینده‌رود با استفاده از شاخص تکامل خاک رخ هاردن (PDI)، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۲۵، ص ۱-۲۲.

## References

- Abdollahi, M.R., Jafarian, M.B., Goodarzi, A., Pirhadi, G.R., and Partoazar, H., 2014. *Geological report of the Esfahan map (1:25000) 6355 III NE, Geological survey of Iran, 64 p. (in Persian).*
- Ahmadi, H., and Soltani Kopaie, S., 1996. *Study of Zayandeh-Rud River terraces, Iran. J. Natural Res., 49, 25-33 (in Persian).*
- Arvin Ajand Consulting Engineers Company, 2022. *Geotechnical studies of the Talar building, 112 p. (in Persian).*
- Arvin Ajand Consulting Engineers Company, 2024. *Geotechnical studies of commercial-service complex in Quds square, 120 p. (in Persian).*
- ASTM D2487, 2018. Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System), ASTM international, Annual book of ASTM standards, vol 04.08., 12 p.
- ASTM D422, 2014. Standard test method for particle-size analysis of soils, ASTM international, Annual book of ASTM standards, vol 04.08., 8 p.
- ASTM D4318, 2017. Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils, ASTM international, Annual book of ASTM standards, Vol 04.08., 14 p.
- Ayoubi, S., 2002. *Pedogenic evidences of Quaternary climatic change recorded in paleosols from Isfahan and Emam-Gheis (Charmahal Bakhtiari province), Ph.D. thesis, Isfahan university of Technology, Iran, 301 p. (in Persian).*
- Azmouneh Foulad Consulting Engineers Company, 2017. *Geotechnical operation of the supplementary stage of line 2 of Isfahan city train, Kharazi station, 121 p. (in Persian).*
- Bull, W.B., 2009. *Geomorphic responses to climatic change, Oxford University Press, New York, 352 p.*
- Davoodi, E., Shabaniyan, N., and Davoudian, A.R., 2015. *Characteristic evaluation of sedimentology of the of Zayandeh-Rud River alluvial Terraces and the sediment source identification, Quarterly journal of Environmental Erosion Research, 5(18), 67-84 (in Persian).*
- Deere, D.U., 1989. *Rock quality designation (RQD) after twenty years, Vicksburg, USA, 101 p.*
- Farashi, S., and Ajalloeian, R., 2012. *Engineering geological mapping at east of Isfahan city, using GIS, AJBAS, 6(1), 165-172.*
- Fatolahzadeh, S., Nadi, B., and Ajalloeian, R., 2022. *Land Subsidence Susceptibility Zonation of Isfahan Plain based on Geological Bedrock Layer, Geotech. Geol. Eng., 40(14), 1-8.*
- Fazileh, F., Karami, G.H., and Ajalloeian, R., 2020. *An empirical method for estimating the soil hydraulic conductivity using particle size distribution curve, case study: Isfahan city, IJHST, 10(5), 504-513.*
- Ghaiumi Mohammadi, H., 2011. *The influence of morphogenic-pedogenic processes on natural and civil evolutions of Zayandeh-Rud at the Quaternary period, PhD thesis, University of Isfahan, Iran, 397 p. (in Persian).*
- Ghasemi, A., and Talbot, C.J., 2006. *A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran), J. Asian Earth Sci., 26, 683-693.*
- Havaee, S.H., Kamali, A., Toomanian, N., and Mosaddeghi, M.R., 2018. *Investigation of the Terraces of the Zayandeh-Rud River's current pathway using the Harden's profile development index (PDI), J. of Water and Soil Conservation, V. 25(2), 1-22 (in Persian).*
- Honarjoo, N., 1992. *Soil genesis and clay minerals studies on terraces of Zayandeh-Rud river in Isfahan, Isfahan University of Technology, Iran, 138 p. (in Persian).*
- Jaafarian, M., 1986. *Past history and evolutionary steps of Zayandeh-Rud Valley, Res. J. Isfahan University, 1, 15-31 (in Persian).*
- Khademi, H., Mermut, A.R., and Krouse, H.R., 1997. *Sulfur isotope geochemistry of gypsiferous aridi sols from central Iran, Geoderma, 80, 195-209.*
- Mohammadi, M., 2021. *The engineering geology classification of the south Esfahan alluviums with emphasis on geology factors and in situ tests, PhD thesis, Faculty of Earth Science, Kharazmi University, 168 p. (in Persian).*
- Mohammadi, M., Aghda, S.M.F., Talkhablou, M., and Cheshomi, A., 2020. *Introducing a comprehensive geological and geotechnical classification for urban planning and design, a case study in Isfahan (Iran), Geotech. Geol. Eng., 38(6), 6809-6826.*
- Nadimi, A., and Konon, A., 2012. *Strike-slip faulting in the central part of the Sanandaj-Sirjan Zone, Zagros Orogen, Iran. J. Struct. Geol., 40, 2-16.*
- Pakzad, H., and Amini, A., 2009. *Facies and sedimentation processes in the alluvial fan deposits of the lower reach of Zayandeh-Rud river, southeast of Isfahan, Journal of stratigraphy and sedimentology researches, 25, 113-132 (in Persian).*
- Ramesht, M.H., 1992. *Effect of Zayandeh-Rud River on landscape of Esfahan, PhD thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, 197 p. (in Persian).*
- Sohrabi, A., Beygi, S., Nadimi, A., and Hajihashemi, M., 2015. *The role of regional tectonics in structural caves, Simorgh Cave, Sofeh mountain (Iran), J. Tethys, 3(2), 114-122.*
- Soil survey staff, 2010. *Keys to soil taxonomy, 11th edn., USDA, NRCS, P. 422*
- Soltani Kopaie, S., 2004. *An evaluation of type of sedimentary environment in Isfahan region and Zayandeh-Rud river avulsion, Iranian J. Natural Res., 56(4), 351-364 (in Persian).*
- Tadayon, M., Rashid, H., Salehi, M.A., and Aslani, A., 2022. *Post-Cretaceous structural reconstruction of the west Central Iranian micro-plate: insights from structural and magnetic fabrics (AMS) constraints, J. Struct. Geol., 160, 104601*

- Targulian, V.O., and Krasilnikov, P.V., 2007. Soil system and pedogenic processes: self-organization, time scales, and environmental significance, *Catena*, 71, 373-381.
- Technical and Soil Mechanics Laboratory Company, 2020. Results of the tests carried out in the Isfahan airport project, 78 p. (in Persian).*
- Technical and Soil Mechanics Laboratory Company, 2024. Construction of a 500-bed 25-Aban hospital in the Isfahan, 99 p. (in Persian).*
- Toomanian, N., 2007. *Landscape evolution, pedodiversity and mapping of some pedogenic attributes of soils in central Iran, Isfahan University of Technology, Iran, 170 p. (in Persian).*
- Zamin Fanavaran Consulting Engineers Company, 2006. Geotechnical conditions of Si-o-se- pol to azadi stations report, line 1 of subway in Isfahan city, 30 p. (in Persian).*
- Zamin Fanavaran Consulting Engineers Company, 2017. Final geotechnical reports and results of laboratory and in situ tests of line 3 of subway in Isfahan city, 115 p. (in Persian).*